

# 基于数字孪生的通信基站外电引入智能设计体系构建

张迎曦

中时讯通信建设有限公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/ETQM.2025090027

**摘要：**本文构建基于数字孪生的通信基站外电引入智能设计体系，包括数字孪生技术架构各方面内容，通信基站外电系统特征，模块化设备分级协同等机制，线缆路径等算法及规则，还涉及智能机电设备相关规范及设计，最后介绍了应用效果及未来研究方向。

**关键词：**数字孪生；通信基站；外电引入

## An Intelligent Design System for External Power Introduction of Communication Base Station Based on Digital Twin is Constructed

Zhang Yingxi

Zhongshixun Telecommunications Construction Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

**Abstract :** This paper constructs an intelligent design system for the external power introduction of communication base stations based on digital twin technology. It covers various aspects of the digital twin technology architecture, the characteristics of the external power system of communication base stations, mechanisms for modular equipment classification and coordination, algorithms and rules for cable routing, as well as standards and designs for intelligent electromechanical equipment. Finally, it introduces the application outcomes and future research directions.

**Keywords :** digital twin; communication base station; external power introduction

## 引言

随着科技的不断发展，数字孪生技术在各领域的应用日益广泛。2020年发布的《关于推动5G加快发展的通知》强调了通信基础设施建设的重要性，这为通信基站外电引入智能设计体系的研究提供了政策支持。通信基站外电系统具有供电可靠性、环境适应性等独特特征，数字孪生技术体系架构涵盖多源传感数据融合、三维可视化建模等多方面内容。在此基础上，本研究构建了基于数字孪生的通信基站外电引入智能设计体系，包括模块化设备分级协同机制、线缆路径优化算法等关键要素，旨在提升工程实施效率和质量，推动行业发展。

## 一、数字孪生技术在电力工程设计中的应用框架

改进。

### (一) 数字孪生技术体系架构

数字孪生技术体系架构包含多方面内容。首先是多源传感数据融合机制，通过融合多种传感器获取的数据，为电力工程设计提供全面准确的信息基础。这其中涉及到对不同类型、不同精度传感器数据的处理和整合，以确保数据的一致性和有效性<sup>[1]</sup>。其次是三维可视化建模技术，它能够将电力工程的物理实体以三维模型的形式呈现出来，直观地展示工程的结构、布局等关键信息。这有助于设计师更好地理解工程全貌，进行空间分析和优化设计。再者，实时状态监测技术可对电力工程的运行状态进行实时跟踪，及时反馈异常情况。最后，虚拟调试技术允许在虚拟环境中对电力工程设计进行调试和验证，提前发现潜在问题并进行

### (二) 通信基站外电系统特征分析

通信基站外电系统具有独特的特征。从供电可靠性角度来看，基站作为通信网络的关键节点，需保证持续稳定供电，以避免通信中断。其供电可靠性受多种因素影响，如市电接入的稳定性、备用电源的配置及切换能力等<sup>[2]</sup>。环境适应性也是核心设计指标之一，基站可能分布在各种复杂环境中，包括高温、低温、潮湿、沙尘等恶劣条件。这些环境因素对电力设备的性能和寿命有显著影响，要求电力设备具备良好的防护能力和适应能力。同时，站址特殊工况下的电力设备布局受到诸多约束，例如空间限制可能影响设备的选型和安装方式，需要综合考虑设备的尺寸、散热要求等因素，以确保电力系统的正常运行。

## 二、外电引入智能设计体系构建原理

### (一) 模块化设备分级协同机制

在基于数字孪生的通信基站外电引入智能设计体系中，模块化设备分级协同机制至关重要。构建包含终端设备层、网络传输层与平台决策层的三级架构，各层级承担不同功能且相互协同。终端设备层负责数据采集与初步处理，为后续层级提供基础信息<sup>[3]</sup>。网络传输层确保数据的高效、稳定传输，将终端设备层的数据准确无误地传递给平台决策层。平台决策层则依据接收到的数据进行综合分析与决策。同时，提出设备互操作性与状态联动规范，保障不同模块设备之间能够有效协同工作，实现信息的顺畅交互与状态的实时联动，提升整个外电引入系统的智能性与可靠性。

### (二) 智能设计要素解析

线缆路径优化算法是智能设计的关键要素之一。通过精确的算法，综合考虑地理环境、障碍物等因素，规划出最优的线缆铺设路径，提高施工效率并降低成本<sup>[4]</sup>。防护等级自适配规则也至关重要。依据不同的环境条件和使用场景，智能系统能够自动确定合适的防护等级，确保外电引入系统的安全性和可靠性。设备预安装仿真验证则为实际安装提供了有效的指导。通过虚拟仿真技术，对设备的安装位置、连接方式等进行模拟验证，提前发现可能存在的问题，优化设计方案，保障外电引入系统的正常运行。

