

文章编号: 0451-0712(2005)01-0054-05

中图分类号: U416.217

文献标识码: B

# 表面离析作为沥青混凝土路面 施工质量评价指标的研究

王端宜, 张肖宁, 王绍怀

(华南理工大学道路工程研究所 广州市 510640)

**摘 要:** 鉴于离析对沥青混凝土路面性能和使用寿命的严重影响, 以及缺乏定量指标体系进行离析评价的现状, 对沥青混凝土路面表面离析的判别方法、程度评价、检测方式等问题进行了系统研究。在此基础上, 借鉴 QC/QA 原理, 提出了以离析百分率作为沥青混凝土路面施工离析评价的指标体系和 QC/QA 过程, 对于定量评价沥青混凝土路面施工过程中离析控制的效果、提高路面质量具有重要意义。

**关键词:** 沥青混凝土路面; 表面离析; 定量评价; 使用寿命

国内外的大量路面破损调查指出, 沥青混凝土路面的破坏首先以局部小范围随机方式出现, 然后再扩展成为大面积破坏, 这些破坏包括松散、网裂、坑洞、局部车辙、局部泛油等。沥青混凝土路面的这些破坏现象在表现上与沥青混凝土路面离析的分布具有相似性, 因此认为沥青混凝土路面的破坏, 特别是表面破坏与沥青混凝土路面离析有关。正是基于这样的认识, 沥青混凝土路面离析已成为近年来沥青混凝土路面技术研究的重要课题。然而, 对国内外现有研究成果的检索和分析可以发现, 定性的分析和离析控制措施方面的研究较多<sup>[1,2]</sup>, 对离析控制效果的定量评价, 特别是作为施工质量评价指标的研究还非常欠缺。因此, 在发现问题并选择正确措施等方面缺乏有效的决策依据。

近年来, 国内道路工程界对公路沥青混凝土路面早期破坏问题非常重视, 组织力量进行调查和专项研究, 如“沥青混凝土路面设计指标的研究”、“沥青混凝土路面柔性基层的研究”等。然而, 这些研究的重点往往偏重于路面设计, 对道路建设的另一个重要环节——沥青混凝土路面的施工技术, 特别是对沥青混凝土路面施工过程中的质量控制、质量保证和验收系统(QC/QA)的研究还没有引起足够的重视。工程质量过程控制是现代工业管理的重要手段, 是实现设计意图的基本保证。因此, 本文作为沥

青混凝土路面施工技术研究也应该是防止路面早期损坏的一个重要研究内容。

随着我国市场经济体制的不断完善, 公路建设的政府行为模式已经被淘汰, 并完全趋向于市场化。公路建设过程中的社会分工日趋明确, 政府主管部门、业主、承包商和技术咨询机构在公路建设过程中扮演着不同的角色, 发挥着不同的作用。在这样一个背景下, 以“方法规范”为代表的、适应于旧的政府行为模式的路面施工质量保证体系已经不再适合于新的路面施工的市场化模式。在新的模式下, 业主一般作为制定质量保证体系的主体, 它所关注的最主要问题应该是项目的风险和效益。因此, 业主在施工过程中所关注的重点不再是过程, 而应该是结果。这样, 验收就成为业主的主要工作。这时的验收不应该是单纯的定性判断项目质量的好坏, 而应该是基于使用性能和统计原理的定量评价, 以及在此基础上的支付调节系统。在这方面, 国外近年来试行的以“最终产品规范”和“与性能相关规范”为代表的路面施工质量保证系统<sup>[3,4]</sup>的相关经验和研究成果值得我们借鉴。

本研究试图以某高速公路沥青混凝土路面实际工程为依托, 借鉴国外“与性能相关规范”的基本思想, 应用统计 QC/QA 原理, 结合我国国情, 尝试建立基于沥青混凝土路面表面离析的定量评价指标体

系,用于指导沥青混凝土路面施工控制、质量保证以及验收过程。值得说明的是,虽然表面离析对于路面性能和使用寿命具有重要影响,但将其作为施工质量控制和质量验收的指标,国内外都处于尝试的阶段,工程数据积累不多,经验也很匮乏。本文的目的在于探索,并希望能够引起道路工程界对沥青混凝土路面离析问题的重视,进而提高我国沥青混凝土路面工程质量。

