

高速公路改扩建成套技术系列丛书

# 高速公路改扩建工程

GAOSUGONGLUGAIKUOJIANGONGCHENG

## 桥涵结构物拼接技术

QIAOHANJIEGOUWUPINJIEJISHU

徐强 等 编著



人民交通出版社  
China Communications Press

高速公路改扩建成套技术系列丛书

Gaosu Gonglu Gaikuojian Gongcheng

# 高速公路改扩建工程

Qiaohan Jiegouwu Pinjie Jishu

## 桥涵结构物拼接技术

徐 强 等 编著

人民交通出版社

《高速公路改扩建成套技术系列丛书》  
编写委员会

主任委员：范跃武

副主任委员：徐 强 常兴文 王 丽 王世杰  
李 智 吉维萍

《高速公路改扩建工程桥涵结构物拼接技术》  
编写委员会

主 编：徐 强

副 主 编：王世杰 温 森 刘东旭

编写成员：朱建强 李斐然 杜战军 王笑风 刘 敏  
戴本良 苏沛东 李秋生 杜俊旺 李宏瑾  
郭金山 高晓燕 杨 锋 葛梦澜 黄 睿  
吴 萍 付大喜 杨 胜

## 前 言

随着我国经济持续快速的发展,高速公路的建设十分迅猛,截至 2010 年年底,中国高速公路通车总里程已达 7.4 万 km,总里程居世界第二位。河南省地处我国中部,是连接东西南北的交通枢纽,高速公路的总里程在全国居于首位。从满足长远经济发展和交通需求的角度出发,对境内的高速公路进行改扩建将是今后公路建设的主旋律。G30 高速公路刘江至广武段改扩建工程建成通车,宣告了河南省首条高速公路扩建工程正式投入运营,而河南省境内的 G4 和 G30 其他路段的加宽扩建工程也已全面启动,计划五年内将目前的四车道高速公路扩建为八车道高速公路。

在高速公路改扩建过程中必然面临大量的桥涵构造物的改扩建,由于我国高速公路改扩建起步较晚,目前可借鉴的工程经验不是很多。本书依托河南省高速公路改扩建实体工程,对桥涵构造物的改扩建诸方面的问题进行探讨,旨在为以后的改扩建工程提供参考。全书共分为九章,论述了旧桥检测手段和评价方法,桥梁加宽与拼接方法,几种常见的桥型拼接方法比较,混凝土收缩徐变,基础的不均匀沉降对新旧桥梁拼接部分的影响分析,桥梁拼接的施工技术,涵洞、通道及天桥的改造技术等。为了方便广大读者理解涉及的工程问题,书中大量采用了河南省境内改扩建高速公路桥涵改造的设计实例。

考虑到本书是一本介绍高速公路桥涵构造物改扩建的著作,读者对象多为从事工程设计和施工的技术人员,因此本书主要针对桥涵改扩建中涉及的工程问题进行了阐述,没有过多地从理论上进行研究。

本书由河南省交通规划勘察设计院有限责任公司组织编写,在编写过程中得到了河南省交通运输厅及交通系统各单位的支持与帮助,在此深表感谢。

编者

2011 年 5 月

## 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 桥涵加宽拼接研究的意义 .....	1
1.2 桥涵构造物加宽拼接国内外发展现状 .....	3
1.3 旧桥加宽采用的设计技术规范和标准 .....	4
1.4 高速公路桥梁加宽原则 .....	5
<b>第 2 章 旧桥检测与评价技术</b> .....	6
2.1 检测、评价的目的 .....	6
2.2 桥梁的检测 .....	6
2.3 桥梁检测的评价方法 .....	22
2.4 旧桥病害类型及处治方法 .....	27
<b>第 3 章 高速公路桥梁加宽拼接方法</b> .....	36
3.1 桥梁加宽方法 .....	36
3.2 新旧桥梁拼接的常规方法 .....	42
3.3 旧桥中央分隔带处理中的拼接问题 .....	54
<b>第 4 章 高速公路常规桥梁加宽拼接设计</b> .....	61
4.1 概述 .....	61
4.2 预制空心板桥加宽拼接设计 .....	61
4.3 预制 T 梁桥加宽拼接设计 .....	64
4.4 预制箱梁桥加宽拼接设计 .....	67
<b>第 5 章 高速公路桥梁加宽拼接分析方法</b> .....	70
5.1 混凝土收缩徐变对桥梁加宽拼接的影响 .....	70
5.2 基础沉降对桥梁加宽拼接的影响 .....	77
5.3 25m 空心板桥的计算分析 .....	84
5.4 50mT 梁桥的计算分析 .....	103
5.5 小结 .....	120

