

线路经济截面积的标准及算法研讨

现行的经济截面积标准对使用年限较短的配电线路不适用，若以“最小投资收益率”为标准，则能适用于各种年限的电气线路。经济截面积的计算，主要是线损的近似计算，目前普遍采用的是由我国大学教科书介绍的“最大负荷损耗小时 τ ”的近似算法。事实证明，这一算法不符合线损的变化规律。推荐了适用的计算方法，同时还介绍了导线温升及电阻系数比较准确的估算法。

俞宏法/武汉工程大学研究设计院

0 引言

电气线路采用经济截面积能最大限度减少线损，提高投资的经济效益。但现行的经济截面积标准对使用年限较短的配电线路不适用，而配电线路量大面广，节能增效的潜力非常大。因此，研讨并制定一个对各种年限的线路均适用的经济截面积标准，并指出经济截面积的正确计算方法很有必要。



俞宏法/高级工程师

1 对经济截面积标准的研讨

1.1 安全截面积与经济截面积

满足导线允许载流量等电气安全技术要求、符合电气设计规范的最小导线截面积称作安全截面积，记作 S_S ；而在此基础上增大截面积，使其包括建设和使用期的整个寿命期内经济性最佳的导线截面积称为经济截面积，记作 S_{EC} 。

理所当然： $S_{EC} > S_S$ ，这既体现了安全是“经济性最佳”的基础，同时表明不是所有线路都有经济截面积的，只有 $S_{EC} > S_S$ 才有经济截面积，如年工作时间短或负荷率低的线路可能没有经济截面积。

不管什么线路，只要有经济截面积，采用经济截面积总能获得很好的节能和投资效益。

1.2 现行经济截面积标准的适用性

现行经济截面积标准在我国有GB 50217—1994《电力工程电缆设计规范》（以下简称《规范》），它的经济截面积是以“年费用支出最小”为标准的，且《规范》注明公式系数是按使用年限25年计的，即不适用于25年以下的线路。国际上的标准有IEC 60287—3—2/2012，它的经济截面积是以线路使用期内“总费用现值最小”为标准的。这个标准也只适用于使用年限长的，对于使用年限短的配电线路，虽然可以计算，但往往不能选出最经济的截面积，以下例为证。

1.3 案例1

如有一条计算电流 $I_c = 110$ A，采用VV—3+1芯电缆的三相线路，其年线损负荷 $I_c^2 B = 1\,800$ 元·mm²/m（ B 为线损负荷辅助量， $I_c^2 B/S$ = 每米线路年损耗费）， $N = 5$ 年，选经济截面积 S_{EC} 。设电缆每米每平方毫米的造价系数 $A = 2.1$ 元/mm²·m，电缆净残值率 $C = 0.42$ 。

IEC标准的经济截面积计算式较复杂，要完整介绍需用较大篇幅，这里对可假设每年线损负荷稳定的线路，其计算式可简化为

$$S_{ec} = (I_c^2 B V / A)^{0.5} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (1)$$

式中， V 为年金现值系数。

$$V = [(1+i)^N - 1] / i(1+i)^N \quad (2)$$

按我国有关部门规定折现率 i 取

关键词/Keywords

经济截面积 ·
标准 ·
投资收益率 ·
线损计算 ·

10%，则 $V=3.791$ ， $S_{ec}=(1\ 800 \times 3.791/2.1)^{0.5}=57\text{ mm}^2$ ，应选标准截面积 50 mm^2 ，但 $S_g=50\text{ mm}^2$ ，故无经济截面积。

其实，本案例选 70 mm^2 比 50 mm^2 更经济。

根据IEC的标准，经济截面积是总费用现值最小的截面积，也就是增大一级截面积的条件是总费用现值增量小于等于零。

1) 截面积从 50 mm^2 增大到 70 mm^2 投资增大： $[2.1 \times (70 - 50)]\text{ 元/m}=42\text{ 元/m}$ 。

