

中压配电电压等级 优化与改造

—20kV电压等级的论证及实施

范明天 张祖平 周莉梅 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

中压配电电压等级 优化与改造

—20kV电压等级的论证及实施

范明天 张祖平 周莉梅 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

对现有中压配电网进行升压改造,是一项适应我国社会经济发展需要,提高中压配电网供电能力、节省占地资源、节能降损的战略决策。本书是研究和探索我国中压配电网供电电压等级优化及改造问题的著作,为电网运营企业对现有中压配电网进行优化及改造提供了系统的论证思路和实施方法。主要内容包括:分析中压配电网优化及改造需要解决的主要问题,设定优化及改造的目标及备选方案,探讨我国10kV配电网升压改造的原则、策略和措施,建立评价方法和评估模型,评估优化及改造的备选方案,确定优化及改造的推荐方案,并以国内外城乡电网典型区域为例进行了简要说明。

本书给出了国内外电压等级序列配置、配电网升压改造等大量资料及具体案例,提出了崭新的思路及较有价值的结论和建议。本书的出版也希望能够为有志于配电网规划和改造的研究人员以及相关专业师生等提供有效的参考。

图书在版编目(CIP)数据

中压配电网电压等级优化与改造:20kV电压等级的论证及实施/范明天,张祖平,周莉梅编著. —北京:中国电力出版社,2009

ISBN 978-7-5083-8987-5

I. 中… II. ①范…②张…③周… III. 配电系统-研究
IV. TM727

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第100025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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009年7月第一版 2009年7月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 18.25印张 277千字
印数 0001—3000册 定价 40.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



中压配电网的升压改造是一项适应我国社会经济发展需要,建设环境友好型、资源节约型电网的战略决策。升压改造可以提高中压配电网的供电能力、节省占地资源、节能降损以及便于分布式电源的接入,是消除供电瓶颈、提升电网适应能力,建设坚强配电网的重大技术举措之一。中压配电网的升压改造牵涉面广、影响因素多,既要进行科学缜密的技术经济论证,同时也要取得政府和全社会的关注与支持。我国中压配电网现有的10kV供电电压已越来越不适应负荷发展的需要,必须进行升压改造,这一点已基本达成共识。因此,如何对现有中压配电网进行优化及改造,需要系统的论证思路和实施方法,这已经成为当前电网运营企业关注的重点课题。

我国现行中压配电电压大部分为10kV,只有苏州工业园区和辽宁本溪部分区域采用20kV,国际上配电电压也不尽相同,如法国巴黎为20kV,日本大阪为22kV等,现在60%的亚洲国家和近80%的欧洲国家采用20kV左右的电压水平作为中压配电电压等级,国外发达国家采用20kV电压等级作为中压配电电压确有趋同化的发展趋势。

中压配电电压等级优化及改造涉及的因素很多,主要包括社会、经济和技术因素。社会因素主要包括环境、空间资源等;经济因素主要包括初期投资费用、改造费用、运行维护费用、电能损耗费用和停电损失费用等;技术因素主要包括设备的条件和参数系列等。如何考虑这些因素对中压配电电压等级优化及改造的影响,需要有效的研究思路和可行的实施方法。

探讨我国中压配电网供电电压等级的优化及改造问题,应该从系统研究的视角将输配电系统作为一个整体来综合考虑,本书提出的中压配电电压等级优化及改造的研究框架,包括六个基本步骤:

- (1) 分析中压配电网优化及改造需要解决的主要问题;
- (2) 设定优化及改造的目标及备选方案;
- (3) 探讨我国10kV配电网升压改造的原则、策略和措施;
- (4) 建立优化及改造的评价方法和模型;

(5) 评估优化及改造的备选方案；

(6) 确定优化及改造的推荐方案。

研究框架的每个步骤都是研究过程的重要组成部分，任何一个环节分析不到位都有可能影响方案论证的科学性，最终影响到中压配电网优化及改造决策的科学性。

通过以上六个步骤的研究，一方面明确了 20kV 作为中压配电电压以及相应的输配电电压等级序列的技术和经济合理性；另一方面，也为 10kV 升压到 20kV 的改造工作提出了切实可行的实施技术路线。

