

沥青混合料流在螺旋布料槽中的运动特征分析

陆兆峰, 秦旻, 郭小宏

(重庆交通大学, 重庆 400074)

摘要: 基于沥青混合料流在摊铺过程中具有的物理特性, 提出用流体力学的方法研究沥青混合料流在螺旋布料槽中的运动特征。探讨了沥青混合料流层流和紊流流动型态的界定及流动特性; 分析了沥青混凝土摊铺机螺旋分料器的输送机理和沥青混合料粒料在螺旋布料器作用下的运动规律。通过对沥青混合料粒料在摊铺机布料槽中的受力与运动分析, 揭示了混合料在布料槽中的运动特征, 为完善螺旋分料器的设计及摊铺施工技术提供了可靠的依据。

关键词: 工程机械; 螺旋布料器; 流体力学; 输送机理; 粒料运动

中图分类号: U 15. 52⁺ 1

文献标志码: A

文章编号: 1674-0696(2009) 01-0063-04

Study on Moving Feature of Bituminous Mixture Flow in Distributing Room

LU Zhao-feng QIN Min GUO Xiao-hong

(Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract Based on the physical characteristics of bituminous mixture in the process of paving, hydromechanics is put forward to study the bituminous mixture flow's movement feature in the spiral feeder. The flow patterns and corresponding flow characteristics of laminar flow and turbulent flow are explored and the transmission mechanism of spiral feeder of asphalt paver and the moving law of asphalt mixture aggregates are analyzed. Through the theoretical mechanics and hydromechanics analysis, the movement mechanism of mixture aggregates is revealed, which can provide the reliable basis for improving the design of screw-feeder and paver construction technology.

Key words construction machinery; spiral feeder; hydromechanics; transmission mechanism; mixture movement

1 引言

螺旋布料器作为摊铺机的重要组成部分又被称作螺旋分料器, 其作用通过旋转轴上的旋转叶片, 将刮板送来的混和料左右横向输送到摊铺机的全部宽度。螺旋布料器担负着横向输送沥青混合料的任务, 直接影响摊铺机的作业性能和路面铺层的均匀性。近年来, 在摊铺机前加置转运车的作业方式得到广泛的应用; 从各地的转运车试验来看, 转运车基本可以克服沥青混合料的温度离析和摊铺前骨料离析问题。然而, 沥青混合料摊铺时的骨料离析却没能得到满意的改善^[1]。为此, 本文采用流体力学方法来探讨沥青混合料流在螺旋布料槽中的运动特征, 弄清螺旋分料器的结构参数与粒料运动特征间的关系, 从而更好地控制混合料的骨料离析。

2 沥青混合料在摊铺过程中的运动可看作流体运动

2.1 流体力学基本理论

流体力学的研究对象是流体, 从微观角度来看, 流体是由大量的分子构成的, 这些分子都在作无规则的运动。由于分子间的不连续性和分子运动的随机性, 以分子为对象研究流体的运动极为复杂。1755 年, 瑞士数学家和力学家欧拉首先提出连续介质模型, 将流体当作是由密集质点构成的、内部无空隙的连续体, 从流体宏观的角度来研究大量分子统计平均的规律性。其中的质点是指大小与流动空间相比甚小, 且具有一定质量的流体微元。基于流体质点的概念, 连续介质模型采用了质点分布连续、运动连续、内应力连续三个基本假设^[2]。流体的主要物理性质有流动性、可压缩性、粘滞性、表面张力等。

收稿日期: 2008-07-30; 修订日期: 2008-10-21

基金项目: 国家 863 高技术研究计划项目 (2003AA430010); 广东交通科技项目 (2005-26); 重庆交通大学青年基金项目 (2006)

作者简介: 陆兆峰 (1979-), 男, 安徽利辛人, 博士研究生, 研究方向为工程机械机群智能化技术、路基路面结构设计理论与施工技术。E-mail: luzhaofeng8123@163.com; Tel: 023-60990368

