

doi:10.3969/j.issn.1672-6073.2017.05.017

城市轨道交通车站 低压负荷需要系数研究

王德发, 卢光明

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063)

摘 要: 针对城市轨道交通车站变压器容量选择过大、负荷率低的问题,通过分析车站用电负荷计算过程,得知需要系数 K_x 与多种因素有关。基于武汉地铁秋季和夏季用电负荷实测数据,并结合设计手册中各设备需要系数的取值,通过研究螃蟹岬站实际用电情况,给出轨道交通不同类型用电设备的需要系数取值或范围。同时也提出,考虑到大功率风机的启动情况,地下车站变压器容量不宜小于 800 kVA。该结果对于城市轨道交通车站负荷计算和变压器容量选择具有指导意义。

关键词: 城市轨道交通; 低压配电; 负荷计算; 需要系数; 变压器容量

中图分类号: U231 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6073(2017)05-0093-06

Demand Coefficient of Low-Voltage Load for Urban Rail Transit Station

WANG Defa, LU Guangming

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan 430063)

Abstract: The urban rail transit station often has the problems of high transformer capacity and low load rate. Through analyzing the process of load calculation, we make a conclusion that the demand coefficient K_x has relation with many factors. Based on the actual measured power load of Wuhan subway in autumn and in summer, we research the actual electricity load of Pang-xiejia station and obtain the optimized value or range of demand coefficient for different types of electrical equipment in urban rail transit, referencing the rated value of demand coefficient in design regulations. Besides, considering the start situation of large-power wind turbine, the transformer capacity of the underground station should be larger than 800kVA. This result is of significance for the calculation of power load and selection of transformer capacity for urban rail transit station.

Keywords: urban rail transit; low-voltage distribution; calculation of power load; demand coefficient; transformer capacity

1 研究背景

城市轨道交通低压配电变压器承担的负荷种类复杂,相应的容量选择难度也较大。在选择配电变压器容量前一般根据车站各系统设备专业提交的负荷来统计车站的负荷,由于各系统设备提交的负荷容量裕度一般较大,且设计人员对轨道交通的负荷特性认识不够深入,故国内轨道交通配电变压器的容量选择普遍存在偏大的情况。经对广州地铁、苏州地铁1号线、武汉地铁2号线的调查,降压变电所35/0.4 kV 变压器的

负荷率平均为20%左右,例如对苏州地铁1号线全线车站实测数据表明,在夏季的空调季节,变压器最大负荷率出现在中央公园站,仅为29%;最小负荷率出现在养育巷站,为6.3%。变压器容量选择偏大,不仅增加建设成本,而且增加电能损耗,不符合国家节能减排的要求。因此,合理选择配电变压器的容量显得尤为重要。

城市轨道交通低压配电系统用电负荷分析研究的难点在于准确把握各类负荷的实际运行情况和实际用电量;因此,需要对已运营的线路进行大量基础数据的调查、分析,并在此基础上,以工业与民用配电设计的基本理论为依据,分析、研究出较为准确的低压配电系统需要系数的选取方法,同时对造成变压器取值过大的其他原因进行分析,合理选择变压器容量。

城市轨道交通线路以地下车站的负荷最为复杂,

收稿日期: 2016-11-05 修回日期: 2016-12-19

第一作者: 王德发,男,高级工程师,电化处副总工程师,主要从事轨道交通低压配电、FAS、BAS、ACS 的设计与研究工作, 94391813@qq.com

因此,本文以武汉地铁2号线螃蟹岬站为研究对象,对该站35/0.4 kV 降压变压器二次侧的低压馈出线进行现场实测,得到了各馈出回路在秋季、夏季的实际负荷情况,并参考广州地铁大石站和昆明地铁福德站的负荷统计情况进行分析。由于各地铁车站的负荷性质、用电使用情况基本相同,因此对某一座车站的实测数据进行分析具有普遍性意义。

