doi:10.3969/j.issn.1001-4837.2025.01.008

标准规范

人孔的标准化设计及工程应用研究

陶　钧,张运强,李小梅,岳国印,邢宪宁,李晓波,石平非,赵栓柱
(中国寰球工程有限公司 北京分公司,北京 100012)

摘　要:针对目前实际工程设计中经常出现的需要对压力容器人孔零部件进行非标设计的现状,本文在对现行人孔行业标准分析的基础上,总结了实际工程设计中需对人孔进行非标设计的原因。基于美洲体系的管法兰标准对人孔标准施工图进行了研究和编制,对人孔标准施工图的零部件范围、材料范围、紧固件的选用原则以及标记规则进行了阐述,列出了人孔标准施工图的工程应用实例,最后从材料角度对人孔部件的紧固件选用提出了建议。

关键词:压力容器;人孔;标准化设计;工程应用
中图分类号:TH49;TH136;TH121　　**文献标志码:**A

Research on standardized design and engineering application of manhole

TAO Jun, ZHANG Yunqiang, LI Xiaomei, YUE Guoyin, XING Xianning, LI Xiaobo,
SHI Pingfei, ZHAO Shuanzhu
(China Huanqiu Constructing & Engineering(Beijing) Co., Ltd., Beijing 100012, China)

Abstract: In view of the current situation that non-standard design of manhole parts of pressure vessels often appears in actual engineering design, based on the analysis of the current industry standard of manhole, this paper summarizes the reasons for the non-standard design of manhole in practical engineering design. Standard manhole drawings based on the American standard flange is studied and compiled. The parts range, material range, fastener selection principle, marking method of standard manhole drawings are expounded. The engineering application examples of manhole standard drawings are listed. Some suggestions on fastener selection of manhole parts are put forward from the perspective of material.

Key words: pressure vessel; manhole; standardized design; engineering application

0　引言

人孔是主要用于检查、装拆容器内件的部件[1-2],是石油化工及其他类似装置中最为常见的压力容器开孔结构。TSG 21—2016《固定式压力容器安全技术监察规程》中规定,压力容器应当根据需要设置人孔、手孔等检查孔,检查孔的开设位置、数量和尺寸等应当满足进行内部检验的需要。NB/T 47042—2014《卧式容器》中规定,卧式容器的筒体长度超过8 000 mm时,人孔数量不宜少于2个;立式容器的人孔数量一般根据内构件特性确定。GB/T 12337—2014《钢制球形储罐》中规定,球壳上、下极中板应各设置一个采用带颈对焊法兰的公称直径不小于500 mm的人孔。HG/T 20583—2020《钢制化工容器结构设计规范》对人孔的数量、设置部位、结构型式和规格等进行了规定。人孔的开孔一般为圆形,在锅炉、汽包等设备中也经常采用椭圆形开孔的人孔[3]。

现行的人孔行业标准提供了可供设备设计时直接引用的标准人孔。然而,随着化工装置和设备的大型化,受限于现行人孔行业标准的适用范围,大直径、高压力等级或特定材料的人孔零部件无法直接引用人孔标准,须对其进行非标设计[4]。

为规范非标人孔的设计,减少重复设计工作,

收稿日期:2024-04-01　修回日期:2025-01-06

提高设计质量和工作效率，促进标准化设计，对化工装置中需进行非标设计的人孔的标准化进行了综合分析。在此基础上，编制了系列人孔标准施工图作为企业标准图（集），供工程师设计压力容器时直接引用，从而对现行的人孔标准进行了有效的补充。本文中的“人孔标准施工图”指在现行的人孔行业标准之外，针对需进行非标设计的人孔，编制的系列标准施工图。

1 现行人孔标准的现状

中国和德国压力容器标准体系是鲜见的具有压力容器人孔零部件标准的标准体系[4]。表1列出了德国现行的人孔标准，该标准一般应用于采用德国标准的压力容器的建造，国内应用较少。EUGENE[5]给出了适用于法兰盖的转臂等零部件的推荐尺寸。

