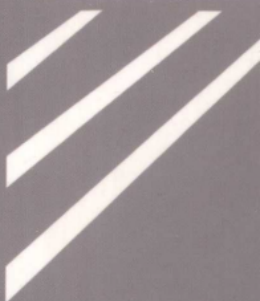


吴鸿钧 高林奎 主编

国外钢轨 波磨检测



中国科学技术出版社

ISBN 7-5046-2597-3



9 787504 625977 >

ISBN 7-5046-2597-3

TB·34 定价:20.00 元

国外钢轨波磨检测

吴鸿钧 高林奎 主编

中国科学技术出版社

• 北 京 •

2888271
图书在版编目(CIP)数据

国外钢轨波磨检测/吴鸿钧,高林奎主编. —北京:中国科学技术出版社,1999. 2

ISBN 7-5046-2597-3

I. 国… II. ①吴… ②高… III. 钢轨-磨损-检测 IV. U216.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 40452 号

中国科学技术出版社出版

北京海淀区白石桥路 32 号 邮政编码:100081

电话:62179148 62173865

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市燕山印刷厂印刷

*

开本:850 毫米×1 168 毫米 1/32 印张:5 字数:144 千字

1999 年 4 月第 1 版 1999 年 4 月第 1 次印刷

印数:1—1 500 册 定价:20.00 元

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

内 容 提 要

铁路存在钢轨的波磨。波磨会导致钢轨寿命缩短,机车车辆维修费用增加。本书介绍了国外利用检测车检测钢轨波磨的原理和方法,为我国研制钢轨波磨检测装置及加强轨道短波不平顺管理提供了宝贵的参考资料。

编 者 王 建 伟
主 审 王 建 伟
参 审 王 建 伟
参 审 王 建 伟
参 审 王 建 伟

主编 吴鸿钧 高林奎 容 内
编译 高林奎 王 爱 刘伶萍 熊 斌
杜鹤亭 郝珍珠 陈联彬

责任编辑 贾凤坡
封面设计 赵一东
正文设计 陈 娜
责任校对 王勤杰
责任印制 王 沛

前 言

铁路存在钢轨的波磨。波磨是钢轨投入使用后,在其顶面产生的有规律的凹凸不平。曲线上有波磨,直线上也存在波磨。按其波长特征可分短波(也称波纹),波长约 10~100 mm;中波(也称短波),波长约 100~600 mm;长波,波长约为 1 000~2 000 mm。各国对波长的划分有些差异,但大多在上述波长范围以内。

波磨的理论研究和减轻波磨发展的措施研究已有很长的历史,鉴于问题的复杂性,至今尚无完全一致的认识和有效的防止措施。

波磨的存在使轮轨间的动力作用复杂化。波磨将导致钢轨寿命缩短,轨枕和扣件寿命缩短,轨道维修周期缩短,机车燃料消耗量增加,机车车辆维修费增加,货车寿命缩短,装车货物损坏,转向架部件磨损加速,噪声和振动增加。根据斯皮诺公司(SPENO)的技术报告,车轮作用于钢轨荷载的加倍将使钢轨使用寿命缩短一半以上。为延长钢轨使用寿命,必须对钢轨进行修理。采用打磨的方法对钢轨进行修理,已成为有效之措施,实践中取得明显的经济效益。

为了准确检测波磨的幅值,从而正确地确定打磨时间和打磨深度,各国都在研制不同的波磨检测装置,特别是利用检测车,快速、实时、准确检测波磨,是生产的急需,也是波磨检测技术的发展方向。

我国的波磨分布非常广,由此而造成的损失很大。据西南交通大学的调查,石太、丰沙、京包线波磨严重时,钢轨使用寿命仅 1.5 年。京包线使用 8 K 型电力机车后钢轨波磨加剧,1989 年因波磨换轨 404 根,占总伤损轨的 75.4%。目前我国已开始采用打磨列车对波磨轨进行打磨修理,取得十分可观的经济效益。

本书是在广泛调研国外采用检测车对波磨进行检测的基础上编写的,目的是介绍国外利用检测车检测波磨的原理和方法,为研制我国的波磨检测装置及加强轨道短波不平顺管理提供参考。

