

# 团 体 标 准

T/GDWCA 0137—2026  
T/SZWCA 0055—2026

## 基于动态热参数的高压电缆载流量与应急 负荷时间核算导则

Guidelines for Calculating High-Voltage Cable Current Carrying Capacity and  
Emergency Load Duration Based on Dynamic Thermal Parameters

2026-01-12 发布

2026-01-12 实施

广东省电线电缆行业协会  
深圳市电线电缆行业协会

发布



## 目次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 基于动态热参数的电缆载流量及应急负荷时间计算 .....	1
5 损耗计算 .....	4
6 电缆等效参数的确定 .....	5
附录 A (规范性) 电缆温度数据测量要求 .....	7
附录 B (资料性) 电缆等效参数的计算方法推导 .....	9

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由广东省电线电缆行业协会、深圳市电线电缆行业协会提出并归口。

本文件起草单位：华南理工大学、南方电网科学研究院有限责任公司、广东电网有限责任公司电力科学研究院、广东电网有限责任公司广州供电局、广东电网有限责任公司潮州供电局、广东电网有限责任公司、广东电网有限责任公司汕尾供电局、深圳供电局有限公司、国网山西省电力公司电力科学研究院、国网上海市电力公司电力科学研究院、广东电网有限责任公司电网规划研究中心、中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司、深圳供电规划设计院有限公司、佛山电力设计院有限公司、南方电网新能设计研究院（广东）有限公司、中国能源建设集团浙江省电力设计院有限公司、珠海电力设计院有限公司、国网新疆电力有限公司乌鲁木齐供电公司、内蒙古电力(集团)有限责任公司内蒙古电力科学研究院分公司、内蒙古电力(集团)有限责任公司巴彦淖尔供电分公司、广东省水利电力勘测设计研究院有限公司、广州电力设计院有限公司、华润电力投资有限公司、广东新亚光电电缆股份有限公司、广东电网有限责任公司中山供电局、广东技术师范大学、广州大学、长沙理工大学、广州南洋电缆集团有限公司、福建中闽海上风电有限公司、广东金源宇电线电缆有限公司、广东宏展电线电缆有限公司、广东珠江电线电缆有限公司、南方一线（广东）科技有限公司、广州澳通电线电缆有限公司、广州市明兴电缆有限公司、广东银豪科创有限公司、广东帝尔科技有限公司。

本文件主要起草人：刘刚、王鹏宇、郭德明、郝艳捧、唐文虎、惠宝军、余欣、王锐、张瀚、邱灿树、李红发、胡冉、唐兴佳、李彦雄、王乾、于是乎、盘思伟、钱艺华、赵一帆、何泽斌、李文祥、徐研、徐涛、赵建利、曹春博、邓红雷、许雄文、阳林、杨玲、刘肇熙、张禄亮、余尚豫、谢月、周文青、彭向阳、唐念、张丽、魏俊涛、黄嘉盛、韩卓展、尹酃洋、连捷辉、李瀚儒、来立永、郭耀栋、刘昭、单鲁平、李濛、丁瑞蓉、陈诚、卢煜、成祥茂、李端姣、汪皓、李牧轩、李彦明、张峰、孙文星、王流火、刘振国、刘德亮、郑欢、姚淼森、黄科文、王伟、孟晓凯、司文荣、朱文卫、王彦峰、梁爱武、陆莹、郑明、徐伟、李浩然、柏荷、殷音、陈学辉、余崇高、卢小兰、何丰怡、苏晓明、李瑞华、冯杰、陈雄波、黄帅、黄堃、乐军耀、王宁、吕桂强、曹辰、崔玉踊、绳飞、刘玉龙、周书强、石良、李宪章、赵雅文、吴炜、李广顺、李春雨、石蕾、胡波、何云平、陈志辉、钟金华、柳晶晶、杨鑫、王志辉、戴锦山、邱爱婷、张德辉、吴毅江、王荣鹏、程浪、程绍兵、董志聪、林奕利、陈成、赵明、曾昭龙、杨南彦、牛珂憬、俞彬、郭冬亮、马飞、谢甫武。

本文件为首次发布。

# 基于动态热参数的高压电缆载流量与应急负荷时间核算导则

## 1 范围

本文件规定了通过实测高压电缆各层结构的温度对电缆动态热参数进行反演的方法，以及利用实测动态热参数进行载流量和应急负荷校核的方法。

本文件适用于额定电压110(66)kV等级及以上单芯交联聚乙烯绝缘的交流电力电缆。本文件不适用于电缆附件导体温度的计算。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JB/T 10181.11 电缆载流量计算 第11部分：载流量公式和损耗计算 一般规定

