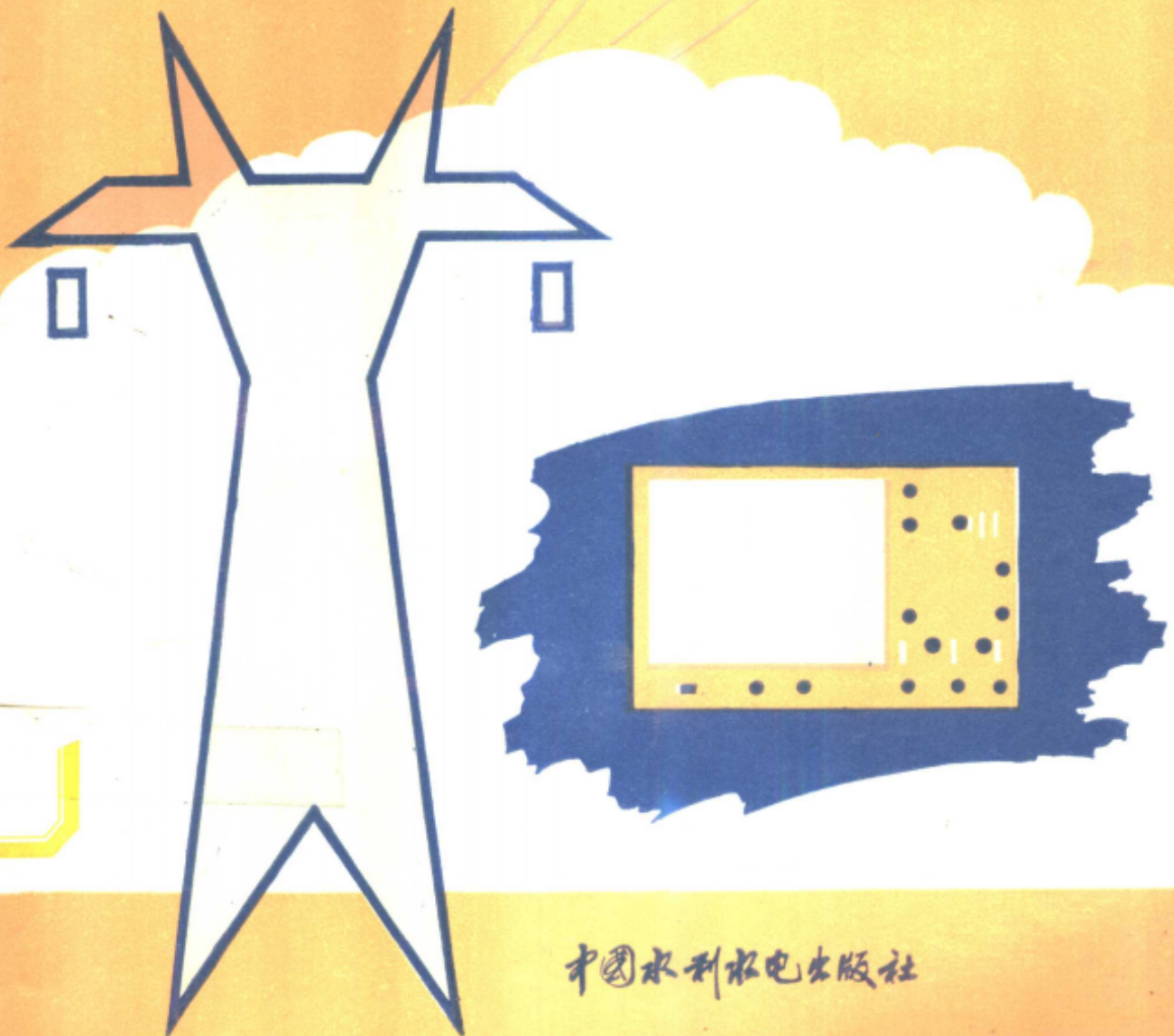


890203

高压电工学

肖如泉 何金良 编著



中国水利水电出版社

责任编辑：武丽丽

ISBN 7-80124-210-6



9 787801 242105 >

ISBN 7-80124-210-6/TM·31

定价：22.00 元



高压电工学

肖如泉 何金良 编著

中国水利水电出版社

内 容 提 要

这是一本有关高压电工技术的书。从人们对高压电工技术的认识规律出发,本书绪论部分介绍了我国高电压的一些情况;第一篇叙述了电力系统过电压的产生、传播规律和保护;第二篇讲述了高电压绝缘,内容包括气体、液体、固体和组合绝缘;第三篇对高电压试验技术作了较全面的介绍,并对一些新技术作了一些说明;第四篇介绍了高电压的安全问题。

