

# 铁道工务

TIEDAO GONGWU

- 铁道部运输局基础部
- 中国铁道学会工务委员会



中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

# 铁道工务

## 第2册

铁道部运输局基础部  
中国铁道学会工务委员会

中国铁道出版社

2007年5月·北京



## 图书在版编目(CIP)数据

铁道工务·第2册/铁道部运输局基础部,中国铁道学会工务委员会编. —北京:中国铁道出版社, 2007. 5

ISBN 978 - 7 - 113 - 07929 - 1

I. 铁… II. ①铁…②中… III. 铁路工程 - 文集  
IV. U2 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 065721 号

## 编 辑 委 员 会

主 任: 吴云天  
副 主 任: 卢祖文 张大伟 董雅新  
委 员: 吴云天 卢祖文 张大伟 董雅新  
沈 榕 牛道安 傅 锋 许建明  
辛学忠 王荣景 刘万祥  
主 编: 卢祖文(兼)

书 名: 铁道工务(第2册)

著作责任者: 铁道部运输局基础部 中国铁道学会工务委员会

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: 时博 张婕

封面设计: 陈东山

印 刷: 中国铁道出版社印刷厂

开 本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 8 字数: 196千字

版 本: 2007年5月第1版 2007年5月第1次印刷

印 数: 1~5 560册

书 号: ISBN 978-7-113-07929-1/TU · 879

定 价: 10.00元

# 目 录

## 线 路

既有线更换 1/18 提速道岔施工组织设计要点 .....	王玉林(1)
贝氏体钢轨与珠光体钢轨焊接性能的比较 .....	刘艳红(4)
浅谈有控制点的曲线拨正 .....	张 达(6)
无缝线路断轨机理与防断防胀措施探讨 .....	马庆海(8)
贝氏体钢轨闪光焊接 .....	丁 韦 宋宏图(18)
邯长线 K117 + 680 竖曲线的桩点设置 .....	胡朝晖(19)
全站仪测设改正曲线在线路养护维修中的应用 .....	王丽梅 邹玉璞 王玉国(22)
小半径曲线病害成因及整治方案 .....	靳宁来(26)
大揭盖施工模式在铁路营业线成段换枕施工中的应用 .....	顾建华(28)
小半径曲线人工更换 250 m 再用长钢轨施工 .....	杜启伟(31)
既有线时速 200 km 线路设备维修特点 .....	梅学文(34)
简述长轨改焊作业施工方法 .....	刘万和(37)
成段更换Ⅲ型枕施工 .....	邵敬东(39)
浅析坍砟的成因及整治方法 .....	罗杰勤(42)
对小半径曲线钢轨磨耗的研究 .....	刘云芳(43)
既有线混凝土枕道岔立螺栓改锚技术 .....	富利民(47)

## 桥 隧

陇海线 K1478 + 740 3—10 m 钢筋混凝土Ⅱ梁桥改建为 3—9 m 钢筋 混凝土框架桥施工 .....	邵水莲(48)
盾构法施工下穿无砟轨道的影响研究 .....	刘宇航(53)
侯西线盘河桥人行道托架锚螺栓病害整治 .....	梁冬冬 李 延(57)
雨量计不传输数据故障的分析与改进 .....	杨禄山(59)
浅谈分离式涵洞基础下沉开裂整治方法 .....	黄荣卓(64)
既有线隧道加固施工 .....	孙长绪(65)
钢纤维环氧树脂砂浆整治支座翻浆冒泥 .....	张长建(66)

## 路 基

干性碎石桩在处理湿陷性黄土路基滑坡中的应用 .....	陈 彬 梁永胜(68)
运用检测技术评估南昆线高挡墙病害 .....	吴志平(72)
粉土路基路桥结合部陷穴的防治措施 .....	刘 伟 史忠贵(74)

## 养路机械化

应用传递函数分析大型捣固车的作业效果 .....	汪家富(76)
利用 DAC 曲线合理评估工件质量 .....	龙东升 陈晓林 刘立平 刘兰亭(78)



对废旧捣镐焊补硬化处理的探讨 ..... 安天平 张云峰 肖争鸣(82)

管 理

浅谈新形势下提速安全工作 ..... 魏新海(84)

对加强站段管理的分析与对策 ..... 张金星(86)

工务调度整合后的几点探讨 ..... 姚勇涛(88)

工务综合车间在新形势下的作用、现状及存在问题的探讨 ..... 张崇礼(90)

主要行车工种委外培训初探 ..... 赵俏兰(94)

京九线施工安全的成功实践 ..... 李炳海(97)

TTHB-1型铁路区间防护报警器 ..... 梁文怀(98)

铁路老住宅小区走物业管理之路的探讨 ..... 王皓阳(101)

电子响墩技术应用 ..... 符同蒲(104)

发挥车载添乘仪作用 提高线路设备质量 ..... 尹兆奎 史玉群 李守堂(108)

客运专线和高速铁路

高速铁路基础设施的重大技术问题 ..... 铁道工务编辑部(110)

动 态

安全榜 ..... 孟庆生(114)

《轨道车管理规则》勘误表 ..... (114)

(84) 董水碧 .....  
(82) 胡宇成 .....  
(72) 董 李 .....  
(90) 山景蔚 .....  
(94) 卓荣黄 .....  
(92) 梁外成 .....  
(99) 梁长斌 .....

(88) 董水碧 .....  
(87) 平志吴 .....  
(74) 董忠史 .....

