ICS 13.220.20
E 09
备案号：11610—2003

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 6552—2003

石油工业在用压力容器检验的推荐作法

Recommended practice for inspection of pressure vessels in service for petroleum industry

2003－03－18 发布　　2003－08－01 实施

国家经济贸易委员会　发布

目　次

前言 …… Ⅱ
1　通则 …… 1
2　石油工业压力容器的范围 …… 1
3　维护检验 …… 1
4　检验的目的 …… 1
5　劣化的原因 …… 2
6　检验周期 …… 3
7　检验方法和所需条件 …… 4
8　修理方法 …… 18
9　记录和报告 …… 19
附录 A（资料性附录）　本标准章条编号与 API RP 572 章条对照 …… 20
附录 B（资料性附录）　本标准与 API RP 572 技术性差异及其原因 …… 21
附录 C（资料性附录）　换热器 …… 22
附录 D（资料性附录）　记录表格及报告样式 …… 28
参考文献 …… 37

前　言

本标准修改采用 API RP 572《压力容器检验》(1992 年，第 1 版)。

本标准根据 API RP 572（1992 年，第 1 版）重新起草，在附录 A 中列出了本标准章条编号与 API RP 572 章条编号的对照一览表。

考虑到我国国情，在采用 API RP 572（1992 年，第 1 版）时，本标准做了一些修改。在附录 B 中给出了这些技术性差异及其原因的一览表以供参考。

为便于使用，对于 API RP 572，本标准还做了下列编辑性修改：

a）标准名称由“压力容器检验”改为“石油工业压力容器检验的推荐作法”；

b）本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E 均为资料性附录。

本标准由石油工业安全专业标准化技术委员会提出并归口。

本标准起草单位：大庆油田有限责任公司锅炉压力容器检验研究中心。

本标准主要起草人：矫建军、李俊、刘景轩、常万成、王亚臣。

石油工业在用压力容器检验的推荐作法

1 通则

1.1 范围

本标准适用于石油工业在用压力容器的检验。本标准还包括了对不同类型压力容器的说明及其制造和维护标准的说明，同时还论述了检验的目的、劣化的原因、检验的周期及方式、修理方法以及检验记录和报告的格式。

1.2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

SY/T 6499—2000 泄压装置的检测（eqv API RP 576：1992）

SY/T 6507—2000 压力容器检验规范 维护检验、定级、修理和改造（eqv API Std 510：1997）

质技监局发［1999］154号 压力容器安全技术监察规程

劳锅字［1999］3号 在用压力容器检验规程

API Publ 2217A 在石油工业含情性气体限制空间内工作的指南

API Std 661 炼油厂空冷器

API Publ 920 压力容器脆性断裂的预防

API RP 571 导致劣化及失效的情况

API RP 574 管道系统组件的检验

API Publ 945 避免氨装置中设备的环境开裂

ASME 第Ⅷ 锅炉压力容器规范 压力容器

NBBPVI NB－23 美国国家检验规范

2 石油工业压力容器的范围

本标准所指石油工业压力容器是指归属于《压力容器安全技术监察规程》第二条及其他外部或内部承受的最大工作压力大于0.1MPa（表压）且起独立工艺作用的容器。容器的外部压力可以是由内部真空引起的，或者是由外套与容器外壁之间的流体压力所致。受外压的容器通常与受内压的容器的检验方式相同。各种换热器的型式和检验参见附录C。

3 维护检验

容器制造标准会随着压力容器设计的进步和新材料的应用而定期修订。压力容器应按照其设计和制造时遵守的技术要求进行维护。如果容器被再定级，则应按照其被再定级时的技术要求进行维护。石油工业的压力容器检验员不仅应该熟悉标准的最新版本而且应该熟悉标准以前的版本以及他所检验的容器制造时遵守的其他技术要求。检验员还应该熟知所有指导压力容器检验及维护的规程（包括地方或行业标准）。

4 检验的目的

4.1 概述

进行检验的主要目的是确定容器的物理状况以及确定容器缺陷的类型、劣化速率及产生的原因。这些内容在每次检验后应认真记录整理，应用这些数据可以保证容器的安全，延长连续运行周期，有时可减缓劣化速率，并对将来的修理和更换的要求做出预测。

4.2 安全性

按计划进行定期检验能够发现一些缺陷，如果这些缺陷未进行处理可能导致危险或非正常停车、泄漏，甚至导致容器失效。

4.3 连续性

定期检验有助于形成定期维护计划，检验确定的腐蚀速率和允许腐蚀裕量是预测是否需要更换或修理的基础。这些预测将有助于制定维护计划和确定连续运行周期并有助于确保工厂生产安全可靠。

4.4 可靠性

在装置运行期间利用声学、超声波、射线照相或其他无损探伤技术进行外部检验，可以在无需打开容器的情况下发现重要的情况，可能发现的缺陷如：泄漏、裂纹、部件的错装、管线堵塞、过度的振动、声音不正常和其他异常现象，正确地分析这些征兆并采取纠正措施，就会改善运行的综合可靠性。

5 劣化的原因

5.1 概述

任何与容器表面接触的物质，无论是有机或无机组分、污水或淡水、蒸汽或空气，都可能在容器表面引起劣化。劣化的形式可以是电化学、化学、机械或以上三种的综合，劣化可能由于温度、应力、疲劳（包括由振动和压力变化引起的疲劳）、冲击、高速冲刷或紊流所致。

5.2 腐蚀

腐蚀是引起压力容器材质劣化的主要原因，并且可能发生在容器的任何部位，劣化的严重程度受介质中腐蚀性物质的浓度、温度、特性以及材料抗腐蚀性的影响。

在炼油厂中最常见的内部腐蚀介质是硫化物和氯化物组分、苛性碱、无机酸、有机酸、水（特别是低 pH 值的水）、沉积物或疏松的腐蚀性化学物质，其他用于特殊工艺过程的化学物质也可能腐蚀容器。

例如，由于苛性碱与应力共同作用引起的应力腐蚀断裂；严重的石墨化腐蚀；孔洞式和层间型脱锌腐蚀；沉积物堵塞及沉积物下腐蚀。

外部腐蚀，特别是隔热层内，随着湿度的增加而加快，该种腐蚀还随空气环境中的污染物而加速发展，在工业区和海滨地区的环境条件下特别易于引起腐蚀。

5.3 冲蚀

冲蚀是指由固体颗粒或液滴在材料表面的冲刷引起的表面材料损耗。经常发生在节流处、流向转变处或由于紊流引起高流速处。典型的冲蚀发生在出入口的接管处、内部管线、隔栅或塔盘折流板、进口接管正对的容器壁、内部支承板和受冲击的折流板处。

腐蚀和冲蚀并存会加速劣化的速率，例如，腐蚀和冲蚀并存的情况可能发生在催化裂化装置中分馏塔底部与接管正对的地方。

5.4 组织和成分变化

压力容器在可能引起材料显微结构和金相组织变化的工况下运行时，显微结构和金相组织的变化常常影响金属的机械性能，并导致裂纹或其他劣化。微观组织变化既可由对金属的加热和冷却失误所致，也可由金属的化学成分变化所致。这些变化的例子有石墨化、氢脆、碳化合物析出、晶间腐蚀和脆化。

5.5 机械应力

如不采取预防机械应力的措施，将引起容器失效。温度骤变、周期性温度变化、振动、任何原因

引起的超压力波动以及外界载荷等都是机械应力源。裂纹、鼓胀、扭曲和内部装置的倾覆是机械应力作用的表征。

5.6 选材错误或加工失误

在压力容器上发生的许多问题都可以归究到选材错误或加工失误。由于选材错误或加工失误造成的问题有断裂、泄漏、堵塞和严重腐蚀。

在制造容器前或制造容器的过程中，容器材料内部的夹层如果未被发现，在容器投入运行后，夹层可能扩张，当夹层扩张至板材表面时，就表现为裂纹。

板材中可能存在表面难以发现的缺陷。腐蚀后，这些缺陷会导致泄漏。如果泄漏非常严重或裂纹接近临界值，则会导致失效。

对于新工艺缺乏经验，可能造成选材不当而导致严重腐蚀。修理时采用物理性能不合适的材料也能导致严重腐蚀或失效。

5.7 制造错误

5.7.1 概述

制造错误包括焊接质量差、热处理不当、制造配合尺寸超出 ASME 规范第Ⅷ卷规定的尺寸误差范围、内部设备安装不当、法兰或螺纹接头组件不匹配。

5.7.2 焊接质量差

不正确的焊接工艺或粗糙的焊接可能引起未焊透、未熔合、裂纹、咬边、夹渣和气孔，任一情况都可导致裂纹产生或引起失效。

5.7.3 热处理不当

热处理不当会造成焊缝附近的残余应力偏高，影响金属的物理性能及其抗腐蚀性能，也可导致材料硬化并可在振动影响下开裂。

高残余应力可能导致在容器运行一段时间后出现延迟裂纹，尤其是在接管和补强板周围。在腐蚀条件下，高残余应力可导致应力腐蚀裂纹，也可导致抗腐蚀性能的改变。

热处理温度过高或保温时间过长会造成材料的损害，以致于材料的物理性能不能满足技术要求。

5.7.4 尺寸偏差

制造工艺不当可导致误差超出 ASME 规范第Ⅷ卷允许的范围，这将导致应力集中并可能引起失效。

5.7.5 安装不正确

内部设备的不正确安装可降低运行效率、通道堵塞及在压力波动时内部设备的移位。

5.7.6 组装不正确

法兰、螺纹连接组件的不匹配或紧固不当可引起渗漏，如果是螺纹连接则会造成完全失效。

6 检验周期

6.1 决定检验周期的因素

压力容器的检验周期取决于几种因素，最重要的因素是劣化的程度和允许腐蚀裕量，详见 SY/T 6507。

腐蚀速率随容器处理的原油或原料的类型、工作温度和制造材料而明显变化。对新设备必须逐一单独评价以确立最初的检验周期。

通过首次在线检验或内部检验后应建立运行档案。在此档案的基础上，可依据 SY/T 6507 或《压力容器安全技术监察规程》的要求确定检验周期。通常在至少还有一半的剩余腐蚀裕量时进行下一次的检验。允许依据腐蚀速率的变化而改变原定的检验周期。

设备检验和维修的责任人应熟悉有关的技术要求。在适用的情况下应遵守有关标准中推荐的条款。当劣化速率发生改变或预计要发生改变时，检验周期也应相应地改变。

应定期对容器的外部部件进行外观检验。运行检验时，可以不必将容器与系统隔离。这些检验可以在较短的时间间隔内进行，该时间间隔取决于被检的特定设备的使用条件和以前的使用情况。对于非火焰直接加热的压力容器，全面外部检验应依据 SY/T 6507 进行。

大多数装置，尤其是塔和换热器，运行时其内部清洁程度不得低于最低允许要求，尤其对换热器或冷却器来说，装置运行周期的长短取决于是否能保持设计规定的热传导速率。

6.2 检验时机

实际检验时间通常由工艺部门、压力容器管理部门和压力容器检验机构协同决定或由法规条例决定。

由于工艺或机械的原因而导致非计划的停工，常常给已确认或怀疑表面有腐蚀、冲蚀或劣化较快的部位提供了检验的机会。在由于工艺原因造成装置的部分停工时，还可进行某些内部检验，以确定设备的使用状况，证实在线检验发现的问题并制定所需的修理工作计划。

下列的情况可以提供检验机会：

a) 换热器正常停用进行隔离清洗。当换热器清洗间隔比工艺装置正常运行所允许的时间间隔短时，习惯作法是安装备用换热器，通过调整阀门利用旁通流经备用换热器，然后打开需清洗的换热器进行清洗，检查那些从工作环境中隔离和分离出来的换热器可以获得很多益处，以至于当工艺装置停车，准备再次开机时，工作量减少。

b) 当容器或塔器从工艺中隔离进行清洗塔盘（托架）和其他类似工作时。

c) 当容器或换热器在非计划停工时间内与工艺条件隔离时，这种情况出现时，应当检验容器或换热器的最关键部件。

d) 当容器或换热器工作时，可以进行外部检验；对运行中的设备进行检验时，如使其与工艺隔离，则应降低工作负荷。检验的项目应包括基础、支承部件、保温层、防护漆、梯子、平台和其他的结构部件的状况。也可以将内部隔热层金属表面的异常高温和局部过热点检查出来。可以使用在线检验法检查缺陷和测量壁厚。例如，可以使用超声仪器或适用的射线照相法确定壁厚。

e) 设备运行时，检查操作记录有助于确定性能劣化的原因，压力降的增大可能是过度腐蚀产生的沉积造成阻塞引起的，换热器或冷却器中热量交换率的降低可能是束管内表面或外表面附着有严重腐蚀沉积物所致；无法从塔盘抽出分馏或蒸馏的产品可能是塔中的分馏塔盘阻塞或部件损失所致；产品质量变坏也许是工艺容器中塔盘、塔盘部件或其他内部设施失落所致，检验员要密切注意操作情况。

