

DB37

山 东 省 地 方 标 准

DB37/ 787—2007

电网节电量计算方法

2007-11-23 发布

2008-01-01 实施

山东省质量技术监督局 发布

前 言

本标准附录 A 为资料性附录。

本标准由山东省经济贸易委员会、山东省质量技术监督局提出。

本标准由山东能源标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：山东电力集团公司。

本标准主要起草人：陈士方、朱秀波、张波、赵芳。

电网节电量计算方法

1 范围

本标准规定了电网主要节电措施节电量的基本计算方法。
本标准适用于电网企业及用户节电措施效果的计算。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 13234-1991 企业节能量计算方法

GB/T 13471-1992 节电措施经济效益计算与评价方法

DL/T 686-1999 电力网电能损耗计算导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

线损

供电企业在整个供电过程中发生的送变电设备的电能损耗和不明损失的统称。

3.2

线损率

在供电过程中耗用和损失的电量占供电量的比率。是反映用电管理与技术管理工作水平的综合性技术经济指标。

3.3

节电量

指在可比情况下，节电措施实施后与实施前相比，消耗电能减少的数量。

4 电网节电措施及节电量计算方法

4.1 电网升压改造

电网升压改造是指用电负荷增长、降低线损、简化电压等级所采取的技术措施。

电网升压后节电量：

$$\Delta(\Delta A) = \Delta A \left(1 - \frac{U_{N1}^2}{U_{N2}^2}\right) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

U_{N1} ——电网升压前的额定电压，单位为千伏（kV）；

U_{N2} ——电网升压后的额定电压，单位为千伏（kV）；

ΔA ——电网升压前的损失电量，单位为千瓦时（kWh）；

$\Delta(\Delta A)$ ——节电量，单位为千瓦时（kWh）。

电网升压后负载损耗降低百分率($\Delta P\%$)，见附录 A.1。

4.2 合理调整运行电压

合理调整运行电压是指通过调整发电机端电压和变压器分接头，投切电容器及电抗器等技术措施。

4.2.1 判断调压条件

4.2.1.1 提高电压百分率 $\alpha\%$

$$\alpha\% = \frac{U' - U}{U} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中：

U' ——调压后的母线电压，单位为千伏(kV)；

U ——调压前的母线电压，单位为千伏(kV)。

$$C = \frac{\Delta A_k}{\Delta A_0} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

C ——电网的负载损耗与空载损耗的比值；

ΔA_0 ——调压前被调电网的空载损耗电量，单位为千瓦时(kWh)；

ΔA_k ——调压前被调电网的负载损耗电量，单位为千瓦时(kWh)。

4.2.1.2 当 C 大于表1的数值时，提高运行电压有降损节电效果。

表1 提高运行电压降损判别

提高电压百分率 α %	1	2	3	4	5
C	1.02	1.04	1.061	1.082	1.10

4.2.1.3 当 C 小于表2数值时，降低运行电压有降损节电效果。

表2 降低运行电压降损判别

提高电压百分率 α %	-1	-2	-3	-4	-5
C	0.98	0.96	0.941	0.922	0.903

4.2.1.4 调压后的节电量

$$\Delta(\Delta A) = \Delta A_k \left[1 - \frac{1}{(1 + \alpha)^2} \right] - \Delta A_0 \alpha (2 + \alpha) \dots\dots\dots (4)$$

4.3 更换导线

在输送负荷不变的情况下，更换导线，减少线路电阻可以达到降损节电效果。

换线后降低损耗百分率：

$$\Delta P\% = \left(1 - \frac{R_2}{R_1} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

式中：

R_1 ——换线前的导线电阻，单位为欧姆(Ω)；

R_2 ——换线后的导线电阻，单位为欧姆(Ω)；

更换导线降低损耗百分率($\Delta P\%$)见附录 A. 2。

4.4 增加并列运行线路

增加并列线路指由同一电源至同一受电点增加一回或几回线路并列运行。

4.4.1 增加同型号、等截面、等距离线路并列运行后的节电量

$$\Delta(\Delta A) = \Delta A \left(1 - \frac{1}{N} \right) \dots\dots\dots (6)$$

式中:

ΔA ——原来一回线路运行时的损耗电量, 单位为千瓦时 (kWh);

