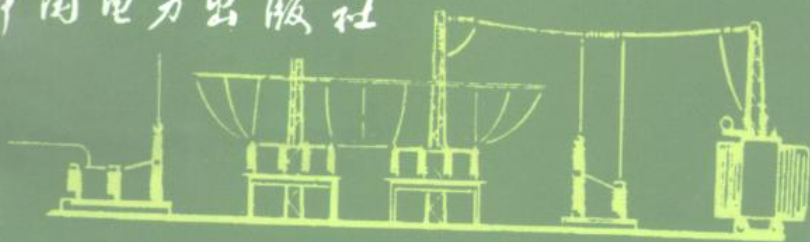


电力系统的过电压保护

(第二版)

董振亚 编著

中国电力出版社



电力系统的过电压保护

(第二版)

董振立 编著

中国电力出版社

DY84/06

内 容 提 要

本书在原书的基础上进行了全面的修订。本书首先简要叙述了电力系统中过电压的基本知识,并介绍了过电压保护装置的种类、构造及其运行管理,同时结合新修订的有关过电压保护及接地装置的设计规范,分别对送电线路、发电厂、变电所以及配电网的过电压保护等方面进行了较为详尽的论述,着重介绍了运行管理的经验,在附录中还收录了一些常用的技术资料和各种参考数据,以供读者查考。

本书专供在电力系统中从事过电压保护工作的有关电气工人阅读,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统的过电压保护/董振亚编著. -2版. -北京:中国电力出版社,1997

ISBN 7-80125-373-6

I. 电… II. 董… III. 电力系统-过电压保护
IV. TM86

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 09232 号

中国电力出版社出版

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

铁道部十八局一处印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1975 年 4 月第一版

1997 年 10 月第二版 1997 年 10 月北京第三次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 12.625 印张 278 千字

印数 53331—57300 册 定价 14.00 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)

第二版前言

随着我国社会主义建设事业的蓬勃发展，电力工业亦以很高的速度持续增长，尤其在改革开放以来，大型的现代化火力发电厂和水力发电厂不断兴建，高压送电线路大量架设，变电所星罗棋布，农村电网发展亦很快，目前 500kV 的超高压电网已在全国各地初步建成，全国性的电网正在统一筹划之中，形势十分喜人。

随着电力建设的迅速发展，电力系统的过电压保护工作显得更为重要。一方面是根据历年来事故统计，电力系统中由于过电压所引起的事故比重较大；另一方面随着电力系统不断扩大，额定电压的提高，对内部过电压的问题必须引起充分重视。对以上两个方面，都要进行研究分析，不断总结经验教训，并积极采取预防措施，以进一步提高电力系统的安全可靠性，保证对广大用户的不间断供电。

我国电力战线的广大职工在和过电压事故作长期的斗争中，积累了极为丰富的经验。本人根据参加历次修订过电压保护和接地装置等设计规范以及有关高压专业学术研讨会，结合本人从事此项工作几十年来的体会，对全书作了如下修订：首先参照有关国标及部标修订的内容作了相应的修改和补充，对最近 10 余年来新出现的过电压保护装置亦进行了介绍，还增加了一些新的运行经验，如对金属氧化物避雷器的推广应用、小电阻接地系统的出现和 GIS 装置的保护等均作了重点叙述。此外还增加了名词解释，对书中的公式、文字

符号和图形等亦按国标进行了修改。本书继续坚持理论和实践相结合的原则，在阐述新的规定时，着重介绍实际运行经验。在本书的附录中收集了一些常用的技术资料 and 实用数据，可供读者在实际工作中参考。

