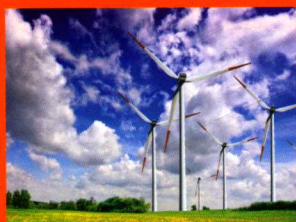


配电网低电压治理的 关键技术及典型案例

国网湖南省电力有限公司经济技术研究院 编著



非外借



科学出版社

配电网低电压治理的 关键技术及典型案例

国网湖南省电力有限公司经济技术研究院 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

低电压问题直接影响广大人民群众的生产生活,是制约经济社会发展的重要瓶颈,也是供电服务“最后一公里”问题的矛盾核心。本书总结了研究团队多年来在低电压治理方面的思路与经验,以低电压特性分析和低电压问题分类为切入点,系统介绍了配电网低电压治理的关键技术和典型案例。全书共7章,涵盖低电压问题分类、特性分析、预判预警、治理技术及软件平台开发等内容。

本书适合从事电网规划和电网运行研究的科研人员、软件开发人员、高等院校相关专业师生、电网企业管理及技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

配电网低电压治理的关键技术及典型案例/国网湖南省电力有限公司经济技术研究院编著. —北京:科学出版社,2018.8

ISBN 978-7-03-058036-8

I. ①配… II. ①国… III. ①配电系统-低电压 IV. ①TM726.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 132758 号

责任编辑:魏英杰 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:张 伟 / 封面设计:铭轩堂

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年8月第 一 版 开本:720×1000 B5

2018年8月第一次印刷 印张:12 1/4

字数:245 000

定价:90.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

编 委 会

主 编：周建方

副 主 编：姚志荣 陈火焱

编写组组长：何红斌

主 笔：何禹清 何缘圆 刘 聪

编写组成员：张 建 苏 黎 张建华 龙爱国

徐 超 侯雪波 江卓翰 邓路赓

刘 博 王 帅 李弘毅 胡志军

李文英 詹 扬 卢平江 严慧峰

湛启程 刘文军 方昀晖 潘力强

彭 剑 沙 舰 叶 青 潘小飞

前言

低电压问题是供电服务“最后一公里”问题的矛盾核心。为解决这一问题,各级电网企业开展了大量的工作,但从近几年的低电压治理效果来看,仍面临以下问题:一是低电压问题数量多、分布广,治理所需投资大;二是区域差异大,不同地理区位、气候区划低电压特性不一;三是冲击性问题突出,高峰负荷低电压与低谷负荷时的高电压现象同时存在;四是低电压问题源头多样,既有网络不合理等技术问题,也有运行方式不合理等管理问题;五是低电压问题是一个动态发展的问题,局部地区甚至长期存在。为科学解决上述问题,亟须开展配电网低电压治理的关键技术及典型治理方案的示范研究。

本书以低电压特性分析为切入点,开展配电网低电压治理的关键技术和典型案例研究,主要内容包括:以低电压问题特性分析为基础,提出以出现范围、持续时间、影响范围、影响程度四个维度及其十二个类别的“低电压”问题分类标准和典型判据,将低电压问题分为十八个综合类别,并根据影响将其分为蓝色、黄色、橙色和红色四个预警等级体系。基于主干及分支线路构造主干分支网络简化模型和主干-分支负荷类别的划分,提出现状电网的低电压问题预判方法;提出负荷发展阶段和负荷培育周期的负荷发展特性分类方法和典型判据;以规划网络和负荷发展特性为基础,提出发展电网的低电压问题预警方法;研究高压布点、配变布点、低压线路选型等传统规划技术和调容变压器、中压线路补偿、低压动态补偿、分布式电源等新型治理技术治理低电压问题的规划技术原则、典型技术方案、经济性及适用范围,提出对应的治理措施序列。基于低压用户特性场景,研究低电压问题的梯级分类,并根据不同分类量化用户电压波动改善程度目标及量化评价。在湖南全省开展高压布点、配变布点、低压线路选型等传统规划技术和规划治理技术原则的应用,并在永州等试点区域开展调容变压器、中压线路补偿、

低压动态补偿、分布式电源等新型治理技术治理的试点。

本书的出版得到国家电网公司科技项目“考虑发展路径时空差异的投资风险量化及控制技术研究”、“适应新型城镇化的配电网协调规划关键技术及实证研究”和国网湖南省电力有限公司科技项目“湖南配电网低电压治理关键技术装备研究与应用”的资助,在此表示感谢。在写作过程中,我们参考了国内外的相关文献,在此一并感谢。

