

电气化铁路接触网短路电流热效应分析

邵健帅

(北京航天发射技术研究所, 北京 100076)

摘要: 为研究铁路接触网在被动式短路断电时的热效应, 对短路电流对接触网的主导电回路、受电弓滑板和接触线之间的温升情况进行研究。介绍了接触网在被动式短路断电模式下的短路电流、接触面积的计算方法, 阐述了局部热效应模型的计算模型, 针对接触网发热量、接触线与滑板之间的温升情况进行计算。研究得出发热量受接触面宽度和接触力的大小影响较大; 在牵引变电所附近实施短路作业烧损甚至熔断接触线的概率较大; 新接触线在大张力作用下存在接触线断线的危险。

关键词: 电气化; 接触网; 短路电流; 热效应; G-W 模型

中图分类号: U225

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2019.03.113

Analysis of Contact Line Short-circuit Current Thermal Effect of Electrified Railway

SHAO Jianshuai

(Beijing Institute of Space Launch Technology, Beijing 100076, China)

Abstract: In order to study the thermal effect of railway contact line in passive short circuit and power failure, the temperature rise between the main circuit, the pantograph slide and the contact line of the catenary caused by short-circuit current was studied. Firstly, the calculation method of short circuit current and contact area of contact line under passive short circuit and power failure mode was introduced. Then, the calculation model of local thermal effect model was presented, which calculated the heat of contact line, the temperature rise between contact line and slide plate. The results show that the heat is greatly affected by the width of the contact surface and the contact force; there is a high probability that the contact line is damaged or even fused in short circuit operation near the traction substation; the new contact line is in danger of breaking contact line under the action of great tension.

Keywords: electrification; catenary; short circuit current; thermal effect; G-W model

0 引言

接触网是电气化铁路的重要组成部分, 是一种特殊的高压电力输电线。中国干线电气化铁路采用单相工频交流 25 kV 供电。牵引电流自牵引变压器二次侧绕组流出, 经高压开关、接触网、受电弓、机车牵引变压器一次侧、车体钢结构、车体接地(钢轨)装置、轮对、钢轨和大地流回牵引变电所, 形成一个闭合电路。在电气化铁路运营中, 一般采用供电所内拉闸断电的方式进行接触网断电, 这种断电方式称为“主动式断

电方式”; 在某些特殊场合, 当不允许通过供电所对铁路线路进行紧急断电时, 需要采取直接升弓短接接触线的形式进行接触网断电, 受电弓的滑板与接触线接触, 下端通过高压电缆与钢轨相连接而接地, 使得供电所内供电线路跳闸, 这种断电方式称为“被动式短路断电”。这种被动式断电方式具有速度快、突发性强、隐秘性好等优点。但是此种断电方式也会产生强大的短路电流, 对铁路设备的安全产生影响, 最重要的是, 这种断电方式是否会因为短路瞬间产生高温熔断带电接触网而产生二次危险还犹未可知。

