

# 基于兰新高铁防风墙处正馈线异常舞动的研究

李志伟

新疆铁道职业技术学院 新疆哈密 839001

**摘要:** 兰新高铁的安全运行对于西部的经济发展以及推动我国经济均衡发展具有重要的价值和意义, 因此面对接触网附加导线舞动带来的一系列铁路运营安全问题, 为确保兰新高铁接触网附加导线的安全稳定运行, 需要提供更加安全可靠、科学合理的防正馈线舞动解决方案方案措施。大风区段铁路沿线设置的挡风墙虽然可以防止列车遭受风袭脱轨和线路沙埋, 但是却加剧了正馈线的舞动, 导致线索、金具磨损严重, 易发生线间放电、掉线事故, 对电气化铁路的安全运营造成严重后果。

**关键词:** 附加导线; 接触网; 高速铁路; 挡风墙; 大风区; 正馈线

## 1. 背景与意义

### 1.1 研究目的及意义

兰新高铁跨越新疆、青海、甘肃三省(区), 全长 1786 km, 途径五大风区, 风区总长占全线总长的 32.8%。大风区内自然环境条件恶劣, 风速高, 风期长, 起风速度快, 最大风速达 60 m/s 以上。线路供电方式大多采用自耦变压器供电, 接触网附加导线大多布置在田野侧, 并且线路大多与风向垂直, 因此为了有效抵御风灾, 保证列车安全、正常运行, 在铁路沿线修建了不同形式的挡风墙防风工程。建造挡风墙虽能有效地防止列车倾覆、脱轨及道路积沙等情况发生, 但是它“防车不防网”式的布置, 当遇强风经过挡风墙时在正馈线周围形成加速区, 并产生一定的仰角, 受挡风墙尾流的影响, 正馈线发生大振幅的舞动, 使得正馈线和保护线两相导线间距缩短, 从而出现放电、击穿等现象。此外, 附加导线的剧烈舞动也会造成线股磨损, 易发生断线、掉线及接触网跳闸等事故, 对电气化高速铁路的安全运行产生严重的影响。为保障列车安全运营, 亟待采取行之有效的防舞措施。

兰新高铁的安全运行对于西部的经济发展以及推动我国经济均衡发展具有重要的价值和意义, 因此面对接触网附加导线舞动带来的一系列铁路运营安全问题, 为确保兰新高铁接触网附加导线的安全稳定运行, 需要提供更加安全可靠、科学合理的防正馈线舞动解决方案方案措施。

### 1.2 国内外研究现状分析

#### 1.2.1 国外研究现状分析

目前, 现存的线路舞动机理中最具有代表性、且能够被行业所认可的是分别由 Den.Hartog、O.Nigol 和 P.Yu 三人

所提出来的垂直舞动机理、扭转舞动机理, 以及偏心惯性耦合失稳机理。Den.Hartog 基于空气动力不稳定理论, 采用单自由度模型对线路舞动提出了垂直激发机理和判定导线舞动的准则, 这是最早的同时也是最简单的理论模型。O.Nigol 在 Den.Hartog 的基础上将导线的扭转考虑了进去, 认为导线发生舞动的条件是导线做的扭转运动频率接近于其所做的竖向运动频率, 称之为扭转失稳。P.Yu 的偏心惯性耦合失稳理论认为, 导线在垂直、水平、和扭转三个单一方向上的运动都可能会影响到其他方向的运动, 这是因为覆冰导线偏心惯性作用的存在所导致的。当横向运动的频率接近于扭转运动时, 两种运动相互耦合, 一种运动会致使另一种运动的发生, 这样便会产生两个自激的同步运动, 最终累积能量并形成以横向运动为主的大幅度舞动。

上述三个线路舞动机理都是从各自的角度来阐述导线舞动的原因, 有着各自的局限性, 只能解释部分覆冰输电线路的舞动现象。而接触网正馈线舞动相比输电线路具有其自身的特殊性: 是一种无覆冰条件下的舞动, 不能涵盖其中。

#### 1.2.2 国内研究现状分析

在防舞方面, 众多学者研究了具有不同特点的防舞措施, 朱宽军等通过分析国内特高压输电导线舞动特点, 研发了基于舞动动力学稳定性机理的线夹回转式间隔棒双摆防舞者。严波等采用数值模拟的方法研究了不同档距三相分裂导线相间间隔棒防舞布置方案, 进一步优化了间隔棒对舞动的防治技术。王黎明等以河南尖山实验基地特高压试验线路为基础, 通过现场实验和仿真计算验证了基于相间间隔棒的新型防舞措施相间间隔棒的防舞有效性。董志聪, 针对

输电线—防振锤系统,研究了防振锤类型、安装位置和安装数目对输电导线微风振动的抑制作用。楼文娟等根据 Den Hartog 垂直振动激发机理和 Nigol 扭转振动激发机理,研究了扰流防舞器的防舞效果和不同直径扰流防舞器对防舞的影响。孙珍茂等通过计算覆冰导线舞动的非线性微分方程,得到发生舞动的条件,验证了扭转激发机理,研究了失谐摆和压重锤的防舞效果。

