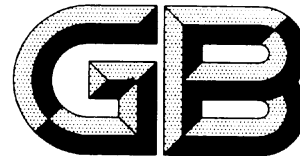


ICS 23.020.10
J 74



中华人民共和国国家标准

GB 12337—××××
代替GB 12337—1998

钢制球形储罐

Steel spherical tanks

(报批稿)

2013-××-××发布

2013-××-××实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 总则	2
4 材料	11
5 结构	22
6 计算	26
7 制造	43
8 组焊、检验与验收	48
附录 A（规范性附录） 标准的符合性声明及修订	62
附录 B（规范性附录） 安全附件及附属设施	63
附录 C（规范性附录） 风险评估报告	66
附录 D（规范性附录） 应力分析设计球罐	67
附录 E（规范性附录） 低温球形储罐	76
附录 F（资料性附录） 球壳对接焊缝的坡口形式及尺寸	78
附录 G（规范性附录） 场地类别划分	79

前 言

本标准的附录 F 为推荐性的，其余技术内容为强制性的。

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准代替 GB 12337—1998《钢制球形储罐》，与 GB 12337—1998 标准相比，主要技术变化如下：

- 根据固定式压力容器安全技术监察规程（TSG R0004）、GB 150.1~150.4《压力容器》修改相关内容。
- 设计压力的适用范围由 4.0MPa 提高到 6.4MPa。
- 增加了球壳用钢板厚度不宜大于 50mm 的规定，相应的修订了钢板的厚度适用范围。
- 球壳材料增加到 14 种，新增材料：Q370R、15MnNiDR、15MnNiNbDR、09MnNiDR、07MnMoVR、07MnNiVDR、07MnNiMoDR、S30408、S30403、S31608、S31603。
- 支柱与球壳连接型式取消了 U 型柱结构和翻边结构，增加了长圆形结构。
- 增加了盛装毒性程度为极度或高度危害介质的球罐，进出口应在上极开孔的要求。
- 取消了球罐人孔、接管法兰密封面应采用凹凸面的要求。
- 根据 GB 50011《建筑抗震设计规范》修订地震载荷的计算。
- 根据 GB 50009《建筑结构荷载规范》修订风载荷的计算。
- 增加了外压球壳的计算内容。
- 产品焊接试件由 3 块改为 2 块，分别是立焊、平焊加仰焊。
- 增加了衍射时差法超声检测方法及对碳素钢和低合金钢优先采用衍射时差法超声检测的要求。
- 增加了球罐内侧宜采用荧光磁粉检测的要求。
- 增加了不宜采用 γ 射线全景曝光射线检测的要求。
- 增加了附录 A 标准的符合性声明及修订。
- 增加了附录 B 安全附件及附属设施。
- 增加了附录 C 风险评估报告。
- 增加了附录 D 应力分析设计球罐。

本标准由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）提出并归口。

本标准起草单位：甘肃蓝科石化高新装备股份有限公司、中国特种设备检验研究院、合肥通用机械研究院、中国石化工程建设有限公司、中国天辰工程有限公司、中石化宁波工程有限公司、上海市安装工程有限公司、鞍山钢制压力容器有限公司、沈阳工业安装工程股份有限公司、中国石油天然气第一建设公司、大连市锅炉压力容器检验研究院、中国石化集团福建石化公司。

本标准主要起草人：刘福录、杨国义、朱保国、芦玲、段瑞、李景诚、陆欢军、肖秀荣、章小许、赵雷江、冯振友、张连友、武铜柱、张志刚。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB 12337—1990、GB 12337—1998。

引 言

本标准是全国锅炉压力容器标准化技术委员会（以下简称“委员会”）负责制定和归口的球形储罐（以下简称球罐）标准，用以规范在中国境内建造或使用的球罐设计、制造、组焊、检验和验收。本标准是一部包括球壳、支柱、拉杆等的设计计算、材料的选用要求、结构要素的规定，以及球罐的制造、组焊、检验与验收的综合性国家标准。

本标准的技术条款包括了球罐建造过程（即指设计、制造、组焊、检验和验收）中应遵循的强制性要求、特殊禁用规定以及推荐性条款，其中推荐性条款不是必须执行的部分。近十年来，随着冶金、机械加工、焊接和无损检测等技术的不断进步，特别是以计算机技术为代表的信息技术的飞速发展，球形储罐技术领域也取得了相应的进展。经济全球化和激烈的竞争使得世界各国必须考虑球形储罐的安全性和经济性的协调统一。欧盟和美国为代表的发达国家先后推出了新的压力容器标准，极大增强了国际竞争力。相比较而言，我国现行的 GB 12337—1998《钢制球形储罐》在经历了十几年的技术进步，无论从设计理念上还是从技术指标上都有待于提高。为此，在对国际同类标准和我国钢制球形储罐标准综合对比的基础上，充分利用我国近年来的科技成果，经过调查分析和实验验证，结合成功的使用经验，对钢制球形储罐标准加以充实、完善和提高。球罐的设计、制造、组焊、检验与验收除符合本标准规定外，还应符合 GB 150.1~150.4、JB 4732 的有关规定。由于本标准没有必要、也不可能囊括适用范围内球罐建造中的所有技术细节，因此，在满足法规所规定的基本安全要求的前提下，不应禁止本标准中没有特别提及的技术内容。本标准不能作为具体球罐建造的技术手册，亦不能替代培训、工程经验和工程评价。工程评价是指由知识渊博、娴于规范应用的技术人员所做出针对具体产品的技术评价。但工程评价应符合本标准的相关技术要求，不得违反本标准中的强制性要求和禁用规定。

本标准不限制实际工程设计和建造中采用先进的技术方法，但工程技术人员采用先进的技术方法时应能做出可靠的判断，确保其满足本标准规定，特别是关于强制性的设计规定（如强度或稳定性设计公式等）。

本标准既包含了规则设计方法，又包含了分析设计方法。当采用计算机程序进行设计时，除应满足本标准要求外，还应确认：

- 1) 所采用程序中技术假定的合理性；
- 2) 所采用程序对设计内容的适应性；
- 3) 所采用程序输入参数及输出结果用于工程设计的正确性。

钢制球形储罐

1 范围

1.1 本标准规定了钢制球形储罐（以下简称“球罐”）的设计（包括规则设计和分析设计，下同）、制造、组焊、检验与验收的要求。

1.2 本标准适用于设计压力不大于 6.4MPa、设计温度范围按钢材允许的使用温度的桔瓣式或混合式以支柱支撑的球罐。

1.3 本标准不适用于下列球罐：

- a) 核能装置中的球罐；
- b) 经受相对运动（如车载或船载）的球罐；
- c) 公称容积小于 50m³ 的球罐；
- d) 双层结构的球罐。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 150.1~150.4	压力容器
GB/T 228.1	金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法
GB/T 229	金属材料 夏比摆锤冲击试验方法
GB/T 232	金属材料 弯曲试验方法
GB/T 699	优质碳素结构钢
GB/T 700	碳素结构钢
GB 713	锅炉和压力容器用钢板
GB/T 985.1	气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口
GB/T 985.2	埋弧焊的推荐坡口
GB/T 1220	不锈钢棒
GB/T3077	合金结构钢
GB/T 3274	普通碳素结构钢和低合金结构钢 热轧厚钢板和钢带
GB 3531	低温压力容器用低合金钢钢板
GB/T 3965	熔敷金属中扩散氢测定方法
GB/T 4842	氩
GB/T 6052	工业液体二氧化碳
GB 6479—2000	高压化肥设备用无缝钢管
GB/T 6803	铁素体钢的无塑性转变温度落锤试验方法
GB/T 8162	结构用无缝钢管
GB/T 8163	输送流体用无缝钢管
GB 9948	石油裂化用无缝钢管

GB 12337—××××

GB/T 12771	流体输送用不锈钢焊接钢管
GB 13296	锅炉、热交换器用不锈钢无缝钢管
GB/T 14976	流体输送用不锈钢无缝钢管
GB/T 17261	钢制球形储罐型式与基本参数
GB/T 18591	焊接预热温度、道间温度及预热维持温度的测量指南
GB 19189	压力容器用调质高强度钢板
GB/T 20878	不锈钢和耐热钢 牌号及化学成分
GB 24511	承压设备用不锈钢钢板及钢带
GB 50009	建筑结构荷载规范
GB 50011	建筑抗震设计规范
GB 50017	钢结构设计规范
JB /T 4711	压力容器涂敷与运输包装
JB/T 4730.1	承压设备无损检测 第 1 部分：通用要求
JB/T 4730.2	承压设备无损检测 第 2 部分：射线检测
JB/T 4730.3	承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测
JB/T 4730.4	承压设备无损检测 第 4 部分：磁粉检测
JB/T 4730.5	承压设备无损检测 第 5 部分：渗透检测
JB/T 4730.6	承压设备无损检测 第 6 部分：涡流检测
JB 4732-1995	钢制压力容器——分析设计标准（2005 年确认）
NB/T 47008	承压设备用碳素钢和合金钢锻件
NB/T 47009	低温承压设备用低合金钢锻件
NB/T 47010	承压设备用不锈钢和耐热钢锻件
NB/T 47013.10（JB/T 4730.10）	承压设备无损检测 第 10 部分：衍射时差法超声检测
NB/T 47014（JB/T 4708）	承压设备焊接工艺评定
NB/T 47015（JB/T 4709）	压力容器焊接规程
NB/T 47016（JB/T 4744）	承压设备产品焊接试件的力学性能检验
NB/T 47018.1（JB/T 4747.1）	承压设备用焊接材料订货技术条件 第 1 部分：采购通则
NB/T 47018.2（JB/T 4747.2）	承压设备用焊接材料订货技术条件 第 2 部分：钢焊条
NB/T 47018.3（JB/T 4747.3）	承压设备用焊接材料订货技术条件 第 3 部分：气体保护电弧 焊钢焊丝和填充丝
NB/T 47018.4（JB/T 4747.4）	承压设备用焊接材料订货技术条件 第 4 部分：埋弧焊钢焊丝和焊剂
TSG R0004	固定式压力容器安全技术监察规程

3 总则

3.1 球罐的设计、制造、组焊、检验与验收除必须符合本标准的规定外，还应符合 GB 150.1~150.4 或 JB 4732 的有关规定。

3.2 球罐的设计、制造、组焊单位应建立健全的质量管理体系并有效运行。

3.3 《固定式压力容器安全技术监察规程》管辖范围内的球罐设计、制造、组焊应接受特种设备安全监察机构的监察，本标准遵循了国家颁布的压力容器安全法规所规定的基本安全要求，标准的符合性声明按附录 A 要求。

3.4 球罐界定范围

3.4.1 球罐与外部管道连接

- a) 焊接连接的第一道环向接头坡口端面；
- b) 法兰连接的第一个法兰密封面。

3.4.2 球罐接管、人孔等的承压封头、平盖及其紧固件。

3.4.3 非受压元件与球壳的连接焊缝。

3.4.4 直接连接在球罐上的非受压元件如支柱、拉杆和底板等。

3.4.5 安全附件

3.4.5.1 球罐的超压泄放装置应符合 GB 150.1 附录 B 或 JB 4732 附录 E 的规定。

3.4.5.2 球罐的阀门、仪表等应符合附录 B 的规定。

3.5 资格与职责

3.5.1 资格

- a) 《固定式压力容器安全技术监察规程》管辖范围内的球罐设计单位应持有特种设备设计许可证（压力容器，球形储罐），若进行球罐的分析设计，还应持有特种设备设计许可证（压力容器，压力容器分析设计）；
- b) 《固定式压力容器安全技术监察规程》管辖范围内的球罐制造单位应持有特种设备制造许可证（压力容器，球壳板制造）；
- c) 《固定式压力容器安全技术监察规程》管辖范围内的球罐组焊单位应持有特种设备制造许可证（压力容器，球形储罐现场组焊）。

3.5.2 职责

3.5.2.1 用户或设计委托方的职责

球罐的用户或设计委托方应当以正式书面形式向设计单位提出球罐设计条件（UDS—User's Design Specification），其中至少包含以下内容：

- a) 球罐设计所依据的主要标准和规范；
- b) 操作参数（包括工作压力、工作温度范围、装量系数、接管载荷等）；
- c) 球罐使用地及其自然条件（包括环境温度、抗震设防烈度、设计基本地震加速度、设计地震分组、风载荷、雪载荷、场地类别、地面粗糙类别等）；
- d) 介质组分与特性；
- e) 预期使用年限；
- f) 几何参数和管口方位；
- g) 设计需要的其他必要条件。

3.5.2.2 设计单位的职责

- a) 设计单位应对设计文件的正确性和完整性负责；
- b) 球罐的设计文件至少应包括强度计算书或应力分析报告、设计图样、制造及组焊技术条件、风险评估报告（相关法规或设计委托方要求时），必要时还应当包括安装与使用维修说明；
- c) 设计图样的技术文件中，应写明所盛装介质的名称、成份组成、适用的国家标准（行业标准）、介质毒性和爆炸危害程度、腐蚀裕量、焊接接头系数、对储存液化气体的球罐应当注明装量系数、对有应力腐蚀倾向的球罐应当注明腐蚀介质的限定含量、主要工艺参数、特殊要求等；

- d) 《固定式压力容器安全技术监察规程》管辖范围内的球罐设计总图应盖有特种设备设计许可印章（压力容器，球形储罐，分析设计时还应有压力容器分析设计资质）；
- e) 设计单位向球罐用户出具的风险评估报告应符合附录 C 的要求；
- f) 设计单位应在球罐设计使用年限内保存全部球罐设计文件。

3.5.2.3 制造、组焊单位的职责

- a) 制造、组焊单位应按照设计文件要求进行制造、组焊，如需要对原设计进行修改，应当取得原设计单位同意修改的书面文件，并且对改动部位作出详细记载；
- b) 制造、组焊单位在球罐制造、组焊前应制定完善的质量计划，其内容至少应包括球罐或元件的制造（组焊）工艺控制点、检验项目和合格指标；
- c) 制造、组焊单位的检查部门在球罐制造、组焊过程中和完工后，应按本标准、图样规定和质量计划的规定对球罐进行各项检验和试验，出具相应报告，并对报告的正确性和完整性负责；
- d) 制造、组焊单位在检验合格后，出具产品质量合格证；
- e) 制造、组焊单位对其制造、组焊的每台球罐产品应在球罐设计使用年限内至少保存下列技术文件备查：
 - (1) 质量计划；
 - (2) 制造、组焊工艺图或制造、组焊工艺卡；
 - (3) 产品质量证明文件；
 - (4) 球罐的焊接工艺和热处理工艺文件；
 - (5) 标准中允许制造、组焊单位选择的检验、试验项目记录；
 - (6) 球罐制造、组焊过程中及完工后的检查、检验、试验记录；
 - (7) 球罐的原设计图和竣工图。
- f) 制造单位对每台球罐应提供下列制造质量证明文件：

球罐出厂时，制造单位应当向使用单位至少提供以下技术文件和资料：

- (1) 竣工图样，《固定式压力容器安全技术监察规程》管辖范围内的球罐，竣工图样的总图上应当有特种设备设计许可印章（压力容器，球形储罐，分析设计时还应有压力容器分析设计资质）（复印章无效），并且加盖竣工图章。若制造中发生了材料代用、无损检测方法改变、加工尺寸变更等，制造单位应当按照设计单位书面批准文件的要求在竣工图样上清晰标注，标注处应当有制造单位修改人和审核人的签字及修改日期。
- (2) 压力容器产品合格证（含产品数据表）、产品质量证明文件和产品铭牌的拓印件或者复印件。产品质量证明文件至少包括：
 - 1) 球壳板及其组焊件的出厂合格证；
 - 2) 材料质量证明书；
 - 3) 球壳板与人孔、接管的组焊记录；
 - 4) 无损检测报告（至少包括：钢板、球壳板周边、焊缝的检测报告）；
 - 5) 球壳板测厚报告；
 - 6) 质量计划或检验计划；需要时，还应提供下列技术文件：
 - 7) 材料代用审批文件；

- 8) 与球壳板焊接的组焊件热处理报告;
 - 9) 球壳板材料的复验报告;
 - 10) 极板产品焊接试件焊接接头的力学和弯曲性能试验报告;
 - 11) 球壳板与支柱的组焊记录;
 - 12) 球壳排版图;
 - 13) 与风险预防和控制相关的制造文件。
- (3) 特种设备制造监督检验证书。
- (4) 设计文件 (含强度计算书或应力分析报告、按相关规定要求的风险评估报告, 以及其他必要的设计文件)。
- g) 组焊单位对每台球罐应提供下列组焊质量证明文件:
- 球罐交工时, 组焊单位应当向使用单位至少提供以下技术文件和资料:
- (1) 竣工图样, 《固定式压力容器安全技术监察规程》管辖范围内的球罐, 竣工图样总图上应当有特种设备设计许可印章 (压力容器, 球形储罐, 分析设计时还应有压力容器分析设计资质) (复印章无效), 并且加盖竣工图章。若组焊中发生了材料代用、无损检测方法改变、加工尺寸变更等, 组焊单位应当按照设计单位书面批准文件的要求在竣工图样上清晰标注, 标注处应当有组焊单位修改人和审核人的签字及修改日期。
 - (2) 压力容器产品合格证 (含产品数据表)、产品质量证明文件和产品铭牌的拓印件或者复印件。产品质量证明文件至少包括:
 - 1) 球壳板及其组焊件的质量证明文件;
 - 2) 球罐基础检验记录;
 - 3) 球罐零部件复验记录;
 - 4) 球罐施焊记录 (附焊缝布置图);
 - 5) 焊接材料质量证明书或复验报告;
 - 6) 产品焊接试件试验报告;
 - 7) 无损检测报告;
 - 8) 球罐几何尺寸检查记录;
 - 9) 球罐支柱检查记录;
 - 10) 球罐耐压试验报告;
 - 11) 基础沉降观测记录;
 - 12) 质量计划或检验计划;
 需要时, 还应提供下列技术文件:
 - 13) 球壳板与支柱的组焊记录;
 - 14) 焊接接头修补记录;
 - 15) 球罐焊后整体热处理报告;
 - 16) 球罐泄漏试验报告;
 - 17) 与风险预防和控制相关的组焊文件。
- (3) 特种设备制造监督检验证书。
- (4) 设计文件 (含强度计算书或应力分析报告、按相关规定要求的风险评估报告, 以及其他必要的设计文件)。

3.6 球罐各部分名称

球罐及支柱各部分名称如图 1、图 2 所示。

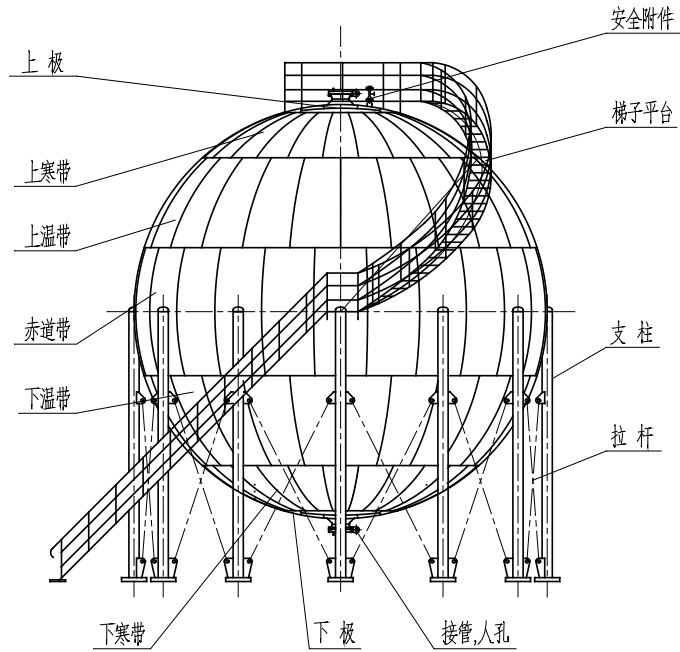


图 1

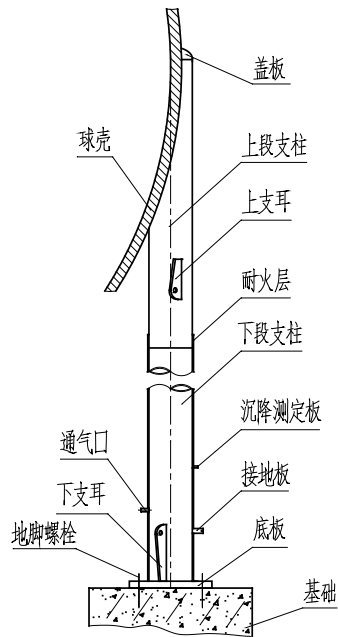


图 2

3.7 名词术语

3.7.1 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标准。

3.7.1.1

压力 **pressure**

垂直作用在球罐单位表面积上的力。在本标准中，除注明者外，压力均指表压力。

3.7.1.2

工作压力 **operating pressure**

在正常工作情况下，球罐顶部可能达到的最高压力。

3.7.1.3

设计压力 **design pressure**

设定的球罐顶部的最高压力，与相应的设计温度一起作为球罐的基本设计载荷条件，其值不低于工作压力。

球罐上装有超压泄放装置时，应按 GB 150.1 附录 B 或 JB 4732 附录 E 的规定确定设计压力。

对于盛装液化气体的球罐，如果具有可靠的保冷设施，在规定的装量系数范围内，设计压力应根据工作条件下球罐内介质可能达到的最高温度确定；否则按相关法规确定。

3.7.1.4

计算压力 **calculation pressure**

在相应设计温度下，用以确定球壳板厚度或受压元件厚度的压力，包括液柱静压力等附加载荷。

3.7.1.5

试验压力 **test pressure**

进行耐压试验或泄漏试验时，球罐顶部的压力。

3.7.1.6

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

在指定的相应温度下，球罐顶部所允许承受的最大压力。该压力是根据球罐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。

注：当球罐的设计文件没有给出最高允许工作压力时，则可以认为该球罐的设计压力即是最高允许工作压力。

3.7.1.7

设计温度 **design temperature**

球罐在正常工作情况下，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。

设计温度不得低于元件金属在工作状态下可能达到的最高温度。对于 0℃ 以下的金属温度，设计温度不得高于元件金属可能达到的最低温度。

标志在铭牌上的设计温度应是球壳设计温度的最高值或最低值。

元件的金属温度可用传热计算求得，或在已使用的同类球罐上测定，或按内部介质温度并结合外部条件确定。

3.7.1.8

试验温度 **test temperature**

进行耐压试验或泄漏试验时，球壳的金属温度。

3.7.1.9

最低设计金属温度 minimum design metal temperature

设计时，球罐在运行过程中预期的各种可能条件下各元件金属温度的最低值。

在确定最低设计金属温度时，应当充分考虑在运行过程中，大气环境低温条件对球壳金属温度的影响。大气环境低温条件系指历年来月平均最低气温（指当月各天的最低气温值之和除以当月天数）的最低值。

3.7.1.10

计算厚度 required thickness

按本标准相应公式计算得到的厚度。需要时，尚应计入其他载荷（见 3.8.2）所需厚度。

3.7.1.11

设计厚度 design thickness

计算厚度与腐蚀裕量之和。

3.7.1.12

名义厚度 nominal thickness

设计厚度加上钢材厚度负偏差后向上圆整至钢材标准规格的厚度。即标注在图样上的厚度。

3.7.1.13

有效厚度 effective thickness

名义厚度减去腐蚀裕量和钢材厚度负偏差。

3.8 设计的一般规定

3.8.1 球罐设计单位（设计人员）应严格依据用户或设计委托方所提供的球罐设计条件进行球罐设计，应考虑球罐在使用中可能出现的所有失效模式，提出防止失效的措施。

3.8.2 载荷

设计时应考虑以下载荷：

- a) 压力；
- b) 液柱静压力；
- c) 球罐自重（包括内件）以及正常工作条件下或耐压试验状态下内装介质的重力载荷；
- d) 附属设备及隔热材料、管道、支柱、拉杆、梯子、平台等的重力载荷；
- e) 风载荷，地震载荷，雪载荷；
- f) 支柱的反作用力；

需要时，还应考虑下列载荷：

- g) 连接管道和其他部件的作用力；
- h) 温度梯度或热膨胀量不同引起的作用力；
- i) 冲击载荷，包括压力急剧波动引起的冲击载荷、流体冲击引起的反力等。

3.8.3 厚度附加量

厚度附加量按式（1）确定：

$$C = C_1 + C_2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- C——厚度附加量，mm；
- C₁——钢材厚度负偏差，按 3.8.3.1，mm；

C_2 ——腐蚀裕量，按 3.8.3.2，mm；

3.8.3.1 钢材厚度负偏差

钢板或钢管的厚度负偏差按钢材标准的规定。当钢材的厚度负偏差不大于 0.3mm，且不超过名义厚度的 6%时，负偏差可忽略不计。

3.8.3.2 腐蚀裕量

为防止球罐元件由于腐蚀、机械磨损而导致厚度削弱减薄，应考虑腐蚀裕量，具体规定如下：

- 对有均匀腐蚀或磨损的元件，应根据预期的球罐设计使用年限和介质对钢材的腐蚀速率（及磨蚀速率）确定腐蚀裕量；
- 球罐各元件受到的腐蚀程度不同时，可采用不同的腐蚀裕量；
- 碳素钢或低合金钢制球罐，腐蚀裕量不小于 1mm。

3.9 许用应力

3.9.1 本标准所用材料的许用应力按第 4 章选取。确定许用应力的依据为：钢材（除螺栓材料外）按表 1，螺栓材料按表 2。

表 1 钢材许用应力

材 料	许用应力取下列各值中的最小值 MPa		
碳素钢、低合金钢	$R_m/2.7$	$R_{eL}/1.5$	$R_{eL}^t/1.5$
奥氏体型不锈钢 ^{1) 2)}	$R_m/2.7$	$R_{eL}(R_{p0.2})/1.5$	$R_{eL}^t(R_{p0.2}^t)/1.5$

注 1：对奥氏体型不锈钢制受压元件，当设计温度低于蠕变范围，且允许有微量的永久变形时，可适当提高许用应力至 $0.9R_{p0.2}^t$ ，但不超过 $R_{p0.2}/1.5$ 。此规定不适用于法兰或其他有微量永久变形就产生泄漏或故障的场合。
注 2：如果引用标准规定了 $R_{p1.0}$ 或 $R_{p1.0}^t$ ，则可以选用该值计算其许用应力。

表中： R_m ——材料标准抗拉强度下限值，MPa；

$R_{eL}(R_{p0.2}, R_{p1.0})$ ——材料标准室温屈服强度（或 0.2%、1.0% 非比例延伸强度），MPa；

$R_{eL}^t(R_{p0.2}^t, R_{p1.0}^t)$ ——材料在设计温度下的屈服强度（或 0.2%、1.0% 非比例延伸强度），MPa。

表 2 螺栓许用应力

材 料	螺栓直径，mm	热处理状态	许用应力，MPa
碳素钢	$\leq M22$	热轧、正火	$R_{eL}^t/2.7$
	M24~M48		$R_{eL}^t/2.5$
低合金钢	$\leq M22$	调质	$R_{eL}^t/3.5$
	M24~M48		$R_{eL}^t/3.0$
	$\geq M52$		$R_{eL}^t/2.7$
奥氏体型钢	$\leq M22$	固溶	$R_{eL}^t(R_{p0.2}^t)/1.6$
	M24~M48		$R_{eL}^t(R_{p0.2}^t)/1.5$