2) 5年线损费用现值减少： $[1\ 800 \times (1/50 - 1/70) \times 3.791]\text{ 元/m}=38.99\text{ 元/m}$ 。

3) 5年后残值回收，使费用现值减少： $[42 \times (0.42/1.1^5)]\text{ 元/m}=10.95\text{ 元/m}$ 。

4) 总费用现值增量： $[42 - (38.99 + 10.95)]\text{ 元/m}=-7.94\text{ 元/m}$ 。

结论：截面积从 50 mm^2 增大到 70 mm^2 总费用现值是减少的，所以本案例有经济截面积 $S_{ec}=70\text{ mm}^2$ 。

从上面计算过程可看出，IEC经济截面积计算式之所以不能正确选出最经济的截面积，主要由于忽略了残值回收。电线电缆是残值率特别大的装置，根据我国财务制度的规定，一般工业企业的净残值率为3%~5%，而铜芯电缆的净残值率据初步测算大约在38%~44%左右，有时甚至可高达50%以上，铝芯电缆的净残值率大约也有12%左右。

对于使用年限长的线路，残值经折现所占比例不大，忽略残值影响不太大。而对于年限较短的配电线路，残值回收的现值所占比例比较大，是不能忽略的。所以现行经济截面积的标准对于使用年限短的配电线路都不适用；即使年限长的线路若折现率取的不合适也不行，而折现率取多大合适投资者很难判断，这也是现行标准的一点不足之处。

经济截面积的标准有别于其他标准，它的经济性好坏是要以企业税后实得多少收益来衡量的。如同一地方的两个企业执行不同的税率，或企业对投资回报率的要求不同，同样的线路其经济截面积可能就不一样。所以经济截面积的标准主要指的是一种“经济性最佳”的判别方法，而

具体指标应允许投资者自主掌控，因此有必要探求一个既能适合各种年限的线路，又便于投资者自主掌控的标准。

1.4 经济截面积以“最小投资收益率”为标准的设想

实际上，导线截面积在安全截面积基础上增大截面积，并非是电气使用功能所必需，而是为了减少线损，获取更多的经济利益。所以从本质上说，如果没有规范等的硬性规定，那么每增大一级截面积，其实就是一项附加投资，是否需要投资完全可从经济上是否合算来衡量。合算的就投资；不合算的就不投资。投资是否合算，与其他投资项目一样，是以投资回报率是否大于预定目标为标准的。

1.4.1 投资收益率与内部收益率

投资回报率的指标有两种：一种是静态评价指标的投资收益率；另一种是动态评价指标的内部收益率。内部收益率是 N 年内各年净现金流量的现值之和等于零的折现率。投资收益率人们都比较熟悉，计算也简便，但未计及资金的时间价值；而内部收益率计及了资金的时间价值，但计算比较复杂。因此最好的办法就是以已选定的内部收益率 I_n 为基准，在投资回报率都是 I_n 的各种导线和年限中选一个投资收益率最大的 r 来替代，这就是铜芯线最长年限25年（假如经济截面积的最长计算年限为25年）的投资收益率 r_n 。

这样，以 r_n 为经济截面积的最低标准，它们的投资回报率都不小于 I_n ，那么那些大于 I_n 的，是否会有什么负面影响呢？

投资回报率大于 I_n ，就意味着其计算截面积偏小。这有两种情况：一是铜芯线中年限较短的最多偏小1%左右，这点偏差影响不大，且对年限短的略保守一点还是人们所希望的；二是铝芯线，约偏小5%左右，铝缆由于造价低，电阻系数大，计算截面积比铜缆大很多，适当偏小有利于缩小铝缆与铜缆之间的截面积差距，减少因电缆过大所带来的安装技术难度，这正是人们乐意见到的。