本书可作为高等学校电工类专业的教材,亦可供电工技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高压电工学/肖如泉,何金良编著. —北京:中国水利水电出版社,1996
ISBN 7-80124-210-6

I. 高… I. ①肖… ②何… II. 高电压-电工 N. TM8

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第14427号

书 名	高压电工学
作 者	肖如泉 何金良 编著
出版、发行 经 售	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 全国各地新华书店
排 版	北京金剑照排厂
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092毫米 16开本 13.75印张 317千字
版 次	1997年5月第一版 1997年5月北京第一次印刷
印 数	0001—1720册
定 价	22.00元

前 言

这是一本有关高压电工技术的书。随着国民经济的发展,高压电工技术在电力系统、电工设备制造部门有了很大的发展,并且在医疗器械、机械加工、除尘、印刷及其他高新技术等方面得到了广泛的应用,因而形成了高压电工技术的学科——高压电工学。

多年来,人们对高电压的认识大都是从“为什么要用高电压?”、“高电压有多高?”、“高电压很危险”等开始的。为了使电力及各种在高电压下运行的设备能正常地工作,人们采取了过电压防护、绝缘等方法来保证各类设备的正常运行;又为了考验这些设备的耐电强度,除采取合理的设计、工艺外,还必须要有一整套的高电压试验技术。

本书绪论部分介绍了我国目前高电压的一些情况;第一篇着重论述了电力系统过电压的产生、规律及防护;第二篇的高电压绝缘,内容包括了气体、液体、固体和组合绝缘(介绍了电力电容器和电力变压器的绝缘和试验);第三篇对高电压试验技术作了较全面的介绍,其中有无破坏型试验和耐压试验,并对当前的一些新技术作了简要的说明;第四篇介绍了高电压安全问题。

作者虽从事高电压方面的工作多年,但对高压电工技术的认识还有很多差距,在编写《高压电工学》这本书以前,曾参考了多种高电压技术方面的资料,并经过数年的教学实践,感到要学习高压电工技术最好要符合人们对高电压的认识规律,方能学到高压电工技术的真谛,并认为高压电工学只是高电压技术的基础,随着科学技术的发展,高电压不仅仅是只有电工技术,还有高压特点的新技术领域,如电子技术、计算技术等。

作者希望《高压电工学》一书能作为高等学校电工类专业的教学用书,并对从事电工技术工作的工程技术人员起到参考的作用。

由于水平有限,敬请广大读者及专家对本书的不足提出宝贵意见。

编著者

1996.4

EAD09/11

目 录

前 言

绪 论	1
第一节 电的优越性	1
第二节 高电压应用的必要性	2
第三节 高电压技术在电力工业中的应用	2
第四节 高压电工学的主要任务	6

第一篇 过 电 压

第一章 过电压的产生	8
第一节 过电压的概念	8
第二节 过电压的种类	9
第三节 雷电的形成与雷电参数	10
第四节 雷电过电压	13
第五节 有关雷电过电压的几个重要参数	17
第六节 内部过电压	17
第二章 过电压波传播的规律	29
第一节 行波在均匀无损单导线中传播的规律	30
第二节 行波的折射与反射及彼德逊法则	37
第三节 行波通过电感和旁过电容	43
第四节 行波通过其中一有限长线段时的折、反射	45
第五节 行波在无损平行多导线系统中传播的基本规律	48
第六节 电力系统过电压研究方法简介	50
第三章 过电压的防护	52
第一节 过电压的防护措施	52
第二节 输电线路的防雷保护措施	62
第三节 发电厂和变电所的防雷保护	63
第四节 变电所内防御侵入波的措施	65
第五节 变压器的防雷保护	67
第六节 旋转电机的防雷保护	67
第七节 内部过电压的防护措施	69