目 录

前言

一、钢轨顶面凹凸不平的检测	(1)
二、钢轨波浪磨耗检测	(94)
三、ENSCO 公司波浪磨耗测量系统简介	(100)
四、利用 BMS-2 系统检测钢轨顶面凹凸不平顺	(116)
五、钢轨顶面凹凸不平及其测量方法	(124)
六、论钢轨波形磨耗	(136)
七、波浪形不平顺的测量	(141)
后记	(149)

一、钢轨顶面凹凸不平的检测

1. 绪言

铁路中的轨道是在保证走行中的车辆安全之同时,为更好地保持舒适度和引导车辆并给车辆提供平滑走行道路的一种结构物。在新干线高速走行中,波长在数米至数十米的一定形状的不平顺(称之为轨道不平顺),明显地影响舒适度,因此对长波长轨道不平顺的管理正在向深度进展。与此同时,通过试验及理论分析明确了波长1cm左右至2~3m的轨头顶面的凹凸不平也会影响轮重变化和产生噪声。这种短波长的钢轨轨头顶面凹凸不平(以下简称钢轨不平),以及钢轨焊接部位等部分的不平整,在钢轨从制造开始及其后的磨耗中,始终随机地、不规则地存在于钢轨全长。

为了新干线的高速化,从走行安全、车辆及轨道的材料和保护环境的角度来进行这类短波长凹凸管理是很重要的。

为管理这种短波长的钢轨凹凸,必须进行下述3个项目的开发。

(1)有效地测量钢轨不平;

(2)需注意重点部位的摘出评价法;

(3)有效地校正钢轨不平。

目前使用电气化铁路轨道综合试验车进行的10m弦的正弦法测定中,受其检测特性限制,不能正确地测量短波长的钢轨凹凸不平的形状。所以现状是测量(1)的钢轨不平形状时,只能依靠自动记录式或刻度式的轨头顶面测定器进行人工检测。

在解决项目(2),即需注意的重点部位的摘出和评价问题时,钢轨不平形状与轮重变化之间的理论关系已经很明确。因此以钢轨凹凸来评价需注意的轮重变化部位也是可能的,但是要达此目的与形状测定相关的评价尚未进行。所以在进行提速试验时,测定作为判

断标准的轮重加横压条件下的轴箱加速度,据此来标明需注意部位。此种方法存在着由于轮重、横压的测定比较复杂,不适合于常规检测,并且存在车辆本身的差别以及如何消除速度影响的问题。

关于项目(3),尽管要求在钢轨焊接部位进行打磨,一部分进行矫正,开发了数控钢轨打磨机等。一般区间要求使用斯皮诺公司(Speno)的钢轨打磨机进行钢轨打磨,但仍然需要用以判断打磨形状是否适当的方法。

为改善上述现状,开发了以下两种用以测量和评价项目(1)、(2)的装置。

①使用高速走行的轨道试验车,将轴箱加速度的高频区域信号二次积分,求出短波长的钢轨不平,再经过评价滤波器,从波形发现需注意部位。

②低速牵引测定钢轨凹凸形状,用评价滤波器评价其对轮重变化及噪声的影响程度。

①项装置受高速走行时钢轨变形、轮重变化的影响。为了测定钢轨凹凸的准确形状而必须作模型解析。虽然其适用范围受限制,但是能够高速测量。为了解整体情况,在常规检测中通过使用车载的评价滤波器,用波形判断指出大的需注意部位。以此为目的,决定作为高速轨道检测装置(HISTIM)^①的一部分,进行研究开发。

②项方法以替代现场的人工检测、准确高效地测定和评价钢轨凹凸形状为目的,是作为轨头顶面凹凸连续测定装置加以开发的。

本报告对②项之轨头顶面凹凸连续测定装置的开发进行介绍,同时提出实用化建议。

轨头顶面凹凸连续测量装置的开发工作在1979年就已经开始,首先是作为基础研究而进行检测部分和信号处理部分基本特性的试验并提出存在的问题。最后,搞清了检测部分的结构及支撑走行机构存在的问题。因而于1981年研究了检测台车的结构问题,1982年以检测部分与检测台车为中心进行了试制。

① HISTIM 是 High Speed Track Inspection Machine 的缩略语,是用以管理210 km/h高速铁路为目的而开发的装置。

试制的检测装置设计成能够进行数种检测方式和走行机构的不同的组合试验。试验装置于 1983 年在铁道技术研究所、日野土木实验所、东北新干线等处进行了走行试验,作了各种方式的比较和实用化可能性的验证。其结果取得了选择方式和实用化的大致数值,提出了与实用化有关的具体方案。

