

中华人民共和国行业标准

小水电网电能损耗计算导则

**The guidelines of energy losses calculation for
small hydropower grid**

SL173—96

主编单位：水利部农村电气化研究所

批准部门：中华人民共和国水利部

施行日期：1996 年 10 月 1 日

中华人民共和国水利部

关于批准发布《小水电网电能损耗 计算导则》SL173—96 的通知

水科技 [1996] 363 号

各流域机构，各省、自治区、直辖市水利（水电）厅（局），新疆生产建设兵团，各水利水电勘测设计院：

根据部 1994 年水利水电技术标准制定、修订计划，由水电及农村电气化司主持，以水利部农村电气化研究所为主编单位制定的《小水电网电能损耗计算导则》，经审查批准为水利行业标准，并予以发布。标准的名称和编号为：《小水电网电能损耗计算导则》SL173—96。

本标准自 1996 年 10 月 1 日起实施。在实施过程中各单位应注意总结经验，如有问题请函告水电及农村电气化司，并由其负责解释。

标准文本由中国水利水电出版社出版发行。

一九九六年八月十七日

目 次

1 总则	356
2 基本规定及方法	356
3 电网电能损耗计算	359
4 电能损耗分析	362
5 降损节能效果计算	363
6 计算机应用	365
7 电能损耗管理	366
附录 A 线路电能损耗计算方法(补充件)	368
附录 B 变压器电能损耗计算方法(补充件)	370
附加说明	372
条文说明	373

1 总 则

1.0.1 为了加强小水电网的管理,提高其技术水平与经济效益,检查小水电网电能损耗情况,提出改善电网结构、降低能耗的具体措施,合理制订电能损耗率考核指标,特制订本导则。

1.0.2 本导则适用于小水电供电为主的县级小水电网的电能损耗计算、统计、分析及降损措施效果的计算,也适用于小水电网规划设计、运行管理中所涉及的电能损耗计算。跨县的地区性小水电网可参照执行。

1.0.3 小水电网电能损耗统计的口径与方法应符合有关规程规范要求,电能损耗管理应按有关规定执行。

1.0.4 为提高小水电网电能损耗计算的精度和速度,应采用计算机计算,不断充实、推广实用计算软件。

1.0.5 小水电网电能损耗计算应在充分收集和准备基本资料的基础上进行。

1.0.5.1 高压电网应收集的资料有:发电厂、变电所和电网的运行接线图;变压器、线路、调相机、电容器、电抗器等元件的参数资料,包括铭牌资料和实测资料以及电力网各元件的负荷和电压参数。

1.0.5.2 配电网应收集的资料有:配电网接线图及每一线段的参数;各节点配电变压器的铭牌参数;变电所出口端及发电厂代表日和全月的负荷曲线,有功、无功电度及电压曲线;用户配电变压器及公用配电变压器代表日和全月的有功、无功电度;配电线上装置的电容器容量和位置以及全月投运时间等。

2 基本规定及方法

2.1 基本规定

2.1.1 小水电网的电能损耗计算应在各元件电能损耗计算的基础上进行,整个小水电网电能损耗应是全网各元件电能损耗之总和。

2.1.2 各元件的有关运行参数应由代表日的实际测录取得。代表日的选择应按下列原则进行:

2.1.2.1 小水电网的运行方式、潮流分布能代表计算期的正常情况。

2.1.2.2 代表日的日供电量,接近计算期(月、季、年)的平均日供电量。

2.1.2.3 用户用电正常,气候情况正常,气温接近计算期平均温度。

2.1.3 代表日负荷记录应完整,能满足计算需要,应包括发电厂、变电所、线路等24h正点的发电量、供电量;输出、输入电流,有功功率和无功功率;电压以及分时段全天电量

记录,并绘制按小时记录的日负荷曲线。

2.2 元件损耗计算方法

2.2.1 线路的电能损耗计算应以其日负荷曲线为基础,并视具体情况,采用均方根电流法、平均电流法、最大电流法等三种方法之一进行计算,具体见附录 A:线路电能损耗计算方法。

2.2.2 变压器的电能损耗包括铁心损耗(固定损耗)和绕组损耗(可变损耗)。铁心损耗可通过变压器空载损耗功率计算;绕组损耗也可采用均方根电流法、平均电流法和最大电流法之一计算。绕组损耗电量与铁心损耗电量之和即为变压器的损耗电量,具体见附录 B:变压器电能损耗计算方法。

2.2.3 并联电容器、串联电容器、调相机和限流电抗器的电能损耗可按如下方法计算。

2.2.3.1 并联电容器的电能损耗为:

$$\Delta A = Q_c \operatorname{tg} \sigma t \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (2.2.3-1)$$

式中 Q_c ——投运的并联电容器容量, kvar;

$\operatorname{tg} \sigma$ ——电容器介质损失角的正切值,具体取值见表 2.2.3.1;

t ——并联电容器投运时间, h。

表 2.2.3.1 电力电容器的 $\operatorname{tg} \sigma$ 取值

项 目	纯 纸 介 质		纸 膜 复 合 介 质
	0.525kV 及以下	1.05kV 及以上	
$\operatorname{tg} \sigma$	0.004	0.003	0.0012

2.2.3.2 串联电容器的电能损耗为:

$$\Delta A = 9.55 I_{jf}^2 \frac{\operatorname{tg} \sigma t}{C} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (2.2.3-2)$$

式中 I_{jf} ——均方根电流,计算方法见附录 A;

C ——每相串联电容器的电容, μF ,若每相由 n 组并联,每组由 m 个单台电容器串联组成,则:

$$C = n C_0 / m \quad (\mu\text{F})$$

C_0 ——单台电容器的标称电容, μF 。

当只具有计算期(代表日)负荷平均电流 I_{pj} 或最大电流 $I_{\max}$ 时,亦可按 $I_{jf}^2 = K^2 I_{pj}^2$ 或 $I_{jf}^2 = F I_{\max}^2$ 计算。 K^2 与 F 的计算见附录 A。

2.2.3.3 限流电抗器的电能损耗为:

$$\Delta A = 3 \Delta P_k \left(\frac{I_{jf}}{I_e} \right)^2 t \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (2.2.3-3)$$

式中 I_e ——电抗器额定电流, A;

ΔP_k ——一相电抗器通过额定电流、温度达到 75°C 时的功率损耗, kW;按厂家提供数据计算或由有关手册查得。

当只具有计算期(代表日)负荷电流平均值 I_{pj} 或最大电流 $I_{\max}$ 时,亦可按 $I_{pj}^2 = K^2 I_{\max}^2$ 或 $I_{pj}^2 = F I_{\max}^2$ 计算。

2.2.3.4 调相机的电能损耗为:

$$\Delta A = |Q|_{pj} \frac{\Delta P\%}{100} t + \Delta A_f \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (2.2.3-4)$$

式中 $|Q|_{pj}$ ——代表日调相机所发无功功率绝对值的平均值, kvar;

$\frac{\Delta P\%}{100}$ ——平均无功功率的有功功率损耗率, kW/kvar, 根据制造厂提供的数据或试验测定;

t ——调相机运行小时数, h;

ΔA_f ——调相机辅机的电表抄见消耗电量, kW·h。

2.2.3.5 电流、电压互感器及仪器仪表等的电能损耗,按其各类型设备的数量乘以该型设备的平均损耗电量汇总计算。每种元件平均损耗电量由有关资料查取。

2.2.4 代表日全网的总电能损耗应按固定损耗及可变损耗两部分分类汇总,然后根据全月供电量及代表日供电量关系,折算出全月的损耗电量及线损率,全月损耗电量为:

$$\sum \Delta A_m = \left[\sum \Delta A_G + \sum \Delta A_B \left(\frac{A_m}{A_d \cdot D} \right)^2 \right] D \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (2.2.4-1)$$

式中 $\sum \Delta A_m$ ——全月全网的损耗电量, kW·h;

$\sum \Delta A_G$ ——代表日全网固定损耗电量,包括变压器铁心、并联无功补偿设备、调相机、互感器、计量装置、测量装置、保护运动装置、电缆介质损耗、绝缘子的泄漏损耗电量等, kW·h;

$\sum \Delta A_B$ ——代表日全网的可变损耗电量,包括架空线路、电缆线路的导线损耗以及变压器绕组、串联补偿设备的损耗电量等, kW·h;

A_m ——全月全网供电量, kW·h;

A_d ——代表日全网供电量, kW·h;

D ——全月日历天数。

月电能损耗率可按下式计算:

$$\zeta_y = \frac{\sum \Delta A_m}{A_m} \times 100\% \quad (2.2.4-2)$$

式中 ζ_y ——电网月电能损耗率, %。

2.2.5 按月累加各月损耗电量即为全网全年的损耗电量。全网年电能损耗率可按下式计算:

$$\zeta_n = \frac{\sum_{i=1}^{12} \sum \Delta A_{mi}}{\sum_{i=1}^{12} A_{ni}} \times 100\% \quad (2.2.5)$$

