

文章编号:1671-8879(2006)05-0090-04

基于 Matlab 分析的路面平整度控制方法

宋永刚¹, 谭 英²

(1. 长安大学 道路施工技术与装备教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 西北工业大学 图书馆, 陕西 西安 710072)

摘 要:为了在摊铺过程中控制和实现路面的平整度要求,从路面平整度的均方差评价指标及其测量方法出发,用 Matlab 开发了相应的模拟计算程序,分析了平整度均方差值与理想的正弦波形不平整路面的波长、幅值之间的定量关系,并根据车辆与路面相互作用时的行驶舒适性要求,确定了平整度指标、路面状态参数以及行驶舒适性三者之间的定量关系。分析结果给出了既满足给定的平整度指标又满足行驶舒适性要求的路面波长与幅值的取值范围,从而为定量控制路面平整度提供了一种新思路和方法。

关键词:机械工程;路面平整度;平整度指标;均方差值;Matlab

中图分类号:U416.03 **文献标识码:**A

Pavement roughness control method based on Matlab

SONG Yong-gang¹, TAN Ying²

(1. Key Laboratory for Highway Construction Technology and Equipment of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Library, Northwestern Polytechnic University, Xi'an 710072, Shaanxi, China)

Abstract: In order to control pavement roughness while paving, this paper studied the definition of evaluation index and the measuring method of the pavement roughness by mean square deviation, developed the corresponding simulation calculation program with Matlab, analyzed the quantitative relations among mean square deviation of the roughness, the wavelength and amplitude of the ideal sine pavement, and the riding comfort which is corresponding to the inter-action between vehicle and road surface. The value range of the wavelength and amplitude were determined to meat the requirements of roughness index and the riding comfort demand. A kind of new idea and method for the research of pavement roughness controlling was presented. 3 tabs, 7 figs, 9 refs.

Key words: mechanic engineering; pavement roughness; roughness index; mean square deviation; Matlab

0 引 言

路面平整度是反映路面质量的重要因素之一,

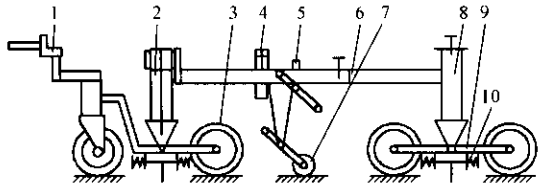
它的好坏不但直接影响车辆行驶的安全性和舒适性,同时也影响着公路运输的经济效益。为此,道路工程研究人员历来十分重视路面平整度的控制与提

高方面的研究。近年来,已有不少学者及工程技术人员从路面施工角度和平整度传递理论角度来探讨提高平整度的方法和途径^[1-3]。然而,虽经多方研究,仍未建立起平整度指标以及行驶舒适性与路面的波长、幅值之间的定量关系。从平整度测量及评价指标的理论角度去寻求平整度控制方法的研究也未见有关资料。所以,实际应用中所采取的提高路面平整度的措施不乏盲目性。

本文从目前普遍使用的连续式平整度检测仪(八轮仪)的测量原理^[4-5]出发,应用 Matlab 软件^[6],仿真研究路面平整度均方差指标与不平整路面的波长、幅值之间的定量关系;又从路面的使用角度,参考人体对振动响应的承受能力,寻找同时满足路面平整度和行驶舒适性要求的路面波长与幅值的取值范围,为在施工过程中控制平整度^[7]以及进一步研究摊铺机找平系统的控制方式、实现对波长和幅值的定量控制、提高找平效果提供理论依据。同时,本文较全面地反映了人-车-路-摊铺控制系统四位一体的相互作用与影响,对于路面施工过程、相关技术开发、系统控制和提高路面平整度指标都具有指导意义。

1 路面平整度的测量与表示方法

多年来,国内外对路面平整度的检测仪器进行了大量的研究和开发,其中,中国应用最为广泛的是连续式平整度仪。在文献^[8,9]中,均指定该仪器为工程实用测量仪器。图 1 给出八轮仪的结构示意图。



1-牵引机构;2-前桥;3-前轮;4-位移传感器;5-锁止机构;
6-主架;7-测试轮;8-后桥;9-轮架;10-减震机构

图 1 八轮仪结构简图

八轮仪直接测量路面相对于动态基准即平整度仪主架的纵向高差,经过数理统计,用计算获得的均方差表示路面的平整度。路面情况如图 2 所示,设计线为细实直线,实际路面为粗实曲线。由于施