本文将对此种被动式断电模式下的短路电流的热

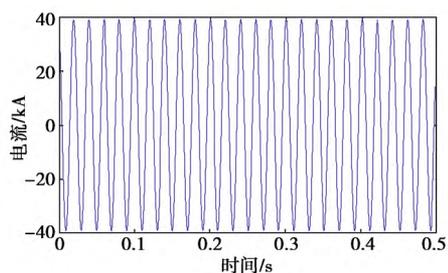
收稿日期: 2018-05-11; 修回日期: 2018-08-11

效应及对接触网的影响进行分析。

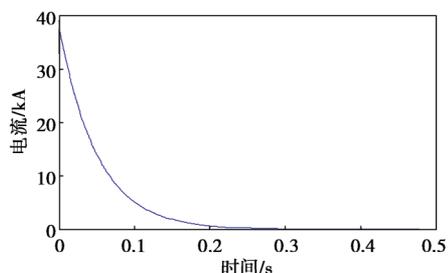
1 短路电流热效应计算的理论基础

1.1 短路电流分析

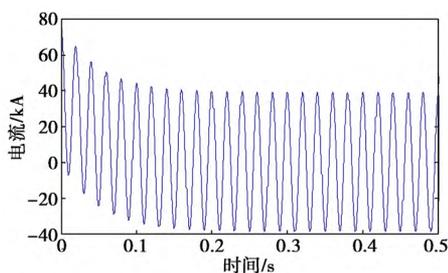
根据短路电流暂态过程分析, 短路电流包含 2 个分量: 一是随时间变化的周期分量, 它和供电电源参数、励磁调节器特性、短路点距离供电所的远近等有关; 二是按指数规律变化的非周期分量, 其时间常数是 $T_f^{[1]}$ 。极端情况下, 短路电流的非周期分量零时刻值等于周期分量的极大值。当短路电流的周期分量有效值为 26.5 kA, 电流非周期分量衰减时间常数 $T_f=0.05$ s, 短路后 0.5 s 内短路电流大小随时间变化的波形如图 1 所示。



(a) 短路电流周期分量波形图



(b) 短路电流非周期分量波形图



(c) 短路电流实际波形图

图 1 短路电流分解示意图

短路电流的热效应 Q_0 为

$$Q_0 = \int_0^{t_k} i_d^2 \cdot R dt = \int_0^{t_k} (i_z + i_f)^2 \cdot r dt = \int_0^{t_k} (I_n \cos \omega t + i_{f0} e^{-\frac{t}{T_f}})^2 \cdot r dt \quad (1)$$

式中: i_d 为短路电流瞬时值, kA; i_z 为短路电流周期分量瞬时值, kA; i_f 为短路电流非周期分量瞬时值, kA; I_n 为短路电流周期分量最大值, kA; i_{f0} 为短路电流非周期分量的零时刻值, kA; R 为接触电阻, Ω ; t_k 为短路持续时间, s。

定义短路电流热效应的有效值 i :

$$\int_0^{t_k} i_d^2 dt = i^2 t_k \quad (2)$$

单位时间内, 短路电流在电阻 R 处产生的热量为

$$Q = \int_0^{t_k} i_d^2 R dt = R \int_0^{t_k} i_d^2 dt = R i^2 t_k \quad (3)$$

周期分量有效值为 26.5 kA, 非周期分量衰减时间常数 $T_f=0.05$ s, 短路时间 $t_k=0.2$ s 时, 电流有效值 $i=30.793$ kA。

1.2 接触电阻计算

依据电接触理论^[2], 接触电阻主要由收缩电阻和膜电阻组成。

①收缩电阻。由于在面接触中, 只有比例极少的部分发生了机械接触, 通常将实际发生导电的部分称为导电斑点。电流从导电斑点通过时, 由于电流线在导电斑点附近发生收缩, 造成电流通过的路径增长, 有效导电面积减小, 因而出现了局部的附加电阻, 称之为收缩电阻, 见图 2。

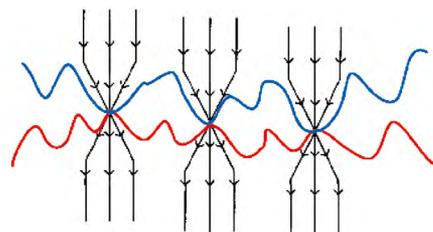


图 2 电流经过导电斑点示意图

②膜电阻。由于种种原因, 在触头的接触表面上可能覆盖着一层导电性很差的薄膜, 例如金属的氧化物、硫化物等, 其导电性很差, 该薄膜也可能是落在接触表面上的灰尘、污物或夹在接触面间的油膜、水膜等, 由此而形成的附加电阻称为表面膜电阻。