## 高速公路改扩建工程桥涵结构物拼接技术

<b>第 6 章 桥梁加宽拼接施工技术</b> .....	122
6.1 旧桥拼接部位混凝土的切割、凿除 .....	122
6.2 植筋施工 .....	124
6.3 新旧桥湿接缝的处理 .....	132
6.4 桥梁顶升技术 .....	134
<b>第 7 章 高速公路桥梁加宽实例分析</b> .....	141
7.1 预制空心板加宽拼接实例分析 .....	141
7.2 预制 T 梁加宽拼接实例分析 .....	158
7.3 刚构桥加宽实例分析 .....	166
<b>第 8 章 天桥及涵洞、通道改造技术</b> .....	178
8.1 概述 .....	178
8.2 天桥及涵洞、通道的改造技术 .....	178
8.3 洛三高速公路天桥改造实例 .....	185
8.4 安新高速公路涵洞、通道改造实例 .....	188
<b>第 9 章 结论与展望</b> .....	193
9.1 结论 .....	193
9.2 展望 .....	195
<b>参考文献</b> .....	197

# 第1章 绪 论

## 1.1 桥涵加宽拼接研究的意义

近些年来,我国经济飞速前进,带动了交通事业的蓬勃发展;同时,人员和物资流动日益频繁,也使得交通需求激增。公路作为人员和物资流动的通道,尤其是高速公路,日益显得拥挤。为了满足经济发展的需要,国家每年投入巨额资金修建公路。但是完全靠新建公路去缓解交通拥挤代价过大,因此对原有公路进行加宽改造,提高其通行能力和服务水平,是一种行之有效的途径。

从1988年我国第一条高速公路——沪嘉高速公路建成通车以来,在过去的二十多年里,我国已建成约7.4万km高速公路,仅次于美国,居世界第二位。尽管我国的高速公路总里程很多,但总体通行能力还不如发达国家。通行能力不仅受高速公路的总里程的影响,还受车道数的影响,在美国一些高速公路的车道数达到12条,欧洲、日本的高速公路车道数也很多;而我国的高速公路基本上是4车道,随着车辆的增长,通行能力问题已逐渐显现出来。

因此,当前我国的高速公路除了新线路以前所未有的速度与规模营建外,改扩建工程也逐渐成为高速公路建设的一大重点。尤其是20世纪80~90年代建成的高速公路,由于当地与区域经济的快速发展,交通流量增长迅速,服务水平下降明显,交通事故有所增加,现有双向4车道已不能适应交通量继续增长的需要,不得不进行拓宽改造。目前,我国已进行了多条高速公路改扩建工程的建设,主要的改扩建工程,见表1-1和表1-2。

国内部分已完成的高速公路改扩建工程

表 1-1

改扩建公路名称	里程(km)	开工时间(年·月)	竣工时间(年·月)
沈阳—大连高速公路	348	2002.5	2004.9
广州—佛山高速公路*	15	1998.7	1999.8
上海—南京高速公路	230	2003.6	2005.9
上海—杭州高速公路	180	2001.7	2004.9
石家庄—黄骅高速公路	35	1999.5	2001.7

## 高速公路改扩建工程桥涵结构物拼接技术

续上表

改扩建公路名称	里程(km)	开工时间(年·月)	竣工时间(年·月)
大庆—齐齐哈尔高速公路	103	2000.9	2002.11
哈尔滨—方正高速公路	167	2002.6	2004.10
尚志—亚布力高速公路	77	2002.5	2004.10
叶集—信阳高速公路	136	2003.6	2005.10
连霍高速公路郑州段	40.5	2006.7	2008.12
京港澳高速公路安阳—新乡段	113.173	2008.4	2010.11
京港澳高速公路郑州—漯河段	119.638	2008.3	2010.11

注:广佛高速公路历经两次扩建。1997年8月广佛高速公路进行拓宽,其中由横沙到雅瑶段由4车道拓宽为8车道,雅瑶至佛山段拓宽到6车道,1999年10月18日拓宽后的广佛高速公路正式通车。2007年,广佛高速公路再次进行扩建,由6车道扩建为8车道。

