

198北京
10月21-23日

中国科协第三届青年学术年会卫星会议
——中国铁道学会第六届青年学术会议

论文集

电气化铁路

中国铁道学会编



中国铁道出版社

99
F532-53

2

2.2

中国科协第三届青年学术年会卫星会议
——中国铁道学会第六届青年学术会议

论 文 集

电气化铁路

中国铁道学会编

XB41.9/29

中国铁道出版社
1998·北 京



3 0037 7167 6

(京)新登字 063 号

书 名: 中国科协第三届青年学术年会卫星会议
——中国铁道学会第六届青年学术会议论文集
著作责任者: 中国铁道学会编
出版·发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)
责任编辑: 郭 宇
封面设计: 王 伟
印 刷: 铁科院电子所经纬电脑高技术公司
开 本: 787×1092 1/16 印张:64.75 字数:161千
版 本: 1998年10月第1版 1998年10月第1次印刷
印 数: 1-5000册
书 号: ISBN7-113-0351-X/U·861 (全三册)
定 价: 100.00元

中国科协第三届青年学术年会卫星会议 ——中国铁道学会第六届青年学术会议

主办单位:中国铁道学会

联合单位:铁道计算机应用委员会

铁道自动化委员会

铁道减速顶委员会

铁道电气化委员会

铁道经济委员会

铁道运输委员会

铁道情报委员会

北京铁道学会

天津铁道学会

辽宁省铁道学会

河北省铁道学会

河南省铁道学会

陕西省铁道学会

广东省铁道学会

山东省铁道学会

中国铁路工程总公司

中国铁道建筑总公司

铁道部电子计算技术中心

铁科院电子计算技术研究所

北方交通大学

西南交通大学

大会组织机构

指导委员会:

主任:华茂昆

委员:王奎中 王振候 胡耀华 施雨农 姜言堃 侯唯一
张有民 秦家铭

大会秘书长:王成廉

副秘书长:孙利民

学术委员会:

主任:张全寿

副主任:于新安 马钧培 沈庆衍

委员:马荷云 孙全欣 李学智 李小京 李群湛 范守忠
赵存义 徐荣华 张树增 张象文 张家兴

组织委员会:

主任:翟秀萍

副主任:吕慎有 黄子桐 袁桂兰

委员:丁成城 王天成 王克路 刘彩屏 刘凤梧 李虹
金清炎 苗瑾俞 贺达仁 柳静 曾兆来 游兮
潘宏富

科教興鐵路

青年創未來

賀中國鐵道學會

第二屆青年學術會議名冊

國棟

一九九二年
九月廿四日

前 言

中国科协第三届青年学术年会卫星会议——中国铁道学会第六届青年学术会议,于1998年10月20~23日在北京召开。

中国铁道学会从1991年举办全路首届青年计算机应用与发展交流会以来,已经在经济、运输与科技情报、材料工艺、通信信号、机车车辆与牵引动力、工务与工程等专业成功地举办了五届青年学术会议,旨在为铁路科技青年搭建学术交流舞台,培养跨世纪人才,总结科研成果,掌握新技术,推动铁路科技进步。

本届青年学术会议是中国铁道学会1998年度重要学术会议,由中国铁道学会与7个铁道专业委员会、8个省市铁道学会、6个行政单位联合举办,共有3个分会:

1. 信息技术应用与发展学术会议;
2. 电气化铁路学术会议;
3. 铁路运输企业扭亏增盈学术会议。

这3个分会联合分册出版论文集,并同时召开学术会议。共收编论文262篇,内容涉及铁路运输管理信息系统、客票系统工程、计算机辅助设计、通信与信号、自动测控系统、办公自动化、网络安全、人工智能和编程技巧等;供变电、接触网、高速及提速技术;关于建立现代企业制度、关于市场营销与管理、关于机车车辆运用等等。

借大会召开及论文集出版之际,对论文作者取得的丰硕成果表示祝贺;对各联办单位的积极参与、对参与电子编辑的孙友华、李 娅、马柳勤、沈海燕、杨领荣、石善兰、计明勤等同志付出的艰辛、对给予大会支持的所有单位和个人,表示衷心的感谢!

