

SW6-2024

过程设备设计计算软件

用 户 手 册

全国化工设备设计技术中心站
上海迅羽化工工程高技术中心

地 址：上海市静安区北京西路 1701 号 2403 室(200040)
电 话：021-31183000
网 址：<http://www.tced.com>
技术支持：021-31183000-805、806、807
sw6@tced.com, pjchang@tced.com, linjie@tced.com
软件发行：021-31183000-808, Lvdong@tced.com



目 录

一、概述.....	1
二、运行环境、安装及启动.....	4
三、材料性能及其数据库.....	11
四、四个基本受压元件.....	19
五、卧式容器.....	60
六、立式容器.....	66
七、固定管板换热器.....	85
八、浮头式及填料函式换热器.....	105
九、U 形管式换热器.....	112
十、高压设备.....	117
十一、塔设备.....	129
十二、球形储罐.....	143
十三、非圆形容容器.....	149
十四、零部件.....	157
十五、非对称双鞍座及多鞍座卧式容器.....	191
附录 A SW6-2024 安装及卸载说明.....	201
附录 B SW6-2024 常见问题说明.....	210

一、概述

1.1 前言

自上世纪九十年代以来，SW6 软件作为一个工程设计计算软件在化工设备设计领域为广大工程师提供了巨大的帮助，已成为设备设计人员进行设备设计、方案比较、在役设备强度评定等工作所不可缺少的重要工具。

近二十多年来，随着信息化和数字化技术的飞速发展，软件技术在我国压力容器设计建设项目中的应用取得巨大进展，2012 年以来，随着 GB/T150、GB/T151、NB/T47041、NB/T47042、GB/T12337 等一系列标准的更新并正式实施，SW6 软件也随之升级换代，先后推出了 SW6-2011V1.0~V5.0 等多个版次，目前用户已达 2000 多家。

SW6 软件包括和涉及的设计计算内容有塔器、各类管壳式换热器、卧式容器、立式容器、非圆形截面容器、球罐、高压设备以及众多常用受压元件。鉴于节能环保和高质量发展提出的新要求，目前，GB/T150 以及一些材料标准已进行了修订、更新，并已开始执行，特别是 GB/T150 近期已推出最新版本 GB/T150-2024，新标准于 2025 年 2 月 1 日起正式实施。在 GB/T150-2024 中，基于近年来承压设备设计建造技术的发展，对于基本且常用受压元件的设计方法作了较多修改，将使设计结果更趋安全、可靠和经济。因此，SW6 软件也据此同步进行了升级换代，最新版本为 **SW6-2024V1.0**。该版本中使用的设计方法均依据 GB/T 150-2024 以及相关压力容器设计标准的最新版本。

1.2 SW6-2024 的编制依据

SW6-2024 主要是根据以下标准所提供的数学模型、计算方法和有关材料性能数据进行编制：

- GB/T 150-2024 《压力容器》；
- GB/T 151-2014 《热交换器》；
- GB/T 12337-2014 《钢制球形储罐》；
- NB/T 47041-2014 《塔式容器》；
- NB/T 47042-2014 《卧式容器》；
- HG/T 20582-2020 《钢制化工容器强度计算规范》；
- GB/T 16749-2018 《压力容器波形膨胀节》；
- NB/T 47065-2018 《容器支座》；
- GB/T 25198-2023 《压力容器封头》；
- NB/T 11270-2023 《钛制压力容器》；
- NB/T 47011-2022 《锆制压力容器》；
- JB/T4734-2002 《铝制压力容器》；
- JB/T4755-2006 《铜制压力容器》；
- JB/T4756-2006 《镍及镍合金制压力容器》；
- CSCBPV-TD001-2013 《内压与支管外载作用下圆柱壳开孔应力分析方法》。

1.3 本手册导读

本手册的编制方法与之前 SW6 软件各版本用户手册的结构是相一致的。本章的 1.4 节将介绍 SW6-2024 的基本结构和数据的存放约定，请用户务必仔细阅读该节，特别要注意数据文件的存放方法。运行 SW6-2024 所要求的软、硬件环境将在第二章的第一节介绍。在第二章中还介绍了 SW6-2024 安装完成以后的目录体系和启动、运行 SW6-2024 的一般过程和方法。内容包括输入数据文件的打开和建立、计算书的形成、存盘和打印，以及各设备计算程序的一般功能。第三章是关于本软件中材料性能参数的获取方法，包括所具有的标准材料数据库的内容、用户自定义材料数据库的建立方法以及程序运行时用户输入材料性能参数的一般方法。第四章讲述了四个基本受压元件计算模块：筒体、封头、法兰和开孔补强的计算功能、输入数据说明和操作方法。从第五章至第十五章详细介绍了各设备的计算功能和数据输入方法。对于各种设备中所特有的零部件的计算功能和数据输入方法将分别同有关设备放在同一章中一起叙述，如搅拌轴将与立式容器一起放在第六章叙述。附录介绍了 SW6-2024 的安装过程 and 操作方法以及一些软件安装和使用过程中常见问题的说明。

1.4 软件结构及一般使用指南

SW6-2024 共包括 11 个设备级计算程序、1 个零部件计算程序和 1 个用户材料数据库管理程序。本软件安装完毕后会在开始菜单中形成对应于这 13 个程序的一组快捷方式图标，用户点击任意图标就能运行该程序。为了便于用户保存管理文档，输出数据的主名和存放路径由用户指定。SW6-2024 对每一种设备的数据文件都规定了一个后缀名。11 个计算程序和 1 个零部件计算程序及其输出数据文件的后缀名列表如下：

表 1.1 各程序输出文件后缀名

程序计算内容	数据文件后缀名	程序计算内容	数据文件后缀名
塔设备	.cn4	浮头式换热器	.fe4
卧式容器	.ht4	填函式换热器	.ef4
非圆形容器	.nc4	固定管板换热器	.fx4
高压设备	.hp4	U 型管换热器	.uc4
球形储罐	.sp4	零部件	.pa4
非对称双鞍座及多鞍座卧式容器	.ms4	带夹套立式容器 (带或不带搅拌)	.ra4

SW6-2024 可以打开 SW6 之前所有版本的数据文件。

SW6-2024 的使用和数据存放都是以一个设备为基础。每一个设备计算程序既可以进行设备的整体计算，也可以进行该设备中某一个零部件的单独计算。这使得有经验的设计人员在应用本软件时可以有较大的自由度，能很方便地进行多种方案的比较。可以说，SW6-2024 的这一结构具有相当的灵活性，兼顾了一般和资深设计人员的要求。

在每一个设备计算程序中包含着该设备所常见的零部件计算。如立式容器计算程序中包含了筒体、各种封头、夹套、设备法兰、开孔补强、搅拌轴及支座的计算。而如果设计人员想要知道卧式鞍座的应力及其所引起的筒体应力，则应运行卧式容器计算程序来进行计算得到。同理，如

要进行膨胀节的刚度和强度校核，应运行固定管板换热器计算程序。在本软件的零部件计算程序中包含了一些在大部分设备设计中较少考虑的零部件以及 4 个最常用的零部件的计算内容，它们是：筒体、封头、法兰（GB/T 150 中的计算方法和 HG/T20582 的“法兰设计的另一方法”）、开孔补强、卡箍结构、三通、单斜和多斜弯管、内压弯头、焊接环形垫片密封法兰、带法兰凸形封头、局部应力计算、凸缘、平行角钢加强的圆形平盖、齿啮式卡箍、整体式卡箍、拉撑管板、挠性管板、透镜垫密封等。除了前面 4 个最常用的结构之外，其它的结构不包含在任何一个设备计算程序中。因此，如要进行这些结构的计算，必须运行零部件计算程序。

由于 SW6-2024 的结构是以不同的设备为基础，又能够对设备中的零部件进行单独计算。因此，在数据输入时，各零部件输入数据中有关设备的设计数据值是一致的。例如，在筒体计算时，需要输入设计压力和液柱静压力，在法兰计算时，也需输入设计压力和液柱静压力。如在筒体数据输入时已输入了这两个值，则在法兰数据输入时，这两个值会自动显示在数据输入框内。同样地，如在法兰数据输入时，修改了这两个值，则包括筒体在内的其它零部件的设计压力和液柱静压力都会随之改变。因此，建议用户在数据输入或零部件计算时，应从最基本的零部件开始，如筒体、封头等，以方便操作。

SW6-2024 并不限制用户必须使用 GB/T 150 所提供的材料。如果设计人员选用 GB/T 150 标准包括的材料，则 SW6-2024 提供了材料各种性能数据库，即这些数据将不要求用户自行输入。用户还可以通过两种方法来使用 GB/T 150 以外的其它任何材料。一种方法是自行建立材料性能数据库(SW6-2024 提供了一个操作极其方便的用户材料数据库管理程序)，那么程序在运行时将像 GB/T 150 的材料一样处理。第二种方法是用户可在数据输入时将计算所需要的材料性能数据直接在界面输入。用户材料数据库管理程序是提供给用户来建立、修改、删除用户自己的材料数据库之用，其使用方法见第 3 章。

另外，计算结果将以两种形式输出。一种是在计算完成后在屏幕上显示的简单计算结果，这种屏幕所显示的结果可直接打印，这种形式主要提供给设计人员在使用本软件时能快速获知计算结果以调整数据反复运算之用；另一种是以表格形式列出详细的输入数据和计算结果，通过 WORD 打印输出或作为文件存放，这种形式将使存档文本显得更加规范。

相信设计人员在使用了 SW6-2024 后，会对过程设备设计工作能提供更大的帮助。

二、运行环境、安装及启动

2.1 软件运行环境

系统配置要求：

1. 操作系统 Windows 7、8、10、11（32bit 或 64bit）；
2. 内存 256MB 及以上；
3. 硬盘空间 800MB 及以上；
4. Office 2003 及以上版本，或 WPS office 2019 及以上版本。

2.2 SW6-2024 的目录体系

SW6-2024 安装完成后（具体安装说明可参考附录 A），在用户指定的硬盘目录（必须为一级目录）下将生成一个包含本软件包的总目录，该总目录下又包括了以下的子目录：

(1) **bin**：该目录包含了 SW6-2024 的所有可执行文件，任何一个文件的缺少都可能导致程序运行时出现不可预料的错误。

(2) **data**：该目录包含了 SW6-2024 在运行时所需要的数据文件，任何一个文件的缺少都可能导致程序运行时出现不可预料的错误。

(3) **Dot**：该目录包含了生成正式计算书所需要的所有文件。缺少这些文件将不会影响程序进行计算和屏幕输出结果，但无法形成 WORD 所能接受的文档，当然也无法打印正式的设计计算书。

(4) **tem**：该目录是用来存放 SW6-2024 在运行过程中所生成的一些临时文件。在程序运行结束以后，可以删除该目录中的任何文件而不会影响以后程序的运行。但请在程序运行中间不要去删除该目录中的文件，以免出错。

(5) **sample**：该目录中的数据文件是各个程序的一些例子。

(6) **icon**：该目录存放了各计算程序的快捷方式图标文件。

2.3 运行 SW6-2024

安装完成后，用户可通过开始菜单，找到“SW6-2024”程序组。在该程序组中共有 13 个程序，即上一章已提到的 11 个设备计算程序，1 个零部件计算程序和 1 个用户材料数据库管理程序，见图 2.1。除了用户材料数据库管理程序（用户材料数据库管理程序的运行请见第三章），其它的 12 个程序都将以相同的方式开始运行。



图 2.1 13 个程序组快捷菜单

以下以“立式容器设计”计算程序为例说明开始运行的方法。用户可先单击“开始”按钮，单击“所有程序”选项，单击“SW6-2024”选项，再单击“立式容器”，出现如图 2.2 所示的对话框：

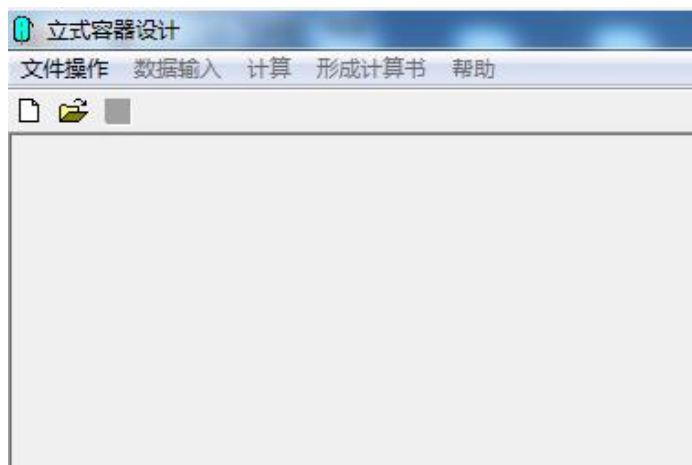


图 2.2 各计算程序启动时的对话框

如果用户想要打开一个已经存在的文件，则可以单击菜单项“文件操作”中的“打开”或单击工具栏中的打开图标，见图 2.3。这时会出现如图 2.4 所示的通用文件操作对话框，用户可以方便地在列表框中选择所要打开的文件名。

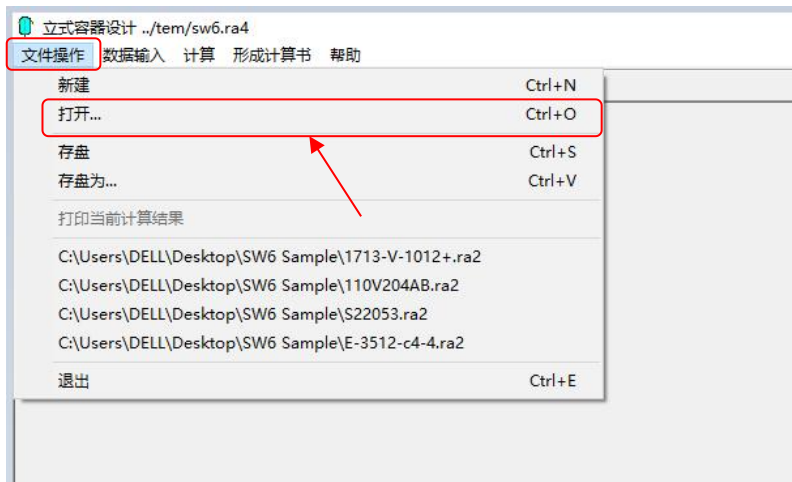


图 2.3 打开文件操作

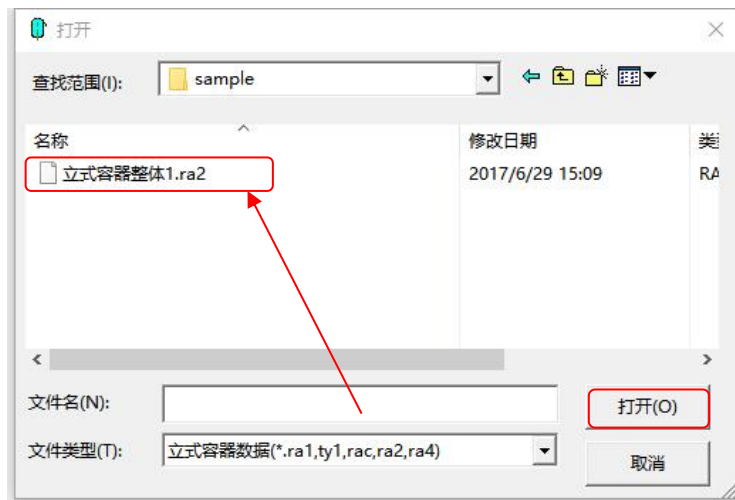


图 2.4 通用打开文件对话框

如果用户想要新建一个数据文件，则可以单击菜单项“文件操作”中的“新建”或单击工具栏中的新建图标，见图 2.5。而后，用户可在对应的界面中进行数据的输入。

数据输入或者修改后，为了避免在运算过程中由于不可预料的系统出错而使用户输入的数据丢失，在进行设备计算或任何一个零部件的单独计算之前，可通过“存盘”和“存盘为”进行数据保存，见图 2.6。此时，会出现图 2.7 所示的通用保存文件对话框。用户可将输入的全部数据按用户指定保存路径进行存盘，文件名由用户自行命名。

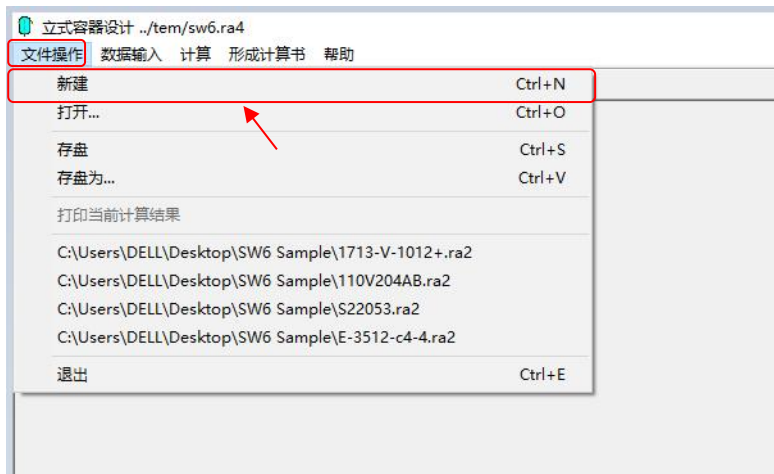


图 2.5 新建文件操作

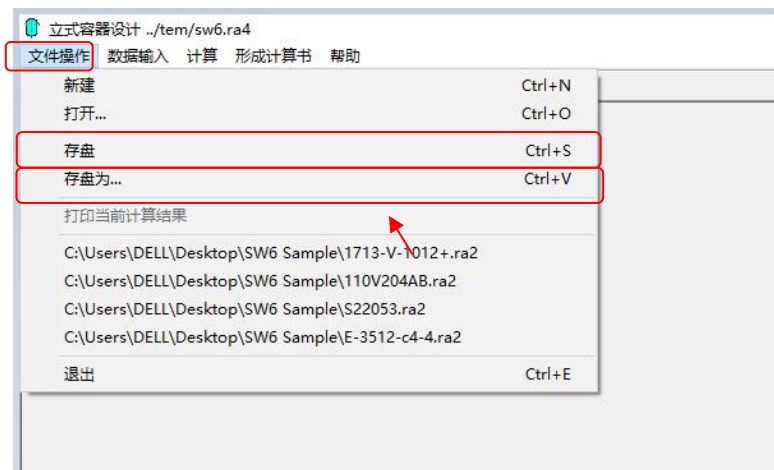


图 2.6 数据保存操作

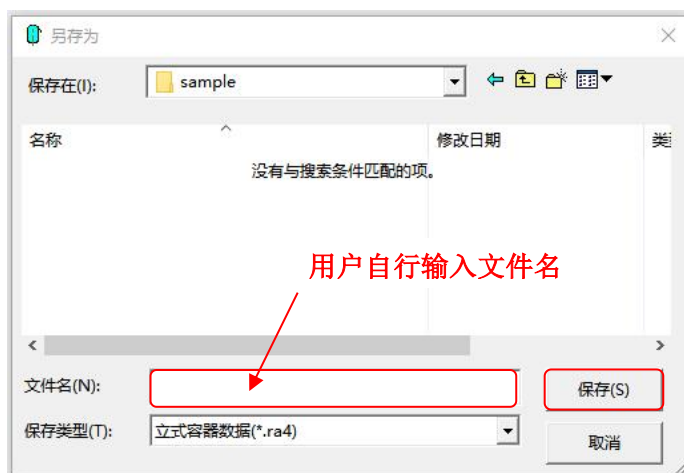


图 2.7 通用保存文件对话框

另外，程序会将最近输入或保存过的 4 个文件的路径在“文件操作”菜单中予以显示，便于用户直接打开使用。

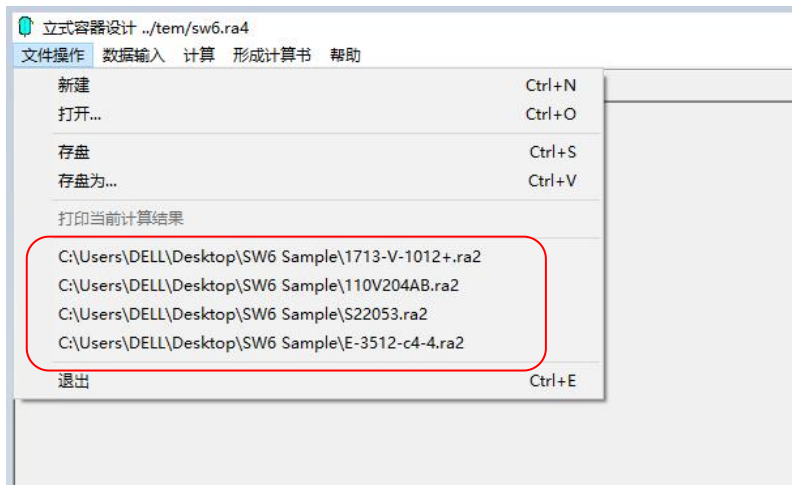


图 2.8 最近输入或保存文件显示

2.4 计算及其屏幕结果的显示

计算包括“设备级计算”以及该设备各部件的单独计算，如图 2.9，用户根据设备实际需求选择对应的计算类型。若用户单击“设备计算”，则出现如图 2.10 所示的对话框，用户根据实际输入数据内容勾选相对应的部件一起进行整体计算；用户也可单独点击各部件的进行计算。

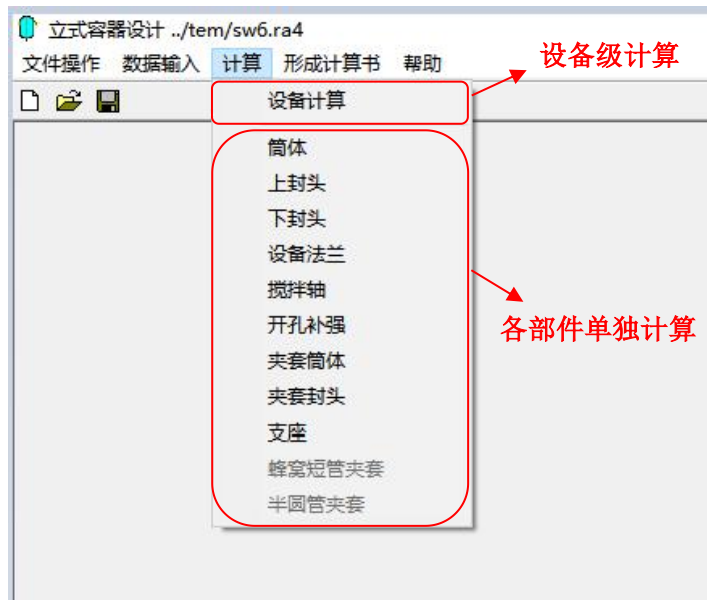


图 2.9 计算及屏幕结果显示



图 2.10 设备级计算

2.5 计算书的形成和打印

计算书可以通过菜单栏中的“形成计算书”来得到，见图 2.11。“形成计算书”中包括“设备计算书”以及该设备各部件计算书的子菜单项，用户单击其中任何一项之后，首先出现如图 2.10 所示的对话框。在该对话框有 3 个单选按钮，用户可选择用中文或英文来形成计算书以及中文简明格式计算书。在该对话框中的另一按钮让用户确定是否要打印封面。用户在点击“确认”按钮后，程序将自动启动 WORD，并使 WORD 打开已形成好的计算书文档。用户如要存放该计算书文档，请改名后存放。用户如要打印计算书，可按照 WORD 的打印方法进行打印。



图 2.11 形成计算书



图 2.12 选择计算书文字和确定是否打印封面

用户在浏览或打印计算书后，可不必退出 WORD 而直接切换到 SW6-2024 继续进行数据输入、计算或形成计算书。

2.5 使用帮助

用户在使用软件的过程中，可以直接按 F1 获得在线帮助，如图 2.13 所示。该帮助文件包括本手册所述内容。

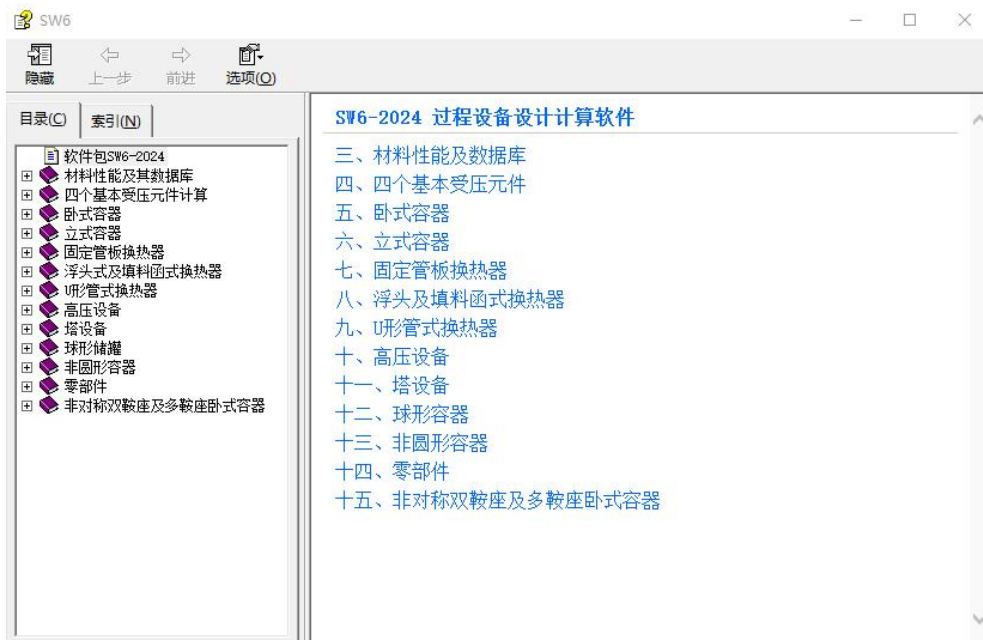


图 2.13 帮助文档

三、材料性能及其数据库

3.1 标准材料数据库

标准材料数据库（以下简称“标准库”）按照 GB/T 150.2-2024 附录 C 中表 C.1~表 C.8、“附录 A 材料的补充规定”以及“附录 E 钢材的高温屈服强度、高温持久强度极限平均值、弹性模量和平均线膨胀系数”所提供的数据库建立。所列材料名称（即钢号）详见附表 3.1。

同时，还将 GB/T 150.1-2024 适用范围内的有色金属制压力容器标准中的材料也包含在标准库中。

为让用户使用方便，本软件对各计算模块中的大量计算用曲线图及数据表格，以数据库方式存入。下面对数据库的某些数据的取值作一些说明。

标准库内提供的数据库包括有：材料在常温下的抗拉强度和屈服强度、材料的密度、在指定温度下的许用应力、屈服强度、弹性模量、平均线膨胀系数以及非合金钢和合金钢的持久强度或高合金钢的高温抗拉强度等。

在建立标准库时，对 GB/T 150.2-2024 中提供的数据库，作了如下处理：

1. 使用温度低于 20℃的屈服强度，按 20℃取值。
2. 使用温度低于 GB/T 150.2-2024 附录 E 中，表 E.13 “钢材弹性模量”或表 E.14 “钢材平均线膨胀系数”所列的最低温度时，弹性模量及平均线膨胀系数一律按表列的最低温度取值。
3. 某些钢材因热处理状态不同或壁厚不同时使用温度下限会不同，请用户在选择钢号时注意。
4. 对于高合金钢钢管，当同钢种且力学性能相同，唯其壁厚上限不一致时，本标准库以“材料名+（钢管标准号）”分别表示。如，S30408（GB13296）、S30408（GB14976）。
5. 对于同一钢号的高合金钢有缝钢管和无缝钢管，根据材料名后+（钢管标准号）加以区分。如，S30408（GB13296）表示无缝管、S30408（GB12771）表示有缝管。

另外，因 GB/T 150.2-2024 附录 C 中所列钢号与“附录 E 钢材的高温屈服强度”中所列钢号及温度上限值并非完全对应，务请用户在使用程序时多加注意。

3.2 外压壳体计算所用的 B 值图

本软件的标准材料数据库中所包含的 B 值数据按照 GB/T 150.3-2024 中表 6-1 所列的材料提供。用户需注意所列材料的 B 值曲线温度上下限，其与 GB/T 150.2-2024 中的材料使用温度上下限并不完全一致。表 6-1 所列材料的外压 B 曲线仅适用于不考虑蠕变屈曲失效模式的屈曲计算。若设备长时间在高温使用时，外压 B 曲线最高设计温度不应超过 GB/T 150.2-2024 附录 C 表 C.1~表 C.6 中“粗实线”所对应的温度，因此本数据库中的外压 B 值曲线温度上限据此进行了修改。同时，若材料的屈服强度超过外压 B 曲线图中标记的最高值，则按图中屈服强度标记最高值的外压 B 曲线查取。

程序标准材料数据库中有金属材料 B 值按其所在标准中的对应图表确定。

对于所有 GB/T 150 没有提供 B 值的材料，用户需自建 B 值数据库后再进行计算。可参见 3.3 节的（5）用户材料 B 值数据。

3.3 用户自定义材料数据库

为满足用户选用 GB/T 150.2-2024 中没有列入而工程中又需经常使用的某些材料，特提供了

由用户自己建立数据库的手段，该数据库称用户自定义材料数据库（以下简称“自定义库”）。自定义库数据可由用户在进行计算前或在设备计算过程中进行输入或修改。该自定义库可以长期保存，供同一单位用户长期自动使用，故用户须对本单位自定义库数据的正确性应实行较严格的管理，以免造成不应有的设计差错。因此，本程序在进入时需要输入密码方可进入，用户也可修改此密码。同时，对于输入好的自定义材料数据，需经过本单位校审人员确认后方可使用。

用户材料数据库管理程序的功能：

- (1) 建立数据库；
- (2) 查阅数据库中所存数据；
- (3) 查阅数据库中某记录号的全部数据；
- (4) 修改数据库中某记录号的数据；
- (5) 清除用户定义库的某一材料或全部材料数据。

用户材料数据库管理程序可由用户在“SW6-2024”程序组中单击“用户材料数据库”启动，这时将出现如图 3.1 所示页面。



图 3.1 用户材料数据库管理程序

以下将分别说明怎样实现用户材料数据库管理的功能：

(1) 增加数据

单击图 3.1 中下方的“增加”按钮，这是此按钮将会变灰。用户在输入完所增加的材料的具体参数以后，只有在点击“更新、保存”按钮后，所添加的材料才会保存在自定义库中，添加的

材料名也会显示在各部件界面的“材料”下拉框中。对于材料名称（钢号）需要注意的是，材料名不能和标准数据库中的材料名称一样，也就是不能等同于 GB/T150.2 列出的材料名，但可以在标准材料名后加一些字符以示区别，但总共不能超过 20 个字符。也不能出现一些非常规字符，也不能有空格。在本对话框中的一组“高应力”、“低应力”按钮是用来区分奥氏体合金钢材料的许用应力值是否考虑允许有微量永久变形（见 GB/T 150.2-2024 表 C.2 的注）。即如果不考虑，则选择高应力；如果考虑，则选择低应力。对于奥氏体合金钢以外的材料，即不区分“高应力”和“低应力”时，直接选择“高应力”。如果用户需同时建立一种材料的许用应力、屈服强度、持久强度或抗拉强度分档值三种强度类型的数据时，需分别增加三次此材料，其他数据完全相同，只是在强度类型中分别去建立上述三种强度数据值。为避免同一种材料多次输入相同材料性能参数的繁琐，可选择“套用已有数据”，选择好对应的材料类型和材料名称后，见图 3.2，除强度数据类型及其对应的数值外，其余相应的材料性能参数会自动显示在界面上。用户在设定好材料使用温度上下限后，在建立上述三种强度数据时其温度的起始值和末尾值要与设定好的温度上下限一致。另外，温度值要按递增顺序输入，也就是由小到大进行输入。如果强度数据值与厚度有关时，用户需根据厚度的分档分别去建立，只是用户需根据分档设定好材料使用尺寸上下限。



图 3.2 套用已有材料选择

用户如果要设定材料的弹性模量和线胀系数需进入“用户材料数据操作（2）”页面，如图 3.3。如果用户在弹性模量和线胀系数的分类框选择了除“用户输入”的任何单选按钮，那么，程序会根据材料标准自动建立这两个性能参数同温度之间的关系数据库。而如果用户选择了“用户输入”的单选按钮，则会出现一表格对话框，让用户在表格中输入弹性模量或线胀系数随温度变化的数据。要注意的是，某一温度值所对应的数据是指当温度小于等于该值时材料所应有的性能参数。另外，其温度的起始值和末尾值仍要与设定好的温度上、下限一致，温度值要按递增顺序输入，也就是由小到大进行输入。同时，每次增加材料（包括同种材料不同强度类型）时，弹性模量和线胀系数都必须选择或者输入。



图 3.3 用户材料数据操作（2）

(2) 查看数据

在图 3.1 的左上角下拉框中列有库中的各种材料。用户可以选择要查询的材料，点击材料名。这样该材料的各种详细参数就会显示在对话框的右边，如图 3.1 所示。用户如果要查询选定材料的弹性模量和线胀系数需进入“用户材料数据操作（2）”页面，如图 3.3 所示。在该页面中显示了该材料的弹性模量和线胀系数。如果用户想继续查看库中其它材料的数据只需要回到图 3.1 页面，单击“请选择材料”下拉框中相应的材料名即可。

(3) 修改数据

在图 3.1 中先选中要修改参数的材料名，此时用户可以对该材料的材料名、使用限制值等参数进行修改。当用户选择不同的“强度数据类型”时，在图 3.1 下方的各温度下该材料的有关强度数值显示的“温度值”旁边的标题也会随之改变。用户可以对该材料各温度下的许用应力、屈服强度或抗拉强度等进行修改。用户如欲修改该材料的弹性模量和线胀系数需进入“用户材料数据操作（2）”页面。注意当用户对该材料的各参数值修改完毕后，需要在图 3.1 中单击页面下方的“更新、保存”按钮，只有这样才能保存修改的数据。

(4) 删除数据

在图 3.1 中的先选中要删除参数的材料名，再单击下方的“删除”按钮。此时该材料就会被从自定义材料库中删除掉，“请选择材料”下拉框中也会删除掉该材料名。由于在删除操作执行以后将不可逆转，因此用户在删除操作前必须认真考虑。用户在点击确认后，程序会再次提示用

户，请用户再次确认后，操作才会予以执行。

(5)用户材料 B 值数据

SW6-2024 增加了为用户自行定义的材料增加 B 值数据的方法。主要分两种情况，一是用户可以为材料指定对应的 B 值曲线（对应于 GB/T 150.3-2024 的图 6-3~图 6-14），只要选中界面左侧列出的 B 值曲线类型即可；二是用户通过自行输入 B 值数据来建立 B 值数据文件。

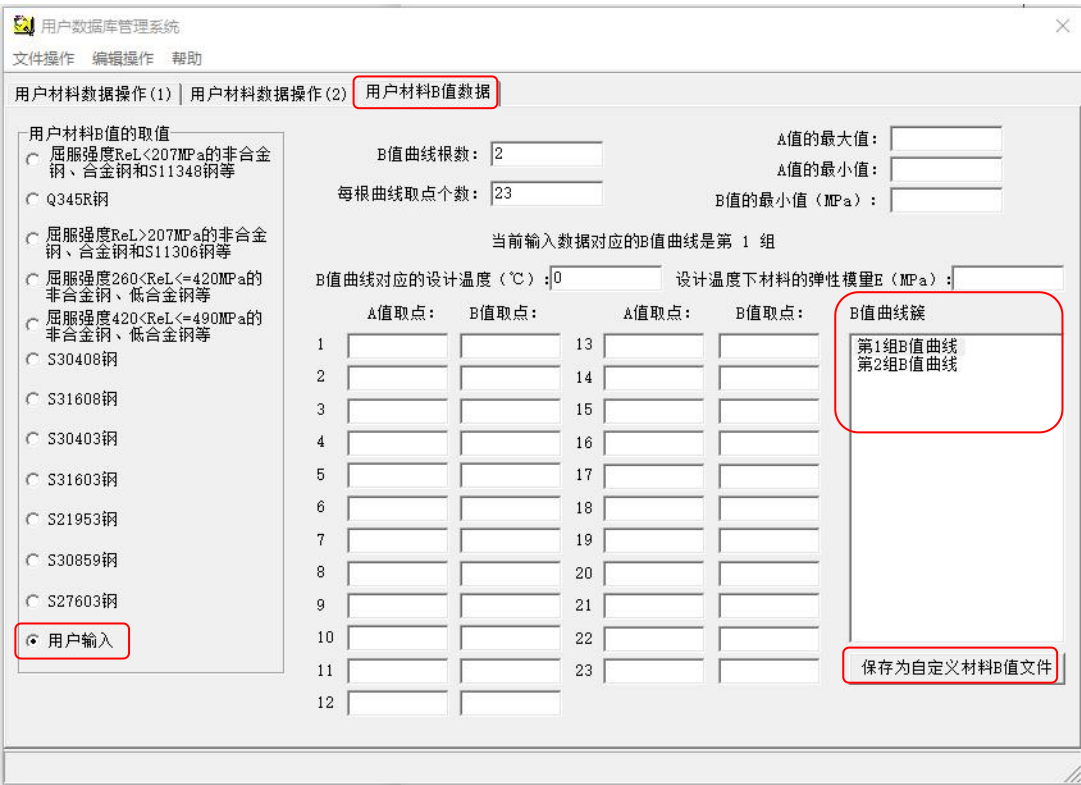


图 3.4 用户材料 B 值数据

当用户采用通过输入 B 值数据来建立 B 值数据文件时，B 值曲线默认采用 2 根曲线，最多可为 6 根曲线，每根曲线对应一个温度。两个温度之间的数据程序会自动采用插值来计算得到。曲线需按照其对应的设计温度从小到大进行建立。每根 B 值曲线取点个数最多为 23 个，用户也可自行修改后输入。需要用户输入的是：A 值的最大值、A 值的最小值、B 值的最小值、B 值曲线对应的设计温度和该温度下的弹性模量，然后是逐步输入每根曲线取值点的 A、B 值。注意，A 值的取值在每根曲线上是相同的，而其余 B 值数据需要再次手工输入。A、B 值的取值点取值必须全部输全。当第一根曲线的数据输入完毕，用户可依次点击“B 值曲线簇”对话框里的“第 2 组 B 值曲线”、“第 3 组 B 值曲线”…进行每根曲线的数据输入。所有曲线数据输入完毕后，点击“保存为自定义材料 B 值文件”按钮，便会生成该材料的 B 值数据文件，同时还需切换到图 3.1 中单击页面下方的“更新、保存”按钮，进行保存。如果需要对前一根曲线数据进行修改，点击“B 值曲线簇”内的“第 1 组 B 值曲线”，界面上便会第一根的曲线数据。如果需要对第

二根曲线数据也做修改，方法相同。

GB/T 150.3-2024 表 6-1 的注 a 规定外压 B 曲线适用于不考虑蠕变屈曲失效模式的屈曲计算，若该自定义材料设备长时间在高温使用时，其外压 B 曲线最高设计温度不高于该材料的蠕变温度，用户建立时需注意。

3.4 钢板和钢管的负偏差

在本软件中，对于标准材料的钢板和钢管的负偏差，如用户不指定，则程序将依据对应的钢板和钢管材料标准中关于负偏差的规定来确定。对于自定义材料数据库，钢板和钢管的负偏差默认取为 0。当然，对于标准材料和自定义材料，用户均可在相应输入界面中自行输入负偏差值。

3.5 自定义材料数据文件

对于自定义材料数据库对应的数据文件，见表 3.1。用户在卸载或重新安装 SW6-2024 软件时，可将 SW6-2024 安装目录下的 data 文件夹下的 User 文件夹复制出来备用。

表 3.1 自定义材料数据文件用途、位置表

文件名	用途	位置	备注
matu.db	存放材料的力学性能参数、物理性能参数、材料属性参数等	单机版： SW6-2024\data\User\... 网络版： SW6-2024S\data\User\...	-
UserMat_B.txt	存放各材料对应的外压温度上限、B 值曲线图号等		-
XXXXXX_B	存放 B 值曲线根数、每根曲线对应的设计温度和弹性模量及其对应各点的 A、B 值等		XXXXXX 为用户输入的材料名称

3.6 标准库所列材料名称表

附表 3.1 标准库所列材料名称表（GB/T150.2-2024）

板材

Q245R	Q345R	GB/SA516GR485	GB/SA537CL1	Q370R
Q420R	Q460R	18MnMoNbR	13MnNiMoR	15CrMoR
GB/SA387GR12CL12	4Cr1MoR	12Cr2Mo1R	12Cr1MoVR	12Cr2Mo1VR
16MnDR	15MnNiNbDR	Q420DR	Q460DR	13MnNiDR
09MnNiDR	11MnNiMoDR	08Ni3DR	07Ni5DR	06Ni7DR
06Ni9DR	Q490R	Q490DRL1	Q490DRL2	Q490RW
Q580R	Q580DR	Q235B	Q235C	S11306
S11348	S11972	S21953	S22153	S22253
S22053	S22294	S23043	S25554	S25073
S30408	S30403	S30409	S30458	S30453

S30478	S30908	S31008	S31252	S31608
S31603	S31609	S31653	S31658	S31668
S31708	S31703	S32168	S32169	S34778
S34779	S39042	S30450	S30859	S35656

管材

10(GB8163)	20(GB8163)	Q345D(GB8163)	10(GB6479)	10(GB9948)
20(GB6479)	20(GB9948)	Q345D	Q345E	12CrMo(GB6479)
12CrMo(GB9948)	15CrMo(GB6479)	15CrMo(GB9948)	12Cr1MoV	12Cr2Mo
12Cr5Mo	12Cr5MoI	08Cr2AlMo	09CrCuSb	16MnD
09MnD	09MnNiD	08Ni3MoD	S11348(GB14976)	S11972(GB14976)
S41008(GB14976)	S30408(GB13296) S30408(GB14976)	S30403(GB13296) S30403(GB14976)	S30409(GB13296)	S30458(GB13296) S30458(GB14976)
S30453(GB13296) S30453(GB14976)	S30478(GB14976)	S30908(GB13296) S30908(GB14976)	S31008(GB13296) S31008(GB14976)	S31608(GB13296) S31608(GB14976)
S31603(GB13296) S31603(GB14976)	S31609(GB13296) S31609(GB14976)	S31653(GB13296) S31653(GB14976)	S31658(GB13296) S31658(GB14976)	S31668(GB13296) S31668(GB14976)
S39042(GB13296)	S31703(GB13296) S31703(GB14976)	S31708(GB13296) S31708(GB14976)	S32168(GB13296) S32168(GB14976)	S32169(GB13296) S32169(GB14976)
S34778(GB13296) S34778(GB14976)	S34779(GB13296) S34779(GB14976)	S21953(GB21833)	S22253(GB21833)	S22053(GB21833)
S23043(GB21833)	S25554(GB21833)	S25073(GB21833)	S11348(GB12771)	S11972(GB12771)
S30408(GB12771) S30408(GB24593)	S30403(GB12771) S30403(GB24593)	S30409(GB12771) S30409(GB24593)	S30458(GB12771) S30458(GB24593)	S30453(GB12771) S30453(GB24593)
S30908(GB12771) S30908(GB24593)	S31008(GB12771) S31008(GB24593)	S31608(GB12771) S31608(GB24593)	S31603(GB12771) S31603(GB24593)	S31609(GB12771)
S31653(GB12771) S31653(GB24593)	S31658(GB12771) S31658(GB24593)	S31668(GB12771) S31668(GB24593)	S31782(GB12771) S31782(GB24593)	S32168(GB12771) S32168(GB24593)
S32169(GB12771)	S34778(GB12771) S34778(GB24593)	S34779(GB12771) S34779(GB24593)	S21953(GB21832)	S22253(GB21832)
S22053(GB21832)	S23043(GB21832)	S25554(GB21832)	S25073(GB21832)	S11306(GB13296)

锻件

20	35	16Mn	08Cr2AlMo	09CrCuSb
20MnMo	20MnMoNb	20MnNiMo	15NiCuMoNb	12CrMo
15CrMo	14Cr1Mo	12Cr2MoI	12Cr1MoV	12Cr2Mo1V
12Cr3Mo1V	12Cr5Mo	10Cr9Mo1VNbN	10Cr9MoW2VNbBN	30CrMo
35CrMo	35CrNi3MoV	36CrNi3MoV	16MnD	20MnMoD
08MnNiMoVD	10Ni3MoVD	09MnNiD	08Ni3D	06Ni9D
S11306	S11348	S30408	S30403	S30409

S30458	S30453	S31008	S31252	S31608
S31603	S31609	S31653	S31658	S31668
S31703	S32168	S32169	S34778	S34779
S39042	S21953	S22253	S22053	S25554
S23043	S25073	S51740		

螺栓

20	35	40MnB	40MnVB	40Cr
30CrMo	35CrMo	35CrMoV	25Cr2MoV	40CrNiMo
12Cr5Mo	S42020	S30408	S31008	S31608
S32168	S30408(强化)			

附表 3.2 GB/T 150-2024 中提供外压计算用 B 值的材料

Q245R	Q345R	GB/SA516Cr485	GB/SA537CII	Q370R
Q420R	Q460R	18MnMoNbR	13MnNiMoR	15CrMoR
GB/SA387Gr12Cl2	14Cr1MoR	12Cr2Mo1R	12Cr1MoVR	12Cr2Mo1VR
16MnDR	15MnNiNbDR	Q420DR	Q460DR	13MnNiDR
09MnNiDR	11MnNiMoDR	08Ni3DR	07Ni5DR	06Ni9DR
Q400GMDR	Q490R	Q490DRL1	Q490DRL2	Q490RW
Q580R	Q580DR	Q690R	Q690DR	10
20	Q345D	Q345E	12CrMo	15CrMo
12Cr1MoV	12Cr2Mo	12Cr5Mo	12Cr5Mo1	08Cr2AlMo
09CrCuSb	16MnD	09MnD	09MnNiD	08Ni3MoD
20	16Mn	08Cr2AlMo	09CrCuSb	20MnMo
20MnMoNb	20MnNiMo	15NiCuMoNb	12CrMo	15CrMo
14Cr1Mo	12Cr2Mo1	12Cr1MoV	12Cr2Mo1V	12Cr3Mo1V
12Cr5Mo	10Cr9Mo1VNbN	10Cr9MoW2VNbBN	16MnD	20MnMoD
08MnNiMoVD	10Ni3MoVD	09MnNiD	08Ni3D	06Ni9D
S11306	S11348	S11972	S21953	S22153
S22253	S22053	S22294	S23043	S25554
S25073	S27603	S30408	S30403	S30409
S30450	S30458	S30453	S30478	S30859
S30908	S31008	S31252	S31608	S31603
S31609	S31653	S31658	S31668	S31708
S31703	S31782	S32168	S32169	S34778
S34779	S35656	S39042	S41008	

四、四个基本受压元件

本章将说明筒体、封头、法兰和开孔补强等四个基本模块的计算功能和使用方法。这四个计算模块的编制依据是 GB/T 150-2024、HG/T 20582-2020 等。

4.1 筒体

本节介绍筒体计算模块的功能和使用方法、以及用户进行数据输入时所需注意的事项和结果输出的内容。

4.1.1 计算功能

本模块可对筒体在承受内压和外压时的强度、刚度进行计算。

对于受内压筒体，用户利用本模块可进行强度校核或壁厚设计。当输入筒体名义厚度以及所有其它参数时，本模块将进行校核计算。校核计算的结果显示除了给出筒体中的应力及结论外，在校核合格或不合格的情况下，都还将给出在输入的那组参数下所允许的筒体最小名义厚度。当不输入筒体名义厚度时，本模块将为用户设计出所需的最小名义厚度，并给出在此厚度下的计算应力值。无论是设计还是校核，程序都将给出在所取名义厚度下的最大允许工作压力和压力试验时的应力校核结果。

对于受外压筒体，本模块将可以完成以下计算内容：

1. 当用户输入了筒体计算长度、名义厚度和所有其它所需参数时，本模块将能进行筒体刚度校核。同时，在结果显示中，还将给出在输入的厚度下所允许的最大计算长度以及在输入的计算长度下所允许的最小名义厚度。

2. 当用户输入了筒体计算长度和其它所需参数，但没有输入名义厚度时，本模块将设计出在输入的参数下所允许的最小名义厚度。

3. 当用户输入了筒体名义厚度和其它所需参数，但没有输入计算长度时，本模块将设计出在输入的参数下所允许的最大计算长度。

4. 当用户指定设置加强圈时，在筒体刚度进行设计或者校核合格的前提下，可对加强圈进行校核和设计。如用户输入加强圈的所有参数，则程序除对加强圈结构的截面尺寸校核外，还将对该加强圈的惯性矩进行校核。在这种情况下，在结果显示中除了给出所需组合惯性矩和实际组合惯性矩等校核结果之外，程序还将给出在所选定的加强圈型钢类型下所允许的最小型钢尺寸。本模块还允许用户仅选定加强圈型钢类型，但不选择型钢规格，这时，程序会给出所允许的加强圈最小型钢规格。

无论进行校核还是设计，在屏幕结果显示中，程序都将给出筒体许用外压力和压力试验校核结果。

4.1.2 关于试验压力的确定

鉴于在 GB/T 150.1-2024 中对试验压力的规定，受内压筒体的试验压力值将不能以设计压力和筒体材料的许用应力来唯一地确定（见 GB/T 150.1-2024 第 5.6.2.2 节的注）。因此，一般用户应对试验压力进行输入。

当单独进行筒体计算，而又没有输入试验压力时，程序将仅以筒体材料在常温和设计温度下许用应力（若设计温度高于该材料的蠕变温度，则取该材料蠕变温度下的许用应力）的比值和设计压力来确定试验压力，然后进行应力校核。当进行设备级运算时，设备计算程序将根据用户选择进行计算的那些受压元件的许用应力来确定试验压力，并不能包括整台容器上的所有受压元件

的许用应力比值。因此，软件确定的试验压力可能不是整台容器的试验压力的最低值。所以，建议用户自行输入试验压力。

4.1.3 输入参数说明

在本软件数据输入界面中，凡在数据输入框中为空白数据，如该数据为数字型，则程序都将看作为 0，如该数据为字符型，则程序将看作为空。

图 4.1 主体设计参数输入

在如图 4.1 所示的对话框中，设计压力值应以代数值输入。即内压计算输入正值，外压计算输入负值。如用户选择以内径为厚度计算基准，则程序要求用户输入设备内径值，反之则输入设备外径值。另外，当为外压工况时，用户可根据此工况下设备是否长时间使用来选择其为“长期工况”还是“短期工况”。

在如图 4.2 所示的对话框中，若无液柱静压力、腐蚀裕量，该两项可不予输入。受内压筒体的筒体长度不予输入不会影响其强度计算，但筒体的质量程序将以 0 输出。材料名的输入可以通过单击下拉框中列出的标准材料，也可直接输入非标材料名。当用户通过下拉框选择材料时，材料的许用应力和屈服强度将会自动在对话框中显示，而用户如输入非标材料，则许用应力和屈服强度都将要求用户自己输入。材料选择下拉框中的材料名同用户选择的材料类型有关，因此，用户应先选择材料类型，然后再下拉选择材料。另外，当用户选择材料下拉框中的材料后，材料的许用应力和屈服强度是按用户输入的设计温度和名义厚度来确定而显示在屏幕上的。如用户选择完材料后，再修改设计温度或名义厚度，则许用应力值和屈服强度值将不会自动更新。故用户在修改了设计温度或名义厚度后，应重新在材料下拉框中点击所选择的材料名，以便使得许用应力值和屈服强度值更新。同时，若所输入的设计温度或者名义厚度超过所选择材料温度或厚度上限时，程序将会给出提示。

如用户勾选了“厚度负偏差为用户输入”，则需用户自行输入负偏差，计算中负偏差都将按照用户输入的值进行取值而与材料和尺寸无关；反之不勾选，则程序会按照相关材料标准自动给

出负偏差值。另外，如果用户需要的负偏差值与程序给出的不一致时，建议用户自行输入。

图 4.2 筒体数据输入

当用户输入的设计压力为负值时，“外压圆筒设计数据”页面才会出现，这时，用户可单击该页进入下一对话框以输入计算所必需的参数。

图 4.3 外压圆筒计算长度输入

对于外压圆筒，单击“外压圆筒设计数据”页面后将出现如图 4.3 所示的对话框。该对话框只要求输入一个参数，即外压圆筒计算长度，该值与筒体的名义厚度两者必须输入其一，否则将

不能进行计算。注意该对话框中的四幅图示。从左往右第二幅图表示由变径段连接的两个不等直径筒体，变径段与两筒体的连接处没有足够的刚度，因此将不作为刚度支承（即支撑线），两个筒体的一部分与变径段将一起作为一个圆筒进行计算。从左往右第三幅图表示圆筒与锥壳连接处具有足够的刚度，故可以作为支承（作为支撑线）。至于判断圆筒与锥壳或变径段的连接处是否有足够的刚度，参见 GB/T 150.3-2024 中的 7.6.6.4 和 7.6.6.5 节的内容。

当用户选择了“设置加强圈”后，将出现图 4.4 所示的“加强圈数据”页面。单击该页面上部标签可进入“加强圈数据”对话框。在该对话框中的输入参数“该加强圈两侧圆筒计算长度之和的一半”与前一幅对话框中的外压圆筒计算长度可不一定相同，因此，这里要求用户必须给予输入。但是，这个值同圆筒的计算长度又是有关的，这个值的取值范围应为：

$$0.5L \leq L_s \leq L;$$

其中， L_s 为加强圈两侧圆筒计算长度之和的一半， L 为圆筒的外压计算长度。如 L_s 的值超出这个范围，则程序会给予提示并不予计算。

因加强圈型钢规格下拉框中的内容是由型钢类型决定的，故加强圈的型钢类型应首先选定，然后再选择型钢规格。程序提供了扁钢、T 型钢、等边角钢、反置等边角钢、不等边角钢、反置不等边角钢、槽钢、工字钢等 8 种标准型钢类型。从型钢规格下拉框中选择某一规格后，该型钢规格的截面积、惯性矩、形心位置、宽度、厚度等便会自动显示在数据输入对话框内。如加强圈位于圆筒内部，则型钢规格应考虑腐蚀作用的影响。

用户如选择标准以外的型钢用作加强圈，则应在“加强圈型钢类型”下拉框中选择“用户自定义”，此时，型钢规格下拉框中将作为空白，所有的参数都需要用户自行输入。

用户如仅选择了加强圈的型钢类型，而其他参数都不予输入，则程序会按照所输入的型钢类型为用户设计出所允许的最小规格。

为校核加强圈结构的截面尺寸，用户还需下拉选择加强圈的材料，其屈服强度和弹性模量按用户输入的设计温度和加强圈截面厚度来确定并显示在屏幕上。

图 4.4 加强圈数据输入

用户在输入完上述参数后便可单击“计算”中的“筒体”按钮进行计算，计算完成后，单击“形成计算书”中的“筒体”按钮形成正式计算书。

4.2 封头

本节将介绍封头计算模块的功能和数据输入。

4.2.1 计算功能

本模块可进行计算的封头类型包括：

1. 椭圆封头
2. 半球形封头
3. 碟形封头
4. 平盖
5. 带折边或不带折边的锥形封头
6. 偏心锥壳
7. 球冠形封头

对于受内、外压的椭圆形、半球形或碟形封头，本模块可进行壁厚校核和设计计算。如进行校核计算，除给出校核计算结果外，还将给出满足强度或刚度要求的最小名义厚度。无论是设计还是校核，程序都将给出压力试验时的应力校核结果。

对于内压椭圆封头和碟形封头，用户需选择防止内压屈曲的设计方法（“解析法”和“经验法”二选一）。对于解析法，程序会根据用户输入的结构参数判断出其是否会发生屈曲。如果存在发生内压屈曲可能时，程序会据此计算出防止内压屈曲的计算厚度，最终取内压强度计算厚度与防止内压屈曲计算厚度的大值最为其计算厚度。

对于球冠形封头，本模块能对端封头和中间封头两种结构受内压或外压的不同工况进行校核或设计计算。对于两面受压的中间封头，本模块总是按照最危险的工况进行计算，即如果两面压力的符号相同的话，程序将按两个压力值分别作用的工况进行计算。如果两面压力是异号的话，则程序将两面压力值叠加后进行计算。对于校核计算，程序给出的结论是针对球壳本体的，而对于加强段无论设计还是校核都会给出所需的厚度。另外，程序给出的压力试验时的应力校核结果也是对球壳本体而言的。

对于受内压的锥形封头，本模块能进行锥体部分校核和设计计算，同时将检查锥壳与筒体的连接部位是否需要加强。如需加强的话，程序将计算出加强段所需达到的长度和厚度。本模块还可对在满足适用范围条件下的内压和轴向载荷共同作用时无折边锥壳与圆筒连接处进行校核和设计。此时，用户如选择在连接处有效加强范围内设置加强圈，则本模块除了可校核加强圈的截面积之外，还能对用户指定的加强圈型钢类型设计出最小的型钢规格。

对于受外压的锥形封头，本模块将根据用户对锥体与大、小端筒体连接处是否指定支撑线来判定是可以对锥体单独进行外压计算，还是应将锥体与大端或小端筒体联成一体进行外压计算。本模块还对无折边锥体在大、小端与筒体连接处的加强面积进行校核和设计。如用户指定了锥体与筒体连接处为支撑线，则本模块还将对连接处的刚度进行校核。这时，用户如选择在连接处有效加强范围内设置加强圈，则本模块除了可校核组合惯性矩及加强圈截面的尺寸之外，还能对用户指定的加强圈型钢类型设计出最小的型钢规格。

需要注意的是，对于锥壳的校核，程序只针对锥壳本体进行校核，并给出结论，如锥壳大、小端与筒体连接处需加强，则程序会对大、小端计算并给出满足标准要求的加强段厚度。对于受外压的锥形封头，按照 GB/T 150.3-2024 的规定，程序会分别按内压和外压进行计算，以满足其设计条件下的强度和刚度要求。

对于大、小端均无折边的偏心锥壳，本模块可对其进行内压和外压的校核和设计计算。受内

压的偏心锥壳的壁厚和应力计算与锥壳的长度无关，取两个半锥角中的大值按正锥壳计算即可；受外压的偏心锥壳的壁厚和应力计算与锥壳的长度有关，因此，对于每一个半锥角，程序都按改变锥壳长度和小端半径分别进行计算。

由于平盖中央大开孔结构的计算同平盖的强度计算是联在一起的，因此，这部分计算也放在本模块中。另外，加筋圆形平盖和拉撑结构也放在平盖计算模块中。除了平盖大开孔结构只能进行校核计算之外，其它平盖结构和其它类型封头都可进行设计和校核计算。校核计算不但将输出合格或不合格的信息，还将输出满足设计条件的最小封头名义厚度。

4.2.2 输入参数说明

在任何一个设备计算程序的主对话框中单击其菜单项中参数输入中的封头即可进入如图 4.5 所示的封头数据输入和计算页面。由于各设备的结构形式不同，其对应的封头类型也不一定相同。在该页中，除了一组“封头类型”的单选按钮外，其它数据都与筒体数据输入和计算对话框相同（见 4.1.3 节）。

在“封头类型”单选按钮组中，用户必须选择其一。

如选择了半球形封头，当封头厚度大于筒体厚度且中心线偏移时（具体连接形式可参考 GB/T 150.3-2024 附录 D），此时其球面部分内半径与筒体内半径并不相等，因此程序要求用户自行输入“球面部分内半径 R_i ”，如图 4.5 所示。

图 4.5 半球形封头数据输入

如选择了椭圆封头，则封头的曲面深度和封头的直边高度将会显示出来让用户输入（如图 4.6）。在以内径为厚度计算基准时，用户需输入的是内曲面高度 h_i ，以外径为厚度计算基准时，用户需输入的是外曲面高度 h_o 。应使输入的 $D_i/2h_i$ 或 $D_o/2h_o$ 的值满足 GB/T 150.3-2024 表 7-1 或表 7-2 的范围要求。而直边高度并不必须要输入，如该项用户不输入，则程序在进行封头计算时会自动根据标准确定，不会影响封头的强度或刚度计算。对于内压椭圆封头，程序会根据输入参数判断是否存在内压屈曲可能，因此还需用户选择防止内压屈曲设计方法，以得到椭圆封头的

计算厚度和最大允许工作压力。

图 4.6 椭圆封头数据输入

如选择了碟形封头，则封头的球面部分半径 R 、过渡圆半径 r 和直边高度将会显示出来让用户输入。如图 4.7 所示页面。在以内径为厚度计算基准时，用户需输入的是球面部分内半径 R_i ，以外径为厚度计算基准时，用户需输入的是球面部分外半径 R_o 。球面部分半径 R 和过渡圆半径 r 的取值范围必须满足 GB/T 150.3-2024 中 7.4.1 节以及表 7-3 的要求。和椭圆封头一样，直边高度不予输入程序在计算时会自动按标准确定。另外，同内压椭圆封头一样，内压碟形封头也需用户选择防止内压屈曲设计方法。

封头数据输入

封头数据

液柱静压力 (MPa):

封头名义厚度 (mm):

焊接接头系数:

腐蚀裕量 (mm):

封头类型:

☐ 椭圆封头 ☐ 两端无折边锥形封头

☐ 半球形封头 ☐ 大端有折边锥形封头

☐ 平盖 ☐ 小端有折边锥形封头

☒ 碟形封头 ☐ 两端有折边锥形封头

☐ 偏心锥壳 ☐ 球冠形封头

球面部分内半径 R_i (mm):

过渡圆转角内半径 r (mm):

直边高度 c (mm):

材料类型:

☒ 板材 ☐ 锻件

☒ 厚度负偏差为用户输入

厚度负偏差 (mm):

材料:

设计温度下许用应力 (MPa):

常温下许用应力 (MPa):

常温下屈服强度 (MPa):

设计温度下屈服强度 (MPa):

设计温度下弹性模量 (MPa):

防止内压屈曲设计方法:

☒ 经验法 ☐ 解析法

图 4.7 碟形封头数据输入

如选择了球冠形封头，将出现如图 4.8 所示的页面。在该对话框中应首先选择球冠形封头结构形式，默认值为选择端封头。如选择端封头，则“封头凸面侧压力”变灰，其对应的数据输入框内也不能输入数据。仅当选择了“中间封头”，该项数据才准予输入。但是，封头凸面侧压力也可不输入，此时，程序将把该压力作为 0 进行封头计算。球面半径的取值范围应为设备内径的 0.7~1.0 倍。筒体的相关输入数据参见 4.1.3 节。如果在计算球冠形封头以前已经输入过筒体的计算所需要的数据，则这些参数会显示在屏幕上。

