

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2015.01.009

基于断面高程的路面构造深度计算模型研究

窦光武

(交通运输部公路科学研究院, 北京 100088)

摘要: 为了明确和统一我国路面构造深度计算模型, 针对我国基于断面高程的路面构造深度计算模型复杂多样, 缺乏理论联系, 造成构造深度测量结果横向可比性差的技术问题, 通过阐述路面构造深度测试技术, 剖析基于断面高程的构造深度测量方法的技术内涵, 提出了采用与铺砂法具有良好相关性的 *SMTD* 作为我国路面构造深度计算模型的观点, 并应用正交法回归设计理论, 论证了国家标准《多功能路况快速检测设备》(GB/T 26764—2011) 与交通运输行业标准《车载式路面激光构造深度仪》(JT/T 840—2012) 中, 有关构造深度计算模型规定的一致性。如果能够在路面抗滑要求与路面构造深度标准匹配方面, 有针对性地补充必要的试验验证研究, 将为激光构造深度测量方法直接应用于路面抗滑性能的评定提供技术依据。

关键词: 道路工程; 路面构造深度; 断面高程; 计算模型; 一致性

中图分类号: U416.03

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2015)01-0050-07

Research of Calculation Model of Pavement Texture Depth Based on Profile Elevation

DOU Guang-wu

(Research Institute of Highway, Ministry of Transport, Beijing 100088, China)

Abstract: In order to define and unify pavement texture depth calculation model in China, aiming at poor theoretical link about complicated calculation models of pavement texture depth based on profile elevation, and leads to poor comparability of pavement texture depth measurement results, through stating the testing technology of pavement texture depth and analysing the technical connotation of texture depth measurement method based on profile elevation, we put forward a opinion that using *SMTD* which gives good correlation with the readings obtained by the sand patch method as the pavement texture depth calculation model, and demonstrated the consistency of the stipulation of texture depth calculation model between the national standard *Multifunctional High-speed Highway Condition Monitor* (GB/T 26764—2011) and transport industry standard *Vehicle Bearing Road Laser Texture-meter* (JT/T 840—2012) by orthogonal regression design theory. If some necessary experimental verification can be carried out in pavement anti-slide matching with pavement texture depth, it will be a technical basis of applying laser texture depth measurement method directly to evaluate pavement anti-slide performance.

Key words: road engineering; pavement texture depth; profile elevation; calculation model; consistency

0 引言

路面宏观纹理(又称路面构造)是路表抗滑能力的重要来源,是影响公路行车安全的重要因素,公路行业常以路面构造深度来评价路面构造的优良

(或大小)^[1]。我国涉及路面构造深度定义的标准主要有3个,一是《公路工程名词术语》(JTJ 002—87)中关于路面粗糙度和铺砂法的描述,其中第7.0.59条这样描述路面粗糙度:路面粗糙度是路面骨料的棱角阻止轮胎滑动的能力,通常以路面摩

收稿日期: 2013-04-24

基金项目: 交通运输部计量质量研究项目(2012-318-223-250)

作者简介: 窦光武(1981-),男,安徽泾县人,硕士,高级工程师。(gw.dou@rioh.cn)

擦系数和路表构造深度来表示;第11.0.114条则这样描述铺砂法:铺砂法是指测定路面表面粒料之间的平均构造深度,用以表示路面的粗糙程度。二是《公路路基路面现场测试规程》(JTG E60—2008),构造深度(texture depth)是指路表面开口空隙的平均深度,即宏观纹理深度 TD ,以mm计。三是《多功能路况快速检测设备》(GB/T 26764—2011),路面构造深度是指路面表面骨料间形成的空隙深度。

由上述关于路面构造深度的描述可以看出,路面构造深度并不是一个能通过普通、简单的测量手段进行量化的技术指标。国际上关于路面构造深度的测量技术主要有两大类,一类是以铺砂法为代表的接触式测量方法,一类是以激光测距法为代表的非接触式测量方法。两类方法表面上都是以路面构造深度为测量对象,但实际代表的物理意义却完全不同。其中,铺砂法是基于体积置换原理,与我国路面构造深度的定义完全吻合,虽然此法有测试效率低、重复性差、精确度低等固有缺陷^[2],但目前仍是我国交通行业标准规范体系采用的标准方法;而激光测距法是以路面波谱理论为基础,是通过极密间距(一般小于2 mm)的断面高程测量,采用一定的数学模型计算转换得到路面构造深度,其典型的代表仪器为车载式路面激光构造深度仪。国际上大量试验资料表明,此类方法的测量结果与铺砂法测量结果有良好的线性相关性,但与我国路面构造深度的定义并无直接理论关系,虽然有测试效率高、重复性好、精确度高等优势,但一直未在交通行业内有效地推广应用^[3-4]。我国有关标准规范规定,此方法可以作为路面构造深度普查的参考依据,当测量结果用于路面构造质量评定时,须经过与铺砂法测值的相关性转换后才能使用。这种相关性转换是一种纯数学方式,且转换系数依赖于每台具体的仪器,并无通用的转换公式^[5]。

