

超高层建筑变压器容量指标的分析与研究

超高层建筑的电气设计在建筑电气设计行业一直广为热议,虽然全国乃至全球都有不少的超高层建筑成功案例,但是却无法评价建筑电气设计是否合理,无法判断变压器容量是否过大。通过调研大量超高层建筑实际运行数据,结合工程实例,从变压器的容量指标的角度来比较分析超高层建筑电气设计特点,最终给出超高层建筑变压器容量指标的建议值。

李炳华¹ 彭月月² 岳云涛² 王 伟¹ / 1. 悉地(北京)国际建筑设计顾问有限公司 2. 北京建筑大学



李炳华/教授级高工

超高层建筑在我国发展越来越快,数量多、高度高、建筑面积大及功能多样,设计要求越来越高,建筑电气设计往往采用较高的标准。现在行业内不少专家认为民用建筑的计算负荷偏大,变压器安装容量偏大,变压器实际负荷率偏低,设计偏保守,不仅浪费资源,增加投资,也明显违背节能、节材的理念。笔者调研大量实际工程,分析比较典型超高层建筑的电气数据,最终得出超高层建筑变压器容量指标,为以后的超高层建筑电气设计提供参考。

概述

1. 术语^[1]

关键词/Keywords

超高层建筑·
电气设计·
变压器·
装机容量·
变压器容量指标·

1) 超高层建筑:建筑高度大于100 m 的民用建筑。

2) 民用建筑:供人们居住和进行公共活动的建筑的总称。

3) 变压器容量指标:变压器总装机容量除以建筑物的建筑面积,也叫单位面积变压器装机容量。

2. 背景意义

国内大量建设超高层建筑虽然饱受

争议,超高层建筑仍以惊人的速度在全国众多城市建设。截至2012年,我国共建成超高层建筑94幢,而到2013年,广州、深圳两市的已建成及在建的超高层建筑分别达到118幢、80幢,而北京市已建成的超高层建筑有58幢^[2]。超高层建筑电气设计中,变压器容量指标是关键指标之一,它不仅反映变压器安装容量是否合理,还是衡量建筑电气设计是否达到节能要求的重要指标,对减少投资、节约能源和资源有着重要意义。

数据采集与分析

1. 数据采集及说明

通过调研国内诸多超高层建筑,得到主要电气参数如表1所示。采集内容包括建筑物名称、建筑面积、建筑高度、地上层数、建筑功能和变压器总装机容量。采集对象地域跨度很大,有北京、天津、上海、深圳、广州、南京和苏州等几个典型地区的知名超高层建筑;建筑高度差异也很大,从149~729 m各种高度不等;建筑功能也包括了多种的业态,有酒店、商业、办公、公寓和综合体,也有金融中心这种特殊业态,可以说基本代表了全国大部分地区超高层建筑的情况。从表1可以看出,变压器容量指标在78~146.46 V·A/m²。