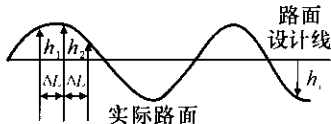


图 2 路面曲线图

工和养护等原因,实际路面总是偏离设计线,其偏离程度用均方差 δ 来表征。

每隔一定水平距离 ΔL ,测量实际路面与动态基准之间的垂直距离,可得到一组数据 h_1, h_2, \dots, h_i 。这样,被测路面的平整度均方差值可用下列公式计算

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}$$
$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n}$$

式中: n 为采样次数; h_i 为每次采样所得的实际纵向高差。

均方差值的大小表示实际路面的平整度,均方差值 δ 越小,平整度指标越高,反之,平整度指标越低。文献^[8]规定,高速公路和一级公路的平整度均方差指标是 $\delta=1.2$ 。目前,实际采用的平整度指标普遍高于该值,所以本文对 $\delta<1.2$ 的几种情况也进行了分析。

2 δ 与路面纵断面曲线波长和幅值的关系

为研究方便,假定不平整路面的纵断面曲线为理想的正弦波形,即

$$y = A \sin\left(\frac{2\pi x}{L}\right)$$

式中: A 为振幅; L 为路面不平整度的波长; y 为路面纵向高程; x 为路面水平方向位移量。

车辆人机工程学的研究实践表明:车辆振动使人感觉最强的是低、中频率,路面不平度的波长约在 $0.2\sim 20\text{ m}$,一般公路不平度的幅值约为几厘米。针对高等级公路,选定波长 L 的变化范围为 $2.5\sim 15\text{ m}$,幅值 A 的变化范围是 $0.5\sim 10\text{ cm}$ 。

根据八轮仪的测量原理,模拟八轮仪在正弦波形路面上的测量过程。模拟仿真图见图 3,测量时进行连续检测,测量轮的采样间距为 10 cm ,测量长度为 100 m 。由八轮仪的结构尺寸参数确定各轮与

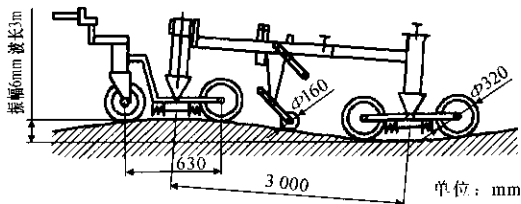


图 3 八轮仪测量模拟仿真图

地面接触点的方程,并编制 Matlab 程序,模拟计算满足路面平整度指标($\delta \leq 1.2$)的波长和幅值范围。

首先,计算平整度指标 $\delta=1.2$ 时波长和幅值的取值情况,结果见表 1。

表 1 $\delta=1.2$ 时 L 和 A 的取值情况

L/m	2.7	4.6	5.5	6.0	6.9	7.1	7.3	8.0	8.2	8.5	8.8
A/mm	1.0	1.2	1.5	1.7	2.1	2.2	2.3	2.7	2.8	3.0	3.2
L/m	9.0	9.3	9.9	10.0	10.3	11.3	11.9	12.0	12.7	12.8	13.2
A/mm	3.3	3.5	3.9	4.0	4.2	5.0	5.5	5.6	6.2	6.3	6.7
L/m	13.3	13.4	13.5	14.1	14.2	14.3	14.4	14.5	14.6	15.0	—
A/mm	6.8	6.9	7.0	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.5	—

对该结果进行二次多项式拟合,方程为

$$A = 0.040\,383L^2 - 0.089\,806L + 0.830\,31$$

计算结果及拟合曲线如图 4 所示。由拟合结果可以看出,均方差值 δ 一定时,波长 L 与幅值 A 大致呈正比例关系变化。

同理,再分别计算 $\delta=1.4$ 、 1.0 、 0.8 及 0.6 时 L 与 A 的取值情况,并与 $\delta=1.2$ 时的结果在同一曲线图中绘出,如图 5 所示。对图 5 中结果进行比较分析,可以看出:

(1) A 一定时, L 越长, δ 值越小; L 一定时, A 越小, δ 值越小。

(2)任意给定 2 个量的大小,就可确定出第 3 个量的范围。如: $\delta \leq 1.2$ 时,若路面波长控制在 10 m 左右,则幅值控制在 0~4 mm 范围内即可满足平整度指标要求;若路面的幅值在 8 mm 左右,则路面波长须大于 14.5 m 时才能满足同样的平整度要求。

