

电力技术继续教育科目指南丛书

电网无功电压管理与电压稳定

四川省电力工业局
四川省电力教育协会 编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书为电力技术继续教育科目指南丛书中的一本,主要内容有:电网无功、电压管理现状;影响四川电网电压质量的主要因素;电网无功、电压管理的基础工作;运行中的无功、电压调整管理;四川 500kV 电网形成后的无功、电压情况预测;电压稳定的基本概念;电压稳定问题的研究现状和内容;电压稳定问题的研究方法;改善电压稳定性的技术;预防电压崩溃的措施等。

本书作为各电业局(调度局)无功、电压管理人员和发电厂、变电所运行技术人员继续教育培训教材,也可作为大专院校参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电网无功电压管理与电压稳定/四川省电力工业局,四川省电力教育协会编.-北京:中国电力出版社,1998
(电力技术继续教育科目指南丛书)
ISBN 7-80125-713-8

I. 电… II. ①四… ②四… III. 电力系统-无功功率-系统电压调整 IV. TM761

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 08254 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

三河市实验小学印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1998 年 6 月第一版 1998 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 1.5 印张 22 千字

印数 00001-4090 册 定价 5.50 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)

关于推荐使用 “电力技术继续教育丛书” 的通知

教成 [1998] 11 号

为了促进电力企业专业管理人员和专业
技术人员的继续教育和岗位培训工作，四川
省电力工业局、四川省电力教育协会组织编
写，并由中国电力出版社出版了“电力技术
继续教育丛书”八种，谨向各单位推荐使用。

中电联教育培训部

一九九八年三月十六日

《电力技术继续教育科目指南丛书》

编 委 会

主任委员:	晏玉清			
副主任委员:	王龙陵	沈迪民	丁福煜	杨纯龙
委 员:	赵兴康	朱国俊	王 旭	胡家明
	李小白	熊回川	张德范	向 进
	刘兴仁	杨胜渤	廖永纲	林文静
总 编:	丁福煜			
副 总 编:	王 旭	杨胜渤		
主 审:	赵兴康	朱国俊		

《电网无功电压管理与电压稳定》

编 审 人 员

主 编:	赵兴康		
编 审 者:	王渝明	尹晓澜	李明节

序

为贯彻《中国教育改革和发展纲要》中提出的职工教育要“把大力开展岗位培训和继续教育作为重点，重视从业人员的知识更新”的要求，使职工教育工作更好地为电力系统专业技术人员和管理人员拓展专业知识，提高专业技术水平和管理能力服务，为电力企业安全文明生产“双达标”、“创一流”服务，为促进电力事业的发展服务，在四川省电力工业局的领导下，四川省电力教育协会与四川省电力工业局教育处组织一批专家、教授和工程技术人员，联系电力系统的实际，结合国内外电力技术现状及发展方向，贯彻继续教育面向现代化、面向世界、面向未来的方针，注重针对性、实用性、科学性和先进性，编写了这一套《电力技术继续教育科目指南丛书》，作为对电力系统专业技术人员进行继续教育的培训教材，也为电力系统的管理人员提供一套学习资料。

本丛书共十一册，其中：《高压输电线路微机保护》、《电网无功电压管理与电压稳定》、《电网防污闪技术》、《汽轮发电机组振动》、《变电所自动化技术与无人值班》、《水电站综合自动化》、《信息高速公路与企业网》、《循环流化床燃烧技术》等八册由中国电力

出版社出版发行。另三册，即《数字数据网 (DDN) 通信技术》、《分散控制系统 (DCS) 及其应用》、《热管应用及前景》由四川省电力工业局作为资料印发。

本丛书在编写与审稿全过程中，得到了四川省电力工业局领导和有关处室的大力支持与帮助。承担编写工作的四川电力试验研究院、四川电力调度局、重庆电力职工大学、成都电力职工大学、重庆大学、成都电业局、龚咀水力发电总厂、内江发电总厂、成都水力发电学校、都江堰电力设备厂等单位以及重庆市电力工业局为丛书的编写提供了良好的工作条件，给予了极大的支持，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，错漏在所难免，诚望读者指正。

