

铁道部运输局基础部 中国铁道学会工务委员会

铁道工务

(大型养路机械)

TIEDAO GONGWU



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁 道 工 务

(大型养路机械)

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

2009年5月·北 京

图书在版编目(CIP)数据

铁道工务:大型养路机械/铁道部运输局基础部,中国铁道学会
工务委员会编著. —北京:中国铁道出版社,2009.5
ISBN 978-7-113-09969-5

I. 铁… II. ①铁…②中… III. 铁路养护-养路机械-文集
IV. U216.6-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 063406 号

编 辑 委 员 会

主 任:	康高亮			
副 主 任:	卢祖文	张大伟	董雅新	
委 员:	康高亮	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	沈敦谦	邓方铁
主 编:	卢祖文(兼)			

书 名:铁道工务(大型养路机械)
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
封面设计:余佳玲
印 刷:三河市华丰印刷厂
开 本:880 mm×1 230 mm 1/16 印张:7.5 字数:243 千字
版 本:2009 年 5 月第 1 版 2009 年 5 月第 1 次印刷
书 号:ISBN 978-7-113-09969-5/U·2495
定 价:16.00 元

目 录

工务机械装备和应用创新学术研讨会纪要	(1)
现役钢轨探伤车检测系统 60 km/h 提速改造方案与实施	刘 峰 王 凯 徐国兴(2)
激光测量技术在轨道作业领域的发展与应用	王发灯 高春雷(9)
道依茨发动机油光谱分析数据回归分析研究	许 峰(12)
基于变流技术的焊轨车电气系统	李建泉 金敬德(18)
钢轨表面擦伤检测系统的研制和应用	许贵阳 任盛伟 刘金朝(20)
钢轨探伤车对于铝热焊焊缝附近的疲劳类型伤损实际探伤能力的分析	樊齐旻(23)
自轮运转特种设备运行监控装置与点式应答器的结合运用	刘光煜(24)
PRV 250 型铣轨机在旧轨整修中的应用工艺	齐凤林(27)
大型养路机械和轨道车辆车轴超声波成像探伤研究	姚 冬 王五一 李顺成 潘岳山(29)
频谱分析技术在捣固车散热器及框架损坏检修中的应用	阎正义(33)
全自动钢轨除锈去污机在旧轨整修中的应用	童书玉(36)
应用超声波衍射时差法检测钢轨焊缝	姚 冬 王五一 李顺成 潘岳山 王立新(38)
发挥小机优势 配合大机做好线路打磨	李文胜(42)
提高大修列车更换隧道宽枕板施工效率	刘更新(44)
08-32 型捣固车作业走行驱动改造方案	王 弦 胡军科 龙 培(46)
运用钢轨打磨车打磨可动心轨提速道岔	华长权 熊伶俐 徐远中(48)
道岔清筛机作业效率分析	古兴华(50)
物料运输车在线路道床养护维修中的运用	刘学海(52)
PGM-48 型钢轨打磨列车轴承箱的分析与研究	朱红军(54)
08-32/09-32 型捣固车捣固装置的技术改进	王 跃 吕建明 吴金山 范 勇(55)
08-32 型捣固车自动踩镐系统	陈 峰(57)
长钢轨焊接生产管理网络控制系统	刘永建(59)
钢轨打磨车在 200 km/h 提速线路中的应用	王 朋(61)
GTC-102 号钢轨探伤车冬季检测的探索	王 旭 李 鹏(63)
夜间“天窗修”照明设备技术探讨	周 毅(64)
CMG-16 型道岔打磨车走行齿轮箱的研制	胡高华 李 胜 曹志国(68)
高耐磨捣镐的研制	周忠毅(71)
道岔捣固车辅助起道系统改造	陈维富(74)
焊轨基地生产线综合监控管理系统的研制	魏洪华 王 冈(75)
工务部门轨道车辆技术发展	蒋红晖(78)
捣固装置非正常损耗分析及对策	王友勇(80)
09-32 型捣固车一号位现场数据监视系统	邱林成(81)
山区铁路钢轨打磨作业	马晓阳(83)
铁路轨道检查仪的研究与实践	何发明 傅勤毅 李绍云 樊尚君(86)
无砟轨道扣件螺栓扳手的发展研究	张 伟 何发明 樊尚君 傅勤毅(91)
浅谈如何提高山区铁路大型养路机械维修作业质量	李红宇(94)
大型养路机械 YZ-1 型空气制动系统的优化设计	方健康(96)
企业信息化建设 尽在掌握靠规划	胡 斌(99)
基于 PPC、PLC 及现场总线的铁路大型养路机械电气控制系统	邱学飞(102)

铁路大型养路机械液压系统设计的新思路	熊文辉(105)
建立钢轨伤损状态监测系统 实现钢轨伤损动态管理	宋志雄 白建国(108)
大型养路机械维修作业最佳参数及修正量的设置	杨宏伟(110)
08-32 型捣固车夯拍器锁定装置的研制	和志成 贾 春(113)
青藏铁路高原型轨道车启动困难的原因及对策	王昌财(115)

现役钢轨探伤车检测系统 60 km/h 提速改造方案与实施

铁道部基础设施检测中心 刘 峰 王 凯 徐国兴

摘 要:从超声学原理分析现役钢轨探伤车检测系统提速的理论依据,在此基础上提出一套可行的改造和实施方案,并对提速改造后的钢轨探伤车的检测情况进行分析对比。

关键词:钢轨探伤车;超声波;无损检测;改造

1 根据我国铁路运输效率,迫切需要提高钢轨探伤车的检测速度

1.1 国内外钢轨探伤车应用概况

我国铁路运营线路近 7 万 km,因钢轨伤损造成的钢轨折断时有发生,直接危及行车安全。为防止、监视伤损的发生、发展,需经常对钢轨进行探伤检测。为提高钢轨伤损的检测效率,推动铁路钢轨维护设备的进步,铁道部自 1989 年开始引进大型钢轨探伤车。与我国铁路目前采用的传统人工检测方法相比,大型钢轨探伤车具有检测速度快、可靠性高、重复性好等特点,对保障铁路运输安全起到了重要作用。

发达国家线路钢轨伤损的检测由探伤车承担,人工检测仅作为辅助手段及用于对伤损的复核。国外铁路受各自国情及铁路运输状态的影响以及技术难度的制约,探伤车目前的检测速度均大大低于铁路正常运输速度。在美国,仅少量探伤车检测速度可达到 40 km/h,多数探伤车其检测速度约为 15~20 km/h;欧洲铁路运行速度较快,但探伤车的检测速度一般也不超过 40 km/h。尽管这些发达国家的铁路广泛使用探伤车作为钢轨内部伤损的检测工具,但各国对高速探伤车的投入及关切程度远不如我国迫切。据有关资料显示,仅有少数国家开展高速探伤车方面的研究,但实际投入使用的探伤车速度并不高。

1.2 升级改造的必要性和社会经济效益分析

随着全国铁路提速进程的加快和深入,我国现役探伤车检测速度(40 km/h)与高速度高密度的行

车运输组织之间的矛盾日益突出。探伤车在繁忙干线上运用存在很大困难,阻碍了其保障运输安全作用的充分发挥。全国铁路提速和客运专线的建设使铁路运营部门对提高探伤车检测速度提出了越来越迫切的需求。

探伤车检测系统的提速升级改造能够将国内已经投入使用的老型号设备的技术标准提升至“十五”计划中最新装备水平,延长了老设备的使用寿命,提高了使用效率,其成功实施将对全路价值上亿的同型老设备升级换代产生积极的实践和指导意义。

