

大型储能电站储能设备安装技术

蔡 昆 王振环

上海宝冶集团有限公司, 上海 200941

[摘要]随着新型电力系统建设加速推进,大型储能电站作为灵活性调节资源的核心地位日益凸显。储能设备安装效率与质量直接关系到电站投运进度与运行可靠性。本论文重点研究大型储能电站储能设备吊装及安装技术,整合高效吊装、精准定位、工序优化等创新工艺,重构标准化作业流程。通过优化施工组织、量化技术指标、强化质量控制,形成可复制的快速安装方案,为提升储能工程建设效率提供技术支持。

[关键词]大型储能电站; 储能设备; 吊装技术; 安装工艺; 工序优化; 质量控制

DOI: 10.33142/hst.v9i1.18967

中图分类号: TM912.9

文献标识码: A

Installation Technology for Energy Storage Equipment in Large-scale Energy Storage Power Stations

CAI Kun, WANG Zhenhuan

Shanghai Baoye Group Co., Ltd., Shanghai, 200941, China

Abstract: With the accelerated development of the new power system, large-scale energy storage power stations have increasingly assumed a pivotal role as core flexible regulation resources. The efficiency and quality of energy storage equipment installation directly impact the commissioning progress and operational reliability of these stations. This paper focuses on the hoisting and installation technologies for large-scale energy storage power stations, integrating innovative processes such as high-efficiency hoisting, precise positioning, and process optimization to reconstruct standardized operational procedures. By optimizing construction organization, quantifying technical indicators, and strengthening quality control, a replicable rapid installation solution is developed, providing technical support for improving the efficiency of energy storage project construction.

Keywords: large-scale energy storage power station; energy storage equipment; lifting technology; installation process; process optimization; quality control

1 绪论

在“双碳”目标驱动下,电化学储能电站呈现规模化、高密度发展趋势。传统安装工艺因吊装机械选型不当、工序衔接不畅、精度控制不严等问题,难以满足快速投运需求。储能设备快速安装技术通过创新施工组织模式与工艺方法,实现工期压缩与质量提升,成为行业技术升级的关键方向。

目前储能技术路线多样化发展,以锂离子电池储能为主导,液流电池、压缩空气储能、超级电容器储能等新型储能技术不断取得进展。不同的技术路线对于施工有不同的需求,锂电池舱对于温湿度以及电气连接的要求较高,液流电池舱需要重点关注管路密封以及防腐蚀的问题,而压缩空气储能面临着巨大的核心设备需要进行吊装。根据储能装置自身的特点以及系统的相关要求,本文基于储能

设备结构特点与系统要求,重点研究吊装及安装环节的技术创新,提出以“施工准备→基础验收→吊装就位→分舱安装→系统集成”为主线的快速安装体系^[1]。通过单台大吨位吊装设备替代多机协作、精密测量定位、量化指标控制等技术手段,系统解决安装效率与质量的矛盾。

2 快速安装技术体系架构

快速安装技术体系以工序优化为核心,通过资源整合与流程再造,实现安装效率最大化。体系架构包括施工组织设计、吊装工艺创新、安装精度控制三个维度。

2.1 施工组织优化

采用单台 500t 汽车吊替代传统 2 台 200t 吊车配合作业模式,减少机械协调时间与场地占用。而在某 120MW/240MWh 独立储能项目上,使用两台 200t 与一台 300t 汽车吊分区作业方式,共需安装 48 个蓄电池舱(单

个重量约为 42t) 以及 24 个变流升压舱 (单个重量约为 29t), 在 15d 内全部安装完毕, 安装偏差小于 5mm。对更大项目, 使用 500t 级单台吊装可以更进一步缩短机械调配时间, 提高工作效率。建立“四级检验”质量管控体系 (班组自检→技术复检→项目验收→监理终检), 实现全过程质量追溯。人员配置需配备项目负责人、技术负责人、安全质量负责人各 1 名, 起重工、司索工各 1 名, 施工作业人员 6 名, 所有特种作业人员必须持有有效证件上岗。施工组织策划还应利用信息化手段。山西某 200MW/400MWh 独立储能项目在电池舱基坑开挖之前, 技术人员用 BIM 进行三维建模时发现三个位置存在管道交叉情况, 在调整方案之后节约成本约五万元; 并且使用无人机进行高空巡视, 可以对整个现场做到全方位、无死角监控, 提高施工现场的安全管理水平。

