

# 中华人民共和国机械行业标准

## 电缆载流量的计算

### 第3部分：运行条件的各节

### 第2节：电力电缆截面的经济优化选择

JB/T 10181.6—2000  
idt IEC 60287-3-2: 1995

Calculation of the current rating of electric cables

Part 3: Sections on operating conditions

Section 2: Economic optimization of power cable size

#### 1 范围

本标准阐述了选择导体经济截面的方法，此时应考虑最初的投资和在电缆经济寿命内焦耳损耗的预期值。

注：<sup>1)</sup>本标准推荐的方法不适用于系统电压等于或大于下列值下工作的电缆（见 JB/T 10181.1）：

电 缆 类 型	系统电压 $U_0$ (kV) <sup>2)</sup>
浸渍纸绝缘电缆：	
粘性浸渍纸	36
充油和充气	64
其他类型绝缘电缆：	
乙丙橡胶 (EPR)	64
聚氯乙烯 (PVC)	6
聚乙烯 (PE) (HD 和 LD)	127
交联聚乙烯 (XLPE) (非填充型)	127
交联聚乙烯 (XLPE) (填充型)	64

诸如维修保养，强迫冷却系统能量损耗和按小时用电计价等事项不包括在本标准内。

#### 2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成本标准的条文。在标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 3956—1997	电缆的导体
JB/T 8996—1999	高压电缆选择导则
JB/T 10181.1—2000	电缆载流量计算 第1部分：载流量公式（100%负荷因数）和损耗的计算 第1节：一般规定
JB/T 10181.3—2000	电缆载流量计算 第2部分：热阻 第1节：热阻的计算

采用说明：

1) 由于 IEC 60287—3—2 修正件中已补充介质损耗对选择经济优化截面的影响，原注删除。

2) 电压值与 JB/T 8996 相一致。

IEC 60853

电缆周期性和紧急性载流量的计算

## 3 符号

$A$	与导体截面相关的单位长度费用中可变部分	cu/m · mm <sup>2</sup>
$B$	式(16)定义的辅助量	
$C$	与敷设条件等相关的单位长度费用中不变部分	cu/m
$CT$	电缆系统的总费用	cu
$D$	年供电费用	cu/W·年
$F$	式(10)定义的辅助量	cu/W
$I_{max}$	第一年的最大负荷即按小时最大平均电流值	A
$I(t)$	作为时间函数的负荷	A
$L$	电缆长度	m
$CJ$	在 $N$ 年期间内焦耳损耗费用的现值	cu
$N$	财务计算包含的时间段, 也指“经济寿命”	年
$N_p$	每回路的相导体数	
$N_c$	类型和负荷相同的回路数	
$P$	在相应电压级下 1W · h 的能源费用	cu/W · h
$CI$	所指电缆线路的安装费用	cu
$CI_2$	相邻较大一档标准导体截面的安装费用	cu
$CI_1$	相邻较小一档标准导体截面的安装费用	cu
$CI(S)$	电缆安装费用与截面的函数关系	cu
$Q$	式(8)定义的辅助量	
$R$	电缆单位长度的交流电阻, 包括 $y_p$ , $y_s$ , $\lambda_1$ , $\lambda_2$ 的增加值 (平均工作温度下可认为是常数, 见第4章)	$\Omega/m$
$R_2$	相邻较大一档标准导体截面的单位长度的交流电阻	$\Omega/m$
$R_1$	相邻较小一档标准导体截面的单位长度的交流电阻	$\Omega/m$
$R(S)$	导体单位长度的交流电阻与其截面的函数关系	$\Omega/m$
$S$	电缆导体的截面	mm <sup>2</sup>
$S_{ec}$	导体经济截面	mm <sup>2</sup>
$T$	最大焦耳损耗下工作时间	h/年
$a$	在 $I_{max}$ 时的年增加值	%
$b$	$P$ 的年增加值, 不包括通货膨胀因素	%
$i$	用于计算现值的折现率	%
$r$	式(9)定义的辅助量	
$t$	时间	h
$y_p$	邻近效应系数, 见 JB/T 10181.1	
$y_s$	集肤效应系数, 见 JB/T 10181.1	

$\alpha_{20}$	20℃时导体电阻温度系数	1/K
$\theta$	导体最大允许工作温度	℃
$\theta_a$	环境温度平均值	℃
$\theta_m$	导体平均工作温度	℃
$\lambda_1$	金属套损耗因数, 见 JB/T 10181.1	
$\lambda_2$	铠装损耗因数, 见 JB/T 10181.1	
$\mu$	负荷损耗因数, 见 IEC 60853	
$\rho_{20}$	20℃时导体电阻率, 见 5.2	$\Omega \cdot m$

#### 4 总费用的计算

在电缆经济寿命期, 用现值表示的电缆安装和运行总费用按下式计算, 注意所用的金融量以任意货币单位表示, 记作 (cu)。

$$CT=CI+CJ \text{ (cu)} \dots\dots\dots (1)$$

式中:  $CI$ ——电缆线路安装总费用 (cu);

$CJ$ ——电缆线路装置购买日期起计算能量损耗的等值费用, 即在  $N$  年经济寿命期内, 焦耳损耗的现值 (cu)。

$CJ$  值的估算

损耗的总费用由二部分组成: a) 能源费用和 b) 供电损耗的附加费用。

a) 能源费用

$$\text{第一年内能量损耗} = (I_{\max}^2 R L N_p N_c) T \quad (W \cdot h) \dots\dots\dots (2)$$

式中:  $I_{\max}$ ——第一年内电缆的最大负荷 (A);

$L$ ——电缆长度 (m);

$R$ ——考虑到集肤效应和邻近效应 ( $y_s, y_p$ ) 以及金属屏蔽和铠装中损耗 ( $\lambda_1, \lambda_2$ ) 导体单位长度的交流电阻 ( $\Omega/m$ )。

因为导体的经济截面通常大于按热性条件确定的导体的截面 (即: 用 JB/T 10181.1, JB/T 10181.3 和/ (或) IEC 60853 确定的尺寸, 故导体温度低于其最高允许值。在缺少更正确资料情况下假定为常数较方便, 即  $R$  为常数, 相应的温度为  $(\theta - \theta_a) / 3 + \theta_a$ 。

式中:  $\theta$ ——对应于该电缆型式导体最高额定温度;

$\theta_a$ ——平均环境温度。因数 3 为经验值, 见附录 B。

注: 如果要求较高的精确度 (例如当计算不能清楚地确定什么是要选择的导体标称截面时, 或者最后几年负荷增加明显地高于第一年), 则可用上述近似温度所获得的导体截面作为起始计算点, 对导体温度要作更精确的估算。

附录 B 给出用于更精确地估算导体温度和电阻值的方法。然后用导体电阻的修正值再确定经济截面。

导体电阻对经济截面的影响很小, 故进行一次的迭代计算即可。

$N_p$ ——每个回路的相导体数;

$N_c$ ——类型和负荷值相同的回路数;