每个导电斑点的电阻由两部分组成, 即两导体收缩电阻和两导体间的膜电阻

$$R_j = R_{s1} + R_{s2} + R_b \quad (4)$$

式中: R_{s1} 和 R_{s2} 为两导体的收缩电阻; R_b 为两导体间的膜电阻。

收缩电阻计算公式为

$$R_{si} = \frac{\rho_i}{4a} \quad (5)$$

式中: a 为导电斑点半径; ρ_i 为导体电阻率。

两导体收缩电阻之和为

$$R_{si} = R_{s1} + R_{s2} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{4a} \quad (6)$$

而膜电阻为

$$R_b = \frac{\rho_b}{\pi a^2} = \frac{\rho_b}{S} \quad (7)$$

式中: ρ_b 为膜的面电阻率。

所有接触斑点的面积之和为实际接触面积, 即

$$S_j = n\pi a^2 \quad (8)$$

由于短路电流产生的热量大, 接触表面升温, 导

致表面膜被破坏，所以接触电阻主要表现为收缩电阻部分。由于相邻导电斑点间的距离比导电斑点半径大得多，所以多个导电斑点之间表现为并联的关系。假设导电斑点数量为 n ，则总的接触电阻为

$$R_j = \frac{\rho_1 + \rho_2}{4na} \quad (9)$$

综合式 (8)、式 (9)，接触电阻为

$$R_j = \frac{\rho_1 + \rho_2}{4} \sqrt{\frac{\pi}{nS_j}} \quad (10)$$

如果将所有导电斑点等价为 1 个导电斑点，即 $n=1$ ，上式可以变换成

$$R_j = \frac{\rho_1 + \rho_2}{4} \sqrt{\frac{\pi}{S_j}} \quad (11)$$

1.3 接触面的面积计算

接触线和滑板之间的接触属于面接触，由于无论如何加工、打磨以及运行过程中两者的磨损，接触部分在微观上总是凹凸不平的，即使有很大的接触力使两者相互压紧，也只有少数的点（或者面）发生了实际的接触，这些实际接触的点（或者面）承担着全部的压力，实际接触情况如图 3 所示。

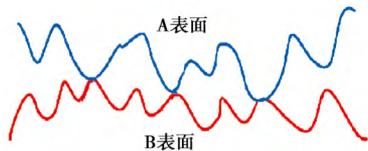


图 3 面接触微观示意图

从宏观上看，将物体 A 与物体 B 接触表面的面积称为名义接触面积；从微观上看，将发生实际接触的少数点（或者面）的面积之和称为实际接触面积。

在 G-W 粗糙模型中，实际接触面积与名义接触面积的联系^[3-4]为

$$\lg\left(\frac{S_r}{S_a}\right) = 1.42 \lg P - 2.93 \quad (12)$$

式中： S_r 为实际接触面积， m^2 ； S_a 为名义接触面积， m^2 ； P 为外施接触面上的压强，MPa。

通过数学计算，可以得到实际接触面积的表达式为

$$S_r = S_a \cdot \frac{\left(\frac{F}{10^6 \cdot S_a}\right)^{1.41}}{10^{2.93}} = \frac{F^{1.41}}{10^{11.39} \times S_a^{0.41}} \quad (13)$$

式中： F 为接触力，N。

1.4 短路电流的局部热效应模型

当短路电流流过 2 个部件的结合部（如弓网接触点）时，接触面的实际接触面积小且接触电阻大，会在接触面的局部产生极大的热量。由于传热的面积小，热量不易扩散，所以，接触点附件的温度上升很快；由于接触面的温升不是均匀的，所以通过热平衡方程建立的计算模型将不再适用。

对于此类局部发热的问题，处理方法是建立一个近似的数学模型，假设初始温度为 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 的无限大物体，

其热扩散率为 a ，在 $0 \sim t_k$ 的时段内，在其边界受到一个因为短路电流而产生的强度为 $q(t)$ 的热流密度的突然加热。例如对于弓网接触面，可以描述为，短路电流产生的热流密度分别向滑板和受电弓 2 个方向进行传热，如图 4 所示。

