

土壤直埋电缆群额定载流量的计算

梁永春^{1,2}, 孟凡凤¹, 王正刚³, 李忠魁³, 李彦明¹

(西安交通大学, 陕西 西安 710049; 河北科技大学, 河北 石家庄 050054; 3. 郑州电业局, 河南 郑州 450006)

Ampacity Calculation for Groups of Buried Cable

LIANG Yong-chun^{1,2}, MENG Fan-feng¹, WANG zheng-gang³, LI Zhong-kui³, LI Yan-ming¹

(Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050054, China; 3. Zhengzhou Electric Power Company, Zhengzhou 450006, China)

摘要: 当多根电缆埋地敷设时, 电缆之间热的相互影响使每根电缆的载流量不同程度的降低。每根电缆的载流量由 IEC 60287 给定公式计算, 其环境温度由土壤环境温度和其他电缆在该点的温升迭加所决定。其他电缆在该点的温升可以采用镜像法计算。这样, 每一根电缆额定载流量将由其他电缆决定, 用高斯-赛德尔迭代法对以额定载流量为变量的方程组进行求解, 计算了电缆群等负荷、不等负荷以及环境因素对载流量的影响。试验结果表明, 计算结果符合工程实际要求。

关键词: 电力电缆额定载流量; 镜像法; 高斯-赛德尔迭代法
中图分类号: TM154 文献标识码: A

Abstract: When several cables are buried in soil, there is thermal infection among cables. This effect makes the ampacity of every cable reduced. The ampacity of every cable can be calculated by the formula introduced by IEC 60287. The environment temperature in the formula is the sum of soil temperature and temperature rise caused by other cables. The temperature rise caused by other cables can be calculated by the method of mirror image. So, the ampacity of every cable will be decided by other cables. Gauss-Seidel iterative method is used to solve the equation group which is consisted of ampacity of different cables, and calculate the ampacity of equally load and unequally load and different environment condition. The test result shows that the calculating result conform to the request of project.

Key words: power cable ampacity; mirror image; Gauss-Seidel iterative

0 引言

电缆在输配电领域的应用越来越广泛, 其敷设方式有土壤直埋、排管、沟道和隧道等几种方式。在中低压配电领域, 土壤直埋方式仍然是大多数城市的主要敷设方式。由于环境条件的限制, 每一段区域通常由多根电缆相邻敷设, 即以电缆群的方式敷设。

由于不同回路给不同用户供电, 电缆的截面积往往不同, 即使电缆截面积相同, 电缆之间的热效应也使每根电缆的载流量不相同。因此, 如何有效地计算埋地电缆群的额定载流量具有实际意义。

电缆热效应具有可迭加性, 即每一根电缆的环境温度由土壤温度和其他电缆在该点产生的温升累加所得。而每一根电缆对某点的温升可以利用镜像法进行计算。由于每根电缆对环境温升的影响由载流量决定, 因此每根电缆的额定载流量计算与其他电缆载流量密切相关, 这就构成了一个以额定载流量为变量的方程组。笔者采用高斯-赛德尔迭代法计算电缆群每根电缆的额定载流量。

1 单根电缆额定载流量的计算

由 IEC 60287(或 JB/T 10181-2000)可知, 土壤直埋单根交流电缆的额定载流量的计算公式为^[1]:

$$I = \sqrt{\frac{-W_d 0.5T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4)}{RT_1 + nR(1 + \alpha_1)T_2 + nR(1 + \alpha_2)(T_3 + T_4)}}$$

式中: I 为一根导体中流过的电流, A 为导体相对于周围环境的温升, $^\circ C$; W_d 为导体绝缘单位长度的介质损耗, K/m ; R 为最高工作温度下导体单位长度的交流电阻, Ω/m ; T_1 为一根导体和金属套之间单位长度热阻, $K \cdot m/W$; T_2 为金属套和铠装之间内衬层单位长度热阻, $K \cdot m/W$; T_3 为电缆外护层单位长度热阻, $K \cdot m/W$; T_4 为电缆表面和周围介质之间单位长度热阻, $K \cdot m/W$; n 为电缆中载有负荷的导体数, 单芯电缆取 1, 三芯电缆取 3; α_1 为电缆金属套损耗相对于所有导体总损耗的比率; α_2 为电缆铠装损耗相对于所有导体总损耗的比率。

