

# GJ-6 型轨检车

## 检测系统原理及应用

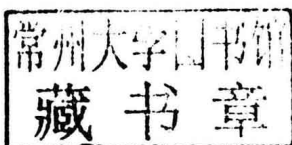
谢文军 主编

GJ-6XING GUIJIANCHE JIANCE XITONG  
YUANLI JI YINGYONG

中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

# GJ-6 型轨检车检测系统原理及应用

谢文军 主编



中国铁道出版社

2017年·北京

## 内 容 简 介

本书主要介绍 GJ-6 型轨道检测系统。全书共分为四章,分别为:轨检车概述、GJ-6 型轨道检测系统原理、轨道检测数据应用、轨道几何病害查找与整治,对 GJ-6 型轨检车检测病害分析有一定参考价值。

本书可以方便工务干部和职工系统地了解并掌握 GJ-6 型轨道检测系统的结构、检测原理、检测资料的识读和运用,有效地运用这一检测系统去指导养护维修作业,提高作业人员的劳动效率。

### 图书在版编目(CIP)数据

GJ-6 型轨检车检测系统原理及应用/谢文军主编. —北京:中国铁道出版社,2017. 7

ISBN 978-7-113-23297-9

I. ①G… II. ①谢… III. ①轨道检查车-自动检测系统 IV. ①U216.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 151017 号

书 名:GJ-6 型轨检车检测系统原理及应用

作 者:谢文军 主编

责任编辑:张 婕

编辑部电话:010-51873347 电子信箱:13522756157@163.com

编辑助理:高 楠

封面设计:王镜夷

责任校对:苗 丹

责任印制:高春晓

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

版 次:2017年7月第1版 2017年7月第1次印刷

开 本:880 mm×1 230 mm 1/32 印张:7.25 字数:169 千

书 号:ISBN 978-7-113-23297-9

定 价:28.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

## 前 言

随着铁路高速、重载运输的发展,对轨道结构的影响必然加大;《铁路技术管理规程(普速铁路部分)》《普速铁路工务安全规则》《铁路营业线施工安全管理办法》等的实施,影响行车的设备病害整治时间也越来越短。在这种情况下,大力采用现代化轨道检查车提供的高精度数据,指导维修作业,已成为历史的必然。自 20 世纪 50 年代以来,我国铁路部门在引进、消化、吸收国外先进技术的基础上,先后研制、开发了六代轨道检查车。目前,最新一代 GJ-6 型轨道检测系统已成功安装在 9 列高速综合检测列车和 18 辆轨检车上,应用于我国铁路的日常检测和新建线路的联调联试检测,最高检测速度已达到 400 km/h。

为了方便工务干部和职工系统地了解并掌握 GJ-6 型轨道检测系统的结构、检测原理、检测资料的识读和运用,有效地运用这一检测系统去指导养护维修作业,提高工务作业人员劳动效率,本书作者参考、综合国内一些技术资料和多年现场工作经验,从 GJ-6 型轨检车原理、实测资料等方面收集资料,编写了这本《GJ-6 型轨检车检测系统原理及应用》。书中重点介绍了 GJ-6 型轨检车原理、数据应用软件 Wavers 使用及典型病害分析,对 GJ-6 型轨检车检测病害分析有一定参考价值。

