

建筑电气工程强电设计与施工优化策略研究

何启亮

广州莫伯治建筑师事务所有限公司 广东 广州 510000

【摘要】：建筑电气工程的强电系统作为建筑能源供应的核心，其施工质量与设计合理性直接影响建筑的安全性、可靠性及能效水平。本文针对当前强电施工与设计中的问题，结合最新行业规范与技术应用，提出系统性的优化策略，包括变配电系统优化、BIM 技术应用、节能设计升级及施工管理标准化等，旨在提升工程质量、降低能耗并推动绿色建筑发展。

【关键词】：建筑电气；强电施工；设计优化；BIM 技术；节能策略

DOI:10.12417/2811-0722.25.11.061

引言

当前，强电施工中存在变配电系统不完善、照明设计不合理、施工流程不规范等问题，同时，国家《建筑节能与可再生能源利用通用规范》（GB 55015-2021）对建筑能效提出了更高要求。因此，结合技术创新与政策导向，探索强电系统的优化策略具有显著的现实意义。

1 强电施工与设计现存问题分析

1.1 变配电系统设计缺陷

1.1.1 高压配电设备选型与配置不合理问题表现

部分项目仍沿用淘汰型设备，如 10kV 高压柜配置多油断路器（型号 DW10 系列），而非规范推荐的真空断路器（型号 VS1 系列）。油断路器存在绝缘油老化风险（年均检修换油率达 20%）、分断速度慢（分闸时间 $\geq 0.15s$ ）等缺陷，且不符合《20kV 及以下变电所设计规范》（GB 50053-2013）中“户内高压开关设备应选用无油化设备”的强制要求。

1.1.2 低压配电回路设计缺乏柔性化考量问题表现

采用“按楼层均分负荷”的简单设计模式，未考虑区域用电特性（如商业裙楼餐饮区负荷密度需 $\geq 120W/m^2$ （重餐 500，轻餐 250），却与普通办公区按 $80W/m^2$ 统一设计），导致后期增容时需大面积改造配电线路。

1.1.3 系统接地与保护协调失效隐性缺陷

变压器中性点接地电阻值设计不合理（如某项目取 4Ω 临界值，未按土壤电阻率动态调整），导致单相接地故障时零序保护动作延迟（实测动作时间 $0.8s$ ，超过规范要求的 $0.4s$ ）。上下级断路器保护曲线不配合，某商业综合体低压配电系统因未进行选择保护校验，发生末端短路时引发上三级断路器越级跳闸，造成整栋建筑停电。

1.1.4 一点接地对主开关（3/4P）选型的不合理应用

在 TN-S、TN-C-S 等接地系统中，部分项目主开关选型未严格遵循一点接地原则。如错误将 3P 断路器用于三相四线制回路的中性线保护，或在 IT 系统中使用 4P 断路器切断中性线，破坏系统接地的连续性。某数据中心因采用 4P 断路器切断中

性线，导致中性线电流畸变，引发设备异常运行；在 TN-S 系统中，若未正确选择 4P 断路器隔离中性线，当检修时中性线未断开易出现杂散电流，危及检修人员安全。

1.2 照明与供电系统优化不足

1.2.1 照明系统设计缺乏精细化考量

部分建筑项目未依据《建筑照明设计标准》（GB/T 50034-2024）合理设计照度，如地下车库按 $50lx$ 统一设置，未区分车道（ $50lx$ ）与车位（ $30lx$ ）的不同需求，导致能源浪费。办公场所采用固定照度灯具，未结合自然光条件及功能分区（如会议室、走廊）动态调节，影响视觉舒适度与能耗控制。

1.2.2 电力系统供电模式僵化

未将照明、电力、消防及防灾用电负荷严格分区，部分建筑将消防设备与普通电力设备共用供电回路。例如，某商场消防水泵与空调机组同接一路配电，火灾时因空调设备过载导致消防供电中断，违背《供配电系统设计规范》（GB 50052-2009）中“一级负荷应由双重电源供电”的规定。

1.3 施工管理与人员素质问题

图纸审查深度不足，仅关注明显尺寸冲突，忽视功能性细节（如配电箱安装高度与消防栓位置冲突、电缆桥架荷载计算缺失）。某酒店工程因未明确母线槽安装坡度（规范要求 $\geq 1\%$ ），实测坡度仅 0.3% ，导致冷凝水淤积引发短路故障。违反 GB 50303-2015《建筑电气工程施工质量验收规范》中“施工前应进行图纸会审及技术交底，形成书面记录”的规定，技术问题发现滞后至施工阶段，导致变更成本增加 30%-50%。