6.3 检验计划

因维修或检验而停工的计划通常由压力容器管理部门、压力容器检验机构、维修单位协同制定或依据法规条例而定。停工计划应全年平均统筹安排，尽量使维修和检验人员的工作量不致于集中。

因检验使装置计划停工时，首先要考虑操作的安全性与可靠性。有时，某些产品的季节性要求可以使检验和维护工作对产品的供应没有严重影响。新容器投入使用后应在合理的时间间隔内进行检验。具体时间间隔视使用情况而定，可参照同类容器的历史记录。

7 检验方法和所需条件

7.1 概述

压力容器，特别是使用条件恶劣的容器在检验开始前，检验员应掌握自上次检验后至今该容器工作的压力和温度条件，并了解容器内介质的特性和该容器在工艺中的作用。检验员应核对操作记录的确切数据，包括是否有诸如超压、超温或其他异常条件。这些数据可能对确定腐蚀的类型和部位及可能出现的其他劣化形式——诸如剥落、凸起、变形等提供有价值的线索。检验员应开发和练习使用容器缺陷声音判断新技术，使其适应于更大的范围和种类。

认真进行外观检验很重要，它能决定是否需要其他形式的检验。充分的表面准备工作对准确的外观检验或有效地使用诸如磁粉（干性或湿性）和渗透等辅助检验法很重要。表面准备工作的程度范围取决于具体的条件环境。除常规清洗外，还可用钢丝刷刷、喷砂、高压水清洗、除锈、打磨或以上几种方法综合运用。

如果内部或外部保护层——如隔热层、耐火衬里、防腐层等情况良好且未出现问题，则容器检验时不必将其拆除。然而，建议除去一小部分非金属保护层，以检查保护层及层内金属的状况。如果发现金属或非金属保护层有缺损，则须除去其附近范围足够大的保护层，以确定母材金属是否劣化及劣化的程度。

容器表面通常保存有沉积物如油焦，这对确定沉积物下容器表面的状况十分重要。在重点进行局部检查的部位应将沉积物彻底清除。

如果容器内部装有可拆装部件时，只要有合理的保护措施，且在该部件以外易接近的地方没有出现劣化现象，就不必拆除该部件。

确定厚度需要的数值主要取决于容器中已发现的腐蚀形式。在大面积腐蚀区域，有时将该区域内厚度最小值的平均值视为该腐蚀区域的厚度。分散的或个别的腐蚀坑，则应根据其深度、数量、连续程度来计算。局部腐蚀最小厚度的确定方法应遵照 SY/T 6507。

7.2 安全预防措施和准备工作

7.2.1 安全

在进入容器之前，必须采取安全预防措施。如果进出口尺寸受限和空间有限，制定并遵守安全措施就更为重要。

容器应用适应相应压力和温度级别的盲板或盲法兰隔断一切液源、气源、蒸汽源。在进入容器之前，应排空、吹扫、清洗，并进行介质气体含量检测。这些准备工作能减少有毒气体、缺氧、易爆混合物和刺激性化学品的危险。应采取 API Publ 2217A 要求的预防措施，穿戴保护身体和眼睛的防护品进入容器。

有时，在进行清洗之前进入容器更便于查找导致故障的内部原因。在这种情况下，检验员要进入容器应采取 API Publ 2217A 中的预防措施。

检验中无损检测仪器的使用应符合气体环境条件的安全要求。

检验开始前，应通知在容器附近工作的所有人员，有人要进入容器工作。在高塔的人行通道放置提醒标志是一种有效的防护措施。通常在离检验区域最近的地方安排有一名安全监护人员。在容器外面进行的任何工作都要事先通知容器内的工作人员，以免他们受到突如其来的噪音的惊吓。

7.2.2 准备工作

检验前应检查容器检验所需工具，其中包括人身安全所需的工具和仪器是否良好无缺。在进入容器工作之前应安放好必要的安全标志。

压力容器检验应备的部分工具如下：

a）便携灯，包括手电；

b）行灯；

c）薄刃刀；

d）扁铲或刮刀；

e）三角刮刀；

f）镜子；

g）内卡尺；

h）外卡尺；

i）小刀；

j）钢卷尺（15m）；

k）法兰量规；
l）检验锤或圆头锤［0.114kg或0.228kg（4oz或8oz）］；
m）超声测厚仪；
n）卡钳（测内径用）；
o）钢尺；
p）深度计；
q）颜料或粉笔；
r）笔记本和铅笔；
s）检验直尺；
t）钢丝刷；
u）铅锤球和铅锤线；
v）磁铁；
w）放大镜；
x）钩尺；
y）装腐蚀物样品的塑料袋。

根据需要还应备有以下工具和设备：
a）水平仪；
b）木工或管工用水平尺；
c）磁粉探伤仪；
d）千分尺；
e）射线照相设备；
f）对地绝缘测试仪；
g）喷砂设备；
h）高压喷水设备；
i）便携式硬度测试仪；
j）涡流检测仪器；
k）声波和射线照相检测设备；
l）内窥镜
m）经纬测量仪；
n）温度指示笔；
o）热电偶；
p）金属切削取样设备；
q）材料鉴别工具或材料鉴别仪；
r）照相机；
s）超声探伤仪；
t）渗透探伤检验设备；
u）钻检测孔设备（钻、丝锥、塞等）；
v）喷砂或喷水设备；
w）测孔仪；
x）铅线和水平仪；
y）观察镜或双筒镜。

检验应备的其他有关条件和设备包括：跳板、脚手架、升降椅、绳梯或链梯、攀登无护栏梯子所需的安全防护设备、升降平台、对讲机及便携式梯子。如果要搭外脚手架，则应在检验开始前搭好。

7.3 外部检验

7.3.1 概述

很多外部检查可在容器的使用过程中进行，容器运行过程中的检验将减少其停产检查的时间。

7.3.2 梯子、楼梯和工作平台

压力容器的外部检查应从与其相通或在其上的梯子、楼梯、平台或过道开始。

应先对已损坏的部分、已出现的裂纹、螺栓的紧固程度、油漆或覆层的状况、梯子的磨损、扶手的安全性、平台和过道的状况等进行仔细的外观检验。可用锤子和刮具除去氧化物或其他腐蚀物，以便于进行外观检验。应移开踏板以检查其下的支承物。螺栓的紧固性可用锤子敲打或者用扳手拧螺母来确定，金属梯子或踏板上纹线的磨损不但减弱了其支承性，还使其变滑了。平台的凹处应仔细检查，因为积水会加速腐蚀。小缝隙用尖的刮具检查。松或坏的部分用锤敲可检查出来。若需要，可用卡尺测量平台和结构件的厚度。

潮湿的地方最容易发生腐蚀。在梯子上，腐蚀多发生在防滑线底部。裂纹及腐蚀易发生在螺栓或梯子与角铁的连接处，以及中间的支承物与容器之间的连接处。焊接的支架易于腐蚀。因为焊点粗糙，难以很好刷漆，腐蚀也许发生在油漆下面。可从突起的油漆或透过油漆的铁锈来判断油漆下的腐蚀。

大部分部件的状况可用锤击法确定，在严重腐蚀的部位要用卡钳或其他方法测量其实际的厚度。

7.3.3 基础和支承

容器的基础都是由钢筋混凝土或耐火结构钢筋混凝土构成的，应检查其是否有诸如剥落、开裂、下沉等损坏。

换热器的基础通常包括钢支架和其下的混凝土墩。偶而也有用单一钢支承的。应仔细检查换热器或卧式容器壁与支架之间的缝隙。缝隙中的潮湿能很快腐蚀碳素钢或低铬钼钢。若支架用胶泥混合物密封，应用刮刀检查密封好坏。支座通常以焊接方式与容器壳体紧密连接，以防止潮湿积累在缝隙中，加速容器腐蚀。

剥落可能由过热、机械振动、钢筋腐蚀或潮湿冻结等引起。检查此类损坏应采用外观检验和刮具检查。可用直尺或钢尺测量此类损坏的深度。

混凝土或防火材料上的裂纹可能由过热、设计或材料不良、机械振动、不均匀下沉引起。这些情况主要用外观检验，也可用尖刮刀刮的方法来辅助检验。

高温或湿度变化引起的混凝土或防火材料上产生的裂纹通常象头发一样细小，只要裂纹没有使钢筋暴露就不算严重腐蚀。

当出现大的裂纹并扩展，但没有发生下沉时，可能是由于设计或材料不良引起的，需要彻底的检查和研究。如果设计正确，则裂纹很可能是混凝土材料不良引起的。认真的外观检验或用锤子敲取一小块可判断出混凝土材料是否不良，但必须取一小块混凝土芯进行测试。

基础有可能下沉。当沉降均匀且沉降量不大时，不会有什么问题。然而，若沉降过度或不均匀时，则应采取措施以防严重损坏发生。当基础或支承物发生沉降时，应检查连接管线的状况。

应做好沉降记录，可用铅垂线和钢尺对沉降进行粗检。当需要准确测量时，需用测量水平仪。当沉降可见时，可通过基础与其周围地面的不一致观察到。沉降的测量周期取决于沉降量及严重程度。沉降测量应到不再沉降为止。在长混凝土板或几个独立的基础上的容器最易发生不均匀沉降。

7.3.4 紧固螺栓

紧固螺栓的状态无法完全由外观检验确定，在螺栓与混凝土或钢结构的接触区域，应刮开进行细致的腐蚀检查。虽然这种方法不能发现基座表面以下的状况，但用锤子侧敲就能发现紧固螺栓的损坏程度。紧固螺栓的变形也许意味着严重的基础沉降。应仔细检查紧固螺母是否拧紧，还可用超声技术对螺栓进行检查。

7.3.5 混凝土支承物

混凝土支承物的检查和混凝土基础的检查相似。混凝土支承物与容器壳体或容器封头之间的空隙应密封，以防止水浸入。用刮具进行的外观检验会使密封损坏，导致发生电解反应加快腐蚀。

7.3.6 钢支承物

应检查钢支承物的腐蚀、变形和裂纹。

腐蚀了的支承物（裙座、柱、支架等）的剩余厚度很重要。严重腐蚀区的厚度可由卡尺的读数确定。该读数与原厚度（若已知）或与未发生腐蚀部位的厚度相比，可得到腐蚀率。可用钢丝刷刷、刮刀刮、锤敲等方法补充对支承物的外观检验。对大的裙板支承物可用超声波仪器测其厚度。结构元件的一般腐蚀可用适当的涂层预防。镀锌是钢结构最好的防腐方法之一。

应检查柱和承重梁的压弯或过度倾斜。可用直尺和铅垂线来进行外观检验。圆筒裙座的变形量可通过测量不同点的直径测出来，每个点应间隔 60°。

裙板的内表面易受潮湿的侵害，特别是当被封闭部位处于 40℃（100℉）以下的温度环境或用蒸汽对容器底部进行加热时。如果表层剥落或生锈，则在检查前将其刮去或用钢丝刷刷去。

容器支承物的耳板部分应检查，以确认其状态良好，用刮刀刮通常能发现腐蚀，用锤子敲也能发现特别薄的地方，应检查联接紧固件的腐蚀和紧固程度。应用刮刀检查所发现缝隙的腐蚀程度。裂纹可发生在各种支承结构或耳板上，但最可能发生在焊接结构上，焊点及其邻近区域最易出现裂纹。若容器在使用中，则只能对这些裂纹进行外观检验。可用磁粉（干性或湿性）、着色渗透或超声波探伤等方法弥补外观检验。这些方法需要更充分的表面处理。

如果支承裙板是绝热的，则检验其绝热层，外观检验通常可发现绝热层的损坏。若怀疑有水或潮湿渗入到钢材表面，则应打开足够面积的绝热层以确定腐蚀的程度。

应检查支承横梁和裙板上的防火材料，该防火材料通常由砖和混凝土制成。通常用刮刀辅助外观检验能发现其缺陷。用锤子轻轻敲击能发现混凝土防火材料与钢之间结合不实。如果潮湿能透过防火材料会引起钢筋腐蚀并引起混凝土鼓胀。防火材料的鼓胀说明有腐蚀，防火材料上的铁锈说明其下金属可能腐蚀。

