

线损管理培训 自学用书

城乡电网线损 计算分析与 管理

廖学琦 郑大方 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

策划编辑：马淑范
联系电话：010-63412397
电子信箱：xiaoma1809@163.com

作者简介



廖学琦 河南省电力公司高级工程师，全国农村电气化学会学术委员。从事电力工作40余年，曾主管河南省农电线损管理工作近20年。在《中国电力》、《农村电气化》等期刊上发表学术论文30余篇。其中，有一篇获全国农村电气化学会一等奖的论文，被1999年6月在法国尼斯市举行的“第15届国际供电会议（CIRED'99）”录取，并函请与会。获部级科技成果奖2项，受原电力部委托主编（或参与）电力行业技术规程及管理细则3部，独立撰写、合编专业著作5部，为省内外相关专业培训班和学校讲课培训专业技术人员千余次。曾被原能源部、华中网局评为先进节能工作者，被中国电机工程学会及河南省电机工程学会评为优秀科技工作者，被原河南省电力局评为机关先进工作者。

ISBN 978-7-5123-1474-0



9 787512 314740 >

定价：49.00元

上架建议：电力工程/供用电



城乡电网线损

CHENGXIANG DIANWANG XIAN SUN

计算分析与管理

JISUAN FENXI YU GUANLI

廖学琦

LIAOXUEQI

郑大方

ZHENGDAFANG

编著

BIANZHU



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是作者根据多年工作实践和多次培训授课内容编撰的。

本书内容主要有四部分,一是简要介绍了节约能源资源与电网线损的基本概念,以及线损管理的节能意义。二是在阐述电力网线损理论计算基本原理的基础上,介绍了高压配电线路、低压配电网和高压输电线路的线损理论计算的几种实用方法,以及适用于各种性质负荷及场合的计算线损的传统方法。三是着重阐述了降低城乡电网线损的管理措施和技术措施。四是介绍了电力网线损计算与分析的几个软件及其使用操作方法。同时还编入了适量的计算实例、复习思考题和备查参数表。

本书适宜做线损管理人员的培训教材和自学书籍,也可用做从事城乡电网规划、运行及管理等工作的人员的工作手册或工具书;并可供农村电工和乡镇电工阅读;同时对城市供用电的管理人员和厂矿企业电工、电气技术人员,以及相关专业在校师生,也有一定的参考价值。



图书在版编目(CIP)数据

城乡电网线损计算分析与管理/廖学琦,郑大方编著. —北京:中国电力出版社, 2011.3
ISBN 978-7-5123-1474-0

I. ①城… II. ①廖…②郑… III. ①城市配电-线损计算
②农村配电-线损计算 IV. ①TM744

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 034508 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 8 月第一版 2011 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 24.125 印张 532 千字

印数 0001—3000 册 定价 49.00 元

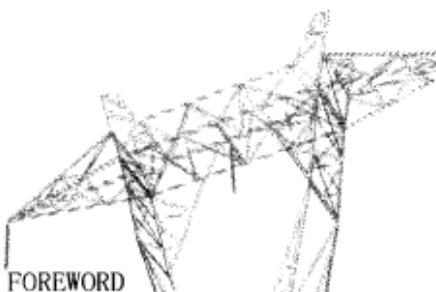
敬告读者

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

序

FOREWORD



电力网线损率（全称为电能损耗率）是供电企业的一项重要技术经济指标，线损管理是供电企业具有和安全生产、电量电费管理等工作同等重要的管理工作。这些管理工作之所以重要，是因为它们与供电企业的经济效益关系甚大。“促企业管理上台阶、上水平，向三大指标要能源要效益”是我们的追求目标，也是我们的工作宗旨。

线损计算分析对线损管理具有一定的先导作用，而各种降损措施的实施，则是比计算更重要的工作。因为只有把各种降损措施有效地实施了，真正地落实了，才能使线损降下来，并达到国家要求的达标值，线损才算管理好了；企业才能从中获得较好的经济效益，才能减轻城乡居民的电费负担，特别是农民的电费负担；也才能称得上是以实际行动支持国家全面建设小康社会的。降损措施很多，要主要的为先，有针对性的为先，有实际成效的为先，而后多措并举，全面落实，把成效巩固以致扩大。因此，各级供电企业和农电部门，应当重视并积极开展此项工作。总之，对供电企业来说，安全生产是硬道理，供电量增长、线损率达标、年度电费回收结零也是硬道理！

