

电力节能技术丛书

输变电系统节能技术

《电力节能技术丛书》编委会 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电力节能技术丛书

输变电系统节能技术

《电力节能技术丛书》编委会 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内容提要

电力是经济社会发展的基础动力,电力在各项能源消耗领域中所占比重较大,电网企业在输电、配电、供电、用电等领域开展节能降耗工作,将对顺利实现“十一五”节能降耗指标产生重要作用。由江苏省电机工程学会组织编写的《电力节能技术丛书》,旨在希望各有关行业重视电力节能工作,积极探索节电的有效途径和研究推广切实可行的节能减排的技术手段。

《电力节能技术丛书》共包括6个分册,分别为:电力节能政策与管理、火力发电厂节能技术、输变电系统节能技术、配电系统节能技术、用电系统节能技术、电能质量与节能技术。

本套《电力节能技术丛书》的作者和审稿人均为工作在科研、生产一线的专业技术人员,有丰富的理论基础和实践经验。

本书为《输变电系统节能技术》分册,包括输变电网产生电能损耗的基本概念、原理和电力网参数特性;分析了电气设备元件和电力网潮流的损耗计算;提出电力网线损理论计算的方法和具体做法;提出电力网技术改造的多种手段;介绍了电力网经济运行的实例、线损实时在线计算的可行方案;提出“经济压差无功潮流”的电网无功优化理论;介绍了线损计算软件的功能特点、方法及降低线损管理的有效措施等。

本书可供输变电系统运行与检修人员、节能与管理人员及工程技术人员学习参考,也可供有关部门节能管理人员、高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

输变电系统节能技术/《电力节能技术丛书》编委会编.
—北京:中国电力出版社,2008
(电力节能技术丛书)
ISBN 978-7-5083-6710-1

I. 输… II. 电… III. ①输电-电力工程-节能 ②变电所-电力工程-节能 IV. TM7 TM63

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第012179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>)
北京同江印刷厂印刷
各地新华书店经售

2008年4月第一版 2008年4月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 8.75印张 209千字
印数0001—3000册 定价17.00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

《电力节能技术丛书》编委会

名誉主任：费圣英

主任：马苏龙

副主任：周光浩 叶惟辛 李顺宗

编委会成员：费圣英 马苏龙 周光浩 叶惟辛 范正满

巢大同 李顺宗 宋宏坤 陈国年 赵彩虹

李群

丛书主编：李顺宗

本册审稿人员：唐寅生

本册编写人员：虞忠年 严行健 丁晓群 唐寅生 沈建珂

电力是社会经济发展的基础动力。尽管我国近年来电力建设得到了快速发展，但我国电力发展存在五大“软肋”不容忽视：一是人均装机水平仍严重偏低；二是电网建设投资“欠账”；三是部分地区电力“吃紧”；四是电力发展质量“堪忧”；五是用电“结构之伤”。尽管我国已是世界电力生产的第二大国，但远远不是电力生产强国。我国人均能源拥有量和人均用电水平仍低于世界平均水平，而我国国民生产总值的单位能源消耗，却大大高于世界平均水平。能源浪费和环境污染已成为制约我国经济和社会发展的重要因素。

钢铁、有色、电力、化工、建材等高耗能行业是我国节能减排的重点。而电力作为全国各行各业、千家万户广泛利用的二次能源，其节能降耗工作潜力巨大，前景广阔；同时也是促进电力工业发展、深化电力体制改革和提升电力管理水平的关键环节。我们必须把握电力这一商品所具有的“产、供、销同时完成”、“系统网络关联性强”等特性，有针对性地开展节能降耗工作，努力提高电能利用率。

电力节能降耗工作要做到“三全”，即全民参与、全方位开展和全过程管理。我们要加大节能降耗的宣传、教育和培训力度，强化全社会的节电意识和认识，着力构建资源节约型和环境友好型社会；我们要以提高电力能源利用效率为核心，坚持市场机制作用与宏观调控相结合，努力营造有利于节电降耗的体制环境、政策环境和市场环境，认真落实发、输、变、配、用电等各个地域的电能节约方案，以电力资源的高效利用促进社会经济的全面提升和可持续发展；我们要以加快技术进步为手段，在规划、建设、运行、检修、改造等全过程的每个环节，建立严格的科学管理制度，实行有效的激励政策，推进节能、挖潜、改造和技术创新工作的健康发展。

