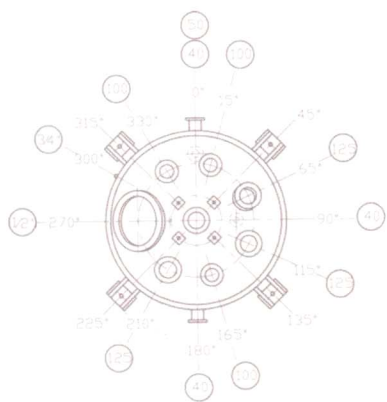


# 石油化工设备检验

SHIYOU HUAGONG SHEBEI JIANYAN

闵平秋 陈克 编著



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

# 石油化工设备检验

闵平秋 陈 克 编著

中国石化出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

石油化工设备检验/闵平秋,陈克编著. —北京:  
中国石化出版社,2011.3  
ISBN 978-7-5114-0841-9

I. ①石… II. ①闵… ②陈… III. ①石油化工设备-  
检验IV. ①TE960.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第043673号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何  
方式传播。版权所有,侵权必究。

### 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街58号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

\*

787×1092毫米 16开本 13.25印张 323千字

2011年5月第1版 2011年5月第1次印刷

定价:35.00元

# 前 言

石油化工设备包括静置设备、转动设备和工业炉类设备等，为了保证石油化工装置的安全生产，设备在安装过程中进行的开箱检验、安装过程检验、试车考核检验以及在运行期间因防止设备的腐蚀、疲劳和操作不当引起的损坏而进行的例行停车检验是非常重要的。本书依据作者在石油化工设备安装、试车和停车检验期间进行检验的经验，叙述了检验理论的依据、检验方法和实践经验，可作为石油化工设备检验工作的参考。

石油化工设备检验包括四个阶段：开箱检验阶段、安装检验阶段、试车考核阶段和例行停车检验阶段。这四个阶段检验的深度是逐步加深的，开箱检验是初步的，它既为安装施工中的检验工作打好基础，也给安装创造了条件。安装中的检验是深入细致的，涉及到一些设备的内脏或材质，直接关系到设备安装质量的优劣和能否达到设计要求，是检验工作的关键一环。试车考核中的检验，则是开箱检验和安装施工检验的延续和补充，关系到装置将来能否正常地、长周期地安全运行，所以它是决定性的阶段。设备运行中的例行停车检验则是设备长周期正常运行的保证。掌握好四个阶段检验工作的各个环节，把它们有机地串联在一起，循序渐进，逐步深入，从外观检查入手，做好内在质量检验，保护国家利益，促进安装施工顺利进行，确保装置施工质量，保证设备长周期正常运行。

开箱检验以外观检查为主，检查的主要项目包括外形尺寸、形状、铭牌、规格、数量、检验证书以及运输中的残损等。开箱检验的成败对将来的施工有着直接的关系，检验工作做得好，一些设备材料的短缺、残损、错装、锈蚀等都能赢得时间进行弥补、更换或修理，在开始施工前使问题得到解决，如果开箱检验进行得比较粗糙，虽然在施工中还可以得到弥补，但流逝的时间是无法得到补偿的，它将贻误工期，使各工种间的施工配合失调，甚至打乱整个建设计划，影响各单位、各工种间的协作配合。

安装施工中的检验常常是随着施工的深度逐步开展的，例如塔器在施工中必然要作尺寸检验，要打开人孔进行内部构件安装、检查和焊接质量的检验；有的机泵、压缩机等机械设备要做揭盖清洗检查；换热器做压力试验、气密试验时要做胀口、焊接接头检查等等。在这个阶段品质检验的深度往往与供货商的一些要求有关，有的设备按规范规定无需做揭盖检查，有的供货商不同意解体检查，一般说来，可根据合同、施工规范、施工中的需要和实际条件来决定检验深度，应该从外观逐步深入内脏，从盘车中出现的非常状态联想到机器结构上的故障。对于由多个厂家甚至多个国家协作制造装配组合或配套的设备、特殊材质设备、技术难度较大的设备以及比较贵重的设备必须从严检验。

试车考核中的检验是对整个装置的设计质量、设备制造质量、安装质量的一次总考验，它除了对前两个阶段的工作有一个结论性的意见外，还必须了解装置的设计条件和设备的工艺条件。有的设备经不起工艺条件的考核，有的设备由于设计的不合理根本不能胜任工作，有的由于结构设计不够合理而安装中又不可避免地出现某种缺陷使工程质量受到影响，也有材料选得不合理而造成故障，还有些设备的制造厂家弄虚作假，零部件经不起高温高压热冲击以及腐蚀等的试车考核，这些问题会随着单机试运和联动试车逐步暴露出来。

设备运行中的例行停车检验又称开罐检查是石油化工装置安全生产的保证。设备在运行过程中会受到各种腐蚀、热冲击、超温、超压、抽真空、磨损、低应力脆断、疲劳、甚至地震造成的变形、损坏等。在规定的周期内检验，可以及时发现设备存在的问题，并得到纠正和改进，使设备始终处于完好状态，装置得以安全运行。

