

山地近水环境大跨度钢结构仓库施工关键技术

张 权

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450001

【摘 要】：本文以某抽水蓄能电站业主营地钢结构仓库工程为背景，针对山地近水环境的施工难点，系统研究了施工平面优化布置、地基处理、防腐涂装、大跨度钢梁吊装等关键技术，提出了“双机协同+空间稳定体系”的安装工艺，确保了工程质量和安全。研究成果可为类似环境下的钢结构施工提供参考。

【关键词】：山地近水环境；大跨度钢结构；防腐涂装；焊接质量控制；吊装工艺

DOI:10.12417/2811-0528.25.21.018

1 工程概况与环境特点

某抽水蓄能电站业主营地的生产仓库，属于大跨度轻钢屋面结构建筑。生产仓库1为地上一层，高度11.70m，跨度30m，建筑面积1978.59 m²；生产仓库3为地上一层，高度10.70m，跨度26.6m，建筑面积1853.28 m²。两栋建筑的基础为独立基础，现浇钢筋混凝土框架（轻钢屋面）结构形式，屋面防水等级Ⅱ级，抗震设防烈度7度，建筑耐火等级二级，设计使用年限50年，屋面的平面、立面结构图如图1和2所示。仓库位于典型山地环境，场地坡度一般为2°~13°，底层为人工填土层、坡积层为主。场地周边无邻近建（构）筑物、市政道路及地下管线，但地形条件对施工布置有一定限制。同时，工程邻近水库取水点，属于近水环境，这对钢结构的防腐、防水性能以及地基稳定性提出了更高的要求。工程钢结构主要包括屋面钢梁、屋面系杆、屋面檩条、高强度强螺栓及屋面围护系统部分。

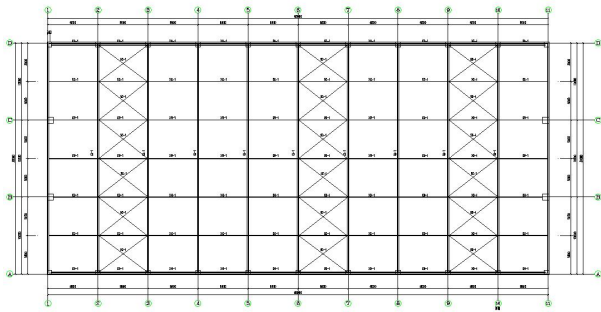


图1 屋面平面图（单位：mm）

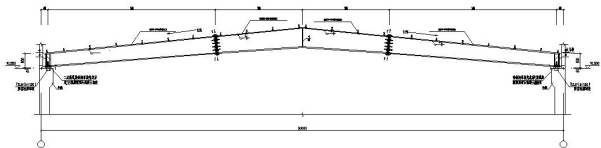


图2 屋面立面图（单位：mm）

2 山地地形适配性施工技术

2.1 施工平面优化布置

针对山地地形特点，工程在施工平面布置上采用“永临结合”的原则。基础阶段将场区道路施工至混凝土垫层，作为临时道路；钢结构安装时，在行车路线铺设20cm厚碎石，形成钢结构吊装道路。

吊装机械选用2台25t汽车吊，其具有方便灵活、工作效率高、转场快的特点，能够适应山地地形的施工需求。25t汽车吊主要性能参数如下：最大起重量25t，整机全长12900mm，整机全宽2550mm，整机全高3590mm，基本臂最大起重力矩1103kN·m，最长主起重臂最大起重力矩686kNm，最长主起重臂+副起重臂最大起重力矩356kN·m，基本臂起升高度11.3m，最长主起重臂起升高度35.5m，最长主起重臂+副起重臂起升高度43.5m。在13m幅度下，25t汽车吊最大起重量为6.00t，可满足最重钢梁（拼装后5.75t）的吊装需求。

