

数据中心机电工程预制化设计的优化对策研究

刘建伟

中能建国际建设集团有限公司, 北京 100025

DOI: 10.61369/VDE.2025260019

摘要：随着数字经济的不断发展，大数据以及人工智能等技术的规模化应用越来越大，这也推动数据中心建设进入了一个高速发展期，机电工程的建设效率、质量管控也应得到进一步发展。预制化设计作为将机电系统拆解为标准化模块、实现工厂预制与现场装配的创新模式，可以在无形中重塑一个数据中心建设格局。鉴于此，本文将针对预制化设计的意义展开分析，结合当前应用中的问题进行探索并提出一些系统性优化策略，以此方可为中心机电工程高质量建设提供参考助力。

关键词：数据中心；机电工程；预制化设计；优化对策

Research on Optimization Countermeasures of Prefabricated Design for Mechanical and Electrical Engineering in Data Centers

Liu Jianwei

China Energy International Group Co., Ltd., Beijing 100025

Abstract： With the continuous development of the digital economy, the large-scale application of technologies such as big data and artificial intelligence has been expanding, which has also promoted the construction of data centers into a period of rapid development. The construction efficiency and quality control of mechanical and electrical engineering should also be further improved. As an innovative model that disassembles the mechanical and electrical system into standardized modules to realize factory prefabrication and on-site assembly, prefabricated design can invisibly reshape the construction pattern of a data center. In view of this, this paper will analyze the significance of prefabricated design, explore the current problems in its application, and propose a series of systematic optimization countermeasures, so as to provide reference and support for the high-quality construction of mechanical and electrical engineering in data centers.

Keywords： data centers; mechanical and electrical engineering; prefabricated design; optimization countermeasures

一、数据中心机电工程预制化设计的核心意义

（一）缩短建设周期，实现快速交付

传统机电工程现场施工环节繁琐，整体工作需要经历设备采购、管线焊接、调试验收等多个步骤，同时，施工也会受到天气、人员技能等诸多因素的影响，整体的工期有很强的不可控性。预制化设计可以将大量的施工工序前移至工厂，通过流水线作业完成相应的模块预制生产，同时，现场也可以同步开展土建基础施工^[1]。例如，在某个数据中心项目中，施工单位采用“钢结构+模块化”预制模式将供电系统集成成为多个电力集装箱模块，仅用很短的时间便完成核心机电系统交付，相比传统模式部署周期大幅缩短。一般来说，标准化预制模块的现场装配仅需完成定位拼接与接口对接，这样可以使整体交付周期缩短40%以上，大幅提升数据中心对业务需求的快速响应能力。

（二）严控工程质量，降低运营风险

数据中心机电系统运行的稳定性直接决定数据存储与计算的安全性，在传统的现场施工中，管线焊接精度、系统调试一致性

等很容易受到人工操作水平的影响，质量隐患较多。预制化设计可以依托工厂标准化生产环境，通过精密设备加工、规范化流程管控与全维度出厂检测实现模块质量的精准把控^[2]。例如，中建科技有限公司可以通过BIM技术深化设计并生成预制加工图，工厂则可以按图加工相应的管道，模块的尺寸误差可以控制在毫米级，让工程质量稳定性显著提升。同时，预制模块采用一体化集成设计可以有效减少现场接口数量，降低了运行过程中渗漏、短路等故障风险，这也在无形中为数据中心长期稳定运行提供保障。

（三）优化成本结构，提升投资效益

预制化设计通过规模化生产、精准用料与高效施工可以实现全生命周期成本优化。在前期投资阶段，标准化模块可减少定制化设计工作量，工厂方面的批量采购原材料则可以有效降低采购成本，同时，现场施工人员的需求也会大幅减少，人工成本也会降低^[3]。例如，中兴通讯公司的预制全模块方案通过分期扩展设计，可以让数据中心的初期投资大幅下降，有效缓解了相应的资金压力。在运营阶段，预制模块质量可控性强，后期维护成本降

低。此外，预制模块可重复利用，在数据中心扩容或改造时模块可迁移重组，这样也能大幅提升资产利用率。

（四）践行绿色理念，推动低碳建设

在“双碳”目标下，绿色低碳成为数据中心建设的核心要求。预制化设计通过工厂集中生产可以有效减少现场施工产生的建筑垃圾以及噪音污染等，相比传统模式建筑垃圾排放量大幅降低。此外，预制化施工可以大幅减少现场焊接、切割等作业，这样也能有效降低能源消耗与污染物排放，符合绿色建筑标准。同时，预制化设计便于集成高效节能设备与系统，如间接蒸发冷却空调模块、HVDC+ 市电直供系统等，这样可以通过技术集成实现能耗优化^[4]。