中国科协第三届青年学术年会卫星会议
——中国铁道学会第六届青年学术会议

组织委员会

学术委员会

1998年10月

目 录

高 速

高速电气化铁路弓——网设计新模式探讨·····	昌月朝(1)
高速铁路接触网系统的设计思路·····	李红梅 戚广枫(9)
既有铁路提速扩能接触网设计的研究·····	刘永红 王森林 邵立(20)
国内外速度为 200km/h 及以下接触网技术标准综述·····	刘永红 邵立(26)
高速电气化铁路接触网系统安全可靠性的探讨·····	徐建宁(32)
高速接触网设计参数对接触悬挂受流特性影响分析·····	蒋先国(37)

接 触 网

接触网 CAI 系统设计·····	董昭德 蔡军 宁少波(44)
浅析接触网零件所处环境的腐蚀成分·····	王平祥(49)
接触网检修现状分析及建议·····	谢冰(52)
浅析接触网设备的腐蚀·····	唐晓岚(56)
学习外国先进经验选择适合我国既有提速的接触网参数·····	刘俐蓉(58)
单线隧道内接触网新型定位装置研究·····	杨乐平(60)
复线电力牵引网瞬时与永久性故障识别方法·····	高仕斌等(67)
利用 VFP 开发仪表化实验界面·····	刘志刚 贾俊波(72)
山区电气化铁路减少弓网磨耗的探讨·····	林磊(76)
既有电气化铁路接触网提速改造的可行性方案探讨·····	罗碧纯(79)
列车振动下拉出值补偿算法·····	李岚(83)
用 Autolisp 绘张力增量曲线的分析与思考·····	汪吉健(87)
关于铁路建筑电气限界的设想·····	吕继涛 李红梅(92)
电气化铁路接触悬挂系统受流及多弓特性·····	张春来(95)
地下铁道和城市轨道交通接触网门形架的研制·····	王立群(101)

供 变 电

基于网络化的牵引变电综合自动化系统·····	崔校玉	张 涛(105)
地铁直流快速开关及保护装置技术条件研究·····		周晓东(108)
既有电气化区段列车提速后存在的问题及建议措施·····	贾明汉	班瑞平(114)
牵引供电调度“天窗”管理系统的开发和应用·····	王 军	(118)
计算机在继电保护测试领域中的应用回顾与展望·····	李长胜	蔡 晴(121)
集散型电气化铁道电力监控系统的网络选型研究·····	郑永平	钱清泉(125)
浅谈进口运动设备的运用与管理·····		夏小舫(130)
浅谈解决进口设备备品的优化方案·····		李西岐(134)
浅谈我国电力机车的绝缘配合及污秽绝缘问题·····		方 鸣(136)
牵引变电所 27.5kV 母线接线方式的探讨 ·····		周一帆(142)
SF ₆ 组合电器在成昆线电气化改造设计中的应用·····		刘超英(145)
变压器接地端串联电容补偿的方法及其比较分析·····	尹传贵	康俐娟(148)
分区所无人值班设计探讨·····		李寒生(150)
D、Yn11 联接组电力变压器性能特点分析 ·····		段晓宏(154)
牵引变压器介损因速测试·····	漆钜镭	刘明光(162)
电气化铁道对铁路通信系统非话业务干扰影响初步分析·····	高永志	毛谷青(166)

房 土 建

承压型高强度螺栓抗剪连接计算的简化·····		区桂华(169)
多层砖混住宅设计应注意的问题·····		王石玉(172)
焦枝线洛襄段膨胀土的分布和工程性质·····		余木增(175)
浅谈土质路基沥青道床在电力机车洗刷线上的应用·····	苗晓波	巢时勇(181)

