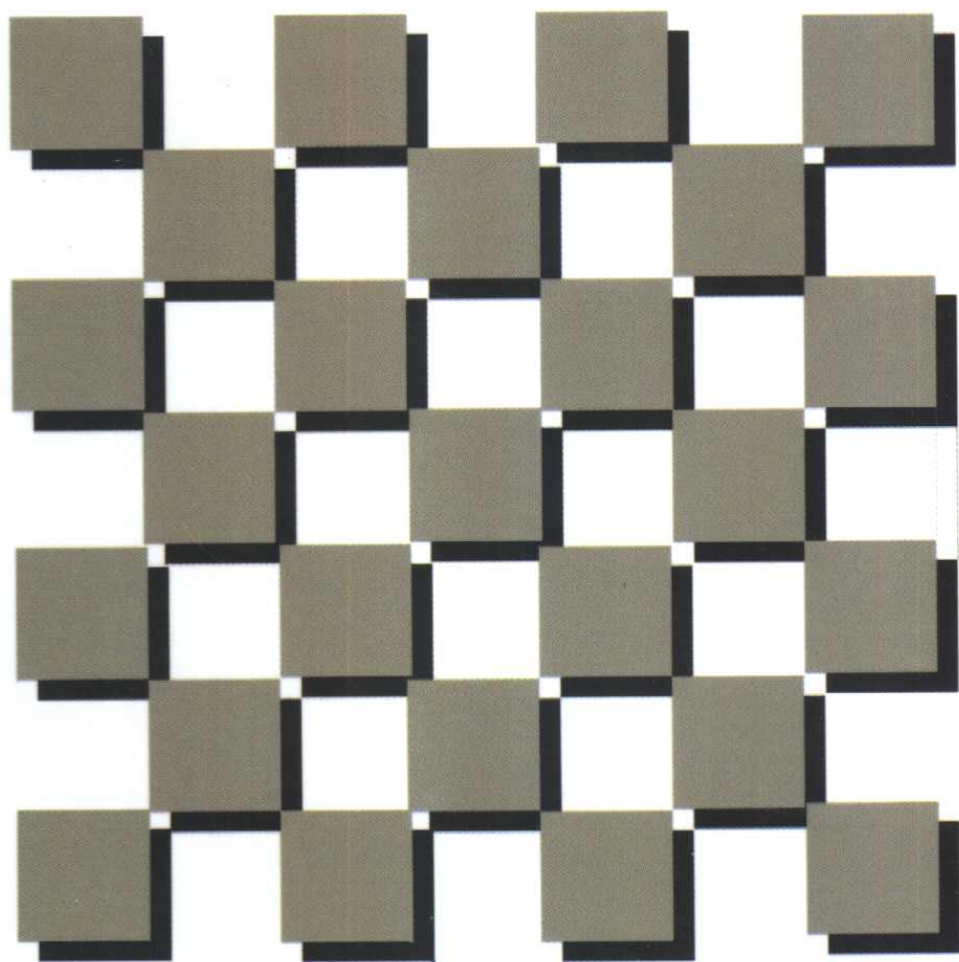


江日洪 主编

# 配网设备的 特性与选型



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

245

51727  
740

# 配网设备的 特性与选型

---

江日洪 主编



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

---

# 前言



随着我国社会主义现代化建设的发展，近 10 多年来，我国城网和农网不断改造与建设，输变电设备得到了更新。为了把电力输送到负荷中心，减少线路走廊用地和满足城区规划的要求，采用了架空绝缘线和电缆化的配电网、环网开关、SF<sub>6</sub> 断路器和全封闭组合电器（简称 GIS）等，配网新型设备的使用量越来越大。此外，对于进入市区负荷中心的变电站，由于地价、防火和协调环境等要求，GIS 取代了敞开式变电站（AIS），在 110kV 和 220kV 电网中占有越来越重要的地位。在两网改造与建设中，高压设备选型问题和电网安全可靠运行有着密切的联系。例如，在电缆方面选用油纸绝缘电缆（含自容式充油电缆）或交联聚乙烯绝缘电缆；在高压断路器方面选用少油断路器或真空断路器和 SF<sub>6</sub> 断路器；10kV 线路重合器和环网开关柜及全封闭组合电器（GIS）是选用国产或进口的；110kV GIS 选用分相式或共相式；避雷器和绝缘子选型、配电变压器选型等都存在技术和经济性比较的问题，需要认真研究