当前,我国高速公路建设规模仍高位运行,且随着路网规模的不断扩大和人们行车安全意识的不断提高,对于路面构造深度的科学、准确、高效的测量需求日益膨胀,基于断面高程数据的非接触式路面构造深度测量技术在我国面临着弃之可惜,用之无道的两难境地。本研究依托交通运输部计量质量研究项目“路用激光构造深度仪计量标准技术研究”及有关行业标准制订修订工作,全面剖析我国激光构造深度测量方法的技术内涵,希望能为其直接应用于路面抗滑性能的评定提供技术支撑。

1 我国路面构造深度测试技术

我国交通行业标准《公路路基路面现场测试规程》(JTG E60—2008)中,规定了路面构造深度的测试方法有手工铺砂法、电动铺砂仪法和车载式激光构造深度仪法3种,其中前两种为接触式测量方法,后一种为非接触式测量方法。

1.1 手工铺砂法

手工铺砂法最早由英国道路研究所设计,该方法完全根据路面构造的定义,基于体积置换原理,将一定规格的细砂(粒径0.15~0.3 mm)铺在路面上,计算嵌入凹凸不平的表面空隙中的砂的体积与覆盖面积之比,从而求得构造深度。该方法原理易懂、操作简便,所需工具便宜,但是耗费人力,测试效率极低,缺乏实际操作标准,精确度很低,人为误差大,难以复现,不宜于潮湿天气测试^[6]。后来有的国家采用玻璃球作为砂的替代品,在一定程度上可以提高测量值的重现性,但也未解决根本问题。

1.2 电动铺砂法

该方法实质为自动化铺砂法,测试原理与手工铺砂法如出一辙。1992年12月,我国生产出第一台国产化电动铺砂仪样机,并完成了与日本的电动粗糙仪对比验证试验。电动铺砂仪是按照交通运输部标准JTJ059—95《公路路基路面现场测试规程》试验规程设计,操作简单、方便,从一定程度上提高了测试效率,减小了人为误差,但由于测试效率仍然较低,以及仪器标准化程度不高带来不可避免的误差等因素,导致其无法适应大规模、高精度的测试需求。

1.3 车载式激光构造深度仪法

激光构造仪是英国道路与运输研究所(TRRL)研制的以激光为基础的小型构造仪,通过高速测量道路纵向断面高程,采用一定的计算模型进而推定沥青路面的宏观构造深度,由于同铺砂法的测量结果有良好的线性相关性,同时测试效率高,重现性好,还能适用于潮湿的条件。第18届国际道路会议上,英国的激光构造深度仪作为新铺沥青路面宏观构造的认可方法被纳入运输部新版道路和桥梁工程规范。1985年,我国辽宁省引进第一台激光构造深度仪,路试结果反映良好。1987年,我国机械工业部和交通运输部分别将该仪器及其应用列为消化吸收项目^[7]。

2 国际上的非接触式路面构造深度计算模型

2.1 基于波谱理论的路面构造

国际上普遍认可的路面构造深度的定义为,实

实际路表纵断面与理想(基准)平面的偏差,在三维空间中,路表具体点位与某个区域内(通常与轮胎接地面积相同大小)通过3个最高点的理想平面之间的距离(TD)^[8-9],如图1所示。