1.3 升级改造目标

在现有 40 km/h 检测系统的基础上,通过改造数据处理系统、更新高速检测小车及其伺服系统,使现役 SYS-1000 型钢轨探伤车的检测速度达到 60 km/h,并将其软、硬件平台整体提升至未来我国铁路即将引进的新一代探伤车的水平。升级改造将在检测数据、操作模式和习惯等方面保持对原有系统的兼容,用户在使用操作上不需要特殊培训即可平滑过渡到新检测系统。

2 现役钢轨探伤车提速改造研究

2.1 现役系统轮式探头结构和检测速度的分析

现役探伤车的轮式超声波传感器(轮式探头,简称探轮)外部为薄透声橡胶制成外膜,轮内充满用于传声的耦合液,组合式超声波换能器向钢轨发出超声脉冲波束,并通过耦合液及探轮外膜到达钢轨内部,如有伤损,将出现伤损波回波。因检测不同取向伤损的需要,每个探轮内部安装有不同发射角度的超声波传感器(0°、38°和 70°),各角度超声波在钢轨中的传播路径如图 1 所示。

轮式探头的结构特点是超声波换能器距轨面较远,超声波发射后要经过探轮内的耦合液然后进入钢轨,一次发射返回的总时间是超声波在耦合液和钢轨内传播时间的总和。在目前轮探头的结构中,各超声换能器距轨面的超声传播距离均为 100 mm

作者简介:刘 峰,男,助理研究员,主任;王 凯,男,助理研究员;徐国兴,男,助理工程师。

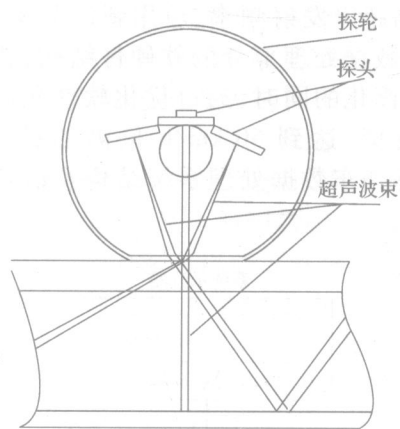


图1 轮式探头结构和各通道超声传播路径

左右,在探轮耦合液中超声信号往返的距离为 200 mm,声传播时间约 140 μ s。在钢轨中不同换能器扫查区域不同,超声传播路径也不相同,其中 38°通道超声波的传播路径是最长的。在 75kg/m 钢轨中,38°通道的往返总距离最大是 487 mm,声传播时间约152 μ s,则现役轮探头超声脉冲间隔时间最短

不能小于 292 μ s。由此计算现役探轮结构能够达到的最高超声脉冲重复频率 $F_{max} = 1\,000\,000/292 = 3\,400\text{ Hz}$ 。

现役探伤车系统检测速度是 40 km/h,扫查精度是 6 mm(即 6 mm/发射脉冲),由此计算其超声脉冲重复频率为 1 850 Hz。保持 6 mm 的扫查精度,当检测速度提高到 60 km/h,计算得到系统的超声脉冲重复频率将是约 2 800 Hz。

根据以上分析我们认为,现役 SYS-1000 型钢轨探伤车检测系统在声学原理和传感器结构不做重大改动的前提下,能够将目前 40 km/h 的检测速度提升改造为 60 km/h。

2.2 探伤车检测系统升级改造的技术方案

改造的主要方案就是将现役系统中不能满足要求的处理板卡更新为 60 km/h 高速板卡,并调试整合,使新、旧系统硬件联合工作,达到高速检测的技术指标,同时更换新型高速检测小车及其相应的伺服控制系统。现役探伤车数据处理系统结构及信号流程如图 2 所示。

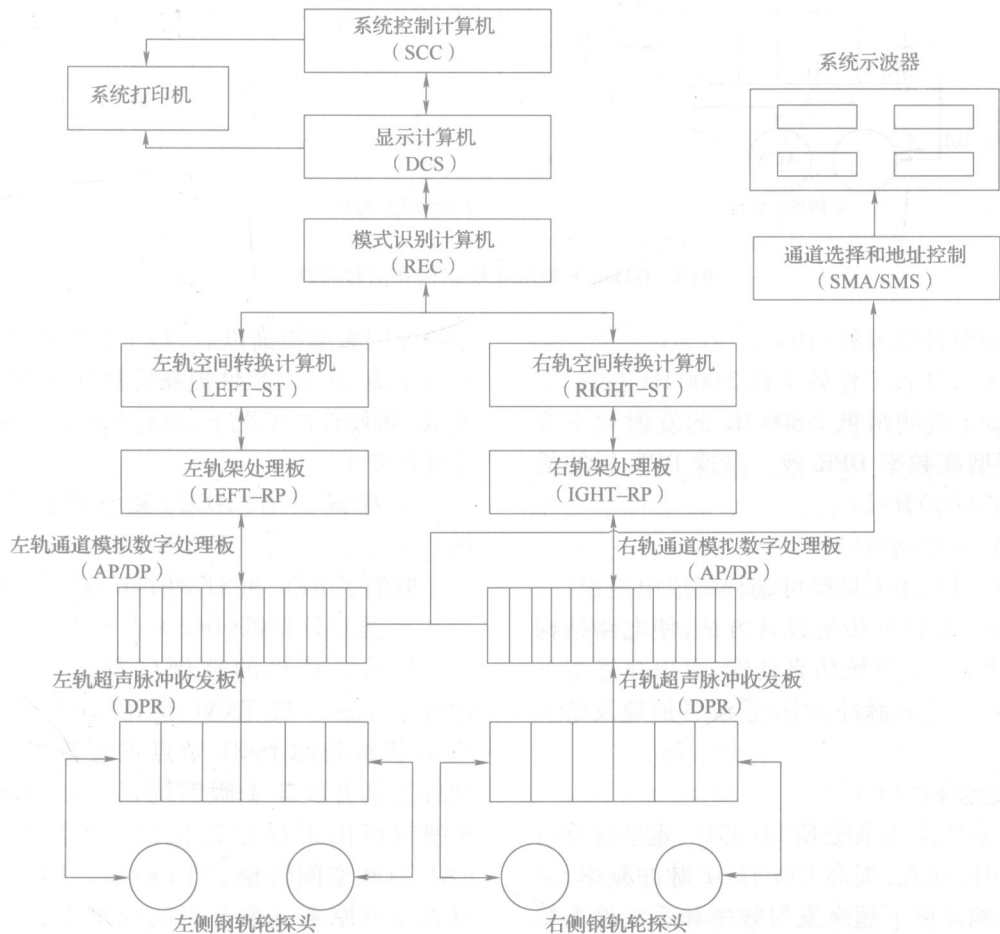


图2 40 km/h 检测系统结构和信号通路

(1) 数据处理系统的升级改造方案

数据处理系统改造的关键任务是提高超声发射接收电路的工作频率,从而保证在相同检测灵敏度下达到更高的检测速度,同时提高超声信号采集后的数据处理能力,满足检测速度提高后更大的数据流量。这就需要重新编写控制超声发射模式的处理

软件,提高超声发射频率、应用新的频率切换点;改进上层数据处理部分的软硬件结构,在对硬件结构做出简化的同时,通过优化软件代码提高数据处理效率,达到 60 km/h 检测的技术要求。60 km/h 探伤车数据处理系统结构及信号流程如图 3 所示。