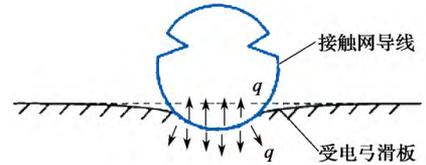


图 4 弓网接触面热流传递示意图

对于弓网系统这种不计内热源，假定物理参数为常数、第二类边界条件为半无限大物体的一维瞬态传导问题^[5]，建立温度场的数学模型如下：

$$\left. \begin{aligned} a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} &= \frac{\partial T}{\partial t} & 0 < x < \infty, t > 0 \\ -\lambda \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} \Big|_{x=0} &= q(t) & t > 0 \\ T(x,t) \Big|_{x=0} &= 0 & x \geq 0 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

式中： $T(x, t)$ 表示温度场内与热源距离 x 的点在经历 t 短路电流时间后的温度。

由于篇幅所限，不再叙述该模型的求解过程。对该模型进行时间 t 的 Laplace 变换、代入初始条件、分布积分等数学处理后，得到温度场的求解式为

$$T(x,t) = \frac{2q}{\lambda} \sqrt{\frac{at}{\pi}} e^{-\frac{x^2}{4at}} - \frac{qx}{\lambda} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right) \quad (15)$$

式中： q 为热流密度。

$$q = \frac{i^2 R_j}{S_j} \quad (16)$$

式中： i 为短路电流有效值，A； R_j 为接触电阻， Ω ； S_j 为实际接触面积， m^2 。

热扩散率 a ，可以按照下式计算：

$$a = \frac{\lambda}{\rho C} \quad (17)$$

式中： λ 为材料热导率， $W/(m \cdot ^\circ C)$ ； ρ 为接触线密度， kg/m^3 ； C 为接触线比热容， $J/(kg \cdot ^\circ C)$ 。

2 短路瞬间的设备发热量计算

2.1 接触线发热量计算

由于短路电流持续时间一般为 0.2 s 左右^[6]，严重情况下可能到达 0.7 s ，在此时间内，接触线的发热量远大于散热量，所以认为接触线由于短路电流产生的发热过程属于绝热状态。假设物体在极短的时间 dt 内温度升高了 $d\theta$ ，由热平衡方程可知^[1]

$$I_d^2 R dt = Cm d\theta \quad (18)$$

式中： R 为接触线电阻， Ω ； C 为接触线比热容， $J/(kg \cdot ^\circ C)$ ； m 为接触线质量， kg 。

由于接触线的电阻 R 随温度变化而变化，可按式 (19) 计算：

$$R = \frac{\rho_0[1 + \alpha(\theta - 20)]l}{S} \quad (19)$$

式中： ρ_0 为导线温度为20℃时的电阻率， $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ； α 为导线的电阻温度系数， $\text{ppm}/\text{℃}$ ； l 为导线长度， m ； S 为导线截面积， mm^2 。

接触线的质量为

$$m = \rho V = \rho S l \quad (20)$$

式中： ρ 为接触线密度， kg/m^3 。

由此可得接触线在短路过程中的热平衡方程

$$I_d^2 \rho_0 (1 + \alpha(\theta - 20)) \frac{l}{S} dt = C \rho S l d\theta \quad (21)$$

假设短路时间为 $0 \sim t_k$ ，温度变化范围为 $\theta_0 \sim \theta_0 + \Delta\theta$ ，对式(21)两边积分，可得

$$\int_0^{t_k} I_d^2 \rho_0 (1 + \alpha(\theta - 20)) \frac{l}{S} dt = \int_{\theta_0}^{\theta_0 + \Delta\theta} C \rho S l d\theta \quad (22)$$