本书由西安铁路局汉中工务段谢文军主编,方俊奇、晏真凯审核。参加编写人员:谢文军(第一章至第四章),黎西

军(第一章第二节),杨刚(第三章第一节),许勇、武秋龙、张燕朋(第四章第五节),李莉负责校对。

由于编者水平有限,如果书中内容与现行规章、规范有出入之处,请以规章、规范为准。欢迎广大读者批评指正。

编 者

2017 年 3 月

# 目 录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第一章 轨检车概述 .....            | 1  |
| 第一节 国外轨检车概况 .....          | 1  |
| 一、德国铁路轨道检测技术 .....         | 1  |
| 二、法国 TGV 高速铁路轨道检测技术 .....  | 3  |
| 三、意大利高速铁路轨道检测技术 .....      | 4  |
| 四、日本高速铁路轨道检测技术 .....       | 5  |
| 第二节 国内轨检车发展概况 .....        | 6  |
| 一、第一代轨检车 .....             | 6  |
| 二、第二代轨检车 .....             | 6  |
| 三、GJ-3 型轨检车 .....          | 7  |
| 四、GJ-4 型轨检车 .....          | 7  |
| 五、GJ-5 型轨检车 .....          | 8  |
| 六、GJ-6 型轨检车 .....          | 10 |
| 第二章 GJ-6 型轨道检测系统原理 .....   | 16 |
| 第一节 GJ-6 型轨道检测系统介绍 .....   | 16 |
| 一、轨道几何状态测量方法 .....         | 17 |
| 二、GJ-6 型轨道检测系统 .....       | 20 |
| 三、轮轨动力学检测系统 .....          | 32 |
| 四、铁路工务综合巡检系统 .....         | 36 |
| 五、视频监测系统 .....             | 43 |
| 六、车载数据综合分析处理系统 .....       | 47 |
| 第二节 GJ-6 型轨道检测系统测量原理 ..... | 50 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 一、GJ-6 型轨道检测系统 .....           | 50  |
| 二、轨道几何参数测量原理 .....             | 66  |
| 三、速度里程及地面标志测量 .....            | 96  |
| 第三章 轨道检测数据应用 .....             | 100 |
| 第一节 检测报表的应用 .....              | 100 |
| 一、轨道动态质量评价方法 .....             | 100 |
| 二、GJ-6 型轨检车检测记录报告 .....        | 105 |
| 第二节 GJ-6 型轨检车图纸识别 .....        | 115 |
| 一、检测项目正号定义及病害采集 .....          | 115 |
| 二、超限编辑及图纸识别 .....              | 118 |
| 第三节 波形图查看软件 Wavers .....       | 127 |
| 一、Wavers 软件功能介绍 .....          | 127 |
| 二、Wavers 软件使用 .....            | 149 |
| 第四章 轨道几何病害查找与整治 .....          | 159 |
| 第一节 GJ-5 型与 GJ-6 型轨道检测系统 ..... | 159 |
| 第二节 超限病害的查找 .....              | 163 |
| 一、超限病害查找方法 .....               | 163 |
| 二、现场实际病害的复核 .....              | 165 |
| 第三节 轨道几何病害成因与整治 .....          | 172 |
| 一、轨 距 .....                    | 172 |
| 二、轨 向 .....                    | 174 |
| 三、高 低 .....                    | 176 |
| 四、水 平 .....                    | 179 |
| 五、三角坑 .....                    | 182 |
| 六、车体振动加速度 .....                | 185 |
| 第四节 波形图的综合分析 .....             | 189 |
| 一、轨距和轨向波形图分析 .....             | 189 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 二、高低、水平、三角坑波形分析 ..... | 193 |
| 三、车体振动加速度波形图分析 .....  | 196 |
| 第五节 复合病害分析及整治 .....   | 199 |
| 一、水平加速度分析 .....       | 199 |
| 二、轨向、水平逆向位复合不平顺 ..... | 203 |
| 三、整治曲线地段线路病害 .....    | 206 |
| 四、整治道岔区段线路病害 .....    | 210 |
| 五、整治隧道地段线路病害 .....    | 218 |
| 参考文献 .....            | 222 |

# 第一章 轨检车概述

轨检车是检查轨道病害的大型动态检测设备,也是指导线路维修、保障行车安全、实现轨道科学管理的重要手段。为此,各国铁路部门都很重视轨检车的开发和应用。轨检车的发展有近百年的历史,特别是 20 世纪 70 年代以来,欧、美、日等许多发达国家相继研究出多种先进的轨道检测技术和新的测量原理,开发出应用现代高新技术的轨检车,提高了检测精度和速度,增加了检测功能,为保证行车安全和舒适旅行做出了突出贡献。

目前,轨道检测技术已向着无移动部件、检测项目齐全、故障判断高智能化、检测系统网络化、检测数据处理科学化的方向发展。

## 第一节 国外轨检车概况

### 一、德国铁路轨道检测技术

德国从 20 世纪 80 年代开始研制 OMWE 型轨检车(图 1-1),1995 年又在此基础上成功研制 RaiLAB 型轨检车,检测速度达 300 km/h。OMWE 型和 RaiLAB 型轨检车结构特点是在车下建立一个测量框架,在车内安装一个与框架相连的三轴稳定性平台,不管车辆如何运动,平台始终稳定在当地水平位置,为轨道几何数据的测量建立一个惯性平台,结合安装在测量框架上的光电传感器,测量相对平台的位移量,经计算机处理合成即可测出轨道的高低、水平、轨向的实际值。