河南电力公司高级工程师廖学琦同志从事农电线损管理工作十余年。为了工作，他学习、钻研，取得了一定工作成绩，积累了比较丰富的经验。他发表过不少论文，独立撰写及合编了几本著作，并多次为培训班和学校讲课，多次为部里编制相关技术规程和管理办法。因此，他曾被能源部和中国电机工程学会分别评为先进节能工作者和优秀科技工作者，被全国农村电气化学会聘为学术委员。

本书是廖学琦同志主编的新作，叙述了线损的基本概念、线损的各种计算方法、降低线损的多种措施，以及线损计算与分析软件。

作为一部专业著作，应该是“知识为本，实用在先”。我认为，本书内容比较丰富、全面、通俗、实用；适宜做农电线损管理人员的培训教材和自学书籍，也可做农电管理部门的领导及相关人员的工具书和参考资料，并对厂矿的电气专业人员和相关院校师生也有一定的参考价值。

我由衷期望本书能够得到广大读者的喜欢，并祝愿读者朋友读后有所受益和启示，对相关工作有所帮助和促进。

霍宏烈

前言

PREFACE



据业内人士和同行朋友反映：电网降损节能相当重要，电网线损理论计算（在没有计算机时）比较麻烦，做好电网线损管理工作（特别是要将不明损耗降为零或将“偷漏误差”完全消除）不容易。一是因为电力企业既是能源生产大型企业，也是能源消耗大户；其一举一动或细微的调整，都将给社会带来相当可观的效益，对国家完成“节能减排”工作目标影响极大。二是因为电网布局线长面广，结构复杂，设备繁多，电源分布与运行方式各异，用电客户众多。三是因为电网中传输的负荷（总量、结构及性质）千变万化，在时间（昼夜和季节）和空间（ABC 三相）上存在不均衡或不平衡现象。四是因为用电户千千万万，要真正做好工作，让所有用户和我们同心协力做好电力供用电工作相当不容易。五是因为电网电压等级不同的差别，以及天气、自然环境和人为因素的影响，或除正常情况外，还有非正常情况，如事故、故障的影响等因素，都会造成电网线损的波动，甚至不可预知的异变或一时难以查明的问题。

为了迎合广大读者朋友的需要，我们根据多年工作实践和多次培训授课内容，并应编辑之约，编撰了本书。同时，本书也是作者在《农村电气化》期刊“线损专题讲座”的基础上加以补充、完善汇编而成的。

“讲座”刊载后的确受到了广大读者朋友的喜欢和好评。宁夏电力局的杨秋宝处长撰文述道：“……期刊的文章对我们的工作起到了很大的指导作用，它是我当之无愧的良师。1981~1984 年我们宁夏农电的降损节能工作刚刚起步，探索如何从理论线损上找到合理的计算方法，来推动整体的线损管理工作是当时的焦点，急需借助经验和指点。这个时期的期刊给我们提供了大量质量高、水平上乘的有关这一课题的专著，使我们受益匪浅。……如今宁夏农村电网线损的计算、考核、管理和一些降损措施，大多数是从期刊上学来的……”。

江苏省姜堰市（县）沈高镇供电所的李如冰同志撰文述道：“本人通过《农村电气化》‘降损节能’专栏，1994 年对河南省电力局廖学琦主讲的‘线损理论计算’进行了系统学习后，我对本镇（乡）四条 10kV 线路用手工进行理论线损计算，找出了存在的薄弱环节，明确了降损节能的主攻方向，取得了可喜的成绩，受到了市（县）局领导的好评。”

前几年颁发的国家行标《农村电网节电技术规程》（DL/T 738—2000）已将本书提出的高压和低压配电网、输电线路的线损理论计算方法，作为附录编入。并且郑州市几

家软件公司也将本书提出的理论线损计算方法应用到编制的相关程序中。

鉴于上述读者朋友和社会各界的鼓励、支持和期盼，使作者更坚定了信心，鼓起了勇气，决心要把本书编撰出来。同时，为了报答党和国家的培养，我觉得应该给后人留下点什么，或向长期关心和支持我的朋友作个交代，以免造成愧疚和终生遗憾！

本书编撰研讨对象及范围为城乡 $0.4\text{kV} \sim 10(6)\text{kV} \sim 35\text{kV} \sim 110(220)\text{kV}$ 电网的线损相关问题。其内容主要有四部分，一是简要地概述了节约能源资源与电网线损的基本概念，以及线损管理的节能意义。二是在阐述电力网线损理论计算基本原理的基础上，介绍了高压配电线路、低压配电网和高压输电线路的线损理论计算的几种实用方法，以及适用于各种性质负荷及场合的计算线损的传统方法。三是着重阐述了降低城乡电网线损的管理措施和技术措施。四是介绍了电力网线损计算与分析的几个软件及其使用操作方法。同时还编入了适量的计算例题、复习思考题和备查参数表（其中有多表具有浓缩性，一表多用，一表顶数表）。