限于作者学识水平,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 低电压问题及研究现状	1
1.1.1 低电压问题现状	1
1.1.2 低电压问题研究现状	5
1.2 低电压问题研究意义	8
1.2.1 低电压问题的危害	8
1.2.2 低电压问题治理的意义	10
1.3 低电压问题产生机理	11
1.3.1 电压损耗与电压偏差	11
1.3.2 主要设备的压降计算模型	14
1.4 低电压问题分类	15
1.4.1 电压质量的主要标准及评价	15
1.4.2 低电压问题的实用化分类	17
1.5 主要管理措施	20
1.5.1 低电压问题的排查机制	20
1.5.2 低电压问题的治理机制	21
第 2 章 低电压问题的特性分析	25
2.1 湖南省基本情况	25
2.2 一维分布特性分析	26
2.2.1 规模分布	26
2.2.2 台区特性分析	29
2.2.3 用户特性分析	33
2.3 多维耦合特性分析	36
2.4 区域差异特性分析	43

2.4.1	集镇低电压问题特性分析	43
2.4.2	郊区低电压问题特性分析	45
2.4.3	山区低电压问题特性分析	50
2.4.4	湖区低电压问题特性分析	53
第3章	低电压问题的预判预警技术	57
3.1	主要思路	57
3.2	网络简化模型	59
3.2.1	主干-分支网络模型的构造	59
3.2.2	主干-分支网络的参数预估	60
3.2.3	应用实例	60
3.3	负荷简化模型	64
3.3.1	负荷类别	64
3.3.2	负荷发展特性	67
3.3.3	现状负荷预估	68
3.3.4	发展负荷预估	69
3.3.5	应用实例	72
3.4	电压降简化计算	73
3.4.1	主要原理	74
3.4.2	中压线路电压降简化计算	75
3.4.3	低压电压降简化计算	83
3.5	预判预警技术	90
3.5.1	分析流程	90
3.5.2	应用实例	92
第4章	常规治理技术及应用场景	95
4.1	高压布点规划技术	95
4.2	配电变压器配置技术	98
4.2.1	常规技术要点	98
4.2.2	低电压治理技术要点	100
4.3	低压供电方式选择	103
4.3.1	常规技术要点	103

4.3.2 低电压治理技术要点	105
4.4 低压线路优化选型技术	109
第5章 新型治理技术及应用场景	116
5.1 调容变压器	116
5.1.1 调容变压器原理	117
5.1.2 调容变压器类型	118
5.1.3 调容变压器性能	120
5.2 中压线路动态补偿技术	120
5.2.1 10kV 快速开关型串联补偿装置	121
5.2.2 并联电容器	122
5.2.3 SVR 线路自动调压器	123
5.2.4 配电网静止同步补偿器	124
5.3 低压线路动态补偿技术	126
5.3.1 低压无功补偿方式	126
5.3.2 串联无功补偿	128
5.3.3 并联低压自动补偿电力电容器	131
5.3.4 低压线路动态补偿的优化配置	134
5.4 分布式电源及储能设备	135
5.4.1 分布式电源及储能设备的类型	135
5.4.2 低电压问题治理应用	138
第6章 低电压问题预警系统关键技术	141
6.1 系统设计	141
6.1.1 设计原则	141
6.1.2 应用架构	142
6.1.3 数据架构	146
6.2 关键技术	150
6.2.1 数据融合技术	150
6.2.2 图形展示技术	163
第7章 低电压治理序列及典型案例	169
7.1 低电压问题治理序列	169

7.1.1	序列 1	169
7.1.2	序列 2	169
7.1.3	序列 3	170
7.1.4	序列 4	170
7.2	中压低电压问题典型案例	172
7.2.1	高压布点解决中压低电压问题	172
7.2.2	10kV 线路增容改造解决中压低电压问题	174
7.2.3	线路加装调压器解决中压低电压问题	176
7.3	低压低电压问题典型案例	177
7.3.1	配电变压器布点解决低压低电压问题	177
7.3.2	低压线路动态无功补偿解决低压低电压问题	180

第 1 章 概 述

1.1 低电压问题及研究现状

1.1.1 低电压问题现状

经过一、二期农村电网改造、县城电网改造、中西部农村电网完善及新一轮农村电网改造升级等国家层面的配电网建设与改造工程的实施,我国配电网基础得到显著改善,配电网的供电能力和供电质量都得到了大幅提升。但是,由于配电网量多、面广,部分地区依然难以满足新形势下对用电质量的要求,特别是在中西部山地、丘陵的农村地区,由于居民居住较为分散,供电半径普遍偏长、线路截面普遍偏小,在高峰负荷时期,低电压问题更为严峻,严重影响正常的生产生活,不利于经济社会发展。

