 DOI: https://doi.org/10.12349/mit.v3i1.10716

Research on Cost Optimization in Electrical Design: A In-depth Analysis of Overdesign and Cost Traps in Conventional Designs

Kun Liu

Shanghai Shanshan New Materials Co., Ltd., Shanghai, 201419, China

Abstract

Electrical design needs to achieve the optimal life-cycle cost while ensuring safety and reliability. This paper takes a battery materials research and development campus with a building area of 100,000 square meters (including an R&D office building, Plant 1 full battery test line, Plant 2 R&D test line, Plant 3 production line, and storage center) as the research object, systematically analyzing common over-design problems in electrical design, including redundant load planning, over-specification of equipment, and system configuration complexity. Combining practical engineering cases and industry data, targeted optimization strategies are proposed. This paper aims to provide a practical guide for cost control and rational design in industrial building electrical design.

Keywords

industrial plant; electrical design; over-design; cost traps; optimization strategies; whole life cycle cost

电气设计的成本优化研究——过度设计与成本陷阱深度分析

刘坤

上海杉杉新材料有限公司，中国·上海 201419

摘　要

电气设计需在确保安全可靠的前提下，实现全生命周期成本最优。本文以某建筑面积10万平方米的电池材料研发厂区（研发办公楼、厂房1全电池试验线、厂房2研发试验线、厂房3生产线及仓储中心）为研究对象，系统剖析电气设计中常见的过度设计问题，包括负荷规划冗余、设备选型过高、系统配置复杂化等，并结合实际工程案例与行业数据，提出针对性优化策略。本文旨在为工业建筑电气设计提供成本控制与合理化设计的实践指南。

关键词

工业厂房；电气设计；过度设计；成本陷阱；优化策略；全生命周期成本

1 引言

供电系统作为工业厂房的重要组成，在生产连续性、经营确认性等方面发挥着关键性作用。在提升电气系统运行效能和稳定，降低设计成本、过度设计等情况的发生概率，设计师应当调整思路，遵循因地制宜、因时制宜的基本原则，科学确定技术方案，合理选择设备类型，精准控制电气系统施工成本，减少不必要的费用支出。

本文以工业厂房（含办公区）为研究对象，运用系统思维，着眼前期规划、设备选型、参数调整等环节，理清电气系统过度设计的具体表现、主要诱因与负面影响，结合相关案例，探索可行性高、实用性强、经济性好的设计方案。

【作者简介】刘坤（1990–），男，中国江苏宿迁人，本科，中级，从事建筑工程管理、设计管理研究。

2 过度设计的成因与行业背景

2.1 设计思维惯性

安全冗余过度：设计师为规避责任，盲目放大安全系数，如负荷估算预留 30% 以上裕量。从变压器容量选型、断路器选配、电线线缆的选用，层级向上放大，导致最终富余超量，材料成本、施工成本大幅提高。

技术先进性盲目追求：为提升项目“档次”，全系统采用高端品牌或智能技术，忽视实际需求。对于部分建设方人员，也对国际大品牌情有独钟，不做成本控制。

2.2 行业标准与规范的局限性

规范滞后性：部分标准未及时更新，导致设计不完善。对于电池试验车间因部分材料的遇水会产生爆炸或者有害气体，前期按规范设置水喷淋系统、后增加气体灭火，在实际使用过程中安全部门又要求设置气体报警和联动排风。这大大增加了前期投入成本和后期的改造成本，也影响整体试验环境和试验进度。

地域差异忽视：未结合当地特殊要求、区域政策合理化设计。同一个企业在上海、四川、云南等地均建有类似大型工业厂房，防爆区域划分与设备选型、消防电气联动要求、节能与电能质量等问题上，各地要求不一。因采用集团统一管理建设，未考虑地区差异要求，在验收或使用中产生不必要的沟通和改造成本 [1]。

