

道路材料及构造物 非破坏试验的新方法

〔苏联〕И. В. 扎舒克 著

王 学 业 译

人 民 交 通 出 版 社

本書介紹了道路材料及道路构造物試驗的非破坏的声学方法；并敘述了所采用的电子仪器的作用原理、以及其裝置的主要类型。同时，对声学試驗方法的应用經驗，以及各种方法的优缺点進行了介紹和評述。

書中引述了声学方法試驗的一些实例，并偶以論述了仪器的改進情况；此外，也将声学方法与通常的破坏試件的試驗方法作了比較，从而闡述了它的准确性。

本書可供道路建筑及鋼筋混凝土制作方面的技術人員，以及有关的科研人員及院校師生閱讀参考。

本譯本对原著有所節略。

道路材料及构造物 非破坏試驗的新方法

И. В. ЗАЩУК.
НАУЧ. ТЕХН. НАУК

НОВЫЕ МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ ДОРОЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ И СООРУЖЕНИЙ БЕЗ РАЗРУШЕНИЯ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА
И ШОССЕЙНЫХ ДОРОГ РСФСР
Москва 1962

本書根据苏联汽車運輸与公路部出版社1962年莫斯科俄文版本譯出

王 学 业 譯

*

人 民 交 通 出 版 社 出 版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版业營業許可証出字第〇〇六号

新华书店北京发行所发行 全国新华书店經售

人 民 交 通 出 版 社 印 刷 厂 印 刷

*

1965年8月北京第一版 1965年8月北京第一次印刷

开本：850×1168 1/32 印張：4寸張 插頁4

全書：105,000字 印數：1—1,700册

統一書号：15044·1502

定价(科七)：0.80元

目 录

引 言

第一章 非破坏試驗道路建筑材料和路面的声波法的簡

明物理原理..... 7

§ 1 纵波..... 9

§ 2 横波或剪切波.....10

§ 3 表面波.....11

§ 4 波的传播速度(声速).....11

§ 5 模量与声速关系的計算实例.....12

§ 6 速度-强度关系(相关)(КСП关系).....15

§ 7 强度-强度关系(相关)(КПП关系).....17

§ 8 小結.....21

第二章 研究筑路材料的共振法.....23

§ 9 研究筑路材料細微結構改变的电子計算装置.....28

§ 10 共振法的应用34

§ 11 小結.....40

第三章 試驗筑路材料和結構的超声波脉冲法.....42

§ 12 电子仪器的作用原理及脉冲試驗法的說明.....42

§ 13 ПИК-5 型电子装置54

§ 14 粗集料类型对混凝土 КСП 关系的影响57

§ 15 混凝土裂縫形成的研究.....60

§ 16 ПИК-5 型仪器的其他用途65

§ 17 ПИК-7 型电子仪器69

§ 18 ПИК-7 型仪器的应用76

§ 19 用超声波脉冲法測定混凝土强度时的精确度 和可靠程度.....81

§ 20	試驗建築材料的脈沖電子儀器的應用.....	87
§ 21	對電子裝置的儀器精度的要求.....	91
§ 22	電子儀器的发展远景及脈沖試驗法的應用.....	93
§ 23	小結.....	95
第四章 公路路面和機場跑道路面的冲击試驗法及電子		
	計算系統.....	101
§ 24	冲击試驗法的說明.....	101
§ 25	离散式電子記數系統.....	105
§ 26	電子記數微秒測量器.....	108
§ 27	正向記數及反向記數.....	110
§ 28	試驗路面和機場跑道路面用的 MK-1 型儀器.....	114
§ 29	小結.....	125
	結束語.....	127
	參考文獻	132

引 言

电子学、声学和现代科学其他部门的顺利发展，使有可能把材料、制件、结构和结构物的非破坏试验法和新的物理方法加以综合，将其运用到各个技术部门中去。本书扼要地介绍了试验道路建筑材料、路面和结构物的声波方法，并论述了一些电子仪器；这些仪器的应用，才为从前只限于科学研究用的一些方法变为生产试验（即直接在工地上或建筑结构和部件制造工厂内进行试验）的基础创造了可能性。