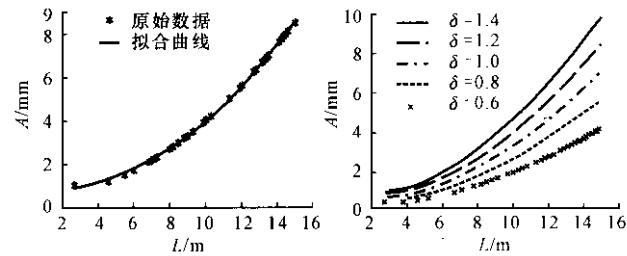


图 4 $\delta=1.2$ 时 L 与 A 的关系曲线

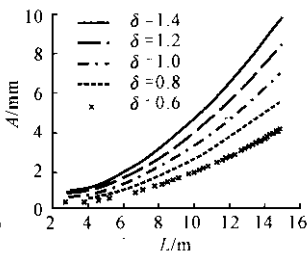


图 5 不同 δ 下 L 与 A 的取值情况

3 满足行驶舒适性的波长与幅值范围

路面的行驶舒适性是车与路面联合作用的综合结果或驾乘人员的感受效果。所谓路面不舒适,主要是指路面引起的行车颠簸严重,直接来源于低劣的路面平整度。一般来说,影响行驶舒适性的因素主要是由路面不平度激励引起的汽车在垂直方向上的低频大振幅振动。为了评价人对振动的响应,国

际标准化组织(ISO)根据大量的试验资料,研究分析并制定了《人体承受全身振动的评价指南》(ISO2631-1978),指出人体承受垂直振动时在 4~8 Hz 范围内承受能力最小。

路面功率谱密度的有关研究中有如下定义:当车辆以速度 V 通过某一波长为 L 的不平整路面时,所需时间为 T ,则 $L=VT$ 。称 $N=1/L=1/VT=F/V$ 为空间频率,它是波长 L 的倒数,表示每米长度中包括几个波长; $F=1/T$ 为时间频率,因此得到时间频率与空间频率的如下关系式: $F=NV$ 。实际上,当车辆以一定速度行驶于不平整路面上时,引起车辆振动的主要因素是路面波长、幅值,车辆自身的振动性能以及行驶速度。因此,乘客的舒适性不仅与路面的不平整度有关,而且与车辆的行车速度也有关系。

人体对车辆垂直振动的响应最敏感的时间频率范围是 4~8 Hz,如果按照高等级公路设计的最大行驶速度 $V_1=80\text{ km/h}$ (货车)和 $V_2=120\text{ km/h}$ (轿车)分别进行讨论,则该频段对应的空间频率范围为

$$N_1 = F/V_1 = (0.18 \sim 0.36)\text{ m}$$

$$N_2 = F/V_2 = (0.12 \sim 0.24)\text{ m}$$

从而可以确定最敏感的路面波长范围为

$$L_1 = 1/V_1 = 2.775 \sim 5.55\text{ m}$$

$$L_2 = 1/V_2 = 4.162 \sim 8.325\text{ m}$$

(1) $V=80\text{ km/h}$ 时满足行驶舒适性的波长与幅值取值情况。 $V=80\text{ km/h}$ 时,波长在 2.775~5.55 m 范围内人体对车辆振动的承受能力最小。因此,满足平整度指标 $\delta=1.2$ 且满足行驶舒适性要求的波长与幅值范围调整见表 2。

表 2 $V=80\text{ km/h}$ 时满足行驶舒适性的 L 与 A 范围

L/m	6.0	6.9	7.1	7.3	8.0	8.2	8.5	8.8	9.0	9.3
A/mm	1.7	2.1	2.2	2.3	2.7	2.8	3.0	3.2	3.3	3.5
L/m	9.9	10.0	10.3	11.3	11.9	12.0	12.7	12.8	13.2	13.3
A/mm	3.9	4.0	4.2	5.0	5.5	5.6	6.2	6.3	6.7	6.8
L/m	13.4	13.5	14.1	14.2	14.3	14.4	14.5	14.6	15.0	—
A/mm	6.9	7.0	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.5	—

同理, $\delta=1.4$ 、 1.0 、 0.8 及 0.6 时 L 与 A 的取值情况也应调整,即删除波长在 2.775~5.55 m 范围内的取值,结果如图 6 所示。

(2) $V=120\text{ km/h}$ 时满足行驶舒适性的波长与幅值取值情况。 $V=120\text{ km/h}$ 时,波长在 4.162~8.325 m 范围内人体对车辆振动的承受能力最小。因此,满足平整度指标 $\delta=1.2$ 且满足行驶舒适性要

求的波长与幅值范围的调整见表 3。

同理, $\delta=1.4、1.0、0.8$ 及 0.6 时 L 与 A 的取值情况也应调整,即删除波长在 $4.162\sim8.325\text{ m}$ 范围内的取值,结果如图 7 所示。

