

K 13

# 中华人民共和国机械行业

JB/T 10181.1 - 2000  
idt IEC 60287-1-1 1994

## 第 1 部分：载流

和

24 发布

2000-10-01 实施

国家机械工业局 发布

## 前 言

本标准等同采用国际电工委员会 (IEC) 标准 IEC 60287 《电缆载流量计算》(其中包括 IEC 60287—1—1 第 1 号修改件 (1995)、IEC 60287—3—1 第 1 号修改件 (1999) 和 IEC 60287—3—2 第 1 号修改件 (1996))。本标准为国内首次制订的机械行业标准。

本标准是电线电缆的基础计算方法标准, 广泛地被电缆设计、敷设和安装部门使用, 因而等同采用 IEC 60287 标准。

JB/T 10181 在总标题《电缆载流量计算》下由下列各部分组成:

JB/T 10181.1 第 1 部分: 载流量公式 (100% 负荷因数) 和损耗计算

第 1 节: 一般规定

JB/T 10181.2 第 1 部分: 载流量公式 (100% 负荷因数) 和损耗计算

第 2 节: 双回路平面排列电缆金属套涡流损耗因数

JB/T 10181.3 第 2 部分: 热阻

第 1 节: 热阻的计算

JB/T 10181.4 第 2 部分: 热阻

第 2 节: 自由空气中不受到日光直接照射的电缆群载流量降低因数的计算方法

JB/T 10181.5 第 3 部分: 有关运行条件的各节

第 1 节: 基准运行条件和电缆选型

JB/T 10181.6 第 3 部分: 有关运行条件的各节

第 2 节: 电力电缆截面的经济优化选择

本标准与 IEC 60287 标准结构对照如下表:

本 标 准	IEC 60287
JB/T 10181.1	IEC 60287—1—1
JB/T 10181.2	IEC 60287—1—2
JB/T 10181.3	IEC 60287—2—1
JB/T 10181.4	IEC 60287—2—2
JB/T 10181.5	IEC 60287—3—1
JB/T 10181.6	IEC 60287—3—2

JB/T 10181.6—2000 的附录 A 和附录 B 都是提示的附录。

本标准由全国电线电缆标准化技术委员会提出并归口。

本标准主要起草单位: 上海电缆研究所。

## IEC 前 言

1 IEC (国际电工委员会) 是一个由各国家电工委员会 (IEC 国家委员会) 组成的国际范围的标准化组织。IEC 的宗旨是针对电气和电子领域标准化的所有问题促进国际间合作。为实现这一宗旨, IEC 除组织各种活动外, 还出版国际标准。并委托各技术委员会制定这些标准。对某项标准感兴趣的任

何国家委员会均可参与该标准的制定。与 IEC 有业务往来的国际组织、政府或非政府组织也可参与标

准的制定。IEC 与国际标准化组织 (ISO) 按双方协议条件紧密合作。

2 技术委员会代表各国家委员会对他们特别关切的技术问题制订出的 IEC 正式决议或协议尽可能地表达出国际上对这些问题的一致意见。

3 这些文件以标准、技术报告或导则的形式出版发行, 以推荐文件的形式在国际间使用, 并且在此意义上取得各国家委员会的认可。

4 为促进国际间的统一, 各 IEC 国家委员会坦诚地以最大可能程度在各国家和地区中采用 IEC 国际标准。IEC 标准与相应的国家或地区标准的任何差异应在国家或地区标准中清楚地指出。

5 国际标准 IEC 60287—1—1、IEC 60287—1—2、IEC 60287—2—1、IEC 60287—2—2、IEC 60287—3—1 和 IEC 60287—3—2 由 IEC 第 20 技术委员会的第 20 A 分技术委员会: “高压电缆” 制定。

5.1 IEC 60287—1—1 的第一版代替了 1982 年出版的 IEC 60287 第二版的第 1 节和第 2 节以及第 3 号修改件的相应部分, 没有技术上的改动。

投票表决批准该标准的全部资料均可在上表列出的“投票表决报告”中查找到。

这一节最初作为 IEC 1042 出版。

F.5 IEC 60287—3—1 代替了 IEC 60287 第二版 (1982) 的附录 A 和附录 B。没有技术上的改动。

IEC 60287—3—1 标准文本和它的第 1 号修改件 (1999) 以下列文件为基础:

# IEC 引 言<sup>1)</sup>

为便于修订和采用 IEC 60287 的标准/标准/报告/规范和/或...

每部分分为若干节作为单独标准出版。

第 1 部分：载流量公式（100% 负载因数）和功率损耗

第 2 部分：热阻公式

第 3 部分：有关运行条件的各节

## IEC 60287—1—1

这一节包含有关  $P$ 、 $\theta_{ca}$  和  $\theta_{sc}$  的公式的公式

这一节包括根据允许温升、导体电阻、损耗和热阻系数的选择数值和由电缆尺寸和材料

关系损耗的计算公式也在这一节中给出。

取上法可  
数。在后  
取得统一  
料和设计

标准中的公式所包含的参量随着电缆设计和所用材料而变化。表中所给的数值或者是国际的，例如电阻率和电阻温度系数，或者是通常实际上可接受的，例如材料热阻系数和介电常数。在后一种情况下，所给出的某些值不是新电缆的特性，而是适用于长期运行后电缆的特性，为了和现有比较的结果，载流量计算应采用本标准给出的数值。然而确实有其他更适用于这种材料的值，也可以采用，并另外提出相应的载流量，只要援引此不同的数值。

电缆运行条件的各个参量各国间会有很大的差别。例如，关于环境温度系数和土壤热阻系数的数值之差异是显而易见的。各个国家规定相应值，如果它们不基于一个共同的基准，各个国家所采用的是基于土壤热阻系数的最大值，而另外国家则是采用平均值，特别是土壤热阻系数，对土壤的含水量非常敏感，随着时间可能有明显的变化。取决于土壤类型、土壤和气象条件的不同由电缆

的选择方法。

。这些结果往往作为推荐值已经包含在国家规范中，以便在计算时所采用测量数值在第 3 部分第 1 节中给出。  
的信息。

因而应采用以下各种参量

数字值最好根据测量结果用的为该国家常用的数值，这些第 3 部分第 1 节给出所需

## IEC 60287—2—1

由空气、排管和直埋时电缆的内部热阻和外部热阻的计算方法。  
量随着电缆设计和所用材料而变化。表中所给的数值或者是国际上认可数，或者是通常实际上可接受的，例如材料热阻系数和介电常数。在后

这一节包括电缆敷设在自标准中的公式所包含的参的，例如电阻率和电阻温度系

采用说明：

1) 此 IEC 引言包括 IEC 6021—2 各部分及各节的引言内

IEC 60287—1—1、IEC 60287—2—1、IEC 60287—2—2、IEC 60287—3—1 及 IEC 60287—3—2 内容，以便编辑及对照参阅。

一种情况下，所给出的某些值不是新电缆的特性，而是适用于长期运行后电缆的特性。为了取得统一

的值，也可以采用，并另外提出相应的载流量，只要援引此不同的数值。

电缆运行条件的各个参量各国间会有很大的差别。例如，关于环境温度和土壤热阻系数，从不同的考虑角度出发，各个国家规定相应值。如果他们不基于一个共同的基准，各个国家所采用的数值之间表面上相比可导出错误的结论，例如，对于电缆寿命可能有不同的期望，某些国家设计是基于土壤热阻系数的最大值，而另外国家则是采用平均值。特别是土壤热阻系数，对土壤的含水量非常敏感，随着时间可能有明显的变化，取决于土壤类型，地势和气象条件以及电缆负荷。

