

运用检修

高速动车组受电弓上臂顶管 裂纹的分析及改进

李 英¹, 徐 练¹, 李明高¹, 宋冬利², 刘东亮¹

(1.唐山轨道客车有限责任公司 产品技术研究中心,
河北 唐山 063035;
2.西南交通大学 牵引动力国家重点实验室,
四川 成都 610031)

摘 要 针对高速动车组在运营过程中多次出现受电弓上臂顶管裂纹的现象,分析其故障原因,提出通过增强顶管故障部位的结构强度并适当减小受电弓的静态接触力的改进方案,最后通过仿真计算以及线路动应力试验,验证改进方案的有效性。

关键词 高速动车组;受电弓;上臂顶管;裂纹故障
中图分类号: U264.3⁺4; U266.2 **文献标识码**: B
文章编号: 1000-128X(2014)03-0110-03

受电弓作为动车组受流系统的电气部件,对保证弓网受流工作的稳定性至关重要。武广线开通运营以来,某高速动车组受电弓上臂顶管反复出现裂纹故障,已影响到动车组的安全运营^[1-6]。为解决此问题,本文对该类故障及原因进行分析^[7],并提出改进方案。

1 故障部位及现象

动车组受电弓布置于TC02、TC07车的车顶。受电弓外形示意图如图1所示。

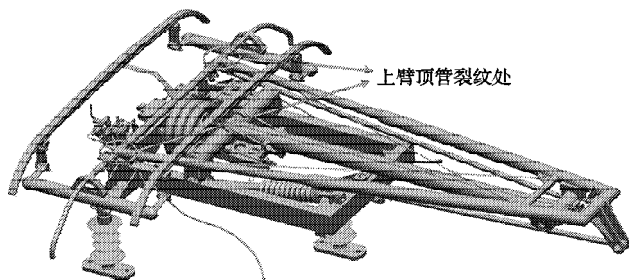


图1 受电弓外形示意图

武广线受电弓发生上臂顶管裂纹的部位为上臂转轴两端,裂纹宽度1 mm,长度范围5~25 mm。故障部位及裂纹如图2所示。

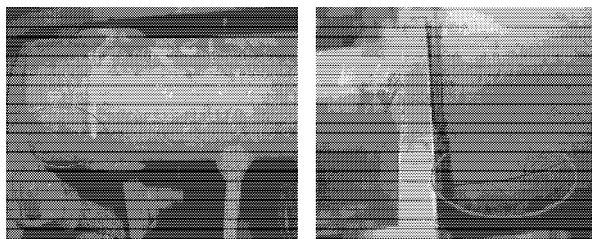


图2 裂纹故障示意图

2 故障原因分析

受电弓在高速运行过程中,承受弓网动态接触力、风阻力和惯性力等载荷的耦合作用。此作用力加载在弓头上,通过弓头悬架传递到上臂顶管和转轴上,因而上臂顶管和转轴是受电弓的主要承力部件,而上臂顶管与转轴相连接处又是应力集中部位,且该部位结构强度薄弱。动车组高速运行时,受电弓在弓网动态接触力、风阻力和惯性力等交变载荷的作用下,造成该处易于产生疲劳裂纹。如果弓头悬挂系统弹性功能失效,且未及时更换,弓网间交变作用力会直接作用在上框架和转轴处,从而进一步加速该部位的疲劳破坏。

3 改进方案

根据上述裂纹原因分析,制定改进措施如下:

①减小受电弓静态接触力设置值,从而降低弓网动态作用力。经过初步估算,将动车组受电弓的静态接触力从 (90 ± 10) N降到 (80 ± 10) N,可降低动载荷峰值约20%。

②适当增强故障部位零部件(如:上臂顶管、转轴)的结构强度,从而提高部件的抗载荷能力,延长部件的疲劳寿命。加大上臂顶管端部厚度,提高自身抗冲击性能;改进弓头转轴的结构,提高顶管端部抗载荷能力。

综上所述,为解决高速动车组受电弓上臂顶管裂纹故障,提出初步改进方案如下:上臂顶管2个端部厚度均加厚3 mm,且受电弓静态接触力设置为 (80 ± 10) N。方案示意图如图3所示。