2. 数据分析及处理

为了能够科学合理地得到超高层建筑变压器容量指标,首先要对调研采集到的数据进行分析处理。

由于超高层建筑类型各式各样,难免总有一些特殊的样本存在,这就导

表1 部分超高层建筑技术参数

序号	建筑物名称	建筑 面积 /m ²	建筑 高度 /m	地上 层数 (层)	功能	变压器 总装机 容量 /kV·A	变压器 容量 指标 (V·A/m ²)
1	北京国贸三期	297 000	330	75	酒店、办公	32 400	109.09
2	北京中国尊 (Z15)	437 000	528	108	中信银行、办公、写字楼、会所等	57 380	131.30
3	清华大学光华路校区 (Z1)	149 000	218.9		办公、16F以上写字楼、裙房老师工作室、商业	16 000	107.38
4	北京丽泽商务中心	150 000	190		T1写字楼、T2银行	20 120	134.13
5	北京财富中心	176 000	258	56	办公、商业	20 400	115.91
6	中钢国际广场	395 000	358	83	五星级和超五星级酒店、酒店式公寓、办公、商业	40 200	101.77
7	天津津塔 (环球)	310 000	336.9	75	办公、酒店、公寓、商业	36 400	117.42
8	天津周大福中心	380 000	530	107	办公、酒店、公寓	43 000	113.16
9	天津陆家嘴广场及商务大酒店	450 000	200	42	办公楼、高档商务酒店、大型购物中心	41 900	93.11
10	天津高银117 ^[3]	800 000	598			63 000	78.75
11	天津富力 ^[3]	290 000	439			32 000	110.34
12	天津现代城 ^[3]	520 000	330			61 000	117.31
13	上海金茂大厦 ^[3]	290 000	360	88	酒店、办公、商业等	40 000	137.93
14	上海环球金融中心 ^[3]	381 600	492	101	超五星级宾馆、写字楼、会议室、商业	37 500	98.27
15	上海世贸国际广场	170 000	249.5	60	酒店、商业	20 000	117.65
16	上海中心 ^[3]	670 000	632			80 000	119.40
17	上海世茂广场 ^[3]	180 000	333			20 000	111.11
18	上海白玉兰广场 ^[3]	420 000	300			49 000	116.67
19	深圳华润大厦总部, 春笋	270 000	393			26 500	98.15
20	深圳平安国际金融中心	460 000	660	116	办公、商业	55 500	120.65
21	深圳京基金融中心	222 000	441.8	100	酒店、办公、(其中A座为金融中心)	24 300	109.46
22	卓越皇岗世纪中心	424 000	280		星级酒店、购物中心、写字楼、公寓型住宅、商务型住宅 (SOHO)	39 800	93.87
23	深圳华侨城大厦	203 000	300			21 100	103.94
24	广州珠江新城 ^[4]	214 000	309	71	办公、会议	26 300	122.90
25	广州西塔 ^[4]	456 000	432	103	办公、酒店、酒店公寓、商业	62 300	136.62
26	广州东塔 ^[4]	508 000	530	111	办公、酒店、酒店公寓、商业	74 400	146.46
27	天河城东塔楼	100 000	195	45		8 000	80.00
28	广州发展中心大厦	78 000	149	37		9 600	123.08
29	广州恒大中心大厦	119 000	180	45		11 200	94.12
30	太古汇办公楼1	100 000	212	39		9 600	96.00
31	太古汇办公楼2	60 000	140	28		5 700	95.00
32	广州塔 ^[4]	114 000		84	办公、餐饮、广电机房	15 850	139.04
33	武汉绿地中心 ^[3]	730 000	636			84 000	115.07
34	武汉中心 ^[3]	350 000	438			36 000	102.86
35	南京紫峰大厦 ^[3]	260 000	450			35 000	134.62
36	南京金鹰天地 ^[3]	920 000	368			81 000	88.04
37	苏州中南中心 ^[3]	490 000	729			45 600	93.06
38	苏州东方之门 ^[3]	450 000	302			45 000	100.00
39	常州润华		308				92.00
40	烟台世茂海湾1 [#]	147 000	271.8	57	酒店、办公、商业、公寓	13 200	89.80

(续)

序号	建筑物名称	建筑	建筑	地上	功能	变压器	变压器
		面积	高度	层数		总装机	容量
		/m ²	/m	(层)		容量	指标
						/kV·A	/(V·A/m ²)
41	某金融办公楼	220 000	242	53	金融办公	17 160	78.00
42	青岛海天中心	451 968	350	67	超五星酒店、五星酒店、办公、企业会所、商业、公寓	42 580	94.21
	平均值						108.99
	最小值						78.00
	最大值						146.46

致了变压器装机容量出现比较夸张的数据。为了使变压器容量指标能反应出超高层建筑的普遍情况，得到具有普遍性和科学性的结果，需要对数据进行处理。

(1) 概念介绍

在处理数据前先介绍一个概念：显著性水平^[5]。

显著性水平是估计总体参数落在某一区间内，可能犯错误的概率，用α表示。它是在进行假设检验时事先确定一个可允许的作为判断界限的小概率标准。换句话说，就是给一组数据定义一个区间范围，不在这个区间的数据出现的概率就叫显著性水平。显著性水平不是一个固定不变的数字，应根据所研究的性质和对结论准确性所持的要求而定。最常用的α值为0.01、0.05和0.10等。一般情况下，根据研究的问题，如果大量数据不在区间范围内会导致损失大，α取值小些；反之，α取值大些。

虽然此次采集的数据有限，但足以有代表性，可以反映大多数超高层建筑变压器装机情况，且变压器容量指标是一个建议值，显著性水平不需定得过低，取α=0.10，即定义超高层建筑变压器容量指标范围能满足至少90%的超高层建筑的需 要，这个百分比已经可以作为评价指标。

(2) 确定范围

经分析，此次采集的42组数据都是在合理范围内的，是有效的，没有坏点。实际应用上，常考虑一组数据具有近似于正态分布的概率分布。那么对现有的42组数据样本进行正态分布处理，如下图所示，由式（1）、（2）得出样本均值μ=108.99，标准差σ=17.457。

μ = (x1 + x2 + ... + xn) / n = Σ xi / n (1)

σ = √(1/n Σ (xi - μ)²) (2)

式中，n为样本个数；xi为样本值；n为样本数量；μ为样本均值；σ为标准差。

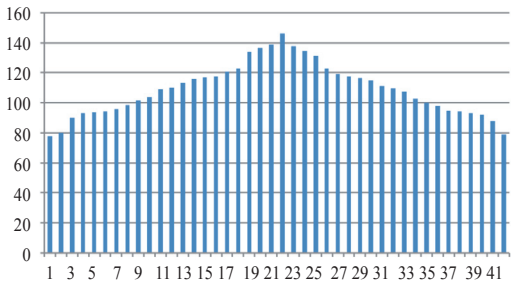


图 采集数据正态分布图

引入频数分布概约估计法，一个服从正态分布的变量只要知道其均值与标准差就可根据公式（3）估计任意取值范围内的频数比例，即可制定参考值范围，其中常用u值如表2所示。

X = μ ± uσ (3)

