商业综合体供配电系统设计与负荷密度取值探讨

李 跃
陕西冶金设计研究院有限公司 陕西 西安 710000

摘 要：商业综合体业态多元、负荷复杂，供配电设计面临可靠性、经济性与安全性的多重挑战。负荷密度取值作为设计基础参数，直接影响变压器容量选择与配电方案合理性。本文在分析商业综合体功能分区与用电负荷特性的基础上，阐述了供配电系统设计的核心理论与规范依据，从供电等级、高低压配电、应急电源、节能防护等方面构建整体设计方案，重点探讨负荷密度取值的传统方法缺陷、关键影响因素及基于动态负荷的优化方法，并结合工程案例进行验证。结果表明，分区分业态取值与动态修正相结合，可有效提升负荷密度取值的科学性与工程适用性。

关键词：商业综合体；供配电系统；负荷密度

引言：随着城市化进程加快与消费模式升级，商业综合体已成为现代城市空间的重要载体。这类建筑通常建筑面积大、业态涵盖零售、餐饮、影院、办公等多种功能，用电设备种类繁多，负荷特性差异显著。供配电系统作为商业综合体的核心基础设施，其设计质量直接关系到建筑运营的安全性与经济性。因此，科学确定负荷密度、优化供配电方案，成为亟待解决的工程课题。本文旨在通过理论分析与案例验证，系统探讨商业综合体供配电系统设计要点与负荷密度取值的合理方法，为同类工程提供参考。

1 商业综合体用电负荷特性与基础理论

1.1 商业综合体功能分区与用电设备构成

商业综合体通常按功能划分为零售区、餐饮区、娱乐区、办公区及公共区域。零售区以照明、空调、展示设备、收银系统为主，单店面积小但数量多；餐饮区配置电炊具、冷藏冷冻设备、排烟风机、消毒柜等，用电设备功率大且使用集中；娱乐区包括影院、KTV、电玩城、健身中心等，影院有放映设备与音响系统，健身中心有跑步机等动力设备；办公区以照明、空调、电脑、电梯为主；公共区域涵盖中庭照明、自动扶梯、通风空调、安防监控等。此外，地下车库设有充电桩、通风与消防设备。各功能区用电设备构成差异显著，决定了负荷密度的分区特征。

1.2 商业综合体用电负荷特性分析

商业综合体用电负荷具有明显的时间波动性与业态差异性。营业时段负荷达到高峰，尤其是周末与节假日，餐饮和娱乐区域负荷激增；非营业时段负荷大幅下降，仅保留安保、消防、冷藏等必要用电。夏季空调负荷占比可达40%~50%，冬季因采暖方式不同而有所变化。餐饮区用电高峰集中在午晚时段，影院高峰在晚间，办公区高峰在白天，各业态高峰并非完全同步，整体负荷曲线呈现“多峰叠加”特征[1]。此外，大量非线性负载（LED照明、变频器、UPS）产生谐波，导致电压畸变与变压器过热，增加了供配电设计的复杂性。

1.3 供配电系统设计核心理论与规范依据

商业综合体供配电系统设计应遵循《民用建筑电气设计标准》（GB 51348—2019）、《建筑设计防火规范》（GB 50016—2014（2018 年版））、《供配电系统设计规范》（GB 50052—2009）等。核心理论包括负荷计算（单位指标法、需要系数法、利用系数法）、负荷分级（一级、二级、三级）、供电可靠性（双电源、应急电源）、无功补偿与谐波治理等。负荷计算是系统设计的基础，单位指标法因简便快捷在方案阶段应用最广；负荷分级决定供电电源与应急配置；无功补偿与谐波治理保障电能质量。规范依据为设计提供技术底线，但需结合项目具体条件灵活应用。

1.4 负荷密度取值核心原理

负荷密度取值是供配电系统方案设计的基础环节，其核心原理是以单位建筑面积用电功率（W/m²或VA/m²）为指标，估算建筑总计算负荷。基本公式为：$P_{js} = \rho \times S$，其中P_{js}为计算有功功率，ρ为负荷密度指标，S为建筑面积。求得计算功率后，结合功率因数与需要系数，可确定变压器视在容量。工程常用单位指标法、需要系数法、利用系数法。商业综合体业态复杂，建议采用分区分业态单位指标法，并引入同时使用系数修正。负荷密度直接决定变压器容量、线缆截面与工程投资，取值偏大易浪费投资，偏小则存在供电隐患，设计应结合规范、实测数据及项目条件综合选取。