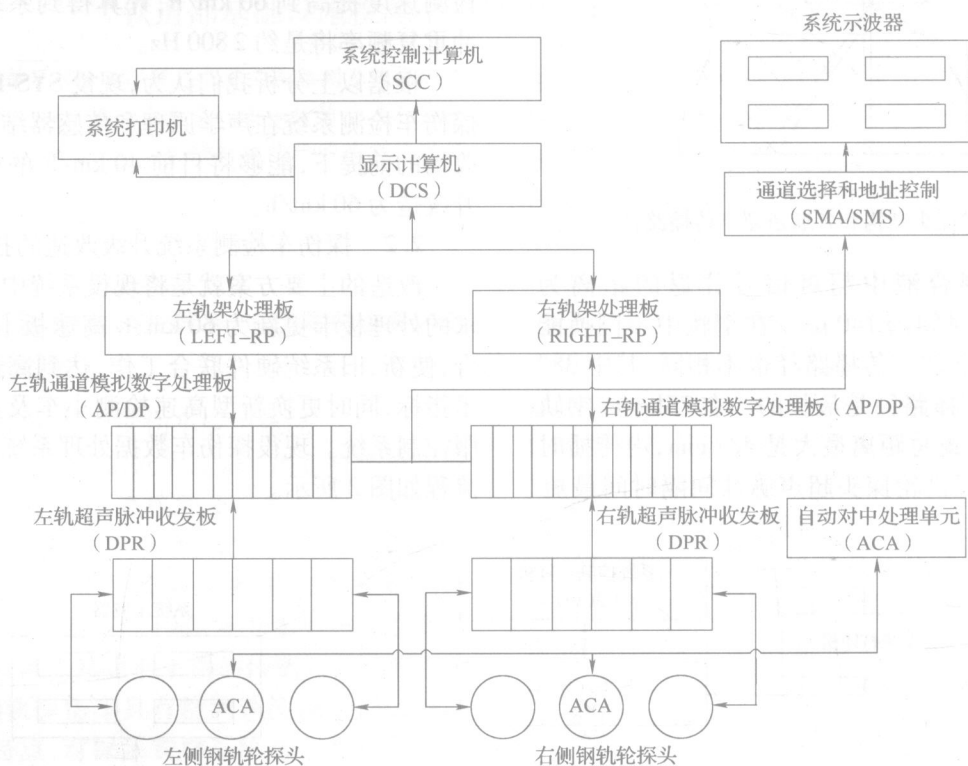


图3 60 km/h 检测系统结构和信号通路

① 双通道脉冲收发板(DPR)

原系统的 DPR 板工作频率在 2 000 Hz 左右,不能满足 60 km/h 检测最低 2 800 Hz 的发射频率要求,需更换新型高频率 DPR 板。高速 DPR 板的最高工作频率在 3 000 Hz 以上。

② 脉冲频率控制板(PRC)

新型 PRC 板采用大规模可编程集成电路设计,取代了旧板分立元件的传统设计方法,使电路结构在简化的同时增加了系统仿真功能,可以在静态下驱动 DPR 板产生仿真脉冲,测试系统各通道及整体的工作状况。

③ 电缆连接板(CC)

新 CC 板采用高速系统 EPLD 芯片,重新计算系统超声发射切换模式,提高 GO/TEST 脉冲频率,满足 60 km/h 检测速度下超声发射频率和系统检测精度的要求。

④ 架处理板(RP)

新 RP 板采用重新编写的高速数据处理软件。

超声发射频率提高以后,每个发射周期的数据处理时间缩短,新 RP 软件提高了数据处理效率,在不改变 RP 板硬件的情况下,达到 60 km/h 检测系统处理速度的要求。

⑤ 模式识别(REC)和空间转换(ST)计算机

取消了 REC 和 ST 两个节点的计算机硬件。

⑥ 显示计算机(DCS)

显示计算机的软硬件都进行了重新设计。硬件上添加一块 TAXI 卡,使 DCS 计算机具备原 ST 计算机与两个 RP 节点进行数据通信的能力。软件上新开发 3.1 版系统程序,该版软件在完成 B 型超声图形显示的同时,还集成了模式识别(REC)和空间转换(ST)功能。DCS 一台计算机可以完成原来三个节点的处理工作,有效简化了系统硬件结构。

⑦ 系统控制计算机(SCC)

SCC 计算机的硬件结构没有改变,通过重新设

计系统软件扩充系统功能,增加了系统仿真功能和系统测速轮编码器电子校准功能。执行系统仿真功能时,SCC 计算机将仿真数据和仿真命令下载到 PRC 板,由 PRC 板生成仿真的系统速度脉冲,并驱动 DPR 板产生模拟超声反射脉冲,系统所有通道处理板和数据处理节点进入检测状态,完成一次实际检测所需的全部功能,可以测试系统各通道及整体的工作状况。编码器电子调校可以在编码器脉冲失准的时候,通过电子计算的方法进行补偿,保证脉冲的准确性,编码器系统工作的稳定性和可靠性得到

很大提高。

(2)探伤检测小车的改造

为适应更高的检测速度,作为轮探头传感器安装载体的检测小车需要进行重新设计。新检测小车仍然采用可变轨距的工作原理,即在检测小车的运行过程中,其车轮轮缘始终保持与钢轨贴靠,这样可以使探轮的对中变得更为简单。

新检测小车的主体结构如图 4 所示,主要由图示的 11 大部件组成。

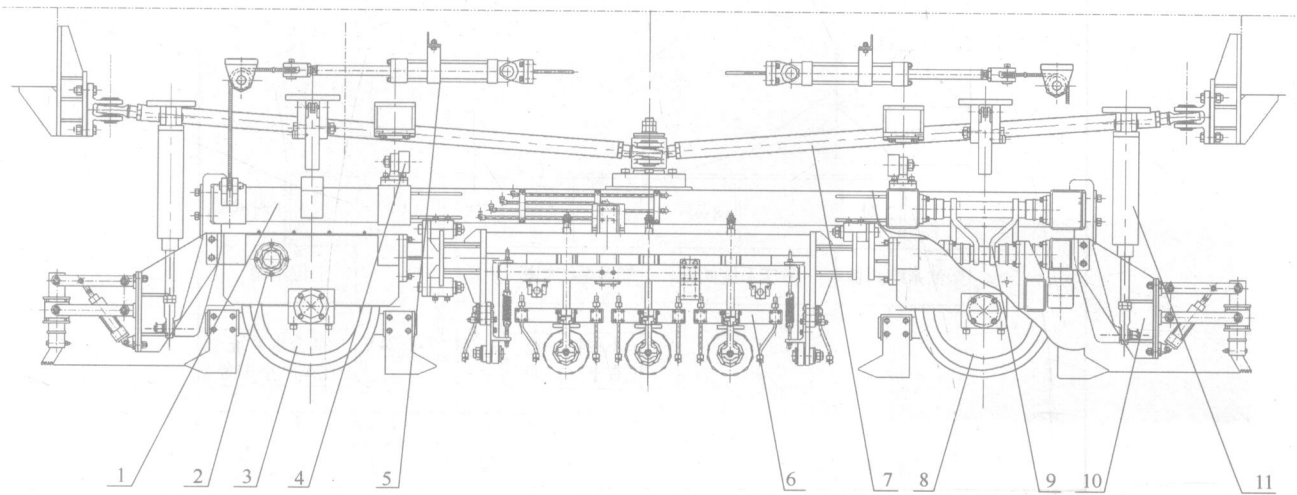


图 4 检测小车结构图

1—构架;2—测速装置;3—左车轮轮架;4—起吊对中锁紧装置;5—起吊装置;6—探伤装置;
7—牵引装置;8—右车轮轮架;9—连接装置;10—轨面清扫装置;11—加压装置

新检测小车具有以下特点:

① 在检测小车的运行过程中,其车轮轮缘始终保持与钢轨贴靠,这样可以使探轮的对中变得更为简单。

② 在机械结构上,利用岔心护轨固定小车轨距,实现检测小车自动通过道岔,无须人工锁定。锁定方式更为简单可靠,既排除了人为操作的不确定性,又有利于操作员和司机简化操作、集中精力进行判伤和驾驶。