式中，X为双侧界值；u为标准正态变量。

首先确定显著性水平α=0.10，则参考值范围为90%，双侧界值为P5和P95，即(μ ± 1.645σ)=(80.273, 137.706)，进行取整后，范围为（80，138）。这个范围值包括了此次采集的42组数据中的39组数据，只有天津高银117的78.25 V·A/m²，广州塔139.04 V·A/m²，还有某金融办公楼78.0 V·A/m²，这3栋超高层建筑的单位面积装机容量不满足90%的数据情况。具体分析可知，天津高银117除了塔楼拥有约600 m的超高高度外，还有超常规的巨大

地下室（每层10万 m²），势必造成单位面积的装机容量稍低，但偏离最低范围值78.25 V·A/m²程度轻，是相对合理的。广州塔属于细长型的超高层建筑，建筑平面利用率低，其消防、电梯配置电量相对增加，以至于变压器容量较大，单位面积装机容量稍高于最低范围值138 V·A/m²，同样，偏离轻，仍是相对合理的。

若考虑显著性水平 $\alpha=0.05$ ，即参考值范围为95%，双侧界值为P2.5和P97.5，即 $(\mu\pm1.96\sigma)=(74.77, 143.205)$ ，取整后，范围为（75，143）。这个范围值包含了所有42组数据，也就是说，基本可以满足所有种类的超高层建筑情况。

上述两种范围是在42组数据的情况下得到的，一旦采集到更多数据，取值范围将会更准确，能满足更多种类型、更高比例的超高层建筑。

表2 常用 μ 值^[5]

参考值范围（%）	单侧	双侧
80	0.842	1.282
90	1.282	1.645
95	1.645	1.960
99	2.326	2.576

实际运行数据分析

为验证上述结论的准确性，笔者采集了部分已建超高层建筑的设计数据与实际运行数据，分别如表3、表4所示。

表3 部分超高层建筑设计数据^[6]

	上海环球金融中心	南京紫峰大厦
建筑面积/m ²	381 000	261 000
最大使用量/kV·A	20 486	12 220
最大运行指标/（V·A/m ² ）	53.76	46.7
变压器装置总容量/kV·A	37 500	30 600
变压器容量指标/（V·A/m ² ）	98.4	117.2
变压器最大负荷率	0.546	0.4

表4 部分超高层建筑实测数据^[7]

	国贸三期	中环世贸中心
建筑面积/m ²	170 000	207 850
最大用电负荷/kW	3 586.7	8 205.2
最大用电指标/（V·A/m ² ）	21.1	39.48
变压器装置总容量/kV·A	19 400	21 200
变压器容量指标/（V·A/m ² ）	114.12	102

(续)

	国贸三期	中环世贸中心
变压器最大负荷率	0.185	0.43

从表3、表4中可以看出，上海环球金融、南京紫峰大厦和中环世贸中心的变压器容量指标分别为98.4 V·A/m²、117.2 V·A/m²和102 V·A/m²，其相对应的变压器最大负荷率分别是0.546、0.4和0.43，均满足最新的IEC 60364-8-1的初步结论，即当变压器的负荷率在40%~65%时，变压器的效率最高，能够有效地减少电能的浪费。其中国贸三期的变压器容量指标为114.12 V·A/m²，最大负荷率仅为0.185，其原因是采集数据时，国贸三期刚建成不久，招商还在进行中，用电负荷还未达到最大。可以预见，在国贸三期运营正常后，其变压器容量指标必将增加，最大负荷率也会相应增加。这足以说明在（80，138）范围内的变压器容量指标是符合超高层建筑电气的实际要求的。

由于变压器往往是成组运行的，以上海环球金融中心为例，采用3台12 500 kV·A的变压器，当1台12 500 kV·A的变压器不能使用时，剩余的变压器仍能带动25 000 kV·A的用电设备，而实际最大使用量才204 856 kV·A，完全能满足超高层建筑中二级及以上等级负荷的供电可靠性要求。

结束语

变压器容量指标是变压器总装机容量与建筑面积之比，超高层建筑变压器容量指标的研究，对超高层建筑电气设计有着重大的意义，能比较好地判断超高层建筑电气设计成果是否合理、节能和节材。文中得出80~138 V·A/m²范围内的变压器容量指标是符合工程实际要求的取值范围，能满足90%以上的超高层建筑电气设计需要。

本文仅是初探，希望引起电气界的同仁对超高层建筑电气设计的重视。由于所采集的数据有限，对超高层建筑的研究尚有不足之处，有待完善和深入研究，也希望更多的同仁参与到超高层建筑电气设计研究之中，以提高我国超高层建筑电气设计的水平。

(收稿日期：2015-02-18) EA