N ——并列运行线路的回路数。

4.4.2 在原回路上增加一条不等截面导线后的节电量

$$\Delta(\Delta A) = \Delta A \left(1 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \dots\dots\dots (7)$$

式中:

R_1 ——原线路导线电阻, 单位为欧姆 (Ω);

R_2 ——增加线路导线电阻, 单位为欧姆 (Ω)。

4.5 环网开环运行

4.5.1 合环运行时的负荷分布按下式计算

$$\left. \begin{aligned} \dot{S}_{Li} &= \frac{\sum_{k=1}^m \dot{S}_k Z_k^*}{Z_\Sigma^*} \\ \dot{S}_{Ln} &= \frac{\sum_{k=1}^m \dot{S}_k Z_k'}{Z_\Sigma^*} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

其余线路的负荷分布可按基尔荷夫第一定律确定。

式中:

\dot{S}_{Li} ——通过各线段的负荷, 单位为千伏安 (kVA);

i ——线段顺序号, $i=1 \sim n$, n 为线段数;

\dot{S}_k ——环网各节点的负荷, 单位为千伏安 (kVA);

k ——节点顺序号, $k=1 \sim m$, m 为节点数;

Z_k^* ——第 k 节点后各线段阻抗之和, 单位为欧姆 (Ω);

Z_k' ——第 k 节点前各线段阻抗之和, 单位为欧姆 (Ω);

Z_Σ^* ——环网各线段阻抗之和, $Z_\Sigma^* = Z_k^* + Z_k'$, 单位为欧姆 (Ω)。

4.5.2 经济负荷按下式计算

$$\left. \begin{aligned} \dot{S}_{Lij} &= \frac{\sum_{k=1}^m \dot{S}_k R_k}{R_{\Sigma}} \\ \dot{S}_{Lnj} &= \frac{\sum_{k=1}^m \dot{S}_k R'_k}{R_{\Sigma}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

其他各线段负荷可按基尔荷夫第一定律确定。

式中：

R_k ——第 k 节点后各线段电阻之和，单位为欧姆（ Ω ）；

R'_k ——第 k 节点前各线段电阻之和，单位为欧姆（ Ω ）；

R_{Σ} ——环网各线段电阻之和， $R_{\Sigma} = R_k + R'_k$ ，单位为欧姆（ Ω ）；

\dot{S}_{Lij} ——按照经济负荷分布的通过各线段的负荷，单位为千伏安（kVA）。

4.5.3 根据经济负荷分布得出的送端输出负荷 S_{Lij} 、 S_{Lnj} 及各负荷结点的负荷，确定环网的开环点，使开环后的网络负荷分布接近自然分布，并得出开环时各线段的负荷 S_{Liq} 。

4.5.4 环网开环后的节电量

$$\Delta(\Delta A) = \frac{Ft}{U_{ar}^2} \sum_{i=1}^m (S_{Li}^2 - S_{Liq}^2) R_{Li} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

S_{Li} ——最高负荷时，合环运行各线段的负荷，单位为千伏安（kVA）；

S_{Liq} ——最高负荷时，开环运行各线段的负荷，单位为千伏安（kVA）；

U_{ar} ——环网送端母线的平均电压，单位为千伏（kV）；

R_{Li} ——各线段电阻，单位为欧姆（ Ω ）；

F ——损失因数；

t ——运行时间，单位为小时（h）。

4.6 按经济电流密度选择导线

经济电流密度是导线每平方毫米的经济载流量 (A/mm^2)，是根据节省投资、年运行费用、有色金属消耗量及降低损耗等因素制订的，符合总的经济效益的综合性参数。

4.6.1 按经济电流密度运行的降损节电效果

经济电流密度及导线经济电流见附录 A.3、附录 A.4。选用导线截面时，应根据负荷性质考虑最大负荷利用小时数。

导线按经济电流运行后损耗降低的百分率：

$$\Delta P\% = \left(1 - \frac{I_2^2}{I_1^2} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

式中:

I_1 ——持续允许电流, 单位为安培 (A);