当前,低电压问题主要有以下特点。

1. 数量大、分布广

截至 2015 年底,国家电网公司经营区内的农村低电压用户共有 847.6 万户,占农村总用户数 3.75%,涉及用电人口约 2500 万,同时考虑到南方电网公司、国网内蒙古东部电力有限公司、各类自供区,以及国家电网公司内代管公司等区域,全国农村低电压用户超过 1000 万户,数量特别大(图 1-1)。

2. 区域特性差异大

从地理区位来看,中、东、西部地区低电压用户分别为 475.1 万户、251.2 万户、121.2 万户,占农村低电压总户数的比例分别为 56.1%、

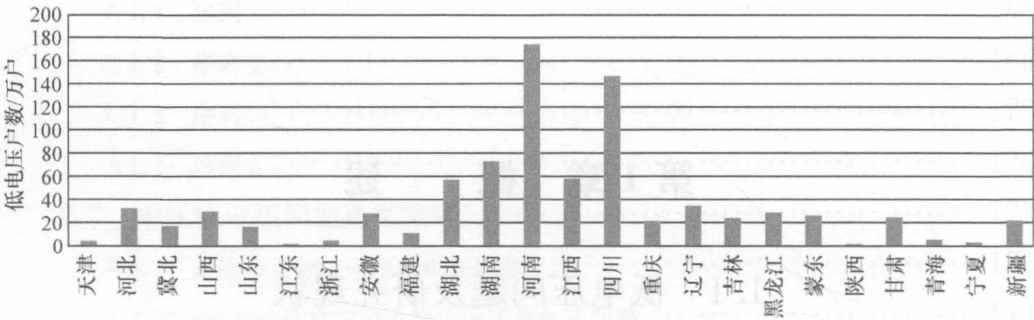


图 1-1 各省低电压用户数量

29.6%、14.3%。中部地区低电压问题更为突出,其中河南、四川的低电压用户数均超过 100 万户,分别为 175.3 万户和 147.8 万户,占农村低电压总用户数的比例为 38.1%;湖南、江西和湖北三省的低电压用户数在50~80 万户。

从气候区域来看,夏热冬冷地区、寒冷地区、严寒地区低电压用户分别为 576.1 万户、105.2 万户、166.3 万户,占农村低电压总户数的比例分别为 67.97%、12.41%、19.62%,夏热冬冷地区低电压问题更为突出。

从区位来看,集镇区域的低电压问题主要发生在负荷增长特别迅速、电网建设力度赶不上用电需求增长的区域;城乡结合部往往是各类企业、个体户集中地区,本身用电需求大,且小型工业用户较多,异步电机占比较高,系统的无功消耗较大,导致用户所在线路末端无功不足电压偏低;广大山区用户居住分散,低压线路长,线路损耗大,造成电压质量难以保障。

3. 冲击性问题突出

冲击性低电压问题突出与我国农村用电特点息息相关。目前农村用电主要分为生活用电、生产用电和工商业用电三大类。

农村生活用电由以照明为主转变为以空调、冰箱、电磁炉等大功率家用电器为主。电饭煲与照明负荷的叠加造成部分区域出现时段性低

电压问题。夏季降温和冬季取暖等负荷需求造成部分区域出现季节性低电压问题。另一方面,中国农村地区广大劳动力外出务工已经成为普遍现象,特别是经济相对落后的地区,“留守”“空巢”等现象较为普遍,导致大量村组常住人口以老人与小孩为主,其用电习惯还停留在数十年前,平时仅有少量的照明需求,而春节期间随着农民工返乡,已经改变了的生活方式带来大量大功率设备启动,负荷在短时间内发生急剧攀升,冲击性低电压问题突出。

生产用电方面,农田灌溉季节、收割季节的农业生产负荷增长极为迅速。特别是,排灌潜水泵接入低压线路较为随意,在贡献负荷增长的同时还导致配电变压器三相负载不平衡,使得配电变压器“卡口”低电压问题更严重。同时,随着农业现代化、农产品加工业的快速发展和近年来电能替代的不断推进,我国南方烟叶、茶叶等重要经济作物应季加工期间,由于其核心的烤烟、炒茶等工序已经从依靠传统的燃煤改为用电,该类生产用电在时间和空间上均较为集中,往往按照经济作物种植片区出现,导致线路重载严重,进一步加剧了低电压问题的季节性矛盾。

