

文章编号: 1674—8247(2012)06—0023—04

避雷线提高接触网耐雷水平分析

曹道勇¹ 陈纪纲²

(1. 成渝铁路客运专线有限责任公司, 成都 610000; 2. 中铁二院工程集团有限责任公司电气化设计研究院, 成都 610031)

摘 要:文章在现有电气化铁路接触网防雷研究的基础上,分别计算出接触网系统在有、无避雷线的情况下,雷击电气化铁路线路附近地面、接触网支柱、接触网导线时,能够引起接触网闪络的雷电流幅值与概率;分析了接触网系统中有避雷线时,避雷线在不同的保护角度下,雷电绕击接触网系统的概率。对接触网系统作出了有、无避雷线时耐雷水平的比较,避雷线的屏蔽和分流作用使接触网耐雷水平提高。对接触网线路的大气过电压防护措施提出了建议。

关键词:避雷线; 接触网; 耐雷水平

中图分类号:U223.8⁺2 **文献标识码:**A

Analysis of Improvement of Lightning Withstand Level of OCS by Overhead Ground Wire

CAO Dao-yong¹ CHEN Ji-gang²

(1. Chengdu-Chongqing Railway Passenger Dedicated Line Co., Ltd, Chengdu 610000, China;

2. Electrification Design and Research Institute China Railway Eryuan Engineering
Group Co. Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: Based on the lightning protection research of OCS at present, it is separately calculated the lightning current amplitude and probability that may cause flashover of the OCS with or without overhead ground wire in OCS, when lightning happened on the ground close to the electrified railway line, happened to the pillar and contact wire of OCS; it is analyzed the probability of lightning shielding failure, from different protection angles of the overhead ground wire in OCS. It is compared the lightning resisting level of the OCS with or without overhead ground wire. The functions of shielding and shunting of overhead ground wire increase the lightning resisting level of OCS. Proposals are put forward about the atmospheric over-voltage protection measures of OCS.

Key words: overhead ground wire; OCS; lightning resisting level

1 引言

随着铁路建设的持续发展,电气化铁路开通里程的逐步扩大,雷击接触网线路引起的跳闸、停电事故次数也日益增多。社会公众对铁路尤其是客运专线供电可靠性要求越来越高,减少雷击及雷击跳闸对牵引供电系统有着重要的意义。有关数据表明,在我国电气化铁路牵引供电系统雷击跳闸率较高的地区,尤其是在多雷、土壤电阻率较高、地形复杂的地区,由于雷击原因引起跳闸的次数占到总跳闸次数的 50% 以上。

接触网设置的避雷线可以防止雷直击接触导线(承力索),降低雷击时支柱顶部电位以及降低接触导线(承力索)上的感应过电压。根据 TB 10009—2005《铁路电力牵引供电设计规范》的规定,对于强雷区应架设独立的避雷线。在我国电气化铁道的实践中,目前只有海南东环铁路的接触网系统全线架设了避雷线,而架设避雷线后的雷击跳闸次数较其它线路大大减少。

2 无避雷线接触网线路的耐雷水平

当接触网防雷水平不高时,沿铁道线路的雷云放电,无论是雷击接触网附近地面引起的感应过电压、雷击接触网支柱,还是雷电直击接触网,都有可能引起接

收稿日期:2012-02-27

作者简介:曹道勇(1964-),男,工程师。

触网绝缘子闪络。

2.1 雷击附近地面

当雷云接近接触网上空时,根据静电感应原理,将在线路上感应出一个与雷云电荷相等但极性相反的电荷,即束缚电荷。接触网导线(承力索)上与雷云同号的电荷则被排斥而向两侧运动,经由线路泄漏电导及通过牵引供电系统中性点逸入大地。雷云主放电开始后,先导通道中的电荷自下而上被迅速中和,相应的电场迅速减弱,使导线上的束缚电荷迅速释放,形成电压波向两侧传播。

在雷击点与线路之间的距离大于 65 m 的情况下(更近的落雷将因线路的引雷作用而击于接触网上),接触网导线上的感应过电压,也就是绝缘子承受的过电压最大值,可由式(1)求得:

$$U = 25 \times \frac{Ih}{s} \quad (1)$$

式中: I ——雷电流(kA);

h ——导线距地高度(m);

s ——雷击点距导线距离(m)。

若接触网线路的绝缘采用棒式绝缘子,设其 $U_{50\%}$ 冲击闪络电压为 300 kV,导线(承力索)悬挂高度为 8 m,雷击距接触网 65 m 的地面。接触网的耐雷水平为 95 kA,雷击地面引起绝缘子闪络的概率为 7.8%。