表1 现行的德国人孔零部件标准

Tab.1 Current German manhole parts standards

标准编号	标准名称
DIN 28124-1:2022	Closures,round-Part 1:For unpressurized vessels
DIN 28124-2:2022	Closures,round-Part 2:For pressure vessels
DIN 28124-3:2022	Closures,round-Part 3:Covered for pressure vessels
DIN 28124-4:2022	Closures,round-Part 4:Swivel devices
DIN 28125-1:2020	Hinged closures,round-Part 1:Nominal diameter DN150 to DN800
DIN 28125-2:1989	Hinged covers;Elliptical,350 mm×450 mm
DIN 28125-3:1989	Hinged covers;Circular shape with protection ring and surface coated;DN500 and DN600
DIN 28125-4:2020	Hinged closures,round-Part 4:Light version,nominal diameter DN150 to DN800

PIP流程工业实践准则[6]PIP VEFV 1100:2024 *Vessel/S&T Heat Exchanger Standard Details* 列出了DN500和DN600水平吊盖和垂直吊盖人孔的转臂等零部件的尺寸和详图。上述文献的人孔零部件标准化的范围仅限于转臂等零部件，未包括人孔法兰、法兰盖以及相应的垫片和紧固件。表2列出了中国现行的人孔标准，在工程设计实践中，经常遇到表2中所列人孔标准不能满足设计需要，需设计非标人孔的情况，具体体现在以下方面。

（1）HG/T 21514—2014《钢制人孔和手孔的类型与技术条件》的表A.0.1《材料汇总表》中，列出了Ⅰ~Ⅺ共11种人孔材料类别及代号，但HG/T 21521—2014《垂直吊盖带颈对焊法兰人孔》等人孔标准中的材料类别及代号中仅涉及上述表A.0.1中一部分材料。当设备人孔的选用材料超出上述人孔标准中所列的材料时，需要对人孔进行非标设计。

（2）HG/T 21514~21535—2014《钢制人孔和手孔》标准中，全螺纹螺柱的材料仅限于35CrMo（在标记示例中用“t”表示），在实际工程项目中，受限于设计条件，35CrMo螺柱材料有时无法满足使用要求，需另行选用其他材料的紧固件。

（3）HG/T 21514~21535—2014《钢制人孔和手孔》标准的法兰及法兰盖基于HG/T 20592—2009《钢制管法兰》（PN系列），人孔公称压力的上限仅为PN40。随着装置和设备大型化，较高压力级别和较大公称直径的人孔越来越常见，此时需对人孔进行非标设计。

表2 现行的中国压力容器人孔零部件标准

Tab.2 Current Chinese manhole parts standards

标准编号	标准名称
HG/T 21514~21535－2014	钢制人孔和手孔
HG/T 21594－2014	衬不锈钢人孔、手孔分类与技术条件
HG/T 21596~21604－2014	衬不锈钢人孔和手孔

2 人孔标准施工图的编制

基于上述分析，考虑到HG/T 20615—2009《钢制管法兰》标准（Class系列）的法兰，在相同的公称尺寸下能够应用于较高级别的公称压力（实际上设计人员在设计非标人孔时往往也是基于该体系的法兰标准），在美洲体系管法兰标准的基础

上，补充编制人孔标准施工图作为企业标准图（集），对现行人孔行业标准进行有效补充，进而应用于实际工程项目中，是必要且可行的。作者针对化工装置中常用的垂直吊盖人孔，在现行人孔行业标准的基础上补充编制了系列人孔标准施工图，并对其进行了工程应用。

2.1 人孔标准施工图零部件范围

对于垂直吊盖带颈对焊法兰人孔，标准施工图的人孔部件范围包括法兰、法兰盖、紧固件（螺柱、螺母）、垫片、以及用以实现旋转功能的零部件（转臂、支撑环、支撑板、无缝钢管、吊环、吊钩、螺母、垫圈、封板、人孔盖上的把手），如图1所示（设备壳体和人孔筒节用双点划线表示，不在标准化的范围之内）。

