

4. 在现场测量煤气声速, 并直接对积水回波时间进行距离定标, 提高了测距精度。

在实际使用 MJ-1 管道声呐系统进行积水探测时, 为了得到满意的探测效果, 声的收、发换能器宜在积水存在的煤气管道上布设, 并且最好在除去水井中的抽水管后直接使声信号通过水井口的管道内发射。

## 参 考 文 献

- [1] 杜功煊等编著, 声学基础, 上海科学技术出版社, 1981年。
- [2] 同济大学声学研究室, 超声工业测量技术, 上海人民出版社, 1977年9月。
- [3] Whalen, A. D., Detection of Signal in Noise, Chap. 4, Academic Press Inc. 1971.

# 路面平整度超声脉冲测量方法的研究

吴慧敏 黄政宇

(湖南大学土木系)

1990年6月12日收到

本文论述了路面平整度测量方法的发展趋势, 提出了用超声脉冲进行道路路面平整度非接触式高速测量的基本原理和测量装置, 分析了测量中存在的问题, 并列出了若干工程检测的实例。

## 一、前 言

路面平整度是道路施工质量的重要指标之一, 尤其是高等级路面, 当车辆高速行驶时, 路面不平整将严重影响车辆-道路系统的营运质量。目前, 能反映路面平整度的测量方法有三类。第一类是测量路面实际平整度的绝对值, 我国常用的方法是用3m直尺搁置在路面上, 量出最大凹陷尺寸, 以每100m检查两处, 每处用3m直尺连续量三次, 取最大三点平均值作为该路段平整度的指标。这种方法虽然简单易行, 但费时费工, 重复性差, 而且与车辆实际运行状况并无联系。因此, 七十年代以来, 第二种类型的平整度测量方法受到人们的重视, 其特点是不再直接测量某些点的实际平整度的绝对值, 而是测量行驶中车辆对路面不平整所引起振动冲击的响应, 以整个路段响应参数的统计值作为该路段平整度的间接指标。例如, 1973年 E. J. Yoder 研究了一种“路况计”<sup>[1]</sup>, 以车辆行驶时车轴对车身的相对位移作为平整度的间接指标, 1985年 G. K. Watugala 等采用车

应用声学

上的加速度计的输出值来计算路况的统计参数<sup>[4]</sup>。这些研究虽然不能直接给出通常平整度概念的绝对值, 但却能更全面、更确切地反映道路营运效果, 从某种意义上说, 这是平整度测量在概念上、测试方法上的一次大变革。第三种类型是采用不接触式的高速综合测量系统, 通过声波、激光及雷达等物理方法采集全路段平整度参数, 经计算机处理后给出反映路面不平整状况的曲线, 并给出路况总的评价指标<sup>[2-3]</sup>。

目前, 我国公路交通迅速发展, 路面等级不断提高, 高速公路的建设也已起步。为了保证道路的施工质量和监测道路的营运状况, 迫切需要现代化的测试手段。为了适应发展的需要, 我们采用超声脉冲法对路面平整度的非接触式高速测量进行了初步探索。

## 二、超声脉冲法测量路面平整度的基本原理

用超声脉冲法测量路面平整度的具体方法是在汽车或专用检测拖车的底盘上安装一对(或若干对)压电式超声发射和接收换能器, 测

量出超声脉冲从发射换能器经路面反射回到接收换能器所需的时间  $t$ ，然后按下式推算出车辆底盘与路面的间距  $Z$ ：

$$Z = \frac{1}{2} ct \quad (1)$$

式中， $c$  为空气声速； $t$  为超声脉冲从发射换能器经路面反射回到接收换能器所需的时间。

从该式可知，当声时测量精度为  $1 \mu s$  时， $Z$  的测量精度可达  $0.34 mm$ 。

由于车辆在行驶中，该  $Z$  值的变化实质上是反映了因路面不平所引起的车辆颠簸，即车辆对路面平整度的振动响应，并非路面平整度的真实值。因此，必须首先求出路面不平与车辆振动响应的相互关系。为此，我们把车辆振动系统和路面的不平整简单模型化<sup>[4]</sup>。车辆以质量( $M$ )—弹簧( $E$ )—阻尼( $K$ )模型来描述，路面不平由泊松随机过程来近似地描述。该模型示于图 1，图中的  $E$  为车辆系统的刚度系数， $K$  为其阻尼系数。