第二篇 高 电 压 绝 缘

第四章 电介质的基本知识	73
第一节 电介质、电介质的极化	73
第二节 介电常数	75

第三节	电介质的电导	77
第四节	电介质的能量损耗	79
第五节	对电介质性能的全面要求	81
第五章	气体绝缘	84
第一节	气体中带电质点的产生与消失	84
第二节	均匀电场的放电和放电理论	86
第三节	不均匀电场的放电	90
第四节	在雷电波、操作波作用下气体的放电	95
第五节	沿固体介质表面的放电	96
第六节	影响气体放电的因素	99
第七节	提高气体间隙击穿电压和沿面闪络电压的措施	105
第六章	液体绝缘	111
第一节	变压器油及其特性	111
第二节	变压器油的击穿理论	112
第三节	影响变压器油击穿的主要因素	113
第四节	提高变压器油击穿电压的措施	115
第七章	固体绝缘	117
第一节	固体绝缘的击穿理论	117
第二节	影响固体绝缘击穿的因素	119
第三节	提高固体绝缘击穿电压的措施	120
第八章	组合绝缘	121
第一节	电力电容器	121
第二节	电力变压器	126
第九章	电力设备试验电压的确定	134

第三篇 高电压试验

第十章	无破坏型试验	138
第一节	绝缘电阻的测量	138
第二节	泄漏电流的测量	140
第三节	介质损耗因数($\text{tg}\delta$)的测量	142
第四节	局部放电的测量	148
第五节	绝缘油的试验	152
第十一章	绝缘的耐压试验	154
第一节	交流耐压试验	154
第二节	直流耐压试验	164
第三节	冲击试验	172
第四节	雷电截波的产生	189
第五节	操作波的产生	190
第六节	冲击电流试验	190
第十二章	电气设备绝缘试验的发展趋势	192
第一节	在线监测技术	192

第二节 设备运行状况在线诊断和分析的专家系统	193
------------------------------	-----

第四篇 高电压的安全

第十三章 人身安全和安全电压	196
第一节 人体阻抗	196
第二节 安全电压	197
第十四章 安全距离和接地	200
第一节 安全距离	200
第二节 接地与接零	200
第十五章 安全用具	202
第一节 验电器具、操作杆、放电杆	202
第二节 绝缘手套、绝缘靴及其试验	203
第十六章 高电压试验的安全	205
第十七章 安全教育和培训	208
附录 球隙放电电压	209
参考文献	213

绪 论

随着国民经济的飞速发展,高电压技术已得到越来越广泛的应用,尤其在电力工业部门,高电压技术具有举足轻重的地位。水力、火力、核能以及其他形式的能量大都要转换成电能并升高电压以后进行传输。传到用户后,再把电压降下来方能使用。由于电力工业及高新技术的发展,致使高电压技术形成了一门与电力工业及高新技术紧密相连的而又具有一定独立性的学科。另外,还在生物工程及生物医疗仪器、水果保鲜、石油开采、环境治理等高新技术领域得到越来越广泛的应用,因而形成了一门高压电工学。

第一节 电的优越性

先从电力工业来说,自然界有许多种能源,如地下的煤矿、天然气、石油;地上的水能,如我国的长江、宜昌的葛洲坝、三峡等;还有风能、核能等等。诸多能源,一般的来说,不太好直接利用,即使利用,也要经过不少的运输环节。如非常丰富的长江水力资源,每天都川流不息,但如何利用它呢?很显然,只有通过水轮发电机,发出电以后,方能得到利用。又如煤,开采出来以后,一方面要运输,另外,也不能到处用烧煤来转换成别的能量,只有将煤燃烧,使之变成电能,方能方便使用。所以,诸多能源都是转换成电能以后方被人们更好地利用。那么电能有什么优越性呢?可以归纳为:

(1)便于传输。以煤为例,煤的产地一般离工业中心及大城市比较远,要用工具来运输,这样要用许多运输工具,如火车、汽车、船只等。而电能则不需要,只要架起几根输电线就全代替了。

