

路面 检测技术

盛安连 编著

人民交通出版社

路基路面检测技术

Luji Lumian Jiance Jishu

盛 安 连 编著

人民交通出版社

图书在版编目(CIP)数据

路基路面检测技术/盛安连编著. —北京:人民交通出版社, 1996. 12

ISBN 7-114-02530-0

I. 路… II. 盛… III. ①公路路基-检测②路面-检测 IV. U418.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第20764号

路基路面检测技术

盛安连 编著

责任印制:张 凯

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号)

各地新华书店经销

新世纪印刷厂印刷

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张: 6.875 字数: 156 千

1996 年 12 月 第 1 版

1999 年 2 月 第 1 版 第 3 次印刷

印数: 7501-12000 册 定价: 14.00 元

ISBN 7-114-02530-0

U·01781

前 言

改革开放十多年来,我国公路事业得到了长足发展。截至目前为止,我国公路总里程已接近 120 万 km,其中高等级公路的发展尤为迅速,不但实现了零的突破,而且里程达到了近 1 万 km,改变了我国现有的道路网结构。而公路发展最显著的特点就是网速的提高,由 70 年代末平均时速 36.5km 提高到现在的 50km 左右,最高时速可达到 120km。除此之外路面等级也随之提高,压实度、强度与平整性能等方面的指标均有明显提高。公路事业的不断进步,要求它的质量检测设备也应相应发展,十年前开发的一批路基路面检测仪器很大一部分已较落后,必须在总结以往经验的基础上,尽快引进与开发一批先进的检测设备,以满足公路质量检测,特别是高等级公路(高速、一级与二级公路)快速测定的需要。本书就是在这样的情况下编写的。

《路基路面检测技术》是一本包括道路工程学、光电工程学、工程动力学、机电理论以及统计数学等多种学科的土木技术参考书籍。为做到内容的完整性与新颖性,并在最大程度上反映 90 年代的国内外检测先进水平,作者除吸收以往路基路面检测技术的有关知识外,最大程度地采用了国内外关于路基路面检测的最新成果,使本书的内容更能符合我国生产力水平与公路技术发展的实际,以便得到更好的检测效益。书中的检测设备有引进的,有作者以前研制的,有在作者的新思路下由研究单位开发的,还有作者根据当前我国的实际设计的。

《路基路面检测技术》内容分为绪论;第一章,机械检测技

术;第二章,机电检测技术;第三章,振动检测技术;第四章,雷达检测技术;第五章,超声波检测技术;第六章,射线检测技术;第七章,激光检测技术;第八章,摄像检测技术;第九章,集成检测技术。各章内容深入浅出,在着重叙述原理之外,还对检测方法作了说明,适宜于教学、科研、研制与应用。

全书由盛安连述写,徐作军整理与核对,历时两年。在本书编写过程中,曾得到中国工程院院士、著名道路专家沙庆林的帮助,以及高级工程师张秋申和工程师马毅敏的帮助,在这里,作者一并表示诚挚的感谢。

由于技术水平所限,书中不足之处在所难免,敬请读者谅解与指正。

作 者

1996年8月30日

目 录

绪 论	1
一、编写《路基路面检测技术》的意义	1
二、《路基路面检测技术》的主要内容	3
三、《路基路面检测技术》的主要任务	4
第一章 机械检测技术	6
第一节 概述	6
第二节 机械检测基本原理综述	6
第三节 机械检测的主要仪器	7
第二章 机电检测技术	25
第一节 概述	25
第二节 机电检测基本原理综述	26
第三节 机电检测的主要仪器	27
第三章 振动检测技术	44
第一节 概述	44
第二节 振动检测基本原理综述	44
第三节 振动检测的主要仪器	52
第四章 雷达检测技术	94
第一节 概述	94
第二节 雷达检测基本原理综述	96
第三节 雷达检测的主要仪器	97
第五章 超声波检测技术	121
第一节 概述	121
第二节 超声波检测基本原理综述	124

第三节	超声波检测的主要仪器	130
第六章	射线检测技术	144
第一节	概述	144
第二节	射线检测基本原理综述	145
第三节	射线检测的主要仪器	150
第七章	激光检测技术	164
第一节	概述	164
第二节	激光检测基本原理综述	168
第三节	激光检测的主要仪器	169
第八章	摄像检测技术	193
第一节	概述	193
第二节	摄像检测基本原理综述	195
第三节	摄像检测的主要仪器	200
第九章	集成检测技术	202
第一节	概述	202
第二节	集成检测基本原理综述	207
第三节	集成检测的主要仪器	210
参考文献		213