近十年来对声波试验法注意的主要原因是，这种方法具有如下两个主要优点：

1. 对被试验的材料、结构或结构物无任何破坏作用；
2. 试验迅速，实际上“瞬间”即可得出试验结果，这就能很快地修正工艺过程（即直接控制工艺过程），而最重要的是为工艺过程的完全自动化创造必要的先决条件。

声波试验法比一般的机械试验法具有许多有决定意义的优点，首先应该指出的是：

1. 能够对全部产品（如路面或机场跑道和桥跨结构）的质量和强度指标进行全面按工序的检验，而不是对所选出的个别试件进行试验；
2. 能够对整个结构物及其各个部分进行重复试验，可以任意进行多少次，不论是在施工时还是在施工结束后，以及在结构物使用过程中都可进行，因此，新的检验方法具有独特的可靠性。

由于应用声波试验法，试选的试件与被试验的结构或整个结构物的相符合程度究竟有多少这一问题已不复存在。同时，也完全消除了制备试件时的不准确现象，尽管试件的数量一般是不多的。

所有这一切有可能使声波試驗法在最近期間內成为建筑业全部产品质量的檢驗方法，这种方法在建筑部門所采用的工艺过程的任何阶段上都是适用的。

必須指出，声波試驗法的一个突出特点是，試驗結果不是直接得出的，即不是以建筑人員慣用的特性曲綫（如抗压强度或抗弯强度，弹性模量和密度等）的形式得出的，而是以間接指标（如声的传播速度或传播時間、声的衰减和振动頻率等）的形式得出的。

但是，現在这个特点正在逐漸失去它的意义。这是由于两方面的原因所产生的：一方面，由于声波方法的广泛运用，使建筑人員习惯于这些曾为“純科学”所有物的新概念，并将这些概念同一般概念一样加以利用。例如，大家都知道，在强度較大的材料中声速也較大。另一方面，由于成功地运用了操作简单的电子仪器，特别是电子計算装置，使得像“声速”这样的并不完全是一般的概念，可以在若干分之一秒內变成直接指标（如强度、弹性模量等）。因此，建筑人員能够立刻由习惯指标获得关于結構或結構物质量的資料。值得注意的是，以前这些指标都是专靠力学方法，即破坏方法得出的，而且得出的時間非常迟，以致不能用来控制工艺过程。現在，例如混凝土强度，在其硬結的任何阶段上都可用声波方法来测定。因此，这个指标在原則上可以把它作为一个主要参数用于工艺过程自动控制系统。这里沒有必要再指出，在我們这个控制論的时代里，这个参数应该由电子仪器以适合于直接輸入快速电子計算机的数字形式表达出来。

利用声波方法时，目前只有問題的一个方面还未得到解决，即这些間接指标的精确度、可靠性和稳定性究竟能达到什么程度。能否对結構不加以使其达到破坏的載荷，而只借助于这种或那种仪器以“透声”的办法就能担保結構的强度。

关于这个完全合理的問題，只要对同样的一些試件先用声波方法，后用机械方法（即达到破坏的方法）进行大量的平行試驗，并将所得結果加以比較便能得出答案。与此同时，还应该用

新的方法对一些完整的結構物进行大量試驗。随着这些比較資料的积累和对它們分析，則沒有必要用机械方法来进行檢驗試驗，但可以預料，将来定会制定和頒发一些关于只用声波方法試驗材料的規範。

电子学、声学 and 相邻的科学部門的順利发展，使有可能完全按照新的方法来着手解决这一技术課題。特別是現代的声波方法，为研制一些使用簡單可靠而又便宜的成套仪器，用以对建筑材料、制件、已建成的結構物的配件、路面及其結構的质量进行迅速、准确、按工序和全面地非破坏檢驗，提供了极大的可能性，也为更深入和更全面地研究固体的結構、弹性、强度和粘-塑性提供了极大的可能性。

因此，关于重新修訂材料、建筑工程、制件和結構物质量的檢驗方法，并采用能全面檢驗一切制件质量而无任何破坏作用的新方法，来代替那种必須破坏試件方能进行試驗的方法的时刻已經来到。

