

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 50567 — 2010

炼铁工艺炉壳体结构技术规范

Technical code for shell structure of ironmaking furnace

2010 — 05 — 31 发布

2010 — 12 — 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

炼铁工艺炉壳体结构技术规范

Technical code for shell structure of ironmaking furnace

GB 50567 - 2010

主编部门：中 国 冶 金 建 设 协 会

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 0 年 1 2 月 1 日

中国计划出版社

2010 北 京

中华人民共和国国家标准
炼铁工艺炉壳体结构技术规范

GB 50567-2010

☆

中国冶金建设协会 主编

中国计划出版社出版

(地址:北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 4 层)

(邮政编码:100038 电话:63906433 63906381)

新华书店北京发行所发行

世界知识印刷厂印刷

850×1168 毫米 1/32 4.375 印张 110 千字

2010 年 11 月第 1 版 2010 年 11 月第 1 次印刷

印数 1—6000 册

☆

统一书号:1580177·467

定价:27.00 元

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 617 号

关于发布国家标准 《炼铁工艺炉壳体结构技术规范》的公告

现批准《炼铁工艺炉壳体结构技术规范》为国家标准,编号为 GB 50567—2010,自 2010 年 12 月 1 日起实施。其中,第 3.0.6 (1、2、3、4)、5.1.8、7.2.3、8.5.7(2)、10.1.5 条(款)为强制性条文,必须严格执行。

本规范由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

二〇一〇年五月三十一日

前 言

本规范是根据原建设部《关于印发〈2006 年工程建设标准规范制订、修订计划(第二批)〉的通知》(建标〔2006〕136 号)的要求,由中冶赛迪工程技术股份有限公司会同有关单位共同编制完成的。

在制订过程中,规范编制组开展了多项专题研究和必要的试验验证;进行了调查分析;总结了多年来我国壳体结构设计、施工和生产使用的实践经验;吸取了近年来的科研成果;与国外先进的标准规范进行了比较;与相关的标准规范进行了协调。在此基础上以多种方式广泛征求了有关单位意见并进行了试设计,对重点章节进行了反复修改,最后经审查定稿。

本规范共分 10 章和 9 个附录,主要技术内容包括总则,术语和符号,基本规定,荷载,材料,壳体结构设计,构造要求,焊接,除锈及涂装,施工、安装与检验等。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,中国冶金建设协会负责日常管理,中冶赛迪工程技术股份有限公司负责技术内容的解释。

在执行本规范过程中,请各单位结合工程实践,认真总结经验,并将意见和建议寄至中冶赛迪工程技术股份有限公司国家标准《炼铁工艺炉壳体结构技术规范》管理组(地址:重庆市渝中区双钢路 1 号;邮政编码:400013;传真:023-63548888),以供今后修订时参考。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

主 编 单 位: 中冶赛迪工程技术股份有限公司

参编单位：中冶建筑研究总院有限公司

重庆大学

中冶京诚工程技术有限公司

中冶南方工程技术有限公司

武汉冶金设备制造有限公司

上海宝冶建设有限公司

西安建筑科技大学

中冶东方工程技术有限公司

宝山钢铁股份有限公司

鞍钢股份有限公司

中冶实久建设有限公司

上海四新建筑钢结构制品有限公司

成都天合宏业科技发展有限公司

主要起草人：但泽义 段 斌 薛尚铃 戴国欣 崔 佳

王 建 王越涛 马浏海 石梦林 李树彬

罗福盛 郝际平 李 铁 颜 鹏 李成智

邓玉孙 张凤保 陈建荣 刘徐源 李 胜

任海明 汪晓鸥

主要审查人：郭启蛟 穆海生 端木祥 苏 平 卢立香

尹长生 李洪光 严洪丽 罗 劲

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(4)
3	基本规定	(6)
4	荷 载	(7)
4.1	荷载分类和荷载效应组合	(7)
4.2	壳体荷载	(7)
5	材 料	(9)
5.1	钢材	(9)
5.2	连接材料	(10)
5.3	设计指标	(11)
6	壳体结构设计	(14)
6.1	高炉壳体结构	(14)
6.2	热风炉壳体结构	(16)
6.3	煤气上升管、下降管、五通球或三通管壳体结构	(22)
6.4	重力除尘器壳体结构	(23)
7	构造要求	(25)
7.1	一般规定	(25)
7.2	高炉壳体结构	(25)
7.3	热风炉壳体结构	(27)
7.4	煤气上升管、下降管、五通球或三通管、重力除尘器 壳体结构	(29)
8	焊 接	(31)

8.1	一般规定	(31)
8.2	焊接节点	(31)
8.3	焊接工艺评定	(33)
8.4	焊接工艺	(41)
8.5	焊接质量检验	(45)
9	除锈及涂装	(49)
10	施工、安装与检验	(51)
10.1	一般规定	(51)
10.2	壳体施工	(52)
10.3	壳体结构质量检验	(57)
10.4	壳体安装	(58)
10.5	焊接	(61)
10.6	涂装	(62)
10.7	整体泄漏性试验	(63)
10.8	竣工验收	(63)
附录 A	热风炉炉内气体压力	(64)
附录 B	技术要求	(65)
附录 C	壳体结构用钢许用应力值	(67)
附录 D	不同温度下钢材的弹性模量	(68)
附录 E	高炉壳体结构全焊透坡口形状和尺寸	(69)
附录 F	内燃式热风炉壳体结构全焊透坡口形状和 尺寸	(73)
附录 G	外燃式热风炉蓄热室壳体结构全焊透坡口 形状和尺寸	(75)
附录 H	混风室壳体结构全焊透坡口形状和尺寸	(77)
附录 J	推荐选用焊接材料	(78)
	本规范用词说明	(79)
	引用标准名录	(80)
	附:条文说明	(83)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(4)
3	Basic requirement	(6)
4	Loads	(7)
4.1	Load classification and load effect combination	(7)
4.2	Loads on shell	(7)
5	Material	(9)
5.1	Structural steel	(9)
5.2	Connecting material	(10)
5.3	Design data	(11)
6	Shell structural design	(14)
6.1	Blast furnace	(14)
6.2	Hot stove	(16)
6.3	Gas uptake, Downcomer, 5-Channel sphere or Tee pipe ...	(22)
6.4	Dust catcher	(23)
7	Requirements on construction	(25)
7.1	General requirement	(25)
7.2	Blast furnace shell	(25)
7.3	Hot stove shell	(27)
7.4	Shell of gas uptake, Downcomer, 5-Channel sphere or Tee pipe, Dust catcher	(29)
8	Welding	(31)

8.1	General requirement	(31)
8.2	Welding joint details	(31)
8.3	Welding process evaluation	(33)
8.4	Welding process	(41)
8.5	Quality inspection of welding	(45)
9	Derusting and painting	(49)
10	Construction, Erection and inspection	(51)
10.1	General requirement	(51)
10.2	Shell construction	(52)
10.3	Quality inspection of shell structure	(57)
10.4	Shell erection	(58)
10.5	Welding	(61)
10.6	Painting	(62)
10.7	Overall leakage test	(63)
10.8	Take-over acceptance	(63)
Appendix A	Gas pressure in hot stove	(64)
Appendix B	Technical requirements	(65)
Appendix C	Allowable stress value of shell structural steel	(67)
Appendix D	Elastic modulus of steel at different temperatures	(68)
Appendix E	Shapes and sizes of completely-penetrated grooves for blast furnace shell	(69)
Appendix F	Shapes and sizes of completely-penetrated groove for internal-combustion hot stove shell	(73)
Appendix G	Shapes and sizes of completely-penetrated groove for checker chamber of external combustion hot stove	(75)

Appendix H	Shapes and sizes of completely-penetrated groove for mixing chamber	(77)
Appendix J	Recommended welding material	(78)
	Explanation of wording in this code	(79)
	List of quoted standards	(80)
	Addition; Explanation of provisions	(83)

1 总 则

1.0.1 为在炼铁工艺炉壳体结构设计与施工中,做到技术先进、经济合理、安全适用和确保质量,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于新建、改扩建的有效容积为 $1000\text{m}^3 \sim 5000\text{m}^3$ 级的高炉、热风炉(内燃式、顶燃式、外燃式)、上升管、下降管、五通球或三通管、除尘器的壳体结构设计、施工与质量检验。

1.0.3 壳体结构的设计、施工与质量检验除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 壳体结构 shell structure

由两个或多个曲面限定的片状物体称为壳体。壳体结构由若干片状物体组成。炼铁工艺炉壳体结构的厚度与中曲面的最小曲率半径之比小于 1/50 属薄壳结构。

2.1.2 恒荷载 dead load

在壳体结构使用期间,其值不随时间变化,或其变化与平均值相比可以忽略不计的荷载。

2.1.3 活荷载 live load

在壳体结构使用期间,其值随时间变化,且其变化与平均值相比不可忽略的荷载。

2.1.4 偶然荷载 accidental load

在壳体结构使用期间不一定出现,一旦出现,其值很大且持续时间很短的荷载。

2.1.5 荷载效应 load effect

由荷载引起壳体结构的反应,例如内力、变形等。

2.1.6 荷载组合 load combination

按许用应力计算时,为保证壳体结构的可靠性而对同时出现的各种荷载标准值的规定。

2.1.7 应力强度 stress intensity

壳体计算点上三个主应力中最大与最小值之差,亦称组合应力当量强度。

2.1.8 许用应力 allowable stress

应力强度许用极限,取设计温度下屈服点或 0.2% 屈服强度

最低值除以安全系数而得。

2.1.9 弹性分析 elastic analysis

按弹性失效准则对结构进行内力及位移分析。

2.1.10 弹塑性分析 elastic-plastic analysis

考虑材料塑性特征计算给定载荷下结构状态的方法。

2.1.11 屈曲 buckling

板件在轴心压力、弯矩、剪力共同作用下突然发生与原受力状态不符的较大变形而失去稳定。

2.1.12 焊接 welding

通过电弧或气体火焰等加热并有时加压,用填充或不用填充材料使被连接焊件达到原子或分子结合状态的连接方式。

2.1.13 焊接工艺 welding process

与制作焊件有关的加工方法和实施要求,包括焊接准备、材料选用、焊接方法选定、焊接参数、操作要求等。

2.1.14 焊接工艺评定 welding process evaluation

为验证所拟定的焊接工艺的正确性而进行的试验过程及结果评价。

2.1.15 蝶形封头 dished head

由中心具较大半径的球冠与周边较小半径的环壳以及一圆筒体直边段组成。

2.1.16 预拼装 pre-assembly

为检验壳体是否满足安装质量要求而进行的拼装。

2.1.17 壳体组装 shell assembly

在安装工程起重机械工作范围内的平台上,将分块壳体组装成整圈,并焊接完成的一种工序。

2.1.18 壳体安装 shell installation

利用起重机械将壳体安装到指定位置的统称。

2.1.19 间隙 gap

壳体组对时,两钢板间的距离。

2.2 符 号

2.2.1 作用和作用效应标准值

G_k ——恒荷载的标准值；

Q_k ——活荷载的标准值；

S_{Gk} ——恒荷载效应的标准值；

S_{Qk} ——活荷载效应的标准值；

S ——荷载效应组合值；

N ——轴心力；

M ——弯矩；

p ——热风炉正常或偶然气体压力之较大值；

p_c ——鼓风机最大出口气体压力；

G_o ——热风炉壳体自重标准值。

2.2.2 计算指标

E ——钢材的弹性模量；

G ——钢材的剪变模量；

σ_T ——热应力(环向拉应力)；

$[\sigma]$ ——钢材的许用应力；

$[\sigma'_t]$ ——锚栓的许用应力；

R_{eH} ——钢材的屈服强度；

R_m ——钢材的抗拉强度；

ρ ——质量密度；

ΔT ——内外温差；

Δ ——不均匀膨胀量。

2.2.3 几何参数

A_n ——净截面面积；

I ——毛截面惯性矩；

W_n ——净截面模量；

d ——管内径；

l ——长度或跨度；
 θ ——夹角；
 D ——内直径；
 t ——钢板的厚度；
 γ_Q ——锚栓至热风炉中心的距离；
 r_0 ——热风炉炉缸的内径。

2.2.4 计算系数及其他

ψ_c ——活荷载的组合值系数；
 α ——线膨胀系数；
 ν ——泊桑系数；
 n ——锚栓数量。

3 基本规定

3.0.1 设计壳体结构时,应从工程实际情况出发,合理选用材料、结构方案、焊缝质量等级和构造措施,满足工艺、制作、安装和生产过程中的应力强度和刚度要求。

3.0.2 壳体结构设计应与施工应使高炉一代炉役的工作年限不低于 15 年;热风炉等的工作年限应满足高炉二代炉役的要求。

3.0.3 壳体结构设计应根据炼铁工艺特点与炉容级别,综合考虑荷载性质、材料供应、开孔形状,制作、安装、施工条件等因素,选择合理的结构形式、节点构造及连接方式。

3.0.4 壳体结构设计时,应以最大剪应力理论作为强度准则。荷载应采用标准荷载,设计应力强度应采用许用应力。

3.0.5 壳体结构应进行弹性计算分析,高炉、热风炉的壳体结构尚应进行弹塑性计算分析;使用时需要控制变形的壳体结构,应计算变形。

3.0.6 壳体结构的对接、T 形对接与角接组合焊缝应焊透,其焊缝质量等级应符合下列规定:

- 1 高炉、热风炉、五通球壳体结构的对接焊缝应为一級;
- 2 下降管壳体结构的横向对接焊缝应为一級,纵向对接焊缝应為二級;
- 3 其他壳体结构的对接焊缝应為二級;
- 4 焊透的 T 形对接与角接组合焊缝应為二級;
- 5 焊缝质量检验应符合本规范第 8.5.7 条的规定。

4 荷 载

4.1 荷载分类和荷载效应组合

4.1.1 设计壳体结构时,风荷载、雪荷载、平台积灰荷载和平台活荷载的标准值,应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定。

4.1.2 壳体结构上的荷载可分为恒荷载、活荷载、偶然荷载三类。

4.1.3 设计壳体结构和连接时,应根据生产使用过程中可能同时作用的荷载按下式进行荷载效应组合计算,并按最不利者验算其强度。

$$S = S_{GK} + S_{Q1K} + \sum_{i=2}^n \psi_{ei} S_{QiK} \quad (4.1.3)$$

式中: S ——荷载效应组合值;

S_{GK} ——按恒荷载标准值 G_k 计算的荷载效应值;

S_{Q1K} ——按活荷载标准值 Q_{1k} 计算的荷载效应值,其中 S_{Q1K} 为诸活荷载效应中起控制作用者;

ψ_{ei} ——活荷载 Q_i 的组合值系数,对高炉和热风炉的壳体结构取 1.0;其他壳体结构,无风时取 1.0,有风时取 0.9;

n ——参与组合的活荷载数。

4.1.4 偶然组合,除恒荷载效应值外,与偶然荷载同时出现的其他荷载效应组合值系数应取 0.8。气体爆炸压力不宜与炉料压力同时作用。

4.2 壳体荷载

4.2.1 高炉壳体荷载应按表 4.2.1 的规定确定。

表 4.2.1 高炉壳体荷载

序号	类 别	荷 载
1	恒荷载	壳体自重、设备重
2	活荷载	炉顶料重、炉料重、铁水压力、气体压力、耐火砌材膨胀作用、煤气上升管膨胀反力、框架水平力、壳体内外温差 10℃ 时的作用
3	偶然荷载	炉料坐料状态时产生的荷载

注：自重和设备重是指材料自身重量产生的荷载（重力）。

4.2.2 热风炉壳体荷载应按表 4.2.2 的规定确定。

表 4.2.2 热风炉壳体荷载

序号	类 别	荷 载
1	恒荷载	壳体自重、喷涂料重、拱顶内衬重、管道及内衬重、平台及支架自重
2	活荷载	内衬膨胀压力、气体压力、风荷载、管道作用力、平台荷载、壳体内外温差 10℃ 时的作用

4.2.3 上升管、下降管、五通球或三通管壳体荷载应按表 4.2.3 的规定确定。

表 4.2.3 上升管、下降管、五通球或三通管壳体荷载

序号	类 别	荷 载
1	恒荷载	壳体自重、耐热涂料或砌筑耐热砖重、平台及设备重
2	活荷载	平台荷载、灰荷载、雪荷载、煤气压力、壳体温度 100℃ 的作用、风荷载、沉降不均匀作用

4.2.4 除尘器壳体荷载应按表 4.2.4 的规定确定。

表 4.2.4 除尘器壳体荷载

序号	类 别	荷 载
1	恒荷载	壳体自重、平台重
2	活荷载	灰荷载、雪荷载、煤气压力、下降管推力、风荷载

5 材 料

5.1 钢 材

5.1.1 钢材选用,应根据壳体结构的重要性、结构形式、荷载情况、应力特征、设计温度、腐蚀介质特性和钢板厚度等因素综合考虑后,选用合适的钢材牌号。

5.1.2 高炉(不含炉底板)、热风炉和五通球壳体结构的钢材应具有 0℃冲击韧性合格保证。其他壳体结构的钢材宜具有常温冲击韧性合格保证。高炉壳体结构的钢材碳当量(CE)宜不大于 0.42%,或焊接冷裂纹敏感性指数(P_{cm})宜不大于 0.26%,其熔炼分析值可按附录 B 中公式 B. 1. 2-1、B. 1. 2-2 计算。

5.1.3 高炉壳体结构的钢材宜采用 Q345C 钢、Q390C 钢、Q390D 钢和附录 B 中的钢材。对有效容积 1000m³~2000m³ 级高炉的壳体结构,可采用 Q345C 钢、Q390C 钢、Q390D 钢。炉底板可用 Q345B 钢。

5.1.4 热风炉炉身和炉底壳体结构的钢材宜采用 Q345C 钢、Q390C 钢,拱顶部位宜采用附录 B 中的钢材。

5.1.5 五通球壳体结构的钢材宜采用 Q345R 钢、Q345C 钢和 Q235C 钢。其中 Q345R 钢宜用于有效容积 3000m³~5000m³ 级高炉的五通球。

5.1.6 除尘器、煤气上升管、三通管和下降管壳体结构的钢材可采用 Q345B 钢、Q235B 钢。

5.1.7 选用的钢材质量应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591、《锅炉和压力容器用钢板》GB 713 以及本规范附录 B 的有关规定。当采用其他钢材

时,尚应符合本规范的相应规定和要求。

5.1.8 钢材的交货状态,除 Q235B 钢、Q345B 钢为热轧状态交货外,其他钢材均应以正火后交货。用于高炉(不含炉底板)、热风炉、煤气上升管和下降管、五通球或三通管壳体结构的钢板应逐张进行超声波检测,其中高炉出铁口、风口部位和热风炉拱顶的钢板质量等级不应低于Ⅱ级,其他钢板质量等级应为Ⅲ级。其检测方法和评定标准应符合现行行业标准《承压设备无损检测第 3 部分 超声检测》JB/T 4730.3 的有关规定。

5.1.9 当钢板厚度不小于 40mm 时,沿厚度方向有明确受力且预期应力较高的部位,可选用 Z 向性能钢,材质应符合现行国家标准《厚度方向性能钢板》GB/T 5313 的有关规定。

5.2 连接材料

5.2.1 焊条应符合现行国家标准《碳钢焊条》GB/T 5117、《低合金钢焊条》GB/T 5118 的有关规定。选用的焊条型号应与壳体金属力学性能相适应。

5.2.2 壳体焊缝的埋弧焊、电渣焊、气电立焊、二氧化碳气体保护焊等的焊丝和焊剂以及保护气体,应符合以下规定:

1 焊丝应符合现行国家标准《熔化焊用钢丝》GB/T 14957、《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110、《碳钢药芯焊丝》GB/T 10045 及《低合金钢药芯焊丝》GB/T 17493 的有关规定;

2 埋弧焊用焊丝和焊剂应符合现行国家标准《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》GB/T 5293、《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》GB/T 12470 的有关规定;

3 气体保护焊使用的氩应符合现行国家标准《氩》GB/T 4842 的有关规定,其纯度不应低于 99.95%;

4 气体保护焊使用的二氧化碳气体应符合现行行业标准《焊接用二氧化碳》HG/T2537 的有关规定,其二氧化碳质量不得低

于 99.5%(体积法),水含量不得高于 0.0005%(重量法)。瓶装气体瓶内气体压力低于 1MPa 时应停止使用。

5.2.3 自动或半自动焊接用的焊丝和焊剂应与被焊钢材相适应,并应符合现行有关标准的规定。当两种不同牌号的钢材相焊接时,宜采用与强度较低的一种钢材相适应的焊条或焊丝与焊剂。

5.2.4 壳体结构开孔处与管道或设备相焊接时,应选用与壳体金属成分和性能相同或相近的低氢型焊条。

5.2.5 外燃式热风炉拱顶环梁连接的紧固件应符合下列要求:

1 普通螺栓应符合现行国家标准《六角头螺栓 C 级》GB/T 5780 和《六角头螺栓》GB/T 5782 的有关规定;

2 高强度螺栓应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228、《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229、《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230、《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231 或《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632、《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副 技术条件》GB/T 3633 的有关规定。高强度螺栓的预拉力和摩擦面的抗滑移系数应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的有关规定。

5.2.6 热风炉炉缸与钢筋混凝土基础连接的锚栓可采用现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 中规定的 Q235B 钢、Q235C 钢或《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 中规定的 Q345B 钢、Q345C 级钢制成。

5.3 设计指标

5.3.1 钢板许用应力应取屈服强度的 1/1.5。Q235 钢、Q345 钢、Q390 钢和 Q345R 钢的许用应力值应根据钢板厚度按表 5.3.1 采用,附录 B 中钢板的许用应力值按附录 C 选用。选用符合本规范第 5.1.7 条要求的其他牌号钢板时,其设计指标应取相应质量等

级钢板许用应力 $[\sigma]$ 。

表 5.3.1 钢板许用应力值(N/mm²)

钢 板			常温强度		下列温度(℃)的许用应力[σ]				
钢板牌号	交货状态	厚度(mm)	R _m	R _{eH}	20	100	150	200	250
一、碳素钢板									
Q235B Q235C	热轧 正火	≤ 16	370	235	155	155	155	145	130
		16~40		225	150	150	140	130	120
		40~60		215	140	140	130	120	110
二、低合金钢板									
Q345B Q345C	热轧 正火	≤ 16	470	345	230	230	230	220	210
		16~35		325	215	215	215	205	195
		35~50		295	195	195	195	190	175
		50~100		275	185	185	180	170	155
Q390C Q390D	正火	≤ 16	490	390	260	260	260	250	235
		16~35		370	245	245	245	235	220
		35~50		350	235	235	230	220	205
		50~100		330	220	220	215	200	185
Q345R	正火	≤ 16	510	345	230	230	230	210	195
		16~36	500	325	215	215	215	200	180
		36~60	490	315	210	210	210	190	170

5.3.2 焊接连接的熔敷金属许用应力值,应取钢板的许用应力值。

5.3.3 采用 Q235 钢或 Q345 钢制成的锚栓,其许用应力 $[\sigma_t]$ 取屈服强度 R_{eH} 的 1/2。许用应力值按表 5.3.3 选用。

表 5.3.3 锚栓的许用应力值(N/mm²)

钢 材 牌 号	抗拉 $[\sigma_t]$
Q235	110
Q345	140

5.3.4 钢材的物理性能指标应按表 5.3.4 采用。不同温度下钢

材的弹性模量可按附录 D 采用。

表 5.3.4 钢材的物理性能指标

弹性模量 E (N/mm^2)	剪变模量 G (N/mm^2)	线膨胀系数 α (以每 $^{\circ}\text{C}$ 计)	质量密度 ρ (kg/m^3)
206×10^3	79×10^3	12×10^{-6}	7850

6 壳体结构设计

6.1 高炉壳体结构

6.1.1 高炉壳体应采用自立式结构,炉底板支承于基墩上,其四周应设炉体框架,顶层平台与壳体间应设水平支撑点。

6.1.2 高炉壳体(图 6.1.2)的外形尺寸应根据炼铁工艺和炉容设计的要求确定。

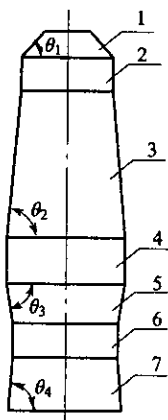


图 6.1.2 高炉壳体

1—煤气封罩段;2—炉喉段;3—炉身段;4—炉腰段;
5—炉腹段;6—风口段;7—炉缸段

6.1.3 高炉壳体各段的厚度宜按下列公式计算:

1 煤气封罩段厚度:

$$t = 7.10D - a \quad (6.1.3-1)$$

式中: a ——计算参数。与煤气导出管和溜槽检修孔相连的壳体
 a 可取 2~5,其他部位壳体 $a=12$ 。当支撑炉顶设备

小框架时,其支撑部分的壳体宜加厚(6~10)mm。

2 炉喉段厚度:

$$t=2.73D+15 \quad (6.1.3-2)$$

3 炉身中段厚度:

$$t=3.30D+4 \quad (6.1.3-3)$$

4 炉腰段厚度:

$$t=5.00D-20 \quad (6.1.3-4)$$

5 炉腹段厚度:

$$t=5.00D-13 \quad (6.1.3-5)$$

6 风口段厚度:

$$t=7.50D-31 \quad (6.1.3-6)$$

7 炉缸段厚度:

$$t=4.40D-12 \quad (6.1.3-7)$$

式中: t ——壳体钢板厚度(mm);

D ——壳体的内直径(m),当为圆锥壳时,采用大端直径。

8 炉身上段和下段壳体厚度可分别取壳体内直径的 3.6 倍和 3.8 倍。

6.1.4 壳体结构计算时,应采用大型有限元程序,按壳体的开孔位置和尺寸建立实体模型,并根据生产过程中在壳体上可能同时作用的荷载,对壳体结构进行弹性计算分析,其连续部位的应力强度不应大于许用应力 $[\sigma]$;转折处的应力强度不应大于 $1.5[\sigma]$;孔边缘的应力强度不应大于 $2.5[\sigma]$ 。

6.1.5 壳体结构的计算包括整体应力分析和局部应力分析。在进行整体应力分析时,对炉身、炉腰、炉腹、风口段壳体的截面参数宜考虑开孔率的影响予以折减。对壳体几何形状产生突变或结构不连续的部位,应进行局部应力分析。

6.1.6 采用有限元对壳体结构进行弹塑性分析时,钢材的应力-应变曲线应符合实际材料的应力应变关系,且可采用具有一定强化刚度的二折线模型,第二折线的刚度值可取为初始刚

度值的 2%~3%。复杂应力状态下的失效准则应采用 vonMises 屈服条件。

6.1.7 壳体结构的有限元分析宜采用板壳单元。在进行单元划分时,板壳单元的最大边长不宜大于其壁厚的 5 倍。对壳体转折处、开孔边缘应力集中部位以及开孔间截面削弱的区域,单元的最大边长不应大于 0.15 倍开孔半径。

6.1.8 在进行壳体结构的有限元分析时,当承受多种荷载工况组合而不能准确判断其控制工况时,应分别按可能存在的不利荷载工况进行组合计算,从中找出最不利内力控制值。

6.1.9 壳体钢板内外表面的环向热应力,可按下式验算:

$$\sigma_T = \mp \frac{\alpha E \Delta T}{2(1-\nu)} \quad (6.1.9)$$

式中: E ——钢材弹性模量;

ΔT ——内外温差;

ν ——泊桑系数;

α ——线膨胀系数。

6.1.10 对壳体结构开孔周边塑性的发展及应力重分布,当采用塑性理论进行分析时,其塑性区域的扩展不应大于孔边间距的 1/3。

6.2 热风炉壳体结构

6.2.1 壳体结构形式和结构设计应满足不同炉容级别高炉的热风炉加热能力要求。

6.2.2 热风炉的壳体分段应根据加热工艺的需要确定。炉缸段壳体应采用锚栓与基础或螺栓与钢支架平台相连。

6.2.3 拱顶高温区的壳体宜选用附录 B 中抗腐蚀和抗脆断性能的钢板,其内表面应采取防止晶界应力腐蚀的措施。

6.2.4 内燃式热风炉壳体(图 6.2.4)各段的厚度宜按下列公式计算:

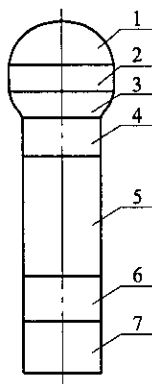


图 6.2.4 内燃式热风炉壳体

1—炉顶段;2—炉顶直线段;3—斜线段;4—上过渡段;
5—炉身段;6—下过渡段;7—炉缸段

1 炉顶段厚度:

$$t = 6.40D - 43 \quad (6.2.4-1)$$

2 炉顶直线段厚度:

$$t = 4.74D - 20 \quad (6.2.4-2)$$

3 斜线段厚度:

$$t = 5.00D - 19 \quad (6.2.4-3)$$

4 上过渡段厚度:

$$t = 5.90D - 30 \quad (6.2.4-4)$$

5 炉身段厚度:

$$t = 2.80D - 7 \quad (6.2.4-5)$$

6 下过渡段厚度:

$$t = 6.20D - 33 \quad (6.2.4-6)$$

7 炉缸段厚度:

$$t = 4.36D - 10 \quad (6.2.4-7)$$

6.2.5 顶燃式热风炉壳体(图 6.2.5)各段的厚度宜按下列规定确定:

1 炉顶段、直线段宜取 $3.8D$;

- 2 斜线段宜取 $4.6D$;
- 3 锥体段, 炉身上、下段宜取 $2.6D$;
- 4 炉缸段宜取 $3.4D$;
- 5 过渡段宜取炉身上、下段厚度的平均值。

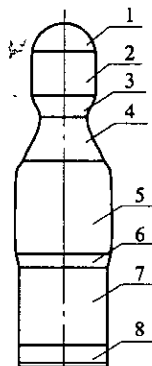


图 6.2.5 顶燃式热风炉壳体

- 1—炉顶段; 2—直线段; 3—斜线段; 4—锥体段; 5—炉身上段;
6—过渡段; 7—炉身下段; 8—炉缸段

6.2.6 外燃式热风炉蓄热室和燃烧室壳体(图 6.2.6)各段的厚度宜按下列公式计算:

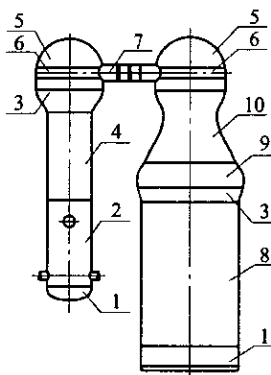


图 6.2.6 外燃式热风炉蓄热室和燃烧室壳体

- 1—炉缸段; 2—炉身下段; 3—过渡段; 4—炉身上段; 5—炉顶段;
6—环梁段; 7—联络管; 8—炉身段; 9—弧形段; 10—锥体段

1 蓄热室炉顶段厚度:

$$t=0.98D+14 \quad (6.2.6-1)$$

2 蓄热室锥体段厚度:

$$t=2.21D+15 \quad (6.2.6-2)$$

3 蓄热室弧形段厚度:

$$t=1.48D+21 \quad (6.2.6-3)$$

4 蓄热室过渡段厚度:

$$t=3.91D-1 \quad (6.2.6-4)$$

5 蓄热室炉身段厚度:

$$t=3.08D-7 \quad (6.2.6-5)$$

6 蓄热室炉缸段厚度:

$$t=3.77D-1 \quad (6.2.6-6)$$

7 燃烧室炉顶段厚度:

$$t=0.99D+14 \quad (6.2.6-7)$$

8 燃烧室过渡段厚度:

$$t=1.81D+18 \quad (6.2.6-8)$$

9 燃烧室炉身上段厚度:

$$t=3.28D-1 \quad (6.2.6-9)$$

10 燃烧室炉身下段厚度:

$$t=2.08D+7 \quad (6.2.6-10)$$

11 燃烧室炉缸段厚度:

$$t=4.20D+6 \quad (6.2.6-11)$$

6.2.7 外燃式热风炉混风室壳体(图 6.2.7)各段的厚度宜按下列规定确定:

1 炉顶段宜取 $8D$;

2 炉身上段宜取 $3.8D$;

3 炉身下段宜取 $4.5D$;

4 过渡段宜取炉身上、下段厚度的平均值;

5 炉缸段宜取 $5.5D$ 。

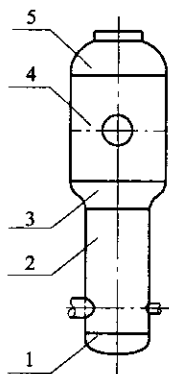


图 6.2.7 外燃式热风炉湿风室壳体

1—炉缸段；2—炉身下段；3—过渡段；4—炉身上段；5—炉顶段

6.2.8 拱顶环梁型外燃式热风炉燃烧室和蓄热室拱顶壳体之间设置的环梁应按下列公式验算强度：

$$\frac{N}{2A_n} \pm \frac{M_x}{W_{nx}} \leq [\sigma] \quad (6.2.8-1)$$

$$N = \frac{1}{4} \pi d^2 p_c \quad (6.2.8-2)$$

$$M_x = \frac{6EI_x \Delta}{l^2} \quad (6.2.8-3)$$

式中： d ——拱顶联络管内径；

A_n ——拱顶环梁的净截面面积；

p_c ——高炉鼓风机最大出口气体压力；

E ——钢材弹性模量；

I_x ——环梁的毛截面惯性矩；

W_{nx} ——环梁的净截面模量；

l ——环梁的计算长度；

Δ ——蓄热室和燃烧室之间沿高度方向的不均匀膨胀量，一般取(15~20)mm；

$[\sigma]$ ——钢材的许用应力。

6.2.9 壳体结构计算时，应采用大型有限元程序，按壳体的开孔

位置及连络管的尺寸等建立实体模型,并根据生产过程中在壳体上可能同时作用的荷载,对壳体结构进行弹性计算分析,其连续部位的应力强度不应大于许用应力 $[\sigma]$;转折处的应力强度不应大于 $1.5[\sigma]$;孔边缘的应力强度不应大于 $3.0[\sigma]$ 。

6.2.10 对壳体开孔周边区域塑性的发展及应力重分布,采用塑性理论进行分析时,其塑性区域的扩展不应大于孔周边区域的 $1/3$ 。

6.2.11 壳体结构与基础相连的锚栓应沿圆周等距排列,锚栓强度应按下列公式计算:

$$\frac{2N_1\pi\gamma_Q - G_k}{nA_n} \leq [\sigma_t^a] \quad (6.2.11-1)$$

$$N_1 = \frac{pr_0^2}{2\gamma_Q} + \frac{M}{\pi\gamma_Q^2} \quad (6.2.11-2)$$

式中: A_n ——一个锚栓的净面积;

n ——锚栓数量;

G_k ——壳体结构承受的恒荷载,包括壳体自重、拱顶内衬重量、管道及设备重量、平台及各种支架上的恒荷载标准值;

N_1 ——由热风炉气体压力、风荷载产生的锚栓所在圆的单位周长上最大纵向力;

p ——炉内正常气体压力、偶然气体压力的较大值;

M ——假定壳体结构嵌固于基础上,炉底处由风荷载产生的弯矩;

γ_Q ——锚栓至热风炉中心的距离;

r_0 ——热风炉炉缸的内半径;

$[\sigma_t^a]$ ——锚栓的许用应力。

6.2.12 壳体结构安装时,地脚锚栓强度按下列公式验算:

$$\left(\frac{2M}{\gamma_Q} - G_0\right) \frac{1}{nA_n} \leq [\sigma_t^a] \quad (6.2.12)$$

式中： G_0 ——壳体结构自重。

6.3 煤气上升管、下降管、五通球或三通管壳体结构

6.3.1 壳体的结构设计，除应根据压力、温度等工艺条件和各种荷载作用进行外，尚应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的有关规定。煤气上升管、下降管、五通球或三通管壳体(图 6.3.1-1、图 6.3.1-2)应根据工艺的需要确定。

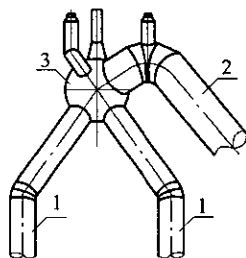


图 6.3.1-1 煤气上升管、下降管、五通球壳体

1—上升管；2—下降管；3—五通球

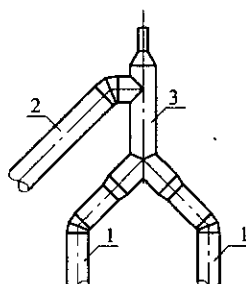


图 6.3.1-2 煤气上升管、下降管、三通管壳体

1—上升管；2—下降管；3—三通管

6.3.2 五通球壳体内径应满足冶炼工艺要求，壳体厚度可取球内直径的(7~8)倍。

6.3.3 煤气上升管、下降管和三通管壳体厚度主要根据工程实践经验确定。对于上升管、三通管的壳体厚度亦可分别取用管内直径的(7~8)倍和(5~6)倍。

6.3.4 煤气上升管、下降管和三通管在工作状态下,受到内压、自重、其他持续荷载和偶然荷载作用,应按现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的相关公式进行强度验算。

6.3.5 煤气下降管的挠度容许值宜为 $l/800$ 。 l 为下降管的跨度。

6.3.6 五通球壳体结构计算时,宜采用大型有限元程序,建立上升管、下降管、五通球和除尘器壳体及支架的空间实体模型,并根据生产过程中可能同时作用的荷载,对壳体进行弹性计算分析,其连续部位的应力强度不应大于许用应力 $[\sigma]$;与上升管、下降管连接处的应力强度不应大于 $3[\sigma]$ 。

6.4 重力除尘器壳体结构

6.4.1 重力除尘器壳体(图 6.4.1)的上锥段与高炉下降管相连,下竖段的环梁可采用螺栓与支架相连。

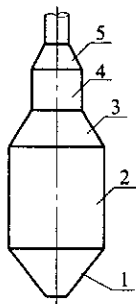


图 6.4.1 重力除尘器壳体

1—下锥段;2—下竖段;3—中锥段;4—上竖段;5—上锥段

6.4.2 重力除尘器壳体各段的厚度宜按下列规定确定:

- 1 上锥段取 $3D$;
- 2 上竖段取 $(3\sim 4)D$;
- 3 中锥段和下锥段取 $1.8D$;
- 4 下竖段取 $1.6D$ 。

6.4.3 壳体结构计算时,宜采用大型有限元程序,建立壳体和支

架的空间实体模型,并宜根据生产过程中可能同时作用的荷载,对壳体结构进行弹性计算分析,其连续部位的应力强度不应大于许用应力 $[\sigma]$;壳体转折处的应力强度不应大于 $1.5[\sigma]$;壳体与下降管和除尘风管连接处的应力强度不应大于 $3.0[\sigma]$ 。当有条件时,宜建立上升管、五通球或三通管、下降管、除尘器及支架的空间实体模型,对壳体结构进行弹性计算分析。

6.4.4 其他除尘器(包括旋风除尘器、干式除尘器等)壳体结构计算,应按本规范第 6.4.3 条的规定进行计算分析。

7 构造要求

7.1 一般规定

7.1.1 壳体结构设计分段时,应满足炼铁工艺设备布置的要求,每段壳体的分块宜大块化,减少焊缝数量和尺寸。壳体焊缝宜设置在壳体开孔较少或间距较大的位置。

7.1.2 壳体结构构造应便于制作、运输、安装、检验、维护,并使壳体受力明确,减少应力集中,避免材料三向受拉。

7.1.3 壳体的开孔应为圆形、椭圆形或长圆形,当工艺设备需要开矩形或方形时,直角处应圆滑过渡。开孔时,应采用自动切割或机械切割,成型后的尺寸应符合设计文件要求,孔壁表面应平整光滑,不得有刻槽或毛刺。开孔应在制作时完成,避免现场开孔。

7.1.4 钢板拼接时,纵横两方向的对接坡口焊缝,应采用 T 形交叉,不应采用十字形交叉,T 形交叉点的间距不应小于 200mm 及 3 倍板厚的较大值。

7.1.5 当壳体上作用有较大的集中荷载时,应在集中荷载作用处设置加劲肋。

7.2 高炉壳体结构

7.2.1 各段壳体的连接应减少转折点,平缓变化,壳体连接处水平夹角宜符合表 7.2.1 的规定。

表 7.2.1 壳体连接处水平夹角

序号	名 称	夹角 θ_1
1	煤气封罩段	45°~60°
2	炉身段	75°~80°
3	炉腹段	75°~85°
4	炉缸段	85°

7.2.2 壳体对接焊缝拼接处,内侧应对齐,当钢板厚度不同时,厚度相差 6mm 以上,外侧板应做成坡度为 1:3~1:4 的斜角。

7.2.3 壳体开孔截面面积,炉身段、炉腰段、炉腹段不得超过壳体全截面面积的 55%,孔之间边缘的净距不应小于 100mm;风口段不得超过 90%,且两相邻风口法兰外圆间距(图 7.2.3)不应小于 120mm。

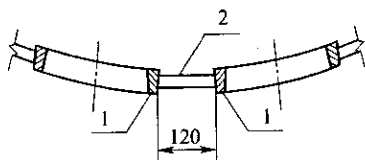


图 7.2.3 风口法兰外圆间距

1—风口法兰;2—炉壳

7.2.4 壳体开孔时除应符合本规范第 7.1.3 条的规定外,凡孔边缘距现场横向焊缝小于或等于 50mm 及纵向焊缝 200mm 以内的孔宜在工厂定位,现场切割。

7.2.5 壳体现场横向焊缝在离端部 100mm 范围内不应开坡口,应待施焊前在现场进行开坡口。

7.2.6 炉底板厚度宜按表 7.2.6 采用。环板与炉缸段的连接(图 7.2.6)宜采用焊透的 T 形接头对接与角接组合焊缝。环板厚度可为炉底板厚度的 2 倍,宽度可取 800mm,在厚度方向应做成 1:3~1:4 的斜角。炉底板应平整,防止焊接变形,底板与水冷梁上翼缘宜采用圆形塞焊孔连接,塞焊孔直径为底板厚度的 3 倍,填焊高度为板厚的 1/2,且不应小于 16mm。

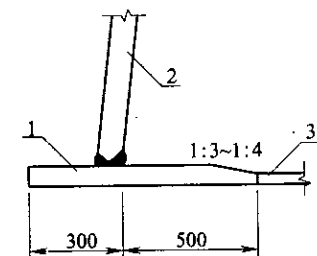


图 7.2.6 环板与炉缸段的连接

1—环板;2—炉缸段;3—炉底板

表 7.2.6 炉底板厚度

序号	炉容级别(m ³)	厚度(mm)
1	1000	16
2	2000	20
3	3000	22
4	4000	25
5	5000	28

7.2.7 炉体框架顶层平台宜设置炉体的水平支撑点 4 处,其位置按 0°、90°、180°、270°布置。构造措施不应约束炉体的竖向变形。

7.2.8 除环板和炉底板外,壳体宜采用同一种牌号的钢材,不宜采用两种及两种以上牌号的钢材。当采用不同类别钢材相焊时,应按本规范第 8.3 节的相关规定进行焊接工艺评定。

7.3 热风炉壳体结构

7.3.1 各段壳体之间的连接宜圆滑过渡,减少应力集中。

7.3.2 与管道连接的壳体应采取构造措施,分散管道盲板力对壳体的影响,管道与壳体的焊缝应满足受力要求。

7.3.3 与壳体相连的管道宜伸入壳体内,但不应超过 20mm。

7.3.4 壳体纵横方向对接焊时,接头形式应符合本规范第 7.1.4 条的规定。孔边缘距纵向焊缝的距离不宜小于 150mm。

7.3.5 壳体上开孔直径大于 800mm 时,应对开孔的钢板加厚,其加厚范围宜为开孔直径的(2~2.5)倍,厚度可为本段壳体或邻段壳体厚度的(1.5~2)倍。

7.3.6 内燃式和顶燃式热风炉底板厚度宜与炉缸段壳体厚度相同,其相接处宜圆弧过渡;当采用环板与炉缸段 T 形连接(图 7.3.6)时,炉底板厚度可根据不同炉容级别取(14~16)mm,环板厚度宜为底板厚度的 2.5 倍,环板宽度可取 400mm,在厚度方向

做成 1:3~1:4 的斜角,并与炉缸段壳体焊透。

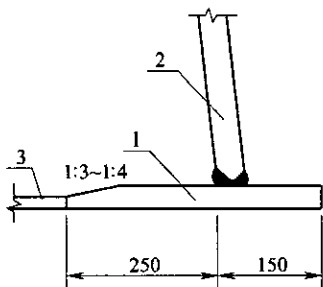


图 7.3.6 环板与炉缸段 T 形连接

1—环板;2—炉缸段;3—炉底板

7.3.7 外燃式热风炉的蓄热室底板厚度应与炉缸段壳体厚度相同,相接处应圆弧过渡;燃烧室和混风室的底板宜采用蝶形封头,其厚度宜为炉缸段壳体厚度的 1.5 倍,与炉缸段壳体相接处应圆弧过渡。

7.3.8 外燃式热风炉燃烧室与蓄热室拱顶连络管应设波纹补偿器,两拱顶间宜采用环梁连接(图 7.3.8-1),也可采用拉杆连接(图 7.3.8-2)。拉杆数量不应少于 4 根并沿连络管圆周等距排列。

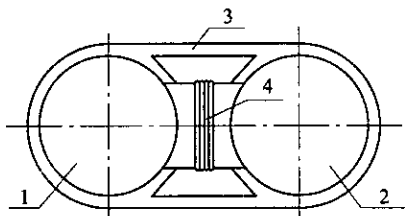


图 7.3.8-1 环梁连接

1—燃烧室;2—蓄热室;3—环梁;4—波纹补偿器

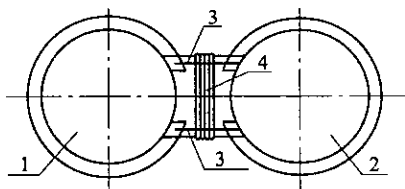


图 7.3.8-2 拉杆连接

1—燃烧室;2—蓄热室;3—拉杆;4—波纹补偿器

7.3.9 根据不同炉容级别,内燃式和顶燃式热风炉炉缸段壳体与基础相连的锚栓直径可取(70~90)mm,锚栓间的夹角不宜大于 10° 。

7.3.10 外燃式热风炉蓄热室炉缸段壳体与基础相连的锚栓直径不宜小于80mm,锚栓间的夹角宜为 7.5° 。燃烧室和混风室的炉缸段壳体与支架连接的螺栓直径不宜小于60mm,螺栓间的夹角宜分别为 18° 和 30° 。

7.3.11 壳体对接焊缝拼接处,内侧应对齐,当钢板厚度不同时,焊缝坡口形式应根据较薄焊件厚度按本规范第7.2.2条的要求做成斜角。

7.3.12 除炉顶和炉底钢板外,壳体钢板宜采用同一种牌号的钢材。

7.3.13 炉缸段壳体与基础相连的锚栓应加长,其加长量不宜小于80mm。烘炉前应将螺帽松开,烘炉后再拧紧螺帽。

7.4 煤气上升管、下降管、五通球或三通管、重力除尘器壳体结构

7.4.1 壳体结构的构造要求除应符合本规范外,尚应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316的有关规定。

7.4.2 煤气上升管下端,应设置波纹膨胀节,其管端部应在炉顶平台处设固定支座并支承在炉体框架顶层平台梁上。

7.4.3 下降管与除尘器壳体连接处宜设波纹膨胀节,当不设波纹膨胀节时,在除尘器壳体结构设计时应考虑下降管的推力作用,并在连接处采取相应措施。

7.4.4 上升管与五通球或三通管、下降管与五通球或三通管以及下降管与除尘器壳体连接处管壁应加厚,其厚度宜为相邻较薄管壁厚度的(1.2~1.5)倍。除尘器壳体与下降管、荒煤气管连接部位的钢板宜加厚,并在开孔处沿四周用加劲肋加强。

7.4.5 上升管、下降管、三通管和重力除尘器壳体的钢板对接焊时,接头形式应符合本规范第7.1.4条的规定。

7.4.6 五通球壳体分带(图 7.4.6)中,赤道带的钢板不宜拼接。赤道带与上下极带钢板的对接焊缝应采用 T 形交叉,交叉点的间距不应小于 100mm。

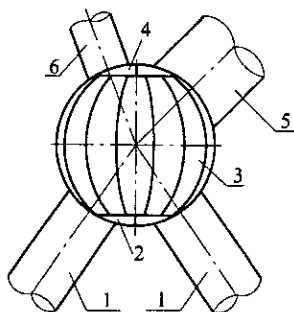


图 7.4.6 五通球壳体分带

1—上升管;2—下极带;3—赤道带;4—上极带;5—下降管;6—放散管

8 焊 接

8.1 一 般 规 定

8.1.1 设计文件应标明焊接接头形式、焊缝坡口形状和尺寸、焊缝质量等级,并应对焊接方法及预热、后热和焊后热处理要求作出明确规定。

8.1.2 从事焊接制作与安装单位应具备与所承担工程的焊接技术难易程度相适应的焊接方法及设备。计量器具应在计量核定有效期内。

8.2 焊 接 节 点

8.2.1 焊接节点焊缝应符合下列规定:

- 1 焊接节点焊缝应减少焊缝的数量和尺寸;
- 2 焊接节点焊缝的位置应避开应力集中区;
- 3 焊接节点采用刚性较小的节点形式,避免焊缝过于集中或双向、三向相交;

