

# 牵引网输电导线温度及其载流量预测探讨

齐 东

河北建筑工程学院 河北 张家口 075132

**摘 要:** 做好牵引网负荷调度工作具有重要意义, 但进行负荷调度需要充分考虑输电导线温度以及载流量等情况。传统的温度与载流量计算方法无法满足工作需求, 因此本文利用调查法、文献资料法等方法对基于气象预报技术与列车运行图的预测方法进行了研究与探讨, 以期在具体工作提供参考。从案例仿真结果来看, 牵引网输电导线温度与载流量会受到环境以及列车负荷等因素的影响, 所以可以根据当地实际条件预测温度与载流量。

**关键词:** 牵引网; 输电导线; 温度

## Discussion on Prediction of transmission wire temperature and load capacity in traction network

Dong Qi

Hebei University of Architecture, Zhangjiakou, Hebei, 075132

**Abstract:** It is of great significance to do a good job in load scheduling of the traction network, but it is necessary to fully consider the temperature of the transmission wire and the load-carrying capacity. The traditional calculation methods of temperature and load capacity cannot meet the needs of the work, so this paper uses the methods of investigation, literature, and other methods to study and discuss the forecast method based on weather forecasting technology and train chart, in order to provide a reference for the specific work. From the simulation results of the case, it can be seen that the transmission wire temperature and carrying capacity of the traction network is affected by the environment and train load, so the temperature and carrying capacity can be predicted according to the actual local conditions.

**Keywords:** Traction net; Transmission wire; Temperature

### 前言

输电导线的温度与载流量会对牵引网负荷调度产生较大影响, 而这两个参数会受到环境温度、海拔高度等诸多因素的影响。因此国内外很多专家学者都对牵引网输电导线进行了深入研究, 但现有研究成果相对较少, 无法为输电导线温度与载流量的预测提供有效支持。所以需要在现有研究成果的基础上全面分析如何利用电热偶合理论以及气象预报等技术手段预测输电导线的温度与载流量, 从而保障牵引网的正常运行。

### 一、牵引网输电导线热耦合关系

牵引网主要是由馈电线、接触网、汇流线等诸多部分共同构成的。输电导线指的是能够输送电力的导线。从输电导线热平衡理论来看, 输电导线温度以及载流量会受到风速、风向角、海拔、空气密度、环境温度以及光照等因素的影响。其中风速、风向角、空气密度会进行对流散热、海拔、光照会进行日照吸热、环境温度会进行辐射散热, 便会导致输电导线出现温度变化<sup>[1]</sup>。在这种情况下, 输电导线的电阻也会发生变化。而电阻会对输电导线的载流量产生影响, 且电流与温度存在相互耦合

关系。

### 二、牵引网输电导线载流量计算

#### 2.1 最大允许持续载流量计算

在正常情况下, 牵引网输电导线中存在恒定电流。当输电导线温度达到最大允许温度且不再变化时, 输电导线的电流就是最大允许持续载流量。此时, 输电导线温度、载流量与散热功率、吸热功率的关系为公式(1)。

$$I_{\max}^2 R(T_{\max}) + p_s - p_c - p_r = 0 \quad (1)$$

公式(1)中的 $I_{\max}$ 指的是输电导线最大允许持续载流量; $R(T_{\max})$ 指的是输电导线在最大允许温度时的电阻值, 单位为 $\Omega \cdot m^{-1}$ ;  $p_s$ 指的是输电导线太阳辐射吸热功率、 $p_c$ 指的是输电导线对流散热功率,  $p_r$ 即输电导线辐射散热功率, 单位都是 $W \cdot m^{-1[2]}$ 。

输电导线最大允许持续载流量的计算方法为公式(2)。

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{p_c + p_r - p_s}{R(T_{\max})}} \quad (2)$$

