

文章编号:1006-2106(2014)05-0085-05

电气化铁路接触悬挂吊弦和电连接的电气负荷计算^{*}

陈学光^{**}

(中国铁路总公司经济规划研究院, 北京 100038)

摘要:研究目的:弦和电连接是电气化铁路接触悬挂的重要组成部分,其电气负荷是接触网安全运行的基本保证。目前世界上电气化铁路主要采用载流型铜合金绞线整体吊弦和软铜绞线电连接。本文从耦合平行导线电路计算原理出发,结合工程实际对接触悬挂吊弦和电连接的电气负载能力进行了仿真计算,得出吊弦和电连接的电气负载能力需求,意在提出接触悬挂电连接的设置原则。

研究结论:(1)载流型整体吊弦具有显著的多点并联分流作用,仅在变流点附近的3~5个吊弦和1个电连接明显参与了接触悬挂的电流分配,其余吊弦和电连接几乎不参与,电流趋近于零;(2)由于吊弦的载流能力十分有限,在持续变流点处的吊弦不能满足持续载流要求,应设置电连接;(3)电连接设置的具体原则为:在供电线上网、绝缘锚段关节和非绝缘锚段关节、满足电流径路需要的不同股道接触网之间等处应设置电连接,而其余部分无需设置电连接;该设置原则适用于所有类型的电气化铁路接触网。

关键词:接触悬挂;吊弦;电连接;电流分配

中图分类号:U221 **文献标识码:**A

Load Calculation of Dropper and Electrical Connector in Overhead Contact Suspension of Electrical Railway

CHEN Xue - guang

(The Economic Planning Research Institute of China Railway Corporation, Beijing 100038, China)

Abstract: **Research purposes:** Both the dropper and the electrical connector are important components of the OCS (overhead contact suspension) of electrical railway, which electrical load are crucial to OCS safe. The integral droppers with current carrying capacity made of copper alloy strands and the electrical connector made of soft copper wires were used widely in the world. In this paper the electrical load characteristics of the dropper and the electrical connector were discussed and analyzed based on the circuit theory of parallel transmission lines with mutual inductance, the current carrying demands are obtained and the practical setting principles of the electrical connector are proposed.

Research conclusions: (1) The integral dropper with current carrying capacity should have the significant function distributing current with parallel many points, only the three ~ five droppers and one electrical connector near the current change point could take part in the current distribution of OCS, and the other droppers and the electrical connectors should hardly take part in the current distribution which currents should approach zero. (2) Because the cross section of the dropper is limited, the dropper at the continuous current change point cannot undertake the current flowing, where the electrical connector must be set. (3) The electrical connectors should be set as a practical setting principles at the connection joints among the power supply lines and OCS, insulated overlaps, non-insulated overlaps, the connection joints among OCSs of differential rail tracks, and the electrical connectors need not be set at the other

^{*} 收稿日期:2014-01-25

^{**} 作者简介:陈学光,1958年出生,男,高级工程师。

parts of OCS. The principles should be applied to all types of the OCS in electric railways.

Key words: overhead contact suspension; dropper; electrical connector; current distribution

吊弦和电连接是电气化铁路接触悬挂的重要组成部分,其电气负荷特性是接触网安全运行的主要保证^[1-3]。随着我国高速铁路、客运专线和重载铁路的飞速发展,牵引网电气负荷日益加重,因此有必要对接触悬挂吊弦和电连接的电气负荷性能进行分析和计算^[4]。

1 电气计算模型

1.1 吊弦和电连接

吊弦的作用是将接触导线悬挂在承力索上来调整接触导线弛度并改善受流质量。最早我国采用镀锌铁线制成的环节吊弦,随着技术的发展,目前均采用铜合金绞线制成的载流整体吊弦^[1,7]。

电连接是电气化铁路接触网系统中承力索与接触线之间、股道间、锚段关节处、道岔处保持电流畅通的连接线,要求导电性能良好,能伸能缩,一般采用多股软铜绞线^[5-6]。从电气角度来分析,电连接主要分为以下两类:

(1)纵向电连接,保持电流径路通畅的电连接,其特点是沿电流流动方向设置,如一个供电臂内的锚段关节处、股道间、道岔处的电连接装置。显然,纵向电连接的电气负荷取决于其连接的接触网所承担的牵引负荷。

(2)横向电连接,改善接触悬挂承力索和接触导线之间局部电流分布的电连接,其特点与电流流动方向垂直设置,如在供电网上网处、绝缘锚段关节处承力索和接触导线之间的连接装置。

对于横向电连接,以往认为:当采用载流承力索时,沿线每隔 200 m 安装 1 组横向电连接^[5-6]。但长期以来电连接如何安装并无明确规定。铁集成[2010]258 关于印发《客运专线铁路牵引供电及电力供电系统集成若干问题的指导意见》的通知中则要求:“电连接设置原则应由牵引供电计算确定,并在设计文件中明确”。

1.2 计算前提

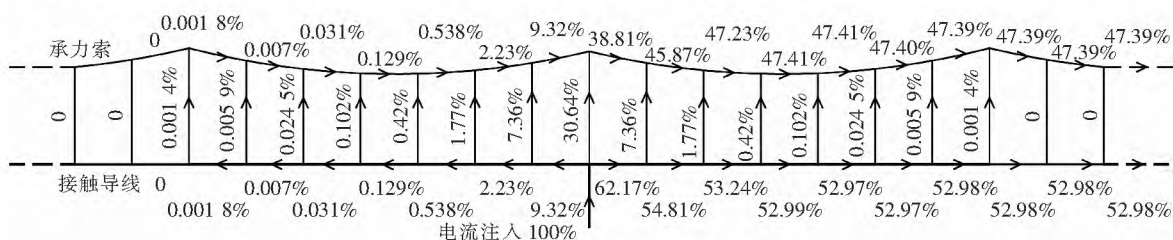


图2 变流点在接触悬挂中部时的接触悬挂电流分布

为描述简便,将接触悬挂上电流流入或流出处统称为变流点。显然,供电网上网、绝缘锚段等处为长期持续性变流点,受电弓取流处属于瞬时移动性变流点。

为便于建模计算,需对接触悬挂进行简化:

(1)由于吊弦、电连接与接触悬挂导线垂直布置,忽略吊弦与牵引网其余导体的互感的影响;同时吊弦、电连接的长度非常短,忽略吊弦之间、电连接之间和吊弦与电连接之间的互感影响。

(2)忽略周边导体对接触悬挂的电磁影响。

(3)假定所有吊弦、电连接均采用等间距布置。

简化后的接触悬挂等效电路示意图如图 1 所示。图中, n 为节点号, Z_{dx} 为吊弦阻抗, Z_{dlj} 为电连接阻抗, Z_{jcx} 为接触导线阻抗, Z_{cls} 为承力索阻抗, Z_{mut} 为接触导线与承力索之间的互阻抗,阻抗的单位均为 Ω/km 。

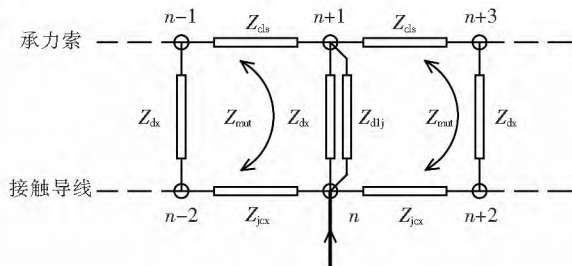


图1 接触悬挂等效电路示意图

显然,带有吊弦和电连接的接触悬挂是一个耦合平行导体的电气网络,可方便的通过节点导纳矩阵来求解各节点电压和支路电流^[8-10]。

2 无电连接时吊弦的电气性能

2.1 带吊弦的接触悬挂电流分布

首先讨论无电连接时一个供电臂内接触悬挂内的电流分布规律。以某客运专线为例,接触导线采用 CTS-150 铜合金接触导线,承力索采用 JTMH-120 镁铜合金绞线,吊弦采用镁铜合金绞线整体吊弦 JTMH-35。当变流点分别位于接触悬挂中部和端部时,接触悬挂内电流分布示意图如图 2 和图 3 所示。