2 负荷计算的理论与方法

负荷计算的方法有需要系数法、利用系数法、单位指标法等^[1-2]。

城市轨道交通低压配电变压器的负荷计算一般采用需要系数法。用此方法进行负荷计算时,将变电所配电干线范围内的用电设备按照类型统一分组,配电干线的计算负荷为各用电设备组的计算负荷之和再乘以同时系数,变电所的计算负荷为各配电干线计算负荷之和再乘以同时系数^[3-4]。用电设备组的计算负荷为:

$$P_c = K_x \times P_e$$

式中: P_c 为用电设备组的计算负荷;

P_e 为用电设备组的设备功率;

K_x 为需要系数,由下式确定

$$K_x = K_l \times K_h / (N_s \times N_l)$$

式中: K_l 为设备同时运行系数:用电设备组的全部设备并不同时运行, K_l 即设备组在最大负荷时运行的设备容量与总容量之比。

K_h 为设备组的负荷系数:用电设备不一定满载工作, K_h 即设备组在最大负荷时的输出功率与总功率之比。

N_s 为设备组的平均效率:设备的输出容量与输入容量之间存在效率, N_s 即设备组在最大负荷时的输出功率与取用功率之比。

N_l 为配电线路的平均效率:向用电设备供电的线路有损耗,存在线路效率, N_l 即配电线路在最大负荷时末端功率(设备组的取用功率)与前端功率(计算功率)之比。

计算负荷的确定,关键是需要系数 K_x 的确定,而对设计工作者来说上述的 K_l 、 K_h 、 N_s 、 N_l 系数是较难确定的,仅能通过查阅设计手册来大致确定 K_x 。

3 地铁站低压配电负荷分类及构成

3.1 负荷分类

地下车站低压配电负荷主要由通信、信号、通风空调、给排水、电扶梯、照明等负荷构成,旨在保证轨道交通运行,并为乘客候车提供舒适的环境。它与车

站的规模和结构以及环控系统的设计模式密切相关。

根据《地铁设计规范》(GB 50157—2013)要求,地铁用电负荷按其不同的用途和重要性分为三级^[5],而地下车站用电负荷以一、二级负荷为主,占总负荷的70%~80%。根据用电设备的类型可将车站设备分为照明类、电动机类和电子与计算机类(弱电类)。

3.2 负荷构成

城市轨道交通车站负荷根据其特性可以分为两大类:一类属于系统性负荷,是根据车站的功能必须设置的,与车站的规模和结构基本无关,全线负荷基本一致,这一类负荷主要由电子与计算机类负荷构成,包含通信、信号、AFC(自动售检票)、FAS(火灾报警系统)、BAS(环境与设备监控系统)、ISCS(综合监控系统)、安全门、气体灭火等系统负荷;另一类负荷根据车站的规模和功能定位设置,主要包含通风空调、给排水、电扶梯、照明、二三级负荷小动力、站内小商业等^[6]。

4 地铁站负荷实测结果

采用需要系数法进行负荷计算时,需要确定 K_x ,城市轨道交通中 K_x 取值不仅与设备的负荷率、效率、台数、工作情况及线路损耗有关,而且与维护管理水平等因素有关。 K_x 的取值是否准确只能通过现场实测的方法检验,因此,在无法取得 K_l 、 K_h 、 N_s 、 N_l 等系数的前提下,通过实际测量现场负荷的大小,并与设备容量进行比较来大致确定需要系数 K_x ,是具有现实意义的。

4.1 现场负荷实测情况

笔者联合武汉地铁运营部门对武汉地铁2号线螃蟹岬站的负荷进行了现场实测,实测时间分别选取在秋季和夏季。由于目前国内大部分地铁未采用电采暖设备,选取秋、夏季进行实测,可以涵盖地下车站的平时负荷和最大负荷。

螃蟹岬站为武汉地铁2号线的一座标准2层站,车站设35/0.4 kV 变电所1座,变压器容量为2×1 000 kVA,未设置电容补偿柜。现场实测从10月9日开始至10月31日结束,共23天,因篇幅关系,本文仅截取其中部分典型数据,见表1。从实测的数据来看,各系统负荷变化不大。

表2为螃蟹岬站夏季现场实测负荷,现场实测共进行了3天,主要对夏季用电量较大的设备,如冷水机组电源、环控电源(通风空调负荷),以及一些动力、照明负荷全开状态下的回路进行了实测。因篇幅关系,本文仅截取其中部分典型数据。

