ICS 23.020.30
CCS J 74

DB21

辽 宁 省 地 方 标 准

DB 21/T XXXX—XXXX

锅炉和压力容器制造耐压试验安全技术规范

Safety technical code for pressure test of boiler and pressure vessel manufacturing

（报批稿）

20XX-XX-XX 发布　　20XX-XX-XX 实施

辽宁省市场监督管理局　　发 布

目　　次

前言.....II
1 范围.....1
2 规范性引用文件.....1
3 术语和定义.....1
4 符号.....2
5 耐压试验技术要求.....2
6 耐压试验压力.....3
7 试验介质要求.....5
8 试验温度要求.....6
9 试验用仪表的要求.....6
10 试验过程控制.....7
11 安全防护设施.....8
12 人员防护.....9

前　　言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由辽宁省市场监督管理局提出并归口。

本文件起草单位：沈阳清华锅炉有限公司、沈阳特种设备检测研究院、鞍山华信重工机械有限公司、辽阳市锅炉压力容器检验研究所

本文件主要起草人：宋文华、王红、马庆生、王涛、孙熙同、贾芯蕊、赵明鑫、陈晓芙、许翔昊。

本文件发布实施后，任何单位和个人如有问题和意见建议，均可以通过来电和来函等方式进行反馈，我们将及时答复并认真处理，根据实际情况依法进行评估及复审。

归口管理部门和联系电话：辽宁省市场监督管理局，沈阳市皇姑区崇山中路55号，024-96315-1-3215。

文件起草单位和联系电话：沈阳清华锅炉有限公司，沈阳经济技术开发区开发二十一号路76号，024-25819700。

锅炉和压力容器制造耐压试验安全技术规范

1 范围

本文件规定了锅炉和压力容器制造耐压试验安全技术要求及防护设施、人员防护用品的佩戴、安全警示标识及升降压过程防护等，保证锅炉和压力容器耐压试验时人员安全。

本文件适用于锅炉和压力容器制造耐压试验安全技术要求，不适用于非金属压力容器。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 150 压力容器

GB/T 151 热交换器

GB/T 16507.1 水管锅炉

GB/T 16508 锅壳锅炉

GB/T 26929 压力容器术语

GB/T 37243 危险化学品生产装置和储存设施外部安全防护距离确定方法

TSG 11 锅炉安全技术规程

TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程

3 术语和定义

GB/T 26929中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

压力pressure

垂直作用在容器单位表面积上的力。在本标准中，除注明者外，压力均指表压力。

3.2

工作压力operating pressure

锅炉的工作压力是指在正常设计运行工况条件下，受压元件所承受的最高压力。容器的工作压力是指在正常工作情况下，容器顶部可能达到的最高压力；

3.3

容器设计压力design pressure

设定的容器顶部的最高压力，与相应的设计温度一起作为锅炉或容器的基本设计载荷条件，其值不低于工作压力。

3.4

试验压力test pressure

进行耐压试验时，锅炉或容器顶部的压力。

3.5

最高允许工作压力maximum allowable working pressure(MAWP)

在指定的相应温度下，容器顶部所允许承受的最大压力。该压力是根据容器各受压元件的有效厚度，考虑了该元件承受的所有载荷而计算得到的，且取最小值。

当压力容器的设计文件没有给出最高允许工作压力时，则可以认为该压力容器的设计压力即是最高允许工作压力。

3.6

设计温度design temperature

锅炉或容器在正常工作情况下，设定的元件的金属温度（沿元件金属截面的温度平均值）。设计温度与设计压力一起作为设计载荷条件。

3.7

试验温度test temperature

进行耐压试验时，锅炉或容器壳体的金属温度。

3.8

低温容器low-temperature pressure vessel

设计温度低于－20℃的碳素钢、低合金钢，双相不锈钢和铁素体不锈钢制容器，以及设计温度低于－196℃的奥氏体不锈钢制容器。

4 符号

下列符号适用于本文件。

R_{eL}—元件材料在耐压试验温度下的屈服强度(或0.2%非比例延伸强度)，MPa；
φ—锅炉或容器的焊接接头系数；
σ_T—试验压力下受压元件的应力，MPa；
$[\sigma]$—材料在试验温度下的许用应力，MPa；
$[\sigma]^t$—材料在设计温度下的许用应力，MPa；
P—设计压力，MPa；
P_T—试验压力最低值，MPa。