经计算，可得接触线由于短路电流热效应所引起的温升 $\Delta\theta$ 计算式为

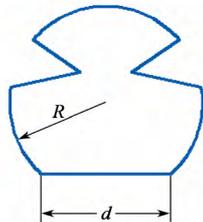
$$\Delta\theta = \frac{1}{\alpha} \{ [1 + \alpha(\theta_0 - 20)] e^{\frac{\alpha \rho_0 l I_d^2 t_k}{C \rho S^2}} - 1 \} + 20 - \theta_0 \quad (23)$$

用短路电流有效值进行热效应的计算以简化积分过程，得到接触线温升 $\Delta\theta$ 的最终计算式为

$$\Delta\theta = \frac{1}{\alpha} \{ [1 + \alpha(\theta_0 - 20)] e^{\frac{\alpha \rho_0 I^2 t_k}{C \rho S^2}} - 1 \} + 20 - \theta_0 \quad (24)$$

2.2 接触线与受电弓滑板的接触电阻计算

当接触线为磨损过的导线时，接触线与滑板的接触为面接触，接触线横截面形状如图5所示。



设滑板宽度为 l ，则名义接触面积 S_a 为

$$S_a = ld \quad (25)$$

将式(25)代入式(13)可得磨损过的导线与滑板接触时的实际接触面积 S_r 为

$$S_r = \frac{F^{1.41}}{10^{11.39} \times (ld)^{0.41}} \quad (26)$$

式中： F 为接触力， N 。

当接触导线为新导线时，该接触模型为圆柱体与面的接触，从宏观上来看接触“面”为一条面积为零

的线段。但实际上由于相接触的2种材料并非绝对的刚体，接触点依然会发生微小的形变，实际上相接触的结果依然是1个面。该接触模型可应用如图6所示的赫兹弹性理论进行分析。

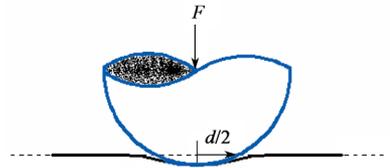


图6 球面接触模型

对于如图6所示的球与面相接触模型，由赫兹弹性接触模型可知^[7]。

$$r = \frac{d}{2} = \left[\frac{3}{4} F \left(\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)^{-1} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (27)$$

式中： r 为接触面半径； F 为接触压力； ν_1 和 ν_2 为接触材料的泊松比； E_1 和 E_2 为2种材料的弹性模量； r_1 和 r_2 为接触球面半径。

假设接触面长度为 L ，求得名义接触面积 S_a 为

$$S_a = 2aL = 2L \left[\frac{3}{4} F \left(\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)^{-1} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (28)$$

在G-W粗糙模型中存在名义接触面积和实际接触面积之分。从宏观上看，将物体A与物体B接触表面的面积称为名义接触面积；从微观上看，将发生实际接触的少数点(或者面)的面积之和称为实际接触面积，将式(28)代入式(13)可得到实际接触面积。实际接触面积求出后，代入式(1)即可求得接触电阻，然后代入式(15)即可计算温度场的分布。

2.3 接触线与滑板温升计算

假设计算条件为：接触线为CTA150型铜银合金；滑板为铜材滑板，总宽度取 $l=200 \text{ mm}$ ；接触力大小分为100 N、200 N和300 N三种情况；短路电流 I 的周期分量有效值设为26.5 kA；接触线磨损面宽度 d 分为6 mm和2 mm两种情况。CTA150的相关参数如表1所示。

1 CTA150 接触线参数表

参数名称	电阻(20℃)/ ($\Omega \cdot \text{m}$)	熔点/ ℃	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	比热容/ ($\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{℃})^{-1}$)
参数值	1.75×10^{-8}	1082.4	8920	390
参数名称	弹性模量/ GPa	泊松比	电阻温度系数/ ($\text{ppm} \cdot \text{℃}^{-1}$)	热导率/ ($\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$)
参数值	119	0.326	0.00393	397

