

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2020.01.011

# 水泥路面板加铺沥青面层后板底脱空检测及评价方法

肖春发, 罗卫, 粟宋来, 谢鰲

(湖南省建筑科学研究院, 湖南 长沙 410002)

**摘要:**由于水泥路面板加铺沥青面层这种特定路面结构形式,原水泥板脱空检测评价方法已不适用,该文针对多处采用钻芯法确定的板底脱空位置提前进行跟踪观测,统计其路面表观病害、渗水状况、动力响应等特征,寻找规律,对脱空评价指标进行量化,提出一套适合水泥路面板加铺沥青面层后板底脱空的检测及评价方法,并在实际工程中应用。

**关键词:**水泥路面板; 沥青面层; 板底脱空; 检测评定

旧路改造中对水泥路面板常采用加铺沥青面层(以下称“白加黑”)的方式进行,其板底也存在脱空现象,在行车荷载及雨水作用下,造成面层严重裂缝、唧泥、坑槽甚至整个板体断裂等病害。多种板底脱空检测评价方法如人工目测法、贝克曼梁弯沉测定法、FWD 截距法、FWD 斜率法、声振检测法、雷达检测法、承载板测定法、物元分析法、地震波法等在水泥路面检测中被大量采用,但“白加黑”刚性体与黏弹性体两种不同性状的路面结构组合在一起,其受力模式与单独的水泥面板相比已发生了改变,原水泥板的脱空评价方法已不适用,需要建立一套适用于“白加黑”路面板底脱空的检测评价方法。

## 1 “白加黑”路面板底脱空检测方法改进

对“白加黑”路面板底状况的调查,最直接有效的方法是钻芯法,板底层位松散、不成型、黏结性能不佳、不平整等现象,即说明脱空。这种有损检测方法效率低、钻取后将对路面结构产生不利影响,不可能每块板普及。对采用钻芯法确定的板底脱空位置的观察,发现脱空位置的路面有一个共同的特点,即裂缝严重(或唧泥),灌水后下渗速度较快并在灌水后车辆荷载作用下有唧泥现象,而板边板角动力响应表现为路面结构

- 学行为分析[J].西南交通大学学报,2017(3).
- [4] 盛骤,谢式千.概率论与数理统计[M].北京:高等教育出版社,2008.
- [5] SETRA. Catalogue des Structures Type de Chaussées Neuves (1998 SETRA/LCPC) [S]. PARIS SETRA, LCPC, 1998.
- [6] SETRA. Conception et Dimensionnement Des structures de Chaussees Guide Technique[S].PARIS SETRA, 1994.
- [7] 沈金安.国外沥青路面设计方法汇总[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [8] 刘军勇,李刚,张留俊,等.基于法国标准的沥青路面结构设计[J].公路工程,2010(5).
- [9] 王乐宇.中外沥青路面结构设计参数对比研究[D].东南大学硕士学位论文,2015.
- [10] 雷宇,李刚.柔性基层沥青路面各层模量变化对沥青路面设计指标的影响[J].中外公路,2009(3).
- [11] 邵财泉.中外沥青路面设计方法对比研究[D].东南大学硕士学位论文,2015.
- [12] 王为义,陈景雅,吴非,等.柔性基层模量及厚度对倒装式路面结构受力影响分析[J].华东交通大学学报,2016(3).
- [13] 李刚,王崇涛,丁小军,等.基于法国规范的土方、垫层和路面综合设计方法[J].中外公路,2009(4).
- [14] 蒋智禹.倒装式沥青路面结构的力学性能研究[D].湖南大学硕士学位论文,2012.
- [15] 王乐宇,廖公云,李植淮,等.中法沥青路面结构设计参数重要性对比分析[J].中外公路,2015(5).
- [16] 樊强.基于层位功能的组合式基层沥青路面结构及其混合料设计研究[D].重庆交通大学硕士学位论文,2016.
- [17] 王浩,陈华鑫,叶丹燕,等.基于正交试验的沥青路面结构力学响应参数敏感性分析[J].中外公路,2017(5).