和探讨。

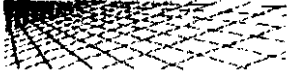
本书结合我国两网改造与建设的基本要求和近期的工作目标,较全面地阐述架空绝缘线、XLPE 绝缘电缆、新型断路器、环网开关柜和 GIS、氧化锌避雷器和合成绝缘子、非晶合金变压器及静止补偿装置等高压设备的工作原理、结构特点、设计选型等方面的知识,力图把基础理论和实践有机融为一体,介绍给读者,以便在两网改造与建设中的高压设备选型方面获得一些参考价值。

在本书编写过程中,大连电业局张兵工程师提供了许多资料,并编写了第 6 章配网改造和高压断路器选型及第 11 章配电变压器的选型及箱式变电所。全书由湖北省电力公司程建翼高级工程师负责审阅,提出了很多宝贵的意见。原武汉水利电力大学管理系浦惠霖教授和电力系蒋德福教授也对书稿提出了不少有益的建议,在此一并表示诚挚感谢。由于水平有限,书中如有不当之处,恳请读者批评指正。

**编 者**

2001 年 6 月

# 目录



## 前言

<b>第1章 绪论</b> .....	1
1.1 城网改造与建设的基本要求 .....	1
1.2 城网改造与建设的重点 .....	2
1.3 城网改造与建设中的设备选型 .....	3
1.4 输变电设备市场供需状态分析 .....	3
1.5 农网改造和农村电气化事业发展方针 .....	7
<b>第2章 交联聚乙烯 (XLPE) 绝缘电缆概述</b> .....	12
2.1 XLPE 绝缘电缆的发展 .....	12
2.2 XLPE 绝缘电缆的结构与材料 .....	14
2.3 XLPE 绝缘电缆的半导电层和金属屏蔽层 .....	29
2.4 XLPE 绝缘电缆的附件 .....	37
2.5 XLPE 绝缘电缆与高压充油电缆的比较 .....	39
<b>第3章 XLPE 绝缘电缆选用和载流量的计算</b> .....	46
3.1 城网变压器中性点接地方式 .....	46
3.2 电缆额定电压 $U_0/U$ 的制定标准与选用 .....	48
3.3 电缆导体截面选择 .....	50
3.4 电缆载流量的计算 .....	55
3.5 管道内填充介质提高电缆的载流量 .....	60

<b>第4章</b>	<b><i>XLPE 绝缘电缆的电气试验和绝缘监测</i></b> .....	64
4.1	XLPE 绝缘电缆的电气试验 .....	64
4.2	0.1Hz 超低频测试法 .....	74
4.3	0.1Hz 电缆试验设备简介 .....	76
4.4	XLPE 电缆的绝缘监测和防止水树引发故障的对策 .....	80
4.5	电缆线路故障定位 .....	84
<b>第5章</b>	<b><i>配电网的架空绝缘线</i></b> .....	98
5.1	架空绝缘线的发展及应用 .....	98
5.2	架空绝缘线的种类和结构性能 .....	101
5.3	架空绝缘线的敷设金具及附件 .....	105
5.4	敷设架空绝缘线与架空裸线经济比较 .....	107
<b>第6章</b>	<b><i>配网改造和高压断路器选型</i></b> .....	110
6.1	我国配网现状和高压断路器开发 .....	110
6.2	SF <sub>6</sub> 气体的性能 .....	111
6.3	SF <sub>6</sub> 断路器的选型 .....	126
6.4	真空断路器的选型 .....	132
6.5	10kV 环网开关柜的选型 .....	144
6.6	实现配网线路自动投切的重合器 .....	153
<b>第7章</b>	<b><i>SF<sub>6</sub> 全封闭组合电器</i></b> .....	159
7.1	SF <sub>6</sub> 全封闭组合电器的特点 .....	159
7.2	SF <sub>6</sub> 全封闭组合电器中各元件结构 .....	162
7.3	SF <sub>6</sub> 全封闭组合电器的外壳保护 .....	166
7.4	SF <sub>6</sub> 全封闭组合电器外壳的接地方式 .....	173
<b>第8章</b>	<b><i>GIS 的设计选型与绝缘配合</i></b> .....	181
8.1	GIS 设计中的几个问题 .....	181