$T$ ——最大焦耳损耗下运行时间 (h/年) 即与实际变化负荷电流产生的年能量损耗总和相同所要施

加的最大电流  $I_{\max}$  的年小时数。

$$T = \int_0^{8760} \frac{I(t)^2}{I_{\max}^2} dt$$

如果已知负荷损耗因数  $\mu$ ，并可假设经济寿命期内为常数，则：

$$T = \mu \times 8760$$

见 IEC 60853 导出损耗因数的  $\mu$ 。

$t$ ——时间，h；

$I(t)$ ——以时间为函数的负荷电流，A。

第一年内能量损耗费用为：

$$= (I_{\max}^2 \times R \times L \times N_p \times N_c) \times T \times P \quad (\text{cu}) \quad (3)$$

式中： $P$ ——相应电压等级下每瓦特一小时的能量费用，cu/W·h。

b) 附加的供电费用

为提供能量损耗所需附加供电的费用为：

$$= (I_{\max}^2 \times R \times L \times N_p \times N_c) \times D \quad (\text{cu/年}) \quad (4)$$

式中： $D$ ——每年所需附加费用，cu/W·年。

因此，第一年能量损耗总费用为：

$$= (I_{\max}^2 \times R \times L \times N_p \times N_c) \times (T \times P + D) \quad (\text{cu}) \quad (5)$$

如果费用在该年年底支付，则装置购买的日期费用的现值为：

$$= \frac{(I_{\max}^2 \times R \times L \times N_p \times N_c) \times (T \times P + D)}{1 + i/100} \quad (\text{cu}) \quad (6)$$

式中： $i$ ——不包括通货膨胀影响的折现率，%。

相似地在  $N$  年运行期内折算到购买日期的费用现值为：

$$CJ = \frac{(I_{\max}^2 \cdot R \cdot L \cdot N_p \cdot N_c)(T \cdot P + D) \cdot Q}{1 + i/100} \quad (\text{cu}) \quad (7)$$

式中： $Q$ ——计及负荷增加在  $N$  年内能量费用的增加和折现率的系数为：

$$= \sum_{n=1}^N r^{n-1} = \frac{1 - r^N}{1 - r} \quad (8)$$

$$r = \frac{(1 + a/100)^2 (1 + b/100)}{1 + i/100} \quad (9)$$

式中： $a$ ——每年的负荷增加，%；

$b$ ——不包括通货膨胀每年能源费用的增加，%。

需要计及不同导体截面的系列计算时，可把导体电流和电阻之外所有参数都用一个系数  $F$  表示：

$$F = N_p \cdot N_c \cdot (T \cdot P + D) \cdot \frac{Q}{1 + i/100} \quad (\text{cu/W}) \quad (10)$$

则总费用为：

$$CT = CI + I_{\max}^2 \times R \times L \times F \quad (\text{cu}) \quad (11)$$

## 5 确定导体经济截面

### 5.1 第一方法：系列截面中每个导体经济电流范围

对给定的安装条件下所有导体截面都有一个经济电流范围, 给定导体截面的经济电流上下限可由下式求得:

最大电流的下限:

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{CI - CI_1}{F \cdot l \cdot (R_1 - R)}} \quad (\text{A}) \dots\dots\dots (12)$$

最大电流的上限:

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{CI_2 - CI}{F \cdot l \cdot (R - R_2)}} \quad (\text{A}) \dots\dots\dots (13)$$

式中:  $CI$ ——所指导体截面电缆的安装费用, cu;

$R$ ——所指导体截面电缆的单位长度的交流电阻,  $\Omega/\text{m}$ ;

$CI_1$ ——相邻较小一档导体标准截面电缆安装费用, cu;

$CI_2$ ——相邻较大一档导体标准截面电缆安装费用, cu;

$R_1$ ——相邻较小一档导体标准截面单位长度电缆的交流电阻,  $\Omega/\text{m}$ ;

$R_2$ ——相邻较大一档导体标准截面单位长度电缆的交流电阻,  $\Omega/\text{m}$ 。

注

1 每个导体截面的经济电流上限及下限可列成表, 用于选择特定负荷下导体最经济截面。

2 一个导体截面的经济电流上限是相邻较大一档截面经济电流的下限。

## 5.2 第二方法: 给定负荷的导体经济截面

### 5.2.1 一般公式

经济截面一般公式是使总费用函数为最小值的截面, 即:

$$CT(s) = CI(s) + I_{\max}^2 \times R(s) \times L \times F \quad (\text{cu}) \dots\dots\dots (14)$$

式中:  $CI(s)$ ,  $R(s)$ ——表示为导体截面  $s$  的函数, 见 5.2.2。

$CI(s)$  和导体截面之间的关系式可从标准截面的已知价格中导出。通常如果在限定的导体截面范围内可合理地拟合出价格线性关系, 则应采用。考虑到所选定的经济寿命期间假定的财务参数可能有些不确定的因素, 因而计算的结果会有很小的误差。

$R(s)$  表达为截面的函数。对于铝绞线可按 JB/T 10181.1 求得:

$$R(s) = \frac{B \cdot \rho_{20} [1 + \alpha_{20} (\theta_m - 20)]}{S} \times 10^6 \quad (\Omega/\text{m}) \dots\dots\dots (15)$$

$$B = (1 + y_p + y_s) (1 + \lambda_1 + \lambda_2) \dots\dots\dots (16)$$

式中:  $\rho_{20}$ ——导体直流电阻率 ( $\Omega \cdot \text{m}$ );

注: 导体经济截面不大可能等同于导体标准截面, 所以需要提导体截面与电阻之间的连续关系式。通过所设定的各种材料电阻率就可求得。  $\rho_{20}$  推荐值: 铜为  $18.35 \times 10^{-9}$ 、铝为  $30.3 \times 10^{-9}$ , 该值并非材料实际值, 而是折衷值, 以便能直接从标称截面而不是从实际截面来计算导体电阻。

$y_s$ ,  $y_p$ ——集肤效应和邻近效应系数, 见 JB/T 10181.1;

$\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ——金属套和铠装损耗因数, 见 JB/T 10181.1;

$\alpha_{20}$ ——实际导体材料 20℃ 时电阻温度系数, 1/K;

$\theta_m$ ——导体温度 见公式 (2) 中  $R$  的定义解释, °C;

$B$ ——式 (16) 中辅助量, 假定导体截面为某一可能值, 由 JB/T 10181.1 计算此值;



—电缆导体截面 ( $\text{mm}^2$ )。

$S$ —对电缆费用的线性费用函数

5.2.2 若线性模式可适合所考虑的电缆型式和安装的原始费用, 则:

$$CI(s) = L \times (A \times S + C) \quad (\text{cu}) \dots\dots\dots (17)$$

式中:  $A$ ——与导体截面有关的费用可变部分,  $\text{cu/m} \cdot \text{mm}^2$ ;

$C$ ——与导体截面无关的费用不变部分,  $\text{cu/m}$ ;

$L$ ——电缆长度, (m)。

可从式 (14) 中对  $S$  求导, 并使其等于零而求得最优截面  $S_{ec}$  ( $\text{mm}^2$ ):

$$S_{ec} = 1000 \times \left[ \frac{I_{\max}^2 \times F \times \rho_{20} \times B \times [1 + \alpha_{20} \times (\theta_m - 20)]}{A} \right]^{0.5} \quad (\text{mm}^2) \dots\dots\dots (18)$$

