

滑模摊铺水泥混凝土路面平整度研究^{*}

杭伯安 王彦莹

(交通部公路科学研究所 北京 100088)

提要 分析研究滑模混凝土路面施工平整度的特点、影响因素、检测方法,提出改善路面平整度的技术措施,并推荐滑模混凝土路面平整度检测评定标准,为符合我国国情的滑模施工提供了质量保证措施和技术建议

关键词 滑模 水泥混凝土路面 平整度 检测

Research on the Smoothness of Slip Form Paving Cement Concrete Pavement

Hang Boan Wang Yanying

(Research Institute of Highway, Beijing)

Abstract Research on the characteristics, influential factors and test methods of smoothness for slip form concrete construction were carried out. The technical measures for improving the pavement smoothness were put forward. The evaluation standards for testing the smoothness of slip form concrete pavement were expounded so as to provide the quality controll measures and technical sugestions commensurate with the Chinese present conditions.

Key words Slip form Cement concrete pavement Smoothness Test

滑模摊铺混凝土路面平整度是指滑模施工过程中因操作不当引起的路面竖向高程的微小变化,反映了路面偏离某平面的纵向起伏。它对路面使用性能的影响主要体现在3个方面:(1)路面施工平整度的好坏首先会影响车辆的行驶品质,路面的纵向颠簸或起伏将直接反映行车的平稳性(舒适性)、安全性等方面。(2)路面施工平整度对车辆运营费用和路面年平均养护费用会产生一定的影响,一般情况路面平整度越好,车辆部件和轮胎损耗费越低,每百公里油耗越小,还可降低路面年平均维修养护费用。(3)对路面长期性能的影响,由国内外研究结果表明,随着施工平整度的提高,10年后的路面损坏率减小。

本文针对滑模混凝土路面平整度的特点,研究影响平整度的因素,提出相应的技术措施

^{*} 国家“八五”重点科技攻关项目 85-403-01-01

收稿日期 1996-07-11

1 滑模混凝土路面施工平整度的特点

滑模摊铺混凝土路面是先进的机械化施工工艺，主要通过液压传感器传送两侧导线（尼龙绳或钢丝绳）行进方向和表面高程信号，操纵滑模机组不断向前推进。由于滑模摊铺机将各道工序进行了最佳组合，加上附件的优良性能，因而摊铺路面的平整度优越于常规小型机具施工工艺。几年来的实践也充分证实了这一点。表 1是采用 RRDAS 颠簸累积仪对滑模摊铺河北省高碑店二级公路试验路、湖南省莲易路段与人工或小型机具摊铺路段的测试结果，从中可以看出，滑模施工平整度是人工或小型机具所无可比拟的，尤其是 $IRI \leq 3.8$ 的平整度水平。

滑模路面平整度与小型机具的比较 表 1

评定标准	路面平整度合格率 (%)		
	高碑店试验路	小型机具	莲易二级
$IRI \leq 3.8$	87.3	0	38.8
$IRI \leq 4.8$	96.2	58.8	95.5

2 滑模混凝土路面平整度影响因素以及相应的技术措施

2.1 导线安装

滑模机行进的方向和高程依靠导线控制（图 1）。导线通过导线桩嵌入导线安放槽。导线安装误差和操作错误通过传感器反映到路面，因此必须准确。熟练掌握导线安装要领，并在施工前和施工过程中不断检查校正。导线对平整度的影响主要反映在以下 4 个方面

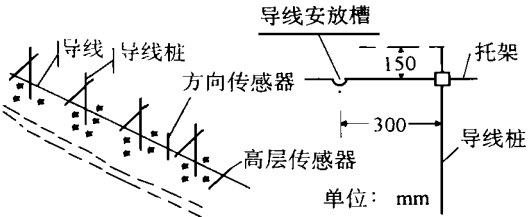


图 1 导线安装及工作示意图

(1) 安装方式

目前普遍采用的安装方式有双股导线或单股导线控制两种。前者高程信号由两侧导线提供，方向由一侧导线控制。后者方向和g程均通过同一侧导线控制，路面坡度由机械上安装的坡度自动控制系统设置。

