



电气化铁道接触网

零部件设计与制造

蒋先国 编著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

电气化铁道接触网 零部件设计与制造

蒋先国 编著

中国铁道出版社

2009年·北京

内 容 简 介

全书共分9章,从接触网零部件的发展、设计、制造、试验等方面,系统地介绍了接触网零部件制造所涉及的材料、工艺方法以及试验内容,从系统设计原则、结构设计、紧固设计和材料、工艺、防腐方案选择以及试验验证等方面重点论述了零部件的设计内容与方法,系统介绍了有限元法在接触网零件设计中的应用,结合实例剖析了接触网零部件缺陷产生的原因与机理。

本书可供从事接触网零部件的设计、制造、检验等方面工作的技术人员使用,也可供相关院校师生教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

电气化铁道接触网零部件设计与制造/蒋先国编著.
北京:中国铁道出版社,2009.12
ISBN 978-7-113-10787-1

I. 电… II. 蒋… III. ①电气化铁道-接触网-零部件-设计②电气化铁道-接触网-零部件-制造 IV. U225.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 214832 号

书 名:电气化铁道接触网零部件设计与制造
作 者:蒋先国 编著

责任编辑:王风雨 电话:(010)51873139
编辑助理:孙 楠
封面设计:冯龙彬
责任校对:张玉华
责任印制:郭向伟

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)
印 刷:北京盛通印刷股份有限公司
版 次:2009年12月第1版 2009年12月第1次印刷
开 本:889mm×1194mm 1/16 印张:20.75 字数:613千
书 号:ISBN 978-7-113-10787-1/U·2603
定 价:150.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话:市电(010)51873170,路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)63549504,路电(021)73187

蒋先国

作者简介

铁道第三勘察设计院集团有限公司副总工程师、教授级高级工程师、铁道第三勘察设计院集团有限公司博士后工作站业务指导专家。长期从事铁路、城市轨道交通等电气化牵引供电系统接触网的设计、研究及技术管理工作,先后主持朔黄电气化铁路、哈大线电气化改造、京秦既有电气化铁路提速改造、秦沈及石太铁路客运专线以及深圳、上海、大连地铁等数十项国家重点工程,组织完成了国家重大装备研制项目《秦沈客运专线接触网系统设计及设备的研制》、铁道部科研项目《接触网设备简统化、标准化、规范化的研究》等多项国家级、省部级科研课题,其中多项获国家、省部级科技进步奖。特别是在高速铁路接触网的弓网关系研究与评价、设计理论与方法,接触网装配结构与零部件的设计与研制,以及综合设计技术的开发与应用等方面取得了创新性成果,达到国内领先和国际先进水平,具有较高的理论水平和解决接触网设计、施工以及零部件制造中的实际问题的能力,实践经验丰富。



④ 编辑委员会

主 编：蒋先国

副 主 编：李增勤 顾 乐 任兴堂

编 委：罗 健 王国梁 白裔峰

余福鼎 陈忠华 杨广英

主编单位：铁道第三勘察设计院集团有限公司

序

大规模的电气化铁路建设,在为接触网零部件提供难得的发展机遇的同时,也对接触网零部件在技术标准、生产质量、制造能力等方面提出了更高的要求。

为了满足动车组高速取流的要求,在改善受电弓性能的前提下,应强化接触网安全、可靠、稳定的授流能力,即在较大程度上提高接触网的力学和电气性能。提高接触网力学性能最主要的工程措施就是加大接触悬挂的张力配置,从波动传播的角度来看,尤其要加大接触线的张力配置。一方面要求接触线、承力索有较高的机械强度;另一方面,由于所增加的接触悬挂的张力均要通过不同的转化形式施加到与其直接或间接相关的零部件上,所以也要相应提高零部件的机械性能。提高接触网的电气性能,一方面要增加接触悬挂传输电流的能力,另一方面也要改善与电流传输相关的零部件的性能,如电连接线夹等。同时,由于系统短路电流的加大,对腕臂支持装置等抗短路电流的能力也提出了一定的要求。因此,铁路高速客运专线接触网零部件的技术标准与普速的有着较大的差异。目前接触网的主要技术标准和技术条件还在逐步制定与完善之中,因此,接触网零部件的有关标准也应与之相适应、相配套,以满足铁路高速客运专线建设的要求。

