



# 高速铁路接触网线路避雷器异常动作分析及建议

李 瑞

(中铁电气化局 京沪高铁维护管理公司,北京 100000)

**摘 要** 针对某高速铁路牵引供电系统中接触网线路某些区段的金属氧化物避雷器的雷电计数器显示频繁动作,但避雷器的物理和外观状态正常,电气试验符合规程要求。对管内高铁避雷器数据统计归纳得知是机车在这些接触网分相处过电时产生过电压,避雷器为抑制此异常状态,因而产生动作。其根源为牵引供电系统中的储能元件电感和电容发生了振荡,通过对这些电分相处的分析和仿真计算,找到系统振荡的原因,并给出消除振荡的建议方案。

**关键词** 高速铁路;避雷器;电分相;操作过电压

112

中图分类号: U225.43;TM862

文献标识码: A

文章编号: 1671-931X (2023) 04-0112-04

DOI: 10.19899/j.cnki.42-1669/Z.2023.04.017

高速铁路牵引供电系统中的牵引变电普遍采用三相一两相供电方式,为了减少投资,外电源就近从国家电网的区域变电站取得电能。由于每一个区域变电站的电能来源不同,因此牵引供电系统中的相

邻供电臂具有相位差,需要设置电分相装置,分为器件式电分相和锚段关节电分相<sup>[1]</sup>。我国的城际以及高速电气化铁路,电分相装置多采用锚段关节的过渡形式,高铁锚段关节示意图如图 1 所示。

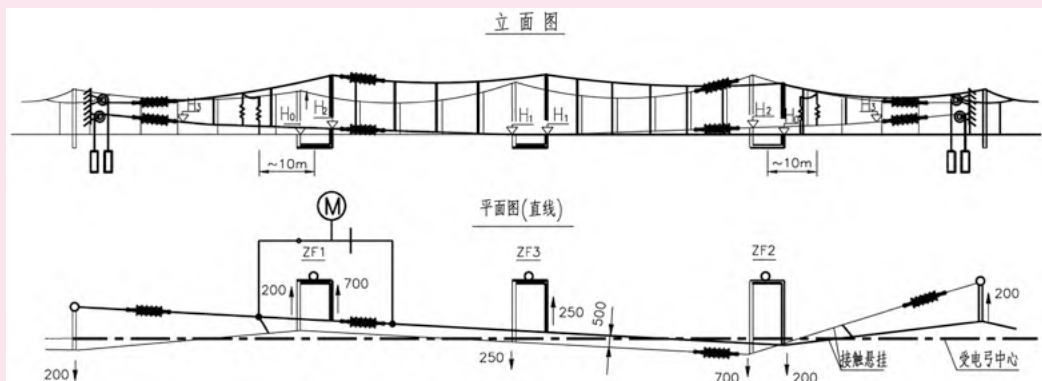


图 1 高铁锚段关节示意图

收稿日期:2021-08-25

作者简介:李瑞(1983—),男,河北石家庄人,中铁电气化局京沪高铁维管公司高级工程师,研究方向:铁路牵引供电运营维护管理。

由于高速铁路接触网一般以高架桥的形式设计施工,线路对地高度近似于 110kV 电压等级,但实际设计中仍按 25kV 电压等级进行防雷计算设计,因此会在接触网线路的分相处、隧道出入口处和其他关键部位处等设置有避雷器,以防止牵引供电系统遭受操作过电压、大气过电压和谐振过电压的影响<sup>[2]</sup>。

## 一、高铁线路网避雷器动作故障的监测及数据采集

某供电段管辖某高铁线路共 797 条公里,线路装设有大量避雷器。从 2017 年复兴号动车组上线以来,此线路的其中三个最靠近分相处的避雷器动作频繁,年动作次数在 120 次左右,日平均动作 0.33 次,而其本区段的其他远离分相处的避雷器动作次数则较少,平均在 12~15 次左右,经检测避雷器电气特性和物理特性符合预防性试验规程要求,某高铁线路避雷器动作统计见表 1。

表 1 某高铁线路避雷器动作统计表(次数)