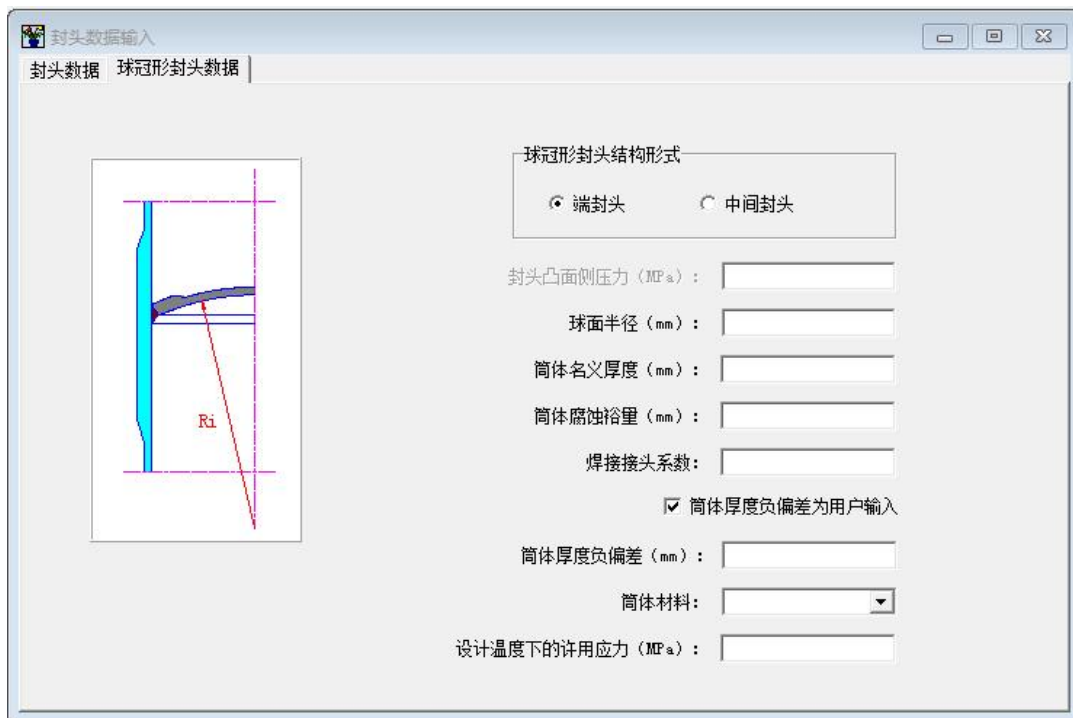


图 4.8 球冠形封头数据输入

如选择了两端无折边的锥形封头进行内压计算时，会出现如图 4.9 所示的页面。在该对话框中，半锥角输入值应满足 GB/T 150.3-2024 表 5-4 的要求，小端开孔内径需输入且不能超过大端内径值，大、小端筒体的相关输入数据见 4.1.3 节。如果用户勾选“锥壳小端如果直接连接到法兰、平盖等结构件”时，此时涉及到小端筒体的所有输入数据将会变灰，不需输入；反之则需输入。用户需输入小端筒体长度，否则程序在计算锥壳小端与圆筒连接处加强面积时不计及小端筒体的影响。外载荷在大、小端产生的单位长度的轴向拉伸力并不必须输入，如用户输入时应输入代数值，即轴向拉伸时输入正值，反之输入负值。对于锥壳大、小端与圆筒连接处有效加强范围（具体见 GB/T150.3-2024 的 7.6.4.3.2 节的 d)和 7.6.4.3.2 节的 d)规定）内是否设置加强圈，用户根据实际结构选择。若用户选中，则会弹出如图 4.10 所示的页面，其输入数据同图 4.4，但额外增加了加强圈的位置是在大、小端筒体上还是锥壳上的选择。

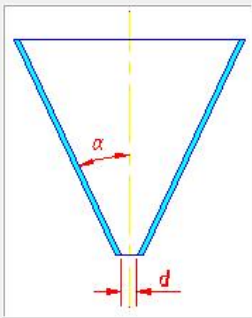
封头数据输入		
封头数据	两端无折边锥形封头	
半锥角 $\alpha (^{\circ})$:		
小端开孔内径 d (mm):		
大端筒体名义厚度 (mm):		
大端筒体腐蚀裕量 (mm):		
大端筒体材料:		
大端筒体在设计温度下的许用应力 (MPa):		
大端筒体焊接接头系数:		
☒ 大端筒体厚度负偏差为用户输入		
大端筒体厚度负偏差 (mm):		小端筒体焊接接头系数:
小端筒体名义厚度 (mm):		☒ 小端筒体厚度负偏差为用户输入
小端筒体腐蚀裕量 (mm):		小端筒体厚度负偏差 (mm):
小端筒体材料类型:		小端筒体长度 (mm):
☐ 板材 ☐ 管件 ☐ 锻件		外载荷在锥壳大端产生的单位长度上的轴向拉伸力 (N/mm):
小端筒体材料:		外载荷在锥壳小端产生的单位长度上的轴向拉伸力 (N/mm):
小端筒体在设计温度下的许用应力 (MPa):		☐ 锥壳大端与圆筒连接处有效加强范围内设置加强圈
		☐ 锥壳小端与圆筒连接处有效加强范围内设置加强圈
		☐ 锥壳小端连接到法兰、平盖等结构件

图 4.9 两端无折边的锥形封头数据输入

封头数据输入

封头数据 | 两端无折边锥形封头 | 大端处加强圈数据 | 小端处加强圈数据 |

加强圈位置:
☒ 大端筒体上 ☐ 锥壳上

大端处加强圈数据:

加强圈型钢类型: 等边角钢

加强圈型钢规格:

加强圈截面积 (mm²):

加强圈截面惯性矩 (mm⁴):

加强圈截面形心至顶端的距离D (mm):

加强圈形心至筒体内壁或外壁的距离C (mm):

δs1 (mm):

hs1 (mm):

δs2 (mm):

hs2 (mm):

加强圈材料:

加强圈材料设计温度下的许用应力 (MPa):

加强圈材料设计温度下的屈服强度 (MPa):

加强圈材料设计温度下的弹性模量 (MPa):

图 4.10 加强圈数据输入

如选择了大端有折边或小端有折边或两端有折边的锥形封头进行内压计算时，会出现如图 4.11 所示的页面。只不过在该对话框中，出现大端折边半径或小端折边半径供用户输入。折边半径输入值应满足 GB/T 150.3-2024 表 7-4 的要求。外载荷在大、小端产生的单位长度的轴向力只提供对应于大、小端无折边锥壳的输入。

封头数据输入

封头数据 两端有折边锥形封头

半锥角 α ($^\circ$):

小端开孔内径 d (mm):

大端筒体名义厚度 (mm):

大端筒体腐蚀裕量 (mm):

小端折边半径 r_1 (mm):

大端折边半径 r (mm):

大端直边高度 h (mm):

大端筒体材料:

大端筒体在设计温度下的许用应力 (MPa):

大端筒体焊接头系数:

☒ 大端筒体厚度负偏差为用户输入

大端筒体厚度负偏差 (mm):

小端筒体名义厚度 (mm):

小端筒体腐蚀裕量 (mm):

小端筒体焊接头系数:

小端筒体材料类型:

☐ 板材 ☒ 管材 ☐ 锻件

小端筒体材料:

小端筒体在设计温度下的许用应力 (MPa):

☒ 小端筒体厚度负偏差为用户输入

小端筒体厚度负偏差 (mm):

图 4.11 两端有折边的锥形封头数据输入

如选择了锥形封头进行外压计算时，会出现如图 4.12 所示的页面。锥壳大、小端与筒体的连接处是否作为支撑线可由用户自行决定。如作为支撑线，程序将校核锥壳与筒体连接的刚度。如选择设置加强圈来增加刚度，则会出现如图 4.10 所示的页面，其输入数据同见 4.1.3 节。风载、静载等在锥壳大、小端产生的轴向压缩载荷应输入代数值。即当实际载荷为压缩时，输入正值，反之输入负值。锥壳大、小端筒体长度的输入参见 GB/T 150.3-2024 中的图 7-19，这里锥壳大、小端筒体长度 L_L 、 L_{sm} 输入的是锥壳连接处至大、小端上第一个加强点的长度。也就是到第一个加强圈中心线的长度，用来计算外压作用下大、小端筒体的厚度用。不管连接处是否做支撑线，均指到连接处的距离。如果用户选择在锥壳上设置加强圈，此时还需输入“相连加强圈之间锥壳段的轴向长度 L_x ”和“加强圈处锥壳段大端外直径 D_L ”，以此确定锥壳上加强圈的具体位置。同时，用户还需输入锥壳上加强圈的具体数据，同图 4.4 的说明。

如对偏心锥壳封头进行内压计算，会出现如图 4.13 所示的页面。锥角 α_1 和 α_2 的输入值均不能超过 45° 。其余输入数据同锥壳输入数据。如选择了偏心锥壳封头进行外压计算时，会出现图 4.14 所示的页面，其输入数据参见外压锥壳数据输入。

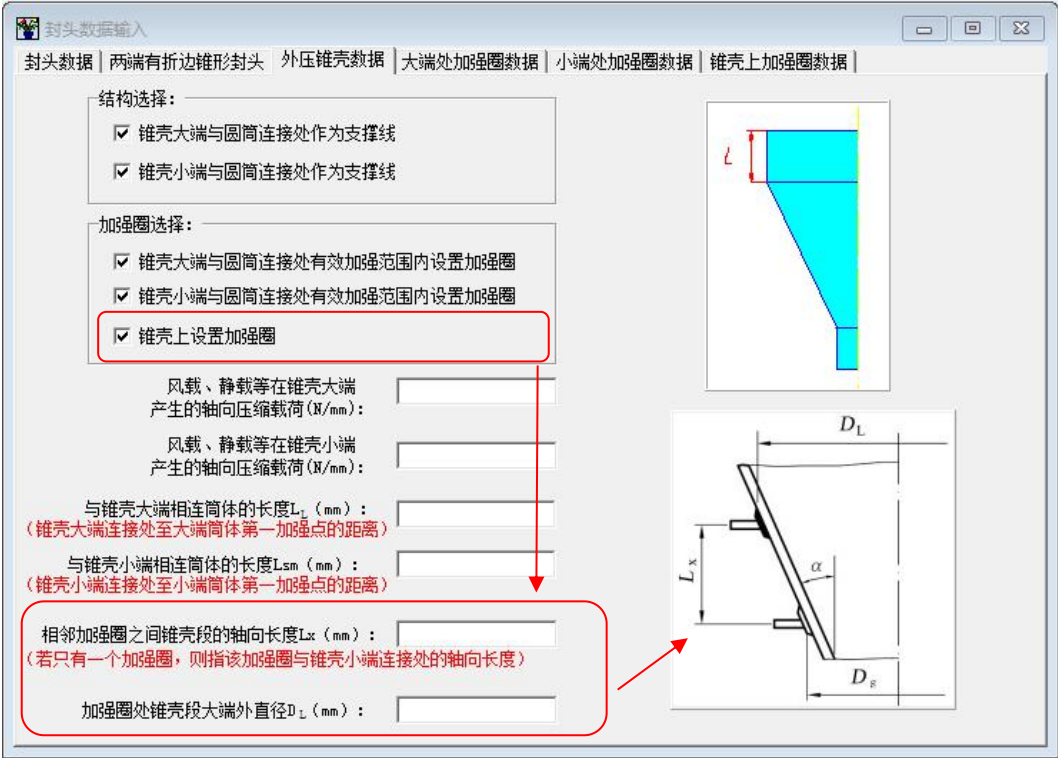


图 4.12 外压锥壳数据输入

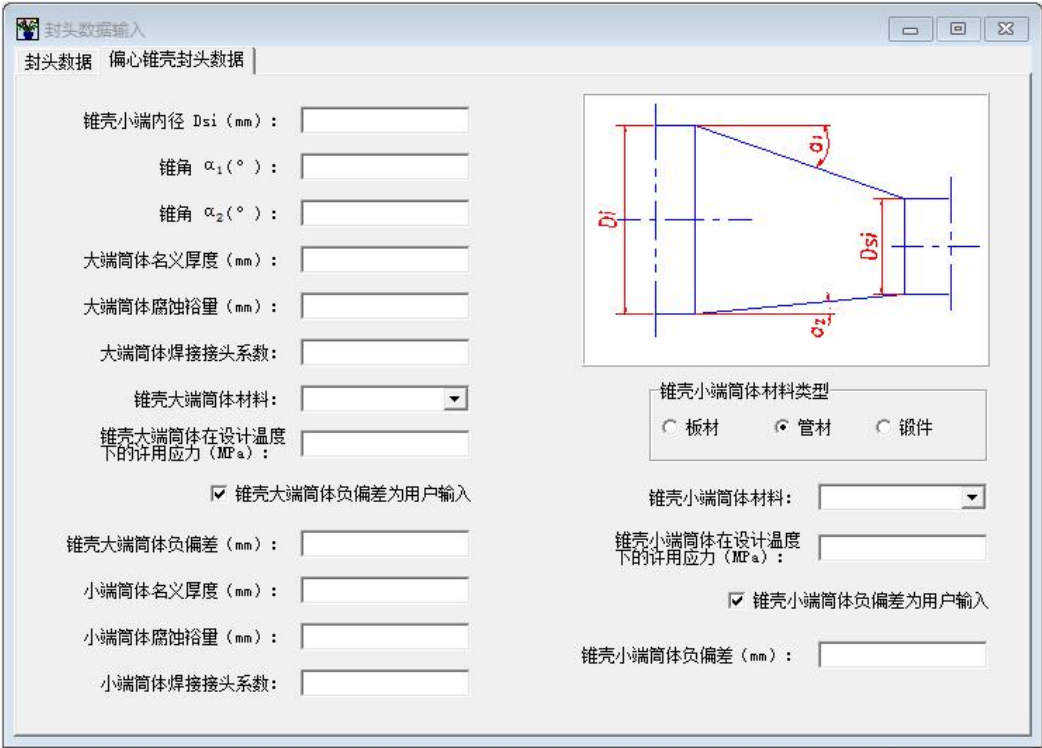


图 4.13 偏心锥壳数据输入

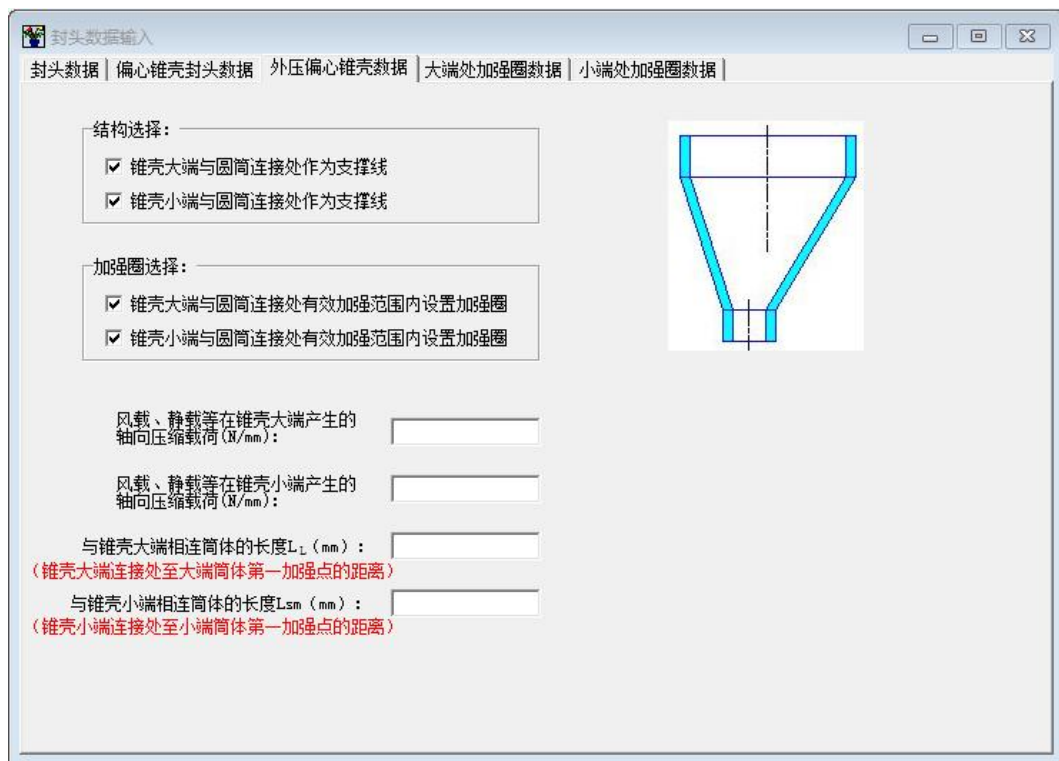


图 4.14 外压偏心锥壳数据输入

如选择平盖，则单击“平盖类型”页面后，将出现如图 4.15 所示的页面。该页面将要求用户选择平盖的结构形式。在选择了除 1、7 两种形式之外的其它结构形式后，用户可以在下一页输入其它计算所必需的参数。

各种结构形式参数输入说明如下：

1. 结构形式 1：将要求输入计算直径 D_c ，且其设计压力不超过 0.6MPa；
2. 结构形式 2、3、4、5、6、11、12、13、14、15、16、17：要求输入的参数如图 4.16 所示，该对话框中要求输入的是一组与平盖相连筒体有关的参数。如果在计算平盖以前已经输入过筒体的这些数据，则这些参数会显示在屏幕上。结构 13、14 还要求输入计算直径 D_c ；
3. 结构形式 7：需根据平盖与筒体的具体连接形式来确定特征系数 K 值；
4. 结构 8、9、10：由于这几种结构是通过法兰与筒体连接，因此，需要输入的是与法兰垫片和螺栓有关的参数，参数输入说明请见 4.3.2 节中关于图 4.17 所示对话框的说明。
5. 结构 19：这是平盖大开孔结构，需进一步输入的数据见图 4.18 所示。该对话框中是有关接管的数据，该接管包括直接与平盖连接的部分。当接管与平盖连接处有锥颈时，接管壁厚是指锥颈小端厚度。如平盖大开孔是无接管结构，则除了第一项“接管外径或开孔直径”外，接管壁厚应不予输入，其它参数的输入也将不起作用。输入平盖与筒体和平盖与接管连接处的结构参数时，如选择了不带接管的平盖大开孔结构，则“接管与平盖连接处大端厚度”和“接管与平盖连接处高颈高度”两项可不予输入。

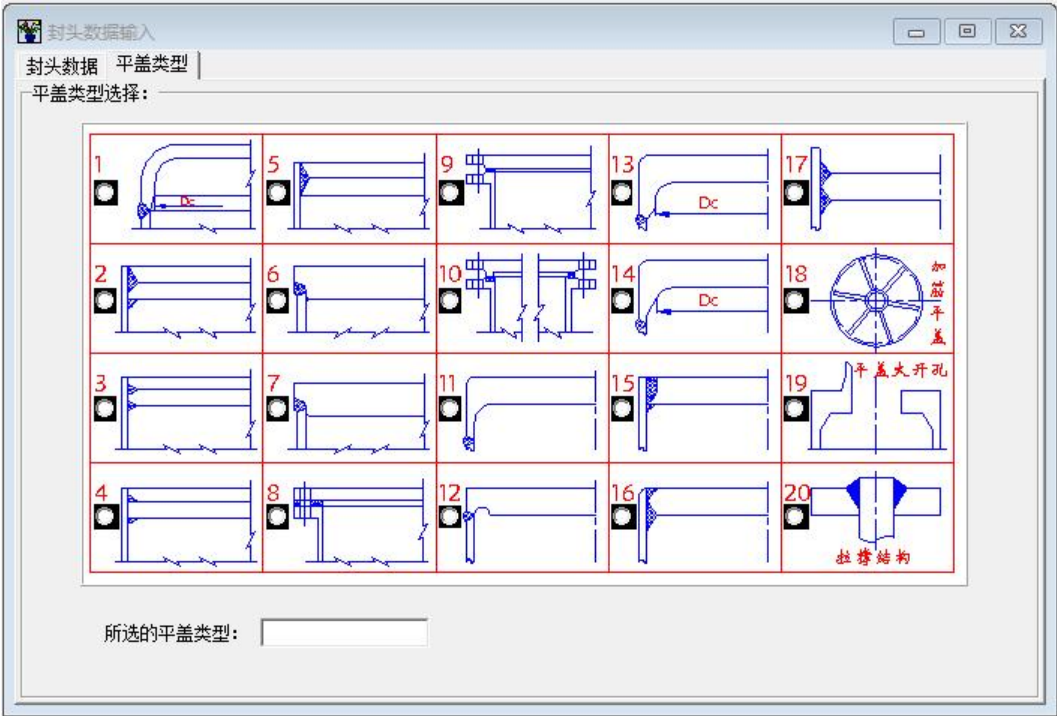


图 4.15 平盖结构类型选择

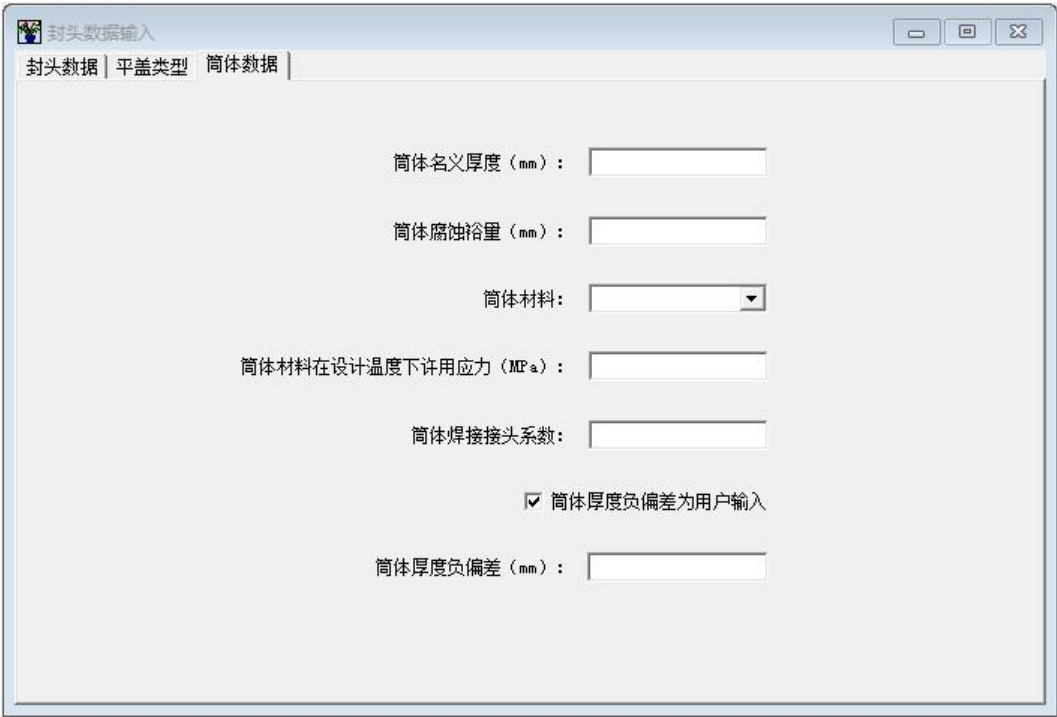
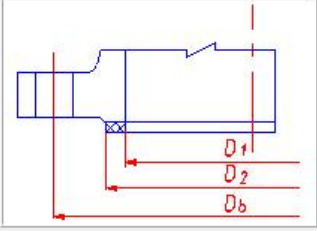


图 4.16 平盖强度计算所需的筒体数据



密封面形式

☒ 平面

☐ 榫槽面

☐ 凹凸面

☐ 其他

螺栓圆直径 D_b (mm):

垫片与密封面接触内径 D_1 (mm):

垫片与密封面接触外径 D_2 (mm):

垫片的比压力 y (MPa):

垫片系数 m :

螺栓公称直径 (mm):

螺栓根径 (或光杆直径) (mm):

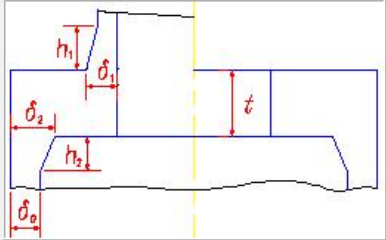
螺栓个数:

螺栓材料:

螺栓材料在设计温下的许用应力 (MPa):

螺栓材料在常温下的许用应力 (MPa):

图 4.17 平盖与接管和筒体连接处结构参数输入



接管外径或
开孔直径(无接管时)(mm):

接管壁厚(mm):

接管壁厚腐蚀裕量(mm):

接管焊接接头系数:

接管材料类型:

☐ 板材

☒ 管材

☐ 锻件

☒ 接管厚度负偏差为用户输入

接管厚度负偏差 (mm):

接管材料:

接管材料在设计温度下的许用应力 (MPa):

接管材料在常温下的许用应力 (MPa):

筒体厚度 (mm):

筒体材料:

筒体材料在设计温度下的许用应力 (MPa):

筒体与平盖连接处大端厚度 δ_2 (mm):

筒体与平盖连接处高颈高度 h_2 (mm):

接管与平盖连接处大端厚度 δ_1 (mm):

接管与平盖连接处高颈高度 h_1 (mm):

图 4.18 大开孔平盖接管参数输入

33

6. 结构 18: 这是加筋圆形平盖结构, 需进一步输入的数据见图 4.19 所示。这里输入加强圆环外直径是为了计算加强圆环截面的抗弯模量。筋板数应为大于等于 6 的整数。用户输入截面矩形筋板截面的厚度和高度, 程序会自动计算出其抗弯截面模量。因筋板材料类型不一定是板材或锻件, 故其名称与许用应力程序不予提供, 需用户自己输入。如果加筋平盖采用螺栓连接固定方法, 则还需输入螺栓圆直径。

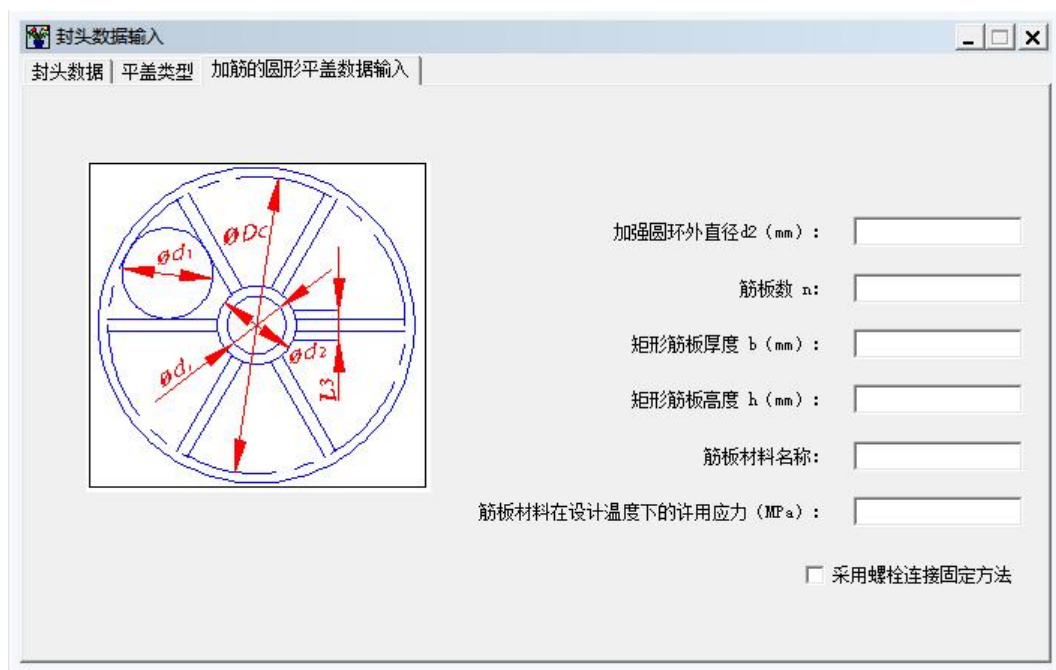


图 4.19 加筋的圆形平盖数据输入

7. 结构 20: 拉撑结构, 需进一步输入的数据见图 4.20。当用户在拉撑布置形式中选择“规则布置”时, 屏幕右方会出现 6 种规则布置的结构供用户选择, 此时用户还需输入水平方向、垂直方向以及斜向间距; 当用户选择“不规则布置”时, 屏幕右方会出现 3 个支撑点的 5 种支撑类型供用户选择, 如图 4.21 所示, 此时用户还需输入三个支撑点内部没有支撑的最大当量圆直径。如用户选择“管状”拉撑支撑截面形状, 用户除需输入拉杆直径外, 还需输入管孔内直径。

封头数据输入

封头数据 | 平盖类型 | 拉撑结构数据输入

拉撑布置形式

☒ 规则布置 ☐ 不规则布置

拉撑支撑截面形状

☐ 杆状 ☒ 管状

拉杆直径 (mm):

管状支撑的管孔内直径 (mm):

拉撑杆的材料类型

☒ 板材 ☐ 管材 ☐ 棒材

拉撑材料:

设计温度下许用应力 (MPa):

规则布置拉撑结构:

1 2 3 4 5 6

水平方向间距 (mm):

垂直方向间距 (mm):

斜向间距 (mm):

图 4.20 规则布置拉撑结构的数据输入

封头数据输入

封头数据 | 平盖类型 | 拉撑结构数据输入

拉撑布置形式

☐ 规则布置 ☒ 不规则布置

拉撑支撑截面形状

☐ 杆状 ☒ 管状

拉杆直径 (mm):

管状支撑的管孔内直径 (mm):

拉撑杆的材料类型

☒ 板材 ☐ 管材 ☐ 棒材

拉撑材料:

设计温度下许用应力 (MPa):

不规则布置拉撑结构

支撑点1 | 支撑点2 | 支撑点3

支撑点种类

☒ 1. 支撑点在封头圆弧过渡的起点

☐ 2. 管板外周的固定线

☐ 3. 管排中心线

☐ 4. 管状支撑

☐ 5. 其他支点

3个支撑点内部没有支撑的最大当量圆直径 d_c (mm):

图 4.21 不规则布置拉撑结构的数据输入

在 GB/T 150.3-2024 中对各种平盖的某些结构参数值有所限制, 本模块只对参与运算的参数进行了检查, 对于那些不参与运算的参数, 用户应自行检查。

4.3 法兰

鉴于工程上总是选用标准管法兰，需要进行计算的多为设备法兰，因此，在 SW6-2024 中，所有设备计算程序的法兰计算都是指用以简体间连接或简体与封头连接的设备法兰，唯有零部件计算程序中的法兰计算包括管法兰。这个差别主要表现在数据输入上，设备法兰数据中的法兰结构尺寸是同简体的结构尺寸相关联的，而接管法兰的数据没有这种关联。

4.3.1 计算功能

本模块按 GB/T 150.3-2024 第 9 章给出的方法对松式、整体、任意式、反向法兰和宽面法兰进行设计和校核计算。如进行校核计算，则不管校核是否合格，都将在计算结果的屏幕输出中提示用户能满足设计条件的法兰的最小合格厚度。但这个厚度值主要按满足强度条件和转角限制条件得出的，不一定是一个合理的值。特别当法兰的计算弯矩由预紧弯矩决定时，减少螺栓的个数或减小螺栓的公称直径可能会得到更为合理的结果。

对于任意式法兰，当输入满足 GB/T 150.3-2024 标准第 9.4.4 条要求时，用户可自行选择按照整体法兰计算还是按照活套法兰计算，当不满足时，程序将自动按照整体法兰进行计算。

在进行法兰应力计算之前，本模块将首先校核法兰螺栓间距是否满足 GB/T 150.3-2024 中第 9.5.2.1 节的要求。如不满足这一节中有关最大和最小间距的要求，本模块将继续计算，但在结果输出时会在屏幕上提示用户修改螺栓尺寸和个数。如果螺栓强度校核不合格，则程序将停止继续计算，并不会形成计算书数据文件。但会在屏幕上输出螺栓强度计算结果。

4.3.2 数据输入说明

在任何一个设备程序中单击菜单项“数据输入”中的“法兰”即进入法兰数据输入页面，如图 4.22 所示。

图 4.22 筒体法兰数据输入

按照 GB/T 150 规定，当选用 NB/T47021~NB/T47026 标准时，可免除法兰计算。但如果用户选用标准法兰但需按 GB/T 150 方法进行计算时，例如在计算与管板连接的法兰时，用户可选择“法兰为标准容器法兰”，此时出现图 4.23。用户可在标准号下拉框中选择对应的标准号，同时输入所选法兰的公称压力。此时，标准中的法兰参数会自动显示在对应界面的数据输入框中。需要注意的是，标准中的数据个数与计算所要求的输入数据个数并不完全一致，因此，用户需补全全部数据后方可进行法兰计算。



图 4.23 标准法兰数据输入

根据 GB/T 150.3-2024 中的 9.5.3.5 节的 a) 规定，当法兰在相同的操作条件下有成功的使用经验时，可以免除刚度校核，如用户满足此条款时，可以勾选“有成功使用经验，免除刚度校核”的选项，此时程序将不进行刚度校核。

如在打开法兰数据输入界面，已进行过简体数据输入，“简体法兰数据输入”对话框中简体的相关数据则会自动显示在数据输入框内，在该对话框中输入或修改这些数据将会影响该设备中简体和其它有关零部件的计算。

法兰的六种结构形式说明如下：

1. 松式法兰(1)是指 GB/T 150.3 中图 9-1 的 (a-1)、(a-2) 等两种结构；
2. 松式法兰(2)是指 GB/T 150.3 中图 9-1 的 (b-1)、(b-2) 等两种结构；
3. 任意式法兰是指 GB/T 150.3 中图 9-1 的 (h) ~ (k) 等四种结构；
4. 整体法兰(1)是指 GB/T 150.3 中图 9-1 的 (c) ~ (f) 等四种结构；
5. 整体法兰(2)是指 GB/T 150.3 中图 9-1 的 (g) 结构；
6. 反向整体法兰是指 GB/T 150.3 中图 9-9 的 (a) 结构；
7. 反向松式法兰是指 GB/T 150.3 中图 9-9 的 (b) 结构。

对于浮头式换热器或具有 a 型管板的 U 形管换热器的筒体和前端管箱法兰，本模块将取壳程和管程设计压力中的大值作为法兰的计算压力。对于具有 c 型管板的 U 形管换热器的筒体法兰，本模块将自动以管程设计压力作为法兰的设计压力，而法兰形式将自动取为松式法兰(1)。对于具有 d 型管板的 U 形管换热器，本模块将自动以壳程设计压力作为法兰的设计压力，而法兰形式也将自动取为松式法兰(1)。

用户选择了法兰结构类型后，将出现该形式法兰的示意图，并弹出法兰结构数据输入对话框，用户在该对话框中可以输入法兰尺寸和材料性能数据，其内容与所选择的法兰结构类型有关，如图 4.24~图 4.27 所示。以下针对各种结构需输入的数据分别说明：

1. 松式法兰(1)对应的法兰结构数据输入对话框见图 4.24。如果是不带颈的松式法兰,那么在该对话框中关于锥颈的三个参数可不输入。法兰材料性能参数的输入与 4.1.3 节筒体数据输入中所述相同。

2. 松式法兰(2)对应的法兰结构数据输入对话框见图 4.25。该结构法兰内径的默认值为筒体的外径,但用户可以输入,计算时以用户输入的数据为准。与松式法兰(1)一样,对于不带颈的法兰,和锥颈有关的三个参数可不输入。

3. 任意式法兰对应的法兰结构数据输入对话框见图 4.26。该结构法兰内径的默认值为筒体内径,而小端宽度 g_0 的默认值为筒体的厚度,同样的,用户可以自行输入,计算时以用户输入的数据为准。大端宽度 g_1 应为焊缝横向宽度加筒体厚度,剪切面高度应为焊脚高度加上法兰上坡口深度。

4. 整体法兰(1)对应的法兰结构数据输入对话框内容与任意式法兰相似,只是去掉“焊缝高度 h ”和“剪切面高度 h_1 ”两项,而加上“锥颈高度”。法兰内径和小端厚度的默认值与任意式法兰相同。

5. 整体法兰(2)对应的法兰结构数据输入对话框内容也与任意式法兰相似,只是去掉“焊缝高度 h ”和“小端宽度”两项。法兰内径的默认值也与任意式法兰相同。大端宽度 g_1 应输入为焊缝横向宽度加筒体厚度,剪切面高度应输入为筒体与法兰焊接的焊缝的整体高度。

6. 反向整体法兰对应的法兰结构数据输入对话框见图 4.27。该结构法兰的内径没有默认值,必须由用户输入。其小端厚度的默认值为筒体壁厚。

7. 反向松式法兰对应的法兰结构数据输入对话框见图 4.28。与反向整体法兰一样,该结构法兰的内径没有默认值,必须由用户输入。其小端厚度的默认值为筒体壁厚。如果是不带颈的松式法兰,那么在该对话框中关于锥颈的三个参数可不输入。

图 4.24 松式法兰(1)结构数据输入

法兰数据输入

筒体法兰数据输入 | 松式法兰(2) 结构数据输入 | 螺栓及垫片结构参数输入

法兰外径 D_o (mm):

法兰内径 D_i (mm):

法兰有效厚度 (mm):

剪切面高度 h_1 (mm):

锥颈高度 h (mm):

颈部大端宽度 g_1 (mm):

颈部小端宽度 g_o (mm):

法兰材料类型

☒ 板材 ☐ 锻材

法兰材料:

法兰材料在设计温度下的许用应力 (MPa):

法兰材料在常温下的许用应力 (MPa):

法兰材料在设计温度下的弹性模量 (MPa):

法兰材料在常温下的弹性模量 (MPa):

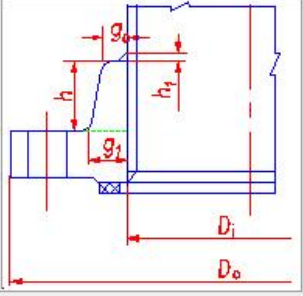


图 4.25 松式法兰(2)结构数据输入

法兰数据输入

筒体法兰数据输入 | 任意式法兰结构数据输入 | 螺栓及垫片结构参数输入

法兰外径 D_o (mm):

法兰内径 D_i (mm):

法兰有效厚度 (mm):

焊缝高度 h (mm):

颈部大端有效厚度 g_1 (mm):

颈部小端有效厚度 g_o (mm):

剪切面高度 h_1 (mm):

法兰材料类型

☒ 板材 ☐ 锻材

法兰材料:

任意式法兰计算类型:

☒ 按整体法兰 ☐ 按活套法兰

法兰材料在设计温度下的许用应力 (MPa):

法兰材料在常温下的许用应力 (MPa):

法兰材料在设计温度下的弹性模量 (MPa):

法兰材料在常温下的弹性模量 (MPa):

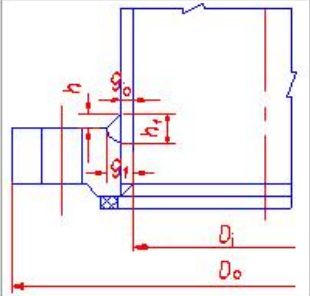


图 4.26 任意式法兰结构数据输入

法兰数据输入

筒体法兰数据输入 反向整体法兰结构数据输入 螺栓及垫片结构参数输入

反向法兰内径 D_f (mm):

法兰有效厚度 δ (mm):

锥颈高度 h (mm):

颈部大端有效厚度 g_1 (mm):

颈部小端有效厚度 g_o (mm):

法兰材料类型

☒ 板材 ☐ 锻材

法兰材料:

法兰材料在设计温度下的许用应力 (MPa):

法兰材料在常温下的许用应力 (MPa):

法兰材料在设计温度下的弹性模量 (MPa):

法兰材料在常温下的弹性模量 (MPa):

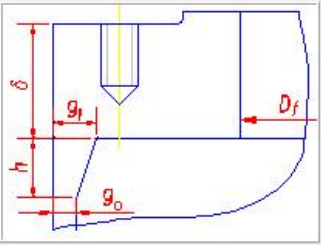


图 4.27 反向整体法兰结构数据输入

法兰数据输入

筒体法兰数据输入 反向松式法兰结构数据输入 螺栓及垫片结构参数输入

反向法兰内径 D_f (mm):

法兰有效厚度 δ (mm):

锥颈高度 h (mm):

颈部大端有效厚度 g_1 (mm):

颈部小端有效厚度 g_o (mm):

法兰材料类型

☒ 板材 ☐ 锻材

法兰材料:

法兰材料在设计温度下的许用应力 (MPa):

法兰材料在常温下的许用应力 (MPa):

法兰材料在设计温度下的弹性模量 (MPa):

法兰材料在常温下的弹性模量 (MPa):

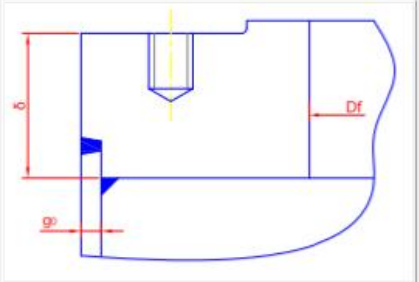


图 4.28 反向松式法兰结构数据输入

在法兰结构数据输入完成后，需切换到“螺栓及垫片结构参数输入”页面，如图 4.29 所示。在该对话框中，垫片与密封面接触内径 D_1 和外径 D_2 将决定垫片接触宽度 N 的值，即： $N=(D_2-D_1)/2(\text{mm})$ 。螺栓公称直径下拉框中将提供螺栓的标准系列公称直径为用户选择，当用户选择了一公称直径后，该公称直径所对应的根径将显示在下一个数据输入框内。用户也可自己输入螺栓公称直径，此时，相应的螺栓根径也需用户自己输入。螺栓材料数据的输入方法同 4.1.3 节中所述相同。如要进行宽面法兰的计算，只需使垫片与密封面接触外径的输入值大于螺栓中心圆直径即可。在密封面形式单选按钮组中，程序提供了工程上最常用的三种形式，即平面、凹凸面、榫槽面。如果是其它形式的密封面，可选择“其它”按钮。对于平面和凹凸面，程序在计算基本密封宽度 b_0 时，将按 GB/T 150.3 中表 9-1 的(1a)或(1b)的结构。对于榫槽面，程序将按(1c)的结构计算基本密封宽度 b_0 。如用户选择密封面形式为“其它”，则会出现“垫片和接触面类型输入”页面，如图 4.30 所示，该对话框实际包含了 GB/T 150.3 中表 9-1 的内容，用户必须按实际的密封面形状在该对话框列出的七栏结构中选择其一，然后再选择是金属平板或环垫片还是软垫片。密封面接触内、外径的输入见 GB/T 150.3 “法兰”章节中的说明。另外，如果选择垫片材料为“自紧式(O 形环等)”，则需自行输入“垫片基本密封宽度 b_0 ”。

图 4.29 螺栓及垫片结构参数输入

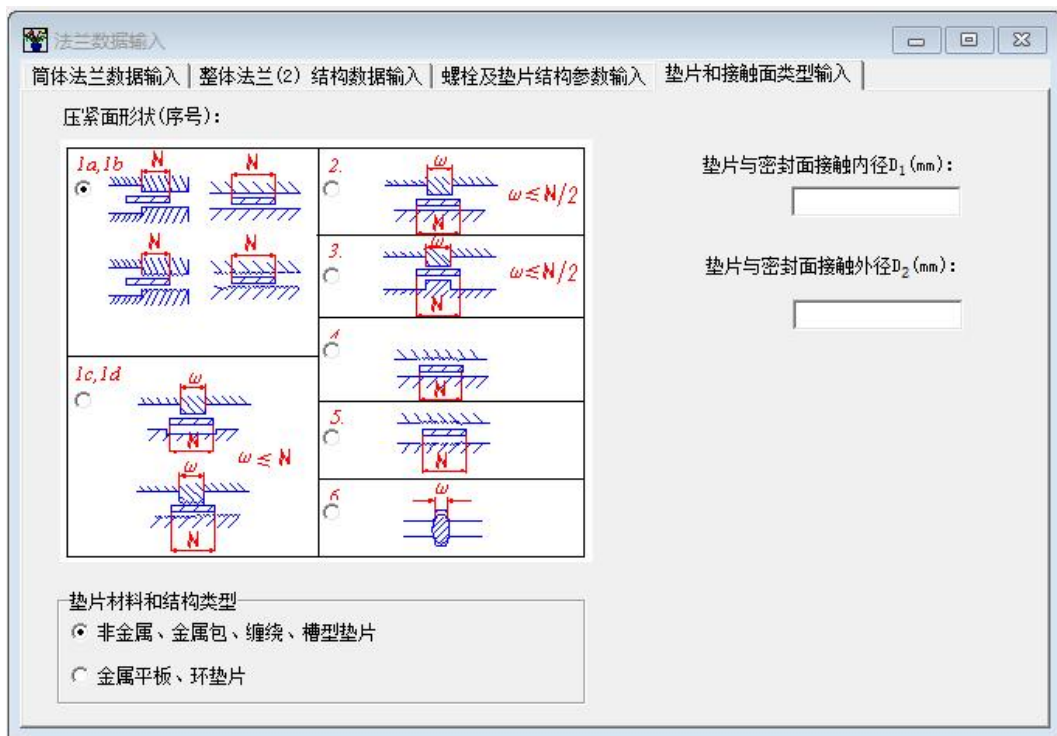


图 4.30 垫片和接触面类型输入

对于所有类型的法兰结构，其厚度都可不输入，这时，程序会设计出在当前设计条件下所需要的最小法兰厚度。除了法兰厚度之外，其它数据都必须输入，否则程序将不予运算。待所有参数都输入以后，用户可以单击菜单项“计算”中的“设备法兰”来进行计算，并且单击“形成计算书”中相应的法兰项来形成计算书。

4.4 开孔补强

压力容器壳体上的开孔，对于容器开孔局部来说就是强度和稳定性的减弱。所谓开孔补强计算，就是计算和判断压力作用下容器开孔局部的强度和稳定性。

在容器开孔部位通常有接管，接管与壳体之间一般通过焊接连接。这样的结构显然存在形状突变，并且除压力之外还可能有容器载荷和管道载荷，以及焊接残余应力或焊接缺陷，开孔处的应力分布实际上非常复杂。SW6-2024 软件的开孔补强计算模块（以下简称“本模块”）依据相关标准进行计算，所施加的载荷只有压力（内压或外压，以及开孔处液柱静压力），并没有考虑其他载荷和其他不利因素，这些都需要设计者另行考虑。

容器上的开孔往往不是孤立存在的。有时候两个或多个开孔距离很近，它们之间就会存在压力叠加，本模块包括联合补强计算方法，可以计算和判断两个开孔之间的强度和稳定性是否符合要求。但是，若开孔靠近其他应力不连续部位，比如靠近法兰、筒体与封头连接焊缝、锥壳与筒体连接焊缝、支座，等等，也会存在压力叠加。这些情况显然超出了本模块的计算范围，需要设计者另行考虑。

4.4.1 计算方法及其适用参数和型式

SW6-2024 中开孔补强计算包括以下三种计算方法，其编制依据及适用条件见表 4.1：

表 4.1 开孔补强计算方法及其适用条件

计算方法	编制依据	适用参数和型式
等面积补强法	GB/T 150.3-2024 《压力容器 第3部分：设计》第8章第8.3节和8.4节	■ 压力为内压或外压，并可以考虑液柱静压力； ■ 壳体型式为筒体（单层或多层）、凸形封头（球壳或球形封头、椭圆形封头、碟形封头和球冠形封头）、锥壳或锥形封头和平盖； ■ 接管型式为圆形，可用板材、管材（无缝钢管）或锻件制成； ■ 接管和壳体连接型式为插入式、安放式或嵌入式（含4种嵌入式结构），其中插入式可以考虑接管内伸部分的作用； ■ 接管方向：筒体上可以是法向、轴向斜接管、周向斜接管，凸形封头上可以是封头中心法向、封头非中心法向、封头非中心沿封头轴线方向，锥壳或锥形封头上可以是法向、沿锥壳半径方向、沿锥壳轴向，平盖上接管仅限非边缘部位法向； ■ 可以进行联合补强计算（多层筒体除外）。
分析法	GB/T 150.3-2024 《压力容器 第3部分：设计》第8章第8.6节	■ 压力为内压，并可以考虑液柱静压力； ■ 壳体型式为单层筒体； ■ 接管型式为圆形，可用板材、管材（无缝钢管）或锻件制成； ■ 接管和壳体连接型式为插入式、安放式，其中带内伸插入式接管不考虑内伸部分的作用； ■ 接管方向：法向； ■ 不能进行联合补强计算。
压力面积法	HG/T 20582-2020《钢制化工容器强度计算规范》第4章	■ 压力为内压加液柱静压力或外压，其中外压开孔按内压计算； ■ 壳体型式为单层筒体、球壳或球形封头、椭圆形封头（限中心部位开孔）。此外，球冠形封头开孔虽不能计算，但若开孔位于封头中心部位，建议按球形封头开孔计算； ■ 接管型式为圆形，可用板材、管材（无缝钢管）或锻件制成； ■ 接管和壳体连接型式为插入式，并可以考虑接管内伸部分的作用； ■ 接管方向：筒体上为法向、轴向斜接管、周向斜接管，凸形封头上为封头中心法向、封头非中心法向、封头非中心沿封头轴线方向； ■ 可以进行联合补强计算（限制条件详见4.4.4.10）。

4.4.2 计算功能

本模块的主要部分是校核性质的，即：用户需要输入载荷、几何尺寸、材料等全部参数，程序首先对计算参数的合理性进行检查，如无误，则进行开孔补强计算，然后根据用户需要出计算书。

本模块可在一台设备上同时最多对三十个接管进行开孔补强计算。

如上所述，本模块中有3种计算方法可供选择。程序在计算方法的选择上，在尊重用户的意愿的基础上，突出了GB/T 150.3的两种计算方法的优先地位。不论选择了哪一种计算方法，都首先判断管口的参数是否适宜按该方法计算，只有满足适用条件才能往下计算。具体如何选择计算方法，逻辑如下：

如需要联合补强计算时，软件按如下步骤选择开孔补强计算方法：

- 若本开孔与下一个开孔需要联合补强，这两个开孔均不能按分析法计算；
- 若两个开孔均可以按等面积法计算，则分别按等面积法进行单孔计算，再进行等面积法联合补强计算；
- 若两个开孔均可以压力面积法计算，则分别按压力面积法进行单孔计算，再进行压力面

积法联合补强计算；

- 如上述均不可行，则在屏幕上提示“无法进行联合补强计算”。

如不需要联合补强计算时，软件按如下步骤选择开孔补强计算方法：

- 若用户指定按等面积法进行开孔补强计算：
 - ① 若等面积法适用，按等面积法计算；
 - ② 若等面积法不适用，但分析法适用，按分析法计算；
 - ③ 若等面积法和分析法均不适用，但压力面积法适用，按压力面积法计算；
 - ④ 若三种计算方法均不适用，则在屏幕上提示“无合适方法进行开孔补强计算”，并分别给出等面积法不适用的原因、分析法不适用的原因、压力面积法不适用的原因。
- 若用户指定按分析法进行开孔补强计算：
 - ① 若分析法适用，按分析法计算；
 - ② 若分析法不适用，但等面积法适用，按等面积法计算；
 - ③ 若分析法和等面积法均不适用，但压力面积法适用，按压力面积法计算；
 - ④ 若三种计算方法均不适用，则在屏幕上提示“无合适方法进行开孔补强计算”，并分别给出分析法不适用的原因、等面积法不适用的原因、压力面积法不适用的原因。

所有开孔补强计算都是校核计算。当校核不合格时，除了给出计算结果之外，程序会根据用户指定的开孔位置、开孔结构和补强计算方法提出若干改进方案。

如果用户没选择等面积法进行计算，则程序提出的改进方案可包括增厚壳体厚度、增厚接管厚度和加补强圈或增厚补强圈厚度。对于用户原来没有用补强圈时，程序所提出的加补强圈方案中，补强圈的厚度将取为与壳体厚度相同。如果用户输入的接管材料为管材，则程序提出的接管壁厚增厚方案仅是向内增厚。如果接管材料为板材，则程序提出的方案将包括向内和向外增厚接管壁厚。当用户采纳了程序推荐的某个方案时，程序会自动修改相关几何尺寸重新计算。

如果用户选择使用分析方法，则程序按照 GB/T 150.3 中 8.6 节的“圆筒径向接管开孔补强设计的分析法”进行计算，同样的，程序仅给出计算结果，如果补强不合格，则用户需自行修改调整结构参数，然后重新计算。数据输入的过程中，请注意分析方法的适用范围，另外，曲线图组 8-13 的查询采用的空间插值算法进行内插，根据 GB/T 150.3 的规定不允许外延取值，如果用户输入的数据超出了图组的查值范围，则在开孔补强计算时，将以警告的形式通知用户。

当用户单独进行开孔补强计算时，每计算完一个开孔，如计算不合格，程序就会将方案显示给用户，让用户进行选择。如在整个设备一起运算时，针对开孔补强计算不合格的方案会在全部计算完成之后，同其它零部件的计算结果一起，在屏幕上显示。

对于联合补强计算，由于只能用同一种方法计算，程序将忽略两个管口中后一个管口的计算方法。

4.4.3 输入参数说明

用户单击“数据输入”菜单中的“接管开孔补强数据”后出现如图 4.31 所示的对话框。

图 4.31 接管符号与壳体数据输入

该对话框中的第一项“管口符号”是必须要输入的，程序将据此判断是否要计算该管口。如果两个或多个管口的载荷、壳体尺寸、接管尺寸完全相同，可以将多个管口合并计算。这时，“管口符号”可以是“N1,N2,N3ab”、“N6,V1~3,D1~2”等型式，但要注意，字符串中间不能有空格、反斜杠和汉字，字符串不能超过 29 个字符。“开孔位置”单选按钮组中可供选择的按钮与所计算的设备类型有关。只有所要计算设备中存在的壳体部件，在这个按钮组中才允许选择，其它部件按钮将是灰的。当用户选择了开孔所在的某一个部件后，与该部件有关的那些参数就会自动显示在相应的数据输入框内（如果这些参数在此前已经输入。否则，需用户在此输入），如在该页上修改了壳体数据，则会影响与该壳体数据有关的其它零部件的计算。需要注意的是，由于程序不能判断开孔具体位置，因此“开孔处液柱静压”和“开孔处壳体焊接接头系数”需要用户自行输入。有关开孔所在壳体的数据输入完以后，还要选定补强计算的方法。该页面中用户可以通过选择“管口符号”下所列的管口对某一接管的参数进行输入或修改，也可以通过下方的“增加”和“删除”两个按钮来增加或删除一个接管。需要注意的是，如果用户将某一管口的补强计算方法选为“联合补强”，则程序默认将该管口与和它相邻的下一管口进行联合补强计算，而下一管口的补强方法、开孔位置及其它壳体数据也将自动与前一管口保持一致。如果删除了其中任何一个管口，则另一管口的补强计算方法自动变为“单孔补强”。壳体的名义厚度必须在计算前予以输入，但除了外压工况和平盖之外，计算厚度可不输入，由本模块自行计算得到，详细说明见 4.4 节。尽管如此，建议用户还是先计算壳体的强度或刚度，再计算开孔补强。

焊接接头系数的缺省值是 1.0，但是按照标准，某些情况下允许小于 1.0。需要特别注意的是，分析法和压力面积法不需要输入焊接接头系数，其含义是焊接接头系数必须是 1.0 才能用这两种方法计算。

关于壳体材料设计温度下许用应力，程序的处理方式是：如果材料名称是 GB/T 150.2 中的材料（简称“标准库材料”），程序将不会采用对话框中的许用应力，而是查 GB/T 150.2 中的数据。只有非标准库材料，才会采用对话框中的数据。此外，如果用户数据库中定义了某种 GB/T 150.2 中没有的材料，则该材料视同标准库材料。对于标准库材料，如因厚度或设计温度等超出数据库的范围，程序会报错；对于非标准库材料，许用应力和平均热膨胀系数必须输入，否则会报错。后面的接管和补强圈的许用应力等也是这样处理的，不再赘述。

关于壳体，其材料厚度都可能存在负偏差。由于材料标准的差异，程序不可能完全准确地查取到负偏差的值。特别是部分设计者希望自己确定实际材料厚度负偏差（等于零或者非零值均可），本模块提供了此选项。依据用户选择，当用户指定厚度负偏差（包括指定厚度负偏差为零或非零）时，取用户输入值，并且在整个计算过程中（特别是接管厚度变化时）保持该输入值不变。若用户不输入此参数，程序按相应材料标准求取厚度负偏差。后面的接管和补强圈的负偏差也是这样处理的，不再赘述。

用户根据实际输入“正常操作工况下操作温度变化范围 $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ ”，以确定在补强范围内接管和补强金属是否可作为补强材料使用。

在接管数据输入页面中，如图 4.32，要求输入的接管实际内伸、外伸高度均不包括壳体的厚度部分。不同方向的伸出长度不同时，应按 GB/T 150.3 -2024 第 8.3.3.1 节的要求输入；该标准没有规定时（例如凸形封头上接管）应按伸出长度较短的方向输入。而接管焊接接头系数与接管材料类型和接管材料牌号有关，需用户自行输入。该对话框中“补强结构”单选按钮组中可供选择的按钮与前一页中用户对补强计算方法的选择有关：如补强计算方法选择为单孔补强或联合补强，则补强结构可选“无补强结构”或“补强圈补强”或“嵌入式接管补强结构”；如补强计算方法选择为分析方法，则补强结构不可选，即结构必须满足 GB/T 150.3 中规定的条件。补强范围 B 如不指定，则程序按 GB/T 150 规定的值选取。当公式计算的补强范围 B 如相邻受压元件应力衰减区重叠时，应该减小 B，必要时宜进行应力分析。在单击了“接管与壳体连接结构形式”的两个单选按钮之一时，将有相应的图形提示所选结构形式。“焊缝金属截面积”数据用户可以输入，如果不输入，这时，程序将按照 GB/T 150.3-2024 中的图 8-12 的 b) 图来计算焊缝金属截面积进行补强计算。

开孔补强数据输入

接管符号与壳体数据 | 接管数据 | 筒体上接管位置 |

接管符号及开孔位置: XI ——筒体

接管外径 (mm):

接管名义厚度 (mm):

接管腐蚀裕量 (mm):

接管实际外伸高度 (mm):

接管实际内伸高度 (mm):

接管材料:

☐ 板材 ☒ 管材 ☐ 锻件

接管材料:

设计温度下的许用应力 (MPa):

常温下的许用应力 (MPa):

设计温度下平均热膨胀系数 (1/°C):

接管焊接接头系数:

☒ 接管厚度负偏差为用户输入

接管厚度负偏差 (mm):

补强结构:

☒ 无补强结构

☐ 补强圈补强

☐ 嵌入式接管补强结构

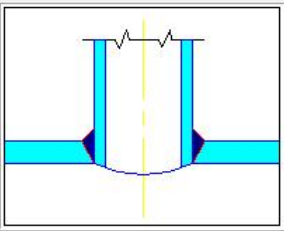
实际补强宽度 B (mm):

注: 实际补强宽度如不指定, 则程序将取GB150规定的值。

接管与壳体连接结构形式:

☒ 插入式接管

☐ 平齐接管



焊缝金属截面积 (mm²):

图 4.32 接管数据输入

如选择了“补强圈补强”，将出现如图 4.33 所示的对话框。该对话框数据主要是补强圈的尺寸和材料数据。

开孔补强数据输入

接管符号与壳体数据 | 接管数据 | 补强圈数据 | 筒体上接管位置 |

补强圈外径 D_r (mm):

补强圈名义厚度 s (mm):

补强圈材料:

补强圈材料在设计温度下的许用应力 (MPa):

☒ 补强圈厚度负偏差为用户输入

补强圈厚度负偏差 (mm):

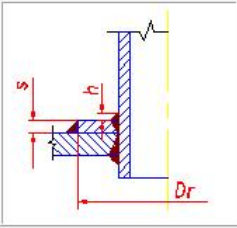


图 4.33 补强圈数据输入

如选择了“嵌入式接管补强结构”，则下一页对话框如图 4.34 所示。在该对话框内应首先在“嵌入式接管补强结构形式”的四个单选按钮中选择其一，根据不同的结构形式及其示意图输入对应的结构参数。注意，图中的 $H1$ 不在本对话框输入，而是在图 4.30 中“接管实际外伸高度”处输入，补强面积计算时取的高度 $h1$ 由程序决定，但不大于 $H1$ 。对于 b 型结构，当 $h1 < H1$ 时，程序会按 $h1$ 增大 δ_{nt} 来计算补强面积。图 4.32 中“接管实际内伸高度”程序将自动取 0。“嵌入锻件与壳体对接处厚度”默认为对接处壳体的厚度值，但允许用户自行修改。“嵌入部分腐蚀裕量”亦同。

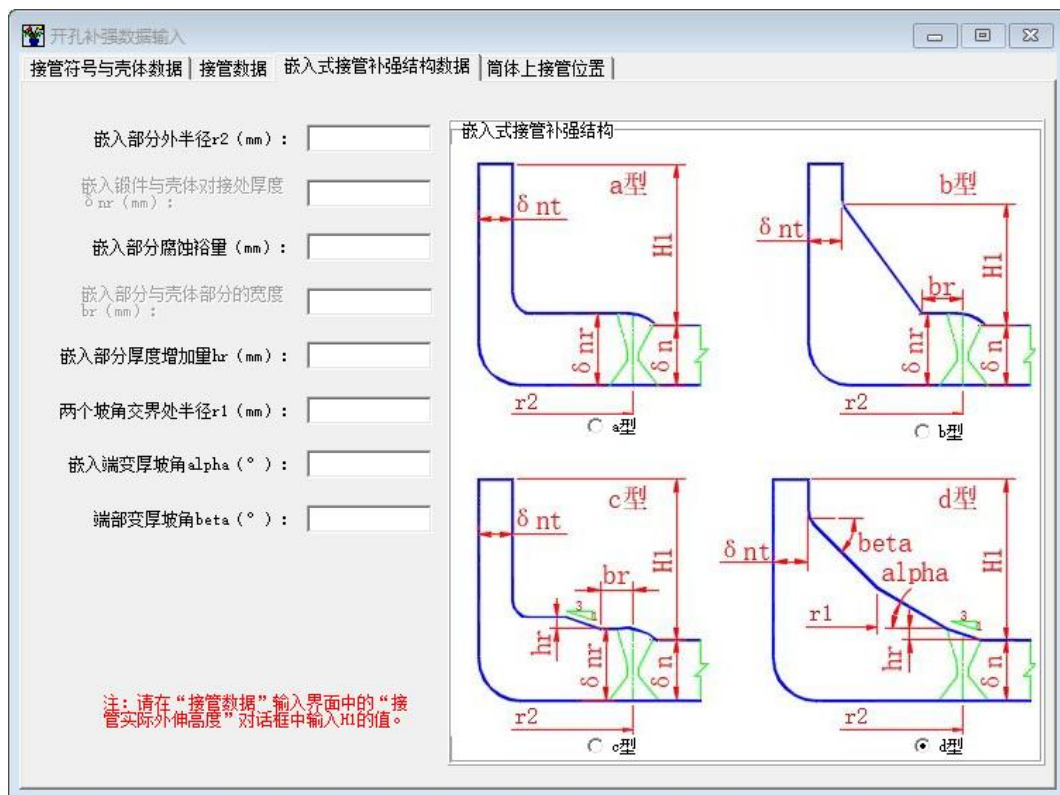


图 4.34 嵌入式接管补强结构数据输入

如果壳体为简体，会出现“筒体上接管位置”对话框，见图 4.35。要求输入“接管中心线到筒体轴线距离 c ”以及“接管中心线与筒体开孔处法线之间的夹角 α ”。对于筒体上的周向斜接管：只需输入一个参数 C (C 的取值范围是 $C > 0$ 且开孔长直径与短直径之比不超过 2)；对于筒体上的轴向斜接管：只需输入一个参数 α 。注意，筒体上的接管不能同时周向斜且轴向斜，即 C 和 α 只能二选一。