注

1 当经济截面未知时, 需要假定某一可能的电缆截面, 以便能够计算  $y_s$ ,  $y_p$  和  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  的合理数值, 如果经济截面相差太大, 需要重复计算。

2 式 (17) 中费用的不变部分  $C$ , 不影响计算经济截面  $S_{ec}$ 。

$S_{ec}$  不大可能恰好等于标准截面 (见 GB/T 3956), 因此需要计算相邻的较大与较小标准截面的费用, 再选择最经济截面。

### 5.2.3 介质损耗

某些型式电缆的介质损耗会很显著 (见 JB/T 10181.1—2000 的表 3)。当选择这种电缆最经济导体尺寸时应考虑介质损耗, 用 JB/T 10181.1 中公式计算介质损耗。

对于给定电压等级和绝缘厚度, 导体尺寸的增加导致电缆电容的增加; 结果与电压有关的损耗增加。因此, 在分析中包含介质损耗时, 与电流引起的损耗相反, 要降低介质损耗趋向于减小导体直径。

当考虑介质损耗时费用  $CI$ ,  $CI_1$  和  $CI_2$  将包括经济寿命期内总介质损耗。

因为包括介质损耗影响的导体最佳截面的计算式很复杂, 将采用以下方法。首先不考虑介质损耗从式 (18) 求得导体经济截面, 然后, 计算该费用和包含介质损耗费用的两个相邻较小的标准截面, 选取其中最经济截面。

附录 A  
(提示的附录)  
导体经济截面计算示例

A1 概述

以输送相同负荷，沿线间距相等的 10 条电缆线路计算为例，其情况如下：

- a) 采用第一个方法（见 5.1）——经济电流范围法，以确定相邻负荷间电缆截面；
- b) 采用第二个方法（见 5.2）——导体经济截面方法，以确定相邻负荷间电缆截面；
- c) 对于整条线路使用一种截面电缆时——采用上述两种方法，确定电缆最经济截面。

A6 中汇总的结果表明，要节省费用需按减少总费用来选择导体截面而不是按最小的初始投资选择导体截面。

A2 电缆和供电系统详细说明

负荷和线路数据

从 150 kV/10 kV 配电站采用沿线路间距相等的电缆线路向 10 个 10 kV/0.4 kV 的变电所送电，要确定 10 kV 电缆截面（见图 A1）。（仅是一条三相回路，故  $N_c=1$   $N_p=3$ ）。

变电所之间电缆长是 500 m。

这条线路上每个变电所第一年小时平均最大电流  $I_{max}$  是：

配电站	电流 (A)
1	160
2	144
3	128
每个配电站依次减少 16 A	
9	32
10	16

对所有周期负荷因数  $M=1.11$ （见 853）。即假定电缆在经济寿命期该因数为常数。

对每一线路段均按下列判据选择电缆截面：

- a) 初期费用加上电缆经济寿命期间焦耳损耗的现值的总和为最少；
- b) 电缆经济寿命期间的最后一年的负荷所要求的载流量。本例所要求的载流量是最大负荷的 0.9 倍，即最大负荷除以周期负荷因数 1.11；

c) 本例没有考虑其它因数，如经受的短路和压降，但可按本标准的 IEC 引言中相应 IEC 60287—3—2 的第 3 条中说明处理。

财经数据			
项 目	符号	数据	单位
经济寿命	$N$	30	年
最大损耗下运行时间（数值 2250 包括有效的或 日周期负荷时间）	$T$	2250	h/年

10 kV 第一年末焦耳损耗价格	<i>P</i>	$60.9 \times 10^{-6}$	cu/W · h
供损耗的附加增容费	<i>D</i>	0.003	cu/W · 年
单位长度电缆费用和安装费, 见表 A1	—	—	cu/m
本例中取决于导体截面的那部分安装费用系数	<i>A</i>	0.1133	cu/m · mm <sup>2</sup>
年负荷增长率	<i>a</i>	0.5	%
年能源费用 (kW·h 的价格) 增加率	<i>b</i>	2.0	%
年折现率	<i>i</i>	5.0	%

电缆数据:

对本示例以假设 6/10 kV 三芯电缆作计算。其 40℃ 和 80℃ 时导体交流电阻见表 A1 的 (2) 和 (3) 栏, 其详细的财经数据见 (4) ~ (6) 栏。土壤环境温度 20℃ 时, 在允许最高导体温度 80℃ 下稳态运行载流量见 A3.3。

辅助量的计算

$$r = \frac{(1 + 0.5/100)^2 \times (1 + 2/100)}{1 + 5/100} = 0.98117 \tag{式 (9)}$$

$$Q = \frac{1 - 0.9812^{30}}{1 - 0.9812} = 23.081 \tag{式 (8)}$$

$$F = \frac{3 \times 1 \times (2250 \times 60.9 \times 10^{-6} + 0.003) \times 23.08}{1 + 5/100} \tag{式 (10)}$$

=9.2341

A3 经济电流范围法计算 (见 5.1)

A3.1 一种截面的经济电流范围的计算

作为示例使用式 (12) 和式 (13) 求 240 mm<sup>2</sup> 导体的经济电流范围。

$$I_{max} \text{ 的下限} = \left[ \frac{500 \times (52.20 - 45.96) \times 10^3}{9.2341 \times 500 \times (0.181 - 0.140)} \right]^{1/2} = 128(A) \tag{式 (12)}$$

$$I_{max} \text{ 的上限} = \left[ \frac{500 \times (58.99 - 52.20) \times 10^3}{9.2341 \times 500 \times (0.140 - 0.114)} \right]^{1/2} = 168(A) \tag{式 (13)}$$

当按本例假定安装条件, 能相似地计算出一定范围的标准导体截面的电流上限, 由于给定导体电流的下限也就是相邻小一档导体截面的上限, 该计算值可表示为电流的范围如下表所示:

导体截面 25~400 mm <sup>2</sup> 的电缆经济电流范围		
标称截面 mm <sup>2</sup>	电流范围 (A)	
25	—	19
35	19	27
50	27	34
70	34	48
95	48	66
120	66	85
150	85	98
185	98	128
240	128	168
300	168	231
400	231	—



第一年期间最大负荷与三个导体截面电缆的单位长度的总费用之间的关系见图 A2。可以看出，每一电缆在截面电流范围内存在使安装费用最经济的电流。

当负荷确定时，导体截面变化对总费用的影响见图 A3。这里仍保持本例电缆和财经参数，但假设固定负荷  $I_{max}$  为 100 A。可以看出，在最经济截面区域内，电缆截面的选择对总费用不会有很大影响，但是与那些按热性选择的截面相比，费用的减少是非常明显的。

A3.2 对每个线路段导体经济截面的选择

根据上述 A3.1 中经济电流范围表对电缆线路每段按第一年各自的  $I_{max}$  值可选择合适的导体截面。表 A2 中给出每段选择的导体截面和按式 (11) 计算的费用。

计算费用的一个典型示例如下：

第一线路段， $I_{max}$  为 1160 A。

从 A3.1 中选择导体经济截面为 240 mm<sup>2</sup>，其经济电流范围在 128~168 A。

$$\begin{aligned}CT &= (52.2 \times 500) + [160^2 \times (0.140/1000) \times 500 \times 9.2341] \\&= 26100 + 16548 \\&= 42648(\text{cu})\end{aligned}$$