输电导线温度与载流量会受到上述诸多因素的影响，所以在计算导线最大允许载流量时应充分考虑输电导线所处地区的地理条件以及气候条件，增强计算结果的准确性。

### 2.2 导线短路载流量计算

在短路情况下，输电导线的电流会瞬间达到正常电流的几十倍甚至几百倍，且会产生大量的焦耳热，继而导致导线温度不断上升，甚至会导致输电导线出现熔化等问题。短路载流量指的是输电导线出现短路且导线达到极限温度所对应的短路电流。从实际情况来看，短路载流量比最大允许持续载流量高很多。但大多数输电导线的短路持续时间都非常短，所以导线温度上升速度非常快，可以假设短路电流产生的焦耳热都用于提升导体温度<sup>[3]</sup>。在这种情况下，输电导线载流量与温度的关系为公式（3）。

$$mC_p (T_{lim} - T_b) = I_{lim}^2 \int_0^{t_s} R(T) dt \quad (3)$$

公式（3）中的  $m$  为输电导线质量，单位为  $kg \cdot m^{-1}$ ； $C_p$  为输电导线材料的比热容，单位为  $J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$ ； $T_{lim}$  为输电导线的极限温度，单位为  $^\circ C$ ； $T_b$  为输电导线短路前的温度，单位为  $^\circ C$ ； $I_{lim}$  为输电线路短路载流量； $R(T)$  指的是输电导线在相应温度时的电阻值，单位为  $\Omega \cdot m^{-1}$ 。

同时，输电导线的温度呈现线性关系变化，所以输电导线的温度计算方法如公式所示（4）。

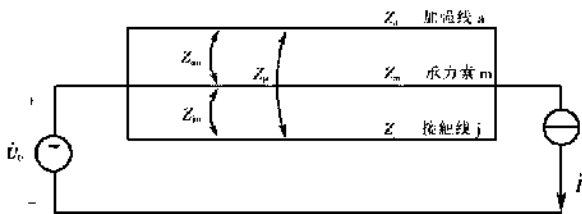
$$T = T_b + \frac{T_{lim} - T_b}{t_s} t \quad (4)$$

公式（4）中的  $T$  为输电导线的温度，单位为  $^\circ C$ ； $t_s$  为输电导线短路持续时间，单位为  $s$ 。

可以根据公式（3）与公式（4）计算输电导线的短路载流量。

### 三、牵引网输电导线的电流分配

从电流分布规律来看，牵引变电所周围的输电导线电流最大，且导线温度相对较高。所以在分析牵引网输电导线的温度时应重点分析牵引变电所周围输电导线的温度<sup>[4]</sup>。在分析时可以将距离牵引变电所较远的牵引网与机车当作负载，并绘制牵引网等效电路模型（如图一所示）。



图一：牵引网等效电路模型

之后可以通过各个机车的电流之和计算等效电流源电流，

即通过公式（5）进行计算。

$$I = \sum_{i=1}^n I_i \quad (5)$$

公式（5）当中的  $I$  为等效电流源电流，单位为  $A$ ； $n$  为供电室内机车数量； $I_i$  为第  $i$  辆机车的电流有效值。

## 四、牵引网输电导线温度及载流量的预测方法及案例

### 4.1 方法

之前大多数技术人员都是根据自身经验或保守气象条件预测输电导线的温度与载流量，但预测结果的准确性相对较低。所以需要创新预测方法，例如根据气象预报情况以及列车运行图预测牵引网输电导线的温度以及载流量，从而增强预测结果的准确性。在预测过程中需要灵活应用计算机软件并将预测流程分为初始化模块、温度计算模块以及载流量计算模块，在初始化模块中输入牵引网输电导线所处地区的位置信息、气象信息并将导线温度初值转变为环境温度，同时需要输入机车信息；在温度计算模块中计算输电导线在相应温度下的电阻值、机车电流与等效电流源电流、输电导线太阳辐射吸热功率、辐射散热功率以及对流散热功率，最后计算出输电导线的温度；在载流量计算模块中计算输电导线在最大允许温度下的电阻值以及太阳辐射吸热功率、辐射散热功率与对流散热功率，最后计算出输电导线的最大允许持续载流量<sup>[5]</sup>。

### 4.2 案例

第一，案例概况。某牵引网输电导线位于拉萨地区，其相关参数如表 1 所示。

表 1：牵引网输电导线参数

输电导线	接触线 j	加强线 a	承力索 m
等效半径 /mm	6.17	9.02	5.51
单位质量 /kg · km <sup>-1</sup>	1081	775	850
比热容 /J · kg <sup>-1</sup> · °C <sup>-1</sup>	366	731	327
电阻温度系数/°C <sup>-1</sup>	0.0037	0.0035	0.0026
最大允许温度/°C	95	90	95