新小车通过道岔的速度提升到 40 km/h,比原来提高一倍,使探伤车在道岔区域的检测效率得到很大提高。新小车可以避免因锁定后对不良影响对道岔及岔区前后线路的检测,保证道岔的检测质量,除了岔心护轨这一段不能有效检测,其他部分都可以正常探测,大大缩短人工操作时因提前锁定滞后解锁造成的线路检测盲区。

③ 采用 Z 形牵引装置和加压装置,保证了运行过程中所需的牵引力和垂向约束力,并释放了小车

曲线通过时的横向约束,使小车能够顺利通过小半径曲线。

④ 在小车的四角均设置了起吊装置,使小车的提升和降落更加平稳、安全,且锁紧机构采用了导向轮和安全销,使小车的起吊锁紧变得可靠安全。

⑤ 测速系统采用了同步齿带传动,确保了探伤作业所需的测速精度。

⑥ 新小车的强度都比原小车有所增加,整体质量增加,提高了高速运行的稳定性。

(3)伺服系统升级改造方案

由于检测小车更换了全新的 60 km/h 技术,其工作原理和伺服方式与原来不同,因此小车的伺服和控制系统需重新设计。新设计仍然包括液压、气动、水路和柴油四部分。控制逻辑电路由可编程逻辑控制器(PLC)取代原来的继电器逻辑,PLC 具有良好的可编程性和调试性,集成度高,简化了控制板的物理结构,控制逻辑电路的可靠性和耐用性都得

到很大提高。操作员通过操作面板上的按钮输入各种控制动作,通过 PLC 的逻辑运算及联锁作用,向电磁阀输出执行动作,驱动各执行元件完成动作的执行。

液压部分:60 km/h 新型小车比较重,原来的中心提拉方式不能满足要求,新的伺服系统采用了四角提升方式,通过 PLC 控制四个液压缸,使其同步动作,同步运行,使检测小车平稳提升降落。

气动部分:60 km/h 检测小车采用四角加压方

式,利用四个气缸在小车的四个端角位置对运行中的小车加压。在运行时,利用 4 个气缸来实现轨距跟踪,使走行轮与钢轨内侧面更好的密贴,保证探伤检测的对中精度。

耦合水系统:检测速度提高后,为了保证轮探头有良好的耦合,必须加大耦合水的流量和压力,使单位时间到达轨面上的水量有保证。通过选用合适的水泵,加大水箱的容量来满足探伤的需求。

图 5 是伺服系统的结构图。

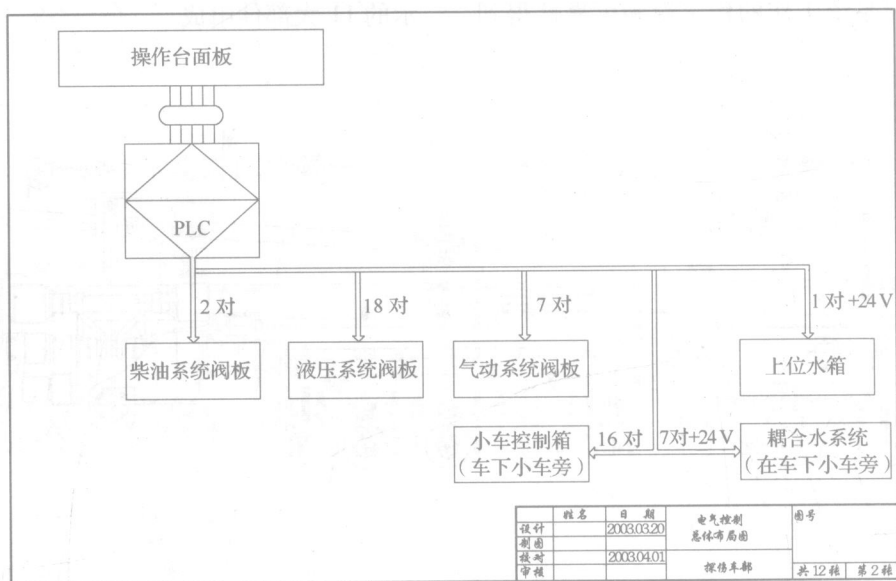


图 5 伺服系统结构框图

3 升级改造的试验运行及结果分析

2003 年,在铁道部运输局的指导协调下,铁道部基础设施检测中心按照该方案对其现役探伤车实施检测系统提速改造,并在改造后进行了长距离运行试验。试验线路为京九线、丰沙线、京包线和包兰线,总试验里程超过 5 000 km。试验线路条件包括平原、山区、有缝线路、无缝线路、长大坡道和小半径曲线等。试验检测速度为 60 km/h,直向道岔限速 40 km/h,侧向道岔限速 25 km/h,半径 350 m 以下的曲线限速 40 km/h。

本次试验主要测试包括升级改造后 60 km/h 系统的检测能力、检测系统运行的可靠性和稳定性、高速检测小车的动力学性能和安全性、伺服系统的工作性能等内容。

3.1 60 km/h 系统的检测能力

大型钢轨探伤车的检测原理是发射超声波对钢轨做高密度的断面切片式扫查,用类似医学上 CT 扫描的方法探测钢轨内部伤损,因此扫查的密度直接决定着系统伤损检测的灵敏度。我们以探伤车对

一个标准螺栓孔的扫查为例,分析提速后探伤系统的检测灵敏度。

图 6 是一个钢轨接头的检测数据样本,当时的检测速度是 40.96 km/h。从该接头上股第二螺孔(鼠标箭头所指处)的放大图可以看出,系统前向和后向 45°探头在 40 km/h 检测速度下对一个螺孔的扫查都达到 5~6 次,其中前向探头 6 次,后向探头 5 次。

图 7 是提速试验运行时再次采集的钢轨接头数据样本,检测速度为 59.28 km/h。从该接头上股第二螺孔(鼠标箭头所指处)的放大图可以看出,系统前向和后向 45°探头在 60 km/h 检测速度下对一个螺孔的扫查同样达到 5~6 次,其中前向探头 6 次,后向探头 5 次。

比较不同速度下对螺孔的扫查情况,可以发现在扫查点的数量和密度上,升级前后是相当的,说明提速后系统在 60 km/h 的检测速度下对钢轨伤损的检测灵敏度与提速以前是相同的。

图 8 是本次提速试验中采集的 40 km/h 钢轨接头检测数据样本,当时的检测速度是 38.47 km/h。

从该接头上股第二螺孔(鼠标箭头所指处)的放大图可以看出,系统前向和后向 45°探头在 40 km/h 检测速度下对一个螺孔的扫查达到 6~8 次,其中前向探头 8 次,后向探头 6 次。

对比相同速度下新旧系统对螺孔的扫查情况可以发现,新系统扫查点的数量比旧系统多,而且扫查点的排列密度明显高于旧系统,说明提速后系统在

40 km/h 的检测速度下,对钢轨伤损的检测灵敏度要高于提速前的老系统。

由于系统所有通道超声波探头是以同步发射模式工作的,所以其他通道的扫查密度和检测灵敏度都与 45°通道一样得到提高。试验数据证明系统在提速升级改造后,对钢轨伤损的检测能力有明显提高。

