



DIANLI DIANLAN XIANLU SHEJI SHIGONG SHOUC

李国征 编

电力电缆线路 设计施工手册



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电力电缆线路 设计施工手册

李国征 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本手册归纳和整理了以往电力电缆线路设计施工中使用的的大量计算公式、数据、图表等, 主要内容包括: 电力电缆的电气常数计算, 电缆载流量计算, 介质损耗和受日照引起的温升, 金属护套的损耗, 电缆允许过载电流计算, 单芯电缆金属护套的感应电压计算, 电力电缆对通信电缆的感应电压, 充油电缆供油系统, 排管设计, 隧道、电缆沟敷设设计, 桥梁敷设设计, 垂直敷设, 水下敷设, 电缆结构和载流量, 电缆敷设, 电缆接头, 接地装置, 防腐蚀。

本手册资料全面、实用性强, 文字叙述简明扼要, 计算公式简单易用, 便于在日常工作中使用。

本手册可供电力电缆线路设计、施工人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力电缆线路设计施工手册/李国征编. —北京: 中国电力出版社, 2007. 9

ISBN 978-7-5083-5565-8

I. 电… II. 李… III. ①电力电缆-设计-技术手册②电力电缆-电缆敷设-技术手册 IV. TM247-62 TM757-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 080269 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京盛通印刷股份有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2007 年 9 月第一版 2007 年 9 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 8 印张 210 千字

印数 0001—3000 册 定价 20.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

PREFACE

随着环境和谐的现代化城市建设进展,要求把以往设在市区道路两边的架空输配电线路改为由电缆供电的呼声日益高涨。就供电可靠性而言,电杆容易遭受来往车辆碰撞而倒塌,导线受高空落物、雷击、鸟害等而引发的停电事故屡见不鲜,实属安全供电中的最薄弱环节。从城市景观角度看,茂盛的绿化是现代化城市的特征,但种植在道路两侧的行道树往往要受架空线的架设高度制约,因此城市绿化管理部门每年都要按供电部门要求进行修剪,来限制行道树的自然生长高度。

在资金和物资短缺、电缆本体及其附件难以满足输配电工程所需的年代,曾经提出过在市区的输配电线路用绝缘导线取代裸导线方案,这样做能减少由外界因素而引发的停电事故。但绝缘导线仍需架设在电杆上,城市景观没有获得改善、电杆遭受车辆碰撞倒杆而引发停电事故依然存在,因此使用绝缘导线的架空配电线路仅在城市中的非景观道路和居民区得到应用。

电缆输配电线路的建设比架空输配电线路造价高昂,特别是在管线密集、地下空间狭小的地区,要建筑排管或电缆隧道的路段首期工程投资更大。但也有其优点,即能为日后添增输配电线路、电网改造、电缆更新以及事故抢修等作业带来方便,不需重复开挖路面而影响道路交通、商店营业及居民生活。

另外,在只能选用电缆作输配电线路的特殊场所,例如跨越海峡向岛屿供电、跨过大江河与对岸联网,以及飞机起飞降落和轮船进出港湾的航道等区域,建设电缆输配电线路的任务日趋繁重。在上述形势下,为加快我国输配电线路建设,围绕着《城市电力电缆线路设计技术规定》(DL/T 5221—2005),编者归纳和整理了以往在电力电缆线路设计中所使用的计算公式和数据,并且参考国外有

关标准和文献等资料，汇编成本设计施工手册。

本设计施工手册侧重于资料全面性和实用性，省略了计算公式的理论推导，力求简明扼要，便于在日常工作中应用，可使每一工程都附有更详细、更完整的计算，方便日后施工和运行管理使用，还可帮助出资方在确保安全可靠的前提下，以最少投资达到最大的经济效益。

限于编者水平，书中错误和不足之处在所难免，热情欢迎读者批评指正。

编者

2007年8月

目 录

CONTENTS

前言

第 1 章 电力电缆的电气常数计算	1
1.1 导体的直流电阻计算	1
1.2 导体的交流电阻计算	2
1.3 电容量、电容电流、介质损耗计算	3
1.4 电缆线路的电感计算	4
1.5 电缆线路的阻抗计算	6
1.6 电缆线路的正序阻抗计算	6
1.7 电缆线路的零序阻抗计算	7
第 2 章 电缆载流量计算	9
2.1 基本计算式	9
2.2 各部位的热阻计算	14
2.3 总热阻的计算	19
第 3 章 介质损耗和受日照引起的温升	20
3.1 由介质损耗引起的温升计算	20
3.2 受日照引起的温升计算	20
第 4 章 金属护套的损耗	22
4.1 基本计算式	22
4.2 金属护套环流损耗与导体损耗之比	22
4.3 金属护套涡流损耗与导体损耗之比	25
4.4 金属护套、屏蔽层、粗钢线铠装的电阻	29
第 5 章 电缆允许过载电流计算	32
5.1 允许短时间过载电流的计算	32

