

有载分接开关实用手册

姚志松 姚磊 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

有载分接开关实用手册

姚志松 姚磊 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

· 858776

内 容 提 要

本手册包含了目前国内外各制造厂家、各电压等级、各种型号有载分接开关（其中包括非油浸开关和旧开关）的原理、结构、试验、选型、安装、运行、故障、维修、反事故措施、电动机构、自动控制器或装置等，详细剖析切换波形，是一本完整的制造和使用有载分接开关产品的综合性手册。书中对新仪器使用、旧开关改造、无载改有载有专述，还有第一台开关等的研究试制总结、设计分析、试验实录、技术条件等，可供产品开发和检修人员参考。

本手册有大量的插图和实例，既可作为电力部门、工矿企业、农村、制造厂技术人员和电工的实用工作手册，也可用作培训教材，同时也是大专院校有关专业师生的良师益友，本手册尤其适用于电力、化工、冶金、铁道、制造等行业。

图书在版编目 (CIP) 数据

有载分接开关实用手册/姚志松，姚磊编著. -北京：
中国电力出版社，2002

ISBN 7-5083-0949-9

I. 有… II. ①姚…②姚… III. ①负荷开关-技术手册
②分接开关-技术手册 IV. TM564-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 011363 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2003 年 1 月第一版 2003 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 70.75 印张 1749 千字 1 插页

印数 0001—3000 册 定价 130.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换)

前言



30多年来,变压器有载分接开关在国内得到了广泛的应用。有载分接开关是变压器中唯一的可动部件,也是有载调压变压器的主要部件。它的制造质量和运行、检修质量直接关系到有载调压变压器的安全。为顺应用户对电力高质量、高可靠性要求的新形势,我们编写了这本手册。

本手册突出实用技术,紧扣国家标准、国际 IEC 标准和其他标准、规定及反事故技术要求,反映最新科技成果前沿和现场实际,编写中力求做到先进性、实用性与规程规范的一致性;力求广览蜜酿、深入浅出,既有概念上的解释,又有工作经验总结,使读者能更好地解决应用中的问题,以使用最少的投入,迅速掌握有关知识。本手册可起到工作备查、引据资讯的作用,也可用作现场检修的工具书,是一本关于有载分接开关的实用全书。

手册前部分着重论述有载分接开关的作用、原理、设计、计算、结构、制造、偏移电压分析、开关标准、分接头选择、电动机构、自动电压控制器、电压无功控制装置(附缩写语一览)、开关质量分等、非油浸开关(包括真空开关、空气开关、阻燃油开关、晶闸管开关等),对开关的选型、安装、验收、运行、维护、检修及各个机构作了较详细的分析。如切换开关分滚转式、摆杆式、杠杆式、凸轮式,分别进行解剖论述。介绍了国内外制造厂家及产品,其中国外介绍了德国 MR 公司、瑞典 ABB 公司、奥地利伊林公司三家产品。手册后部分论述了有载分接开关的试验分析和判据,仪器使用,正常波形和缺陷波形的危害及处理,故障消除法,反事故措施,旧开关更新改造,无励磁调压改有载调压及各厂家新、旧开关使用说明等。

作者在成书过程中,查阅和吸取了各研究院所、制造厂家与供电部门编写的各种讲义、成果资料及其他论文、报告、总结、著作、规程、标准、资料、文献等,在此,对所引用资料的作者表示诚挚的感谢!

本书能编著成册,要特别感谢浙江省电力公司副总工程师陈后盾高工及楼其民、吴锦华高工的直接指导,感谢电力系统同仁顾克拉、王吉庆、何勇、赵寿生、金祖荣、刘洪鑫、李宏雯、泮巍巍、刘义华、周锡忠,以及金华电业局陈卫中、程极盛、钟新华、应敬华、钱朝阳、应高亮、王建生等各级领导,还有张一军、何建中、郦敏等同志的指导帮助。浙江省电力公司章寿源高工和方大千高工为本书提供资料并对有关部分进行了审校,潘林凤、吴军、潘六安等同志为整理、收集、誊写做了工作,在此一并表示深切的谢意!

由于作者水平有限,书中难免有错误之处,恳切地希望读者给予批评指正。

QAAx/02

编著者

2001 年 12 月

目 录



前言

第一章

概 述

- | | | | |
|---------------------------------|---|--------------------|----|
| 第一节 有载调压的作用、设置原则
和电压标准 | 1 | 第二节 术语定义和额定值 | 12 |
| | | 第三节 有载调压变压器 | 15 |

第二章

有载开关的型号、工作原理和分类

- | | | | |
|----------------------------------|----|------------------------|----|
| 第一节 有载开关的型号意义和
电动机构对应关系 | 21 | 第四节 有载开关的调压电路 | 42 |
| 第二节 有载开关工作原理和过渡电路 | 29 | 第五节 有载开关的主要接线图 | 49 |
| 第三节 有载开关的选择电路 | 37 | 第六节 有载开关的绝缘分析 | 51 |
| | | 第七节 有载开关的分类和安装方式 | 59 |