4 壳体组对时,相邻两节壳体纵向焊缝间的距离宜大于壁厚的3倍,且应大于100mm,同一节壳体上两相邻纵缝间的距离不宜小于200mm;

5 节点焊缝应便于焊接操作、无损检测及返修;

6 节点焊缝及其边缘上不宜开孔,当不可避免时应对开孔直径1.5倍范围内的焊缝进行无损检验,焊缝质量等级符合要求时,可进行开孔。

8.2.2 焊接坡口各部分尺寸代号应符合表8.2.2的规定。

8.2.3 焊接接头形式及坡口形状代号应符合表8.2.3的规定。

8.2.4 焊接坡口形状和尺寸应根据不同焊接工艺方法合理选用。

表 8.2.2 焊接坡口各部分尺寸代号

代号	坡口各部分的尺寸
t	焊缝部位的板厚(mm)
b	坡口根部间隙或部件间隙(mm)
H	坡口深度(mm)
P	坡口钝边(mm)
α	坡口角度($^{\circ}$)

表 8.2.3 焊接接头形式及坡口形状代号

接头形式		坡口形状	
代号	名称	代号	名称
B	对接接头	I	I形坡口
		V	V形坡口
		X	X形坡口
		L	单边V形坡口
		K	K形坡口
T	T型接头	U ^(注)	U形坡口
		J ^(注)	单边U形坡口

注:当钢板厚度 $\geq 50\text{mm}$ 时,可采用U形或J形坡口。

8.2.5 手工电弧焊、气体保护焊、自保护焊和埋弧焊的坡口形状和尺寸应符合现行国家标准《气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口》GB/T 985.1、《埋弧焊的推荐坡口》GB 985.2或现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81的有关规定。

8.2.6 电渣焊坡口形状和尺寸(图 8.2.6),当板厚不大于 50mm 时,可采用 V 形坡口,坡口角度宜为 $25^{\circ}\sim 50^{\circ}$,坡口根部间隙宜为 $(0\sim 6)\text{mm}$,坡口钝边宜为 $(0\sim 1)\text{mm}$;当板厚大于 50mm 时,可采用 X 形坡口,坡口角度宜为 $40^{\circ}\sim 55^{\circ}$,坡口中部间隙宜为 $(0\sim 6)\text{mm}$ 。

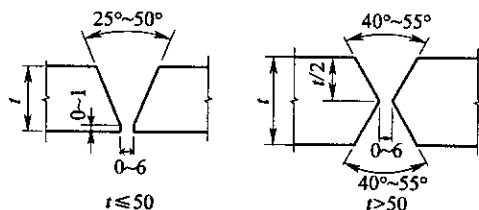


图 8.2.6 电渣焊坡口形状和尺寸

8.2.7 气电立焊坡口形状和尺寸(图 8.2.7),当板厚不大于 30mm 时,可采用 V 形坡口,坡口角度宜为 $25^{\circ}\sim 35^{\circ}$,坡口根部间隙宜为 (3~5)mm,坡口钝边宜为 (0~1)mm;当板厚大于 30mm 时,可采用 X 形坡口,坡口角度宜为 $25^{\circ}\sim 55^{\circ}$,坡口中部间隙宜为 (3~5)mm。

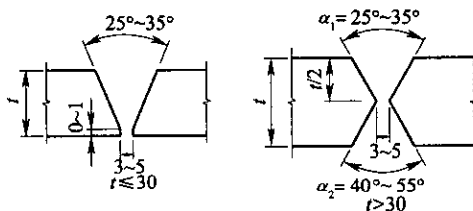


图 8.2.7 气电立焊坡口形状和尺寸

8.2.8 高炉、热风炉(内燃式、外燃式)壳体结构全焊透坡口宜采用本规范附录 E、F、G、H 的形状和尺寸。

8.2.9 焊缝的计算应符合现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规范》JGJ 81 的有关规定。

8.3 焊接工艺评定

8.3.1 焊接工艺评定应以钢材焊接性能试验为依据,并在壳体焊接前完成。

8.3.2 凡符合下列情况之一者,应在制作、安装施工前进行焊接工艺评定:

- 1 制作、安装单位首次采用的钢材;
- 2 制作、安装单位首次采用的焊接材料;
- 3 制作、安装单位首次采用的焊接方法;
- 4 制作、安装单位首次采用的钢材焊接热处理工艺;
- 5 当采用电渣焊或气电立焊进行焊接施工时;

6 设计规定的钢材类别、焊接材料、焊接方法、接头形式、焊接位置、焊后热处理制度以及施工单位所采用的焊接工艺参数、预热措施等各种参数的组合条件为施工单位首次采用。

8.3.3 制作、安装单位应根据工程情况和本规范的规定编制焊接

工艺评定指导书。施焊试件,应由具有国家技术质量监督部门认证资质的检测单位进行检测试验。

8.3.4 焊接工艺评定所用的钢材、焊接材料必须与实际工程所用材料一致并符合相应标准要求,具有生产厂出具的质量证明文件。

8.3.5 焊接工艺评定试验完成后,评定单位应根据检测结果出具焊接工艺评定报告。报告内容应包括焊接工艺评定报告、焊接工艺评定指导书、焊接工艺评定记录表、焊接工艺评定检验结果。具体报告格式可按现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81的有关规定执行。

8.3.6 焊接工艺评定所用焊接方法、试件接头形式、施焊位置分类及代号应分别符合表 8.3.6-1、表 8.3.6-2 和表 8.3.6-3 的规定。

表 8.3.6-1 焊接方法分类及代号

类别号	焊 接 方 法	代 号
1	手工电弧焊	SMAW
2-1	半自动实芯焊丝气体保护焊	GMAW
2-2	半自动药芯焊丝气体保护焊	FCAW-G
3	半自动药芯焊丝自保护焊	FCAW-SS
4	非熔化极气体保护焊	GTAW
5-1	单丝自动埋弧焊	SAW
5-2	多丝自动埋弧焊	SAW-D
6-1	熔嘴电渣焊	ESW-MN
6-2	丝极电渣焊	ESW-WE
6-3	板极电渣焊	ESW-BE
7-1	单丝气电立焊	EGW
7-2	多丝气电立焊	EGW-D
8-1	自动实芯焊丝气体保护焊	GMAW-A
8-2	自动药芯焊丝气体保护焊	FCAW-GA
8-3	自动药芯焊丝自保护焊	FCAW-SA
9-1	穿透栓钉焊	SW-P
9-2	非穿透栓钉焊	SW

表 8.3.6-2 试件接头形式分类及代号

接头形式	代 号
对接接头	B
T形接头	T
十字接头	X

表 8.3.6-3 施焊位置分类及代号

焊接位置		代号	焊 接 位 置		代号
板材	平	F	管材	水平转动平焊	1G
	横	H		竖立固定横焊	2G
	立	V		水平固定全位置焊	5G
	仰	O		倾斜固定全位置焊	6G
				倾斜固定加挡板全位置焊	6GR

8.3.7 常用钢材分类应符合表 8.3.7 的规定。

表 8.3.7 常用钢材分类

类 别 号	钢材强度级别 R_{eH} (屈服强度) (MPa)
I	$R_{eH} < 235$
II	$235 \leq R_{eH} \leq 345$
III	$345 < R_{eH} \leq 420$
IV	$R_{eH} > 420$

8.3.8 改变焊接方法时应重新进行焊接工艺评定。

8.3.9 不同类别钢材的焊接工艺评定结果不得互相代替。

8.3.10 I、II类同类别钢材中,当强度和冲击韧性级别发生变化时,高级别钢材的焊接工艺评定结果可代替低级别钢材;III、IV类同类别钢材中的焊接工艺评定结果不得相互代替。

8.3.11 不同类别的钢材组合焊接时应重新评定,不得用单类钢材的评定结果代替。

8.3.12 同类接头形式的板状试件适用于外径大于 600mm 的管状试件,反之亦然。

8.3.13 接头形式变化时应重新评定,但对接焊缝的工艺评定可用于角焊缝,全焊透或部分熔透的 T 形焊缝评定结果可代替角焊缝评定结果。

8.3.14 评定合格的试件厚度与工程中适用厚度范围应符合表 8.3.14 的规定。

表 8.3.14 评定合格的试件厚度与工程中适用厚度范围

焊接方法类别号	评定合格试件 厚度 t (mm)	工程中适用厚度	
		最小值	最大值
1、2、3、4、5、8	$t \geq 8$	$0.75t$	$1.5t$
6、7	$t \geq 30$	$0.75t$	$1.3t$

8.3.15 评定合格的焊接工艺可用于不等厚对接焊件,但焊件两侧母材的厚度均应在适用厚度范围内。

8.3.16 评定合格的焊接工艺用于角焊缝时,角焊缝的母材厚度范围可不限。

8.3.17 重新进行工艺评定的规定应符合下列条件:

- 1 坡口形状及坡口尺寸的变化超出本规范允许的规定范围;
- 2 板材厚度变化超过表 8.3.14 规定的适用范围;
- 3 有衬垫改为无衬垫,清根焊改为不清根焊;
- 4 规定的最低预热温度下降 15°C ,或最高层间温度增高 50°C 以上;
- 5 当热输入有限制时,热输入增加值超过 10%;
- 6 改变焊接位置;
- 7 焊后热处理的条件发生变化。

8.3.18 各种焊接方法重新进行焊接工艺评定的内容应符合表 8.3.18 的规定。

表 8.3.18 各种焊接方法重新进行焊接工艺评定的内容

内容 焊接方法	焊接材料		工艺参数			焊接设备	其他
	焊丝、焊条或焊剂	保护气体	电弧电压 (V)	焊接电流 (A)	焊接速度 (mm/min)		
焊条手工 电弧焊	1. 熔敷金属抗拉强度级别变动 2. 低氢型焊条改为非低氢型焊条 3. 焊条直径增大 1mm 以上	—	—	—	—	—	—
熔化极气 体保护焊	1. 实心焊丝与药芯焊丝互换 2. 药芯焊丝气保护与自保护互换	1. 单一保护气体类别变化 2. 混合保护气体的混合种类和比例变化 3. 保护气体流量增加 25% 或减少 10% 以上	超 过 规 定 值 $\geq \pm 7\%$	超 过 规 定 值 $\geq \pm 10\%$	超 过 规 定 值 $\geq \pm 10\%$	焊炬手动操作与机械行走的变换	—
非熔化极 气体保护焊	1. 冷态送丝和热态送丝的变换 2. 添加焊丝或不添加焊丝的变换	1. 气体种类的变换 2. 气体流量增加 25% 或减少 10% 以上	超 过 规 定 值 $\geq \pm 7\%$	超 过 规 定 值 $\geq \pm 25\%$	超 过 规 定 值 $\geq \pm 10\%$	焊炬手动操作与机械行走的变换	—

续表 8.3.18

内容 焊接方法	焊 接 材 料		工 艺 参 数			焊接设备	其他
	焊丝、焊条或焊剂	保护气体	电弧电压 (V)	焊接电流 (A)	焊接速度 (mm/min)		
埋弧焊	1. 焊丝钢号的变化 2. 焊剂型号变换 3. 多丝焊与单丝焊的变化 4. 添加与不添加冷丝的变化	—	超 过 规 定 值 $\geq \pm 7\%$	超 过 规 定 值 $\geq \pm 10\%$	超 过 规 定 值 $\geq \pm 10\%$	电 流 种 类 与 极 性 的 变 换	--
电渣焊	1. 焊丝直径变化 2. 焊剂型号变化 3. 板极与丝极的变换 4. 焊剂装入量变化超过 30%	—	超 过 规 定 值 $\geq \pm 10\%$	超 过 规 定 值 $\geq \pm 20\%$	超 过 规 定 值 (送丝速度) $\geq \pm 40\%$ 超 过 规 定 值 (垂直 行 进 速 度) $\geq \pm 20\%$	1. 焊接电流种 类和极性变化 2. 熔嘴牌号的变化、有无熔嘴的变化或熔嘴截面变化大于 30% 3. 电源外特性 曲线的变化 4. 焊接电流种 类和极性的变化 5. 成形水冷滑 块与挡板的变化	1. 坡口形 式的变化 2. 偏离垂直 位置超过 10°
气电立焊	1. 焊丝钢号或直径发生变化 2. 气保护与自保护药芯焊丝的变换	1. 气体类别或混合比例的变化 2. 气体流量增加 25% 或减少 10% 以上	超 过 规 定 值 $\geq \pm 10\%$	超 过 规 定 值 $\geq \pm 15\%$	超 过 规 定 值 $\geq \pm 30\%$	焊丝极性的变化	1. 偏离垂 直位置超过 10° 的变化 2. 成形冰 冷滑块与挡 板的变化

8.3.19 试件和检验试样的制备应符合下列规定：

- 1 母材材质、焊接材料应与设计文件的要求一致；
- 2 试件厚度的选择，应考虑适用于焊件厚度的有效范围，试件的坡口形状和尺寸应与工程设计文件的要求一致，并应满足所制备试样的取样要求；试件的焊接应符合焊接工艺评定指导书的要求；
- 3 试样检验类别和数量应符合表 8.3.19 的规定；

表 8.3.19 试样检验类别和数量

母材形式	试件形式	试件厚度 (mm)	无损检测	全断面拉伸	试样数量						
					拉伸	面弯	背弯	横向侧弯	冲击		宏观金相及硬度
									焊缝	热影响区	
板、管	对接接头	< 14	要	管 2	2	2	2	—	3	3	—
		≥14	要	—	2	—	—	4	3	3	—
	角焊缝	全部或局部熔透焊缝	要	要	—	—	—	—	—	—	板 5
		贴角焊缝	要	不要	—	—	—	—	—	—	管 4

4 板材对接接头试件及试样、板材角焊缝和 T 形对接与角接组合焊缝接头试件和宏观试样、管材角焊缝致密性检验、板材十字形角接及对接与角接组合焊缝接头试件及试样、管材对接接头试件及试样的取样应符合现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规范》JGJ 81 的有关规定；

5 对接接头拉伸、弯曲、冲击及金相试样的取样和加工应符合现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81 的有关规定。

8.3.20 试样的检验、试验与评定应符合下列规定：

1 试件的外观检验应符合现行国家标准《现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范》GB 50236 的有关规定；

2 试件的无损检测可用射线或超声波方法进行。射线探伤应符合现行国家标准《金属熔化焊焊接接头射线照相》GB/T 3323 的有关规定，焊缝质量不应低于 B 级透照技术的 II 级质量要求；

超声波探伤应符合现行国家标准《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》GB/T 11345 的有关规定,焊缝质量不应低于 B 级检测方法的 I 级质量要求;

3 试样的力学性能、硬度及宏观酸蚀试验方法应符合下列规定:

- 1) 拉伸试验应符合现行国家标准《金属材料室温拉伸试验方法》GB/T 228 的有关规定;
- 2) 弯曲试验应符合现行国家标准《金属材料弯曲试验方法》GB/T 232 有关规定和表 8.3.20 的要求。

表 8.3.20 弯曲试验尺寸规定

试件厚度 $S(\text{mm})$	弯心直径 $D(\text{mm})$	支座间距离 (mm)	弯曲角度 $(^\circ)$
< 10	$4S$	$6S+3$	180
10	40	63	

- 3) 冲击试验应符合现行国家标准《焊接接头冲击试验方法》GB/T 2650 的有关规定;
- 4) 观酸蚀试验应符合现行国家标准《钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法》GB/T 226 的有关规定;
- 5) 硬度试验应符合现行国家标准《焊接接头硬度试验方法》GB/T 2654 的有关规定。

4 试验结果评定应符合下列规定:

- 1) 拉伸试样母材为同钢号时,试样的抗拉强度不应低于母材钢号标准规定值的下限值。试样母材为两种钢号时,试样的抗拉强度不应低于两种钢号标准规定值下限的较低值;同一厚度方向上两件或多件试样拉伸试验结果平均值应符合上述要求,且单件试样如果断在焊接或熔合线以外的母材上,试样的抗拉强度碳素结构钢为母材钢号标准最低规定值的 95%,低合金高强度结构钢为母材钢号标准最低值的 97%;
- 2) 弯曲试样受拉面上沿任何方向不得有单条长度大于 3mm 的裂纹或缺陷,试样的棱角开裂一般不计,但由于

夹渣或其他焊接缺陷引起的棱角开裂长度应计入；

- 3) 冲击试样焊缝中心及热影响区粗晶区各三个试样的冲击功平均值应分别达到母材标准规定值或设计要求的最低值,并允许一个试样低于上述规定值,但不得低于规定值的 70%；
- 4) 宏观酸蚀试验的试样接头焊缝及热影响区表面不应有肉眼可见的裂纹、未熔合、未焊透等缺陷；
- 5) 硬度试验母材屈服强度小于或等于 460MPa 的焊接接头的最高硬度不宜超过 HV350；屈服强度大于 460MPa 钢材的焊接接头,最高硬度应根据工程实际需要进行评定；
- 6) 试验中单个试样不合格时,应在原试件上加倍取样进行复试,仍不合格,该焊接工艺应评为不合格；若一组试样均不合格,则该焊接工艺应评为不合格,需修改焊接工艺重新进行焊接工艺评定。

8.4 焊接工艺

8.4.1 钢材及焊材的选择应符合本规范第 5 章的相关规定,当高炉、热风炉壳体结构选用附录 B 中的钢板时,其焊接材料可按附录 J 的规定选择。

8.4.2 施工前应由焊接技术责任人员根据焊接工艺评定结果编制焊接工艺文件,并向有关操作人员进行技术交底,施工中应严格遵守焊接工艺文件的规定。焊接工艺文件应包括下列内容：

- 1 焊接方法；
- 2 母材的牌号、厚度及其他相关尺寸；
- 3 焊接材料型号、规格；
- 4 焊接接头形式、坡口形状及尺寸允许偏差；
- 5 夹具、定位焊、衬垫的要求；
- 6 焊接电流、焊接电压、焊接速度、焊接层次、清根要求、焊接

顺序等焊接工艺参数规定;

- 7 预热温度及层间温度范围;
- 8 后热、焊后消除应力处理工艺;
- 9 检验方法及合格标准。

8.4.3 坡口准备应符合下列规定:

1 对标准抗拉强度不大于 540MPa 碳素结构钢或低合金高强度结构钢可采用冷加工或热加工方法制备坡口;对于标准抗拉强度大于 540MPa 的碳素结构钢或低合金高强度结构钢宜采用冷加工方法,当采用热加工方法时,应采用冷加工方法去除对焊接质量有影响的表层;

2 当采用火焰切割方法进行坡口制备时,其切割表面的质量应符合现行行业标准《热切割气割质量和尺寸偏差》JB/T 10045.3 的有关规定;

3 坡口表面不得有裂纹、分层、夹渣等缺陷,坡口表面及两侧以离坡口边缘的距离计,手工电弧焊各 10mm;埋弧焊、气体保护焊各 20mm;电渣焊、气电立焊各 40mm,应将水、铁锈、油污和其他有害杂质清理干净。

8.4.4 组对定位焊应符合下列规定:

- 1 组对时,坡口间隙、错边量、棱角度等应符合相应规定;
- 2 应避免强力组装;

3 定位焊必须由持相应合格证书的焊工施焊,所用焊接材料应与正式施焊相当。定位焊焊缝应与最终焊缝有相同的质量要求。钢衬垫的定位焊宜在接头坡口内焊接。定位焊焊缝厚度不宜超过设计焊缝厚度的 2/3,焊缝长度宜大于 40mm,间距宜为 (500~600)mm,并应填满弧坑。定位焊预热温度应高于正式施焊预热温度。当定位焊焊缝上有气孔或裂纹时,必须清除后重焊。

8.4.5 预热工艺的选择应符合下列规定:

1 常用钢材牌号推荐的预热温度参见现行行业标准《钢制压力容器焊接规程》JB/T 4709 中的相关规定,非常见牌号钢需通过

试验确定；

2 不同钢材牌号相焊时，预热温度按预热温度要求较高的牌号选取；

3 采取局部预热时，应防止局部应力过大。预热的范围为焊缝两侧不小于焊件厚度的 3 倍，且不小于 100mm；

4 需要预热的焊件在整个焊接过程中不低于预热温度；

5 当用热加工法下料、开坡口、清根、开槽或施焊临时焊缝时，亦需考虑预热要求；

6 电渣焊和气电立焊在环境温度为 0°C 以上施焊时可不进行预热。

8.4.6 焊接环境当出现下列任一情况时，必须采取有效措施，否则禁止焊接。

1 手工电弧焊风速大于 8m/s ；气体保护焊及药芯焊丝电弧焊风速大于 2m/s 。气体保护焊采用防风型大流量气体保护喷嘴时，可上调风速限制值，但需有相关工艺试验证明；

2 相对湿度大于 90%；

3 雨雪环境；

4 焊件温度低于 -20°C ；

5 焊件温度为 $(0 \sim -20)^{\circ}\text{C}$ 时，应将焊缝两侧 100mm 范围内预热到 15°C 以上。

8.4.7 焊接施工应符合下列规定：

1 禁止在非焊接部位引弧；

2 地线、电缆线、焊钳不应与焊件打弧，电弧擦伤处的弧坑应修磨，并应均匀过渡到母材表面，修磨的厚度不应大于该部位钢材厚度的 5%，且不大于 2mm，不符合要求时，应予补焊；

3 严禁在焊接坡口中填塞焊条头，钢筋等杂物；

4 采用多层焊时，各焊层、焊道的接头应错开；

5 施焊过程中应控制层间温度不超过规定的范围。当焊件预热时，应控制层间温度不得低于预热温度；

6 每条焊缝应一次焊完。当中断焊接时,对冷裂敏感的焊件应及时采取后热、缓冷等措施。重新施焊时,仍需按规定进行预热;

7 引弧板和引出板其材质和坡口形式应和被焊母材相同。当采用手工电弧焊和气体保护电弧焊时,其引弧板和引出板宽度应大于 50mm,长度宜为板厚的 1.5 倍且不小于 30mm,厚度应不小于 6mm;非手工电弧焊焊缝的引弧板和引出板宽度应大于 80mm,长度宜为板厚的 2 倍且不小于 100mm,厚度应不小于 10mm。焊接完成后,应用火焰切割去除并修磨平整,不得用锤击法去除引弧板和引出板。

8.4.8 焊后热处理应符合下列规定:

1 对冷裂纹敏感性较大的低合金高强度结构钢和拘束度较大的焊件应采取后热措施;

2 后热应在焊后立即进行,加热温度宜为 $(200\sim 350)^{\circ}\text{C}$,保温时间应依据工件板厚按每 25mm 不小于 0.5h,且总保温时间不低于 0.5h。达到保温时间后应缓冷至常温;

3 焊后立即进行热处理则可不作后热处理;

4 进行焊后热处理时,应按现行行业标准《钢制压力容器焊接规程》JB/T 4709 的有关规定执行。

8.4.9 焊缝缺陷返修应符合下列规定:

1 焊缝表面超过质量验收标准时,应采用打磨、铲凿、机加工或焊补方法进行,当采用焊补方法进行修补时,应符合本规范第 8.4.5 条和第 8.4.6 条的有关规定;

2 对需要返修的焊缝内部缺陷,应按下述方法返修:

1)按评定合格的焊接工艺,编制焊接返修工艺。如需预热则应适当提高预热温度,对于屈服强度大于或等于 345MPa 且板厚大于 30mm 的构件,应采用超低氢焊材,否则应进行焊后消氢处理;

2)采用砂轮打磨或碳弧气刨清除缺陷。缺陷为裂纹时,采

用碳弧气刨方法清除则需在裂纹端部打止裂孔；

- 3) 采用碳弧气刨方法清除缺陷，则应在清除缺陷后采用砂轮打磨的方法去除渗碳层及淬硬层；
- 4) 返修部位应开宽度均匀，表面平整、便于施焊的凹槽且两端有一定坡度；
- 5) 同一部位返修不宜超过两次，对两次返修后仍不合格的部位应重新制订方案，经工程技术负责人审批并报监理工程师认可后可执行。

8.4.10 控制焊接变形的措施应符合下列规定：

1 设计时宜采用对称坡口形式，对对称形整体结构，应使焊缝对称或均匀分布；

2 对称坡口双面焊接接头，宜采用频繁交替焊接面或焊完打底焊道后两面同时焊接的方法。有对称截面的构件，宜采用对称于中性轴的顺序焊接；

3 非对称坡口双面焊接接头，应先焊焊缝尺寸较大一侧的焊缝，后焊焊缝尺寸较小的一侧。交替施焊最后焊完焊缝尺寸较大一侧的焊缝；

- 4 长焊缝宜采用分段退焊、跳焊或多人对称焊接方法；
- 5 宜采用能量密度相对较高的焊接方法；
- 6 在相同焊接方法的条件下宜采用相对较低线能量；
- 7 宜采用反变形控制角变形，不宜采用刚性固定的方法。