绪 论

一、编写《路基路面检测技术》的意义

十余年来,我国公路建设取得了长足进步,特别是高等级公路的发展十分迅速,使得路基路面质量控制的程序越来越完善,要求的检测水平越来越高,而一般的检测已不能满足高等级公路检测的需要,例如,现行沥青路面的弯沉测定十分落后,不但检测速度慢,而且人工检测在高速行驶的公路上十分危险,如1995年在西安至铜川一级公路上进行人工检测弯沉时,发生了重大的人身伤亡事故。又如,铺沙法测定沥青路面构造深度,测定速度既慢又不安全,而且检测质量与水平还普遍较低。

目前,为适应高等级公路质量检测的需要,少数省区引进了一些检测设备,但这些检测设备有它们的缺点:①价格昂贵,大致为我国研制生产的10~15倍。②检测的指标体系与我国现行的标准有较大区别,例如,国外自动弯沉仪检测的是总弯沉,而我国规定的是回弹弯沉;路面平整度测定引进国外的是颠簸累积指标,而我国规定的是统计指标均方差 σ 等等。③引进的设备一般为单项式检测,效率较低,而整车式检测的价格又太高,不利普及。因此,发展我国自己的公路检测技术既能克服上述缺点,又能体现我国公路发展的现代化水平,因而,本书的编写对促进我国公路检测技术的现代化具有重要意义。

根据检测技术的职能,具体意义如下:

1. 能促进我国路基路面检测新学科的持续发展

从目前情况看,我国的公路教育单位对于检测技术的讲授,还停留在 80 年代初期到中期的水平上,有的招标文件对国外引进的设备进行了补充,有的没有补充。讲授时就事论事,缺乏深度。本书的内容可以克服上述缺点,其检测方法的完整性、新颖性与先进性方面都具有 90 年代的检测水平。

2. 能促进我国检测设备的研制与开发

目前,特别是“七五”以来,我国对于路基路面检测设备的研制开发力度不够,几乎没有新颖仪器问世,基本上停留在修补的水平上。为适应我国高等级公路的迅速发展,少量引进一些检测设备是应该的,但象我们这样一个大国,靠引进设备来解决问题不是一个方向,还应该立足于自己的研制与开发,即使引进,也需要消化、吸收,使主要检测设备国产化。本书不但方法全面,而且原理清晰,为研制开发提供了理论依据与新的思路。

3. 能帮助读者掌握现行检测仪器的原理,利于使用与检修

在我国现行路基路面检测仪器的使用中,较多人对仪器的检测原理不甚了解,因而,在检测中发生的某些故障就难以排除,影响了检测工作的顺利开展。有的使用者用 3m 直尺计算均方差,并与连续式路面平整度仪所测均方差并用,违反了规范的使用原则,如一定要用,亦需要有校定资料。有的使用者用颠簸累积仪时,降低了规定速度,并将测定结果作为路段的不平整度值,给评价路面的平整性能造成了误差。这些现象主要是由于对该类仪器的检测原理不太了解所致。本书对某些仪器的测试原理予以描述,能帮助读者在使用时不出现差错,也能使读者排除仪器使用中的一般故障,有利于检测工作的正常进行。

二、《路基路面检测技术》的主要内容

(一)按检测的指标分类

1. 路基路面平整性能检测仪

路基路面平整性能检测仪主要包括改革的 3m 直尺,有滚动式、折叠式与数字显示式三类,每一类都有不同的功能特点。它们与古典式 3m 直尺比较,更具有轻便与使用的先进性。如数字式 3m 直尺,具有运算功能,可显示均方差数据,这样,当与标准仪取得对比资料后,就能凭借该仪器评定路面平整度标准误差。还有轻型连续式路面平整度仪、自行式路面平整度测定仪、颠簸累积仪与激光平整度检测仪等。

2. 路基路面弯沉强度测定仪

路基路面弯沉强度测定仪包括机电式全自动弯沉仪、激光弯沉仪与落锤式弯沉仪等几类。这里以激光弯沉仪最为先进,这在国内外还是首次论述,具有国际领先性。其次,还有超声波路面强度检测仪等。