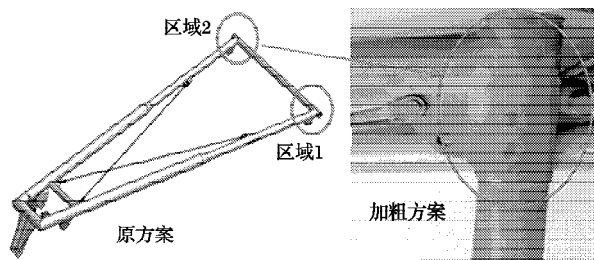


图3 原方案及改进方案

4 仿真计算分析

为了验证改进方案的有效性,在相同条件下,对原方案和改进方案受电弓上臂顶管端部即故障部位,进行有限元仿真计算,结果如图4、图5所示。

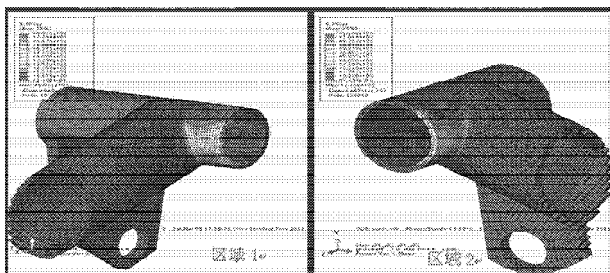


图4 原方案故障部位的应力云图

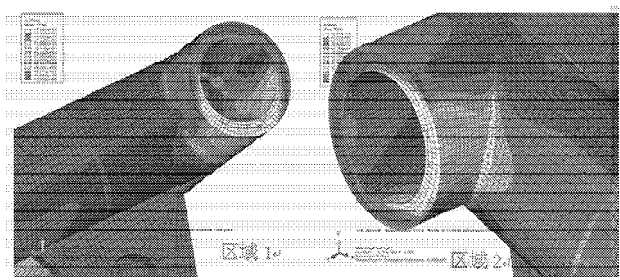
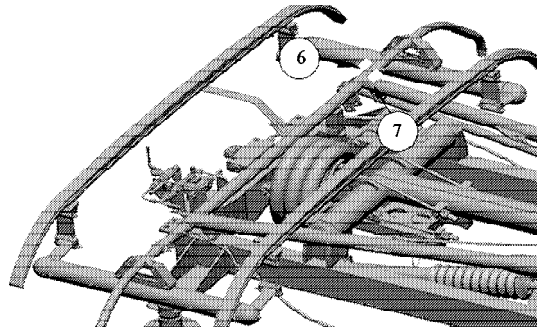


图5 改进方案故障部位的应力云图

根据仿真计算结果,与原方案相比,改进方案能够降低上臂顶管端部最大应力55%以上,证明改进方案能够大幅提高上臂顶管的抗载荷能力,进而延长上臂顶管的疲劳寿命。

5 线路试验分析

根据仿真计算结果和故障情况统计,选取原方案和改进方案各一架受电弓,在受电弓上臂顶管裂纹区域粘贴应变片(贴片位置如图6所示),同时降低受电弓静态接触力,进行线路运行应力测试试验,得到实际运行工况的应力时间历程。



测点6——上臂顶管右侧前方;测点7——上臂顶管右侧后方
图6 上臂顶管裂纹区域应变片贴片位置示意图

对采集到的应力时间流程,运用雨流计数法进行处理,得到测点的应力谱;最后根据Miner 累计损伤理论^[9-11],预测部件的寿命。部件寿命预测模型如下:

$$N_{L[R]} = \frac{1}{\sum_{i=1}^k \frac{\alpha_i}{N_{i[R]}}} = \frac{N_1}{\sum_{i=1}^k \alpha_i \left(\frac{S_i}{S_1} \right)^{m_{[R]}}}$$

式中: $N_{L[R]}$ 为可靠度为 R 的部件寿命; N_i 为 P - S - N 曲线中,对应应力水平为 S_i 时可靠度为 R 的寿命; α_i 为应力水平为 S_i 时的工作循环数与总工作循环数之比; $m_{[R]}$ 为 P - S - N 曲线中,可靠度为 R 的曲线的材料常数,其数值等于 $-B$ 。

5.1 上臂顶管右侧前方动应力测试结果

根据测点6应力时间历程,做雨流分析,得8级应力谱,如表1、表2所示。

根据上述应力谱及Miner 累计损伤理论,推算2种方案受电弓此处寿命比如下:

改进方案受电弓上臂顶管前侧寿命与原方案受电弓上臂顶管前侧寿命之比约为64。

表1 原方案应力谱

应力谱	原型弓上臂顶管前侧测点6 危险截面应力幅 /MPa	循环数
1	8.502 519 09	10 822 725 000
2	20.507 557 28	382 500 000
3	30.512 259 55	30 712 500
4	45.517 633 65	8 437 500
5	61.522 671 84	3 600 000
6	75.527 710 03	900 000
7	88.532 748 21	675 000
8	91.537 786 40	450 000

表2 改进方案应力谱

应力谱	加粗弓上臂顶管前侧测点6 危险截面应力幅 /MPa	循环数
1	5.586 789 673	11 039 850 000
2	15.760 369 02	165 937 500
3	20.933 948 36	28 237 500
4	33.107 527 71	10 237 500
5	41.281 107 05	3 487 500
6	52.454 686 40	1 800 000
7	64.628 265 74	540 000
8	83.801 845 09	225 000

可见,改进效果明显,改进方案受电弓上臂顶管前侧的寿命较之原方案大为提高。

5.2 上臂顶管右侧后方动应力测试结果

同理,对测点7的应力时间历程做雨流分析,得8级应力谱如表3、表4所示。

表3 原方案应力谱

应力谱	原型弓上臂顶管后侧测点7 危险截面应力幅 /MPa	循环数
1	8.287 748 05	10 822 725 000
2	24.863 244 14	382 500 000
3	41.438 740 23	30 712 500
4	53.014 236 33	8 437 500
5	62.589 732 42	3 600 000
6	75.165 228 51	900 000
7	89.740 724 61	675 000
8	102.316 220 70	450 000