总之，以“最小投资收益率 r_n ”为经济截面积的最低标准，不仅计算方便、有利于投资者自主掌

控指标,而且还能使铝缆的经济截面积更趋合理。

1.4.2 经济截面积计算式

导线截面积从 S_1 增大到 S_2 ,需增加投资 $(S_2 - S_1)A$,假如每年的线损负荷是稳定的,则每年减少线损的费用为 $I_c^2 B(1/S_1 - 1/S_2)$,两者之比为投入产出比为

$$R = I_c^2 B / (AS_1 S_2) \quad (3)$$

投入产出比 R 扣除固定资产折旧率 $(1 - C)/N$ 为税前投资收益率(又称投资利税率),即

$$r = R - (1 - C)/N \quad (4)$$

反之,若预先设定一个“最小投资收益率 r_n ”,就可以求出经济截面积计算值 S_{ec}

$$R_n = r_n + (1 - C)/N \quad (5)$$

$$S_{ec} = (I_c^2 B / R_n A)^{0.5} \quad (6)$$

设 S_1 、 S_2 是 S_{ec} 相邻的两个标准截面积: $S_1 \leq S_{ec} \leq S_2$ 。显然,当 $S_{ec}^2 \geq S_1 S_2$ 时, $S_{EC} = S_2$; $S_{ec}^2 < S_1 S_2$ 时, $S_{EC} = S_1$ 。

必要时校验: $S_{EC} > S_s$

上式是建立在年线损负荷稳定基础上的,若预期 N 年内负荷电流每年增长率为 a ,电价等综合因素每年增长率为 b ,则线路的经济截面积计算式为

$$S_{ec} = (I_c^2 B e / R_n A)^{0.5} \quad (7)$$

式中, e 为增长系数, $e = (1 - r^N)/(1 - r)(1 + i)^N$, $r = (1 + a)^2(1 + b)/(1 + i)$ 。

i 为折现率,通胀率 $\leq i \leq$ 贷款利率为宜;当 $a = 0$ 、 $b = 0$ 时, $e = 1$ 。

1.4.3 “最小投资收益率 r_n ”的选择

选择最小投资收益率 r_n 前,首先应选出最小内部收益率基准值 I_n ,通常这个选择应由有关权威机关作出。在此之前,暂且可参照有关建设项目的指标,如风电项目与经济截面积十分相似,都是一次投入,无须原材料就可长期获得电能的项目。

上市公司长源电力已投产的中华山49.5 MW风电场,建设前预期的税后内部收益率为8.0%。这样的投资回报率在风电中是比较低的,但能批准建设,说明仍然是合算的,可以作为经济截面积的最低标准。

以税后内部收益率 $I_n = 8\%$ 为基准,则铜芯线25年的税前投资收益率 $r = 10.1\%$,取整数 $r_n = 10\%$ 为经济截面积的“最小投资收益率”。

$(1 - \text{总税率})r_n \geq$ 贷款利率,可作为增大一级截面积是否合算的检验标准。

1.5 案例2

一个 $I_c = 92$ A的线路, $N = 25$ 年,采用铜缆时 $I_c^2 B = 1\,220$,采用铝缆时 $I_c^2 B = 2\,000$,按 $r_n = 10\%$ 的标准和 $I_n = 8\%$ 的标准计算其经济截面积,假设铜缆 $A = 2.1$, $C = 0.42$;铝缆 $A = 0.55$, $C = 0.12$ 。

采用铜缆时 $S_s = 35$ mm²,经济截面积(两标准同): $S_{ec} = 69$ mm²,则 $S_{EC} = 70$ mm²,末级 $r = 14.3\%$;

采用铝缆时 $S_s = 50$ mm²,以 $r_n = 10\%$ 为标准: $S_{ec} = 164$ mm²,则 $S_{EC} = 150$ mm²;末级 $r = 16.7\%$;以 $I_n = 8\%$ 为标准: $S_{ec} = 172$ mm²,则 $S_{EC} = 185$ mm²,末级 $r = 9.6\%$;