因而应采用以下各种参量的选择方法。

数字值最好根据测量结果。这些结果往往作为推荐值已经包含在国家规范中，以使在计算时所采用的为该 国常用的数值，这些测量数值在第 3 部分第 1 节中给出。

第 3 部分第 1 节给出所需的信息。

导体截面十千按热性选择的导体截面对总费用节省是由于与购置费用增加相比，焦耳损耗费用减

少得多。本标准采用的财务参数和电气参数值并不特殊，购置费和运行费合计节省约 50%（见附录 A6）。以更短一些财务期计算得出相似的结果。

通过实例指出更重要的特点是当处于图 A3 所示的经济值范围内，可能的节省费用并不决定性地取决于导体截面。此包含两点含义：

a) 财务数据的误差，特别是决定将来费用的数据影响很小。虽然收集最实际、正确的数据有好处，

b) 对电缆线路决定其整体经济性有关的导体截面选择的其他因素，诸如故障电流、电压降及尺寸合理性等都要给予适当的重视，而不因选择经济截面而损失过多的利益。

## 2 经济方面

还有一部分费用可能要考虑的是由于概率上原因作出错误决定而产生的财务上后果所致。但这是  
决策理论领域中问题，已超出本标准范围。

因此，选择电缆经济截面只是系统总的经济问题的一部分内容，其它重要的经济内容尚待另外考



# 中华人民共和国机械行业标准

## 电缆载流量计算 第 1 部分: 载流量公式(100%负荷因数) 和 损 耗 计 算 第 1 节: 一般规定

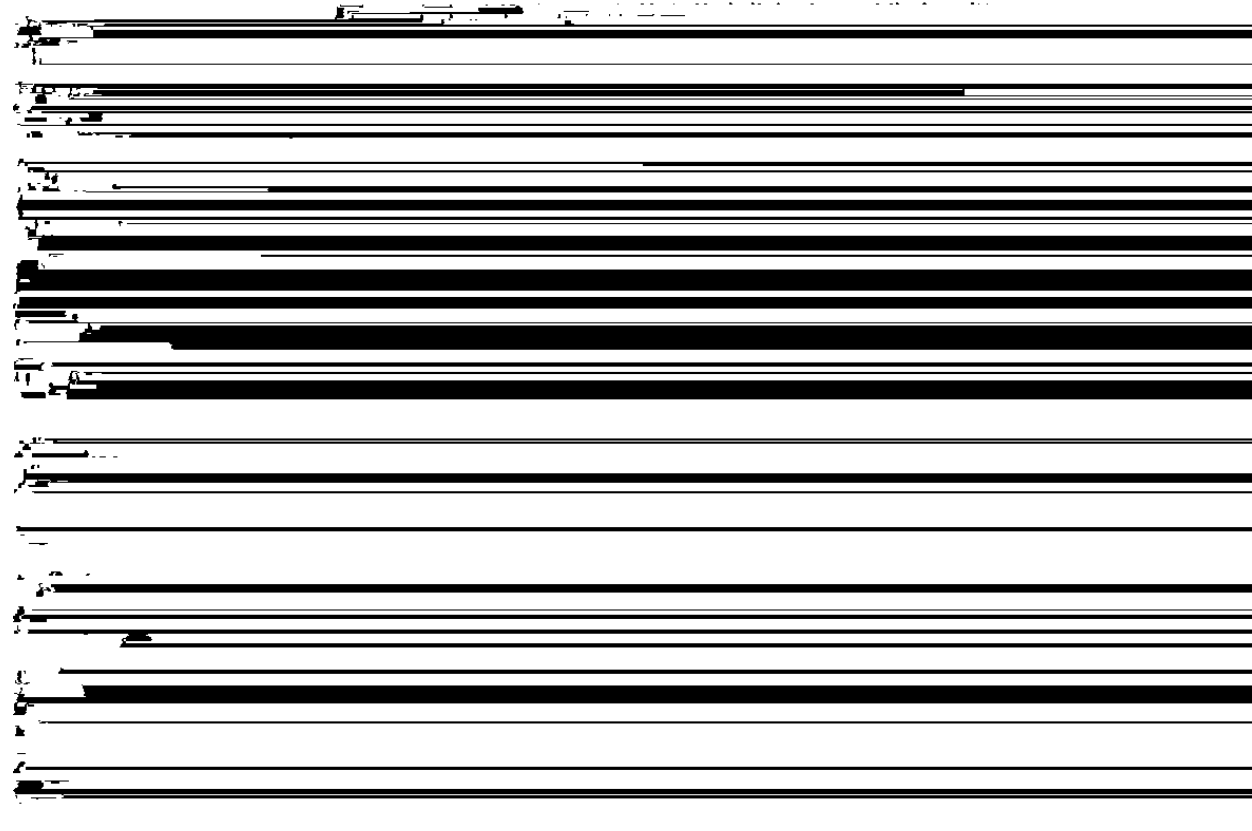
JB/T 10181.1 - 2000  
idt IEC 60287-1-1 1994

### 1 范围

#### 1.1 范围

本标准适用于敷设在空气或土壤中的所有交流电压等级和 5 kV 及以下直流电压电缆稳态运行状况。土壤中包括发生或未发生局部土壤干燥的直接埋地、管道、电缆沟或钢管中敷设的电缆。术语“稳态”系指在周围环境假定不变的条件下, 连续恒定电流(100%负荷因数)正好足以渐近地达到导体的最高温度。

这一节提供了额定载流量和各种损耗的计算公式。



$A$	铠装横截面	$\text{mm}^2$
$B_1$	系数 (见 2.4.2)	
$B_2$	系数 (见 2.4.2)	
$C$	每个线芯的电容	$\text{F/m}$
$D_e^*$	电缆外径	$\text{m}$
$D_i$	绝缘外径	$\text{mm}$
$D_s$	金属套外径	$\text{mm}$
$D_{oc}$	正好与皱纹金属套波峰相切的假想同心圆柱体的直径	$\text{mm}$
$D_{ii}$	正好与皱纹金属套波谷内表面相切的假想同心圆柱体的直径	$\text{mm}$
$F$	系数 (2.3.5)	
$H$	日光辐射照度	$\text{W/m}^2$
$H$	磁场强度 (2.4.2)	安匝/ $\text{m}$
$H_s$	金属套电感	$\text{H/m}$
$H_1$	由钢丝引起的电感分量	$\text{H/m}$
$H_2$		
$H_3$		
$I$	一根导体的电流 (有效值)	$\text{A}$
$M, N$	2.3.5 定义的系数	
$P, Q$	2.3.5 定义的系数	
$R$	导体在其最高工作温度下的交流电阻	$\Omega/\text{m}$
$R_A$	铠装的交流电阻	$\Omega/\text{m}$
$R_e$	金属套和铠装并联时等效交流电阻	$\Omega/\text{m}$
$R_s$	金属套的交流电阻	$\Omega/\text{m}$
$R'$	在最高工作温度下导体的直流电阻	$\Omega/\text{m}$
$R_0$	20℃时导体的直流电阻	$\Omega/\text{m}$
$T_1$	导体和金属套之间每根线芯热阻	$\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$
$T_2$	金属套和铠装之间热阻	$\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$
$T_3$	外护层热阻	$\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$
$T_4$	周围介质热阻 (高于周围环境温度的电缆表面温升与单位长度损耗之比)	$\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$
$T_4^*$	日光照射下自由空气中电缆修正的外部热阻	$\text{K} \cdot \text{m}/\text{W}$
$U_0$	导体和屏蔽或铠装之间电压	$\text{V}$
$W_A$	单位长度铠装损耗	$\text{W/m}$
$W_c$	单位长度导体损耗	$\text{W/m}$
$W_d$	每相单位长度介质损耗	$\text{W/m}$
$W_s$	单位长度金属套损耗	$\text{W/m}$
$W_{S+A}$	单位长度金属套和铠装总损耗	$\text{W/m}$