第二，环境、电流等参数对输电导线温度的影响。首先，假设输电导线的恒定电流为 500A 并利用控制变量法分析环境变化对输电导线温度的影响。从验证结果来看，在风速不断增加的过程中，输电导线的对流散热功率会有所加大，导线温度会有所下降；相比于高风速段，低风速段的变化对输电导线的温度影响更大；在风向与导线夹角不断增大的过程中，输电导线的对流散热功率会不断增大，温度会不断下降；冬季输电导

线的温度相对较低,但载流量相对较大<sup>[6]</sup>。其次,假设输电导线的电流在 200A-800A 这一范围内变化并分析电流这一参数对输电导线电阻的影响。从验证结果来看,输电导线的电流与温度以及电阻之间呈正比关系,即电流越大、温度越高、电阻越大。

第三,输电导线温度与载流量的预测。首先,可以假设机车数量在时间不断增加的过程中先增加再减少,机车负荷功率为  $P+jQ=8.999+j4.357$ ,单位为 MW。其次,应准确计算输电导线的阻抗系数以及电流分配系数并明确接触线、加强线以及承力索的电流分配系数。之后需要预测输电线路的温度变化与载流量变化。从验证结果来看,输电导线的温度会受到机车数量等因素的影响,但输电导线的温度变化具有一定的滞后性,所以可以利用温度变化特点与机车数量变化特点扩大牵引网的容量。同时,由于冬季环境温度较低,输电导线的温度比较低,载流量相对较大,所以可以根据季节特点调整牵引网的容量。例如,在冬季时扩大牵引网的容量,使牵引网承受更高的载流。此外,需要分析输电导线的短路载流量。在这一过程中可以将输电导线发生短路前的温度设置为 70℃,之后分析短路载流量与短路时间之间的关系。从验证结果来看,在短路时间不断延长的过程中,短路载流量会不断减小。且若短路电流没有超过短路载流量就不会对输电导线造成危害。

## 五、结语

从实际情况来看,牵引网输电导线的温度与载流量会受到地理、气候以及列车负荷等因素的影响,而准确预测温度与载流量可以进一步扩大牵引网的容量,因此需要灵活应用气象预报技术以及列车运行图,增强温度与载流量预测的准确性。但该研究还不够完善,所以应进一步深化研究,不断优化预测手

段。

## 参考文献:

- [1] 孙立军,脱长军,田铭兴,徐金阳,潘存磊.考虑电热耦合影响的牵引网潮流计算方法[J].电网技术,2020,44(07):2665-2673.
- [2] 金琳,王辉,李群湛,刘童童.城市轨道交通牵引电缆贯通供电系统仿真研究[J].电气化铁道,2022,33(05):68-73.
- [3] 邓云川.基于多导体回路法的带回流线直接供电方式牵引网链式参数模型[C]//2022世界交通运输大会(WTC2022)论文集(轨道交通与水上运输篇),2022:277-285.
- [4] 陈仕龙,李朋松,庄启康,毕贵红,高敬业,赵四洪.基于小波暂态能量比值的牵引网单端方向保护[J].电力科学与工程,2022,38(08):22-29.
- [5] 陈仕龙,陈俊瀚,蔡潇,毕贵红,赵四洪.基于 FEEMD 与 TEO 的贯通式 AT 同相牵引供电系统牵引网单端功率方向保护[J].电机与控制应用,2022,49(08):73-78+86.
- [6] 李群湛,王帅,易东,陈民武.电气化铁路贯通同相供电 AT 牵引网故障辨识与自愈技术研究[J].铁道学报,2022,44(07):46-54.

作者简介:齐东(1995-11-02-)性别:男,民族:汉,籍贯:山东省德州市庆云县。学历:硕士在读。研究方向:架空输电线路振动分析,工作单位:河北建筑工程学院,单位地址:河北省张家口市桥东区朝阳西大街13号,单位邮编:075132

基金项目:河北建筑工程学院2020年度校级研究生创新基金(XY202142)