2. 测试对象

首先对作为测试对象的钢轨凹凸的形状、性质,以及从轮重变化、噪声发生等方面考虑的凹凸形状评价法,应测波长范围等作一介绍。

钢轨凹凸不平的研究以除钢轨接头外的一切凹凸不平为对象,包括长钢轨的钢轨焊接部位、钢轨的波状磨耗,以及钢轨中间部位从制造开始直至经过走行后轨头顶面通常存在的微小的凹凸等。高速铁路的钢轨,由于没有钢轨接头,所以就以钢轨焊接部位的凹凸不平为对象。图 1-1 是数控式钢轨打磨机测得的钢轨焊接部位凹凸的例子。根据此图可知钢轨不平的波长成分为 2~3 m 时,具有 1 mm 以上的振幅,波长成分为数厘米时,则缩小至 1/10 左右。

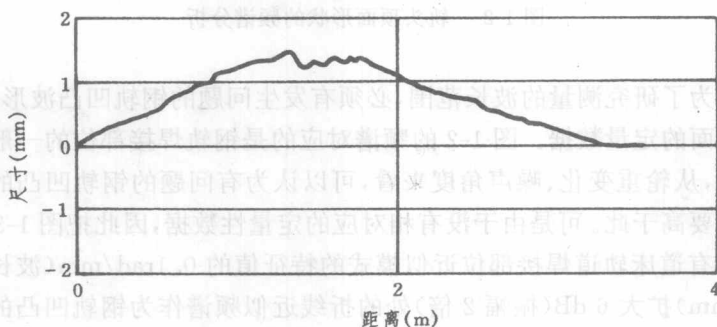


图 1-1 钢轨轨头顶面形状测试图例

在东北新干线小山地区,用跨度 1 m 的测量仪测量钢轨凹凸后,用频谱进行分析取得结果,图 1-2 是钢轨焊接部位的频谱分析例

子,图中的纵轴是以 1mm^2 为标准的分贝显示^①。可知随着波长减短,振幅随之减少,图 1-3 的细线为图 1-2 的频谱分析结果的近似线。

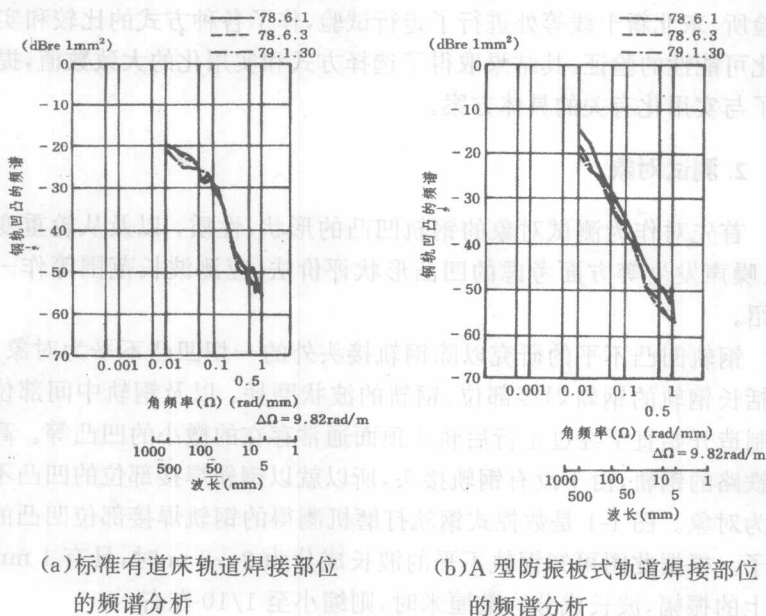


图 1-2 轨头顶面形状的频谱分析

为了研究测量的波长范围,必须有发生问题的钢轨凹凸波形、波长方面的定量数据。图 1-2 的频谱对应的是钢轨焊接部位的一般性凹凸,从轮重变化、噪声角度来看,可以认为有问题的钢轨凹凸的频谱值要高于此。可是由于没有相对应的定量性数据,因此把图 1-3 的标准有道床轨道焊接部位近似模式的特征值的 0.1rad/mm (波长约 63mm) 扩大 6dB (振幅 2 倍) 处的折线近似频谱作为钢轨凹凸的上限频谱模式,用粗线表示于图 1-3 中。此模式可用下式表示。

$$R(\lambda) = \begin{cases} 3.04 \times 10^{-5} \cdot \lambda^{1.4}, & \lambda \geq 62.8 \\ 2.67 \times 10^{-8} \cdot \lambda^{3.1}, & \lambda \leq 62.8 \end{cases} \quad (1.1)$$