第三章

有载开关防止偏移电压过高的措施

- | | | | |
|------------------------|----|--------------------------------|-----|
| 第一节 偏移电压产生的原因和危害 | 66 | 第六节 国内厂对限位电阻计算实例 | 84 |
| 第二节 允许的偏移电压 | 69 | 第七节 偏移电压测量方法 | 87 |
| 第三节 防止偏移电压过高的措施 | 70 | 第八节 加装限位电阻的实施方案
和应用实例 | 92 |
| 第四节 进口产品采用的限位电阻元件特性 .. | 74 | 第九节 关于偏移电压的结论 | 101 |
| 第五节 限位电阻计算 | 75 | | |

第四章

有载分接开关的总体和切换开关 结构分析

- | | | | |
|-------------------------|-----|----------------------|-----|
| 第一节 有载分接开关结构组成 | 103 | 布置和分析 | 115 |
| 第二节 复合式和组合式开关结构简介 | 105 | 第四节 快速机构的种类和分析 | 118 |
| 第三节 有载分接开关的总体 | | 第五节 切换开关的种类和分析 | 128 |

第五章

选择器与电动机构及其他结构分析

- | | | | |
|-------------------------------|-----|-----------------------|-----|
| 第一节 选择器的要求 | 156 | 第三节 接触系统的种类和分析 | 160 |
| 第二节 分接选择器的轴型结构
种类和分析 | 157 | 第四节 级进机构的种类和分析 | 162 |
| | | 第五节 转换选择器的种类和分析 | 167 |

第六节	选择器几个具体问题	170	第九节	有载开关的其他结构材料	178
第七节	选择器具体结构简述	171	第十节	电动机构的种类和分析	189
第八节	有载开关特殊用途说明	176			



第六章

真空开关、空气开关、阻燃油开关 和晶闸管开关

第一节	非油浸有载分接开关结构 型式概述	218	第三节	空气有载分接开关	248
第二节	真空有载分接开关	219	第四节	阻燃油有载分接开关	251
			第五节	晶闸管有载分接开关	255



第七章

自动控制器和电压无功综合 控制装置

第一节	自动控制器综述	258	第六节	进口自动控制器系列产品	292
第二节	KUF-5 型自动控制器	264	第七节	电压无功综合控制装置 (简称 VQC 装置)	310
第三节	HS-2 型自动控制器	279	第八节	新型 DWZK 型电压无功综合控制 装置的原理特点	318
第四节	ZDT-10 型自动控制器	286			
第五节	KTY-35H 型和 KYT-8 型 自动控制器	289			



第八章

开关的选型

第一节	有关名词解释和标准介绍	322	第三节	有载分接开关产品质量 分等标准	355
第二节	有载开关选型方法	336			



第九章

有载开关的安装和保护

第一节	有载开关的保护	359	第四节	有载开关在变电所内变压器安装时 的安装检查	389
第二节	有载开关的运输和供货成套 范围的检查	379	第五节	V 型和仿 V 型开关的安装及检查	392
第三节	开关在变压器制造或改造时 的安装综述	380	第六节	M 型和仿 M 型开关的 安装及检查	404



第十章

有载开关的运行、维护和检修综述

第一节	变压器连同分接开关运送 使用单位	415	第四节	有载开关的运行	419
第二节	变压器安装时开关的检查	415	第五节	有载开关的维护	423
第三节	投运前的检查验收	418	第六节	有载开关的检修综述	424

第十一章

各电压等级变压器有载分接 开关的检修

第一节	有载分接开关电压等级的划分	441	有载开关检修	447	
第二节	10~35kV 级 SYJZZ 型有载 开关的检修	441	第五节	220kV 级 M 型 (仿 M 型) 有载 开关检修	461
第三节	110kV 级 SYXZ 型简单组合式有 载开关的检修	444	第六节	500kV 级变压器用的 T 型或 R 型 G 型有载开关检修	473
第四节	110kV 级 V 型 (仿 V 型)				

第十二章

有载分接开关的试验综述

第一节	试验的目的、分类和项目	492	第四节	有载开关切换试验 (工作负载切换 试验和过载切换试验)	522
第二节	测量和试验的要求与方法综述	497			
第三节	型式和特殊试验的要求与方法	509			

第十三章

有载开关试验文件实例和 工作顺序试验

第一节	有载开关工作顺序试验	536	第四节	有载分接开关试验大纲实例	551
第二节	SYXZ 型及 SYZ 型有载分接开关 技术条件实例	544	第五节	出厂试验报告实例	554
第三节	SY ^J _X ZZ 型有载分接开关 技术条件实例	545	第六节	型式试验报告实例	555
			第七节	有载分接开关产品合格 证明书实例	569

第十四章

切换特性试验波形的分析和判据

第一节	切换特性试验的特殊性	571	第七节	波形图波长的规律和名称	589
第二节	切换特性试验的重要性	571	第八节	过渡波长的判据	590
第三节	切换开关的示波图和测试 方法比较	572	第九节	桥接波长的判据	592
第四节	示波图测试仪器性能介绍	578	第十节	切换总时间 (切换总波长) 判据	594
第五节	有载开关参数综合测试仪介绍	580	第十一节	四电阻或六电阻切换波形 的判据	595
第六节	切换开关直流示波图表示法	587			