2.2 地基处理

山地地基承载力不均，需进行分层碾压处理，达到设计压实度要求后作为钢结构吊装作业工作面。对吊车作业区域的地基承载力进行了详细计算：25t汽车吊自重31.5t、配重5t，钢构件最大重5.75t，总竖向力为 $(31.5+5) \times 10+5.75 \times 10=422.50\text{kN}$ 。吊车支腿下垫木为3根 $1.5\text{m} \times 0.2\text{m} \times 0.2\text{m}$ ，基底面积 $4 \times 1.5 \times 0.2 \times 3=3.6\text{m}^2$ 。经计算，地基承载力 $P=N/A=422.50/3.6=117\text{Kpa}$ ，因此现场夯实后的地基承载力必须大于117Kpa，实际施工中取120Kpa，以确保地基稳定。

3 近水环境下钢结构防护技术

3.1 防腐涂装体系

为应对近水环境的高湿度特点，钢结构采用了“喷砂除锈+环氧富锌底漆”的防腐体系。具体要求如下：

（1）除锈处理：钢结构在进行涂装前，必须将构件表面

的毛刺、铁锈、氧化皮、油污及附着物彻底清除干净。采用喷砂（抛丸）除锈方法，除锈等级应达到 Sa2.5 级；若采用手工及电动工具除锈方法，除锈等级不低于 St3。

（2）底漆涂装：选用环氧富锌底漆，漆膜厚度不应小于 125 μm 。涂装分三遍进行，第一遍膜厚 50 μm ~60 μm 左右，达到涂装间隔后喷涂第二遍，膜厚 50 μm ~60 μm 左右，达到涂装间隔后喷涂第三遍，膜厚达到设计要求。喷涂第一层底漆时喷涂方向应该一致，接搓整齐，第二遍喷涂方向应与第一遍喷涂方向垂直，保证漆膜厚度均匀一致。同时经处理的钢结构基层，应及时涂刷底漆，间隔时间不应超过 4 小时。

3.2 屋面防水与密封技术

屋面防水采用双层压型金属板+100mm 岩棉板系统，具体技术措施如下：

（1）屋面板安装：外板为 0.6mm 压型钢板，内板为 0.5mm 厚压型钢板。根据钢结构实际尺寸，绘制压型彩钢板排版图，根据排版图编制详细的彩板加工计划进行彩板加工。安装时，先打入一颗自攻螺钉，然后对支座进行校正，调整偏差，校正完毕后，再打入其他螺钉将其固定。两块屋面板采用搭接的方式，搭接边应连续、平整，不能出现扭曲和裂口。

（2）节点密封：屋面板安装完成后，屋脊处采用屋脊板封边处理，天沟部位对边沿处的板边进行修剪，以保证屋面板边缘整齐、美观。屋面板在水槽上口伸入水槽内的长度不得小于 50mm，通常为 70~120mm。采光板与屋面板型号一致，安装方法与彩钢板相同，采光板固定完成后，在采光板肋扣上防水扣槽，并且采光板与压型钢板搭接部位、采光板纵向搭接部位需要做防水密封处理^[1]。

（3）岩棉防潮：岩棉可以直接覆盖在冷调和底板上，但是岩棉间禁止存有间隙，如果岩棉毡有贴面，贴面侧应露于室外，在屋檐处留出约 20 厘米的卷毡，用专用的工具或双面胶带将其固定在最外侧檩条上。

4 大跨度钢结构安装关键技术

4.1 钢梁吊装与稳定控制

大跨度钢梁安装采用“双机协同+空间稳定体系”工艺，具体如下：

（1）吊装单元划分：为最大限度减少高空作业，满足吊装构件的自身稳定，钢梁按每个跨度组拼为一个吊装单元。屋面钢架梁拼装在施工现场进行，拼装场地要求平整。H 型钢定位焊接组拼中禁止在母材上产生电弧擦伤，并且需要控制