(2)便于转换。以水力资源为例,假若要把水力资源直接变成热能或机械能,是很难想象的。而电能却能很方便地转换成其他形式的能量,如转换成热能(电炉子、电热毯、电饭煲、电炒锅等),也可转换成机械能,如用马达(电动机)将电能变成机械能,然后可以带动机床的运动,电气化火车的运转等等。当然还可以转换成其他形式的能量,如光能、声能等等。

(3)便于控制。从历史上也可以知道,水、火如猛兽,像森林之火、洪涝灾害等,这些东西都很难被人们控制。而电能却可以由人们很好地控制它,像电灯,只要有一个开关,就可以很方便地控制,有的还采用了调光的设备,可实现自动或半自动控制光强。

仅从以上三个方面,人们可以看到,电能是何等优越的能源啊!它既容易传输,又便于转换,还能被人们控制。所以,电能得到了广泛的应用,而且多数能源,大都是先转变成电能以后,通过传输、转换,再被人们利用的。

第二节 高电压应用的必要性

从上节可知,电有许多优越性,所以得到了广泛的应用。在 20 世纪初,人们发明了发电机以后,只在小范围内使用,那时电压很低。随着电力工业的发展,人们就想把电能输送到较远的地方去使用。尤其像有丰富资源的地方,如葛洲坝水利枢纽,大型产煤基地(山西—内蒙古地区),总是将水力资源和火力资源变成电能以后,输送到几百甚至几千公里以外的地方去使用。假若采用很低电压来输送的话,电能相当大一部分被线路损耗掉,很难传输到远方。下面举一简单的例子来说明,假若有一条输电线路,如图 0-1 所示。

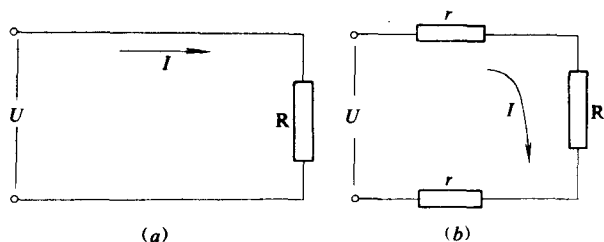


图 0-1 输电线路示意图
(a)输电线路;(b)等值电路
R—负载电阻; r —导线电阻

先假设电压 $U=500\text{V}$, 电源容量可输出 100kVA , 输电线的长约 $1\sim 2\text{km}$, 其电阻 r 约为 1Ω , 其等值电路如图 0-1 (b) 所示, 此时线路的电流可达

$$I = \frac{100 \times 10^3}{500} = 200(\text{A})$$

而输电线电阻 r 上的压降将达到 $2r \times I = 400\text{V}$, 很显然, 大部分电压将被降到输电线上去了, 而负载电阻 R 却只能得到 100V 的电压, 这是不可取的。

假若我们把输电线路的电压提高, 同样输出 100kVA 的功率, 我们把电压提高到 10kV , 那么线路将通过 10A 的电流, 输电线上的压降将只有 $2r \times I = 20\text{V}$ 。这样, 负载电阻 R 上的电压将大大提高了。也就是说, 大部分电能就可以输送到用户了。

另外, 从许多高新技术领域来看, 高电压技术也是必不可少的。如正负电子对撞机, 要产生高速正、负电子对撞, 实际上就是一套利用高电压产生高速正、负电子对撞的机器。又如, 目前医疗器械中经常使用的体外碎石机, 也是利用高电压技术, 将优质的脉冲电容器充以直流高压以后, 产生放电, 形成强烈的冲击电流波, 将此种强烈的波聚焦到人体的结石部分, 使人体内的结石震碎, 再想法从人体中排出, 这样大大减轻了病人的痛苦。从以上可以看出, 高电压技术得到了广泛的应用, 尤其在电力工业领域中, 若没有高电压技术, 也就谈不上电力工业了。

第三节 高电压技术在电力工业中的应用

电力工业中, 高电压技术非常重要, 20 世纪以来, 由于用电量剧增, 人们利用各种能源转换成电能, 然后传输到各个用户。在我国, 水力发电、火力发电、核能发电等非常普遍。目前又在开发三峡, 使长江水进一步为人们所利用。巨大的能量转换成电能以后, 只有通过高电压方能传到各地用户。

表 0-1 列出了输电的电压、输电容量和输电距离的一组数据。

表 0-1








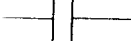
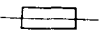

