

数据中心供配电系统负荷计算分析

郑媛媛,柳蕊,何健,陈聪慧,张燕琴

(北京电信规划设计院有限公司,北京 100048)

摘要: 供配电系统负荷计算是确定供电容量、供配电设备配置的重要依据。文中立足于配电设计手册及设计规范,结合当前工程设计的实际,围绕数据中心负荷特点,分析了供配电系统负荷计算的目的、方法及利用负荷计算结果进行设备配置等。并给出设计实例,总结了负荷计算时需要注意的若干环节,通过负荷计算确定设备配置的若干建议。

关键词: 负荷计算;需要系数;变压器;备用柴油发电机组

中图分类号: TM464

文献标识码: A

Load Calculation and Analysis of the Data Center for Power Distribution System

ZHENG Yuan-yuan, LIU Rui, HE Jian, CHEN Cong-hui, ZHANG Yan-qing

(Beijing Telecom Planning & Design Institute Co., Ltd., Beijing 100048, China)

Abstract: Load calculation for power supply and distribution system is the important basis for determining the power supply capacity and power distribution equipment configuration. Based on the distribution design manual and design specification, and combined with the actual engineering design, in this paper, according to the load characteristics of the data center, the purpose and method of load calculation for power distribution system and the equipment configuration of the uses of load calculation results are analyzed. Some design examples are given, and some aspects of the need to pay attention to the load calculation are summarized. Some suggestions for determining the configuration of the equipment are determined by the load calculation.

Key words: load calculation; need coefficient; transformer; standby diesel generator set

1 负荷计算目的和意义

低压供配电系统的设计中负荷的统计计算是一项重要内容,负荷计算结果对供电容量报装、选择供配电设备及安全经济运行均起决定性的作用。

负荷计算的目的是:

- (1) 计算变配电所内变压器的负荷电流及视在功率,作为选择变压器容量的依据。
- (2) 计算流过各主要电气设备(断路器、隔离开关、母线、熔断器等)的负荷电流,作为选择设备的依据。
- (3) 计算流过各条线路(电源进线、高低压配电线路等)的负荷电流,作为选择线路电缆或导线截面的依据。
- (4) 计算尖峰负荷,用于保护电器的整定计算和校验电动机的启动条件。

2 负荷计算方法

我国目前普遍采用需要系数法和二项式系数法确定用电设备的负荷,其中需要系数法是国际上普遍采用的确定计算负荷的方法,最为简便;而二项式系数法在确定设备台数较少且各台设备容量差别大的分支干

线计算负荷时比较合理;在建筑配电网中,还常用负荷密度法和单位指标法统计计算负荷。

在方案设计阶段可采用单位指标法;在初步设计及施工图设计阶段,宜采用需要系数法。

3 负荷计算原则

进行负荷计算时,应按下列原则计算设备功率:

- (1) 对于不同工作制的用电设备的额定功率应换算为统一的设备功率。
- (2) 整流器的设备功率是指额定交流输入功率。
- (3) 成组用电设备的设备功率,不应包括备用设备。
- (4) 当消防用电的计算有功功率大于火灾时可能同时切除一般电力、照明负荷计算有功功率,应按未切除的一般电力、照明负荷加上消防负荷计算低压总的设备功率、计算负荷。否则计算低压总负荷时,不应考虑消防负荷。当消防负荷中有与平时兼用的负荷时,该部分负荷也应计入一般电力、照明负荷。
- (5) 单相负荷应均衡分配到三相上,当单相负荷的总计算容量小于计算范围内三相对称负荷总计算容量的 15% 时,全部按三相对称负荷计算;当超过 15% 时,应将单相负荷换算为等效三相负荷,再与三相负荷相加。