① 纵轴为以 dB 表示的能量频谱密度与频带宽度的乘积所定义的量。

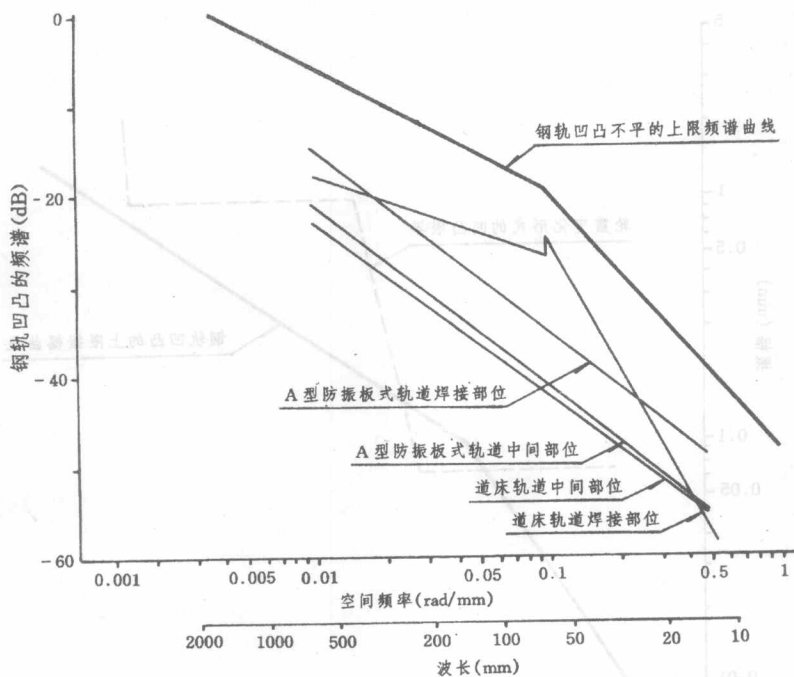


图 1-3 钢轨凹凸的频谱图

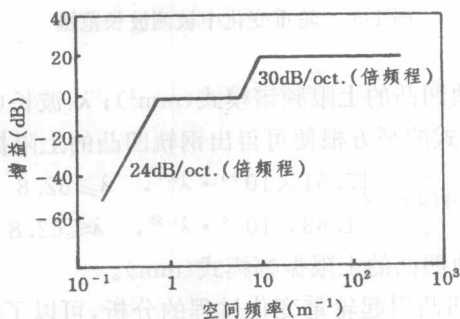


图 1-4 轮重变化评价滤波器的特性

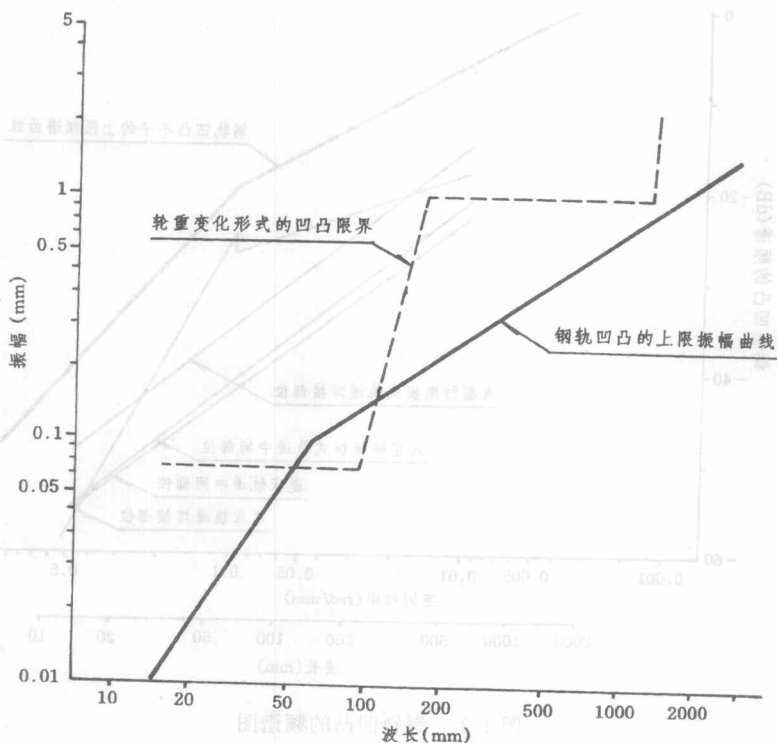


图 1-5 轮重变化中被测波长范围

其中 $R(\lambda)$: 钢轨凹凸的上限频谱模式 (mm^2); λ : 波长 (mm)。

求出 (1.1) 式的平方根便可得出钢轨凹凸的上限振幅模式。

$$A(\lambda) = \begin{cases} 5.51 \times 10^{-3} \cdot \lambda^{0.7}, & \lambda \geq 62.8 \\ 1.63 \times 10^{-4} \cdot \lambda^{1.55}, & \lambda \leq 62.8 \end{cases} \quad (1.2)$$

其中 $A(\lambda)$: 钢轨凹凸的上限振幅模式 (mm)。