近年来，我国在电力节能降耗方面从专业的角度做了大量工作，取得了显著的成效和丰富的实践经验。江苏省电机工程学会在江苏省电力公司、江苏省电力试验研究院、南京供电公司、泰州供电公司、常州供电公司、东南大学、河海大学、南京师范大学、华能南通电厂等单位的大力支持下，组织数十位省内外的专家学者，编写了《电力节能技术丛书》。我们期望通过该套丛书的出版与宣传，能够对各电力企业的节能降耗工作起到积极的推动作用。

该丛书共分六册，分别从电力节能政策与管理、火力发电厂节能技术、输变电系统节能技术、配电系统节能技术、用电系统（主要是工业、农业、商业和照明等）

节能技术、电能质量和节能技术六个方面，对节能政策、管理要求、技术措施和节能方法等进行了有益的研究和探索。

时代在进步、技术在发展。随着电力工业的进步和发展，电力节能降耗同样也不断提出新的课题，我们要不断总结、加强交流、积极探索、勇于实践。我们相信，经过广大电力企业员工和工程技术人员的共同努力，电力节能的新技术、新产品、新工艺将不断推广应用，我国科学发展、和谐建设，大力降低能耗，环境不断改善的又好又快的经济发展态势将不断涌现！

欣慰之余，是为序。

黄立英

前 言

电力网在输送电能时产生的电能损耗（简称线损率）是电力企业的一项重要综合性技术经济指标。它反映了一个电力网的规划设计、生产技术和运营管理水平。根据国家“资源开发与节约并重，把节约放在首位”的方针政策，响应国家“落实科学发展观，建设节约型社会”的号召，电力企业为降低线损率，提高电力使用效率和经济效益，投入了大量的人力、财力和物力，取得了可喜的成绩。但是，目前我国电网线损率与世界上发达国家相比还比较高，各省、市电力公司及所辖单位的线损率差距也不小，节电潜力比较大。

影响电力网输送电能时线损率的因素较多，情况较复杂，电网企业各单位应根据线损工作的特点和要求从“技术降损”和“管理降损”两方面着手，在输变配电网合理规划、电力设备选型、电网经济运行、电网技术改造、无功合理配置、电网无功优化调度等环节大力降低电能损耗；同时，要建立健全线损管理责任制，加强指标管理、营销管理、计量管理等，做到各尽其职，密切配合，协同工作，这是搞好线损管理的基础工作，也是减少线损管理的重要措施。

为了进一步提高我国的全民节能意识，引导社会科学用能、合理用能，宣传节能目标、措施和有效途径，促进电力工业节能减排工作的开展，江苏省电机工程学会组织高等院校、电力研究院、供电公司等众多专家学者编写了《电力节能技术丛书》（简称《丛书》）。

本书是《输变电系统节能技术综述》分册。本书首先介绍了输变电网产生电能损耗的基本概念、原理和电力网参数特性；分析了电气设备元件和电力网潮流的损耗计算；提出电力网线损理论计算的方法和具体做法；针对目前供电企业降损措施，提出电力网技术改造的多种手段；同时，介绍了电力网经济运行的实例，鉴于理论线损计算的不足，本书提出了进行线损实时在线计算的可行方案，实现电网线损的在线管理；在分析线路传输无功造成有功功率损失的基础上，提出“经济压差无功潮流”的电网无功优化理论；介绍了线损计算软件的功能特点、方法及降低线损管理的有效措施等。

本书具体分工如下：第一、二、三、四、六、九章由虞忠年编写，第五章由虞忠年、严行健、沈建珂编写，第七章由唐寅生编写，第八章由丁晓群编写；《丛书》分册全书由虞忠年统稿，唐寅生审稿；《丛书》副主编李顺宗对各分册的内容编排、写作格式做了统一、校核和修改。

本分册在编写过程中，得到了江苏省电力公司、河海大学、江苏常州供电公司、泰州供电公司等单位及领导的大力支持和帮助，对参考文献的各位专家、作者，在此一并表示衷心感谢！

