

ICS 29.160.20
K 20



中华人民共和国国家标准

GB/T 30944—2014

小水电电网电能损耗计算导则

Guide for energy losses calculation of small hydropower grid

2014-07-08 发布

2015-01-19 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

https://www.sljzjxx.com
水利造价信息网

目 次

前言	I
1 范围	1
2 总则	1
2.1 计算原则	1
2.2 基本资料	1
2.3 代表日的选择	1
2.4 代表日负荷记录	1
3 元件损耗计算	1
3.1 线路电能损耗计算	1
3.2 变压器电能损耗计算	1
3.3 电容器等元件的电能损耗计算	2
3.4 代表日电网的总电能损耗	3
3.5 电网全年的损耗电量	3
4 电网电能损耗计算	4
4.1 35 kV 及以上电网电能损耗计算	4
4.2 10 kV(20 kV)电网电能损耗计算	4
4.3 380 V/220 V 电网电能损耗计算	7
5 电能损耗分析	8
5.1 统计损耗率	8
5.2 理论损耗率	8
5.3 对比分析	8
5.4 统计分析	8
6 降损效果计算	9
6.1 调整电压降损效果计算	9
6.2 装设无功补偿装置后的降损效果计算	10
6.3 减少导线电阻后降损效果计算	10
附录 A (规范性附录) 线路电能损耗计算方法	12
附录 B (规范性附录) 变压器电能损耗计算方法	16

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由水利部提出并归口。

本标准由水利部农村电气化研究所负责起草。

本标准主要起草人：楼宏平、徐锦才、张关松、章坚民、董大富、徐国君、张巍。

<http://www.sizjxx.cn>
水利造价信息网

小水电电网电能损耗计算导则

1 范围

本标准给出了小水电电网电能损耗计算和分析的方法。

本标准适用于小水电供电为主的小水电电网的电能损耗计算、统计、分析及降损效果的计算。

2 总则

2.1 计算原则

小水电电网电能损耗应包括电网各元件电能损耗之总和,小水电电网的电能损耗计算应在输配电线路、变压器、补偿和调整设备以及测量和保护装置等电网各元件电能损耗计算的基础上进行。

2.2 基本资料

小水电电网电能损耗计算应在收集下列基本资料的基础上进行。

发电厂、变电站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,实测资料以及电力网各元件的有功功率、无功功率和电流、电压等参数。

配电线路每一线段的参数;配电变压器的铭牌参数;变电站出口端及发电厂代表日和全月的负荷曲线,有功电量、无功电量及电压曲线;用户配电变压器及公用配电变压器代表日和全月的有功电量、无功电量;配电线上装置的电容器容量和位置以及全月投运时间等。

2.3 代表日的选择

代表日的选择应按下列原则进行:

- a) 小水电电网的运行方式、潮流分布能代表计算期的正常情况;
- b) 代表日的日供电量,接近计算期(月、季、年)的平均日供电量;
- c) 用户的用电情况正常,气候情况正常,气温接近计算期平均温度;
- d) 按能够代表计算期(月、季、年)丰水期、枯水期各种负荷情况,选取3至4个代表日。

2.4 代表日负荷记录

代表日负荷记录应完整,能满足计算需要,应包括发电厂、变电站、线路等24 h整点的输出电流、输入电流、有功功率、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。

3 元件损耗计算

3.1 线路电能损耗计算

线路的电能损耗计算以其日负荷曲线为基础,可采用均方根电流法、平均电流法、最大电流法等进行治疗,计算方法见附录A。

3.2 变压器电能损耗计算

变压器的电能损耗应包括空载损耗电量和负载损耗电量。

空载损耗电量可通过变压器空载损耗功率计算;负载损耗电量可通过负载损耗功率采用均方根电流法,平均电流法和最大电流法等方法计算。空载损耗电量与负载损耗电量之和即为变压器的损耗电量,计算方法见附录 B。

3.3 电容器等元件的电能损耗计算

3.3.1 并联电容器电能损耗的计算按式(1):

$$\Delta A = Q_C \tan \delta \cdot t \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- ΔA —— 并联电容器的电能损耗,单位为千瓦时(kW·h);
- Q_C —— 投运的并联电容器容量,单位为千乏(kvar);
- $\tan \delta$ —— 电容器的损失角正切;
- t —— 并联电容器投运时间,单位为小时(h)。

3.3.2 串联电容器电能损耗的计算按式(2)、式(3):

$$\Delta A = 3I_{jr}^2 \frac{\tan \delta \cdot t}{\omega C} \times 10^5 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$C = nC_N/m \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- ΔA —— 串联电容器的电能损耗,单位为千瓦时(kW·h);
- I_{jr} —— 均方根电流,单位为安培(A);
- $\tan \delta$ —— 电容器的损失角正切;
- t —— 串联电容器投运时间,单位为小时(h)。
- ω —— 角频率,单位为每秒(s^{-1});
- C —— 每相串联电容器的电容,单位为微法(μF);
- n —— 每相串联电容器的并联组数;
- C_N —— 单台电容器的标称电容,单位为微法(μF);
- m —— 每相串联电容器并联组的串联个数。

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

3.3.3 限流电抗器电能损耗的计算按式(4):

$$\Delta A = 3\Delta P_k \left(\frac{I_{jr}}{I_N} \right)^2 \cdot t \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- ΔA —— 限流电抗器的电能损耗,单位为千瓦时(kW·h);
- ΔP_k —— 一相电抗器通过额定电流的损耗功率,单位为千瓦(kW);
- I_{jr} —— 均方根电流,单位为安培(A);
- I_N —— 电抗器额定电流,单位为安培(A);
- t —— 限流电抗器投运时间,单位为小时(h)。