3.9.2 设计温度低于 20℃时，取 20℃时的许用应力。

3.10 焊接接头系数

双面焊全焊透对接接头的焊接接头系数 ϕ 按下列规定选取：

- 全部无损检测 $\phi = 1.0$
局部无损检测 $\phi = 0.85$

3.11 耐压试验

3.11.1 通用要求

球罐制成后应经耐压试验。耐压试验的种类、要求和试验压力值应在图样上注明。

耐压试验可采用液压试验、气压试验或气液组合压力试验，一般采用液压试验，试验液体按 8.10.4.6.1 和 8.10.4.6.2 的要求，作气压试验的球罐必须满足 8.10.4.7 的要求，采用气液组合压力试验时，液体和气体应分别满足 8.10.4.6.1、8.10.4.6.2 和 8.10.4.7.1 的要求，试验压力按 3.11.2 的规定。

3.11.2 耐压试验压力

耐压试验压力的最低值按下述规定，工作条件下内装介质的液柱静压力大于液压试验时的液柱静压力时，应适当考虑相应增加试验压力。

液压试验

$$P_T = 1.25p \frac{[\sigma]}{[\sigma]^t} \dots\dots\dots (2)$$

气压试验和气液组合压力试验

$$P_T = 1.1p \frac{[\sigma]}{[\sigma]^t} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- p_T —— 试验压力，MPa；
- p —— 设计压力，MPa；
- $[\sigma]$ —— 球壳材料在试验温度下的许用应力，MPa；
- $[\sigma]^t$ —— 球壳材料在设计温度下的许用应力，MPa。

注：球罐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 。

3.11.3 耐压试验应力校核

如果采用大于 3.11.2 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，例如对球壳元件应校核最大总体薄膜应力 σ_T 。 σ_T 按式 (4) 计算：

$$\sigma_T = \frac{(p_T + p_{Ti})(D_i + \delta_e)}{4\delta_e} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- σ_T —— 试验压力下球壳的最大总体薄膜应力，MPa；
- p_T —— 试验压力，MPa；
- p_{Ti} —— 液柱静压力，MPa； D_i —— 球壳内直径，mm；
- δ_e —— 球壳的有效厚度，mm。

σ_T 满足下列条件：

液压试验时， $\sigma_T \leq 0.9 R_{cL} (R_{p0.2}) \phi$

气压试验和气液组合压力试验时， $\sigma_T \leq 0.8 R_{cL} (R_{p0.2}) \phi$

式中：

- $R_{cL} (R_{p0.2})$ —— 球壳材料在试验温度下的屈服强度（或 0.2% 非比例延伸强度），MPa；
- ϕ —— 球壳的焊接接头系数。

3.12 泄漏试验

3.12.1 泄漏试验包括气密性试验以及氨检漏试验、卤素检漏试验和氦检漏试验等。

3.12.2 介质毒性程度为极度或高度危害、易爆的压缩气体或易爆的液化气体、不允许有微量泄漏的球罐，应在耐压试验合格后进行泄漏试验。

注：毒性程度分级和易爆介质的划分按《固定式压力容器安全技术监察规程》的规定（下同）。

3.12.3 设计单位应当提出球罐泄漏试验的方法和技术要求。

3.12.4 需进行泄漏试验时，试验压力、试验介质和相应的检验要求应在图样上和设计文件中注明。

3.12.5 气密性试验压力等于设计压力。

3.13 按分析设计的球罐应符合附录 D 的规定。

4 材料

4.1 基本要求

4.1.1 球罐受压元件所采用的钢板、钢管、锻件和螺柱（含螺母）用钢材应符合本章规定。与受压元件相焊接的非受压元件用钢应是焊接性良好的钢材。

4.1.2 采用本章未列入钢号的钢材时，除奥氏体型钢材外均应符合 GB 150.2 附录 A 的有关规定。允许采用已列入国家标准中的奥氏体型钢材，其技术要求（如磷、硫含量、强度指标）不应低于本章所列入相应钢材标准中化学成分相近钢号的规定。

4.1.3 球罐受压元件用钢应当是氧气转炉或者电炉冶炼的镇静钢。对标准抗拉强度下限值大于或者等于 540MPa 的低合金钢钢板，还应当采用炉外精炼工艺。

4.1.4 球罐受压元件用钢应附有钢材制造单位的钢材质量证明书原件，球罐制造单位应按质量证明书对钢材进行验收。如无钢材制造单位的钢材质量证明书原件时，则应按 TSG R0004 中 2.1 的规定。对符合 TSG R0004 中 2.11 所规定的情况，球罐制造单位应对钢材进行复验。

4.1.5 选择球罐受压元件用钢时应考虑球罐的使用条件（如设计温度、设计压力、物料特性等）、材料的性能（力学性能、工艺性能、化学性能和物理性能）、球罐的制造工艺和组焊要求以及经济合理性。

4.1.6 设计对钢材有特殊要求（如特殊冶炼方法、严格的化学成分规定、较高的冲击功指标、提高无损检测合格等级、增加力学性能检验率，规定腐蚀试验要求等）时，应在设计文件中规定。

4.1.7 对已列入本章的标准抗拉强度下限值大于或等于 540MPa 的钢板和用于球罐设计温度低于 -40℃ 的低合金钢钢板，如钢板制造单位无该钢板在压力容器中使用业绩，则钢板制造单位仍应按 TSG R0004 的规定通过技术评审。

4.1.8 碳素钢和低合金钢钢材的使用温度下限按本章相应条款的规定。钢材及其焊接接头的冲击试验温度不得低于相应钢材的使用温度下限。

4.1.9 碳素钢和低合金钢钢材的冲击试验要求

4.1.9.1 碳素钢和低合金钢钢材（钢板、钢管、钢锻件及其焊接接头）的冲击功最低值按表 3 的规定。

表 3 碳素钢和低合金钢钢材的冲击功最低值

钢材标准抗拉强度下限值 R_m/MPa	3 个标准试样冲击功平均值 KV_2/J
≤ 450	≥ 20
$> 450 \sim 510$	≥ 24

>510~570	≥31
>570~630	≥34
>630~690	≥38
注：对 R_m 随厚度增大而降低的钢材，按该钢材最小厚度范围的 R_m 确定冲击功指标。	

4.1.9.2 夏比 V 型缺口冲击试样的取样部位和试样方向应符合相应钢材标准的规定。冲击试验每组取 3 个标准试样，允许 1 个试样的冲击功数值低于表 3 的规定值，但不得低于表 3 规定值的 70%。当钢材尺寸无法制备标准试样时，则应依次制备宽度为 7.5mm 或 5mm 的小尺寸冲击试样，其冲击功指标分别为标准试样冲击功指标的 75% 或 50%。

4.1.9.3 钢板的冲击试验要求分别按 GB 713、GB 3531 和 GB 19189 的规定。如需提高冲击功指标，应在设计文件中注明。对 Q245R、Q345R 钢板，如需规定进行 -20℃ 冲击试验时，应在设计文件中注明。

4.1.9.4 钢管的冲击试验要求按第 4.3 相关条文的规定。

4.1.9.5 钢锻件的冲击试验要求分别按 NB/T 47008 和 NB/T 47009 的规定。如需提高冲击功指标，应在设计文件中注明。对 20、16Mn 和 20MnMo 钢锻件，如需规定进行 -20℃ 冲击试验时，应在设计文件中注明。

4.1.9.6 低合金钢螺柱的冲击试验要求按 4.5.3 和 4.5.4 的规定。

4.1.10 奥氏体型钢材的使用温度高于或等于 -196℃ 时，可免做冲击试验。

4.1.11 球罐的设计温度低于 -20℃ 时，受压元件用钢材还应符合附录 E 的规定。

4.1.12 当球罐的设计温度高于 200℃ 时，其受压元件用钢材的许用应力按 GB 150.2 的规定。

4.1.13 各钢材许用应力表和设计应力强度表中中间温度的许用应力和设计应力强度可用内插法求得。

4.2 钢板

4.2.1 钢板的标准、使用状态及许用应力按表 4 的规定。

4.2.2 球壳用钢板厚度不宜大于 50mm。

4.2.3 凡符合下列条件的碳素钢和低合金钢钢板，应在正火状态下使用：

- a) 用于球壳的厚度大于 36mm 的 Q245R 和 Q345R；
- b) 用于其他受压元件（法兰、平盖等）的厚度大于 50mm 的 Q245R 和 Q345R。

4.2.4 符合下列条件的球壳用碳素钢和低合金钢钢板，每张热处理钢板（热处理后钢板被切割成数张时仍按 1 张考虑）应进行拉伸和夏比 V 型缺口冲击试验：

- a) 调质热处理钢板；
- b) 厚度大于 60mm 的钢板。

4.2.5 根据设计要求，对厚度大于 36mm 的调质状态使用的钢板和厚度大于 50mm 的正火或正火加回火状态使用的钢板，可增加一组在钢板厚度 1/2 处取样的冲击试验，其冲击功指标在设计文件中规定。

4.2.6 根据设计要求，对厚度大于 36mm 的标准抗拉强度下限值大于或等于 540MPa 的低合金钢钢板和用于球罐设计温度低于 -40℃ 的低合金钢钢板，可附加进行落锤试验。试验按 GB/T 6803 进行，采用 P-2 型试样，无塑性转变（NDT）温度的合格指标应在设计文件中规定。

4.2.7 球罐受压元件用钢板，其使用温度下限分别按表 5 的规定。

4.2.8 球壳用碳素钢及低合金钢钢板应由钢板制造单位或球罐制造单位按表 6 的规定逐张进行超

声检测，钢板超声检测方法和质量等级按 JB/T 4730.3 的规定。

4.2.9 奥氏体型钢板应按 GB 24511 的规定，以固溶热处理状态交货；球壳用钢板的表面加工类型和热轧钢板的厚度允许偏差精度应按下列规定：

- a) 设计文件中应明确规定钢板的表面加工类型，热轧产品一般采用 1E 级，冷轧产品一般采用 2D 级；
- b) 热轧厚钢板、热轧钢板及钢带的厚度允许偏差分为普通精度和较高精度两个等级，球罐一般采用普通精度级。

表 4 钢板许用应力

钢号	钢板标准	使用状态	厚度 mm	室温 强度指标		在下列温度 (°C) 下的许用应力, MPa				备注
				R_m MPa	R_{eL} MPa	≤20	100	150	200	
Q245R	GB 713	热轧, 控轧, 正火	6~16	400	245	148	147	140	131	
			>16~36	400	235	148	140	133	124	
			>36~60	400	225	148	133	127	119	
Q345R	GB 713	热轧, 控轧, 正火	6~16	510	345	189	189	189	183	
			>16~36	500	325	185	185	183	170	
			>36~60	490	315	181	181	173	160	
Q370R	GB 713	正火	10~16	530	370	196	196	196	196	
			>16~36	530	360	196	196	196	193	
			>36~60	520	340	193	193	193	180	
16MnDR	GB 3531	正火, 正火加 回火	6~16	490	315	181	181	180	167	
			>16~36	470	295	174	174	167	157	
			>36~50	460	285	170	170	160	150	
15MnNiDR	GB 3531	正火, 正火加 回火	6~16	490	325	181	181	181	173	
			>16~36	480	315	178	178	178	167	
			>36~50	470	305	174	174	173	160	
15MnNiNbDR	GB 3531	正火, 正火加 回火	10~16	530	370	196	196	196	196	
			>16~36	530	360	196	196	196	193	
			>36~50	520	350	193	193	193	187	
09MnNiDR	GB 3531	正火, 正火加 回火	6~16	440	300	163	163	163	160	
			>16~36	430	280	159	159	157	150	
			>36~50	430	270	159	159	150	143	
07MnMoVR	GB 19189	调质	10~50	610	490	226	226	226	226	
07MnNiVDR	GB 19189	调质	10~50	610	490	226	226	226	226	
07MnNiMoDR	GB 19189	调质	10~50	610	490	226	226	226	226	

表 4 (续)

钢号	钢板标准	使用状态	厚度 mm	在下列温度 (°C) 下的许用应力, MPa				备注
				≤20	100	150	200	
S30408	GB 24511	固溶	6~50	137	137	137	130	1
				137	114	103	96	
S30403	GB 24511	固溶	6~50	120	120	118	110	1
				120	98	87	81	
S31608	GB 24511	固溶	6~50	137	137	137	134	1
				137	117	107	99	
S31603	GB 24511	固溶	6~50	120	120	117	108	1
				120	98	87	80	

备注 1: 该行许用应力仅适用于允许产生微量永久变形之元件, 对于法兰或其他有微量永久变形就产生泄漏或故障的场合不能采用。

4.3 钢管

4.3.1 钢管的标准、使用状态及许用应力按表 7 的规定。表中 GB 13296 和 GB/T 14976 钢号中的统一数字代号系按 GB/T 20878 的规定。对壁厚大于 30mm 的钢管和使用温度低于 -20°C 的钢管, 表 7 中的正火不允许用终轧温度符合正火温度的热轧来代替。

4.3.2 表 7 中用于球罐设计温度低于 -40°C 的钢管用钢, 均应经炉外精炼。

4.3.3 GB/T 8163 中 10、20 钢和 Q345D 钢管的使用范围如下:

- a) 设计压力不大于 4.0MPa;
- b) 钢管壁厚不大于 10mm;
- c) 不得用于毒性程度为极度或高度危害的介质。

4.3.4 碳素钢及低合金钢钢管的使用规定如下:

- a) 碳素钢及低合金钢钢管的冲击试验, 每组取 3 个标准试样, 允许 1 个试样的冲击功数值低于规定的标准试样冲击功指标, 但不得低于标准试样冲击功指标的 70%。因尺寸限制无法制备标准试样的钢管, 则应依次制备宽度为 7.5mm 或 5mm 的小尺寸试样, 其冲击功指标分别为标准试样冲击功指标的 75% 或 50%;
- b) GB/T 8163 中 10、20 和 Q345D 钢管的使用温度下限相应为 -10°C、0°C 和 -20°C;
- c) GB 9948 中外径不小于 70mm, 且壁厚不小于 6.5mm 的 10 和 20 钢管, 应分别进行 -20°C 和 0°C 的冲击试验, 3 个纵向标准试样的冲击功平均值应不小于 31J。10 和 20 钢管的使用温度下限分别为 -20°C 和 0°C;
- d) GB 6479 中 20 和 16Mn 钢的化学成分应符合 $S \leq 0.020\%$ 的规定, 外径不小于 70mm, 且壁厚不小于 6.5mm 的 20 和 16Mn 钢管, 应分别进行 0°C 和 -20°C 的冲击试验, 3 个纵向标准试样的冲击功平均值应分别不小于 31J 和 34J。20 和 16Mn 钢管的使用温度下限分别为 0°C 和 -20°C;
- e) 使用温度低于 -20°C 的钢管, 其钢号、使用状态和冲击试验温度 (即钢管的使用温度下限) 按表 8 的规定。表中 16Mn 钢的化学成分应符合 $P \leq 0.025\%$ 、 $S \leq 0.012\%$ 的规定, 外径不小于 70mm, 且壁厚不小于 6.5mm 的钢管进行 -40°C 的冲击试验, 3 个纵向标准试样的冲击功平均值应不小于 34J。09MnD 和 09MnNiD 钢管的技术要求应符合 GB 150.2 附录 A 的相关规定。

表 5 碳素钢和低合金钢钢板的使用温度下限

钢号	钢板厚度 mm	使用状态	冲击试验要求	使用温度下限 ℃
中常温用钢板				
Q245R	6~12	热轧, 控轧, 正火	0℃冲击	-20
	>12~16			-10
	>16~60			0
	>12~20	热轧, 控轧	-20℃冲击 (协议)	-20
	>12~60	正火		-20
Q345R	6~20	热轧, 控轧, 正火	0℃冲击	-20
	>20~25			-10
	>25~60			0
	>20~30	热轧, 控轧	-20℃冲击 (协议)	-20
	>20~60	正火		-20
Q370R	10~60	正火	-20℃冲击	-20
07MnMoVR	10~50	调质	-20℃冲击	-20
低温用钢板				
16MnDR	6~50	正火, 正火加回火	-40℃冲击	-40
15MnNiDR	6~50	正火, 正火加回火	-45℃冲击	-45
15MnNiNbDR	10~50	正火, 正火加回火	-50℃冲击	-50
09MnNiDR	6~50	正火, 正火加回火	-70℃冲击	-70
07MnNiVDR	10~50	调质	-40℃冲击	-40
07MnNiMoDR	10~50	调质	-50℃冲击	-50

4.3.5 奥氏体型钢管使用规定如下:

- a) GB/T 12771 中的 I 类~IV 类钢管允许使用, 但应在设计图样上注明所选用的钢管类别;
- b) GB/T 12771 中 I 类钢管的许用应力可选用 GB/T 14976 中相应钢号无缝钢管的许用应力, III 类和 IV 类钢管不得用于毒性程度为极度或高度危害的介质;
- c) GB 13296、GB/T 14976 和 GB/T 12771 各钢号钢管的使用温度下限应按 4.1.10 的规定。

4.3.6 允许选用钢棒制造接管, 其使用规定如下:

- a) 允许选用 GB/T 699 中直径不大于 50mm 的 10 钢和 20 钢钢棒制造接管, 接管壁厚不大于 8mm 且应经正火热处理后使用, 各钢号许用应力可选用表 7 中 GB 9948 相应钢号和壁厚的许用应力, 10 钢和 20 钢接管的使用温度下限相应为 -10℃ 和 0℃; 当 10 钢接管的 $P \leq 0.030\%$ 、 $S \leq 0.020\%$ 时, 其使用温度下限为 -20℃。接管免做冲击试验。硬度 (或拉伸) 试验和无损检测要求在设计文件中规定;
- b) 允许选用 GB/T 1220 中直径不大于 50mm 的 S30408、S30403、S31608 和 S31603 钢棒制造

接管，接管壁厚不大于 8mm，且应在固溶（或稳定化）处理状态下使用，各钢号钢管许用应力可选用表 7 中 GB/T 14976 相应钢号的许用应力。各钢号接管的使用温度下限按 4.1.10 的规定。接管的硬度（或拉伸）试验和无损检测要求应在设计文件中规定。

表 6 球壳用碳素钢和低合金钢钢板的超声检测要求

钢号	钢板厚度 mm	球罐使用条件	质量等级
Q245R Q345R	>30~36	—	不低于Ⅲ级
	>36	—	不低于Ⅱ级
Q370R	>25	—	不低于Ⅱ级
16MnDR	>20	—	不低于Ⅱ级
Ni 系低温钢（调质状态钢除外）			
调质状态使用的钢号	>16	—	I 级
—	≥12	介质毒性程度为极度或高度危害； 在湿 H ₂ S 环境中使用。	不低于Ⅱ级
注：与人孔、接管相焊接的球壳板与与支柱焊接的赤道板的碳素钢和低合金钢钢板应逐张进行超声检测，其质量等级应与本表规定的相应钢号等级相同。			

表 7 钢管许用应力

钢号	钢管标准	使用状态	壁厚 mm	室温 强度指标		在下列温度（℃） 下的许用应力，MPa				备注
				R _m MPa	R _{eL} MPa	≤20	100	150	200	
10	GB/T 8163	热轧	≤10	335	205	124	121	115	108	
20	GB/T 8163	热轧	≤10	410	245	152	147	140	131	
Q345D	GB/T 8163	正火	≤10	470	345	174	174	174	174	
10	GB 9948	正火	≤16	335	205	124	121	115	108	
			>16~30	335	195	124	117	111	105	
20	GB 9948	正火	≤16	410	245	152	147	140	131	
			>16~30	410	235	152	140	133	124	
20	GB 6479	正火	≤16	410	245	152	147	140	131	
			>16~40	410	235	152	140	133	124	
16Mn	GB 6479	正火	≤16	490	320	181	181	180	167	
			>16~40	490	310	181	181	173	160	
09MnD	—	正火	≤8	420	270	156	156	150	143	1
09MnNiD	—	正火	≤8	440	280	163	163	157	150	1

表 7 (续)

钢号	钢管标准	壁厚 mm	在下列温度(°C) 下的许用应力, MPa				备注
			≤20	100	150	200	
0Cr18Ni9 (S30408)	GB 13296	≤14	137	137	137	130	2
			137	114	103	96	
0Cr18Ni9 (S30408)	GB/T 14976	≤28	137	137	137	130	2
			137	114	103	96	
00Cr19Ni10 (S30403)	GB 13296	≤14	117	117	117	110	2
			117	97	87	81	
00Cr19Ni10 (S30403)	GB/T 14976	≤28	117	117	117	110	2
			117	97	87	81	
0Cr17Ni12Mo2 (S31608)	GB 13296	≤14	137	137	137	134	2
			137	117	107	99	
0Cr17Ni12Mo2 (S31608)	GB/T 14976	≤28	137	137	137	134	2
			137	117	107	99	
00Cr17Ni14Mo2 (S31603)	GB 13296	≤14	117	117	117	108	2
			117	97	87	80	
00Cr17Ni14Mo2 (S31603)	GB/T 14976	≤28	117	117	117	108	2
			117	97	87	80	
S30408	GB/T 12771	≤28	116	116	116	111	2, 3
			116	97	88	82	3
S30403	GB/T 12771	≤28	99	99	99	94	2, 3
			99	82	74	69	3
S31608	GB/T 12771	≤28	116	116	116	114	2, 3
			116	99	91	84	3
S31603	GB/T 12771	≤28	99	99	99	92	2, 3
			99	82	74	68	3

备注 1: 该钢管的技术要求见 GB 150.2 附录 A。

备注 2: 该行许用应力仅适用于允许产生微量永久变形之元件, 对于法兰或其他有微量永久变形就引起泄漏或故障的场合不能采用。

备注 3: 该行许用应力已乘焊接接头系数 0.85。

表 8 碳素钢及低合金钢钢管的使用温度下限

钢号	钢管标准	使用状态	壁厚, mm	冲击试验温度, °C
16Mn	GB 6479	正火	≤40	-40
09MnD	GB 150.2 附录 A	正火	≤8	-50
09MnNiD	GB 150.2 附录 A	正火	≤8	-70

4.4 锻件

4.4.1 锻件的标准、使用状态及许用应力按表 9 的规定。

4.4.2 NB/T 47009 中所有低温用锻件及 NB/T 47010 中奥氏体型钢锻件均应由炉外精炼钢锻制而成。

4.4.3 锻件的级别由设计文件规定, 并应在图样上注明(在钢号后附上级别符号, 如 16Mn II、09MnNiD III)。下列锻件级别应选用 III 级或 IV 级:

- a) 用于人孔的锻件;
- b) 标准抗拉强度下限值等于或大于 540MPa 且公称厚度大于 200mm 的低合金钢锻件;
- c) 设计温度低于 -20°C 且公称厚度大于 200mm 的低温用低合金钢锻件。

4.4.4 碳素钢及低合金钢锻件的使用温度下限按表 10 的规定, 奥氏体型钢锻件的使用温度下限按 4.1.10 的规定。

表 9 锻件许用应力

钢号	锻件标准	使用状态	公称厚度 mm	室温强度指标		在下列温度 (°C) 下的许用应力, MPa				备注
				R_m MPa	R_{eL} MPa	≤20	100	150	200	
20	NB/T 47008	正火、正火加回火	≤100	410	235	152	140	133	124	
			>100~200	400	225	148	133	127	119	
			>200~300	380	205	137	123	117	109	
16Mn	NB/T 47008	正火、正火加回火, 调质	≤100	480	305	178	178	167	150	
			>100~200	470	295	174	174	163	147	
			>200~300	450	275	167	167	157	143	
20MnMo	NB/T 47008	调质	≤300	530	370	196	196	196	196	
16MnD	NB/T 47009	调质	≤100	480	305	178	178	167	150	
			>100~200	470	295	174	174	163	147	
			>200~300	450	275	167	167	157	143	
20MnMoD	NB/T 47009	调质	≤300	530	370	196	196	196	196	
08MnNiMoVD	NB/T 47009	调质	≤300	600	480	222	222	222	222	
10Ni3MoVD	NB/T 47009	调质	≤300	600	480	222	222	222	222	
09MnNiD	NB/T 47009	调质	≤200	440	280	163	163	157	150	
			>200~300	430	270	159	159	150	143	

表 9 (续)

钢号	锻件标准	使用状态	公称厚度 mm	在下列温度(°C)下的许用应力, MPa				备注
				≤20	100	150	200	
S30408	NB/T 47010	固溶	≤300	137	137	137	130	1
				137	114	103	96	
S30403	NB/T 47010	固溶	≤300	117	117	117	110	1
				117	98	87	81	
S31608	NB/T 47010	固溶	≤300	137	137	137	134	1
				137	117	107	99	
S31603	NB/T 47010	固溶	≤300	117	117	117	108	1
				117	98	87	80	

备注 1: 该行许用应力仅适用于允许产生微量永久变形之元件, 对于法兰或其他有微量永久变形就引起泄漏或故障的场合不能采用。

表 10 锻件的使用温度下限

钢号	公称厚度 mm	冲击试验要求	使用温度下限 °C
中常温用锻件			
20	≤300	0°C 冲击	0
		-20°C 冲击	-20
16Mn	≤300	0°C 冲击	0
		-20°C 冲击	-20
20MnMo	≤300	0°C 冲击	0
		-20°C 冲击	-20
低温用锻件			
16MnD	≤100	-45°C 冲击	-45
	>100~300	-40°C 冲击	-40
20MnMoD	≤300	-40°C 冲击	-40
08MnNiMoVD	≤300	-40°C 冲击	-40
10Ni3MoVD	≤300	-50°C 冲击	-50
09MnNiD	≤300	-70°C 冲击	-70

备注: 20、16Mn 和 20MnMo 锻件如进行-20°C 冲击试验, 应在设计文件中注明。

4.5 螺柱和螺母

4.5.1 钢棒的标准、螺柱的使用状态及许用应力按表 11 的规定。

4.5.2 碳素钢螺柱用毛坯应进行正火热处理, 低合金钢螺柱用毛坯按表 12 的规定进行调质热处理。

4.5.3 碳素钢和低合金钢螺柱用毛坯经热处理后进行力学性能试验, 具体要求如下:

- a) 同一钢号、同一冶炼炉号、同一断面尺寸、同一热处理制度、同期制造的螺柱毛坯组成一批，每批抽取一件毛坯进行试验；
- b) 试样取样方向为纵向。直径不大于 40mm 的毛坯，试样的纵轴应位于毛坯中心；直径大于 40mm 的毛坯，试样的纵轴应位于毛坯半径的 1/2 处。试样距毛坯端部的距离不应小于毛坯的半径，但拉伸试样的头部（或夹持部分）不受此限制；
- c) 碳素钢螺柱毛坯每件取一个拉伸试样。低合金钢螺柱毛坯每件取 1 个拉伸试样、3 个冲击试样。拉伸试验方法按 GB/T 228.1 的规定，拉伸试样采用 R4 号（ $d=10\text{mm}$ ， $L_0=50\text{mm}$ ）试样。冲击试验方法按 GB/T 229 的规定，冲击试样采用标准尺寸 V 型缺口试样；
- d) 碳素钢螺柱毛坯拉伸试验结果中，抗拉强度和屈服强度应符合表 11 的规定，断后伸长率指标为：20 钢 $A \geq 25\%$ ，35 钢 $A \geq 20\%$ 。低合金钢螺柱毛坯的拉伸和冲击试验结果应符合表 12 的规定，表中冲击功的规定值系 3 个试样试验结果的平均值，允许有 1 个试样的试验结果小于规定值，但不得小于规定值的 70%；
- e) 拉伸试验结果不合格时，应从同一毛坯上再取 2 个拉伸试样进行复验，测定全部 3 项性能。试验结果中只要有 1 个数据不合格，则该批毛坯判为不合格；
- f) 冲击试验结果不合格时，应从同一毛坯上再取 3 个冲击试样进行复验。前后两组 6 个试样的冲击功平均值不得小于表 12 的规定，允许有 2 个试样的冲击功小于规定值，但其中小于规定值 70% 的只允许有 1 个。否则该批毛坯判为不合格；
- g) 被判为不合格的整批毛坯可按 4.5.2 的规定重新热处理，然后按上述程序重新取样进行试验。

表 11 螺柱许用应力

钢号	钢棒标准	使用状态	螺柱规格 mm	室温强度指标		在下列温度（℃）下的许用应力，MPa			
				R_m MPa	R_{eL} MPa	≤20	100	150	200
20	GB/T 699	正火	≤M22	410	245	91	81	78	73
			M24~M27	400	235	94	84	80	74
35	GB/T 699	正火	≤M22	530	315	117	105	98	91
			M24~M27	510	295	118	106	100	92
30CrMoA	GB/T 3077	调质	≤M22	700	550	157	141	137	134
			M24~M48	660	500	167	150	145	142
35CrMoA	GB/T 3077	调质	≤M22	835	735	210	190	185	179
			M24~M48	805	685	228	206	199	196
S30408	GB/T 1220	固溶	≤M22	520	205	128	107	97	90
			M24~M48	520	205	137	114	103	96
S31608	GB/T 1220	固溶	≤M22	520	205	128	109	101	93
			M24~M48	520	205	137	117	107	99
S32168	GB/T 1220	固溶	≤M22	520	205	128	107	97	90
			M24~M48	520	205	137	114	103	96

表 12 低合金钢螺柱的力学性能

钢号	调质回火温度 ℃	规格 mm	R_m MPa	R_{eL} ($R_{p0.2}$) MPa	A %	0℃ KV_2 J
30CrMoA	≥600	≤M22	≥700	≥550	≥16	≥60
		M24~M48	≥660	≥500		
35CrMoA	≥560	≤M22	≥835	≥735	≥14	≥54
		M24~M48	≥805	≥685		

4.5.4 碳素钢和低合金钢螺柱的使用温度下限及相关技术要求应按下列规定：

- 20 钢螺柱为 -20°C ，35 钢螺柱为 0°C ，其他钢号螺柱为 -20°C ；
- 30CrMoA 和 35CrMoA 钢螺柱，当使用温度低于 -20°C 时，应进行使用温度下的低温冲击试验，此时表 12 中的冲击试验温度由 0°C 改为使用温度，低温冲击功指标按表 13 的规定；
- 使用温度低于 $-40^{\circ}\text{C} \sim -70^{\circ}\text{C}$ 的 30CrMoA 和 35CrMoA 螺柱用钢，其化学成分（熔炼分析）中磷、硫含量应为 $P \leq 0.020\%$ 、 $S \leq 0.010\%$ ；使用温度低于 $-70^{\circ}\text{C} \sim -100^{\circ}\text{C}$ 的 30CrMoA 螺柱用钢，其化学成分（熔炼分析）中磷、硫含量应为 $P \leq 0.015\%$ 、 $S \leq 0.008\%$ 。

4.5.5 各奥氏体型钢号螺柱用毛坯应进行拉伸试验，试验要求和结果应符合 GB/T 1220 的规定。

4.5.6 奥氏体型钢螺柱的使用温度下限按 4.1.10 的规定。

4.5.7 与螺柱用钢组合使用的螺母用钢可按表 14 选用，也可选用有使用经验的其他螺母用钢。调质状态使用的螺母用钢，其回火温度应高于组合使用的螺柱用钢的回火温度。

表 13 低温用低合金钢螺柱的冲击功

钢号	螺柱规格 mm	最低冲击试验温度 ℃	KV_2 J
30CrMoA	≤M48	-100	≥41
35CrMoA	≤M48	-70	≥41

表 14 螺母用钢

螺柱钢号	螺母用钢			
	钢号	钢材标准	使用状态	使用温度范围 ℃
20	10、15	GB/T 699	正火	$-20 \sim 200$
35	20、25	GB/T 699	正火	$0 \sim 200$
30CrMoA	40Mn、45	GB/T 699	正火	$-10 \sim 200$
	30CrMoA	GB/T 3077	调质	$-100 \sim 200$
35CrMoA	40Mn、45	GB/T 699	正火	$-10 \sim 200$
	30CrMoA、35CrMoA	GB/T 3077	调质	$-70 \sim 200$
S30408	S30408	GB/T 1220	固溶	$-253 \sim 200$
S31608	S31608	GB/T 1220	固溶	$-253 \sim 200$
S32168	S32168	GB/T 1220	固溶	$-253 \sim 200$

4.6 焊接材料

4.6.1 用于制造球罐受压元件的焊接材料，应符合 NB/T 47018.1 的规定，并且附有质量证明书和

清晰、牢靠的标志。

4.6.2 球罐制造和现场组焊单位应当建立并且严格执行焊接材料验收、复验、保管、烘干、发放和回收制度。

4.6.3 焊条

4.6.3.1 用于制造球罐受压元件的焊条，应符合 NB/T 47018.2 的有关规定。

4.6.3.2 用于球壳主体焊缝的焊条熔敷金属的冲击功指标应不低于相应母材标准规定的下限值。

4.6.3.3 球壳的焊缝以及直接与球壳焊接的焊缝，应选用低氢型药皮焊条，并按批号进行熔敷金属扩散氢含量复验。焊条熔敷金属扩散氢含量应符合表 15 的规定，试验方法按 GB/T 3965 的规定进行。

表 15 低氢型药皮焊条熔敷金属扩散氢含量的技术要求

焊条型号	熔敷金属扩散氢含量， ml/100g	
	甘油法	水银法或 气相色谱法
E43×× E50××	≤4.0	—
E50××—×	≤4.0	—
E55××—×	≤3.0	—
E60××—×	≤2.5	≤5.0

4.6.4 焊丝和焊剂

4.6.4.1 气体保护电弧焊钢焊丝、埋弧焊钢焊丝和焊剂应与所施的钢种匹配，气体保护电弧焊钢焊丝和填充丝应符合 NB/T47018.3，埋弧焊钢焊丝和焊剂应符合 NB/T47018.4。

4.6.4.2 用于球壳受压焊缝的气体保护电弧焊钢焊丝和填充丝、埋弧焊焊材熔敷金属的冲击功指标应不低于相应母材标准规定的下限值。

4.6.4.3 保护用二氧化碳和氩气应分别符合 GB/T 6052 和 GB/T 4842 的有关规定。气瓶使用前，应按规定洁净后使用。

5 结构

5.1 球罐的结构参照 GB/T 17261 确定。

5.2 球壳

5.2.1 球壳由各带及上、下极组成，其结构如图 3 所示。

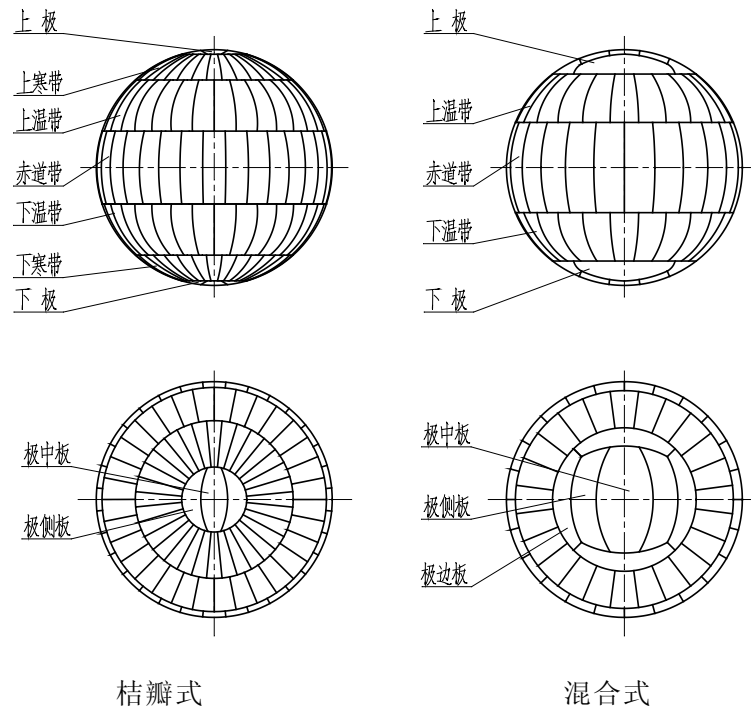


图 3

5.2.2 球壳板最小宽度应不小于 500mm。

5.2.3 坡口

球壳板坡口形式可按 GB/T 985.1、GB/T 985.2 选用，或参照附录 F 确定。

5.3 支柱与球壳的连接

5.3.1 本标准采用的支柱与球壳的连接为赤道正切或相割型式。

5.3.2 支柱与球壳连接处可采用直接连接结构型式[见图 4 (a)]、加 U 形托板结构型式[(见图 4 (b))]、长圆形结构型式[见图 4 (c)]。

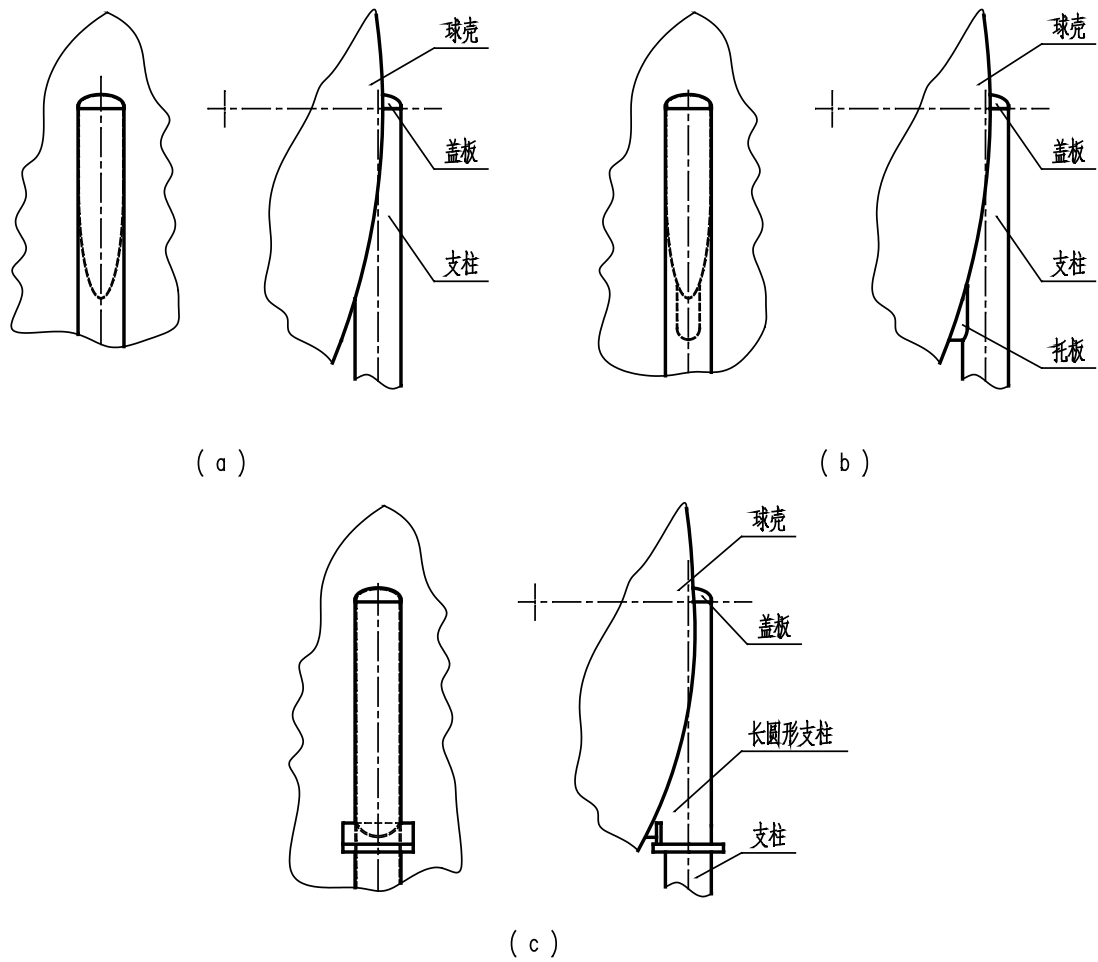


图 4

5.4 支柱

5.4.1 支柱应采用钢管或钢板卷制。

5.4.2 下段支柱应整根交货。支柱拼接接头应全焊透。可采用沿焊缝根部全长有紧贴基本金属垫板的对接接头。

5.4.3 支柱顶部应设有球形或椭圆形的防雨盖板。

5.4.4 支柱应设置通气口，对储存易爆介质及液化石油气的球罐，还应设置耐火层，如图 5 所示。

5.4.5 支柱底板中心应设置通孔，如图 5 所示。

5.4.6 支柱底板的地脚螺栓孔应为径向长圆孔。

5.4.7 需进行焊后热处理的球罐，应在基础表面预埋基础垫板，基础垫板厚度应不小于 10mm。

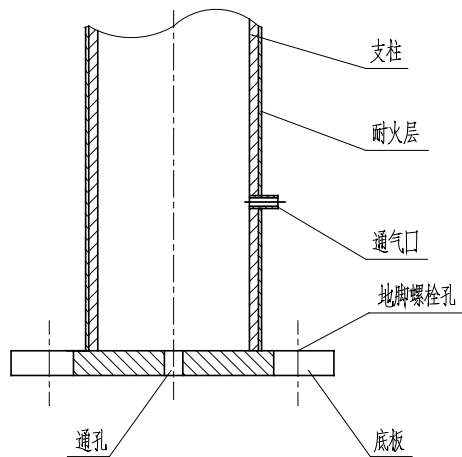


图 5

5.5 拉杆

5.5.1 拉杆结构有可调式和固定式两种。

可调式拉杆的立体交叉处不得相焊，见图 6 (a)。固定式拉杆的交叉处采用十字相焊或与固定板相焊，见图 6 (b)。

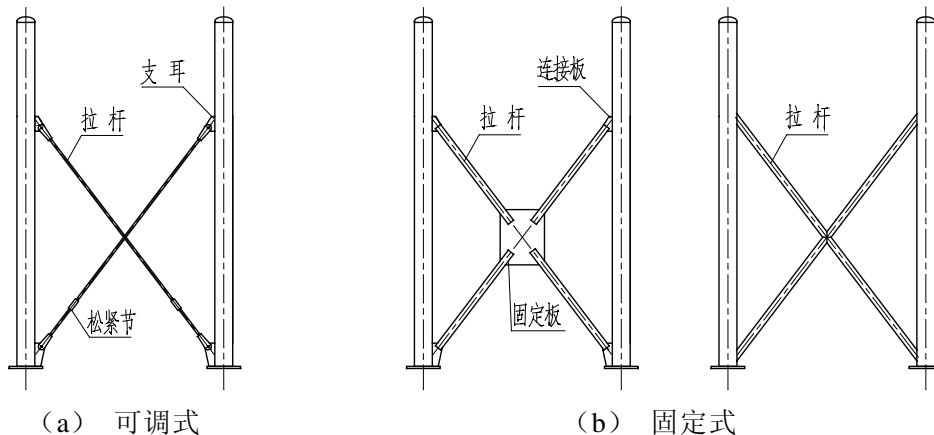


图 6

本标准仅提供可调式拉杆的计算方法。

5.5.2 拉杆与支柱的上下连接点应分别在同一标高上。

5.6 开孔及开孔补强

5.6.1 开孔及开孔补强应按 GB 150.3 第 6 章（分析设计时按 JB 4732）的规定。

5.6.2 球壳与接管的焊缝应采用全焊透接头。

5.6.3 人孔

球壳上、下极中板应各设置一个公称直径不小于 500mm 的人孔。

5.6.4 球罐人孔、接管法兰应采用带颈对焊法兰。

5.6.5 盛装毒性程度为极度或高度危害介质的球罐，进出口应在上极开孔。

5.7 相邻对接焊缝的最小间距

球壳上任何相邻对接焊缝中心线间外圆弧长应大于 $3\delta_s$ (δ_s 为球壳板钢材厚度)，且不小于 100mm。

5.8 低温球罐的结构要求

球罐的设计温度低于-20℃时，其结构还应满足附录 E 的要求。

5.9 对支撑结构及支柱与球壳连接型式超出本标准规定的球罐，应符合 TSG R0004—2009 第 1.9 条的规定。对具有压力容器分析设计资质的单位不受本条限制。

6 计算

6.1 符号

- A ——单个支柱的横截面积， mm^2 ；
- d_i ——支柱内直径， mm ；
- d_o ——支柱外直径， mm ；
- D_{cp} ——球壳平均直径， mm ；
- D_i ——球壳内直径， mm ；
- D_o ——球壳外直径（当有保温层时，为保温层外直径）， mm ；
- E ——球壳材料的室温弹性模量， MPa ；
- E_s ——支柱材料的室温弹性模量， MPa ；
- F_c ——拉杆作用在支柱上的水平力（见 6.8.1）， N ；
- F_e ——球罐的水平地震力（见 6.4.2）， N ；
- F_s ——支柱底板与基础的摩擦力（见 6.8.2）， N ；
- F_{\max} ——最大水平力（见 6.6）， N ；
- F_T ——拉杆的最大拉力（见 6.10.1）， N ；
- F_w ——球罐的水平风力（见 6.5）， N ；
- g ——重力加速度，取 $g=9.81\text{m/s}^2$ ；
- G_o ——操作状态下的重力载荷（见 6.7.2.1）， N ；
- G_T ——液压试验状态下的重力载荷（见 6.7.2.1）， N ；
- H_o ——支柱底板底面至球壳赤道平面的距离（见图 7）， mm ；
- I ——支柱横截面的惯性矩（见 6.4.1）， mm^4 ；
- l ——支柱底板底面至上支耳销子中心的距离（见图 7）， mm ；
- L_w ——支柱与球壳连接焊缝单边的弧长（见图 15）， mm ；
- m_{\min} ——球罐最小质量（见 6.3）， kg ；
- m_o ——操作状态下的球罐质量（见 6.3）， kg ；
- m_T ——液压试验状态下的球罐质量（见 6.3）， kg ；
- M_{\max} ——水平地震力和水平风力引起的最大弯矩（见 6.6）， $\text{N}\cdot\text{mm}$ ；
- M_o ——操作状态下支柱的总弯矩（见 6.7.3.3）， $\text{N}\cdot\text{mm}$ ；
- M_{o1} ——操作状态下支柱的偏心弯矩（见 6.7.3.1）， $\text{N}\cdot\text{mm}$ ；
- M_{o2} ——操作状态下支柱的附加弯矩（见 6.7.3.2）， $\text{N}\cdot\text{mm}$ ；
- M_T ——液压试验状态下支柱的总弯矩（见 6.7.3.3）， $\text{N}\cdot\text{mm}$ ；
- M_{T1} ——液压试验状态下支柱的偏心弯矩（见 6.7.3.1）， $\text{N}\cdot\text{mm}$ ；
- M_{T2} ——液压试验状态下支柱的附加弯矩（见 6.7.3.2）， $\text{N}\cdot\text{mm}$ ；
- n ——支柱数目；
- p ——设计压力（见 3.7.1.3）， MPa ；
- p_{ci} ——计算压力（见 3.7.1.4）， MPa ；

- p_T ——试验压力（见 3.11.2），MPa；
 R ——支柱中心圆半径，取 $R \leq R_i$ ，mm；
 R_i ——球壳内半径，mm；
 T ——基本自振周期，s；
 W_0 ——操作状态下支柱的最大垂直载荷（见 6.7.2.4），N；
 W_T ——液压试验状态下支柱的最大垂直载荷（见 6.7.2.4），N；
 W_{\max} ——最大垂直载荷，取 W_0 和 W_T 的较大值，N；
 β ——拉杆和支柱间的夹角（见图 7），（°）；
 δ ——球壳计算厚度，mm；
 δ_e ——球壳有效厚度，mm；
 δ_{ea} ——球壳 a 点处的有效厚度，mm；
 δ_n ——球壳名义厚度，mm；
 μ ——球壳材料的泊松比，取 $\mu = 0.3$ ；
 ρ_2 ——介质密度， kg/m^3 ；
 ρ_3 ——液压试验时液体的密度， kg/m^3 ；
 σ_{ol} ——操作状态下 a 点的纬向应力（见 6.11.2），MPa；
 σ_{oa} ——操作状态下 a 点的组合应力（见 6.11.3.1），MPa；
 R_{eL} ——钢材室温下的屈服强度（或 0.2% 非比例延伸强度），MPa；
 σ_{T1} ——液压试验状态下 a 点的纬向应力（见 6.11.2），MPa；
 σ_{Ta} ——液压试验状态下 a 点的组合应力（见 6.11.3.1），MPa；
 $[\sigma]^t$ ——设计温度下球壳材料的许用应力（见第 4 章），MPa；
 τ_o ——操作状态下 a 点的剪切应力（见 6.11.1），MPa；
 τ_T ——液压试验状态下 a 点的剪切应力（见 6.11.1），MPa；
 ϕ ——焊接接头系数（见 3.10）；
 ϕ_a ——角焊缝系数，取 $\phi_a = 0.6$ 。

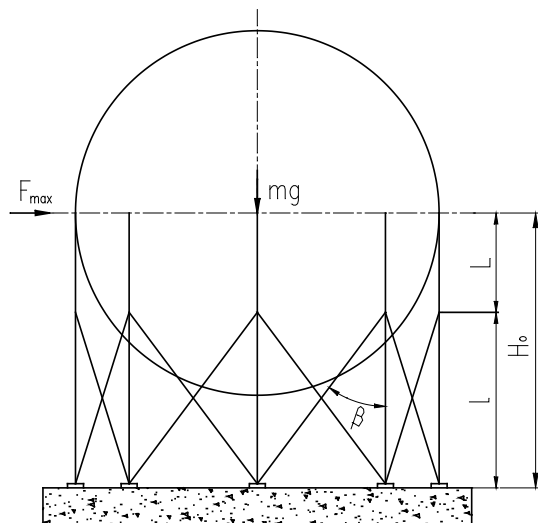


图 7

6.2 球壳计算

6.2.1 设计温度下球壳的计算厚度按式(5)计算:

$$\delta = \frac{p_{ci} D_i}{4[\sigma]^t \phi - p_{ci}} \dots\dots\dots (5)$$

6.2.2 设计温度下球壳的计算应力按式(6)校核:

$$\sigma^t = \frac{p_{ci} (D_i + \delta_e)}{4\delta_e} \leq [\sigma]^t \phi \dots\dots\dots (6)$$

式中: σ^t ——设计温度下球壳的计算应力, MPa。

6.2.3 设计温度下球壳的最大允许工作压力按式(7)计算:

$$p_w = \frac{4\delta_e [\sigma]^t \phi}{D_i + \delta_e} \dots\dots\dots (7)$$

式中: p_w ——设计温度下球壳的最大允许工作压力, MPa。

6.3 球罐质量计算

a) 操作状态下的球罐质量按式(8)计算:

$$m_o = m_1 + m_2 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7 \dots\dots\dots (8)$$

b) 液压试验状态下的球罐质量按式(9)计算:

$$m_T = m_1 + m_3 + m_6 + m_7 \dots\dots\dots (9)$$

c) 球罐最小质量按式(10)计算:

$$m_{min} = m_1 + m_6 + m_7 \dots\dots\dots (10)$$

式中:

m_1 ——球壳质量, kg; 按式(11)计算:

$$m_1 = \pi D_{cp}^2 \delta_n \rho_1 \times 10^{-9} \dots\dots\dots (11)$$

ρ_1 ——球壳材料密度, kg/m³;

m_2 ——介质质量, kg; 按式(12)计算:

$$m_2 = \frac{\pi}{6} D_i^3 \rho_2 k \times 10^{-9} \dots\dots\dots (12)$$

k ——装量系数;

m_3 ——液压试验时液体的质量, kg; 按式(13)计算:

$$m_3 = \frac{\pi}{6} D_i^3 \rho_3 \times 10^{-9} \dots\dots\dots (13)$$

m_4 ——积雪质量, kg; 按式(14)计算:

$$m_4 = \frac{\pi}{4g} D_o^2 q C_s \times 10^{-6} \dots\dots\dots (14)$$

q ——基本雪压值, N/m²;

C_s ——球面的积雪系数, 取 $C_s=0.4$;

m_5 ——保温层质量, kg;

m_6 ——支柱和拉杆的质量, kg;

m_7 ——附件质量, 包括人孔、接管、液位计、内件、喷淋装置、安全阀、梯子平台等, kg。

6.4 地震载荷计算

6.4.1 自振周期

球罐可视为一个单质点体系，其基本自振周期按式（15）计算：

$$T = \pi \sqrt{\frac{m_0 H_0^3 \xi \times 10^{-3}}{3nE_s I}} \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中： ξ ——拉杆影响系数，按式（16）计算：

$$\xi = 1 - \left(\frac{1}{H_0}\right)^2 \left(3 - \frac{2l}{H_0}\right) \quad \dots\dots\dots (16)$$

ξ 也可由表 16 查取。

表 16 拉杆影响系数 ξ

l/H_0	0.90	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.50
ξ	0.028	0.104	0.156	0.216	0.282	0.352	0.50
注：中间值用内插法计算。							

I ——支柱横截面的惯性矩， mm^4 ，按式（17）计算：

$$I = \frac{\pi}{64} (d_o^4 - d_i^4) \quad \dots\dots\dots (17)$$

6.4.2 地震载荷

抗震设防烈度和设计基本地震加速度的对应关系应符合表 17 的规定。

表 17 抗震设防烈度和设计基本地震加速度的对应关系

抗震设防烈度	7	8	9
设计基本地震加速度	0.10g (0.15g)	0.20g (0.30g)	0.40g

球罐水平地震载荷按式（18）计算：

$$F_e = a m_0 g \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中： a ——对应于球罐自振周期 T 的地震影响系数，按图 8 选取。