JB/T 10181.21 第21部分：热阻 热阻的计算

T/CEC 443 单芯交联聚乙烯电缆导体温度计算方法

## 3 术语和定义

### 3.1

**动态热参数** Dynamic Thermal Parameters

在电缆的生产工艺、电压等级、规格类型、运行年限以及运行工况等多个因素的综合影响下，动态变化的电缆导体交流电阻、绝缘层、缓冲层、外护套的热参数。

### 3.2

**电缆载流量** Cable Current Carrying Capacity

电缆线路在热平衡条件下，当电缆导体达到长期允许工作温度时的载流量，也称为电缆长期允许载流量。

### 3.3

**应急负荷时间** Emergency Load Duration

在电缆线路通过短时负荷情况下，不超过电缆最高允许运行温度（如90℃）情况所需的时间。

### 3.4

**绝缘介质损耗** Dielectric Loss

在电场的作用下，绝缘材料由于介质电导和介质极化的滞后效应引起的能量损耗，即电缆主绝缘材料产生的损耗。

## 4 基于动态热参数的电缆载流量及应急负荷时间计算方法

## 4.1 单芯电缆的等值热路模型

典型的单芯电缆等值热路模型如图1所示：

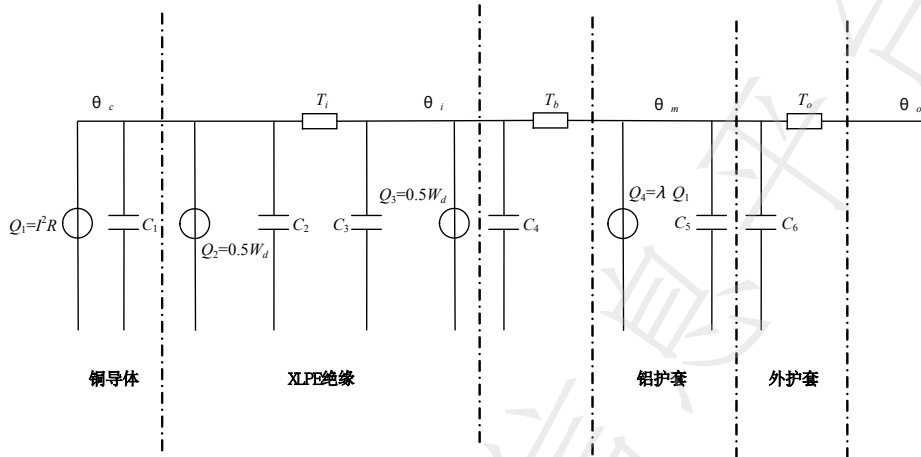


图 1 典型的单芯电缆等值热路模型

标引序号说明：

Q1——电缆导体损耗，W

Q2、Q3——绝缘介质损耗，W

Q4——铝护套损耗，W

Wd——绝缘介质损耗总值，W

Ti——绝缘稳态热阻，K/W

Tb——缓冲层稳态热阻，K/W

To——外护套稳态热阻，K/W

C1——导体热容，J/K

C2、C3——绝缘热容，J/K

C4——缓冲层热容，J/K

C5——铝护套热容，J/K

C6——外护套热容，J/K

$\theta_c$ ——导体温度， $^{\circ}\text{C}$

$\theta_i$ ——绝缘外屏蔽温度， $^{\circ}\text{C}$

$\theta_m$ ——铝护套温度， $^{\circ}\text{C}$

$\theta_o$ ——外护套表面温度， $^{\circ}\text{C}$

## 4.2 单芯电缆的简化热路模型

单芯电缆的等值热路模型可等效为如图2所示的一阶暂态热路模型:

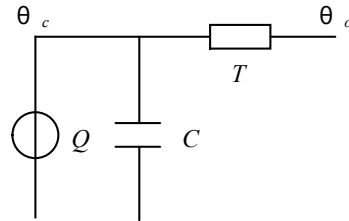


图2 单芯电缆一阶暂态热路模型

标引序号说明:

- Q——电缆等效损耗, W
- T——电缆等效热阻, K/W
- C——电缆等效热容, J/K

等效损耗 $Q$ , 等效热阻 $T$ 及等效热容 $C$ 与完整的等效热路模型中的各热参数的对应关系见式(1)~(5):

$$q_1 = 1 + \frac{Q_3}{Q_1 + Q_2} \dots\dots\dots (1)$$

$$q_2 = 1 + \frac{Q_3 + Q_4}{Q_1 + Q_2} \dots\dots\dots (2)$$

$$Q = Q_1 \dots\dots\dots (3)$$

$$T = T_1 + q_1 T_2 + q_2 T_3 \dots\dots\dots (4)$$

$$C = (C_1 + C_2) + (C_3 + C_4) \left( \frac{q_1 T_2 + q_2 T_3}{T} \right) + (C_5 + C_6) \left( \frac{q_2 T_3}{T} \right) \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$q_1$   $q_2$ ——热路的降阶系数

## 4.3 电缆载流量与应急负荷时间核算

### 4.3.1 电缆载流量核算

基于热电等效原理构建电缆的等效热路模型, 若计算载流量时不考虑热容的影响, 可按式(6)进行电缆载流量计算:

$$I = \sqrt{\frac{\theta_c - \theta_o - Q_4 T_0 - Q_3 (T_b + T_0) - Q_1 (T_i + T_b + T_0)}{R(T_i + T_b + T_0)}} \dots\dots\dots (6)$$

### 4.3.2 电缆应急负荷与应急负荷时间核算

根据等效的电缆一阶热路模型, 在一段时间内电缆的导体的暂态温度可按式(7)进行计算:

$$\theta_c(t) = QT + \theta_0 + (\theta_0 - \theta_0 - QT)e^{-\frac{t}{\tau}} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$Q=Q_1$ 。令  $k=QT$ ,  $\tau=TC$ , 分别称为电缆暂态过程中的的热源因数以及时间因数。如此, 在测得电缆的外表面温度 $\theta_0$ 后, 可按照式(7)进行电缆应急负荷计算。若应急负荷时间已知, 可推算电缆线路的应急负荷能力。若应急负荷已知, 可计算电缆线路的应急负荷时间。

#### 4.4 模型中各参数的确定

##### 4.4.1 载流量计算过程中的损耗的确定

参见5章。

##### 4.4.2 载流量计算过程中的等效热参数确定

参见6章。

### 5 损耗计算

#### 5.1 电缆导体焦耳损耗计算

电缆的导体焦耳损耗  $Q_1$  由式(8)进行求解:

$$Q_1 = I^2 R \dots\dots\dots (8)$$

式中:

$I$  ——电缆工作电流, A

$R$  ——导体交流电阻,  $\Omega$

导体的交流电阻可由电位计法测量, 通过直接测量导体上电压电流的相位差来求导体交流电阻, 即通过将一定长度的电缆导体首尾连接形成测量回路, 对导体施加电流, 分别测得电压、电流, 采用公式(9)计算出导体的交流电阻。

$$R_{AC} = \frac{U \times \cos \theta}{I \times L} \dots\dots\dots (9)$$

其中,

$U$ ——被测段导体的电压有效值;

$I$ ——回路电流有效值;

$\theta$ ——电压与电流的相位差;

$L$ ——导体样品被测段长度。

在实际计算中, 电流有效值  $I$  可通过对采集的电流信号  $i(t)$  进行处理得到。对于离散的电流数据  $i(t_i)$ , 其有效值计算可采用式 (10) :

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n i^2(t_i) \Delta t} \dots\dots\dots (10)$$

## 5.2 电缆绝缘介质损耗计算

电缆的绝缘介质损耗  $W_a$ 可按式(11)~(12)进行计算:

$$W_a = 2\pi fcU^2 \tan \delta \dots\dots\dots (11)$$

$$c = \frac{2\pi\epsilon_r\epsilon_0}{\ln\left(\frac{d_i}{d_c}\right)} \dots\dots\dots (12)$$

式中:

$c$  —— 电缆绝缘电容, F;

$d_i$  —— 电缆绝缘外径, mm;

$\epsilon_r$  —— 电缆绝缘的相对介电常数, 不同材料的取值可参考 JB/T 10181.21;

$\epsilon_0$  —— 真空介电常数, 取值为  $8.85 \times 10^{-12}$ F/m;

$\tan \delta$  —— 绝缘损耗正切, 不同材料的取值可参考 JB/T 10181.21。

## 5.3 金属屏蔽损耗计算

电缆的绝缘介质损耗  $Q_4$ 可按式(13)进行计算:

$$Q_4 = \lambda_1 Q_1 \dots\dots\dots (13)$$

式中:

$\lambda_1$  —— 金属护套损耗与导体损耗比, 不同情况下的计算方法可参考 IEC 60287-1 标准。

## 6 电缆等效参数的确定

根据图 2 所示的电缆一阶热路模型, 可列写电缆的一阶暂态热路方程, 如(14)所示:

$$C \frac{d\theta_c}{dt} + \frac{\theta_c - \theta_o}{T} = Q \dots\dots\dots (14)$$

式中, 等效热源  $Q$ 可按照 JB/T 10181.21 标准进行计算, 见第 5 章。等效热容  $C$ 与等效热阻  $T$ 是未知量。

由于电缆的暂态热路方程可对电缆在温度变化过程中的任意时刻进行列写, 因此可取电缆温度变化过程中的两个温度点进行等效热参数求解方程组的列写。取采集数据中编号为  $N1$  及  $N2$  的两个电缆各层温度数据集进行分析, 列写的方程组如式(15)所示:

$$\begin{aligned} C \frac{d\theta_{c\_N1}}{dt} + \frac{\theta_{c\_N1} - \theta_{o\_N1}}{T} &= Q_{N1} \\ C \frac{d\theta_{c\_N2}}{dt} + \frac{\theta_{c\_N2} - \theta_{o\_N2}}{T} &= Q_{N2} \end{aligned} \dots\dots\dots (15)$$

式中:

$\theta_{cN1}$  —— 编号为  $N1$  的缆芯温度数据,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\theta_{oN1}$  —— 编号为  $N1$  的外护套表面温度数据,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\theta_{cN2}$  —— 编号为  $N2$  的缆芯温度数据,  $^{\circ}\text{C}$ ;

T/GDWCA 0137—2026

T/SZWCA 0055—2026

$\theta_{oN2}$ ——编号为  $N2$  的外护套温度数据,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$Q_{N1}$ ——编号为  $N1$  对应时间下的电缆发热功率;

$Q_{N2}$ ——编号为  $N2$  对应时间下的电缆发热功率。

对式(5)中的相关参数进行如式(16)所示的代换:

$$\begin{cases} k_{1\_N1} = \frac{d\theta_{c\_N1}}{dt} \\ k_{2\_N1} = \theta_{c\_N1} - \theta_{o\_N1} \\ k_{1\_N2} = \frac{d\theta_{c\_N2}}{dt} \\ k_{2\_N2} = \theta_{c\_N2} - \theta_{o\_N2} \end{cases} \dots\dots\dots(16)$$

则等效热参数的求解值可按式(17)进行表达:

$$\begin{aligned} C &= \frac{k_{2\_N1}Q_{N2} - k_{2\_N2}Q_{N1}}{k_{2\_N1}k_{1\_N2} - k_{2\_N2}k_{1\_N1}} \\ T &= \frac{k_{2\_N1}k_{1\_N2} - k_{2\_N2}k_{1\_N1}}{k_{1\_N2}Q_{N1} - k_{1\_N1}Q_{N2}} \end{aligned} \dots\dots\dots(17)$$