本书的重点是在役压力容器检验，同时也介绍了石油化工装置中常用的压力容器、压力容器、工业炉、转动设备和作为特种设备的压力管道的检验。

# 目 录

|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| <b>第一章 检验基本知识</b>             | ( 1 )   |
| 第一节 检验的基本要求                   | ( 1 )   |
| 第二节 压力容器发展概况                  | ( 11 )  |
| 第三节 压力容器的基本要求和管理              | ( 27 )  |
| 第四节 基于风险的检验(RBI)和合于使用评价(安全评定) | ( 39 )  |
| 第五节 设备的主要腐蚀行为                 | ( 49 )  |
| <b>第二章 塔、容器的检验</b>            | ( 56 )  |
| 第一节 开箱检验                      | ( 56 )  |
| 第二节 施工中检验                     | ( 59 )  |
| 第三节 开罐检查                      | ( 70 )  |
| <b>第三章 换热器检验</b>              | ( 84 )  |
| 第一节 开箱检验                      | ( 84 )  |
| 第二节 施工中检验                     | ( 86 )  |
| 第三节 开罐检查                      | ( 91 )  |
| <b>第四章 球罐检验</b>               | ( 97 )  |
| 第一节 开箱检验                      | ( 98 )  |
| 第二节 安装过程检验                    | ( 103 ) |
| 第三节 9% Ni 钢球罐安装检验             | ( 117 ) |
| 第四节 SA537CL. 2 低碳调质钢制球罐检验     | ( 123 ) |
| 第五节 开罐检查                      | ( 129 ) |
| <b>第五章 立式圆筒形钢制焊接储罐现场组装检验</b>  | ( 133 ) |
| 第一节 材料和基础验收                   | ( 133 ) |
| 第二节 拱顶储罐倒装法安装检验               | ( 134 ) |
| 第三节 浮顶储罐正装法安装检验               | ( 138 ) |
| <b>第六章 加热炉检验</b>              | ( 147 ) |
| 第一节 炉管检验                      | ( 147 ) |
| 第二节 安装质量检验                    | ( 149 ) |
| 第三节 试车考核检验                    | ( 153 ) |
| <b>第七章 转动设备检验</b>             | ( 159 ) |
| 第一节 安装质量检验                    | ( 160 ) |
| 第二节 单机试车检验                    | ( 164 ) |
| 第三节 离心压缩机的振动                  | ( 169 ) |

|                     |       |
|---------------------|-------|
| 第八章 管道检验 .....      | (172) |
| 第一节 开箱检验 .....      | (172) |
| 第二节 管道安装检验 .....    | (179) |
| 第三节 在役管道检验 .....    | (187) |
| 第四节 管道压力试验与吹扫 ..... | (198) |

# 第一章 检验基本知识

## 第一节 检验的基本要求

### 一、外观质量检验和内在质量检验

石油化工设备的检验分外观质量检验和内在质量检验，外观质量检验通常以宏观检查为主导，发现问题后再进一步检查容器的内在质量。

外观质量检验主要是凭借检验人员的感觉器官对容器的内外表面的质量进行检验，以判别其是否存在影响设备安全运行的表面缺陷。外观检验可从两方面入手，一方面要了解设备制造安装过程容易产生的缺陷，例如制造时焊接接头表面的裂纹、咬肉、凹陷、气孔、夹渣；钢板的重皮、预制件焊接接头坡口上的缺陷；不锈钢和有色金属容器壳体的铁污染、划伤；陶瓷、石墨等非金属材料及搪瓷设备表面的划痕或裂纹等。另一方面，要了解设备在工作条件下可能出现的各种缺陷。有些设备从表面颜色的变化就可以判断其腐蚀倾向，例如锻件的表面颜色，如果在锻造时曾有过烧或设备运行时曾出现过热操作都会呈现发灰的颜色，可能是出现了魏氏体组织；钛设备表面如果出现蓝色、紫色、灰色等现象可能是出现了 $\alpha'$ 相，这些现象都将大大降低其耐腐蚀能力。由于温度、压力、介质的影响，设备可能会在某些部位产生不同的腐蚀行为，例如抗应力腐蚀能力较差的材料且有拉应力和腐蚀性介质存在的部位容易产生应力腐蚀破裂；发生点腐蚀的设备往往都与介质中的氯离子含量有关；抗晶间腐蚀能力较差的材料且有晶间腐蚀倾向的工作条件容易产生晶间腐蚀等，应该重点检查这些部位。双金属结构的表面缺陷，不能只处理表面缺陷，还要看缺陷底部是否发生双金属腐蚀；温度、压力波动有周期性载荷的设备，要注意是否发生疲劳裂纹或腐蚀疲劳，尤其是在几何形状不连续的部位应是检查的重点。