式中 ζ_n ——电网年电能损耗率, %;

i ——月份序号, $i=1, 2, \dots, 12$ 。

3 电网电能损耗计算

3.1 高压电网电能损耗计算

3.1.1 高压电网系指 35kV 及以上的高压网络。35kV 及以上电网的电能损耗计算分为：线路导线中的电阻损耗、变压器的铁心损耗、变压器的绕组损耗等。110kV 以上电网除此三部分外，还应计及线路电晕损耗和绝缘子的泄漏损耗。

3.1.2 35kV 及以上电压的线路，导线型号差别较小，线路条数及引出分支较少，关口计量完整，因此可按线路的接线情况逐条进行线损计算。

3.1.3 当网络较复杂、具有环网且关口计量不完善时，可将各节点有功、无功出力及负荷分开，分别排列成导纳矩阵方程进行 P—Q 分解计算。各节点有功、无功负荷的输入方法可按下述方法进行：

有实测资料时，可直接输入各节点代表日 24h 有功、无功实际负荷值；当资料有限时也可用节点等效功率法，由各节点代表日全天的有功电量和无功电量求出各节点的平均有功和无功负荷，用负荷曲线形状系数（等效系数）K 对其进行修正，考虑并接电源的有功、无功出力后作为输入各节点的有功和无功负荷有效值。

3.1.4 小水电网各节点变压器固定的有功、无功空载损耗应视为各节点的有功、无功负荷参与计算，具体计算中可将各节点有功、无功空载损耗分别计入各节点代表日 24h 有功、无功负荷中，或者在计算中先不计入变压器有功、无功空载损耗，计算结束后，再将其加入到整个小水电网的损耗中去。

3.2 配电网电能损耗计算

3.2.1 配电网节点多、分支线多、多数元件不能测录运行数据，以及并接有小水电站，计算复杂，所以应根据需要进行适当简化。简化内容为：

（1）各节点负荷曲线的形状及功率因数与供电电源即变电所出线与发电厂出线负荷之和的形状与功率因数相同；

（2）配电网沿线的电压损失对电能损耗的影响可略去不计；

（3）配电网各线段的电阻可以不作温度校正；

（4）具体计算中采用平均电流法。

3.2.2 根据发电厂及变电所出线负荷和电压资料，分别计算发电厂及变电所出线代表日平均电压和平均电流。

$$U_{pj(0)} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} U_i \quad (\text{kV}) \quad (3.2.2-1)$$

$$I_{pj(0)} = \frac{\sqrt{[A_{pj(0)}^2 + A_{q(0)}^2]}}{\sqrt{3} U_{pj(0)} \times 24} \quad (\text{A}) \quad (3.2.2-2)$$

式中 $U_{pj(0)}$ ——发电厂或变电所出线代表日平均电压，kV；

U_i ——代表日 t 小时的正点电压, kV;

$I_{pj(0)}$ ——发电厂及变电所出线代表日平均电流, A;

$A_{p(0)}$ ——发电厂及变电所出线代表日有功电量, kW·h;

$A_{q(0)}$ ——发电厂及变电所出线代表日无功电量, kvar·h。

3.2.3 根据线路供电负荷曲线及代表日供电有功电量确定线路负荷曲线形状系数 K , 见附录 A。

3.2.4 按各节点代表日或月平均的日有功电量确定各节点的平均电流:

$$I_{pj(i)} = I_{pj(L)} \frac{A_{p(i)}}{A_{p(L)}} \quad (3.2.4-1)$$

式中 $I_{pj(i)}$ ——第 i 节点的平均电流, A;

$I_{pj(L)}$ ——整条线路的平均电流, 为发电厂及变电所出线平均电流之和, A;

$A_{p(i)}$ ——第 i 节点后的负荷有功电量, kW·h;

$A_{p(L)}$ ——整条线路的负荷有功电量, 为发电厂及变电所出线有功电量之和, kW·h。

当缺乏各负荷节点电量资料时, 可按各节点配电变压器负载系数相等的条件确定各节点的平均电流。

$$I_{pj(i)} = I_{pj(L)} \frac{S_{e(i)}}{S_{e(L)}} \quad (3.2.4-2)$$

式中 $S_{e(i)}$ ——第 i 节点后配电变压器容量, kVA;

$S_{e(L)}$ ——整条线路并接配电变压器容量之和, kVA。

3.2.5 从本线最末端负荷节点开始, 逐段相加, 求出每一线段上的平均电流 $I_{pj(i)}$, 并标于单线图上, 结合各线段的电阻, 计算各线段代表日的损耗电量及总损耗电量。

$$\Delta A_i = 3I_{pj(i)}^2 R_i K^2 \times 24 \times 10^{-3} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (3.2.5-1)$$

$$\Delta A_L = 72 \left\{ \sum_{i=1}^m I_{pj(i)}^2 R_i \right\} K^2 \times 10^{-3} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (3.2.5-2)$$

式中 ΔA_i ——第 i 线段的代表日损耗电量, kW·h;

ΔA_L ——全线路的代表日损耗电量, kW·h;

R_i —— i 线段的电阻, Ω ;

m ——该线路包含的线段总数;

K ——负荷曲线形状系数。

3.2.6 代表日线路配电变压器的绕组损耗和铁心损耗, 可按下式计算:

$$\sum \Delta A_{R(i)} = 24 K^2 \left\{ \sum \Delta P_{k(i)} \frac{I_{pj(i)}^2}{I_{e(i)}^2} \right\} (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (3.2.6-1)$$

$$\sum \Delta A_{T(i)} = 24 \sum \Delta P_{0(i)} (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (3.2.6-2)$$

式中 $\sum \Delta A_{R(i)}$ ——全线路所有配电变压器的绕组损耗电量, kW·h;

$\sum \Delta A_{T(i)}$ ——全线路所有配电变压器铁心损耗电量, kW·h;

$\Delta P_{k(i)}$ ——第 i 节点配电变压器的额定短路损耗功率, kW;

$I_{pj(i)}$ ——第 i 节点代表日平均电流, A;

$I_{e(i)}$ ——第 i 节点配电变压器高压侧额定电流, A;

$\Delta P_{0(i)}$ ——第 i 节点配电变压器空载损耗功率, kW。

3.2.7 配电线路代表日和全月损耗电量以及月电能损耗率可计算为:

$$\Delta A = \sum \Delta A_{T(i)} + \Delta A_L + \sum \Delta A_{R(i)} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (3.2.7-1)$$

$$\Delta A_m = \left[\sum \Delta A_{T(i)} + (\Delta A_L + \sum \Delta A_{R(i)}) \left(\frac{A_{am(0)}}{DA_{d(0)}} \right)^2 \right] D \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (3.2.7-2)$$

$$\Delta A_m \% = \frac{\Delta A_m}{A_{am(0)}} \times 100 \% \quad (3.2.7-3)$$

式中 ΔA ——代表日配电线路损耗电量, kW·h;

ΔA_m ——配电变电所出线月损耗电量, kW·h;

$A_{am(0)}$ ——发电厂及配电变电所出线全月有功电量, kW·h;

$A_{d(0)}$ ——发电厂及配电变电所代表日有功电量, kW·h;

D ——全月日历天数;

$\Delta A_m \%$ ——月电能损耗率, %。

3.2.8 对于单电源配电线路,可按等值电阻法进行线路电能损耗计算。配电线路代表日的总损耗电量为:

$$\Delta A = 24(\sum P_{0(i)} + 3I_{pj(0)}^2 K^2 R_{DZ} \times 10^{-3}) \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (3.2.8-1)$$

$$R_{DZ} = R_{DZL} + R_{DZR} \quad (3.2.8-2)$$

$$R_{DZL} = \frac{\Delta A_L \times 10^3}{72I_{pj(0)}^2 K^2} = \frac{\sum_{i=1}^m A_{e(i)}^2 R_i}{(\sum A_e)^2} \quad (\Omega) \quad (3.2.8-3)$$

$$R_{DZR} = \frac{\sum \Delta A_{R(i)} \times 10^3}{72I_{pj(0)}^2 K^2} = \frac{U^2 \sum \Delta P_{k(i)}}{(\sum A_e)^2} \times 10^3 \quad (\Omega) \quad (3.2.8-4)$$

式中 R_{DZ} ——配电线路等值电阻, Ω ;

R_{DZL} ——线路导线等值电阻, Ω ;

R_{DZR} ——线路配电变压器线圈等值电阻, Ω ;

$\sum A_e$ ——该线路各节点配电变压器总电量, kW·h;