4 数据中心供配电系统组成

数据中心供配电系统由以下几部分组成:变配电

收稿日期:2015-10-19

作者简介:郑媛媛(1983-),女,吉林人,工程师,研究方向:电源设计。

系统、备用电源系统、不间断电源系统、直流供电系统以及相应的交流配电。如图 1 所示。

变配电系统:包括高、低压配电设备、变压器、操作电源。

备用电源系统:包括发电机组及附属设备。

不间断电源系统:包括 UPS、输入输出配电柜、蓄电池组。

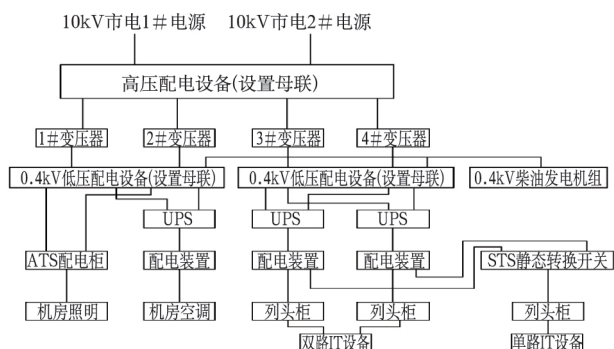


图 1 数据中心供电系统组成

5 数据中心主要计算负荷分级及供电要求

大型数据中心供配电系统建设时,需要满足《供配电系统设计规范》GB50052-2009 中一级负荷中特别重要负荷的要求,并达到《电子信息系统机房设计规范》GB50174-2008 如表 1,和《数据中心用远程通信基础设施标准》ANSI/TIA-942-2010 的技术要求如表 2。

表 1 电子信息系统机房设计规范(GB50174-2008)

—电气技术要求

项 目	技术要求		
	A 级	B 级	C 级
供电电源	两个电源供电,两个电源不应同时受到损坏		两回路供电
变压器	$M(1+1)$ 冗余($M=1,2,3,\dots$)		N
后备柴油发电	N 或 $N+X$ 冗余($X=1\sim N$)	N , 供电电源不能满足要求时	不间断系统的供电时间满足存储要求时,可不设柴油发电机组
后备柴油发电机的基本容量	应包括不间断电源系统的基本容量、空调和制冷设备的基本容量、应急照明和消防等涉及生命安全的全的负荷容量		—
柴油发电机的燃料存储量	72 h	24 h	—
不间断电源系统配置	$2N$ 或 $M(N+1)$ 冗余($M=2,3,4,\dots$)	$N+X$ 冗余($X=1\sim N$)	N
不间断电源系统电池备用时间	15 min	根据实际情况确定	
空调系统配电	双路电源(其中至少一路为应急电源),末端切换。采用放射式配电系统。	双路电源末端切换。采用放射式配电系统。	采用放射式配电系统。

表 2 数据中心用远程通信基础设施标准 ANSI/TIA-942-2010 —电气技术要求

项 目	技术要求			
	I 级	II 级	III 级	IV 级
供电电源	市电至少接入一路	市电至少接入两路	市电至少接入两路	市电至少接入两路
变压器	N	$2N$	$2N$	$2N$
后备柴油发电机	N	N	$N+1$	不低于 $N+1$
后备柴油发电机的基本容量	应包括不间断电源系统的基本容量、空调和制冷设备的基本容量、应急照明和消防等涉及生命安全的负荷容量			
柴油发电机的燃料存储量	8 h	24 h	72 h	96 h
不间断电源系统配置	N	$M(N+1)$ 冗余($M=2,3,4,\dots$)	$M(N+1)$ 冗余($M=2,3,4,\dots$)	$2N$
不间断电源系统电池备用时间	5 min	7 min	10 min	15 min
空调系统配电	N	N	$N+1$	$2N$

6 无功补偿

为了减小损耗,节约电能,提高电压质量,必须提高功率因数。供电部门规定:100 kVA 及以上高压供电的用户功率因数为 0.95 以上,未达规定的应进行补偿。

无功补偿有同步补偿机和并联电容器补偿,一般采用并联电容器进行补偿。

无功补偿容量可按下式计算:

$$Q_c = P(\operatorname{tg}\phi_1 - \operatorname{tg}\phi_2)$$

式中, $\operatorname{tg}\phi_1$ 、 $\operatorname{tg}\phi_2$ 分别为补偿前功率因数 $\cos\phi_1$ 和补偿后功率因数 $\cos\phi_2$ 的正切值。

