

[电线电缆]

基于CYMCAP软件的电力排管载流量分析

文/中国电建集团福建省电力勘测设计院有限公司 蒋文龙
福州大学电气工程与自动化学院 温步瀛

以ZC-YJLW03-Z-64/110 kV电缆为例建立排管模型，并利用CYMCAP软件进行载流量仿真计算，主要分析了在不改变环境温度、土壤热阻系数和外部热源等外界环境因素的情况下，改变电缆敷设方式以提高电缆载流量的方法，为优化工程中电缆载流量提供了重要的理论依据。

电力电缆在运行过程中，由于导体流过电流引起绝缘层、金属屏蔽层和外护套损耗发热，使电缆整体工作温度升高，导致绝缘材料加速老化，缩短电缆寿命。通过计算电缆运行时的电流大小，分析电缆运行时的工作温度是电缆输电线路需要考虑的首要问题，特别是随着城市电力缆化工程的推进，电缆敷设的密集程度也越来越高，运行的环境变得愈加复杂。目前，国内外对电缆载流量的计算主要有两种方法：一种是基于电缆的等值热路（即IEC-60287标准《电缆载流量计算》）分析法，也是目前应用最广泛的一种方法；另一种是数值计算法，即用温度场方法分析电缆周围温度分布情况。本文运用基于上述第一种分析法的加拿大CYMCAP电缆载流量计算软件分析埋地电缆组的排列方式对载流量的影响。

算法选择

1. IEC-60287标准法

国际上公认的电缆额定载流量计算方法采用的是IEC-60287系列标准，其基于稳态温度场理论，并作如下假设：大地表面为等温面；电缆表面为等温面；叠加原理适用。IEC-60287标准采用热网络分析法，将电缆视为以其几何中心为圆心的分层结构，用集中参数代替分布参数，把电

流作用于电缆的热平衡视为一维形式的热流场，借助和欧姆定律、基尔霍夫定律相似的等值热路法则，进行简明的解析求解。该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。

为了准确计算电缆在特定环境下的载流量，应根据实际工程中存在的各种电缆敷设情况，选取相应参数值，在上述计算原理的基础上进行拓展应用。

2. 数值计算方法

数值计算的方法是在给定电缆敷设、排列条件和负荷条件下对整个温度场域进行分析。有限元法、边界元法、有限差分法和有限容积法等，是目前电缆温度场的主要数值计算方法。其中有限元法适合处理复杂的边界条件，已经较多地用于计算地下直埋电缆组稳、暂态温度场、桥架电缆组温度场和排管电缆组温度场；边界元法在无穷远处截断区域作为边界，在处理一个具有多层土壤的实际电缆沟问题或具有多根电缆敷设的问题时，边界元法计算变得更加复杂；有限差分法很难表示复杂的边界条件，不易处理复杂问题；有限容积法适于流体计算，可以应用于不规则网格，但是准确度基本上只能是二阶。

3. IEC-60287标准法与数值计算方法的比较

基于IEC标准的解析计算，其优点是可以用

简单的公式近似计算电缆的载流量，满足工程要求。如在载流量计算中，公式中土壤的热传导率和热容设为常数，并假设大地表面为等温面，导体的电阻率为常数。

在实际应用中，解析算法的应用要比数值算法普遍。主要有以下三个原因：①在IEC-60287标准的基础上，进行电缆载流量解析计算已沿用已久；②IEC-60287解析算法的准确度可满足工程的需要；③数值算法对于多个回路以集群方式敷设的系统如四回路电缆敷设，对于回路间的电磁感应对电缆导体邻近效应和损耗的影响以及空气自然对流、热辐射和热传导等三种导热方式的耦合，计算更精确，但计算烦琐。考虑以上因素，本工程采用基于IEC-60287标准的解析算法。

计算软件的选择

目前电缆载流量计算软件主要有CYMCAP软件和ANSYS通用有限元软件，除此之外，有文献提出采用ATP-EMTP软件模拟。综合考虑工程的实用性和国内现行标准，本文运用基于IEC-60287中相关理论编程，国际上认可度很高的CYMCAP软件进行埋地电缆组载流量分析计算。