由于编写时间仓促，加之编者水平有限，本分册难免存在错漏之处，敬请读者批评指正！

编 者

2008年2月

目 录

序
前言

第一章 电力网电能损耗基本概念	1
第一节 电力网线损电量	1
第二节 电力网线损率	2
第二章 电力网参数计算和等值电路	5
第一节 线路参数计算和等值电路	5
第二节 变压器参数计算和等值电路	9
第三章 电力网潮流分布计算	19
第一节 复数功率表示法	19
第二节 线路功率损耗计算	20
第三节 变压器功率损耗计算	21
第四节 电压损耗计算	22
第五节 电力网潮流分布计算	23
第四章 电力网线损理论计算	35
第一节 理论线损计算方法	35
第二节 元件电能损耗计算	43
第三节 线损计算基本要求和具体做法	46
第五章 电力网技术改造	53
第一节 投资折回年限规定值的计算	53
第二节 电力网升压改造	54
第三节 换粗导线截面	55
第四节 更换高损耗变压器	56
第五节 增加无功补偿	57
第六节 高压架空交流输电线路的电晕损失	66
第六章 电力网经济运行	72
第一节 合理调整运行电压	72
第二节 线路经济运行	73
第三节 变压器经济运行	76

第四节	配电变压器经济运行	81
第五节	提高用电负荷率	83
第六节	保持无功补偿设备正常运行	85
第七节	无功、电压优化运行	87
第八节	其他运行技术措施	94
第七章	电网无功优化新理论	95
第一节	概述	95
第二节	电网无功优化问题的本质	95
第三节	线路传输无功造成的有功功率损失	96
第四节	经济压差无功潮流	97
第八章	几种线损计算软件的功能特点及方法	100
第一节	线损计算软件的几种方式和主要功能特点	100
第二节	理论线损计算的方法及特点	103
第三节	在线线损计算的方法和特点	104
第四节	综合线损分析的方法和特点	105
第九章	电力网线损管理措施	110
第一节	线损管理体系	110
第二节	线损指标管理	112
第三节	低压线损分线、分配电变压器台区管理	115
第四节	用电（营销）管理	116
第五节	电能计量装置管理	118
第六节	加强谐波管理	126
第七节	降低农网低压线损	127
参考文献	130

第一章

电力网电能损耗基本概念

电力网在输送电能时产生的电能损耗直接影响电力的使用效率和经济效益，但是产生电能损耗的因素比较多，情况也比较复杂，通过本章的介绍，可以了解掌握电能损耗的理论和基本概念，有利于推进降损节电工作的深入开展。

第一节 电力网线损电量

一、线损电量定义

发电机发出来的电能输送给用户使用，必须经过输电、变电、配电设备，由于这些电气设备存在着阻抗，因此电能通过时就会产生电能损耗，并以热能的形式散失在周围介质中，这种电能损耗称为线损电量，简称线损。

实际运行中，线损电量是在产权分界处（关口点）安装电能表，并按照规定时间统计出来的，如月、季、年度线损电量。电能损耗根据输、变、配电设备的资产归属由各经营企业方承担，如发电厂与电网结算上网电量的关口表计装在电厂母线的出线侧，即电厂的升压变压器和母线产生的线损电量由发电厂承担；电力用户结算电量的关口表计装在用户受电侧，则电力用户的电气设备产生的线损电量由用户承担；电力网输电、变电、配电设备和营销过程中产生的线损电量由电网企业承担。

电力网线损电量是电力系统电能损耗的主要组成部分，它具体反映了电网的规划建设、生产技术和营销管理水平，是电网企业的综合性技术经济指标。

根据国家电力工业生产统计规定，电力网线损电量=供电量-售电量。

（一）供电量

供电量是指电网企业供电生产活动的全部投入量，它由以下电量组成。

（1）发电厂（公司）上网电量：该电量的关口计量点设在发电厂与电网的产权分界处，即发电厂母线的出线侧。对于一次电网的上网电量是指发电厂输入一次电网的电量，对于地区电网的上网电量是指发电厂输入地区电网的电量。

（2）外购电量：该电量是指电网向地方电厂、电力系统康复机组、用户自备电厂等购入的电量。

（3）邻网输入、输出电量：该电量是指电网之间的互供电量，按双方确定的关口计量点计算电量。

供电量计算（统计）式为

$$\text{供电量} = \text{发电厂上网电量} + \text{外购电量} + \text{邻网输入电量} - \text{向邻网输出电量}$$

（二）售电量

售电量是指电网企业卖给用户的电量和本企业供给非电力生产用的电量。

二、线损电量组成

电网企业在输变配电网供电生产活动中的线损电量由以下几部分组成：

- (1) 35kV 及以上输电线路中的损耗。
- (2) 降压变电站主变压器中的损耗。
- (3) 10 (6) kV 配电线路中的损耗。
- (4) 配电变压器中的损耗。
- (5) 低压线路中的损耗。
- (6) 无功补偿设备中的损耗。