《电力技术继续教育科目指南丛书》

编 委 会

1998 年 3 月

前 言

随着电力工业的发展，长期以来有功功率不足的矛盾得到一定程度的缓解，电网的无功、电压管理越来越受到重视，电压稳定问题也提上了议事日程。本书主要内容有：

- (1) 电网无功、电压管理现状；
- (2) 影响四川电网电压质量的主要因素；
- (3) 电网无功、电压管理的基础工作；
- (4) 运行中的无功、电压调整管理；
- (5) 四川 500kV 电网形成后的无功、电压情况预测；

- (6) 电压稳定的基本概念；
- (7) 电压稳定问题的研究现状和内容；
- (8) 电压稳定问题的研究方法；
- (9) 改善电压稳定性的技术；
- (10) 预防电压崩溃的措施。

本文述及的四川电网，现在为川渝电网。

本书适应的培训对象：各电业局（调度局）无功、电压管理人员和发电厂、变电所运行技术负责人。

本书所需学时：60 学时。

编 者

1998 年 3 月

目 录

序

前言

第一章	电网无功、电压管理	1
第一节	无功、电压管理现状	1
第二节	影响四川电网电压质量的主要因素	3
第三节	电网无功、电压管理的基础工作	7
第四节	运行中的无功、电压调整管理	9
第五节	四川 500kV 电网形成后的无功、电压 情况预测	13
第二章	电力系统电压稳定	14
第一节	简单回顾	14
第二节	电压稳定基本概念	16
第三节	电压稳定问题的研究内容	18
第四节	电压稳定问题的研究方法	20
第五节	改善电压稳定性的技术	27
第六节	预防电压崩溃的措施	29
结束语		32
参考文献		33

第一章

电网无功、电压管理

第一节 无功、电压管理现状

一、发达国家无功、电压管理情况

随着科学技术的进步，在欧美国家的电网中已广泛投入自动发电控制（AGC）、自动电压控制（AVC）、能量管理系统（EMS）和完善的通信、远动系统。其无功、电压管理如同电网其他一些管理，已逐步由行政管理转化为设备运行完好率的技术管理。电网的商业化营运，使得各电力公司在电网的规划、改造和运行中，自觉地保证电能质量，维持合乎用户要求的电压水平。在社会公益（政府行为）和经济杠杆双重作用下，电网大量引进先进设备和软件，以增强对电力生产和电力销售的控制，提高运行可靠性，尽可能减少电网事故造成的损失。

调度中心使用高级电网应用软件，闭环或开环计算出各控制点的电压曲线或控制量，通过 EMS 系统以分层控制的原则自动下达给各层次的控制机构，最

终贯彻到发电机组的励磁调节、有载调压变压器的分接头调整和并补设备的自动投切等操作行为。在发达国家的高电压电网中，大量投入运行特性优于普通并补装置的静止无功补偿装置(SVC)；许多电网已采用灵活交流输电系统(FACTS)技术^[1]。FACTS是本世纪电力电子学的重要成果，代表着电力技术发展的一个方向，可在适应电力市场化、提高电网控制灵活性及运行稳定性方面发挥积极有效的作用^[2,3]。现代化管理需基于现代化的科学技术，我们应结合我国的具体情况，通过详细的技术经济比较，认真考虑在自己的电网中引进和消化国外的新技术、新思想。

二、国内现状

由于自动化水平和商业化营运程度等多方面客观差距，我国电网的无功、电压管理基本还处于“人对人”阶段。随着近年电力紧张的局面正得到不同程度的缓解，无功、电压管理越来越受到重视。

目前国内无功、电压管理的主要技术依据是部颁有关技术导则、管理条例和规定。基本管理程序是：选择电压控制点，下达无功、电压控制曲线，调整、监测和考核。四川电网存在的网架薄弱和无功功率不足等问题，在国内也是带有普遍性的问题；四川电网无功、电压管理的依据和方法与国内其他电网基本相同。

三、四川电网现状

80年代初期，四川电网的无功补偿设备极其有

限，220kV 电网枢纽变电所还未装设无功补偿电容器，当时系统无功不足，高峰负荷时段全网电压普遍偏低是影响电网电压质量的主要矛盾，电压合格率在全国处于落后地位，220kV 主网电压合格率只有 80%~85%，110kV 以下电网电压合格率只有 80%以下。随着电网的不断发展，各级电网和大型用户相继装设了无功补偿电容器和有载调压变压器，使电网电压质量逐步得到改善，电压合格率逐年提高，目前 220kV 主网电压合格率已达到 97%以上，110kV 以下电网也达到 94%左右。

