[建筑电气]

综合体建筑供配电系统设计与分析

文/民航机场规划设计研究总院有限公司华北分公司　吴 凡

以一典型综合体工程为例，统计了建筑内各类业态的各级、各类负荷的容量及密度，从而推算出各类业态的变压器装机指标。在此基础上，详细阐述了其供配电设计的思路、原则等内容。文章为今后此类建筑的供配电设计工作提供了数据依据和方案参考。

综合体建筑中的各业态交错分布，形成了一种统一高效的建筑模式，其建设数量逐年增长。综合体建筑内的各种业态在区域上既有划分又有联系，且各类业态往往有着不同的产权归属和经营管理模式。因此，只有在充分了解建设方的需求，并得到其明确的设计条件后方可进行有效的规划设计。本文以一典型工程为例，详细统计其中各类业态下的各类、各级负荷，在此基础上阐述并分析供配电系统的设计方案。

项目概况

本项目包含：商业办公综合楼、商业公寓配套楼、住宅楼和车库等建筑类型。本文着重分析项目中商业办公综合楼、商业公寓配套楼的配电方案。其余部分如住宅、住宅区车库等区域不在本次讨论范围。

其中商业办公综合楼，建筑层数为 23 层、高度 98.9 m（不含屋顶机房），建筑面积约 5.42 万 m^2。其中地下 1 层至地上 5 层裙楼的部分区域为商业，建筑面积约 1.32 万 m^2。地下 1 层至地上 5 层裙楼的部分区域及地上 6 层至顶层塔楼的全部区域为办公，建筑面积约 3.74 万 m^2。地下 2 层为车库，建筑面积约 0.36 万 m^2。

其中商业公寓配套楼，建筑层数为 5 层、高度 20.20 m（不含屋顶机房），建筑面积约 0.42 万 m^2。其中地下 1 层、地上 1 层为配套商业；地上 2 层至 5 层为公寓。

负荷分级和统计

1. 商业办公综合楼负荷分级与统计

本建筑裙楼的大部分区域为商业，裙楼东北角为办公塔楼的交通核。裙楼商业部分建筑面积约 1.32 万 m^2，根据 JGJ48—《商店建筑设计规范》第 1.0.4 条可知，本建筑商业区域属于中型商店。第 3.3.2 条可知，经营管理用计算机和应急照明为一级负荷，客梯、公共安全系统、信息网络系统、主要通道及楼梯间照明等为二级负荷。根据 JGJ64—2017《饮食建筑设计标准》第 1.0.4 条可知，本建筑商业区域属于特大型餐饮建筑。因此，此建筑的用餐区域、公共区域的备用照明用电应为一级负荷，自动扶梯、空调用电应为二级负荷。其计算机管理设备设置不间断供电电源作为备用电源。消防类设备为一级负荷。

塔楼为办公楼，高度 98.9 m，为一类高层建筑。根据 JGJ16—2008《民用建筑电气设计规范》附表可知，其中走道照明、值班照明、主要业务和计算机系统电源、客梯和生活水泵等为一级负荷。消防类设备为一级负荷。

此外，本建筑商业区域不含须确保供电的大容量设备（如冷冻冷藏等设备）；办公区域不含金融、互联网等特殊业态，故无须考虑如数据中心等设备的配电需求。因本项目市政部门能够提供两路独立 10kV 电源，故可不设置柴油发电机。

经过负荷统计，不同等级负荷的容量详见表 1。

表 1　商业办公综合楼（不含车库）负荷分级及容量表

负荷分类	消防负荷	一二级负荷（含特级）（平时）	三级负荷（平时）		总负荷（平时）
负荷名称	消防设备	计算机房、安防系统、走道、公区照明、客货梯、换热站等	户内用电、公共插座、普通动力等	冷冻机房	建面 5.06 万 m^2 全部平时设备
设备安装功率/kW	810	1 025	4 540	2 072	7 637