$A_{e(i)}$ ——第 i 线段后的配电变压器电量, kW·h;

R_i ——第 i 线段的导线电阻, Ω ;

$\sum \Delta P_{k(i)}$ ——该线路各节点配电变压器的总短路损耗功率;

U ——配电变压器高压侧额定电压, kV。

当缺乏各负荷节点电量资料时,可按各节点配电变压器负载系数相等的条件确定等值电阻:

$$R_{DZL} = \frac{\sum_{i=1}^m S_{e(i)}^2 R_i}{(\sum S_e)^2} \quad (\Omega) \quad (3.2.8-5)$$

$$R_{DZR} = \frac{U^2 \sum \Delta P_{k(i)}}{(\sum S_e)^2} \times 10^3 \quad (\Omega) \quad (3.2.8-6)$$

式中 $\sum S_e$ ——该线路各节点配电变压器总容量, kVA;

$S_{e(i)}$ ——第 i 线段后的配电变压器容量, kVA。

3.3 低压电网电能损耗计算

3.3.1 低压电网以一回出线为一个计算单元, 确定每回出线的干线及末端, 在低压电网最高负荷时测录配电变压器出口电压和末端电压并计算其电压损失率:

$$\Delta U_{\max} \% = \frac{U_{\max f} - U_{\max m}}{U_{\max}} \times 100 \% \quad (3.3.1)$$

式中 $\Delta U_{\max} \%$ ——最大负荷时电压损失率, %;

$U_{\max f}$ ——最大负荷时首端电压, 一般为配电变压器出口电压, V;

$U_{\max m}$ ——最大负荷时干线末端电压, V。

3.3.2 低压电网最大负荷时的功率损耗率为:

$$\Delta P_{\max} \% = K_p \cdot \Delta U_{\max} \% \quad (3.3.2-1)$$

$$K_p = \frac{1 - \frac{\lg^2 \delta}{X}}{1 + \frac{X}{R} \lg \delta} \quad (3.3.2-2)$$

式中 $\Delta P_{\max} \%$ ——最大负荷时的功率损耗率, %;

X ——导线电抗, Ω ;

R ——导线电阻, Ω ;

δ ——电流与电压间的相角。

3.3.3 代表日低压电网计算单元的电能损耗率和电能损耗计算为:

$$\Delta A \% = \frac{F}{f} \Delta P_{\max} \% \quad (3.3.3-1)$$

$$\Delta A = A \cdot \Delta A \% \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (3.3.3-2)$$

式中 $\Delta A \%$ ——电能损耗率, %;

ΔA ——电能损耗, $\text{kW} \cdot \text{h}$;

F ——损失因数, 按附录 A 计算;

f ——代表日平均负荷率;

A ——代表日配变供电量, (在多路出线的情况下, 每路出线的供电量可按其电流值分摊), $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

3.3.4 一台配电变压器所接低压网络的总损耗电量应为各计算单元的损耗电量之和。

4 电能损耗分析

4.0.1 电能损耗分析应在分析比较统计损耗率和理论损耗率的基础上进行, 在此基础上找出计量装置、设备设施性能、运行管理及调度方式等方面存在的问题, 并采取针对性措施, 以达到降低小水电网损耗之目的。

4.0.2 统计损耗率是对小水电网内各供、售电量表统计得出的损耗率,可以按月统计也可按年统计,其计算公式为:

$$\zeta_{TJ} = \frac{\Delta A_{TJ}}{A_{TJ}} \times 100\% \quad (4.0.2)$$

式中 ζ_{TJ} ——小水电网统计损耗率,%;

ΔA_{TJ} ——小水电网统计损耗电量,按小水电网供电量减去售电量计算,其中售电量按所有用户用电抄见电量加由用户承担的损耗电量及发电厂、变电站等的自用电量计算, kW·h;

A_{TJ} ——小水电网统计供电量,按小水电网内厂供电量减去送出本网的电量加上购入本网的电量计算, kW·h。

4.0.3 理论损耗率是针对小水电网所属输、变、配电设备性能参数、负荷特性和潮流等计算得出的损耗率,先按月计算,再折算为年的指标,其计算公式为:

$$\zeta_{LL} = \frac{\Delta A_{LL}}{A_{LL}} \times 100\% \quad (4.0.3)$$

式中 ζ_{LL} ——小水电网理论损耗率,%;

ΔA_{LL} ——小水电网理论损耗电量,包括变压器、架空及电缆线路、电容器、电抗器、调相机及辅机、电流、电压互感器、电度表、测量仪表及控制保护装置的有功计算损耗电量以及电晕损耗电量等, kW·h;

A_{LL} ——小水电网理论供电量,当统计和计算口径一致时,小水电网理论供电量可近似地用统计供电量代替, kW·h。

4.0.4 对统计损耗和理论损耗按电压等级进行统计,分别列出变压器损耗电量(绕组和铁芯)、线路损耗电量及其所占电压等级总损耗电量的百分比,并与上年及历年分压损耗及分类损耗进行比较,分析损耗结构、供电半径、电流密度、供电电压、潮流分布、变压器负载率以及售电构成对电能损耗的影响。

4.0.5 根据小水电网电能损耗计算统计结果,提出降损节能措施,包括更改设备设施,改善无功补偿,合理调度等,并对降损节能措施进行方案比较和技术经济分析论证。

4.0.6 分析计算小水电网无功潮流及功率因数变化情况及存在问题,可进行最佳补偿方案设计或根据分压分区就地平衡的原则,提出无功补偿措施和方案。

5 降损节能效果计算

5.1 调整电压降损节能效果计算

5.1.1 调整电压的措施主要有:调整变压器分接头;在母线上投切电容器及调相机等。当整个小水电网的可变损耗与固定损耗之比大于表 5.1.1-1 数值或小于表 5.1.1-2 数值时,调整电压可以达到降低损耗之目的。

表 5.1.1-1

电压调整率 α (%)	1	2	3	4	5
$C = \frac{\text{调压前电网可变损耗电量}}{\text{调压前电网固定损耗电量}}$	1.02	1.04	1.061	1.092	1.10

表 5.1.1-2

电压调整率 α (%)	-1	-2	-3	-4	-5
$C = \frac{\text{调压前电网可变损耗电量}}{\text{调压前电网固定损耗电量}}$	0.98	0.96	0.941	0.922	0.903

上两表中:

α ——电压调整率(%),按 $\alpha = \frac{(U' - U)}{U} \times 100\%$ 计算,其中 U' 为调压后母线电压, kV;
 U 为调压前母线电压, kV。

电压调整后降损电量按下式计算:

$$\Delta A = \Delta A_R \left(1 - \frac{1}{(1 + \alpha)^2} \right) - \Delta A_G \cdot \alpha (2 + \alpha) \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (5.1.1)$$

式中 ΔA ——调压后降损电量, kW·h;

ΔA_R ——调压前电网可变损耗电量, kW·h;

ΔA_G ——调压前电网固定损耗电量, kW·h。

5.1.2 由于负荷增长,线路输送容量加大,需要升压改造时其升压后的降损电量按下式计算:

$$\Delta A = \Delta A' \left(1 - \frac{U^2}{U'^2} \right) (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (5.1.2)$$

式中 ΔA ——线路升压后降损电量, kW·h;

$\Delta A'$ ——线路升压前损耗电量, kW·h;

U ——线路升压前额定电压, kV;

U' ——线路升压后额定电压, kV。

5.2 装设无功补偿装置后的降损节能效果计算

5.2.1 采用无功经济当量计算时有:

$$\Delta A = Q_C (C_{p(x)} - \text{tg} \sigma) t \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (5.2.1-1)$$

$$C_{p(x)} = \sum_{i=1}^m C_{p(i)} \quad (\text{kW/kvar}) \quad (5.2.1-2)$$

$$C_{p(i)} = \frac{2Q_{(i)} - Q_C}{U_{(i)}^2} R_{(i)} \times 10^{-3} \quad (\text{kW/kvar}) \quad (5.2.1-3)$$

式中 ΔA ——降损电量, kW·h;

Q_C ——无功补偿装置的额定容量, kvar;

$C_{p(x)}$ ——补偿设备装置点的无功经济当量, kW/kvar;

$C_{p(i)}$ ——补偿设备装置点以前各串接元件的无功经济当量, kW/kvar;

$Q_{(i)}$ ——第 i 串接元件补偿前的无功潮流, kvar;

$R_{(i)}$ ——第 i 串接元件的电阻, Ω ;

$U_{(i)}$ ——第 i 元件的运行电压, kV;

i ——(1, ..., m) 为补偿设备装置点之前串接元件序号;