工商业方面最明显的冲击性贡献来自农家乐等规模休闲农业。该类用户在电器配置上有较高标准,户均容量一般达 50kVA 以上,同时该类负荷有较为明显的假日特点,以周末、假期为主的冲击性高峰负荷,也加剧了部分地区低电压问题的发生。

从国家电网公司经营区低电压问题持续时间来看,短期冲击性低电压用户约 398.8 万户,占农村低电压总户数的比例为 47.05%。其中,京津冀区域和东部经济较发达地区短期低电压用户普遍占 70% 以上。各省短期低电压用户占比如图 1-2 所示。

4. 问题源头多样化

造成长期存在低电压问题的原因主要有网架结构不合理、配电变

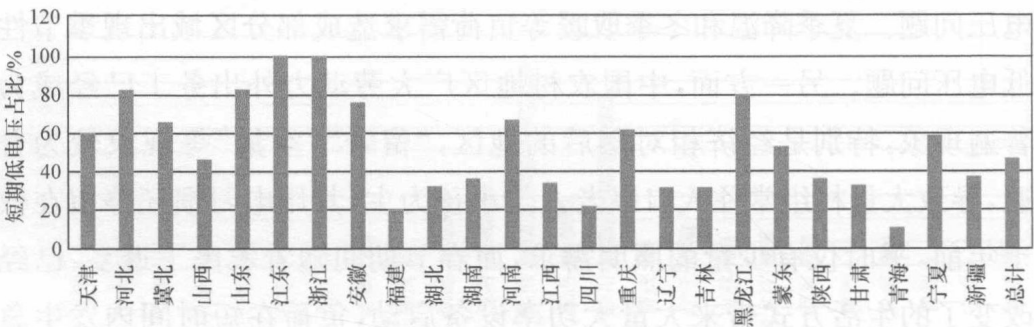


图 1-2 各省短期低电压用户占比/%

压器容量配置不足、10kV 线路超供电半径不合理、低压供电半径不合理、三相负载不平衡等。以国家电网公司经营区为例(表 1-1),主网架结构不合理造成的低电压用户为 14.5 万户,占 3.24%;配电变压器供电容量不足造成的低电压用户为 95.9 万户,占 21.38%;10kV 线路超供电半径造成的低电压用户为 52.9 万户,占 11.8%;低压线路超供电半径、导线截面小造成的低电压用户为 237.4 万户,占 52.9%;三相负荷不平衡造成的低电压用户为 47.9 万户,占 10.67%。

表 1-1 不同原因造成的长期低电压规模统计表

序号	经营区	长期低电压 客户数/户	主网架 结构不合理 造成/户	配电变压器 供电容量 不足造成/户	10kV 线路 超供电半径 造成/户	低压线路超供电 半径、导线截面 小造成/户	三相负载不平 衡等其他原因 造成/户
1	天津	15 994	268	2443	280	12 414	589
2	河北	59 152	0	1007	1983	50 906	5256
3	冀北	61 707	605	8310	8831	34 398	9563
4	山西	161 624	3022	54 804	8116	79 947	15 735
5	山东	29 147	0	1344	1400	20 334	6069
6	江苏	0	0	0	0	0	0
7	浙江	0	0	0	0	0	0
8	安徽	68 329	0	17 909	9727	25 134	15 559
9	福建	87 050	6836	1153	1332	72 961	4768
10	湖北	386 023	17 875	86 524	65 847	183 221	32 556
11	湖南	465 910	22 592	78 516	51 031	282 061	31 710

续表

序号	经营区	长期低电压 客户数/户	主网架 结构不合理 造成/户	配电变压器 供电容量 不足造成/户	10kV 线路 超供电半径 造成/户	低压线路超供电 半径、导线截面 小造成/户	三相负载不平 衡等其他原因 造成/户
12	河南	582 822	4638	82 815	97 449	307 731	90 189
13	江西	386 200	16 000	72 400	51 000	183 400	63 400
14	四川	1 151 162	10 213	402 014	50 945	641 109	46 881
15	重庆	82 246	5536	8765	18 219	41 235	8491
16	辽宁	239 666	15 511	24 081	34 503	136 024	29 547
17	吉林	161 249	6361	54 569	19 437	47 840	33 042
18	黑龙江	57 667	0	7204	21 056	23 585	5822
19	蒙东	125 301	6400	12 348	19 890	79 900	6763
20	陕西	8000	0	4000	1200	2800	0
21	甘肃	169 306	9210	13 538	16 081	98 622	31 855
22	青海	44 072	841	6245	19 518	4302	13 166
23	宁夏	9996	853	2107	1366	4795	875
24	新疆	135 431	18 506	17 642	30 504	41 559	27 220
	总计	4 488 054	145 267	959 738	529 715	2 374 278	479 056