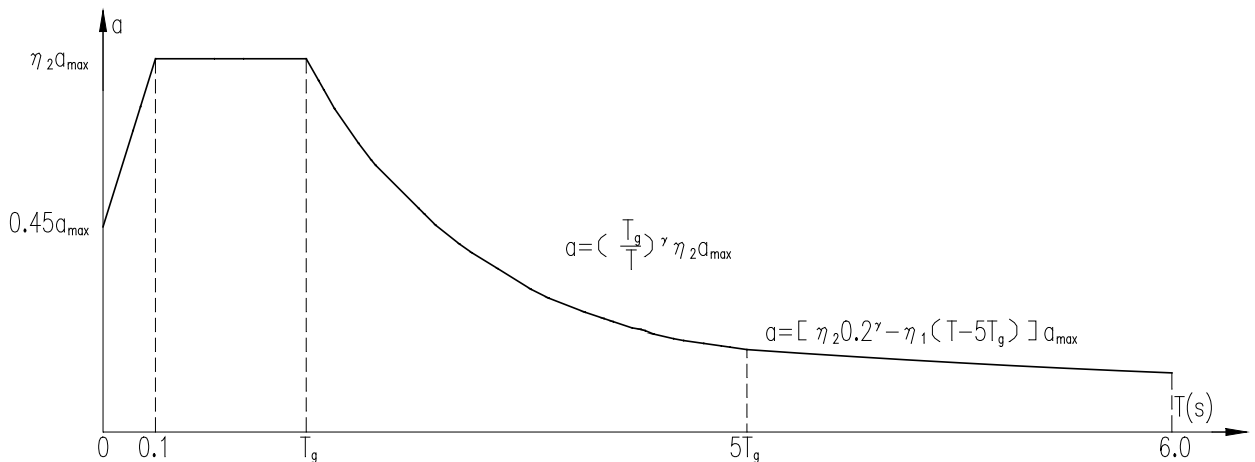


图 8

图中： a_{max} ——水平地震影响系数最大值，按表 18 选取；

表 18 水平地震影响系数最大值 a_{max}

抗震设防烈度	7	8	9
地震影响系数最大值 a_{max}	0.08 (0.12)	0.16 (0.24)	0.32
注：括号中数值分别用于设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 的地区。			

T_g ——各类场地的特征周期，按表 19 选取，场地类别的划分按附录 G 的规定；

表 19 场地的特征周期 T_g (s)

设计地震分组	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
第一组	0.20	0.25	0.35	0.45	0.65
第二组	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75
第三组	0.30	0.35	0.45	0.65	0.90

γ ——曲线下降段的衰减指数 γ ，按式 (19) 确定：

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05 - \zeta}{0.3 + 6\zeta} \dots\dots\dots (19)$$

式中：

ζ ——阻尼比，阻尼比应根据实测值确定，无实测数据时，可取 $\zeta=0.035$ 。

η_1 ——直线下降段下降斜率的调整系数，按式 (20) 计算，小于 0 时取 0：

$$\eta_1 = 0.02 + \frac{0.05 - \zeta}{4 + 32\zeta} \dots\dots\dots (20)$$

η_2 ——阻尼调整系数，按式 (21) 计算：

$$\eta_2 = 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.08 + 1.6\zeta} \dots\dots\dots (21)$$

当阻尼调整系数 η_2 小于 0.55 时，应取 0.55。

6.5 风载荷计算

球罐的水平风力按式 (22) 计算：

$$F_w = \frac{\pi}{4} D_o^2 k_1 k_2 q_0 f_1 f_2 \times 10^{-6} \dots\dots\dots (22)$$

式中：

k_1 ——风载荷体型系数，取 $k_1=0.4$ ；

k_2 ——球罐的风振系数，按式 (23) 计算：

$$k_2 = 1 + 0.35\xi_1 \dots\dots\dots (23)$$

式中： ξ_1 ——系数，根据球罐的基本自振周期按表 20 选取；

表 20 系数 ξ_1

T, s	<0.25	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	≥5.0
ξ_1	1.0	1.4	1.7	2.0	2.3	2.5	2.7	3.0	3.2
注：中间值用内插法计算。									

q_0 ——基本风压值，按 GB 50009 的规定或当地气象部门资料选取，但均不应小于 300 N/m^2 ；
 f_1 ——风压高度变化系数，按表 21 选取；
 f_2 ——球罐附件增大系数，取 $f_2=1.1$ 。

表 21 风压高度变化系数 f_1

距地面高度 H_0, m	地面粗糙类别			
	A	B	C	D
5	1.09	1.00	0.65	0.51
10	1.28	1.00	0.65	0.51
15	1.42	1.13	0.65	0.51
20	1.52	1.23	0.74	0.51
30	1.67	1.39	0.88	0.51
40	1.79	1.52	1.00	0.60

注 1: A 类指近海海面 and 海岛、海岸、湖岸及沙漠地区；
 B 类指田野、乡村、丛林、丘陵以及房屋比较稀疏的乡镇；
 C 类指有密集建筑群的城市市区；
 D 类指有密集建筑群且房屋较高的城市市区。
 注 2: 中间值可采用线性内插法求取。

6.6 弯矩计算

视地震载荷和风载荷为一作用于球壳中心的集中水平载荷，则由水平地震载荷和水平风力引起的最大弯矩按式 (24) 计算：

$$M_{\max} = F_{\max} L \dots\dots\dots (24)$$

式中：

F_{\max} ——最大水平力，取 $(F_e + 0.25F_w)$ 与 F_w 的较大值，N；

L ——力臂， $L = H_0 - 1$ (见图 7)，mm。

6.7 支柱计算

6.7.1 下列计算适用于可调式拉杆的支柱计算。

6.7.2 单个支柱的垂直载荷

6.7.2.1 重力载荷

操作状态下的重力载荷按式 (25) 计算：

$$G_o = \frac{m_o g}{n} \dots\dots\dots (25)$$

液压试验状态下的重力载荷按式 (26) 计算：

$$G_T = \frac{m_T g}{n} \dots\dots\dots (26)$$

6.7.2.2 最大弯矩对支柱产生的垂直载荷按式 (27) 计算：

$$F_i = -\frac{2M_{\max} \cos \theta_i}{nR} \dots\dots\dots (27)$$

式中：

F_i ——最大弯矩对 i 支柱产生的垂直载荷, N;

θ_i ——支柱的方位角, ($^\circ$) (见图 9、图 11), 按式 (28)、式 (29) 计算。

A 向受力时支柱方位角按式 (28) 计算:

$$\theta_i = i \frac{360^\circ}{n} \dots\dots\dots (28)$$

B 向受力时支柱方位角按式 (29) 计算:

$$\theta_i = \left(i - \frac{1}{2}\right) \frac{360^\circ}{n} \dots\dots\dots (29)$$

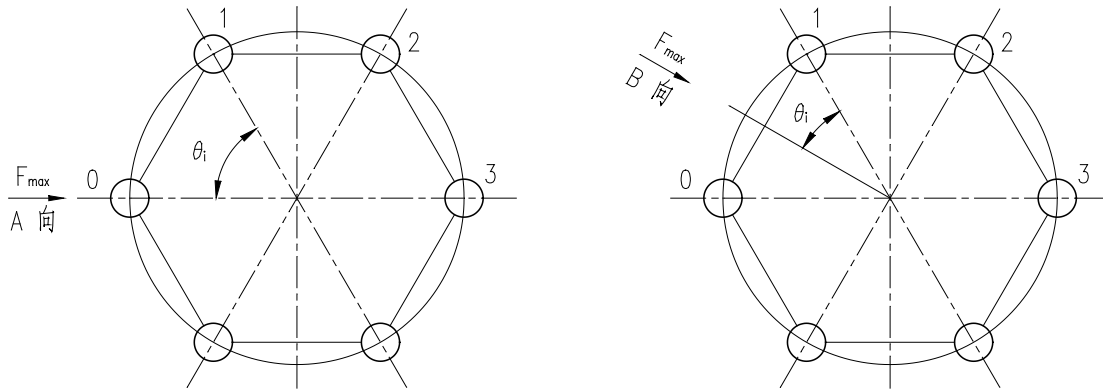


图 9

注: i 表示支柱在 0° 至 180° 范围内的顺序号 (见图 9、图 11)。

6.7.2.3 拉杆作用在支柱上的垂直载荷

a) 所有相邻两支柱间用拉杆连接时, 拉杆作用在支柱上的垂直载荷按式 (30) 计算:

$$P_{i-j} = \frac{lF_{\max} \sin \theta_j}{nR \sin \frac{180^\circ}{n}} \dots\dots\dots (30)$$

b) 每隔一支柱用拉杆连接时, 拉杆作用在支柱上的垂直载荷按式 (31) 计算:

$$P_{i-j} = \frac{lF_{\max} \sin \theta_j}{nR \sin \frac{360^\circ}{n}} \dots\dots\dots (31)$$

式中:

P_{i-j} —— j 拉杆作用在 i 支柱上的垂直载荷, N;

$i = j+1, j=0, 1, 2, 3 \dots\dots$;

θ_j ——拉杆 j 的方位角, ($^\circ$) 按式 (32) ~ (34) 计算。

当所有相邻两支柱用拉杆连接时 (见图 10):

A 向受力时拉杆方位角按式 (32) 计算:

$$\theta_j = \left(j + \frac{1}{2}\right) \frac{360^\circ}{n} \dots\dots\dots (32)$$

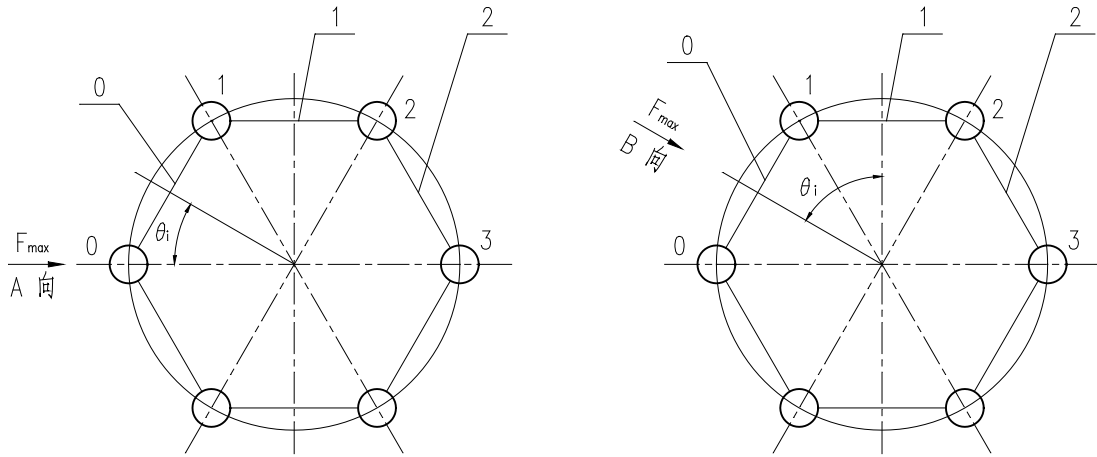


图 10

B 向受力时拉杆方位角按式 (33) 计算:

$$\theta_j = j \frac{360^\circ}{n} \dots\dots\dots (33)$$

当每隔一支柱用拉杆连接时 (见图 11):

A 向受力时拉杆方位角按式 (33) 计算。

B 向受力时拉杆方位角按式 (34) 计算:

$$\theta_j = \left(j - \frac{1}{2} \right) \frac{360^\circ}{n} \dots\dots\dots (34)$$

注: j 表示拉杆在 0° 至 180° 范围内的顺序号 (见图 10、图 11)。

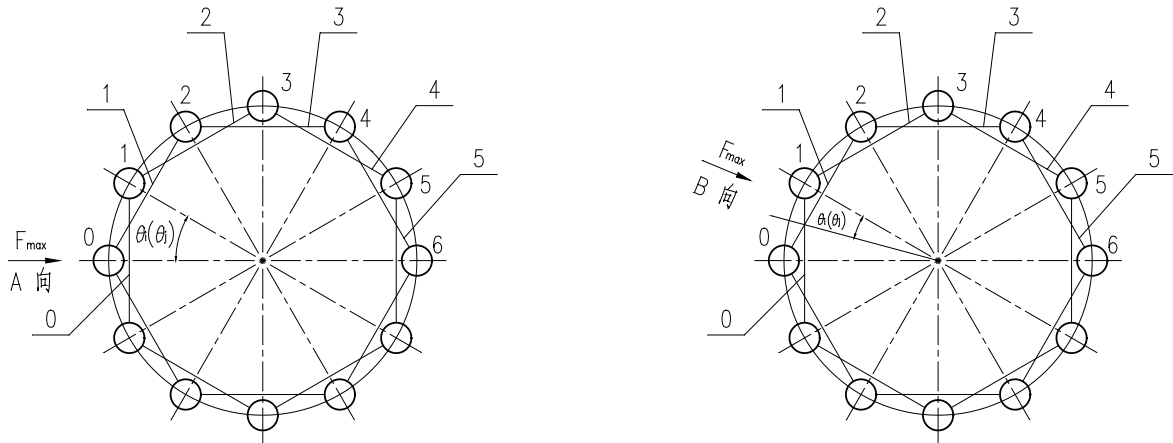


图 11

6.7.2.4 支柱的最大垂直载荷

操作状态下支柱的最大垂直载荷按式 (35) 计算:

$$W_o = G_o + (F_i + P_{i-j})_{\max} \dots\dots\dots (35)$$

液压试验状态下支柱的最大垂直载荷按式 (36) 计算:

$$W_T = G_T + 0.3(F_i + P_{i-j})_{\max} \frac{F_w}{F_{\max}} \dots\dots\dots (36)$$

式中: $(F_i + P_{i-j})_{\max}$ ——各支柱 $(F_i + P_{i-j})$ 中的最大值, N。

在 A 向或 B 向受力状态下，最大弯矩对支柱产生的垂直载荷的最大值 $(F_i)_{\max}$ 、拉杆作用在支柱上的垂直载荷的最大值 $(P_{i-j})_{\max}$ 及两者之和的最大值 $(F_i+P_{i-j})_{\max}$ 按表 22 的公式计算，最大值 $(F_i+P_{i-j})_{\max}$ 的支柱位置见表 22。

当设计未采用表 22 中所列的支柱数目时，则 $(F_i)_{\max}$ 、 $(P_{i-j})_{\max}$ 和 $(F_i+P_{i-j})_{\max}$ 应按 6.7.2.2 和 6.7.2.3 的公式计算 F_i 和 P_{i-j} ，取 F_i 的最大值， P_{i-j} 的最大值和 (F_i+P_{i-j}) 的最大值。

表 22 载荷 $(F_i)_{\max}$ ， $(P_{i-j})_{\max}$ ， $(F_i+P_{i-j})_{\max}$

拉杆连接方式	支柱数目	$(F_i)_{\max}$ N	$(P_{i-j})_{\max}$ N	$(F_i+P_{i-j})_{\max}$ N
所有相邻两支柱间用拉杆连接	4	0.5000a	0.5000b	0.5000a+0.5000b A 向 2 号柱
	5	0.3236a	0.3236b	0.3236a+0.3236b A 向 2 号柱
	6	0.3333a	0.3333b	0.3333a+0.3333b A 向 3 号柱
	8	0.2500a	0.3266b	0.1768a+0.3018b A 向 3 号柱
	10	0.2000a	0.3236b	0.1176a+0.3078b B 向 4 号柱
	12	0.1667a	0.3220b	0.0833a+0.3110b A 向 4 号柱
	14	0.1429a	0.3210b	0.0620a+0.3129b B 向 5 号柱
	16	0.1250a	0.3204b	0.0478a+0.3142b A 向 5 号柱
	18	0.1111a	0.3199b	0.0380a+0.3151b B 向 6 号柱
	20	0.1000a	0.3196b	0.0309a+0.3157b A 向 6 号柱
每隔一支柱用拉杆连接	8	0.2500a	0.2500b	0.2500a+0.2500b A 向 4 号柱
	10	0.2000a	0.2000b	0.2000a+0.2000b A 向 5 号柱
	12	0.1667a	0.1667b	0.1667a+0.1667b A 向 6 号柱
	14	0.1429a	0.1646b	0.1429a+0.1429b A 向 7 号柱
	16	0.1250a	0.1633b	0.0694a+0.1602b B 向 6 号柱
	18	0.1111a	0.1624b	0.1094a+0.1624b B 向 9 号柱
	20	0.1000a	0.1618b	0.0988a+0.1469b B 向 10 号柱
备注： $a = M_{\max}/R$ ； $b = lF_{\max}/R$ 。				

6.7.3 单个支柱弯矩

支柱在操作或液压试验时，在内压力作用下，球壳直径增大，使支柱承受偏心弯矩和附加弯矩，见图 12。

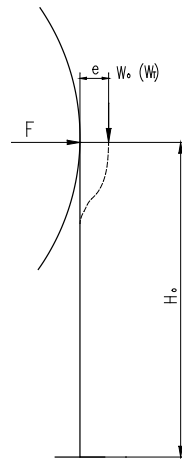


图 12

6.7.3.1 偏心弯矩

操作状态下支柱的偏心弯矩按式 (37) 计算:

$$M_{o1} = \frac{\sigma_{oe} R_i W_o}{E} (1 - \mu) \dots\dots\dots (37)$$

式中: σ_{oe} ——操作状态下球壳赤道线的薄膜应力, MPa, 按式 (38) 计算:

$$\sigma_{oe} = \frac{(p + p_{oe})(D_i + \delta_e)}{4\delta_e} \dots\dots\dots (38)$$

p_{oe} ——操作状态下介质在赤道线的液柱静压力, MPa。

液压试验状态下支柱的偏心弯矩按式 (39) 计算:

$$M_{T1} = \frac{\sigma_{Te} R_i W_T}{E} (1 - \mu) \dots\dots\dots (39)$$

式中: σ_{Te} ——液压试验状态下球壳赤道线的薄膜应力, MPa, 按式 (40) 计算:

$$\sigma_{Te} = \frac{(p_T + p_{Te})(D_i + \delta_e)}{4\delta_e} \dots\dots\dots (40)$$

p_{Te} ——液压试验状态下液体在赤道线的液柱静压力, MPa。

6.7.3.2 附加弯矩

操作状态下支柱的附加弯矩按式 (41) 计算:

$$M_{o2} = \frac{6E_s I \sigma_{oe} R_i}{H_o^2 E} (1 - \mu) \dots\dots\dots (41)$$

液压试验状态下支柱的附加弯矩按式 (42) 计算:

$$M_{T2} = \frac{6E_s I \sigma_{Te} R_i}{H_o^2 E} (1 - \mu) \dots\dots\dots (42)$$

式中: σ_{oe} 、 σ_{Te} ——见 6.7.3.1。

6.7.3.3 总弯矩

操作状态下支柱的总弯矩按式 (43) 计算:

$$M_o = M_{o1} + M_{o2} \dots\dots\dots (43)$$

液压试验状态下支柱的总弯矩按式 (44) 计算:

$$M_T = M_{T1} + M_{T2} \dots\dots\dots (44)$$

6.7.4 支柱稳定性校核

操作状态下支柱的稳定性按式 (45) 校核:

$$\frac{W_o}{\phi_p A} + \frac{\beta_m M_o}{\gamma Z \left(1 - 0.8 \frac{W_o}{W_{EX}}\right)} \leq [\sigma]_c \quad \dots\dots\dots (45)$$

液压试验状态下支柱的稳定性按式(46)校核:

$$\frac{W_T}{\phi_p A} + \frac{\beta_m M_T}{\gamma Z \left(1 - 0.8 \frac{W_T}{W_{EX}}\right)} \leq [\sigma]_c \quad \dots\dots\dots (46)$$

式中:

ϕ_p ——弯矩作用平面内的轴心受压支柱稳定系数, 根据支柱长细比、支柱类型和支柱材料, 按表 23、表 24、表 25、表 26 选取;

λ ——支柱长细比, 按式(47)计算:

$$\lambda = \frac{k_3 H_o}{r_i} \quad \dots\dots\dots (47)$$

k_3 ——计算长度系数, 取 $k_3=1$;

r_i ——支柱的惯性半径, mm, 按式(48)计算:

$$r_i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad \dots\dots\dots (48)$$

表 23、表 24、表 25、表 26 未列材料的 ϕ_p 按式(49)、(50)、(51)计算。

当 $\bar{\lambda} \leq 0.215$ 时, ϕ_p 按式(49)计算:

$$\phi_p = 1 - a_1 \bar{\lambda}^2 \quad \dots\dots\dots (49)$$

当 $\bar{\lambda} > 0.215$ 时, ϕ_p 按式(50)计算:

$$\phi_p = \frac{1}{2\bar{\lambda}^2} \left[(a_2 + a_3 \bar{\lambda} + \bar{\lambda}^2) - \sqrt{(a_2 + a_3 \bar{\lambda} + \bar{\lambda}^2)^2 - 4\bar{\lambda}^2} \right] \quad \dots\dots\dots (50)$$

$\bar{\lambda}$ ——换算长细比, 按式(51)计算:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{R_{eL}}{E_s}} \quad \dots\dots\dots (51)$$

R_{eL} ——支柱材料室温下的屈服强度(或 0.2% 非比例延伸强度), MPa;

a_1, a_2, a_3 ——系数, 对轧制钢管截面: $a_1 = 0.41, a_2 = 0.986, a_3 = 0.152$; 对焊接钢管截面: $a_1 = 0.65, a_2 = 0.965, a_3 = 0.300$;

β_m ——等效弯矩系数, 取 $\beta_m = 1$;

γ ——截面塑性发展系数, 取 $\gamma = 1.15$;

Z ——单个支柱的截面系数, mm^3 , 按式(52)计算:

$$Z = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{32d_o} \quad \dots\dots\dots (52)$$

表 23 Q235A 轧制钢管截面轴心受压支柱的稳定系数 ϕ

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.998	0.997	0.996
10	0.995	0.994	0.993	0.992	0.991	0.989	0.988	0.986	0.985	0.983
20	0.981	0.979	0.977	0.976	0.974	0.972	0.970	0.968	0.966	0.964
30	0.963	0.961	0.959	0.957	0.955	0.952	0.950	0.948	0.946	0.944
40	0.941	0.939	0.937	0.934	0.932	0.929	0.927	0.924	0.921	0.919
50	0.916	0.913	0.910	0.907	0.904	0.900	0.897	0.894	0.890	0.886
60	0.883	0.879	0.875	0.871	0.867	0.863	0.858	0.854	0.849	0.844
70	0.839	0.834	0.829	0.824	0.818	0.813	0.807	0.801	0.795	0.789
80	0.783	0.776	0.770	0.763	0.757	0.750	0.743	0.736	0.728	0.721
90	0.714	0.706	0.699	0.691	0.684	0.676	0.668	0.661	0.653	0.645
100	0.638	0.630	0.622	0.615	0.607	0.600	0.592	0.585	0.577	0.570

注：中间值用内插法计算。

表 24 Q235A 焊接钢管截面轴心受压支柱的稳定系数 ϕ

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.997	0.996	0.995	0.994
10	0.992	0.991	0.989	0.987	0.985	0.983	0.981	0.978	0.976	0.973
20	0.970	0.967	0.963	0.960	0.957	0.953	0.950	0.946	0.943	0.939
30	0.936	0.932	0.929	0.925	0.922	0.918	0.914	0.910	0.906	0.903
40	0.899	0.895	0.891	0.887	0.882	0.878	0.874	0.870	0.865	0.861
50	0.856	0.852	0.847	0.842	0.838	0.833	0.828	0.823	0.818	0.813
60	0.807	0.802	0.797	0.791	0.786	0.780	0.774	0.769	0.763	0.757
70	0.751	0.745	0.739	0.732	0.726	0.720	0.714	0.707	0.701	0.694
80	0.688	0.681	0.675	0.668	0.661	0.655	0.648	0.641	0.635	0.628
90	0.621	0.614	0.608	0.601	0.594	0.588	0.581	0.575	0.568	0.561
100	0.555	0.549	0.542	0.536	0.529	0.523	0.517	0.511	0.505	0.499

注：中间值用内插法计算。

表 25 Q345 钢轧制钢管截面轴心受压支柱的稳定系数 ϕ

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.998	0.997	0.997	0.996	0.994
10	0.993	0.992	0.990	0.988	0.986	0.984	0.982	0.980	0.978	0.975
20	0.973	0.971	0.969	0.967	0.964	0.962	0.960	0.957	0.955	0.952
30	0.950	0.947	0.944	0.941	0.939	0.936	0.933	0.930	0.927	0.923
40	0.920	0.917	0.913	0.909	0.906	0.902	0.898	0.894	0.889	0.885
50	0.881	0.876	0.871	0.866	0.861	0.855	0.850	0.844	0.838	0.832
60	0.825	0.819	0.812	0.805	0.798	0.791	0.783	0.775	0.767	0.759
70	0.751	0.742	0.734	0.725	0.716	0.707	0.698	0.689	0.680	0.671
80	0.661	0.652	0.643	0.633	0.624	0.615	0.606	0.596	0.587	0.578
90	0.570	0.561	0.552	0.543	0.535	0.527	0.518	0.510	0.502	0.494
100	0.487	0.479	0.471	0.464	0.457	0.450	0.443	0.436	0.429	0.423

注：中间值用内插法计算。

表 26 Q345 钢焊接钢管截面轴心受压支柱的稳定系数 ϕ

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	1.000	1.000	0.999	0.998	0.997	0.996	0.995	0.993	0.991
10	0.989	0.987	0.984	0.981	0.978	0.975	0.972	0.968	0.964	0.960
20	0.956	0.952	0.948	0.943	0.939	0.935	0.931	0.926	0.922	0.917
30	0.913	0.908	0.903	0.899	0.894	0.889	0.884	0.879	0.874	0.869
40	0.863	0.858	0.852	0.847	0.841	0.835	0.829	0.823	0.817	0.811
50	0.804	0.798	0.791	0.784	0.778	0.771	0.764	0.756	0.749	0.742
60	0.734	0.727	0.719	0.711	0.704	0.696	0.688	0.680	0.672	0.664
70	0.656	0.648	0.640	0.632	0.623	0.615	0.607	0.599	0.591	0.583
80	0.575	0.567	0.559	0.551	0.544	0.536	0.528	0.521	0.513	0.506
90	0.499	0.491	0.484	0.477	0.470	0.463	0.457	0.450	0.443	0.437
100	0.431	0.424	0.418	0.412	0.406	0.400	0.395	0.389	0.384	0.378