连续介质模型摆脱了分子运动的复杂性, 实现了对流体物质结构的简化, 并运用数学分析方法来描述流体运动。

2.2 沥青混合料在摊铺过程中的运动可看作流体运动

本文所讨论的沥青混合料是指沥青混合料从拌和到运输再到摊铺并且在压路机初压前的状态。沥青混合料包含两方面的意思: ① 沥青混合料符合规范和设计配比; ② 沥青混合料具有较好的流动性, 也就是没有被压实, 同时其温度应该高于初压温度。

沥青混合料是由大量的密集的各级配骨料和黏结料构成, 单个骨料相对于沥青混合料流空间很小, 可视为连续介质模型来研究。沥青混合料具有很好的流动性, 没有固定的形状, 其形状取决于限制它的边界 (如: 拌和楼的搅拌缸、运输车的料斗、摊铺机的布料槽等); 沥青混合料各部分之间容易产生相对运动。同时, 沥青混合料在压力的作用下体积也会发生变化。沥青混合料在受到下部剪切作用 (如在刮料板、输送皮带等的作用) 时发生变形 (流动), 其内部相应要产生对变形的抵抗, 并以内摩擦力的形式表现出来。如图 1, 沥青混合料下面在外力剪切作用下发生流动, 由于混合料各颗粒间的相互作用, 下面混合料带动上面的混合料流动, 同时上面的混合料要阻止下面部分混合料的流动, 从而使得混合料速度 v 沿纵向方向不断减小。设想在混合料中有一个平面将混合料分为上下两部分, 则上下部分的混合料接触面上必然存在阻碍相对运动的摩擦力, 这个摩擦力即为混合料的内摩擦力。这也是沥青混合料一个固有的物理属性, 称为沥青混合料的粘滞性^[3]。

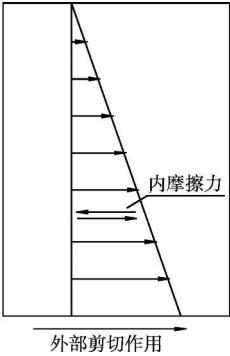


图 1 沥青混合料流的内摩擦力

以上分析可知, 沥青混合料从拌和到运输再到摊铺并且在压路机初压前的状态具备一般流体的性质, 并符合流体的流动规律。所以此阶段的沥青混合料的运动可以借以流体的一些性质进行分析探讨。

3 沥青混合料流的流动型态及特征

沥青混合料流有两种不同型态: 层流和紊流。流体从层流型态过渡到紊流型态的过程是流动失稳的过程, 也称流动型态的转换, 其转换的判定指标是雷诺数 Re 。对稳态沥青混合料层流流动, 其速度不随时间变化, 只随空间位置变化, 如图 2。对沥青混合料紊流流动, 由于沥青混合料在随主流流动过程中还有随机脉动, 因此在稳态沥青混合料流场中的某点测得的速度曲线如图 3。稳态沥青混合料流的瞬时速度 u 可表示为:

$$u = \bar{u} + u' \tag{1}$$

式中, \bar{u} 为时均速度, 不随时间变化; u' 是随时间随机变化的速度脉动量。

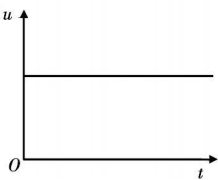


图 2 稳态层流流动

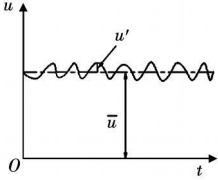


图 3 稳态紊流流动

在非稳态流动条件下, 流场中某一点测得的速度曲线如图 4。这种情况下紊流的时均速度 \bar{u} 也随时间发生变化, 但这种变化是因为非稳态流场中主体流动本身是随时间变化的, 与脉动无关。一般情况下紊流的时均速度 \bar{u} 是

$$\bar{u}(x, y, z, t) = \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} u(x, y, z, t) dt \tag{2}$$