7 数据中心负荷特点

大型数据中心机房功率极高,远超普通办公建筑。随着超高密度机柜和刀片式服务器的大量应用,机架功率由原来每机架 0.8 kW 逐步向每机架 3 kW ~ 20 kW 发展,由此造成数据中心的用电量急剧上升,《数据中心用远程通信基础设施标准》ANSI/TIA-942-2010 中指出,典型数据机房电力负荷密度在 $0.38 \text{ kW/m}^2 \sim 2.7 \text{ kW/m}^2$,能量使用效率 PUE 值在 1.8~3 之间,建筑物负荷密度要求按照 1.5 kW/m^2 考虑。实际工程中建筑物负荷密度目前基本超过 1 kW/m^2 。

为确保数据中心安全,服务器及空调普遍由 UPS 等不间断电源供电,并配置相应后备时间蓄电池组。大规模使用时蓄电池充电将占用相当一部分电量,进行负荷计算时需将此部分考虑在内。

8 数据中心相关经验总结

负荷计算是供配电系统设计的基本计算,数据中心的负荷计算更适合使用需要系数法。计算时需要系数的取值、负荷取舍计入、蓄电池充电和空调照明的估

算等内容,在数据中心的计算中还是有别于其他建筑专业的计算,现总结如下:

(1)数据中心的IT负荷重要性都比较高,必须使用UPS等设备来保证不间断供电,根据数据中心的建设标准不同,UPS会采取“1+1”“2+1”“2N”等不同的配置。由于供电部门需要统计机房设备安装总容量,所以数据中心的IT设备额定容量要用UPS设备的总装机容量。

计算IT设备容量时的需要系数根据UPS设备的配置方式调整,即需要系数=主用UPS设备数量/UPS配置数量。

例如:UPS按照2N设置,进行负荷计算时,需要系数取0.5。

(2)UPS配置的蓄电池充电容量需计入负荷计算。根据数据中心的建设标准不同,UPS蓄电池需按照不同后备时间配置,即每台UPS配置的蓄电池容量及组数不同。

UPS蓄电池充电容量=电流×电压×组数×效率

根据计算可知,UPS蓄电池充电容量约为UPS配置容量的10%~20%,做负荷计算时可直接应用结论简化计算。

(3)在数据中心的中心,除了IDC机架外,空调在总负荷中占的比重也相当大,一般会配置备用空调设备,根据数据中心的建设等级备用数量会不同。计算空调设备容量时的需要系数根据空调设备的配置方式调整,即需要系数=主用空调设备数量/空调配置数量。

2007年绿色网络组织制定了数据中心能效比指标PUE,目前被行业广泛使用, $PUE = \text{数据中心总能耗} / \text{IT设备总能耗}$ 。

根据对数据中心进行数据分析,数据中心的PUE值一般介于1.6~1.8之间,即机房空调和照明负荷约为IT设备负荷的60%~80%,照明负荷与空调相比来说占比相当小,所以可近似认为机房空调负荷约为IT设备负荷的60%~80%,此结论可以直接在负荷计算中应用来简化计算。

(4)根据相关经验数据,照明负荷一般按照30 W/m²估算、办公空调负荷一般按照50 W/m²估算、有餐厅用电的情况下按照2 kW/人估算、用燃气的情况下按照5 W/人估算。