线路各段的费用汇总于表 A2。

从表 A2 中看到，基于经济考虑对于运行 30 年的电缆线路的总费用为 290535 (cu)。

A3.3 根据最大负荷确定的导体截面—按热性额定值选择

选择各线路段的电缆截面以能在经济寿命的最后一年传输预计的最大负荷，且不超过最大允许导体温度。

对第一线路段：

$$\begin{aligned}I_{max} \text{ (第一年)} &= 160 \text{ (A)} \\ \text{在后一年最大电流} &= 160 \times [1 + (0.5/100)]^{30-1} \\ &= 160 \times 1.1556 \\ &= 185 \text{ (A)}\end{aligned}$$

最后一年要求的载流量 (100%负荷因数) I 不小于：

$$185/1.11 = 167 \text{ (A)}$$

式中的 1.11 是第 A2b) 中设定的周期负荷因数。

从下面载流量表 (按 JB/T 10181.1 和 JB/T 10181.3 方法)，计算这种电缆埋地敷设载流量得出要求导体截面为 70 mm<sup>2</sup>。

标称截面 mm <sup>2</sup>	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400
载流量 A	103	125	147	181	221	255	281	328	382	429	482

为了对按经济选择导体截面所计算的损耗和财经数字进行公正的比较，必须假设一个合适的用以计算损耗的导体温度。对经济截面选择而言，假设导体温度约为 40℃ (见第 4 章) 建议对于按热性选择的比较合适的导体温度是最大允许值 80℃。

80℃时导体电阻见表 A1。

30 年内第一区段的总费用由式 (11) 得到：

$$\begin{aligned}
 CT &= [32.95 \times 500] + [160^2 \times (0.553/1000) \times 500 \times 9.2341] \\
 &= 16475 + 65363 \\
 &= 81838 \text{ (cu)}
 \end{aligned}$$

与 A3.2 中估算导体经济截面时的该线路段费用相比, 节省的费用为:

$$(81838 - 42648) \times 100 / 81838 = 48\%.$$

根据热性最大载流量计算方法对整条线路作类似计算见表 A3。对于 10 个线路段费用总节省为:

$$(547864 - 290535) \times 100 / 547864 = 47\%.$$

#### A4 导体经济截面方法计算 (见 5.2)

以第一线路段为例:

$$I_{\max} = 160 \text{ A}$$

$$\rho_{30} = 30.3 \times 10^{-9} \text{ } \Omega \cdot \text{m} \text{ (见 5.2.1)}$$

$$\alpha_{30} = 0.00403 \text{ 1/K}$$

$$B = 1.023 \text{ (假定 } 185 \text{ mm}^2 \text{ 为导体最经济截面的初值)}$$

$$A = 0.1133 \text{ cu/m} \cdot \text{mm}^2 \text{ (安装费用中可变部分的系数, 见 5.2.2)}$$

$$F = 9.2341 \text{ cu/W}$$

$$\theta_m = (80 - 20) / 3 + 20 = 40^\circ \text{C}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\alpha} &= 1000 \times \left[ \frac{160^2 \times 9.2341 \times 30.3 \times 10^{-9} \times [1 + 1.023 + 0.00403 \times (40 - 20)]}{0.1133} \right]^{0.5} \\
 &= 264 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

因此, 可选择导体截面为  $240 \text{ mm}^2$  或  $300 \text{ mm}^2$ 。

初选导体截面  $185 \text{ mm}^2$  时估算的 B 值现在可进行修正。

对于  $300 \text{ mm}^2$  导体, 用  $B = 1.057$  重新计算得出  $S_{\alpha}$  值为  $269 \text{ mm}^2$ , 此值也在  $240 \text{ mm}^2$  和  $300 \text{ mm}^2$  范围内。

采用式 (11) 计算可能采用的各导体截面的总费用:

$$\begin{aligned}
 CT_{240} &= [52.2 \times 500] + [160^2 \times (0.140/1000) \times 500 \times 9.2341] \\
 &= 26000 + 16548 \\
 &= 42648 \text{ (cu)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CT_{300} &= [58.99 \times 500] + [160^2 \times (0.114/1000) \times 500 \times 9.2341] \\
 &= 29495 + 13474 \\
 &= 42969 \text{ (cu)}
 \end{aligned}$$

因此, 导体为  $240 \text{ mm}^2$  为更经济截面。

以相似方法计算出其它线路段截面和费用。这些值与 A3.1 和 A3.2 中用以前方法求得的值完全一致, 且截面和费用汇总与表 A2 给出值相同。

#### A5 对整个线路所有线段采用一种标准导体截面计算

##### A5.1 经济电流范围法

首先要设定可能的导体截面, 对各线路段用该尺寸依据式 (11) 计算出总费用。为了确认假定截

面是最经济的，对该假定截面相邻较大一档及较小一档截面所用总费用进行计算。

本例假定导体截面  $185 \text{ mm}^2$  为最佳选择。

对所有线路段用  $185 \text{ mm}^2$ ，然后计算  $150 \text{ mm}^2$  和  $240 \text{ mm}^2$  的费用，并列于表 A4。

总费用为：

$150 \text{ mm}^2$	312841	cu
$185 \text{ mm}^2$	312166	cu
$240 \text{ mm}^2$	324707	cu

上述费用表明，为了标准化起见，只有一种导体截面可用， $185 \text{ mm}^2$  是最佳经济的选择。

在此也可看出 A3.1 和图 A3 中所示的导体尺寸的变化对总费用改变的影响很小。

#### A5.2 导体经济截面法

虽然只选用一种导体截面，但每个线路段的电流是不同的。因此必须计算平均损耗（各段假定在相同温度下运行，因而导体电阻相同）。

$$\frac{\text{平均损耗}}{\text{最大损耗}} = \frac{500 \times 160^2 + 500 \times 144^2 + \dots + 500 \times 16^2}{10 \times 500 \times 160^2} \\ = 0.385$$

根据式 (18) 采用  $185 \text{ mm}^2$  导体的 B 值

$$S_e = 1000 \times \left\{ \frac{160^2 \times 1.023 \times 30.3 \times 10^{-9} \times [1 + 0.00403(40 - 20)] \times 9.2341 \times 0.385}{0.1133} \right\}^{1/2} \\ = 164 \text{ mm}^2$$

因此可证明  $150 \text{ mm}^2$  或  $185 \text{ mm}^2$  导体截面是最经济的。

上述每种导体规格的总费用为：

$$CT_{150} = 42.00 \times 500 \times 10 + 160^2 \times (0.226/1000) \times 500 \times 10 \times 9.2341 \times 0.385 \\ = 210000 + 102843 \\ = 312843 \text{ cu} \\ CT_{185} = 45.96 \times 500 \times 10 + 160^2 \times (0.181/1000) \times 500 \times 10 \times 9.2341 \times 0.385 \\ = 229800 + 82365 \\ = 312165 \text{ cu}$$