2.2 雷击接触网支柱顶部

从雷击接触网接地部分而引起绝缘子闪络来看,比较严重的情况为雷击某一支柱的顶部。此时,大部分雷电流将从该支柱入地并引起反击过电压。同时雷击支柱时,雷电通道产生的电磁场迅速变化,在接触网导线上产生与雷电流极性相反的感应电压(与支柱反击过电压异极性),两者叠加使产生的雷电过电压很高。

雷击接触网支柱时,接触网绝缘子承受的过电压为支柱上反击过电压和感应过电压之和,如式(2):

$$U = U_1 + U_2 = IR + I \frac{L}{2.6} + I \frac{h}{2.6} \quad (2)$$

式中: R ——支柱的冲击接地电阻(Ω);

L ——支柱的等值电感(μH);

U_1 ——雷击支柱时支柱的冲击过电压(kV);

U_2 ——雷击支柱时导线的感应电压(kV)。

取接触网线路的绝缘子 $U_{50\%}$ 冲击闪络电压仍取 300 kV,接触网支柱接入综合地线(设综合地线工频接地电阻取 1 Ω ,冲击接地电阻取 1.1 Ω),导线(承力索)悬挂高度为 8 m,雷电流波形取斜角平顶波,波头长度为 2.6 μs ,支柱的等值电感取 10 μH 。则雷击支柱时接触网的耐雷水平为 37.34 kA,雷击支柱引起绝

缘子闪络的概率分别为 38%。

2.3 雷直击接触网导线(承力索)

雷直击接触网导线(承力索),设雷电流为 I ,根据雷电流定义,沿波阻抗为 Z_0 的雷电通道流动的电流为 $0.5I$,雷电过电压为:

$$u = \frac{1}{2} I \times Z_0 \quad (3)$$

式中: Z_0 ——雷道波阻抗(Ω)。

当这个雷电压行波到达被击点后,将沿接触网的两个方向以流动波形式传播。由于接触网很长,对于被击点可视为对称无穷长。根据文献,可得出作用于靠近被击点的支持绝缘子上的过电压为:

$$U = \frac{Z \cdot Z}{Z + 2Z_0} I \quad (4)$$

式中: Z ——接触网线路的波阻抗(Ω)。

取接触网线路的绝缘子 $U_{50\%}$ 冲击闪络电压仍取 300 kV,取接触网线路的波阻抗 $Z = 250 \Omega$;取雷道波阻抗 $Z_0 = 300 \Omega$ 。当雷直击导线(承力索)时,则雷击接触网导线时接触网的耐雷水平为 3.40 kA,雷击地面引起绝缘子闪络的概率为 91.5%。可以看出,几乎绝大部分雷击接触网导线均可引起绝缘子闪络。

3 有避雷线接触网线路的耐雷水平

避雷线主要是对接触网导线起到屏蔽作用,从而减少雷电直击导线的机率,分流流经杆塔的雷电流,降低塔顶电位。避雷线还与接触导线(承力索)有一定的耦合作用,以减少线路绝缘子上的过电压,提高线路耐雷水平。避雷线敷设于导线上方,保护范围成带状,其可作为接触网防雷的主保护。

3.1 接触网感应雷过电压

如果接触网导线上方挂有避雷线,则由于其屏蔽作用,导线上的感应电荷就会减少,导线上的感应电压就会降低。其屏蔽作用主要取决于导线和避雷线之间的耦合系数,耦合系数由导线和避雷线之间的几何尺寸、排列位置、以及电晕效应决定。当采用单根避雷线时,可设耦合系数为 0.2。绝缘子承受的过电压如式(5):

$$U' = U \times (1 - k) = 25 \times \frac{Ih}{s} \times (1 - 0.2) \quad (5)$$

式中: k ——耦合系数(kA)。

同等条件下,若接触网线路架设避雷线后,雷电引起的感应过电压降低 20% 左右。接触网的耐雷水平为 122 kA,雷击地面引起绝缘子闪络的概率为 4%。

3.2 雷击接触网支柱顶部

当雷击塔顶时,由于避雷线的分流作用,流经杆塔

入地的电流小于雷电流,当架设单根避雷线时,设分流系数 β 为0.9。

避雷线与塔顶有着相同的电位,但由于避雷线和接触网导线的耦合作用,导线上将产生耦合电压 kU (此电压与雷电流同极性)。同时,由于雷电流的电磁场作用,在导线上还有感应过电压存在(此电压与雷电流异极性)。