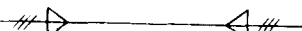


额定电压、输电距离与传输功率的关系

额定线电压 (kV)	传输功率 (kW)	输电距离 (km)
6	100~1200	4~15
10	200~2000	6~20
35	2000~10000	20~50
110	10000~50000	50~150
220	100000~500000	100~300
330	200000~1000000	200~600

对于更高的电压可用图 0-2 来表示。从表 0-1 和图 0-2 可看出，当输电距离越远，输电的容量愈大时，输电的电压就更高了。

表 0-2

常用电力设备名称和代号

名称	符号	代号
发电机		G
电力变压器		T
断路器		QF
隔离开关		QS
避雷器		F
电流互感器		TA
电压互感器		TV
电力电容器		C
熔断器		FU
电力电缆(单线)		W
电力电缆(三线)		W
电抗器		L
金属氧化物避雷器		MOA

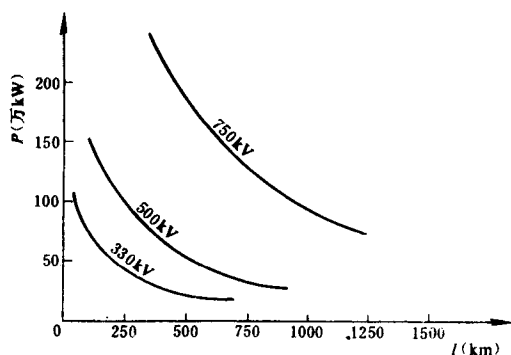


图 0-2 输电电压与输电距离和输电容量的关系曲线

我国是一个幅员辽阔的国家，我国有些什么样的电压等级呢？目前我国国家标准规定了以下的电压等级：3kV*、(6kV)、10kV、(20kV)、35kV、60kV、110kV、220kV、330kV、500kV，*表示该等级的应用逐渐变少了。

由于我国电压等级比较多，在考虑不同电压等级的问题时，将电压分成几个段来考虑，一般可分成：220kV以下的高电压为一般高压，330kV以上称之为超高压，750kV以上称之为特高压。

在电力系统中，若选用不同的电压等级，需要有不同的电压等级的电力设备，如电力变

压器、电力电容器、断路器等。这些设备在电力系统中，往往用不同的符号来代替。表 0-2 仅介绍几种常用电力设备的符号和代号。

前面叙述了我国电力系统的电压等级及一般常用的电力设备。这些电力设备在该设备标称电压下工作时，除了在额定工作电压下能正常工作以外，还会有些什么样的电压作用呢？这些电压假若比正常工作电压还低的话，不会对正常运行的电力设备绝缘构成什么威胁，假若有些电压比正常工作电压高，有时甚至高很多的话，很显然，对电力设备的绝缘将构成严重的威胁，甚至发生击穿的现象。这样，电力设备就无法运行了。为此，我们要研究电力设备上到底会有些什么电压作用。由于超过电力设备正常工作电压的那些电压，对电力设备绝缘将会造成危害，也是我们高压电工学中需要重点研究的问题。我们将它们取名为过电压。过电压到底包括哪些呢？人们经过多年的测量、分析和研究，一般可以分为两个方面：一方面是电力系统外部侵袭来的外部过电压；另一方面是电力系统内部产生的称之为内部过电压。由于这两种过电压的形成、产生不一样，它们的波形也是不一样的。至于过电压的形成、种类、波形等，以后的学习中将会学到，在此就不详叙了。为了满足电力系统的安全运行，所有电力设备都要达到一定的绝缘强度，也就是说，不但要满足长期正常工作电压的作用，也要满足当系统中出现外部及内部过电压下，有一定耐受电压的能力。当然，这个能力不能要求太高，因为要求太高了，会大大增加电力设备的体积、重量和成本。假若耐受电压的能力太低了，当电力系统出现了过电压时，电力设备很容易损坏，影响电力系统的正常运行，将会给国民经济带来重大的损失，甚至是不可估量的损失。高电压工作者采用了一些限制过电压的措施，使电力系统中在不同电压等级下，外部及内部过电压限制在电力设备最大承受的范围之内。只要电力设备能通过一定过电压的试验，保证电力系统的正常运行。所以，国家标准规定了不同电压等级的电力设备的耐压的试验值，如表 0-3、表 0-4 和表 0-5 所示。