本书所提出的我国中压配电电压等级优化及改造的主要观点和结论为：中压配电电压等级优化及改造不仅涉及输配电电压等级序列的优化，还涉及输配容量系列的优化；引入新中压配电电压等级的目的主要在于，既提高城网的供电能力又增加农网的供电距离；中压配电电压等级的优化及改造不仅要使得综合费用（包括初期投资费用、改造费用、运行维护费用、电能损耗费用和停电损失费用等）最小，还必须综合考虑高压配电电压、变电站容量、中压配电电压、中压馈线系统以及低压网络的相互影响；符合供电可靠性的基本要求；满足社会性、经济性和适应性的需求。

编著者在承担江苏省电力公司《中压配电网供电电压等级技术经济论证研究》项目的过程中，从理论上系统地探讨了中压配电电压等级优化及改造的问题，现在编著者将所提出的研究思路和所进行的研究工作进行系统地整理和深化，形成了本书的研究成果。江苏省电力公司的领导、工作人员对编著者的工作给予了大力的支持，与编著者进行了充分的讨论，中国电力科学研究院项目组的有关工作人员也作出了相应的贡献，蒋利民的主要贡献在于线损评估模型的研究、梁双的主要贡献在于可靠性评估模型的研究、张东南也为本书进行了一些文字的修改和润色，在此，编著者对江苏省电力公司的徐阿元、刘成民、杨晓梅、黄河等，南京市供电公司的姜宁、倪伟等，苏州市供电公司的马晓东、蒋永平，沈仲华等和中国电力科学研究院项目组工作人员侯义明、韦涛、汲亚飞、蒋利民和梁双等表示深深的谢意，对所有与编著者进行过合作、研究和讨论的人员对本书的支持、帮助表示诚挚的谢意！

编著者

2009 年 5 月



前言

1 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 我国电网电压等级序列的现状 & 前景分析	1
1.1.2 我国中压配电网升压改造的基本情况	2
1.1.3 采用高于 10kV 中压配电电压的优势	3
1.1.4 从提高企业业绩的角度把握升压改造的机会	4
1.2 中压配电电压等级优化及改造的必要性分析	5
1.3 中压配电电压等级优化及改造的基本思路	8
1.4 相关定义	10
2 中压配电电压等级优化及改造的总体框架	12
2.1 概述	12
2.2 分析问题	12
2.2.1 分析问题的基本思路	12
2.2.2 确定需要考虑的主要问题	13
2.3 设定目标和备选方案	14
2.3.1 设定总体目标的基本思路	14
2.3.2 备选方案及适用范围	14
2.4 设定升压改造的原则、策略和措施	15
2.4.1 设定升压改造原则的思路	16
2.4.2 设定升压改造策略的思路	16
2.4.3 设定升压改造措施的思路	17
2.5 建立评价方法和评估模型	18
2.5.1 评价方法	18
2.5.2 评估模型	19

2.6	评估备选方案	19
2.6.1	备选方案的评估思路	19
2.6.2	备选方案计算的各种费用	20
2.6.3	备选方案及相应计算方案的个数	20
2.6.4	客户侧采用新中压配电电压的评估思路	21
2.7	确定推荐方案	22
2.7.1	城市新建供电区的推荐方案	22
2.7.2	城市混合供电区的推荐方案	22
2.7.3	城市平稳过渡区的推荐方案	22
2.7.4	农村低密度区的推荐方案	22
2.7.5	客户侧的经济性评价结果	23
2.7.6	推荐方案汇总	24
2.8	小结	24
3	分析问题	25
3.1	概述	25
3.2	我国城乡配电网存在的主要问题	25
3.3	城乡中压配电网升压改造的需求	26
3.4	国内外电压等级序列配置和配电升压改造情况	27
3.4.1	世界主要国家和地区电压等级序列配置情况	27
3.4.2	我国电压等级序列配置情况	32
3.4.3	国内外电压等级序列调整的经验和问题	40
3.5	中压配电电压等级优化及改造需要考虑的主要问题	48
3.6	小结	52
4	设定目标及备选方案	53
4.1	概述	53
4.2	中压配电电压等级优化及改造的总体目标及约束条件	53
4.2.1	总目标	53
4.2.2	主要约束条件	53
4.3	影响中压配电电压等级优化及改造的主要因素	54
4.3.1	各主要因素的层次关系	54

