

水泥混凝土路面板底脱空的弯沉判据研究

邱丽章, 王端宜

(华南理工大学交通学院 广州市 510640)

摘 要: 根据试验路几种脱空检测方法的结果, 研究了水泥混凝土路面板脱空的弯沉判据, 提出了以一定保证率下板角弯沉值与板角弯沉差作为路面板板角脱空的弯沉判据, 为施工单位提供了一种简单实用的方法识别脱空板。

关键词: 水泥混凝土路面; 板底脱空; 弯沉判据

在水泥混凝土路面的使用过程中, 路面板底脱空是一种常见现象。板底脱空又是造成水泥混凝土路面板断裂和错台的直接原因。因此, 以一定的方法检测和判别路面板下基础脱空与否及程度大小, 对于采取适宜的预防性或矫正性的修复措施, 预防和阻止路面板发生结构性破坏是极为重要的。

工程上对于如何检测水泥混凝土路面板的脱空一直没有很好的办法, 目前常用的脱空判断方法主

要有落锤式弯沉仪(FWD)脱空判断、声振法人工神经网络脱空判断、反算地基模量脱空判断、探地雷达脱空判断、超声波脱空判断等。尽管各种方法都能不同程度地识别出路面板脱空, 但是鉴于目前我国施工单位的实际条件, 上述各种方法要么设备昂贵, 要么过程复杂, 在工程实际操作方面比较困难, 难以推广。

鉴于在道路工程设计和常规的质量评定中多以

收稿日期: 2006-04-20

3 结论

(1) 昔格达地层具有特殊的工程地质特性, 在水的作用下, 承载性能和抗剪强度都会大幅度降低。软弱结构面及新构造运动产生的断裂和构造裂隙, 对昔格达地层边坡的稳定性有严重的影响。

(2) 人工边坡开挖形成临空面, 急剧地改变了坡体形态, 致使坡体应力重新调整、集中分布, 在地下水及大气降水的影响下, 昔格达地层抗剪强度降低。这是西攀高速公路沿线昔格达地层滑坡形成的主要原因。

(3) 抗滑桩设计时应根据滑体性质, 在满足结构强度与滑体下滑推力平衡的条件下, 进行桩截面尺寸和桩间距的优化设计, 研究桩间土体形成土拱的能力及土拱破坏荷载, 采用能产生土拱效应而又不被破坏的合理桩间距。

(4) 离心模型试验所采用昔格达重塑土粘聚力约为 40 kPa, 内摩擦角约为 30° 。在离心加速度为 40 g 的条件下, 其合理桩间距为桩径的 5~6.25 倍,

按模型比尺 $n=40$ 进行计算, 约为 3.2~4 m。西攀高速公路沿线昔格达地层滑坡的抗滑桩净间距一般采用的是 2.5 m, 偏于保守。

(5) 桩宽度对形成土拱的形状和拱矢高度没有太大的影响, 但在破坏荷载作用下对拱脚的稳定性影响较大。在满足同样的稳定性要求的前提下, 采用较大的桩径可以适当地增大桩间距。

参考文献:

- [1] 许述礼. 昔格达层变形特征及其原因[J]. 四川地震, 1990, (3).
- [2] 尹紫红, 周志林, 梁明学. 昔格达组地层研究现状与牛坪子滑坡稳定性分析[J]. 路基工程, 2005, (2).
- [3] 吴子树, 张利民, 等. 土拱的形成机理及存在条件的探讨[J]. 成都科技大学学报, 1995, (2).
- [4] 周德培, 肖世国, 等. 边坡工程中抗滑桩合理桩间距的探讨[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(1).
- [5] 贾海莉, 王成华, 等. 关于土拱效应的几个问题[J]. 西南交通大学学报, 2003, 38(4).

弯沉值作为主要指标,弯沉仪又通常是工程单位的必备检测设备,用弯沉指标作为指导施工的脱空判据具有重要的现实意义。为此,华南理工大学道路工程研究所根据在高速公路灌浆试验段上已测定的数据,进行了大量的计算和分析,对水泥混凝土路面板底脱空的弯沉判据进行了尝试性研究。