注：中间值用内插法计算。

W_{EX} ——欧拉临界力，N，按式（53）计算：

$$W_{EX} = \pi^2 E_s A / \lambda^2 \dots\dots\dots (53)$$

$[\sigma]_c$ ——支柱材料的许用应力， $[\sigma]_c = R_{eL} / 1.5$ ，MPa。

6.8 地脚螺栓计算

6.8.1 拉杆作用在支柱上的水平力按式 (54) 计算:

$$F_c = (P_{i-j})_{\max} \operatorname{tg}\beta \quad \dots\dots\dots (54)$$

式中: $(P_{i-j})_{\max}$ ——见 6.7.2.4, N。

6.8.2 支柱底板与基础的摩擦力按式 (55) 计算:

$$F_s = f_s \frac{m_{\min} g}{n} \quad \dots\dots\dots (55)$$

式中: f_s ——支柱底板与基础的摩擦系数。

钢—混凝土 $f_s = 0.4$

钢—钢 $f_s = 0.3$

6.8.3 地脚螺栓

当 $F_s \geq F_c$ 时, 则球罐不需设置地脚螺栓, 但为了固定球罐位置, 应设置一定数量的定位地脚螺栓。

当 $F_s < F_c$ 时, 球罐必须设置地脚螺栓, 地脚螺栓的螺纹小径按式 (56) 计算:

$$d_B = 1.13 \sqrt{\frac{F_c - F_s}{n_d [\tau]_B}} + C_B \quad \dots\dots\dots (56)$$

式中:

d_B ——地脚螺栓的螺纹小径, mm;

n_d ——每个支柱上的地脚螺栓个数;

$[\tau]_B$ ——地脚螺栓材料的许用剪应力, $[\tau]_B = 0.4R_{eL}$, MPa;

C_B ——地脚螺栓的腐蚀裕量, 一般取 $C_B = 3\text{mm}$ 。

6.9 支柱底板

6.9.1 支柱底板直径 D_b 按式 (57) 和式 (58) 计算, 取两式中的较大值:

$$D_{b1} = 1.13 \sqrt{\frac{W_{\max}}{[\sigma]_{bc}}} \quad \dots\dots\dots (57)$$

$$D_{b2} = (8 \sim 10)d + d_o \quad \dots\dots\dots (58)$$

式中:

D_{b1} 、 D_{b2} ——支柱底板直径, mm;

$[\sigma]_{bc}$ ——基础材料的许用应力, MPa;

d ——地脚螺栓直径, mm。

6.9.2 底板厚度按式 (59) 计算:

$$\delta_b = \sqrt{\frac{3\sigma_{bc} l_b^2}{[\sigma]_b}} + C_b \quad \dots\dots\dots (59)$$

式中:

δ_b ——底板厚度, mm;

σ_{bc} ——底板的压应力, MPa, 按式 (60) 计算:

$$\sigma_{bc} = \frac{4W_{\max}}{\pi D_b^2} \quad \dots\dots\dots (60)$$

D_b ——见 6.9.1, mm;

l_b ——底板外边缘至支柱外表面的距离 (见图 13) mm;

$[\sigma]_b$ ——底板材料的许用弯曲应力， $[\sigma]_b = R_{eL}/1.5$ ，MPa；

C_b ——底板的腐蚀裕量，一般取 $C_b = 3\text{mm}$ 。

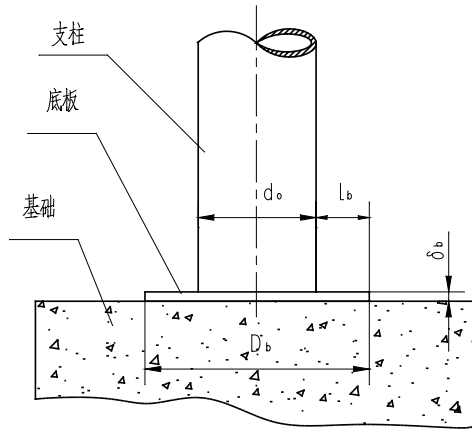


图 13

6.10 拉杆计算

6.10.1 拉杆螺纹小径按式 (61) 计算：

$$d_T = 1.13 \sqrt{\frac{F_T}{[\sigma]_T}} + C_T \dots\dots\dots (61)$$

式中：

d_T ——拉杆螺纹小径，mm；

F_T ——拉杆的最大拉力，按式 (62) 计算，N；

$$F_T = \frac{(P_{i-j})_{\max}}{\cos \beta} \dots\dots\dots (62)$$

$(P_{i-j})_{\max}$ ——见 6.7.2.4，N；

$[\sigma]_T$ ——拉杆材料的许用应力， $[\sigma]_T = R_{eL}/1.5$ ，MPa；

C_T ——拉杆的腐蚀裕量，一般取 $C_T = 2\text{mm}$ 。

6.10.2 拉杆连接部位的计算

当拉杆采用图 14 所示结构时，连接部位按下述方法计算。

6.10.2.1 销子直径按式 (63) 计算：

$$d_p = 0.8 \sqrt{\frac{F_T}{[\tau]_p}} \dots\dots\dots (63)$$

式中：

d_p ——销子直径，mm；

$[\tau]_p$ ——销子材料的许用剪切力， $[\tau]_p = 0.4R_{eL}$ ，MPa。

6.10.2.2 耳板厚度按式 (64) 计算：

$$\delta_c = \frac{F_T}{d_p [\sigma]_c} \dots\dots\dots (64)$$

式中：

δ_c ——耳板厚度，mm；

d_p ——销子直径，mm；

$[\sigma]_c$ ——耳板材料的许用压应力， $[\sigma]_c = R_{eL}/1.1$ ，MPa。

6.10.2.3 翼板厚度按式（65）计算：

$$\delta_a = \frac{\delta_c \cdot R_{eL}}{2 R'_{eL}} \dots\dots\dots (65)$$

式中：

δ_a ——翼板厚度，mm；

δ_c ——见式（64），mm；

R_{eL} ——耳板材料的屈服强度（或0.2%非比例延伸强度），MPa；

R'_{eL} ——翼板材料的屈服强度（或0.2%非比例延伸强度），MPa。

6.10.2.4 焊缝强度验算

a) 耳板与支柱的焊缝 A（见图 14）所承受的剪切应力按式（66）校核：

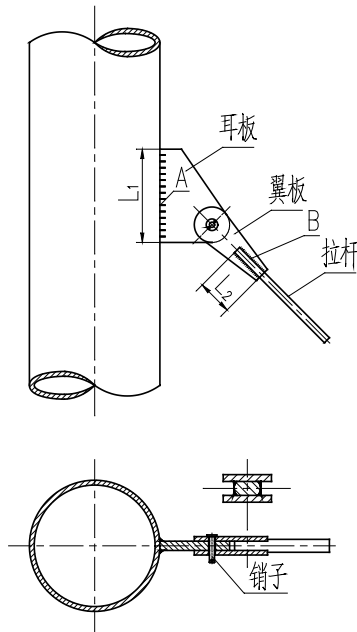


图 14

$$\frac{F_T}{1.41L_1S_1} \leq [\tau]_w \dots\dots\dots (66)$$

式中：

L_1 ——A 焊缝单边长度，mm；

S_1 ——A 焊缝焊脚尺寸，mm；

$[\tau]_w$ ——焊缝的许用剪切应力，MPa，按式（67）计算：

$$[\tau]_w = 0.4R_{eL}\phi_a \dots\dots\dots (67)$$

R_{eL} ——支柱或耳板材料的屈服强度（或0.2%非比例延伸强度），取较小值，MPa。

b) 拉杆与翼板的焊缝 B（见图 14）所承受的剪切应力按式（68）校核：

$$\frac{F_T}{2.82L_2S_2} \leq [\tau]_w \dots\dots\dots (68)$$

式中：

L_2 ——B 焊缝单边长度, mm;

S_2 ——B 焊缝焊脚尺寸, mm;

$[\tau]_w$ ——焊缝的许用剪切应力, MPa, 按式 (69) 计算:

$$[\tau]_w = 0.4R_{eL} \phi_a \quad \dots\dots\dots (69)$$

R_{eL} ——拉杆或翼板材料的屈服强度 (或 0.2% 非比例延伸强度), MPa, 取较小值。

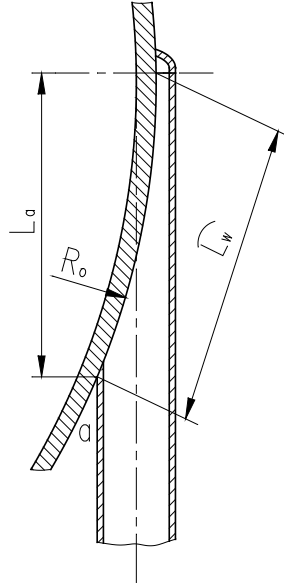


图 15

6.11 支柱与球壳连接最低点 a 的应力校核 (见图 15)

6.11.1 a 点的剪切应力

操作状态下 a 点的剪切应力按式 (70) 计算:

$$\tau_o = \frac{G_o + (F_i)_{\max}}{2L_w \delta_{ea}} \quad \dots\dots\dots (70)$$

液压试验状态下 a 点的剪切应力按式 (71) 计算:

$$\tau_T = \frac{G_T + 0.3(F_i)_{\max} \frac{F_w}{F_{\max}}}{2L_w \delta_{ea}} \quad \dots\dots\dots (71)$$

式中: $(F_i)_{\max}$ ——见 6.7.2.4, N。

6.11.2 a 点的纬向应力

操作状态下 a 点的纬向应力按式 (72) 计算:

$$\sigma_{o1} = \frac{(p + p_{oa})(D_i + \delta_{ea})}{4\delta_{ea}} \quad \dots\dots\dots (72)$$

液压试验状态下 a 点的纬向应力按式 (73) 计算:

$$\sigma_{T1} = \frac{(p_T + p_{Ta})(D_i + \delta_{ea})}{4\delta_{ea}} \quad \dots\dots\dots (73)$$

式中:

p_{oa} ——操作状态下介质在 a 点的液柱静压力, MPa;

p_{Ta} ——液压试验状态下液体在 a 点的液柱静压力, MPa。

6.11.3 a 点的应力校核

6.11.3.1 a 点的组合应力计算

操作状态下 a 点的组合应力按式 (74) 计算:

$$\sigma_{oa} = \sigma_{o1} + \tau_o \dots\dots\dots (74)$$

液压试验状态下 a 点的组合应力按式 (75) 计算:

$$\sigma_{Ta} = \sigma_{T1} + \tau_T \dots\dots\dots (75)$$

6.11.3.2 应力校核

a 点的组合应力应满足式 (76) 和式 (77) 的要求:

$$\sigma_{oa} \leq [\sigma]^t \phi \dots\dots\dots (76)$$

$$\sigma_{Ta} \leq 0.9R_{eL} \phi \text{ (液压试验) 或 } 0.8R_{eL} \phi \text{ (气压试验和气液组合压力试验) } \dots\dots (77)$$

式中: R_{eL} ——试验温度下球壳材料的屈服强度 (或 0.2% 非比例延伸强度), MPa。

6.12 支柱与球壳连接焊缝的强度校核

支柱与球壳连接焊缝所承受的剪切应力按式 (78) 校核。

$$\tau_w = \frac{W}{1.41L_w S} \leq [\tau]_w \dots\dots\dots (78)$$

式中:

τ_w ——支柱与球壳连接焊缝所承受的剪切应力, MPa;

W ——取 $G_o + (F_i)_{max}$ 和 $G_T + 0.3(F_i)_{max} \frac{F_w}{F_{max}}$ 两者中的较大值, N;

S ——支柱与球壳连接焊缝焊脚尺寸, mm;

$[\tau]_w$ ——焊缝许用剪切应力, MPa, 按式 (79) 计算:

$$[\tau]_w = 0.4R_{eL} \phi_a \dots\dots\dots (79)$$

R_{eL} ——柱或球壳材料的屈服强度 (或 0.2% 非比例延伸强度), 取较小值, MPa。

6.13 外压球壳按 GB 150.3 或 JB 4732 计算。

7 制造

7.1 球壳板

7.1.1 球壳板的型式与尺寸应符合图样要求。

7.1.2 球壳板不得拼接且表面不允许存在裂纹、气泡、结疤、折叠和夹杂等缺陷。球壳板不得有分层。

7.1.3 球壳板实际厚度不得小于设计厚度。

7.1.4 曲率允许偏差

当球壳板弦长大于或等于 2000mm 时, 样板的弦长不得小于 2000mm; 当球壳板弦长小于 2000mm 时, 样板的弦长不得小于球壳板的弦长。样板与球壳板的间隙 e 不得大于 3mm。如图 16 所示。

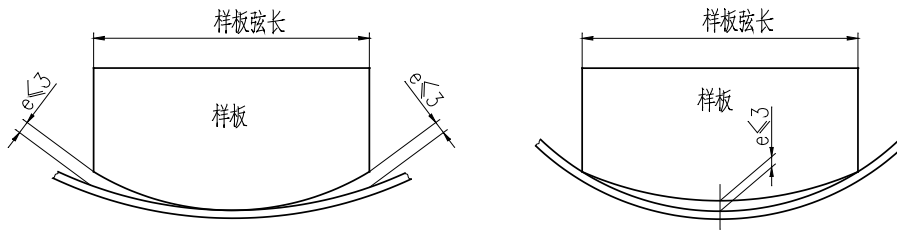


图 16

7.1.5 几何尺寸允许偏差（见图 17），对刚性差的球壳板几何尺寸宜在托架上测量。

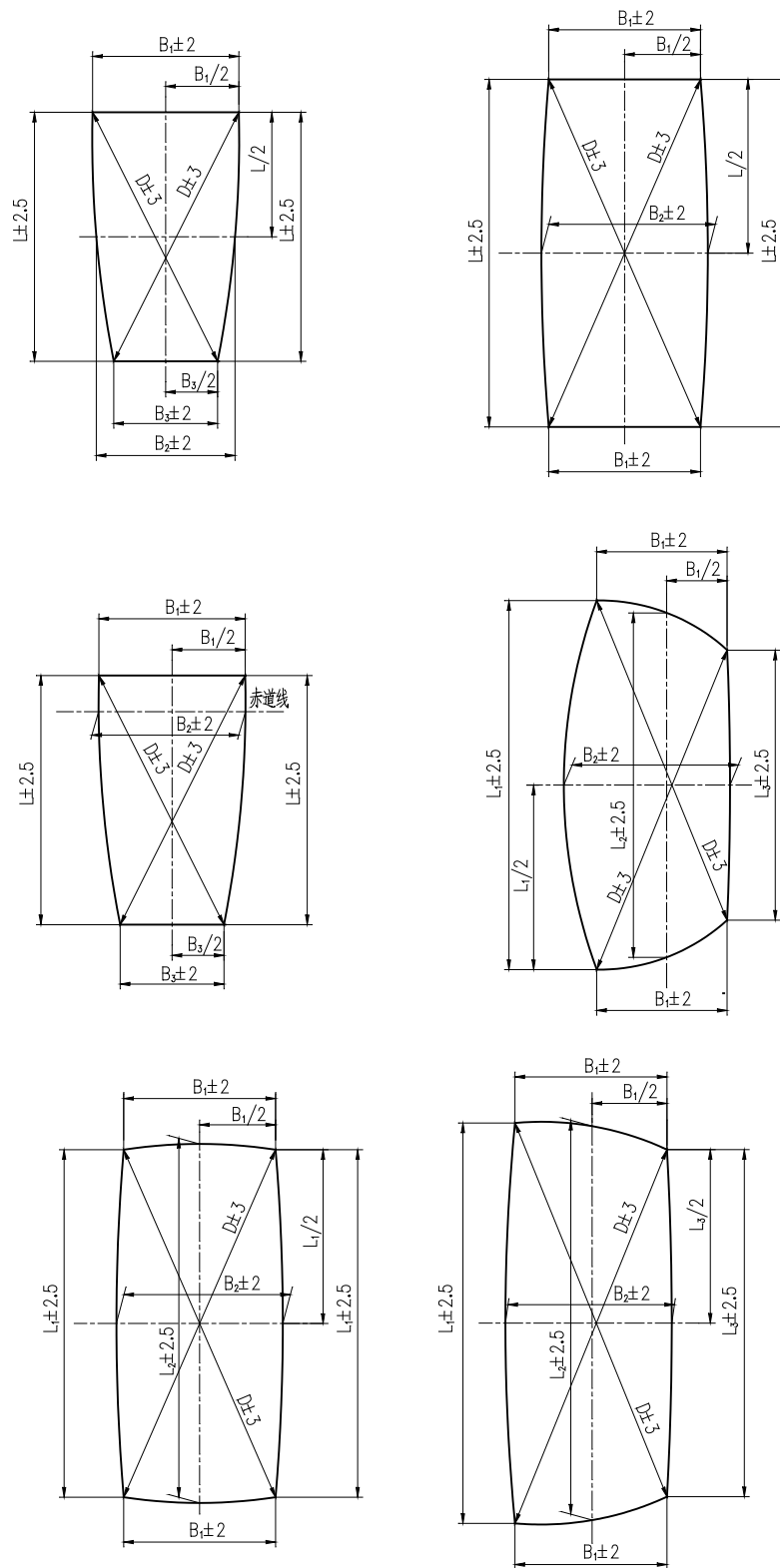


图 17

- a) 长度方向弦长允差不大于±2.5mm;
- b) 宽度方向弦长允差不大于±2mm;
- c) 对角线弦长允差不大于±3mm;

d) 两条对角线应在同一平面上。用两直线对角测量时，两直线的垂直距离偏差不得大于 5mm。

7.1.6 坡口

气割坡口表面应符合下列要求：

- a) 坡口表面应平滑，表面粗糙度 R_a 应小于或等于 $50\mu\text{m}$ ；
- b) 平面度 $B \leq 0.04\delta_s$ (钢材厚度)，且不大于 1mm；
- c) 熔渣与氧化皮应清除干净，坡口表面不得有裂纹和分层等缺陷存在。若有缺陷时，应修磨或焊补。焊补时，应将缺陷彻底清除，并经磁粉或渗透检测确认没有缺陷后方可焊补。焊补应按 8.7 的规定进行。焊补后应磨平，使其保持原坡口的形状及尺寸；
- d) 标准抗拉强度下限值 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 钢材的气割坡口表面应进行磁粉或渗透检测，铁磁性材料优先选择磁粉检测。

7.1.7 球壳板周边 100mm 的范围内应按 JB/T 4730.3 的规定进行超声检测，质量等级按 4.2.8 的有关规定。

7.1.8 相邻两板的厚度差大于薄板厚度的 25%，或大于等于 3mm 时，厚板边缘应按图 18 削成斜边，削边后的端部厚度应等于薄板厚度。

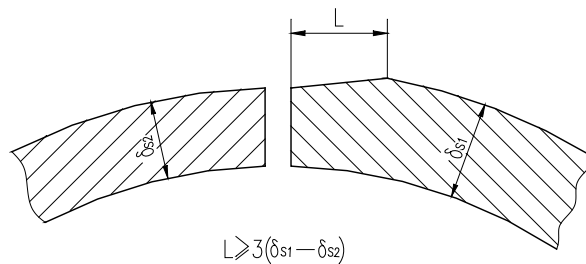


图 18

7.1.9 球壳板应采用冷压成形。

7.1.10 满足 GB 150.4 第 9.1 条时，制造单位应按第 8.9 条制作人孔与球壳板的产品焊接试件 1 块。

7.1.11 相同规格的球壳板应具有互换性。

7.1.12 球壳板应避免表面的机械损伤，对严重的尖锐伤痕应按 8.7 的规定进行修补。

7.1.13 人孔及接管与球壳板的焊接、焊后尺寸检查、焊缝表面的形状尺寸及外观要求、无损检测、修磨和焊补等应符合第 8 章的有关规定。

7.2 零部件组焊

7.2.1 分段支柱上段与赤道板组焊应在制造单位进行。组焊后，用弦长不小于 1000mm 的样板检查焊缝部位向外 300mm 以内（如图 19 所示）的赤道板的曲率，最大间隙不得大于 3mm，其余范围用弦长不小于 2000mm 的样板检查最大间隙不得大于 3mm。

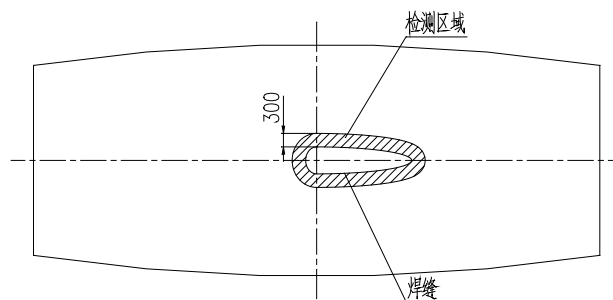


图 19

7.2.2 人孔、接管与极板的组焊应在制造单位进行，焊后应符合下列要求：

- a) 人孔、接管开孔位置及外伸高度的允许偏差不大于 5mm；
- b) 开孔球壳板周边 100mm 向内至开孔中心一倍开孔直径向外之间的范围内（如图 20 所示）用弦长不小于 1000mm 的样板检查极板曲率，最大间隙不得大于 3mm。

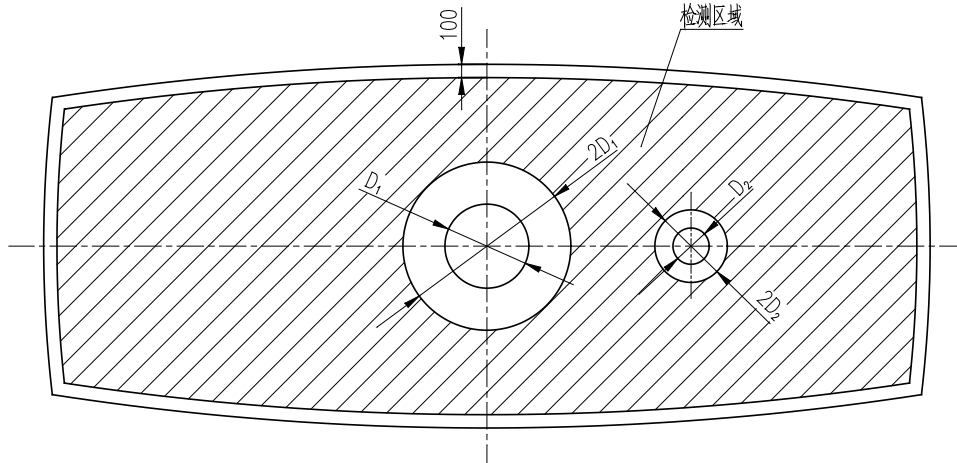


图 20

7.2.3 若球罐不进行焊后整体热处理，制造单位应对下列组焊件按 GB 150.4 的规定进行焊后热处理：

- a) 与人孔、接管焊接的球壳板；
- b) 当赤道板厚度大于 20mm，且支柱与赤道板连接焊缝的焊脚尺寸大于 12mm 时，与支柱焊接的赤道板。

7.2.4 若球罐进行焊后整体热处理，由设计者确定是否对组焊件进行焊后热处理，若制造单位对组焊件进行热处理，则产品焊接试件除了与组焊件一起热处理外，还应增加一次模拟热处理。焊接工艺评定也应模拟二次热处理。

7.2.5 焊缝的焊后消氢处理，按 8.3.4.7 的规定进行。

7.2.6 法兰面应垂直于接管中心线。安装接管法兰应保证法兰面的水平或垂直（有特殊要求时，应按图样要求），其偏差不得超过法兰外径的 1%（法兰外径小于 100mm 时，按 100mm 计算），且不大于 3mm。

7.2.7 支柱的直线度允许偏差不大于 $L/1000$ （ L ——支柱长度，mm），且不大于 10mm（支柱直线度的测量方法按 GB 150.4 中筒体直线度的测量方法要求）。

7.2.8 分段支柱上段与赤道板组焊后的直线度允许偏差不大于 $L_1/1000$ （ L_1 ——支柱上段长度，mm）。

7.2.9 支柱全长的长度允许偏差不大于 $\pm 3\text{mm}$ 。

7.2.10 支柱与底板的组焊应垂直，其垂直度允许偏差不大于 2mm，如图 21 所示。

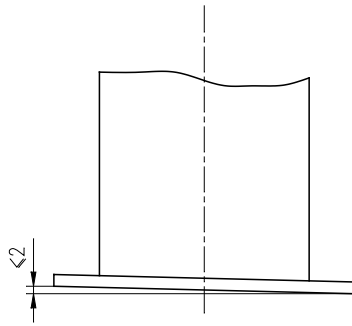


图 21

7.3 试板

制造单位应每台球罐提供 6 块产品焊接试板的母材（须开坡口），试板的材料应符合第 8.9 条的要求。每块试板的尺寸宜为 600mm×180mm，试板的各项检测按 NB/T 47016 的规定进行。

7.4 产品零部件的油漆、包装、运输

7.4.1 球壳板外侧表面应除锈，并涂防锈漆两遍，坡口表面及其内、外侧边缘 50mm 的范围内涂可焊性防锈涂料。每块球壳板上的钢号、炉批号、球罐号标记，应醒目地框出。

7.4.2 球壳板宜采用钢结构托架包装，球壳板的凸面朝上，各板间垫以柔性材料。每个包装架的总重不宜超过 30t。

7.4.3 试板、螺栓、螺母、垫片等宜装箱运输，拉杆等杆件宜集束包扎。

7.4.4 所有加工件表面应涂防锈油脂，拉杆螺纹应妥善保护。

7.4.5 球壳板、支柱、拉杆等零部件的油漆、包装和运输的其他要求按 JB/T 4711 的有关规定。

7.5 铭牌

制造单位应提供一块标明下列内容的铭牌：

- a) 设计单位名称及设计许可证编号；
- b) 制造单位名称及制造许可证编号；
- c) 组焊单位名称及制造许可证编号；
- d) 球罐名称；
- e) 球罐产品编号；
- f) 球罐图号或位号；
- g) 储存介质名称；
- h) 设计压力；
- i) 试验压力；
- j) 设计温度；
- k) 容器类别；
- l) 公称容积；
- m) 装量系数；
- n) 球壳材料；
- o) 球壳厚度；
- p) 最高允许工作压力（需要时）；
- q) 球罐净重；
- r) 执行标准；