编撰中，内容上注意联系工作实际，把当前行之有效的新技术、新经验和新科研成果写进去；叙述语言力求通俗、言简意赅、深入浅出，把普及和提高结合起来；在写作意图上，本书期望给从事本专业（在校未系统学习）的工作人员提供一个较满意的自学资料，让他（她）们能看得懂、用得上、操作方便，帮助其掌握本专业最基础的知识，明晰理清诸多基本概念，提高其理论水平和技术素质；而对具有本专业（在校已系统学习）基础的工作人员，应该是一次较全面的知识温故，乃至使用方法上的启示。

综上所述，本书适宜做线损管理人员的培训教材和自学书籍；也可用做从事城乡电网规划、计划、运行及管理等工作的人员的工作手册或工具书；并可供农村电工和乡镇电工阅读；同时对城市供用电的管理人员和厂矿企业电工、电气技术人员，以及相关专业的在校师生，也有一定的参考价值。总之，本书对众多的相关工作人员具有可读性、可用性、可操作性及收藏价值。

本书在编撰中，得到了河南省电力公司农电工作部相关人员和郑州大方软件股份有限公司的帮助和支持，更难能可贵的是原电力部农电司司长霍宏烈在百忙之中亲自为本书作序，在此一并向他们致以深深的谢意！

由于作者水平有限，加之年龄及精力的影响，本书难免有疏漏和谬误之处，恳请广大读者朋友提出批评和宝贵意见，更要敬请专家、学者们不吝赐教匡正。谢谢！

作 者

二〇一一年六月于郑州

目 录

CONTENTS



序 前 言

第一章 节约能源资源与电网线损管理概述	1
第一节 能源资源形势与线损管理节能的意义	1
第二节 电力网的线损及其产生的原因	3
第三节 电力网线损的类别关系及构成比例	7
本章复习思考题	9
第二章 电力网的线损理论计算	11
第一节 线损理论计算的作用、条件及要求	11
第二节 电力网线损计算的原理及基本方法	13
第三节 高压配电网线损理论计算的方法	18
第四节 10kV 重负荷线路的线损理论计算	38
第五节 多电源供电配电网线损理论计算的方法	45
第六节 低压配电网线损和电动机能耗的计算方法	56
第七节 高压输电线路线损理论计算的方法	73
第八节 电力网电能损耗计算的传统方法	88
本章复习思考题	92
第三章 农电线损报表的编制与城乡电网线损的分析	94
第一节 农电线损统计报表的计算机程序编制	94
第二节 城乡电网线损综合分析及降损对策综述	97
第三节 轻负荷线路降损措施实施效果分析	104
第四节 重负荷线路降损措施实施效果分析	108
第五节 低压三相负荷不平衡线路线损的计算分析	113
本章复习思考题	116
第四章 降低城乡电网线损的管理措施	117
第一节 推行电网降损承包经济责任制	117
第二节 加强电能计量管理	120
第三节 加强电力营销管理	131

第四节 激励均衡用电 减小电网负荷波动及峰谷差	142
第五节 合理选择投用变压器的容量与安装位置	146
第六节 采取考核严管措施 提高变压器负载率	150
第七节 降低城乡低压电网线损的措施	155
本章复习思考题	166
第五章 降低城乡电网线损的技术措施	168
第一节 切实加强电网无功补偿,就地就近平衡无功负荷	168
第二节 合理规划电网布局 及时施行技术改造	189
第三节 电网的升压运行与升压改造	198
第四节 更新改造高能耗变压器 推广应用低损耗变压器	202
第五节 城乡电网中变压器的经济运行	216
第六节 配电网的经济运行	230
第七节 系统电网与小水电的分网运行及环形电网的经济运行	242
本章复习思考题	254
第六章 电力网线损计算分析软件	256
第一节 线损软件的开发运用及其前景	256
第二节 输电网理论线损计算软件	257
第三节 10kV 配电网理论线损计算软件	273
第四节 0.4kV 配电网理论线损计算软件	285
第五节 电网线损“四分”统计系统	297
第六节 线损软件的发展趋势	305
本章复习思考题	306
附录 I 电网设备或元件的技术性能参数	307
1. 6 种标准系列 30 ~ 1000kVA/10kV 配电变压器技术性能参数表	307
2. 4 种标准系列 800 ~ 10 000kVA/35kV 主变压器技术性能参数表	308
3. 10 种标准系列 6300 ~ 63 000kVA/110kV 电力变压器技术性能参数表	309
4. 架空线路中铝绞线 (LJ 型)、钢芯铝绞线 (LGJ 型) 的电阻 r_0 值和 钢芯铝绞线 (LGJ 型) 的电抗 x_0 值表	310
5. JO ₂ 系列电动机空载电流表	311
附录 II 线损管理相关法规、制度及标准	312
1. 国家电网公司电力网电能损耗管理规定	312
2. 县供电企业电能损耗规范化管理标准 (试行)	315
3. 国家电网公司电力系统无功补偿配置技术原则	326
4. 国家电网公司电力系统电压质量和无功电力管理规定	329
5. 农村电网节电技术规程 (DL/T 738—2000)	339
6. 电力网线损指标的规范化管理 (分级管理)	349