因此，如果整个线路只选用一种导体截面，则可确认  $185 \text{ mm}^2$  是最经济的导体截面。

显然，与表 A3 所选用的截面相比，在热性方面  $185 \text{ mm}^2$  导体适用于在 30 年运行结束时传输最大负荷。

#### A6 结果汇总

对于 A2 中所述的电缆和条件进行计算的结果汇总如下：

费用计算的基础	费用汇总			
	CI (cu)	CJ (cu)	总和 (cu)	(%)
各线路段采用以热性考虑的载流量	146330	401534	547864	100
各线路段采用经济截面	202095	88440	290535	53
整条线路段采用同一种标准截面 $185 \text{ mm}^2$ 作为经济截面	229800	82365	312165	57

表 A1 电缆资料

电缆截面 mm <sup>2</sup>	每相电阻 (Ω/km)		初期费用 (cu/m)		
	40℃	80℃	电缆费用	敷设费用	总和
25	1.298	1.491	10.62	17.23	27.85
35	0.939	1.079	11.65	17.33	28.98
50	0.694	0.798	13.19	17.49	30.68
70	0.481	0.553	15.24	17.71	32.95
95	0.348	0.400	17.81	17.97	35.78
120	0.277	0.318	20.37	18.24	38.61
150	0.226	0.259	23.45	18.55	42.00
185	0.181	0.208	27.04	18.92	45.96
240	0.140	0.161	32.69	19.51	52.20
300	0.114	0.131	38.85	20.14	58.99
400	0.091	0.104	49.11	21.20	70.31

表 A2 经济负荷

项 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	总和
负荷: $I_{max}(A)$	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16	—
电缆: 截面(mm <sup>2</sup> )	240	240	185	185	150	120	95	70	50	25	—
载流量(A)	382	382	328	328	281	255	221	181	147	103	—
各线路段费用 和总费用											
电缆(cu)	16345	16345	13520	13520	11725	10185	8905	7620	6595	5310	110070
敷设(cu)	9755	9755	9460	9460	9275	9120	8985	8855	8745	8615	92025
$CI(cu)$	26100	26100	22980	22980	21000	19305	17890	16475	15340	13925	202095
$CJ(cu)$	16548	13403	13692	10483	9616	8185	6581	5117	3281	1534	88440
$CT(cu)$	42648	39503	36672	33463	30616	21490	24471	21592	18621	15459	290535

表 A3 载流量判据

项 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	总和
负荷: $I_{max}(A)$	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16	—
电缆: $I_{end}(A)$	185	166	148	129	111	92	74	55	37	18	—
$I_{end}/1.11$	167	150	133	117	100	83	67	50	33	17	—
电缆: 截面(mm <sup>2</sup> )	70	70	50	35	25	25	25	25	25	25	—
载流量(A)	181	181	147	125	103	103	103	103	103	103	—
各线路段费用 和总费用											
电缆(cu)	7620	7620	6595	5825	5310	5310	5310	5310	5310	5310	59520
敷设(cu)	8855	8855	8745	8665	8615	8615	8615	8615	8615	8615	86810
$CI(cu)$	16475	16475	15340	14490	13925	13925	13925	13925	13925	13925	146330
$CJ(cu)$	65363	52944	60365	62492	63443	44058	28197	15861	7049	1762	401534
$CT(cu)$	81838	69419	75705	76982	77368	57983	42122	29786	20974	15687	547864

表 A4 各线路段的经济负荷和标准导体截面

标准截面: 150 mm <sup>2</sup>											
项 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	总和
负荷: $I_{max}(A)$	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16	—
电缆: 截面(mm <sup>2</sup> )	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	—
载流量(A)	281	281	281	281	281	281	281	281	281	281	—
各线路段费用 和总费用											
电缆(cu)	11725	11725	11725	11725	11725	11725	11725	11725	11725	11725	117250
敷设(cu)	9275	9275	9275	9275	9275	9275	9275	9275	9275	9275	92750
$C_I(cu)$	21000	21000	21000	21000	21000	21000	21000	21000	21000	21000	210000
$C_J(cu)$	26712	21637	17096	13089	9616	6678	4274	2404	1068	267	102841
$CT(cu)$	42637	38096	34089	30616	27678	25274	23404	22068	21267	312841	
标准截面: 185 mm <sup>2</sup>											
项 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	总和
负荷: $I_{max}(A)$	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16	—
电缆: 截面(mm <sup>2</sup> )	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185	—
载流量(A)	328	328	328	328	328	328	328	328	328	328	—
各线路段费用 和总费用											
电缆(cu)	13520	13520	13520	13520	13520	13520	13520	13520	13520	13520	135200
敷设(cu)	9460	9460	9460	9460	9460	9460	9460	9460	9460	9460	94600
$C_I(cu)$	22980	22980	22980	22980	22980	22980	22980	22980	22980	22980	229800
$C_J(cu)$	21393	17329	13692	10483	7702	5348	3423	1925	856	214	82365
$CT(cu)$	44373	40309	36672	33463	30682	28328	26403	24905	23836	23194	312165
标准截面: 240 mm <sup>2</sup>											
项 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	总和
负荷: $I_{max}(A)$	160	144	128	112	96	80	64	48	32	16	—
电缆: 截面(mm <sup>2</sup> )	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	—
载流量(A)	382	382	382	382	382	382	382	382	382	382	—
各线路段费用 和总费用											
电缆(cu)	16345	16345	16345	16345	16345	16345	16345	16345	16345	16345	163450
敷设(cu)	9755	9755	9755	9755	9755	9755	9755	9755	9755	9755	97550
$C_I(cu)$	26100	26100	26100	26100	26100	26100	26100	26100	26100	26100	261000
$C_J(cu)$	16548	13403	10590	8108	5957	4137	2648	1489	662	165	63707
$CT(cu)$	42648	39503	36690	34208	32057	30237	28748	27589	26762	26265	324707