通讯地址 北京市复兴路10号 铁道部运输局基础部转《铁道工务》  
邮政编码 100844 路电 42975 市电 (010)51842975

# 既有线更换 1/18 提速道岔施工组织设计要点

郑州铁路局工务处 王玉林

## 前 言

在第六次大提速中,郑州局利用 5 天时间在京广线时速 250 km 地段更换了 17 组 1/18 提速道岔。该项工作,在郑州局尚属首次,由于对行车的干扰较大,能不能在规定的时间内质量良好地完成,施工组织措施是否到位、施工过程控制是否到位是关键,施工对进度控制要做到分秒必争,对质量控制要做到精益求精。

## 1 施工进度和质量控制的意义

影响施工进度和质量的因素,可归纳为人的因素、技术因素、设备与配件因素、气象因素、社会因素以及其他难以预料的因素等,施工组织就是对上述项目进行控制,采取措施减少或避免这些因素对工程的影响。

施工组织中,进度和质量控制是对所有工作内容的控制关键。为了确保项目按计划实施,需要把有关施工的各项工列入进度和质量控制的范围之内。如果这些工作不能按时按质完成,必然影响整个项目的完成。在实施进度控制时,必须要把多方面的工作进行详细的规划,使工作能够有条不紊、主次分明地进行,在质量控制时要找准质量控制的关键点。

## 2 施工组织规划编制内容及方法

### 2.1 确定施工内容,研究施工作业程序

更换道岔的施工准备工作包括确定更换道岔的位置、道岔的转向、道岔的预铺、倒运料具,施工内容有松卸扣件、锯切钢轨、局部旧岔整体外移、清挖道床、铺走行轨、推移新道岔、新道岔就位、起道、上砟、

捣固、整理、收集料具、开通线路。根据施工内容,施工过程的分析如下:慢行时间开始后,设好防护后清挖部分道床、预卸部分扣件→锯轨组调试机具→接到施工命令后,封锁线路→切断钢轨→拆除部分扣件→分几部分将旧道岔推出→清筛道床→铺走行轨→新道岔就位→拨正新道岔→补砟→起道→捣固→检查开通线路,其中锯轨组、道岔推移组、起道组、补砟组、捣固组等根据施工进度实时开展工作。将这些大项目分解细化后,下一步的重点工作就是劳、材、机的安排了。

### 2.2 研究施工项目,确定施工劳动定额

核定各项作业的工时定额。定额核定要适中,要使每个工人经过努力能够达到。定额太高,规定时间内完不成任务,定额太低,计划上松散,形成施工组织的漏洞。如旧道岔外移所需的时间,每个拆除单元的作业组数量为 2 个,每组由 10 人组成,安装起道机需 0.5 min,每次起道机达到最大行程需时 2.5 min,需重复 4 次,合计用时 12 min,而后穿入走行轨时间为 1.0 min,安装滑轮和取出起道机的时间为 1.0 min,连接走行轨时间为 3 min,推移时间为 2 min,到位后,落下旧道岔的时间为 14 min,整个旧岔外移的时间为 33 min。如此这般,可将所有工序的用时一一计算出来。

### 2.3 根据劳动定额,确定施工作业时间

按照定额核算出每项工作、每道工序所需的时间,在计算过程中要充分考虑必要的消耗时间和正常的工作延误时间。如旧岔外移的作业时间,在计算旧岔外移所需时间的基础上,应增加职工 0.5 min 的更换工具时间和 1.5 min(15 min/1 000 m × 100 m =

1.5 min) 的来回走行时间, 这样整个旧岔外移工作所需的时间为 35 min。如果在施工组织过程中不考虑这部分时间, 施工根本不可能按预想进行, 同时也容易产生混乱。

### 2.4 根据施工分析, 编制施工横道图或网络图

根据施工分析编制更换道岔施工的横道图或网络图, 对施工作业的内容和施工网络图进行全面的分析, 确定同步作业、交叉作业和控制作业项目。在更换道岔施工中, 旧道岔的拆除、清挖道床、新道岔对位是关键工作, 必须按顺序进行。岔后联接轨及轨枕的更换, 可以与其他项目同时进行。上砟和捣固则可以交叉进行。

横道图能够清楚地表示活动的开始时间、结束时间和持续时间, 一目了然, 表达方式直观, 易看懂计划编制的意图, 但它不能像网络图一样很清楚地表达工序或工作之间的逻辑关系, 所能表达的信息量较少, 不能表示活动的重要性。在大型施工中, 常常用网络图法编制施工组织设计。

图 1、图 2 分别为更换道岔的施工网络图、横道图。

### 2.5 根据施工内容, 确定施工所需机具

根据施工规模, 确定施工所需的主要机具, 包括数量、类型、功率以及备用数, 还有参与施作的作业人员每个人应该携带的工具, 都应在施工组织中显示出来。可以采用列表的方式一一表示。