在得到了等效的热阻及热容参数后, 即可按式(17)进行电缆暂态温度的计算。

附录 A  
(规范性)  
电缆温度数据测量要求

A.1 电缆动态热参数反演算法

A.1.1 电缆动态热参数测试原理

电缆动态热参数测试原理如图A.1所示。

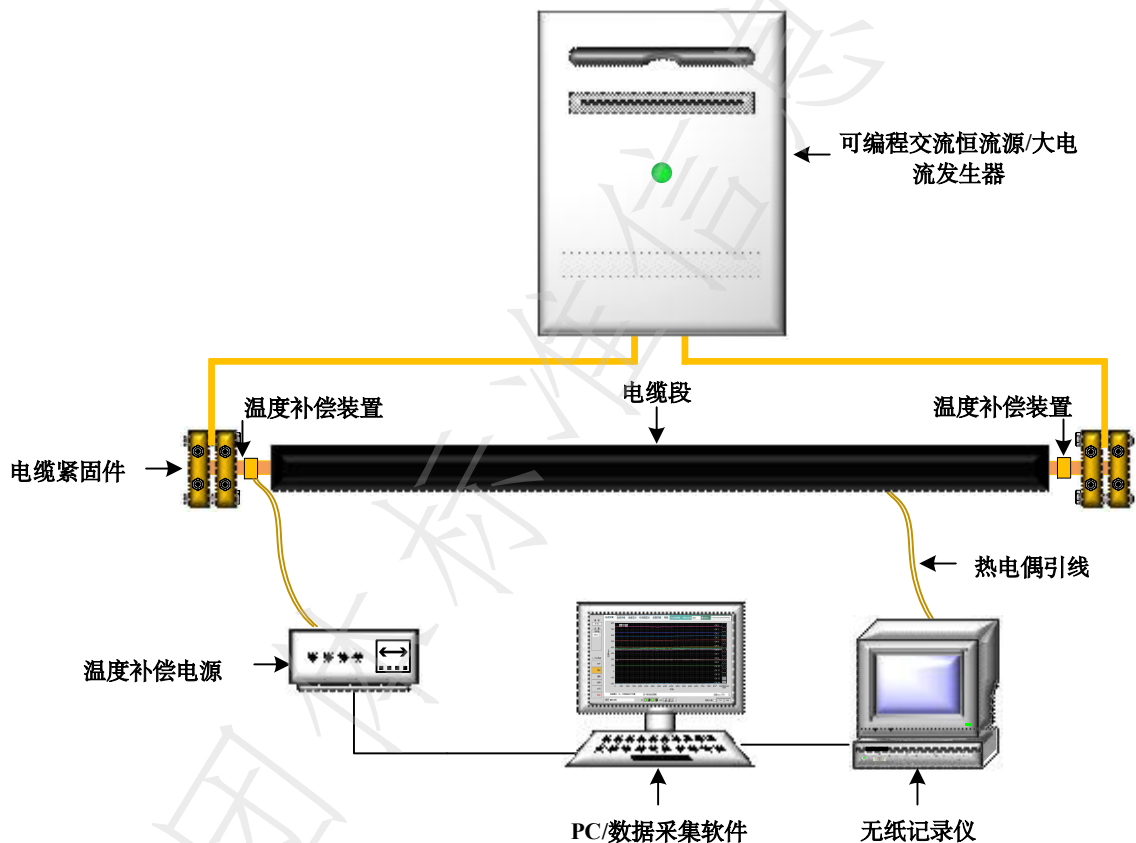


图 A.1 电缆动态热参数测试原理图

该系统包含调压电路与测温回路两大核心模块。调压电路由工频 220V 交流供电电源、可调变压器、电流互感器、数字化数据采集仪、工控计算机及 PLC 电流调控单元构成。其运行机制基于闭环反馈控制：计算机通过比对预设电流参数与实测电流值，依据偏差量向电流控制器发出调控指令，进而实现对被测电缆负载电流的精准自动调节。针对大截面电缆引发的功率因数下降问题，系统可增设电容补偿装置，通过无功功率补偿提升电能传输效率。

测温回路由分布式温度传感装置与无纸记录仪组成。温度传感器按照电缆层状结构特性，分层布置于导体、绝缘层、屏蔽层等关键位置，实时监测各层温度变化。采集的温度数据经无纸记录仪同步整合后，传输至终端处理系统。

本系统通过对电缆样本施加大电流，使电缆导体温度达到测试温度，并记录温升过程的电缆电流、电缆导体、电缆绝缘、电缆金属套、电缆外表面和环境温度，从而计算出电缆的热阻、热容等参数。

### A.1.2 电缆动态热参数测试前处理

被测电缆需在常温环境下静置不少于 24 h，确保电缆各构层温度与环境温度达到热平衡状态，消除初始环境对实验结果的干扰。选用长度超过 1.5 m 的电缆作为测试对象，并将电缆两端的铜导体各裸露 150 mm，为后续负荷电流的施加创造条件。同时，为降低轴向传热效应，电缆两端裸露的导体加装温度补偿装置，确保电缆两端导体的温度与中间导体的温度差异低于 2℃。

测温点布置环节，针对电缆绝缘层、缓冲层及外护套热参数的测试需求，采用精准的布点方案。使用电钻在电缆中间导体表面、左右导体表面、绝缘层外侧、铝套外侧，分别钻出三个呈 120°间隔分布的小孔，将性能良好的热电阻置入其中；同时在电缆表面，同样以 120°间隔用胶带固定三个热电阻，所有热电阻均涂抹导热硅脂以降低接触电阻。选用性能稳定的无纸记录仪连接热电阻，进行温度数据的实时采集与曲线绘制。