7.3.7 拉索

大多数容器都是靠自重支承的。一些塔式容器或柱式容器需要钢缆拉索支承。这些拉索与地面连接。钢缆一端在容器上，另一端紧固在埋入地下的混凝土座上。

应对塔与地面每个紧固连接部位进行外观检验，以确定其紧固和张力都正常。若认为拉索的张力有问题，应和结构工程师商量。

应检查拉索是否有腐蚀和断线现象。紧线器的螺纹部分易发生裂纹腐蚀。用尖刮刀可发现这些腐蚀。

应检查塔上或地上的钢索夹子，看其是否安装正确。夹子应安装在长端或活动端，U 型螺栓安在钢索的紧固端或短端。至少应留出钢缆直径的 6 倍长的线头，以确保夹紧力最大。每条钢缆需要的夹子个数取决于钢缆直径，具体数值可在钢缆目录及工程手册中查到。

7.3.8 接管

若有沉降发生，应检查接管和相邻的器壁是否有变形或裂纹。管线的过度膨胀、内部爆炸、地震、火灾等都可能损害管线的连接。

可以用法兰规来检查法兰面的变形。如果在管口周围区域发现变形或裂纹，那么就应该检查该区域里所有的焊缝和壳体。该区域应用喷砂或用钢丝刷处理。磁粉（湿性或干性）、着色、超声波或声发射可用来补充外观检验。在高达 482℃（900℉）温度下工作的催化重整装置，在操作过程中，可能发生蠕变脆化。在检测这种损伤方面，可以采用声发射技术。

当接管发生腐蚀、裂纹和变形时，就应该进行内部检验。该检验可借助刮刀和手电筒。

外露的密封表面应检查有无划伤和腐蚀。同时，该表面应仔细清洗以进行外观检验。

槽型密封法兰应检查是否由于螺栓过紧引起裂纹。同时，对不锈钢法兰也应该检查其是否存在应

力腐蚀裂纹。无损探伤方法（NDT），如磁粉（干性或湿性）、着色或超声波技术可用做外观检验的补充。

活套法兰或滑动法兰，如范斯通法兰，应检查法兰和管连接处的腐蚀情况。这种检查可使用特殊探头和超声波测厚仪在管内进行。这种法兰也可在卸掉螺栓脱离管道后单独检查。

接管的壁厚应进行测量。这种测量可用卡尺、超声波测厚仪或射线照相法进行。内部直径测量可用内径仪进行，以检测腐蚀。这些测量不必移开管子，但容器必须打开进行内部检验。将这些测量值记录下来，并和以前的或原始的厚度数值进行比较。任何损失都应进行分析，并采取适当的措施——如厚度接近或达到最小厚度应修补。如果允许的话，可考虑安装衬里。应经常监测，并使用抗腐蚀剂。

泄漏通常出现在管子和容器器壁连接处，在使用中或试验条件下最易发现确切的泄漏位置。

7.3.9 接地

接地应进行外观检验以确认良好的电性接触，这些连接为闪电或是静电进入大地提供了路径。该系统通常由一股铜导体组成。其一端用螺栓紧固在容器上，另一端用铜焊或用螺栓紧固在一根铁或铜棒上，并深埋入大地中。电缆连接要检查其紧固性并确定连接到容器上。应检查所有接地线的连续性，在接地电路中不应存在断路情况。进行系统试验确保对地电阻不超过该地区可接受的值。推荐电阻为5Ω或更小，而且该阻值不应超过10Ω。

7.3.10 辅助设备

辅助设备，如仪表连接、观察窗和安全阀，可在使用中进行外观检验。要注意这些部件的过度振动，有些振动应采取添加支承件来抑制，或是由有资格的工程师计算，以确保不会导致严重的损伤。

7.3.11 防腐层和绝热层

应检查容器壳体上的防腐层和绝热层，锈蚀点、气孔和膜凸起也是常见的涂层失效的类型。锈蚀处和气孔用外观检验的方法容易发现。膜凸起问题不容易被发现，除非膜已有可见凸起或被损坏。这种情况可使用刮刀或刀片在可疑处划的方法找到。用刮刀去掉气孔和锈蚀点常会在容器壁上留下凹坑，这种凹坑深度可用凹坑仪或深度仪测量，多数导致涂层失效的此类凹坑最可能出现的地方是在潮湿区域和焊缝的裂纹处。在潮湿地方，裙座支承底部是另一个易出现使涂层失效的凹坑的地方。

通常情况下，外观检验可确定绝热层情况。少数情况下，可打开绝热层更好地检查绝热层情况和其下金属壁的状况。支承环箍、角钢、带、吊线都应进行外观检验以确定腐蚀和破损的情况。有时，可安装专门的绝热块，以便拆卸。这些块安装到需要定期检验处，通常在焊缝处。

7.3.12 外部金属表面

容器的外部金属表面可使用刮刀刮和适当敲打的方法来寻找腐蚀处。

注意：在对高温、高强度材料操作时应特别小心。如果条件允许，应在容器周围搭上架子以进行全部表面检查。

外观检验所需表面准备程度取决于已发生的劣化的类型和程度。在通常情况下，只在使用超声波测量的地方，将金属表面清洗。当怀疑有裂纹或大量凹坑时，就需要大面积（可能是全部容器壳体）的清洗。

手动工具如尖刮刀、检验锤、钢丝刷子、刮刀和锉可用来清洁小面积区域。对更大区域，电动刷或电动砂轮通常比手动工具更方便、更有效。

任何腐蚀的现象应该加以调查，并确定腐蚀处的深度和腐蚀长度。

要作全面的容器检查，测量容器壁、封头、接管的厚度，这些测量值是来自于容器的外部还是内部取决于腐蚀区域的位置和可达性。

在正常情况下，在每一筒节和每一封头应至少测量一次，但是，如腐蚀情况很严重，则在大多数腐蚀区记录几个读数。同样，如果一特定的容器没有记录，那么应该考虑在每一对应的筒节和封头的周长上四等分处测量并记录数据。可用超声波测厚仪进行测量。

7.3.13 腐蚀的外部现象

在容器的外表面可以发现特定类型的腐蚀，如空气腐蚀、苛性脆化、氢鼓包和土壤腐蚀等。

容器外部的空气的腐蚀程度与当地气候和使用环境有很大关系，在潮湿地区和空气中存在腐蚀性化学物质的蒸气的地区，壳体外表面的腐蚀可能是个问题。工作在露点温度范围的容器最值得怀疑。这种类型的腐蚀通常用外观检验就可发现。

如果容器中的介质为碱性，那么容器就该进行苛性脆化的检查，这种类型的破坏最有可能出现在内部加热部分和碱液残留区或其他高应力区的接合处。值得怀疑处在接管周围和接管内或已发现的裂纹附近。通常外观检验可发现这种腐蚀。碱性介质渗入裂纹，经常沉积为可见的白色的沉积物，磁粉（湿性或干性）、着色和超声波检测也可检查苛性脆化。

在容器中酸性腐蚀介质液面下的区域比其他区域更有可能产生氢鼓包，氢鼓包在容器内部比外部发现的机会更多，但是，容器里外都可能发现氢鼓包，这取决于产生空隙的实际位置。鼓包用外观检验最容易被发现。用手电筒光束平行地照在金属表面，有时能发现鼓包。当金属表面有许多小鼓包时，你可用手指摸到这些鼓包。

对与混凝土基础接触的金属表面应加以注意，在潮湿的空气中，支承点严重的侵蚀可能需要焊接修理，并使用保护层。

部分或全部在地下的容器会遭受土壤腐蚀，而无论容器在地下什么地方与土壤接触，这种腐蚀在煤渣回填坑或有酸溅上的区域特别强。容器表面的检验将要求彻底清洗。通常使用喷砂方法将表面处理好。用刮和敲打的外观检验方法可发现大多数腐蚀处。深的凹点位置应记录下来，确定拆除多少面积的涂盖层进行这种检查应有很好的判断力。通常在地表或地表附近的容器表面腐蚀最严重。

容器表面应进行检查，看是否有腐蚀和泄漏、裂纹、变形、膨胀及涂层损坏或腐蚀。如果容器绝热，那么小部分的绝热层应被打开。特别是在水分可能积累处，需明确外部是否被腐蚀。

除非易见，最好在压力或真空试验时检查泄漏，如果裂纹泄漏可见或有其他显示，就应该用更精确的检查方法。

在焊接的容器中，在接管接合处，在焊缝和支架上及支承焊点处，裂纹最为常见。一般情况下，仔细刮削检查能发现大多数裂纹。当怀疑裂纹在某一区域里时，就应用适当的方法——如钢丝刷、高压水龙头或砂轮将整个区域处理以利于检验。如果仅采用外观检验不足以发现裂纹，例如检测含氨容器和脱氧器的裂纹，湿性或干性的磁粉、超声波、着色或声波发射分析可用来确定裂纹和其他不连续缺陷的位置。湿性荧光磁粉分析方法比干性荧光磁粉分析方法更灵敏。

鼓包和凸起通常是相当明显的。贴着容器外壳放置一个样板（标尺），可以测量微小的变形。确定产生变形的原因是非常重要的。诸如内部蒸汽超压或过度的内部腐蚀等变形因素可以通过内部检验发现。沉降、地震、振动造成连接管上的大的变形以及其他原因通常可以通过外部检查发现。凸起或鼓包的程度可以通过测量圆周长度变化或测量容器侧壁的轮廓线来确定。侧壁轮廓线可以用平行于容器壁的线锤来测定，也可以用经纬测量仪或180°的光学垂准器测量。

当容器使用时，内部绝热的容器封头或壳体的局部过热区域应定期检验，应注意并记录鼓包的现象。局部过热区的金属表面温度可以用一个便携式的热电偶、红外线测温仪进行检查或温度指示笔、专用的涂料等检测。当容器停工时，局部过热区应做一次完整的检查。如果温度长时间超过427℃（800℉）或在易产生氢损伤环境中温度超过260℃（500℉），应该考虑使用复膜技术或提取材料样品进行金相检验；应该请一个有经验的金属学家或工程师进行检验。

外表面应该进行有无夹层及机械损坏的检查。扩展到表面的夹层可以直接检测到。诸如凿孔和凹痕等类机械损坏应该检查。当划伤看来足以影响容器的强度时，任何划伤的深度和程度都必须进行测量。所有的划伤都要有报告。

通常有一定数量的外部辅助器件被连接在压力容器上。这些器件包括如下项目：

a）排污管线和其他连接接头（见API RP 574）；

b）液位计、压力表、温度表及其他仪器设备；

c）安全泄放阀（见 SY/T 6499—2000）；

d）外部喷水器和其他阻燃设备。

7.4 内部检验

7.4.1 概述

所有必要的检验设备，包括工具、梯子和照明设施等，都应该提前准备以便容器停工时间最少。

7.4.2 地面设备

对于内部检验所需要的地面准备程度将随几个参数的不同而改变。其中最重要的参数如下：

a）劣化的类型；

b）劣化的位置。

检验前，通常由容器操作人员用热水、蒸汽清洗或使用溶剂和原始的刮削方法清洁容器表面。在表面清洁度要求较高的地方，检验员可以使用手动工具来进一步清洁。

所提到的清洁方法需要提供钢丝刷、喷砂、高压水（5.5MPa～8.0MPa）或当环境允许时用电动砂轮。当有应力腐蚀裂纹、湿的硫化物腐蚀裂纹、氢损伤或其他导致性能下降的材质变化时，裂纹、深坑及大的焊接缺陷需要进行全面的彻底的清洁。如果不能从容器的一个开口到达容器的全部部位，7.4.3 中要求的工作将从每个开口依次进行。

7.4.3 初步外观检验

如果不是第一次检验的话，内部检验的第一步是复查以前几次检验的记录。

可能的话，下一步是进行一般的外观检验。腐蚀的类型（点蚀或均匀腐蚀）、位置及任何明显的数据都应该建档。在炼厂工艺容器上，特定区域的腐蚀比其他区域要快得多。这种不均匀腐蚀详见 API RP 571。将类似使用条件的容器的数据收集起来，将有助于在检验中对容器的腐蚀进行定位或分析。

分馏塔的底部封头和壳体在处理高含硫的原油时很易受到硫化物的腐蚀，这种腐蚀通常在入口管口附近最严重。

分馏塔和蒸馏塔的上部封头和壳体有时受氯化物损伤，在塔盘降液管或集油箱上的底部有点蚀坑。经常在这些地方发现沟纹形式的腐蚀。

分馏塔、蒸馏塔、分离罐、回流罐、换热器外壳及相关的容器都易受潮湿的硫化氢或氯化物的侵蚀，在焊道和热影响区产生裂纹。

有淤泥沉淀的容器有时发生电化学腐蚀。富集沉淀物的区域最易受腐蚀，如果沉淀物中含有酸性成分时腐蚀会更快。

如果水蒸汽被注入一台容器，腐蚀和侵蚀会在蒸汽入口所对应的地方发生。容易聚集沉淀物的底部封头和小部分区域也极易发生腐蚀。

通常在底部设置一个再沸器来保持预想的温度。如果工艺蒸气含有酸性物质受热分解出的产物时，热蒸汽回流返塔的部位可能有明显的腐蚀，例如在烷基化装置及肥皂或洗涤剂装置里。