2 商业综合体供配电系统整体设计方案

2.1 供电等级与负荷分级设计

商业综合体应根据建筑规模与重要性确定供电等级。大型商业综合体通常按一级负荷用户设计，消防电梯、消防水泵、防排烟风机、应急照明、火灾报警系统等为一级负荷，须由两个独立电源供电；主要商业营业厅、自动扶梯、空调主机等为二级负荷；一般办公、普通照明为三级负荷。一级负荷中特别重要负荷（如安防监控、信息机房）还需配置UPS。负荷分级应严格遵循规范，并结合项目实际运营需求合理调整，避免分级过高导致投资浪费或分级过低影响安全。

2.2 高压供配电系统设计

高压供配电系统通常采用10kV电压等级。大型商业综合体宜从城市电网引入两路独立10kV电源，采用单母线分段接线，正常运行时两路电源同时供电、互为备用。当一路电源故障时，另一路承担全部重要负荷。对于超大型项目，可设置10kV/0.4kV变配电所分区供电，缩短低压供电半径，降低线路损耗。高压柜宜选用铠装移开式开关柜，配置微机保护装置，实现过流、速断、零序保护。计量方式可采用高供高计或高供低计，根据当地供电部门要求确定[2]。

2.3 低压供配电系统设计

低压配电系统采用0.4kV电压等级，接线形式以放射式与树干式结合为主。对于大容量设备（空调主机、水泵）采用放射式供电，可靠性高；对于分散的小容量负荷（照明、插座）采用树干式供电，经济性好。变配电所应靠近负荷中心设置，通常位于地下室或设备层。变压器宜选用干式变压器，容量根据负荷计算确定，长期运行负载率宜控制在40%~60%。低压柜应配置无功补偿装置，目标功率因数达到0.95以上。配电线路应采用阻燃或耐火电缆，重要负荷回路采用耐火电缆。

2.4 备用与应急供电系统设计

商业综合体应设置柴油发电机作为应急电源，容量满足消防负荷与重要保障负荷需求，启动时间不超过15秒。发电机宜设置在地下室专用机房，配置储油间与排烟系统。对于信息机房、收银系统、安防监控等特别重要负荷，应配置UPS不间断电源，后备时间不小于30分钟。另外，应急照明系统应采用集中电源或自带蓄电池方式，疏散指示标志持续供电时间不小于30分钟。备用与应急电源应定期测试，确保可靠启动。

2.5 配电节能与安全防护设计

配电节能措施包括：选用高效低耗变压器（如SCB14型）、优化供电半径减少线路损耗、采用动态无功补偿（SVG）与有源滤波（APF）、推广LED照明与变频调速技术。安全防护包括：采用TN-S接地系统，设置专用保护导体；实施等电位联结，降低接触电压；按建筑防雷等级设置避雷带、避雷针及浪涌保护器（SPD），SPD分级安装形成多级防护；电气火灾监控系统实时监测漏电流与温度，预防电气火灾。

3 商业综合体负荷密度取值分析与优化

3.1 传统负荷密度取值方法与缺陷

传统负荷密度取值主要依据规范推荐范围与工程经验。《民用建筑电气设计标准》GB 51348—2019推荐大型商业建筑负荷密度为80~120 VA/m²，中型商业为60~100 VA/m²。然而，该方法存在明显缺陷：一是采用单一指标，未区分业态差异，导致餐饮等高负荷区域取值偏低、零售等低负荷区域取值偏高；二是未考虑同时使用系数的动态变化，各业态高峰不同步，简单叠加导致容量偏大；三是未计入谐波对变压器有效容量的影响；四是缺乏对项目具体条件（气候、设备水平、运营模式）的修正，导致取值与实际脱节[3]。

3.2 负荷密度取值的关键影响因素

影响负荷密度取值的关键因素包括：业态构成，餐饮负荷密度可达零售的2~3倍，冰场可达250~300 W/m²；地域气候，夏热冬冷地区空调负荷显著高于温和地区，同一业态在不同气候区可相差20%~30%；建筑形态与围护结构，体形系数大、玻璃幕墙比例高的建筑空调负荷更高；电气化水平与设备选型，全电厨房与传统燃气厨房差异巨大，LED照明较传统灯具节电50%以上；同时使用系数，各业态高峰不同步，整体计算负荷需乘以0.7~0.9的系数；发展裕量，业态更新快需预留10%~15%裕量，但不宜过大以免变压器长期低载。