由于本人水平有限，错误之处在所难免，欢迎广大读者能随时提出宝贵意见，不胜感谢！

董振亚

1996 年 12 月

目 录

第二版前言

第一章 绪 论	1
第一节 过电压保护工作的范围	1
第二节 过电压保护工作的重要意义	2
第三节 过电压保护工作的基本要求	3
第二章 过电压的发生及其作用	7
第一节 过电压是怎样产生的	7
第二节 内部过电压的基本特性	26
第三节 过电压对电力系统的危害性及其防止对策	34
第三章 过电压保护装置的种类和构造	38
第一节 避雷针	38
第二节 避雷线	47
第三节 阀型避雷器	50
第四节 金属氧化物避雷器	62
第五节 排气式避雷器	65
第六节 放电间隙	74
第七节 接地装置	80
第八节 消弧线圈	101
第四章 架空送电线路的过电压保护	108
第一节 架空送电线路过电压保护的一般原则	108
第二节 架空送电线路的绝缘和过电压保护技术措施	111
第三节 架空送电线路交叉部分的保护	147
第四节 架空送电线路跨越档和特殊杆塔的保护	150
第五章 变电所的过电压保护	153
第一节 变电所过电压保护的特点和基本要求	153

第二节	变电所的直击雷保护	155
第三节	变电所的进线保护	162
第四节	小容量变电所的简化保护	172
第五节	变电所 3~10kV 配电装置的保护	176
第六节	SF ₆ 全封闭组合电器 (GIS) 的雷电侵入波 过电压保护	178
第七节	阀型避雷器和被保护设备的绝缘配合	180
第八节	并联电容器组的过电压保护	189
第六章	发电厂的过电压保护	192
第一节	发电厂过电压保护的特点和基本要求	192
第二节	发电机过电压保护的设备和电气接线	195
第三节	发电厂配电装置的防雷保护	209
第四节	发电厂内建筑物的直击雷保护	210
第七章	配电网的过电压保护	215
第一节	配电网过电压保护的特点和基本要求	215
第二节	配电线路的过电压保护	217
第三节	配电设备的防雷保护	224
第四节	低压架空线路的防雷保护	233
第八章	电力系统过电压保护装置的运行和管理	236
第一节	电力系统过电压保护装置运行管理的基本要求	236
第二节	过电压保护装置的定期检查和试验	237
第三节	过电压保护的运行经验	258
第四节	雷害事故的调查和分析	263
第五节	雷电观测工作	268
第六节	过电压保护的技术管理工作	278
附录 I	过电压保护常见名词解释	281
附录 II	直击雷保护范围的计算实例	286
附录 III	接地装置的设计和计算	290
附录 IV	阀型避雷器的选择	304

附录 V	无间隙金属氧化物避雷器的选择	307
附录 VI	各种阀型避雷器的电气特性	312
附录 VII	阀型避雷器放电次数记录器	364
附录 VIII	阀型避雷器的检修	369
附录 IX	各种排气式避雷器的基本特性	373
附录 X	排气式避雷器的检修和涂漆	379
附录 XI	几种常用接地电阻测量仪的内部接线	383
附录 XII	测量土壤电阻率的两个方法	390
附录 XIII	土壤和水的电阻率参考数值	391

第一章 绪 论

第一节 过电压保护工作的范围

随着我国社会主义建设事业的飞跃发展，电力工业的建设亦以飞快的速度持续增长，尤其在改革开放以来，全国各地相继兴建起强大的电力系统，超高压的电网已经初步形成，出现了一片欣欣向荣的景象。因此，深入开展电力设备的过电压保护工作，合理确定电力系统的绝缘水平，大力进行这方面的科学研究，培养一支技术水平较高的高压工作者的队伍，对确保电力系统的安全经济运行，降低电力工业建设的投资和缩短施工的时间，多快好省地进行电力工业的建设和提高安全生产水平均具有极其重要的意义。

所谓过电压是指对电气设备绝缘有危险的电压升高及电位差升高而言。

电力系统的过电压有两种来源：

- (1) 大气过电压（亦称雷电过电压）；
- (2) 内部过电压（包括操作过电压、弧光接地过电压和谐振过电压等）。

为了防止电气设备的绝缘在上述两种过电压作用下遭受损坏而造成停电事故，以保证电力系统的正常安全可靠运行，必须切实做好电力系统的过电压保护工作。电力系统的过电压保护工作主要应该包括以下几个方面：