由于焊接使焊缝及相邻部分产生金相组织的变化，加速了腐蚀的发生。压力容器大多数的裂纹都是在这些地方发现的。正对着蒸汽入口的地方极易受损伤或腐蚀。

以水为介质的容器，如换热器或冷却器，水温最高的地方发生的腐蚀最大。这样，当水在换热器的管子里时，管箱的出口侧是最易腐蚀的地方。

在任何类型的容器里，不同的金属紧密相连的地方都可能产生腐蚀。两种金属中抗腐蚀性低的金属将被腐蚀。靠近黄铜管的碳钢管箱的密封面通常比其他地方更易发生腐蚀。

容器的裂纹最易发生在形状、尺寸突变处或焊缝附近，特别是应力集中的地方，应检查管口、管箱隔板、浮头盖是否有裂纹。

当换热器中的流体高速流动时，改变流动方向易产生冲击。换热器的入口管、双管程结构、折流

板、空冷器、冷凝箱等易受损坏。

邻近入口防冲板的容器壁易腐蚀，尤其在介质流速快的时候。

容器内部的初步检验可能要进行额外的清洗。如果有大面积的深度腐蚀时，打磨是很必要的。通常，可不必去掉较薄的大面积锈层。

初步检验可以发现不安全状况，例如易脱落的内部疏松物质、严重腐蚀或损坏的内部梯子或平台。更详细的检验进行前应立即修复或移走这些部件。

7.4.4 详细检验

详细的检验应从容器的一端向另一端进行，应该制定一个系统的方案避免遗漏那些重要且不易发现的问题。

容器的所有部位都要进行有无腐蚀、侵蚀、氢鼓包、变形、裂纹及夹层的检验。所发现的缺陷类型、位置应作详细的记录。

测量厚度的位置应选择在易产生缺陷的部位。当缺陷很多时，应取得足够的测量值，保证残余壁厚得到精确的测定。当腐蚀轻微时，对于小容器在每个封头和每节壳体上测量一点或许就足够了，但对大容器应多测几点。可以使用超声波测厚仪得到必要的数值，其他专业的测厚方法见7.4.7。

点腐蚀通常可用刮刀刮有怀疑的部位来发现。当发现大量的较深的坑或沟需进行深度测量时，测量范围应打磨出金属光泽，坑或沟深应用深度测量仪或直尺（在大的坑或宽沟时）及钢尺测量。可用自动铅笔的铅头的伸出量来估计深度。有泥或水的坑应清扫干净以便对腐蚀情况进行仔细的测定。

对于容器壳体厚度较薄的位置、接管和部件可用锤击来检查。通常使用锤击检验需要经验。当击打容器壳体、接管或部件时，有经验的检验员经常通过听声音及用锤击打时的感觉发现厚度减薄点。

当怀疑或发现有裂纹时，可用着色、磁粉（干性或湿性）或超声波探伤来检查。使用任一种方法，都需要采用喷砂、打磨或其他检验员允许的方法来清理出探伤区域。

如果容器内介质为胺、硫化氢湿气、氨、苛性碱，或存在循环运行、高温运行或其他易促进裂纹生成的工况时，应仔细检查容器壳体的焊缝区域。另外，高强度钢［抗拉强度超过490MPa（70000psi）］或粗晶钢的容器的焊缝必须检查，低铬材料制造且在高温下工作的容器的焊缝必须进行仔细检验，对于所有情况，裂纹可能发生的焊道或邻近区域，湿性荧光磁粉检测应是最好的表面缺陷定位指示方法。

应对与容器相接的接管内部腐蚀进行外观检验，厚壁接管最好采用超声波检测。有时，接管内径测量记录很有价值。这些测量可以用一副弹簧卡规或直读交叉式内径卡规进行。当接管未连接在容器上，可用卡钳在法兰的前后测量得到接管的实际壁厚，这种方法，可测出接管的偏心腐蚀。

大多数情况下，当壳体区域检验后，应对相邻的内部构件进行检验，这对一些大型容器可能是非常困难的。

对于塔盘、隔板、分离板、格栅、管道、内部钢性元件和其他内部设备的支承必须仔细检验。多数检验采用目测、使用手锤轻击的声音检验法，如发现任何金属损耗，应测量塔盘厚度并与原厚度比较。可采用变送或直读式卡规、千分尺或超声波测厚仪来检验这些设备。

应注意塔盘和相连构件的一般状况。应检查塔壁和塔盘表面连接处，以防腐蚀造成的金属减薄的可能性。塔盘和相连的设备的状况不影响容器的强度，但影响运行效率及操作连续性。通常这些设备只要求目测检验，如需测量，可用卡规或超声波仪器进行检验。

一些塔盘的性能取决于漏液量，如果塔盘漏液明显，效率就会降低。从塔或容器来的蒸气回收就几乎不可能了。因此，塔盘漏液量应达到最小。工艺设计通常规定允许的渗漏量，泄漏的检查可通过将水注入塔盘并达到其溢流堰，观察水全部流失的时间。可观察塔盘的底部确定泄漏位置。如确定渗漏泄漏非常困难时，在检查前将塔盘底部排水孔堵住。因为设计原因，重盘型和浮阀塔盘无法检测其渗漏。

所有的内部接管应全部进行外观检验，特别是螺纹连接部分。有经验的检验员可通过对接管的锤

击检验快速判定其状态。声音、感觉和判断能发现接管的任何减薄和裂纹。如果发现有过大的金属减薄，应测量其剩余壁厚。

催化反应器等容器内部非常复杂，尽管必须进行一些打磨、拆除或敲击，这种设备的检验或许大多数为外观检验。尽管有些单位对运行效率的考虑要多于对强度的考虑，在一些部位可能也需要测量厚度和计算腐蚀速度。

冲蚀与腐蚀通常在外观上不同。冲蚀具有光滑、光泽的表面特征，无冲蚀产物，金属的磨损通常在一定的区域内，而腐蚀区域通常不光滑、无光泽，腐蚀详见 5.2，冲蚀详见 5.3。

邻近换热器折流板、入口防冲板的壳体应检查其冲蚀情况。防冲板附近的涡流和换热器管束折流板周围的流速的升高，有时造成相邻管壳的冲蚀。换热器的隔板的冲蚀和腐蚀，当用平行于壳体壁的手电光观察壳体表面时，通常表现为一系列的阴影。有时，此类型冲蚀表现为没有氧化皮。

冲蚀不仅发生在换热器中，也发生在有抗磨板、折流板或防冲板的容器中，在催化反应器和再生器中，催化剂和旋风分离器对冲蚀特别敏感，应仔细检查此类型的损伤。

有酸性腐蚀介质的容器汽液分隔线附近区域可能形成氢鼓包。外观检验很容易检查出鼓包。平行于金属表面的手电光有时可以发现鼓包。当生成许多小鼓包时，可通过手指在金属表面上感觉出来。应测量大鼓包的金属厚度，以确定有效的剩余壁厚。通常，可用超声波测厚仪或在鼓包最高处钻一孔，用钩尺进行测量。如使用超声波测厚仪测量鼓包尺寸，应选择适当位置放置传感器以便进行准确测厚。如鼓包接近焊缝，超声波测量的读数可能因焊缝的粗糙而难以得到。

应检验容器的壳体和封头有无变形，通常壳体比封头更有可能变形。然而，一些旧容器的封头采用小半径圆角折边，可能引起严重变形，除非已经记录有顶部半径或圆角半径的封头的尺寸，首次检验中也应进行测量、记录这些尺寸。如果此后怀疑或发现变形，应重复测量并与原始值比较。

除非容器外有保温，鼓包或凹陷造成的壳体过大的变形通常可在容器外观检验时发现。不圆度和鼓包可通过测量最大变形处及最小变形处的容器内径并加以比较而得出。

应仔细检验换热器壳体有无变形，特别是经过修理和改造后，由焊接引起的不圆度会使管束的安装非常困难，如果强行安装后，几乎不可能再将管束抽出。

如果不圆度出现在整个容器长度方向上的不同区间，应测量每个区间的不圆度并与原始记录或实测的壳体尺寸比较。这种情况下，可用中心线法或铅垂线检查方法（或光学测垂）测量变形。对于中心线法，铁丝放至容器中心线上并将其拉伸。如果封头上无人孔和接管，可使用铅锤线检查或光学测垂法检查。当变形只位于容器一侧，更方便的方法是测量接近筒壁并与之平行拉伸的铁丝的偏移度，而不是沿着容器的轴线测量。卧式容器需要用专门方法将线紧固好，用钢丝做一条测量变形的参考线，沿钢丝分段测量可以画出器壁轮廓。使用一根平行于器壁的钢尺就可测量出变形的位置和鼓包的大小。对局部变形进行定位测量的最好的方法是采用一束平行于器壁表面的光束，在凹陷或内部鼓包背光侧有阴影显示。

应仔细检验裂纹。强光和放大镜可辅助外观检验。如通过外观检验怀疑有裂纹或发现有裂纹，必须使用更有效的检验方法。确定表面裂纹的最有效的方法是湿磁粉方法，其他的有效方法是干磁粉、渗透、超声波和射线探伤法。

含有氨介质的容器（吸收器、积存器、凝结器、冷凝器、冷却器、混合容器、脱水器、过滤器、闪蒸槽、分离槽、反应器、再沸器、回收器、再生器、涤气器、分离器、沉降器、泡沫分离器、酸气槽、蒸馏釜、汽提塔、缓冲罐、精制塔、精制燃料气罐）在焊缝和焊缝热影响区易形成裂纹，湿荧光磁粉检测是检验表面裂纹及不连续缺陷的主要方法，详见 API Publ 945。

对于锅炉的除氧器，应检查其焊缝及热影响区有无裂纹，湿荧光磁粉也是主要推荐的方法。

支承一般都是焊到壳体上的，应仔细检验连接处有无裂纹。通常，在良好的光线下采用刮刀就可进行检验。

应仔细检验换热器管箱隔板与封头的连接处有无裂纹。通常使用灯光、放大镜、刮刀、钢丝刷就

可以完成外观检验。

容器板材中的夹层外观上与裂纹相似，夹层以一定倾角延伸至板的表面，裂纹垂直到达表面。如可插入一薄的探针，就可以测出夹层角度。如怀疑有夹层，但无法插入探针，可将其局部加热至75℃，通常就会使夹层边缘向上翘起。在大多数情况下，超声波裂纹检测仪也可用来检验夹层。

7.4.5 金属衬里的检验

许多容器具有金属衬里，它主要的目的是用来保护容器不受腐蚀和冲蚀。检验金属衬里的要点如下：

a）有无腐蚀；

b）安装是否正确；

c）有无孔隙或裂纹存在。

接管或其他附件处的焊缝必须得到足够的重视。金属衬里腐蚀情况一般通过外观检验发现，常用手锤轻击来检查衬里有无脱离母材或严重腐蚀部位，如发生腐蚀应测量剩余厚度。除非金属衬里相当粗糙，可采用超声波测厚仪来进行这些检查。检查厚度的其他方法可采用去除一小部分金属衬里，用卡尺来检查，此方法也提供了一个检查金属衬里下的壳体的机会。

将腐蚀试板垂直焊接在金属衬里上，每次检验时应测量其厚度。因腐蚀试板的两侧都处于被腐蚀状态，所以减薄量是壳体金属壁厚减薄量的两倍。因此可完全准确地检查出金属衬里的腐蚀。

金属衬里中的裂纹通常可用外观检验和轻轻锤击来定位。金属衬里有裂纹部位或有松脱的部位在锤击下有特殊的细微声响。如断定存在裂纹，可采用渗透方法辅助外观检验。除单纯铬钢，多数用作金属衬里的材料无永久磁性，磁粉检验方法不能用于奥氏体钢。

如在复合层或电弧焊接的金属衬里中发现裂纹，应检查裂纹区域以确保裂纹未扩展至覆层下或扩展至底层或母材。

金属衬里经常发生鼓包和弯曲，鼓包衬里易存在裂纹及渗漏或在焊缝相邻区域存在孔洞。鼓包是因膨胀不同而造成或在运行中介质渗入金属衬里下堆积而成。如运行中介质渗入金属衬里，并且不能在容器停运压力降低时逸出，金属衬里就形成鼓包。在真空状态下，金属衬里可能在运行中鼓起并在容器停运时凹下。这种情况实际上会使金属衬里起皱，当鼓包或起皱变大时，可能就需要检验金属衬里有无裂纹或孔洞，如有则需要修理或更换金属衬里。

金属衬里渗漏处，不管金属衬里下面是否发生腐蚀都必须测定其位置。在一些情况中，可以采用从外侧进行超声波检测。如果可行，可优先考虑选择有代表性的位置，去除金属衬里来进行容器器壁的外观检验。