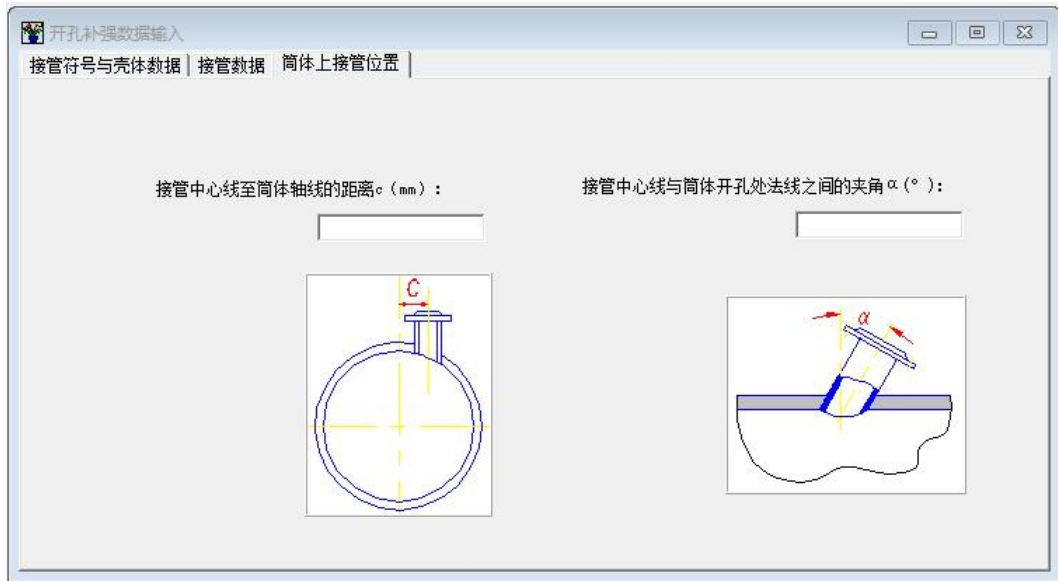


图 4.35 筒体上接管方位数据输入

如果壳体为凸形封头（包括球形封头或球壳、椭圆形封头、碟形封头和球冠形封头等），会出现“封头上接管位置”对话框，见图 4.36、4.37。要求输入“接管中心线与封头内表面交点至封头轴线的距离 C ”以及“封头上接管方向”。“接管中心线与封头开孔处法线平行”，即沿法向接管；“接管中心线与封头中心线平行”，即沿封头轴向接管。

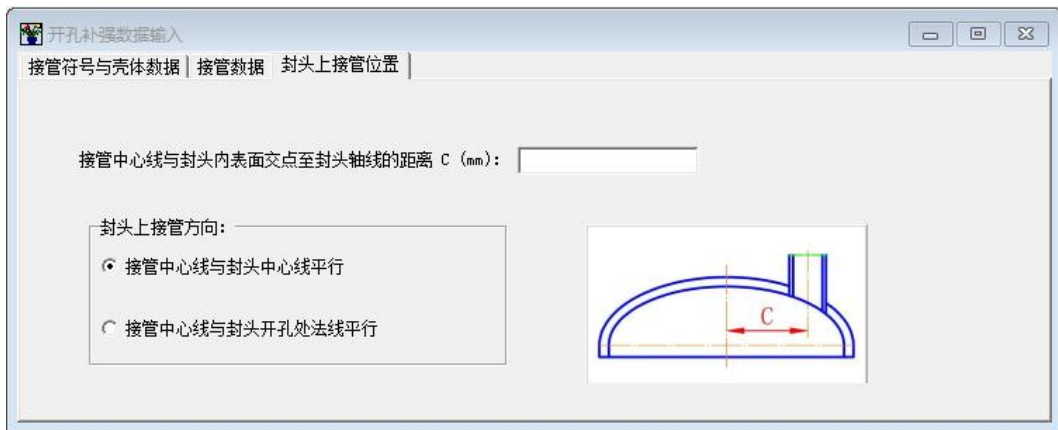


图 4.36 封头上接管位置数据输入（一）

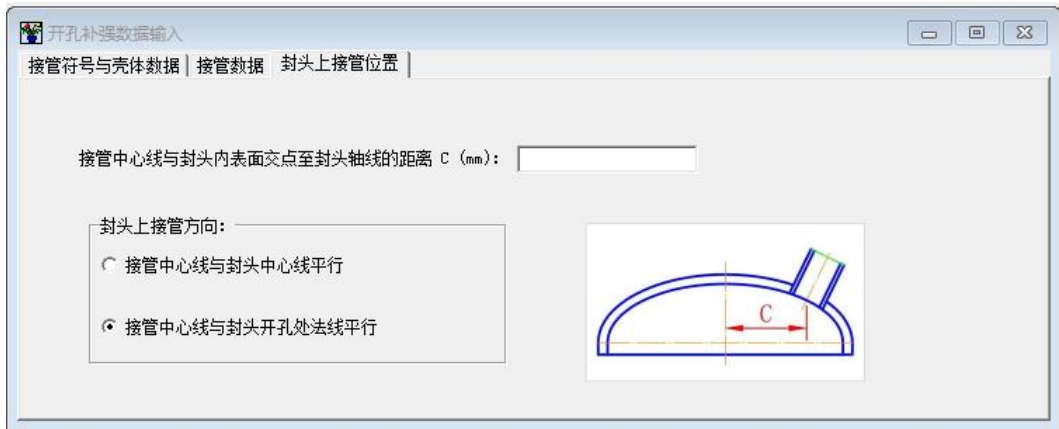


图 4.37 封头上接管位置数据输入（二）

如果壳体为锥壳或锥形封头，则会出现“锥形封头接管开孔位置”对话框，见图 4.38~4.40。要求输入“开孔中心处锥壳直径 D ”和“锥壳上接管方向”。“锥壳上接管方向”包括了“接管中心线与封头中心线垂直”、“接管中心线与开孔处壳体法线平行”、“接管中心线与封头中心线平行”三个方向。



图 4.38 锥形封头接管开孔位置数据输入（一）



图 4.39 锥形封头接管开孔位置数据输入（二）

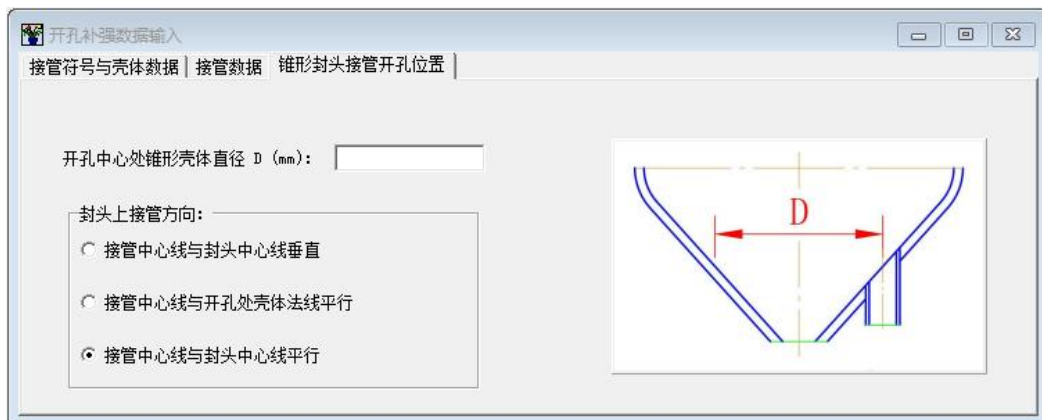


图 4.40 锥形封头接管开孔位置数据输入（三）

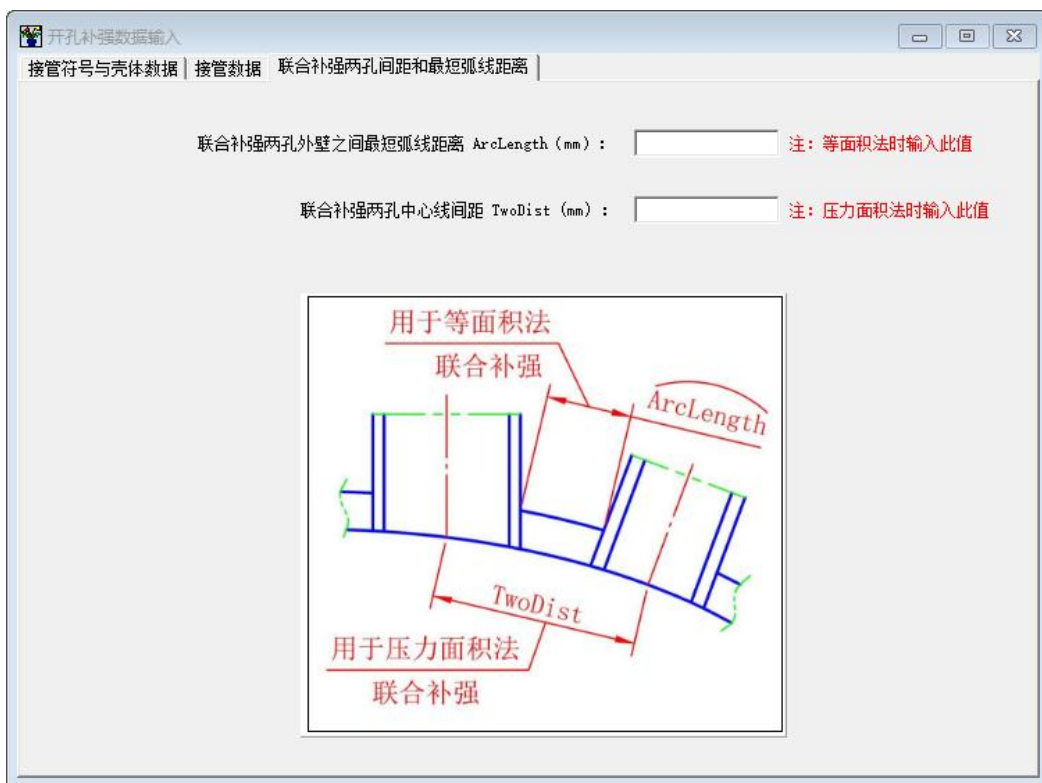


图 4.41 筒体上接管方位数据输入

如选择联合补强，则需要进行联合补强的两个开孔，其设计参数应作为相邻的两个开孔依次输入。与单孔补强计算相比，联合补强计算需在两个联合补强计算的开孔中第一个开孔中“联合补强两孔外壁之间最短弧线距离 $ArcLength$ ”（从壳体外壁测量，曲面按弧长）、输入“联合补强两孔中心线间距 $TwoDist$ ”（指两个接管轴线与壳体内壁交点之间的直线距离），见图 4.41。这两个参数不是同时需要——在前一个开孔输入 $ArcLength$ ，程序可按等面积法进行联合补强计算；在前一个开孔输入 $TwoDist$ ，程序可按压力面积法进行联合补强计算。由于用户事先不知道软件会按哪种方法计算，建议同时输入上述两个参数。

为了适应两个管口之间尽可能多的相对位置关系，例如“斜向联合补强”，SW6-2024 增加参数 **ArcLength** 的输入，就是让用户实际测量两个接管外壁之间的壳体弧长，去适应这种更加复杂的相对位置关系，虽然给用户增加了麻烦，但却大大增加了联合补强计算方法的适用场合。

待所有参数都输入以后，用户可以单击菜单项“计算”中的“开孔补强”来进行计算，并且单击“形成计算书”中相应的计算书。

4.4.4 计算相关说明

4.4.4.1 设计参数合理性检查

开始开孔补强计算前，程序需要对用户输入的所有设计参数进行合理性检查。这个检查条件相对宽泛，主要是为了防止分母为零、负数开平方等溢出错误，以及诸如开孔偏出壳体、内径大于外径等常识性错误。通过检查则可以继续往下计算，但并不表示符合“适用范围”的限制；任何数据不合理都会中止计算并指出不合理的数据的名称。

下面是提示格式举例：

管口=[N1]，数据名称=[筒体周向斜接管或凸形封头开孔中心至封头轴线的距离]

同一个管口存在多于 5 个问题数据时，只输出前 5 个发现的问题。

4.4.4.2 计算方法适用性检查

作为开孔补强计算的一部分，本模块首先对拟采用的计算方法进行适用性检查。其中，等面积法应符合 GB/T 150.3-2024《压力容器 第 3 部分：设计》第 8 章第 8.1.2 节的规定，分析法应符合 GB/T 150.3-2024《压力容器 第 3 部分：设计》第 8 章第 8.1.3 节的规定，压力面积法应符合 HG/T 20582-2020《钢制化工容器强度计算规范》第 4 章第 4.1.2 节和 4.1.3 节的规定。

分析法计算还有一个特殊规定，就是查相关曲线时“不准许外延取值”，数学上称之为“外推”。以“等效应力校核”为例，本模块在判断是否超出曲线族的定义范围时，在四维空间（3 个已知数查询 1 个未知数）按下列步骤查图：

- (1) 定义四维空间， $x=\lambda$ （曲线的横坐标）， $y=\delta e t / \delta e$ （厚度比）， $z=p$ （开孔率）， $w=K$ 或 K_m （应力集中系数，所求）。其中， x 是一根曲线两端的坐标、连续变量， y （线号）和 z （面号）是离散变量；
 - (2) 根据几何尺寸，确定需要查询曲线的已知点坐标 (x, y, z) ；
 - (3) 全部线束中每一条曲线都有特定的 y 值和 z 值。我们找三条曲线，不妨记它们的 (y, z) 坐标为 (y_a, z_a) 、 (y_b, z_b) 和 (y_c, z_c) ，三个点分别称为 a 点、 b 点和 c 点，使得 (y, z) 落在 $\triangle abc$ 内（在任一边上、任一角点上视为在三角形内）。如果找不到这样的三角形，就判定查图失败，转入步骤（4）；
 - (4) 这三条曲线的三个左端点可以构成一个空间三角形 $\triangle L$ ，三个右端点可以构成一个空间三角形 $\triangle R$ ，如果 (x, y, z) 位于 $\triangle L$ 左侧（不含在三角形上），或者位于 $\triangle R$ 右侧（不含在三角形上）则查图失败，转入步骤（5）；
 - (5) 在三棱柱内插值，查图成功。
- 在上述步骤中如遇查图失败，即判定为“分析法不适用”。

需要特别指出的是，由于输入参数的局限性，计算方法适用性检查并没有覆盖相应标准中全部限制性条款，诸如开孔位置、材料强度限制、焊接结构、无损检测要求等均没有检查。因此，即时能完成开孔补强计算、结论为“合格”，设计者还应该确保开孔的参数符合上述标准相关章节的全部条款。

4.4.4.3 开孔的长径与短径之比

GB/T 150.3-2024《压力容器 第3部分：设计》第8章第8.1.2节的规定，采用等面积法进行开孔补强计算时，开孔的长径与短径之比应不大于2.0。考虑到GB/T 150.3中另一种计算方法——分析法，仅适用于法向开孔，我们可以说，GB/T 150.3的计算方法仅适用于开孔的长径与短径之比应不大于2.0的情况。

与之相比，HG/T 20582-2020《钢制化工容器强度计算规范》第4章压力面积法并没有关于开孔的长径与短径之比的限制条件。我们查阅了欧盟标准EN13445中的压力面积法，也没有这样的限制。据此，本模块的压力面积法大部分情况下都没有对此设限。仅有一个例外，根据有限元应力分析，筒体上沿筒体轴向斜接管，当接管轴线与开孔处筒体法向之间的夹角大于 60° 时（等同于开孔的长径与短径之比大于2.0），在长孔端存在很大的应力集中，故本模块对这种开孔不予计算。

提示：当计算筒体周向斜接管，并且接近筒体切向接管时，由于开孔的长径与短径之比还可能大于2.0，这种情况下本模块会采用压力面积法计算。计算分两个截面——沿筒体轴向截面和筒体横截面，两个截面的金属面积均需合格。

4.4.4.4 壳体型式与补强型式的匹配关系

壳体型式与接管型式并不能任意组合。以下是本模块中的一些限制：

- 单层筒体和平盖，匹配插入式（可带内伸）、安放式和全部四种嵌入式结构；
- 凸形封头（球形封头、椭圆形封头、碟形封头和球冠形封头的总称，下同）和锥形封头/锥壳，匹配插入式（可带内伸）、安放式和全部四种嵌入式结构，但b型和d型嵌入式接管限法向；
- 多层筒体，匹配插入式（可带内伸）、a型和c型嵌入式结构。

4.4.4.5 壳体和接管计算厚度

1) 壳体计算厚度

由于开孔补强计算的输入参数的局限性，下列情况下（符合下列任一条件时）需要用户开始开孔补强计算前先进行壳体厚度计算：

- 计算压力为外压（凸形封头为凸面受压）；
- 壳体型式为多层筒体、球冠形封头或者平盖。

如果在开孔补强计算之前没有进行上述计算，壳体的计算厚度就会缺失或不正确，程序就会报错。

因为上述原因需要提前进行壳体厚度计算时，程序会读取这个参数，它将在整个开孔补强计算中保持不变；否则这个厚度将由开孔补强模块计算（即程序将忽略这个参数）。某些情况下，本模块算得的计算厚度与输入界面的计算厚度不一致。譬如：

- 内压容器，开孔处存在液柱静压力时；
- 整个壳体的设计温度与开孔处温度不一致时；
- 壳体焊接接头系数小于1.0，但开孔及补强范围内没有焊接接头或焊接接头系数等于1.0时；
- 内压椭圆形封头，开孔及补强范围位于封头直径的80%范围内时（是否在此范围由程序计算和判断）；
- 内压碟形封头，开孔及补强范围位于封头球面部分内时（是否在此范围由程序计算和判断）；
- 球冠形封头上开孔（程序按球壳计算，设计者应保证开孔及补强范围与加强段没有重叠）；

- 内压锥壳上开孔（程序按开孔处锥壳直径计算，且不考虑锥壳端部的附加应力，设计者应保证开孔及补强范围与锥壳大小端加强段没有重叠）。

需要引起注意的是，GB/T 150.3-2024《压力容器 第3部分：设计》第8章第8.3.3.2节较前版有一个明确的规定，判断椭圆形封头开孔是否位于封头中心80%封头直径范围内，以及碟形封头开孔是否位于碟形封头球面部分，要求开孔及其补强金属均位于该范围，其中“补强金属位于中心部分”是新增的要求。为此，程序作了相应改写，由原来的接管外壁与封头交点为界改为该交点向外侧延伸一个弧长（其单边长度等于补强范围B减去上述两个交点之间的距离）、以弧长端点为界。对于椭圆形封头，由于椭圆弧的长度没有解析式，程序采用了数值积分；对于碟形封头，交点位置和弧长公式都是分段函数，实现起来也比较复杂。

2) 接管计算厚度

接管计算厚度由程序计算。但是在外压接管厚度计算中，接管外压计算长度取用户输入的“接管外伸长度”（简称H1）。外压情况下，对于没有法兰的接管（即焊接管口），建议取H1足够长，比如其直径的20倍，即按“长圆筒”计算。

在外压接管厚度计算中，如遇接管材料找不到外压曲线的情况，会提示用户输入外压计算替代材料。但是，这个替代材料名称不会出现在计算书中，请设计者注意校审。

4.4.4.6 补强件材料要求

GB/T 150.3-2024《压力容器 第3部分：设计》第8章第8.1.6节c)款对于补强材料做了规定，也是相比上一版标准的主要修改点之一。该条款内容为：

“有效补强范围内，可作为补强用的接管和焊缝金属，应满足 $|(\alpha_R - \alpha_V) \Delta T| \leq 0.0008$ ，否则不能作为补强材料使用”。

为了落实规定，程序作了如下处理：

- 输入数据界面，提示输入的参数名称为“最低操作温度或最高操作温度与20℃之差较大者(℃)”，请据实输入；
- 计算方法为等面积法且不符合该款规定时，不计接管和焊缝的补强面积；
- 计算方法为分析法且不符合该款规定时，程序以“不符合分析法适用条件”处理，中止该接管的计算；
- 计算方法为压力面积法时，不需要满足该条款，计算正常进行。

某些情况下（例如壳体采用碳钢或低合金钢，接管采用奥氏体不锈钢，工作温度较高），计算结果可能与以前的版本不一致。

4.4.4.7 补强圈

补强圈补强一般被认为是非整体补强结构。在GB/T 150.3-2024《压力容器 第3部分：设计》第8章第8.3.2.1中对补强圈使用条件有3条规定，程序进行了判定。其中，程序对a)款的理解为：只有壳体材料、接管材料和补强圈材料均符合该款要求时才认定符合该款规定。当不符合标准规定时，程序将不计补强圈面积 A_4 ，并建议去掉补强圈。

另一个情况是，如果不计补强圈面积 A_4 仍合格，程序将不会提示去掉补强圈（不同于前一版本）。

分析法不考虑补强圈的作用。

4.4.4.8 材料的公称厚度

材料的公称厚度用于确定材料的许用应力等参数。壳体、普通插入式/安放式接管和补强圈的材料公称厚度没有歧义，而嵌入式接管（锻件）的公称厚度按如下方式处理：

- a)型和 c)型结构，取接管厚度与嵌入部分厚度中较大者；
- b)型和 d)型结构，考虑接管半径方向和嵌入部分厚度方向，以及可能的锻造方向，按偏保守取值。

4.4.4.9 关于嵌入式接管补强结构的一些考虑

1) 嵌入式接管补强结构的应用场合

嵌入式接管补强结构是指接管与壳体采用对接焊接接头连接的一种整体补强型式。这种结构广泛用于 1.25Cr-0.5Mo 钢等 Cr-Mo 钢制压力容器，以及某些高压容器、超低温压力容器等，多层筒体开孔补强也可以使用。根据工程实践，如图 4.42 所示，本模块考虑了以下四种补强结构：

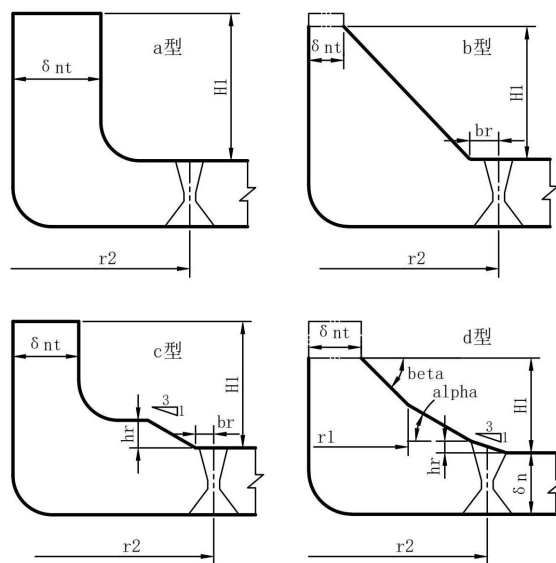


图 4.42 嵌入式接管补强结构

其中，d 型是本次新增结构，它源自美国 ASME 规范中一种推荐的补强型式，如图 4.43 所示：

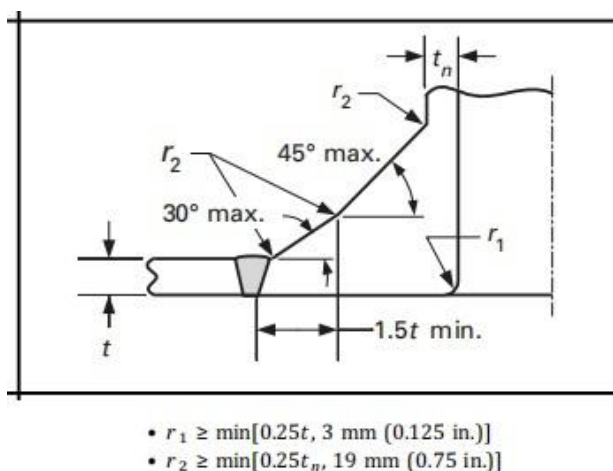


图 4.43 ASME 规范推荐补强结构形式

2) 补强型式的选择

四种补强型式各有优缺点。我们认为:

- a 型结构简单、造价低，可以满足多数小直径开孔补强需要。但是，其嵌入部分没有加厚，可能导致局部不满足筒体计算厚度的要求；某些情况下为了增加补强面积，接管厚度可能大于壳体厚度的 3 倍（应力分布不合理）；
- b 型结构造型稍复杂，但补强效率高。但是，它只有一个坡脚，在设计这个坡脚时可能陷入两难局面：坡脚过小（H1 较小、r2 较大）则锻件上部（与接管连接处）应力梯度太大，反之（H1 较大、r2 较小）则锻件与壳体连接处应力梯度太大；
- c 型结构是 a 型结构的改进，兼顾了造价和应力均衡；
- d 型结构补强效率高，应力分布非常合理，但结构比较复杂，适用于高参数（高压、高温、疲劳、极度/高度危害介质等）场合，也广泛用于球形储罐开孔补强。

另外,我们对**b**型和**d**型补强结构作了一个限制:不能用于凸形封头偏心沿封头轴向接管补强。换句话说,凸形封头非中心部位开孔,我们推荐采用沿开孔处封头表面法线方向接管。

3) d 型结构设计要点

前面已述, d 型结构补强效率高, 应力分布非常合理, 但结构比较复杂。由于设计参数较多, 建议按如下步骤设计 (如图 4.44 所示):

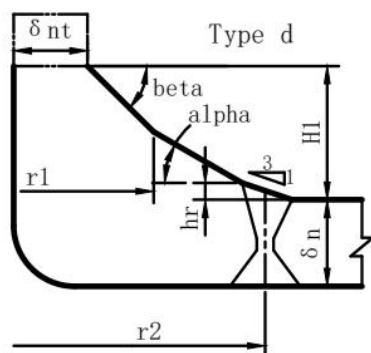


图 4.44 d 型嵌入式接管补强结构示意图

- (1) 计算和确定壳体和接管厚度。其中壳体厚度适当向上圆整，接管厚度 δ_m 向上圆整时考虑接管有效厚度等于 1.2~2 倍计算厚度；
- (2) 根据接管外径和名义厚度可计算得开孔计算直径 dop （接管内径+2 倍腐蚀裕量），取 r_2 约等于 dop （向上或向下圆整）；
- (3) 根据 $r_2-r_1>1.5\delta_n$ 确定 r_1 （注意 r_2-r_1 不宜太大）；
- (4) 取 $\alpha=30^\circ$ 、 $\beta=45^\circ$ 、 hr 约等于外侧焊缝宽度的三分之一（经圆整）；
- (5) H_1 可以由以上参数画图决定，计算时可输入一个稍大的高度，程序可以计算实际的 H_1 ；
- (6) 计算；
- (7) 如不合格，可考虑增大 δ_m 和/或 r_2 再重复上述步骤。

4.4.4.10 联合补强

程序仅能计算两个相邻接管之间的联合补强，对于多个相互靠近的开孔，建议按两两组对计算。例如，A，B，C 三个管口相互靠近，呈三角形排列，可以按 A-B，B-C，C-A 三个组合进行两两联合补强计算。

本模块不能计算排孔的开孔补强。

1) 联合补强的计算内容和合格准则

联合补强计算方法分 GB/T150.3 等面积法和 HG/T20582 压力面积法。需要进行联合补强计算的两个管口必须位于同一个壳体元件上。

等面积法联合补强适用于：筒体、球壳或球形封头、椭圆形封头、碟形封头、锥壳或锥形封头和球冠形封头上相邻两孔的联合补强计算。两孔相对位置不限，例如筒体上两个管口都是周向斜接管且沿筒体轴向有一定距离（即筒体上斜向联合补强）、凸形封头上两个管口的经度和纬度都不同（即封头是斜向联合补强），都可以计算。等面积法联合补强对于接管方向也没有限制，两个接管可以分别是法向或斜接管，两个都是斜接管的情况下，两个接管的倾斜方向可以不一致。注意，本模块不能进行多层筒体上的两个开孔的联合补强计算；平盖上用于联合补强的两个开孔到平盖边缘的距离应符合相关标准的规定。

压力面积法联合补强适用于：筒体、球壳或球形封头、碟形封头（两个管口都位于其球面部分）和椭圆形封头（两个管口都位于 80% 封头直径范围内）上相邻两孔的联合补强计算。两孔相对位置只接受两种情况，分别为：筒体上沿筒体轴向的两个法向接管，球壳或凸形封头上一个中心法向接管和一个偏心轴向接管（接管轴线与封头轴线平行）。

为叙述方便起见，不妨设两个需要进行联合补强计算的管口为 A 和 B。

联合补强的计算内容是：管口 A 单孔补强计算、管口 B 单孔补强计算、管口 A 和管口 B 连线截面的补强计算。

等面积法联合补强计算的合格准则：管口 A 单孔补强面积合格、并且管口 B 单孔补强面积合格、并且管口 A 和管口 B 连线截面的补强面积不小于管口 A 和管口 B 补强面积之和的 50%。

压力面积法联合补强计算的合格准则：管口 A 单孔压力面积合格、并且管口 B 单孔压力面积合格、并且管口 A 和管口 B 连线截面的压力面积合格（详见 HG/T20582 标准）。

2) 按假想孔计算的问题

根据 GB/T 150.3-2024《压力容器 第 3 部分：设计》第 8 章第 8.4.1 条 b) 款和 c) 款，符合 c) 款条件的两个管口，可以按假想孔计算。本模块根据该规定，不能考虑这两个管口的接管多余面积和焊缝面积，只能考虑壳体多余面积和补强圈面积。

上述计算还有一个前提，就是假想孔直径不能超过等面积法对单一开孔直径的上限。不满足这个条件的假想孔不能计算，程序会给出提示。

4.4.4.11 不另行补强的处理逻辑

不另行补强的依据是 GB/T 150.3-2024《压力容器 第 3 部分：设计》第 8 章第 8.1.4 条，本模块的处理逻辑如下：

- 若按 GB/T 150.3 中等面积法或分析法校核合格，不进行“不另行补强”的判断，否则根据已有设计参数进行判断；
- 若判断结论是“符合不另行补强条件”，则视本管口为“合格”，同时在屏幕输出结果和计算书尾部提示（面积或应力不合格）；

需要特别指出的是，“不另行补强”条件有 6 款，除设计压力、接管外径、接管厚度和接管腐蚀裕量外，还有：必须是独立开孔、开孔不得通过焊缝、不能采用高强度钢等，由于程序输入参数中缺少这些信息，用户必须自行判断；

不另行补强的特殊情况

- 不另行补强的依据是 GB/T 150.3-2024 标准，不适用于采用压力面积法计算的管口。
- GB/T 150.3-2024 第 8.1.4 条 c) 款明确仅限“径向接管”。我们理解，对于筒体上开孔仅

限“径向接管”；对于凸形封头、锥壳和平盖上开孔仅限“开孔处法向接管”。其中，锥壳上的“径向接管”不是“法向接管”，不符合本条要求。

- 若一个开孔符合表 8-1 的规定，但补强面积不合格，而该开孔需要与邻近开孔进行联合补强计算，本模块会判定“因该孔补强计算不合格不能进行联合补强计算”。

4.4.4.12 屏幕输出和计算书尾部的提示或警告信息

用户通过菜单项“输入数据→开孔补强”完成开孔补强设计参数输入，通过菜单项“计算→开孔补强”开始开孔补强计算，即可看到开孔补强计算主要计算结果的屏幕输出（以下简称“屏幕输出”），通过菜单项“形成计算书→开孔补强”可以生成计算书，某些情况下计算书尾部有“注”。

1) 屏幕输出中的提示信息（蓝色文字）

- 等面积法补强面积合格，或分析法应力校核合格，或压力面积法压力面积合格，提示“合格”；
- 等面积法面积不合格，或分析法应力校核合格，但符合“不另行补强”条件，提示“本管口补强计算不合格，但按 GB/T150.3 第 8.1.4 条可不另行补强，请确认本管口是否满足不另行补强的其他条件”；
- 是采用分析法计算的，提示“本管口还需满足 GB/T150.3 第 8.6.2 条中分析法的全部条件”；
- 是采用分析法计算的，并且使用了补强圈，提示“分析法没有考虑补强圈的作用”；
- 是采用分析法计算的，并且接管有内伸，提示“分析法没有考虑接管内伸部分的作用”；
- 实际采用压力面积法计算的，提示“本管口还需满足 HG/T20582.2 第 4.1.2 条和第 4.1.3 条中全部条件”；
- 实际采用压力面积法计算的，提示“压力面积法一般用于超出分析法适用范围的开孔，建议尽量调整筒体和接管壁厚等参数,采用分析法计算”；
- 若不满足 GB/T150.3 第 8.1.6 条 c) 款的条件，提示“本管口不满足 GB/T150.3 第 8.1.6 条 c) 款的条件，A2 和 A3 不能作为补强面积”；
- 等面积法中，用户输入的接管实际外伸长度小于标准中公式计算的长度，提示“请注意接管实际外伸长度是否太短”，并给出最小外伸长度；
- 用户输入了补强圈参数，提示“请注意采用补强圈补强的限制条件，并保证任意方向上补强圈宽度不小于计算截面的补强圈宽度”；
- 但补强圈外径太小，提示“请检查补强圈外径是否太小”，特别是斜接管开孔长径比较长，应保证补强圈外径大于开孔长径，并有一定宽度。

2) 屏幕输出中的警告信息（红色文字）

- 如果已点击“计算”而某管口没有开始计算，警告“本管口还没有计算！”（这种情况很罕见）；
- 如果已点击“计算”而某管口没有完成计算，一般是因为输入数据不合理、开孔偏出壳体之外、没有查询到许用应力，这类问题可能导致负数开平方、分母为 0 等溢出错误，警告“本管口计算被中止，因为：（XXX 原因）”；
- 等面积法补强面积不合格，或分析法应力校核不合格，或压力面积法压力面积不合格，警告“不合格”；
- 用户选择按分析法计算，但实际上是用其他方法计算的，提示“没有按分析法计算的原因”；
- 用户选择按等面积法计算，但实际上是用其他方法计算的，提示“没有按等面积法计算

的原因”；

- 实际采用压力面积法计算的，会警告“●GB/T150 等面积法不适用——（XXX 原因）”和“●GB/T150 分析法不适用——（XXX 原因）”；
- 没有合适的计算方法，会警告“本软件的各种计算方法均不适用。详细情况……”，并分别给出不适用“插入式/安放式接管等面积法”、“分析法”、“嵌入式接管等面积法”及“压力面积法”计算的原因；
- 用户输入了补强圈参数，但不符合 GB/T 150.3 中补强圈使用条件，提示“因不符合补强圈的使用条件，计算中已忽略补强圈的作用，建议去掉补强圈”；
- 嵌入式补强结构，嵌入部分厚度小于壳体计算需要的厚度，警告“注意：接管嵌入壳体部分的有效厚度小于计算厚度”；
- 校核不合格，程序给出了“设计”方案，然后恢复到原设计数据，警告“原方案：不合格”；
- 两个管口联合补强，它们应该开在同一个壳体上，壳体的型式、尺寸、材料等参数应该一致，如果有补强圈，补强圈的材料和厚度也应该一致。如果用户输入数据不满足这个条件，警告“注：用户输入的两个管口的公共数据不完全一致，程序已令后管口数据等于前管口数据”。

3) 计算书尾部的备注

本模块所述“计算书尾部”是指单孔补强计算的计算书表格下方的“备注”，它不是出现在整台设备计算书的尾部。

- 等面积法面积不合格，但符合“不另行补强”条件，备注“本管口不满足补强面积的要求，但开孔直径和厚度符合 GB/T150.3 第 8.1.4 节的规定可不另行补强(还需符合该条款其它要求)”；
- 分析法应力校核合格，但符合“不另行补强”条件，备注“本管口不满足应力强度的要求，但开孔直径和厚度符合 GB/T150.3 第 8.1.4 节的规定可不另行补强(还需符合该条款其它要求)”；
- 壳体、接管或补强圈的“设计温度下许用应力”，或者壳体、接管或补强圈的“材料厚度负偏差”是设计者在输入数据对话框中输入的，备注“带#号的材料数据是设计者给定的”；
- 采用等面积法计算对补强材料的线胀系数差有要求。若壳体和接管材料不满足 GB/T150.3-2024 第 8.1.6 条 c) 款的条件，备注“本管口不满足 GB/T150.3-2024 第 8.1.6 条 c) 款的条件，A2 和 A3 不能作为补强面积”；
- 是采用分析法计算的，备注“本管口还需满足 GB/T150.3 第 8.6.2 条中分析法的全部条件”
- 实际采用压力面积法计算的，提示“本管口还需满足 HG/T20582.2 第 4.1.2 条和第 4.1.3 条中全部条件”。
- 全部联合补强，提示“注：壳体及两个开孔的设计参数和补强计算结果见两个开孔各自的补强计算”。
- 平盖上联合补强，提示“开孔直径和位置还应符合 GB/T150.3-2024 第 8.4.3 节的规定”。

五、卧式容器

5.1 卧式容器设备计算

5.1.1 计算功能

卧式容器计算程序包括对筒体、封头（鉴于工程实践，在本程序中，锥形封头和球冠形封头将不能选择及进行计算）、设备法兰、开孔补强及鞍座的强度和刚度计算。

5.1.2 输入数据说明

筒体、封头、法兰、开孔补强等四个基本受压元件计算的操作使用，见第四章所述。

鞍座计算可单独进行，也可整个设备一起计算，但是应特别注意的是，当进行鞍座计算时用户应确保提供合格的筒体、封头的尺寸、材料性能等数据（例如在此之前已计算得到的合格数据或是已成熟使用的经验数据等），以保证最终计算结果的正确可靠。

各元件设计数据输入完毕后，可在图 5.1 选择菜单“计算”中的“设备计算”或者“筒体”“鞍座”等进行计算，当形成屏幕计算书后，接着选择“形成计算书”以完成整台容器的计算和计算书的生成。

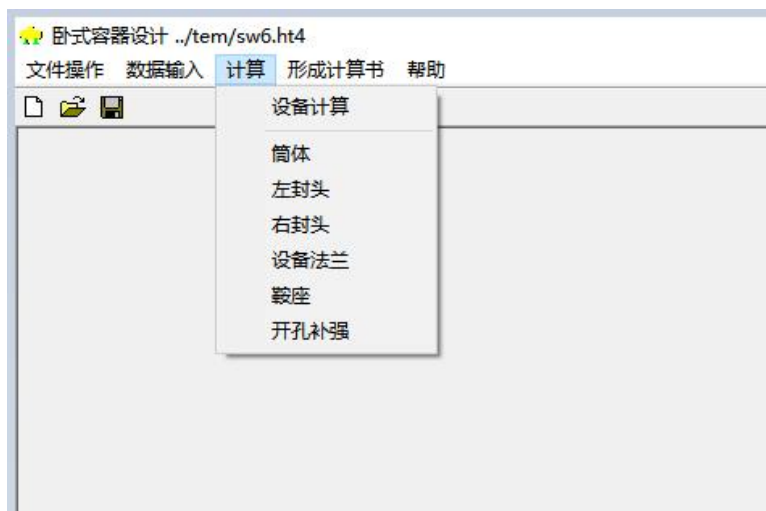


图 5.1 卧式容器数据输入和计算

5.2 鞍座计算

5.2.1 计算功能

本模块是根据 NB/T 47042-2014《卧式容器》编制的，因此，用户在使用本程序的过程中，应满足该标准所规定的条件，即一般的对称双鞍座卧式容器和带集中载荷的卧式容器等两类容器的结构和载荷条件。在进行数据输入时，两类容器使用共同的数据输入界面。

本模块的功能是对受内压或受外压的卧式容器由于鞍座反力引起的筒体应力进行校核计算。程序会按照用户给定的数据按 NB/T 47042-2014 进行校核，如果 $\sigma_1 \sim \sigma_9$ 均满足其限制条件，则表明由于容器置于鞍座上，在容器上和鞍座上产生的应力均合格。但容器在压力作用下的安全性，仍然必须经过筒体和封头元件的计算，才能保证。因此，本模块校核合格并不意味着筒体的强度或刚度已完全合格。一般来说，在运行本模块前，应确保筒体在压力作用下的强度或刚度是足够的。

5.2.2 输入数据说明

用户在“数据输入”菜单中单击“鞍座数据”后即进入如图 5.2 所示的“鞍座数据输入 (1)”页面。在该输入页面中，如用户在筒体和封头界面中已输入其结构和材料等参数，则在此无需再输入，反之则要求用户输入。无保温时，保温层材料名称、厚度、重度可不输入。充装系数应在 0~1 之间。介质密度和内件及附件重量用户按实际工况输入，否则会影响支座反力的计算。地震烈度，当选择“低于七度”时，将不考虑地震工况，否则则需考虑地震工况。另外，当选择“其它”时，用户需自行输入“水平地震影响系数 α_1 ”。需要注意的是，程序要求输入的是筒体与两封头焊缝间长度，这与标准中输入的两封头切线间的距离不一致。

图 5.2 鞍座数据输入 (1)

在设备配置中，当选用“有附属设备”时，“附属设备数据”页面的标签才会出现，如图 5.3 所示。附属设备系指精馏塔、除氧头等，其总高不大于 10m。附属设备本身重量是作为作用于卧式容器上的一个集中载荷看待。该页上的其它参数必须输入。此时须特别注意的是，附属设备的开孔半径 $d_i/2$ 与筒体中心间的夹角 β 应不大于 30° ，否则会因 K_{10} 和 K_{11} 的取值超界而造成无法继续进行计算。注意，当附属设备位于筒体下方时，地震力作用高度需输入为负值。

鞍座

鞍座数据输入(1) | 附属设备数据输入 | 鞍座数据输入(2) | 鞍座数据输入(3)

附属设备内径 d (mm):

附属设备筒体名义厚度 s (mm):

附属设备筒体高度 l_0 (mm):

附属设备总高 l_1 (mm):

附属设备地震力作用中心到筒体外表面距离 h (mm):

附属设备轴线至左鞍座距离 a (mm):

附属设备内件及附件重量 (kg):

图 5.3 附属设备数据输入

在如图 5.4 所示的“鞍座数据输入(2)”的页面中,鞍座包角应在 $120^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 之间。若结构上无垫板,则垫板宽度和厚度可不输入。鞍座间距、高度以及腹板厚度必须输入。腹板与筋板组合截面积和抗弯模量用户可自行输入,或者点击该页面中图示下方的“计算腹板与筋板组合截面积和抗弯模量”按钮由程序来自动计算,此时会弹出如图 5.5 所示的“腹板和筋板数据输入”页面。当选择套用 NB/T47065.1-2018 标准鞍座数据,此时会出现如图 5.6 所示的页面,用户可在六种鞍座形式中选取一种,如果所选鞍座形式与整个容器参数匹配,此时腹板和筋板数据会自动显示左边的输入框中,反之则给出警告提示;用户也可根据工程实际选取图 5.5 中的一种截面形状,此时需输入腹板和筋板数据。点击确认,程序并会自动计算出腹板与筋板组合截面积和抗弯模量,并显示在图 5.4 中对应的对话框里。本程序中鞍座材料只考虑了 NB/T 47042-2014 中鞍座常用的五种材料,需要注意的是,在选择材料前需先输入鞍座的设计温度值。如用户使用其他材料,可自行输入材料名和许用应力。其余参数用户均必须输入。

鞍座

鞍座数据输入(1) 鞍座数据输入(2) 鞍座数据输入(3)

两鞍座间距 L_1 (mm):

鞍座高度 H (mm):

鞍座包角 θ ($^\circ$):

鞍座宽度 b (mm):

垫板宽度 b_4 (mm):

垫板厚度 δ_{rn} (mm):

鞍座腹板厚度 b_0 (mm):

腹板与筋板组合截面积 A_{sa} (mm²):

腹板与筋板组合截面抗弯截面系数 Z_r (mm³):

鞍座设计温度 ($^\circ\text{C}$):

鞍座材料:

鞍座材料在设计温度下的许用应力 (MPa):

基础类型

☒ 水泥基础

☐ 钢基础

☐ 特氟隆垫板

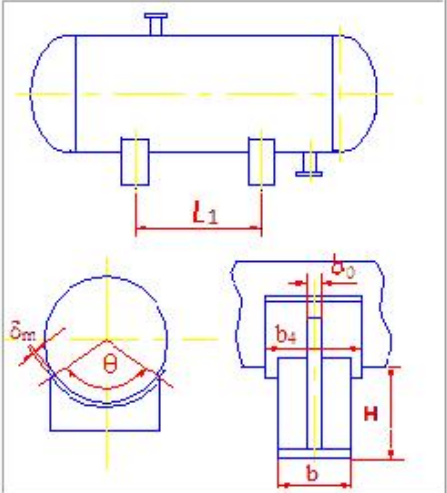
筒体与鞍座安装形式

☒ 焊接

☐ 不焊接

一个鞍座上地脚螺栓个数:

鞍座轴线两侧的螺栓间距 (mm):



计算腹板与筋板组合截面积和抗弯截面系数

地脚螺栓公称直径 (mm):

地脚螺栓根径 (mm):

地脚螺栓材料:

地脚螺栓许用应力 (MPa):

图 5.4 鞍座数据输入 (2)

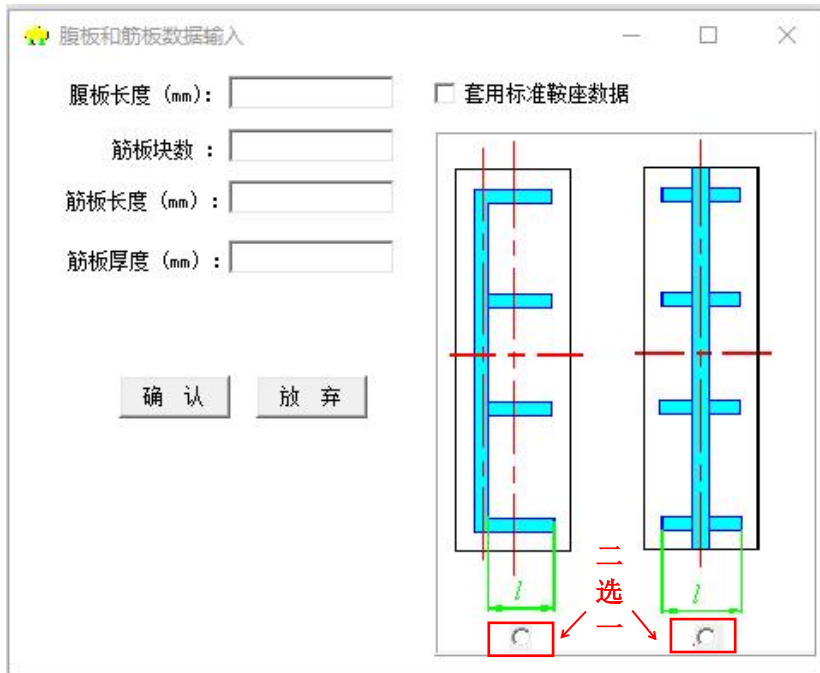


图 5.5 腹板和筋板数据输入



图 5.6 套用标准鞍座数据的腹板和筋板数据输入

如在鞍座截面或鞍座附近设置加强圈，用户需要进入“鞍座数据输入（3）”页面以输入有关加强圈的数据，如图 5.7 所示。在该页面中用户可以输入加强圈数据，如不需要加强圈，此页面中的数据可不输入。由于本程序无结构钢材料性能数据库，程序所提供的加强圈材料的许用应力为锻件材料的许用应力值。用户如选用其它的材料，可自行输入材料名和许用应力。加强圈的其它数据输入可参见第四章 4.1.3 节。

鞍座

鞍座数据输入(1) | 鞍座数据输入(2) | 鞍座数据输入(3)

加强圈位置

☐ 无加强圈

☒ 在鞍座面上的内加强圈

☐ 在靠近鞍座的内加强圈

☐ 在靠近鞍座的外加强圈

☐ 在鞍座面上的外加强圈

加强圈数量: 1

加强圈型钢类型:

加强圈型钢规格:

加强圈截面积 (mm^2):

加强圈截面惯性矩 (mm^4):

加强圈截面形心至顶端距离 $d(\text{mm})$:

加强圈形心至筒体内壁或外壁距离 $e(\text{mm})$:

加强圈材料:

加强圈材料的许用应力 (MPa):

加强圈宽度 $w(\text{mm})$:

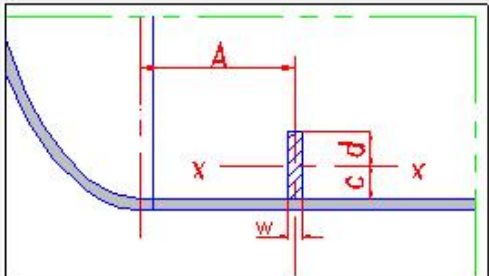


图 5.7 鞍座数据输入 (3)

数据输入完成后, 即可点击图 5.1 中菜单“计算”中的“鞍座”, 程序会对用户输入的数据先进行检查, 无误后即会进行计算, 当完成计算后程序会在屏幕上显示相应的计算结果供用户浏览。若出现“警告”、“错误”等信息时, 请检查或修正数据, 直至得到满意的计算结果。

六、立式容器

6.1 立式容器设备计算

本节介绍立式（带夹套）搅拌容器设备计算模块的功能，用户进行数据输入时所需注意的地方以及结果输出的内容。

6.1.1 计算功能

本程序可计算非裙座支撑的立式（带夹套或不带夹套）设备（带搅拌或不带搅拌），本程序除可进行设备级计算外，设备中所有受压元件都可以单独进行设计计算。

本程序计算项目包括：

1. 内圆筒及其上封头（包括平盖），下封头的内、外压设计或校核；
2. 夹套筒体及其封头的内压设计或校核；
3. 内圆筒及其上、下封头，以及夹套及其封头的开孔补强设计或校核；
4. 设备法兰校核或厚度设计；
5. 搅拌轴设计或校核；
6. 腿式支座、耳式支座、支承式支座、刚性环支座的校核；
7. 蜂窝短管夹套、半管夹套的校核。

使用本程序必须注意：

1. 封头型式：内筒的上封头可以是椭圆封头、球形封头、碟形封头、锥形封头或平盖，内筒的下封头及夹套封头可以是椭圆封头、球形封头、碟形封头、无折边或有折边锥形封头或平盖；

2. 设备计算时，内筒壳体必须进行内压或外压的设计或校核，计算夹套封头时必须选中内筒筒体下封头计算选项；

3. 当对内筒和夹套都受压的壳体设计计算时，如内筒体为非真空容器，程序首先对内筒壳体进行内压设计计算，然后用内压计算出的名义厚度对内筒壳体进行外压校核，如外压校核合格，程序选取内压计算厚度作为内筒壳体厚度，并同时分别输出内、外压的计算结果；如用内压计算出的名义厚度对内筒壳体进行外压校核，校核不合格时，程序将分别输出内、外压的计算厚度，用户可选取合适的厚度，然后程序将根据用户选取的壳体厚度自动进行内、外压校核；

4. 当对内筒和夹套都受压的壳体校核计算时，如内筒体为非真空容器，程序将分别对内筒壳体进行内、外压校核，并输出校核结果；

5. 开孔补强计算：

① 如用户要求对内筒及其上、下封头，以及夹套及其封头壳体作整体补强时，程序会自动将整体补强计算得到的壳体厚度与内、外压设计计算得到的厚度进行比较：如整体补强计算得到的壳体厚度大于内、外压设计计算得到的厚度，程序会自动再次进行内、外压计算，并将所得计算结果输出；

② 根据立式（包括带夹套）设备的常见接管配置，本程序规定各受压元件处计算开孔补强的最多接管个数为 30 个。

6. 支座计算前，筒体及上、下封头的结构数据必须完成输入；

7. 对于蜂窝短管夹套结构，因其通过短管支撑内筒及夹套筒体，因此在计算时需与内筒及夹套筒体一起计算；对于半管夹套结构，其内筒和下封头计算按不带夹套结构计算；本程序暂不能对夹套封闭件进行计算；

8. 各元件输入参数注意事项及说明请参考各元件的有关章节。其中，当有夹套时，内筒及下封头的腐蚀裕量需同时考虑内筒及夹套的腐蚀影响。

6.1.2 输入数据说明

用户启动本程序后，出现如图 6.1 所示界面，通过窗口上的菜单项用户可以很方便的对各个元件级数据进行数据输入和计算。



图 6.1 立式容器数据输入和计算

各个元件的数据输入完毕后可进行设备计算。按设备计算按钮出现图 6.2，打钩的为选中的计算项目，用户可根据设备具体情况选择必需的计算项目。这里应注意，设备计算时，内筒壳体必须进行内压或外压的设计或校核（必选项）；计算夹套封头时必须选中内筒筒体和下封头计算选项；计算蜂窝短管夹套时必须选择内筒体和夹套筒体计算选择。



图 6.2 设备计算内容的确定

按开始计算按钮，程序会对输入的数据进行判断后计算，计算完成后程序会显示相应计算结果供浏览，如出现“警告”、“错误”等信息时，请检查数据是否正确，当对计算结果满意时，可点选“出计算书”一栏，程序会自动打开 WORD 将计算结果显示出来供浏览或打印。

6.2 夹套

6.2.1 计算功能

本模块按 GB/T 150.3-2024 附录 G 编制，包括整体夹套、蜂窝短管夹套、半管夹套的计算和校核。对于本模块中的整体夹套指 2 型结构，即夹套包围内筒的一部分和下封头；蜂窝短管夹套，因其短管只支撑内筒体与夹套筒体，故认为此结构无夹套封头；半管夹套，其可与内筒体及下封头相焊接。夹套封闭件的设计计算及其穿过夹套的接管结构设计，因其结构复杂，本程序暂不包括。

6.2.2 输入数据说明

如设备带夹套，则需输入夹套主体设计参数，如图 6.3 所示。“夹套型式”三选一，根据所选的夹套型式还需输入其对应的结构数据。

主体设计参数

内筒主体设计参数

设计压力 (MPa):

设计温度 (°C): 0

设备公称直径 (mm):

试验压力 (MPa):

压力试验类型:

☒ 液压试验 ☐ 气压试验

工况属性:

☒ 长期工况 ☐ 短期工况

夹套主体设计参数

设计压力 (MPa):

设计温度 (°C): 0

设备公称直径 (mm):

试验压力 (MPa):

夹套型式:

☒ 整体夹套(2型) ☐ 蜂窝短管夹套 ☐ 半管夹套

压力试验类型:

☒ 液压试验 ☐ 气压试验

工况属性:

☒ 长期工况 ☐ 短期工况

图 6.3 主体设计参数

对内筒体的元件计算，如设备带夹套（用户已输入夹套筒体数据），计算时程序将考虑夹套对内筒的压力作用，在内筒体数据输入界面中外压圆筒数据按钮始终为可按状态。如设备为真空容器或设备带夹套应根据不同情况正确填写内筒的外压计算长度。否则可不进入外压圆筒数据输入界面。

如用户选择夹套筒体以后，出现筒体数据输入对话框，其数据输入方法同 4.1.3 节所述。但应注意须满足以下三点，否则在设备计算时将出现错误信息：

1. 夹套设计压力必须大于 0（正压）或小于 0（真空）；
2. 夹套筒体内径必须大于内圆筒体内径；
3. 夹套筒体长度应不大于内筒体长度。

对于蜂窝短管夹套，如图 6.4 所示，“蜂窝短管支撑布置型式”二选一。根据布置型式分别输入“蜂窝短管中心线之间的周向间距 L_2 和轴向间距 L_1 ”。蜂窝短管夹套设计温度不宜超过 200°C ，设计压力不应超过 1.6 MPa 。对于蜂窝短管拉撑区域内的夹套筒体的厚度计算按拉撑平板厚度计算、蜂窝短管拉撑区域内的内筒体的厚度计算也考虑了拉撑作用和压力作用的组合，因此对于蜂窝短管夹套结构，用户计算时程序同时考虑了“内筒体”、“夹套筒体”、“蜂窝短管”三者的计算。

图 6.4 蜂窝短管夹套数据输入

对于半管夹套，如图 6.5 所示，半管夹套应选用公称直径为 DN50、DN80、DN100 的半圆管，用户可在下拉框中进行选择相应规格；内容器可承受内压或外压，夹套只能承受内压。内容器和夹套材料的屈强比 ≤ 0.625 。这里说明下，原 SW6-2011 零部件模块中的“半圆管夹套容器”是按照 HG/T20582-2020 中的“半圆管夹套的设计”编制，而 GB/T150.3-2024 的附录 G 中也增加了半管夹套的计算，因计算方法相同，故零部件模块中不再包含半圆管夹套的计算，用户可在立式容器中选择使用。

半管夹套

公称直径(mm):

附加轴向力(N):

名义厚度(mm):

腐蚀裕量(mm):

纵向焊接接头系数:

1

注: 对无纵缝钢管, 取环焊缝的焊接接头系数。

材料名称:

设计温度下许用应力(MPa):

常温下许用应力(MPa):

设计温度下屈服强度(MPa):

常温下抗拉强度(MPa):

☒ 厚度负偏差为用户输入

厚度负偏差(mm):

内容器

半管夹套

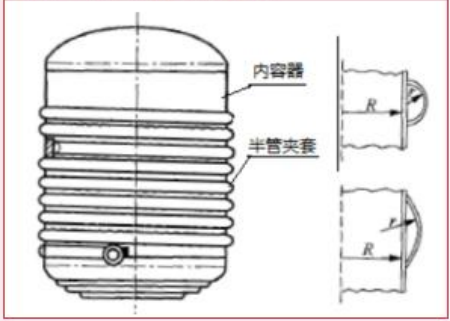


图 6.5 半管夹套数据输入

6.3 搅拌轴

6.3.1 计算功能

本模块按 HG/T20569-2013《机械搅拌设备》编制，适用于该标准总则中述及的各种搅拌容器与搅拌机组合型式的搅拌轴。可对刚性或柔性的悬臂轴、单跨轴进行设计或校核，但限制该搅拌轴最多只能带有 5 个搅拌器。

本模块根据 HG/T20569-2013《机械搅拌设备》分别按弯扭组合强度、临界转速、扭转变形和弯曲挠度等工况进行设计或校核计算，并输出相应的按弯扭组合强度计算的轴径 d_2 、按临界转速 d_{nk} 、按扭转变形计算的轴径 d_1 和按弯曲挠度计算的轴径 d_3 ，以及最终计算轴径 d_{max} 、临界转速 n_k 和各处挠度等值。在计算过程中，弯扭组合强度和临界转速为必须满足的条件，扭转变形和弯曲挠度为可供选择满足的条件，用户可根据要求选取*。

*当用户对扭转变形无要求时，可将许用扭转角输入负值或零，则程序将对扭转变形作为非必须满足条件处理；

当用户对轴封处径向位移无要求时，可将轴封处许用径向位移输入负值，则程序将对轴封处径向位移作为非必须满足条件处理；

当用户对悬臂轴末端径向位移无要求时，可将悬臂轴末端许用径向位移值输入负值或零，则程序将对悬臂轴末端径向位移作为非必须满足条件处理。

6.3.2 输入数据说明

1、在图 6.1 窗口单击“数据输入”菜单中“搅拌轴数据”后，进入图 6.6 所示页面开始数据输入。

在图 6.6 输入页面中：

i. 当轴支承情况选定“悬臂轴”时，有关悬臂轴参数将会显示在上图的右下方。

悬臂端轴径与两轴承间轴径之差值： $d_i=d_L-d_a$

当两轴承间轴径大于悬臂段轴径时 $d_i < 0$;

当两轴承间轴径小于悬臂段轴径时 $d_i > 0$ 。

悬臂轴末端许用径向位移：由用户根据需要填数，无要求时填零或负值。

ii. 当轴支承情况选定“单跨轴”时，有关单跨轴参数将会显示在上图的右下方。

在此页面中，单跨轴传动侧支点的夹持系数 K_2 可根据不同结构按照下述建议选取：

采用单支点支架而又用弹性联轴节时， $K_2=0.7\sim0.9$;

采用单支点支架而又用刚性联轴节时， $K_2=0.4\sim0.6$;

采用双支点支架而又用弹性联轴节时， $K_2=0.4\sim0.6$;

采用双支点支架而又用刚性联轴节时， $K_2=0.1\sim0.3$ 。

iii. 当“轴封形式”选定“填料密封”时，则会出现图 6.7 所示页面：

iv. 轴封处许用径向位移：由轴封部件本身的要求、工艺操作要求和介质的特殊要求所决定。

若用户不输入（即该值=0），程序按标准中表 C.4.6 选取 K_3 计算；若该值 <0 ，则程序设定用户对轴封处许用径向位移无要求。

v. 平衡精度等级：一般取 $G=6.3\text{mm/s}$ 。

对于压力高、转速高以及易爆，毒性程度为中度、高度、极度危害介质的苛刻工况可取 $G=2.5\text{mm/s}$;

对于压力低、转速低以及非易爆，毒性程度为轻度危害介质的工况可取 $G=16\text{mm/s}$ 。

vi. 许用扭转角：根据实践经验取值。如无可靠的经验，则一般按悬臂轴许用扭转角 $=0.35$ ，单跨轴许用扭转角 $=0.7$ 选取。当许用扭转角 $=0$ ，则程序设定用户对扭转变形无要求。

The screenshot shows a software window titled "搅拌器" (Mixer) with three tabs: "设计和结构参数" (Design and Structure Parameters), "搅拌轴材料参数" (Mixer Shaft Material Parameters), and "搅拌器和其它设计参数" (Mixer and Other Design Parameters). The "设计和结构参数" tab is selected. It contains the following input fields and options:

- 电机功率 (kw): [Input field]
- 设计转速 (rpm): [Input field]
- 容器设计压力 (MPa): [Input field]
- 容器内液体重度 (kg/m³): [Input field]
- 介质类型:
 - ☒ 液液相
 - ☐ 液固相
 - ☐ 气液相
 - ☐ 气体
- 介质特性:
 - ☒ 一般物料
 - ☐ 危险物料
- 轴支承情况:
 - ☒ 悬臂轴
 - ☐ 单跨轴
- 轴计算类型:
 - ☒ 刚性轴
 - ☐ 柔性轴
- 轴封处许用径向位移 (mm): [Input field]
- 平衡精度等级 G (mm/s): [Input field]
- 轴许用扭转角 (°/m): [Input field]
- 悬臂端轴径与两轴承间轴径之差值 (mm): [Input field]
- 悬臂端末端许用径向位移 (mm): [Input field]
- 轴安装形式:
 - ☒ 底插式轴
 - ☐ 上插式轴
- 密封形式:
 - ☐ 单端面机械密封
 - ☐ 双端面机械密封
 - ☐ 填料密封

图 6.6 搅拌轴设计和结构参数输入

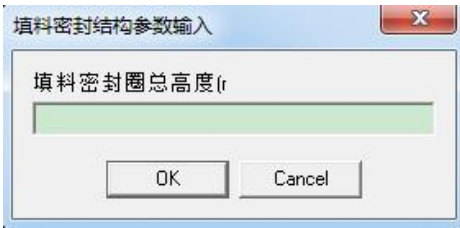


图 6.7 填料密封结构设计参数输入

vii. 抗振条件已由程序根据输入数据选取，具体数据如表 6.1：

表 6.1 搅拌轴的抗振条件

搅拌介质	刚性轴		柔性轴
	搅拌器（叶片式搅拌器除外）	叶片式搅拌器	高速搅拌器
气体	$n/n_k \leq 0.7$	$n/n_k \leq 0.7$	不推荐
液体-液体 液体-固体		$n/n_k \leq 0.7$ 和 $n/n_k \neq 0.45 \sim 0.55$	$n/n_k = 1.3 \sim 1.6$
液体-气体	$n/n_k \leq 0.6$	$n/n_k \leq 0.4$	$n/n_k = 1.3 \sim 1.6$

