

全国铁路职业教育教学指导委员会钢轨探伤专题会议审定教材
“校企二元合作”开发教材
“互联网+”理实一体化教材
湖南省职业教育优秀教材

无损检测之钢轨探伤

马占生 主编

马跃平 主审

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

《无损检测之钢轨探伤》编写委员会

主 编：马占生

副主编：曹 毅 张同文 谭春腾 秦立朝 姜雄基 刘德辉

参 编：陈彦恒 郑双朝 张红梅 马 麟 郑晓珣 单体龙

赵 群 李 杰 罗荣海 冷 鑫 王 帅 关 键

张 卫 赵长波 郭 庆 许 辉 龙 涛 刘杨彤

何祥荣 尹阳帆 罗 劲 邓 峰 陆 珂 童宝钢

罗 刚 付汝龙 杨贵德 张贻旺 漆文超 屈 凡

曹穗林 叶俊青 刘 标 刘含阳 王秀瑶 刘子学

区学贤 邓羽凡 邓楚婕 余世蓝 王 缘 王月坤

杜宣毅 刘 振 齐昌洋 马长清 胡 婷 邓 娴

刘冕轩 谢黔江

无损检测之钢轨探伤教材审定委员会

主 审：马跃平

副主审：章永和 杨祖表 连 军 李立波 黄祖泽

参 审：张铁义 陈 玺 温玉彬 陶利辉 辛红山 黄 涛

郭宏斌 汤文锋 董 彪 袁 展 李新平 张 亮

陈海光 陈新民 张永刚 许焕佳 任树森 吴成山

彭宇松 伍 星 王元海 陈 胜 李 军 李朝强

吴向进 姜东旭 晏佳俊 虞国栋 刘征辉 罗振杰

胡芒友 王伟伟 郑力尉 李奋勤 侯 煜 符 界

罗 刚 梁栋程 陈文锋 黄博文 石海涛 姜 兴

杨 楠 尹祖生 郭树辉 刘宝军 王来富 何小龙

汪志钢 李伯乐 袁海明 李国柱 唐 军 周 波

刘祥成 巩四奎 肖俊杰 陈 伟 邹永胜 王清龙

蔡 明 朱凤娟 胡 亚 李志海 阮西丰 余天乐

苏 柔 陈荣昭 张定成 何晓丹 聂晓琼 曲明凯

丰俊筠

前 言

我国铁路正在向高速、重载的方向发展，承担繁重运输任务的钢轨容易产生各种损伤，严重危及行车安全。因此，进行钢轨探伤对于保证铁路的正常运行有着举足轻重的作用。

本书编写的宗旨是密切结合铁路现场探伤实际，融入双轨探伤仪、相控阵技术、涡流探伤等新知识和新技术。同时，强调理论与实作的结合，形成理实一体的教材，充分利用信息化技术，将部分教学内容制作成二维码，方便学生课下学习。本书适用于高职院校及本科院校教学，也适用于职工入职、转岗、考证等培训。

本书由湖南高速铁路职业技术学院马占生担任主编并进行统稿，中国铁路南昌局集团有限公司马跃平担任主审，全国 13 所铁路院校的老师，6 个仪器厂家研发人员及 26 个工务段的现场专家参与编写和审定了本书（具体分工见每个子项目后的说明）。

由于编者水平有限，再加上时间仓促，书中难免有疏漏、不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2019 年 7 月

目 录

项目一 钢轨探伤的必要性及其发展史	1
子项目一 回顾钢轨折断引发的铁路安全事故	1
子项目二 钢轨探伤发展历程	5
项目二 手工检查技术检测钢轨	23
子项目一 手工检查技术检测普通钢轨	23
子项目二 手工检查技术检测道岔钢轨	33
项目三 常规技术检测工件	41
子项目一 磁粉探伤技术检测工件	41
子项目二 渗透探伤技术检测工件	47
子项目三 超声波探伤技术检测工件	50
项目四 超声波探伤原理及其验证	56
子项目一 超声波的定义和产生及探头延时、前沿和 K 值的标定	57
子项目二 超声波分类及不同种类波型探伤	67
子项目三 超声波基础参数及横波和纵波声速测定	71
子项目四 超声波特征参数及 6 dB 法进行核伤定量	76
子项目五 超声场结构及主声轴偏斜角测试	80
子项目六 超声波传播特性及散射和绕射测试	86
子项目七 超声波垂直入射异质界面及探头保护靴施加耦合剂方法	91
子项目八 超声波斜入射至异质界面及临界角内不同波形识别	99
子项目九 超声波声压公式及焊缝 DAC 曲线制作	105
子项目十 常见异常波形分析及演示	113
项目五 通用探伤仪检测焊缝	120
子项目一 铝热焊焊接工艺学习及伤损识别	121
子项目二 闪光焊焊接工艺学习及伤损识别	129
子项目三 气压焊焊接工艺学习及伤损识别	134
子项目四 认识通用探伤仪器	137
子项目五 利用单/双探头检测轨头焊缝	138
子项目六 利用单/双探头检测轨腰焊缝	148
子项目七 利用单/双探头检测轨底焊缝	159

项目六 阵列式探伤仪检测焊缝	169
子项目一 认识阵列式探伤仪器	169
子项目二 阵列式扫查轨腰焊缝	171
子项目三 阵列式扫查轨头和轨底焊缝	176
项目七 相控阵设备检测焊缝	182
子项目一 超声相控阵技术	182
子项目二 认识超声相控阵仪器	187
子项目三 超声相控阵仪器参数设置与标定	191
子项目四 相控阵仪器检测焊缝作业	198
项目八 涡流设备检测焊缝	209
子项目一 涡流探伤技术	209
子项目二 认识涡流探伤仪器	213
子项目三 涡流探伤设备参数设置与演练	215
子项目四 涡流设备检测焊缝作业	217
项目九 钢轨探伤仪检测钢轨	219
子项目一 认识钢轨探伤仪	220
子项目二 钢轨探伤仪参数调整与演练	221
子项目三 钢轨探伤正常波形及图像识读与演练	226
子项目四 轨头核伤波形及图像识读与演练	233
子项目五 螺孔裂纹波形及图像识读与演练	249
子项目六 轨底横向裂纹波形及图像识读与演练	257
子项目七 水平裂纹和斜裂纹波形及图像识读与演练	260
子项目八 纵向裂纹波形及图像识读与演练	264
项目十 大型钢轨探伤车检测钢轨	267
子项目一 认识大型钢轨探伤车	268
子项目二 大型钢轨探伤车调试与演练	270
子项目三 大型钢轨探伤车轮探头维修与演练	273
子项目四 大型钢轨探伤车检测数据分析与演练	277
项目十一 双轨探伤仪检测钢轨	283
子项目一 认识双轨探伤小车硬件结构	284
子项目二 认识双轨探伤小车探伤界面	285
子项目三 标定各通道的探头	286
子项目四 双轨探伤小车典型伤损图谱识读与演练	290
子项目五 排除常见故障	293
子项目六 双轨小车的日常维护与演练	294