诸如催化加氢和加氢重整反应器等一些装置的反应器中介质含氢，可使用稳定的奥氏体不锈钢焊带或焊丝进行堆焊作为金属衬里而替代带状焊或覆层金属板。此类金属衬里容易与母材开焊。可采用超声波检测、外观检验鼓包及锤击检验发现此类问题。

7.4.6 非金属衬里的检验

有几种非金属衬里：玻璃、塑料、橡胶、陶瓷、混凝土、耐火材料、碳块或砖层。这些材料一般多数用来防腐，一些耐火混凝土用作内部绝热材料以降低在高温下工作的容器壁温。耐火砖也用来绝热。

这些非金属衬里的降低腐蚀的效果在衬里破损后会明显下降。对于多数部件，检验应对其外观不连续性进行检验。破损有时称之为露铁。运行中可能发生衬里的凸起、鼓包及破裂。对于涂料、玻璃、塑料及橡胶层的渗漏的检验可以采用火花检验法。高电压、低电流刷型电极一端连接到绝缘衬里，另一端与容器壳体滑动相连。容器器壁间的衬里有任何孔洞时就会形成电弧。这种方法不能用于混凝土、砖或耐火材料衬里。

注意：这种检验方法的电压不能超过衬里的绝缘电压。

当在玻璃、橡胶、塑料或涂料的衬里的容器中工作时要特别小心，衬里易受到机械损伤。玻璃衬

里的容器特别易受损伤，且昂贵，难于修补。

混凝土和耐火材料衬里运行中会产生剥落、裂纹，很容易被发现。小裂纹和气孔区域很难被发现，轻轻刮削有时也能发现这种缺陷。凸起变形可采用外观检验确定其位置，凸起通常伴生裂纹，大多数情况下，如混凝土层下发生腐蚀，混凝土层将与钢脱离。轻轻锤击时的声音和感觉通常可确定是否存在脱离。如怀疑混凝土层下有腐蚀，可除去一小部分混凝土，这样可对壳体及混凝土横断面进行检验。

一些耐火砖衬里为悬挂结构且在壳体与砖之间有一层陶瓷纤维毡或其他绝热物。砖破碎或脱落，将在衬里背面形成流体通道，这将使一些绝热物体被冲刷而流失。保温砖层的检验应包括在砖层破碎或脱落砖附近区域进行外观检验，并可拆除足够的保温砖来发现受损区域。

任何衬里的失效都会使金属暴露出来，对金属暴露处应进行外观检验。如发生腐蚀，应测量剩余壁厚，在此最好采用超声波检测。

内部绝热的容器因运行过程中绝热层下的壳体上的冷凝使壳体严重腐蚀。如果金属壁温接近蒸汽的露点，应注意由此引起的腐蚀，并应进行检验。应按时进行温度测量，以决定是否减少内部绝热材料或增加外部绝热材料，应确认进行这些测量时壁温不超过金属设计温度。

7.4.7 测厚方法

有许多用来测厚的方法，应按下列因素选择测厚方式：

a）测量区域的两侧是否容易接近；

b）尽量采用无损检测方式；

c）时间上允许；

d）精度要求；

e）经济性。

现在超声波仪器是测量设备厚度的主要仪器，射线照相也是一种受条件限制的测量容器零件厚度的方法，如测量接管和连管的厚度。纵深钻孔、应用腐蚀块、使用检查孔等方法用于某些特殊部位，但这些方法普遍被更先进的如超声波等厚度测量的方法替代。

超声波检验，不论是测厚还是检测缺陷，是一种典型的无损检测技术。其使用快捷，大多数情况下能提供实时的结果。

将一已知厚度等级的阶梯型试块与需测厚度的容器部件一同进行射线照相，并显示于底片上，通过比较底片上的阶梯型试块及容器部件的厚度显示，就可测出部件厚度。

腐蚀块或腐蚀塞由强抗腐蚀性材料制成，分两点紧固在容器器壁上，在两个腐蚀塞上放一直钢尺，通过测量直尺的底部至容器表面的距离，比较不同时间测量的数值就可测出壁厚减薄量。

如腐蚀表面非常粗糙，可采用在容器壁上钻检测孔的方法测量厚度。

纵深钻孔是一种与以上方法相似的测量腐蚀速度的方法。此方法中，在预计腐蚀最严重的地点钻一孔，孔的底部至容器内表面的深度可用深度计测出。与随后的检验中取得的数据相比较就可计算出腐蚀量。非测量时期，此孔将拧进一抗腐蚀塞以保证孔底部不被腐蚀。

7.4.8 机械缺陷的检测方法

外观检验可发现大多数的机械缺陷，磁粉（干性或湿性）和渗透法的使用，在前文中已论述过，其他方法，例如射线照相、超声波、蚀刻法、取样法都可靠，在条件许可时都可使用。

射线探伤与超声波探伤通常用来分析在金属表面上看不到的焊缝区域的缺陷。

小范围的蚀刻法有时可用来发现小的表面裂纹。首先，表面必须用喷砂清扫干净。然后，用蚀刻溶剂——通常是一种酸来清洗有疑问的区域，因反应产物的不同，任何裂纹都会因与四周区域不同而显示出来。

取样可用来定点检查焊缝及检查裂纹、夹层和其他缺陷。在受影响区域用钻孔机或焊道取样器取一小块金属样，然后在显微镜或普通放大镜下进行分析。如切削过程中的金属屑足够清洁，可用来进

行化学分析。取样造成的容器器壁上的孔必须仔细修复，修复结果必须进行彻底的检验，取样方法必须由懂得修复取样孔的人员制定。

7.4.9 金属的金相组织变化和现场分析

检测机械性能变化的方法也可用在检测金相组织变化上，使用便携抛光设备及复膜技术，现场金相照片就可用来检测这些变化。硬度、局部化学试验点及磁性检测是另三种检测金相组织变化的方法。

便携式硬度检测仪可用来检测不合格的热处理、渗碳、渗氮、脱碳和引起硬度变化的工艺因素。

局部化学试验多数用来检测材料，如硝酸这种化学试剂可在不同的浓度下使用。在金属表面上已清洗的一点上滴一滴化学物质。有经验的观察者可观察金属与酸的反应识别金属。涡流、X 射线和便携式光谱分析仪也可用来识别金属。

当碳化时，平常无磁性的钢会变成有磁性，有时可用磁铁发现奥氏体不锈钢的碳化。

7.5 试验

7.5.1 锤击试验

锤击检测中，检验员用锤子辅助外观检验，锤子可用作下面几项工作：

a）确定容器器壁、封头和附件的减薄处；

b）检查铆钉、螺栓、支承及类似部件的牢固程度；

c）检查金属衬里的裂纹；

d）检查混凝土或绝热层的结合；

e）局部检验时用来清除聚集的氧化皮。

锤击检验是通过轻轻敲击被检设备时根据声音、击打的感觉、击打时锤痕的不同来确定有无缺陷。不同场合的正确的击打力量只有通过实践学习才能掌握。锤击检验现在比过去用的少了，在带压情况下不推荐锤击检验，而且，因锤击敲下的氧化皮或碎片能引起堵塞，催化床的上游接管不能使用锤击法。

7.5.2 压力/真空试验

制造压力容器时，采用压力/真空试验方法检查压力容器的密封和强度是否符合所采用的标准，压力/真空试验还可改善缺陷的应力分布。这种方法还用在以后的渗漏检验和修理工作的检验中。当主要受压元件的修理工作已完成时，如更换封头、大的接管或部分壳体钢板，压力容器应同安装时一样进行压力试验。在特定环境下，采用的制造标准要求在用容器即使不需要修理也应定期进行压力试验。规范规定的在用压力容器的试验见 NBBPVI NB－23 和 SY/T 6507。

大的容器及支承结构在设计上不一定能满足容器装满水后的容器重量的支承需要。在进行水压试验前必须确定其是否可承受这种重量，如容器或支承不足以进行水压试验，可考虑气压试验。

压力试验时将容器灌满液体或气体、将内压升至预定压力进行试验。压力和程序应符合所采用的制造规范中对于容器实际壁厚和适当的连接性能的规定，即使无需修理时，也要求定期压力试验。当压力容器作为一操作系统中的一个组件时，有时要做整个系统的压力试验，试验介质为水或油，系统的增压泵提供试验压力，带压容器应在外表面进行全面渗漏及变形的外观检验。

近年来，声发射分析技术被应用在压力试验中，在带压状态下，在容器上应用声发射设备能确定容器的整体结构的完整性。这种方法可重点用于设计复杂的容器或对容器组件拆除较困难时不能进行内部检验的情况下。

当使用压缩空气试验时，应使用超声波检漏仪、肥皂液或两者同时使用来辅助外观检验。肥皂液应涂刷在焊缝及容器的连接区域，容器在试验时出现气泡就表明有渗漏。

超声波检漏仪可用于检测连接处及无脚手架或类似设备而不能刷肥皂液的部位的渗漏检查。它能发现非常小的渗漏并能定位。

通常在真空下运行的容器可采用压力试验。当可以进行压力试验时，压力试验是检漏的最好的方

法，通过内压源定位也更容易。当压力试验不可行时，可用安装在系统中的抽气装置或真空泵产生真空来检漏。如在关闭抽气装置或真空泵后，真空可保持一定时间，表明容器无渗漏，如真空保持不住，则表明有渗漏。然而，因为这种方法不能指示出渗漏位置，接下来进行可能是非常困难的渗漏定位检查。

做压力试验必须考虑到温度，制造中使用的多数普通钢在低温下强度会明显变小。除非已知容器材料的脆性转变温度可承受较低的试验温度或需较高的试验温度，SY/T 6507 推荐钢制压力容器试验温度不低于 ASME 规范相应部分推荐的温度或 20℃，在任何时候应不超过 50℃（见 API Publ 920）。

进行水压试验或气压试验时，所有无关人员应离开试验区域，直到试验完成并泄压后。试验区域检验员的数量应限制在试验必需的数量内。气压试验应按 ASME 进行。

7.5.3 换热器的试验

换热器停运后，最好在拆除前对壳程及管程进行一次试验。拆除连接的下部接管或打开排放装置检查有无渗漏。通常，在出现小的渗漏前试验应保持一段时间。如果换热器渗漏，进行部分拆除，然后再进行试验。例如，当对一浮头换热器的管程试验时，如果在密封垫、紧固螺栓或换热管的角焊缝发生渗漏，拆去壳盖就能发现渗漏源。在固定管板和管壁间的换热管的角焊缝的渗漏通常发现不了，因为当管束在壳体中时这些部件是看不见的。对打开管箱盖的浮头换热器的壳体进行试验就能发现管板的换热管的角焊缝的渗漏，但无法识别其他渗漏源。大多数情况下，不使用浮头结构的换热器部分拆除进行壳程试验可以发现管的渗漏并进行堵漏。堵漏是用由类似于管子材料的固体材料制的锥形塞塞住管的两端。在壳程试验时，浮头换热器无法进行单根管的渗漏检查或接近到管的两端。有时使用试验环来检测这些换热器，试验环是暂时将部分拆除的换热器布置成双固定管板结构。

在某些情况下，每次停工都进行检漏，如发现渗漏管，将其定位及堵塞后，管束再投入使用。这个过程必须反复进行直到再未发现新的渗漏。可能此过程需进行二、三次，如某台换热器已堵塞足够数量的管，影响了换热器的使用，应更换管束。

当在第一次运行时发生渗漏，应进行检验以确定损坏原因。建立了初始记录后，只须在需要堵塞的管子数量达到必须更换管束的数量时才进行检验。当决定换管时，要进行检验以确定哪部分能修复、再利用，哪部分需更换。

惯例上要在组装时对换热器进行检验。对部分组装后的换热器进行检验以检查更换管胀口的渗漏。应进行包括换热器壳程和管程的装配后的最终试验。

通常，管束从壳体抽出时再进行检测。这时，管箱和浮动管板盖已离开原位。这种方法容易观察渗漏，但壳体需单独进行检测。

要全面检查外表面、胀接头和密封垫在试验压力的状态。压力试验时可能发现渗漏和变形。

可采用特殊设备对换热器管进行单独检测。

试验压力取决于系统运行和设计压力。必须按实际的操作压力或规范要求的压力进行确定。在确定换热器壳程试验压力前，检验员必须保证管束中的管有足够的壁厚能承受外部压力。另外，试验前应检查管程的试验压力和壳程的试验压力。试验时需小心不使换热器管程或壳程超压。管板在不同压力基础上设计的高压换热器应尤为小心。