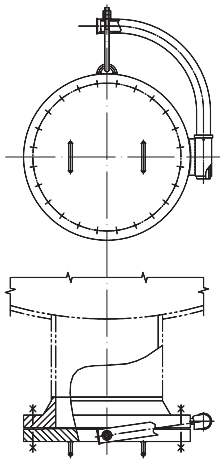


图1 垂直吊盖带颈对焊法兰人孔标准施工图部件范围

Fig.1 Parts range of standard drawings of manhole with vertical hanging cover and neck butt welding flange

相对于HG/T 21521—2014《垂直吊盖带颈对焊法兰人孔》中的部件范围之外，从便于部件的标准化角度考虑，所述标准施工图将人孔筒节排除在标准化的范围之外，原因在于人孔筒节的厚度一般根据人孔的开孔补强计算来确定，且基于压力容器的设计条件，人孔筒节经常需采用锻件加强管或者凸缘[7]。关于人孔筒节的计算分析在文献中多有报道[8-13]。图2所示为某化工装置中的垂直吊盖带颈对焊法兰人孔实物。



图2 垂直吊盖带颈对焊法兰人孔实物

Fig.2 Object picture of manhole with with vertical hanging cover and neck butt welding flange

2.2 人孔标准施工图的材料范围

前已述及，HG/T 21521—2014中的材料类别及代号中仅涉及HG/T 21514—2014表A.0.1中的一部分材料，在编制系列人孔标准施工图时，参照HG/T 21514~21535—2014，对人孔的法兰、法兰盖、支撑板和螺柱、螺母材料进行分类编号和补充，针对不锈钢材料，补充了Ⅶ~Ⅺ共5种材料类别及代号（与HG/T 21514—2014中材料类别及代号一致），如表3所示。

表3 不锈钢人孔的法兰、法兰盖和支撑板的材料类别及代号

Tab.3 Material category and code of stainless steel manhole flange, flange cover and support plate

零部件名称	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ	Ⅹ	Ⅺ
法兰/法兰盖	S30403	S30408	S32168	S31603	S31608
支撑板	S30403	S30408	S32168	S31603	S31608

针对非合金钢和合金钢材料，补充了Ⅻ材料类别代号（HG/T 21514—2014中没有列出该材料类别及代号），如表4所示。

表4 非合金钢和合金钢人孔的法兰、法兰盖和支撑板的材料类别及代号

Tab.4 Material category and code of non-alloy steel and low alloy steel manhole flanges, flange covers and support plates

零部件名称	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅻ
法兰/法兰盖	20	16Mn	15CrMo	16MnD	09MnNiD	14Cr1Mo
支撑板	Q245R	Q345R	15CrMoR	16MnDR	09MnNiDR	14Cr1MoR

HG/T 21521—2014中的支撑板的材料选用Q235B，在人孔标准施工图中，考虑到支撑板的受力情况及化学成分，使其材料与法兰、法兰盖的材料相匹配，如表3和表4所示。

针对HG/T 21514~21535—2014中全螺纹螺柱的材料仅限于35CrMo，在人孔标准施工图中扩充了全螺纹螺柱、螺母材料的范围，扩充后的材料类别及代号如表5所示。

表5 全螺纹螺柱、螺母的材料类别及代号

Tab.5 Material type and code of all threaded studs and nuts

零部件名称	t	t1	t2	t3	t4
螺柱	35CrMo	25Cr2MoV	30CrMo	SA193 B8 Cl.2	SA320 B8 Cl.2
螺母	30CrMo	35CrMo	30CrMo	SA194-8	SA194-8