对磨损过的接触线进行接触电阻计算，计算结果如表2所示。

对新接触线进行接触电阻计算，结果如表3。

表2 磨损过的接触线在不同接触压力和不同接触面宽下的滑板接触面积及接触电阻

参数名称	接触压力 100 N		接触压力 200 N		接触压力 300 N	
	接触面宽 6 mm	接触面宽 2 mm	接触面宽 6 mm	接触面宽 2 mm	接触面宽 6 mm	接触面宽 2 mm
名义接触面积/ mm^2	1.20	0.40	1.20	0.40	1.20	0.40
实际接触面积/ mm^2	3.14	6.56	11.07	16.56	18.69	31.24
接触电阻/ Ω	6.74	6.15	3.79	2.76	2.55	1.82

表 3 新接触线在不同接触力下的滑板接触面积及接触电阻

参数名称	接触力 /N		
	100	200	300
名义接触面积 /mm ²	6.64	8.62	11.02
实际接触面积 /mm ²	1.32	2.19	4.37
接触电阻 /Ω	3.34	1.79	1.15

利用计算结果进行发热量及温升计算。分析短路时间为 0.2 s, 0.4 s, 0.6 s, 0.8 s 的温升情况。由于仿真结果数据量较大, 仅呈现 26.5 kA 时的最好情况和最坏情况。

①短路电流 I_k 为 26.5 kA, 接触力 300 N, 接触面宽 6 mm 时, 发热情况如图 7 所示。

②短路电流 I_k 为 26.5 kA, 接触力 100 N, 并为新接触线时, 发热情况如图 8 所示。

经过对以上结果的分析可以比较短路电流 I_k 为 26.5 kA 时的最好情况和最差情况。最好情况为接触压力为 300 N, 接触面宽为 6 mm, 短路时间为 0.8 s, 0.6

s, 0.4 s, 0.2 s 时, 接触点的温升分别为 300 °C, 260 °C, 210 °C, 150 °C。最差情况发生在接触压力为 100 N 的新导线上, 短路时间为 0.8 s, 0.6 s, 0.4 s, 0.2 s 时, 接触点的温升分别为 6 000 °C, 5 000 °C, 4 100 °C, 3 000 °C。其他情况如表 4 所示。显然, 这种情况的存在会使接触线直接熔断, 但这种情况存在的概率几乎为 0。表 4 中磨损面宽 0 mm 是指全新的接触线时的弓网实际接触为线接触。

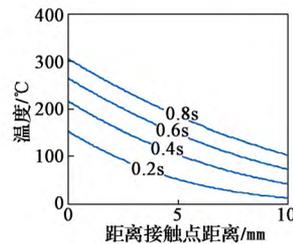


图 7 磨损接触线温度分布图

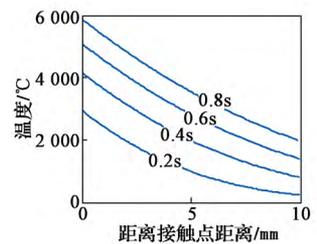


图 8 新接触线温度分布图

表 4 短路后接触点温升汇总表

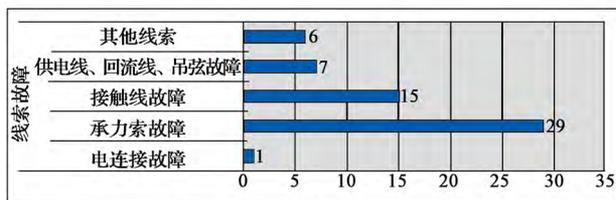
时间 /s	接触力 100 N			接触力 200 N			接触力 300 N		
	磨损面宽 0 mm	磨损面宽 2 mm	磨损面宽 6 mm	磨损面宽 0 mm	磨损面宽 2 mm	磨损面宽 6 mm	磨损面宽 0 mm	磨损面宽 2 mm	磨损面宽 6 mm
0.8	6 000	1 600	630	3 000	980	410	2 000	730	300
0.6	5 000	1 400	580	2 600	830	350	1 750	620	260
0.4	4 100	1 100	480	2 100	700	290	1 400	510	210
0.2	3 000	760	320	1 500	490	210	1 000	360	150

