

# 钢制压力容器制造常规 检验方法和检具

中国化工装备协会

云南出版集团公司  
云南人民出版社

# 钢制压力容器制造常规 检验方法和检具

中国化工装备协会

云南出版集团公司  
云南人民出版社

# 《钢制压力容器制造常规检验 方法和检具》编辑委员会

主 编 张 声

副主编 辛忠仁 朱聘俦 姚润来

编 委 朱海鹰 赵梦青 刘 静  
阿不力米提·艾克热木  
张 林 李亚民 吴亚兵  
许红钻 张学成 赵 棣  
张 帆

主 审 祖瑞先 董树森 汤怀志  
黄大扬 赵文贤 许福才  
刘 博 李东升 何庆荣  
杜 军 徐祖良

# 前 言

压力容器是特种设备的重要组成部分,是涉及国家财产和人民生命安全的特种设备。我国政府对压力容器的安全工作极为重视,1982年2月6日国务院颁布《锅炉压力容器安全监察暂行条例》,同年8月7日原劳动人事部发布《锅炉压力容器安全监察暂行条例实施细则》,开始强制实行压力容器设计、制造许可证制度,2003年国务院又颁布了《特种设备安全监察条例》,在防止和减少事故的发生,保障人民群众生命和财产安全,促进经济发展方面发挥了重大作用。

中国化工装备协会受原国家质量技术监督局的委托,自1999年开始负责组织压力容器制造单位质量保证工程师培训考核工作,继而又组织进行了压力容器制造单位焊接责任工程师、无损检测责任工程师的培训考核工作。此三项工作的开展,对加强压力容器制造单位的质量管理,提高质量保证工程师、焊接责任工程师、无损检测责任工程师的素质,确保压力容器的制造质量,起到了一定的作用。

为了提高压力容器制造检验水平,提高压力容器检验人员的技术、业务素质,协会组织编写了《钢制压力容器制造常规检验方法和检具》一书,作为对压力容器制造单位检验责任工程师培训考核的主要专用教材。

本书依照《压力容器安全技术监察规程》和GB150《钢制压力容器》等法规、标准的要求,对钢制压力容器常规检验方法和检具的使用作了介绍和说明,是从事压力容器检验工作人员的专业工具书籍。

本书在编写、审稿和出版过程中得到四川省质量技术监督局、新疆维吾尔自治区质量技术监督局、广东省特种设备检测院和成都市特种设备检测所的关心和支持,同时也得到大连冰山集团金州重型机器有限公司、云南大为化工装备制造有限公司、长沙威重化工机械有限公司、南通中集罐式储运设备制造有限公司、苏州新苏化工机械有限公司、胜利油田胜利石油工程建设有限责任公司金属结构厂、上海明中化工机械有限公司、上海吴泾化工实业有限公司、内蒙古三联化工机械有限责任公司、贵州石油化工机械厂、云南化工机械厂、山东美陵化工设备股份有限公司等压力容器制造企业的大力支持和协助,对此表示诚挚的感谢!

本书初稿经过两次重大修改,又将第三稿在行业内广泛征求意见,在汇集修改意见后组织了有20余人参加的专题审稿会,经全面、认真修改、校订后定稿。

本书在编写内容方面,难免存在不妥之处,诚挚地希望广大读者和行业内识之士给予批评、指正。

中国化工装备协会



# 目 录

第一章 钢制压力容器制造常规检验概述 .....	(1)
第一节 钢制压力容器制造常规检验的目的和依据 .....	(1)
第二节 压力容器制造常规检验内容和项目 .....	(1)
第三节 压力容器产品质量检验项目通则 .....	(3)
第二章 压力容器的形状和几何尺寸检验用检具 .....	(6)
第三章 材料检验 .....	(75)
第四章 压力容器零部件检验 .....	(79)
第一节 筒体 .....	(79)
第二节 封头 .....	(82)
第三节 球壳板 .....	(85)
第四节 补强圈 .....	(88)
第五节 设备法兰、人孔法兰、端平盖、人孔盖、 公称直径大于等于 250mm 的管法兰 .....	(90)
第六节 膨胀节 .....	(91)
第七节 换热器管板 .....	(96)
第八节 换热管 .....	(99)
第九节 M36 以上的设备主螺栓 .....	(101)
第十节 人孔接管、公称直径大于等于 250mm 的接管 .....	(102)
第五章 产品焊接试板和母材热处理试板的检查 .....	(103)
第一节 产品焊接试板的检查 .....	(103)
第二节 母材热处理试板的检查 .....	(104)

第六章 压力容器组装及总体几何尺寸检验 .....	(110)
第一节 一般方法和程序 .....	(110)
第二节 钢制卧式容器外形尺寸检验特殊要求 .....	(116)
第三节 钢制塔式容器外形尺寸检验特殊要求 .....	(121)
第四节 钢制球形储罐外形尺寸检验特殊要求 .....	(123)
第五节 钢制管壳式换热器外形尺寸检验特殊要求 .....	(126)
第七章 压力试验检验 .....	(127)
第八章 最终检验 .....	(130)
附录 A 搪玻璃设备高电压试验 .....	(132)
附录 B 真空检漏 .....	(134)
附录 C 爆破试验及应力测定 .....	(139)
附录 D 低温绝热压力容器氦检漏 .....	(142)

## 第一章 钢制压力容器制造常规检验概述

### 第一节 钢制压力容器制造常规检验的目的和依据

#### 一 钢制压力容器制造常规检验的目的

通过钢制压力容器(以下简称压力容器)制造常规检验,对压力容器产品质量是否符合国家安全技术规范、标准、设计图样和技术条件的要求做出符合性的判断。

#### 二 压力容器制造常规检验的依据

国家安全技术规范、现行的相关标准、设计文件和制造单位质量体系文件的规定。

### 第二节 压力容器制造常规检验内容和项目

压力容器制造常规检验内容是对压力容器制造过程中涉及产品质量的项目进行检验。

压力容器制造常规检验项目:检验技术准备、材料检验、外观和几何尺寸检验、焊接检验、耐压试验、气密性试验、安全附件、产品出厂技术文件和资料、铭牌及拓印件。

#### 一 检验技术准备

1. 依据有效设计文件、工艺文件编制检验文件;
2. 确认、选用质量记录表格;
3. 根据设计更改(材料代用、无损检测方法改变、加工尺寸和结构变更等)、工艺更改调整检验文件。

#### 二 材料检查

1. 检查确认受压元件材料和焊接材料的质量证明书、实物和材料复验报告;
2. 检查受压元件材料代号标记和标记移植;
3. 检查主要受压元件材料发放和材料代用手续;
4. 检查确认材料检验分包项目报告的有效性。

#### 三 外观和几何尺寸检查

1. 检查焊接接头表面质量;
2. 检查母材表面质量;
3. 检查壳体的内径、长度、直线度、圆度和壁厚;
4. 检查封头最小厚度、内表面形状偏差、直边纵向皱折深度、直边高度、封头总深度(或封头总高度)等;
5. 检查管口方位及尺寸;
6. 检查法兰面垂直于接管及法兰面密封质量,法兰螺孔与设备主轴中心线位置,端盖开

合及联锁；

7. 检查支座位置及地脚螺栓孔间距；
8. 检查 A、B 类焊接接头的布置；
9. 检查标志、油漆、包装；
10. 检查设计文件规定的其他检验项目。

#### 四 焊接检验

1. 检查焊接工艺评定、施焊焊工资格（项目和范围）；
2. 检查确认产品施焊过程是否符合焊接工艺文件；
3. 检查产品焊接试板数量、制作方法；
4. 检查产品焊接试板性能报告，确认试验结果和审批手续；
5. 检查主要受压元件焊缝的焊工钢印或焊工代号记录简图（无法打钢印的）；
6. 检查焊缝返修的审批手续和返修工艺；
7. 检查确认产品焊接试板检验分包项目报告。

#### 五 耐压试验

1. 检查确认耐压试验方法、试验程序、试验用仪器、仪表；
2. 检查确认耐压试验环境条件（安全设施、试验用液体和气体温度等）；
3. 监督耐压试验过程；
4. 检查耐压试验报告，确认试验结果符合法规标准要求。

#### 六 气密性试验

1. 检查确认气密性试验方法、试验程序、试验用仪器、仪表；
2. 检查确认气密性试验环境（安全设施、试验用气体温度等）；
3. 监督气密性试验过程；
4. 检查气密性试验报告，确认试验结果符合法规标准和施工图样要求。

#### 七 安全附件

检查安全附件数量、规格、型号及产品合格证，确认符合设计文件。

#### 八 产品出厂技术文件和资料

1. 汇总和编制产品出厂技术文件和资料，至少包括：
  - (1) 压力容器产品竣工图（包括总图及主要受压元件图）；
  - (2) 产品质量证明书、产品合格证和产品铭牌拓印件；
  - (3) A1 级（高压容器）、A2 级（第三类中压反应容器和储存容器）、C 级许可范围压力容器受压部件强度计算书或计算结果汇总表；
  - (4) 压力容器产品安全性能监督检验证书；
  - (5) 移动式压力容器的产品使用说明书等；

(6) 压力容器受压元件(封头、锻件等)制造单位的质量证明书。

2. 最终检验质控系统责任人员在产品合格证质量总检验员栏内签字确认,并盖制造单位质量检验专用章。

3. 由质量保证工程师和单位法定代表人审批产品出厂技术文件和资料,并在压力容器产品质量证明书上签章确认,并盖制造单位质量检验专用章。

4. 确认以上内容符合《压力容器安全技术监察规程》(以下简称《容规》)附件三的规定。

## 九 铭牌及拓印件

检查确认铭牌内容符合《容规》规定,制作铭牌拓印件,并纳入产品出厂技术文件和资料之中。

## 第三节 压力容器产品质量检验项目通则

本节按照《锅炉压力容器制造许可条件》、《容规》、GB150-1998《钢制压力容器》标准的要求,列出压力容器产品质量检验项目通则,见表1-1。对于钢制卧式容器、钢制塔式容器、钢制球形储罐、钢管管壳式换热器外形尺寸检验特殊要求见本书第六章。

检验人员按照检验工艺(规程)的要求,负责对产品进行检验,并填写或确认相应质量记录报告。

表1-1 压力容器产品质量检验项目通则

序号	检 查 项 目		检查内容及技术要求	检查方法和检具
1	图样 检查	设计图样的有效性和符合性	符合现行法规、标准要求	审查设计单位印章、设计文件
2		设计变更的有效性和符合性	设计变更文件	审核设计变更文件
3	材  料	主要受压元件材料(零部件)和材料标记	应有质量证明书且符合法规标准,有材料标记,检(复)验报告,且可追踪	审查质量证明书和检(复)验报告
4		材料代用	按程序审批并有见证材料	核查实物及凭证
5		焊接材料	应有质量证明书,且符合法规标准。需复验时,应进行复验,且可追踪	核查焊接工艺文件、实物及凭证
6	外观 和几 何尺 寸	焊接接头外观质量	不得有裂纹、气孔、弧坑和飞溅物,咬边按《容规》和相应标准	目测
7		母材外观质量	不得有腐蚀、裂纹、气泡、结疤、折叠、夹杂、分层和机械损伤	目测

表 I-1 续

8	外观和几何尺寸	产品外形尺寸	符合设计图样及产品标准	直角尺、钢卷尺 金属直尺
9		壳体内径		钢卷尺、金属直尺 内径测量杆
10		壳体圆度		
11		壳体长度		
12		壳体直线度		钢丝、金属直尺
13		筒节最小长度	不得小于 300mm	钢卷尺、金属直尺
14		焊缝布置	符合《容规》、设计图样及 产品标准	目测、钢卷尺、 金属直尺
15		筒体和封头最小 厚度		金属直尺、卡钳、游 标卡尺、超声测厚仪
16		封头内表面形状 偏差		封头间隙样板、金属 直尺、塞尺
17		封头直边纵向皱 折深度		金属直尺、塞尺
18		封头外圆周长		钢卷尺
19		封头总深度		金属直尺、钢卷尺、 封头间隙样板
20		封头直边高度		金属直尺、钢卷尺、 封头间隙样板
21		封头直边倾斜度		直角尺、平台金属直 尺、塞尺
22		最大与最小内直 径差		金属直尺、钢卷尺
23		A 类焊接接头余高		A、B 类焊接接头检 验样板、焊接检验 尺、金属直尺
24		B 类焊接接头余高		
25		C、D 类焊接接头 焊脚尺寸		焊接检验尺、样板、 金属直尺
26		A 类焊接接头对口 错边量		A 类焊接接头检验样 板、金属直尺、塞尺
27		B 类焊接接头对口 错边量		B 类焊接接头检验样 板、焊接检验尺、 金属直尺、塞尺
28		A 类焊接接头棱角度		焊接接头环向棱角度 检查样板、金属直尺
29		B 类焊接接头棱角度		

表 1-1 续

30	外观和几何尺寸	焊缝表面最大咬边深度、长度、连续长度	符合《容规》、设计图样及产品标准	直角尺、钢卷尺、深度游标卡尺、焊接检验尺
31		管口方位及尺寸		金属直尺、钢卷尺、角度尺
32		支座位置及地脚螺栓孔间距		
33		主要内件位置及尺寸		
34		法兰面垂直于接管或筒体		直角尺、金属直尺、塞尺、水平尺
35		法兰螺栓孔与设备主轴中心线位置	跨中或对中	金属直尺、钢卷尺
36	焊接	焊接工艺评定和焊接工艺	有符合 JB4708 标准的焊接工艺评定, 有完整的焊接工艺	检查凭证
37		产品焊接试板	符合设计图样及 JB4744 标准	检查试板性能报告及试样
38		焊工资格和钢印	符合《容规》及焊接工艺文件	核查焊工证件及施焊记录
39		焊接接头返修	符合《容规》	核查凭证
40	无损检测	无损检测报告	无损检测方法、比例、检测部位和报告, 符合《容规》、设计图样及标准	核查报告
41		无损检测标记	符合工艺文件和 JB/T4730 标准	核查凭证和实物
42	热处理	热处理报告	符合《容规》、标准和设计图样要求	核查热处理工艺、报告、温度—时间记录曲线
43		热处理温度—时间记录曲线		
44	耐压试验	耐压试验报告	符合《容规》和设计图样要求	试压现场检查 核查报告
45	气密性试验	气密性试验报告		
46	产品铭牌	产品铭牌	符合《容规》及产品标准要求	核查实物和拓印件
47	标志油漆包装	标志油漆包装	符合设计图样及标准	目测
48	安全附件	安全附件	安全附件产品合格证	核查凭证
49	产品出厂文件	产品出厂技术文件及资料	符合《容规》、《许可条件》及产品标准要求	核查文件及资料

## 第二章 压力容器的形状和几何尺寸检验用检具

在压力容器制造现场, 检验人员需要按照设计图样和技术要求, 对压力容器及零部件的形状和几何尺寸进行检验。压力容器及零部件的形状和几何尺寸必须满足设计图样、技术条件和现行相关标准的要求。因此, 压力容器及零部件的形状和几何尺寸检验是压力容器产品制造检验过程的一个重要内容。

压力容器及零部件的形状和几何尺寸检验, 涉及到如何正确选择检具, 如何正确使用所选择的检具, 如何确定和选择测量基准等问题。本章将详细介绍在压力容器及零部件的形状和几何尺寸检验中, 常用检具如金属直尺、钢卷尺、样板、焊接检验尺等的结构原理、检验方法和使用要点。

### 一 正确选择检具

计量器具是指能用以直接或间接测出被测对象量值的装置、仪器仪表、量具、样板和用于统一量值的标准工具, 包括计量基准器具、计量标准器具、工作检具。本书只讨论工作检具, 简称检具。压力容器制造现场所用的检具种类繁多, 测量同一个工件的同一部位的要素, 例如测量长度尺寸, 可以使用不同种类的检具。为了做到科学和合理地使用检具, 必须正确选择检具。

正确选择检具, 是每个机械工程技术人员, 特别是压力容器设计人员和工艺人员必须掌握的技术。因为设计一个工件时, 为了保证工件的使用功能, 在确定其形状后, 还必须提出相应的技术条件和各种功能参数, 为了能加工制造出该工件和保证其质量, 在绘制图样时, 必须考虑到生产中如何加工它和如何测量它的各种参数值。不考虑这些, 就无法测量它, 绘出的图样等于“纸上谈兵”, 无法生产。也就是说, 设计的工艺性差, 设计的产品无法利用现有工艺制造出来。

对工艺人员来说, 在拿到工件图样, 投入生产之前, 要仔细研究图样, 领会设计意图和工件的用途后, 根据图样绘出的工件形状、标注的技术要求和各种参数, 编制加工工艺。编制加工工艺时, 为了能经济地加工出该工件和保证其质量, 需要安排工艺路线, 选择加工设备和测量各参数用的检具, 并将它们写入工艺文件中。

对加工工人和质量检验人员来说, 要严格按照产品图样、技术要求和工艺文件中规定的加工方法进行加工, 用工艺文件中规定的检具进行正确测量, 不得脱离工艺要求进行加工和选择检具。因为工艺文件中规定的检具, 是工艺人员根据检具的测量精度、范围和经济性的选择原则选定的, 使用这样的检具测量符合科学和合理的原则。

对专职质量检验人员来说, 有责任检查工艺文件中规定的检具是否符合科学和合理的原则, 有权监督、检查加工工人使用的检具是否符合工艺文件中的规定, 而且有责任指导加工工人正确使用检具。因此, 专职质量检验人员必须十分熟悉各有关检具的结构、性能、功能及参数, 必须掌握检具的选择技术, 必须正确而熟练地使用检具。



综上所述,正确选择检具,具有重要的意义。

判定选择的检具是否符合科学和合理原则的方法,一是所选择的检具要满足被测件的精度要求,保证产品质量;二是保证测量的经济性。测量的经济性是从检具的成本、耐用性、使用的方便性、对使用人员技术水平的要求以及修理和检定的复杂程度等进行综合考虑。

选择检具时,要同时兼顾科学和合理原则,不能只强调某一方面。

如果选择的检具不符合科学和合理原则,则造成两种结果:一是所用的检具功能不足,造成保证不了测量精度要求,保证不了产品质量。二是所用的检具功能过剩,造成不经济,这是不合理的。选择检具应遵循以下规定:

1. 要求检具的测量范围要大于被测量的量的大小,但不要相差太大。因为用测量范围大的检具测量小型工件,不仅不经济,而且测量精度还难以保证。

2. 检具的示值误差范围应小于被测工件允许的公差。例如,被测件的尺寸公差为 $\pm 0.5\text{mm}$ ,就不能用示值误差范围为 $\pm 0.5\text{mm}$ 的检具去测量。

3. 对于薄型、软质、易变形的工件,应该选用测量力小的检具。

4. 对于粗糙的表面,不得用精密的检具去测量。被测表面的表面粗糙度值要小于或等于检具测量面的表面粗糙度值。

5. 单件或小批量生产应选用通用(万能)检具,大批量生产应选用专用检具。

选择检具的依据是被测对象的形状和公差值大小。

由于压力容器的主要受压元件(如筒体、封头等)属于在形状上比较简单,在几何尺寸的精度等级方面要求不高的且无特别重要要求的机械零件。在压力容器制造现场,压力容器及零部件的形状和几何尺寸检验一般都选用精度等级低、普通的、常用的检具,如金属直尺、钢卷尺、焊接检验尺和样板等进行检验和测量。

在压力容器制造现场,一般只检测线性尺寸公差。线性尺寸公差仅控制要素局部尺寸的变动量,不控制要素本身的形状误差。目前多数检具通常只测量尺寸,不测量工件上可能存在的形状误差。因此,工件的完善检测还应测量形状误差,把形状误差的测量结果与尺寸的测量结果综合起来,以检查工件表面各部位是否超过最大实体边界。而在压力容器生产现场中,只要加工工艺安排正确合理,在受控状态下,工件的形状误差是靠加工过程的精度来控制的,工件质量合格与否,只按一次测量结果来判断的,对于检具的内在误差和由于测量条件等外部因素而产生的测量总误差均不进行修正。

对于光滑工件(如经机加工,有公差配合要求的轴类和孔类零件表面)的尺寸检验,机械行业标准 JB/Z181-82《光滑工件的检验指南》和国家标准 GB/T3177-1997《光滑工件尺寸检验》可做为选择检具的依据。以上标准规定了用于这类零件线性尺寸检验的检具选择的原则。JB/Z181给出了千分尺、游标卡尺、指示表和比较仪等生产中最常用的检具的测量不确定度的实际值  $U$  的数值,见表 2-2。在 GB/T3177-1997 标准中给出了被测工件公差  $T$ 、安全裕度  $A$  和检具不确定允许值  $U_1$  三者之间的关系,见表 2-1。选择检具时,应使所选用的检具的测量不确定度实际值  $U$  小于表 2-1 中检具不确定度的允许值  $U_1$ ,即  $U < U_1$ 。这就是用于光滑工件线

性尺寸测量的检具选择原则。

检具的测量不确定度表示检具本身误差、检定标准器误差等影响测量结果分散程度的一个误差限。由于不确定度是无法修正的误差部分，它是反映检具示值不能肯定的误差范围的一种评定。

从表 2-1 可以看出，对于公差等级为 6 级~11 级的检具的测量不确定度允许值（规定值） $U_1$  分为 I、II、III 档，对于公差等级 12 级~18 级的分为 I、II 档，I、II、III 档的  $U_1$  分别为工件公差  $T$  的  $1/10$ 、 $1/6$ 、 $1/4$ 。在使用中应优先选用 I 档  $U_1$ 。当  $U_1$  满足不了要求时，再选  $U_2$  或  $U_3$ 。

ISO10012: 2003 有这样一个观点，当检具的测量不确定度实际值  $U$  为被测工件公差  $T$  的  $1/10 \sim 1/3$  时，该检具对测量结果造成的不确定度是可以忽略不计的。

从表 2-1 可以看出，在 GB/T3177 中，要求检具的测量不确定度允许值（规定值） $U_1$  为被测工件公差的  $1/10 \sim 1/4$ ；同时 GB/T3177 又规定检具的测量不确定度实际值  $U$  小于检具的测量不确定度允许值  $U_1$ ，即  $U < U_1$ 。因此检具的测量不确定度实际值  $U$  小于被测工件公差  $T$  的  $1/10 \sim 1/4$ ， $U < (1/10 \sim 1/4) T$ 。

下面通过二个案例来说明具体选择检具的原则、方法和选择过程。

**案例 1：测量尺寸和公差为  $\Phi 35_{-0.059}^{-0.020}$  的轴，请选择检具。**

第一步 计算出被测工件的尺寸公差  $T$

$\Phi 35_{-0.059}^{-0.020}$  的公差  $T$  为：

$$T = -0.020 - (-0.059) = 0.039 \text{ mm} = 39 \mu\text{m}$$

第二步查出  $A$  和  $U_1$

根据已知的  $T = 39 \mu\text{m}$ ，查表 2-1 得知，该工件为 8 级精度，其  $A = 3.9 \mu\text{m}$ ， $U_1$  有三个数值： $U_{I1} = 3.5 \mu\text{m}$ ， $U_{II1} = 5.9 \mu\text{m}$ ， $U_{III1} = 8.8 \mu\text{m}$ 。

第三步 选择检具

从表 2-2 中查找符合  $U < U_1$  的  $U$  值。

从表 2-2 尺寸范围为 0~50mm 的一栏中，查得 0~50mm 分度值为 0.01mm 的外径千分尺的测量不确定度实际值  $U = 4 \mu\text{m} = 0.004 \text{ mm}$ ，将  $U$  与  $U_1$  相比较， $U = 4 \mu\text{m} < U_{II1} = 5.9 \mu\text{m}$ ，符合  $U < U_1$  的原则，故可以采用 0~50mm，分度值为 0.01mm 的外径千分尺测量

$\Phi 35_{-0.059}^{-0.020}$  的轴的尺寸。

表 2-1 工件公差 T、安全裕度 A 与检具的测量不确定度允许值 U<sub>1</sub> (GB/T3177)

公差等级		6			7			8			9			10			11														
		T	A	U <sub>1</sub> / μm	T	A	U <sub>1</sub> / μm	T	A	U <sub>1</sub> / μm	T	A	U <sub>1</sub> / μm	T	A	U <sub>1</sub> / μm	T	A	U <sub>1</sub> / μm												
基本尺寸/mm	至	/μm/μm			/μm/μm			/μm/μm			/μm/μm			/μm/μm			/μm/μm														
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III												
大于	3	6	0.6	0.54	0.9	1.4	10	1.0	0.9	1.5	2.3	14	1.4	1.3	2.1	3.2	2.5	2.3	3.8	5.6	40	4.0	3.6	6.0	9.0	60	6.0	5.4	9.0	11	
	6	8	0.8	0.72	1.2	1.8	12	1.2	1.1	1.8	2.7	18	1.8	1.6	2.7	4.1	30	3.0	2.7	4.5	6.8	48	4.8	4.3	7.2	11	7.5	6.8	11	17	
	10	9	0.9	0.81	1.4	2.0	15	1.5	1.4	2.3	3.4	22	2.2	2.0	3.3	5.0	36	3.6	3.3	5.4	8.1	58	5.8	5.2	8.7	13	90	9.0	8.1	14	20
	18	11	1.1	1.0	1.7	2.5	18	1.8	1.7	2.7	4.1	27	2.7	2.4	4.1	6.1	43	4.3	3.9	6.5	9.7	70	7.0	6.3	11	16	110	11	10	17	25
	30	13	1.3	1.2	2.0	2.9	21	2.1	1.9	3.2	4.7	33	3.3	3.0	5.0	7.4	52	5.2	4.7	7.8	12	84	8.4	7.6	13	19	130	13	12	20	29
	50	16	1.6	1.4	2.4	3.6	25	2.5	2.3	3.8	5.6	39	3.9	3.5	5.9	8.8	62	6.2	5.6	9.3	14	100	10	9.0	15	23	160	16	14	24	36
	80	19	1.9	1.7	2.9	4.3	30	3.0	2.7	4.5	6.8	46	4.6	4.1	6.9	10	74	7.4	6.7	11	17	120	12	11	18	27	190	19	17	29	43
	120	22	2.2	2.0	3.3	5.0	35	3.5	3.2	5.3	7.9	54	5.4	4.9	8.1	12	87	8.7	7.8	13	20	140	14	13	21	32	220	22	20	33	50
	180	25	2.5	2.3	3.8	5.6	40	4.0	3.6	6.0	9.0	63	6.3	5.7	9.5	14	100	10	9.0	15	23	160	16	15	24	36	250	25	23	38	56
	250	29	2.9	2.6	4.4	6.5	46	4.6	4.1	6.9	10	72	7.2	6.5	11	16	115	12	10	17	26	185	18	17	28	42	290	29	26	44	65
	315	32	3.2	2.9	4.8	7.2	52	5.2	4.7	7.8	12	81	8.1	7.3	12	18	130	13	12	19	29	210	21	19	32	47	320	32	29	48	72
	400	36	3.6	3.2	5.4	8.1	57	5.7	5.1	8.4	13	89	8.9	8.0	13	20	140	14	13	21	32	230	23	21	35	52	360	36	32	54	81
	500	40	4.0	3.6	6.0	9.0	63	6.3	5.7	9.5	14	97	9.7	8.7	15	22	155	16	14	23	35	250	25	23	38	56	400	40	36	60	90

表 2-1 工件公差 T、安全裕度 A 与检具的测量不确定度允许值 U1 (GB/T3177) (续)

公差等级		12				13				14				15				16				17				18					
基本尺寸/mm		T		A		U <sub>1</sub> /μm		T		A		U <sub>1</sub> /μm		T		A		U <sub>1</sub> /μm		T		A		U <sub>1</sub> /μm		T		A		U <sub>1</sub> /μm	
大于	至	/μm/μm		I	II	/μm/μm		I	II	/μm/μm		I	II	/μm/μm		I	II	/μm/μm		I	II	/μm/μm		I	II	/μm/μm		I	II	/μm/μm	
-	3	100	10	9.0	15	140	14	13	21	250	25	23	38	400	40	36	60	600	60	54	90	1000	100	90	150	1400	140	1			
3	6	120	12	11	18	180	18	16	27	300	30	27	45	480	48	43	72	750	75	68	110	1200	120	110	180	1800	180	1			
6	10	150	15	14	23	220	22	20	33	360	36	32	54	580	58	52	87	900	90	81	140	1500	150	140	230	2200	220	2			
10	18	180	18	16	27	270	27	24	41	430	43	39	65	700	70	63	110	1100	110	100	170	1800	180	160	270	2700	270	2			
18	30	210	21	19	32	330	33	30	50	520	52	47	78	840	84	76	130	1300	130	120	200	2100	210	190	320	3300	330	3			
30	50	250	25	23	38	390	39	35	59	620	62	56	93	1000	100	90	150	1600	160	140	240	2500	250	220	380	3900	390	3			
50	80	300	30	27	45	460	46	41	69	740	74	67	110	1200	120	110	180	1900	190	170	290	3000	300	270	450	4600	460	4			
80	120	350	35	32	53	540	54	49	81	870	87	78	130	1400	140	130	210	2200	220	200	330	3500	350	320	530	5400	540	4			
120	180	400	40	36	60	630	63	57	95	1000	100	90	150	1600	160	150	240	2500	250	230	380	4000	400	360	600	6300	630	5			
180	250	460	46	41	69	720	72	65	110	1150	115	100	170	1850	180	170	280	2900	290	260	440	4600	460	410	690	7200	720	6			
250	315	520	52	47	78	810	81	73	120	1300	130	120	190	2100	210	190	320	3200	320	290	480	5200	520	470	780	8100	810	7			
315	400	570	57	51	86	890	89	80	130	1400	140	130	210	2300	230	210	350	3600	360	320	540	5700	570	510	850	8900	890	8			
400	500	630	63	57	95	970	97	87	150	1500	150	140	230	2500	250	230	380	4000	400	360	600	6300	630	570	950	9700	970	8			

案例2 测量尺寸和公差为 $\Phi 25_{-0.310}^{-0.100}$ 的轴, 请选择检具。

第一步 计算出被测工件的尺寸公差T

$$T = -0.100 - (-0.310) = 0.210 \text{ mm} = 210 \mu\text{m}$$

第二步查出A和U1

查表2-1得知,  $T=210 \mu\text{m}$ , 该工件为12级精度, 其 $A=21 \mu\text{m}$ ,  $U1$ 有二个数值:  $U1=19 \mu\text{m}$ ,  $U11=32 \mu\text{m}$ 。

第三步 选择检具

从表2-2中查找符合 $U < U1$ 的U值。

从表2-2尺寸范围为0~50mm的一栏中, 查得0~50mm分度值为0.02mm的游标卡尺的测量不确定度实际值 $U=20 \mu\text{m}=0.02\text{mm}$ , 将U与 $U1$ 相比较,  $U=20 \mu\text{m} < U11=32 \mu\text{m}$ , 符合 $U < U1$ 的原则, 故可以采用0~50mm, 分度值为0.02mm的游标卡尺测量 $\Phi 25_{-0.310}^{-0.100}$ 的轴的尺寸。

表2-2 千分尺与游标卡尺的测量不确定度实际值U (JB/Z181)

尺寸范围/mm	计 量 器 具 类 型			
	分度值为0.01的 外径千分尺/mm	分度值为0.01的 内径千分尺/mm	分度值为0.02的 游标卡尺/mm	分度值为0.05的 游标卡尺/mm
0~50	0.004	0.08	0.020	0.050
50~100	0.005			
100~150	0.006			
150~200	0.007	0.013		
200~250	0.008			
250~300	0.009			
300~350	0.010	0.020		0.100
350~400	0.011			
400~450	0.012			
450~500	0.013	0.025		
500~600	0.030			
600~700				
700~800				
800~900				
900~1000				0.150

注: 当采用比较测量时, 千分尺的不确定度可小于本表规定的数值。

目前,在一些检具的国家标准和检具的检定规程(计量技术规范)中,未给出检具的测量不确定度 $U$ 的数值,而只给出示值误差,如在压力容器制造过程中常用于线性尺寸测量的钢卷尺和金属直尺等量具。

笔者认为:压力容器制造过程中,对于主要受压元件的机加工表面和非机加工表面的线性尺寸测量时,检具选择的原则仍然是被测工件的公差值大小。

在一般情况下,仅要求检具的示值误差或不确定度实际值小于被测工件的公差即可。而不必要求检具的示值误差或不确定度实际值小于工件公差的 $1/10 \sim 1/4$ 。事实上在多数情况下对于钢卷尺和金属直尺等常用量具也无法达到示值误差为工件公差的 $1/10 \sim 1/4$ 。这方面的情况可见表6-9和表6-12。

对于重要的,且有公差配合要求的压力容器结构、设备的线性尺寸测量,则应按照国家有关计量技术规范、标准,如JB/Z181、GB/T3177的要求,选择检具。

## 二 常用检具

### 1. 钢卷尺

钢卷尺是压力容器制造现场几何尺寸检验中最常用的长度测量检具之一。

钢卷尺又称为卷尺、盒尺,它是一种有线纹刻度的尺,通过与被测尺寸比较,而由尺上直接读数的通用长度测量工具。根据结构不同,卷尺分为摇卷盒式卷尺、自动式卷尺、制动式卷尺和测深钢卷尺,如图2-1所示。

钢卷尺的主要结构为具有弹性的钢带,其上有线纹,卷于金属或塑料材料制成的尺盒或框架内。普通钢卷尺的尺端装有尺钩或拉环,测深钢卷尺的尺端装有铜制的尺砣,它与尺带的联接可以是挂钩式的,也可以是固定的,框架与尺砣的编号一致,尺砣按其重要分为0.7kg和1.6kg两种。制动式卷尺附有控制尺带收卷的按钮装置。

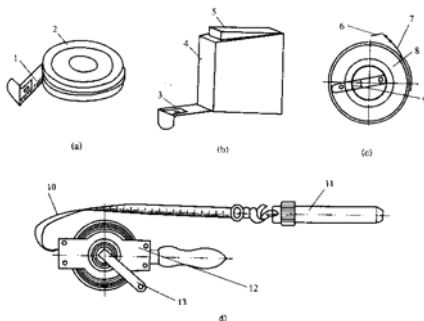


图2-1 钢卷尺

(a)自动式钢卷尺;(b)制动式钢卷尺;(c)摇卷盒式卷尺;(d)测深钢卷尺。

1, 3, 7, 10—尺带;2, 4, 8—尺盒;5—制动按钮;

6—尺环;9, 13—摇柄;11—尺砣;12—尺架。

钢卷尺的标称长度：对于10m以下的钢卷尺取0.5的整数倍，对于10m以上的钢卷尺取5的整数倍。钢卷尺分为一级和二级两种。

钢卷尺的线纹间允差和示值误差见表2-3和表2-4。

表2-3 钢卷尺的线纹间允差

尺寸范围/mm	任一中间线纹到尺的“0”点端或某段起点端的允差/mm	尺寸范围/mm	任一中间线纹到尺的“0”点端或某段起点端的允差/mm
> 10~1000	± 0.6	> 25000~30000	± 8.0
> 1000~2000	± 1.2	> 30000~40000	± 9.0
> 2000~3500	± 2.0	> 40000~50000	± 10.0
> 3500~5000	± 2.5	> 50000~60000	± 12.0
> 5000~10000	± 3.5	> 60000~70000	± 14.0
> 10000~15000	± 4.0	> 70000~80000	± 16.0
> 15000~20000	± 5.0	> 80000~100000	± 20.0
> 20000~25000	± 6.5		

表2-4 钢卷尺的示值误差

标称长度/mm	全长允差/mm	米分度允差/mm	厘米分度允差/mm	毫米分度允差/mm
1000	± 0.8	± 0.6	± 0.3	± 0.2
2000	± 1.2			
3000	± 2.0			
3500	± 2.0			
5000	± 2.5			
10000	± 3.5			
15000	± 4.0			
20000	± 5.0			
30000	± 8.0			
50000	± 10			
100000	± 20			

使用钢卷尺时，首先要检查卷尺的各个部位：对自卷式和制动式卷尺来说，拉出和收卷尺带时，应轻便、灵活，无卡住现象；制动式卷尺的按钮装置应能有效地控制尺带收卷，不得有阻滞失灵现象；盒式和架式摇卷尺在摇卷时应灵活；尺带表面不得有锈迹和明显的斑点、划痕，线纹应清晰。

使用卷尺应以“0”点端为测量基准，这样便于读数。当使用非零点作为测量基准时要特别注意其起始端的线纹的数字，避免读数时读错。

使用卷尺要和使用金属直尺一样，不得前后左右歪斜，而且要拉紧尺带。

钢卷尺的尺带一般镀铬、镍或其他涂料，所以要保持清洁，测量时不要使其与被测表面摩擦，以防划伤。

使用自卷式或制动式卷尺时,拉出尺带不得用力过猛,而应徐徐拉出,用毕也应让它徐徐退回。对于制动式卷尺,应先按下制动按钮,然后徐徐拉出尺带。用毕后按下制动按钮,尺带自动收卷。

尺带只能卷,不能折。不允许将卷尺放在潮湿和有酸类气体的地方,以防锈蚀。

为了便于夜间或无光处使用,有的钢卷尺的尺带的线纹面上涂有发光物质,在黑暗中有发光,使人能看清楚线纹和数字,在使用中应注意保护涂膜。

钢卷尺除测量长度尺寸之外,也常用于测量圆柱形工件(如筒体、封头)的直径尺寸,测量前要根据被测直径的大小选取相应测量范围的钢卷尺。测量外圆周长时,应选用平面型钢卷尺。

使用中的钢卷尺不允许有影响使用性能的缺陷,被测工件的表面和卷尺工作面应擦干净。使用方法是把卷尺围绕在被测工件的径向截面内的圆周上,两手将尺拉紧并使尺沿着工件表面来回滑动几次后即可进行读数。

读钢卷尺的方法是重叠法,将卷尺的尺带围绕被测工件一周时,尺带重叠在一起,观看尺带两头刚重叠处的划线数值,该数值就是测量结果,即被测圆柱形工件的外圆周长。将外圆周长测量数值除以 $\pi$ ,则可换算成被测圆柱形工件(筒体、封头等)的外直径数值。见图2-2。