2、图 6.7 页面数据输入完毕后，用户需进入“搅拌轴材料参数”（如图 6.8 所示）页面，输入搅拌轴材料参数。

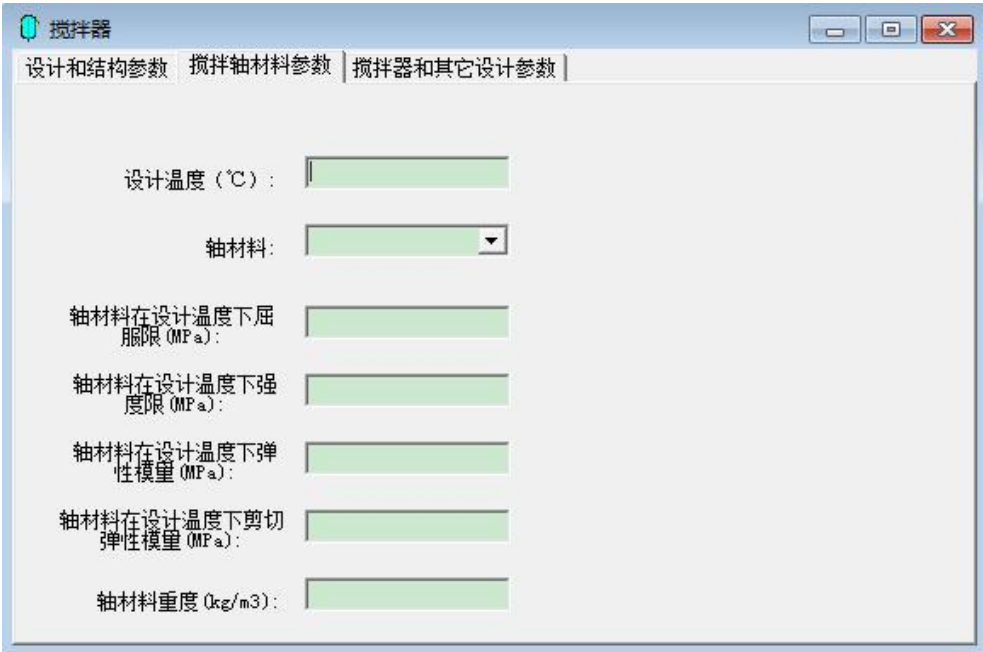


图 6.8 搅拌轴材料参数输入

注：搅拌轴的材料参数均需用户输入，本模块不对上述参数负责。

3、图 6.8 页面数据输入完毕后，用户还需进入“搅拌器和其他设计参数输入”页面，如图 6.9 所示：

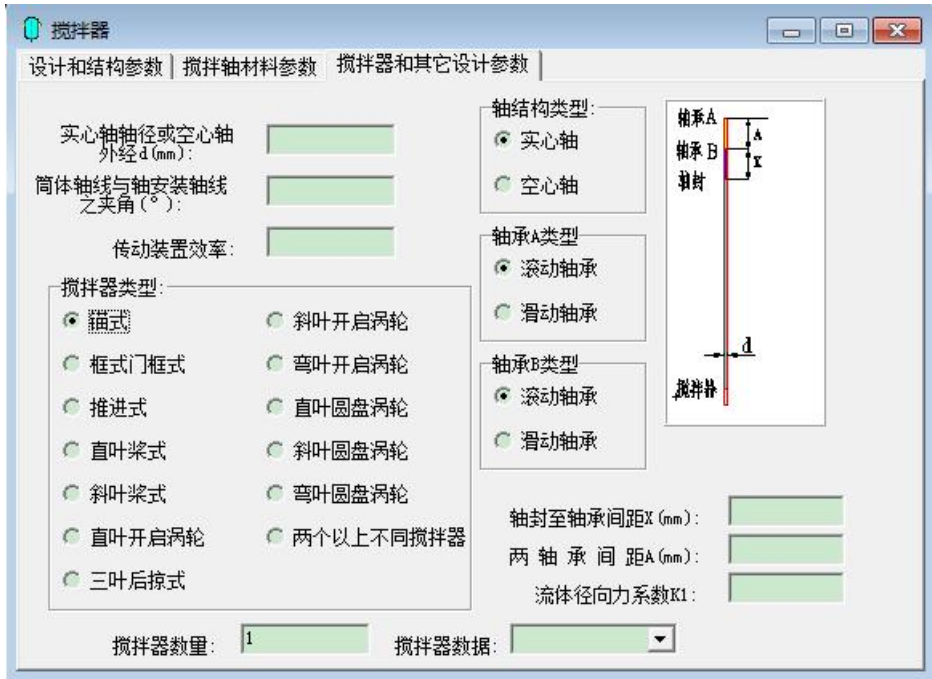


图 6.9 搅拌器和其他设计参数输入

- i. “实心轴轴径或空心轴外径 d (mm)”：当进行设计计算时不填或填入 0；当进行校核计算时填入校核轴径。
- ii. 传动效率：可参考表 6.2 选取。

表 6.2 传动装置各零部件的传动效率

传动类型	传动型式	机械效率 η
摆线针轮传动	摆线针轮行星减速器	0.88~0.95
谐波齿轮传动	谐波减速器	0.80~0.90
圆柱齿轮传动	单级圆柱齿轮减速器	0.97~0.98
	双级圆柱齿轮减速器	0.95~0.96
圆锥齿轮传动	单级圆锥齿轮减速器	0.95~0.96
	双级（圆锥-圆柱）齿轮减速器	0.94~0.95
蜗杆传动	自锁的	0.4~0.45
	单头蜗杆	0.7~0.75
	双头蜗杆	0.75~0.82
	三头蜗杆	0.82~0.92
	四头蜗杆	0.92~0.95
	圆弧蜗杆	0.85~0.95
链传动	开式传动（脂润滑）	0.90~0.93
	闭式传动（稀油润滑）	0.95~0.97
行星传动	NGW 行星齿轮减速器（一级）	0.97~0.99
	NGbiaW 行星齿轮减速器（二级）	0.94~0.97
轴承	滚动	0.98~0.99
	滑动	0.94~0.98

无级变速器	0.85~0.94
平皮带	0.92~0.98
三角皮带	0.90~0.97
同步带	0.93~0.98

iii. 当轴结构类型选定“空心轴”时，即会出现图 6.10 所示对话框，要求输入轴内径与外径之比。



图 6.10 空心轴结构参数输入

iv. 流体径向力系数 K_1 ：其值根据实验确定。若无可靠实验数据时，设计者可根据搅拌设备内件情况、搅拌器型式及搅拌介质等，按照标准选定。(取值范围>0)

4、当图 6.10 页面中的数据输入完毕后，在“搅拌器数据”选定第几个搅拌器进入图 6.11 所示页面，输入每层搅拌器参数。

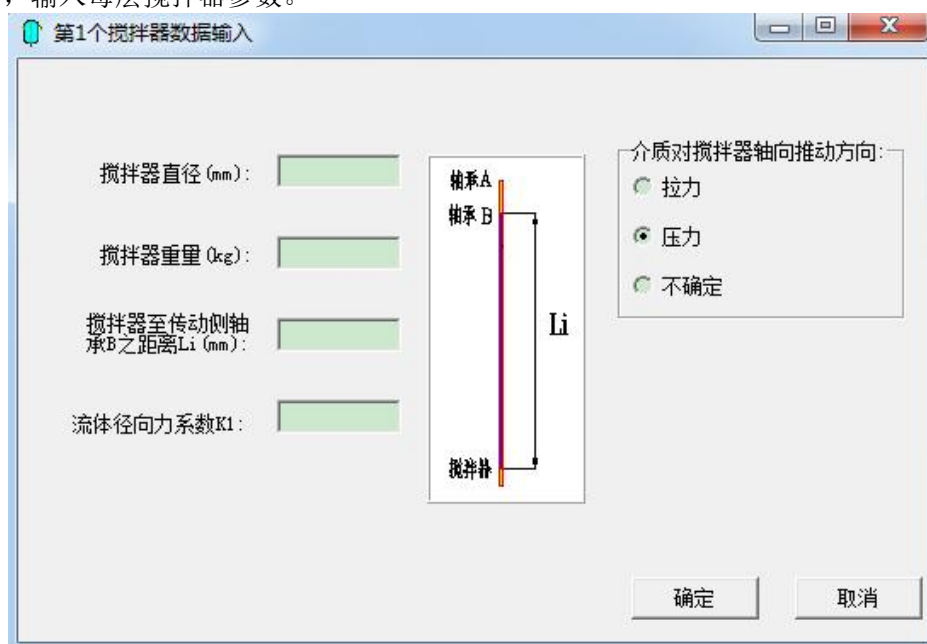


图 6.11 第 1 个搅拌器数据输入

在此页面中的搅拌器附加质量系数为：

柔性轴及带锚式和框式搅拌器的刚性轴=0；

刚性轴（不包括带锚式或框式搅拌器的刚性轴）可根据表 6.3 选取：

表 6.3 搅拌器附加质量系数 η_k

叶片数	叶片角	附加质量系数
2	0°（直叶）	0.31
2	45°（斜叶）	0.31
3	0°（直叶）	0.27
3	45°（斜叶）	0.17
4	0°（直叶）	0.29
4	45°（斜叶）	0.29
6	0°（直叶）	0.53
6	45°（斜叶）	0.30

6.4 支座

本模块按照 NB/T 47065.2~47065.5-2018《容器支座》进行编制。适用于腿式支座的强度及稳定计算、耳式支座实际承受载荷的近似计算和校核及耳式支座处圆筒所受的支座弯矩计算和校核、支承式支座实际承受载荷的近似计算和校核及 B 型支承式支座由封头限定的允许垂直载荷校核、刚性环支座承受的载荷计算等。对于刚性环支座，也可按照 HG/T20582-2020《钢制压力容器强度计算规范》中的“带刚性环耳式支座的设计和计算”的方法进行计算。

6.4.1 腿式支座

6.4.1.1 计算功能

腿式支座的计算按照 NB/T47065.2-2018《容器支座第二部分：腿式支座》（以下简称“NB47065.2”）附录 A 的方法进行腿式支座的强度和稳定计算及校核。

6.4.1.2 输入数据说明

在 6.1 窗口单击“数据输入”菜单中“支座数据”后，进入图 6.12 所示页面开始支座数据输入。

图 6.12 支座数据输入

在图 6.12 中，提供了“腿式支座”、“耳式支座”、“支承式支座”、“刚性环支座”四种支座类型。用户选定某种类型支座后，在此页中会高亮出此类型支座计算需输入的参数，而不参与此类型支座计算的参数会灰掉。以下就以“腿式支座”数据为例，逐一介绍此页中需输入的参数，在后面的三种类型支座中此页的参数输入就不再介绍。

当选择“地震设防烈度”中的“不考虑地震”时，程序不会计入地震载荷；当用户不按 GB/T 50761 提供的设防烈度计算地震载荷时，可选择“其他”，此时程序会要求输入“水平地震影响系数最大值 α_{max} ”；如果用户选择了确定的设防烈度，程序会参照 GB/T50761 中的“设防地震”自动确定“水平地震影响系数最大值 α_{max} ”。考虑地震时，“阻尼比”均需输入，程序默认值为 0.03，用户可根据实际情况进行输入。此外，用户还需进一步选择“场地类别”和“设计地震分组”以便确定水平地震影响系数 α 。对于“刚性环支座”，还要考虑“地面粗糙度类别”。

对于“耳式支座”和“支承式支座”，需要输入“支座的设计温度”，用来确定筋板和底板的许用应力。

当有偏心载荷或者管道力载荷时，可输入“偏心载荷数量”或者“管道力载荷数量”，程序会提供如图 6.13 所示的“偏心载荷数据输入”或者图 6.14 所示的“管道力载荷数据输入”界面，需要说明的是，“偏心载荷数量”或者“管道力载荷数量”不能超过 5 个。

在图 6.13 中，“偏心载荷方位角”指以 X 轴正向为基准，至坐标原点与偏心载荷连线的角度；在图 6.14 中，“管道力方向”用户可选择“垂直容器中心线”或者“平行于容器中心线”两个方向。如果不是上述两个方向，用户需分解为这两个方向分别输入，管道力大小也按分解后的输入。当管道力方向为“平行于容器中心线”时，此时需输入“管道力至容器中心线的距离”；当管道力方向为“垂直于容器中心线”时，此时需输入“管道力至支座底部的距离”。对于管道力方位角，当管道力方向为“平行于容器中心线”时，与偏心载荷方位角输入相同；当管道力方向为“垂直于容器中心线”时，则指以 X 轴正向为基准，与管道力方向线之间的夹角。

图 6.13 偏心载荷数据输入

图 6.14 管道力载荷数据输入

“基本风压值”可参照塔器标准输入，需要说明下，对于“腿式支座”、“耳式支座”、“支承式支座”，风压高度变化系数 f_1 ，程序均取为 1.0，用户如需考虑高度变化系数 f_1 对水平风载荷的影响，可自行计算确定后与基本风压值相乘后输入到“基本风压值”输入框中。如果有保温层，则需进一步输入“保温层厚度”和“保温层材料密度”。用户根据容器所装介质的实际情况输入“容器操作介质密度”和“容器操作介质高度”。如有梯子平台及内件等，则可输入“附件质量系数（以壳体质量为基准）”来计入其质量。

对于“耳式支座”、“支承式支座”和“刚性环支座”，程序考虑了其有、无夹套的工况。当有夹套时，需进一步输入“夹套操作介质密度”、“夹套操作介质高度”、“夹套筒体封头焊缝线与内筒筒体下封头焊缝线之间的距离”，从而可帮助确定夹套内部介质的质量及夹套所在的位置。

当输入完支座基本数据后，还需进一步输入所选支座的结构数据。

对于“腿式支座”，如图 6.15，当用户选用 NB/T47065.2-2018《容器支座第二部分：腿式支座》中表 2、表 3、表 4 的腿式支座时，此时可选中“标准腿式支座”，如图 6.16，用户可通过选择“支座类型”和“公称直径 DN”，此时相应的腿式支座结构参数可显示在界面上。“支座数量”，用户可根据工程实际进行输入。“支承高度”需输入，以便确定支座在容器上的位置。对于非标准腿式支座，用户需自行输入相关结构参数。A/AN 型、B/BN 型、C/CN 型腿式支座要求输入的结构参数不一样，程序会通过控件灰亮进行提示。另外，用户还需输入底板、垫板、地脚螺栓等零件的结构尺寸参数及材料参数。

图 6.15 腿式支座数据输入

图 6.16 标准腿式支座选择

6.4.1.3 计算结果说明

程序按“液压试验工况”、“安装工况”、“操作工况 1”、“操作工况 2”四种工况分别进行腿式支座的强度及稳定计算。具体的计算内容包括支腿水平反力和垂直反力计算；支腿强度及稳定计算（包括支腿弯曲应力计算、支腿轴向压缩应力计算、支腿许用临界压应力计算以及支腿截面组合验算）；支腿与筒体连接处焊缝的强度计算（包括焊缝处的剪切应力计算及校核、焊缝处的弯曲应力计算及校核）；地脚螺栓的强度计算（包括地脚螺栓的拉应力计算及校核、地脚螺栓的剪应力计算及校核）；支腿底板的强度计算。

对于设备总质量，程序考虑了圆筒及封头的质量、附件质量、容器充液质量、保温层质量、偏心载荷质量等。对于“液压试验工况”，不考虑地震载荷作用，同时水平风载荷按正常工况下值的 33% 计入；对于“安装工况”，只考虑风载荷作用，不考虑地震载荷作用；对于“操作工

况 1”，只考虑地震载荷作用，不考虑风载荷作用；对于“操作工况 2”，只考虑风载荷作用，不考虑地震载荷作用。程序会对不同方向、不同位置的偏心载荷和管道力载荷进行组合得到总的偏心弯矩并计入到支座的实际载荷值中去。同时，对于地震设防烈度为 8 度、9 度时，程序还考虑了垂直地震力对支座的实际载荷值的影响。

在计算单根支腿的垂直反力 F_L 时，需分别计算拉伸侧（公式中取正号）和压缩侧（公式中取负号）的垂直反力。对于后续的各项应力的计算，当用到垂直反力 F_L 时，需区分拉伸侧垂直反力和压缩侧垂直反力。对于取压缩侧的垂直反力，应按绝对值代入各应力公式计算。另外，偏心载荷或管道力载荷产生的偏心弯矩也总是取正值代入。

6.4.2 耳式支座

6.4.2.1 计算功能

耳式支座的计算按照公称直径 DN 及 NB/T47065.3-2018《容器支座第三部分：耳式支座》（以下简称“NB47065.3”）附录 A 规定的方法来计算耳式支座承受的实际载荷 Q ，并按照 $Q \leq [Q]$ 进行校核。对于支座本体允许载荷 $[Q]$ ，当为标准耳式支座可查 NB47065.3 中的表 2~表 4 得，当为非标准耳式支座可参照 NB47065.3 编制说明中的 4.2 节计算得。

一般情况下，还应计算耳式支座处圆筒所受的支座弯矩 M_L ，并按照 $M_L \leq [M_L]$ （衬里容器： $M_L \leq [M_L]/1.5$ ）进行校核。耳式支座处圆筒的许用弯矩 $[M_L]$ 可查 NB47065.3 的附录 B 得。

6.4.2.2 输入数据说明

对于“耳式支座”，如图 6.17，当用户选用 NB47065.3 中表 2~表 4 的耳式支座时，此时可选中“标准耳式支座”，如图 6.18，用户可通过选择“支座类型”、“支座号”和“支座本体材料”，此时相应的耳式支座结构参数和“支座本体允许载荷”可显示在界面上。“耳座数量”、“支座位置”，用户可根据工程实际进行输入。“底板至内筒与下封头焊缝的距离 L ”需输入，以便确定支座在容器上的位置。对于“非标准耳式支座”，用户需自行输入相关结构参数。

“支座本体允许载荷”用户可自行输入，也可由程序计算得。当由程序计算确定时，还需输入“一个支座上筋板数量”，所需数据输入完毕后点击“非标准耳式支座本体允许载荷计算”可得到“支座本体允许载荷”。

对于“支座圆筒处的许用弯矩”，用户可自行输入，也可参照 NB47065.3 的附录 B 由程序确定，如图 6.19。用户可通过选择“支座类型”、“支座号”、“公称直径”、“壳体材料许用应力”、“筒体有效厚度”、“压力等级”等参数确定承受内压的钢制焊接圆筒形容器限定的耳式支座许用弯矩。

对于“耳式支座”，要求用户输入“支座的设计温度”，对于“筋板材料”、“底板材料”，程序默认材料为 Q235B、S30408、15CrMoR，如果输入的设计温度在标准规定范围内，其对应的许用应力为 200MPa、180MPa、230MPa，否则其许用应力都默认为 0。用户也可在界面上自行输入材料名和许用应力值。当容器为衬里容器时，可勾选“衬里容器”，因为衬里容器的支座弯矩校核条件不同。

图 6.17 耳式支座数据输入

图 6.18 标准耳式支座选择图

图 6.19 耳式支座处壳体允许弯矩

6.4.2.3 计算结果说明

程序按“安装工况”、“操作工况”、“液压试验工况”三种工况分别对耳式支座承受的实际载荷 Q 和耳式支座处圆筒所受的支座弯矩 M_L 进行计算和校核。如果用户无法正确输入“支座圆筒处的许用弯矩 $[M_L]$ ”，此时用户可利用 WRC537 的方法或者 AD 2000-Merkblatt 中 S3/4 中的方法进行局部应力计算和校核。

对于设备总质量，程序考虑了圆筒及封头的质量、附件质量、容器充液质量、保温层质量、偏心载荷质量等。对于“液压试验工况”，不考虑地震载荷作用，同时水平风载荷按正常工况下值的 33% 计入。程序会对不同方向、不同位置的偏心载荷和管道力载荷进行组合得到总的偏心

弯矩并计入到支座的实际载荷值中去。同时，对于地震设防烈度为 8 度、9 度时，程序还考虑了垂直地震力对支座的实际载荷值的影响。

在耳式支座承受的实际载荷 Q 计算公式中，水平力作用点至底板高度 h 对计算结果的影响比较大。尤其是操作工况下，不同充液高度及不同封头形式对应的 h 值往往不同。程序通过计算得到了各种工况下、各种充液高度下、各种封头形式对应的容器质心。在代入公式时， h 值总是取正值，因为在弯矩作用下，支座的一边为拉，另外一边为压。同样，偏心载荷或管道力载荷产生的偏心弯矩也总是取正值代入。

6.4.3 支承式支座

6.4.3.1 计算功能

支承式支座的计算按照 NB/T47065.4-2018《容器支座第四部分：支承式支座》（以下简称“NB47065.4”）附录 A 规定的方法来计算支承式支座承受的实际载荷 Q ，并按照 $Q \leq [Q]$ 进行校核。对于支座本体允许载荷 $[Q]$ ，当为标准支承式支座可查 NB47065.4 中的表 2、表 3 得，当为非标准支承式支座可参照 NB47065.4 编制说明中的第 4 节、第 5 节计算得。

对于 B 型支承式支座，还应校核由容器封头限定的允许垂直载荷，按照 $Q \leq [F]$ （衬里容器： $Q \leq [F]/1.5$ ）进行校核。由容器封头限定的 B 型支座的允许垂直载荷 $[F]$ 可查 NB47065.4 的附录 B 得。

6.4.3.2 输入数据说明

对于“支承式支座”，如图 6.20，当用户选用 NB47065.4 中表 2、表 3 的支承式支座时，此时可选中“标准支承式支座”，如图 6.21，用户可通过下拉选择“支座类型”、“公称直径 DN”数据，此时相应的支承式支座结构参数和“支座本体允许载荷”可显示在界面上。“支座数量”，用户可根据工程实际进行输入。“支座高度”需输入，以便确定支座在容器上的位置。对于“非标准耳式支座”，用户需自行输入相关结构参数。A 型、B 型支承式支座要求输入的结构参数不一样，程序会通过输入数据的灰亮进行提示。

“支座本体允许载荷”用户可自行输入，也可由程序计算得。在输入相关结构参数后，点击“非标准支承式支座本体允许载荷计算”得到“支座本体允许载荷”。需要注意：对于 A 型支座、容器公称直径 $DN \geq 2400\text{mm}$ ，程序不能计算支座本体允许载荷。

对于 B 型支座，还要求用户输入“由容器封头限定的 B 型支座的允许垂直载荷”。对于承受内压的标准椭圆封头，也可参照 NB47065.4 附录 B 由程序确定，如图 6.22。用户可通过选择“支座号”、“公称直径”、“封头材料许用应力”、“标准椭圆封头有效厚度”等参数确定其允许的垂直载荷。对于其他类型的封头或者非标准椭圆封头，需用户自行输入。

其他输入数据说明参见“耳式支座”的相关数据输入说明。

图 6.20 展示了“支座”数据输入窗口的“标准支承式支座”选项卡。该窗口包含以下输入项：

- 标准支承式支座** (已选中) / 衬里容器
- 支座型式**: A型 / B型 (选中)
- 支座号**: [下拉菜单]
- 支座数量n(个)**: [输入框]
- 筋板宽度b2(mm)**: [输入框]
- 筋板厚度 δ_2 (mm)**: [输入框]
- 筋板材料**: [下拉菜单]
- 筋板材料许用应力(MPa)**: [输入框]
- 底板宽度b1(mm)**: [输入框]
- 底板长度l1(mm)**: [输入框]
- 底板厚度 δ_1 (mm)**: [输入框]
- 底板材料**: [下拉菜单]
- 底板材料许用应力(MPa)**: [输入框]
- 支座高度h(mm)**: [输入框]
- 垫板厚度 δ_3 (mm)**: [输入框]
- 钢管外径 d_2 (mm)**: [输入框]
- 钢管厚度 δ_2 (mm)**: [输入框]
- 钢管材料**: [下拉菜单]
- 钢管材料许用应力(MPa)**: [输入框]
- 钢管地脚螺栓圆直径Dr(mm)**: [输入框]
- 地脚螺栓中心距容器中心线距离 s_2 (mm)**: [输入框]
- 支座本体允许载荷[Q](kN)**: [输入框]
- 非标准支承式支座本体允许载荷计算** (按钮)
- 由容器封头限定的B型支座的允许垂直载荷[P](kN)**: [输入框]
- 按附录B查取椭圆封头上B型支座的允许垂直载荷** (按钮)

图 6.20 支承式支座数据输入

图 6.21 展示了“标准支座选择”窗口。该窗口包含以下输入项：

- 支座类型**: [下拉菜单]
- 支座号**: [下拉菜单]
- 公称直径DN(mm)**: [下拉菜单]
- 支座本体材料**: [下拉菜单]
- 支座材料许用应力(MPa)**: [下拉菜单]
- 确定** (按钮)
- 取消** (按钮)

图 6.21 标准支承式支座选择图

图 6.22 展示了“B型支承式支座处标准椭圆封头的...”窗口。该窗口包含以下输入项：

- 支座号**: [下拉菜单]
- 公称直径DN(mm)**: [下拉菜单]
- 封头材料许用应力(MPa)**: [输入框]
- 标准椭圆封头有效厚度(mm)**: [输入框]
- 确定** (按钮)
- 取消** (按钮)

图 6.22 耳式支座处壳体允许弯矩

6.4.3.3 计算结果说明

程序按“安装工况”、“操作工况”、“液压试验工况”三种工况分别对 A、B 型支承式支座承受的实际载荷和 B 型支承式支座由容器封头限定的允许垂直载荷进行计算和校核。

在确定支承式支座设备总高度时，对于不同的封头形式，程序通过计算得到了支座的安装高度，在与附录 C 中的表 C.1 和 C.2 中标准椭圆封头上支座安装高度数据比较后，其误差均在可接受范围内。

其余未见说明参见 6.4.2.3 节。

6.4.4 刚性环支座

6.4.4.1 计算功能

刚性环支座的计算按照公称直径 DN 及 NB/T47065.5-2018《容器支座第五部分：刚性环支座》（以下简称“NB47065.5”）附录 A 及附录 B 规定的方法来计算刚性环支座承受的反力 F_b ，并按照 $F_b \leq [W]$ 进行校核；以及刚性环支座承受的外力矩 M_0 ，并按照 $M_0 \leq [M_0]$ 进行校核。另外，用户也可选择按 HG/T20582-2020《钢制压力容器强度计算规范》中的“带刚性环耳式支座的设计和计算”的方法进行计算。

6.4.4.2 输入数据说明

对于“刚性环支座”，如图 6.23，当用户选用 NB47065.5 中表 3~表 4 的刚性环支座时，此时可选中“标准刚性环支座”，如图 6.24，用户可通过选择“支座类型”和“公称直径”，此时相应的刚性环支座结构参数可显示在界面上。

关于“刚性环支座”的计算，软件提供了两种计算方法：即 NB/T47065.5 和 HG/T20582 标准中的方法，用户可选择其一进行计算。如计算标准中选择“HG/T20582”，此时还需输入“刚性环厚度”、“支座高度 H”、“刚性环材料许用应力”。“支耳数量”、“支座位置”，用户可根据工程实际进行输入。“容器底部到刚性环支座底板下表面的距离”需输入（对于夹套容器，还需确定支座在“内筒体上”还是“夹套筒体上”）以便确定支座在容器上的位置。对于非标准刚性环支座，用户需自行输入相关结构参数。



图 6.23 展示了“刚性环支座数据输入”的界面。该界面包含以下输入项：

- ☒ 标准刚性环支座
- 刚性环支座型式：
 - ☒ A型
 - ☐ B型
- 支耳数量 n (个):
- 支座位置：
 - ☒ 内筒体上
 - ☐ 夹套筒体上
- 计算标准：
 - ☒ NB/T 47065.5
 - ☐ HG/T 20582
- 框架高度 H_b (mm):
- 容器底部到刚性环支座底板下表面(基础上表面)的距离 H_c (mm):
- 支座垫板名义厚度 δ_b (mm):
- 底板外缘到底环外缘的距离 L (mm):
- 底环宽度 b (不含垫板) (mm):
- 螺栓孔中心至底板外缘距离 S_1 (mm):
- 支座允许承受的最大竖向载荷 $[W]$ (kN):
- 支座允许承受的最大外力矩 $[M_0]$ (kN.m):
- 刚性环厚度 (mm):
- 支座高度 H (mm):
- 刚性环材料许用应力 (MPa):

图 6.23 刚性环支座数据输入

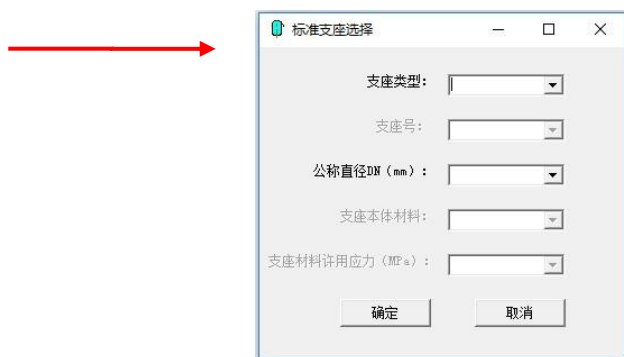


图 6.24 标准刚性环支座选择

6.4.4.3 计算结果说明

对于依据“NB/T47065.5”的计算，程序按“安装工况”、“操作工况”、“液压试验工况”三种工况分别对刚性环支座承受的支座反力 F_b 和由水平地震作用、风载荷、附加外力引起的外力矩 M_0 进行计算和校核。如果用户无法正确输入“支座允许承受的最大外力矩 $[M_0]$ ”，此时用户可利用 WRC537 的方法等进行局部应力计算和校核。

对于依据“HG/T20582”的计算，程序按“安装工况”、“操作工况”、“液压试验工况”三种工况分别计算了支座处的应力、两支座中间处刚性环组合断面上的应力，并分别对两者进行校核。

其余未见说明参见 6.4.2.3 节。

七、固定管板换热器

7.1 固定管板换热器计算

7.1.1 计算功能

固定管板换热器设计主窗口如图 7.1 所示。本程序按照 GB/T 150-2024、GB/T 151-2014、JB 4732-1995 和 GB/T 16749-2018 的有关章节进行计算，包括了以下零部件的计算：

- 1) 筒体在壳程压力作用下的强度或刚度计算；
- 2) 固定管板的强度计算和校核，换热管的强度、刚度计算和校核和换热管和管板拉脱力的计算和校核；
- 3) 前、后端管箱筒体及封头在管程压力作用下的强度或刚度计算；
- 4) 筒体法兰和管箱法兰的强度计算；
- 5) 开孔补强计算；
- 6) 膨胀节的强度、刚度和疲劳寿命的计算；
- 7) 分程隔板的计算；
- 8) 换热管束振动的计算。

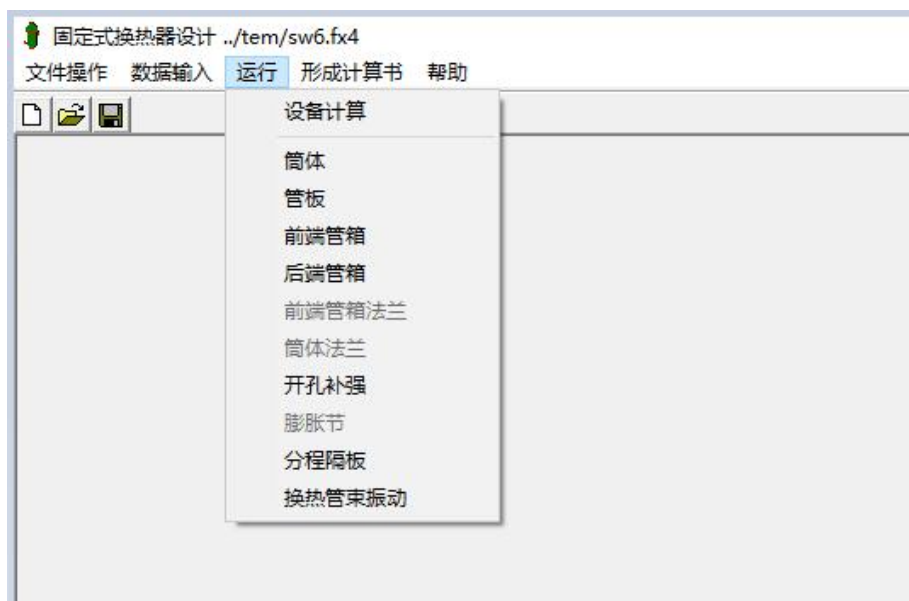


图 7.1 固定管板换热器设计主窗口

管板、换热管、膨胀节和管壳程筒体计算时考虑了腐蚀前、后两种工况。

对于壳程筒体以及前、后管箱筒体的厚度，除了能进行强度校核或厚度设计外，还能按 GB/T 151-2014 中的规定对壳程筒体所需要最小厚度进行检查。

用户在单击图 7.1 所示设计主窗口“运行”菜单的“管板”按钮后，程序将检查管板计算中所需要的筒体和管箱的一些参数是否已输入。如还没有输入，则会出现筒体或管箱的数据输入对话框以要求用户进行输入。

所有零部件都可单独进行计算，形成计算书；也可选择数个或全部模块进行设备级运算。单击“运行”菜单中“设备计算”后由程序进行整个设备的设计计算。唯有进行设备计算以后，才能输出设备级的计算书。

7.1.2 输入参数说明

对于固定管板换热器，其“主体设计参数”不等同于图 4.1，具体见图 7.2。需要注意的是，对于“沿筒体长度平均温度”和“换热管沿长度平均温度”，用户可根据工程实际经验或者通过换热计算得到。

主体设计参数

壳程设计压力 (MPa):

管程设计压力 (MPa):

壳程设计温度 (°C):

管程设计温度 (°C):

沿筒体长度平均温度 (°C):

换热管沿长度平均温度 (°C):

壁厚计算基准:

☒ 以内径为基准 ☐ 以外径为基准

换热器壳程筒体内径 (mm):

壳程试验压力 (MPa):

管程试验压力 (MPa):

壳程压力试验类型

☒ 液压试验 ☐ 气压试验

管程压力试验类型

☒ 液压试验 ☐ 气压试验

壳程工况属性

☒ 长期工况 ☐ 短期工况

管程工况属性

☒ 长期工况 ☐ 短期工况

图 7.2 主体设计参数

“管板”、“膨胀节”和“分程隔板”的参数输入可分别参照 7.2、7.3 及 7.4 节的内容。管箱的数据输入包括管箱筒体和管箱封头的计算，其注意事项参见筒体及封头数据输入的说明。根据具体的换热器结构及前、后端管箱的区别，管箱数据输入对话框会自动显示或提示用户输入壳程或管程的设计参数。需要注意的是，当用户选择平盖作为管箱封头时，还需确定管箱中有无分程隔板。前端管箱筒体或法兰材料在设计温度下的弹性模量：对于“e 型”连接方式，当前端管箱法兰采用长颈对焊法兰时，应输入法兰材料的弹性模量；其它情况均应输入前端管箱筒体材料的弹性模量。其余零部件的数据输入及计算可参见有关章节的说明。

7.2 管板计算

7.2.1 计算功能

本模块适用于管板延长兼作法兰和不带法兰固定式管板的设计和校核。在进行管板强度计算的同时，对换热管的强度、刚度、轴向应力以及拉脱力进行校核。

管板可以按照 GB/T151-2014 或 JB4732-1995 附录 I 中的内容进行计算。当选择按照 GB/T151-2014 进行计算时，本模块同时考虑“只有壳程压力作用”、“壳程压力和温差同时作用”、“只有管程压力作用”、“管程压力和温差同时作用”、“壳程压力和管程压力同时作用”

和“壳程压力和管程压力以及温差同时作用”六种工况，计算管板弯曲应力和剪应力、换热管和壳体应力、以及法兰应力和拉脱力。当用户选择按照 JB4732-1995 进行计算时，则用户可以通过图 7.3 所示对话框的“计算工况”复选框，从这六种工况中任意选择一种或几种作为计算工况，计算管板布管区应力和环形板应力、换热管应力以及法兰应力和拉脱力。JB4732-1995 的方法主要针对超出 GB/T151-2014 ($k>1$) 适用范围的固定管板和两种薄管板的固定管板结构，给出了进行设计计算的补充手段。另外，对于 $k\leq 1$ 的“b 型”、“c 型”和“e 型”管板结构，JB4732-1995 的方法也能计算。对于两种计算方法，程序均考虑了腐蚀前和腐蚀后两种工况，并分别加以了计算。

选择 GB/T151-2014 的方法，还可对“整体式双管板”、“连接式双管板”和“分离式双管板”三种结构形式的双管板进行计算。在双管板计算模型中，本程序作了以下假设：

(1) 内管板与管子的连接形式默认为胀接（开槽胀接，或不开槽胀接）；

(2) 内管板的形式默认为 b 型；

(3) 外管板计算模型中其长度取为 2 倍的隔离腔长度，换热管受压失稳当量长度取 1/2 的隔离腔长度；

(4) “整体式双管板”隔离腔材料取内管板材料，“连接式双管板”隔离腔材料由用户自行输入；隔离腔筒体厚度均由用户输入。

(5) 整体管板计算时，其材料取外管板材料，管子与管板连接方式也同外管板，且不考虑胀接或焊接最小值要求。

本模块中换热管类型提供了“光管”和“波纹管”两种结构。波纹管热交换器的管板是根据 GB/T151-2014 附录 K 的方法进行计算校核。用户在使用过程中需要注意其适用范围。

同时，程序还分别按管程压力作用、壳程压力作用、水压试验工况等三种工况，对换热管本身进行了校核。

如果用户不输入管板厚度，本模块对管板进行设计计算；否则，程序对管板强度进行校核。建议在管板计算之前，先进行壳程圆筒，管程圆筒，管箱法兰（带法兰）的计算。

另外，考虑到实际工程中有时需要对壳程圆筒采用局部加厚、分段设计，此时程序会对端部筒体和中间筒体分别进行轴向力的计算和校核。

7.2.2 输入参数说明

管板数据输入对话框见图 7.3 和图 7.4。

如果按照 GB/T151-2014 进行计算，“管板形式”可选“b 型”、“c 型”及“e 型”三种；如果按照 JB4732-1995 进行计算，“管板形式”可选“b 型”、“c 型”、“e 型”、“平齐焊薄管板”及“贴面焊薄管板”五种。当用户选择“管板形式”为“e 型”时，程序会提示用户在管板计算前，需输入与该管板连接的法兰数据，同时“管板与管板法兰厚度之差值”和“管箱法兰材料在设计温度下的弹性模量”将出现在图 7.4 的右下方等待用户输入。其中“管板与管板法兰厚度之差值”是指管板中心部分厚度与法兰厚度之差值。“管箱法兰材料在设计温度下的弹性模量”程序会自动查找并显示，此时用户需要进入管箱法兰数据输入对话框进行数据输入，如用户此前已进行管箱法兰计算，则不必再输入该数据。在进行管板计算之前，必须保证管箱法兰数据已经输入，否则程序将不能进行计算。当用户选择“管板形式”为“c 型”时，此时用户还需输入管板凸缘部分外径。

当“壳程侧结构开槽深度”、“管程侧分层隔板槽深度”、“壳程侧管板腐蚀裕量”及“管程侧管板腐蚀裕量”不输入值时，程序默认为 0。

“管板分程处面积”是指在布管区范围内，因设置分程隔板和拉杆结构的需要，而未能被换热管支承的面积，用户可根据 GB/T151-2014 的 7.4.8.1 节计算后自行输入。

管板数据输入

管板结构类型 | 单管板设计数据 | 换热管设计数据 |

管板结构类型

☒ 单管板 ☐ 连接式双管板

☐ 整体式双管板 ☐ 分离式双管板

计算方法

☒ 按GB/T151-2014 ☐ 按JB4732-1995

计算工况:

☒ P_s ☒ P_t+T

☒ P_s+T ☒ P_s+P_t

☒ P_t ☒ P_s+P_t+T

换热管类型

☒ 光管 ☐ 波纹管

介质特性

☒ 介质无害

☐ 介质易燃、易爆、有毒

膨胀节设置选择

☐ 无膨胀节

☒ 设置无加强形膨胀节

☐ 设置加强形膨胀节

☐ 设置Ω形膨胀节

☐ 设置带直边环向对接接头单层膨胀节

注: 若设置膨胀节, 则计算管板前先输入膨胀节数据或输入以下的膨胀节刚度

膨胀节刚度 K_{ex} (N/mm):

膨胀节波高 (mm):

图 7.3 管板数据输入 (1)

管板数据输入

管板结构类型 | 单管板设计数据 | 换热管设计数据 |

管板形式

☐ b型 ☐ c型 ☒ e型

注: 在管板计算前, 需输入与该管板连接的法兰数据

管板分程处面积 (mm^2):

壳程侧结构开槽深度 (mm):

管程侧分程隔板槽深度 (mm):

管板名义厚度 (mm):

壳程侧管板腐蚀裕量 (mm):

管程侧管板腐蚀裕量 (mm):

管板材料类型

☒ 板材 ☐ 锻件

管板材料:

管板材料在设计温度下的
许用应力 (MPa):

管板材料在设计温度下的
弹性模量 (MPa):

管板与管板法兰厚度之差
值 (mm):

管箱法兰材料在设计温度
下弹性模量 (MPa):

e 型

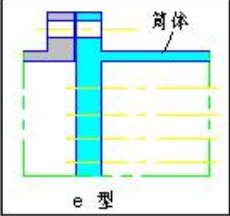


图 7.4 管板数据输入 (2)

“管箱法兰数据输入”参见“法兰数据输入”的说明。

“管板设计数据输入（1）”中的其它参数如“管板材料”、“管板材料在设计温度下许用应力”、“管板材料在设计温度下弹性模量”等参数的输入方法可参考 4.1.3 中的相关内容。换热管设计数据以及与管板的连接数据的输入在下一页进行，只有换热管的数据也输入以后才能进行计算。

换热管数据输入对话框见图 7.5。当用户选择了波纹管时，还需输入波纹管的结构参数，具体可参见 GB/T 151 -2014 附录输入。需要注意的是，波纹管轴向单波刚度 K_1 的单位，程序要求输入的是 N/mm，而标准中给出的则是 kN/mm，需要相应的转换。

图 7.5 换热管数据输入

对于固定管板换热器来说，换热管根数太少，将在计算时使 k 值大于 1.0 而无法按 GB/T151-2014 的方法进行计算。

“换热管材料”的选择方法可参考 4.1.3 中的材料选择。

换热管材料在设计温度下的许用应力、屈服强度、弹性模量及其在平均温度下的弹性模量和线胀系数，这些参数的选取类同于 4.1.3 中“材料在设计温度下许用应力”等参数的选取。

“换热管与管板连接形式”默认为开槽胀接，用户可选择其它的连接形式。则除了拉脱力应不超过许用拉脱力之外，如是焊接，则焊脚高度不应小于 1 倍的换热管厚度，如是胀接，胀接长度还应至少取下列值中的小值：（1）管板厚度减去 3mm；（2）50mm；另外，如果用户选择了“一端内孔焊”，则需输入换热管环向焊接接头系数。

对于双管板内管板的连接形式只有“开槽胀接”和“不开槽胀接”两种形式供用户选择。

“换热管受压失稳当量长度”按 GB/T151-2014 图 7-2 规定输入。

对于双管板计算，用户需分别输入内、外管板的设计数据。三种形式的双管板都需要输入内、外管板的金属温度以及隔离腔的长度；“整体式双管板”和“连接式双管板”两种结构还需分别输入隔离腔的压力、厚度、腐蚀余量、材料及其性能参数等。

管板数据输入

管板结构类型 | 外管板设计数据 | 内管板设计数据 | 换热管设计数据 | 隔离腔筒体数据

内管板金属温度 (°C):

外管板金属温度 (°C):

隔离腔压力 (MPa):

隔离腔长度 (mm):

隔离腔筒体厚度 (mm):

隔离腔筒体设计温度下许用应力 (MPa):

隔离腔筒体材料在平均温度下弹性模量 (MPa):

隔离腔筒体材料在平均温度下线胀系数 (1/°C):

隔离腔筒体腐蚀裕量 (mm):

隔离腔筒体材料类型

☒ 板材 ☐ 管材 ☐ 锻件

隔离腔筒体材料:

图 7.6 隔离腔筒体数据

用户如果选择设置膨胀节，对于无加强 U 形、加强 U 形、Ω 形或带折边环向对接接头单层膨胀节，可直接输入膨胀节的刚度和波高（这时不需输入膨胀节的其它参数），即可进行管板计算；也可进入膨胀节数据输入对话框输入该膨胀节的有关参数后再进行管板计算。

7.3 膨胀节的计算

膨胀节计算时需考虑腐蚀前、后两种工况，同时还需考虑了“壳程压力单独作用”、“管程压力单独作用”、“管壳程压力同时作用”三种工况，程序兼顾了上述的组合工况。

7.3.1 无加强 U 形波纹管

7.3.1.1 计算功能

无加强 U 形波纹管的计算按照 GB/T16749-2018（以下简称“GB16749”）中的内容进行。适用于承受内压或外压、ZX 单、多层及 ZD 单层的无加强 U 形波纹管的校核计算。程序可计算出压力和轴向位移引起的波纹管、套箍上的周向及子午向薄膜应力和弯曲应力值，并对各项应力及其组合值进行强度校核。对于奥氏体不锈钢、镍及镍基合金等耐蚀合金材料波纹管，当子午向总应力校核不合格时，还需进行疲劳寿命校核。同时，程序还对单波及整体轴向弹性刚度值进行计算。此外，程序还分别对柱失稳、蠕变温度以下平面失稳的极限设计内压进行计算和校核。

对于外压工况下的波纹管承载能力计算，除上述应力和疲劳寿命的计算和校核外，程序还对波纹管及其相连接的设备壳体或端管进行周向稳定性校核。

7.3.1.2 输入参数说明

无加强 U 形波纹管数据输入对话框见图 7.7、图 7.8、图 7.9。

图 7.7 波纹管数据输入

在图 7.7 中，对于膨胀节类型，按 GB16749 规定给出四种结构形式。用户选定某种类型后，在此页中会高亮出此结构计算需输入的参数，而不参与此结构计算的参数会灰掉。以下就以“无加强 U 形波纹管”数据为例，逐一介绍此页中需输入的参数，在后面的三种结构类型中此页的参数输入就不再介绍。

波纹管材料可选择碳素钢、低合金钢、奥氏体不锈钢、镍和镍合金及耐蚀合金等，波纹管材料在设计温度下的许用应力、屈服强度、弹性模量及其在常温下的弹性模量、屈服强度，这些参数的输入方法可参考材料章节的相关内容。对于“波纹管在设计温度下的实际屈服强度”，可根据制造厂提供的实际数据，或者参照 ASME 的规定进行输入，此时程序会根据此值进行波纹管平面失稳计算。但如果用户不输入此值时，需输入“质量证明书中波纹管材料常温下的屈服强度”，此时程序会根据 GB16749 的方法计算得实际屈服强度。

“波纹管纵向焊接接头系数”可参照 GB16749 的 4.3.2 节输入；“波纹管焊接接头高温强度降低系数”可参照 GB16749 的 4.3.3 节输入。

“波纹管材料形态”、“波纹管成形方法”和“波纹管焊接方式”，用户根据工程实际进行选择。

在“膨胀节计算参数”中要求用户输入膨胀节的总轴向力或总轴向位移,然后才可以进行计算。对于轴向位移,拉伸输入正值,压缩输入负值。如果在进行膨胀节计算之前,已经进行了管板计算,那么膨胀节的总轴向力或者总轴向位移会有一默认值,该值由管板计算过程中得到,建议用户就用该值进行膨胀节的计算。由于“膨胀节总轴向力”等在未计算管板前,用户无法准确输入,故现在对“膨胀节总轴向力”、“膨胀节总轴向位移”都进行灰处理,用户不能选择和输入。因此,对于膨胀节的计算,需和管板一起进行设备计算,不再能单独计算。

对于波纹管材料为奥氏体不锈钢、镍和镍合金及耐蚀合金等时,需输入“波纹管疲劳寿命安全系数 n_f ”和“波纹管操作疲劳寿命 N_d ”,详见 GB16749 中的有关规定。其中 n_f 应大于等于 15。如膨胀节选用自定义材料数据库中的材料且需要进行疲劳寿命计算时,用户需打开 data 目录下的 Austenite.txt 文件,依次输入材料名和序号(0/1/2/3),这里的序号 0/1/2/3 分别指:0=无需进行疲劳寿命校核材料;1=奥氏体不锈钢、耐蚀镍合金及镍-铬合金;2=耐蚀镍-钼-铬合金;3=耐蚀镍-铬合金。

“波纹管直边段长度”、“波纹管材料的层数”、“波纹管一层材料的名义厚度”、“波纹管成形后一层材料名义厚度”、“波纹管腐蚀裕量”、“波纹管波数”、“波纹管波距”、“波纹管波高”、“U 形波纹管波峰内壁曲率半径”、“U 形波纹管波峰外壁曲率半径”这些参数的输入可参照 GB16749 中的有关规定。其中“波纹管成形后一层材料名义厚度”可以输入也可不输入,当不输入时,程序会按照 GB16749 中的计算公式确定。

图 7.8 无加强 U 形波纹管数据输入

“直边段套箍的长度”、“直边段套箍材料的名义厚度”这些参数的输入可参照 GB16749 中的有关规定。“套箍纵向焊接接头系数”可参照 GB16749 的 4.3.2 节输入，“套箍焊接接头高温强度降低系数”可参照 GB16749 的 4.3.3 节输入。当无套箍时，上述数据可以不输入。

另外，当为外压计算时，还需输入“壳体或端管的名义厚度”和“壳体或端管材料设计温度下的弹性模量”，用来计算波纹管截面 1-1、2-2 的惯性矩，以便完成波纹管周向稳定性校核。

图 7.9 套箍数据输入

7.3.1.3 计算结果说明

对于内压或者外压无加强 U 形波纹管，均需计算压力引起的波纹管及其直边段的周向薄膜应力、波纹管子午向薄膜应力和弯曲应力，还有位移引起的波纹管子午向薄膜应力和弯曲应力。在校核时，对各周向薄膜应力需单独校核，但对子午向薄膜应力和弯曲应力需组合后进行校核。即需校核压力引起的波纹管子午向薄膜应力+弯曲应力、压力和位移引起的子午向总应力。如果该子午向总应力校核不合格，对于碳素钢、低合金钢材料波纹管即判定为不合格，而对于奥氏体不锈钢、镍及镍合金等耐蚀合金材料波纹管，还需进行疲劳寿命校核后再确定波纹管强度是否合格。

对于内压 U 形波纹管，还需计算和校核压力引起的直边段套箍的周向薄膜应力。除上述强度校核外，还对波纹管两端固支条件下的柱失稳、蠕变温度以下平面失稳进行了校核。

对于外压 U 形波纹管，除上述应力和疲劳寿命校核外，还对波纹管截面对 1-1、2-2 的惯性矩进行了计算，并据此对波纹管及其未加支撑的直边段进行了外压周向稳定性校核。

7.3.1.4 注意事项

对于 U 形波纹管，还需满足以下设计要求（程序会对已经输入且参与计算的结构尺寸参数进行检查，对于未输入的结构参数会在计算书中的注中给出提示）：

(1) 波纹长度 L_b 与波纹管直边段内直径 D_b 满足： $L_b/D_b \leq 3$ ；

(2) 层数 n 、总厚度 nt 应满足：

a) ZX 型： $n \leq 5$ 、 $nt \leq 10\text{mm}$ ；

b) ZD 型： $n=1$ 、 $nt \leq 30\text{mm}$ 。

此外，波纹管设计温度不能超过其材料的蠕变温度，否则 GB16749 的计算方法不适用。

7.3.2 加强 U 形波纹管

7.3.2.1 计算功能

加强 U 形波纹管的计算按照 GB16749 中的内容进行。适用于承受内压或外压、ZX 单层或多层的加强 U 形波纹管的校核计算。程序可计算出压力和轴向位移引起的波纹管、套箍、加强件、紧固件等上的薄膜应力和弯曲应力值，并对各项应力及其组合值进行强度校核。对于奥氏体不锈钢、镍及镍基合金等耐蚀合金材料波纹管，当子午向总应力校核不合格时，还需进行疲劳寿命校核。同时，程序分别按操作条件下柱稳定性和试验条件下中性位置，对单波及整体轴向弹性刚度值进行计算。此外，程序还分别对柱失稳的极限设计内压进行计算和校核。

对于承受外压的加强 U 形波纹管的计算按无加强 U 形波纹管结构和方法计算。

7.3.2.2 输入参数说明

加强 U 形波纹管数据输入对话框见图 7.10、图 7.11、图 7.12。

图 7.10 加强 U 形波纹管数据输入

“从波纹管连接环向焊接接头到第一个波中心的长度”，用户可参照图示输入，此值用来计算压力引起的波纹管直边段和套箍的周向薄膜应力。

“一个直边段套箍的金属横截面积”、“每个套箍所均布的筋板数量”、“直边段套箍相对于中性轴在径向的抗弯截面模量”等数据可参照 GB16749 输入。“直边段套箍截面形状系数”用户可根据实际自行输入，也可点击“常用直边段套箍截面形状系数 K_s 计算”，根据 TEMA 标准上给出的 10 种常用截面形状及其对应的结构参数由程序计算得，见图 7.12。

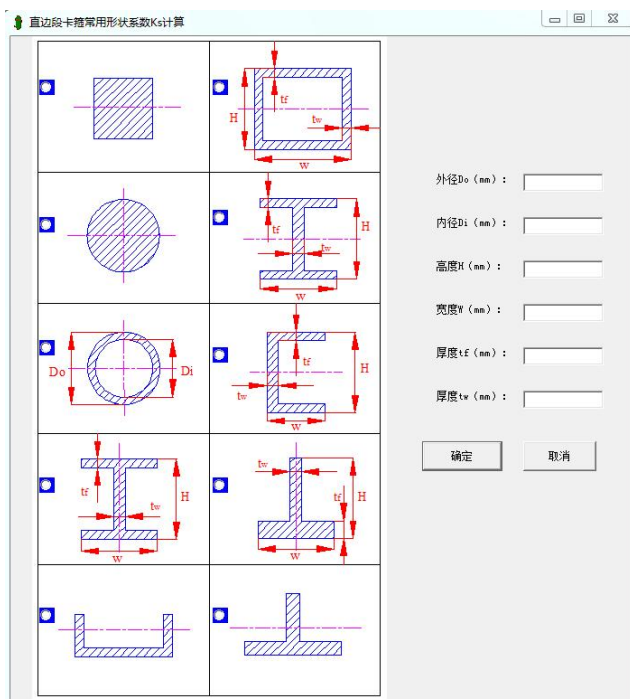
“加强环名义厚度”、“一个加强环的金属横截面积”可参照 GB16749 中的有关规定进行输入。当“加强件连接形式”选择了“与紧固件相连的加强件”时，还需输入紧固件的相关结构和材料参数。“一个紧固件的有效长度”、“一个紧固件的金属横截面积”可参照 GB16749 中的有关规定进行输入。

其余数据输入参见 7.3.1.2 节。

The screenshot shows the '数据输入' (Data Input) window with the following sections and highlighted areas:

- 波纹管数据输入** (Wave Pipe Data Input): Includes fields for straight edge reinforcement ring length L_c (mm), material nominal thickness t_c (mm), metal cross-sectional area A_{tc} (mm²), material, design elastic modulus E_c^t (MPa), design stress $[\sigma]_c^t$ (MPa), longitudinal weld joint coefficient Φ_c , and high-temperature reduction coefficient w_c .
- 套箍、加强环、紧固件、端管数据输入** (Reinforcement Ring, Reinforcement Piece, Fastener, End Pipe Data Input):
 - 直边段套箍** (Straight Edge Reinforcement Ring): Includes fields for material, design elastic modulus E_c^t (MPa), design stress $[\sigma]_c^t$ (MPa), longitudinal weld joint coefficient Φ_c , high-temperature reduction coefficient w_c , number of ribs n_c , resistance to bending Z_c (mm³), and shape coefficient K_s . A red box highlights the button '常用直边段套箍截面形状系数Ks计算'.
 - 加强环** (Reinforcement Ring): Includes fields for nominal thickness t_r (mm), length L_r (mm), metal cross-sectional area A_r (mm²), material type (plate, pipe, forging), material, design elastic modulus E_r^t (MPa), design stress $[\sigma]_r^t$ (MPa), longitudinal weld joint coefficient Φ_r , and high-temperature reduction coefficient w_r . A red box highlights the '与紧固件相连加强件' (Reinforcement piece connected to fastener) option under '加强件连接形式'.
 - 紧固件** (Fastener): A large red box highlights this section, including fields for nominal diameter, root diameter (or rod diameter), material, design elastic modulus E_f^t (MPa), design stress $[\sigma]_f^t$ (MPa), effective length L_f (mm), and metal cross-sectional area A_f (mm²).
 - 端管** (End Pipe): Includes fields for material type (plate, pipe, forging), material, design elastic modulus E_p^t (MPa), design stress $[\sigma]_p^t$ (MPa), longitudinal weld joint coefficient Φ_p , and high-temperature reduction coefficient w_p .

