



水泥混凝土板 超声检测技术研究

SHUINI HUNNINGTUBAN
CHAOSHENG JIANCE JISHU YANJIU

王正君◎著



黑龙江大学出版社
HEILONGJIANG UNIVERSITY PRESS



水泥混凝土板 超声检测技术研究

SHUINI HUNNINGTUBAN
CHAOSHENG JIANCE JISHU YANJIU

王正君◎著

图书在版编目(CIP)数据

水泥混凝土板超声检测技术研究 / 王正君著. -- 哈尔滨 :
黑龙江大学出版社, 2010. 9

ISBN 978 - 7 - 81129 - 324 - 1

I. ①水… II. ①王… III. ①水泥混凝土路面 - 超声
检测 IV. ①U416.216.06

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 175282 号

书 名 水泥混凝土板超声检测技术研究
著作责任者 王正君 著
出 版 人 李小娟
责任编辑 赵丽华
出版发行 黑龙江大学出版社(哈尔滨市学府路 74 号 150080)
网 址 <http://www.hljupress.com>
电子信箱 hljupress@163.com
电 话 (0451)86608666
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司
开 本 880 × 1230 1/32
印 张 7
字 数 156 千
版 次 2010 年 11 月第 1 版 2010 年 11 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978 - 7 - 81129 - 324 - 1
定 价 24.00 元

本书如有印装错误请与本社联系更换。

版权所有 侵权必究

目 录

| | | |
|-----|--------------------------------|----|
| 1 | 绪 论 | 1 |
| 1.1 | 研究背景 | 1 |
| 1.2 | 超声应用在混凝土检测中的研究现状 | 17 |
| 1.3 | 信号处理方法的研究进展 | 23 |
| 1.4 | 问题的提出及分析 | 30 |
| 2 | 多参数水泥混凝土强度推定模型的建立及应用 | 33 |
| 2.1 | 模型参数的引入 | 33 |
| 2.2 | 强度指标的选取 | 34 |
| 2.3 | 超声探头频率选择及声参数 | 35 |
| 2.4 | 多参数模型的建立与应用研究 | 38 |
| 2.5 | C20 水泥混凝土的多参数强度推定模型建立与应用 | 48 |
| 2.6 | C25 水泥混凝土的多参数强度推定模型建立与应用 | 65 |
| 2.7 | C35 水泥混凝土的多参数强度推定模型建立与应用 | 78 |
| 2.8 | C40 水泥混凝土多参数模型的建立与应用 | 89 |

| | | |
|-----|---------------------------------|-----|
| 3 | 多小波提升的超声信号去噪技术的应用 | 101 |
| 3.1 | 原理及变换过程 | 102 |
| 3.2 | 多小波的提升应用研究 | 106 |
| 3.3 | 多小波提升变换的超声信号去噪的效果分析 ... | 117 |
| 4 | 水泥混凝土板反射波起跳点识别方法 | 123 |
| 4.1 | 两阶段分析法 | 124 |
| 4.2 | 基于“两阶段分析法”的超声反射波起跳点 识别 | 128 |
| 5 | 两阶段分析法在水泥混凝土板厚度检测中的应用 | 168 |
| 5.1 | 工程背景 | 169 |
| 5.2 | 数据检测与芯样对比 | 169 |
| | 参考文献 | 188 |
| | 附表 | 206 |
| | 附表 1 C20 试块数据记录表 | 206 |
| | 附表 2 C25 试块数据记录表 | 208 |
| | 附表 3 C35 试块数据记录表 | 210 |
| | 附表 4 C40 试块数据记录表 | 212 |
| | 附表 5 贵遵高速记录表 | 214 |
| | 附表 6 贵遵高速记录表 | 215 |

1 绪 论

1.1 研究背景

随着我国交通基础设施及水电能源建设的快速发展,水泥混凝土路面、公路隧道、铁路隧道及大型的水利枢纽等工程的建设速度逐渐加快,并且建设规模逐渐扩大。然而,以上工程的一个共同特点是水泥混凝土结构具有单一检测表面,使得水泥混凝土板厚度及混凝土强度等指标在施工及运营过程中缺乏有效的检测手段,这与我国大规模的工程建设和较快的经济发展速度是不相适应的。因此,急需一种无损的、有效的检测方法及时监测水泥混凝土板的厚度及混凝土的强度等重要指标。