如果用钢卷尺测量小直径圆柱形工件,可以直接操作进行测量;如果是测量大直径圆柱形工件,而且是一个人操作,则要借助磁铁块将尺带压在工件上(仅限于被测工件是铁磁性物质)进行测量,或者二人共同测量。

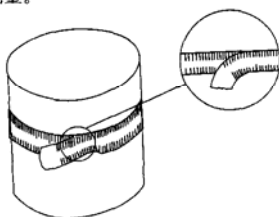


图2-2 钢卷尺应用示意图  
(测圆周)

使用钢卷尺时应特别注意,其一钢卷尺是否经检定合格,已多次出现因使用质量低劣、误差很大的钢卷尺而发生问题的案例。

其二,在多次反复测量同一工件的长度尺寸时,必须采用同一把钢卷尺。

## 2. 金属直尺

金属直尺也是压力容器制造现场几何尺寸检验中最常用的长度测量检具之一。金属直尺是具有一组或多组有序的标尺标记及标尺数码所构成的金属制板状的测量器具,又称为直尺钢直尺或钢板尺,它是一种有刻度标尺,通过与被测尺寸比较而由刻度标尺直接读数的通用长度测量工具。其结构如图2-3所示。由于它结构简单、使用方便,所以在压力容器制造业和其他行业中获得广泛应用。



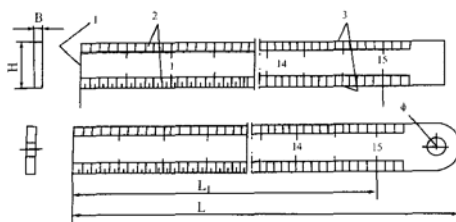


图 2-3 金属直尺

H—宽度；B—厚度；φ—悬挂孔；1—端部；2—刻度面；3—侧面。

金属直尺应选择 1Cr18Ni9、1Cr13 或其它类似性能的材料制造。一般情况下金属直尺用不锈钢带或其他富有弹性的钢带制成，在经过处理的钢带的一面或两面上刻出或腐蚀加工出刻线，两条相邻刻线之间的距离是 1mm。对规格为 0mm~150mm 的金属直尺在刻度标尺起始 50mm 长度上允许有 0.5mm 刻线，故长刻线与相邻短刻线之间的距离是 0.5mm。有些金属直尺上同时刻有公制 (mm) 尺寸刻线和英制 (in) 尺寸刻线。金属直尺上的 0.5mm、1mm、5mm 和 10mm 的标尺标记应分别用短、长、较长和最长时间刻线条表示。

金属直尺有两种构造形式：一种两端都是直的；另一种端边是直的，末端是半圆形，且其上开有悬挂孔。标称长度为 150mm 的金属直尺，按其宽度分为宽型和窄型两种。金属直尺的测量范围有 0mm~150mm、0mm~300mm、0mm~500mm、0mm~600mm、0mm~1000mm、0mm~1500mm 和 0mm~2000mm 七种。金属直尺的外形尺寸见表 2-5。GB/T9056-2004《金属直尺》标准适用于分度值为 1mm，标称长度不应大于 2000mm 的金属直尺。金属直尺的硬度不应小于 342HV。

金属直尺的端面相对于侧面的垂直度公差、端面和侧面的直线度公差、刻度面的平面度公差以及两侧面间的平行度公差见表 2-6。在 20℃ 时，金属直尺的允许误差见表 2-7。

表 2-5 金属直尺的外形尺寸 (GB/T9056-2004)

单位: mm

标称长度 l	全长 L		厚度 B		宽度 H		孔径 φ
	尺寸	偏差	尺寸	偏差	尺寸	偏差	
150	175	± 5	0.5	± 0.05	15 或 20	± 0.3 或 ± 0.4	5
300	335		1.0	± 0.10	25	± 0.5	
500	540		1.2	± 0.12	30	± 0.6	
600	640		1.2	± 0.12	30	± 0.6	
1000	1050		1.5	± 0.15	35	± 0.7	7
1500	1565		2.0	± 0.20	40	± 0.8	
2000	2065		2.0	± 0.20	40	± 0.8	

表 2-6 金属直尺的技术要求 (GB/T9056-2004) 单位: mm

标称长度 l	垂直度	直线度公差		平面度	平行度
		侧面	端面		
150	0.035	0.23	0.03	0.25	0.15
300		0.26	0.04		0.25
500		0.28			0.35
600		0.32			
1000		0.40		0.40	0.50
1500		0.50	0.50	0.60	
2000		0.60	0.60	0.70	

表 2-7 金属直尺的允许误差 (GB/T9056-2004) 单位: mm

标称长度 l	允许误差
150	$\pm 0.15$
300	
500	
600	$\pm 0.20$
1000	
1500	$\pm 0.25$
2000	$\pm 0.30$

从表中可以看出, 金属直尺的极限偏差值比较大, 而且是一种比较测量工具, 所以, 它只适用于低精度的工作的测量, 它是压力容器长度测量和检验常用检具。

首先检查金属直尺, 不允许有影响使用性能的外观缺陷, 例如碰弯、划痕、刻度断线或看不清刻度线等缺陷。

金属直尺上至少应标有制造厂名或注册商标、分度值、标称长度; 金属直尺包装盒上至少应标有制造厂名或注册商标、产品名称、标称长度。金属直尺经检定符合 GB/T9056-2004《金属直尺》标准要求的应附有产品合格证, 产品合格证上应标有 GB/T9056-2004 标准号、产品序号和出厂日期。

使用金属直尺时, 要以端边的“0”刻线作为测量基准, 这样在测量中不仅容易找到测量基准, 而且便于读数和记数。测量中, 金属直尺要放平、放正, 刻度面朝上、朝外, 不得前后左右歪斜。否则, 从尺上读得的数比被测的实际尺寸大 (见图 2-4)。被测的平面要平, 否则测出的数也不是被测件的实际尺寸。

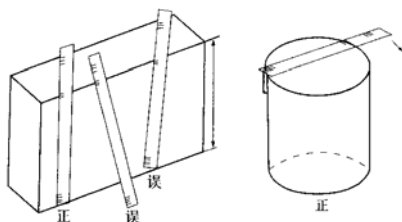


图 2-4 金属直尺的应用示例

用金属直尺测量圆柱形的截面直径时,金属直尺的端边要与被测面的边缘相切,然后左右摆动金属直尺找出最大尺寸,即为所测直径尺寸。

金属直尺使用后必须用干净棉质物擦干净,然后悬挂起来,使其自然下垂。如果较长时间不用,则应将金属直尺涂上防锈油。

如果金属直尺受压变形,或其他原因使之变形,在使用时应该检查它的端边与侧边的垂直度、刻度面的平面度,经检查合格后方能使用。

例如,有一根 0mm~500mm 的金属直尺,不慎被压了一下,感觉到有弯曲,不知道还能否使用?为回答这一问题,应该检查刻度面的平面度。

检查刻度面平面度的方法:将金属直尺平放在 2 级平尺(长度大于 500mm)上(刻度面向下),用标称尺寸等于 0.25mm 的塞尺去塞金属直尺与平尺之间的隙缝,如果塞尺通不过去,说明金属直尺刻度面的平面度合格,反之不合格。用塞尺去塞金属直尺的过程中不得对金属直尺施加任何外力于金属直尺上面。

### 3. 钢围尺和 $\pi$ 尺

钢围尺和  $\pi$  尺用于测量圆柱形工件的直径尺寸。它们与钢卷尺主要有两方面不同之处:一是它们的结构不尽相同;二是用途不同。钢围尺和  $\pi$  尺是测量圆柱形工件直径的专用测量工具,而钢卷尺除用于测试长度尺寸外,也可用于测量圆柱形工件的直径。

钢围尺和  $\pi$  尺是通过测量圆柱形工件的周长,直接从尺上读得直径尺寸的专用测量工具,它们的结构如图 2-5 和图 2-6。

钢围尺和  $\pi$  尺测量圆柱形工件直径的方法与钢卷尺相同。

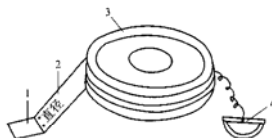


图 2-5 钢围尺

1—尺钩; 2—尺带; 3—尺盒; 4—配链。

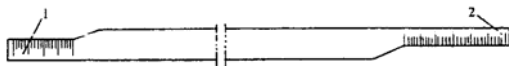


图 2-6 π尺

1—副尺刻线；2—主尺刻线。

钢围尺尺带的同一面上有上下两种刻线，上一种刻线为直径尺的分度值，下排刻线为周长尺的分度值，它们之间有对应关系。直径尺的测量范围为640mm和960mm，周长尺的测量范围为2000mm和3000mm。

π尺由一根弹性钢带构成，钢带的两端分别刻有主尺刻度和副尺刻度。主尺的最小分度值为0.5mm，副尺的分度值分别为0.01mm、0.02mm、0.05mm和0.10mm四种。测量时，主尺和副尺对齐构成游标原理，能从游标上精确读出被测件的直径尺寸。

#### 4. 塞尺

塞尺是量具中结构最简单的量具之一，它是片状定值量具。所谓塞尺是具有准确厚度尺寸的薄片或成组的薄片，用于检验间隙的测量器具，尺片的厚度由0.02mm~1mm，长度由75mm~300mm，其结构如图2-7和图2-8所示。塞尺片有A型和B型两种，成组塞尺的级别标记、塞尺片的长度、片数、厚度以及组装顺序见表2-8。塞尺又称厚薄规。

我国生产的塞尺片的长度有75mm，100mm，150mm，200mm，300mm五种，尺片厚度系列是：0.02mm，0.03mm，0.04mm，0.05mm，0.06mm，0.07mm，0.08mm，0.09mm，0.10mm，0.11mm，0.12mm，0.13mm，0.14mm，0.15mm，0.20mm，0.25mm，0.30mm，0.35mm，0.40mm，0.45mm，0.50mm，0.55mm，0.60mm，0.65mm，0.70mm，0.80mm，0.85mm，0.90mm，0.95mm和1.00mm，共31片。尺片厚度尺寸应标在尺片上面。

塞尺一般是组装好成组（把）出厂，俗称一把塞尺就是指一组塞尺，每组塞尺由若干片尺片组成，在塞尺的保护板上作出标记。

塞尺片分为特级和普通级两个级别。

塞尺可以单片使用，也可以多片联合使用。但是，为了减少测量误差，在满足需要的前提下，联合使用的尺片数越少越好。由于每把塞尺的片数和尺片厚度不一样（见表2-8），所以要根据测量需要选择尺组及级别。使用前要检查尺片的外观，塞尺片与保护板的连接应可靠，围绕回转轴心的转动应平稳、灵活，不得有卡住或松动现象，尺片不应有毛刺、锈迹、划痕及其他明显的外观缺陷，经检查如符合要求即可用于测量。使用塞尺有定值法和试测法。

(1) 定值法是根据被测隙缝的标称值选取尺片进行测量。如前所述，金属直尺如果变形，在使用前应该检查其尺面的平面度，检查方法是在2级平台上用塞尺去测量。用选择好的尺片去塞金属直尺和平板之间的隙缝，如果尺片能通过去，说明该金属直尺尺面的平面度已超过

规定的允许误差,故不能继续使用;如果尺片塞不进隙缝,说明该金属直尺仍可继续使用。

(2) 试测法是根据目测判断被测隙缝的大小,选用尺片去测量,有时可能一次就测出结果,有时可能经过选用几个尺片去试测后才得出结果。用“恰好能塞进去为止”来判断所选取塞尺尺片的恰好程度。在实际测量中往往得不到这种理想情况。例如测量某一间隙,经试测后用0.06mm尺片时感觉到尺片在间隙中稍松,而用0.07mm尺片去塞又塞不进去,这时得不到被测间隙的准确尺寸,而只能估计出近似的数值,本例的间隙尺寸在0.06mm~0.07mm之间。如果要给出准确值,可以写成:0.065mm(估计)。

用塞尺测量是凭手感判断所选尺片是否合适。没有操作塞尺经验的人,使用塞尺测量造成的测量误差较大,所以要多加练习。

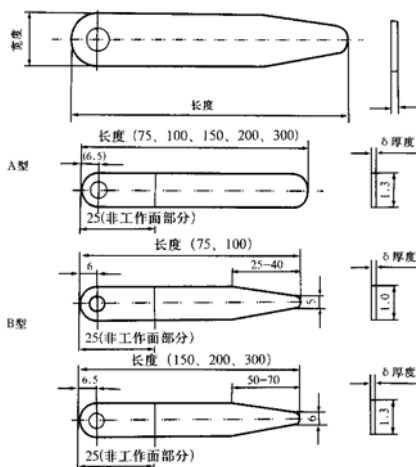


图 2-7 塞尺片的型式与尺寸

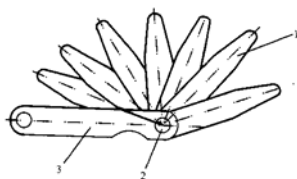


图 2-8 成组塞尺

1—塞尺片; 2—连接器; 3—保护板。

表 2-8 塞尺的尺组参数 (JB/T7979-95)

A 型	B 型	尺片长度 /mm	片数	塞尺片厚度及组装顺序 /mm
级别标记				
75A13	75B13	75	13	保护板, 0.02, 0.02, 0.03, 0.03, 0.04, 0.04, 0.05, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.10, 保护板
100A13	100B13	100		
150A13	150B13	150		
200A13	200B13	200		
300A13	300B13	300		
75A14	75B14	75	14	1.00, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.40, 0.50, 0.75
100A14	100B14	100		
150A14	150B14	150		
200A14	200B14	200		
300A14	300B14	300		
75A17	75B17	75	17	0.50, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45
100A17	100B17	100		
150A17	150B17	150		
200A17	200B17	200		
300A17	300B17	300		
75A20	75B20	75	20	1.00, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50, 0.55, 0.60, 0.65, 0.70, 0.75, 0.80, 0.85, 0.90, 0.95
100A20	100B20	100		
150A20	150B20	150		
200A20	200B20	200		
300A20	300B20	300		
75A21	75B21	75	21	0.50, 0.02, 0.02, 0.03, 0.03, 0.04, 0.04, 0.05, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45
100A21	100B21	100		
150A21	150B21	150		
200A21	200B21	200		
300A21	300B21	300		
注: 保护片厚度建议采用 > 0.30mm。				

注: 保护片厚度建议采用  $> 0.30\text{mm}$ 。

## 5. 游标卡尺

游标卡尺是利用游标原理对两测量面相对移动分离的距离进行读数的测量器具。游标卡尺又简称为卡尺或普通卡尺。

按照结构和用途, 游标卡尺又分为 I 型卡尺、II 型卡尺、III 型卡尺和深度游标卡尺等。

II 型和 III 型卡尺在结构原理上与 I 型卡尺相同, 主要不同点在于 II 型和 III 型卡尺有微动装置, 而 I 型卡尺没有这种装置; II 型和 III 型卡尺都没有深度测量杆; II 型和 III 型与 I 型量爪的形状有所不同; III 型游标卡尺测量范围大于  $500\text{mm}$ , 属于大型卡尺。

在压力容器制造现场, I 型卡尺和深度游标卡尺主要用于配合样板测量焊缝的余高、错边等尺寸以及小直径工件的直径等。

## (1) 1 型卡尺

结构如图 2-9 所示的卡尺称为 I 型卡尺, 这种卡尺既可以测量外尺寸、内尺寸, 又可以测量深度和高度尺寸, 还可以用于划直线和平行线, 所以又称为四用卡尺。

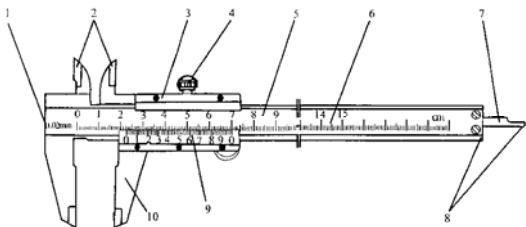


图 2-9 I 型卡尺

1—尺身端面；2—刀口内量爪；3—尺框；4—紧固螺钉；5—尺身；6—主标尺；  
7—深度测量杆；8—深度测量面；9—游标尺；10—外量爪。

I 型卡尺有 0mm~125mm, 0mm~150mm, 0mm~300mm 三种规格。

当拉动尺框时, 两个量爪做相对移动而分离, 其距离大小的数值从游标尺和尺身上读出。

外量爪用于测量各种外尺寸; 刀口形内量爪用于测量深度不深于 12mm 的孔的直径和各种内尺寸; 深度测量杆固定在尺身的背面, 能随着尺框在尺身的导槽 (在尺身背面) 内滑动, 用于测量各种深度尺寸, 测量时, 尺身深度测量面的端面是测量定位基准; 尺身端面和内量爪的端面配合, 可以测量阶梯台阶的高度尺寸; 尺身端面可以作直尺用, 用于划直线。

I 型卡尺的主要用途如图 2-10 所示。

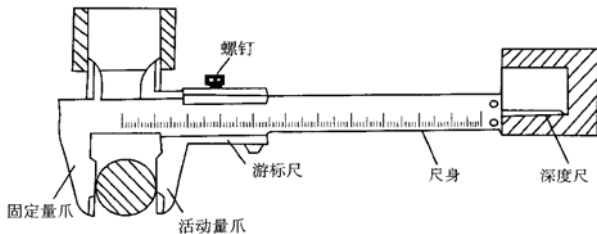


图 2-10 I 型卡尺的主要用途

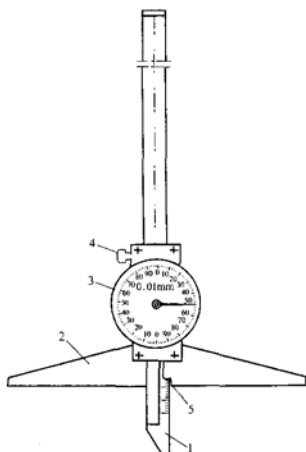


图 2-12 带表深度卡尺

1—尺身；2—尺框；3—指示表；4—紧固螺钉；5—读数部位。

## 6. 直角尺

测量面与基面相互垂直，用以检验直角、垂直度和平行度的测量器具，称为直角尺，又称为 $90^\circ$ 角尺，简称为直尺、靠尺。

直角尺是统称，细分时有圆柱角尺、刀口矩形角尺、矩形角尺、三角形角尺、刀口角尺和宽座角尺六种。

在压力容器制造现场，常用宽座角尺检验接管的垂直度、封头直边倾斜度等。它的规格、精度等级及制造所用材料见表 2-10。

直角尺是以比较测量法检验直角、垂直度和平行度的检具，还用于划线。正确使用直角尺包括正确选择直角尺和正确操作直角尺两方面。

要根据被检验工件的尺寸大小和精度选择直角尺的规格和精度等级。选择的直角尺的规格(h)要大于被检验工件的被检验部位的高度，当没有大规格的直角尺，即直角尺的h低于被检验部位时，可以用专用垫块将直角尺垫高，使之能检验。当然，这样会带来一些检验误差，所以只用于被检验工件精度要求不太高的情况。0级和1级直角尺一般作为检验人员检验精密工件或调试仪器用；宽座角尺一般用于生产现场检验普通工件，2级的用于划线。



用宽座直角尺检验接管的垂直度时,操作程序如下所述。

直角尺的测量面和接管外圆柱体面作为测量基准。

使直角尺的测量面与圆柱体面接触,直角尺和圆柱体面接触的正确位置如图2-13(a)所示,两者接触后,即可进行观察接触情况,接触情况会出现图2-13所示的四种情况。

图2-13(a)是直角尺测量面与被检验圆柱体的一条母线接触时,下部出现间隙,由此可判定被检验圆柱体的圆柱面与其端面不垂直,  $\alpha_1 > 90^\circ$ 。

图2-13(b)是间隙出现在上部,这也说明被检验圆柱体的圆柱面与其端面不垂直,  $\alpha_2 < 90^\circ$ 。

图2-13(c)说明被检验圆柱体的母线不直,即看到接触线中有不均匀的光隙,这种情况下,虽然  $\alpha_3 = 90^\circ$ , 但被检验圆柱体的圆柱面仍属不合格。

图2-13(d)说明直角尺的测量面与被检验圆柱体的一条母线紧密接触,看不到光隙  $\alpha_4 = 90^\circ$ , 被检验圆柱体合格。

为了求出被检验角度的具体数值,对于小的间隙,可以根据间隙中光的颜色来判定间隙的大小;对于大的间隙,可以用塞尺测量出间隙的数值,然后计算出被检验角的偏差值,再计算出被检验角的值。

## 7. 水平仪

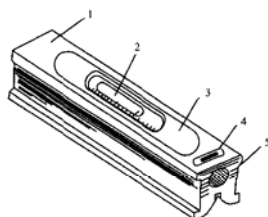
利用水准器气泡偏移来测量被测平面相对水平面微小倾角的角度测量器具,称为水准器式水平仪,又称为气泡式水平仪,俗称水平仪。

水平仪分为条式水平仪、框式水平仪、合像水平仪、电子水平仪。电子水平仪又分为指针式电子水平仪和数显式电子水平仪两种。严格地说,光学倾斜仪属于水平仪中的一种,不过它的水准器气泡只起到找水平的作用,而不用读数。

压力容器检验中常用条式和框式水平仪测量压力容器部件(如塔式容器塔板)安装的平面度和平面相对水平面的误差,以及零部件之间平行度和垂直度。

### (1) 条式水平仪

具有一个基座工作面,且水准器气泡固定或相对基座测量面调整的矩形水准器式水平仪,称为条式水平仪,又称为钳工水平仪,其结构如图2-14所示。



1-主体(基座); 2-纵向水准器(主水准器);  
3-盖板; 4-横向水准器(副水准器);  
5-“0”位调整窗口。

图 2-14 条式水平仪

条式水平仪只有底工作面，有的底工作面开一条V形槽，有的没有开V形槽。由于条式水平仪只有一个工作面，所以只能测量平面度和平面相对水平位置的误差，用途范围小。

## (2) 框式水平仪

具有一个基座工作面及两个垂直工作面，且水准器气泡固定或可相对基座工作面调整的框形水准器式水平仪，称为框式水平仪。这种水平仪在生产中使用得最多，通常称它为水平仪。所以，无特别说明，所说水平仪均指框式水平仪和条式水平仪，框式水平仪的结构如图2-15所示。

从图2-15中看到，水平仪的主体2是框架式结构，四个外面都是工作面，并且相互垂直构成四角直角，在基座（底）工作面和一侧工作面上各开出一条V形槽，即构成V形测量面。

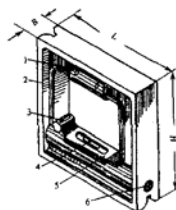


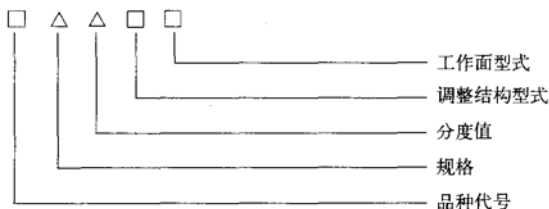
图 2-15 框式水平仪

- 1—隔热护板；2—主体（基座）；3—横向水准器（副水准器）；  
4—纵向水准器（主水准器）；5—盖板；6—“0”位调整窗口。

按分度值的不同，水平仪分为三组

组别	主水准泡分度值	副水准泡分度值
I	0.02mm/m	0.5mm/m ~ 1.5mm/m
II	0.03mm/m ~ 0.05mm/m	
III	0.06mm/m ~ 0.15mm/m	

水平仪的产品规格按水平仪工作面长度L规定（见表2-11）。水平仪的型号由品种代号、规格、分度值、调整机构和工作面型式五部分组成，表示方法如下：



上图中, □表示汉语拼音字母

△表示阿拉伯数字

水平仪的品种: 框式水平仪的代号: SK

条式水平仪的代号: ST

调整机构型式: 可调整式的代号: T

固定式的代号: G

工作面型式: 不开空刀槽的代号: b

开空刀槽的代号: K

例: 规格200mm, 分度值为0.02mm/m, 固定式, 不开空刀槽框式水平仪型号为: SK200-0.02Gb

规格150mm, 分度值为0.15mm/m, 固定式, 开空刀槽条式水平仪型号为: ST150-0.15GK

表 2-11 水平仪的外形尺

水平仪的种类	长度 L/mm	宽度 B/mm	高度 H/mm	V 形工作面角度
框式水平仪	100	25~35	100	120° 或 140°
	150	30~40	150	
	200	35~45	200	
	250	40~50	250	
	300	40~50	300	
条式水平仪	100	30~35	30~40	120° 或 140°
	150	35~40	35~45	
	200	40~45	40~50	
	250	40~45	40~50	
	300	40~45	40~50	

水平仪主要由主体、水准泡系统及调整机构等部分组成。

主体用作测量基面, 水准泡系统用作读数, 调整机构用作调整水平仪零位。

水平仪的工作原理是“利用水准器气泡偏移来测量”。该原理实质是重力原理, 现说明如下:

从图 2-14 和图 2-15 中可看出, 水平仪的主体是用铸铁制成, 主水准器和副水准器固定在主体上。水准器是一个封闭的弧形玻璃管, 内部装有酒精或乙醚或其他流动性和挥发性好的液体, 但管内的液体没有装满, 管内留有一部分空间, 液体挥发后成为气体充满这一空间。由于玻璃管是弧形的, 所以管内的气体呈气泡形状。又由于玻璃管所用玻璃是无色、透明的, 所以人能看到玻璃管内气泡的情况。

由于重力的作用, 不论水平仪放在什么位置, 玻璃管内的液体均向低处流, 气泡向高处升, 所以, 气泡永远停留在玻璃管内的最高处。当水平仪的基座工作面放在绝对的水平面位置时, 气泡停留在玻璃管内的中央位置, 如图 2-16 (a) 所示。当水平仪的基座工作面放在不是绝对的水平面位置时, 气泡就偏移玻璃管的中央位置而移动, 停留在玻璃管内的最高位置, 如图 2-16 (b) 所示。基座工作面相对于水平面的倾角小, 则气泡移动的距离小; 基座工作面相对于水平面的倾角大, 则气泡移动的距离大。因此, 可以根据气泡移动的距离大小, 从玻

璃管外壁上的刻度读出水平仪基座工作面相对于水平面的倾斜角大小,或基座工作面两端高低的差值。这就是水平仪的工作原理。

假设玻璃管弧形的曲率半径为  $R$  (mm), 气泡移动的距离为  $C$  (mm), 基座工作面一端比另一端高造成的倾斜角为  $\alpha$  (弧度), 则:

$$C = R \alpha$$

从上式可见, 气泡移动的距离  $C$  与玻璃管的曲率半径  $R$  和倾斜角  $\alpha$  成正比。

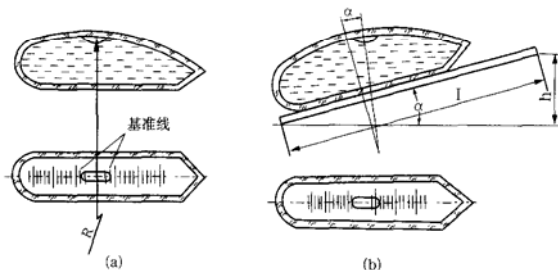


图 2-16 水平仪工作原理

(a) 气泡停留在玻璃管内中央位置; (b) 气泡停留在玻璃管内最高位置。

分度值的定义: 水平仪的分度值是主水准器的气泡移动一个刻度所对应的倾斜, 此倾斜以一米为基准长的倾斜高与底边的比表示, 单位为 mm/m。根据这一定义得  $\tau = \frac{h}{L}$  (mm/m), 式中  $\tau$  ——水平仪的分度值 (mm/m);  $L$  ——底边 (m), 取  $L=1\text{m}$ ;  $h$  ——倾斜高 (mm)。

测量时使水平仪工作面紧贴在被测表面, 待气泡完全静止后方可进行读数。

水平仪的分度值是以一米为基长的倾斜值, 如需测量长度为  $L$  的实际倾斜值则可通过下式进行计算: 实际倾斜值 = 分度值  $\times L \times$  偏差格数, 即  $h = \tau \times L \times$  偏差格数。

例如: 分度值为  $0.02\text{mm/m}$ ,  $L=200\text{mm}$ , 偏差格为 2 格。实际倾斜值为:  $\frac{0.02}{1000} \times 200 \times 2 = 0.008\text{mm}$

为避免由于水平仪零位不准而引起的测量误差, 因此在使用前必须对水平仪的零位进行校对或调整。

水平仪零位校对, 调整方法: 将水平仪放在基础稳固, 大致水平的平台 (或机床导轨) 上, 待气泡稳定后, 在一端如左端 (相对观测者而言) 读数, 且定为零。再将水平仪调转  $180^\circ$ , 仍放在平板原来的位置上, 待气泡稳定后, 仍在原来一端 (左端), 读数为  $a$  格 (以上次零读数为起点) 则水平仪零位误差为  $a/2$  格。如果零位误差超过许可范围, 则需调整水平仪零位调整机构 (调整螺钉或螺母), 使零位误差减小至许可值以内。

图 2-17 是水准器玻璃管上的刻线示意图。在温度为  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  时, 水准气泡的长度与其中央两长刻线之间的距离, 分度值为  $0.02\text{mm/m}$  和  $0.05\text{mm/m}$  的水平仪, 其偏差不大于 1 格;

对分度值为0.10mm/m的水平仪其偏差不大于0.5格。中央两长刻线称为基准线，图中所示是气泡的两头正好与基准线相切，说明气泡的长度与其基准线之间的距离无偏差。如果有偏差，则不得超过上述规定要求。

水平仪零位的定义：当水平仪的工作面处于绝对水平位置时，理想的气泡位置，称为水平仪的零位（此时，气泡两头应与两条基线相切，见图2-17）。

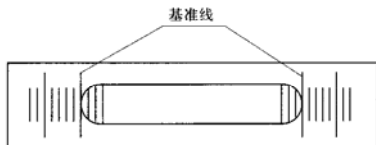


图 2-17 水平仪的基准线

水平仪的零位误差见表2-12。

表 2-12 水平仪的零位误差 (JJF1084-2002)

名 称	基准面	分度值/(mm/m)	“0”位误差/格
框式水平仪	下工作面及 下V形工作面	0.02	$\pm 1/4$
		0.05	
		0.10	
	上工作面、侧工 作面及侧V形 工作面	0.02	$\pm 1/2$
		0.05	$\pm 1/3$
		0.10	$\pm 1/4$
条式水平仪	平面及V形工作面	0.02	$\pm 1/4$
		0.05	
		0.10	

水平仪主要用于测量相对于水平和铅垂位置微小倾斜角度的一种通用角度测量器具，也可用于测量机械设备，如机床导轨的直线度、平面度、平行度，校正设备安装的水平位置和铅垂位置等。

在压力容器制造现场，水平仪主要用于测量水平度和垂直度，如人孔、手孔和接管的法兰面水平度和垂直度；鞍座底板沿长度方向水平度等。

根据被测件的形状和精度要求选择水平仪的规格和分度值。例如，钳工水平仪只能测量平面度和平行度，而框式水平仪除了能测量平面度、平行度外，还能同时测量垂直度（铅垂位置），所以首先要根据被测件的测量要求选择水平仪。

#### 1) 用水平仪测量垂直度

在设备安装中，经常用水平仪检查两个面的相互垂直的情况。图2-18是将甲件安装在乙件上，要求AA面垂直于BB面。测量的方法是，先用水平仪将BB平面调整到水平面上，然后将甲件安装在乙件上，用水平仪测量甲件的A端。

将乙件的BB面调整到水平面的方法是，先把水平仪放在BB面上的a位置，记录该位置的水平仪读数，然后把水平仪提起来放在b位置。如果水平仪在两个位置的读数相同，则说明BB面已在水平面内；若两个位置的读数不相同，则要调整BB面。水平仪在甲件的A端的读数应该是0（见图2-18），只有这种状态才能说明AA垂直于BB。

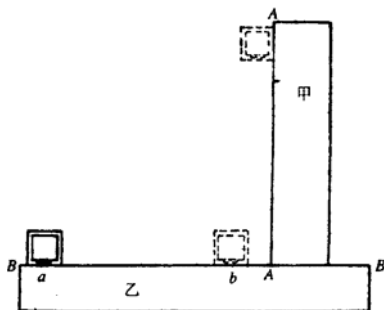


图 2-18 用水平仪检查垂直度示例

## 2) 用水平仪测量平行度

用水平仪测量两个构件平面之间的平行度，是设备安装中经常遇到的。在空间两个平面的平行度有三种情况。一是两个平面在水平面内的平行性；二是两个平面在垂直于水平面内的平行性；三是两个平面在任意方向内的平行性。图2-19是用水平仪测量平行度的示例。

图2-19 (a) 是用水平仪测量在水平面内两个平面内的平行度。先用水平仪测量AA平面的a、b两端，当水平仪在上述两个位置的读数相同（均在0位），说明AA平面在水平面内。用同样的方法测量BB平面，水平仪在两端的读数均为0，说明BB平面也在水平面内。AA平面和BB平面均在水平面，说明这两个平面平行。

图2-19 (b) 是用水平仪测量两个平面在垂直于水平面内的平行度。分别用水平仪测量AA面和BB面的上端，而且水平仪的读数均为0，说明AA面与BB面相互平行，并且说明它们位于垂直于水平面内。

图2-19 (c) 是用水平仪测量两个平面在任意方向内的平行度。测量方法是，先固定AA平面，然后调整BB平面使之与AA平面平行。如果AA平面相对于水平面的倾角很小，直接用水平仪测量即可。如果倾角大则用桥板和垫块辅助进行测量（见图2-19 (c)）。先测量AA平面，将水平仪放在桥板上，调整垫块使水平仪的读数为0（或某一数值a），记录下该读数。再测量BB平面，将水平仪放在桥板上，用测量AA平面所用的垫块，如果水平仪的读数为0（或某一数值a），则说明AA平面和BB平面相互平行，否则不平行。此法操作，因为测量链长（用了桥板和垫块）导致误差增大。所以，多用光学倾斜仪进行测量。

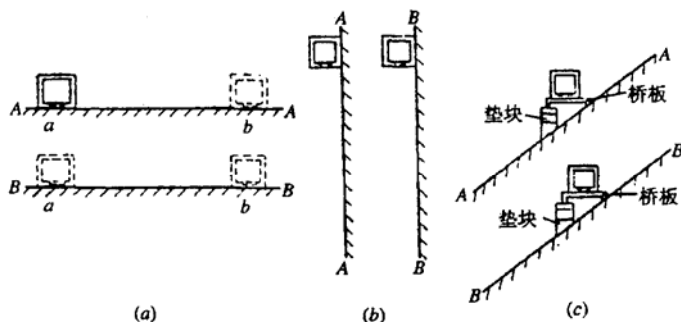


图 2-19 用水平仪测量平行度示例

(a) 在水平面；(b) 在垂直平面；(c) 在任意方向。

在压力容器制造现场，为测量卧式容器人孔和接管的法兰面水平度，可采用水平仪，如图 2-20。此时，将容器的上平面纵向轴线作为测量基准 AA 面，而与容器纵向轴线相平行的法兰面作为被测量面 BB。

按照图 2-21 测量人孔的法兰面水平度时，则首先应将卧式容器鞍座底板找正之后，才能进行。卧式容器鞍座底板的上平面作为测量基准 AA 面，而与之相平行的法兰面作为被测量面 BB。

水平仪虽然结构简单，却是精密仪器，所以应该认真维护保养。

测量时，动作要快，尽量避免温度变化对水平仪的影响。因为水平仪的气泡对温度变化很敏感。例如，温度变化  $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ ，气泡长度变化可达 1 个分度。测量场地周围不允许有热源和振动以及剧烈的空气流动。

在测量中要轻拿轻放水平仪，严禁磕碰水平仪，不允许将水平仪在被测量面上拖着走，移位时，必须把水平仪轻轻提起来，并轻轻放在被量面上。严禁用水平仪去测量表面粗糙的工件，被测量面的表面粗糙度  $R_a$  值应不大于  $0.2\ \mu\text{m}$ 。

使用完毕，要擦净水平仪的各个表面，如果比较长的时间不用，可在各个工作面上涂防锈油，然后放入其盒内，放在干燥、无酸、无磁、无振动的地方保存。

水平仪要按规定进行周期检定。

由于上述原因，在压力容器制造现场进行零部件的水平度和垂直度测量时，绝大多数情况下采用水平尺，而不用水平仪。

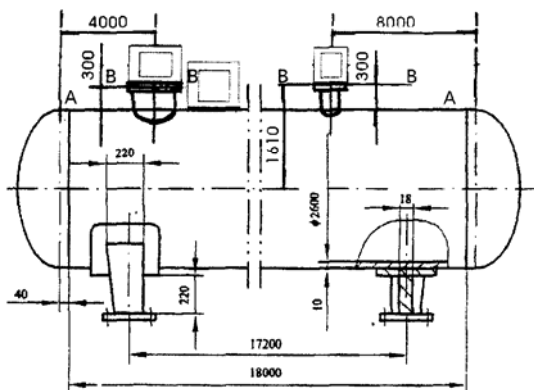


图 2-20 利用水平仪测量人孔和接管法兰的水平度之一

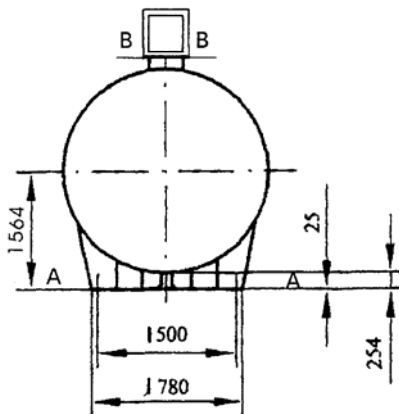


图 2-21 利用水平仪测量人孔和接管法兰的水平度之二



### 8. 水平尺

利用水准器气泡偏移来测量被测平面相对于水平位置、铅直位置、倾斜位置偏离程度的测量器具，称为水平尺。其尺体有铁制、铝合金制和木制的三种，它们的结构如图 2-22、2-23、2-24 所示。