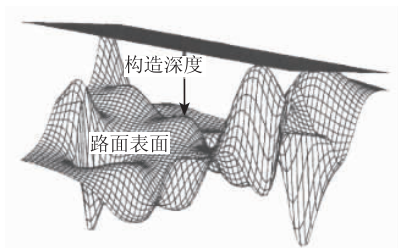


图1 构造深度示意图

Fig.1 Schematic diagram of texture depth

虽然定义中的理想平面在实际测量中很难形成,但相比于我国的路面构造深度的定义,其测量操作性更强。在此基础上,结合路面波谱理论,国际上形成了很多评价和描述路面构造的方法。ISO, ASTM以及有关国外知名科研机构(如TRRL)等,均是从路面波谱的角度定义路面构造,即认为正常的路表纵断面,经傅里叶分量分解后,将包含一组连续分布的波谱,这组波谱可以由不同波长来定量表达,而路面构造正是具有特定波长范围的一组波谱。目前,世界道路协会常设委员会(PIARC)对不同波长范围的路表几何形态进行了定义^[8],该定义被国际工程界普遍认可,具体如图2所示。

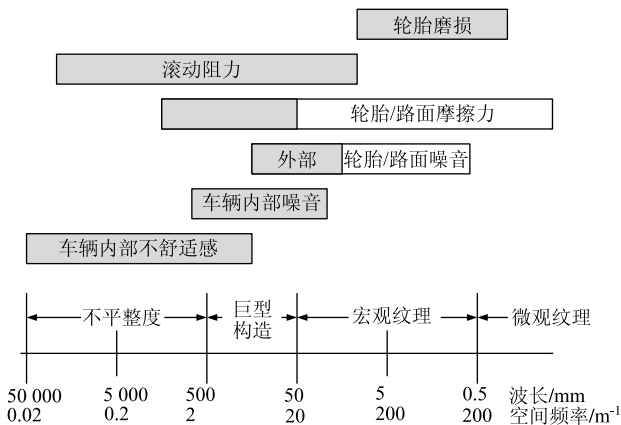


图2 不同波长范围的路面构造的规定

Fig.2 Definition of pavement texture in terms of wavelength range

(1) 宏观纹理(macrotexture)^[8,10]:即本文研究的路面构造。波长在0.5~50 mm内的路表纵断面与理想平面的偏差,本项目所研究的正是该宏观纹理。这种波长范围的路面构造,其振幅通常为0.1~20 mm,波长恰好随轮胎接地单元的尺寸而变化。为

路表排水和抗滑需要,这种路面构造通常要求被设计成特定范围内的值,如我国高速公路路面构造深度要求在0.7~1.1 mm之间,这种路面构造主要通过集浆比或者特定的表面处治技术来控制。

(2) 微观纹理(microtexture)^[8,10]:波长小于0.5 mm的路表纵断面与理想平面的偏差。这种波长范围的路面构造,其振幅通常为0.001~0.5 mm,通常使得表面有或多或少的针刺感,但又不至于被肉眼分辨。这种路面构造主要取决于单个石料或者与轮胎直接接触的其他颗粒的表面性能,如粗糙度、尖锐性、磨光值等等。

(3) 巨型构造(megatexture)^[8,10]:波长在50~500 mm内的路表纵断面与理想平面的偏差。这种波长范围的路面构造,其振幅通常为0.1~5 mm,波长通常随轮胎接地面积的尺寸而变化,一般是由坑槽或者拥包等路面损坏而造成。

(4) 不平整度(unevenness)^[8,10]:波长在0.5~50 m内的路表纵断面与理想平面的偏差。实际已经超出路面构造的定义,在我国即指路面平整度,通常用于衡量路面行车舒适性能。

2.2 基于断面高程的路面构造深度测量技术的计算模型

基于断面高程的路面构造深度测量技术正是以上述路面波谱理论为支撑,首先采用激光测距技术快速、准确地测量路面纵断面的高程,然后采用一定的计算模型,评价和描述0.5~50 mm波长范围内的路表几何形态,从而解决路面构造深度的测量。关于评价和描述路面构造深度的计算模型,国际上衍生出很多不同的方式,主要有:

(1) 断面深度(Profile Depth, PD)^[8]:在二维空间里,在轮胎接地长度的区间内,纵断面某点与该断面内最高点的水平线间的距离。

(2) 平均断面深度(Mean Profile Depth, MPD)^[7-8]:在特定长度区间内的断面深度平均值。

(3) 估算构造深度(Estimated Texture Depth, ETD)^[8]:以mpd为自变量,通过换算公式(如 $etd = 0.2 + 0.8 mpd$),用于评定路面构造深度。