内在质量检验是指通过一定的手段检验设备的强度是否满足工艺操作条件的安全运行。可根据外观检验情况确定需检验的项目，例如设备本体和受压元件在运行过程中的几何形状和尺寸可能产生变化，结构是否变形；设备的连接部位、焊接接头、胀口、衬里等部位是否存在渗漏；设备表面是否存在腐蚀深坑、点蚀程度、裂纹、重皮折叠、磨损沟槽、凹陷、鼓包等局部变形或过热的痕迹；焊接接头有无超标的埋藏缺陷；检查各种腐蚀现象对设备安全的影响；容器内外壁的防腐层、保温（冷）层、耐火层或衬里、复合层是否完好等，从而估算设备的剩余寿命。必要时可采用：壁厚测定、表面探伤、射线探伤超声波探伤、硬度测定、金相检验、应力测定、声发射检测、耐压试验等检测方法确定。

内在质量检验的重点是检查焊接接头缺陷，焊接接头存在缺陷是不可避免的，在设备安装或检修完工时，焊接接头内的缺陷尺寸经过检验后都没有超过有关规范或标准的规定，但是，在设备运行一定时间后，在压力、温度的反复加载卸载过程中，焊接接头的缺陷可能延伸，甚至达到超过标准规定的范围，将给设备的运行带来损坏隐患，因此，检查焊接接头质

量显得格外重要。在开箱检验中对一些较为重要的设备需要抽查一定比例的焊接接头质量,例如低温容器,反应容器,裂解或转化炉管等。在停车进行开罐检查时,焊接接头的质量检查,在规定的抽查比例中发现问题时,有时还需要 100% 复查。

内在质量检验的另一个重点是压力试验或气密试验,新到的设备,在安装过程中需要在设备基础上进行压力试验或气密试验,设备运行后停车检验时根据具体情况需要做压力试验或气密试验,在进行压力试验或气密试验时,应考虑设备的腐蚀情况、疲劳或腐蚀疲劳情况引起的壁厚减薄或损坏,根据设备开罐检查的实际情况对压力试验或气密试验的压力进行核算。

有时设备检验出的缺陷没有条件修理,或者没有时间修理,甚至根本不能修理又必须继续使用,此时,可进行合于使用评价,以确定其是否安全,或计算其剩余寿命。

## 二、宏观检查方法

### 1. 肉眼检查

肉眼能在较短时间扫视大面积范围,能察觉细微颜色和结构变化。检查时最好用手电筒或带遮光罩的安全灯,变换各种角度贴着容器表面照射,此时容器表面的微小坑槽都能清楚显现出来,鼓包和变形的凸凹不平处显示更清楚,表面裂纹能显出黑色线条。

检查的重点应在:

- (1) 封头或法兰与筒体连接部位;
- (2) 工卡具焊疤处,主要检查是否有裂纹,可用磁粉检验或着色检验方法,如果是在容器内部较暗处,最好使用荧光磁粉检查比较清晰;
- (3) 大小直径变截面部位,重点检查是否有应力腐蚀破裂和几何变形;
- (4) 气-液相交界面容易发生点腐蚀,一旦发生点腐蚀就是成片出现;
- (5) 切向进料口周围常常发生冲腐蚀;
- (6) 塔盘支承圈下部区域易发生点腐蚀和支撑圈角焊接接头裂纹;
- (7) 焊接接头棱角或错边量超差部位发生应力腐蚀破裂的可能性较大;
- (8) 复合层或衬里在介质流速突变的部位容易发生点腐蚀和冲腐蚀;
- (9) 塔顶封头表面及出料口周围容易发生点腐蚀;
- (10) 材质变化区域(如碳钢和不锈钢连接焊接接头处)产生电偶腐蚀的可能性增大,相邻两种金属的电极电位差越大,在这种情况下越容易发生电偶腐蚀;
- (11) 换热器接管与壳体相交的马鞍焊缝和换热管与管板连接的焊缝容易产生间隙腐蚀或应力腐蚀破裂;
- (12) 换热器管板与换热管的连接焊接接头有可能发生裂纹、间隙腐蚀、渗漏或管板上管桥的裂纹;
- (13) 容器内表面颜色变化(如钛材表面颜色)可能是产生了污染或烧伤、灼伤而使材质发生变化,使其耐腐蚀能力大大降低。

### 2. 内窥镜或反光镜检查

当被检查的部位比较窄(如换热器、气瓶等)无法用肉眼检查时,可利用内窥镜或反光镜检查。检查出的缺陷需记录时,可用电脑记录存储以便于研究讨论和查询。

### 3. 触摸检查

有手孔的容器或换热器接管内部无法用肉眼检查的部位,可用手伸入触摸容器表面,检查有无凹坑、鼓包等缺陷。

### 4. 锤击检查

用 0.5kg 的检查锤轻轻敲击容器表面或部件,根据发音、手感和小锤弹跳程度判断缺陷性质或种类。锤击声清脆,锤弹跳良好,表示锤击部位无重大缺陷。如锤击声发闷则表示在锤击区及周围可能有重皮、折叠、夹层或裂纹等缺陷,在晶间腐蚀比较严重的金属器壁,有沉闷声且小锤弹跳差。小锤还可检查氢鼓包,检查螺栓或铆钉紧固程度。

### 5. 喷涂检查

表面检查有怀疑的部位,尤其怀疑是裂纹性缺陷的部位可用着色剂进行检查,或者用浓度为 10% 的硝酸酒精溶液将缺陷部位浸湿,擦净后用 5 ~ 10 倍放大镜观察,也可以用铁指示剂喷涂有怀疑的部位检查是否出现铁污染。