$X_I$	金属套电抗 (电缆呈平面排列)	$\Omega/m$
$\gamma$	当三相单芯电缆呈平面排列时, 其中一根电缆的金属套和另外两根电	$\Omega/m$
<p>缆的导体之间互抗</p>		
$a$	交叉互连时具有不等长度的电缆小段中的最短长度	
$c$	三芯电缆中每个导体轴线和电缆轴线之间距离 (扇形导体=0.55 $r_1$ +0.29 $t$ )	mm
$d$	金属套或屏蔽的平均直径	mm
$d'$	金属套和加强层的平均直径	mm
$d_2$	加强层的平均直径	mm
$d_A$	铠装的平均直径	mm
$d_c$	导体外径	mm
$d_c'$	具有相同中心油道的空心导体的等效于实心导体的直径	mm
$d_d$	管道内径	mm
$d_f$	钢丝直径	mm
$d_i$	空心导体内径	mm
$d_M$	椭圆形导体的屏蔽或金属套长轴直径	mm
$d_m$	椭圆形导体的屏蔽或金属套短轴直径	mm
$d_e$	具有相同横截面和紧压程度型导体的等效圆导体直径	mm
$f$	系统频率	Hz
<p>铠装或加强带计算磁滞损耗所用的因数 (见 2.4.2.4)</p>		
$k$	在计算 $X_p$ 时所用的因数 (邻近效应)	
$k_s$	在计算 $X_s$ 时所用的因数 (集肤效应)	
$l$	电缆区段长度 (通用符号, 见 2.3 和 2.3.4)	m
$\ln$	自然对数 (以 e 为底)	
$m$	$\frac{\omega}{D} \times 10^{-7}$	

$\nu$	干燥土壤和潮湿土壤热阻系数之比 ( $\nu = \rho_d / \rho_w$ )	
$x_p$	计算邻近效应时所用贝塞尔函数的自变量	
$x_s$	计算集肤效应时所用贝塞尔函数的自变量	
$y_p$	邻近效应系数 (见 2.1)	
$y_s$	集肤效应系数 (见 2.1)	
$\alpha_{20}$	20℃时电阻率温度系数	1/K
$\beta$	铠装钢丝轴线和电缆轴线之间的夹角 (见 2.4.2)	
$\beta_1$	2.3.6 中所用系数	
$\gamma$	时间滞后角度 (见 2.4.2)	
$\Delta_1$	2.3.6.1 中所用的系数	
$\Delta_2$	2.3.6.1 中所用的系数	
$\delta$	铠装或加强层的等效厚度	mm
$\tan \delta$	绝缘介质损耗因数	
$\epsilon$	绝缘相对介电常数	
$\theta$	导体最高运行温度	℃
$\theta_a$	环境温度	℃
$\theta_x$	土壤的临界温度; 即干燥和潮湿区之间边界的温度	℃
$\Delta \theta$	高于环境温度的导体允许温升	℃
$\Delta \theta_x$	土壤的临界温升; 即高于环境温度的土壤干燥与潮湿区之间边界的温升	K
$\lambda_0$	2.3.6.1 中所用的系数	
$\lambda_1, \lambda_2$	金属套和铠装总损耗分别相对于导体总损耗的比率 (或一个金属套或铠装中的损耗相对于一个导体损耗之比率)	
$\lambda_1'$	一个金属套中环流引起的损耗与一个导体中损耗之比率	
$\lambda_1''$	一个金属套中涡流引起的损耗与一个导体中损耗之比率	
$\lambda_{1m}'$	三根单芯电缆平面排列, 不换位, 金属套两端互连时中间电缆的损耗因数	
$\lambda_{11}'$	三根单芯电缆平面排列, 不换位, 金属套两端互连时具有最大损耗的外侧电缆的损耗因数	

$\omega$  电源系统角频率 ( $2\pi f$ )

1.4 电缆允许载流量

当计算土壤局部干燥状态下允许载流量时,也需要计算未发生土壤干燥状态时额定载流量。选用两者中较小数据。

1.4.1 未发生土壤干燥的直埋电缆或空气中敷设的电缆

1.4.1.1 交流电缆

从高于环境温度的温升表达式中可导出交流电缆的允许载流量:

$$\Delta \theta = \frac{I^2 R + 1/2 W}{\lambda} (T_1 + T_2) + \frac{I^2 R (1 + \lambda) + W}{\lambda} n T_1 + \frac{I^2 R (1 + \lambda + \lambda_1) + W}{\lambda} n (T_1 + T_2)$$

$\Delta \theta$ ——高于环境温度的导体温升 (K);

注:环境温度是指在正常状态下周围介质的温度,在敷设或即将敷设电缆的场合下,任何局部热源会有影响,但不考虑由此产生的热量会使电缆周围温度升高。

$R$ ——最高工作温度下导体单位长度的交流电阻 ( $\Omega/m$ );

下面方法仅适用于敷设在一般深度下分离的单根电缆或单一回路。该方法从简单的两区域近似的土壤物理模型导出，而邻接电缆周围区域土壤变得干燥，另一区域维持原有的土壤热阻系数，区域之间形成等温的边界。该方法仅适合于将土壤热性能作为简单的条件考虑的场所。

注：多于一个回路的电缆线路以及回路之间必要的间距在考虑之中。

由于对分离敷设单根电缆或回路周围形成干燥区域引起电缆外部热阻变化的计算公式应由下式求出（比较 1.4.1.1 公式）：

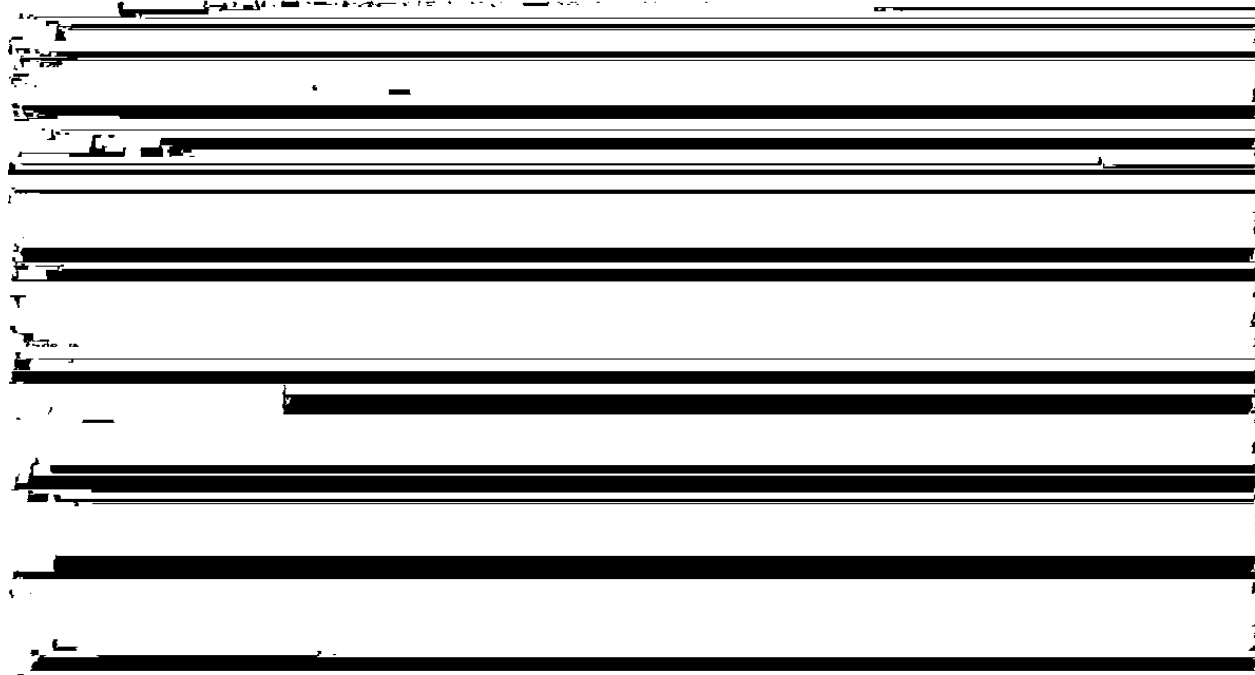
$$I = \left\{ \frac{\Delta\theta - W_d [0.5T_1 + n(T_2 + T_3 + vT_4)] + (v-1)\Delta\theta_x}{R[T_1 + n(1 + \lambda_1)T_2 + n(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + vT_4)]} \right\}^{0.5}$$