式中, Δt 表示时间平均周期, 它比脉动周期大得多, 同时又比非稳态流动的特征时间小得多。

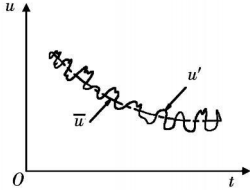


图 4 非稳态紊流流动

通常, 将时均速度 \bar{u} 不随时间变化的紊流流动称为稳态紊流 (对于稳定流场), 而将时均速度 \bar{u} 随时间变化的紊流流动称为非稳态紊流 (对于非稳定流场)。在紊流流动中, 脉动量显然是标志流体紊流脉动程度的重要参数^[4]。

由流体力学对紊流流动的分析, 有乘方定律:

$$\frac{u}{U} = \left[\frac{\delta}{y} \right]^{1/n} \tag{3}$$

式中, u 为紊流中某点自由流的速度; U 为紊流中边界层内的速度; δ 为紊流中边界层的厚度; y 为紊流中某点离底部壁面的距离; n 为常数, 通过具体的流

体试验取得。

由流体的乘方定律, 可知沥青混合料流中任意粒料在处于不同 y 时的流动速度是不一样的, 因此这两个点就会产生相对运动, 同时在紊流的脉动作用下, 沥青混合料的细骨料就会往下渗, 而粗骨料就会被往上挤, 从而造成沥青混合料骨料离析。沥青混合料流流速越大, 紊流的脉动作用就越大, 则沥青混合料离析就越严重。如果在沥青混合料流发生紊流的同时沥青混合料流还受到振动作用, 则沥青混合料骨料离析就会更加严重。

4 螺旋布料器输送沥青混合料的机理

混合料在输送过程中, 由于螺旋叶片与混合料相互动态作用, 其粒料的运动并非是单纯的直线运动^[5], 而是一种空间运动, 既有圆周速度 v_r , 又有轴向速度 v_z (图 5), 其大小可由式 (4)、式 (5) 确定:

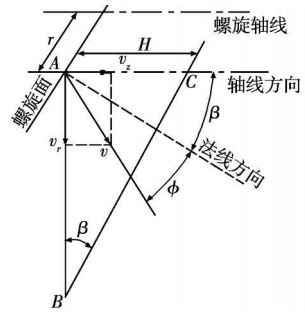


图 5 沥青混合料粒料运动

$$v_r = \frac{H\omega\left(\frac{H}{2\pi r} + \mu\right)}{\left[\left(\frac{H}{2\pi r}\right)^2 + 1\right]} \quad (4)$$

$$v_z = \frac{H\omega\left(1 - \mu\frac{H}{2\pi r}\right)}{\left[\left(\frac{H}{2\pi r}\right)^2 + 1\right]} \quad (5)$$

式中, H 为螺距; ω 为螺旋轴转速; μ 为混合料与螺旋面的摩擦系数; r 为所研究物料颗粒离螺旋轴的距离。

从式 (4)、式 (5) 中可知: v_r 、 v_z 是螺距 H 、转速 ω 和半径 r 的函数。

在某一转速 ω 、螺距 H 下, v_r 和 v_z 都是 r 的函数, 根据其函数关系式, 将式 (4)、式 (5) 对 r 求偏导, 并令 $\frac{\partial v_r}{\partial r} = 0$ 得

当半径 $r_{r-\max} = \frac{\mu + \sqrt{1 + \mu^2}}{2\pi} H$ 时, v_r 有最大值。

绘出 v_r 和 v_z 随 r 的变化曲线见图 6

混合料的轴向速度 v_z 随半径的增加而增加; 圆周速度 v_r 随 r 的增加, 是个有极点的变化曲线。

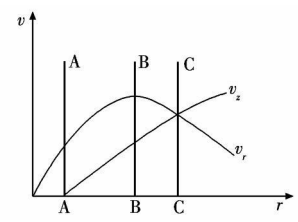


图 6 沥青混合料粒料轴线速度与圆周速度随半径变化的特性曲线

1) 当 $0 < r \leq \frac{H}{2\pi}$ (即物料处在螺旋面半径 A—A 线以左), $v_z = 0$ $v_r > 0$ 粒料不沿轴向前进, 只在原位翻滚, 产生无用的内摩擦力。