雷击接触网支柱时,接触网绝缘子承受的过电压为支柱上反击过电压、导线的感应过电压以及导线的耦合电压之和,如式(6):

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = U_1 - kU_1 + U_3 \\ = I(\beta R + \beta \frac{L}{2.6} + \frac{h}{2.6})(1 - k) \quad (6)$$

式中: U_3 ——避雷线与导线之间的耦合电压(kV);

β ——避雷线的分流系数。

同等条件下,若接触网线路架设避雷线后,雷击接触网支柱时,接触网耐雷水平为50 kA,雷击地面引起绝缘子闪络的概率为27%。

4 有无避雷线接触网线路的耐雷水平的比较

4.1 雷击地面和雷击杆塔

根据以上分析,在有、无架设避雷线时,雷击地面和雷击支柱时接触网耐雷水平和绝缘子闪络概率如图1、图2(设接触网支柱接综合地线)所示。

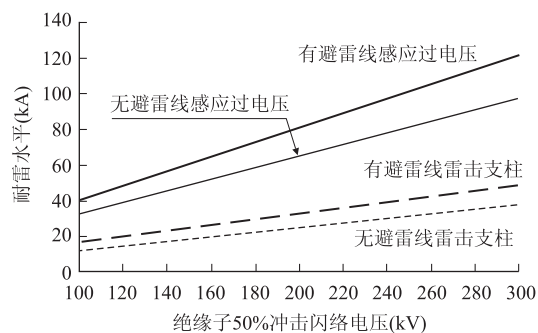


图1 有无避雷线雷击支柱和地面接触网耐雷水平图

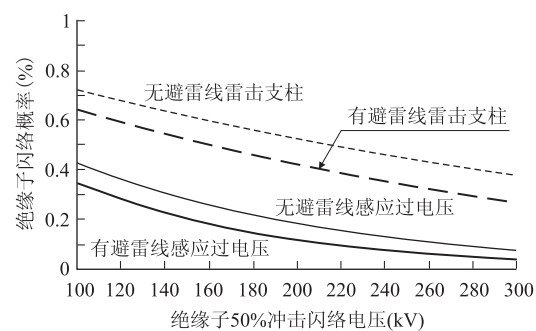


图2 有无避雷线雷击支柱和地面绝缘子闪络概率图

可以看出,架设避雷线后,雷击地面和雷击支柱时,由于避雷线的屏蔽、分流作用,接触网的耐雷水平有了一定的提高。

4.2 雷电绕击概率

装设避雷线的线路仍然会有雷绕过避雷线而击于导线的可能。虽然绕击的概率很小,但一旦出现,很容易造成绝缘子闪络。根据(DL/T 620 1997)《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》,绕击率在平原和山区分别用式(7)、式(8)表示:

$$\lg P = \frac{a\sqrt{h}}{86} - 3.9 \quad (7)$$

$$\lg P = \frac{a\sqrt{h}}{86} - 3.35 \quad (8)$$

式中: P ——绕击概率;

a ——避雷线对导线的保护角;

h ——杆塔高度。

设接触网支柱高度为8 m,保护角在 $0^\circ \sim 40^\circ$ 之间,则在平原和山区地区,有避雷线的接触网线路被雷电绕击的概率如图3所示。

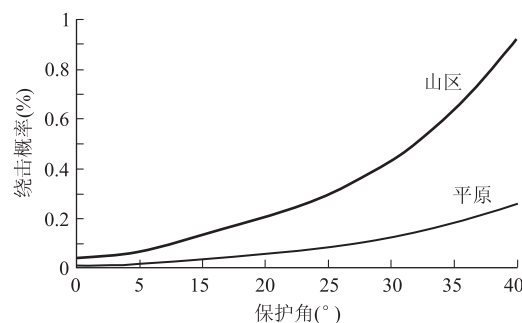


图3 架设避雷线后雷电绕击接触网导线概率图

可以看出,接触网架设避雷线后,在避雷线 40° 角的保护范围内,雷击绕击的概率平原地区不大于0.2%,山区地区不大于1%。

5 结语

通过理论分析可见,接触网耐雷水平不高,沿铁道线路的雷云放电,无论是雷击接触网附近地面引起的感应过电压、雷击接触网支柱,还是雷电直击接触网,都有可能引起接触网绝缘子闪络,当雷击接触网导线时闪络的概率最大。