- (1) 了解各种过电压产生的原因及其基本特性和防止对策；

(2) 掌握各种过电压保护装置的构造、性能和使用方法；
(3) 正确理解各种电气设备过电压保护的方法和要求（包括设计和安装）；

(4) 切实做好电力系统过电压保护装置的运行和管理（包括运行巡视、定期试验和检修等）；

(5) 通过对已发生的过电压事故的分析和研究，提出更加经济有效的过电压保护措施；

(6) 认真做好日常的过电压的测量、统计和分析工作，不断积累技术资料，认真总结经验，并提出改进措施，逐步提高电力系统的过电压保护工作水平。

第二节 过电压保护工作的重要意义

为了更好地贯彻落实：“安全第一，质量第一，人民电业为人民”的电业生产方针，为工农业生产、科学研究和广大人民生活提供不间断的电力，除了切实做好日常的安全生产工作以外，还应大力加快电力工业建设的步伐，以满足国民经济日益增长的需要。

电力网中各种电气设备能否正常可靠安全运行，主要决定于设备的绝缘水平和作用于绝缘上的电压高低。电力系统在正常运行情况下，作用在电气设备上的电压为额定相电压。但由于种种原因，在电力系统中的某些部分其电压可能升高，而且有时会大大超过正常运行电压，这就有可能发生电气设备绝缘严重损坏的事故，会给广大用户造成长时间停电，从而给国民经济带来重大损失。由此可见，由于过电压引起的事故其危害性是很大的，对整个电力系统的安全运行关系至为密切。因此，大力做好过电压保护工作以防止事故的发生，

是我们电力工业部门日常反事故斗争的重要内容之一，任务十分艰巨。

由于全国广大电业职工坚持走自己工业发展的道路，不断地研究和改进电力系统的过电压保护工作，经过长期以来生产实践，在我国电力系统的过电压保护工作中已经积累了许多宝贵的经验，这是我们同过电压事故作斗争时强有力的武器。

在电力建设工作中亦必须根据生产运行中积累的宝贵经验，本着安全经济相结合的原则，认真做好有关过电压保护方面的工作，以保证新投入电力系统的设备能长期安全可靠地运行。

任何科学技术都是在不断地向前发展的，电气设备的过电压保护工作亦不例外。因此，我们必须注意不断地总结经验教训，本着有所发现、有所发明、有所创造和有所前进的精神，进一步做好电力系统的过电压保护工作，逐步改进并完善过电压保护的技术措施，大力提高电力系统的过电压保护水平，争取做到逐步减少直至消灭电力系统中由于过电压而引起的各类事故，以保证电力网安全运行，满足工农业生产以及人民生活用电的需要，更好地为我国四个现代化建设事业服务。

第三节 过电压保护工作的基本要求

建国 40 多年来，我国电力工业有了飞跃的发展，迅速摆脱了技术极端落后的面貌，在大力改造、扩建和新建电力网的同时，全国广大发电厂和供电部门、科学研究单位和高等院校，都积极开展了对过电压保护的研究工作，并且逐步培

养了一支过电压保护工作者队伍。同时我国气象和电业部门还分别进行了广泛的测量和各种模拟试验工作，进行了系统的统计分析，积累了大量有实用价值的技术数据，并取得了不少成果。另外我国目前已有能力大量生产各种保护性能良好的避雷器，很多科研单位和高等院校还研制了防雷分析仪和瞬变分析仪，用于分析变电所的防雷保护状况和研究在变压器绕组中的波过程，在开发应用电子计算机进行过电压保护的计算方面也取得了很大的进展，以上这些都说明我国的过电压保护工作已经达到了较高的水平。