以上各项损耗电量可以通过理论计算确定其值,其余损耗电量可通过下列各项统计确定。

- (1) 变电站的直流充电、控制及保护、信号、通风冷却等设备消耗的电量。
- (2) 电压、电流互感器及二次回路中的损耗。
- (3) 接户线及电能表中的损耗。
- (4) 其他损耗,其他损耗主要有以下几个方面:

1) 表计接线差错、计量装置故障、二次回路电压降超标、熔丝熔断等引起的计量装置误差。

- 2) 营销工作中的漏抄、漏计、错算及倍率搞错等。
- 3) 用户违章用电。
- 4) 窃电。

造成其他损失电量的原因是多方面的,而且情况比较复杂,所造成的差错电量既可正也可负,其值能在线损实绩中明显地反映出来。

三、线损电量分类

线损电量通常分为负载损耗和空载损耗。负载损耗亦称可变损耗,它是输、变、配电设备中的铜损,与流过的电流的平方成正比。空载损耗也称固定损耗,它是变电设备中的铁损、电晕损耗、绝缘中的介质损耗以及仪表和保护装置中的损耗,这部分损耗一般与运行电压有关。

第二节 电力网线损率

一、线损率定义

电力网线损率是指线损电量占供电量的百分率,简称线损率,计算式为

$$\begin{aligned}\text{线损率}(\%) &= (\text{线损电量} / \text{供电量}) \times 100 = [(\text{供电量} - \text{售电量}) / \text{供电量}] \times 100 \\ &= [1 - (\text{售电量} / \text{供电量})] \times 100\end{aligned}$$

一个网、省(市、区)电网公司范围内所有地、市、县(市)供电公司及一次电网的统计线损电量的总和与其供电量之比的百分率,称为网、省(市、区)电网公司的线损率。

二、线损率分类

线损率根据电网公司管辖范围和电压等级可分为一次网损率和地区线损率,目前一次网损率可分为 500、330kV 和 220kV 网损率,地区线损率可分为地区网损率和配电网损率。

(一) 一次网损率

由网、省(市、区)电网公司调度管理的输、变电设备产生的电能损耗,称为一次网损,又称一次供电损失。一次供电损失的电量占一次供电量的百分率,称为一次网损率,或称一次供电损失率。一次网损电量由一次供电量与一次售(受)电量相减得到,即

$$\begin{aligned} \text{一次网损电量} &= \text{一次供电量} - \text{一次售(受)电量} \\ \text{一次网损率}(\%) &= (\text{一次网损电量} / \text{一次供电量}) \times 100 \\ &= [(\text{一次供电量} - \text{一次售(受)电量}) / \text{一次供电量}] \times 100 \\ &= [1 - (\text{一次售(受)电量} / \text{一次供电量})] \times 100 \end{aligned}$$

一次供电量是指输入 500、330、220kV 电网的全部投入量，计算式为

$$\text{一次供电量} = \text{发电厂上网电量} + \text{邻网输入电量} - \text{向邻网输出电量}$$

一次售(受)电量是指一次电网向地区电网输出的电量和一次电网用户的用电量之和。

(二) 地区线损率

由供电公司调度管理的输、变、配电设备产生的电能损耗，称为地区线损，又称地区供电损失。地区线损电量占地区供电量的百分率，称为地区线损率。地区线损电量是由地区供电量与售电量相减得到，即

$$\text{地区线损电量} = \text{地区供电量} - \text{售电量}$$

$$\begin{aligned} \text{地区线损率}(\%) &= (\text{地区线损电量} / \text{地区供电量}) \times 100 \\ &= [(\text{地区供电量} - \text{售电量}) / \text{地区供电量}] \times 100 \\ &= [1 - (\text{售电量} / \text{地区供电量})] \times 100 \end{aligned}$$

地区供电量是指输入地区电网的全部投入量，计算式为

$$\text{地区供电量} = \text{一次电网输入(受)电量} + \text{邻网输入电量} - \text{向邻网输出电量} + \text{购入电量}$$