式中：v——干燥和潮湿土壤区域热阻系数之比率（ $v = \rho_d / \rho_w$ ）；

R——最高运行温度下导体单位长度的交流电阻（ $\Omega/m$ ）；

$\rho_d$ ——干燥土壤的热阻系数（ $K \cdot m/W$ ）；

$\rho_w$ ——潮湿土壤的热阻系数（ $K \cdot m/W$ ）；



$\theta_a$ ——环境温度（ $^{\circ}C$ ）；

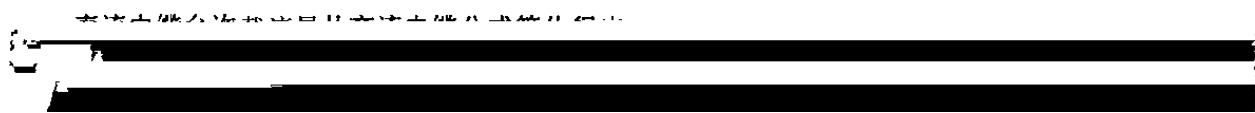
$\Delta\theta$ ——土壤临界温升。即高于环境温度的干燥与潮湿区域边界的温升（ $\theta_x - \theta_a$ ）（K）。

注： $T_d$ 应采用 JB/T 10181.3—2000 中 2.2.3.2 中潮湿土壤热阻系数（ $\rho_w$ ）计算，相互间热影响不能用 JB/T 10181.3—2000 中 2.2.3.1 中的修正温升的方法。

$\Delta\theta_x$ 和  $\rho_d$ 应由土壤状况方面的知识确定。

注：适合的土壤参数在考虑之中，同时这些数值可由制造厂和用户协商确定。

#### 1.4.2.2 5 kV 及以下直流电缆



导体电阻应按 1.4.2.2 修正。

1.4.4 直接受日光照射的电缆

允许载流量

考虑到日光照射电缆的影响，允许载流量由下式给出：

1.4.4.1 交流电缆

$$I = \left\{ \frac{\Delta\theta - W_d [0.5T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4^*) - \sigma D_e^* \cdot H \cdot T_4^*]}{R[T_1 + n(1 + \lambda_1)T_2 + n(1 + \lambda_1 + \lambda_2)(T_3 + T_4^*)]} \right\}^{0.5}$$

1.4.4.2 5 kV 及以下直流电缆

$$I = \left\{ \frac{\Delta\theta - \sigma D_e^* \cdot H \cdot T_4^*}{R'[T_1 + nT_2 + n(T_3 + T_4^*)]} \right\}^{0.5}$$

式中：σ——日光照射下电缆表面的吸收系数，（见表 4）；

$T_4^*$ ——考虑日光照射时空气中电缆外部热阻修正值（见 JB/T 10181.2）（K·m/W）；

$D_e^*$ ——电缆外径（m）；

对于皱纹金属套  $D_e^* = (d_{oc} + 2t_j) \times 10^{-3}$ （m）；

$t_j$ ——外护层厚度（mm）。

2 损耗计算

集肤效应因数  $y_s$  由下式给出:

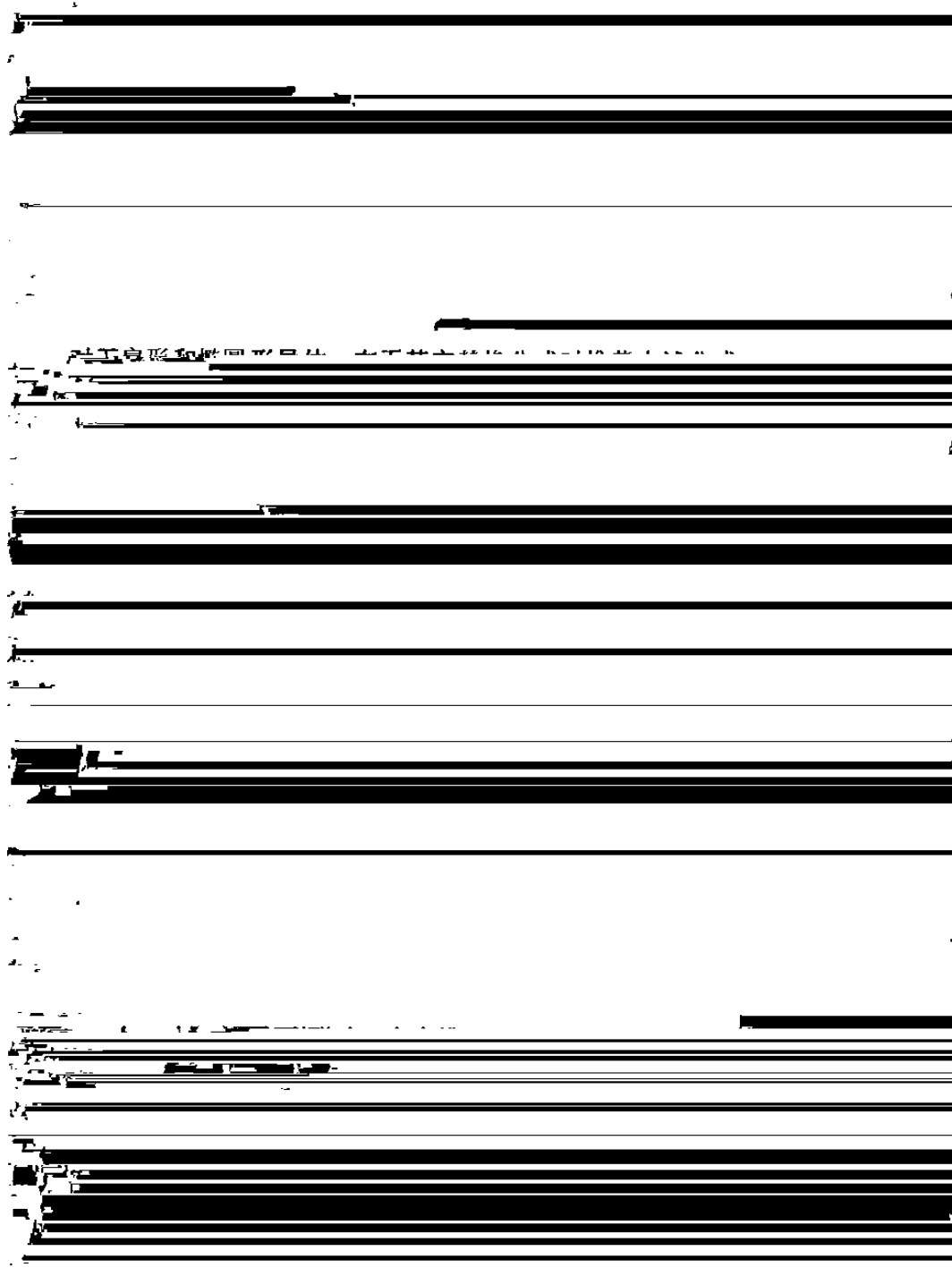
$$y_s = \frac{x_s^4}{192 + 0.8x_s^4}$$

式中:  $x_s^2 = \frac{8\pi f}{R'} \times 10^{-7} k_s$

$f$ ——电源频率 (Hz);

$k_s$  值表 2 中给出。

只要  $r$  不超过 2.8, 上述公式是准确的, 因而适合于大多数实际情况。





$t$ ——导体之间绝缘厚度 (mm)

$k_p$  值表 2 给出。

只要  $x_p$  不超过 2.8, 上述公式是准确的, 因而适用于大多数实际情况。

### 2.1.5 钢管电缆中集肤和邻近效应

对于钢管电缆集肤和邻近效应按 2.1.2, 2.1.3 和 2.1.4 计算后再乘以 1.7, 即:

$$R = R' [1 + 1.7 (y_s + y_p)] \quad (\Omega/m)$$

### 2.2 介质损耗 (仅适用于交流电缆)

介质损耗与电压有关, 因此在与所用的绝缘材料相关的一定电压等级下才显得重要, 表 3 给出对于三芯屏蔽电缆和单芯电缆常用的绝缘材料介质损耗应予考虑的  $U_0$  值。对于非屏蔽多芯电缆或直流电缆不需要计算介质损耗。

每相中单位长度的介质损耗由下式给出:

$$W_F = \omega C \cdot U_0^2 \cdot \tan \delta \quad (W/m)$$

式中:  $\omega = 2\pi f$ ;