当只具有计算期(代表日)负荷电流平均值 I_{av} 或最大电流 I_{max} 时,亦可按 $I_{jr}^2 = K^2 I_{av}^2$ 或 $I_{jr}^2 = F I_{max}^2$ 计算。 K 与 F 的计算见附录 A。

3.3.4 调相机电能损耗的计算按式(5):

$$\Delta A = |Q|_{av} \frac{\delta P}{100} t + \Delta A_{ed} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

ΔA ——调相机的电能损耗,单位为千瓦时(kW·h);

$|Q|_{av}$ ——代表日调相机所发无功功率绝对值的平均值,单位为千乏(kvar);

δP ——调相机所发平均无功功率的有功功率损耗率,%;

t ——调相机运行小时数,单位为小时(h);

ΔA_{sc} ——调相机辅机的消耗电量,单位为千瓦时(kW·h)。

3.3.5 电流互感器、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。

3.4 代表日电网的总电能损耗

代表日电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损耗率,全月损耗电量的计算按式(6):

$$\Delta A_m = \left[\sum \Delta A_G + \sum \Delta A_N \left(\frac{A_m}{A_d \cdot t} \right)^2 \right] \cdot t \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

ΔA_m ——全月损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);

$\sum \Delta A_G$ ——代表日固定损耗电量,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、绝缘子泄漏的损耗电量等,单位为千瓦时(kW·h);

$\sum \Delta A_N$ ——代表日可变损耗电量,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,单位为千瓦时(kW·h);

A_m ——全月供电量,单位为千瓦时(kW·h);

A_d ——代表日供电量,单位为千瓦时(kW·h);

t ——全月日历天数。

月电能损耗率的计算按式(7):

$$\delta A_m = \frac{\Delta A_m}{A_m} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

δA_m ——电网月电能损耗率,%;

ΔA_m ——全月损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);

A_m ——全月供电量,单位为千瓦时(kW·h)。

3.5 电网全年的损耗电量

按月累加各月损耗电量即为电网全年的损耗电量。电网年电能损耗率的计算按式(8):

$$\delta A_y = \frac{\sum_{i=1}^{12} \Delta A_m}{\sum_{i=1}^{12} A_m} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

δA_y ——电网年电能损耗率,%;

ΔA_m ——电网第*i*月损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);

A_m ——电网第*i*月供电量,单位为千瓦时(kW·h);

i ——月份序号,*i*=1,2,⋯,12。

由于小水电电网运行方式变化频繁,所以简单地按代表日的电网损耗电量折算为电网全年的损耗电量将产生较大的计算误差。为提高计算准确度,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,再汇总统计全年的电网电能损耗及电能损耗率。

4 电网电能损耗计算

4.1 35 kV 及以上电网电能损耗计算

35 kV 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。110 kV 及以上电网除此三部分外,宜计及线路电晕损耗和绝缘子的泄漏损耗。

对于潮流方向单一的电网损耗可采用均方根电流法简化计算,对于多电源、潮流变化频繁的复杂电力网,一般采用潮流计算方法。

4.2 10 kV(20 kV)电网电能损耗计算

4.2.1 简化内容

10 kV(20 kV)电网有小水电站接入,电源点多、节点多、分支线多,多数元件不能测录运行数据,计算复杂,可根据实际需要进行适当简化。简化内容为:

- a) 各节点负荷曲线的形状与供电电源即变电站出线与发电厂出线负荷之和的形状相同;
- b) 各节点功率因数与供电电源即变电站出线与发电厂出线负荷之和的功率因数相同;
- c) 电网沿线的电压损失对电能损耗的影响可忽略不计;
- d) 电网各线段的电阻可不作温度校正;
- e) 可采用平均电流法计算。

4.2.2 计算步骤

4.2.2.1 根据发电厂及变电站出线负荷和电压资料,按式(9)和式(10)计算发电厂及变电站出线端代表日平均电压和平均电流。

$$U_{av} = \frac{1}{24} \sum_{t=1}^{24} U_t \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$I_{av(i)} = \frac{\sqrt{A_{p(i)}^2 + A_{q(i)}^2}}{\sqrt{3} U_{av} \times 24} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

- U_{av} ——发电厂或变电站出线端代表日平均电压,单位为千伏(kV);
- U_t —— t 小时的整点电压,单位为千伏(kV);
- $I_{av(i)}$ ——发电厂或变电站出线端代表日平均电流,单位为安培(A);
- $A_{p(i)}$ ——发电厂或变电站出线端代表日有功电量,单位为千瓦时(kW·h);
- $A_{q(i)}$ ——发电厂或变电站出线端代表日无功电量,单位为千乏时(kvar·h)。

4.2.2.2 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 ,计算方法见附录 A。

4.2.2.3 根据各负荷节点代表日有功电量按式(11)计算各线段的平均电流:

$$I_{av(i)} = I_{av(0)} \frac{A_{d(i)} \cdot \Sigma}{A_{d(1)}} \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中:

- $I_{av(i)}$ ——第 i 线段代表日平均电流,单位为安培(A);
- $I_{av(0)}$ ——发电厂或变电站出线端代表日平均电流,单位为安培(A);

$A_{\text{d}(i) \cdot \Sigma}$ ——第 i 线段后的负荷有功电量之和,单位为千瓦时(kW·h);