(2) 导线高度与间距

理想的导线应成连续、无折点的直线，但实际施工时导线安装在托架安放槽中，形成一个个控制点。为保证路面平整，各控制点高度必须保持一致，导线偏高或偏低都将导致路面产生大的颠簸区。由于导线在自重作用下自然下垂，因而导线桩间距不宜过长，直线路段导线桩间距一般控制在 7.5~10m；平曲线和竖曲线路段导线桩最大间距不超过 7.5m。

(3) 导线材料与张力

导线应选用强度较大的尼龙绳或钢丝绳，接头不应太多。另外，由于导线松弛会引起传感器上下旋转，机身和底部压板上抬，因此导线上必须施加较大的张力。导线张力保持在 100kg 左右为宜。

(4) 外界因素的影响

经检查准确无误的导线应谨防人为因素或施工车辆碰动，特别是在施工过程中，因为碰动后导线错位，有时会从托架安放槽中脱出；再者导线会上下跳动，并通过传感器反映到混凝土表面，产生颠簸。另外，风也影响施工平整度，特别是风速超过 3.6m/s 时，导线上下、左右跳动幅度增大。因此，应视天气变化情况缩短导线桩间距或停止施工。

2.2 滑模机履带行走轨迹

在滑模施工中,必须有稳定、均匀的履带行走轨迹作保证。滑模机模板至履带外侧的距离一般在 1m 左右,即在路面边部两侧将基层向外各加宽 1m ,并进行充分整平和压实,该部分的技术要求应与基层完全相同,以保证摊铺机履带的平稳行走。

2.3 麻面与塌边对平整度的影响

当混凝土配合比或工作度不合适、滑模机操作不当时,路面易形成麻面或塌边。经实测,麻面对路面平整度的影响幅度在 $2\sim 3\text{mm}$ 之间。这种情况虽然通过人工或抹光板可以得到部分修补,但如果修补工作不及时或不完全,出现麻面的部位会形成凹凸区(表面波浪),降低路面平整度。塌边对平整度的影响主要反映在纵缝或自由边处,尤其是在分幅施工时,导致相邻车道对接不好,出现纵向凹槽,车辆超车时容易出现颠簸,雨天时可能形成积水,降低行车安全。因此应尽可能采用一次性摊铺,避免分幅施工。

2.4 混凝土配合比设计

配合比设计重点是混凝土的结构粘度和工作度,合适的振动粘度为 $100\sim 600\text{Ns/m}^2$;工作度(坍落度):砾石混凝土 $1\sim 5\text{cm}$,碎石混凝土 $2\sim 7\text{cm}$ (根据混凝土运距而定)。振动粘度越大表示混凝土坍落度越小,当超过上述范围时,表面容易出现麻面或塌边,抹面质量会大大降低。

2.5 混凝土供应与布料

为铺筑平整的路面,除混凝土配合比应合适外,供料必须均匀稳定。施工过程中,混合料坍落度太大容易引起塌边,过干则形成麻面,一旦出现塌边或麻面,抹面工序工作量增加很多,甚至会使平整度无法满足要求。从实际施工情况看,如果到达现场的混凝土坍落度超过 7cm ,在振捣作用下表层砂浆太多,容易分布不均匀,机械过后表面出现桔子皮状的波纹,这种情况一般很难消除。混合料忽干忽湿最难控制,尤其是相邻两车料之间有差异。

导致混凝土材料均匀性、稳定性较差的原因很多,主要是搅拌楼自身的性能和原材料状况。施工中应提高单台搅拌楼的搅拌能力,最好每台额定容量在 $100\text{m}^3/\text{h}$ 以上,尽量减少搅拌楼数量,保证混凝土的均匀性。检测时,工程技术人员应经常检定搅拌楼称量和进水装置的准确性,并对混凝土搅拌、运输、摊铺和抹面等道工序连续监控,同时定期检查砂石含水量、外加剂用量等,确保混凝土坍落度、结构粘度等各项性能指标保持一致。