项目十二 利用回放软件发现伤损	300
子项目一 GT-2+型探伤仪数据回放软件使用	301
子项目二 GCT-8C型探伤仪数据回放软件使用	302
子项目三 JGT-10型探伤仪数据回放软件使用	305
子项目四 双轨小车数据回放软件使用	307
子项目五 大型钢轨探伤车数据回放软件使用	309
项目十三 钢轨探伤管理及标准化作业	312
子项目一 分析钢轨探伤漏检因素	313
子项目二 钢轨探伤管理模式	319
子项目三 焊缝探伤标准化作业	323
子项目四 钢轨探伤仪标准化作业	326
子项目五 道岔钢轨探伤标准化作业	332
子项目六 数据回放标准化作业	335
子项目七 钢轨探伤安全管理	338
子项目八 双轨探伤仪标准化作业	342
子项目九 大型钢轨探伤车标准化作业	346
附录一 《无损检测之钢轨探伤》参考的部分标准、规范及规程	350
附录二 《无损检测之钢轨探伤》二维码资源	351
参考文献	358

项目一 钢轨探伤的必要性及其发展史

一、项目描述

本项目主要介绍钢轨折断引起的铁路安全事故及钢轨探伤的发展史。通过介绍几起钢轨折断事故，引发学生对探伤职业重要性的思考，提高铁路岗位责任感。通过介绍钢轨探伤的发展史，使学生能初步了解行业的变革及前沿动态，提高学生学习的积极性，为接下来的学习打下良好的基础。

二、教学目标

1. 知识目标

- (1) 了解事故经过、造成的损失、成因及处理结果。
- (2) 了解钢轨探伤的发展历程及行业动态。
- (3) 了解探伤行业中的先进人物和动人事迹。

2. 能力目标

- (1) 具有分析事故产生原因的能力。
- (2) 具有阐述行业现状的能力。
- (3) 具有查阅与使用规范的能力。

3. 素质目标

- (1) 具有沟通表达的能力。
- (2) 具有爱岗敬业的精神。

子项目一 回顾钢轨折断引发的 铁路安全事故

【任务及目标】

给每位同学 30 min，阅读下面案例并且观



回顾钢轨折断引发的
铁路安全事故(课件)



回顾钢轨折断引发的
铁路安全事故(微课)

看二维码中的视频，随机提问，要求同学能大体复述案例的要点，并说出钢轨探伤工作的必要性。

案例一 “8·23”重大事故

事故经过：1987年8月23日7时34分，由兰州站发出的1818次货物列车在陇海线兰州东—桑园穿越十里山二号隧道时（该隧道里程k1725+326.3~k1725+505.7，全长179.4m），在k1725+437.5钢轨接头处，机后6、7位油罐车脱轨颠覆，8~23位16节油罐车近900t油在隧道内起火燃烧（根据《列车编组顺序表》第1~2节是机械油，第3节是汽油，第4节是机械油，第5~10节是柴油，第13~28节是汽油，因此1818次是以油罐车为主的列车），火焰从东西两个隧道口窜出高达30m，线路行车中断。事故发生后，国务院领导高度重视并做出指示，经铁道部、甘肃省、兰州铁路局领导亲临指挥，在解放军驻兰部队及武警、公安、兰州市各单位大力支持下，历经九天八夜灭火、起复、加固维修，于1987年8月31日17时30分开通线路，恢复运行。

造成损失：虽经过紧急抢救，但烈火依旧燃烧了一昼夜，造成陇海线天兰段中断行车201h56min，3名押运人员死亡，报废货车车辆23辆，隧道裂损179m，损坏线路763m，直接经济损失240万元。

事故调查及处理：经查，本次事故发生前13min，即1818次列车通过之前，187次旅客列车通过该处时，列车发生了剧烈振动，险些造成旅客列车倾覆，此时该处钢轨双侧夹板已经折断。当1818次列车通过此处时，由于机车车轮强力冲击，导致距轨端412mm处钢轨折断（见图1.1.1），整段长400mm的钢轨翻落道床（见图1.1.2），列车随即脱轨。钢轨存在疲劳损伤，没有及时发现和更换，造成钢轨折断，是本次事故的直接原因，事故定兰州局全部责任，相关责任人均受到问责和处分。



图 1.1.1 钢轨折断



图 1.1.2 钢轨翻落

温馨小提示：此次事故后，为了防止钢轨折断，铁路工务部门专门设立了钢轨探伤工（现改为无损检测员）这一工种。在日常检测过程中，钢轨探伤工发现钢轨重伤后，应及时上报调度及相关线路工区，由线路工区对伤损钢轨进行更换。

案例二 印度特快列车脱轨

事故经过：2016年11月20日凌晨3时左右，一辆从巴特那开往印多尔的特快列车在行驶到印度北部北方邦坎普尔（Kanpur）附近一个村庄普瓦（Purwa）时，包括硬座和卧铺车厢在内的14节车厢发生了脱轨（见图1.1.3）。事故现场一片狼藉，许多车厢已被挤压变形，玻璃碎屑和钢管散落一地。事故发生时正值深夜，许多乘客正在熟睡，所以伤亡惨重（见图1.1.4）。

造成损失：事故导致至少145人遇难，200多人受伤，出轨列车严重损毁，几近报废。

事故调查：印度铁路线路长度位居世界前列，但是印度铁路系统缺乏资金，维护不善，安全标准低，导致印度成为列车脱轨和相撞事故的高发国家，此次脱轨事故正是由于钢轨折断导致。



图 1.1.3 列车脱轨



图 1.1.4 伤亡惨重

小编寄语：由于列车脱轨事故会造成严重的人员和财产损失，对此类事故我们应高度重视。

案例三 “天冷了，咱们的钢轨冻断了？”

事故经过：2018年1月9日8时08分左右，我国台湾地区地铁（见图1.1.5）工作人员在巡道时发现，台铁四脚亭至瑞芳间东正线6 km 350 m处有钢轨断裂（见图1.1.6）。发现问题后，用两片鱼尾板将钢轨锁住固定做临时处置，相关人员要求列车在经过该路段时以30 km/h的速度慢行。

造成损失：“台铁工务单位”随后至现场处理，8时54分起列车改以速度60 km/h慢行，9时36分修复恢复正常行驶，导致2个车次共延迟14 min。

事故原因：经测量，发生断裂处的钢轨温度为12℃，因降温幅度大，导致钢轨热胀冷缩太过严重，发生断轨。



图 1.1.5 台铁运营



图 1.1.6 钢轨断裂

我来科普：很多同学不是很理解，我国东北气温低至 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 也不见有钢轨被冻断，宝岛地处热带、亚热带钢轨怎么会被冻断？因为热胀冷缩的影响，钢轨内会存在温度力 $P = 2.48 \cdot \Delta t \cdot F$ ，以 60 kg/m 轨为例，当轨温为锁定轨温时钢轨内部应力为零，温度每变化 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ （当前轨温与锁定轨温比），钢轨内会产生 1.96 t 的力。当轨温升高时，钢轨内部受压应力，当轨温降低时，钢轨内部受拉应力，所以冬季或者一天中气温最低时是断轨的高发期，一般在春秋两季进行应力放散，以免出现过大大温差应力。同时在大跨度钢梁桥上、桥头上和无缝线路地段还可以加装钢轨伸缩调节器（又称轨温调节器），可利用尖轨或基本轨相对错动调节轨线的胀缩来减少温度力的影响。

案例四 英国高速列车脱轨

事故经过：2000年10月17日，英国一列高速列车（见图 1.1.7）以 185 km/h 的速度从伦敦 Kings'Cross 到 Leeds 的途中，在通过曲线时发生脱轨事故（见图 1.1.8）造成后面 8 节车厢脱轨，2 节车厢几乎完全倾覆，车厢损毁严重。特别令人注意的是在第一个钢轨裂纹后面的 35 m 钢轨碎裂成 300 多块，裂纹继续向前延伸了 40 多米，另有长约 54 m 的钢轨存在类似裂纹。事故后，英国对所有线路进行了全面仔细的检查，在许多明显看得出有裂纹的钢轨处设置了检查点，许多车次被取消，个别列车限速 8 km/h ，旅行时间变为原来的 2~3 倍。