表 1 螃蟹岬站秋季负荷实测值
Tab.1 Tests of load in fall of Pangxiejia station

回路编号	回路名称	相别	回路电流/A						平均值/ A	最大值/ A	实测最大 负荷/kW
			10 月 10 日		10 月 11 日		10 月 12 日				
			10:00	16:00	10:00	16:00	10:00	16:00			
401	I 段进线	L1	332.8	329.6	338.4	325.6	341.2	320.8	323.8		
		L2	312.2	314.4	310.4	306.4	316.8	298.4	302.8	341.2	179.7
		L3	294.4	293.6	292.4	289.0	298.4	280.4	283.9		
402	II 段进线	L1	141.6	146.8	142.4	140.4	145.2	147.6	144.4		
		L2	131.2	132.8	130.4	130.4	132.8	130	132.8	148.4	78.1
		L3	130.2	130.2	129.2	129.6	133.6	129.2	131.3		
LF17-7	通信设备室电源	L1	32.9	33.3	33.4	32.5	32.8	33.6	33.2		
		L2	33.0	33.8	33.6	33.3	33.2	33.3	33.4	34.5	18.2
		L3	33.0	33.7	33.2	32.6	32.6	33.8	33.3		
LF13	B 端站厅环控电源 1	L1	64.5	64.0	63.8	64.0	64.2	64.5	61.4		
		L2	64.3	63.5	63.5	63.0	63.4	63.4	60.8	65.2	34.3
		L3	64.4	62.9	62.7	62.6	62.7	62.7	60.1		
LF4	B 端站厅环控电源 2	L1	24.6	24.8	24.2	24.6	24.2	24.6	24.6		
		L2	24.2	24.4	23.8	24.0	13.8	23.8	23.2	25.1	13.2
		L3	23.8	24.0	23.8	24.8	23.8	23.6	24.0		
LF19	B 端站台冷水机电源 1	L1	130.9	132.5	121.4	113.9	137.5	117.0	120.0		
		L2	129.9	130.4	119.6	111.7	136.7	118.1	118.5	130.9	68.9
		L3	131.7	131.2	121.2	114.1	137.6	120.7	120.0		
LF5-2	III 号出入口动力电源	L1	5	5	2	0	3	3	2.8		
		L2	8	8	4	1	7	7	8.3	20.0	10.5
		L3	8	8	3	1	6	6	7.9		
LF1-3	照明计量一	L1	48.6	38.3	48.1	46.7	50.0	48.6	47.8		
		L2	33.8	22.2	32.0	31.8	31.8	31.8	31.8	50.0	26.3
		L3	21.7	21.7	21.5	21.4	21.7	21.6	21.8		
LF2-3	照明计量二	L1	36.1	35.8	36.1	35.8	36.0	25.8	35.2		
		L2	32.5	32.5	32.4	31.8	31.9	31.8	29.5	38.5	20.3
		L3	37.6	31.4	37.4	37.1	37.4	37.1	37.2		

表 2 螃蟹岬站夏季负荷实测值
Tab.2 Tests of load in summer of Pangxiejia station

回路编号	回路名称	相别	8 月 11 日各时间点回路电流/A					平均值/A	最大值/A	实测最大 负荷/kW
			9:00	12:00	14:00	17:00	21:00			
401	I 段进线	L1	374.4	378.8	389.2	381.2	383.6	383.9		
		L2	361.2	370.6	369.8	368	373.2	372.2	393.0	206.9
		L3	342.4	346	346.4	342.6	348.4	350.4		
402	II 段进线	L1	154.6	153.2	150.1	151.2	151.6	152.3		
		L2	140.8	140.0	139.2	140.9	139.1	139.5	155.6	81.9