收稿日期:2019-10-12(修改稿)

作者简介:肖春发,男,硕士,高级工程师.E-mail:36519013@qq.com

层动态弯沉较大、多级加载回归曲线的截距或斜率较大,故“白加黑”路面板底脱空检测方法采用病害调查、灌水测试、落锤式弯沉仪三级加载检测相结合的方法进行,利用多种检测方式通过权重的分配,综合判断板底脱空。

#### (1) 病害调查

通过人工目测及尺量的方法,对沥青面层病害进行调查,看是否存在裂缝或唧泥病害,当裂缝宽度大于某一值时为严重裂缝。

#### (2) 灌水测试

将标准渗水仪改装成1 000 mL容量的渗水仪,水筒高度及基座不变,在裂缝位置测试水全部下渗所需要的时间,并观察下渗后在车轮荷载作用下是否发生唧泥现象。

#### (3) FWD 三级加载

采用落锤式弯沉仪(FWD)进行3级荷载(一般为50、70、90 kN)下的板角或板边弯沉测试,记录50 kN下的弯沉值,作出弯沉—荷载线性回归曲线,根据弯沉值、荷载—弯沉线性回归得出曲线截距及斜率。

## 2 检测指标分析

通过对“白加黑”板底脱空情况的跟踪观测,对弯沉、FWD荷载—弯沉线性回归曲线截距或斜率、反射裂缝严重程度、渗水、唧泥等指标进行统计分析,查找与板底脱空的关联性。选取某典型“白加黑”路面板角共钻芯118处,其中判定为脱空的34处,以下分别对118处对应位置的弯沉、荷载—弯沉线性回归曲线截距及斜率、反射裂缝严重程度、渗水、唧泥状况等指标进行统计分析。为尽可能减少温度的影响,落锤式弯沉仪(FWD)测试控制在地面温度20~25℃的范围内进行。

#### (1) 弯沉

“白加黑”沥青层较薄,弯沉的主要贡献者仍然是水泥板底,在竖向受力方面,沥青面层对锤击力有消散作用,实际加载到水泥板上的锤击力相应会减少,相同荷载下的弯沉值也会相对减少。暂定弯沉18(0.01 mm)作为“白加黑”路面脱空单指标评价标准。

通过对118个钻芯位置样本进行分析,弯沉超过18(0.01 mm)的有34处,其中有27处通过钻芯确定为脱空,占弯沉超标点数的79.4%;同时实际脱空的34处板角位置,有27处弯沉超过18(0.01 mm),占脱空总数79.4%。说明弯沉判断脱空的正确率为79.4%,

脱空位置弯沉超过18(0.01 mm)的可能性也为79.4%。

#### (2) 荷载—弯沉线性回归曲线截距

国内外研究表明:当多级加载荷载—弯沉线性回归曲线截距大于50  $\mu\text{m}$ 时,脱空的可能性较大。暂定“白加黑”路面脱空判定标准为截距50  $\mu\text{m}$ ,以此来分析与实际脱空的关联性。

通过对118个钻芯位置样本进行分析,截距超过50  $\mu\text{m}$ 的有33处,其中有28处通过钻芯确定为脱空,占截距超标点数的84.8%;同时实际脱空的34处板角位置,有27处截距超过50  $\mu\text{m}$ ,占总脱空数的79.4%。说明此截距判断法正确率为84.8%,脱空位置截距超过50  $\mu\text{m}$ 的可能性为79.4%。

#### (3) 荷载—弯沉线性回归曲线斜率

国内外研究表明:当多级加载荷载—弯沉线性回归曲线斜率大于4时,脱空的可能性较大。暂定“白加黑”路面脱空判定标准为斜率4,以此来分析与实际脱空的关联性。

通过对118个钻芯位置样本进行分析,斜率超过4的有21处,其中有16处通过钻芯确定为脱空,占斜率超标点数的76.2%;同时实际脱空的34处板角位置,有16处斜率超过4,占总脱空数的47.1%。说明斜率判断法正确率为76.2%,脱空位置斜率超过4的可能性为47.1%。