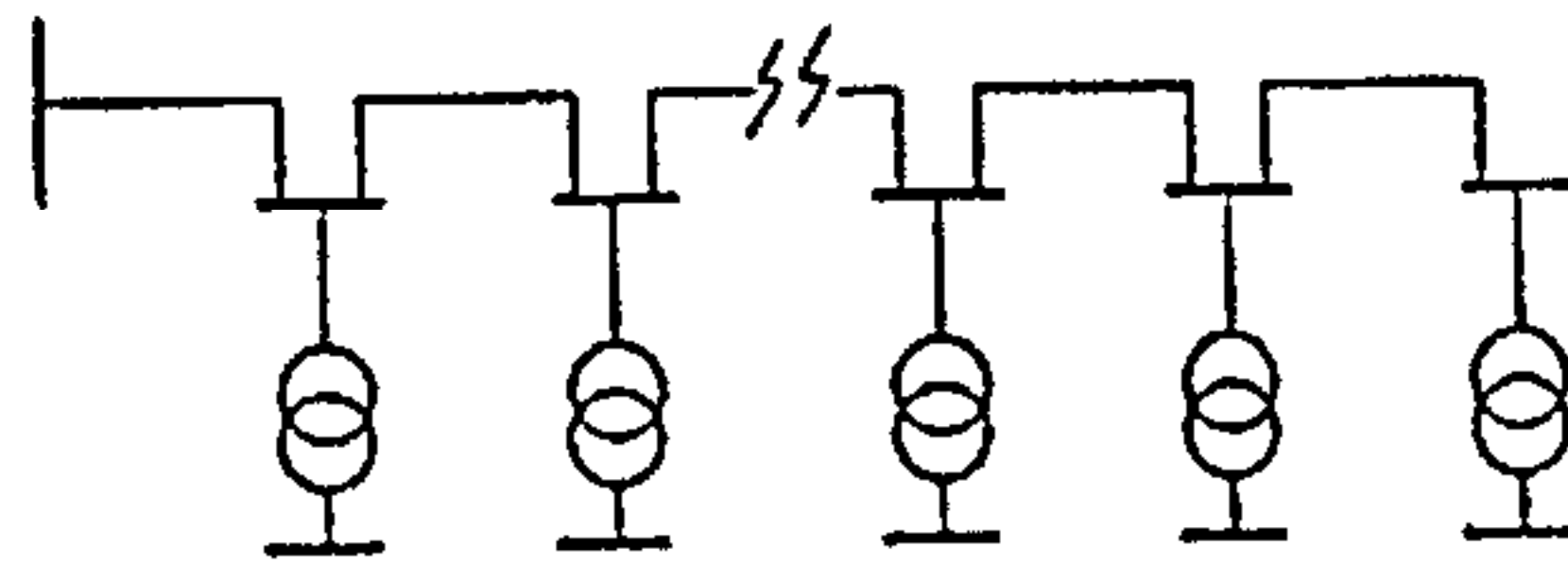


图 A1 系统布置

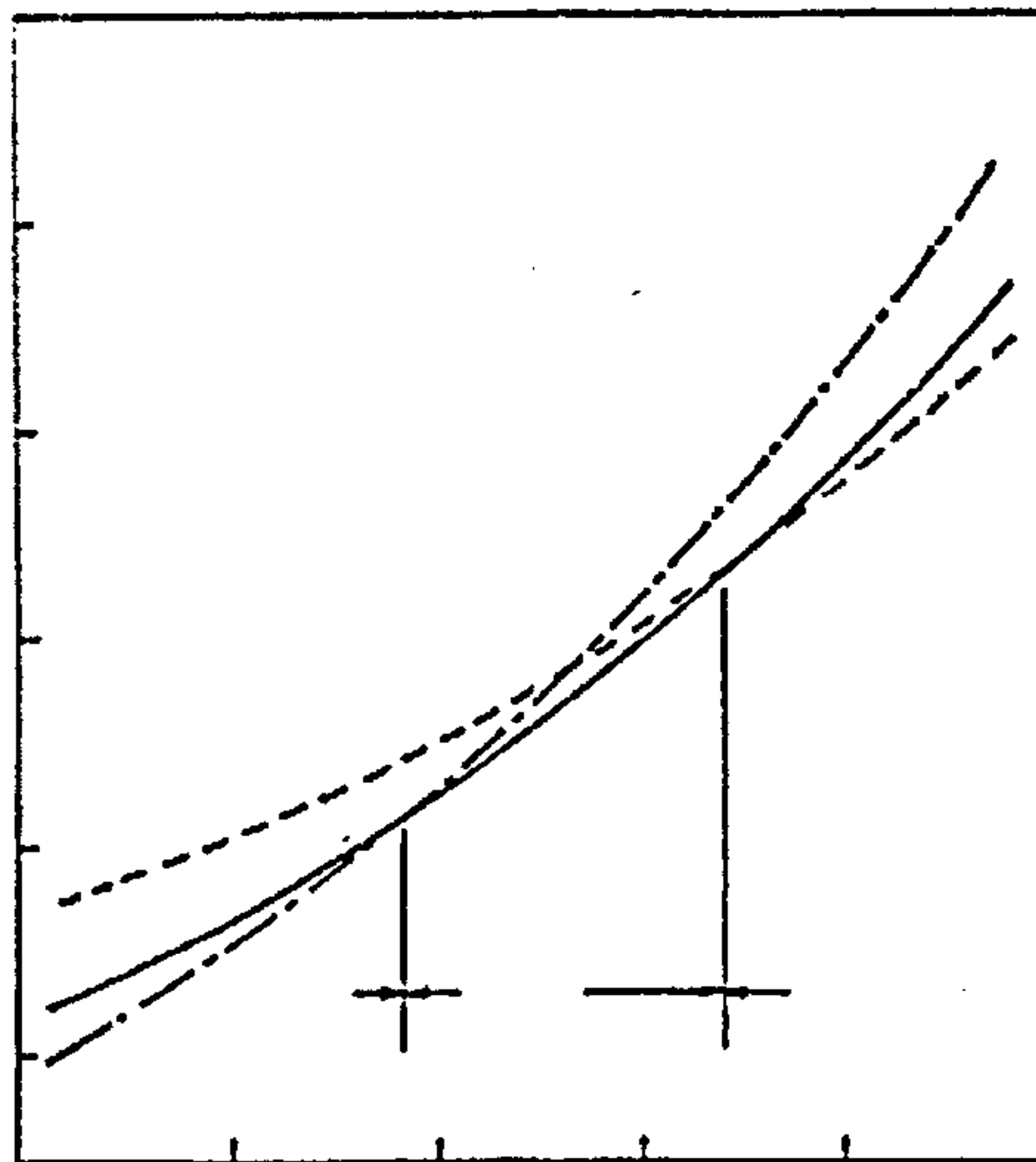


图 A2 经济电流范围

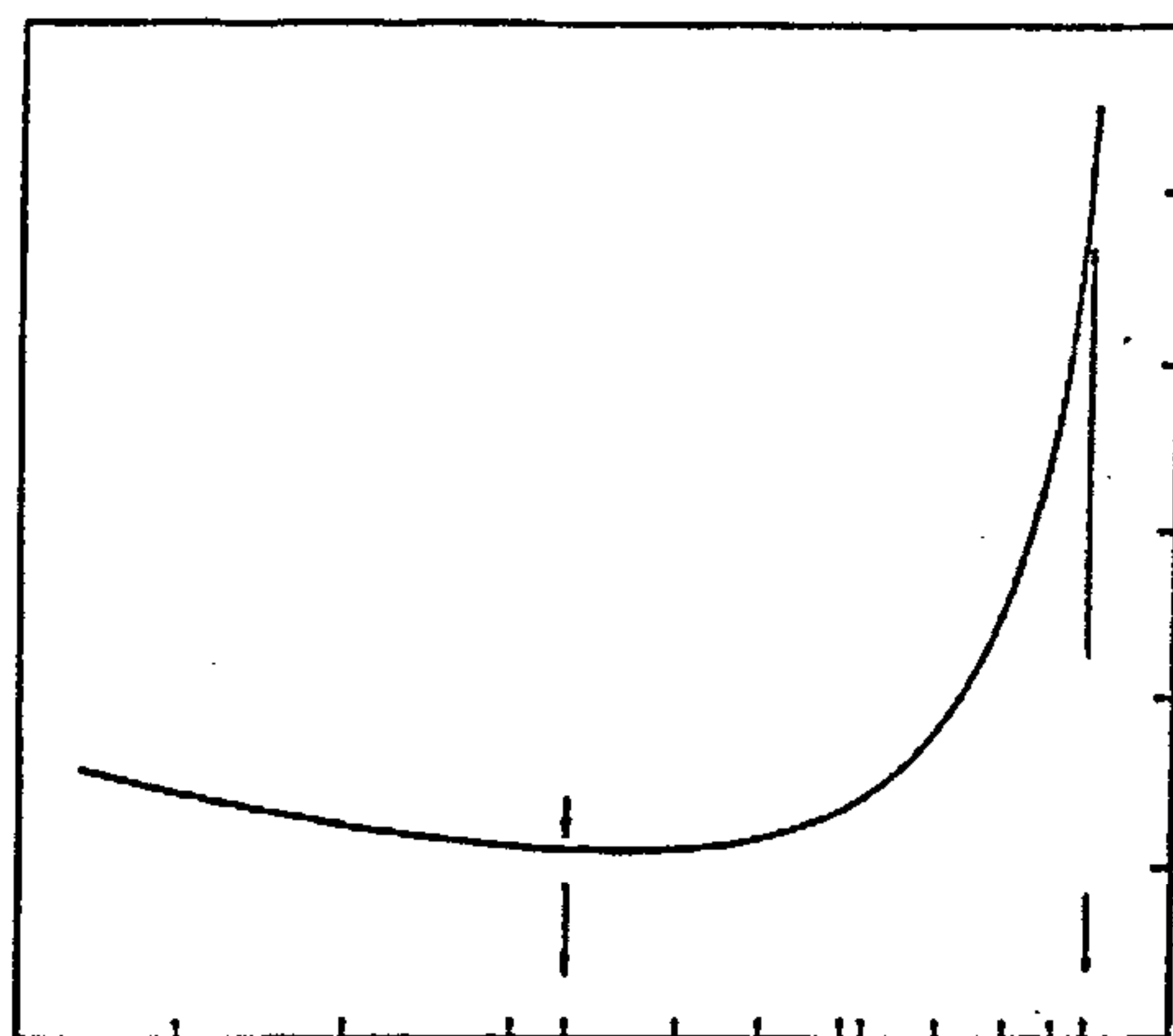


图 A3 随导体截面改变的费用变化

附录 B  
(提示的附录)  
导体平均温度和电阻

### B1 导体平均温度和电阻估算方法

假定在电缆寿命期间导体电阻值不变是更为方便的,并且通常有足够的精确度。第 4 章给出估算导体工作温度及其电阻简易公式。这是基于典型的计算的结果,即在经济寿命期间导体经济截面的平均工作温升只是其最高允许载流量产生的温升的三分之一左右。

本标准的示例中,使用这种估算方法对导体截面和总费用的误差不大于 2%,然而,当综合考虑安装费用、损耗费用和在经济寿命期最后一年负荷增加导致导体温度接近于最高允许值,此时就可能产生较大误差。

通常仅在临界的情况下较精确的电阻值影响经济截面的选择,有些情况下需要较精确的能量损耗费用数据,并且允许作些外加的计算工作。

如果对特定情况要求很高的精确度,用第 4 章推荐的简易温度计算法求得导体截面或经济电流范围作为初算点,可计算出精确的导体温度和电阻值。

### B2 确定导体平均温度和电阻的公式

由下式求得经济寿命期间第一年和最后一年期间的导体温度平均值:

$$\theta_m = \frac{\theta_s + \theta_f}{2} = \frac{\beta + \theta_a}{2} \left( \frac{1}{1-\gamma} + \frac{1}{1-g\gamma} \right) - \beta \quad (^\circ\text{C}) \quad (19)$$

式中:  $\theta_s$ ——第一年的导体温度 ( $^\circ\text{C}$ );

$\theta_f$ ——最后一年的导体温度 ( $^\circ\text{C}$ );

$\theta_a$ ——环境温度 ( $^\circ\text{C}$ );

$\beta$ ——导体材料电阻温度系数的倒数 (K)。

对于铝  $\beta=228$ ;

铜  $\beta=234.4$ 。

$$\gamma = \left( \frac{I_{\max}}{I_z} \right)^2 \times \left( \frac{\theta - \theta_a}{\beta + \theta} \right) \quad (20)$$

式中:  $I_{\max}$ ——第一年的负荷电流值, (A);

$I_z$ ——用 JB/T 10181.1 和 JB/T 10181.3 计算的最大允许温升 ( $\theta - \theta_a$ ) 下载流量, A;

$\theta$ ——最大允许导体温度,  $^\circ\text{C}$ ;

$$g = (1+a/100)^{2(N-1)}$$

$a$ —— $I_{\max}$  的年增加率, %;

$N$ ——经济寿命时间, 年。

经济寿命期间第一年和最后一年期间的平均导体电阻由下式求出:

$$R_m = \frac{R_{20}}{2} \times \frac{\beta + \theta_a}{\beta + 20} \left( \frac{1}{1-\gamma} + \frac{1}{1-g\gamma} \right) \quad (\Omega/\text{m}) \quad (21)$$

式中:  $R_m$  值可直接代入式 (11), 式 (12) 和式 (13)。

相似地, 可使用下式求  $\rho_m$  值, 而  $\rho_m$  可代替式 (15) 和式 (18) 中的  $\rho_{20}[1 + \alpha_{20}(\theta_m - 20)]$ :