另外,在滑模机向前推进过程中,机前应保持合适的料位,太低会导致缺料,太高滑模机将被作为“推土机”,行进过程中左右摇摆,引起路面不平整,有时甚至会导致摊铺机爬高,铺出的路面厚度不均匀,造成不必要的浪费。

2.6 滑模机操作

实际施工中,滑模机停机后再启动或速度突然变化时,其后部的混凝土高度产生明显变化,表面往往形成一道横向全宽凹槽,导致表面颠簸(见图2)。经实测,颠簸区域的范围约为:长 5cm 深度 $3\sim 5\text{mm}$ 。如果后部配置自动抹光板,该部位可通过填补砂浆抹平,否则人工很难修整。因此滑模摊铺机在任何时候都应尽量匀速向前推进。如果混凝土供应不足或运输车辆不够,搅拌楼应及时与现场取得联系,以便滑模机操作人员逐渐减慢摊铺速度,并与供料速度相适应。

2.7 人工操作

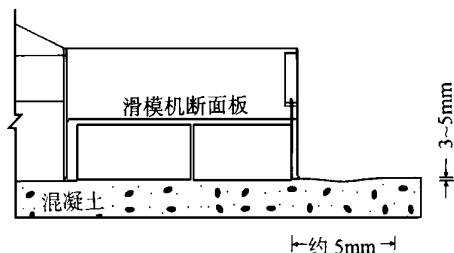


图2 停机或速度突然变化形成的表面颠簸(示意)

滑模机摊铺过后，路面表面和侧边局部需要人工修整，尤其是桥头通道、每天的施工缝等处有必要采用人工方式浇筑。事实上，由于滑模摊铺部分较为平整，人工作业可能会破坏原有的平整度，图3是滑模摊铺与人工部分的比较。从数据的分析可知，为保持路面的宏观平整效果，滑模过后的路面应尽量减少人工操作量，局部出现对路面使用性能影响不大的缺陷无需人工再修整，而滑模机难以铺筑的部位，应尽量提高人工抹面质量。

另外，国内高等级公路设计的实际情况是，为方便行人和相交道路的车辆行驶，通常提高路面标高，沿线布置大量的通道和小桥涵，其平均间距一般为300~500m。因此公路沿线的桥涵、通道设计和施工应结合滑模工艺的特点，下部仅浇筑供滑模机行走的平面，上部留出一定厚度（不小于18cm）的钢筋混凝土板，与路面部分一起铺筑。这样既可保证滑模摊铺的连续性，也能够大大改善路面平整度，从而提高整体施工水平，减少不必要的麻烦。

2.8 自动抹光板

自动抹光板对改善路面平整度有一定的作用，特别是对于重量轻、牵引力小的机械显得更加重要。抹光板通过桁架结构安装在滑模机后部，它在左右滑动过程中不断地前后移动，形成与纵向成45°左右的搓动作用力，同时它对表面作用的较小压力起到提浆作用，因此可以减少或消除路面上较小的缺陷，弥补混凝土配合比、机械操作等方面的不足。

在石太线滑模摊铺施工段选择了同样长度使用抹光板的路段，结果见表2。表中可以看出，自动抹光板的效果显著，特别是能抹平3mm以下较小的颠簸，还能消除蜂窝麻面。

3 滑模混凝土路面平整度检测方法与评定标准

3.1 滑模混凝土路面平整度检测方法

平整度反映的路面纵向起伏可分为两种形式（见图4），一种是短波长、高频率，称为微观不平，往往是由于路面局部操作不当引起的；另一种则是因施工不连续形成的长波长、低频率的起伏，称为宏观不平。影响车辆行驶的纵向起伏的波长和频度存在一定范围，法国研究人员采用不同轴载和轴距的车辆在各种类型的路面上进行了大量试验，研究结果表明，当车速为72km/h时，波长1~40m为影响行车范围，此时对应的频率范围0.5~20Hz，其中1~6m车轮颤动，方向盘难以控制，最影响行车安全；20~40m导致车身晃动。当车速为150km/h时，影响行车的波长约为2~100m。