$C$ ——单位长度电缆电容 (F/m);

$U_0$ ——对地电压 (V);

$\tan \delta$  为工频和工作温度下绝缘损耗因数, 其值由表 3 中给出。

圆形导体电容由下式给出:

$$C = \frac{\epsilon}{181 n} \frac{D_i}{d_c} \times 10^{-9} \quad (F/m)$$

式中:  $\epsilon$ ——绝缘材料的相对介电常数;

$D_i$ ——绝缘层直径 (屏蔽层除外) (mm);

$d_c$ ——导体直径, 如果有屏蔽层, 则包括屏蔽层 (mm)。

椭圆形导体, 如果用长轴和短轴直径的几何平均值取代  $D_i$  和  $d_c$ , 则可使用相同的公式。

### 2.3 金属套和屏蔽的损耗因数 (仅适用于工频交流电缆)

## 2.3.1 两根单芯电缆和三根单芯电缆（三角形排列）带电段金属套两端互连

对两根单芯电缆和三根单芯电缆（呈三角形排列）金属套两端互连，损耗因数由下式给出：

$$\lambda_{j'} = \frac{R_s}{R} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{R_s}{X}\right)^2}$$

式中： $R_s$ ——最高工作温度下电缆单位长度金属套或屏蔽的电阻（ $\Omega/m$ ）；

$X$ ——电缆单位长度金属套或屏蔽电抗（ $\Omega/m$ ）；

$$= 2 \omega 10^{-7} \ln \left( \frac{2s}{d} \right) \quad (\Omega/m)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (1/s)$$

$s$ ——所考虑的带电段内各导体轴线之间的距离（mm）；

$d$ ——金属套平均直径（mm）；

——对椭圆形线芯  $d = \sqrt{d_{\dots} \cdot d_{\dots}}$ ；

式中  $d_M$  和  $d_m$  分别为金属套的长轴和短轴直径。

——对皱纹金属套  $d = \frac{1}{2} (D_{oc} + D_{it})$ ；

$\lambda_{j''} = 0$  即涡流损耗忽略不计。对分割结构的大截面导体的电缆按 2.3.5 计算。

## 2.3.2 正常换位，带电段金属套两端互连，平面排列的三根单芯电缆

对于平面排列的三根单芯电缆，中间一根电缆与两侧的电 缆间距相等，电缆正常换位且在第三个换位点金属套互连时，损耗因数由下式给出：

$$\lambda_{j'} = \frac{R_s}{R} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{R_s}{X_1}\right)^2}$$

式中： $X_1$ ——金属套单位长度电抗（ $\Omega/m$ ）；

$$= 2 \omega 10^{-7} \ln \left\{ 2 \times \sqrt[3]{2} \left( \frac{s}{d} \right) \right\}$$

$\lambda_{j''} = 0$  即涡流损耗忽略不计。除对分割结构的大截面导体的电缆按 2.3.5 计算。

## 2.3.3 平面排列，不换位，带电段金属套两端互连的三根单芯电缆

三根单芯电缆平面排列，中间一根与两侧的电 缆间距相等。不换位，金属套两端互连时最大损耗的那根电缆（即滞后相的外侧电缆）的损耗因数由下式给出：

$$\lambda'_{i1} = \frac{R_s}{R} \left[ \frac{0.75 P^2}{R_s^2 + P^2} + \frac{0.25 Q^2}{R_s^2 + Q^2} + \frac{2R_s \cdot P \cdot Q \cdot X_m}{\sqrt{3}(R_s^2 + P^2)(R_s^2 + Q^2)} \right]$$

另一外侧电缆的损耗因数为：

$$\lambda'_{i2} = \frac{R_s}{R} \left[ \frac{0.75 P^2}{R_s^2 + P^2} + \frac{0.25 Q^2}{R_s^2 + Q^2} - \frac{2R_s \cdot P \cdot Q \cdot X_m}{\sqrt{3}(R_s^2 + P^2)(R_s^2 + Q^2)} \right]$$

中间一根电缆的损耗因数为：

$$\lambda'_{im} = \frac{R_s}{R} \times \frac{Q^2}{\dots}$$

$$Q = X - X_m / 3$$

其中:

$X$ ——对于两根相邻单芯电缆单位长度金属套或屏蔽的电抗 ( $\Omega/m$ )

$$= 2 \omega 10^{-7} \ln \left( \frac{2s}{d} \right) (\Omega/m)$$

$X_m$ ——电缆平面排列时, 某一外侧电缆金属套与另外两根电缆导体之间单位长度电缆的互抗 ( $\Omega/m$ );

$\lambda_1'' = 0$ , 即涡流损耗忽略。除大截面分割导体的电缆按 2.3.5 计算  $\lambda_1''$ 。

空气中敷设的电缆应按以上给出的第一个公式, 即滞后相的外侧电缆的损耗计算载流量。

#### 2.3.4 金属套各互连点之间单芯电缆的间距不等

由于单芯电缆回路在金属套的两端牢固互连也可能在中间某些接点牢固互连引起的环流以及由此产生的损耗随着电缆间距增大而增加, 因而互连点间距尽量靠近是合适的。考虑电缆损耗和电缆相互热影响以求得最佳间距值。

一般情况下沿整条线路按同一间距敷设电缆往往是不可能的。当整条带电段不可能按一个相同的间距敷设时, 下面推荐一个有关金属套环流损耗的计算方法。线路段定义为所有电缆金属套都牢固互连的点之间的线路部分。下面推荐的方法给出适合于该段的损耗因数计算的量值, 但应注意相应的导

$$M = \frac{R_s}{X + X_m} \text{ —— 等间距平面排列的电缆}$$

$$N = \frac{R_s}{X - X_m / 3} \text{ —— 等间距平面排列的电缆}$$

沿段的电缆间距不等时按 2.3.4a) 计算 X 值。

### 2.3.6 金属套单点互连或交叉互连的单芯电缆

#### 2.3.6.1 涡流损耗

金属套单点互连或交叉互连的单芯电缆涡流损耗  $\lambda_1''$  由下式给出:

$$\lambda_1'' = \frac{R_s}{R} \left[ g_s \lambda_0 (1 + \Delta_1 + \Delta_2) + \frac{(\beta_1 \cdot t_s)^4}{12 \times 10^{12}} \right]$$

式中:  $g_s = 1 + \left(\frac{t_s}{D_s}\right)^{1.74} (\beta_1 \cdot D_s \cdot 10^{-3} - 1.6)$

$$\beta_1 = \left[ \frac{4 \pi \omega}{10^{-7} \rho_s} \right]^{1/2}$$

$\rho_s$  —— 工作温度下金属套材料的电阻率 (见表 1) ( $\Omega/m$ );

$D_s$  —— 电缆金属套外径 (mm);

注: 对于皱纹金属套电缆, 使用平均外径:  $\frac{\omega}{2} (D_{oc} + D_{it}) + t_s$

$t_s$  —— 金属套厚度 (mm);

$$\omega = 2 \pi f.$$

注: 对于铅护套电缆,  $g_s$  可取 1, 而  $\frac{(\beta_1 t_s)^4}{12 \times 10^{12}}$  可忽略;

对于铝套电缆, 当  $D_s > 70$  mm 或金属套厚度  $t_s$  大于常用厚度时, 这两项都需要计算。

$\lambda_0$ 、 $\Delta_1$  和  $\Delta_2$  计算式如下:

(其中:  $m = \frac{\omega}{R_s} \times 10^{-7}$  当  $m \leq 0.1$  时,  $\Delta_1$  和  $\Delta_2$  可忽略不计)