基于Windows的CYMCAP是一个功能强大，使用方便的电缆载流量仿真和热场分析程序。用于在复杂的敷设环境下，准确计算稳态和暂态载流量，模拟电缆的热性能，从而对电缆的选型和敷设通道设计提供实际仿真依据。该软件是基于Neher-McGrath和IEC-287方法的迭代技术；支持所有相关的IEC标准：IEC-60287、IEC-60228和IEC-60853等。

目前该软件是行业中著名的专业软件，认可度高，全球有差不多400家的用户，处于行业软件市场的龙头地位。其准确性在国内和国际实际工程中已经被广泛验证。

该软件主要依据的标准有：

1) IEC-60287（国内JB/T10181《电缆载流量计算》等同采用），IEC-60287采用等效热路分析法，其等效热路模型如图1所示。

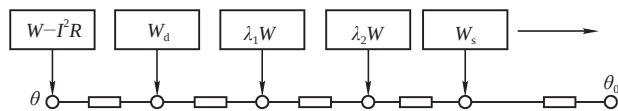


图1 感应加热整体模型

2) IEC-60228《电缆的导体》（国内GB/T 3956《电缆的导体》等同采用）。

3) IEC-60853《电缆周期性和紧急性载流量的计算》（国内JB/T10181《电缆载流量计算》引用）。

该软件计算电力电缆的载流量所依据上述标准，与国内现行标准无冲突。

电缆模型建立

1. 电缆模型

本文根据特变电工有限公司提供的电缆参数建立电缆计算模型。电缆型号为ZC-YJLW03-Z-64/110 kV 1×630 mm²

电缆形式为：单芯电缆。

电缆绝缘形式为：挤包式交联聚乙烯绝缘。

根据参数依次输入如下参数：

导体标称直径（Conductor）：29.9 mm。

内屏蔽层（Conductor Shield）：厚度为1.2 mm、外径为32.3 mm。

交联聚乙烯绝缘层（Insulation）：厚度为16.5 mm、外径为65.3 mm。

外屏蔽层（Insu.screen）：厚度为1.0 mm、外径为67.3 mm。

皱纹铝金属护套（Corrugated sheath）：厚度为9.35 mm、外径为86 mm。

外护套（Jacket）：厚度为4.5 mm，外径为95 mm；

电缆外径：95 mm。

2. 电力排管

电力排管，又称埋地电缆组（下文简称排管）。电力排管的突出特点是强度高、摩擦阻力小。一般结合道路建设或市政管线建设，同步建设电力排管。其占地较电缆沟小，敷设灵活，在实际电缆输电工程中应用广泛。

本文根据国家电网公司输变电工程典型设计（2006版）电缆敷设分册中B-2-6电力排管模块，添加4×φ175的光缆通道后，建立电力排管模型。如图2、图3所示。

排管参数如下：排管最左及最右侧的孔洞离结构边界的距离为：250 mm；排管最上层孔洞离上边界的距离为：300 mm；排管最下层孔洞离下边界的距离为：220 mm；电缆孔洞间横向距离为：250 mm；电缆孔洞间纵向距离为：370 mm；排管混凝土结构纵断面：横向长度为1 250 mm、