图 7.11 套箍、加强件、紧固件等数据输入

图 7.12 直边段卡箍常用形状系数 K_s 计算

7.3.2.3 计算结果说明

对于内压加强 U 形波纹管，其应力和疲劳寿命的计算和校核同无加强 U 形波纹管。除此之外，还增加了压力引起加强件和紧固件的薄膜应力的计算和校核。除上述强度校核外，还对波纹管两端固支条件下的柱失稳进行了校核。

对于外压加强 U 形波纹管，也是按无加强 U 形波纹管的结构和计算方法进行。

7.3.2.4 注意事项

同 7.3.1.4 节。

7.3.3 Ω 形波纹管

7.3.3.1 计算功能

Ω 形膨胀节的设计按 GB16749 中规定的内容进行。本部分的计算适用于受内压作用的 Ω 形膨胀节。对内压力引起的子午向、环向薄膜应力和弯曲应力以及膨胀节轴向位移引起的子午向薄膜应力和弯曲应力进行计算和校核。对于奥氏体不锈钢、镍、镍合金材料波纹管，当内压和轴向位移同时作用下的合成应力校核不合格时，按标准规定，还将进行疲劳寿命校核。

7.3.3.2 输入参数说明

Ω 形膨胀节数据输入的第一个对话框见图 7.13。

在该对话框中，除了“ Ω 形波纹管波纹开口最大距离 L_0 ”和“ Ω 形波纹管的波纹平均半径 r ”外，其他数据的输入可参考 7.3.1.2 节和 7.3.2.2 节的说明。 Ω 形波纹管的这两个输入数据的含义可见图示，要注意的是 r 是指平均半径。

Ω 形膨胀节数据输入的第二个对话框见图 7.14。

考虑到制造的可行性，程序默认直边段套箍材料类型为板材。当膨胀节设计温度高于 427 度时才需要考虑套箍焊接接头高温强度降低系数，该系数的取值应按 GB16749 中表 3 的规定。由于 Ω 形波纹管相接的套箍其截面形状不甚规则，故该截面相对于图示中的中性轴的抗弯截面模量也需要用户输入。

Ω 形波纹管与壳程筒体的连接有内焊与外焊两种形式，端管是指壳程筒体与波纹管连接处的部分，对于内焊连接形式的波纹管，需要校核端管的周向薄膜应力，故需要输入有关端管的数据，包括厚度、材料类型、材料名、材料在设计温度下的许用应力、焊接接头系数以及高温强度降低系数。

图 7.13 Ω 形膨胀节数据输入（一）

图 7.14 Ω 形膨胀节数据输入（二）

Ω 形膨胀节所用的加强环总是通过纵向焊缝进行焊接而成。因此，除了需要输入截面尺寸、材料性能数据外，还要输入焊接接头系数以及焊接接头的高温强度降低系数。

7.3.3.3 计算结果说明

除了需要对波纹管及其直边段在内压作用下的周向薄膜应力进行计算和校核外，外焊波纹管需要对与其连接的套箍计算和校核内压作用下的周向薄膜应力和弯曲应力；而对于内焊波纹管需对其计算和校核内压作用下的周向薄膜应力。

位移引起的波纹管中子午向薄膜应力和弯曲应力不单独校核，而是将它们与压力引起的子午向薄膜应力组合后进行评定。如该组合应力评定不合格，则碳钢、低合金钢制波纹管即判定为不合格；而对于奥氏体不锈钢、镍、镍合金材料波纹管，需要进行疲劳分析后再确定波纹管强度是否合格。

对于 Ω 形膨胀节除进行强度校核外，还对内压作用下按波纹管两端固支条件下的柱失稳进行了校核。

7.3.4 带直边环向对接接头单层膨胀节

7.3.4.1 计算功能

带直边环向对接接头单层膨胀节的计算按照 GB16749 中的内容进行，适用于带直边环向对接接头单层膨胀节的校核计算。程序可计算出压力和轴向位移引起波纹管、套箍等的薄膜应力和弯曲应力值、轴向弹性刚度值和极限设计内压值，并对各项应力的组合值进行强度校核。

7.3.4.2 输入参数说明

带直边环向对接接头单层膨胀节的输入参数，可参见 7.3.1.2 无加强 U 形波纹管输入参数说明。此外，还需输入波峰环向对接接头直边长度、波谷环向对接接头直边长度，见图 7.15。如果用户没有输入这两个参数，程序将根据 GB16749 第 30 页的公式 87、88 进行计算；如果用户输入值不满足公式 87、88 的要求，程序将给出提示信息并终止运行。

膨胀节数据输入

波纹管数据输入 | 带直边环向对接接头单层膨胀节数据输入 | 套筒、加强环、紧固件、接管数据输入

波纹管直边段长度 L_t (mm):

波纹管材料的层数 n :

波纹管一层材料的名义厚度 t (mm):

波纹管成形后一层材料的名义厚度 t_p (mm):

波纹管腐蚀裕量:

波纹管波数 N :

波纹管波距 q (mm):

波纹管波高 h (mm):

U型波纹管波峰内圆半径 r_{ic} (mm):

U型波纹管波谷外圆半径 r_{ir} (mm):

从波纹管连接环向焊接接头到第一个波中心的长度 L_d (mm):

Ω型波纹管波峰开口最大距离 L_o (mm):

Ω型波纹管的波峰平均半径 r (mm):

波峰环向对接接头直边长度 m_i (mm):

波谷环向对接接头直边长度 m_e (mm):

图 7.15 带直边环向对接接头单层膨胀节数据输入

图 7.15 带直边环向对接接头单层膨胀节数据输入

7.3.4.3 计算结果说明

对于带直边环向对接接头单层膨胀节，需计算压力引起的波纹管及其直边段的周向薄膜应力、波纹管子午向薄膜应力和弯曲应力，还有位移引起的波纹管子午向薄膜应力和弯曲应力。在校核时，对各周向薄膜应力需单独校核，但对子午向薄膜应力和弯曲应力需组合后进行校核。即需校核压力引起的波纹管子午向薄膜应力+弯曲应力、压力和位移引起的子午向总应力。

此外，还需计算和校核压力引起的直边段套箍的周向薄膜应力。除上述强度校核外，还对波纹管两端固支条件下的柱失稳、蠕变温度以下平面失稳进行了校核。

7.4 分程隔板的计算

分程隔板的数据输入对话框见图 7.9。

图 7.9 分程隔板数据输入

“分程隔板结构形式”，用户可具体参照 GB/T 151-2014 中的表 7-2 确定。“分程隔板两边压差”可由工艺专业提供，“腐蚀裕量”需考虑双面腐蚀的工况，“分程隔板厚度”可输入（校核），也可不输入（设计）。但需注意，如果管箱法兰计算时输入了“分程隔板截面积”致螺栓载荷需计入分程隔板垫片产生的反力的影响，则“分程隔板厚度”需输入，或者先之完成设计计算。

7.5 壳程圆筒分段时的管板计算

如图 7.10，若用户选择壳程圆筒分段结构，此时应输入端部圆筒的相关尺寸和材料数据，这里两端端部圆筒的长度、厚度、材料等均应相同。此外，还需注意，对于分段筒体，筒体长度 L 包括了两端端部圆筒的长度。对于端部筒体的厚度计算与校核，可使用零部件模块单独进行计算。

壳程圆筒分段设计时，应满足 GB/T151-2014 的 7.4.6.5 节的结构要求，同时程序会根据用户输入的端部和中间筒体相关数据，对参数 Q 、 α_s 进行相关调整后，再进行管板的计算。

筒体数据输入

筒体数据 | 外压圆筒设计数据 |

液柱静压力 (MPa):

筒体内径 (mm):

筒体长度 L (mm):

腐蚀裕量 (mm):

筒体名义厚度 (mm):

纵向焊缝焊接接头系数:

环向焊缝焊接接头系数:

☒ 厚度负偏差为用户输入

厚度负偏差 (mm):

材料类型:

☒ 板材

☐ 管材

☐ 锻件

材料:

设计温度下许用应力 (MPa):

常温下许用应力 (MPa):

常温下屈服强度 (MPa):

设计温度下屈服强度 (MPa):

平均温度下弹性模量 (MPa):

平均温度下线胀系数 (1/°C):

壳程圆筒结构:

☐ 圆筒不分段

☒ 圆筒分段

两端圆筒总长 (mm):

端部圆筒厚度 (mm):

端部圆筒材料:

设计温度下许用应力 (MPa):

端部圆筒平均温度下线胀系数 (1/°C):

端部圆筒平均温度下弹性模量 (MPa):

注: 对于分段筒体, 筒体长度 L 包括两端端部圆筒的长度。

图 7.10 壳程筒体数据输入

7.6 换热器管束振动计算

本部分根据 GB/T 151-2014 附录 C “流体诱发振动” 部分的内容编制。根据附录 C “流体诱发振动” 的要求，程序将分别计算卡门旋涡频率、湍流抖振频率、声频、 换热管固有频率、卡门旋涡激振及湍流抖振时换热管的振幅等参数，并根据振动判据来判断是否发生上述的振动。

7.6.1 输入数据说明

在“输入数据”菜单项中选择“换热管束振动”，弹出如图 7.11 所示的对话框。输入数据界面中，以下参数需着重说明：

1、换热管束

在“换热管束”标题下，有“该列换热管数”和“该列拉杆数”两个参数，用于计算各列换热管之间的间隙总和 b_i ，见 GB/T151-2014，P148，公式 C.31。该标题下还设置了导航控件，用户点击“新增”按钮后，界面中将新增一列换热管，“第 XX 列管热管”中将列出当前换热管的列数，用户还可以点击“<”和“>”按钮分别向前和向后浏览、编辑各列换热管的换热管数和拉杆数。需要注意的是，此处列数的顺序，是按从设备中心向边缘方向依次编号，参见 GB/T151-2014，P147，图 C.10 的 b) 布管图（该示意图右端列出了列数及对应的管数）。

对于固定管板换热器还需用户输入如图 7.12 所示的腐蚀前后管壳程及温差作用下 12 种工况的换热管轴向应力（可在完成管板计算后点击“读取轴向应力值”按钮获取）、浮头式及填函式换热器只需输入管程作用、壳程作用、管壳程同时作用下 3 种工况的换热管轴向应力。

2、消音板总厚度

对于安装消音板的换热器，在计算各列换热管之间的间隙总和 b_i 时，应在公式 C.31 的基础上再减去消音板总厚度。

3、跨距计算

同一台换热器的换热管，根据跨距系列值的不同，分为不同的几种规格。程序对每一种规格

的换热管均进行振动计算，判断其是否发生相关的振动。

对于跨距，用户可以选择由程序自动计算，此时，应将控件“用户指定跨距”的勾选去掉。程序在计算跨距时，假设两端的管板至第一块折流板间的距离是相当的，中间各折流板的间距也是相等的。在此基础上，程序再根据折流板的形式，计算出在不同部位的换热管的跨距系列值。

如果换热器的结构特殊，不满足上面的假设条件，则程序计算出的跨距系列值可能不满足实际情况，此时用户可以选择自行输入跨距。此时，应将控件“用户指定跨距”的勾选打上。此处，界面设置了导航控件，用户每次点击“新增”按钮后，输入一个新的跨距，最终输入一系列的跨距值。用户还可以点击“<”和“>”按钮分别向前和向后浏览、修改已输入的跨距值。需指出的是，当用户自行输入跨距时，每个数据文件只能输入一个规格的换热管的跨距值。如果一个换热器存在多个跨距规格的换热管，则需分多个数据文件分别输入数据来进行计算。

图 7.11 换热器管束振动（固定式、浮头式、填料函式）

换热管轴向应力

读取换热管轴向应力值

注：读取换热管轴向应力值之前，请先完成管板计算！

换热管轴向应力 (MPa):		[管板腐蚀后, 仅有壳程压力 P_s 作用, 不计温差]
换热管轴向应力 (MPa):		[管板腐蚀后, 仅有壳程压力 P_s 作用, 计温差]
换热管轴向应力 (MPa):		[管板腐蚀后, 仅有管程压力 P_t 作用, 不计温差]
换热管轴向应力 (MPa):		[管板腐蚀后, 仅有管程压力 P_t 作用, 计温差]
换热管轴向应力 (MPa):		[管板腐蚀后, 壳程压力 P_s 管程压力 P_t 同时作用, 不计温差]
换热管轴向应力 (MPa):		[管板腐蚀后, 壳程压力 P_s 管程压力 P_t 同时作用, 计温差]
换热管轴向应力 (MPa):		[管板腐蚀前, 仅有壳程压力 P_s 作用, 不计温差]
换热管轴向应力 (MPa):		[管板腐蚀前, 仅有壳程压力 P_s 作用, 计温差]
换热管轴向应力 (MPa):		[管板腐蚀前, 仅有管程压力 P_t 作用, 不计温差]
换热管轴向应力 (MPa):		[管板腐蚀前, 仅有管程压力 P_t 作用, 计温差]
换热管轴向应力 (MPa):		[管板腐蚀前, 壳程压力 P_s 管程压力 P_t 同时作用, 不计温差]
换热管轴向应力 (MPa):		[管板腐蚀前, 壳程压力 P_s 管程压力 P_t 同时作用, 计温差]

确定

图 7.12 换热管轴向应力输入（固定式）

换热管束振动

折流板厚度 (mm):

两端管板与相邻折流板的距离 (mm):

折流板间距 (mm):

折流板数量:

折流板形式:

单弓形

换热管排列方式:

正三角形

换热管束

< 第 1 列换热管 > 新增 删除

该列换热管数:

该列拉杆数:

拉杆直径 (mm):

隔板槽两侧换热管间距 (mm):

定压比热容与定容比热容的比值 γ :

管程介质密度 (kg/m^3):

壳程流体状态:

气相

壳程介质密度 (kg/m^3):

壳程介质运动黏度 (m^2/s):

壳程流量 (kg/h):

壳程介质为两相流体时, 气相和液相流体的运动黏度 γ_g 和 γ_l (m^2/s):

壳程介质为两相流体时, 气相和液相流体的密度 ρ_g 和 ρ_l (kg/m^3):

壳程介质为两相流体时, 液体在正常操作下的温度 $t^\circ\text{C}$ 和 20°C 时的表面张力 σ_t 和 σ_{20} (N/m):

壳程介质为两相流体时, 通过流通截面时气相流体和液相流体的体积流量 V_g 和 V_l (m^3/s):

U形管束

< 跨距系列 1 >

跨距 (mm):

半圆形弯管端部距相邻折流板间的距离 (mm):

弯管中心线半径 (mm):

弯管中部是否增设支撑板或支撑条

否

图 7.13 换热器管束振动（U 形管式）

对于 U 形换热管，程序不支持用户自行输入跨距的方式，而是由程序自动计算出所有规格

103

换热管的跨距系列值，并对每一规格的换热管，要求输入“半圆形弯管端部距相邻折流板之间的距离”，以及“弯管中心线半径”这两个参数值。见图 7.13。

7.6.2 计算结果

根据附录 C “流体诱发振动”的要求，程序将分别计算卡门旋涡频率、湍流抖振频率、声频、换热管固有频率、卡门旋涡激振及湍流抖振时换热管的振幅等参数，并根据振动判据来判断是否发生上述的振动。

对于固定管板换热器，对于每一种跨距的换热管，分腐蚀后和腐蚀前两种情况，各自又分为仅有壳程压力 P_s 作用（不计温差应力/计温差应力）；仅有管程压力 P_t 作用（不计温差应力/计温差应力）；壳程压力和管程压力同时作用（不计温差应力/计温差应力），因此总共 12 种工况，分别进行计算。

对于浮头式及填函式换热器，对于每一种跨距的换热管，分为仅有壳程压力 P_s 作用、仅有管程压力 P_t 作用、壳程压力和管程压力同时作用，总共 3 种工况，分别进行计算。

八、浮头式及填料函式换热器

8.1 浮头式及填料函式换热器设计计算

8.1.1 计算功能

浮头式换热器设计主窗口如图 8.1 所示。本程序按照 GB/T 150-2024 和 GB/T 151-2014 的有关章节进行计算，整个设备包括了以下零部件的设计计算：

- 1) 筒体在壳程压力作用下的强度或刚度计算；
- 2) 管板的强度，换热管轴向应力以及拉脱力的计算；
- 3) 前、后端管箱分别在管程和壳程压力作用下的强度或刚度计算；
- 4) 筒体法兰和管箱法兰的强度校核计算；
- 5) 开孔补强计算；
- 6) 浮头及其钩圈的强度计算（浮头式换热器）；
- 7) 分程隔板的计算；
- 8) 换热管束振动的计算。



图 8.1 浮头式换热器设计主窗口

对于壳程筒体的厚度，除了能进行强度校核或厚度设计外，还能按 GB/T151-2014 中的规定对壳程筒体的最小厚度加以控制。

所有零部件都可单独进行计算，也可单击“运行”菜单中“设备计算”按钮后由程序进行整个设备的设计计算。唯有进行设备计算以后，才能输出设备级的计算书。

8.1.2 输入参数说明

对于浮头式及填料函式换热器，其“主体设计参数”不等同于图 4.1，具体见图 8.2。需分别同时输入壳程和管程的主体参数。



主体设计参数对话框，包含以下输入项：

- 壳程设计压力 (MPa) :
- 管程设计压力 (MPa) :
- 壳程设计温度 (°C) :
- 管程设计温度 (°C) :
- 壁厚计算基准：
 - ☒ 以内径为基准
 - ☐ 以外径为基准
- 换热器壳程筒体内径 (mm) :
- 壳程试验压力 (MPa) :
- 管程试验压力 (MPa) :
- 壳程压力试验类型：
 - ☒ 液压试验
 - ☐ 气压试验
- 管程压力试验类型：
 - ☒ 液压试验
 - ☐ 气压试验
- 壳程工况属性：
 - ☒ 长期工况
 - ☐ 短期工况
- 管程工况属性：
 - ☒ 长期工况
 - ☐ 短期工况

图 8.2 主体设计参数

“管箱”的参数输入可分别参照 8.3 及 8.4。管箱的数据输入包括管箱筒体和管箱封头的设计计算，对于管箱封头形式只有三种最常见的“椭圆封头”、“碟形封头”、“平盖”选择，其注意事项参见筒体及封头数据输入的说明。程序根据具体的换热器结构及前、后端管箱的区别，管箱数据输入对话框会自动显示或提示用户输入壳程或管程的设计参数。其余可参见有关章节的说明。

前端管箱数据输入

管箱筒体数据输入 | 管箱封头数据输入

液柱静压力 (MPa):

筒体内径 (mm):

筒体长度 (mm):

腐蚀裕量 (mm):

筒体名义厚度 (mm):

纵向焊接接头系数:

材料:

设计温度下许用应力 (MPa):

常温下许用应力 (MPa):

常温下屈服强度 (MPa):

材料类型

☒ 板材 ☐ 管材 ☐ 锻件

☒ 厚度负偏差为用户输入

厚度负偏差 (mm):

图 8.3 管箱筒体数据输入

前端管箱数据输入

管箱筒体数据输入 | 管箱封头数据输入

液柱静压力 (MPa):

封头内径 (mm):

封头名义厚度 (mm):

焊接接头系数:

腐蚀裕量 (mm):

封头形式:

☒ 椭圆封头 ☐ 碟形封头 ☐ 平盖

封头材料类型:

☒ 板材 ☐ 锻件

材料:

设计温度下许用应力 (MPa):

常温下许用应力 (MPa):

设计温度下屈服强度 (MPa):

常温下屈服强度 (MPa):

☒ 厚度负偏差为用户输入

厚度负偏差 (mm):

封头曲面高度 h(mm):

封头直边高度 c(mm):

防止内压屈曲设计方法:

☒ 经验法 ☐ 解析法

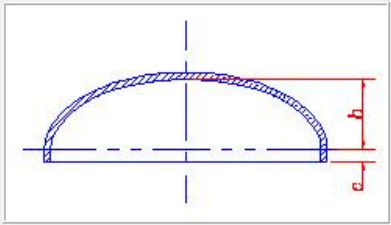


图 8.4 管箱封头数据输入

8.2 浮头式及填料函式换热器管板计算

8.2.1 计算功能

本模块按照 GB/T 150-2024 和 GB/T151-2014 的有关章节进行计算，仅适用于夹持式管板，其功能包括：

1. 可以进行管板的强度校核或厚度设计。当输入管板名义厚度及所有其它参数时，本模块将进行校核计算。校核计算的结果显示除了给出管板的结论外，不论校核合格与否，都将显示所输入参数下允许的管板最小厚度。如果输入数据不合理，计算无法继续进行，本模块将中断计算并给出简单提示，让用户修改数据。本计算所得厚度为固定端管板厚度，按 GB/T151-2014 的规定，浮动端管板厚度应不小于固定端管板厚度。
2. 计算换热管轴向应力并进行校核。
3. 计算换热管与管板连接拉脱力并进行校核。

8.2.2 输入参数说明

在单击“参数输入”菜单的“管板数据输入”后首先出现如图 8.5 所示的输入数据对话框。对该对话框中的数据输入作以下说明：

“管壳程腐蚀裕量”，“壳程侧结构开槽深度”及“管程侧隔板槽深度”如不输入，其值为 0。

材料名及材料性能数据的输入见 4.1.3 节。

在计算垫片压紧力作用中心圆直径时，未考虑活套法兰情况，并且，若管壳程两边垫片不同，应按不同的垫片数据计算两次管板厚度，取大值。

图 8.5 浮头或填函式换热器管板数据输入

该页数据输入完以后，用户还必须在下一页“管板设计数据输入（2）”输入换热管数据，如图 8.6 所示。在进行数据输入时需注意以下几点：

“换热管受压失稳当量长度”按 GB/T151-2014 图 7-2 规定输入。

对于浮头式或填函式换热器来说，换热管的根数太少将有可能在计算时使 $1/p_t$ 的值超界（该变量的取值范围见 GB/T151-2014 的图 7-11）而无法计算。虽然管间距只要大于换热管外径即可，

但对于浮头式换热器管间距过小也将使 $1/p_t$ 的值超界。在这种情况下可采用分析方法进行设计计算。

图 8.6 换热管数据输入

“换热管与管板连接形式”默认为开槽胀接，用户可选择其它的连接形式。则除了拉脱力应不超过许用拉脱力之外，如是焊接，“焊接长度”按 GB/T151-2014 图 6-19 示意输入，焊脚高度不应小于 1 倍的换热管厚度；如是胀接，胀接长度还应至少取下列值中的小值：（1）管板厚度减去 3mm；（2）50mm；当用户输入的数据不符合上述规定时，程序将会自动进行调整。另外，如果用户选择了“内孔焊”，则需输入换热管环向焊接接头系数，而不再校核拉脱力。

材料数据输入方法可参考 4.1.3 节。

8.3 浮头盖及钩圈的计算

8.3.1 计算功能

本模块可以进行浮头盖凸形封头的强度校核或厚度设计。在进行计算时，本模块将根据壳程和管程的不同压力组合分别进行，有四种情况：

当 P_s 、 P_t 均为正时，取 P_t 和 $-P_s$ 分别进行内压和外压设计，取大值；

当 P_s 为负， P_t 为正时，取 $-P_s + P_t$ 和 $-P_s$ 分别进行内压和外压计算，取大值；

当 P_s 、 P_t 均为负时，取 $-P_t$ 和 $-P_s$ 中的大者进行外压计算；

当 P_s 为正， P_t 为负时，取 $-P_s + P_t$ 进行外压计算。

本模块还将对带无折边球形封头的法兰的强度进行校核或厚度设计。另外，本模块将对 GB/T151-2014 规定的 A、B 二种型式的钩圈进行厚度设计。

8.3.2 输入参数的说明

在浮头式换热器的“数据输入”菜单中单击“浮头”即进入浮头盖和法兰数据输入对话框，如图 8.7 所示。在该对话框中，凸形封头名义厚度可不输入，这时，程序将设计凸形封头厚度，

反之为校核型。凸形封头腐蚀裕量为 0 时，可不输入。材料性能参数输入参见 4.1.3 节。对于 B 型钩圈，需输入钩圈颈部厚度，且厚度不能小于 30mm。

在进行浮头计算以前还必须在下一页输入浮头法兰的有关数据。浮头法兰数据输入对话框如图 8.8 所示，在该对话框中，法兰厚度可不输入，这时程序会为用户设计法兰厚度。反之，如输入了法兰厚度以及封头焊入深度，则程序将对该法兰进行强度校核。需要注意的是，当仅输入封头焊入深度，则程序算出的浮头法兰厚度并不能保证满足强度要求。建议封头焊入深度和浮头法兰厚度都不输入，而由程序给出优化结果后，再进行圆整后再次校核。

对钩圈本模块将进行设计（即不需要用户输入厚度，程序会算出所需厚度）。关于“螺栓及垫片结构参数输入”这部分数据的输入方法可参考 4.3.2 节中对图 4.27 所示对话框的说明。

浮头数据输入

浮头盖和法兰数据输入 (1) | 浮头盖和法兰数据输入 (2) | 螺栓及垫片结构参数输入

凸形封头内曲率半径 R_i (mm):

凸形封头名义厚度 (mm):

凸形封头腐蚀裕量 (mm):

凸形封头焊接接头系数:

凸形封头材料类型
☒ 板材 ☐ 锻件

凸形封头材料:

凸形封头材料在设计温度下的许用应力 (MPa):

浮头钩圈类型
☐ A形 ☒ B形

钩圈颈部厚度 (mm):

浮头钩圈材料类型
☒ 板材 ☐ 锻件

浮头钩圈材料:

浮头钩圈材料在设计温度下的许用应力 (MPa):

图 8.7 浮头数据输入

浮头数据输入

浮头盖和法兰数据输入 (1) 浮头盖和法兰数据输入 (2) 螺栓及垫片结构参数输入

法兰内径 D_{fi} (mm):

法兰外径 D_{fo} (mm):

法兰厚度 h (mm):

封头焊入法兰深度 l (mm):

钩圈开槽内径 D_e (mm):

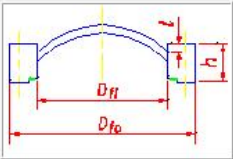
法兰材料类型

☒ 板材 ☐ 锻件

法兰材料:

法兰材料在常温下的许用应力 (MPa):

法兰材料在设计温度下的许用应力 (MPa):



The diagram illustrates a cross-section of a floating head flange assembly. It shows a central dome-shaped head (封头) attached to a flange (法兰). The flange has an inner diameter D_{fi} and an outer diameter D_{fo} . The thickness of the flange is h . The head is welded into the flange to a depth l . A hook ring (钩圈) is shown with an inner diameter D_e . The assembly is shown in a cross-section with a central vertical axis.

图 8.8 浮头法兰数据输入

九、U 形管式换热器

9.1 U 形管式换热器设计计算

9.1.1 计算功能

本程序按照 GB/T 150-2024 和 GB/T151-2014 的有关章节进行计算。整个设备包括以下零部件的设计计算：

- (1) 筒体在壳程压力作用下的强度或刚度计算；
- (2) 管板的强度，换热管的内外压计算，换热管轴向应力以及拉脱力的计算；
- (3) 前、后端管箱分别在管程和壳程压力作用下的强度或刚度计算；
- (4) 筒体法兰和管箱法兰的强度校核计算；
- (5) 开孔补强计算；
- (6) 分程隔板的计算；
- (7) 换热管束振动的计算。

对于壳程筒体厚度，除了能进行强度校核或厚度设计外，还能按 GB/T151-2014 中的规定对筒体的最小厚度是否满足要求进行检查。

所有零部件都可单独进行计算，也可单击“计算”菜单中“设备计算”按钮后由程序进行整个设备的设计计算。唯有进行设备计算以后，才能输出设备级的计算书。

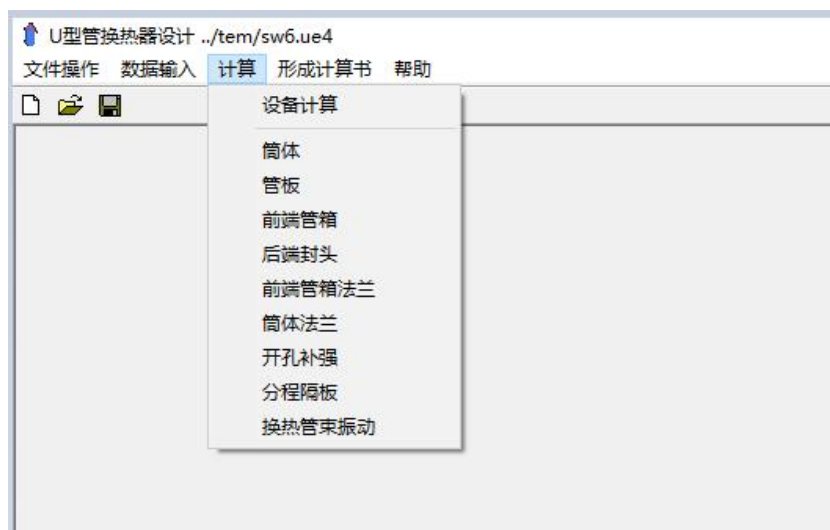


图 9.1 U 型管式换热器设计主窗口

9.1.2 输入参数说明

“管板”的参数输入可分别参照 9.2 节的内容。管箱的数据输入包括管箱筒体和管箱封头的设计计算，其注意事项参见筒体及封头数据输入的说明。根据具体的换热器结构及前、后端管箱的区别，管箱数据输入对话框会自动显示或提示用户输入壳程或管程的设计参数。前端管箱筒体或法兰材料在设计温度下的弹性模量输入方法按以下操作：对于“e 型”连接方式，当前端管箱法兰采用长颈对焊法兰时，应输入法兰材料的弹性模量；其它情况均应输入前端管箱筒体材料的弹性模量。其余可参见有关章节的说明。

9.2 U 形管式换热器管板计算

9.2.1 计算功能

本模块按照 GB/T 150-2024 和 GB/T151-2014 的有关章节进行计算，可对“a 型”～“f 型”六种连接方式（按 GB/T151-2014 划分）的管板进行强度计算，包括四种不兼作法兰的管板结构和两种兼作法兰的管板结构。

本模块可以进行管板的强度校核或厚度设计。当输入管板名义厚度及所有其它参数时，本模块将进行校核计算。校核计算的结果显示除了给出管板的结论外，不论校核合格与否，都将显示所输入参数下允许的管板最小厚度。如果输入数据不合理，计算无法继续进行，本模块将中断计算并给出简单提示，让用户修改数据。

本模块还可对“整体式双管板”、“连接式双管板”和“分离式双管板”三种结构形式的双管板进行计算。在双管板计算模型中，程序作了以下假设：

- （1）内管板与管子的连接形式默认为胀接（开槽胀接、或不开槽胀接）；
- （2）“整体式双管板”隔离腔材料取内管板材料，“连接式双管板”隔离腔材料取界面用户输入材料；隔离腔筒体厚度均由用户输入；
- （3）两块管板合并为一整体管板计算时，其材料取外管板材料，管子与管板连接方式也同外管板；
- （4）对于外管板、内管板、整体管板的类型按表 9.1 确定。

表 9.1 内、外、合并为整体管板类型

位置 类型 形式			
	外管板	内管板	合并为 整体管板
整体式或连接式	a	a	c
	b	b	b
	b	d	d
	b	f	f
	c	b	c
	e	b	e
分离式	b	b	b
	b	f	f
	e	b	e
	e	f	f

本模块将同时计算换热管轴向应力并进行计算和校核，同时，对换热管与管板连接拉脱力进行计算和校核（内孔焊除外）。

9.2.2 输入参数说明

在单击“参数输入”菜单的“管板数据输入”后首先出现如图 9.2 所示的输入数据对话框。对该对话框中的数据输入作以下说明：

用户如选择双管板计算，则需分别输入内、外管板的设计数据。三种形式的双管板都还需要输入内、外管板的金属温度，而“整体式双管板”和“连接式双管板”两种结构还需分别输入隔离腔的压力、长度和厚度，“分离式双管板”只需再输入隔离腔的长度。

换热管数据输入对话框见图 9.3。需要注意的是，用户需输入最长 U 型换热管直边段长度。换热管根数为管板开孔数的一半。

“换热管与管板连接形式”输入参见 8.2.2 节。

管板数据输入对话框见图 9.4。管板有 a、b、c、d、e、f 六种结构型式可供用户选择。对于“a 型”连接的管板，在计算垫片压紧力作用中心圆直径时，若管壳程两边垫片不同，应按不同的垫片数据计算两次管板厚度，取大值。对于“c”、“d”型管板，需输入管板外径和管板与法兰厚度之差值。对于“e”、“f”型管板，需输入相配对的法兰参数。管板兼作法兰时“法兰数据输入”可参考 4.3.2 节。

壳程筒体或法兰材料在设计温度下的弹性模量：对于“f 型”连接方式，当壳体法兰采用长颈对焊法兰时，应输入法兰材料的弹性模量；其它情况均应输入壳体材料的弹性模量。

管板其它输入参数的说明可参考 8.2.2 节。

图 9.2 U 型管式换热器管板数据输入

管板数据输入

管板设计数据(1) | 换热管设计数据 | 外管板结构数据 | 内管板结构数据

换热管根数: 注: 即为管板开孔数的一半。

管间距 (mm):

换热管外径 (mm):

换热管管壁厚度 (mm):

换热管材料:

换热管材料在设计温度下的许用应力 (MPa):

换热管材料在设计温度下的弹性模量 (MPa):

换热管材料在设计温度下的屈服强度 (MPa):

换热管材料在常温下的许用应力 (MPa):

换热管材料在常温下的屈服强度 (MPa):

最长U型换热管直管段长度 (mm):

换热管排列方式

☒ 三角形排列 ☐ 正方形排列

换热管与外管板连接方式

☐ 不开槽胀接 ☐ 强度胀加密封焊

☒ 开槽胀接 ☐ 内孔焊

☐ 焊接

管子与外管板胀接参数输入

管子与管板胀接长度 (mm):

换热管与内管板连接方式

☐ 不开槽胀接 ☒ 开槽胀接

管子与内管板胀接长度 (mm):

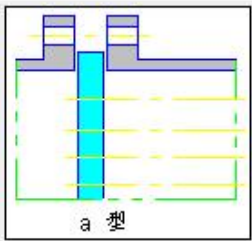
图 9.3 换热管数据输入

管板数据输入

管板设计数据(1) | 换热管设计数据 | 管板结构数据

管板结构形式

☒ a 型
☐ b 型
☐ c 型
☐ d 型
☐ e 型
☐ f 型



U型管板 a 型结构数据输入

密封面形式

☒ 平面
☐ 榫槽面
☐ 凹凸面
☐ 其他

垫片与密封面接触内径 D1 (mm):

垫片与密封面接触外径 D2 (mm):

管板分程处面积 (mm²):

壳程侧结构开槽深度 (mm):

管程侧分程隔板槽深度 (mm):

管板名义厚度 (mm):

壳程侧管板腐蚀裕量 (mm):

管程侧管板腐蚀裕量 (mm):

管板材料类型

☒ 板材
☐ 锻件

管板材料:

管板材料在设计温度下的弹性模量 (MPa):

管板材料在设计温度下的许用应力 (MPa):

图 9.4 管板数据输入

十、高压设备

10.1 厚壁圆筒体计算

本模块主要针对高压设备设计。计算方法按照 GB/T 150.3-2024 中的 5.3 节和附录 B 的内容。

10.1.1 厚壁圆筒体计算功能

本模块能对单层圆筒或热套筒体、多层包扎式筒体、钢带错绕筒体进行强度计算，但热套筒体只限于内、外筒材料为相同的情况（即在计算时将热套筒体当成单层筒体处理）。

本模块能对厚壁圆筒进行校核和设计计算。

本模块对单层筒体进行设计时，将计算出满足设计条件的最小名义厚度。对多层包扎式筒体进行设计时，在内筒厚度和外层层板厚度均已知的情况下将为用户计算出外层层板所需的层数。对钢带错绕筒体，当用户选择进行设计时，在输入钢带与错绕筒体名义厚度之比和钢带厚度后，可计算出内筒名义厚度和钢带层数；

在进行校核计算时，无论合格与否，程序都会在屏幕结果显示时告诉用户单层筒体所需的最小名义厚度或多层筒体外层所需的层板层数。

10.1.2 输入数据说明

厚壁圆筒的数据输入对话框与 4.1.3 节所述的对话框有所不同，见图 10.1。在该对话框有一个“筒体结构形式”，需用户选择其一，唯有对筒体结构进行选择后，才可在下一页继续输入筒体数据，因为下一页的内容与所选择的筒体结构形式有关。该页中其它数据的输入说明见 4.1.3 节。



图 10.1 厚壁圆筒数据输入和计算

如用户选择了“单层圆筒或热套圆筒”，则下一页对话框如图 10.2 所示。同 4.1.3 节所述相同，“筒体名义壁厚”可以不填，这时程序将进行设计计算。其它参数必须填入。

图 10.2 单层圆筒数据输入

如用户选择了“多层包扎式筒体”，则下一页对话框如图 10.3 所示。在该对话框中，内筒和外层层板的材料性能参数都需输入，输入方法同 4.1.3 节所述。由于外层层板的材料类型程序总是将其作为板材考虑，故不需输入。如需程序设计层板层数，则该项可以不输入。

图 10.3 多层包扎式筒体数据输入

如用户选择了“钢带错绕筒体”，则下一页对话框如图 10.4 所示。在该对话框中，当用户在“计算类型”中选择“设计”时，内筒名义厚度与钢带层数不需用户输入，当选择“校核”时，内筒与钢带错绕筒体名义厚度之比不需用户输入。对于钢带材料，其名称和材料性能参数都需输入。其中需注意，此结构其筒体内直径需大于等于 500mm，内筒与钢带错绕筒体名义厚度之比 j 应在 0.1~0.25 之间，钢带厚度应在 4~8mm 之间，钢带层数须为偶数。

图 10.4 钢带错绕筒体数据输入

10.2 高压设备封头

本模块的计算方法是基于 GB/T 150.3-2024 中的 5.4 节、7.9 节、7.10 节、9.7 节和附录 C 的内容。

10.2.1 计算功能

本模块能对高压设备中使用的球形封头、平盖和锻制紧缩口进行强度计算。对球形封头和平盖本模块能进行校核或设计计算，而对锻制紧缩口本模块只能进行校核计算。

除了高压封头的强度计算之外，本模块还具有对卡箍、金属平垫、椭圆垫或八角垫和双锥密封、焊接环形垫片密封、普通垫片等几种密封结构的校核计算功能。同时，本模块还将对筒体的端部结构进行强度校核。

10.2.2 输入数据说明

在高压设备主窗口中单击“数据输入”菜单中的“上封头与筒体端部数据”或“下封头与筒体端部数据”后将出现图 10.5 的对话框，封头形式只有球形封头、平盖和锻制紧缩口三种。如选择锻制紧缩口，则封头厚度输入项将不起作用。其它数据项的输入与 4.2.2 节所述相同。选定封头形式后，下一页所需数据与所选封头形式有关。

选择球形封头后，此时还需输入“球面部分内半径”。

选择锻制紧缩口后，下一页将要求输入锻制紧缩口的结构参数，见图 10.6。建议用户先画出草图，再进行数据输入。具体参数输入时可参见 GB/T 150.3 中的 7.10 节。

选择平盖后，下一页对话框的数据输入内容见图 10.7。该对话框同 4.2.2 节所示的平盖数据输入对话框基本相似。差别在于平盖形式 8、9、10、18、19、20 在高压平盖结构中不再存在。而高压设备新增平盖 21、22 两种形式。这里的平盖类型 21 是指具有金属平垫、椭圆垫或八角垫、双锥密封、焊接环形垫片密封、其他普通垫片等密封结构的平盖，而平盖类型 22 是指具有卡箍结构的平盖。

上封头与筒体端部数据

封头数据

封头内径或端部内径 (mm):

焊接接头系数:

腐蚀裕量 (mm):

封头厚度 (mm):

封头形式:

球形封头

平盖

锻制紧缩口

球面部分内半径 (mm):

材料类型:

板材

锻件

材料:

设计温度下许用应力 (MPa):

常温下许用应力 (MPa):

常温下屈服强度 (MPa):

厚度负偏差为用户输入

厚度负偏差 (mm):

图 10.5 上下封头与筒体端部数据输入

上封头与筒体端部数据

封头数据

锻制紧缩口封头设计参数输入

端部厚度 t (mm):

螺栓圆直径 D_b (mm):

垫片外径 D_1 (mm):

垫片内径 D_2 (mm):

垫片系数 m :

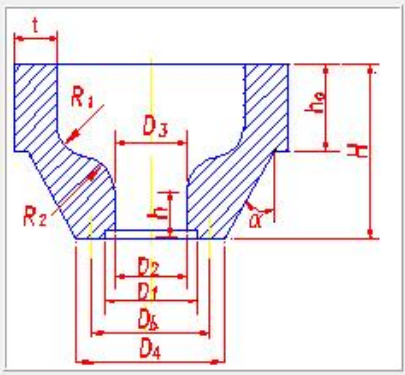
直边段高度 h_0 (mm):

内腔直边段高度 h (mm):

封头总高 H (mm):

圆弧半径 R_1 (mm):

圆弧半径 R_2 (mm):



封头小端内径 D_3 (mm):

封头小端外径 D_4 (mm):

外侧倾角 α ($^\circ$):

图 10.6 锻制紧缩口封头设计参数输入

在选择了 21 或 22 两种平盖结构类型之一后，还必须在下一页进一步输入必要的数

120

如选择了平盖类型 22，将会出现两页“结构参数输入”（如图 10.8）和“设计参数输入”（如图 10.9）。在图 10.8 所示的页面中要求输入的是具有卡箍结构的平盖的结构参数。这些数据输入完之后，还需在“设计参数输入”中输入相应的筒体端部和卡箍结构参数以及卡箍和连接螺栓的材料性能参数。需要注意的是平盖、筒体端部和卡箍结构尺寸参数间需有所协调，用户最好先画出具有标注尺寸的结构草图，然后按该草图尺寸进行输入。如尺寸不协调，程序将无法进行计算，会提示用户修改有关参数。

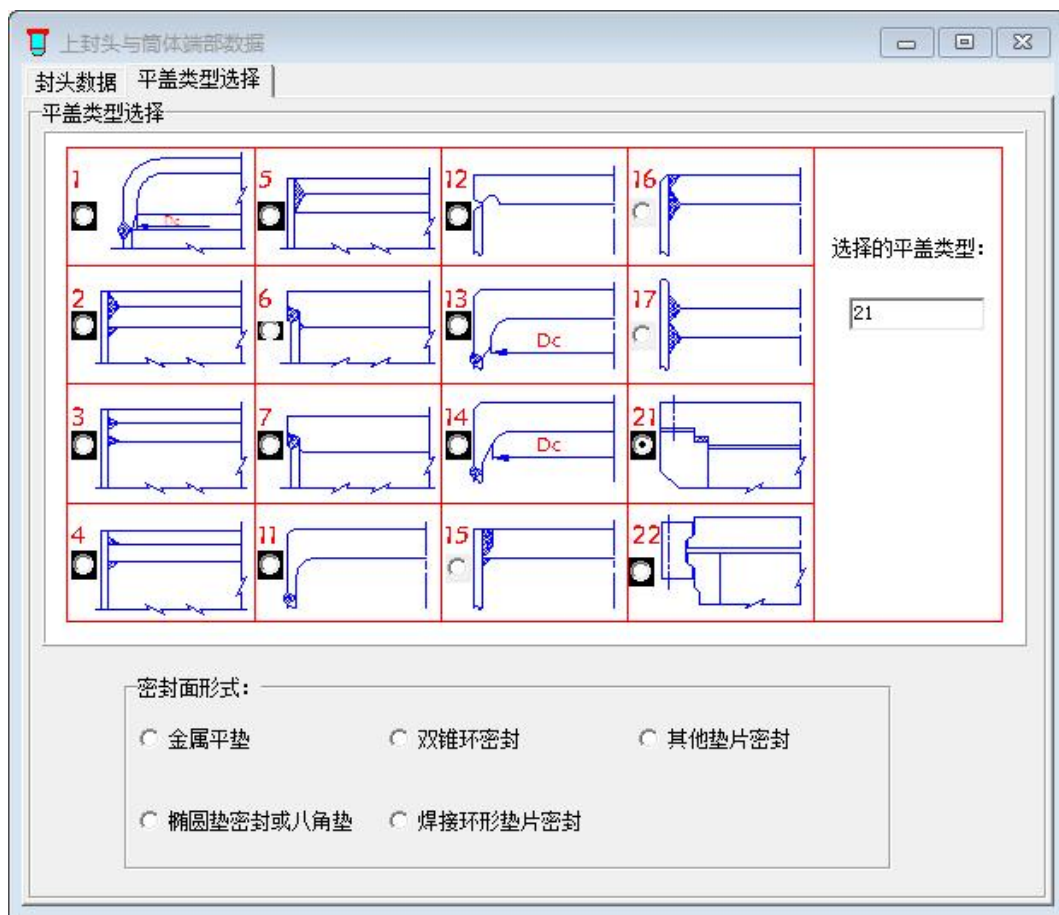


图 10.7 平盖数据输入

上封头与筒体端部数据

封头数据 | 平盖类型选择 | 结构参数输入 | 设计参数输入 |

卡箍连接平盖结构参数输入：

平盖外径 D_1 (mm) :

平盖凸缘宽度 w (mm) :

密封环的密封圆直径 (mm) :

平盖凸缘总高 h_1 (mm) :

双平盖凸缘斜面倾角 α (°) :

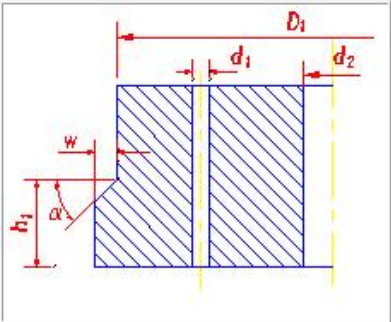


图 10.8 卡箍结构平盖数据输入

上封头与筒体端部数据

封头数据 | 平盖类型选择 | 结构参数输入 | 设计参数输入 |

卡箍密封筒体端部设计参数输入：

端部凸缘高度 h (mm) :

密封圆线比压 y (MPa) :

凸缘斜面密封摩擦角 (°) :

卡箍外径 D_o (mm) :

卡箍内径 D_2 (mm) :

卡箍中部高度 h_2 (mm) :

螺栓公称直径 (mm) :

螺栓根径 (mm) :

螺栓个数 :

筒体端部材料 :

筒体端部材料在设计温度下许用应力 (MPa) :

螺栓设计温度 (°C) :

螺栓材料 :

螺栓材料在设计温度下许用应力 (MPa) :

卡箍材料 :

卡箍材料在设计温度下许用应力 (MPa) :

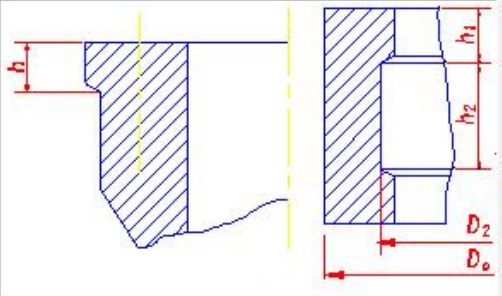


图 10.9 卡箍结构平盖设计参数输入

如选择了图 10.7 所示对话框中的平盖类型 21，则会在图 10.7 下方出现“密封面形式”要求用户进一步选择密封类型。无论选哪一种密封类型，用户都必须在下一页输入筒体端部数据，见图 10.10。

如实际筒体端部无横向开孔，则该页中的“横向开孔直径”和“横向开孔位置”两项可不输入。如果是不等径横向开孔（阶梯孔），此时还需输入“阶梯孔直径”和“阶梯孔深度”。对于横向开孔与螺栓孔是否在同一横截面上，用户根据实际结构确认，需要说明的是，勾选“按横向开孔与螺栓孔在同一截面计算”只会增加计算和校核截面，是偏安全的，建议保持勾选状态。当用户不勾选该选项时，程序还会校核周向展开图中螺栓孔与横向开孔之间是否留有足够的距离，如发现问题会给予警告或报错。某些情况下与筒体端部连接的筒体较厚，比如高压筒体上的凸缘结构，有意加厚筒体用作开孔补强时，筒体端部纵剖面中允许没有梯形截面变厚段，即筒体端部外缘长度 h 可以和筒体端部总高度 H 相等。主螺栓设计温度可以和筒体端部结构设计温度不同，即允许用户自行输入“主螺栓设计温度”。其它数据按照标准规定输入。该页数据输入完以后，还需在下一页进一步输入垫片或双锥环的数据。

如选择了“金属平垫”，则在“密封设计参数”界面中将要求输入垫片的内、外径、垫片单位预紧密封比压 y 和垫片系数 m 。见图 10.11。

如选择了“椭圆垫或八角垫”，则出现如图 10.12 所示的“密封设计参数”界面。在该对话框中要求首先下拉选择垫片序号。如用户在下拉框中选择了垫片序号，则垫片中径 D_G 和垫片宽度 w 会自动出现在数据输入框内。如用户不选下拉框中所示的垫片序号，则垫片中径 D_G 和垫片宽度 w 需用户自行输入。另外，尚需输入垫片单位预紧密封比压 y 和垫片系数 m 。

上封头与筒体端部数据

封头数据 | 平盖类型选择 | 筒体端部设计参数输入 | 密封设计参数

端部结构外直径 D_o (mm):

平盖外径 (mm):

主螺栓中心圆直径 D_b (mm):

筒体名义总厚度 (mm):

筒体端部腐蚀裕量 (mm):

筒体端部外缘长度 h (mm):

筒体端部总高度 H (mm):

主螺栓公称直径 (mm):

主螺栓小径或光杆直径 (mm):

主螺栓数量 (取偶数):

主螺栓螺孔深度 h_1 (mm):

横向开孔直径 d_1 (mm):

横向开孔位置 h_2 (mm):

阶梯孔直径 (mm):

阶梯孔深度 (mm):

筒体端部材料:

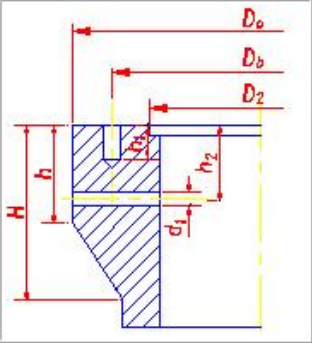
筒体端部材料在设计温度下许用应力 (MPa):

主螺栓设计温度 ($^{\circ}\text{C}$):

主螺栓材料:

主螺栓材料在设计温度下许用应力 (MPa):

主螺栓材料在常温下许用应力 (MPa):



☒ 按横向开孔与螺栓孔在同一截面计算

图 10.10 筒体端部结构数据输入

上封头与筒体端部数据

封头数据 | 平盖类型选择 | 筒体端部设计参数输入 | 密封设计参数

金属平垫密封设计参数输入：

垫片内径 D_1 (mm) :

垫片外径 D_2 (mm) :

垫片材料：

垫片的单位预紧比压 y (MPa) :

垫片系数 m :

图 10.11 金属平垫数据输入

上封头与筒体端部数据

封头数据 | 平盖类型选择 | 筒体端部设计参数输入 | 密封设计参数

椭圆垫或八角垫密封设计参数输入：

垫片序号 :

垫片中径 D (mm) :

垫片宽度 w (mm) :

垫片材料：

垫片的单位预紧比压 y (MPa) :

垫片系数 m :

图 10.12 椭圆垫或八角垫数据输入

如选择“双锥环密封”，则出现“双锥环设计参数输入”界面，如图 10.13 所示。则将要求输入双锥环的结构参数和材料性能参数。双锥环的结构参数请参考 GB/T 150.3-2024 中附录 C 的

表 C.6。对于双锥环单侧径向间隙 g ，其输入值需满足 $0.075\%D_1 \leq g \leq 0.125\%D_1$ 。

上封头与筒体端部数据

封头数据 | 平盖类型选择 | 筒体端部设计参数输入 | 双锥环设计参数输入

双锥环内径 D_1 (mm) :

双锥环高度 A (mm) :

双锥环厚度 B (mm) :

双锥环截面尺寸 C (mm) :

双锥环密封比压 (MPa) :

双锥环材料:

双锥环材料在设计温度下弹性模量 (MPa) :

双锥环锥角 α (°) :

密封摩擦角 ρ (°) :

密封环处平盖厚度 h (mm) :

双锥环单侧径向间隙 g (mm) :
($0.075\%D_1 \leq g \leq 0.125\%D_1$)

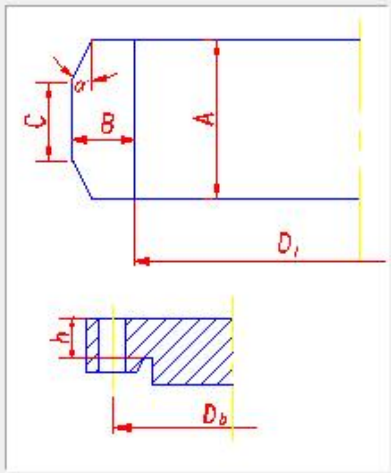


图 10.13 双锥环设计参数输入

如选择了“焊接环形垫片密封”，则出现“焊接环形垫片密封数据输入”界面，如图 10.14 所示。

焊接垫片密封有一个薄弱环节就是需要保证密封焊缝的强度，为此程序引入参数“操作状态下残余预紧载荷占螺栓常温下许用载荷的比例 k_G ”。 k_G 有 4 个选项，分别为 0、10%、20%和 30%，其对应的计算方法见表 10.1。

表 10.1 不同 k_G 对应的螺栓载荷计算

参数	$k_G=0$	$k_G>0$
执行标准及章节	HG/T20582 第 9 章	GB/T150.3 第 7 章
内压引起的总轴向力 F	式(9.3.1-3)	式(7-5)，其中 D_G 以 D_L 代替
操作状态下残余预紧载荷 F_p	$F_p=0$	$F_p=k_G A_b [\sigma]_b$
操作状态下需要的最小螺栓载荷 W_p	$W_p=F+F_p$	

当勾选 $k_G=0$ 时， W_p 按照 HG/T20582-2020 第 9 章计算。如果不认同程序给出的其他优化计算方法，用户可以勾选 $k_G=0$ ，不影响计算结果。在 HG/T20582 第 9 章式(9.3.1-3)中，由 $m=0$ 得到 $F_p=0$ ，即认为操作工况两块垫片之间或隔膜垫与筒体端部之间（以下简称“贴紧面之间”）

没有压紧力。

其实焊接垫片不可能没有附加的螺栓载荷，为此程序增加了 $kG=10\%$ 、 20% 、 30% 等 3 个选项，供用户选择使用。例如， $kG=20\%$ ，表示操作工况下，螺栓载荷除包括平衡内压的载荷之外，还存在平衡贴紧面之间的残余压紧力的载荷，这个残余压紧力等于螺栓常温下承载能力的 20% 。有限元分析结果表明，操作工况下只要贴紧面处于压紧状态，密封焊缝就是安全的，与压缩应力的关系不大，故最经济的选项是 $kG=10\%$ 。但是，在不能精确上紧保证贴紧面处于压缩状态时，建议取 $kG=20\%$ 或 $kG=30\%$ 。

另外，还需输入垫片接触的内直径 D_{gi} 、外直径 D_{go} ，以及受内压部分的最大内直径 DL ，用户可参考 HG/T20582-2020 的第 9 章来输入。

上封头与筒体端部数据

封头数据 | 平盖类型选择 | 筒体端部设计参数输入 | 焊接环形垫片密封数据输入

螺栓中心圆处平盖厚度 (mm):

平盖螺栓孔直径 (mm):

操作状态下残余预紧载荷占螺栓许用载荷的比例 kG :

☒ 0 ☐ 10% ☐ 20% ☐ 30%

垫片接触的内直径 D_{gi} (mm):

垫片接触的外直径 D_{go} (mm):

受内压部分的最大内直径 DL (mm):

图 10.14 焊接环形垫片密封数据输入

如选择了“其他垫片密封”，则出现“密封设计参数（表 7-1）”，如图 10.15 所示。具体参数输入可参照法兰章节相关内容。

上封头与筒体端部数据

封头数据 | 平盖类型选择 | 筒体端部设计参数输入 | 密封设计参数 (表7-1)

压紧面形状 (序号):

$1a, 1b$	2. $w \leq N/2$
$1c, 1d$	3. $w \leq N/2$
	4.
	5.
	6.

垫片与密封面接触内径D1 (mm):

垫片与密封面接触外径D2 (mm):

垫片材料:

垫片的单位预紧比压y (MPa):

垫片系数m:

图 10.15 其他密封设计参数输入

十一、塔设备

11.1 程序功能

本程序按照 GB/T 150-2024 及 NB/T 47041-2014 标准编制。

本程序用于承受内压或外压作用的塔式容器的设计与校核。容器的结构类型包括板式塔、填料塔、塔板和填料混合内件的等直径塔、变直径塔，或等直径不等壁厚的塔，以及基础环板固定在框架结构上的塔等。具体内容如下：

1. 塔式容器的校核计算。程序可计算并校核塔式容器在操作工况、检修工况及压力试验工况下各危险截面的轴向应力。危险截面，包括裙座底截面、裙座引出管截面、裙座与连接段焊接截面、下封头截面、各段筒体底截面、各段变径段的底截面及顶截面，对于锥形裙座，还增加了锥形裙座顶截面。

2. 可以进行上、下封头的计算以及开孔补强的计算。本程序除了封头和开孔补强可单独计算外，塔体、法兰均不可单独计算。因为塔体除校核周向应力外，还要校核风载、地震载荷引起的轴向应力，而后者受裙座及附件影响。

3. 地震载荷和风载荷的计算。对于高度 H 大于 30m，且高度 H 与平均直径 D 之比大于 15 的塔式容器，程序会自动对横风向共振时的风力和风弯矩进行计算。对于高度 H 大于 20m，且 H/D 大于 15 的塔器，程序会自动考虑高振型的影响。

4. 法兰计算。塔上容器法兰最多能计算 5 个。除了考虑压力作用，程序还将自动计算设备法兰所受的附加弯矩和附加力，并将它们与压力载荷一起算出法兰的计算压力。

5. 本程序还可进行地脚螺栓座的计算，包括基础环、地脚螺栓、筋板以及盖板的校核计算。

6. 带中间支撑的塔的计算。

7. 塔顶挠度的计算。

11.2 输入参数说明

进入本程序后，首先出现图 11.1 所示的对话框。

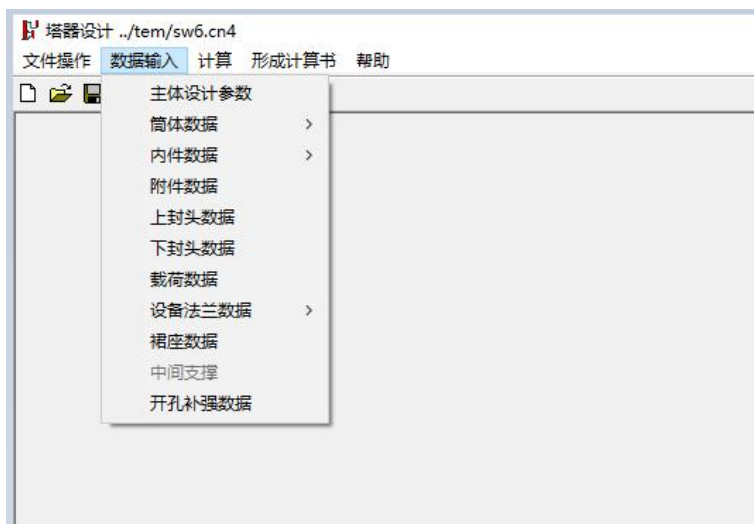


图 11.1 塔设备计算

在该对话框的“数据输入”菜单中，用户单击某一项后，即进入相应对话框，供用户输入相关数据。全部数据输入完毕后，可选该对话框的“计算”菜单的“设备计算”，程序进行计算，并将计算结果显示在弹出窗口中。计算完成后，可选该对话框的“形成计算书”菜单，程序进入WORD并形成完整的计算书。

全部工作完成后，可按该对话框的“文件”菜单的“退出”来退出本程序。

以下对塔体、风载及地震载荷、裙座数据输入做详细说明，封头、法兰、开孔补强数据输入参见相关章节。

11.2.1 塔体数据输入

在图 11.1 所示的对话框中选“数据输入”菜单的“主体设计参数”后进入图 11.2 所示的对话框。用户可按提示输入数据。

图 11.2 主体设计参数输入

图 11.2 参数说明：

筒体分段数：分段可按不同直径分段，也可按等直径不等壁厚分段或按不同材料分段。变径段不记入分段数。程序将自下而上对筒体编号，最多 10 段。在进行等径塔设计时，此项可填 1，程序运行中会根据情况在计算结果中提示将整个塔分成壁厚不等的若干段，用户可自行决定是否根据运行结果自动修改筒体分段数。如果考虑筒体分段，则界面会显示任意相连两段筒体之间是否设置变径段供用户选择。

塔板、填料分段数：最多为 5 段。

壁厚计算基准：如选择“以内径为基准”，则整台塔器中的“筒体”、“封头”均以内径为基准进行壁厚计算；反之，亦然。

在图 11.1 所示对话框中选“数据输入”菜单的“附件数据”后，进入图 11.3 所示的对话框。该对话框中的参数说明详见 NB/T 47041-2014 的相关内容。

附件数据

介质密度 (kg/m³):

塔釜液面高度 (mm):

塔体保温层厚度 (mm):

塔体保温层密度 (kg/m³):

最大管线外径 (mm):

管线保温层厚度 (mm):

塔体上平台总个数:

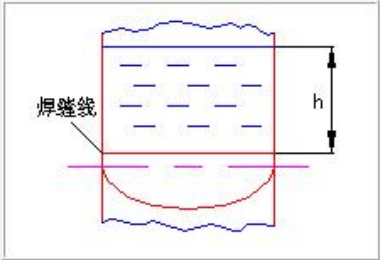
塔体上最低平台距基础的高度 (mm):

塔体上最高平台距基础的高度 (mm):

平台宽度 (mm):

平台包角 (°):

360



扶梯与最大管线的相对位置:

☒ 90°

☐ 180°

图 11.3 附件数据输入

图 11.1 所示对话框中点击“数据输入”菜单中“筒体数据”的“自上而下第 1 段筒体”后，进入图 11.4 所示的对话框。在图 11.4 所示的对话框中，用户输入某段筒体的有关参数。

自上而下第1段筒体

筒体数据

外压圆筒设计数据

本段筒体设计压力 (MPa):

-0.1

本段筒体设计温度 (°C):

0

材料类型:

☒ 板材

☐ 管材

☐ 锻件

筒体内径 (mm):

0

筒体长度 (mm):

腐蚀裕量 (mm):

筒体名义厚度 (mm):

☒ 厚度负偏差为用户输入

厚度负偏差 (mm):

工况属性:

☒ 长期工况

☐ 短期工况

纵向焊缝焊接接头系数:

环向焊缝焊接接头系数:

材料:

设计温度下许用应力 (MPa):

常温下许用应力 (MPa):

常温下屈服强度 (MPa):

设计温度下弹性模量 E (MPa):

设计温度下屈服强度 (MPa):

试验压力 (不包括液柱静压) (MPa):

图 11.4 塔体数据输入

图 11.4 参数说明:

设计压力：以代数值输入，即当为真空塔时，应以-0.1MPa 输入。对于多腔塔的计算，本模块允许各段塔体的设计压力不同。当设计压力为负值即外压时，用户需在下一页继续输入“外压圆筒设计数据”，其输入方法参见第 4.1.3 节；当设计压力为正值即内压时，该页面不会出现。

设计温度：本程序中，允许各分段的设计温度不同。

腐蚀裕量：腐蚀裕量为 0 时，可不输入。

筒体名义厚度：用户进行设计计算时，此项可不输入，程序运行结束后会自动填入结果。

试验压力：当为液压试验时，该值指立式试验时的试验压力值。该值可不输入，此时程序将根据用户输入数据通过对筒体、封头、法兰及法兰螺栓材料在设计温度下和常温下的许用应力来确定。建议用户自行确定试验压力后输入该数据，理由见 4.1.2 节。

若筒体分段数大于 1，用户可按以上步骤继续输入其他筒体段数据。若筒体分段数大于 1，且用户如果在图 11.2 的“主体设计参数”窗口中设置了连接某段筒体的变径段后，用户可以在单击“数据输入”菜单中“筒体数据”的相应变径段，这时将弹出变径段数据输入对话框供用户输入变径段有关参数，如图 11.5 所示。

图 11.5 变径段数据输入

图 11.5 参数说明：

腐蚀裕量为 0 时，可不输入。

如设计压力为负值时，将要求用户确认变径段的大端和小端是否作为支撑线，即“变径段结构”的两个任选按钮是亮的。反之，即“变径段结构”的两个任选按钮都是暗的。同时，还需输入“大端筒体长度”、“小端筒体长度”，作为与锥壳相连大、小端筒体的计算长度。

如变径端的大端或小端没有折边过渡段，则相应的过渡段半径可以不填，或填 0。

对于负压锥壳或者正压无折边锥壳，大、小端是否设置加强圈供用户选择，如设置，则还需分别输入加强圈相关数据。

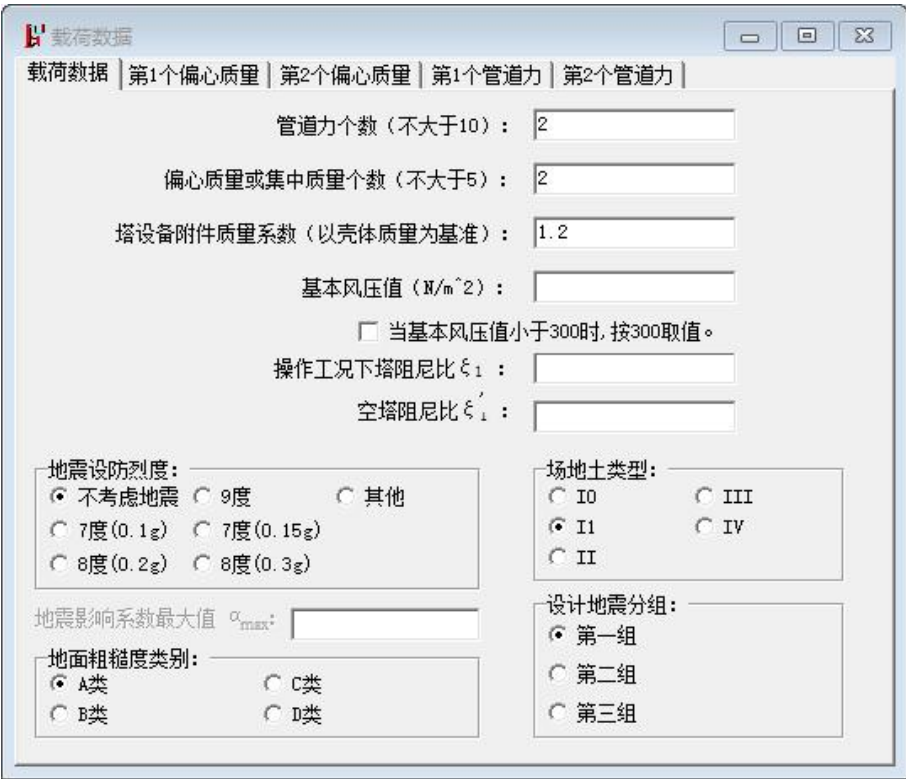
设计塔板及填料分布段数时，对相同类型且连续分布的塔板可视作一段，对相同规格且连续分布的填料也可视作一段。在图 11.2 所示的对话框中输入“塔板分布段数”和“填料分布段数”后，用户可以分别点击图 11.1 的“数据输入”菜单的“内件数据”中“塔板”和“填料”后，即进入图 11.6 所示的对话框和图 11.7 所示的对话框。

图 11.6 塔板数据输入

图 11.7 填料数据输入

11.2.2 风载、地震载荷数据输入

图 11.1 所示对话框的“数据输入”菜单中选择“载荷数据”进入图 11.8 所示的对话框。



荷载数据 | 第1个偏心质量 | 第2个偏心质量 | 第1个管道力 | 第2个管道力 |

管道力个数 (不大于10):

偏心质量或集中质量个数 (不大于5):

塔设备附件质量系数 (以壳体质量为基础):

基本风压值 (N/m^2):

☐ 当基本风压值小于300时, 按300取值。

操作工况下塔阻尼比 ξ_1 :

空塔阻尼比 ξ'_1 :

地震设防烈度:
☒ 不考虑地震 ☐ 9度 ☐ 其他
☐ 7度 (0.1g) ☐ 7度 (0.15g)
☐ 8度 (0.2g) ☐ 8度 (0.3g)

场地土类型:
☐ I0 ☐ III
☒ I1 ☐ IV
☐ II

地震影响系数最大值 α_{max} :

地面粗糙度类别:
☒ A类 ☐ C类
☐ B类 ☐ D类

设计地震分组:
☒ 第一组
☐ 第二组
☐ 第三组

图 11.8 地震载荷数据输入

图 11.8 参数说明:

管道力个数 (不大于 10): 当输入个数大于 0, 用户需在下页中输入有关管道力的数据, 见图 11.9、图 11.10。

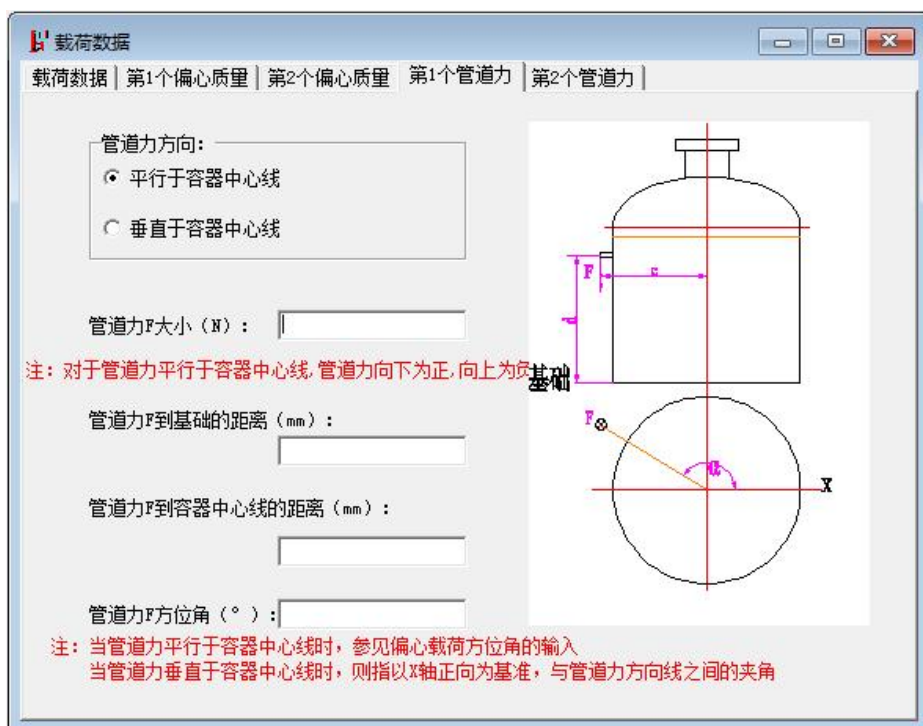


图 11.9 管道力数据输入 (1)