售电量是指地区电网用户的用电量。

地区线损按照运行电压等级分为 110、66、35kV 地区网损和 10 (6) kV 及以下配电网线损，分压线损率可参照统计一次网损率的方法计算出来。

电力网线损分网(级)、分压示意图如图 1-1 所示。

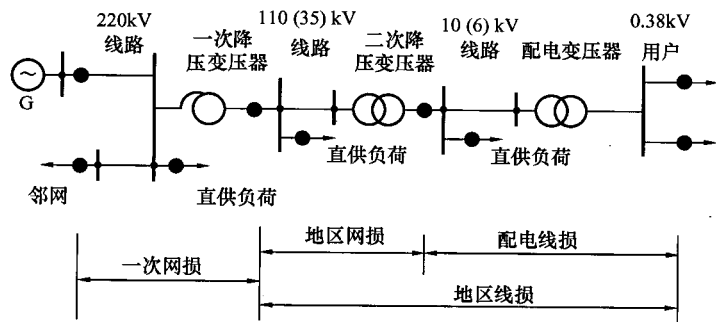


图 1-1 电力网线损分网(级)、分压示意图

●—关口计量点

电力网线损分网(级)、分压统计示意表如表 1-1 所示。

表 1-1

电力网线损分网(级)、分压统计示意表

____年____月____日

项目	供电量 (万 kWh)		售电量 (万 kWh)		线损电量 (万 kWh)		线损率(%)		说明
	本月	累计	本月	累计	本月	累计	本月	累计	
线损分类									
全网合计									



续表

线损分类		项 目	供电量 (万 kWh)		售电量 (万 kWh)		线损电量 (万 kWh)		线损率 (%)		说明
			本月	累计	本月	累计	本月	累计	本月	累计	
一次网损		500kV									
		220kV									
地区 线损	地区网损	110kV									
		35kV									
	城市电网	10kV									
		380V									
	农村电网	10kV									
		380V									

注 各电压等级的供电量不能相加，只能用于计算本级电压的线损率。

第二章

电力网参数计算和等值电路

线路、变压器是电力网功率损耗和电能损耗的主要元件，要想知道并提出降低功率损耗和电能损耗的各种措施，首先要学会线路、变压器参数计算，这为潮流计算和线损理论计算创造了条件，本章具体介绍线路、变压器设备参数计算方法以及相关知识。

第一节 线路参数计算和等值电路

一、线路电阻计算

电流通过导线时受到的阻力称线路电阻。电阻的存在不仅使导线消耗有功功率并发热，而且还会造成电压降落，这对电力网的安全、经济运行是不利的。

(一) 线路电阻值

三线制线路的每相导线电阻可按下式计算

$$R = \gamma_0 L = \rho \frac{L}{S} \quad (2-1)$$

式中 R ——每相导线的电阻， Ω ；

γ_0 ——导线单位长度的电阻， Ω/km ；

S ——导线的截面积， mm^2 ；

L ——导线的长度， km ；

ρ ——导线材料的电阻率， $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ 。

在电力网中导线材料的电阻率通常采用下列数值：

铜： $18.8\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ ；

铝： $31.5\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$ 。

(二) 分裂导线线路电阻

分裂导线线路的每相导线电阻可按下式计算

$$R = \gamma_0 \frac{L}{n} = \rho \frac{L}{nS} \quad (2-2)$$

式中 n ——分裂导线的根数。

(三) 有效电阻值

在交流电路中，由于集肤效应和邻近效应的影响，其电阻要比直流电阻大，为区别起见，交流电流在导线中流过的电阻称为有效电阻，主要考虑以下三个因素：

(1) 在电力网中所有导线都是绞制的，绞线中每股的实际长度要比原导线长 2%~3%。

(2) 因多股导线之间有间隙，通常大部分的额定面积大于实际面积。

(3) 计算交流有效电阻略大于直流电阻的因素。

在工程计算中导线的单位长度电阻可以从产品目录和手册中查得。

由于线路通过电流时其电阻除与导线的材料和截面有关外，还与导线的温度有关，导线的温度由通过该导线的负荷电流及其环境温度所决定，因此导线电阻可以看成三个分量组

成, 即:

(1) 基本恒定分量 R_{20} 是线路每相导线在 20°C 时的电阻值, 这个电阻值是根据导线的型号从产品目录或有关手册中查出 20°C 时的单位长度电阻值, 再乘上实际线路长度得出的。