7. 关于电力网线损小指标的统计计算	350
8. 无功电量对有功电量比值、功率因数、用户力率电费调整标准三对照表	352
9. 农电线损统计表、统计示意图及统计方法说明	353
附录Ⅲ 线损管理专业常用电工学与数学基础知识	356
一、常用电工学基础知识	356
二、常用数学基础知识	367
附录Ⅳ 本书所用希腊字母的近似读音与表示意义	375
参考文献	376

第一节 能源资源形势与线损管理节能的意义



一、我国的能源资源形势与能源方针

能源，是指自然界提供给人类所需要的某种特定形式和形态的能量，是人类赖以生存的重要物质基础。比如，太阳能、水资源、空气（风能）、土地、林木、各种矿藏及热能、沼气、电能等。其中，电能是传输和转换效率最高、清洁而最少污染环境、使用和控制最方便、当今应用最广泛的一种能源，也是能源的重要组成部分，更是国家经济建设和国防建设的重要动力资源，以及人民物质文化生活所需的重要资源。

能源问题，是世界性的问题，是各个大国越来越关切的重大问题；能源问题，事关我国现代化建设和全面建设小康社会的大局。深刻认识当前我国的能源资源形势，对于进一步做好能源的科学合理管理和节约用能工作很有意义。首先，就能源的探明总储量来说，我国煤炭储量约为 10 405 亿 t，其中可开采储量约为 1817 亿 t，占世界总储量的 13.9%，居世界第三位；近年年开采量约为 33 亿 t，居世界第一位。石油储量约为 1221 亿 t，其中可开采储量约为 60 亿 t（约合 422 亿桶），占世界总储量的 1.2%，居世界第十位，近年年开采量约为 2.03 亿 t，居世界第五位。天然气储量约为 47 万亿 m^3 ，其中可开采量约为 2.23 万亿 m^3 ，占世界总储量的 1.3%，近年年开采量约为 1100 亿 m^3 。前年我国在青海省和南海海域还钻获“可燃冰”（学名“天然气水合物”，具有使用方便、燃烧值高、清洁无污染等特点），远景资源量至少达 350 亿 t，合 194 亿 t 油当量，这是我国继加拿大、美国之后又一新能源重大发现。至 2010 年底，我国发电装机总容量约为 9.622 亿 kW（其中火力发电装机约占 73%，水电约占 22%，核电、风电等约占 5%），年总发电量约为 4.228 万亿 kW·h，全社会总用电量约为 4.1923 万亿 kW·h，均居世界第二位（上述情况说明，中国已经成为当今世界第二大能源生产国，中国对能源的开发利用将促进世界能源的发展，不会对世界能源构成威胁）。其次，就能源的人均拥有量来说，我国的能源人均拥有水平仅为世界平均值的 1/2，是美国的 1/10，前苏



联的 1/7, 在世界排名第 80 位; 以我国能源消耗量达 70% 左右的煤炭来比, 前苏联人均均为 2.2 万 t, 美国为 1.3 万 t, 德国为 3300t, 英国为 2900t, 而我国仅为 610t, 比世界平均水平还低 30%。而且, 我国还是当今世界三大石油进口国之一, 每年进口约为 2.46 亿 t (美国为 7.4 亿 t, 日本为 3.5 亿 t), 对外依存度超过 54%。天然气每年进口接近 270 亿 m³; 煤炭每年进口超过 8000 万 t。最后, 就能源的利用率来说, 日本达 57%, 美国达 51%, 西欧主要国家平均达 43% 左右, 而我国仅为 30%; 我国主要工业产品的单位能源消耗量, 比世界工业发达国家平均值高 40%; 具体地说, 2010 年我国每万元 GDP 工业能耗为 1.25t 标准煤, 是印度的 1.4 倍, 西方主要发达国家的 3~5 倍。这些情况表明, 我国的能源消耗高, 浪费大, 节约的空间或潜力也极大。中国中央电视台 2008 年 7 月公布的权威数据指出: 我国的煤炭可供开采不足 60 年, 天然气可供开采仅为 20 年, 而石油可供开采 14 年, 不足 30 年。

能源资源危机的警钟早已敲响!

