

国家电网公司农电工作部 编

农村电网规划

培训教材

>>>>>>>>



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

国家电网公司农电工作部 编

农村电网规划

培训教材

>>>>>>>>



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书根据农网规划工作开展情况,充分吸收近年来农网建设、生产和运行管理的有关经验,在对农网有关特点、经济技术指标进行简要介绍的基础上,系统阐述了开展农网规划工作的指导思想、一般步骤和主要方法,有利于广大农电工作者掌握开展农网规划的基本方法,提高规划的科学性、合理性和可行性,推动农网的持续、健康发展。

本书可供从事农网规划建设工作的专业人员,特别是广大县供电企业的生产技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

农村电网规划培训教材/国家电网公司农电工作部编.
北京:中国电力出版社,2006

ISBN 7 5083-3391-8

I. 农... II. 国... III. 农村配电-电力系统规划-技术培训-教材 IV. TM727.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 050761 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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 7 月第一版 2006 年 7 月北京第一次印刷
850 毫米×1168 毫米 32 开本 4.875 印张 104 千字
印数 0001-3000 册 定价 12.00 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)

《农村电网规划培训教材》

编 委 会

主 任	孙 刚				
副 主 任	张莲瑛				
编 委	刘福义	龚 冰	郝 睿	陈俊章	
	李树国				
主 编	张莲瑛				
副 主 编	刘福义	李树国	郭喜庆		
编写人员	郭喜庆	韩 丰	屈瑞谦	汤红卫	
	许跃进	王德华	祁碧茹	阎秀文	
	刘海波				

前言

党的十六大确立了我国全面建设小康社会的发展目标，并指出全面繁荣农村经济，加快城镇化进程，统筹城乡经济社会发展，建设现代农业，是我国发展经济、实现小康社会的重大任务。我国是农业大国，农村人口占全国总人口的70%左右，因此中国社会的全面发展关键是农村社会的全面建设。

十六届五中全会通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展的第十一个五年规划的建议》，提出建设社会主义新农村的战略目标，将大力发展包括农村电网在内的农村公共事业，给农电发展带来了新的机遇，也提出了更高要求。农村电网的建设和发展对于农村全面建设小康社会意义重大。随着农电“两改一同价”工作的实施，供电企业所面临的建设和管理任务更加繁重，农村电网目前总体上结构还比较薄弱，整体技术、装备水平与城市、国际水平相比还有较大差距，还不能满足农村地区用电快速增长的需要。因此，继续完善农村电网、加强农村电力建设、改革农电管理体制、规范农村电力市场，将是一项长期的任务。搞好农网可持续建设和发展需要做的工作很多，其中很重要的一项任务就是及时科学地制定农网发展规划。运用科学、合理、适用的农村电网规划指导农村电网建设与改造，使农村电网能够满足并适度超前于农村经济发展和农村供用电需求的增长。

为全面推动和认真做好农村电网规划工作，提高规划的科学性、适用性和可行性，针对目前农村电网规划工作开展

现状，我们编写了《农村电网规划培训教材》，介绍了农村电网规划的基本指导思想、原则、内容和基本要求，并对规划所涉及的负荷预测、农村电网网架规划方法、投资效益分析方法、投融资规划方法进行了详细说明。本书的服务对象是各级从事农网规划建设工作的专业人员，特别是广大县供电企业的生产技术人员。

本书在编写过程中，得到了中国农业大学、国家电网公司动力经济研究中心等单位及有关专家的大力支持，在此深表谢意。

由于编写时间仓促，书中难免有疏漏和不当之处，欢迎广大读者批评指正。

国家电网公司农电工作部

2006年3月

目录

前言

第一章 农村电网及有关技术经济指标	1
第一节 农村电网及其特点	1
第二节 农村电网的供电半径	4
第三节 农村电网的电压质量与综合治理	12
第四节 农村电网的经济功率因数与 无功补偿	19
第五节 农村电网的容载比	30
第二章 农村电网规划概论	33
第一节 农村电网规划的基本指导思想和遵循原则	33
第二节 农村电网规划工作的任务和规划内容	37
第三节 农村电网规划的步骤	39
第三章 负荷预测方法	44
第一节 负荷预测的特点	45
第二节 负荷预测常规方法	46
第三节 一元回归分析方法	48
第四节 灰色预测法	56
第五节 组合预测法	60
第六节 分区负荷预测	62