1 沥青混凝土路面表面离析判别

1.1 沥青混凝土路面表面离析的定义

通常将沥青混合料离析定义为 2 种类型,即级配离析和温度离析(温差),通常意义上的路面离析主要指级配离析。路面发生级配离析是指:沥青混凝土路面上一些区域粗料集中,另一些区域细料集中,使得表面颗粒分布变得非常不均匀。发生离析区域的混合料级配和沥青用量与设计值发生了较大的偏离,这将导致路面的性能发生较大的变化。细集料集中的区域孔隙率变小,可能会出现泛油、推移、车辙等病害;粗集料集中的区域孔隙率太大,可能会导致路面发生水损坏和疲劳破坏。已有研究表明,严重离析的沥青混凝土路面其使用寿命可能会降低 50% 以上。一般认为,不适当的集料堆积、混合料的生产与运输以及混合料的摊铺过程都可能成为离析产生的原因。因此,国内外几乎所有的控制或防止离析的措施都是针对上述几方面来开展的。然而,对于控制或防止离析措施的实际应用效果还缺乏有效的定量评价手段和方法。

1.2 沥青混凝土路面表面离析的判别

目前国内外对于沥青混凝土路面表面离析的判别可以分为 2 大类:目测法(代表主观评价)和仪器设备检测法(代表客观评价)。由于受到设备条件和其他因素的限制,现阶段国内外多数沥青混凝土路面施工项目采用目测方法确定路面发生离析的区域,并以此来决定施工的质量,如:加拿大阿尔伯塔省运输部的沥青混凝土路面指南<sup>[5]</sup>。目测法的优点是简单快速,不需要专门的设备;缺点是无法定量描述路面离析的程度,不同的检测人员对离析判别的尺度存在差异,容易引起承包商与业主间的争执。鉴于此,近年来国内外大量关于沥青混凝土路面离析的研究,都集中于应用仪器设备对路面离析进行检测和客观评价方面<sup>[6]</sup>。文献<sup>[6]</sup>对可能用来检测沥青混凝土路面离析的各种无损检测方法进行了评价,

结果列于表 1。

表 1 不同检测方法对判别路面离析能力的评价

检测方法	混合料类型的适应性				检测的深度		
	细级配	密级配	SMA	OGFC 等	表面	表层	AC 全厚
目测	是	是	是	是	是	否	否
铺砂构造深度	是	是	是	是	是	否	否
激光构造深度	是	是	是	是	是	否	否
核子密度	依赖级配	依赖级配	是	依赖级配	否	是	否
核子沥青含量	是	是	是	是	否	是	否
透水	否	粗级配	是	依赖级配	否	是	否
雷达	未知	未知	未知	未知	否	是	否
红外热敏	未知	未知	未知	未知	是	薄层	未知
地震波	未知	未知	未知	未知	否	是	是

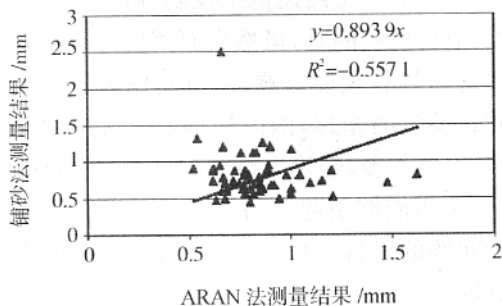
从表 1 中可以看出,目测法、铺砂构造深度法和激光构造深度法比较适合于沥青混凝土路面表面离析的检测和识别。同时,表面构造作为评价道路表面离析的指标与人们对离析的常规认识和概念相符,因此是适宜的。

Jay N. Meegoda<sup>[7]</sup>采用加拿大 Roadware 公司开发的路面检测车 ARAN 的车载激光构造深度仪检测了大量的道路表面构造深度,并与铺砂法平行试验的结果进行比较,其结果如图 1 所示。Jay N. Meegoda 认为,虽然激光法与铺砂法之间没有很好的相关关系,但它们的频率分布之间有较好的相关关系。同时,由于激光法检测速度较快,不影响车道的正常车辆行驶,因此他推荐这种方法。近 2 年来已有一些沥青混凝土路面施工项目(包括国内)开始使用激光构造深度方法检测路面的离析,并用于 QC/QA 目的。