年度	位置		
	分相点 1# 近 / 远(次)	分相点 2# 近 / 远(次)	分相点 3# 近 / 远(次)
2015 年	15/13	16/13	17/15
2016 年	17/13	14/13	19/15
2017 年	127/14	123/15	128/19
2018 年	129/17	134/21	136/25

目前避雷器常用氧化锌(ZnO)多个阀片相互压接并外套瓷式套或硅橡胶套的结构,其中 ZnO 电阻片作为 ZnO 避雷器的核心部件,ZnO 属于电压敏式电阻,具有优异的非线性伏安特性,其 25kV 的 ZnO 避雷器的技术参数见表 2。

表 2 常规 ZnO 避雷器的技术参数

技术名称	参数要求	测试结果
额定电压	27.5kV	--
持续运行电压	34kV	--
直流 1mA 时电压 U	>65 kV	符合标准
0.75U 对应泄漏电流	<50 $\mu$ A	符合标准

当系统电压较低或处于额定状态时,ZnO 呈现高电阻低导通的状态,整体呈现近似绝缘的状态;当电压上升而未达到临界值时,其电阻缓慢降低,泄漏电流缓慢上升;当电压升高至临界值时,其整体近似于直接接地导通的状态,泄漏电流呈几何数级急剧增大,因此电压可被限制在允许范围之下。以上过程 ZnO 如同自动开关,呈现“分、合”状态,因此 ZnO 电阻片又被称为“阀片”,如图 2 所示。利用 ZnO 避雷器的结构,可对它的全电流进行监测,并通过所监测到的总电流利用公式(1)进行换算得出阻性电流和容性电流。

$$\dot{I} = \dot{I}_R + \dot{I}_B \quad \text{式(1)}$$

其中  $i$  为全电流, $i_R$  为阻性电流, $i_B$  为容性电流。

目前对 ZnO 避雷器进行状态监测的方法是由设备雷电计数器采集泄漏总电流,当泄漏总电流大于一定值时,计为动作一次,动作次数进行累计。

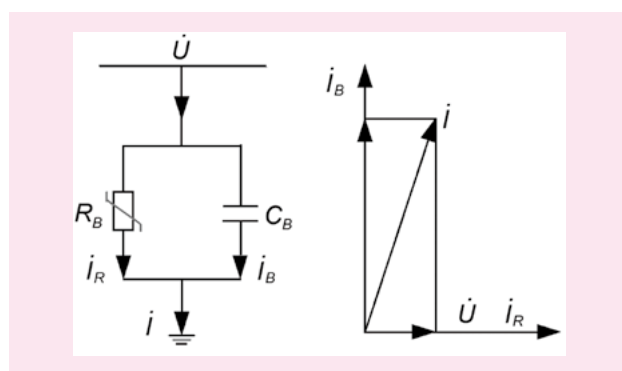


图 2 ZnO 避雷器等效电路和泄漏电流矢量图

## 二、避雷器异常动作的故障分析

在正常运行的工频电压下,ZnO 避雷器接近绝缘体,流过它的泄漏电流非常小,仅为微安级,当系统出现高电压时,如超过系统设备允许的电压值,并联 ZnO 避雷器可通过自身的电学特征,使系统所受的过电压被限制在允许的范围内,将过量的电能泄入大地,从而能有效保护系统中其他电力设备的稳定运行,泄漏系统能量的这个过程的时间一般为微秒级,因此 ZnO 避雷器可以在保证系统安全的前提下,保证保护装置不发生误动作。