从上可见，水平尺的原理与水平仪的原理相同，但是，它们的结构不完全相同。

铁制的和铝合金制的水平尺有一个铅直位置水准器，木制水平尺只有水平位置水准器。但从外观看，水平尺很像钳工水平仪。

水平尺的分度值有 0.5mm/m，1mm/m，2mm/m，5mm/m，10mm/m 五种。

对工作面的平面度和表面粗糙度的要求见表 2-13。

水平尺的零位误差不应超过 1/4 分度或 0.5mm。

水平尺的分度误差：任一分度值的误差不超过标称分度值的 20%。

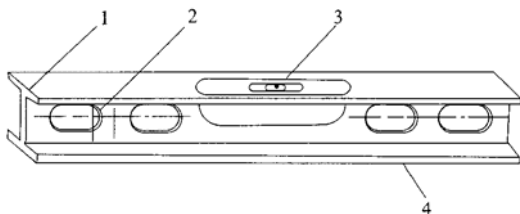


图 2-22 铁制水平尺

1—尺体；2—铅直位置水准器；3—水平位置水准器；4—工作面。

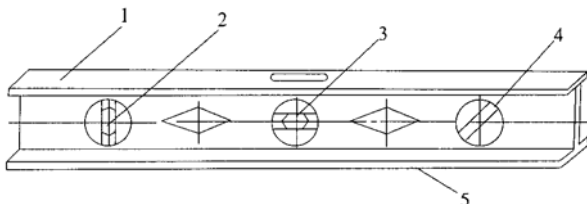


图 2-23 铝合金制水平尺

1—尺体；2—铅直位置水准器；3—水平位置水准器；4—45°位置水准器；5—工作面。

为压力容器零部件划线和几何尺寸检验的基准平面。平台从材质分有铸铁平台和岩石平台两种。

采用优质细颗粒的灰口铸铁或合金铸铁制造的平台，称为铸铁平台。

平台应制成箱体式、筋板式或其他足以保证工作精度的结构型式，平台的工作面有正方形、长方形或圆形的。平台的上平面为其工作面，是用于工件检验或划线的基准平面。

平台的作用是在检验或划线中提供“平面基准”，在这个平面上利用量具、圆柱、钢球、方箱、V形铁、直角靠铁、方铁、芯轴等等，可以检验工件的几何尺寸、角度、形位误差等，几乎能检验各种各样的工件，所以称这种检验为平台检验或万能测量。在测量中用手工操作，故又称为手工测量。这种测量具有如下特点：一是对环境条件要求不高；二是所用量具及工具价廉；三是可以测量计量仪器难以测量的工件和几何参数。缺点是测量中对操作技术要求高。

在机械制造业中，几乎每个工厂均有种类、规格和数量不同的平台。

使用平台前要正确选择平台：

000级和00级平台用于精密检验；

0级和1级平台用于一般精度检验；

2级平台用于较精密件的划线；

3级平台用于粗糙毛坯（如铸件）件的划线。

压力容器制造现场一般采用3级平台作为测量基准，足以满足检验要求。也可用一块厚度大于或等于30mm的钢板，经找正之后作为平台使用进行测量和划线。

#### 10. 板厚千分尺

具有球形测量面和平测量面及特殊形状尺架，适用于测量板材厚度的外径千分尺，称为板厚千分尺。它分为Ⅰ型和Ⅱ型两种。其结构如图2-25所示。

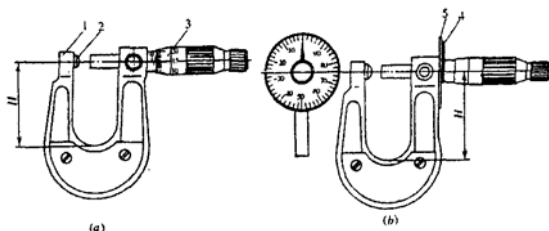


图 2-25 板厚千分尺

(a) Ⅰ型；(b) Ⅱ型。

1—尺架；2—球形测砧；3—测微头；4—指针；5—表盘。

Ⅰ型板厚千分尺的测量范围有0mm~10mm，0mm~15mm和0mm~25mm三种（见图2-25(a)）。

Ⅱ型板厚千分尺的测量范围为0mm~25mm（见图2-25(b)）。

尺架凹入深度H分别为40mm, 80mm和150mm三种, 若用户有特殊要求, H可按用户要求制造。板厚千分尺的精度分为两级, 其技术要求见表2-14。

表2-14 板厚千分尺的示值误差等技术要求 ( $\mu\text{m}$ )

测量范围 mm	示 值 误 差		两测量面 平行度		测量面 平面度		尺架受力10N时的 变形量		
	1 级	2 级	1 级	2 级	1 级	2 级	尺架凹入深度 H/mm		
							40	80	150
0~10									
0~15	$\pm 4$	$\pm 5$	2	4	1	1.5	2	3	4
0~25									

板厚千分尺是专门用于测量板厚度尺寸的量具, 也可以作外径千分尺使用, 可按操作外径千分尺的方法操作板厚千分尺。但要特别指出的是, 不允许用板厚千分尺去测量表面粗糙的板, 被测板的表面粗糙值不得大于  $Ra0.160 \mu\text{m}$ 。

### 11. 壁厚千分尺

具有球形测量面和平测量面及特殊形状的尺架, 用于测量管材壁厚的外径千分尺, 称为壁厚千分尺。它分为 I 型和 II 型两种。其结构如图2-26所示。

壁厚千分尺的测量范围为0mm~25mm, II型壁厚千分尺的球面测砧有两种:  $\Phi 3.8\text{mm}$ 和 $\Phi 4.8\text{mm}$ 。

I型壁厚千分尺的示值误差为 $\pm 4 \mu\text{m}$ ; II型壁厚千分尺的示值误差为 $\pm 8 \mu\text{m}$ 。

壁厚千分尺专门用于测量管子的壁厚尺寸。II型壁厚千分尺能测量管的内径大于3.8mm、壁厚尺寸小于或等于25mm的管子; I型壁厚千分尺只能测量壁厚小于或等于25mm的管子。被测量管子的内壁和外表面的表面粗糙度值不得大于  $Ra0.160 \mu\text{m}$ 。

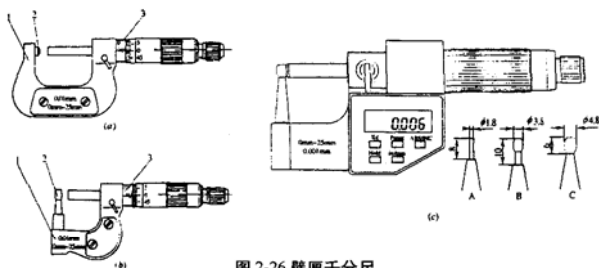


图2-26 壁厚千分尺

(a) I型; (b) II型; (c) 数显式。

1—尺架; 2—测砧; 3—测微头。

图 2-27 是正确或错误使用壁厚千分尺的示例。错误的使用方法会产生测量误差  $\delta$ 。壁厚千分尺也可以作为外径千分尺使用。

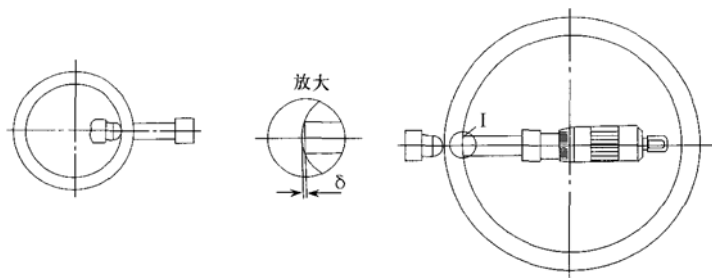


图 2-27 壁厚千分尺的应用示例

(a) 正确；(b) 错误。

## 12. 半径样板

在压力容器制造现场，常用半径样板检验角焊缝截面的圆弧形状等。

带有一组准确内、外圆弧半径尺寸的薄板，用于检验圆弧半径的测量器具，称为半径样板，又称为 R 规。成组（套）半径样板由凸形样板和凹形样板组成，其结构如图 2-28 所示。

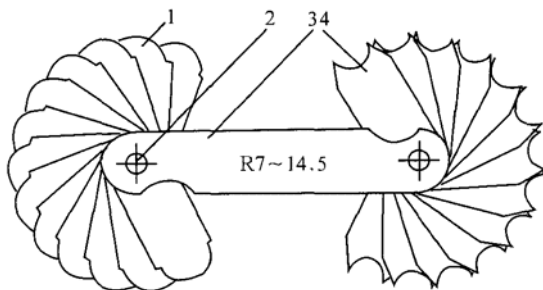


图 2-28 半径样板

1—凸形样板；2—螺钉或铆钉；3—保护板；4—凹形样板。

半径样板是用比较法检验圆弧工件的,半径样板是比较标准,检验时,是根据光隙大小来判断被检验工件的圆弧半径是否合格。

使用前要检查样板:所有测量面和非测量面应平整,不应有凸凹弯曲现象,不得有锈蚀、毛刺和碰伤等影响使用性能的缺陷。样板与保护板绕轴心平滑地转动,不应有卡住或松动现象。在保护板上应清晰标明样板的尺寸(半径)范围,每片样板上应标明产品名称及半径尺寸,如果标的半径尺寸看不清楚,则不要使用。

使用半径样板检验有两种方法:当已知被检验工件的圆弧部分的曲面半径尺寸时,则选取相应的半径尺寸的样板去检验;如果事前不知道被检验工件的圆弧部分的曲面半径尺寸,则采用试测法去检验。即首先目测被检验工件圆弧部分的曲面半径尺寸的大小,据目测结果选择一片样板去试测。经过试测,如果样板的测量面与被检验工件圆弧部分的曲面吻合,则此样板的半径尺寸就是被检验工件圆弧部分的曲面半径尺寸;如果样板的测量面与被检验工件圆弧部分的曲面不吻合,则说明此样板的半径与被检验工件圆弧部分的曲面半径不一致,则再换一片样板去测量,直至样板的测量面与被检验曲面吻合为止。

半径样板是一种以比较法进行检验的工具,比较中是根据样板的测量面与被检验曲面之间的光隙来判定被检验曲面合格与否。

### 13. 卡钳

卡钳是压力容器制造现场中最常用的量具之一。

根据用途把卡钳分为外卡钳和内卡钳,前者用于测量外尺寸,后者用于测量内尺寸;根据构造,把卡钳分为紧轴式卡钳和弹簧式卡钳两种,生产中用得最多的是紧轴式卡钳,其构造如图 2-29 所示。数显式卡钳可显示 mm,也可以显示 in(英寸),即公制(mm)和英制(in)两用。

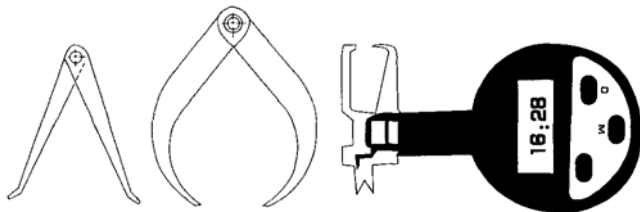


图 2-29 卡钳

(a) 内卡钳; (b) 外卡钳; (c) 数显式卡钳。

卡钳的两个爪的爪尖应该是圆弧形的，特别是内卡钳必须是这样，因为它测量孔径时，爪的爪尖与孔壁是点接触，这样在摆动钳口时，爪的两侧不会与孔壁相碰而发生干涉。两个爪一般均制成片状的。

在测量工作中，凡不宜用游标卡尺、金属直尺和钢卷尺进行测量的，或者用这些量具测量不方便的，均可用卡钳去测量，例如测量锻件毛坯和工件等。如果使用时掌握得好，用卡钳测量的精度不低于游标卡尺的测量精度。

卡钳是没有刻度的一种测量工具，因此，它要与金属直尺、游标卡尺或千分尺等量具联合使用才能获得测量结果的具体数值。图2-30是卡钳应用示例，图2-31是千分尺校对卡钳尺寸示例。

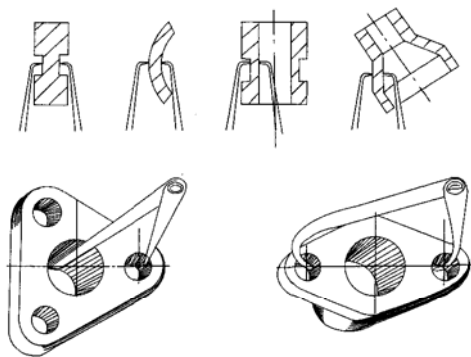


图2-30 卡钳的应用示例  
(a)、(c) 外卡钳的应用；(b) 内卡钳的应用。

被测件是未经过切削加工过的锻件毛坯，表面比较粗糙，用卡钳测量是合理的。

卡钳的使用方法如下：

使用内卡钳的方法：用右手的拇指和食指轻轻地捏住卡钳轴销的两头，将卡钳的两个量爪（斜着）送入孔内，然后使一个量爪的爪尖与孔壁接触，另一个量爪在径向平面内左右轻轻摆动，并调整量爪，一直找到最大值为止。

使用外卡钳的方法：右手的中指从卡钳的两个量爪之间挑起卡钳，拇指与食指撑住卡钳的轴销两头，借助于自身的重量使两个量爪滑过被测表面。

使用大卡钳时，要用两只手操作，右手握住卡钳轴销的两头，左手扶住卡钳的一只量爪进行测量。

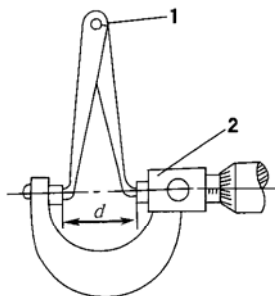


图 2-31 用千分尺校对卡钳尺寸示意图

1—卡钳；2—千分尺。

在测量中，卡钳量爪尖与被测表面的接触情况，是凭手的感觉来判断的。只要手有轻微感觉即可，不宜过松，也不要用力使劲卡卡钳。

用卡钳来量取尺寸有两种方法：一是加工之前按图样标注的尺寸调整好卡钳两量爪测量面之间的距离，在加工过程中用已调整好的卡钳去试卡被测部位，直至使卡钳的两测量面轻轻划过被测表面即算加工合格。例如，在粗车和半精车工件外圆时，往往用这种方法。另一种方法是，先用卡钳去卡被测件（见图 2-30），然后再用千分尺或金属直尺测量卡钳，得到测量结果。

使用卡钳时应注意：测量好尺寸后的卡钳要轻拿轻放，防止尺寸变化，轴销松动后应及时修好再用。

使用卡钳测量结果的精度，与使用卡钳的经验有关，因为是凭手的感觉判定卡钳量爪与工件被测表面的接触情况。为了提高测量精度，应多练习操作卡钳，积累经验。

#### 14. 焊接检验尺

在压力容器制造现场，焊接检验尺是用于测量焊制压力容器焊接接头部位的外形尺寸的量具。由于结构紧凑，一尺多用，使用方便，很适用于压力容器检验人员使用。

焊接检验尺是由主尺、活动尺、游标尺、测角尺等组成，见图 2-32。

焊接检验尺是一种多功能工具，可作一般金属直尺使用；可测量对接接头错口、坡口角度、间隙尺寸；可测量对接焊接接头焊缝高度、焊缝宽度、错边量、焊缝咬边深度及角焊缝高度等，具体使用方法见图 2-33 至 2-42。

使用中测量以 mm 为计量单位的尺寸时，测值可直接从主尺上读出。测量角度时，测量结果可用  $90^{\circ}(+)$  或  $90^{\circ}(-)$  的测值求得。

目前，焊接检验尺有 30 型和 40 型两种。两者的构造和功能基本相同。40 型是在 30 型的基础上做了改进，增加了测量功能，扩大了测量范围。本书以 40 型焊接检验尺为例，介绍

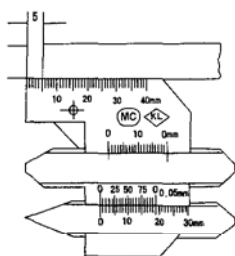


图 2-33 作一般金属直尺使用

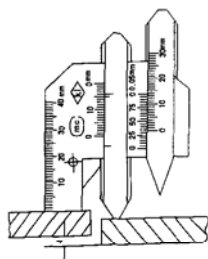


图 2-34 测量错口

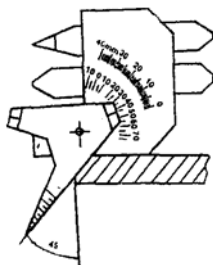


图 2-35 测量坡口角度

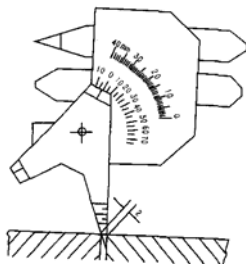


图 2-36 测量间隙尺寸

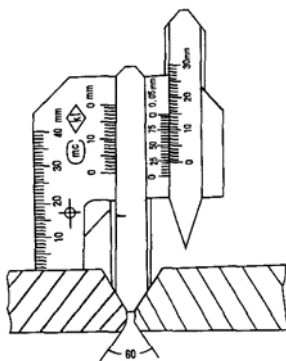


图 2-37-1 测量对接焊缝  
X 型坡口角度  $60^\circ$

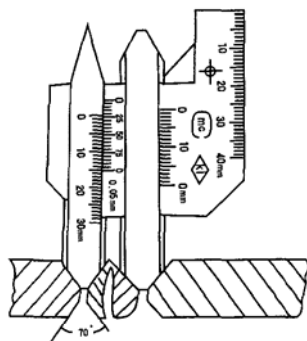


图 2-37-2 测量对接焊缝  
X 型坡口角度  $70^\circ$



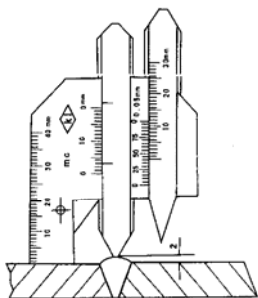


图 2-38-1 测量焊缝高度 (对接)

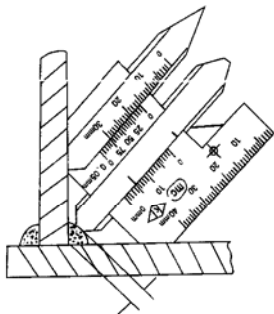


图 2-38-2 测量焊缝高度 (角接)

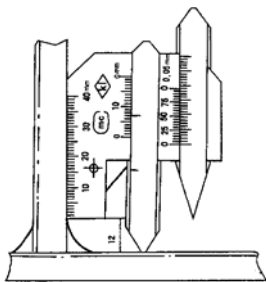


图 2-39 测量角焊缝高度

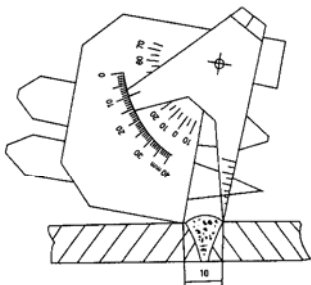


图 2-40 测量焊缝宽度

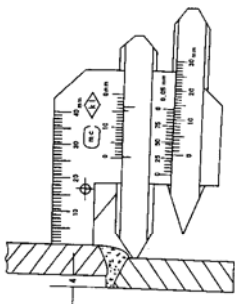


图 2-41 测量坡口错边量

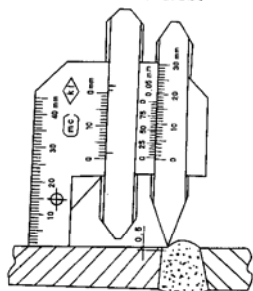


图 2-42 测量焊缝咬边深度

## 15. 压力容器检验用样板

具有与工件轮廓相反的测量边,测量时将测量边与工件轮廓面相对合,根据两者之间的间隙来决定其精度的一种检验工件轮廓的检具称为样板。

样板是单极限量规,它是非标准量具,可以根据被检验轮廓的形状和精度要求设计、制造。在机械制造中,由于样板的用途很广、用量很大。小的样板只有几毫米大,如小半径样板;大的样板有几米长,例如压力容器制造现场用于检验公称直径为 $\Phi 6000\text{mm}$ 的大型封头截面形状用样板。

样板的形状是各式各样的,无论形状如何,设计、制造样板时,要根据下述原则确定样板的型面(测量面)形状。

当被检验面是平面的,样板的型面应该尽量采用刀口形的(见图2-43(a)、(b));刀口圆弧半径 $R=0.2\text{mm}$ ,其表面粗糙度 $R_a$ 值根据样板大小及用途而定。

当被检验面是圆柱面、圆弧面或刀口时,样板的型面应该是平面的。(见图2-43(c))。

适当的样板型面在检验时,样板测量面与被检验面之间形成线接触,当接触有间隙时易于形成光隙。

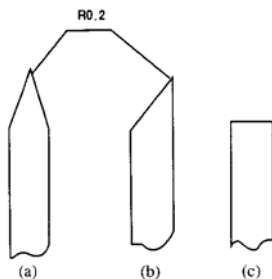


图 2-43 样板常用型面

使用样板检验,具有操作方便,简单易行,效率较高,能同时检验尺寸、形状和位置误差等优点。而且压力容器及零部件形状和几何尺寸检验用样板的制造也比较简单、容易。

样板可用不锈钢板、钢板、胶合板、样板铁皮等制成。检验压力容器部件的形状和尺寸是否符合图纸设计要求,所用样板的形状和尺寸应预先按照设计图样的1:1比例和形状来制作,样板虽然未列入国家的检具检定系统,但是为避免使用过程中的磨损和变形而影响测量结果,也应对样板进行周期检定。

使用尺寸和形状均经检定合格的样板对压力容器部件进行尺寸和形状的检验。

下面对压力容器制造现场检验常用样板进行介绍。

## (1) B类焊接接头检验样板

压力容器筒体的B类焊接接头的对口错边量、焊缝余高等可以用焊接检测尺检验、测量。

因尺寸和结构原因,用焊接检测尺无法进行检测时,则要采用B类焊接接头检验样板,见图2-44。

该样板的上下二个平行面A、B作为测量基准。检测时,B面与工作表面紧贴,A面作为测量面,并配合深度游标卡尺(或I型卡尺)、金属直尺或钢卷尺进行检测。见图2-45。

## (2) A类焊接接头检验样板

A类焊接接头检验样板用于检验和测量筒体A类焊接接头的对口错边量、焊缝余高等。A类焊接接头检验样板又分为外弓形样板和内弓形样板两种,见图2-46。

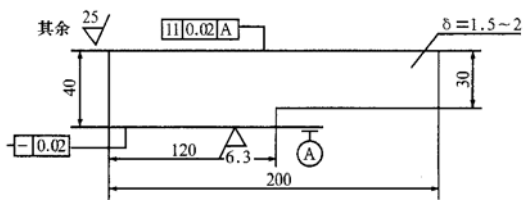


图 2-44 B 类焊接接头检验样板

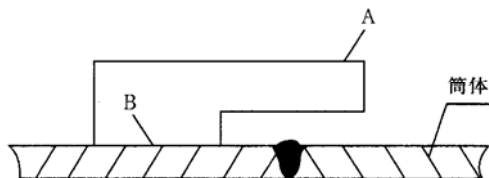


图 2-45 利用 B 类焊接接头样板检查 B 类焊接接头

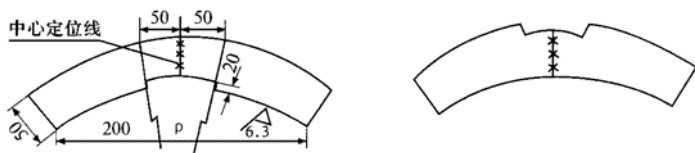


图 2-46 A 类焊接接头检验样板

(a) 外弓形样板; (b) 内弓形样板;

测量焊接接头的对口错边量时,应将样板的中心定位线对准焊缝中心,用深度游标卡尺在焊缝边缘处测量样板外缘到筒体表面的距离,两侧之差即为错边量。

### (3) 焊接接头环向棱角检验样板

在焊接接头环向形成的棱角E用弦长等于  $1/6Di$  且不小于 300mm 的内样板和外样板检验、测量,见图 2-47 和图 2-48。

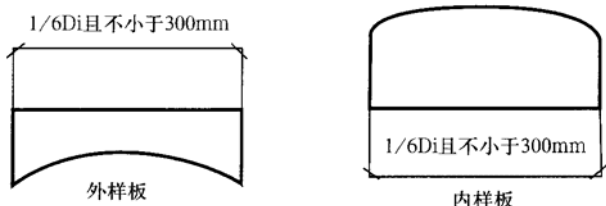


图 2-47 焊接接头环向棱角检验样板

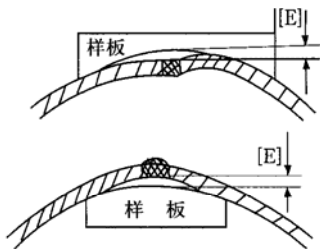


图 2-48 用样板检验示意图

棱角向内壁凸出,用外样板检测;棱角向外壁凸出,用内样板检测。

### (4) 封头间隙样板

封头间隙样板是采用弦长相当于封头内直径的间隙样板检验和测量封头的内表面形状公差,见图 2-49。

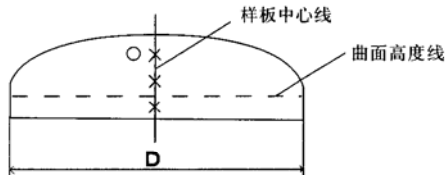


图 2-49 封头间隙样板

检查时应使样板垂直于待测表面，并且使封头样板中心线的O点与被检封头的中心点对准，重合。见图2-50。

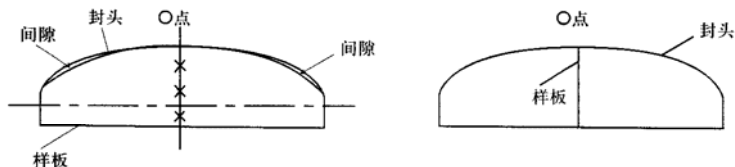


图 2-50 封头间隙样板使用方法示意图

在“JB/T4746-2002 钢制压力容器用封头”标准中使用了“间隙样板”的称谓，其含义是间隙样板弦长“相当于”封头内直径用来检查封头内表面的形状公差。这里关键是对“相当”的理解。我们把间隙样板的直径设定为D，使D等于封头标准内直径减去封头内直径允许公差，即 $D=D_i-4$ 做为“相当”标准内直径轮廓线与检测面接触，进行检查测量。

当封头被测表面外凸时，如果用间隙样板进行检查，只要直接用样板进行测量(D处)或测量值减去40mm(d处)即是外凸间隙值。但对于内凸，将会使样板被垫起或放不稳不易测量内凸值。为此可将样板向内缩小40mm，即 $d=D-40$ 划出轮廓线做为测量基准。用40mm减去测量值即为被测面内凸值。

间隙样板结构和使用示意如图2-51。

△间隙样板制做时的轮廓曲线线性极限偏差按GB/T1804-2004m级。

△使用间隙样板时应使样板垂直于被测表面；样板心线与被测面中心垂直。

注1：φ600~φ6000封头内直径公差最大为 $(-4\sim+6)$ mm，故 $D=D_i-4$ 做为间隙样板直径。

注2：封头内凸允差为 $0.625\%D_i$ ，按 $D_i=6000$ ，则内凸允差为37.5mm，圆整后选40mm做为样板轮廓间隙。

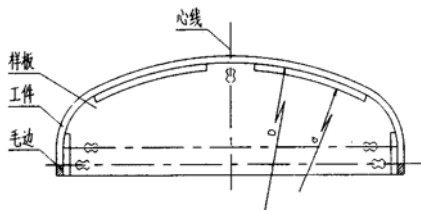


图 2-51 间隙样板的结构和使用方法示意图

## (5) 筒体圆弧样板

筒体圆弧样板用于筒体卷圆时，检查筒体的圆度。

筒体圆弧样板一般都采用内样板，即样板的外圆直径与筒体的内直径相同。

## (6) 球壳板样板

采用球壳板样板测量球壳板曲率偏差，当球壳板弦长大于或等于2000mm时，样板弦长不得小于2000mm；当球壳板弦长小于2000mm时，样板弦长不得小于球壳板的弦长。

A面为球壳板样板的测量基准，A面的曲率半径等于球壳板的曲率半径。见图2-52。

样板弦长

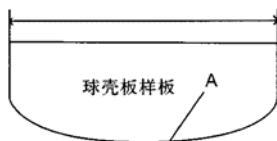


图 2-52 球壳板样板

测量时，球壳板样板应与被检测面垂直，用钢板尺或钢卷尺测量样板与球壳板之间间隙。见图2-53。

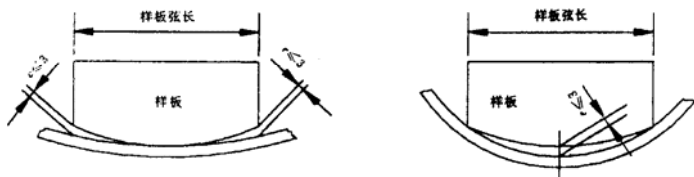


图 2-53 球壳板样板使用方法

## 16. 超声测厚仪

采用数字直读式超声测厚仪对压力容器板材、封头、筒体和接管厚度进行超声测定。

## (1) 几种常用材料的声速范围

几种常用材料的声速范围，见表2-18。使用时，如有必要，应对材料进行实际声速测定。

表 2-18 几种常用材料的声速 m/s

材料名称	铝	钢	不锈钢	铜	钴	钛	锌	铅	铸铁
纵波声速	6300	5900	5800	4700	4310	6240	4170	2170	3500~5600

(2) 仪器及探头

1) 超声测厚仪的精度应达到 $\pm (T\%+0.1)$  mm, T为壁厚。

2) 超声测厚仪通常采用直接接触式单晶直探头,也可采用带延迟块的单晶直探头和双晶直探头。

(3) 高温试件的壁厚测定需用特殊高温探头。

(4) 校正试块

1) 试块的基本要求和尺寸见图 2-54。

2) 测定曲面工件厚度时,应使用同一曲率的试块,或者对平面试块加以修正。

(5) 耦合剂

应根据被测件的表面状况及声阻抗,选用无气泡、粘度适宜的耦合剂,如甘油、机油、硅胶、水玻璃和浆糊等。若工件表面粗糙,应用细砂纸打磨,去掉表面氧化层后再测,对表面不存在如氧化层或其他影响准确性的附着物的粗糙表面,则应选择比较稠的耦合剂。

(6) 仪器校正

1) 采用台阶试块,分别在厚度接近待测厚度的最大值和待测厚度的最小值(或待测厚度最大值的 1/2) 进行校正。

2) 将探头置于较厚试块上,调整“声速校正”旋钮,使测厚仪显示读数接近已知值。

3) 将探头置于较薄的试块上,调整“零位校正”旋钮,使测厚仪显示读数接近已知值。

4) 反复调整,使量程的高低两端都得到正确读数,仪器即告调试完毕。

5) 若已知材料声速,则可预先调好声速值,然后在仪器附带的试块上,调节“零位校正”旋钮,使仪器显示为试块的厚度,仪器即调试完毕。

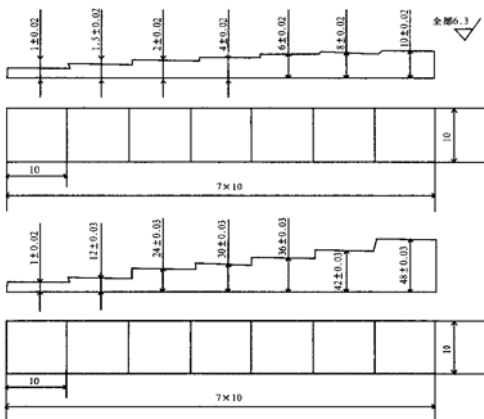


图 2-54 试块

## 17. 水准仪

### (1) 水准仪的定义及分类

测量两点间高程差的仪器，称为水准仪。主要由望远镜、水准器(或补偿器)和基座三部分组成。

水准仪按构造分：定镜水准仪、转镜水准仪、微倾水准仪、自动安平水准仪。按其所能达到的精度分为DS05、DS1、DS3及DS10等几种等级(“DS”表示“大地测量水准仪”，“05、1、3、……”分别为该类仪器以毫米为单位表示的每公里水准测量高差中数的偶然中误差)。

工程测量时，压力容器检验中常用DS3型微倾式水准仪测量压力容器现场安装的标高测量和基础沉降测量等。

### (2) 水准仪的结构及原理

DS3型微倾式水准仪的结构如图2-55所示，仪器的上部有望远镜、水准管、水准管气泡观察窗、圆水准器、目镜及物镜对光螺旋、制动螺旋、微动及微倾螺旋等。

仪器竖轴与仪器基座相连，望远镜和水准管连成一个整体，转动微倾螺旋可以调节水准管连同望远镜一起相对于支架作上下微小转动，使水准管气泡居中，从而使望远镜视线精确水平，由于用微倾螺旋使望远镜上、下倾斜有一定限度，可先调整脚螺旋使圆水准器气泡居中，粗略定平仪器。

整个仪器的上部可以绕仪器竖轴在水平方向旋转，水平制动螺旋和微动螺旋用于控制望远镜在水平方向转动，松开制动螺旋，望远镜可在水平方向任意转动，只有当拧紧制动螺旋后，微动螺旋才能使望远镜在水平方向上作微小转动，以精确瞄准目标。

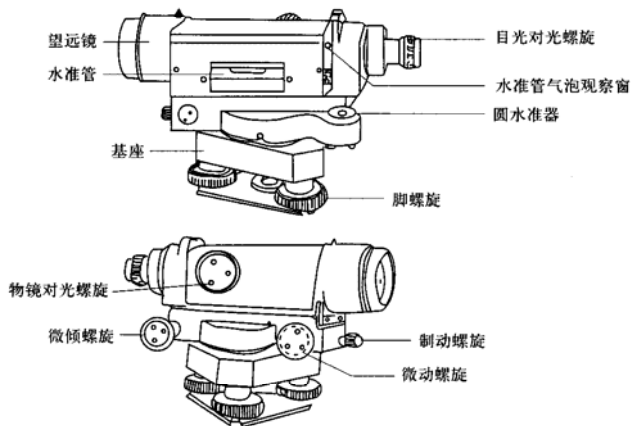


图 2-55 DS3 型微倾式水准仪结构图



## 1) 望远镜

望远镜是用来精确瞄准远处目标和提供水平视线进行读数的设备。它主要由物镜、目镜、调焦透镜及十字丝分划板等组成。从目镜中看到的经过放大后的十字丝分划板上的像。十字丝分划板是用来准确瞄准目标用的。如图 2-56 所示，中间一根长横丝称为中丝，与之垂直的一根丝称为竖丝，在中丝上下对称的两根与中丝平行的短横丝称为上、下丝（又称观距丝）。在水准测量时，用中丝在水准尺上进行前、后视读数，用以计算高差，用上、下丝在水准尺上读数，用以计算水准仪至水准尺的距离（视距）。用望远镜瞄准目标或在水准尺上读数，均以十字丝的交点为准。

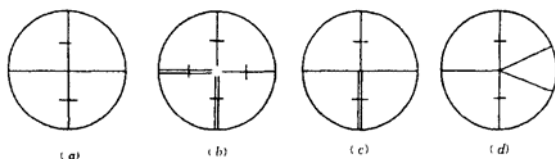


图 2-56 十字丝分划板示意图

## 2) 水准器

水准器是用来指示视准轴是否水平或仪器竖轴是否竖直的装置。水准器分为圆水准器和管水准器两种。圆水准器装在基座上，供粗略整平之用，如图 2-57(a)所示；管水准器装在望远镜旁，供精确整平视准轴之用，如图 2-57(b)所示。

### ① 圆水准器

圆水准器是一个玻璃圆盒，圆盒内装有化学液体，加热密封时留有气泡而成。圆水准器内表面是圆球面，中央画一小圆，其圆心称为圆水准器的零点，过此零点的法线称为圆水准器轴。当气泡中心与零点重合时，即为气泡居中。此时，圆水准轴线位于铅垂位置。也就是说水准仪竖轴处于铅垂位置，仪器达到基本水平状态。

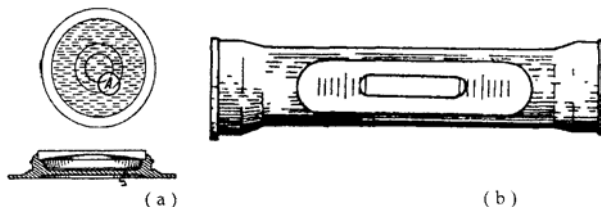


图 2-57 管水准器

### ② 管水准器

管水准器又称水准管,是由一个内壁研磨成圆弧的玻璃管制成的。水准管上一般刻有间隔为2 mm的分划线,分划线的中点O,称为水准管零点。水准管内装有酒精与乙醚的混合液,加热密封而成,中间有一气泡。通过零点作水准管圆弧的切线,称为水准管轴。当气泡两端对称于圆弧上中点O时,气泡即居中,此时水准管轴也就水平了。水准管上每2 mm分划所对应的圆心角,称为水准管分划值。分划值越小,则水准管越灵敏。

为了提高目估水准管气泡居中的精度,微倾式水准仪的水准管上方都装有由三块棱镜组成的复合棱镜系统。如图2-58所示,两个棱镜的侧面所在的平面通过水准管的纵轴线,第三块棱镜为45°的直角棱镜,其底为等腰直角三角形,一个直角面与左右两棱镜的侧面相靠或互相平行。它把水准管两端半个气泡的像,经过三次全反射,进入望远镜旁的放大镜内。如果气泡居中,则气泡两端的两个半边影像即合二为一,如果气泡不居中,则气泡的两个半边影像不符合。

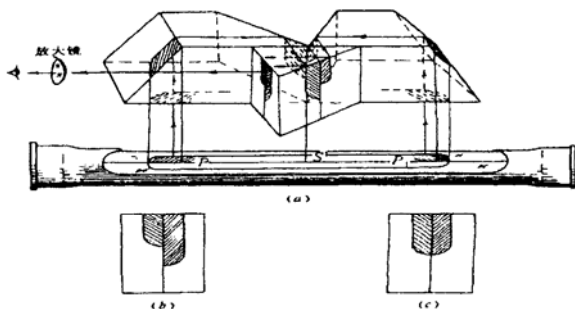


图 2-58 复合棱镜系统

### ③ 基座

基座的作用是支承仪器的上部并通过连接螺旋使仪器与三脚架相连。它包括轴套、脚螺旋、三角形底板等。水准仪一般均采用插袖式三脚基座。与望远镜一体的水准仪竖轴直接插入基座轴套内,并由连接螺丝固定。