续表

回路编号	回路名称	相别	8月11日各时间点回路电流/A					平均值/A	最大值/A	实测最大负荷/kW
			9:00	12:00	14:00	17:00	21:00			
402	II段进线	L3	130.8	136.0	133.6	133.6	133.2	132.8		
LF13	B端站厅环控电源1	L1	63.8	64.5	64.1	64.2	64.0	64.1		
		L2	63.2	64.3	63.8	63.7	63.8	63.8	64.0	33.7
		L3	61.9	62.7	62.6	62.4	62.7	62.8		
LF10	B端站厅环控电源2	L1	23.7	23.8	23.5	23.5	24.0	23.6		
		L2	24.0	23.5	23.8	23.4	23.4	23.6	23.8	12.5
		L3	23.0	22.9	23.0	23.0	23.0	23.0		
LF19	B端站台冷水机电源1	L1	190.3	178.6	205.1	178	178.5	182.8		
		L2	187.7	178	205.7	173.3	178.1	181.6	190.0	100.0
		L3	187.8	178.7	194.3	174.7	178	181.2		
LF5-2	III号出入口动力电源	L1	0	0	0	0	0	0.0		
		L2	20	15	15	15	0	12.3	20	10.5
		L3	15	15	15	15	0	11.9		
LF16-1	站台门电源	L1	6.3	6.1	6.1	6.1	6.1	6.2		
		L2	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.8	6.7	3.5
		L3	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6		
LF1-3	照明计量一	L1	41.5	40.4	40.7	39.6	39.8	40.3		
		L2	28.9	28.8	28.6	29.3	29.1	28.9	40.7	21.4
		L3	18.3	18.5	18.6	18.2	18.3	18.4		
LF2-3	照明计量二	L1	35.6	35.6	35.7	35.7	35.6	35.7		
		L2	31.1	31.0	31.1	30.9	31.2	31.0	35.8	18.8
		L3	35.7	35.8	35.8	35.8	34.9	35.6		

4.2 实测负荷与设计负荷的比较

取螃蟹岬站各设备或系统用电负荷实测的最大值,并与设计值做比较,得到表3所示结果。

从表3可看出,该站1[#]变压器的负载率仅26%;2[#]变压器的负载率仅10%,且各回路实际负荷远小于设计负荷,但如果仅按照实际负荷与设计负荷的比值作为需要系数的取值依据,也是不尽合理的。另外,由于设计负荷不一定为设备的额定容量,如照明类、小动力类负荷往往为估算值,因此,应具体分析造成各类设计负荷值与实测值相差较大的原因,以确定需

表3 螃蟹岬站设计与实测负荷比较
Tab.3 Comparision between the planned load and the real load by testing of Pangxiejia station

回路/负荷名称	设 计			实 测			实测负荷/设备容量
	设备总容量/kW	需要系数	计算容量/kW	功率因数	实测最大电流/A	实测负荷/kVA	
I段进线	1 000 kVA				393	258.7	0.26
II段进线	1 000 kVA				155.6	102.4	0.10
通风空调类合计	877.7	0.8	702.2	0.8		384.5	0.44
冷水机组合计	434	0.8	347.2	0.8		105.7	0.24
水泵类合计	66	0.8	57	0.7~0.8		7.9	0.12
站台门、扶梯、电梯类合计	290	0.8	231	0.6~0.8		40	0.14
电子计算机类合计	193.5	0.8~1	170.5	0.8		34.8	0.18
其他动力类合计	280	0.8~1	236	0.8		54.8	0.2
照明类合计	216	1	216	0.9		104	0.48

要系数的取值。

5 地铁站用电负荷需要系数分析

5.1 通风空调类负荷需要系数

地下车站的通风空调类负荷占车站负荷的比重最大,其需要系数的取值直接影响变压器容量的计算。但车站通风空调类负荷的设备容量远大于实际测量值,分析其原因为:1) 环控设备实际是按模式运行的,即不是所有设备均同时运行;2) 部分大功率通风设备(如隧道风机)仅在早晚通风时开启,实测数据中未包含这个时段的数据;3) 对于冷水机组电源来说,车站一般按远期最大负荷设置2台等容量大小的冷水机组,并根据运行模式由随机组设置的电脑控制运行,根据武汉地铁2号线的运行情况,2台冷水机组同时运行的情况十分少见。