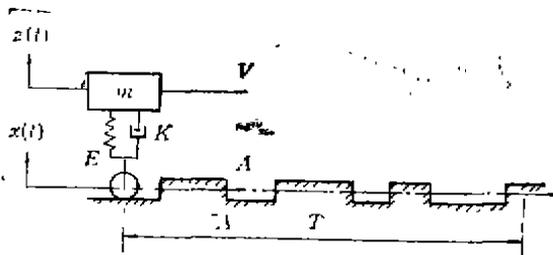


图 1 车辆与路面的简化模型

设  $M$  的绝对位移为  $Z(t)$ ，路面不平的变化为  $x(t)$ ，则  $M$  的垂直振动方程为

$$M\ddot{Z} + K\dot{Z} + EZ = Kx + Ex \quad (2)$$

在距离为  $d$  的空间坐标间隔上出现  $n$  次跳跃的概率应为

$$P(\lambda) = P(n:d) = \frac{(\lambda d)^n}{n!} e^{-\lambda d} \quad (3)$$

式中， $\lambda$  为路程单位长度上所出现的跳跃次数。

假定车轮对路面无跳动，则  $M$  的绝对位移  $Z$  的方差  $D[Z]$  与路面平整度平均值  $2A$  的关系，可根据随机振动的原理求得<sup>[5]</sup>

$$A = \left\{ \frac{D[Z][2\lambda v(K + 2\lambda v M) + E]}{2\lambda v \left( K + \frac{ME}{K} \right) + E} \right\}^{1/2} \quad (4)$$

式中， $A$  为路面跳跃高度(相当对  $1/2$  路面平整度的平均值)； $D[Z]$  为车辆响应的方差； $v$  为车辆行驶速度。

从(4)式可知，当车辆特性参数  $M, E, K$  及车速  $v$  为常数时，只要在车辆行驶中以适当采样速度记录各采样点超声脉冲从发射经路面反射到接收所需的声时  $t$ ，即可按(1)式换算出  $Z$ ，将被测路段各点的  $Z$  值通过计算机处理后，获得  $Z$  的方差  $D[Z]$ ，以及求出单位路程上路面的不平的跳跃次数  $\lambda$ ，从而按(4)式计算出该路段平整度平均值  $2A$ ，或用简化式求出平整度近似值。

### 三、测量系统的研制

路面平整度超声脉冲检测系统由测试车、超声脉冲发射与接收换能器、超声发射与接收装置、声时值测控接口以及数据处理微机系统等部份所组成。其原理框图如图 2 所示。

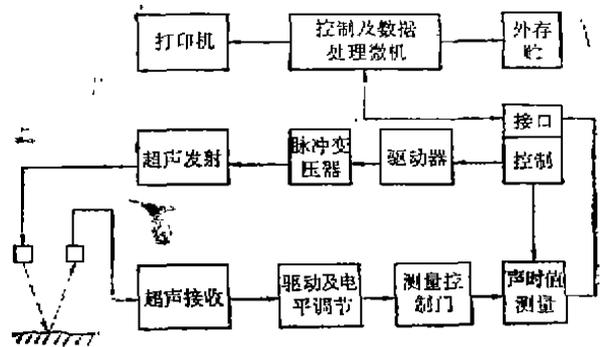


图 2 测量系统原理框图

测试车辆应预先标定各项特性参数，最好制作专用拖车，以便使各项特性参数固定不变。超声换能器用磁力吸盘固定在前轮轴附近的底盘上。换能器的频率应远离车辆行驶时的噪声频率(试验证明  $100 kHz$  较好)，并用声屏蔽材料隔离，以排除噪声干扰。为保证接收信号有足够强度，换能器与路面的距离应根据发射功率与超声脉冲在空气中的衰减、路面的粗糙度及不平程度而定，一般可取  $0.1-0.2m$ 。