水准尺是与水准仪配合进行水准测量的工具。普通水准尺通常用干燥不易变形的木质材料或玻璃钢制成。按其构造不同可分为折尺、塔尺、直尺等数种,如图2-59所示。折尺可以折叠,塔尺可以缩短,但用旧后的接头处容易损坏,影响尺长的精度,所以直尺精度较高,直尺按长度有2 m和3 m两种,塔尺的长度为5 m,尺上的刻划一般1 cm一格,并在分米处注记。为使尺子不弯曲,其横剖面作成丁字型、槽型、工字型等。尺面每隔一厘米涂有黑白或红白相间的分格,每分米有数字注记。为倒象望远镜观测方便起见,注字常倒写。尺子底面

钉以铁片，以防磨损。使用水准尺前一定要认清刻划特点。



图 2-59 水准尺

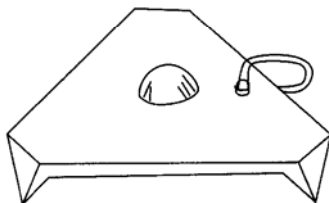


图 2-60 尺垫

在压力容器检验中,常常需要自制精确的专用标尺作为水准尺配合水准仪使用。在检定合格的钢卷尺上截取一段2m或3m长的一段,将此段钢卷尺送到有检定资格的单位按标准重新进行检定。检验合格后,将此段钢卷尺固定在2m或3m长的直尺上,使钢卷尺的零分点和直尺的零分点重合,就可以使用了。

有时两个水准点之间的距离较远或高差较大,直接测定其高差有困难时,应在中间设立若干个中间点(称为转点)传递高差。而尺垫是在转点处放置水准尺用的。尺垫用生铁铸成,如图2-60所示,一般为三角形,中间有一突起的半球体,下方有三个支脚。使用时用力将尺垫的三个支脚踩入土中,以防下沉,上方突起的半球形顶点作为竖立标尺和标志转点之用。

### (3) 水准仪的使用

使用水准仪的基本程序为:安置仪器、粗平、瞄准、精平和读数

使用水准仪时,将仪器装于三脚架上,安置在选好的测站上,三脚架头大致水平,仪器的各种螺旋都调整到适中位置,以便螺旋向两个方向均能转动;用脚螺旋导致圆水准器的气泡居中,称为粗平;放松制动螺旋,水平方向转动望远镜,用准星和照门大致瞄准水准标尺;固定制动螺旋,用微动螺旋使望远镜精确瞄准水准尺;用微倾螺旋使水准管气泡居中,称为精平;最后通过望远镜用十字丝中间的横丝在水准尺上读数。

#### 1) 水准仪的安置

安置水准仪的方法,通常是先将脚架的两条腿取适当位置安置好,然后一手握住第三条腿作前后移动和左右摆动。一手扶住脚架顶部,眼睛注意圆水准器气泡的移动,使之不要偏离中心太远。如果地面比较坚实,如在公路上、城镇中有铺装面的街道上等等可以不用脚踏,如

果地面比较松软则应用脚踏实,使仪器稳定。当地面倾斜较大时,应将三脚架的一个脚安置在倾斜方向上,将另外两个脚安置在与倾斜方向垂直的方向这样可以使仪器比较稳固。

### 2) 粗平

粗平工作是用脚螺旋将圆水准器的气泡导致居中。方法如下:用两手分别以相对方向转动两个脚螺旋,此时气泡移动方向与左手大拇指旋转时的移动方向相同,如图 2-61 (a) 所示。然后再转动第三个脚螺旋使气泡居中,见图 2-61 (b)。实际操作时可以不转动第三个脚螺旋,而以相同方向同样速度转动原来的两个脚螺旋使气泡居中,如图 2-61 (c) 所示。在操作熟练以后,不必将气泡的移动分解为两步,而可以转动两个脚螺旋直接导致气泡居中。

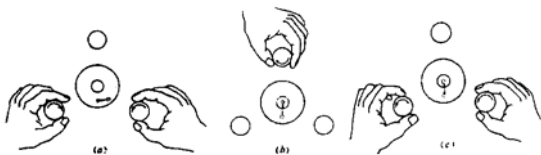


图 2-61 水准仪的粗平操作

### 3) 瞄准

在用望远镜瞄准目标之前,必须先将十字丝调至清晰。瞄准目标应首先使用望远镜面的瞄准器,在基本瞄准水准尺后立即用制动螺旋将仪器制动。若望远镜内已经看到水准尺,但成像不清晰,可以转动调焦螺旋至成像清晰,注意消除视差。最后用微动螺旋转动望远镜使十字丝的竖丝对准水准尺的中间稍偏一点以便读数。

#### 视差及视差的消除

当望远镜瞄准目标后,眼睛在目镜处上下左右作少量的移动,发现十字丝和目标有着相对的运动,这种现象称为视差。测量作业是不允许存在视差的,因为这说明不能判断是否精确地瞄准了目标。

视差产生是因为目标通过物镜之后的像没有与十字丝分划板重合,如图 2-62 (a) 和 2-62 (b) 所示:人眼位于中间位置时,十字丝交点 O 与目标的像 a 点重合,当眼睛略为向上, O 点又与 b 点重合,当眼睛略为向下时, O 点便与 c 点重合了。如果连续使眼睛上下移动,就好像看到 O 点在目标的像上面运动一样。图 2-62 (c) 是没有视差的情况。

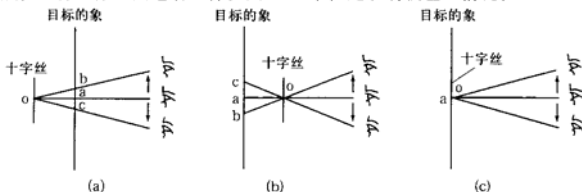


图 2-62 视差的产生和消除示意图

产生视差的因素是未按正确的操作程序调焦,或在目镜调焦看十字丝时眼睛有一个焦距,而转向瞄准目标看目标的像时,眼睛本身自行调焦用了另一个焦距,因而使像和十字丝不在同一个平面上。

消除视差的方法,首先必须按操作程序依次调焦,特别是最后物镜调焦时要控制眼睛本身不作调焦,保持十字丝始终是清晰的。能做到后一点的办法是,无论调节十字丝或目标,都不要使眼睛紧张,而要保持眼睛处于松弛状态。

由于望远镜目镜的出瞳直径约为1.5mm,人眼的瞳孔直径约为2.0mm,所以检查有无视差时,眼睛上下左右移动的距离不宜大于0.5mm,否则会因观察物象不清晰而引起错觉。

#### 4) 精平

读数之前应用微倾螺旋调整水准管气泡居中,如图2-63所示,使视线精确水平。由于气泡的移动有惯性,所以转动微倾螺旋的速度不能快,特别在符合水准器的两端气泡影像将要对齐的时候尤应注意。只有当气泡已经稳定不动而又居中的时候才达到精平的目的。



图 2-63 精平调整示意图



图 2-64 读数示意图

#### 5) 读数

在望远镜视线精确水平后的瞬间,应立即利用中丝在尺上读数。由于尺子在望远镜中的像是倒立像,所以应从上向下读数(即从小数往大数读),如图2-64所示。一般习惯上是报四个数字,即米、分米、厘米、毫米,并且以毫米为单位,例如1.367m或读1367四个字,2.000m或读2000,0.068m或读0068。这对于观测、记录及计算工作都有一定的好处,可以防止不必要的误会和错误。读数完毕后应再检查一下水准管气泡是否仍然居中。

每次读数时水准仪的视线必须是严格水平的。但视准轴是否水平,是根据水准管气泡是否居中来判定的,所以水准仪应首先满足“水准管轴平行于视准轴”这个必要条件。

#### (4) 水准仪的检验与校正

水准仪在检校前,首先应进行视检,其内容包括:顺时针和逆时针旋转望远镜,看竖轴转动是否灵活、均匀;微动螺旋是否可靠;瞄准目标后,再分别转动微倾螺旋和对光螺旋,看

望远镜是否灵敏,有无晃动等现象;望远镜视场中的十字丝及目标能否调节清晰;有无霉斑、灰尘、油迹;脚螺旋或微倾螺旋均匀升降时,圆水准器及管水准器的气泡移动不应有突变现象;仪器的三脚架安放好后,适当用力转动架头时,不应有松动现象。

根据水准测量原理,微倾式水准仪各轴线间应具备的几何关系是:圆水准器轴应平行于仪器竖轴,十字丝的横丝应垂直于仪器竖轴;水准管轴应平行于仪器视准轴。其检验与校正的具体做法如下:

### 1) 圆水准器的检验与校正

目的:使圆水准器轴平行于仪器竖轴,也就是当圆水准器的气泡居中时,仪器的竖轴应处于铅垂状态。

检验方法:首先转动脚螺旋使圆水准气泡居中,然后将仪器旋转 $180^\circ$ 。如果气泡仍居中,说明两轴平行;如果气泡偏移了零点,说明两轴不平行,需校正。

校正方法:拨动圆水准器的校正螺丝使气泡中点退回距零点偏离量的一半。然后转动脚螺旋使气泡居中。检验和校正应反复进行,直至仪器转到任何位置,圆水准气泡始终居中,即位于刻划圈内为止。

### 2) 十字丝横丝的检验与校正

目的:使十字丝横丝垂直于仪器的竖轴。也就是竖轴铅垂时,横丝应水平。

检验方法:整平仪器后,将横丝的一端对准一明显固定点,旋紧制动螺旋后再转动微动螺旋,如果该点始终在横丝上移动,说明十字丝横丝垂直于竖轴。

如果该点离开横丝,说明横丝不水平,需要校正。

校正方法:用螺丝刀松开十字丝环的三个固定螺丝,再转动十字丝环,调整偏移量,直到满足条件为止,最后拧紧该螺丝,上好外罩。

### 3) 管水准器的检验与校正

目的:使水准管轴平行于视准轴,也就是当管水准器气泡居中时,视准轴应处于水平状态。

检验方法:首先在平坦地面上选择相距 $60\sim 80\text{m}$ 左右的A点和B点,在两点放上尺垫或打入木桩,并竖立水准尺,如图2-65所示。然后将水准仪器安置在A、B两点的中间位置C处进行观测,假如水准管轴不平行于视准轴,视线在尺上的读数分别为 $a_1$ 和 $b_1$ ,由于视线的倾斜而产生的读数误差均为 $\Delta$ ,则两点间的高差 $h_{AB}$ 为: $h_{AB}=a_1-b_1$

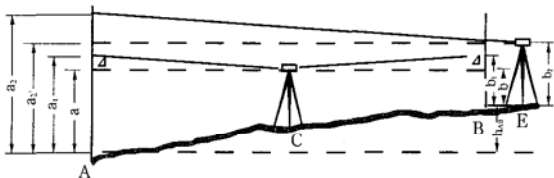


图 2-65 管水准器检校原理图

仪器下沉和尺垫下沉：在土质较松软的地面上进行水准测量时，易引起仪器和尺垫的下沉。由于仪器下沉，使视线降低，而引起高差误差。采用“后、前、前、后”的观测程序，可减弱其影响。如果在转点发生尺垫下沉，将使下一站后视读数增大。采用往返观测，取平均值的方法可以减弱其影响。

地球曲率和大气折光的影响：接近地面的空气温度不均匀，所以空气的密度也不均匀。光线在密度不均的介质中沿曲线传布。这称为“大气折光”。总体上说，白天近地面的大（或空）气温度高，密度低，弯曲的光线凹面向下。接近地面的温度梯度大大气折光的曲率大，由于空气的温度不同时刻不同的地方一直处于变动之中。所以很难描述折光的规律。对策是避免用接近地面的视线工作，尽量抬高视线，用前后视等距的方法进行水准测量。

除了规律性的大气折光以外，还有不规则的部分：白天近地面的空气受热膨胀而上升，较冷的空气下降补充。因此，这里的空气处于频繁的运动之中，开成不规则的湍流。湍流会使视线抖动，从而增加读数误差。对策是夏天中午一般不做水准测量。在沙地，水泥地湍流强的地区，一般只在上午10点之前作水准测量。高精度的水准测量也只在上午10点之前进行。

温度对仪器的影响：温度会引起仪器的部件涨缩，从而可能引起视准轴的构件（物镜，十字丝和调焦镜）相对位置的变化，或者引起视准轴相对与水准管轴位置的变化。由于光学测量仪器是精密仪器，不大的位移量可能使轴线产生几秒偏差，从而使测量结果的误差增大。

不均匀的温度对仪器的性能影响尤其大。例如从前方或后方日光照射水准管，就能使气泡“趋向太阳”——水准管轴的零位置改变了。

温度的变化不仅引起大气折光的变化，而且当烈日照射水准管时，由于水准管本身和管内液体温度升高，气泡向着温度高的方向移动，影响仪器水平，产生气泡居中误差，观测时应注意撑伞遮阳。

#### （6）水准仪使用注意事项

- 1) 水准仪是精密仪器，使用时应轻拿轻放，认真维护保养，并进行周期检定。
- 2) 水准测量过程中应尽量用目估或步测保持前、后视距基本相等来消除或减弱水准管轴不平行于视准轴所产生的误差，同时选择适当观测时间，限制视线长度和高度来减少折光的影响。
- 3) 仪器脚架要踩牢，观测速度要快，以减少仪器下沉。
- 4) 估数要准确，读数时要仔细对光，消除视差，必须使水准管气泡居中，读完以后，再检查气泡是否居中。
- 5) 经常检查水准尺，扶尺人要身体站正，双手扶尺，保证扶尺竖直。
- 6) 记录要原始，当场填写清楚，在记错或算错时，应在错字上划一斜线，将正确数字写在错数上方。
- 7) 读数时，记录员要复诵，以便核对，并按记录格式填写，字迹要整齐、清楚，端正。所有计算成果必须经校核后才能使用。

## (2) 光学经纬仪

光学经纬仪常见型号有：广州科力达仪器有限公司生产的DJ6系列；南京光学仪器厂生产的DJ6-1、DJ6-1系列；苏州一光学仪器有限公司生产的J2系列等。

表 2-19 常见经纬仪测量精度

测量项目	偏差值 (″)	
	I	II
一回测量水平方向标准偏差值	± 2	± 6
一回测量垂直方向标准偏差值	± 6	± 10

## 1) 用途

经纬仪用“″”(秒)作为仪器测量精度的表征。常见经纬仪测量精度如表 2-19；光学经纬仪可用于工程、设备安装、道路、桥梁的直线、平面、角度及高度的测量。

表 2-20 两种经纬仪的主要技术参数

	DJ6-1	DJ6-2
放大倍率	25.9*	28*
物镜有效孔径	36mm	40mm
视场角	1° 30′	1° 20′
最短视距	1.5m	2m
视距乘常数	100	100.
视距加倍数	0	0

## 2) 主要技术参数 (以 DJ6-1、DJ6-2 为例) 见表 2-20

## ① 望远镜

## ② 读数显微镜 (带尺读数)

度盘最小分度值：1°

分划尺最小分划值：1′

分划尺估读：1″

## ③ 水准泡角值

照准部：30″ /2m

竖直度盘指标：30″ /2m

圆水准泡：8′ /2m

## ④ 光学对中器

放大倍率：(0.85~1.7) \*

视场角：4°

视距：(从架头平面算起) 0.8~1.5m



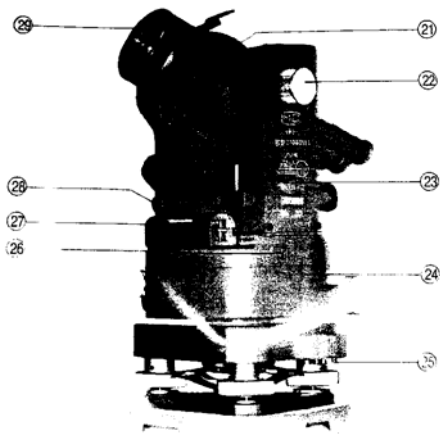


图 2-66 b 外形结构图

#### 4) 使用方法

##### ① 置中

将仪器安装在三脚架上，用中心拉紧螺栓轻轻拧上。

##### A. 测锤对中

将测锤挂在三脚架拉紧螺旋的下挂钩上，先调整三脚架大致对中，再将仪器在三脚架上精细地移动，当测锤对准测站点（三脚架下面标志点）后，将罗栓拧紧。

##### B. 光学仪器对中

对中时将三脚架安装在测站上，并使仪器大致整平，旋转对中目镜 14，看清分划板标志，拉伸目镜看清测站点平移仪器使测站点像与标志中心完全重合。仪器整平后，再精确对中。对中整平重复进行，直至完成。

##### ② 整平

A. 旋转三脚架螺旋 11，使圆水准器 26 的水泡居中。

B.转动照准架使照准部水准器28与任意两个螺旋11的连线平行;以相反的方向旋转两脚螺旋使水准器的水泡居中。如此反复,直到照准架旋转到任意位置,水准器气泡最大偏离都不超过1/4格。

### ③ 照准

松开两个止动手轮12、22,先用粗瞄准器对准目标,锁紧两个止动手轮;转动望远镜头17,看清分划板刻线,消除视差,再调焦,即:转动调焦手轮19,使目标像清晰。然后用竖直微动手轮15和水平微动手轮13使十字丝和目标精确对准。但是要注意,分划板刻线会议目标影像必须同时清晰,即必须消除视差,否则再进行调焦。

### ④ 照明

旋转、倾斜照明反光镜5到适当位置,使显微镜视场获得均匀而明亮的照明。

### ⑤ 读数

读数显微镜视场如图2-67所示。视场上部表示水平(HZ)度盘读数,下部表示竖直(V)度盘读数,它们的全部读数均由三部分组成,先读取度盘的刻度分划,好在分划尺上读取分数值,再估读下面的小数值。

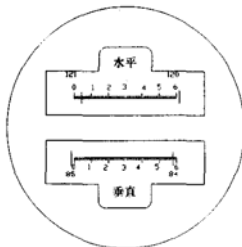


图 2-67 读数显微镜视场图

如图3所示的读数值为: 水平度盘读数为: 121° 04.3'

竖直度盘读数为: 84° 58'

注意,在读取竖直读数之前,转动竖直指标微调螺旋6,使竖直度盘水准泡居中。

### ⑥ 视距测量

望远镜分划板上,有上、下两组段丝,即视距丝,它与标尺配合,可以测得测站点与标尺之间的距离D。

测距公式如下:  $D=100L$

式中: L为视距丝所夹标尺长度; 100为常数。

### ⑦ 水平度盘置换

将度盘变换手轮7推进并转动,便可变换水平度盘的位置直至所需要的度盘位置后松开手轮7,提起保险手柄8。

## 5) 校正

仪器经过长时间使用后,某些部位可能失调,需要进行调整和校正。

## ① 照准部水准器

仔细整平仪器后,旋转照准架到任何位置,若照准部水准气泡最大偏离值超过1/4格值时,可以调整照准部水准器的校正螺丝28。

## ② 园水准器

仪器用照准部整平后,若园水准器的气泡不在圆圈中,可以调节园水准器的三个校正螺丝25,使园水泡居中。

## ③ 望远镜与分划板竖丝的铅垂性及二倍照准差(2C)

仪器整平后,望远镜的十字丝与铅垂线不平行及二倍照准差(2C)超差时,可以旋下护罩18,松开分划板的四个压紧螺钉,旋转分划板座至铅垂。二倍照准差(2C)可调节分划板的四个螺钉。

## ④ 竖直指标差

整平仪器后,用盘左读取竖直度盘读数L,倒像镜用盘右读取竖直度盘读数R,两次读数应对准同一目标,并将竖直指标水准器精确居中。

用公式计算竖指标差*i*:  $i = (L+R) - 360^\circ / 2$

若*i*值超差时,可旋开塞头20,调节指标水准器的校正螺丝。

## ⑤ 脚螺旋及微动螺旋

脚螺旋11及微动螺旋6、13、15,可用拨针插入调节螺母的校正孔内进行调节。

## ⑥ 测量

应用光学经纬仪进行测量时,应该按照各种仪器的说明书的要求进行。在压力容器测量方面多用于水平测量和高度测量,其方法与水平仪相似,由于各生产厂家的产品不完全相同,在这里就不赘述了。

## (3) 光学经纬仪和电子经纬仪的简单对比见表2-21

表2-21 光学经纬仪和电子经纬仪的简单对比

名称	使用地	精度	可靠性	修理	效率	用途	读数	自动化程度	外型
光学经纬仪	国内、外一般地区	人为误差大	一般	光路调节麻烦	一般	常规测量	人工判读	手工记录	普通
电子经纬仪	较发达地区	人为误差少	较高	容易	高	应用面广可配成全站仪	直接显示	自动采集	美观

(4) 几种型号激光电子经纬仪参数见表 2-22

表 2-22 几种激光电子经纬仪技术参数

项目 \ 型号		LT2	LT5	LT2L	LT5L
角度测量	测量方法	光电增量式			
	最小读数	1" / 5"			
	测角精度	± 2"	± 5"	± 2"	± 5"
	度盘直径	79mm			
望远镜	物镜孔径	45mm			
	放大倍率	30*			
	成像	正像			
	视场角	1° 20'			
	最短视距	2			
	视距 + 常数	0			
	视距 * 常数	100			
显示屏		双面			
照明	分划板	有			
	显示屏	有			
激光发射系统	激光管类型	半导体激光			
	激光波长	635nm			
	有效射程 (白天)	200m			
	光斑大小	5mm/100m			
	聚焦时光斑中心与望远镜视准轴偏差	≤ 5"			

(5) 电子经纬仪外型见图 2-68

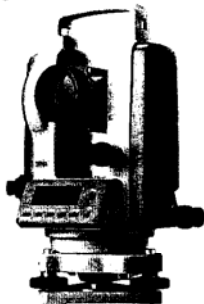


图 2-68 电子经纬仪外形图

## (6) 全站仪外型

全站仪在压力容器制造中,用来测量判定压力容器的几何尺寸、水平度、垂直度、相对角度、距离和接管、附件在筒体上的方位、相对距离。全站仪外型见图 2-69。



图 2-69 全站仪外形图

## 1) 结构

主要包括:望远镜物镜、电池盒、粗瞄准仪、垂直止动手轮、垂直微动手轮、通讯口、长水准器、液晶显示屏键盘、圆水准器、基座锁紧钮、脚螺旋、望远镜目镜、横轴中心标志、望远镜调焦手轮、激光指示器、外接电源插座、水平微动手轮、水平止动手轮、基座等;

## 2) 测量原理

利用全站仪,测量出对象所处的空间坐标位置,计算出所需要的参数。通过开发机载软件,简化计算步骤,只要选定、照准测量对象,直接测量得出精确的数值。

## 3) 使用方法

① 直线度测量如图 2-70 所示:

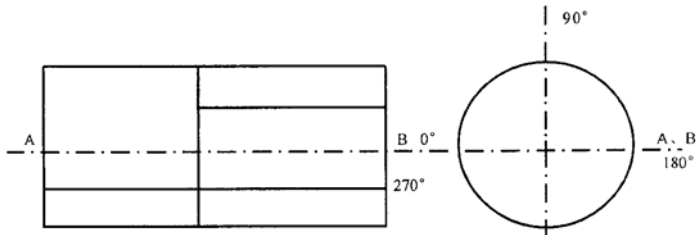


图 2-70 用全站仪进行直线度测量

将全站仪摆放在靠近  $180^\circ$  线侧, 依次测量 AB 点间的任意点, 设备旋转  $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$ , 按同样的方法, 进行测量, 即可得到设备的直线度;

② 轴线测量如图 2-71 所示:

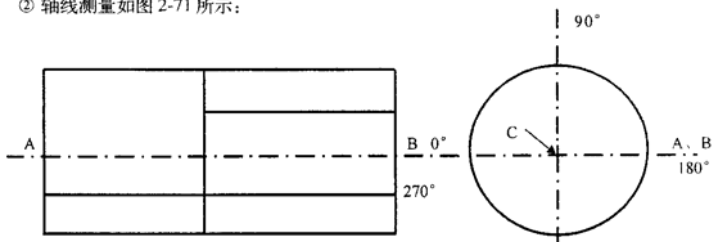


图 2-71 用全站仪进行轴线测量

将全站仪分别摆放在筒体两端并在靠近端面, 在端面圆周上任意测量三点或三点以上, 设备内部用支架支承, 即可快速找到端面中心 C 点, 利用中心上下、左右移动的关系, 找出设备外部四条心线。为设备开孔找准方位。

③ 角度测量如图 2-72 所示

利用空间坐标系, 分别测量 A、B、C 点的坐标, 计算出  $\angle ABC$  角度和偏心距离 E 的尺寸。

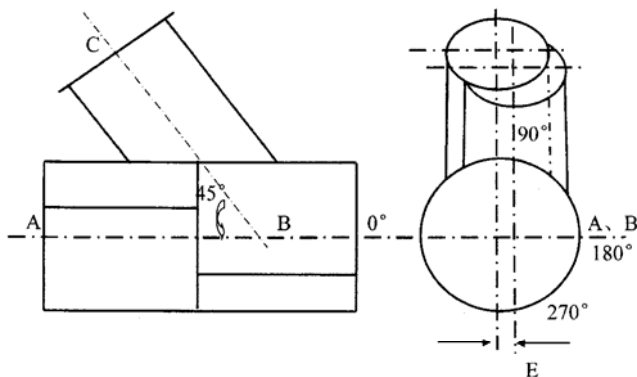


图 2-72 用全站仪进行角度测量

## ④ 任意点所在位置的测量

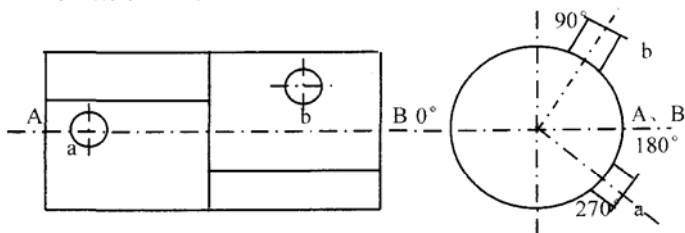


图 2-73 用全站仪进行任意点所在位置的测量

将全站仪摆放在靠近管口 a、b 则，选择基准面（或基准线），测量出 a、b 两点相对于基准面（或基准线）的角度、距离；

这种测量方法，可以测量筒体上的任意点相对于基准面（或基准线）所在位置的角度、距离。即各管口、附件在筒体上的方位、标高。

## ⑤ 平面角度测量如图 2-74 所示

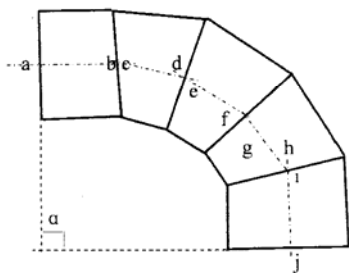


图 2-74 用全站仪进行平面角度测量

通过测量中线 ab\cd\ef 等，得出相邻筒节的夹角。或者测量中线 ab、ij，得出  $\alpha$  角的数值。这种测量方法，可以测量筒体与筒体组对时相对筒节的中心线偏心角度。

## ⑥ 塔类设备安装垂直度测量见图 2-75

将全站仪摆放在距离所安装设备的任意一侧，选择设备对应的两条母线 AB、CD， $0^\circ$ 、 $180^\circ$  或  $90^\circ$ 、 $270^\circ$  线，在母线 AB、CD 上任意选择数点，测量其相对 A 点或 C 点的数值；仪器移动大约  $90^\circ$ ，按上述顺序测量另外两条母线数值，通过计算，即可得出塔类设备安装的垂直度。

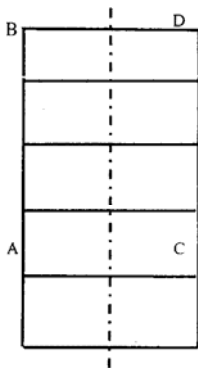


图 2-75 用全站仪进行塔类设备安装垂直度测量

(7) 激光经纬仪外形见图 2-76

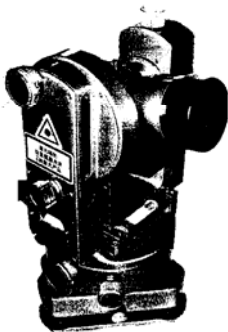


图 2-76 激光经纬仪外形图

#### 19. 内径表

(1) 内径表由指示表(百分表或千分表)和带有杠杆传动或线性传动机构的表架组成,是一种将测量元件的直线位移转换成指针角位移或数值量值的计量器具。测量时,被测元件的直径变化使活动测头产生的直线位移通过传动杠杆等元件转换成指示表的指针角位移或数值量值,从而在百分表或千分表上读出被测元件直径数值。内径表主要用于比较法测量工件的内尺寸(孔内径等)。



(2) 按其结构分定位护桥(杠杆式或滚道式)、涨簧式和钢球式三种。其外形示意图分别见图 2-77、2-78、2-79。

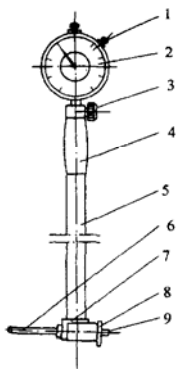


图2-77 带定位护桥内径表

- 1—制动器；2—指示表；  
3—锁紧装置；4—手柄；  
5—直管；6—可换测头；  
7—主体；8—定位护桥；  
9—活动测头

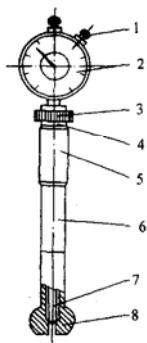


图2-78 涨簧式内径表

- 1—制动器；2—指示表；  
3—锁紧螺母；4—卡簧；  
5—手柄；6—接杆；  
7—顶杆；8—涨簧测头

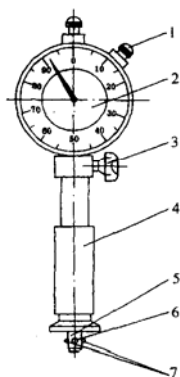


图2-79 钢球式内径表

- 1—制动器；2—指示表；  
3—锁紧装置；4—手柄；  
5—钢球测头；6—定位钢球；  
7—测量钢球

### (3) 主要技术参数

1) 带定位护桥的内径百分表主要技术参数见表2-23。

表 2-23 带定位护桥的内径百分表主要技术参数

测量范围 $\Phi$ /mm	工作行程 mm	活动测头的 侧力 N	定位护桥的 接触压力 N	示值误差 $\mu$ m	相邻误差 $\mu$ m	定心误差 $\mu$ m	示值变动 $\mu$ m
6, 10	0.6	2, 4	4, 8	15	8	3.0	3.0
10, 18	0.8			20	8		
18, 35	1.0	2, 6	6, 10	25	8		
35, 50	1.2						
50, 100	1.6	3, 7	8, 10				
100, 160							
160, 450							

2) 涨簧式内径百分表涨簧测头主要技术参数见表2-24

表 2-24 涨簧式内径百分表涨簧测头主要技术参数

测量范围 $\Phi$ /mm	工作行程 mm	涨簧测头 的侧力	示值误差 $\mu$ m	相邻误差 $\mu$ m	定心误差 $\mu$ m	示值变动 $\mu$ m
2.0, 4.0	0.3	0.5, 2.5	12	8	3.0	3.0
4.0, 10	0.6	1.5, 3.5	15	8		
10, 20	1.2	2, 4	20	8		

3) 钢球式内径百分表测量钢球主要技术参数见表2-25

表 2-25 钢球式内径百分表测量钢球主要技术参数

测量范围 $\Phi$ /mm		工作行程 mm	测量钢的 侧力 N	定心误差 $\mu$ m	示值变动 $\mu$ m	测量范围 $\Phi$ /mm	示值误差 $\mu$ m	相邻误差 $\mu$ m
A 系列	B 系列							
2.0, 2.5	2.0, 3.0	0.15	0.5, 2.0	3.0	3.0	2.0, 4.0	10	6
2.5, 3.5	3.0, 4.0	0.30	0.8, 2.5					
3.5, 5.0	4.0, 6.0	0.60	1.0, 3.5			4.0, 10	12	8
5.0, 10	6.0, 10	0.80	1.5, 4.0					
10, 18	10, 18	1.0	2.5, 4.5			10, 18	15	8

4) 内径千分表主要技术参数见表2-26

表 2-26 内径千分表主要技术参数

测量范围 $\Phi$ /mm	带定位护桥内径千分表			示值误差 $\mu$ m	相邻误差 $\mu$ m	定心误差 $\mu$ m	示值变动 $\mu$ m
	活动测头 工作行程 mm	活动测头 的侧力 N	定位护桥 接触压力 N				
10, 50	$\leq 0.8$	2, 4	4, 6	7	3.5	2.0	1.5
50, 160		3, 5	6, 8				
160, 400		4, 6	7, 11			2.5	

三 未注公差的线性和角度尺寸的公差

按照 GB/T1804-2000, 表 2-27 和表 2-28 列出了一般公差未注公差的线性和角度尺寸的公差, 供压力容器检验人员选用和参照执行。

表 2-27 线性尺寸的极限偏差数值

公差等级	基本尺寸分段, mm							
	0.5~3	>3~6	>6~30	>30~120	>120~400	>400~1000	>1000~2000	>2000~4000
精密 f	$\pm 0.05$	$\pm 0.05$	$\pm 0.1$	$\pm 0.15$	$\pm 0.2$	$\pm 0.3$	$\pm 0.5$	—
中等 m	$\pm 0.1$	$\pm 0.1$	$\pm 0.2$	$\pm 0.3$	$\pm 0.5$	$\pm 0.8$	$\pm 1.2$	$\pm 2$
粗糙 c	$\pm 0.2$	$\pm 0.3$	$\pm 0.5$	$\pm 0.8$	$\pm 1.2$	$\pm 2$	$\pm 3$	$\pm 4$
最粗 v	—	$\pm 0.5$	$\pm 1$	$\pm 1.5$	$\pm 2.5$	$\pm 4$	$\pm 6$	$\pm 8$

表 2-28 角度尺寸的极限偏差数值

公差等级	长度分段, mm				
	~10	>10~50	>50~120	>120~400	>400
精密 f	$\pm 1^\circ$	$\pm 30'$	$\pm 20'$	$\pm 10'$	$\pm 5'$
中等 m	$\pm 1^\circ$	$\pm 30'$	$\pm 20'$	$\pm 10'$	$\pm 5'$
粗糙 c	$\pm 1^\circ 30'$	$\pm 1^\circ$	$\pm 30'$	$\pm 15'$	$\pm 10'$
最粗 v	$\pm 3^\circ$	$\pm 2^\circ$	$\pm 1^\circ$	$\pm 30'$	$\pm 20'$

GB150-1998 的 10.2.7 条规定：机械加工表面和非机械加工表面的线性尺寸的极限偏差，分别按 GB/T 1804 中的 m 级和 c 级的规定。

#### 四 检具选择案例

选择检具的依据是被测对象的形状和公差值大小。对于压力容器受压元件的线性尺寸检验，一般情况下，检具的示值误差应小于被测工件允许的公差。

案例一：钢制单层卷焊压力容器 A、B 类焊接接头对口错边量 b 的检查。

当对口处钢材厚度为 12mm 时，按照 GB150 的规定，A、B 类焊接接头的对口错边量 b 均为  $b \leq 3\text{mm}$ ，对口错边量 b 的线性尺寸的极限偏差数值为 3mm。

当选用规格为 150mm 的金属直尺进行测量，该金属直尺的允许误差为  $\pm 0.15\text{mm}$ （见表 2-7）。

可以看出，所选用的金属直尺的示值误差小于被测量对象（对口错边量 b）的允许公差 3mm。因此，在此情况下选用规格为 150mm 的金属直尺作为检具是正确的。

如果选用规格为 300mm 和 500mm 的金属直尺进行测量也是可以的。因为他们的允许误差为  $\pm 0.15\text{mm}$ ，均小于被测量对象的允许公差 3mm。

案例二：钢制单层卷焊压力容器筒体直径检查

外径为 1020mm 的圆筒筒体，其外圆周长为 3204.4mm，当公差等级为 C 级时，外圆周长的线性尺寸的极限偏差数值为  $\pm 4\text{mm}$ ，即  $3204.4 \pm 4\text{mm}$ （见表 2-27）。

若选用标称长度为5m的钢卷尺进行外圆周长的测量,该钢卷尺的示值误差为 $\pm 2.5\text{mm}$ (见表2-4)。

可以看出,选用的钢卷尺的示值误差小于被测量对象(圆周长)的允许公差。因此,此种情况下选用标称长度为5m的钢卷尺作为测量器具是正确的。

如果选用标称长度为10m的钢卷尺进行测量也是可以的。因为其示值误差为 $\pm 3.5\text{mm}$ ,小于被测对象的允许公差 $\pm 4\text{mm}$ 。

但是,如果选用标称长度等于或大于15m、20m或30m的钢卷尺进行测量则是错误的。因为这些钢卷尺的示值误差已等于或大于 $\pm 4\text{mm}$ ,分别为 $\pm 4\text{mm}$ 、 $\pm 5\text{mm}$ 和 $\pm 8\text{mm}$ 。

从以上两案例可以看出,在压力容器制造现场进行长度测量时,可以选用在长度与规格方面与被测量对象的长度相近的检具,如金属直尺、钢卷尺等。这样可以保证所选用的检具的示值误差小于被测工件允许公差。甚至于达到检具的示值误差为被测工件允许公差的1/3左右。保证了测量的准确性和测量精度。

## 第三章 材料检验

压力容器的材料选择是压力容器设计过程的重要组成部分。压力容器用材料质量的好坏直接关系到压力容器的安全性能。因此,必须保证用于压力容器的材料符合设计规定的质量要求,压力容器制造单位应建立并严格执行材料检验验收制度,认真开展材料的检验工作,严格按照压力容器法规、标准和设计图样,对所用的材料质量进行验收,确保投入使用的材料合格,杜绝不合格的材料流入生产环节。

