

气垫式调压室钢罩安装专用台车的设计

李刚，尹克祥，蒋天国

(中国水利水电第五工程局有限公司,四川成都 610066)

摘要:水电站气垫式调压室钢罩安装过程是风险隐患极高的一个环节,尤其是钢罩卸车、台车转移、安装就位、各工种交叉作业等更增大了钢罩安装的安全隐患及难度。介绍了金汤河某电站气垫式调压室因设计为内壁全钢罩且跨度大、穹顶高而设计了一套台车,从而对钢罩进行卸车、平移就位安装,可为类似水电站气垫式调压室钢罩安装提供借鉴。

关键词:气垫式调压室;全钢罩;台车;钢轨;平移;设计

中图分类号:TV7;TV554;TV53 + 2

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2014)03-0053-03

1 概述

金汤河某电站气垫式调压室采用内壁全钢罩方式,钢板采用Q345R压力容器钢,长74 m,重约450 t。由于其跨度大、穹顶高,钢罩钢板拟定在调压室采用台车安装,其方式为将下料卷制好的钢板逐块吊运至台车上进行拼装、焊接,然后拖运至设计安装位置就位安装。

钢罩钢板单件最重不超过4 t,在台车上拼装、焊接成整体后每片的重量约为14 t;台车为典型的门型工装架结构:主要由受牵引平移的主台车和在主台车之上由螺旋千斤顶负责升降钢罩安装的副台车构成。主台车重约7.5 t,副台车重约3.5 t,台车累计总重量为11 t(图1)。