使用新的試驗方法，对于混凝土結構物來說尤为重要，因为混凝土已成为大型建筑物和重要建筑物所广泛采用的建筑材料。例如，每年用混凝土和鋼筋混凝土建造的結構和結構物的体积就有几千万立方米。無論在建筑水泥混凝土路面、机場跑道路面和桥跨結構的道路业务中，还是在装配式結構和构件制造厂內，声波檢驗方法都应该加以推广。

由一些最初的研究表明，在許多情况下声波方法的綜合利用，可以有效地直接对路面、結構和結構物中混凝土的硬結过程进行比较檢驗，从而得出新的方法用来鉴定混凝土的质量而对試件的完整性无任何破坏。

因此，可以认为，声波法和电子技术的发展，完全可以保証更加順利地綜合应用建筑材料試驗的新方法。

可以认为，电子仪器的結構已大为改进，并在技术上已經达到了这样的水平，即：有可能把声波試驗方法直接用在道路建筑上，或者鋼筋混凝土制件工厂里，作为自动控制工艺过程的基础。

础。这样，就为电子技术和超声波技术在道路建筑方面的应用展开了新的广阔远景。

本书中所叙述的一切，主要是为了解决混凝土和钢筋混凝土路面和机场跑道路面，以及混凝土制件和结构物等的试验问题。所以作这样的专题叙述，是由于作为建筑材料的混凝土和钢筋混凝土已得到了最广泛的运用。但是，作者在全书的叙述中都力求使读者能利用所论述的方法和仪器来研究任何其他固体，首先是建筑材料的弹性和强度的性能。

书中所叙述材料虽然作了必要的很大的压缩，但是大量参考文献，以及所使用的和推荐的文献目录，仍有可能使读者深入钻研和扩大这方面的知识。

作 者

1962.5.

第一章 非破坏試驗道路建筑材料 和路面的声波法的 簡明物理原理

用声波和超声波方法来测定固体的弹性和粘-塑性, ~~多倍求~~直为工程师和研究人員們所注意。声波方法的分析和研究, ~~旨在~~在发
展道路建筑材料、路面、結構和結構物的非破坏試驗的新方法。在此以前, 用以檢驗路面和道路建筑材料质量的靜态方法, 是靠破坏
試件(試块、冲模、試梁)来測定路面强度和路面在荷載下的变形,
或者是測定材料的弹性模量等等, 所以不能滿足現在的檢驗要求。
用这些方法进行試驗, 既复杂又昂貴, 占用時間很多, 而且对路
面的质量不能进行全面的檢驗。此外, 試件的强度也不符合制品
的强度, 而加載于被試驗的路面或試件上, 会导致其結構的改变,
所得出的試驗結果也很不明确, 而且也不能进行重复試驗。

如果試驗导致路面破坏, 則需要支出一笔額外費用来修复所
破坏地段。用“立体压榨法”进行試驗則不能对所有制件的质量
进行檢驗, 所以这种試驗方法的缺点是人所共知的。

目前, 找到了一些新的、无须破坏試件便能对路面进行試驗
的所謂动态方法[19], 代替了靜态方法。这些新方法包括声波
法。声波法基于对路面中的声波或超声波的传播速度和衰減的測
定, 或者是对所研究的試件的固有振动頻率的測定。因而, 这种
方法是以在声波和超声波振动或冲击波作用下, 固体中的弹性波
(变形波)的传播这一物理現象为基础的。

在采用声波試驗法时所利用的固体中的弹性波, 可分为六种
主要类型(图1):

1)纵波(压缩波或膨胀波);