压力容器用材料的质量和规格,应符合相应国家法规、标准和设计文件的规定。

压力容器制造过程的材料检验内容有:材料质量证明书审核、实物检验、主要受压元件材料复验、焊材复验、材料标记和标记移植、材料代用程序认可、材料理化检验项目审核。

压力容器用材料主要有:板材、锻件、管材、棒材和焊接材料。

### 一 材料质量证明书审核

材料质量证明书记录了材料的生产地(材料生产单位)、材料制造日期、材料牌号、规格、化学成分、性能、炉批号和供货状态等主要信息,因此对材料质量证明书的审核至关重要。

材料质量证明书审核内容有:材料质量证明书的有效性和符合性、材料生产单位、材料标准代号、材料牌号和规格、炉批号、材料化学成份(熔炼成份)、材料力学性能和弯曲性能、硬度试验和其它检验等。

#### 1. 材料质量证明书有效性审核

(1)压力容器用材料必须具有材料生产单位提供的、盖有材料生产单位检验章的材料质量证明书原件。

(2)从非材料生产单位获得压力容器用材料时,应取得材料质量证明书原件或加盖供材单位检验公章和经办人章的有效复印件。

(3)材料质量证明书应符合相应法规、标准的规定,材料质量证明书的内容必须齐全、清晰。

特别应注意的是,焊条的订货应按照 JB/T4747-2002《压力容器用钢焊条订货技术条件》要求进行。JB/T4747标准在 GB/T983-1995《不锈钢焊条》、GB/T5117-1995《碳钢焊条》和 GB/T5118-1995《低合金钢焊条》的基础上,增加、提高和变更了若干技术要求,因此压力容器用焊条的质量证明书应同时符合 GB/T983、GB/T5117、GB/T5118 和 JB/T4747 标准。

#### 2. 材料标准代号

材料质量证明书中应有材料的标准代号。

应特别注意的是,牌号相同而标准代号不同的材料,其检验项目、要求和用途都有所不

同。如 GB/T8163 的 20 号钢管与 GB6479 的 20 号钢管,通过对二者的化学成份(熔炼成份)中的硫、磷含量和力学性能方面的技术要求分析,可以看出 GB/T8163 的 20 号钢管的技术要求明显低于 GB6479 的 20 号钢管,见表 3-1。

表 3-1 20 号钢管性能对照表

标准代号	材料 牌号	壁厚 (mm)	S (%)	P (%)	拉 伸 试 验			冲击试验	
					$\sigma_b$ (MPa)	$\sigma_s$ (MPa)	$\delta_5$	温度(°C)	Akv(J)
GB/T8163	20	$\leq 16$	$\leq 0.035$	$\leq 0.035$	390~530	$\geq 245$	$\geq 20$	/	/
GB6479	20	$\leq 16$	$\leq 0.020$	$\leq 0.030$	410~550	$\geq 245$	$\geq 24$	-20	18

在使用范围方面:GB/T8163 的 20 号钢管只能用于低、中压( $< 10\text{MPa}$ ),设计温度  $> -20^\circ\text{C} \sim 475^\circ\text{C}$ ,壁厚等于或小于 10mm 范围内;而 GB6479 的 20 号钢管可用于高压( $\geq 10\text{MPa}$ ),设计温度为  $-20^\circ\text{C} \sim 475^\circ\text{C}$ ,壁厚可达 40mm 的范围之内。

### 3. 其它检验项目

其它检验项目是指材料化学成份,力学性能和弯曲性能、硬度试验之外的检验项目。如压力容器用钢管、GB/T8163 和 GB6479 都要求钢管应逐根进行水压试验(供方可按规定采用涡流检测或超声检测代替)和超声检测;工艺性能试验(如压扁试验、扩口试验)等。

## 二 实物检验

压力容器制造单位应按材料质量证明书对材料进行实物检验。实物检验的内容有:材料标志、表面质量、几何尺寸检查。

### 1. 材料标志

核对材料上的钢印标志或其它标志。至少包括:材料的标准代号、材料牌号及规格、炉批号、材料生产单位名称和检验印鉴等。以上标志的内容必须与材料质量证明书内容一致,否则不予验收。

### 2. 表面质量检查

材料的表面质量检查采用外观(目测)检验。对于钢板、钢管、钢锻件,要求材料表面不允许有肉眼可见的裂纹、气泡、结疤、夹层、折叠和夹渣等缺陷。

### 3. 几何尺寸检查

(1) 材料的长度和宽度的检查可用钢卷尺等检具。

(2) 材料的厚度测量选用游标卡尺、板厚千分尺、超声测厚仪等。在测量材料厚度时,一定要按规定正确选择厚度测量点的位置和数量。

如板材,每张板材一般应选五个厚度测量点,见图 3-1。

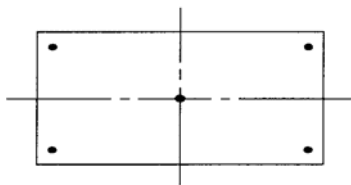


图 3-1 测厚点布局示意图

除一个测量点布置在板材中央之外，其余四个测点均布置在板的四角，距板边缘各50mm处。这样布点的目的是为了测出板材的最小厚度。因为板材是钢锭轧制而成，在轧制过程中，由于轧机的上下轧辊因受力发生弯曲变形，因而轧制的板材是中间较厚而两边较薄。

当材料质量证明书和实物经检验人员检验均符合相应标准和设计图样规定时，该材料判定为合格材料。材料可办理入库手续，并对材料进行建帐、分类、标识，妥善保管。

### 三 主要受压元件材料复验的审核

1. 主要受压元件材料下料之前，检验人员应审核主要受压元件的钢板和锻件是否按规定进行复验。检查复验项目、试样截取和数量、试验项目、合格标准是否正确。

2. 受压元件材料下料之前，检验人员应审核受压元件的材料是否按设计图样或用户要求进行复验。

### 四 焊接材料复验的审核

检验人员在下列压力容器施焊之前，检查焊接材料是否按要求进行复验，复验结果是否符合 JB/T4747 标准要求：

1. 符合 GB150-1998 附录 C 的低温压力容器用焊条；
2. 符合 GB12337-1998 的钢制球形储罐用焊条；
3. 符合 JB/T4780-2002 的液化天然气罐式集装箱的内容器用焊接材料。
4. 其它法规、标准和设计文件规定要求复验的。

### 五 检查材料标记和标记移植

1. 凡制造受压元件的材料应有确认的标记。确认标记的表达方式由制造单位自行规定。

2. 用于制造受压元件材料在分割（或加工）前应进行标记移植。在制造过程中，如原有确认的标记被裁掉或材料分成几块，应于材料分割前完成标记的移植。

3. 对于有防腐要求的不锈钢以及复合钢板制容器的防腐蚀面和低温容器表面不得采用硬印作为材料的确认标记。

4. 检验人员应在材料分割前检查材料标记和标记移植。

## 六 材料代用程序认可

检验人员应对压力容器受压元件材料代用情况进行检查。检查材料代用是否经设计单位同意或向设计单位备案认可。

## 七 材料检验分包项目审核

1. 审核材料检验项目的分包方评价；
2. 审核分包方的资质证明材料；
3. 审核分包项目的质量控制；
4. 审核分包项目是否符合相应材料标准和设计图样要求。



## 第四章 压力容器零部件检验

### 第一节 筒体

筒体由若干筒节组成,是压力容器的主要受压元件。筒体的检验应按照设计文件和相关法规和标准要求进行。

筒体的检验项目至少有:材料检查、表面质量检查、筒体厚度检查、筒体形状和几何尺寸检查、焊缝布置检查、标记检查。

#### 1. 材料检查

筒体材料检查按照第三章要求进行。

#### 2. 表面质量检查

筒体的表面质量检查采用目测方法。

筒体表面不得有腐蚀、裂纹、气泡、结疤、折叠、夹杂、分层和机械损伤;筒体的A、B类焊接接头表面不得有裂纹、咬边、气孔、弧坑和飞溅物。

#### 3. 筒体厚度检查

筒体厚度检查可选用游标卡尺、板厚千分尺、超声测厚仪等。

筒体实测最小厚度不得小于名义厚度减钢板厚度负偏差或设计图样规定的最小厚度。

各筒节的超声测厚点布置见图4-1,图中圆点为测点位置。

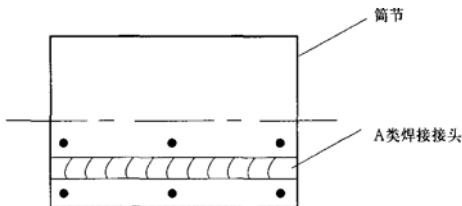


图 4-1 筒节测厚

测点布置在离焊缝边缘50mm处,其中四个测点距板边缘50mm处,二个测点居中。

#### 4. 筒体形状和几何尺寸检查

##### (1) A、B类焊接接头对口错边量检查

A、B类焊接接头对口错边量检查可选用焊接检验尺、A类焊接接头检验样板、B类焊接接头检验样板,并辅以金属直尺、钢卷尺进行。

##### (2) 筒体内径和壳体内径

筒体内径和壳体内径采用钢卷尺测量筒体外周长,然后换算出筒体和壳体内径的办法进行。

### (3) 筒体圆度和壳体圆度

筒体圆度测定是以筒体的端面作为测量基准。测量时筒体应保证足够的刚度或垂直立放,避免因筒体自重弯曲变形造成的测量误差。筒体圆度采用钢卷尺、金属直尺等,在筒体端面测出最大和最小直径之差,即为筒体圆度。

筒体和封头端盖等组焊后通常称为壳体,壳体圆度的测量方法与筒体圆度的测量方法有一些不相同。当壳体是由几个节组焊而成时,壳体圆度的测量可在壳体水平卧式放置的情况下进行,壳体同一横截面上最大内径与最小内径之差即为壳体圆度。壳体圆度测量除用钢卷尺外,也常用自制可伸缩内径测量杆进行测量。

内径测量杆一端是固定的测量头,另一端是可以调节并能读数的测量头。更换接长杆可以适应不同尺寸内径的需要。

检测断面一般应离开壳体 B 类焊缝和人孔接管补强圈两侧边缘 100mm 以外处。

用内径测量杆测量时,先将固定量头一端在检测断面内一点定位,另一可调节端在壳体轴向平面内左右摆动测出最小读数,然后在该点横截面左右摇摆测出最大读数,当该两数值相等时,这就是所测的内直径。

在壳体同一横截面内按上述方法多测几点,即可找出壳体同一横截面内最大内径和最小内径,他们之差即为壳体圆度,见图 4-2。

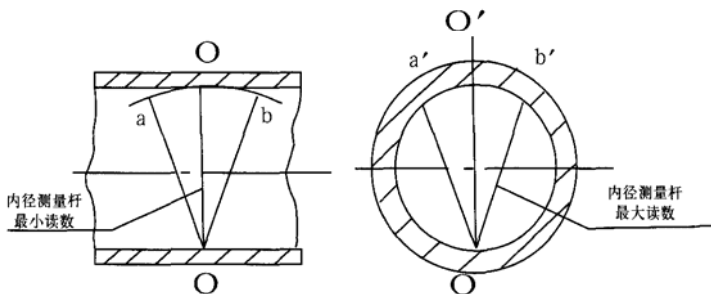


图 4-2 用内径测杆测量壳体的圆度

内径测量杆可以自行制作。如采用可相对滑动并伸缩的组合尺(端头应呈尖状或圆头),测得最大内径或最小内径时,以螺钉定位后,再以钢卷尺或其它合适的量具复测读数。

### (4) 筒体长度

单个节长度不得小于 300mm。筒体长度公差按设计图样和 GB/T1804-2000 选取,筒体长度可用钢卷尺、金属直尺测量,以筒体端面作为筒体长度测量基准。

## (5) 棱角度

焊接接头环向形成的棱角E, 可用焊接接头环向棱角检验样板检查。焊接接头环向棱角检验样板见图 2-47 和图 2-48。

焊接接头轴向形成的棱角E, 可用长度不小于 300mm 的金属直尺检查。见图 4-3。

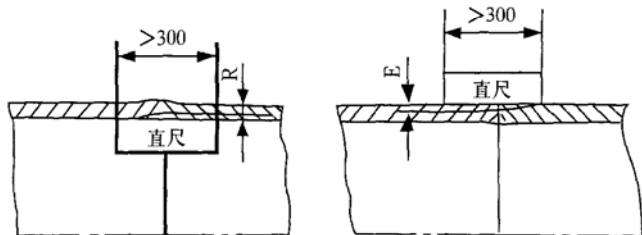


图 4-3 轴向形成棱角 E 检验

## (6) 壳体直线度

壳体直线度检查是通过中心线的水平和垂直面, 即沿圆周  $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$  四个部位拉  $\Phi 0.5\text{mm}$  细钢丝进行测量。测量位置离 A 类接头焊缝中心线 (不含球形封头与圆筒连接以及嵌入式接管与壳体对接连接的接头) 的距离不小于 100mm。当壳体厚度不同时, 计算壳体直线度时应减去厚度差。

壳体直线度检查: 当壳体是水平放置时, 为了避免因自重 (尤其是薄壁、细长的工件) 引起壳体弯曲变形, 造成测量误差, 因而壳体直线度检查均在  $90^\circ$  和  $270^\circ$  的中心线水平面上进行, 见图 4-4。

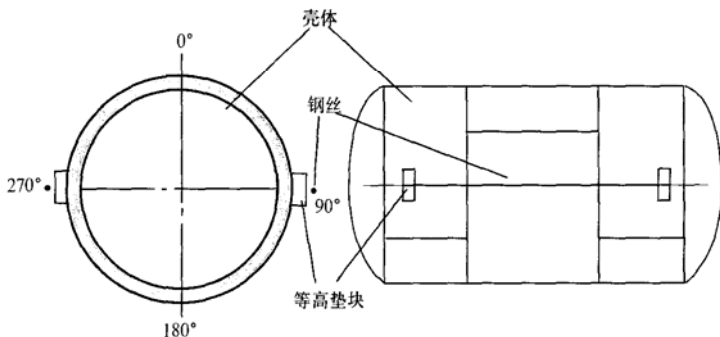


图 4-4 壳体直线度检验

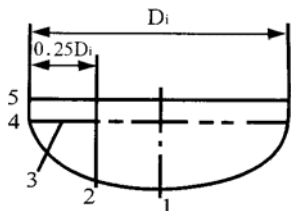


图 4-5 椭圆形、蝶形封头厚度必测部位示意图

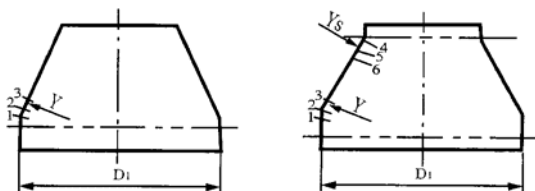


图 4-6 折边锥体厚度必测部位示意图

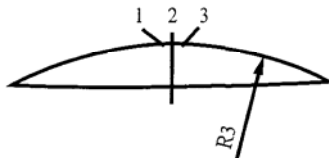


图 4-7 球形封头厚度必测部位示意图

#### 4. 封头形状和几何尺寸检查

封头的端部应切边加工，以此加工面作为封头形状和几何尺寸检测的基准。

##### (1) 内表面形状偏差

封头内表面形状偏差采用封头间隙样板检查。样板见图 2-49。

##### (2) 最大与最小内直径差

沿封头端部用钢卷尺或金属直尺可测得封头的最大与最小内直径差。

##### (3) 直边纵向皱折深度

用比较测量法用金属直尺检查。将金属直尺带与封头端面直边处外表面或内表面沿圆周方面紧贴，两者的间隙则为封头直边纵向皱折深度，采用金属直尺或塞尺测量。

(4) 外圆周长

采用钢卷尺检查。

(5) 总深度

在封头端部相互垂直的两直径交点上放置直尺或拉紧钢丝,在直尺或钢丝交叉点处用金属直尺或钢卷尺可测量封头总深度(封头总高度)。金属直尺或钢卷尺的O端(测量基准)应与封头内表面的中心点相重合。

(6) 直边高度(h)

用封头间隙样板和金属直尺或钢卷尺检查。

(7) 直边倾斜度

用平台和直角尺检查。

将封头端面放置在平台上,直角尺的底面也放置在平台上,直角尺的立面紧贴封头直边外表面,用金属直尺或塞尺测得两者的间隙则为封头直边倾斜度见图4-8。

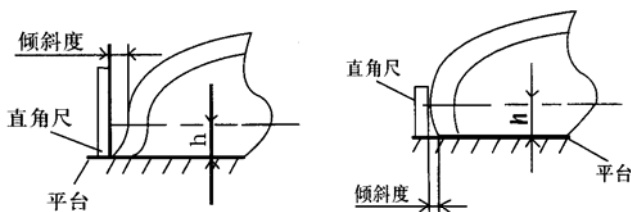


图4-8 端面向下直边倾斜度测定

也可将封头端面朝上,放置在平台上,以切边后的封头端面作为测量基准。将直角尺通过封头端面圆周的圆心,放置于端面上,直角尺的另一边紧贴在封头直边的外表面,用金属直尺或塞尺测得两者间的间隙则为封头直边倾斜度。见图4-9。

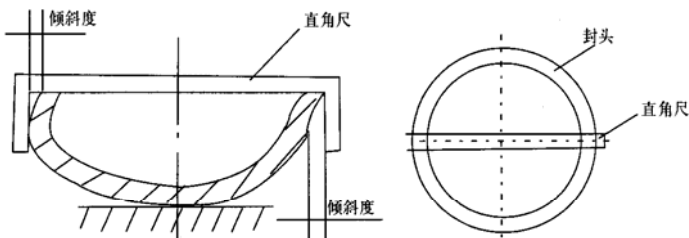


图4-9 端面向上封头直边倾斜度测定

### 5. 封头标记

检验人员应检查封头标记。

自制自用封头的标记按企业质量体系文件的规定执行。

外购封头的标记内容至少有：封头类型代号、封头标记、公称直径、封头名义厚度、封头材料牌号及标准号等。

### 6. 外购、外协封头质量证明文件检查

检验人员应对外购封头质量证明文件进行检查。封头质量证明文件有：受压元件（封头）产品质量证明书和封头产品合格证。

这里应特别注意的是：

- (1) 封头制造企业应持有相应制造许可证。
- (2) 用于第三类压力容器的封头，应有钢板材料复验报告。
- (3) 拼接封头的拼接焊接接头应有无损检测报告和焊缝外观检验报告。
- (4) 需热处理的封头，应有热处理检验报告（含温度-时间自动记录曲线）。

## 第三节 球壳板

球壳板是压力容器主要受压元件，制造时应按设计文件和相关法规、标准进行。

球壳板的检验项目至少有：材料检查，表面质量检查，厚度检查，形状及几何尺寸检查，标记检查。

### 1. 材料检查

材料检查按照第三章要求进行。

### 2. 表面质量检查

球壳板表面质量检查采用目测方法，对有怀疑处采用渗透或磁粉检测进行确认。

球壳板表面不允许存在裂纹、气泡、结疤、折叠等缺陷。球壳板不得有分层。球壳板应避免表面的机械损伤，对严重的尖锐伤痕应按 GB12337 的规定进行修补。

### 3. 焊接坡口检查

球壳板焊接坡口表面质量检查采用目测方法及对比样板、渗透或磁粉检测方法。

气割坡口表面要平滑，表面粗糙度  $Ra$  应小于或等于  $25 \mu m$ ；

熔渣与氧化皮清除干净，坡口表面不应有裂纹和分层等缺陷存在。若有缺陷时，应修磨或补焊。焊补时，应将缺陷彻底清除，并经渗透检测确认没有缺陷后方可焊补。焊补后应磨平，使其保持原坡口的形状及尺寸。

标准抗拉强度下限值大于 540MPa 钢材的气割坡口表面应进行磁粉或渗透检测，坡口表面不应有裂纹、分层和夹渣等缺陷存在。

#### 4. 厚度检查

球壳板厚度可用卡钳、游标卡尺和超声测厚仪等检查。

球壳板实测厚度不得小于名义厚度减去钢板负偏差。

每块球壳板取至少5个点进行厚度测量，测点分布在球壳板径向和纬向中线上，在靠近边缘 200mm 处各取 1 点，在球壳板中心取 1 点，如图 4-10 所示。

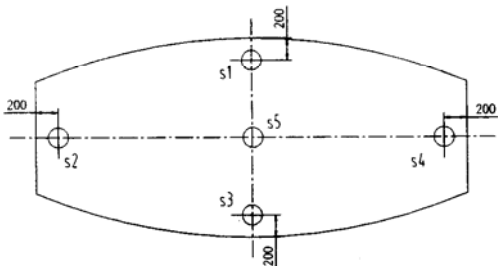


图 4-10 球壳板测厚检查

#### 5. 形状及几何尺寸检查

(1) 球壳板不允许拼接。

(2) 球壳板的曲率检查

球壳板的曲率检查可用球壳板样板、金属直尺或钢卷尺。

球壳板的曲率检查项目及允许间隙应符合表 4-1 和图 4-11 所示。

表 4-1

球壳板弦长 (mm)	检查样板弦长(mm)	允许间隙 e(mm)
$\geq 2000$	$\geq 2000$	3
$< 2000$	$\geq$ 球壳板的弦长	3



图 4-11 球壳板曲率检查 (1- 样板 2- 球壳板)

## (3) 球壳板的几何尺寸检查

球壳板的几何尺寸检查可用钢卷尺, 球壳板翘曲检测采用0.2~0.5mm的钢丝和专用测量工具及金属直尺进行。

当在坡口切割成型后进行检查时, 可用专用工具将球壳板恢复到未切割坡口时的理论位置测量, 保证测量数据的正确性。

测量时应将球壳板放置在特制的胎具上进行检查, 避免由于自重变形影响测量精度。

球壳板的几何尺寸测量的项目和允许偏差应符合表4-2和图4-12的要求。

表4-2 球壳板测量允差

序号	项 目	允许偏差/mm	序号	项 目	允许偏差/mm
1	长度方向弦长L	$\pm 2.5$ mm	3	对角线弦长D	$\pm 3$ mm
2	宽度方向弦长B	$\pm 2$ mm	4	两对角线间距离	$\leq 5$

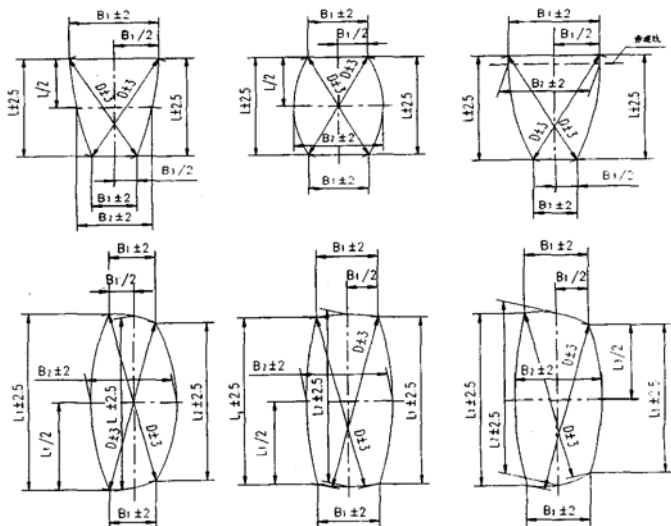


图4-12 球壳板的几何尺寸测量



#### (4) 球壳板坡口几何尺寸检查

球壳板坡口几何尺寸检查可用焊接检验尺、角度尺和样板。

球壳板坡口几何尺寸测量的项目及允许偏差应符合表 4-3 和图 4-13 的要求。

表 4-3 球壳板坡口尺寸允差

序号	项 目	允许偏差	序号	项 目	允许偏差
1	坡口角度 $\alpha$	$\pm 5^\circ$	3	坡口深度 $h$	手工焊 $\pm 1.5 \text{ mm}$
2	坡口钝边 $P$	$\pm 1.0 \text{ mm}$	4	平面度	$\leq 0.04 \delta n$ , 且 $\leq 1 \text{ mm}$

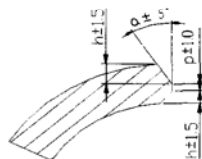


图 4-13 球壳板坡口几何尺寸检查

#### 6. 标记检查

检验人员应按照企业质量保证体系文件的规定，检查球壳板上的编号，材料标记、焊工代号标记和无损检测标记。

### 第四节 补强圈

补强圈是压力容器的主要受压元件，补强圈的检验应按照设计文件和相关法规、标准进行。

补强圈的检验项目至少有：材料检查、表面质量检查、补强圈厚度检查、补强圈形状和几何尺寸检查及标记检查。

补强圈的形状和尺寸见图 4-14。

按照补强圈焊接接头结构要求，补强圈坡口分为 A、B、C、D 和 E 五种型式，如图 4-14。除图示型式之外，设计者可根据结构要求自行设计坡口型式。

#### 1. 材料检查

补强圈材料检查按照第三章要求进行。

#### 2. 表面质量检查

补强圈的表面质量检查可用目测方法。

补强圈表面不得有腐蚀、裂纹、气泡、结疤、折叠、夹杂、分层和机械损伤。

补强圈的坡口表面不得有裂纹、分层和夹杂等缺陷。

#### 3. 补强圈厚度检查

补强圈厚度检查可用卡钳、游标卡尺和超声测厚仪等。

补强圈实测厚度不得小于设计厚度。

#### 4. 补强圈形状和几何尺寸检查

##### (1) 坡口形状和几何尺寸检查

补强圈的坡口形状和几何尺寸检查采用焊接检验尺、样板等进行。

##### (2) 成形后形状检查

补强圈内表面形状应与所覆盖的表面形状相符，用与被覆盖表面形状一致的样板检查。

##### (3) 螺孔检查

补强圈的螺纹底孔必须是通孔，应穿透补强圈，并应处于成型后的最低位置。

#### 5. 标记检查

检验人员应按照企业质量保证体系文件的规定，检查补强圈上的材料标记。

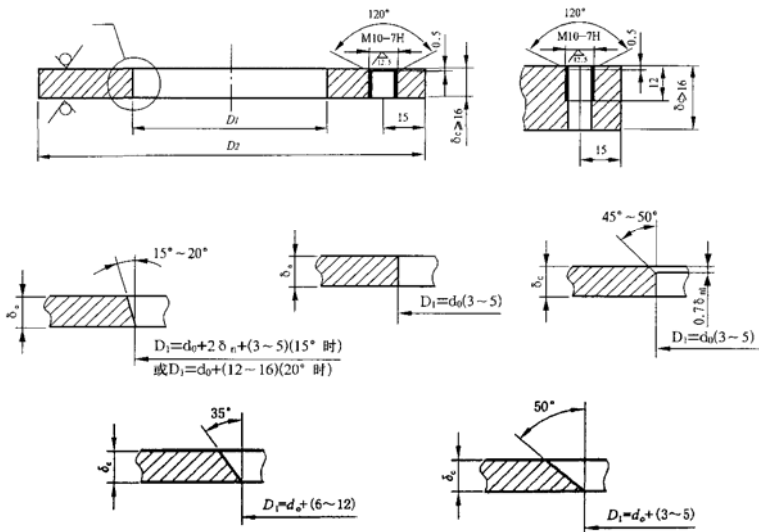


图 4-14 补强圈的形状和尺寸

各种坡口型式的适用条件:

- A 型——适用于壳体为内坡口的填角焊结构;
- B 型——适用于壳体为内坡口的局部焊透结构;
- C 型——适用于壳体为外坡口的全焊透结构;
- D 型——适用于壳体为内坡口的全焊透结构;
- E 型——适用于壳体为内坡口的全焊透结构。

## 第五节 设备法兰、人孔法兰、端平盖、人孔盖、 公称直径大于等于 250mm 的管法兰

设备法兰、人孔法兰、端平盖、人孔盖、公称直径大于等于 250mm 的管法兰是压力容器的主要受压元件,其检验应按照设计文件和相关法规、标准进行。

检验项目至少有:材料检查、表面质量检查、几何尺寸检查、粗糙度检查、硬度检查(有要求时)、标记检查。

### 1. 材料检查

材料检查按第三章要求进行。当设备法兰采用钢板制造时应满足 GB150 法兰一章的规定。以上零件加工前检查材料标记,确认材料的正确性。

### 2. 表面质量检查

以上零件的锻件或钢板的表面质量检查采用目测方法和无损检测方法两种(图样有要求时)。无论是锻制还是板制设备法兰经表面检查应无裂纹、夹层、折叠、夹渣等有害缺陷。

### 3. 几何尺寸检查

以上零件机械加工后检查几何尺寸,具体内容如下:

#### (1) 厚度检查

厚度检查包括法兰盘、颈锥段、直段的厚度,检查可用金属直尺、卡钳、游标卡尺、超声测厚仪等。

法兰盘、颈锥段、直段的实测最小厚度不得小于设计厚度。

法兰盘测厚点布置在螺柱通孔中间中心圆上,沿圆周均布至少 5 点。

颈锥段测厚点布置在靠近大段和小端,沿圆周均布至少各 5 点。

直段测厚点布置在靠近直口端,沿圆周均布至少 5 点。

#### (2) 内外圆直径、与密封面相关的尺寸的检查

内外圆直径、与密封面相关的尺寸的检查采用金属直尺、钢卷尺、卡尺、卡钳等。如果与密封面相关的尺寸须热处理后加工,则热处理后检查与密封面相关的尺寸。设备法兰密封面检查采用目测方法,密封面不应有影响密封效果的缺陷,如贯通的纵向或螺旋状刻痕等。

#### (3) 螺柱通孔中心圆直径及相邻两孔弦长、任意两孔弦长检查

螺柱通孔中心圆直径及相邻两孔弦长、任意两孔弦长检查可用金属直尺、卡钳、游标卡尺。

#### (4) 螺柱通孔中心线垂直度检查

螺柱通孔中心线与端面的垂直度检查采用直角尺和平台。

#### 4. 粗糙度检查

以上零件密封面等粗糙度检查采用粗糙度对比样块。

#### 5. 硬度检查

以上零件密封面（有要求时）的硬度检查采用硬度计。

#### 6. 标记检查

检验人员按照企业质量管理体系文件的规定，检查以上零件的材料标记。

## 第六节 膨胀节

膨胀节是压力容器的主要受压元件，膨胀节的检验应按照设计文件和相关法规、标准进行。

根据GB 16749—1997《压力容器波形膨胀节》标准，膨胀节按层数分有无加强单层或多层U形膨胀节两种。按类型分有ZX型膨胀节、ZD型膨胀节、HF型膨胀节、HZ型膨胀节四种，其结构形式多种多样。本节仅以ZDL型膨胀节（立式整体成型大波高膨胀节）、HFW型膨胀节（卧式两半波焊接而成）为例，且仅针对波纹管。

波纹管的检验项目有：材料检查、表面质量检查、厚度检查、形状和几何尺寸检查、焊接接头位置检查、标记检查。

#### 1. 材料检查

波纹管材料检查按第三章要求进行。

#### 2. 表面质量检查

波纹管的表面质量检查采用目测方法和无损检测方法（需要时）。

波纹管经内外表面检查，不应有裂纹、腐蚀、划伤、轧折、折叠、结疤和离层等缺陷。其A类焊接接头表面不得有裂纹、咬边、气孔、弧坑、夹渣和飞溅物等缺陷。

#### 3. 厚度检查

波纹管厚度检查采用游标卡尺、超声测厚仪等。

波纹管实测最小厚度（多层为每层）不得小于名义厚度减去钢板厚度负偏差C1与成型减薄量C3之和的差。

波纹管的测厚点布置见图4-15、图4-16中圆点为测点位置。

对整体成型波纹管（见图4-15），每端端部4个测点布置在端口边缘，每隔90°测1点；如果有纵向焊接接头，则在纵向焊接接头的两侧50mm处每端增加两个测点。波峰4个测点布置在顶端圆周上，每隔90°测1点；如果有纵向焊接接头，则在纵向焊接接头的两侧50mm处

每测增加两个测点。

对半波整体成形波纹管 (见图 4-16), 每端端部 4 个测点布置在端口边缘, 每隔  $90^\circ$  测 1 点; 如果有纵向焊接接头, 则在纵向焊接接头的两侧 50mm 处每端增加两个测点。

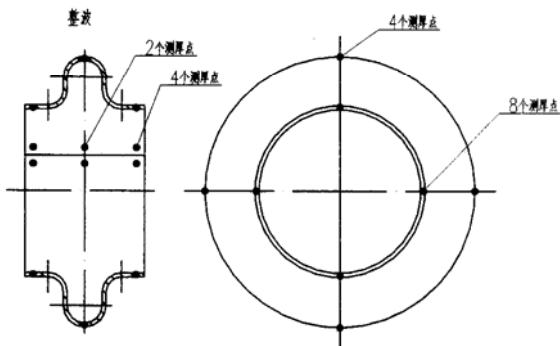


图 4-15 整体成型波纹管测厚

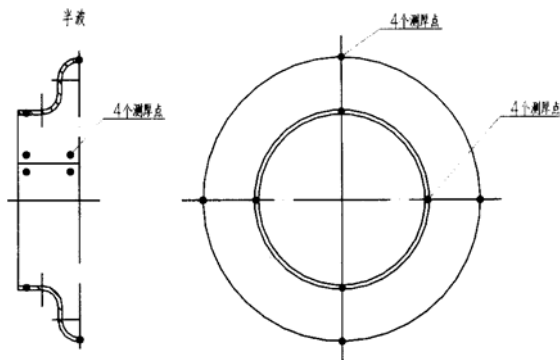


图 4-16 半波整体成型波纹管测厚

#### 4. 形状和几何尺寸检查

##### (1) 纵（接板）、环向焊接接头检查

###### 1) 坡口检查

纵、环向焊接接头坡口尺寸检查可用焊接检验尺或坡口样板。

###### 2) 错边量检查

纵、环向焊接接头错边量检查可用焊接检验尺、金属直尺。

###### 3) 棱角度检查

纵向（接板）、环向焊接接头形成的棱角，检查可用金属直尺、钢角尺、卷尺目测或辅  
以塞尺或焊接检验尺。

###### 4) 余高检查

纵、环向焊接接头余高检查可用金属直尺、钢角尺、钢卷尺目测或辅以塞尺或焊接检验尺。

##### (2) 直径检查

直径检查采用钢卷尺测量波纹管的外周长，然后换算出直径（管制外径、卷制内径）。

##### (3) 曲率（波峰和波谷形状）检查

曲率（波峰和波谷）形状检查可用样板。

##### (4) 波高检查

波峰和波谷波高检查可用直角尺。

##### (5) 节距检查

如果波纹管为两个波以上，节距检查可用平台、金属直尺。

##### (6) 圆度检查

波纹管圆度检查以波纹管的端面作为测量基准，可用游标卡尺、金属直尺、钢卷尺等测量  
波纹管端面最大和最小内直径，其差值即为波纹管圆度。

##### (7) 长度检查

波纹管长检查以接管的端面作为测量基准，可用平台、金属直尺、等测量波纹管的长度。  
波纹管与设备筒体（或端管）的焊接接头的坡口、错边量、棱角度、余高检查方法同上。

#### 5. 平行度检查

波纹管两端面平行度检查采用平台、直角尺。

#### 6. 垂直度检查

波纹管两端面与中心线的垂直度检查采用平台、直角尺。

#### 7. 同心度检查

波纹管两端面同心度检查在平台上进行，可用直角尺检查。

#### 8. 双波波纹管的平行度、垂直度、同心度检验方法示例：

(1) 检验工具：平台、水平仪、冲子、划针、金属直尺（大、小各一把）、划规、铅锤、  
钢卷尺、钢直角尺（两把）等。

(2) 检验步骤:

- 1) 采用水平仪将平台调为水平。
- 2) 采用冲子在平台上打冲双波纹管管的直管段理论内圆中心。
- 3) 采用划针、金属直尺在平台上划出双波纹管管的直管段理论内圆中心线。
- 4) 采用划规在平台上划出双波纹管管的直管段理论内圆，并标出 $0^{\circ}$ 、 $90^{\circ}$ 、 $180^{\circ}$ 、 $270^{\circ}$ 方位、位置。
- 5) 采用金属直尺或钢卷尺测量双波纹管管的两端直管段的最大（标出 $0^{\circ}$ 、 $180^{\circ}$ 方位）和最小（标出 $90^{\circ}$ 、 $270^{\circ}$ 方位）内直径，确定圆度，并标记圆度较小一端。
- 6) 将双波纹管管立放在平台上，圆度较小的一端朝下，对准平台上 $0^{\circ}$ 、 $90^{\circ}$ 、 $180^{\circ}$ 、 $270^{\circ}$ 方位（即双波纹管管的 $0^{\circ}$ 、 $90^{\circ}$ 、 $180^{\circ}$ 、 $270^{\circ}$ 方位与平台上的 $0^{\circ}$ 、 $90^{\circ}$ 、 $180^{\circ}$ 、 $270^{\circ}$ 方位一一对应）。
- 7) 在平台上沿 $0^{\circ}$ 、 $180^{\circ}$ 方位方向移动双波纹管管，使平台上的 $0^{\circ}$ 点和双波纹管管的直管段的 $0^{\circ}$ 点的距离与平台上的 $180^{\circ}$ 点和双波纹管管的直管段的 $180^{\circ}$ 点的距离相等，见图4-17，采用金属直尺（小）或钢卷尺测量。

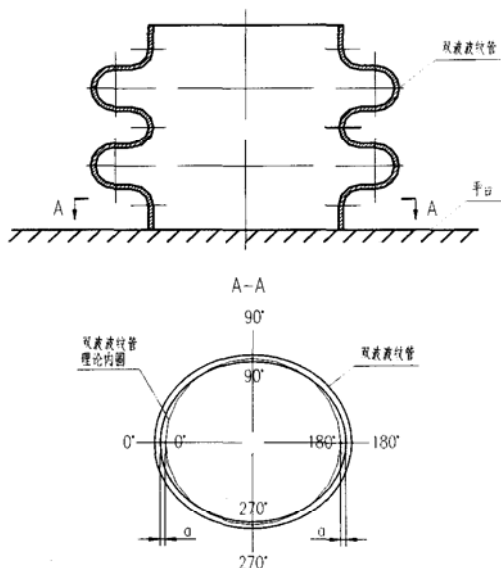


图4-17 膨胀节的形位检测示意图之一

8) 利用钢丝绳在波纹管上端口垂直相交找出中心点, 然后采用铅锤和金属直尺测量两端口同心度或将钢直角尺分别垂直靠紧双波波纹管内侧 $0^{\circ}$ 、 $180^{\circ}$ 和 $90^{\circ}$ 、 $270^{\circ}$ 方位线上, 采用金属直尺(小)或钢卷尺测量上、下间隙, 见图4-18, 两组(一般情况下, 每组的两个值相等或十分接近于近似相等)4个值的最大值即为同心度。