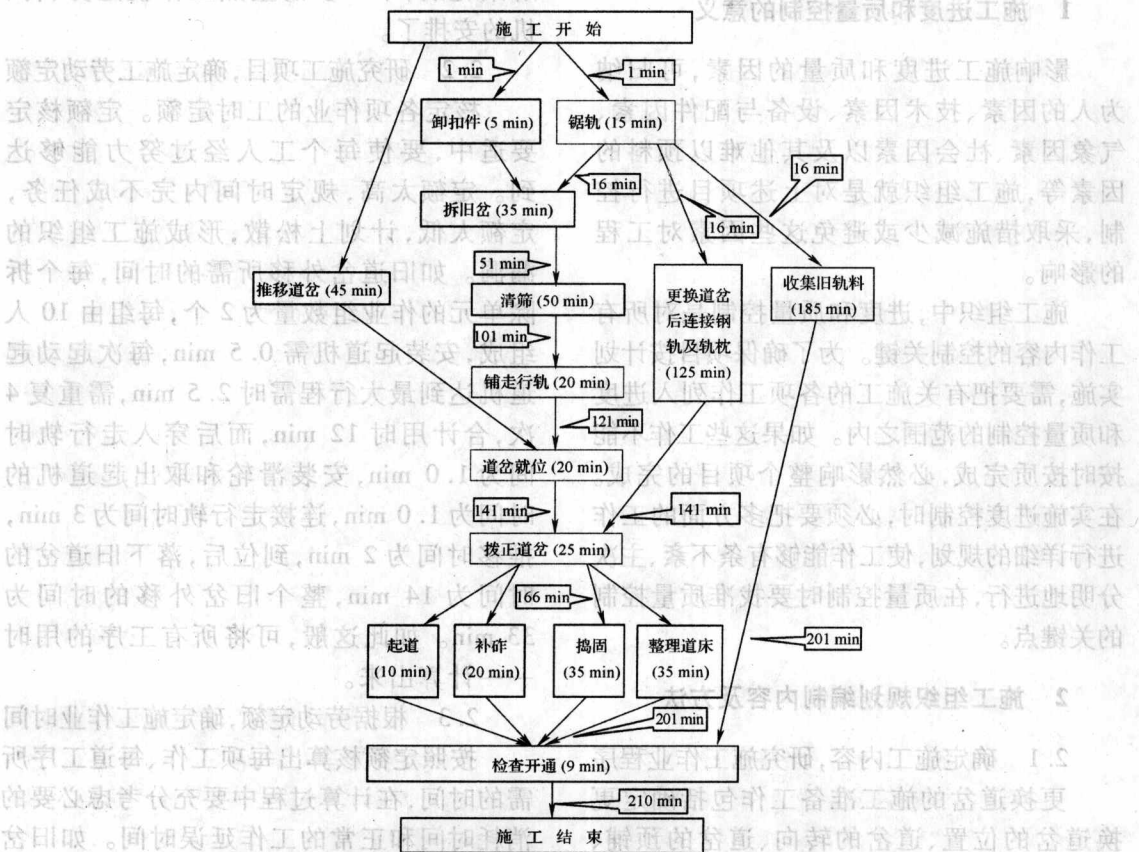


图 1 更换道岔施工网络图



时间 \ 项目	1	21	41	61	81	101	121	141	161	181	201	221
卸扣件		—										
锯轨		—										
拆旧岔		—	—									
清筛				—	—							
铺走行轨						—	—					
推移道岔		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
道岔就位								—	—	—	—	—
拨正道岔									—	—	—	—
换岔后轨和枕		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
起道										—	—	—
补砟										—	—	—
捣固										—	—	—
整理										—	—	—
收集旧料		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
检查开通												—

图 2 更换道岔施工横道图

2.6 根据施工内容和人员情况,划分施工作业小组

首先要确定施工领导人、施工负责人、技术负责人、安全负责人,根据施工的主要内容、作业要点和人员情况,合理划分施工小组,确定施工小组的负责人。施工小组的划分,要兼顾人员的精神状态,对状态不良者,要么不用,要么安排在次要位置,并且是在其他人员能监控到的位置,确保运输及人身安全。施工小组负责人一方面要具有领导能力,另一方面要具有完成该施工内容的作业技能,按照作业顺序和注意事项,领导小组进行作业,并且能够使整个施工作业有序地衔接起来。

3 既有线施工组织设计须注意的几个方面

3.1 重视施工过程控制,保证施工质量  
既有线 1/18 提速道岔施工,其显著的特点是在繁忙干线上施工,列车运行速度快,运

输干扰大,施工组织就要全面,必须严格施工过程控制,保证施工质量。施工负责人要严格执行施工组织计划,全面负责,纵观全局,不能把目光只盯在某一个细节上。施工有关人员应该分工负责,各自把关,使所有施工人员形成一个有机整体。具体来说应该贯彻以下几个原则:

(1) 分层次规划原则。第一层次就是施工领导人、施工负责人、技术负责人、安全负责人等,对整个施工项目进行相关范围的控制系统设计;第二层次就是各施工小组负责人负责在控制系统的框架内,进行责任范围内的施工内容落实,使施工目标清晰、具体、落到实处。

(2) 总目标分解原则。按照施工的总目标,分解到各个责任主体,明示于施工组织设计中,确定控制措施和方法。

(3) 质量责任制原则。贯彻谁实施谁负责、质量与经济效益挂钩的原则。

(4) 系统有效性原则。做到整体系统和

局部系统的组织、人员、资源和措施落实到位。

### 3.2 优化施工方案,控制施工关键环节,确保施工顺利完成

优化施工方案是整个施工顺利完成的关键。施工方案的优化包括施工技术方案和施工组织方案。技术方案优化的重点是技术、工艺、方法和机械、设备、模具等施工手段的配置。施工组织方案优化的重点是施工程序、工艺顺序、施工流向和劳动组织,尤以施工程序为重点。如在首日的施工中,道岔的平、纵面位置不易控制,引起较大的工作量,在次日施工前,重新进行测量,并在两线间埋设观测桩,根据桩位进行道岔起拨作业,很好地解决了问题。又如在首日的施工中,由于道岔中部枕下滑板数量较少,滑板位置分布不合理,致使施工过程中拨道达不到预期的效果,增加了拨道次数。在次日施工前重新对滑板数量进行调整,解决了上述问题。

### 3.3 加强人员培训,做好施工技术交底

首先,要向施工小组负责人进行技术交

底(也就是进行施工培训),该项工作由施工技术人员和施工负责人完成。要讲清楚整个施工的主要内容、施工作业程序、前后工序的关系、作业技术要领、质量标准、安全措施及要求,讲清楚哪些是影响整个施工的关键点,在施工中应该注意些什么问题等,使各小组负责人对整个施工有一个全面的了解,从而在施工中具有较强的大局意识,能够起到相互协调和互补的作用。其次,由小组负责人向本组的施工人员进行技术交底,一方面简单地介绍整个施工情况,使每个人对整个施工有一个大致的了解;另一方面要介绍清本小组的主要工作内容、质量要求和注意事项。

### 3.4 做好施工后勤准备,解决后顾之忧

良好的后勤供应是施工顺利完成的有效保障。京广线 1/18 提速道岔施工,标准高,时间紧,任务重,施工场地大,材料机具多,施工人员多,交通、生活问题是走在施工之前的头等大事。后勤问题解决好了,施工就有了一个良好的开头。这就是后勤不后站,全力保一线的反映。

## 贝氏体钢轨与珠光体钢轨焊接性能的比较

铁道科学研究院金属及化学研究所 刘艳红

### 1 钢轨母材的力学性能比较

高强度贝氏体钢轨与珠光体型钢轨比较,力学性能有着明显的优势。高强贝氏体钢轨(以下简称 AB1)与珠光体钢轨 U75V

(以下简称 U75V)比较,抗拉强度、屈服强度、断后伸长率以及冲击吸收功全面超过 U75V。表 1 为 AB1 和 U75V 母材性能试验结果对比。

表 1 钢轨母材试验结果对比

钢轨牌号	抗拉强度 $R_m$ (MPa)	屈服强度 $R_{p0.2}$ (MPa)	断后伸长率 $A$ (%)	冲击功 $a_{ku}$ (J/cm <sup>2</sup> )	硬度 HB (S10/3000)
U75V	1 047	6 33	12.3	12.3	297
AB1	1 203	1 088	16.7	46	350 ~ 390