2.2 吊装工艺创新

吊装作业采用平衡梁与软吊带组合方案, 额定载荷 \geq 舱体重量的 1.5 倍。通过试吊验证、激光定位、垫铁微调等工艺, 确保精准落位。地基承载力需 $\geq 20\text{t}/\text{m}^2$, 支腿区域铺设双层枕木分散荷载。对于一些特殊的场地或者寒冷地区要根据情况进行相应的改变。华能伊敏电厂全超级电容储能调频项目的现场施工处在零下 30℃, 提前搭建保温棚, 实行三班倒的工作方式, 十五天顺利完成所有预制舱吊装工作, 重要设备进场时间比原计划提前一个月, 因为在严寒的天气里吊车的液压系统、润滑系统都要进行预热保暖处理, 同时吊绳之类的软吊具也要选择耐低温的材料。

2.3 安装精度控制

电气连接量化螺栓扭矩、控制接头间隙; 密封防护采用中性硅酮密封胶及压力试验。关键指标如基础平整度误差 $\leq 3\text{mm}/\text{m}$ 、舱体水平度误差 $\leq 2\text{mm}/\text{m}$, 通过电子数显水平仪实时监测。由于储能电站规模日益扩大, 设备自身质量与体积不断增加, 对施工精度也提出了新的挑战, 在华能金坛 2 \times 350MW 盐穴压缩空气储能站建设过程中, 重达 255t 透平发电机内部定子起吊工作, 运用 BIM 软件进行虚拟预演和多次桌面推演, 工作人员对定子下落量、水平度和平面位置等进行持续关注并用毫米单位进行微调, 保证定子与转子之间距离一致、磁场相互作用良好。

3 吊装及安装关键技术

3.1 施工准备技术

施工准备是吊装安装的前提, 需从人员、技术、设备及场地四方面全面管控。技术准备阶段, 技术人员需熟悉施工图纸与规范标准, 编制专项施工方案与安全技术交底

文件。设备与材料准备需核查汽车吊、平衡梁、软吊带等吊装设备的合格证与校验报告。场地准备需清理作业区域, 平整压实地面, 并对 500t 汽车吊站位区域进行地基承载力验算。另外, 在施工前还要与设备厂家做好沟通协调工作。对于关键设备生产周期长等问题, 在借鉴华能伊敏项目经验基础上, 采取“穿透式”方法, 进入设备厂家车间寻找可以并行工作事项, 一项一项倒排工期, 使重要件供货期提前 30d 以上。并且要组织设计、施工、监理单位进行联合技术交底, 确定设备到场及吊装时间, 避免相互干扰。

3.2 基础检查与验收技术

基础质量是设备稳定的基石。验收时需核查基础中心线、标高、水平度及混凝土强度 (标号不低于 C30), 预埋件位置偏差需控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内。使用电子数显水平仪 (精度 $\leq 0.02\text{mm}/\text{m}$) 检测平整度, 误差 $\leq 3\text{mm}/\text{m}$; 并通过静载试验验证基础承载力 \geq 设计值的 1.2 倍。验收合格后, 需清理基础表面杂物, 对预埋件进行除锈防腐处理。根据《新型储能电站建设工程质量监督检查大纲 (征求意见稿)》规定, 对于功率大于 400MW 电化学储能电站应在电池预制舱吊装前增加一个专门的质量监督检查环节。基础验收资料要齐全, 有混凝土强度试验报告、预埋件位置复核记录、地基承载力检测报告等, 是进行质量检查的必备文件。

3.3 高效吊装技术

吊装前, 500t 汽车吊需按预设位置就位, 全伸支腿后垫设双层枕木, 利用吊车自带调平监控设施确保车身水平度 $\leq 1^\circ$ 。吊具检查包括平衡梁焊缝无裂纹、软吊带无破损 (破损面积 $\leq 5\%$ 禁止使用)。试吊时, 缓慢起吊舱体至离地 10~15cm, 停留 5min, 检查吊车受力、吊具变形及舱体水平度。对于重要设备吊装需要制定专门吊装计划并通过专家评审。而在华能金坛项目中透平发电机内部定子吊装则使用了液压提升装置进行施工, 并通过 BIM 软件进行虚拟仿真以及多次桌面推演来保证 255t 的大件能够准确就位。多机抬吊过程中需用计算机对各个吊点受力情况进行及时跟踪并且进行合理调配以免某个位置出现超载。

3.4 精准落位与固定技术

吊装时, 吊点需对准舱体预设吊耳, 缓慢起吊至基础上方, 由专人用激光对齐仪监测接口中心对齐偏差 ($\leq 3\text{mm}$)。落位时, 对准预埋件位置 (偏差 $\leq 5\text{mm}$), 用楔形垫铁调整水平 (每侧垫铁 ≤ 3 块, 叠加厚度 $\geq 5\text{mm}$), 确保水平度误差 $\leq 2\text{mm}/\text{m}$ 。就位后, 基础与舱体埋件需满焊连接, 并涂刷防腐涂料。在施工过程中, 设备定位精