表3 改进方案应力谱

应力谱	加粗弓上臂顶管后侧测点7 危险截面应力幅 /MPa	循环数
1	5.445 669 06	1.104E+10
2	16.337 007 19	165 937 500
3	27.228 345 32	28 237 500
4	39.119 683 45	10 237 500
5	49.011 021 58	3 487 500
6	60.902 359 71	1 800 000
7	70.793 697 84	542 000
8	81.685 035 97	225 000

最后,推算2种方案受电弓此处寿命比如下:

改进方案受电弓上臂顶管后侧寿命与原方案受电弓上臂顶管后侧寿命之比约为32。

可见,改进效果明显,改进方案受电弓上臂顶管后侧的寿命较之原方案也有较大提高。

综合两测点结果,改进后,受电弓上臂顶管裂纹故障区域的寿命均有较大幅度的提高(至少提高32倍),证明了改进方案的有效性。

6 结语

通过线路动应力试验,确定了改进方案受电弓与原方案受电弓上臂顶管裂纹故障关键部位的应力谱分布规律,预测了受电弓上臂故障部位的寿命。

综合仿真计算和动应力试验结果,针对高速动车组受电弓上臂顶管裂纹故障,采用上臂顶管端部加粗改进方案,能够较好地改善故障部位结构受力条件,提高部件的寿命,证明改进方案的有效性。

参考文献:

[1] 张曙光. 高速列车设计方法研究[M]. 北京: 中国铁道出

版社, 2009.

[2] 张曙光. CRH3型动车组[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2008.

[3] 孙翔. 世界各国的高速铁路[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1992:5-10.

[4] 张曙光. 铁路高速列车应用基础理论与工程技术[M]. 北京: 科学出版社, 2007.

[5] 董锡明. 现代高速列车技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2006:227-231.

[6] 严隽毫. 车辆工程[M]. 第二版. 北京: 中国铁道出版社, 2005.

[7] 高镇同, 熊峻江. 疲劳可靠性[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2000.

[8] 王勛成, 邵敏. 有限元法基本原理和数值方法[M]. 第二版. 北京: 清华大学出版社, 1997.

[9] 姚卫星. 结构疲劳寿命分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.

[10] 郭春丽, 齐淑萍. CRH3型动车组中间车车体结构强度分析[J]. 中国制造业信息化, 2010, 39(13).

[11] 赵永翔, 杨冰, 彭佳纯, 等. 铁道车辆疲劳可靠性设计Goodman-Smith图的绘制与应用[J]. 中国铁道科学, 2005, 26(6).

广告索引

成都主导科技有限责任公司(封2)

广州金升阳科技有限公司(前插1)

浩亭(珠海)有限公司上海分公司(前插2)

株洲庆云电力机车配件工厂有限公司(前插3)

上海鹰峰电子有限公司(前插4)

上海壬丰复合材料有限公司(前插5)

咸阳亚华电子电器有限公司(前插6)

南车株洲电机有限公司(前插7)

三菱电机机电(上海)有限公司(前插8)

西安伟健电子有限责任公司(前插9)

温州市龙电绝缘材料有限公司(前插10)

汕头华兴冶金设备股份有限公司(前插11)

宁夏银利电器制造有限公司(前插12)

深圳宝创科技有限公司(中插1)

株洲南车时代电气股份有限公司电力电子事业部(中插2)

株洲南车时代电气股份有限公司安全装备事业部(中插3)

株洲南车时代电气股份有限公司印制电路事业部(中插4)

宁波南车时代传感技术有限公司(中插5)

铁道部产品质量监督检验中心牵引电气设备检验站(中插6、7)

株洲时代装备技术有限责任公司(中插8、9)

襄阳南车电机技术有限公司(中插10、11)

宝鸡南车时代工程机械有限公司(中插12)

株洲南车奇宏散热技术有限公司(中插13)

株洲时代新材料科技股份有限公司(中插14)

株洲时代电气绝缘有限责任公司(中插15)

株洲时代电子技术有限公司(中插16)

浙江永贵电器股份有限公司(后插1)

南京高华科技有限公司(后插2)

株洲变流技术国家工程研究中心有限公司(后插3)

苏州康开电气有限公司(后插4)

株洲市达能科技有限公司(后插5)

四川永星电子有限公司(后插6)

株洲南车时代电气股份有限公司(后插7)

南通海立电子有限公司(后插8)

第四届深圳(国际)轨道交通博览会(后插9)

北京成华助友科技发展有限公司(后插10)

中航路通实业有限公司(后插11)

安徽省康利亚实业有限公司(后插12)

SynQor 中国(封3)

北京新雷能科技股份有限公司(封4)

南京长特电器有限公司(黑白首页)

珠海金电电源工业有限公司(后黑白页)

2014 第三届广州国际轨道交通产业展览会(黑白末页)