第四章 电源规划方法	64
第一节 农村电网电源供应方式	64
第二节 电源规划的步骤	65
第五章 农村电网规划方法	67
第一节 农网规划的步骤	67
第二节 农网规划方案确定方法	69
第三节 方案比较及经济技术评估	75
第四节 农网投资与年运行费用计算	76
第六章 农村电网投资项目的财务分析方法	79
第一节 资金时间价值的计算方法	79
第二节 财务评价方法	84
第七章 农村电网的投融资规划方法	94
第一节 投融资规划的意义	94
第二节 投融资规划的内容	95
第三节 制定农村电网投融资规划的 要求和程序	97
附录 1 农网规划内容深度规定	100
附录 2 农村电网规划范本（县级）	112
参考文献	145

第一章 农村电网及有关 技术经济指标

第一节 农村电网及其特点

一、什么是农村电网

1. 农村电网的定义

《中国电力百科全书（修订版）》和《农村电网规划设计导则》等农电方面的行业标准、规程对于农村电网做了明确界定：主要为县（含县级市、旗、区）辖区域内的城镇、农村或农场及林、牧、渔场各类用户供电的 110kV 及以下各级配电网称为农村电网，简称农网或县级电网。

2. 对农村电网定义的说明

本书引用的农村电网的定义从以下三方面进行了界定：

（1）界定了服务对象和范围。其服务对象和范围主要是县辖范围的城镇、农村及林牧业各类用户。

（2）从电网功能方面界定为配电网。我国不采用次输电网的概念，而把电网分为输电网和配电网两类，电压 220kV 及以上的电网称为输电网，电压 110kV 及以下的电网称为配电网。配电网是最靠近用户、直接为用户服务的电网，配电网因用户负荷不同可以区分为城网和农网。

（3）从电压等级界定为 110kV 及以下。

3. 农村电网的构成

农村电网由高压配电网、中压配电网和低压配电网构成。高压配电网的电压为 35kV、66kV 和 110kV，66kV 主要用于辽宁、吉林、黑龙江和内蒙古东部等地。中压配电网的电压为 3~10kV，主要是 10kV。从安全角度来讲，1kV 以上的电压称为高压，所以过去也把 3~10kV 电网称为高压配电网。现在从电网电压等级划分，把 3~10kV 电网称为中压配电网。

低压配电网的电压为 380/220V。顺便提示，把低压网说成 400V 或 0.4kV 是不正确的。0.4kV 是配电变压器低压侧额定电压，它比系统标称电压约高 5%，电网的标称电压是 0.38kV。另外，单相低压配电网的电压为 440/220V，用于低压单相三线配电系统。

二、农村电网的特点

中国农村电网既不同于中国的城市电网，也别于国外的农村电网。

1. 农网负荷的特点

(1) 负荷分散、负荷密度低、发展不平衡。由于农村人口居住分散且各地差异很大，所以农网负荷分散。其集中表现就是平均负荷密度低，且各地差异很大。我国大多数的县，平均负荷密度在 $100\text{kW}/\text{km}^2$ 以下，负荷密度小的不到 $5\text{kW}/\text{km}^2$ 。较发达的县，负荷密度约 $200\text{kW}/\text{km}^2$ ，只有个别的县（市）负荷密度超过 $500\text{kW}/\text{km}^2$ 。而城市的负荷密度则在每平方公里数千千瓦以上，负荷密度高的每平方公里达数万千瓦甚至更高。这一点的城乡差别是十分明显的。