### A.1.3 电缆动态热参数测试过程要求

#### A.1.3.1.1 设定温度持续时间

在恒温实验室的环境条件下，设定电缆导体温度在 90℃ 下的测试时间为 4 h。当电缆导体温度保持 4h，系统将电缆电流降 0，电缆进入冷却状态。

#### A.1.3.1.2 温升减速设置

两端温度跟踪中间温度有可能超调。为防止超调太多，需要在两端温度达到中间温度前降低两端温度补偿器加温的强度。此处的值是提前降低加温速度的提前量。这个设定值如果过大（负的数值偏小），超调严重；如果过小，可能出现欠补偿。这个设定值在系统调试时已经初步调好，但由于不同试品效果可能不同，如果发现补偿性能不好，可以适当调整为 5℃。

#### A.1.3.1.3 最大电流

设定系统允许输出的最大电流，不能超过平台允许最大电流 4000A。长时间连续使用时应不超过系统额定电流 3500A。当希望电缆温度尽快达到测试温度时，此电流可以设置一定的较大值。

#### A.1.3.1.4 稳态电流

稳态电流是维持电缆导体始终在测试温度的电流。这个电流的设定可以根据计算或经验初步设定。当这个电流设定有偏差时，系统会通过调整自动修正。如果由于设定偏离较大，造成实时电流调整频繁，也可以手动对此电流进行修正。稳态电流设置不应大于最大电流。

为确保测试精度，对每层采集的三个温度数据取算术平均值作为该层温度值，并要求中间导体温度与左右导体温度差值控制在 2℃ 以内。

#### A.1.3.1.5 计算步骤

获取电缆绝缘层内径  $d_1$ 、绝缘层外径  $d_2$ 、铝套外径  $d_3$ 、电缆外径  $d_4$ ，结合每一层对应的平均温度  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ 、 $\theta_4$  进行热参数的反演。

对于同一厂家的相同制造规格和运行年限电缆，其各层参数热阻率  $\rho$  可以通用。因此，通过反演电缆各层的热阻率，再结合电缆实际的结构，可以获取热阻参数。

$$\rho_i = \frac{2\pi(\theta_{i+1} - \theta_i)}{(I^2 R) \cdot \ln(d_{i+1}/d_i)} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：i 取 1、2、3。

附录 B  
(资料性)  
电缆等效参数的计算方法具体推导过程

单芯电缆的结构如图 B.1 所示:

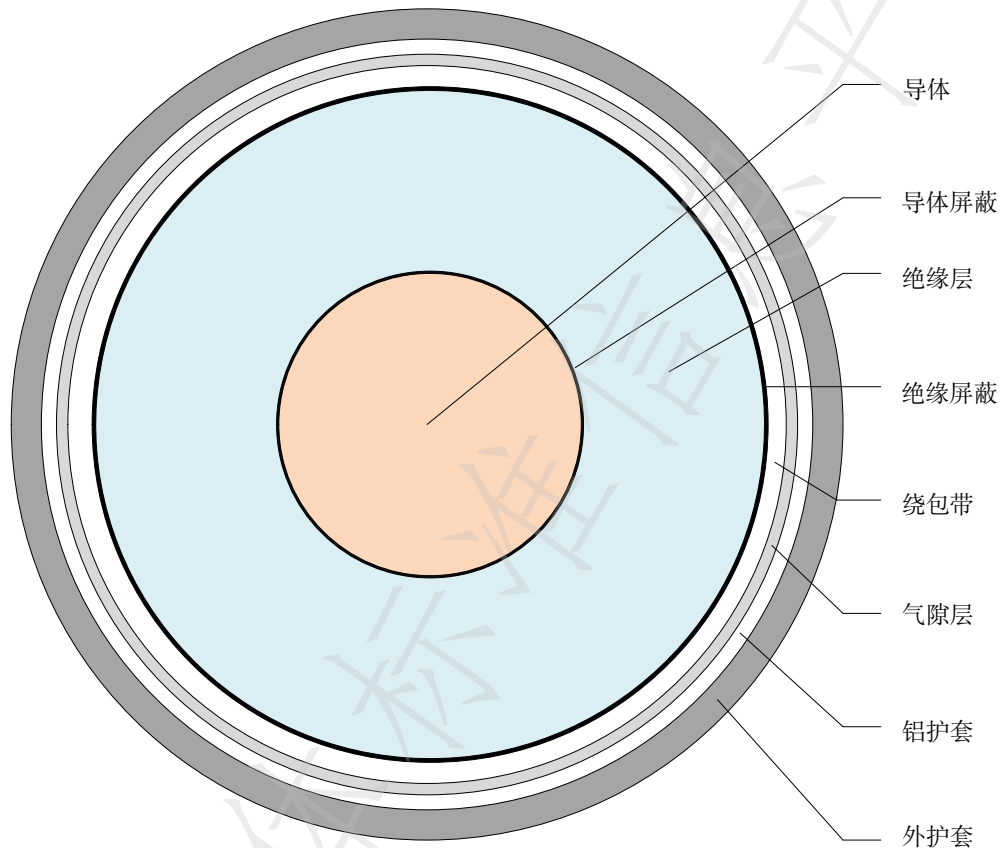


图 B.1 单芯电缆的结构

在构建电缆的热路模型前, 需要进行以下假定:

- a) 电缆的各层的结构以及材料在轴向上完全一致;
- b) 电缆运行达到温度稳态时各层温度分布均匀;
- c) 电缆的轴向传热忽略不计;
- d) 电缆通电时, 电流在导体内部在轴向上分布均匀;
- e) 电缆导体以及铝套均为热的良导体, 忽略其热阻, 并视其为发热均匀的等温层。

根据单芯电缆的结构图, 建立单芯电缆的热路模型, 如图 B.2 所示:

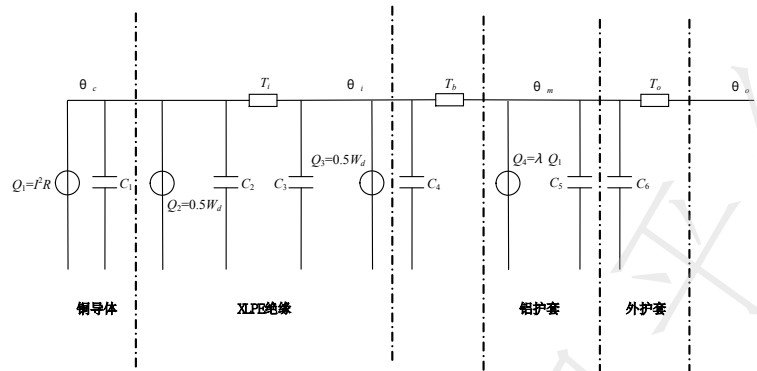


图 B.2 单芯电缆的热路模型

对该热路模型进行化简，可得到如图 B.3 所示的一阶简化热路模型：

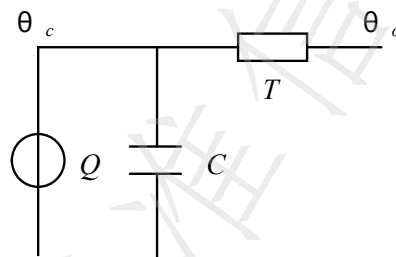


图 B.3 一阶简化热路模型

其中： $Q=Q_1$ 。据此可列写微分方程如式(B.1)所示：

$$C \frac{d\theta_c}{dt} + \frac{\theta_c - \theta_o}{T} = Q \quad \dots\dots\dots(B.1)$$

式中，等效热源  $Q$  可依据 IEC 60287 进行计算，见第 5 章。等效热容  $C$  与等效热阻  $T$  是未知量。

由于电缆的暂态热路方程可对电缆在温度变化过程中的任意时刻进行列写，因此可取电缆温度变化过程中的两个温度点进行等效热参数求解方程组的列写。取采集数据中编号为 N1 及 N2 的两个电缆各层温度数据集进行分析，列写的方程组如式(B.2)所示：

$$\begin{aligned} C \frac{d\theta_{c\_N1}}{dt} + \frac{\theta_{c\_N1} - \theta_{o\_N1}}{T} &= Q_{N1} \\ C \frac{d\theta_{c\_N2}}{dt} + \frac{\theta_{c\_N2} - \theta_{o\_N2}}{T} &= Q_{N2} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(B.2)$$

式中：

- $\theta_{cN1}$  为编号为 N1 的缆芯温度数据， $^{\circ}\text{C}$ ；
- $\theta_{oN1}$  为编号为 N1 的外护套表面温度数据， $^{\circ}\text{C}$ ；
- $\theta_{cN2}$  为编号为 N2 的缆芯温度数据， $^{\circ}\text{C}$ ；
- $\theta_{oN2}$  为编号为 N2 的外护套温度数据， $^{\circ}\text{C}$ ；
- $Q_{N1}$  为编号为 N1 对应时间下的电缆发热功率；
- $Q_{N2}$  为编号为 N2 对应时间下的电缆发热功率。