#### (4) 反射裂缝严重程度

沥青路面规范规定裂缝宽度大于3 mm为严重裂缝,考虑到水泥板缝的反射,“白加黑”路面严重裂缝的宽度暂定为5 mm,假定裂缝宽度大于5 mm判断为板底脱空。

对118个钻芯位置样本进行分析,严重裂缝位置有34处,其中有29处通过钻芯确定为脱空,占裂缝宽度超标点数的85.3%;同时实际脱空的34处板角位置,有29处裂缝宽度超过5 mm,占总脱空数的85.3%。说明裂缝判断法正确率为85.3%,脱空位置严重裂缝的可能性为85.3%。

#### (5) 渗水

在“白加黑”路面反射裂缝位置进行渗水试验,渗水速率均比在正常沥青路面上大,但板底有空洞的情况下,渗水系数会更大,为了将渗水系数大小与板底脱空情况联系起来,特做了大量的渗水系数试验,渗水系数初定4 L/min为严重渗水,判定为脱空。

对118个钻芯位置样本进行分析,严重渗水位置有34处,其中有32处通过钻芯确定为脱空,占渗水系

数超标点数的 94.1%；同时实际脱空的 34 处板角位置，有 32 处渗水系数超标，占总脱空数的 94.1%。说明渗水系数判断法正确率为 94.1%，脱空位置严重渗水的可能性也为 94.1%。

(6) 唧泥

通过在正常情况下的病害调查，或者在反射裂缝位置的渗水试验后，在车轮荷载作用下，反射裂缝处有基层泥浆涌出，均判断为唧泥。“白加黑”路段若有唧泥则判断为脱空。

对 118 个钻芯位置样本进行分析，唧泥位置有 34 处，其中有 32 处通过钻芯确定为脱空，占唧泥总点数的 94.1%；同时实际脱空的 34 处板角位置，有 32 处唧泥，占总脱空数的 94.1%。说明唧泥判断法正确率为 94.1%，脱空位置唧泥的可能性也为 94.1%。

3 各指标权重确定

通过对弯沉、截距、斜率、反射裂缝严重程度、渗水、唧泥等指标进行统计分析，各指标对脱空判断并没有 100%的准确率，应选择多个恰当的指标综合考虑，分配相应的权值，对脱空情况进行综合判断。

以上指标中的斜率判断法正确率分析及可能性分析中相关参数均低于其他指标，并且脱空板斜率超过 4 的可能性仅 47.1%，不能充分判断脱空情况，故应舍弃该指标。将其他指标分别在正确率分析、可能性分析的情况下采用归一法进行权值分配(表 1、2)。

表 1 正确率分析下的权重分配

指标	单指标评价为脱空的样本量/处	实际脱空样本量/处	正确判断率/%	权重分配
弯沉	34	27	79.4	0.181
截距	33	28	84.8	0.194
严重裂缝	34	29	85.3	0.195
唧泥	34	32	94.1	0.215
渗水	34	32	94.1	0.215

表 2 可能性分析下的权重分配

指标	实际脱空样本量/处	实际脱空样本量中，单指标评价为脱空的样本量/处	脱空情况下，单指标评价为脱空的可能性/%	权重分配
弯沉	34	27	79.4	0.184
截距	34	27	79.4	0.184

续表 2

指标	实际脱空样本量/处	实际脱空样本量中，单指标评价为脱空的样本量/处	脱空情况下，单指标评价为脱空的可能性/%	权重分配
严重裂缝	34	29	85.3	0.197
唧泥	34	32	94.1	0.218
渗水	34	32	94.1	0.218

正确率及可能性分析，是从不同角度对脱空与各项指标的关联性进行判断，其权重分配应同时考虑，故平均两者的权重作为综合权重(表 3)。

表 3 综合权重分配

指标	正确率分析下的权值分配	可能性分析下的权值分配	综合权重分配
弯沉	0.181	0.184	0.183
截距	0.194	0.184	0.189
严重裂缝	0.195	0.197	0.196
唧泥	0.215	0.218	0.216
渗水	0.215	0.218	0.216