表 1 中计算机房信息、安防系统等弱电设备，如作为一级负荷中的特别重要负荷，为其另增配 UPS 即可，其配电系统与一级负荷无明显差异，故不再单独列出。

2．商业公寓配套楼负荷分级与统计

商业公寓配套楼：其中商业和公寓区域的平时用电设备为三级负荷；公共区域的消防类负荷按二级负荷设计。

商业部分的户内设备负荷为 220 kW；公寓部分的户内设备负荷为 248 kW。公共区域平时设备负荷为 75 kW；消防设备负荷为 25 kW。

高压配电方案

本项目高压系统采用两路 10 kV 电源同时工作、互为备用的方式。项目所在地区电力部门规定，新增电力用户报装容量达到 5000 kV •A 时须增设开闭站。本项目容量超过此限值，故新建一处开闭站。市政两路独立的 10 kV 进线电缆接至新建开闭站的进线柜，再由其出线柜配出若干 10 kV 出线线缆分别接至各个变配电所。

商业办公综合楼低压配电方案

1．配电系统设计概要

（1）变配电所的设置

当地电力部门要求每处变配电所的面积不宜小于 300 m^2，变压器不宜多于 4 台。本项目商业和办公部分的面积较为集中，且经建设方确认后期物业管理亦为一家单位。经计算，此建筑采用四台变压器（2×1 600 kV • A+ 2×1 250 kV • A）即可，故此区域集中设置一处自维变电所。

（2）配电干线的选取

母线配电的优势在于：线路紧凑、整齐美观、使用寿命长；载流量的上限值高；受电端的可扩展性好；线路电压损失较小。劣势在于：价格较高；母线直身段之间以及与连接头的连接安装难度较大，易造成连接隐患；竖向长距离布置时，井道的荷载能力和建筑的摆动效应等须校验并做适当处理，插接口须精确定位。

对于商业裙楼，由于其建筑高度较低，且用电负荷经常调整，故为商铺户内用电的配电干线采用母线。对于办公塔楼，建筑高度较高，用电负荷很少调整，故本工程办公户内用电的配电干线采用电缆。

（3）配电节点的布置

对于不同容量负荷，本工程采用如下配电方式。大容量负荷采用由变配电所直接配出的方式配电（如制冷机组等）。小容量负荷为使配电系统简明、以便分类计量与管理，可在适当位置（如配电间、电气竖井处）设置总配电箱（中间箱）。

对于不同等级负荷，本工程采用如下配电方式。一级负荷与消防负荷采用两路电源在末端箱处互投的方式。二级负荷采用两路电源在总配电箱处（中间箱）互投，再由总箱出线线缆接至末端箱的方式。三级负荷采用单路电源，根据容量大小选择由变配电所或总配电箱（中间箱）配出。

2．商业区配电系统分析与负荷统计

（1）商业区电气竖井的设置

本工程商业部分的运营面积相对紧张，因此须在满

足功能的前提下，尽量优化管井的位置与面积。本商业区域的特点是：地下一层和首层的面积较大，分别为3 100 m^2和2 500 m^2；二至五层的面积较小，平均约为1 900 m^2。

根据此特点，考虑将地下一层的强电竖井面积扩大设置成配电间，用于相对集中的放置总柜，其面积为7.59 m^2（2.30 m×3.30 m）。扩大的部分为非商业运营区域，面积加大对商业运营影响较小。首层强电竖井面积做适当扩大，面积为4.25 m^2（2.30 m×1.85 m）；二至五层强电竖井面积为3.10 m^2（2.30 m×1.40 m）。

本建筑商业区域属于中型商店，强电和弱电线缆竖井应分别设置。弱电竖井设置思路与强电竖井类似，不再赘述。

（2）商业区商户户内电气指标

本建筑商业区域，共有69户商铺；其中22户具备餐饮经营条件（烟道），经统计此类商铺面积之和为3 027 m^2。由于商业区域各商铺的设备电量与最终签约客户的需求有关，故在设计时需要预估并适当留有余量。经过查阅规范并与建设方协商，确定商铺末端户箱的设备安装功率密度为：普通非餐饮商铺100 W/m^2、燃气餐饮商铺250 W/m^2、个别地下一层的电炊具餐饮商铺为400 W/m^2。