表3中用于法兰/法兰盖的材料为锻件，材料应符合NB/T 47010—2017《承压设备用不锈钢和耐热钢锻件》的要求。表3中用于支撑板的材料为板材，材料应符合GB/T 713.7—2023《承压设备用钢板和钢带 第7部分：不锈钢和耐热钢》的要求。表4中用于法兰/法兰盖的材料为锻件，16MnD和09MnNiD锻件应符合NB/T 47009—2017《低温承压设备用合金钢锻件》的要求，表中其他锻件材料应符合NB/T 47008—2017《承压设备用碳素钢和合金钢锻件》的要求。表5中35CrMo，30CrMo和25Cr2MoV紧固件材料应符合GB/T 3077—2015《合金结构钢》以及GB/T 150.2—2024《压力容器 第2部分：材料》的要求。SA193 B8 Cl.2，SA320 B8 Cl.2和SA194-8紧固件材料应分别符合ASME SA193：2023 *Specification for Alloy-steel and Stainless Steel Bolting for High-temperature or High Pressure Service and Other Special Purpose Applications*，ASME SA320：2023 *Specification for Alloy - steel and Stainless Steel Bolting for Low-temperature Service*，ASME SA194：2023 *Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts for Bolts for High Pressure or High Temperature Service，or Both*的要求。实际上，当对人孔的零部件材料有附加要求时，可在引用该标准施工图的设备装配图技术要求中进行规定。

2.3 人孔标准施工图的适用温度、最高允许工作压力以及腐蚀裕量的范围

本文所述人孔标准施工图的基础是HG/T 20615—2009，因此该法兰标准的适用温度、最高允许工作压力以及腐蚀裕量的范围即是人孔标准施工图相应的适用范围。HG/T 20615—2009虽没有给出法兰适用的腐蚀裕量范围，根据工程经验，人孔标准施工图限定压力容器腐蚀裕量的范围为不大于3 mm。

2.4 人孔标准施工图中紧固件的选用原则

HG/T 20634—2009《钢制管法兰用紧固件》（Class系列）表4.0.1规定“低强度紧固件材料仅适用于压力等级为Class150和Class300的法兰以及非金属平垫片”，当人孔选用的垫片为缠绕式垫片时，根据上述规定，低强度紧固件材料不适用于人孔部件（普通的S30408紧固件材料属于低强度紧固件材料）。换言之，当选用缠绕垫片时，Class150，Class300和Class600压力等级的法兰都需要选择中强度或者高强度螺栓材料。

结合HG/T 20634~20635—2009，GB/T 150.2—2024，ASME SA193：2023，ASME SA320：2023等标准规范以及历年工程项目的经验，表6示出了人孔标准施工图紧固件。

表6 人孔标准施工图紧固件

Tab.6 Fastener for standard manhole drawing

公称压力	垫片	紧固件			
		材料	使用温度范围/℃	强度等级	规格/mm
Class150，Class300，Class600	缠绕式垫片	SA193 B8 Cl.2，SA194-8	-196~525	中强度	≤36
		SA320 B8 Cl.2，SA194-8	-196~525	中强度	≤40
		35CrMo，30CrMo	-70~500	高强度	≤90
		25Cr2MoV，35CrMo	-20~500	高强度	≤90
		30CrMo，30CrMo	-100~500	-	≤80

表6中材料的使用温度范围和螺柱的规格范围按HG/T 20634—2009和GB/T 150.2—2024的要求严者执行。例如，HG/T 20634—2009中给出35CrMo螺柱材料的使用温度下限为-100 ℃，而GB/T 150.2—2024中表7给出35CrMo螺柱材料的使用温度下限为-70 ℃，则表6中该数据按GB/T 150.2—2024。

HG/T 20634—2009和HG/T 20635—2009中虽然没有列出30CrMo螺柱材料，但GB/T 150.2—2024中表6列出了30CrMo材料的力学性能，且GB/T 150.2—2024中表C.7列出了该材料的许用应力，经过对比，在M24~M48的螺柱规格范围内（人孔所用的螺柱规格在该范围内），30CrMo的许用应力大于同温度下，HG/T 20634—2009所列的中强度螺柱材料A193 B8 Cl.2，A320 B8 Cl.2以及高强度螺柱材料A320 L7的许用应力（对应的ASME标准材料分别为SA193 B8 Cl. 2，SA320 B8 Cl.2和SA320 L7）。根据GB/T 150.2—2024中表7和表8，其使用温度范围为-100~500 ℃，表6补充了该紧固件材料，以便-100~-75 ℃设计温度范围的压力容器选用该材料。