$A_{\text{d}(L)}$ ——整条线路的负荷有功电量之和,单位为千瓦时(kW·h)。

如没有代表日有功电量,可用月平均的日有功电量来代替。当缺乏各负荷点电量资料时,可按各节点配电变压器负载系数相等的条件按式(12)计算各线段的平均电流:

$$I_{\text{av}(i)} = I_{\text{av}(0)} \frac{S_{\text{N}(i) \cdot \Sigma}}{S_{\text{N}(L)}} \quad \dots\dots\dots(12)$$

式中:

$I_{\text{av}(i)}$ ——第 i 线段代表日平均电流,单位为安培(A);

$I_{\text{av}(0)}$ ——发电厂或变电站出线端代表日平均电流,单位为安培(A);

$S_{\text{N}(i) \cdot \Sigma}$ ——第 i 线段后配电变压器容量之和,单位为千伏安(kVA);

$S_{\text{N}(L)}$ ——整条线路配电变压器容量之和,单位为千伏安(kVA)。

对于多电源电网线路的同侧电源,可视为同个电源合并计算;对异侧电源,可对每个电源使用公式(10)至公式(12)计算各个电源在每个线段的分流电流,然后计算每个线段上各个电源分流电流的代数和 $I_{\text{av}(i)}$ 。

4.2.2.4 从本线路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 $I_{\text{av}(i)}$,并标于单线图上,根据各线段的电阻,按式(13)和式(14)计算代表日各线段的导线损耗电量及全线路的导线损耗电量。

$$\Delta A_i = 3K^2 I_{\text{av}(i)}^2 R_i \times 24 \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$\Delta A_L = 3K^2 \left[\sum_{i=1}^n I_{\text{av}(i)}^2 R_i \right] \times 24 \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots(14)$$

式中:

ΔA_i ——第 i 线段的代表日导线损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);

K ——负荷曲线形状系数,计算方法见附录 A;

$I_{\text{av}(i)}$ ——第 i 线段代表日平均电流,单位为安培(A);

R_i ——第 i 线段的导线电阻,单位为欧姆(Ω);

ΔA_L ——全线路的代表日导线损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);

n ——该线路包含的线段总数。

4.2.2.5 代表日线路公用配电变压器的负载损耗电量和空载损耗电量的计算按式(15)和式(16):

$$\Delta A_R = K^2 \left[\sum \Delta P_{\text{kg}(i)} \frac{I_{\text{av}(i)}^2}{I_{\text{N}(i)}^2} \right] \times 24 \quad \dots\dots\dots(15)$$

$$\Delta A_T = \sum \Delta P_{\text{0}(i)} \times 24 \quad \dots\dots\dots(16)$$

式中:

ΔA_R ——全线路所有公用配电变压器的负载损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);

K ——负荷曲线形状系数,计算方法见附录 A;

$\Delta P_{\text{kg}(i)}$ ——第 i 线段负荷节点的公用配电变压器的负载损耗功率,单位为千瓦(kW);

$I_{\text{av}(i)}$ ——第 i 线段负荷节点的公用配电变压器代表日高压侧平均电流,单位为安培(A);

$I_{\text{N}(i)}$ ——第 i 线段负荷节点的公用配电变压器高压侧额定电流,单位为安培(A);

ΔA_T ——全线路所有公用配电变压器的空载损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);

$\Delta P_{\text{0}(i)}$ ——第 i 线段负荷节点的公用配电变压器的空载损耗功率,单位为千瓦(kW)。

4.2.2.6 线路代表日和全月损耗电量以及月电能损耗率的计算按式(17)、式(18)、式(19):

$$\Delta A = \Delta A_T + \Delta A_L + \Delta A_R \quad \dots\dots\dots(17)$$

$$\Delta A_{\text{e}} = \left[\Delta A_T + (\Delta A_L + \Delta A_R) \left(\frac{A_{\text{m}(i)}}{A_{\text{d}(i)} \cdot t} \right)^2 \right] \cdot t \quad \dots\dots\dots(18)$$

$$\delta A_m = \frac{\Delta A_m}{A_{m(t)}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(19)$$

式中:

- ΔA —— 线路代表日损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);
- ΔA_T —— 全线路所有公用配电变压器的空载损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);
- ΔA_L —— 全线路的代表日导线损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);
- ΔA_R —— 全线路所有公用配电变压器的负载损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);
- $A_{m(t)}$ —— 全月供电量,单位为千瓦时(kW·h);
- $A_{d(t)}$ —— 代表日供电量,单位为千瓦时(kW·h);
- δA_m —— 月电能损耗率,%;
- ΔA_m —— 线路月损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);
- t —— 全月日历天数。

4.2.3 等值电阻法

对于单电源电网线路,可按等值电阻法进行线路电能损耗计算。线路代表日的总损耗电量和等值电阻的计算按式(20)、式(21)、式(22)、式(23):

$$\Delta A = \left(\sum \Delta P_{v(i)} + 3I_{av(t)}^2 K^2 R_{eq} \times 10^{-3} \right) \times 24 \quad \dots\dots\dots(20)$$

$$R_{eq} = R_{eqL} + R_{eqR} \quad \dots\dots\dots(21)$$

$$R_{eqL} = \frac{\Delta A_L \times 10^3}{72I_{av(t)}^2 K^2} = \frac{\sum_{i=1}^m \Delta A_{d(i)} R_i}{A_{d(t)}^2} \quad \dots\dots\dots(22)$$

$$R_{eqR} = \frac{\Delta A_R \times 10^3}{72I_{av(t)}^2 K^2} \quad \dots\dots\dots(23)$$

式中:

- ΔA —— 线路代表日损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);
- $\Delta P_{v(i)}$ —— 第*i*节点公用配电变压器的空载损耗功率,单位为千瓦(kW);
- $I_{av(t)}$ —— 线路首端代表日平均电流,单位为安培(A);
- K —— 负荷曲线形状系数,计算方法见附录A;
- R_{eq} —— 配电线路等值电阻,单位为欧姆(Ω);
- R_{eqL} —— 线路导线等值电阻,单位为欧姆(Ω);
- R_{eqR} —— 线路公用配电变压器绕组等值电阻,单位为欧姆(Ω);
- ΔA_L —— 全线路的代表日导线损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);
- $A_{d(i)} \cdot \Sigma$ —— 第*i*线段后的负荷有功电量之和,单位为千瓦时(kW·h);
- R_i —— 第*i*线段的导线电阻,单位为欧姆(Ω);
- $A_{d(t)}$ —— 整条线路的负荷有功电量之和,单位为千瓦时(kW·h);
- ΔA_R —— 全线路所有公用配电变压器的负载损耗电量,单位为千瓦时(kW·h)。

当缺乏各负荷节点电量资料时,等值电阻可按各节点配电变压器负载系数相等的条件确定,计算按式(24)、式(25):

$$R_{eqL} = \frac{\sum_{i=1}^m S_{N(i)}^2 R_i}{S_{N(L)}^2} \quad \dots\dots\dots(24)$$

$$R_{eqR} = \frac{U_N^2 \sum \Delta P_{k(i)}}{\sum S_{k(i)}^2} \times 10^3 \quad \dots\dots\dots(25)$$

式中:

- R_{eq} —— 线路导线等值电阻,单位为欧姆(Ω);
 $S_{N(i) \cdot \Sigma}$ —— 第 i 线段后的配电变压器容量之和,单位为千伏安(kVA);
 R_i —— 第 i 线段的导线电阻,单位为欧姆(Ω);
 $S_{N(i)}$ —— 该线路配电变压器总容量,单位为千伏安(kVA);
 R_{eqR} —— 线路公用配电变压器绕组等值电阻,单位为欧姆(Ω);
 U_N —— 公用配电变压器高压侧额定电压,单位为千伏(kV);
 $\Sigma \Delta P_{\text{Li}}$ —— 该线路公用配电变压器的负载损耗功率之和,单位为千瓦(kW);
 $\Sigma S_{N(i)}$ —— 该线路公用配电变压器容量之和,单位为千伏安(kVA)。

4.3 380 V/220 V 电网电能损耗计算

4.3.1 380 V/220 V 电网的电能损耗一般采用简化的方法计算,推荐采用电压损失率法计算。

4.3.2 以一回出线为一个计算单元,确定每回出线的干线及末端,在电网最高负荷时测录配电变压器出口电压和末端电压,按式(26)计算其电压损失率:

$$\delta U_{\text{max}} = \frac{U_{\text{max}} - U'_{\text{max}}}{U_{\text{max}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(26)$$

式中:

- δU_{max} —— 最大负荷时电压损失率,%;
 U_{max} —— 最大负荷时首端电压,一般为配电变压器出口电压,单位为伏(V);
 U'_{max} —— 最大负荷时干线末端电压,单位为伏(V)。

4.3.3 电网最大负荷时的功率损耗率计算按式(27)、式(28):

$$\delta P_{\text{max}} = K_p \cdot \delta U_{\text{max}} \quad \dots\dots\dots(27)$$

$$K_p = \frac{1 + \tan^2 \varphi}{1 + X \tan \varphi / R} \quad \dots\dots\dots(28)$$

式中:

- δP_{max} —— 最大负荷时的功率损耗率,%;
 K_p —— 功率损耗率百分数与电压损耗率百分数的比例系数;
 δU_{max} —— 最大负荷时电压损失率,%;
 φ —— 电流与电压间的相角;
 X —— 导线电抗,单位为欧姆(Ω);
 R —— 导线电阻,单位为欧姆(Ω)。

4.3.4 代表日电网计算单元的电能损耗率和电能损耗的计算按式(29)、式(30):

$$\delta A = \frac{F}{f} \delta P_{\text{max}} \quad \dots\dots\dots(29)$$

$$\Delta A = A \cdot \Delta A \% \quad \dots\dots\dots(30)$$

式中:

- δA —— 电能损耗率,%;
 F —— 损失因数,计算方法见附录 A;
 f —— 代表日负荷率,计算方法见附录 A;
 δP_{max} —— 最大负荷时的功率损耗率,%;
 ΔA —— 计算单元的电能损耗,单位为千瓦时(kW·h);
 A —— 代表日配电变压器供电量,(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),单位为千瓦时(kW·h)。

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

5 电能损耗分析

5.1 统计损耗率

统计损耗率根据小水电电网内各供电量、售电量统计得出,可按月统计也可按年统计,其计算按式(31):

$$\delta A_{\text{TI}} = \frac{A_{\text{GD}} - A_{\text{SD}}}{A_{\text{GD}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (31)$$

式中:

δA_{TI} ——小水电电网统计损耗率, %;

A_{GD} ——小水电电网统计供电量,按电厂上网电量减去输出本网的电量加上输入本网的电量计算,单位为千瓦时(kW·h);

A_{SD} ——小水电电网统计售电量,按所有用户用电抄见电量加上由用户承担的损耗电量及变电站等的自用电量计算,单位为千瓦时(kW·h)。

5.2 理论损耗率

理论损耗率是针对小水电电网各元件的性能参数、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,其计算按式(32):

$$\delta A_{\text{TL}} = \frac{\Delta A_{\text{TL}}}{A_{\text{TL}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (32)$$