二、数据中心机电工程预制化设计现存问题

（一）标准化体系不完善，接口兼容性不足

标准化是预制化设计的核心前提，但是，目前行业内缺乏一个统一的预制模块标准体系，各个厂商在模块尺寸、控制协议等方面自成体系，整体的兼容性较差。例如，不同品牌的预制液冷模块接口不统一，这样会导致大规模部署时无法灵活组合，后期的维护与扩容也会较为困难。在供配电模块中，一些主断路器极数选择、柜体结构设计等缺乏统一规范，部分厂商为节省占地优化架构，但是这样也会和《民用建筑电气设计标准》《通信电源设备安装工程设计规范》等产生冲突，从而引发安全与合规风险^[5]。标准化缺失导致模块通用性差，这样就很难形成规模化生产效应，这样会增加设计与施工成本。

（二）设计深度不足，协同衔接不畅

预制化设计需要贯穿前期规划、工厂生产等流程，但是，当前部分项目设计阶段存在深度不足问题。一些企业的设计方案未充分考虑工厂生产可行性与现场装配需求，如模块分段不合理导致运输与吊装困难，某些项目预制液冷机柜因超宽超重，这样会导致其运输成本占设备成本的比重很大。此外，部分企业的专业设计协同不足，机电模块与土建结构、IT 设备的衔接缺乏统筹，这样也很容易出现预留空间不足、接口错位等问题，这就需要工作人员现场整改，这样也违背了预制化高效交付初衷。此外，部分企业的设计与生产、施工环节信息传递不及时，模型数据与实际施工存在偏差，这样也会极大影响装配精度。

（三）技术适配性有限，复杂场景应对不足

数据中心机电系统复杂性高，不同场景对预制模块的需求差异较大，当前预制化技术在复杂场景适配方面存在短板。在高算力场景下，一些 AI 服务器对供电与制冷的需求苛刻，相应的预制电力模块虽能节省占地，但 UPS 主旁路共用断路器等优化设计会增加运维难度，当静态旁路故障时可能导致主路断开，这样会在很大程度上影响供电稳定性。在一些老旧数据中心改造场景中，现有的建筑结构受限，这样很容易导致预制模块尺寸与空间需求不匹配，从而导致其难以灵活部署。此外，全预制化方案对前期规划要求极高但是后期改造空间有限，相应的适配性较为不足。

（四）协同管理机制缺失，全流程管控薄弱

预制化设计涉及设计单位、设备厂商等多方主体，当前缺乏一个较为高效的协同管理机制。很多设计单位与工厂沟通不足，他们对生产工艺了解不深入，这样就会导致设计方案难以落地。此外，部分施工企业与工厂进度衔接不畅，模块交付时间与现场施工节奏不匹配，这样就很容易出现工期延误的情况^[6]。同时，全流程质量管控体系不完善也会影响工作效率，部分项目仅注重出厂检测而忽视了模块的运输、存储、装配过程中的质量控制，比如运输过程中模块振动可能会导致管线松动，这样也会极大影响安装精度。此外，各方责任划分不清晰很容易导致出现问题时各方推诿扯皮，这样也会增加项目风险。

（五）人才与技术储备不足，制约行业发展

预制化设计融合建筑、机电等多个领域的知识，这就导致工程项目对复合型人才需求迫切。到那时，当前行业内既精通机电工程设计又熟悉工厂预制工艺与 BIM、数字化建模技术的人才较为稀缺，这样会导致设计方案创新性与可行性不足。同时，一些企业的技术储备较为薄弱，BIM 技术应用深度不够，很多技术知识停留在建模层面，未能实现设计、生产、施工全流程数字化协同。此外，一些中小企业对预制化技术认知不足，他们的技术投入意愿较低，这样也会在无形中制约行业普及^[7]。

三、数据中心机电工程预制化设计优化对策

（一）构建统一标准体系，强化接口兼容

为提升数据中心机电工程预制化设计效果，政府主管部门可以与行业协会应牵头制定一个预制化模块统一标准，进一步明确模块尺寸、控制协议以及质量检测等要求，这样可以更好的实现跨厂商兼容性。此外，我们应重点关注规范供配电、暖通制冷等核心系统的预制模块标准，比如统一液冷模块接口类型等，这样可以兼顾安全性与经济性。在实际工作中，我们可以参考中兴通讯、华为等企业的实践经验，将更多成熟的企业标准上升为行业标准，这样也能进一步加快《数据中心预制化机电模块技术规范》的制定，能够让企业更好的明确设计、生产的相关要求^[8]。同时，我们要积极推动标准国际化对接，不断提升模块地通用性。企业方面也应该严格遵循国家标准，主动参与标准制定，这样可以有效避免定制化设计导致的兼容性问题，有利于形成规模化生产效应。