(2) 当电流通过导线时, 由于导线发热使导线的温度升高, 因而使导线电阻增加的那部分电阻 ΔR_1 为

$$\Delta R_1 = R_{20}\alpha(T_a - 20) \frac{I_{if}^2}{I_a^2} = R_{20}\beta_1 \quad (2-3)$$

式中 α ——导线电阻的温度系数, 对铜、铝及钢芯铝线一般取 $\alpha=0.004$;

T_a ——导线的最高允许温度, 一般取 70°C ;

I_a ——当周围空气温度为 20°C , 导线达到最高允许温度时所通过的持续电流, 此电流值可查阅有关手册, 如果给出的是相当于空气温度为 25°C 时的持续允许电流,

则可乘上修正系数 $K = \sqrt{\frac{70-20}{70-25}} = 1.05$, 把它换算成空气温度为 20°C 时的持续

允许电流;

I_{if} ——均方根电流, A;

β_1 ——导线温度对电阻的修正系数。

(3) 当周围空气温度不是 20°C 时, 导线电阻变化的数值为

$$R_2 = \Delta R_{20}\alpha(T_{pj} - 20) = R_{20}\beta_2 \quad (2-4)$$

式中 T_{pj} ——代表日平均环境温度, $^{\circ}\text{C}$;

β_2 ——周围空气对电阻的修正系数。

这样, 考虑温度的影响以后, 架空输电线路导线电阻 R 为

$$R = (1 + \beta_1 + \beta_2)R_{20} \quad (2-5)$$

除个别不正常情况 (例如严重过负荷) 以外, 在正常情况下流过线路的均方根电流远小于导线的持续允许电流, 所以 β_1 是很小的, 可以忽略不计, 这时只考虑环境温度对电阻的影响, 即

$$R = (1 + \beta_2)R_{20} \quad (2-6)$$

二、线路电抗计算

线路电抗是由导线中通过交流电流, 在其内部和外部产生交变磁场引起的。电抗的大小一方面同导线内部交变磁场与其导线的自感有关, 另一方面导线外部的交变磁场不仅与自感有关, 还与导线几何尺寸、三相导线的排列方式相间距离有关, 同时还与每一相采用分裂导线的根数有关。

(一) 三线制线路电抗值

当三相线路换位或是对称排列时, 每相每千米导线的电抗 X_0 为

$$X_0 = 2\pi fL = 2\pi f \left[4.61 \lg \left(\frac{D_{pj}}{r} \right) + 0.5\mu \right] \times 10^{-4} \quad (2-7)$$

式中 f ——交流电的频率, Hz;

r ——导线的半径, cm 或 mm;

μ ——导线材料相对导磁系数, 对铜、铝等有色金属 $\mu=1$;

D_{pj} ——三相导线的几何均距, cm 或 mm。

当三相导线间的距离分别为 D_{12} 、 D_{23} 、 D_{31} 时，则其几何均距为

$$D_{pj} = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}} \quad (2-8)$$

若导线等边三角形排列，由于 $D_{12}=D_{23}=D_{31}=D_0$ ，则 $D_{pj}=D_0$ ；

若导线为水平排列，由于 $D_{12}=D_{23}=D_0$ ， $D_{31}=2D_0$ ，则 $D_{pj}=\sqrt[3]{2D_0^3}=1.26D_0$ 。

如将 $f=50\text{Hz}$ ， $\mu=1$ 代入式 (2-7)，得 $X_0=0.14451\lg\left(\frac{D_{pj}}{r}\right)+0.0157$ (2-9)

在上式中 0.0157 代表每一相导线内电感是一个常数，而 $0.14451\lg\left(\frac{D_{pj}}{r}\right)$ 代表每一相导线外电感，它与导线排列方式有关，当导线的排列不对称时，因互感不等，那么三相中各相导线电抗的数值是不相等的，为消除这种现象，输电线路的各相需要进行换位，即把线路中的导线按次序调换位置。

(二) 分裂导线线路电抗

采用分裂导线改变了导线周围的磁场分布，等效地增大了导线半径，从而降低了线路电抗，提高了输送容量，因此，对超高压输电线路通常采用分裂导线。分裂导线线路每相每千米电抗按下式计算

$$X_1 = 0.14451\lg\left(\frac{d_{pj}}{r_e}\right) + \frac{0.015}{n} \quad (2-10)$$