第十五章

正常及缺陷波形的危害和处理

第一节	切换开关正常示波图要求	597	第五节	切换不同步时间要求	600
第二节	切换波形的时间要求	597	第六节	对波形抖动的要求	601
第三节	切换机构对波长的影响	598	第七节	正常波形图和波形缺陷处理法	602
第四节	油温对波长的影响	600	第八节	异常波形图和危害	605

 第十六章**常见故障及消除法**

第一节 滑档(连转、连动、连调、连跳、连击、淌车)	617
第二节 切换开关不切换或者切换过慢和中途失败	621

第三节 切换开关与选择器动作失调	630
第四节 切换开关切换波形异常	634
第五节 有载开关密封渗漏	634
第六节 电动机构故障	639

 第十七章**非常见故障及消除法**

第一节 零件变形故障	647
第二节 开关触点接触不良	649
第三节 开关放电故障	653
第四节 断轴	658
第五节 开关绝缘受潮	659
第六节 切换极限过档	663

第七节 触头系统问题	664
第八节 变压器油、气体继电器和爆破盖问题	666
第九节 过渡电阻连接、缓冲器和其他问题	667

 第十八章**有载分接开关反事故措施**

第一节 绪言	670
第二节 原电力部及有关单位的文件	670
第三节 提高开关制造质量	674

第四节 选型及安装检修技术数据	679
第五节 正常的运行维护检修	682
第六节 及时处理更换老旧和已淘汰的开关与配件	685

 第十九章**旧开关更新改造和变压器有载调压加装**

第一节 电动驱动机构改造	688
第二节 为SYXZ型有载开关驱动机构安装接点盘	695
第三节 有载调压远方位置显示装置	697
第四节 有载分接开关档位显示变送器	699
第五节 现场改造变压器为有载调压的方法	702

第六节 35~110kV主变压器加装有载分接开关	710
第七节 15kV/600A、48级有载分接开关改造与维修	714
第八节 有载分接开关改造检修中的一个窍门	721

 第二十章**M型和V型等开关系列产品介绍**

第一节 本书后几章内容综述	723
第二节 M型有载分接开关使用说明	723

第三节 ED型电动机构使用说明	744
第四节 V、M、T、R型技术数据	761



第二十一章

UB型和UC型等开关系列产品介绍

- | | | | |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|
| 第一节 绪言 | 770 | 第四节 BUL 型电动驱动机构 | |
| 第二节 UC 型有载分接开关使用说明 | 771 | 使用说明 | 804 |
| 第三节 UB 型有载分接开关使用说明 | 792 | 第五节 UB、UC、UZ 型技术数据 | 817 |



第二十二章

S型和J型等开关系列产品介绍

- | | | | |
|------------------------|-----|-------------------------|-----|
| 第一节 伊林有载分接开关技术说明 | 832 | 使用说明 | 851 |
| 第二节 伊林 S 型有载分接开关安装 | | 第四节 伊林电动机构 MLG51 型安装 | |
| 使用说明 | 845 | 使用说明 | 863 |
| 第三节 伊林 J 型有载分接开关安装 | | 第五节 J、S、T、Q 型技术数据 | 875 |



第二十三章

ZY 型系列产品介绍

- | | | | |
|----------------------------|-----|-----------------------------------|-----|
| 第一节 ZY 型有载分接开关资料介绍 | 884 | 第四节 SYXZ6-7-35/200、SYJZ6-35/200 型 | |
| 第二节 DCJ10 型 (仿 MA7 型) 电动机构 | | 有载开关使用说明 | 899 |
| 使用说明 | 888 | 第五节 控制器和位置显示器使用说明 | 907 |
| 第三节 SYXZ5-9-10/100 型有载开关 | | 第六节 QJ2-25 型保护继电器使用说明 | 914 |
| 使用说明 | 896 | 第七节 ZY 系列技术数据 | 917 |



第二十四章

CV 型等开关系列产品介绍

- | | | | |
|-----------------------|-----|--------------------------|-----|
| 第一节 CV 型复合式滚动触点有载分接开关 | | 第三节 CF 型有载分接开关使用说明 | 954 |
| 使用说明 | 923 | 第四节 SYX (J) ZZ 型有载分接开关 | |
| 第二节 CMA9 电动驱动机构使用说明 | | 使用说明 | 961 |
| (仿 MA9 型) | 938 | 第五节 CM、CV 系列技术数据 | 966 |



第二十五章

SYXZ 型等开关系列产品介绍

- | | | | |
|-----------------------------|-----|----------------------------|------|
| 第一节 SYXZ 型系列有载分接开关 | | 第四节 10kV、35kV 有载分接开关 | |
| 安装说明 | 972 | 产品资料 | 991 |
| 第二节 SYXZ 型系列有载分接开关 | | 第五节 CDJ 型电动驱动机构使用说明 | 998 |
| 使用说明 | 976 | 第六节 KYT-8 型自动控制器使用说明 | 1001 |
| 第三节 SYJZZ 型有载分接开关结构原理 | 990 | 第七节 C1、F、SYXZ 系列技术数据 | 1006 |