8.5 焊接质量检验

8.5.1 焊接质量检验宜按施工自检、监检、第三方检验三类方法进行。

1 施工自检，施工企业在整个施工过程中，由施工企业自有或聘用有资质的检测人员进行检验；

2 监检应根据设计要求及结构的重要性，由具有检测资质的独立第三方选派具有检测资质的人员进行检验；

3 第三方检验由具有检测资质的独立第三方选派具有检测资质的人员进行检验。

8.5.2 焊接质量检验应按焊前检验、焊中检验和焊后检验的程序进行。

8.5.3 焊前检验内容主要包括：

1 工程中所用钢材、焊接材料的规格、型号、材质及外观应符合设计文件和相关标准的要求；

2 焊工合格证及认可范围；

3 焊接工艺技术文件及操作规程；

4 坡口形式、尺寸及表面质量；

5 组对后构件的形状、位置、错边量、角变形等；

6 焊接环境、焊接设备及焊接材料的烘干等。

8.5.4 焊中检验内容主要包括：

1 定位焊缝的尺寸及质量；

2 电流、电压、焊接速度、预热温度、层间温度及后热温度和时间等焊接工艺参数；

3 多层多道焊期间的焊道情况及缺陷的处理；

4 采用双面且规定清根的焊缝，应在清根后进行外观检查及规定的无损检验。

8.5.5 焊后检验内容主要包括：

1 焊缝的外观检验；

2 焊缝的无损检验；

3 工艺记录及检验报告是否齐全。

8.5.6 外观检验应符合下列规定：

1 所有焊缝应冷却到环境温度后进行外观检验，屈服强度大于 235MPa 且小于等于 420MPa，钢材的焊缝应以焊接完成 24h 后检查结果为验收依据；屈服强度大于 420MPa 钢材应以焊接完成 48h 后的检查结果作为验收依据；

2 外观检查可用目测或辅以 5 倍放大镜，也可采用磁粉探伤

或渗透探伤。尺寸的测量应用量具、卡尺等；

3 外观检验的质量要求应符合现行国家标准《现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范》GB 50236 的有关规定。

8.5.7 无损检测应符合下列规定：

1 无损检测应在外观检查合格后进行；

2 要求全焊透或部分焊透的焊缝，其内部缺陷检验应采用超声波(UT)或射线(RT)检测，其质量应符合下列要求：

1) 超声波(UT)检测应按现行行业标准《承压设备无损检测第3部分 超声检测》JB/T 4730.3 执行。其中一级焊缝应进行100%的检验，其质量应符合该标准中B级检验的Ⅱ级及Ⅱ级以上的要求；二级焊缝应进行抽检，其抽检比例应不小于20%，其质量应符合该标准B级检验的Ⅲ级及Ⅲ级以上的要求；

2) 射线(RT)检测应按现行国家标准《金属熔化焊焊接接头射线照相》GB/T 3323 的有关规定执行。射线照相的质量等级应符合B级的要求。一级焊缝评定合格等级应为该标准的Ⅱ级及Ⅱ级以上；二级焊缝评定合格等级应为该标准的Ⅲ级或Ⅲ级以上。

8.5.8 表面及近表面缺陷的检测，如有下列情况之一，应进行表面及近表面缺陷的检测：

1 外观检查发现裂纹时，应对该批中同类焊缝进行100%的表面检测；

2 外观检查怀疑有裂纹时，应对怀疑的部位进行表面探伤；

3 设计图纸规定进行表面探伤时；

4 检查员认为有必要时。

8.5.9 对铁磁性表面的缺陷或近表面缺陷可采用磁粉探伤方法进行检测，其检测方法和质量评定应符合现行行业标准《无损检测焊缝磁粉检测》JB/T 6061 的有关规定。对于非铁磁性材料的表面缺陷也可采用渗透探伤方法进行检测，其检测方法和质量评定

应符合现行行业标准《无损检测焊缝渗透检测》JB/T 6062 的有关规定,磁粉探伤和渗透探伤的合格标准应符合本规范第 8.5.6 条的有关规定。

9 除锈及涂装

9.0.1 壳体结构钢板除锈及涂装应符合设计文件要求。设计文件中应注明除锈等级、涂料名称及涂层厚度。

9.0.2 钢板在预处理前应清除毛刺、焊渣、飞溅物、积灰和疏松的氧化铁皮、铁锈以及可见的油脂和污垢。

9.0.3 钢板表面预处理应采用喷射或抛射除锈；现场焊缝处和涂层损伤处，可采用手工或动力工具除锈。

9.0.4 钢板表面的除锈等级和涂料应符合现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046 和《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》GB/T 8923 的有关规定。高炉、热风炉、除尘器、上升管、下降管、五通球或三通管壳体结构内表面除锈等级为 Sa2，外表面为 Sa2 $\frac{1}{2}$ ；高炉和内燃式热风炉底板为 Sa1。现场焊缝、涂层损伤处以及现场制作的零星小构件除锈等级为 St3。

9.0.5 壳体结构涂装防腐涂料，应选用适应于工业大气环境和高温环境腐蚀的涂料。

9.0.6 涂料的成分和物理参数应符合国家相关标准的规定，涂料选用时，应选用有标准的产品。涂料进场后应取样复验，不合格的产品不应使用。取样方法应符合现行国家标准《涂料产品的取样》GB/T 3186 的有关规定。

9.0.7 高炉、热风炉、上升管、下降管、五通球或三通管壳体结构内表面不涂底漆，待安装完毕后根据工艺要求喷射专用防腐和耐热涂料。重力除尘器壳体结构内表面涂一道防锈底漆。

9.0.8 高炉、热风炉、上升管、下降管、五通球或三通管壳体结构外表面的底漆和面漆应分别选用耐 400℃ 和 200℃ 高温的涂料。底漆宜刷涂或喷涂 2 道～3 道，每道厚度 (20～25) μm ；面漆刷涂

或喷涂 2 道,每道厚 $25\mu\text{m}$ 。重力除尘器壳体结构外表面的底漆和面漆可选用耐工业大气腐蚀涂料或低于 400°C 的耐高温涂料。底漆和面漆宜刷涂或喷涂 2 道,每道厚度 $(20\sim 25)\mu\text{m}$ 。高炉和内燃式热风炉的底板不涂油漆。

9.0.9 现场焊缝周围 $(50\sim 100)\text{mm}$ 、孔洞周边 50mm 处不得涂油漆。待安装完备后按本章第 9.0.8 条的要求补涂油漆。安装密封的机加工面、与混凝土紧贴或埋入的部位不得涂装。

9.0.10 外燃式热风炉的燃烧室炉身上段和蓄热室过渡段以上部位的高温区段壳体外表面宜铺 3mm 厚的保温毡垫,并用 $(0.40\sim 0.50)\text{mm}$ 的铝板包覆。

9.0.11 热风炉地脚锚栓在热风炉烘炉后,宜加设防雨罩(图 9.0.11)。

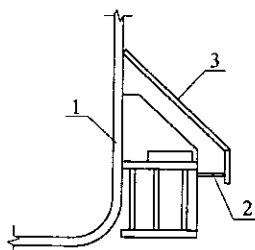


图 9.0.11 防雨罩

1—炉缸;2—环板;3—防雨罩

10 施工、安装与检验

10.1 一般规定

10.1.1 施工单位应按设计图纸及技术要求编制制作工艺文件并进行制作。当修改设计时,应有设计修改通知书或经设计单位书面同意。

10.1.2 壳体施工、安装材料应符合下列规定:

1 壳体所用的钢板应符合设计文件的规定,其规格、性能等应符合国家现行有关标准或设计文件中的有关规定,并具有质量证明书;当采用其他钢板和焊接材料替代设计选用的材料时,应按本规范第 8.3 节的相关规定进行焊接工艺评定。

2 壳体用热轧厚钢板的表面质量应符合现行国家标准《碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带》GB/T 3274 的有关规定,亦可根据设计文件要求和与钢铁企业协议的质量验收标准进行验收;

3 施工单位应对壳体所用的钢板逐一标识,下料时应做好标识移植,壳体的配料资料应归档保存;

4 焊接材料的选择应符合设计文件要求及本规范第 8.4.1 条的规定,并附有质量证明书,其技术条件应符合国家现行有关标准的规定;

5 钢板应按品种、牌号、规格分类堆放,并应防止变形和锈蚀。

10.1.3 施工、安装所用的计量器具应经计量检定机构检定,并在检定周期(有效期)内。

10.1.4 壳体安装前,应根据炉容级别、结构的复杂程度、工期及质量要求、采用新技术的内容,现场平面布置和起重设备能力等编

制施工组织设计。

10.1.5 壳体预装和安装时,必须设置脚手架、跳板、护栏、扶梯,操作人员应遵守高空作业的相关规定。

10.2 壳体施工

10.2.1 壳体钢板的切割及开孔除设计有规定外,应符合下列规定:

1 应优先采用数控切割机或半自动切割机进行切割;

2 低合金钢板的切割应在 0°C 以上的环境温度下进行,当环境温度等于或低于 0°C 时,应采取相应的措施;

3 切割边缘必须平整,切割面的表面质量应符合现行行业标准《热切割气割质量和尺寸偏差》JB/T 10045.3 的有关规定;

4 切割后壳体钢板的外形尺寸允许偏差为 $\pm 2\text{mm}$,两对角线长度的允许偏差为 3mm ,并应考虑留有焊接收缩余量;

5 钢板的坡口形式及尺寸除符合设计文件的规定外,尚应符合本规范第 8.4.3 条的规定。

10.2.2 壳体钢板的弯曲成形应采用弯板机、压力机及旋压机进行,并应符合下列规定:

1 壳体冷成形时,用弦长不小于 1500mm 的弧形样板检查上、下口弧度,其间隙不得大于 2mm ;

2 热成形时,钢板加热温度为 $(900\sim 1000)^{\circ}\text{C}$ 。碳素结构钢在温度下降至 700°C 之前,低合金结构钢在温度下降至 800°C 之前,应结束加工;

3 压制成形后的钢板表面不应有裂纹、褶皱、过烧等缺陷;

4 壳体检验时,应自由状态立置于壳体检验平台(图 10.2.2),对样检查各部尺寸,壳体允许偏差应符合表 10.2.2 的有关规定。

表 10.2.2 壳体允许偏差

序 号	检 查 项 目	允许偏差(mm)
1	壳体弧长	≤ 3
2	下口与平台间隙	≤ 2
3	上、下口圆弧	≤ 2
4	上口高度	≤ 3
5	壳体垂直	≤ 5

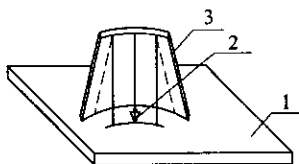


图 10.2.2 壳体检查平台

1—平台;2—线锤;3—炉壳

10.2.3 壳体的焊接除应符合本规范第 8.4 节的相应规定外,尚应符合下列规定:

1 施工单位在焊接施工时,应按本规范 8.3 节进行焊接工艺评定,根据工艺评定报告制定焊接工艺规程,作为指导焊接施工的依据;焊接工艺评定报告连同试样检验结果应存档备查;未经焊接工艺评定的焊接方法、技术参数不得用于壳体制作;

2 焊条、焊剂应按产品说明书的规定进行烘干、保温,保存在 $(100\sim 150)^{\circ}\text{C}$ 的恒温箱中,专人保管并作好发放记录。现场使用的低氢型焊条应装入保温筒中,使用时间不宜超过 4h,超过后应重新烘焙,且重复烘焙不宜超过 2 次。焊丝在使用前应清除油污、铁锈。保护气体应保持干燥;

3 壳体的吊耳、挂耳及卡具等的焊接,对焊工和焊接工艺的要求与壳体焊接相同;

4 焊接完成后,焊工应清除焊缝表面熔渣及两侧飞溅并进行自检,一、二级焊缝应填写焊接过程记录,在焊缝附近作焊工代号标示;

5 高炉壳体风口带单块焊接完毕并无损检测合格后,宜在退

火炉内进行整体消除应力热处理。热处理规范和热处理工艺应符合现行行业标准《钢制压力容器焊接规程》JB/T 4709 的相关规定；

6 热风炉炉顶段壳体当设计文件要求焊后热处理时，热处理前必须无损检测合格，所有开孔和与壳体焊接的附件、吊耳、挂耳、卡具等应焊接完毕。热处理规范和热处理工艺应符合现行行业标准《钢制压力容器焊接工艺规程》JB/T 4709 的相关规定。消除残余应力除炉内整体热处理外，亦可采用爆炸消除应力等其他方法；

7 五通球的上、下极带和赤道带壳体，当设计文件要求焊后热处理时，热处理前必须无损检测合格，所有开孔与壳体焊接的附件、吊耳等应焊接完毕。热处理规范和热处理工艺应符合现行国家标准《球罐施工及验收规范》GB 50094 的有关规定；

8 壳体的对接焊缝、T形对接与角接组合焊缝以及设计文件要求焊透的其他连接焊缝，应按本规范第 8.5.7 条的规定进行无损检测。高炉的冷却设备短管法兰焊缝采用煤油渗漏试验，应无渗漏现象。吊耳与壳体的角焊缝采用表面着色探伤或磁粉探伤检查，应无表面裂纹。以上各项无损检测合格后，应出具无损检测报告；

9 焊缝内部超标缺陷时，应查对相应的焊接过程记录，制订返修工艺措施方可进行返修。同一部位的返修超过二次，则应由单位技术负责人批准。

10.2.4 壳体的预组装应符合下列规定：

1 预组装应在平台上进行，平台上表面水平高低允许偏差为 2mm。在平台上放大样时，应划出壳体十字中心线（0°、90°、180°、270°）以及壳体上、下口轮廓的投影线等；

2 预组装的壳体应单件检查合格，并用支撑加固。壳体宜以（2~4）带为一预装单元，其单元之间应交替进行，即前一预装单元的最上面一带，作为后一预装单元的最下面一带进行预装；

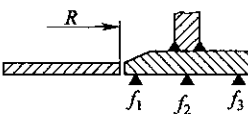
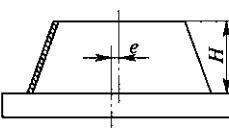
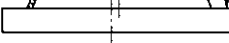
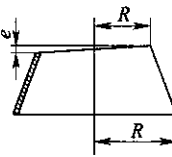
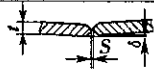
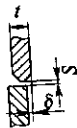
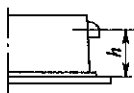
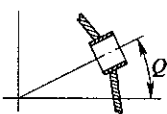
3 预组装时壳体应使用装配卡具固定，不应使用定位焊。在每一带壳体上应按施工详图规定焊接卡具和挂耳；

4 高炉炉顶法兰、外燃式热风炉拱顶环梁应与相应的壳体预组装;

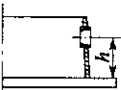
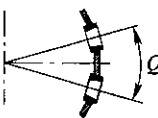
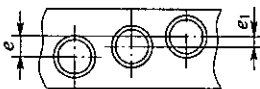
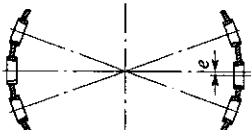
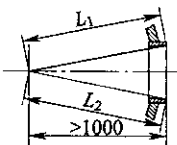
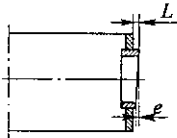
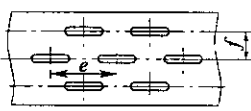
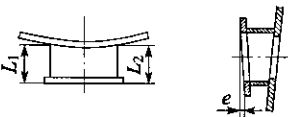
5 壳体预组装允许偏差应符合表 10.2.4 的规定。

6 壳体预装检查合格后,应按预装编号图作出标识,包括壳体编号、水平线、中心线及安装对正线等。

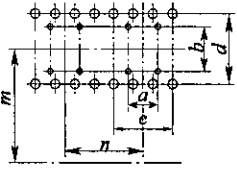
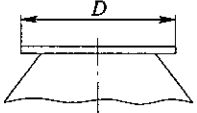
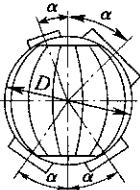
表 10.2.4 壳体预组装允许偏差

序号	项 目		简 图	允许偏差 (mm)
1	炉底板	圆度		$ R_{\max} - R_{\min} \leq R/1000$
		环板平面度		$f_1, f_2, f_3: \pm 3$
		底板平面度		≤ 5
2	壳体上口中心对预装平台检查中心的位移			$e \leq H/1000$ 且 ≤ 10
3	壳体高度			$H \leq \pm 5$
4	壳体圆度 (在圆周 16 点等分检查)			$ R_{\max} - R_{\min} \leq 2R/1000$ 且 $\leq \pm 8$
5	壳体上口高低差 (在圆周 16 点等分检查)			$e \leq 4$
6	纵缝	错边量		$t \leq 40 \quad \delta \leq 3$ $t > 40 \quad \delta \leq 5$ $S = 0 \sim 3$
7	横缝	间隙		$\delta \leq t/10$ 但 $\neq 5$ $S = 0 \sim 3$
8	出铁口	中心标高		$h \leq \pm 5$
		法兰面中心位置		$Q \leq 4'$
		法兰面水平中心线水平度 (在法兰全宽内)		$Q \leq 3'$

续表 10.2.4

序号	项 目	简 图	允许偏差(mm)
9	风口法兰	法兰中心标高	 $h \leq \pm 5$
		法兰中心夹角	 $Q \leq 4'$
		全部法兰中心高低差	 $e \leq 5$
		相邻法兰中心高低差	
		相对法兰中心水平连线与炉体中心偏移	 $e \leq 10$
		法兰面的向心度	 $ L_1 - L_2 \leq 2$
		法兰水平中心线水平度(在法兰直径内)	
		法兰伸出壳体表面距离	 $L \leq 0 \sim 5$
		法兰垂直面的倾斜(在法兰面直径内)	
10	冷却板法兰	法兰沿壳体圆周中心间隔	 $e \leq \pm 5$
		相邻两层法兰中心距	$f \leq \pm 5$
		法兰水平中心线两端至壳体表面距离	 $ L_1 - L_2 \leq 2$
		法兰面垂直度(在法兰全高内)	

续表 10.2.4

序号	项 目	简 图	允许偏差(mm)
11	冷却壁孔 同组孔间距		$a \pm 2$ $b \pm 2$ $c \pm 2$ $d \pm 2$
	相邻组孔中心距		$m \pm 3$ $n \pm 3$
12	炉顶法兰 直径 D		$ D_{\max} - D_{\min} \leq D/1000$
	上平面任意两点高低差		≤ 3
13	五通球 直径 D(在赤道和两极间测量)		$ D_{\max} - D_{\min} \leq 3D/1000$ 且 ≤ 15
	开孔角度 α		$\pm 30'$

注:其他壳体预组装可参照表 10.2.4 的允许偏差值。

10.3 壳体结构质量检验

10.3.1 壳体结构质量检验应为预装状态,检验可由业主、设计单位、施工单位联合进行。

10.3.2 检验依据合同、设计图纸、检验大纲及相关标准进行。检验大纲由设计单位提出并经业主确认,内容包括设备名称、检验项目、判定标准、检验方法等。

10.3.3 施工单位应做好检验的各项准备工作,包括检测器具和测试设备,相应图纸及记录表格,受检壳体上脚手架、围栏及扶梯等安全设施。

10.3.4 检验项目应符合下列要求:

1 技术资料审查,包括主要材料的材质证明书,焊材的产品合格证,检验记录(尺寸检查记录、焊缝检查记录、焊缝探伤报告、

热处理工艺曲线、预装检查记录等)；

- 2 壳体预装单元各部尺寸检测；
- 3 焊缝外观检查和无损探伤检测；
- 4 标识的检查和确认；
- 5 涂装质量检测(发货前进行)。

10.3.5 检验合格后,可将预装壳体解体,进行表面清理,并按本规范第9章的规定进行除锈及涂装。

10.4 壳体安装

10.4.1 壳体安装应符合下列规定：

1 安装前,应对壳体制作资料进行接收,核对资料应齐全、完整、准确。壳体进场后,应对几何尺寸、外观、标记等进行检查,并应符合现行国家标准《炼铁机械设备工程安装验收规范》GB 50372的有关规定或合同约定的出厂检验大纲的相关要求；

2 安装前应取得基础验收合格的交接资料(基础混凝土强度、尺寸、中心线和标高的测量记录及地脚锚栓或螺栓的检查记录,以及基础沉降观测记录等),并应对基础进行复测或修正,重要的控制线应延伸到基础以外的固定点上；

3 对高炉和热风炉基础应按设计要求安装沉降观测点,并定期进行沉降观测直至交工验收；

4 基础垫板符合现行国家标准《炼铁机械设备工程安装验收规范》GB 50372的有关规定；

5 壳体组装时,可根据需要搭设壳体最大尺寸的组装平台,平台上表面水平高低允许偏差应符合本规范第10.2.4条相关规定；平台下面的地基应作处理,不得在壳体组装阶段发生沉降；平台宜用型钢架设,其上部可根据需要铺设钢板,平台中部应设置测量架；平台上应标出壳体的中心点、内半径和方位线,并在位置线上配置垫板,其垫板水平度允许偏差应符合现行国家标准《炼铁机械设备工程安装验收规范》GB 50372的有关规定；

6 按施工组织设计(或施工方案)配备起重机械、安装用电、水、气和工机具等。

10.4.2 高炉壳体可采用扩大组合安装,其组合壳体分段不宜在壳体的转折和曲面锥体的连接处,并应考虑焊接、冷却设备的安装位置和安装限界。

10.4.3 高炉壳体现场组装应符合下列规定:

1 有底环板的炉缸段壳体组装时,底环板应密贴组装平台面,当壳体上口水平度不满足要求时,不得调高壳体;壳体中心线、对口间隙、错边量和铁口中心线的允许偏差应符合现行国家标准《炼铁机械设备工程安装验收规范》GB 50372 的相关规定;

2 风口段壳体组装时应严格控制风口中心标高、角度和壳体中心线;其允许偏差应符合现行国家标准《炼铁机械设备工程安装验收规范》GB 50372 的有关规定。

10.4.4 热风炉壳体应在组装平台上进行组装,不得分块吊装焊接。

10.4.5 壳体安装可采用综合安装或扩大组合安装的方法。其安装工艺应在施工组织设计(或施工方案)中予以规定。

10.4.6 高炉壳体安装应符合下列规定:

1 壳体安装不宜设预留调整带;

2 壳体安装可采用正装法、倒装法和上倒装下正装等多种方法;

3 安装过程中应分带控制壳体圆度、上口水平度、对口间隙、错边量、中心偏差和壳体高度;

4 壳体圆度应以半径检测值控制;上口水平度应以标高测量值计算后进行控制。

10.4.7 热风炉壳体安装应符合下列规定:

1 热风炉底板下填充料应饱满。对外燃式热风炉蓄热室底板下铺的砂子,安装前应烘烤,并刮平上表面,安装时应反复试吊,其接触面积控制应符合现行国家标准《炼铁机械设备工程安装验

收规范》GB 50372 的有关规定；

2 壳体分带安装时，应控制圆度、中心线、上口水平度和相关接口的中心线、标高。如烟道管、热风管、燃烧器等。对于外燃式热风炉在拱顶安装前，蓄热室和燃烧室上口标高应进行调整。

10.4.8 重力除尘器壳体安装宜从支座处开始，采用上部正装、下部倒装的方法。下锥段壳体宜在平台上倒立组装，正立安装；下竖段壳体应整段安装。

10.4.9 上升管、下降管、五通球或三通管壳体安装应符合下列规定：

1 上升管壳体宜在炉顶刚(框)架安装之后进行；顶部三通管壳体和放散管可在地面组合后整体安装；

2 五通球壳体可在地面组装退火后整体安装；

3 对于双下降管的安装应在重力除尘器处的三叉管壳体安装并设临时支撑固定和上升管壳体安装完成后，再分别安装两根下降管壳体；

4 下降管壳体可采用单机或双机抬吊的方法。单机吊装时，宜在角度调整正确后再行起吊安装。

10.4.10 壳体现场开孔应符合本规范第 7.1.3 条的规定，不应手工切割开孔。

10.4.11 高炉、热风炉和除尘器壳体安装允许偏差应符合现行国家标准《炼铁机械设备工程安装验收规范》GB 50372 的要求。

10.4.12 上升管、下降管、五通球或三通管壳体安装，除应符合现行国家标准《工业金属管道工程施工及验收规范》GB 50235 和《现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范》GB 50236 的规定外，尚应符合现行国家标准《炼铁机械设备工程安装验收规范》GB 50372 的有关规定。

10.4.13 壳体结构安装完毕后，应距壳体表面 5mm 处切除安装用临时附属设施，切除时不得损伤母材，残留部分应用砂轮打磨光滑。

10.5 焊 接

10.5.1 焊接连接及检验应按本规范第 8 章的相关规定执行。壳体结构全焊透坡口形状和尺寸宜采用附录 E、F、G、H 中的形式。

10.5.2 现场焊接应符合下列规定：

- 1 焊接应由取得相应项目合格证并在有效期内的焊工承担；
- 2 选用的焊机应满足焊接工艺要求；
- 3 焊接作业区环境应符合本规范第 8.4.6 条的要求。当焊件表面潮湿或有冰雪覆盖时，应采取加热去湿除潮措施；
- 4 具有经审批的焊接工艺评定报告和焊接工艺方案。