虽然电压合格率逐年都有提高，但是按部颁要求还有一定差距，近几年随着电网的扩大和发展，受负荷峰谷差逐年增大等因素的影响，系统的无功、电压情况发生了较大变化，出现了丰水期高峰时段无功不足电压偏低和夜间无功过剩电压偏高的双重矛盾，使无功、电压管理工作更加复杂化。

第二节 影响四川电网电压质量 的主要因素

一、电网结构较差，潮流变化大

四川省水利资源丰富，主要集中于川西南地区。水电装机容量约占总装机容量的 40%。由于四川的水电站多数是无调节水库的径流式电站，且都远离负荷中

心，丰水期大量水电远距离重载输送至成都、重庆等负荷中心。四川电网的电源和网架结构的特点，决定了系统的运行电压将随着电网丰水期和枯水期的潮流变化而发生较大转变。丰水期水电大发、火电相继安排检修；枯水期水电检修或停机，火电大发。水、火电站的输电线路潮流随季节作大幅度变化，引起电网运行电压的大幅度波动，给电压质量的控制带来很大的困难。

二、负荷率低，峰谷差大

四川电网近几年随着一些 200MW，300MW 以上大型火电机组的投运，用电紧张局面较以前有所缓解，但随之而来的是负荷率下降，峰谷差逐年增大。自 1987～1996 年的 10 年中，日平均最大负荷由 2666MW 增长到 5589MW，年增长率为 8.57%；负荷率由 88.40% 降到 80.40%，平均每年下降 0.8 个百分点（其中 1996 年比 1995 年下降 1.91 个百分点）；最小负荷率由 78.40% 降到 61.19%，平均每年下降 1.72 个百分点（其中 1996 年比 1995 年下降 3.15 个百分点）；日平均峰谷差由 576MW，增长到 2169MW，年增长率达 15.88%。1996 年最大峰谷差达到 3089MW，比 1995 年增加 314MW。负荷峰谷差增大，引起电网运行电压波动增大，给电网的无功、电压调整增加了难度。

三、无功、电压调整设备不足

虽然电力部门和用户都装设了补偿电容器，但由于有功负荷增长较快，运行中仍然存在丰水期高峰时段无功不足的现象，尤其是火电机组检修停运期间，无功不足的矛盾更为突出。据潮流计算，川西的成都及以北地区，在丰水期江岫 330MW 机组检修期间，约缺无功 100Mvar；川东重庆及以北地区，在丰水期珞璜 360MW 机组检修期间，缺无功 100Mvar 左右；运行统计表明，丰水期间 220kV 中枢点变电站 110kV 母线电压最低时已低至 100kV。

四川电网目前尚无静补装置，且系统中调相机容量偏小，仅有的几台调相机都装设在重庆地区，造成电网的无功电压调节能力差，长期存在既缺无功又无功过剩的矛盾。

电网中有载调压变压器偏少，80 年代中期以前投产的变电所几乎都是无载调压型。目前部分地区的 220kV 和 110kV 及以下电压的变电所尚未达到《电力系统电压和无功电力管理条例》规定的“至少采用一级有载调压”的要求。

四、对用户的补偿电容器管理欠佳

四川电力系统中用户装设的无功补偿电容器较多，至 1996 年底，用户所装补偿电容量约达到 3575Mvar，为电力部门所装补偿电容器的 2.4 倍。由于用户所装补偿电容器分布很广，电力部门难以准确掌握和管理，加之电力部门对用户的负荷采取按平均

功率因数考核的管理政策，使得高峰负荷时段用户吸收系统的无功较多，功率因数偏低，低谷负荷时段用户很少或根本不吸收系统的无功，功率因数偏高，少数用户甚至在夜间低谷时段，反向系统倒送无功。根据运行统计，夜间负荷功率因数已由 90 年代初的 0.9 以下提高到 0.95 左右。按目前系统夜间有功负荷 4500MW 计算，夜间无功消耗比以前减少约 700Mvar，使系统低谷时段无功进一步过剩，电压偏高运行。

五、对上网小水（火）电的无功、电压考核不力

四川电力系统中上网的小水（火）电已占有较大比例，目前电力部门对小水（火）电是按一定的功率因数进行无功、电压的调整考核。由于种种原因，一些电业局制定的考核值不尽合理，导致小水（火）电为完成考核指标而多发无功，使得小水（火）电供电区域的运行电压严重偏高的现象时有发生。