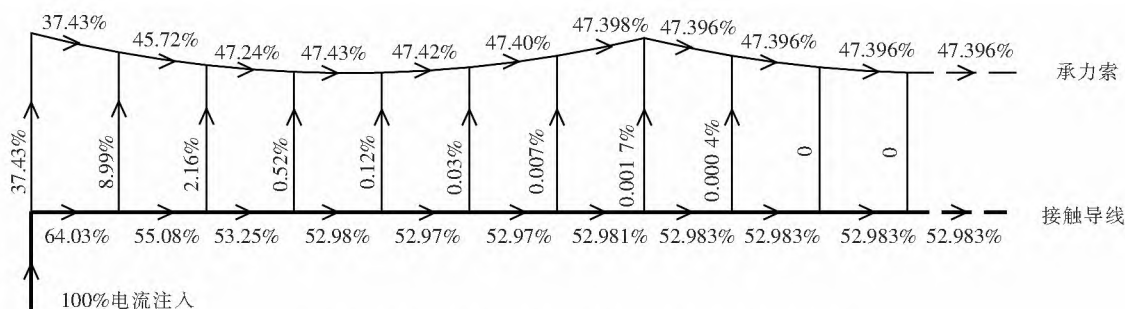


图3 变流点在接触悬挂端部时的接触悬挂电流分布

分析图2、图3可知,

(1)载流型整体吊弦的存在,相当于在接触导线和承力索之间进行了多点并联,变流点两侧均仅有临近的4~5根吊弦电流超过了0.1%,其余吊弦电流迅速衰减并趋近于0,承力索和接触导线电流很快达到了基于电磁感应的稳定分布状态。

(2)对于不在变流点附近的吊弦,仅当电力机车或动车组的受电弓从吊弦处经过时,吊弦才非常短时的承担较大电流。

(3)当变流点在接触网中部时,最大吊弦分流为总电流的30.64%;当变流点在接触网端部时,最大吊弦分流为总电流的37.43%。因此位于接触网端部变流点处的吊弦的电气负荷较重,应作为吊弦电气性能的分析对象。

2.2 吊弦的电气性能分析

目前我国常用JTMH-35镁铜合金绞线制作吊弦,计算截面积为 34.36 mm^2 。根据《电气化铁道用铜及铜合金绞线》(TB/T 3111—2005),其持续载流量仅为185 A。按照上述计算结果反算,在吊弦电流不超过持续载流量时,允许接触悬挂通过的最大持续电流仅为494 A,远不能满足实际工程需要。

而当发生短路时,通常按照下式计算导体的热稳定允许最小截面^[8]:

$$S \geq I_d \frac{\sqrt{t}}{C} \quad (1)$$

式中 S ——短路热稳定要求的最小允许截面(mm^2);

I_d ——稳态短路电流(A);

t ——短路电流持续时间(s),取1 s;

C ——热稳定系数,铜材质取210。

则在相应截面 S 下的允许最大短路电流为:

$$I_d \leq S \frac{C}{\sqrt{t}} \quad (2)$$

代入上述数据,可得允许通过JTMH-35镁铜合金绞线吊弦的短路电流为 $I_d \leq 7.215\text{ kA}$,相应流经接触悬挂的最大短路电流为19.277 kA。该短路电流能够满足绝大多数工程应用情况。

综上所述,目前常用的接触网吊弦能满足短路电流的热稳定需求,但却不能满足无电连接时接触悬挂持续载流的需要,因此在供电臂上持续变流点处必须设置电连接来改善电流分布、保证吊弦安全。