7.6 壁厚限值

必须知道最大允许腐蚀量和允许的其他劣化量，否则检验时大多数值就会漏检。此问题的两种最重要因素如下：

a）部件的判废壁厚；

b）劣化速率。

确定任一压力容器部件壁厚界限或判废壁厚前，必须确定依据哪个规范的哪个版本，是否有规则要求界限和允许的修理量。

影响最小允许壁厚的因素有很多，如尺寸、形状、材料及制造方法，为此，不可能在此文中提供

一组预算好的最小或判废壁厚。SY/T 6507 可作为压力容器再定级方面的指导。

当腐蚀或冲蚀引起劣化，金属减薄率通常可通过与原检验记录比较而获得。有时画一张图来显示此情况并作为容器记录保存。在多数情况下，检验数值用计算机处理有助于快速确定腐蚀速度和评估判废壁厚。预测容器何时将达到判废壁厚是重要的，修理和更换计划很大程度上受这种预测的影响。

当接近或达到安全壁厚的界线时，需做出修理或更换的决定，在某些情况下，没有太多时间进行研究、考虑及其他的评估，必须做出决定，必须预先知道每台容器的最小壁厚或计算厚度的方法。记住容器的不同部件有不同的判废壁厚。

多数容器壳体和封头的制造壁厚大于内部运行压力的要求壁厚，此附加壁厚是由以下原因所致：

a）设计时作为允许腐蚀量的附加壁厚；

b）使用的钢板名义板厚大于确定的最小计算值引起的附加壁厚；

c）保持结构刚度所需最小壁厚引起的附加壁厚；

d）容器的使用条件变化引起的附加壁厚：安全阀设定值的减少、最大金属温度降低或两者都有。

当知道全部附加壁厚及腐蚀速度，就可精确地预测任何容器需修理或更换的时间。

注意：在某些情况下，壳体或封头板的附加壁厚由设计者用于接管开孔补强。

因 ASME 第Ⅷ卷是容器设计和制造标准，不包括压力容器的多数组件的判废壁厚的计算方法。这些组件包括塔盘、内部支承、阀、隔栅、折流板、梯子和平台等。对于一些设备，有确定判废壁厚的普遍接受的方法。应确定最小壁厚以适用于所有的这类设备。当设定这些界线时应考虑到设备可能失效引起的后果。安全是影响判废壁厚的前提，除了安全性，运行的连续性和效率也是影响因素（见 API RP 574 中有关部件的检验）。通常，金属衬里不设最小壁厚，只要不漏就不需要太多修补，在使用中应注意这一情况。

对于换热器，最小壁厚应包括管、管板、管箱、头盖或其他承压的换热器部件。当设定界线时应考虑这些部件可能失效的因素。安全性是决定退役厚度的前提。通常，管束等各种内部组件的失效不存在危险。然而，连续有效地运行是确定内部组件退役条件的决定因素。有一些部件，如折流板，可以一直运行直到失效，管子在穿孔前也不需堵塞和更换。

8 修理方法

尽管修理和维修不是检验的组成部分，但修理影响容器的压力等级，因安全性需重新检验，就值得关注。

容器进行任何修理前，应研究适用的规范和标准，以保证修理方法不违反要求。石油和化学生产工业最低修理要求详见 SY/T 6507。

修理的检查和使用的修理程序应按 SY/T 6507 修理和改造记录卡或法规要求记录在档案中，作为容器永久的记录。壳体或封头的多数修理是保证容器的强度和安全性，因此需重新检验，或许需射线照像、应力释放或两者兼而有之，应对修理结果认真、快速地进行外观检验，以保证修理项目都已完成。

确定需修理的问题的原因是十分重要的。在某些情况下，处理引起劣化的根源可保证将来不出问题。

应对容器壳体和封头的焊接修理进行检验。检验应包括完成情况及质量。一般来说，对于小的修理外观检验就足够了；然而，对主要受压元件的修理，应采用磁粉和渗透法进行检验，如采用的制造标准有要求，也应采用射线照像或超声波检测。

除非检验员决定可采用声波技术替代压力试验，所有主要受压元件修理项目结束后应进行压力试验。如放弃压力试验，就需要其他无损试验或检验方法。

由于取样产生的试样孔的修理必须经全面的检验。如不仔细控制，这种修理的焊接质量可能会很差。因此，应尽可能避免进行焊接检验的取样。

壳板部分可更换局部劣化区域，补板的接头性能应等同或优于原壳体的接头性能。

容器器壁或封头的裂纹可用火焰、电弧或机械加工方法去除或将裂纹从头至尾打磨掉然后焊接。使用火焰或电弧处理时应小心，因为热量会使裂纹扩展、伸长。如裂纹为穿透性裂纹，可从板的两侧割开一道槽将裂纹消除。任何情况下，在焊接前，完全消除裂纹是极其重要的，应采用磁粉或着色方法确保裂纹被完全消除。如某一节板出现数处裂纹，最好更换整节板，采用焊接方法修理裂纹前应仔细检查，如打磨掉缺陷而形成的沟槽并不深，剩余金属能保证足够的强度和防腐，则不必要进行焊接修理，将沟槽边缘圆滑过渡就可以了。

压力容器器壁上的散布的蚀坑最好采用焊接修理，对于临时性修理，可采用一些特许的环氧基材料填补坑以阻止进一步腐蚀。材料必须在使用环境下抗腐蚀。对任何情况，都应对蚀坑进行良好的清理。最好采用砂轮机打磨出光泽，进行修理前准备。

注意：当选用这种检验方法时，检验员必须确定对正常容器部件的厚度来说蚀坑不大或不集中——详见 SY/T 6507 中腐蚀和最小壁厚章条。

诸如平台、梯子和楼梯等附件修理，通常更换所有不能使用的部分。楼梯踏板的松动可通过补焊加以紧固，同样可用粗糙的材料覆盖在踏板上。

需要更换腐蚀或开裂的衬里，对于焊缝的检验，将焊缝熔渣打掉后进行外观检验就足够了，除非规范要求采用射线照像、渗透法、磁粉法或其他焊缝的检验方法。

9 记录和报告

9.1 记录

检验记录按 SY/T 6507 和附录 D，记录文件应包括三类资料：

a）基础数据；

b）现场记录；

c）连续记录文件中的数据。

基础数据包括制造厂的图纸、数据报告和清单、设计资料及所有金属检测、分析结果。

现场记录文件包括用已准备的格式（参见附录 B）或手写或电子仪器记录的现场记录、测量记录。这些记录必须包括所有部件检验情况原始记录及修理方面的记录。

连续记录文件包括所有容器运行历史记录、说明和上次检验记录、腐蚀速率图（如有）、修理和更换记录。

按前文所提到的，一些公司已开发出软件以进行计算机储存、计算和数据检索。当此数据保持更新时，这些程序对建立腐蚀速率、退役年限和计划非常有效。程序允许快速全面的对所有积累的检验数据检查，一些程序能生成所有需要的部分的检验报告。

9.2 报告

建议修理的报告复印件应送至容器管理部门，通常包括工程、运行和维修部门。此报告应包括建议修理的位置、项目、原因。

检验报告（参见附录 D）应送至有关部门，诸如运行、维修及工程部门。这些部门的设置将取决于工厂或公司的机构。这些报告应包括金属厚度测量、腐蚀速度、发现情况的说明、需进行的修理、允许运行的条件、剩余寿命的评估及建议，特殊情况也可出具专门报告。

附 录 A
（资料性附录）
本标准章条编号与 API RP 572 章条对照

表 A.1 给出了本标准章条编号与 API RP 572 章条对照一览表。

表 A.1 本标准章条编号与 API RP 572 章条对照

本标准章条编号	对应的 API 标准章条编号
2	2
3	4
4	5
5	6
6	7
7	8
8	9
9	10
附录 A	—
附录 B	—
参考文献	—
注：表中的章条以外的本标准其他章条编号与 API RP 572 其他章条编号均相同且内容相对应。	

附 录 B
（资料性附录）
本标准与 API RP 572 技术性差异及其原因

表 B.1 给出了本标准与 API RP 572 技术性差异及其原因的一览表。

表 B.1 本标准与 API RP 572 技术性差异及其原因

本标准的章条编号或相关内容	技术性差异	原 因
1.2	用“规范性引用文件”代替“参考文件”	按照 GB/T 1.1 的要求修改
	用“SY/T 6507—2000”代替“API Std 510”	SY/T 6507—2000 为等效采用 API Std 510 转化而来
	用“SY/T 6499—2000”代替“API RP 576”	SY/T 6499—2000 等效采用 API RP 576 转化而来
	用《压力容器安全技术监察规程》代替 ASME 第Ⅷ卷，并增加《在用压力容器检验规程》	在“石油工业在用压力容器范围”中引用《压力容器安全技术监察规程》
	删除“API Publ 2214《手工工具打火特性》”、“API RP 575《常压及低压储罐的检验》”、“API RP 576《压力泄放装置的检验》”	这 3 项 API RP 572 参考文件中列入的标准在 API RP 572 正文中以“详见”的形式给出，属于参考性内容，且不在本标准正文中出现，列入本标准“参考文献”中
2	删除原压力容器类型、制造材料、压力容器应用等条目，改为对石油工业在用压力容器范围进行界定	便于使用时参照，且删除内容对检验无关紧要
7.3.9	用“推荐电阻为 5Ω 或更小，而且该阻值不应超过 10Ω。”代替“推荐电阻为 5Ω 或更小，而且该阻值不应超过 25Ω”	根据 SY 5984—94《油（气）田容器、管道和装卸设施接地装置安全检查规定》第 4 章的要求进行修改，以适应我国石油工业的需要
附录 D	增加“符合《压力容器安全技术监察规程》要求的在用压力容器的检验报告格式应符合《在用压力容器检验规程》的要求”	在格式上不与国内已有规定相违背，便于执行
全部附图	删除所有附图	由于 API RP 572 中的附图多为例举的实物照片，无法清晰地翻印，且去掉后不影响正文的表述和理解，因此全部去掉

附 录 C
（资料性附录）
换 热 器

C.1 概述

换热器是通过不使两种液体混合的方法，用一种流体降低另一种流体的温度。当蒸气温度被另一种液体降低至沸点以下，使全部或部分蒸气变成液体时，这种换热器叫作冷凝器，通常是使用水作为冷却介质。当一种热的流体被另一种流体通过换热冷却至希望达到的温度时，通常使用水做为冷却介质，这种换热器也叫作冷却器。当用空气降低一种热流体的温度到想要达到的温度时，这种换热器叫作空冷器。

C.2 管壳式换热器

C.2.1 概述

管壳式换热器有几种形式。管通常是胀接在管板上的。管也可以胀焊或者通过密封套紧固在管板上。流体的物理特性，如温度决定了流体用于特定环境的类型。下面介绍一些通常使用的换热器种类和影响选择的因素。

C.2.2 浮头换热器

这种形式的换热器在圆柱形壳体的两端都有法兰，两端都有管束紧固在管板上，管箱、管箱盖、浮头盖和壳盖在管束的一端。管束上一端管板的直径要小到刚好可以从圆柱形壳体通过。另一端管板的直径要大到可以盖住该端壳体法兰上垫片的表面，或者是管箱的一个部件。管束是通过紧固在壳体的法兰上的大管板，装入到壳体中的。管箱是通过螺栓紧固在壳体的法兰上的。管箱和浮头内有隔板分开，以保证来的流体流过一部分管束再返回来流过另一部分管束回到管箱。分隔的程数和管的数目根据设计而定。壳程中的流体是经过折流板流过。由于浮动管端在壳程中可以自由移动，这种结构允许随着温度的变化自由伸缩。因此这种形式的换热器应用的最广。

C.2.3 固定管板换热器

这种换热器结构也是两端都紧固有管板，其结构和浮头式换热器的管板相似。但这种型式是两侧的管板都紧固的，管束是在管板就位之后，通过胀接安装上的。并且壳体的内侧不能打开清洗，因此它不适合在不干净的工况下和难以化学清洗的情况下使用。由于两侧的管板都是紧固的，除非在壳体中安装有膨胀节，否则这种换热器自由伸缩量很小。

C.2.4 U型管换热器

U型管式换热器是一端紧固在管板上，通过管在壳体内弯曲成一个长的U型来完成的。这种换热器和浮头式换热器一样，都有自由的伸缩度。由于机械清洗U型管壁的内侧比较困难，因此干净的工况介质一般走管程，如果不允许管束被完全堵死的话，可用化学清洗、喷砂或者高压水清洗的方法清洗该容器。

C.2.5 双层管板换热器

在有些工况下，连微小的泄漏导致两种流体混合都是不允许的。这时就要使用双层管板式换热器，从名字上可以看出来，换热管上的两个管板只间隔很小距离同时使用，通常是间隔25mm或更小的距离。管子穿入双层管板，外层的管板紧固在管箱上，内层管板紧固在壳体上。这样布置的目的就是使换热管的角焊缝的泄漏物漏进两层管板之间的空隙里，因此可以阻止两种流体混合。这种结构只能用在没有浮动管板的情况下，因此它只能用在U型管式换热器上。