## 三、表面缺陷的形态

### 1. 轧制钢板时遗留的缺陷

夹渣:轧制钢板时,表面黏结有耐火物;

纵向裂纹:在钢板轧制方向上的线状缺陷;

横向裂纹:在钢板轧制方向上的网状裂纹;

龟裂:钢板表面发生的龟甲状裂纹;

线状伤痕:在钢板轧制方向上浅而短的线状缺陷;

气泡:钢板表面局部剥离的泡状伤痕;

鳞状伤痕:铁屑或鳞片物压入钢板表面的伤痕;

重皮:轧制时将氧化皮压入产生的缺陷;

麻点:碎屑咬入钢板表面或硬物压入后剥落产生的缺陷;

轧辊划伤:钢板轧制方向上周期性出现的伤痕钢板加热后留下的氧化皮,在容器加工制造中形成凹坑,一般不在坑底形成尖锐孔洞,但使钢板厚度局部减薄。

### 2. 容器制造中带来的缺陷

弧坑和电弧擦伤,由于电弧以极高的速度加热和冷却,产生局部热应力并使显微组织变化,使材料的淬硬倾向加剧,甚至产生缺口或微裂纹,尤其是高强钢较敏感,对于奥氏体不锈钢,还会明显降低耐腐蚀性能,形成腐蚀源。

底部尖锐的伤痕,如划痕或全金属的撕裂口这一类缺陷。点焊工卡具的连接板,在去除时如采用大锤打掉的方法,往往出现撕裂口。对于  $\sigma_b \geq 540\text{MPa}$  的材料及 Cr - Mo 低合金材料特别容易发生。

### 3. 容器运行中产生的缺陷

腐蚀缺陷:应力腐蚀开裂、点蚀、晶间腐蚀裂纹、腐蚀疲劳、氢致裂纹、氢鼓包、冲腐蚀等。

过热缺陷:蠕变、过热组织(过量魏氏体组织等)、复合层或衬里鼓包或剥离、耐热层破裂或剥离等。

温度、压力周期性变化缺陷:疲劳裂纹等。

对各种检验出的缺陷应分析产生的原因,以便得出正确的判断,判断的正确与否,将直接影响检验结论的可靠性和处置方法的正确性。

#### 四、容器几何尺寸检测(复核)

(1) 直径:测周长换算。

(2) 大小直径差:在离开接管开口 100mm 以外用长度尺检测同一截面不同方位的直径差,取最大值。

(3) 坑深或鼓包高:用样板和游标尺检查,用超声波从背面测厚,点蚀深度应在点蚀缺陷除净后进行测量。

(4) 焊接接头余高、错边量和棱角:用焊工检测尺、样板、直尺或游标尺检查。

(5) 支柱铅垂度:线坠或经纬仪测量。

(6) 焊接接头咬边:按规范规定检查,重点检查腐蚀和扩展情况。

(7) 壁厚测定:位置应有代表性,测厚时如发现母材存在夹层缺陷,应增加检测点,查明夹层在整张钢板上的分布面积情况以及夹层与母材表面的夹角,绘出分布图。

#### 五、焊接接头缺陷检验

##### 1. 表面缺陷检验

(1) 表面裂纹 表面裂纹是在用压力容器常见缺陷,特别是低合金高强度钢制造的压力容器。在使用过程中产生的表面缺陷多属表面裂纹,针对表面裂纹,一般采用磁粉或渗透探伤进行检验。检验员应根据可能存在的缺陷确定表面探伤的百分比,一旦发现有裂纹出现,则应对焊接接头全长进行探伤检查。发现容器内表面有裂纹时,应同时检查相应的外表面。

有下列情况之一时,应进行不小于焊接接头长度的 20% 表面探伤:

$\sigma_b \geq 540\text{MPa}$  的材料,由于淬硬倾向大,裂纹敏感性高,在容器制造时易留下焊接缺陷隐患,例如延迟裂纹等;Cr-Mo 钢制造的压力容器属珠光体耐热钢压力容器,此钢材有淬硬倾向,有冷裂也有热裂;奥氏体不锈钢堆焊层容器,单层堆焊(如在 2.25Cr-1Mo 钢材上直接堆焊 E347)比双层堆焊(如在 2.25Cr-1Mo 钢上先堆过渡层 E309 再堆耐蚀层 E347)容易出现表面裂纹;有应力腐蚀倾向的压力容器,裂纹常发生在有拉应力的部位和应力集中部位;有晶间腐蚀倾向的容器和检验员认为有必要检验的容器。

(2) 焊接接头咬边 咬边对焊接接头的危害除减少焊接接头截面、削弱强度外,还会引起应力集中,对于裂纹敏感性较强的材料,尤其应予重视。

咬边处几何形状不连续,易产生应力集中,在腐蚀性介质中容易发生应力腐蚀破裂。咬边多处焊接接头热影响区,此处硬度高,氢聚集易生焊趾裂纹。在容器运行过程中,咬边部位容易堆积腐蚀产物,加速腐蚀进程,容易产生裂纹。焊接接头咬边处在母材与焊缝交界部位,金相组织不连续,化学成分有差异,在一定条件下易生裂纹。

