

建筑工程中电动汽车充电设施供电方案

针对电动汽车充电设施的现状以及未来发展,初步拟定了杭州市某商业办公建筑电动汽车充电设施的几种供电方式,通过对配电变压器综合能效费用的计算对比,选择合理的供电方案。

谭 激 沈 年/中国美术学院风景建筑设计研究院

0 引言

近几年来,在国家的产业导向和政策扶持下,新能源汽车产业发展迅速。从国家到地方也出台了一系列新能源汽车的发展规划,尤其是电动汽车充电设施配置要求的文件或标准,例如国办发〔2015〕73号《国务院办公厅关于加快电动汽车充电基础设施建设的指导意见》、北京市《电动汽车充电基础设施专项规划(2016~2020年)》和浙江省地方标准DB 33/1121—2016《民用建筑电动汽车充电设施配置与设计规范》等。

电动汽车充电设施的供电设计,无传统经验和成熟的数据可依。作为电能转换的核心——变压器,其配置方案和容量的选择更直接关系到业主投资和运行费用的高低。本文结合具体工程实例,通过计算将变压器的运行损耗以综合能效费用的方式体现,比较不同供电方案的变压器综合能效费用,为充电设施的供电方案选择提供依据。

1 项目概况

位于杭州的某商业办公综合楼项目,由2幢20F的写字楼商业用房及相关配套组成,地上1~2层为商业用房,建筑面积12 960 m²;地上3~20层为办公用

房,建筑面积43 467 m²;地下2层,为设备用房和停车库,建筑面积约为39 602 m²。地面和地下共设停车位678个,按浙江省地方标准DB 33/1121—2016,需配置13个快充车位、65个慢充车位。地下车库属附建式大型车库,车库用电包括充电设施用电宜按二级负荷供电。

2 负荷计算

2.1 充电设施负荷需要系数 K_x 的估算

按浙江省地方标准DB 33/1121—2016的要求,电动汽车停车位配比不小于10%,快充比例不低于10%,假设充电设施、快充设施的数量均按最低要求配置,并设单台慢充的输入功率为 P_s ,单台快充的输入功率为 $5P_s$,当充电设施负荷的需要系数 K_x 取值为0.8时,为充电设施供电的容量 S_t 为

$$S_t = \frac{a \times 10\% \times 10\% \times 5P_s + a \times 10\% \times 90\% \times P_s}{\eta \cos \varphi}$$

$$= 0.14 \frac{aP_s}{\eta \cos \varphi}$$

式中, η 为充电设施的效率,统一取0.9; $\cos \varphi$ 为充电设施功率因数。

根据国务院《节能与新能源汽车技术产业发展规划(2012~2020年)》、工业和信息化部《节能与新能源汽车技术路线图(2016~2030年)》,至2020、2025和2030年,新能源汽车(包括电动汽车和其他类型新能源汽车)销量占汽车总体销量的比例为7%、20%和40%,按此估算到2035年我国电动汽车保有量约占小型汽车总量的30%。



谭 激/高级工程师

关键词/Keywords

变压器·
空载损耗·
负载损耗·
负载率·
综合能效费用·
需要系数·

目前电动汽车的续航里程普遍在150~250 km之间,不考虑动力电池的技术进步等因素,取平均续航里程200 km,按汽车每天平均行驶里程40 km,则充电的频率为每5天一次,即每天约有1/5的电动汽车需要充电。假设建筑内附建停车场的停车数量为 a ,每天需要充电的电动汽车数量 n 约为

$$n = a \times 25\% \times \frac{1}{5} = 0.05a$$

按快充与慢充数量比为20%:80%考虑,并计入1.5倍的富裕系数,则充电设施所需供电容量 S_n 为

$$S_n = \frac{0.05a \times 20\% \times 5P_s + 0.05a \times 80\% \times P_s}{\eta \cos \varphi} \times 1.5$$

$$= 0.135 \frac{aP_s}{\eta \cos \varphi}$$

设计供电容量 $S_t > \text{充电设施容量 } S_n$ 。可见在现阶段,按目前电动汽车停车位配比计算充电设施所需变压器容量时,取需要系数 $K_x = 0.8$,基本可以满足未来15年的要求。将来随着电动汽车停车位配比的提高和动力电池技术进步带来的续航里程增加, K_x 的取值可以逐步减小。