10.5.3 现场焊接材料的管理应符合下列规定：

1 焊接材料的品种、规格、性能等应符合国家现行产品标准的规定和设计文件要求，并具有齐全的质量证明书，经复检确认合格后入库。入库的焊材应放置在货架上，库房应保持干燥，相对湿度小于 60%；

2 焊接材料保管、烘干和发放以及低氢型焊条在保温筒内放置时间应符合本规范第 10.2.3 条中 2 款的规定；

3 焊材随用随取，领出的焊条放入保温筒内，剩余的焊材应当天退回焊条房；

4 不得使用药皮脱落、焊芯生锈的焊条及锈蚀的焊丝。

10.5.4 焊接准备工作应符合下列规定：

1 当采用需要水冷系统的自动焊时，施工现场必须有充足稳定的水源。供水压力应满足焊机的需要；

2 高炉、热风炉壳体焊接时，现场应设置足够的专用电源，必要时配置稳压装置；

3 高炉、热风炉壳体焊接前，焊工及焊接设备宜在现场进行模拟试验，合格后方可进行正式焊接；

4 焊接前做好防风雨设施；

5 壳体纵向焊缝应设置引弧板、引出板（熄弧板），其材质、规

格、坡口形式应符合本规范第 8.4.7 条 7 款的要求；

6 焊前应将坡口及周围 50mm 范围内的油渍、污物清理干净，露出金属光泽；

7 根据焊接工艺规程要求需要进行预热时，预热范围应符合本规范第 8.4.5 条的有关要求。壳体焊接宜采用电加热片伴随预热。也可使用煤气、丙烷等可燃气体预热。焊前应做好预热设备布置与调试。

10.5.5 焊接工艺应符合下列规定：

1 壳体焊接应对称进行，先焊接每带壳体纵缝，后焊接横缝；

2 厚板焊接应严格控制层间温度，层间温度不得低于预热温度，并应连续施焊；

3 壳体板厚度大于 50mm 手工焊接时，宜进行焊后消氢处理；

4 热风炉高温段壳体的现场焊缝，当设计文件要求焊后热处理时，焊缝的局部热处理应在安装工作全部结束后进行。热处理后的壳体表面不得再次进行施焊或切割。

10.6 涂 装

10.6.1 现场除锈和涂装应按本规范第 9 章的相关规定执行。

10.6.2 结构安装后应对下列部位进行补涂：

1 结合部的外露部位和紧固件等；

2 安装时焊接及烧损的部位；

3 组装符号和漏涂的部位；

4 安装时损伤的部位。

10.6.3 现场涂装前钢材表面不应有焊渣、焊疤、浮灰、油污、水和毛刺等，除锈等级应符合设计文件规定。无规定时，钢材表面除锈等级应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定。

10.6.4 涂料、涂装遍数、涂层厚度均应符合设计文件的规定。

10.6.5 涂装时的环境温度和相对湿度应符合涂料产品说明书的要求,当产品说明书无要求时,环境温度宜在(5~38)℃,相对湿度不应大于85%。涂装时设备表面不应有结露;涂装后4h内应保护其免受雨淋。

10.6.6 热风炉耐热防腐涂料的品种、规格和性能及涂装技术要求应符合设计文件要求和国家现行标准的规定。

10.7 整体泄漏性试验

10.7.1 整体泄漏性试验及检验应按现行国家标准《炼铁机械设备工程安装验收规范》GB 50372的有关规定执行。

10.7.2 对高炉系统应编制整体泄漏性试验方案,按升压等级应分别对法兰连接部、风口装置、焊缝等进行检查。

10.7.3 高炉系统整体泄漏性试验压力应符合设计文件的规定。

10.7.4 高炉系统整体泄漏性试验的范围和各连接部位的泄漏性要求应符合现行国家标准《炼铁机械设备工程安装验收规范》GB 50372的有关规定。

10.8 竣工验收

10.8.1 工程验收应按现行国家标准《炼铁机械设备工程安装验收规范》GB 50372的有关规定执行。

附录 A 热风炉炉内气体压力

A.0.1 外燃式热风炉壳体结构承受的气体压力,可按表 A.0.1 采用。

表 A.0.1 外燃式热风炉壳体结构承受的气体压力(kPa)

压力 部位	正常气体压力	偶然气体压力
所有部位	400	450

A.0.2 内燃式热风炉壳体结构承受的气体压力,可按表 A.0.2 采用。

表 A.0.2 内燃式热风炉壳体结构承受的气体压力(kPa)

压力 部位	正常气体压力	偶然气体压力
所有部位	400	450

A.0.3 与 2000m³ 以上(含 2000m³)高炉配套的顶燃式热风炉壳体结构承受的气体压力可按表 A.0.3 采用。

表 A.0.3 顶燃式热风炉壳体结构承受的气体压力(kPa)

压力 部位	正常气体压力	偶然气体压力
所有部位	400	480

A.0.4 与 2000m³ 以下高炉配套的顶燃式热风炉壳体结构承受的气体压力可按表 A.0.4 取值。

表 A.0.4 顶燃式热风炉壳体结构承受的气体压力(kPa)

压力 部位	正常气体压力	偶然气体压力
所有部位	350	400

附录 B 技术要求

B.1 钢板牌号和化学成分

B.1.1 壳体结构用钢板的牌号和化学成分(熔炼分析)应符合表 B.1.1-1、表 B.1.1-2 的规定。

表 B.1.1-1 高炉壳体结构用钢板

钢板 牌号	化学成分(质量分数)(%)									
	C	Si	Mn	P	S	Nb	Ti	Als	N	V
BB503	0.12	0.30	1.25	≤	≤	0.015	0.010	0.010	≤	0.02
	~ 0.18	~ 0.55	~ 1.60	0.020	0.010	~ 0.040	~ 0.035	~ 0.050	0.007	~ 0.15
ALK490	0.14	0.30	1.40	≤	≤	0.010	≤	0.020	≤	—
	~ 0.18	~ 0.60	~ 1.60	0.025	0.005	~ 0.040	0.020	~ 0.060	0.008	—
WSM50C	≤	≤	≤	≤	≤	0.015	—	≥	—	—
	0.18	0.55	1.60	0.040	0.040	~ 0.035	—	0.015	—	—

表 B.1.1-2 热风炉壳体结构用钢板

钢板 牌号	化学成分(质量分数)(%)										
	C	Si	Mn	P	S	Nb	Ti	Als	N	V	Mo
BB41-BF	0.05	0.10	1.15	≤	≤	—	0.008	0.010	≤	0.017	—
	~ 0.10	~ 0.40	~ 1.45	0.020	0.015	—	~ 0.035	~ 0.050	0.007	~ 0.050	—
ALK420	0.12	0.15	0.50	≤	≤	—	—	0.015	≤	—	0.45
	~ 0.18	~ 0.40	~ 0.80	0.025	0.010	—	—	~ 0.045	0.008	—	~ 0.60
WSM41C	≤	≤	≤	≤	≤	0.015	—	≥	—	—	—
	0.18	0.50	1.40	0.040	0.040	~ 0.035	—	0.015	—	—	—

B.1.2 钢板牌号的碳当量或焊接裂纹敏感性指数应采用熔炼分析值并根据式 B.1.2-1 或式 B.1.2-2 计算。

$$CE(\%) = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \quad (B. 1. 2-1)$$

$$P_{cm}(\%) = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B \quad (B. 1. 2-2)$$

B. 2 力学性能和工艺性能

B. 2. 1 壳体结构用钢板的拉伸、冲击、弯曲试验结果应符合表 B. 2. 1-1、表 B. 2. 1-2 的规定。

表 B. 2. 1-1 高炉壳体结构用钢板

钢板牌号	钢板厚度 (mm)	屈服强度 (N/mm ²)	抗拉强度 (N/mm ²)	伸长率 (%)	冲击功 (纵向)0℃	180° 弯曲试验
BB503	≤16	≥315	490~610	≥21	≥47	3a
	16~40			≥23		
	>40	≥295				
ALK490	≤40	≥325	490~610	≥21	≥47	2a
	40~60	≥305		≥23		
	60~80	≥295				
WSM50C	≤16	325	480~610	≥17	≥47	2a
	16~40	310		≥21		
	>40	290		≥23		

表 B. 2. 1-2 热风炉壳体结构用钢板

钢板牌号	钢板厚度 (mm)	屈服强度 (N/mm ²)	抗拉强度 (N/mm ²)	伸长率 (%)	冲击功 (纵向)0℃	180° 弯曲试验
BB41-BF	≤16	≥245	400~510	≥18	≥47	2a
	16~40	≥235		≥22		
	>40	≥215		≥24		
ALK420	≤16	≥245	400~510	≥20	≥47	2a
	16~40	≥235		≥22		
	>40	≥215		≥24		
WSM41C	≤16	≥245	400~510	≥18	≥47	2a
	16~40	≥235		≥22		
	>40	≥215		≥24		

附录 C 壳体结构用钢许用应力值

C.0.1 壳体结构用钢许用应力值应按表 C.0.1 采用。

表 C.0.1 钢板许用应力值(N/mm²)

钢 板			常温强度		下列温度(℃)的许用应力[σ]				
钢板牌号	交货状态	厚度(mm)	R_m	R_{eH}	20	100	150	200	250
BB503	正火	16~40	490	315	210	190	175	160	150
		>40		295	195	180	165	150	140
ALK490	正火	≤40	490	325	215	200	185	170	155
		40~60		305	205	185	170	155	145
		60~80		295	195	180	165	150	140
WSM50C	正火	16~40	480	310	205	190	175	160	145
		>40		290	195	180	165	150	135
BB41-BF	正火	≤16	400	245	165	150	140	130	120
ALK420		16~40		235	155	140	130	120	110
WSM41C		>40		215	145	135	125	115	105

附录 D 不同温度下钢材的弹性模量

D.0.1 壳体结构在不同温度下钢材的弹性模量应按表 D.0.1 采用。

表 D.0.1 钢材的弹性模量

在下列温度(℃)下的弹性模量(N/mm ²)				
20	100	150	200	250
206×10^3	203×10^3	200×10^3	196×10^3	190×10^3

注:中间温度的弹性模量可用线性内插法计算。

附录 E 高炉壳体结构全焊透坡口形状和尺寸

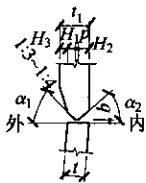
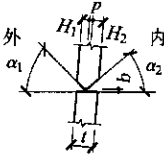
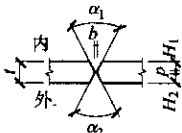
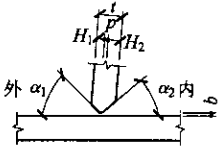
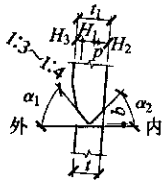
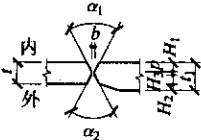
表 E 高炉壳体结构全焊透坡口形状和尺寸

序号	部位	坡口形状示意图	焊接形式	坡口尺寸 (mm)	备注
1	煤气封罩段		横向往焊缝	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=1/3(t-p)$ $H_2=2/3(t-p)$ $H_3=t_1-t$ $\alpha_1=45^\circ$ $\alpha_2=40^\circ$	清根
			竖向焊缝	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=1/2(t-p)$ $H_2=1/2(t-p)$ $\alpha_1=55^\circ$ $\alpha_2=55^\circ$	清根
2	煤气封罩与炉身段连接处		横向往焊缝	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=1/3(t-p)$ $H_2=2/3(t-p)$ $H_3=t_1-t$ $\alpha_1=50^\circ$ $\alpha_2=40^\circ$	清根
3	炉身段 炉腰段 炉腹段		横向往焊缝	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=1/3(t-p)$ $H_2=2/3(t-p)$ $H_3=t_1-t$ $\alpha_1=45^\circ$ $\alpha_2=40^\circ$	清根
			竖向焊缝	$b=2\sim 4$ $p=0\sim 2$ $\alpha_1=50^\circ$	清根

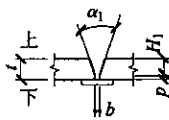
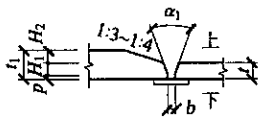
续表 E

序号	部位	坡口形状示意图	焊接形式	坡口尺寸 (mm)	备注
3	炉身段 炉腰段 炉腹段		竖向 焊缝	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=1/2(t-p)$ $H_2=1/2(t-p)$ $\alpha_1=\alpha_2=55^\circ$	清根
4	炉身段 与炉腰 段连接 处		横向 焊缝	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=1/3(t-p)$ $H_2=2/3(t-p)$ $H_3=t_1-t$ $\alpha_1=45^\circ$ $\alpha_2=40^\circ$	清根
5	炉腰段 与炉腹 段连接 处		横向 焊缝	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=1/3(t-p)$ $H_2=2/3(t-p)$ $\alpha_1=50^\circ$ $\alpha_2=45^\circ$	清根
6	炉腹段 与风口 连接处		横向 焊缝	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=1/3(t-p)$ $H_2=2/3(t-p)$ $H_3=t_1-t$ $\alpha_1=45^\circ$ $\alpha_2=40^\circ$	清根
7	风口段		横向 焊缝	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=1/3(t-p)$ $H_2=2/3(t-p)$ $\alpha_1=45^\circ$ $\alpha_2=40^\circ$	清根
			竖向 焊缝	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=1/2(t-p)$ $H_2=1/2(t-p)$ $\alpha_1=\alpha_2=50^\circ$	清根

续表 E

序号	部位	坡口形状示意图	焊接形式	坡口尺寸 (mm)	备注
8	风口段与炉缸连接处		横向焊缝	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=1/3(t-p)$ $H_2=2/3(t-p)$ $H_3=t_1-t$ $\alpha_1=45^\circ$ $\alpha_2=40^\circ$	清根
9	炉缸段		横向焊缝	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=1/3(t-p)$ $H_2=2/3(t-p)$ $\alpha_1=45^\circ$ $\alpha_2=45^\circ$	清根
			竖向焊缝	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=1/2(t-p)$ $H_2=1/2(t-p)$ $\alpha_1=55^\circ$ $\alpha_2=55^\circ$	清根
10	炉缸段与炉底连接处		平焊	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=1/3(t-p)$ $H_2=2/3(t-p)$ $\alpha_1=45^\circ$ $\alpha_2=40^\circ$	清根
11	铁口与炉缸连接处		横向焊缝	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=1/3(t-p)$ $H_2=2/3(t-p)$ $H_3=t_1-t$ $\alpha_1=45^\circ$ $\alpha_2=40^\circ$	清根
			竖向焊缝	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=1/2(t-p)$ $H_2=1/2(t-p)$ $H_3=t_1-t$ $\alpha_1=55^\circ$ $\alpha_2=55^\circ$	清根

续表 E

序号	部位	坡口形状示意图	焊接形式	坡口尺寸 (mm)	备注
12	炉底板 平接		平焊	$b=3$ $p=0\sim 2$ $H_1=t-p$ $\alpha_1=40^\circ$	清根
13	环板与 炉底板 平接		平焊	$b=3$ $p=0\sim 2$ $H_1=t-p$ $H_2=t_1-t$ $\alpha_1=40^\circ$	清根

附录 F 内燃式热风炉壳体结构全焊透 坡口形状和尺寸

表 F 内燃式热风炉壳体结构全焊透坡口形状和尺寸

序号	部位	坡口形状示意图	焊接形式	坡口尺寸(mm)	备注
1	炉顶段		横向焊缝	$b=0\sim3$ $p=3$ $H_1=2/3(t-p)$ $H_2=1/3(t-p)$ $\alpha_1=50^\circ$ $\alpha_2=60^\circ$	清根
2	壳体的拱顶段、直线段、斜线段的竖向焊缝		竖向焊缝	$b=0\sim3$ $p=3$ $H_1=2/3(t-p)$ $H_2=1/3(t-p)$ $\alpha_1=\alpha_2=60^\circ$	清根
3	炉顶段与直线段处		横向焊缝	$b=0\sim3$ $p=3$ $H_1=2/3(t-p)$ $H_2=1/3(t-p)$ $\alpha_1=\alpha_2=25^\circ$ $\alpha_3=50^\circ$	清根
4	直线段与斜线处		横向焊缝	$b=0\sim3$ $p=3$ $H_1=2/3(t-p)$ $H_2=1/3(t-p)$ $\alpha_1=30^\circ$ $\alpha_2=20^\circ$ $\alpha_3=50^\circ$	清根

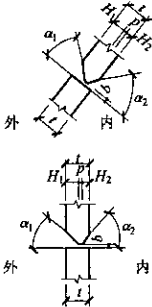
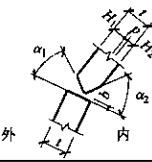
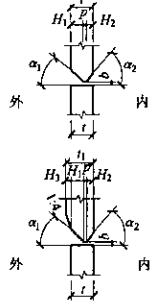
续表 F

序号	部位	坡口形状示意图	焊接形式	坡口尺寸(mm)	备注
5	炉身上段过渡与炉顶斜线连接处		横向焊缝	$b=0\sim3$ $p=3$ $H_1=2/3(t-p)$ $H_2=1/3(t-p)$ $\alpha_1=40^\circ$ $\alpha_2=\alpha_3=30^\circ$	清根
6	炉身上段过渡与炉身段、炉身段与炉身段、炉身段与炉身段、炉身段与过渡段、下过渡段与炉缸连接处		横向焊缝	$b=0\sim3$ $p=3$ $H_1=2/3(t-p)$ $H_2=1/3(t-p)$ $\alpha_1=\alpha_2=45^\circ$	清根
7	上过渡段、炉身段、下过渡段、炉缸段		竖向焊缝	$b=0\sim3$ $p=3$ $H_1=H_2=1/2(t-p)$ $\alpha_1=\alpha_2=60^\circ$	清根
8	炉缸与底板连接、环板连接、与环底板对接处		横向焊缝	$b_1=0\sim3$ $p=3$ $b_2=6\sim8$ $H_1=2/3(t-p)$ $H_2=1/3(t-p)$ $\alpha_1=\alpha_2=45^\circ$ $\alpha_3=20^\circ$	清根

注：顶燃式热风炉壳体结构全焊透坡口形状和尺寸可参照附录 F 的形式。

附录 G 外燃式热风炉蓄热室壳体结构全焊透坡口形状和尺寸

表 G 外燃式热风炉蓄热室壳体结构全焊透坡口形状和尺寸

序号	部位	坡口形状示意图	焊接形式	坡口尺寸(mm)	备注
1	炉顶段连接处		横向焊缝	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=2/3(t-p)$ $H_2=1/3(t-p)$ $\alpha_1=45^\circ$ $\alpha_2=50^\circ$	清根
2	锥体段连接处		横向焊缝	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=2/3(t-p)$ $H_2=1/3(t-p)$ $\alpha_1=45^\circ$ $\alpha_2=50^\circ$	清根
3	炉身段连接处		横向焊缝	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=2/3(t-p)$ $H_2=1/3(t-p)$ $H_3=t_1-t$ $\alpha_1=45^\circ$ $\alpha_2=50^\circ$	清根

续表 G

序号	部位	坡口形状示意图	焊接形式	坡口尺寸(mm)	备注
4	炉顶段与锥体连接处		横向焊缝	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=2/3(t-p)$ $H_2=1/3(t-p)$ $H_3=t_1-t$ $\alpha_1=45^\circ$ $\alpha_2=50^\circ$	清根
5	锥体段与弧形连接处		横向焊缝	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=2/3(t-p)$ $H_2=1/3(t-p)$ $\alpha_1=45^\circ$ $\alpha_2=50^\circ$	清根
6	弧形段过渡段与炉身段连接处		横向焊缝	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=2/3(t-p)$ $H_2=1/3(t-p)$ $H_3=t_1-t$ $\alpha_1=45^\circ$ $\alpha_2=50^\circ$	清根
7	过渡段与炉身连接处		横向焊缝	$b=0\sim 2$ $p=2$ $H_1=2/3(t-p)$ $H_2=1/3(t-p)$ $H_3=t_1-t$ $\alpha_1=45^\circ$ $\alpha_2=50^\circ$	清根
8	壳体钢板纵向连接处		纵向焊缝	$b=3$ $p=2$ $H_1=2/3(t-p)$ $H_2=1/3(t-p)$ $\alpha_1=60^\circ$ $\alpha_2=50^\circ$	清根

注:燃烧室壳体结构全焊透坡口形式和尺寸可参照附录 G 的形式。

附录 H 混风室壳体结构全焊透 坡口形状和尺寸

表 H 混风室壳体结构全焊透坡口形状和尺寸

序号	部位	坡口形状示意图	焊缝形式	坡口尺寸(mm)	备注
1	各段壳体横向连接处		横向焊缝	$b=0\sim 2$ $p=4$ $H=t-p$ $H_1=t_1-t-p$ $\alpha=60^\circ$	清根
2	各段壳体纵向连接处		纵向焊缝	$b=2$ $p=2$ $H=t-p$ $H_1=t_1-t-p$ $\alpha=60^\circ$	清根

附录 J 推荐选用焊接材料

表 J 推荐选用焊接材料

名 称	手工电弧焊	熔化极气保焊	埋弧焊	电渣焊
热风炉壳体结构用钢	E4315 E4316	H08Mn2Si ER50-6	H08A H08MnA	H08MnA H10Mn2
高炉壳体结构用钢	E5015 E5016	H08Mn2SiA ER50-6 ER50-G	H08MnA H10Mn2	H08MnA H10Mn2 H08MnMoA

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 《钢结构设计规范》GB 50017
- 《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046
- 《球形储罐施工及验收规范》GB 50094
- 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
- 《工业金属管道工程施工及验收规范》GB 50235
- 《现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范》GB 50236
- 《工业金属管道设计规范》(2008 年版) GB 50316
- 《炼铁机械设备工程安装验收规范》GB 50372
- 《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81
- 《钢制压力容器焊接规程》JB/T 4709
- 《锅炉和压力容器用钢板》GB 713
- 《钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法》GB/T 226
- 《金属材料室温拉伸试验方法》GB/T 228
- 《金属材料弯曲试验方法》GB/T 232
- 《碳素结构钢》GB/T 700
- 《气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口》
GB/T 985.1
- 《埋弧焊的推荐坡口》GB/T 985.2
- 《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228
- 《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229
- 《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230
- 《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》
GB/T 1231

《低合金高强度结构钢》GB/T 1591
《焊接接头冲击试验方法》GB/T 2650
《焊接接头硬度试验方法》GB/T 2654
《涂料产品的取样》GB/T 3186
《碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板和钢带》GB/T 3274
《金属熔化焊焊接接头射线照相》GB/T 3323
《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632
《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副技术条件》GB/T 3633
《氩》GB/T 4842
《碳钢焊条》GB/T 5117
《低合金钢焊条》GB/T 5118
《埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂》GB/T 5293
《厚度方向性能钢板》GB/T 5313
《六角头螺栓 C 级》GB/T 5780
《六角头螺栓》GB/T 5782
《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110
《涂装前钢材表面锈蚀等级和防锈等级》GB/T 8923
《碳钢药芯焊丝》GB/T 10045
《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》GB/T 11345
《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》GB/T 12470
《熔化焊用钢丝》GB/T 14957
《低合金钢药芯焊丝》GB/T 17493
《承压设备无损检测第 3 部分 超声检测》JB/T 4730.3
《无损检测焊缝磁粉检测》JB/T 6061
《无损检测焊缝渗透检测》JB/T 6062
《热切割气割质量和尺寸偏差》JB/T 10045.3
《焊接用二氧化碳》HG/T 2537

中华人民共和国国家标准

炼铁工艺炉壳体结构技术规范

GB 50567 - 2010

条文说明

制 定 说 明

本规范在制订工作中遵循的主要原则：贯彻执行国家的有关法律、法规和方针、政策，结合国情合理利用资源，充分考虑使用和维修的要求，做到技术先进、经济合理、安全适用和确保质量；以行之有效的生产、建设经验和科学技术的综合成果为依据；积极采纳经实践检验行之有效的新技术、新工艺、新材料；充分发扬民主，广泛征求意见，协商一致，共同确认；做好与现行相关标准之间的协调，避免重复或者矛盾。

在制订过程中规范编制组收集了大量的资料，进行了深入的现场调研分析；开展了多项专题研究和必要的试验验证；总结了多年来我国炼铁工艺炉壳体结构设计、施工和生产使用的实践经验；吸取了近年来的科研成果；与发达国家的标准进行了比较；与国家相关标准进行了协调；开展了试设计工作。在此基础上，以多种方式广泛征求有关单位意见，对重点章节进行了反复修改，最后经审查定稿。