4.3.2	各层次因素对中压配电电压优化及改造的制约关系·····	56
4.4	中压配电电压等级选择的判定原则·····	65
4.5	备选方案及适用范围·····	68
4.5.1	确定备选方案的思路·····	68
4.5.2	备选方案中的电压等级序列·····	70
4.5.3	影响备选方案的相关因素分析·····	73
4.6	小结·····	75
5	10kV 配电网升压改造的原则·····	76
5.1	概述·····	76
5.2	总体原则·····	76
5.3	分阶段升压改造原则·····	78
5.3.1	不同阶段的分类依据·····	78
5.3.2	分阶段改造原则·····	78
5.4	分区域升压改造原则·····	79
5.4.1	不同区域的分类依据·····	79
5.4.2	分区域改造原则·····	80
5.5	不同绝缘要求的设备利用原则·····	81
5.6	小结·····	83
6	10kV 配电网升压改造的策略·····	84
6.1	概述·····	84
6.2	供电侧升压改造策略·····	84
6.2.1	基于提升企业业绩的升压改造策略·····	84
6.2.2	基于政策方面的策略·····	85
6.2.3	基于时机类的升压改造策略·····	85
6.2.4	基于区域类的升压改造策略·····	89
6.2.5	基于设备类的升压改造策略·····	90
6.3	客户侧升压改造策略·····	91
6.3.1	基于政府推动的策略·····	91
6.3.2	基于宣贯 20kV 优势的策略·····	91
6.3.3	基于客户报装容量分布的策略·····	92

6.3.4 基于客户升压改造时机的策略	92
6.4 小结	93
7 10kV 配电网升压改造的技术措施	94
7.1 概述	94
7.2 供电侧的升压改造	94
7.2.1 改造时机的划分	94
7.2.2 改造区域的划分	94
7.2.3 上级电源点的建设与改造	94
7.2.4 不同供电区域的升压改造	96
7.3 客户侧的升压改造	99
7.3.1 升压改造时机	99
7.3.2 不同类型客户的升压改造	100
7.3.3 客户升压改造过程中需要注意的问题	100
7.4 10kV 配电网主要设备的升压改造	101
7.4.1 10kV 设备的升压利用问题	102
7.4.2 10kV 设备的升压改造措施	114
7.4.3 10kV 设备升压利用结果汇总	117
7.5 升压改造工程实施中的技术问题	117
7.5.1 中性点接地方式	117
7.5.2 防雷保护问题	118
7.5.3 继电保护问题	119
7.5.4 通道资源利用问题	120
7.5.5 10kV 与 20kV 的联络问题	121
7.6 小结	125
8 评价方法	126
8.1 概述	126
8.2 边界条件	126
8.2.1 技术方面	126
8.2.2 经济方面	127
8.3 评价指标	127

8.4	全寿命周期综合费用构成	129
8.5	评价流程	130
8.6	小结	133
9	评估模型	134
9.1	概述	134
9.2	网络规模估算模型	134
9.2.1	边界条件	134
9.2.2	输出数据	137
9.2.3	估算过程	137
9.3	电网损耗理论模型	144
9.3.1	单元件(线路、变压器)损耗计算公式	144
9.3.2	估算过程	145
9.4	可靠性评估模型	145
9.4.1	变电站可靠性评估	146
9.4.2	中压主干线可靠性评估	150
9.4.3	中压分支线可靠性评估	152
9.4.4	综合可靠性评估	154
9.5	综合费用估算模型	154
9.6	占地面积估算模型	156
9.7	小结	156
10	城市典型区域的备选方案评估	157
10.1	概述	157
10.2	基本计算条件	157
10.3	新建供电区	159
10.3.1	网络规模分析	159
10.3.2	功率损耗分析	166
10.3.3	可靠性分析	170
10.3.4	费用分析	172
10.3.5	占地面积分析	184
10.3.6	影响因素的灵敏度分析	185