2.3 项目管理脱节

设计与施工分离：设计师缺乏现场经验，方案脱离实际。大空间工业厂房内预留工艺用电，各区域预留大容量配电总柜，但是实际设备进场后，往往需要二次改造或者重新布线，造成极大的二次成本浪费。

成本控制意识薄弱：经济效益与技术成本兼顾失衡，空调制冷系统、循环冷却装置、尾气处理模块设计环节，只注重技术参数，没有充分考虑实际使用效果和经济投入，导致设备维护费用超过预期目标。

3 前期用电规划中的过度设计陷阱

3.1 负荷估算的“保险系数”滥用

问题表现：以额定功率的 130%-150% 为基数测算属负荷，测算过程中，没有统筹分析设备运行时间、同时运行系数等要素。

案例详析：研发试验线厂房核心设备主要包括真空炉、回转窑、打磨机等，设计师在负荷估算环节，如果简单地按照设备额定功率之和来进行估算，会导致系数取值偏大，没有综合考量厂房实际运转需求，进行系数计算，使得变压器容量虚增幅度超过 40%，产生 50 万元的额外投入 [2]。

查询《工业与民用供配电设计手册》，参考试验设备（电热为主）的同时系数选择范围在 0.2-0.4 之间，结合过往经验，部分过度设计中，系数选择往往超过 0.7，远高于参考区间。

成本影响：变压器、开关柜等设备在进行升级改造过程中，其产生的投资增幅合范围在 15%-20%。

3.2 稳压和谐波治理的“预设性配置”

问题表现：在没有实际测得电压波动和谐波数据前，设计人员为含变频器设备和实验室精密设备配备有源滤波器和稳压器等电能处理装置。

案例对比：全电池线的滤波器项目中，方案 1（过度设计方案）：车间共有 20 台变频器，设计人员为所有变频器统一配备有源滤波器，每台有源滤波器的采购成本约为 5 万元，总体设备采购投入达到 100 万元。

方案 2（优化设计方案）：设计人员使用专业设备，对谐波畸变率进行测算。经过测算，仅有 5 台变频器的谐波数智超过 10%，根据测算结果，设计人员配备了 5 台有源滤波器，采购成本仅为 25 万元。

结果：相较于方案 1，方案 2 设备采购成本仅为 25 万元，不仅投入较低，嗐能够满足使用要求。

行业数据：从过往的项目数据来看，目前国内电网电能质量一直在提升，整体质量满足绝大多数的设备使用；变频器在升级，新一代的变频器在谐波特性上已有大幅改善；LED 驱动电源、开关电源等也在升级迭代，整体的谐波影响已愈来愈小 [3]。

3.3 供电方案的“过度冗余”

问题表现：为了满足生产的连续性要求，最大程度地减少断电的损失，常规设计中均使用双路市电 + 柴油发电机 +UPS 的技术方案，但在实际运行使用中，这些均达不到预期要求。

案例：厂房非关键区域增配柴油发电机，但柴油机年度运行时长低于 10 小时，设备产生的折旧费用、维护支出超过停电产生的经济损失。

优化策略：在有双重市电的基础上，尽量减少发电机的使用，在必须区域使用 UPS 电源，大型生产研发性设备可考虑使用租赁应急发电车。

4 配电系统设计中的过度配置

4.1 变压器选型的“能效等级陷阱”

问题表现：设计人员在配电房设计中，对于变压器的选项，没有综合运行时长、电力价格等因数，习惯性选择新型号或者最新一级能效的产品。

案例对比：

变压器类型	初始成本差	年损耗电费差	适用场景
SCB13（三级能效）	基准	基准	年运行＜ 4000 小时
SCB14（二级能效）	+20%	-30%	年运行＞ 6000 小时

分析：按照 6 台变压器的配置来看，两种变压器的采购成本相差 30 万元，如果按照 3000 小时的运行时间进行计算，SCB14 产生的额外投资，需要 15 年的时间才能够收回成本，运行时间超过设备的使用寿命。