六、对电压质量管理重视不够

由于四川电网缺电而引起长期低频率运行现象较严重，所以各单位制定了一系列经济奖惩政策，狠抓了频率和有功的管理。相对而言，对无功和电压质量的管理重视不够，没有相应的经济奖惩政策，使得许多无功、电压管理措施难以落实和实施。

对电压质量管理重视不够的倾向，也反映在规划和设计过程中。电压、无功管理所需的许多运行数据

不能通过远动系统传送至管理部门，如变压器电压分接头运行档位和无功补偿设备的运行投切情况等，这不但给无功、电压的运行调整和管理工作带来困难，而且将制约电网自动化的实现，成为未来电网改造的遗留问题。

第三节 电网无功、电压管理 的基础工作

一、选好电压监测点

电网的电压调整与频率调整有很大差异，正常稳态运行时，全系统频率相同，但系统内各厂所电压却各不相同。电网的运行电压情况主要由各级电压监测点的电压来反映。遵照电力工业部颁《电力系统电压和无功电力管理条例》（以下简称《条例》）中“电网各级调度部门对其调度管辖范围内的电网进行电压的监测并由归口单位进行考核，并选定一批能反映电网电压水平的监测点”的规定和《电力系统电压质量和无功电力管理规定（试行）》（以下简称《规定》）中 8.2 条，电力系统电压监测点设置原则为：8.2.1 与主网（220kV 及以上电网）直接连接的发电厂高压母线电压。8.2.2 各级调度“界面处的 330kV 及以上变电所的一次母线电压和二次母线电压；220kV 变电所的二次母线电压或一次母线电压。8.2.3 供电（电业）局应

在所辖电网内按条例规定设置 A、B、C、D 四类电压监测点。并应随负荷及用户数量变化增减相应类别电压监测点数量的规定，各级调度部门和电业局，都应根据所辖电网的实际情况，合理选择能反映本电网运行电压水平的电压监测点。

电压监测点的选择是否合理，将直接影响电网的电压合格率是否反映电网真实的电压质量。如把监测点全都选在电压波动小和有调节设备厂所，则考核统计出来的电压合格率将很高，但却不一定能真实地反映电网的实际运行电压水平。

四川电网长期以来都是按照有关规定和要求进行电压监测点的选择，除有在电网起电压支撑作用的发电厂高压母线电压外，还有位于负荷中心的枢纽变电所母线电压。

二、合理编制电压（无功出力）曲线

《条例》中规定，“电力调度部门要根据电网负荷变化和调整电压的需要，编制和下达发电厂、变电所的无功出力曲线或电压曲线”。电压（无功出力）曲线是各厂所调整控制和监测运行电压的依据，也是考核电压质量和进行电压合格率统计的标准。

因为四川电网电压、无功调整设备不足，电网运行电压主要靠各发电厂进行控制和调整。所以各级调度部门制定各发电厂的电压（无功出力）曲线时，要求都比较高。首先是要求电厂逆调压，即规定发电厂

高峰负荷时段的电压运行范围高于低谷时段的电压运行范围；其次是对发电厂的电压允许波动范围较窄，一般只有5%的幅度。此外，对装有无功补偿设备和调压设备的变电所，电压（无功出力）曲线也按适当的逆调压要求制定。总之，按电压（无功出力）曲线控制后，电网各级电压的波动范围应满足《规定》2.2条的要求。

三、做好运行计算分析和运行资料统计

各级调度部门应针对四川电网的实际情况，每年按丰、枯季节开展电网的潮流计算和变压器电压分接头档位调整计算，对新厂所投产和重要厂所、重要线路检修等特殊运行方式，也要随时开展计算分析工作。各电业局、调度部门应对电压监测考核点的运行电压按规定及时进行统计记录和考核，对各发电厂的无功出力和功率因数情况、各变电所的无功补偿设备和调压设备投切调整情况定期进行统计分析。通过对系统运行情况的计算、统计和分析，核查电网电压监测点的设置和电压（无功出力）曲线的编制是否合理、无功电源出力安排和无功、电压管理的各项措施是否恰当，从而提高运行管理水平。

第四节 运行中的无功、电压调整管理

一、利用发电机进行无功、电压调整