根据我国严峻的能源形势和国情, 我国政府于 1979 年颁发了能源工作方针, 这就是“开发与节约并重, 近期把节约放在优先地位”的能源方针。我国政府又于 2011 年初提出, “一二五”期间“节能减排”工作在“十一五”基础上, 进一步优化能源结构, 加快发展智能能源和清洁能源(如风能、太阳能、核能等), 提升其占有比例, 要合理控制能源消费总量(年均为 36 亿 t 标准煤); 着力提高能源利用率, 进一步做好“节能减排”工作。单位国内 GDP 工业能耗降低 16%, 主要污染物排放量减少 8%~10%。这些情况表明, 中国的能源方针政策, 是以节约为主, 自主开发为主, 大量的需求立足于本国。为了确保我国国民经济持续、协调、平稳、又好、又快发展, 使我国现代化建设和全面建设小康社会的宏伟目标早日圆满实现, 我们应当认真学习, 深刻领会国家这一战略方针, 提高全民族和子孙后代的节能意识, 牢固树立“节约优先, 效益为本”的思想和科学发展观, 千方百计、深入持久地做好节能工作, 为建立能源资源节约型社会和走建设科技创新型国家作出积极的贡献!



二、加强线损管理工作对节约能源的意义

1. 线损管理工作的主要内容

管理是一门科学。它是由一系列理论、原则、形式、方法、制度等组成的。线损管理涉及国家的能源方针政策、生产管理制度、企业的管理方法、理论基础和计算技术诸多方面。

线损管理工作的主要内容, 大致包括五个方面: 一是贯彻执行国家和上级电力部门的能源方针政策, 如国务院于 1986 年 1 月颁发的《节约能源管理暂行条例》、国务院于 1987 年 3 月批转国家经委、国家计委制定的《关于进一步加强节约用电的若干规定》、原水利电力部于 1983 年 6 月下达的《关于停止装用高能耗配电变压器的通知》、原能源部于 1990 年 1 月颁发的《全国农村节电实施细则》、原国家经贸委于 2000 年 11 月发布的《农村电网节电技术规程》等文件。二是制定下达线损率考核指标和降损节电计划。三是落实降损节电的各项措施, 消除或尽量减少线损中可以避免及不合理的部分, 使各种电压等级电网的线损率降低到国家要求值或合理值。四是按时完成线损统计工作, 正确编制线损报表, 为领导和上级的决策提供依据。五是定期开展线损理论计算和分析工作, 为确定降损主攻方向提供依据。



2. 加强线损管理工作的节能意义

为了贯彻落实国家的能源方针,我们应当做好两方面的工作:一是用能单位要科学合理利用能源,降低能源消耗,提高企业在生产过程中的能源有效利用效率,与时俱进,把企业建成自主创新的现代化企业;节能减排并举并重,为建设能源资源节约型社会,为留给子孙后代一个“蓝天碧水”优美生态环境的家园——我们的国家,作出应有贡献。总之,节约能源资源和环境保护是一项“功在当代,利在千秋”的重大战略性工作,我们务必高度重视,积极实施,决心做好!二是供电单位要经济高效地传输能源,降低传输和分配过程中的损耗。加强线损管理,其实质就是要做好节约电能的第二方面工作。当今,全国数千个供电企业(管城网的市级供电企业+管农网的县级供电企业)如果对各电压等级电网或电力线路采取有效措施,使电网线损率平均降低一个百分点,全国一年约节约(少损)电量440亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,其价值达40亿元,这是非常可观、非常惊人的数字。因此,全国各级供电企业要在满足社会和人民需要的前提下,尽可能地多供少损,以提高供电企业的经济效益和社会效益。

加强线损管理对节约能源的意义,主要体现在以下六个方面:

(1) 降低电网电能损耗,节约发电中所需用的煤炭和燃油等燃料,为国家节约主要能源。

(2) 减少电网线损电量,为国家和电力企业节约由其占用的发供电设备(包括电力线路)容量的投资。

(3) 降低工矿企业专用用电线路及变电或配电变压器的电能损耗,减少其电费开支,降低生产成本,提高电能的利用效率和社会效益。

(4) 降低线损就是节约电力,每节约 $1\text{kW}\cdot\text{h}$ 的电能,即相当于节约0.35kg的标准煤,即可冶炼优质钢2kg,可多采煤30kg,可多产原油0.03kg,可多生产复合肥56kg,可多生产水泥14kg,可多织布7m,可多灌溉农田0.15亩……

(5) 促进节能高效新技术、新设备(产品)、新工艺的推广应用,促进现有高能耗老设备的更新改造,从而促使电网技术装备水平提高;反过来又有利于电力企业能够更好地完成上级电力部门下达的线损率考核指标。

(6) 对于某些电力短缺、供需矛盾紧张的地区,加强线损管理,降低电能损耗,在一定程度上对其可起到缓解的作用,为国民经济提供“充足、可靠、合格、廉价”的电力,促进国民经济持续、协调、平稳、又好、又快发展。

总之,电网降损节能(节电)是国家节约能源资源的组成部分,而且是极其重要的组成部分。

第二节 电力网的线损及其产生的原因



电力网的线损(电能损耗)

1. 电力网

电力网是电力系统的一部分。它是由电力线路(输电线路和配电线路)、电力变压



器（升压变电站和降压变电站中的主变压器及电力用户的配电变压器）、电气开关设备（油断路器、熔断器、刀闸等）、电气监测仪表（含电能计量装置）、无功补偿设备（如移相电容器等）、继电保护装置或自动监控装置等元件所组成。这就是说，在电力系统中，除发电厂（火力发电厂、水力发电厂、风力发电厂和核能发电站等）和电力用户的用电设备、器具之外，具有输送和分配电能功能的所有全部电气设备（含各种不同电压等级的线路、装置）按照一定规则所连接成的网络，就是电力网。

电力网按功能和电压等级分为配电网和输电网。配电网又分为 380/220V（或 0.4kV）配电网亦称低压配电网，及 10（6）kV 配电网亦称高压配电网；输电网又分为 35（66）kV、110kV、220kV 高压输电网，500kV、750kV 超高压输电网，1000 特高压输电网；以及交流输电网（线路），或直流输电网（线路）。

2. 电力网的线损（电能损耗）

从发电厂发出来的电能，在电力网输送、变压、配电及营销各环节中所造成的损耗，称为电力网的电能损耗，简称为线损。即电力网的线损是发电厂（站）发出来的输入电网的电能量与电力用户用电时所消耗的电能量之差。其中按存在的自然性分为两大类：第一类是由电网元件的技术性能优劣状况、电网结构与布局合理程度、电网运行状况与方式是否经济合理等因素造成（决定）的。这种线损即为电力网的技术线损（又称电力网的理论线损）。即它在理论上的特点，是电能以热能和电晕的方式散失于电网元件的周围空间或介质中；这就是说，电力网的技术线损是电力网固有的、自然的物理现象；因此，电力网的技术线损是线损电量中可以降低或减小，但却是不可以避免的组成部分。第二类线损是由电网的管理企业或部门的管理水平（如生产运行管理水平、企业经营管理水平、电网及设备管理水平、电能计量管理水平等）的差异所决定的。这种线损即为管理线损（又称营业损失或不明损失）。即它的产生并非电力网固有的、自然的物理现象，而是电网线损电量中不合理且可以避免的部分，即可以减少为零或接近零值的。因此，各个电网总线损量大小是有区别的，管理部门只要采取适当和有效的措施，是可以把它降低到合理值或控制在国家要求的达标值范围内的。即我们要努力做到：

技术线损最佳化，管理线损最小化

据统计分析，在我国城乡电网全网线损电量中，35（66）~110（220）kV 输电网的线损电量约占 22%，10kV 配电网的线损电量约占 36%，0.4kV 配电网的线损电量约占 42%。而国外有关资料介绍，德国、英国等西欧主要国家的高压配电网的线损电量约占全部网损的 38%~44%，前苏联的 10kV 配电网的线损电量亦约占全部网损的 40%。

3. 线损率（电能损耗率）

电网中的线损电量对电网购电量（或供电量）之百分比，就是线损率，亦称电网供电损失率。即

$$\text{线损率}(\%) = \frac{\text{电网线损电量}}{\text{电网购电量(供电量)}} \times 100\% \quad (1-1)$$