9) 在测量同心度的同时, 测出双波波纹管上 $0^{\circ}$ 、 $180^{\circ}$ 和 $90^{\circ}$ 、 $270^{\circ}$ 两组4个点双波波纹管高度, 见图4-18, 两组差值中, 较大者为双波波纹管的两端面的平行度, 也就是两端面与中心线的垂直度; 也可将金属直尺宽度方向垂直分别放在双波波纹的直管段顶部的 $0^{\circ}$ 、 $180^{\circ}$ 和 $90^{\circ}$ 、 $270^{\circ}$ 方位上, 采用金属直尺测量或直接用金属直尺测量(对于较高的膨胀节利用铅锤, 配合钢卷尺), 见图4-19。

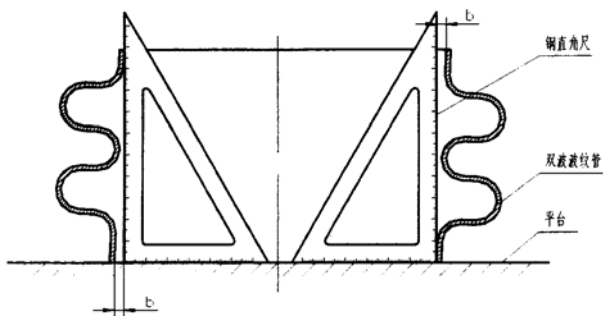


图4-18 膨胀节的形位检测示意图之二

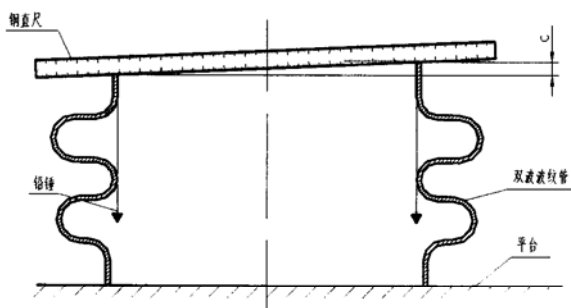


图4-19 膨胀节的形位检测示意图之三



如果在双波波纹管的同心部位，用钢直角尺垂直靠紧双波波纹管的外侧和内侧，采用金属直尺（小）或钢卷尺测量波高，见图 4-20，即为双波波纹管的实际波高。

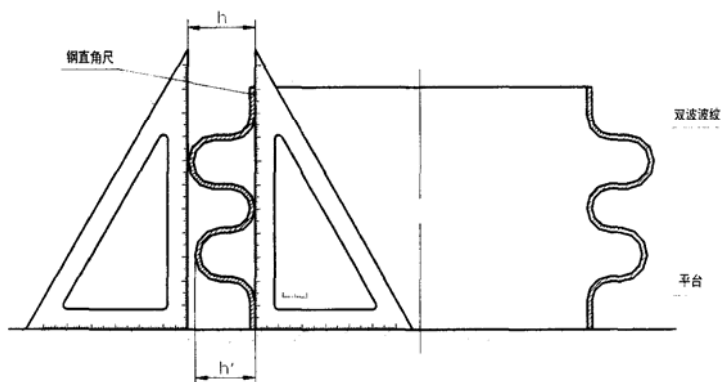


图 4-20 膨胀节的形位检测示意图之四

## 第七节 换热器管板

管板是管壳式换热器的主要受压元件，管板的检验应按照设计文件和相关法规、标准进行。因管壳式换热器结构形式的不同管板有多种形式，即使同一结构形式的换热器因工艺流程等的不同，管板结构也不尽相同，在此仅以固定管板换热器中的整体结构为例，即管板表面不堆焊、不加衬环介绍管板的检验。

管板的检验项目至少有：材料检查、表面质量检查、管板孔划线检查、几何尺寸检查、粗糙度检查、硬度检查、标记检查。

### 1. 材料检查

管板材料检查按第三章要求进行。对拼接管板，应检查确认其对接接头的射线或超声检验报告和热处理报告。管板机械加工前检查材料标记，确认材料的正确性。

### 2. 表面质量检查

管板的表面质量检验采用目测和无损检测方法（图样有要求时）。

无论是锻制还是板制管板表面检查均应无裂纹、夹层、折叠、夹渣等有害缺陷。

### 3. 管板孔划线检查

管板孔划线后钻孔前可用游标卡尺检查管板孔间距。

#### 4. 几何尺寸检查

管板机械加工后检查几何尺寸，具体内容如下：

##### (1) 管板（钻孔前）厚度检查

管板厚度检查可用金属直尺、卡钳、游标卡尺、超声测厚仪等。

管板实测最小厚度不得小于设计厚度。

管板的测厚点布置见图 4-21，图中圆点为测点位置。

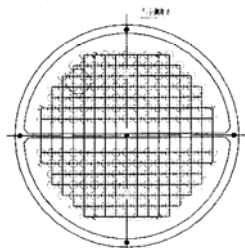


图 4-21 管板测厚

每块管板至少检测 5 点，4 个测点布置在离外圆边缘（如果管板有密封面，离密封槽靠近管板中心边缘）50mm 处，每隔 90° 测 1 点；1 个测点布置在管板中心。

##### (2) 外圆、与密封面相关的尺寸的检查

管板外圆、与密封面相关的尺寸检查可用金属直尺、钢卷尺、卡尺、卡钳等。管板密封面检查采用目测方法和对比样块法，密封面不应有影响密封的缺欠，如贯通的径向或螺旋状刻痕等。

##### (3) 螺柱通孔中心圆直径及相邻两孔弦长、任意两孔弦长检查

螺柱通孔中心圆直径及相邻两孔弦长、任意两孔弦长检查可用金属直尺、卡钳、游标卡尺。

##### (4) 平面度检查

大型薄管板钻孔后易变形，其平面度检查可用金属直尺和平台。

##### (5) 螺柱通孔中心线垂直度检查

螺柱通孔中心线与端面的垂直度检查可用直角尺和平台。

##### (6) 管板孔检查

管板孔检查包括管板孔直径及允许偏差、孔桥宽度及允许偏差及表面质量。管板孔直径及允许偏差、孔桥宽度（终钻侧）及允许偏差检查可用内径百分表（专检管板孔）、游标卡尺；对有胀接要求的换热器，应记录每个管板孔实测尺寸并对管板孔进行标识，以便于试胀、胀接率的计算、胀接操作等；管板孔表面检查采用目测方法，不应有影响胀接紧密性的缺陷，如贯通的径向或螺旋状刻痕；不应有影响胀接或焊接连接质量的毛刺、铁屑、锈斑、油污等。

对有垂直度要求的管板孔需特制检验工具，在这里介绍一种检验方法，见图 4-22。

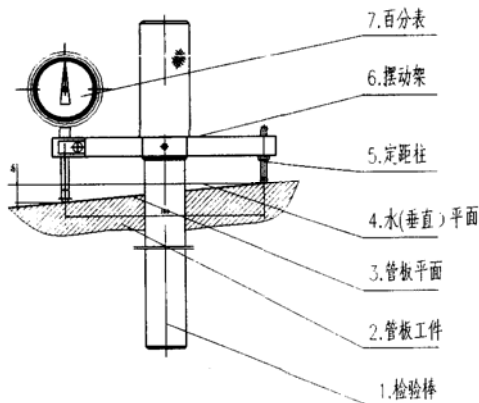


图 4-22 管板孔垂直度检验

假设管板孔直径及允许偏差经检验符合图样要求，测量管板孔轴线与管板端面（基准面）垂直度，要求其值不得大于  $0.5\text{mm}/1000\text{mm}$ （即：1000mm 厚的管板，管板孔轴线与管板端面的垂直度不得大于  $0.5\text{mm}_0$ ）。

a. 检验工具组成：

检验工具由检验棒、摆动架、百分表、定距柱、手柄等组成。

① 检验棒应满足装配要求的最小上偏差尺寸精度，与管板孔过渡配合，设置手柄便于与管板孔装配；

② 摆动架通过紧固螺钉，将百分表、定距柱与检验棒装配固定；

③ 百分表的弹性杆伸出长度比定距柱伸出长度长 1.5mm。根据实际经验，百分表的弹性杆与定距杆的中心距定为 160mm，即此检验工具的旋转半径为 80mm；

④ 定距柱与管板表面（基准面）接触端部为球形结构。

b. 检验方法

① 手握检验棒的手柄部分，将检验工具插入管板孔；

② 以大约 0.20~0.36kg 的轴向力使检验工具定距柱贴紧管板平面，转动百分表盘对 0；

③ 转动手柄，旋转检验工具  $180^\circ$ ，读取百分表数值  $\Delta h$ ，并记录；

④ 根据管板孔轴线与管板端面（基准面）垂直度不得大于  $0.5\text{mm}/1000\text{mm}$  的要求及检验工具实测数值按下式计算垂直度  $x$ ：

$$x = 1000 \times \Delta h / 2 \times 80$$

式中： $\Delta h$ ——实测数值。

80——根据实际经验确定的检验工具旋转半径（mm）。

#### 5. 粗糙度检查

管板密封面、管板孔等粗糙度检查采用粗糙度对比样块。

#### 6. 硬度检查

管板外圆、正面（管头侧）、与密封面相关的尺寸机械加工后钻管板孔前对管板正面、密封面（有要求时）的硬度检查采用硬度计。

#### 7. 标记检查

检验人员按照企业质量管理体系文件的规定，检查管板上的零件标记和位置标记。

### 第八节 换热管

换热管是管壳式换热器的主要受压元件，换热管的检验应按照设计文件和相关法规、标准进行。

换热管的检验项目至少有：材料检查、表面质量检查、几何尺寸检查、硬度检查、耐压试验检查、超声检测（有要求时）、标记检查。

#### 1. 材料检查

换热管材料检查按第三章要求进行。

#### 2. 表面质量检查

换热管的表面质量检查采用目测方法。

换热管经内外表面检查，不应有裂纹、轧折、折叠、结疤和离层等，若有其清除深度不应超过公称壁厚的负偏差，清理处的实际壁厚不应小于壁厚偏差所允许的最小值。

换热管装配前应应对换热管与管板连接部分表面进行清理，不应有影响胀接紧密性的缺欠，如贯通的径向或螺旋状刻痕；不应有影响胀接或焊接连接质量的毛刺、铁屑、锈斑、油污等。

#### 3. 几何尺寸检查

##### (1) 长度检查

换热管长度检查可用钢卷尺。

##### (2) 内外径检查

换热管内径检查可用内径百分表，外径检查可用游标卡尺。对有胀接要求的换热器，应记录每根换热管的内外径实测尺寸并对换热管进行标识，以便于试胀、胀接率的计算、胀接操作。

##### (3) 壁厚检查

换热管的壁厚检查可用壁厚千分尺。对有胀接要求的换热器，应记录每根换热管的实测壁

厚值并对换热管进行标识,以便于试胀、胀接率的计算、胀接操作等。

#### (4) 拼接换热管检查

1) 对接焊接接头数量检查可用目测,最短管长度检查采用金属直尺或钢卷尺。同一根换热管的对接焊接接头,直管不得超过一条;U形管不得超过二条;最短管长不应小于300mm;包括至少50mm直管段的U形弯管段范围内不得有拼接焊接接头;

2) 对接坡口检查可用坡口样板;

3) 对口错边量(外侧)检查可用金属直尺目测或塞尺配合;

4) 焊接接头余高(外侧)检查可用金属直尺目测或塞尺配合,余高应为零,至少以不影响顺利穿管为限;

5) 拼接换热管直线度检查可用平台、金属直尺目测或塞尺配合,直线度偏差至少以不影响顺利穿管为限;

6) 对接接头内侧检查可用钢球,以标准钢球通过为合格;

7) 对接接头应按规定进行射线检测;

8) 对接后的换热管的耐压试验检查可用水压试验,逐根进行,试验压力为设计压力的两倍。

#### 5 U形管的检查

1) U形管的弯曲半径检查可用金属直尺和平台;

2) U形管的弯管段的圆度偏差检查可用游标卡尺;

3) 当有应力腐蚀要求时,冷弯U形管的弯管段及至少包括150mm的直管段应进行热处理。碳钢和低合金钢管进行消除应力热处理;奥氏体不锈钢管可按供需双方协定的方法进行热处理。

#### 4. 硬度检查

对有胀接要求的换热器,其换热管的硬度检查可用硬度计在胀接部位检查。

#### 5. 耐压试验检查

有要求时,换热管的耐压试验采用水压试验抽检或全部检查。

#### 6. 超声检测

有要求时,换热管的超声检测采用专用超声检测装置抽检或全部检查。

#### 7. 标记检查

检验人员按照企业质量管理体系文件的规定,穿管前检查换热管的材料标记,确认材料的正确性。

## 第九节 M36 以上的设备主螺栓

M36 以上的设备主螺栓是压力容器的主要受压元件，M36 以上的设备主螺栓的检验应按照规定文件和相关法规、标准进行。

M36 以上的设备主螺栓的检验项目至少有：材料检查、表面质量检查、硬度检查、形状和几何尺寸检查、表面处理、标记检查。

### 1. 材料检查

设备主螺栓材料检查按第三章要求进行。M36 以上的设备主螺栓热处理后，性能应满足标准和图样的规定。加工前检查材料标记，确认材料的正确性。

### 2. 表面质量检查

设备主螺栓的表面质量检查采用目测方法和无损检测方法（需要时）。

设备主螺栓表面检查，不应有毛刺、裂纹、碰伤等缺陷。

公称直径大于 M48 的设备主螺栓应进行磁粉检测。

### 3. 硬度检查

设备主螺栓粗加工后采用硬度计在加工螺纹部位进行硬度检查，至少 4 点并取其平均值。

### 4. 形状和几何尺寸检查

公称直径大于 M48 的设备主螺栓采用细牙螺纹。

#### (1) 长度检查

设备主螺栓长度检查、螺纹长度检查可用金属直尺、钢卷尺等。

#### (2) 中间无螺纹部分直径检查

设备主螺栓中间无螺纹部分直径检查可用游标卡尺。

#### (3) 螺纹检查

设备主螺栓螺纹检查可用通规和止规。

#### (4) 螺纹和精度检查

设备主螺栓螺纹和精度检查可用钢针（三针）、螺纹千分尺。

### 5. 表面处理检查

设备主螺栓表面进行氧化或磷化处理等。

### 6. 标记检查

检验人员按照企业质量管理体系文件的规定，检查 M36 以上的设备主螺栓的材料标记。

## 第十节 人孔接管、公称直径大于等于 250mm 的接管

人孔接管、公称直径大于等于 250mm 的接管是压力容器的主要受压元件，其检验应按照设计文件和相关法规、标准进行。

人孔接管、公称直径大于等于 250mm 的接管的检验项目至少有：材料检查、表面质量检查、厚度检查、形状和几何尺寸检查、标记检查。

### 1. 材料检查

材料检查按第三章要求进行。

### 2. 表面质量检查

表面质量检查采用目测方法和无损检测方法（需要时）。

经内外表面检查，不应有裂纹、腐蚀、划伤、轧折、折叠、结疤和离层等。对于卷制（允许时）人孔接管、公称直径大于等于 250mm 的接管，其 A 类焊接接头表面不得有裂纹、咬边（超标）、气孔、弧坑、和飞溅物。

### 3. 厚度检查

厚度检查可用金属直尺、游标卡尺、超声测厚仪等。

其厚度不得小于设计厚度。

测厚点一般布置在距离两端边缘 50mm 的圆周上，4 点均布。

对于卷制（允许）人孔接管、公称直径大于等于 250mm 的接管，测厚点布置见图 4-1，图中圆点为测点位置。测点布置在离焊接接头边缘 50mm 处，4 个测点距板边缘 50mm 处，2 个测点居中。

### 4. 形状和几何尺寸检查

同第四章筒节检查。

### 5. 标记检查

检验人员按照企业质量管理体系文件的规定，检查材料标记。

## 第五章 产品焊接试板和母材热处理试板的检查

### 第一节 产品焊接试板的检查

#### 一 产品焊接试板的检查

为检验产品焊接接头和其他受压元件的力学性能和弯曲性能,应按规定制作纵焊缝产品焊接试板,制取试样,进行拉力、冷弯和必要的冲击试验等。采用新材料、新焊接工艺制造锻焊压力容器产品时,按规范应制作模拟环焊缝的焊接试板。

压力容器检验人员应检查产品焊接试板的制作方法和试板的数量。产品焊接试板的检查项目有:试板施焊前检查和试板施焊后的检查。

#### 二 试板施焊前检查

##### 1. 试板材料检查

试板的材料必须是合格的,且与容器筒节同钢号、同炉号、同厚度、同热处理状态。

##### 2. 试板设置检查

产品焊接试板应设置在筒节的 A 类纵向焊接接头的延长部位,且与筒节同时施焊。

##### 3. 试板数量检查

产品焊接试板的数量应在产品工艺文件给以明确规定。检验人员按照产品工艺文件的要求检查产品试板数量。

对下列情况,检验人员应给予注意:

(1) 当一台压力容器上不同的壳体纵向焊接接头(管箱、筒体)的焊接工艺评定覆盖范围不同时,应对应不同的纵向焊接接头,按相应的焊接工艺分别制作产品焊接试板。

(2) 有不同焊后热处理要求的压力容器,应分别制作产品焊接试板。

(3) 对于需带试板的多层容器,其内筒及层板应分别制备产品焊接试板。

1) 内筒和层板的试板位于内筒和层板纵缝延长部位,与产品同时焊接。

2) 在层板试板的焊缝根部需垫上与层板同材料、同厚度的垫板。

(4) 热套压力容器的内筒、外筒材料不同时,应各制作一块产品焊接试板,若材料相同且属同一厚度范围,只需制作一块。

(5) 现场组焊球形储罐应制作立、横和平加仰三块产品焊接试板,且应在现场焊接产品的同期,由施焊该球形储罐的焊工,在与球形储罐相同的条件和相同的焊接工艺情况下进行焊接。

#### 三 试板施焊后检查

##### 1. 检查试板与筒体是否同时施焊

检验人员可在施焊现场进行监督,也可在施焊后,检查焊接工艺过程卡填写的施焊记录。



## 2. 试板标记检查

检验人员检查产品焊接试板的识别标记,并在试板上检验确认标记钢印。

产品焊接试板识别标记,包括:

- (1) 相应的工作令号或产品编号;
- (2) 材料标记;
- (3) 焊工钢印号;
- (4) 无损检测中心标记钢印;
- (5) 检验确认标记钢印。

## 3. 试板外观检查

检验人员按照设计文件和相关法规、标准要求对产品焊接试板进行外观检查。

## 4. 试板无损检测确认

检验人员按照设计文件和法规标准要求,确认产品焊接试板的无损检测报告。

## 5. 试板力学和弯曲性能检验确认

检验人员按照设计文件和法规标准要求,确认产品焊接试板力学和弯曲性能检验报告。

## 6. 试板的其它检验确认

试板的其它检验如腐蚀试验等,检验人员按照设计文件和法规标准要求,确认产品焊接试板的其它检验报告。

# 第二节 母材热处理试板的检查

为了检验产品或受压元件经热处理后是否达到或恢复材料力学性能和弯曲性能或耐腐蚀性能要求,应按规定制作产品或受压元件母材热处理试板,制取试样,进行力学性能和弯曲性能或耐腐蚀性能试验。

在压力容器制造现场,检验人员应检查母材热处理试板的制作过程和制作数量。

母材热处理试板的检查项目至少有:材料检查、数量检查、标记检查、装炉检查、力学性能和弯曲性能确认、耐腐蚀性能确认。

### 1. 材料检查

母材热处理试板应取自需热处理达到或恢复材料力学性能和弯曲性能或耐腐蚀性能的产品或受压元件的母材上。

### 2. 数量检查

母材热处理试板的数量应在产品工艺文件中给予明确规定。检验人员按照产品工艺文件的要求检查母材热处理试板的数量。

对正火、正火+回火、调质状态的碳素钢和低合金钢以及固溶状态的奥氏体不锈钢,在下列情况下,需进行与母材热处理状态相同或相类同的热处理,并根据规范,标准或技术文件上的要求带母材热处理试板:

- (1) 封头(球形、椭圆形、碟形、锥形)热成形。

- (2) 筒体热成形。
- (3) 弯管（弯头）热成形。
- (4) 采用电渣焊接的铁素体类材料（容器）。
- (5) 焊接线能量较大的立焊焊接（如分瓣的球形、椭圆形、碟形、锥形封头）。
- (6) 低温管壳式换热器的 U 形管热弯或弯曲半径小于 10 倍换热管外径时的冷弯后。
- (7) 制造单位不能确保冷成形封头的材料性能符合设计、使用要求。
- (8) 尿素级奥氏体不锈钢的受压元件冷变形超过 15%。
- (9) 尿素级奥氏体不锈钢的受压元件热成形。
- (10) 其他破坏或影响产品或其他受压元件的热处理状态的制造过程。

需要说明的是：

母材热处理试板应同产品和其他受压元件的受热处理相同。

对于正火状态的钢材，在热成形过程中，如果能够控制热成形的加热温度在正火温度范围以上，终止温度在  $A_{r3}$  以上或经母材热处理试板评定合格，即母材热处理试板的力学性能和弯曲性能符合设计文件和相关法规、标准要求，可不重新进行正火处理。否则需重新进行正火处理。

对于正火 + 回火状态的钢材，在热成形过程中，如果能够控制热成形的加热温度、终止温度满足上述对正火钢材的要求，热加工后仅作回火处理。否则需重新进行正火 + 回火处理。

对于调质状态使用的钢材，热成形后一般应进行调质处理，需带母材热处理试板。

对于奥氏体不锈钢材，在热成形过程中，如果能够控制热成形的终止温度在  $850^{\circ}\text{C}$  以上，加工后快速冷却（如鼓风或喷水冷却），可不再进行固溶处理或稳定化处理，也可不带母材热处理试板；但如果产品或受压元件有耐腐蚀性能试验（如要做晶间腐蚀倾向试验）要求，则热加工后需带母材热处理试板，母材热处理试板的耐腐蚀性能试验（如晶间腐蚀倾向试验）符合设计文件和相关法规、标准要求的，可不进行固溶或稳定化处理，否则应进行固溶或稳定化处理。

下面举例加以说明：

例 1 有一台压力容器，设计要求采用板厚为 16mm 的 16MnR，交货状态为正火状态的材料做为封头坯料。该材料的临界点温度： $A_{c3}$  为  $850^{\circ}\text{C}$ ； $A_{r3}$  为  $820^{\circ}\text{C}$ ；正火温度为  $880\sim 930^{\circ}\text{C}$ 。

该封头经热冲压加工成形，始压温度为  $980^{\circ}\text{C}$ ，终压温度为  $850^{\circ}\text{C}$ ，冷却方式为空冷。

由于该封头热成形过程中终压温度控制在材料的  $A_{r3}(820^{\circ}\text{C})$  以上，因此，该正火板封头热成形之后不需要重新进行正火处理，直接使用。实际上封头在热冲压加工成形过程中进行了一次类似正火过程的热处理，封头板材的原始供货状态并未破坏或改变。

如果该封头热加工过程中终压温度为  $790^{\circ}\text{C}$ ，则因封头终压温度低于材料的  $A_{r3}(820^{\circ}\text{C})$ ，该封头热成形之后需要重新进行正火热处理，以恢复封头板材的原始供货状态。

例 2 有一台压力容器，设计要求采用板厚为 16mm 的 20R，交货状态为正火状态的材料做为封头坯料。该材料的临界点温度： $A_{c3}$  为  $865^{\circ}\text{C}$ ； $A_{r3}$  为  $830^{\circ}\text{C}$ ；正火温度为  $900\sim 940^{\circ}\text{C}$ 。

该封头经热冲压加工成形，始压温度为 970℃，终压温度为 860℃，冷却方式为空冷。

由于该封头的终压温度在材料 Ar3 之上，该封头热冲压成形之后不需重新进行正火处理而直接使用。

如果该封头的终压温度低于材料的 Ar3，即 830℃，则该封头热冲压成形之后需要重新进行正火热处理，以恢复封头板材的原始供货状态。

### 案例 3:

有一台压力容器设计要求采用板厚为 16mm 的 15CrMoR，交货状态为正火加回火的材料做为封头坯料，该材料的临界点温度：Ac3 为 895℃；Ar3 为 810℃；正火温度为 910~950℃；回火温度为 620~660℃。

该封头经热冲压加工成形，始压温度为 950℃，终压温度为 850℃，冷却方式为空冷。

由于该封头热冲压成形过程中，终压温度控制在 Ar3 (810℃) 以上，热加工之后，不需要重新做正火热处理，而仅做回火热处理即可。

如果该封头热冲压成形过程中，终压温度低于 810℃，则该封头热成形之后需要进行正火加回火热处理，以恢复封头板材的原始供货状态。

### 3. 标记检查

母材热处理试板分割前进行击打钢印或书写标记，标记移植的方法采取敲打或书写。检验人员确认标识并击打检验钢印或书写检验标识。

母材热处理试板标识包括：

- (1) 工作令号或产品编号。
- (2) 材料牌号（钢号）及规格、材料检验代号。
- (3) 检验人员确认的标记。

### 4. 装炉检查

母材热处理试板的装炉位置应在产品工艺文件中给以明确规定。检验人员按照产品工艺文件的要求检查母材热处理试板的位置并再次确认标识。

### 5. 力学性能、弯曲性能和耐腐蚀性能确认

检验人员按照设计文件和相关法规、标准要求，确认母材热处理试板的力学性能、弯曲性能试验报告和耐腐蚀性能试验报告。

### 6. 热成形封头的母材热处理试板性能数据（供参考）

例 1):

一球形封头，其材质：2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo，钢材厚度：70mm，直径：φ 1600mm，原材料热处理状态：正火 + 回火，标准机械性能见表 5 - 1。封头采用热成形。

表 5 - 1 2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 机械性能

$\sigma_b$ MPa	$\sigma_s$ MPa	$\delta_5$ %	$\phi$ %	冷弯	+10℃ AKV J	410℃ $\sigma_s$ MPa
510 ~ 690	314	19	40	D=2a(180°)	63	239

封头热成形前进行工艺试验(首次使用,有经验后可不做),试验试板(按封头形状压形)工艺过程为:热成形+正火+回火。机械性能见表5-2。

表5-2 焊接试板机械性能

拉力试验				冲击试验				410℃	冷弯	金相组织	HB
$\sigma_b$ MPa	$\sigma_s$ MPa	$\delta_5$ %	$\psi$ %	℃	J			$\sigma_s$ MPa	D=2a (180°)		
537	486	28	77	+10	265	257	276	377	无裂纹	B+F	190

封头进行热成形,带热成形母材试板,热成形工艺过程:热成形+正火(风冷)+回火。机械性能见表5-3。

表5-3 母材试板机械性能

拉力试验				冲击试验				410℃	冷弯	金相组织	HB
$\sigma_b$ MPa	$\sigma_s$ MPa	$\delta_5$ %	$\psi$ %	℃	J			$\sigma_s$ MPa	D=2a (180°)		
603	484	27.4	82.4	+10	294	292	294	475	无裂纹	B+F	207

注:表5-2、5-3中,可不进行金相组织和硬度检验。

例2):

一标准椭圆形封头,其材质:1 $\frac{1}{4}$ Cr-0.5Mo,钢材厚度:50mm,直径: $\phi$ 2800mm,原材料热处理状态:正火+回火,标准机械性能见表5-4。封头采用热成形。

表5-4 1 $\frac{1}{4}$ Cr-0.5Mo机械性能

$\sigma_b$ MPa	$\sigma_s$ MPa	$\delta_5$ %	$\psi$ %	冷弯	+10℃AKV J	450℃ $\sigma_s$ MPa
515~690	310	22		D=2a(180°)	61.2	219

封头热成形前进行工艺试验(首次使用,有经验后可不做),试验试板(按封头形状压形)工艺过程为:热成形(控温)+回火。机械性能见表5-5。

表5-5 工艺试验试板机械性能

拉力试验				冲击试验				450℃	冷弯	金相组织	HB
$\sigma_b$ MPa	$\sigma_s$ MPa	$\delta_5$ %	$\psi$ %	℃	J			$\sigma_s$ MPa			
565	388	32.9	66.8	+10	208	144	198	366	D=2a (180°)	P+F	167

封头进行热成形,带热成形母材试板,热成形工艺过程:热成形(控温)+回火。机械性能见表5-6。

表 5-6 母材试板机械性能

拉力试验				冲击试验		450℃	冷弯	金相组织	HB
$\sigma_b$ MPa	$\sigma_s$ MPa	$\delta_5$ %	$\psi$ %	℃	J	$\sigma_s$ MPa	$D=2a$ (180°)		
546	345	34.5	70.7	+10	72.9 106 87.3	256	无裂纹	P+F	168

注：表 5-5、5-6 中，可不进行断面收缩率、金相组织和硬度检验。

例 3)：

一标准椭圆形封头，其材质：3.5Ni，钢材厚度：28mm，直径： $\phi$  1800mm，原材料热处理状态：正火，标准机械性能见表 5-7。封头采用热成形。

表 5-7 3.5Ni 机械性能

$\sigma_b$ MPa	$\sigma_s$ MPa	$\delta_5$ %	-101℃AKV J
485~620	275	17	22

封头热成形前进行工艺试验（首次使用，有经验后可不作），试验试板（按封头形状压形）工艺过程为：热成形（控温）+模拟焊后热处理。机械性能见表 5-8

表 5-8 工艺试验试板机械性能

$\sigma_b$ MPa	$\sigma_s$ MPa	$\delta_5$ %	-101℃AKV J
595	469	35	294, 307, 314

封头进行热成形，带热成形母材试板，热成形工艺过程：热成形（控温）+模拟焊后热处理。机械性能见表 5-9。

表 5-9 母材试板机械性能

$\sigma_b$ MPa	$\sigma_s$ MPa	$\delta_5$ %	-101℃AKV J
575	420	36	262, 287, 294

例 4)：

一标准椭圆形封头，其材质：16MnR+A240-316L，钢材厚度：36+3.3mm，直径： $\phi$  1800mm，基层原材料热处理状态：正火，基层标准机械性能见表 5-10，面层腐蚀性能按 ASME-A262E 法。封头采用热成形。

表 5-10 16MnR+A240-316L 复合板机械性能

$\sigma_b$ MPa	$\sigma_s$ MPa	$\delta_5$ %	$\psi$ %	冷弯 $D=2a(180^\circ)$	0℃AKV J	剪切强度 MPa
490~620	325	21			31	200

封头热成形前进行工艺试验(首次使用,有经验后可不做),试验试板(按封头形状压形)工艺过程为:热成形(控温)。机械性能及腐蚀试验见表5-11。

表5-11 工艺试验试板机械性能

$\sigma_b$ MPa	$\sigma_s$ MPa	$\delta$ %	剪切强度 MPa	冷弯 180°	AKV J	HB
549	373	35	353	无裂纹	213, 213, 221	164
晶间腐蚀: 按 ASTM-A262E 法通过						

封头进行热成形,带热成形母材试板,热成形工艺过程:热成形(控温)。机械性能及腐蚀试验见表5-12。

表5-12 母材试板机械性能

$\sigma_b$ MPa	$\sigma_s$ MPa	$\delta$ %	剪切强度 MPa	冷弯 180°	AKV J	HB
550	374	35.2	344	无裂纹	180, 176, 155	161
晶间腐蚀: 按 ASTM-A262E 法通过						

注:表5-11、5-12中,可不进行断面收缩率和硬度检验。

## 第六章 压力容器组装及总体几何尺寸检验

### 第一节 一般方法和程序

压力容器零部件加工完后,经检验合格进入组装工序。压力容器组装及总体几何尺寸检验是压力容器产品最终检验的重要内容,它直接影响压力容器的现场安装和使用过程中的安全

和质量。  
在壳体(筒体和封头)组装和壳体的A、B类焊接接头焊接完成之后,壳体上要开孔和组焊其它零部件(如人孔、接管、补强圈、支座等),这时在筒体表面上需要画出四根与壳体主轴中心线 $OO'$ 相平行的纵向基准线 $AA'$ 、 $BB'$ 、 $CC'$ 和 $DD'$ ,它们分别位于 $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 和 $270^\circ$ ,见图6-1。这四条纵向基准线作为壳体上零部件安装和测量时的定位基准线,也是作为检验人员检验时用的测量基准线。

在封头上画出二根十字中心线,AC、BD和 $A'C'$ 、 $B'D'$ ,封头十字中心线与壳体表面纵向基准线的相互位置关系见图6-2。

封头上这二根十字中心线作为封头上的零部件(如接管、液位计接管等)开孔定位、安装和测量时的定位基准线,也是检验人员检验时用的测量基准线。

在压力容器的筒体放样,制作排版图时,这四根纵向基准线在排版图上的位置就已确定。

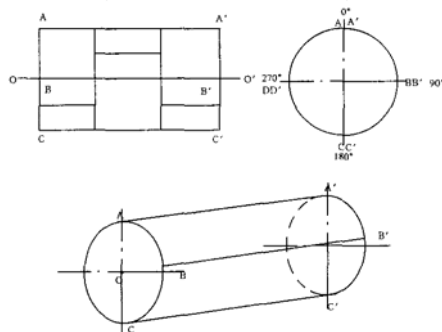


图6-1 壳体上基准线示意图

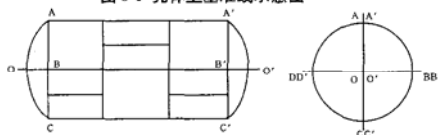


图6-2 壳体和封头上的基准线互相对应

其确定的原则是：

- 1、壳体上开孔尽量不要位于壳体的A、B类焊接接头上，即壳体开孔应尽量避免开焊缝；
- 2、相邻筒节A类接头焊缝中心线间外园弧长以及封头A类接头焊缝中心线与相邻筒节A类接头焊缝中心线间外园弧长应大于筒节钢材厚度的3倍，且不小于100mm，即避免形成十字交叉焊缝。

这四根纵向基准线的端点（A、B、C、D和A'、B'、C'、D'）都应留有永久标记，以便复制，作为检验基准。如图6-3所示。

在壳体装焊成形之后，按照压力容器设计图样的要求，在壳体上画出所要开孔的中心点和开孔大小范围之后，开孔之前应按规定由检验人员对开孔位置和尺寸进行复核，待检验人员确认无误之后才允许开孔。

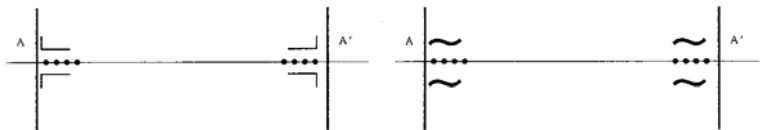


图 6-3 保留基准线示意图

例如：一台卧式压力容器需要安装人孔（a）和接管（b、c），其具体方位和尺寸见图6-4。

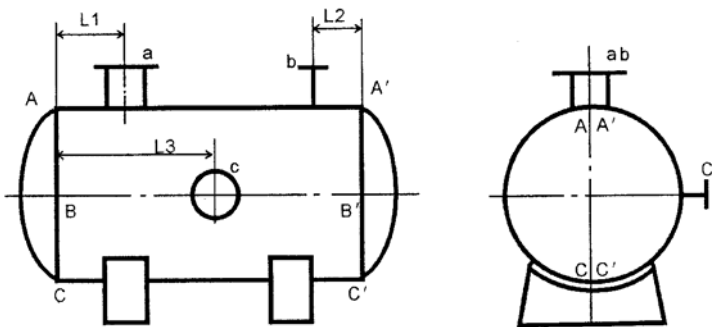


图 6-4 卧式容器人孔及接管的方位和尺寸示例



首先按照排版图,确定AA'、BB'、CC'和DD'四条纵向基准线的位置,并在壳体上留下永久标记。然后按照设计图样要求,确定人孔和接管的方位和相对尺寸,分别在AA'和BB'纵向基准线上确定人孔接管a、接管b和接管c的中心位置和开孔尺寸范围,并画线标注。

检验人员根据设计图样要求,首先确认壳体上四根纵向基准线的位置,然后对确定的开孔中心位置和开孔尺寸范围进行复核,确认。

在检验人员确认壳体上开孔位置和开孔尺寸无误之后,才允许开孔和装焊。

壳体上其它零部件(如支座和支座垫板)的装配程序与上述相同。

壳体上零部件组焊完成之后,检验人员还需按照设计图样要求,再次对壳体上零部件的方位和相对尺寸进行一次目测、确认。若发现问题,则应对零部件的装配尺寸进行检验(测量)和校核。

### 一 零部件组装前验证和零部件组装常用连接方式

零部件进入压力容器组装工序,负责接受人员首先要根据设计图纸和工艺要求验证其名称、图号和检验状态。不合格的零部件不能组装,这是一条基本原则。检验状态可通过查阅流转卡中的检验结论等方式进行验证。对一些重要的装配尺寸,必要时进行检验复核。如果是外购件,检验人员则要按入厂检验规定进行验收,合格才能接收。

压力容器组装常用连接方式是:焊接、法兰连接、螺纹连接、胀接、热套、包扎等方式。焊接使用最为普遍,如封头与筒体、接管与壳体、支座与壳体的连接。法兰连接也常采用,如壳体的设备法兰连接、安全阀与壳体的法兰连接。螺纹连接在超高压容器中使用较为普遍,胀接常用于换热器中的换热管同管板的连接。套合连接在热套容器中使用,包扎用在多层包扎压力容器。这些连接方式的质量,需要检验人员根据相应的技术标准进行检验控制。

### 二 组装过程检验

#### 1.分段(片)出厂压力容器现场组对(焊)检验

通常由于运输的原因,一些压力容器要分段(片)出厂,到客户现场组装,塔式容器这样的例子较多。出厂前,检验人员要特别注意用同一个钢卷尺对现场组焊的两壳体端头周长认真测量,控制周长相差量,以确保现场组焊时的错边量符合要求。必要时,还应在厂内进行试组装,并注意在接口处做好定位标记,如塔式压力容器、球形储罐等。