1.1.1 水泥混凝土路面的快速发展

随着我国高速公路“7918”网的全面建设,“五纵七横”的基本贯通及“村村通”公路建设的全面展开,我国交通运输基础设施建设进入了一个崭新的阶段。虽然目前高速公路、一级公路的路面类型以沥青混凝土为主,但在二级及以下等级公路路面中水泥混凝土还占有相当大的比例。

混凝土因取材广泛、价格低廉、抗压强度高、养护费用低等特点,成为当今世界建筑结构中使用最广泛的建筑材料。水泥混凝土路面作为一种高级路面结构形式,具有使用寿命长、养护工作量小、施工简便、对环境适应性强等优点,并且由于其强度高、稳定性好、耐久性优良、有利于夜间行车等,越来越被人们所广泛使用^[1]。各个国家都在对水泥混凝土路面的修筑技术进行研究和总结,使水泥混凝土路面在技术上日臻完善,并得到较广泛的应用。

欧美国家中最先把水泥混凝土作为筑路材料使用的是英国。1828年在伦敦郊外用水泥混凝土铺筑了道路基层,直到1912年美国威斯康星州和加利福尼亚州才把水泥混凝土用于铺筑标准的面层。1914年第一次世界大战后,水泥混凝土路面得到了广泛的应用,20世纪三四十年代,水泥混凝土路面由于具有强度高、耐久性好、行车性能好等一系列优点,在欧美各国迅速发展。在美国高速公路网中,水泥混凝土路面占49%左右。在欧洲,比利时是使用水泥混凝土路面最多的国家,目前有50%的高速公路是水泥混凝土路面。法国最近每年建成的高速公路约有30%为水泥混凝土路面,连续配筋水泥混凝土路面已被广泛用于高速公路建设。德国是大量使用水泥混凝土路面最早的国家,1960年以前建成的高速公路几乎都是混凝土路面,虽然20世纪60年代和70年代对混凝土高速公路的建设减少,但现在又重新开始关注混凝土路面,近年来修建的高速公路几乎都采用混凝土路面,使用状况良好。此外,20世纪90年代以来,美国和欧洲一些国家提出,对于交通特别繁忙的公路按照长寿命道路的概念设计路面,有的提出按50~60年的寿命设计路

面结构,不少国家构思修建钢筋混凝土特强基层,达到 50 年不维修,必要时 5~8 年更换上面的沥青混合料功能层。可以看出,水泥混凝土路面在可持续发展战略地位中具有独到的优势^[2]。

目前,在一些工业发达国家中水泥混凝土路面的公路比重是:瑞士为 50%,美国为 48.5%,比利时为 40%,法国为 30%,英国为 2%;在具有高级路面的公路中,比利时为 36%,荷兰为 25%,英国为 13.2%,加拿大为 10%;在公路总里程中,美国为 3.5%,并且其在高级、次高级路面公路中,水泥混凝土路面的比重为 6.7%^[3]。

在国外,水泥混凝土路面材料现在正朝着高性能方向发展,承载能力显著增强,但水泥路面所用原材料并不因此而大量增加,其所用材料方面的研究将是继续开发水泥和其他黏结材料,诸如强化纤维和用来修复混凝土的化合物。

中国水泥混凝土路面建设起步较晚。至 1970 年,全国公路水泥混凝土路面的里程仅为 200 km,占高级和次高级路面总里程的 0.9%;至 1980 年,混凝土路面的里程为 1 600 km,约占高级和次高级路面里程的 1.0%。在随后的几年中,水泥混凝土路面里程虽有大幅度增加,在高级和次高级路面中所占的比例也有一定程度的提高,但是混凝土路面在高等级公路路面中所占比例仍然很小。

建国以来,我国公路水泥混凝土路面由于各方面的原因一直发展得很慢。从建国到 1988 年,全国共修筑水泥混凝土路面 8 264 km,平均每年修筑 211 km。经近 3 年的积极推广,到 1991 年底我国水泥混凝土路面的里程达到了 15 234 km;3 年净增

6 970 km,平均每年修建 2 323 km,是前 39 年年平均修建里程数的 11 倍;与 1981 年至 1988 年年平均修建 833 km 相比,每年多修建 1 490 km,其发展速度在国外也是少见的^[4]。按 3 年中净增加的 6 970 km 水泥混凝土路面计,仅养护费用(沥青路面每公里养护费用约 4 000 元,水泥混凝土路面每公里养护费用约 1 000 元)可节约 6 千万元。