数据处理微机为整个测量系统的核心部

份,担任测量数据处理和显示、参数和指令的输入、测量控制等功能。打印机在测量完毕后输出测量数据和曲线,以及处理结果。测量数据还可贮存于外部存储器中,作永久性保存或进一步处理。

检测时对接收信号的首波声时值进行采集,采集速度应与车辆特性和行驶速度相适应。测控电路是数据处理微机与控制测量电路之间的联系桥梁,担任接收和发送控制指令,与数据处理微机交换测量信息等功能。

测量转换命令通过驱动电路和脉冲变压器送至超声发射和接收装置。由发射换能器发出的超声脉冲经路面反射后被接收换能器接收,并经接收装置放大后送至驱动电路,进入测距控制门,结合控制电路,控制声时值测量电路,完成接收波声时值测量的一次循环。

该系统声时值测量精度为  $1\mu\text{s}$ 。试验证明,车速达  $60\text{ km/h}$  时,对路面反射波的测量仍无明显影响,但仪器的采集速度必须足够大。现有系统选用  $30\text{ km/h}$  的车速测量。在车辆行驶中以一定采集速度采集的各点声时值,经微机处理后,输出被测路段的车辆响应方差及经检波处理的路程(即位置)与幅值曲线,并计算出该路段平整度平均值)2A)。

#### 四、路面实测举例

为了验证超声脉冲法测量路面平整度的实际可行性,我们选择了不同平整度的路段,进行了实际道路现场试验,举例如下。

**1. 较好的路段** 该路段用  $3\text{ m}$  直尺测量的平整度平均值为  $3.8\text{ mm}$ 。超声脉冲法在  $500\text{ m}$  路段内所实测的“路程-幅值”曲线示于图 3(a)中,计算的平整度平均值为  $3.5\text{ mm}$ 。误差  $7.8\%$ 。

**2. 中等路段** 该路段用  $3\text{ m}$  直尺测量的平整度平均值为  $5.5\text{ mm}$ , 超声脉冲法实测的“路程-幅值”曲线如图 3(b)所示。计算的平整度平均值为  $5.0\text{ mm}$ , 误差  $10\%$ 。

**3. 已破损的待修路段** 有明显破洞和凹

应用声学

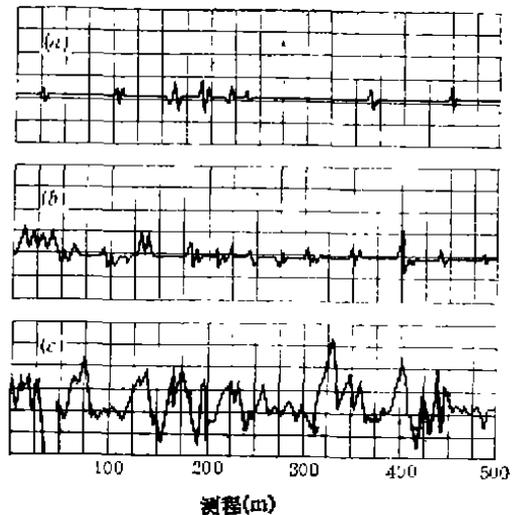


图 3 不同路况的路程-幅值曲线

槽,用超声脉冲法实测的“路程-幅值”曲线如图 3(c)所示。计算的平整度平均值达  $34\text{ mm}$ , 已大大超过道路标准的允许值,确定为翻修路段。

从以上试验结果可见,若测试车的特性参数预先准确标定,用超声脉冲法所测得的路面平整度平均值与用  $3\text{ m}$  直尺测量的平整度平均值基本相符,经计算机处理后所获得的“路程-幅值”曲线,反映了路面不平点的位置和状况。

