

一、工程概况

大唐西固电厂热电联产以大代小改扩建（2×300MW 级）工程机组烟囱钢内筒高 210m，内直径为 6.5m，有效直径 6.4m. 为套筒式钢内筒。±0.00m 标高相称于黄海高程 1535.8m。钢内筒筒体材料采用 Q235B 钢板，厚度取四种：即厚度 18mm、16mm、14mm 和 12mm。钢板接长采用焊接接长（每段按 2m 安装、每段由三块板构成），焊缝连接采用 CO₂ 气体保护焊打底和手工电弧焊盖面焊接方案。钢内筒防腐采用国产内衬玻璃砖（玻化转），外壁及导硫板底部部分采用氯磺化聚乙烯底漆面漆，总厚度为 150um。

二、 施工根据

- | | |
|--------------------------------|----------------|
| 2.1 《套筒式烟囱钢内筒施工图》 | F1513S-T040402 |
| 2.2 《碳素构造纲》 | GB700-88 |
| 2.3 《不锈钢耐酸及耐热钢厚钢板技术条件》 | GB3281-82 |
| 2.4 《不锈钢焊条》 | GB983-85 |
| 2.5 《钢构造施工及验收规范》 | GB50205-2023 |
| 2.6 《喷砂处理》 | GB8923-88 |
| 2.7 《火电施工质量检查及评估原则》 | （焊接工程篇） |
| 2.8 《烟囱工程施工及验收规范》 | GBJ78-85 |
| 2.9 《工业管道工程施工及验收规范》 | （金属管道篇） |
| 2.10 《电力建设安全工作规程》—建筑工程篇 | DL5009.1-2023 |
| 2.11 设计变更及其他设计文献及对应规程、规范 | |
| 2.12 《气焊、手工电弧焊及气体保护焊焊缝坡口的基本形式》 | GB985-88 |
| 2.13 《二氧化碳气体保护焊用焊丝》 | GB8110-1995 |

三、 重要工程量及机具：

3.1 重要工程量

序号	材料名称	规格型号	重量	备注
1	钢板	$\delta = 18\text{mm}$	181.8t	
2	钢板	$\delta = 16\text{mm}$	167.1t	
3	钢板	$\delta = 14\text{mm}$	145.6t	
4	钢板	$\delta = 12\text{mm}$	25.5t	
5	防雨罩		4.85t	
6	钢烟道		62.8t	
7	烟道口附件		17.1t	
9	内衬防腐		4680m ²	

筒身 0~67.05m $\delta = 18 \text{ mm}$ 67.05~132.05m $\delta = 16 \text{ mm}$ 132.05~196.77m $\delta = 14 \text{ mm}$

196.77~210m $\delta = 12 \text{ mm}$

3.2 重要工器具

序号	设备名称	型号	数量	用途	备注
1	空气压缩机	12m ³	3 台	顶升钢内筒	其中一台备用
2	空气等离子切割机	80A	1 台	切割不锈钢板	
3	三筒卷板机		1 台	卷制钢内筒用	
4	逆变焊机		8 台	焊接钢内筒用	
5	气割工具	#2	4 套	打坡口用	带半自动切割机
6	CO2 气体保护电焊机	XGB-500	4 台	焊接钢内筒用	
7	焊接陶瓷衬垫	AQ-1	米	2860	
8	单轨吊	3t	1 部	水平运送	
9	双滚筒卷扬机	5t	1 台	垂直运送人、材料专用	
10	卷扬机	10t	1 台	起重用	

11	卷扬机	5t	1 台	起重用	
12	钢丝绳	Φ 19.5	1200m	钢内筒导向用	每台
13	钢丝绳	Φ 19.5	1000m	5t 卷扬机用	
14	汽车吊	50t	1 辆	制作场用、安装 气顶装置用	可以安装 10 吨龙 门吊
15	吊笼	0.8×1m	1 只	上人卷扬机用	带断绳保护器
16	卷扬机	10t	1 台	钢内筒导向用	