3. 路基路面压实度测定仪

路基路面压实度测定仪包括落锤式压实度测定仪、射线法压实度测定仪。其中,落锤式压实度测定仪不但能测定路基路面的压实度,而且测定是在非破坏情况下进行,特别是不需测定路基含水量,即能得到压实度,这在国际上也具有一定的先进性。

4. 沥青路面损坏检测设备

沥青路面损坏检测设备,主要是国内自行开发的沥青路面损坏分析检测仪。该类仪器能检测沥青路面 10 多种病害,大体包含了公路规范中所需的检测范围,是目前国内最先进的,也是唯一的一种沥青类路面面层损坏检测设备。

5. 其它路基路面检测设备

其它路基路面检测设备包括雷达测厚仪、纵横摩擦系数测定仪、超声波测厚仪、微波土壤含水量测定仪、射线湿度测定仪、激光纹理仪与超声波路面探伤仪等多种检测设备。

(二)按检测原理分类

路基路面检测仪按检测原理可分为如下九类:

①机械型检测;②机电型检测;③振动型检测;④雷达型检测;⑤超声波型检测;⑥射线型检测;⑦激光型检测;⑧摄像型检测;⑨集成型检测技术。

三、《路基路面检测技术》的主要任务

1. 着重介绍检测仪器的工作原理,以利于良好的应用

检测仪器的的工作原理是仪器的使用核心,对于每一种仪器来说,只要原理掌握清晰,在实际使用中,就能操纵自如,得心应手。如一知半解,就会出现差错,甚至发生返工,前述列举的 3m 直尺应用实例,即将 3m 直尺测得的标准差 σ 与连续式路面平整度仪测得的均方差 σ 等同起来,显然是使用者对两种仪器的使用原理不甚了解所致。3m 直尺是间断地测得凹凸数据,连续式仪是连续地采样,不仅两者检测方法不相同,采样数据也极不一样,连续仪每行进 3m,采样为 $300\text{cm}/2.5\text{cm}=120$ 次,而 3m 直尺在 3m 间距中无论如何也达不到那样多的采样次数,过去一般采样次数只有 4~5 次,即两头、1/4、3/4 与 1/2 处,这样,两者得出的标准差完全不可能相等,只有在作出大量对比试验的情况下才能参考应用。如果知道两种仪器的检测原理后,就不会出现上述差错。因此,本书着重阐述各类仪器的检测原理,可引导读者正确地使用仪器,并取得完满的检测效果。

2. 系统地叙述各类检测仪器,为我国自行研制与开发提供新思路

本书提供了九种不同检测方法的仪器,从作者掌握的资料来看,是国内外比较系统与全面的,如果按此开发,可以使我国路基路面质量检测仪器的先进性达到国际水平,有的可以达到领先水平,从而,使我国在路基路面检测仪器方面进入现代化。从作者的经验看,我国公路部门完全有能力自行研制与开发这些仪器与设备。例如,数字化部分,只需要在实行A/D转换的条件下,利用一块单片机就可以实现;光电部分,只需要用一块光电转换器就能实现由光量变成电量;图象与电量的转换,先由图象离解成光量,再由光量转变为电量,也能通过类似的象电转换器实现其转换。因此,在了解了各类仪器的检测方法后,自行研制与开发就有了新的思路。

3. 有重点地介绍高新技术,以利于在路基路面检测领域推进高新技术的发展

在路基路面检测仪器中,应用高新技术具有快速准确的特点,因此,推进高新技术的应用,具有无与伦比的优越性。在本书里,论述用高新技术检测路基路面质量指标的较多,例如,沥青路面损坏分析测定仪、雷达测厚仪、落锤式路基压实度测定仪等等,一是为使用者提供先进的测试手段,二是在了解高新技术特点的基础上,利于推进仪器的开发与应用进程,从而促进我国公路事业的整体进步。关于高新技术检测设备的独特长处,将在以后各有关章节里叙述。