避雷线的主要作用是防雷电直击导线,架设避雷线后,接触网导线被雷电绕击概率很小。同时,架设避雷线后,当雷击地面和雷击接触网支柱时,接触网的耐雷水平有了一定的提高。

此外,通过分析可见,减少接触网雷击引起闪络事故的措施主要有:(1)为降低接触网支柱的冲击接地

电阻,应尽量降低接触网支柱接地电阻,并定期检查,使其保持在一个较低的范围内。有综合地线区段,接触网支柱应接入综合地线。(2)对于雷击事故比较频繁的区域,可在该区段的接触网上方架设避雷线。

参考文献:

- [1] 赵智大. 高电压技术[M]. 北京:中国电力出版社,1999.
Zhao Zhi-da. High Voltage Technology[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1999.
- [2] 于增. 接触网防雷技术研究[J]. 铁道工程学报,2002(1):89-94.
Yu Zeng. Study on Lightning Protection of Catenary[J]. Journal of Railway Engineering, 2002(1):89-94.
- [3] 张坤莲. 电力线路耐雷水平判断及防雷措施[J]. 广西电业,2006(5):82-86.
Zhang Kun-lian. Power Line Lightning Resisting Level of the Lightning Protection and Judgment[J]. Guangxi Electric Power, 2006(5):82-86.

- [4] 顾乐观,孙才新. 电力系统的污秽绝缘[M]. 重庆:重庆大学出版社,1999.
Gu Le-guan, Sun Cai-xin. The Filth of the Power System Insulation[M]. Chongqing:Chongqing University Press,1999.
- [5] 任晓娜,吴广宁,付龙海,等. 采用避雷器后输电线路仿真模型的建立及应用现状[J]. 电瓷避雷器,2005(5):26-29.
Ren xiao-na, Wu Guang-ning,Fu Long-hai, et al. Research on Transmission Line System Simulation Models with Line Arrester and Its Application[J]. Insulators and Surge Arresters, 2005(5):26-29.
- [6] 陈纪纲,无砟轨道线路接触网防雷技术研究[J]. 铁道工程学报,2007(12):422-426.
Chen Ji-gang. Research on the Lightning Protection Technology of OCS on Ballastless Track[J]. Journal of Railway Engineering,2007(12):422-426.
- [7] 林苗,避雷线对带电导体的防雷保护角问题研究[J]. 电磁避雷器,2009(4):27-29.
Lin Miao. Study on the Lightning Protection Angle of the Lightning Shield Wire to the Energized Conductor[J]. Insulators and Surge Arresters,2009(4):27-29.

(上接第22页)

6 结论

通过对胶济客运专线既有控制网和精密控制网的对比分析,提出高精度控制测量网来兼容低精度控制测量网的分析处理方法:结合重要建筑物在线路平面上的偏差,进行较小的切线控制边调整,确定线路平面设计;通过对相同水准点在两个控制网中的高差,对既有涵洞顶填方高度、既有线拨接拢口地段轨面高程、跨线建筑物净空等控制和影响线路纵断面设计的地段采用三等水准点进行复核测量,成段调整线路纵断面。据此,在最短时间内调整工程线路平纵断面施工图设计资料,提出修改路基、桥涵等相关专业设计办法,未引起在建工程废弃,同时保证了工程进度和工程质量要求。胶济客运专线三年来的安全运营表明,精密控制测量网和平纵断面调整设计均较好地满足施工、运营维护的需求。

参考文献:

- [1] 卢建康. 铁路客运专线测量方法探讨[J]. 铁道勘察,2005(6):4

-7.

- Lu Jian-kang. Exploration for Survey Methods of Dedicated - Passenger Railway Lines[J]. Railway Investigation and Surveying, 2005(6):4-7.
- [2] 何华武. 论时速大于200 km 铁路精密工程测量技术[J]. 中国铁路,2007(3):1-4.
He Hua-wu. Precise Engineering Survey Technology for Railways Running by Trains over 200 km/h[J]. Chinese Railways,2007(3):1-4.
- [3] TB 10601-2009 高速铁路工程测量规范[S].
TB 10601-2009 Code for Engineering Survey of High Speed Railway[S].
- [4] GB/T 12898-2009 国家三、四等水准测量规范[S].
GB/T 12898-2009 Specification for the Third and Forth Order Levelling[S].
- [5] TB 10054-97 全球定位系统(GPS)铁路测量规程[S].
TB 10054-97 Code for GPS Survey of Railway Engineering[S].
- [6] 贾陈君. 胶济客运专线精控网的分析处理[J]. 常州工学院学报,2010(6):25-29.
JIA Chen-jun. Analysis and Treatment of Precise Engineering Survey Network for Qingdao-Jinan Passenger Dedicated Line[J]. Journal of Changzhou Institute of Technology, 2010(6):25-29.