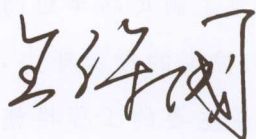
经过不同历史阶段的发展,目前我国接触网零部件在设计、制造、检验、安装、维护等方面都有了长足的进步,并基本实现了与国际接轨,技术水平也与国际相当。我国接触网零部件的发展主要依靠设计、科研、生产制造商的共同努力和行业主管部门的大力支持,其中,在生产制造方面社会力量扮演了很重要的角色。接触网零部件种类繁多、运行条件恶劣,其安全可靠直接关系到铁路的运营安全。因此,如何提高接触网零部件的加工制造水平和制造质量,确保接触网具有高可靠性、高安全性和高使用性,是当前接触网面临的重要任务之一。

根据铁路《中长期铁路网规划》,到2020年,快速客运网规模达 5×10^4 km,客车速度目标值将达350 km/h。由于快速客运网的大规模建设,对接触网材料、设备的大量需求,带动了接触网传统产业外的生产制造商的介入。因此,如何规范接触网零部件在设计、制

造、试验等方面的各项工作,也是当前行业管理的重点。

教授级高级工程师蒋先国,作为铁道第三勘察设计院集团有限公司副总工程师,长期从事铁路、城市轨道交通等电气化牵引供电系统接触网的设计和研究。近年,他分别主持完成了国家重大装备研制项目《秦沈客运专线接触网系统设计及设备的研制》和铁道部科研项目《接触网设备简统化、标准化、规范化的研究》,积累了丰富而翔实的资料和数据,为本书的出版打下了良好的基础。

本书系统地论述了接触网零部件在设计、制造、试验等方面的理论、方法和标准,并系统地介绍了有限元法在接触网零部件设计中的运用,是接触网行业中第一本关于零部件制造方面的专著,可为今后接触网零部件的研发、生产、检验等提供非常有益的帮助,对进一步提高接触网零部件的技术标准、生产质量、制造能力也将起到很好的推动作用。



2009年10月

前言

据有关资料介绍,2007年我国电气化里程已达 2.55×10^4 km,电气化率32.7%,比2004年增加 0.6×10^4 km。由于大力采用电力牵引,单位运输量能耗下降9%,二氧化硫排放量下降7%、化学需氧量排放下降11%,污染物排放量大幅降低。到2020年,全国铁路营业里程将达到 15×10^4 km以上,电气化率达到65%,即用13年的时间实现目前电气化总量翻近4倍的目标,平均每年的电气化线路超过5 500 km。应该说铁路发展规划为铁路电气化事业的发展描绘了广阔的前景和宏伟的蓝图,同时对接触网的设计、施工、制造以及运营维护也提出了更高的要求。如何多、快、好、省地建设未来的电气化铁路接触网是摆在我国广大接触网科技、工程、制造与管理人员面前必须做好的一道难题。

接触网是沿铁路线设置,向移动负荷供电且无备用的户外输电系统,其线材、零部件等要能经受得住严峻的环境条件考验。既要经得住温度、风、霜、雪、雨、雷电、日照以及覆冰和环境污染等的考验,也要经得住受电弓对接触网的冲击以及由此引起的振动及疲劳的考验。由于接触网是露天设置,没有备用,所以对接触网的安全可靠性和使用寿命有很高的要求。

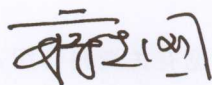
接触网是一个由电气、力学、材料、机械等多学科交叉、融合而成的复杂系统,具有体量大、露天、无备用等基本特征。接触网技术复杂、涉及面广、工艺性强,其零部件种类繁多、数量大、运营环境恶劣、使用要求高,是制约接触网发展的关键点。经过不同历史阶段的发展,目前我国接触网零部件在设计、制造、检验、安装、维护等方面都有了长足的进步。接触网零部件正朝着更完善、更可靠的方向发展,所用材质具备了强度高、韧性好、耐腐蚀的特点,各种部件具有轻型、简单、耐振动的优点。随着铁路客运专线大规模建设的开始,对接触网零部件在技术标准、生产质量、制造能力等方面又提出了新的、更高的要求。

本书是在总结以往工程实践经验和科研项目成果、充分吸纳目前基本共识的基础上,对电气化铁道接触网零部件的设计与制造进行的一次探讨。全书共9章42节,从接触网零部件的发展、设计、制造、试验等方面,系统地介绍了接触网零部件制造所涉及的材料、工艺方法以及试验内容,从系统设计原则、结构设计、紧固设计和材料、工艺、防腐方案选择以及试验验证等方面重点论述了零部件的设计内容与方法,系统介绍了有限元法在接触网零件设计中的应用,结合实例剖析了接触网零部件缺陷产生的原因与机理。希望本书能对接触网行业有关人员提供有益的帮助。