本规范中的重要问题：炼铁工艺炉壳体结构设计方法采用许用应力法，应力强度采用许用应力值。主要依据是高炉、热风炉等的设计压力大于 0.1MPa ，小于 0.35MPa ，类似于钢制压力容器。目前，国内外的设计原则均采用许用应力法。许用应力法是生产使用的实践经验和科学技术的综合成果，用于指导实践活动是安全、实用和经济的，符合《钢铁产业发展政策》的基本原则；壳体结构选用的 BB503、ALK490、BB41-BF 等钢板，具有强度高、抗变形能力强、抗脆性断裂和抗晶界应力腐蚀的最佳综合性能，通过多年的生产实践检验，证明了这些钢板用于壳体结构能满足现行国家标准《高炉炼铁工艺设计规范》GB 50427—2008 对炉体的使用寿

命要求,为实现炼铁工艺炉长寿创造了条件;高炉、热风炉等壳体厚度确定的计算公式,是根据我国 $1000\text{m}^3 \sim 4000\text{m}^3$ 级高炉的设计和生产实践经验,运用数理统计原理,将壳体厚度与直径进行线性回归得出的计算式,再用有限元程序对壳体结构进行弹性和塑性分析论证。通过试设计验证,本规范规定的壳体厚度计算式,具有概念清楚、操作简便、安全适用的特点。

高炉、热风炉等的生产操作和维护,鉴于目前国内各大钢铁企业的炼铁厂在生产操作和维护方面差异甚大,资料较少,在规范编制过程中收集到的资料有限,尚不能总结其普遍性和规律性,因此,暂不纳入规范。钢材的强度指标,考虑到我国的国力和钢材资源,许用应力值与发达国家的标准有一定的差距,待国内钢材的性能指标进一步提高后,再作修订。

为便于广大设计、施工等单位有关人员在使用本规范时能正确理解执行条文规定,编制组按章、节、条顺序编制了条文说明,供使用者参考。在使用中如发现本条文说明有不妥之处,请将意见函寄至中冶赛迪工程技术股份有限公司《炼铁工艺炉壳体结构技术规范》管理组。

目 次

1	总 则	(89)
2	术语和符号	(90)
2.1	术语	(90)
2.2	符号	(90)
3	基本规定	(91)
4	荷 载	(94)
4.1	荷载分类和荷载效应组合	(94)
4.2	壳体荷载	(94)
5	材 料	(96)
5.1	钢材	(96)
5.2	连接材料	(99)
5.3	设计指标	(99)
6	壳体结构设计	(102)
6.1	高炉壳体结构	(102)
6.2	热风炉壳体结构	(109)
6.3	煤气上升管、下降管、五通球或三通管壳体结构	(111)
6.4	重力除尘器壳体结构	(112)
7	构造要求	(113)
7.1	一般规定	(113)
7.2	高炉壳体结构	(113)
7.3	热风炉壳体结构	(116)
7.4	煤气上升管、下降管、五通球或三通管、重力除尘器 壳体结构	(116)
8	焊 接	(118)

8.1	一般规定	(118)
8.2	焊接节点	(118)
8.3	焊接工艺评定	(118)
8.4	焊接工艺	(119)
8.5	焊接质量检验	(120)
9	除锈及涂装	(121)
10	施工、安装与检验	(124)
10.1	一般规定	(124)
10.2	壳体施工	(124)
10.3	壳体结构质量检验	(125)
10.4	壳体安装	(126)
10.5	焊接	(128)
10.6	涂装	(128)
10.7	整体泄漏性试验	(128)

1 总 则

1.0.1 本条是炼铁工艺炉壳体结构设计与施工时应遵循的原则。

1.0.2 根据现行国家标准《高炉炼铁工艺设计规范》GB 50427 的规定,高炉炉容分为: 1000m^3 、 2000m^3 、 3000m^3 、 4000m^3 、 5000m^3 五个级别。每个级别代表一个高炉有效容积范围。例如, 3000m^3 级代表有效容积从 3000m^3 至 3999m^3 范围的高炉。本规范不适用于炼钢炉、加热炉、熔融还原炉等的壳体结构设计、施工与质量检验。

1.0.3 炼铁炉壳体结构属于特殊荷载作用下的板壳结构,本规范提出了相关的规定。在地震区的高炉、热风炉等壳体结构的受力状况、应力特征与非地震区有所不同,其设计、施工与质量检验应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

本章所用的术语和符号是参照现行国家标准《标准编写规则 第1部分:术语》GB/T 20001.1 和《标准编写规则 第2部分:符号》GB/T 20001.2、《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定编写的,并根据需要增加了一些内容。

2.1 术 语

本规范给出了 19 个有关炼铁炉壳体结构设计、制作及安装方面的专用术语,并从壳体结构设计、制作及安装的角度赋予其特定的涵义。

2.2 符 号

本规范给出了 34 个常用符号并分别作出了定义,这些符号都是本规范各章节中所引用的。

3 基本规定

3.0.1 本条提出在壳体结构设计中应具体考虑的一些注意事项,与保证工程质量密切相关。其中钢材的牌号就目前的使用情况,高炉、热风炉壳体结构等选用的钢材大多数是各大钢铁企业(如:宝钢、鞍钢、武钢等)自行研发的低合金结构钢,这些钢材只有企业技术标准,尚未形成国家技术标准,因此,必须详细列出钢材的化学成分和力学性能的各项要求,以便按此进行检验。凡选用的钢材牌号已有现行国家标准的,可不再列出,只提附加保证和协议要求的内容;结构方案中的壳体分段和分块要避开钢板的对接焊缝与设备安装焊缝相焊,并留有一定的距离,避免产生残余应力;构造措施是壳体结构的重要组成部分,应满足受力和施工要求。

3.0.2 本条是根据现行国家标准《高炉炼铁工艺设计规范》GB 50427 对炉体的要求提出的。壳体结构的工作年限要求主要是为实现高炉长寿创造条件。

3.0.3 高炉、热风炉等构筑物的壳体结构属特种钢结构,结构设计应满足炼铁冶炼工艺的要求。本条是壳体结构选型和设计的一般原则,对不同炉容级别的高炉,这些原则是共同的。

3.0.4 高炉、热风炉的壳体结构是在高温、高压且荷载工况十分复杂的条件下工作,与一般压力容器和钢结构有所不同。如高炉的壳体结构不仅承受炉顶荷载、自重、冷却设备等恒荷载,而且主要承受气体压力、炉料荷载、耐材砌体膨胀力,有时还要抵抗煤气爆炸、崩料、坐料的巨大冲击负荷。壳体结构还必须使炉体密闭,不让煤气泄漏,以保护环境。壳体结构一旦破坏将酿成重大事故。基于这种复杂性和重要性,壳体结构的抗力除依赖于工程生产实践经验的积累外,还应对壳体结构采用强度理论进行分析。

壳体结构由塑性好的钢材制成,无论处于何种应力状态,只要壳体中的最大剪应力达到极限剪应力值时,就会引起塑性屈服,其破坏符合塑性屈服的第三强度理论。因此,壳体结构的各应力及其组合所持的强度理论是“最大剪应力”理论。许用应力法是一个传统的方法,该法简单明了、概念明确,便于应用。鉴于高炉、热风炉等壳体结构的荷载工况、受力状况、应力状态等的复杂性,目前尚未进行统计分析,采用许用应力法进行设计是简单易行、安全可靠的办法。

3.0.5 壳体结构进行弹性计算分析,一是考虑壳体受力的复杂性,某些荷载值的大小很难确定,如:高炉炉内砌体膨胀推力,半熔状炉料的侧压力等;二是考虑炉体的重要性。弹性计算可以保证壳体结构在最不利荷载组合工况作用下,就整体而言,壳体结构处于弹性工作状态,应力控制在屈服点以内,使壳体结构有足够的抗力,保证炉体的安全。弹塑性计算主要针对壳体结构是多种形状的组合体,每段壳体的厚度均不相同,总体结构是不连续的,在曲率发生突变处,将产生剪力和弯矩,并引起局部高额应力,这些应力有可能达到或超过钢材的屈服强度,使局部区域进入塑性变形。计算分析这些部位的局部应力,其目的就是控制应力强度在许用极限值的范围内。另外,壳体上开有大小各异的孔,使结构局部不连续,孔的存在削弱了壳体强度,孔边产生局部应力集中,钢材局部发生塑性流动,这些应力将重新分布,若不加以限制,孔与孔之间的壳体将产生过量塑性变形使壳体结构失稳而导致破坏。因此,为正确确定壳体结构开孔后的强度,必须研究孔边的塑性区发展过程和控制局部塑性区的范围,避免塑性区的连通是保障壳体结构安全的关键。

3.0.6 本条是为适应壳体结构实际受力需要提出的。本条的第1款~第4款的规定是强制性条款,必须执行,主要考虑因素有:

我国现有 $500\text{m}^3 \sim 1000\text{m}^3$ 的中型高炉炉顶压力均在 $(0.08 \sim$

0.15)MPa 范围内,对于提高产量,降低焦比影响很大。现行国家标准《高炉炼铁工艺设计规范》GB 50427 规定,对 $1000\text{m}^3 \sim 5000\text{m}^3$ 级的高炉,应采用高压操作、强化冶炼技术,炉顶设计压力为(0.20~0.30)MPa。调研资料表明,炉顶压力增大后,高炉壳体裂缝有增加的趋势,不少裂缝发生在熔敷金属处,裂缝以炉身下部为主,裂缝的出现一般在投产后 7 年~8 年,最短的仅有 4 年,远小于一代炉役 15 年的要求;从壳体结构弹性分析表明,壳体主要承受环向应力,竖向应力较小,仅从这一点,竖向焊缝应为一級,横向焊缝质量等级可为二級,但高炉在生产后期壳体还要承受热冲击负荷,使壳体的局部过热区产生热疲劳效应,抗疲劳的焊缝应为一級;在检索文献中,还看到某高炉壳体在制作过程中 50mm 和 70mm 厚的钢板对接焊缝存在缺陷,在卷板时焊缝产生裂纹。热风炉壳体在调研中也发现在炉身和壳体转折部位多处产生纵向和横向裂缝,裂缝除母材外在焊缝中亦有发生。现行国家标准《高炉炼铁工艺设计规范》GB 50427 明确规定,设计应为实现高炉长寿创造条件,使高炉一代炉役的工作年限(无中修)达到 15 年以上,热风炉等的工作年限应满足高炉二代炉役的要求。因此,壳体结构的工作年限对设计、施工、安装提出了更高的要求。

鉴于上述原因,高炉、热风炉壳体结构的对接焊缝质量等级应为一級。五通球内压均匀,壳体的计算应力以拉应力为主,焊缝质量等级应为一級。

下降管跨度大,一般都在 50m 以上,横向对接焊缝为受拉焊缝。另外,在调研中发现某些高炉的下降管横向焊缝开裂,采取了加固措施。因此,下降管的横向对接焊缝应为一級。

4 荷 载

4.1 荷载分类和荷载效应组合

4.1.1~4.1.4 在壳体结构上的各种荷载或作用,它们各自引起的效应在时间上和空间上彼此互不相关,因此荷载分为恒荷载(例如壳体自重、内衬、设备荷载等)、活荷载(例如炉料荷载、壳体内压力、砌体膨胀压力、风荷载及雪荷载等)和偶然荷载(例如高炉炉内坐料、炉内气体爆炸压力等)。

平台活荷载(不含堆放设备)和平台积灰荷载,应分别按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 中第 4.2.2 条和参照表 4.4.1-2 的规定采用。各类荷载或作用,除风荷载、雪荷载、平台积灰荷载和平台活荷载外,都属于炼铁生产工艺过程中的一些具有特殊性质的荷载,其值大小和作用方向,主要根据入炉原料、燃料、不同容积高炉的设计压力等和实践经验确定。考虑到炉内各种荷载效应重叠在一起,很难分清,目前国内尚无完整的测试资料,国外这方面的文献也较少,以及炼铁冶炼炉的重要性,荷载组合值系数对高炉和热风炉的壳体结构偏安全取 1.0。对除尘器、五通球或三通管和下降管遇风时取 0.9。

高炉坐料或炉内爆炸在一代炉役内发生的概率极小,特别是爆炸事件,因此,荷载效应组合值系数取 0.8。坐料时荷载标准值与爆炸事件的标准值不能同时考虑。

4.2 壳体荷载

4.2.1 本条文中仅列举了作用于高炉壳体结构且在不同部位起控制作用的荷载。壳体结构计算不考虑风荷载作用。恒荷载中的设备重主要包括:炉顶设备、冷却设备、粗煤气管等重。活荷载中

的炉顶料重主要是炉顶装料设备中的料重；炉体荷载是指高炉在正常操作、休风、悬料、崩料状态时风口及以上部位的荷载作用；气体压力应按不同区域、不同工况取内压标准值，表 1 给出了气体标准内压在不同工况下的数值，供设计人员参考；耐火砌材膨胀作用应根据材料种类和砌筑方案确定其膨胀推力，膨胀推力取值不小于 0.1MPa；高炉壳体结构与框架水平连接处的水平力可根据高炉框架与壳体结构建立的整体模型计算确定。

表 1 气体标准内压 (MPa)

荷载项目 炉容级别 (m ³)	高炉正常生产时 气体压力	风机正常运行时 风口压力	气体爆炸压力
1000	0.32	0.37	0.40
2000~3000	0.38	0.43	0.50
4000	0.45	0.50	0.50
5000	0.50	0.55	0.55

4.2.2 气体压力，当无资料时，炉内气体压力可参照附录 A 采用；连接管道的作用力主要是管道内气体压力产生的盲板推力；外燃式热风炉相对位移作用主要指燃烧室和蓄热室两拱顶周期性相对位移作用，拉杆型外燃式热风炉不用考虑燃烧室拱顶与蓄热室拱顶相对位移的作用。

5 材 料

5.1 钢 材

5.1.1 高炉、热风炉等构筑物的壳体结构,其受力状况和应力特征等不同于一般钢结构,工作条件十分恶劣,在冶炼过程中,如:高炉壳体是在高温、压力作用下,炉料和煤气相逆流动,炉内有高温煤气、固体炉料、炉料的软熔体以及渣熔液和铁水同时存在状态下工作,壳体承受炉料作用力、煤气压力、内衬膨胀作用力、温度应力、腐蚀介质作用;又如:热风炉在使高炉连续不断得到大量高温空气的同时,自身也承受较高的风温和风压,拱顶钢板还受介质腐蚀等。另外,从国内高炉、热风炉等壳体结构使用现状调查资料可知,壳体开裂十分普遍,严重者发生断裂,往往导致高炉停产大修,造成巨大的经济损失。本条着重提出了在钢材选用时,需要综合考虑的因素,这对防止壳体断裂有密切关系,对钢材牌号的选择有重要影响,对今后壳体结构设计材料选用有指导作用。

5.1.2 冲击韧性是衡量钢材断裂时所做功的指标,也是钢材在冲击荷载或多轴拉应力作用下具有可靠性能的保障。冲击韧性可以间接反映钢材抵抗低温、应力集中、多轴拉应力、冲击和重复荷载等因素导致脆断的能力。在炼铁炉壳体结构工程使用中亦常用来代表钢材抗脆断的断裂韧性。高炉、热风炉的壳体结构上开有许多孔洞,特别是高炉壳体上开有几千个孔洞,在孔洞周边存在应力集中,处于多向应力状态,而且在生产后期炉内衬受损,壳体不仅承受热应力,同时炉内温度的不断变化,壳体上反复出现局部过热区产生热疲劳效应。因此,在总结生产使用经验的基础上,对壳体结构的钢材提出了 0℃ 和常温冲击韧性的合格保证,以达到壳体在热冲击荷载和多向拉应力作用下具有可靠性能保证。

炼铁炉的壳体结构均为焊接结构,在焊接接头中,热影响区因急冷而产生淬硬倾向,淬硬倾向大的钢材易产生焊接裂纹,接头的塑性降低。影响钢材形成硬化组织的因素之一是碳及其他使钢材具有淬硬倾向的合金元素,焊接接头热影响区淬硬性倾向用碳当量来衡量,通过估算碳当量的方法,对钢材可焊性进行评价。附录 B 中碳当量的计算式是采用现行国家标准《建筑结构用钢板》GB/T 19879 标准中的计算式,碳当量的 0.42% 是参考国外的有关资料和我国大型高炉壳体采用的新钢种焊接性能研究总结。决定钢材可焊性通常控制低合金钢的碳当量,当低合金高强度结构钢的碳当量等于或小于 0.42% 时,钢材的淬硬倾向不十分明显,属可焊性钢材。但由于壳体结构钢板较厚,施焊时应采用预热和后热措施防止冷裂纹产生。在评价 BB503 等壳体结构用钢板的焊接冷裂纹敏感性时,也可采用附录 B 中焊接裂纹敏感性指数,其值应等于或小于 0.26%。

5.1.3、5.1.4 高炉、热风炉、除尘器、五通球及煤气上升下降管壳体的荷载工况、受力状态、应力特征、腐蚀介质、温度作用及工作条件等均不一样,因此,对钢材的化学成分、力学性能及工艺性能的要求亦不相同。对于高炉壳体结构的钢材,其强度、韧性、耐急冷急热性能、加工性能及焊接性能应适应高炉强化冶炼的特殊需要。现行国家标准《高炉炼铁工艺设计规范》GB 50427 要求高炉一代炉役的工作年限达到 15 年以上,热风炉的寿命应满足高炉二代炉役的要求,达到 30 年,因此,壳体结构工作年限应满足上述要求。在 20 世纪 80 年代以前高炉建设中壳体结构曾采用碳素结构钢制作,平均寿命仅为 2 年~4 年,不能用于高炉壳体结构。规范在编制过程中,为扩大钢材在壳体中的应用范围,中冶赛迪工程技术有限公司与中冶集团建筑研究院共同开展了 Q345B 钢、Q345C 钢、Q390C 钢、Q390D 钢综合性能的试验验证。结果表明 Q345C 钢、Q390C 钢、Q390D 钢除具有强度高、塑性和韧性好外,热疲劳性能、应变时效性能以及焊接性能表现优异。但鉴于试件的最大

厚度为 50mm,其综合性能尚不能代表大于 50mm 厚钢板的力学性能和工艺性能。因此,条文中规定仅用于 $1000\text{m}^3 \sim 2000\text{m}^3$ 炉容级别高炉的壳体结构。近 20 年来经广大科技人员的不懈努力,宝钢、鞍钢、武钢等钢铁企业先后研制开发了 BB503 钢、ALK490 钢、WSM50C 钢,这些低合金高强度的新牌号钢,经生产实践证明,具有强度、塑性、韧性、防裂性和抗脆性断裂等综合最佳性能,满足了高炉强化冶炼的需要。对于热风炉拱顶采用 BB41BF 钢、ALK420 钢、WSM41C 钢,主要是这些钢种具有防腐性介质侵蚀和抗脆性断裂的性能。Q345B 钢可用于高炉底板。

5.1.8 结构用钢在国家标准中规定钢板以热轧、控轧、正火及正火加回火状态交货。本条提出除 Q235B、Q345B 钢为热轧供货外,其他牌号钢板交货状态均为正火,主要是针对各壳体结构的受力状态、应力特征、腐蚀介质等的不同,对钢板力学性能和工艺性能提出了不同的要求。钢板热轧后正火是热处理工艺中的一种,通过正火可以细化金相组织,提高强度和改善韧性。根据理论计算分析和试验研究以及壳体结构的使用实践经验,并参考国外的有关资料,BB503 钢、ALK490 钢、WSM50C 钢、BB41BF 钢、ALK420 钢、WSM41C 钢、Q235C 钢、Q345C 钢、Q390C 钢、Q390D 钢和 Q345R 钢板正火状态交货可满足高炉、热风炉、五通球生产使用炉役(高炉 15 年、热风炉 30 年)的要求。

关于超声波检测质量等级的划分,主要是根据现行国家标准《钢制压力容器》GB 150 和现行行业标准《承压设备无损检测第 3 部分 超声检测》JB/T 4730.3 的规定和高炉出铁口、风口部位壳体结构的应力分布状况以及热风炉拱顶壳体结构存在晶界应力腐蚀,提出了不同质量等级的要求。本条在设计和施工中必须严格执行。

5.1.9 本条提出钢板厚度等于或大于 40mm 时,宜选用 Z 向性能钢,主要从两个方面考虑:其一,钢板在轧制过程中,随着板厚的增加,厚度方向的压缩比减小,钢板在三个方向的力学性能差别甚

大,其中沿厚度方向性能最差。另外,钢中的硫、磷偏析和非金属夹杂等缺陷也影响钢材厚度方向的性能;其二,壳体结构的钢板虽然沿厚度方向不受拉力,但钢板在孔洞边缘存在多向拉应力;另外,在制作焊接过程中厚度方向可能出现层状撕裂。这些对壳体结构的寿命是很不利的。厚度方向性能钢板的 Z 向性能级别可选用 Z15。

5.2 连接材料

5.2.1~5.2.3 这几条是对壳体钢结构焊接材料的要求。

壳体结构的焊接连接,多数为自动焊接,当部分焊接或现场焊接采用手工焊接时,按壳体结构的受力情况和应力特征,应区别对待采用不同型号的焊条,对高炉、热风炉的壳体结构应采用低氢型焊条,主要是考虑壳体结构的低合金高强度结构钢对冷裂纹较敏感,防止裂纹的产生。

高炉、热风炉的壳体结构根据其重要性,采用二氧化碳气体保护的气体要求质量为优等品,主要是保证焊接质量。

两种不同牌号的钢材相焊接时,宜采用与强度较低的一种钢材相适应的焊条或焊丝与焊剂。主要是保证熔敷金属有良好的塑性和韧性,避免产生裂纹,确保结构安全。

5.2.4 壳体结构开孔处与冷却设备或管道相焊,一般采用角焊缝或带坡口角接接头的角焊缝。从高炉壳体结构使用状况调研结果发现,该处常有裂纹发生,其原因是连接处钢板厚、刚性大、工作环境恶劣和受力状况复杂,对焊缝的延性、韧性要求高,因此,本条提出焊条应选用低氢型焊条,防止裂纹产生。

5.3 设计指标

5.3.1 本条是对钢板设计指标的确定,主要依据如下:

1 高炉、热风炉等壳体结构的设计压力大于 0.10MPa,小于 0.55MPa,类似于钢制压力容器。原冶金工业部《冶金部压力容器

安全技术管理规定》([91]治安环第 643 号)文中规定压力超过 0.1MPa 的高炉、热风炉、除尘器壳体结构参照压力容器的技术要求进行设计、制作和验收。

2 按压力容器设计,可采用规则设计和分析设计方法。根据炼铁工艺炉壳体结构的应力分布和实际使用经验,壳体结构采用分析设计。

规则设计服从弹性失效准则,以壳体的某点最大应力进入塑性,壳体开始屈服而判断为结构失效,用于炼铁炉壳体结构设计偏于保守。而分析设计方法服从塑性失效准则,在壳体安全的前提下,容许结构出现局部塑性区,局部可以按有限寿命设计,该方法能解决规则设计方法所不能解决的问题,如壳体开有许多孔洞,孔洞间局部进入塑性状态的受力问题。

3 炼铁工艺炉壳体结构设计采用许用应力法,要求相遇荷载在其标准值共同作用下壳体结构的最大应力强度不超过钢材的许用应力 $[\sigma]$ 。这是由于 ALK490、BB503、WSM50C 等钢材的力学性能指标、几何特征指标仍然处于统计资料不够充分的状况,而炼铁工艺炉壳体结构等受力状态十分复杂,进行全面概率统计分析的条件不具备。

根据现有统计资料,基于 $R_k \geq K(S_{GK} + S_{QK})$ 基本组合进行的粗略类比可靠性验证分析表明,当荷载效应比值 $\rho (\rho = S_{QK}/S_{GK})$ 分别取 0.25、0.50、1.00、2.00, K 值取 1.50 时,可靠度指标 β 的算术平均值的最小值约为 3.20,这与现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 对重要性等级为二级、塑性破坏条件下规定的安全度水平要求相当。

4 参考奥钢联为宝钢设计的 C-3000 熔融还原炉壳体钢板的许用应力取 $R_m/2.35$ 或 $R_{eH}/1.5$ 中的最小值。

综合考虑上述情况,经分析比较后,本条确定钢板的许用应力取 $[\sigma] = R_{eH}/1.5$ 。

5.3.2 为了可靠保证焊接连接的强度,壳体结构焊接接头都是全

焊透形式的接头,熔敷金属的许用应力取钢板的许用应力值。

5.3.3 锚栓的许用应力值取屈服强度 R_{eH} 的 $1/2$ 。主要原因有两点,一是根据原《钢结构设计规范》TJ17-74 中 3 号钢锚栓许用应力为 $1100\text{kg}/\text{cm}^2$, 转化为 $[\sigma] = 1100 \times 0.0981 = 107.91\text{N}/\text{mm}^2$ 。热风炉与基础连接的锚栓直径在 $(50 \sim 100)\text{mm}$ 范围, Q235 钢屈服强度 R_{eH} 为 $215\text{N}/\text{mm}^2$, 屈服强度与许用应力之比约为 2, 为此取安全系数为 2; 二是为了符合热风炉与基础嵌固连接的假定, 使锚栓的受拉变形尽量减小。