5 耐压试验技术要求

5.1 锅炉水压试验基本要求

锅炉水压试验基本条件应满足以下要求。

a）锅炉的耐压试验采用水压试验，试验分为锅炉整体出厂前水压试验及部件水压试验。

b） 试验用盲法兰、紧固件、垫片的规格、材质、压力等级应符合相关标准及设计图样规定。

c） 锅炉水压试验应当在无损检测和热处理合格后进行水压试验。

5.2 容器耐压试验基本要求

容器耐压试验基本要求应符合以下规则。

a）压力容器耐压试验包括：液压试验、气压试验和气液组合试验，耐压试验应优先采用液压试验，试验液体应符合相关标准的要求，耐压试验应在热处理合格后进行。

b）对于不适宜进行液压试验的容器，可采用气压试验或气液组合试验。进行气压试验或气液组合试验的容器应满足相关标准的要求,采用气液组合试验时，试验压力按气压试验的规定。

c)对于由2个或2个以上压力室组成的多腔容器,每个压力室的试验压力按其设计压力确定，各压力室分别进行耐压试验。

d）耐压试验后所进行的返修，如返修深度大于壁厚一半的容器，应重新进行耐压试验。

e）带夹套容器应先进行内筒耐压试验，合格后再焊夹套，然后再进行夹套内的耐压试验。

f）2个（或2个以上）压力室组成的多腔容器的耐压试验，应符合GB150和设计文件的相关要求。

g）大型直立容器耐压试验应避开不好天气，以防止对设备带来不利因素。

h）球形储罐耐压试验前准备工作：

1）敷设临时管线，安装试压泵和压力表；

2）球罐内部所有脚手杆和跳板拆除完毕或捆扎牢固；

3）设置试验区域的警示标志；

4）耐压试验过程中，不得进行与试验无关的工作，无关人员不得在现场停留；

5）试验场地不得有火源，并且配备使用的消防器材。

6 耐压试验压力

6.1 锅炉水压试验通用要求

6.1.1 水压试验充水前应将锅炉受压元件内部清理干净。

6.1.2 水压试验充水时应将内部的气体排净。

6.1.3 元件的水压试验压力，应不大于水压试验最高允许压力。

6.1.4 圆筒体、焊制或锻制三通、等径叉形管水压试验最高允许压力按照公式（1）计算：

$$[P]_h=0.45\frac{\beta_e^2-1}{\beta_e^2}\varphi_{min}R_e \quad \cdots\cdots (1)$$

式中：

$[P]_h$ ——水压试验最高允许压力,单位为兆帕(MPa)；

φ_{min} ——最小减弱系数；

β_e ——按有效厚度确定的外径与内径的比值；

R_e ——钢材在 20℃时的屈服强度或规定非比例延伸强度(Rpo.2),单位为兆帕(MPa)；Ye-盖板形状系数；

6.1.5 凸形封头水压试验最高允许压力按照公式（2）计算:

$$[P]_h=\frac{0.9(\beta_e^3-1)}{(\beta_e^3+2)K_S+(\beta_e^3-1)}\varphi_{min}R_e \quad \cdots\cdots (2)$$

式中：

K_S ——凸形封头结构形状系数；

6.1.6 按有效壁厚计算的外径与内径比按照公式（3）或公式（4）计算：

$$\beta_e=1+\frac{2\delta_e}{D_i} \quad \cdots\cdots (3)$$

$$\beta_e=\frac{D_0}{D_0-2\delta_e} \quad \cdots\cdots (4)$$

式中：

δ_e ——圆筒体、焊制和锻制三通主管、热挤压三通过渡区、凸形封头的有效厚度，单位为毫米(mm)；

D_0 ——盖板的计算直径,单位为毫米(mm)；

D_i ——圆筒体、封头、三通主管、等径叉形管内径,单位为毫米(mm)；

6.1.7 平端盖的水压试验最高允许压力按照公式（5）计算：

$$[P]_h=0.9\left(\frac{\delta_1}{K_f D_i}\right)^2 R_e \quad \cdots\cdots (5)$$

式中：

δ_1 ——平端盖或盖板的名义厚度,单位为毫米(mm)；

K_f ——-盖板结构特性系数；

6.1.8 板的水压试验最高允许压力按照公式（6）计算：

$$[P]_h=0.9\left(\frac{\delta_1}{K_c Y_c D_c}\right)^2 R_e \quad \cdots\cdots (6)$$