10.4	混合供电区	195
10.4.1	基本思路	195
10.4.2	改造原则	196
10.4.3	经济性参数的配置原则	197
10.4.4	评价结果及分析	197
10.5	平稳过渡区	200
10.6	典型区域的综合评判	201
10.7	小结	203
11	农村低密度区的备选方案评估	205
11.1	概述	205
11.2	网络规模分析	205
11.2.1	边界条件	205
11.2.2	网络规模估算结果	207
11.2.3	网络规模的合理性分析	209
11.3	功率损耗分析	211
11.4	投资费用分析	213
11.4.1	静态投资	213
11.4.2	电能损耗	213
11.5	小结	214
12	客户侧采用新中压配电电压的经济性评估	215
12.1	概述	215
12.2	客户的分类原则	215
12.3	客户侧的经济性评估	215
12.3.1	20kV 与 35kV 供电经济性比较	216
12.3.2	新增客户	217
12.3.3	原有客户	219
12.4	客户的供电政策和措施	221
12.4.1	法国	221
12.4.2	英国	222
12.4.3	启示	223

12.5 小结	224
13 实际案例分析	225
13.1 概述	225
13.2 国内新区 A 20kV 电网规划	225
13.2.1 负荷和设备规范	225
13.2.2 主电源配置选择	226
13.2.3 20kV 线路布线规划	229
13.2.4 静态投资估算	233
13.2.5 经济性分析	236
13.3 国内新区 B 采用 20kV 与 10kV 供电方案的比较	237
13.3.1 负荷概况和设备规范	237
13.3.2 3 种方案的电网规模估算	238
13.3.3 3 种方案的经济性评估	241
13.4 国外城市输配电示例系统	245
13.4.1 示例系统简介	245
13.4.2 示例系统的费用	248
13.4.3 规划设计中的灵敏度分析	250
13.5 国外农村配电示例系统	251
13.5.1 高压配电系统和变电站	253
13.5.2 馈线系统的设计	253
13.5.3 导线类型与供电距离	254
13.5.4 费用和可靠性	255
13.5.5 规划设计的敏感性分析	257
13.5.6 总体评价	258
13.6 小结	259
14 结论和建议	260
14.1 基本结论	260
14.2 推荐方案	260
14.2.1 500/220/110/20/0.4kV 电压序列	261
14.2.2 500/220/20/0.4kV 电压序列	262

14.3 基本建议.....	263
14.3.1 技术方面	263
14.3.2 政策方面	264
附录 基本参数.....	265
附表1 输变电设备综合造价表	265
附表2 变压器的参数	268
附表3 线路的参数	269
附表4 元件故障率数据	270
附表5 电网运行数据	271
附表6 单位设备的占地面积	271
附表7 线路走廊和电缆沟道宽度	273
附表8 备选方案占地面积汇总	273
附表9 备选方案中压线长和配变容量(架空方式)汇总	273
附表10 典型年负荷曲线分析数据	274
参考文献.....	277



绪 论

1.1 研究背景

1.1.1 我国电网电压等级序列的现状与前景分析

我国的城乡配电网经过多年的规划与改造，目前正处于历史最好的发展时期。随着我国社会经济的快速发展，以及城市化进程的加快，配电网的建设规模也在不断扩大，但城市配电网供电能力不足与空间资源紧张的现象也日益严重，成为制约配电网发展的主要因素。现有的供电模式在某些地区也已经不能适应社会环境对配电网建设的要求。因此，新的供电模式就被提到了议事日程之上，这主要包括新的电压等级序列、新的容量系列、新的网络结构、新设备和新技术的应用等。

我国部分地区的电压等级序列情况如下：

(1) 西北地区城市电网的主要电压等级序列为 330(220)/110/10/0.4kV，四级降压；部分农网的主要电压等级序列为 330(220)/110/35/10/0.4kV，五级降压。