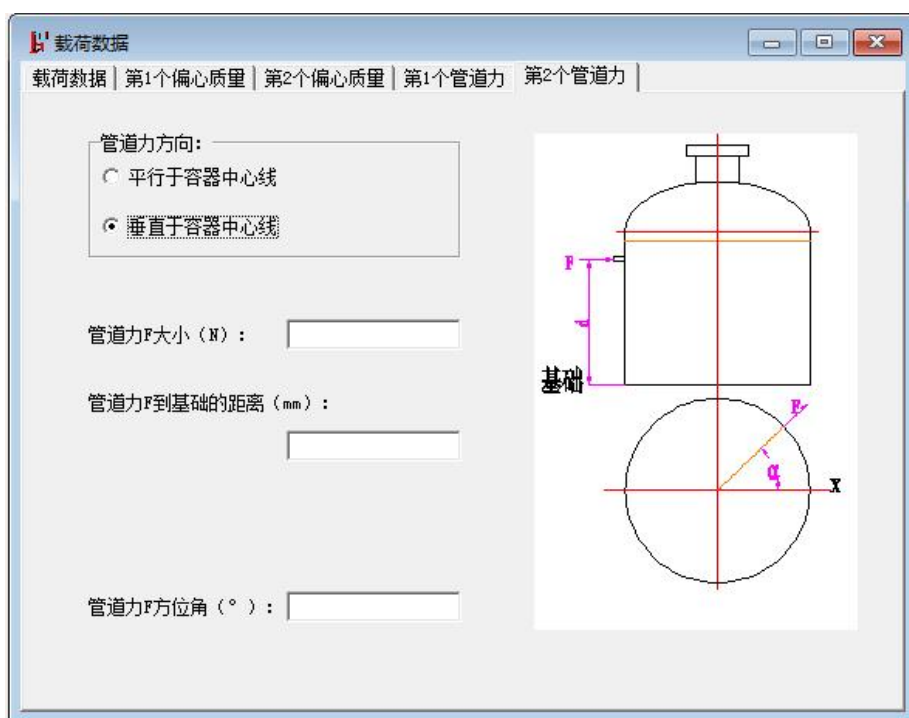


图 11.10 管道力数据输入 (2)

其中，管道力的大小和方位角均需输入，当管道力平行于容器中心线时，需输入管道力到容器中心线的距离；当管道力垂直于容器中心线时，需输入管道力到基础的距离。

偏心载荷或集中载荷个数（不大于 5）：当输入个数大于 0，用户需在下页中输入有关偏心载荷或集中载荷的数据，见图 11.11。

图 11.11 偏心载荷数据输入

塔设备附件质量系数：一般取 1.1~1.25。

基本风压值及地震烈度：按 NB/T47041-2014 的规定输入。基本风压值如果小于 300 N/mm^2 时，用户可选择取为 300 N/mm^2 ，或者按照实际输入的取值。对于地震烈度，如果不按标准规定取值，用户可选择其他，则用户需自行输入地震影响系数最大值。

场地土类型、粗糙度、地震类型等参数请用户参见 NB/T 47041-2014 有关说明。

11.2.3 裙座数据输入

在图 11.1 中“数据输入”菜单中选择“裙座”进入图 11.12 所示的对话框。

裙座数据

裙座数据 (1) | 裙座数据 (2) | 裙座数据 (3)

基础类型：
☐ 裙座支于框架上
☒ 裙座支于地面(或基础)上

裙座与筒体连接形式：
☒ 对接 ☐ 与筒体搭接
☐ 与下封头搭接

裙座结构：
☒ 圆筒形 ☐ 圆锥形

基础高度 (mm) :

裙座总高 (mm) :

裙座设计温度 (℃) :

裙座底截面内径 (mm) :

裙座名义厚度 (mm) :

裙座腐蚀裕量 (mm) :

☐ 裙座材料厚度负偏差为用户输入

裙座材料:

裙座材料在设计温度下
许用应力 (MPa) :

裙座材料在设计温度下
屈服强度 (MPa) :

裙座材料在设计温度下
弹性模量 (MPa) :

裙座防火层厚度 (mm) :

裙座防火层密度 (kg/m³) :

裙座与筒体连接段的材料:

裙座与筒体连接段在设计
温度下许用应力 (MPa) :

裙座与筒体连接段长度 (mm) :

裙座与筒体连接段
腐蚀裕量 (mm) :

图 11.12 裙座数据输入

图 11.12 参数说明:

1. 基础类型:

“裙座支于框架上”系指塔设备支承在框架上,并将框架看作是结构上均匀的直立设备的一部分,作为分段计算中的一段。确定支承框架横截面惯性矩的方法为:

- (1) 对于环形分布柱的框架,可折算成等横截面的圆筒。
- (2) 对于一般形式的榀架和框架,可折算成等刚度的等截面杆。

此时,用户还需框架结构参数,见图 11.13。

“裙座支于地面(或基础)上”系指塔设备直接安装在地面或基础上。

- 2. 裙座高度:系指从基础至下封头与筒体焊接焊缝处的高度。
- 3. 裙座名义厚度:不输入为壁厚设计,反之则为壁厚校核。
- 4. 裙座防火层厚度:当裙座内外都有防火层时,该厚度应为两者之和。

5. 如选择“裙座材料厚度负偏差为用户输入”复选框时,则裙座壁厚负偏差在计算时就取用户输入值。否则负偏差值将由程序根据材料标准确定。

137

裙座数据 (1) | 裙座数据 (2) | 裙座数据 (3) | 框架结构

框架高度 (mm):

框架质量 (kg):

框架惯性矩 (mm⁴):

框架材料 (碳钢) 弹性模量 (MPa):

框架材料类型:

☐ 碳钢

☒ 混凝土

图 11.13 框架结构数据输入

当塔体与裙座材料不同时，一般在裙座上加一过渡段，该过渡段的材料与塔体相同，以保证裙座与塔体间的焊接质量。这时，需输入过渡段的材料、许用应力、长度和腐蚀裕量等数据，程序也会按输入数据对过渡段的轴向应力进行校核。

图 11.12 所示的页面中点击“裙座数据（2）”后，进入图 11.14 所示的页面。

裙座数据 (1) | 裙座数据 (2) | 裙座数据 (3) | 框架结构

裙座上同一高度处较大孔 (包括人孔) 个数:

裙座上较大孔中心线高度h1 (mm):

裙座上较大孔引出管水平方向内径d (mm):

裙座上较大孔引出管名义厚度t (mm):

裙座上较大孔引出管长度c (mm):

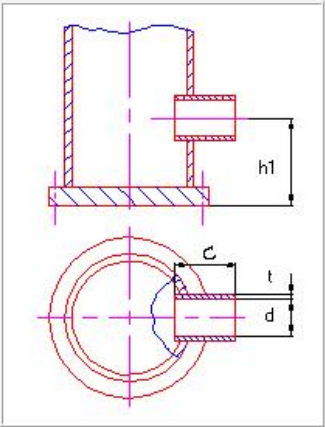


图 11.14 裙座上开孔数据输入

图 11.14 参数说明：

裙座上同一高度处较大孔（包括人孔）个数：此处较大孔系指裙座上孔径最大的孔，一般是人孔。

裙座上较大孔引出管水平方向内径：此处较大孔系指裙座上孔径最大的孔，与上一项相同。若上一项是人孔，此处亦是人孔。

在图 11.12 所示的页面中点击“裙座数据（3）”后，进入图 11.15 所示的页面。

图 11.15 裙座结构参数输入

在图 11.15 所示的对话框中，当进行校核计算时，用户只需在下拉框中选择地脚螺栓公称直径，相应的筋板及盖板的尺寸将由程序自动显示在数据输入框内。当进行设计计算时，请用户根据 NB/T 47041-2014 输入基础环板内、外径，程序将给出关于地脚螺栓公称直径及个数的若干组合方案，由用户选择，并根据所选方案确定筋板及盖板的尺寸。

图 11.15 参数说明：

盖板宽度：仅当盖板结构选择分块时此项有意义，选择整块时此项将自动变灰。无法输入该值。

11.2.4 法兰数据输入

在图 11.1 中“数据输入”菜单中选择“设备法兰数据”进入图 11.16 所示的对话框。

法兰数据输入基本和 4.3 节的一致，唯一不同的是，对于塔体，由于其可能存在变径分段，因此需输入法兰密封面离基础高度，来确定法兰所在塔体的直径。

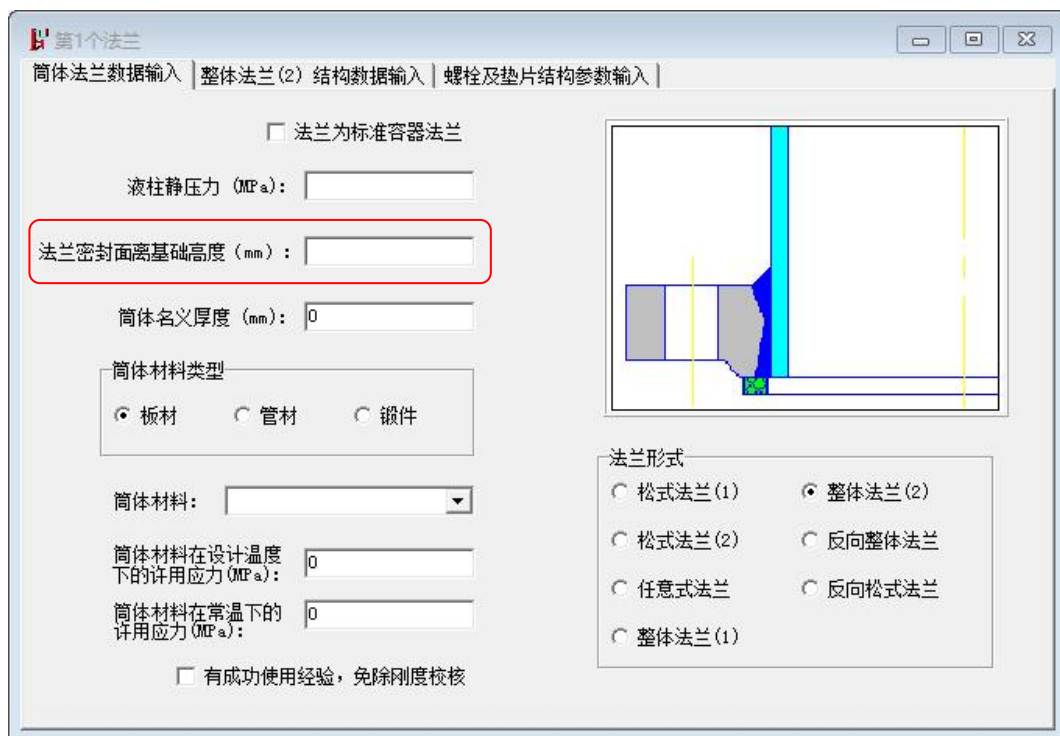


图 11.16 法兰数据输入

11.2.5 中间支撑数据输入

为了减小塔器挠度，增加塔器刚度，实际工程设计中，可采用带中间支撑的塔设备。为了满足工程实际需要，在本版程序中增加了对这种结构的塔设备的计算功能。

11.2.5.1 适用范围和力学模型

(1) 适用于仅在一点受中间支撑的塔设备，程序将给出在支撑点上所受到的支撑反力、对该设备上各指定截面进行最大弯矩的计算并进行应力校核。考虑到工程实际结构的要求和实现的可能性，计算模型假定中间支撑的质量和刚度要比塔器大得多。当在中间支撑和塔体外壁之间无间隙（程序约定间隙小于 2mm），该塔的自振周期将不能按 NB/T47041-2014 提供的方法计算，程序按带中间约束悬臂梁的一次静不定结构进行其自振周期的计算。当在中间支撑和塔体外壁之间存在间隙，塔的自振周期仍按 NB/T47041-2014 提供的方法进行计算。在中间支撑与塔器之间可以存在橡胶衬垫。

(2) 适用于等直径、等壁厚塔，也适用于变直径、变壁厚塔。

(3) 在计算塔设备上最大弯矩和应力时采用材料力学中悬臂梁的力学模型，该悬臂梁除了固定端受到位移和转角的全约束外，还在塔体上某一点受到框架对该点横向位移的约束，因此，该模型为一次静不定结构。

11.2.5.2 输入参数

需要计算带中间支撑的塔设备时，需要在“主体设计参数”界面中，将“设置中间支撑”选项选中，如图 11.17 所示。此时，点击“数据输入”菜单项，会看到下拉子菜单项“中间支撑”呈点亮状态，如图 11.18 所示，点击子菜单项“支撑框架”，程序将弹出对话框“中间支撑”，如图 11.19 所示。

在“中间支撑”数据输入界面中，“中间支撑约束点离基础距离”、“中间支撑约束点与塔器外壁的间隙（如有保温层，则至保温层外壁）”和“中间支撑与塔器间的橡胶衬垫的刚度系数”三个参数需用户输入。当中间支撑与塔器间没有橡胶衬垫，则“中间支撑与塔器间的橡胶衬垫的刚度系数”可以输入 0 或者不输入（程序默认为 0）。

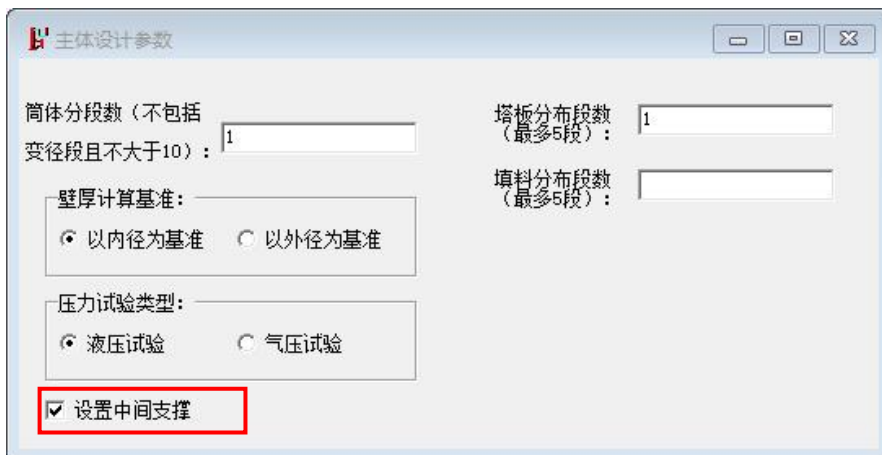


图 11.17 主体设计参数



图 11.18 选择中间支撑



图 11.19 中间支撑数据输入

11.2.5.3 计算过程及计算结果说明

- (1) 采用力法求解一次超静定问题，求出约束点处的约束反力；
- (2) 计入约束点处的约束反力，计算各截面的弯矩、应力，并进行校核；
- (3) 增加约束点处所在截面的弯矩、应力计算，并进行校核；
- (4) 计入约束点处的约束反力，计算塔顶挠度。

11.2.5.4 何种情况下可认为中间支撑能对塔起到支撑作用？

首先满足条件：作为中间支撑的结构（如框架、平台等）除了与塔中间作为起支撑作用的接触点之外，没有其他的连接。

然后，需要满足以下条件：

作为中间支撑的结构在承受塔器传递过来的支撑反力时，其支撑点的横向位移非常小，以致在工程上可忽略不计。即：

将塔器作为一承受均布载荷 q 并有中间支承的悬臂梁，该模型为一次静不定结构。当首先撤除中间支承的条件下，可算得在支承点的横向位移为 δ_0 。其次，撤除均布载荷 q ，在中间支承点施加约束反力 F ，计算 F 作用下塔器支承点的横向位移：

$$\delta_1 = \frac{1}{E_1 J_1} \int_0^a F x_1^2 dx_1 \quad (1)$$

式中： E_1 – 塔器材料的弹性模量；

J_1 – 塔器截面的惯性矩；

a – 中间支撑离地面的距离。

中间支撑结构在支承反力 F 作用下支承点的横向位移：

$$\delta_2 = \frac{1}{E_2 J_2} \int_0^a F x_2^2 dx_2 \quad (2)$$

于是，塔器在均布载荷及支承反力同时作用时，支承点的实际横向位移 δ_a 为：

$$\delta_a = \delta_0 - \delta_1 + \delta_2 \quad (3)$$

比较式 (1) 和式 (2) 可知，如 $E_2 J_2 \gg E_1 J_1$ ，则在等式 (3) 中可假定 $\delta_2 \cong 0$ ，于是，支承点可近似为刚性，即

$$\delta_a = \delta_0 - \delta_1 \quad (4)$$

进一步，如支撑点与塔器外壁间没有间隙，则 $\delta_a = 0$ ，得到 $\delta_1 = \delta_0$ 。

综上所述，在 SW6 软件的计算中，认为中间支撑结构可作为支撑点的必要条件是该结构的刚度应远大于塔器的刚度，即满足 $E_2 J_2 \gg E_1 J_1$ ，从而可成立 $\delta_2 \cong 0$ 。如不满足 $E_2 J_2 \gg E_1 J_1$ ，在使用 SW6 软件进行计算时，不能将该结构作为中间支撑点。特别当该结构与塔器中间相连时，该结构与塔器应作为一体来计算整个结构的自振周期，在 SW6 软件中无法按此进行计算。

十二、球形储罐

12.1 球形储罐设备计算

12.1.1 计算功能

本程序依据 GB/T12337-2014《钢制球形储罐》和 GB/T17261-2011《钢制球形储罐型式与基本参数》等编制。具体功能如下：

1. 设计球壳：未知球壳厚度，设计出各带球壳厚度。圆整名义厚度时的步长为 1mm；
2. 校核球壳：已知球壳厚度，校核各带球壳应力，若应力小于等于许用应力值，则“合格”；否则为“不合格”，但会给出满足应力要求的厚度值方案，供用户决策；
3. 校核支柱：当同时给定支柱数目、外径和厚度时，若满足稳定验算，则“合格”；否则为“不合格”，但会给出可满足稳定要求的支柱厚度及若干其他方案，供用户决策；
4. 设计地脚螺栓、拉杆螺栓、销子直径、支柱底板直径和厚度、耳板厚度以及翼板厚度等；
5. 校核耳板和支柱、拉杆和翼板、支柱和球壳的焊接接头剪应力时，若剪应力小于等于相应的许用剪应力，则“合格”；否则为“不合格”，但会提出修改方案，经修改数据后，可使相应剪应力降低；
6. 球壳的外压校核：程序还能按 GB/T 150.3-2024《压力容器》进行球壳的外压校核，并给出最终的球壳许用外压力。

本程序在计算完毕之后将给出以下结果：

1. 设计时输出各带球壳的计算厚度和设计厚度；
2. 当球壳设计计算结束后，程序会自动把算得的球壳名义厚度填入各带厚度栏内，此时若再计算则成为校核型。因此，当还要作第二次球壳设计计算时，应删除这些返回值；
3. 校核时输出各带球壳的应力或者支柱的稳定性；
4. 输出地脚螺栓直径、拉杆螺栓直径、销子直径、支柱底板直径和厚度、耳板厚度以及翼板厚度等。

12.1.2 输入数据说明

球罐数据输入和计算主窗口如图 12.1 所示。进行球罐的“设备计算”前，必须先输入“球形壳体”和“支柱”中的有关数据，即本程序在“球形壳体”或“支柱”中，因为数据间相互有关联，所以是没有单独计算功能的。

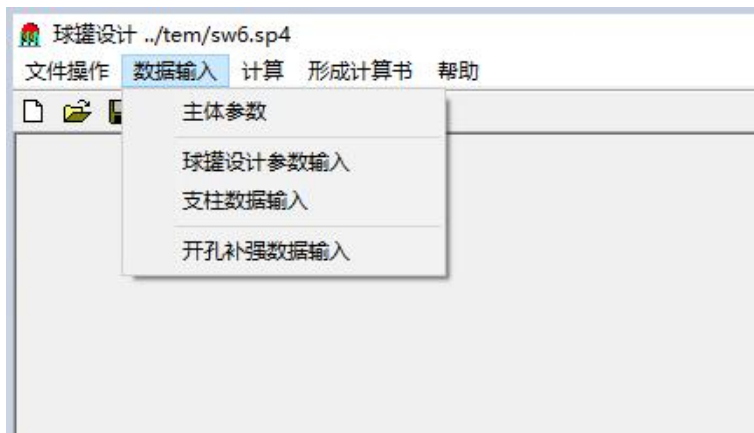


图 12.1 球罐数据输入和计算

在图 12.1 中单击“主体参数”，将出现如图 12.2 所示的数据输入页面。该页面中的数据输入需注意以下几点：

- (1) 设计压力 (MPa) 应小于等于 6.4，不包括液柱压力；
- (2) 容器公称容积 (m^3) 应优先采用 GB/T17261-2011 的表 1 或表 2 的数据；
- (3) 支柱底板与基础的摩擦系数：“钢与混凝土”输入 0.4，“钢与钢”输入 0.3；
- (4) 试验压力 (MPa) 不输入时由程序计算得到，也可由用户自行输入，建议用户自己输入，具体可参见 4.1.2 节。

图 12.2 球罐主体参数输入

在图 12.1 中单击“球罐设计参数输入”，即出现如图 12.3 所示的数据输入页面。其中某些参数的取值范围如下：

- (1) 容器充装系数应在 0~1 之间；
- (2) 壳体保温层厚度 (mm) 和重度 (kg/m^3) 应大于等于 0，无保温层时可不输入；
- (3) 附件质量 (kg) 应大于 0，包括人孔、接管、液面计、内件、喷淋装置、安全阀、梯子及平台等质量；
- (4) 球壳分带数应取整数 3~9，优先采用 GB/T17261-2011 的表 1 或表 2；
- (5) 阻尼比，程序默认为 0.035，用户也可根据实测数据输入；
- (6) 基本风压值 (N/m^2) 应在 300~1400 之间；
- (7) 基本雪压值 (N/m^2) 应在 0~2400 之间；
- (8) 地震设防烈度如选“其它”，则需输入“地震影响系数最大值 $\alpha_{\max}$ ”。

各分带数据输入如图 12.4 所示。其中某些参数的取值范围如下：

- (1) 该带底部至液面距离，即液柱高 h_i (mm) 大于等于 0，若公称容积和球壳分带数按 GB/T17261-2011 的表 1 或表 2 时，此项不输入；否则需要输入，见附图， i 自上而下排序，若该带底部在液面以上时，则液柱高不输入；

(2) 球壳材料在常温下的许用应力、屈服强度及其在设计温度下的许用应力的输入见 4.1.3 节所述。

如图 12.4 用户可以分别输入“第 2 带”、“第 3 带”、……的参数。

球型壳体数据输入

壳体数据输入 | 共有3带球壳 |

容器充装系数:

物料密度 (kg/m^3):

壳体保温层厚度 (mm):

壳体保温层重度 (kg/m^3):

附件质量 (kg):

基本风压值 (N/m^2):

基本雪压值 (N/m^2):

球壳类型
☒ 桔瓣式 ☐ 混合式

球壳分带数:

阻尼比:

设计地震分组
☒ 第一组 ☐ 第二组 ☐ 第三组

地震设防烈度
☒ 六度 ☐ 八度 (0.3g)
☐ 七度 (0.1g) ☐ 九度
☐ 七度 (0.15g) ☐ 不考虑
☐ 八度 (0.2g) ☐ 其它

地震影响系数最大值 $\alpha_{\max}$:

场地土类别
☒ I0级 ☐ II级 ☐ IV级
☐ I1级 ☐ III级

地面粗糙度类别
☐ A类 ☐ B类 ☐ C类 ☐ D类

图 12.3 球型壳体数据输入

球型壳体数据输入

壳体数据输入 | 共有3带球壳 |

第1带 | 第2带 | 第3带 |

该带球壳名义厚度 (mm):

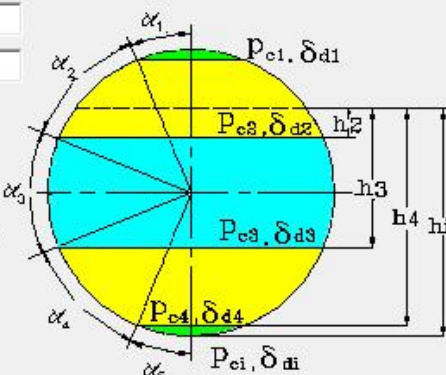
该带底部至液面距离 (mm):

壳体材料:

壳体材料在常温下的许用应力 (MPa):

壳体材料在设计温度下的许用应力 (MPa):

壳体材料在常温下屈服强度 (MPa):



The diagram illustrates a spherical shell divided into five segments. The segments are labeled with angles $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$. The segments are colored yellow, green, blue, yellow, and green. The diagram shows the geometry of the shell segments and the distances from the bottom to the liquid surface. The segments are labeled with P_{c1}, δ_{d1} , P_{c2}, δ_{d2} , P_{c3}, δ_{d3} , P_{c4}, δ_{d4} , and P_{c5}, δ_{d5} . The distances from the bottom to the liquid surface are labeled h_2, h_3, h_4, h_5 .

图 12.4 各带球壳数据输入

在图 12.1 中单击“支柱数据输入”，即出现如图 12.5 所示的数据输入页面。其中某些参数的取值范围如下：

- (1) 支柱数目应取 4~20 之间的整数，优先采用 GB/T17261-2011 的表 1 或表 2 中的数据；
- (2) 支柱外径 (mm) 应为 0~1000；支柱壁厚可由用户输入，也可由程序计算出；
- (3) 支柱中心圆半径 R (mm) 应小于等于 R_i ，如果不输入，则取 $R=R_i$ ；如果输入支柱腐蚀余量，则程序会按腐蚀前、腐蚀后对支柱进行稳定性校核；
- (4) 拉杆材料、支柱材料、支柱底板材料及其屈服强度，既可从列表框选取，也可由用户直接输入；
- (5) 基础材料的许用应力程序默认取 3.0MPa，但用户可根据实际情况进行输入。

图 12.5 支柱与拉杆数据输入 (1)

球壳支撑件和附件设计数据输入

支柱与拉杆数据输入 (1) | 支柱与拉杆数据输入 (2) | 支柱与拉杆数据输入 (3)

底板直径 (mm):

底板厚度 (mm):

支柱与球壳连接最低点 a 点至主球壳中心水平面距离 (mm):

一根支柱上地脚螺栓个数:

地脚螺栓公称直径 (mm):

地脚螺栓腐蚀裕量 (mm):

地脚螺栓材料:

地脚螺栓材料屈服强度 (MPa):

球壳中心至支柱底板底面距离 H_0 (mm):

支柱底板底面至上支耳销子中心的距离 l (mm):

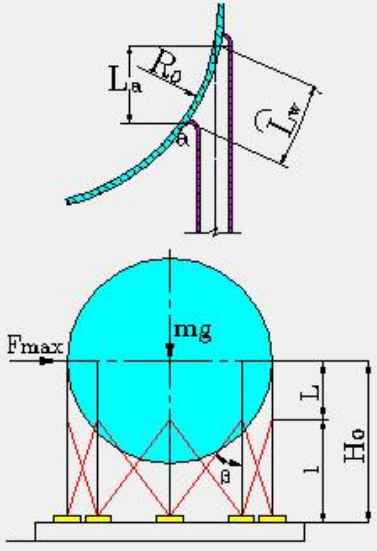
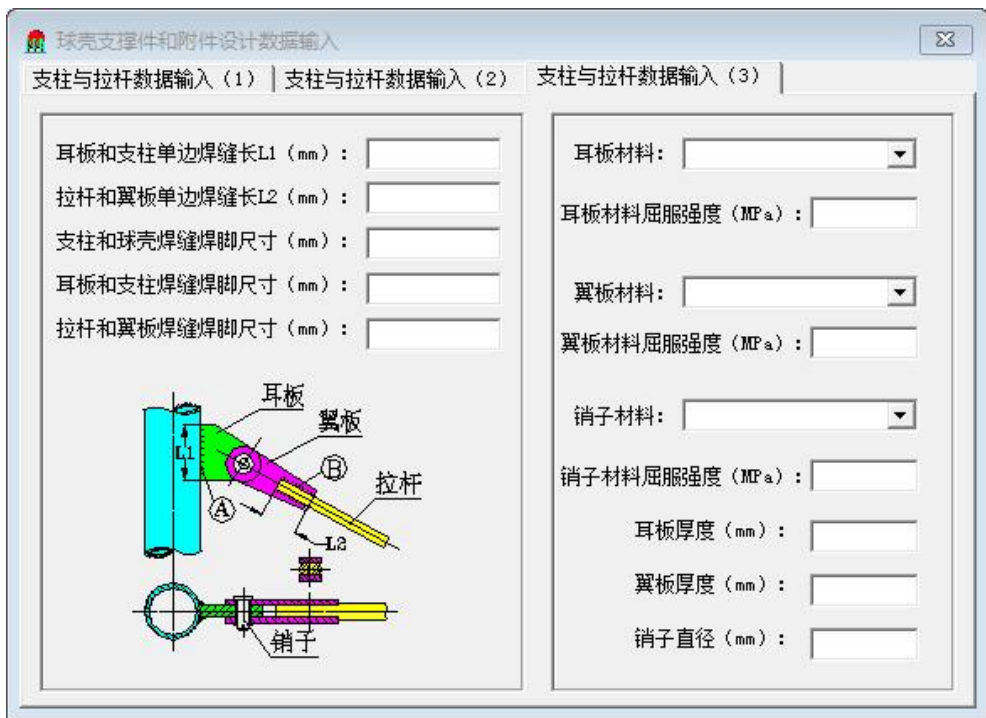


图 12.6 支柱与拉杆数据输入 (2)

在如图 12.6 所示的“支柱与拉杆数据输入 (2)”页面中, 某些参数的取值范围如下:

- (1) 支柱与球壳连接最低点 a 至主球壳中心水平面的距离 L_a (mm) 应大于 0;
- (2) 地脚螺栓公称直径 (mm) 大于 0, 小于等于 100, 且不必加“M”;
- (3) 球壳中心至支柱底板底面的距离 H_0 (mm) 应大于 0;
- (4) 支柱底板底面至上支耳销子中心的距离 l (mm) 应大于 0;
- (5) 底板厚度可输入, 也可由程序计算出。



球壳支撑件和附件设计数据输入

支柱与拉杆数据输入 (1) | 支柱与拉杆数据输入 (2) | 支柱与拉杆数据输入 (3)

耳板和支柱单边焊缝长 L_1 (mm) :

拉杆和翼板单边焊缝长 L_2 (mm) :

支柱和球壳焊缝焊脚尺寸 (mm) :

耳板和支柱焊缝焊脚尺寸 (mm) :

拉杆和翼板焊缝焊脚尺寸 (mm) :

耳板材料:

耳板材料屈服强度 (MPa) :

翼板材料:

翼板材料屈服强度 (MPa) :

销子材料:

销子材料屈服强度 (MPa) :

耳板厚度 (mm) :

翼板厚度 (mm) :

销子直径 (mm) :

耳板 翼板 拉杆 销子

图 12.7 支柱与拉杆数据输入 (3)

在如图 12.7 所示的“支柱与拉杆数据输入 (3)”页面中, 某些参数的取值范围如下:

- (1) 耳板和支柱单边焊接接头长 L_1 (mm)应大于 0;
- (2) 拉杆和翼板单边焊接接头长 L_2 (mm)应大于 0;
- (3) 支柱和球壳焊缝焊脚尺寸应大于 0;
- (4) 耳板和支柱焊缝焊脚尺寸应大于 0;
- (5) 拉杆和翼板焊缝焊脚尺寸应大于 0;
- (6) 耳板、翼板、销子材料及其屈服强度, 既可从列表框选取, 也可由用户直接输入;

(7) 耳板、翼板、销子的尺寸可不输入, 由程序自动计算得出; 也可输入, 此时程序会对输入的尺寸进行校核, 并给出满足要求的尺寸。需要注意的是, 此时, 对于耳板和翼板厚度, 程序设计出的厚度是基于输入的销子直径, 如果输入的销子直径校核不合格时, 设计出的耳板和翼板厚度偏差可能会比较大。建议用户按合格的尺寸再校核一遍。

所有数据完成以后, 用户可在图 12.1 中通过“计算”菜单进行计算。

十三、非圆形容容器

13.1 非圆形容容器设计计算

13.1.1 计算功能

非圆形容容器设计程序具有以下计算功能：

1. 非圆形截面壳体的厚度设计或强度校核，非圆形筒体包括无加强及有加强的对称矩形、非对称矩形、圆角矩形、长圆形、椭圆形、单撑、双撑加强矩形、单撑加强长圆形容容器及非均匀分布拉撑加强矩形容器等十三种结构；

2. 非圆形平盖的厚度设计或强度校核；

3. 非圆形法兰的设计和校核。

所有零部件都可单独进行计算，也可在输入了所需计算的零部件的有关数据后，单击“计算”菜单的“设备计算”按钮后由程序进行整个设备的设计计算。唯有进行设备计算以后，才能输出设备级的计算书。

13.1.2 输入数据说明

如用户希望整个设备一次计算完毕，则数据输入时可按照非圆形壳体、非圆形法兰（如有设备法兰的话）、非圆形平盖的次序进行输入，这样可使数据输入更为方便。

13.2 非圆形容容器壳体计算

本模块按照 GB/T 150.3-2024 的附录 A 中的内容编制。

13.2.1 计算功能

本模块的计算功能包括以下内容：

(1) 对矩形、带圆角矩形、长圆形、椭圆形截面容器壳体的厚度进行设计和校核；

(2) 对拉撑板的厚度进行校核；

(3) 对外加强件进行强度校核；

(4) 对各类应力进行评定；

(5) 无加强对称或非对称矩形截面容器壳体的外压稳定性校核。

如校核不合格，则不合格计算结果及修改方案将在屏幕上显示，供用户修改之参考。详细结果将在计算书中输出。由于非圆形截面容器受力较复杂，各点应力受短、长边、外加强尺寸等诸多影响，因此计算结果不是唯一的，用户可根据算得应力值进行调整。

对接焊缝和排孔对壳体削弱较大应尽可能安置在低应力区。本模块不考虑外加强件焊接削弱。

应力不合格调整原则是：大于等于 6mm 的碳钢按 2mm 步长增加，其他按 1mm 递增，型钢外加强危险点在其外侧时，按同一形式进行规格调整。

当壳体安置有标准外加强件，且外加强件强度校核不合格时，程序会自动设计出满足要求的外加强件规格，在屏幕结果输出中告诉用户，使用户可据此进行修改。

13.2.2 输入数据说明

在设备主窗口“数据输入”菜单中单击“非圆形筒体数据”按钮后，即出现如图 13.1 所示的数据输入页面。此对话框的左面是一组容器类型的单选按钮，用户必须选择其一。当点击某一类型按钮后，在右下方会出现该类型筒体的示意图。该对话框右上方为要求输入的参数，除了腐

蚀裕量为 0 时可以不输入，其它参数都需输入。其中，对于无加强对称或非对称矩形截面容器，其设计压力值可以大于 0 也可以小于 0，其它类型的非圆形容器，设计压力值应大于 0。排孔系指侧板上存在一系列规则排列的开孔，而对每个开孔又无法进行单独补强者。如用户点击了“壳体上开有排孔”单选按钮组中的“是”按钮，将出现另一数据输入页面“侧板开排孔结构数据输入”，见图 13.2。要求输入开孔孔径和孔间距，这几个数据也是必须输入的，否则程序将不予计算。如选择“厚度负偏差为用户输入”，则壁厚负偏差在计算时就取用户输入值。否则，负偏差值将由程序根据钢板标准确定。

非圆形壳体数据输入

非圆形容器设计参数 | 无加强对称矩形截面容器设计数据输入

非圆形容器类型：

- ☒ 无加强对称矩形截面容器
- ☐ 无加强非对称矩形截面容器
- ☐ 无加强圆角矩形截面容器
- ☐ 无加强长圆形截面容器
- ☐ 无加强椭圆形截面容器
- ☐ 外加强对称矩形截面容器
- ☐ 外加强圆角矩形截面容器
- ☐ 外加强长圆形截面容器
- ☐ 外加强椭圆形截面容器
- ☐ 单拉撑加强矩形截面容器
- ☐ 双拉撑加强矩形截面容器
- ☐ 单拉撑加强长圆形截面容器
- ☐ 非均匀分布拉撑加强矩形容器

设计压力 (MPa) :

设计温度 (°C) :

壳体腐蚀裕量 (mm) :

壳体轴向长度 (mm) :

液柱静压力 (MPa) :

壳体上是否开有排孔：

☐ 是 ☒ 否

☒ 壳体材料厚度负偏差为用户输入

厚度负偏差 (mm) :

图 13.1 非圆形筒体数据输入

图 13.2 侧板开排孔结构数据输入

图 13.3 各容器结构及材料性能数据输入

用户在选定容器类型以后，还应在下一页输入壳体的所有结构参数和材料性能参数，其内容将随容器类型而异，见图 13.3。总的来说，所有的数据可分为三类：

第一类为壳体的几何结构参数，如侧板长度、厚度和圆角半径等。这些参数一般都有图形提示，用户可根据图形上所标注的符号与数据输入框所对应的符号来进行输入。其中，对于无加强对称矩形截面容器、无加强长圆形容器、外加强对称矩形容器及外加强长圆形容器而言，名义厚

度 δ_1 和 δ_2 值不输入为设计型，反之则为校核型，若只输入 δ_1 和 δ_2 中任何一个时，则程序视为无效而作设计型计算；对于无加强非对称矩形截面容器，侧板名义厚度 δ_1 、 δ_2 及 δ_{22} 值不输入为设计型，反之则为校核型，若只输入 δ_1 、 δ_2 和 δ_{22} 中任何二个或一个时，则程序视为无效而作设计型计算；对于无加强带圆角矩形容器，容器名义厚度 δ_1 值不输入为设计型，反之则为校核型，注意，所要求输入的 l_1 和 L 不包括圆弧段，且分别是两个直边段长度之半；对于无加强椭圆形容器、外加强带圆角矩形容器、外加强椭圆形容器，容器名义厚度 δ_1 值不输入为设计型，反之则为校核型；对于单拉撑加强矩形容器、单拉撑加强长圆形容器和双拉撑加强矩形容器，侧板名义厚度 δ_1 、 δ_2 以及拉撑板名义厚度 δ_3 值不输入为设计型，反之则为校核型，若只输入 δ_1 、 δ_2 和 δ_3 中任何二个或一个时，则程序视为无效而作设计型计算。

第二类为材料名及材料性能参数，其输入同 4.1.3 节所述。

第三类为焊缝位置及接头系数，接头系数应大于 0.7。

如用户选择了具有外加强的容器，将出现“加强圈数据输入”一页，见图 13.4。这时，用户必须进一步输入有关加强圈的数据，否则程序也将无法进行计算。加强圈数据输入的页面操作同 4.1.3 节所述相似，但增加了加强件的材料名及其在设计温度下许用应力、在设计温度下屈服强度和常温下屈服强度的输入。由于本软件包中无结构钢的材料性能数据，故在材料名下拉框中提供的是锻件的材料名。用户如用其它材料请自行输入材料名和性能数据。

非圆形壳体数据输入

非圆形容器设计参数 | 外加强对称矩形容器设计数据输入 | 加强圈数据输入

加强件型钢类型:

加强件型钢规格:

加强件截面积 (mm^2):

加强件截面惯性矩 (mm^4):

加强件截面形心至顶端距离 D (mm):

加强件形心至壳体内壁或外壁距离 C (mm):

两相邻加强件中心线最大间距 (mm):

加强件中心线至封头焊接接头的最大间距 (mm):

加强件材料:

加强件材料在设计温度下许用应力 (MPa):

加强件材料在设计温度下屈服强度 (MPa):

加强件材料在常温下屈服强度 (MPa):

图 13.4 加强圈数据输入

13.3 非圆形平盖

本模块按照 GB/T 150.3-2024 中第 7.9 节和 HG/T 20582-2020 中第 12.3 节的内容编制。

13.3.1 计算功能

本模块能对焊接或法兰连接的非圆形平盖进行强度校核，与非圆形平盖相连的法兰有：平法兰和高颈法兰，压紧面有：平面，凹凸面，榫槽面。在平盖的强度计算以后，屏幕显示的结果输出不但告诉用户计算是否合格，还将告诉用户能满足设计条件的最小平盖厚度。

13.3.2 输入数据说明

单击主窗口“数据输入”菜单中的“上封头数据”或“下封头数据”后即进入非圆形平盖的数据输入和计算对话框，如图 13.5 所示。该对话框的内容同 4.2.2 节所述的封头对话框内容相似，但无封头类型的单选按钮组，因对于非圆形容器只能选择平盖进行计算。在该对话框中，设计压力值必须大于 0。封头厚度不输入为设计型，反之则为校核型。腐蚀裕量为 0 时，可不输入。如选择“厚度负偏差为用户输入”，则壁厚负偏差在计算时就取用户输入值，否则，负偏差值将由程序根据钢板标准确定。

在该页面的下一页为平盖类型选择页面，该页面也与 4.2.2 节所述的相似。但在该页面所列出的平盖类型中只有 2、3、4、5、8、9、10 等 7 种可以由用户选择，其它类型按 GB/T 150-2024 的规定不能用作非圆形平盖。如选择了 8、9、10 等 3 种类型之一，则会出现“垫片数据输入”一页，这时要求用户继续输入与平盖相连接的法兰垫片和螺栓数据（见 13.4.2 节的说明）。

全部数据输入结束，用户可单击设备主窗口中“计算”菜单中的“上封头”或“下封头”进行计算，也可待其它零部件数据都输入完后，同整个设备一起进行设备计算。

下封头数据输入 | 平盖类型选择 | 垫片参数输入

设计压力 (MPa) :		设计温度下屈服强度 (MPa) :	
设计温度 (°C) :		设计温度下弹性模量 (MPa) :	
封头名义厚度 (mm) :		平盖长轴长度 (mm) :	
腐蚀裕量 (mm) :		平盖短轴长度 (mm) :	
焊接接头系数 :			
材料类型 :	☒ 板材 ☐ 锻件		
材料 :			
设计温度下许用应力 (MPa) :			
	☐ 封头材料厚度负偏差为用户输入		

图 13.5 非圆形平盖数据输入

13.4 非圆型法兰

本模块按照 HG/T 20582-2020 中第 12 章的内容编制。

13.4.1 计算功能

本模块能对非圆形的无颈法兰、非斜锥高颈法兰、斜锥高颈法兰和大圆角过渡法兰进行强度校核计算，适用于法兰长短轴或长短边之比不大于 5 的情况。

13.4.2 输入数据说明

在非圆形容器设备主窗口中单击“数据输入”菜单中“法兰数据”后即进入非圆形法兰数据输入页面，如图 13.6 所示。该对话框中，“设计压力”应大于 0。“壳体名义厚度较小值”是针对容器长边和短边厚度不一致的情况，这时，应输入两个厚度中的较小值，由于本计算为校核型，故壳体名义厚度必须输入。“腐蚀裕量”为 0 时，可不输入。四种法兰类型必须选择其一，对话框的右上方将显示所选法兰类型的示意图。其它数据的输入同 4.1.3 节所述相同。该对话框的所有数据输入完之后，需在下一页继续输入计算所必要的该法兰设计参数。

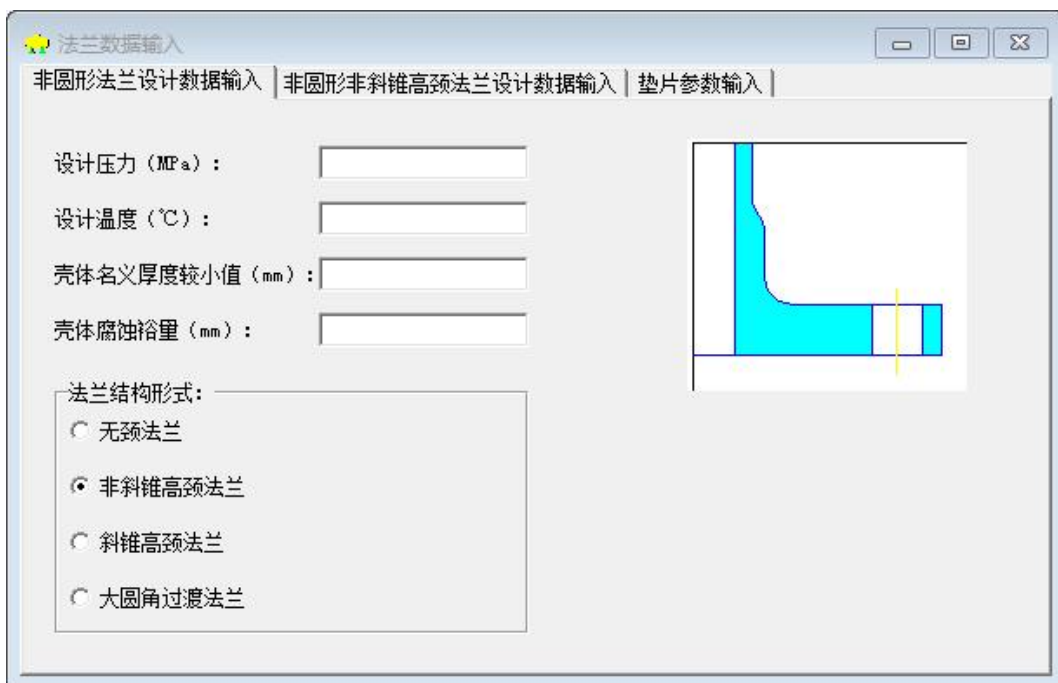


图 13.6 非圆形法兰数据输入

图 13.7 非斜锥高颈法兰数据输入

法兰设计输入页面中的内容将根据用户所选择的不同法兰类型而有所不同。如选择了非斜锥高颈法兰，则将出现如图 13.7 所示的页面。该页中包括两部分数据，一部分为法兰的几何结构参数，这些数据都有右上方图中的符号提示。另一部分为法兰的材料名及其性能参数，这部分数据的输入方法同 4.1.3 节所述。其它法兰类型所对应的数据输入页面的内容也是分成与非斜锥高颈法兰数据输入页面相同的两部分，只不过法兰的几何结构参数的输入有所不同。其中，高颈法兰有长颈及短颈之分，程序将会自动判别。由于本模块只能进行校核计算，对于非圆形高颈法兰来说，法兰厚度 h 及高颈厚度 δ_1 必须输入。而对于非圆形无颈法兰及大圆角过渡法兰，法兰厚度 h 必须输入。

法兰数据输入结束后还需进入下一页“垫片参数输入”页面，以输入法兰垫片和螺栓的数据，见图 13.8 所示。

图 13.8 垫片和螺栓数据输入

垫片和螺栓数据输入对话框中的系数 k_1 、 k_2 的值由用户所选垫片类型确定。一般来说，用户点击了垫片类型中的某一按钮后，该两值便会自动显示在数据输入框内，程序对这两个值的选取是根据 HG/T 20582-2020 中第 12 章给出的值，但用户可以进行修改。螺栓个数应为 2 的倍数，当所需螺栓公称直径在下拉框中没有时，用户可自行输入所需直径，但应同时输入螺栓根径或光杆直径。当所需螺栓材料牌号在下拉框中没有时，用户可自行输入所需牌号，但应同时输入螺栓材料在设计温度和室温下的许用应力。密封面形状如选择榫槽面时，旁边的“垫片形状”选择将会点亮，这时用户需确定垫片形状是 O 形环垫片还是其它垫片。螺栓数据的输入同 4.3.2 节所述。

待所有数据输入完成，可单击主窗口“计算”菜单中的“容器法兰”进行计算，也可将法兰与其它零部件一起进行设备计算。

十四、零部件

14.1 焊接环形垫片密封法兰

14.1.1 计算功能

本模块根据 GB/T 150.3-2024《压力容器》和 HG/T 20582-2020《钢制化工容器强度计算规范》编制而成。适用于两接触面之间不设置垫片的焊接密封法兰。型式包括整体式无垫片法兰、板片式无垫片法兰、圆形空腔式无垫片法兰、焊环式无垫片法兰和卵形空腔式无垫片法兰；或者虽有小直径的软环但垫片反力很小可以不计情况。

本模块可校核计算受内压或外压作用焊接环形垫片密封法兰。法兰型式分为活套法兰、平焊法兰及整体法兰。计算包括螺栓所需截面积、法兰各项应力及结构尺寸的校核计算。

14.1.2 输入数据说明

用户在零部件对话框的“数据输入”菜单中点击“焊接环形垫片密封法兰”，将出现“焊接环形垫片密封法兰”输入页面，见图 14.1。

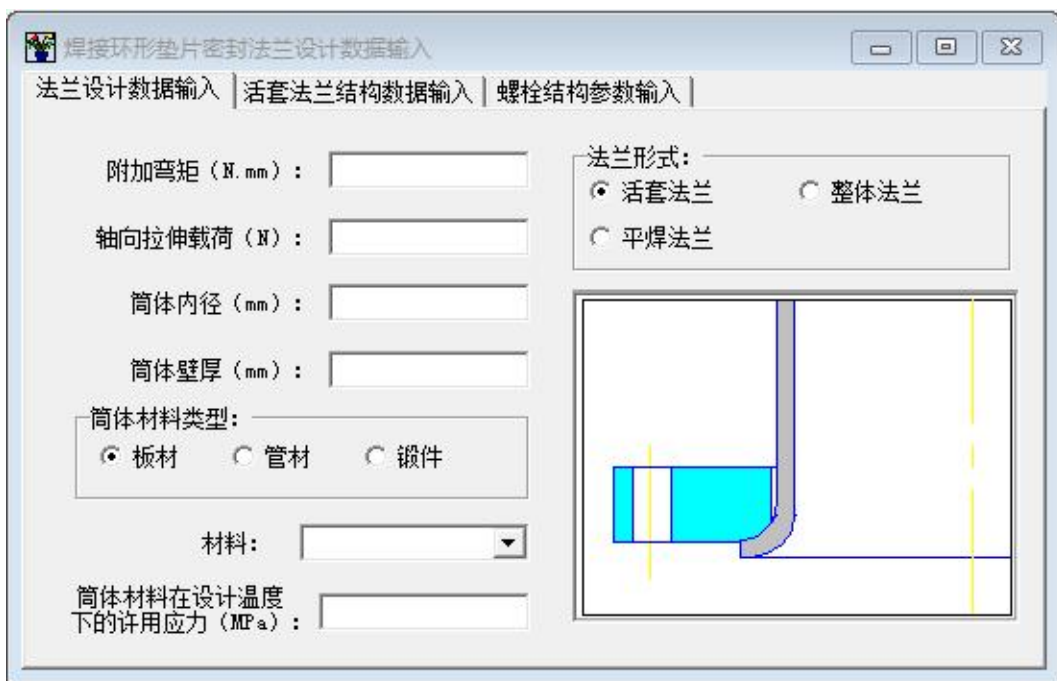


图 14.1 焊接环形垫片密封焊法兰数据输入

用户在图 14.1 中选择不同法兰型式，右下角会出现不同法兰型式示意图，在下一页将根据用户所选法兰形式分别显示法兰结构数据和材料性能数据输入页面，如活套法兰见图 14.2，法兰结构数据可根据该页面右下方示意图中所标注的符号进行输入，材料性能数据的输入参见 4.1.3 节所述，其它两种法兰结构数据有所不同，但也都可根据示意图中所标注的符号输入，具体输入可参见 4.3.2 节。该页数据输入结束后，还在下一页输入螺栓结构数据，螺栓结构输入数据见图 14.3。用户输入完某一类型法兰后，可以在零部件对话框中点击“计算”菜单中的“焊接环形垫片密封法兰”，计算机将结果在计算机屏幕上显示，供用户查看。如果点击“形成计算机书”，

计算机会自动转到 Word 模式下显示正式格式计算书，供用户存档、打印。结果在计算机屏幕上显示，供用户查看。

焊接环形垫片密封法兰设计数据输入

法兰设计数据输入 | 活套法兰结构数据输入 | 螺栓结构参数输入

法兰外径 D (mm):

法兰材料:

接触面外直径 D_o (mm):

法兰材料在设计温度下的许用应力 (MPa):

受内压部分最大内直径 D_i (mm):

法兰材料在常温下的许用应力 (MPa):

法兰内径 D_3 (mm):

法兰厚度 (mm):

法兰材料类型: ☐ 板材 ☐ 锻件

剪切面高度 h (mm):

法兰结构示意图:

图 14.2 焊接环形垫片密封焊活套法兰结构数据输入

焊接环形垫片密封法兰设计数据输入

法兰设计数据输入 | 活套法兰结构数据输入 | 螺栓结构参数输入

螺栓圆直径 D_b (mm):

螺栓公称直径 (mm):

螺栓根径或光杆直径 (mm):

螺栓个数:

螺栓材料:

螺栓材料在设计温度下的许用应力 (MPa):

螺栓材料在常温下的许用应力 (MPa):

螺栓圆示意图:

图 14.3 螺栓及垫片数据输入

14.2 卡箍连接件设计

14.2.1 计算功能

本模块的编制依据为 HG/T 20582-2020《钢制化工容器强度计算规范》中“卡箍连接设计”和 ASME BPVC.VIII-1-2019《压力容器建造规则》强制性附录 24“卡箍连接设计规则”。功能包括对受内压作用下卡箍连接结构进行校核计算，压力以外的载荷如作用在卡箍连接件上的管道载荷或其他载荷应另行考虑。

本模块主要用于校核管道及小直径压力容器的卡箍连接结构，包括卡箍、卡箍凸耳及其端部在预紧和操作状态时由介质压力、卡箍螺栓力作用下所引起的各项应力。

14.2.2 输入数据说明

用户在零部件对话框的“数据输入”菜单中点击“卡箍结构”，依次进入卡箍连接结构数据输入图 14.4、14.5 和 14.6。

图 14.4 卡箍连接的筒体端部数据输入

卡箍结构

结构数据输入<1> 结构数据输入<2> 螺栓及垫片结构参数输入

卡箍内直径 D_{ci} (mm):

卡箍—高颈接触中心处的有效间隙 C_g (mm):

卡箍有效厚度 C_t (mm):

卡箍有效宽度 C_w (mm):

卡箍唇部长度 L_c (mm):

卡箍中心至螺栓有效中心的径向距离 B_o (mm):

螺栓中心至凸耳卡箍体连接处的距离 L_a (mm):

卡箍凸耳高度 L_h (mm):

卡箍凸耳宽度 L_w (mm):

卡箍材料:

卡箍材料在设计温度下的许用应力 (MPa):

卡箍材料在常温下的许用应力 (MPa):

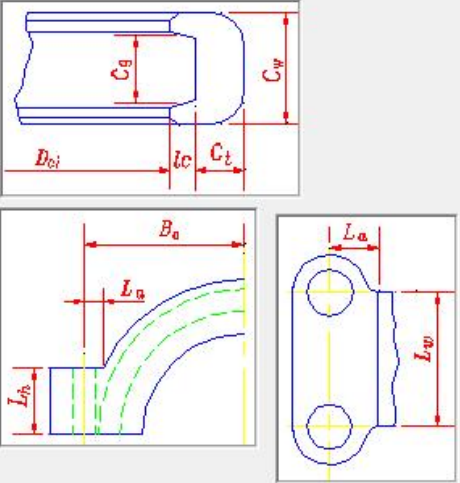


图 14.5 卡箍数据输入

卡箍结构

结构数据输入<1> 结构数据输入<2> 螺栓及垫片结构参数输入

垫片与密封面接触内径 D_1 (mm):

垫片与密封面接触外径 D_2 (mm):

垫片的单位预紧比压 (MPa):

垫片系数:

螺栓公称直径 (mm):

螺栓根径或光杆直径 (mm):

螺栓个数:

螺栓材料:

螺栓材料在设计温度下的许用应力 (MPa):

螺栓材料在常温下的许用应力 (MPa):

密封面形式

☒ 平面 ☐ 榫槽面

☐ 凹凸面 ☐ 其他

图 14.6 螺栓及垫片数据输入

在输入各部分的结构尺寸前,最好能先按比例绘制结构草图,以使得输入的结构尺寸不致于矛盾。本模块输入参数注意事项:

- (1) 设计压力应输入绝对值,液柱静压力可叠加在设计压力中;
- (2) 摩擦角 μ 可根据卡箍与高颈材料从《机械零部件手册》中查取,一般为 $8\sim 15^\circ$;
- (3) 高颈锥角 φ 应不超过 40° ;
- (4) 过渡段锥角 α 应不超过 45° ;

(5) 螺栓个数注意要扣除定位螺栓个数；

(6) 垫片与密封面接触内径、外径，对于平面应输入垫片内径、外径，对于凹凸面密封应输入垫片内径、凸面外径，而对于榫槽面密封应输入榫面内径、外径，其它密封面形式的密封面接触内径、外径的输入见 GB/T 150.3-2024 “法兰计算” 章节中的说明。对于平面或凹凸面密封，程序在计算时所取的有效密封宽度按 GB/T 150.3-2024 的表 9-1 中的图 1a 和 1b 选取，对于榫槽面密封，其有效密封宽度按图 1d 和 1c 选取。其它密封面形式，有效密封宽度由用户自行按 GB/T 150.3-2024 的表 9-1 选取。本模块不支持宽面法兰垫片结构。

用户对图 14.6 所示对话框的数据输入方法见 4.3.2 节所述。

用户输入完全部数据后，在零部件对话框中点击“计算”菜单中的“卡箍结构”，屏幕上会显示计算结果，供用户查看，点击“形成计算书”，计算机会自动转到 Word 模式下，显示正式格式计算书，供用户存档、打印。

14.3 弯制弯管、斜接弯管计算

14.3.1 计算功能

本模块的计算依据是：弯制弯管按 HG/T 20582-2020《钢制化工容器强度计算规范》中的“内压弯头计算”、斜接弯管按“斜接弯管的设计和计算”，该标准没有规定的部分按照 ASME B31.3-2014《工艺管道》的规定。

各子模块使用条件：

(1) 本模块所指的弯头、弯制弯管，系指直圆管在平面内弯制而成的光滑弯管，不包括铸造弯管、热管及由专用压成型的弯管；

(2) 斜接弯管适用于设计压力 $\leq 2.0\text{MPa}$ ，设计温度低于材料的蠕变温度的工况。切割角 $\theta > 22.5^\circ$ 的斜接弯管仅适用于无毒、非可燃介质，设计压力小于 1.0MPa 且设计温度高于 20°C 但不高于 185°C 的工况。切割角 $\theta > 8.75^\circ$ 的斜接弯管不得用于剧烈循环的工况，不得用于极度、高度危害介质的工况。

校核计算内容：

(1) 弯头的名义厚度；

(2) 斜接弯管的名义厚度、斜接弯管最小有效半径、弯管两端直段最小长度及最大许用应力。

14.3.2 输入数据说明

用户在零部件对话框的“数据输入”菜单中点击“弯头、斜接管”，进入输入数据图 14.7，选择要计算类型后，再在相应计算内容页面输入具体数据。

图 14.7 弯管、斜接管数据输入及计算

本模块输入参数注意事项:

- (1) 在“内压弯头”数据输入中，弯头中心线曲率半径 R 应大于等于弯头管子外径 D_w ；
- (2) 在“多斜接面弯管”或“单斜接面弯管”数据输入中，如果斜接弯管的有效半径太小，程序将不能计算（详见标准中参数 R 的说明）。
- (3) 外压弯管还应按 GB/T150.3 进行稳定性计算。

用户可以在零部件对话框中点击“计算”菜单中的“弯头、斜接管”，屏幕上会显示计算结果，供用户查看。点击“形成计算书”，计算机会自动转到 Word 模式下，显示正式格式计算书，供用户存档、打印。

14.4 带法兰凸形封头计算

14.4.1 计算功能

本模块按 GB/T 150.3-2024 中的 7.11 节的内容进行编制。对于该节中形式 (a) 的凸形封头。可将封头与法兰分开计算。本模块仅提供了对形式 (b)、(c) 和 (d) 三种形式带法兰凸形封头的内、外压计算。

14.4.2 输入数据说明

用户在零部件对话框的“数据输入”菜单中点击“带法兰凸形封头”，进入输入数据图 14.8，填完基本参数后选择不同形式，再进入不同形式的数据输入页面。

图 14.8 带法兰凸形封头数据输入及计算

本模块输入数据注意事项:

- (1) 封头名义厚度不输入时为设计型，反之为校核型。
- (2) 当整块钢板制作封头时，焊缝系数取 1.0。
- (3) 当选择凸形封头形式为“形式 c”时，用户需输入该形式凸形封头的螺栓孔结构。
- (4) 当选择“形式 b”与“形式 c”时，进入数据输入 (2) 页面时，法兰厚度必须输入，选择“形式 d”时，法兰厚度可不输入，此时为设计型，反之为校核型。
- (5) 法兰密封面及螺栓数据输入说明见 4.3.2 节所述。

用户在输入完全部数据后，可以在零部件对话框中点击“计算”菜单中的“带法兰凸形封头”，屏幕上会显示计算结果，供用户查看。点击“形成计算书”，计算机会自动转动 Word 模式下，显示正式格式计算书，供用户存档、打印。

14.5 局部应力的计算

14.5.1 计算功能

本模块用于柱壳或球壳上由于外载引起的局部应力计算，计算方法依据 HG/T 20582-2020《钢制化工容器强度计算规范》，并参照 WRC537 公报、WRC297 公报、EN13445.3 中的 16.4 和 16.5 节以及 CSCBPV-TD001-2013《内压与支管外载作用下圆柱壳开孔应力分析方法》指导性技术文件的内容进行编制。所有图表均用标准方式处理，并形成基础数据文件，供应力计算时求 N_θ 、 N_x 、 M_θ 和 M_x 之用。本模块可快速地确定被计算柱壳或球壳（或椭圆封头碟形封头等）上在外载荷作用下所产生的最大表面应力和最大薄膜应力，从而为应力分析人员作出合理的应力评定提供一种依据。本软件材料的许用应力按 GB/T 150.2-2024 取值，应力评定只供用户参考（因无相应标准规定），计算中应力集中系数均取为 1.0 来处理，即载荷不带交变性质或按 JB 4732-1995 的规定可以免除疲劳分析的情况。为了方便用户，本模块按工程实际问题分为十个子模块，以下分述各子模块的使用范围及注意事项。

1. 柱壳上圆形附件或接管局部应力计算子模块

1.1 本子模块适用于柱壳上接管或圆形附件承受外载荷（见图 14.9）时，壳体局部应力计算，其计算依据为 HG/T20582-2020 第 19 章和 WRC537 公报。

1.2 坐标系说明

管道专业进行应力计算时，经常计算到设备接管法兰处，也就是说管道专业向设备专业提外载荷条件时，载荷作用点在设备接管法兰面上，且载荷不一定沿壳体轴线平行或垂直，所以为了方便用户，在本模块中引入接管外伸长度，并定义了两个坐标系统，1-2-Z 为外载荷坐标系，X-Y-Z 为设备坐标系（X 轴平行于壳体轴线，Y 轴为壳体切线，Z 轴为壳体径向）程序自动将 1-2-Z 坐标系外载荷转变为 X-Y-Z 坐标系载荷，如两坐标系方向相同，两坐标系夹角 θ 值应为零，如管道专业所提载荷作用点在接管根部，则接管外伸长度应为零。计算时请注意载荷的方向，载荷方向与图 14.9 所示方向相同时，载荷为正值，否则为负值。

请注意：用户计算柱壳上接管载荷引起的局部应力时，本子模块将接管作为实心圆形附件进行处理，只计算柱壳上的局部应力，未计算接管上的局部应力。

1.3 本子模块使用条件

(1) 受外力矩作用时，圆形附件或接管中心至邻近封头切线的距离 $L \geq (0.5R_m + d/2)$ ；受径向载荷作用时，圆形附件或接管中心至邻近封头切线的距离 $L \geq R_m$ 。

其中： R_m 为柱壳的平均半径； d 为圆形附件直径或接管外径。

(2) 几何系数 β

应使 $0.01 \leq \beta = 0.875d / (2R_m) \leq 0.5$

其中： d 为圆形附件或接管外径， R_m 为柱壳的平均半径。

(3) 几何系数 γ

应使 $5 \leq \gamma = R_m / T \leq 300$

其中： T 为壳体有效厚度（当计算接管根部的局部应力且有补强圈时，其值为壳体有效厚度与补强圈厚度之和）， R_m 为柱壳的平均半径。

2. 柱壳上方形附件局部应力计算子模块

2.1 本子模块适用柱壳上方形附件承受外载荷对壳体产生的局部应力计算，例如，用方形补强板与柱壳相接的接管托架，其计算依据为 HG/T20582-2020 第 19 章和 WRC537 公报。