结论：在设计过程中，充分考虑设备的运行工况，合理计算各个工况下的能耗数据，结合成本和设备参数数据，按经济性更优的去选择。

4.2 电缆桥架的“过度预留”

问题表现：桥架容量预留量过大，超过容量的 50%，但实际使用率不高，仅为 30%。

案例：仓储中心电缆桥梁按照 10 年扩展的要求进行设计，因此在选择了 400*1200 桥架两层设计方案，设备投入使用 3 年后，桥架容量预留使用为 0%。预留量设置不合理，增加了建设成本，侵占了设备空间。

结论：短期内有需求的情况下，可合理预留桥架容量；中长期的规划预留的情况下，可设置多层支架，设置前期的必要使用桥架，其余预留施工条件，保证后期可按需求快速合理的施工。

5 设备选型中的品牌与规格过度

5.1 盲目采用国际高端品牌

问题表现：工程项目中，配电箱内断路器选择均被一线大牌“垄断”，习惯性选择施耐德、ABB 等全球性知名品牌，从设计推荐、施工方报价、业主选择，品牌基本较为

单一和稳定。

案例详析：整个厂区的断路器选项均采用施耐德的品牌，其中普通照明插座回路中选用的微型断路器，断路器均价约为 80 元，常熟开关、良信等国产品牌相同功能的断路器单价仅为 30 元左右。

成本对比：该厂房共设置照明插座回路 1000 个，仅按照微型断路器成本推算，投资成本就增加了 5 万元。

分级选型策略：对于主进线等关键性回路，可以采用国际品牌、国产品牌中的高端系列；对大功率设备等重要回路，可以采用国产品牌中的高端系列；对照明等普通回路，可以采用国产优质品牌。

成本节约：通过合理选择，采购成本可以降低 15% 到 20%，并且符合设备使用要求和技术规范。

5.2 防护等级的“过度提升”

问题表现：部分设计师盲目提升设备防护等级，忽视实际使用环境的差异，将所有区域的电气设备均按高防护等级选型，导致设备成本增加。

案例：某电池材料厂房，设计初期将所有区域的配电箱、断路器等设备均按 IP65 防护等级选型。实际使用中，研发办公楼、辅助办公区等干燥、少量粉尘区域，设备仅需 IP54 防护等级即可满足运行需求，IP65 防护等级的设备属于过度配置 [4]。

建议：根据环境性质精准确定防护等级，干燥、无粉尘、无腐蚀性的区域，选用 IP33 防护等级设备；湿度高、粉尘多、有腐蚀性的区域。根据实际环境选用 IP54 及以上防护等级设备。

5.3 断路器短路分断能力过高

问题表现：各级配电箱内均使用 65kA 高分断能力的断路器，从实际使用情况来看，其短路电流仅为 35~10kA。

案例：研发办公楼内的配电箱均使用施耐德 MT 系列高分断能力的断路器，但实际效果不佳，与低分断能力的断路装置相比，设备采购成本偏高，经测算采购成本增加 10 万元。

优化：按实际短路电流分级选型，避免 " 一刀切 "，特别是末端回路，建议选用低分断等级断路器，尽量减少设备性能的滥用。

6 工艺配电预留的冗余设计

6.1 预留容量过大

问题表现：为更好适应产业发展，预留 30%-50% 的配电容量，但是实际利用率较低，达不到使用预期。

案例：研发试验厂房在设计过程中，预留了 2000kVA 扩容空间，并在相关位置安装了变压器、馈线柜等装置，但厂房投产的 3 年内，相关预留设备未投入使用，出现设备闲置等问题。

解决方案：设计师可以采取模块化设计的思路，组建可拓展配电柜，做好铜排延长接口的预留，同时在土建施工中，增设供电设备区域以及线路通道，后期可以根据实际需要，增设相关模块。