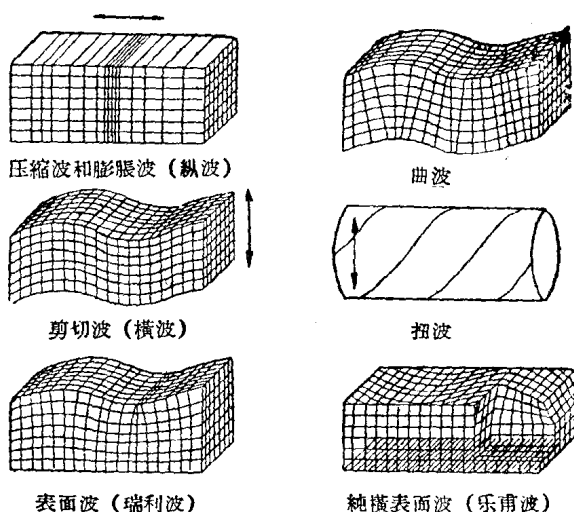


图1 固体中彈性波(變形波)的主要类型

- 2) 橫波 (剪切波) ;
- 3) 曲波;
- 4) 表面波 (瑞利波), 与水面波相似;
- 5) 扭波;
- 6) 純横表面波 (乐甫波)。

为了便于直观, 图中所示变形被放大了許多倍。实际上这些变形是微不足道的, 而且也不会引起試驗材料外部的任何改变。根据波型的不同, 測定路面和材料的弹性和粘-塑性的一切声波和超声波法^①, 可分为以下五种:

- 1) 根据試件曲波振动的共振頻率来測定材料弹性模量和粘-塑性的方法;
- 2) 根据試件纵波稳定振动的共振頻率来測定弹性和粘-塑性的方法;
- 3) 利用纵波来測定弹性的脉冲方法;

① 以后文中凡是提到“声”这个词作为术语时, 我們所指的是声波振动和超声波振动的应用, 振动頻率在 20,000 周/秒 (即 20 千赫) 以上, 可以认为是超声波振动。关于在每种情况下所使用的振动頻率, 在必要时将会特別提到。

4) 利用纵波和表面波的冲击法;

5) 扭波振动法^①。

必須指出, 用上述每一种方法測定出的弹性特性(模量), 一般來說, 由于試驗条件特殊而具有各种不同意义。此外, 根据这些方法得出的弹性特性既互不相同, 也不与一般静态法(試件加载法)所測定的楊氏弹性模量相同。因此, 一般可以分为靜力弹性模量(楊氏模量)、共振模量或弯曲模量, 以及脉冲模量。为了确定用各种方法得出的弹性模量数值間的关系, 曾經进行了大量的研究工作(例如参看了列斯里[66]、司坦頓[9]之55頁、魯舒克[25]、費廖[73]等人的著作)。

各种类型的振动均能在混凝土、瀝青混凝土和其他大半属于彈-粘性材料道路建筑材料中传播。但是, 在目前的試驗中, 仅仅使用前三種波, 即纵波、横波和曲波。

§ 1 縱 波

首先讓我們来研究一下以最大速度 V_{np} 传播的纵波, 該速度由下式求出^②:

$$V_{np} = \sqrt{\frac{H(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (1)$$

式中: V_{np} ——纵波速度(米/秒)^③;

H ——动力弹性模量^④(公斤/厘米²)^④;

ρ ——密度(厘米³)^④;

μ ——泊松系数。

① 扭波振动法, 在目前純粹是一种實驗室里用的方法, 因此本書不加論述。

② 方程式(1)已經使用了几代。它以虎克定律为基础, 并能給出无限介質中的速度值。声波在路面(也就是在有限介質)內傳播, 其波長在低頻率情况下, 可能大于路面的厚度, 所以这个表达式可以簡化为 $V = \sqrt{\frac{H}{\rho}}$, 因而声波在路面內的傳播速度略小于連續无限介質中的速度。