式中:

δA_{TL} ——小水电电网理论损耗率, %;

ΔA_{TL} ——小水电电网理论损耗电量,包括变压器、架空及电缆线路、电容器、电抗器、调相机及调机、电流互感器、电压互感器、电度表、测量仪表及控制保护装置等的损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);

A_{TL} ——小水电电网理论供电量,当统计和计算口径一致时,理论供电量可近似地用统计供电量代替,单位为千瓦时(kW·h)。

5.3 对比分析

在进行统计损耗和理论损耗对比分析时,为了达到两者的可比性,应考虑因供电量抄表不同期等因素的影响,使得两者的统计计算范围和周期相同。统计损耗和理论损耗应趋于一致,否则应说明原因。

5.4 统计分析

5.4.1 一般要求

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、线路损耗电量及其占该电压等级总损耗电量的百分比,并与历史数据进行对比,分析损耗构成、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。

5.4.2 分压分线分析

小水电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,掌握损耗电量的组成,分析小水电电网的高能耗环节,并提出针对性的改进措施。

5.4.3 分元件分析

按小水电电网中元件分类统计分析电能损耗。按电网中升压变压器、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,通过理论计算和统一分析,统计按线路、变压器等元件划分的电能损耗及其所占比例。

5.4.4 售电构成分析

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。

6 降损效果计算

6.1 调整电压降损效果计算

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

表1 电压调整率

电压调整率 $\alpha/\%$	1	2	3	4	5
可变与固定损耗之比	1.02	1.04	1.061	1.082	1.10

表2 电压调整率

电压调整率 $\alpha/\%$	-1	-2	-3	-4	-5
可变与固定损耗之比	0.98	0.96	0.941	0.922	0.903

上两表中的电压调整率 α 的计算按式(33):

$$\alpha = \frac{(U' - U)}{U} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (33)$$

式中:

α ——电压调整率, %;

U' ——调压后母线电压,单位为千伏(kV);

U ——调压前母线电压,单位为千伏(kV)。

电压调整后降损电量的计算按式(34):

$$\Delta(\Delta A) = \Delta A_k \left[1 - \frac{1}{(1 + \alpha)^2} \right] - \Delta A_G \cdot \alpha(2 + \alpha) \quad \dots\dots\dots (34)$$

式中:

$\Delta(\Delta A)$ ——调压后降损电量,单位为千瓦时(kW·h);

ΔA_k ——调压前电网可变损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);

α ——电压调整率, %;

ΔA_G ——调压前电网固定损耗电量,单位为千瓦时(kW·h)。

6.2 装设无功补偿装置后的降损效果计算

6.2.1 根据无功经济当量计算

根据补偿点前各串接元件的无功经济当量,补偿后降损电量的计算按式(35)、式(36)、式(37):

$$\Delta(\Delta A) = Q_C [C_{p(i)} - \tan\delta] t \quad \dots\dots\dots(35)$$

$$C_{p(i)} = \sum_{j=1}^m C_{p(j)} \quad \dots\dots\dots(36)$$

$$C_{p(i)} = \frac{2Q_{(i)} - Q_C}{U_{(i)}^2} R_{(i)} \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots(37)$$

式中:

- $\Delta(\Delta A)$ ——装设无功补偿装置后的降损电量,单位为千瓦时(kW·h);
- Q_C ——无功补偿装置的额定容量,单位为千乏(kvar);
- $C_{p(i)}$ ——补偿设备装置点的无功经济当量,单位为千瓦每千乏(kW/kvar);
- $\tan\delta$ ——电容器的损耗角正切;
- t ——无功补偿设备投运时间,单位为小时(h);
- $C_{p(j)}$ ——补偿点前各串接元件的无功经济当量,单位为千瓦每千乏(kW/kvar);
- $Q_{(i)}$ ——第*i*串接元件补偿前的无功潮流,单位为千乏(kvar);
- $U_{(i)}$ ——第*i*元件的运行电压,单位为千伏(kV);
- $R_{(i)}$ ——第*i*串接元件的电阻,单位为欧姆(Ω);
- i ——(1, ..., *m*)为补偿设备装置点之前串接元件序号。

6.2.2 根据功率因数变化计算

根据补偿点前各串接元件补偿前后的功率因数变化,补偿后降损电量的计算按式(38)、式(39)、式(40):

$$\Delta(\Delta A) = \sum_{i=1}^m \left[\Delta A_{(i)} \left(1 - \frac{\cos^2 \varphi_{i(2)}}{\cos^2 \varphi_{i(1)}} \right) \right] - Q_C \tan\delta \cdot t \quad \dots\dots\dots(38)$$

$$\cos\varphi_{i(1)} = \cos \left[\arctan \left(\frac{Q_i}{P_i} \right) \right] \quad \dots\dots\dots(39)$$

$$\cos\varphi_{i(2)} = \cos \left[\arctan \left(\frac{Q_i - Q_C}{P_i} \right) \right] \quad \dots\dots\dots(40)$$

式中:

- $\Delta(\Delta A)$ ——装设无功补偿装置后的降损电量,单位为千瓦时(kW·h);
- ΔA_i ——各串接元件补偿前的损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);
- $\cos\varphi_{i(1)}$ ——补偿前各串接元件负荷的功率因数;
- $\cos\varphi_{i(2)}$ ——补偿后各串接元件负荷的功率因数;
- Q_C ——无功补偿装置的额定容量,单位为千乏(kvar);
- $\tan\delta$ ——电容器的损耗角正切;
- t ——无功补偿设备投运时间,单位为小时(h);
- Q_i ——补偿前各元件的无功负荷,单位为千乏(kvar);
- P_i ——补偿前各元件的有功负荷,单位为千瓦(kW)。