## 2. 正馈线异常摆动原因分析

风季期间,经实地勘察发现,引起附加导线大幅振动的主要原因有两方面的原因。

一是,此区段处于微地形地貌特殊风口,导流堤引起大风加速区向来风侧前移,并与挡风墙形成二重加速,导致紊流加大,风频率与正馈线、保护线固有频率较接近易激发驰振。

二是,附加导线受挡风墙增速效应影响,从风速等值云图及附加导线与挡风墙间的相对关系可以看出,附加导线悬挂恰落在橘黄色警示增速区,附加导线大幅度摆动的位置均为迎风挡风墙一侧线路上,而远离侧未发生。可见挡风墙对大风的增速效应且有一定的仰角是附加导线大幅振动的激励源。

## 3. 研究的核心

一是针对大风区段挡风墙“防车不防网”的现象,通过设计一种开孔式挡风墙,让刮风时挡风墙在正馈线周围形成的加速区速度降低,减小挡风墙尾流的影响,从而减弱大风对正馈线发生大振幅的舞动。二是在正馈线与 V 形悬挂连接处加装相间间隔棒,将间隔棒的一端与 V 形悬挂相连接,另外一端与支柱连接,能有效抑制导线的舞动。三是在挡风墙和正馈线之间安装斜拉绝缘子,安装斜拉绝缘子之后正馈线舞动峰峰值明显减小,最大张力减小到导线安全运行范围内,张力波动减小,能够有效地抑制正馈线舞动现象。

1、本课题中的“接触网正馈线”是指为牵引负荷返回变电所的通路,其允许载流量应与接触网的允许载流量等价。自耦变压器的一、二次绕组匝数比采用 2:1,一端接接触网,另一端接正馈线,中点接钢轨或扼流变压器的中性点。接触网及正馈线的对地电压相等,接触网与正馈线之间的电压为其本身对地电压的 2 倍。

2、V 形悬挂指将两个棒式绝缘子的一端分别与支柱横担相连,另一端通过三角联板与正馈线悬垂线夹相连接,起到抑制正馈线舞动的作业。

3、斜拉绝缘子指主体结构采用复合绝缘子,其高压端

通过线夹与正馈线衔接,低压端通过柔性拉线连接金具,固定在挡风墙的顶部,作为正馈线舞动时的约束端。

## 4. 研究的主要内容

为抑制大风环境下兰新高铁接触网正馈线强烈舞动及线间放电现象,基于接触网结构和正馈线舞动特点,通过研究开孔式挡风墙、相间绝缘棒的安装设计、新型斜拉线绝缘子绝缘防舞装置以下几种方案来解决正馈线舞动的现象。

### 4.1 补偿装置的选择

首先我们对正馈线补偿系统的组成进行介绍

正馈线补偿系统设计的布置及模块组成主要由对向(终端)下锚、中间悬挂点、补偿电连接、下锚拉线及基础等组成。系统运行的可行性、可靠性及耐久性与其端部补偿装置的选用,中间悬挂点的设置(旋转或窜动),对向下锚处的电连接动态状况都有着密切关系。在满足抗风基础上,尽量少维护,达到系统简约化模式。

对向下锚的形式为一端硬锚,一端单边补偿,中间为线索可自由窜动的悬挂点布置,

正馈线补偿设计,最重要的是补偿装置的选用。所谓补偿装置即张力自动补偿设备,类型较多,要根据现场的实际情况、利旧实施可靠性、运营维护便利性及经济性能确定。目前采用较多的为重力式补偿如滑轮、棘轮补偿,特殊区段可采用弹簧补偿,下面简要介绍这几种补偿装置的特点。

#### (1) 重力式补偿

棘轮补偿装置由棘轮支架、销轴、棘轮齿本体、制动齿、钢丝绳等部件组成,采用铝合金材质,质轻且具有断线制动功能,运营经验丰富。但是对于正馈线对向下锚处采用棘轮装置首次提出,存在结构及安装上的优缺点:

①. 正馈线与接触网补偿装置统一,便于运营维护技术及标准的统一,安全可靠。

②. 正馈线对向下锚需设置串坠砣及限制架,原支柱增加了 10 kN 轴压力。

③. 安装空间受限制,限制架与对向拉线可能会干扰,连接的设备及零部件较多,不利于简约化管理,

#### (2) 弹簧补偿装置

弹簧补偿器分为恒张力与非恒张力补偿器,恒张力弹簧补偿器采用涡卷弹簧组片,渐开线轮体保证温度变化时输出的张力恒定,其效率损失不大于 5%,非恒张力补偿器主要是由柱式弹簧组成,补偿效率损失依 15%,弹簧组片间润