显然,铝缆 $S_{EC} = 150$ mm²已足够大,末级效益也不错;若再增大到185 mm²,末级两种收益率不能同时达标,所以应放弃。

2 经济截面积计算法的讨论

2.1 线损计算法的选择

经济截面积的计算主要在于线损负荷的计算,或线损计算,线损算法在我国用得最普遍的是“最大负荷损耗小时 τ ”的近似算法(以下简称“ τ ”算法),这是我国许多大学教科书中所介绍的经典算法^[3],现根据教材摘要介绍如下。

三相线路电能损耗计算式为

$$\Delta W = 3 I_c^2 R \tau \times 10^{-3} \quad (8)$$

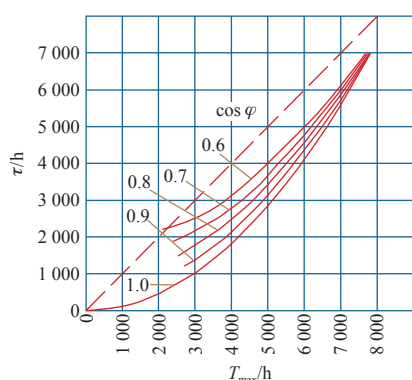
式中, I_c 为计算电流; R 为线路电阻; τ 为年最大负荷损耗小时,它与年最大负荷利用小时 T_{max} 及功率因数的关系如下图所示。

当 $\cos \varphi = 1$,且电压不变时有 $\tau = T_{max}^2 / 8\,760$ 。

由于线损计算是近似计算,故各种算法层出不穷,今选两个与上述方法一起鉴别。

刘应宽损耗因数公式为

$$F = 0.639 f^2 + 0.361(f + f\beta - \beta) \quad (9)$$

图 $\tau-T_{\max}$ 关系曲线

洛桑德损耗因数公式为

$$F = f - (f - \beta^2)(1 - f)/(1 + f - 2\beta) \quad f \geq (1 + \beta)/2 \quad (10)$$

$$F = f - (1 - f)(f + \beta - 2f\beta)/(2 - f - \beta) \quad f \leq (1 + \beta)/2 \quad (11)$$

式中, f 为平均负荷率; β 为最小负荷率。

损耗因数 F 与年最大负荷损耗小时 τ 有以下关系: $F = \tau/t$ (t 为实际年运行小时数)。

现假设两个案例, 用标准算法、平均电流算法、“ τ ”算法及刘应宽和洛桑德公式算法分别计算线损。

2.1.1 案例3

某商场照明为荧光灯, 设计最大电流 3×73 A, 正常营业时每相 50 A, $\cos \varphi = 0.6$, 每天用电 14 h, 每相电阻 R , 用各算法计算这 14 h 的照明电源线路的线损。

1) 标准算法: $\Delta W = 3 \times 50^2 \times 14 \times 10^{-3} R = 105R$ 。

2) 平均电流算法: 同上。

3) “ τ ”算法: $T_{\max} = (8760 \times 50/73) \text{ h} = 6000 \text{ h}$ 由图查出 $\tau = 5000 \text{ h}$, 即 $(14 \times 5000/8760) \text{ h} = 8 \text{ h}$, $\Delta W = 3 \times 73^2 \times 8 \times 10^{-3} R = 127.8R$, 误差 +21.8%。

4) 刘应宽、洛桑德公式: $f = \beta = 50/73 = 0.685$, $F = f^2 = 0.469$, $\Delta W = 3 \times 73^2 \times 14 \times 0.469 \times 10^{-3} R = 105R$, 误差 0。

