

百万火电机组条形煤场钢网架施工技术研究

刘仁斌

中国电建集团核电工程有限公司 山东 济南 250000

【摘要】：本文以国电投滨海 2×100 万千瓦扩建项目#2标段封闭煤场钢网架工程为研究对象，针对大跨度螺栓球节点正放四角锥三心圆柱面网壳结构的施工需求，结合沿海软土地质、高湿盐雾、多专业交叉作业等现场条件，系统开展钢网架设计优化、对称施工、煤矸石换填地基、风洞试验应用、超薄型防火涂料施工及抗污染围护安装等技术研究。工程实践验证，成套技术可有效解决超大跨度网架挠度控制、软土地基吊装稳定、沿海环境防腐防火等关键难题，显著提升施工效率与工程质量，可为同类型百万火电机组条形封闭煤场钢网架施工提供技术借鉴与实践参考。

【关键词】：百万火电机组；条形煤场；钢网架；螺栓球节点；对称施工；防腐防火

DOI:10.12417/2705-0998.26.05.034

引言

国电投滨海 2×100 万千瓦扩建项目#2标段封闭煤场钢网架工程，是电厂储煤系统的关键构筑物。工程主体采用正放四角锥螺栓球壳网架结构，以下弦柱点方式支撑，柱距为8.9m，结构中间设置一道伸缩缝。设计按百年一遇标准取值，基本风压为 0.60kN/m^2 ，基本雪压为 0.40kN/m^2 ，抗震设防烈度为7度。屋面围护采用0.6mm厚镀锌抗污染色压型钢板，防火体系使用超薄型涂料替代传统非膨胀型涂料，防腐施工执行Sa2.5级除锈标准，配套环氧富锌底漆、环氧云铁中漆与聚氨酯面漆体系。施工内容涵盖网架结构安装、檩条安装、围护系统封闭、检修马道制作安装以及防腐防火涂装等全部工序。项目地处沿海淤泥地质区域，施工环境复杂，对结构安全、安装精度与长效防护提出更高要求。

1 百万火电机组条形煤场钢网架工程特点与施工难点

1.1 工程特点

工程采用螺栓球节点正放四角锥三心圆柱面网壳，跨度126m，长度330m，属于超大跨度空间网格结构。螺栓球选用45#钢，杆件采用Q235B和Q355B高频焊管，高强螺栓材质为40Cr，节点受力状态复杂，安装精度控制要求严格。防护体系结合环境特点升级，以超薄型防火涂料替代非膨胀型产品，屋面采用抗污染色压型钢板封闭，同时满足大跨度承载、抗风、防腐、防火、密封与通风等多项功能要求。场地由人工改造区与原始淤泥区组合而成，具有高含水率、高压缩性、低承载力、变形量大的特点，直接影响吊装作业地基稳定性。沿海区域高湿盐雾气候叠加冬春季低温多雾天气，增加高空作业安全管控与质量保障难度。现场施工与土建作业、设备安装、储煤生产形成交叉，协调管理与风险防控工作量大。网架挠度控制、支座精准定位、高强螺栓紧固质量均执行严格标准，网架安装属于超过一定规模的危险性较大分部分项工程，管理流程规范要求高。

1.2 施工难点

施工过程中面临多项技术与管理挑战。超大跨度网架安装过程中的挠度控制与结构整体稳定，是现场施工首要控制目标。软土淤泥地质条件下，吊装场地地基加固处理与承载力保障，直接关系到起重作业安全。沿海高盐雾环境对钢结构防腐质量提出高要求，超薄型防火涂料施工工艺与质量达标难度高于传统产品。对称施工组织与高空散装精度协同控制，需要多工序同步配合与动态监测。多专业交叉作业带来立体交叉、物料穿插、工序冲突等风险，安全管控与工期统筹难度显著增加，上述问题共同构成本工程核心施工难点。

2 条形煤场钢网架设计优化技术研究

2.1 结构体系优化

结构优化依托MSTCAD空间网格结构分析设计软件完成建模与力学计算，结合工程荷载条件与受力特点，对杆件截面规格、螺栓球尺寸及支座布置位置进行系统调整。结合风洞试验获取的风压分布数据，优化网架抗风构造形式，调整杆件受力分配比例，降低关键杆件应力比，提升结构抗风安全性。在第20轴与21轴之间优化伸缩缝布置形式，合理释放温度应力，减少安装过程误差积累，保障结构在温度变化与荷载作用下的变形均匀可控^[1]。

2.2 节点连接优化

螺栓球节点实施精度优化管控，确保杆件与球节点中心精准交汇，安装偏差控制在1mm以内。套筒、锥头与杆件实施匹配化设计，保证各部件连接顺畅，使高强螺栓受力均匀分布，避免出现别劲与假拧现象。支座采用铰接形式，优化支座钢板与预埋件的连接构造，适应结构正常变形需求，降低局部应力集中风险，提升结构整体受力性能^[2]。