2 气垫式调压室的安装方案

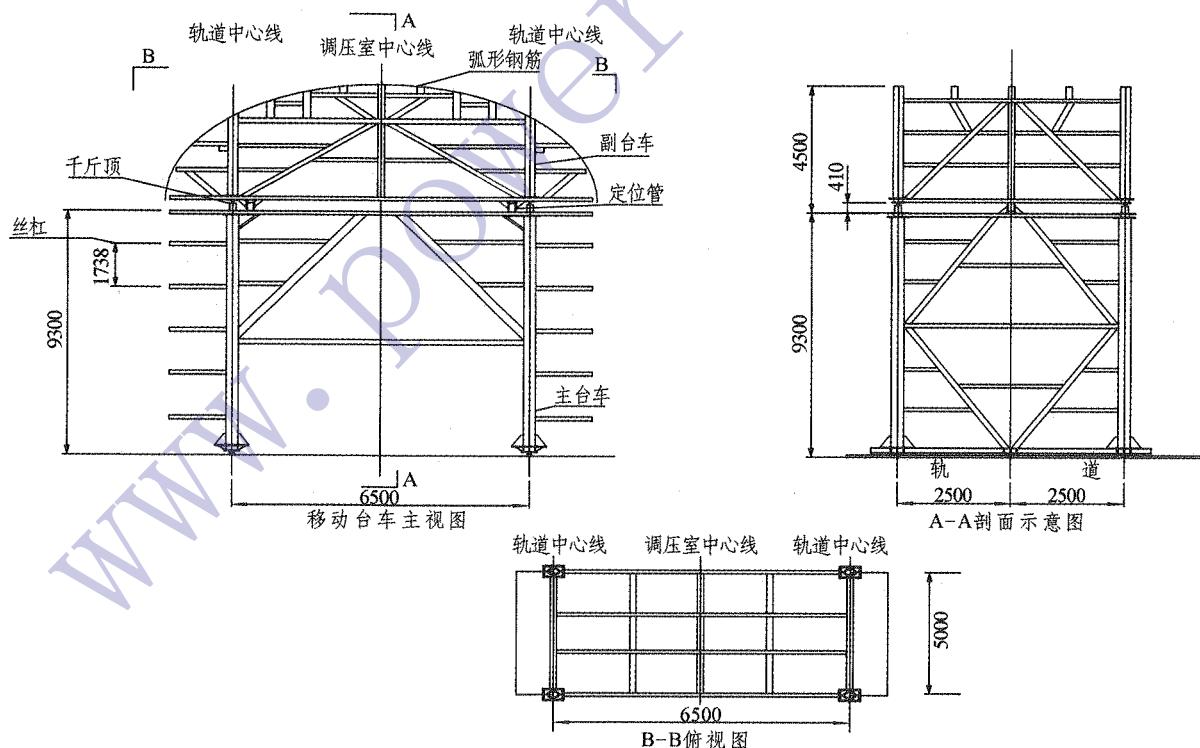


图1 台车示意图(单位:mm)

2.1 钢罩现场卸车方式及拼装位置选取

收稿日期:2014-05-08

根据土建施工情况,钢罩的卸车吊装、拼装、焊接大致拟定了两个区域位置。因钢罩钢板单件最

重不超过4t,因此,钢板卸车吊装利用调压室系统锚杆作为吊点,由卷扬机卸车。卸车后直接将钢板依次放置在台车上进行拼装、焊接,故钢罩拼装位置不能先安装钢筋网,其他部位可先由土建施工单
位安装钢筋网,之后再安装钢罩。根据现场实际情况需要,拼装位置可能选择在调压室中部和调压室入口处。如果现场施工过程中出现干扰,也可只选用一个卸车、拼装位置。现场共布置3台卷扬机,两台3t,一台2t;3t卷扬机主要用于钢板吊装,2t卷扬机主要用于移动台车的牵引。

2.2 分块钢罩拼装及整体就位安装

(1)因调压室钢罩整体结构面积大,单片宽度为4m,周长约33m,故每片钢罩必须由多张钢板现场焊接而成。根据相关文件及技术规范要求,在拼装过程中,调压室钢罩的钢板纵缝不应布置在横断面的水平轴线和铅垂轴线上。

(2)钢罩就位:在罩体拼装焊接完成后,即可进行罩体的安装工作。将台车移至钢罩设计安装位置,启动顶升机构,将钢罩顶至设计高程,采用调整工具进行精确定位,定位完成后进行加固,将钢罩固定后,台车离开,移至拼装位置,进行下幅钢罩的拼装和焊接工作。

(3)钢罩的固定:台车将钢罩移至安装位置完成安装定位后,需对钢罩进行临时固定,以便台车离开。结合现场实际情况,采用φ28钢筋将钢罩与一期锚杆连接的方式固定钢罩。为确保钢罩定位可靠,每2m设一对加固筋。

3 台车结构的分析与计算

3.1 副台车立柱的设计选型

已知最重钢罩每片重量约为14t,副台车为3.5t,累计为17.5t,考虑其动载系数1.1,安全系数1.5,则副台车四根立柱承受的重量为28.875t。四根立柱均承受垂直抗压正应力,则单根立柱承受的最大压力为70.74kN。选用φ219、壁厚为8mm的无缝结构钢管,其高度为4.5m。

① 强度校核:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A} = \frac{70.74 \times 10^3}{5300.32}$$

$$\approx 13.35 \text{ (MPa)} < [\sigma] = 160 \text{ (MPa)}$$

式中 N 为压杆的工作压力; A 为压杆的有效工作截面面积; σ_{\max} 为压杆正应力。

② 惯性半径 l 和柔度 λ 分别为:

$$l_x = l_y = \frac{D_1}{4} \sqrt{1 + a_1^2} = 74.65 \text{ (mm)}$$

式中 D_1 为压杆外径; a_1 为 d/D , d 为压杆内径; l_x 为惯性半径。

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{ul}{i_x} = \frac{0.5 \times 4500}{74.65} \approx 30.14$$

式中 u 为支撑系数; l 为材料长度; i_x 为惯性半径; λ_x 为预度值;

因 $\lambda_{\max} < \lambda_p$, 知此压杆属于小柔度杆, 应按抛物线公式计算 σ_b , 即:

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \sigma_s - a_2 \lambda^2 \\ &= 235 - 0.00669 \times 30.14^2 \\ &= 228.922 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

式中 σ_s 为材料屈服极限; a_2 为 A₃ 钢材料取值为 0.00669 MPa; λ 为柔度值; σ_b 为临界应力。

考虑 A₃ 钢的 $\lambda_x = \lambda_y = 30.14$, 则其压杠折减系数 $\psi = 0.955$ 。

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \sigma_s \times \psi = 228.922 \times 0.955 \\ &= 218.62 \text{ (MPa)} \end{aligned}$$

则安全系数 $n_w = \frac{\sigma_b}{\sigma_{\max}} = \frac{218.62}{13.35} = 16.376 \gg [n_w = 3]$, 压杆结构满足受力要求。

3.2 主台车立柱的设计选型

已知最重钢罩每片约为14t,主台车为7.5t,副台车重3.5t,累计为25t,考虑其动载系数为1.1,安全系数为1.5,则主台车四根立柱承受的重量为41.25t。四根立柱均承受垂直抗压正应力,则单根立柱承受的最大压力为101.06kN。选用φ273、壁厚为10mm的无缝结构钢管,其高度为9.3m。

① 强度校核:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A} = \frac{101.06 \times 10^3}{8258.2}$$

$$\approx 12.24 \text{ (MPa)} < [\sigma] = 160 \text{ (MPa)}$$

② 惯性半径 l 和柔度 λ 分别为:

$$l_x = l_y = \frac{D_1}{4} \sqrt{1 + a_1^2} = 93.05 \text{ (mm)}$$

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{ul}{i_x} = \frac{0.5 \times 9300}{93.05} \approx 49.97$$

因 $\lambda_{\max} < \lambda_p$, 知此压杆属于小柔度杆, 应按抛物线公式计算 σ_b , 即:

$$\begin{aligned} \sigma_b &= \sigma_s - a_2 \lambda^2 \\ &= 235 - 0.00669 \times 49.97^2 \end{aligned}$$

$$= 218.29 \text{ (MPa)}$$

考虑 A₃ 钢的 $\lambda_x = \lambda_y = 49.97$, 则其压杆折减系数 $\psi = 0.845$ 。

$$\sigma_{ij} = \sigma_s \times \psi = 218.29 \times 0.845 = 184.46 \text{ (MPa)}$$

则安全系数 $n_w = \frac{\sigma_{ij}}{\sigma_{\max}} = \frac{184.46}{12.24} = 15.07 \gg [n_w = 3]$, 压杆结构满足受力要求。

3.3 主台车顶横梁工字钢的选型

分析: 顶横梁最大长度为 9.268 m, 主要承受来自副台车自重和钢罩重量所产生的分力而形成的外张力, 即为抗拉力, 无其他附加力, 主要考虑其自重而造成的下垂挠度以及在门架运行过程中的自由晃动的稳定性; 同时, 为了提高立柱的稳定性, 尽可能减小压杆长度或在压杆中间增设支座, 即将同一侧立柱用 I₁₄ 工字钢连接, 并将主台车四根立柱在中间位置采用 I₁₄ 工字钢连接, 形成十字架。顶横梁与立柱、底横梁与立柱焊接斜撑, 以满足整个结构架的稳定性。

据: $\sigma_{\max} = \frac{N}{A} \leq [\sigma]$, 则顶横梁可选用 I₁₄ 工字钢。

3.4 主台车斜撑工字钢的选型

分析: 斜撑的主要作用是承受顶横梁自重造成下垂挠度, 稳定顶横梁因连接过长而在运行过程中的晃动, 并能增大立柱的稳定性, 对整个门架起稳定平衡作用, 增强整个框架的牢固, 最终选用 I₁₄ 工字钢做斜撑使用。