2.1.2 案例4

一个额定电流为 50 A 的三相电热反应釜, 完成某种反应分三个阶段, 每段 2 h, 电流分别为

20 A、30 A 和 40 A, $\cos \varphi = 1$, 每相导线的电阻为 R , 计算一个反应周期线路的线损。

各算法的计算结果如下。

1) 标准算法: $\Delta W = 17.4R$ 。

2) 平均电流法: $\Delta W = 16.2R$, 误差 -6.9%。

3) “ τ ”算法: $\Delta W = 16.2R$, 误差 -6.9%。

4) 刘应宽公式: $\Delta W = 17.5R$, 误差 +0.6%。

5) 洛桑德公式: $\Delta W = 17.6R$, 误差 +1.1%。

2.1.3 分析

从上面的计算结果看, “ τ ”法计算误差最大, 但仅凭一两个案例误差大并不构成否定它的充分理由, 不过案例3是个既普通又特殊的负荷, 按设定, 它是个恒定负荷。恒定负荷可以用电工基本公式求出线损, 所有线损的近似算法, 对这类负荷的计算结果必须与基本公式一致, 不允许有明显差异, 否则它就违背了电工基本规律, 刘应宽和洛桑德公式都很标准, 这是其一。

其二, 线损有一客观规律: 各种波动负荷的线损, 必定以平均电流法计算的线损为最小值, 这可简单证明如下。

假设在 $0 \sim T$ 时段内为按电流大小及持续时间排列的持续负荷曲线, 并假定在每个最小时间单位 t_i 内的电流保持不变, I_{av} 为平均电流, 那么

$$I_i = I_{av} + a_i \quad (12)$$

则线损

$$\Delta W = \sum I_i^2 t_i R = I_{av}^2 TR + R \sum a_i^2 t_i \quad (13)$$

式中, a_i 有正有负, 故 a_i 的一次项为零, 二次项大于零, 所以 $I_{av}^2 TR$ 必定是线损的最小值。

线损 ΔW 比 $I_{av}^2 TR$ 大的程度取决于 a_i 的绝对值的大小, 以及它的延续时间。 a_i 的绝对值大, 表示 I_i 的波动幅度大; 如果 a_i 的绝对值大时, 其延续时间 t_i 又比较长, 也就是电流的波动大, 这时 $R \sum a_i^2 t_i$ 就大。这就是说, 电流波动大时, 线损 ΔW 对 $I_{av}^2 TR$ 的相对值就大。

而“ τ ”计算法则相反, 案例3的负荷是恒定负荷, 而它的计算线损却比 $I_{av}^2 TR$ 大 21.8%。案例4的负荷有波动, 它的计算线损却等于 $I_{av}^2 TR$, 只因它依据的是负荷的功率因数。

功率因数对线损的影响是间接的，直接影响线损的只有每个时刻的分时电流或某一时段的平均电流及其波动大小。图中的 $\cos \varphi = 1$ 的曲线其实就是某一时段电流恒定，即波动为零时的 τ 值曲线， $\tau = T_{\max}^2 / T$ ，是最小值；对角线是波动的极限，实际不可能达到，图中有曲线与其相交，这也是错的。

刘应宽和洛桑德公式是符合电工规律的，这两个公式都是建立了合理数学模型后经严密的数学推导得出的，它们所依据的都是波动负荷的两个重要特征参数——平均负荷率 f 和最小负荷率 β ，所求的是波动负荷的等效负荷 $I_c F^{0.5}$ ；而“最大负荷损耗小时 τ ”的计算法是前苏联格拉祖诺夫根据当时电网统计数据得出的统计规律，现在看来这个统计规律并不符合线损的变化规律。所以在计算经济截面积时，不宜采用“最大负荷损耗小时 τ ”的近似算法，建议采用刘应宽或洛桑德损耗因数公式，或其他符合电工规律、误差较小的近似算法计算。

2.2 电阻系数 ρ 的估算

线损算法的问题搞清楚了，则前面尚未交代的线损负荷辅助量 B 的具体计算式为

$$B = \rho L t F P \times 10^{-3} [\text{元} \cdot \text{mm}^2 / \text{m} \cdot \text{A}^2] \quad (14)$$

式中， L 为单位线路的载流导线总长，m； t 为年实际运行时间，h； P 为电价，元/kW·h，当采用最大需量的两部制电价时 P 为综合电价。

用于经济截面积计算的电阻系数 ρ 要采用导线运行时的年平均值，其计算式为

$$\rho = \rho_{20} k [1 + \alpha_{20} (\theta_{\text{av}} + \Delta\theta - 20)] (\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}) \quad (15)$$