高速电气化铁路弓—网设计新模式探讨

昌月朝

铁道部科学研究院机辆所

摘 要 本文从受电弓、接触网的功能分析入手,通过静力学及动力学分析,得出解决弓网关系的基本原理与方法,从而提出一套新型弓网理论模式。

关键词 电气化铁路 弓网关系

1 引言

电气化铁路,特别是高速电气化铁路的研究与建设中,世界各国都遇到了多方面的问题。由于电气化铁路的特殊性,除了要解决线路、机车车辆、通讯信号、运输组织等问题之外,电气化铁路的特殊问题——弓网关系问题,已成为高速电气化铁路发展的关键性技术问题。能否科学而有效地解决这一问题,将直接影响电气化铁路的设计、建设、安全使用等诸多方面。弓网关系的研究已有多年的历史,然而我们没有取得多少进展,没有建立起真正的弓网关系,受电弓的设计不考虑接触网参数,同样接触网的设计也不考虑受电弓的参数,它们之间的唯一关系参数只有拉出值与弓头宽度的匹配关系。可以想象,对于如此复杂的关系只靠这一个参数是不可能得到保证的。那么,弓网之间究竟存在一种什么样的关系,追求的目标是什么,在弓网设计时如何体现出这些关系,如果这些关系不匹配会产生什么样的后果,等等一系列具体问题应该得到深入地研究,纠正一些似是而非的错误观点,解决受电弓、接触网的复杂化,以及电气化铁路建设、运用及维护费用居高不下的问题。本文将从受电弓、接触网的功能分析入手,通过静力学及动力学分析,寻根求源,得出解决弓网关系的基本原理与方法。从而提出一套新型弓网理论模式,推进电气化铁路的建设进程。

2 弓网基本功能分析

电气化铁路中,弓网的基本功能是为电力机车输送电能,追求目标是保证电能的连续输送。由受电弓与接触网的运动关系可以得出,弓网是一种开式运动副,是依靠外力来保证接触的运动副,如果外力太小或为零时就不能保证运动副之间的确定运动关系,从保证受流质量的角度来看,这时受流就会发生问题,受电弓离线出现火花烧损滑板及接触线,机车供电电流中断等一系列问题。

从以上的分析中可看出,保证受流质量的关键是确保弓网之间的接触压力不小于某个特定值,只要接触压力得到保证,受流质量就不会发生问题。如果接触压力能够保持某个定值不变,接触线的磨损就会均匀,使用寿命延长,不会因为接触线的局部磨损过度而导致报废。那么评价弓网关系好与坏的指标就应该是接触压力的均匀性,接触压力均匀或保持不变就是好的弓网关系,反之即为不良的弓网关系。

3 目前弓网系统中存在的关键问题

目前弓网系统是沿用传统的老式弓网模式,经过多年的使用与不断的改进,世界各国都有各自的发展模式,可是始终存在着一些不可逾越的问题,给电气化铁路的进一步发展带来了严重的问题——受流质量不能保证、接触线磨损不均匀、运行速度提高不大、行车安全受到威胁等等,这些问题的存在不仅有接触网零部件及受电弓零部件的设计安全性原因,更重要的原因是弓网关系的处理方面存在问题,应该看到受电弓——接触网是一种接和关系,受电弓的性能受接触网的影响,接触网的性能受受电弓的制约,它们不是各自独立就可完成受流工作,任何一方存在问题都将直接影响受流的质量,从目前的弓网关系中可以看出,受电弓及接触网的强度都有越来越加强的发展趋势,然而弓网故障未能得到根本的解决,随着速度的提高受流质量越来越差,弓网间的接触压力变动范围明显增加,接触线的磨损更加不均匀。这些问题的关键在于:随着机车运行速度的提高,受电弓及接触网振动越来越加剧,动态接触压力不稳定,波动范围增加。

4 接触网弹性分析

接触网的悬挂方式可分为:简单悬挂、简单链型悬挂、Y形弹性链型悬挂、 π 形弹性链型悬挂及复链型悬挂。在这些悬挂方式中,简单悬挂方式结构最简单,施工容易,造价低,如果能够满足机车高速运行时对受流质量的要求,那么简单悬挂应该是最佳的优选悬挂方式。虽然以前研究给出的结论是简单悬挂只适应于低速铁路,不能用于高速,然而通过研究分析发现,简单悬挂在保证受流质量方面有其独到的优点,非常适宜于高速。