2) 当 $\frac{H}{2\pi} < r \leq \frac{\mu + \sqrt{1 + \mu^2}}{2\pi} H$ 时 (即物料在螺旋面半径 A—A 线和 B—B 线之间), 沥青混合料粒料的轴向速度不大, 但圆周速度较大, 由于 $v_r > v_z$, 使得沥青混合料粒料产生沿合成速度方向的附加紊流, 影响混合料的轴向分料和混合料的均匀性。

3) 当 $\frac{\mu + \sqrt{1 + \mu^2}}{2\pi} H < r < \frac{1 + \mu}{1 - \mu} \frac{H}{2\pi}$ 时, 物料处在螺旋面半径 B—B 线和 C—C 线之间, 圆周速度开始下降, 已接近于轴向速度, 但仍大于轴向速度, 摊铺效率不高。

4) 当 $r \geq \frac{1 + \mu}{1 - \mu} \frac{H}{2\pi}$ 时, 沥青混合料位于螺旋面半径 C—C 线右侧, 沥青混合料轴向分料速度增大, 而圆周速度减小, 轴向速度大于圆周速度, 此区域为理想的沥青混合料的布料区。

5 沥青混合料流在螺旋布料槽内的运动特征分析

以下主要从螺旋分料器的圆周截面角度对沥青混合料的运动特征进行讨论 (图 7)。

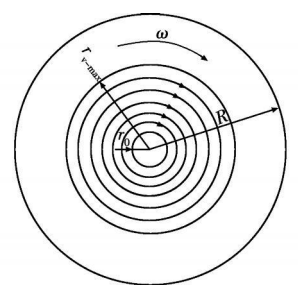


图 7 沥青混合料粒料的截面运动情况

在分析之前, 需要明确几个约束条件:

- 1) 螺旋布料器为等直径等螺距的直线螺母式螺旋布料器;
- 2) 螺旋布料器转速不变;
- 3) 螺旋布料器处于全埋状态。

5 1 不考虑混合料进出摊铺室, 不考虑重力、摩擦力与颗粒间相互作用力

不考虑混合料进出摊铺室, 其实质是假设摊铺室封闭, 且螺旋为无限长。在未考虑重力和摩擦力时, 螺旋布料槽横截面的沥青混合料运动可分为多个圆环转动, 且由内向外, 粒料绕轴的转速先增大后减小, 而圆环绕螺旋轴旋转的角速度逐渐减小, 而轴向速度则是越来越大。由于越靠近轴心, 螺旋升角越大, 受到的螺旋面的力越大, 发生翻转的可能性就越大, 大粒径颗粒将不断向外环滑移, 而小粒径颗粒在大粒径颗粒的空隙之间向内环不断聚集, 这就产生了混合料的紊流运动, 导致单位区域内级配的变化和整个混合料的不均匀。等到这种紊流发生到一定程度, 将形成内环为小粒径颗粒, 外环为大粒径颗粒, 越向外颗粒越大的分布状况。大粒径颗粒被带到外环, 由于外环的轴向速度比内环大, 所以大颗粒的混合料最早达到布料器的左右两端和上下两端。

5 2 考虑重力与摩擦力, 不考虑颗粒间相互作用力和混合料进出摊铺室

由于需要考虑重力与摩擦力, 混合料已不再是多个规则的圆环转动组成。随着旋转的继续, 大颗粒逐渐向外层滑移, 但越向外层, 颗粒所受螺旋面的力越小, 在摩擦力和自身重力不变的情况下, 颗粒向外的滑移速度越来越小, 而随着螺旋旋转逐渐集中到螺旋的底部, 由同时所受的螺旋面轴向分力的推动, 比小颗粒更快的来到螺旋左右两端。这也就发生了混合料的不均匀现象。