(5)根据负荷计算要求,季节性用电设备应选择其最大者计入总设备容量。数据中心空调负荷一般会远远大于采暖负荷,所以计算时只需计算空调负荷即可。

(6)根据负荷计算要求,消防设备容量一般不计入总设备容量,所以计算时消防电梯不计入。

(7)根据供电部门要求,进行无功补偿后的功率因数需达到0.95以上,一般按照变压器容量的30%进行补偿。

(8)根据相关经验数据,负荷计算中同时系数取

0.9~0.95。

9 实例分析

本文以某运营商新建数据中心为例:建设标准为Tier IV等级,IDC机房约1 000 m²,新建单机功耗5 kW的IT设备200架、单机功耗10 kW的IT设备50架,IDC机房内空调和照明按配套配置(空调系统暂不考虑由UPS系统供电)。变配电及UPS等设备机房约1 000 m²、办公区约1 000 m²。消防电梯2台1用1备,设备容量为50 kW/台。办公室设电采暖2台,容量分别约80 kW和50 kW。要求通过负荷计算确定本数据中心供配电系统设备配置。

步骤1:确定为IT设备供电的UPS系统配置。

根据《通信用不间断电源—UPS》(YD T1095-2008)对UPS设备输出有功功率的要求为: $\geq \text{额定容量} \times 0.7 \text{ kW/kVA}$,因此,配置的UPS容量应为: $(200 \times 5 + 50 \times 10) / 0.7 \text{ kVA} = 2142.86 \text{ kVA}$ 。

IDC机房按Tier IV标准机房设置,UPS设备按2N配置考虑,配置的UPS设备总容量不应小于4 285.71 kVA。

本工程需新建2套“3+3”并机400 kVA UPS电源系统。UPS主机配置的蓄电池组按单机满负荷情况下后备时间为15 min(2 V蓄电池单体的放电终止电压为1.8 V)考虑,每台UPS设备配置3组200 Ah蓄电池组,共计36组。

步骤2:进行负荷计算。

需进行计算的各要素:UPS、UPS蓄电池充电、机房空调及照明、办公区空调及照明等。并按照供电部门要求进行无功补偿。详细计算见表3:

步骤3:根据负荷计算结果及建设标准配置设备。

根据负荷计算,交流总负荷约为6 425.36 kVA,需油机保障负荷为6 032.88 kW。按照Tier IV等级和电源配置的要求,拟设置2路10 kV市电引入,双路市电应满足单路承担全部负荷的能力。安装高压开关柜1套(包含进线隔离柜2台、进线柜2台、计量柜2台、联络柜2台、出线柜N台);安装4台2 000 kVA干式变压器;低压抽屉式开关柜2套(每套包含2台进线柜、2台油机市电转换柜、1台低压联络柜、N台低压馈电柜、4台低压电容器柜);安装4台1 600 kW柴油发电机组。

设备配置规模以供电部门审批的报装方案为准。

10 展望

本文数据中心负荷计算是以新建数据中心为实例,实际工作中存在需要在现有局所中扩容建造数据中心的情况,这种情况的负荷计算与完全新建的数据中心计算还是有区别的,例如:对现有负荷的估算不能按照现状计算,是否按照原有设计容量估算要根据该