第一章 机械检测技术

第一节 概 述

路基路面机械类检测技术是通过机械或人工动作而获得路基路面质量或计量信息的一种技术手段。这种检测装置虽然比较落后,但因它具有结构简单、容易制作、使用寿命长、故障率低以及价格便宜等优点,因此,在某些特定场合,如短途竣工验收、桥面平整性能测量等,仍有一定的实用价值,而且在较长的时间里,这类技术还会存在。但由于这类技术,或者说这种装置存在自身的缺点,如测量精度低,测量时低头弯腰、劳动强度大,效率低,特别是需要画出某个路基路面的几何图形,难以进行等,因而尚需进行技术革新,使之满足现代路基路面测量的实际需要。编写本书的目的正在于此。

第二节 机械检测基本原理综述

路基路面机械类检测技术的基本原理比较简单,它是将路基路面的几何量(或物理量),通过机械类杠杆或杆系的传动,使与它连接的机械类计数器或者绘图笔(也称划线器)发生动作,从而在计数器里得到数据,或者在绘图纸上得到图形。一般地说,机械类计数器不需要制作,可以由市场上购买;绘图笔可以是钢笔、铅笔,或其它类笔。

第三节 机械检测的主要仪器

一、记数式路面颠簸累积仪

(一) 仪器主要结构与功能

记数式路面颠簸累积仪是测量沥青路面平整度的一种计量设备,也是颠簸累积仪中最简易的一种。它的主要结构如图 1-1 所示。这种结构的安装位置是:传力杆 5 的 C 端顶在汽车的后轴牙包上,另一端 B 穿过汽车车箱地板的小孔,到达记数器调节垫块的 A 端处,并不接触,尚与 8 的端点 A 保持一定距离,使 AB 等于 h 。 h 的间隙可以调整,调整的原则是:应使 B 点与 A 点吻合时,正好能驱动数码键,这样,实际能使数码键发出动作且进 1 的间距,按要求等于 1cm。另外,计数器的外壳应固定在汽车车箱地板上。

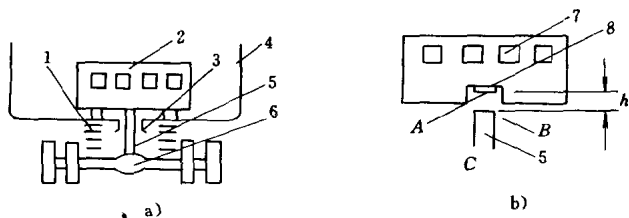


图 1-1 记数机械式颠簸累积仪结构图

1-弹簧;2-记数器;3-小孔;4-车轮板;5-传力杆;6-后牙包;7-显示;8-垫块;A-上端;B-下端; h -间距;C-杆端

(二) 仪器工作基本原理

汽车按规定的速度 v 匀速前进时,由于沥青路面上的凹凸不平状况,引起测量汽车的激振,这种由路面几何量引起的跳动位移量,并非全部由传力杆 5 传给记数器,其中有一部分动能被汽车后轴上的悬挂弹簧所吸收,因而,实际能触发记数

键驱动的动能是被吸收后的剩余能量,是汽车后牙包与车箱地板间的相对变形值 l ,当这一相对变形值 l 大于或等于 h 时(一般为 1cm),调节垫块 8 上的计数器驱动键工作,使数码器进 1,如果传力杆跳动 2cm ,则数码进 2,以此类推,这就完成了由路面上的几何量通过机械传动与计数器记数取得路面信息的全过程。如果在路上有连续凹凸,则可遵此连续记数,记录精度为 1cm 。

(三)仪器设计与使用技术要点

1. 颠簸累积指标的机理

颠簸累积指标的机理是指该类指标的数学—物理概念。颠簸累积指标的基准建立在路面绝对平整、其数值为零的基础上,因此,当颠簸累积指标 VBI 等于零时,说明路面平整如镜,乘客处于汽车行驶最舒适的物理状态。任何 VBI 大于零的情况,都表示路面不平整或者有凹凸状态。指标 VBI 越大,说明离路面绝对平整愈远,路面平整性能愈差,人体乘坐汽车时愈不舒适,反之,愈舒适。路面颠簸累积指标 VBI 为零的情况是一种理论状态,一般情况下,由于路面总有凹凸,甚至是微小的凹凸,因此, VBI 不可能为零而总是大于零。该指标的标准测定路段一般为 1km ,颠簸累积值 VBI 的单位为 cm/km 。