(4) 传感器测量构造深度(Sensor Measured Texture Depth, SMTD)^[11]:对一定长度段落内测试点的高度数列,进行二次抛物线回归后的计算残差。具体如下:

$$smt d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y_e)^2}{N}}$$

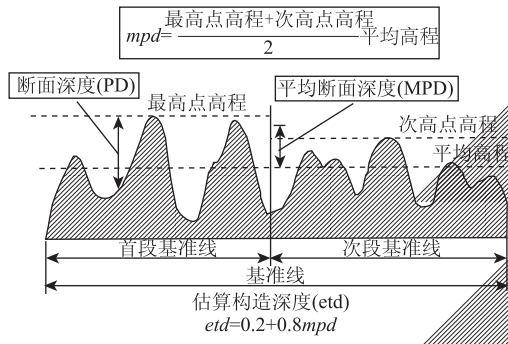


图3 断面法构造深度计算模型

Fig. 3 Calculation model of texture depth using profile method

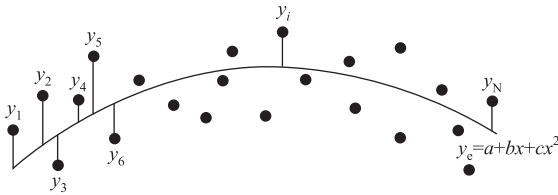


图4 传感器测量构造深度的计算模型

Fig. 4 Calculation model of sensor measured texture depth

式中, $smtd$ 为路面构造深度指标, 通过对各检测点高度数据进行抛物线回归, 计算残差得到; y_i 为各检测点高度数值; y_e 为通过二次最小平方回归法获得的一条抛物线, 等于 $a + bx + cx^2$ 。

文献[11]指出, 该计算模型的测量结果(SMTD)与传统铺砂法的测量结果(TD)具有良好的线性相关性, 这也正是该计算模型被广泛采用的主要原因。该报告通过一定数量的试验, 得到相关性公式: $smtd = 0.12 + 0.59td$, 相关系数(R^2)均大于0.95。

3 我国断面高程法路面构造深度的计算模型

我国的非接触式路面构造深度测试技术引自国外, 由于存在多种基于断面高程数据的路面构造深度的计算模型, 此项测试技术在我国应用即面临选择问题, 然而我国众多标准规范对该计算模型只字未提, 导致我国对该项测试技术的应用水平极低^[7]。通过大量的文献研究和必要的验证试验, 采用了与铺砂法线性相关性较好的 SMTD 计算模型, 并在交通运输行业标准《车载式路面构造深度仪》(JT/T 840—2012)中明确了“激光测量法路面构造深度”的定义, 即当采用激光构造深度仪等非接触式测距设备进行路面构造深度检测时, 对 300 mm 长度段落内, 对等间距测试点的高度数列进行二次抛物线回归后的计算残差^[12]。此行业标准颁布实施以后, 一些专家学者提出了质询, 主要是关于我国 2011 年颁

布的国家标准《多功能路况快速检测设备》(GB/T 26764—2011)中规定的构造深度计算模型的一致性问题。也借此文对该一致性问题做出必要回复。

3.1 国家标准规定的构造深度计算模型

国家标准《多功能路况快速检测设备》(GB/T 26764—2011)中规定: 路面构造深度检测可采用激光等不同的检测方法, 规定检测装置应能实时保存路面纹理断面高程信息, 计算路面构造深度 SMTD, 计算结果以 10 mm 为单位保存, 并且, 直接引用了英国 SCANNER 测量系统有关 SMTD 的计算公式, 以规范性附录的形式给出了路面构造深度(SMTD)的计算模型, 具体如下:

SMTD 是基于路面纹理断面信息的路面构造深度指标, 单位为 mm。假设路面构造深度的统计长度为 L , 每个 SMTD 值的计算长度为 D , 则统计长度 L 的平均构造深度 SMTD 按公式计算^[13]:

$$smtd_L = \frac{1}{J_{val}} \sum_{i=1}^J smtd_D,$$

式中:

$$smtd_D = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 - \frac{12 \left(\sum_{i=1}^n x_i y_i \right)^2 + p}{n^2 - 1}}{n^2}},$$

$$p = \frac{5 \left\{ (n^2 - 1) \sum_{i=1}^n y_i - 12 \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \right\}^2}{4(n^2 - 4)},$$

$$n = \frac{D}{l},$$

$$J = \frac{L}{n \times l},$$

式中, $smtd_L$ 为统计长度 L 的平均路面构造深度, L 取 10 m; $smtd_D$ 为按计算长度 D 求的路面构造深度, D 取 300 mm; x_i 为计算长度 D 内, 第 i 点的名义距离, 第 1 点为 $-\frac{(n-1)}{2}$, 第 n 点为 $\frac{(n-1)}{2}$; y_i 为第 i 点的纵断面测量值; J_{val} 为统计长度内有效的 $smtd_D$ 个数; l 为纵断面取样间距; n 为计算长度 D 内纵断面取样数量, 按最近的奇数取整数, 应不少于 151 个点; J 为统计长度 L 内的 $smtd_D$ 个数, 取整数。