试验数据表明:AB1 的屈服强度是

U75V 的 1.7 倍,冲击韧性是 U75V 的 3.7

倍,显示出 AB1 良好的强度和韧性。要略逊于珠光体钢轨。

## 2 钢轨的焊接性能比较

AB1 与热轧钢轨 U75V 的不同之处在于它是通过热处理得到晶粒细小的贝氏体组织,该组织具有较高的强度和良好的韧性。但是,在焊接热作用的影响下,贝氏体钢轨母材热处理状态的金属显微组织产生较大的变化:

(1)焊接热影响区中的过热区奥氏体晶粒重新长大并严重粗化,超细的金属显微组织不复存在。

由于焊接前,贝氏体钢轨的晶粒比珠光体钢轨要细得多,因此,晶粒粗化对贝氏体钢轨带来的影响也要比珠光体钢轨大得多。

(2)焊接会使贝氏体钢轨热影响区的退火区的软化程度明显高于珠光体钢轨。

贝氏体钢轨焊接后在同样的冷却条件下软化区的强度下降幅度会高于珠光体钢轨,这就使得贝氏体钢轨焊接接头整体性能表现

由于贝氏体钢轨热输入越大则原始性能就下降越明显的特性,在焊接贝氏体钢轨时一定要对焊接热输入进行严格的限制。

(3)贝氏体型钢轨闪光焊后可以通过对焊接接头进行局部热处理(例如正火)使其重新细化晶粒,但是由于贝氏体钢轨含碳量低,再加热时的奥氏体转变温度比珠光体钢轨高且温度范围也宽,因此正火工艺比珠光体钢轨难度高,效果也不如珠光体钢轨好。

## 3 焊接接头力学性能比较

### 3.1 硬度

由图 1 可见,AB1 焊接接头的平均硬度明显高于 U75V。通过正火后,AB1 焊接接头整体硬度区域更均匀化,基本和母材持平。由此可以说明,AB1 焊接接头硬度比 U75V 有明显优势,正火对焊接接头硬度的均一化有良好的作用。

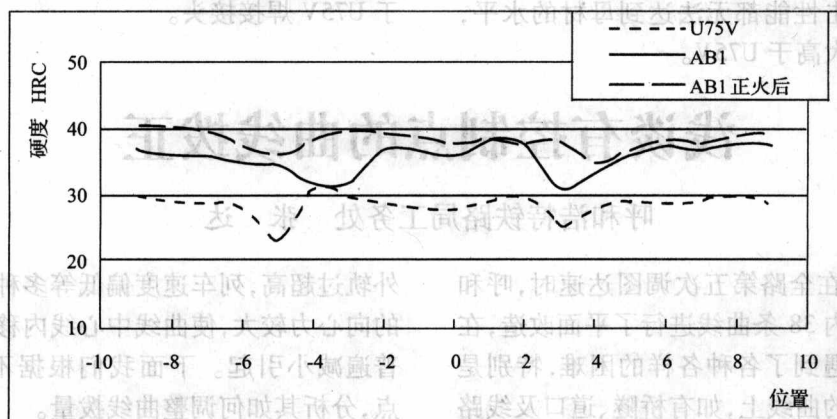


图 1 焊接接头轨顶踏面硬度分布趋势图

### 3.2 拉伸性能

U75V 正火闪光焊接头的抗拉强度和断后延伸率可以达到 TB1632.2—2005 中规定的要求,与母材匹配性良好。

AB1 闪光焊接头的屈服强度与母材相比下降较多,焊后焊接接头的屈服强度只有母

材的 70% 左右。AB1 焊接接头的断后伸长率与母材相比有所下降,由母材的 16.7% 下降到 6.5%,不足母材的 50%,但是参照 TB1632.2—2005 中的规定断后延伸率  $A \geq 6\%$ ,该项满足要求。详见表 2。



表 2 钢轨闪光焊接头拉伸试验结果

钢轨型号	抗拉强度 $R_m$ (MPa)	屈服强度 $R_p0.2$ (MPa)	断后伸长率 $A$ (%)	
U75V	正火焊接接头	925	495	16
	母材	975	535	13
	正火焊接接头/母材	95%	107%	46%
AB1	未正火焊接接头	1 072	779	6.5
	正火焊接接头	1 240	729	6.5
	母材	1 203	1 088	16.7
	未正火焊接接头/母材	89%	72%	39%
	正火焊接接头/母材	103%	67%	39%

## 3.3 冲击吸收功(表 3)

表 3 钢轨闪光焊缝冲击试验结果(J)

钢轨型号	U75V 正火焊接接头	AB1	
		未正火焊接 接头	正火焊接 接头
焊缝	14	24	23
母材	10	46	
焊缝/母材	140%	52%	50%

AB1 焊接接头无论是否经过焊后热处理其接头的冲击性能都无法达到母材的水平,但是仍然大大高于 U75V。

U75V 焊接接头的性能经过焊后热处理后可以超过母材的冲击性能。

## 3.4 焊接接头的静弯和疲劳

焊接接头的静弯和疲劳分别可达到 1 500 kN 和 343 kN/68 kN(200 万次)不断的水平。

静弯试验显示,AB1 焊接接头的整体硬度高,因此在相同载荷下,挠度小于 U75V 焊接接头。疲劳试验显示,对 AB1 焊接接头试件表面质量(光洁度和平顺程度)的要求高于 U75V 焊接接头。

## 浅谈有控制点的曲线拨正

呼和浩特铁路局工务处 张 达

2004 年在全路第五次调图达速时,呼和工务段对管内 38 条曲线进行了平面改造,在改造过程中遇到了各种各样的困难,特别是在有控制点的曲线上,如有桥隧、道口及线路两旁固定设备或建筑物的限制时,应保证控制点的拨道量为零,参见表 1。但是,应就不同控制点和曲线的不同情况进行具体分析,确定控制点的拨量,才能达到曲线平面改造的要求,使线路设备达到良好状态,确保行车安全。曲线正矢超限一般是由于外轨超高不足,列车速度较高等多种因素产生的离心力较大,使曲线中心外移,曲线半径加大或由于