鉴于激光法与铺砂法相关性不好(由于铺砂法的结果具有面积属性,而激光法反应出的是具有线段属性的信息),华南理工大学道路工程研究所开发出了一套基于数字图像技术的沥青混凝土路面表面构造深度检测方法(图像法)<sup>[8]</sup>。该方法采用普通数码相机拍摄沥青混凝土路面表面特征,经计算机图像处理即可获得具有面积属性的道路表面构造深度信息。对不同类型沥青混合料路面(AC 型、AK 型和 SMA 型等)进行检测,并与铺砂法平行试验结果进行比较,两者间具有非常好的相关性(如图 2 所示)。事实证明,图像法具有操作简单、成本低廉、检测精度高、可以永久保存形象化图像信息等方面的优点,



图1 ARAN 及其与铺砂法结果的对比



进一步开发可以采用数码摄像机实现路表面构造的连续检测,进而实现工程质量的无风险验收。因此,

图像法是一种非常具有前途的路表面构造检测和路表面离析识别方法。

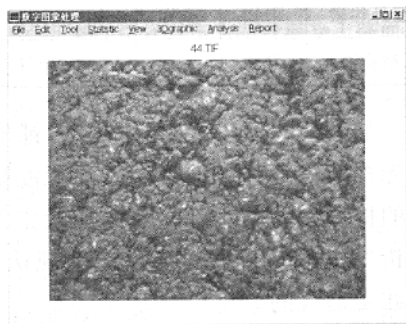
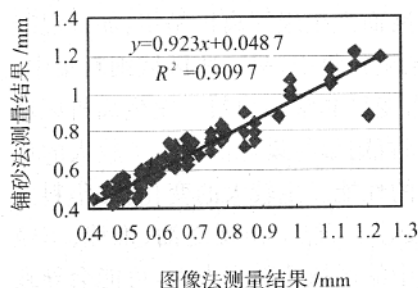


图2 用于检测路面构造深度的图像法及其与铺砂法的比较



## 2 沥青混凝土路面表面离析水平的评价

### 2.1 确定期望的表面构造

沥青混凝土路面表面离析识别或判别的第一步(也是关键的一步)是确定期望的表面构造(非离析状态),并以此作为尺度进行判别或识别。为此,本研究制定了以下原则,可以根据路面施工的实际情况进行选择。

(1)以检测路段表面构造深度的平均值作为期望的表面构造。

(2)以权威人士指定的(或业主和承包商共同认可的)构造深度作为期望的表面构造。

(3)以在试验室按目标配合比或经批准的生产配合比制成的标准试件测得的构造深度作为期望的表面构造。

比较上面 3 个原则可以看出:原则(1)包含有施工误差的影响;原则(2)具有主观评价成分;原则(3)应该也是比较适宜的客观评价方法,也是本研究所推荐的方法。

### 2.2 表面离析程度或水平的评价

几乎所有采用离析指标的工程项目都将离析的程度分为 3~4 个等级。表 2 是文献[5]所给出的一个

离析程度分级的例子。从表 2 的定义可以看出,离析程度的分级没有明确的数量界限,还处于主观评价阶段。文献[7]根据 ARAN 的测量结果,也对离析的程度分为 3 级,即低、中、高,但没有报道分级的数量界限。

表 2 加拿大沥青混凝土路面离析程度分级标准

离析程度	定 义	维修方法
轻微离析	粗集料颗粒间的沥青和细集料含量基本正常,但和周围的表面相比,局部表面构造明显偏粗。	
中度离析	粗集料颗粒间的沥青和细集料含量明显偏少,“多石”现象严重。	稀浆封层或热沥青混合料补丁。
严重离析	粗集料颗粒间的沥青和细集料含量明显缺乏,“多石”现象非常严重。	清除重铺或罩面。

注:离析被定义为某一区域的表面构造在视觉上不同于周围的区域,为了便于维修,定义离析的最小面积为 0.1 m<sup>2</sup>。

本研究结合图像法和铺砂法的测量结果,以表面构造深度测量值与期望值的比值作为分级的定量界限,所提出的分级标准列于表 3。

如果构造深度的期望值为 1 mm,所有构造深度



表 3 推荐的沥青混凝土路面表面离析分级定量界限

	细离析	非离析	轻微离析	中度离析	重度离析
下限		0.80	1.10	1.40	1.70
上限	<0.80	1.10	1.40	1.70	

介于0.80 mm~1.1 mm 之间的路段,可以定义为没有发生离析。非离析路段所占比例越高,说明路面施工均匀性越好。

工程实例:某新建高速公路沥青混凝土路面,其构造深度期望值定义为 0.5 mm。离析评价结果列于表4。从表中数据可以得出该路段均匀性较好的结论,这一结论与实际表观结果完全一致。