在我国电力系统中，有些情况与其它国家有很大的不同，例如我国由于地处温带（还有些地区属于亚热带气候），所以雷电活动比较强烈。随着电力系统额定电压的不断提高，内部过电压的问题亦日益突出，电力网的结构也有待于逐步完善，我们必须以奋发图强自力更生的精神，进一步研究和改进我国的过电压保护工作，以适应电力建设事业的飞跃发展的需要，迎接 21 世纪的到来。

为了防止电气设备在遭受大气过电压或出现内部过电压的情况下发生损坏，我们必须切实做好电力系统的过电压保护工作。

对于大气过电压，除了应千方百计地防止雷电侵入以免危害电气设备以外，还应采取一系列的保护措施，以尽量降低当电气设备遭到雷击时对绝缘的危害程度。减少架空电力线路雷害事故的基本方法是安装避雷线，降低杆塔接地装置的接地电阻，适当提高线路的绝缘水平，对特殊杆塔和绝缘弱点更须加强保护以及广泛采用自动重合闸等。防止发电厂、变电所的电气设备遭受直接雷击的基本方法是装设避雷针或避雷线；防止侵入过电压波的方法是采用性能良好的避雷器

和加强进线保护段。在选择设计各种设备的防雷设施时，还应按照当地雷电活动情况、系统的中性点接地方式、被保护设备的绝缘状况、有无自动重合闸或自投装置以及供电重要性等项条件进行综合考虑，并按照技术经济比较的结果来作出决定采用最佳保护方案。

内部过电压有操作过电压、弧光接地过电压和谐振过电压等几种，在 110kV 及以下电力网中，绝缘水平主要由大气过电压决定。当有一般性的保护措施时，例如电力网的中性点直接接地运行，装设了性能良好的避雷器，采用电弧不重燃的断路器，并采用具有铁芯弱饱和的互感器或变压器，采取了消除谐振技术措施以及速动继电保护等，则内部过电压对绝缘正常的电气设备一般是不会有危险的。但是，在没有上述一般性的保护措施时，个别电气设备的绝缘水平又较低以及某些特殊的供用电设备（如电弧炉），则仍需注意考虑内部过电压的保护措施问题。

研究解决电力系统的过电压问题是和电力系统的发展紧密相关的，因此，我们不仅要做好当前的过电压保护工作，还应大力研究电力网发展中可能遇到的新问题。为此，必须紧密结合当前电力生产和建设中的课题，更加广泛地开展科学研究工作，不断地收集和积累各种数据和资料，经常总结过电压保护工作中的经验教训，提出新的更加有效的保护技术措施，制造相应的保护装置，以满足新建超高压电力网的需要。

过电压保护工作和其它工作一样，一切要从实际出发，在制订过电压保护方案时，要充分听取各种意见，科研、设计、施工和运行部门应紧密结合，通力协作，根据当地雷电活动情况和电力网结构的具体特点等，进行充分的技术经济论证。

要贯彻因地制宜的精神，结合运行经验，使过电压保护技术先进，方案合理，既要保证必要的安全，也要注意可能的节约，以不断提高经济效益，克服片面性，这对做好过电压保护工作是十分重要的。

第二章 过电压的发生及其作用

第一节 过电压是怎样产生的

一、内部过电压的产生

电力系统的内部过电压是由断路器操作过程和接地、短路等故障引起的，亦即是由系统中两种运行情况之间的过渡过程引起的。几乎所有的过电压过程都是错综在一起的，几种同时出现，又相互转入。由于这些过程所占时间的数量级相差很大，把它们分开考察往往是可能的。

电力系统的内部过电压可分操作过电压、弧光接地过电压和谐振过电压等多种。几乎所有电流回路都包含电容和电感，从而构成能发生振荡的单元。断路器操作过程和故障演变过程中发生的电弧，以及电弧的重燃和熄灭，使回路电气情况突然变动时，都将激起振荡。这种振荡和发电机电压中、变压器励磁电流中以及发电机不对称短路等等情况下出现的高次谐波，由于电力网参数的不利组合，可能引起共振或者谐振，这时出现的过电压，叫做谐振过电压。最常见的是铁磁谐振过电压，它可以是基波谐振，可以是高次谐波谐振，也可以是分次谐波谐振。