式中， ρ_{20} 为20℃时的导线直流电阻系数， $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ ，铜 $\rho_{20} = 0.018\ 35\ \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ ，铝 $\rho_{20} = 0.030\ 3\ \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ ； k 为交流电阻与直流电阻的比值， $k = 1.006$ ； θ_{av} 为年平均环境温度，℃； $\Delta\theta$ 为导线温升，℃； α_{20} 为导线在20℃左右时的温度系数， $1/^\circ\text{C}$ ，铜 $\alpha_{20} = 0.003\ 93\ ^\circ\text{C}^{-1}$ ，铝 $\alpha_{20} = 0.004\ 03\ ^\circ\text{C}^{-1}$ 。

估算电阻系数 ρ 的关键在于估算导线温升，IEC推荐在经济截面积条件下线芯温度为： $\theta_m = (\theta - \theta_{\text{av}}) / 3 + \theta_{\text{av}}$ ，其中 θ 为最高工作温度。这样，

当 $\theta = 80\ ^\circ\text{C}$ 的铜芯电缆在环境温度 $\theta_{\text{av}} = 20\ ^\circ\text{C}$ 时， $\Delta\theta = 20\ ^\circ\text{C}$ ，电阻系数为 $\rho = 0.019\ 9\ \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ ；这对电流大的线路来说可能近似，但对电流较小的线路并不合适。

下面以我国常用的1kV-VV型铜芯电缆为例介绍一个普遍适用的导线温升估算方法：

首先对该电缆在空气中（40℃）敷设线芯最高工作温度70℃的允许载流量表进行曲线拟合：设 $y = I_{\text{av}}^2 / S^x$ ，当平均电流 I_{av} 为各截面积的最大允许载流量， S 为各标称截面积的实际截面积时，用试算法找出一个合适的 x 使 y 为一定值，但实际上各截面积让 y 完全相等不可能，只能让小截面积的平均值与大截面积的平均值基本相等即可。确定了 x 值后，由 $I_{\text{av}}^2 / S^x = 30K$ 求出 K 即可。VV型铜缆拟合后的温升经验公式为

$$\Delta\theta = I_{\text{av}}^2 / 4.4S^{1.265} (^\circ\text{C}) \quad (16)$$

式中， I_{av} 为平均电流， $I_{\text{av}} = I_c f$ ，A。

在经济截面积条件下，各截面积的电缆平均载流量可按式估算

$$I_c = (S^2 AR_n / B)^{0.5} \quad (17)$$

若以铜缆为例， B 取一般值0.14， $N = 25$ 年，截面积50 mm²的电缆平均载流量约68 A左右，取负荷率 $f = 0.9$ ，则由式（16）可算出 $\Delta\theta = 6\ ^\circ\text{C}$ ；同样可估算出截面积120 mm²的电缆平均载流量约为163 A， $\Delta\theta = 11\ ^\circ\text{C}$ ；185 mm²的电缆平均载流为251 A左右， $\Delta\theta = 16\ ^\circ\text{C}$ 等。

这说明在经济截面积条件下导线温升是比较小的，且截面积小的平均温升小，截面积大的平均温升较大；估计一般铜缆最小温升4℃以下，最大温升超20℃。

在计算经济截面积时，可以先假定一个电阻系数，初步计算出截面积后根据式（15）和式（16）算出导线温升和这时的电阻系数，然后再算一次截面积即可。

若想简便，一般的也可按计算电流大小取电阻系数，如上述三个截面积的平均载流可分别代表100 A、200 A及300 A以下铜缆的载流，它们的电阻系数分别为 $\rho = 0.018\ 9\ \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ 、 $0.019\ 3\ \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ （下转第79页）