- s) 监检标记;
- t) 制造日期;
- u) 设备编号;
- v) 注册编号。

8 组焊、检验与验收

8.1 一般规定

8.1.1 球罐组焊前应对基础尺寸进行检查（见图 22），其允许偏差应符合表 27 的规定。

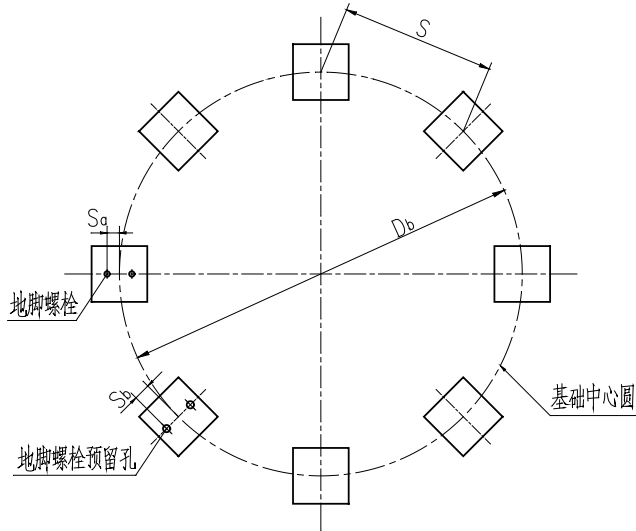


图 22

表 27 基础尺寸允许偏差

序号	项 目		允许偏差
1	基础中心圆直径 D_b	球罐公称容积 $< 1000\text{m}^3$	$\pm 5\text{mm}$
		球罐公称容积 $\geq 1000\text{m}^3$	$\pm D_i/2000\text{mm}$
2	基础方位		1°
3	相邻支柱基础中心距 S		$\pm 2\text{mm}$
4	地脚螺栓中心与基础中心圆的间距 S_a		$\pm 2\text{mm}$
5	地脚螺栓预留孔中心与基础中心圆的间距 S_b		$\pm 8\text{mm}$
6	基础标高	支柱基础上表面的标高	$-\frac{D_b}{1000}$ 且不低于 -15mm
		相邻支柱基础的标高差	$\leq 4\text{mm}$
7	单个支柱基础上表面的平面度	地脚螺栓固定的基础	5mm
		预埋基础垫板固定的基础	2mm

注： D_i 为球壳设计内直径， mm。

8.1.2 球罐组焊前，应对球罐零部件进行下列复验：

- a) 零部件的数量；
- b) 球壳板的曲率、几何尺寸、球壳板和坡口表面质量应符合 7.1 的要求；
- c) 对球壳板周边 100mm 范围内应进行超声检测抽查，抽查数量不得少于球壳板总数的 20%，

且每带不少于 2 块，上、下极各不少于 1 块。其结果应符合 4.2.8 的规定。若发现超标缺陷，应加倍抽查，若仍有超标缺陷，则应 100% 检验；

- d) 球壳板应进行超声测厚抽查，抽查数量不得少于球壳板总数的 20%，且每带不少于 2 块，上下极各不少于 1 块。每张球壳板检测不少于 5 点，其中 4 个点分布在距离边缘 100mm 左右的位置并包括各项角附近，1 个点位于球壳板的中心附近。实测厚度应不小于设计厚度。若有不合格，应加倍抽查，若仍有不合格应对球壳板进行 100% 超声测厚检查；
- e) 对球壳板材质有怀疑的应进行复验；
- f) 标准抗拉强度下限值 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 的低合金钢制造的球壳板，坡口表面应按 JB/T 4730.4 进行磁粉检测，I 级合格，抽查数量为不少于球壳板总数的 20%。若发现有不允许缺陷应对球壳板坡口表面进行 100% 检测。

8.1.3 底板与基础、拉杆与支柱的固定连接应在耐压试验合格后进行。

8.2 组装

8.2.1 球壳组装要求

8.2.1.1 球壳不得采用机械方法强力组装。

8.2.1.2 对口间隙应按图样要求，间隙宜为 $2 \pm 2\text{mm}$ ，采用其他焊接方法时，对口间隙应由焊接工艺确定。

8.2.1.3 对口错边量 b 不大于 $1/4\delta_s$ ，且不得大于 3mm（当两板厚度不等时，不应计入两板厚度的差值），见图 23、图 24。

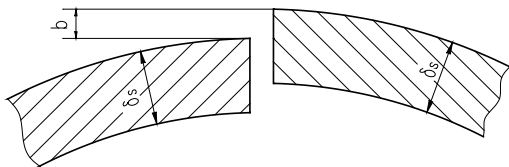


图 23

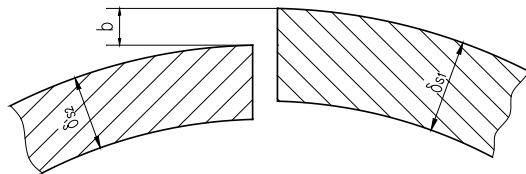


图 24

8.2.1.4 组装后，用弦长 L 不小于 1000mm 的样板，沿对接接头每 500mm 测量一点，棱角 E （包括错边量）不应大于 7mm，见图 25。

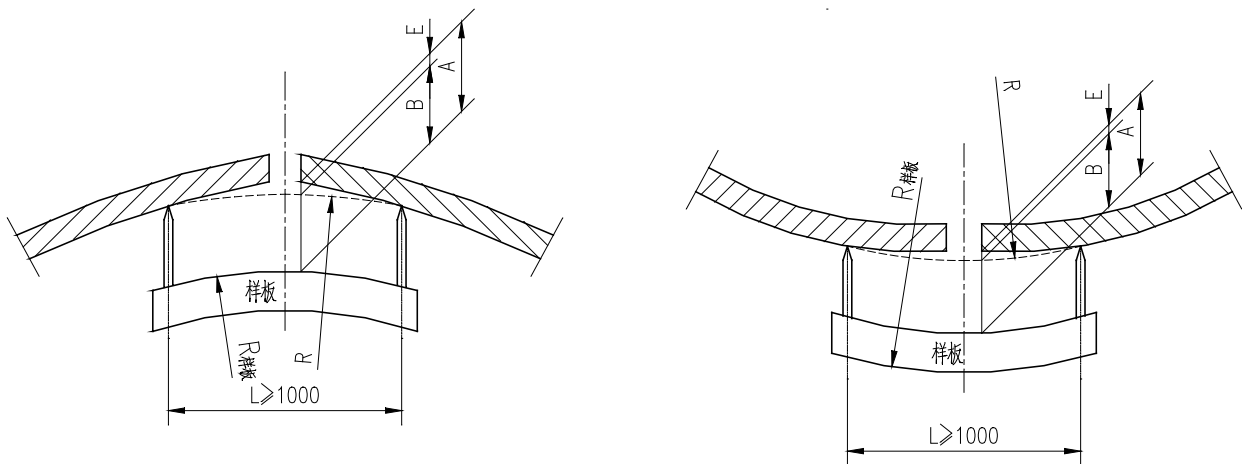


图 25

E 值按式 (80) 计算：

$$E = A - B \quad \dots\dots\dots (80)$$

式中：

E ——棱角，mm；

A ——球壳与样板的最大径向距离，mm；

B ——球壳设计内半径或外半径与样板曲率半径的径向距离，mm。

$$B = |R - R_{\text{样板}}| \quad \dots\dots\dots (81)$$

式中：

R ——球壳的设计内半径或外半径，mm；

$R_{\text{样板}}$ ——样板的曲率半径，mm。

8.2.2 支柱安装找正后，在球罐径向和周向两个方向的垂直度允许偏差 Δ ($\Delta = |a_1 - a_2|$) 应符合下列规定，见图 26。

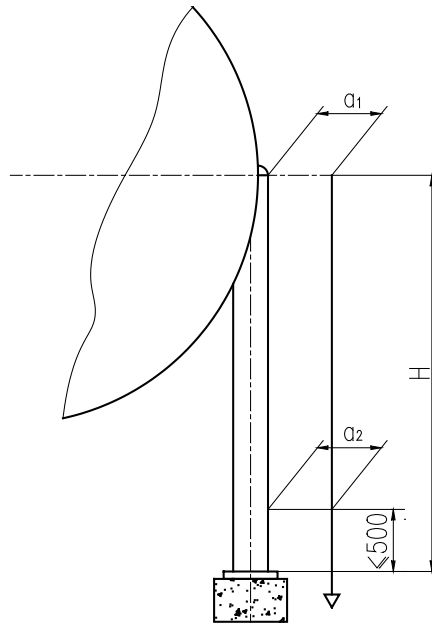


图 26

- a) 当支柱高度 H 小于或等于 8000mm 时， Δ 应小于或等于 10mm；
- b) 当支柱高度 H 大于 8000mm 时， Δ 应小于或等于 $1.5H/1000$ ，且不大于 15mm。

8.2.3 可调式拉杆应对称均匀拉紧。

8.2.4 连接板（预焊件）应与球壳紧密贴合，并在热处理前与球壳相焊。若连接板与球壳的角焊缝是连续焊时，应在连接板最低部位留出通气缝隙。

8.3 焊接

8.3.1 施焊环境

8.3.1.1 当施焊环境出现下列任一情况，且无有效防护措施时，禁止施焊：

- a) 焊条电弧焊时风速大于 10m/s；
- b) 气体保护焊时风速大于 2m/s；
- c) 相对湿度大于 90%；
- d) 雨、雪环境；
- e) 焊件温度低于 -20°C 。

注：相对湿度应在距球罐表面 500mm~1000mm 处测得。

8.3.1.2 当焊件温度低于 0℃ 但不低于 -20℃ 时，应在施焊处 100mm 范围内预热到 15℃ 以上。

8.3.2 焊接工艺

8.3.2.1 球罐施焊前，受压元件焊缝、与受压元件相焊的焊缝、熔入永久焊缝内的定位焊缝、受压元件母材表面堆焊与补焊，以及上述焊缝的返修焊缝都应按 NB/T 47014 进行焊接工艺评定或者具有经过评定合格的焊接工艺支持。

8.3.2.2 焊接工艺评定技术档案应保存至该工艺评定失效为止，焊接工艺评定试样保存期不少于 5 年。

8.3.3 焊接要求

8.3.3.1 焊接材料的干燥

- a) 焊接材料应设专人负责保管、烘干和发放；
- b) 焊接材料的贮存库应保持干燥，相对湿度不得大于 60%。焊接材料使用前，应按有关规定进行烘干；
- c) 烘干后的焊条应保存在 100℃~150℃ 的恒温箱中，药皮应无脱落和明显裂纹；
- d) 焊条在保温筒内不宜超过 4h。超过后，应按原烘干制度重新干燥。重复烘干次数不宜超过 2 次。

8.3.3.2 焊丝在使用前应清除铁锈和油渍等污物。

8.3.3.3 定位焊及工卡具焊接

- a) 对焊工的要求应与球壳焊接相同。定位焊和工卡具焊接按评定合格的焊条电弧焊焊接工艺进行；
- b) 要求预热后焊接的球壳，在定位焊及工卡具焊接处，至少应在 150mm 范围内进行预热；
- c) 定位焊缝的长度应不小于 50mm，引弧点和熄弧点应在坡口内；
- d) 工卡具的焊接，引弧点和熄弧点应在工卡具焊道上。严禁在非焊接位置任意引弧和熄弧；
- e) 工卡具拆除时，不得损伤球壳板。切除后应打磨平滑。

8.3.4 施焊

8.3.4.1 施焊前应将坡口表面和两侧至少 20mm 范围内的油污、水分及其他有害杂质清除干净。

8.3.4.2 焊件的预热应符合下列规定：

- a) 预热温度可参照表 28，并经焊接工艺评定进行验证；

表 28 常用钢的预热温度

板厚, mm	钢 号				
	Q245R	Q345R 16MnDR 15MnNiDR	Q370R 15MnNiNbDR	07MnMoVR 07MnNiVDR 07MnNiMoDR	09MnNiDR
	预热温度, °C				
20	—	—	—	—	—
25	—	—	75~125	50~75	50~75
32	—	75~125	100~150		
38	75~125	100~150	125~175	75~100	75~100

50	100~150	125~175	150~200	100~125	100~125
备注： 1 拘束度高的部位（如接管、人孔）或环境气温低于 5℃时，应采用较高的预热温度，扩大预热范围。 2 不同强度的钢相互焊接时，应采用强度较高的钢所适用的预热温度。 3 表中“—”表示不需预热。					

- b) 预热必须均匀，预热宽度应为焊缝中心线两侧各取 3 倍板厚，且不少于 100mm。预热温度应距焊缝中心线 50mm 处对称测量，每条焊缝测点不少于 3 对；
- c) 预热的焊道，层间温度不应低于预热温度的下限。
- 8.3.4.3 焊接线能量应不超过经焊接工艺评定合格的线能量上限。
- 8.3.4.4 焊道始端应采用后退起弧法，终端应将弧坑填满。多层焊的层间接头应错开。
- 8.3.4.5 双面焊对接焊缝，单侧焊接后应进行背面清根。焊缝清根时应将定位焊的焊缝金属清除掉，并用砂轮修整刨槽，修整后的坡口形状、宽窄应一致，标准抗拉强度下限值 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 的低合金钢在清根后须按 JB/T 4730.4 进行 100% 磁粉检测或按 JB/T 4730.5 进行 100% 渗透检测，合格级别不低于 I 级。
- 8.3.4.6 因故中断焊接时，应根据工艺要求采取措施，以防产生裂纹。再行施焊前，确认无裂纹后，方可按原工艺要求继续焊接。
- 8.3.4.7 符合下列条件之一的焊缝，焊后须立即进行后热消氢处理，后热温度宜为 200℃~250℃，后热时间应为 0.5h~1h。
- 焊接接头厚度大于 32mm，且材料标准抗拉强度下限值 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 的球壳对接焊缝；
 - 焊接接头厚度大于 38mm 的低合金钢球壳对接焊缝；
 - 嵌入式接管与球壳的对接焊缝；
 - 焊接工艺规程或焊接作业指导书确定需消氢处理的焊缝；
 - 对冷裂纹敏感性较大的低合金钢和拘束度较大的焊缝。
- 8.3.4.8 不锈钢球罐不得采用钢印标记。
- 8.4 焊后尺寸检查
- 8.4.1 对接焊缝形成的棱角 E 应按 8.2.1.4 的方法进行检查。 E 值不得大于 10mm。
- 8.4.2 焊后球壳两极间的净距与球壳设计内直径之差和赤道截面的最大内直径与最小内直径之差均应小于球壳设计内直径的 0.7%，且不大于 80mm。
- 8.5 焊缝表面的形状尺寸及外观要求
- 8.5.1 焊缝表面不得有表面裂纹、未焊透、未熔合、表面气孔、弧坑、未填满、夹渣和飞溅物；焊缝与母材应圆滑过渡；角焊缝的外形应凹形圆滑过渡。
- 8.5.2 对接焊缝的余高 e_1 、 e_2 应符合表 29 和图 27 的规定。
- 8.5.3 角焊缝的焊脚尺寸，在图样无规定时，取焊件中较薄者之厚度。补强圈的焊脚尺寸，当补强圈的厚度不小于 8mm 时，其焊脚尺寸等于补强圈厚度的 70%，且不小于 8mm。

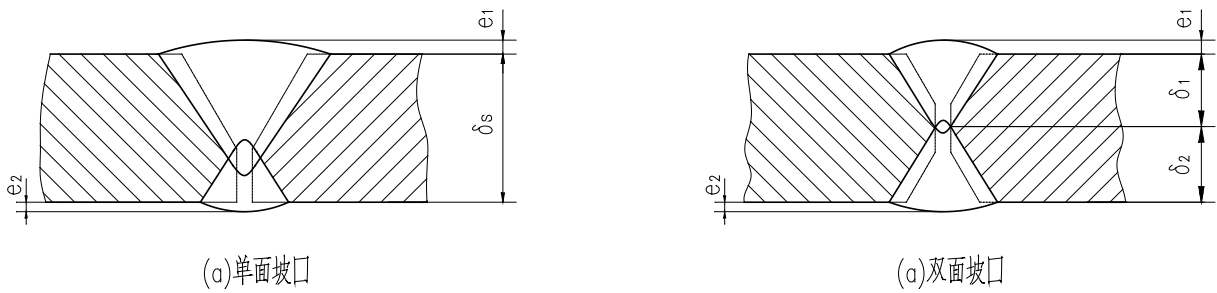


图 27

表 29 对接焊缝余高 e_1, e_2 mm

标准抗拉强度下限值 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 的低合金钢钢材				其他钢材			
单面坡口		双面坡口		单面坡口		双面坡口	
e_1	e_2	e_1	e_2	e_1	e_2	e_1	e_2
0%~10% δ_s 且 ≤ 3	0~1.5	0%~10% δ_1 且 ≤ 3	0%~10% δ_2 且 ≤ 3	0%~15% δ_s 且 ≤ 3	0~1.5	0%~15% δ_1 且 ≤ 3	0%~15% δ_2 且 ≤ 3

8.6 无损检测

8.6.1 无损检测方法的选择

8.6.1.1 检测方法包括射线检测（X—射线定向曝光、 γ 射线周向曝光、 γ 射线全景曝光）、超声检测（包括衍射时差法超声检测（TOFD）、可记录的脉冲反射法超声检测、不可记录的脉冲反射法超声检测）、磁粉检测、渗透检测。

8.6.1.2 当采用不可记录的脉冲反射法超声检测时，应采用射线检测或者衍射时差法超声检测作为附加局部检测。

8.6.1.3 对于奥氏体型钢制球罐的对接焊接接头应优先采用射线检测，其他材料制球罐应优先采用衍射时差法超声检测。

8.6.1.4 不宜采用 γ 射线全景曝光射线检测。

8.6.1.5 铁磁性材料进行表面检测时，应优先采用磁粉检测，球罐内侧宜采用荧光磁粉检测。

8.6.2 无损检测的实施时机

8.6.2.1 焊接接头应在形状尺寸检查和外观目视检查合格后，再进行无损检测。

8.6.2.2 有延迟裂纹倾向的材料制造的球罐，应在焊接结束至少 36h 后，方可进行焊接接头的无损检测。

8.6.2.3 有再热裂纹倾向的材料制造的球罐的焊接接头，应在热处理后或耐压试验后增加一次 100% 表面检测。

8.6.2.4 标准抗拉强度下限值 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 的球罐的焊接接头，应在耐压试验后增加一次 100% 表面检测。

8.6.3 射线和超声检测

8.6.3.1 符合下列条件之一的球壳对接焊接接头，应按图样规定的检测方法，进行全部（100%）的射线或超声：

- a) 设计压力大于或等于 1.6MPa 的Ⅲ类球罐；

- b) 进行气压或气液组合压力试验的球罐；
- c) 焊接接头系数取 1.0 的球罐；
- d) 盛装易爆和毒性为极度或高度危害介质的球罐；
- e) 焊接接头厚度大于 30mm 的奥氏体型钢、Q245R、Q345R、Q370R 钢制球罐；
- f) 标准抗拉强度下限值 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 的钢制球罐；
- g) 图样规定须 100% 检测的球罐。

注：上述球罐中公称直径 $DN \geq 250\text{mm}$ 的接管与接管对接接头、接管与带颈对焊法兰对接接头的检测要求与球壳对接焊接接头相同。

8.6.3.2 除 8.6.3.1 条规定以外的对接焊接接头，应进行局部检测，检测方法按设计文件规定，检测长度不得少于各条对接焊接接头长度的 20%，且不得小于 250mm，局部检测应涵盖所有焊工的施焊。以下部位应进行 100% 检测，其中 a)、b)、c) 部位检测长度可计入局部检测长度之内：

- a) 焊接接头的交叉部位；
- b) 对于满足 GB 150.3—2011 中 6.1.3 不另行补强的接管，自开孔中心沿球壳表面的最短长度等于开孔直径的范围内的焊接接头；
- c) 凡被补强圈、支柱、垫板、内件等所覆盖的焊接接头；
- d) 嵌入式接管与球壳对接连接的焊接接头；
- e) 承受外载荷的公称直径 $DN \geq 250\text{mm}$ 的接管与接管对接接头和接管与带颈对焊法兰的对接接头。

注：按本条规定检测后，制造、组焊单位对未检查的焊接接头质量仍需负责。但是，若作进一步检测可能会发现少量气孔等不危及球罐安全的超标缺陷，如果这也不允许时，就应选择 100% 检测。

8.6.3.3 公称直径 $DN < 250\text{mm}$ 的接管与接管对接接头、接管与带颈对焊法兰对接接头的检测要求按设计文件规定。

8.6.4 表面检测

8.6.4.1 球罐的下列部位在耐压试验前（如球罐需焊后整体热处理时应在热处理前）应进行全部（100%）的表面检测：

- a) 凡符合 8.6.3.1 规定进行全部射线或超声检测的球罐的所有焊接接头表面，非受压件与球壳的连接焊缝；
- b) 标准抗拉强度下限值 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 低合金钢制球罐经火焰切割的坡口表面；
- c) 用有延迟裂纹倾向或者再热裂纹倾向的钢材制造的球罐的所有焊接接头表面；
- d) 钢材厚度大于 20mm 的奥氏体型钢球罐的对接和角接接头；
- e) 图样注明有应力腐蚀的球罐；
- f) 嵌入式接管与球壳连接的对接接头表面；
- g) 焊补处的表面；
- h) 工卡具拆除处的焊迹表面和缺陷修磨处的表面；
- i) 支柱与球壳连接处的角焊缝表面；
- j) 要求全部射线或超声检测的球罐上公称直径 $DN < 250\text{mm}$ 的接管与接管对接接头、接管与带颈对焊法兰对接接头。
- k) 设计文件要求进行检测的接管角焊缝。

8.6.5 组合检测

8.6.5.1 标准抗拉强度下限值 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 的低合金钢制球罐的焊接接头，若其焊接接头厚度大于 20mm，还应采用 8.6.1 中所列的与原无损检测方法不同的检测方法另行进行局部检测，该检测应包括所有的焊缝交叉部位。

8.6.5.2 经射线或超声检测的焊接接头，如有不允许的缺陷，应在缺陷清除干净后进行补焊，并对该部分采用原检测方法重新检查，直至合格。

8.6.5.3 进行局部检测的焊接接头，发现有不允许的缺陷时，应在该缺陷两端的延伸部位增加检查长度，增加的长度为该焊接接头长度的 10%，且两侧均不小于 250mm。若仍有不允许的缺陷，则对该焊接接头做全部（100%）检测。

8.6.5.4 磁粉与渗透检测发现的不允许缺陷，应按 8.7 的规定进行修磨及必要的补焊后，对该部位采用原检测方法重新检测，直至合格。

8.6.5.5 当设计文件规定时，还应按规定进行组合检测。

8.6.6 无损检测的技术要求

8.6.6.1 射线检测的技术要求

按 JB/T 4730.2 对焊接接头进行射线检测，其合格指标如下：

- a) 若球罐及受压元件符合 8.6.3.1 的规定，检测技术等级不低于 AB 级，合格级别不低于 II 级；
- b) 若球罐及受压元件符合 8.6.3.2 的规定，检测技术等级不低于 AB 级，合格级别不低于 III 级；
- c) 角接接头、T 形接头，检测技术等级不低于 AB 级，合格级别不低于 II 级。

8.6.6.2 超声检测的技术要求

按 JB/T 4730.3 及 NB/T 47013.10（JB/T 4730.10）对焊接接头进行超声检测，其合格指标如下：

- a) 若球罐及受压元件符合 8.6.3.1 的规定，脉冲反射法超声检测技术等级不低于 B 级，合格级别不低于 I 级；
- b) 若球罐符合 8.6.3.2 的规定，脉冲反射法超声检测技术等级不低于 B 级，合格级别不低于 II 级；
- c) 角接接头、T 形接头，脉冲反射法超声检测技术等级不低于 B 级，合格级别不低于 I 级；
- d) 采用衍射时差法超声检测（TOFD）的焊接接头，合格级别不低于 II 级。

8.6.6.3 表面检测的技术要求

按 JB/T 4730.4~4730.5 对焊接接头进行磁粉、渗透检测，合格级别不低于 I 级。

8.6.6.4 组合检测技术要求

当组合采用射线和超声检测时，质量要求和合格级别按照各自执行的标准确定，并且均应当合格。

8.6.7 无损检测档案

球罐无损检测档案应完整，保存时间不得少于球罐设计使用年限。

8.7 修磨和焊补

球罐在制造、运输和施工过程中产生的各种有害缺陷应进行修磨或焊补。

8.7.1 修磨

球壳板局部表面和焊缝表面的缺陷及工卡具焊迹必须用砂轮修磨。修磨范围内的斜度至少为 1:3。修磨后的球壳实际厚度不得小于设计厚度，同时磨除深度应小于球壳名义厚度的 5%，且不大于 2mm。超过时，应进行焊补。

8.7.2 焊补

- a) 对球壳表面缺陷进行焊补时，每处的焊补面积应在 5000mm^2 以内。如有两处以上焊补时，任何两处的净距应大于 50mm。每块球壳板上焊补面积总和必须小于该块球壳板面积的

5%。补焊后的表面应修磨平滑，修磨范围内的斜度至少为 1:3，且高度不大于 1.5mm。

当球壳板表面焊补深度超过 3mm 时，还应进行超声检测。

坡口表面缺陷按 7.1.6 修磨和焊补；

b) 焊缝表面缺陷进行焊补时，焊补长度应大于 50mm。材料标准抗拉强度下限值 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 的低合金钢材焊缝焊补后，应在焊补焊道上加焊一道凸起的回火焊道。回火焊道焊完后，应磨去回火焊道多余的焊缝金属，使其与主体焊缝平缓过渡；

c) 焊缝的内部缺陷焊补时，清除的缺陷深度不得超过球壳板厚度的 2/3。若清除到球壳板厚度的 2/3 处还残留缺陷时，应在该状态下焊补，然后在其背面再次清除缺陷，进行焊补。焊补长度应大于 50mm。

当采用碳弧气刨清除缺陷时，应符合 8.3.4.5 的规定；

d) 焊接接头同一部位的焊补次数不宜超过 2 次。如超过 2 次，焊补前应经制造（组焊）单位技术总负责人批准。焊补次数、部位和焊补情况应记入球罐质量证明书。

8.8 焊后整体热处理（PWHT）

8.8.1 球罐及其受压元件按材料、焊接接头厚度（即焊后热处理厚度， δ_{PWHT} ）或设计要求确定是否进行焊后热处理。

8.8.2 焊接接头厚度应按下列规定确定：

a) 对等厚全焊透对接接头为钢材厚度；

b) 对于对接焊缝和角焊缝为焊缝厚度；

c) 对于组合焊缝为对接焊缝与角焊缝厚度中较大者；

d) 当不同厚度元件焊接时：

——不等厚对接接头取较薄元件的钢材厚度；

——接管与壳体焊接时，取接管颈厚度、壳体厚度、补强圈厚度和连接角焊缝厚度中较大者；

——接管与法兰焊接时，取接头处接管颈厚度；对于 GB 150.3—2011 图 7-1g) 所示结构取法兰厚度；

——非受压元件与受压元件焊接时，取焊缝厚度。

8.8.3 符合下列情况之一的球罐，应在耐压试验前进行焊后热处理（当制订热处理技术要求时，除满足以下规定外，还应采取必要的措施，避免由于焊后热处理导致的再热裂纹）：

a) 设计图样要求进行焊后热处理的球罐；

b) 焊接接头厚度大于 32mm（若焊前预热 100℃ 以上时，焊接接头厚度大于 38mm）的 Q245R、Q345R、Q370R 和 07MnMoVR 钢制球罐；

c) 有应力腐蚀倾向的球罐，如盛装液化石油气、液氨等的球罐；

d) 盛装毒性为极度或高度危害介质的碳素钢、低合金钢球罐。

8.8.4 除设计图样另有规定，奥氏体型不锈钢球罐可不进行焊后热处理。

8.8.5 热处理工艺

8.8.5.1 热处理温度应按图样要求，也可参照表 30，但均应经焊接工艺评定进行验证。

8.8.5.2 热处理恒温时间，按焊接接头厚度每 25mm 恒温 1h 计算，且不少于 1h。

8.8.5.3 升温至 400℃ 以上时，升温速度宜控制在 50℃/h~80℃/h。

8.8.5.4 400℃ 以上降温时，降温速度宜控制在 30℃/h~50℃/h，400℃ 以下自然冷却。

8.8.5.5 400℃ 以上升温和降温时，球壳表面上任意两测温点的温差不得大于 130℃。

8.8.5.6 施工单位应针对每台球罐制定热处理作业指导书。

8.8.6 保温要求

8.8.6.1 球罐的人孔、接管、连接板及从支柱与球壳连接焊缝的下端算起向下至少 1000mm 长度的支柱应进行保温。

8.8.6.2 热处理时，保温层外表温度应不高于 60℃。

8.8.7 测温系统

表 30 焊后热处理温度

钢号	焊后热处理温度，℃
Q245R	600±20
Q345R	600±20
Q370R	580±20
16MnDR	590±20
15MnNiDR	570±20
15MnNiNbDR	580±20
09MnNiDR	570±20
07MnMoVR 07MnNiVDR、07MnNiMoDR	570±20