由于水泥混凝土路面优点众多,使大家逐步认识到发展水泥路面是提高我国公路路面质量,缓解沥青供应不足的矛盾,增加我国高等级路面铺装里程,改善我国公路技术状况的有效措施,已引起各级交通部门的关注和重视。

交通部提出用几个 5 年计划的时间,重点建设 12 条 20 000 ~ 25 000 km,由高速公路和一级、二级汽车专用公路组成的高效、安全的国道主干线的目标^[5]。

交通部将水泥混凝土路面工程示范和专项技术推广列入“一九八九年至一九九〇年交通重点科技项目执行计划(即通达计划)”,于 1989 年组织成立了“交通部水泥混凝土路面推广小组”,具体负责水泥混凝土路面的推广工作。交通部工程管理司于 1989 年 10 月在江苏省召开了全国公路水泥混凝土路面工程示范推广会议。1992 年 7 月在哈尔滨市召开了全国水泥混凝土路面专项修筑技术推广会。“八五”期间,交通部继续在全国推广水泥混凝土路面,并提出了“因地制宜、积极稳妥、确保质量、加快发展”的方针,以推动我国公路水泥混凝土路面再上一个新台阶。

随着我国公路总量持续增长,为准确、全面地反映全国公路网的整体情况,2005 年交通部组织了全国农村公路专项调查,

并以此为基础确定农村公路统计标准。2006年起,将村道纳入公路统计里程。截至2006年底,全国公路总里程达 3.46×10^7 km,比上年2005年末增加了 1.11×10^6 km,路网结构进一步改善。按公路路面类型分,各类型路面里程分别为:简易铺装路面 5.29×10^6 km;未铺装路面 1.93×10^7 km;有铺装路面 9.97×10^6 km,其中沥青混凝土路面 3.50×10^6 km,而水泥混凝土路面已经达到 6.46×10^6 km。

采用沥青材料修筑的路面受石油资源分布的限制,其数量和质量均难以满足修筑高级路面的需求,如果积极发展水泥混凝土路面,对合理利用我国水泥资源、提高路面质量、缓和沥青供应不足及质量差的矛盾、增加公路高级路面铺装里程具有重要意义^[6]。

1.1.1.1 水泥混凝土路面的病害特点

路面是公路工程的重要组成部分之一,它直接承受和传递行驶车辆的荷载作用,并抵御各种自然条件的侵袭。水泥混凝土路面以其抗压、抗弯、抗磨损、高稳定性等诸多优势,在各级路面上得到广泛应用。但对于高等级水泥混凝土路面,根据我国已建成通车的高等级公路使用情况看,有相当部分被破坏。水泥混凝土路段往往在建成通车后不久就出现断板等病害。

水泥混凝土路面出现断板等病害的原因比较多,主要有如下几个方面:

① 路基及基层在施工中未能严格控制标高,造成基层偏高。施工单位为了不返工或想通过增厚基层适当减薄水泥混凝土板厚度来降低造价,这样就会造成部分混凝土面层厚度严重不足。

② 混凝土面层施工时振捣不均匀,甚至不振、漏振,造成混凝土的强度不够,这样就使路面承受荷载的能力大幅度降低。

③ 过早开放交通,即在混凝土强度未达到设计强度时就通车,当车辆荷载大于极限抗压强度时,混凝土板就会出现断裂。

水泥混凝土路面由于具有优良的路用性能,其设计期限一般为 30 年,比沥青混凝土路面的设计年限长。然而,我国水泥混凝土路面实际运营时的使用寿命常不足 10 年,随后使用品质就迅速严重恶化^[7]。如同三公路哈尔滨段 2005 年 7 月进行扩建,水泥混凝土路面出现了多种病害,主要包括断板、板角断裂、纵横向裂缝、沉陷、错台等,其中出现由于振捣不充分导致局部厚度不足所造成的水泥混凝土板的断板病害,处理时该部分水泥混凝土板被全部清除(如图 1-1),然后重新做基层及沥青混凝土面层。又如,为了清除路面的积雪和凝冰,现在常用的方法之一是大量倾洒氯盐,而氯离子侵蚀是影响钢筋混凝土结构耐久性的一个主要因素。当周围环境中的氯离子侵入到混凝土内部达到一定浓度时,会引起钢筋锈蚀,导致钢筋承载力下降和混凝土开裂、剥落^[8-9]。2008 年 1 月起,中国南方大部分地区和西北地区东部出现了建国以来罕见的持续大范围低温、雨雪和冰冻的极端天气。贵阳至遵义高速公路当时为抢通需要,采取了多种措施,其中之一就是大量的洒除冰盐,其对路面的侵蚀清晰可见(如图 1-2 所示),通过以上分析,盐侵蚀对水泥混凝土路面的服役性能会造成一定的损害。