(2) 农网负荷季节性、时令性强。这一特点导致农网负

荷峰谷差比较大，负荷率（平均负荷与最大负荷之比）低，年最大负荷利用小时数低。以变电所为计算单位，年最大负荷利用小时数约 1500~4000h，愈是经济欠发达地区，年最大负荷利用小时数愈低。以村镇为计算单位，年最大负荷利用小时数约为 1000~2000h，工业发达的村镇约为 3000h 或更高。

(3) 用户数多、户用电量少。

2. 我国农网的特点

与城网相比，我国农网有以下三个特点。

(1) 送电负荷小、输送电能少、送电距离远。这一状况的直接后果是农网设备利用率低。近年来，我国农网 10kV 线路、配电变压器及变电所主变压器历年平均年供电量及利用率在逐步提高，我国县、乡、村各种企业的快速发展对改善农网设备的利用率有明显的促进作用。但是，目前农网设备的利用状况与城网相比尚有很大差距，促使农网的送电成本（运费）偏高，经济效益偏低。因此，在保证供电质量的前提下，如何降低农网的供电成本，是各国所面临的共同问题。

(2) 农网供电范围大、农网规模大、延伸面广。这是由负荷分散而形成的。由于我国广大农户户用电量少，不可能像美国那样 1 户或 2 户用 1 台配电变压器，只能许多户用 1 台配电变压器而由低压配电网向各户供电，所以我国农村低压配电网的规模也很大。例如，前苏联农村低压线路长度与农村高中压线路长度之比约为 1:1，而我国则超过 2:1。规模大、线路长也大大增加农村电网的投资，影响农网的经济效益。

(3) 农网自然功率因数低。我国农网自然功率因数一般

为 0.6 左右,最小负荷时更低。这是因为我国农网有大量小容量配电变压器和大量小容量异步(鼠笼式)电动机造成的。

由于农网与城网有着不同的特点,我国农网有着特殊的不同于城网的技术经济规律。发现和运用农网的技术经济规律,规划好、建设好、管理好农网,具有重要的意义。

第二节 农村电网的供电半径

电网的供电半径影响变电所的布局,也影响电网的网架结构。供电半径取多大,其本身就是一个技术经济问题;合理与否,直接影响电网的技术、经济性能。农村电网的供电半径是由其负荷特性决定的。农网供电半径的取值问题是农村电网最重要的技术经济规律之一。

农村电网的供电半径,关键是 10kV 中压电网及 0.38kV 低压电网的供电半径,它将直接决定农村高、中压配电网和低压配电网布局是否合理。

一、农村低压电网的合理供电半径

20 世纪 60~90 年代,我国农村低压电网长期不同程度地存在供电半径过长的问题,造成低压电网电能损耗高、电压质量差。1990 年前后,我国对农村低压电网的合理供电半径从客观上进行了优化研究,得到了合理的结论。

1. 农村低压电网负荷分布及网架结构的确定

对农村低压电网进行优化研究,需要建立电网综合优化模型,而建立优化模型必须从客观上确定低压网架结构和负

荷分布规律。通过对各大区 18 个省（市、自治区）的调查，收集了 200 多个农村低压电网的基本资料，再对这些资料进行分析和抽象概括，得出以下结论：

（1）我国村、电的形状。我国平原地区、盆地农村聚居者较多，村屯形状大致可以分成方形、长方形或刀形。山地或丘陵区村电的形状由山谷形状来确定，可以近似看成窄条形或带形，有的村子由几个条形汇集在一起而构成。

（2）农村低压网负荷分布。根据调查，我国农村每户家用电器（含生产用电动器具）数量的多少，存在看很大的地区差异。但是，在同一地区（同一村庄）内，大多数用电户的用电水平基本相同，用电器很多的或很少的用户都是极少数。因此，在客观上可以近似地认为各户的用电负荷基本相同。同时，农村住宅占地大数相同。因此，可以近似地认为，在低压网内，相隔同等距离即接入相同的负荷，即负荷沿线路大致均匀分布。对于一些集中负荷，计算中分别以处于干线 $1/3$ 处、 $1/2$ 处或末端处加以考虑。