表 3 $V=120\text{ km/h}$ 时满足行驶舒适性的 L 与 A 范围

L/m	2.7	8.5	8.8	9.0	9.3	9.9	10.0	10.3
A/mm	1.0	3.0	3.2	3.3	3.5	3.9	4.0	4.2

L/m	11.3	11.9	12.0	12.7	12.8	13.2	13.3	13.4
A/mm	5.0	5.5	5.6	6.2	6.3	6.7	6.8	6.9

L/m	13.5	14.1	14.2	14.3	14.4	14.5	14.6	15.0
A/mm	7.0	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.1	8.5

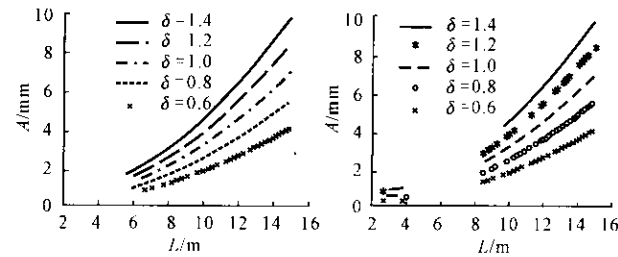


图 6 $V=80\text{ km/h}$ 时满足行驶舒适性的 L 与 A 的取值

图 7 $V=120\text{ km/h}$ 时满足行驶舒适性的 L 与 A 的取值

4 结 语

(1)路面平整度指标与不平整路面的波长 L 成正比,与幅值 A 成反比,即波长越长越好,幅值越小越好;当均方差值 δ 一定时,路面波长 L 与幅值 A 之间大致呈正比例关系变化。这一结论与路面功率谱研究的结论完全吻合。

(2)影响行驶舒适性的主要因素是路面不平整度激励引起的汽车在垂直方向上的低频大振幅振动。因此,车辆振动的频率和加速度取决于路面波长、车辆自身的振动性能和行驶速度的变化。这说明在路面施工中不但要控制不平整度的幅值还要根据设计车速度的大小控制路面的波长取值范围。

(3)人体对车辆垂直振动最敏感的频率范围是 $4\sim8\text{ Hz}$ 。所以,对设计速度为 $V=80\text{ km/h}$ 的路面应避免波长在 $2.775\sim5.55\text{ m}$ 之间;对设计速度为 $V=120\text{ km/h}$ 的路面应避免波长在 $4.162\sim8.325\text{ m}$ 之间。

(4)由平整度指标和机械设备的技术状态所能获得的波长或幅值范围,通过仿真程序模拟计算,即可确定符合平整度指标的第 3 个量(即幅值或波长)的取值范围。

参考文献:
References:

[1] 王新明,王秉纲. 高速公路路面功率谱[J]. 交通运输工程学报,2003,3(2):53-56.
WANG Xin-ming, WANG Bing-gang. Expressway pavement power spectral density[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003, 3(2): 53-56.

[2] 曹源文,梁乃兴,徐建平. 行车动荷载作用下路面平整度的预计[J]. 长安大学学报:自然科学版,2004,24(4):22-25.
CAO Yuan-wen, LIANG Nai-xing, XU Jian-ping. Calculation of pavement evenness under dynamic load of moving vehicle[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(4): 22-25.

[3] 刘献栋,邓志党,高峰. 基于逆变换的路面不平度仿真[J]. 中国公路学报,2005,18(1):122-126.
LIU Xian-dong, DENG Zhi-dang, GAO Feng. Study of simulation of road roughness based on inverse transform[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(1): 122-126.

[4] 赵济海. 路面不平度的测量、分析与应用[M]. 北京:北京理工大学出版社,2000.
ZHAO Ji-hai. The measurement, analyze and applications of road roughness[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2000.

[5] 郭兰英,刘小羊. XLPY-F 型路面平整度仪的研制[J]. 交通与计算机,1999,17(3):9-11.
GUO Lan-ying, LIU Xiao-yang. The developing of the model XLPY-F roughness instrument[J]. Computer and Communications, 1999, 17(3): 9-11.

[6] Edward B M. MATLAB 原理与工程应用[M]. 高会生译. 北京:电子工业出版社,2002.
Edward B M. The principle and engineering application of MATLAB[M]. Transtaled by GAO Hui-sheng. Beijing: Electronic Industry Press, 2002.

[7] 胡长顺. 高等级公路路基路面施工技术[M]. 北京:人民交通出版社,1994.
HU Chang-shun. The technology of base and pavement of expressway[M]. Beijing: China Communications Press, 1994.

[8] GB 50092-96. 沥青路面施工及验收规范[S].
GB 50092-96. Specification for asphalt pavement paving and Checking[S].

[9] JTJ 073-96. 公路养护技术规范[S].
JTT 073-96. Specification for highway maintaining technique[S].