式中：

K_c ——盖板结构特性系数；

Y_c ——盖板形状系数；

D_c ——盖板的计算直径；

6.1.9 水压试验压力

水压试验的压力值应符合表 1 的规定。

表 1 水压试验压力

名称	锅筒（壳）工作压力（MPa）	试验压力（MPa）
锅炉本体	＜0.8	1.5 倍锅筒（壳）工作压力，但不小于 0.2
锅炉本体	0.8-1.6	锅筒（壳）工作压力加 0.4
锅炉本体	＞1.6	1.25 倍锅筒（壳）工作压力
直流锅炉本体	任何压力	介质出口工作压力的 1.25 倍，并且不小于省煤器进口工作压力的 1.1 倍
再热器	任何压力	1.5 倍再热器的工作压力
铸铁省煤器	任何压力	1.5 倍省煤器的工作压力

6.1.10 零部件水压试验压力

零部件水压试验压力应满足以下规则。

a）以部件出厂的锅炉、启动（汽水）分离器及储水箱，为其工作压力的 1.25 倍，并且不低于所对应的锅炉本体水压试验压力。

b）散件出厂的集箱类部件，为其工作压力的 1.5 倍。

c）对接焊接的受热面管子及其他受压管件，为其工作压力的 1.5 倍。

d）受热面管与集箱焊接的部件为其工作压力的 1.5 倍。

6.2 锅炉水压试验应力校核

按 GB/T 16507、GB/T 16508 及设计图样的规定，锅炉水压试验时受压元件的薄膜应力 σ_T 不应当超过 90%R_{eL} ϕ。

6.3 容器耐压试验压力通用要求

6.3.1 耐压试验压力通用要求

耐压试验压力的最低值按 6.3.1 和 6.3.2 的规定，并考虑：

a）对于立式容器采用卧置进行液压试验时，试验压力应计入立置试验时的液柱静压力；

b）工作条件下内装介质的液柱静压力大于液压试验的液柱静压力时，应适当考虑相应增加试验压力。

6.3.2 内压容器

a）液压试验 ：$p_T = 1.25\, p[\sigma]/[\sigma]^t$ ……（ 7 ）

b）气压试验或气液组合试验 ：$p_T = 1.1\, p[\sigma]/[\sigma]^t$ ……（ 8）

注 1：容器铭牌上规定有最高允许工作压力时，公式中应以最高允许工作压力代替设计压力 p；

注 2：容器各主要受压元件，如圆筒、封头、接管、设备法兰(或人手孔法兰)及其紧固件等所用材料不同时，应取各元件材料的$[\sigma]/[\sigma]^t$ 比值中最小者；

注 3：$[\sigma]^t$ 不应低于材料受抗拉强度和屈服强度控制的许用应力最小值。

6.3.3 外压容器

a）液压试验 ：$p_T = 1.25\, p$ ……（ 9 ）

b）气压试验或气液组合试验 ：$p_T = 1.1\, p$ ……（ 10 ）

6.4 容器耐压试验应力校核

按GB/T 150及设计图样规定，如采用大于6.2和6.3所规定的试验压力，在耐压试验前，应校核各受压元件在试验条件下的应力水平，液压试验时各受元件材料的薄膜应力（σ_T）不应当超过90%$R_{eL}\varphi$，气压试验或气液组合试验时各受元件材料的薄膜应力（σ_T）不应当超过80%$R_{eL}\varphi$。