接触网弹性的分析,就是要确定在P力作用下接触网的位移变化情况。假设接触线的线密度为 q_l ,张力为 T_l ,跨距为L,a、b支座处支反力分别为 R_a 及 R_b ,如图1所示。对b点列力矩平衡方程:

$$R_a \cdot L + P \cdot (L - x) = \frac{1}{2} q_l \cdot L^2$$

解此方程得:

$$R_a = \frac{1}{2} q_l L - P \left(1 - \frac{x}{L} \right) \quad (1)$$

P力左侧接触线对P力作用点列力矩平衡方程:

$$R_a \cdot x = \frac{1}{2} q_l \cdot x^2 + T_l \cdot y$$

解此方程得:

$$y = \frac{1}{T_l} \left(R_a \cdot x - \frac{1}{2} q_l x^2 \right) \quad (2)$$

(1)式代入(2)式整理得:

$$y = \frac{x}{T_l} \left[\frac{1}{2} q_l (L - x) - P \left(1 - \frac{x}{L} \right) \right] \quad (3)$$

当P为零时,(3)式表示接触线的悬挂曲线,如图(1)粗线所示;当P为某个定值时,(3)式表示P力作用点的轨迹曲线。

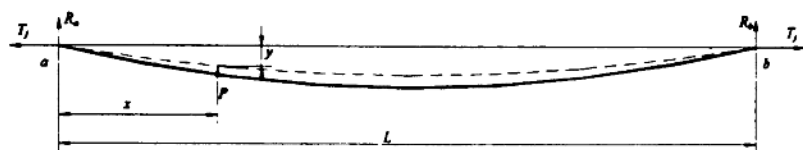


图1 简单悬挂接触线曲线图

根据弹性的物理概念——单位力物体的位移,可以得出接触线的弹性表达式为:

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{x}{T_j} \left[\frac{1}{2} q_j (L-x) - 0 \cdot \left(1 - \frac{x}{L} \right) \right] - \frac{x}{T_j} \left[\frac{1}{2} q_j (L-x) - 1 \cdot \left(1 - \frac{x}{L} \right) \right] \\ &= \frac{1}{T_j} \left(x - \frac{x^2}{L} \right) \\ &= -\frac{1}{L \cdot T_j} x^2 + \frac{1}{T_j} x\end{aligned}\quad (4)$$

由(4)式可以看出,接触线的弹性与张力、跨距及计算点的位置有关,当跨距及张力确定后,接触线的弹性(是一条确定的抛物线。对于悬索式结构,这是其基本的力学特性,以前我们总想通过改变各种有关参数以求达到弹性的均匀统一,消除受电弓的振动,实际上这是不可能的,如此的方法只能使接触网的结构更加复杂,造价上升,然而又不可能从根本上解决振动问题,我们应该正视接触网弹性的不均匀性,通过合理设计受电弓的弓头结构来减少或消除受电弓的振动。

5 受电弓力学分析

为了说明弓网之间的作用关系,对受电弓进行机构的运动学及动力学分析,是没有必要的,而且对于某一特定受电弓的分析不具备普遍性。为此,我们以受电弓的一元振动模型为研究对象,对其进行受力分析。振动模型如图2所示。

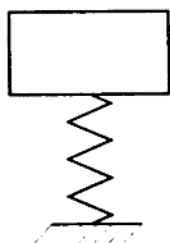


图2 受电弓一元振动模型

(1) 受电弓静态力分析

假设受电弓的归算质量为 M , 设计静态接触压力为 P_1 。受电弓设计时要求:受电弓在工

作高度范围内,接触力 P_1 为一确定值(我国受电弓的静态接触力为 70N)。也就是说,弹簧给受电弓提供一确定的力,用 P_T 表示此力,由受电弓的静态平衡条件可得:

$$P_T = P_1 + g \cdot M_{\bullet} \quad (5)$$

由于弹簧力的变化量等于零与弹簧的位移无关,根据刚度的物理意义(单位位移力的增量),可得出以下结论:

受电弓模型中,弹簧的刚度 K 为零。

(2) 受电弓动态力分析

机车以速度 V 运动时受电弓所受的空气抬升力为 P_f ,接触压力为 P ,垂向加速度为 a 。见图 3 受电弓动态受力图,由牛顿第二定律可列出如下方程:

$$P_T + P_f - M_{\bullet}g - P = a \cdot M_{\bullet}$$

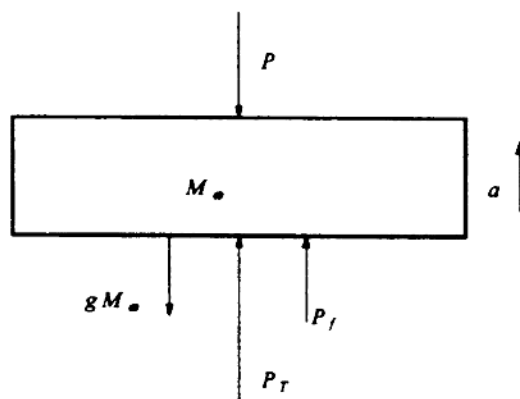


图 3 受电弓动态受力图

解此方程可得:

$$\begin{aligned} P &= P_T + P_f - M_{\bullet}g - a \cdot M_{\bullet} \\ &= P_1 + g \cdot M_{\bullet} + P_f - M_{\bullet}g - a \cdot M_{\bullet} \\ &= P_1 + P_f - M_{\bullet}a \end{aligned}$$

$$P = P_1 + P_f - M_{\bullet}a$$

即:

(6)

由公式(6)可以清楚的看出,受电弓的动态接触压力是由静态接触压力、空气抬升力、归算质量及受电弓的垂向加速度等参数所决定的。在这些参数中静态接触压力为设计确定参数;空气抬升力是由机车的行进速度及受电弓的结构参数所决定的。当受电弓的结构参数确定后,机

车以一定的速度行进时,空气抬升力即为某个确定值,通过设计合理的受电弓参数可以减低或消除空气抬升力(如何设计受电弓的参数减低或消除空气抬升力,将有专门的文章进行论述);归算质量是由受电弓结构参数所决定的物理参数,与受电弓的运动情况无关。当受电弓的垂向加速度为零时,即受电弓无振动时,接触压力就是一个定值。

6 受电弓弓头设计方法

6.1 受电弓弓头基本结构及参数的确定方法

受电弓弓头的设计与接触网的悬挂方式及悬挂参数是密切相关的,在设计之前首先应该确定接触网的有关参数,假设接触网为简单悬挂,跨距为 L ,拉出值为 b ,张力为 TJ ,这时接触线的悬挂曲线及 P 力(固定大小)的轨迹如图1所示。在静态状态下,由力与位移的一一对应关系可知,如果受电弓与接触线接触时,接触点的轨迹为图中虚线,则受电弓经过该跨时,接触压力必定是 P 。由受电弓动态力分析可知,受电弓要保持接触压力不变的条件是其垂向加速度为零,也就是说受电弓的质心在垂向保持不变。要保证受电弓的质心在垂向保持不变,只要受电弓弓头的曲线满足接触线上接触点的变化曲线即可,这时弓头曲线就是接触点轨迹曲线的侧面投影,如图4所示。

在前面讨论接触点轨迹时,我们没有考虑接触线的拉出值,当有拉出值时轨迹方程需进行修正。由图4的几何关系可知,(3)式中的跨距为: $\frac{L}{\cos\alpha}$; (3)式中的 x 为: $\frac{x}{\cos\alpha}$; (3)式中的张力为: $\frac{T_j}{\cos\alpha}$ 。将这些变化后的参数代入(3)式得:

$$\begin{aligned} y &= \frac{x}{T_j} \left[\frac{1}{2} q_j \left(\frac{L}{\cos\alpha} - \frac{x}{\cos\alpha} \right) - P \left(1 - \frac{x}{L} \right) \right] \\ &= \frac{x}{T_j} \left[\frac{1}{2 \cos\alpha} q_j (L - x) - P \left(1 - \frac{x}{L} \right) \right] \end{aligned} \quad (7)$$

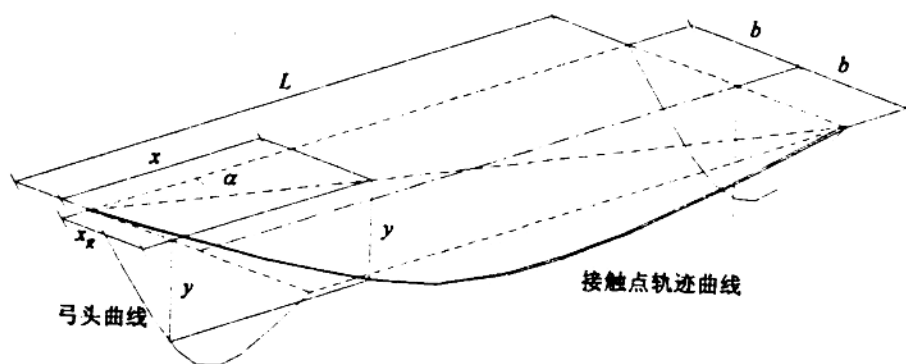


图4 弓头曲线与接触点轨迹曲线关系图

由图(4)的几何关系可得:

$$\cos \alpha = \frac{L}{\sqrt{L^2 + (2b)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2b/L)^2}} \quad (8)$$

$$x = \frac{L}{2b} \cdot x_g \quad (9)$$

将(8)式(9)式代入(7)式可得:

$$\begin{aligned} y &= \frac{x_g \cdot \frac{L}{2b}}{T_j} \left[\frac{\sqrt{1 + (2b/L)^2}}{2} q_j (L - x_g \cdot \frac{L}{2b}) - P \left(1 - \frac{x_g \cdot \frac{L}{2b}}{L} \right) \right] \\ &= \frac{L \cdot x_g}{2b \cdot T_j} \left[q_j \cdot \sqrt{\frac{L^2}{4} + b^2} (1 - \frac{x_g}{2b}) - P \left(1 - \frac{x_g}{2b} \right) \right] \\ &= \frac{L \cdot (q_j \sqrt{0.25L^2 + b^2} - P)}{2b \cdot T_j} \left(-\frac{1}{2b} x_g^2 + x_g \right) \end{aligned} \quad (10)$$

方程(10)描绘了弓头曲线,它是一条抛物线,将接触网的所有参数(跨距、张力、接触线线密度、拉出值)及受电弓抬升力联系在一起,建立了弓网间的相互依赖关系。当接触力、接触线(线密度)及其悬挂参数(跨距、拉出值)被确定,与之相匹配的弓头接触面参数也就被确定,机车经过时就能满足弓网的匹配关系,受流质量得到保证。

6.2 受电弓弓头基本结构的改进

方程(10)给出了弓头的曲线方程,采用这样的弓头虽然解决了接触压力的均匀性问题,但是它不能满足实际使用时的需要,还要考虑受电弓能够顺利通过线叉,由一条接触线过渡到另一条接触线的工况,考虑这种工况时受电弓的弓头要进行一定地改进,改进后的弓头结构示意图如图5所示。

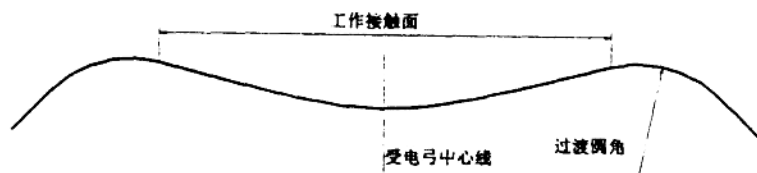


图5 弓头结构示意图

7 弓网关系的进一步讨论

通过前面的研究,我们已经找到了建立弓网关系的基本方法,它全面考虑了弓网的各项结构参数,从根本上解决了由于受电弓振动导致接触压力不均匀的问题,从而解决了受流质量及接触线的不均匀磨损问题,同时也为接触网简单悬挂适应高速找出了理论依据。简单悬挂的采用不仅可以保证高速情况下的受流质量,而且将大幅度的降低电气化铁路的基建费用,其优越性是不言而喻的。

弓网的关系问题还需要进一步研究,只考虑前面的几个问题是不能满足实际应用需要的。下面将讨论其它问题解决办法。

(1) 接触网波动问题

受电弓经过接触网时,由于接触压力的存在,将导致接触网上质点偏离其静平衡点而发生振动,质点振动在接触线上的传播就形成了波动,这种波动的存在会对弓网接触产生影响,接触点的轨迹将发生偏移,从而影响受流质量,应该对其加以限制。由于接触网的结构所限不可能消除质点的振动,只能限定其传播范围,使每跨的振动限定在本跨之内,不影响其它的跨距。具体措施是:将定位点垂向固定,取消定位点的垂向自由度。