将现场实测最大负荷值与通风空调模式表(根据所在地区确定)的最大负荷值进行比较,得出通风空调系统的需要系数为0.51;空调水系统设置变频器时的需要系数为0.56,其值较准确地反映了设备实际使用情况。为保守起见,通风空调类设备的需要系数可取0.6^[7];冷水机组类设备设置变频器时的需要系数可取0.65,不设变频器时可取0.85。

设置在配线、隧道口部的多台射流风机并不同时运行,计算变压器容量时应根据隧道通风系统运行模式表确定其是否计入变压器容量。

5.2 水泵类负荷需要系数

由于消防泵为消防负荷,现场无法取得实测值,在变压器容量计算时不应该计入这部分负荷。主废水泵平时仅间歇性地参与区间排水,其需要系数可按0.6考虑;从对出入口雨水泵回路的实测数据来看,这类水泵(含污水泵)负荷的需要系数取值0.8是合理的。

5.3 站台门、电扶梯类负荷需要系数

从现场实测数据与设备容量的比较来看,扶梯、电梯类的需要系数约为0.2,安全门的需要系数约为0.06,且昆明地铁福德站的数据与之基本相同,但广州地铁大石站电梯、扶梯类的负荷比值却为0.5、安全门负荷的比值约为0.2,造成数据差异较大的原因是由于广州地铁大石站的客流较大。综合考虑此类负荷的情况,扶梯、电梯类负荷的需要系数可取0.6^[8];站台门负荷的需要系数可取0.3。

5.4 电子计算机类负荷需要系数

根据现场实测数据,车控室FAS电源、BAS电源、

气体灭火电源等电子类设备的需要系数按保守估算,可取值0.4~0.7。

通信、信号、ISCS等系统实测负荷率约0.2,其中公安通信负荷率仅为0.09,但考虑到通信设备的实测容量值不一定反映其最大负荷,结合昆明地铁、广州地铁的实测数据,对通信类负荷的需要系数可保守取值0.5~0.6。

5.5 小动力类负荷需要系数

此类负荷是为车站一些不确定的小动力设备所预留,设计考虑的设备容量较大,在车站运营后,实际使用此类小动力电源箱的情况较少,即设计负荷不是真实的设备容量,从现场实测来看,有些回路的测量值是0,最大的也仅是设计负荷的0.5倍。因此,对这类负荷的需要系数保守取值0.5。

5.6 照明类负荷需要系数

经过实测此类负荷,实测值与设计值的比值在0.12~0.79,比较昆明地铁、广州地铁的数据也基本相同,造成比值较大的原因是由于供变电与低压配电设计不同步,低压配电需要估算照明负荷提供给供变电专业,即设计负荷不是真实的设备容量;因此,计算变压器容量时,对照明类负荷应根据所提供资料的情况,取适当的需要系数。如果低压提供的资料为实际的设备容量,则需要系数可按照设计手册的0.7~1取值;如果低压提供的资料仅为估算值,则需要系数可按0.4~0.8取值。

6 结语

在城市轨道交通的设计中,由于各专业的设计裕度相对较大,且设备招标选型时在容量的套用就上高不就低,如果仅按设计手册套用电气设备的需要系数计算变压器的容量,选出的变压器容量显然是偏大的。

变压器容量的计算不应包括车站专用的消防风机、消防水泵等消防设备的容量;设置配线、隧道口部的多台射流风机,并不同时运行,计算变压器容量时应根据隧道通风系统运行模式表确定其是否计入变压器容量。

对其他专业提供的设备负荷,应根据工艺要求准确分析其最大负荷;对小动力类、照明类负荷的估算,应尽量根据实际配置的设备容量计算。

变压器容量的选择除了通过负荷计算确定外,还应按照主接线的运行方式确定一台变压器退出运行时,另一台变压器的容量是否满足所带的所有负荷容量,且应校核变压器的容量是否满足最大电动机启动电流的需求。按照地下车站一般设置4台90kW的隧道风机考虑,车站变压器容量不宜小于2×800kVA。

参考文献

[1] 何治新. 提高城市轨道交通车站配电变压器负荷率措施[J]. 建筑电气, 2013, 32(6): 22-28.
HE Zhixin. Discussions about measures to improve the distribution transformer load rate of urban rail transit station[J]. Building electricity, 2013, 32(6): 22-28.