5.2	允许周期性过载电流的计算	32
5.3	允许通过导体的短路电流的计算	34
第6章	单芯电缆金属护套的感应电压计算	36
6.1	基本概念	36
6.2	单芯电缆金属护套感应电压计算	37
第7章	电力电缆对通信电缆的感应电压	38
7.1	危险电压(短路电流对通信电缆的感应电压)	38
7.2	纵电压(正常运行时由负荷电流对通信电缆感应电压的矢量和)	39
7.3	杂音电压(正常运行时由高次谐波电流对通信电缆感应杂音电压的矢量和)	43
7.4	计算示例	45
第8章	充油电缆供油系统	50
8.1	供油系统需油量计算	50
8.2	压力箱	52
8.3	供油方式和静态油压超限报警信号的设定值	59
8.4	充油电缆线路的油压计算	61
8.5	油管路中的零部件	65
第9章	排管设计	68
9.1	排管管径的计算	68
9.2	排管管体允许折角和弯曲半径的计算	68
9.3	排管工井尺寸	69
9.4	伸缩弧的计算	70
9.5	排管工井最大间距的计算	74
9.6	牵引力和侧压力的计算示例	79
第10章	隧道、电缆沟敷设设计	84
10.1	简述	84
10.2	平移蛇行弧设计	84
10.3	垂下蛇行弧设计	88

第 11 章	桥梁敷设设计	90
11.1	在短跨距桥梁上敷设	90
11.2	在长跨距桥梁上敷设	90
第 12 章	垂直敷设	93
12.1	简述	93
12.2	直线敷设顶部一点固定方式	93
12.3	直线敷设多点固定方式的夹具间距计算	94
12.4	蛇行敷设方式的计算	94
第 13 章	水下敷设	98
13.1	敷设方法和适用场所	98
13.2	电缆张力计算	99
13.3	制动器所需的制动力计算	101
第 14 章	电缆结构和载流量	102
14.1	概述	102
14.2	交联电缆结构和载流量	104
14.3	充油电缆结构和载流量	123
14.4	钢管充油压力电缆结构	130
14.5	充气 (SF_6) 压力电缆结构	131
第 15 章	电缆敷设	136
15.1	概述	136
15.2	直埋敷设	136
15.3	排管敷设	144
15.4	隧道或电缆沟敷设	149
15.5	水下电缆敷设设计和施工	157
15.6	水下电缆的埋设和施工方法	164
第 16 章	电缆接头	168
16.1	交联电缆接头	168
16.2	充油电缆接头	188
16.3	出线端子和导体连接管	202

16.4	接头内绝缘设计	209
16.5	接头施工用的辅助材料	213
16.6	接头现场组装作业	216
16.7	充油电缆接头现场组装作业方法	219
16.8	交联电缆接头现场组装作业方法	222
第 17 章	接地装置	228
17.1	垂直埋入地下单根接地体的扩散电阻	228
17.2	水平埋入地下单根接地体的扩散电阻	228
17.3	水平埋入地下环形接地体的扩散电阻	229
17.4	用多根钢管或圆钢组成接地体的总扩散电阻	229
17.5	混合式接地装置的扩散电阻	230
17.6	土壤和水的电阻率	231
17.7	接地母线允许的最小截面计算	233
第 18 章	防腐蚀	234
18.1	简述	234
18.2	流电阳极法	236
18.3	排流法	239
附录 A	双曲线函数和自然指数函数表	241
附录 B	常用计量单位换算表	244

电力电缆的电气常数计算

1.1 导体的直流电阻计算

1.1.1 导体温度在 20℃ 时的直流电阻标准值

$$r_{d0} = \frac{\rho}{A} \cdot K_{01} \cdot K_{02} \cdot K_{03} \times 10^3 \quad (1-1)$$

1.1.2 导体温度在 20℃ 时的直流电阻最大值

$$r_{dmax} = r_{d0} \cdot K_{04} \quad (1-2)$$

1.1.3 导体温度在 t ℃ 时的直流电阻最大值

$$r_{dt} = r_{dmax} [1 + \alpha(t - 20)] \quad (1-3)$$

式 (1-1) ~ 式 (1-3) 中 r_{d0} ——导体温度在 20℃ 时的直流电阻标准值, Ω/km ;