(2) 东北地区电网的主要电压等级序列为 500/220/66(110)/10/0.4kV，五级降压。

(3) 华北、华中和华东地区城市电网的主要电压等级序列为 500/220/110(35)/10/0.4kV，五级降压。其中，大部分城市电网的电压等级序列配置为 500/220/110/10/0.4kV，少部分城市的电压等级序列为 500/220/35/10/0.4kV。

(4) 苏州供电公司在新加坡工业园区采用 20kV 作为中压配电电压，电压等级序列为 500/220/110/20/0.4kV。

我国的电压等级序列今后将如何发展，需要借鉴国内外电压等级序列和城市电网升压改造的经验，需要考虑我国配电网采用新的中压配电电压和电压等级序列的合理性和经济性。

根据国资委确定的中央企业节能减排工作目标，到“十一五”期末，

中央企业要确保实现单位增加值能耗降低 20%，主要污染物排放总量减少 10%，这是建设资源节约型、环境友好型和谐社会的重大举措。为适应国家节能减排的战略要求，提升配电网的供电能力和适应性，需降低配电网损耗和供电成本，并减少电力设施占地资源。节能减排、降低损耗是电网运营企业需要长期考虑的战略发展需求，也是供电企业降低供电成本、提高供电能力的原动力。

1.1.2 我国中压配电网升压改造的基本情况

20 世纪 70 年代，我国完成了将众多、繁杂的中压配电电压（2.3、3.3、5.2、6、13.2kV 等）统一为 10kV 的工作。我国中压配电网 10kV 电压等级的确定、采用及推广，在电网发展的过程中起到了促进作用。与西方发达国家中压配电电压主要为 20kV 相比，我国除极少数大客户采用 35/0.4kV 的大容量配电变压器外，20kV 中压配电电压的应用尚处于起步阶段。目前，仅在少数地区有应用实例，如 1996 年 3 月投入运行的苏州工业园配电网是我国最早采用 20kV 电压等级供电的区域配电网，经过多年运行已积累了比较丰富的运行经验；2003 年辽宁本溪南芬地区因矿产工业的快速发展，负荷增长较快，经过技术经济比较后，将该地区的部分 66/10kV 系统改造成了 66/20kV 系统，有效提高了电网的供电能力和供电可靠性；从 2007 年开始，江苏省电力公司经过认真思考、详细论证、缜密计划、试验先行，率先在全省 13 个地级市范围内开展了 20kV 供电电压的推广应用工作，目前工作进展顺利并已初步显现成效，有望在 10~20 年内完成全省的 10kV 到 20kV 的升压改造工作。

为解决我国城市中心区及高负荷密度地区供电能力不足、农村低负荷密度地区压降过大的问题，提高中压配电网的电压等级将是最有效的技术措施。由于过去没有很好地研究中压配电网电压等级的合理选择问题，以致当前中压配电电压等级的优化与改造已变得较为困难。我们一方面需要明确 20kV 作为中压配电电压的输配电电压等级序列的技术和经济合理性；另一方面，也要考虑 10kV 升压改造到 20kV 的技术可行性等一系列问题。

大多数国家所采用的输配电电压等级，取决于历史的决策和当时的技术水平，并受当时资金条件的限制，各国都很难有机会建立一个经过充分科学论证的“最佳电压等级序列”的全新电网。相比之下，中国幅员辽阔，

电力系统尚处于发展阶段,因此我国应还有更多的机会将电网朝较为优化的方向改造。

1.1.3 采用高于 10kV 中压配电电压的优势

10~20kV 架空线的材料与建设费用只比相同长度的 0.4kV 线路的费用稍高一些,且大约仅为 110kV 线路的 1/10。这个巨大的费用差异证明,超高压/高压电网与低压配电网之间,加入 10kV 或 20kV 中压配电网是经济的,即使考虑到 HV/MV 变电站的费用,也可以得到同样的结论。而 35kV 线路的建设费用已达到 110kV 线路的 1/5~1/3,和 20kV 相比,虽然供电能力有所提高,但在相当的负荷密度范围内经济上不具有优势。