2.2 坐标系说明

本子模块只定义了一个坐标 X-Y-Z 为坐标系，其 X 轴平行于壳体轴线，Y 轴为壳体切线，Z 轴为壳体径向。计算时请注意载荷的方向，载荷方向与图 14.9 所示方向相同时，载荷为正值，否则为负值。

2.3 本子模块使用条件

(1) 方形附件中心至邻近封头切线的距离 $L \geq 0.5R_m$

其中： R_m 为柱壳的平均半径。

(2) 几何系数 β

应使 $0.01 \leq \beta = C_x / 2R_m \leq 0.5$

其中： C_x 为方形附件边长， R_m 为柱壳的平均半径。

(3) 几何系数 γ

应使 $5 \leq \gamma = R_m / T \leq 300$

其中： T 为壳体有效厚度， R_m 为柱壳的平均半径。

3. 柱壳上矩形附件局部应力计算子模块

3.1 本子模块适用于柱壳上矩形附件承受外载荷对壳体产生的局部应力计算，其计算依据为

HG/T20582-2020 第 19 章和 WRC537 公报。

3.2 坐标系说明同 2.2

3.3 本子模块使用条件

(1) 矩形附件中心至邻近封头切线的距离 $L \geq 0.5R_m$

其中： R_m 为柱壳的平均半径。

(2) 几何系数 β

应使 $0.01 \leq \beta \leq 0.5$

4.2 矩形附件条件下，此 β 值不为定值，而与外载类型和 β_1 及 β_2 的值有关（详见 WRC537 第 4.2 节）。

其中 $\beta_1 = C_y/2R_m$ ； $\beta_2 = C_x/2R_m$ 且应使 $1/4 \leq C_x/C_y \leq 4$

式中： C_x 为矩形附件纵向边长， C_y 为矩形附件周向边长

(3) 几何系数 γ

应使 $5 \leq \gamma = R_m/T \leq 300$

其中： T 为壳体有效厚度， R_m 为柱壳的平均半径。

4. 球壳上接管局部应力计算子模块

4.1 本子模块适用于球壳（或椭圆封头和碟形封头等）上接管承受外载荷对球壳产生的局部应力计算，其计算依据为 HG/T20582-2020 第 20 章和 WRC537 公报。

4.2 坐标系说明同 1.2

4.3 本模块使用条件

(1) 接管或补强板的边缘不得在椭圆封头 80% D_i 区域外或碟形封头的过渡区内。

(2) 几何系数 ρ

应使 $0.25 \leq \rho = T/t \leq 10$ ，见表 14.1。

其中： T 为球壳有效厚度，当计算接管根部的局部应力且有补强圈时，其值为壳体有效厚度与补强圈厚度之和。 t 为接管有效厚度。

(3) 几何系数 μ

应使 $0.05 \leq \mu = r_0/(R_m T)^{1/2} \leq 2.2$

其中： r_0 为接管外半径， R_m 为球壳平均半径， T 为球壳有效厚度。当计算接管根部的局部应力且有补强圈时，其值为壳体有效厚度与补强圈厚度之和。

(4) 几何系数 γ

应使 $5 \leq \gamma = R_m/T \leq 50$ ，见表 14.1。

其中： T 为壳体有效厚度， R_m 为球壳平均半径。

表 14.1 几何系数 ρ 和 γ 限制表

$\rho \backslash \gamma$	0.25	1	2	4	10
5	有解	有解	有解	有解	无解
15	无解	有解	有解	有解	有解
50	无解	无解	无解	有解	有解

表中“无解”的含义为无曲线可查。

5. 球壳上圆形附件局部应力计算子模块

5.1 本子模块适用于球壳（或椭圆封头和碟形封头等）上圆形附件承受外载荷对球壳产生的局部应力计算，其计算依据为 HG/T20582-2020 第 20 章和 WRC537 公报。

5.2 本模块使用条件

(1) 圆形附件的边缘不得在椭圆封头 80%D_i 区域外或碟形封头的过渡区内。

(2) 几何系数 μ

应使 $0.05 \leq \mu = r_0 / (R_m T)^{1/2} \leq 2.2$

其中： r_0 为圆形附件半径， T 为球壳有效厚度， R_m 为球壳平均半径。

6. 球壳上方形附件局部应力计算子模块

6.1 本子模块适用于球壳（或椭圆封头和碟形封头等）上方形附件上承受外载荷对球壳产生的局部应力计算，其计算依据为 HG/T20582-2020 第 20 章和 WRC537 公报。

6.2 本模块使用条件

(1) 圆形附件的边缘不得在椭圆封头 80%D_i 区域外或碟形封头的过渡区内。

(2) 几何系数 μ

应使 $0.05 \leq \mu = C_x / [1.75(R_m T)^{1/2}] \leq 2.2$

其中： C_x 为方形附件边长， T 为球壳有效厚度， R_m 为球壳平均半径。

7. 柱壳上接管局部应力计算子模块

7.1 本子模块适用于柱壳上接管承受外载荷对壳体产生的局部应力计算，其计算依据为 HG/T20582-2020 第 21 章和 WRC297 公报。

7.2 坐标系说明同 1.2

7.3 本模块使用条件

(1) 接管中心至邻近封头切线的距离 $L \geq d/2 + 2(D_m T)^{1/2}$

其中： d 为接管外径， D_m 为柱壳的平均半径， T 为柱壳的有效厚度，当有补强圈时，其值为壳体有效厚度与补强圈厚度之和。

(2) 系数 $d/t \leq 100$

其中： d 为接管外径， t 为接管有效厚度。

(3) 系数 $D_m/T \leq 2500$

其中： D_m 为柱壳的平均半径。 T 为柱壳的有效厚度，当有补强圈时，其值为壳体有效厚度与补强圈厚度之和。

(4) 不适用于内伸接管

8. 凸形封头上接管计算

8.1 本子模块适用于球壳上接管承受内压对壳体产生的局部应力计算，其计算依据为 EN13445.3 的 B16.4 节。

8.2 本模块使用条件

(1) $0.001 \leq e_a/R \leq 0.1$;

其中： e_a 为壳体厚度， R 为开孔处壳体平均半径。注意，如果壳体壁厚偏差不超过壁厚的一半时，则 $e_a/R < 0.001$ 的值是可以接受的。

(2) 任意方向的其它局部载荷之间的距离应不小于 $(R \cdot e_c)^{1/2}$

(3) 在 $l \geq (d \cdot e_b)^{1/2}$ 距离范围内接管厚度应相同。

9. 柱壳上接管计算

9.1 本子模块适用于柱壳上接管承受内压对壳体产生的局部应力计算，其计算依据为 EN13445.3 的 B16.5 节。

9.2 本模块使用条件

(1) $0.001 \leq e_a/D \leq 0.1$;

其中： e_a 为壳体厚度； D 为开孔处壳体平均直径。

依据：EN13445.3 的 B16.5.3 节。

$$(2) \lambda_e = d / (D e_c)^{1/2} \leq 10$$

其中：d 为接管平均直径；D 为开孔处壳体平均直径；e_c 为壳体和加强板的组合厚度。注意，在此范围外，扭矩的影响是需考虑的。

依据：EN13445.3 的 B16.5.3 节。

$$(3) \text{任意方向的其它局部载荷之间的距离应不小于 } (D \cdot e_c)^{1/2}$$

依据：EN13445.3 的 B16.5.3 节。

$$(4) \text{在 } l \geq (d \cdot e_b)^{1/2} \text{ 距离范围内接管厚度应相同。}$$

依据：EN13445.3 的 B16.5.3 节。

10. 圆柱壳上接管计算

10.1 本子模块适用于内压与支管外载荷作用下圆柱壳开孔局部应力计算，其依据是全国锅炉压力容器标准化技术委员会 2013 年 10 月 1 日发布的 CSCBPV-TD001-2013《内压与支管外载荷作用下圆柱壳开孔应力分析方法》指导性技术文件。

10.2 本模块使用条件

(1) 适用于具有单个径向平齐接管的圆柱壳。

(2) 当圆柱壳具有两个或两个以上开孔时，相连两开孔边缘沿主壳内壁的间距不得小于 $2(D_i \delta_n)^{1/2}$ 。

(3) 圆柱壳、支管和补强件的材料，其标准室温（下）屈服强度与标准室温抗拉强度下限值之比 $R_{el}/R_m \leq 0.8$ 。

(4) 支管或补强件与圆柱壳应采用全截面熔透焊缝，从而确保补强结构的完整性。

(5) 对圆柱壳或支管进行整体补强，必须满足补强范围尺寸：对于圆柱壳 $l > (D_i \delta_n)^{1/2}$ ，对于支管 $l_t > (d_0 \delta_{nt})^{1/2}$ 。

(6) 圆柱壳与支管之间角焊缝的焊脚尺寸 w_s 和 w_h 应分别不小于 $\delta_n/2$ 和 $\delta_{nt}/2$ ，支管内壁与圆柱壳内壁交线处圆角半径在 $\delta_n/8$ 和 $\delta_n/2$ 之间。

(7) 结构参数 $\lambda = d / \sqrt{DT}$ 、开孔率 $\rho = d / D$ 和参数 t/T （即是 δ_{et} / δ_e ）应满足： $\lambda \leq 12$ ； $\rho \leq 0.9$ ； $\max\{0.5, \rho\} \leq t/T \leq 2$ 。 λ 、 ρ 、 t/T 还应在 CSCBPV-TD001-2013 附录 A 所给曲线图组的范围内，不允许外延取值。

(8) 当内压载荷与支管所受外力矩 M_y 或 M_z 共同作用时，如内压载荷 p 与支管所受外力矩 M_y 或 M_z 之比应分别满足 $\alpha_{My} = \frac{p \rho r R^2}{M_y} \geq 0.8$ 、 $\alpha_{Mz} = \frac{p \rho r R^2}{M_z} \geq 0.4$ 。若支管所受外力矩

M_y 或 M_z 过大不能满足上述要求时，程序给出提示并停止计算，用户可采用其他方法（如有限单元法）进行应力分析。

(9) 使用本模块对圆筒体上法向接管结构的校核结果如为合格，则可免除该结构的开孔补强计算和校核。

14.5.2 输入数据说明

用户在零部件对话框的“数据输入”菜单中点击“局部应力”，会出现下面图 14.9。

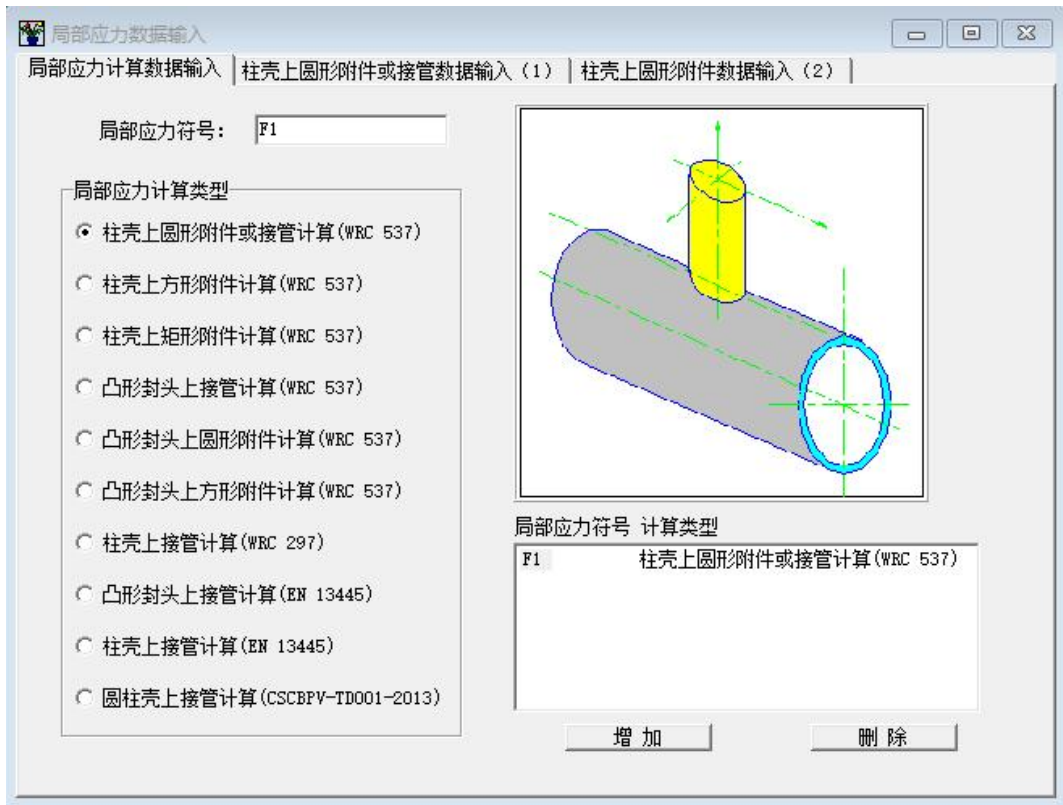


图 14.9 局部应力数据输入及计算

用户在图 14.9 中选择计算类型时，选择不同计算类型（共十个子模块），右边会出现不同图形提示，同时下一页会出现不同计算类型输入对话框，进入十个子模块输入数据对话框基本相近。本程序支持最多 20 个接管的局部应力同时计算。用户可通过“增加”、“删除”按钮来增减。下面以选择柱壳上圆形附件或接管计算示例（见图 14.10、14.11）。用户在图 14.10 中如选择有补强圈，则“补强圈外径”和“补强圈厚度”会出现在页面上让用户输入。在图 14.11 中，用户可参照对应的标准进行输入。

局部应力数据输入

局部应力计算数据输入 | 柱壳上圆形附件或接管数据输入 (1) | 柱壳上圆形附件数据输入 (2)

圆筒内径 (mm):

圆筒名义厚度 (mm):

圆筒壁厚附加量 (mm):

圆筒体材料类型

☒ 板材 ☐ 管材 ☐ 锻件

筒体材料:

筒体材料在设计温度下
许用应力 (MPa):

☒ 有补强圈补强 ☐ 无补强圈补强

补强圈外径 (mm):

补强圈厚度 (mm):

图 14.10 柱壳上圆形附件或接管局部应力数据输入 (1)

局部应力数据输入

局部应力计算数据输入 | 柱壳上圆形附件或接管数据输入 (1) | 柱壳上圆形附件数据输入 (2)

接管外径 (mm):

接管伸出长度H (mm):

接管中心至封头切线之距离L (mm):

两坐标系之夹角 (°):

沿Z轴径向力 (N):

沿1轴水平力 (N):

沿2轴水平力 (N):

沿Z轴扭矩M (N.mm):

绕1轴弯矩 (N.mm):

绕2轴弯矩 (N.mm):

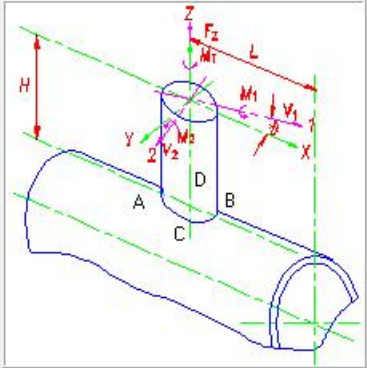


图 14.11 柱壳上圆形附件或接管局部应力数据输入 (2)

用户输入完全部数据后，用户可以在零部件对话框中点击“计算”菜单中的“局部应力”，屏幕会出现计算结果，供用户查看。点击“形成计算书”，计算机会自动转到 Word 模式下，显示正式格式计算书，供用户存档、打印。

14.6 法兰设计另一方法

14.6.1 计算功能

本模块依据 HG/T 20582-2020《钢制化工容器强度计算规范》中第 22 章“法兰设计另一方法”编制。本方法是以法兰连接接头的密封性作为设计的主要目标，根据法兰连接接头中一对法兰或法兰、法兰盖与垫片、螺栓等所有零件的相互作用和变形协调，确定了较完整的法兰接头设计和校核内容，包括：

- a) 确定满足密封要求在预紧工况、操作工况和试验工况所需要的最小螺栓预紧力；按各工况下满足法兰、螺栓、垫片强度要求的条件而确定的最大螺栓预紧力；
- b) 按最大螺栓预紧力确定的螺栓预紧力矩；
- c) 按最大螺栓预紧力计算各工况下垫片反力和螺栓力，并对垫片、螺栓和配对法兰（或法兰和法兰盖）进行强度校核；
- d) 按最大螺栓预紧力计算法兰转角。

14.6.1.1.适用范围

本程序方法只适用于整体的圆形法兰，对于中间剖分的法兰、非圆形的法兰、有加强筋的法兰、金属密封面直接接触的法兰和两法兰间有限位环的法兰，本程序无法进行计算。

本程序方法主要是从保证法兰接头的密封性出发，因此，无论是结构中各零部件的变形，还是所作用的载荷，如其对接头的密封性能影响很小，则在该方法中将不予考虑。因此，对于作用于法兰接头上的载荷，只考虑流体压力、平行于法兰中心线的轴向力和作用于法兰密封面上的弯矩，而不考虑作用于法兰密封面上的扭矩和剪力。另外，为了简化计算，在标准的方法中还忽略了如下的一些次要因素：

- a) 认为法兰和垫片都是轴对称的，而忽略螺栓孔对轴对称的影响；
- b) 不考虑法兰环横截面的变形，即只考虑法兰环中的周向应力和应变，而忽略其所受到的径向和轴向应力及应变；
- c) 垫片与法兰的实际接触宽度按预紧工况，按两配对法兰的弹性扭转变形以及垫片的弹性和塑性变形计算得到，并假定该宽度在随后的操作工况中是不变的；
- d) 通过系数 g_c 近似考虑垫片材料的蠕变性能，但忽略法兰和螺栓的蠕变。

14.6.2 输入数据说明

用户在零部件对话框的“数据输入”菜单中点击“法兰密封（按另一方法设计）”，会出现下面图 14.12。

用户在图 14.12 中选择“结构和计算工况”，用户在设计工况条件中可输入 4 种工况条件参数，每种工况参数包括设计温度、设计压力、外加轴向力和外加弯矩四组数据。其中，外加轴向力以拉为正，压为负。若无外加轴向力或外加弯矩，可不输入。用户需在法兰 1 类型和法兰 2 类型中各 10 种法兰类型中选择 1 种法兰进行配对。用户可根据选择的法兰类型对与其相连的壳体数据进行输入。

法兰数据-法兰设计的另一方法

结构和计算工况 | 法 兰 1 | 法 兰 2 | 垫 片 | 螺 栓 |

设计工况条件：

工况序号	设计温度(°C)	设计压力(MPa)	外加轴向力(N)	外加弯矩(N·mm)
1				
2				
3				
4				

注：外加轴向力以拉为正，压为负

法兰 1 类型：

- ☒ 整体(高颈)法兰
- ☐ 整体(平焊)法兰
- ☐ 松式法兰(凸缘连接)
- ☐ 松式法兰(翻边连接)
- ☐ 反向法兰
- ☐ 与锥壳小端连接的法兰
- ☐ 与锥壳大端连接的法兰
- ☐ 与部分球壳连接的法兰
- ☐ 与球壳插入式连接的法兰
- ☐ 法兰盖(或平盖)

法兰 2 类型：

- ☒ 整体(高颈)法兰
- ☐ 整体(平焊)法兰
- ☐ 松式法兰(凸缘连接)
- ☐ 松式法兰(翻边连接)
- ☐ 反向法兰
- ☐ 与锥壳小端连接的法兰
- ☐ 与锥壳大端连接的法兰
- ☐ 与部分球壳连接的法兰
- ☐ 与球壳插入式连接的法兰
- ☐ 法兰盖(或平盖)

设备内径 (mm)：

与法兰1 连接的壳体数据：

有效厚度 (mm)：

材料名：

设计温度下许用应力 (MPa)：

与法兰2 连接的壳体数据：

有效厚度 (mm)：

材料名：

设计温度下许用应力 (MPa)：

图 14.12 法兰设计的另一方法

法兰数据-法兰设计的另一方法

结构和计算工况 法兰1 | 法兰2 | 垫片 | 螺栓 |

法兰材料类型：
☒ 板材 ☐ 锻件

法兰材料：
 法兰材料在设计温度下的许用应力 (MPa):
 法兰材料在常温下的许用应力 (MPa):
 法兰材料在设计温度下的弹性模量 (MPa):
 法兰材料在常温下的弹性模量 (MPa):
 法兰材料在设计温度下的线胀系数 (1/°C):
 法兰内径 d_o (mm):
 法兰外径 d_d (mm):
 法兰厚度 e_F (mm):
 锥颈高度 l_H (mm):
 锥颈大端厚度 e_2 (mm):
 锥颈小端厚度 e_1 (mm):
 锥颈外圆半径 r_o (mm):
 壳体与法兰连接处垂直轴的夹角 φ_s (°):
 法兰盖厚度 e_g (mm):
 法兰盖中心孔孔径 d_g (mm):

凸缘或翻边厚度 e_p (mm):
 凸缘或翻边外径 d_g (mm):
 松式法兰内径处圆角半径 b_o (mm):
 壳体与法兰连接处直径 d_s (mm):
 螺孔深度 l_{5f} (mm):

图 14.13 法兰数据输入

用户在图 14.13 中点击“法兰 1”或“法兰 2”可对两个法兰的数据进行输入，如图 14.13 所示。用户需对法兰材料的类型、法兰材料、以及常温和设计温度下法兰的许用应力和弹性模量、线胀系数、法兰内外径和厚度等进行输入。对于整体法兰，用户还需对锥颈高度、锥颈大小端厚度、锥颈外圆半径等输入；反向法兰在整体法兰输入数据的基础上，还需输入螺孔深度；对于松式法兰，用户需输入凸缘或翻边厚度、外径以及松式法兰内径处半径；对于与锥壳小端连接的法兰，用户需输入壳体与法兰连接外垂直轴的夹角、凸缘或翻边厚度以及螺孔深度；对于与锥壳大端连接的法兰，用户需输入壳体与法兰连接外垂直轴的夹角；对于与部分球壳连接的法兰，用户需输入壳体与法兰连接外垂直轴的夹角以及封头焊入深度；对于与球壳插入式连接的法兰，输入壳体与法兰连接外垂直轴的夹角、壳体与法兰连接处直径以及螺孔深度；对于法兰盖或平盖，用户需输入法兰盖厚度、法兰盖中心孔孔径。具体输入可参见页面右部的结构示意图。

“法兰 1”和“法兰 2”两个法兰可取不同的结构形式。

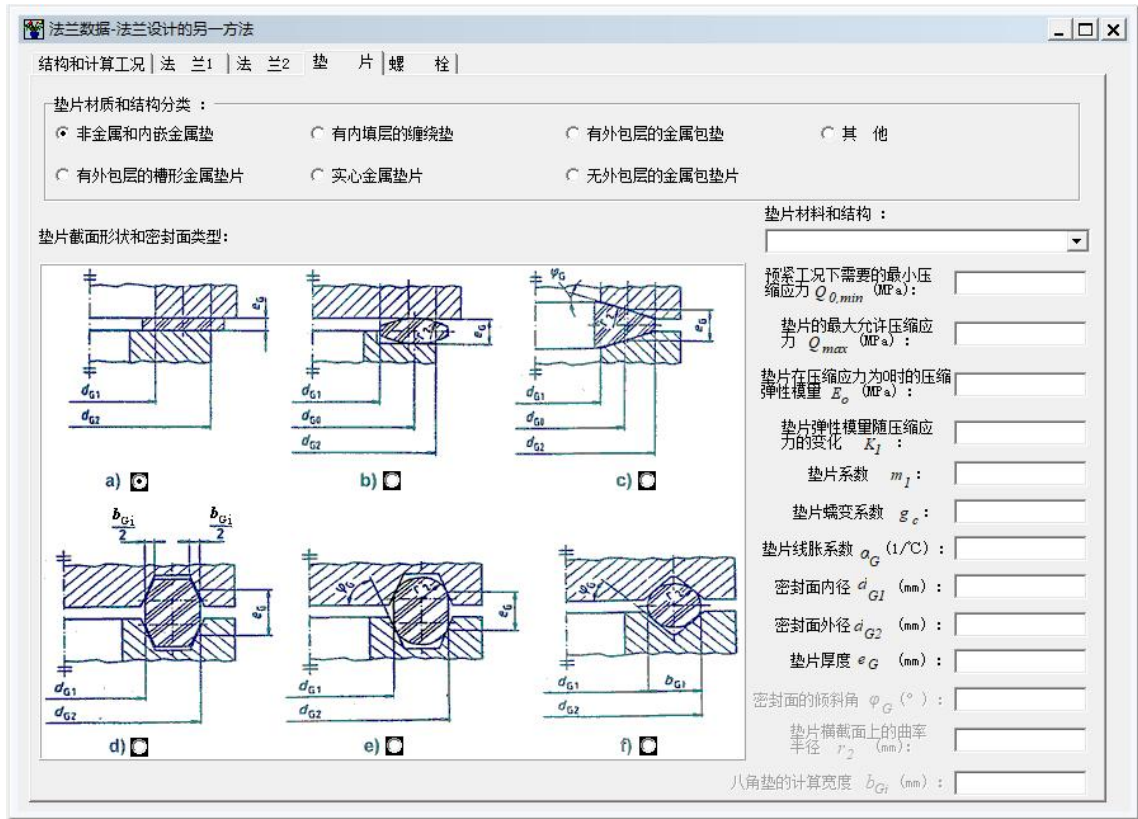


图 14.14 垫片数据输入

用户在图 14.14 中点击“垫片”可对垫片数据进行输入，如图 14.14 所示。用户需先在“垫片材质和结构分类”7 种类型中选择 1 种，然后在“垫片截面形状和密封面类型”a)~f)6 种中选择 1 种，此时，用户可在“垫片材料和结构”下拉框中选择一种垫片材料，选择完毕后，其 $Q_{0,min}$ 、 Q_{max} 、 E_0 、 K_I 、 m_I 、 g_c 等数据会自动显示在界面上。另外，垫片的线胀系数需输入，如垫片的线胀系数无法得到，可以采用法兰的线胀系数代替。垫片的内外径和厚度需输入。对于 c)、e)和 f)垫片截面形状和密封面类型，用户需输入密封面的倾斜角。对于 b)、c)、e)和 f)垫片截面形状和密封面类型，用户需输入垫片横截面上的曲率半径。对于 d)垫片截面形状和密封面类型，用户需输入八角垫的计算宽度。

用户在图 14.15 中点击“螺栓”可对螺栓的相关数据进行输入，如图 14.15 所示。其中螺栓个数应大于等于 4，螺栓中心圆直径应大于垫片的外径尺寸。

法兰数据-法兰设计的另一方法

结构和计算工况 | 法 兰 1 | 法 兰 2 | 垫 片 | 螺 栓 |

螺栓中心圆直径 d_3 (mm) :

螺栓孔直径 d_5 (mm) :

螺栓个数 n_B :

螺栓公称直径 d_{B0} (mm) :

螺栓根径或光杆直径 d_{BS} (mm) :

螺距 P_t (mm) :

螺栓上光杆部分长度 l_s (mm) :

(螺栓与螺母等) 摩擦系数 μ :

螺栓上紧方式:

☐ 用扳手, 无控制的手工方式

☐ 套筒扳手

☐ 扭矩扳手(可测扭矩)

☐ 液压张紧器(可测液压压力)

☐ 扳手或液压张紧器(可测螺栓伸长)

☐ 扳手(可测螺母的转数)

☐ 扳手(可测螺母的转数和扭矩)

分散系数 e_{I-} :

分散系数 e_{I+} :

法兰接头的预计拆装总次数:

螺栓强度校核用系数 C :

螺栓材料 :

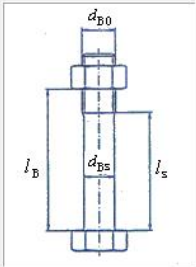
螺栓材料在设计温度下的许用应力 (MPa) :

螺栓材料在常温下的许用应力 (MPa) :

螺栓材料在设计温度下的弹性模量 (MPa) :

螺栓材料在常温下的弹性模量 (MPa) :

螺栓材料在设计温度下的线胀系数 (1/°C) :



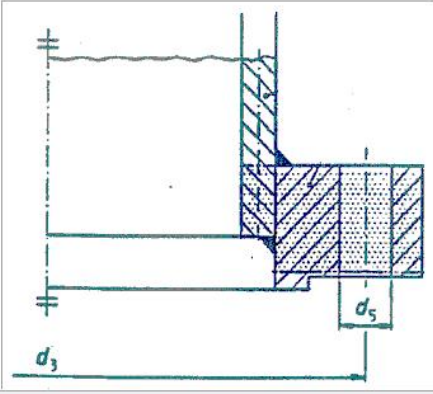


图 14.15 螺栓数据输入

螺栓强度校核用系数 C 的输入可参见表 14.2。

表 14.2 螺栓强度校核用系数 C 的选取

螺栓强度校核用系数	螺栓中存在扭矩		螺栓中不存在扭矩
	允许螺栓发生少量屈服	严格要求螺栓处于弹性状态, 或存在连接接头反复拆装的情况	
C	1.0	1.333	0

摩擦系数是考虑了螺纹与螺母以及螺母与法兰表面之间的摩擦后所取的平均值。摩擦系数 μ 的输入可参见表 14.3。

表 14.3 摩擦系数 μ 的选取

摩擦系数	有润滑的光滑表面	一般表面	粗糙表面
μ	0.10~0.15	0.15~0.25	0.20~0.35

分散系数与螺栓上紧方式的选取有关, 当选择好上紧方式并输入完摩擦系数后, 分散系数会按表 14.4 的数据显示在界面上, 但该系数用户可以修改。

表 14.4 分散系数 ε_{1+} 、 ε_{1-}

螺栓上紧工具和方法	分散系数 ε_{1-}	分散系数 ε_{1+}
扳手；凭操作者感觉，无控制	$0.3+0.5\mu$	$0.3+0.5\mu$
套筒扳手	$0.2+0.5\mu$	$0.2+0.5\mu$
扭矩扳手（仅测量扭矩）	$0.1+0.5\mu$	$0.1+0.5\mu$
液压上紧装置（测量液压）	0.2	0.4
扳手或液压上紧装置（测量螺栓伸长量）	0.15	0.15
扳手（测量螺母转数，螺栓接近屈服）	0.10	0.10
扳手（测量扭矩和螺母转数，螺栓接近屈服）	0.07	0.07

注 1：非常有经验的operator可取分散系数小于表列值（如当使用扭矩扳手且摩擦系数为 0.2 时，分散系数可取 0.15 代替 0.2）；而无经验的operator可取分散系数大于表列值；

注 2：表列值是对单个螺栓而言，分散效应系数（针对总螺栓力）将小于单个螺栓的分散系数。

为了确定最大螺栓预紧力，除对法兰、螺栓、垫片进行强度校核外，程序还将对法兰转角进行校核。法兰转角的最大允许值在 HG/T 20582-2020 中并未规定，可由用户自行确定。用户可在 SW6 安装目录下“..\data\FL”子目录中的文件 angularlimit.txt 中按以下格式规定：

整体法兰 xxxx

松式法兰 xxxx

其中，“xxxx”即为法兰最大转角的限定值。程序默认为：

整体法兰 0.3

松式法兰 0.2

用户输入完成全部数据后，用户可以在零部件对话框中点击“计算”菜单中的“法兰另一方法”，屏幕会出现计算结果，供用户查看。点击“形成计算书”，计算机会自动转到 Word 模式下，显示正式格式计算书，供用户存档、打印。

14.7 凸缘法兰

14.7.1 计算功能

本模块按照 HG/T 20582-2020《钢制化工容器强度计算规范》中的“凸缘法兰的设计和计算”编制而成。适用于标准椭圆形封头、标准碟形封头或半球形封头中心的凸缘法兰的设计计算。

凸缘法兰承受的载荷可为内压和附加轴向力。其中附加轴向力系指搅拌器推力、管道推力、附属设备重力等。如果不能确保压力与附加轴向力同时作用，应考虑它们分别作用的危险组合。附加轴向力的绝对值应小于等于平衡内压作用在螺栓上的轴向力，以避免应力集中。

计算功能包括封头的设计与校核、校核计算受内压作用的凸缘法兰。

14.7.2 输入数据说明

用户在零部件对话框的“数据输入”菜单中点击“凸缘法兰”，将出现“凸缘法兰”输入页面，见图 14.16。

凸缘法兰数据输入

凸缘法兰数据输入 | 螺栓及垫片结构参数输入

封头数据输入

封头名义厚度 (mm):

封头腐蚀裕量 (mm):

封头类型

☐ 标准椭圆形封头 ☐ 标准碟形封头

☐ 半球形封头

封头材料类型

☒ 板材 ☐ 锻件

☒ 厚度负偏差为用户输入

厚度负偏差 (mm):

封头材料:

封头材料在设计温度下的许用应力 (MPa):

封头球面部分内半径 R (mm):

凸缘法兰数据输入

附加轴向力 (N):

法兰外径 (mm):

法兰内径 (mm):

法兰有效厚度 (mm):

法兰与封头焊接接头系数:

液柱静压力 (MPa):

法兰材料类型

☒ 板材 ☐ 锻件

法兰材料:

法兰材料在设计温度下的许用应力 (MPa):

法兰材料在常温下的许用应力 (MPa):

图 14.16 凸缘法兰数据输入

凸缘法兰数据输入

凸缘法兰数据输入 | 螺栓及垫片结构参数输入

螺栓圆直径 D_b (mm):

密封面形式

☒ 平面 ☐ 榫槽面

☐ 凹凸面 ☐ 其他

垫片与密封面接触内径 D_1 (mm):

垫片与密封面接触外径 D_2 (mm):

垫片材料:

垫片比压力 y (MPa):

垫片系数 m :

螺栓个数 n :

封头嵌入部分与法兰端面的距离 L_d (mm):

螺栓公称直径 (mm):

螺栓根径 (或光杆直径) (mm):

螺栓孔螺纹外直径 (mm):

螺栓孔深度 (mm):

螺栓材料:

螺栓材料在常温下的许用应力 (MPa):

螺栓材料在设计温度下的许用应力 (MPa):

图 14.17 螺栓及垫片结构参数输入

本模块数据输入注意事项:

(1) 用户在进入图 14.16 数据输入界面前, 需先根据封头的类型完成相应封头的的数据输入、计算或校核;

(2) 凸缘法兰计算内压不超过 5.0MPa, 凸缘法兰外直径与封头内直径之比不超过 0.7;

(3) 附加轴向力拉为正, 这时螺栓受力; 压向法兰为负, 这时垫片受力;

(4) 相比 4.3.2 节中螺栓及垫片结构参数输入界面, 图 14.17 中增加了“螺栓孔螺纹外直径”和“螺栓孔深度”的输入;

(5) “封头嵌入部分与法兰端面的距离 L_d ”, 可根据实际输入或者根据计算结果进行调整, 从而可降低法兰的应力。

用户输入完全部数据后, 零部件对话框中在“计算”菜单中依次点击“封头”以及“凸缘法兰”, 屏幕上会显示计算结果, 供用户查看, 点击“形成计算书”, 计算机会自动转到 Word 模式下, 显示正式格式计算书, 供用户存档、打印。

14.8 齿啮式卡箍

14.8.1 计算功能

本模块按照 HG/T 20582-2020《钢制化工容器强度计算规范》中的“齿啮式卡箍连接件的设计和计算”编制而成。适用于设计压力不大于 35MPa、设计温度不超过 250°C、无直接火接触、无剧烈的热冲击和热应力场合的齿啮式卡箍连接设计。

功能包括对法兰颈部、法兰齿根和法兰环、卡箍体和卡箍齿根、封头齿根的应力计算与校核。

14.8.2 输入数据说明

用户在零部件对话框的“数据输入”菜单中点击“齿啮式卡箍”, 将出现“齿啮式卡箍”输入页面, 见图 14.18。输入完结构数据 (1) 页面后, 可进入数据结构 (2)、(3) 页面继续输入, 参见图 14.19、14.20。

本模块数据输入注意事项:

(1) 设计压力不大于 35MPa、设计温度不超过 250°C;

(2) 所有各部尺寸, 都按扣除腐蚀裕量后的实有尺寸输入和计算。具体输入时, 应参照图 14.18 右边所示尺寸结构示意图;

(3) 卡箍齿在根部的弧长 L 应大于等于封头齿在根部的弧长 L_c ;

(4) 法兰、卡箍必须采用锻件, 对应的封头材料类型程序也限定为锻件;

(5) 密封件采用自紧式。

用户输入完全部数据后, 零部件对话框中在“计算”菜单中依次点击“齿啮式卡箍”, 屏幕上会显示计算结果, 供用户查看, 点击“形成计算书”, 计算机会自动转到 Word 模式下, 显示正式格式计算书, 供用户存档、打印。

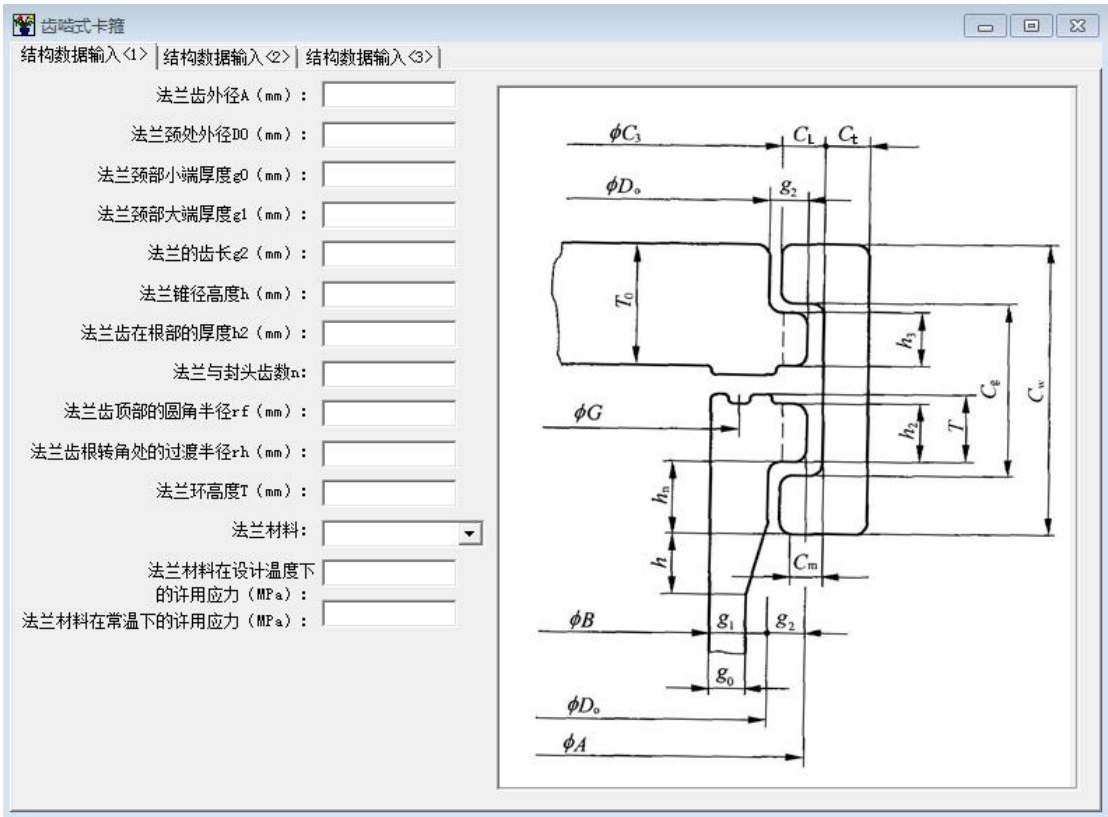


图 14.18 齿啮式卡箍结构数据输入（1）

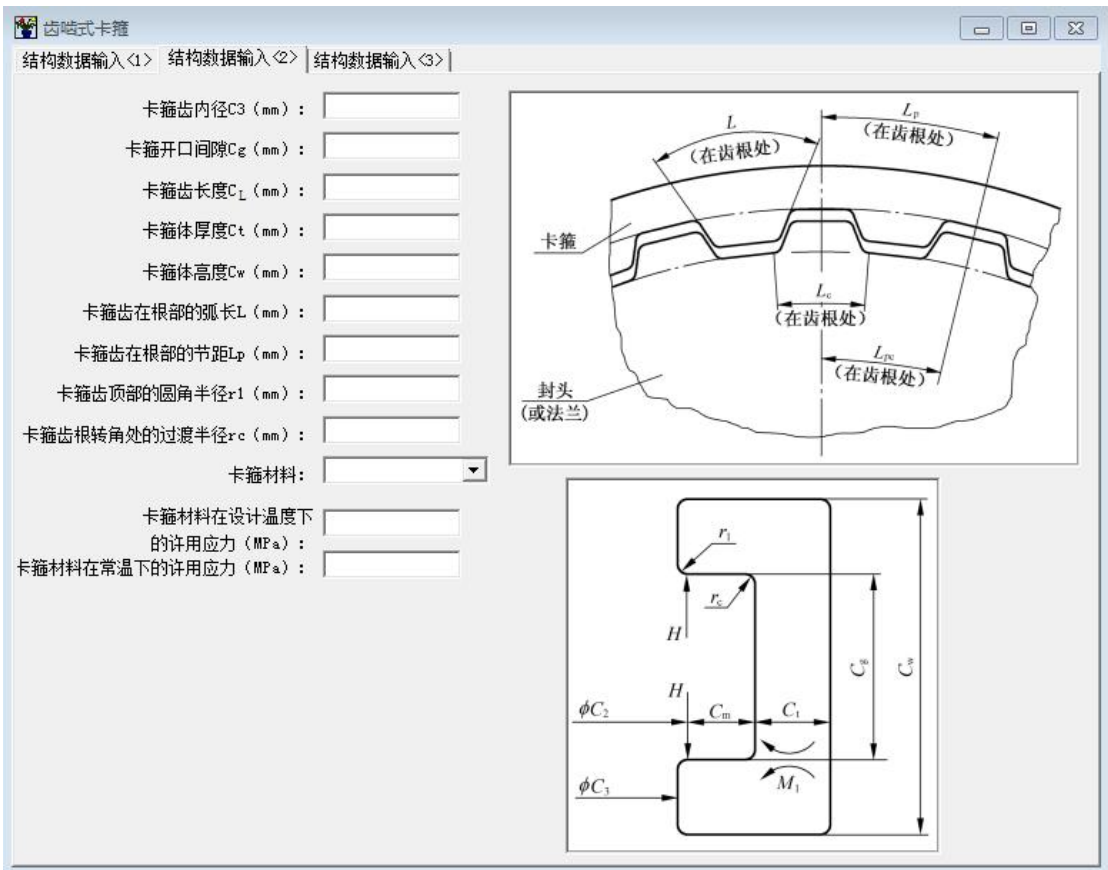


图 14.19 齿啮式卡箍结构数据输入（2）

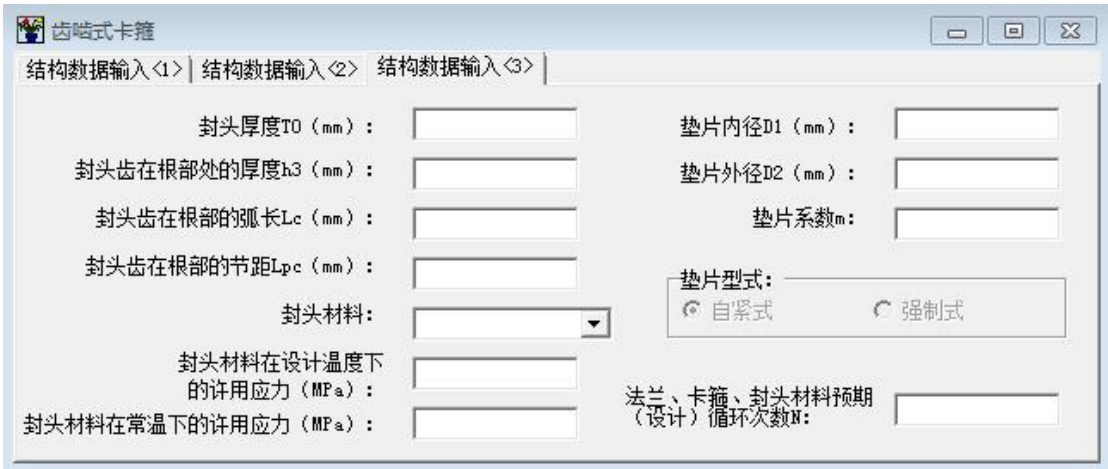


图 14.20 齿啮式卡箍结构数据输入（3）

14.9 整体式卡箍

14.9.1 计算功能

本模块按照 HG/T 20582-2020《钢制化工容器强度计算规范》中的“整体相连的齿啮式卡箍连接件设计”编制而成。适用于设计压力不大于 35MPa、设计温度不超过 250℃、无直接火接触、

无剧烈的热冲击和热应力场合的和圆筒整体相连的齿啮式卡箍连接件设计。

功能包括对法兰颈部和法兰环、卡箍体和卡箍齿根、封头齿根的应力计算与校核。同时，还可对法兰环厚度进行校核。

14.9.2 输入数据说明

用户在零部件对话框的“数据输入”菜单中点击“整体式卡箍”，将出现“整体式卡箍”输入页面，见图 14.21。输入完结构数据（1）页面后，可进入数据结构（2）、（3）页面继续输入，参见图 14.22、14.23。

本模块数据输入注意事项：

- （1）设计压力不大于 35MPa、设计温度不超过 250℃；
- （2）所有各部尺寸，都按扣除腐蚀裕量后的实有尺寸输入和计算。具体输入时，应参照图 14.21 右边所示尺寸结构示意图；
- （3）卡箍齿在根部的弧长 L 应大于等于封头齿在根部的弧长 L_c ；
- （4）法兰、卡箍必须采用锻件，对应的封头材料类型程序也限定为锻件；
- （5）密封件采用自紧式。

用户输入完全部数据后，零部件对话框中在“计算”菜单中依次点击“整体式卡箍”，屏幕上会显示计算结果，供用户查看，点击“形成计算书”，计算机会自动转到 Word 模式下，显示正式格式计算书，供用户存档、打印。

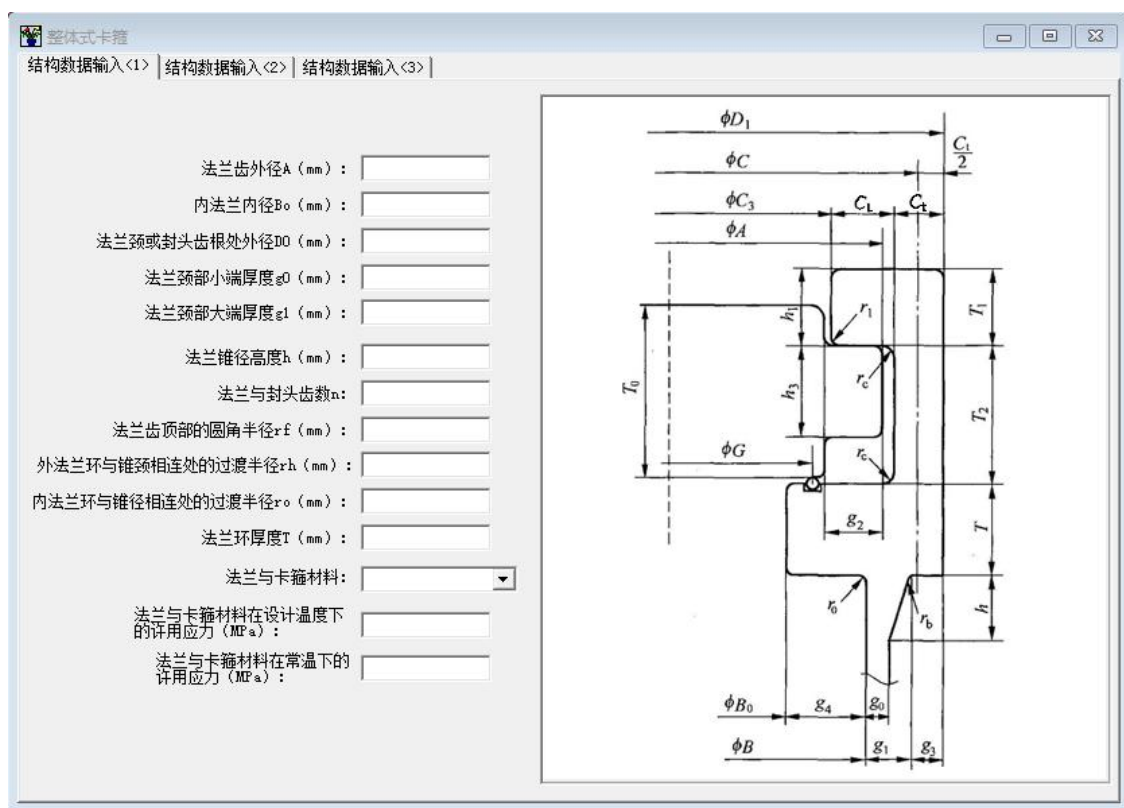


图 14.21 整体式卡箍结构数据输入（1）

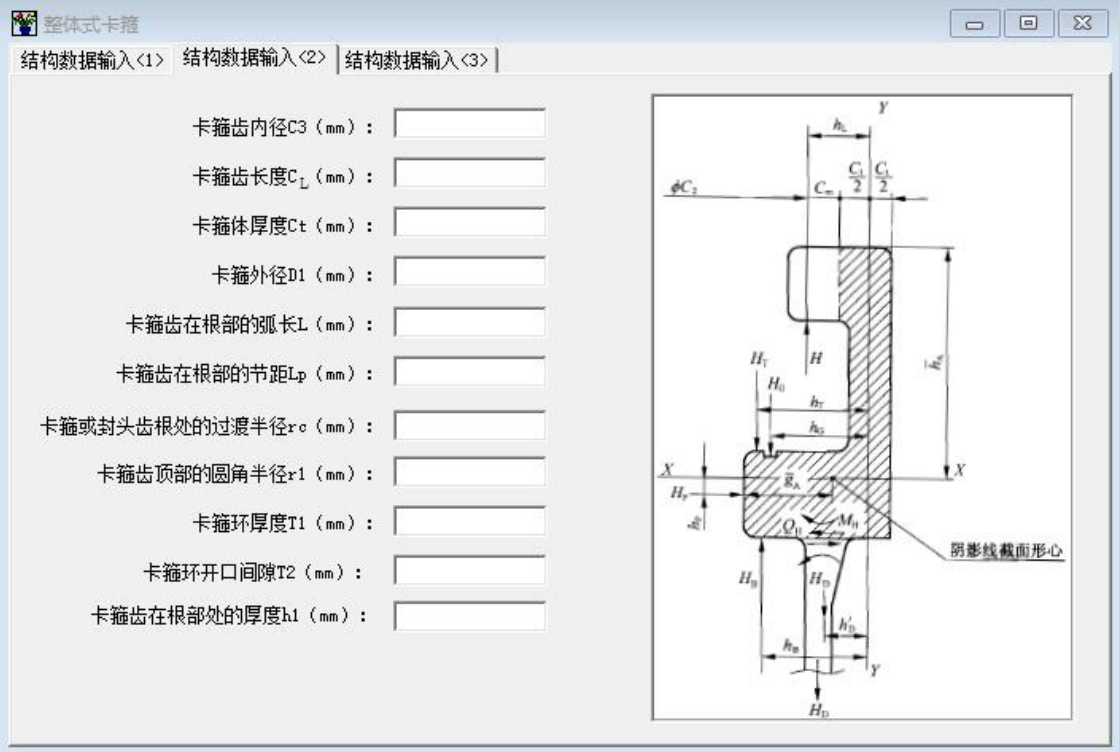


图 14.22 整体式卡箍结构数据输入（2）



图 14.23 整体式卡箍结构数据输入（3）

14.10 平行角钢加强的圆形平盖

14.10.1 计算功能

本模块按照 HG/T 20582-2010《钢制化工容器强度计算规范》中的“带加强筋的圆形平板盖设计和计算”编制而成。适用于二个平行角钢加强的圆平板盖结构（注：对于径向型筋板加强的圆平板结构的计算已因包括在 GB/T150.3 封头模块的加筋圆形平盖中，此处不再包括）。

功能包括由二根平行角钢加强的平板盖应力计算与校核。

14.10.2 输入数据说明

用户在零部件对话框的“数据输入”菜单中点击“平行角钢加强的圆形平盖”，将出现“平行角钢加强的圆形平盖”输入页面，见图 14.24。

平行角钢加强的圆形平盖

结构类型

☒ 二个平行角钢加强

☐ 径向型筋板加强

二角钢间距 a (mm):

角钢类型:

角钢规格:

角钢材料名称:

设计温度下角钢材料的许用应力 (MPa):

角钢截面积 (mm^2):

角钢截面惯性矩 (mm^4):

角钢截面形心至角钢边距离 (mm):

角钢截面形心至平板盖距离 (mm):

平板盖厚度 (mm):

平板盖材料名称:

设计温度下平板盖材料的许用应力 (MPa):

常温下平板盖的屈服强度 (MPa):

腐蚀裕量 C_2 (mm):

☒ 材料厚度负偏差为用户输入

厚度负偏差 C_1 (mm):

图 14.24 平行角钢加强的圆形平盖

本模块数据输入注意事项：

- (1) 用角钢加强的平板盖一般用于直径大于或等于 1800mm 的常压容器；
- (2) 对于角钢类型，程序提供了“等边角钢”和“不等边角钢”两种类型供用户选择；
- (3) 在 HG/T20582-2020 中已不再列入此结构及其计算，但考虑到工程需要，程序仍保留此结构的计算，但在计算依据标准中明确计算是根据 HG/T20582-2010。

用户输入完全部数据后，零部件对话框中在“计算”菜单中依次点击“带加强筋的圆形平盖”，屏幕上会显示计算结果，供用户查看，点击“形成计算书”，计算机会自动转到 Word 模式下，显示正式格式计算书，供用户存档、打印。

14.11 拉撑管板

14.11.1 计算功能

本模块按照 GB/T151-2014 的附录 L 编制而成。适用于壳体不带膨胀节的管壳式热交换器的拉撑管板计算，其中两端管板结构应相同。

功能包括管板厚度的计算与校核、换热管与管板连接接头的拉脱力校核、管程压力作用时换热管轴向稳定许用压应力校核、以及各危险工况下换热管厚度的计算与校核。

14.11.2 输入数据说明

用户在零部件对话框的“数据输入”菜单中点击“拉撑管板”，将出现“拉撑管板”输入页面，见图 14.25。输入完“主体参数输入”页面后，可进入“管板参数输入”、“换热管参数输入”页面继续输入，参见图 14.26、14.27。

图 14.25 拉撑管板主体参数输入

本模块数据输入注意事项：

- (1) 管程和壳程设计压力分别不大于 1.0MPa；
- (2) 管程和壳程的设计温度范围为 0°C~300°C；换热管与壳体平均壁温差不超过 30°C；
- (3) 壳体内径不大于 1200mm；
- (4) 换热管与壳程筒体材料的线膨胀系数的数值相差不大于 10%；
- (5) 壳程筒体厚度用户需自行计算后输入；
- (6) 壳程、管程试验压力用户也需自行确定后输入；
- (7) 结构特征系数、假想圆直径、布管区周边围绕单根换热管画假想圆的中心点所包围面积的最大值，用户根据实际情况来输入；
- (8) 换热管长度不超过 6000mm；
- (9) 换热管中心距不应小于 1.3 倍的换热管外径；
- (10) 换热管与管板连接的焊脚高度应不小于 4mm；
- (11) 计算时，管板和换热管许用应力需乘上修正系数，其中管板材料的许用应力修正系数 η_g 取 0.85，换热管许用应力修正系数 η_h 取 0.6，换热管与管板连接接头系数 ϕ 取 0.8；
- (12) 管板最终厚度不得小于 GB/T151-2014 的附录 L 中表 L.1 规定的最小值。

拉撑管板

主体参数输入 | 管板参数输入 | 换热管参数输入

管板结构:

☒ 搭焊式 ☐ 角焊式

管板名义厚度 (mm):

壳程侧结构开槽深度 (mm):

管程侧分程隔板槽深度 (mm):

壳程侧管板腐蚀裕量 (mm):

管程侧管板腐蚀裕量 (mm):

结构特征系数K:

假想圆直径 d_T (mm):

管板材料类型

☒ 板材 ☐ 锻件

管板材料:

设计温度下的许用应力 (MPa):

布管区周边围绕单根换热管画假想圆的中心点所包围面积的最大值 A_{bmax} (mm²):

图 14.26 拉撑管板参数输入

拉撑管板

主体参数输入 | 管板参数输入 | 换热管参数输入

换热管外径 (mm):

换热管壁厚 (mm):

换热管材料:

换热管材料设计温度下许用应力 (MPa):

换热管材料常温下许用应力 (MPa):

换热管材料设计温度下屈服限 (MPa):

换热管材料设计温度下弹性模量 (MPa):

换热管材料平均温度下线胀系数 (1/°C):

换热管与管板连接形式:

☒ 强度焊接 ☐ 强度焊接+贴胀 ☐ 全焊透

换热管与管板连接的焊脚高度 (mm):

换热管排列方式:

☒ 三角形排列 ☐ 正方形排列

换热管中心距 (mm):

换热管长度 (mm):

换热管受压失稳当量长度 (mm):

图 14.27 换热管参数输入

14.12 挠性管板

14.12.1 计算功能

本模块按照 GB/T151-2014 的附录 M 编制而成。适用于管程介质为气体、壳程产饱和水蒸气的卧式管壳式余热锅炉的挠性管板计算。

功能包括管板厚度的计算与校核、换热管与管板连接接头的拉脱力校核、换热管轴向稳定许用压应力校核、以及各危险工况下换热管厚度的计算与校核。

14.12.2 输入数据说明

用户在零部件对话框的“数据输入”菜单中点击“挠性管板”，将出现“挠性管板”输入页面，见图 14.28。输入完“管板结构数据”页面后，可进入“换热管设计数据”页面继续输入，参见图 14.29。

图 14.28 管板结构数据输入

本模块数据输入注意事项：

- (1) 管程设计压力不大于 1.0MPa，壳程设计压力不大于 5.0MPa，且壳程压力应大于管程压力；
- (2) 管板、换热管的设计温度不应小于 250℃；
- (3) 壳体内径不大于 2500mm；
- (4) 换热管应采用光管，且与壳程筒体材料的线膨胀系数的数值相差不大于 10%；
- (5) 结构特征系数、假想圆直径、布管区周边围绕单根换热管画假想圆的中心点所包围面积的最大值，用户根据实际情况来输入；
- (6) 换热管长度不超过 7000mm；
- (7) 换热管中心距不应小于 1.3 倍的换热管外径；
- (8) 计算时，管板和换热管许用应力需乘上修正系数，其中管板材料的许用应力修正系数 η_g 取 0.85，换热管许用应力修正系数 η_h 取 0.6，换热管与管板连接接头系数 ϕ 取 0.8；
- (9) 管板最终厚度不得小于 GB/T151-2014 的附录 M 中表 M.3 规定的最小值。

管板结构数据 换热管设计数据

换热管根数:

换热管外径 (mm):

换热管壁厚 (mm):

换热管材料:

换热管材料在设计温度下的许用应力 (MPa):

换热管材料在设计温度下的弹性模量 (MPa):

换热管材料在设计温度下的屈服强度 (MPa):

换热管排列方式: ☒ 三角形排列 ☐ 正方形排列

换热管与管板的连接方式: ☒ 强度焊接 + 贴胀 ☐ 全焊透

管间距 (mm):

换热管长度 (mm):

换热管受压失稳当量长度 (mm):

围绕单根换热管画假想圆的中心点连线所包围面积的最大值 A_{bmax} (mm²):

图 14.29 换热管设计数据输入

14.13 超压泄放装置

14.13.1 计算功能

本程序根据 GB/T 150.1-2024 附录 B 内容编制，提供容器安全泄放量及最小泄放面积的计算，泄放介质可以为非冷冻液化气体、蒸气、气体或液体，**计算结果仅供超压泄放装置的初步选用。**

如下情况不适用：

- 1、根据 B.1.4，火灾事故中不适用喷射火及密闭空间内火灾等严重火灾事故。
- 2、根据 B.1.5，本计算不适用于盛装冷冻液化气体的容器。
- 3、根据 B.1.6，用操作过程中可能产生压力巨增，反应速度达到爆轰状态（燃烧速度达到 1000m/s 及以上）的容器。

14.13.2 输入数据说明

用户在零部件窗体的菜单栏“数据输入”中点击“超压泄放装置”，会出现超压泄放装置数据输入页面，如下图 14.30 所示，如选项成灰色，则表示此选项不符合当前输入条件。

超压泄放装置

泄放装置类型：
☒ 安全阀 ☐ 爆破片

容器所处环境：
☒ 火灾事故 ☐ 非火灾事故

介质类型：
☒ 非冷冻液化气体 ☐ 蒸气
☐ 气体 ☐ 液体

安全阀：
安全阀类型：
☒ 弹簧式安全阀 ☐ 平衡型安全阀
☐ 先导式安全阀
☐ 安全阀上游是否安装爆破片装置
组合修正系数 K_c :

整定压力 (MPa):
最大允许积聚压力 (MPa):
实际泄放面积 (用户输入) A_0 (mm²):
有效泄放系数 K :
背压修正系数 K_b :

非冷冻液化气体：
容器类别：
☒ 单层压力容器 ☐ 其他容器
容器保温状况：
☒ 无绝热保温层 ☐ 有绝热保温层
容器内部液体湿润面积 A_r (m²):
泄放压力下液体的气化潜热 q (kJ/kg):
容器位置：
☐ 置于地面以下用砂土覆盖
☒ 置于地面上
☐ 置于大于10 L/(m²·min)喷淋装置下
介质:
介质的摩尔质量 M (kg/kmol):
介质的比热容比 k :
介质的临界压力 P_c (绝压) (MPa):
介质的临界温度 T_c (K):
泄放装置泄放温度 T_f (°C):
出口侧压力 P_o (绝压) (MPa):
气体压缩系数：
☐ 由程序计算 ☒ 用户自定义
气体压缩系数 Z :

图 14.30 超压泄放装置数据输入

在该对话框中，用户可以对不同泄放装置类型、泄放介质类型及容器类别的各种组合进行数据输入，当用户选择泄放装置类型及介质类型的过程中，该对话框会显示相应的数据输入页面。

在进行数据输入时需注意以下几点：

1. 首先需要选择泄放装置类型是安全阀还是爆破片。
2. 其次再选择是火灾事故还是非火灾事故（计算安全泄放量时使用）。
3. 然后选择介质类型（根据是否是火灾事故，根据附录 B 内容，提供不同的介质选择）。
4. 整定压力：根据附录 B.3.3 确定。
5. 最大允许积聚压力：需满足 GB/T150.1-2024 中 B.3.3 节的规定。
6. 实际泄放面积 A_0 ：当用户输入此数据时，程序用来校核计算结果。当用户不输入此数据，则由程序自动按合格的额定排量计算所需的泄放面积。
7. 超压泄放装置有效泄放系数 K (在初步选用计算中有效泄放系数时，可按安全阀和爆破片装置选取)。

(1) 对于安全阀，气体和蒸汽为 0.975，液体为 0.65。

(2) 对于爆破片，有效泄放系数 K 需从供应商处获取数据，在满足下列 4 个条件的前提下，气体取值与爆破装置入口管道形状有关，插入式接管为 0.68，平齐式为 0.73，嵌入式为 0.8，形状不易确认则为 0.62；介质为液体时为 0.62。

- ① 直接向大气排放。
- ② 爆破片装置离容器本体的距离不超过 8 倍管径。
- ③ 爆破片装置泄放管长度不超过 5 倍管径。
- ④ 爆破片装置上、下游接管的公称直径不小于爆破片装置的泄放口公称直径。