当人孔设计温度低于-100 ℃时，应选用固溶处理后，经应变强化处理的奥氏体不锈钢螺柱材料。HG/T 20634—2009中列出了A193 B8 Cl.2/A194-8紧固件材料（对应的ASME标准材料为SA193 B8 Cl. 2/SA194-8），其使用温度范围为-196~525 ℃。

ASME SA193：2023中给出SA193 B8 Cl.2螺柱材料的最大规格仅为M36，而人孔标准施工图中Class300压力等级下，DN600公称直径的人孔需选用M39规格螺柱。SA320 B8 Cl.2螺柱材料虽然在HG/T 20634—2009标准中没有列出，但与SA193 B8 Cl.2材料相比，两者具有相同的热处理状态和许用应力，且其螺柱材料的最大规格为M40，结合工程经验，表6补充了SA320 B8 Cl.2螺柱材料。当设计温度低于-100 ℃时，大于M36规格的螺柱材料建议选用SA320 B8 Cl.2。

2.5 人孔法兰小端厚度的标准化

人孔筒节的厚度需基于压力容器的设计条件，根据人孔接管的开孔补强计算来确定，无论人孔筒节加厚到多少，其与人孔法兰小端焊接端的厚度应削薄至与人孔法兰小端厚度一致。为了标准化设计，表7列出了人孔标准施工图法兰小端的尺寸，以法兰的最高允许工作压力为设计压力，在0~3 mm的腐蚀裕量范围内，采用中径公式对该尺寸进行了校核计算，校核结果表明，表7中所列法兰小端厚度是合格的。当腐蚀裕量大于3 mm时，人孔标准施工图已不适用，需对人孔进行非标设计，法兰小端尺寸相应地也需根据实际情况确定。

表7 人孔法兰小端尺寸

Tab.7 Small end sizes of manhole flange

公称尺寸	材料	压力等级	法兰小端尺寸（$dw \times s$）/mm	法兰内径B/mm
DN600	非合金钢和合金钢	Class300	∅610×22	566
		Class600	∅610×28	554
	不锈钢	Class150	∅610×12	586
		Class300	∅610×16	578
		Class600	∅610×26	558
DN500	非合金钢和合金钢	Class300	∅508×18	472
		Class600	∅508×26	456
	不锈钢	Class150	∅508×12	484
		Class300	∅508×14	480
		Class600	∅508×22	464

2.6 人孔标准施工图的标记及引用

编制人孔标准施工图是将压力容器施工图设计中一部分“画”的工作更改为“注”（或称为“引用”），从而达到施工图设计简化的目的，人孔零部

件的材料代号是对人孔标准施工图进行标记和引用的基础。编制的人孔标准施工图中各部件的编号是在现行HG/T 21514~21535—2014标准的基础上所做的补充，因此，参考现行人孔行业标准中的人孔标记方法对人孔标准施工图进行了标记，该标记由以下部分组成：密封面代号、材料类别代号、紧固螺柱螺母代号、垫片代号、公称直径-公称压力、锻件级别。

其中，材料类别代号（法兰、法兰盖和支撑板）见表3和表4，螺柱和螺母材料代号见表5；垫片代号包括名称代号、型式代号和材料代号，垫片的名称代号和型式代号见HG/T 21514—2014中表B.0.1，垫片的材料代号见HG/T 20631—2009《钢制管法兰用缠绕式垫片》（Class系列）表7.1.1，锻件级别指法兰和法兰盖的锻件级别。

法兰密封面型式为突面（RF），人孔材料为Ⅵ类，全螺纹螺柱采用35CrMo，垫片采用内外环和金属带为S30408、非金属带为柔性石墨的D型缠绕垫，公称尺寸为DN500，公称压力为300#，法兰和法兰盖锻件级别为Ⅱ级的人孔标记示例为：