造成的损失：车上乘客 70 人受伤，4 人死亡，4 人伤势严重。

事故原因：曲线外股钢轨折断。



图 1.1.7 英国高速列车



图 1.1.8 脱轨现场

案例五 高铁无小事，通报奖能人

事情经过：2017年9月13日3时37分，惠州工务段汕尾探伤车间汕尾探伤工区班长陈园在杭深线普宁—葵潭区间进行周期性焊缝探伤作业时，发现上行 k1390+090 右股现场焊缝内侧轨底有一条长 50 mm、深 8 mm 的斜裂纹（见图 1.1.9），已达重伤标准。他立即向段调度报告，段调度随即安排汕尾线路车间到现场处理，于 4 时 38 分处理完毕，后将钢轨运至红海焊轨厂进行落锤解剖，断面（见图 1.1.10）与现场判别一致。

立功：陈园同志具有较强的安全责任感，在生产作业过程中严格执行作业标准，及时发现严重影响行车的安全隐患，成功防止了一起可能发生的铁路安全事故，确保了高铁的运输安全。

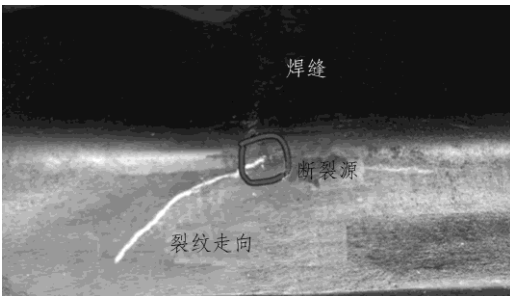


图 1.1.9 裂纹走向



图 1.1.10 落锤后断面

【二维码视频】



十里山的见证



学习楷模：孙东绍



“花木兰”：关改玉



“神探”：季风运

【本节附加说明】

1. 本节主要由湖南高速铁路职业技术学院马占生和曹毅负责编写。
2. 感谢广州局广州工务段郑双朝，广州局广州工务大修段吴向进，北京地铁杨楠，东莞地铁尹祖生，广州局惠州工务段郑力尉等提供相关图片和对本节内容的指导。
3. 感谢兰州局定西工务段提供的宝贵资料，部分视频和图片来自网络新闻报道。

子项目二 钢轨探伤发展历程

任务：请同学提前预习本子项目内容（阅读下面文字并且观看二维码中视频），课堂上集体讨论，老师随机提问，要求同学能大体复述我国钢轨探伤的发展历程，并谈谈钢轨探伤技术未来发展方向。



钢轨探伤发展历程



钢轨探伤发展历程及
焊缝探伤设备和新技术

一、国外钢轨探伤发展史

有关铁路钢轨探伤的应用研究早在 1887 年就已开始了。1927 年，Elmer Sprey 博士应美国铁路联盟的要求，研制了世界上第一辆基于漏磁检测原理的轨道探伤车，但漏磁检测法只能探测钢轨表面和近表面的缺陷，因此没有被广泛应用。在物理学上发现了压电效应与逆压电效应之后，人们找到了利用电子学技术产生超声波的方法，从此迅速揭开了发展与推广超声技术的历史篇章。CoxoΓoB（萨哈诺夫）于 1929 年提出利用超声波来研究物体内部结构和缺陷。1936 年，他首次完成了实验研究工作。当时采用的是连续波穿透法，但由于分辨力差而未被用于工程实际。在第二次世界大战期间，由于脉冲技术的发展，大大刺激和推动了超声波检测的进步。随后在 1944 和 1946 年分别由美国和英国开发出了 A 型脉冲反射式超声波探伤仪，并逐步用于钢铁、造船和机械制造中的探伤。1956 年，联邦德国克劳特克莱默公司成功研制出超声波钢轨探伤车（见图 1.2.1），检测行车速度仅为 12 km/h，后提高到 18 km/h。1959 年，美国也研制出超声波钢轨探伤车。

目前，采用大型钢轨探伤车（应用超声、涡流、电磁感应技术等）和公铁两用探伤车（见图 1.2.2）对钢轨进行检测成为主流。普遍采用停顿式检测模式，即在检测过程中发现疑似损伤后立即停车，以小型或便携式探伤仪进行校对检测，后续跟随换轨车立即换轨处理。



图 1.2.1 早期的钢轨探伤车



图 1.2.2 公铁两用探伤车

温馨小提示：发达国家工业基础雄厚，科研研发能力强（探伤技术研发早、储备丰厚），在智能化、自动化方面我们要客观地看到差距（近年我国已有赶超趋势）。但在探伤技术和管理方面，我们不能照抄或者妄自菲薄，如美国铁路协会检测标准较我们宽松，仅要求能检测出占轨头截面面积 10%~20%的核伤（占 30%为重伤）即可（其行车密度小、年通过总重少、伤损发展速度慢且部分钢轨为 78 轨），而我国要求检出 $\phi 4\text{ mm}$ 大小的缺陷（相当于轨头截面面积的 1/200），从这方面看，我们检测标准和技术已是世界一流！

二、我国钢轨探伤发展

我国在钢轨超声探伤领域的研究起步较晚。1950 年，铁道部引进瑞士生产的共振式超声波探伤仪并应用于钢轨探伤中，这种探伤仪不仅笨重而且没有显示装置，仅能进行声响提示，实用性和可靠性非常低。在苏联专家的援助下，我们获得了一些先进的技术和经验。1952 年，铁道科学院孙大雨研究员仿制苏联 $\gamma 3\text{д}-12$ 型超声波探伤仪成功，先后在各局试用了一段时间，虽然这种仪器没有被广泛应用，但是为接下来我国自主研发探伤仪打下了良好的基础。

1. 首台电子管超声波探伤仪

1965 年，湖北省武汉电子仪器厂自主设计生产了我国首台 GTC-1 型手杖式电子管超声波钢轨探伤仪（见图 1.2.3 和图 1.2.4），这种仪器采用电子管设备，石英晶体探头以调频连续波探测钢轨，监测发射波与接受波之间的频差信号，经放大处理后通过喇叭报警和电表指针偏转显示出来，填补了国内的空白，在当时取得了一定成效。由于这种仪器采用连续波探伤，经常出现无伤时报警，有伤不（弱）报警的现象，且探伤灵敏度低，难以确定伤损大小及部位，不能探测轨头内外侧的核伤，而且这种仪器在操作中还需要手工检查的配合，无法完全满足探伤的要求。

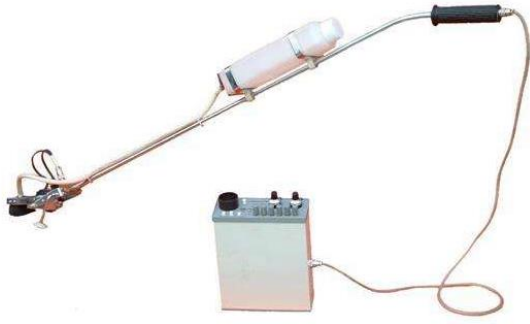


图 1.2.3 电子管手杖式钢轨探伤仪图



图 1.2.4 手杖式钢轨探伤仪现场应用

小编有话说：看着这手杖式探伤仪，有没有想起扫雷器呢！请大家一会儿扫描本节后的二维码，我们将带您穿越到 50 年前的探伤工作场景。

2. 首台全晶体管超声波探伤仪

1968 年,上海无线电 22 厂研发出国内首台全晶体管化的脉冲反射式探伤仪,命名为 JGT-1 型(见图 1.2.5),该探伤仪配有手推车(现场俗称探伤小车),在野外使用较为方便,它能发现电子管探伤仪无法发现的伤损,并能对伤损定位,探伤灵敏度也提高了不少。