8.2	GIS分相式与共相式的选型 .....	185
8.3	电缆—GIS系统雷电侵入波过电压及保护 .....	189
8.4	GIS—G切合空母线产生的快速暂态过电压 .....	207
8.5	选用GIS在线监测,努力向状态检修方向发展 .....	212
<b>第9章</b>	<b>避雷器的选型 .....</b>	<b>215</b>
9.1	110kV变压器中性点氧化锌避雷器的选型 .....	215
9.2	10kV配电网氧化锌避雷器的选型 .....	218
9.3	金属氧化锌避雷器(MOA)的特性参数及其选择 .....	221
9.4	MOA若干应用问题的讨论 .....	234
<b>第10章</b>	<b>无功补偿装置选型及接线方式选择 .....</b>	<b>243</b>
10.1	并联无功补偿装置的设计要求及选型 .....	243
10.2	高压并联电容器接线方式的选择 .....	248
10.3	配电网用的静止无功补偿装置 .....	255
10.4	干式铁芯电抗器在配网中的应用 .....	269
<b>第11章</b>	<b>配电变压器的选型及箱式变电所 .....</b>	<b>272</b>
11.1	农网改造中配电变压器的选型 .....	272
11.2	非晶合金变压器的发展与特性 .....	275
11.3	合理选择配电变压器的容量 .....	280
11.4	箱式变电所 .....	291
<b>第12章</b>	<b>高压架空输电线路的绝缘子选型 .....</b>	<b>298</b>
12.1	绝缘子的运行性能及分析 .....	298
12.2	复合绝缘子运行性能存在问题及改进建议 .....	307
12.3	推广使用钢化玻璃绝缘子 .....	322
<b>附录A</b>	<b>某供电局110kV XLPE绝缘电缆 现场试验结果分析 .....</b>	<b>326</b>
<b>附录B</b>	<b>SF<sub>6</sub>气体压力与含水量单位换算表 .....</b>	<b>333</b>

附录 C 金属氧化物避雷器参数 .....	335
附录 D 复合绝缘子参数 .....	343
参考文献 .....	345

---



## 绪 论

---

### 1.1 城网改造与建设的基本要求

城市电力网是城市重要的基础设施，是现代化不可缺少的能源供应系统。为适应城市现代化建设与发展的需要，不断满足国民经济增长和人民生活质量提高对电力的需求，当前需要加快现有城网的改造与建设。

城网的改造与建设要“坚持服务于城市、服务于人民、服务于发展的方针，不断提高城市电力网稳定供电的能力；坚持以市场为导向，不断提高城市用电增长需求；坚持科学技术进步方向，不断提高城市电力网现代化管理水平；坚持以效益为中心，努力控制工程造价，充分发挥投资效益”。

城网改造建设的规模与目标，首先计划在 1998 ~ 2000 年用三年多一些的时间，投入 1200 亿元人民币进行 280 多个城市电网的改造与建设，年平均投入约 400 亿元。这个投入规模大约是常规年份的 3 ~ 4 倍，这个计划的直接目标是：

(1) 提高城网整体供电能力，根除供电“卡脖子”现象。

(2) 提高城网安全运行水平，增强抗御自然灾害和事故

的能力。城市供电可靠率达到 99.9%；大中城市中心区供电可靠率达到 99.99%。

(3) 提高电能质量，降低线损。城市电网电压合格率达到 98%，线损率降低 10%。

(4) 注意环境保护。市区变电、配电设施的建设应与环境相协调，电磁环境应符合标准。

## 1.2 城网改造与建设的重点

城网改造与建设应确保电力送得出，供得出，用得长。城网改造与建设的重点是城市中心 220kV 终端变电所、110kV 及以下配电网，并同步改善居民住宅配电设施。直辖市、省会及经济发达城市的中心区和新开发区应结合城市规划要求，积极推进由电缆线路或架空绝缘线路供电。