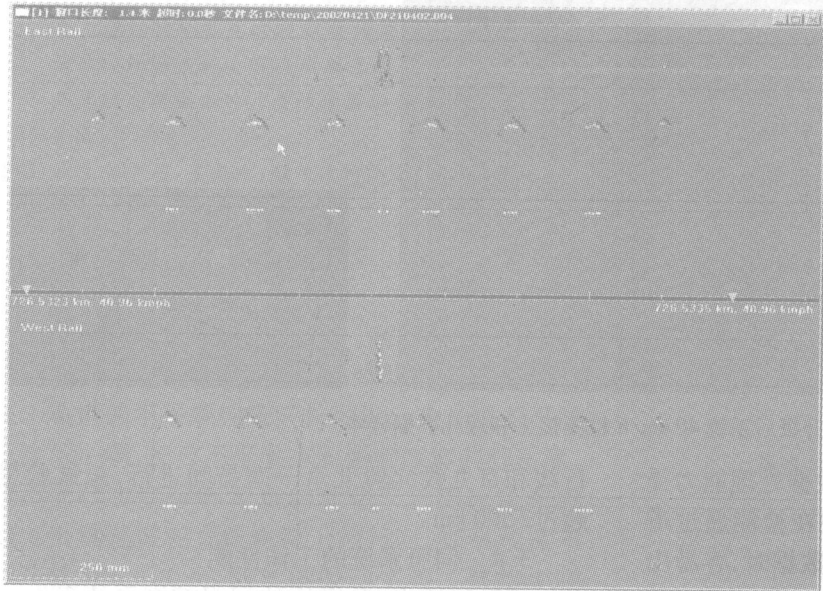


图 6 升级前系统 40 km/h 检测接头和螺孔数据样本

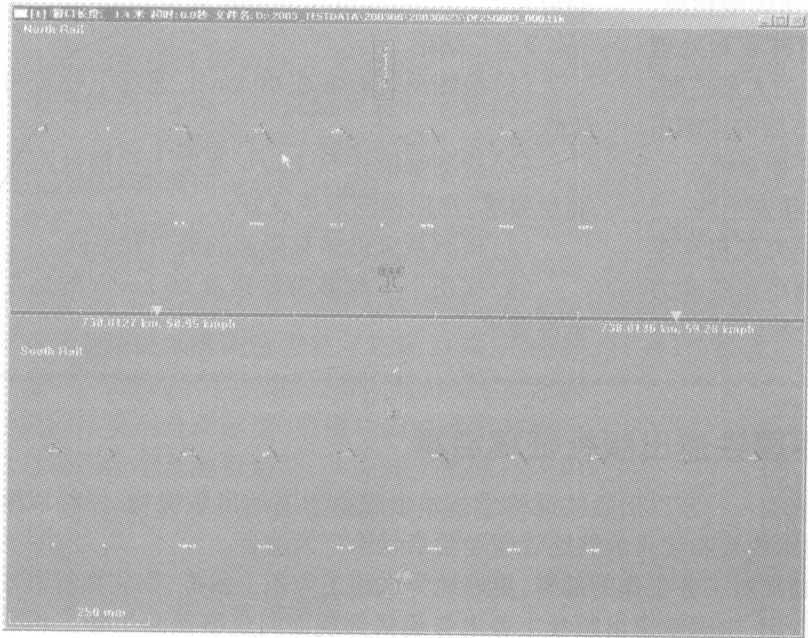


图 7 升级后系统 60 km/h 检测接头和螺孔数据样本

3.2 检测系统运行的可靠性和稳定性

新系统升级改造后,将原系统结构进行了简化,结构的简化将带来系统可靠性和稳定性的增加。

新系统将原模式识别和空间转换计算机的功能

与显示计算机合并,随着其硬件结构的取消,系统数据处理链路中的三台工业控制计算机简化为两台。原模式识别和空间转换计算机工作在 DOS 环境下,受 DOS 操作系统的局限,它的功能软件不能充分利

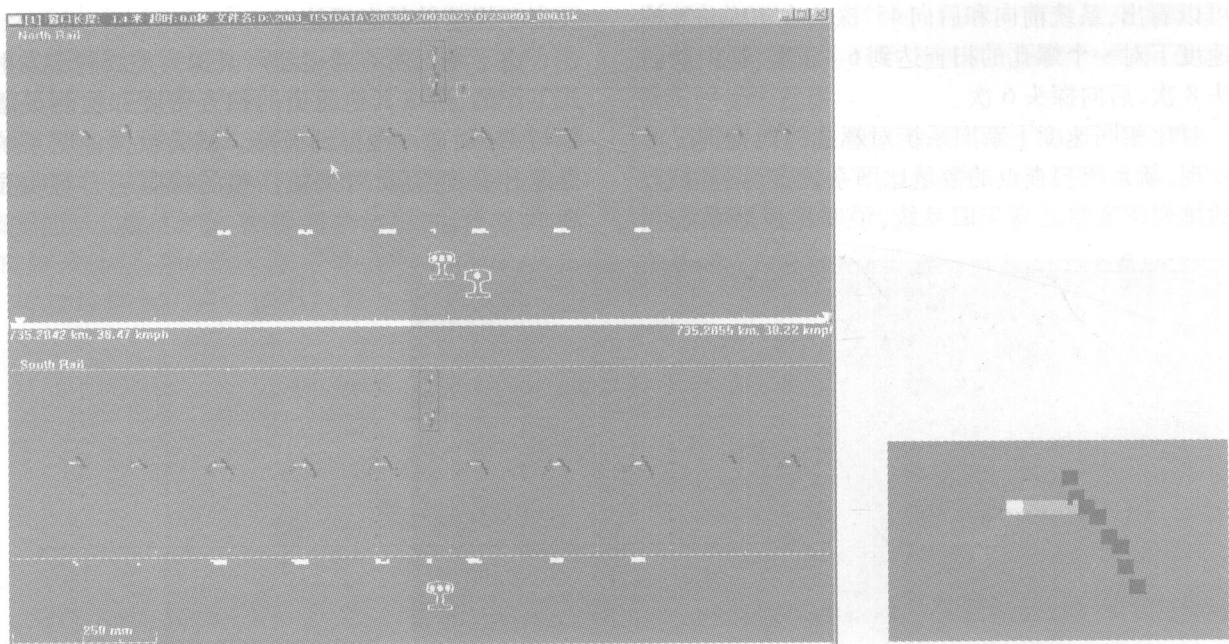


图8 升级后系统40 km/h检测接头和螺孔数据样本

用计算机的硬件资源,导致该节点的数据处理能力受到制约,成为系统数据瓶颈,集中表现在检测通过道岔或系统调整不良而产生大量的突发数据时,容易出现由于处理速度不够发生数据丢失甚至系统死机。

在总里程5 000 km、前后四十多天的试验过程中,在各种工作状况下,系统从未发生死机而影响检测。系统的数据处理能力得到很大提高,能够顺利处理40 km/h速度下通过连续多组道岔所产生的大量数据。长距离、长时间的试验运行证明升级改造后的检测系统在运行的可靠性和稳定性方面大大优于原系统。

3.3 高速检测小车的动力学性能和安全性

本次试验运行委托中国铁道科学研究院机车车辆研究所测试了新研制的60 km/h检测小车的动力学性能和安全性。检测小车的运行安全性试验在环

行线和京九线北段北京—南昌间进行,总试验里程超过2 500 km。

3.4 伺服系统的工作性能

试验运行中,升级后的伺服控制系统工作稳定可靠,满足新的检测小车结构和60 km/h检测速度的要求。

3.5 结论

(1)检测系统能够在60 km/h速度下稳定可靠工作。

(2)检测系统在60 km/h速度下伤损探测精度满足要求,伤损检测效果良好。

(3)检测系统仍然有提速的潜力和空间。

(4)探伤小车能够满足速度60 km/h的运用安全性要求。

中国铁道出版社征稿启事

中国铁道出版社是隶属于铁道部的唯一一家以出版铁道科学技术出版物为主的出版机构,始终以服务于铁路为己任,致力于将最新的铁路技术成果和优秀的铁路管理经验奉献给广大读者。