2.3 防护体系优化

防火体系以超薄型防火涂料替代非膨胀型涂料，按照堆煤包络线范围确定涂刷区域，满足二级耐火等级设计要求。防腐体系经过优化确定完整流程，表面除锈等级不低于Sa2.5级，

总干膜厚度不小于 $320\ \mu\text{m}$ ，适应沿海盐雾腐蚀环境。围护系统同步优化，采用抗污染色调压型钢板搭配阻燃型 FRP 采光带，配合铝合金百叶窗与顶部通风气楼，实现密封储煤与自然通风的平衡，提升煤场运行舒适度与耐久性。

3 条形煤场钢网架关键施工技术研究

3.1 煤矸石替代级配碎石换填地基施工技术

现场淤泥地质含水量高、压缩性强，直接开展吊装作业易出现不均匀沉降与结构失稳。施工采用煤矸石替代传统级配碎石作为换填材料，掺入 6% 水泥进行固化处理，提升地基整体承载力与稳定性。施工按照场地平整、淤泥清理、煤矸石分层摊铺、水泥均匀掺拌、机械碾压夯实、承载力检测的流程实施，完工后可满足吊车站位与网架支撑的承载力要求，同时实现固废利用，降低工程成本，符合绿色施工理念^[3]。

3.2 风洞试验与抗风施工保障技术

风洞试验用于验证百年一遇风压作用下网架结构的受力与变形状态，为施工抗风措施提供数据依据。试验结果用于确定吊装阶段风荷载组合系数，围护未安装阶段按 10% 取值，指导缆风绳与临时支撑的优化布置。山墙起步安装阶段，在结构内外双侧设置缆风绳，随安装高度同步上移。高空散装阶段配置风速仪实时监测，风速超过规范限值立即停止作业^[4]。通过优化构件吊装顺序，减小风致变形影响，保障结构安装过程稳定。

3.3 钢网架对称施工技术

3.3.1 施工分区对称布置

依托结构伸缩缝进行施工区段划分，将全长 330m 的网架分为 1-20 轴、40-21 轴两个对称作业区。两侧施工区段均以端部山墙为安装起点，沿煤场长度方向向中间位置同步推进，形成双向对称的施工流水组织。这种布置方式可使结构在安装过程中始终处于均衡受力状态，有效抑制单侧累积变形，降低温度应力与安装偏差对整体结构的不利影响，为大跨度网架的线形与受力控制奠定基础。

3.3.2 山墙起步单元对称吊装

1 轴与 40 轴山墙同步启动安装作业，通过双侧同步施工快速形成稳定的空间受力体系。起步单元采用双机抬吊工艺实施对称就位，按照 L 型稳定段、U 型支撑段、整体山墙的顺序逐步成型。临时支撑与缆风绳均采用双侧对称布置，随单元安装同步设置并调整受力，使山墙结构在吊装、就位、固定全过程中受力均匀，避免因单侧荷载过大产生局部变形或位移，保证起步阶段结构安全与安装精度^[5]。

3.3.3 筒体高空对称散装

筒体网架施工阶段，在两侧对称布置 QY50 汽车吊，沿长度方向同步向中间开展高空散装作业。所有锥体单元均在地面

完成预拼装，按对称顺序转运至高空就位，高强螺栓实行对称同步紧固，确保节点受力均匀。施工全过程开展挠度对称监测，对两侧对应点位的变形数据进行实时对比，一旦出现偏差立即调整安装顺序与紧固力度，从源头避免单侧偏差持续累积，保证筒体线形平顺、受力一致。

3.4 超大跨度网架安装精度控制技术

3.4.1 测量控制技术

施工现场建立统一的平面与高程控制网，安装前对全部支座的轴线位置、设计标高及预埋件平整度进行全面复核。采用全站仪进行轴线与定位控制，用水准仪开展标高与挠度监测，实现全过程精准测控。安装偏差严格执行规范标准，纵横向长度偏差控制在长度的 $1/2000$ 以内且不大于 30mm，中心偏差控制在跨度的 $1/3000$ 以内且不大于 30mm，周边支相邻支点标高偏差不大于 15mm，确保整体结构尺寸与线形满足设计要求。

3.4.2 螺栓紧固质量控制

高强螺栓采用初拧、终拧分阶段施工工艺，避免一次紧固造成应力集中或连接不到位。施工使用专用扭矩扳手操作，严格控制拧入深度，使套筒与螺栓球节点紧密贴合，无可见缝隙。作业人员对全部节点进行逐点检查，针对丝牙异物、螺纹损伤、紧固不到位等问题，及时采取清理、重新攻丝或更换构件等处理措施，消除假拧、松动、缝隙等质量隐患，保证所有节点连接可靠，满足结构受力与安全使用要求。