(2) 曲线段接触网的定位问题

前面我们研究了直线段的弓网关系,找到了一定的解决办法,那么它能否应用于曲线,如果能又需要什么条件,接触网要如何架设,分析如下:

曲线段上,接触线的悬挂是折线,悬挂时跨中是最低点,悬挂点为最高点,如果跨中点为接触线与轨道中心线的切点,则接触点的轨迹线是基本满足弓头曲线的,偏差的大小取决于曲线半径。当受电弓弓头曲线确定时,接触线的跨距与拉出值也需要某个特定值,可是由于曲线半径的影响有时是无法同时满足要求的,为此对曲线半径有一定的要求,当它满足这些要求时,可使弓网间达到最佳的匹配关系。

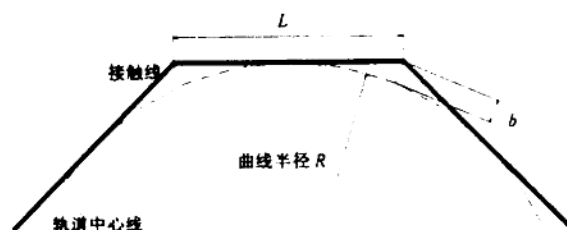


图6 曲线段接触线平面布置图

由图6中的几何关系可得: $(R+b)^2 = (\frac{L}{R})^2 + R^2$

$$\text{解此方程得: } R = \frac{L^2}{8b} - \frac{b}{2} \quad (11)$$

(3) 接触网参数要求

机车运行时,受电弓要与各跨的接触线发生关系,受电弓的弓头结构确定后,为了满足弓网关系的要求,接触网的参数也需要某个特定值,即接触网的悬挂参数张力、跨距、拉出值及接触线类型为确定值,也就是说各个跨都要有相同的跨距、张力及拉出值,不管直线段还是曲线段都是如此,在这样的条件下受电弓接触网始终可以满足良好的匹配关系,保证受流质量。

8 计算示例

为了进一步说明弓头及接触网的参数依赖关系,举例说明如下。设接触网有关参数为:张力 15kN,跨距 60m,拉出值 400mm,接触线为 CT-110 型,线密度为 0.992kg/m,接触压力为 70N。

由(10)式可得:

$$\begin{aligned}
 y &= \frac{L \cdot \left(q \sqrt{0.25L^2 + b^2} - P \right)}{2b \cdot T_j} \left(-\frac{1}{2b} x_g^2 + x_g \right) \\
 &= \frac{60 \times \left(0.992 \sqrt{0.25 \times 60^2 + 0.4^2} - 7 \right)}{2 \times 0.4 \times 1500} \left(-\frac{1}{2 \times 0.4} x_g^2 + x_g \right) \\
 &= -1.138132 x_g^2 + 1.422665 x_g
 \end{aligned}$$

由以上的曲线方程可绘制出受电弓接触面如图 7 所示,这时最佳曲线半径可由(11)式计算如下:

$$R = \frac{L^2}{8b} - \frac{b}{2} = \frac{60^2}{8 \times 0.4} - \frac{0.4}{2} = 1124.8 \text{ m}$$

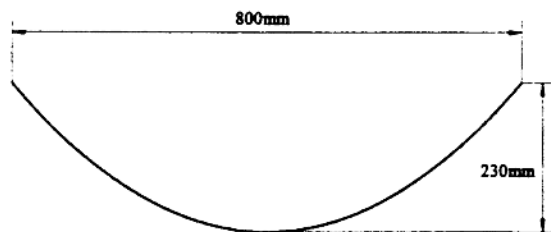


图 7 弓头接触面

9 结论

通过以上的研究讨论,提出了简单悬挂时弓网的匹配关系,突破了弓网设计时,各自独立没有传递参数的传统模式,建立了弓网的依赖关系,同时也为在保证受流质量的前提下,降低电气化铁路基建成本找出了理论基础。如果能够通过试验验证其理论的准确性,在全国乃至世界电气化铁路范围内推广,将带来极大的经济效益及社会效益。

以上是对弓网关系的初步探讨,其中对某些问题的研究还不够深入,有的问题可能根本就没有考虑到,为了能够进一步完善弓网关系理论,恳请广大读者批评指正,提出宝贵意见。