表 4 某沥青混凝土路面工程离析程度的定量评价结果

	细离析	非离析	轻微离析	中度离析	重度离析
下限		0.40	0.55	0.70	0.85
上限	0.392	0.55	0.70	0.85	
样品数/个	0	32	4	0	0
评价结果/%	0	89%	11%	0	0

3 沥青混凝土路面表面离析的检测

由统计学和风险分析理论可知,基于随机抽样的验收过程对于承包商和业主都存在着风险(风险 $\alpha$ 和 $\beta$ )。这 2 类风险是由于用有限尺寸样本检测数据估计总体质量特征真值的不准确性所造成的。承包商的风险( $\alpha$ )在于质量合格的产品或工程项目被拒收或打折验收,无法获得合理的支付;业主的风险( $\beta$ )体现在不合格的产品或工程项目被验收,从而造成路面使用性能和寿命降低、管理和养护维修成本提高。因此,尽可能增大样本的尺寸,提高对总体质量特征真值估计的精度和准确性,对于降低验收风险是非常必要的。

鉴于离析对沥青混凝土路面性能和使用寿命的严重影响,也由于和其他检测指标相比,离析指标的检测具有相对时间宽裕性、离析现象的可视性以及连续性检测手段的快速发展趋势,结合不同工程项目的设备条件和道路等级要求,本研究建议的路面离析检测方式如下。

(1)已完成路面的人工视觉普查,发现离析的位置并确定发生离析的面积,用铺砂法或图像法测得的表面构造深度评价离析的程度,并用式(1)计算离析面积百分率。

$$AREA_{\text{离析}} = (A_{\text{low}} \times a + A_{\text{medium}} \times b + A_{\text{high}} \times c) \div A_{\text{all}} \times 100\%$$

方方数据

(1)

式中: $AREA$  为检测路段的离析面积百分率,%; $A_{\text{low}}$  为轻微离析面积; $A_{\text{medium}}$  为中度离析面积; $A_{\text{high}}$  为重度离析面积; $a$ 、 $b$ 、 $c$  为离析程度影响系数(文献[7]给出的数值为 1.0、1.43 和 2.5); $A_{\text{all}}$  为检测路段的总面积。

由于目前还没有关于路面细离析对性能影响的定量研究成果,所以公式中没有考虑细离析的影响。

(2)采用系统抽样的方法,设定一定的间距,用图像法对摊铺宽度的两侧及中央(最有可能发生离析的位置)进行连续采样,由构造深度评价离析程度,并用式(2)计算离析百分率。

$$S = S_{\text{low}} \times a + S_{\text{medium}} \times b + S_{\text{high}} \times c$$

(2)

式中: $S$  为检测路段的离析百分率,%; $S_{\text{low}}$  为轻微离析百分率,%; $S_{\text{medium}}$  为中度离析百分率,%; $S_{\text{high}}$  为重度离析百分率,%; $a$ 、 $b$ 、 $c$  为离析程度影响系数。

(3)随着离析指标连续检测手段的发展,连续式激光设备会得到进一步普及,连续式的道路表面图像采集和分析系统也会开发成功,届时道路表面离析的自动识别和评价将会成为可能,其识别和评价的原理应该与上面是相同的。

4 基于表面离析指标的 QC/QA

4.1 离析指标的施工过程质量控制

如对某高速公路沥青混凝土中面层摊铺宽度左侧 30~60 cm 范围内表面构造深度进行测量,沿道路纵向有 25%左右的测点处于轻微离析状态,还有少数测点处于中度离析状态。由式(2)的计算可知,该施工批次左侧的离析百分率 $S = 40.15\%$ 。应该说,离析现象比较严重,需要对施工过程进行调整。

4.2 表面离析指标的验收

现代产品或工程质量验收有 2 种验收方式,即计数验收和支付调节验收。计数验收只设定一个质量界限(验收质量界限  $AQL$ ),将产品或工程项目划分成 2 个档次:合格和不合格。合格的产品或工程项目可以获得全额支付(100%);不合格的产品或工程项目不能获得支付,需要进行维修或清除返工。支付调节验收一般设定 2 个质量界限( $AQL$  和拒收质量界限  $RQL$ ),将产品或工程项目划分成 3 个档次:合格、中间和不合格。合格的产品或工程项目可以获得全额支付(100%);不合格的产品或工程项目不能获得支付,需要进行维修或清除返工;处于中间状态的产品或工程项目,根据质量水平和其对最终产品性