3.2 行业标准与国家标准的一致性

交通运输行业标准《车载式路面构造深度仪》(JT/T 840—2012)从描述数学模型的角度给出了 SMTD 的定义, 而国家标准《多功能路况快速检测设备》(GB/T 26764—2011)则是以给定数学公式的方式说明 SMTD 的计算方法, 前者极易被理解和接

受,但直接操作性稍差,而后者恰恰相反。正因为二者形式的不同,且无法通过简单的转换得出二者一致的结论,因此引发了质询,从一定程度上影响了激光构造深度仪的制造和使用。以下将以数学推演的方式说明二者的一致性。

3.2.1 高度数据列的曲线拟合

采取正交多项式回归设计对高度数列进行二次抛物线拟合,满足正交条件下, $y_e = a + bx + cx^2$ 为

$$b_0 = \frac{B_0}{D_0} = \sum \varphi_0(x_i) y_i / \sum \varphi_0^2(x_i) = \sum y_i / n,$$

$$b_1 = \frac{B_1}{D_1} = \sum \varphi_1(x_i) y_i / \sum \varphi_1^2(x_i) = \sum x_i y_i / \sum x_i^2 = \sum x_i y_i / \frac{n(n^2-1)}{12} = 12 \sum x_i y_i / n(n^2-1),$$

$$b_2 = \frac{B_2}{D_2} = \sum \varphi_2(x_i) y_i / \sum \varphi_2^2(x_i) = \sum \left(x_i^2 y_i - \frac{n^2-1}{12} y_i \right) / \sum \left(x_i^2 - \frac{n^2-1}{12} \right)^2 =$$

$$\frac{\sum x_i^2 y_i - \frac{n^2-1}{12} \sum y_i}{\frac{n(n^2-1)(3n^2-7)}{240} - \frac{n^2-1}{6} \cdot \frac{n(n^2-1)}{12} + n \frac{(n^2-1)^2}{144}} = \sum x_i^2 y_i - \frac{n^2-1}{12} \sum y_i / \frac{n(n^2-1)(n^2-4)}{180},$$

所以 $y_e = \frac{\sum y_i}{n} + \frac{12 \sum x_i y_i}{n(n^2-1)} x + \frac{180 \sum x_i^2 y_i - 15(n^2-1) \sum y_i}{n(n^2-1)(n^2-4)} \left(x^2 - \frac{n^2-1}{12} \right)。$

3.2.2 拟合残差 (SMTD) 的计算

由行业标准中路面的构造深度定义可知,路面构造深度为曲线拟合后的计算残差,即:

$$smt d_p^2 = \frac{\sum (y_i - y_e)^2}{n} \Rightarrow n^2 smtd_p^2 = n \sum (y_i - y_e)^2 = n \sum (y_i - y_e)^2 = n \sum y_i^2 - 2n \sum y_i y_e + n \sum y_e^2,$$

式中,设 $-2n \sum y_i y_e$ 为 ①, 设 $n \sum y_e^2$ 为 ②,

则 ①:

$$-2n \sum y_i y_e = -2n \frac{(\sum y_i)^2}{n} - 2n \sum y_i \cdot \frac{12 \sum x_i y_i}{n(n^2-1)} \cdot x_i - 2n \sum y_i \cdot \frac{180 \sum x_i^2 y_i - 15(n^2-1) \sum y_i}{n(n^2-1)(n^2-4)} \cdot \left(x_i^2 - \frac{n^2-1}{12} \right) =$$

$$-2(\sum y_i)^2 - \frac{24(\sum x_i y_i)^2}{n^2-1} - \frac{360 \sum x_i^2 y_i - 30(n^2-1) \sum y_i}{(n^2-1)(n^2-4)} \left(\sum x_i^2 y_i - \frac{n^2-1}{12} \sum y_i \right) =$$

$$-2(\sum y_i)^2 - \frac{24(\sum x_i y_i)^2}{n^2-1} - \frac{360(\sum x_i^2 y_i)^2 - 60(n^2-1) \sum y_i \cdot \sum x_i^2 y_i + \frac{5(n^2-1)^2 (\sum y_i)^2}{2}}{(n^2-1)(n^2-4)};$$

