

商业综合体建筑电气的供配电系统设计

张波平

北京维拓时代建筑设计股份有限公司长沙分公司, 湖南长沙, 410000;

摘要: 商业综合体作为集购物、餐饮、娱乐、办公、居住等多元功能于一体的城市复合型建筑, 其电气供配电系统是保障建筑安全运行、支撑各类功能高效运转的核心基础设施。该系统需在满足多样化用电需求的基础上, 兼顾可靠性、安全性、经济性与智能化四大核心目标。本文围绕商业综合体供配电系统设计展开系统性分析, 阐述科学设计思路与实施要点, 为同类建筑供配电系统的设计与优化提供全面的实践参考。

关键词: 商业综合体; 建筑电气; 供配电系统

DOI: 10.69979/3029-2727.26.01.032

引言

在城市化进程加速与商业形态升级的双重驱动下, 商业综合体已成为现代城市功能聚合的重要载体, 其以“一站式”服务理念整合多元业态, 形成集消费、办公、生活、休闲于一体的复合型空间。供配电系统作为商业综合体的“能源中枢”, 不仅需满足不同业态的日常用电需求, 更需保障消防、应急照明、安防监控等关键系统的连续稳定运行。一旦发生供电中断, 不仅会导致商业运营停滞, 造成直接经济损失, 还可能引发人员疏散混乱、设备损坏等安全风险, 直接影响建筑的使用功能与社会声誉。因此, 如何结合商业综合体的功能特性与运行需求, 设计一套安全可靠、经济高效、灵活智能的供配电系统, 成为建筑电气设计领域的核心课题, 也是保障商业综合体长期稳定运营的重要前提。

1 商业综合体供电方案设计

供电方案是供配电系统的“顶层设计”, 需综合考量负荷等级、负荷容量、城市电网条件、建筑布局及运营需求, 确定供电电源、电压等级与供电模式, 实现可靠性与经济性的平衡。

1.1 供电电源与电压等级选择

1.1.1 供电电源

为满足一级负荷的供电要求, 商业综合体必须采用双重电源供电。双重电源通常从城市电网的两个不同变电站或同一变电站的不同母线引入, 确保两路电源相互独立, 避免因单一变电站或母线故障导致全楼停电。对于建筑面积超过 10 万 m^2 、负荷容量较大的大型商业综合体, 除双重电源外, 还需配置自备应急电源, 作为双重电源均故障时的最终保障。常用的自备应急电源包括柴油发电机组与 EPS 应急电源: 柴油发电机组适用于消防水泵、防排烟风机、消防电梯等大容量一级负荷, 具备长期供电能力; EPS 应急电源适用于应急照明、疏散指示、安防监控等小容量一级负荷, 采用蓄电池储能,

切换时间极短, 可实现“零间断”供电。

1.1.2 电压等级

目前国内商业综合体的高压供电电压等级主要采用 10kV, 该等级具有设备成熟、运维便捷、电网覆盖广泛等优势, 能满足大多数商业综合体的负荷容量需求。当项目负荷容量超过 20000kVA, 且城市电网具备 35kV 供电条件时, 可考虑采用 35kV 供电, 通过减少变压器数量与线路电流, 降低线路损耗与设备投资, 提升供电效率。低压配电系统统一采用 380V/220V 三相四线制, 其中 380V 用于动力设备, 220V 用于照明设备、单相插座及小型用电设备, 满足不同设备的电压需求。

1.2 供电模式规划

1.2.1 集中供电模式

在建筑地下层或裙楼设置一座中心变配电所, 集中接收两路 10kV 高压电源, 通过变压器降压后向全楼各区域供电。该模式适用于建筑面积 ≤ 5 万 m^2 的中小型商业综合体, 优点是设备集中布置, 管理维护便捷, 初期设备投资与占地面积较小; 缺点是低压配电线路较长, 线路损耗较大, 且单一变配电所故障可能影响全楼供电, 灵活性与可靠性相对较低。

1.2.2 分区供电模式

根据商业综合体的功能分区, 设置一座中心变配电所与多座分区变配电所。中心变配电所负责接收高压电源, 并将其分配至各分区变配电所; 各分区变配电所通过变压器降压后, 向各自负责的区域供电。该模式适用于建筑面积 > 5 万 m^2 的大型商业综合体, 优点是低压线路短, 线路损耗小, 各分区供电相对独立, 某一分区变配电所故障不会影响其他区域, 灵活性与可靠性更高; 缺点是设备投资与占地面积较大, 需要协调各分区的供电管理。

1.3 应急供电系统设计

1.3.1 柴油发电机组系统

作为长期应急电源,其容量需根据应急负荷的总容量确定,通常需满足消防水泵、防排烟风机、消防电梯、应急照明等全部一级负荷的供电需求。发电机组应设置在建筑地下层或地面专用机房内,具备自动启动、自动切换、自动停机功能——当主电源中断时,发电机组应在 15s 内启动,通过 ATS 将应急负荷切换至发电机组供电;当主电源恢复正常后,系统自动切换回主电源,并延时停机。此外,发电机组需配置燃油储备系统,燃油储备量应满足应急供电时间不低于 3 小时的要求。

