

# 工业厂房供配电系统设计分析

李 锋

恒天(安徽)建筑设计研究院有限公司 安徽 合肥 230001

**摘要:** 工业厂房供配电系统是支撑生产活动的核心基础设施,其中低压配电系统直接衔接生产设备与能源供给,其设计合理性直接影响生产连续性、设备安全性与运行经济性。本文聚焦工业厂房低压供配电系统(380V/220V)设计,围绕设计原则、核心要点与能效优化展开研究。首先明确设计原则;其次从低压负荷分析与计算、系统架构设计、电气设备选型、保护系统设计四个方面,阐述设计关键环节与操作要点;最后提出设备节能、运行调度优化、损耗控制三类能效提升策略。研究旨在为工业厂房低压供配电系统提供科学设计依据,保障生产设备稳定运行,同时降低能源消耗与运维成本,适用于各类工业厂房低压配电设计场景。

**关键词:** 工业厂房; 供配电系统; 设计要点

引言:当前工业生产对供电可靠性、能效水平的要求不断提升,传统低压配电设计中存在的负荷计算偏差、保护体系不完善、能效管控不足等问题,已难以适配现代化工业生产需求。基于此,本文结合工业厂房低压配电实际工况,系统梳理设计原则、核心要点与能效优化策略,为工程设计提供可落地的技术方案,助力工业厂房实现安全、稳定、高效的供配电运行目标。

## 1 工业厂房供配电系统设计原则

工业厂房低压配电(380V/220V)直接服务生产设备与辅助设施,其设计应遵循以下原则:(1)安全性原则。强化末端防护,设备选IP54及以上防护等级,插座与移动设备回路配30mA及以下剩余电流保护器;线路穿管或桥架敷设,避开高温油污区,相线、零线、PE线截面匹配,接地电阻 $\leq 4\Omega$ ,高危区域用防爆低压设备,杜绝触电与火灾风险。(2)可靠性原则。按设备重要性分级:关键生产设备(如流水线控制单元)采用双回路末端切换,应急设备接EPS/UPS,普通辅助设备单回路供电;优化低压柜布局,缩短供电半径,确保末端电压偏差 $\pm 5\%$ 内,减少故障影响。(3)经济性原则。依低压负荷计算选型,避免回路冗余,选标准化低压柜(如GGD型)降成本;电缆截面按载流量与电压损失校验,优先铜芯电缆直埋或沿梁敷设;预留10%-20%回路容量,避免后期改造重复投入。(4)能效性原则。用IE3及以上高效电机、LED照明,低压侧配自动投切电容器组,将功率因数提至0.92以上;通过智能电表分区计量,结合生产排班错峰用电,降低低压系统线损,助力低碳运行<sup>[1]</sup>。

## 2 工业厂房供配电系统设计要点

### 2.1 低压负荷分析与计算

低压负荷分析与计算是确定系统容量、回路配置的

前提,要精准反映厂房实际用电需求,避免因参数偏差导致设备过载或资源浪费,其要点如下:(1)明确负荷分类逻辑。按生产功能与停机影响,将低压负荷划分为关键生产负荷、辅助生产负荷、应急保障负荷与非必要负荷:关键生产负荷为支撑核心工艺的设备用电(如生产线驱动装置、工艺控制单元);辅助生产负荷为配合生产的设备用电(如物料输送设备、车间通风系统);应急保障负荷为突发情况下需持续运行的设备用电(如应急照明、消防联动装置);非必要负荷为对生产影响较小的用电(如办公区域设备、非生产性照明)。分类需结合厂房生产流程,明确各负荷的运行时长、启停规律,避免混淆负荷优先级。(2)选择适配的计算方法。工业厂房低压负荷计算以需要系数法为主,通过统计各用电设备的额定容量,结合设备运行特性选取需要系数(如连续运行设备需要系数取值0.7-0.9,间歇运行设备取值0.3-0.5),计算各回路、各区域的计算负荷;针对冲击性负荷(如变频启动设备、周期性运行设备),需额外计入冲击系数(通常取1.2-1.5)与同时系数(多回路同时运行概率,取值0.8-0.95),防止瞬时负荷导致系统电压波动或断路器误动作。计算过程中需注意:同一区域内同类设备需合并统计,不同类型设备需单独计算后叠加,确保计算结果贴合实际运行负荷。(3)确定核心设计参数。根据计算结果明确系统总计算容量、总计算电流,以此确定变压器低压侧出线总容量、低压配电柜的回路数量;同时需预留负荷扩容空间,按当前计算负荷的15%-20%预留容量,应对后期设备新增或工艺调整需求;计算各回路的计算电流,作为断路器选型、电缆截面选择的直接依据,确保每个回路的载流能力匹配实际用电需求。