I_2 ——经济运行电流, 单位为安培 (A)。

各种导线按经济电流运行降低损耗的百分率 ($\Delta P\%$) 见附录 A.5, 最大负荷利用小时为 3000~5000h, 环境温度 25℃。

4.7 变压器经济运行

4.7.1 双绕组单台变压器经济运行

单台变压器运行时, 当额定空载损耗和额定短路损耗相等时, 变压器效率最高, 运行最经济。

单台变压器经济负荷:

$$S = \sqrt{\frac{\Delta P_0}{\Delta P_k}} S_N \dots\dots\dots (12)$$

式中:

S ——变压器的经济负荷, 单位为千伏安 (kVA);

ΔP_0 ——变压器的额定空载损耗, 单位为千瓦 (kW);

ΔP_k ——变压器的额定短路损耗, 单位为千瓦 (kW);

S_N ——变压器的额定容量, 单位为千伏安 (kVA)。

4.7.2 双绕组多台变压器经济运行

4.7.2.1 多台同容量变压器经济运行

当变电所有多台相同型号的双绕组变压器并列运行时, 应分别计算变压器的临界负荷, 确定不同负荷情况下应当投运的变压器台数。

n 台与 $(n-1)$ 台变压器的临界负荷:

$$S_c = \sqrt{n(n-1) \frac{\Delta P_0}{\Delta P_k F}} S_N \dots\dots\dots (13)$$

式中:

n ——并列运行变压器的台数;

S_N ——单台变压器额定容量, 单位为千伏安 (kVA);

ΔP_0 ——单台变压器的空载损耗, 单位为千瓦 (kW);

ΔP_k ——单台变压器的额定短路损耗, 单位为千瓦 (kW);

F ——变电所总负荷的损失因数。

当变电所总负荷的最大值 $S_{\max} > S_c$ 时, 使用 n 台变器并列运行经济; 当变电所总负荷的最大值

$S_{\max} \leq S_c$ 时, 使用 $(n-1)$ 台变压器并列运行经济。当 $S_{\max} \leq S_c$ 时, $(n-1)$ 台变压器比 n 台变压器运

行的节电量:

$$\Delta(\Delta A) = \left[\Delta P_0 - \frac{1}{n(n-1)} \Delta P_k \left(\frac{S_{\max}}{S_N} \right)^2 F \right] t \dots\dots\dots (14)$$

若考虑变压器的无功功率损耗, 则式(13)、式(14)分别为:

$$S_c = S_N \sqrt{n(n-1) \frac{\Delta P_0 + C_p \Delta Q_0}{(\Delta P_k + C_p \Delta Q_k) F}} \dots\dots\dots (15)$$

$$\Delta(\Delta A) = \left[\Delta P_0 + C_p \Delta Q_0 - \frac{1}{n(n-1)} (\Delta P_k + C_p \Delta Q_k) \left(\frac{S_{\max}}{S_N} \right)^2 F \right] t \dots\dots\dots (16)$$

式中:

C_p ——无功经济当量。

4.7.2.2 多台不同容量变压器经济运行

当变电所有多台不同型号的双绕组变压器时, 计算列出各种组合方式下的临界负荷表, 然后再根据变电所的负荷选择最经济的组合方式。

每两种组合方式的临界负荷:

$$S_{c(ij)} = \sqrt{\frac{\sum \Delta P_{0j} - \sum \Delta P_{0i}}{\left[\frac{\sum \Delta P_{ki}}{(\sum S_{Ni})^2} - \frac{\sum \Delta P_{kj}}{(\sum S_{Nj})^2} \right] F}} \dots\dots\dots (17)$$

式中:

$\sum \Delta P_{0i}$ 、 $\sum \Delta P_{0j}$ ——第*i*种及第*j*种组合方式并列变压器组的总空载损耗, 单位为千瓦(kW);

$\sum \Delta P_{ki}$ 、 $\sum \Delta P_{kj}$ ——第*i*种及第*j*种组合方式并列变压器组的总额定短路损耗, 单位为千瓦(kW);

$\sum \Delta S_{Ni}$ 、 $\sum \Delta S_{Nj}$ ——第*i*种及第*j*种组合方式并列变压器组的总额定容量, 单位为千伏安(kVA);