1.3.2 EPS 应急电源系统

作为短期应急电源,主要用于应急照明、疏散指示标志、安防监控系统、消防控制室设备等小容量一级负荷。EPS 系统采用蓄电池作为储能元件,能实现“零切换”,避免供电中断对敏感设备造成影响。其放电时间需满足《建筑设计防火规范》要求,通常不低于 90min,确保火灾等紧急情况下的应急疏散与初期灭火工作需求。

2 变配电系统设计

2.1 变压器选型与配置

变压器容量应根据负荷分析得出的计算负荷确定,并预留 10%~20%的裕量,以应对未来负荷增长与设备短期过载需求,避免变压器长期满负荷运行导致损耗增加与寿命缩短。同时,需考虑变压器的负载率,正常运行时负载率控制在 70%~80%为宜,此时变压器的运行效率最高,能耗最低。

2.2 高压配电系统设计

2.2.1 接线方式

商业综合体高压配电系统主流采用“单母线分段接线”方式,该方式将高压母线分为两段,每段母线分别由一路高压电源供电,两段母线之间设置分段断路器。正常运行时,分段断路器断开,两路电源独立向各自母线供电,实现负荷均分;当一路电源故障时,分段断路器自动闭合,由另一路电源承担两段母线的全部负荷,确保高压配电系统的连续性。该接线方式兼具可靠性与灵活性,设备投资适中,适合商业综合体的供电需求。对于对供电可靠性要求极高的超大型商业综合体,可采用“双母线接线”方式,但该方式设备投资大、占地面积广,一般项目较少采用。

2.2.2 设备配置

高压配电设备选用中置式高压开关柜,其具有结构紧凑、占地面积小、维护方便等优点。开关柜内配置真空断路器,真空断路器具有开断能力强、灭弧效果好、使用寿命长、维护量小等特点,能满足商业综合体高压配电系统的运行要求。同时,高压系统需配置完善的保护装置,包括过电流保护、短路保护、零序接地保护、

过电压保护等:过电流保护用于防止线路与设备过载;短路保护用于快速切断短路故障,避免事故扩大;零序接地保护用于检测线路单相接地故障,保障设备绝缘与人身安全;过电压保护通过在开关柜内配置避雷器,抑制雷电过电压与操作过电压,保护设备绝缘。

2.3 低压配电系统设计

2.3.1 配电方式

低压配电系统采用“放射式与树干式结合”的混合配电方式,根据设备的容量、重要性与分布特点选择适宜的方式:放射式配电:电源从低压配电柜直接引出独立线路至用电设备,适用于大容量设备与重要设备。该方式的优点是供电可靠性高,线路故障时影响范围小,便于精准控制与维护;缺点是线路耗材多,初期投资较大。树干式配电:电源从低压配电柜引出主干线,再通过分支线连接至多个用电设备,适用于小容量、分散性设备。该方式的优点是线路布置简洁,耗材少,投资较低;缺点是供电可靠性相对较低,主干线故障时会影响所有分支设备的供电。

2.3.2 线路敷设

低压配电线路的敷设需兼顾安全性、防火性、美观性与维护便捷性,根据建筑区域的环境特点选择适宜的敷设方式与电缆类型:电缆选择:干线电缆优先选用交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套电力电缆,该电缆具有绝缘性能优良、耐热性好、机械强度高、使用寿命长等优点。消防负荷线路需选用阻燃型电缆或耐火型电缆,阻燃电缆能抑制火焰蔓延,耐火电缆在火灾高温环境下能保持一定时间的正常供电,确保消防设备的运行。敷设方式:地下设备层、变配电所周边区域采用电缆桥架敷设,电缆桥架具有承载能力强、敷设便捷、维护方便的特点;商业零售区、办公区、酒店客房等区域采用穿管暗敷或电缆沟敷设,避免线路外露影响空间美观;吊顶内线路需穿金属管保护,防止火灾时线路受损,同时减少电磁干扰。线路敷设过程中,需避免与给排水管道、热力管道平行敷设,防止管道漏水、漏热损坏电缆。

2.3.3 保护与控制

低压配电系统需配置完善的保护装置与控制设备,保障设备与人身安全,实现对用电设备的有效管理:断路器保护:低压配电柜内配置塑壳断路器与微型断路器,实现过电流保护、短路保护与漏电保护。当设备过载或短路时,断路器能快速跳闸切断电源,防止设备损坏;当线路或设备发生漏电时,漏电保护器能立即动作,切断电源,防止触电事故。电机保护:对于水泵、风机、电梯等电动机设备,配置电机保护器或热继电器,实现过载保护、缺相保护与过流保护。当电机出现过载、缺相或过流故障时,保护器能及时切断电源,避免电机烧