四、 措施性及消耗性材料

序号	名称	型号	数量	备注
1	气保焊丝	H08Mn2Si Φ 1.2	3t	大西洋焊材
2	焊条	J422	7t	大西洋焊材
3	钢板	δ =35mm	8.5t	
4	槽钢	[28 B	4.2t	
5	工字钢	I20 A	8.7t	
6	合金钢吊环	50t	6 只	
7	木板	50mm 厚, 长 4m	5m³	
8	定滑轮组	40 t	2 组	
9	定滑轮	20t	10 只	
10	20t 导向葫芦	9 米长	3 只	
11	10t 导向葫芦	9 米长	4 只	
12	10t 链条葫芦	9 米长	2 只	
13	5t 链条葫芦	9 米长	4 只	
14	2t 链条葫芦	9 米长	2 只	
15	开口滑子	20t	5 个	
16	开口滑子	5t	12 个	
17	安全网	孔 80×80	240m²	
18	卡环	安全荷载 5t	10 只	
19	卡环	安全荷载 10t	12 只	

20	工字钢	I30	52m	
21	钢板	$\delta = 3\text{mm}$	82m ²	
22	千斤顶	30 t	3 只	

五、 劳力组织

5.1. 管理机构如下

施工负责人： 张新国 技术负责人： 楚增宝
 施工员： 张汝 安全员： 刘全振
 质检员： 张维鹏 岳书义 电 工： 魏延安

5.2. 劳动力组织如下：

电 工	1 人	起重工	6 人
电焊工	18 人	气焊工	2 人
安装工	10 人	铆工	6 人
油漆工	4 人	壮 工	10 人

5.3. 施工工期

2023. 01. 20~2023. 03. 31	钢内筒施工
2023. 03. 18~2023. 03. 21	钢烟道导流板施工
2023. 04. 16~2023. 04. 30	七层平台剩余部分砼、防腐等施工

六、 重要施工方案

钢内筒内径为 6.5m，先进行下板打坡口（可购定尺钢板带坡口）、卷制、喷砂、油漆、然后将半成品钢板用 3t 单轨吊运至钢内筒顶升平台，再由定位链条葫芦拉进预定位置，逐渐组装焊接成筒。进行上下筒体的对接、顶升，最终进行钢内筒内壁防腐。

6. 1 气顶法简介

6. 1. 1 原理气顶倒装原理图

大型等直径钢制高耸筒体构造气顶倒装法是用常规吊装工具在筒体基础上把顶端段组装到一定高度 12m 后，再装上专用的施工附件，从而使被组装的钢筒顶端段自身转化为顶升工具，被装上的专用施工附件是钢筒顶端段的上封盖和筒体基础上的内密封底座，使在组装中的钢筒段和内密封底座构成一组可以伸缩的套筒，从上封盖如下至内密封底座的密封环之间的筒段成为一种密闭容器，在内密封底座的底部有从气源装置进来的管道，气源装置应能提供气压顶升必需的压缩空气，即满足必要的压强和供气量，由施工单位设置的临时空气压缩机站提供。当一定参数的压缩空气通入后，根据密闭容器内气体对周壁压强相等的原理，作用在筒内四面壁的压力是互相平衡的，而作用在上封盖的气体压强形成的合力是对此筒段构成向上的顶升力，当此顶升力超过了包括上封盖在内的筒段自重，并能克服筒内壁与密封环的磨擦力时，筒段便向上滑移，当滑移使筒段底口超过后续筒节的高度后，控制或关闭进气量，使筒段稳定在此高度，在它的下面把已准备好的后续筒片合围成整圈筒节，焊固此筒节的纵缝，再适量放气使上筒段渐渐下降与它对接，焊固横缝，这样上筒段被接长了一节，然后再进气顶升，围上后续节，接长，不停反复，直至筒体抵达设计高度，最终拆除上封头和密封内底座等施工附件，钢筒体便组装完毕，可以交给后续工序施工。

6. 1. 2 气顶压力

气顶法使钢内筒处在悬浮状态的力，必须是由封头所受向上气压的合力 F_1 ($F_1 = A \times P_1$) 与之组焊的钢内筒重量 Q_1 相等，即 $F_1 = Q_1$

气顶压力： $P_1 = Q_1 / A$ (kg/cm^2)； A ——钢内筒截面积 (cm^2)