铁道第三勘察设计院集团有限公司电化电信处罗健、王国梁,铁道第三勘察设计院集团有限公司博士后工作站博士白裔峰,中国中铁电气化局集团宝鸡器材有限公司的李增勤、余福鼎,郑州铁路专用器材有限公司顾东、陈中华,铁道部产品质量监督检验中心接触网零部件检验站的任兴堂、杨广英等也参加了本书的编写,同时铁道第三勘察设计院集团有限公司、中国中铁电气化局集团宝鸡器材有限公司、

郑州铁路专用器材有限公司、铁道部产品质量监督检验中心接触网零部件检验站等单位给予了大量的支持,因此,本书是设计、制造、检验以及行业有关单位集体智慧的结晶。在此笔者一并表示衷心的感谢!

由于时间仓促,本书还存在很多不足之处,敬请读者提出宝贵意见。



2009年10月

目 录

第一章 接触网及其零部件概述	1
1.1 接触网	1
1.2 接触网的运行环境	2
1.2.1 气象条件对接触网的影响	2
1.2.2 运行条件对接触网的影响	3
1.3 接触网零部件分类	4
1.4 接触网零部件运用环境	6
1.5 我国接触网零部件的发展	7
第二章 接触网零部件的工作要求及技术条件	9
2.1 接触网零部件工作要求及技术条件的总体说明	9
2.1.1 使用环境条件	9
2.1.2 接触网悬挂类型	9
2.1.3 接触悬挂线材及附加导线线材	9
2.1.4 通用技术条件	10
2.2 接触网零部件的工作要求及技术条件	10
2.2.1 腕臂及定位用零部件	10
2.2.2 软横跨用零部件	12
2.2.3 电连接用零部件	13
2.2.4 悬挂用零部件	14
2.2.5 中心锚结用零部件	15
2.2.6 终端锚固用零部件	16
2.2.7 下锚补偿装置用零部件	16
2.2.8 接地用零部件	17
2.2.9 隧道支持用零部件	18
2.2.10 其他零部件	19
第三章 锻件、铸件及焊接件的工艺性	20
3.1 锻件的工艺性	20
3.1.1 锻造工艺的分类、特点及其应用	20
3.1.2 锻件的结构工艺性	22
3.1.3 锻件节材方法与途径	39
3.2 铸件的工艺性	42
3.2.1 铸造工艺性基本指标及零件的铸造工艺要素	42
3.2.2 铸造合金分类及选用	43

3.2.3	常用铸造方法及选用	44
3.2.4	铸件结构设计要点	47
3.2.5	铸件后续加工与铸件结构	50
3.2.6	铸件的矫形	50
3.2.7	组合铸件结构	50
3.2.8	铸件设计举例	50
3.3	焊接件的工艺性	52
3.3.1	常见的焊接方法的特点及应用	53
3.3.2	焊接材料的分类及选择	55
3.3.3	金属材料的焊接	58
3.3.4	焊接应力与变形	63
3.3.5	常见的焊接缺陷	64
3.3.6	焊接结构工艺性	64
3.3.7	焊缝的布置	65
3.3.8	焊接接头设计	65
3.4	锻件、铸造件及焊接件的比较	65
3.4.1	工艺性能的比较	65
3.4.2	可靠性的比较	68
3.4.3	经济性的比较	68
第四章 零件机械加工、装配和维修的工艺性		72
4.1	机械加工(切削加工)工艺性	72
4.1.1	切削加工工艺性的概念	72
4.1.2	切削加工工艺性的影响因素	73
4.1.3	提高切削加工工艺性的措施	74
4.1.4	典型零件工艺性分析	75
4.2	装配和维修工艺性	78
4.2.1	装配工艺性的概念	78
4.2.2	装配工艺方案的选择和规程的制订	78
4.2.3	装配工作法	81
4.2.4	一般装配对零部件装配工艺性的要求	82
4.2.5	自动装配对零部件装配工艺性的要求	82
4.2.6	维修对零部件工艺性的要求	82
第五章 主要材料性能		83
5.1	钢铁材料	83
5.1.1	铸铁	83
5.1.2	碳素钢	87
5.1.3	合金钢	91
5.2	有色金属材料	96
5.2.1	铜及铜合金	97
5.2.2	铝及铝合金	101
5.3	非金属材料	110