1) 三根单芯电缆呈三角形排列:

$$\lambda_{\sigma} = 3 \left( \frac{m^2}{1 + m^2} \right) \left( \frac{d}{2s} \right)^2$$

$$\Delta_1 = (1.14m^{2.45} + 0.33) \left( \frac{d}{2s} \right)^{(0.92m + 1.66)}$$

$$\Delta_2 = 0$$

2) 三根单芯电缆平面排列:

a) 中间电缆:

$$\lambda_{\sigma} = 6 \left( \frac{m^2}{1 + m^2} \right) \left( \frac{d}{2s} \right)^2$$

$$\Delta_1 = 0.86m^{3.08} \left( \frac{d}{2s} \right)^{(1.4m + 0.7)}$$

$$\Delta_2 = 0$$

b) 越前相的外侧电缆:

$$\lambda_{\sigma} = 1.5 \left( \frac{m^2}{1 + m^2} \right) \left( \frac{d}{2s} \right)^2$$

$$\Delta_1 = 4.7m^{0.7} \left( \frac{d}{2s} \right)^{(0.16m + 2)}$$

$$\Delta_2 = 21m^{3.3} \left( \frac{d}{2s} \right)^{(1.47m + 5.06)}$$

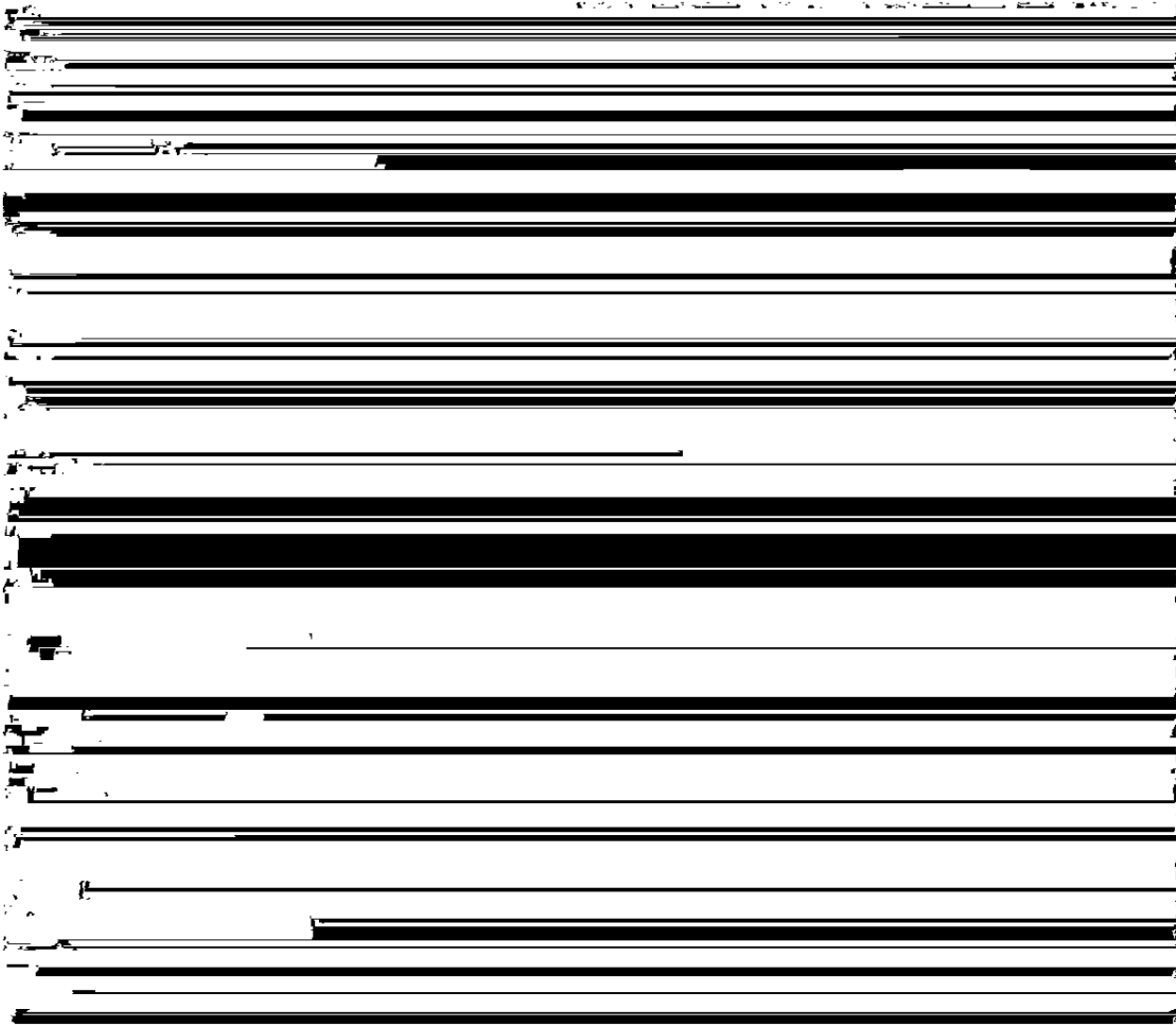
c) 滞后相的外侧电缆:

$$\lambda_{\theta} = 1.5 \left( \frac{m^2}{1+m^2} \right) \left( \frac{d}{2s} \right)^2$$

$$\Delta_1 = - \frac{0.74(m+2)m^{0.5}}{2+(m-0.3)^2} \left( \frac{d}{2s} \right)^{(m+1)}$$

$$\Delta_2 = 0.92m^{3.7} \left( \frac{d}{2s} \right)^{(m+2)}$$

2.3.6.2 环流损耗



损耗  $\lambda'_1 = 0$ 。

在交叉互连线路所含各段的不平衡不能忽略的情况下，产生剩余电压而导致线路段环流损耗，必须计及。

对于已知各小段实际长度的线路，损耗因数  $\lambda'_1$  计算按每大段两端互连接地而不交叉互连的情况下计算电缆在此排列条件下的环流损耗因数后再乘以下值：

$$n + a - 2$$

## 2.3.8 统包金属套非铠装三芯电缆

具有统包金属套非铠装三芯电缆，环流损耗 $\lambda'_1$ 忽略不计，损耗因数由下式给出：

——圆形或椭圆形导体，其中金属套电阻 $R_s \leq 100 \mu\Omega/m$ 时：

$$\lambda_1'' = \frac{3R_s}{R} \left[ \left( \frac{2c}{d} \right)^2 \frac{1}{1 + \left( \frac{R_s}{\omega} \times 10^7 \right)^2} + \left( \frac{2c}{d} \right)^4 \frac{1}{1 + 4 \cdot \left( \frac{R_s}{\omega} \times 10^7 \right)^2} \right]$$

——圆形或椭圆形导体，其中金属套电阻 $R_s > 100 \mu\Omega/m$ 时：

$$\lambda_1'' = \frac{3.2\omega^2}{R \cdot R_s} \left( \frac{2c}{d} \right)^2 \times 10^{-14}$$

——扇形导体， $R_s$ 为任值：

$$\lambda_1'' = \frac{0.94R_s}{R} \left[ \left( \frac{2r_1 + t}{d} \right)^2 \frac{1}{1 + (R_s \times 10^7 / \omega)^2} \right]$$

式中： $r_1$ ——三根扇形导体的外接圆半径 (mm)；

$t$ ——导体之间绝缘厚度 (mm)；

$d$ ——金属套平均直径 (mm)；

——椭圆形线芯 $d = \sqrt{d_M \cdot d_m}$ ，式中 $d_M$ 和 $d_m$ 分别为金属套的长轴和短轴平均直径；

——皱纹金属套： $d = \frac{1}{2} (D_{oc} + D_{it})$ 。

## 2.3.9 两芯和三芯钢带铠装电缆

钢带铠装使金属套涡流损耗增加，因此，如果电缆有钢带铠装则对 2.3.7 和 2.3.8 中所给出的 $\lambda''$

$$\left[ 1 + \left( \frac{d}{d_A} \right)^2 \frac{1}{1 + \frac{d_A}{\mu\delta}} \right]^2$$

式中： $d_A$ ——铠装平均直径 (mm)；

$\mu$ ——钢带相对导磁率 (通常取 300)；

$\delta$ ——铠装等效厚度 =  $\frac{A}{\pi d_A}$  (mm)

其中： $A$ 为铠装横截面积 (mm<sup>2</sup>)