$\text{tg}\sigma$ ——电容器介质损耗, 按表 2.2.3.1 选取;

t ——无功补偿设备投运时间, h。

5.2.2 当按补偿点以前各串联元件补偿前后的功率因数变化计算损耗电量时, 有:

$$\Delta A = \sum_{i=1}^m \left[\Delta A_{(i)} \left(1 - \frac{\cos^2 \varphi_{(1)}}{\cos^2 \varphi_{(2)}} \right) - Q_c \text{tg}\sigma \cdot t \right] \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (5.2.2-1)$$

$$\cos \varphi_{(1)} = \cos \left[\arctg \left(\frac{Q_i}{P_i} \right) \right] \quad (5.2.2-2)$$

$$\cos \varphi_{(2)} = \cos \left[\arctg \frac{Q_i - Q_c}{P_i} \right] \quad (5.2.2-3)$$

式中 ΔA ——补偿后降损电量, kW·h;

ΔA_i ——各串联元件补偿前的损耗电量, kW·h;

$\cos \varphi_{(1)}$ ——补偿前各串接元件负荷的功率因数;

$\cos \varphi_{(2)}$ ——补偿后各串接元件负荷的功率因数;

P_i ——补偿前各元件的有功负荷, kW;

Q_i ——补偿前各元件的无功负荷, kvar;

其他符号意义同前。

5.3 加大导线截面后降损节能效果计算

5.3.1 当加大线路导线截面, 或改变线路迂回状况时的降损电量可按下式计算:

$$\Delta A = \Delta A' \left(1 - \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (5.3.1)$$

式中 $\Delta A'$ ——线路改造前的损失电量, kW·h;

R_1 ——线路改造前的电阻, Ω ;

R_2 ——线路改造后的电阻, Ω 。

6 计算机应用

6.1 基本要求

6.1.1 应用计算机进行小水电网电能损耗计算, 其数据和软件应能与小水电供电企业管理信息系统、县调自动化系统等系统, 实现数据与软件共享。

6.1.2 小水电网电能损耗计算软件应能进行多电源、潮流变化频繁、复杂网络的电能损耗计算,并能计及骨干电源电压对无功潮流及电能损耗的影响和负荷曲线形状对电能损耗的影响。

6.1.3 可以计及变压器运行分接头位置和变压器受电电压对空载损耗的影响。

6.1.4 当输入每个负荷节点的负荷曲线及发电节点的出力曲线、平衡节点的电压曲线及调压节点的电压水平值后,能得到每一支路的潮流、损耗、无功经济当量及各节点的电压值。

6.2 输入及运行功能

6.2.1 原始数据的输入应有较广泛的适应性。输入数据可以采用有名值或标么值;各节点的负荷可以用有功、无功曲线或计算期的有功、无功电量与负荷曲线的特征系数输入。

6.2.2 能判断各种数据的性质并能作相应处理。

6.2.2.1 能判断各节点的性质,区分电源节点、负荷节点、平衡节点、调压节点。

6.2.2.2 能判断各支路的性质,区分变压器支路、非变压器支路、接地支路和不接地支路等。

6.2.2.3 能辨别输入数据的合理性。

6.2.3 能通过显示终端监视整个输入及计算过程并能随时进行干预,包括便于人机对话、调用及修改数据文件;通过显示终端对运行过程进行追踪监视等。

6.3 输出功能

6.3.1 对所有计算结果能分类建立文件,并可根据指令有选择地以表格形式输出。

6.3.2 能输出指定钟点的计算结果,包括各节点的有功和无功功率,功率因数和电压;各支路有功、无功潮流;有功、无功损耗功率及无功经济当量等。

6.3.3 能列表输出代表日按小时计算的电网损耗计算分项结果汇总情况,包括有功、无功出力;有功、无功总负荷;中枢点电压及电压最低的节点位置及电压;总有功功率损耗及其中线路、变压器线圈和变压器铁心损耗所占比例。

6.3.4 能输出代表日全网综合损耗汇总情况,包括有功和无功供电量;有功和无功用电量;补偿容量;有功和无功损耗电量及损耗率等。对于单电源配电网尚应输出等值电阻及电抗。

7 电能损耗管理

7.1 管理体制

7.1.1 小水电网电能损耗率是考核电网运行水平的一项重要指标。其电能损耗管理应贯彻国务院颁发的《节约能源管理暂行条例》和本行业有关规定。

7.1.2 小水电网应建立、健全节能领导小组,配备电能损耗管理专职人员,其职责为:

- (1) 贯彻国家和行业的节能方针政策、技术法规和有关文件;
- (2) 负责监督、检查全网电能损耗工作;

- (3) 负责编制并实施全网电能损耗计划指标及降损计划;
- (4) 按期组织电能损耗理论计算, 定期进行电能损耗分析工作;
- (5) 总结交流电能损耗工作经验, 组织技术培训等。

7.2 指标管理

7.2.1 小水电网管理部门应按期编制、实施电能损耗率计划指标并进行分级管理、按期考核。

7.2.2 小水电网电能损耗分析应分压、分线进行, 配电系统电能损耗的分析应分区、分站、分线或分台区进行, 并分别与其相对应的理论电能损耗计算值进行比较, 以掌握损耗电量的组成, 分析送变配电系统的高能耗环节, 并提出针对性的改进措施。

7.2.3 按小水电网中元件分类统计分析电能损耗。按电网中升、降压变压器、配电变压器和各级电压的输、送、配电线路等主要元件的技术参数, 通过理论计算和统计分析, 统计按线路、变压器等元件划分的电能损耗及其所占比例。

7.2.4 按售电构成统计分析电能损耗, 以电压等级划分, 将无损的用户专用线、专用变电站、通过用户的转供电、售电等相应的售电量扣除后进行统计分析, 求得其真实的小水电网电能损耗率。

7.3 技术措施

7.3.1 小水电管理部门在编制电网改造和发展计划时, 应重点搞好电网规划, 包括调整电网布局, 减少变电层次、缩短供电半径, 减少迂回供电等, 并在导线截面选择、变压器配置等环节考虑降损节能。

7.3.2 对小水电网无功补偿优化进行计算, 并按其结果合理配置无功补偿设备, 做到无功就地补偿, 分区、分压平衡, 以降低电能损耗。

7.3.3 小水电网的调度部门应根据设备技术情况、负荷潮流的变化及时调整运行方式, 推行小水电网优化运行技术。

7.3.4 小水电管理部门应有计划地逐步将高能耗的变压器更换、改造为低能耗变压器, 新装设的变压器必须是低能耗变压器。

7.3.5 小水电管理部门应定期对输变电设备进行检查和负荷实测, 遇有电源分布、网络结构有重大变化时, 及时计算其电能损耗率指标, 并与统计值比较, 及时发现和处理管理和设备存在的问题。

7.4 管理措施

7.4.1 小水电网应加强用电管理工作, 减少内部责任差错, 防止窃电和违章用电。合理安排抄表例日, 减少管理原因产生的电量损失。

7.4.2 小水电网应加强用户无功电力的管理, 提高用户无功补偿设备的效果, 并加强对用户功率因数的监督和考核。

7.4.3 小水电网应根据有关规程规定, 加强对电站与电网的关口电能计量装置、变电站和用户的电能计量装置的测试和管理。高压电能表调前合格率应达到 99% 以上, 其故障率应

小于1%，检验率应达到100%。

7.4.4 电能计量装置选用合理且接线正确可靠，各元件的误差必须在允许范围内，Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类电能计量装置实行综合误差考核管理，电压互感器二次回路电压降，Ⅰ类不应超过二次额定电压的0.25%；Ⅱ、Ⅲ类不应超过0.5%。标准电能表至少6个月检定一次，标准互感器至少每两年检定一次。

7.4.5 小水电网管理部门应根据实际情况制订节能奖罚制度，以促进节能工作的广泛开展，降低小水电网电能损耗。

附录 A 线路电能损耗计算方法

(补 充 件)

A1 线路电能损耗计算的基本方法是均方根电流法，其代表日的损耗电量计算为：

$$\Delta A = 3I_{jf}^2 R t \times 10^{-3} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (\text{A1-1})$$

$$I_{jf} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{24} I_t^2}{24}} \quad (\text{A}) \quad (\text{A1-2})$$

式中 ΔA ——代表日损耗电量，kW·h；

t ——运行时间（对于代表日 $t=24$ ），h；

I_{jf} ——均方根电流，A；

R ——线路电阻，Ω；

I_t ——各正点时通过元件的负荷电流，A。

当负荷曲线以三相有功功率、无功功率表示时：

$$I_{jf} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{24} \frac{(P_t^2 + Q_t^2)}{U_t^2}}{72}} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{24} \frac{S_t^2}{U_t^2}}{72}} \quad (\text{A}) \quad (\text{A1-3})$$