国内部分正在进行的高速公路改扩建工程

表 1-2

改扩建公路名称	里程(km)	开工时间(年·月)
泉州—厦门高速公路	81	2007
郑州—洛阳高速公路	113	2005.12
郑州—漯河高速公路	132	2008.1
厦门—漳州高速公路	45	2008.12
京港澳高速公路	137	2008.3
连霍高速公路商丘—郑州段	118.59	2010.2
连霍高速公路洛三段	195.12	2010.12
大庆—广州高速公路(深州—大名段)	220	2008.12
梅观高速公路	19	2010
津滨高速公路	28	2009.10
广州—清远高速公路	58	2009.11
丽江机场高速公路	28	2009.12
长春—深圳高速公路(平南—坑塘段)	30	2010.1
柳州—南宁高速公路	224	2010.2

高速公路扩建工程即在原路两边或一边进行加宽,这就涉及对原高速公路上桥涵的加固拓宽,因而面临对新老部分的拼接问题。实践证明,采用适当的加固技术和拼接措施,能恢复旧桥的承载能力及通行能力,延长桥涵的使用寿命,满足现代化交通运输的需要。在已有的桥梁拓宽拼接改造工程中,改造后的桥涵上经常出现各种问题,如在新老桥的连接面出现裂缝,从而影响到改造后桥涵的正常使用。因此,为了保证桥涵的拓宽改造方法的合理有效,需对桥梁涵加宽拼接方法做进一步的研究。



## 1.2 桥涵构造物加宽拼接国内外发展现状

### 1.2.1 国内发展现状

目前,我国对高速公路扩建工程中的桥梁拼接研究开展得还不充分,尚无成熟的拼接加宽技术。下面简要介绍我国高速公路桥梁拼接加宽的主要工程实例。

#### (1)广佛高速公路桥梁扩建

该高速公路建于1989年,1997年进行扩建。扩建过程中对拼接的计算分析特别是横桥向分析、拼接构造展开了研究,其中考虑了原桥改造、基础沉降问题。

#### (2)沪宁高速公路桥梁扩建

沪宁高速桥梁拼接时需要考虑的问题较多,如需要考虑原桥的技术状况、沿线的地质条件、合理的横向连接方式、新旧桥梁结构的变形协调、新旧结构合理的拼接时间的控制,以及在不中断原桥交通的条件下新桥的合理施工方法。

沪宁高速公路原有桥梁结构以简支板、简支T梁、简支组合工字梁为主,还有连续箱梁、连续刚构等;大桥、特大桥主跨多采用了钢筋混凝土或预应力混凝土连续箱梁结构。根据桥梁拼接技术专题研究成果,主线桥梁采取上部构造相互连接、下部结构不连接的方式进行拼接,并采取了以下措施。

①在连接缝处加强配筋,并采用植筋技术。

②采用增加桩长、预压新建结构、延迟接缝浇注时间等措施控制新建桥梁的基础沉降。

#### (3)沈大高速公路桥梁扩建

沈大高速公路原有桥涵总体来说质量尚好,但存在一些小问题,如桥面相当部分存在坑槽、网裂等病害,桥头路基沉降和渗水严重,大部分梁板存在不同程度的盐腐蚀等。沈大高速公路桥涵加宽时,原桥边梁移至加宽桥外侧利用,上部结构和下部结构均采用了刚性连接,即新旧T梁间采用湿接缝和现浇横梁刚性连接;下部连接中除了对盖梁进行拼接外,在新老摩擦桩间增加了横系梁来加强横向联系。

#### (4)沪杭甬高速公路桥梁扩建

沪杭甬高速公路于2000年10月开始修建,2003年3月全线又拓宽至8车道,可以说沪杭甬高速公路是边施工边扩建。沪杭甬沿线桥梁采用上部结构连接、下部结构不连接的拼接方法,既满足了上部结构的整体性,又避免了由于基桩不均匀沉陷而导致的盖梁开裂。

### 1.2.2 国外发展现状

国外研究桥梁拼接技术较早,早在 1976~1980 年,乌克兰国家公路勘测设计院和国家道路科学研究院就已开始进行公路桥梁加宽方法及加宽方式的研究工作。1978 年,白俄罗斯开始研究公路桥梁拓宽的问题。近年来,白俄罗斯在对小跨径桥梁进行的拼接中,大部分桥跨结构的新老构件没有进行连接,或者只在行车道的垫层里进行连接;并且在该国进行的桥梁拼接基本上是对称式的,只有少数结构采用单边加宽。