式中 r_e ——每相导线的等效半径，cm 或 mm。

由下式确定

$$r_e = \sqrt[n]{r(d_{12}d_{13}\cdots d_{1n})} = \sqrt[n]{rd_{pj}^{(n-1)}} \quad (2-11)$$

式中 r ——每根导线的计算半径，cm 或 mm；

n ——每相导线中导线分裂根数；

d_{pj} ——一相中分裂导线间的几何均距，cm 或 mm。

$$d_{pj} = \alpha_1 a \quad (2-12)$$

式中 a ——分裂导线正多边形的边长（又称分裂距离），一般为 20~45cm；

α_1 ——分裂系数。

α_1 与每相分裂导线的排列有关，正多边形排列方式的 α_1 值如表 2-1 所示。

表 2-1 分裂导线正多边形排列方式的 α_1 值

每相导线数 n	2*	3	4	5	6
α_1	1	1	1.12	1.27	1.4

* 表示两根分裂导线是上下或水平排列，不成正多边形。

(三) 三相电缆线路电抗值

三相电缆线路的电抗远小于架空线路电抗，主要原因是由于各相的相间距离甚小。随着电压的升高，电缆的绝缘要相应增强，于是相间距离也相应增加，所以三相电缆线路的电抗随电压等级的升高而增大。

三、线路导纳计算

(一) 线路电导值

架空线路除了与空气电离有关的有功功率损耗（称电晕损耗）外，还与沿绝缘子泄漏电流所致的有功功率损耗及绝缘子介质中的有功功率损耗，这类有功功率损耗在线路等效网络



中可用电导 G 来表示。

通常对于 35kV 及以下的架空线路不考虑其电晕损耗以及绝缘子泄漏和介质损耗。对于 110kV 线路因选择导线截面总大于不出现电晕的最小截面，故电晕损耗可以不考虑，但对绝缘子产生的泄漏损耗一般按线路损耗的 2% 计算。

(二) 线路电纳值

线路电纳是由导线间的电容及导线对地电容所决定的，可用 B 来表示。

经过换位后的架空线路，每相导线每千米的等效电容为

$$C_0 = \frac{0.0242}{\lg\left(\frac{D_{pi}}{r}\right)} \times 10^{-6} \quad (2-13)$$

式中 r ——每根导线的计算半径，cm 或 mm；

D_{pi} ——三相导线的几何均距，cm 或 mm。

当 $f=50\text{Hz}$ 时，每千米线路的电纳为

$$B_0 = \omega C_0 = \frac{7.58}{\lg\left(\frac{D_{pi}}{r}\right)} \times 10^{-6} \quad (2-14)$$

(1) 如果采用分裂导线时，式中的 r 用分裂导线的等效半径 R_{ek} 代替；

(2) 一般可粗略地认为 $B_0=2.7 \times 10^{-6} \text{S/km}$ ；

(3) 在同一杆塔双回路的线路，可按式 (2-14) 计算它的电纳，其电纳为单回路的一倍；

(4) 电缆的电纳由制造厂提供。

电缆使线路中产生一个超前电压 90° 的容性电流，在线路无负载时仍有容性电流通过，当沿线电压不变时，线路始端的电容电流为

$$I_C = U_{ph} b_0 L \quad (2-15)$$

式中 U_{ph} ——线路相电压，kV；

L ——线路长度，km。

I_C 产生的无功功率 ΔQ 按下式计算，即

$$\Delta Q = 3I_C U_{ph} \quad (2-16)$$

由式 (2-11) 代入式 (2-12) 中得

$$\Delta Q = 3I_C U_{ph} b_0 L = U^2 B \quad (2-17)$$

式中 U ——线路电压，kV；

B ——线路电纳， $B=b_0 L$ 。

线路电纳在 110kV 及以上超高压电力网中才考虑，在 35kV 及以下电力网中可忽略不计。

一个电力网有不同电压等级的线路，在计算阻抗、导纳时要归算到同一电压等级，用变压器变比的平方计算。

四、线路等值电路

输电线路中的 4 个参数，即电阻、电抗、电导、电纳，一般情况下长度在 300km 以内，可不考虑它们的分布参数特性，而只用集中参数处理。由于额定电压不同，在具体计算中要求也不同，等值电路图也有不同的表示方法，具体如下。