式中,电量的单位为 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

从式(1-1)可知,线损率是指电网向受电用户供电之过程中,每供电 $100\text{kW} \cdot \text{h}$,其中间所损失的电量。电网供电量和用户用电量均可以用表计(电能表)计量出来,而损失电量是不可以用电能表计量出来的(专门的仪器除外,此种仪器通常比电能表结构较复杂,技术含量较高,价格较昂贵,推广应用有一定阻力和困难,且市场上很少见有出售的),三者之间的正常关系是:供电量 > 用电量 > 损失电量。

在实际工作中,线损电量有两个值,即实际线损电量与理论线损电量,因此,线损率也有两个对应值,即实际线损率与理论线损率。即

$$\begin{aligned} \text{实际线损率}(\%) &= \frac{\text{实际线损电量}}{\text{电网购(供)电量}} \times 100\% = \frac{\text{购电量} - \text{售电量}}{\text{电网购(供)电量}} \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{\text{售电量}}{\text{电网购电量}}\right) \times 100\% \end{aligned} \quad (1-2)$$

$$\begin{aligned} \text{理论线损率}(\%) &= \frac{\text{理论线损电量}}{\text{电网供(购)电量}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{固定损耗电量} + \text{可变损耗电量}}{\text{电网供(购)电量}} \times 100\% \end{aligned} \quad (1-3)$$

由于线损率不同于线损电量,它是一个用百分比表示的相对值,因此,线损率是表征电网技术装备水平及其组成元件的质量与性能是否精良、结构与布局是否合理,衡量电网运行是否经济,并对于相同电压等级、处于相同地理地形的线路及其管理的企业与地区具有一定可比性的一个重要参数。也是考核供电企业经营管理和水平是否先进、所采取的措施是否得力有效的一项重要技术经济指标。

又因实际线损电量中包含了理论线损电量和管理线损电量,且欲使管理线损电量降为零值,有一定工作难度,故对多数地区或多数供电企业而言,在正常情况下,电力网的实际线损率总是高于或略高于理论线损率。目前,我国电力网的实际线损率约为 $7.0\% \sim 8.0\%$,此线损涵盖了我国城网和农网,从配电变压器二次侧总表及以上,至 220kV 或 500kV 线路设备的线损。而德国、日本、美国等设备(含线材)节能性能较好的国家,其线损率约在 $5.0\% \sim 6.0\%$;前苏联、加拿大、法国、英国等设备(含线材)节能性能较差的国家,其线损率约在 $6.5\% \sim 7.5\%$ 。然而,我国农村电力网,从低压到高压,包括配电网和输电网,即包括用户和电业部门,其全网的实际线损率约为 $20\% \sim 25\%$,远高于理论线损率,也远高于工业发达国家的平均值;其中, 0.4kV 线损率,即农村低压配电网线损率约为 $11\% \sim 13\%$, $10(6)\text{kV}$ 线损率,即农村高压配电网线损率约为 $6.5\% \sim 8.5\%$, $35 \sim 110(220)\text{kV}$ 线损率,即农村输电网的线损率约为 $3.5\% \sim 4.5\%$ 。此处三个电压等级农网线损率中前面的三个下限值为全国性农村电网改造后一流县级供电企业该电压等级农网线损率的达标值,而 12% 、 7.5% 、 4% 为一般县级供电企业相应电压等级农网线损率的达标值。

相关等级电压电网线损率达标值见表 1-1。



表 1-1

相关等级电压电网线损率达标值

电网类别	0.4kV 配电网	10 (6) kV 配电网	35 ~ 110 (220) kV 输电网
1. 一流市地供电企业	8.0%	6.0%	3.0%
2. 一般市地供电企业	9.0%	6.5%	3.5%
3. 一流县级供电企业	11.0%	6.5%	3.5%
4. 一般县级供电企业	12.0%	7.5%	4.0%



二、电力网线损的产生原因

电力网线损的产生原因,归纳起来主要有四个方面的因素,即电阻和感抗的作用、磁场的作用、管理方面的因素及其他方面的因素,如电晕作用等。

1. 电阻和感抗的作用

电网中的负载绕组及连接的导线具有电阻性能,需要吸取消耗有功功率;绕组或线圈又具有电感性能,需要吸取消耗无功功率;有功和无功引起电能在电网中的传输,电流在导体中的流通,不仅电阻对其有阻碍作用或现象,电感在交流电的作用下产生自感电动势,对电流的流通也产生阻碍作用或现象,即为感抗;而有功功率和无功功率在导体中传输,电流必须克服电阻作用而流通,必然引起导体或负载温度升高或发热,即电能转换为热能,并以热能的形式散失于导体周围的介质中,即产生了有功损耗即线损。因为这种损耗是由导体电阻对电流的阻碍作用而产生的,故称为电阻损耗;又因为这种损耗随着导体中通过的电流或有功功率、无功功率的大小而变化,故又称为可变损耗(这种损耗的计算方法,是本书和其他书刊叙述的重点)。