通过钢轨凹凸引起轮重变化过程的分析, 可以了解到如果使钢轨凹凸波形通过图 1-4 的空间滤波器, 便可评价其对轮重变化的影响程度, 此评价值被称为 VP 特性值。这种空间滤波器的特性可以根据规定轮重变化以下的钢轨凹凸临界值的响应频率求出。图 1-5 是

这种钢轨凹凸临界值与(1.2)式所表示的钢轨凹凸上限振幅模式。从图中可知如果从轮重变化的观点考虑,钢轨凹凸波形 50~100 mm 附近以及 1 300 mm 附近的波长成分为主要问题。为了抑止轮重变化,需要检测的钢轨凹凸形状应以 20~2 000 mm 波长范围为对象。

根据钢轨凹凸与发生噪声的关系的分析,从钢轨凹凸波形评价噪声发生的空间滤波器见图 1-6^①,该图的滤波器的特性是峰值在空间频率 20 次/m(波长为 50 mm)附近,在略短于轮重变化的波长范围内对噪声有影响,因此,决定在作噪声评价的钢轨凹凸形状检测时,以 10~2 000 mm 波长范围为测量对象。

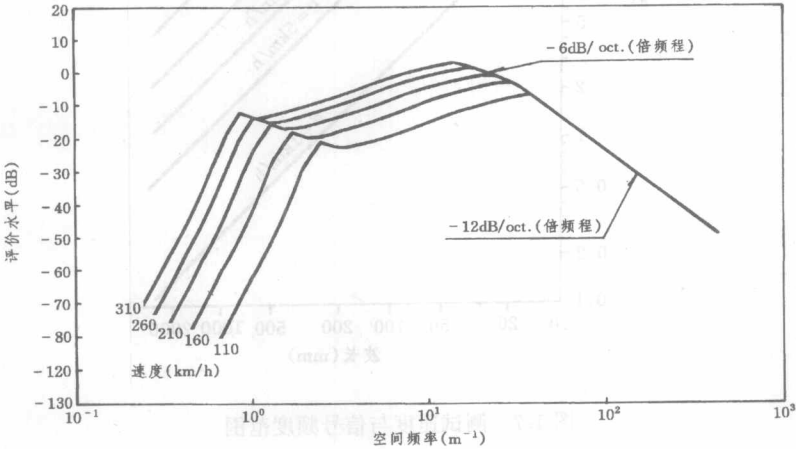


图 1-6 噪声评价滤波器的特性

如将钢轨凹凸的测量波长范围设定为 10~2 000 mm,在走行检测时,不同速度的测试信号的频率将发生图 1-7 的变化。从该图可知,测试速度为 40 km/h 时,测试信号的频率范围为数赫至 1 千赫左右,检测部分和信号处理部分的频率特性必须覆盖这个范围。