6.3 减少导线电阻后降损效果计算

减少导线电阻可通过加大线路导线截面,或改变线路迂回状况。降损电量的计算按式(41):

$$\Delta(\Delta A) = \Delta A \left(1 - \frac{R_2}{R_1}\right) \quad \dots\dots\dots (41)$$

式中:

$\Delta(\Delta A)$ ——线路改造后的降损电量,单位为千瓦时(kW·h);

ΔA ——线路改造前的损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);

R_2 ——线路改造后的电阻,单位为欧姆(Ω);

R_1 ——线路改造前的电阻,单位为欧姆(Ω)。

<http://www.sljzjxx.com>
水利造价信息网

附录 A
(规范性附录)
线路电能损耗计算方法

A.1 均方根电流法

线路电能损耗计算的基本方法是均方根电流法,其代表日损耗电量的计算按式(A.1)、式(A.2);

$$\Delta A = 3I_{\text{RMS}}^2 R t \times 10^{-3} \quad \text{.....(A.1)}$$

$$I_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{24} I_i^2}{24}} \quad \text{.....(A.2)}$$

式中:

ΔA ——代表日损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);

I_{RMS} ——代表日均方根电流,单位为安培(A);

R ——线路电阻,单位为欧姆(Ω);

t ——运行时间(对于代表日 $t=24$),单位为小时(h);

I_i ——各整点通过元件的负荷电流,单位为安培(A)。

当负荷曲线以三相有功功率和三相无功功率表示时,均方根电流的计算按式(A.3);

$$I_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{24} (P_i^2 + Q_i^2) / U_i^2}{3 \times 24}} \quad \text{.....(A.3)}$$

式中:

I_{RMS} ——代表日均方根电流,单位为安培(A);

P_i ——各整点通过元件的三相有功功率,单位为千瓦(kW);

Q_i ——各整点通过元件的三相无功功率,单位为千乏(kvar);

U_i ——与功率同端测量的整点电压,单位为千伏(kV)。

A.2 平均电流法

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_{RMS} 与平均电流 I_{av} 的等效关系为 K ,具体计算按式(A.4):

$$K = \frac{I_{\text{RMS}}}{I_{\text{av}}} \quad \text{.....(A.4)}$$

式中:

K ——负荷曲线形状系数;

I_{RMS} ——代表日均方根电流,单位为安培(A);

I_{av} ——代表日线路负荷电流平均值,单位为安培(A)。

则代表日线路损耗电量的计算按式(A.5):

$$\Delta A = 3K^2 I_{\text{av}}^2 R t \times 10^{-3} \quad \text{.....(A.5)}$$

式中:

ΔA ——代表日损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);

- K —— 负荷曲线形状系数；
 I_{av} —— 代表日线路负荷电流平均值，单位为安培(A)；
 R —— 线路电阻，单位为欧姆(Ω)；
 t —— 运行时间(对于代表日 $t=24$)，单位为小时(h)。

负荷曲线形状系数 K 可根据负荷曲线的负荷率 f 及最小负荷率 β 确定， f 和 β 的计算按式(A.6)、式(A.7)：

$$f = \frac{I_{av}}{I_{max}} \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

$$\beta = \frac{I_{min}}{I_{max}} \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

式中：

- f —— 代表日负荷率；
 I_{av} —— 代表日线路负荷电流平均值，单位为安培(A)；
 I_{max} —— 代表日最大负荷电流，单位为安培(A)；
 β —— 代表日最小负荷率；
 I_{min} —— 代表日最小负荷电流，单位为安培(A)。

当 $f \geq 0.5$ 时，按直线变化的持续负荷曲线计算 K^2 值，具体计算按式(A.8)：

$$K^2 = \frac{\beta + (1 - \beta)^2 / 3}{[(1 + \beta) / 2]^2} \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

式中：

- K —— 负荷曲线形状系数；
 β —— 代表日最小负荷率。

当 $f < 0.5$ 时，按二阶梯持续负荷曲线计算 K^2 值，具体计算按式(A.9)：

$$K^2 = \frac{f(1 + \beta) - \beta}{f^2} \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

式中：

- K —— 负荷曲线形状系数；
 f —— 代表日负荷率；
 β —— 代表日最小负荷率。

A.3 最大电流法

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 ，具体计算按式(A.10)：

$$F = \frac{I_{\mu}^2}{I_{max}^2} \quad \dots\dots\dots (A.10)$$

式中：

- F —— 损失因数；
 I_{μ} —— 代表日均方根电流，单位为安培(A)；
 I_{max} —— 代表日最大负荷电流，单位为安培(A)。

则代表日的线路损耗电量的计算按式(A.11)：

$$\Delta A = 3I_{max}^2 FRt \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (A.11)$$

式中：

- ΔA —— 代表日损耗电量，单位为千瓦时(kW·h)；

- I_{\max} —— 代表日最大负荷电流,单位为安培(A);
- F —— 损失因数;
- R —— 线路电阻,单位为欧姆(Ω);
- t —— 运行时间(对于代表日 $t=24$),单位为小时(h)。

损失因数 F 可根据负荷曲线的负荷率 f 和最小负荷率 β 确定。

当 $f \geq 0.5$ 时,按直线变化的持续负荷曲线计算 F 值,具体计算按式(A.12):

$$F = \beta + \frac{1}{3}(1 - \beta)^2 \quad \dots\dots\dots(\text{A.12})$$

式中:

- F —— 损失因数;
- β —— 代表日最小负荷率。

当 $f < 0.5$ 时,按二阶梯持续负荷曲线计算 F 值,具体计算按式(A.13):

$$F = f(1 + \beta) - \beta \quad \dots\dots\dots(\text{A.13})$$

式中:

- F —— 损失因数;
- f —— 代表日负荷率;
- β —— 代表日最小负荷率。

A.4 环境温度

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,具体计算按式(A.14)、式(A.15)、式(A.16):

$$R = R_{20}(1 + \beta_1 + \beta_2) \quad \dots\dots\dots(\text{A.14})$$

$$\beta_1 = 0.2 \left(\frac{I_{av}}{I_{20}} \right)^2 \quad \dots\dots\dots(\text{A.15})$$

$$\beta_2 = \alpha(T_{av} - 20) \quad \dots\dots\dots(\text{A.16})$$

式中:

- R —— 导线的电阻值,单位为欧姆(Ω);
- R_{20} —— 每相导线在 20℃ 时的电阻值,可从手册中查得单位长度值,单位为欧姆(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_{av} —— 代表日线路负荷电流平均值,单位为安培(A);
- I_{20} —— 环境温度为 20℃ 时,导线到达容许温度时的容许持续电流,其值可通过有关注册查取,如手册给出的是环境温度为 25℃ 时的容许值, I_{20} 应乘以 1.05,单位为安培(A);
- α —— 导线电阻温度系数,对铜、铝、钢心铝线, $\alpha = 0.004$;
- T_{av} —— 计算期代表日平均气温,单位为摄氏度(℃)。

A.5 电缆线路

对于电缆线路,除按计算一般线路的方法计算导线电阻的电能损耗外,还应计及绝缘介质的电能损耗,三相电缆绝缘介质损耗电量的计算按式(A.17):

$$\Delta A_j = U^2 \omega C \cdot \tan \delta \cdot Lt \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots(\text{A.17})$$

式中:

ΔA_3 ——三相电缆绝缘介质损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);

U ——电缆运行对地电压,单位为千伏(kV);

ω ——角频率,单位为每秒(s^{-1});

C ——电缆每相的工作电容,单位为微法每千米($\mu F/km$);

$\tan\delta$ ——绝缘介质损耗因数,可由手册查取,或按表 A.1 选取或按实测值;

L ——电缆长度,单位为千米(km);

t ——运行时间,单位为小时(h)。

圆形导体电容的计算按式(A.18):

$$C = \frac{\epsilon}{18 \ln(D_1/d_2)} \quad \dots\dots\dots (A.18)$$

式中:

C ——圆形导体工作电容,单位为微法每千米($\mu F/km$);

ϵ ——绝缘介质的相对介电常数,按表 A.1 选取;

D_1 ——绝缘层外直径,屏蔽层出外,单位为毫米(mm);

d_2 ——导体直径,如果有屏蔽层,则包括屏蔽层,单位为毫米(mm);

椭圆形导体,如果由长轴和短轴直径的几何平均值取代 D_1 和 d_2 ,则可以使用相同的公式。

表 A.1 电缆常用绝缘介质的 ϵ 和 $\tan\delta$ 值

电缆型式	ϵ	$\tan\delta$
粘性浸渍型、充分浸渍、预浸渍或整体浸渍不滴流绝缘	4	0.01
自容式冲油 $U \leq 36$ kV	3.6	0.003 5
自容式冲油 $U \leq 87$ kV	3.6	0.003 3
钢管、油压型	3.7	0.004 5
丁基橡胶	4	0.05
聚氯乙烯	8	0.1
交联聚乙烯 10/30(36)kV 以上(含填充物)	3.0	0.005

注: $\tan\delta$ 值为最高允许温度和最高工作电压下的允许值。

附录 B
(规范性附录)
变压器电能损耗计算方法

B.1 双绕组变压器电能损耗计算

B.1.1 空载损耗电量的计算按式(B.1):

$$\Delta A_T = \Delta P_0 \left(\frac{U_{av}}{U_i} \right)^2 t \quad \text{.....(B.1)}$$

式中:

- ΔA_T —— 变压器空载损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);
- ΔP_0 —— 变压器空载损耗功率,单位为千瓦(kW);
- U_{av} —— 变压器平均电压,单位为千伏(kV);
- U_i —— 变压器分接头电压,单位为千伏(kV);
- t —— 变压器运行时间,单位为小时(h)。

B.1.2 负载损耗电量的计算按式(B.2):

$$\Delta A_R = \Delta P_k \left(\frac{I_{\beta}}{I_N} \right)^2 t \quad \text{.....(B.2)}$$

式中:

- ΔA_R —— 变压器负载损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);
- ΔP_k —— 变压器负载损耗功率,单位为千瓦(kW);
- I_{β} —— 变压器计算期均方根电流,应取与负荷电流同一电压侧的数值,单位为安培(A);
- I_N —— 变压器额定电流,应取与负荷电流同一电压侧的数值,单位为安培(A);
- t —— 变压器运行时间,单位为小时(h)。

当只具有变压器计算期平均电流 I_{av} 或最大电流 I_{max} 时,可根据 $I_{\beta}^2 = K^2 I_{av}^2$ 或 $I_{\beta}^2 = F I_{max}^2$,按公式(B.2)计算。K 与 F 的计算见附录 A。