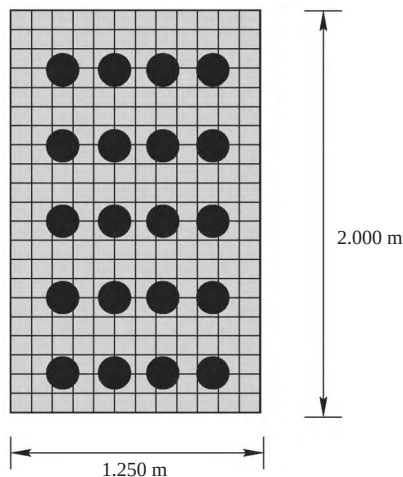


图2 CYMCAP的电缆排管模型示意图

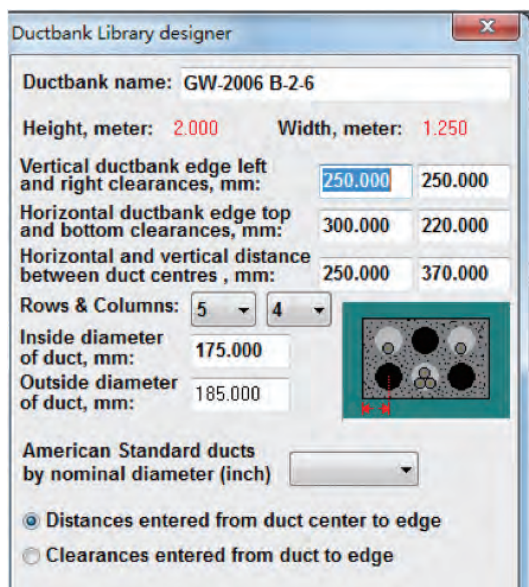


图3 电缆排管结构参数设置

纵向长度为2 000 mm。

计算过程

1. 敷设环境

本文电缆的环境条件如下：运行系统：三相交流系统；系统电压等级：64/110 kV；电缆芯数：单芯；回路数：四回；金属护层接地方式：单点直接接地；敷设方式：排管敷设。

敷设条件如下：排管孔相间距取250 mm；土壤环境温度取28℃；土壤热阻系数取1.2 k.m/w；排管结构顶部埋深取0.7 m。

2. 载流量计算分析

(1) 电缆集中敷设

电缆集中敷设于左上侧（同右上侧）、左下侧

（同右下侧）、上侧和下侧，如图4、图5所示。

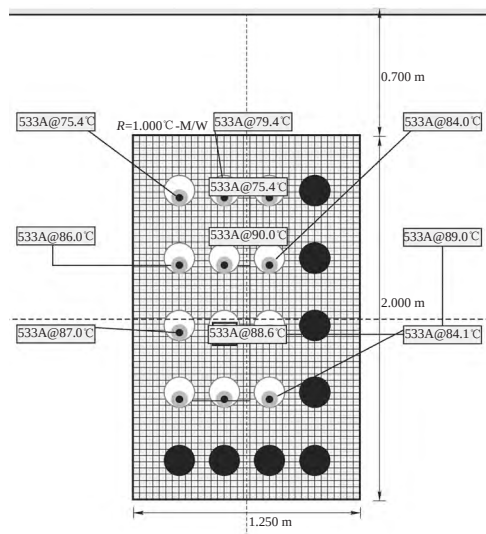


图4 电缆敷设于左上侧

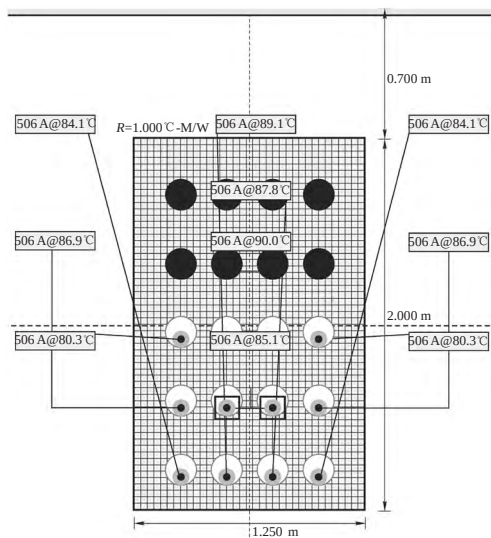


图5 电缆敷设于下侧

电缆载流量计算结果如表1所示。

表1 电缆载流量计算结果

敷设位置	平均埋深/mm	载流量/I/A	输送容量/S/MV·A
左上侧	1 555	533	101.5
左下侧	1 925	515	98.1
上侧	1 370	545	103.8
下侧	2 110	506	96.4

通过以上计算分析可知，电缆敷设于上侧（左上侧）普遍比电缆集中敷设于下侧（左下侧）的载流量高；同时，对比上侧和左上侧的电缆平均埋深（忽略电缆在排管孔中的沉降），上侧敷设方式平均埋深为1.25 m；左上侧敷设方式平

均埋深为1.375 m,可知埋深越浅,电缆载流量越高,且随着电缆平均埋设深度增大,电缆载流量下降速度的速度会逐渐变缓。随着电缆平均埋深的增加,不同敷设方式的载流量从大到小变化趋势如图6所示。