外轨过超高,列车速度偏低等多种因素,产生的向心力较大,使曲线中心线内移,曲线半径普遍减小引起。下面我们根据不同的控制点,分析其如何调整曲线拨量。

## 1 曲线上的控制点为桥梁

1.1 当曲线中心线偏向梁跨中线内侧时,在算例表 1 中第 21 点的桥梁处,由于曲线中心线偏向梁跨中心内侧,此处拨量 +10 (上拨 10 mm)。拨量调整为零不好,一是使设计正矢的曲线圆顺性改变,二是原桥上线路中线与梁跨中线的偏差没有得到调整。目

前工务段在线路维修时,都是采用定位定形绳正拨量计算法,简称中央点法。中央点法是根据现场正矢合计,准确计算曲线的中央点位置,用以控制曲线的头尾位置,简称定位。在曲线位置固定后,根据曲线头尾与测点的相互关系,缓和曲线长度,圆曲线计算正矢大小,计算出曲线各测点的标准计划正矢,简称定形。然后,根据现场正矢和计划正矢的关系,计算出曲线各测点的拨量。在满足

拨量闭合和控制点的要求及允许范围内,使拨量减少到一定程度。调整后拨量与拨后正矢之间关系是任意点拨量增减时,则正矢增减量 = 该点拨量调整数 - 前后两点调整代数数和的一半(见表1)。计算拨后正矢的方法是,某点拨后正矢等于该点现场正矢加上该点的拨量,再减去前后两点的半拨量之和,即  $f_{n\text{拨后}} = f_{n\text{现}} + e - (e_{n-1}/2 + e_{n+1}/2)$ ,式中  $e$  为拨量。

表1 有控制点的曲线拨量计算

点号	现场正矢	计划正矢	正矢差	差累计	差累计调整值	调整后差累计	半拨量	拨量	拨后正矢	调拨量		调后合计	调后拨量	拨后正矢	备注
										1	2				
一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	十三	十四	十五	十六
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	
1	2	1	1	1	0	1	0	0	1				0	1	ZH
2	7	7	0	1	1	2	1	2	6				2	6	
3	12	14	-2	-1	1	0	3	6	14				6	14	
4	20	21	-1	-2	1	-1	3	6	21	0			6	20.5	
5	25	28	-3	-5	1	-4	2	4	28	1		1	5	27.5	
6	37	35	-2	-3	1	-2	-2	-4	35	2		3	-1	35	
7	45	41	4	1	1	2	-4	-8	41	5		5	-3	41	HY
8	42	42	0	1	1	2	-2	-4	42	7		7	3	42	
9	35	42	-7	-6	1	-5	0	0	42	9		9	9	42.5	
10	50	42	8	-2	1	3	-5	-10	42	10		10	0	42.5	信号机
11	46	42	4	6	1	7	-2	-4	42	10		10	6	42.5	
12	38	42	-4	2	1	3	5	10	42	9		9	19	42.5	
13	35	42	-7	-5	1	-4	8	16	42	7		7	23	42	
14	40	42	-2	-7	1	-6	4	8	42	5		5	13	42.5	
15	50	42	8	1	1	2	-2	-4	42	3	0	2	-2	42	
16	42	42	0	1	1	2	0	0	42	1	-1	-1	-1	42.5	
17	38	42	-4	-3		-3	2	4	43	0	-2	-5	-1	42	
18	46	42	4	4		1	1	-2	42		-5	-7	-9	42	
19	46	42	4	5		5	0	0	42		-7	-9	-9	41.5	
20	36	41	-5	0		0	5	10	41		-9	-10	0	40.5	HY
21	30	35	-5	-5		5	5	10	35		-10	-10	0	34	桥
22	31	28	3	2		-2	0	0	28		-8	-8	-8	28	
23	25	21	4	2		2	-2	-4	21		-6	-6	-6	21	

续上表

点号	现场正矢	计划正矢	正矢差	差累计	差累计调整值	调整后差累计	半拨量	拨量	拨后正矢	调拨量		调后合计	调后拨量	拨后正矢	备注
										1	2				
24	12	14	-2	0	0	0	0	0	14	-4	-4	-4	14		
25	7	7	0	0	0	0	0	0	7	-2	-2	-2	7		
26	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	HY	
合计	798	798	±42	-39 +24		±32			798				798		

由此可见,无论什么原因,用什么方法,修正拨量都会直接或间接地改变设计正矢,降低拨正效果。因此要根据实际情况确定是否进行修正,这样才能延长拨正曲线方向的维修周期。

另外,《铁路桥隧建筑物大修维修规则》第3.1.2条规定,桥上线路中线与梁跨中线的偏差,钢梁不得大于50 mm,圬工梁不得大于70 mm。超过规定值时,应进行检查。如影响承载能力( $K < 1$ )或侵入限界时,须进行调整。

可以看出,算列表1中第21点,若不进行曲线拨量调整,上拨10 mm既可保持曲线圆顺,又可以调整桥梁状态,使桥梁、线路设备状态都保持良好。

1.2 当曲线中心线偏向梁跨中线外侧时,一般是在控制点上,应使曲线拨量调整为零,这主要是为保持桥梁的原有状态,不使桥上线路中心偏心加大,造成桥梁状态失格。

若桥上线路中线与梁跨中线的偏差,已经接近或超过了规定值,应先进行桥梁状态的调整,之后再计算曲线的拨道量。

## 2 曲线上的控制点为信号机、站台

当曲线上的控制点为信号机和站台时,只要曲线拨后,这些建筑物符合《铁路技术管理规程》中规定的建筑接近限界时,曲线拨量就不必调整为零。但在测量限界距离时,一定要加上曲线上建筑接近限界的加宽。

## 3 曲线上的控制点是有铺面的道口

由于道口有铺面,线路无法拨动,所以,此处曲线拨量必须调整为零。

总之,在曲线上遇有控制点时,控制点的拨量是否必须调整为零,应具体情况具体分析,无视具体情况一律调整为零,只能缩短拨正曲线方向的维修周期,造成人力、物力上的浪费,也不利于行车安全。

# 无缝线路断轨机理与防断防胀措施探讨

略阳工务段 马庆海

运用断裂力学理论结合无缝线路钢轨焊接接头实际断轨的一些特征对无缝线路焊接接头断轨的机理进行分析和研究,发现造成无缝线路钢轨焊接接头断轨的根本原因是断轨的焊接接头存在有裂纹或类裂纹缺陷,其在车轮循环荷载的作用下,尤其是焊接接头存在有低塌,车轮通过时造成的附加冲击力