8.8.7.1 测温点应均匀布置在球壳表面，相邻测温点的间距宜为 4500mm。距人孔与球壳环焊缝边缘 200mm 以内及每块产品焊接试件上，必须设测温点。

8.8.7.2 温度应进行连续自动记录。仪表精度应达到 1% 的要求。

8.8.8 柱脚移动

8.8.8.1 热处理前应在支柱下部设置移动装置。

8.8.8.2 热处理过程中，应监测柱脚位移，并按计算位移值及时调整柱脚位移。一般温度每变化 100℃ 应调整一次。

8.8.8.3 热处理后，应测量并调整支柱垂直度，其允许偏差应符合 8.2.2 的要求。

8.8.9 不锈钢球罐的表面应作酸洗、钝化处理。该类材料球罐表面及零部件按设计图样要求进行热处理时，在热处理前应清除不锈钢表面污物及有害介质，热处理后再作酸洗、钝化处理。

8.9 试件与试样

8.9.1 产品焊接试件

8.9.1.1 制备产品焊接试件与试样的要求

8.9.1.1.1 试件的原材料必须合格，并且与球罐用材具有相同标准、相同牌号、相同厚度和相同热处理状态。

8.9.1.1.2 试件应由施焊该球罐的焊工，采用与施焊球罐相同的条件、过程与焊接工艺（包括施焊及其之后的热处理条件）施焊，有热处理要求的球罐，应将产品焊接试件布置在球壳热处理高温区外侧，并与球壳紧贴，与球罐一起进行热处理。

8.9.1.1.3 每台球罐应做立焊和平焊加仰焊 2 块产品焊接试件。

8.9.1.1.4 试件的尺寸和试样的截取按 NB/T 47016 的规定。若有冲击试验要求，应在试件上同时截取冲击试样，进行冲击试验。

8.9.1.2 试样检验与评定

8.9.1.2.1 试样的检验与评定按 NB/T 47016 和设计文件要求进行。

8.9.1.2.2 当需要进行耐腐蚀性能检验时，应按相关标准和设计文件规定制备试样进行试验，并满足要求。其中，不锈钢的晶间腐蚀敏感性检验应按 GB/T 21433 规定进行。

8.9.1.2.3 除另有规定，奥氏体型钢材的焊缝金属冲击试验合格指标为冲击吸收功不小于 31J。

8.9.1.2.4 当试样评定结果不能满足要求时，允许按 NB/T 47016 的要求取样进行复验。如复验结果仍达不到要求时，则该试件所代表的球罐被判为不合格。当球罐被判为不合格时，允许将产品焊接试件及其所代表的球罐重新进行热处理，然后按上述要求重新进行试验。

8.9.2 其他试件和试样

8.9.2.1 要求做耐腐蚀性能检验的球罐或者受压元件，应按设计文件规定制备耐腐蚀性能试验试件并进行检验与评定。

8.9.2.2 根据设计文件要求，螺柱经热处理后需做力学性能试验者，应按批制备热处理试样并进行检验与评定。每批系指同时投料的具有相同钢号、相同炉罐号、相同断面尺寸、相同制造工艺的同类螺柱。

8.10 耐压试验和泄漏试验

8.10.1 球罐安装完工后，应按设计文件规定进行耐压试验和泄漏试验。

8.10.2 耐压试验和泄漏试验时，必须在球罐的顶部和底部各设置一个量程相同并经检定合格的压力表。压力表的量程为 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，压力表的表盘直径不得小于 100mm。试验压力以球罐顶部压力表读数为准。

8.10.3 球罐的开孔补强圈应在耐压试验前通入 0.4MPa~0.5MPa 的压缩空气检查焊接接头质量。

8.10.4 耐压试验

8.10.4.1 耐压试验分为液压试验、气压试验以及气液组合压力试验，组焊单位应按设计文件规定的方法进行耐压试验。

8.10.4.2 耐压试验的试验压力和必要时的强度校核按 3.11 条的规定。

8.10.4.3 耐压试验前，球罐各连接部位的紧固件应装配齐全，并紧固妥当；为进行耐压试验而装配的临时受压元件，应采取适当的措施，保证其安全性。

8.10.4.4 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拧紧紧固件或对受压元件施加外力。

8.10.4.5 耐压试验后所进行的返修，对返修深度大于壁厚一半的球罐，应重新进行耐压试验。

8.10.4.6 液压试验

8.10.4.6.1 试验液体一般采用水，试验合格后应立即将水排净吹干。当无法完全排净吹干时，对奥氏体不锈钢制球罐，应控制水的氯离子含量不超过 25mg/L。

8.10.4.6.2 需要时，也可采用不会导致发生危险的其他液体，但试验时液体的温度应低于其闪点或沸点，并有可靠的安全措施。

8.10.4.6.3 试验温度

Q345R、Q370R、07MnMoVR 制球罐进行液压试验时，液体温度不得低于 5℃；Q245R 和其他低合金钢制球罐进行液压试验时，液体温度不得低于 15℃。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。

当有试验数据支持时，可使用较低温度液体进行试验，但试验时应保证试验温度（球罐罐壁金属温度）比球罐罐壁金属无塑性转变温度至少高 30℃。

8.10.4.6.4 试验程序和步骤

- a) 试验球罐内的气体应当排净并充满液体，试验过程中，应保持球罐外表面的干燥；
- b) 当试验球罐罐壁金属温度与液体温度接近时，方可缓慢升压；
- c) 试验时，压力应缓慢上升，升至试验压力的 50% 时，保压 10min，然后对球罐的所有焊接接头和连接部位进行渗漏检查，确认无渗漏后继续升压；
- d) 压力升至设计压力时，再次进行渗漏检查，确认无渗漏后再升压；
- e) 压力升至试验压力时，保压时间不少于 30min，然后将压力降至设计压力，进行检查，以无渗漏为合格；
- f) 液压试验完毕后，应将液体排尽，用压缩空气将球罐内部吹干。排液时，严禁就地排放。

8.10.4.6.5 液压试验的合格标准

试验过程中，球罐无渗漏，无可见的变形和异常声响。

8.10.4.6.6 基础沉降要求

- a) 球罐在充、放液过程中，应在下列过程对基础的沉降进行观察：
充液前；
充液高度到 1/3 球壳内直径时；
充液高度到 2/3 球壳内直径时；
充满液 24h 后；
放液后。
- b) 每个支柱基础都应测定沉降量，各支柱基础应均匀沉降。放液后，基础沉降差不得大于 $D_b/1000$ (D_b 为基础中心圆直径，mm)，相邻支柱基础沉降差不大于 2mm。超过时，应采取处理措施。

8.10.4.7 气压试验和气液组合压力试验

8.10.4.7.1 试验所用气体应为干燥洁净的空气、氮气或其他惰性气体；试验液体与液压试验的规定相同。

8.10.4.7.2 气压试验和气液组合压力试验应有安全措施，试验单位的安全管理部门应当派人进行现场监督。

8.10.4.7.3 试验温度

试验温度按 8.10.4.6.3 的规定。

8.10.4.7.4 试验时应先缓慢升压至规定试验压力的 10%，保压 5min，然后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；然后降至设计压力进行检查，检查期间压力应保持不变。试验后应缓慢卸压。

8.10.4.7.5 气压试验和气液组合压力试验的合格标准

气压试验过程中，球罐无异常声响，经肥皂液或其他检漏液检查无漏气，无可见的变形；气液组合压力试验过程中，应保持球罐外表面干燥，无液体渗漏，经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。

8.10.4.7.6 气液组合压力试验充、放液过程应对基础的沉降进行观测，具体参见 8.10.4.6.6 要求。

8.10.5 泄漏试验

8.10.5.1 球罐需经耐压试验合格后方可进行泄漏试验。

8.10.5.2 泄漏试验包括气密性试验、氨检漏试验、卤素检漏试验和氦检漏试验，组焊单位应按设计文件规定的方法和要求进行泄漏试验。

8.10.5.3 气密性试验

8.10.5.3.1 气密性试验所用气体应符合 8.10.4.7.1 的规定。

8.10.5.3.2 气密性试验压力为球罐的设计压力。

8.10.5.3.3 试验时，压力应缓慢上升，升至规定试验压力的 50%时，保压 5min，然后对球罐的所有焊缝和连接部位进行泄漏检查，确认无泄漏后继续升压。压力升至试验压力时，保压 10min，然后进行泄漏检查，以无泄漏为合格。试验后应缓慢卸压。

8.10.5.3.4 试验过程中，无泄漏合格；如有泄漏，应在修补后重新进行试验。

8.10.5.4 其他泄漏试验方法和要求还应符合相关标准规定。

8.11 球罐的涂敷应按 JB/T 4711 及设计文件的规定进行。

8.12 竣工验收

球罐竣工后，组焊单位应将 3.5.2.3 规定的技术文件交付使用单位。使用单位需会同特种设备安全监督管理部门或授权的检验机构按本标准及设计图样进行验收。

附 录 A
(规范性附录)
标准的符合性声明及修订

A.1 本标准的制定遵循了国家颁布的压力容器安全法规所规定的基本安全要求，其设计准则、材料要求、制造、组焊、检验技术要求和验收标准均符合《固定式压力容器安全技术监察规程》和 GB 150.1~150.4《压力容器》的相应规定。本标准为协调标准，即按本标准要求建造的球罐可以满足《固定式压力容器安全技术监察规程》的基本安全要求。

A.2 标准的修订采用提案审查制度，任何单位和个人均有权利对本标准的修订提出建议，修订建议应采用“表 A.1 标准提案/问询表”的方式提交全国锅炉压力容器标准化技术委员会（以下简称“委员会”）。委员会对收到的标准修订提案进行审查，根据审查结果，将采纳的技术内容纳入下一版标准。

表 A.1 标准提案/问询表

	<input type="checkbox"/> 标准提案 <input type="checkbox"/> 标准问询	标准名称	
单 位		姓 名	
联系地址		邮政编码	
电话/传真		电子信箱	
标准条款			
提案/问询内容（可另附页）			
技术依据与相关资料（可另附页）			
附加说明：			
单位图章或提案（问询）人签字：		提交日期：	
		年 月 日	

全国锅炉压力容器标准化技术委员会
 地址：北京市朝阳区和平街西苑 2 号楼 D 座三层 邮政编码：100013
 电子信箱：GB12337@cscbpv.org

附录 B
(规范性附录)
安全附件及附属设施

B.1 通则

B.1.1 本附录规定了球罐安全附件及其附属设施的选用及安装的基本要求。

B.1.2 球罐的安全附件，包括直接连接在球罐上的超压泄放装置（包括安全阀、爆破片安全装置、安全阀与爆破片安全装置的组合装置）、紧急切断装置、压力表、液位计、测温仪表及其他安全设施。

B.1.3 球罐的附属设施，包括梯子平台、耐火隔热设施（包括支柱耐火层、消防喷淋装置）、接地装置、沉降测量板等。

B.1.4 球罐的开口接管应尽量布置在上、下极中板。满足工艺要求的情况下，应尽可能的减少球罐底部的开口数量。

B.1.5 凡属本标准适用范围内的球罐，均应按本附录的要求配备超压泄放装置。

B.2 超压泄放装置

B.2.1 超压泄放装置的计算与安装应按 GB 150.1 附录 B 的要求。

B.2.2 盛装易爆液化气体的球罐，至少应设置 2 个安全阀，任意一个安全阀的泄放量应满足事故状态下球罐最大泄放量的要求。

B.2.3 两个或两个以上的安全阀装设在球罐的一个连接口时，该连接口的截面积，应不小于安全阀的进口截面积之和。

B.2.4 对液态烃或者毒性程度为极度、高度或者中度危害介质的球罐，必须在泄放装置的排出口装设导管，导管将泄放介质引至安全地点，并且进行妥善处理。

B.3 紧急切断装置

B.3.1 紧急切断装置是指紧急切断阀及其操作机构。

B.3.2 盛装毒性为极度、高度危害或液态烃球罐的进出口应安装紧急切断装置。

B.3.3 紧急切断装置的安装位置宜尽量靠近球罐第一道密封面。

B.3.4 盛装液态烃的球罐，其液相进口管线上，应安装止回阀。

B.4 压力表**B.4.1 压力表的选用**

B.4.1.1 选用的压力表，应与球罐储存的介质与压力相适应。

B.4.1.2 当球罐内有可能产生负压时，压力表应选用复合型压力表。

B.4.1.3 压力表的精度不得低于 1.6 级。

B.4.1.4 压力表盘刻度极限值应为设计压力的 1.5~3.0 倍，表盘直径不得小于 100mm。

B.4.2 压力表的安装

B.4.2.1 压力表的装设位置应便于操作人员观察和清洗，并且应避免受到辐射热、冻结或震动等不利影响。

B.4.2.2 压力表与球罐之间，应装设三通旋塞或者针形阀（三通旋塞或者针形阀应有开启标记和

锁紧装置)，并且不得连接其他用途的任何配件或者接管。

B.4.2.3 用于具有腐蚀性或者高粘度介质的压力表，在压力表与球罐之间应装设隔离介质的缓冲装置。

B.5 液位计

B.5.1 液位计应根据球罐的储存介质、压力、温度和液位高度选用。

B.5.2 液位计应进行 1.5 倍液位计公称压力的液压试验。

B.5.3 储存 0℃ 以下介质的球罐，宜选用防霜液位计。

B.5.4 寒冷地区使用的液位计，宜选用夹套型或保温型结构的液位计。

B.5.5 用于易爆、毒性程度为极度、高度危害介质的液化气体球罐上的液位计，应有防止泄漏的保护装置。

B.5.6 用于盛装易爆、毒性程度为极度、高度危害介质的液化气体球罐，应设就地和远传的液位计，并应设高液位报警和高高液位连锁。

B.5.7 液位计应安装在便于观察的位置，否则应增加其他辅助设施。液位计上最高和最低安全液位，应作出明显的标志。

B.6 温度计

B.6.1 温度计宜选用万向型温度计，并可以测量比最低使用温度低 10℃ 的温度。

B.6.2 温度计应安装在便于观察的位置，盛装液化气体的球罐用温度计，应测量液相介质的温度。

B.6.3 温度计保护管的强度，应能承受设计压力 1.5 倍以上的外压，并能承受使用过程中的最大载荷（流体阻力或外部冲击）。

B.6.4 温度计保护管的外径不宜过大，其插入长度应满足温度计敏感元件的需要。

B.6.5 低温球罐或寒冷地区的球罐，应有防止雨水、湿气等流入测温保护管内结冰的措施。

B.7 梯子平台

B.7.1 球罐应设置梯子平台。梯子平台应设置在便于操作的部位。

B.7.2 梯子平台有联合梯子平台和独立梯子平台等型式。联合梯子平台宜为楼梯内置式联合梯子平台。独立梯子平台有盘梯、斜梯、直梯等型式。

B.7.3 梯子平台踏步的宽度不宜小于 700mm，斜梯的倾斜角度不宜大于 45°，踏步的间距宜为 200mm。

B.7.4 公称容积大于 5000m³ 的球罐可在球罐内部设置可旋转的内部梯子平台。

B.7.5 梯子平台护栏高度宜为 1200mm。

B.8 耐火隔热设施

B.8.1 盛装液态烃的球罐，支柱应设置耐火层，其耐火极限应不低于 2 h。

B.8.2 盛装液态烃的球罐，应设置消防喷淋装置。消防喷淋装置的供水强度应不小于 0.15L/(s·m²)。

B.8.3 着火球罐的保护面积，按其表面积计算。距着火球罐直径 1.5 倍范围内的邻近罐的保护面积，按其表面积的一半计算。

B.8.4 消防喷淋装置的连续供水时间应为 6h。

B.9 接地装置

B.9.1 接地装置数量宜不少于球罐支柱数量的一半，且不少于 2 个，并沿球罐周向均匀或对称布置。

B.9.2 接地装置的接地电阻应不大于 30Ω。

B.10 沉降测量板

B.10.1 球罐的每个支柱上均应焊接一个沉降测量板，且应在同一高度。

B.11 其他安全设施

B.11.1 盛装液态烃的球罐，应在超压泄放装置和放散口的泄放管上安装阻火器。

B.11.2 氢气球罐的泄放管，其阻火器后的管材，应选用不锈钢钢管。

B.11.3 氧气球罐用阀门、管件、仪表、垫片及其他附件应进行脱脂处理。

B.11.4 氧气球罐用阀门应选用不锈钢或铜基合金阀门。

B.11.5 盛装无毒、无危险性介质的球罐，其气相排放口应高于以排放口为中心的 7.5m 半径范围内的操作平台、设备 2.5m 以上。

B.11.6 盛装易爆气体的球罐，其对空排放的气相排放口应高于以排放口为中心的 10m 半径范围内的操作平台、设备 3m 以上。

附录 C
(规范性附录)
风险评估报告

C.1 总则

- C.1.1 本附录规定了风险评估报告的基本要求（风险评估报告也可参照本标准释义编写）。
- C.1.2 球罐设计者应根据相关法规或设计委托方要求编制针对球罐预期使用状况的风险评估报告。
- C.1.3 设计者应充分考虑球罐在各种工况条件下可能产生的失效模式，在材料选择、结构设计、制造、组焊、检验要求等方面提出安全措施，防止可能发生的失效。
- C.1.4 设计者应向球罐用户提供制定球罐事故应急预案所需要的信息。

C.2 制定原则和程序

C.2.1 设计阶段风险评估主要针对危害识别和风险控制。

C.2.2 设计阶段风险评估按以下程序进行：

- a) 根据用户设计条件和其他设计输入信息，确定球罐的各种使用工况；
- b) 根据各使用工况的介质、操作条件、环境因素进行危害识别，确定可能发生的危害及其后果；
- c) 针对所有危害和相应的失效模式，说明应采取的安全防护措施和依据；
- d) 对于可能发生的失效模式，给出制定事故应急预案所需要的信息；
- e) 形成完整的风险评估报告。

C.3 风险评估报告内容

风险评估报告应至少包括：

- a) 球罐的基本设计参数：压力、温度、材料、介质性质和外载荷等；
- b) 操作工况条件的描述；
- c) 所有操作、设计条件下可能发生的危害，如：爆炸、泄漏、破损、变形等；
- d) 对于标准已经有规定的失效模式，说明采用标准的条款；
- e) 对于标准没有规定的失效模式，说明设计中载荷、安全系数和相应计算方法的选取依据；
- f) 对介质少量泄漏、大量涌出和爆炸状况下如何处置的措施；
- g) 根据周围人员的可能伤及情况，规定合适的人员防护设备和措施；
- h) 风险评估报告应具有与设计图纸一致的签署。

附 录 D
(规范性附录)
应力分析设计球罐

D.1 总则

D.1.1 本附录在 JB 4732 的基础上提出了以分析设计为基础的钢制球形储罐（以下简称“球罐”）的设计、制造、组焊、检验与验收的特殊要求。

D.1.2 本附录未作规定者，还应符合本标准各有关章节（用应力强度代替许用应力）及 JB 4732 的要求。

D.2 通用要求

D.2.1 设计应力强度

D.2.1.1 本附录所用材料的设计应力强度按第 D.3 条选取。确定设计应力强度的依据为：钢材（除螺栓材料外）按表 D2-1，螺栓材料按表 2 的规定。

表 D2-1

材 料	设计应力强度 取下列各值中的最小值，MPa		
碳素钢、低合金钢	$R_m/2.4$	$R_{eL}/1.5$	$R_{eL}^t/1.5$
奥氏体型不锈钢	$R_m/2.4$	$R_{eL}(R_{p0.2})/1.5$	$R_{eL}^t(R_{p0.2}^t)/1.5$

备注 1：对奥氏体型不锈钢制受压元件，当设计温度低于蠕变范围，且允许有微量的永久变形时，可适当提高设计应力强度至 $0.9 R_{p0.2}^t$ ，但不超过 $R_{p0.2}/1.5$ 。此规定不适用于法兰或其他有微量永久变形就产生泄漏或故障的场合。

备注 2：如果引用标准规定了 $R_{p1.0}$ 或 $R_{p1.0}^t$ ，则可以选用该值计算其设计应力强度。

表中：

R_m ——材料标准抗拉强度下限值，MPa；

$R_{eL} (R_{p0.2}、R_{p1.0})$ ——材料标准室温屈服强度（或 0.2%、1.0% 非比例延伸强度），MPa；

$R_{eL}^t (R_{p0.2}^t、R_{p1.0}^t)$ ——材料在设计温度下的屈服强度（或 0.2%、1.0% 非比例延伸强度），MPa。

D.2.2 耐压试验压力

D.2.2.1 耐压试验压力的最低值按下述规定，工作条件下内装介质的液柱静压力大于液压试验时的液柱静压力时，应适当考虑相应增加试验压力。

液压试验：

$$p_T = 1.25 p \frac{S_m}{S_m^t} \dots\dots\dots (D2 - 1)$$

气压试验和气液组合压力试验：

$$p_T = 1.1p \frac{S_m}{S_m^t} \dots\dots\dots (D2 - 2)$$

式中：

p_T ——试验压力，MPa；

p ——设计压力，MPa；

S_m ——球壳材料在试验温度下的设计应力强度，MPa；

S_m^t ——球壳材料在设计温度下的设计应力强度，MPa。

注：球罐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 。

D.2.2.2 耐压试验应力校核。

试验时，球罐任何点上的压力（包括静压头）超过试验压力 p_T 的 6% 时，一次总体薄膜应力强度 S_I ，一次薄膜加一次弯曲应力强度 S_{II} 应满足下列条件：

$S_I \leq 0.9R_{eL}(R_{p0.2})$ （液压）， $S_I \leq 0.8R_{eL}(R_{p0.2})$ （气压、气液组合）

当 $S_I \leq 0.67R_{eL}(R_{p0.2})$ 时， $S_{II} \leq 1.35R_{eL}(R_{p0.2})$ ，

当 $0.67R_{eL}(R_{p0.2}) < S_I \leq 0.9R_{eL}(R_{p0.2})$ （气压、气液组合时 $0.8R_{eL}(R_{p0.2})$ ）时， $S_{II} \leq 2.15R_{eL}(R_{p0.2}) -$

1.2 S_I

式中： $R_{eL}(R_{p0.2})$ ——球壳材料在试验温度下的屈服强度（或 0.2% 的非比例延伸强度），MPa。

D.3 材料

D.3.1 钢材的使用温度下限，除奥氏体型不锈钢外均为 0℃。钢材使用温度低于 0℃ 时，除 JB 4732 的 6.1.8 和 6.3.3 规定外，应对钢材进行夏比（V 型缺口）低温冲击试验。冲击试验温度为钢材的使用温度（即相应受压元件的最低设计温度）或按图样的规定。除螺柱材料外，钢材的低温冲击功指标，按钢材标准的最低抗拉强度值确定，具体数值按表 3 的规定。

D.3.2 当球罐的设计温度高于 200℃ 时，其受压元件用钢材的高温性能见 GB 150.2 的附录 B，应力强度值按表 D2-1 确定。

D.3.3 钢板

D.3.3.1 钢板的标准、使用状态及设计应力强度按表 D3-1 的规定，且应符合下列附加技术要求（设计单位应在图样上注明）：

当球罐设计温度低于 0℃ 时，任意厚度的球壳用 Q245R、Q345R 钢板应在正火状态下使用。

D.3.3.2 符合下列条件的球壳用碳素钢和低合金钢钢板，每张热处理后的钢板（热处理后钢板被切割成数张时仍按 1 张考虑）应进行拉伸和夏比 V 型缺口冲击试验：

a) 调质热处理钢板；

b) 厚度大于 50mm 的钢板。

D.3.3.3 球壳用厚度 > 20mm 的 Q245R、Q345R 和 Q370R 钢板，应逐张进行超声检测，质量等级不低于 II 级。其他材料钢板的超声检测要求应符合表 6 的规定。

表 D3-1 钢板的设计应力强度

钢号	钢板标准	使用状态	厚度 mm	室温 强度指标		在下列温度(°C) 下的应力强度, MPa				备注
				R_m MPa	R_{eL} MPa	≤20	100	150	200	
Q245R	GB 713	热轧, 控轧, 正火	6~16	400	245	163	147	140	131	
			>16~36	400	235	157	140	133	124	
			>36~60	400	225	150	133	127	119	
Q345R	GB 713	热轧, 控轧, 正火	6~16	510	345	213	210	197	183	
			>16~36	500	325	208	197	183	170	
			>36~60	490	315	204	190	173	160	
Q370R	GB 713	正火	10~16	530	370	221	221	213	200	
			>16~36	530	360	221	220	207	193	
			>36~60	520	340	217	207	193	180	
16MnDR	GB 3531	正火, 正火加 回火	6~16	490	315	204	193	180	167	
			>16~36	470	295	196	180	167	157	
			>36~50	460	285	190	173	160	150	
15MnNiDR	GB 3531	正火, 正火加 回火	6~16	490	325	204	200	187	173	
			>16~36	480	315	200	193	180	167	
			>36~50	470	305	196	187	173	160	
15MnNiNbDR	GB 3531	正火, 正火加 回火	10~16	530	370	221	221	213	200	
			>16~36	530	360	221	220	207	193	
			>36~50	520	350	217	213	200	187	
09MnNiDR	GB 3531	正火, 正火加 回火	6~16	440	300	183	183	170	160	
			>16~36	430	280	179	170	157	150	
			>36~50	430	270	179	163	150	143	
07MnMoVR	GB 19189	调质	10~50	610	490	254	254	254	254	
07MnNiVDR	GB 19189	调质	10~50	610	490	254	254	254	254	
07MnNiMoDR	GB 19189	调质	10~50	610	490	254	254	254	254	