3.5 主台车底横梁槽钢的选型

分析: 底横梁即为行走梁, 连接前后车轮立柱。以立柱处的底横梁为原点, 在平面汇交力系上可分解为 F_x 、 F_y 两个分力。 F_x 力对整根底横梁形成抗拉受力, 成拉伸状态, 此力主要来自于移动台车在行走过程中轮子摩擦力转变成的抗拉力, 可忽略不计; F_y 力使在轮子上面的底横梁不仅要承受钢罩的自重, 还要承受整个移动台车的自重, 按最大立柱承受力 101.06 kN 考虑, 选择 L₂₀ 工字钢做底横梁, 两工字钢腰厚的中心距为 265 mm。

则: 抗压最大应力为:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A} = \frac{101.06 \times 10^3}{2 \times 32.83 \times 10^2} = 15.39 \text{ (MPa)} < [\sigma]$$

3.6 轨道的选择

移动升降台车采用 6 个 φ300 的双轮缘钢轮行走, 轨道选用 P24 轻轨。

车轮踏面的线接触强度计算:

$$P_b \leq 2.2K_1 D_2 b \leq 2.2 \times 3.8 \times 300 \times 51 = 127 \text{ (kN)}$$

式中 K_1 为许用接触应力常数; D_2 为车轮踏面直径; b 为车轮踏面与轨道的有效接触宽度。

轨道横截面的弯曲应力:

$$\sigma_w = \frac{3P_b h_k}{8w_k} = \frac{3 \times 127 \times 10^3 \times 107}{8 \times 90.12 \times 10^3}$$

$$= 56.55 \text{ (MPa)} \leq [\sigma_w = 155 \text{ MPa}]$$

式中 P_b 为滚轮的荷载; h_k 为轨道高度; w_k 为轨道截面抵抗矩。

轨道颈部的局部承压应力:

$$\sigma_{cd} = \frac{P_b}{3\delta t} = \frac{127 \times 10^3}{3 \times 23.28 \times 26.13}$$

$$= 69.59 \text{ (MPa)} \leq [\sigma_{cd} = 280 \text{ MPa}]$$

式中 δ 为颈部至轨面的距离; t 为颈部厚度。

轨道底板的弯曲应力:

$$\sigma_w = \frac{P_b c^2}{h_k B_k \delta^2} = \frac{127 \times 10^3 \times 34.36^2}{107 \times 92 \times 30^2}$$

$$= 169 \text{ (MPa)} \times [\sigma_w = 190 \text{ MPa}]$$

式中 c 为底板悬臂段长度; h_k 为轨道高度; B_k 为轨道底板宽度。

轨道每隔 0.6 m 垫一块支撑钢板, 则轨道跨中的弯曲应力:

$$\sigma_w = \frac{pl}{w_k} = \frac{\frac{68.75 \times 10^3 \times 600}{4}}{90.12 \times 10^3}$$

$$= 114.43 \text{ (MPa)} \leq [\sigma_w = 190 \text{ MPa}]$$

则, 采用 P24 轻轨可以满足结构受力要求。

4 实施效果

台车制作完毕, 在投入使用前, 分别进行了空载和带负荷运行试验, 整体结构稳定, 抗倾覆稳定性良好, 主台车受牵引运行平稳, 副台车升降灵活, 无任何卡阻及异常情况发生, 各主要受正压立柱及横梁安全可靠, 拥有足够的安全系数。由于制作、安装简便, 运行控制方便, 稳定性好, 造价投入少, 并在一定程度上降低了工、料、机的投入, 从而提高了经济效益。移动升降台车在正式投入安装运行中, 满足安装生产要求, 提高了钢罩安装工程的安全与质量保证能力, 同时提升了中水五局金属结构安装的技术水平, 加快了安装进度, 为调压室的早日竣工及发电节点奠定了坚实基础。该项技术的成功运用, 克服了土建施工进度的制约,