人孔 RF Ⅵ t（W·D-2222）500-300# Ⅱ

3 人孔标准施工图的工程应用

基于上文编制的垂直吊盖带颈对焊法兰人孔标准施工图一览表见表8。适用于疲劳分析设备的人孔标准施工图与规则设计的标准施工图的不同之处在于，对人孔的吊环与人孔盖、支撑板与法兰、把手与人孔盖的焊接接头进行了焊后打磨圆滑处理。

表8 垂直吊盖带颈对焊法兰人孔标准施工图一览表

Tab.8 List of standard drawings of manhole with vertical hanging cover and neck butt welding flange

公称尺寸	材料	压力等级	设计规则	图名
DN600	非合金钢和合金钢	Class300	规则设计	非合金钢和合金钢垂直吊盖人孔DN600-300#
		Class300	疲劳分析	非合金钢和合金钢垂直吊盖人孔DN600-300#(适用于疲劳分析设备)
		Class600	规则设计	非合金钢和合金钢垂直吊盖人孔DN600-600#
		Class600	疲劳分析	非合金钢和合金钢垂直吊盖人孔DN600-600#(适用于疲劳分析设备)
	不锈钢	Class150	规则设计	不锈钢垂直吊盖人孔DN600-150#
		Class300	规则设计	不锈钢垂直吊盖人孔DN600-300#
		Class600	规则设计	不锈钢垂直吊盖人孔DN600-600#
DN500	非合金钢和合金钢	Class300	规则设计	非合金钢和合金钢垂直吊盖人孔DN500-300#
		Class300	疲劳分析	非合金钢和合金钢垂直吊盖人孔DN500-300#(适用于疲劳分析设备)
		Class600	规则设计	非合金钢和合金钢垂直吊盖人孔DN500-600#
		Class600	疲劳分析	非合金钢和合金钢垂直吊盖人孔DN500-600#(适用于疲劳分析设备)
	不锈钢	Class150	规则设计	不锈钢垂直吊盖人孔DN500-150#
		Class300	规则设计	不锈钢垂直吊盖人孔DN500-300#
		Class600	规则设计	不锈钢垂直吊盖人孔DN500-600#

上述人孔标准施工图已在多个乙烯装置和聚丙烯装置等工程项目中得到了应用，应用实例见表9。

4 结论与建议

针对实际工程项目中需对人孔进行非标设计的问题，基于HG/T 26015~20635—2009标准对人孔零部件标准施工图进行综合分析和编制，对化工装置中常用到垂直吊盖带颈对焊法兰人孔进行标准化实践，编制完成的人孔零部件标准施工图在若干乙烯装置、聚丙烯装置等工程项目中得到了应用实施。在施工图设计中，设计人员引用预先编制的人孔标准施工图代替对非标人孔进行专门设计（画图），既减小了设计工作量，又提高了工作效率。

表9 人孔标准施工图在化工装置中的应用实例

Tab.9 Application example of standard manhole drawings in chemical plant

设备名称	设计温度/℃	设计压力/MPa(G)	人孔标注	人孔标准施工图图名
塔A	-70/65	3.9	人孔 RF Ⅵ t(W·D-2222)600-300# Ⅲ	非合金钢和合金钢垂直吊盖人孔DN600-300#
塔B	-115/65	3.8	人孔 RF Ⅷ t4(W·D-2222)600-300# Ⅲ	不锈钢垂直吊盖人孔DN600-300#
干燥器A	65/260	3.0/1.03	人孔 RF Ⅲ t(W·D-2222)600-300# Ⅲ	非合金钢和合金钢垂直吊盖人孔DN600-300#(适用于疲劳分析设备)
干燥器B	65/260	3.2/1.03	人孔 RF Ⅲ t(W·D-2222)600-300# Ⅲ	
反应器A	415	4.7	人孔 RF Ⅲ t(W·D-2222)600-600# Ⅲ	非合金钢和合金钢垂直吊盖人孔DN600-600#
保护床A	100	4.7	人孔 RF Ⅲ t(W·D-2222)600-600# Ⅲ	
干燥器C	80/260	4.55/1.03	人孔 RF Ⅲ t(W·D-2222)600-600# Ⅲ	非合金钢和合金钢垂直吊盖人孔DN600-600#(适用于疲劳分析设备)