C.2.6 重沸器和蒸汽发生器

重沸器和蒸发器的结构细节和那些一端紧固在管板上的换热器是一样的。只不过卧式的重沸器在

管束上方有较大气相空间。他们是当管里的热流体通过时，使壳体的流体产生更多的蒸气。

C.2.7 水加热器

水加热器的形式可能是浮头型、U 型管型或是固定管板型。它们主要是用在给锅炉来水加热或者是为其他用途从热流体里换热。

C.2.8 结构

换热器都安装有折流板或者支承板。换热器的选型和设计随工况和热负荷的变化而确定。通道的隔板通常是安装在管箱当中，隔板有时是安装在浮头内，以使流体在管内产生多程流动。壳体中的流体可以是单程流动或者是安装上纵挡板以产生多程流动，并决定了壳体接管位置和数量。一般来说，防冲导流板或者轴向导流板都布置在壳体管入口处，以避免入口流体对附近管子产生冲击。

管子安装在管板上可以按正方形或三角形排列。当流体在管子外部循环时，可能在管壁上结焦或形成其他脏的沉淀物，沉积在管壁上。这时通常使用正方形排列管子，这种排列方法对清洗管子比较方便。

C.3 裸露的管束

C.3.1 概述

裸露的管束可以用作冷凝和冷却，并且可以安装在喷淋水的下方或完全浸没在水里，它们也可以用作加热器，特别是在罐（壳）体里的时候，它们完全浸没在液体里。

C.3.2 布置在冷却塔下方的裸露管束

裸露的管排列成紧凑的管束可以放在冷却塔的下方，按这种布置，水从塔顶经过管束流下，热水又返回到塔顶冷却并重新利用。这种布置管束的方法对于湿度较小的环境非常有效，它可以产生最大的蒸发效果。

C.3.3 布置在喷头下方的裸露管束

喷头安装在裸露的管束上方，使水尽可能均匀地洒在管上。回流罐布置在管束的下方，主要针对那些自然冷却，不用额外使用循环冷却水冷却的情况。当水足够充足时，这种形式的冷却器可以不用回流罐，将使用的水直接引入到处理系统中。

C.3.4 浸没在水中的裸管束

当裸露的管子浸没在水中时，这一部分在壳体中可以是水平安装或者是垂直安装。热流体通过管子进入到联管箱的上部。无论通过哪种形式，冷却后的流体都从底部流出。冷水进入到箱体的底部附近，加热后的水上溢过箱体上部的溢流堰。这种布置可以产生对流，导致使用最少的水产生最大的冷却效果。

当水供应不上，未经冷却的热流体会导致危险状况时，主要使用浸没管束的方式。冷却箱内大量的水可以长期使用，在必要的停工期间内能提供部分冷却作用。

C.4 贮槽加热器

管束式加热器按管束的安装方法主要有下列三种形式：

a）安装在罐的外面；

b）部分安装在罐内；

c）完全安装在罐内。

前面两种是负压管式加热器的安装方式，第三种是加热整个罐内的介质。

C.5 空冷器

空冷器装置相当于裸露的管束式装置，用空气作冷却介质。管子的边缘紧固在钢制框架里，风扇一般安在管子的上方或下方，通过风扇，使空气产生流动，起到冷却作用。（风扇安装在管子上方的

通常叫作负压抽风空冷器，风扇装在管的下方通常叫作强制通风冷却器)。这些空冷器可以用作冷凝或冷却水蒸汽和液体，并且用于水较少的地方，或由于某种原因而安装。

C.6 盘管

C.6.1 盘管形式

盘管有两种形式：

a) 套管盘管；

b) 单管盘管。

C.6.2 套管盘管

C.6.2.1 概述

当需要较小的表面积时使用套管盘管，因为在同样的使用条件下它比壳式或管式换热器更经济。套管盘管也用于非常高的工作压力的场合和因直径、容积较小而需要较薄壁厚的情况。

C.6.2.2 介质清洁的套管盘管

介质清洁的套管盘管由管子中的管组成。在一端，内层管子通过同一套盘管的外管连接弯头附带的弯头相互连接。在另一端，内层管子伸出外层管子并以密封圈防漏。内层管子在管线里终止或用外露的回转弯头连接到邻近的装置上。

C.6.2.3 介质不清洁的套管盘管

介质不清洁的套管盘管（刮刀型盘管）除了在内层管子内部加了刮刀外与介质清洁的套管盘管相同。内层的每根管子都在全部管长范围的轴或杆装上了刮刀。轴每端都伸出回转弯头。为防泄漏，在一端有一个轴承，另一端有一个轴承和密封圈。轴通过密封圈并在轴端安装齿链。轴或刮刀通过某种形式的原动机通常是一台电机来驱动铰链带动旋转。

C.6.3 单管盘管

C.6.3.1 概述

单管盘管以几种不同的方式使用，但所有方式都是管子连续通过或冷或热的介质。

C.6.3.2 冷凝器或冷却器盘管

冷凝器或冷却器盘管由盘管或一系列装在一个有冷水流过的箱子里的盘管组成。盘管安在箱内的支架上并可随着膨胀和收缩而自由移动。水从箱底附近流入并从箱顶的出水口流出。

C.6.3.3 制冷盘管

制冷盘管是安装在圆柱形容器内将一种介质冷却到气温以下的盘管。通常制冷剂在盘管中循环制冷。管子可在容器内表面附近由底部至顶部螺旋式盘旋在容器底部。

C.6.3.4 扁平式储罐加热盘管

扁平加热盘管覆盖了一个储罐底部的大多数面积，并且是一个由回转弯头将直管段连接的连续的盘管。蒸汽从盘管一端进入，冷凝液在另一端通过冷凝罐排出。盘管稳定在罐底的低矮支架上，并从入口到出口缓慢倾斜，以便冷凝液容易排出。管子材质通常为钢，并且一般情况下所有的接头都是焊接的，以尽量减少泄漏的可能性。

C.6.3.5 箱式储罐加热盘管

箱式储罐加热盘管装在一个矩形构架里，从储罐出口沿着罐直径伸展到距储罐的另一端有一定距离的位置。盘管装在钢制或木制的箱子里。正对储罐出口的箱子一端留有一个开口以便进油。通过箱子的油绕过盘管到达储罐出口。蒸汽从盘管顶部进入流向出口，在出口处冷凝液通过冷凝罐排出。整个盘管从入口到出口缓慢倾斜以利于冷凝液排出。

C.7 翅片管

翅片管应用广泛，换热效果更佳，尤其是在两个热传导系数差异较大的流体间进行换热时。外表

面的增加使所需的的管子内表面减少，因此，达到同样的换热效果，翅片管换热器就可以更小。

C.8 板式换热器

板式换热器由薄板和波形部件交错而成的扩展表面构成。整个流体通道和各个部件封闭了开口端。工艺介质流入波形槽，槽的流通面积小，容易被脏物和腐蚀产物堵住，因此需采用抗腐蚀性好的材料。

C.9 换热器管束的检验

C.9.1 概述

管束检验的第一步通常是通过外观检验建立腐蚀模型。如果可能，在管束第一次从壳体里抽出时应进行检验，因为氧化皮和沉淀物的颜色、形式、数量和位置通常有助于腐蚀问题的鉴别。管子上的厚氧化皮可以指示管子的腐蚀。在靠近壳体入口端的管子上的氧化皮或沉淀物的缺少可以指示出一个冲蚀问题。铜管上的绿色氧化物或沉积物意味着这些管子正在腐蚀。作为一名有经验的检验员，这些氧化物和沉积物是有用的检验指示物。

在进行管束的外观检验时，检验员应在紧挨着支持板和折流板的可疑区域用刮刀刮一刮。这些区域不可能被彻底清洗。刮这些部位时有可能发现管子上的沟痕和折流板管孔的扩大。

在外观检验中经常用一把小圆锤或检验锤敲击管子来确定管子减薄的部位。在对小直径、薄壁管的检验中这种方法非常有用。根据小锤弹跳的次数和发出的声音可以判断出管子壁厚的情况。用小锤敲击这种经验型的方法将会在检验中发挥更大的作用。

在管段的内部可用手电筒、内窥镜和专用探测器进行局部检验。专用探测器是具有与轴向弯成90°的尖端电极的不足3.175mm的探棒。这些工具的应用使确定管段附近的麻坑和腐蚀的位置成为可能。

显然，只有管束的外层管子能进行全面外部检验，而不用内窥镜和光学纤维镜，只有管端可以进行内部检验。如需要对全部管子进行检验，可用涡流和超声波方法（内旋转、超声波测厚）。

外观检验中管子也可从管束中抽出并分开，有一些装置能将单根管子从一个管束中抽出。

随机抽出一根或几根管子做成切片并做全面检验以确定该管束的使用寿命。换管时，对换掉的管子进行细致的检验有助于判断失效原因并找出提高使用寿命的对策。

折流板、定位杆、管板和浮头盖应检查有无腐蚀和变形。衬垫装配面应检查是否有沟痕和腐蚀，可用刮刀进行此项检验。良好的装配面装配后应保持密封。

管板和头盖可用拉直线方法检查变形。管板的变形可由管子的过度扭曲或水压试验中超压、热膨胀、破裂、野蛮安装引起。

管板和浮头的厚度可用卡尺测量，除了关键部位外连续测得的数值通常不保留。然而这些部件的原始厚度应被记录。定位杆和折流板的厚度通常不测。这些部件的状况取决于外观检验的结果。

每次检验都应测管壁厚度并记录。测量管子的内外径以得出厚度是可行的。偏心腐蚀和磨损值应记入影响管子剩余使用寿命的因素。

翅片管的外径除了管端外难以精确测量，并且当其装入管板后根本无法测量外径。在某些情况下，需要知道这些管子的壁厚。内旋式超声波厚度测量装置可用于测量这些厚度。某些场合下需要抽出样管。为了检查铜管的脱锌、蚀刻深度，未穿透裂纹或高温金相组织变化而进行专门试验（如金相及化学成分分析）时，需要抽出管子。

C.9.2 易腐蚀部位

腐蚀部位可以依靠设备仪器来发现。然而有些部位的腐蚀在大多数使用条件下可用外观检验发现。

与壳体进口接管相对的管子的外表面可能会受到侵蚀或冲蚀。当管束靠近壳体一侧有轻微腐蚀性

介质流过时，最大腐蚀通常发生在入口区域。在相同条件下大多数腐蚀点位于邻近折流板和管板的部位。这些部位任何异常变化都可能由冲蚀引起。

当高温介质流进入口管子时，固定管板背面或邻近的管子可能会发生大面积的腐蚀。

当工艺条件使污水或类似物质沉淀到容器里时，它们一般都沉到壳体底部。如果沉淀物含有腐蚀物质，最大腐蚀将发生在壳体底部和底部的管子上。

在以水为介质的装置中，最大腐蚀发生在水温最高处。因而，当水在管子里时，管程的出口端是最大腐蚀发生处。

同样在以水为介质的装置中，当换热器部件由灰铸铁制成时，应检验是否发生石墨化腐蚀。这种腐蚀多发生在水系统的管程中或可能聚集酸性液体的壳体底部。在可疑区域用刮刀刮可以发现这些腐蚀。这种腐蚀是否严重应从位置和深度来判断。通常隔板几乎完全被腐蚀却仍然工作良好，除非隔板损坏或变成碎片。

有一些型式的换热器，在不同金属的紧密连接处可能会发生腐蚀。两种金属间抗腐蚀性能差的金属将发生腐蚀。因此，与黄铜管板相接触的碳钢垫圈表面比其他部位发生腐蚀的比例高。

裂纹多发生在形状或尺寸发生急剧变化处或焊缝附近，特别是当这一部位承受高压时。当装置承受了过度的压力后，一些部件如接管、壳体法兰等应检查是否有裂纹。

当介质高速通过换热器时，如果流向发生变化，将加大冲蚀损伤。这些加大的损伤发生在管式装置入口及套管装置和冷凝器盘管的转弯处或这些部件的附近。

邻近入口防冲板和管束折流板的壳体容易腐蚀，尤其是介质高速流动时。如果发现有普鲁士兰颜色意味着氰化铁的存在，氢鼓包常发生在这种颜色附近的换热器壳体上。长直尺可有效地发现氢鼓包的存在。将长直尺放在壳体上，表面形状的不规则就可显现出来（长直尺也可用于检查凹坑）。