③ 我們用 H 表示的动力模量, 与一般彈性模量(楊氏模量) E 不同之处在于应力—应变曲綫的起始部分, 參見[43, 73]。

④ 此处单位疑系厘米/秒、达因/厘米²、克/厘米³之誤(編者注)。

对于大多数建筑材料来说，泊松系数一般在 0.16~0.25 以内，因此，公式(1)可以略简化为：

$$V_{np} = \sqrt{1.11 \frac{H}{\rho}} = 1.05 \sqrt{\frac{H}{\rho}} \quad (2)$$

因此，只要用其中的一种方法测定出被研究材料的声速，通过简单的计算便可得出动力弹性模量，或者像有时称之为第一类弹性模量的方程：

$$H = 1.11 V_{np}^2 \rho \quad (3)$$

根据材料的弹性模量数值，便能判断出材料的强度^①。

§ 2 横波或剪切波

剪切波（或横波）的传播速度由下式求出：

$$V_{non} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (4)$$

式中： V_{non} ——横波速度；

G ——剪切模量（或第二类模量）；

ρ ——密度。

在弹性模量 H 和剪切模量 G 之间的关系由下式表示：

$$G = \frac{1}{2} \cdot \frac{H}{(1-\mu)} \quad (5)$$

因而，当我们知道了泊松系数 μ 并确定了动力弹性模量 H 后，用声波方法就能测定出建筑材料的剪切模量 G 。这种测定方法在目前实际上仅为实验室所采用，但是这种方法却非常简单，只要根据脉冲仪指示器的光屏便能测定出横波振动的传播速度（见第三章）。这就又为我们提供了一种研究建筑材料的方法，因为它能直接通过声速测量来确定泊松系数。

应该指出，横波振动的传播速度约比纵波振动的传播速度小

① 水泥砂浆的弹性模量和强度之间的相互关系，详见[25, 29]；混凝土强度和声速之间的直接相关将在 § 7 中叙述。

二分之一，根据公式(2)、(4)和(5)則能算出。

§ 3 表面波

表面波即瑞利波（系根据发现这一現象的英国的一位著名物理学家的名字命名的），它与水面波相似。表面波在固体中所具有的传播速度，約为横波的传播速的0.9倍，約比纵波的传播速度小55%。

利用脉冲法和冲击法則很容易看出这种波，但是，目前还不能成功地用以檢驗路面的质量。分析表面波的传播規律，对路基的研究和测震法的应用均具有重大意义。关于应用表面波来檢驗路面結構的問題在参考文献[62]中已有詳細說明。

在进一步叙述作为道路建筑材料特性的声波传播速度的意义之前，必須适当地确定“动力弹性模量”，即根据声速所测定的这种或那种模量这一概念的应用范围，动力弹性模量常常是由获得各种不同数值的各方面研究人員测定的（参看[35,73]）。

只有将弹性模量作为一种用不同方法研究出的結果进行对比的比較数值，才能保存弹性模量的功用。

的确，由这种或那种方法所测定的一切模量，在頗大程度上給出的概念是一个形式的而又頗为抽象的关于材料物理常数的概念。特别是因为模量的計算与密度的測定有关，所以我們认为，在任何一种材料和制件內的声速都是可以检测的，而且是比所有其他特性更为明显的物理特性。

值得注意的是，声波在各种材料中的传播速度已經测定得十分精确，并已載入有关材料物理常数的大多数参考手册（見别尔格曼的著作[9, 位置96和395頁上的附表]）。模量的数值都是根据用实验方法测出的声速加以計算得出的。

共振法也需要进行声速測量，只是未明說而已。

§ 4 波的传播速度（声速）

在物理学中，至少有四种声速概念，即：相速（波速），群

速，波头速度和訊号速度。

相速是一种无限延长单色周期振动的某一瞬时（相位）传播时所具有的速度。但是，这一现象只能以看作是一种有益的抽象概念，因此才改用群速概念。所谓群速不是无限延长的振动的传播速度，而是在有限时间内延长的某一波群（或序列）的传播速度，其波群一般不少于7个正弦曲线的周期（参看第三章）。波群速度的测量表明，在所有情况下，波群起点是以最高频率的速度（忽略衰减）在介质中传播，因此，称为波头速度。波头速度对于路面試驗起着主要作用，在以下的研究中将着重测量这种速度。波群的基本部分具有較小的速度，因而称为訊号速度（参看[9,59頁，位置98]）。

上面所說关于“声速”这一概念的不同理解，对于具有所谓声的弥散现象的介质，即具有各种不同频率的声的各种不同传播速度的介质来说是有效的。在沒有弥散现象的情况下，上面所說的各种速度都是相等的。但是，在真实的道路建筑材料中都有弥散现象，所以必須重視它。在土壤和路基中，弥散现象极其广泛，因而作为土壤和路基的压实特性[76]。