样机出厂后在沪杭线松江—上海区段试用,初探 31 km,发现核伤 9 处,孔裂 37 根。新仪器的使用对旧观念产生了冲击,上海工务段探伤组在检查南翔编组站 BK 线时发现一处大核伤,通知养路工区立即更换。养路领工员(相当于现在车间主任)亲自来到现场,发现轨面平整、轨头无缺损,认为探伤工区检查结果不准确,不同意更换。探伤组工长再次观察仪器波形显示,坚信必定有伤,并承诺说“若更换下的钢轨解剖检验无伤,愿在全段生产会议上做检查”。经合力更换,现场解剖出一处完整而晶亮的白核(见图 1.2.6)。

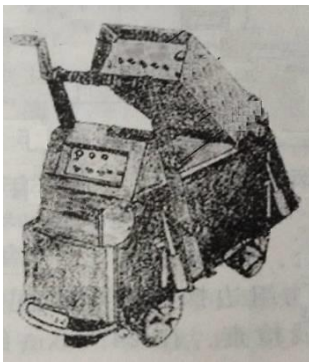


图 1.2.5 JGT-1 型钢轨探伤仪

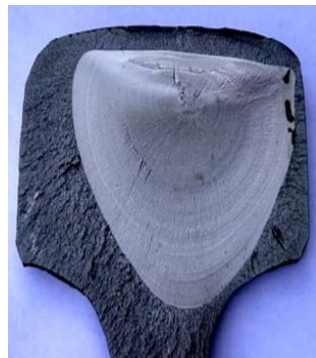


图 1.2.6 钢轨核伤

小编致敬：老前辈在艰苦条件环境下，以对祖国和铁路事业高度的责任感和使命感，坚定信念、执着奉献、勇于变革、善于创新，为保障铁路运输安全做出了突出的贡献。

3. A 型模拟手推小车“百花齐放”

JGT-1 型手推小车方便好用，但是其 3 个探头（2 个 37° 和 1 个 70°）共用 1 个通道，3 种回波信号相互干扰，杂波叠加不易辨别，且发现裂纹也不够全面（如纵向裂纹和轨腰伤损无法检测）。随后，上海无线电 22 厂又改进生产出 JGT-2 型（1972 年）、JGT-3 型（1980 年）、JGT-4 型（1986 年）、JGT-5 型（1987 年）、JGT-6 型（1996 年）等探伤仪，通道由 1 个发展到 6 个，探头由 3 个增加至 8 个，兼顾反射式和穿透式探伤。后来汕头、申都、申波、邢台等厂家相继投产了 GT-1 型（1991 年，见图 1.2.7）、JGT-5D 型（1995 年）、SB-1 型、GCT-2 型（1997 年）等仪器，这些仪器均要依靠显示屏中的波形（见图 1.2.8）来判别伤损，所以均被称为 A 型模拟手推小车。

1991 年后，A 型模拟探伤仪技术已经非常成熟，且具有价格低、结构简单、便于维修等优点，在各大铁路局、铁路分局迅速推广应用。由于模拟式探伤小车不具备对检测信号记录和信息处理的功能，现场检测时依赖操作人员对显示屏上的波形号进行判断和手工记录，发现伤损后要依靠人工计算，才能推算得出伤损的位置，检测结果受人为因素影响很大，易造成伤损的误报、漏报，探伤质量难以得到保证。



图 1.2.7 A 显模拟小车 GT-1



图 1.2.8 A 显模拟小车波形

小编采访：A 型模拟小车在那个年代发挥了极其重要的作用，但是因为完全依靠人工，没有数据存储和信号识别功能，探伤工就是“一个人探伤一个人说了算”，少部分铁路职工因为缺少技术监管，作业态度散漫，出工不出力，伤损漏检时有发生，如何加强探伤管理成了迫在眉睫的课题。

4. 数字超声探伤仪的诞生及推广

进入 21 世纪，随着计算机信息技术的发展，一些超声波仪器生产厂家积极开发了数字钢轨探伤小车，它是在传统模拟仪器的基础上，运用计算机技术，实现了超声波数据采集、处

理和存储的数字化，在探伤过程中可以自动计算、判断和显示缺陷的位置和当量值，解决了超声波探伤的实时判断和记录等问题，减少了测量中的人为因素，提高了探伤的可信度。

2010年左右，数字式钢轨探伤仪（配备 0° 、 37° 、 70° 探头，共9个通道）全面投入使用，相对于传统模拟探伤仪，它的操作简便，新员工易学易上手，增加了B型图像显示、缺陷数据显示及探伤数据存储和回放功能（该方法在本书项目十二中重点介绍），便于分析出现场作业质量（如超速探伤、疑似伤损校对、任务完成等），为防止现场伤损漏判，建立起防断工作的二道防线和探伤管理工作带来便利。因此，现场伤损检出率、准确率得到大大提高，全路断轨件数也逐年减少，铁路安全得到了有效保障。

目前铁路市场使用较多的是广东汕头超声电子股份有限公司超声仪器分公司生产GT-2型探伤仪、GT-2+型探伤仪（见图1.2.9），河北省邢台市先锋超声电子研究所生产的GTC-8型、GTC-8c型（见图1.2.10）、GTC-11型探伤仪，上海路超电子设备有限公司生产的JGT-10型探伤仪（见图1.2.11），上海申都声超声波仪器有限公司生产的SZT-800型探伤仪（见图1.2.12）。这些探伤仪均采用微处理器和数字信号处理器等集成电路（见图1.2.13），除保留原有模拟仪器的所有功能外，还增加了B型显示，可实现AB同显（见图1.2.14），探伤数据全程记录存储、下载分析（见图1.2.15）及图形打印（见图1.2.16）、检测轨迹卫星定位等功能，极大地满足了探伤实际工作需要（该方法在本书项目九中重点介绍）。



图 1.2.9 汕头超声 GT-2+



图 1.2.10 邢台先锋 GTC-8c



图 1.2.11 上海路超 JGT-10

2017年，汕头超声推出了第三代数字式钢轨探伤仪GT-20（见图1.2.17），仪器采用超声主机+操作终端模式并通过无线WIFI连接，扩充仪器的互联网+功能，可实现人机检测分离、数据在线、离线实时存储、GPS定位、数据云存储等多种功能，管理者或探伤数据分析员可以通过远程服务器将探伤数据下载下来进行分析，便于对现场探伤作业的监控和技术指导，使探伤信息化管理得到了重大突破，填补了国内外空白。



图 1.2.12 上海申都 SZT-800



图 1.2.13 集成电路



图 1.2.14 AB 同显



图 1.2.15 下载分析



图 1.2.16 图形打印



图 1.2.17 汕头 GT-20

小编建议：路轨仪作业方法经过二十几年的使用已经非常成熟，伤损检出率较高，可靠性较好，在保证铁路运输安全方面发挥了重要作用，但是它也有明显的不足之处：检测效率低，其检测速度一般为 2~3 km/h，每天作业量为 7~10 km，除重载铁路外，一般钢轨检测周期是 30 天左右。面对着国家日益增长的营运铁路里程，这种工作效率远远满足不了需要，也与铁路部门提质增效的政策不符，势必需要一种更高效的检测工具。