②:

$$n \sum y_e^2 = n \cdot \left\{ n \cdot \frac{(\sum y_i)^2}{n^2} + \frac{12^2 (\sum x_i y_i)^2}{n^2 (n^2-1)^2} \cdot \frac{n(n^2-1)}{12} + \frac{[180 \sum x_i^2 y_i - 15(n^2-1) \sum y_i]^2}{180n(n^2-1)(n^2-4)} \right\} =$$

$$(\sum y_i)^2 + \frac{12(\sum x_i y_i)^2}{n^2-1} + \frac{[180 \sum x_i^2 y_i - 15(n^2-1) \sum y_i]^2}{180(n^2-1)(n^2-4)}。$$

$$\text{令 ① + ②} = -(\sum y_i)^2 - \frac{12(\sum x_i y_i)^2}{n^2-1} - \frac{[180 \sum x_i^2 y_i - 15(n^2-1) \sum y_i]^2}{180(n^2-1)(n^2-4)}$$

$$+ \frac{180(\sum x_i^2 y_i)^2 - 30(n^2-1) \sum y_i \cdot \sum x_i^2 y_i + \frac{5}{4}(n^2-1)^2 (\sum y_i)^2}{(n^2-1)(n^2-4)} +$$

$$- \frac{360(\sum x_i^2 y_i)^2 + 60(n^2-1) \sum y_i \cdot \sum x_i^2 y_i - \frac{5}{2}(n^2-1)^2 (\sum y_i)^2}{(n^2-1)(n^2-4)} =$$

一元二次回归问题,可将其变为对应的二元一次项方程为:

$$y_e = b_0 \lambda_0 \varphi_0(x) + b_1 \lambda_1 \varphi_1(x) + b_2 \lambda_2 \varphi_2(x)^{[14]},$$

式中, $\varphi_0(x) = 1, \lambda_0 = 1, \varphi_1(x) = \frac{x - \bar{x}}{\Delta} = x, \lambda_1 = 1,$

$$\varphi_2(x) = \left(\frac{x - \bar{x}}{\Delta} \right)^2 - \frac{n^2-1}{12} = x^2 - \frac{n^2-1}{12}, \lambda_2 = 1,$$

则:

$$- \frac{180 \left(\sum x_i^2 y_i \right)^2 + 30(n^2 - 1) \sum y_i \cdot \sum x_i^2 y_i - \frac{5}{4} (n^2 - 1)^2 \left(\sum y_i \right)^2}{(n^2 - 1)(n^2 - 4)} =$$

$$- \frac{\left[(180 \sum x_i^2 y_i)^2 - 2 \times 15 \times 180(n^2 - 1) \sum y_i \sum x_i^2 y_i + 15(n^2 - 1) \left(\sum y_i \right)^2 \right]}{180(n^2 - 1)(n^2 - 4)} = \frac{\left[180 \sum x_i^2 y_i - 15(n^2 - 1) \sum y_i \right]^2}{180(n^2 - 1)(n^2 - 4)},$$

$$\text{因此, } n^2 s m t d_b^2 = n \sum y_i^2 - 2n \sum y_i y_e + n \sum y_e^2 = n \sum y_i^2 - \left(\sum y_i \right)^2 - \frac{12 \left(\sum x_i y_i \right)^2}{n^2 - 1} -$$

$$\frac{\left[180 \sum x_i^2 y_i - 15(n^2 - 1) \sum y_i \right]^2}{180(n^2 - 1)(n^2 - 4)} = n \sum y_i^2 - \left(\sum y_i \right)^2 - \frac{12 \left(\sum x_i y_i \right)^2 + \frac{\left[180 \sum x_i^2 y_i - 15(n^2 - 1) \sum y_i \right]^2}{180(n^2 - 4)}}{n^2 - 1},$$

$$\text{令 } \frac{\left[180 \sum x_i^2 y_i - 15(n^2 - 1) \sum y_i \right]^2}{180(n^2 - 4)} \text{ 为 } \textcircled{3},$$