在表 0-3、表 0-4、表 0-5 中，规定了各种电力设备的试验电压值，至于各种试验电压所采用的波形、幅值、试验和测量方法等，在以后的章节中，将陆续向大家介绍。

表 0-3

3~500kV 输变电设备的雷电冲击耐受电压

(kV)

额定电压	最高工作电压	标准雷电冲击全波(内、外绝缘)						标准雷电冲击截波
		变压器	并联电抗器	耦合电容器、电压互感器	高压电力电缆	高压电器	母线支柱绝缘子、穿墙套管	变压器类设备的内绝缘
有效值		峰值						
3	3.5	40	40	40	—	40	40	45
6	6.9	60	60	60	—	60	60	65
10	11.5	75	75	75	—	75	75	85
15	17.5	105	105	105	105	105	105	115
20	23.0	125	125	125	125	125	125	140
35	40.5	185/200*	185/200*	185/200*	200	185	185	220
63	69.0	325	325	325	325	325	325	360
110	126.0	450/480*	450/480*	450/480*	450 550	450	450	530
220	252.0	850		850	850	850	850	935
		950	950	950	1050	950	950	1050
330	363.0	1050		1175	1050	1050	1050	1175
		1175	1175	1300	1300	1175	1175	1300
500	550.0	1425	1550	1550	1425	1425	1425	1550
		1550	1610	1675	1550	1550	1550	1675

注 1. 带“*”的数值仅用于变压器类设备的内绝缘。

2. 对高压电力电缆,是指在热状态下的耐受电压值。其雷电冲击耐受电压值应不超过相应电压等级中所列最高值。如需要更高的绝缘水平,可用更高电压等级的电缆。

3. 对应于 220kV 变压器耐受电压为 950kV 的高压电器的冲击耐压值,对老型号产品可取为 850kV,但对本标准颁发后改型的产品,必须取 950kV。

4. 目前 220kV 电磁式电压互感器主要采用 950kV 的水平。

表 0-4

3~500kV 输变电设备的 1min 工频耐受电压

(kV, 有效值)

额定电压	最高工作电压	内、外绝缘(干试与湿试)				母线支柱绝缘子	
		变压器	并联电抗器	耦合电容器、高压电器、电压互感器和穿墙套管	高压电力电缆	湿试	干试
3	3.5	18	18	18	—	18	25
6	6.9	23/25	23/25	23	—	23	32
10	11.5	30/35	30/35	30	—	30	42
15	17.5	40/45	40/45	40	40/45	40	57
20	23.0	50/55	50/55	50	50/55	50	68
35	40.5	80/85	80/85	80	80/85	80	100
63	69.0	140	140	140	140	140	165
110	126.0	185/200	185/200	185/200*	185/200	200	265
		360		360	360	360	450
220	252.0	395	395	395	395	395	495
		460		460	460	460	—
330	363.0	510	510	510	510	—	—
		630		630	630	—	—
500	550.0	680	680	680	680	—	—
		740		740	740	—	—

注 1. 斜线上的数值适用于该类设备的外绝缘,斜线下的数值适用于该类设备的内绝缘。

2. 带“*”的数值仅用于电磁式电压互感器的内绝缘。

表 0-5

330~500kV 输变电设备操作冲击耐受电压

(kV)

额定电压	最高工作电压	内、外绝缘(干试与湿试) (峰值)	
		有效值	除母线支柱绝缘子外,其他所有设备
330	363	850	850
		950	950
500	550	1175	1050
		1240	1175

注 1. 电缆的操作冲击试验在热状态下进行。
2. 500kV 并联电抗器要采用保护水平能够配合的避雷器。

第四节 高压电工学的主要任务

从上面的分析中,我们了解了高电压在国家经济中的重要作用,尤其在电力工业中,更为重要。可以说,没有高电压技术就谈不上电力工业。目前,我国输电电压已达到了交流 500kV。又有大量控制及电子设备的使用,保证供电的可靠性显得更为重要了。可想而知,当电力系统中出现过电压时,电压就更高了,为了分析电力系统的运行情况,以及高电压技术在另外一些方面的情况,本书将论述以下几个方面。

(1) 电力系统在运行中,将会出现什么样的过电压?这些过电压是如何产生的?过电压产生以后,在线路上是怎样传播的?其中有些什么规律?