5.3.4 钢材随着温度的升高弹性模量减小,附录 D 中不同温度下钢材的弹性模量, 按现行国家标准《直式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》GB 50341 的规定, 结合炼铁工艺炉壳体结构采用低合金钢的特点, 采用了 $(20 \sim 250)^\circ\text{C}$ 温度区段的弹性模量。

钢材的线膨胀系数, 随着温度的升高会发生变化, 但变化幅度不大, 参考 ECCS 的建议、欧洲规范、英国规范等和国内钢结构抗火分析, 经综合分析后, 壳体温度在 $(150 \sim 250)^\circ\text{C}$ 时, 钢材的线膨胀系数 α 可取 13×10^{-6} (以每 $^\circ\text{C}$ 计)。

6 壳体结构设计

6.1 高炉壳体结构

6.1.1 新中国成立后我国炼铁技术经历了 50 多年的发展,炉体支撑结构由完全自主式发展到大框架自立式体系。本条提出的“高炉壳体应采用自立式结构”,是指带炉体框架和炉顶刚架的结构。这种形式的特点是,壳体承受钟阀式炉顶装料设备的大小料斗和布料器等重量或无钟式炉顶的旋转溜槽部分和中心喉管等重量。其他荷载如钟阀式炉顶大小料钟等重量或无钟式炉顶料仓和受料斗以及密封阀等重量、皮带通廊端部支点反力和煤气上升管重量等都是通过炉顶钢架和炉体框架传给高炉基础。另外,通过炉喉与炉体框架顶层平台的特殊构造措施,能使炉体自由热胀冷缩,并能共同承担水平荷载;有利于生产操作和高炉大修;适应多风口的需要;为灵活布置出铁场提供了方便等。

6.1.2 高炉壳体结构的主要作用是保证高炉内衬砌体的稳定、固定冷却设备、承受炉内气体压力、内衬膨胀等荷载,另外还起密封作用。

壳体的形状要求应与炉体类型、炉衬厚度、冷却设备的结构形式相适应。按冶炼工艺流程高炉炉型由若干部分组成,即分为炉缸、炉腹、炉腰、炉身和炉喉等部分,相应的壳体就分成炉缸段、风口段、炉腹段、炉腰段、炉身段、炉喉段和煤气封罩等段。

6.1.3 高炉冶炼过程是在壳体密封的竖炉内运行,其特点是炉料与煤气在逆流运行过程中完成化学反应和物理变化。即完成还原、造渣、传热及渣铁反应等过程。得到化学成分与温度较为理想的液态铁水。壳体结构在特殊的工作条件下,与一般压力容器和钢结构有所不同,其荷载工况和受力状况十分复杂,工作条件恶

劣,壳体一旦损坏将会酿成重大事故,给人身安全、国家财产、经济效益、环境保护等带来不可弥补的损失。基于这种复杂性和重要性,经生产实践检验的各种容积壳体厚度是确定今后壳体结构设计厚度的基础。20世纪80年代以前我国高炉壳体厚度的计算几乎都采用前苏联的经验计算公式:

$$t=K \cdot D \quad (1)$$

式中: t ——计算部位壳体厚度(mm);

D ——计算部位外壳弦带直径(m);

K ——系数,根据弦带部位选择。

系数 K 是经验数据,各部位 K 值取法不一样,如炉顶封板 K 值为 3.60~4.00;对炉腰、炉腹、炉缸、炉底为 2.70;对炉身取 K 值为 2.00~2.20。近二三十年,高炉向大容积,高风温、高风压发展,系数 K 值有所提高,如新日铁在 80 年代为宝钢设计的 4063m³ 高炉,炉身处 K 值为 2.40~3.40,炉腰、炉腹处 K 值为 3.70,风口处 K 值为 5.60,底板 K 值 3.70。近 20 年来,随着强化冶炼技术的发展,冶炼强度的提高和一代炉役寿命的延长,对壳体结构的工作年限提出了新的要求。我国是世界上产铁大国,在高炉冶炼技术方面,积累了 1000m³~4000m³ 级大型高炉的设计和实践经验,前苏联的 KD 公式已不适应于现代化大型高炉壳体结构使用寿命的要求。高炉壳体处在特殊的工作条件下,考虑壳体各处的受力状况、孔洞对壳体断面的削弱、孔洞边缘应力集中、热应力和热疲劳的存在以及砌体的烧蚀和冷却设备的损坏等诸多因素后,经综合比较分析,总结出各段壳体厚度与直径普遍存在的规律。根据数理统计的基本概念,将钢铁企业各大设计院 1000m³~4000m³ 级高炉的低合金高强度结构钢(Q345C、BB503、ALK490、WSM50C)各段壳体直径 D (m)作为横坐标,壳体厚度 t (mm)作为纵坐标,把各炉容相应的直径和厚度关系值点绘在平面直角坐标纸上,其关系近似于一直线。散点图表明壳体厚度与直径之间存在一定的依赖关系,但又并非精确的确定性关系,即厚度 t 值在一

定程度上依赖直径 D 的取值,两者间存在某种线性相关关系。通过对 14 座 $1000\text{m}^3 \sim 4000\text{m}^3$ 级高炉的每段壳体厚度与直径进行一元线性回归,得出了本条的(6.1.3-1)~(6.1.3-7)回归方程式,回归线见图 1~图 7,其相关系数除炉喉段较低外,其余均大于 0.8,表明壳体厚度 t 与直径 D 之间的线性相关显著,各容积高炉壳体厚度的诸散点几乎都在回归直线上或散布于直线两旁,回归分析的回归线为理想的配合线。另外根据冶炼工艺和荷载工况以及一代炉役的使用寿命,取 $\pm 2S_y$ 标准差,此时概率 P 为 97.70%。因此,回归方程式可用于 $1000\text{m}^3 \sim 4000\text{m}^3$ 级高炉壳体厚度选择的计算值,在工程设计中最终确定壳体厚度时,尚应根据应力状态、钢材材质、生产操作等情况,综合考虑实际存在的有利(如钢材性能提高、冷却设备的改进等)或不利(如孔洞间距过小等)因素可适当增减钢板厚度。

炉身上段和下段等散点图,诸散点距回归直线较远,表明这些炉段壳体厚度 t 与直径 D 之间没有线性相关关系或者相关不显著,因此,不能用回归方程来确定壳体厚度。总结几十年的设计和生产实践经验,可采用条文中提出的简化方法,初步确定厚度。

本条提出的确定壳体厚度的回归方程式和简化方法是总结我国几十年高炉冶炼技术的综合成果,具有可靠性和可操作性。

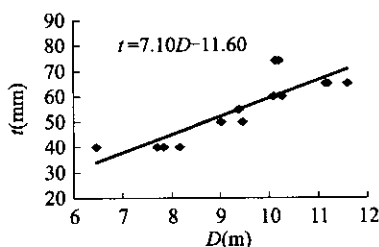


图 1 封罩段回归直线

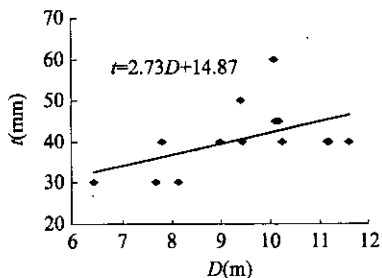


图 2 炉喉段回归曲线

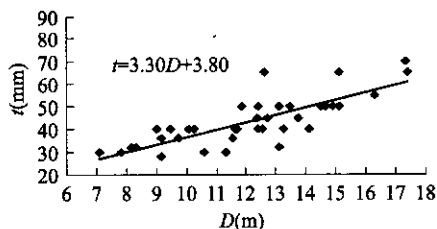


图 3 炉身中段回归直线

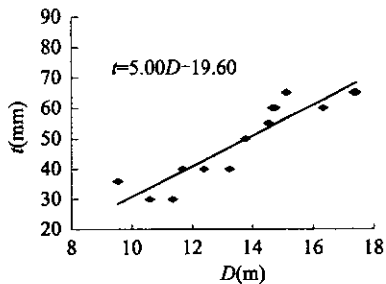


图 4 炉腰段回归直线

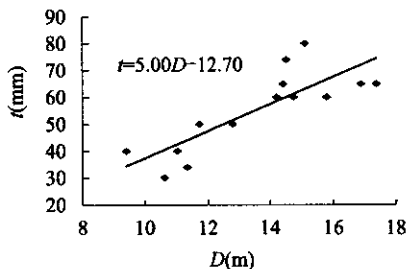


图 5 炉腹段回归直线

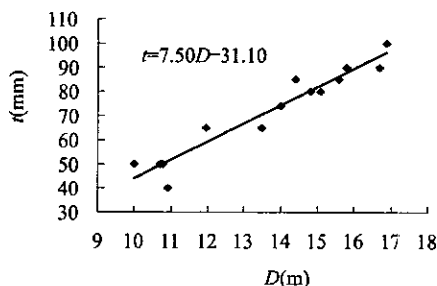


图 6 风口段回归直线

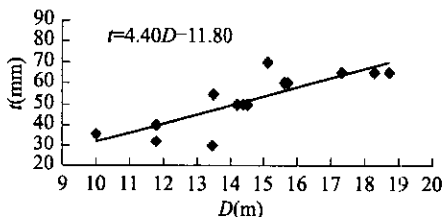


图 7 炉缸段回归直线

6.1.4 第 6.1.3 条提出了不同部位确定壳体厚度的计算式,是我国几十年来炼铁技术中高炉设计和生产实践经验的总结,体现了我国广大工程技术人员和科技工作者经过比较、选择、分析的综合研究成果,是纳入规范内容的基本前提,仅仅这一点还是不够的,在计算机发达的时代,理论分析亦是一个重要的辅助手段。两者结合方能反映出设计的严谨性和科学性。

壳体由不同直径和不同厚度的锥体组成,壳体上还开有 1m 以上风口数十个,铁口数个,又有数千个冷却壁(板)的安装孔,还有一些观察和检测孔。孔的形状、大小以及分布状态等变化繁多、群孔汇集,造成壳体总体和局部不连续,使壳体总的应力分布和变形产生显著的不均匀性。壳体所受的荷载复杂,且种类繁多,有壳体自重和附属物重、内衬荷重、炉料荷重、炉内煤气压力、内衬膨胀力、铁水压力以及壳体内外温差引起的作用力等。这些荷载将引起竖向力和环向力,壳体承受双向应力,且以环向应力为主,竖向应力较小。在壳体的不同高度上,竖向和环向应力的比值是变化

的,两个方向的比值不同,孔边的应力分布和应力集中程度亦不相同。孔的几何形状相同,而外加应力状态不同,应力集中系数也是变化的。应力集中对强度的影响是有实用价值,对壳体承载力具有理论意义的。因此,为进一步弄清壳体在荷载工况作用下的应力大小及分布规律和孔边应力集中程度,规范在编制中,中冶赛迪工程技术股份有限公司与重庆大学合作开展了《 $1000\text{m}^3 \sim 5000\text{m}^3$ 工艺炉炉壳钢材性能指标及分析设计方法》理论分析,分析手段采用大型有限元程序 ADINA 和 ANSYS,对高炉壳体结构的受力状态进行了弹性计算分析。理论分析结果表明,当壳体结构连续部位计算点上的应力强度(组合应力的当量强度)还远小于钢材的许用极限时,壳体转折处和孔洞边缘的应力强度已超过许用极限。本条在理论计算和分析国内外有关文献资料的基础上,结合生产实践经验并考虑一代炉役 15 年工作年限等因素后,提出应力强度的许用极限值。

6.1.5 高炉壳体的整体应力是遍布于整个壳体的基本应力,如壳体及其附属物的自重、炉料产生的竖向应力以及内压产生的环向应力等。当应力超过钢材的屈服强度时,钢板产生塑性变形,最后导致壳体钢板丧失承载能力。

高炉壳体的炉身和炉腹处通常开有许多冷却板(壁)的安装孔,其数量众多,如果完全按实际开孔情况进行整体有限元建模,受计算机容量及内存的限制,往往很难实现。根据研究,可以根据开孔率的大小,对此段壳体的截面参数(壳体厚度、截面刚度等)乘以相应的折减系数后按连续结构进行分析,以简化计算。

壳体的局部应力主要发生在总体结构不连续处(例如炉喉与外封板、炉身与炉腰、炉腰与炉腹壳体连接处以及厚度改变处等)以及局部结构不连续区(如壳体开孔处的孔洞周边等)。在这些局部区域,应力高度集中,虽然其分布在很小的范围内,但弹性分析时往往会超过材料屈服强度的数倍,形成壳体结构的薄弱点,因此,应进行局部应力分析。

6.1.7 有限元分析的精度在很大程度上依赖于单元类型的选择及单元尺度的大小,为保证计算精度,在进行单元划分时,单元的尺寸不宜太大。根据所作的研究,如果单元的最大边长不大于壳体壁厚的 5 倍,有限元计算结果偏差较小。

对壳体转折处、开孔边缘等应力集中部位、风口等两相邻孔洞之间截面削弱较大的区域,若网格划分太大,则有限元计算结果会严重失真,所以规定单元的最大边长不应大于该处壳体厚度的 $0.15R$,此时可得到较精确的计算结果。

6.1.8 由于高炉壳体的有限元分析采用的是弹塑性分析方法,弹性分析时采用的叠加原理不再适用,即不能采用先按荷载工况分别计算内力再进行最不利组合的方法。因此,当承受多种荷载工况组合而不能准确判断其控制工况时,应分别按可能存在的最不利荷载工况进行组合后再进行计算,从中找出最不利内力控制值。

6.1.9 高炉壳体钢板内外面存在温度差(ΔT),高炉在正常工作状态时,根据测试结果,壳体的计算温度均在 150°C 以下,其内外表面的温度差在 10°C 以内。由于壳体钢板内表面温度高,外表面温度低,导致内表面产生压应力,外表面产生拉应力,壳体在弹性阶段,可按式 6.1.9 计算。

6.1.10 本规范 5.1 节推荐选用的钢材都是塑性性能非常好的钢材。结构的塑性分析,可以充分利用钢材的蕴藏能力,对于壳体开孔周边更能够反映壳体实际的应力分布情况及壳体内部的应力水平。通过几座 $2000\text{m}^3 \sim 4000\text{m}^3$ 级别高炉的弹性和弹塑性计算分析表明,在弹性分析时,壳体大部分的应力都在许用应力范围内,由于环向拉应力的作用,在部分孔的边缘出现不同程度的应力集中,尤其在冷却孔边缘较为突出。随着外荷载的增加,应力集中点出现较小的塑性屈服区,根据塑性强度理论分析,这种小的局部屈服区,还不能引起壳体失去承载力。随着外荷载的继续增加,塑性区不断扩展,相邻孔的应力塑性区有逐渐汇合的趋势,整个壳体的应力也逐渐向高应力转变,孔与孔之间,塑性屈服区迅速扩大,出

现局部塑性区连通的现象,但由于其他大部分区域仍然处于弹性范围,能有效地控制塑性连通区的发展。随着外加应力的进一步增加,塑性区域继续扩展,直至贯通。根据塑性强度理论分析,此时的壳体结构已经失去承载力,已不能满足高炉生产使用的要求。鉴于壳体承受荷载工况的复杂性和高炉破坏后果的严重性,本条提出塑性区域的扩展不应大于孔边净间距的 $1/3$ 。

6.2 热风炉壳体结构

6.2.1 热风炉主要有三种形式:外燃式热风炉、内燃式热风炉、顶燃式热风炉。外燃式热风炉由燃烧室和蓄热室两个炉体组成,炉顶通过连络管相连。内燃式热风炉和顶燃式热风炉均只有一个炉体,燃烧室和蓄热室共处一室。部分外燃式热风炉系统在热风主管上设置混风室。近 10 年来,我国重点钢铁企业热风炉的平均热风温度提高了约 100°C ,但还是不能满足高炉对风温的要求。为了全面贯彻高效、优质、低耗、长寿、环保的方针,《高炉炼铁工艺设计规范》GB 50427 对热风炉的设计风温制定了较高的标准。因此,热风炉壳体结构形式不仅应满足各种炉型的要求,其使用寿命是保障热风炉持续、稳定加热风温的一个主要组成部分,为高炉冶炼提供更高的热风温度,达到降低能耗,创建资源节约型企业的目标。

6.2.3 热风炉是高炉炼铁生产中的关键设备,随着高炉强化冶炼的提高,热风炉拱顶温度达 $(1300\sim 1450)^{\circ}\text{C}$,由于在燃烧中产生大量的 NO_x 气体,导致拱顶高温区壳体钢板及焊缝金属受到腐蚀,在长期腐蚀介质和拉应力(包括残余应力和工作应力)的共同作用下,就会产生延迟破坏,即应力腐蚀裂纹(SCC)。选用合适的钢材是防止(SCC)发生的措施之一。本条提出拱顶高温区的壳体宜选用抗腐蚀和抗脆断的钢板,主要是依据调研和国外的资料,由碳钢和普通低合金高强度结构钢制成的热风炉拱顶,往往在焊接区、壳体发生应力腐蚀开裂。本条附录 B 中的热风炉壳体结构用钢板

(BB41-BF、ALK420、WSM41C)相当于日本的 SM41CF-BF 钢,钢材的碳、硫含量低,且含有少量的钛等合金元素,有利于提高抗腐蚀的能力。钢材含碳、硫量的多少直接影响钢材的性能,含碳、硫量越高,则韧性、塑性越低,抵抗应力腐蚀断裂的性能就越差,特别是硫在焊接时,使焊缝金属的硫增浓,易出现热裂缝,在腐蚀性介质作用下,随着时间的增长,壳体就会出现突然脆断。上述选用的钢种,由于改变了低合金钢的化学成分和合理的热轧工艺,使钢材具有可焊性好、塑性和韧性好,残余应力小,微裂纹不易产生的优点,因此可以减少应力腐蚀现象。

6.2.4、6.2.6 内燃式和外燃式热风炉壳体采用 Q345 钢,其厚度 t 与直径 D 的相关关系,采用第 6.1.3 条的回归分析方法,其结果表明公式(6.2.4-1~6.2.4-7)、(6.2.6-1~6.2.6-11)中壳体厚度 t (mm)与直径 D (m)之间的线性相关关系显著和较显著。因此,可用条文中的表达式计算热风炉壳体各段厚度。

6.2.5 顶燃式热风炉目前国内高炉冶炼中使用不多,由于样本数量较少,无法进行统计分析。鉴于上述原因,壳体厚度只能采用本条提供的简化方法确定。

6.2.7 混风室壳体厚度 t (mm)与直径 D (m)之间经回归分析线性相关关系不显著。壳体厚度可采用条文中简化方法确定。

6.2.8 验算外式热风炉燃烧室和蓄热室两拱顶间的环梁强度。主要是燃烧室和蓄热室在温度和炉内压力的作用下两拱顶产生周期性的相对位移,造成拱顶间的连络管与拱顶壳体连接处应力集中,严重时连接焊缝开裂漏气,而且还影响到拱顶砌体稳定,导致耐火砖松动脱落,降低热风炉的使用寿命,为此,应保证环梁在气体压力和两室(燃烧室和蓄热室)不均匀膨胀作用下有足够的强度。式中的膨胀量 Δ 取(15~20)mm,主要是依据国内外燃式热风炉生产使用过程中的统计资料。环梁强度验算亦可通过建立热风炉实体模型采用有限元程序进行。

6.2.9 采用分析设计,允许开孔和转折处部分区域达到屈服,对

许用应力适当放宽。主要依据是现行行业标准《钢制压力容器——分析设计标准》JB 4732 和参照 SBG COREXC-3000MODULE 熔融还原炉设计资料,转折处的应力强度限值为 $1.5[\sigma]$;孔边缘的应力强度限值为 $3.0[\sigma]$ 。限制系数定为 3.0,而不是 2.5,主要是因为热风炉壳体上无密集孔洞存在,不可能出现塑性区贯通,允许在大孔洞周边上出现局部塑性区域。

6.2.10 应力最高区域一般在孔洞、接管、几何截面突变处,其中孔洞边缘处的应力值最大,为了充分利用材料塑性,允许在孔洞边缘部分区域进入屈服,塑性区域的扩展应限制在孔周边区域 $1/3$ 的范围。

6.3 煤气上升管、下降管、五通球或三通管壳体结构

6.3.2 五通球是将原排放煤气的三通管形式改为以一个球形节点直接与四根上升管及一根下降管相连,即将四根上升管和下降管在高炉中心位置的上方交会,在交会处做一个球形壳体形成五通球。此种结构形式,1995 年重庆钢铁设计研究总院会同上钢一厂、重庆建筑大学开展了理论分析和试验研究工作,其研究成果获得国家专利(专利号:ZL95242532.7),并在上钢一厂、宝钢、鞍钢、太钢、本钢、南钢、水钢以及巴西工程等 $1000\text{m}^3 \sim 5000\text{m}^3$ 级的高炉中得到广泛应用。经生产实践证明,效果优于三通管,煤气通过五通球气流更为顺畅。

球壳壁厚根据理论分析和试验研究以及工程实践经验经综合分析后,五通球壳体的壁厚 $t(\text{mm})$ 取球内直径 $D(\text{m})$ 的 $(7 \sim 8)$ 倍,可满足壳体强度和稳定性的要求。

6.3.5 煤气下降管常受场地条件的限制,跨度一般都在 50m 以上,其外观的变形(挠度)应满足使用功能上容许的某个限制。控制变形限制主要是保证管内喷涂料不产生裂缝或脱落,避免管壁受温度作用影响结构的耐久性,同时过大的变形也会使人在心理上产生不安全感。本条所规定的变形(挠度)限值,是多年来生

产实践经验的总结。 l 为下降管的投影长度。

6.3.6 在壳体设计中,宜按球壳直径和壁厚,建立上升管、五通球、下降管和除尘器及支架的空间实体模型,对壳体结构进行弹性有限元分析,其目的是能较真实地反映五通球实际受力状况和应力分布规律以及孔边缘应力集中程度。应力强度的限制,参见第 6.2.9 条的说明。

6.4 重力除尘器壳体结构

6.4.2 对 24 座高炉的重力除尘器的壳体厚度进行回归分析,由于各设计单位在钢材选用和壁厚确定存在较大的差异,其厚度与直径之间没有线性相关关系,离散性较大。各段壳体厚度简化方法的确定为工程实践经验总结,设计者亦可根据工程经验自行确定。

6.4.3 可参见第 6.3.6 条的条文说明。下降管的推力对除尘壳的强度和稳定性影响较大,条文中提出宜建立上升管、五通球或三通管、下降管、除尘器和支架的空间实体模型,能真实反映各壳体单元受力情况,为构造设计提供理论依据。

7 构造要求

7.1 一般规定

7.1.1 本条着重提出“构造设计”，它是壳体结构设计的重要组成部分，是避免钢材在焊接过程中产生裂纹和使用过程中防止应力集中的措施。

7.1.4 壳体结构板材是数块钢板焊接而成，在拼接中往往遇到纵横两个方向的拼接焊缝。高炉、热风炉、五通球以及煤气上升管、下降管壳体结构的设计原则是参照现行国家标准《钢制压力容器》GB 150 制定的，根据上述标准和参见奥钢联设计的熔融还原炉的壳体结构设计以及我国几十年的炼铁炉壳体结构设计和生产实践经验，纵横两个方向的拼接焊缝不应采用十字形交叉，应采用 T 形交叉，交叉点的距离控制在 200mm 以上，其目的是减小应力集中，防止三向应力和产生焊接裂纹，提高结构使用安全性。

7.2 高炉壳体结构

7.2.1 本条提出各段壳体转折处的水平夹角建议值，主要是根据我国自行设计的 1000m^3 及以上容积多数高炉的生产实践和参照日本、前苏联、德国等国家的大型高炉壳体外形尺寸提出。另外根据中冶赛迪工程技术股份有限公司对 $2000\text{m}^3 \sim 4000\text{m}^3$ 级高炉空间实体模型有限元计算和国内一些兄弟单位有限元计算，其分析结果表明，壳体的各转折点是壳体的薄弱部位，转角处边缘应力的存在将会降低壳体的承载力，因此在壳体外型尺寸选择时，壳体转折处的曲率不宜过大，应平缓过渡，减少局部应力集中。