5. 高效的检测工具——大型钢轨探伤车

大型钢轨探伤车是一种集合了声学、机械、电子、计算机等多种专业技术的专用检测装置，包括动力系统、走行系统、液压系统、电子控制和机械伺服系统等，自动化程度高、技术难度大。我国的大型钢轨车起步于 20 世纪 70 年代，在实验室内达到了 78 km/h 不漏检的好成绩，但是由于历史原因项目终止。

1989 年 5 月，我国从澳大利亚引进了 GEMCO 公司制造的 RFD-140 型探伤车，它由一节车厢组成，采用轮式探头，探伤速度 40 km/h，但是该设备一直未能达到合同要求的技术指标。

1993 年开始从美国引进 PJT (Pandrol Jackson Technologies Inc) 公司[因股权两度变化(中间为 HTT) 现有该业务由 SPERRY 公司掌握]制造的探伤车，该探伤车配备 SYS-1000 型检测系统即第一代车体(见图 1.2.18)，配 4 只轮式探头，24 个通道或 24 个声束，探伤速度 40 km/h (标称为 25 英里/小时，采用悬挂探伤小车模式)。

2005—2007年，我国引进了9台美国SPERRY公司生产的第二代探伤车（见图1.2.19），该车配备新型FRONTIER检测系统，并在小车结构上对原有车型进行了升级或改造，探伤速度达60 km/h。

近年来SPERRY公司针对中国铁路研发出第三代钢轨探伤车，配备1900型检测系统（见图1.2.20），借鉴手推小车的经验，增加了70°探头的二次波探伤，并采用转向架式模式，探伤速度可达80 km/h，不过由于自动对中系统存在缺陷，使用效果一般。

2017年10月30日，由中国铁道科学研究院和襄阳金鹰重型工程机械有限公司联合研制的我国首台自主化国产钢轨探伤车GTC-80x型（见图1.2.21），成功完成沪昆线上海西站—临平站间（k5+150—k178+200）173.05 km普速线路钢轨探伤检测运用考核，这也标志着我国自主研发的钢轨探伤车试验成功。该探伤车检测能力达到现有安装的进口探伤系统，检测效率高、检测精度高、系统可靠性高、可升级可维护性强、空间更大、成本更低、能耗更低、安全性更强、工作舒适程度更高。

2018年2月8日，太原局集团有限公司和宝鸡中车时代工程机械公司联合株洲时代电子技术有限公司共同研制的另外一款国产化探伤车GTC-80JII型，在太原局介休站—阳泉曲站—介休站试验，各项作业性能、作业精度、作业参数和运行速度等都达到了设计要求。新一代国产化80JII型钢轨探伤车，由株洲时代电子和中车宝鸡工程公司联合研制，于2017年通过验收评审。



图 1.2.18 第一代钢轨探伤车（40 km/h）



图 1.2.19 第二代钢轨探伤车（60 km/h）



图 1.2.20 第三代钢轨探伤车（80 km/h）



图 1.2.21 我国自主研发钢轨探伤车 GTC-80x 型

小编提问：大型钢轨探伤车速度快、效率高，是不是就可以把手推小车淘汰掉呢？

小编自问自答：虽然大型钢轨探伤车有很多优点，但是其造价贵（约 2 000 万元人民币），后期维护成本高，且相对探伤小车探伤灵敏度小、伤损检出率偏低，除了高铁和地铁有较长固定天窗进行检测，在普铁线路检测需要调度会影响到线路运营，所以目前我国的钢轨探伤采用以小推车检测为主，大型钢轨探伤车检测为辅的作业模式。

小编再问：有没有一种兼顾大型钢轨探伤车和手推小车优点的检测工具呢？

6. 双轨自行式探伤小车

什么是双轨自行式探伤小车呢？它是同时检测两股钢轨且自带动力驱动的超声波探伤仪。

为何要研发双轨自行式探伤小车呢？双轨小车和传统的手推式探伤仪相比具有以下优势：① 双轨小车检查速度快（平均检测速度为 15 km/h）、效率高，充分利用天窗时间，安全能得到保障，大大节约了人力，减轻了探伤人员的劳动强度。② 双轨小车的动力系统机械运行可靠，操作方便，拆装简便，连续作业里程长。③ 双轨小车的整体稳定性和重复性优于手推式探伤仪，消除了手推探伤仪在手推过程中人为因素的影响。④ 双轨小车采用跟大型探伤车相似的轮式探头的结构，轮式探头外膜与钢轨面进行软接触，避免了钢轨面存在的高低、低塌等硬接触耦合不好的情况对检测的影响，使探头耦合情况得到较大提升，同时每个探轮内置 9 个通道，从不同方向和角度进行检测，有利于对伤损的检测，伤损检出率高。⑤ 双轨小车整车采用模块化设计，组装和拆分简单快捷，方便快速上下线路。

双轨小车和大型探伤车相比具有以下优势：① 双轨小车使用更加机动灵活，不需要调度，只要有天窗点就能上道检测。② 双轨小车检测更加精细。该探伤仪每 2.67 mm 发射一个脉冲，而大型探伤车每 4 mm 发射一个脉冲。③ 双轨式钢轨超声波探伤仪能检测轨底裂纹，而大型探伤车不检测轨底裂纹。④ 性价比高于大型钢轨探伤车。双轨式钢轨超声波探伤仪的造价远远低于大型探伤车，在售后服务方面，设备一旦出现故障，国外探伤车的维修不但价格昂贵，而且人员到达现场的时间缓慢。国内的售后服务响应快，备件价格低。⑤ 可以实时判伤，双轨式钢轨超声波探伤仪在作业过程中，发现伤损可立即倒车复核，现场判伤。而大型探伤车只能通过回放发现伤损，再由探伤工作人员利用手推式仪器进行二次复核，浪费人力物力。

双轨自行式探伤小车的研发历程。

1970 年，上海工务段探伤组为提高探伤进度与工厂机械师共同开发了双机双轨同时检测的自行式探伤小车。该车由 2 台 JGT-1 型仪器配上 7 kW 汽油发动机组合而成，各探头合理布置在车体两侧。探伤时 1 人驾驶慢速前进，2 人执机细看波形，另配瞭望员 2 名，加水人员 1 名，来车时几人合力抬车下道，但因行车密度大，抬车强度大，行车受干扰等因素的影响未能使用，这可以说是我国最早的双轨探伤小车了（见图 1.2.22）。