2 环境温升计算

当土壤中埋有多根电缆时, 每一根电缆将对周

收稿日期: 2005-10-12; 修回日期: 2005-11-21

基金项目: 河北省自然科学基金项目(F2005000422)。

作者简介: 梁永春(1971-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为电力设备温度场的试验和计算。

围其他电缆产生热的影响,降低电缆的载流量。由于热效应具有叠加性,因此,计算每一根电缆额定载流量时,可以把其它电缆的影响以环境温度的升高来考虑。每一根电缆对另一根电缆环境温度的影响可以根据镜像法进行计算^[2],见图 1。

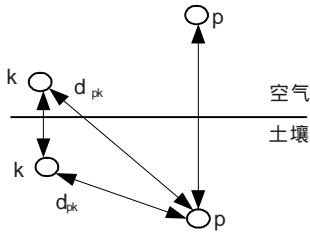


图 1 镜像法计算温升示意图

第 k 根电缆单位长度的散热量对第 p 根电缆所引起的环境温度升高为:

$$k_p = \frac{T}{2} W_k \ln \left(\frac{d_{pk}}{d_{pk}'} \right)$$

式中: T 为土壤热阻系数。 $W_k = I_k^2 R_k (1 + \alpha_k + \beta_k) + W_{dk}$

要确定第 p 根电缆的载流量时,由该组其它 (q-1) 根电缆的散热引起的第 p 根电缆的环境温度的升高为: $T_p = T_{p0} + T_{p1} + \dots + T_{pk} + T_{pq}$ 则,载流量计算公式中的 I_p 可由下式计算:

$$I_p = \left(\frac{T_p - T_0}{\sigma} \right)^{0.5}$$

式中: T_p 为电缆导体最高温度,交联聚乙烯电缆导体最高温度为 90 °C; T_0 为土壤环境温度,将 T_p 代入前述载流量计算公式即可计算电缆的载流量。

3 高斯-赛德尔迭代法求解方程组

由于 I_k 是由电缆的载流量决定的,因此,电缆群中每一根电缆的额定载流量计算与其他电缆的额定载流量密切相关。假设: $A = W_d [0.5T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4)]$; $B = RT_1 + nR(1 + \alpha_1)T_2$; $C = nR(1 + \alpha_1 + \alpha_2)(T_3 + T_4)$, 因此有以下方程组:

$$\begin{cases} I_1 = \left[\frac{(T_1 - A_1) / (B_1 + C_1)}{\sigma} \right]^{0.5} \\ I_2 = \left[\frac{(T_2 - A_2) / (B_2 + C_2)}{\sigma} \right]^{0.5} \\ \dots \\ I_k = \left[\frac{(T_k - A_k) / (B_k + C_k)}{\sigma} \right]^{0.5} \\ \dots \\ I_q = \left[\frac{(T_q - A_q) / (B_q + C_q)}{\sigma} \right]^{0.5} \end{cases}$$