2.2 充电设施的负荷计算

设快充充电桩的输出电压为DC 400 V,充电电流100 A,则单台快充充电桩的输出功率 $P_f = 400 \text{ V} \times 100 \text{ A} = 40 \text{ kW}$ 。

慢充充电桩的输出电压取AC 230 V,充电电流32 A,则单台慢充充电桩的输出功率 $P_s = 230 \text{ V} \times 32 \text{ A} = 7.36 \text{ kW}$ 。

全部充电设施用电计算负荷 ΣP_c 为

$$\Sigma P_c = \frac{K_x}{\eta} (\Sigma P_f + \Sigma P_s)$$

$$= \frac{0.8}{0.9} \times (40 \text{ kW} \times 13 + 7.36 \text{ kW} \times 65)$$

$$= 887 \text{ kW}$$

式中, ΣP_f 为各台快充设施的总输出功率,kW;
 ΣP_s 为各台慢充设施的总输出功率,kW。

充电设施需要系数 K_x 取0.8。考虑到目前电动汽车的普及率,假设变压器投运年的充电设施初始负荷为最终负荷的25%,即 $\Sigma P_c \times 25\% = 222 \text{ kW}$ 。

假设未来20年内充电桩用电负荷平均增长,则其年平均增长率约为7.2%,运行10年后充电设施的负荷为最终负荷的50%,即 $\Sigma P_c \times 50\% = 444 \text{ kW}$ 。

2.3 其他用电负荷计算

其他用电负荷指建筑内除充电设施外的所有负荷,包括照明插座、通风空调器、电梯、水泵以及其他用电。为简化分析起见,按负荷密度法计算,商业负荷密度取90 W/m²,办公负荷密度取55 W/m²,地下室负荷密度取10 W/m²。则这部分用电负荷为(计算过程略): $\Sigma P_q = \text{商业用电负荷 } P_{q1} + \text{办公用电负荷 } P_{q2} + \text{地下室用电负荷 } P_{q3} = 3\,823 \text{ kW}$ 。

3 充电设施供电方案

充电设施与建筑内其他用电负荷不同:其他用电负荷(如照明插座、空调器和电梯等),在建筑落成使用后,仅季节性的负荷变化较为明显,其年平均负载率一般不会随着使用年限的增加有明显变化。

充电装置的用电负荷在目前初始阶段负载较低甚至极低,但在建筑物投入使用后相当长一段时间会持续增长。而变压器在低负载下运行产生的电能损耗是不可忽视的。在确定供电系统方案时,应做到既满足充电设施的供电要求,又使供配电系统合理、经济,也符合电动汽车“节能环保”的发展方向。

基于如上考虑,供电系统及配电变压器的配置方案如表1所示。

表1 配电变压器配置方案

方案名称	变压器是否合用	变压器容量配置	备注
方案一		按充电设施的数量要求,一次性配置变压器容量	
方案二	充电设施专用变压器	前期选用较小容量变压器,使用一定年限待变压器负载率达到80%以上,再更换成足量的变压器	对应的高低压配电设备按较大容量变压器一次性配置到位
方案三	充电设施和其他负荷合用变压器	同方案一	
方案四		同方案二	同方案二