2. 磁场的作用

在交流电路中,电流通过电气设备,建立并维持磁场,电气设备才能正常运转,带上负载而做功。如电动机需要建立并维持旋转磁场,才能正常运转,带动机械负荷做功。又如变压器需要建立并维持交变磁场,才能起到升压或降压的作用,把电能输送到远方,而后再把电能变压为便于用户使用的电能。众所周知,在交流电路系统中,电流通过电气设备,电气设备从系统或电源吸取无功功率,并按周期不断地与其交换,从而建立并维持磁场,这一过程即为电磁转换过程(电生磁)。在此过程中,由于磁场的作用,在电气设备的铁心中产生磁滞和涡流现象,使电气设备的铁心温度升高和发热,从而产生了电能损耗。因这种损耗是由交流电在电气设备铁心中建立和维持磁场的作用而产生的,故称为励磁损耗(其中以磁滞损耗为主,涡流损耗极小);又因这种损耗与电气设备通过的电流大小无关,而与设备接入的电网电压等级有关,即电网电压等级固定,这种损耗亦固定,故又称之为固定损耗。

3. 管理方面的因素

有极少数电业管理部门,由于其管理水平相对落后,制度不够健全,致使工作中出现一些问题。例如,用户违章用电和窃电,造成电量丢失;电网绝缘水平差,造成漏



电；计量表计配备不合理，修校调换不及时，造成误差损失；营业管理松弛，造成抄核收工作的差错损失；电网及设备发生事故或故障造成的电量损失。由于这种损失没有一定的规律，不能运用表计和计算方法测算取得，只能由最后的统计数据确定，而且其数值也不能够及早明晰而被确切预知，故称为不明损失；又因为这种损失是由电业管理部门的管理方面因素（或在营业过程中）造成的，故又称之为管理线损（或营业损失）。

由上所述，可得管理线损的确定方式如下

$$\begin{aligned} \text{管理线损} &= \text{营业损失} = \text{不明损失} \\ &= \text{电网供电量} - \text{售电量} - \text{理论线损电量} \end{aligned} \quad (1-4)$$

其中，供电量与售电量可运用表计测量取得，理论线损（技术线损）电量可运用计算方法求算获得。

4. 其他方面的因素

比如电晕作用，即在高压和超高压架空输电线路导线表面周围存在一个电场，当其场强超过导线表面周围空气分子的游离强度（一般为 $20 \sim 30\text{kV/cm}$ ）时，导线表面周围空气薄层就被击穿电离为带电的离子，这个过程为不完全自励放电过程，其间会发出“嗤、嗤……”的放电声，在夜间沿线可看见一条长长的紫蓝色的荧光，这种现象即为“电晕”。电晕放电与导线表面的电场强度、光洁程度、导线所处地理环境、天气情况，以及导线的直径、每相导线数等因素有关。电晕放电必将产生线路的有功功率损耗（同时还产生无线电干扰和高频干扰，还可能引起导线舞动及损伤）。电晕损耗的计算目前尚无精确公式，只能按经验估算，即其年均损耗约为线路年均电阻损耗的 10% 左右。而且只有对 220kV 及以上线路和 110kV 线路导线截面小于 150mm^2 的架空线路方需计算。

第三节 电力网线损的类别关系及构成比例



一、城乡电网线损的类别关系

城乡电网线损，按产生的原因可分为电阻损耗、励磁损耗和偷漏误差损失；按与电网中负荷电流的关系，又可分为可变损耗与固定损耗；按产生在电网元件的部位，又可分为线路导线线损、变压器铜损、变压器铁损、电容器介质损耗和计量表计中的损失等。此外，电业管理部门根据工作需要，还分有实际线损、管理线损、理论线损、考核线损、规划线损等。它们之间的正常关系应该是：

$$\text{考核线损(率)} \geq \text{实际线损(率)} \geq \text{理论线损(率)} \geq \text{规划线损(率)} \geq \text{管理线损} \geq 0$$

高压配电网输送的负荷电量及线损电量都比较大，与市县供电企业经济效益的关系较为密切，并且线路较长，分布面较广，变压器等设备较多，线损种类较杂，管理工作较为繁重。因此，高压配电网是城乡电网的主要组成部分，用它的线损构成情况来说明