在城市电网改造与建设的同时，要大力推进城市市民住宅户内配线的改造与建设工作。新建住宅户内配线供电能力应能满足 40 ~ 50 年内居民用电增长的需要。一般城市住宅户内配线截面按建筑面积不低于  $40\text{W}/\text{m}^2$  负荷密度选择；经济发达城市按  $60 \sim 80\text{W}/\text{m}^2$  选择。现有居民住宅户内配线原则也应按上述标准进行改造，并实现一户一表。<sup>[10]</sup>

为了实施上述目标，必须认真做好城市电力网改造与建设规划及可行性的研究。城网改造与建设规划应按照《城市电网规划设计导则》等规定，定期编制、修订，以符合城市发展总体规划和省大区电网规划要求，并具有较强的可操作性、适应性和指导性。此外，还应根据城市发展规划、市政建设实际情况以及城市经济发展需求变化，及时进行编制，实行动态管理。电力需求总量和分区负荷预测应按多种方法

进行测算，尽可能做到准确可靠。

城市电力网改造与建设项目可行性研究应包括项目提出、改造与建设的必要性、发展思路、改造与建设目标及主要技术原则、改造与建设规模和进度安排、投资估算与资金来源、经济评价与电价测算、项目管理等内容。要在基础资料完备、数据可靠的前提下，进行多目标约束下的优化比较和敏感性分析，使网络结构、站址布点、线段供电半径、变电容载比、供电能力、无功配置等方面达到优化。效益评估力求量化，社会和环境效益分析可定性定量相结合。

城网供、配电压等级应根据城市发展远景和实际情况以及简化电压等级的原则论证确定。城市电网一般不宜超过四个电压等级，非标准系列电压等级应逐步取消。

### 1.3 城网改造与建设中的设备选型

城网的设备选型要坚持技术进步、安全可靠和节能原则，力求减少占地面积，降低工程造价。设备的选择要注意小型化、无油化、自动化、免维护或少维护。积极推广节能型输变电设备和器材，淘汰高耗能类的输变电设备。

为了提高城市电力网安全可靠和经济运行水平，同时还必须重视调度通信、继电保护、配电设备、负荷管理、用电营业等方面自动化的规划建设，进一步提高自动化水平，并积极推广变电所无人值班。

### 1.4 输变电设备市场供需状态分析

国家电力公司在“关于加快城市电力建设改造的若干意

见”中对城市电网建设改造工程中设备采用的原则已提出了明确的方向。根据这些意见，估计近二、三年输变电设备市场的需求朝以下趋势发展：

(1) 220kV、110kV 全封闭组合电器的需求量将有相当的增加。全封闭组合电器是采用 SF<sub>6</sub> 气体作灭弧和绝缘介质的无油化设备，它具有占地面积小、运行安全、可靠、配置灵活、环境适应性好、维修工作量少及安装方便等优点。因此，城网改造和建设中，城区变电所将优先选用全封闭组合电器。

(2) 高压断路器中，SF<sub>6</sub> 断路器将进一步扩大其在 110kV、220kV 电压等级中的比重。SF<sub>6</sub> 断路器中罐式 SF<sub>6</sub> 断路器将比瓷柱式 SF<sub>6</sub> 断路器有较大的市场前景，因其重心低，结构稳固，外绝缘部位小，因而更适用于多地震地区以及高原和污染地区，这与我国近期的地理条件和环境条件比较吻合，设计、使用单位必然会考虑这些环境因素。110kV、220kV 的少油断路器因其价格低廉，运行部门又有长期的运行经验，在某些地区仍会作为选购配置的对象，但从总量上看，其所占比重将有所下降。

(3) 中压断路器中符合无油化设备要求的有 SF<sub>6</sub> 断路器和真空断路器。真空断路器在我国近几年的发展十分迅速，不但总产量年年上升，而且品种规格也十分丰富。中压 SF<sub>6</sub> 断路器的年需量会有少量的增长。而少油断路器和多油断路器也因售价便宜和运行操作人员已有这种产品的运行经验仍会有需要，预计少油断路器可能会有微量增长，而多油断路器则不会有增长的势头。柱上真空断路器和柱上 SF<sub>6</sub> 断路器以及线路重合器因替代老式柱上油断路器而将有较大的增