## 2.2 低压配电系统架构设计

低压配电系统架构设计要兼顾供电连续性与运维便利性,通过合理的接线方式与布局规划,减少故障影响范围,提升系统整体稳定性,设计要点如下:(1)主接线方式选择要适配负荷特性。低压系统主接线优先采用单母线分段架构,将低压母线通过分段断路器分为两段,两段母线可独立运行或并列运行:正常工况下,分段断路器闭合,两段母线并列供电,均衡负荷分布;当一段母线或回路故障时,分段断路器断开,隔离故障区域,保障另一段母线正常供电,避免故障扩散至整个系统。针对关键生产负荷集中的区域,需采用双回路末端切换架构,即关键设备由两路独立低压回路供电,两路回路分别引自不同母线分段,末端设置自动切换装置,确保一路回路故障时,另一路可快速切换供电,避免生产中断。(2)配电布局规划要遵循“靠近负荷中心”原则。根据厂房设备分布划分若干配电区域,每个区域设置对应的低压配电柜或配电箱,缩短供电半径,减少线路电压降与功率损耗;配电柜布局需避开设备散热区域、物料运输通道与潮湿积水地带,预留至少1.2米的运维操作空间,便于后期检修与设备更换;配电回路需按负荷类型分区划分,如关键生产负荷回路、辅助生产负荷回路、应急负荷回路分开设置,每个回路标注清晰的负荷用途,避免回路混淆导致的运维困难。(3)回路配置要考虑运行灵活性。每个配电区域的回路数量需按负荷数量与容量确定,单个回路的计算电流不宜超过断路器额定电流的80%,避免长期满负荷运行导致设备过热;同一设备的动力回路与控制回路需分开设置,控制回路采用小截面导线(如1.5-2.5mm<sup>2</sup>),动力回路按计算电流选择截面,确保回路功能独立、故障互不影响;此外,需设置备用回路,备用回路数量按总回路数的10%-15%配置,用于临时新增设备或替换故障回路<sup>[2]</sup>。

## 2.3 低压电气设备选型

低压电气设备选型要匹配负荷特性与使用环境,避免因设备性能不达标导致故障,重点关注设备参数适配性与环境适应性。(1)低压配电柜选型要兼顾防护与功能。优先选用标准化柜体(如GGD型、GCK型),柜体材质采用冷轧钢板(厚度不小于2mm),表面做防腐处理(如静电喷塑);防护等级需根据安装环境确定:干燥洁净区域选用IP30及以上,潮湿多尘区域选用IP54及以上,油污环境选用IP55及以上,防止粉尘、水汽进入柜体影响设备运行;柜内配置需满足回路需求,如主回路采用塑壳断路器,分支回路采用微型断路器,同时预留足够的端子排与安装空间,便于后期回路扩展。(2)断

路选型要精准匹配回路参数。塑壳断路器主要用于主回路与大功率设备回路,额定电流需按回路计算电流的1.2-1.5倍选取,分断能力需大于系统预期短路电流(通常按10-30kA选取),脱扣器类型选用过载长延时+短路瞬时脱扣器,长延时脱扣电流按额定电流设定,瞬时脱扣电流按额定电流的5-10倍设定;微型断路器用于小功率设备回路与照明回路,额定电流按回路计算电流的1.1-1.2倍选取,分断能力按6-10kA选取,脱扣器类型根据负荷特性选择,避免设备启动时误跳闸。(3)配电线路选型要满足载流与安全要求。导线材质优先选用铜芯,铜芯导线导电性能好、抗腐蚀能力强,适配工业长期运行需求;电缆截面选择需同时满足载流量、电压损失与机械强度要求:按回路计算电流确定最小载流量截面,按供电半径计算电压损失(末端电压偏差需控制在±5%以内),若电压损失超标则增大截面;线路敷设方式需结合厂房结构:电缆沟敷设需做好防水、排水处理,沟内设置支架固定电缆,避免电缆浸泡;桥架敷设需选用防火桥架(如钢制防火桥架),桥架间距与高度需满足散热与运维需求;穿管敷设需选用阻燃管材,管材直径需大于电缆外径的1.5倍,避免电缆挤压受损。

