基于模块化预制的火电机电安装施工技术优化研究

赵智慧

（中国能源建设集团江苏省电力建设第一工程有限公司，江苏 南京 210001）

摘 要 在火电机组容量增大与投产节点前移的双重压力下，机电安装沿用现场散件组对、高空焊接的传统方式，已难以兼顾精度要求与工期约束。模块化预制将设备、管道、支吊架、电缆桥架等分散安装对象，在具备工装与检测条件的场所组装为功能完整的整体单元，运至现场后整体吊装就位，从本质上重构了作业空间布局、工序衔接逻辑及质量安全风险的产生载体。本文从作业空间转移、工序时序重构、质量责任前移三条路径，分析模块化预制对火电机电安装施工的影响，指出该施工模式的应用效益无法自发实现，而受制于深化设计精度、模块刚度控制、运输吊装能力与界面管理水平，进而围绕模块划分与深化设计、工厂预制工艺与过程控制、大件运输与吊装就位、接口连接与安装偏差控制、资源组织与技术保障、成品保护与调试移交六个环节，提出可落地的优化做法，以期为同类火电工程机电安装的技术策划与现场实施提供参考。

关键词 模块化预制；火电机电安装；模块划分；大件运输；吊装就位

中图分类号：TM621 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.28.009

0 引言

火电机组正朝超超临界、二次再热方向推进，主辅系统的设备数量、管系规模与控制回路密度较早期机组明显增加，而工程建设周期受投产工期要求制约，持续收紧。机电安装处在设备到货与整套启动之间，作业面高度集中于锅炉钢架与汽机房内部，长期依赖现场散件组对与高空焊接，工序交叉重叠、机械化施工水平不足，成为限制工程总工期推进与实体施工质量提升的核心因素[1]。国家层面正持续推动建造方式转型升级，住房和城乡建设部等十三部门印发的《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》（建市〔2020〕60 号）明确提出：“大力发展装配式建筑，推动建立以标准部品为基础的专业化、规模化、信息化生产体系”。其以标准化工厂生产替代现场作业的建造逻辑，同样适用于以安装工程为主体的电力工程领域。模块化预制正是这一逻辑的具体形态，它把安装对象的组装环节从施工现场剥离，转入具备工装、检测与环境条件的场所完成，现场只保留吊装、就位与接口闭合等有限工作。需要说明的是，模块化预制并非把现场工作原样搬进工厂，它对深化设计精度、模块承载与变形控制、大件运输吊装能力以及参建各方的界面管理均提出了新的要求。本文结合火电机电安装的专业特点，分析模块化预制条件下施工技术要素的变化，并就关键环节的优化提出具体做法。

1 模块化预制对火电机电安装施工的影响

模块化预制的作用不宜简单归结为工期缩短或质量提高，它是通过作业空间的转移、工序时序的重构与质量责任的前移三条路径产生影响，三大作用路径相互耦合、协同联动，共同界定了施工技术优化的核心方向。

1. 作业空间的转移最为直接。在传统安装中，锅炉受热面组合、主蒸汽与再热管系焊接、除氧器间管廊敷设等大量工作处在高空钢架内部，脚手架搭设量大、人员密度高、机械化作业空间与设备配置受限，焊接位置多为仰焊、横焊等困难位置。预制条件下，这些工作在地面胎架上以平焊位置完成，坡口加工机、自动焊机、翻转工装得以进场，机械化替代人工作业的比例明显提高[2]；现场则由“制造”退为“装配”，高空环节收缩为吊装就位与少量闭合口连接。该作业空间转移并非简单的作业位置更迭，可有效降低施工工序对现场气候条件、作业面移交进度的依附性，使原本必须等待条件的工作可以提前启动。

作者简介：赵智慧（1975-），女，本科，高级工程师，研究方向：能源项目施工。

2. 工序时序随之重构。传统组织受“土建施工—场地移交—安装插入”的线性约束，机电工作大多落在关键线路上，单一工序滞后将引发全线工期递延效应。模块化预制使预制加工与土建施工并行推进，关键线路的部分节点由串联变为并联，锅炉钢架封闭前的大件吊入窗口也得以主动利用。但并行的代价是前置要求收紧：深化设计出图、材料到货、模块制造与运输必须按吊装窗口倒排，任一前置工序延误均会导致现场吊装窗口空置，且窗口错失后需拆除已成型结构方可补施，造成的工期与经济损耗远高于常规工序延误[3]。