7 试验介质要求

7.1 锅炉水压试验介质要求

锅炉水压试验所用的水应当是洁净水，奥氏体受压元件水压试验时，应控制水中的氯离子含量不超过 25mg/L，如不能满足要求，水压试验后，应当立即将水渍去除干净。

7.2 容器耐压试验介质要求

容器耐压试验介质应满足以下要求：

a）液压试验时,试验液体一般采用洁净水，试验合格后应立即将水排净吹干；无法完全排净吹干时，对奥氏体不锈钢制容器，应控制水中的氯离子含量不超过25mg/L；

b）需要时，也可采用不会导致发生危险的其他试验液体，但是试验液体的温度应低于其闪点或沸点，并有可靠的安全措施；

c）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；气液组合压力试验试验液体与液压试验的规定相同。

8 试验温度要求

8.1 试验温度通用要求

试验用液体温度应符合相应标准及设计图样的要求，试验温度（锅炉或容器器壁金属温度）应符合相关特种设备安全技术规范及标准规定。

8.2 锅炉水压试验的温度要求

锅炉水压试验温度应满足以下要求：

a）水压试验应当在环境温度高于或等于5℃时进行,低于5℃时应当有防冻措施；

b）水温应当保持高于周围露点温度以防止表面结露,但也不宜温度过高以防止引起汽化和过大的温差应力；

c）合金钢受压元件的水压试验水温应当高于所用钢种的脆性转变温度,一般为20～70℃。

8.3 容器耐压试验温度要求

容器耐压试验温度应满足以下要求：

a）Q345R、Q370R、07MnMoVR制容器（含球罐）进行液压试验时，液体温度不得低于5℃；

b）其他碳钢和低合金钢制容器（含球罐）进行液压试验时，液体温度不得低于15℃；

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的冲击试验温度（取其高者）加20℃；

d）如果由于板厚等因素造成材料无塑性转变温度升高，则需相应提高试验温度（厚板容器耐压试验时需充分考虑材料的无塑性转变温度低于试验温度）；

e）如需使用较低温度液体试验，试验时应保证试验温度（容器器壁金属温度）比容器器壁金属无塑性转变温度至少高30℃，或者按TSG 21引用标准的规定执行。

8.4 气压试验时试验温度按 8.3 的规定。

9 试验用仪表的要求

耐压试验用压力表应当符合TSG 11与TSG 21及相关制造依据标准的有关规定，并且至少采用两个量程相同并且经过检定合格的压力表。压力表的量程应为1.5-3倍的试验压力，宜为试验压力的2

倍。压力表的精度不得低于1.6级，表盘直径不得小于100mm。试验用压力表应安装在被试验设备安放位置的顶部便于观察的位置（北方冬季应充分考虑温度对压力表正常使用功能的影响）。

10 试验过程控制

10.1 试验升压、降压过程通用要求

耐压试验升压、降压过程通用要求如下：

a）耐压试验时将试验锅炉或压力容器密封后，同时将滞留在锅炉或压力容器内的气体排净并充满试验介质，试验过程中，应保持锅炉或压力容器观察表面的干燥。锅炉或压力容器充满介质后，进行密封检查，合格后方可进行耐压试验；

b）锅炉和压力容器进行耐压试验要按照TSG 11 、TSG 21 及特种设备安全技术规范及相关技术标准的规定要求进行。当试验锅炉或压力容器器壁金属温度与试验介质温度接近时，才能缓慢升压至工作压力或设计压力，确认无泄漏后继续升压到规定的试验压力，保压足够时间进行检查；然后降至工作压力或设计压力，保压足够时间进行检查，检查期间压力应当保持不变；

c）在耐压压试验过程中，如发现异常响声、压力下降及加压装置发生故障等不正常现象，应立即停止试验，查找原因；

d）耐压试验保压期间不得采用连续加压以维持试验压力不变，试验过程中不得带压紧固或对受压元件施加外力；

e）耐压试验从升压开始至耐压试验结束检查人员应在现场监督检查。试验过程中，操作人员不得少于2人，且有1人留在压力试验泵旁边，精准做好试验压力的升降控制，避免超压现象发生，做好试验过程的操作者安全互保制和确认制，试验场地内禁止无关人员在场；