第二次世界大战以后,美国因国防需要,开始在国内进行大规模的高速公路建设。到 20 世纪 60 年代中期,美国的高速公路网基本成形。随着经济的发展及交通量的增加,从 20 世纪 70~80 年代,美国便开始大规模地进行高速公路改扩建。其在桥梁拓宽方面的通常做法是:对于既增加桥宽又加大孔径的桥,老桥的上下部都要拆除,采取分段施工。先改造一侧,老桥维持通车;然后,再利用新建的一侧通车,拆除旧桥,修建另一部分;最后,现浇两部分之间的湿接缝。对于只增加宽度的桥梁,则在原来的基础上加宽。在美国有一个比较成熟的经验,就是设计师在进行桥梁规划设计时通常会对其日后的拓宽作一定的考虑,如 SBWM(Strutted Box Widening Method)法或 SGWM(Strutted Gider Widening Method)法对桥梁拓宽提供了一个很好的思路。

日本和美国一样,也非常重视高速公路前期的规划工作,设计时为后续的改扩建留有余地,使其具备了较好的扩建条件。日本是地震灾害多发的国家,桥梁的设计非常重视抗震性能,所以一般不对原桥作直接拼接加宽处理,而是与原桥并行新建,上下部结构均不作连接。当需要对原桥直接作拼接加宽处理时,上下部结构均作连接,以提高新老桥梁整体刚度。只有当预应力混凝土连续箱梁施加横向预应力时,上部结构才不作连接。

西欧许多国家也有桥梁拼接加宽的工程实践,多是将人行道向外移,采用增加钢筋混凝土悬臂挑梁的方法。

## 1.3 旧桥加宽采用的设计技术规范 and 标准

### 1.3.1 技术规范

加宽桥梁的新旧部分采用的技术规范有可能不一样,但是桥梁加宽部分是在现有的技术规范要求下进行,因此需要按照现有的技术规范 and 标准进行设计

和施工。主要的技术规范如下：

- 《公路桥梁加固施工技术规范》(JTG/T J23—2008)；
- 《公路桥梁加固设计规范》(JTG/T J22—2008)；
- 《混凝土结构加固设计规范》(GB 50367—2006)；
- 《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》(JT/T 722—2008)；
- 《公路桥梁抗震设计细则》(JTG/T B02-01—2008)；
- 《混凝土桥梁结构表面涂层防腐技术条件》(JT/T 695—2007)；
- 《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041—2000)；
- 《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ D63—2007)；
- 《公路工程抗震设计规范》(JTJ 004—89)；
- 《公路桥梁伸缩装置》(JT/T 327—2004)；
- 《公路桥涵设计通用规范》(JTJ D60—2004)；
- 《公路圬工桥涵设计规范》(JTJ D61—2005)。

### 1.3.2 荷载标准

采用的荷载标准：公路—I级和公路—II级。

## 1.4 高速公路桥梁加宽原则

桥梁是线路的组成部分，桥梁的加宽也要和线路加宽保持一致，此外一般还要符合以下原则。

(1)最大限度地利用原有桥梁结构，以便最大限度地减少投资，节省资金，此为基本原则。

(2)桥梁加宽施工过程中，应尽量做到对原有交通的影响最小。

(3)桥梁上部结构采用同结构、同跨径梁或板进行拼接，下部结构形式也要与老桥相似。

(4)考虑美观，新老结构的外部尺寸尽可能协调一致。

(5)新老桥横向拼接后，要达到受力协调。

## 第 2 章 旧桥检测与评价技术

在对桥梁进行加宽改造前,必须先对既有桥梁的技术状况,如桥面系、桥跨结构、下部结构、支座及其他附属工程等,进行系统的检测评价和技术评定,判断是否需要既有桥梁进行维修加固,确定维修加固内容和方案,使之满足改造后的使用要求。本章分别介绍旧桥检测评价的目的、内容以及方法。

### 2.1 检测、评价的目的

桥梁检测是通过仪器检查、测量、试验,掌握桥梁结构在试验荷载作用下的实际工作状态,判定桥梁结构承载能力和使用性能,检验设计和施工质量。通过对旧桥的检测和评价,为其使用的安全可靠性及维修加固提供必要的依据,积累必要的技术资料,建立桥梁数据库来检验桥梁结构的质量。桥梁检测、评价的目的为:

(1)评估既有桥梁的使用性能和承载能力。桥梁在运营期遭受如洪水、泥石流等灾害的损害,或是施工措施不当,或因交通荷载大量增长时,就很有必要进行检测和评价。

(2)检测桥梁各部位出现裂缝、错位等缺陷的严重程度,判断对实际承载能力的影响。

(3)原来按旧标准荷载等级建设的桥梁,经过多年使用,有些是长期超负荷服役,对其继续使用的安全性能,需要通过检测进行评价。

以上即为桥梁进行加宽改造前的检测评价目的。通过检测、评价确定旧桥的维修加固措施,以满足改造后的正常运营。

### 2.2 桥梁的检测

#### 2.2.1 桥梁检测内容和项目

桥梁检测分为三个阶段,即准备规划阶段、加载与观测阶段和分析总结阶段。

准备规划阶段是桥梁检测顺利进行的必要条件。该阶段工作包括:桥梁设计文件、施工记录、原试验资料、桥梁养护与维修记录等技术资料的收集,桥梁现状如桥面系、承重结构构件等部位的表观检查,量测方案的制订及仪器仪表的选用等。加载与观测阶段是整个检测工作的中心环节。这个阶段的工作是在各项准备工作就绪的基础上,按照预定的试验方案与试验程序,利用适宜的加载设备进行加载,运用各种测试仪器,观测试验结构受力后的各项性能指标,如应变、挠度、裂缝宽度等,并采用人工记录或仪器自动记录手段记录各种观测数据和资料。分析总结阶段是对原始测试资料进行综合分析的过程。原始测试资料包括大量的观测数据、文字记载和图片等材料。受各种因素的影响,原始测试资料一般显得缺乏条理性和规律性,未必能深刻揭示试验结构的内在行为规律,因此应对它们进行科学的分析处理,去伪存真、去粗存精,综合分析比较,从中提取有价值的资料。

按照检测的范围、深度、方式和检查结果的用途等的不同,桥梁检测大致可归纳为经常性检测、定期检测和特殊性检测三类。经常性检测以直接目测为主,配合简单的工具量测,对所需检查的桥梁的技术状况和主要存在问题形成一个总体印象,以便能对它们进行初步的排序,并为进一步的检查作技术准备。定期检测以目测结合仪器检查为主,对桥梁各部位进行详细检查,通过对结构物进行彻底的、视觉的和系统的检查,建立结构管理和养护档案,对结构的缺损状况作出评估,评定结构构件和整体结构的技术状况,确定改进工作和特别检查之需求,并确定结构维修、加固或更换的优先排序。特殊检测是采用仪器设备等特殊手段和科学方法分析桥梁病害的确切原因和程度,确定桥梁技术状态,以采取相应的加固和改造措施。

显而易见,对高速公路桥梁进行加宽拼接前的检测属于特殊性的检测。在检测时,要分别对桥面系,支座、上部结构和下部结构进行详细外观检查。

### (1) 桥面系的检查

具体检查内容:

①桥面铺装层裂缝与损坏程度、桥头跳车、防水层漏水以及其他病害,人行道及铺砌破损情况。

②伸缩缝损坏、变形、脱落、填料变形、淤塞、漏水程度。

③人行道、栏杆和护栏有无断裂、错位、锈蚀等。

④桥面横坡、纵坡顺适度,积水情况,排水设施是否完好。

### (2) 支座的检查

检查支座功能是否完好,组件是否完整、清洁,有无断裂、错位和脱空现象。

## 高速公路改扩建工程桥涵结构物拼接技术

### (3) 上部结构的检查

首先观测有无异常变形、裂缝、振动或摆动,然后检查各部件的技术状况和异常原因。简支梁桥重点检查的部位:支座截面处、1/4 截面处、跨中截面处;连续梁、悬臂梁重点检查部位:支座截面处、跨中截面处、反弯点,最大负弯矩截面处。

高速公路应用较多的钢筋混凝土和预应力混凝土桥梁上部结构检查的重点内容为:混凝土有无大于 0.2mm 的裂缝,是否存在腐蚀、渗水、表面风化、剥落、露筋和钢筋锈蚀等现象,有无整体龟裂和强度降低的现象;预应力钢束锚固区混凝土有无开裂,预应力筋纵向的混凝土有无裂缝和水侵害。