为了更好地配合铁道部运输局基础部对工务工作的部署,更好地为铁路工务职工服务,切实在提高职工素质和操作技能方面起到推动和帮助作用,中国铁道出版社工务电务编辑部现面向从事铁路工务工作的技术人员(包括研究单位、院校、铁路局及基层站段等相关人员)征集关于铁路大型养路机械方面的图书稿件,内容可长可短,既可以是专业技术人员创造的新技术、新材料、新工艺的科技成果,也可以是现场生产实践和技术经验的总结,既可以是系统论述,也可以是对单项技术、单项作业的叙述,只要是言之有物,对养路机械化工作、对提高广大干部职工技术水平和人员素质有益,均可来稿。

有意者可将稿件提纲或者交流建议寄至中国铁道出版社工务电务编辑部(地址:北京市宣武区右安门西街8号,邮编:100054),也可发送电子邮件至:crph@163.com,联系人:时博,联系电话:(路电)021-73141。

激光测量技术在轨道作业领域的发展与应用

中国铁道科学研究院 王发灯 高春雷

摘要:利用激光准直技术开发两维激光跟踪系统,延长检测基准弦的长度,并将该系统安装于08-32型捣固车上进行激光准直的起拨道作业。现场试验表明,该系统能够较好地解决线路长波不平顺的问题,从而为提高捣固车的作业精度提供了一种可靠的技术手段。

关键词:长波不平顺;捣固车;激光准直测量

1 引言

随着列车运行速度的不断提高,为实现旅客列车运行的安全性和舒适性,要求线路必须做到高平顺性。轨道的不平顺性按波长可以分为长波不平顺和短波不平顺,长波不平顺主要影响旅客的舒适度,短波不平顺主要影响轮重的变化^[1]。提速机车以150 km/h的速度在直线轨道上运行时,如果线路不平顺波长为1~20 m,则车体振动主频主要集中在2.20~4.00 Hz,避开了人体正常敏感频率,平稳性指标属优级;如果线路不平顺波长为20~30 m,则车体振动主频降至1.50 Hz左右,正好处于人体敏感频率范围内,乘坐舒适性大大降低。^[2]可见,对于既有提速线路,必须严格控制线路不平顺的20~30 m波长,虽然该波段的不平顺幅值很小,但对列车在提速区段车体横向振动影响很大。

因此,只采用10 m弦3 mm的轨向偏差来控制轨道的不平顺是不严密的^[3],它只能检测线路的短波不平顺,对于轨道长波不平顺无法检测。现有捣固车测量系统的基准测量弦长度只有21 m,不能有效测量中、长波的不平顺缺陷,所以首先要建立能够引导捣固车实现自动起道、拨道功能的远距离激光两维自动跟踪准直测量系统,从原理上消除捣固车作业的“残余误差”,这样便可以解决线路长波不平顺的问题。

2 系统的结构及测量原理

2.1 系统构成

如图1所示, D_x 、 D_y 为激光接收器跟踪架上通过位移传感器测出的水平、竖直方向的相对偏差; α

为前端电子摆测出的角度值; Δx 、 $\Delta y_{左}$ 、 $\Delta y_{右}$ 为输出的模拟量,分别为前端水平方向、前端左轨竖直方向、前端右轨竖直方向的偏差,直接接入捣固车的前端输入板的接口处。

主机是基于PC104总线结构的工控机,安装有USB数据采集卡,主机的功能是进行模拟量采集、数据处理及模拟量输出。

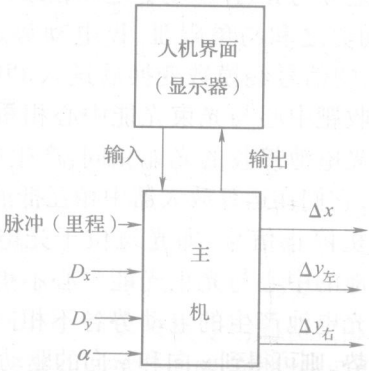


图1 系统构成

利用前端电子摆测量的信号对实际测量值进行坐标变换,便可以得到水平和竖直方向的实际测量值,将该值和理论值进行比较,得到前端实际偏差信号。

2.2 两维跟踪接收器原理

激光发射器发射出点状光斑。激光接收器采用“光电接收,机械跟踪”原理,接收屏的光电接收板设计为四象限硅光电池,如图2所示。跟踪架结构如图3所示。在跟踪架上安装有水平和垂直的两根丝杠,丝杠运动由驱动电机控制。

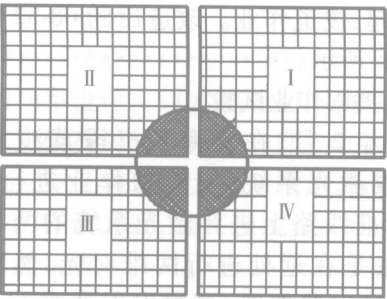


图2 四象限硅光电池

硅光电池的特性是在定光能照射下,产生一定的电动势,并在一定范围内,电动势的大小与接收到

作者简介:王发灯,男,助理研究员;高春雷,男,副研究员,副主任。

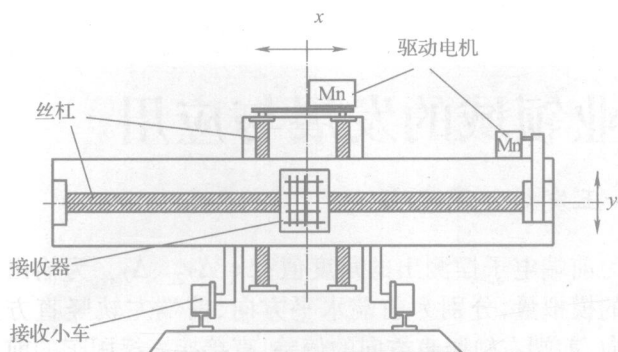


图3 两维接收器跟踪架结构

的光能大小成线性关系。光电接收屏四象限硅光电池接入两个运算放大器,在运算放大器中,象限Ⅰ、Ⅲ的电动势之和与Ⅱ、Ⅳ电动势之和相减(x 向),象限Ⅰ、Ⅱ电动势之和与象限Ⅲ、Ⅳ电动势之和相减(y 向),得出的信号经模数变换后送入PIC单片机处理。如接收靶中心与光束光能中心相重合,则四个象限的硅光电池接收的光能相同,产生的电动势大小亦相同,它们在运算放大器中相互抵消,单片机给出驱动电机停止信号,即光斑位于光电池中心。如果硅光电池的中心与光束光能中心不重合,则四个象限的硅光电池产生的电动势各不相同,根据相减后的电动势,则可得到 x 向和 y 向的驱动电机控制信号,从而驱动丝杠运动,直到光斑位于光电池中心。丝杠后面装有拉线式位移传感器,读出位移传感器的值便可得出线路相对于激光基准束的偏差量。

3 在捣固车上的应用

3.1 在捣固车上的安装

中国铁道科学研究院养路机械事业部与株洲时代电气公司相关人员于2007年10月底在江苏丹阳对08-32型捣固车进行了两维激光跟踪系统的安装,并对电气系统进行了安装和改造,更换起、拨道前端输入板,使捣固车能够利用两维激光跟踪系统进行自动起、拨道作业。改造后的08-32捣固车如图4和图5所示。

3.2 捣固作业试验

2008年2月,在上海大机段黄渡基地站内线,对两维激光系统起、拨道作业进行了试验。首先在标准线路上进行激光系统的两维零点标定,其方法是在远处进行两维对光,然后让捣固车走到发射器位置,调整发射器左右和高低位置,让接收器输出数据为零,即让发射和接收的中心重合。多次试验后,确定发射器位置并锁定。经过校准后,近距离的平直线路接收器输出数值均小于1 mm。