2. 测试速度

颠簸累积指标测定的速度应有严格要求,《公路路基路面现场测试规程(JTJ 059—95)》(以下简称《规程》)中规定为 $30\sim 50\text{km/h}$,一般为 45km/h 。在测定前,需要预留加速度段 $300\sim 500\text{m}$,以便让测定车由零点加速至工作车速。这里可以看出,车速对测定精度产生影响,而且较大。一般来说,车速愈慢, VBI 值愈小;车速愈高, VBI 值愈大。因此,在检测时严格控制车速就成为这一检测体系中的关键因素。颠簸累积仪一

一般在沥青路面养护中应用较为适宜。

3. 颠簸累积值 VBI 值与均方差 σ 及国际指标 IRI 的关系

按《规程》规定:颠簸累积仪指标 VBI 与连续式路面平整度仪所测指标 σ (也称均方差) 的关系可用下式表示:

$$\sigma = a + b \cdot \text{VBI}_v \quad (1-1)$$

式中: σ ——用连续式路面平整度测定仪时的均方差指标 (mm/km);

VBI_v ——在测试速度为 v 下的颠簸累积指标值 (mm/km);

a, b ——系数, 可根据两仪器的对比测试资料, 反算求出, 要求相关系数 $r \geq 0.90$ 。

按《规程》规定:颠簸累积指标 VBI 与国际指数 IRI 的相关关系可用下式表示:

$$\text{IRI} = a + b \cdot \text{VBI}_v \quad (1-2)$$

式中: IRI——国际平整度指数, 用精密水准仪按 1km 标段求出 (m/km);

VBI_v ——同上;

a, b ——在 IRI 指数下的系数, 与上述 a, b 不能通用, 由试验决定, 相关系数 $r \geq 0.90$ 。

4. 安装关键技术

颠簸累积仪的安装关键技术有三个: 第一个是 AB 的间隙, 即传力杆 5 的顶端 B 与调节垫块 8 端点 A 的距离。该距离由调节垫块 8 来调节, 其技术关键是当传力杆向上跳 1cm 时, 计数器正好进 1。如进 1cm 时计数器不进 1, 则说明记数键没有接触到, 则将垫块螺丝往下调一点, 直到符合要求为止。如传力杆未进到 1cm 时, 计数器就已进 1, 则说明间距太小, 这必然使 VBI 值增加, 误差增大。因此, 需将垫块螺丝往

上调,直到合适为止。第二个是车型选择。测定车太旧会使测定结果的准确度降低,因此,最好是新车,或使用总行程 1 万 km 以内的测定车。由于颠簸累积与汽车悬挂系统很有关系,因此,在选择车型上最好与《规程》中一致,国产小面包或中面包均可。当用其它车型时,需作标定换算后才可以使使用。第三个是记数器的选择。记数器是记录路面不平度值的关键部件,因此,对它的质量(包括市售),一定要进行标定。

二、绘图型路面平整度测定仪

(一)仪器主要结构与功能

绘图型路面平整度测定仪是能够画出路基路面不平度几何量的一种计量仪器。整体结构如图 1-2 所示。

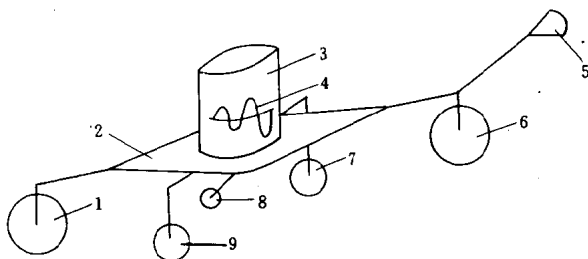


图 1-2 绘图型平整度测定仪图

1-前行走轮;2-行走架;3-绘图仪;4-卷纸滚筒;5-拉把;6-后行走轮;7-右侧轮;8-测轮与传力杆;9-左侧轮

这种仪器是由行走系统、绘图系统以及测轮系统所组成。前后行走轮两轮轮心间距为 3m,轮直径一般为 20~25cm;左右侧轮起支撑作用,轮直径与前后轮相同,两轴心间距约为 1~1.5m,与主架刚性连接;绘图仪一般为圆筒式,直径 8~12cm 均可;卷纸滚筒的旋转速度一般为主机行走速度的 1/5,速度太快,纸不够用,速度太慢,图形展不开,影响测试精度。绘图型路面平整度仪一般由人拖,测试速度为 1~2km/h,适