长。

(4) 高压金属封闭开关设备的年需量将有较大增长，品种转向较新的系列。为了实现城市环网供电，环网柜将有较好的市场机遇。

(5) 箱式变电站具有成套性强、体积小、占地少、选址灵活、对环境适应性强、安装使用方便、运行安全可靠和投资少、施工期短等一系列优点。这种紧凑式配电设备符合小型化的选用原则，近几年来已经发展得比较迅速。在品种方面除国内自行设计的规格品种外，还有美式、欧式等型号可供选用，预计在城网建设改造工程中，需要量将有较大的增加。

(6) 变压器产品在城网建设改造中不论是电力变压器和配电变压器都有良好的市场机遇。在配电变压器方面，变压器行业已推出新的 S9 系列产品，逐步淘汰了 S7 系列产品。因为 S9 系列变压器空载损耗比 S7、SL7 系列平均降低 11%，负载损耗平均低 28%，且 S9 产品抗短路能力比 S7、SL7 有所提高。

此外，在配电变压器中，非晶合金铁芯变压器更具有降耗节能效果，其空载损耗比同容量冷轧硅钢片铁芯变压器降低 60% ~ 80%，虽然它较同容量硅钢片铁芯变压器售价要高，但每年节电所取得效益只需几年就将多出部分的费用补偿回来了，而且运行噪声也低。目前国内已有一些厂家可以批量供应该产品。

(7) 为了提高电网无功补偿效果，这两年电力电容器的市场需求也同样看好。国内很多城市配电网无功补偿不足，全国大约缺少容性无功为 6000 万 kvar，所以城网改造建设中，增加无功补偿不会低于 3000 万 kvar，故并联电容器比

正常年份的需要量增加 50% 左右。

(8) 电线、架空绝缘线和电缆的需求方面，由于线路的更新改造和新建，电线电缆产品的需求相应有较大幅度的增加，大截面钢芯铝绞线和大截面架空绝缘线是城网改造中大量需要的品种。城网改造中部分中心地区采用电缆埋设，主要推荐选用 110kV 交联聚乙烯电力电缆，估测需要 2000km 左右；6~35kV 中压交联聚乙烯电力电缆需求估测为 8km~10 万 km 左右。

(9) 线路绝缘子需求方面，近几年来需求量很大，其品种已由过去单一的电瓷产品发展到玻璃绝缘子和有机合成绝缘子等三大类产品，并正在逐步形成三足鼎立的局面。

玻璃绝缘子和瓷绝缘子都是硅酸盐材料制成的，但由于玻璃绝缘子质地均匀，电气性能优于电瓷，已日益为运行部门所接受。玻璃绝缘子的击穿强度是瓷绝缘子的 3.4~4.3 倍。而且具有绝缘劣化后自我淘汰的功能——零值自破，因而无需定期进行不良绝缘子检测，可节约大量维护工作量。此外，玻璃绝缘子的介电系数是瓷绝缘子的 1.2~1.6 倍，它具有较大的主电容。当成串使用时，电压分布较均匀，对防止无线电干扰，降低电量损耗和延长绝缘子使用寿命均有利。玻璃绝缘子耐电弧烧伤能力也优于瓷绝缘子。基于上述优点，选用玻璃绝缘子也是一种趋势。

有机复合绝缘子的优点是机械强度高，表面具有憎水性能、潮气不能粘附，表面积污层保持干燥，因而潮湿条件下耐污秽闪络性能优良，不会自破。有机复合绝缘子自重轻，为同等性能规格的瓷绝缘子质量的 1/10~1/5，因而有助于减轻杆塔结构，减少线路走廊，降低线路架设和维修成本。由于减少了污秽的跳闸事故，线路运行的可靠性明显提高。

这些年来，有机复合线路绝缘子各地都已部分试用，积累了运行经验，也是优选的产品。

由于我国空气污染程度日益加重，耐污秽的瓷绝缘子仍会有较大的市场。

以上对几种主要高压设备市场走向的分析，可供城网改造工程中参考。本书以下各章，将对交联聚乙烯（XLPE）电缆、架空绝缘线，各种新型断路器和全封闭组合电器等的结构特点、工作原理和选型原则及选用方法作重点介绍。