5.3.1	硅橡胶	110
5.3.2	玻璃钢	112
5.3.3	尼龙	113
5.3.4	陶瓷	114
5.3.5	非金属材料在接触网零件中的应用	114
第六章	接触网零部件设计	115
6.1	接触网零部件的系统设计	115
6.1.1	各子系统的组成及功能	115
6.1.2	主要子系统形式的选择	123
6.1.3	接触网零部件系统设计的主要原则	129
6.2	接触网零部件的结构分析与计算	130
6.2.1	腕臂支持装置的静力学计算	131
6.2.2	腕臂支持装置的仿真分析	140
6.3	接触网零部件的材料选择	148
6.3.1	钢铁	148
6.3.2	铜及铜合金	150
6.3.3	铝及铝合金	153
6.4	接触网零部件的制造工艺选择	155
6.4.1	工艺方案选取的一般原则	156
6.4.2	结构与工艺的关系	157
6.4.3	几种工艺方案的比较	157
6.4.4	工艺方案的评价方法	159
6.4.5	国际最新工艺的介绍	160
6.5	接触网零部件的防腐蚀设计	161
6.5.1	金属的腐蚀原理	162
6.5.2	金属防腐蚀的措施	164
6.5.3	接触网零部件的防腐设计	166
6.5.4	防腐性能的检验内容与评价方法	170
6.6	接触网零部件的紧固设计	171
6.6.1	螺母松脱的主要原因及应对措施	172
6.6.2	螺母防松效果试验分析	173
6.6.3	紧固设计中的有关计算	177
6.6.4	紧固件有关标准和接触网紧固设计举例	181
6.7	接触网零部件设计的验证试验	186
6.7.1	腕臂支持装置子系统的试验	187
6.7.2	腕臂支持装置子系统的验证	192
6.7.3	结论	194
第七章	有限元理论在接触网零部件设计中的应用	197
7.1	有限元理论基础	197
7.1.1	有限元理论简介	197
7.1.2	静力分析的有限元法	197

7.1.3	结构动力分析的有限元法	198
7.1.4	结构有限元建模方法	199
7.1.5	基于有限元理论的软件	200
7.2	接触网零部件的受力状态	200
7.2.1	材料的本构关系	201
7.2.2	状态非线性	201
7.3	接触网零部件疲劳寿命分析	201
7.3.1	结构自振频率与振型	202
7.3.2	疲劳寿命的评估	202
7.4	有限元理论在接触网零部件设计中的应用	203
7.4.1	有限元分析的主要过程	203
7.4.2	有限元分析软件	204
7.4.3	接触网零部件静力有限元分析实例一	205
7.4.4	接触网零部件静力有限元分析实例二	208
7.4.5	接触网零部件静力有限元分析实例三	210
7.4.6	接触网零部件静力有限元分析实例四	210
7.4.7	接触网零部件疲劳寿命的有限元分析实例	210
第八章	接触网零部件制造	212
8.1	锻钢类零件	212
8.1.1	工艺方案及工艺流程	212
8.1.2	材料选择及验收方案	220
8.1.3	工装模具的设计与制造原则	220
8.1.4	制造过程工艺要点	221
8.1.5	验收及试验	222
8.1.6	典型产品举例	222
8.2	铸钢类零件	224
8.2.1	工艺方案选择及工艺流程	224
8.2.2	材料选择及验收方案	226
8.2.3	工装模具的设计与制造原则	226
8.2.4	制造过程工艺要点	228
8.2.5	验收及试验	237
8.2.6	典型产品铸造模具示例	237
8.3	焊接类零件	240
8.3.1	工艺方案选择及工艺流程	240
8.3.2	材料选择及验收方案	241
8.3.3	工装模具的设计与制造原则	242
8.3.4	制造过程工艺要点	242
8.3.5	验收及试验	242
8.3.6	典型产品焊接工装示例	243
8.4	整体吊弦	244
8.4.1	模锻型整体吊弦线夹本体工艺方案选择及工艺流程	244
8.4.2	冲压型整体吊弦线夹本体工艺方案选择及工艺流程	247