图4 安装的两维激光接收器

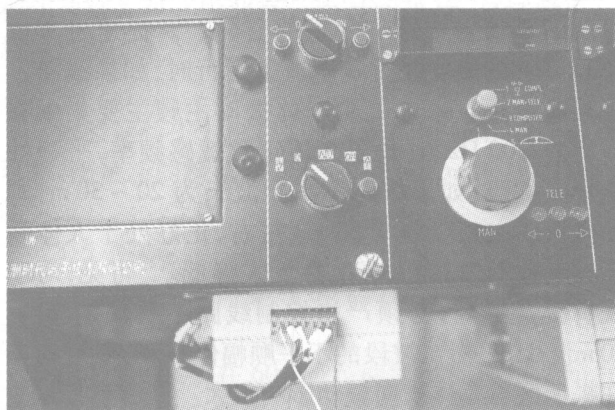


图5 工控机系统

经过零位校准后,在选定的便于起道作业的线路上进行走行,以观察两维激光系统的跟踪情况及输出数据的稳定性。然后利用两维激光准直系统对线路进行起、拨道作业,作业后利用激光长弦检查仪对线路进行检测,如图6所示,该检查仪可直接检查线路的几何形位参数。重复该过程多次。在多次作业和检测过程中,激光发射器位置始终在同一位置,作业起始位置和检测起点也始终在同一位置,这样便于数据的分析和对比。

在试验过程中,两维激光自动起、拨道系统各部分工作正常,两维激光系统能准确检测出前端偏移量,并将其输入到起、拨道作业系统中。在作业中,两维激光跟踪系统检测的数据与激光长弦检查仪检测的数据基本吻合,这也说明该系统能准确检测出前端偏移量。用激光长弦检查仪检测的作业效果对



图6 作业现场

比图见图7和图8。

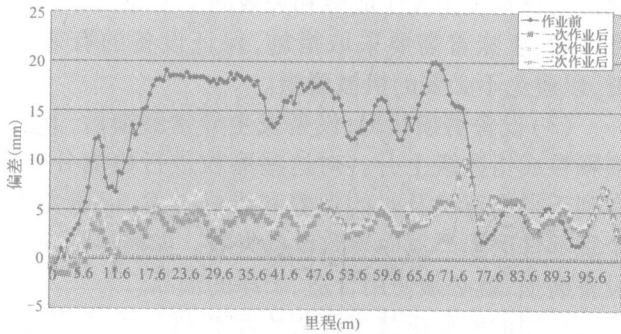


图7 轨向作业效果对比图

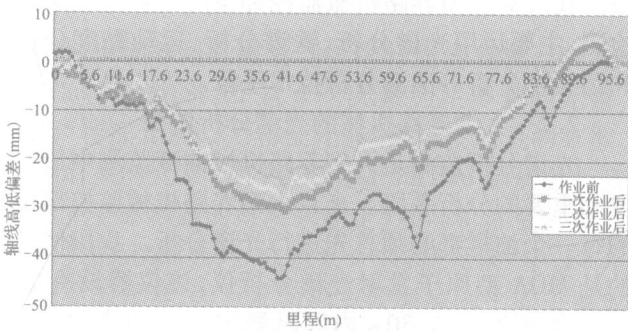


图8 前后轴线高低作业效果对比图

从图7中作业前的图形可以看出线路在水平方向上从18 m处至70 m处向外凸出,有较大长波不平顺,长弦检测的最大幅值偏差达到了20 mm。一次作业后幅值明显减少,最大幅值为10 mm左右,多次作业后幅值减少至5 mm,长波不平顺得到有效解决。

从图8中作业前的图形可以看出线路在高度方向上从18 m处至70 m处向下凹,有较大长波不平顺,长波检测的最大幅值偏差达到了44 mm。一次作业后幅值明显减少,最大幅值为30.5 mm左右,长弦检测的幅值偏差减少,改善趋势和效果与捣固车作业的基本原理相吻合,即前端检测出的偏差不直接用来指导起、拨道作业,而是将前端检测出的偏差的1/3输出到起拨道小车的起、拨道作业控制中去^[4],而后两次起道作业效果不太明显主要是由于线路上的道砟偏少,起道后轨道回落过多所致。

4 结 论

二维激光跟踪系统能较好地应用于连续式捣固车上进行的自动起、拨道作业,该系统延长了捣固车的起道测量弦及拨道测量弦的长度,能够较好地改善捣固车的作业精度,特别是解决线路的长波不平顺问题,利用此技术,可以组成专用的长弦静态有载测量系统。安装及作业试验表明,该系统可以广泛应用于对原有捣固车进行改造及新车型的安装,从而提高捣固车的作业精度,满足提速线路高平顺性的要求。

参 考 文 献

[1] 王午生. 铁路线路工程[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1999. 2.
[2] 翟婉明,王开云. SS_{7E}提速机车横向晃动试验研究研究报告[R]. 成都:西南交通大学,2005.
[3] 何华武. 论时速大于200km铁路精密工程测量技术[J]. 中国铁路,2007,3.
[4] 韩志青,唐定全. 抄平起拨道捣固车[M]. 北京:中国铁道出版社,1997.

(上接第93页)

过程中保持不变,满足了我国无砟轨道各类型扣件系统的要求。

4.4 采用小功率汽油机实现较大输出扭矩

在螺栓或螺母接触到弹条前,螺栓扳手所需的扭矩很小,甚至徒手都能将其旋转(除了锈蚀很严重的螺栓),接触到弹条后扭矩才逐渐增大,而从这时至达到所需扭矩时只需要旋转几圈或更少。在松的过程中恰好相反,只有在松的一瞬间或几圈时需要的扭矩较大,松开以后所需的扭矩同样很小。因

此,采取横功率设计可以实现小功率汽油机达到较大输出扭矩,较高的工作效率。即实现在高转速时小扭矩输出,在低转速时大扭矩输出。既实现大扭矩、高效率的作业方式,又实现机具的环保化、节能化,降低了使用成本。

5 结 束 语

随着无砟轨道的大量铺设,适用于无砟轨道的高精度螺栓扳手必将对提高线路施工和养护质量,提高效率发挥重要的作用。

道依茨发动机油光谱分析数据回归分析研究

北京工务机械段 许 峰

摘 要:以 08-32 捣固车发动机油的光谱监测数据为研究对象进行统计分析研究,得出发动机工作时间与 Fe 含量存在高度显著的线性正相关关系,得出一元线性回归方程的实际意义,可在大型养路机械的油液监测工作中运用,并给出道依茨发动机 Fe 含量光谱分析动态判定标准。

关键词:状态监测;光谱分析;回归分析;大型养路机械;发动机

1 引 言

随着我国铁路高速重载的发展,列车对线路质量要求提高,大型养路机械已成为保证线路质量的重要设备,对保证运输安全起到重要的作用。大型养路机械集机、电、液、光、计算机技术于一身,结构复杂,技术含量高,工作环境恶劣,可靠性要求高,传统的计划维修管理体制已不能适应。铁道部在《大型养路机械使用管理规则》中明确规定:“大型养路机械采用以检查保养为基础,计划性修理和状态监测修理相结合的检修保养制度,并针对不同部件的运用特点,采用不同的检修保养方式”。开展大型养路机械状态监测,越来越得到关注和重视。多年来,北京工务机械段通过对状态监测新技术的开发和应用,初步建立了以油液状态监测为基础和核心的大型养路机械状态监测体系,大型养路机械的设备管理、使用和维修水平得到了较大的提高和发展,大型机械设备的技术状态得到了有效保障,设备使用寿命得以延长。在用设备技术状态的连续监控和指导冬检工作进行合理的状态修方面,取得了较为明显的经济效益和社会效益,为实现状态修奠定了坚实的基础。