① 此图的滤波器的计算结果参照附录 A。

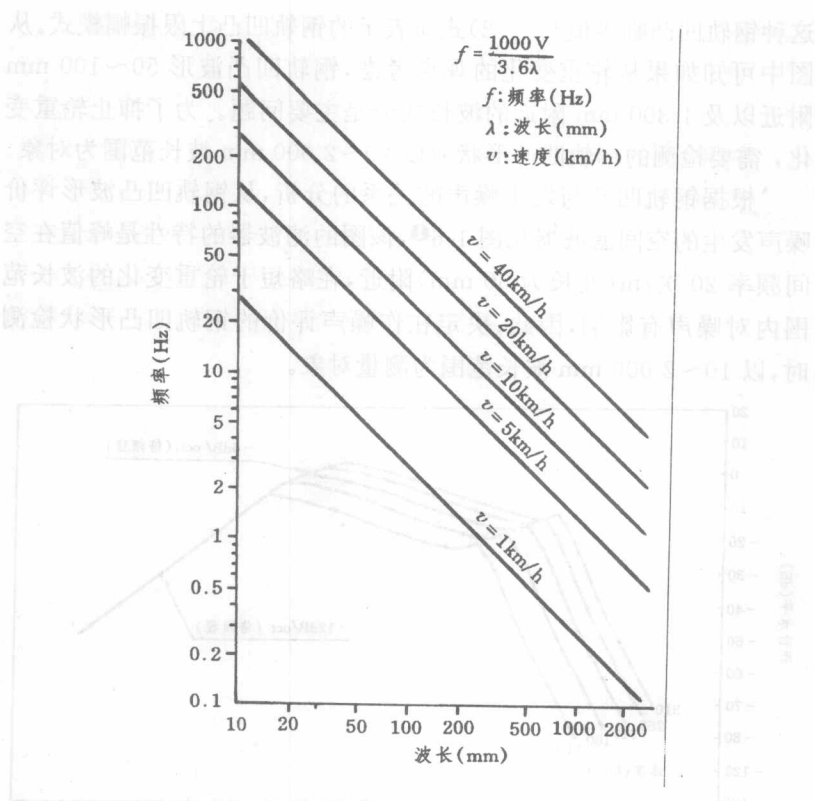


图 1-7 测试速度与信号频率范围

3. 测试装置的研究与试制

3.1 测试方法的研究

目前钢轨凹凸的测量,如第 1 节中提到的那样,依靠使用自动记录式或刻度指针式轨头顶面测试仪等做手工检测,这是将一定间隔的基准框架固定在钢轨头部,顺钢轨延长方向测量在一定间隔中基准框架与轨头顶面之间的间隙。即使是使用数控钢轨打磨机对钢轨打磨前后对钢轨凹凸的自动测量,其原理也与手工检测一样,都是固定设置式。

为高效地进行测试,必须能够在走行中连续测量。

在此介绍的轨头凹凸连续测试装置的开发不同于现场人工检测,而是能够高效、连续、准确地测量钢轨凹凸形状并能够指出和评价应该打磨的部分。因此,可以考虑从基础研究开始,将下列项目作为研究测试方式的条件。

- (1) 能够在走行中检测;
- (2) 不受轮重的影响;
- (3) 不受因走行引起的车辆振动的影响;
- (4) 其重量为可用人工进行准备作业的程度;
- (5) 检测速度以 $30\sim 40\text{ km/h}$ (相当于钢轨探伤车的速度)为大致目标。

根据项目(2)和(3)的要求,考虑排除将检测设备安装在检测车等车辆的车底下的方式,而是采用能在车辆牵引下走行的机构。

作为钢轨检测的方式,研究了接触式和非接触式两种方式。图 1-8 所示为接触式检测原理,图中的加速度计 A 以接触部检测因钢轨凹凸不平而加振的上下振动加速度。因这种加速度是钢轨凹凸位移的二次微分,因此检测信号用电路二次积分,从而得到钢轨凹凸波形,进而再通过图 1-4 和图 1-6 的评价滤波器得到表示钢轨凹凸形状对轮重变化、噪声发生影响程度的评价波形。钢轨与检测头之间的接触可分为滑动和滚动两种接触方式。

图 1-9 所示是非接触方式的测试原理。使用图中的非接触位移计 B 测量钢轨与位移计之间的间隙,这一间隙既包含有钢轨凹凸形状引起的间隙变化,也包含检测台车走行引起的位移计上下振动位移。图中加速度计 A 检测出位移计的振动位移,如将此信号和位移计的间隙变化信号按图中那样加算,再抵销位移计的振动位移,便能得到钢轨凹凸波形。用滤波器处理钢轨凹凸波形得出评价波形方法和接触式一样。

以下将对为实现上述原理而使用的检测器、检测台车等走行机构、积分回路、评价用的空间滤波器等进行探讨。

3.1.1 接触式检测器