议上进行了讨论，MT4确认中方编制组提出的如下四个问题在原版本中存在疏漏。

4.1 术语“痛觉阈”的定义有误

IEC原文的中文表述为：“3.12痛觉阈 以脉冲形式施加于手握大电极的人而不会引起痛觉的电荷量 ($I \cdot t$) 或比能量 ($I^2 \cdot t$) 的最小值。”

编制组讨论后认为，从逻辑关系上讲，不引起痛觉的最小值是零，原文的表述必定有误。

MT4讨论后决定将此定义改为“以脉冲形式施加于手握大电极的人可引起痛觉的电荷量 ($I \cdot t$) 或比能量 ($I^2 \cdot t$) 的最小值。”

4.2 第4.1节附注第二段第一句中引用文件的名称有误

第4.1节附注第二段引用文件为IEC 60479—1。经查，IEC 60479—1的第4节中从未出现过所述的频率系数，MT4确认该处应为“IEC 60479—2”。

4.3 第10节表2中关于自来水电阻率的数值有误

原文第10节表2中给出的自来水电阻率是1 290~16 000 $\Omega \cdot \text{cm}$ ，而通过查资料可知国内自来水的电阻率为1 300 $\Omega \cdot \text{cm}$ ，同时参照表2中给出的标准硬水电阻率1 780 $\Omega \cdot \text{cm}$ ，“1 290~16 000”这个数值区间的范围过大，最高值超出标准硬水电阻率近9倍，超出国内自来水电阻率近12倍。编制组讨论后，怀疑该数值应为“1 600”，MT4讨论的结果印证了编制组的疑问，得到的答复是该值确应为1 600 $\Omega \cdot \text{cm}$ 。

4.4 第11节对充电电压和初始人体电阻的表达式前后不一致

原文第11.2.1条的“注”，在表述和公式中充电电压为 U_c ；在图19中充电电压为 U_0 ；在第11.4.2

节的示例1和示例2的表中充电电压为 U_0 。

原文第11.2.1条的“注”，在表述中初始人体电阻为 R_0 ，而公式中为 R_i ；在第11.4.2节的示例1和示例2的公式和表中初始人体电阻为 R_i 。

经查上一版国家标准和对应的IEC标准，充电电压和初始人体电阻的表达式为 U_0 和 R_i 。提出疑问后，MT4讨论认为都应统一为 U_0 和 R_i 。

上述的四个问题在GB/T 13870.2—2016《电流对人和家畜的效应 第2部分：特殊情况》中均按照TC64 MT4的确认予以了更正。

5 结束语

IEC标准的转化，既要理解原文、不失原意，在术语方面要参照既有的国家标准，在表述方式上要符合中国的习惯。对于IEC标准中有疑问的内容，相关人员更要大胆假设，细心求证，积极提出，参与讨论，在国际上发出我们的声音。另外，也在此呼吁国内更多的相关科研单位能够参与到IEC标准的转化工作中来。

参考文献

- [1] GB/T 13870.2—1997《电流对人和家畜的效应第2部分：特殊情况》[S].
- [2] GB/T 13870.2—2016《电流对人和家畜的效应第2部分：特殊情况》[S].
- [3] GB/T 13870.1—2007《电流对人和家畜的效应第1部分：一般情况》[S].
- [4] IEC/TS 60479—2: 2007 Effects of current on human beings and livestock—Part 2: Special aspects [S].

(收稿日期：2017—02—10) **EA**

(上接第72页)

和0.019 6 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 等，这样比统一用一个固定的电阻系数误差要小一些。

3 结束语

建议经济截面积以“最小投资收益率”为标

准，这个标准能适合各种年限的线路，也便于投资者自主掌控指标。指出线损计算普遍采用的“最大负荷损耗小时 τ ”计算法的错误，可避免经济截面积计算出现偏差。提出这些问题旨在完善经济截面积体系，并力促经济截面积在配电线路中也能得到广泛应用。

(收稿日期：2017—02—10) **EA**