3 电连接和吊弦的电气性能计算

我国电气化铁道通常采用TRJ-95软铜绞线作为电连接,截面积 95 mm^2 。仿真计算中还考虑了电连接在接触悬挂上的不同安装间距。

3.1 带吊弦和电连接的接触悬挂电流分布

同样以前述客运专线为例,接触悬挂设有电连接,当变流点分别位于中部和端部时,接触悬挂内电流分布示意图如图4和图5所示。

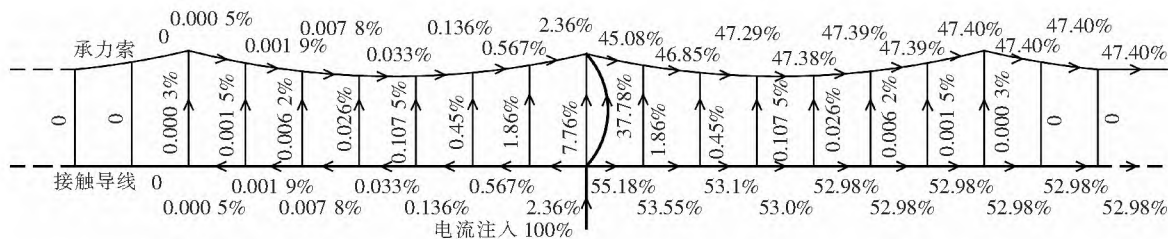


图4 变流点在接触悬挂中部时的带电连接的接触悬挂电流分布

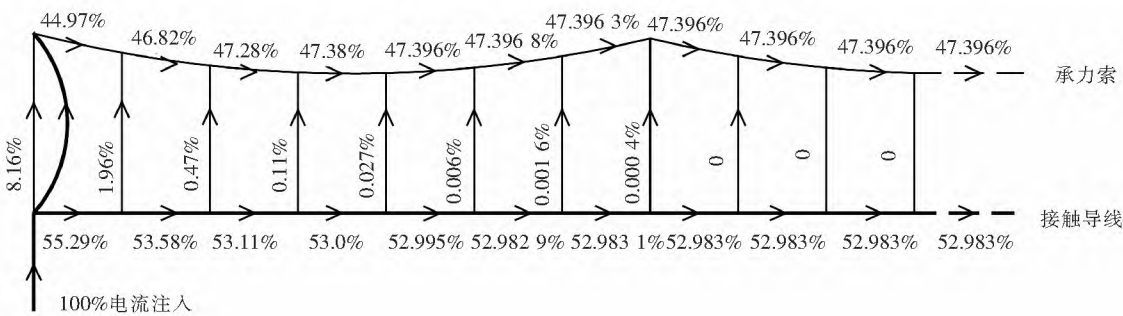


图 5 变流点在接触悬挂端部时的带电连接的接触悬挂电流分布

根据图 4、图 5 和计算结果可知：

(1) 由于载流型吊弦的多点并联作用, 仅在变流点处的电连接和邻近的少数吊弦明显参与了接触悬挂的电流分配, 不论电连接按何种间距设置, 不在变流点附近的电连接电流均接近于零。因此, 接触悬挂上无需过多设置电连接。

(2) 变流点两侧均仅有临近的 3 根吊弦的分流超过了 0.1%, 其余吊弦电流迅速衰减并趋近于 0, 与无电连接相比参与分流的吊弦数量减少。

(3) 由于电连接的阻抗远小于吊弦阻抗, 因而电连接的存在大大改善了变流点处的接触悬挂电流分布, 流经吊弦的电流大幅减少: 变流点在中间时, 吊弦电流从 30.64% 下降到 7.76%; 变流点在端部时, 吊弦电流从 37.43% 下降到 8.16% ;

(4) 当变流点在接触网中部时, 电连接分流达到 37.78% ; 当变流点在接触网端部时, 电连接分流达到 39.72% 。因此可选取电气负荷较重的、位于接触网端部变流点处的吊弦和电连接作为分析对象。