ρ ——电阻系数, 铜导体取 0.017241,
铝导体取 0.028264;

A ——导体截面, mm^2 ;

K_{01} ——导体绞合率, 绞合股线数:

$N \leq 60$ 时取 1.02,

$N \geq 61$ 时取 1.03,

圆实芯导体 200 mm^2 以下取 1.02,

250 mm^2 以上取 1.03,

中空导体 4 层以下取 1.02,

5 层以上取 1.04;

K_{02} ——3 芯电缆绞合率, 一般橡胶、塑料、纸绝缘电缆取 1.02, 分割导体取 1.01;

K_{03} ——加工紧压成型硬化率, 取 1.01;

K_{04} ——导体最大电阻系数, 紧压导体取 1.01, 中空导体计算式为

$\left(\frac{d}{d-\sigma}\right)^2$, 其中 d 为股线公称直径, σ 为股线公差;

r_{dmax} ——导体在 20°C 时的直流电阻最大值, Ω/km ;

r_{dt} ——导体在 $t^{\circ}\text{C}$ 时的直流电阻最大值, Ω/km ;

α ——电阻温度系数, $1/^{\circ}\text{C}$, 铜导体取 0.00393, 铝导体取 0.00403;

t ——导体最高使用温度, $^{\circ}\text{C}$, 纸绝缘电缆为 70°C , 交联电缆为 90°C , 充油电缆为 85°C 。

1.2 导体的交流电阻计算

1.2.1 导体温度在 $t^{\circ}\text{C}$ 时的交流电阻最大值

$$r_{\text{at}} = r_{\text{dmax}} [1 + \alpha(t - 20)] K_{05} \quad (1-4)$$

$$K_{05} = 1 + \lambda_s + \lambda_p \quad (1-5)$$

式 (1-4) 和式 (1-5) 中 r_{at} ——导体温度在 $t^{\circ}\text{C}$ 时的交流电阻最大值, Ω/km ;

r_{dmax} ——导体温度在 20°C 时的直流电阻最大值, Ω/km ;

K_{05} ——交流电阻值与直流电阻值之比;

α ——电阻温度系数, $1/^{\circ}\text{C}$, 铜导体取 0.00393, 铝导体取 0.00403;

t ——导体最高使用温度, $^{\circ}\text{C}$, 纸绝缘电缆为 70°C , 交联电缆为 90°C , 充油电缆为 80°C ;

λ_s ——集肤效应因数;

λ_p ——邻近效应因数。

1.2.2 集肤效应因数

$$\lambda_s = \frac{x^4}{192 + 0.8x^4} \quad (1-6)$$

(1) 实芯圆导体时

$$x = \sqrt{\frac{8\pi f K_{s1}}{r_{\text{dt}} \times 10^9}} \quad (1-7)$$

(2) 中空导体时

$$x = \sqrt{\frac{8\pi f K_{s2}}{r_{dt} \times 10^9}} \quad (1-8)$$

$$K_{s2} = \frac{d_1 - d_0}{d_1 + d_0} \left(\frac{d_1 + 2d_0}{d_1 + d_0} \right)^2 \quad (1-9)$$

式 (1-6) ~ 式 (1-9) 中 λ_s ——集肤效应因数;

f ——工频, Hz;

K_{s1} ——实芯导体的集肤效应系数, 其中,
非分割导体取 1.00, 4 分割导体取
0.44, 6 分割导体取 0.39, 7 分割
导体取 0.37, 各股线被覆绝缘
取 0.2;

r_{dt} ——导体温在 $t^\circ\text{C}$ 时的直流电阻, Ω/km ;

K_{s2} ——中空导体的集肤效应系数;

d_1 ——导体外径, mm;

d_0 ——导体内径, mm。

1.2.3 邻近效应因数

$$\lambda_p = \frac{(0.89x)^4}{192 + 0.8(0.89x)^4} \left(\frac{d_1}{S} \right)^2 \times \left[0.312 \left(\frac{d_1}{S} \right)^2 + \frac{1.18}{\frac{(0.89x)^4}{192 + 0.8(0.89x)^4} + 0.27} \right] \quad (1-10)$$