F ——变电所总负荷的损失因数。

4.8 淘汰高耗能变压器

变压器负载损耗的大小取决于变压器所带的负荷, 而空载损耗的大小则取决于变压器铁心材料的特性。节能变压器主要从铁心材料方面进行改进, 通过减小铁心损耗而降损节能。在设计的标准规范中, 损耗比(即空载损耗与额定短路损耗之比)为1/2.5~1/2, 最高效率时相应的负荷率为63%和71%。早期“64”标准(GB 500-1964)、“73”标准(GB 1300~1301-1973)和“86”标准配电变压器空载损耗比较见附录A.6。

采用卷铁心的配电变压器, 与叠片式铁心相比, 空载损耗减少30%~40%, 负载损耗减少约10%。非晶合金配电变压器的空载损耗比同容量的硅钢铁心变压器低60%~80%。

对节能变压器, 近似的节电量:

$$\Delta(\Delta A) = (\Delta P_0 - \Delta P_0') T \dots\dots\dots (18)$$

式中:

$\Delta(\Delta A)$ —— T 时段内由于采用节能变压器而减少的电能损失, 单位为千瓦时(kWh);

ΔP_0 ——更换前原变压器的空载损耗, 单位为千瓦(kW);

$\Delta P_0'$ ——更换后节能变压器的空载损耗，单位为千瓦（kW）；

T ——变压器运行小时数，单位为小时（h）。

4.9 增加无功补偿

当电力网中某一点增加无功补偿容量后，则从该点至电源点所有串接的线路及变压器中的无功潮流都将减少，从而使该点以前串接元件中的电能损耗减少，达到了降损节电和改善电能质量的目的。其降损节电量宜用潮流方法计算。当不具备条件时，可用以下方法计算。

4.9.1 根据无功经济当量进行无功补偿

对于需要集中补偿的可按无功经济当量来选择补偿点和补偿容量。无功补偿设备的经济当量是该点以前潮流流经的各串接元件的无功经济当量的总和，即：

$$C_p(X) = \sum_{i=1}^m C_p(i) \quad \dots\dots\dots (19)$$

式中：

$C_p(X)$ ——补偿设备装设点（X点）的无功经济当量，单位为千瓦/千乏（kW/kvar）；

$C_p(i)$ ——X点以前各串接元件的无功经济当量，单位为千瓦/千乏（kW/kvar）；

$i=1\sim m$ ——X点以前串接元件数。

为了简化计算，串接元件只考虑到上一级电压的母线

$$C_p(i) = \frac{2Q(i) - Q_c}{U^2(i)} R(i) \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中：

$Q(i)$ ——第*i*串接元件补偿前的无功潮流，单位为千乏（kvar）；

$R(i)$ ——第*i*串接元件的电阻，单位为欧姆（ Ω ）；

$U(i)$ ——第*i*元件的运行电压，单位为千伏（kV）；

Q_c ——无功补偿装置的容量，单位为千乏（kvar）。

增加无功补偿的节电量：

$$\Delta(\Delta A) = Q_c [C_p(X) - \text{tg} \delta] t \quad \dots\dots\dots (21)$$

式中：

$\text{tg} \delta$ ——电容器的介质损耗角正切值，以出厂值为准，或查附录 A.7 取得；

t ——无功补偿设备的投运时间，单位为小时，h。

4.9.2 根据功率因数进行无功补偿

一般对于用户，可按提高功率因数的原则进行无功补偿，以减少无功功率受入。

补偿点前各串接元件补偿前后的功率因数计算：

补偿前各串接元件负荷的功率因数：

$$\cos \phi_{i1} = \cos \left(\text{arctg} \frac{Q_i}{P_i} \right) \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中：

P_i ——补偿前各元件的有功功率，单位为千瓦（kW）；

Q_i ——补偿前各元件的无功功率，单位为千乏（kvar）。

补偿后各串接元件的功率因数：

$$\cos \phi_{i2} = \cos \left(\arctg \frac{Q_i - Q_c}{P_i} \right) \dots\dots\dots (23)$$

式中：

Q_c ——无功补偿容量，单位为千乏（kvar）。

补偿后电网的节电量：

$$\Delta(\Delta A) = \sum_{i=1}^m \left[\Delta A_i \left(1 - \frac{\cos^2 \phi_{i1}}{\cos^2 \phi_{i2}} \right) \right] - t Q_c \operatorname{tg} \delta \dots\dots\dots (24)$$