（二）深化全流程设计，优化协同衔接

在数据中心机电工程预制化设计中，我们应不断强化预制化设计的全流程管控，进一步提升设计深度与协同性。在前期规划阶段，企业方面可以结合数据中心业务需求、场地条件与未来扩容计划确定预制模块的类型以及集成程度，这样可以有效避免后期改造。在深化设计阶段，我们可以尝试引入 BIM 技术构建全专业协同模型，以此模拟模块生产、运输、装配的全流程，这样能够有效排查管线碰撞、空间冲突等问题。同时，设计单位可以和工厂、施工企业等展开深度对接，以此进一步了解生产工艺与现场施工条件，优化模块分段方案的同时还能兼顾运输便利性与装

配效率。此外，我们还需建立一个设计变更快速响应机制，以此确保设计调整及时传递至各环节，保障方案落地。

（三）推动技术创新，提升场景适配能力

针对不同场景需求，我们要进一步加强预制化技术创新与适配优化，这样才能提升数据中心机电工程预制化设计效果。在高密算力场景下，我们可以尝试研发一些高集成度、高可靠性的预制电力模块与液冷模块，尝试采用全双路2N架构提升供电稳定性，不断优化UPS主旁路设计，这样可以更好的平衡占地需求与运维便利性。此外，相关以企业可以尝试推广机柜级预制液冷方案与模块化CDU方案，前者适合中小规模AI集群，现场安装时间可以大幅缩短，后者则可以支撑大规模负载，让项目模块具有更强的扩展性^[9]。在一些老旧数据中心改造场景中，我们可以尝试研发一些轻量化、可灵活组合的预制模块，采用模块化拼接技术适配现有建筑结构。对于一些全预制化方案，我们要做好前期规划，为之后的改造预留一定的改造空间，这样可以大幅提升模块的后期适配性。结合时代发展特点，我们可以尝试融合一些数字

化技术，在预制模块中嵌入传感器、二维码，这样可以更好的实现模块全生命周期溯源与智能运维，大幅提升故障排查效率。

（四）加强人才培养，夯实技术储备

为保证数据中心机电工程预制化设计效果，我们应尝试构建一个多层次人才培养体系，这样可以更好的满足预制化设计需求。高校与企业可以尝试合作开设一些相关的专业课程，以此培养更多兼具机电设计、智能制造的复合型人才。企业方面则可以加强内部培训，组织设计人员、施工人员学习一些预制化技术、智能运维知识等，这样可以大幅提升他们的专业能力。同时，我们可以鼓励企业与科研机构合作，不断加大技术研发投入，对于模块化集成、智能调试等核心技术展开重点突破，这样可以不断提升预制化设计的创新性与先进性^[10]。不仅如此，我们可以尝试推广BIM、智能检测等技术应用，搭建一个全流程数字化平台，以此方可实现设计、运维数据的互联互通，不断提升预制化设计的智能化水平。

参考文献

- [1] 时庆兵. 数据中心机电工程 BIM 技术应用初探 [J]. 建筑电气, 2024, 43(10): 31-34.
- [2] 贾静雅. IC 公司东南亚市场营销策略研究 [D]. 山东大学, 2024.
- [3] 王斌. 数据中心机电工程低碳建造及高效运行关键技术研究与应用 [J]. 安装, 2024, (S1): 150-151.
- [4] 阎一峰. 湖南移动数据中心项目进度管理改进研究 [D]. 湖南大学, 2022.
- [5] 中国安装协会团体标准《数据中心机电工程技术规程》审定会在杭州召开 [J]. 安装, 2022, (10): 7.
- [6] 刘飞, 方芹, 于刚, 等. 大型数据中心机电工程关键技术研究与应用 [J]. 安装, 2022, (S1): 202-203.
- [7] 中国安装协会团体标准《数据中心机电工程技术规程》第一次工作会议在西安召开 [J]. 安装, 2021, (09): 14.
- [8] 中国安装协会团体标准《数据中心机电工程技术规程》立项审查会在济南召开 [J]. 安装, 2021, (08): 12-13.
- [9] 李金辉. 贵州贵安数据中心三期项目建设管理风险研究 [D]. 贵州大学, 2021.
- [10] 张学斌, 李海滨, 刘洪, 等. 工程总承包模式下数据中心基础设施建设项目发包资质探讨 [J]. 中国工程咨询, 2021, (05): 97-103.