式中 λ_p ——邻近效应因数;

x ——系数, 实芯导体按式 (1-7) 计算, 中空导体按式
(1-8) 和式 (1-9) 计算;

d_1 ——导体外径, mm;

S ——导体中心距, mm。

1.3 电容量、电容电流、介质损耗计算

1.3.1 电容量

(1) 单芯电缆

$$C = \frac{\epsilon}{18 \ln \frac{d_2}{d_1}} \quad (1-11)$$

(2) 多芯电缆

$$C = \frac{n\epsilon}{18G} \quad (1-12)$$

1.3.2 电容电流

$$I_C = 2\pi f C n \frac{U}{\sqrt{3}} \times 10^{-6} \quad (1-13)$$

1.3.3 介质损耗

$$W_d = 2\pi f C n \frac{U^2}{3} \tan\delta \times 10^{-5} \quad (1-14)$$

式 (1-11) ~ 式 (1-14) 中 C ——电容量, $\mu\text{F}/\text{km}$;

ϵ ——介质系数, 见表 1-1;

d_2 ——绝缘层外径, mm ;

d_1 ——导体外径, mm ;

n ——导体数;

G ——几何因数, 见图 1-1;

f ——工频, Hz ;

U ——线电压, kV ;

$\tan\delta$ ——介质损耗角正切值, 见表 1-1;

I_C ——电容电流, A/km ;

W_d ——介质损耗, W/cm 。

表 1-1 介质系数和介质损耗角正切值

分 类		ϵ	$\tan\delta$
纸绝缘电缆		3.7	0.01
充油电缆	普通纸绝缘	3.7	0.004
	低损耗纸绝缘	3.4	0.003
	纸塑复合绝缘	2.8	0.0008
交联绝缘电缆		2.3	0.001
丙烯橡胶绝缘电缆		4.0	0.03
硅橡胶绝缘电缆		4.0	0.03

1.4 电缆线路的电感计算

$$L = \left(2\ln \frac{2S}{d_1} + x_0 \right) \times 10^{-4} \quad (1-15)$$

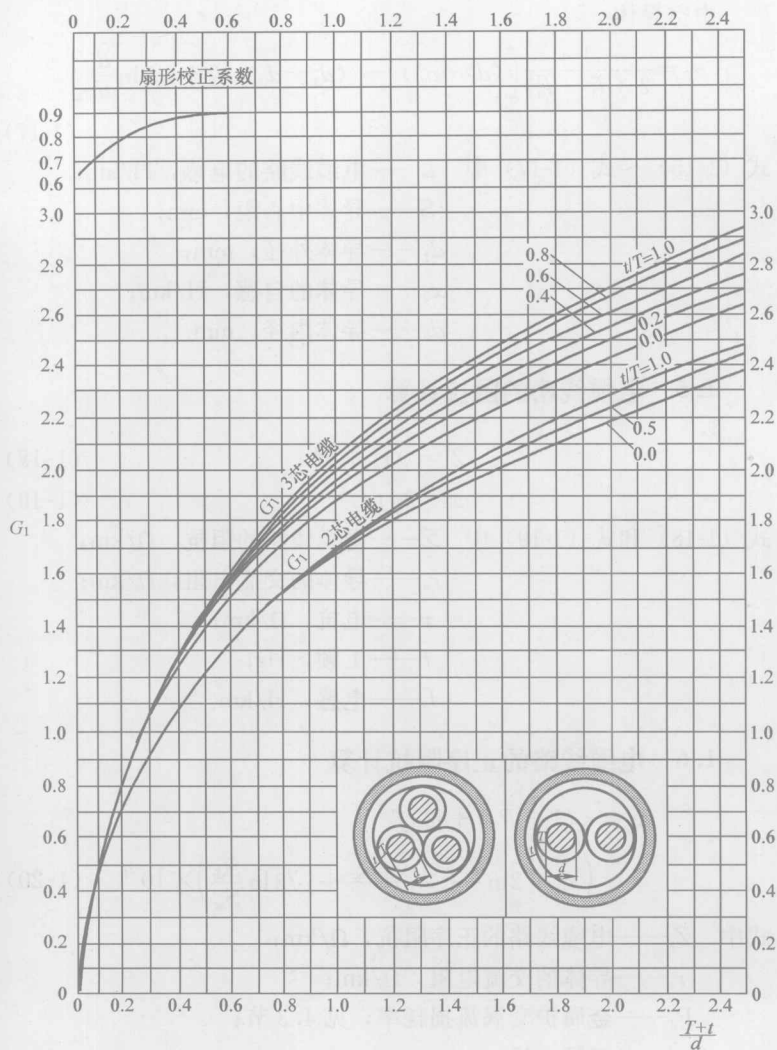


图 1-1 多芯电缆的几何因数

T —导体绝缘层厚； t —统绕绝缘带厚；

d —导体外径

实芯导体

$x_0=0.5$

(1-16)