本建筑地上部分具备燃气入户条件，经与建设方确认不考虑大面积电气炊具的用电需求。

（3）商业区电气负荷分类统计

经过负荷统计，表2列出本建筑商业区域各类不同功能负荷的安装容量、比例以及变压器侧的用电容量、用电比例、预安装容量和预装机密度。

表2　商业区各类不同功能负荷容量表

指标 \ 负荷类别	消防负荷	公区照明、重要动力等（平时）	商业户内普通动力等（平时）	建面1.32万 m^2 平时设备总和（除制冷站）
设备安装功率/kW	385	375	1 790	2 165
设备安装功率比例（%）	—	17.3	82.7	100
变压器侧用电容量/kV·A	320	271	994	1 265
变压器侧预安装容量/kV·A	376	339	1243	1 582
变压器侧预装机密度 V·A/m^2	28.5	25.7	94.2	120
变压器侧预装机容量比例（%）	—	21.4	78.6	100

表2为本建筑商业区域负荷统计与相应变压器侧容量估算。考虑到此区域用电设备跟随招商调整，故估算时变压器计算负载率取80%。此数据符合规范要求，报装和设备投资费用也相对节约。

3．办公区配电系统分析与负荷统计

本建筑塔楼区域全部为办公楼；裙楼的部分区域办公（如入口大堂、会议中心等）。办公部分建筑面积约37 423 m^2。

JGJ/T 67—2019《办公建筑设计标准》第4.5.7条只明确应设置强电间和弱电间，但未规定各自的面积下限。本文根据塔楼标准层面积及井道内设备排布，确定强电竖井面积为6.21 m^2（2.70 m×1.90 m）、弱电竖井面积为5.25 m^2（2.50 m×2.10 m）。

办公户内的电量指标与招商定位有关，经过查阅规范并与建设方协商，确定办公户内末端电箱的安装功率密度为80 W/m^2。

经过负荷统计，表3列出本建筑办公区域各类不同功能负荷的安装容量、比例以及变压器侧的用电容量、用电比例、预安装容量和预装机密度。

表 3　办公区各类不同功能负荷容量表

指标 \ 负荷类别	消防负荷	公区照明、重要动力等（平时）	办公户内设备、普通动力等（平时）	建面 3.74 万 m^2 平时设备总和（除制冷站）
设备安装功率/kW	425	650	2 750	3 400
设备安装功率比例（%）	—	19.1	80.9	100
变压器侧用电容量/kV·A	354	325	1 222	1 547
变压器侧预安装容量/kV·A	417	382	1 438	1 820
变压器侧预装机密度/（V·A/m^2）	11.1	11.4	43.3	48.7
变压器侧预装机容量比例（%）	—	21.0	79.0	100

表 3 为本建筑办公区域负荷统计与相应变压器侧容量估算。考虑到此区域大规模扩展用电设备的可能性很低，此外变压器具备短时过载能力，故估算时变压器计算负载率取 85%。此数据符合规范要求，报装和设备投资费用也相对节约。

4．制冷站配电系统分析与负荷统计

本建筑采用电制冷方式，商业与办公区域合用一处制冷站。制冷设备容量见表 4。其中制冷站内设备容量为 3 624 kW。表 4 中的冷却塔风机、冷却塔补水泵不在地下一层的制冷站中，考虑到功能的一致和完整，把他们与制冷站内设备一起讨论。表中不包含平时不使用的备用设备。

表 4　制冷站设备负荷容量表

设备类别 \ 设备参数	设备编号	设备容量/kW	设备台数	设备组容量/kW
冷冻机组 I	LJ-I	587.5	2	1 175
冷冻机组 II	LJ-II	287.4	1	287.4
冷冻泵 I	LDB-I	90	2	180
冷冻泵 II	LDB-II	75	1	75
冷却泵 I	LQB-I	90	2	180
冷却泵 II	LQB-II	45	1	45
冷却塔风机 I	LQT-I	45	2	90
冷却塔风机 II	LQT-II	18.5	1	18.5
站内风机	FJ	3	2	6
补水泵	BSB	11	1	11
水泵	SB	3	1	3
水处理器	QC	0.32	1	0.32
设备总容量	—	—	—	2 072