(3) 焊接接头腐蚀 除应力腐蚀开裂外,较常见的还有点腐蚀、刀状腐蚀、晶间腐蚀、均匀腐蚀等。焊接接头的腐蚀检验应确定以下几方面问题:

① 腐蚀性质:腐蚀的类型很多,有正常腐蚀和非正常腐蚀,有均匀和非均匀腐蚀,还有集中某一部位的局部腐蚀或分散腐蚀。危险最大的是后一种腐蚀,诸如晶间腐蚀、应力腐蚀开裂、氧腐蚀、磨损腐蚀、腐蚀疲劳、热腐蚀、点蚀、水腐蚀、沉积物腐蚀、碱脆、氢脆

等等。

② 腐蚀程度：深度、长度、直径及其分布。

③ 腐蚀原因：原因分析，以便采取针对性措施。

## 2. 焊接接头埋藏缺陷检验

检测方法和抽查数量，由检验员根据在用压力容器检验规程的规定具体情况确定。有下列情况之一时，一般应进行射线探伤或超声波探伤抽查，必要时还应相互复验。

制造中经过两次以上返修或使用过程中修补过的焊接接头；检验时发现焊接接头表面裂纹；认为需要进行焊接接头埋藏缺陷检查的；错边量或棱角有严重超标的焊接接头；使用中出現焊接接头泄漏的部位及其延长部位。

## 六、有覆盖层的压力容器检验

覆盖层是指保温(冷)层、涂层、堆焊层和金属衬里等。

(1) 保温(冷)层是否需拆除进行检验应视使用工况和环境条件而定，以下情况可不拆除：制造时焊接接头已全部探伤合格，历次开罐检查均未发现超标缺陷；局部抽查未发现裂纹性缺陷；壁温在露点以上；外部环境没有水浸入或骤冷；外表面有可靠的防腐措施；检验员认为可不拆的。

(2) 有金属衬里的容器，如发现衬里(复合层)有穿透性腐蚀、裂纹、局部鼓包或凹陷、检查孔有流出物，应查明腐蚀状况，分析腐蚀性质，采取相应的检验措施。

鼓包多与其附近的焊接接头缺陷有关，在处理鼓包的同时应检查焊接接头质量。复合层剥离或由此而引起的鼓包应查明是否存在氢腐蚀。鼓包与工艺操作条件有关，温度、压力、介质流速都有一定影响。衬里或复合层因容器制造时贴合不良，在容器运行中造成鼓包。

(3) 有奥氏体不锈钢堆焊层的容器应检查堆焊层的龟裂、剥离、脱落、应力腐蚀裂纹、晶间腐蚀、焊道间未熔合、刀状腐蚀等缺陷。一般应做 100% 着色检查。

(4) 非金属材料衬里。如发现衬里破坏、龟裂或脱落，或在运行中容器壁温出现异常，应局部或全部拆除衬里，查明器壁腐蚀或过热状况。

## 七、安全附件的检验

### 1. 安全阀的使用与检验

#### (1) 安装

① 安全阀应铅直安装，且装在容器液面以上气相空间。

② 安全阀进口截面积应小于或等于与之连接的压力容器接管的截面积。

③ 压力容器一个接口上装数个安全阀时，接口截面积应大于或等于数个安全阀进口截面积之和。

④ 压力容器与安全阀间不宜装截止阀。对于易燃、毒性程度为极、高、中度危害或黏性介质压力容器为便于检修调试，可装截止阀，但必须保证全开(加铅封或锁定)，其截面尺寸不得影响安全阀排放。

⑤ 安全阀安装位置应便于检修调试，新阀安装前必须校核定压值。

⑥ 进行在线校验和压力调试时，必须有使用单位主管压力容器安全技术人员在场。调整后应加铅封。调校场地应有安全措施。调校使用的压力表精度不低于一级。

## (2) 校验

① 定期校验，每年至少一次。校验合格的安全阀应及时铅封，及时填好记录。在线校验时必须主管容器安全技术的人员在场。

② 安全阀的拆卸清洗，应检查弹簧有无磨损、腐蚀、裂缝、破断或已压缩到自然高度以下。阀座与阀芯的组合有无异常磨损，密封面有无裂纹、槽痕，调节圈有无滑牙磨损等。重新组合时应进行阀体耐压试验，在试验压力下无变形和泄漏，进行阀门的气密试验，检查密封机构密封性。

③ 安全阀的设定值检定，其开启压力不得超过容器的设计压力，并符合图样或有关标准规定。如果容器的实际操作压力低于设计压力。应按实际操作压力设定开启压力值。安全阀的回座压力一般不应低于开启压力的 0.8 倍，并不得低于容器的正常操作压力。

④ 安全阀的介质为水蒸气时，如正处在或接近开启压力，阀门会出现流泪或前泄，使阀座与阀芯间积水垢甚至咬死，不能正常起跳，因此，开启压力与容器操作压力之间应保持相当大的压力差，其值按标准或图样规定，有资料推荐用开启压力的 7% ~ 10%。