第二十六章

C型、D型开关产品介绍

- | | | | |
|----------------------|------|-------------------|------|
| 第一节 C 型、D 型有载分接开关结构和 | | 第二节 C 型、D 型有载开关原理 | |
| 运行维修资料 | 1013 | 结构简介 | 1025 |

第三节	D 型有载分接开关使用说明	1027	有载开关) 使用说明	1039	
第四节	M2 型电动机构 (配 C、D 型		第五节	ZⅢ、FⅢ系列技术数据	1045



第二十七章

SYXZ型研究分析和SYX型
产品介绍

第一节	绪言	1047	第四节	沈变厂产SYX(Z)型和SYTZ型有载分接 开关简介	1073
第二节	SYXZ-16-110/200型有载分接开关 ..	1047	第五节	北方产SYXZ系列有载分接开关 结构介绍	1074
第三节	北方产SYXZ-200、400型有载分接开关 使用说明	1054			



第二十八章

SYTF型等其他产品介绍

第一节	SYJZZ型系列有载开关简介.....	1079	有载分接开关使用说明	1098	
第二节	上海产有载分接开关使用说明	1081	第八节	常州产有载分接开关使用说明	1105
第三节	SYTF-7-35/200A型有载分接开关 ...	1084	第九节	北京产 SYXZF 系列有载 分接开关简介	1112
第四节	宁波产 35kV 级有载调压电力 变压器使用说明	1086	第十节	苏州产有载分接开关使用说明	1112
第五节	SYTF-7-35/200 型有载分接 开关使用说明	1088	第十一节	其他厂家介绍	1115
第六节	C2F、SYXZZ 型开关技术数据	1093	附录	缩写术语一览	1117
第七节	保定产 SYXZ-35~220/400~600 型		参考文献		1119



第一章

概述

第一节 有载调压的作用、设置原则和电压标准



一、有载调压的作用和调压手段比较

(一) 有载调压的作用

电能质量的主要指标有频率、电压和谐波。由于电力系统中运行方式千变万化，每个结点电压都不相同，用户对电压的要求也不一样。变电所加装电压无功综合自动化控制装置(VQC)，实行无人值班，供电体制由网厂合一逐步向网厂分开转变，用电由供不应求逐步向供过于求形势转化，峰电负载比谷电负载差距增大，电压水平的涌潮现象增加，促使每天电压调节幅值和次数增加，迫切要求加装和采用有载调压的设备。

1. 保证电压质量

采用有载调压设备能获得稳定优质的电压，而处于稳定额定值的电压能使供电设备正常工作。电压偏移过大将影响工农业生产的质量和产量，甚至损坏设备。例如电压太低，变压器出力将低于额定值；而电压太高会使变压器产生过励磁空载涌流很大，差动继电器误动作，断路器掉闸。当电动机在电压降低 10% 时，起动和最大转矩下降 19%，转差率增大 23%，温升上升 7%。当电容器电压降低 10% 时无功降低 19%。当白炽灯电压增加 10%，寿命将降低 70%，气体放电灯寿命将降低 20%。因此保证电压质量很重要。

2. 联络电网和调节负载潮流

联络电网可提高可靠性和经济性，而电网并列条件之一，必须调节电压使之相等或接近。而系统中有功潮流总是电压较高端流向较低端，这样调节电压可以调节负载潮流，挖掘设备无功和有功潜力。

3. 节约用电和减少设备事故

在电化工、电冶炼工业中使用的电炉变压器、整流变压器，还有铁道电气化用变压器、移动电站紧急供电用变压器，电子工业、医学专用、军工等电源变压器，采用有载调压设备都能获得显著经济效益或提高供电可靠性。

(二) 调压手段比较

目前电力系统中调压手段有以下几种。

1. 发电机调压

发电机机端电压可调范围一般在其额定电压的 +5% 以内。系统中根据系统设计满足系统基本负载需要的主力电厂，运行方式固定，负载率变化小，因此可依靠发电机调压维持机端电压，靠近这些电厂的负载和由这些电厂直送的负载，可以得到比较稳定的电压供给。其他远区负载，依靠发电机调压则不可能都得到稳定的电压供给。

2. 同步补偿机、电容器组、并联电抗器和静止补偿器调压

当系统因无功功率的分配引起电压波动，除挖掘发电机无功潜力外，可采用同步补偿机（包括同步电动机）、电容器、并联电抗器和静止补偿器来调节和补偿系统的无功，达到稳定系统电压的目的。

3. 变压器调压

这是系统中采用最多、最普遍的一种调压手段。变压器调压可分为无励磁调压和有载调压两种。

无励磁调压的优缺点如下。开关结构简单易制，变压器结构较有载调压简单；调压范围较小，一般为10%；调压必须停电，且停电时间较长（数分到数十分钟），既影响生产，又没有随时可调性，这是无励磁调压的主要缺点。

一台无励磁调压变压器，如须调压，首先必须选择系统允许其停电的时机，若这台变压器，供给多个用户的电力，则此时机往往难于得到，因此大部分无励磁调压变压器，投入运行之后，直到故障退出运行都没有调过压。此外，因无励磁开关的结构简单，对大型产品，调压后还须测量绕组电阻，以判断开关接触是否良好，致使调压和停电过程长，这也是运行管理部门不愿调压的一个原因。因此系统中运行的无励磁调压变压器，除非不得已时，一般均不调换分接改变电压比。这样绝大多数无励磁调压变压器，在系统上根本不能发挥调压作用，这也是电力系统的电压质量、无功和有功潮流分配均不易满足运行要求的主要原因之一。