度直接影响到后来电控安装以及整个系统的集成效果。陕煤运城 120MW/240MWh 独立储能项目确定了“先蓄电池舱分区就位、后变流升压舱对应衔接”的施工步骤,在激光测距、水平检测等一系列检查后,完成 48 个蓄电池舱以及 24 个变流升压舱之间的连接工作。

3.5 分舱体安装技术

分舱体安装需根据设备类型差异化处理。锂电池舱安装时,需清理舱内灰尘,复核电池模组固定螺栓扭矩(20~25N·m),打磨铜排接触面并涂抹导电膏(厚度 0.5~1mm),按“先正后负、先上后下”顺序紧固螺栓(扭矩 30~35N·m),接头间隙 $\leq 0.1\text{mm}$ 。液流电池舱安装需用 0.6MPa 高压空气吹扫管路 $\geq 5\text{min}$,法兰密封面平整度误差 $\leq 0.02\text{mm}^{[2]}$ 。逆变升压舱需核查逆变器固定螺栓扭矩(50~60N·m),高压电缆敷设牵引力 $\leq 20\text{N/mm}^2$ 。由于储能系统的规模逐渐扩大,因此对于分舱安装而言,散热问题也日益重要。液冷系统管路连接必须保证其密封性,拧紧力矩为 40~50N·m,然后做气密实验,压降不大于 0.02MPa;风冷冷系统的风扇方向以及过滤网是否安装正确,保证通风良好。对于液流电池,管路法兰密封面平面度小于等于 0.02mm,密封圈采用防腐材料,拧紧后用塞尺检测两平面之间的间隙。

3.6 系统集成技术

跨舱连接采用模块化作业,电气连接按电缆截面确定扭矩(如 50mm² 为 60N·m),控制电缆绝缘电阻 $\geq 10\text{M}\Omega$ 。管路安装绝缘垫与伸缩节(伸缩量 $\geq 50\text{mm}$),紧固扭矩 40~50N·m。接地处理需用 50mm² 铜排连接各舱体与接地网,接地电阻 $\leq 4\Omega$ 。密封防护采用中性硅酮密封胶(宽度 $\geq 10\text{mm}$,厚度 $\geq 5\text{mm}$),户外接口加装防雨罩。系统集成时应注意各部件之间的配合关系。数字储能是基于动态可重构电池网络(DRBN)的方法,把电池包视为一个个可以单独控制的小单元,在高频率电力电子开关阵列作用下可以在毫秒级改变电池网络结构。这对安装有较高要求:通信线缆需为屏蔽双绞线;接地需良好且独立,防止信号互相影响,在内蒙古一个 50MW/100MWh 数字储能电站中发现,精心设计可以大大提高电池一致性,单个电池之间电压差降低 75%,充放电效率大于等于 91%。

4 质量控制与安全措施

4.1 质量控制标准

建立以 GB/T 51427—2022 为核心的质量标准体系,关键指标包括:基础平整度误差 $\leq 3\text{mm/m}$ 、舱体水平度误差 $\leq 2\text{mm/m}$ 、预埋件位置偏差 $\leq \pm 2\text{mm}$ 。电气连接方面,铜排接头间隙 $\leq 0.1\text{mm}$,螺栓扭矩值偏差 $\pm 5\%$,绝缘电阻 $\geq 10\text{M}\Omega$ (控制电缆)、 $\geq 1000\text{M}\Omega$ (动力电缆)。

密封与防护要求管路压力降 $\leq 0.02\text{MPa}$ (液流系统),舱体防水等级 $\geq \text{IP54}$ 。依据湖南省电化学储能电站全过程安全管理规定,功率为 5MW 以上储能电站应按国家相关规定办理工程质量监督手续并委托具备相应检测能力第三方机构对其所用电池以及电池管理系统等重要部件开展抽样检查,型式试验报告、设备抽检报告是必须提供的资料。