的作用使裂纹疲劳扩展,并发现发生在无缝线路焊接接头的断轨与无缝线路的锁定轨温无关,提出了无缝线路防断和防胀措施。

随着无缝线路铺设在“四大”禁区的突破,无缝线路的铺设更加广泛,无缝线路的养护,以防断防胀两项工作为重点。探讨无缝线路断轨机理,对无缝线路养护有十分重要



的意义。下面分别对无缝线路断轨机理与防断防胀措施进行分析探讨。

### 1 无缝线路断轨机理分析探讨

无缝线路每年都有断轨发生,而且多数发生在焊接接头的焊缝和焊缝附近的热影响区。发生时间多数是在每年的11月底到12月初,并不发生在轨温最低的时段;铝热焊接头断轨的比例较大。我段管内,自1999年铺设无缝线路以来,发生的几次断轨,大部分也是在11月底到12月初,断轨也都在钢轨焊接接头焊缝和焊缝附近的热影响区,断轨的焊缝接头全都是悬置式,断轨的焊缝接头都有不同程度的低塌。

下面就从理论和生产实际两方面对无缝线路断轨机理和这些似乎有规律的断轨现象进行分析探讨。

#### 1.1 断裂力学分析

断裂力学从现代疲劳强度设计的观点研究表明,将作用于一个有裂纹或类裂纹的构件和结构上的拉应力增大,裂纹或类裂纹尖端的应力强度因子 $K$ 也随之增大,当 $K$ 增大到临界值时,构件或结构中的裂纹或类裂纹在一般情况下,将发生突然的失稳扩展。这个应力强度因子的临界值,称为临界应力强度因子,也就是材料断裂韧性。如果裂纹或类裂纹尖端处于平面应变状态,则断裂韧性的数值最低,称为平面应变断裂韧性,用 $K_{Ic}$ 表示。 $K_{Ic}$ 的大小表示材料在平面应变状态下抵抗裂纹扩展的能力。脆断的判据:

$$K_I < K_{Ic}$$

表示构件或结构是安全的。

在实际工程中,由试验测定材料的 $K_{Ic}$ ,通过无损探伤测定构件或结构中的最大裂纹尺寸,根据 $K_{Ic} = \alpha\sigma\sqrt{\pi a}$ ,求得裂纹扩展时的临界尺寸 $a_c$ ,当裂纹 $a_0 < a_c$ 时,按脆断判据构件或结构是安全的,表示在静载下不会发生脆断。但是在循环载荷作用下,裂纹可能由 $a_0$ 扩展到临界尺寸 $a_c$ ,突然发生脆断。

在循环载荷作用下,在低应力强度因子

幅度内,对各种材料的疲劳裂纹扩展特征所作的研究表明,外界应力强度因子幅度 $\Delta K = \alpha\sqrt{\pi a}(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})$ 小于某一门槛值 $\Delta K_{th}$ 时,裂纹就不再发生扩展,此值称为“疲劳裂纹扩展门槛值”。

由疲劳裂纹扩展门槛值 $\Delta K_{th} = \alpha\sqrt{\pi a}(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})$ 可知,如果知道材料的 $\Delta K_{th}$ ,构件或结构所受应力差值的大小,就可以计算出疲劳裂纹扩展的初始长度 $a_0$ 。如果构件或结构中的裂纹长度 $a < a_0$ ,裂纹就不再发生扩展,在循环载荷作用下,构件和结构是安全的。

由此可知,在循环载荷作用下,构件或结构存在裂纹或类裂纹缺陷是造成构件或结构断裂的根本原因。如果构件或结构存在裂纹或类裂纹缺陷,构件或结构在循环载荷作用下,即便所受拉应力峰值远远小于材料的许用应力,也有可能发生疲劳裂纹扩展造成断裂。疲劳裂纹的亚临界扩展规律可以用帕里斯特公式表示:

$$da/dN = c(\Delta K)^m$$

式中  $\Delta K = K_{\max} - K_{\min} = \alpha\sqrt{\pi a}(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})$ ;

$da/dN$ ——裂纹扩展的速率;

$a$ ——裂纹长度;

$N$ ——循环应力的次数;

$c, m$ ——与材料有关的常数;

$\Delta K$ ——应力强度因子幅度。

从上面断裂力学的分析可以看出,构件或结构在循环应力的作用下是否发生疲劳裂纹扩展,与三个因素有关:一是构件或结构中是否存在裂纹或类裂纹缺陷,这是决定构件或结构是否发生疲劳裂纹扩展的根本原因;二是构件或结构材料阻止裂纹扩展的能力;三是构件或结构所受外界应力强度因子幅度的大小。下面就从这三方面分析无缝线路焊接接头断裂的原因。

(1) 无缝线路的钢轨焊接接头中存在裂纹或类裂纹缺陷

无缝线路的断轨,多发生在钢轨的焊接接头部位。下面主要针对这个部位是否存在裂纹和类裂纹缺陷进行讨论。

由于钢轨是含碳量大于0.6%的高碳钢,一般来说,高碳钢在焊接的过程中,焊缝和热影响区被加热到 $A_{c3}$ 以上温度的淬火区,易产生粗大的片状马氏体组织和其组织相伴的显微裂纹。奥氏体的晶粒愈粗大,片状马氏体的显微裂纹愈多,马氏体的含碳量大于0.6%,显微裂纹的倾向愈大。无论是用接触焊、小型气压焊和铝热焊焊接的无缝线路焊接接头,尤其是铝热焊焊接接头,一定存在被加热到 $A_{c3}$ 以上温度的淬火区域,其焊缝和热影响区,都存在被加热到 $A_{c3}$ 以上温度的淬火区域,难免在部分焊接接头的淬火区域中出现裂纹或类裂纹缺陷。在焊缝可能有裂纹、未焊透、夹杂等缺陷,这些缺陷一般被称为宏观缺陷,尺寸大的缺陷多数焊后用无损检测的方法可以测出。在焊缝和热影响区还可能有一些粗大的片状马氏体组织和其组织相伴的显微裂纹的微观缺陷。片状马氏体还有较大的内应力,这些都使其脆性增大,韧性、塑性降低,有利于疲劳裂纹源的形成和疲劳裂纹的扩展。这种粗大的片状马氏体组织和其组织相伴的显微裂纹,用超声波等无损检测的方法难以测出,所以在焊缝和热影响区一旦产生这种粗大的片状马氏体组织和其组织相伴的显微裂纹,就有可能成为断轨的诱因。发生在焊缝的断轨,与焊缝存在未焊透、夹杂等缺陷有关,而发生在焊缝热影响区的断轨,完全是由粗大片状马氏体组织和其组织相伴的显微裂纹的引起的。在现实中,有些断轨就是发生在焊缝热影响区,这说明在焊缝热影响区存在片状马氏体组织和其组织相伴的显微裂纹。从上面的分析,可以很好地解释为什么断轨大多数是发生在焊缝和热影响区。