最高气顶压力： $P_{\max} = Q_{\max} / A$

$Q_{\max}$ ——设计高度的内筒总重量

烟囱钢内筒最高气顶压力： $P_{\max} = 2 \text{kg}/\text{cm}^2 = 0.2 \text{MPa}$

安全分析

按照钢制压力容器国标（GB150-98）的公式计算

$$\sigma = P(D_1 + \delta) / 2\delta \leq [\delta] \Phi$$

σ ——设计温度下的计算应力出 Pa

P ——设计压力（MPa）

D1 ——钢内筒直径（6500mm）

δ ——钢内筒壁有效厚度（最小厚度=12mm）

$[\delta]$ ——设计温度下材料的许用应力(MPa) $[\delta]=111\text{MPa}$

Φ ——焊缝系数，取 $\Phi=0.9$

$$\sigma = 0.2 \times (6500 + 12) / 2 \times 12 = 7.815 \text{MPa}$$

$$[\delta] / \sigma = 14.2$$

当压力抵达最大值时，最薄筒段的所受的压应力低于材料许用应力 1 倍以上，因此安全系数是足够的。

6. 1. 4 施工准备

6. 1. 4. 1 施工技术准备

6. 1. 4. 1. 1 图纸审查，由烟囱专工会同其他专业工程师进行，先行确认图纸的精确性，根据所到货钢板的尺寸绘制筒体钢板的排版图，确定各节的高度和顶升重量及气顶所需压强，列出表格，根据所需最高压强按压力容器设计原则（GB150-98）进行计算，确定上封头的厚度、形式和固定的位置。

6. 1. 4. 1. 2 焊接工艺评估，由焊接责任工程师负责组织进行，确定焊材的型号、规格和焊接措施、工艺。

6. 1. 4. 1. 3 参与焊接的焊工须持有对应的焊工合格项目证明。

6. 1. 4. 1. 4 编制施工方案和有关技术文献，这些文献需经上级有关部门的技术负责审核、同意。

6. 1. 4. 1. 5 安装设计与制作（包括上封头、气顶装置、导向装置、内外焊接平台、临时压缩空气站及管路）。

6. 1. 4. 1. 6 半成品材料验收、基础验收

6. 1. 4. 1. 6. 1 由制作场卷制成型的筒节瓣片必须检查其圆弧半径，上下边平行度，并按照其厚度、高度与周表预先进行排版编号。

6. 1. 4. 1. 6. 2 检查所供焊材，证明其性能与否与钢板的焊接规定相符。

6. 1. 4. 1. 6. 3 用激光经纬仪测试砗烟囱的垂直度，此外还要测量砗烟囱的椭圆度和各层平台的水平度。

6. 1. 4. 1. 7 施工条件及现场准备

6. 1. 4. 1. 7. 1 导向装置。筒体构造应在周围的钢平台进行施工，并应在各层平台钢筒穿入孔的四面预先装上顶升导向装置，以保证筒体气顶时能保证垂直上升。

6. 1. 4. 1. 7. 2 内密封底座设置

按施工工装设计在筒体基础上设置内密封底座，内密封底座应当用 0.6m 高的筒形钢构件垫起，以便在此段设置进出人孔和进出气管孔（详见气顶时筒节焊接图）。

6. 1. 4. 1. 7. 3 密封环

密封环材料与构造必须符合耐磨性和密封可靠性的规定。耐磨性是保证整座钢筒气顶完毕前不必进行更换密封环，密封可靠性是在整个气顶工序完毕前在最高压强条件下无明显漏气，仍使在筒内壁可以进行正常的焊接。

6. 1. 4. 1. 7. 4 气源装置

在施工现场无压缩空气管线的状况下，施工单位设置临时压缩空气站，一般状况下采用两台罗茨鼓风机（0.08MPa，12m³/min）和三台空气压缩机（1.2MPa，12m³/min）已足够应用，对它们开动、停机及对送气的控制操作位置应当放在便于观测到筒体的顶升状况的位置。

6. 1. 4. 1. 7. 5 组焊平台

施焊于筒内壁焊缝的内焊接平台是三层，设置在内密封底座中的密封环如下的环形空间，外组焊平台为四层，它可以是吊挂式构造，可以升降，升起到可记弧瓣形筒片吊入与组对，随即又可把外组焊平台降到合适位置，便于焊接筒外壁的纵缝与横缝。