一个大电厂第一期工程投入运行，其输电线输送容量小，线路压降小，要保证受端电压为额定值，送端电压较低，为保证已投入发电机的出力，其升压变压器高压侧往往运行于额定分接或负分接。随着电厂第二、三期工程全部投入运行，输电线输送容量达到甚至超过额定值，系统阻抗压降增大，要保证受端电压为额定值，送端电压要增高，这时升压变压器高压绕组往往运行于正分接或额定分接。为此，第一期工程投入的升压变压器须停电调换分接，此后系统正常运行，便基本上不再调换分接了。以上是无励磁调压变压器一般必须调换分接的情况之一。

目前系统中无励磁调压变压器大多数不调换分接，并不是说明系统不须调压，而是无励磁调压方式本身缺陷所致。

某轴承厂为了限制电压波动，满足生产需要，将一台750kVA无励磁调压变压器，设专人负责停电调换分接，一年多时间，虽然这台变压器终至烧毁，但该厂取得的收益，远远超出这台变压器的价值。

某化工厂安装一台750kVA有载调压变压器之后，过氧化氢生产质量稳定，年产量增加10%，并节电达54万kWh。这些实例，说明电力系统迫切需要大量的有载调压变压器，有载调压变压器必须大力发展。

有载调压的优缺点如下。能带负载调压，调压速度快，每调换一级电压约3~6s；开关可手动、电动操作，也能远方电动操作，便于实现自动化管理；调压范围较大，一般为15%及以上；开关和变压器结构比无励磁调压的复杂，制造工时和材料增多，成本较高。

采用变压器调压，可用改变变压器分接头或加调压变压器来进行调压，它可改变在电网中有功功率和无功功率的分配。离大电源较近的降压变电所，改变其分接头确能调整变压器低压侧电压，但这时无功功率变化很小（不计负载静特性，高压侧电压基本上维持不变）。

4. 改变网络参数进行调压

如改变电力网的导线截面、改变电力网的接线方式、改变并列运行的变压器台数、用串联电容器补偿。

增大导线截面,可以减少电压损耗,但这个方法仅在负载功率因数较高,原有导线截面很小的配电线路才较有效。在输电线路中,采用这种方法收效甚小。

改变电力网的参数,也可通过切除或投入双回路中的一条线路,切除或投入变电所中一部分并列运行的变压器等方法来实现。但这两种方法,只有在不显著增加功率损耗和降低可靠性时,才可作为辅助的调压措施。

电网可采用串联电容器来补偿输电线路阻抗、改变线路参数从而起到调压作用。由于串联电容补偿了输电线的电抗,所以在超高压输电系统中就用作提高输电系统稳定的措施。一般在 220kV 及以上的输电系统中,是起到提高电力系统稳定的作用;而在 220kV 以下的输电系统中都用来提高受端电压。例如:在 110kV 和 35kV 及以下的线路上,主要用在负载波动大、负载功率因数又很低的配电线路上。串联电容补偿不仅能提高电压,而且其调压效果能够随负载的大小而改变,所以特别适用于负载变动较大的电弧炉、电气牵引、电焊机等负载的调压,但串联电容器的这种优越性将随着负载本身功率因数的提高而减少。

作为变电所调压的主要手段,一般都采用有载调压变压器和补偿电容器。有载调压变压器可以在带负载条件下切换分接头,从而改变变压器的变比,可起到调整电压、降低损耗的作用。而合理地配置无功功率补偿容量,可改变网络中无功潮流分布,改善功率因数,减少线损和电压降落,从而改善用户的电压质量。

以上两种措施虽然都有调整电压的作用,但其原理、作用和效果是不同的。在利用有载调压变压器分接头进行调压时,调压措施本身不产生无功功率,因此在整个系统无功不足的情况下不能用这种方法来提高全系统的电压水平;而利用补偿电容器进行调压,由于补偿装置本身可产生无功功率,因此这种方式既能弥补系统无功的不足,又可改变网络中的无功分布。然而在系统无功充足但由于无功分布不合理而造成电压质量下降时,这种方式又无能为力的。因此只有将两者有机的结合起来,才有可能达到良好的效果。

二、电压允许偏差和调压方式

(一) 电压允许偏差

由于电力系统运行状态的缓慢变化,使电压发生偏移,其电压变化率小于每秒 1% 时的实际电压值与系统额定电压值之差称为电压偏移,也称电压偏差。电力系统一般运行方式时各点电压的偏差范围用额定电压的百分数表示。

关于供电电压允许偏差,在下述标准中都有规定:国标 GB12325—90《电压允许偏差》;行标 SD325—89《无功导则》;国标 GB50052—95《供配电规范》及《全国供用电规则》。现以国标为基准,其他作补充,综合叙述如下。