1 高速公路水泥混凝土路面灌浆试验段

1.1 试验段概况

试验段为某高速公路扩建工程中的一段,长 500 m,共 101 块板。剔除 43 块断裂板外(设计文件要求对所有断裂板均进行换板处理),对剩余的 58 块板分别进行 FWD、声振法脱空检测,然后对所有的 58 块板进行钻孔压浆处理。每块板均在板角处设 4 个压浆孔,并在灌浆过程中记录各孔的压浆量。试验段通过压浆量来验证压浆孔所处的板角是否脱空,如果某孔的压浆量大于经综合分析确定的脱空临界压浆量(例如 0.015 m^3),则认为该孔所处的板角存在脱空现象,并以此来验证 FWD、声振法的脱空判断情况。

1.2 FWD 截距法

截距法被认为是目前一种比较理想的脱空检测方法。其理论基础是:理论计算和现场测试均表明,当水泥混凝土路面板板角未脱空时,路面板荷载~弯沉回归曲线推算的 0 荷载板角弯沉应当为 0,或接近于 0。它利用 FWD 对水泥混凝土路面施加分级荷载,一般分级荷载设定为 3 级。然后利用每一级位下的荷载与相应的弯沉画出荷载~弯沉图,如图 1 所示。利用回归分析做出荷载~弯沉的线性回归曲线,通过回归曲线的截距来判断脱空情况,如图 1 虚线部分所示。如果板下支撑情况较好,回归曲线将穿过坐标原点,或距离原点在 $50 \mu\text{m}$ 以内,则认为板底不存在脱空;如果回归曲线在弯沉轴的截距 b 大于 $50 \mu\text{m}$,则认为路面板底存在脱空。

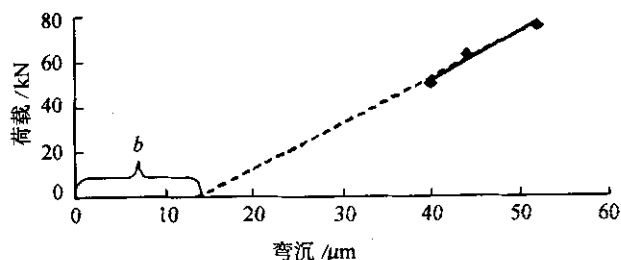
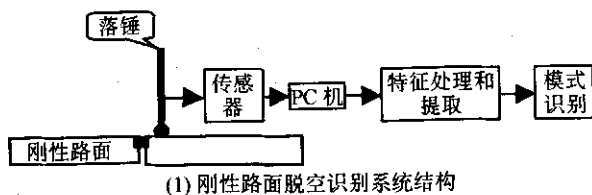


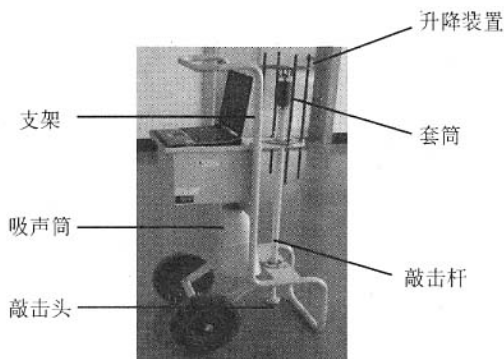
图 1 截距法

1.3 声振法

声振法检测是激励被测试件产生机械振动(声波),通过测量其振动的声音信号特征来判定质量的技术。图 2 所示为某道路工程研究所开发的刚性路面敲击声波识别系统及声振脱空检测设备。落锤从固定高度自由降落,敲击刚性路面而发出声波,通过传声器采集该声波信号,然后提取声波信号的频域特征,通过声音频域的频率、峰值、带宽等信号特征判断路面是否脱空。识别系统结构见图 2(1),敲击信号声波特征见图 3^[2]。



(1) 刚性路面脱空识别系统结构



(2) 声振法脱空检测设备

图 2 刚性路面脱空识别系统结构及声振脱空检测设备

1.4 试验段小结

通过板角压浆孔的压浆量来验证 FWD 截距法与声振法对路面板脱空的识别情况,再根据统计分析得出这两种方法对路面板脱空的识别率。限于篇幅,这里仅给出统计结果:FWD 截距法的识别率为 83%,声振法的识别率为 91%。可以看出,这两种方法均能较好地识别出路面板的脱空,能够满足工程上识别处理脱空板的需要。然而,目前我国还仅限于科研和检测单位拥有 FWD 或声振法检测设备,施工单位缺乏运用上述方法进行脱空检测的设备与力量,为了有效指导施工(脱空判别和灌浆质量评价),研究水泥混凝土路面板底脱空的弯沉判据是非常必要的。