(2) 为使电力设备在正常工作电压下及有过电压存在时尚能正常运行,将使用什么样的绝缘?这其中包括:用得最广泛的空气及其他气体的绝缘;液体、固体绝缘。一般电力设备的绝缘都是气体、液体、固体绝缘的组合。本书还介绍组合绝缘的电力设备,如电力电容器和电力变压器的绝缘等。

电力系统的正常运行,除要加强电力设备的绝缘以外,还需要许多必要的限制过电压的一些保护措施。

(3) 电力设备的绝缘试验。高电压试验是高电压技术的基础与关键。高电压的设备,几乎 100%要进行绝缘试验。因为各种电力设备在生产厂中要进行多种试验;就是已投入运行的电力设备,也要定期进行绝缘试验。由于高电压试验在高电压技术中占有非常重要的地位,所以形成了系统的高电压试验技术。本书将介绍:

1) 无破坏型试验:其中包括绝缘电阻、吸收比、泄漏电流、介质损耗因数的测量等。

2) 耐压试验。耐压试验一般有三种:一是交流耐压试验,二是直流耐压试验,三是冲击耐受试验。要进行以上的试验,需用一些什么样的设备?试验方法如何进行?采用什么样的测量方法?如何判断绝缘的情况?本书将作介绍。

(4) 高电压的安全问题。高电压是很危险的,一般人在没有学习高压电工学时,说起高电压,就有谈虎色变的感受。当我们学习了高电压电工学以后,应该对高电压技术有一个正确的认识。高电压,有人称之为电老虎,这是千真万确的,因为,高电压将危及人的生命,有人不懂得用电的安全知识,或有些人忽视安全,以致造成人身及设备事故。但高

电压，又这样频繁的被人们所利用，不但电力工业离不开它，就是医疗器械，电视技术，计算机技术，高能物理等方面都要用到。所以，要是不注意安全，那就等于没有学好高压电工学这门课。安全技术不仅仅是在思想上要高度重视，而且需要一些具体、硬性的措施。

第一篇 过 电 压

第一章 过电压的产生

第一节 过电压的概念

过电压，顾名思义，凡超过电气设备正常工作的电压称之为过电压。过电压对电气设备有什么危害呢？这是显而易见的。我们日常接触到的大都是 220V、380V 的电压，假若电压突然升高了，家用电器的绝缘就会受到损坏，如电视机被烧毁。假若雷雨天气，电话线路遭到雷击，正在打电话的人可能有生命危险。以上是对家用电器而言的。对电力设备来说，涉及的面就更大了，只要电力设备被损坏，将会造成大面积的停电，给国民经济造成很大损失。这些都是过电压所造成的危害。

下面先介绍一下什么是正常工作电压呢？一般情况下，电力设备在正常运行时，因为都是工作在三相交流电源系统，对地绝缘只承受相电压的作用，相间电压为线电压，但由于输电线路的首、末端电压不可能一样，另外，随负载大小变化时电压也有所变化，所以，电气设备允许工作在交流电压的 $\pm 10\% \sim \pm 15\%$ 范围内，按国家标准 GB311-83 规定，对额定电压在 220kV 及以下的系统，最大工作电压可达 1.15 倍额定电压；对额定电压在 330 ~ 500kV 系统，最大工作电压可大 1.10 倍额定电压。所以，在额定电压的 $\pm 10\% \sim \pm 15\%$ 倍额定电压为正常工作电压。而 1.10 ~ 1.15 倍额定电压为最大工作电压，我们国家的供电系统都使用三相正弦交流电，频率为 50Hz。那么，加在相对地绝缘上的最大工作电压的最大值是多少呢？我们可用以下的公式来表示

$$U_{XM} = \frac{U_L \times (1.10 \sim 1.15) \times \sqrt{2}}{\sqrt{3}} \quad (1-1)$$