6.2 接口数量过多

问题表现：预埋过多配电箱和电缆，方便后续工艺设计后的施工接线，但实际使用率不足。即浪费了前端配电房馈线柜容量，也浪费了大量长距离大电流的电缆。

案例：研发试验车间设计时总设备功率 6000kW, 每 30 米设置一个配电箱柜，每个开关柜内预留 630A 断路器。但生产工艺上线或布局调整后，50% 配电箱使用不匹配。有的柜体位置影响设备摆放或者接线不方便；有的配电柜容量偏小，部分车间内一个设备就有 400kW，导致现场无法使用；还有更多区域配线柜长期闲置。

优化：基于工艺布局图精准预留，在产线更新快的区域采用大容量母线槽系统，在大功率设备车间预留插接箱，小功率车间可多车间合并预留插接箱，整体既能平衡各车间设备的同时系数，节约一对一的电缆成本，也能根据多变设备布置合理选用就近的接线位置；对于车间预留拓展区域、功能未定，可取消预留电源线和工艺柜，待方案确认后，再行施工。节约投资，提高整体的灵活性 [5]。

7 办公区电气设计的误区

7.1 控制系统的“智能陷阱”

问题表现：办公区域配备智能调光系统、智能窗帘系统，会议室采用了玻璃智能雾化系统，但工作人员不熟悉相关操作，系统利用率整体偏低。

案例：某办公区域投入 50 万元，安装了智能照明系统，该系统操作复杂，对网络流畅度以及设备的稳定性要求较高，使用环节系统故障率较高，其产生的节能效应较低，需要 10 年使用期才能收回投入成本。

优化：办公区域按照分区控制的原则，进行系统布局与设置，对于会议室以及领导办公室等场所，设置智能照明系统，走廊、过道等区域设置远程控制系统，方便保安在下班后统一检查 [6]。

7.2 插座容量的“过度预留”

问题表现：按照 1:1 的比例，在工位区域配置插座，每个插座按照 200W 的标准进行设计，但实际使用功率低于 50W。

案例：项目办公区域插座方面的投入由于上述方案额外增加 15 万元，员工在工作中仅使用笔记本电脑、个人手机等，实际功率不足设计功率的 50%。

建议：在办公区域内设计共享式插座、办公室多功能插座，通过多人共用的方式，避免设备冗余，提升电力缆线的使用效率。

7.3 空调配电的“冗余配置”

问题表现：在每个办公室内设置独立的空调回路，实际使用效率不高。

案例：某厂房办公区域 50 个办公室，分别设置独立空调回路，额外产生各类成本支出 20 万元，同等条件下，采用集中控制方案，可以减少 30% 左右的费用支出。

优化：根据区域特点，科学划分空调回路，做好空调回路的按需设置。

7.4 地下车库照明的“无用亮度”

问题表现：地下车库照明设计中仅采用分区控制，正常使用的实际就是上班和下班的半小时内，无论是开一半还是全部开启，利用率都是极低的。保安还需定时过来开关灯，也浪费了不必要的人力成本。

案例：某地下车库共有灯具 400 个，18WT8LED 灯管，采用分区控制器时控开关，总材料成本 12000 元，按平时使用一半灯具计算，一年电费约 2.7 万元。

优化：将灯具更换成雷达感应 LED 灯管 18W，有人时灯具感应点亮最大亮度 18W 照明，无人时延迟切换为 3W 照明。优化后前期投入增加 15000 元，每年电费约 1 万元，投入本不到两年即可收回，每年可节约电费 1.7 万元左右。

8 电缆与线缆选型的过度设计

8.1 电缆截面过大

问题表现：设计中为了安全和保险，节省压降计算过程，出现电缆截面参数过大的情况。

案例：某厂区动力电缆在设计过程中，设计师凭经验选择 120mm²，从实际情况来看，95mm² 截面电缆可以满足使用要求，根据成本计算，如果采用 120mm² 的电缆，额外产生 40 万的费用。

经济截面计算法：借助载流量、压降等计算方法，选择最优的电缆截面。

8.2 线缆材质的“过度高端化”