§ 5 模量与声速关系的計算实例

为了闡明关于声速計算方法的許多問題，我們来进行两个例子（鋼和混凝土）的量綱的簡單計算。

例1 試用物理量（厘米·克·秒制）計算鋼杆件的声速的数值和量綱。

在这种情况下，声速的表达式可以写成：

$$V_{np} = \sqrt{\frac{H}{\rho}} \quad (6)$$

將 $H = 20 \times 10^{11}$ 达因·厘米⁻² 和 $\rho = 7.8$ 克·厘米⁻³ 的值代入这个式中，我們便得出：

$$V_{np} = \sqrt{\frac{20 \times 10^{11} \text{ 克} \cdot \text{厘米} \cdot \text{秒}^{-2} \cdot \text{厘米}^{-2}}{7.8 \text{ 克} \cdot \text{厘米}^{-3}}} \quad (7)$$

简化量纲并求出系数，即得：

$$\begin{aligned} V_{np} &= \sqrt{2.56 \times 10^{11} \text{厘米}^2 \cdot \text{秒}^{-2}} = 10^5 \sqrt{25.6 \frac{\text{厘米}^2}{\text{秒}^2}} \\ &= 5.05 \times 10^5 \text{厘米/秒} = 5050 \text{米/秒} \\ &= 5.05 \text{千米/秒} \end{aligned} \quad (8)$$

例2 試用建筑上慣用的单位来計算截面小于波长的混凝土試件中的纵波（声波）速度的数值和量纲。这时声速的简单表达式可写成式(6)的形式：

$$V_{np} = \sqrt{\frac{H}{\rho}}$$

为了保持量纲，在式中代入由建筑人員慣用的单位所表示的弹性模量和密度的值时，即

$$H = 3.58 \times 10^5 \text{公斤/厘米}^2 \quad (9)$$

$$\rho = 2.2 \text{吨/米}^3 \quad (10)$$

則必須把这些数据的量纲折算成所确定的某种单位制。

我們改用千克·米·秒制，那么：

$$1 \text{ 千克(重量)} = 9.81 \text{ 牛頓} = 9.81 \text{ 千克} \cdot \text{米} \cdot \text{秒}^{-2}.$$

用这种单位制来表示弹性模量时，其表达式如下：

$$\begin{aligned} H &= 3.58 \times 10^5 \text{ 千克} \cdot \text{厘米}^{-2} \\ &= 3.58 \times 10^5 \times 9.81 \text{ 千克} \cdot \text{米} \cdot \text{秒}^{-2} \cdot 10^4 \cdot \text{米}^{-2} \\ &\approx 3.58 \times 10^{10} \text{ 千克} \cdot \text{米}^{-1} \cdot \text{秒}^{-2} \end{aligned} \quad (11)$$

密度的表达式：

$$\rho = 2.2 \text{ 吨} \cdot \text{米}^{-3} = 2.2 \times 10^3 \text{ 公斤} \cdot \text{米}^{-3} \quad (12)$$

因此，将这些值代入声速的表达式(6)中，我們將得出：

$$\begin{aligned} V_{np} &= \sqrt{\frac{H}{\rho}} = \sqrt{\frac{3.58 \times 10^{10} \text{ 千克} \cdot \text{米}^{-1} \cdot \text{秒}^{-2}}{2.2 \times 10^3 \text{ 公斤} \cdot \text{米}^{-3}}} \\ &= \sqrt{16.0 \times 10^6 \text{ 米}^2 \cdot \text{秒}^{-2}} = 4.0 \times 10^3 \text{ 米} \cdot \text{秒}^{-1} \\ &= 4000 \text{ 米/秒} = 4 \text{ 千米/秒} = 4 \text{ 毫米/微秒} \end{aligned} \quad (13)$$

声速的这种表达式和它的数值, 对以后的计算是很方便的^①。

为了举例说明作为固体特性的声速值, 我们来研究一下超声纵波在不同质量混凝土中的传播简图(图2)。

在图2上列举了超声纵波脉冲(参看第三章)通过五个尺寸相同而质量不同的混凝土试件的传播简图。在这些图上, 可以看出超声波的传播速度和传播路径的长度对计算速度值的影响。扩散的圆周部分(假定的)说明了声波前沿的传播情形。各圆周部分之间的距离也是用单位时间来假定的, 譬如 $t=10$ 微秒。

如果混凝土的结构是均质的, 而且未受到破坏, 则超声波将沿最短路径直线传播。这时的传播时间等于 $3t$, 而速度 $V=1.0N$ 千米/秒, 其中 N 是速度的某一数值(图2a)。