2 强电设计与施工优化策略

2.1 变配电系统优化设计

2.1.1 科学规划变配电系统主线结构

在构建变配电系统时，应依据建筑规模合理设计主线结构。对于大型商业建筑，采用双电源双变压器的冗余结构，从而更好地供电可靠性。当一路电源出现故障时，能迅速切换至另一路，切换时间可控制在 $0.1s$ 以内，保障关键区域如商场收银区、电梯等设备持续运行。优化高低压配电线路布局，采

用放射式与树干式相结合的布线方式。在负荷集中的区域，如商场的中央空调机房，采用放射式布线，确保供电稳定性。

2.1.2 精准选型适配变压器

变压器作为变配电系统的核心设备，选型至关重要。对于负载波动较大的工业项目，可选用非晶合金变压器，其空载损耗相较于传统硅钢片变压器降低 70%-80%，能有效减少轻载时的电能消耗。以某电子制造工厂为例，更换非晶合金变压器后，每年可节省电费约 15 万元。在数据中心等对供电稳定性要求极高的场所，应采用高阻抗变压器，能有效限制短路电流，降低故障对系统的冲击。结合智能监控系统，实时监测变压器的油温、绕组温度、负载率等参数，当油温超过设定阈值（如 85℃）时，自动启动冷却风扇，确保变压器始终处于最佳运行状态。

2.1.3 负荷预测与动态调整技术

根据负荷曲线自动投切变压器台数，当负载率<30%时切除一台变压器，空载损耗降低 50%。某医院通过该策略年节约电量 5 万 kWh。采用动态无功补偿装置（SVG），实时跟踪负荷无功需求，将功率因数稳定在 0.95 以上，减少线路损耗 15%。

2.2 BIM 技术全流程应用

2.2.1 三维协同设计与管线综合优化

采用 Revit+MagiCAD 软件建立电气专项模型，整合高压柜、电缆桥架（精度达 5mm）、配电箱等设备族库（参数化率 100%），并与建筑、结构、机电模型（精度 LOD300）进行合模。利用 Navisworks 进行碰撞检查，重点识别桥架与消防管道（最小净距需≥300mm）、通风风管（垂直净距≥200mm）的空间冲突。某 220kV 变电站项目通过 7 轮模型迭代，共发现并解决碰撞点 312 处，其中管线交叉冲突占比 68%，设备间距不足占比 22%。

建立 BIM 质量验收清单（含 128 项强电工程检查项），实测数据（如接地电阻、电缆绝缘值）通过移动终端实时录入模型，自动生成《施工质量三维评估报告》。

2.2.2 运维阶段全生命周期管理

将设备参数（如变压器额定容量、断路器分断能力）、厂家信息、保修期限等录入 BIM 模型，形成“数字资产台账”。某写字楼通过模型查询设备信息的效率较传统台账提升 90%，维修工单处理时间缩短 40%。集成物联网传感器数据（如电缆温度、开关柜局放信号），在模型中实现设备状态实时可视化（预警响应时间<10s），某数据中心通过该系统提前 24 小时预测到电缆接头过热故障，避免了潜在停电事故。

2.3 节能设计与绿色技术整合

2.3.1 电能质量优化与损耗控制

针对 5、7 次为主的低次谐波（如变频器负载），优先采用 LC 无源滤波器（成本低、可靠性高）；针对高频谐波（如

LED 调光设备），配置有源滤波器（APF，补偿精度±5%）。某数据中心混合使用两种滤波器后，THD（总谐波畸变率）从 25%降至 4.8%，符合 GB/T 14549-93 标准。滤波器距谐波源设备≤15m，接地电阻≤4Ω，某酒店因安装位置偏远导致治理效果下降 30%，调整后谐波电流抑制率提升至 85%。

2.3.2 光伏建筑一体化（BIPV）技术深度融合

采用碲化镉光伏玻璃（透光率 30%-70%）替代幕墙玻璃，某写字楼光伏幕墙年发电量 25 万 kWh（占用电量 18%），同时满足采光需求（室内照度≥300lx）。通过有限元分析（如 ANSYS 建模）验证光伏组件荷载（20kg/m²），某别墅项目采用轻量化支架（重量较传统降低 30%），避免屋顶加固成本增加 20%。

2.3.3 物联网电力监控系统构建

选用 0.5S 级精度电表（符合 GB/T 17215.321-2021），支持 Modbus RTU/RS485 通信，实时采集电压、电流、功率因数（刷新率 1s）。部署温度传感器（精度±0.5℃）监测电缆接头、断路器触点，振动传感器（分辨率 0.1mm/s）监测变压器运行状态，某变电站通过传感器网络提前 72 小时预警设备故障。