咬边不超过 1mm；H 型钢翼板与腹板对接焊缝应错开

200mm 以上；H 型钢翼板与腹板之间的组拼间隙 $\Delta \leq 1\text{mm}$ 。每个吊装单元组对完后，参照放样尺寸与设计的要求，对组拼单元做最后的检查与核对，并做好记录。

（2）吊装工艺：钢梁在地面上组拼好后，在梁上装好可拆式安全绳，并在梁两端各设置一条晃绳，由两人牵引，控制钢梁在空中的角度。屋面钢架梁安装从 A 轴线屋面梁开始安装。工程采用钢丝绳和倒链作为吊装工具，钢丝绳的直径为 18 毫米，倒链的重量为两吨，需要注意为避免钢丝绳摩擦力过大，需要在其与钢梁间用胶皮垫衬。吊装的吊点应按照对称原则分别设置在吊装物体两侧，以确保吊装过程中构件不会出现形变和扭曲。吊装前需要详细检查相关机械设备及工具的完整性和完好性，如果经检查存在故障或者异常，则禁止吊装。在上述工作完成后先进行试吊，先将吊钩缓慢提升到一定高度，在吊索受力拉紧后检查整个吊装工具的牢固性、吊点位置、构件受力情况等是否符合要求，在符合要求后才可正式吊装。正式作业时，施工人员需要将两根缆风绳与钢架梁相连接，用于调整吊装过程中的钢梁方向，控制钢梁的稳定性，先将钢梁吊离地面，然后再缓慢提升到预埋件高度，之后再用冲钉将钢梁对准高强螺栓孔，并拧入高强螺栓，使第一榀钢梁初步就位^[2]。

（3）稳定控制：第一榀钢架梁初步就位后，进行屋面钢梁的进一步矫正，屋面钢梁的轴线偏差应小于 5 mm，钢梁跨中垂直度不大于 2mm，矫正好后，及时将抗风柱和钢架梁间连接螺栓拧紧，并将端部高强螺栓终拧。第二榀钢架梁安装方法同上，安装好后，随即将第一榀、第二榀屋面钢架梁间系梁、水平支撑及部分檩条安装好，使其形成空间刚性结构系统。当相邻第二榀钢梁吊装好后，及时将两钢梁之间的系杆、水平支撑及屋面檩条等构件安装完成，并进行测量校正，合格后进行高强螺栓永久固定，以此作为稳定体系，再以稳定体系扩展安装后续构件，保证整体稳定。

4.2 焊接质量控制

针对工程中 Q355B 与 Q235B 钢材的焊接特性，所采用的焊材在强度上必须与母材强度一致。焊接前需要先做好焊接部位的清理和处理，只有经过修磨补焊等处理并经检验合格后，才能够正式进行焊接，焊接前需要先清理干净坡口内外的油污锈蚀等杂物，为焊接作业营造良好条件。同时焊接所用的引弧板、引出板、垫板等都必须与木材的材质相同，坡口型式应与被焊焊缝相同，焊缝引出长度、引弧板和引出板的宽度及厚度都需要在 50mm 以上，同时引弧板和引出板的厚度必须大于 8mm。在完成焊接后，对于多余部分的引弧板和引出板必须切割并修磨平整，但是禁止使用重锤敲击，一般情况下多采用火焰切割。

作业区域设置防雨、防风及防火花坠落措施,如果未设置上述保护措施,外界风力超过 2m/s,则禁止进行气体保护焊作业;手工电弧焊作业的外界风力则需要控制在 8m/s 以内,同时在焊接作业室还需要对作业的湿度进行有效控制一般情况下焊接湿度必须控制在 90%以内。

定位焊缝质量需要与最终焊缝质量统一,钢衬板的定位焊一般情况下需要设置在接头坡口内焊接,焊接的厚度和长度需要分别控制,在设计焊缝厚度 2/3 和 40mm 以内,间距一般控制在 500~600mm,同时还需要填满弧坑。需要注意的是,在焊接过程中定位焊预热温度应适当高于正式时的预热温度,并且如果在焊接检查时存在裂缝或者气孔,需重新进行清理并再次焊接,纸质检验合格^[3]。