(1) 500 (330) kV 母线,正常运行方式时,最高运行电压不得超过系统额定电压的 +10%,最低运行电压不应影响电力系统稳定。

(2) 发电厂和 500kV 变电所的 220kV 母线,电压允许偏差在正常运行方式时,为系统额定电压的 0 ~ +10%;在事故运行方式时为系统额定电压的 -5% ~ +10%。

(3) 发电厂和 220 (330) kV 变电所的 110 ~ 35kV 母线,电压允许偏差在正常运行方式时,为系统额定电压的 -3% ~ +7%;在事故运行方式时为系统额定电压的 $\pm 10\%$ 。

(4) 35kV 及以上用户的电压变动幅度，应不大于系统额定电压的 10%。其电压允许偏差值，应在额定电压的 90% ~ 110% 范围内。

(5) 10kV 用户的电压允许偏差值，为系统额定电压的 $\pm 7\%$ 。

(6) 380V 用户的电压允许偏差值，为系统额定电压的 $\pm 7\%$ 。

(7) 220V 用户的电压允许偏差值，为系统额定电压的 $+5\% \sim -10\%$ 。

(8) 正常运行情况下，用电设备端子处电压偏差允许值（以额定电压的百分数表示）应符合下列要求：

1) 电动机为 $\pm 5\%$ 。

2) 照明。在一般工作场所为 $\pm 5\%$ ；对于远离变电所的小面积一般工作场所，难以满足上述要求时，可为 $+7\%$ 、 -10% ；应急照明、道路照明和警卫照明等为 $+5\%$ 、 -10% 。

3) 其他用电设备当无特殊规定时为 $\pm 5\%$ 。

为了将电压偏差产生的影响控制在可接受的范围内，世界各国对供电电压都规定了允许偏差，作为供电电压质量指标之一，见表 1-1。

表 1-1 一些国家、地区和组织对电压允许偏差的规定

国家与组织	电压允许偏差
国际电工委员会 (IEC)	对 100 ~ 1000V 交流供电系统为 $\pm 10\%$
国际发供电联盟协会 (UNIPED)	对低压供电网为 $\pm 10\%$ (230/2000V 系统)
美国 全国 费城	未规定，一般为 $\pm 5\%$ 动力 $\pm 10\%$ ；照明 $\pm 5\%$
前苏联	1kV 及以下为 $\pm 5\%$ ，最大允许为： $\pm 10\%$ 6 ~ 20kV，短暂允许最大为 $\pm 10\%$ (ГОСТ13109—87)
日 本	101V 为 $\pm 6V$ ，202V 为 $\pm 20V$ (日本电气事业法实施细则)
德 国	城市为 $\pm 3\%$ ，农村为 $\pm 10\%$
英 国	240V 为 $\pm 6\%$
法 国	中压网为 $\pm 7\%$ ，低压电缆供电为 $\pm 5\%$ ，架空线供电为 $\pm 7.5\%$ ，其他为 $\pm 10\%$
意大利	$\pm 10\%$
瑞 典	无全国规定，一般为 $\pm 5\%$ ，最大为 $\pm 10\%$
瑞 士	无全国规定，一般为 $\pm 5\%$ 以下
荷 兰	$\pm 10\%$
奥地利	无全国规定，实际为 $\pm 10\%$
南斯拉夫	$\pm 10\%$
波 兰	城市为 $\pm 5\%$ ，其他地区 $\pm 10\%$
捷克斯洛伐克	无全国规定，实际为 $\pm 5\%$
匈牙利	$+5\% \sim 10\%$
罗马尼亚	$\pm 5\%$
挪 威	无全国规定，城市为 $\pm 5\%$ ，其他为 $\pm 10\%$
丹 麦	无全国规定，实际白天为 $\pm 10\%$ ，夜间为 $\pm 5\%$
芬 兰	无全国规定，城市为 $\pm 5\%$ ，其他地区 $\pm 10\%$
巴基斯坦	650V 以下为 $+5\%$ ，650V 以上为 12.5% (巴基斯坦电力条例)
中 国	照明： $+7\%$ ， -10% ，10kV 及以下 $\pm 7\%$ ，35kV 及以上供电电压正、负偏差的绝对值之和不超过额定电压的 10% (GB12325—90)

(二) 电压允许波动和闪变

在某一时段内, 电压急剧变化而偏离额定值的现象, 称为电压波动。电压变化的速率大于每秒 1% 的, 即为电压急剧变化。电压波动程度以电压在急剧变化过程中, 相继出现的电压最大值与最小值之差或其百分比来表示, 即

$$\delta U = U_{\max} - U_{\min}$$

$$\text{或} \quad \delta U \% = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_e} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 U_e ——额定电压, V;

$U_{\max}$ 、 $U_{\min}$ ——某时段内电压波动的最大值与最小值, V。

GB12326—90 国家标准规定电压波动和闪变允许值分别见表 1-2 和表 1-3。

表 1-2 电压波动允许值

额定电压 (kV)	电压波动允许值 (%)
≤ 10	2.5
35 ~ 110	2
≥ 220	1.6

表 1-3 电压等效闪变值 Δu_{10} 允许值

应 用 场 合	Δu_{10} 允许值 (%)
对照明要求较高的白炽灯负荷	0.4 (推荐值)
一般性照明负荷	0.6 (推荐值)