到达安装现场,分段(片)容器组对后,施焊前,检验人员在目测坡口有无碰伤的基础上,应采用焊接检验尺、焊接接头检验样板等检查焊口间隙和错边量是否满足要求。施焊完毕后,检查人员应全面对这条环焊缝进行外观和几何尺寸检查。合格后,按图纸和技术标准要求委托无损检测。

#### 2.压力容器的开孔与接管连接检查

为了使容器能够进行正常的操作、测试和检修,压力容器的壳体和封头一般都要设计开孔。如物料进出口;测量压力、温度以及装设安全装置的连接孔;液面计孔、人孔和手孔等。这些开孔部位主要通过接管、筒节等连接容器内外部。

接管与壳体的连接通常采用焊接方式,其型式有插入式、骑座式和嵌入式等结构。

检验人员对压力容器开孔与接管焊接质量检查项目、方法和技术要求见表 6-1。

### 3. 支座的检查

表 6-1 开孔与接管质量检查项目表

序号	检查项目	检查内容及技术要求	检查方法和检具
1	管口或接管方位	符合设计图样及产品标准	金属直尺、钢卷尺
2	接管法兰垂直度 或水平度		直角尺、金属直尺、 塞尺、水平尺
3	法兰螺栓孔与设备 主轴中心线位置	跨中或对中	金属直尺、钢卷尺
4	焊接接头外观质量	不得有裂纹、气孔、 弧孔和飞溅物，咬边按 《容规》和相应标准	目测
5	角焊缝厚度	符合设计图样及产品标准	焊接检验尺、样板

支座通过焊接同壳体连接。通常，卧式容器采用鞍式支座；立式容器采用裙式支座。其检查项目、方法和技术要求见表 6-2。

### 4. 胀接检查

表 6-2 容器鞍座检查要求及检具方法

序号	检查项目	检查内容或技术要求	检查方法和检具
1	两鞍座中心线距离	符合设计图样 及产品标准	金属直尺、钢卷尺
2	鞍座底板沿长度方向水平度		金属直尺、钢卷尺、
3	鞍座底板沿宽方向水平度		在辊轮架上测底板到 壳体两侧中心线高度
4	同一鞍座两螺孔中心距		金属直尺
5	鞍座底板与壳体最低表面距离		金属直尺、钢卷尺
6	裙座高度		直角尺、钢卷尺测 4—8 点
7	地脚螺栓孔跨中分布		金属直尺、钢卷尺
8	螺栓孔直径		金属直尺
9	相邻两孔弦长和任意两孔弦长		金属直尺、钢卷尺
10	焊接接头外观质量	不得有裂纹、气孔、弧坑 和飞溅物，咬边按 《容规》和相应标准	目测
11	角焊缝厚度	符合设计图样及产品标准	焊接检验尺
12	支座垫板透气孔	符合设计图样及工艺文件	目测

换热器制造中, 换热管同管板的连接通常采用胀接或胀接和焊接并用。

胀接的检查项目、方法和技术要求见表 6-3

表 6-3 胀管检查要求及方法

序号	检查项目	检查内容或技术要求	检查方法及检具
1	拉脱力	符合设计图样、制造标准和“容规”要求	试胀试样+水压
2	管胀接后外观质量		目测
3	胀管率 HN		游标卡尺测 $d_1$ 、 $d$ 和 $t$ ※
4	胀接密封质量	不泄漏	水压试验

胀管率可按下式计算:

$$H = (d_1 - d_2 - \delta) / d_3 \times 100\%$$

式中:  $H$ ——胀管率, %

$d_1$ ——胀完后的管子实际的内径, mm;

$\delta$ ——未胀时管孔实测直径与管子实测外径之差, mm;

$d_2$ ——未胀时管子实测内径, mm;

$d_3$ ——未胀时管孔实测直径, mm。

### 三 总体几何尺寸检验

压力容器产品总体几何尺寸检验是在组装完成后, 热处理及压力试验之前进行。通常由制造单位总检验员负责。

#### 1. 总体几何尺寸检验的目的

(1) 对工序检查员的工作质量进行检查。工序检查员既是对加工人员工作质量的检查者, 同时又是检查工作的具体实施者。通过总检验员的督促和检查, 可以提高检查的质量和技术水平。

(2) 进一步核实工序检查过程中发现问题的处理情况, 认真检查制造过程中可能出现的新问题, 防止出现事后难以弥补的疏漏。如热处理之后应严格禁止焊接的, 如焊接应重新进行热处理。

(3) 通过对压力容器总体几何尺寸的检查及有关资料的审查, 对产品总体几何尺寸起最终把关作用。

#### 2. 总体几何尺寸检验的主要内容和要求

(1) 对容器总长(高)、壳体长度、壳体内径、壳体圆度、壳体直线度进行逐项检查。

检查方法和技术要求见表 6-4。

(2) 对焊缝布置、管口方位进行检查

表 6-4 总体尺寸检查要求及检具

序号	检查项目	检查内容或技术要求	检测方法 & 检具
1	容器总长 (高)	符合设计图样 及产品标准	钢卷尺、金属直尺
2	壳体长度		钢卷尺、金属直尺
3	壳体内径		钢卷尺、金属直尺、 内径测量杆
4	壳体圆度		
5	壳体直线度		钢丝、金属直尺

检查项目、方法和技术要求见表 6-5。

### 3) 检查容器内外表面质量。

表 6-5 焊缝布置及管口检验要求及检具

序号	检查项目	检查内容或技术要求	检测方法 & 检具
1	相邻筒节纵缝和封头 拼缝错开距离	应大于筒体厚度的 3 倍， 且不小于 100 mm	金属直尺、钢卷尺
2	单节筒体长度	应不小于 300 mm	金属直尺、钢卷尺
3	焊缝和开孔、环焊缝和 内件焊缝边缘距离	应尽量错开	目测
4	开孔位置	符合设计图样及产品标准	金属直尺、钢卷尺
5	管孔方位		金属直尺、钢卷尺

检验人员主要检查容器焊接接头和母材的外观质量，见表 6-6。

### (4) 抽查容器厚度

表 6-6 焊接接头和母材外观质量检验要求及方法

序号	检查项目	检查内容 & 技术要求	检查方法
1	焊接接头外观质量	不得有裂纹、气孔、弧坑和飞溅物， 咬边按《容规》和相应标准	目测
2	母材外观质量	不得有腐蚀、裂纹、气泡、结疤、 折叠、夹杂、分层和机械损伤	目测

检验人员采用超声测厚仪对壳体修磨处以及有怀疑的部位等进行厚度测量抽查，确保厚度满足要求。

### (5) 检查容器上的各种标识

主要检查的标识有材料标识、焊工代号钢印、无损检测标识和检验确认标识。

### (6) 抽查容器的焊接接头外形尺寸

按照《容规》、产品标准和设计图样要求进行检测,首先目测,对有怀疑的部位采用焊接检验尺、样板等量具进行复核。

抽查的项目有焊缝余高、焊脚高度、焊接接头错边量、焊缝棱角度、咬边等。

(7) 对工序检查中发现问题的处理情况应进一步核实,督促全部实施。

(8) 核查总检前的各项加工、检查和试验工作以及各项记录、报告等资料是否真实、可靠和完整。

## 第二节 钢制卧式容器外形尺寸检验特殊要求

除图样另有规定外,钢制卧式容器外形尺寸极限偏差、形状和位置公差见图6-5及表6-7。卧式容器检验和验收的其他要求应符合 GB150 的规定。

案例 1

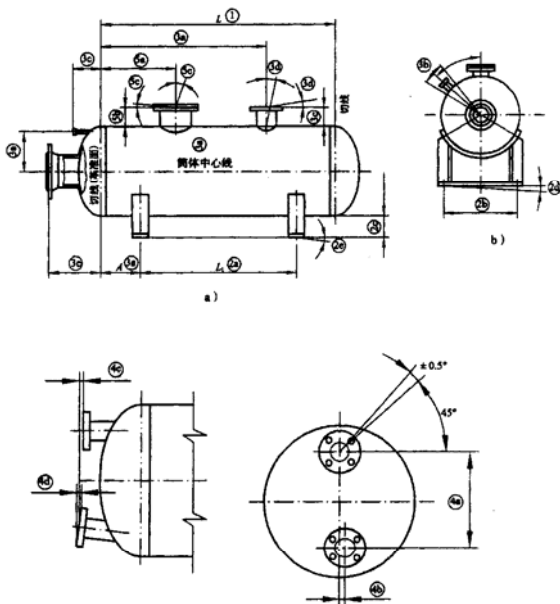


图 6-5 卧式容器尺寸极限偏差及形状位置公差检验项目

表 6-7 卧式容器尺寸极限偏差及形状位置公差

序号	检 验 项 目	极限偏差或公差					
1	封头切线之间的距离 L	长度 Lm	≤ 5	> 5~10	> 10~20	> 20~40	> 40
		板限偏差	± 8	± 10	± 20	± 30	± 40
2	a)两鞍式支座中心线距离 L <sub>1</sub>	C 级 > 4000~8000 ± 8 > 8000~12000 ± 10 > 12000~20000 ± 12 > 30000 ± 14 > 40000 ± 16					
	b)同一鞍座上两螺孔中心距	± 2					
	c)鞍座底板与圆筒最低表面距离	0 -6					
	d)鞍座底板沿长度方向水平度	≤ 0.8/100 底板长					
	e)鞍座底板沿宽度方向水平度	≤ 0.8/100 底板宽					
	3	a)接管中心线到切线、圆筒中心线的距离, 接管间距[液面计见 4a、人孔见 5]	同 2a)				
b)接管及其他附件的方位		± 0.5°					
c)接管法兰面与筒体外表面或切线之间距离		同 2a)					
d)法兰面水平度或垂直度公差		按 GB150 第 10 章规定					
4	a)液面计接管间距	± 1.5					
	b)对应两液面计接管中心垂线水平间距	± 1.0					
	c)通过液面计两接管法兰中心面垂直线间的距离	± 1.0					
	d)液面计法兰面的垂直度	≤ 0.5/100 法兰外径					
5	a)人孔、手孔中心线到切线距离	± 13					
	b)人孔、手孔的法兰面与筒体外表面距离	± 10					
	c)人孔、手孔的法兰面水平度或垂直度	≤ 1/100 法兰外径					

一台双鞍座支承的卧式压力容器,其结构型式如图6-6。该卧式压力容器的外形尺寸极限偏差、形状位置公差及检验方法和所采用的检具如表6-8。

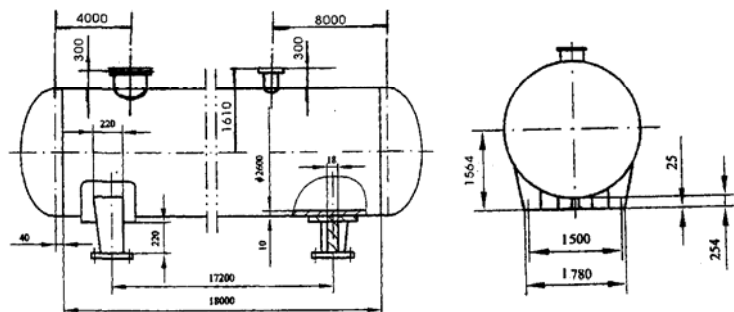


图 6-6 卧式容器结构型式示例

表 6-8 卧式容器检验方法及检具 mm

序号	检 验 项 目	极限偏差 或公差	检验方法	检 具
1	封头切线之间的距离 $L_1$ : 18080	$\pm 20$	沿壳体 $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$ 四个位置测切线间长取对称长平均值	20m 或 30m 钢卷尺
2	a) 两鞍式支座中心线 距离 $L_1$ : 17200	$\pm 12$	支座两侧中心线或 螺孔中心线间距离	20m 钢卷尺
	b) 同一鞍座上两螺孔 中心距 1500	$\pm 2$	两螺孔中心间距离	2m 钢卷尺
	c) 鞍座底板与圆筒最 低表面距离 254	0 -6	底板长中心到壳体 $0^\circ$ 中心线垂直距离	1m 钢卷尺、直角尺
	d) 鞍座底板沿长度方 向水平度	14.24	底板长度方向两端到壳体 中心线的高度差	水平尺、直角尺、 金属直尺
	e) 鞍座底板沿宽度方 向水平度	2.4	底板中心宽度方向两侧到 壳体轴线距离差值	水平尺、直角尺、 金属直尺

续表

6-8 卧式容器检验方法及检具

mm

3	a)接管中心线到切线 距离 8000 接管中心线到圆筒 中心线距离 1610	$\pm 8$ $\pm 3$	金属直尺放置在法兰中心线 为基准, 钢卷尺测到切线或 壳体 $90^\circ$ 、 $270^\circ$ 中心线间 距离对称平均值	10m 钢卷尺 2m 钢卷尺 金属直尺
	b)接管方位	$\pm 0.5^\circ$	接管中心线和壳体中心 基准线弧长	金属直尺或钢卷尺
	c)接管法兰面与筒体 外表面之间距离 300	$\pm 1.2$	法兰面与壳体 $0^\circ$ 中心线 垂直最小距离	0.5m~1m 金属直尺、 直角尺
	d)法兰面水平度公差	3	法兰面中心两侧到壳体 对称高度差	0.5m 金属直尺、 直角尺、水平尺
4	a)人孔中心线到切线 距离 4000	$\pm 13$	同 3a)	5m~20m 钢卷尺
	b)人孔法兰面与筒体 外表面距离 300	$\pm 10$	同 3c)	0.5m~1m 金属直尺或 1m~5m 钢卷尺、直角尺
	c)人孔法兰面水平度	6	同 3d)	0.5m~1m 金属直尺、 直角尺、水平尺

注 1: “封头切线”这里指封头的圆筒部与曲面部的分界线(环)。其位置的确定是以封头端面为基准, 以封头直边高度值垂直于端面的量值而定。

注 2: 封头切线之间的距离 L 的测定通常是采用测量筒体与封头的环向焊接接头中心线之间的距离, 再加上两封头的直边高度, 二者之和即为 L。

## 案例 2

检具误差与工件公差之间的关系:

表 6-9 检具误差与工件公差的关系 mm

序号	检验项目	工件极限偏差或公差	检具	检具示值误差	检具示值误差 工件公差
1	1	$\pm 20$	20m 钢卷尺	$\pm 5.0$	$10/40=1/4$
2	2a	$\pm 12$			$10/24=1/2.4$
3	2b	$\pm 2$	2m 钢卷尺	$\pm 1.2$	$2.4/4=1.2/2$
4	2c	-6			$2.4/6=1.2/3$
5	3a	$\pm 3$			$2.4/6=1.2/3$
6	3c	$\pm 1.2$	0.5m 金属直尺	$\pm 0.15$	0.3/2.4
7	3d	3			0.3/3=1/10
8	4a	$\pm 13$	20m 钢卷尺	$\pm 5.0$	$10/26=1/2.6$
9	4b	$\pm 10$	2m 钢卷尺	$\pm 1.2$	$2.4/20=1.2/10$
10	4c	6	0.5m 金属直尺	$\pm 0.15$	0.3/6=1/30



从表 6-9 可以看出,所选用的检具误差与工件公差之间的关系。所选用的检具示值误差小于工件公差,所选用的检具示值误差与工件公差之间的比值大约为  $1/10 \sim 1/2$ 。

### 案例 3

关于卧式容器鞍式支座长度方向的水平度 (2d) 和宽度方向水平度 (2e) 测量

卧式容器鞍式支座与筒体组对过程中中和点固后应控制,焊接后需测量检查支座底板沿长度方向和宽度方向的水平度,如 JB/T4731-2005 图 8-1 中的 2d 和 2e (或“钢制压力容器制造常规检验方法和检具”图 6-5 中的 2d 和 2e) 其公差分别为  $\leq 0.8/100$  底板长或宽。根据设备制造组对和检验时的具体条件可采取:

(1) 将完工设备支座置于平台上,用塞尺分别沿每个支座底板长度或宽度方向端部平面进行检查,塞尺测量时的最大厚度值即为长度或宽度方向水平度。

(2) 以设备筒体两侧  $90^\circ$  和  $270^\circ$  轴线为基准,用钢直尺 (或钢卷尺) 配合直角尺,从支座底板长度方向两端平面分别垂直测量,取其差值即为支座底板长度方向水平度。

(3) 以设备筒体下部  $180^\circ$  轴线为基准,用钢直尺从支座底板宽度方向两侧垂直测量的差值即为支座底板宽度方向水平度。

### 案例 4

关于卧式容器接管法兰径向水平度测量

卧式容器接管法兰与筒体组对过程中中和点固后应控制,焊接后需测量检查接管法兰面水平度或垂直度。JB/T4731-2005 图 8-1 中的 3d (或“钢制压力容器制造常规检验方法和检具”图 6-5 中的 3d) 其偏差不得超过过法兰外径的  $1/100$  (法兰外径小于 100mm 时,按 100mm 计算),且不大于 3mm。检测方法如图 6-7 示。

一般沿设备轴向和环向,用钢直尺紧靠法兰平面,用深度游标卡尺的基座贴紧钢直尺,尺身靠紧法兰外圆平面对称测量出最大差质即为接管法兰水平度或垂直度。

因是沿设备轴向和环向 (即法兰的外圆周) 测量的,应包含法兰径向水平度。

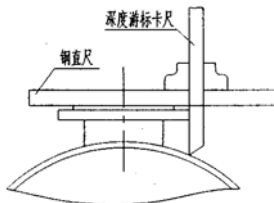


图 6-7 卧式容器接管法兰径向水平度测量示意图

### 案例 4

立式容器地脚螺栓孔弦长误差为  $\pm 2\text{mm}$ , 如弦长为 3mm 时, 如何选用检查量具?

关键是不必要选择高精度测量器具, 而选用钢卷尺时, 虽然  $3\text{m} \sim 3.5\text{m}$  的钢卷尺本身的误

差为 $\pm 2\text{mm}$ 不满足被测件的精度要求。但实际上是可以选用 $3\text{m}\sim 3.5\text{m}$ 的钢卷尺来测量。因为控制地脚螺栓孔弦长目的是控制地脚螺栓孔的均布。而螺栓孔的均布,是从划线开始的。首先划出中心圆,按螺栓数量算出标准弦长,用“分规”或“地规”以弦长为等分长在中心圆上划出每个螺栓孔中心,在等分划线过程要保证起始点和终点重合,否则对“划规”进行微调后重新划线,直至等分点重合。这样心线正确,加工出来的螺栓孔误差就不大了。

说明两点:

- (1) 等分螺栓孔的划线长是个绝对值,当由于误差达不到等分时可以调整达到中心等分。
- (2) 划螺栓孔等分时的标准弦长是相邻两螺栓孔之间的,不会达到 $3\text{m}$ 长,可以用钢直尺或 $3\text{m}$ 以下的钢卷尺,其本身误差为 $\pm 1.2\text{mm}$ 或更小,这就满足了被测件的精度要求

结论:综上所述,可用 $3\text{m}\sim 3.5\text{m}$ 的钢卷尺测量立式容器地脚螺栓孔为 $3\text{m}$ 的弦长。

### 第三节 钢制塔式容器外形尺寸检验特殊要求

一、按照 JB/T4710-2005《钢制塔式容器》标准,钢制塔式容器外形尺寸偏差见图 6-8 及表 6-10。钢制塔式容器检验和验收的其他要求应符合 GB150 的有关规定。

二、案例

一台等直径泡罩塔,其结构型式如图 6-9。该塔式容器的外形尺寸允差及检具见表 6-11。其工件极限偏差或公差与检具示值误差之间的关系见表 6-12。

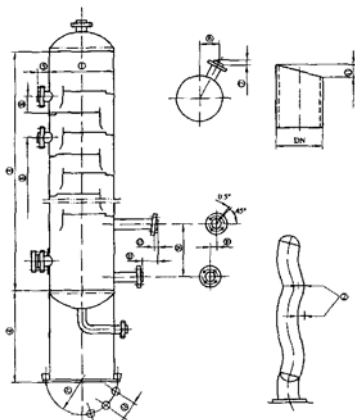


图 6-8 塔式容器外形尺寸偏差图例

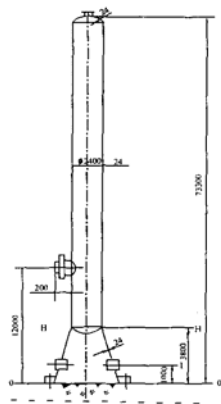


图 6-9 泡罩结构型式图

表 6-10 钢制塔式容器外形尺寸公差表 mm

序号	检 验 项 目	允 许 偏 差
1	筒体圆度	按 GB150 规定
2	筒体直线度	1、任意 3000 长度筒体直线度偏差 $\leq 3$ 2、圆筒体总长度 $\leq 15000$ 时, 总偏差 $\leq L/1000$ , $L > 15000$ 时, 总偏差 $\leq 0.5L/1000 + 8$
3	上下两封头焊缝之间的距离	每长度为 1000 时为 $\pm 1.3$ , 当 $L \leq 30000$ 时, 不超过 $\pm 20$ ; $L > 30000$ 时, 不超过 $\pm 40$
4	基础环底面至塔釜封头与塔壳 连接焊缝的距离	每长度 1000 为 $\pm 2.5$ , 且不超过 $\pm 6$
5	接管法兰面至塔体外壁距离	$\pm 2.5$
6	设备开口中心 标高及周向位置	接 管 $\pm 5$
		人 孔 $\pm 10$
		液面计接口 $\pm 3$
7	与外部管线连接的法兰面 垂直度或平行度	$DN \leq 200$ 时为 $\pm 1.5$ , $DN > 200$ 时为 $\pm 2.5$
8	接管中心线到塔盘面的距离	$\pm 3$ (人孔为 $\pm 6$ )
9	液面计对应接口间的距离	$\pm 1.5$
10	液面计对应接口周向位置	$\pm 1.5$
11	液面计对应接管外伸长度差	$\leq 1.5$
12	液面计法兰面垂直度	$\leq$ 法兰外径的 0.5%
13	塔壳分段处端面平行度	$DN/1000$ , 且不大于 2
14	地脚螺栓相邻或任意两孔弦长	$\pm 2$
15	地脚螺栓孔中心圆直径	$\pm 2$

表 6-11 塔式容器外形尺寸允差及检具 mm

序号	检 验 项 目	允 许 偏 差	检 具
1	筒体圆度	24	钢卷尺
2	筒体直线度	任意 3m 长度 $\leq 3$ 总长度总偏差 44.65	钢丝、金属直尺
3	上下两封头焊缝之间的距离 68850	$\pm 40$	100m 钢卷尺
4	基础环底面至塔釜封头与 塔壳连接焊缝的距离 3800	$\pm 6$	5m 钢卷尺
5	接管法兰面至塔体外壁距离 200	$\pm 2.5$	300 金属直尺
6	接管法兰中心标高 12000	$\pm 5$	15m 钢卷尺

表 6-12 塔式容器工件公差与检具误差的关系 mm

序号	检验项目	工件极限 偏差或公差	检 具	检具示值误差	检具示值误差 工件公差
1	1	24	10m 钢卷尺	$\pm 3.5$	$7.5/24 \approx 1/3$
2	2	44.6512	150mm 金属直尺	$\pm 0.15$	$0.3/44.65 \approx 1/150$
3	3	$\pm 40$	100m 钢卷尺	$\pm 20$	$40/80 = 1/2$
4	4	$\pm 6$	5m 钢卷尺	$\pm 2.5$	$5/12$
5	5	$\pm 2.5$	300mm 金属直尺	$\pm 0.15$	$0.3/5 \approx 0.6/10$
6	6	$\pm 5$	15m 钢卷尺	$\pm 4$	$8/10 \approx 4/5$

#### 第四节 钢制球形储罐外形尺寸检验特殊要求

— 按照 GB12337-1998《钢制球形储罐》和 GB50094-98《球形储罐施工及验收规范》标准，钢制球形储罐外形尺寸偏差见图 6-10 及表 6-13。钢制球形储罐检验的其他要求应符合 GB150 的有关规定。

##### 二 案例

一台 1000m<sup>3</sup> 液化石油气球罐，其结构型式如图 6-11。该球形储罐的外形尺寸允差及检验方法和检具见表 6-14。

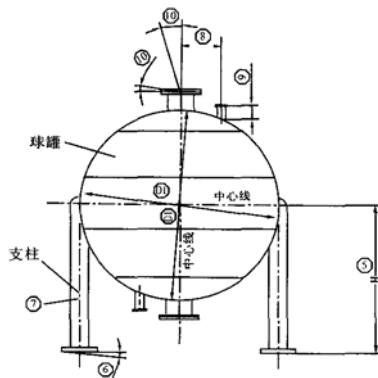


图 6-10 a) 球形储罐外形尺寸偏差示意图

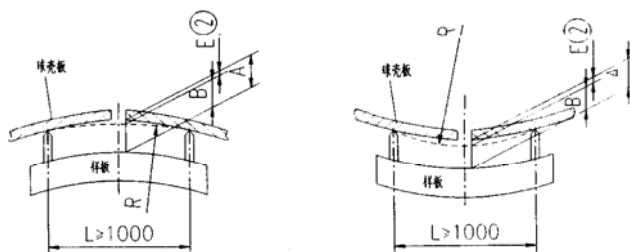


图 6-10 b) 球形储罐外形尺寸偏差示意图

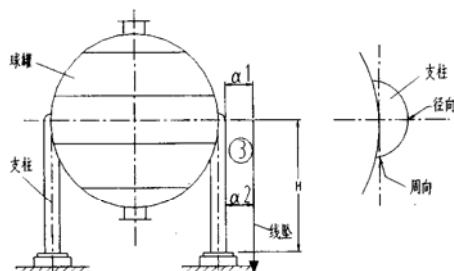


图 6-10 c) 球形储罐外形尺寸偏差示意图

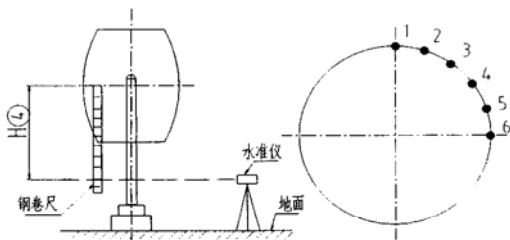


图 6-10 d) 球形储罐外形尺寸偏差示意图

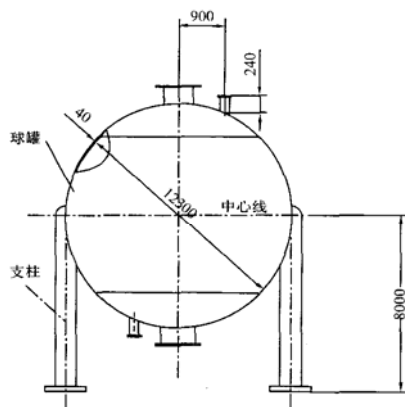


图 6-11 球形储罐结构形式示意图

表 6-13 钢制球形储罐外形尺寸公差表 mm

序号	检 验 项 目	极限偏差或公差
1	两极间的内直径、赤道截面的最大内直径和最小内直径三者相互之差	$< 7D/1000$ , 且 $\leq 80$
2	棱角度 $E$	$\leq 10$
3	支柱垂直度: 支柱高度 $\leq 8m$ 支柱高度 $> 8m$	$\leq 12$ $\leq 1.5H\%$ , 且 $\leq 15$
4	每块板的赤道线水平误差 相邻的赤道线水平误差 任意的两赤道线水平误差	$\leq 2$ $\leq 3$ $\leq 6$
5	支柱全长长度 $H$ 允许偏差	$\pm 3$
6	支柱与底板垂直度允许偏差	$\leq 2$
7	支柱全长的直线度	$\leq L/1000$ , 且不大于 10
8	开孔位置允许偏差	$\leq 5$
9	接管外伸长度及位置允许偏差	$\leq 5$
10	接管法兰面水平度或垂直度	不超过法兰外径的 1% (法兰外径小于 100mm 时按 100mm 计), 且不应大于 3

表 6-14 球罐外形尺寸公差及检具 mm

序号	检 验 项 目	允许偏差值	检 具
1	两板间的内直径、赤道截面的最大内直径和最小内直径三者相互之差	80	20m 钢卷尺
2	支柱垂直度	12	0.3m~0.5m 金属直尺、线坠
3	支柱全长的直线度	10	钢丝、金属直尺
4	接管法兰面水平度或垂直度	3	0.5m~1m 金属直尺、 直角尺、水平尺

## 第五节 钢制管壳式换热器外形尺寸检验特殊要求

与钢制卧式容器和钢制塔式容器相比较,钢制管壳式换热器在结构型式上显著的不同之处,在于钢制管壳式换热器有管板和换热管,以及管板和换热管之间的连接问题。而管板和换热管之间的连接多数又采用了强度焊方式。因此本节主要介绍钢制管壳式换热器管板和换热管焊接处的外形尺寸检验要求。钢制管壳式换热器外形尺寸检验的其它要求可参照本章二、三节。管板与换热管的焊接在换热器的设计、制造与检验中至关重要。由于管板和换热管的焊接结构的特殊性,与检验手段的限制,可能使换热器设备运行时存在潜在的危害焊接缺陷(如假焊等),导致在设备运行中,不可避免地出现泄漏。因此对管板和换热管焊接质量要求高。

管板和换热管焊接连接一般检查要求

管板和换热管焊接连接检查要求见表 6-15。

表 6-15 管板—换热管焊接连接检查要求

序号	检 查 项 目	检查内容及技术要求	检 查 方 法
1	焊 前 检 查	管板孔内粗糙度	目测、样块
2		孔径公差	符合图样规定公差要求
3		管板孔坡口	
4		换热管、管板、管板孔内清洁度	目测
5	焊 后 检 查	换热管伸出高度	金属直尺
6		点固焊缝	目测
7		管板与换热管焊缝外观	目测
8	管板与换热管的耐压试验	无任何可见缺陷	目测
9		管板与换热管的气密试验	目测、试纸
10		管板与管换热焊缝的着色或磁粉检验	PT 或 MT, 目测

## 第七章 压力试验检验

压力试验包括耐压试验和气密性试验。它是压力容器制造过程中的一项重要综合性检验项目。

### 一 耐压试验

压力容器制造完毕后,应按《容规》、“标准”和设计图样规定进行耐压试验。耐压试验又分为液压试验和气压试验,通常采用液压试验。由于结构或支承原因,不能向压力容器充灌液体,以及运行条件不允许残留试验液体的压力容器,可按设计图样规定采用气压试验。耐压试验是全面验证容器强度和检漏的重要检验方法。

#### 1. 检查确认耐压试验方法、试验程序和试验用仪表

根据企业生产计划安排,接到生产用图纸、工艺文件后,压力试验责任工程师应组织编制耐压试验工艺文件,编制的依据是《容规》、制造标准和设计图样以及企业制定的质量管理体系文件的规定等。压力试验责任工程师应对耐压试验工艺文件进行审核确认。重点要审核耐压试验的试验压力、试验方法和程序。

耐压试验工艺必须发放到操作者和检验人员手中。检验人员对将进入耐压试验工序的压力容器,检查确认同收到的耐压试验工艺文件进行对照确认两者是否对应。这可通过检查产品流转卡、产品标识来判断。

确认耐压试验工艺文件和实物符合后,检验人员应检查试验用压力表的规格、精度、数量、计量检定标识。按《容规》规定,压力表表盘直径不应小于100mm,表盘刻度极限值应为最高工作压力的1.5~3.0倍。低压容器使用的压力表精度不应低于2.5级,中压及高压容器使用的压力表精度不应低于1.5级。耐压试验时应至少安装两块压力表。两块压力表都应经计量检定合格,且在检定合格期内。

#### 2. 检验确认耐压试验环境条件

液压试验应设置专用场地。场地应有可靠的安全防护措施,应经单位技术负责人和安全部门检查认可。

液压试验介质一般采用水,因此人们习惯把液压试验称为水压试验。水必须是洁净的,检验人员可目测检查。对奥氏体不锈钢压力容器用水进行液压试验时,检验人员应检查水质分析单,检查水中氯离子含量是否超过25PPm。当试验介质为可燃性液体时,检验人员应查看试验温度是否低于可燃液体的闪点,本单位安全部门是否到现场监督。对于气压试验,检验人员应检查所用试验气体是否与耐压试验工艺规定相一致。气压试验可用干燥、洁净的空气、氮气或其他惰性气体。

检验人员应用温度计测量试验介质的温度。对于碳素钢、16MnR和正火15MnVR制压力容器,液压试验不得低于5℃;其他低合金钢压力容器液压试验不得低于15℃。如果由于板厚等



因素造成材料无延性转变温度(NDT)升高,则需相应提高液体温度,通常为 $NDT+16^{\circ}\text{C}$ 。其他材料压力容器耐压试验温度按设计图样规定。

### 3. 检查耐压试验过程

耐压试验前,检验人员应对产品的外观质量进行复查。主要复查产品标识、焊接接头外观质量和焊缝布置等(参见表1-1相关检查项目)。压力试验责任工程师审查产品检测资料是否齐全、正确,确认压力试验前必须进行的工序已完结且符合要求,才能通知压力容器产品监检单位审核并到场监检。

检验人员应在压力容器制造现场检查耐压试验全过程,对气压试验和使用易燃液体作介质的液压试验,单位安全部门人员应到场。

耐压试验应严格按工艺文件要求进行。耐压试验通用规程和专用工艺内容通常包括试验前容器各连接部位的紧固螺栓必须装配齐全、液压试验时容器内的气体必须排净、升降压步骤、保压时间等一系列规定。

液压试验后的压力容器,经检查符合下列条件,检验人员方可认为合格:

- (1) 无渗漏。
- (2) 无可见变形。
- (3) 试验过程中无异常声响。
- (4) 对抗拉强度规定值下限 $\geq 540\text{MPa}$ 的材料,表面经无损检测抽查未发现裂纹。

气压试验的压力容器,试验过程中无异常声响,经肥皂液或其他检漏液检查无漏气,无可见变形,检验人员即可认为合格。

耐压试验后,检验人员还应检查容器内部是否进行了清理和吹干。

### 4. 审核耐压试验报告,确认试验结果符合法规、标准要求

耐压试验完毕,检验人员应填写压力试验检验报告。压力试验检验报告应符合容规附件三(11)的要求,即应包括产品编号、工艺过程卡编号、压力表精度、量程、规格、编号、试验介质及其温度、压力试验曲线和结论等数据。压力试验责任工程师应进行审核签字,确认试验结果是否符合法规标准要求。质量监督检验人员也应在试验检验报告上签字确认。

## 二 气密性试验

气密性试验的目的是检查容器在设计压力下的密封性。压力容器充装介质为极度危害或高度危害、易燃、易爆介质,或设计上不允许有微量泄漏的压力容器,设计上往往要考虑进行气密性试验。气密性试验在液压试验合格后方可进行。做了气压试验,并经检查合格的压力容器,一般可免作气密性试验。但因容器介质等原因,还需做气密性试验时,应在设计图样上规定。

### 1. 检查确认气密性试验方法、试验程序、试验用仪器仪表

同耐压试验一样,压力试验责任工程师应根据“容规”标准和图纸要求,组织编制压力容器气密性试验工艺文件,并对其进行审核确认。审核的重点是试验压力、试验方法和程序。

压力容器进入气密性试验工序,检验人员应检查确认同收到的气密性工艺文件使用对象相一致。这可通过检查产品流转卡、液压试验报告、产品标识来确认。

根据气密性试验工艺要求,检验人员应检查试验用压力表规格、量程、精度和数量是否符合要求,是否经计量检定合格,并且在检定周期内使用。具体要求同气压试验。不同的是气压试验压力为1.15倍设计压力,而气密性试验压力一般为设计压力。

### 2. 检查确认气密性试验环境条件

气密性试验场地应有可靠的安全防护措施,远离人员密集区域,无关人员不得入内。压力试验责任工程师和检验人员应检查确认是否经单位技术负责人和安全部门人员检查认可。

气密性试验所用气体应为干燥洁净的空气、氮气或其它惰性气体,一般使用空气。检验人员按工艺文件核对。

检验人员应用温度计测定试验气体温度,通常可查看当时的室温。对碳素钢和低合金钢制压力容器,其试验用气体的温度应不低于5℃,其它材料制压力容器按设计图样规定。气密性工艺文件应有相应规定。

### 3. 监督气密性试验过程

气密性试验前,检验人员应通过审查检测资料检查确认该压力容器是否做过液压试验并合格,检查压力容器的安全附件是否装配齐全。如需投用前在现场装配安全附件,应在压力容器质量证明书的气密性试验报告中注明装配安全附件后再次进行现场气密性试验。

检验人员和压力试验责任工程师对气密性试验进行全过程监督和检查,确保气密性试验工艺文件全面执行。

气密性试验和气压试验控制措施、方法相同。小型压力容器可浸入水中检查泄漏情况。在试验压力下保压不少于30分钟,经检查无泄漏即为合格。

### 4. 审核气密性试验报告,确认试验结果符合法规、标准要求

同耐压试验一样,气密性试验完毕,检验人员应填写压力试验检验报告。该报告格式同样应符合“容规”附件三(11)的要求。压力试验责任工程师应进行审核、签字,确认试验结果是否符合法规、标准的要求。

## 第八章 最终检验

压力容器耐压试验合格后,即进入压力容器产品最终检验阶段。压力容器产品最终检验应按照相关法规、标准及设计文件的要求进行,由检验责任工程师负责组织实施,最终检验的项目和内容应不低于法规、标准和设计文件的要求,旨在确保压力容器出厂产品质量符合法规、标准及设计文件的规定要求和交付使用的安全性能。

压力容器产品最终检验的项目有:主要受压元件使用材料情况的复核;压力容器产品外观及几何尺寸检验的复核;各项过程检验记录、试验报告的汇总及复核;产品铭牌;标志、油漆、包装;竣工图及出厂质量证明文件等。

### 1. 主要受压元件使用材料情况的复核

(1) 复核主要受压元件使用材料一览表(以下简称“一览表”)中填写的材料牌号、规格、供货状态是否与设计文件的规定相一致;复核一览表中填写的入厂材料标志与过程记录(含产品示意简图记录)中反映的领用材料标识是否一致;复核一览表中填写材料化学成分、力学性能等各项数据是否符合相关标准并与相对应质量证明书内容相一致。