针对设计温度低于-100 ℃的设备，人孔紧固件的选用，从符合HG/T 26015~20635—2009标准的角度考虑，人孔标准施工图选用了SA193 B8 Cl.2和SA320 B8 Cl.2国外螺柱牌号，国外牌号材料的选用对于设备的采购以及材料的应用等带来诸多不便。相较于GB/T 150.2—2011中所列的应变强化处理的螺柱的最大规格仅为M27，GB/T 150.2—2024列出了应变强化处理的S30408螺柱规格达到了M80，但标准仅规定了≤100 ℃下该螺柱的许用应力，在M24~M48螺柱规格范围内，该S30408螺柱的许用应力高于ASME标准中的SA193 B8 Cl.2和SA320 B8 Cl.2螺柱的许用应力，当压力容器的设计温度≤100 ℃时，可以用该螺柱代替ASME标准中的SA193 B8 Cl.2或SA320 B8 Cl.2螺柱。T/CIESC 63—2024《承压设备用不锈钢紧固件》中列出了使用温度范围为-196~600 ℃，规格达到M76，交货状态为固溶，且经应变强化处理的奥氏体不锈钢紧固件材料S32168和S34778，但该标准仅给出了该紧固件材料的高温屈服强度，并未给出其许用应力，当设计者对上述紧固件附加力学性能等技术要求后，也可以用上述紧固件代替人孔标准施工图中的SA193 B8 Cl.2或SA320 B8 Cl.2螺柱。

本工作仅对垂直吊盖带颈对焊法兰人孔进行了标准化设计，可以按照文中思路对回转盖、水平吊盖等形式的人孔进行类似的标准化设计及工程应用实践。随着装置和设备的大型化，当需要在设备上设置较大规格尺寸的人孔时，可在NB/T 47020~47027—2012《压力容器法兰、垫片、紧固件》标准基础上进行人孔的标准化设计。对于较大公称直径的人孔，在空间允许的情况下也可以用法兰加封头组合件的结构来代替人孔平盖，从而实现人孔的轻量化设计。

工业和信息化部2024年第17号公告公布了若干行业标准的复审结论[14]，其中对HG/T 20592~20635—2009《钢制管法兰、垫片、紧固件》标准的复审结论为修订。建议该标准明确腐蚀裕量的适用范围，补充工程中常用的30CrMo以及经应变强化处理的S30408螺柱材料，本工作所述人孔标准施工图届时也会随着该标准的修订而修订。

参考文献：

[1] 郑津洋，桑芝富.过程设备设计[M].北京：化学工业出版社，2020.
ZHENG J Y，SANG Z F. Process equipment design [M].Beijing：Chemical Industry Press，2020.

[2] 轩福贞，宫建国.基于损伤模式的压力容器设计原理[M].北京：科学出版社，2020.
XUAN F Z，GONG J G. Fundamental and approaches for damage mode-based design of pressure vessels [M].Beijing：Science Press，2020.

[3] 齐昆，张驰群.椭圆形内开自紧式人孔的强度计算方法探究[J].化工设备与管道，2012，49(1)：15-17.
QI K，ZHANG C Q. Deduction of calculatiom method for elliptical in-opening and self-tightenim manhole [J].Process Equipment&Piping.2012，49(1)：15-17.

[4] 陶钧，张运强，李小梅，等.压力容器零部件标准化研究[J].压力容器，2021，38(3)：60-65.

TAO J, ZHANG Y Q, LI X M, et al. Research on standardization of pressure vessel components and parts[J]. Pressure Vessel Technology, 2021, 38(3): 60-65.

[5] EUGENE F M. Pressure vessel handbook [M]. Oklahoma City: Pressure Vessel Publishing, Inc., 2008.