（3）农村低压网的网架结构。在确定低压网的网架结构时，应考虑以下几个方面：①配电变压器位于供电区中心，大致为负荷中心处；②为了提高设备利用率，采用照明和动力负荷用同一线路供电的接线方式；③由于低压单相线路只在负荷较小时（ $0.1\sim 0.3\text{km}$ ，小于 4kW ），所以低压干线采用三相线路供电，分支线路也采用三相线路（负荷小时可采用单相线路）；④网架接线方式应使网络损耗最小，经济合理。

考虑上述因素，经过论证，平原地区农村方形供电区的网架以引出 4 条或 3 条干线为宜，长方形村庄以引出两条干线为宜，隔一定距离再引出分支线路，见图 1-1。这种接线

方式，相当于一条干线承担一个小方块状供电区的供电。从理论上讲，方形供电区的网架接线方式以图 1-2 所示为最佳接线方式，但与我国村、屯布局不相适应，难以实现。

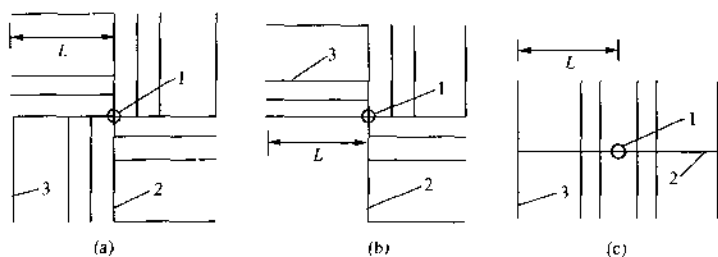


图 1-1 平原供电区低压网架

(a) 方形供电区；(b) 刀形供电区；(c) 长方形供电区

1—配电变压器；2—低压干线；3—低压分支线

图 1-1 (a) 的接线方式与图 1-2 相比，干线上的负荷中心均在干线长度的中心处，而且线路的总长度也相等，具有相近的供电合理性。图 1-1 (a) 的接线方式在我国农村更易实现。

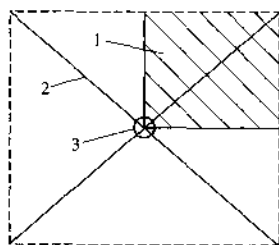


图 1-2

1—配电变压器；2—低压
干线；3—低压分支线

对于山区、丘陵区的条状供电区，一般沿山沟建设街道，所以，低压干线也沿山沟敷设。由于街道较窄，不再设三相支线，只设单相支线。一个村子有几条沟，便设几条干线（接线图略），配电变压器仍位于负荷中心（山沟交汇处）。

2. 农村低压配电网综合优化数学模型

供电半径是指供电区的地理半

径。对于方形供电区而言，供电半径等于方形边长的一半，如图 1-1 中的 L 所示。

为了确定农村低压电网的优化布局，采用单位供电面积年费用（某供电区低压电网年费用与供电区面积的比值）为目标函数。低压电网的年费用包括配电变压器、配电装置（包括台或室）、低压线路及与低压电网有关的 10kV 线路等几个部分的投资和运行费。目标函数中包含了低压线路供电半径、线路的导线截面和配电变压器容量等变量，各变量共同参加优化。

农村低压电网综合优化中，根据低压电网的基本技术要求确定约束条件为：①低压线路最大电压损耗（干线首端至支线末端）不超过允许电压损耗；②配电变压器的最大负荷可适当利用正常运行方式下允许的过负荷能力，一般考虑不超过配电变压器额定容量的 110%；③低压线路导线截面不小于导线最小允许截面。