2006年，美国 Sperry 公司的 Hocking 申请了双轨小车（见图 1.2.23）的专利技术，能够实现双轨探测和 B 型显示，但需要依靠人工推行。

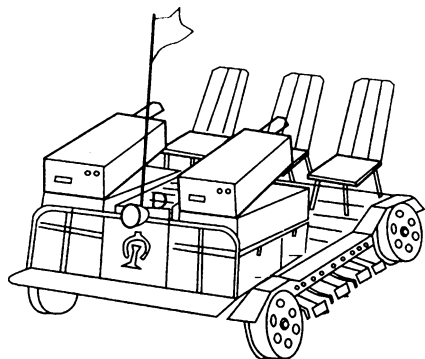


图 1.2.22 早期的双轨探伤小车



图 1.2.23 美国的双轨探伤小车

2013年，上海铁路局科学技术研究所、上海铁路局工务处、杭州工务段、合肥超科电子有限公司、中国船舶重工集团公司第七〇二研究所上海分部等单位联合攻克超声波探头设计、信号采集和显示、超声波检测设备载体安装、探伤小车及动力系统和探伤伺服机构研制等关键技术，成功研发出“双轨自行式 B 扫描钢轨探伤小车”（见图 1.2.24）。该小车通过物联网技术以及云服务，实现了探伤数据智能判别、自动上传等功能，融合了“互联网+”的设计理念。这辆探伤小车荣获“第二十八届上海市优秀发明选拔赛优秀发明金奖”，上海铁路局科学技术“一等奖”，铁道部科学技术“二等奖”，上海市科学技术“三等奖”，2014年获得国家授权专利证书。

2015年，中国中车旗下戚墅堰所研制的首台钢轨探伤小车 UT-M18（见图 1.2.25）在上海国际轨道交通展上亮相，该车为自行式电驱动地铁钢轨探伤车，车辆配备以色列 ScanMaster 公司的探伤系统，小车的走行速度能达到 15 km/h，一次能连续完成 50 km 的钢轨探伤，同时采用模块化设计，2~3 人即可迅速完成拆卸和组装，保证突发情况下的迅速上下道。



图 1.2.24 上海铁路局等联合研制的双轨小车



图 1.2.25 中国中车 UT-M18 型探伤小车

2016年，由铁科院金化所、铁科院基础所、西安铁路局工务处在西安铁路局兴平标定线进行了合肥超科电子生产的 RT18-D 型双轨式钢轨超声波探伤小车（见图 1.2.26）检测试验，共检测 38 根钢轨，伤损总数 427 个，共检出伤损 374 处，误报 0 处，检出率 90.8%，误报率

为 0%，目前该设备在济南局、太原局、沈阳局等集团有限公司试用，效果良好。

2017 年，中船重工集团公司第七〇二研究所下属的上海市东方海事工程技术有限公司生产、上海铁路局科研所监制的 RUD-15 型双轨小车（见图 1.2.27）投产，已通过铁科院金化所组织的型式检验，在南宁工务段、怀化工务段、中卫工务段、嘉峪关工务段、武汉高铁工务段等地广泛试用，伤损检出率均在 90%以上。

目前，合肥超科的 RT18-D 型和东方海事 RUD-15 型探伤小车均通过了中国铁路总公司运输局组织的专家评审，专家一致认为该小车适合“天窗点”内作业，达到现场检测要求，允许其上道试用。

随后，广东汕头超声电子股份有限公司超声仪器分公司研制出第二代双轨式钢轨超声波电动探伤车 EGT-60 型（见图 1.2.28），合肥德泰科通测控技术有限公司研制出双轨小车 RMUD-18F 型（见图 1.2.29）（双轨小车检测法在本书项目十一中重点介绍）。



图 1.2.26 合肥超科 RT18-D 型



图 1.2.27 中船重工 RUD-15 型



图 1.2.28 汕头超声 EGT-60 型



图 1.2.29 德泰科通 RMUD-18F 型

信息反馈：通过走访，现场专家也对双轨小车提出了很多改进意见：① 后排须满足 3 人乘坐，方便添乘。② 检测及回放软件应进一步升级，须实现伤损自动识别。③ 在车体两侧加装高速摄像头，不但可以监控作业质量，还可以检测到钢轨表面的状态。④ 速度快，不便于观察焊缝、导线孔等构造，标记不及时，对数据回放造成一定影响。⑤ 希望加装雨棚，防止临时下雨对探伤设备造成影响。

7. 焊缝探伤设备

早期线路主要采用标准长度为 12.5 m 和 25 m 的钢轨，两相邻钢轨通过夹板连接（见图 1.2.30），连接时中间预留有几毫米到十几毫米的缝隙（俗称轨缝）以解决钢轨的热胀冷缩问题。因此，车轮通过钢轨缝隙时发出的“咔嚓、咔嚓”声，轮轨之间的振动力与冲击力容易对列车和钢轨造成损伤，旅客也会感觉到颠簸。随着焊接和超长无缝线路技术的发展，在工厂或线路上通过焊接技术将相邻标准长度的钢轨焊接起来形成焊接接头（见图 1.2.31）简称焊缝。列车行驶在没有间隙的钢轨顶面上，速度和平顺度可以得到大大提高，旅客也感觉到更舒适。由于焊缝在焊接时的不确定性，容易产生一些焊接缺陷，这些焊接缺陷会发展形成较大伤损，导致钢轨折断。据统计近年来断轨（见图 1.3.32）数据 70% 左右集中在焊缝处。手推小车、大型钢轨探伤车和双轨小车由于探头均布置在轨头顶面，仅能检测到焊缝轨头、轨腰及其延伸部位，无法检测到焊缝轨底脚两侧区域，从而形成探测盲区，而这一盲区（见图 1.2.33）更是焊缝伤损密集区。



图 1.2.30 夹板接头



图 1.2.31 焊接接头



图 1.2.32 焊缝处断轨

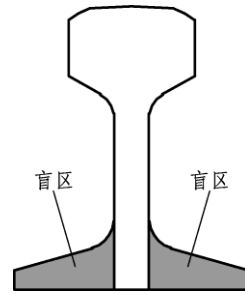


图 1.2.33 探测盲区

1964 年，汕头市无线电厂与铁道部铁科院合作成功研制出 CTS-4 型钢轨超声波探伤仪（见图 1.2.34），并顺利通过技术鉴定。这种仪器为单箱体，配以探头线、探头，在钢轨轨头、轨腰、轨底按照工艺扫查，可检出焊缝全断面范围内的缺陷。该仪器除了用于检测钢轨焊缝，还可以检查航空航天飞机、石油管道、压力容器等焊缝，所以也叫通用探伤仪。

1967 年，汕头市无线电厂与铁道部铁科院合作研制成功 CTS-8 型钢轨超声波探伤仪，为我国第一台晶体管探伤仪，用于成昆铁路焊缝探伤，并顺利通过技术鉴定。

1981 年，汕头成功研制了 CTS-22 型超声波探伤仪（见图 1.2.35）、超声探头用偏铌酸铅压电陶瓷材料、SR76/77 型二线示波器，这款仪器由于在现场焊缝探伤和伤损校核方面表现突出，被各铁路局使用，同时也被各高校的相关专业、行业培训班、取证班写入教材，作为实验、考试仪器采用，更是被行业的各级“标委会”作为测试仪器写入到国家标准、部标准、行业标准和企业标准里面。



图 1.2.34 通用探伤仪 CTS-4 型



图 1.2.35 通用探伤仪 CTS-22 型

1988 年，中国科学院武汉物理数学研究所下属的武汉科声技术公司（后为武汉中科创新技术有限公司）研制出我国第一台数字超声波探伤仪 KS-1000 型。从它的电路构成来看（见图 1.2.36 和图 1.2.37），数字式仪器发射电路与模拟式仪器是相同的，接收放大电路的前半部分，包括衰减器和高频放大器等，与模拟式仪器也是相同的。但信号经放大到一定程度后，则由模数（AD）转换器将模拟信号变为数字信号，由微处理器进行处理后，在

显示器上显示出来。数字探伤仪与模拟探伤仪和半数字探伤仪相比，具有探伤数据的采集、运算和存储功能，可实现探伤过程中缺陷自动判定和读出，缺陷位置的显示以及探伤过程和结果的存储、回放等后续处理功能。