中空导体

$$x_0 = \frac{1}{2(d_1^2 - d_0^2)} \left[(d_1^4 - d_0^4) - (d_1^2 - d_0^2) d_0^2 + 4d_0 \ln \frac{d_1}{d_0} \right] \quad (1-17)$$

式 (1-15) ~ 式 (1-17) 中 L ——电缆线路的电感, H/km;

S ——导体中心距, mm;

d_1 ——导体外径, mm;

x_0 ——导体的自感, H/km;

d_0 ——导体内径, mm。

1.5 电缆线路的阻抗计算

$$Z = \sqrt{r_a^2 + x^2} \quad (1-18)$$

$$x = 2\pi f L \quad (1-19)$$

式 (1-18) 和式 (1-19) 中 Z ——电缆线路的阻抗, Ω/km ;

r_a ——导体的交流电阻, Ω/km ;

x ——电抗, Ω/km ;

f ——工频, Hz;

L ——电感, H/km。

1.6 电缆线路的正序阻抗计算

$$Z_a = r_a(1 + P_2) + j2\pi f$$

$$\left(x_0 + 2\ln \frac{2\sqrt{S_{ab} \cdot S_{ac}}}{d_1} + j\sqrt{3} \ln \frac{S_{ab}}{S_{ac}} \right) \times 10^{-4} \quad (1-20)$$

式中 Z_a ——电缆线路的正序阻抗, Ω/km ;

r_a ——导体的交流电阻, Ω/km ;

P_2 ——金属护套涡流损耗率, 见 4.3 节;

f ——工频, Hz;

S_{ab} ——a 相与 b 相电缆中心距, mm;

S_{ac} ——a 相与 c 相电缆中心距, mm;

d_1 ——导体外径, mm;

x_0 ——导体的自感, H/km, 实芯导体按式 (1-16) 计算,

中空导体按式 (1-17) 计算。

1.7 电缆线路的零序阻抗计算

1.7.1 电缆金属护套单端接地时 (故障电流以大地为回路)

$$Z_{0e} = r_a + 3R_e + 3j4\pi f \ln \frac{H}{(GMR_c \cdot GMD^2)^{\frac{1}{3}}} \times 10^{-4} \quad (1-21)$$

$$GMR_c = \frac{d_1}{2} e^{\frac{x_0}{2}} \quad (1-22)$$

$$GMD = (S_{ab} \cdot S_{bc} \cdot S_{ca})^{\frac{1}{3}} \quad (1-23)$$

$$H = \frac{2.087 \times 10^4}{\sqrt{f\sigma}} \quad (1-24)$$

1.7.2 电缆金属护套两端接地时 (故障电流以金属护套和大地为回路)

$$Z_{0s} = Z_{0e} - \frac{Z_m^2}{3R_{es} + Z_s} \quad (1-25)$$

$$Z_s = 3R_{es} + Z_m \quad (1-26)$$

$$Z_m = 3j4\pi f \ln \frac{H}{r_{sm}} \times 10^{-4} \quad (1-27)$$

式 (1-21) ~ 式 (1-27) 中 Z_{0e} ——金属护套单端接地时的零序阻抗, Ω/km ;

r_a ——导体的交流电阻, Ω/km ;

R_e ——接地电阻, Ω ;

f ——工频, Hz ;

H ——电流流入大地深度, m ;

GMR_c ——导体股线的几何平均半径, mm ;

GMD ——3根单芯电缆的几何平均距离, mm ;

d_1 ——导体外径, mm ;

x_0 ——导体的自感, H/km ;

S_{ab} ——a相电缆与b相电缆的中心

距, mm;

S_{bc} ——b 相电缆与 c 相电缆的中心距, mm;

S_{ca} ——c 相电缆与 a 相电缆的中心距, mm;

σ ——大地导电率, ms/m;

Z_{0s} ——金属护套两端接地时的零序阻抗, Ω/km ;

Z_m ——导体与金属护套之间的互感, Ω/km ;

R_{es} ——金属护套的接地电阻, Ω ;

Z_s ——故障电流流过金属护套时的阻抗, Ω/km ;

r_{sm} ——金属护套平均半径, m。