根据电流与视在功率的关系 $I = S / (\sqrt{3}U)$,公式(B.2)可改写为式(B.3):

$$\Delta A_R = \Delta P_k \left(\frac{S_{\beta}}{S_N} \right)^2 t \quad \text{.....(B.3)}$$

式中:

- ΔA_R —— 变压器负载损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);
- ΔP_k —— 变压器负载损耗功率,单位为千瓦(kW);
- S_{β} —— 变压器计算期以视在功率表示的均方根值,单位为千伏安(kVA);
- S_N —— 变压器额定容量,单位为千伏安(kVA);
- t —— 变压器运行时间,单位为小时(h)。

B.1.3 双绕组变压器电能损耗的计算按式(B.4):

$$\Delta A = \Delta A_T + \Delta A_R \quad \text{.....(B.4)}$$

式中:

- ΔA —— 变压器电能损耗,单位为千瓦时(kW·h);
- ΔA_T —— 变压器空载损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);
- ΔA_R —— 变压器负载损耗电量,单位为千瓦时(kW·h)。

B.2 三绕组变压器电能损耗计算

B.2.1 三绕组变压器的空载损耗电量 ΔA_{τ} 的计算同双绕组变压器。

B.2.2 三绕组变压器的负载损耗电量计算,应根据各绕组的负载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的负载损耗电量。

当采用变压器计算期的均方根电流计算时,负载损耗电量的计算按式(B.5)、式(B.6):

$$\Delta A_R = \left[\Delta P_{k1} \left(\frac{I_{d1}}{I_{N1}} \right)^2 + \Delta P_{k2} \left(\frac{I_{d2}}{I_{N2}} \right)^2 + \Delta P_{k3} \left(\frac{I_{d3}}{I_{N3}} \right)^2 \right] t \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{k1} &= \frac{1}{2} [\Delta P_{k(1-2)} + \Delta P_{k(1-3)} - \Delta P_{k(2-3)}] \\ \Delta P_{k2} &= \Delta P_{k(1-2)} - \Delta P_{k1} \\ \Delta P_{k3} &= \Delta P_{k(1-3)} - \Delta P_{k1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (B.6)$$

式中:

- ΔA_R —— 变压器负载损耗电量,单位为千瓦时(kW·h);
- $\Delta P_{k1}, \Delta P_{k2}, \Delta P_{k3}$ —— 分别为三绕组变压器高压绕组、中压绕组、低压绕组的负载损耗功率,单位为千瓦(kW);
- I_{d1}, I_{d2}, I_{d3} —— 分别为三绕组变压器高压绕组、中压绕组、低压绕组的计算期负荷电流的均方根值,单位为安培(A);
- I_{N1}, I_{N2}, I_{N3} —— 分别为三绕组变压器高压绕组、中压绕组、低压绕组的额定电流,单位为安培(A);
- $\Delta P_{k(1-2)}, \Delta P_{k(1-3)}, \Delta P_{k(2-3)}$ —— 分别为三绕组变压器额定容量的高-中压、高-低压、中-低压绕组的负载损耗功率,单位为千瓦(kW)。

对于三个绕组容量不相等的变压器,应先把铭牌给出的负载损耗功率归算到额定容量下,计算按式(B.7):

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{k(1-2)} &= \Delta P'_{k(1-2)} \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^2 \\ \Delta P_{k(1-3)} &= \Delta P'_{k(1-3)} \left(\frac{S_1}{S_3} \right)^2 \\ \Delta P_{k(2-3)} &= \Delta P'_{k(2-3)} \left(\frac{S_2}{S_3} \right)^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (B.7)$$

式中:

- $\Delta P_{k(1-2)}, \Delta P_{k(1-3)}, \Delta P_{k(2-3)}$ —— 分别为三绕组变压器额定容量的高-中压、高-低压、中-低压绕组的负载损耗功率,单位为千瓦(kW);
- $\Delta P'_{k(1-2)}, \Delta P'_{k(1-3)}, \Delta P'_{k(2-3)}$ —— 分别为铭牌给出的高-中压、高-低压、中-低压绕组的负载损耗功率,单位为千瓦(kW);
- S_1, S_2, S_3 —— 分别为高压绕组、中压绕组、低压绕组的标称容量,单位为千伏安(kVA)。

当只具有变压器计算期平均电流 I_{av} 或最大电流 I_{max} 时,可根据 $I_{\beta}^2 = K^2 I_{av}^2$ 或 $I_{\beta}^2 = F I_{max}^2$,按公式(B.5)计算。K与F的计算见附录A。

B.2.3 三绕组变压器电能损耗的计算按式(B.8):

$$\Delta A = \Delta A_{\tau} + \Delta A_R \quad \dots\dots\dots (B.8)$$

式中：

ΔA ——变压器电能损耗，单位为千瓦时(kW·h)；

ΔA_T ——变压器空载损耗电量，单位为千瓦时(kW·h)；

ΔA_R ——变压器负载损耗电量，单位为千瓦时(kW·h)。

B.3 自耦变压器电能损耗计算

自耦变压器电能损耗计算与三绕组变压器的电能损耗计算相同。

<https://www.slzjxx.com>
水利造价信息网

http://www.sizjxx.cn
水利造价信息网

中华人民共和国
国家标准
小水电电网电能损耗计算导则
GB/T 30944—2014

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)
网址 www.spc.net.cn
总编室:(010)5427323 发行中心:(010)51780235
读者服务部:(010)68523945
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 25 千字
2014年10月第一版 2014年10月第一次印刷

书号: 155066·1-50052 定价 24.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 30944-2014