5 3 考虑重力、摩擦力以及颗粒间相互作用力, 不考虑混合料进出摊铺室

在圆周截面上的混合料, 由于混合料颗粒的粒径不同, 则各种不同粒径混合料所对应的紊流发生区域也各有不同。但这些紊流发生区域又都存在一部分重叠的区域, 因此将各粒径混合料所对应的紊流发生区域的并集称为混合料紊流区, 将各粒径混合料所对应的紊流发生区域的交集称为混合料最剧烈紊流区。截面内除紊流区以外的区域, 称为混合料平动区。紊流区和平动区的接触面上存在着一定程度的扰动, 称之为混合料紊流过渡区。

5 4 考虑重力、摩擦力以及颗粒间相互作用力, 考虑混合料进出摊铺室

这种情况近似于摊铺过程的实际描述。假设进入摊铺室的物料是均匀的符合级配曲线的沥青混合料。摊铺机在摊铺过程中, 机身匀速向前行驶, 摊铺室里的沥青混合料不断的被摊铺至地面, 如图 8 若将摊铺机看作不动, 则其相对运动为螺旋下方有

一与摊铺机行驶相反方向运行的传送带, 它匀速的将摊铺室内的沥青混合料带走, 其单位时间内带走的混合料与摊铺机正常工作状态下的摊铺速率一致, 如图 9。

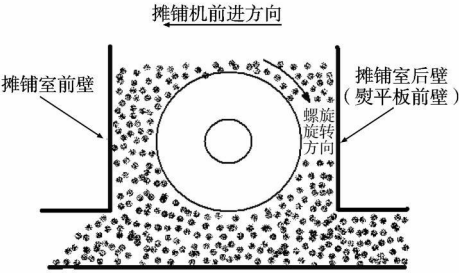


图 8 摊铺机正常行驶时的摊铺室

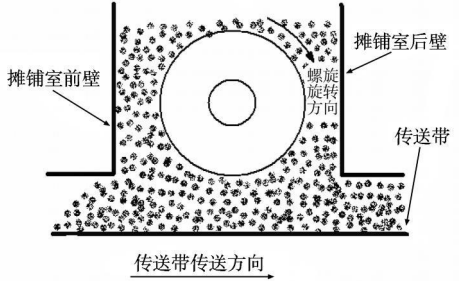


图 9 传送带传送

分析传送带传送混合料的情况, 由前面的分析可知, 混合料全埋螺旋布料器时, 布料器截面内混合料流动分为平动区和紊流区。传送带匀速带走混合料的过程中, 摊铺室前壁处首先落料, 然后平动区内的混合料下落填补空隙, 先前平动区的混合料落料后所形成的空隙由从外部刚刚进入摊铺室的混合料和紊流区内的混合料共同填补。这些混合料进入平动区以后, 由于可以达到受力平衡, 所以会随着螺旋叶片的转动继续沿轴向平动。而处于螺旋截面紊流区内的混合料, 由于不能够达到受力平衡, 就形成了紊流, 这些混合料一边在螺旋叶片的推动下沿轴向运动, 同时在混合料紊流区, 尤其是在混合料最剧烈紊流区内作不规则的翻滚、滑移或跌落运动, 以寻求新的受力平衡, 但始终无法寻求到新的受力平衡。最终, 这些混合料中的一部分将在布料器截面内去填补其下方平动区混合料被带走后的空隙, 另一部分继续随着螺旋叶片沿布料器轴向运动。

因此, 在布料器截面的平动区内, 混合料基本可以保持均匀; 而在混合料紊流区内, 混合料不仅存在轴向运动, 还存在截面上的翻滚、滑移或者跌落运动, 混合料的均匀性将发生显著变化, 严重影响路面铺层的质量。总之, 摊铺过程中的落料填补加重了混合料的不均匀度; 与此同时, 进入摊铺室的均匀混

(下转第 146 页)