7.2.2 条文中规定壳体内侧应对齐，主要是保证壳体内侧冷却设备安装平整和耐火材料的砌筑以及足够的材料膨胀缝。

高炉壳体转折处和圆弧过渡处厚度变化较大,本条规定外侧厚度相差 6mm 以上,均在较厚焊件外侧做成坡度 1:3~1:4 的斜角,使截面和缓过渡以减小应力集中。现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 中第 8.2.4 条规定坡口不大于 1:2.5 的斜角,对焊件厚度相差较大的壳体钢板,特别在圆弧过渡处,不足以满足和缓传递内力的要求,对于焊件板厚相差悬殊的连接节点,宜做成坡度 1:4 的斜角,一般情况可做成坡度 1:3 的斜角。

当一侧厚度不大于 6mm 时,焊缝表面的斜角已足以满足和缓传递内力的要求,因此,规定焊件外侧相差不小于 6mm 时才需做成斜角。

7.2.3 随着强化冶炼的不断发展和炉内冷却设备的更新,铜冷却壁已逐渐取代铸铁冷却板。这两种冷却设备与壳体的连接方式是不相同的,前者的连接孔为圆孔,孔洞密集,孔边缘的净距都小于或等于 100mm,后者的连接孔为长圆孔,其排列为错列,孔边缘的净距一般都大于 150mm。这些孔洞的存在极大地削弱了壳体截面面积,且使壳体结构不连续,在孔洞边缘产生应力集中,形成塑性屈服区。由于孔之间的净距较小,塑性发展有可能贯通,使壳体丧失承载力。根据中冶赛迪工程技术股份有限公司和重庆大学对壳体结构实体模型的弹性和弹塑性理论分析以及参照国内外有关资料,本条提出了壳体开孔截面面积和孔洞边缘净距的限制。

现行国家标准《高炉炼铁工艺设计规范》GB 50427 中第 8.0.9 条推荐的风口数目见表 2。

表 2 推荐的风口数目

炉容(m ³)	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
风口数目	16~20	18~26	24~28	26~30	28~32	30~34	34~38	36~40	40~42

初步统计国内现有 1000m³~4000m³ 级高炉的风口数目基本符合表 2 的要求。但风口段壳体开孔截面面积占全截面面积高达 70%~91%,炉容级别愈大壳体截面面积削弱愈多。如 1350m³

高炉风口段壳体开 $\Phi 1240\text{mm}$ 风口 20 个使截面面积减少约 70%； 4000m^3 级的高炉风口 38 个~40 个使截面面积减少达 89%~91%。风口间边缘净距仅有 100mm 左右。有限元计算分析表明，在弹性阶段，孔边缘局部存在高额应力，其值大于钢材的许用应力值，如果仅根据局部或极小区域的高峰应力来扩大风口段的直径，不能反映钢材局部进入屈服后的应力重分布规律。前苏联“高炉系统钢结构设计”壳体设计中，规定风口的开孔截面面积不得超过壳体截面面积的 65%，这一规定过严，偏于保守，不能完全反映风口的实际受力情况。钢材是理想的弹性材料，钢材的塑性开展会缓和边缘的应力峰值，但由于风口边缘间距很小，应控制塑性区域的大小，以免钢材进入塑性后变形过大，影响壳体的承载能力和正常使用。宝钢第 2 号高炉有效容积 4063m^3 ，风口段开 36 个 $\Phi 1240\text{mm}$ 的风口，壳体厚 90mm，截面面积减少达 89%，风口间距 146mm，经 15 年的生产实践证明，风口段壳体尚能满足正常生产的使用要求；其原因是风口大套为铸钢件，与壳体的连接为坡口焊接，其组合体能有效减缓钢材的塑性流动。本条提出风口段壳体开孔截面面积和风口边缘间距的限制是以实践经验和理论计算的综合成果为基础，经分析、比较、选择制定出来的。本条为强制性条文，在高炉壳体结构设计中必须严格执行。

7.2.7 本条提出的在炉体框架平台梁设置炉体的水平支撑点，主要是考虑炉体和炉体框架共同承担水平力。

7.2.8 普通钢结构中异种钢材焊接，可采用低强度钢材相适应的焊接材料，如 Q235 钢与 Q345 钢焊接时，采用 E43 $\times\times$ 型焊条。对于高炉壳体，由于受力复杂，钢板厚度都是厚板和特厚板，要求全焊透焊缝金属具有良好的塑性和韧性。本条提出壳体钢板不宜采用两种及两种以上牌号的钢材，主要考虑异种钢的化学成分、金相组织、物理力学性能有较大的差别，焊接时应采取特殊工艺措施，才能获得全焊透和具有良好性能的横向和竖向焊接接头。

7.3 热风炉壳体结构

7.3.2 与热风炉相连的管道在气体压力作用下有较大的盲板力,如果处置不当,容易造成热风炉壳体局部失稳。一般可采用加劲肋或洞口补强等措施进行加固。管道与壳体的焊缝应满足受力要求,在编制本规范的调研中发现,因焊缝强度不够导致连接管道焊缝开裂,严重者被高压气体冲开和冲掉。

7.3.8 外燃式热风炉的燃烧室与蓄热室两拱顶间因在温度和风压的作用下,产生周期性的相对位移,造成连络管与拱顶连接处应力集中,连络管受长期反复位移作用,连接处焊缝产生疲劳裂纹,严重时导致漏风,而且两拱顶的相对位移还影响到砌体的稳定、耐火砖脱落,降低热风炉寿命。因此,在连络管的中部设置波纹膨胀器,其作用在于吸收燃烧室与蓄热室间因温度和压力变化而引起的膨胀和收缩,而且还具有抗冲击和位移补偿的功能。波纹膨胀器由工艺专业设计和设备选型,连络管与波纹膨胀器端部的加强板应坡口等强焊接,并设置加劲肋。

7.3.9、7.3.10 锚栓或螺栓的直径除符合计算值外,尚应满足条文中提出的构造要求。这些措施是生产实践经验的总结。为设计人员提供了方便,具有实用性。

7.4 煤气上升管、下降管、五通球或三通管、重力除尘器壳体结构

7.4.2 20 世纪 80 年代以前我国自行设计的高炉,在煤气上升管下端未设波纹膨胀器,当高炉点火后,壳体受热膨胀,下降管两端产生位移差,导致下降管端部产生应力集中,严重时下降管与除尘器的连接焊缝开裂。80 年代以后设计的高炉,移植宝钢 1 号高炉的技术后,煤气上升管、下降管的受力状况得到明显改善。

7.4.3 本条提出在煤气下降管与除尘器连接处设置波纹膨胀节,是利用其一定的变形能力可以有效降低两者之间较大位移产生推

力,起到补偿位移功能和减小水平推力的作用。

7.4.4 本条提出的管道转折处和煤气除尘管道彼此间的连接处,由于不连续,在荷载工况最不利情况作用下存在高额应力,管壁加厚达到降低许用应力;另外,加厚管壁为设计实践中常用的构造措施。

除尘器壳与荒煤气总管、下降管等相接处由于开孔直径较大,且受到推力的作用,应力集中严重,所以与荒煤气总管、下降管相连部位的壳体应适当增加厚度,并在开孔处四周用加劲肋加强以增大这部分的刚度,减少孔洞连接处变形。

7.4.6 本条提出的要求,主要是依据中冶赛迪工程技术股份有限公司(原重庆钢铁设计研究总院)1996年《炉顶煤气管道球形节点试验研究》和参照现行国家标准《钢制球形储罐》GB 12337以及生产实践的经验总结。五通球的设计、制作原则应避免焊缝十字形交叉、减小应力集中程度、防止三向应力及焊接裂纹的产生,从而确保五通球壳体两代炉役的使用安全。

8 焊 接

8.1 一 般 规 定

8.1.1、8.1.2 这两条从保证壳体质量的原则出发,对设计、制作、施工企业提出了具体要求。

8.2 焊 接 节 点

8.2.1 焊接节点构造的原则是:尽量减少焊接工作量。在焊接工作量一定的情况下,应合理安排,尽量避免在高应力区施焊或焊缝过于集中。

8.2.8 高炉等壳体的结构形式、节点构造、受力状况不同于一般钢结构,在某种程度上比钢制压力容器还要复杂,尤其是焊接连接节点。在现行国家标准中规定的坡口形状和尺寸,只适用于建筑钢结构和机械行业的焊接加工,对高炉和热风炉等壳体板厚较大的特种结构焊接施工不太适合。本规范提供的全焊透壳体结构钢板坡口形状和尺寸是在总结我国几十年,特别是近 20 年来 1000m³ 以上大型高炉等壳体结构设计、制作及安装经验以及焊接试验研究综合成果的基础上,并参照日本设计宝钢 1 号高炉壳体结构的资料和《钢制压力容器》GB 150 的有关内容,提供了壳体的几种典型坡口形状和尺寸。

8.3 焊接工艺评定

8.3.1~8.3.5 钢材焊接性能试验是指钢材对焊接加工适应性的试验,用以衡量钢材在一定的焊接工艺条件下获得优质接头的难易程度和该接头能否在使用条件下安全可靠的运行。它包含工艺焊接性和使用焊接性两个方面。而焊接工艺评定试验则是在一定的焊接工艺条件下获取优良焊接接头的的能力试验。因此,钢材的

焊接性试验是较全面和综合的试验,是进行焊接工艺评定试验的基础。而焊接工艺评定是编制焊接工艺指导书,确定焊接工艺参数的主要依据。对于钢材焊接性已被制作、安装企业充分了解和掌握,并依此进行过焊接工艺评定试验,且在工程上成功应用,则此钢材的焊接工艺评定试验报告具有替代性,可被该制作、安装企业在选用同类钢材的工程中重复使用。对于新钢种,则应由钢材生产厂提供相关的焊接性试验资料,否则制作、安装企业应在进行焊接性能试验的基础上,进行焊接工艺评定试验。

8.3.8~8.3.11 按强度等级将常用钢材划分为四个等级,其中Ⅲ、Ⅳ类钢材由于强度较高,为保证结构的焊接质量,要求每种钢材必须单独进行焊接工艺评定,不能相互代替。目前随着新工艺、新技术的发展,一些碳当量较低的钢种由于采用正火轧制、温度—变形控轧(TMCP)等新技术其钢材的强塑性及焊接性能均较好,但为防止由于不适当的热输入而造成基材的软化现象,因此单独进行焊接工艺评定仍是必要的。

8.3.20 试样的焊缝中心应对准弯心轴线。侧弯时,若试样表面存在缺陷,则以程度严重一侧作为拉伸面。对于伸长率 δ 标准或技术文件规定值下限小于20%的母材,若弯曲试验不合格而其实测值 $\delta < 20\%$,则允许加大弯心直径重新进行试验,此时弯心直径等于 $S(200-\delta)/2\delta$ (δ 为伸长率的规定值下限),支座间距离等于弯心直径加上 $(2S+3)\text{mm}$ 。

8.4 焊接工艺

本节是对焊接生产制作过程的一般工艺要求,是保证壳体结构质量的基础,应当遵守。如遇特殊情况而无须按本工艺要求执行时,应以相关试验为依据。

8.5 焊接质量检验

8.5.1 本条款对焊接质量检验的种类和一般程序作出了规定。

这里要强调的是制作、安装过程中检验包含三个部分：制作、安装企业自检，结构安全及功能性监检，以及业主委托的第三方检验。企业自检可由企业内部具有相应资质的人员按企业质保体系的程序进行，也可委托具有资质（计量认资 CMA；国家实验室认证 CNAS）的第三方进行检测。而结构安全及功能性监检则必须由具有上述资质同时具有地方建设部门批准具有专业检测的单位进行。业主委托的第三方检验其资质要求与制作、安装企业委托的第三方检测要求相同。施工检测和结构安全及功能性监检是强制性检测，而业主委托的监检或第三方检测则是非强制性的。

8.5.7 本条第 2 款为强制性条文。壳体结构焊缝质量无损检测的规定，主要是壳体的对接焊缝、T 形对接与角接组合焊缝都要求熔透并与母材等强，其质量等级为一级或二级，故需要进行无损检测。在制作和安装中必须严格执行本条的规定。

9 除锈及涂装

9.0.1 高炉、热风炉等构筑物壳体钢板的除锈及涂装在以往的设计文件中要求不明确,使壳体金属在较短的时间内受到腐蚀,未达到使壳体表面与周围腐蚀介质隔绝和“屏蔽”作用。本条提出在设计文件中应注明壳体钢板表面涂装的一些事项,都是与保证金属免受工业大气腐蚀和高温腐蚀密切相关的。

9.0.2 钢板在轧制和热处理过程中表面将产生氧化铁皮;在运输和贮存过程中受大气腐蚀而生锈;壳体钢板在加工制作过程中,表面往往产生焊渣、毛刺、油污和积灰等污染物。这些氧化铁皮、铁锈和污染物等如不经过认真清理,会影响涂料的附着力,造成涂层质量低劣,缩短使用寿命。因此,钢板在预处理前清除表面的污染物是涂料施工过程中重要的一环,应引起足够的重视。

9.0.3 手工除锈工具简单、施工方便、生产效率低、劳动强度大,除锈质量差;而动力工具除锈比手工除锈效率高,除锈质量比手工除锈好,是一般金属结构涂装工程常用的除锈方法;对于重要的钢结构除锈工程应采用喷射或抛射除锈,此两种除锈方法不仅生产效率高,能控制质量,获得不同要求的表面粗糙度,易达到除锈等级的要求,而且底漆的附着力牢固。目前,世界工业发达国家均采用这种方法除锈。壳体现场焊缝和涂装损伤处仅有少量的赤锈或污染物,采用手工或动力工具除锈可以达到除锈质量的要求。

9.0.4 高炉、热风炉等壳体的钢板内表面受高温和有害气体介质的腐蚀,外表面还要受工业大气的腐蚀。壳体结构防腐关键是制作时将铁锈和污染物清理干净,增强涂料与金属表面附着力,起到“屏蔽”的作用。壳体结构底板与碳砖或混凝土接触,基本上不受大气介质腐蚀,其他部分均受高温腐蚀,耐高温涂料对钢板表面除

锈等级要求较高。所以,本条根据不同的情况提出了相应的除锈等级。

9.0.5 炼铁厂区域,由于冶炼过程中产生大量的腐蚀介质和水雾,对钢结构腐蚀严重,特别壳体受高温氧化腐蚀时,当水分与化学介质同时作用,则加速钢结构腐蚀,为此,本条提出壳体结构涂装防腐涂料,应选用耐工业大气和高温腐蚀的涂料。如:氯化橡胶、氯磺化聚乙烯、GZH 无机磷酸盐富锌涂料、有机硅耐热漆等品种。其中 GZH 无机磷酸盐富锌涂料是目前国内开发的一种新型涂料,性价比优越,广泛适用于冶金行业,其主要特点是:具备阴极保护、化学缓蚀、屏蔽、磷化、转化锈(轻微锈)的功能;具有耐高温(400℃长期工作),耐氧化腐蚀、耐水、耐油、耐溶剂以及附着力强、机械性能好、配套性佳等性能。

9.0.8 高炉、热风炉、上升下降管、五通球或三通管,在正常生产操作时,壳体表面温度小于 200℃,只有在一代炉役后期或冷却设备或耐火材料损坏时,壳体表面温度大于 200℃,根据我国的测试记录和国外的相关资料,经综合分析后,涂装设计时高炉壳体结构外表面选用耐 400℃ 高温的涂料,其他壳体结构外表面选用耐 200℃ 高温的涂料。本条提出的涂层道数及厚度,主要是根据宝钢 4000m³ 级别的壳体涂层结构使用经验和参照日本和德国提供的涂装设计资料。

9.0.10 热风炉是高炉的重要附属设备,根据现行国家标准《高炉炼铁工艺设计规范》GB 50427,炉容级别为 1000m³~4000m³ 高炉的热风炉(内燃式、顶燃式、外燃式),拱顶设计温度为(1300~1450)℃,在拱顶高温区燃烧的煤气中会产生大量的 NO_x 气体,透过耐火砖接触壳体内表面,在炉顶内壁的结露区生成硝酸盐水溶液,随着炉内送风和进风的温度波动,腐蚀性水溶液浓度升高,对钢板及焊缝金属产生腐蚀作用,在长期的腐蚀介质和拉应力(包括残余应力和工作应力)的作用下产生腐蚀裂纹,最终产生脆断,严重影响生产。

为防止腐蚀裂纹的产生,本条提出在热风炉高温区的壳体外表面铺设保温毡垫,并加(0.4~0.5)mm的铝板包裹的保护措施,其目的是使壳体温度维持在(150~250)℃,不使壳体内表面结露形成冷凝液,产生晶间应力腐蚀裂纹。

9.0.11 在调查中发现,热风炉的地脚锚栓,伸出混凝土基础的螺杆,一般未刷油漆,特别是丝扣部位,增大了腐蚀性介质侵蚀面积,另外,锚栓与靴梁连接的四周易积聚水分和尘土等杂物,致使该部位锈蚀严重,故本条规定地脚锚栓在热风炉烘炉后,应加设防雨罩。

10 施工、安装与检验

10.1 一般规定

10.1.2 材料的进场管理是壳体施工的首要工作,包括对钢板进场检查、标识以及材质证明书的管理。壳体钢板的编号应有可追溯性,便于查找钢板的生产厂家、炉号、批号及材质证明书等原始资料。

10.1.5 本条为强制性条文。本条的提出主要是直接涉及人民生命安全和人身健康。壳体结构在施工和安装过程中必须执行。

10.2 壳体施工

10.2.1 炉体钢板的切割,除壳体钢板轮廓外形的切割外,还有焊接坡口切割、不等厚连接过渡削薄切割、孔洞切割等,是壳体施工的主要工序。

对低合金结构钢(如 BB503),在不同切割环境温度和不同预热温度下,进行切割试验,并对钢板切割边缘进行金相分析和硬度试验。试验表明,切割的环境温度等于或低于 0°C 时,随着温度降低,材料的淬硬程度随之提高。在 -3°C 时,表层呈高碳马氏体组织,硬度高达 HV680,对成型、焊接都会产生很大影响,因此切割工作宜在 0°C 以上环境温度进行。当等于或低于 0°C 时,应采取必要的改善环境温度的措施或对钢板进行预热。

10.2.2 加热成型时,必须严格控制钢板加热温度和时间,防止钢板因过热而导致晶粒粗大,使成型后的壳体钢板机械性能降低。也不能在低于工艺规定的加热温度下成型,以免使成型困难,引起冷作硬化。为减少冷却时产生的变形,可使压力机保持压力,直至壳体温度下降到 300°C 以下,再卸压并取出。

10.2.3 焊接是壳体施工中的重要工序,特别是大型高炉壳体结构,采用低合金结构钢厚板,焊缝质量要求高,因此焊接工作的各个环节都必须严格按照本规范第8章的相关规定进行。焊接工艺评定是根据工艺评定报告制定焊接工艺规程,作为指导焊接施工的依据。焊接工艺评定报告连同试样检验结果应存档备查。

风口段在高炉壳体中焊接量最大,风口法兰与壳体间焊缝重量占整个风口段重量的7%~8%,焊后残余应力很大,因此必须进行消除应力退火处理。最有效的退火处理方法,是在大型加热炉中对风口段单块整体退火。条件不具备时,亦可采取其他方法消除残余应力,但应进行残余应力测试,以检验实施的效果。

外燃式及内燃式热风炉上部高温区壳体,为防止因应力集中和晶界腐蚀而产生裂纹,宜进行整体退火。由于壳体尺寸较大,因此退火宜在安装焊接完成后进行。

10.2.4 壳体预组装是指每带壳体各块之间,以及相邻各带壳体之间,用预装卡具临时装配固定,以检查壳体各部尺寸,并作好相关的标记。另外,高炉铁口框及煤气封罩段上各种开孔,热风炉上各种开孔、插管的划线、定位、切割、焊接等工作,也宜在预装状态下进行。

壳体预组装允许偏差(表10.2.4)中,列出了壳体预组装的主要检查项目和允许偏差,其余未列出的如高炉煤气封罩段和热风炉上各类开孔以及上升管、下降管、五通球或三通管、除尘器壳体预组装检查项目和允许偏差,按设计文件规定,当设计文件未作规定时,可参照本表规定检查。

10.3 壳体结构质量检验

10.3.1 壳体的整体质量,是制作质量和安装质量的合成,而安装质量和安装进度,在一定程度上取决于制作为安装创造的条件。检验既是对壳体的制作质量作了评价,又可将质量问题在施工单位解决,为保证安装质量,确保安装工期创造条件。

10.3.2 根据壳体不同部位的重要程度和制作要求,一般将检验划分为 A、B、C 三级。对 A 检项目,必须由业主、设计、安装、施工单位联合检查验收。

高炉炉缸段、风口段、煤气封罩段、热风炉拱顶等应列为 A 检项目。

10.4 壳体安装

10.4.1 作为安装工程在安装前需要对实物与软件资料进行检查核对,以确保安装质量和安装工作的顺利进行。

土建工程的基础部分在安装前需要对各项数据进行确认,应取得相关部门的签证。然后按照设计文件复检修正偏差(因专业不同,各项数据的精度要求也不同),因此必须进行修正,并将修正后的标记作为安装使用。复检可及时处理上道工序遗留的质量问题。

对高炉和热风炉基础一般设计文件要求作沉降观测,在施工过程需要定期进行沉降观测,沉降观测记录作为交工资料交付业主。

基础垫板推荐采用坐浆法(已形成工法)配置,此法有助于保证工程质量和加快施工进度。坐浆料配合比应符合现行国家标准《炼铁机械设备安装工程安装规范》GB 50372 中有关规定。

壳体安装时,为加快安装进度,减少高空作业,降低劳动强度,提高工效,一般都采用整圈带或扩大组合安装方法,这就需要地面设置组装平台,因此,对组装平台提出要求。

对安装必需的起重机械、安装用电、水、气和工机具等提出了要求,有利于质量和加快施工进度。

10.4.2 近年来,为保证工程质量和加快安装进度,高炉壳体安装正朝着扩大组合(模块化)的方向发展,因此,本条文提出了扩大组合安装的基本要求。

10.4.3 本条对高炉壳体重要部位的安装(炉缸段和风口段)提出

要求,保证工程质量和冶炼工艺。

现代高炉设计是自立式炉体,壳体除满足冶炼工艺要求外,尚要支撑冷却设备及附件和炉顶设备荷载,炉缸是保证炉体安装质量和传递炉体荷载给基础的关键部位,因此,本条特对安装提出要求。

风口段壳体及风口法兰安装偏差对冶炼工艺影响较大,因此,提出严格要求。

10.4.6 根据近年来的设计和施工技术的进步,壳体制作水平日趋成熟,为节约材料和能源,在总结近年来大型高炉成熟的施工经验基础上,对高炉壳体安装提出了要求。

壳体安装不预留调整带的提出是为了节约材料,淘汰落后的施工技术,对 $2000\text{m}^3 \sim 5000\text{m}^3$ 炉容级别的高炉壳体是不留调整带的;对于 1000m^3 炉容级别的高炉在制作条件有困难时,可以留调整带。

由于壳体安装技术的进步和施工机械的多样化,施工单位因地制宜的创新了多种施工方法。

本条提出壳体圆度应以半径检测值控制的方法,主要考虑高炉竖向中心线的重要性,炉体的附属设备及结构均与高炉中心线相关,因此,以壳体半径控制偏差更合理。分带壳体上口水平度以标高测量值计算后进行控制是避免累计误差和炉顶标高偏差,同时也是取消调整带的有效方法和节约钢材。

10.4.7 热风炉壳体安装主要是控制炉底板、拱顶部的安装尺寸,满足砌筑耐材和安装相关附属设备的要求。

10.4.10 壳体开孔大部分是在制作时完成。现场安装焊接后再开孔,要求采用半自动切割机或机械开孔,其目的是降低孔边缘集中应力,减少壳体裂纹的诱因,保证工程质量。

10.4.13 壳体结构加固件、安装调整焊接的工卡具以及临时焊接的物件在壳体安装完毕拆除时,应距壳体表面 5mm 处切除,主要考虑不损伤母材,另外,还考虑低合金高强度钢在切割加热时易产生裂纹的敏感性。

10.5 焊 接

10.5.2 现场焊接与制作焊接环境有很大区别,因此,对于焊工、焊机和焊接环境提出了要求。特别焊接作业区环境温度低于 0°C 时,在焊接过程中层间温度不应低于 15°C 。

10.5.4 现场焊接准备工作随着工程进展是经常变化的,相应的准备工作也是多样的,因此,作了相应规定。

10.5.5 焊接工艺要点主要对壳体的焊接顺序和热风炉高温段的特殊性作了规定。

10.6 涂 装

10.6.2 本条对安装后补涂部位作了说明。

10.6.6 热风炉高温段耐热防腐蚀涂料是根据高温段的特殊工况要求,提出了明确的规定。

10.7 整体泄漏性试验

10.7.1 整体泄漏性试验是为了炉体的安全使用和节约能源以及降低环境污染提出的,同时也有利于冶炼工艺炉正常生产。