式中 P_t —— t 时刻通过元件的三相有功功率，kW；

Q_t —— t 时刻通过元件的三相无功功率，kvar；

U_t —— t 时刻同端电压，kV。

A2 当具备平均电流的资料时，可以利用均方根电流与平均电流的等效关系进行电能损耗计算，令均方根电流 I_{jf} 与平均电流 I_{pj} （代表日负荷电流平均值）的等效关系为 K （亦称负荷曲线形状系数）， $I_{jf} = KI_{pj}$ ，则代表日线路损耗电量为：

$$\Delta A = 3K^2 I_{pj}^2 R t \times 10^{-3} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (\text{A2-1})$$

系数 K^2 应根据负荷曲线、平均负荷率 f 及最小负荷率 α 确定。

当 $f > 0.5$ 时，按直线变化的持续负荷曲线计算 K^2 ：

$$K^2 = \frac{\alpha + \frac{1}{3}(1 - \alpha)^2}{\left[\frac{1}{2}(1 + \alpha)\right]^2} \quad (\text{A2-2})$$

当 $f < 0.5$ ，且 $f > \alpha$ 时，按二阶梯持续负荷曲线计算 K^2 ：

$$K^2 = \frac{f(1 + \alpha) - \alpha}{f^2} \quad (\text{A2-3})$$

式中 f ——代表日平均负荷率， $f = I_{pj}/I_{\max}$ ， $I_{\max}$ 为最大负荷电流值， I_{pj} 为平均负荷电流值；
 α ——代表日最小负荷率， $\alpha = I_{\min}/I_{\max}$ ， $I_{\min}$ 为最小负荷电流值。

A3 当只具有最大电流的资料时，可采用均方根电流与最大电流的等效关系进行能耗计算，令均方根电流平方与最大电流的平方的比值为 F （亦称损失因数）， $F = I_{pj}^2/I_{\max}^2$ ，则代表日的损耗电量为：

$$\Delta A = 3I_{\max}^2 F R t \times 10^{-3} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (\text{A3-1})$$

式中 F ——损失因数；

$I_{\max}$ ——代表日最大负荷电流，A。

F 的取值根据负荷曲线、平均负荷率 f 和最小负荷率 α 确定。

当 $f > 0.5$ 时，按直线变化的持续负荷曲线计算 F ：

$$F = \alpha + \frac{1}{3}(1 - \alpha)^2 \quad (\text{A3-2})$$

当 $f < 0.5$ ，且 $f > \alpha$ 时，按二阶梯持续负荷曲线计算：

$$F = f(1 + \alpha) - \alpha \quad (\text{A3-3})$$

式中 α ——代表日最小负荷率；

f ——代表日平均负荷率。

A4 在计算过程中应考虑负荷电流引起的温升及环境温度对导线电阻的影响，具体按下式计算：

$$R = R_{20}(1 + \beta_1 + \beta_2) \quad (\Omega) \quad (\text{A4-1})$$

$$\beta_1 = 0.2 \left(\frac{I_{pj}}{I_{20}} \right)^2 \quad (\text{A4-2})$$

$$\beta_2 = \alpha(T_{pj} - 20) \quad (\text{A4-3})$$

式中 R_{20} ——每相导线在 20°C 时的电阻值，可从手册中查得单位长度值， Ω ；

β_1 ——导线温升对电阻的修正系数；

β_2 ——环境温度对电阻的修正系数；

I_{20} ——环境温度为 20°C 时，导线达到容许温度时的容许持续电流，A；其值可通过有关手册查取，如手册给出的是环境温度为 25°C 时的容许值时， I_{20} 应乘以 1.05；

I_{pj} ——代表日（计算期）平均电流，A；

T_{pj} ——代表日（计算期）平均气温， $^\circ\text{C}$ ；

α ——导线电阻温度系数,对铜、铝、钢芯铝线, $\alpha=0.004$ 。

A5 对于电缆线路,除按计算一般线路的方法计算线心中的电能损耗外,还应考虑绝缘介质中的电能损耗,三相电缆绝缘介质损耗电量为:

$$\Delta A_j = U^2 \omega C \tan \alpha L t \times 10^{-3} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (\text{A5-1})$$

$$C = \frac{\epsilon}{18 \lg \left(\frac{r_w}{r_n} \right)} \quad (\text{A5-2})$$

式中 ΔA_j ——三相电缆绝缘介质损耗电量, $\text{kW} \cdot \text{h}$;

U ——电缆运行电压, kV ;

ω ——角速度, $\omega=2\pi f$, f 为频率, Hz ;

C ——电缆每相的工作电容, $\mu\text{F}/\text{km}$;

$\tan \alpha$ ——介质损失角的正切值,按表 A5 选取;

L ——电缆长度, km ;

t ——计算时段, h ;

ϵ ——绝缘介质的介电常数,按表 A5 选取;

r_w ——绝缘层外半径, mm ;

r_n ——线心半径, mm 。

表 A5 电缆常用绝缘材料的 ϵ 和 $\tan \alpha$ 值

电 缆 型 式	ϵ	$\tan \alpha$
油浸纸绝缘		0.0100
粘性浸渍不滴流绝缘电缆	4.0	0.0100
压力充油电缆	3.5	0.0045
丁基橡皮绝缘电缆	4.0	0.050
聚氯乙烯绝缘电缆	8.0	0.100
聚乙烯电缆	2.3	0.004
交联聚乙烯电缆	3.5	0.008

注: $\tan \alpha$ 值为最高允许温度和最高工作电压下的允许值。

附录 B 变压器电能损耗计算方法

(补 充 件)

B1 双绕组变压器损耗电量分两部分计算

B1.1 铁心损耗电量

$$\Delta A_T = \Delta P_0 \left(\frac{U_n}{U_f} \right)^2 t \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (\text{B1.1})$$

式中 ΔA_T ——变压器铁心损耗电量, $\text{kW} \cdot \text{h}$;

ΔP_0 ——变压器空载损耗功率, kW;

U_n ——变压器额定电压, kV;

U_f ——变压器分接头电压, kV;

t ——接入系统时间或计算时段, h。

B1.2 绕组损耗电量。

B1.2.1 当采用变压器计算期均方根电流计算时有:

$$\begin{aligned}\Delta A_R &= \Delta P_K \left(\frac{I_{jf}}{I_e} \right)^2 t \\ &= \Delta P_K \left(\frac{S_{jf}}{S_e} \right)^2 t \quad (\text{kW} \cdot \text{h})\end{aligned}\quad (\text{B1.2.1})$$

式中 ΔA_R ——变压器绕组损耗电量, kW·h;

ΔP_K ——变压器短路损耗功率, kW;

I_e ——变压器额定电流, 应取与负荷电流同一电压侧的数值, A;

S_{jf} ——变压器代表日 (计算期), 以视在功率表示的均方根值, kVA;

S_e ——变压器额定容量, kVA。

B1.2.2 当只具有变压器计算期平均电流时, 有:

$$\begin{aligned}\Delta A_R &= \Delta P_K \left(\frac{I_{pj}}{I_e} \right)^2 K^2 t \\ &= \Delta P_K \left(\frac{S_{pj}}{S_e} \right)^2 K^2 t \quad (\text{kW} \cdot \text{h})\end{aligned}\quad (\text{B1.2.2})$$

式中 I_{pj} ——变压器计算期平均电流, A;

K ——负荷曲线形状系数;

S_{pj} ——变压器代表日 (计算期) 以视在功率表示的平均负荷值, kVA。

B1.2.3 当只具有变压器计算期的最大电流值时有:

$$\begin{aligned}\Delta A_R &= \Delta P_K \left(\frac{I_{\max}}{I_e} \right)^2 F t \\ &= \Delta P_K \left(\frac{S_{\max}}{S_e} \right)^2 F t \quad (\text{kW} \cdot \text{h})\end{aligned}\quad (\text{B1.2.3})$$

式中 $I_{\max}$ ——变压器计算期最大电流, A;

$S_{\max}$ ——变压器计算期以视在功率表示的最大负荷值, kVA;

F ——计算期负荷曲线的损失因数。

B1.3 双绕组变压器的损耗电量

$$\Delta A = \Delta A_T + \Delta A_R \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (\text{B1.3})$$