5. 动态渐进式发展

低电压问题是一个动态发展的问题,其出现的时段和地点都随负荷与电网的匹配适应度发生改变。以湖南省为例,2015 年全省累计解决低电压用户 40 万户,但随着负荷发展,2016 年又新增 20 万户低电压用户。如果没有“动态”的治理措施,低电压问题不会消失,即使解决了现有的全部低电压问题,一旦电网改造建设跟不上负荷发展趋势,就会出现新的低电压问题。低电压动态治理还有很长的路要走。

1.1.2 低电压问题研究现状

1. 问题特性研究不足

低电压问题出现的根源在于负荷与电网的非正常匹配,而实现有

效的治理必须充分分析其特性。当前对低电压问题缺乏较为深入的特性研究,主要表现在以下几个方面。

① 分析的特性因素较少,主要以地区分布、时间规律(长期、周期、短期)、主要技术原因等维度进行分析,在低电压台区物理特性、低电压用户特性分析方面严重不足。

② 以单因素分析为主,缺乏多维耦合分析,直观地讲,户均配电变压器容量、供电半径、主干线截面等因素都不是导致低电压问题产生的唯一因素,其间相互耦合作用加剧低电压问题恶化,并且上述耦合关系的强弱对低电压用户数、低电压幅值等低电压用户的特性分布具有决定因素,不对其耦合特性分析就无法有针对性地提出治理措施。

③ 缺乏对不同地理缺乏差异化低电压特性的分析,用典型山区农村替代集镇、郊区、湖区等区域进行分析、治理的现象普遍存在,不可避免的出现“投资浪费、问题依旧”的情况。

2. 预判预警技术有限

低电压问题点多、面广、突发性强,通过常规的电压实测很难准确、全面地掌握实际情况。近年来,带有电压采集功能的集抄系统得到大力推广,但要实现全面低电压监测预判仍有较大困难。

① 集抄系统整体覆盖率不高。特别是中西部地区,整体覆盖率仍未达 50%,部分县域还处于集抄系统部署的起步阶段,而这些区域正是低电压问题较为严重的地区。

② 集抄系统中电压采集组件覆盖面窄。受投资能力约束,在集抄系统建设过程中,只在城区和中心集镇等区域考虑了电压采集组件的部署,广大农村地区部署量少,无法实现电压采集功能。

③ 集抄系统中电压数据上传困难。受传输信道的影响,目前集抄系统仅能保证电度、负荷等数据的有效上传,数据量大、营销利用度低的电压数据尚未纳入硬性上传范畴,致使具备电压采集功能也无法获

取电压数据。

另一方面,低电压问题同样也是一个动态发展的过程。当前无低电压问题,随着负荷发展,会逐步出现低电压问题;有轻度低电压问题,随着网络切改和负荷转移,会逐步缓解、消亡。这些现象也进一步增加了低电压问题的预判和预警难度。

3. 治理技术繁杂无序

低电压问题的产生主要有技术和管理两方面的原因。技术原因主要包括网架结构不合理、配电变压器容量配置不足、供电半径不合理、导线截面偏小、无功设备配置不足等。管理原因主要包括三相负载不平衡调整不及时、无功设备自动投切率不高和综合管理的动态机制不健全等。

针对上述技术问题,很多学者对高压布点规划技术、配电变压器配置技术、低压供电方式选择、低压线路优化选型技术等常规治理技术开展了研究。同时,对高过载配电变压器、调容配电变压器、线路分散电压补偿器等新型配电技术,以及柴油机组、分布式能源也开展了大量研究工作。但仍存在以下几个方面的典型问题。

① 对高压布点、配电变压器布点、低压线路选型等传统规划技术和调容变压器、中压线路补偿、低压动态补偿、分布式电源等新型治理技术治理低电压问题的规划技术原则、典型技术方案、经济性及适用范围研究不足。

② 未开展实际新型配电技术柴油机组、分布式能源利用在治理低电压问题中的应用,无法评价其实际效果。

③ 在满足治理效果和经济效益合理的前提下,针对不同的低电压问题类型,尚未提出对应的治理措施序列,不可避免地出现“头痛医头、脚痛医脚”的情况。