电力系统中的内部过电压与电力网的结构、系统容量及参数、中性点接地方式、断路器的性能、母线上的出线路数以及电力网的运行接线、操作方式等因素有关，并具有统计规律。

对电气设备的绝缘来讲，比较重要的内部过电压有：

① 切断电容性负荷时的过电压；② 切断电感性负荷时的过电压；③ 中性点不接地或经高阻抗接地的电力网中，稳定电弧接地和间歇性电弧接地时的过电压；④ 电力网或电力网的一部分因谐振或铁磁谐振所产生的过电压；⑤ 在对称与不对称状态下由电机自励磁所引起的过电压。

在考虑操作过电压时，还应考虑到系统突然失去负荷后或者对称短路后切除故障时出现的动态电压升高和空载长线路由于导线的电容效应在线路末端所引起的工频电压升高。这些动态电压升高，对绝缘正常的设备是没有危险的，但通常动态过电压与操作过电压同时出现时，便能达到很高的幅值，如果缺乏必要的保护措施，就有可能引起设备绝缘击穿的事故。

较常出现的内部过电压产生的情况分述于后。

（一）操作过电压

操作过电压的持续时间一般较短，其幅值在很大程度上决定于中性点的接地方式。在中性点不接地或虽经消弧线圈接地，但调谐不当时，系统中弧光接地过电压的幅值一般不超过 3.0 倍相电压，个别可达 3.5 倍相电压，持续时间以秒计。在中性点不接地或经消弧线圈接地的 60kV 及以下的系统中，操作空载线路时的最大过电压的倍数一般不超过 3.5，操作单相接地的空线时，有可能超过 4 倍。由于这些系统的设备绝缘裕度较大，一般不会引起绝缘的闪络和破坏。在 220～500kV 的电力网中，中性点应采用直接接地方式。110～154kV 的电力网，中性点一般采用直接接地方式。操作空载线路时出现的过电压倍数与所用断路器性能有关，最大可达 3 倍相电压，持续时间约为一个周波以上，这种过电压水平是选择线路绝缘水平和变电所设备工频试验电压的重要依据之

一。

(1) 切断空载线路或并联电容器组时可能引起电感—电容回路的振荡过程，从而产生操作过电压。在切断电容性负荷时，如果断路器中发生电弧重燃，将引起强烈的电磁振荡，在电容性负荷上出现更高的过电压。当切断长线路时，线路上的过电压将附加有与线路长度有关的高频振荡电压。

这一过电压的幅值，与被切电容和母线侧电容的大小有关，也与电弧重燃时断路器触头间的电位差有关。过电压幅值和断路器电弧重燃次数虽没有简单直接的关系，但电弧重燃次数增加，能增加高幅值过电压出现的概率，因而使实际出现的过电压倍数也有增长的趋势。带并联电阻的断路器以及其它限压设备（如饱和电抗器等）可以限制操作空载线路时的过电压。

在中性点直接接地的系统中，操作 110~220kV 空载线路所引起的过电压，一般不超过 3 倍相电压，操作 330~500kV 空载线路所引起的最大操作过电压，应限制在 2 倍相电压以下。中性点不接地或经消弧线圈接地 60kV 及以下的系统中，操作空线时出现的最大操作过电压一般不超过 3.5 倍相电压，操作单相接地的空载线路时，有可能超过 4 倍相电压。

操作并联电容器组时也会产生与操作空载线路时性质相似的过电压。采用有并联电阻的断路器，可以将这种过电压限制到 2.5~3.5 倍相电压。目前国内普遍采用真空断路器，并加装金属氧化物避雷器，能有效地限制过电压的产生。

(2) 切断电感性负荷时可能产生过电压。切断电感性负荷时，由于断路器的强制熄弧，随着电感电流的遮断，电感中的磁能将转变为静电能，因而将出现很高的过电压。