滑模施工是一种快速、连续的过程，铺出的路面具有良好的宏观平整度，不平整主要表现在局部施工引起的短波长、低频率的起伏。为真实评价滑模混凝土路面对行车性能的影响，

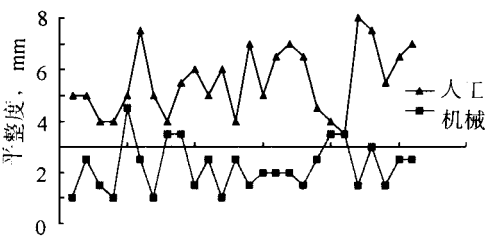


图3 人工操作对路面平整度的影响

抹光板对路面平整度的改善

表2

项 目	使用前	使用后
总抽测点数	267	369
合格点数	≤ 2mm	63
	≤ 3mm	220
	≤ 5mm	267
合格率 (%)	≤ 2mm	23.6
	≤ 3mm	82.4
	≤ 5mm	100
均值 (mm)	-	-

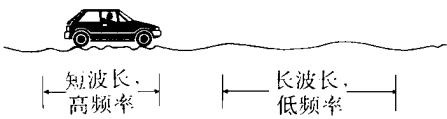


图4 路面平整度类型

检测方法应能够同时反映微观和宏观平整度。我们有选择地采用了三米直尺、RRDAS颠簸累积仪和 APL纵断面分析仪 3种方法,对高碑店和湘潭 (条件所限仅抽测了三米直尺平整度) 试验路、莲易试验路及实体工程、石太实体工程进行了检测,测量结果三米直尺采用 3mm 控制,测试车采用国际平整度指数 $IRI \leq 3.8$ 进行评定,见表 3。根据测试结果分析可得出下列初步结论:

滑模摊铺混凝土路面平整度										表 3
滑模摊铺混凝土路面平整度合格率 (%)										
评定标准	河北高碑店				湖南莲易				河北石太高速公路	
	RRDAS		RRDAS		RRDAS		RRDAS		APL	
	三米直尺		三米直尺		三米直尺		三米直尺		三米直尺	
	右半幅	左半幅	右幅右	右幅左	左幅右	左幅左	右幅右	右幅左	左幅右	左幅左
$IRI \leq 3.8$	84.6	89.7	93.3	91.3	87.9	91.9	95.7	97.9	100	100
均值	87.3				91.1				98.4	
$IRI \leq 4.8$	94.8	97.4	100.0	100.0	99.3	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
均值	96.2				99.8				100	
< 3mm	78.8	73.7			99.4		78.4	80.3	86.0	74.5
均值	76.2				99.4				80.1	

- (1)三米直尺结构简单,携带方便,可随时检查路面施工情况;RRDAS颠簸累积仪和 APL纵断面分析仪需专门的车辆牵引,测量路段长度不宜过短,测量过程应保持连续和匀速。
- (2)三米直尺仅能测量 3m 以内波长的不平整情况,可反映表面局部缺陷,但不能反映车辆高速行驶时长波长不平整的影响,而且因测量的随机性较大,测量结果误差可能会很大。
- (3) APL纵断面分析仪和 RRDAS颠簸累积仪可通过调整不同的速度,快速、连续反映短波和长波对车辆的颠簸情况。测量结果可与国际平整度指数 IRI 平整度仪指标^e互换,便于不同路段、不同检测设备间的分析比较。同时可将收集的数据按不同的间距绘制成柱状图,便于直观地反映整段路面的平整度情况,图 5为 RRDAS测量结果分析,从中可以看出平整度合格率以及不合格路段的位置和超过标准的程度。