8.4.3	材料选择及验收方案	249
8.4.4	整体吊弦的组装及长度控制	249
8.5	定位器	249
8.5.1	定位钩工艺方案选择及工艺流程	250
8.5.2	定位销钉套筒工艺方案选择及工艺流程	251
8.5.3	定位器主体的连接	253
8.5.4	定位线夹的制造	254
8.5.5	材料选择及验收方案	256
8.5.6	包装	256
8.6	补偿滑轮	256
8.6.1	滑轮制造的工艺方案选择及工艺流程	256
8.6.2	滑轮框架	258
8.6.3	楔形线夹制造	259
8.6.4	整体组装	260
8.6.5	材料选择及验收方案	260
8.7	棘轮补偿装置	261
8.7.1	棘轮制造的工艺方案选择及工艺流程	261
8.7.2	棘轮框架	263
8.7.3	棘轮制动架	264
8.7.4	楔形线夹制造方式	265
8.7.5	整体组装	265
8.7.6	材料选择及验收方案	265
8.8	电连接线夹	266
8.8.1	电连接线夹制造的工艺方案选择及工艺流程	267
8.8.2	材料选择及验收方案	269
8.9	锥套式终端锚固线夹	269
8.9.1	接触线锥套式终端锚固线夹制造的工艺方案选择及工艺流程	270
8.9.2	承力索锥套式终端锚固线夹制造的工艺方案选择及工艺流程	271
8.9.3	材料选择及验收方案	273
8.10	中心锚结线夹	273
8.10.1	两跨式中心锚结线夹制造的工艺方案选择及工艺流程	273
8.10.2	承力索中心锚结线夹制造的工艺方案选择及工艺流程	275
第九章 接触网零部件试验		278
9.1	接触网零部件试验简介	278
9.1.1	接触网零部件试验分类	278
9.1.2	试验依据的标准	278
9.1.3	常见试验类型	279
9.1.4	常用的抽样方法	279
9.1.5	检验结果判定与处理	280
9.2	通用试验方法	280
9.3	典型零件的试验	290
9.3.1	吊弦线夹	290

9.3.2	定位装置	293
9.3.3	腕臂支持装置子系统	296
9.4	主要的试验设备	296
9.4.1	接触网零部件试验机	296
9.4.2	接触网零部件疲劳试验设备	297
9.4.3	电热循环试验台	299
9.4.4	高速接触网振动试验场	299
9.5	事故分析试验简介	300
9.5.1	案例一:铝合金定位器、定位线夹失效分析	300
9.5.2	案例二:铝合金端锚固线夹断裂分析	305
9.5.3	案例三:抱箍类零件失效分析	311
参考文献		318

第 1 章

接触网及其零部件概述

1.1 接触网

电气化铁路牵引供电系统主要由牵引变电所和牵引网构成。牵引变电所的主要作用为电能变换及控制,完成单相牵引网与三相电力系统之间的衔接和电压变换。在我国,以牵引变电所高压进线门型架为界,门型架以外归属电力部门,门型架以内归属铁道部门。牵引网由馈线、接触网、回流网等组成。馈线是牵引变电所向接触网供电的线路,其作用是将电能由牵引变电所输送给接触网;接触网是沿铁路线设置、向电力机车或动车组供电的特殊形式的输电线路,通过它与受电弓的移动接触,将电能输送给电力机车或动车组;回流网是一个广义的概念,指牵引电流从机车或动车组流出回到牵引变电所所流经的通道,通常由钢轨、大地以及专用的回流线、地线等组成。电气化铁路牵引供电系统构成见图 1—1—1。

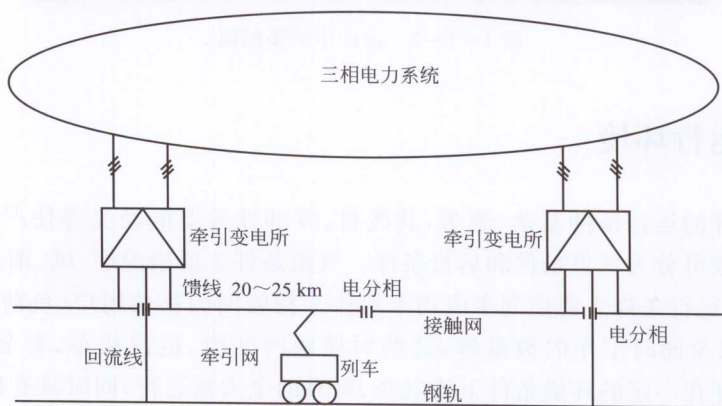


图 1—1—1 牵引供电系统构成图

接触网是电气化铁路牵引供电系统的重要组成部分之一,其与电力系统输电线路的最大区别在于:接触网的用电负荷是移动的(见图 1—1—2),其移动的速度即为电力机车或动车组的行车速度,目前我国铁路客运专线上动车组的速度已达 350 km/h。相反,电力系统的输电线路是向静止的负荷供电。因此,在接触网的设计中,包括在其零部件的设计中,在满足电力机车或动车组受电弓从接触网取流要求的基础上,要考虑受电弓对接触网的冲击以及由其引起的振动对接触网及其零部件的影响。