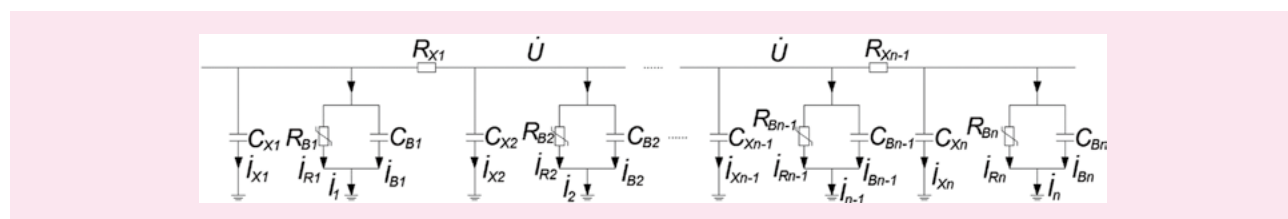
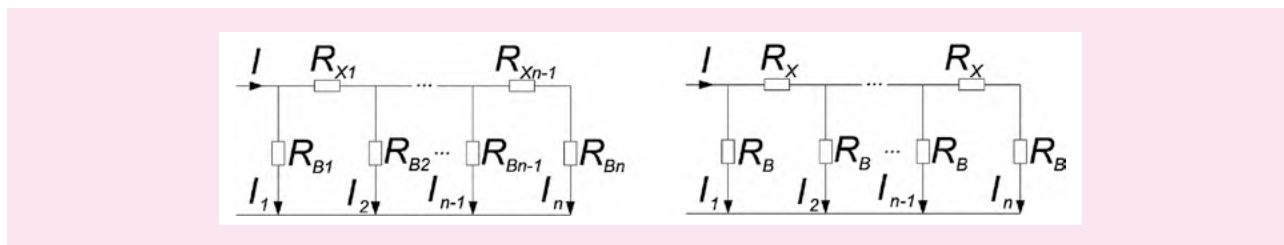


图 3 牵引供电系统接触网线路等效电路图

根据牵引供电系统接触网线路的结构特点,可得图 3 所示牵引供电系统接触网线路等效电路图。

由于 ZnO 避雷器的特性,可以释放系统中的过电压,包括大气过电压,谐振过电压和操作过电压,而这三种过电压状态中的关键影响因素为系统中产生或注入的直流电压分量,因此 ZnO 避雷器的运行只和避雷器本体的阻性特性有关,由此可见线路避

雷器实际工作的阻性等效电路如图 4(a)所示。由于同一厂家的同一批次合格避雷器的阻性电阻测试值近似相等,且在实际运行中避雷器在线路中近似等距离布置,为了计算方便,假设避雷器阻性电阻值相等,线路阻性电阻相等,因此,其理论计算等效电路如图 4(b)所示。



(a) 实际工作等效电路图

(b) 理论计算等效电路图

图 4 ZnO 避雷器状态等效电路图

根据 ZnO 避雷器状态理论计算等效电路图,可得出如下公式,

$$\frac{R_{Bn} + R_{Xn-1}}{R_{Bn-1}} = \frac{I_{n-1}}{I_n} \Rightarrow \frac{R_B + R_X}{R_B} = \frac{I_{n-1}}{I_n} \quad \text{式(2)}$$

$$\therefore R_B + R_X > R_B$$

$$\therefore I_{n-1} > I_n$$

由公式(2)可得知,距离故障点最近的避雷器将分担绝大部分泄能降压的任务,因此监视其动作次数的雷电计数器将有极大的概率记录此次动作,即距离分相处最近避雷器较其他位置的动作次数多。

通过以上的分析可得知,在排除 ZnO 避雷器质量问题的情况下,避雷器频繁动作的原因是系统中多频次产生超过了使避雷器动作的过电压临界值,主要原因是某型机车在通过锚段关节式电分相时存在“有电→无电→有电”的状态变换,机车自身的感性特性和线路的容性特性暂时构成一个完整回路结构,但此过程的变换都是瞬时进行,由于回路中电感元件的电流和电容元件的电压不能突变,因此回路从原来的工作状态过渡到稳定工作状态不能同步完成,需要持续一段时间,在这个过程中回路中的电流和电压除了自有特性外,还产生一个不同于自身频率的且随时间衰减的直流分量,过渡过程期间的实际电流和电压就是这两个分量叠加的结果。尽管过渡过程是在极短暂的时间内进行,过了这段时间之后,直流分量消失,回路会趋于稳定状态,但在此过程中机车自身的感性特性和线路的容性特性在此过程中容易形成铁磁谐振,从而产生操作过电压<sup>[3]</sup>。