3.5 超薄型防火涂料与防腐施工技术

3.5.1 防腐施工

钢结构构件表面除锈处理等级不低于 Sa2.5 级，去除氧化皮、铁锈与污垢，保证表面清洁干燥。涂装按照三层体系实施，先涂刷环氧富锌底漆，干膜厚度不小于 $80\ \mu\text{m}$ ，再涂刷环氧云铁中漆，干膜厚度不小于 $120\ \mu\text{m}$ ，最后涂刷聚氨酯面漆，干膜厚度不小于 $120\ \mu\text{m}$ 。施工过程中对破损部位及时补涂，保证涂层连续完整，提升防腐效果。

3.5.2 超薄型防火涂料施工

以超薄型防火涂料替代传统非膨胀型产品，有效减轻结构自重。施工严格按照堆煤包络线划定涂刷范围，满足耐火极限设计要求。涂刷过程控制厚度均匀性，保证与防腐涂层兼容附着，不出现起皮、脱落现象，确保防火性能达标。

3.6 抗污染围护系统安装技术

檩条安装采用主檩条 $C250\times 80\times 20$ 与次檩条 $C160\times 70\times 20$ 组合形式，实施对称安装，保证整体平整度。屋面压型钢板选用抗污染色调镀铝锌材质，固定牢固可靠，搭接部位密封严密。检修马道、采光带、铝合金百叶窗与通风气楼等附属系统同步跟进安装，与主体结构协调配合，满足储煤、通风、采光与检修的综合使用功能。

4 施工质量与安全保障体系

4.1 质量保证措施

原材料进场执行严格复检制度,杆件、螺栓球、高强螺栓、涂料及压型钢板等均需核查质量证明文件并抽样检测。施工实施工序化管控,从地面拼装、构件吊装、螺栓紧固,到防腐涂装、防火施工、围护封闭,每道工序完成后均验收合格方可进入下道工序。针对现场易出现的质量问题制定专项控制措施,具体内容如表1所示。

表1 钢网架施工质量通病及控制措施

序号	质量通病	产生原因	控制措施
1	杆件、螺栓球错装	看错编号、构件混淆	技术员逐件复核编号,分区堆放、标识清晰
2	高强螺栓假拧、有缝隙	丝牙异物、责任心不强、应力集中	清理丝牙或重新攻丝,加强自检互检,调整支座标高
3	网架挠度超标	轴线偏差、安装方法不当	复核轴线,采用对称施工,实时监测挠度
4	构件锈蚀	涂层破损、厚度不足	除锈达标,及时补涂,保证总膜厚不小于 320 μm
5	支座轴线偏移	累积误差	螺栓全部拧紧,每跨复核轴线,及时纠偏

工程验收严格执行《钢结构工程施工质量验收标准》GB50205-2020 相关规定,确保整体质量符合设计与规范要求。

参考文献:

- [1] 魏军,倪伟君,徐小国.1000MW 火电机组锅炉安装机械配置及主要施工方案[J].电力设备管理,2025,(12):258-260.
- [2] 吴金宝,高义龙.大型火电机组悬挂式钢煤斗滑移安装技术[J].安装,2025,(03):16-18.
- [3] 段海湜.火电 2×1000MW 高效超超临界机组循环水管道施工[J].中华建设,2025,(03):145-146.
- [4] 宁亮丽,肖雨桐,王显飞,李向伟,沙永鸿.火电机组大中径管道焊接施工工艺[J].机械制造文摘(焊接分册),2024,(04):11-17.
- [5] 赵海涛,杜传国,王建勇,李开.百万千瓦火电机组塔式锅炉尾部垂直烟道吊装技术[J].安装,2020,(07):56-58.

4.2 安全保障措施

本工程网架跨度大于 60m,属于超过一定规模的危险性较大分部分项工程,施工方案经过专家论证通过后方可实施。吊装作业执行试吊制度,构件起吊至离地 200mm 至 500mm 时悬停 30 分钟,检查无异常后继续作业。吊车站位区域铺设钢路基板,扩大支撑面积,提升地基稳定性。高空作业人员全程佩戴安全带、防坠器与自锁器,作业区域设置封闭警戒区,禁止无关人员进入。交叉作业安排专人协调,划分独立作业区域,避免立体交叉坠落风险。现场制定坍塌、高处坠落、火灾等应急处置措施,定期开展演练,提升应急处置能力。

4.3 进度保障措施

工程总工期为 122 天,施工采用分区流水作业方式,提高空间与资源利用率。材料按照施工进度分批进场,地面锥体拼装与高空散装同步推进,减少工序等待时间。对称施工组织形式可同时展开双侧作业,提升机械与人员使用效率,有效保障工期目标顺利实现。

5 结语

国电投滨海 2×100 万千瓦扩建项目条形煤场钢网架工程,通过设计优化与关键施工技术创新,成功解决超大跨度、软土地基、沿海环境带来的系列技术难题。对称施工、煤矸石换填地基、风洞试验应用、超薄型防火涂料施工等技术组合应用,有效提升了结构安装精度、质量稳定性与施工安全性。工程实践形成的成套施工技术与管控体系,可为国内同类型百万火电机组条形封闭煤场钢网架施工提供可靠参考,推动大跨度煤场网架施工技术向高效、优质、绿色方向持续发展。