### (4) 下部墩台和基础的检查

- ①墩台基础是否滑动、倾斜和下沉。
- ②台背填土有无沉降裂缝或隆起。
- ③混凝土墩台及盖梁有无冻胀、风化、开裂、露筋等。
- ④石砌墩台有无砌块断裂、脱开、变形,泄水孔是否堵塞,防水层是否破坏。
- ⑤横系梁连接处是否开裂、破损。
- ⑥墩台防震设施是否有效。
- ⑦基础下是否发生冲刷和淘空现象。

桥梁加宽前除需进行一般的外观检查外,亦要进行结构材料的物理、力学性能检测(如强度、弹性模量),病害严重时应进行结构静动载试验。

## 2.2.2 材料状况的检测与评价

### 2.2.2.1 混凝土强度的检测

结构混凝土现场检测技术一般可分为非破损检测法、半破损检测法、综合法三类。非破损检测法分为压痕法、回弹法、超声脉冲法、回弹—超声综合测定法、电磁法和射线法等,其中回弹法最为常用。

#### 1) 回弹仪的操作要点

在测试过程中,回弹仪(图 2-1)的轴线应始终垂直于结构或构件的混凝土表面。具体操作如下:

(1)将仪器的弹击杆顶住混凝土表面,轻压仪器,使按钮松开,弹击杆慢慢伸出,并使挂钩挂上弹击重锤。

(2)使回弹仪对混凝土表面慢慢均匀施压,待弹击锤脱钩,冲击弹击杆后,弹击锤即带动指针向后移动,直至达到一定位置时,指针块上的刻度线即在刻度尺上指示某一个回弹值。

(3)使回弹仪继续顶住混凝土表面,进行读数并记录回弹值,如条件不利于



图 2-1 全自动数显回弹仪

读数,可按下按钮,锁住机芯,将回弹仪移至别处读数。

(4)逐渐对回弹仪减压,使弹击杆从机壳内伸出,挂钩挂上弹击重锤,待下次使用。

### 2)混凝土回弹值的计算公式

回弹值的计算有以下要点:

(1)计算测区的平均回弹值,应该从测区的16个回弹值中剔除3个最大值和3个最小值,余下的10个采用下面的计算式计算。

$$R_m = \sum_{i=1}^{10} R_i / 10 \quad (2-1)$$

式中: $R_m$ ——测区平均回弹值,精确到0.1;

$R_i$ ——第*i*个测点的回弹值。

(2)非水平方向检测混凝土浇筑侧面时,按下式修正。

$$R_m = R_{ma} + R_{aa} \quad (2-2)$$

式中: $R_{ma}$ ——非水平状态时检测时测区的平均回弹值;

$R_{aa}$ ——非水平状态检测时的回弹值修正值,可以查相应的表格。

(3)水平方向检测混凝土顶面或底面时,按下列公式修正。

$$R_m = R_m^t + R_a^t, R_m = R_m^b + R_a^b \quad (2-3)$$

式中: $R_m^t$ 、 $R_m^b$ ——水平方向检测混凝土浇筑表面、底面时测区的回弹值;

$R_a^t$ 、 $R_a^b$ ——混凝土浇筑表面、底面回弹值的修正值。

### 3)混凝土强度的计算

(1)结构或构件的第*i*个测区混凝土强度换算值,按式(2-1)求得的平均回弹值 $R_m$ 及测得的平均碳化深度值*d*,查相关表格得到测区混凝土强度换算值 $f_c^i$ ,

## 高速公路改扩建工程桥涵结构物拼接技术

泵送混凝土要按相关规定进行修正。

(2) 结构或构件的测区混凝土强度平均值可以根据各测区混凝土强度换算值计算。当测区为 10 个及以上时,应计算强度标准差。平均值和标准差计算式为:

$$\mu_i^c = \sum_{i=1}^n f_i^c / n, S_i^c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_i^c)^2 - n(\mu_i^c)^2}{n-1}} \quad (2-4)$$

式中:  $\mu_i^c$ ——结构或构件测区混凝土强度换算值的平均值,精确到 0.1MPa;