3.3 各功能分区负荷密度统计与取值分析

根据国内多个项目实测数据与工程经验，各功能分区负荷密度建议取值如下：零售区80~100 W/m²，餐饮区150~180 W/m²，影院120~150 W/m²，冰场250~300 W/m²，健身中心100~130 W/m²，办公区70~90 W/m²，公共区域50~70 W/m²，地下车库20~30 W/m²。对于含充电桩的车库，应按充电桩数量与功率单独计算。取值时应根据项目定位、设备选型、气候条件进行修正，高端项目取上限，节能型项目可取下限。同时使用系数宜取0.75~0.85，餐饮占比高的项目可取较高值。

3.4 基于动态负荷的负荷密度取值优化方法

基于动态负荷的优化方法包括：一是分区分业态加权计算，按各功能区面积与对应密度加权求取整体负荷密度；二是引入同时使用系数动态修正，根据各业态高峰时段重叠情况确定系数；三是考虑谐波导致的变压器降容系数（通常0.8~0.9），修正有效容量；四是预留发

展裕量，建议10%~15%；五是结合实测数据反馈修正，对连锁品牌或成熟商业体，参考同类项目实测负荷数据优化取值。通过上述方法，可实现负荷密度取值的科学化与动态化，避免“一刀切”。

4 工程案例分析与验证

4.1 项目工程概况

某二线城市商业综合体，总建筑面积12万m²，地上5层、地下2层。业态包括零售5万m²、餐饮2.5万m²、影院1万m²、儿童乐园0.8万m²、健身中心0.7万m²、办公1.5万m²、公共区域0.5万m²。项目于2022年设计，2024年投入运营。建筑采用节能围护结构，空调系统为变频多联机，照明以LED为主，餐饮区部分采用全电厨房。

4.2 项目供配电系统设计方案落地

项目从城市电网引入两路独立10kV电源，采用单母线分段接线。设置4台2500kVA干式变压器，总容量10000kVA，分设两个变配电所，分别负责商业区与办公区供电。设置两台800kW柴油发电机，满足消防及重要负荷。低压配电采用放射式与树干式结合，无功补偿采用SVG，总补偿容量3600kvar；谐波治理配置APF，总容量1200A。应急照明采用集中电源，信息机房配置UPS。接地系统采用TN-S，设置等电位联结与多级SPD。

4.3 优化后负荷密度取值应用与对比

项目采用分区分业态负荷密度取值：零售85 W/m²、餐饮160 W/m²、影院130 W/m²、儿童乐园120~150 W/m²、健身中心120 W/m²、办公75 W/m²、公共区域60 W/m²。计算总功率约11800 kW，取同时使用系数0.78，功率因数0.92，计算视在功率约10000 kVA。与传统单一指标法（取100 VA/m²，计算容量12000kVA）相比，优化方法减少变压器安装容量2000kVA，节约投资约15%，同时避免了餐饮区过载风险。优化后各分区负荷密度更贴合实际，变压器负载率更合理[4]。

4.4 项目运行效果与可行性验证

项目运营一年后，实测最大需量约7200kVA，变压器平均负载率约55%，高峰时段负载率约72%，未出现超载。功率因数维持在0.96以上，谐波电压畸变率小于4%。消防负荷、应急照明、安防系统均通过可靠性测试。运行效果表明，负荷密度取值与同时系数选择较为合理，供配电系统设计满足运营需求。但也发现，餐饮区实际负荷略高于设计值，建议后续项目餐饮负荷密度取170 W/m²；影院散场后负荷骤降，未来类似项目应考虑持续负荷的独立供电方案。

结束语

商业综合体供配电系统设计是一项系统性工程，负荷密度取值既是起点也是关键。本文通过分析商业综合体的负荷特性，阐述了供配电系统设计的核心理论与整体方案，重点探讨了负荷密度取值的传统方法缺陷、关键影响因素及基于动态负荷的优化方法，并结合工程案例验证了分区分业态取值与动态修正相结合的有效性。未来，随着直流供电、分布式能源、智能微网等技术的应用，商业综合体供配电设计将迎来新的变革，负荷密度取值方法也需与时俱进，为建筑可持续发展提供支撑。

参考文献

[1]黄胜兵.某大型商业综合体供配电系统设计[J].现代建筑电气，2023，14(7)：44-51.

[2]廖文敏.大型城市综合体项目供配电系统设计探析[J].现代建筑电气，2025，16(10):18-23.

[3]李凯.大型商业综合体供配电系统的设计[J].新材料·新装饰，2022，4(15)：37-39.

[4]章燕萍.大型商业综合体配电系统设计及安全性分析[J].建筑工程技术与设计,2024,12(4):136-138.