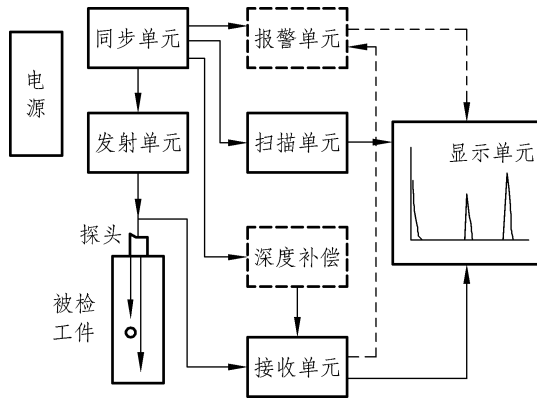


图 1.2.36 模拟仪电路框图

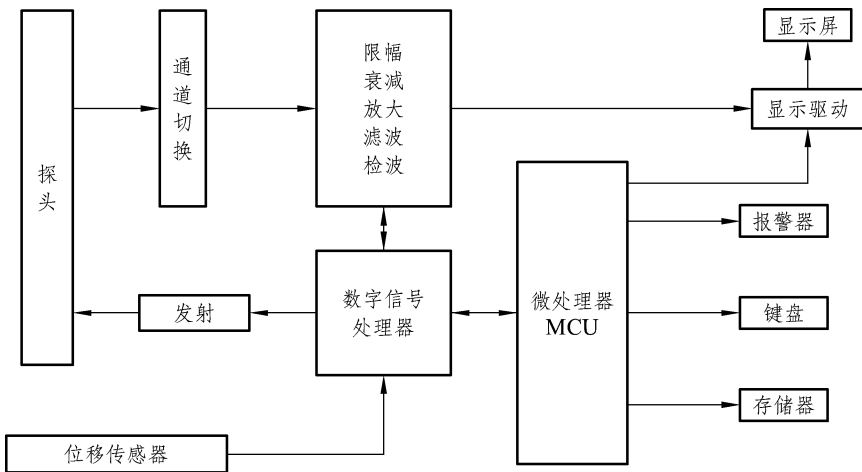


图 1.2.37 数字仪电路框图

虽然这款仪器在钢轨探伤领域应用不多，但是它填补了国产数字超声波探伤仪的空白，为促进钢轨焊缝探伤技术发展与创新做出了巨大贡献。随后铁路市场上涌现大量的数字式超声波探伤仪，汕头超声先后研制成功了便携式数字超声探伤仪 CTS-9002 型（见图 1.2.38，1999 年）、CTS-9003 型（见图 1.2.39，2005 年）、CTS-1008 型（见图 1.2.40，2008 年）、CTS-1010 型（见图 1.2.41，2012 年）。



图 1.2.38 CTS-9002 型



图 1.2.39 CTS-9003 型



图 1.2.40 CTS-1008 型



图 1.2.41 CTS-1010 型

新型焊缝探伤设备——超声波相控阵探伤仪（见图 1.2.42），也是未来超声波探伤仪的发展方向。相控阵超声无损检测起初主要应用于医疗、核工业、航空工业以及管道检测等领域，近年来开始应用于铁路工务焊缝探伤。其基本思路来源于雷达天线电磁波线控制技术，通过控制各个独立的阵元（即普通探头的晶片），按照不同延时规则激发所有或者部分晶片，使得各个晶片所发射的超声波波束叠加形成不同的波阵面[平行扫描、扇形扫描（见图 1.2.43）、深度聚焦]，在接收端也可以按照相应的延时规则，控制各个阵元延时接收信号，并进行信号叠加合成的处理，形成超声图像（见图 1.2.44）。与传统超声检测技术相比，相控阵超声技术采用电子方法控制声束聚焦和扫描，可以在不移动或少移动探头的情况下进行快捷扫查，可以有更小的探头尺寸和多通道性，提高了检测缺陷的信噪比和缺陷检出率，具有更加多样的检测方法和更高的检测可信度。2017 年，汕头超声自主研发出国内第一台相控阵 3D 实时超声成像系统 CTS-PA22T，依靠运行在监控主机上的软件通过网络接口向 CTS-PA22T 发送指令，并接收 CTS-PA22T 回传的数据。CTS-PA22T 系统采用 3D 成像方式，图形可旋转观察，缺陷识别简单，检测速度快，检测结果可靠、伤损容易观察。目前部分铁路局集团有限公司已经开始使用相控阵仪器检测钢轨焊缝，正在完善相应的工艺和标准（该方法在本书项目七中重点介绍）。



图 1.2.42 相控阵探伤仪

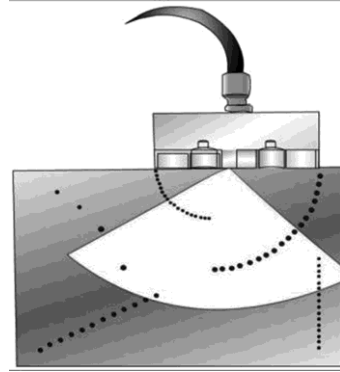


图 1.2.43 扇形扫描

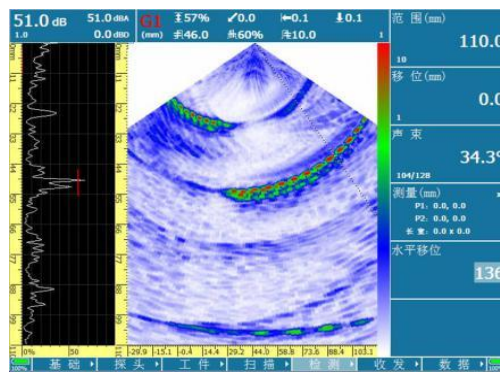


图 1.2.44 超声成像

新型焊缝探伤设备——TOFD 检测仪（见图 1.2.45）。TOFD 方法是采集超声波在缺陷端点产生的衍射和散射的信号来进行处理和判断的超声波探伤方法，称作衍射时差法，A 扫波包含直通波、底波、伤损上端点波、伤损下端点波，所呈现 D 扫图像（见图 1.2.46）中采用了不同灰度等级来表示信号的幅度，伤损便于观察。TOFD 是 20 世纪 70 年代由英国国家无损检测中心的 Mauric Silk 博士首先提出，后经 Silk 博士和他的合作者大约 10 年的研究创造出的一种基于衍射信号实施检测的技术，能够探测和确定缺陷尺寸的一整套检测方法。20 世纪 90 年代，TOFD 技术在国外被广泛应用于核工业、电力、承压设备、铁路、桥梁等工程。21 世纪初，该技术在中国国内逐步得到应用。2012 年，汕头超声自主研发的多通道 TOFD 检测仪器 CTS-2009 投产。不过受限于钢轨截面的不规则形状，该技术应用在焊缝探伤领域虽已经取得初步的成效，但还在不断摸索中。