## 2. 爆破片的安装与使用

### (1) 安装

① 通常在容器与爆破片间装设截止阀，以便于更换爆破片，截止阀的泄流能力应大于爆破片的泄放能力，在正常运行时保持常开，并加铅封。

② 爆破片应尽量靠近容器装设。泄放通道要直，有足够支撑，必须向安全场所泄放或回收。

③ 安装前应检查膜片有无损伤，压边损伤会影响密封，拱顶损伤会影响爆破压力，特别是反拱型爆破片。安装时要注意膜片方向，拉伸型的凸面应朝向泄放侧，反拱型的凹面朝泄放侧。膜片与夹持器间不允许放任何密封垫片。

(2) 爆破片 应定期更换，按使用单位实际规定。

(3) 爆破帽 爆破帽为一端封闭，中间有一薄弱断面的厚壁短管。爆破压力误差较小，泄放面积较小，多用于超高压容器。一般用热处理性能稳定且随温度变化较小的高强钢材料（如 34CrNi3Mo 等）制造，其爆破压力与材料强度之比为 0.2 ~ 0.5。

## 3. 紧急切断阀的检验

必须有足够强度和良好的密封性，良好的抗震性、方便操作，有足够的使用寿命。

① 强度试验 受介质作用的部件，其耐压试验压力应不低于容器设计压力的 1.5 倍。

② 气密性试验 两次试验，试验时阀门处于开启状。第一次在耐压试验前进行，试验压力 0.1MPa；第二次在耐压试验后进行，试验压力为容器设计压力，保压时间均不少于 10min，可在阀体外表面和 O 型密封圈部位用肥皂水检查。

③ 密封性试验 包括先导阀与主阀阀芯与阀座的密封性试验和油（气）压系统的密封性试验。阀芯与阀座的密封性试验在紧急切断阀关闭时进行。

④ 动作时间试验 自开始给关闭指令算起，应在 10s 内闭止。

⑤ 过流闭止试验 在一定压力下检查过流闭止时的介质流量是否与过流量一致。

## 4. 压力表、温度计、液位计

### (1) 压力表的安装与使用

① 压力表应避免受辐射热、冻结或震动的影响；

② 压力表与压力容器之间,除规定设置的三通旋塞或针型阀外,不得连接其他用途的任何配件或接管;

③ 用于水蒸气介质的压力表,在表与容器间应装有存水弯管;

④ 用于有腐蚀性或高黏度介质的压力表,在表与容器间应装有隔离介质的缓冲装置;

⑤ 压力表的导压管应定期吹洗;

⑥ 压力表的检定和维护应符合国家记录部门的有关规定。安装前应进行检定,注明下次检验日期,应加铅封。

### (2) 液位计的使用要求

① 液位计应根据介质、最高工作压力和温度正确选用;

② 低、中压力容器用液位计,应进行 1.5 倍液位计公称压力的水压试验;高压容器 1.25 倍试验。

③ 盛装 0℃ 以下介质的容器应选用防霜液位计;

④ 用于易燃、毒性程度极度和高度危害介质的液体气体压力容器上,应采用板式或自动液面指示计,并应有防止泄漏的保护装置;

⑤ 液位计的最高最低安全液位应作出明确标记;

⑥ 液位计应符合有关标准的规定。

### (3) 温度计的安装、使用和校验

① 温度计应定期校验,误差在允许范围内;

② 测温点的设置应能满足工艺控制的需要。需要控制容器壁温时,应将感温元件紧贴容器的内壁或外壁;盛装液化石油气体的容器,感温元件应置于器内液相部分,以测量液相温度。

③ 温度计接口有带保护套和不带保护套两种,有套管时应将套管尽量深入容器内,以减少套管的热损失,为了减少测量滞后,可在套管中随不同温度要求填充传热良好的填充物。测温元件露在套管外的部分越短越好,并用绝缘材料包起来。

## 八、容器的强度核算

### 1. 有下列情况之一,应进行强度核算

① 无强度设计资料(包括容器设计总图和强度计算书等),强度设计资料不全或强度设计参数(包括材料、温度、压力、几何尺寸)与压力容器实际情况不符者;

② 腐蚀量已超过设计腐蚀裕度或因大面积打磨处理后的实测最小壁厚小于强度计算所需最小厚度者,或存在大面积腐蚀的;

③ 存在严重变形、焊接接头错边量或棱角严重超标者;

④ 结构不合理且已发现严重缺陷者;

⑤ 检验员对容器强度或设计的强度计算有怀疑者;

⑥ 容器经过检验并进行缺陷修理超过规范规定时,一般应进行强度校核,并核定其最高工作条件。

### 2. 标准选用

① 原设计明确提出采用的强度设计标准的,应按该标准进行强度核算(原选用标准错误除外)。

② 原设计未注明依据的强度设计标准或无强度计算的,原则上可根据用途或类型按当时的有关标准进行校核。

③ 国外进口或国外技术设计的容器,原则上仍按原设计规范校核。

### 3. 许用应力

① 容器材料牌号不明,可按该压力容器同类材料的最低标准值选取(“类”是指黑色金属类或有色金属类)