(2)无缝线路钢轨阻止裂纹扩展的能力

不同的金属材料,有不同的阻止疲劳裂纹扩展的能力,主要从两方面体现:

一是材料的断裂韧性临界值和应力强度因子幅度门槛值的大小,影响脆断临界裂纹尺寸大小和疲劳裂纹扩展的裂纹初始长度的大小。从脆断判据:

$$a_0 < a = (K_{Ic} / \alpha \sigma)^2 \times 1 / \pi$$

疲劳裂纹扩展的裂纹初始长度:

$$a_0 = (\Delta K_{th} / \alpha \Delta \sigma)^2 \times 1 / \pi$$

从上述公式可以清楚地看出,在一定形式力的作用下,材料的断裂韧性临界值为一常数。如果材料的断裂韧性临界值愈大,脆断临界裂纹尺寸愈大,说明材料抗脆断的能力愈强。如果材料在一定大小循环应力强度因子幅度作用下,材料的应力强度因子幅度门槛值愈大,疲劳裂纹扩展的裂纹初始长度就愈大。

二是影响材料疲劳裂纹扩展速率的常数c、m的大小,从而影响材料疲劳裂纹扩展速率的大小。从疲劳裂纹亚临界扩展速率的规律:

$$da/dN = c(\Delta K)^m$$

可以清楚地看出,不同的金属材料,由于其金属组织不同,裂纹在其中的扩展速率不同。下面是几种由铁素体、珠光体和马氏体组成的金属材料的c、m值(见表1):

表 1

	c	m
铁素体、珠光体	$7.04 \times 10^{-9}$	2.25
马氏体	$1.39 \times 10^{-7}$	3.0
钢轨(U71Mn50)	$8.8771 \times 10^{-12}$	3.63

由于不同的金属材料,有不同的c、m值,对不同的金属材料,作用同样的应力强度因子幅度 $\Delta K$ ,疲劳裂纹扩展速率将不同。在同一构件或结构上,作用同一形式大小不同的力,不同部位 $\Delta \sigma$ 的不同,实际就是 $\Delta K$ 的不同,疲劳裂纹扩展速率也将不同。运用疲劳裂纹亚临界扩展速率计算公式,计算钢轨中不同的 $\Delta \sigma$ 下疲劳裂纹扩展的速率如表2:

表 2

序号		$\Delta\sigma$	$0.8\Delta\sigma$	$0.7\Delta\sigma$	$0.6\Delta\sigma$	$0.5\Delta\sigma$	$0.4\Delta\sigma$	$0.3\Delta\sigma$	$0.2\Delta\sigma$
1	$m = 3.63$	速度 $v_1$	$0.455v_1$	$0.274v_1$	$0.156v_1$	$0.081v_1$	$0.036v_1$	$0.013v_1$	$0.003v_1$
2	$m = 3$	速度 $v_2$	$0.512v_2$	$0.343v_2$	$0.216v_2$	$0.125v_2$	$0.064v_2$	$0.027v_2$	$0.008v_2$
3	$m = 2.25$	速度 $v_3$	$0.605v_3$	$0.448v_3$	$0.317v_3$	$0.210v_3$	$0.127v_3$	$0.067v_3$	$0.027v_3$

(3)无缝线路钢轨所受外界应力强度因子幅度大小

在无缝线路上的钢轨,有两种作用力:一是温度变化引起的温度力;二是车轮荷载的作用力。对无缝线路焊接接头,另外可能还存在两种力的作用,一是焊接残余应力的作用;二是无缝线路焊接接头有低塌,车轮通过时造成的附加冲击力的作用。下面就从这几种力对钢轨焊接接头断裂的作用逐一讨论。

①车轮荷载作用力的影响

车轮在钢轨上运动时,钢轨上各点将受大小不同的力。车轮荷载作用在钢轨两枕跨中钢轨截面上所受的作用力如图 1 所示。图 1 是我们在研制铁路货物列车超偏载安全检测装置时实际测得的。从图 1 可以清楚地看出,车轮在钢轨上运动时,钢轨上所受的力是一个脉动作用力。这个脉动作用力就是疲劳裂纹扩展中,应力强度因子幅度  $\Delta K = \alpha \sqrt{\pi a}(\sigma_{\max} - \sigma_{\min})$  中的应力差值  $\Delta\sigma$ 。应力差值  $\Delta\sigma$  的大小,理论上可以用连续梁进行计算,结果表明:

$X(t):76.97(\text{Unit}/\text{Div})$



图 1

轨头最大压应力  $\sigma_{\text{头d}} = 149.3 \text{ MPa}$

冬季轨底拉应力  $\sigma_{\text{底d}} = 127.9 \text{ MPa}$

如果把温度力也加上:

$$\sigma_{\text{头压}} = 149.3 + 92.12 = 241.42 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{底拉}} = 127.9 + 128.38 = 256.28 \text{ MPa}$$

如果把温度力和车轮荷载作用力作用在钢轨的最不利截面的轨底的拉应力,按静力看,由脆断判据:  $K_{Ic} < K_{Ic}$

$$a_c = (K_{Ic}/\alpha\sigma)^2 \times 1/\pi$$

由上式可以计算出,在该应力作用下,钢轨脆性断裂时的临界裂纹尺寸。据相关资料可知,50 kg/m 钢轨  $K_{Ic} = 37.2 \sim 48.4 \text{ MPa}$ ;

$$\alpha = 1.2$$

$$a = \frac{37.2}{(256.28 \times 1.2)^2} \times \frac{1}{\pi} = 4.66 \text{ mm}$$