$$\rho_m = \frac{\rho_{20}}{2} \times \frac{\beta + \theta_a}{\beta + 20} \left( \frac{1}{1 - \gamma} + \frac{1}{1 - g\gamma} \right) \quad (\Omega \cdot m) \dots\dots\dots (22)$$

**B3 应用于确定经济电流范围 (见 5.1)**

此方法根据附录 A3 的示例。

按导体温度简易估算法, 以  $I(1)$  和  $I(2)$  作为电流范围的上下限对 240 mm<sup>2</sup> 导体计算电流范围, 该例中,  $I(1) = 128$  (A),  $I(2) = 168$  (A)。三种导体截面所需的数据见表 B1:

表 B1

导体截面 mm <sup>2</sup>	$R_{20}$ ( $\Omega$ /km)	$CI$ cu/m	$I_s$ A <sup>1)</sup>	$I_{max} = I_s \cdot M \cdot A^{1)}$
185	0.1675	45.96	328	364
240	0.1296	52.20	382	424
300	0.1053	58.99	429	476
1) 见附录 A3.3. 2) 周期负载因数 $M=1.11$ , 见附录 A2.				

由 A2 得:

$$F=9.2341$$

对于 240 mm<sup>2</sup> 导体电流范围的上限重新计算工作温度和导体电阻的方法如下:

由下式计算辅助量  $\gamma$ :

$$\gamma(240) = \left( \frac{168}{424} \right)^2 \times \frac{80 - 20}{228 + 80} \quad \text{(式 (20))}$$

$$= 0.03058$$

式中: 168 A 是用简易法求  $\theta_m$  时, 由 A3 的初始计算导出。

由于负荷增长而引起功率损耗的增加是:

$$g = [1 + (a/100)]^{2(N-1)}$$

$$= 1.3355$$

因此  $g\gamma(240) = 1.3355 \times 0.03058$ 

$$= 0.04084$$

然后由下式给出 240 mm<sup>2</sup> 导体电阻改进的估算值:

$$R_m(240) = \frac{0.1296}{2} \times \frac{228 + 20}{228 + 20} \times \left( \frac{1}{1 - 0.03058} + \frac{1}{1 - 0.04084} \right) \quad \text{(式 (21))}$$

$$= 0.1344 \quad (\Omega/\text{km})$$

相似地, 对于 300 mm<sup>2</sup> 导体:

$$\gamma(300) = \left( \frac{168}{476} \right)^2 \times \frac{80 - 20}{228 + 80} \quad \text{(式 (20))}$$

$$= 0.02427$$

$$g\gamma(300) = 1.3355 \times 0.02427$$

$$= 0.03241$$

然后:

$$R_m(300) = \frac{0.1053}{2} \times \frac{228+20}{228+20} \times \left( \frac{1}{1-0.02427} + \frac{1}{1-0.03241} \right) \\ = 0.1084 \quad (\Omega/\text{km})$$