对大型工业客户、大型建筑物和办公区的供电,中压配电网能提供非常合适的电压等级。在某些情况下,大型的电动机和发电机也可以连接到供电企业的中压供电系统上。大型的综合工业客户,也常常有他们自己的中压配电网以及必要的中压/低压配电站。

为了提供满足要求的配电电压,中压配电网的电源点应该尽可能靠近各个负荷点,这样就加长了中压线路的长度。特别是在农村地区,中压线路的总长度甚至有可能超过与之相连的低压线路的长度。中压配电网一旦建成,一般只需偶尔改动,而且主要的改动是建设通向新配变站的短分支线路或者对个别设备进行扩容。

我国的中压配电电压绝大部分采用 10kV,要对现有中压配电网进行升压改造,无论是在负荷密度较高的城区,还是在负荷密度较低的农村,采用较高的中压配电电压都会更为经济。在配电网中采用高于 10kV 的中压配电电压的潜在优势主要有:

(1) 相同截面的线路传输的容量更大(或者可以说是传输相同的容量所需的线路数量更少)。

(2) 对相同的负荷水平来说,电压偏移和损耗都更小。

(3) 短路容量大,在分布式发电接入和干扰、谐波等污染负荷接入时承受能力更强。

由于城市中心区向 10kV 配电网接入额外负荷的能力经常受到限制,较高电压等级的配电网在城市中心区优势更为明显。10kV 配电网在给较高负荷供电时的供电能力总是显得不足,而从设计、建设者的角度来看,为变电站出线获得更多条线路走廊的可能性并控制相应的成本是城市电网

建设的主要考虑因素。

与此同时，中压配电电压也不宜选得过高。过高的中压配电电压势必将大大增加设备的造价，并且由于绝缘和环保的要求，所占用的空间资源也将大幅增加，这些都是得不偿失的。因此，中压配电电压的升压改造，不能不计成本，而是更需要进行细致的经济可行性分析。此外，中压配电网升压改造还需要考虑电压适应性、城市空间资源、升压改造的过渡期、现有存量设备的利用、供电安全水平、用电结构的变化、社会效益和供电价格体系等一系列问题。

目前国际上大部分发达国家普遍选择 20kV 电压等级作为中压配电电压，实践证明 20kV 电压等级在技术和经济两方面都具有比较优势。

1.1.4 从提高企业业绩的角度把握升压改造的机会

为了把握升压改造的机会，供电企业应该从提高企业业绩的角度考虑配电设备的重要性，这是一种创新性思维。现代电力企业的重要性分为客户、设备、企业业绩这三者，三者考虑权重比例合计为 100%。国际上典型电力企业在过去（1975 年）、现在（ ≈ 2004 年）和将来（ ≈ 2025 年）的发展过程中，现代电力企业对客户的重视程度始终不变，在客户、设备、企业业绩这三者的考虑权重中，电力企业对于客户的重视程度始终维持在 40% 的程度上，而对设备的重要性普遍呈 30%、20%、10% 的逐步下降趋势，同时对企业业绩的受重视程度则呈 30%、40%、50% 的上升趋势。

在电力行业以往的证据表明，设备的用法、用途和维护质量都对设备的寿命有着重大影响，但是怎样使设备达到最佳状况还需进一步的探讨，传统的看法始终认为设备至上，但这种观点在电网运营企业的不断发展中将逐渐淡化，因为设备是为客户和提升企业业绩服务的。

资产管理理论明确承认：企业设备的存在是为了服务于它的客户；在企业设备如何使用和维护的决策上，从企业是否应该拥有它，到它在事故时如何“越限使用”，以及对它如何维护，都基于完成企业使命的业绩和利润率的需要。设备本身并非不重要，但它的作用要完全服从客户和企业业绩的需要。

因此，尽管我国部分配网设备还未到设备寿命周期的末期，但是从企业的整体业绩角度出发，仍有进行更新或改造的可能。我国的电网运营企