6. 1. 4. 1. 7. 6 支承梁

支承梁作为安装平台用的承重梁，其强度和刚性必须在施工前进行校核。支承梁的横梁构造可直接焊固在砼烟囱筒首的预埋件上，从而省略了原气顶工艺的高空组对支承梁的工作。支承梁的另一作用就是作为钢内筒顶升过程中的牵引机构，这样即可保证钢烟囱的中心度和垂直度，又能克服气顶的摩擦阻力，减少气顶的气压，加紧施工进度，减少施工难度，增长安全性。

6. 1. 4. 1. 7. 7 现场环境

施工现场必须搭设 50t 汽车吊一辆，作为装卸用，此外还必须铺设运送轨道和配置运送小车，以及安装螺旋轨道等辅助设施。

6. 1. 4. 1. 7. 8 运用支承梁把此上段吊起悬挂；

6. 1. 4. 1. 7. 9 运用 207m 平台角上（靠近混凝土筒内壁），设置 1 套起重量为 40t 的滑轮组，分别组装密封内底座，并安装地面组焊平台及气体管路。

6.1.4 分别把筒首放下来，并套入密封内底座；

6.1.4 在通过每一层平台时，装上施工用导向轮每个内筒 4 只；

6.1.4 在钢筒通过 207m 平台时，装上准备拆卸封头用的索具及滑轮组；

6.1.4 拆除支承梁

6.1.4 继续气顶至设计高度；

6.1.4 打开烟道口，将封头及密封内底座取出；

6.1.4 地面预制加工分二大部分：

6.1.4.1.7.16.1 工程装件预制，包括：支承梁、工作吊篮、平台、封头、密封内底座等；

6.1.4.1.7.16.2 工程实物预制，包括：平台扶梯、钢内筒

6.1.47 工装件预制

6.1.4.1.7.17.1 支承梁

支承梁是设在混凝土筒顶部 210m 处，横跨混凝土筒首，设计规定承重 60t。所用材料需有质保书，选择有合格项目焊工施焊，它重要承担平台扶梯安装，及气顶助吊装任务。

6.1.4.1.7.17.2 工作吊篮

6.1.4.1.7.17.2.1 吊篮是一种网式反撑活动钢平台，它重要承担平台扶梯的安装任务，它分为两层，下层安放机具，上层放置待装工件。上、下移动通过滑轮组、支承梁、钢丝绳、地面卷扬机。故它能从 0~210 米垂直升降移动。由于混凝土筒上小下大，故吊篮应在 $\Phi 10000 \sim \Phi 19900$ 间作径向变幅。吊篮最大自重限制在 3t 以内，吊篮的径向变幅应灵活、以便。

吊篮应制成可拆卸的，以便运送。制作和组装应按 GB50205-95 进行验收，并在 1.5P (P 为设计载荷) 作载荷试验，合格后，方能投入使用。

6.1.4.1.7.18 密封内底座

6.1.4.1.7.18.1 密封内底座设在钢内筒内底面，高约 10 米，其状似“活塞”，它由底板、“活塞”杆、“活塞”头、密封圈构成，并在“活塞”杆上设置三层内作业平台（“活塞”杆直径不不大于钢内筒约 1.2 米）。

6.1.4.1.7.18.2 头部制作椭圆度控制在 5mm 内，周长误差控制在 3mm 内，密封圈安装平台应垂直，其偏差不应不大于 3mm，密封圈外边波纹度不不大于 2mm。

6.1.4.1.7.18.3 内底座安装时平直度控制在 1/2023 以内。

6.1.4.1.7.18.4 密封内底座制成可以便装拆件，可反复运用，且便于运送。

6.1.4.1.8 工程实物预制

工程实物预制要点：多种材料必须有材质证明文献并与材料上的标识相一致，放样必须按施工图审定的尺寸（1:1）进行，并配作对应的样极，多种样板均必须经组长检查承认后，方可使用。