由于电缆导体的温度微分项不能直接测取，因此考虑采用解析求导法对温度微分项进行求解。处

理过程中采用拟合的方法，对电缆导体的暂态温度方程进行描述，拟合的导体温度暂态方程满足式(B.3):

$$\theta_c = (x_3 - x_1)e^{-\frac{t}{x_2}} + x_1 \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:  $x_1, x_2, x_3$  为待拟合系数。根据采集到的电缆实际温升数据，即可实现这 3 个系数的拟合，进而导体温度的微分项可表示如式(B.4):

$$\frac{d\theta_c}{dt} = -\frac{x_3 - x_1}{x_2} e^{-\frac{t}{x_2}} \dots\dots\dots (B.4)$$

因此，只要获取某温度点对应的的时间，该温度点对应的温度微分项也可得到求解。

由于式(B.2)为一简单的二元线性方程组，因此容易得到其解。对式(B.2)中的相关参数进行如式(B.5)所示的代换:

$$\begin{cases} k_{1\_N1} = \frac{d\theta_{c\_N1}}{dt} \\ k_{2\_N1} = \theta_{c\_N1} - \theta_{o\_N1} \\ k_{1\_N2} = \frac{d\theta_{c\_N2}}{dt} \\ k_{2\_N2} = \theta_{c\_N2} - \theta_{o\_N2} \end{cases} \dots\dots\dots (B.5)$$

则等效热参数的求解值可按式(B.6)进行表达:

$$C = \frac{k_{2\_N1}Q_{N2} - k_{2\_N2}Q_{N1}}{k_{2\_N1}k_{1\_N2} - k_{2\_N2}k_{1\_N1}}$$

$$T = \frac{k_{2\_N1}k_{1\_N2} - k_{2\_N2}k_{1\_N1}}{k_{1\_N2}Q_{N1} - k_{1\_N1}Q_{N2}} \dots\dots\dots (B.6)$$

对式()进行离散化处理，得:

$$\theta_c(k+1) = \theta_c(k) + \frac{Q}{C}\Delta t + \frac{1}{CT}(\theta_o(k)\Delta t - \theta_c(k)\Delta t) \dots\dots\dots (B.7)$$

因此，对于一组实际测量的电缆温升数据，可列写出如式(B.8)的方程组:

$$\begin{bmatrix} \theta_c(1) \\ \theta_c(2) \\ \vdots \\ \theta_c(N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{Q}{C} \\ \vdots \\ TC^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_c(0) & Q\Delta t & \theta_o(0)\Delta t - \theta_c(0)\Delta t \\ \theta_c(1) & Q\Delta t & \theta_o(1)\Delta t - \theta_c(1)\Delta t \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \theta_c(N-1) & Q\Delta t & \theta_o(N-1)\Delta t - \theta_c(N-1)\Delta t \end{bmatrix} \dots\dots\dots (B.8)$$

令:

$$Y = \begin{bmatrix} \theta_c(1) \\ \theta_c(2) \\ \vdots \\ \theta_c(N) \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{Q}{C} \\ TC^{-1} \end{bmatrix}$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \theta_c(0) & Q\Delta t & \theta_o(0)\Delta t - \theta_c(0)\Delta t \\ \theta_c(1) & Q\Delta t & \theta_o(1)\Delta t - \theta_c(1)\Delta t \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \theta_c(N-1) & Q\Delta t & \theta_o(N-1)\Delta t - \theta_c(N-1)\Delta t \end{bmatrix}$$

由于 $\beta$ 不为方阵，且行数大于列数，因此方程组(B.8)为一超定方程组。数学上可以采用最优化的思想进行求解，即确定一组解 $X$ 并求取相应的 $Y$ 阵，使之与利用实际数据确定的 $Y_0$ 阵的误差最小：

$$\Delta Y = \min \left| \frac{Y}{Y_0} - 1 \right|$$

则可认为该组解 $X$ 为方程组(B.8)的解。由于 $Q=Q_1$ ，因此在获取了实时的电缆通过电流后，即可根据 IEC60287 标准对 $Q$ 进行计算，进而可确定等效热阻 $T$ 以及等效热容 $C$ 。

如此，在确定了电缆的等效热阻及等效热容后，结合实时的电缆外表面温度 $\theta_o$ 以及对应的温升时间 $t$ ，可按式(B.9)进行电缆缆芯温度的确定：

$$\theta_c(t) = QT + \theta_o + (\theta_o - \theta_o - QT)e^{-\frac{t}{TC}} \dots\dots\dots (B.9)$$