3.2 吊弦和电连接的电气性能分析

根据上述计算结果, 吊弦和电连接对接触悬挂的载流能力影响如表 1 所示。

表 1 吊弦和电连接对接触悬挂载流能力的影响

线材	额定载流量	分流系数	接触悬挂的最大载流量
JTMH-35	185 A	8.16%	919 A
TRJ-95	365 A	39.72%	

显然, 与无电连接时的 494 A 相比, 设置电连接后的接触悬挂载流能力大大提高, 与接触导线和承力索组合的载流能力正好基本匹配。

同理, 将吊弦和电连接的相关参数代入式(2), 可得到各自所能承受的短路电流, 进而得出整个接触悬挂所能承受的短路电流, 结果详如表 2 所示。

显然, 装设电连接后, 接触悬挂承受短路电流的能力大大增强, 完全能够适应各种工程应用。

表 2 吊弦和电连接对接触悬挂承受短路电流能力的影响

线材	所能承受的短路电流	分流系数	接触悬挂承受短路电流能力
JTMH-35	7.2 kA	8.16%	50.2 kA
TRJ-95	19.9 kA	39.72%	

4 结论

本文依据耦合平行导线电路原理对接触悬挂中吊弦和电连接的电气性能进行了计算和分析, 得出以下结论：

(1) 载流型整体吊弦具有显著的多点并联分流作用, 仅变流点附近 3~5 个吊弦和电连接显著参与了接触悬挂的电流分配, 其余吊弦和电连接几乎不参与, 电流非常小并趋近于零；

(2) 由于吊弦的载流能力十分有限, 在供电线上网、绝缘锚段关节等持续变流点处的吊弦不能满足持续载流要求, 应设置电连接；

(3) 仅在长期持续性变流点处需设置电连接, 接触悬挂其余部分则无需设置电连接。

根据以上仿真计算结果, 可以得出接触悬挂上电连接的设置原则如下: 在供电线上网处应设置电连接; 在供电臂内的接触网绝缘锚段关节和非绝缘锚段关节处两侧应设置电连接; 在一个供电单元内, 不同股道之间的接触网应设置电连接。

该设置原则适用于普速、高速及客专、重载等所有类型的电气化铁路接触网。

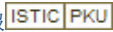
参考文献：

[1] TB/T 2075. 7—2010, 电气化铁路接触网零部件 第 7 部分: 整体吊弦及吊弦线夹[S].
TB/T 2075. 7—2010, Fittings for Overhead Contact System in Electrification Railway, Part 7: Integrated Dropper and Dropper Clamp [S].