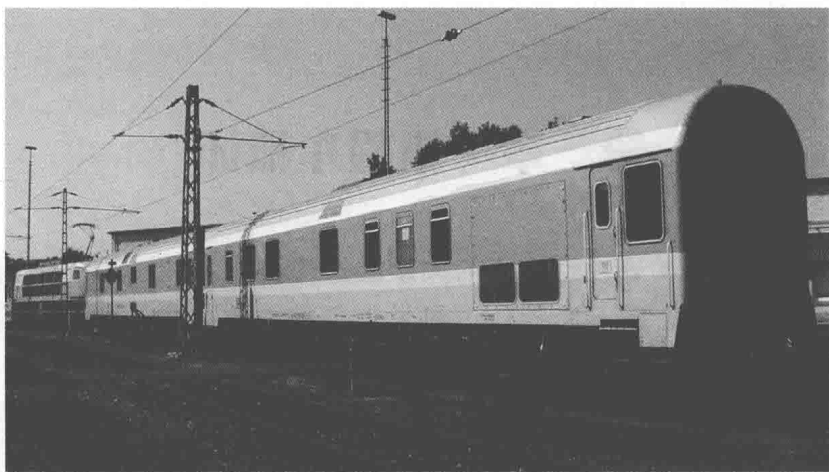


图 1-1 德国高速轨检车—OMWE

OMWE 型和 RaiLAB 型轨检车的主要技术特点为:

(1) 采用激光无接触检测技术(PSD 技术),利用光学跟踪系统在列车运行过程中自动跟踪锁定轨距测量点和钢轨顶面中心线(高低及水平测点),以此保证系统的检测精度。

(2) 车上安装三轴陀螺惯性平台,建立绝对惯性基准,惯性平台与车体之间减振措施完善,通过不同方向的位移计检测惯性平台与钢轨之间的相对位置变化,再通过多次空间坐标变换得到轨道在空间域内的准确位置变化。

(3) 安装在转向架上的激光传感器与轨道顶面的距离仅 15 mm,并与轮对尽量接近,以此保证检测点尽可能地接近轮轨接触点,既有利于防止阳光干扰,又更真实地反映了轨道在动荷载作用下的真实质量状态。

(4) 由于采用了三轴陀螺平台,其余传感器主要完成钢轨测点相对于平台的位移变化,因而系统在超低运行速度(小于 10 km/h)下仍能正常工作。

(5) 激光传感器与轨道之间采用完善的压缩空气清洁系统,并辅以清洁剂,有利于减少雨、雪、风沙对测量系统的影响。

## 二、法国 TGV 高速铁路轨道检测技术

1990 年大西洋高速线列车运行速度 300 km/h,1993 年北方高速线列车运行速度 300 km/h,2001 年地中海高速线列车运行速度 350 km/h。目前,法国采用 2006 年研制完成的高速综合检测列车“IRIS320”(用 TGV-A 改造)检测高速铁路,最高检测设计速度为 320 km/h,如图 1-2 所示。



图 1-2 法国高速综合检测车—IRIS320

该高速综合检测列车为 2 动 8 拖;1 号、10 号车为机车;2 号车为轨道几何、钢轨表面擦伤、车体构架轴箱加速度、空气压力检测系统,信号检测传感器;3 号车为信号、接触网检测系统;4 号车为通信检测系统、整车定位同步系统、综合信息处理中心;5 号车为行政管理及会议室;6 号车为车体构架轴箱加速度采集单元;

7 号为 VIP 休息车;8 号为餐车;9 号为加速度采集单元、信号检测传感器。

### 三、意大利高速铁路轨道检测技术

自意大利罗马—佛罗伦萨的高速铁路列车运行速度由 250 km/h 提高到 300 km/h, 为满足轨道检测需要, 意大利 MERMEC 和 TECNOGAMMA 公司为铁路部门研制开发了“阿基米德”高速检测列车(称为 Roger 2000), 2001 年交付使用, 最高检测速度 220 km/h, 基本达到等速检测的要求, 如图 1-3 所示。