如果混凝土结构是均质的, 但整个混凝土的质量较差(强度较

^① 在电子技术中, 小的时间间隔一般用微秒来测量, 它相当于 $1/1,000,000$ 秒。

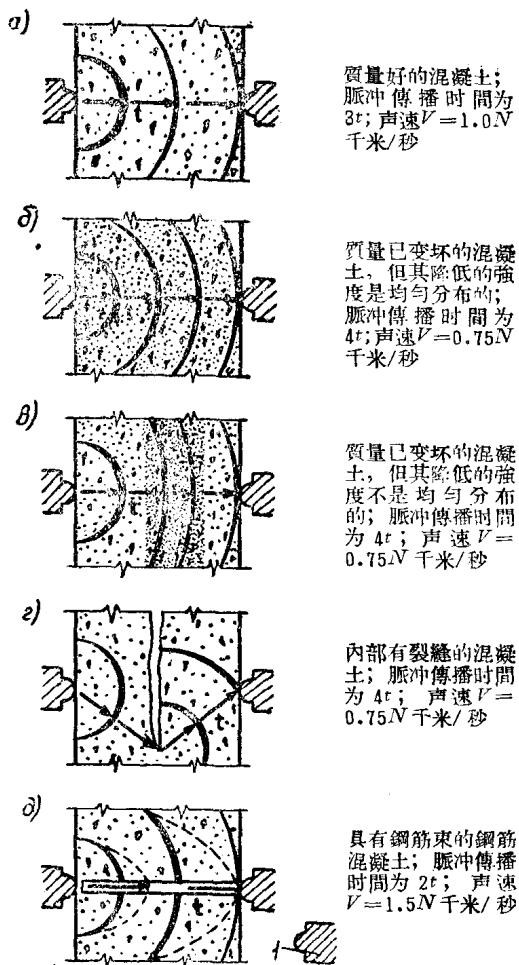


图2 超声波脉冲通过不同质量混凝土时的传播简图
1-超声波换能器安放位置

小),則传播時間可增至 $4t$,而速度可減至 $V=0.75N$ 千米/秒(图26)。

但是,如果好的混凝土有一个降低了强度的区域(图2B),則也会引起传播時間的增加,或声速的減低,这和上面(图26)所計算的那种情况相似。在这个区域范围以外,其声速仍同好的混凝土中的声速一样。

当混凝土的裂縫在25微米以上(即微裂)时,超声波的路径长度会增加,因为超声波要繞过微裂縫(图2r)。这同样也会使声速降低到 $0.75N$ 千米/秒,而传播時間增加到 $4t$ 。因此,借助于超声波速度的測量,不仅能发现混凝土中的微裂縫,而且还能測出微裂縫的深度[2,6]。同时,測出超声波訊号的振幅也是很有好处的(參看第三章)。

由于鋼里的超声波速度比混凝土里的大,故当鋼筋分布在超声波路径附近时,其传播時間会減少到 $2t$ (图2A),或传播速度会增加到 $1.5N$ 千米/秒。这样就能測定出鋼筋混凝土里的鋼筋分布情况。但是,在鋼筋的 $2\sim 3$ 个直径的范围以外,这种現象則不容易被发现。当鋼筋的数量按体积來說比整个混凝土制品的体积少15%的情况下,鋼筋是不会影响超声波速度的[6,8]。

这个例子表明,声速較之其他指数能更全面地和定量地对混凝土质量作出鉴定。

§ 6 速度-强度关系(相关)

(KCP关系)

除了由公式(1)和(5)所表示的声速和动力弹性模量之間的数学形式关系以外,借助脉冲試驗法还发现了另一个重要情况[6, 8, 71等]。也就是对于許多筑路和建筑材料來說,首先是对混凝土來說,在无直接函数关系的情况下,声速和强度之間存在着足够稳定而紧密的相关(即統計关系)^①,以下簡称“速度-强度”

① 鑑于本節的篇幅有限,关于“相关”一詞的概念这里不作詳細討論。为此,僅能指出闡述这个概念較为深入的文献[29, 49],以及本書以后各節(§19)中所列举的对混凝土的相关進行測定的实际結果,以供参考。