就是说,如果在轨底有一个大于等于 4.66 mm 长的裂纹或类裂纹缺陷,无缝线路的钢轨,在冬季轨温最低时,将发生脆断。

下面计算钢轨在外界应力强度因子幅度作用下疲劳裂纹扩展的初始长度的大小:

$$\text{由 } a_0 = (\Delta K_{Ih}/\alpha\Delta\sigma)^2 \times 1/\pi$$

$\Delta K_{Ih}$  按较大的取  $6.2 \text{ MPa} \sqrt{\text{m}}$ ,  $\alpha = 1.2$ ,  $\Delta\sigma$  是车轮荷载的幅值 128 MPa(按最大的机车轴重),则

$$a_0 = 0.52 \text{ mm}$$

就是说,如果在轨底有一个大于等于 0.52 mm 长的裂纹或类裂纹缺陷,无缝线路的钢轨,在车轮荷载作用下,将发生疲劳裂纹扩展。

上面的理论计算结果,尽管不能精确地说无缝线路的钢轨存在上述长度的裂纹就发生断轨,但可以看出,钢轨脆断时的临界裂纹尺寸是疲劳裂纹扩展时初始裂纹长度的近 9 倍,如果钢轨中存在裂纹或类裂纹缺陷,更容易发生疲劳裂纹扩展。

从上面的计算还可以看出,在钢轨的不同部位,由于车轮荷载造成的应力不同,疲劳



裂纹扩展裂纹的初始长度也不同。同样长度的裂纹,在有些部位就发生疲劳裂纹扩展,有些部位就不发生疲劳裂纹扩展。以上通过理论计算,讨论了在一定应力强度因子幅度下,多长的初始裂纹或类裂纹缺陷可能发生疲劳裂纹扩展的问题。

下面运用帕里斯特公式讨论一下疲劳裂纹扩展速率问题。

$$da/dN = c(\Delta K)^m$$

从疲劳裂纹的亚临界扩展规律来说,裂纹扩展速率与应力的差值大小有关,即应力强度因子幅度的大小有关。发生在焊缝和焊缝热影响区的断轨,与车轮在钢轨上的脉动作用力有直接关系。脉动作用力的差值愈

大,裂纹扩展速率愈快,脉动作用力的差值愈小,裂纹扩展速率愈慢。断裂力学经大量实验和理论研究证明,在构件和结构中的初始裂纹和类裂纹的长度一定时,当应力强度因子幅度小于某一门槛值  $\Delta K$  时,裂纹将不再扩展。后面将进一步说明发生在焊缝和焊缝热影响区的断轨,主要是由于车轮在钢轨上的脉动作用力造成的,并应用这一理论,寻找防止断轨的措施。

在其他条件一定的情况下,把车轮在钢轨轨底边缘作用力的差值作为  $\Delta\sigma$ ,其他作用力差值为  $0.8\Delta\sigma$ 、 $0.7\Delta\sigma$ 、 $0.5\Delta\sigma$ 、 $0.3\Delta\sigma$ 、 $0.2\Delta\sigma$  部位疲劳裂纹扩展速率的计算值进行比较(表3)。

表 3

序号		$\Delta\sigma$	$0.8\Delta\sigma$	$0.7\Delta\sigma$	$0.6\Delta\sigma$	$0.5\Delta\sigma$	$0.4\Delta\sigma$	$0.3\Delta\sigma$	$0.2\Delta\sigma$
1	$m = 3.63$	速度 $v_1$	$0.445v_1$	$0.274v_1$	$0.156v_1$	$0.081v_1$	$0.036v_1$	$0.013v_1$	$0.003v_1$
2	$m = 3$	速度 $v_2$	$0.512v_2$	$0.343v_2$	$0.216v_2$	$0.125v_2$	$0.064v_2$	$0.027v_2$	$0.008v_2$
3	$m = 2.25$	速度 $v_3$	$0.605v_3$	$0.448v_3$	$0.317v_3$	$0.210v_3$	$0.127v_3$	$0.067v_3$	$0.027v_3$

从计算结果不难发现,影响疲劳裂纹扩展速率的主要因素是  $\Delta\sigma$  的大小,随着  $\Delta\sigma$  的减小,疲劳裂纹扩展速率将大幅减小。后面将用这个计算结果,讨论防断措施。

②焊接残余应力的影响

焊接残余应力是钢轨焊接过程中,在焊接热循环的作用下,钢轨内部产生的自相平衡的残余应力,有些部位是拉应力,有些部位是压应力。如果裂纹和类裂纹存在于拉应力区,它将有助于裂纹的扩展。

③车轮通过无缝线路有低塌的焊接接头时造成的冲击力的作用

无缝线路上的钢轨焊接接头存在一定数量的低塌,车轮通过有低塌的焊接接头时会造成一定的冲击力。这个冲击力的大小,在轴重一定时,主要取决于两个因素:一是通过列车的速度;二是无缝线路上钢轨焊接接头低塌的深度。通过列车的速度愈快、钢轨焊接接头低塌的深度愈深,冲击力就愈大。这个附加的冲击力将增大脉动作用力的差值,

增大应力强度因子幅度,使疲劳裂纹扩展裂纹初始长度减小,使裂纹扩展速率变快。存在有低塌的焊接接头的焊缝和焊缝热影响区更容易出现断轨。

上面对无缝线路钢轨受循环等应力幅时的疲劳裂纹扩展进行了分析,而无缝线路钢轨所受的循环应力幅实际是变化的。对循环变应力幅的疲劳裂纹扩展,可以用线性伤损累积理论进行分析。这一理论将作用的每一应力幅造成的伤损用等应力幅进行分析,然后进行线性叠加。影响等应力幅疲劳裂纹扩展的因素,同样影响变应力幅疲劳裂纹扩展。

④温度变化引起的温度力的影响

如果锁定轨温为  $T_0$ ,某地的最高轨温为  $T_{max}$ ,最低轨温为  $T_{min}$ ,钢轨温度力为:

$$\text{钢轨夏季的最大温度压应力} = 2.48 (T_{max} - T_0)$$

$$\text{钢轨冬季的最大温度拉应力} = 2.48 (T_0 - T_{min})$$

由于其变化频率低,在一定的季节和时