4 充电设施采用专用变压器时的综合能效费用对比

配电电变压器的综合能效费用（TOC）包括变压器的初始费用、空载损耗和负载损耗等效初始费用等。在技术方案可行的前提下，选择综合能效费用低的供电方案，达到节能、经济的目的。TOC值的计算公式为

$$TOC = C_1 + AP_0 + BP_k$$

式中， C_1 为设备初始购置费用； A 为变压器空载损耗等效初始费用系数，元/kW； B 为变压器负载损耗等效初始费用系数，元/kW； P_0 为变压器额定空载损耗，kW； P_k 为变压器额定负载损耗，kW。

其中 A 的计算公式为

$$A = K_{pv} E_c H_{py}$$

B 的计算公式为

$$B = PL^2 E_c \tau K_t$$

式中， K_{pv} 为现值系数； PL^2 为变压器经济使用期的年负载等效系数； E_c 为平均购电成本（电费），取0.88元/kW·h； H_{py} 为配电变压器的年带电小时数，通常取8 760 h； τ 为配电变压器的年最大负载损耗小时数，通常取1 874 h； K_t 为变压器的温度校正系数，通常取1.0。

$$K_{pv} = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

$$PL^2 = \frac{\beta_0^2}{(1+i)^n} \times \frac{(1+i)^n - (1+g)^{2n}}{(1+i) - (1+g)^2}$$

式中， n 为配电电变压器经济使用期年数，通常取 $n=20$ 年； i 为年贴现率，取6%； β_0 为配电变压器投运年高峰负载率； g 为配电变压器高峰负载年均增长率。

采用供电方案一时，由本文上述的计算结果，充电设施可采用2台630 kV·A专用变压器供电，则满负荷变压器负载率为

$$\frac{\sum P_c}{\cos \varphi \times 630 \times 2} \times 100\% = \frac{887 \text{ kW}}{0.95 \times 630 \text{ kV} \cdot \text{A} \times 2} \times 100\% = 74\%$$

变压器初始高峰负载率为

$$\beta_0 = \frac{25\% \times \sum P_c}{\cos \varphi \times 630 \times 2} \times 100\% = 18.5\%$$

式中， $\cos \varphi$ 为低压侧补偿后系统功率因数，取0.95。

若采用供电方案二，初期可选用2台容量为315 kV·A变压器，初始高峰负载率

$$\beta_0 = \frac{\sum P_c \times 25\%}{\cos \varphi \times 315 \times 2} \times 100\% = 37.1\%$$

按 $g=7.2\%$ 计算，10年后该变压器负载率达到74.2%，再将变压器更换为630 kV·A继续运行，则更换后的变压器初始高峰负载率 $\beta_0=37.1\%$ 。

在方案二中，由于涉及到更换变压器，需要注意以下几点：

1) 首台变压器运行10年后被替换掉，其经济使用期年数取10年且不考虑其剩余价值。

2) 更换后的变压器，由于寿命为20年，经济使用期为10年，其初始费用 C_1 取新配电变压器在 n_t 年内所消耗的价值，按平均折旧年限法计算，即 $C_1 = V_n(n_t/n)$ ，此处 $n_t=10$ ， $n=20$ ， V_n 为新配电变压器的购置费用。

3) 为准确对比不同方案的综合能效费用，按上述过程计算配电电变压器的TOC后，需将方案一配电变压器的TOC值、方案二首台配电变压器的TOC值按银行贷款利率的复利折算至更换新配电变压器这一年（第10年末），利率假定为5%。

4) 将方案二折算后的TOC与更换变压器的TOC值相加后，再将方案一、方案二的TOC值加以比较。

配电电变压器其他相关参数如表2所示。

表2 配电电变压器相关参数

变压器型号	变压器容量 /kV·A	变压器购置 费用/元	空载损耗 /kW	负载损耗 /kW
SCB13-10/0.4 kV Dyn11	315	94 500	0.705	3.47
	630	13 100	1.04	5.96
	1 250	23 200	1.67	9.69
SCBH15-10/0.4 kV Dyn11	1 600	28 300	1.96	11.73
	315	143 000	0.28	3.47
	630	171 000	0.41	5.96
	1 250	321 000	0.65	9.69
	1 600	385 000	0.76	11.73