## 2.4 低压供配电系统保护设计

低压供配电系统保护设计要构建多层次防护体系,快速识别并隔离故障,保障设备与人身安全,避免故障扩大,其设计要点如下:(1)设备保护要覆盖过载、短路与过电压风险。过载保护通过断路器长延时脱扣器实现,当回路电流超过长延时脱扣电流且持续一定时间(通常为10-30秒),断路器自动跳闸,防止设备因长期过载过热损坏;短路保护通过断路器瞬时脱扣器实现,当回路发生短路(电流骤增)时,脱扣器瞬时动作(动作时间小于0.1秒),切断回路,避免短路电流烧毁设备;过电压保护在低压母线侧与敏感设备前端配置浪涌保护器(SPD),SPD标称放电电流需按系统最大预期浪涌电流选取(通常为20-40kA),限制过电压幅值(不超过2.5倍额定电压),保护变频器、控制单元等敏感设备免受电网波动或雷击影响。(2)人身保护要重点强化漏电防护。插座回路、移动设备回路(如手持工具、临时照明)必须配置剩余电流动作保护器(RCD),RCD动作电流不大于30mA,动作时间不大于0.1秒,当设备外壳带电或线路漏电时,RCD快速切断回路,防止人员触电;车间地面配电回路、设备金属外壳需设置保护接地,接地导体选用黄绿双色铜芯线,接地电阻需控制在4Ω以内,确保漏电电流能快速导入大地;此外,低压配电柜柜体、桥架、穿线管需做等电位连接,减少不同设

备间的电位差,避免人员接触时发生电击。(3)故障隔离保护要提升系统容错性。采用分级保护架构,主回路断路器分断能力大于分支回路,上级断路器脱扣时间大于下级(如上级长延时脱扣时间设定为30秒,下级设定为10秒),实现“故障在哪级,哪级跳闸”,避免越级跳闸导致大面积停电;关键生产负荷回路配置故障报警装置,当回路电流、电压异常时,通过指示灯或声光报警提醒运维人员,便于快速定位故障;低压母线分段处配置备用电源自动投入装置(AT S),当一段母线失电时,AT S在1-3秒内将备用电源接入,保障关键负荷持续供电<sup>[3]</sup>。

### 3 低压供电系统能效的优化

低压供电系统能效优化需从以下设备、运行、损耗三方面入手,在保障供电稳定的前提下,减少能源浪费,降低长期运行成本。(1)设备节能要选用高效产品。变压器低压侧需匹配能效需求,优先选用低损耗变压器,其负载损耗比传统变压器降低15%以上,减少铁芯与绕组的电能损耗;电机选用高效节能型,高效电机定子绕组电阻更小,铁损与铜损更低,比普通电机节能8%-10%;照明设备选用LED灯具,LED灯具光效高(不低于100lm/W)、功耗低,比传统荧光灯节能50%以上,且使用寿命更长,减少更换频率。(2)运行节能要优化负荷调度。通过负荷监测调整运行方式,将高耗能设备(如加热装置、大功率风机)的运行时间错开用电高峰,避免多台高耗能设备同时启动导致的负荷集中,均衡低压系统负荷分布;针对间歇运行设备,采用自动启停控制,当设备无运行需求时自动断电,避免空载损耗;应急照明与普通照明分开控制,非工作时段关闭普通照

明,仅保留应急照明,减少不必要的电能消耗。(3)损耗控制要优化线路与配置。缩短低压配电半径,将配电柜靠近负荷中心,减少线路长度,降低线路电阻损耗;增大电缆截面,当计算截面为16mm<sup>2</sup>时,可选用25mm<sup>2</sup>电缆,线路损耗可降低约36%,但需平衡成本与损耗,避免过度增大截面导致浪费;低压侧配置无功补偿装置,优先选用自动投切式并联电容器组,根据系统功率因数动态调整补偿容量,将功率因数提升至0.92以上,减少无功功率传输导致的线路损耗;低压母线采用封闭母线槽替代传统电缆,母线槽导电性能好、散热效率高,比电缆减少10%-15%的母线损耗<sup>[4]</sup>。

结束语:本文系统构建了工业厂房低压供电系统的设计框架,从原则确立到要点实施,再到能效优化,形成了完整的技术逻辑链。通过安全防护强化、负荷精准计算、架构合理规划、设备适配选型与多层级保护设计,可有效保障低压配电系统的运行稳定性;而设备节能、运行调度与损耗控制策略,能进一步降低系统能耗与运维成本。

### 参考文献

- [1]肖玉龙.高层工业园区供电系统设计要点与分析[J].福建建设科技,2025(4):108-111.
- [2]郭岐,山琳洁,李诚,郑之远.某工业园区供电系统高可靠性设计[J].中国新技术新产品,2025(9):75-77.
- [3]李小明.浅析基于节能需求的工厂供电系统设计[J].中国设备工程,2025(14):149-151.
- [4]李英伟.工业厂房供电系统的设计和应用[J].科技通报,2019,35(5):103-106.