2 大型养路机械的油液监测

2.1 油液分析技术概述

油液分析技术,又称为设备磨损工况监测技术,是一种新型的设备维护技术。油液(润滑油和液压油)在设备中的各个运动部位循环流动时,设备的运行信息会在油液中留下痕迹。通过对工作油液的合理采样并进行必要的分析处理,就能取得关于该机械设备各摩擦副的磨损状况、磨损部位、磨损机理

以及磨损程度方面的信息。

油液分析包括三个方面:油品状况、污染度、设备磨损状况。

(1) 油品状况:通过检测在用油品,可了解其状态,从而判定其是否可以继续使用或者应该更换。

(2) 污染度:从设备外部进入的灰尘、水以及其他污染物是设备发生故障和失效的主要原因。污染度增加,意味着需要采取措施,保证设备的有效润滑,以避免不必要的机械磨损。

(3) 设备磨损状况:设备发生异常磨损后,其磨损颗粒成指数级上升。对这些磨粒进行检测分析,有利于得出正确及时的保养和维修方案,以避免因个别部件磨损严重而导致设备失效。如需尽量减少设备磨损,就必须使用合适、干净的油品。

应用油液分析技术开展大型机械油液监测,是对大型机械进行状态监测和状态修的一种重要手段。我段对大型养路机械监控部位的油样进行定期检测,主要运用光谱分析、铁谱分析、运动黏度分析和污染度分析等油液分析技术手段。

2.2 大型养路机械的光谱分析监测

光谱分析监测是大型养路机械油液监测中最主要和重要的分析手段。来自大型养路机械监控部位的每一个油样都必须首先进行光谱分析。我段使用的是 MOA 型原子发射光谱分析仪,该仪器设有 21 个元素通道,可在 30 s 内同时测定一个油样中 Ag、Al 等 21 种元素的含量。分析数据的单位是 $\mu\text{g/g}$,其中 Ca、Ba、Zn、P 四种元素为高浓度通道,分析范围是 50 ~ 10000 $\mu\text{g/g}$,其余元素为低浓度通道,分析范围是 0.01 ~ 1000 $\mu\text{g/g}$ 。当微粒小于 5 μm 时,分析误差小于 1 $\mu\text{g/g}$ 。

光谱分析在大型养路机械油液监测分析中起着主导作用,其结果决定油样是否需要进一步进行铁谱分析等其他油液监测分析。光谱分析作为油液监测分析的第一步,首要的任务是根据油样监测结果判定设备是否正常,这就需要有一个量化的判定标准,我们采用数理统计的方法建立判定标准。将设备在一段时期监测的特征参数作为样本参数进行数理统计,根据 3σ 原理取 $\bar{X} + 3\sigma$ 作为判定设备状态是否有故障的标准。它是以概率论和数理统计为理论依据,对一定数量的样本进行统计计算,来制定光

作者简介:许 峰,男,高级工程师,主任。

谱分析判定标准。

根据几年来光谱监测的实践情况,将发动机的状况分为正常、注意、异常三个级别。

续上表

- 正常范围:监测值 $\leq \bar{X} + S$
- 注意范围: $\bar{X} + S < \text{监测值} \leq \bar{X} + 3S$
- 异常范围:监测值 $> \bar{X} + 3S$

以大型养路机械普遍装备的动力装置——德国道依茨公司生产的风冷柴油发动机为例,对多年的光谱分析数据统计后得出的光谱分析判定标准见表1。

表 1 道依茨风冷发动机机油光谱分析判定标准

特征元素	正常范围 ($\mu\text{g/g}$)	注意范围 ($\mu\text{g/g}$)	异常范围 ($\mu\text{g/g}$)
Fe	小于 27.3	27.3 ~ 42.7	42.7 以上
Al	小于 3.1	3.1 ~ 5.9	5.9 以上
Cu	小于 3.8	3.8 ~ 6.6	6.6 以上
Pb	小于 4.7	4.7 ~ 7.9	7.9 以上
Si	小于 12.5	12.5 ~ 20.7	20.7 以上
Cr	小于 1.6	1.6 ~ 2.6	2.6 以上

序号	取样日期	Fe 含量 ($\mu\text{g/g}$)	发动机运转 小时数(h)	换油日期
5	2005. 4. 14	6. 37	6 727	2005. 4. 14
6	2005. 9. 4	33. 91	6 908	
7	2005. 10. 16	53. 21	7 024	
8	2005. 11. 12	81. 33	7 128	
9	2006. 3. 29	94. 08	7 434	
10	2006. 4. 27	20. 53	7 501	2006. 4. 20
11	2006. 6. 6	41. 55	7 620	
12	2006. 7. 2	28. 14	7 698	2006. 6. 19
13	2006. 8. 2	21. 68	7 781	
14	2006. 11. 13	72. 72	8 120	

对表 2 中的 Fe 元素含量数据画折线图(图 1),便于观察数据的发展趋势。

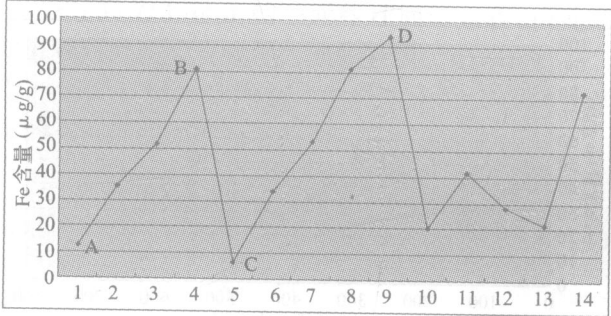


图 1

2.3 DG01 号 08-32 型捣固车发动机的光谱数据分析

对大型养路机械发动机进行光谱分析,我们选 Fe、Cu、Al、Pb、Si、Cr 这 6 个元素为主要监测元素,称为“特征元素”。“特征元素”是与发动机的摩擦、磨损有关的元素(如 Fe、Cu、Al、Pb、Mo 是从分析发动机主要摩擦副的材质来制定)和与机油受外界污染有关的元素(Si)。在这 6 个“特征元素”中,Fe 是最重要的元素,因为发动机主要摩擦副中的主要成分是 Fe。另外,通过多年的实践,Fe 最为“活跃”,它的数值变化最明显,大多数故障形成的早期,都表现为 Fe 的异常增高。

DG01 号 08-32 型捣固车发动机机油自 2004 年至 2006 年底的 Fe 光谱分析数据见表 2。DG01 号 08-32 型捣固车在 2004 ~ 2006 年底期间未更换发动机,该发动机运行状况正常,无磨损故障。

表 2

序号	取样日期	Fe 含量 ($\mu\text{g/g}$)	发动机运转 小时数(h)	换油日期
1	2004. 9. 1	12. 58	6 142	2004. 8. 28
2	2004. 9. 28	35. 51	6 213	
3	2004. 11. 23	51. 65	6 395	
4	2005. 3. 20	80. 74	6 688	

- 观察图 1 可得:
- (1)该车发动机机油光谱分析 Fe 含量连续三年的数据变化呈锯齿形;
 - (2)数据峰值到谷值的突变是由于换新油后,数据下降所致;
 - (3)发动机换新油后,数据发展趋势总体是由低向高发展,与发动机运转时间有关,近似直线上升;
 - (4)发动机在一个换油时期内,Fe 增长的速率稳定,尤其是图 1 中 AB 和 CD 两段折线,非常近似直线,且直线的斜率相近。

为了考察 Fe 元素含量与发动机工作时间(每个换油周期内)的关系,将发动机换油时发动机工作时间定为零,用取样日期的发动机小时数减去换油日期时的发动机小时数,分别计算出每个油样对应的发动机工作时间,数据见表 3。

为便于分析 Fe 元素含量与发动机工作时间的相互关系,对表 3 中的数据绘制相应的散点图,见图 2。