## 1.5 农网改造和农村电气化事业发展方针

### 1.5.1 正确指导农电体制改革，把降低农村电价作为“两改一同价”的工作目标

回顾全国电力工业的发展历史，电力工业在取得很大成绩的同时，也确实存在着“重发、轻供、不管用”的问题，农电更是得不到应有的重视。长期以来，中央只投资 35kV 以上的输变电设备，农村用电只能靠地方政府和广大农民自己集资建设，农电的管理体制又不断地上收下划，就逐渐形成了我国农电管理的三种体制：直管县、趸售县和自发自管县，全国 2400 个县，大体上各占 1/3。在我国南方一些省区，有着丰富的水电资源，当地政府带领广大农民群众，发扬自力更生、艰苦奋斗精神，修建了大量农村水电站，通过自己的努力，来解决广大农村的用电问题。因此，自发自管县主要集中在南方水电资源丰富的省份，“自发”就是指主要靠农村水电站自己发电。

当前在国务院领导下进行的农电“两改一同价”工作，其根本目的是降低农村电价，减轻农民负担，发展农村经

济。因此，“两改一同价”中的改革农电管理体制工作是围绕解决当前农村电价过高问题来展开的，绝不是农电管理体制改革的全部。这次“两改一同价”中的农电改革重点是两条：①将乡（镇）电管站上收为县供电公司的派出机构；②由省电力公司对趸售县供电公司实行代管。

改革就是要调整和变革不适应生产力发展的那部分生产关系，达到发展和解放生产力的目的，因此，改革是为了发展生产力。中国这么大，各地的情况不同，改革要实事求是，因地制宜。农电管理体制改革涉及各种利益的调整，问题比较复杂，地方政府比较了解情况，改革的成效和风险客观上也要由地方政府来承担。我们完全有理由相信，地方政府是一定会根据本地情况作出最优选择的，水利部将尊重地方政府的意见。

当前，各地对自发自管县被代管反应十分强烈，要求自发自管县能按照电力体制改革的方向，完善独立供电公司体制，强烈要求全面贯彻国发〔1999〕12号文件精神，落实自发自管县的农网改造资金。目前，自发自管县农网改造大体有三种情况：一种是明确地方水利部门组织实施“两改一同价”工作，网改已全面展开；一种是虽确定实行“一省一贷”，但许多自发自管县不同意代管，地方拿不到农网改造资金，网改尚未开展；一种是已明确对自发自管县全部实行代管，但从总的情况看，因矛盾较大，网改进展缓慢。面对这种情况，有关省政府应根据国发〔1999〕2号文件规定“对自发自管县的农网改造投资视具体情况确定贷款方式”的精神，尽快与国家计委、农业银行协商，按县分别确定贷款方式，如“一省两贷”、“县供电公司直接贷款”等，抓紧农网改造工程的实施。



### 1.5.2 市场是水电发展的决定性因素，降低电价是当前农电建设的工作重点

随着社会经济的高速发展和改革的深入进行，客观形势对我们的工作会不断提出新的要求。我们要不断地调整工作方针和工作重点，以适应形势发展的需要。

众所周知，降低电价是当前农电建设的工作重点。这主要是由于以下原因：

(1) 电力“买方市场”要求优先建设发电成本低的电站。新中国成立以后的很长一段时间里，电力供求属于“卖方市场”，电力短缺严重制约了国民经济的发展，那时，电力建设的工作重点是寻求资金，建设项目能否立项开工主要看资金是否落实，可以说，“卖方市场”时的电力建设属“投资驱动型”，投资是电力发展的决定性因素。而在“买方市场”条件下，情况发生了很大变化，电力建设首先要看市场是否需要，建设项目立项首先要分析市场，电价高低是市场分析的最主要因素，市场需求度是电力发展的决定性因素，电力建设成为“市场驱动型”。

(2) “厂网分开、竞价上网”体制决定了发电成本低的电站才真正具有市场竞争力。电力市场的建立，为每个独立电厂带来了公平竞争的机会，同时也给每个独立电厂带来了巨大的市场压力。以电价高低来决定上网顺序，这就迫使电厂把降低发电成本作为企业管理的第一目标。

(3) “两改一同价”工作要求降低农村电价，电价水平将是检验管理体制变革成功还是失败的客观标准。我们现在讨论对自发自管县代管还是不代管的问题，关键还在于农村电价能不能降下来。如果自发自管县的电价比省电力公司系