滑油的油温适应  $-30\sim+30^{\circ}\text{C}$  ,

弹簧补偿装置因无坠砣及限制架等辅助设备,结构简单,安装便利,基本可以做到免维护,因正馈线无平顺度要求,能补偿大风引起导线极大幅度的线胀,即可满足系统抗风技术要求。经几种补偿器的综合技术性能、安装空间、运营维护简约化比较,在路基上拟采用棘轮补偿装置,在桥梁采用弹簧补偿装置。桥梁上的挡风屏距支柱边缘距离不大于 200 mm,安装空间受限。

#### 4.2 正馈线悬挂点装置的选择

正馈线锚段长度为 1 000 m,悬挂点应具备使导线自由偏移或窜动功能,悬挂方式主要有两种,一种采用旋转腕臂,温差引起的线胀极限偏转角度约为  $50^{\circ}$  ,与接触网腕臂的安全距离不满足电气及机械要求。另一种 V 型悬挂结构,正馈线悬挂采用导向式悬吊滑轮,并增设预绞式护线条。导向滑轮采用双组外包式滑轮,导线置于双轮内,可有效避免脱槽,轮轴间采用自润滑轴承。导向式滑轮双耳与三联板连接垂直线路方向可自由旋转,双耳内过盈配合自润滑轴承,轮体可采用铝合金,也可采用复合材料制造。

#### 4.3 正馈线对向下锚处跳线安装

正馈线采用补偿设计后,对向下锚处采用弹簧或棘轮补偿,普通的电连接线均无法避免因风摆造成的线夹损坏及线索疲劳,因此研制了新的抗风型带补偿功能的滑动式电连接。

同时也可以选择以下几种方案

##### 1、优化挡风墙结构

兰新高速铁路常年遭受风灾,挡风墙的修建虽有效防止了列车倾覆,但加剧了接触网正馈线的舞动。针对大风区段挡风墙“防车不防网”的现象,通过设计一种开孔式挡风墙,基于流体力学理论建立计算域模型,对挡风墙不同形式下正馈线位置处风速进行数值模拟计算,并通过仿真计算分析挡风墙孔隙率及开孔角度对于正馈线周围流场变化及气动特性响应的规律。

##### 2. 相间绝缘棒的安装设计

由于高铁线路部分区段经过戈壁滩地区,其自然条件恶劣,大风对于接触网附加导线的稳定性影响严重,通过在附加导线之间增加一个同时具备绝缘性和机械性能的间隔棒,此类间隔棒可以根据现场实际情况调节长度,将间隔棒的一端通过间隔棒抱箍底座与支柱相连,另一端与正馈线悬垂线夹处的三角联板相连,使正馈线处于受拉状态。安装相间间隔棒后,正馈线垂向、横向振幅降幅明显。随着风速的增大,正馈线在

两个方向上的振幅均呈现明显降低,从而达到防舞动的目的。

##### 3、新型斜拉线绝缘子

斜拉绝缘子主体结构采用复合绝缘子,其高压端通过线夹与正馈线衔接,低压端通过柔性拉线连接金具,固定在挡风墙的顶部,作为正馈线舞动时的约束端。兰新高铁风区挡风墙的建设目的在于防止大风环境下高速列车发生倾覆事故以及线路沙埋,防舞装置斜拉绝缘子的设置并未对挡风墙结构设计有所改变,不影响其抗风稳定性,且斜拉绝缘子防舞措施具有投资少,易于新增改造等特点,具有较好的合理性和实施性。

#### 5. 特色创新之处

##### 5.1 研究方向新颖,多措并举解决问题

本课题通过优化挡风墙结构、安装相间绝缘棒、安装新型斜拉线绝缘子三种解决方案来处理实际问题,研究内容更为具体。

##### 5.2 研究成果贴合实际,以研促教

本课题通过研究防风墙处接触网正馈线异常舞动现象的解决方案,此研究方案不仅可以运用到实际的生产设备改造当中,还可以用于接触网教学,实现产教融合,以研促教提高教学质量。

##### 5.3 促进校企合作

本课题研究内容能够解决铁路大风区接触网正馈线舞动实际存在的问题,通过下企业实践及与企业专家合作,为企业提供解决方案,共同探讨研究解决实际问题。

#### 参考文献:

- [1] 韩佳栋,张勇,刘晓红,等.强风地区挡风墙高度和位置对接触网区域风速的影响[J].铁道标准设计,2012(10):81-83.
- [2] 韩佳栋.高速铁路接触网风致振动与风偏的动态计算方法[J].铁道标准设计,2016,60(6):121-126.
- [3] 刘改红.接触网参数对接触网风致响应的影响及风洞试验验证[J].铁道标准设计,2016,60(2):144-148.
- [4] 田志军,刘改红,王玉环,等.强风环境下铁路电气化接触网技术研究[J].中国铁路电气化技术装备交流大会及产品展示会论文集,2012:99-102.
- [5] 高永平,钱伟平.浅析兰新铁路防风工程[J].资源环境与工程,2009,23(F09):4.

#### 作者简介:

李志伟(1987—),男,汉族,河南许昌人,新疆铁道职业技术学院,中级职称,本科,研究方向:铁道供电技术。