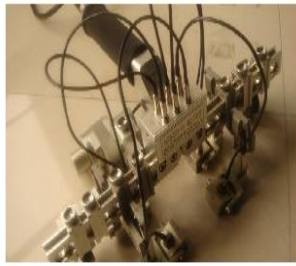


图 1.2.45 TOFD 检测仪

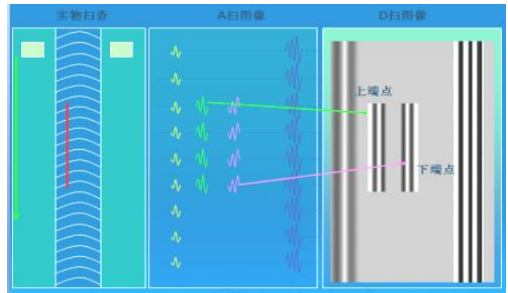


图 1.2.46 TOFD 成像

专用焊缝探伤设备——焊缝探伤仪 HT-10（见图 1.2.47），该仪器由邢台先锋超声电子有限公司生产。HT-10 型焊缝探伤仪是钢轨焊缝超声探伤专用的便携式全数字化仪器，能有效地检验出焊缝轨头、轨腰、轨底的各种缺陷，基本上扫除了焊缝的检测盲区；高效的数据处理可以免除现场的人工计算，消除人工读数、计算的误差；强大的管理模式，可以记录缺陷的动态回波，也可通过 U 盘与计算机通信，生成探伤报告和存档。该设备在部分铁路局集团有限公司使用，反响不错（该方法在本书项目六中重点介绍）。



图 1.2.47 专用焊缝探伤仪 HT-10

自动化焊缝探伤设备。针对钢轨焊缝超声探伤焊筋波干扰大、缺陷信号不易识别、易误判和漏检、检测效率低等问题，中国铁道科学研究院联合南通友联研制了 GHT-2 B 型钢轨焊缝探伤系统。该系统包括全断面显示超声探伤仪（见图 1.2.48）及专用探头扫查装置（见图 1.2.49）两部分，采用 6 只不同角度的探头，组合成 3 种双探头扫查、3 种单探头扫查等 6 种不同的扫查方式，一次自动扫查即可同时完成体积状缺陷和平面状缺陷检测，并实时显示整个焊缝横断面投影、俯视投影、侧视投影三个方向的彩色 B 型图像显示（见图 1.2.50）。全断面多维成像显示可以实现不同角度探头和不同扫查方式的相关信息对比和验证，易于区分缺陷波和干扰波，防止误判和漏检，提高扫查效率和探伤可靠性。该扫查装置研制成功后先后在原北京铁路局、中铁 12 局在京津城际高速铁路、红海焊轨厂、小李庄焊轨厂、包头焊轨厂试用。



图 1.2.48 自动化焊缝探伤设备



图 1.2.49 配备的扫查架

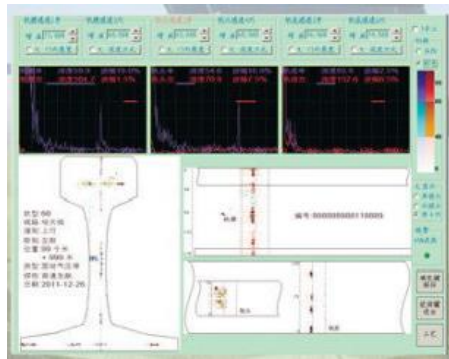


图 1.2.50 超声成像

温馨提示：焊缝探伤设备不断被推出，设备也越来越先进，无论是手推小车、大型钢轨探伤车、双轨小车，还是通用探伤仪等都利用的是压电超声波探伤原理，在探测钢轨时都受到轨面状态的影响，虽然有磁粉、渗透、涡流等工艺辅助，但是效果也不尽理想。

三、钢轨探伤技术未来展望

电磁超声技术：这是一种利用电磁的方法在导体中激励和检测超声波的技术。把通有交变电流的线圈放在导体表面附近，在交变磁场的作用下导体中将感生出涡电流，如果在同一时间施加一稳定磁场，则构成涡流回路的质点将受到洛伦兹力的作用。介质质点在交变洛伦兹力的作用下产生往复振动，当振动以一定方式传播出去就可产生超声波（表面波、纵波和横波）。与压电式超声相比，电磁超声换能器与被测物体不直接接触、无需耦合剂、检测速度快、重复性好，可以在高温和较低温度环境下实现自动化检测，还可以方便地产生多种类型的超声波。但这种方法超声转换效率低，接收到的超声波信号幅值小，采用永久磁铁换能器在检测铁磁性材料的构件时还会引入巴克豪森噪声，使

接收信号常被湮没在噪声中，故需采用先进的信号处理技术，目前中国铁道科学院研究院正在做相关项目的测试。

激光超声技术：激光超声就是利用高能激光脉冲与物质表面的瞬时热作用，通过热弹效应（少数情况是热蚀效应）在固体表面产生应变和应力场，使粒子产生波动，进而在物体内部产生超声波，可同时产生纵波、横波及表面波，因此不仅可以用来检测内部缺陷，还可用于检测表面缺陷。与传统的压电超声技术相比，激光超声技术具有非接触、无需耦合剂等优点，降低了对被测轨面粗糙度和清洁度的要求，而且激光器安装位置可距离轨道较远，如果采用光纤来传输激光，将进一步方便安装，为建立道旁监测系统创造了有利条件。目前激光超声技术还存在光-声能量转换效率低、超声信号微弱、检测设备造价较高等问题。丹麦研制的基于激光超声技术的轨道检测车辆通过对含有人造缺陷的试验样轨进行探测，能实现分布于轨头、轨腰和轨底的多种类型的钢轨缺陷的有效检测。目前，国内很多单位也开展了有关激光超声技术及其应用的研究工作，但大多还停留在试验室研究阶段，还没有成熟的产品推出。

超声导波技术：三维无限均匀固体中自由传播的波称为体波，体波分为纵波和横波。当体波在波导中传播时，将在上下边界内不断地反射，而沿着波导的方向传播，这就形成了超声导波。由于超声导波能在钢轨表面不连续性缺陷下面传播，把表面剥离层产生的对分布于其下面的横向裂纹的屏蔽效应降低到最小，从而能对轨头的横向裂纹、垂直开裂型裂纹和复合型缺陷进行有效检测。超声导波的频率相对较低，波长长几百毫米，能在铝热焊缝区域绕射前行，沿着钢轨传播几十到几百米，适合对钢轨长度方向分布的缺陷进行检测，所以探头无需对钢轨进行常规超声的逐点式扫查，效率非常高。目前该技术主要应用于管道探测领域，钢轨探测还处于研发状态。

声发射技术：声发射，也称应力波发射。与普通超声波检测方法不同，其特点是从外部施加载荷，使固体材料中局域源能量快速释放而产生瞬态弹性波，利用所接收到的声信号研究材料的内部缺陷，借以评价材料的完整性和特性。声发射技术具有早期发现故障、非接触测量等特点，特别适合于在线监测和诊断的应用。可以在轨道上安装监测轮轨噪声及振动的装置，通过分析噪声及振动来分析钢轨是否有断裂、磨损及其他伤损。

【二维码视频】



1965年，首台钢轨探伤仪



钢轨探伤发展简史



双轨自行式小车——中船重工

【本节附加说明】

1. 本节主要由湖南高速铁路职业技术学院马占生和曹毅负责编写。

2. 感谢广东汕头超声电子股份有限公司超声仪器分公司陈荣昭、付汝龙，上海市东方海事工程技术有限公司何晓丹，合肥超声电子有限公司聂晓琼等提供宝贵资料和对本节内容的指导。

3. 感谢北京局工务检测所李立波，广州局广州工务段郑双朝，济南局济南工务段张铁义，沈阳局吉林工务段王元海，广州局惠州工务段郑力尉对本节内容的指导。

4. 部分文字和内容来自网络新闻报道。