供电方案一和供电方案二的变压器综合能效费用计算结果如表3所示。分别选择SCB13、

表3 充电桩采用专用变压器时两种供电方案的综合能效费用对比

供电方案	代号	方案一		方案二		
变压器类型		SCB13	SCBH15	SCB13	SCBH15	
变压器容量/kV·A	S_c	630	315	630	315	630
变压器购置费用/元	V_n	131 000	171 000	94 500	131 000	171 000
变压器初始费用/元	C_i			65 500	143 000	85 500
经济使用年限/年	n	20		10	10	10
初始年高峰负载率(%)	β_0	18.5	37.1	37.1	37.1	37.1
高峰负载增长率(%)	g	7.2		7.2		7.2
现值系数	K_{pv}	11.470		7.360		7.360
变压器空载损耗等效初始费用系数/(元/kW)	A	88 419		56 737		56 737
年负载等效系数	PL^2	1.547		1.918		1.918
变压器负载损耗等效初始费用系数/(元/kW)	B	2 551		3 164		3 164
初始综合能效费用/元	TOC	238 161	223 341	145 478	143 363	169 865
折算至更换变压器年的综合能效费用/元		387 940	363 799	380 331		404 877

SCBH15两种系列干式变压器进行计算。

比较表3的数据，当充电设施采用专用变压器供电时，选择SCBH15系列变压器一次性配置到位的综合能效TOC值最低；其次是选择SCB13系列变压器分步配置或一次性配置容量；选择SCBH15系列分步配置容量的TOC值最高。

5 充电设施与其他负荷合用变压器时的综合能效费用对比

根据本文上述计算，充电设施和其他负荷合用变压器时整个项目用电负荷为： $\Sigma P = \Sigma P_q + \Sigma P_c = 3\,823\text{ kW} + 887\text{ kW} = 4\,710\text{ kW}$ 。

按供电方案三配置时，选择4台1 600 kV·A的变压器。为简化起见仅考虑其中两台带充电桩负荷，该组变压器所带普通负荷： $\Sigma P_1 = \Sigma P \times 50\% - \Sigma P_c = 2\,355\text{ kW} - 887\text{ kW} = 1\,468\text{ kW}$ 。

变压器远期负载率为 $(\Sigma P_1 + \Sigma P_c) / (2\cos\varphi \times 1\,600) \times 100\% = 77\%$ 。

变压器初始高峰负载率 $\beta_0 = (\Sigma P_1 + 25\% \times \Sigma P_c) / (2\cos\varphi \times 1\,600) \times 100\% = 56\%$ 。

按供电方案四配置时，带充电桩负荷的变压器初期所带负荷为 $\Sigma P_1 + 25\% \times \Sigma P_c = 1\,690\text{ kW}$ ，选用2台1 250 kV·A变压器，则初始高峰负载率 $\beta_0 = (\Sigma P_1 + 25\% \times \Sigma P_c) / (2\cos\varphi \times 1\,250) \times 100\% = 71\%$ 。

10年后该变压器负载率为81%，将变压器更换

为1 600 kV·A，则更换变压器后的初始高峰负载率 $\beta_0 = (\Sigma P_1 + 50\% \times \Sigma P_c) / (2\cos\varphi \times 1\,600) \times 100\% = 63\%$ 。

供电方案三和供电方案四的变压器综合能效费用计算结果如表4所示。

比较表4的数据可知，当充电设施与建筑内其他负荷合用变压器供电时，无论采用SCB13或SCBH15系列变压器，一次性将变压器容量配置到位，其综合能效费用都比分步配置更低；选用SCB13系列或SCBH15系列两者的TOC相差很小。