4.2 关键环节质量控制

吊装定位环节采用激光对齐仪与水平仪双重检测,舱体落位后由专人实时监测,垫铁安装每侧 ≤ 3 块,叠加厚度 $\geq 5\text{mm}$ 。电气连接环节,铜排接触面必须打磨去除氧化层并涂抹导电膏,螺栓紧固后用塞尺检查贴合度^[3]。隐蔽工程环节,电缆接头、接地连接、舱体底部密封等部位,需经“班组自检-技术复检-监理验收”合格后,方可进行下道工序。质量管理要注重过程记录以及可追溯性要求。山西寿阳储能电站的施工质量管理实现了施工一次合格率百分之百。建议使用数字化质量管理平台,把每一台设备安装过程中的信息(如吊装、拧紧力矩、间隙测量结果以及试验报告等)及时上传至云端,做到一台一档。

4.3 安全防护措施

制定专项安全方案,吊装作业执行“试吊 5min+双监护”制度。高压作业遵循“停电-验电-接地-挂牌”流程,作业时 2 人协同(1 人操作、1 人监护)。锂电池舱作业需舱内禁止携带火种,作业工具做防静电处理,保持临时通风装置开启(风速 $\geq 0.3\text{m/s}$)。液流系统作业人员需穿戴防腐腐蚀套装,作业区配备应急冲洗装置与中和剂。根据《湖南省电化学储能电站全生命周期安全管理暂行办法》,储能电站应当建立健全各项安全生产管理制度,特种作业人员须取得相应资格证书后方可从事相关工作,在消防控制室内应当有专人二十四小时值守。在安装过程中要事先做好应急预案,对于电池热失控、电解液泄露、高压触电等问题要有专门的应急措施并进行培训。

4.4 环保与资源优化

施工过程遵循绿色施工规范,废弃材料分类回收,电解液等危废专库存储。采用模块化安装减少材料损耗 15%,通过集中加工降低运输能耗。完工后实施生态修复,控制扬尘与噪音污染。《大容量电化学储能系统安全规程》规定了废旧电池及电解液处置办法:废旧电池以及电解液应当交给具备相应能力单位进行回收利用,未经过回收处置废旧电池必须放置于满足危险废物存储条件位置。施工现场产生的包装废物、废旧电线头等要妥善归类存放,尽可能减少对环境造成破坏。

5 实施效果分析

快速安装技术可实现吊装工期缩短 40% 以上,资源利用效率显著提升。采用 500t 汽车吊单台作业,106 台设备吊装工期从 15d 压缩至 9d。通过工序并行与资源优化,整体安装周期控制在 15d 内,较传统工艺缩短 30% 以上。质量方面,核心指标误差控制在毫米级,设备运行可靠性显著提升。

工程实践表明该技术方案是切实可行。华能伊敏全超级电容储能调频项目从开工建设至并网投运仅 4 个月时间,比国内同类型项目节省 6 个月的时间,在同类项目建设中树立新的标杆。陕煤运城 120MW/240MWh 独立储能项目中的 48 个电池舱以及 24 个变流升压舱全部到位,采取“分区施工、逐台定点、边装边调”的方式进行施工,做到质量和安全两手抓。

从运行结果来看,精细化安装有利于储能系统的长久安全平稳运行。以内蒙古一数字储能电站为例,在投入运行 15 个月期间,该站整体的能量转换率达到 91.03% 以上,甚至有部分月份达到 92.26%,远超国家规定的标准;全年的等效利用率为 22.18%,也大大超过行业的平均水平,获得经济效益约为 810 万元人民币。

6 结论

储能设备吊装及安装是一项系统工程,规范的工艺流

程是电站稳定运行的基石。本文通过整合高效吊装与精准安装技术,实现了工序优化与资源整合,有效提升了安装效率与质量。当储能电站朝 GW 级以上大规模发展时,设备单体容量不断增大,系统复杂度日益提高,需要开发智能化的吊装技术和数字化的安装技术。高压直挂储能、构网型储能等新型技术对于安装精度以及系统之间的配合都有较高要求。同时,还需加快健全储能电站建设质量标准,促进建设工程质量管理相关文件如《新型储能电站建设工程质量监督检查大纲》等有效落实,在标准化、数字化、智能化基础上保障新型电力系统的安全发展。

[参考文献]

- [1]吴婷,康晓敏,刘川淼,等.电力系统储能技术的应用与发展趋势[J].灯与照明,2026,50(1):156-158.
- [2]刘河霞.“十五五”时期我国电力系统储能发展趋势研判及政策建议[J].中国工程咨询,2026(2):101-107.
- [3]李建林,裴盛泽,游洪灏,等.新型储能系统标准体系对比分析与展望[J].发电技术,2026,47(1):75-88.

作者简介:蔡昆(1991.4—),男,毕业院校:荆州理工职业学院,所学专业:机电一体化技术,当前就职单位:上海宝冶集团有限公司,职务:项目总工程师,职称级别:工程师。