② 许用应力值的确定,应考虑压力容器在最高操作温度下的许用应力值。

### 4. 焊接接头系数

应根据焊接接头的实际结构型式和检验结果,参照原设计规定选取。

### 5. 剩余壁厚

应按实测的最小值减去到下一个使用周期的腐蚀量。最小壁厚的确定,应按容器的均匀腐蚀和局部腐蚀分别处理,局部腐蚀应考虑腐蚀性质、面积、形状,点腐蚀应考虑单位面积点的数量、分布、分散与密集程度及其在容器上所处的部位而定。

### 6. 最高工作压力

以最弱受压元件强度为基准强度校核压力,一般取压力容器实际的最高工作压力。装有安全泄放装置的,校核用压力不得小于其开启压力(或爆破片爆破压力)。

### 7. 温度

强度校核的壁温,取实测最高壁温,低温压力容器,取常温值。

介质压力随环境气温而变化的压力容器,最低环境气温应取当地气象资料历年平均最低值。

### 8. 直径

壳体直径按实测最大值选取,直径的测量一般应在远离有补强的部位和塔盘支承圈进行。

### 9. 强度校核

强度校核应考虑附加载荷,应由检验机构或者有资格的容器设计单位进行。

## 九、压力试验和泄漏试验

### 1. 压力试验工艺

耐压试验应遵守《固定式压力容器安全技术监察规程》等规程的有关规定。

新安装的设备,设备在制造厂已经过水压试验在安装后不必再进行试压。如果在运输中受到损坏或者对设备的试压情况有怀疑时则需要重新进行试压。设备经过修理例如更换接管、筒体板、管子等应按设备初次试验压力重新进行试压。如果设备在基础旁进行试压,必须确认其内件装配完毕,杂物已清理干净,所有的无损检测和消除应力工作均已完成并合格。设备在卧置状态试压时,应确认供设备试压的临时支架结构能承受试压的全部载荷(设备自重加水的重量以及因支架放置不均匀对设备作用的弯矩),如果不能承受则应增加试压的临时支点以防止设备受到损坏。设备在正式基础上进行试压时,应确认基础能否承受设备自重加设备内存水的总重量,否则应采取对设备基础加固的措施。

设备在运行一段时间经开罐检查后需根据具体情况确定是否做耐压试验,如果采用焊接方法更换过主要受压元件或补焊深度超过二分之一壁厚,更换衬里,停止使用2年以上,或

对压力容器安全状况有怀疑等,则应当进行耐压试验。如果因设备的腐蚀、磨损减薄以及材质变化,设备的承压能力已经削弱,则应该在强度核算的基础上进行耐压试验。试验时升压应缓慢,并随时注意设备的变形情况,必要时可在设备几何形状不连续的部位、变形最大的部位(例如封头小 r 部位)的焊接接头附近涂上白垩粉,观察干固的白垩粉是否出现龟裂。

设备试压时应在设备最高点开设通气孔,以免进水时在设备上部形成气穴。在试压中应将安全阀和压力表安装在设备的最高点和泵的出口处,压力表应符合规范规定的精度、等级和量程并经检定后使用。最好使用小型容量泵,用水循环逐步加压,应有预防措施防止设备超压。耐压试验必须在设备的最高处和最低处设置放空阀,气压试验必须在压缩机出口和设备的最高处和最低处设置安全阀,保证设备安全试验。

向试压管线系统注水前应检查管线受热膨胀和遇冷收缩的情况,试压时应有预防措施,防止水冻结或过热。试压后应放净存水并将设备内部干燥,以免设备被腐蚀。在放水时人不能离开,应先打开设备最高点的放空阀后再打开底部排水阀,防止设备被抽真空而受到损坏。

## 2. 对水质的要求

压力试验常用水作试压介质,如业主或规范要求也可使用指定的非易燃的液体。一般来说,试验液体的温度应低于本身的沸点和闪点,凡在试验时不会导致发生危险的液体均可采用。试压用水一般使用清洁的水即可,如果不能保证水的清洁,最好是在试压管线上安装一个  $10\mu\text{m}$  的过滤器,以保证试压水的清洁度。但是,不同材质的设备对水质的要求不同,低碳钢、低合金钢、铁素体不锈钢、中镍或高镍合金钢、双向不锈钢、9% 镍钢、铝及铝合金、奥氏体不锈钢对水都有不同的要求。

低碳钢和低合金钢设备试压常用生活用水或低含盐水,如果用低含盐水,试压后应该全部放掉,然后用饮用水冲洗,并将设备内部干燥后再投入使用。碳素钢和 16MnR 普通低合金钢制压力容器液压试验时液体温度不低于  $5^{\circ}\text{C}$ ,其他低合金钢制压力容器(不包括低温容器),液压试验时液体温度不低于  $15^{\circ}\text{C}$ ,低温容器液压试验的液体温度应不低于壳体材料和焊接接头冲击试验温度加  $20^{\circ}\text{C}$ 。如果由于材质、板厚等因素造成材料脆性转变温度升高,则需相应提高试验液体温度。其他钢种液体试验温度应按图样规定。