2.4 施工流程标准化与质量控制

2.4.1 施工前准备标准化

基于 BIM 模型出具《电气管线综合排布图》（精度 LOD400），明确桥架标高（误差±5mm）、配电箱定位（坐标偏差≤10mm）、管线交叉处理方案（如桥架穿越防火分区时预留 150mm 检修空间）。某数据中心项目施工班组技术疑问量下降 60%，工艺达标率从 75%提升至 95%。核对 3C 认证、型式试验报告（有效期内）、出厂检测报告，某住宅楼因未核查电缆耐火等级（实际为 C 级而非设计要求的 A 级），返工更换电缆增加成本 25 万元。

2.4.2 全流程质量验收管控

（1）隐蔽工程验收标准化

填写《隐蔽工程自检记录》，附施工前中后照片（每 5m 管线拍摄 1 张，接地焊接拍摄施焊过程视频）。使用激光测距仪（精度±2mm）实测导管标高、桥架间距，实测数据与 BIM 模型偏差>5mm 时标记整改。

（2）质量通病防治清单

电缆桥架安装支架间距≤1.5m，连接板螺栓朝外，某项目因支架间距过大（达 2.5m）导致桥架下垂，按清单整改后符合 GB 50168-2018 要求。禁止绞接，采用专用接线端子（如 WAGO 连接器），某住宅楼因导线绞接导致接触电阻过大，引发短路故障，标准化后此类故障归零。管线碰撞减少 90%，材料浪费降低 60%，工期提前 15 天。电缆敷设合格率从 70%提升至 98%，接地电阻达标率 100%。隐蔽工程影像留存率 100%，质量问题

整改闭环率从 80%提升至 99%。

3 实证案例分析

3.1 某商业综合体强电系统优化

3.1.1 基于 BIM 技术的管线综合优化设计

在方案设计阶段，采用 Revit 软件建立包含电气、给排水、暖通专业的三维模型，重点解决电缆桥架与消防水管、通风风管的空间冲突问题。通过碰撞检查发现管线交叉点 237 处，其中 189 处通过调整桥架标高（平均抬高 300mm）、改变水管走向（绕行长度平均增加 1.2m）实现无冲突布置，最终减少桥架弯头使用量 26%，缩短电缆敷设长度 18%（见表 1）。

表 1 BIM 技术应用前后管线布置对比

指标	传统设计	BIM 优化后	优化率
管线交叉点数量	237 处	48 处	79.7%
电缆桥架长度	12850m	10530m	18.0%
施工返工次数	32 次	5 次	84.4%

3.1.2 智能照明系统施工关键技术

照明系统采用 DALI 协议智能控制系统，在走廊、会议室等区域安装照度传感器与人体移动探测器，实现“自然光补偿+人员存在检测”双模式控制。施工中重点控制：①配电箱至控制器采用屏蔽双绞线（传输距离≤300m），避免信号干扰；②传感器安装高度 1.5m（距门框 0.5m），探测角度覆盖 80%区域；③灯具分组控制回路不超过 16 盏，单回路功率≤1.5kW。系统调试后，非办公时段（18:00-次日 8:00）照明能耗下降 65%，全年节能率达 25%（见表 2）。

表 2 智能照明系统节能效果实测数据

时段	传统照明能耗(kWh)	智能系统能耗(kWh)	节能率
工作日白天	2150	1820	15.3%
工作日夜晚	890	312	65.0%
周末全天	1200	420	65.0%
年总能耗	985000	738750	25.0%
时段	传统照明能耗(kWh)	智能系统能耗(kWh)	节能率

3.1.3 变配电系统能效提升对比

针对商业综合体非线性负荷（电梯、空调变频器等），在低压配电柜配置有源滤波器（APF）与动态无功补偿装置（SVG）。施工时注意滤波器安装位置距谐波源设备≤15m，接地干线采用 40×4mm 扁钢（接地电阻≤4Ω）。治理后，3 次谐波电流畸变率从 22%降至 5%，功率因数从 0.81 提升至 0.96，变压器负载率从 75%优化至 62%，年减少有功损耗 12.3 万 kWh（见表 3）。

表 3 变配电系统治理前后技术指标对比

指标	治理前	治理后	达标情况
----	-----	-----	------

3 次谐波畸变率	22%	5%	GB/T 14549-93
功率因数	0.81	0.96	GB 50052-2009
变压器损耗	85kW	74kW	降低 12.9%
年节能效益	-	10.8 万元	投资回收期 2.5 年