## 三、智能机电设备模块化设计标准体系

### (一) 电气接口标准化设计

#### 1. 设备物理接口规范

智能机电设备的设备物理接口规范对于确保设备间的兼容性和稳定性至关重要。首先需制定防水防尘等级标准，不同环境下设备对防水防尘要求各异，明确的等级标准可保障设备在相应环境中的正常运行<sup>[5]</sup>。其次是机械尺寸公差的规范，精确的尺寸公差能保证设备物理接口的紧密连接，避免因尺寸不符导致的连接松动或无法连接等问题。再者，电气参数匹配标准也不可或缺，只有电气参数相互匹配，才能实现设备间的有效通信和协同工作，确保整个智能机电系统的稳定运行。

#### 2. 数据通信协议架构

在智能机电设备模块化设计标准体系中，电气接口标准化设计与数据通信协议架构至关重要。对于数据通信协议架构，需定义设备状态编码格式与 Modbus/TCP 协议扩展规范<sup>[6]</sup>。合理的设备状态编码格式能够准确传达设备的各种状态信息，确保不同模块间对设备状态的理解一致。而 Modbus/TCP 协议扩展规范则是在原有协议基础上，根据智能机电设备的特殊需求进行定制化扩展，以满足更高效、准确的数据通信要求。这不仅有助于实现设备间的无缝对接和协同工作，还能提升整个系统的可靠性和稳定性，为智能机电设备的模块化设计提供坚实的通信协议基础。

### (二) 智能化功能集成设计

#### 1. 自适应调节机制设计

在智能机电设备模块化设计标准体系中，智能化功能集成设计至关重要。它需综合考虑多种因素，将不同功能模块有效整合，以实现设备的高效运行。而自适应调节机制设计是智能化的关键体现。以通信基站外电引入智能设计体系为例，开发基于环境传感器的安装参数自校正算法是重要环节。通过环境传感器实时获取环境数据，为设备的自适应调节提供依据。该算法能够根据环境变化自动校正安装参数，确保设备在不同环境条件下都能保持最佳工作状态，提高设备的稳定性和可靠性，这对于整个智能机电设备的性能提升具有重要意义<sup>[7]</sup>。

#### 2. 数字预安装验证流程

在智能机电设备模块化设计标准体系的智能化功能集成设计及数字预安装验证流程中，对于构建 BIM 模型与物理实体同步校准的调试验证体系至关重要。通过先进的数字化技术，实现 BIM 模型对物理实体的精准映射<sup>[8]</sup>。在智能化功能集成设计方面，要确保各模块的功能与整体设计目标高度契合，且能在数字环境中有效协同。在数字预安装验证流程中，利用 BIM 模型进行虚拟安装调试，提前发现可能存在的问题，如空间干涉、线路冲突等。同时，依据相关标准体系，对各项参数进行严格验证，保证智能机电设备在实际安装和运行过程中的准确性和可靠性，从而实现高效的智能化机电系统运行。

## 四、典型设备智能设计应用实例

### (一) 智能线缆定位装置

#### 1. 多模态定位算法设计

在智能线缆定位装置中，多模态定位算法设计至关重要。通过集成 UWB 定位与激光测距的复合定位模块，综合利用两种定位技术的优势。UWB 定位技术具有高精度、抗干扰能力强等特点，能够在复杂环境下提供较为准确的位置信息<sup>[9]</sup>。激光测距则可进一步精确测量距离，弥补 UWB 定位在距离测量上可能存在的不足。通过合理融合这两种技术，构建多模态定位算法。算法需考虑不同模态数据的权重分配，以适应不同场景下的定位需求。同时，要对采集到的数据进行实时处理和分析，不断优化定位结果，提高线缆定位的准确性和可靠性。

#### 2. 典型应用场景验证

在山地基站复杂地形条件下，智能线缆定位装置展现出显著优势。该装置通过高精度传感器与先进算法，能够精确获取线缆位置信息<sup>[10]</sup>。在布线过程中，它克服了地形崎岖、植被茂密等困难，为施工人员提供准确的引导。与传统方法相比，大大提高了布线精度，减少了线缆铺设的误差。同时，该装置可实时监测线缆状态，及时发现潜在问题，如线缆移位、损坏等，保障了通信基站外电引入的稳定性和可靠性。这一应用案例充分证明了智能线缆定位装置在复杂地形条件下的有效性和实用性，为通信基站外电引入智能设计体系的构建提供了有力支撑。