由表 4 可知制冷站内设备安装容量之和为 2 072 kW，空调区域的制冷设备安装功率密度为 40.9 W/m^2。依据《工业与民用供配电设计手册》（第 4 版）第 10 页。各设备组需要系数 K_d 取 0.8，变压器低压侧各设备组之间同时系数 $K_{\Sigma p}$ 取 0.85。经计算变压器低压侧计算功率 $P_{js}=K_{\Sigma p}\times\Sigma(K_d\times P_e)$=1 409 kW。考虑此负荷在变压器侧的负载率 85%，

变压器功率因数补偿到0.9，故此设备在变压器侧的装机容量为1 842 kV·A。空调区域下制冷站在变压器侧的预装机密度为36.4 V·A/m^2。

考虑到制冷站内部分设备容量较大，故将其均匀布置在2台1 600 kV·A变压器的出线柜处。此两台变压器其余容量供给建筑内其他动力设备。

5．小结

经过负荷统计，表5列出商业办公综合楼内各类不同功能负荷的安装容量以及变压器侧的用电容量、预装机容量、密度和比例等。

表5　商业办公综合楼（含车库）各类不同功能负荷容量表

指标 \ 负荷类别	消防负荷	公区照明、重要动力等一二级负荷	办公、商铺户内设备、普通动力等三级负荷	制冷站三级负荷	建面5.42万m^{2}全部平时负荷
设备安装功率/kW	870	1 070	4 565	2 072	7 707
变压器侧用电容量/（kV·A）	725	616	2 226	1 566	4 408
变压器侧预安装容量/（kV·A）	853	743	2 693	1 842	5 278
变压器侧预装机密度/（V·A/m^2）	15.7	13.7	49.6	34.0	97.4
变压器侧预装机容量比例（%）	16（不占比例）	14	51	35	100

表5为商业办公综合楼负荷统计与相应变压器侧容量估算。对于此建筑，变压器安装功率密度为97.4 V·A/m^2。根据以往综合体建筑的数据，其变压器装机密度在80~120 V·A/m^{2}区间分布较多，中间值为100 V·A/m^2。影响其数值的因素有：各个业态的比重差异（特别是商业和车库）、各个业态的定位层次、商业餐饮是否有燃气条件、各个业态的制冷和采暖形式、变压器负载率等。

本节统计了建筑内消防负荷及一二级负荷的容量，计算并得出其变压器侧的装机容量。当项目电力条件不具备两路独立电源时，其装机容量通过折算可作为自备电源（柴油发电机组）的选型依据。

商业公寓配套楼低压配电方案

商业公寓配套楼地下一层有公共走廊，地上各层分为三个单元。因此，在地下层设置本楼的强电间、弱电间；根据各单元分布位置分别设置三处电气竖井。商业与公寓分别设置总配电箱，以避免不同业态互相干扰。

商业部分共有13个商铺，经过与建设方协商，确定其中首层的6个商铺末端户箱的安装功率密度按300 W/m^{2}设置，以满足餐饮经营需求；地下一层的7个商铺因不具备餐饮经营条件，末端户箱的安装功率密度按150 W/m^{2}设置。公寓部分共有12户，因其采用电炊具和分户VRV空调，设备用电量较大，故其户箱的功率密度按120 W/m^{2}设置。

经计算，商业公寓配套楼的计算功率约350 kW、变压器侧所需的预安装容量约458 kV·A、预装机密度约为109 V·A/m^2。

由上文可知：商业办公综合楼与商业公寓配套楼所需变压器容量分别为5 278 kV·A与458 kV·A，总计5 736 kV·A。因此，结合本项目电力部门要求采用一处容量为5 700 kV·A的变配电所（4台变压器：2×1 600 kV·A+2×1 250 kV·A）即可满足需求。

结束语

本文以典型的商业办公综合楼、商业公寓配套楼为例，详细分析了其供配电系统的设计思路及设计过程。讨论了建筑内电气负荷的确定依据，在此基础上详细统计了各级各类负荷的容量，推导列举出变压器的装机指标，进而确定变配电所、电气竖井的配置数据。文章涵盖了常见的综合体建筑类型，全面梳理了设计流程，对于今后此类项目供配电系统的规划和设计具有思路上的指导作用和数据上的参考价值。EA

（收稿日期：2020.08.28）