C.10 盘管和套管换热器的检验

开式冷凝器箱内的盘管和套管换热器的外壳基本上是由管子构成的。应依照 API RP 574（参见附录 D 套管、盘管换热器检验报告格式）进行检验。

首先，应进行彻底的外观检验，包括全部管子的锤击检验。刮刀可用于发现外部凹坑，通常，缺陷在冷凝器盘管的外壁被发现。

外观检验后应进行厚度测量。通常用卡尺测量套管换热器外壳开口端是有效的。测量盘管壁厚和套管换热器壳体的中间部分的厚度则要用超声波和涡流装置进行测量。

冷凝器和冷却器外壁用混凝土或轻型碳钢制成。当检验其中的盘管时，应对这些外壁进行外观检验。当容器用碳钢制成时，小锤是外观检验中非常有用的辅助工具。容器壁上的小斑点可通过锤击器壁发现。卡尺能用于测量开口端的壁厚，如果需要测量开口端以下部位，可以用无损检测仪器或钻测试孔法。混凝土壁用一把刮刀选点检查剥落、破裂或软弱点。

C.11 波纹板换热器的检验

由于设计的原因，波纹板换热器的板间的流通口非常小，并且进入其内部困难，这些换热器通常采用高防腐性的合金制成，以达到使用要求。在大多数场合，合金也被用于高防腐要求的气体精制装置。除了在 7.5.3 讨论的以外，外观检验不会发现很多问题。外表面可以检查刻痕、伤口、半圆形沟槽或其他机械损伤和内部缺陷扩展。

这些部件通常由完整的管子和分配管构成，其厚度可以用超声波测厚仪精确测量出来，然后记录下来。在换热器上不应使用钻孔设备，因为这种设备容易在这些部位造成伤害。用于这种装置的合金焊接如铝合金和奥氏体不锈钢合金需要非常高超的焊接技能。

用一个小锤敲击波纹板换热器的暴露部分，发出的声音可以提供查找开裂和损坏部位的线索。破裂的板或歧管部分发出一种含锡的声音，要想轻易识别这种声音需要有丰富的经验。

C.12 空冷器检验

根据 API Std 661 对最低设计要求或空冷器一般信息的阐述。在定级、检修及换热器型式变更中应遵循 SY/T 6507 和 API Std 661 的原则（参见附录 D 空冷器检验报告的格式）。

管子被鳍板包围，因此不能从管子外部进行检验。检验管子的最好方法是在内壁圆周上用超声波测厚法和涡流测试法或两种方法同时使用。熟练的操作者在清洁的管子内使用上述方法，可以测出壁厚和发现缺陷。在有效地进行这两种检验方法之前，应对管子进行彻底清洗。

应检查管子的外鳍板是否清洁，如果管子需要清洗，用清水或肥皂水清洗就可以了。如果不行，应小心选择清洗液。通常鳍板是铝制的，如果用错了清洗液可能会使管板受到损害。

管板和鳍板开始部位之间的管子外表面应被检查，间歇工作或工作在低温环境下的换热器，容易使湿气聚集形成腐蚀导致泄漏。在这种情况下使用涂层将减轻这一腐蚀问题。

靠近空冷器管板端可以对管子内部进行外观检验。光学纤维镜和内窥镜是进行这种检验的很好的设备。一只直径为 3.175mm 或更小，长度约为 914mm，尖端电极被弯成与轴向成 90°角的探棒可以确定管端腐蚀和凹坑位置。

管子入口的冲蚀是空冷器的一个常见问题。这种损害能通过联管箱出料口外观检验查出，或者联管箱带有可移动盖板可以外观检验。如果条件允许，用一面镜子将日光反射进管子进行冲蚀检查。

空冷器联管箱端的检查技术与压力容器相同。此外，矩形构筑物引起的方向急剧改变应细致检查有无裂纹。带有用于观察的可移动盖板的联管箱最容易检查，光学纤维镜可能是检查没有盖板只有丝堵的管箱的惟一方法。

附 录 D
（资料性附录）
记录表格及报告样式

在用压力容器检验记录：一种保存在役压力容器检验数据的格式（见表 D.1）。大多数工厂开发了一套包括其他必要数据的更详细的格式。

永久压力容器记录：专门记录并长久保存一台指定的压力容器的所有基础数据的格式（见表 D.2）。

压力容器检验单：一种先进的记录厚度的格式，由此可以计算出腐蚀速率（见表 D.3）。这种格式有三种版本，一种是空白的，另两种是为不同类型的压力容器设计的。任何一种格式都应记录一台压力容器的数据。

通常，检验员将使用一份表格来记录现场数据，另一份用作办公记录。当检验没有基本数据的容器时检验员使用没有草图的检验单。在这种情况下，检验员可以在检验单上画一个草图，草图上包括所有的现场可以确认的尺寸和数据。

在一套操作装置上的全部压力容器的检验记录：一种用来记录并报告一套操作装置上的所有的压力容器的实际物理条件和允许操作条件（见表 D.4、表 D.5）。

符合《压力容器安全技术监察规程》要求的在用压力容器的检验报告格式应符合《在用压力容器检验规程》的要求，**换热器检验数据记录、换热器检验报告、空冷器检验报告，以及套管换热器检验报告记录**用本附录中的相应格式（见表 D.6～表 D.9）。

表 D.1 在用压力容器的检验记录

使用单位编号_____ 使用单位_____ 日期_____ 地方或国家保险编号_____

制造厂_____ 制造厂序列号_____

设计压力_____ MPa 温度_____℃ 最大允许初始静液工作压力 试验压力_____ MPa

原始壁厚，mm A____ B____ C____ D____ 腐蚀余量，mm A____ B____ C____ D____

检验日期	危险部位的壁厚			危险部位的最大金属温度			危险部位的最小允许壁厚			下次检验日期	检验员签名

部位说明_____ 日期_____

部位说明_____ 日期_____

部位说明_____ 日期_____

部位说明_____ 日期_____

部位说明_____ 日期_____

注意：制造厂图纸能指示 A，B，C 和 D 的位置。

表 D.2 永久压力容器记录

装置名称_____ 容器名称_____ 地点_____ 原始项目编号_____ 日期_____

历　　史

评价编号_____ 制造厂试验压力_____ 次序号_____ 接货日期_____
制造单位_____ 安装日期_____ 制造编号_____ 公司名称_____
监检员_____ 公司质检员_____

说　　明

总述
图纸编号_____
装配者_____
承包商_____
公司_____
位置（垂直或平行）_____
制造规范_____
规范_____年_____
规范标记_____
专门材料和分级或类型_____
母材_____ 衬里_____
消除应力（原始）_____
射线照相（原始）_____
完成_____ 内部焊接_____
尺寸
公称内径_____
衬里到衬里的长度_____
设计_____
压力_____ 温度_____ 应力_____
最大允许操作压力_____
最大允许温度_____ 限制_____

壳体
结构类型_____
焊缝系数_____
支承类型_____
内、外劲板_____
原始壁厚_____
腐蚀裕量_____
人孔
编号_____
尺寸_____
法兰等级_____
改造承担单位_____

顶部封头型式
椭圆的_____ 半球的_____
蝶型的
顶部区域_____ 转角区域_____
圆锥（角）_____
平板_____
焊缝系数_____
原始壁厚_____
腐蚀裕量_____
人孔
编号_____
尺寸_____
法兰等级_____
加强的工厂或部门_____

底部封头型式
椭圆的_____ 半球的_____
蝶型的
顶部区域_____ 转角区域_____
圆锥（角）_____
平板_____
焊缝系数_____
原始壁厚_____
腐蚀裕量_____
人孔
编号_____ 尺寸_____ 法兰等级_____
加强的工厂或部门_____
接管
最小法兰等级_____ 字样_____
开孔补强_____
修改_____
_____

注意：在装置中的每一台容器应填写一张表单。如果安装新容器或现有容器发生影响设计参数的变化时，应依据检验报告填写新的表格或修改表格中的参数。

表 D.3 压力容器检验单

装置_____

容器名称_____

直径_____

长度_____

容器编号_____

图			
	壳体	衬里	内部
装配者			
承包商			
公 司			
草 图			

壁 厚 测 量

测点编号		原始壁厚	最小允许壁厚	数 据							
检验间隔	编号										
	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
	6										
	7										
	8										
	9										

表 D.4　在一套操作系统上的全部压力容器的检验记录（一）

系统名称_____　地点_____　检验和试验编号_____　日期_____

容器名称				
公司容器和简图编号				
操作数据				
操作压力下的时间				
使用参数				
平均最大操作压力，MPa				
平均最大操作温度，℃				
顶部				
底部				
塔盘序号				
折流板序号				
盘管序号				
检验和试验数据				
检验员				
公称内径，mm				
最小壁厚，mm				
壳体				
位置				
上封头				
下封头				
焊缝系数				
壳体				
封头				
封头要素				
顶部				
底部				
最近一次检验				
内部焊道				
外部焊道				
绝热层下				
扩展检验				

表 D.5　在一套操作系统上的全部压力容器的检验记录（二）

系统名称_____　地点_____　检验和试验编号_____　日期_____

容器名称				
公司容器和简图编号				
操作数据				
操作压力下的使用时间				
试验压力				
容器				
盘管				
试验介质				
保压时间（1）+（2）				
最大允许操作压力				
最大允许操作温度				
限制				
操作温度下的工作应力				
提供的操作压力				
提供的操作温度				
安全阀设置压力				
保护衬里参数				
图号				
安装日期				
材料和型式				
部分衬里				
修理日期				
修理的扩展				
衬里打开的日期				
打开原因				
修改				

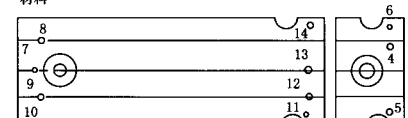
表 D.6　换热器检验数据表

原始厚度														
	测厚点位置													
数据	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
原始厚度														
	接管测厚点位置													
数据	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
修　正														

制造厂 _____　　型号 _____

设计参数：

	管程	壳程
介质		
温度		
压力		
规格		
材料		



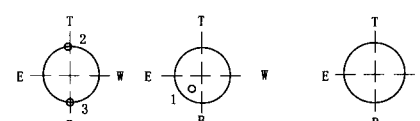


表 D.7　换热器检验报告格式

地点：_____　　日期_____

_____

单位_____　　设备_____　　服役_____

停工时间_____　　重新服役_____　　上次检验日期_____

原因_____

检验结论_____

_____

	最小厚度			
	原始厚度	上次检验厚度	现在厚度	判废壁厚
壳体				
封头				
管箱				
管箱盖				
上接管（壳体）				
下接管（壳体）				
上接管（管箱）				
下接管（管箱）				
管子				

推荐_____

工作要求_____　　审查_____

填写：_____　　签名盖章_____

主检验员

表 D.8　空冷器检验报告格式

装置名称_____
使用单位_____
换热器名称_____
原始序号_____
出厂编号_____
丝堵型—可拆式头盖
换热器初始安装日期
管束安装日期
拆除的原因
现在管束安装的日期
介质
设计压力
设计温度
操作压力
操作温度
管子材料
　半径
　壁厚
　长度
翅片材料

（测厚部位示意图）

厚度数据										
测厚点		原始壁厚	现有壁厚	日期						
	序号									
	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
检验及试验数据										
日期										
通常条件										
风道部分										
管子部分										
翅片										
风扇										
风扇箱										
管塞序号										
化学清洗										
最大允许压力										
温度										
试验压力										
允许使用压力										
温度										

表 D.9 套管换热器检验报告格式

装置名称_____
使用单位_____
换热器名称_____
原始序号_____
出厂编号_____
使用日期_____
内部管子安装日期_____
安装_____
拆除_____
拆除原因_____
操作数据
使用形式_____

	内管	外管
介质状态		
材料		
设计压力		
设计温度		
操作压力		
操作温度		

（测厚部位示意图）

厚度数据

测厚点	原始	现在	日期					
序号	厚度	厚度						
1								
2								
3								
4								

检 验 和 试 验

日期												
内部检验												
内管限值												
外管限值												
通常条件												
内管部分												
外管部分												
内管材料												
外管材料												
上次检验日期												
化学清洗												
内管最大允许压力												
温度												
外管最大允许压力												
温度												
内管试验压力												
外管试验压力	内管	外管	内管	外管	内管	外管	内管	外管	内管	外管	内管	外管

参 考 文 献

ASME 第Ⅷ卷	锅炉压力容器规范　压力容器
API RP 574	管道系统组件的检验
API Std 510	压力容器检验规范　维护检验、定级、修理和改造
API RP 575	常压及低压储罐的检验
API RP 576	压力泄放装置的检验
API RP 571	导致劣化及失效的情况
API Publ 920	压力容器脆性断裂的预防
API Publ 945	避免氨装置中设备的环境开裂
API Publ 2007	炼油厂安全维护常识
API Publ 2214	手工工具打火特性
API Publ 2217	石油行业惰性气体受限空间内工作指导说明
API Std 660	炼油厂用管壳式换热器
API Std 661	炼油厂空冷器
NBBPVI NB－23	美国国家检验规范
TEMA	管式换热器制造者协会标准