对于采用分步配置、更换变压器的方案，由于更换前后的变压器容量相差不多，变压器的损耗产生的费用相对设备购置增加的费用而言不明显，因此在合用变压器的供电方案下采用分步配置变压器容量，其综合能效费用明显偏高。

6 结果分析

根据对上述4个供电方案的的对比分析，从整体的能效经济角度比较，可以有以下几个初步结论：

1) 若采取充电设施和其他负荷共用变压器供电方式，将变压器容量一次性配置到位是最经济，也是最合理的。这种情况不建议采取更换变压器的方案，既不经济，还会在更换设备时，对其他用电设备正常运行造成比较大的影响。

表4 充电桩与其他负荷合用变压器供电时的综合能效费用

供电方案	代号	方案三		方案四	
变压器类型		SCB13	SCBH15	SCB13	SCBH15
变压器容量/kV·A	S_g	1 600	1 250	1 600	1 250
变压器购置费用/元	C_i	283 000	385 000	232 000	283 000
变压器初始费用/元	V_n			141 500	321 000
经济使用年限/年	n	20		10	10
初始年高峰负载率(%)	β_0	56		71	63
高峰负载增长率(%)	g	1.6		1.2	2.1
现值系数	K_{pv}	11.470		7.360	7.360
变压器空载损耗等效初始费用系数/(元/kW)	A	88 419		56 737	56 737
年负载等效系数	PL^2	4.653		4.107	3.477
变压器负载损耗等效初始费用系数/(元/kW)	B	7 674		6 773	5 734
初始综合能效费用/元	TOC	546 312	542 209	392 382	319 969
折算至更换变压器年的综合能效费用/元		889 885	883 201	959 117	992 736

2) 若充电设施由专用变压器供电, 选用 SCB13 系列干式变压器且容量分步配置时, 虽然由于更换变压器增加了后期设备购置费用, 但其初始设备费用、综合能效费用都比变压器容量一次性配置到位要低。并且考虑到电动汽车充电设施负荷增长的不确定性, 专用变压器的容量宜分步配置。

3) 由于无法准确预测充电设施负荷的增长情况, 在进行负荷计算时, 变压器负载率宜控制在 70% 以下, 尤其是共用变压器供电这种情况。

对于充电设施采用专用变压器或共用变压器供电之间的方案比较, 由于涉及到高低压开关柜的数量、变电所面积、土建安装成本、变压器容量和负载率限制等因素, 无法一一展开, 故本文未予涉及。在具体工程设计时需结合实际确定经济合理供电方案。

7 结束语

确定电动汽车充电设施的供电方案, 不能简单地采用和其他负荷相同的供电设计。应该结合充电设施负荷变化的特点、配电变压器的损耗、设备购置成本和购电费用等方面综合考虑, 确定技术合理、经济的供电方案。

在本文的工程案例中, 考虑到若选择适用变

压器的方案, 变压器容量为 1 600 kV·A, 变压器的远期负载率偏高 (接近 80%)。按相关规范要求民用建筑变压器容量不宜超过 1 250 kV·A; 加之未来充电设施负荷增长的不确定性较大, 故选择了充电设施采用专用变压器 (SCB13 系列) 供电, 且分步配置变压器容量的方案 (方案二)。

参考文献

- [1] 中国联合工程公司. GB 50052—2009 供配电系统设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.
- [2] 中机中电设计研究院有限公司. GB 50053—2013 20 kV 及以下变电所设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [3] 国家电网电力科学研究院, 国际铜业协会 (中国), 等. DL/T 985—2012 配电变压器能效技术经济评价导则 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [4] 中国标准化研究院, 中国电力科学研究院, 等. GB 20052—2013 三相配电变压器能效限定值及能效等级 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [5] 浙江大学建筑设计研究院, 浙江省城乡规划设计研究院, 等. DB 33/1121—2016 民用建筑电动汽车充电设施配置与设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2016.

(收稿日期: 2017-01-09) **EA**