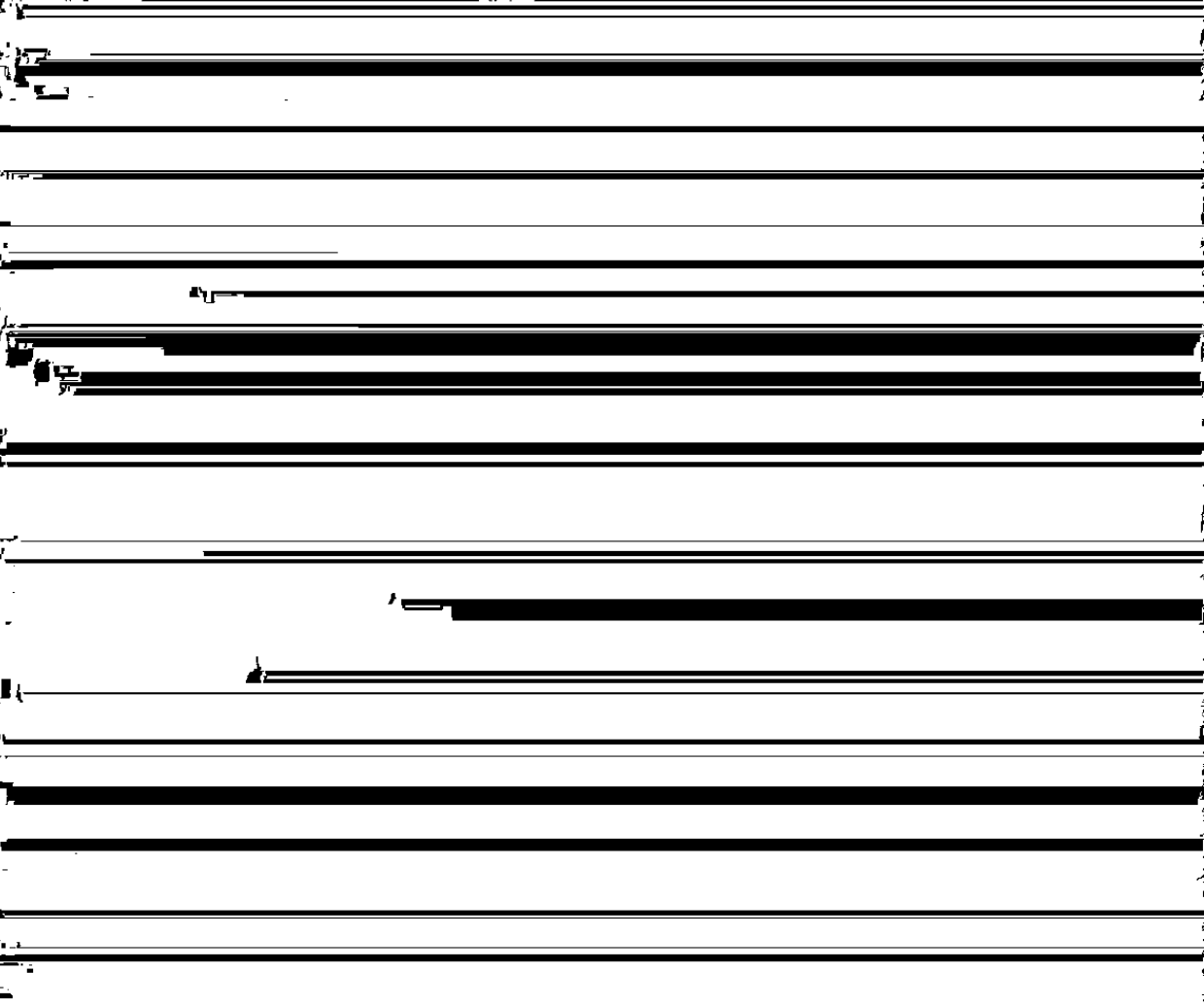
该修正仅适用于钢带厚度为 0.3~1.0 mm。

## 2.3.10 分相铅包 (SL 型) 铠装电缆

修正公式为:

$$\lambda'_1 = \frac{R_s}{R} \frac{1.7}{1 + \left(\frac{R_s}{X}\right)^2}$$

加上每个线芯有绝缘套和非磁性加强层，可用相同公式，将式(1)中的



直径  $d$  由  $d'$  值取代:

$$d' = \sqrt{\frac{d^2 + d_2^2}{2}}$$

式中:  $d'$  ——金属套和加强层平均直径 (mm);

$d$  ——屏蔽或金属套的平均直径 (mm);

$d_2$  ——加强层的平均直径 (mm)。

对椭圆形线芯,  $d$  和  $d_2$  采用  $\sqrt{d_M \cdot d_m}$  代之, 式中  $d_M$  和  $d_m$  分别为长轴和短轴的平均直径。

注: 见 2.4.2。

#### 2.4 铠装、加强层和钢管的损耗因数 (仅适用于工频交流电缆)

在本条计算公式中对于电缆的金属铠装、加强层或钢管中产生的功率损耗用所有导体功率损耗的

式中:  $R_s$ ——最高工作温度下电缆单位长度金属套电阻 ( $\Omega/\text{m}$ );

$R_A$ ——最高工作温度下电缆单位长度铠装交流电阻 ( $\Omega/\text{m}$ )。

钢丝铠装交流电阻变化范围从 2 mm 直径钢丝的直流电阻的 1.2 倍到 5 mm 直径钢丝直流电阻的 1.4 倍, 该电阻值对最后结果影响不大。

b) 每相回路各元件的电感计算如下:

$$H_s = 2 \times 10^{-7} \ln \left( \frac{2S_2}{d} \right) \quad (\text{H/m})$$

式中:  $H_s$ ——金属套的电感 (H/m)

$$H_1 = \pi \mu_e \left( \frac{n_1 d_f^2}{p d_A} \right) \times 10^{-7} \sin \beta \cos \gamma$$

$$H_2 = \pi \mu_e \left( \frac{n_1 d_f^2}{p d_A} \right) \times 10^{-7} \sin \beta \sin \gamma$$

$$H_3 = 0.4 (\mu_t - 1) \left( \frac{d_f}{d_A} \right) \times 10^{-6} \cos^2 \beta$$

式中:  $H_1$ 、 $H_2$ 和  $H_3$ ——钢丝的电感分量 (H/m);

$S_2$ ——三角形排列的相邻电缆轴线间距; 平面排列的三个间距的几何平均值 (mm);

$d_A$ ——铠装平均直径 (mm);

$d_f$ ——钢丝直径 (mm);

$p$ ——沿着电缆的钢丝节距 (mm);

$n_1$ ——钢丝根数;

$\beta$ ——铠装钢丝轴线与电缆轴线之间夹角;

$\gamma$ ——钢丝纵向磁通滞后与磁场强度的角度;

$\mu_e$ ——钢丝纵向相对导磁率;

$\mu_t$ ——钢丝横向相对导磁率。

对于  $\gamma$ 、 $\mu_e$  和  $\mu_t$  见 d) 项。

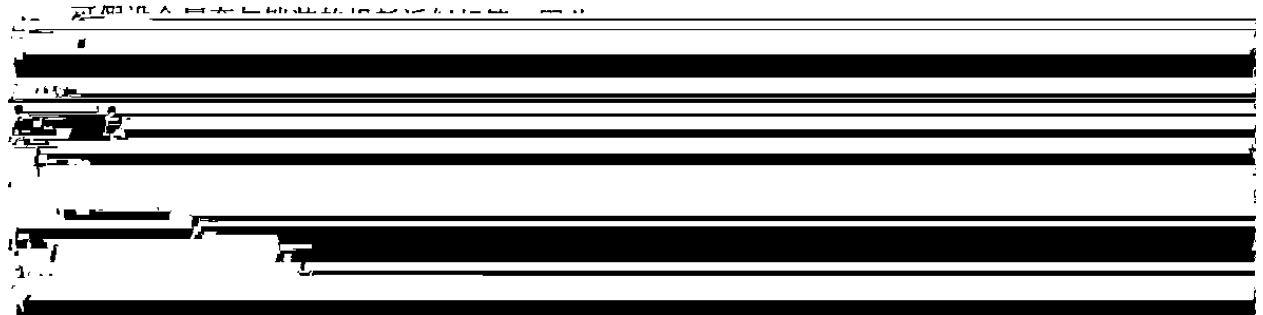
令:

$$B_1 = \omega (H_s + H_1 + H_3) \quad (\text{H/m})$$

$$B_2 = \omega H_2 \quad (\text{H/m})$$

c) 金属套和铠装总损耗  $W_{(S+A)}$  由下式给出:

$$W_{(S+A)} = I^2 R_e \cdot \frac{B_2^2 + B_1^2 + R_e B_2}{(R_e + B_2)^2 + B_1^2} \quad (\text{W/m})$$