3 短路电流对接触网的影响

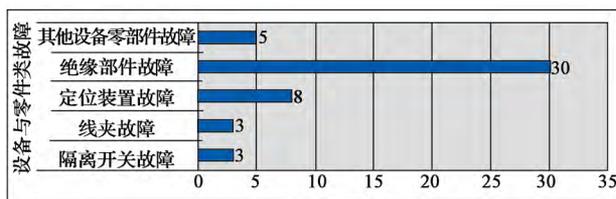
3.1 电流热效应对主导回路的影响

接触网中起导电作用的线缆、零件和设备, 如供电线、载流承力索、隔离开关、开关引线、接触线、电连接等统称为主导回路。电流会使导线和零部件发热。

根据中国铁路总公司 2014 年数据 (如图 9 所示), 主导回路发生烧损事故 107 件, 共停电 8 419 min, 平均停电时间 77 min, 极大地危害了接触网的供电安全。



(a) 线索类故障



(b) 其他设备零部件故障

图 9 2014 年主导回路故障位置统计图

在以上事故中, 线索类 58 起, 设备零件类 49 起。线索类事故中, 接触线烧损或断线 15 起, 承力索断线或烧伤 29 起, 电连接线烧伤、断股或断线 1 起, 供电线、回流线烧伤、断股 7 起, 其他线索烧伤 6 起。设备零件类事故中, 隔离开关 3 起, 线夹 3 起, 定位装置 8 起, 绝缘部件 30 起, 其他设备 5 起。

研究表明: 接触线运行应力在 100~130 N/mm² 下, 加热到 120~140 °C 时, 抗拉强度和弹性极限不会发生突变, 如图 10 所示。此时可能导致接触线损坏的主要原因是塑性变形和低温材料蠕变, 关注点在过度磨损处、受流组件中的热损伤处以及有缺陷的电连接处; 接触线运行应力超过 130 N/mm², 温度在 100~140 °C 时, 电解铜接触线中的微结构变化开始发展, 在此条件下, 30 min 并没有明显变化; 在电流出入导线处 (如电连接点、接触线滑板接触点) 可以发生接触线微结构的极

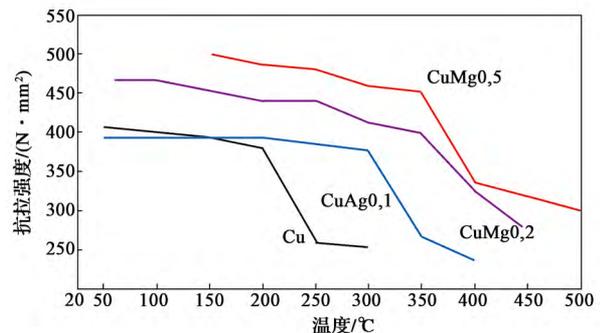


图 10 几种典型的铜及其合金接触线的温度 - 抗拉强度曲线

度变化, 120~140 ℃ 的温度可能导致塑性变形的累积, 将抗拉强度降低至 275 N/mm² 以下, 0.2% 屈服强度降低至 230 N/mm²。

3.2 短路电流对受电弓滑板和接触线的影响

短路电流产生的热流密度分别向滑板和接触线传递。接触网短路时, 短路电流流经滑板与接触线接触处会产生大量的热量, 导致滑板和导线局部温升很大, 严重时可能直接导致接触线断线。

本文以 CTA150 型铜银合金接触线、铜滑板为例进行了仿真计算, 该仿真涵盖了短路电流为 20 kA 和 27.5 kA, 接触面宽 6 mm, 滑板总宽 400 mm 和新接触线、滑板总宽 200 mm 的情况, 其结果列于表 5~ 表 6。