[6] 冯欣. 浅谈PIP规范[J]. 石油化工自动化, 2008, 44(6): 18-23.
FENG X. PIP specification [J]. Automation in Petro-Chemical Industry, 2008, 44(6): 18-23.

[7] 潘新伟, 江武志, 杨心理, 等. 球罐人孔凸缘新型补强结构设计[J]. 压力容器, 2014, 31(6): 40-46.
PAN X W, JIANG W Z, YANG X L, et al. A new reinforcement design for the reinforcing partof manhole on spherical tank [J]. Pressure Vessel Technology, 2014, 31(6): 40-46.

[8] 程伟, 高炳军, 李金红, 等. 釜式重沸器锥壳上开设人孔分析[J]. 石油化工设备, 2006, 35(4): 34-36.
CHENG W, GAO B J, LI J H, et al. Analysis of manholes on the slant conical shell of fixed tube-sheet reboiler[J]. Petro-chemical Equipment, 2006, 35(4): 34-36.

[9] 丘波, 程伟, 冯延忠. 压力容器简体人孔有限元模型简化处理方法的探讨[C]//2011年全国石油化工设备年会论文集, 2011: 13-15.
QIU B, CHENG W, FENG Y Z. Discussion on simplified treatment method of finite element model of simplified manhole in pressure vessel [C]//2011 National Petrochemical Equipment Annual Conference Proceedings, 2011: 13-15.

[10] 吕旭峰, 黄杨杨, 翁海平, 等. 齿轮箱销套螺栓的连接强度分析[J]. 机电工程, 2024, 41(2): 319-326.
LV X F, HUANG Y Y WENG H P, et al. Strength analysis of pin-bolt connection in wind turbine gearbox [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2024, 41(2): 319-326.

[11] 朱国栋. 高参数圆形平盖中心开孔计算方法及密封刚度失效准则[J]. 压力容器, 2023, 40(12): 59-70.
ZHU G D. Calculation method of high-parameter round flat head with central single opening and sealing stiffness failure criteria [J]. Pressure Vessel Technology, 2023, 40(12): 59-70.

[12] 段成红, 王福军, 罗翔鹏, 等. 高压筒体大直径双开孔补强分析及优化设计[J]. 压力容器, 2023, 40(2): 27-34.
DUAN C H, WANG F J, LUO X P, et al. Reinforcement analysis and optimization design of large diameter double - opening structure of high - pressure vessel cylinder [J]. Pressure Vessel Technology, 2023, 40(2): 27-34.

[13] 汪志福, 秦宗川, 张羽, 等. 超高压容器开孔处裂纹最深点处应力强度因子的计算方法[J]. 机电工程, 2024, 41(6): 1109-1115.
WANG Z F, QIN Z C, ZHANG Y, et al. Calculation method of stress intensity factor at deepest point of crack at opening of ultra - high - pressure vessel [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2024, 41(6): 1109-1115.

[14] 中华人民共和国工业和信息化部. 中华人民共和国工业和信息化部公告2024年第17号[EB/OL]. [2024-10-09]. https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/gg/art/2024/art_0e678cbcc53847b1851f303a7b97d3b7.html.
Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China. Announcement of the Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China No.17, 2024[EB/OL]. [2024-10-09]. https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/gg/art/2024/art_0e678cbcc53847b1851f303a7b97d3b7.html.

作者简介: 陶钧(1987), 男, 高级工程师, 主要从事压力容器常规设计、分析设计以及工程项目管理工作, 通信地址: 100012 北京市朝阳区来广营高科技产业园创达二路1号中国寰球工程有限公司北京分公司, E-mail: taojun01-hqc@cnpc.com.cn。

本文引用格式:
陶钧, 张运强, 李小梅, 等. 人孔的标准化设计及工程应用研究[J]. 压力容器, 2025, 42(1): 61-68.
TAO Jun, ZHANG Yunqiang, LI Xiaomei, et al. Research on standardized design and engineering application of manhole [J]. Pressure Vessel Technology, 2025, 42(1): 61-68.