图 1-3 意大利高速检测列车—Roger 2000

“阿基米德”综合检测列车为 2 动 4 拖: 1 号为用于 ATC (BACC)、环境监视、E2 检测的设备; 2 号车(电气检测车)为接触网几何、接触线磨耗、弓网作用、电气参数检测设备, 通信(GSM、GSM-R、ETACS)设备; 3 号车(轨检车)为轨道几何、钢轨断面及波浪磨耗、车体及轴箱加速度、轮轨力采集处理、轨道和转向架视频监测系统和定位系统等设备; 4 号车(加工及办公车)安装有车载数据分析处理系统和工具加工间; 5 号车(工具车)为零配件库、环境监视服务器、自诊断系统等; 6 号车(机车)为车体及轴箱加速

度、测力轮对(一、二轴各安装一条测力轮对),电弧、弓网动态作用、电气参数(网压、电流)、轨距检测系统,环境监视系统和 ATC (BACC)系统。

“阿基米德”综合检测列车车上有 57 台计算机,每秒钟可处理 30 G 数据,有 24 个激光器、43 个光学摄像传感器、47 个加速度计以及大量的强度、速度、定位、温度传感器和用于航空电子领域的惯性平台。“阿基米德”具有在任何时候以 220 km/h 运行速度,检测 119 个不同参数的能力,能检测轨道几何数据、钢轨断面、钢轨波浪磨耗、接触网及受流状态、通信和信号、车体和轴箱加速度、轮轨作用力等。

#### 四、日本高速铁路轨道检测技术

21 世纪初,日本高速铁路总长 2 049 km,东海道新干线运行速度 270 km/h, JR 东日本的东北、上越、北陆新干线运行速度 275 km/h, JR 西日本的山阳新干线运行速度为 300 km/h。

日本采用 2002 年研制的“East-i”(用 E3 改造)电气轨道综合试验车检测国内高速铁路,如图 1-4 所示。“East-i”综合检测列车完全利用日本国内技术,由 6 辆检测车组成,可以检测轨道几何参数、接触网、通信信号、轮轨作用力、环境噪声等,最高检测速度可达 275 km/h。

“East-i”综合检测列车轨道检测系统采用弦测法,安装在 3 号车辆上,该车辆采用了与实际运行车辆相同的两个二轴拖动转向架结构。一般认为,弦测法传递函数收敛性差,不能全部真实反映轨道状况,该方法存在一定的缺陷。“East-i”采用逆滤波复原法修正与补偿,但仅能换算到 40 m 波长的测值。

“East-i”可以在一次运行过程中实现对线路的综合检测功能,但各检测项目之间的检测数据并不综合到一个统一的中心,各



图 1-4 日本“East-i”综合检测列车

检测单元有各自独立的数据显示、记录、转储和地面分析、处理、维护管理决策等系统,全系统统一的仅有位置、时间和速度。

## 第二节 国内轨检车发展概况

### 一、第一代轨检车

1953 年研制的第一代轨检车轨道检测系统采用弦测法,机械传动,可以将轨距、水平、三角坑、摇晃(用单摆测量)项目的幅值绘在图纸上,人工判读超限并计算扣分,最高检测速度 35 km/h,到 1959 年最高检测速度提高到 80 km/h。

### 二、第二代轨检车

1970 年研制的第二代轨检车轨道检测系统仍然采用弦测法,电气传动,检测项目比第一代增加了长波高低和短波高低,超限判读和扣分计算方式与第一代相同,可以检测高低(3.4 m 和 18.5 m 弦)、水平、三角坑、车体摇晃和列车速度等项目,最高检测速度达到 100 km/h。

### 三、GJ-3 型轨检车

1986 年研制的 GJ-3 型轨道检测系统采用惯性基准原理,利用光电转换技术、数字滤波技术、陀螺技术、计算机技术,可以检测高低、水平、超高、三角坑、车体水平和垂直振动加速度、轴箱振动加速度检测项目,并预留了轨距、轨向检测项目,最高检测速度达到 120 km/h。