线电压的最大值为

$$U_{LM} = U_L \times (1.10 \sim 1.15) \times \sqrt{2} \quad (1-2)$$

式中： U_L 为交流线电压，kV；1.10 ~ 1.15 为最大电压系数。

我国生产的各种电气设备，一般都能在正常工作电压下运行，因为，所有的电气设备绝缘都经受了表 0-3、表 0-4 和表 0-5 的试验。但由于电气设备在正常运行时，由于电力系统中将会出现许多种过电压，以致会使电气设备造成损坏。

研究过电压有什么意义呢？

从上一节的分析可以看出，过电压对电力设备、电力系统是有危害的。我们研究它，是要了解过电压是如何产生的？有些什么样的过电压？有没有办法限制？有没有办法保护电力设备不受损坏？很显然，经过许多人的努力，是有一些办法的。另外，能否限制在一定的范围内，以致过电压的数值不会很高？这样可以大大降低电力设备对绝缘结构的投资，从经济角度来说，可以为国家节省大量的开支，应该说，这也是可行的。所以说，研究电力

系统的过电压以及其他电器设备的过电压，对安全用电、节省投资是有很大好处的。

第二节 过电压的种类

对过电压，一般可以分为两大类，这在绪论中已经涉及到，第一类是电力系统外部侵袭到电力系统中来的，人们称之为外部过电压；另一类是由电力系统内部产生的，称之为内部过电压。

下面分别介绍两种类型的过电压。

一、外部过电压

外部过电压是由电力系统外部而在电力系统内引起电压的升高。这个外部，就是天然雷电造成的。所以，有时就叫雷电过电压。天然雷电是由于地球上的水蒸气蒸发以后，在天空中形成雷云，雷云与空气摩擦带有了“+”或“-”的电荷。当“+”、“-”电荷间的电场达到空气的击穿场强以后，就会产生放电，由于放电，形成了强烈的声、光效应，以使人们看见了强烈的闪电，以及巨大的雷鸣。这种强烈的电闪，雷鸣，有些是天空中雷云与雷云之间的放电，有些是天空中的雷云与大地之间放电形成的强烈的声与光。雷云间或雷云与大地间的放电瞬时功率很大，它给人类带来了许多的灾难。据人们统计，倘若雷云高度达1000m，放电时，雷电电流为50kA，电弧的压降为6kV/m的话，雷电放电时的瞬时功率可达 $P=50 \times 10^3 \times 6 \times 10^3 \times 1000=300\text{kMW}$ ，这么大的瞬时功率在很短的时间内泄放出来，当然会造成很大的危害。即算有28个X_P-16型绝缘子500kV的线路，也会造成线路绝缘子的闪络现象，据人们试验，28个X_P-16型绝缘子的50%闪络电压可达2450kV。所谓闪络，乃是沿绝缘子表面放电现象，这在以后的章节中将会论述。

据有关资料统计，美国纽约市380m的帝国大厦，每年平均遭23次雷击，莫斯科附近的一座电视塔，在4年半的雷雨季节中，遭到143次雷击，意大利威尼斯著名的圣马可教堂的钟楼，400年内被雷击12次，使建筑物遭受严重损坏；同样，在我国也受到不少雷击，如北京的故宫，仅1952年后记载，故宫院内就有10次雷击事故。很显然，雷击给建筑物带来很大危害，国际大电网会议公布的美国、前苏联等十二个国家的电压为275~500kV，总长约为32700km输电线路连续三年的运行资料中指出，雷害事故约占总事故的62%。除此之外，还造成了人、畜等的伤亡。所以，我们人类要与雷害作斗争。

雷电过电压一般可以分成哪几种？第一，可分为直击雷电过电压，也就是说，雷电直接击于建筑物、输电线、人或牲畜上，这是最危险的；第二种是感应雷过电压。感应雷是雷电击下来以后，并未直击到建筑物、输电线上，而是击到另外的地方，由于雷电放电过程中的电磁感应，在电力系统中感应出的过电压，此种过电压一般比较小。

二、内部过电压

所谓内部过电压，就是在电力系统内部，由于电力系统运行中，总有一些负荷投入、切除、或系统中出现故障（如鸟害、短路等）等，线路可能从一种稳定的状态，经过开关的动作，投、切一部分负荷以后，达到一个新的稳定状态，在这样的过程中，线路的参数会