焊接操作人员须经考试合格后方可焊接，其焊接工艺印竹将均须经检查合格后方可使用。

6.1.4.1.9 钢内筒预制

6.1.4 材料检查

210m 烟囱钢筒采用 Q235B 钢板。

烟囱钢内筒不锈钢部分应采用符合 GB3281-82 的《不锈钢耐酸及耐热钢厚钢板技术条件》中的 0Cr18Ni9Ti 的有关物理和化学成分规定。

止晃装置的加筋环，应符合 GB700-79《一般碳素构造钢技术条件》中的 A3F 甲类钢技术条件和 5 项附加保证条件的钢类，钢板应符合甲类钢的基本保证条件。

上述材料必须有与钢板表面标识的炉号、批号相符的钢材原始质保书。

6.1.4 排版放样

根据 210 米钢内筒施工图规定，加劲环和支撑加劲环与钢筒的水平焊缝间距应为 $\geq 300\text{mm}$ 。烟道口开口处与水平环缝 $\geq 100\text{mm}$ 的规定，根据来料的宽度及长度进行合理排版。

6.1.4 下料坡口

钢内筒内直径为 6.5m，厚度分别为 $\sigma = 12 \sim 18$ 。

到货尺寸为 2023*6825.6、2023*6823.5、2023*6821.4、2023*6819.3，为保证工期，预制时将三块板拼接成，然后用半自动火焰切割机落料、坡口，下料坡口应符合下表规定。

测量项目	容许偏差 (mm)	测量项目	容许偏差 (mm)
板 宽	± 2	直线度	≤ 2
板 长	± 0.5	坡 口	± 1
对角线	≤ 3		

下料后必须有班组检查员复核并做下料登记表。

在钢板的角端用钢印和油漆作出位号标号。

6.1.4 压头卷圆

运用三棍卷板机进行铲头和卷圆，卷制成弦长 1.5 米的内卡样板检查曲率，其间隙应为 $\leq 3\text{mm}$ 。

卷制后应按位号依次安放，便于后来安装吊运。

6.1.4 平台扶梯安装轴线确实定

轴线确实定应根据烟囱 ± 0.00 标高的轴线用经纬仪向上投至 207 米烟囱顶部，在烟囱首部划出烟囱的东、西、南、北轴。

6.1.4 支承梁的安装以东、西轴为中心，以翻模平台为安装平台进行组装。组装完毕后，将模板平台拆除至 ± 0.00 标高。

6.1.4 吊篮的安装

将在安装吊篮、栏杆及安全网，做好设备围杆，安装结束后以 1.5 倍荷载进行负荷试载。

6.1.4 平台扶梯的安装

6.1.4.1.10 钢内筒安装

6.1.4 筒体顶端的组装

顶端段的组装是在现场先组焊成若干节钢筒，逐一进入筒体基础附近，运用前述支承梁及 40t 滑轮组，从上而下逐节组对焊接至 15m，先后组对并在预定的位置上装上封头，用同样的吊具把密封内底座对的地安装在钢内筒基础上，随即把已组焊好的顶端段分别吊至密封内底座上面的位置，渐渐放下，防止碰伤密封环，直至顶端段下口接触密封内底座底板，再拆除吊具。爬上进、出气管，安好气源装置。

6.1.4 组装螺旋轨道，根据钢内筒的位置，将预制好的螺旋轨道安装完毕，便于筒体钢板的运送。

6.1.4 钢内筒安装

6.1.4 把后续节的弧形筒片运入，一般以三片为一节，将它们合围在初始顶端段的外圈，把相邻筒片间的三条纵缝中的二条焊固，留下最终一条纵缝因围在已组装筒节的外圈尚有相称间距，在此间距的两侧合适位置上分别焊上两对钢板制的素具眼板，用两只 5t 的手拉葫芦把相邻的二板收紧。

6.1.4 开动罗茨鼓风机，使贮气罐内充气并抵达该罐所许可抵达的气压。

6.1.4 检查筒体的周围，清除也许影响其顶升的障碍物。

6.1.4 打开通向筒体的进气阀，在严密的监视与控制下，使顶端段渐渐上升。

6.1.4 当顶端段顶升到高度已超过合围在外圈的后续筒片上约 50~200mm 时，关上进气阀，稳定住顶端段的位置。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/027010144121006122>