B2 三绕组变压器的损耗电量亦分为两部分计算

B2.1 三绕组变压器的铁心损耗电量计算同双绕组变压器。

B2.2 绕组损耗电量计算。

三绕组变压器的绕组损耗电量计算, 应根据各绕组的短路损耗功率及其通过的负荷, 分别计算每个绕组的损耗电量, 其总和即为三绕组变压器绕组损耗电量。

B2.2.1 当采用变压器计算期均方根电流计算时有:

$$\Delta A_R = \left[\Delta P_{K1} \left(\frac{I_{j1}}{I_{e1}} \right)^2 + \Delta P_{K2} \left(\frac{I_{j2}}{I_{e2}} \right)^2 + \Delta P_{K3} \left(\frac{I_{j3}}{I_{e3}} \right)^2 \right] t \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (\text{B2.2.1-1})$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{K1} &= \frac{1}{2} [\Delta P_{K(1-2)} + \Delta P_{K(1-3)} - \Delta P_{K(2-3)}] \quad (\text{kW}) \\ \Delta P_{K2} &= \Delta P_{K(1-2)} - \Delta P_{K1} \quad (\text{kW}) \\ \Delta P_{K3} &= \Delta P_{K(1-3)} - \Delta P_{K1} \quad (\text{kW}) \end{aligned} \right\} \quad (\text{B2.2.1-2})$$

式中

ΔA_R ——绕组损耗电量, $\text{kW} \cdot \text{h}$;

$\Delta P_{K1}, \Delta P_{K2}, \Delta P_{K3}$ ——分别为三绕组变压器高、中、低压绕组的短路损耗功率, kW ;

$\Delta P_{K(1-2)}, \Delta P_{K(1-3)}, \Delta P_{K(2-3)}$ ——分别为变压器额定容量的高—中压、高—低压、中—低压绕组短路损耗功率, kW ;

I_{e1}, I_{e2}, I_{e3} ——分别为三绕组变压器高、中、低压绕组的额定电流, A ;

I_{j1}, I_{j2}, I_{j3} ——分别为三绕组变压器高、中、低压绕组的计算期(代表日)负荷电流的均方根值, A 。

B2.2.2 当采用变压器计算期平均电流计算时有:

$$\Delta A_R = \left[\Delta P_{K1} \left(\frac{I_{pj1}}{I_{e1}} \right)^2 K_1^2 + \Delta P_{K2} \left(\frac{I_{pj2}}{I_{e2}} \right)^2 K_2^2 + \Delta P_{K3} \left(\frac{I_{pj3}}{I_{e3}} \right)^2 K_3^2 \right] t \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (\text{B2.2.2})$$

式中 $I_{pj1}, I_{pj2}, I_{pj3}$ ——分别为三绕组变压器高、中、低压绕组计算期(代表日)负荷电流的平均值, A ;

K_1, K_2, K_3 ——分别为三绕组变压器高、中、低压绕组计算期(代表日)负荷曲线形状系数(计算同附录A)。

B2.2.3 当采用变压器计算期最大电流计算时有:

$$\Delta A_R = \left[\Delta P_{K1} \left(\frac{I_{\max 1}}{I_{e1}} \right)^2 F_1 + \Delta P_{K2} \left(\frac{I_{\max 2}}{I_{e2}} \right)^2 F_2 + \Delta P_{K3} \left(\frac{I_{\max 3}}{I_{e3}} \right)^2 F_3 \right] t \quad (\text{kW} \cdot \text{h})$$

式中 $I_{\max 1}, I_{\max 2}, I_{\max 3}$ ——分别为三绕组变压器高、中、低压绕组计算期(代表日)负荷电流的最大值, A ;

F_1, F_2, F_3 ——分别为三绕组变压器高、中、低压绕组计算期(代表日)负荷曲线的损失因数(计算同附录A)。

B3 自耦变压器电能损耗计算同三绕组变压器

附加说明

主编单位:水利部农村电气化研究所

主要起草人:罗高荣 刘晓田 韩东 章坚民

林青山 缪秋波 刘玉英 饶大义

中华人民共和国行业标准

小水电网电能损耗计算导则

SL173—96

条 文 说 明

目 次

1 总则	375
2 基本规定及方法	375
3 电网电能损耗计算	376
4 电能损耗分析	378
5 降损节能效果计算	379
6 计算机应用	380
7 电能损耗管理	380
附录 A 线路电能损耗计算方法(补充件)	382

1 总 则

1.0.1 本条是关于编制《小水电网电能损耗计算导则》的目的之说明。

电力网的电能损耗率简称线损率,它是电力系统的综合性技术经济指标,综合反映了电力网设备、设施的技术状况和水平、电网的布局及管理水平等,因此是国家考核电力企业的一项重要经济指标。为了检查电网的电能损耗情况,分析电网设施、设备技术状况、电网布局和电网管理方面所存在的薄弱环节,提出针对性措施、提高电力企业的效益,并使电网电能损耗计算中统计口径和计算方法基本统一,特制订本导则。

1.0.2 本条是关于本导则使用对象和范围的规定。

小水电网与大电网相比尚有其特殊性,具体表现为:

- (1) 网络电源点多,潮流变化频繁,系统最大最小运行方式差别较大,代表日选择困难;
- (2) 线路分支点多,负荷线路往往挂接有小水电站,分支点缺乏计量装置、资料取得比较困难;
- (3) 管理环节薄弱,规范性较差等。

基于上述原因,小水电网电能损耗计算应考虑如上特点,且适用于小水电网能量指标的考核、降损节能效果计算、设备、设施更新改造效果分析,也适应于小水电规划设计等工作中涉及的能耗计算。

1.0.3 本条是关于导则与国家方针政策、行业法规、有关规程规范相关内容之间的关系说明。小水电网电能损耗计算首先应贯彻国家的节约能源的方针政策,如国务院颁发的《节约能源管理暂行条例》等,且与本行业已颁发的相关技术法规协调。

1.0.4 本条是关于采用计算机计算小水电网电能损耗的规定。

由于电网线损计算有复杂且工作量较大的特点,所以一般应采用计算机进行计算,以提高计算精度和效率,对于35kV及以上电压等级的网络一般为环网,且分支点较多,即使进行一些简化后,也因节点较多,因此应积极推广计算机计算。近年来国内有关部门已在电网电能损耗计算采用计算机方面,进行了许多有益的探索工作,且已开发了部分实用的计算机软件,应积极消化吸收,并针对本网的实际情况进行改进,以提高其计算精度和工作效率。

2 基本规定及方法

2.1 基本规定

2.1.1 本条是关于小水电网电能损耗计算方法之说明。

小水电网的电能损耗计算,应在每一电网元件的电能损耗计算基础上进行。电网元件包括架空及电缆线路、变压器、调相机、并联电容器以及限流电抗器、仪器、仪表等。各元件电能损耗之和即为全网的电能损耗。

2.1.2 本条是关于计算代表日选择之规定。

由于小水电网负荷增减、潮流变化是一个连续过程,各元件的有关参数是在不断变化的,因此在计算中只能采取选择代表日,计算代表日的电网或元件的电能损耗再折算为整个计算期的电网或元件的电能损耗。这就产生了一个如何选择代表日以使其有足够的代表性的问题,本条对代表日选择的条件进行了规定。

2.2 元件损耗计算方法

2.2.1 本条是有关线路电能损耗计算方法的规定。

线路代表日的电能损耗计算以其日负荷曲线为基础进行计算。具体计算方法可以采用均方根电流法。采用均方根电流法计算时,以代表日24h正点时刻的电流平方和的方根值作为计算电流值。实际上已考虑了日负荷特性。计算出的结果比较符合客观实际。但本方法要求具有代表日24h正点时刻的电流实测资料,对于某些线路可能难以具备这些实测资料。如果只具备代表日的最大电流或平均电流时,也可将日负荷曲线概化为两种典型的负荷曲线(按二阶梯变化曲线和按直线规律变化曲线)。在这两种负荷曲线情况下,按平均电流或最大电流与均方根电流的等效关系变换为按平均电流或最大电流计算电能损耗。根据理论分析和实测证明,利用平均电流或最大电流与均方根电流的等效关系进行简化计算,其精度亦可达到95%以上。

2.2.4 本条是关于电网月损耗电量与月电能损耗率计算的规定。全网代表日总的电能损耗可按固定损耗和可变损耗(即铁心损耗和绕组损耗)两部分汇总,根据全月供电量及代表日供电量进行可变损耗的修正后,折算为全网全月的电能损耗量,并计算月电能损耗率指标。

2.2.5 本条是关于电网年电能损耗及年电能损耗率计算的规定。由于小水电网运行方式变化频繁,受天然径流影响较大,所以简单地按代表日的全网损耗电量折算为全网全年的损耗电量将产生较大的计算误差。为了提高计算精度,针对小水电网的特点,可以采用分月选择代表日,先计算各月的损耗电量及月电能损耗率,再累加为全年的全网电能损耗,并按电网总的电能损耗及总的供电量计算电网全年的电能损耗率。

3 电网电能损耗计算

3.1.1 本条划定高压小水电网的范围及电能损耗计算内容。35kV以上电网的电能损耗包括线路导线中的电阻损耗、变压器的空载损耗、变压器的负荷损耗等。对于110kV以上输电线路还应计及线路的电晕损耗和绝缘子的泄漏损耗,电晕损耗与下列因素有关:①导线表面的电场强度;②沿线路地区的天气情况;③线路通过地区的海拔高度的影响等,故欲