表 D3-1 (续)

钢号	钢板标准	使用状态	厚度 mm	在下列温度(°C) 下的应力强度, MPa				备注
				≤20	100	150	200	
S30408	GB24511	固溶	6~50	137	137	137	130	1
				137	114	103	96	
S30403	GB24511	固溶	6~50	120	120	118	110	1
				120	98	87	81	
S31608	GB24511	固溶	6~50	137	137	137	134	1
				137	117	107	99	
S31603	GB24511	固溶	6~50	120	120	117	108	1
				120	98	87	80	

备注 1: 该行应力强度仅适用于允许产生微量永久变形之元件, 对于法兰或其他有微量永久变形就产生泄漏或故障的场合不能采用。

D.3.4 钢管

D.3.4.1 钢管的标准及设计应力强度按表 D3-2 的规定。

表 D3-2 钢管的设计应力强度

钢号	钢管标准	使用状态	壁厚 mm	室温强度指标		在下列温度 (°C) 下的应力强度, MPa				备注
				R_m MPa	R_{eL} MPa	≤20	100	150	200	
10	GB/T 8163	热轧	≤10	335	205	137	121	115	108	
20	GB/T 8163	热轧	≤10	410	245	163	147	140	131	
Q345D	GB/T8163	正火	≤10	470	345	196	196	193	180	
10	GB 9948	正火	≤16	335	205	137	121	115	108	
			>16~30	335	195	130	117	111	105	
20	GB 9948	正火	≤16	410	245	163	147	140	131	
			>16~30	410	235	157	140	133	124	
20	GB6479	正火	≤16	410	245	163	147	140	131	
			>16~40	410	235	157	140	133	124	
16Mn	GB6479	正火	≤16	490	320	204	193	180	167	
			>16~40	490	310	204	187	173	160	
09MnD	---	正火	≤8	420	270	175	163	150	143	1
09MnNiD	---	正火	≤8	440	280	183	170	157	150	1

表 D3-2 (续)

钢号	钢管标准	壁厚 mm	在下列温度 (°C) 下的应力强度, MPa				备注
			≤20	100	150	200	
0Cr18Ni9 (S30408)	GB 13296	≤14	137	137	137	130	2
			137	114	103	96	
0Cr18Ni9 (S30408)	GB/T 14976	≤28	137	137	137	130	2
			137	114	103	96	
00Cr19Ni10 (S30403)	GB 13296	≤14	117	117	117	110	2
			117	97	87	81	
00Cr19Ni10 (S30403)	GB/T 14976	≤28	117	117	117	110	2
			117	97	87	81	
0Cr17Ni12Mo2 (S31608)	GB 13296	≤14	137	137	137	134	2
			137	117	107	99	
0Cr17Ni12Mo2 (S31608)	GB/T 14976	≤28	137	137	137	134	2
			137	117	107	99	
00Cr17Ni14Mo2 (S31603)	GB 13296	≤14	117	117	117	108	2
			117	97	87	80	
00Cr17Ni14Mo2 (S31603)	GB/T 14976	≤28	117	117	117	108	2
			117	97	87	80	
S30408	GB/T 12771	≤28	116	116	116	111	2
			116	97	88	82	
S30403	GB/T 12771	≤28	99	99	99	94	2
			99	82	74	69	
S31608	GB/T12771	≤28	116	116	116	114	2
			116	99	91	84	
S31603	GB/T 12771	≤28	99	99	99	92	2
			99	82	74	68	

备注 1: 该钢管的技术要求见 GB 150.2 附录 A。

备注 2: 该行应力强度仅适用于允许产生微量永久变形之元件, 对于法兰或其他有微量永久变形就引起泄漏或故障的场合不能采用。

D.3.5 锻件

D.3.5.1 锻件的标准及设计应力强度按表 D3-3 的规定。

表 D3-3 锻件的设计应力强度

钢号	锻件标准	使用状态	公称厚度 mm	室温 强度指标		在下列温度(°C) 下的应力强度,MPa				备注
				R _m MPa	R _{eL} MPa	≤20	100	150	200	
20	NB/T 47008	正火, 正火 加回火	≤100	410	235	157	140	133	124	
			>100~200	400	225	150	133	127	119	
			>200~300	380	205	137	123	117	109	
16Mn	NB/T 47008	正火, 正火 加回火, 调 质	≤100	480	305	200	183	167	150	
			>100~200	470	295	196	177	163	147	
			>200~300	450	275	183	167	157	143	
20MnMo	NB/T 47008	调质	≤300	530	370	221	221	213	203	
16MnD	NB/T 47009	调质	≤100	480	305	200	183	167	150	
			>100~200	470	295	196	177	163	147	
			>200~300	450	275	183	167	157	143	
20MnMoD	NB/T 47009	调质	≤300	530	370	221	221	213	203	
08MnNiMoVD	NB/T 47009	调质	≤300	600	480	250	250	250	250	
10Ni3MoVD	NB/T 47009	调质	≤300	600	480	250	250	250	250	
09MnNiD	NB/T 47009	调质	≤200	440	280	183	170	157	150	
			>200~300	430	270	179	163	150	143	

表 D3-3 (续)

钢号	锻件标准	使用状态	公称厚度 mm	在下列温度(°C)下的应力强度,MPa				备注
				≤20	100	150	200	
S30408	NB/T 47010	固溶	≤300	137	137	137	130	1
				137	114	103	96	
S30403	NB/T 47010	固溶	≤300	117	117	117	110	1
				117	98	87	81	
S31608	NB/T 47010	固溶	≤300	137	137	137	134	1
				137	117	107	99	
S31603	NB/T 47010	固溶	≤300	117	117	117	108	1
				117	98	87	80	

备注 1: 该行应力强度仅适用于允许产生微量永久变形之元件, 对于法兰或其他有微量永久变形就引起泄漏或故障的场合不能采用。

D.3.6 螺柱和螺母

D.3.6.1 螺柱用钢的标准、使用状态及设计应力强度按表 D3-4 的规定。

表 D3-4 螺柱的设计应力强度

钢号	钢棒标准	使用状态	螺柱规格 mm	室温 强度指标		在下列温度 (°C) 下的应力强度, MPa			
				R_m MPa	R_{eL} MPa	≤20	100	150	200
20	GB/T 699	正火	≤M22	410	245	91	81	78	73
			M24 ~ M27	400	235	94	84	80	74
35	GB/T 699	正火	≤M22	530	315	117	105	98	91
			M24 ~ M27	510	295	118	106	100	92
30CrMoA	GB/T 3077	调质	≤M22	700	550	157	141	137	134
			M24 ~ M48	660	500	167	150	145	142
35CrMoA	GB/T 3077	调质	≤M22	835	735	210	190	185	179
			M24 ~ M48	805	685	228	206	199	196
S30408	GB/T 1220	固溶	≤M22	520	205	128	107	97	90
			M24 ~ M48	520	205	137	114	103	96
S31608	GB/T 1220	固溶	≤M22	520	205	128	109	101	93
			M24 ~ M48	520	205	137	117	107	99
S32168	GB/T 1220	固溶	≤M22	520	205	128	107	97	90
			M24 ~ M48	520	205	137	114	103	96

D.4 计算

D.4.1 符号说明

- D_i ——球壳内直径, mm;
- p_{ci} ——计算压力, MPa;
- R_i ——球壳内半径, mm;
- δ_e ——球壳有效厚度, mm;
- S_m^t ——设计温度下球壳材料的设计应力强度, MPa;
- K ——载荷组合系数, 见 JB 4732 表 3-3;
- δ ——开孔处球壳计算厚度, mm。

D.4.2 球壳计算

D.4.2.1 设计温度下球壳的计算厚度按式 (D4-1) 计算:

$$\delta = \frac{0.5P_{ci}R_i}{KS_m^t - 0.25P_{ci}} \dots\dots\dots (D4 - 1)$$

D.4.2.2 设计温度下球壳的最大允许工作压力按式 (D4-2) 计算:

$$P_w = \frac{K\delta_e S_m^t}{0.5R_i + 0.25\delta_e} \dots\dots\dots (D4 - 2)$$

式中: P_w ——设计温度下球壳的最大允许工作压力, MPa。

D.4.3 载荷组合工况

D.4.3.1 设计应考虑内压、自重、风载、地震载荷, 分以下三种工况:

- a) 内压+自重;
- b) 内压+自重+风载;

c) 内压+自重+25%风载+地震载荷。

D. 4. 3. 2 耐压状态应考虑内压、自重、风载。

D. 4. 4 支柱与拉杆计算

支柱与拉杆的计算按第 6 章进行。

D. 4. 5 开孔和开孔补强

开孔和开孔补强应按 JB 4732 第 10 章的规定。

D. 5 制造

D. 5. 1 球壳板

D. 5. 1. 1 曲率允许偏差

当球壳板弦长大于或等于 2000mm 时，样板的弦长不得小于 2000mm；当球壳板弦长小于 2000mm 时，样板的弦长不得小于球壳板的弦长。样板与球壳板的间隙 e 除球壳板周边 150mm 范围内不得大于 2.5mm 外，其余部位不得大于 3mm。如图 D5-1 所示。

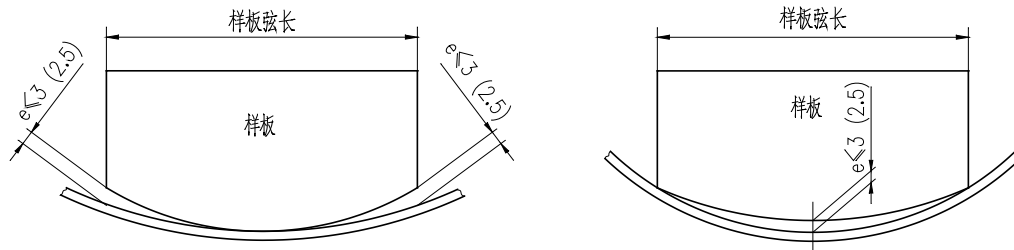


图 D5-1

D. 5. 1. 2 球壳板周边 100mm 的范围内、与支柱相连的已成形赤道板在距支柱与赤道板预焊位置周边 150mm 范围内应按 JB/T 4730.3 的规定进行超声检测，质量等级按 4.2.8 的规定。

D. 5. 1. 3 不得采用钢印标记。

D. 5. 2 零部件组焊

D. 5. 2. 1 分段支柱上段与赤道板的组焊应在制造单位进行。组焊后，按 7.2.1 检查赤道板的曲率，最大间隙不得大于 3mm。支柱中心线的偏移量不得大于 $\pm 1\text{mm}$ ，支柱中心线与球壳中心线的不平行度不得大于 $\pm 1\text{mm}$ 。

D. 5. 2. 2 人孔、接管与极板的组焊应在制造单位进行（嵌入式接管与球壳板的对口错边量不得大于 2mm），焊后应符合下列要求：

安放式接管、与球壳板对接连接的嵌入式接管以及插入端与球壳板内壁平齐的插入式接管，其内表面转角半径 r 不小于球壳板名义厚度的 1/4，且不大于 20mm，如图 D5-2 中的 (a) ~ (c) 所示；内伸的插入式接管，其内表面转角半径 r 不小于接管名义厚度的 1/4，且不大于 10mm，如图 D5-2 中的 (d) 所示。

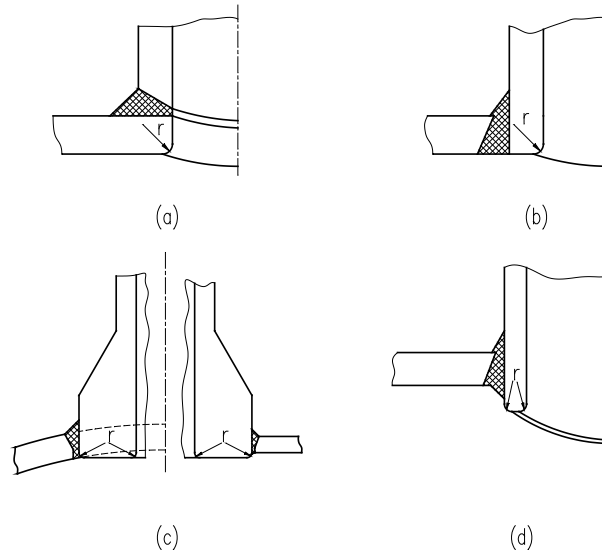


图 D5-2

D. 5. 2. 3 焊缝表面的形状尺寸及外观要求见 D.6.3 的规定。

D. 6 组焊、检验与验收

D. 6. 1 组装

D. 6. 1. 1 球壳组装要求

D. 6. 1. 1. 1 组装后,用弦长 L 不小于 1000mm 的样板,沿对接接头每 500mm 测量一点,棱角 E (包括错边量) 不应大于 6mm, 见图 25。

E 值按式 (D6-1) 计算:

$$E = A - B \quad \dots\dots\dots (D6 - 1)$$

式中:

E ——棱角, mm;

A ——球壳与样板的最大径向距离, mm;

B ——球壳设计内半径或外半径与样板曲率半径的径向距离, mm。

$$B = |R - R_{\text{样板}}| \quad \dots\dots\dots (D6 - 2)$$

式中:

R ——球壳的设计内半径或外半径, mm;

$R_{\text{样板}}$ ——样板的曲率半径, mm。

D. 6. 2 焊后尺寸检查

D. 6. 2. 1 对接焊缝形成的棱角 E 应按 D.6.1.1.1 的方法进行检查。 E 值不得大于 8mm。

D. 6. 2. 2 焊后球壳两极间的净距与球壳设计内直径之差和赤道截面的最大内直径与最小内直径之差均应小于球壳设计内直径的 0.5%, 且不大于 80mm。

D. 6. 3 焊缝表面的形状尺寸及外观要求

D. 6. 3. 1 对接焊缝的余高 e_1 、 e_2 应符合表 D6-1 和图 27 的规定。

表 D6-1 对接焊缝余高 e_1, e_2

mm

标准抗拉强度下限值 $\sigma_b > 540\text{MPa}$ 的低合金钢钢材				其他钢材			
单面坡口		双面坡口		单面坡口		双面坡口	
e_1	e_2	e_1	e_2	e_1	e_2	e_1	e_2
0%~10% δ_s 且 ≤ 2.4	0~1.5	0%~10% δ_1 且 ≤ 2.4	0%~10% δ_2 且 ≤ 2.4	0%~15% δ_s 且 ≤ 3	0~1.5	0%~15% δ_1 且 ≤ 3	0%~15% δ_2 且 ≤ 3

D.6.3.2 角焊缝的焊脚尺寸，在图样无规定时，取焊件中较薄者之厚度。补强圈的焊脚尺寸，当补强圈的厚度大于等于 8mm 时，其焊脚尺寸等于补强圈厚度的 70%，且不小于 8mm。

D.6.3.3 凡进行疲劳分析的球罐，球壳对接焊缝表面应与母材表面齐平，公差要求为 ${}^0_{+1.5}\text{mm}$ 。

D.6.4 球壳对接焊接接头，应按图样规定的检测方法，进行全部（100%）的无损检测。

附录 E
(规范性附录)
低温球形储罐

E.1 总则

E.1.1 本附录适用于设计温度低于 -20°C 的碳素钢和低合金钢制低温球形储罐(以下简称“低温球罐”)的设计、制造、组焊、检验与验收。

E.1.2 本附录未作规定者,应符合本标准各相关章节的要求。

E.1.3 由于环境温度的影响,导致操作条件下球壳的金属温度低于 -20°C 时,也应遵循本附录的规定。

注:环境温度系指球罐使用地区历年来“月平均最低气温”的最低值。“月平均最低气温”是指当月各天的最低气温值相加后除以当月的天数。

E.1.4 当球壳或其受压元件使用在“低温低应力工况”下,若其设计温度加 50°C 对于不要求焊后热处理的球罐,加 40°C 后不低于 -20°C 除另有规定外不必遵循本附录的规定。

“低温低应力工况”系指球壳或其受压元件的设计温度虽然低于 -20°C 但其设计应力(在该设计条件下,球罐元件实际承受的最大一次总体薄膜应力)小于或等于钢材标准室温屈服强度的 $1/6$,且不大于 50MPa 时的工况。

“低温低应力工况”不适用于钢材标准抗拉强度下限值 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 的低温球罐。

“低温低应力工况”不适用于螺栓(螺柱)材料;螺栓(螺柱)材料的选用应计及螺栓(螺柱)和球壳设计温度间的差异。

E.2 材料

E.2.1 钢材

E.2.1.1 低温球罐受压元件用钢板和锻件必须是氧气转炉或者电炉冶炼的镇静钢,同时还应采用炉外精炼工艺。低温球罐用钢板应为正火或调质状态。钢材的使用温度下限应符合第4章的相关规定,当符合E1.4所规定的低温低应力工况时,可按设计温度加 50°C (对于不要求焊后热处理的球罐,加 40°C)后的温度值选择材料。

E.2.1.2 直接与受压元件焊接的非受压元件用钢,应符合下列要求:

- a) 其材料的化学成分、力学性能应与球壳相同或相当;
- b) 应是焊接性能良好的钢材。

E.2.2 焊接材料

E.2.2.1 低温球罐用焊材,应保证焊缝金属的力学性能高于或等于母材规定的限值。

当焊缝两侧母材具有不同冲击试验要求时,焊接材料的选用应符合E4.2.2要求。

E.2.2.2 焊接材料的型号、牌号、技术要求、试验方法、检验规则、以及质量管理等,应符合相应标准的规定。

E. 2. 2. 3 焊条应按批号进行熔敷金属扩散氢含量的复验。

E. 3 设计

E. 3. 1 低温球罐用材的许用应力，按第 4 章中各相应材料在 20℃ 下的许用应力选取，或按 3.9 确定。

E. 3. 2 低温球罐的结构设计应充分考虑以下因素：

- a) 结构应尽量简单，减少约束；
- b) 避免产生过大的温度梯度；
- c) 应尽量避免结构形状的突然变化，以减小局部应力；
- d) 接管与壳体连接部位应圆滑过渡，接管端部内壁处倒圆。

E. 3. 3 低温球罐的对接接头应采用全熔透焊接接头型式。

E. 4 制造、组焊、检验与验收

E. 4. 1 加工与成形

E. 4. 1. 1 低温球罐不得采用钢印标记。

E. 4. 2 焊接

E. 4. 2. 1 低温球罐施焊前应按 NB/T 47014 进行焊接工艺评定试验。检验项目应包括焊缝和热影响区的低温夏比（V 型缺口）冲击试验，冲击试验的取样方法，按 NB/T 47014 要求确定。

E. 4. 2. 2 冲击试验温度应不高于图样要求的试验温度。当焊缝两侧母材具有不同冲击试验要求时，低温冲击功按两侧母材抗拉强度的较低值符合表 3 或图样的要求。焊接接头的拉伸和弯曲性能按两侧母材中的较低要求。

E. 4. 2. 3 应严格控制焊接线能量。在焊接工艺评定所确认的范围内，选用较小的焊接线能量和多层多道施焊为宜，并应控制层间温度。

E. 4. 3 焊后整体热处理（PWHT）

E. 4. 3. 1 符合下列情况之一的球罐应在耐压试验前进行焊后整体热处理：

- a) 焊接接头厚度大于 32mm（若焊前预热 100℃ 以上时，焊接接头厚度大于 38mm）的 07MnNiVDR、07MnNiMoDR 球罐；
- b) 焊接接头厚度大于 25mm 的 16MnDR 球罐；
- c) 焊接接头厚度大于 20mm（设计温度不低于-45℃），任意厚度（设计温度低于-45℃）的 15MnNiDR、15MnNiNbDR、09MnNiDR 球罐；

E. 4. 4 产品焊接试件

E. 4. 4. 1 每台低温球罐都应制备产品焊接试件。相关要求应符合 8.9 的规定。

E. 4. 5 焊接接头检验

E. 4. 5. 1 低温球罐凡符合下列条件之一者，应按设计文件规定的检测方法，对所有对接接头进行全部（100%）射线或超声检测：

- a) 设计温度低于-40℃；
- b) 焊接接头厚度大于 25mm。

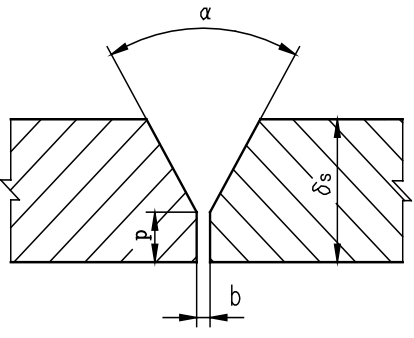
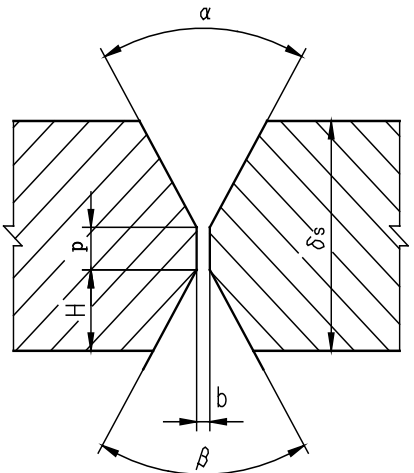
E. 4. 5. 2 除 E4.5.1 规定者外，允许进行局部无损检测。检查长度不得少于各条焊接接头长度的 50%，且不得小于 250mm。

E. 4. 5. 3 应对球罐的所有焊接接头表面、工卡具焊迹及缺陷修磨、焊补处进行磁粉或渗透检测。非受压件与球壳的连接焊缝亦按本条要求检测。

E. 4. 6 低温球罐液压试验时的液体温度应不低于 5℃。

附录 F
(资料性附录)
球壳对接焊缝的坡口形式及尺寸

表 F. 1

坡口形式	坡口尺寸	
	埋弧焊	焊条电弧焊
	$\delta_s=10\sim 24\text{mm}$ $P=6\pm 2\text{mm}$ $b=2\pm 2\text{mm}$ $\alpha=55^\circ\pm 5^\circ$	$\delta_s=6\sim 24\text{mm}$ $P=2\pm 1\text{mm}$ $b=2\pm 2\text{mm}$ $\alpha=55^\circ\pm 5^\circ$
	$\delta_s=20\sim 50\text{mm}$ $H=10\pm 1\text{mm}$ $P=6\pm 2\text{mm}$ $b=2\pm 2\text{mm}$ $\alpha=50^\circ\pm 5^\circ$ $\beta=55^\circ\pm 5^\circ$	$\delta_s=20\sim 50\text{mm}$ $H=\frac{1}{3}\delta_s\pm 1.5\text{mm}$ $P=2\pm 1\text{mm}$ $b=2\pm 2\text{mm}$ $\alpha=50^\circ\pm 5^\circ$ $\beta=55^\circ\pm 5^\circ$

附录 G
(规范性附录)
场地类别划分

G.1 选择建筑场地时，应按表 G1 划分对建筑抗震有利、一般、不利和危险的地段。

表 G1 有利、一般、不利和危险地段的划分

地段类别	地质、地形、地貌
有利地段	稳定基岩，坚硬土，开阔、平坦、密实、均匀的中硬土等
一般地段	不属于有利、不利和危险的地段
不利地段	软弱土，液化土，条状突出的山嘴，高耸孤立的山丘，陡坡，陡坎，河岸和边坡的边缘，平面分布上成因、岩性、状态明显不均匀的土层（如故河道、疏松的断层破碎带、暗埋的塘浜沟谷和半填半挖地基），高含水量的可塑黄土，地表存在结构性裂缝等
危险地段	地震时可能发生滑坡、崩塌、地陷、地裂、泥石流等及发震断裂带上可能发生地表错位的部位

G.2 建筑场地的类别划分，应以土层等效剪切波速和场地覆盖层厚度为准。

G.3 当无实测剪切波速时，可根据岩土名称和性状，按表 G2 划分土的类型，再利用当地经验在表 G2 的剪切波速范围内估算各土层的剪切波速。

表 G2 土的类型划分和剪切波速范围

土的类型	岩土名称和性状	土层剪切波速范围 (m/s)
岩石	坚硬、较硬且完整的岩石	$v_s > 800$
坚硬土或软质岩石	破碎和较破碎的岩石或软和较软的岩石，密实的碎石土	$800 \geq v_s > 500$
中硬土	中密、稍密的碎石土，密实、中密的砾、粗、中砂， $f_{ak} > 150$ 的黏性土和粉土，坚硬黄土	$500 \geq v_s > 250$
中软土	稍密的砾、粗、中砂，除松散外的细、粉砂， $f_{ak} \leq 150$ 的黏性土和粉土， $f_{ak} > 130$ 的填土，可塑新黄土	$250 \geq v_s > 150$
软弱土	淤泥和淤泥质土，松散的砂，新近沉积的黏性土和粉土， $f_{ak} \leq 130$ 的填土，流塑黄土	$v_s \leq 150$

注： f_{ak} 为由载荷试验等方法得到的地基承载力特征值，kPa； v_s 为岩土剪切波速。

G.4 建筑场地覆盖层厚度的确定，应符合下列要求：

a) 一般情况下，应按地面至剪切波速大于 500m/s 且其下卧各层岩土的剪切波速均不小于

500m/s 的土层顶面的距离确定；

- b) 当地面 5m 以下存在剪切波速大于其上部各土层剪切波速 2.5 倍的土层，且该层及其下卧各层岩土剪切波速均不小于 400m/s 时，可按地面至该土层顶面的距离确定；
- c) 剪切波速大于 500m/s 的孤石、透镜体，应视同周围土层；
- d) 土层中的火山岩硬夹层，应视为刚体，其厚度应从覆盖土层中扣除。

G.5 土层的等效剪切波速，应按式 (G1) 计算：

$$v_{se} = \frac{d_0}{t} \dots\dots\dots (G1)$$

$$t = \sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{v_{si}} \right) \dots\dots\dots (G2)$$

式中：

- v_{se} ——土层等效剪切波速，m/s；
- d_0 ——计算深度，m，取覆盖层厚度和 20m 二者的较小值；
- t ——剪切波在地面至计算深度之间的传播时间 s；
- d_i ——计算深度范围内第 i 土层的厚度，m；
- v_{si} ——计算深度范围内第 i 土层的剪切波速，m/s；
- n ——计算深度范围内土层的分层数。

G.6 建筑的场地类别，应根据土层等效剪切波速和场地覆盖层厚度按表 G3 划分为四类，其中 I 类分为 I₀ 和 I₁ 两个亚类。当有可靠的剪切波速和覆盖层厚度且其值处于表 G3 所列场地类别的分界线附近时，应允许按插值方法确定地震作用计算所用的特征周期。

表 G3 场地覆盖层厚度 m

岩石的剪切波速或土的等效剪切波速 (m/s)	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
$v_s > 800$	0				
$800 \geq v_s > 500$		0			
$500 \geq v_{se} > 250$		<5	≥5		
$250 \geq v_{se} > 150$		<3	3~50	>50	
$v_{se} \leq 150$		<3	3~15	>15~80	>80

注：表中 v_s 系岩石的剪切波速。