f）耐压试验前拧紧螺栓和登高工作应系好安全带并注意防止滑跌和工具脱手伤人。在耐压试验过程中，操作人员禁止在不安全地方停留；

g）进行耐压试验前，监检人员应确认之前监督检查项目合格，才可允许制造单位进行耐压试验，进行耐压试验时，监检人员应到现场进行监督检查；

h）耐压试验结束后，开启阀门，使压力表指针为零，方可将锅炉或压力容器内的水或液体通过排水管道排尽，严禁就地排水或液体，试验后做好试验场地的恢复清洁整理。

10.2 锅炉水压试验过程控制

锅炉进行水压试验前应将锅炉受压元件内部清理干净，充水时应将内部的气体排净。水压试验时，水压应当缓慢地升降。当水压上升到工作压力时，应当暂停升压，检查有无漏水或者异常现象，然后再升压到试验压力，达到表2保压时间后，降到工作压力进行检查。检查期间压力应当保持不变。

表2 水压试验保压时间

名称	保压时间
锅炉本体	20 min
锅筒（壳）	20 min
直流锅炉本体	20 min
再热器	20 min
铸铁省煤器	20 min
集箱类部件	5 min
受热面管与集箱焊接	5 min

受热面管子	10s-20s

10.3 锅炉水压试验合格要求

锅炉水压试验合格标准如下：

a)在受压元件金属壁和焊缝上没有水珠和水雾；

b)当降到工作压力后张口处不滴水珠；

c)铸铁锅护、铸铝锅炉锅片的密封处在降到额定工作压力后不滴水珠；

d)水压试验后，没有发现明显残余变形。

10.4 容器耐压试验过程控制

10.4.1 液压试验过程控制

液压实验过程控制应满足以下规则。

1）试验容器内的气体应当排净并充满液体，试验过程中，应保持容器观察表面的干燥；

2）当试验容器器壁金属温度与液体温度接近时，方可缓慢升压至设计压力，确认无泄漏后继续升压至规定的试验压力，保压时间一般不少于30min；然后降至设计压力，保压足够时间进检查，检查期间压力应保持不变。

3）液压试验完毕后，应将液体排尽并用压缩空气将内部吹干。

10.4.2 液压试验的合格标准

试验过程中，容器无渗漏，无可见的变形和异常声响。

10.4.3 气压试验和气液组合压力试验过程控制

试验时应先缓慢升压至规定试验压力的10%，保压5min；并且对所有焊接接头和连接部位进行初次检查；确认无泄漏后，再继续升压至规定试验压力的50%；如无异常现象，其后按规定试验压力的10%逐级升压，直到试验压力，保压10min；然后降至设计压力，保压足够时间进行检查，检查期间压力应保持不变。

10.4.4 气压试验和气液组合压力试验的合格标准

对于气压试验，容器无异常声响，经肥皂液或其他检漏液检查无漏气，无可见的变形；对于气液组合压力试验，应保持容器外壁干燥，经检查无液体泄漏后，再以肥皂液或其他检漏液检查无漏气，无异常声响，无可见的变形。

11 安全防护设施

11.1 耐压试验场地应当有可靠的安全防护设施，周围设置安全围挡，围挡与试验设备应保证足够的试验空间及安全距离，周围不得有不安全因素，排水管路及设施满足要求，试验场地附近不得有火源，并且配备适用的消防器材，并经单位技术负责人和安全管理部门检查认可，球形储罐现场组焊耐压试验过程中应进行基础沉降量观测，排液时严禁就地排放。

11.2 试验前应检查所需设备和工具的安全可靠，对于新设计制作的夹具、胎具，必须经工艺验证合格后方可使用。

11.3 耐压试验操作和检查的部位必要时应搭设脚手架、爬梯及围栏，并有足够的照明，照明电压应使用不大于 36V 行灯。

11.4 受压元件上各种开孔（人孔、手孔、头孔和接头等）不允许使用临时性的封闭装置，管接头上的堵板应有足够的强度并经计算合格，堵板上的焊缝应严密可靠。

11.5 耐压试验前，锅炉及压力容器各连接部位的紧固件应装配齐全，并紧固妥当；为进行耐压试验而焊接或装配的临时受压元件，应采取适当的措施，保证其强度和安全性。

11.6 耐压试验设备与防护围挡距离如图1所示(图1所示距离为最低要求)，防护围挡高度应大于1.9m，并加装防倾倒装置，保证围挡牢固稳定。围挡要有一定的强度。（如对耐压试验的防护距离有更高要求者或可参考GB/T 37243-2019中相关规定。）