4 脱空判断定量指标 J 的提出

若单个指标判断为脱空，则考虑其综合权重，将所有考虑指标的综合权重相加，则得脱空判断定量指标 J 值。通过对 118 处位置跟踪观测的 J 值进行计算，J 值大于 0.58 的 34 处均判断为脱空，小于 0.58 的点经钻芯确定未有板底脱空现象。故将 J 值大于 0.58 作为判断“白加黑”路面板底脱空的判断标准。

5 工程应用验证

应用脱空判断定量指标 J，对某市政道路工程中的“白加黑”板底脱空情况进行判断，并采用钻芯法进行验证，结果如表 4 所示。

由表 4 可知：J 值判断的脱空情况与钻芯确定的脱空情况完全相符。

6 结语

采用无损检测手段，通过对“白加黑”路面脱空位置的病害特征、力学响应、渗水唧泥等情况的统计分

表 4 某市政道路“白加黑”路面脱空判断定量指标  $J$  值验证

项目	测试结果					$J$ 值	$J$ 值判断	钻芯情况
	弯沉/ (0.01 mm)	截距/ $\mu\text{m}$	反射裂缝	唧泥情况	渗水			
单指标脱空标准	18	50	严重	唧泥	严重	—	—	—
验证点 1	20	32	严重	唧泥	严重	0.811	脱空	基层芯样松散、破碎,未取出完整芯样,板底脱空
验证点 2	22	46	严重	不唧泥	严重	0.595	脱空	基层芯样松散、破碎,未取出完整芯样,板底脱空
验证点 3	19	54	轻微	不唧泥	轻微	0.371	未脱空	基层芯样完整,基层顶面凭证,与水泥板粘结紧密,无明显脱空迹象
验证点 4	35	69	轻微	唧泥	严重	0.804	脱空	基层芯样松散、破碎,未取出完整芯样,板底脱空
验证点 5	25	62	严重	唧泥	严重	1.000	脱空	基层芯样松散、破碎,未取出完整芯样,板底脱空
验证点 6	13	34	轻微	不唧泥	严重	0.216	未脱空	基层芯样完整,基层顶面凭证,与水泥板粘结紧密,无明显脱空迹象
验证点 7	15	46	严重	唧泥	严重	0.629	脱空	基层芯样松散、破碎,未取出完整芯样,板底脱空
验证点 8	9	58	轻微	唧泥	严重	0.621	脱空	基层芯样松散、破碎,未取出完整芯样,板底脱空
验证点 9	16	29	严重	不唧泥	严重	0.412	未脱空	基层芯样完整,基层顶面凭证,与水泥板粘结紧密,无明显脱空迹象
验证点 10	27	67	轻微	不唧泥	严重	0.588	脱空	基层芯样松散、破碎,未取出完整芯样,板底脱空

析,找出各影响因素与脱空的关联性,量化各影响因素的权重,最终选择关联性较好的弯沉值、截距、反射裂缝严重程度、是否唧泥、渗水等因素作为统计指标,并确定其权重分别为 0.183、0.189、0.196、0.216、0.216,若某个指标超过其脱空标准,则考虑其权重,将考虑的权重相加求和得  $J$  值,当  $J$  值大于 0.58 时,板底评价为脱空。通过工程验证, $J$  值判断能有效地评价“白加黑”板底脱空状况。

参考文献:

[1] 吴传海,肖春发.基于 FWD 测试的水泥路面板底脱空判

别物元分析方法[J].中外公路,2011(4).

[2] 陈少文,王子彬,张晨风,等.水泥混凝土路面脱空的动力有限元模拟分析[J].中外公路,2017(4).

[3] 李湘锋,姚佳良,刘湘龙,等.地震波法检测水泥混凝土路面板脱空室内试验研究[J].中外公路,2017(1).

[4] 曾凡奇,蔡迎春等.道路无损检测技术[M].郑州:河南人民出版社,2005.

[5] 郭贺贺,沙海洋,仇云强,等.旧水泥路沥青加铺层反射裂缝影响区域分析及加固方法[J].中外公路,2018(4).

[6] 韦春桃,余俊辰,赵平,等.基于自适应阈值的细小裂缝与微灰度差异裂缝自动检测方法[J].中外公路,2019(1).