周期性电压急剧变化引起电光源光通量急剧波动而造成人眼视觉不舒适的现象, 称为闪变。通常用引起闪变刺激性程度的电压波动值——闪变电压限值 Δu_1 或电压调幅波中不同频率的正弦波分量的均方根值等效为 10Hz 值的一分钟平均值——等效闪变值 Δu_{10} 来表示。电力系统公共供电点, 由冲击功率负荷产生的闪变电压应小于 Δu_{10} 或 u_1 的允许值。否则将会出现闪变, Δu_{10} 允许值见表 1-3。

(三) 电力系统中枢点电压调压方式

由于电力系统结构复杂, 如对每个用电设备电压都进行监视和调整, 不仅没有可能, 而且也没有必要, 但可通过监视、调整电压中枢点的电压来实现电压控制。电压中枢点应能反映系统电压水平, 且这些点的电压质量符合要求时, 其他各点的电压质量基本上也能满足要求。中枢点通常选择在: ①区域性水、火电厂的高压母线; ②枢纽变电所的二次母线; ③有大量地方性负载的发电厂母线。

在电力系统规划设计时, 一般认为中枢点供电负载的变化规律大致相似, 考虑到高峰负载时供电线路上电压损失大, 将中枢点电压适当升高以抵偿部分或全部电压损失的增大; 低谷负载时供电线路上电压损失小, 将中枢点电压适当降低以抵偿部分或全部电压损失的减小, 从而满足负载对电压质量的要求。这种高峰负载时升高电压, 低谷负载时降低电压的电压调整方式称“逆调压。”另外就是在高峰负载时允许中枢点电压略低; 低谷负载时, 允许中枢点电压略高, 这种调压方式称为“顺调压。”还有介于两种调压方式之间的, 即在任何负载下都保持中枢点电压为基本不变的数值, 这种称为“常调压”。

3 种调压方式的控制参考标准如表 1-4 所示。

表 1-4 电力系统中枢点电压控制参考标准 (%)

调 压 方 式	最大负载时	最小负载时
逆调压	105	100
常调压	102.5	102.5
顺调压	102.5	107.5

以上是系统正常运行时的调压要求。当系统中发生故障时, 通常允许故障时的电压偏移较正常时再增大 5%。

逆调压就是逆负载电流压降在送电端升压的一种调压方式。最大负载时，要求比额定电压高 5%；最小负载时，要求等于额定电压。这种调压方式，适用于线路长、负载大、负载变动大的电网，对电压中枢点有调压设备，如有载调压变压器、调相机、静止补偿器等。系统电压变动情况见图 1-1 (a)。