### 四、GJ-4 型轨检车

1985 年至 1991 年引进美国 ENSCO 公司时速 120 km/h 的 XGJ-1 型轨检车,1993 年至 1996 年引进美国 ENSCO 公司时速 160 km/h 的 XGJ-1 型轨检车。1999 年在消化吸收 XGJ-1 型轨检车技术的基础上,研制出了具有自主知识产权的 GJ-4 型轨道检测系统。

GJ-4 型轨道检测系统采用惯性基准原理,应用“传感器—模拟信号处理—数字信号处理”组成的综合补偿系统对各种误差信号进行补偿修正,可以检测轨距、轨向、高低、水平、三角坑、曲率等轨道几何不平顺,以及车体水平和垂直振动加速度、地面标志(道岔、道口、桥梁、曲线拉杆等)等,最高检测速度达到 160 km/h。

通过在我国铁路大提速和既有干线检测中的运用,暴露出了 GJ-4 型轨道检测系统的不足与不适应性,主要表现在以下几方面:

(1) GJ-4 型轨检车车下检测设备由于机械系统繁多复杂,检测过程中硬件设备故障率较高;同时悬挂在轴箱上的轨距检测梁,由于受轮轨冲击和振动影响较大,导致轨距检测梁自身存在影响列车运行的安全隐患。1998~2000 年,伴随检测速度的提高,GJ-4 型轨检车轨距检测梁在干线检测过程中多次出现悬挂螺栓

断裂和检测梁体断裂的现象,严重影响和制约了 GJ-4 型轨检车的安全使用。

(2) 轨检车车下检测设备为非接触测量部件,受地域温度、雨雪和风沙等自然环境影响较大。特别是东北较为寒冷地区,雨雪、低温造成伺服机构结冰不能正常工作,从而影响轨距、轨向系统不能正常工作长达 3~5 个月;西北地区风沙导致的伺服机构移动部件受阻不能正常工作,伺服电机和梁上传感器的故障率远大于在其他部位安装的传感器。

(3) GJ-4 型轨检车转向架由于设计速度不能满足既有提速线路运行要求,导致该型轨检车检测速度接近其转向架临界速度运行时(如 209HS 转向架轨检车运行速度达到 140 km/h),轨距检测梁会产生周期性振荡导致检测失真。

(4) 陀螺性能是影响水平漂移和 6 000 m 以上大半径曲线准确识别的重要部件,GJ-4 型轨检车陀螺部件的选择有待进一步优化。

(5) 随着电气化铁路的日益增多,GJ-4 型轨道检测系统受电磁干扰的问题尤为突出。在电气化铁路检测过程中会出现系统“死机”问题,影响轨道检测系统正常工作。

实践证明,伴随轨道检测技术发展,GJ-4 型轨道检测系统尚需进一步改进与完善。

## 五、GJ-5 型轨检车

2001 年我国在引进美国 ImageMAP 公司先进检测设备的基础上,集成开发了 GJ-5 型轨道检测系统,如图 1-5 所示,该系统采用计算机局域网技术、VME 总线技术、激光摄像技术、惯性测量技术、数字滤波技术、GPS 里程同步定位等技术,最高检测速度达到 200 km/h。



图 1-5 GJ-5 型轨检车

### (一) GJ-5 型轨道检测系统原理

GJ-5 型轨道检测系统采用惯性基准法和激光摄像技术,使用激光摄像系统测量钢轨相对于检测梁的横向和纵向位移;使用加速度计、陀螺、位移计等多种传感器测量检测梁的姿态变化,通过坐标变换、数字滤波、合成处理等,最终获得轨道几何数据和钢轨断面磨耗等参数。

### (二) GJ-5 型轨道检测系统功能

GJ-5 型轨道检测系统功能主要包括以下几个方面:

- (1) 轨道几何状态检测项目,包括高低、轨向、轨距(有载和无载)、水平(超高)、三角坑、曲率(半径)等。
- (2) 钢轨断面检测项目,包括钢轨轨头垂直、侧面磨耗、总磨耗。
- (3) 钢轨短波不平顺检测项目,包括钢轨波浪磨耗、钢轨表面擦伤等。