3. 质量责任与安全风险的位置同时发生偏移。焊接、组对等质量形成环节前移到可控环境，风速、湿度、温度等环境变量被隔离，预热与层间温度易于稳定，无损检测的实施条件也优于现场，有效提升工程实体质量的稳定性与基准水平。与此相应，质量控制的重心转向深化设计尺寸的准确性与出厂检验的严格程度：传统现场散装施工模式可实现单件尺寸偏差的实时修正，而模块化条件下一处接口坐标错误会在批量制造中被复制，返修需要拆解整个单元。安全风险的构成也发生置换，高处坠落与高空动火风险明显下降，超限运输倾覆、吊装失稳、模块运输变形等风险则上升，安全管理核心由管控分散人员作业行为，转变为管控少量高风险、大荷载的单次特种作业。

2 基于模块化预制的火电机电安装施工技术优化策略

针对上述变化，优化工作应沿模块从设计到成型、从运输到集成的完整链条展开，重点解决划分是否合理、预制是否精确、运吊是否可靠、接口是否可控、资源是否匹配、移交是否顺畅六个问题。

2.1 优化模块划分与深化设计

模块划分是全部后续工作的前提，模块划分方案不合理，将导致施工风险与技术难题后置至运输、安装阶段。划分应以系统功能边界和介质分区为主线，同一模块内尽量容纳完整的功能段落，杜绝为适配吊装重量参数，强行整合无功能关联的专业施工单元，也避免把调试界面切割在模块内部。在功能约束之外，还需以外部条件反向校核：运输通道的限宽、限高、转弯半径与桥涵承载能力决定模块的外廓尺寸与自重上限，现场吊车站位、工作幅度与起升高度决定单件的最大吊重，厂房结构的预留通道决定吊入顺序，任一约束条件不满足时，均需迭代优化模块划分方案[4]。深化设计须建立具备施工深度的三维模型，将设备本体、管道、阀门操作空间、支吊架、保温层厚度和电气敷设一并纳入，逐层开展碰撞检查并校验检修通道与人员通行条件。模型确认后统一编制模块编码，明确接口形式、坐标与预留调整量，闭合段应留有现场配制余量以吸收累积偏差，并把预制率作为衡量划分成果的量化指标，在项目策划阶段即予明确。

2.2 优化工厂预制工艺与过程控制

预制质量取决于工艺路线是否与介质参数相匹配，不宜采用单一工艺流程适配所有类型模块的预制施工。高温高压主蒸汽、再热热段等P91、P92材质管系应单独编制工艺，坡口采用机械加工成型，不允许以手工打磨替代；采用氩弧焊封底、自动焊填充盖面，预热温度按材质要求维持在200 ℃～250 ℃并控制层间温度，焊后进行760 ℃左右的高温回火处理，并做硬度与光谱复验，一经检出合金元素错配问题，对应模块整体做报废处理。中低压水系统与压缩空气管系可采用流水线组织，实行集中下料、集中焊接、集中试压。综合模块则以型钢框架为基准，先固定支吊架再敷设管线，保证框架在起吊与运输工况下具备足够刚度。所有模块均在刚性胎架上组对，胎架按设计支吊架位置模拟约束，防止脱胎后自重变形改变接口位置[5]。检测环节按介质等级分层设置，高压管道对接焊口实行全数射线检测，中低压管道按规范比例抽检并附加渗透或超声复检；水压试验、内部吹扫、酸洗钝化在出厂前完成，管口加装临时封盖并做标识。模块出厂前应复测关键接口坐标，随件移交材质证明、焊接与热处理记录、检测报告及模块合格证，形成可追溯档案。

2.3 优化大件运输与吊装就位方案

运输与吊装是模块化施工体系中风险集中度最高、施工容错率最低的核心环节，方案必须在模块开工前定型。运输前需完成全线路勘查，核算路基与桥梁承载能力，标注限高障碍并办理超限手续；装车时按模块重心设置支撑与加固点，长细比较大的管道模块应附加临时桁架抑制运输变形，行进中控制车速并对振动敏感设备加设减振垫。超大件宜采用液压平板车或自行式模块运输车，利用悬挂系统消化道路高差。吊装方案应与模块设计同步，吊耳位置经受力校核，并验算起吊工况下的局部失稳与焊缝承载。锅炉受热面等超重模块采用多点液压同步提升，控制各提升点的同步误差；双机抬吊须核算载荷分配并设置缆风绳限制回转；风力达到六级即停止起吊作业。就位阶段以全站仪配合激光跟踪进行实时监测，临时支撑在模块脱钩前形成有效约束。吊装顺序需与土建工况绑定，屋面封闭、行车梁安装前完成全部超限件吊入，避免后期开孔或二次拆装。