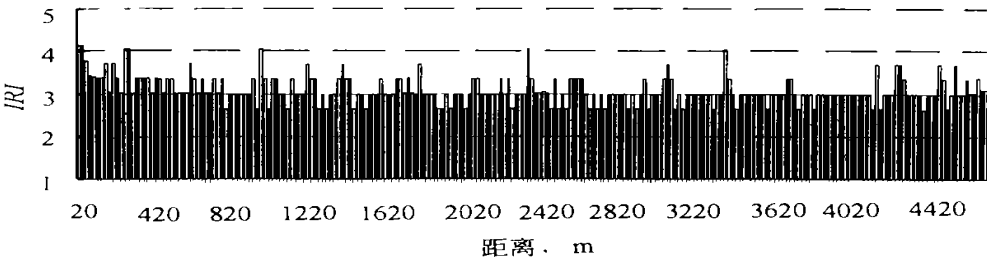


图 5 RRDAS颠簸仪路面平整度连续测试结果

- (4)三米直尺测量速度慢,一般适用于较短路段的检测;而颠簸累积仪和纵断面分析仪则能够以较快的速度采集大量数据,比较适合滑模摊铺路面快速检测要求。
- (5)三米直尺按 3mm 控制的合格率比两种测试车按 $IRI = 3.8$ 的合格率小,因此当三米直尺检查的路段合格时,一般采用检测车评定也合格。

(6) 从滑模混凝土路面施工质量控制和路面评定的角度看, 三米直尺比较适合于施工过程中检测控制; RRDAS颠簸累积仪和 APL纵断面分析仪需要专门的车辆牵引, 适合于路面平整度评定和竣工验收检测。

3.2 滑模混凝土路面平整度检测评定标准

滑模摊铺作为混凝土路面施工的一种新型工艺, 由于其特殊的配置及施工方式的优越性, 具有良好的应用前景。但至今为止, 国内尚无规范或标准可依, 许多建设单位和施工单位仅仅参照过去人工或小型机具施工规范进行粗略的评价, 且标准不一, 因此有必要制定适合于滑模混凝土路面平整度控制和评价的标准, 以便指导实际施工。

滑模混凝土路面平整度检测与评定标准				表 4
检查项目	规定值		检查方法和频率	
	高速公路、一级公路	其它公路		
最大间隙 h (mm)	3.0	5.0	三米直尺, 摊铺车道每 50m 处	× 10
平整度				
国际平整度指数 IRI	3.8	4.8	RRDAS 颠簸仪 (80km/h) 或 APL 纵断面分析仪 (72km/h), 摊铺车道	

根据实践经验, 结合目前国内施工条件和施工水平, 建议高等级公路滑模摊铺混凝土路面平整度评定标准如表 4。尽管三米直尺有许多不足, 但国内规范中一直沿用至今, 实际使用也比较普遍, 因此保留作为检测方法之一, 尤其适用于施工过程中的质量控制。

4 结论

1. 导线安装是滑模施工中首先应考虑的因素, 也是影响路面平整度的主要方面。
2. 基层施工应充分考虑滑模机履带行走轨迹的影响, 以消除对路面施工平整度的影响。
3. 蜂窝麻面和塌边对路面表面和纵缝处平整度有一定的影响, 应尽量消除。
4. 合适的配合比设计, 连续均匀的供料以及机前保持合适的料位是滑模施工成功的关键, 也是摊铺平整路面的重要保证。
5. 滑模机应尽量匀速向前推进, 避免停机和速度突然变化。在特殊情况下, 可根据混合料等情况对摊铺速度和振捣棒频率作适当调整。滑模机在任何时候都应保持合适的工作状态, 重量与牵引力保持均衡一致。
6. 三米直尺比较适合于滑模施工过程中的平整度控制, 而 RRDAS 颠簸累积仪和 APL 纵断面分析仪则适合于检测评定。
7. 推荐了滑模混凝土路面平整度检测评定标准。

参考文献

- 1 Michael S. Janoff, NAPA, Pavement Smoothness.
- 2 Analyseur de Profil en Long, APL72 M1pc, France
- 3 Stringline Manual, CMI Corporation.
- 4 姚祖康, 朱以敬. 道路路面工程. 中国建筑工业出版社, 1987-12
- 5 公路工程质量检验评定标准 JTJ071-94.