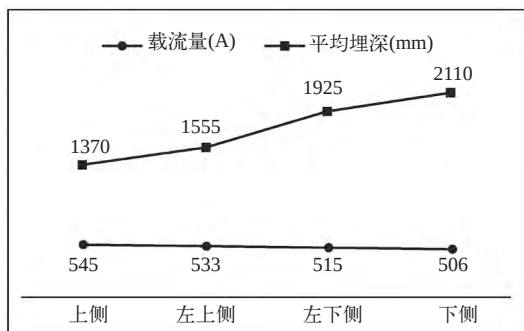


图6 载流量随平均埋深变化的趋势

(2) 电缆分散敷设

本节选取上述敷设方式中散热效果最好的上侧敷设进行优化,将电缆分散敷设,分析载流量变化,同时,以前一次计算的最优值为基础进行下一次优化,如图7、图8所示。

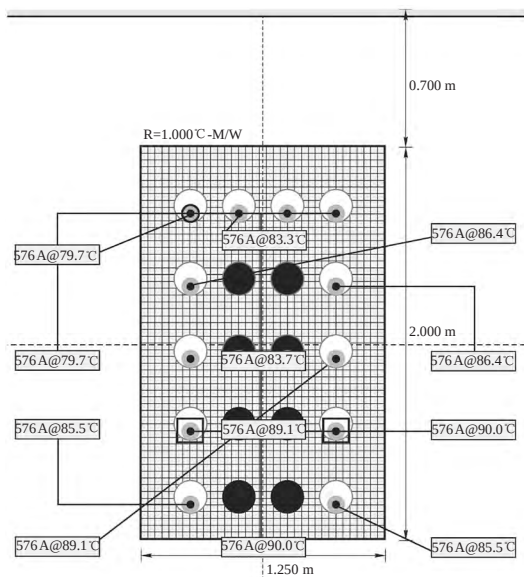


图7 分散I型

优化后电缆载流量与优化前载流量计算结果如表2所示。

表2 敷设方式优化前后对比

敷设位置	平均埋深/mm	载流量 I/A	输送容量 S/MV·A
上侧布置	1 370	545	103.8
分散I型	1 616.67	576	109.7
分散II型	1 616.67	577	109.9
下侧	2 110	506	96.4

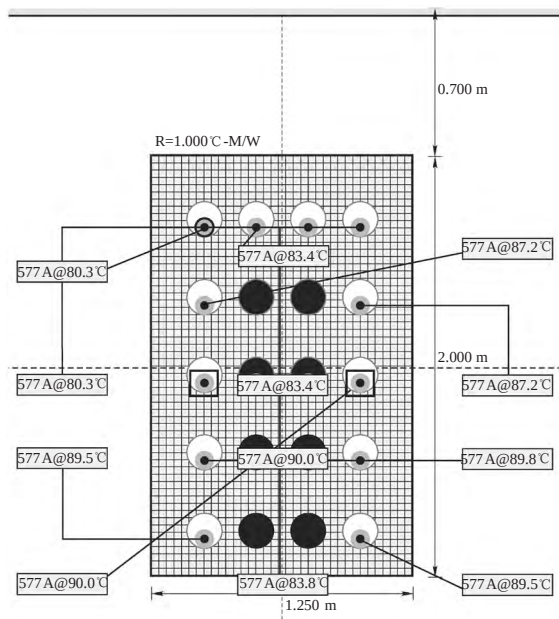


图8 分散II型

通过以上优化分析可知,分散敷设后,电缆的载流量有了较大提升,可见分散布置较集中布置有更高的经济性;分散I型和分散II型的平均埋深相同,但是最下层的电缆布置方式不同,分散II型拉开了最下层电缆与上层电缆的间距,使电缆的载流量进一步提升。综合以上数据可知,四回路电缆组敷设于5×4的排管内,最优散热模型为分散II型。

结束语

本文参考IEC-60287国际电缆载流量计算方法中埋地电缆组计算法则,运用CYMCAP软件进行埋地电缆组载流量计算分析,可得出具体结论如下:

1) 对于本体结构一定的电缆,在不改变环境温度、埋设深度、相间间距、排管材质及土壤热阻系数的情况下,改变电缆敷设的位置可以提高排管的散热效果,提高电缆的载流量。

2) 电缆埋深越浅,载流量越大,且随着电缆平均埋设深度增大,电缆载流量下降速度的速度会逐渐变缓。

3) 上下层间提高电缆间距可以改善排管结构的散热效果,进一步提高电缆的载流量。

4) 当电缆平均埋深无法满足载流量要求时,可以考虑使用分散布置方式提高电缆的载流量。EA

(收稿日期: 2019.11.03)

(编辑: 朱金凤)