准确计算是相当复杂的。为此,通常都是根据由实验数据所导出的近似算法进行估算。如110kV架空线路采用截面积为70~185mm²的导线时,年均电晕损耗电量对电阻损耗电量的百分比估算为4.7%~0.3%。当进行月线损计算时,天气好的天数较少,则该比值将上调。绝缘子泄漏损耗与绝缘子的型式、沿线路地区大气的污染程度及其空气的湿度等因素有关。历年积累的调查统计资料表明,对于110kV及以上的架空输电线路的绝缘子泄漏损耗,可按线路电阻损耗电量的1%估算。

3.1.3 本条给出高压小水电网线损计算的一般方法。高压小电网的主要接线图是由35kV以上变电所主变、35kV以上线路及挂在35kV以上线路的发电厂构成的。首先绘制电网的等效电路。主变10kV侧母线端视为集中负荷节点,发电厂升压侧也视为负荷节点。表征电网节点运行状态的有四个参数,即:节点的注入有功功率 P ,无功功率 Q ,电压值 V ,相角 δ 。根据各节点的运行特征,按下表(见下页)定义其节点特性:

序号	节点特性	已知	待求	节点运行情况
1	PQ节点	P, Q	V, δ	降压变电所母线,基载发电厂母线
2	PV节点	P, V	Q, δ	具有一定无功储备容量的发电厂母线,具有无功补偿设备的变电所母线
3	V δ 节点或平衡节点	V, δ	P, Q	在系统中只设一个,一般为容量足够大的发电厂母线或等值系统的母线

设高压电网有 n 个独立节点,其中第 n 个节点是平衡节点,电压 $\dot{U}_n$ 已知,不参加迭代计算;有 m 个PQ节点,则PV节点有 $n-(m+1)$ 个。导纳方程为:

$$P_i - jQ_i = \dot{U}_i \sum_{j=1}^n Y_{ij} \dot{U}_j \quad (3.1.3-1)$$

或

$$P_i - jQ_i - \dot{U}_i \sum_{j=1}^n Y_{ij} \dot{U}_j = 0 \quad (3.1.3-2)$$

其中: $\dot{U}_i$ 是 $\dot{U}_i$ 的共轭复数。

牛顿—拉夫逊法引入功率不平衡量 $\Delta P_i, \Delta Q_i$,即

$$\Delta P_i - j\Delta Q_i = (P_i - jQ_i) - \dot{U}_i \sum_{j=1}^n Y_{ij} \dot{U}_j \quad (3.1.3-3)$$

以极坐标形式表示:

$$Y_{ij} = G_{ij} + jB_{ij} \quad (3.1.3-4)$$

$$\dot{U}_i = U_i e^{j\delta_i} = U_i (\cos\delta_i + j\sin\delta_i) \quad (3.1.3-5)$$

将式(3.1.3-4)代入式(3.1.3-3)并将实部与虚部分别:

$$\Delta P_i = P_i - U_i \sum_{j=1}^n (G_{ij} \cos\delta_{ij} + B_{ij} \sin\delta_{ij}) \quad (3.1.3-6)$$

$$\Delta Q_i = Q_i - U_i \sum_{j=1}^n (G_{ij} \sin\delta_{ij} - B_{ij} \cos\delta_{ij}) \quad (3.1.3-7)$$

式中 δ_{ij} —— i, j 两节点相角差 ($\delta_{ij} = \delta_i - \delta_j$);

P_i ——节点 i 注入有功功率(给定量);

Q_i ——节点 i 注入无功功率(给定量)。

PQ 分解法是对以极坐标形式表示的牛顿-拉夫逊法的修正方程, 结合电力系统的特点进行简化得到的一种计算潮流分布的方法, 其方程式为:

$$[\Delta P/U] = [B'] \cdot [U \Delta \delta] \quad (3.1.3-8)$$

$$[\Delta Q/U] = [B'] \cdot [\Delta U] \quad (3.1.3-9)$$

式中 B' ——不考虑平衡节点的 $(n-1)$ 阶常系数对称矩阵, 为了提高收敛速度, B' 对角元素只应考虑网络不接地支路的导纳;

B'' ——不考虑平衡节点与 PV 节点 (即仅考虑 PQ 节点) 的 m 阶常系数对称矩阵, B'' 对角元素应考虑接地与不接地支路的总导纳。

PQ 分解法潮流计算的步骤如下:

(1) 给出各节点电压初始值 $\delta_i^{(0)}$, $U_i^{(0)}$;

(2) 按式 (3.1.3-6) 计算各节点有功功率误差, 并求得 $\Delta P_i/U_i$;

(3) 将 $\Delta P_i/U_i$ 代入式 (3.1.3-8), 解得各节点电压相角的修正量 $\Delta \delta_i$;

(4) 修正节点电压的相角 δ_i , $\delta_i^{(v)} = \delta_i^{(v-1)} + \Delta \delta_i^{(v-1)}$;

(5) 按式 (3.1.3-7) 计算各节点无功功率误差, 并求得 $\Delta Q_i/U_i$;

(6) 将 $\Delta Q_i/U_i$ 代入式 (3.1.3-9), 解得各节点电压幅值修正值 ΔU_i ;

(7) 修正节点电压的幅值 U_i , $U_i^{(v)} = U_i^{(v-1)} + \Delta U_i^{(v-1)}$;

(8) 返回式 (3.1.3-2) 进行迭代, 直到各节点功率误差 ΔP_i 及 ΔQ_i 都满足收敛条件即 $\Delta P_i \leq \epsilon$, $\Delta Q_i \leq \epsilon$ 为止。

求得节点电压 U 后, 即可求得节点注入电流 $I = YU$ 。根据网络结构, 求得各线段电流、电阻损耗和变压器负荷损耗。

3.1.4 本款给出各节点变压器的空载损耗参与计算的两种方法。前者为较为精确的方法。

3.2.8 等值电阻法适用于单电源线路。

4 电能损耗分析

4.0.1 本条是对电能损耗分析目的之说明。

电能损耗分析应在分析比较统计电能损耗和理论电能损耗的基础上进行。通过对比分析, 确定电网结构是否合理、运行调度是否科学, 找出计量装置、设备性能、用电管理、运行方式、理论计算、抄表及统计等方面存在的问题, 以便为采取降损节能针对性措施提供依据。

4.0.2 本条是关于统计电能损耗率计算的规定。小水电网统计电能损耗率是对电网所辖调度范围内各供、售电量计量表统计得出的电能损耗率, 有:

$$\text{统计电能损耗率} = \frac{\text{统计损耗电量}}{\text{供电量}} \times 100\%$$

$$\text{统计损耗电量} = \text{供电量} - \text{售电量}$$

$$\text{供电量} = \text{厂供电量} + \text{输入电量} - \text{输出电量}$$

$$\text{厂供电量} = \text{发电量} - \text{厂用电量}$$

$$\text{售电量} = \frac{\text{所有用户的用电量}}{\text{变电站等自用电量}} + \text{用户承担的损耗用量} + \text{发电厂}$$

其中：输入电量系指从网外购入的电量；输出电量是指从本网售向网外用户和外网的电量。

4.0.3 本条是关于理论电能损耗率计算的规定。理论电能损耗率是小水电网对其所属输、变、配电设备根据设备参数、负荷潮流和特性计算得出的指标，按下式计算：

$$\text{理论电能损耗率} = \frac{\text{理论损耗电量}}{\text{供电量}} \times 100\%$$

其中理论损耗电量是下列各项损耗电量之和：

- (1) 变压器的损耗电量；
- (2) 架空及电缆线路的导线损耗电量；
- (3) 电容器、电抗器、调相机中的有功损耗电量；
- (4) 电流、电压互感器、电度表、测量仪表、保护及远动装置的损耗电量；
- (5) 110kV 以上线路电晕损耗电量等。

4.0.4 根据电力系统的习惯统计口径，以及针对各级电压等级的网络结构、设备状态、管理水平中存在的问题，对统计损耗和理论损耗规定按电压等级进行统计分析，并能分电压等级列出每一电压等级的变压器绕组损耗、铁心损耗、线路损耗及其它元件损耗所占比重。通过历年资料对比分析，确定电网结构、设备状态、管理等环节存在的薄弱环节，以便为电网设备、设施技术改造、采取管理措施提供依据。

4.0.5 本条是关于降损节能措施中技改方案经济评价决策和方案比较的规定。降损节能技改方案的方案比较和经济评价决策，可按《小水电建设项目经济评价规程》SL16—95（第二版）中有关更新改造项目的评价方法进行。其费用计算与一般技改项目无大的差别，其效益计算则主要以节约电能为主要依据进行计算，其它如降低劳动强度、节约人工等，也应进行定性或定量评价。