毁。

3 节能与智能化设计

3.1 节能设计

3.1.1 设备节能

选用节能型电气设备，从源头降低能耗。变压器选用1级能效干式变压器，降低空载与负载损耗；电机选用高效节能电机，提升电机运行效率；照明设备全面采用LED节能灯具，LED灯具具有光效高、寿命长、能耗低的特点，与传统荧光灯相比，能耗可降低50%以上；空调、水泵、风机等设备配置变频调速装置，根据负荷变化自动调节运行转速，避免设备在额定转速下长期运行造成的能源浪费。

3.1.2 系统节能

优化供配电系统布局，降低线路损耗。合理规划变配电所位置，使变配电所尽量靠近负荷中心，缩短低压配电线路长度，减少线路电阻损耗；选用截面适宜的电缆，避免电缆截面过小导致线损增加；合理划分配电区域，减少跨区域供电，提升供电效率。同时，利用可再生能源补充建筑用电，在建筑屋顶、停车场顶棚等区域安装太阳能光伏系统，将太阳能转化为电能，用于照明、插座等负荷供电，降低对城市电网的依赖，减少碳排放。

3.1.3 管理节能

建立完善的用电计量与管理系统，实现用电的量化管理与精准控制。按功能分区、商户、设备类型安装智能电表，实时监测用电数据，分析用电规律，识别节能潜力；制定科学的运行策略，非营业时间关闭非必要照明、空调设备，降低待机能耗；根据商业综合体的客流变化，动态调整照明亮度与空调温度，在满足舒适度的前提下减少能耗；定期对供配电设备进行维护保养，确保设备处于最佳运行状态，避免设备故障导致的能耗增加。

3.2 智能化设计

3.2.1 智能监控系统

搭建电力监控系统，通过在变配电设备上安装智能传感器与仪表，实时采集电压、电流、功率、功率因数、温度、开关状态等运行参数，数据传输至中央监控平台。运维人员可通过监控平台远程查看设备运行状态，实时掌握系统运行情况，无需现场巡检，提升运维效率。同时，系统具备故障报警功能，当设备出现过电压、过电流、温度过高、开关跳闸等异常情况时，能自动发出声光报警，并推送报警信息至运维人员手机，便于及时处置，减少故障停机时间。

3.2.2 自动控制与调度

实现供配电系统的自动化控制与智能调度，提升系统运行的灵活性与可靠性。应急电源系统与主电源之间实现自动切换，主电源故障时自动启动应急电源，主电源恢复后自动切换回主电源；变压器负荷实现自动分配，根据各变压器的负载率自动调整负荷分布，避免单台变压器过载；照明系统采用智能照明控制，根据自然光强度、人员流动情况自动调节照明亮度与开关状态；空调、水泵等设备采用自动控制，根据环境温度、负荷需求自动调节运行参数，实现按需供电。

3.2.3 数据化管理与运维

利用大数据分析技术，对电力监控系统采集的运行数据进行统计、分析与挖掘，构建用电负荷预测模型，预测未来负荷变化趋势，为变压器容量调整、供电方案优化提供数据支持；建立设备运维管理数据库，记录设备的安装时间、维护记录、故障历史，制定基于设备状态的预防性维护计划，避免设备“过度维护”或“维护不足”，延长设备寿命，降低运维成本；通过数据可视化技术，将用电数据、设备状态以图表形式直观展示，为运营管理决策提供依据，实现从“被动运维”向“主动管理”的转变。

4 结束语

商业综合体供配电系统设计是一项系统性、综合性的工程，需充分考量建筑的功能特性、负荷需求、运行模式与安全要求，以可靠性与安全性为核心，兼顾经济性、节能性与智能化。通过科学的负荷分析，精准把握不同区域的用电需求与优先级。在实际设计过程中，需结合项目的具体情况，动态调整设计方案，平衡各项设计目标，确保系统既能满足当前的运营需求，又具备一定的扩展性，以适应未来商业业态调整与用电负荷增长。随着新能源技术、物联网技术、人工智能技术的不断发展，商业综合体供配电系统将朝着更智能、更节能、更可靠的方向升级，进一步推动商业建筑的绿色化、智慧化发展，为城市商业空间的高效运营提供更坚实的能源保障。

参考文献

- [1] 汪永红. 基于超高层综合体项目的电气设计[J]. 中国建筑金属结构, 2023, 22(05): 120-122.
- [2] 季华路. 商业综合体供电系统设计探索[J]. 电气时代, 2023, (05): 89-92.
- [3] 张清峰. 基于综合体项目的消防电气安装技术研究[J]. 城市建筑空间, 2022, 29(S2): 742-744.
- [4] 管越. 城市商业综合体的电气设计特点研究[J]. 中国设备工程, 2024, (21): 247-248.