表 5 短路电流有效值 27.5 kA 时滑板与接触线接触点的温度 ℃

参数名称	滑板总宽 400 mm 下的接触面宽 /mm			滑板总宽 200 mm 下的接触面宽 /mm		
	6	2	无穷小	6	2	无穷小
短路 0.8 s 后接触点温度	350	800	2 900	600	1 400	5 000
短路 0.2 s 后接触点温度	170	400	1 400	300	700	2 500

表 6 短路电流有效值 20 kA 时滑板与接触线接触点的温度 ℃

参数名称	滑板总宽 400 mm 下的接触面宽 /mm			滑板总宽 200 mm 下的接触面宽 /mm		
	6	2	无穷小	6	2	无穷小
短路 0.8 s 后接触点温度	180	420	1 500	310	750	2 600
短路 0.2 s 后接触点温度	90	210	550	160	370	1 300

在本次仿真计算模型中, 由于短路时间均不超过 1 s, 短路时间较短, 计算模型只考虑了瞬间发热量, 未考虑散热, 所以表 5 和表 6 中的计算结果为静止状态下的滑板与接触线的接触点温度计算值。

4 结论

①短路电流大小变化对发热量的影响很大, 当电流稍有增大时, 温升增幅剧烈。但整体来说 I 为 20 kA 时的温升相当于 I 为 27.5 kA 时的一半。这表明在牵引变电所附近实施短路作业烧损甚至熔断接触线的概率大大增加。

②随着接触力增大, 在相同的接触面宽度时, 接触网短路接触点的温升减小明显。

③增加滑板和接触线的接触面宽度, 温升减小。由于接触面积增大, 在相同的热流密度下可以传导更多的热量, 可以有效地减小接触点处的温升。

④由于新导线与滑板的实际接触面积偏小, 短路时瞬间温度可达到 550 ℃, 在大张力作用下存在接触线断线的危险。

参考文献:

- [1] 陈西庚. 电网短路电流热效应的计算方法 [J]. 电力建设, 1999(1): 29-33.
- [2] 程礼椿. 电接触理论及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1988: 46-47.
- [3] 包健康, 高波, 张血琴. 500 kV 输电线路耐张线夹电接触计算及其发热研究 [J]. 中国电力, 2016, 49(11): 25-30.
- [4] MILENKO Braunovic, VALERY V Konchits, NIKOLAI K Myshkin. 电接触理论、应用与技术 [M]. 许良军, 译. 北京: 机械工业出版社, 2016.
- [5] 吴积钦. 受电弓——接触网系统电接触特性研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2009.
- [6] 李强. AT 牵引供电网络短路测试方法研究 [J]. 铁道机车车辆, 2013, 33(2): 115-118.
- [7] GREENWOOD J A, JOHNSON K L, MATSUBARA E. A surface roughness parameter in Hertz contact [J]. Wear, 1984, 100 (1): 47-57.

作者简介: 邵健帅 (1988—), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为特种机械设计。

动态消息

600 km/h 高速磁浮试验样车 在青岛下线

2019 年 5 月 23 日, 我国 600 km/h 高速磁浮试验样车在青岛下线, 标志着我国在高速磁浮技术领域实现重大突破。

高速磁浮具有速度高、安全可靠、噪声低、振动小、载客量大、耐候性强、维护量少等优点。同时, 高速磁浮拥有“快起快停”的技术特点, 能发挥出速度优势, 既适合长途运输外, 又适用于中短途客运。

高速磁浮采用“抱轨”的方式运行, 列车没有脱轨风险。牵引供电系统布置在地面, 采用分段供电, 同一供电区间只能有一列车行驶, 基本无追尾风险。与轮轨列车相比, 磁浮列车没有传统的“车轮”, 行驶时与轨道不发生接触, 无轮轨摩擦, 维护量也更少, 具备全寿命周期成本优势。
(朱一迪)