5 降损节能效果计算

5.1 调整电压降损节能效果计算

5.1.1 调整电网电压是降损节能的一项重要措施。调整电压分为在不改变电压等级情况下小幅度调整电压和线路变压器升压改造两种情况。在不改变电压等级情况下，根据电网固定损耗电量与可变损耗电量所占比重，适当调整电压可以达到降低损耗之目的。这种小范围地调整电压主要通过调整变压器分接头，在母线上投切电容器及调相机来实现。

5.1.2 线路升压后可以大幅度地降低电能损耗。升压改造适合于两种情况，其一是用电负荷增长，能耗加大，线路电压等级达到明显不合理地步；其二是简化电压等级和淘汰非标

准电压。电压升高后线路降低损耗的百分数见表 5.1.2。

表 5.1.2 升压后线路损耗降低的百分数

升压前额定电压 (kV)	升压后额定电压 (kV)	升压后线路损耗降低 (%)
154*	220	51
110		75
66*	110	64
35		89.9
22*	35	60.5
10		91.8
6	10	64
3		91

* 为非国标额定电压。

6 计算机应用

6.1.1 小水电网电能损耗管理涉及到电力(供电)企业的许多部门,是一个多层次、多部门、目标各有侧重的的工作。尤其是电能损耗计算的基本依据来自于各个部门。因此,为达到基础数据的统一,在有条件的情况下,可通过计算机网络实现各部门计算机联网,实现数据共享。当电网装备有监控系统(SCADA系统)后,它能提供的某些或全部电能损耗理论计算中必须的参数,应加以充分利用。因为这些遥测量贮存有参数随时间的过程变化记录,可以辨认出准确度较高的参数值来,从而有助于选择精度较高的计算方法,得到更为精确的理论电能损耗计算结果。另外,理论电能损耗的计算成果及改变运行方式或投切降损装置后电能损耗的预测,应是电网经济运行的一个重要组成部分。

7 电能损耗管理

7.1 管理体制

7.1.1 本条是关于小水电网电能损耗考核必须贯彻执行国务院《节约能源管理暂行条例》的规定。国务院对全国能源生产部门和用户部门各行业的节约能源管理作了专门的规定。小水电网既是能源生产部门,在某种程度上又是用户,从各发电厂收购电能再分配各用户,所以应严格贯彻国务院规定。水利电力部门也制订有本行业的节能规定以及下达具体指标,这些行业的节能规定、考核指标以及有关规程规范均应执行。

7.1.2 本条是关于小水电网应建立健全节能领导小组,明确其职能,配备专职人员的规定。将小水电网降损节能工作纳入到管理部门的日常工作中去,各级领导应对降损节能确实负

责，按照规定的职责范围开展工作。

7.2 指标管理

7.2.1 本条是关于小水电网管理部门应按期下达、实施电能损耗率指标，并分级管理、层层把关负责的规定。

电能损耗率指标的编制应以电能损耗理论计算值和前几年统计值为基础，并根据以下影响电能损耗率升降的诸因素进行修正。

- (1) 系统电源分布的变化，负荷增长与用电构成的变化；
- (2) 电网结构的变化、系统运行方式和系统中的潮流分布的变化；
- (3) 基建、更新改造及降损技术措施工程投运的影响；
- (4) 新增大用户投运的影响；
- (5) 系统中主要元件及设施的更换及通过负荷的变化等。

电能损耗率可以实行分级管理、按期考核的原则，并按电压等级或供电分区实行逐级承包。

为了便于检查和考核电能损耗管理工作，根据具体情况可建立以下与电能损耗管理有关的指标统计和考核。

- (1) 技术措施降损电量及营业追补电量；
- (2) 电能表校前合格率、校验率、轮换率、故障率；
- (3) 母线电量不平衡率；
- (4) 变电站站用电指标完成率；
- (5) 高峰负荷时功率因数、低谷负荷时功率因数、月平均功率因数；
- (6) 电压监测点电压合格率；
- (7) 配电变压器利用率等。

7.2.2 本条是关于分压分线和分区分析电能损耗的规定，以确定整个电网中的能耗薄弱环节并采取针对性措施。

7.2.3 本条是关于按元件分析电能损耗的规定，以确定各类设备、设施中存在的薄弱环节，为设备、设施的更新改造提供依据。

7.2.4 本条是关于按售电构成统计分析电能损耗的规定，以确定各类用户电能损耗所占比重，为加强电网供、用电管理提供依据。

7.3 技术措施

7.3.1 本条是小水电网降损节能技术措施的第一个方面，即从电网结构的合理化入手进行网络重新规划和改造，避免迂回供电、近电远送，减少送、变电层次，进行降损节能挖潜。

7.3.2 本条是小水电网降损节能技术措施的第二个方面，即通过合理配置无功补偿装置，使无功就地补偿、分区、分压平衡，具体配置计算可参见有关规程规范。

7.4 管理措施

7.4.2 本条规定小水电网必须加强对用户无功电力的管理。

凡用户安装无功集中补偿设备的,一般还应安装随电压、功率因数或时间变化能自动投切的装置;凡实行功率因数调整电费的用户,应装设带有防倒装置的无功电度表;凡有可能向电网倒送无功电量的用户,应在计费计量点加装带有防倒装置的反向无功电度表,按倒送的无功电量与实用无功电量两者绝对值之和,计算月平均功率因数,对一些大用户还可实行功率因数考核。

附录 A 线路电能损耗计算方法

(补 充 件)

A1 本条是关于在线路等元件电阻损耗计算中采用均方根电流法计算的规定。电阻元件上的电能损耗为:

$$\Delta A = 3R \int_0^t I_{\phi}^2 dt$$

由于 $I(t)$ 是一随机变量,一般不能以解析式表示,所以依近似积分原理,对计算期均分为 n 个时段,设每个时段 Δt 内的负荷电流不变且等于其正点小时的电流,则: $n \cdot \Delta t = t$ 。

$$\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2 \Delta t}{t} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i^2}{n} = I_{jf}^2$$

$$I_{jf} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2}{n}}$$

式中 I_{jf} ——计算期各时段电流的均方根值。

由上可知采用均方根电流法计算,实际上考虑了计算期的负荷特性,当 Δt 愈小时愈符合客观实际。

A2 本条是关于采用计算期平均最大电流计算时的有关问题的说明。

因为计算期(一般为一日即代表日)平均电流未能反映负荷曲线的形状,所以应以负荷曲线形状系数反映负荷曲线形状对电能损耗计算的影响。负荷形状系数应建立在概率统计方法上,根据负荷曲线的特征值,如平均负荷率、最小负荷率、功率或负荷电流的最大值、平均值、最小值等确定。对于一些难以获得每时段实测资料的情况或为了减少实测工作量,可以用计算期平均电流或最大电流来代替。

计算期平均电流和均方根电流以及最大电流之间的等效关系为:

$$I_{jf}^2 = I_{pj}^2 K^2 = I_{\max}^2 F$$

$$K = I_{jf} / I_{pj}$$

$$F = I_{jf}^2 / I_{\max}^2$$

式中 K ——负荷曲线形状系数;

F ——损失因数。

又因平均负荷率为:

$$f = I_{pj} / I_{\max}$$

所以, $F = K^2 f^2$, 将 K 、 F 的表达式代入用均方根电流计算电能损耗的表达式得:

$$\text{平均电流: } \Delta A = 3I_{pj}^2 K^2 R t \times 10^{-3} \quad (\text{kW} \cdot \text{h})$$

$$\text{最大电流: } \Delta A = 3I_{\max}^2 F R t \times 10^{-3} \quad (\text{kW} \cdot \text{h})$$

关于负荷曲线形状系数 K^2 和损失因数 F 的确定, 可将日负荷曲线概括归结为按直线变化或按二阶梯变化两种类型的负荷曲线, 见图 A2。

图 A2 中 $\alpha = I_{\min} / I_{\max}$ 为最小负荷率, ϵ 为最大负荷持续时间。根据上述简化, 可得出按直线变化和按二阶梯变化负荷曲线的负荷曲线形状系数 K^2 及损失因数 F 的计算式。对于工业用户比重大的负荷用按直线变化的负荷曲线计算较合理; 对于照明、农电、单班生产用户为主的负荷曲线, 则按二阶梯变化负荷曲线计算较合理。

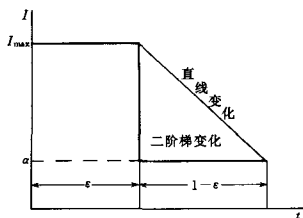


图 A2