式中: A_k, B_k, C_k, T_k, I_k 分别是第 k 根电缆的 A, B, C, $T, I, k=1, 2, \dots, q$ 。

上述方程组可由高斯-赛德尔迭代法进行求解,求解过程见图 2。这里电流初值由单根电缆载流量计算公式计算,不考虑其他电缆的影响,迭代误差设定为 1 A。

4 计算实例

以 YJV22 型 6/10 kV 三芯交联聚乙烯电缆为例,计算了等截面等负荷、等截面不等负荷、不等截

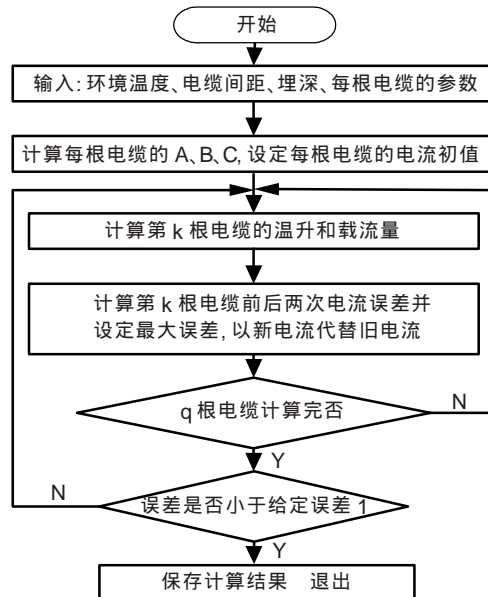


图 2 高斯-赛德尔迭代法求解流程图

面不等负荷以及载流量与埋深、环境温度、电缆间距和土壤热阻系数的关系。

(1) 以 120 mm² YJV22 型 6/10 kV 三芯交联聚乙烯电缆为例,计算了 1~6 根平行排列,电缆净间距为 300 mm,且负荷不相等时,每根电缆的载流量。

敷设条件为:土壤热阻系数为 1.0 °C·m/W,土壤环境温度为 25 °C,土壤埋深为 0.7 m。120 mm² YJV22 型 6/10 kV 三芯交联聚乙烯电缆的结构参数见表 1,载流量计算结果见表 2。载流量计算公式中的各项参数计算过程可参考文[3]。

表 1 电缆结构参数表

电缆结构	参数	电缆结构	参数
导体直流电阻 / (Ω·m)	0.153	金属套厚度 /mm	0.15
导体直径 /mm	13.0	内护层厚度 /mm	1.00
内屏蔽层厚度 /mm	0.60	铠装层厚度 /mm	11.00
绝缘层厚度 /mm	3.40	外护层厚度 /mm	3.50
外屏蔽层厚度 /mm	0.70		

表 2 不等负荷电缆载流量

并列根数	每根电缆的电流值 /A
1	345
2	306; 206
3	294; 270; 293
4	287; 257; 257; 287
5	283; 251; 244; 251; 283
6	281; 248; 238; 238; 248; 281

(2) 以 120 mm² YJV22 型 6/10 kV 三芯交联聚乙烯电缆为例,分别计算 1~6 根平行排列,电缆间距分别为 50, 100, 150 mm,且负荷相等时的电缆载流量。敷设条件与计算一相同,计算结果见图 3。电流间距为 200 mm 时,计算结果和试验结果多根并

列折算系数对比见表 3。

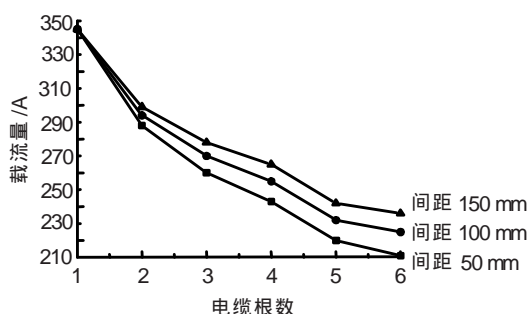


图 3 等负荷电缆载流量与间距的关系

表 3 计算结果和试验结果多根并列折算系数对比表

并列数	计算值	试验值	并列数	计算值	试验值
1	1.00	1.00	4	0.75	0.75
2	0.87	0.87	5	0.71	0.72
3	0.79	0.79	6	0.69	0.69

(3) 计算了 120 ~ 400 mm² 共 6 根 YJV22 型 6/10kV 三芯交联聚乙烯电缆平行排列, 电缆间距分别为 200, 250, 300 mm 时, 每根电缆的载流量。敷设条件与计算一相同, 计算结果见图 4。