能、寿命的损害程度,可以获得经过调整或打折的支付。近年来国内外的研究成果认为,公路工程的多数质量指标更适合于用支付调节验收的方式进行验收。

研究表面离析指标的性质,可以认为其验收过程以采用支付调节验收的方式可能更加适宜。为此,在历史数据储备不足,且缺乏大规模、多项目应用经验的情况下,制定的验收质量界限为: $AQL = 10\%$ 、 $RQL = 45\%$ 。当离析百分率小于等于  $10\%$  时,承包商可以获得合同单价  $100\%$  的支付。特殊情况:当离析百分率为零时,作为奖励,承包商可以获得合同单价  $105\%$  的支付。当离析百分率等于  $45\%$  时,承包商只能获得合同单价  $25\%$  的支付。特殊情况:当离析百分率大于  $45\%$  时,承包商所完成的工程将被拒收,并需要承担局部维修或清除返工所需要的费用。在此原则框架下,得出的非线性支付方案如图 4 所示。之所以采用非线性支付方案,是考虑在离析百分率较小时,支付比例的差距不要拉得太大;而当离析百分率达到一定程度后,为了加大惩罚的力度,应适当加大支付比例的间距。这种非等间距的支付方式用线性支付方案是无法实现的。

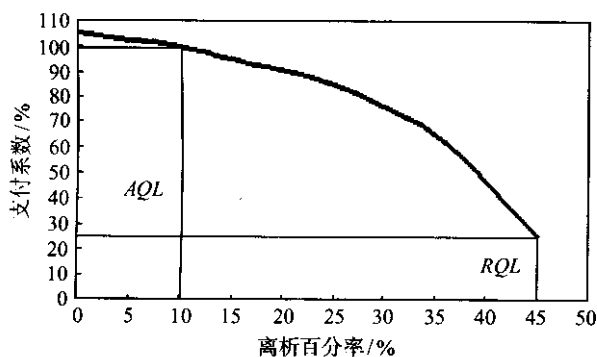


图 4 路面离析作为验收指标的支付方案示意

## 5 结语

沥青混凝土路面施工过程造成的离析严重影响路面的性能和使用寿命,因此应该在施工过程中严格加以控制。这一点已经成为国内外道路工程界的共识。为此,国内外道路界投入大量的精力研究防止路面出现离析的措施、技术和设备。然而,在对离析的评价方面,国内外还主要停留在主观识别和判断

阶段(目测)。因此,给沥青混凝土路面施工过程的质量控制和质量验收带来相当大的难度。为此,本研究在以往研究成果的基础上,对表面离析作为沥青混凝土路面施工质量评价指标开展了一系列研究。主要工作包括以下几个方面:(1)沥青混凝土路面表面离析的适宜判别方法;(2)沥青混凝土路面表面离析水平或程度的评价;(3)沥青混凝土路面表面离析的适宜检测方式,并推荐采用离析百分率作为基于离析的路面施工质量评价指标;(4)基于表面离析指标的沥青混凝土路面施工过程 QC/QA 方法。

上述研究工作的开展,基本上可以使路面离析成为一个完整的指标体系用于沥青混凝土路面施工过程的 QC/QA,并已将其推进到可以实际操作阶段。希望能够通过较大范围的应用,不断发展和完善。

## 参考文献:

- [1] 曹荣吉,张志祥. 高速公路沥青混凝土路面离析的检测与评定[Z]. 2003.
- [2] 邱正方. 沥青混凝土路面施工中离析的防治措施[J]. 工程机械与维修, 2003, (4).
- [3] Elmore W E. Qualifying Items of Work for End — Result Specifications [R]. Report No. FHWA/TX — 99/1825 — S, Texas Department of Transportation and The University of Texas (USA), 1998.
- [4] Epps J A. Recommended Performance-related Specification for Hot — mix Asphalt Construction : Results of The WesTrack Project [M]. Transportation Research Board (USA), 2002.
- [5] Alberta Transportation. Paving Guidelines and Segregation Rating Manual[S]. (Canada), 2002
- [6] Gardiner M S. Segregation in Hot-Mix Asphalt Pavements [R]. NCHRP Report 441, Transportation Research Board (USA), 2000.
- [7] Meegoda J N. Detection of Surface Segregation using LASER [R]. TRB2003 — 001764, TRB 2003 Annual Meeting CD-ROM, USA, 2003.
- [8] 王端宜,李维杰,张肖宁. 应用数字图像技术测量和评价路面构造深度[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2003, (3).