$S_i^c$ ——标准差,精确到 0.1MPa。

(3) 结构或构件混凝土强度的推定值  $f_c^c$  按下列计算式确定。

① 当结构或构件的测区少于 10 个时:

$$f_c^c = f_{\min}^c \quad (2-5)$$

式中:  $f_{\min}^c$ ——最小测区混凝土强度的换算值。

② 当结构或构件的测区强度中出现小于 10.0MPa 时:

$$f_c^c < 10.0 \text{MPa}$$

③ 当结构或构件测区数不小于 10 个或按批量检测时:

$$f_c^c = \mu_i^c - 1.645 S_i^c \quad (2-6)$$

(4) 对于批量检测的构件,当该批混凝土强度的标准差出现下列强度之一时,则该批构件应全部按单个构件检测。

① 当该批构件混凝土强度值小于 25MPa 时,则:

$$S_i^c > 4.5 \text{MPa}$$

② 当该批构件的混凝土强度不小 25MPa 时,则:

$$S_i^c > 5.5 \text{MPa}$$

### 2.2.2.2 混凝土裂缝的检测

对混凝土缺陷如裂缝的检测,目前应用最广泛、最有效的方法是超声波检测。混凝土裂缝的检测根据裂缝的深度分为浅裂缝检测和深裂缝检测。

#### 1) 混凝土浅裂缝检测

所谓浅裂缝是指开裂深度不大于 500mm 的裂缝。根据被测试结构的实际情况,测试方法又可分为平测法和斜测法。

##### (1) 平测法

当结构的裂缝部位只有一个表面可供检测时,可采用平测法进行裂缝检测。平测时应在裂缝的被测部位以不同的测距同时按跨缝和不跨缝布置测点进行声时测量,如图 2-2 所示。

首先将发射换能器 T 和接收换能器 R 置于被测裂缝的同一侧,并将 T 耦合



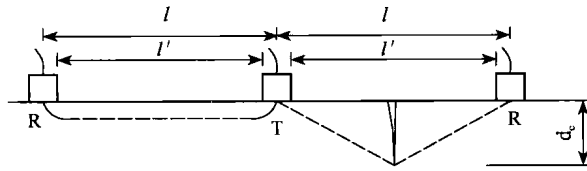


图 2-2 平测裂缝示意图

好保持不动,取 T、R 两个换能器内边缘间距  $l'_i$  为 100mm、150mm、200mm...依次移动 R 并读取相应的声时值  $t_i$ 。以  $l'$  为纵坐标,  $t$  为横坐标绘制  $l'_i-t$  坐标图,如图 2-3 所示。

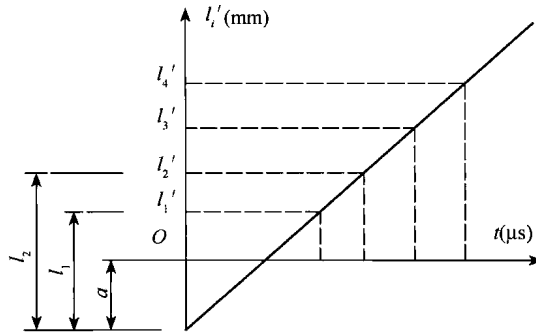


图 2-3 平测时—距图

每一个测点的超声实际传播距离为:

$$l_i = l'_i + a \quad (2-7)$$

式中:  $l_i$ ——第  $i$  点的超声波实际传播距离(mm);

$l'_i$ ——第  $i$  点的 T、R 换能器内边缘间距(mm);

$a$ ——时—距图中  $l'$  轴的截距。

随后进行跨缝声时测量。将 T、R 两个换能器分别置于以裂缝为轴线的对称两侧,两换能器中心连线垂直于裂缝走向,取  $l'_i = 100\text{mm}$ 、 $150\text{mm}$ 、 $200\text{mm}$ ...分别读取声时值  $t_i^0$ 。根据几何关系,可推算出裂缝深度的计算式为:

$$d_{ci} = \frac{l_i}{2} \sqrt{\left(\frac{t_i^0}{t_i}\right)^2 - 1} \quad (2-8)$$

式中:  $d_{ci}$ ——裂缝深度(mm);

$t_i$ 、 $t_i^0$ ——分别代表测距为  $l_i$  时,不跨缝、跨缝平测时的声时值( $\mu\text{s}$ )。

以不同测距取得的  $d_{ci}$  的平均值作为该裂缝的深度值  $d_c$ 。

### (2) 斜测法

当结构物的裂缝部位具有两个相互平行的测试表面时,可采用斜测法检测。