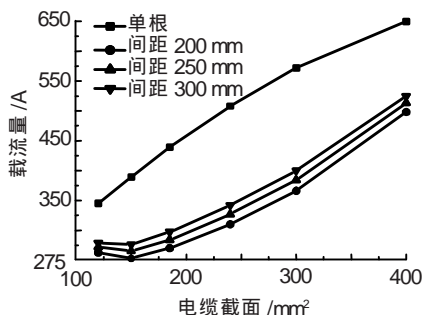


图 4 不同截面电缆载流量与电缆间距的关系

(4) 以 120 mm² YJV22 型 6/10 kV 三芯交联聚乙烯电缆为例, 分别计算 1~6 根平行排列, 电缆间距分别为 50 mm, 且负荷相等时, 电缆载流量与土壤环境温度的关系。土壤热阻系数为 1.0 ·m/W, 土壤埋深为 0.7 m, 计算结果见图 5。

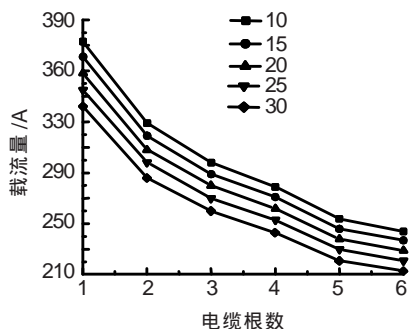


图 5 等负荷电缆载流量与环境温度的关系

(5) 以 120 mm² YJV22 型 6/10 kV 三芯交联聚乙烯电缆为例, 分别计算 1~6 根平行排列, 电缆间

距分别为 50 mm, 且负荷相等时, 电缆载流量与土壤热阻系数的关系。土壤环境温度为 25 °C, 土壤埋深为 0.7 m, 计算结果见图 6。

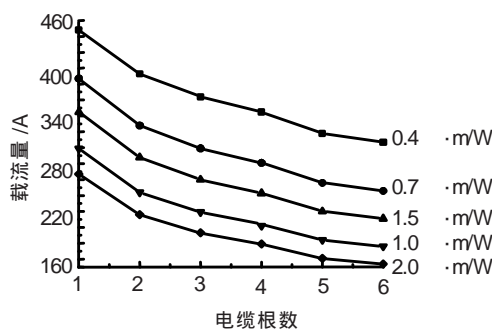


图 6 等负荷电缆载流量与土壤热阻系数的关系

(6) 以 120 mm² YJV22 型 6/10 kV 三芯交联聚乙烯电缆为例, 分别计算 1~6 根平行排列, 电缆间距分别为 50 mm, 且负荷相等时, 电缆载流量与电缆埋深的关系。土壤热阻系数为 1.0 ·m/W, 土壤环境温度为 25 °C, 计算结果见图 7。

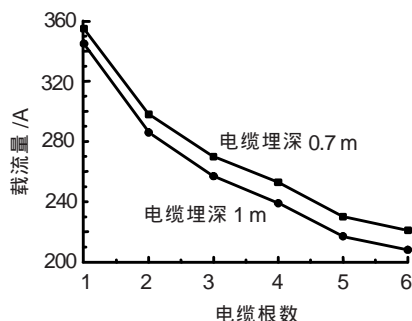


图 7 等负荷电缆载流量与电缆埋深的关系

5 结语

利用镜像法和高斯-赛德尔迭代法计算电缆群的载流量, 解决了电力工程中常见的土壤直埋电缆群在不同排列方式下、不同使用方式下以及实时调度时确定电缆载流量的问题。计算表明, 电流载流量随着电缆并列根数的增多而下降, 随着电缆间距的增大而升高, 随着环境温度的升高而下降, 随着热阻系数的增大而下降, 随着埋深的增大而下降, 即电缆载流量与热效应和散热条件密切相关。试验结果表明, 该计算方法的计算结果真实地反应了电缆的额定载流量, 该方法是有效、可行的。

参考文献:

- [1] IEC 1994-12. International Electrotechnical Commission. Calculation of the Continuous Current Rating of Cables (100% Load Factor) [S].
- [2] George J. Anders. Rating of Electric Power Cables, Ampacity Computations for Transmission, Distribution, and Industrial Applications [M]. IEEE PRESS, 1997.
- [3] 马国栋. 电线电缆载流量 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.