澳门经济增长的主要原因有: ①澳门经济的龙头产业博彩业的表现非常理想, 产值连创新高。博彩业收益的大幅增加, 带动了其它行业的发展, 私人及政府工程大幅增加, 建筑投资明显增加; ②从 2003 年 7 月底开始, 内地部分省份先后开放了港澳个人游, 游客大增使澳门旅游服务业呈现出一派前所未有的畅旺景象, 在增加博彩业收益的同时, 也使旅馆、餐饮、零售、交通等行业呈现出前所未有的兴旺景象。“一国两制”的政策, 不但保护了澳门居民原有的生活方式, 更重要的是, 它维系了作为澳门经济支柱产业——博彩业的发展。

7 结 语

本文基于遥感和 GIS 通过 7 期遥感数据, 对 1973 年—2004 年间澳门建成区的扩展及时空变化进行了动态监测与分析, 并从自然环境和社会经济等方面进行了扩展的原因分析, 获得以下几点结论:

1) 1973 年—2004 年间, 澳门城市建成区以澳门半岛为主, 逐步向氹仔岛和路环岛扩展, 面积增加了 16.02 km^2 。

2) 监测表明, 澳门的建设用地除了不断将周边的农村居民点和其它建设用地连成一体外, 最主要的影响是对于海域和林地的占用, 两者占有建成

区扩展面积的比例分别 74.16% 和 22.93%。

3) 自然环境因素在一定程度上决定了澳门建成区的形成、分布及其扩展的特征, 是其发展的限制性因素; 经济发展和政策因素在较短的时间尺度内则是澳门建成区扩展的决定性因子。

参考文献:

- [1] 沙晋明, 甘 淑, 王人潮, 等. 绍兴市城镇用地扩展的遥感监测 [J]. 国土资源遥感, 1998, 9(3): 51-55.
- [2] 国家统计局. 中国统计年鉴 2005 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2005.
- [3] 张增祥. 中国城市扩展遥感监测 [M]. 北京: 星球地图出版社, 2006.
- [4] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.
- [5] 京 文, 辛 华. 澳门的土地资源及土地政策 [J]. 中国土地, 2000(12): 23-24.
- [6] 杨士弘, 郑岳威. 澳门城市道路交通建设与管理 [J]. 地理学与国土研究, 1999, 15(4): 22-25.
- [7] 郑冠伟. 澳门城市规划的发展及延续方向 [J]. 建筑学报, 1999(12): 6-10.
- [8] 谭光民. 澳门的土地资源与经济发展 [J]. 热带地理, 1999, 19(4): 324-330.

(上接第 66 页)

合料, 可适度减轻混合料的不均匀性, 但因为螺旋布料器的作用, 这些均匀的混合料被源源不断地推拨到两侧, 在推拨过程中, 混合料又产生了与此前同样的颗粒移动速度、滑移位置以及落料填补, 即不断地延续着混合料不均匀的发生。

6 结 语

在螺旋布料器作用下, 布料槽中的混合料不可避免地产生了不均匀性现象, 而且这种不均匀现象随着摊铺进程的不断延续^[6]。这种不均匀现象部分原因是由螺旋分料器结构的固有缺陷所造成。因此, 基于流体力学方法对沥青混合料流在螺旋布料槽中运动特征的研究, 可为螺旋布料器的工作参数调整和结构改进设计提供新的方法和思路, 以减轻

或避免路面铺层材料不均匀现象的发生。

参考文献:

- [1] 黄富裕, 郭小宏. 试用流体力学分析沥青混合料的颗粒运动 [J]. 公路交通技术, 2006(5): 40-42.
- [2] JTG F 40—2004 公路沥青路面施工技术规范 [S].
- [3] 黄富裕, 郭小宏. 试用流体力学方法分析沥青混合料摊铺中三速度的协调关系 [J]. 筑路机械与施工机械化, 2007, 24(2): 21-23, 27.
- [4] 夏泰淳. 工程流体力学 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2006.
- [5] 李民孝. 沥青混合料摊铺机螺旋分料器设计计算及参数分析 [J]. 筑路机械与施工机械化, 2000, 17(4): 2-4.
- [6] 谢 睿. 沥青混合料摊铺机螺旋布料器对混合料均匀性的影响 [J]. 筑路机械与施工机械化, 2007, 24(12): 20-23.