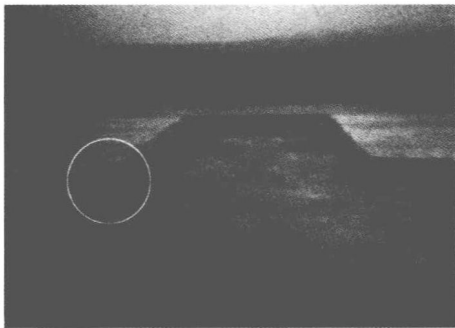


图 1-1 厚度不够

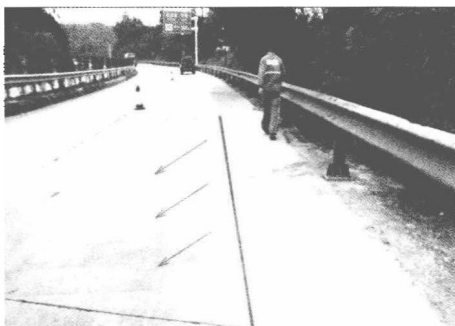


图 1-2 盐侵蚀

所以,水泥混凝土路面在内部因素(板厚度不足、强度低等)及外部因素(盐侵蚀、超载等)综合作用下很快就会出现较多的病害。

许多高速公路及地方道路经常出现路面开裂、断板、错台、唧泥等病害,影响路面的使用和行车安全^[10]。

产生这些病害的原因,除车辆超限、超载严重等因素外,还存在施工方面的问题^[11]。水泥混凝土路面病害可分为断裂类、

竖向位移类、接缝类、表层类和修补损坏病害等 5 种类型,其中断裂类(包括纵向裂缝、横或斜向裂缝、角隅断裂和交叉断裂)和接缝类病害(接缝嵌缝料损坏、纵向接缝张开、唧泥和板底脱空、错台、接缝碎裂和拱起等)是水泥混凝土路面较为常见的病害^[12]。如图 1-3、图 1-4、图 1-5、图 1-6 所示,为水泥混凝土路面板的常见病害。