接触网主要由接触悬挂、附加导线、支持及定位装置、支柱与基础等部分组成。接触悬挂包括接触线、承力索、吊弦、中心锚结、电连接、补偿装置等,接触悬挂通过支持与定位装置架设在支柱上,其功能是从牵引变电所获得的电能输送给电力机车或动车组;定位装置包括定位管和定位器,其功能是固定接触线的位置,使接触线运行在受电弓滑板的有效工作范围之内,保证接触线与受电弓不脱离,并将接触线的水平负荷传给支柱;支持装置用以悬挂、支撑接触悬挂,并将其负荷传给支柱或其他结构物,常用的支持装置可分为腕臂支持装置和横跨类支持装置,而横跨类支持装置又可分为硬横跨和软横跨两类。腕臂支持装置主要包括斜腕臂、水平腕臂(拉杆)、棒式绝缘子及相关零部件;支柱与基础用以承受接触悬挂、附加导线、支持和定位装置等产生的负载以及风、覆冰等产生的附加负荷,并将接触悬挂固定在规

定的位置和高度上。

由于接触网是露天设置,没有备用,线路上的负荷又是随着电力机车和动车组的运行而沿接触线移动和变化的,因此对接触网提出了较高的要求:

(1)在高速运行和恶劣的气候条件下,能保证电力机车正常取流,要求接触网在机械结构上具有良好的稳定性和足够的弹性、在电气上具有良好的受流性能。

(2)接触网零部件要具有一定的互换性,应具有足够的抗振动、抗疲劳、抗腐蚀和耐磨性能并有较长的使用寿命,紧固用零部件要具有很好的抗振能力并要采取有效的防松措施。

(3)结构装置尽量简单,便于施工,有利于运营及维修。在事故情况下,便于抢修和迅速恢复送电。

(4)尽可能地降低成本,特别要注意节约有色金属及钢材。



图 1—1—2 运行中的接触网

1.2 接触网的运行环境

接触网及其零部件的运行条件复杂、恶劣,其线材、零部件等要能经受得住严峻的环境条件考验。接触网的环境条件大致可分为气象条件和运行条件。气象条件主要指温度、风、霜、雪、雨、雷电、日照以及覆冰和环境污染等;运行条件主要指列车或动车组作为接触网的移动用户(负荷),其运行的速度、开行对数、受电弓性能以及同时工作的数量等,这些对接触网性能、运行状态、安全可靠性等均有较大的影响。接触网应保证在一定的环境条件下能安全、可靠的全天候运行,同时具有良好的电气和机械性能。

1.2.1 气象条件对接触网的影响

风对接触网来说,不仅增加其机械负荷,当其速度和方向变化时,会使接触线产生摆动、振动或舞动,风速大且强劲的风会使接触线出现巨大摆动。当气流遇到接触线时,不仅能在圆导体后面形成涡流,而且能在圆导体的上部或下部形成涡流。在这种涡流作用下,会使接触线产生一个向上或向下的力。当风向与线路垂直时,就会交替地产生这种向上或向下的力,从而对接触线产生周期性的冲击,造成导线在垂直平面内的上下振动。在特大风作用下,甚至会出现支柱折断、接触线断线、接触网零部件断裂的情况。在冬季,接触网有时会出现积冰和积雪现象,称为覆冰。覆冰会增加接触网及其零部件的机械负荷,在适当的风速下可引发接触网自振,严重时将导致支柱折断、塌网事故。

1998年12月1日我国京广铁路线汤阴—淇县段共计31.5 km范围内接触网导线发生严重的自由振动。时间从早晨的6:05一直延续到下午的16:30,长达10 h 25 min。据铁路有关部门反映振动频率不高,但振动幅度很大,最大约达1 000 mm,最小的也有300 mm左右,振动时导线上挂有雪淞,整个接触网形成了上下飞舞的奇观。淇县气象台证实了当日有偏北风5~6级,阵风8级,有雨夹雪,降雪量为1 mm。发生振动的地方以路堤居多,地势空旷,周围没有高大建筑物和成片树林。振动时承力索及接