综上所述，低压电网综合优化是以单位供电面积年费用最小为目标，以基本技术要求为约束，对低压线路供电半径，线路导线截面和配电变压器容量等进行寻优，其数学模型为

$$\min f = f(L, S_r, S_1, S_2, S_3) \quad (1-1)$$

$$\Delta U \% \leq \delta U \%$$

$$S_r \geq P_{TZ} / \cos \varphi / 1.1$$

$$S_1 \geq 16$$

$$S_2 \geq 16$$

$$S_3 \geq 10$$

式中

f —单位供电面积年费用, 元;

L —供电半径, km;

S_r —配电变压器容量, kVA;

S_1 —低压干线导线截面, mm²;

S_2 —低压三相支干线导线截面, mm²;

S_3 —低压单相支线导线截面, mm²;

$\Delta U\%$ —低压线路最大电压损耗, $\Delta U\% = \Delta U_1\% + \Delta U_2\% + \Delta U_3\%$;

$\delta U\%$ —允许电压损耗;

$\Delta U_1\%、\Delta U_2\%、\Delta U_3\%$ —干线、支干线、单相支线的最大电压损耗;

P_{Tz} —配电变压器最大有功负荷, kW。

3. 农村低压配电网优化供电半径推荐值及其他计算结果

用数学方法对式(1-1)求解, 得出农村低压网的优化供电半径、导线截面、优化电压损耗及线损率等参数, 并改变各种原始数据对各参数进行敏感度分析。综合考虑各种影响因素, 低压网的合理供电半径推荐值见表 1-1。

表 1-1 农村低压配电网供电半径

用电设备额定容量 密度 ^① (kW/km ²)	<200 (<60)	200~400 (60~120)	400~1000 (120~300)	>1000 (>300)
380V/220V 三相配电网 供电半径 (km)	0.7~1.0	<0.7	<0.5	<0.4
440V/220V 单相三线配 电网供电半径 (km)	0.6~0.9	0.6~0.4	0.4~0.3	<0.3

① 指供电区内用电设备额定容量总和与供电区面积之比。括号中数据为负荷密度。

通过优化计算, 还得出一个重要结论, 即低压线路的电

压损耗为 7% 时, 低压网年费用最小, 既易于满足供电质量的要求, 又有最好的经济效果。

二、10kV 中压电网的供电半径

1. 农村中压网负荷分布与电网结构模式

(1) 负荷分布。在研究中压网供电半径时, 认为负荷在供电区内均匀分布, 即负荷面密度相等。这种假设在 20 世纪 60 年代比较符合实际, 那时发展电力灌溉, 以保证粮、棉、油高产、稳产, 单位面积内的灌溉负荷大致是相等的。现在, 乡镇工业已有相当的发展, 应考虑集中负荷的存在。但集中负荷不具备规律性, 无法用致学方法表示。所以在宏观研究中, 认为负荷均匀分布是可取的。

(2) 中压网结构模式。平面地区供电区可近似看成多边形或圆形, 35~110kV 变电所位于供电区中心, 引出若干条辐射干线向用户供电, 见图 1-3 (a)。山丘地区的供电区近似看成由若干个巨型条带山沟构成。变电所位于条带交汇处, 沿各条带 (山沟) 引出 10kV 干线, 见图 1-3 (b)。

在上述负荷分布和电网模式下, 即可进行电流、电压及线损计算。

2. 农村中压网综合优化数学模型

(1) 电压质量约束。在静态条件下, 供电电压的质量标准就是电压偏差不得超过允许范围。电网某点的电压偏差是由该点到电源点间各元件所造成的, 包括各级线路的电压损耗、变压器阻抗的电压损耗、变压器变比及有载调压器的调压范围等。述过建立电压偏差的近似计算公式 (详见第一章第三节)。在满足电压质量的条件下导出了 35~110/10kV 变电所主变压器调压范围与 10kV 线路电压损耗的近似关