2.4 优化接口连接与安装偏差控制

模块化把大量质量风险集中到有限数量的接口上，接口控制水平直接决定系统能否可靠投运。接口应按连接形式分类管理：焊接接口以现场实测配制闭合段，必要时借助三维扫描对已就位模块逆向建模，避免按图下料造成强行对口；法兰接口检查密封面平行度与螺栓分级施拧顺序；母线与电缆接口核对相序、接触面处理与接触电阻；风管接口保证法兰平整与密封件连续。高温管系的接口不能只看几何贴合，应按《动力管道》（ASME B31.1）等动力管道规范复核弯矩、内压与热膨胀共同作用下的应力水平，据此确定是否采用冷紧及冷紧量，弹簧支吊架按冷态定位值锁定，热位移方向留足空间，防止模块拼装后形成额外约束造成运行期开裂。汽轮机本体与转动设备的对中不应受模块累积偏差影响，汽轮机安装过程中转子与汽缸的中心找正精度要求控制在 0.05 mm 以内，轴系对中偏差不得超过 0.03 mm，油系统冲洗后清洁度须满足设计等级。为抑制偏差累积，厂房内应建立统一的测量控制网，把预制场坐标系与现场坐标系归一，各模块以同一基准放样，杜绝逐件相对定位。接口完成后按系统划分调试界面，分系统试运前完成整体复查。

2.5 优化资源组织与技术保障

模块化预制把施工组织的重心从工序调度转向供应链协同，各类施工资源配置失衡，是导致模块化施工效益折损的核心诱因。预制场的产能应与本工程的模块峰值需求相适应，按吊装窗口倒排制造与运输计划并预留缓冲时间；模块编码与实物标识一致，采用二维码或射频标签记录制造、检验、运输与就位状态，堆场按吊装顺序分区存放并设置符合支撑要求的临时支墩，杜绝模块倾覆风险，减少二次搬运作业[6]。在人员方面，从事高压管道预制的焊工须按同等条件考试合格并保持连续作业记录，深化设计人员应具备机电与结构复合背景，吊装指挥与信号司索持证上岗。技术保障宜实行首件鉴定：同类型模块首件完成后组织建设、监理、施工与设备制造方联合验收，确认工艺参数与检验方法后再批量投产。在设备维护方面，坡口机、自动焊机、热处理设备与起重机械纳入定期点检，焊接电源与温控仪表按周期校验，履带吊在每次超重吊装前复核工况参数。此外，应搭建覆盖设计、制造、物流与安装的数据平台，使模块状态与进度偏差可视，现场发现的接口问题能反馈至深化设计并在后续模块中修正，形成闭环。

2.6 优化成品保护与调试移交

模块出厂后要经历堆存、运输、吊装和交叉施工多个阶段，成品保护不到位，会使预制阶段形成的清洁度与精度优势在现场流失。管口临时封盖应保持到闭合口施焊前方可拆除，阀门执行机构、仪表取源部件与电气盘柜加设防撞、防潮护罩，不锈钢及合金钢表面与碳钢隔离存放，防止铁离子污染；在已就位模块上方动火时铺设防火毯，禁止把模块框架用作吊点或脚手架生根点。移交环节按系统而非按模块组织，将各模块的出厂资料与现场接口记录合并为系统级档案，水压试验、吹扫与冲洗的范围应覆盖全部闭合口，验收合格后办理安装与调试的签证交接，避免因责任边界不清延误分部试运。

3 结束语

模块化预制为火电机电安装提供的不只是一种施工手段，更是一种重新分配作业空间、工序时序与质量责任的组织方式。其效益能否兑现，取决于模块划分是否兼顾功能完整与外部约束、预制工艺是否与介质参数匹配、运输吊装是否具备足够的安全裕度、接口控制是否抑制了偏差累积、资源供应是否与吊装窗口同步以及成品保护与调试移交是否衔接到位。上述六个环节相互依存，任一施工环节管控缺失，均会降低整体施工成效与工程收益。同时应看到，预制场建设、工装配置与大型起重机械投入构成相对固定的支出，工程规模、模块重复度与运输条件未达到一定水平时，宜在管廊、泵房、辅机岛等密度高、重复性强的部位实施局部模块化，无需盲目推行全范围模块化施工。随着标准化模块库、智能预制装备与数字化协同管控的逐步成熟，火电机电安装有条件从以现场为中心的建造模式转向以工厂为中心的装配模式，为工程质量、工期与安全水平的同步提升提供更可靠的技术支撑。

参考文献：

[1] 付晓华.机电安装工程质量安全及信息技术管理[J].机械与电子控制工程,2025,07(02):49-51.
[2] 王希昱.火电厂管道施工工艺中的关键节点控制与技术创新探索[J].现代工程科技,2023,02(18):30-32.
[3] 杨跃民.机电设备安装工程施工技术与质量管理探析[J].百科论坛电子杂志,2021(14):2777.
[4] 焦鑫.浅谈机电工程安装施工技术要点[J].建筑工程技术与设计,2020(14):482.
[5] 马丽娜.复杂工况下大直径供热管道施工技术应用[J].科学技术创新,2026(16):97-100.
[6] 董少岩.智能化背景下机电安装工程的工艺优化与成本控制[J].消费电子,2026(16):209-211.