问题表现：某厂区中，对于非消防系统使用的电缆，设计师选用 WDZA 电缆，对于消防系统使用的电缆，设计师使用 BTTZ 电缆，确保线缆能够承受火灾等突发险情。

案例对比：

方案 A: 按图纸选用 WDZA\BTTZ 型号电缆，成本可以达到 100 万元；

方案 B: 按规范要求分级选用 ZR/WDZ/WDZB/BTLY 型号电缆，其成本投入为 85 万元，两种方案实际使用效果相似，方案 B 可以节约费用 15 万元。

结论：通过合理分级，按要求选用对应材质的电线电缆，既可以减少施工难度，施工成本也更加容易控制。

9 消防系统的不计成本

9.1 火灾探测器的布置密度大

问题表现：常规设计中，设计师未考虑层高和顶棚条件，探测器的布置按梁窝设置或按规范要求距离的 80% 设置。

案例：仓储中心的大空间区域内，设计未考虑一层层高 8.8 米，二至四层层高 4.4 米的差异，均按梁位均匀布置，不足规范要求距离的 80%，导致火灾探测器布置数量增加 20%。

优化：根据层高和顶棚条件、墙边距和梁突出高度，按规范最大限制要求布置，尽量减少不必要的点位。

9.2 疏散照明设置过多

问题表现：大空间厂房内疏散指示布置过多，把所有柱间空间都按走道计算，致使所有柱子上布置疏散指示灯具。

案例：仓储中心大空间空旷，前期土建预埋，在所有柱子两侧均预埋疏散指示管线，如按原设计施工，需多使用了约 200 个灯具。总体人工材料成本多出 50 万元。

优化：根据疏散距离限制，合理规划各区域物料堆放位置，在必要的疏散区域按规范距离要求合理布置疏散指示灯具。

10 结论与建议

从项目实际效果来看，部分过度设计尽管可以满足使用需求，但也带来资金浪费等系列问题。通过经验总结，在电气设计过程中，设计师应当遵循因地制宜、因时制宜的基本原则，综合负荷计算、配电参数、设备能效等因素，从成本投入和运维费用等维度进行考量，形成最优化的电气设计方案。从本次研究来看，依托负荷精准计算、设备科学选型、容量按需预留等方式，能够在保证电气系统平稳运行的基础上，节约 15% 到 25% 的成本，通过梳理相关案例，通过系列举措，电气设计方案能够在性能提升、经济实用等多个方面之间实现平衡，进而为后续系统设计、成本控制提供可借鉴、可复制的做法 [7]。

为实现电气设计方案的降本增效，设计师要坚持全局理念，运用系统思维，将规划设计、施工建设、维护保养等环节纳入到成本管控的体系中，通过设计方案对设备参数、采购成本、运维费用进行宏观调控，全面提升电气设计水平。

1. 探索电气设计成本审核机制，组织专家、审计团队开展设计方案的经济性评估，全面论证设计方案的可行性与实用性。

2. 做好成本控制培训，借助相关培训，更好地推广全生命周期成本分析方法，提升设计师成本管控的意识与能力。

3. 设计师要做好经验总结，立足行业实际，梳理设计指引，形成设计框架，规避重复性设计问题。

4. 设计师需要定期进行复盘，对比设计目标和设计实际，畅通沟通机制，对于设计复盘过程中发现的问题，即时做好反馈与整改。

参考文献

1. 《工业与民用供配电设计手册》（第四版）. 中国电力出版社, 2016.
2. GB 50052-2009《供配电系统设计规范》.
3. GB 51348-2019《民用建筑电气设计标准》.
4. 中国电力企业联合会.《电力工程造价手册》, 2020.
5. 施耐德电气.《工业能效管理指南》, 2021.
6. 王兆安.《电力电子技术》. 机械工业出版社, 2020.
7. 国家发改委.《“十四五”现代能源体系规划》, 2022.