(下转第 122 页)

分。

参考文献:

- [1] 向溪明. 质量管理小组活动在电力企业的应用[J]. 云南电力技术, 2011, 39(1): 89-90.
- [2] 邢文英. QC小组活动指南[M]. 北京: 中国社会出版社, 2003.
- [3] 常燕, 付娇. 工程建设QC小组基础教材[M]. 北京: 中国

(上接第55页)

由此加快了整个工程的施工进度, 获得业主、监理的一致好评, 极大程度地提升了公司形象。

5 结语

笔者分析了采用台车在气垫式调压室钢罩安装中的应用, 针对移动升降台车及相应的辅助结构, 通过科学、合理的计算, 正确选型各工器具及型钢, 确保了施工安全、提高了安装效率。实践证明: 该台车设计可靠, 运行方便, 且项目为其他类似工程安装积累了经验, 具有一定的借鉴价值。

参考文献:

- [1] 程嘉佩, 等. 合编. 材料力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1989.

(上接第62页)

表5 主要施工机械设备表

序号	设备名称	型号规格	单位	数量	价格估计/美元
1	挖掘设备	1.5 m ³	台	2	456 000
2	挖掘设备	1.2 m ³	台	6	1 020 000
3	装载设备	3 m ³	台	10	60 000
4	运输设备	豪沃 25 t	台	37	1 940 000
5	筛分设备	120 t	套	1	650 000
6	其他辅助车辆		台	49	3 570 000
7	合计			100	7 696 000

间内针对年度目标和工程总任务进行了有效的设备采购, 保证了工程目标的完成。同时, 项目部投入到设备采购的费用占工程总费用的12.5%, 比较合理, 各项工作有条不紊地进行。前三年已经圆满完成年度目标, 总生产任务也基本完成, 说明此采购策划比较合理, 设备投入合适, 从工程完成情况和费用投入都达到了策划目标。

(上接第118页)

mm×80 mm等高块(高度根据实际情况调整), 等高块调整就位后与下环板焊接, 保证每块制动板与磁轭底部接触良好, 无间隙。

7 结语

在按上述方案进行处理后, 再次进行了机械过速试验检查, 一切正常, 说明该处理方案是可行

的, 既缩短了检修周期, 更为重要的是为电厂的安全运行提供了保障, 创造了更好的经济效益。该处理方法可为其他电厂处理类似情况提供参考。

作者简介:

肖霓(1988-), 女, 四川成都人, 助理工程师, 硕士, 从事质量、环境、职业健康安全管理体系管理以及QC小组管理工作。
(责任编辑:李燕辉)

- [2] 江正荣, 著. 建筑施工计算手册(第2版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.

- [3] 起重机设计规范, GB 3811—83[S].

- [4] 张质文, 等主编. 起重机设计手册[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1997.

- [5] 《电力工业标准汇编·水电卷》编辑委员会, 著. 金属结构设计[M]. 北京: 水利电力出版社, 1994.

作者简介:

李刚(1979-), 男, 四川南充市人, 项目副经理, 工程师, 从事水电工程金属结构制安管理和技术工作;
尹克祥(1962-), 男, 公司副总工程师, 政工师, 从事水电工程金属结构制作与机电安装技术与管理工作;
蒋天国(1968-), 男, 四川广安人, 经济师, 从事经营管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

作者简介:

刘贺平(1975-), 男, 河北沙河人, 项目副总经理, 高级工程师, 从事国际项目管理工作;
王廷健(1978-), 男, 甘肃景泰人, 分局长助理, 高级工程师, 从事项目管理工作;
宋艳冰(1978-), 女, 河北威县人, 高级主管, 助理政工师, 从事国际项目管理工作。
(责任编辑:李燕辉)

徐力(1979-), 男, 四川达州人, 副经理, 工程师/建造师(机电), 从事水电工程机电安装及造价管理工作。
(责任编辑:李燕辉)