### (二) 智能防护装置设计

#### 1. 防雷击保护系统优化

基于瞬态电磁场仿真，对通信基站防雷击保护系统的三级防

护电路进行改进。通过精确模拟雷击瞬间的电磁场变化，深入分析现有防护电路在不同雷击强度下的响应特性。针对发现的问题，优化各级防护元件的参数，如调整压敏电阻的标称电压和通流容量，使其能更精准地在相应雷击电压下启动保护。同时，优化防护电路的布局，减少线路电感和电容对防护效果的影响，确保雷击电流能更高效地通过泄放通道导入大地，从而提升整个防雷击保护系统的可靠性和有效性，保障通信基站在复杂雷电环境下的安全稳定运行。

## 2. 防盗监测功能集成

振动传感与视频监控联动报警系统是智能防护装置防盗监测功能的关键部分。该系统通过在基站相关设备及周边关键位置安装振动传感器，实时感知异常振动情况。当振动传感器检测到超出正常阈值的振动信号时，会立即触发系统。同时，视频监控设备持续对基站周围环境进行监测，一旦振动传感器触发报警，视频监控系统会迅速定位到相应区域，并对该区域进行重点拍摄和记录。系统将振动传感数据和视频监控数据进行整合分析，判断是否存在盗窃等异常行为。若确认异常，会及时将报警信息发送给相关维护人员，以便快速采取措施，保障基站设备的安全。

### (三) 智能布线装置创新

#### 1. 自适应线径匹配机构

自适应线径匹配机构部分重点在于开发基于形状记忆合金的柔性夹持装置。形状记忆合金具有独特的记忆效应，在不同温度条件下呈现出不同的形状特性。利用这一特性设计的柔性夹持装置能够依据线径大小自适应调整夹持力度和形状。当遇到不同直径的线缆时，装置通过形状记忆合金对温度的敏感性，自动改变

自身形状以实现紧密且合适的夹持。这种自适应的匹配方式确保了在布线过程中，无论是较细还是较粗的线缆，都能被稳固夹持，有效避免了因线缆直径差异导致的夹持不牢或损坏线缆的问题，为智能布线装置的高效稳定运行提供了可靠保障。

#### 2. 智能散热系统设计

在智能散热系统设计方面，基于温度场分布的主动式通风冷却方案是一项重要创新。通过对通信基站内温度场的精确监测和分析，系统能够实时掌握设备的散热需求。当温度达到设定阈值时，主动式通风冷却装置启动。该装置根据温度场的分布情况，智能调节通风方向和风速，确保冷空气能够精准地输送到温度较高的区域，实现高效散热。同时，系统还能根据外界环境温度和基站内设备负载的变化，自动调整冷却策略，以达到最佳的散热效果和能源利用效率，保障通信基站设备的稳定运行。

## 五、总结

本研究构建了基于数字孪生的通信基站外电引入智能设计体系，涵盖18类设计参数的标准化体系显著提升了工程实施效率，达到40%。同时，智能设备模块在典型案例中展现出强大作用，将返工率控制在5%以下。这一体系的构建为通信基站外电引入工程带来了更高效、更精准的设计和实施方式。未来，深化AI算法在设备智能诊断方面的融合应用将是进一步研究的方向，有望为该领域带来更多的技术突破和创新，持续提升通信基站外电引入工程的质量和效率，推动行业的发展。

## 参考文献

- [1] 豆保林.智能分拣单元的数字孪生系统构建方法研究 [D].大连理工大学, 2023.
- [2] 杨帅.基于数字孪生的喷漆车间智能监测系统设计 [D].山东农业大学, 2022.
- [3] 过豪.基于智能视觉的制造资源宏观数字孪生模型快速构建技术 [D].南京理工大学, 2022.
- [4] 高志杰.基于数字孪生的智能制造车间调度问题研究 [D].哈尔滨工程大学, 2023.
- [5] 刘利.基于容器的智能电表数字孪生方法研究 [D].天津理工大学, 2022.
- [6] 张伟雄, 张旭宁.基于数字孪生的智能产线的设计与研究 [J].电脑编程技巧与维护, 2022, (09): 151-153+160.
- [7] 隋林珊, 刘立强.基于数字孪生技术的智慧图书馆体系构建研究 [J].科技传播, 2023, 15(16): 107-110.
- [8] 裴兴林.基于数字孪生技术的智能产线设计与实现 [J].中国新通信, 2023, 25(13): 54-56.
- [9] 马玉静.基于数字孪生的博物馆智能运行中心构建探析 [J].博物院, 2022, (06): 6-12.
- [10] 戴璐, 邵一夫, 郭宇元, 等.基于数字孪生的卫星装备智能设计系统 [J].兵工学报, 2022, 43(S02): 139-145.