- [2] TB/T 2075. 11—2010, 电气化铁路接触网零部件 第 11 部分:电连接装置[S].
TB/T 2075. 11—2010, Fittings for Overhead Contact System in Electrification Railway, Part 11: Electric Connection Device[S].
- [3] TB/T 3111—2005, 电气化铁道用铜及铜合金绞线[S].
TB/T 3111—2005, Stranded Copper and Copper - Alloy Conductors for Electric Railway [S].
- [4] 铁集成[2010]258 号, 关于印发《客运专线铁路牵引供电及电力供电系统集成若干问题的指导意见》的通知 [S].
TJC[2010]258, Notice for Release of the Guidance for Some Problems in System Integration of Traction Supply and Power Supply for Passenger Dedicated Line [S].
- [5] 阮云斌, 徐鸿燕. 接触网电连接的安装及其长度的选取 [J]. 铁道标准设计, 2001(11):36-37.
Ruan Yunbin, Xu Hongyan. Installation and Length Selection of Electric Connector of OCS [J]. Railway Standard Design, 2001(11): 36-37.
- [6] 王连群, 孙立金. 电气化铁路接触网电连接设计的探讨 [J]. 铁道勘测与设计, 2002(1):19-23.
Wang Lianqun, Sun Lijin. Discussion of Electric Connector of OCS in Electric Railway [J]. Railway Survey and Design, 2002(1):19-23.
- [7] 刘正大. 简单链型悬挂接触网整体吊弦计算[J]. 铁道建设, 2004(3):53-56.
Liu Zhengda. Calculation of Integrated Dropper in the Simple Chain Suspension OCS [J]. Railway Construction, 2004(3):53-56.
- [8] KieBling, Puschmann, Schmieder. 电气化铁道接触网 [M]. 北京:中国电力出版社, 2004.
KieBling, Puschmann, Schmieder. Catenary in Electric Railway [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [9] 楚振宇. 复线电气化铁路直供牵引网载流能力的计算 [J]. 铁道工程学报, 2010(8):87-90.
Chu Zhenyu. Calculation of Current Carrying Capacity of TRNF Traction Network for Double-track Electrified Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2010(8): 87-90.
- [10] 楚振宇. 直供全并联供电方式牵引网载流能力分析 [J]. 铁道工程学报, 2011(9):88-91.
Chu Zhenyu. Analysis of Load Capacity of Traction Network with All Parallel Supply Mode in TRNF Electrified Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2011(9):88-91.

~~~~~  
(上接第 84 页 From P. 84)

- [6] 李的林, 高振儒, 朱立新. 爆破震动危害中几个重要因素分析[J]. 工程爆破, 1999(3):64-67.  
Li Delin, Gao Zhenru, Zhu Lixin. Analysis on Several Principal Factors of Blasting Vibration Hazards [J]. Engineering Blasting, 1999(3):64-67.
- [7] 李新平, 宋桂红, 文建华, 等. 某水电站地下洞室爆破振动控制研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003(增1):2506-2509.  
Li Xinping, Song Guihong, Wen Jianhua, etc. Control Study of Blasting Vibration of Underground Chamber of Hydropower Station [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003(S1):2506-2509.
- [8] 吴新霞, 赵根, 王文辉, 等. 数码雷管起爆系统及雷管性能测试[J]. 爆破, 2006(4):93-96.  
Wu Xinxia, Zhao Gen, Wang Wenhui, etc. Digital Detonators Performance Test and Energy Control System [J]. Blasting, 2006(4):93-96.
- [9] 凌同华, 李夕兵. 基于小波变化的时-能分布确定微差爆破的实际延迟时间[J]. 岩石力学与工程学报, 2004(13):2266-2270.  
Ling Tonghua, Li Xibing. Time-energy Analysis Based on Wavelet Transform for Identifying Real Delay Time in Millisecond Blasting [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004(13): 2266-2270.
- [10] 傅洪贤, 张幼蒂. 爆破粒度的图像处理技术及其优化控制模型[J]. 矿业安全与环保, 2001(2):8-10.  
Fu Hongxian, Zhang Youdi. Image Processing Technique of Blasting Fragments and Its Optimization Control Model [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2001(2):8-10.

作者: [陈学光, CHEN Xue-guang](#)  
作者单位: [中国铁路总公司经济规划研究院, 北京, 100038](#)  
刊名: [铁道工程学报](#)   
英文刊名: [Journal of Railway Engineering Society](#)  
年, 卷(期): 2014(5)

## 参考文献(10条)

1. [电气化铁路接触网零部件第7部分:整体吊弦及吊弦线夹](#)
2. [电气化铁路接触网零部件第11部分:电连接装置](#)
3. [电气化铁道用铜及铜合金绞线](#)
4. [关于印发《客运专线铁路牵引供电及电力供电系统集成若干问题的指导意见》的通知](#)
5. [阮云斌;徐鸿燕 接触网电连接的安装及其长度的选取](#) 2001(11)
6. [王连群;孙立金 电气化铁路接触网电连接设计的探讨](#) 2002(01)
7. [刘正大 简单链型悬挂接触网整体吊弦计算](#) 2004(03)
8. [KieBling;Puschmann Schmieder 电气化铁道接触网](#) 2004
9. [楚振宇 复线电气化铁路直供牵引网载流能力的计算](#) 2010(08)
10. [楚振宇 直供全并联供电方式牵引网载流能力分析](#) 2011(09)

引用本文格式: [陈学光, CHEN Xue-guang 电气化铁路接触悬挂吊弦和电连接的电气负荷计算](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2014(5)