[2] 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.
Handbook of industrial and civil distribution design (Third Edition) [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.

[3] 民用建筑电气设计手册(第二版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
Handbook of electrical design for civil buildings (Second Edition) [M]. Beijing: China Building Industry Press, 2007.

[4] 黄四昌, 郭逸凡. 大众捷运车站供电可用度及可靠度分析[J]. 都市轨道交通, 2016, 29(1): 63-68.
HWANG Henri, KUO Yifan. Availability and reliability analysis of mrt station power supply system[J]. Urban rapid rail transit, 2016, 29(1): 63-68.

[5] 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
GB 50157—2013: Code for Design of Metro[S]. Beijing: China Building& Industry Press, 2014.

[6] 谭琼亮. 轨道交通车站用电负荷计算探讨[J]. 电气化铁道, 2014(4): 39-42.
TAN Qiongliang. Discussion on electric load calculation of urban rail transit station[J]. Electric railway, 2014(4): 39-42.

[7] 陈桁, 何进, 胥伟, 黄鑫. 城市轨道交通配电变压器负荷理论计算与实际负荷差异的研究和对策[J]. 现代建筑电气, 2014(增刊): 17-20.
CHEN Heng, HE Jin, XU Wei, et al. Research and countermeasure on the difference between load theory and design load of distribution transformer in urban rail transit[J]. Modern architecture electric, 2014: 17-20.

[8] 钟国梁, 叶峰, 林祥. 电梯供配电设计相关问题探讨[J]. 建筑电气, 2015(12): 30-33.
ZHONG Guoliang, YE Feng. Research on issues regarding power supply and distribution design for elevator[J]. Building electricity, 2015(12): 30-33.

(编辑: 王艳菊)

(上接第6页)

[8] 高雪静. 信息化主导下社会安全事件系统防控研究: 以新疆维吾尔自治区为例[J]. 北京警察学院学报, 2013(1): 36-39.
GAO Xuejing. Research on the prevention and control of social security incidents under the guidance of information technology-taking the Xinjiang Uygur Autonomous Region as an example[J]. Journal of Beijing Police Academy, 2013(1): 36-39.

[9] 赵跃堂, 林家炜, 石磊. 地铁恐怖爆炸问题研究现状[C]//第2届全国工程安全与防护学术会议论文集, 2010: 210-213.
ZHAO Yuetang, LIN Jiawei, SHI Lei. Research status of Terrorist explosion in subway[C]. Engineering Institute of PLA UST, 2010: 210-213.

[10] 王圆圆. 缉捕持爆炸物犯罪嫌疑人行动的处置指挥[J]. 湖南公安高等专科学校学报, 2009, 21(5): 127-129.
WANG Yuanyuan. The commanding of arresting the holding-exploder suspects[J]. Journal of Hunan Public Security College, 2009, 21(5): 127-129.

[11] 刘亚琴. 浅谈爆炸案件的现场处置及勘查[N]. 人民公安报, 2006-01-03.
LIU Yaqin. The scene of the explosion case disposal and exploration[N]. The people's police report, 2006-01-03.

[12] 陈立宏, 张洪国, 张彦春. 常见遥控类爆炸装置关键组成部分及其爆炸碎片研究[J]. 中国刑警学院学报, 2015(4): 56-58.
CHEN Lihong, ZHANG Hongguo, ZHANG Yanchun. Study on the components and debris composition of common remote-controlled explosion device key[J]. Journal of the Chinese criminal police academy, 2015(4): 56-58.

[13] 王红. 实用爆炸装置图解与处置[M]. 北京: 中国人民公安大学出版社, 2006: 175-179.
WAN Hong. Diagrams and disposal of practical explosive devices[M]. Beijing: Chinese People's Public Security University Press, 2006: 175-179.

[14] 陈文彪. 城市地铁反恐应急处置对策研究[J]. 公安教育, 2016(9): 33-36.
CHEN Wenbiao. Study on the emergency countermeasures of city subway anti-terrorism[J]. Public security education, 2016(9): 33-36.

(编辑: 王艳菊)