表 3 数据中心负荷计算表

序号	用电设备名称	设备额定容量	需要系数	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$	计算负荷			油机保证负荷		
		/kW	K_x			P_{js} /kW	Q_{js} /kvar	S_{js} /kVA	P_{js} /kW	Q_{js} /kvar	S_{js} /kVA
1	IDC 机房 UPS 系统(12 台 400 kVA)	4 800	0.50	0.90	0.48	2 400.00	1 162.37	2 666.67	2 400.00	1 162.37	
2	UPS 系统电池充电功率(36 组 200 Ah)	451	1.00	0.90	0.48	451.20	218.53	501.33	451.20	218.53	
3	动力负荷小计	5 251.20				2 851.20	1 380.90	3 168.00	2 851.20	1 380.90	
4	IDC 机房空调	3 840	1.00	0.80	0.75	3 840.00	2 880.00	4 800.00	3 840.00	2 880.00	
5	办公区空调	50.00	0.90	0.80	0.75	45.00	33.75	56.25			
6	机房照明	60.00	0.50	0.75	0.88	30.00	26.46	40.00			
7	办公区照明	20.00	0.50	0.75	0.88	10.00	8.82	13.33			
8	应急照明	24.00	0.50	0.75	0.88	12.00	10.58	16.00	12.00	10.58	
9	空调和照明等负荷小计	3 94.00				3 937.00	2 959.61	4 925.37	3 852.00	2 890.58	
10	低压负荷总计	9 245.20		0.84	0.64	6 788.20	4 340.51	8 057.27	6 703.20	4 271.48	
11	乘以同时系数($K_p=0.9; K_q=0.9$)			0.84		6 109.38	3 906.46	7 251.55	6 032.88	3 844.33	7 153.64
12	需要补偿容量						2 124.56				
13	实际补偿容量						2 200.00				
14	补偿后容量			0.96		6 109.38	1 706.46	6 343.23			
	变压器损耗					61.09	85.32	104.94			
15	$\Delta P_b=0.01S_{js}$ $\Delta Q_b=0.05S_{js}$										
16	总计(变压器高压侧功率)			0.96		6 170.47	1 791.78	6 425.36			

局的实际使用情况;预留负荷容量要考虑现有局所空置机房及近期是否有扩容或拆除工程等因素;变配电设备使用年限及设备运行情况也需要考虑。这些相关问题,需要在后续研究中进一步探究。

参考文献:

- [1] 中国航空工业规划设计研究院. 工业与民用配电设计手册(第三版)[M]. 北京:中国电力出版社,2005.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50174-2008 电子

信息系统机房设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2009.

- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50052-2009 供配电系统设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2010.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50053-194 10kV 及以下变电所设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,1994.
- [5] 美国国家标准协会、美国电信产业协会、TIA 工程技术委员会. TIA-942 2010, 数据中心电信基础设施标准[S].

(上接第 134 页)

权限下的功能模块。图中的项目审核界面只用三个功能模块显示;对于图中的新建项目,提交之前项目可修改,提交后不可修改;图中的审批界面,对于不同人员登录,会显示不同的结果。假如项目负责人负责该项目并且项目已经提交审批,则会登录后显示“您有 XX 个项目需要审批”,否则提示“欢迎登录”,做到项目的及时处理。对于图中其他如角色分配,则是利用 RBAC 模型,做到一个用户可以具有多个角色,同一个角色可以被多个用户担任;一个角色可以包含多个权限,同一个权限可以被多个角色拥有。这样便于系统管理,做到系统模块功能的可配置性、业务灵活性。

5 结束语

本文设计并实现了一个建筑设计数据协同管理系统,根据设计方案在搭建好的 MyEclipse 环境下,后台结合 Java 语言,前台基于 Velocity,JavaScript 等语言的

支持,完成该系统的开发工作,并验证了其可实施性。

参考文献:

- [1] 邓雪原,苏昶,孙朋,王国俭. 上海现代建筑设计(集团)建筑协同设计平台研究与应用[J]. 土木建筑工程信息技术,2010,1(9):96-102.
- [2] 汪鑫. 谈建筑设计文献资料管理在协同设计平台中的作用[J]. 工程建设与设计,2012,3(1):49-50.
- [3] 张扬,负惠娜. 地标类建筑设计方案确定阶段群体评价研究——基于网络协同系统 MS-CN 的价值管理在建筑设计阶段应用研究[J]. 陕西建筑. 2012,(12):1-5.
- [4] 何莲娜,黄晓春,崔真真. 规划空间数据协同建设管理探索[J]. 北京规划建筑,2015,28(2):13-18.
- [5] 祝荣欣,韩丽红,李海越,张经充. 高校科技协同管理综合系统数据库的设计与实现[J]. 煤矿机械,2014,34(4):242-244.
- [6] 刘书宇,邹广天,周舟,肖俊龙. 面向可拓建筑设计的数据准备流程与方法[J]. 科技导报,2014,32(36):37-42.