$$\text{则 } \textcircled{3} = \frac{\frac{1}{45} \left[180 \sum x_i^2 y_i - 15(n^2 - 1) \sum y_i \right]^2}{4(n^2 - 4)} = \frac{\frac{225}{45} \left[12 \sum x_i^2 y_i - (n^2 - 1) \sum y_i \right]^2}{4(n^2 - 4)} =$$

$$\frac{5 \left[(n^2 - 1) \sum y_i - 12 \sum x_i^2 y_i \right]^2}{4(n^2 - 4)} \rightarrow \text{GB/T26764 - 2011 中的“P”},$$

$$\text{即: } n^2 s m t d_b^2 = n \sum y_i^2 - \left(\sum y_i \right)^2 - \frac{12 \left(\sum x_i y_i \right)^2 + P}{n^2 - 1},$$

$$s m t d_b = \sqrt{\frac{n \sum y_i^2 - \left(\sum y_i \right)^2 - \frac{12 \left(\sum x_i y_i \right)^2 + P}{n^2 - 1}}{n^2}},$$

这正是 GB/T26764—2011 给出的路面构造深度计算公式。

综上, JT/T 840—2012 对路面构造深度计算模型的描述, 采用正交法一元二次回归设计理论推导后, 与 GB/T26764—2011 给出的计算公式是完全一致的, 说明两个标准对我国路面构造深度计算模型的规定是统一的。

4 结论

本文对路面构造深度自动化测试技术计算模型进行了分析和论证, 主要结论如下:

(1) SMTD 与铺砂法测值具有良好的相关性, 且由于采用超过 100 点测值回归的方式计算, 受单点高程测值的影响较小, 计算结果的稳定性较好, 采用它作为我国路面构造深度计算模型, 具有一定的科学性和可行性。

(2) 本文采用正交法一元二次回归设计理论进行推演, 说明了国家标准《多功能路况快速检测设备》(GB/T 26764—2011) 与交通运输行业标准《车载式路面构造深度仪》(JT/T 840—2012), 有关路面构造深度计算模型的规定是统一的。

(3) 本文提出了基于断面高程的路面构造深度计算模型, 有助于提高路面构造深度的检测效率, 关于该测试技术直接应用于路面抗滑性能评价, 还需要在路面抗滑要求和构造深度标准的匹配方面做进一步研究。

随着科技的不断进步, 交通建设工程及产品质量控制与评判不再凭一些粗略性很大的经验、手工方法, 更多地是靠科学准确、采集高效的试验检测数据来说话。近年来, 快速、高效的自动化、智能化检测技术在公路行业大量应用, 虽然很大程度上降低了质量管理工作的人为影响, 提高了质量评判结果的可靠性。然而, 这些自动化、智能化的测试技术大多采用各种类型信号转换的原理, 其直接测量值往往已经偏离了某项技术指标的原始定义, 在一定的假设条件, 通过复杂的推演得出所要评价和描述的技术指标。因此, 要想提高这些测试技术的可靠性, 不仅要掌握其使用的测试原理, 更要关注其采用的计算或转换数学模型, 尤其对于引自国外的测试技术, 更需要加强必要的基础研究, 以便与我国的工程质量评判标准良好衔接。

参考文献:

References:

- [1] 张金喜, 刘利花, 王利利. 速度和构造深度对水泥混凝土路面摩擦系数的影响 [J]. 北京工业大学学报, 2009, 35 (1): 48 - 52.
ZHANG Jin-xi, LIU Li-hua, WANG Li-li. Influence of