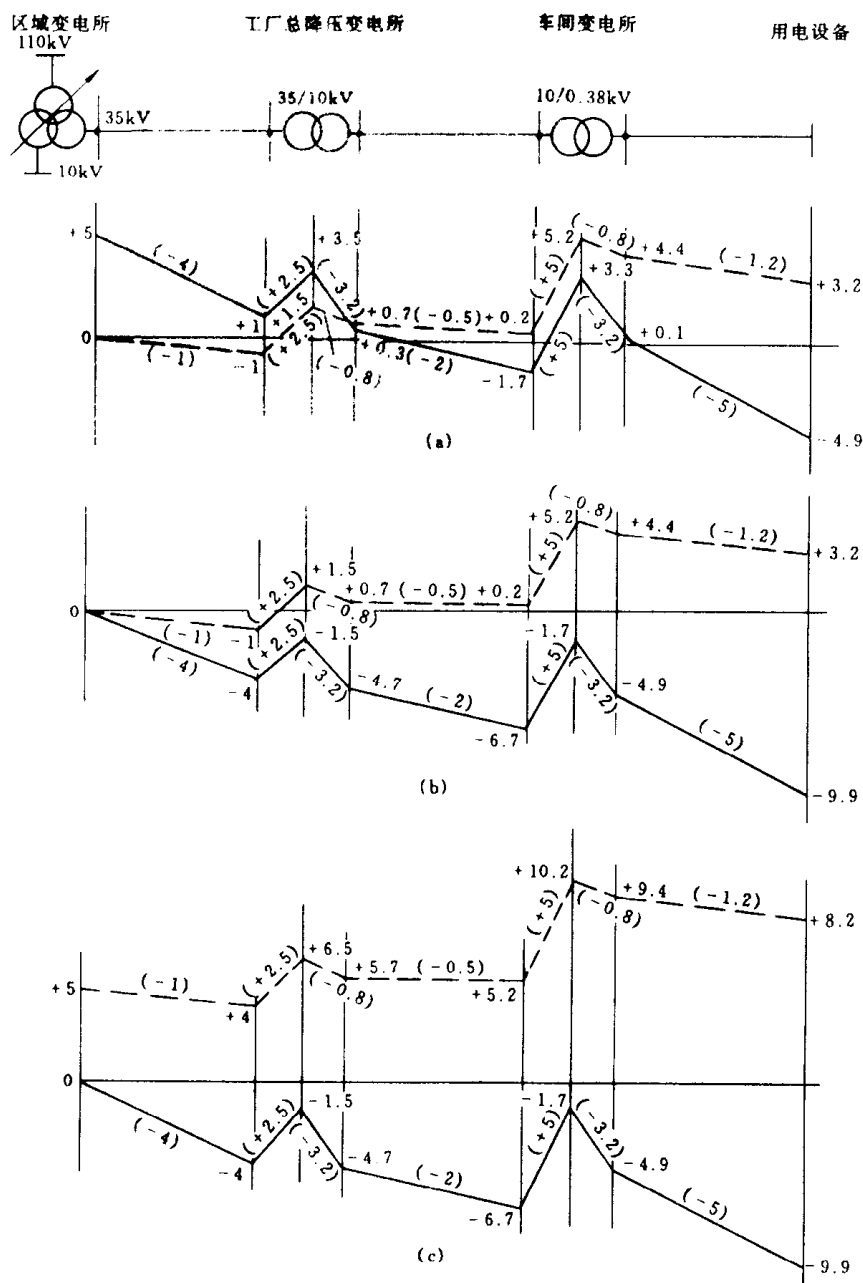


图 1-1 供电端按逆调压稳压和不调压三种运行方式比较

(a) 逆调压；(b) 稳压；(c) 不调压

图中实线表示重负载时的情况，虚线表示轻负载时的情况；括号内数字为供电元件的电压损失，无括号数字为电压偏差。

常调压又称恒调压或稳压。把中枢点电压调整到等于额定电压，保持不变。一般可以不装设贵重的调压设备，利用变压器分励磁调压分接头选择，或装设并联电容器就可以达到要求。系统电压变化见图 1-1 (b)。

顺调压又称不调压。在最大负载时,使电压中枢点的电压等于额定电压;在最小负载时,使电压中枢点的电压比额定电压高 5%。这种调压方式一般不需要加装特殊的调压设备,可通过无励磁分接开关分接头的选择来达到。它适用于线路电压损耗较小,负载变动不大或用电单位容许电压偏移较大的电网。系统电压变化情况见图 1-1 (c)。

图 1-1 表示供电端按逆调压、稳压和不调压三种运行方式用电设备端电压的比较。

图上设定逆调压和不调压时 35kV 母线电压变动范围为额定电压的 $0 \sim +5\%$;各用电单位的重负载和轻负载出现的时间大体上一致;最大负载为最小负载的 4 倍,与此相应供电元件的电压损失近似地取为 4 倍;35kV、10kV 和 380V 线路在重负载时电压损失分别为 4%、2% 和 5%;35/10kV 及 10/0.38kV 变压器调分接头各提升电压 2.5% 及 5%。

由图可知,用电设备上的电压偏差在逆调压方式下可控制在 $+3.2\% \sim -4.9\%$,在稳压方式下为 $+3.2\% \sim -9.9\%$,不调压时则为 $+8.2\% \sim -9.9\%$ 。根据此分析,在电力系统合理设计和用电单位负载曲线大体一致的条件下,只在 110kV 区域变电所实行逆调压,大部分用电单位的电压质量要求就可满足。何况一般中枢点电压按表 1-4 控制,故在用电设备上的电压偏差会更小。

三、调压设置原则和分接头选择

(一) 调压设置原则

按 GB50052—95《供配电规范》和 SD325—89《电力系统电压和无功电力技术导则》,有载调压的设置原则如下:

(1) 变电所中的变压器,对 63kV 及以上的降压变压器,直接向 35kV、10 (6) kV 电网送电时或对 35kV 降压主变压器,在电压偏差不能满足要求时,应采用有载调压变压器。

(2) 330、500kV 降压变压器宜选用无励磁调压型,经调压计算论证确有必要且技术经济比较合理时,可选用有载调压型。

(3) 发电厂的联络变压器,经调压计算有必要时,可选用有载调压型。

(4) 自耦变压器需有载调压时,宜采用中压侧线端调压。

(5) 直接向 10kV 配电网供电的应选有载调压降压变压器。经计算,仅此一级调压尚不能满足电压控制要求时,可在电源侧各级降压变压器中,再采用一级有载调压。对 110kV 及以下的变压器,至少有一级变压器采用有载调压。

(6) 10 (6) kV 配电变压器可不采用有载调压。但在当地 10 (6) kV 电源电压偏差不能满足要求,且用电单位有对电压要求严格的设备,单独设置调压装置技术经济不合理时,可采用有载调压。如作为带负载调节电流和功率的电源,以提高生产效率,有电化工、电冶炼工业中所用的电炉变压器、整流变压器等。目前国内某些地区已规定一定容量以上的配电变压器全部采用有载调压变压器。

(7) 发电机升压变压器,一般可选用无励磁调压型。330、500kV 级升压变压器,经计算也可采用不设分接头的变压器。

(8) 电压偏差应符合用电设备端电压的要求,35kV 及以上电网的有载调压宜实行逆调压方式,逆调压的范围宜为额定电压的 $0 \sim +5\%$ 。

(9) 变压器分接开关调压范围应经调压计算确定。

根据国标 GB6451—1999《电力变压器技术参数和要求》,电力变压器标准调压范围和调压方式如表 1-5 所示。