因此, 修正后的电流上限值是:

$$I(2) = \left[ \frac{500 \times (58.99 - 52.20) \times 1000}{9.2341 \times 500 \times (0.1344 - 0.1084)} \right]^{1/2} \quad (\text{式 (12)}) \\ = 168 \quad (\text{A})$$

与初始计算值 168 A 的差别在数字修约所致的误差范围之内, 且因为两个导体温度按同一量进行了修正不影响对电缆第一线路段按最大负荷 160 A 选择 240 mm<sup>2</sup>。

对下限也可以上述相似方法计算。

初始计算的总费用 CT 为 42648 cu (见 A3.2); 现在可根据 240 mm<sup>2</sup> 导体修正的电阻值计算出费用。在最大负荷电流值为  $I_{\max}=160$  A 时, 其辅助量是:

$$\gamma(240) = \left( \frac{160}{424} \right)^2 \times \frac{80-20}{228+80} \quad (\text{式 (20)}) \\ = 0.02774 \\ g\gamma(240) = 1.3355 \times 0.02774 = 0.03705$$

从而:

$$R_m(240) = \frac{0.1296}{2} \times \frac{228+20}{228+20} \times \left( \frac{1}{1-0.02774} + \frac{1}{1-0.03705} \right) \quad (\text{式 (21)}) \\ = 0.1339 \quad (\Omega/\text{km})$$

$$CT = 52.2 \times 500 + 160^2 \times \frac{0.1339}{1000} \times 9.2341 \times 500 \quad (\text{式 (11)}) \\ = 26100 + 15827 \\ = 41927 \quad (\text{cu})$$

当与本例中按较简易方法求得费用 42648 (cu) 相比时可见减少值小于 2%。

#### B4 应用于确定导体经济截面 (见 5.2)

本说明中使用数值取自 A4 中的示例。

在 A4 的示例中, 交流电阻因数 B 修正后, 表明最经济截面为 269 mm<sup>2</sup> 该值更接近于标准截面 240 mm<sup>2</sup> 而不是 300 mm<sup>2</sup>。

现在导体电阻修正后对该截面重新计算。B2 已经给出 240 mm<sup>2</sup> 导体有关数据负载电流是 160 A。

$$\gamma(240) = \left( \frac{160}{424} \right)^2 \times \frac{80-20}{228+80} \quad (\text{式 (20)}) \\ = 0.02774 \\ g\gamma(240) = 1.3355 \times 0.02774 = 0.03705$$

然后:

$$\rho_m(240) = \frac{30.3 \times 10^{-9}}{2} \times \frac{228+20}{228+20} \times \left( \frac{1}{1-0.02774} + \frac{1}{1-0.03705} \right) \quad (\text{式 (22)}) \\ = 30.3 \times 10^{-9} \times 1.0335 \\ = 31.32 \times 10^{-9} \quad (\Omega \cdot \text{m})$$



则最经济截面:

$$S_{\alpha} = 1000 \times \left\{ \frac{160^2 \times 9.2341 \times 31.32 \times 10^{-9} \times 1.057}{0.1133} \right\}^{1/2} \quad (\text{式 (18)})$$

$$= 263 \text{ mm}^2$$

这种微小的变化使  $S_{\alpha}$  稍接近于标准截面  $240 \text{ mm}^2$ 。

$240 \text{ mm}^2$  导体电缆总费用与 B2 中计算值相同。

经济寿命期内,  $240 \text{ mm}^2$  导体平均温度是:

$$\theta_m = \frac{228 + 20}{2} \times \left( \frac{1}{1 - 0.02774} + \frac{1}{1 - 0.03705} \right) - 228 \quad (\text{式 (19)})$$

$$= 28.3 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

# 中国电器工业标准化

中国电器工业协会是民政部注册登记的一级协会，是跨地区跨部门跨所有制的全行业组织。受国家有关部门授权、委托管理行业的工作。下设有 33 个专业分会共 4000 余家会员单位。产品涵盖领域主要有：发电设备、输变电设备、电机、电器产品及成套设备和电工器材等 38 大类产品。本会的宗旨是：代表和维护全行业的共同利益及会员的合法权益；在政府主管部门的指导下，努力为会员服务，为行业服务，为政府服务；加强自律性的行业管理，在政府和企业之间发挥桥梁和纽带作用；积极促进行业的技术进步与发展，为国家的电力事业作贡献。

电器工业标准化，是协会接受政府委托具有行业管理职能的重要工作之一。它的内容反映以下几个方面。

- **直接授权** 国家质量技术监督局直接授权[质技监局标发(2000)233号文]协会，管理电工国家标准的制修订工作；国家标准的审查和报批工作；全国 45 个标准化技术委员会和分技术委员会的管理；国际标准化(IEC)工作管理(对国际标准投票、组织参加国际标准化活动等)。分工管理电工行业标准的相应工作。
- **独家发行** 国家质量技术监督局确认[质技监标函[2000]093号函]协会为电工的行业标准出版发行单位，全权负责电工的行业标准文本的出版和发行工作。
- **咨询服务** 提供最新出版的电工国家标准和行业标准文本的咨询服务，提供 IEC 国际标准文本的咨询服务，组织电工标准宣贯及标准化培训，提供标准化相关的技术咨询服务。
- **信息窗口** “电工标准化信息与资料网”是我们开展标准化信息服务的重要窗口与手段。《电工标准化通讯》是电工行业标准化信息的有效载体，其中设有方针政策、工作动态、国际标准化、标准批准发布、标准出版发行等重要信息栏目。加入“电工标准化信息与资料网”，赠阅《电工标准化通讯》，可以直接查询和了解电器工业标准化的各种信息，并享受网员的权益。
- **资讯服务** “中国电器工业协会网”是中国电器工业协会在互联网上主办的、以信息工作为基础、面向电工行业及相关行业的专业网站。电器工业标准化工作将依托这个网站实现工作手段的现代化。电器工业技术标准总汇、国际标准(IEC)目录、电工国家标准和行业标准发布信息、标准的文本查询、销售服务等都将陆续上网。

网址：<http://www.cceeia.com>

竭诚欢迎联系我们并加盟“电工标准化信息与资料网”，联系方法是：

单位名称：中国电器工业协会标准部      地址：北京市翠微路 2 号院内（主楼）

通讯地址：北京 197 信箱      邮编：100036

联系人：曾雁鸿    郭丽平

电话：(010) 68171344、68212343

传 真：(010) 68244802

电子邮件：[glp@ceeia.com](mailto:glp@ceeia.com) 或 [zyh@ceeia.com](mailto:zyh@ceeia.com)。