奥氏体不锈钢试压用水应控制水中氯离子含量,一般的规范规定大多规定应小于  $25 \times 10^6 \text{mg}/\text{cm}^3$ ,否则容易产生应力腐蚀破裂或点腐蚀,如果管线系统内有微生物存在,也可能出现微生物诱导腐蚀(MIC)。不锈钢设备在试压前应将内部清洗干净,可以用装置里的冷凝水、锅炉给水或软化水进行试压。

另外,用饮用水试压时,试压后立即排放干净并用机械方法擦干或用冷凝水、锅炉给水、脱盐软化水这类水冲洗干净。管壳式换热器的管板与管子连接处以及其他部位都存在许多缝隙,试压后必须将试压水排放干净并干燥,否则容易产生缝隙腐蚀。当用冷凝水、锅炉给水或软化水冲洗期间,冲洗水必然会把整个换热器表面都弄湿,试压后必须加以干燥,可用热风进行干燥。从试压到开车即使相距时间较短也要考虑换热器的缝隙腐蚀危险,用锅炉给水或软化水清洗管道可以减少缝隙腐蚀的几率。使用生物杀虫剂可以减少微生物浸蚀。

不锈钢波纹补偿器在设备试压时,最好与设备隔离,如果不能隔离,则试压用水必须使用锅炉给水、软化水、冷凝水之类的水,并在试压后将其干燥。

铁素体不锈钢和中/高镍合金钢不宜使用软化水试压,软化水对某些材料(如 0Cr13)出

现的点蚀发生几率要高于硬水出现点蚀发生的几率,这是由于软化水中一部分硬度盐被 Na 盐取代的同时氯离子有所增加,工业区大气中的二氧化碳在纯水中的电离度较高,其与溶氧联合作用也可加剧点蚀,所以适当提高试压水的 pH 值对降低某些材料发生腐蚀有益。

双相不锈钢与含氧水接触时对缝隙腐蚀比较敏感,在水压试验时,应使用饮用水,并在试压后应立即仔细用锅炉给水或软化水冲洗并随之进行干燥或脱水处理,最好使用氮气置换容器内的空气,然后充氮保护。

9% Ni 钢在进行水压试验时应使用中性 pH 值的水,仔细清理掉器壁上的硫化物,以避免产生应力腐蚀破裂。因此,试压后应放掉所有的水并将其干燥处理。

铝和铝合金试压时应使用中性 pH 值的水,去除重金属离子如铜、镍和铁。这些金属离子沉积在铝金属表面会引起严重的腐蚀坑。因此,试压防水后应清扫并干燥设备表面。

钛试压用水基本上与奥氏体不锈钢相同,但是应特别注重防止铁污染。

### 3. 气压试验

气压试验是一种比水压试验危险的试验,只是在无法进行水压试验时才使用,此时按规范要求,可能会增加无损检测。气压试验应取得业主、合同和现场施工监理方批准。

气压试验所用气体应为干燥洁净的空气、氮气或其他惰性气体。低温操作或有特殊要求的设备在气压试验时使用的气体应经过滤,不得含油和水。试验用气体温度不低于 15℃。

### 4. 气液组合压力试验

对因承重等原因无法注满液体的压力容器,可根据承重能力先注入部分液体,然后注入气体,进行气液组合压力试验。试验用液体应符合液压试验的要求,气体应符合气压试验的要求,试验温度、试验压力、工艺与气压试验相同。试验检查时,应先按液压试验检查表面渗水,再按气压试验涂肥皂液检查漏气。

### 5. 泄漏试验

泄漏试验根据试验介质的不同,分为气密性试验、氨检漏试验、卤素检漏试验、氦检漏试验。

气密性试验的试验压力为容器的设计压力,对在用容器,是容器的最高工作压力。达到规定压力后,应保持足够长的时间,对所有焊接接头和连接部位进行泄漏检查。

设备的衬里、接管焊缝和法兰接头可用 0.1 MPa(表压)进行气密试验。

## 十、检、试验资料的收集

在检验过程中要随时注意搜集资料,很多资料在检验过程中稍显即逝,例如着色检查,查出的缺陷要及时在显像部位拍摄照片,时间长了显现的缺陷形状就会变形或消失。设备开罐检查时发现的缺陷,如不留下资料,设备回装后就无法再得到。检验资料收集方法很多,主要有拍摄照片、缺陷取样、汇总整理试验报告,如果这些手段都没有,就只好将缺陷形状绘制成图,或者这些手段还不能全面说明缺陷情况,也可以用绘图方法加以补充。

### 1. 实物照片

① 突出主题。将照相机镜头对准要表现的主题,例如容器的变形部位、破裂的断口、腐蚀部位、裂纹等等。有多种缺陷时,应选主题为特写镜头进行拍摄,为了反映缺陷的大小,一定要在缺陷旁边放一把直尺。

② 缺陷拍摄角度的选取。拍摄照片时应选取最能表现缺陷特点的角度进行拍摄。拍摄