$\mu_e=400$

$\mu_r=10$  钢丝相互接触

$\mu_r=1$  钢丝相互有间距

$\gamma=45^\circ$

如用更精确的计算且已知钢丝材料时 首先应知道磁化强度的近似值 以选取相应的磁性能

$$H = \frac{1000 \sqrt{I + I_s}}{\pi d_A} \quad (\text{安匝/米})$$

式中： $\bar{I}$  和  $\bar{I}_s$  为导体电流和金属套电流的矢量值。假定  $\sqrt{I + I_s} = 0.6I$  作为初选值通常可满足要求，如果证明该计算值有很大差异应重新计算。

#### 2.4.2.2 两芯电缆—钢丝铠装

$$\lambda = \frac{0.62 \omega^2 10^{-14}}{\dots} + \frac{3.82 A \omega 10^{-5}}{\dots} \sqrt{1.48 r_1 + t}^2$$

下述公式适合于钢带厚度 0.3~1.0 mm。

对于 50 Hz 时的磁滞损耗由下式给出：

$$\lambda_2' = \frac{s^2 K^2 10^{-7}}{R d_A \delta}$$

式中：s——各导体轴线之间距离 (mm)；

$\delta$ ——铠装等效厚度 =  $\frac{A}{\pi d_A}$  (mm)；

A——铠装横截面积 (mm<sup>2</sup>)；

$d_A$ ——铠装平均直径 (mm)；

K——系数由下式给出：

$$K = \frac{1}{1 + \frac{d_A}{\mu \delta}}$$

$\mu$ ——钢带相对导磁率，通常取 300。

对于非 50 Hz 的频率，上式求得的 K 值应乘以系数 (f/50)；

对于 50 Hz 频率时的涡流损耗由下式给出：

$$\lambda_2'' = \frac{2.25 S^2 K^2 \delta 10^{-8}}{R d_A}$$

对于非 50 Hz 的频率，上式应乘以系数 (f/50)<sup>2</sup>。

总铠装损耗为磁滞损耗和涡流损耗之和：

$$\lambda_2 = \lambda_2' + \lambda_2''$$

注：若有磁性钢带或加强层，金属套中涡流损耗就增加，参照 2.3.9 处理。

### 2.4.3 钢管损耗

由两个经验公式给出钢管损耗，其一适合于电缆线芯连接成紧靠三角形，另一个公式适合于电缆线芯松开（摇篮形状）置于钢管内底部情况。实际线芯放置可能近于两者之间。因此应对每种结构形状进行损耗计算，然后取其平均值。

注：这些公式是美国的经验而得，目前仅适用于该国的钢管类型和规格。

$$\lambda_2 = \left( \frac{0.0115 S - 0.001485 d_d}{R} \right) \times 10^{-5} \text{——适用于紧靠三角形连接形状}$$

$$\lambda_2 = \left( \frac{0.00438 S - 0.00226 d_d}{R} \right) \times 10^{-5} \text{——适用于摇篮形状}$$

式中：S——相邻导体轴线间距 (mm)；

$d_d$ ——钢管内径 (mm)；

R——最高工作温度下导体单位长度的交流电阻 ( $\Omega/m$ )。

所示公式适用于频率 60 Hz。对于 50 Hz 上述各公式应乘以 0.76。

对钢管电缆，在所有三个线芯成缆后再绕包扁钢丝铠装情况下，其损耗与钢管的存在无关。对于

这些电缆铠装损耗按 SL 型电缆计算（见 2.4.2.3.2，而钢管损耗忽略不计）。

表 1 所用金属电阻率和温度系数

材 料	电阻率 ( $\rho$ ) $\Omega \cdot m (20^\circ C)$	温度系数 ( $\alpha_{20}$ ) 1/K (20°C)
导体		
铜	$1.7241 \times 10^{-8}$	$3.93 \times 10^{-3}$
铝	$2.8264 \times 10^{-8}$	$4.03 \times 10^{-3}$
金属套和铠装		
铅和合金铅	$21.4 \times 10^{-8}$	$4.0 \times 10^{-3}$
铁	$12.8 \times 10^{-8}$	$4.5 \times 10^{-3}$

表 3 工频下中压和高压电缆绝缘材料相对介电系数和损耗因数

电 缆 类 型	$\epsilon$	$\tau g \delta''$
浸渍纸绝缘电缆		
粘性浸渍型、充分浸渍、预浸渍或整体浸渍		
不滴流	4	0.01
自容式充油 <sup>2)</sup>		
$U_0 \leq 36$ kV	3.6	0.0035
$U_0 \leq 87$ kV	3.6	0.0033
$U_0 \leq 160$ kV	3.5	0.0030
$U_0 \leq 220$ kV	3.5	0.0028
钢管、油压型 <sup>3)</sup>	3.7	0.0045
外部压气 <sup>4)</sup>	3.6	0.0040
内部压气 <sup>5)</sup>	3.4	0.0045
其它类型绝缘电缆 <sup>6)</sup>		
丁基橡胶	4	0.050
乙丙橡胶		
18/30 (36) kV 及以下电缆	3	0.020
大于 18/30 (36) kV 的电缆	3	0.005
聚氯乙烯	8	0.10
高密度和低密度聚乙烯	2.3	0.001
交联聚乙烯		
18/30 (36) kV 及以下电缆 (无填充料)	2.5	0.004
大于 18/30 (36) kV 电缆 (无填充料)	2.5	0.001
大于 18/30 (36) kV 电缆 (含填充料)	3.0	0.005

- 1) 最高允许温度下安全值, 适用于各种类型电缆通常所规定的最高电压。
- 2) 见 IEC 60141—1;
- 3) 见 IEC 60141—4;
- 4) 见 IEC 60141—3;
- 5) 见 IEC 60141—2;
- 6) 见 IEC 60502.

$U_0$  等于或大于下列值时, 应该计及介质损耗:

电 缆 类 型	$U_0^{1)}$ kV
浸渍纸绝缘电缆	
粘性浸渍	36
充油和压气	64
其它类型绝缘电缆	
丁基橡胶	18
乙丙橡胶	64
聚氯乙烯	6
(高密度、低密度) 聚乙烯	127
交联聚乙烯 (无填充料)	127
交联聚乙烯 (含填充料)	64

采用说明:

1)  $U_0$  值与 JB/T 8996 相一致.

表 4 日光照射下电缆表面吸收系数

材 料	$\sigma$
沥青/黄麻护层	0.8
氯丁橡胶	0.8
聚氯乙烯	0.6
聚乙烯	0.4
铅	0.6

中 华 人 民 共 和 国  
机 械 行 业 标 准  
电 缆 载 流 量 计 算  
第 1 部 分：载 流 量 公 式 (100% 负 荷 因 数)  
和 损 耗 计 算  
第 1 节：一 般 规 定  
JB/T 10181.1 - 2000

\*

机 械 科 学 研 究 院 出 版 发 行  
机 械 科 学 研 究 院 印 刷  
( 北 京 首 体 南 路 2 号 邮 编 100044 )

\*

开 本 880 × 1230 1/16 印 张 X/X 字 数 XXX,XXX  
19XX 年 XX 月 第 X 版 19XX 年 XX 月 第 X 印 刷  
印 数 1 - XXX 定 价 XXX.XX 元  
编 号 XX - XXX

机 械 工 业 标 准 服 务 网：http://www.JB.ac.cn