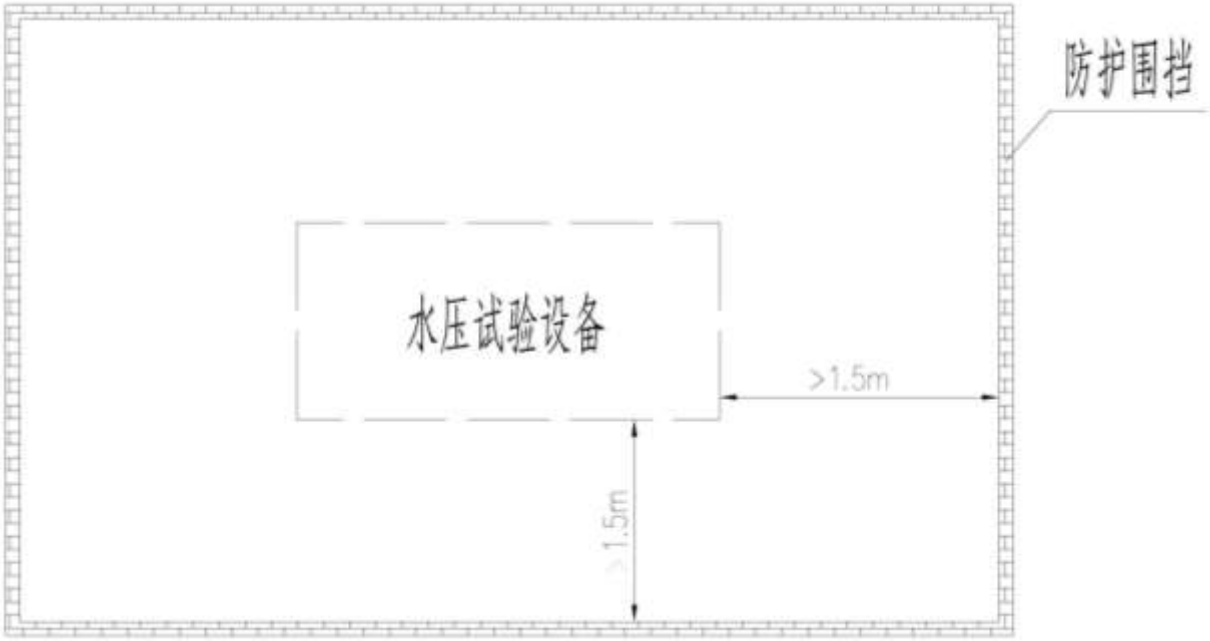

图 1　耐压试验防护围挡示意图

12　人员防护

12.1 耐压试验操作人员必须了解试验步骤及试验工艺规程，熟练操作试验设备，并且经过安全培训合格后方可上岗。

12.2 耐压试验现场工作人员应做好防护，必须佩戴好安全帽、穿防护鞋，登高作业时必须系好安全带，持手电筒，升压过程中，严禁进入耐压试验设备区域内。

12.3 耐压试验升压过程中及在整个试压过程中，试验设备各管口的位置不能正对着试压操作人员（尤其是焊封盖和装内胀塞的管口），防止试压时焊口开裂或内胀塞松动而弹出，造成人员伤亡。

12.4　人员防护用品佩戴标识

人员防护用品佩戴标识如图 2 所示。

图 2　人员防护用品佩戴标识

12.5　安全警示标识

耐压试验场地应挂警示牌、设置警界线，耐压试验期间非工作人员不得进入。安全警示标识如图 3 所示。

a） 注意安全　　b） 当心触电　　c） 当心崩裂　　d） 当心坠落

e） 当心踩空　　f） 当心坑洞　　g） 当心扎脚　　h） 闲人免进

图 3　安全警示标识