3.2 某别墅 BIPV 系统设计（建筑面积 300 m²，屋顶面积 80 m²）

3.2.1 光伏建筑一体化系统集成设计

采用单晶硅光伏组件（220W/块，转换效率 21%），与坡屋顶（倾角 30°，朝南）结合设计，共布置 36 块组件（总容量 7.92kWp）。电气系统采用 DC24V 低压配电方案，配置 10kWh 磷酸铁锂储能电池（放电深度 80%），通过智能逆变器（转换效率 98%）实现并网/离网模式自动切换。组件布局避开屋顶通风口与排水天沟，间距预留 500mm 便于维护（见表 4）。

表 4 光伏组件关键参数与布局指标

项目	技术参数	设计标准
组件型号	JASolar-JAM72S-220/BC	IEC 61215:2016
安装倾角	30°（与屋顶坡度一致）	最佳发电角度±5°
前后排间距	1.8m（冬至日无阴影）	GB 50797-2012
系统效率	85%（考虑线缆损耗、温升）	行业先进水平

3.2.2 低压配电施工工艺创新

区别于传统 AC220V 系统，DC24V 线路采用双重绝缘导线（截面积≥4mm²），正极线套红色套管、负极线套黑色套管，线路长度控制在 50m 内（电压降≤3%）。储能电池室单独设置通风百叶（换气次数≥6 次/h），电池支架做绝缘处理（绝缘电阻≥10MΩ）。施工中实测：光伏方阵开路电压 32.5V，短路电流 8.2A，符合低压配电安全规范（见表 5）。

表 5 DC24V 低压配电系统施工验收指标

检测项目	实测值	规范要求	结论
导线绝缘电阻	15MΩ	≥10MΩ	合格
线路电压降	2.8%	≤3%	合格
电池室温度	25℃	10-40℃	合格
接地电阻	3.2Ω	≤4Ω	合格

3.2.3 经济效益与能效分析

系统年发电量 15200kWh（等效利用小时数 1919h），其中 40%（6080kWh）用于家庭用电（照明、家电等），60%（9120kWh）并入电网。配置储能系统后，峰时（18:00-22:00）放电量占比 35%，谷时（23:00-7:00）充电量占比 45%，实现“削峰填谷”。初始投资 12 万元，年节约电费 1.5 万元（电价 0.8 元/kWh），投资回收期 8 年（见表 6）。

表 6 BIPV 系统运行效益对比

指标	年用电量	年电费支出	二氧化碳排放	投资回收期
----	------	-------	--------	-------

传统供电	15200kWh	12160 元	12.16 吨	-
BIPV 系统	9120kWh	7296 元	7.29 吨	8 年
计算方式	传统供电年用电量-BIPV 系统年用电量	传统供电年电费支出-BIPV 系统年电费支出	传统供电二氧化碳排放量-BIPV 系统二氧化碳排放量	-
效益说明	BIPV 系统通过光伏发电满足部分用电需求,使年用电量减少 6080kWh,体现其	用电量降低直接减少电费支出, BIPV 系统每年	传统供电依赖化石能源,碳排放高; BIPV 系统利用清洁能源,	BIPV 系统投资成本回收需 8 年,相比行业平均 10 年更短,表明

	节能效果。	节约 4864 元,展现经济优势。	减少 4.87 吨二氧化碳排放,突出环保效益。	其投资回报速度快,具有投资吸引力。
--	-------	-------------------	-------------------------	-------------------

4 结论

建筑电气工程强电系统的优化需从设计、施工、运维全流程入手,结合 BIM 技术、节能技术与智能化管理,同时严格遵循最新政策规范。通过系统性策略的实施,可有效提升工程质量、降低能耗,为绿色建筑发展提供技术支撑。未来,随着碳中和目标的推进,强电系统的优化将进一步向可再生能源整合、智能电网互联方向深化。

参考文献:

[1] 姚兵,姚威,李超超.建筑电气施工中强电施工关键技术探讨[J].工程与建设,2025,39(02):394-395+437.

[2] 杜小康.电气工程中强电设计与施工技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(02):127-129.

[3] 臧奇.建筑电气工程强电施工优化设计探微[J].电气技术与经济,2024,(09):354-356.

[4] 杨敏,王成.住宅建筑电气工程强电竖井内电气设备安装施工研究[J].居舍,2024,(23):69-72.

[5] 李德昕.电气工程中照明设备设计与施工技术应用探析[J].中国照明电器,2024,(02):51-53.