(2) 复核一览表中需复验的材料是否填写复验数据,且复验数值是否符合相关标准和设计文件的要求。

(3) 有材料代用情况时,复核材料代用的见证资料是否正确、齐全。

(4) 复核 A1 级压力容器受压零(部)件所使用的材料是否符合相关材料、零(部)件标准和设计文件要求。有特殊验收要求的还需复核其检(复)验见证资料是否齐全、数据是否正确。

(5) 复核所使用的焊接材料按企业压力容器质量保证体系文件进厂验收和发放记录,有特殊复验要求的还需复核报告的完整性和正确性。

### 2. 压力容器外观及几何尺寸检验复核

(1) 压力试验合格后及按出厂要求相关零件装配齐全后,应按法规、标准及设计文件对压力容器产品内部和外部的表面质量进行检验复核。

(2) 按《容规》附件三(5)压力容器外观及几何尺寸检验报告复核相关检验记录,检验报告中的实测结果和检验结论应与相关检验记录的内容相一致。若检验记录存在缺项或检验方法、检具选用不当时应进行补项或重新检验。

(3) 复核压力容器产品实物上材料标识、焊工代号标识、无损检测标识、检验标识是否清晰,且应与产品示意简图记录、过程检验记录保持一致。

### 3. 各项过程检验记录、试验报告的汇总及复核

(1) 依照设计总图明细表,逐件核对过程检验记录,复核检验项目和记录的齐全性,检验结果判定的正确性。

(2)依照法规标准及设计文件的要求,逐项核对产品焊接试板力学和弯曲性能试验检验报告、无损检测报告、热处理报告及记录曲线、压力试验报告等;并复核试验报告的有效性,试验数据的完整性和试验结论的符合性。

(3)复核外购主要受压元件质量证明文件的有效性和符合性;复核进厂检验(或复验)记录(或报告)与相关法规、标准及设计文件的符合性。

(4)复核不合格品处理过程文件及返修的检验记录。

#### 4. 产品铭牌

(1)复核所制作压力容器产品铭牌,其内容是否与法规和设计文件相一致。

(2)复核产品铭牌安装位置是否符合设计文件的规定要求及安装的可靠性。

#### 5. 标志、油漆和包装

(1)复核压力容器产品所设置的标志是否与法规标准和设计文件的规定相一致。

(2)复核压力容器产品油漆检查记录,其使用油漆品牌、容器表面预处理质量、涂层及颜色应符合相关标准及设计文件的规定要求。

(3)复核压力容器密封面保护检查记录;随机装箱清单及装箱记录是否一致。复核压力容器产品出厂包装(通常裸运)是否符合相关文件的规定。

#### 6. 竣工图及出厂安全质量技术资料

(1)按企业压力容器质量保证体系文件的规定程序编制竣工图后,应加盖竣工图章,并复核修改处内容与相关检验记录的一致性。

(2)签发压力容器产品合格证,并将产品质量证明书提交质保工程师和企业法定代表人审签。

(3)向压力容器产品安全监督检验机构申领压力容器产品监检证书并由压力容器产品安全监督检验机构在产品铭牌上,加打监检钢印。

(4)拓印产品铭牌。

(5)按照相关法规的规定汇总随机产品安全质量技术资料。

(6)汇总压力容器产品竣工资料,编制目录装订成册,与RT检测底片一起归入产品档案室。

## 附录 A 搪玻璃设备高电压试验

1 用在腐蚀条件下搪玻璃设备的高电压试验的试验目的在于检测和定位搪玻璃层中延伸至金属基体的缺陷和搪玻璃层中的薄弱点。薄弱点是指搪玻璃层中由于气泡、夹杂物、裂纹等的存在而使搪玻璃层的厚度低于高电压击穿厚度的区域。

### 2 原理

用高电压发生器的正电极给搪玻璃层施加一个规定的不低于2KV的直流电压。通过火花放电和高电压发生器同时发出的光和（或）声的信号探测出搪玻璃层中的缺陷和薄弱点。

### 3 装置

3.1 高电压发生器：高电压发生器能给出不低于2KV的满足试验要求的直流电压，其允许误差为 $\pm 5\%$ 。高电压发生器的总内阻要足够的高，以使短路电流的算术平均值最大为2mA至3mA，在火花放电过程中峰值电流的最大值应在10mA至50mA之间，而每个脉冲放电量的最大值为25 $\mu\text{C}$ 。高电压发生器的负极应保证可靠接地，正极应用一长度适宜的屏蔽高压电缆与试验电极相连接。

#### 3.2 试验电极

3.2.1 试验电极由绝缘把手、电刷及保护电阻组成。

3.2.2 绝缘把手是具有一个接地的金属外套；电刷由（适合制作试验电刷）金属丝制成，应完全不受火花放电的影响，且在扫过搪玻璃面时能覆盖尽可能大的面积；保护电阻设在把手和电刷之间，用来限制在电火花放电时的峰值电流（10mA至50mA为最大值）。并应考虑不会因为粉尘等污染使其保护效果降低，同时应避免影响操作时产生的放电。

#### 3.3 报警系统

在每次放电时能给出清晰的光和（或）声的信号

### 4 检测步骤

4.1 试验电压的确定要考虑到搪玻璃设备的最终用途、绝缘性能和搪玻璃层厚度。试验电压至少应相当于同样（搪玻璃层）厚度的空气层击穿电压的3倍。

4.1.1 按GB/T7991提供的方法测量搪玻璃层的厚度（t；mm）

4.1.2 确定试验电压V

$$V \geq 3V_1 \cdot t$$

式中：t：搪玻璃层厚度

$V_1$ ：每mm厚空气层击穿电压

4.2 在检测时应确保：

4.2.1 搪玻璃层保持干燥和清洁；

4.2.2 搪玻璃层的温度高于露点且不超过40℃；

4.2.3 金属基体要保证可靠接地。

4.3 接通电源，根据试验需要设定电压值，移动电刷，使电刷覆盖尽可能大的面积，电刷移动的最大速度为40cm/S，保持试验电压与规定电压一致。如果电刷上的电压降低10%而仍不产生火花时，应检查并排除影响因素。在检测出的缺陷或薄弱点做好标记，并测量该点的搪玻璃层厚度。

## 5 试验报告

试验报告至少应包括以下内容：

试验电压、导电点数量和位置，缺陷处搪玻璃层厚度，试验依据的标准名称及代号。

## 附录 B 真空检漏

1 真空系统或真空容器的漏气是绝对的，不漏气是相对的。真空检漏所指“漏”的概念，是和最大允许漏率的概念联系在一起。

对于动态真空系统来说，只要真空系统的平衡压力能达到所要求的真空度，这时即使存在着漏孔，也可认为系统是不漏的。

对于静态真空系统来说，则要求在一定的时间间隔内，系统内的压力能维持在所允许的真空度以下，同样也可认为系统是不漏的。

2 由于真空系统结构材料表面的出气，试验物或工件的出气，系统内各种材料的蒸气，气体通过器壁向系统内渗透以及系统的死空间中气体的流出等造成所谓“漏气”，称之为虚漏。

相对虚漏而言，漏气可称为实漏。下文中若不加特别说明，所说的漏气均指实漏。同时值得指出的是真空容器在组装过程中应严格遵守工艺文件的要求，确保工件表面的清洁度。

3 对于大多数真空系统、容器来说，如果真空抽不上去，应首先判断漏气是不是主要因素，然后确定是否需要进行检测。

检漏一般先经总检漏率的测定，只有当总漏率超出允许值后，再进行漏孔的定位工作。这是因为找出漏孔位置的工作一般比漏率测量工作更艰难一些，当然这也与漏孔大小及具体的检漏方法有关。有关真空装置的最大允许总漏率见表 1。

4 真空技术中所讲的漏孔是指当封闭的容器内部与外部的压力或浓度不同时，可以使气体由器壁的一侧泄漏到另一侧的小孔、缺陷或缝隙以及渗透元件或漏气装置。

最容易产生漏孔的情况是各种焊接接头及器壁材料有气孔、夹渣或裂纹；冷加工后出现的裂纹；密封圈不完善或受到损伤；密封面加工粗糙度不达标或有贯穿划痕；密封面、密封圈之间未压紧以及材料受腐蚀后形成的漏点等。

5 真空容器的漏孔形式大致有细圆管状；断面复杂的管状；隙缝；连在一起的多孔组织及由细管或隙缝把空穴连起来的组合结构。

漏孔由于尺寸微小、形状复杂，无法用几何尺寸来表示，所以一般用漏气速率（简称“漏率”）来表示其大小。如不加特别说明，漏率是指在标准条件下，露点温度低于 $-25^{\circ}\text{C}$ 的空气通过一个漏孔的流量。标准条件是漏孔入口压力为 $100\text{KPa}$ （ $\pm 5\%$ ），出口压力低于 $1\text{KPa}$ ，温度为 $23 \pm 7^{\circ}\text{C}$ 。

6 漏率也叫漏气速率，系指处于高压或高浓度下的气体，在单位时间内通过漏孔流向低压气端（或低浓度端）的气体体积。

表示漏率单位是： $[\text{压力}] \cdot [\text{体积}] / [\text{时间}]$ ，即 $\text{Pa} \cdot \text{L/S}$ 。

表1 真空装置总漏率

装 置	允许的总漏率 (Pa · L/S)
减压蒸馏、真空脱气、真空浓缩	103
减压干燥、真空浸渍、真空输送	10
冷冻干燥	1
分子蒸馏	10-1
真空蒸馏	10
简单的真空过滤和真空成形	1

## 7 标准漏孔

标准漏孔是指一个在给定条件下能向真空系统内提供已知的气体流量的装置。标准漏孔是用来校准检漏仪的灵敏度和标定检出漏孔的大小。精密的标准漏孔也可用于真空泵抽速的测量及真空规的校验。

### 7.1 标准漏孔的分类

7.1.1 一种分类方法是把标准漏孔分成实漏型和虚漏型二种。属于实漏型的标准漏孔有金属压扁型的标准漏孔、玻璃—铂丝型标准漏孔、玻璃毛细管型标准漏孔等。属于虚漏型的标准漏孔有薄膜渗氦型标准漏孔和放射型漏孔（即所谓“绝对漏孔”）等。

7.1.2 另一种分类方法是把标准漏孔分成带气室型和不带气室型两种。氦质谱检漏仪所备用的供校准用的标准漏孔是用带气室型标准漏孔，气室内充满氦气。不带气室的漏孔在使用时需要有一个气体供应装置，如配气系统等。

7.2 标准漏孔的校准：标准漏孔的漏率一般都小于  $10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{L/S}$ ，它的校准属于小流量测量问题，常用的校准方法是压力容积法和质谱计比较法。由于压力容积法操作困难，设备比较复杂，用得也不多。质谱计比较法则是假定用一个带氦室的已知漏率为  $Q_1$  的漏孔  $L_1$  来校准带氦室的薄膜漏孔  $L_2$ ，校准过程如下：将氦质谱检漏仪调到氦峰上，关闭阀门  $S_1$  和  $S_2$ ，记下输出仪表读数  $N_0$ ；打开阀门  $S_1$ ，记下输出仪表读数  $N_1$ ；关闭阀门  $S_1$ ，打开阀门  $S_2$ ，记下输出仪表读数  $N_2$ ，则  $L_2$  的漏率  $Q_2$  为：

$$Q_2 = Q_1 \frac{N_2 - N_0}{N_1 - N_0}$$

## 8 检漏方法的分类

检漏方法根据所使用的设备可分为氦质谱检漏仪法、卤素检漏仪法及其它简易检漏法。根据被检容器所处的状态又可分为压力检漏法与真空检漏法。真空检漏法有静态升压法、放电管法、高频火花在检漏法、真空规检漏法、氢—钡法、卤素检漏仪内探头法、离子泵检漏法及氦质谱检漏法。



## 9 氨质谱检漏仪

9.1 质谱仪器与检漏技术：用于真空残余气体分析的质谱计都可用来检漏（其示漏物质可用氢、氦、氩等），但检漏灵敏度各不相同。专门用来检漏的质谱计叫质谱检漏仪。其特点是灵敏度高，性能稳定。特别是用氦做示漏气体的质谱检漏仪，是真空检漏中灵敏度最高、用得最普遍的一种检漏仪器。

9.2 氨质谱检测仪的基本原理与组成：氨质谱检测仪由离子源、分析器、接收器、真空系统、电子线路及其他电气部分组成。

目前使用的氨质谱检测仪基本上都是磁偏转型的仪器。现以 $180^\circ$ 的磁偏转型仪器为例加以说明。图8-1是仪器的原理图。

在质谱室的离子源N内气体被电离成离子。在电场作用下离子聚焦成束，并以一定的速度经由隙缝S1进入磁分析器，在均匀磁场作用下，具有一定速度的离子束，将按圆轨迹运动。其偏转半径 $R = (1.8/H) \cdot (MU)^{1/2}$ 。式中：R—偏转半径；H—磁场强度；M—有效质量，即离子质量与电荷数之比；U—加速电压（V）。

由上式可见，当H和U为定值时，对应不同的M有不同的R。而仪器本身的H和R是固定的（ $R=4\text{cm}$ ），调节加速电压U使氦离子束M2恰能通过隙缝S2到达收集极K而形成离子流。利用弱电流量测设备，使之在输出仪表与音响装置上反映出来。而其它不同于M2的离子束（如图中M1、M3）则以不同的偏转半径而分开。



图8-1  $180^\circ$  磁偏转型氨质谱检漏仪原理图

9.3 氨质谱检漏仪的主要参数：在评价氨质谱检漏仪时，需要全面地看它的主要性能指标。

9.3.1 灵敏度及其校准：氨质谱检漏仪的灵敏度即最小可检漏率 $Q_{\min}$ ，就是在仪器处于最佳工作条件下，以一个大气压的纯氦为示漏气体，进行动态检漏时所能检出的最小漏孔的漏率。

9.3.2 反应时间、清除时间及其测定：反应时间与清除时间表明了检漏仪的动态特性。一般规定氨质谱检漏仪的反应时间与清除时间不得大于3S。

9.3.3 工作真空、极限真空与节流阀处的抽速。在选择与使用氨质谱检漏仪时，要注意工作真空 $P_p$ ，极限真空 $P_L$ 即节流阀的抽速 $S_j$ ，这些都是仪器的重要参数。

## 10 氦质谱检漏技术

用氦质谱检漏仪进行检漏时,被检件的全部或局部是处于加压或抽空的状态,检漏仪总是处于被检器壁的低压一侧。示漏物质通过被检件上的漏孔进入检漏仪之前,一部分被辅助真空系统抽走,只有一部分进入检漏仪,致使灵敏度降低。因此,如何充分发挥检漏仪的能力,以求得检漏灵敏高、运转费用少、检漏时间短、可靠应引起重视。

目前最常用检漏采用氦罩法检漏。氦罩法也叫氦室法,这种方法是用一个检验罩把被检件包起来(如图8-2所示)。检漏时,先排除罩内空气,然后充入100KPa的氦气(或氦气与其它气体的混合气),当检漏仪输出指示有变化时,表明处于氦罩下的被检件有漏孔。罩子可用塑料薄膜制成;对于大批量的小零件,也可制作专用的刚性好的罩子,使所充示漏气体的压力高于100KPa,以提高检漏灵敏度。

检漏的具体步骤及注意事项:

10.1 先向罩内通入示漏气体,打开通向标准漏孔的阀门 $S_1$ ,此时,检漏仪的输出指示变化 $\Delta I+i$ ,此变化正比于标准漏孔的漏率 $Q_s$ 与被检件的漏率 $Q_i$ 之和。

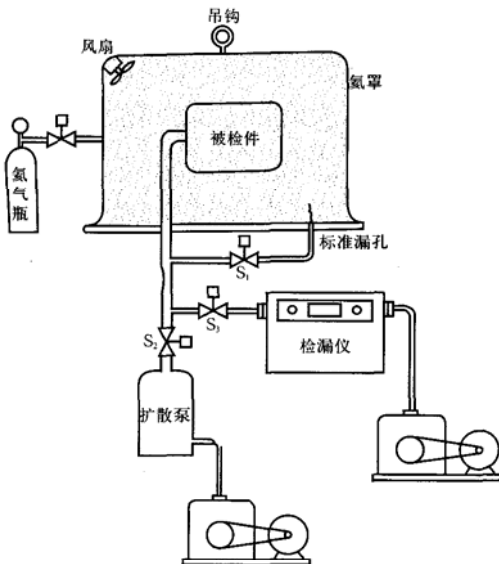


图 B-2 氦罩法检漏

10.2 关闭阀门 S1 后, 输出仪表的指示减小  $\Delta I+s$ , 所以被检件的漏率为:

$$Q_i = \frac{\Delta I^+_i - \Delta I^+_s}{\Delta I^+_s} Q_s$$

10.3 在读数期间内要保持氮气的浓度与压力恒定。

10.4 排空或回收罩内示漏气体, 准备再次进行检漏。

## 11 检漏实例

某压力容器制造单位制造真空粉末绝热低温液体储罐, 当对该储罐内胆及管路阀门进行气密性试验时, 压力升至 0.44MPa, 储罐夹套真空度达 9.6Pa, 内胆经保压 17 小时后, 储罐夹套真空度降至 32Pa, 其夹套泄漏率为  $3.66\text{Pa} \cdot \text{L/S}$ 。初步判断: 该储罐有超标漏孔缺陷存在。

经核查该储罐主要受压元件用材化学成分、力学性能、产品焊接试板力学性能; 无损检测及耐压试验均符合标准及设计图样要求。在此情况下, 将储罐内胆及管路卸压至 0MPa, 对储罐夹套抽真空, 真空度稳步上升, 说明夹套不存在超标漏孔, 再对储罐内胆及管路加压, 升至 0.44MPa, 储罐夹套抽真空, 结果发现储罐夹套真空度随内胆及管路压力升高而下降, 说明储罐内胆存在超标漏孔缺陷存在。

将储罐夹套解体取下, 再以氮气作气密性试验合格, 同时将该内胆置于水槽浸没水中未发现气泡冒出。

此时采用氦质谱检漏仪检漏, 以确定超标漏孔缺陷位置。由于储罐内胆体积大, 将内胆接至氦质谱检漏仪和高抽真空系统, 当储罐内空度达 10-4Pa 时, 以塑料布分段 (区域) 外包 (以封箱带密闭周边) 进行检漏, 最终在封头环缝区域有超标漏孔缺陷, 再继续用罩检法划小区域确定 T 字焊缝处缺陷位置。而此处射线检测评定 I 级, 这说明超标漏孔缺陷仅能以检漏仪和正确的检漏方法检出。

## 附录C 爆破试验及应力测定

### 1 爆破试验

爆破试验是验证压力容器安全质量性能和验证压力容器结构设计符合性的一种特殊检验方法。

1.1 爆破试件：进行爆破试验的试件可以是产品（如气瓶）、模拟结构的产品或是材料（如管材）。通过爆破试验，求得整体屈服压力，爆破试验压力进而验证产品的安全质量性能、结构设计的符合性和选材的合理性。

1.2 爆破试验装置：爆破试验装置的整个系统基本与液压试验雷同。

1.2.1 液压泵：进行爆破试验的液压泵其最大施压的压力应与试件的计算爆破压力相匹配，即必须高于计算爆破压力且有一定富裕量和具有相当功率，能坚持不间断运行。

1.2.2 连接管线：连接管线应是能承受高于计算爆破压力的胶管或高压不锈钢管、紫铜管。连接管线与试件、液压泵之间的连接应可靠，确保在试验过程中不得泄漏。

1.2.3 介质：对常温爆破试验时，通常试件先充满水，而液压泵施压时所充加的液体，按液压泵的使用要求。通常高压液压泵采用变压器油作为施压介质。低温爆破时，试件内则充满酒精等防冻液体。采用变压器油、酒精等液体介质时，应建立必要的消防措施。

1.2.4 压力表：压力表的精度和量程应符合《容规》的要求，但由于试件在整个试验过程中被掩体盖没，因此没有必要在试件上安装压力表，仅以液压泵上压力表读数为准。

1.2.5 掩体：由于爆破试验存在相当的危险性，试件应置于安全可靠的掩体中。如用相当厚度钢板焊制的罩子，地下坑上盖以钢板或半地下的爆破试验室，总之要考虑防止试件爆破瞬间所喷射的液体或可能产生的金属碎片伤及人群和临近建筑。低温爆破时，试件一般置于具有保温层包围的制冷系统的掩体中。

### 1.3 试验程序

1.3.1 爆破试验的试件应按产品设计图样的技术要求、相关标准和制造工艺设计制作，焊接接头应经无损检测并排除一切可能影响试验结果的各种缺陷。

1.3.2 液压泵与试件的连接应可靠，可用液压泵进液的方法排除试件内部的空气，最终采用螺塞封堵。

1.3.3 常温爆破试验的试验温度同液压试验温度的要求。低温爆破试验系向掩体中通入致冷气体，待试件表面经热电偶测得达到试验温度且恒定一段时间后方可开始试验。

1.3.4 起泵时，应以量筒或量杯逐渐向液压泵中添加液体，并及时绘制压力—进液量曲线，当曲线出现拐点时，意味着试件出现整体屈服。而当进液量不断加大，压力逐渐缓停不升时则意味试件即将爆破。对试件整体塑性较好情况下，这段时间可能比较长。这时应密切注意液压泵上压力表读数，随着爆破声的响起，该瞬间的压力表读数即是爆破压力。同时由于瞬间压力的下降，该压力表指针迅速回复，指针系统已被损坏需及时送计量部门修复并校准后

才再能使用。

1.3.5 试件爆破后应及时打开掩体,对试件爆破断口,特别是起爆点的区域涂以除水凡士林进行防锈,因为新鲜充满金属光泽的断口接触液体介质后在空气中易较快地生锈,从而影响下一步的研究分析。

1.3.6 绘制爆破试件简图,具体应表示爆破后试件的外表形状,爆破裂纹的具体尺寸、走向和起爆点的位置。有碎片的亦应在简图中表明所在位置。还应摄制相关照片一并作为爆破试验相关技术资料。

1.3.7 采用机械切割(如砂轮切割)的方法,取下起爆点周边的材料,清洗断口,以放大镜宏观观察起爆点和左右金属断口,必要时采用金相检验技术分析,结合断口处于焊缝或热影响区或母材,根据压力—进液量曲线所得试件屈强比、爆破压力综合评定产品安全质量性能、压力容器结构设计的符合性、选材的合理性和制造工艺的可行性。

## 2 应力测定

应力测定是验证压力容器产品安全质量性能、验证压力容器结构设计符合性具体数据量化的检验方法,它通常伴随压力容器产品的爆破试验或液压试验同时进行。

2.1 应力测定的原理:任何物体在受外力作用时,在物体内部产生抗力,在物体内部产生抗力,在这个物体不断裂的状态下,物体各部分所产生的内力与外力互相平衡,这个内力是在某一假想截面处所表现出来的,而单位截面积的内力通常叫做应力。当物体内部产生应力时,物体的形状和大小也发生变化,单位长度的变化称为应变。对弹性体来说,应力与应变之间的关系满足虎克定律:单向拉伸虎克定律:  $\sigma = \varepsilon \cdot E$ ;

对于二维应力的虎克定律:

$$\sigma_x = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_x + \mu \varepsilon_y); \quad \sigma_y = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_y + \mu \varepsilon_x);$$

对于压力容器的应力测定,有二个基本的假设条件,即假设材料始终处于弹性范围内,只考虑二维应力,这就是平面应力。用压力容器应力分析的定义来说,也只测定容器内表面或外表面的切向应力和轴向应力。

2.2 应力测定装置。应力测定装置主要由静态电阻应变仪、导线和应变片组成。静态电阻应变仪是利用电阻材料变形时电阻值变化的情况,通过放大器及压电效应进行多点测试,若采用自动平衡、自动转换和自动记录数据的应变仪测量十分方便。

由于实际测量现场的情况,应变片和应变仪之间有一定的距离,因而使连接导线长度增加,导线的电阻带来了误差。此时,可选择采用等长度导线和选择灵敏系数  $K$  接近或相当的应变片来克服所产生的误差。

应变片是应力测定的重要元件,根据它的结构、功能和用途,应变片可分为很多种类。通常对压力容器进行应力测定时采用纸质应变片和金属丝应变片,其中以纸质应变片具多。

### 2.3 应变片的布片技术

2.3.1 先以砂轮将布片区域表面的毛刺或凹凸不平整处打磨平整,然后以细砂纸、金相砂纸以十字交叉的方法打磨至近似镜面光滑。

2.3.2 在粘贴部位画线。此时应注意画线方向应与容器母线平行,如偏斜过大,会影响测量精度。

2.3.3 以脱脂医用纱布包上脱脂棉制成的棉球沾上丙酮从粘贴部位由内向外擦拭,直到棉球上见不到黑色污物为止。

2.3.4 在应变片上,涂以粘结剂(502胶水),对准划线布片,用手指(垫上塑料薄膜)重按,直到应变片粘住为止。

2.3.5 待粘结剂完全固化后,在应变片电阻丝引线下方容器表面贴上胶布,用兆欧表测量应变片的绝缘性能。当绝缘电阻大于0.5兆欧视绝缘合格。此时迅速用熔化的(石蜡+松香)液体覆盖于电阻片上,但注意不要涂上二引线,以免造成引线与导线的假焊。

2.3.6 导线应按布片位置号给出统一编号标识,并在相对应应变片处以胶布固定。导线一一就绪后,将导线引出端与应变片引线用烙铁焊住并以(石蜡+松香)液体覆盖绝缘,导线另一端与应变仪对号连接上。

2.3.7 如需进行内壁测量,其应变片的粘贴方法同前所叙,仅是在应变片上覆盖(石蜡+松香)液体后,再涂上脱水凡士林提高在水中的绝缘性能。内壁测量所用的导线是采用高强度漆包线通过引线密封头从内壁引出再与相对应导线烙铁焊连接上(此处应以塑料套管予以逐根套上绝缘)。

若试件仅作液压试验,则引线头与容器的连接可采用可拆连接形式,则此引线头可重复使用。若试件在液压试验基础上,还实施爆破试验的话,则引线头应采用与试件的焊接连接形式,以免在爆破试验升压过程中产生泄漏而导致试验失败。

### 2.4 应力测试和数据处理

2.4.1 各项测试准备及仪器调试工作完成后,即可进行测试工作。一般将试件按液压试验压力分成几个等级逐级升压,在保压时间中进行测试应变数据。通常要测试好几个循环,一般前1~2次循环被称为呼吸循环即让应变片与试件能贴服,在这其中所测数据比较漂散,难以作为正式数据采纳。在测试进行到较顺畅,数据比较稳定后,若需实施爆破试验时,即可仍按逐级升压的原则,进行应力测试,直至应变片失效为止。通过应力测试所得数据可绘制压力—应变曲线,经园整形成直线而计算应力。

2.4.2 数据处理。对于压力容器,所测得的都是平面应力,只计轴向应力和切向应力。以压力—应变曲线为基础,用二维应力广义虎克定律计算出各点的应力。在数据处理过程中,可发现某些应力集中的部位和提前达到屈服点的部位,此时可以按照材料拉伸曲线弹性部分的斜率延长,仍可按虎克定律计算假想应力数值来衡量该处的应力集中系数。

## 附录 D 低温绝热压力容器氦检漏

### 1 方法及装置

#### 1.1 测量方法

1.1.1 低温绝热压力容器漏率测量采用氦质谱动态检漏法。

1.1.2 内容器氦检漏应在绝热材料缠绕前进行。

1.1.3 外壳体氦检漏应在罐体部分焊接工作结束后进行。

#### 1.2 测量装置

低温绝热压力容器漏率的测量通常由检漏仪、真空系统、标准漏孔、示漏气源等组成。

#### 1.3 装置原理图

动态检漏法漏率测量装置原理如图 1

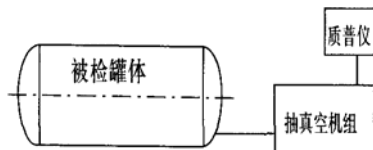


图 D-1 氦检漏连接示意图

### 2 仪器、设备

#### 2.1 氦质谱检漏仪

检漏仪的最小可检漏率必须小于等于  $1.6 \times 10^{-9} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

#### 2.2 真空机组

真空机组选用 JK - 600T (兰州真空设备厂生产)。机组极限真空度  $P \leq 2.4 \times 10^{-4} \text{Pa}$ 。一般情况下，为保证抽速和抽力为最大值，应尽可能使连接管线长度缩短，管径增大。

#### 2.3 标准漏孔

2.3.1 根据被检容器的允许漏率值选择合适的标准漏孔。

2.3.2 标准漏孔选用薄膜渗氦型。标准漏孔型号：ZL - 1  $1.51 \times 10^{-8} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$

2.3.3 标准漏孔应有法定计量单位的校准证书，并在有效期内使用。

#### 2.4 真空仪器

2.4.1 真空计：型号 ZJK - III，测量范围  $1 \times 10^{-4} \text{Pa}$ 。

2.4.2 真空规管：型号 ZJ - 10B，测量范围  $1 \times 10^{-4} \text{Pa}$ 。

2.4.3 真空计和真空规管应有法定计量单位的校准证书，并在有效期内使用。

### 3 环境条件

3.1 环境要通风良好、清洁、干燥。

3.2 不得有强电磁干扰和强烈振动。

3.3 环境温度 ( $23 \pm 7^\circ\text{C}$ )。

3.4 备有温度大气压力监测装置。

#### 4 试验准备

##### 4.1 氮质谱检漏仪的校准

4.1.1 检漏前应严格按氮质谱检漏仪使用说明书调整各项参数使检漏仪达到最佳状态。

4.1.2 校准仪器的最小可检漏率  $Q_{\min} \leq 1.51 \times 10^{-6} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

##### 4.2 测量装置

4.2.1 与低温绝热压力容器连接的测量管路应采用不锈钢制作。

4.2.2 测量管路的一端通过法兰与容器高真空阀端口相连接；测量管路的另一端配备系统高真空阀并与抽真空机组相连。

4.2.4 测量管路上应装有符合 JB/T8105.1 或符合 JB/T8105.2 规定的真空规管接头。另外还需设置一个能够连接标准漏孔的接头。

4.2.5 测量装置的全部管路和连接部位都应事先检漏，其系统漏率小于  $1.6 \times 10^{-8} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

4.2.6 反应时间测量：将装置调整到检漏状态（即调整各阀门的开启程度及检漏仪的工作参数），在被检容器上的标准漏孔进气端施加恒定浓度的氮气，测量出从施氮开始，到最大信号的 63% 所经历的时间。

4.2.7 观察时间的确定：观察时间取 3 倍以上反应时间。

##### 4.3 氮罩

4.3.1 采用氮罩法检漏前，根据被检容器的大小、形状制造相适应的氮罩。

4.3.2 氮罩可采用一定厚度且气密性较好的塑料薄膜制作。

##### 4.4 氮气

氮气应符合 GB/T4844.1 标准规定。

#### 4.5 测量方法选择

选择动态检漏法测量最小可检漏率。

#### 5 测量程序

##### 5.1 连接被检容器

按被检容器的容积、抽气接头或容器真空阀的大小，选择与之相适应的测量装置。

##### 5.2 测量最小可检漏率

5.2.1 关闭标准漏孔阀测出 2min 内本底噪声的平均值  $Q_0$ 。

5.2.2 读出本底  $Q_0$ ；

5.2.3 打开标准漏孔阀，读出稳定后的输出指示值  $Q_{sp}$ 。

##### 5.3 检漏

###### 5.3.1 内容器检漏



### 5.3.1.1 内容器预加热抽真空

为了保证内容器能够顺利、快速地抽到检漏所需预定真空度,同时又能将内容器表面及其与零部件夹缝内的水气彻底蒸发,应事先将内容器送入加热房进行6~8小时加热处理,然后连接真空机组进行抽真空(约需18~24h),达到10Pa时可将内容器移出加热房。

5.3.1.2 连接真空机组,继续抽真空。使内容器真空度达到0.15Pa(约需0.6~1h),方可进行检漏操作。

5.3.1.3 将氦罩套在内容器上并密封好。

5.3.1.4 将检漏仪读数归零。

5.3.1.5 向氦罩内充入已知浓度的氦气,一般浓度不低于10%。

5.3.1.6 在规定的观察时间内(一般为10~15分钟),观察并记录输出指示值 $Q_v$ 。

$Q_v \leq 3.5 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$  为合格。

5.3.1.7 如果经过氦检漏,漏率指标不合格,则应撤去氦罩,用喷氨按照先法兰密封面、再焊缝、最后筒体表面的顺序逐点检漏,直到找到漏点为止。消除漏点后按本条2)~6)款规定重新进行氦检漏。

5.3.1.8 用喷氨法进行检漏时,应使用专用喷枪,喷枪的喷嘴孔径应适宜,喷氨量要得当,应控制喷枪的移动速度,一般以20秒/米为宜。

### 5.3.2 外壳体检漏

5.3.2.1 为了保证夹层能够顺利、快速地抽到检漏所需预定真空度,同时又能将外壳体内表面及其与零部件夹缝内的水气彻底蒸发,应事先将套合好的罐体送入加热房进行12小时加热处理,然后连接真空机组进行第一轮共6次抽真空工序,达到10Pa时可将罐体移出加热房。

5.3.2.2 外壳体氦检漏的其余步骤及要求按本规程5.3.1内容器检漏2)~8)款规定执行。

5.3.2.3 八个玻璃钢支撑处压盖焊接完毕及第一层补强板焊接完毕后应分别各进行一次工序过程氦漏。

## 6 产品总漏率检验

产品制作完毕并经全面检验合格后应逐台进行总漏率检验。检验程序如下:

6.1 将氦罩套在低温绝热压力容器上并密封好。

6.2 向氦罩及内容器充入已知浓度的氦气,一般浓度不低于10%。

6.3 在规定的观察时间内(一般为10~15分钟)观察并记录输出指示值 $Q_v$ 。

6.4 低温绝热压力容器夹层总漏率应符合表1。

表 D-1 低温绝热压力容器夹层总漏率  $\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$

有效容积 $V/\text{m}^3$	高真空多层绝热压力容器	真空粉末低温绝热压力容器
$1 < V \leq 10$	$\leq 2 \times 10^{-7}$	$\leq 6 \times 10^{-7}$
$10 < V \leq 100$	$\leq 6 \times 10^{-7}$	$\leq 2 \times 10^{-6}$
$100 < V \leq 1000$	$\leq 2 \times 10^{-8}$	$\leq 6 \times 10^{-6}$
$V > 1000$	$\leq 6 \times 10^{-8}$	$\leq 2 \times 10^{-5}$

## 7 型式试验产品总漏率测量

7.1 有型式试验要求的低温绝热压力容器、低温液化气体汽车罐车、高真空多层绝热罐式集装箱总漏率的测量应在抽气口的最远端配备标准漏孔接口，接口位置和连接方法参考图1。

7.2 接口应符合 GB/T4982 对 DN25KF 快卸法兰的要求，并用不锈钢材料制作。

7.3 型式试验总漏率的测量用氦罩法进行。测量步骤及要求按第6条1)~3)款规定执行。

7.4 对存储危险低温液体的低温绝热压力容器其内容器需经氦谱检漏仪进行总漏率的测定。

## 8 测量报告

测量报告内容由检验人员按规定表格格式填写，并由检验责任工程师审核签字。

当环境温度与规定温度 ( $23 \pm 7^{\circ}\text{C}$ ) 有差别时，其测量数据应按  $4\%/^{\circ}\text{C}$  进行修正。

## 参 考 资 料

1. 1999 版《压力容器安全技术监察规程》中国劳动社会保障出版社
2. GB150-1998《钢制压力容器》中国标准出版社
3. JB/T4710-2005《钢制塔式容器》新华出版社
4. JB/T4731-2005《钢制卧式容器》新华出版社
5. 中国机械工业标准汇编量具量仪卷(1998)中国标准出版社
6. 常用量具的使用的保养国防工业出版社  
梁国明、张保勤 编著
7. 锅炉行业产品制造质量检验机械电子工业部  
火电设备产品质量监督检测中心  
潘锦江、金扣宝 编著
8. 化工机械制造检验化工部化工设备质量监督中心  
张芝亭、吴若昆等 编著
9. 锅炉制造工艺与检验哈尔滨工业大学出版社  
高广安等 编著
10. 压力容器的检验与修理高锡武 编著
11. 三门峡中原量仪股份有限公司产品样本
12. 广陆量具厂(桂林)产品样本
13. 青海量具刃具厂产品样本
14. 成都量具刃具厂产品样本
15. GB/T18443.1~18443.5-2001《低温绝热压力容器试验方法》中国标准出版社
16. GB/T7993-2003《用在腐蚀条件下的搪玻璃设备的高电压试验方法》中国标准出版社
17. HG2432-2001《搪玻璃设备技术条件》化学工业出版社
18. GB/T4982 - 1985 夹紧型真空快卸法兰中国标准出版社
19. GB/T4844 - 1995 工业氮气中国标准出版社
20. GB/T18442 - 2001 低温绝热压力容器中国标准出版社
21. JB/T4780 - 2002 液化天然气罐式集装箱云南科技出版社
22. HG/T2388-92 钢制焊接压力容器质量质量分等通则中华人民共和国化学工业部

图书在版编目 (CIP) 数据

钢制压力容器制造常规检验方法和检具 / 中国化工装备协会编.

—— 昆明: 云南人民出版社, 2006.12

ISBN 7-222-04853-7

I. 钢… II. 中… III. 钢-压力容器-制造-质量检验 IV. TH49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 160785 号

责任编辑	杨澄
封面设计	张春艳
责任印制	洪中丽
书 名	钢制压力容器制造常规检验方法和检具
作 者	中国化工装备协会
出 版	云南出版集团公司
发 行	云南人民出版社
社 址	昆明市环城西路 609 号
邮 编	650034
网 址	www.ynpph.com.cn
E-mail	rmszbs@public.km.yn.cn
开 本	787 × 1092 1/16
印 张	9.75
字 数	190 千字
版 次	2006 年 12 月第 1 版第 1 次印刷
印 数	1-6000 册
印 刷	北京通州丽源印刷厂
书 号	ISBN 7-222-04853-7
定 价	62.00 元