图 1-3 裂缝

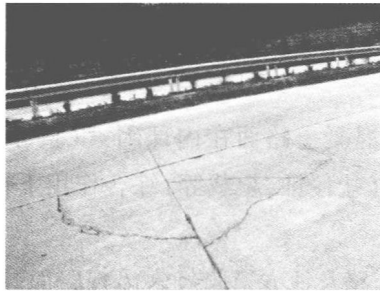


图 1-4 板角断裂

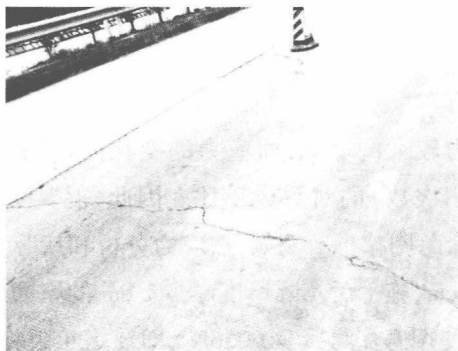


图 1-5 断板

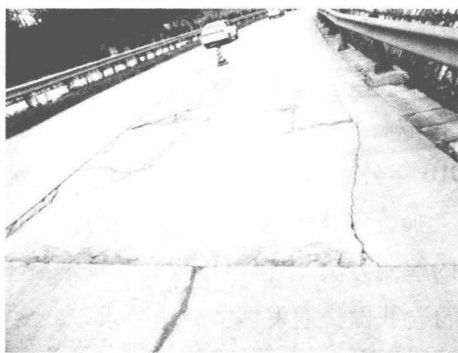


图 1-6 连续断板

水泥混凝土路面虽以其种种优点逐步受到人们的青睐,但是不能不看到它也有致命的弱点,即破损后不易修补等。

1.1.1.2 水泥混凝土路面结构无损检测的重要性

混凝土路面断板病害是目前水泥混凝土路面施工中比较普遍的一个问题。施工过程不规范,或没有严格按设计进行施工,使得路面厚度不足,是造成断板的一个原因^[13]。

姚祖康先生^[14]提到影响混凝土路面使用寿命最重要的两个因素:混凝土板的厚度和混凝土的强度。混凝土板内的应力同板厚的平方(接近于平方)成反比。混凝土板厚度的减薄会引起板内应力较大的增加,而应力的变化同使用寿命(容许的标准轴载作用次数)的对数成反比。因此,混凝土板厚度减薄将使使用寿命急剧减少。例如,按应力分析和疲劳方程,对于设计厚度为22 cm,施工后实际厚度减少1 cm的路面,其应力将增加7.4%,而使用寿命将减少60.6%,即使用年限将降为12年。混凝土强度是影响路面寿命的另一个重要因素。同混凝土板厚度一样,混凝土强度的变化与路面使用寿命的对数成正比。

目前,我国对混凝土路面强度、厚度的检测还在广泛采用钻孔取芯的方式,这种传统的破损检测方法既费工又费时,抽样率又低,而且存在取样后还要进行修补等问题。在我国发布的《2001年—2010年公路水路交通行业政策及产业发展序列目录》中特别将无损检测技术列入重点鼓励的技术进步项目。因此,采用无损的检测方法,不但可以提高我国混凝土路面质量的检测水平,也符合我国交通发展的战略要求。

1.1.1.3 水泥混凝土路面主要应用的检测仪器与检测方法

目前水泥混凝土路面常用的结构检测方法主要包括以下三类:

- ① 破损检测,主要是取芯法;
- ② 微破损,主要是射钉法;

③ 无损检测,主要包括回弹法、超声法、冲击回波法(Impact Echo System, IES,目前有带螺线管冲击器的IES)、声发射

法(Acoustic Emission, AE)、探地雷达(Ground Penetrating Radar, GPR)等。

回弹法是最常用的一种无损检测方法,但回弹法只能测得混凝土表面的质量状况,其内部质量信息却无法得知;雷达法对混凝土内部缺陷可以准确定位,但由于其仪器价格昂贵,且受钢筋电阻屏蔽的影响较大,其实际应用受到一定的限制;冲击回波法和声发射法可以测得混凝土内部缺陷及混凝土构件的厚度,但对混凝土内部纵向尺度较小的缺陷体的下界面却难于分辨,并且无法评定混凝土强度^[15-16];超声波检测方法具有穿透能力强、检测设备简单、操作方便、检测成本低廉等优点,在工程上已经得到广泛应用。超声波法可以检测混凝土的强度、厚度等,因而成为混凝土结构检测的首选。

由于超声波对测法采用直达波可以准确识别起跳点位置,所以应用研究得比较成熟。在桩基检测中,应用 PSD 判据法可以准确定位断桩位置,并且应用测强曲线可评价其均质性并推定桩基强度。然而,在具有单一检测表面的水泥混凝土结构检测中存在界面波型转换,接受换能器接收到表面波、横波、直达纵波和反射纵波,使得接收波形比较复杂。如要真正实现用反射波平测法评价水泥混凝土路面结构,包括强度及厚度,并达到较高的检测精度,仍需要作大量相应的工作予以完善。

基于以上原因,开展水泥混凝土路面板的强度及厚度指标的无损、快速、精度比较高的检测技术研究是十分必要的。

1.1.2 隧道衬砌工程超声检测的意义和必要性

隧道是地下通道,设计给交通或其他用途使用。20 世纪 50

年代,中国仅有 30 多座隧道,总长约 2.5 km。现在中国有 8 600 多座铁路、公路隧道,总长度约 4 370 km,居世界第一。中国已成为世界上隧道和地下工程最多、最复杂、发展最快的国家。中国现在有铁路隧道 6 876 座,总长度为 3 670 km,为居世界第一;中国公路隧道总数已达 1 782 座,总长度 704 km,分别是改革开放之初的 4.7 倍和 13.5 倍,是世界上公路隧道最多的国家。我国目前最长的隧道是铁路线上的全长 18.46 km 的秦岭隧道,如图 1-7 所示^[17]。终南山公路隧道全长 18.4 km,是长度居亚洲第一,世界第二的公路隧道;又如南雪峰山隧道长 7 km (如图 1-8 所示)^[18]。



图 1-7 秦岭隧道