根据表 1 某高铁线路避雷器动作统计数据可知,此三个异常分相位置点异常情况的发生是在 2017 年即复兴号动车组上线运营后大量出现的,因此事件的发生二者具有显著的关联性。某高铁每日开行动车组 250 对以上,复兴号约为 130 对左右,异常情况发生率为日均 0.33,每辆复兴号动车组发生异常情况的概率约为 0.25%,发生概率较低。

综上所述,可得出三点结论:

第一,复兴号上线是此分相点避雷器大量动作的直接原因。

第二,此三处分相异常点极易发生铁磁谐振,说明此分相线路的容性特性与机车本身的感性特性相匹配,易发生铁磁谐振。

第三,单列复兴号在此点发生铁磁谐振的概率极低,只有 0.25%。

### 三、针对避雷器异常动作故障的改进建议

针对以上分析,为避免避雷器频繁动作故障的产生,需要对机车过锚段关节处电分相产生的操作过电压进行治理。其一,主要是在线路中装设 RC 装置或 RLC 装置,以改变线路电感特性,破坏铁磁谐振发生的条件,此方式为从根源上进行治理;其二,装设氧化锌避雷器以抑制系统中的过电压,保护设备安全,此为从结果上进行疏导。

具体而言,为降低氧化锌避雷器的动作次数,延长其工作寿命,从根源上消除由铁磁谐振所引起的操作过电压应是第一选择。为使线路上不发生铁磁

谐振,应在其线路上装设 RC 装置或 RLC 装置。通过仿真验算及实践验证发现,在锚段关节式电分相结构中采用中性段双边加 RC 装置的隔离抑制措施,可有效减弱分相区的电压振荡。通过控制机车过分相时接触线的电压相位,铁磁谐振过电压可以得到有效抑制。实验表明:通过在锚段关节式电分相处双边加装 RC 装置,可使过电压最大值降为 59kV,抑制效果明显<sup>[4]</sup>。

#### 四、结语

对于之前就已经运营开通的线路,其线路参数未必完全适用于新型机车。随着代表中国标准的复兴号列车等新技术在运营线路中更大规模的使用,

诸如锚段关节式电分相与复兴号机车的弓网耦合关系等等问题的研究更加迫切,还有很多技术问题需要专业人员对其进行解决和探索。

#### 参考文献:

- [1] 雍静.供配电系统[M].北京:北京工业出版社,2003:275-297.
- [2] 周福林,李群湛,贺建闽,等.基于概率的机车过分相过电压仿真实测及其机理研究[J].机车电传动,2008(6):13-18.
- [3] 张远,黄彦全.电力机车关节式电分相过电压分析与抑制研究[J].电气化铁道,2017(2):40-44.
- [4] 刘云.锚段关节式接触网分相过电压的研究与抑制措施[D].成都:西南交通大学,2017:35-43.

[责任编辑:詹华西]

## Analysis and Construction of Abnormal Action of Lightning Arrester on OCS Line of High Speed Railway

LI Rui

(Beijing-Shanghai High-speed Railway Maintenance Management Company, China Railway Electrification Bureau, Beijing 100000, China )

**Abstract:** The lightning counter of metal oxide arrester in some sections of Catenary line in traction power supply system of a high speed railway shows frequent action, but the physical and external state of the arrester is normal, and the electrical test meets the requirements of regulations. Through statistical induction of the data of the high-speed rail arrester in the tube, it is concluded that the abnormal arrester mainly distributes in some catenary systems. The reason is the operating overvoltage produced by the locomotive when the overcurrent is separated into phases. The arrester acts in order to suppress the abnormal state. The root cause of operating overvoltage is the oscillation of inductance and capacitance of energy storage elements in traction power supply system. Through the analysis and simulation of the coexistence of these components, the causes of system oscillation are obtained, and the suggestions for eliminating the oscillation are given.

**Key words:** High Speed Railway; lightning arrester; electric phase separation; operating overvoltage