焊接过程中应控制焊接变形,采取相应的预热温度及层间温度控制措施,实施多层多道焊,每焊完一焊道后应及时清理焊渣及表面飞溅,发现影响焊接质量的缺陷时,应清除后方可再焊,在连续焊接过程中应控制焊接区母材温度,使层间温度的上、下限符合工艺条件要求,遇有中断施焊的特殊情况,应采取后热保温措施,再次焊接时,重新预热且应高于初始预热温度,同时要防止层状撕裂,焊接时严禁在焊缝以外的母材上打火引弧,消除焊后残余应力。在完成焊接后,需要及时时进行质量检验,如果经检验不合格,需要及时时进行补救处理并重新进行质量检测,直至验收合格为止。

4.3 屋面系统安装精度控制

屋面安装主要包括檩条、拉条和屋面板三部分:

(1) 檩条安装。本工程屋面檩条采用 25t 汽车吊进行安装。安装前,作业人员需检测檩条支撑的平整度是否符合要求,并控制安装高差不超过 $\pm 5\text{mm}$;严格按照设计要求进行支撑点的确定,在支撑点测量定位后需要用线划出,经檩条安装定位,并依据布置图进行验收,验收合格后再通过焊接和螺栓进行固

定,但是必须保证偏差在 $\pm 5\text{mm}$ 以内。

(2) 拉条安装。拉条安装需要配合脚手架施工,脚手架设置在屋面檩条上,二者之间通过钢筋固定,为避免对钢筋表层漆面造成损伤,钢筋外侧需要通过布条绑扎进行保护。正式安装时,从屋面檐口开始,每次安装后需要随时测量调整檩条的侧向弯曲度。

(3) 屋面板安装。按照屋面板安装图进行控制点位的设置,在完成控制点位设置后,先打入一颗自攻螺丝用于校正支座位置,支座端头安装方向应与屋面板铺板方向一致,经校正符合要求后再打入其他螺丝,完成整个固定座的安装;之后施工人员再将压型钢板抬到安装位置对准控制线,将其用力卡入固定支架。

屋面金属板的铺设要注意常年风向,安装方向与常年风向相背,金属板间搭接只搭接一个肋,在天沟及下端处下弯 10 度左右,形成滴水线,固定螺钉要与支架和檩条垂直,并对准檩条中心,打钉前应挂线,使钉线平直,安装 5~6 块压型钢板,即需检查板两端的平整度,如有误差,及时调整,若压型钢板有少许倾斜,可微调板的对正位置,如在锁定固定支架时,将压型钢板向左或向右推移 2mm。

5 结语

山地近水环境下大跨度钢结构仓库施工具有较高的难度和复杂性,在施工中可以从施工平面优化、地基处理、防腐涂装、屋面防水、钢梁吊装、焊接质量控制及屋面系统安装精度等多方面做好各施工环节的有效控制,确保大跨度钢结构的施工安全与工程质量。但是针对不同施工环境,在具体应用中应结合地质条件、环境条件和施工技术制定合理科学的作业方案,这样才能够确保钢结构施工目标的达成。通过本工程实践,形成了一套适用于山地近水环境的大跨度钢结构施工技术体系,经济和社会效益显著,可为类似项目提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 刘武.钢结构厂房施工中的连接与稳定性控制技术研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(13):78-80.
- [2] 郑克勤.钢结构厂房吊装工程施工工艺及安全技术探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(18):118-120.
- [3] 张发儒.仓库钢结构安装施工技术[J].建筑技术开发,2021,48(10):15-17.
- [4] 王建国.山地环境下钢结构施工关键技术研究[J].钢结构,2023,38(5):45-49.
- [5] 李志强.高湿度环境钢结构防腐技术进展[J].腐蚀与防护,2022,43(8):112-116.