式中：

ΔA_i ——各串接元件补偿前的损耗电量，单位为千瓦时（kWh）。

当输送有功功率不变，功率因数从 $\cos \phi_1$ 提高到 $\cos \phi_2$ ，电网中各串接元件的有功负载损耗降低百分率：

$$\Delta P\% = \left(1 - \frac{\cos^2 \phi_1}{\cos^2 \phi_2} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (25)$$

提高功率因数降低有功损耗百分率见附录 A. 8。

附 录 A
(资料性附录)

表 A.1 电网升压后负载损耗降低百分率($\Delta P\%$)

升压前额定电压 U_{N1} (kV)	升压后额定电压 U_{N2} (kV)	升压后负载损耗降低百分率 ΔP (%)
220	500	80.6
110	220	75
35	110	89.9
10	35	91.8
6	10	64

表 A.2 更换导线降低损耗百分率($\Delta P\%$)

导线换粗前		导线换粗后		降低损耗百分率 ΔP (%)
型号	电阻 (Ω /km)	型号	电阻 (Ω /km)	
LGJ-25	1.38	LGJ-35	0.85	38.4
LGJ-35	0.85	LGJ-50	0.65	23.5
LGJ-50	0.65	LGJ-70	0.45	29.2
LGJ-70	0.46	LGJ-95	0.32	28.3
LGJ-95	0.33	LGJ-120	0.27	18.2
LGJ-120	0.27	LGJ-150	0.21	22.2
LGJ-150	0.21	LGJ-185	0.17	19.0
LGJ-185	0.17	LGJ-240	0.132	22.4
LGJ-240	0.132	LGJ-300	0.107	18.8
LGJ-300	0.107	LGJ-400	0.08	25.2

表A.3 经济电流密度

单位: A/mm^2

导线材料	最大负荷利用小时数 (h)		
	3000 以下	3000~5000	5000 以上
裸铜线	3.0	2.25	1.75
裸铝线及钢芯铝绞线	1.65	1.15	0.9

表 A.4 各种导线经济电流

单位: A

导线型号	最大负荷利用小时数(h)		
	3000 以下	3000~5000	5000 以上
M-25	75	56	44
M-35	105	79	61
M-50	150	113	108
M-70	210	158	123
M-95	285	214	166
LGJ-35	58	40	32
LGJ-50	83	58	45
LGJ-70	116	81	63
LGJ-95	157	109	86
LGJ-120	198	138	108
LGJ-150	248	173	135
LGJ-185	305	213	167
LGJ-240	396	276	216
LGJ-300	495	345	270
LGJ-400	660	460	360

表 A.5 各种导线按经济电流运行降低损耗的百分率

导线型号	I_1 (A)	I_2 (A)	$\Delta P(\%)$
LGJ-400	845	460	70.37
LGJ-300	710	345	76.39
LGJ-240	610	276	79.52
LGJ-185	515	213	82.89
LGJ-150	445	173	84.88
LGJ-120	380	138	86.81
LGJ-95	335	109	89.41
LGJ-70	275	81	91.32
LGJ-50	220	58	93.04
LGJ-35	170	40	94.46

表 A.6 不同标准配电变压器空载损耗比较

配电 变压器 标准	50kVA		100kV		200(180) kVA		315(320) kVA		500 kVA	
	损耗 电量 (kWh)	比 “64” 降低百 分率 (%)								
“64”	3854		6395		10512		16644		21900	
“73”	3329	13.62	5431	15.07	8760	16.67	12702	23.68	17958	18
“86”	1664	56.82	2803	56.17	4730	55	6658	60	9461	56.80

表 A.7 电力电容器 $tg\delta$ 值

介质	二膜一纸	全膜	三纸二膜
$tg\delta$	0.0008	0.0005	0.0012

表 A.8 提高功率因数降低有功损耗百分率

$\Delta P(\%)$		$\cos\phi_2$				
		0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
$\cos\phi_1$	0.60	43.75	50.17	55.55	60.11	64
	0.65	33.98	41.52	47.84	53.18	57.75
	0.70	23.44	32.18	39.5	45.7	51
	0.75	12.11	22.15	30.56	37.67	43.75
	0.80		11.42	20.98	29.08	36
	0.85			10.8	19.94	27.75
	0.90				10.25	19
	0.95					9.75