- Speed and Texture Depth on Skid Resistance of Pavement Surface [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2009, 35 (1): 48–52.
- [2] BS EN 13036 – 1: 2002, Road and Airfield Surface Characteristics-Test Methods – Part 1: Measurement of Pavement Surface Macrottexture Depth Using a Volumetric Patch Technique [S].
- [3] 臧继成, 张蕾, 肖倩. 沥青混凝土构造深度耐久性评价 [J]. 公路交通科技, 2014, 31 (2) 2: 42–46.
ZANG Ji-cheng, ZHANG Lei, XIAO Qian. Evaluation of Durability of Asphalt Concrete Texture Depth [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2014, 31 (2): 42–46.
- [4] 沈娟. 激光测距仪测定构造深度的方法及数据处理方法 [J]. 石油沥青, 2008, 22 (1): 57–60.
SHEN Juan. Method of Measuring Texture Depth with Laser Range Finder and Method of Data Processing [J]. Petroleum Asphalt, 2008, 22 (1): 57–60.
- [5] JTG E60—2008, 公路路基路面现场测试规程 [S].
JTG E60—2008, Field Test Methods of Subgrade and Pavement for Highway Engineering [S].
- [6] 邓勇猷, 杜鹏, 王宁. 一种改进的路面构造深度测试方法 [J]. 科技创新导报, 2011 (29): 16–18.
DENG Yong-you, DU Peng, WANG Ning. An Improved Test Method of Pavement Texture Depth [J]. Science and Technology Innovation Herald, 2011 (29): 16–18.
- [7] 文静. 数字化技术评价沥青路面构造深度研究 [D]. 西安: 长安大学, 2009.
- WEN Jing. Study on Evaluating Texture Depth of Asphalt Pavement with Digital Technology [D]. Xi'An: Chang'an University, 2009.
- [8] ISO 13473 – 1, Characterization of Pavement Texture by Use of Surface Profiles – Part1: Determination of Mean Profile Depth [S].
- [9] ISO 13473 – 2, Characterization of Pavement Texture by Use of Surface Profiles – Part1: Terminology and Basic Requirements Related to Pavement Texture Profile Analysis [S].
- [10] ISO 13473 – 3, Characterization of Pavement Texture by Use of Surface Profiles – Part3: Specification and Classification of Profilometers [S].
- [11] COOPER D R C. TRRL Report No. 639: Measurement of Road Surface Texture by a Contactless Sensor [M]. Crowthorne: TRRL, 1974.
- [12] JT/T 840—2012, 车载式路面激光构造深度仪 [S].
JT/T 840—2012, Vehicle Bearing Road Laser Texture-meter [S].
- [13] GB/T 26764—2011, 多功能路况快速检测设备 [S].
GB/T 26764—2011, Multifunctional High-speed Highway Condition Monitor [S].
- [14] 任露泉. 回归设计及其优化 [M]. 北京: 科学出版社, 2009: 70–75.
REN Lu-quan. Regression Design and Optimization [M]. Beijing: Science Press, 2009: 70–75.
- ~~~~~
- (上接第 49 页)
- [4] 何思明, 李新坡, 吴永. 滚石冲击荷载作用下土体屈服特性研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27 (增 1): 2972–2977.
HE Si-ming, LI Xin-po, WU Yong. Research on Yield Property of Soil under Rock-fall Impact [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27 (S1): 2972–2977.
- [5] 沈均, 何思明, 吴永. 滚石灾害研究现状及发展趋势 [J]. 灾害学, 2008, 23 (4): 122–125.
SHEN Jun, HE Si-ming, WU Yong. Present Research Status and Development Trend of Rockfall Hazards [J]. Journal of Catastrophology, 2008, 23 (4): 122–125.
- [6] CHAN K S, LEE Y. A Fracture Mechanics-based Model for Assessing the Mechanical Failure of Nuclear Fuel Rods due to Rock Fall [J]. Nuclear Engineering and Design, 2000, 201 (2/3): 209–226.
- [7] CHAU K T, WONG R H C, WU J J. Coefficient of Restitution and Rotational Motions of Rock-fall Impacts [J]. International Journal Rock Mechanics & Mining Science, 2002, 39 (1): 69–77.
- [8] AN B. A Study of Energy Loss during Rock Impact Using PFC2D [M]. Edmonton: University of Alberta, 2006.
- [9] AN B, TANNANT D D. Discrete Element Method Contact Model for Dynamic Simulation of Inelastic Rock Impact [J]. Computers & Geosciences, 2007, 33 (4): 513–521.
- [10] DELHOMME F, MOMMESSIN M, MOUGIN J P, et al. Behavior of a Structurally Dissipating Rock-shed: Experimental Analysis and Study of Punching Effects [J]. International Journal of Solids and Structures, 2005, 42 (14): 4204–4219.
- [11] KISHI N, KONNO H, IKEDA K, et al. Prototype Impact Tests on Ultimate Impact Resistance of PC Rock-sheds [J]. International Journal of Impact Engineering, 2002, 27 (9): 969–985.
- [12] PICHLER B, HELLMICH C, MANG H A. Impact of Rocks onto Gravel Design and Evaluation of Experiments [J]. International Journal of Impact Engineering, 2005, 31 (5): 559–578.