8. 背压校正系数 $K_w \backslash K_b$: K_b 用于气体或者蒸汽, K_w 用于液体, 背压校正系数主要用于平衡式安全阀, 由制造商提供或者参考 GB/T 24921.1, 普通型安全阀及先导型安全阀都取值为 1.0, 对爆破片, $K_w \backslash K_b$ 都取值为 1.0。

9. 组合校正系数 K_c : 安全阀上游安装爆破片装置时取值 0.9, 不安装时取值 1.0。

14.13.3 不同介质下的计算内容

1、介质为液化气体

- (1) 根据附录 B, 仅提供在火灾事故中液化气体的安全泄放量计算。
- (2) 根据附录 B.7.4.3, 安全泄放量计算仅适用于盛放液化气体的单层容器, 如选择为其他容器, 由用户自行输入泄放量 W_s , 供最小泄放面积计算使用。
- (3) 根据附录 B.7.4.3 节内容, 分有无绝热层两种情况, 无绝热层按公式 B.9 计算, 有绝热层按公式 B.10 计算, B.10 公式计算需要符合条件: 绝热层在 650℃ 时能起到有效作用, 2h 内不会烧坏, 且在消防水冲击下不会脱落。
- (4) 火灾工况下, 盛装液体或液化气体的容器内部液体湿润面积 A_r (一般以存放液体或液化气体容器的地面或可积聚液体的平台为基准, 计算高度在 7.5 米以内的容器湿表面积), 单位为平方米。

2、介质为蒸汽

- (1) 根据附录 B, 仅提供在非火灾事故中蒸汽的安全泄放量计算。
- (2) 根据附录 B.7.3.5, 安全泄放量计算方法适用于容器为产生蒸汽的换热设备, 如选择为其他容器, 则需要用户自行输入安全泄放量 W_s , 供最小泄放面积计算使用。
- (3) 根据附录 B.8.2.1 注, 计算适用于单一相均质流体通过泄放装置时所需的最小泄放面积。
- (4) 当选择过热蒸汽, 且过热蒸汽温度超过 649℃ 时, 则最小泄放面积按标准公式 B.11 计算, 否则按标准公式 B.13 计算。

3、介质为气体

- (1) 非火灾事故中, 根据附录 B.7.3.4, 安全泄放量计算方法适用于容器为压力源持续输入的容器, 如选择为其他容器, 则需要用户自行输入安全泄放量 W_s , 供最小泄放面积计算使用。火灾环境, 按附录 B.7.4.2 节内容计算。
- (2) 对于平衡性安全阀, 根据附录 B.8.1.2(b), 背压校正系数 K_b 由用户自行输入 (数据从制造商处获取)。
- (3) 关于泄放面积, 按附录 B.8.1 计算, 临界流动条件下, 按附录 B.8.1.1 内容计算, 亚临界流动条件下, 对于可通过弹簧调节弹簧载荷补偿附加被压的普通型安全阀和先导式安全阀及爆破片装置, 最小泄放面积按附录 B 公式 B.12 计算, 对于平衡型安全阀, 所需最小泄放面积按公式 B.11 计算, 此时的背压校正系数 K_b 从制造商处获取。

4、介质为液体

- (1) 液体介质泄放量计算系指充满液体的容器中液体受热膨胀或汽化时安全泄放量计算, 否则按其他类型, 由用户自行输入泄放量 W_s , 供最小泄放面积计算使用。
- (2) 计算安全泄放量, 按附录 B.7.3.6 节内容计算, 当泄放温度 T_r 小于介质动作压力所对应的饱和温度时, 则软件按液体介质计算, 反之按气体介质计算。
- (3) 计算泄放面积计算时, 如果选择非黏性流体, 按附录 B.8.3 中公式 B.14 计算。
如选择黏性流体, 则按附录 B.8.3 黏性流体计算泄放面积, 圆整的产品序列化规格如下:
① 安全阀产品序列化规格参照 GB/T 24920 中 5.3.1 标准流道有效面积和相应代号。

② 爆破片产品序列化规格参照 GB567.3 附录 C 泄放口径 DN 列表。

14.13.4 计算

待所有参数都输入以后，用户可以单击菜单项“计算”中的“超压泄放装置”来进行计算，计算结束屏幕上会显示计算结果，如计算所需的数据没有输入或者输入不符合标准，则会给出红色提示（如图 14.31a），用户可以按提示调整数据参数后再重新计算。

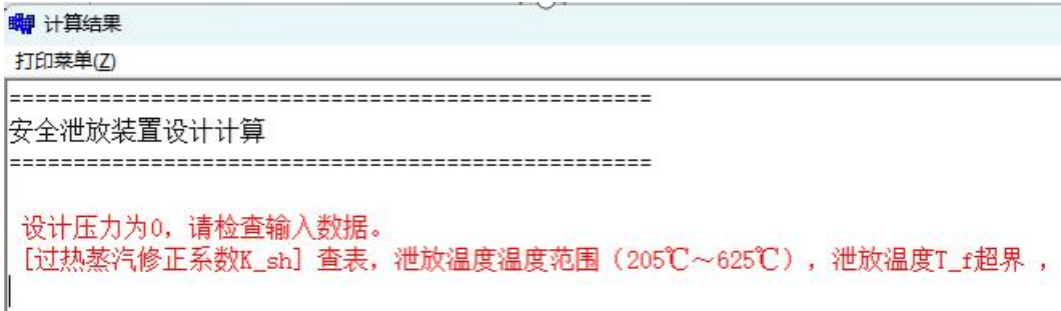


图 14.31a 计算结果错误提示

计算通过后，以屏幕输出形式输出计算结果，如图 14.31b。

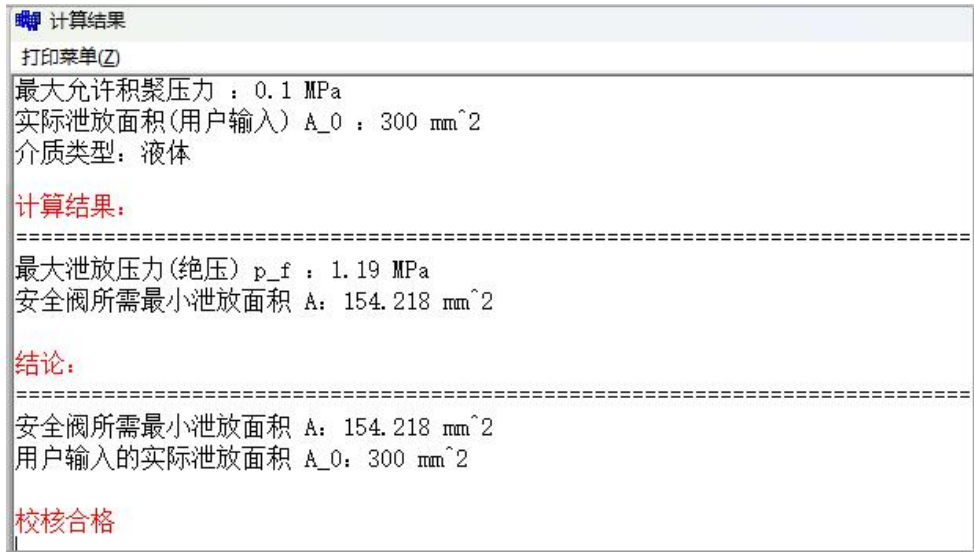


图 14.31b 计算结果

14.13.5 计算书

计算通过后，可以单击“形成计算书”中相应的“超压泄放装置”项以形成计算书。

14.14 透镜垫密封的高压螺纹法兰

14.14.1 计算功能

本模块按照 HG/T 20582-2020《钢制化工容器强度计算规范》中的“透镜垫密封的高压螺纹法兰的设计和计算”编制而成。

功能包括对法兰、螺纹的应力计算与校核、对螺栓总截面积的校核、同时，还可对透镜垫

接触点间宽度进行校核。

14.14.2 输入数据说明

用户在零部件对话框的“数据输入”菜单中点击“透镜垫密封的高压螺纹法兰”，将出现“透镜垫密封的高压螺纹法兰”输入页面，见图 14.32。

本模块数据输入注意事项：

- (1) 设计压力必须大于 0；当设计压力不大于 26MPa 时，公称直径不大于 600mm；当设计压力不大于 42MPa 时，公称直径不大于 300mm；
- (2) 所有各部尺寸，都按扣除腐蚀裕量后的实有尺寸输入和计算；
- (3) 螺纹法兰、透镜垫限定采用锻件；
- (4) 透镜垫密封属于强制密封；
- (5) 透镜垫密封法兰盖的计算按 GB/T150.3 中的圆形法兰平盖计算；
- (6) 对于公称直径 $DN \geq 400mm$ 时，用户可选择采用标准中的透镜垫的推荐尺寸，此时，透镜垫的内直径变暗，不需输入。

用户输入完全部数据后，零部件对话框中在“计算”菜单中依次点击“透镜垫密封的高压螺纹法兰”，屏幕上会显示计算结果，供用户查看，点击“形成计算书”，计算机会自动转到 Word 模式下，显示正式格式计算书，供用户存档、打印。

透镜垫密封的高压螺纹法兰

螺纹法兰盘外径 D_o (mm) :

螺纹法兰盘有效厚度 (mm) :

螺纹管径内径 (mm) :

螺纹型式:
☒ 公制快螺纹 ☐ 管螺纹

螺纹高度上的螺纹圈数 Z :

螺距 S (mm) :

法兰盘螺纹的内直径 d_1 (mm) :

法兰盘螺纹的外直径 d_2 (mm) :

螺栓公称直径 :

螺栓螺纹小径或光杆直径 (mm) :

螺栓个数 :

螺栓孔直径 d_b (mm) :

螺栓中心圆直径 D_b (mm) :

透镜垫公称直径 (mm) :

☐ 是否采用标准中的透镜垫的推荐尺寸

透镜垫的内直径 d_i (mm) :

透镜垫的外直径 d_o (mm) :

管道或管接头的名义厚度 (mm) :

管道或管接头材料类型:
☒ 板材 ☐ 管材 ☐ 锻件

管道或管接头材料 :

管道或管接头材料设计温度下许用应力 (MPa) :

法兰材料 :

法兰材料设计温度下许用应力 (MPa) :

螺栓材料 :

螺栓材料设计温度下许用应力 (MPa) :

螺栓材料常温下许用应力 (MPa) :

透镜垫材料 :

透镜垫材料常温下屈服强度 (MPa) :

透镜垫材料设计温度下弹性模量 (MPa) :

法兰螺纹材料的许用剪切应力 (MPa) :
(备注: 钢的许用剪切应力为 $0.6MPa$)

图 14.32 透镜垫密封的高压螺纹法兰

十五、非对称双鞍座及多鞍座卧式容器

15.1 模块功能

非对称双鞍座及多鞍座卧式容器计算模块（以下简称“M41 模块”或“M41”）依据 NB/T 47042-2014《卧式容器》编制，包括支座反力、支座处剪力、各处弯矩、筒体应力、加强圈应力、支座应力的计算。程序按 3 种工况进行计算，分别是：设计工况（无地震载荷），设计工况（有地震载荷）和压力试验工况。

为了增加 M41 模块的适用性，在兼容 NB/T 47042-2014 标准的前提下，我们对传统的对称双鞍座支承卧式容器计算方法进行了若干扩展，具体包括：

1. 鞍式支座支承的卧式容器计算，支座个数最少为 2 个，最多为 10 个。
2. 支座分布可以相对于跨中截面对称，也可以不对称。
3. 每个支座的参数（包角、宽度、板厚、地脚螺栓、材料等）可以不同。
4. 增加了对卧式换热器的设计计算。即：允许有两个压力腔、允许有最多 3 段筒体、允许考虑管束重量、考虑管板的加强作用，等等。换热器型式包括除外导流筒以外的常见管壳式换热器：如：BEM、NEN、BEU、BET、BKU 等。
5. 允许有最多 5 个集中质量、1 组均布质量。这些质量都具有“高度”属性，以使程序可计算横向地震力和轴向地震力的作用。例如：带附属设备的容器、带操作平台的容器、重叠式换热器，等等。

为了更好地贴合工程实际，我们还对计算和校核的若干细节问题进行了处理。

具体包括：

1. 任一支座可以是固定支座，也可以是滑动支座，也可以按两种可能分别计算。
2. 特殊情况下可以设定摩擦系数（如滚动摩擦、特殊摩擦表面等）。
3. 鞍座设计温度（与筒体设计温度的关联性）可以有多种选择。
4. 地脚螺栓设计温度（与筒体设计温度的关联性）可以有多种选择。
5. 用户可以选择是否扣除地脚螺栓的腐蚀裕量。
6. 加强圈的许用应力的取法有多种选择。
7. 可以设定是否计算和校核鞍座应力（标准鞍座时有用）。
8. 可以设定一个地震加速度阈值，用以确定是否计算地震载荷。
9. 设计基本地震加速度可以取特殊值，例如 0.135g。

15.2 力学模型简介

15.2.1 计算工况

M41 模块最多计算 5 种工况，见表 15.1。除“设计工况（无地震载荷）”必须计算外，“设计工况（有地震载荷）”工况只有在地震加速度比较大时计算，“压力试验工况”只有用户要求时计算，最后两个工况只有在用户要求且有两个压力腔时计算。

表 15.1 计算工况

工况编号	工况描述	载荷描述
0	设计工况(无地震载荷)	各压力腔设计压力 ^① 自重+各压力腔工作物料重+附件重+集中载荷+均布载荷
1	设计工况(有地震载荷)	各压力腔设计压力 ^① 自重+各压力腔工作物料重+附件重+集中载荷+均布载荷 横向地震力(侧翻力) 轴向地震载荷(弯矩导致支座反力增大) ^②
2	压力试验工况	各压力腔试验压力 ^① 自重+各压力腔试验物料重+附件重+集中载荷+均布载荷
3	压力腔 0 水压试验工况	压力腔 0 试验压力 ^① 自重+压力腔 0 试验物料重+附件重+集中载荷+均布载荷
4	压力腔 1 水压试验工况	压力腔 1 试验压力 ^① 自重+压力腔 1 试验物料重+附件重+集中载荷+均布载荷

注：①凡公式中带压力的，均按“代入压力”和“压力置 0”分别计算，取应力较高者；②轴向地震载荷取向右和向左两个方向的较大者

15.2.2 集中质量、均布质量、支座反力、弯矩

一般卧式容器可以简化为多点支承的连续梁。除筒体、封头及其物料外，M41 模块允许有最多 5 个集中质量、1 组均布质量。质量模型见图 15.1。

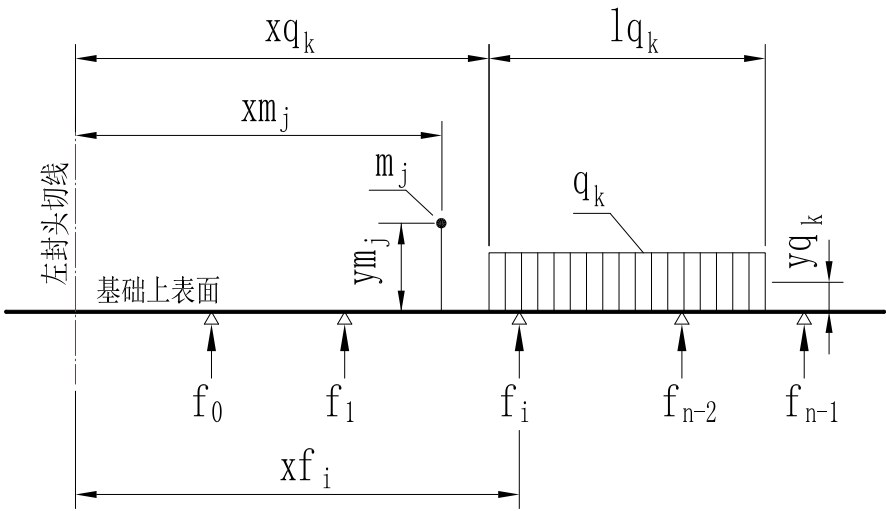


图 15.1 集中质量、均布质量、支座反力示意图

15.2.3 剪力和剪应力的计算

剪力和剪应力按不同工况分别计算。

对于每一个支座，将其左侧的全部集中载荷（含支座反力）、均布载荷合并，得到一个剪力；将其与支座反力叠加，就得到另一个剪力。取二者绝对值较大者，即得到该支座处的剪力。

剪应力计算时有一个特殊情况：当支座靠近法兰、管板等加强件时，可以认为“筒体被加强”，需要按 NB/T 47042-2014 计算和校核剪应力。

15.3 程序输入数据说明

15.3.1 用户界面输入数据

“非对称双鞍座及多鞍座卧式容器设计”主窗口如图 15.2 所示。

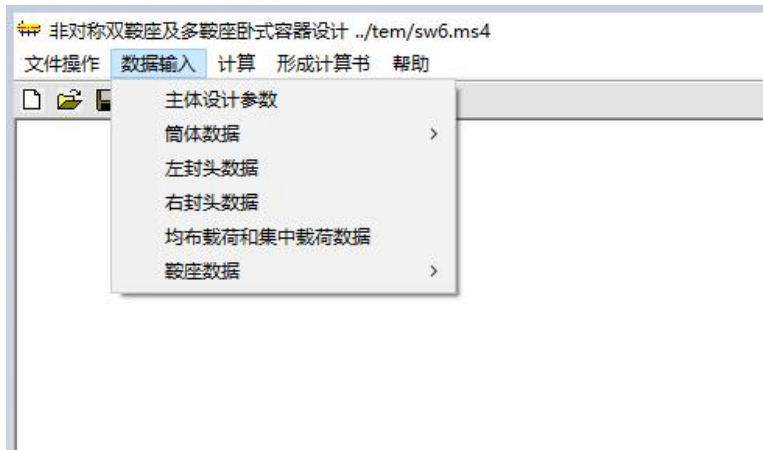


图 15.2 非对称双鞍座及多鞍座卧式容器主界面

用户在主窗口中点击“主体设计参数”，即可出现图 15.3。压力腔个数：一般容器选“一个”，U 形管换热器选“两个(A-B)”，固定管板换热器选“两个(A-B-A)”。压力腔从左到右排列，即：对于换热器，压力腔 A 表示管程，压力腔 B 表示壳程。筒体段数：一般容器可以有最多 3 段筒体，各段的材料、厚度、直径等可以不同。换热器的管程筒体和壳程筒体必须分开成不同的筒体。各段直径不同时，程序计算结果有一定误差。鞍座个数最多为 10 个。均布于设备全长的附件重量：指隔热层、小接管、盘管等。换热器的管束重量很大，且不是均布于设备全长，应该作为“附加均布质量”输入。地震加速度：特殊地震加速度见 15.4 节。如果只有一个压力腔，用户只需在压力腔 A 中输入设计参数。充装系数应在 0~1 之间。如果用户选择不计算压力试验工况，则计算过程中将不予考虑。

主体数据输入		压力腔A:	压力腔B:
压力腔个数: ☒ 一个 ☐ 两个(A-B) ☐ 两个(A-B-A)		设计压力(MPa):	设计压力(MPa):
筒体段数(1~3): 1		设计温度(°C): 0	设计温度(°C):
鞍座个数(2~10): 2		物料密度(kg/m³):	物料密度(kg/m³):
均布于设备全长的附件(隔热层等)重量(kg): 0		充装系数:	充装系数:
设防烈度和设计基本地震加速度: ☒ 低于七度 ☐ 八度(0.2g) ☐ 七度(0.1g) ☐ 八度(0.3g) ☐ 七度(0.15g) ☐ 九度(0.4g)		压力试验类型: ☒ 不计算压力试验工况 ☐ 水压试验 ☐ 气压试验	压力试验类型: ☐ 不计算压力试验工况 ☐ 水压试验 ☐ 气压试验
		试验压力(MPa):	试验压力(MPa):
		工况属性: ☒ 长期工况 ☐ 短期工况	工况属性: ☒ 长期工况 ☐ 短期工况

图 15.3 主体数据输入

根据筒体的分段数，用户需输入各分段的筒体参数，见图 15.4。对于两个压力腔的容器，用

户需选择各分段所在的压力腔。筒体长度：必须包含与之相邻的法兰、管板等的长度。因此，有多段筒体时，用户应正确划分筒体之间的界限，使得“多段筒体长度之和”等于“左右封头切线之间的距离减去封头直边之和”。筒体轴线到基础的距离：此处基础即“基础上表面”，也就是“支座底板下表面”。M41 假定所有“支座底板下表面”在一个水平面上。

图 15.4 各分段筒体数据输入

左、右封头的数据输入见图 15.5。封头类型：M41 只允许封头为椭圆形封头、半球形封头、平盖和碟形封头等 4 种。

左封头数据输入

封头数据

液柱静压力 (MPa):

封头名义厚度 (mm):

焊接接头系数:

腐蚀裕量 (mm):

封头类型:

☒ 椭圆封头

☐ 半球形封头

☐ 平盖

☐ 碟形封头

☐ 偏心锥壳

☐ 两端无折边锥形封头

☐ 大端有折边锥形封头

☐ 小端有折边锥形封头

☐ 两端有折边锥形封头

☐ 球冠形封头

封头内曲面深度 h_i (mm):

封头直边高度 o (mm):

材料类型:

☒ 板材

☐ 锻件

☒ 厚度负偏差为用户输入

厚度负偏差 (mm):

材料:

设计温度下许用应力 (MPa):

常温下许用应力 (MPa):

常温下屈服强度 (MPa):

设计温度下屈服强度 (MPa):

设计温度下弹性模量 (MPa):

防止内压屈曲设计方法:

☒ 经验法

☐ 解析法

图 15.5 封头数据输入

如果有附加的均布质量或者集中载荷，则可进入“附加质量数据输入”界面，见图 15.6。附加均布质量和附加集中质量的定位点都是左封头切线，其中平盖的“封头切线”为其内侧表面。“鞍座底板”是指鞍座底板下表面。附加均布质量：不是均布于设备全长的均布质量，如换热器管束、长条形平台等。附加集中质量包括：较大内件、较大接管、设备法兰、管板、顶部平台（简化成 2~3 个集中质量）、附属设备（蒸发器、过滤器、分离器等，简化成 1 个集中质量）、含重叠式换热器（简化成 2~3 个集中质量）。M41 按这些质量的高度计算支座反力、弯矩、倾覆力等。但是，M41 并不计算它们与设备连接处的局部应力。

附加质量数据输入

附加均布质量：

均布质量大小(kg)：

均布质量左端点至左封头切线的距离(mm)：

均布质量作用长度(mm)：

均布质量形心至鞍座底板的距离(mm)：

集中质量个数：

集中质量1：

集中质量大小(kg)：

集中质量作用点到左封头切线的距离(mm)：

集中质量形心到鞍座底板的距离(mm)：

集中质量2：

集中质量大小(kg)：

集中质量作用点到左封头切线的距离(mm)：

集中质量形心到鞍座底板的距离(mm)：

集中质量3：

集中质量大小(kg)：

集中质量作用点到左封头切线的距离(mm)：

集中质量形心到鞍座底板的距离(mm)：

集中质量4：

集中质量大小(kg)：

集中质量作用点到左封头切线的距离(mm)：

集中质量形心到鞍座底板的距离(mm)：

集中质量5：

集中质量大小(kg)：

集中质量作用点到左封头切线的距离(mm)：

集中质量形心到鞍座底板的距离(mm)：

图 15.6 附加质量数据输入

第1个鞍座

鞍座基本数据

加强圈数据

鞍座中心线到左封头切线的距离 (mm):

鞍座包角 θ (°):

鞍座宽度 b (mm):

鞍座腹板厚度 b_0 (mm):

腹板与筋板组合截面积 A_{sa} (mm²):

腹板与筋板组合截面抗弯截面系数 Z_r (mm³):

鞍座设计温度 (°C):

腹板/筋板材料:

腹板/筋板在设计温度下的许用应力 (MPa):

腹板/筋板在常温下许用应力 (MPa):

鞍座垫板厚度 t_r (mm):

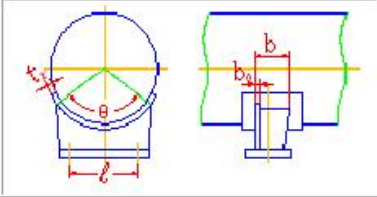
鞍座垫板宽度 b_s (mm):

鞍座垫板材料:

鞍座垫板在设计温度下的许用应力 (MPa):

鞍座垫板在常温下的许用应力 (MPa):

鞍座中心线到最近加强件(法兰、管板等)边缘的距离(无加强件或远大于 $R_a/2$ 填0) (mm):



计算腹板与筋板组合截面积和抗弯截面系数

基础类型

☒ 水泥基础

☐ 钢基础

☐ 特氟隆垫板

筒体与鞍座安装形式

☒ 焊接

☐ 不焊接

一个鞍座上地脚螺栓个数:

筒体轴线两侧的螺栓间距 l (mm):

地脚螺栓公称直径 (mm):

0

地脚螺栓根径 (mm):

地脚螺栓材料:

地脚螺栓许用应力 (MPa):

图 15.7 鞍座基本数据输入

根据鞍座个数，用户需分别输入各鞍座参数，见图 15.7。各鞍座的定位点都是左封头切线，其中平盖的“封头切线”为其内侧表面。鞍座中心到最近加强件的距离：这个参数用以确定鞍座处筒体是否被加强。当鞍座非常靠近管板等加强件时，需要校核鞍座处筒体的剪切强度。鞍座数据还有一些扩充和附加选项，如鞍座设计温度、摩擦系数、腐蚀裕量等，详见 15.4 节。其余的参数输入可参见 5.2.2 节。

如需要设置加强圈，则进入加强圈数据输入界面，见图 15.8。其参数的输入见 5.2.2 节。

197

第1个鞍座

鞍座基本数据

加强圈数据

加强圈位置

☒ 无加强圈

☐ 在鞍座面上的内加强圈

☐ 在靠近鞍座的内加强圈

☐ 在鞍座面上的外加强圈

☐ 在靠近鞍座的外加强圈

加强圈型钢类型:

加强圈型钢规格:

加强圈截面积 (mm²):

加强圈截面惯性矩 (mm⁴):

加强圈截面形心至顶端距离 d(mm):

加强圈形心直筒体内壁或外壁距离 c(mm):

加强圈材料:

加强圈在设计温度下许用应力 (MPa):

加强圈在常温下的许用应力 (MPa):

加强圈与筒体焊接处宽度 w (mm):

图 15.8 加强圈数据输入

15.4 附加选项文件

附加选项文件“..\data\M41add.txt”是输入数据的补充，用于增加某些数据的灵活性或合理性。软件发行时，这个文件的内容如下：

- 3
- (1)腹板/筋板设计温度的取法----1/2/[3]/4/5/6=20/7
- 4
- (2)地脚螺栓设计温度的取法----1/2/3/[4]=50/5=20/6
- 1
- (3)加强圈许用应力的方法-----[1]=按 tn16 板/2/3/4/5
- 2
- (4)什么情况下计算地震载荷---[1]/2=大于或等于 7 度 0.10g 时计算/3
- 3.0
- (5)地脚螺栓根径是否扣除 C2----0/>0 取该值[3.0]
- 0.00
- (6)特殊静摩擦系数-----[0]/>0 取该值
- 0.00
- (7)特殊动摩擦系数-----[0]/>0 取该值
- 0
- (8)哪一个支座是固定支座----[0]都可能是1/2/3
- 0
- (9)是否计算和校核鞍座应力---[0]总是计算/1=不计算
- 0.00
- (10)特殊设计基本地震加速度---[0]按界面取/>0 取该值

注：本文件载有 M41“非对称双鞍座和多鞍座卧式容器”模块的补充数据，共 10 个。

本文件应放在“..\data\”目录中。以下是详细说明。

第 1 个数据 =【求鞍座腹板/筋板许用应力时设计温度的取法】

以下设 T=鞍座对应的压力腔的设计温度，水压试验工况除选项 7 外均按 20℃

- 1 -- =max(T,50)
- 2 -- =max(T-50,50)
- 3 -- =max(T-100,50) (程序推荐选项)
- 4 -- =200
- 5 -- =50
- 6 -- =20
- 7 -- =程序不查鞍座腹板/筋板许用应力,取输入界面上的许用应力

第 2 个数据 = 【求地脚螺栓许用应力时设计温度的取法】 T 的意义同上

- 1 -- =max(T,50)
- 2 -- =max(T-50,50)
- 3 -- =max(T-100,50)
- 4 -- =50 (程序推荐选项)
- 5 -- =20
- 6 -- =程序不查地脚螺栓许用应力,取输入界面上的许用应力

第 3 个数据 = 【求加强圈许用应力的方法】

- 1 -- =按 $t_n=16$ 的板材求许用应力 (程序推荐选项)
- 2 -- =按 $t_n=36$ 的板材求许用应力
- 3 -- =按 $t_n=60$ 的板材求许用应力
- 4 -- =程序不查加强圈许用应力,取筒体的许用应力
- 5 -- =程序不查加强圈许用应力,取输入界面上的许用应力

第 4 个数据 = 【地震计算选项--什么情况下计算地震载荷的影响】

- 1 -- =地震烈度大于或等于 7 度 0.15g 时计算 (程序推荐选项)
- 2 -- =地震烈度大于或等于 7 度 0.10g 时计算 (附加质量较大时建议选此项)
- 3 -- =地震烈度小于 7 度时按 6 度 0.05g 计算 (附加质量很大或质心较高时建议选此项)

第 5 个数据 = 【地脚螺栓根径是否扣除腐蚀裕量】

- 0 -- =按输入数据,不扣腐蚀裕量
- >0 -- =根径扣除该腐蚀裕量 (程序推荐取 3.0)

第 6 个数据 = 【支座与基础之间静摩擦系数】

- 0 -- =按输入数据 (程序推荐选项)
- >0 -- =取静摩擦系数等于该值

第 7 个数据 = 【支座与基础之间动摩擦系数】

- 0 -- =按输入数据 (程序推荐选项)
- >0 -- =取动摩擦系数等于该值

第 8 个数据 = 【哪一个支座是固定支座(固定支座在地震工况下需计算地脚螺栓剪应力)】

- 0 -- =每个支座都可能是固定支座 (程序推荐选项)
- 1 -- =仅最左支座是固定支座
- 2 -- =仅左数第二个支座是固定支座
- 3 -- =仅最右支座是固定支座(双支座时取 2 或 3 均可)

第 9 个数据 = 【是否计算和校核鞍座应力】（落实 NB/T47042-2014 中的 6.1.3 条）

0 -- =总是计算和校核鞍座应力（程序推荐选项）

1 -- =是 JB/T4712.1 标准鞍座，且用户要求不计算和校核鞍座应力

第 10 个数据 = 【“设计基本地震加速度”不是标准值时的取法】

0 -- = “设计基本地震加速度”按输入界面取 (0.05, 0.10, 0.15, ... , 0.40 之一)

>0 -- =取 “设计基本地震加速度”等于该值，例如 0.135

用户可以用任意文本编辑器打开和编辑这个文件的前 10 行。但要注意：(1)修改前最好保留副本；(2)每一行中，除了前面的数值与后面的说明之间有空格外，不能在其他位置有空格；(3)使用后建议将各参数恢复到缺省值。

15.5 许用应力

M41 的各项许用应力的取法见表 15.2。

表 15.2 许用应力取法

工况 应力	0 设计(无地震载荷)	1 设计(有地震载荷)	2/3/4 压力试验
$\max(\sigma_{1-4})$	$\varphi[\sigma]^t$	$K_0\varphi[\sigma]^t$	$0.9\varphi R_{eL}$
$ \min(\sigma_{1-4}) $	$[\sigma]^t_{ac}$	$[\sigma]^t_{ac}$	$[\sigma]_{ac}$
τ	$0.8[\sigma]^t$	$0.8K_0[\sigma]^t$	$0.8[\sigma]$
τ_h	$1.25[\sigma]^t - \sigma_h$	$1.25K_0[\sigma]^t - \sigma_h$	$1.25[\sigma] - \sigma_h$
$ \sigma_5 $	$[\sigma]^t$	$K_0[\sigma]^t$	$[\sigma]$
$ \sigma_6 $ 、 $ \sigma'_6 $ 、 $ \sigma_7 $	$1.25[\sigma]^t$	$1.25K_0[\sigma]^t$	$1.25[\sigma]$
$ \sigma_8 $	$1.25[\sigma]^t_r$	$1.25K_0[\sigma]^t_r$	$1.25[\sigma]_r$
σ_9	$2/3[\sigma]^t_{sa}$	$2/3K_0[\sigma]^t_{sa}$	$2/3[\sigma]_{sa}$
σ_{sa}	不计算	$K_0[\sigma]^t_{sa}$	不计算
σ^t_{sa}	$[\sigma]^t_{sa}$	不计算	$[\sigma]_{sa}$
σ_{bt}	不计算	$K_0[\sigma_{bt}]^t$	不计算
τ_{bt}	不计算	$0.8[\sigma_{bt}]^t$ 固定支座才计算	不计算

部分符号说明：

$[\sigma]^t$ 、 $[\sigma]$ -----筒体设计温度下/常温下拉伸许用应力，鞍座垫板设计温度与筒体相同，鞍座垫板许用应力与筒体相同（标准如此）

$[\sigma]^t_{ac}$ 、 $[\sigma]_{ac}$ -----筒体设计温度下/常温下压缩许用应力

R_{eL}^t 、 R_{eL} -----筒体设计温度下/常温下屈服限，鞍座垫板设计温度与筒体相同，鞍座垫板屈服限与筒体相同（标准如此）

$[\sigma]^t_r$ 、 $[\sigma]_r$ -----加强圈设计温度下/常温下拉伸许用应力，加强圈设计温度与筒体相同

$[\sigma]^t_{sa}$ 、 $[\sigma]_{sa}$ -----鞍座腹板和筋板设计温度下/常温下拉伸许用应力，其设计温度低于筒体、高于 20℃，建议取 $\max(T-100, 50)$ ，其中 T 为筒体设计温度。具体取值用户可调，见文件 “..\data\M41add.txt”

$[\sigma_{bt}]^t$ -----地脚螺栓拉伸许用应力，其设计温度低于筒体、高于 20℃，建议取 50℃。具体取值用户可调，见文件 “..\data\M41add.txt”

附录 A SW6-2024 安装与卸载说明

SW6-2024 过程设备设计计算软件包分为单机版和网络版，两者的安装过程不完全一致，以下分别对其安装进行说明。需要说明的是，安装 SW6 软件新版本前，需先卸载 SW6 软件旧版本。

A.1 SW6-2024 单机版软件安装说明

A.1.1 主要安装文件：

在软件的安装 U 盘中包括以下安装文件：

1、软件安装需要以下图 A.1 所示的文件：



图 A.1 软件安装程序文件

2、新版软件提供的加密块为免驱动版本，无需再安装加密块驱动。

3、用户材料自定义数据库

- a) 用户材料数据库默认密码为：111111；
- b) 如需修改密码，请联系售后；

A.1.2 软件安装过程说明：

1. 用户双击图 A.1 中  setup.exe 准备安装，见图 A.2。

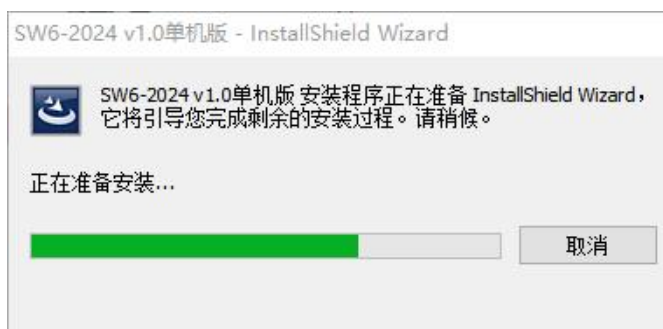


图 A.2 准备安装

2. 进入安装向导，如图 A.3，用户点击“下一步”进行安装路径的选择。



图 A.3 安装向导

3. 选择安装路径, 见图 A.4。默认路径为“D:\SW6-2024\”, 用户可修改, 点击“浏览”, 选择需要安装的路径。但每一段路径名不要超过 8 个字符, 也不要含有文字符、小数点、空格, 故不要安装在“C:\Program Files”文件夹下, 也不要安装在任何二级目录下。

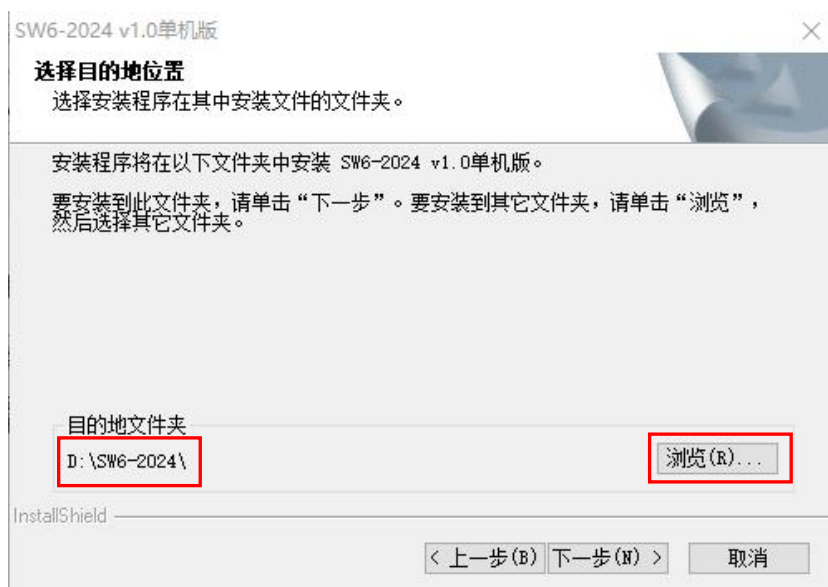


图 A.4 安装路径的选择

4. 开始安装。

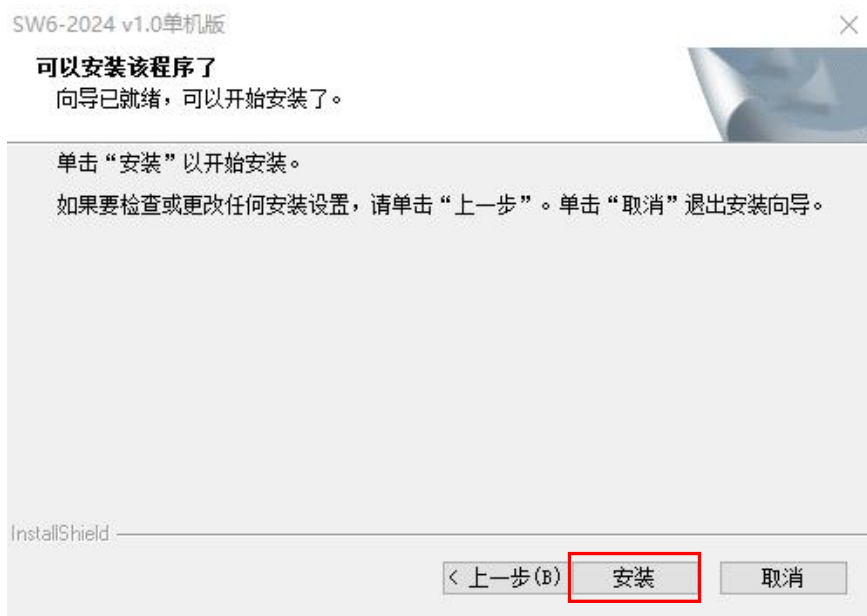


图 A.5 开始安装

5. 安装过程。此过程将复制程序文件到指定的安装目录的文件夹中，请耐心等待。



图 A.6 安装过程

6. 完成安装



图 A.7 完成安装

A.2 SW6-2024 网络版软件安装简单说明

SW6-2024 网络版安装程序由服务器安装程序和工作站安装程序两部分组成。

A.2.1 主要安装文件：

- 1、 服务器端安装文件见图 A.8 所示，工作站安装文件见图 A.9 所示：

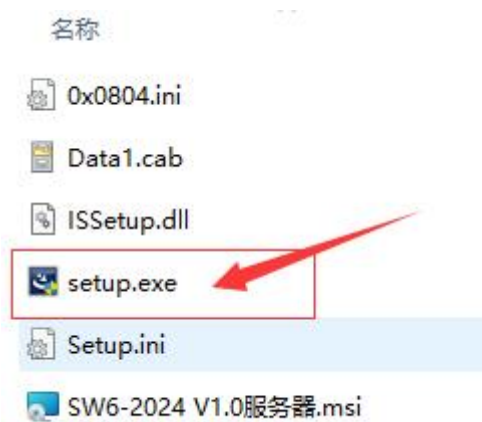


图 A.8 服务器端安装文件



图 A.9 工作站安装文件

- 2、 网络版加密块驱动程序见图 A.10 所示（只需要安装在插加密块的电脑上，具体安装详见 A.3 节）

名称	状态	修改日期
Readme_HTML5		2024/10/10 16:07
HASPUserSetup.exe		2023/4/20 9:29

图 A.10 网络版驱动安装文件

- 3、 用户材料自定义数据库密码
- a) 用户材料数据库默认密码为：111111；
 - b) 如需修改密码，请联系售后；

A. 2. 2 SW6-2024 软件网络版安装简单说明，方法一（服务器端程序和 workstation 端程序都安装在使用者电脑上）

- 1) 安装 SW6 软件服务器端：双击图 A.8 中的  setup.exe 进行 SW6 软件服务器端安装，默认路径为 D:\SW6-2024S（非必要请勿修改此安装路径）。
- 2) （如使用者电脑与插加密锁的电脑在局域网同一网段，则可以跳过此步骤）打开步骤 1 服务器端安装文件夹 bin 路径下的 hasp_31388.ini（默认路径为 D:\SW6-2024s\bin\hasp_31388.ini），写入插加密锁电脑的 IP 地址（如：serveraddr=192.168.1.100），保存退出。
- 3) 安装 SW6 软件工作站，进行如下操作：双击图 A.9 中  setup.exe 进行软件工作站端安装。在输入服务器路径页面，点击浏览，选中刚才服务器安装路径（默认为 D:\SW6-2024s），确认后再下一步，见图 A.11。



图 A.11 工作站端安装时服务器路径选择

- 4) 其他按默认设定，完成工作站端软件安装。
- 5) 重复步骤 1~4 条，安装好其他 SW6 用户的电脑。
- 6) 安装完成后，可以在系统开始菜单的“所有程序”里找到 “SW6-2024 V1.0 工作站” 程序组。

A.2.3 SW6-2024 软件网络版安装简单说明，方法二（服务器端程序共享使用，使用者电脑上只安装工作站）

1) 在局域网内任意选定一台电脑（以下简称 PC-A），用以安装 SW6 软件服务器端程序（默认的安装路径：D:\SW6-2024S），把 SW6 软件服务器端安装路径（默认为 D:\SW6-2024S）进行文件共享。

2) （如 SW6 软件使用者电脑与插加密锁的电脑在局域网同一网段，则可以跳过此步骤）打开步骤 1 服务器端安装文件夹 bin 路径下的 hasp_31388.ini（默认路径为 D:\SW6-2024s\bin\hasp_31388.ini），写入插加密锁电脑的 IP 地址（如：serveraddr=192.168.1.100），保存退出。

3) 以下操作在 SW6 软件使用者电脑上操作：安装 SW6 软件工作站，双击图 A.9 中  setup.exe 进行软件客户端安装。在“输入服务器路径”页面时，输入或者点击浏览，选中步骤 1 的 PC-A 服务器中共享的 SW6 软件安装路径（例如：\\lvdong\SW6-2024s，其中 lvdong 为 PC-A 的机器名），确认后再下一步，见图 A.12。

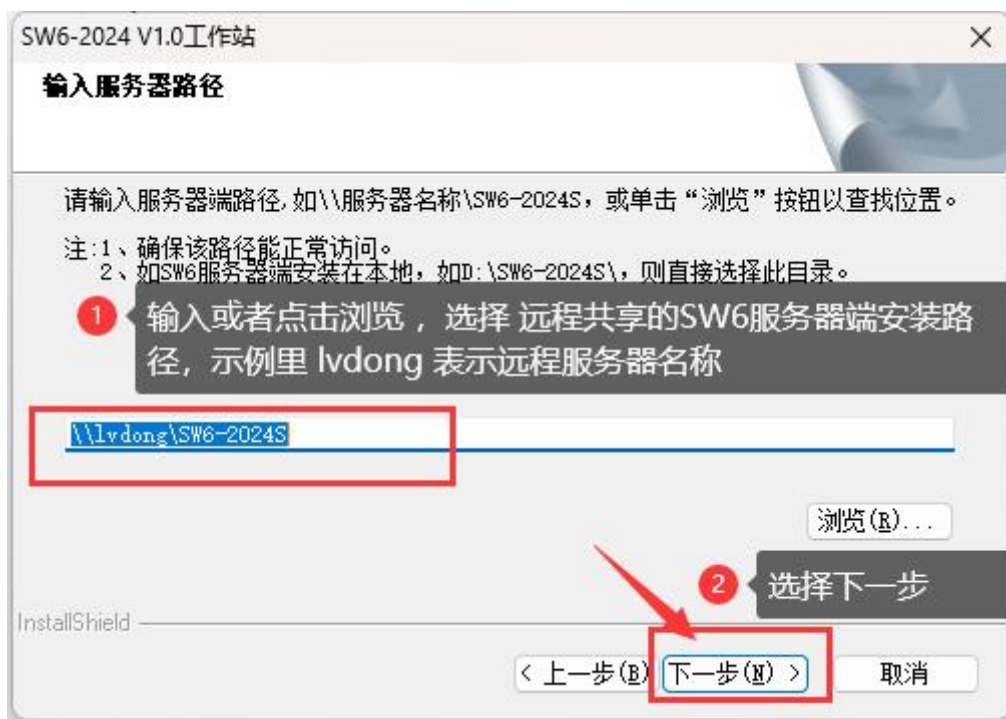


图 A.12 SW6 工作站端安装时选择共享的 SW6 服务器安装路径

- 4) 重复步骤（3）条，安装好其他 SW6 用户的电脑。
- 5) 安装完成后，可以在系统开始菜单的“所有程序”里找到“SW6-2024 V1.0 工作站”程序组。

A.3 SW6-2024 软件网络版加密块安装及使用说明

SW6-2024 网络版软件选用的加密块（下面简称“网络锁”），适应于网络环境中的软件保护和授权方案，并对软件的并发用户数量进行控制，并提供了用户控制中心，方便管理人员清晰

明了的掌握软件使用情况。

A. 3.1 部署网络锁电脑支持的操作系统

网络锁电脑支持的操作系统：Windows Server2016\Windows Server2019\Windows Server2022\WIN10\WIN11。

A. 3.2 网络锁驱动安装

(1) 打开“SW6-2024 网络版加密块驱动”文件夹，运行 HASPUserSetup.exe（如图 A.10）。

(2) 系统通过 TCP/UDP 1947 端口读加密锁，所以，需要在系统防火墙设置里添加“**入站规则**”，**分别添加 TCP 以及 UDP 协议的端口 1947**（如图 A.13）。

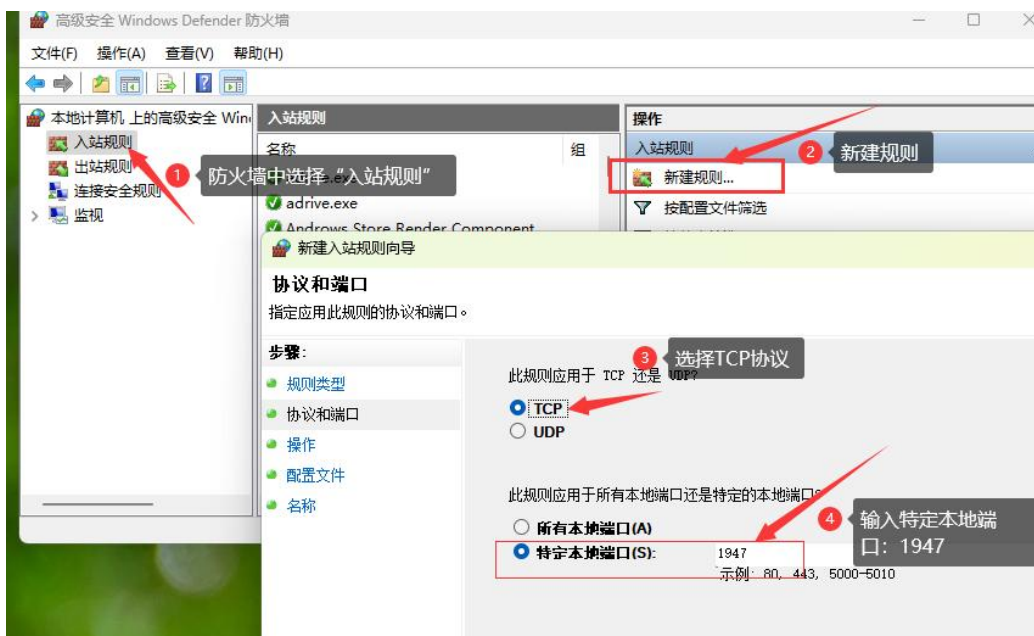


图 A.13 系统防火墙里分别添加“入站规则”，TCP 及 UDP 1947 端口

A. 3.3 管理员控制中心的使用

(1) 使用网页浏览器，地址栏输入：<http://localhost:1947>，可以打开网络锁的管理界面，每个栏目的详细的信息，可以点击管理界面右上角的【帮助】链接。

(2) 默认为英语界面，您可以在最下方选择需要显示的语言，如中文，见图 A.14。



图 A.14 网络锁管理语言选择

(3) 通过点击“产品 -> 功能”，查看目前写入网络锁的节点数，如图 A.15，节点数为 5。



图 A.15 网络锁管理功能显示

说明：消耗 [节点数] 按 [站点] 计算，即不管某个用户打开多少个 SW6 模块，按 1 个节点消耗数计算，如节点数为 5，即说明支持 5 台电脑同时登录，当用户电脑关闭所有 SW6 计算模块，网络锁会释放该节点供其他用户使用。

(4) 用户每打开一个 SW6 计算模块，都会产生 1 个会话，管理员可以在“会话”栏目查看当前 SW6 软件使用情况。如图 A.16，IP 地址为 192.168.1.113 的 lvdong 用户打开 2 个 SW6 软件计算模块，消耗网络版节点为 1（因为消耗 [节点数] 按 [PC] 计算，所以算作消耗 1 个节点）。

位置	产品	功能	地址	用户	机器	登录时间
本地	1 SW6-2024-NET	2024 SW6-2024-NET V1.0	192.168.1.113	lvdong	lvdong-p16:13496	星期四 七月 15:42:47
本地	1 SW6-2024-NET	2024 SW6-2024-NET V1.0	Local	Admin	lvdong:23304	星期四 七月 15:33:51
本地	1 SW6-2024-NET	2024 SW6-2024-NET V1.0	192.168.1.113	lvdong	lvdong-p16:12172	星期四 七月 15:21:19

图 A.16 网络锁管理功能之节点数使用情况查看

(5) 管理页面 <http://localhost:1947> 默认只能在安装有网络锁驱动的电脑上才能运行，如需局域网内其他用户查看，需要在【配置】->【基本设置】的 ACC 选项中以加设置（设置前需要设置密码）。

如安装网络锁的电脑 IP 地址是：192.168.1.100，则局域网用户可以通过 <http://192.168.1.100:1947> 了解网络锁的使用情况。

A.3.4 关于网络锁所处的局域网是否为同一网段的说明

如果 SW6 工作站端电脑与网络锁所在电脑在同一网段，程序将自动读取同一网段内的网络锁信息，用户无需单独配置。如工作站端电脑与网络锁所在电脑不在同一网段，则需要先在 SW6-2024 服务器端安装目录的 BIN 目录下（默认路径：D:\SW6-2024\BIN）配置 hasp_31388.ini 文件，配置文件内容如下（假设安装网络锁的电脑 IP 地址是：192.168.1.100）：
serveraddr=192.168.1.100，配置完成后保存退出。

A.4 SW6 软件的卸载

找到操作系统的【控制面板】->【程序】->【卸载程序】。找到需要卸载的 SW6 软件，

按提示卸载。卸载过程中，会出现自定义数据库用户注意页面，如图 A.17。此时，如有自定义材料数据，需要先备份，等重新安装完成 SW6 软件后，再把备份的文件覆盖回去。

自定义材料文件夹路径：

单机版： 安装路径/Data/User 文件夹（默认为：D:\SW6-2024\data\User）。

网络版： 服务器端安装路径/Data/User 文件夹（默认为：D:\SW6-2024s\data\User）。

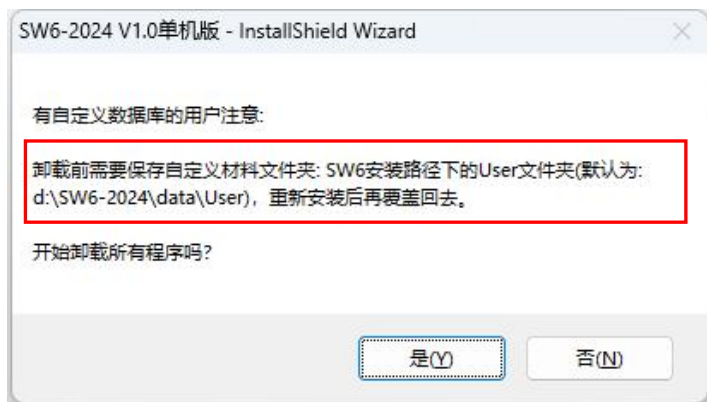


图 A.17 卸载过程中自定义数据库用户注意页面

附录 B SW6-2024 常见问题说明

1. 用户在启动程序时，出现图 B.1 所示的错误。此时，需要您以管理员身份运行，只需右键要运行的程序，在右键菜单中选择以管理员身份运行即可，也可以在目标属性兼容性设置里面直接选择“以管理员身份运行此程序”，确认保存后即可直接双击运行。或者，找到 win.ini 文件（默认路径：c:\windows\win.ini），修改其安全选型，操作：属性->安全栏->编辑->添加 everyone 用户的读取功能。

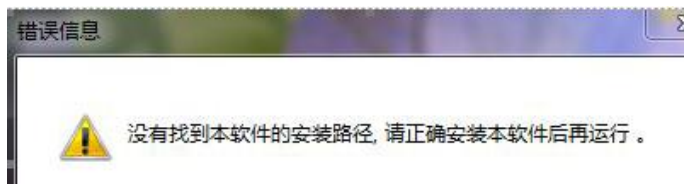


图 B.1 找不到安装路径错误提示

2. 关于自定义材料数据库的问题：

- 1) 自定义材料数据库默认密码为：111111，如需修改密码，请联系售后。
- 2) 如果有自定义材料数据，重新安装 SW6 软件或者安装补丁前，需要注意如下操作：
单机版：需要把 SW6 软件单机版安装文件 DATA 目录（默认路径为 D:\SW6-2024\data）下的 User 文件夹（如图 B.2）整个先保存出来，安装好后再覆盖回去。
网络版：需要把 SW6 软件网络版服务器端安装文件夹 DATA 目录（默认路径为 D:\SW6-2024s\data）下的 User 文件夹整个先保存出来，安装好后再覆盖回去。

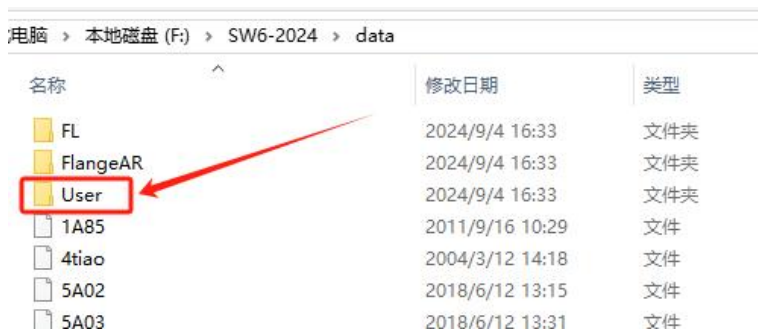


图 B.2 User 文件夹

- 3) 如果您用的是 SW6 软件网络版，当发现无法保存自定义材料，则很有可能是因为没有获取 SW6 软件服务器端共享文件夹的读写权限，因为自定义材料数据是保存在服务器端 DATA 目录下，解决方法只要联系网络管理员开通相应登录账户的写权限即可。
- 4) 添加自定义材料，需要注意材料名不能超过 20 个字符（既 10 个中文字符），且字符不能出现非常规字符（如：！@#¥%.....&*），也不要出现小数点(.)，可以用下划线“_”来代替小数点。

3. 在计算过程中，如出现 B.3 所示的错误提示，则是因为计算过程中出现了分母为 0 的错误或者根号里出现负数，用户需检查输入数据，确保输入数据的完整性和准确性。

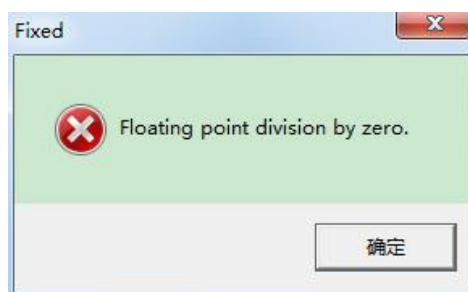


图 B.3 浮点错

4. 在 WORD 中形成计算书时,有时会出现字体很小的情况。用户可在“工具-选项”对话框中点击“Web 选项”按钮,然后在打开的对话框中,将“取消下述软件不知从何的功能”选择框的钩去掉。
5. 点击“形成计算书”按钮后,如 WORD 已打开,但提示“WORD 无法打开文档…DOC1”,这是 WORD 本身的问题。解决办法:删除文件 Normal.dot,打开 WORD,然后关闭,使生成一个新的 Normal.dot。
6. 用户在计算完后,选择“形成计算书”时,出现 B.4 所示的错误信息。此时,用户首先需检查要出计算书的零部件是否已完成计算,如还是无法解决,则可先关闭程序,然后将安装目录下的 TEM 文件夹里面的内容全部清除后,再次计算并形成计算书。

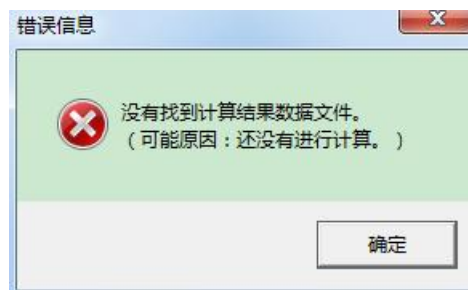


图 B.4 找不到计算结果文件

7. 塔器计算时出现 EAccessViolation 错误,如图 B.5 所示。



图 B.5 塔器计算 EAccessViolation 错误

此时可按如下步骤解决:

(1) 点击塔器图标，右键，显示如下图 B.6 窗口：

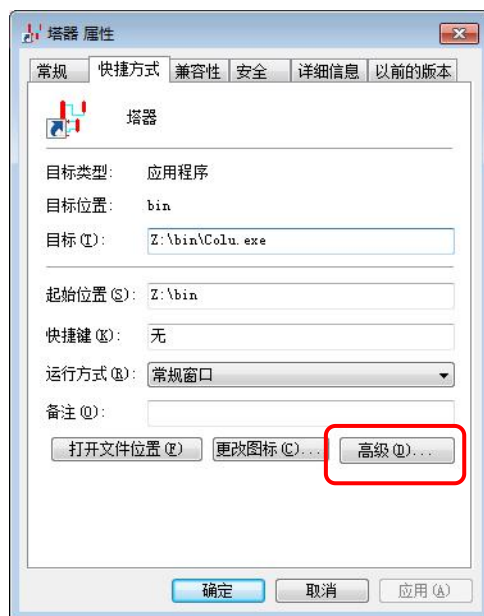


图 B.6 塔器图标属性

(2) 选择快捷方式——高级，显示高级属性窗口，勾选用管理员身份运行，见图 B.7。



图 B.7 高级属性

(3) 属性栏选择安全——Everyone，编辑，完全控制。

8. 计算完发现无法出计算书，或者打开 word 后出现空白页，可按如下方法尝试解决：
 - (1) SW6 软件计算书支持 office 套装或者 WPS 软件；
 - (2) office 套装必须是完整安装，如果是所谓的“office 绿色版”，则请重新完整安装 office；
 - (3) 360 杀毒软件有可能会屏蔽 SW6 软件调用 office 底层代码，所以安装有 360 杀毒软件的用户，可以把 SW6 软件的“安装目录”加入到 360 杀毒软件的白名单。
9. SW6 软件支持 WIN7/WIN10/WIN11 的 32 位或 64 位系统，但如果家庭版系统，则运行 SW6

软件计算模块时请以管理员身份运行（家庭版系统对用户权限的控制弱于专业版）。设置如图 B.8 所示。

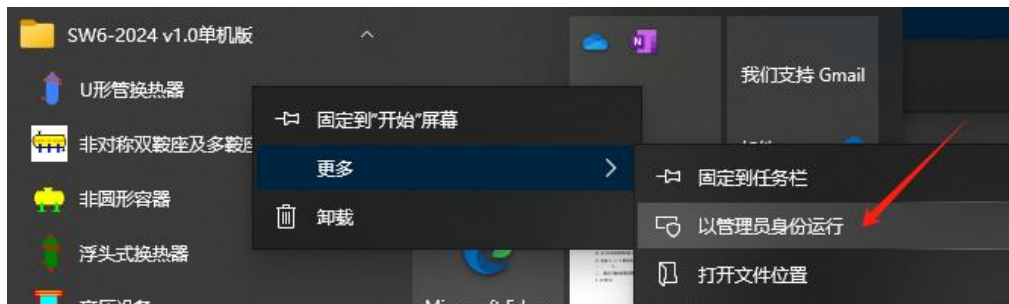


图 B.8 管理员身份运行设置

10. SW6 软件支持出英文版计算书的输出，但操作界面是中文版，所以，如果您用的系统是英文版操作系统，则需要在系统的区域设置里选择“中文（简体，中国）”。设置如图 B.9 所示。

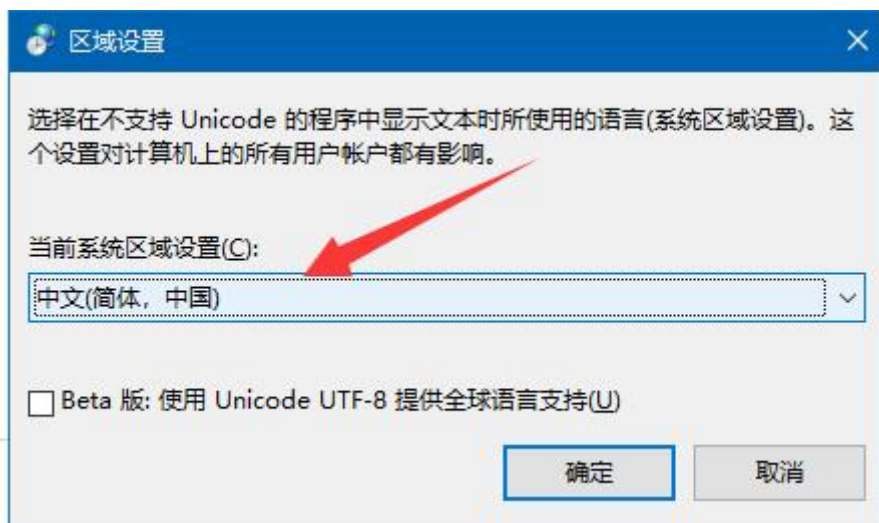


图 B.9 系统区域设置

11. 如果用户电脑中安装了加密软件，则可能会导致生成计算书时出现如图 B.10 所示错误。解决办法：用户修改加密软件策略，不要将 SW6 软件添加到加密保护中。



图 B.10 安装加密软件导致软件无法正常生成计算时提示