#### 五、结 语

**1.** 我们对路面平整度的超声脉冲测量方法的原理和检测装置进行了初步探索。实际道路试验证明,利用我们所研制的车载超声脉冲检测装置实现路面平整度的非接触式高速测量是可行的。

**2.** 超声脉冲法所测得的平整度值,是整个被测路段的总体平均值,它比现行的  $3\text{ m}$  直尺测量方法更能全面反映路面平整度,而且,它所获得的“路程-幅值”曲线和有关参数,能提供更多的路况信息,测量自动化程度高,测量传感系统不与路面直接接触、迅速、简便、不影响交通。

**3.** 我们的试验仍然是初步的,其中检测专用车辆特性参数的标定方法及检测方法的标准

化等问题,有待进一步研究。对检测中所获得的大量路况信息,如路面对超声脉冲的反射率、若干对换能器多通道测量时所取得的路面横断面状况等,有待进一步分析和利用。

### 参 考 文 献

- [1] Elton David J., *J. of Transportation Engineering*, 114-1 (1988), 76-92.
- [2] Malhotra V. M., *International Conference on In Situ/Nondestructive Testing of Concrete*, Ottawa, Canada, October 1984, 1-16.
- [3] Cantor T. R., *International Conference on In Situ/Nondestructive Testing of Concrete*, Ottawa, Canada, October, 1984, 581-602.
- [4] Bekker M. G., *地面-车辆系统导论*, 机械工业出版社, 1978, 434-441.
- [5] 庄表中,陈乃立, *随机振动的理论及实例分析*, 地震出版社, 1985, 235-238.

## 检测超声换能器用 1-3 型压电 PZT/环氧 复合材料及换能器的研究

耿学仓 李明轩

(中科院声学研究所)

1991年2月1日收到

本文介绍了一种制做 1-3 型压电 PZT/环氧复合材料的新方法。此方法采用了 PZT 小柱非周期性均匀分布,有效地消除了由于 PZT 小柱周期性分布而产生的有害横向结构共振模式,获得了振动模式较单纯的 1-3 型压电复合材料晶片,研制出宽带(低  $Q$ )换能器及高斯型换能器。

### 一、引 言

压电复合材料,由于具有较大的压电系数  $d_{33}$ ,较高的机电耦合系数  $k_t$ ,以及较小的特性阻抗,较小的机械  $Q$  值,是宽带超声换能器较为理想的材料。压电复合材料换能器应用于声呐、医学超声、机器人传感、声波测井、以及轻负载材料的无损检测<sup>[1-5]</sup>,都可获取较好的效果。

1-3 型压电复合材料的制备方法主要有两种,一种是 K. A. Klicker 提出的插入-填充法<sup>[6]</sup>,另一种是 H. P. Sarakus 提出的切割-填充法<sup>[7]</sup>。这两种方法的一个共同缺点是采用了 PZT 小柱周期性分布,而必然要产生有害的横向结构共振模式<sup>[8-9]</sup>。为了克服这一缺点, F. R. Montero 提出了切割-挤压-填充法<sup>[10]</sup>,这种方法虽然有效地消除了横向结构共振模式,但由于其制作过程中需要挤压切割后的 PZT

小柱,使其破裂成无规则形状,这需要 PZT 相体积百分比在 60% 以上时才能完成,与一般压电复合材料(PZT 相体积百分比为 20-30%)相比,挤压法制作的压电复合材料特性阻抗较大,影响其与轻负载介质(如水)匹配。

为了克服以上缺点,我们仍采用插入-填充法,所不同的是把 PZT 小柱周期性分布改为非周期性均匀分布,有效地消除了横向结构共振模式,而不改变压电复合材料的其它性能。此外,由于这种方法有任意分布 PZT 小柱的特点,我们还用这种方法研制了非均匀分布的宽带(低  $Q$ )压电复合材料,并制出宽带换能器及高斯型换能器。

## 二、1-3 型压电 PZT/环氧复合 材料晶片的研制及性能测试

### 1. 压电晶片的制备