2 基于板角最大弯沉的脱空判断

2.1 国内外状况

一般认为,水泥混凝土板的板角是最容易或最

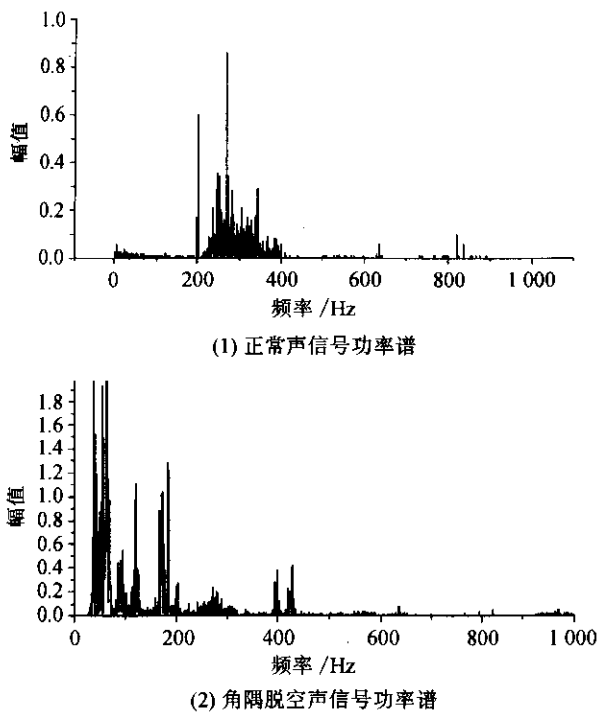


图3 功率谱值

有可能发生板底脱空的部位,而板中不易发生脱空。因此,板角弯沉通常被用来判断是否发生板底脱空。具体做法是:绘制路段内板角弯沉分布图,制定出脱空弯沉判据,弯沉值超过判据的板角即被认为发生了板底脱空^[3](Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation——MS-17)。表1 为国内外不同工程项目对板角脱空给出的弯沉判据。

表1 板角弯沉判据

单 位	判据/mm	设备
南达克塔州	0.25	FWD
佛罗里达州	0.38	
宾夕法尼亚州	0.50	
德克萨斯州	0.50	
俄勒冈州	0.64	
乔治亚州	0.76	
华盛顿州	0.89	BB
某高速公路扩建设计文件	0.14	
公路水泥混凝土路面养护规范	0.20	

从表1 可以看出,国内外不同项目的板角弯沉判据存在较大的差别。这个结论是正确的,因为对于不同的路面结构、材料构成,不同的支撑条件,不可能存在绝对值相同的弯沉判据。为此,本文根据试验

段的实测数据,确定在一定保证率条件下路面结构层参数,并以此为依据计算路面板在未脱空状况下的板角弯沉,作为板角脱空判据。

2.2 试验段未脱空状况板角弯沉的确定

2.2.1 板中弯沉盆拟合

对荷载作用于板中时的弯沉数据进行统计分析,可以得出表2 所示的试验段弯沉盆特征值。表2 中同时给出了计算拟合弯沉盆数据,可以看出拟合精度是令人满意的。

表2 试验段弯沉盆特征值

FWD 传感器距荷载板中心距离/cm	0	51	150	210
FWD 实测弯沉盆平均值/ μm	40	36	26	20
计算拟合弯沉盆/ μm	41	36	26	20
95%保证率的实测弯沉盆最大值/ μm	52.6	45.9	32.6	25.6
95%保证率的计算拟合弯沉盆最大值/ μm	53	45	31	24
95%保证率的实测弯沉盆最小值/ μm	28.4	26.4	19.2	13.9
95%保证率的计算拟合弯沉盆最小值/ μm	28	26	19	14

2.2.2 板角弯沉计算

应用有限元法,对路面板四边自由的情况(图4)进行了计算,结果见表3。

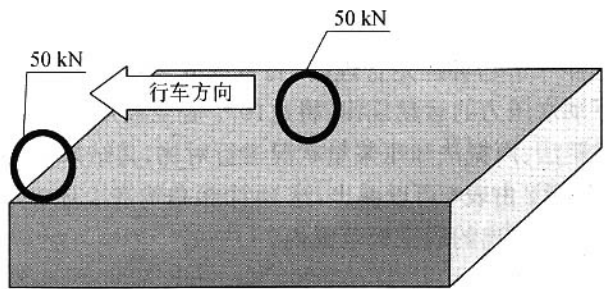


图4 板角弯沉计算图示

表3 板角弯沉理论计算值

计算参数对应情况	实测板中弯沉值	计算板角弯沉值
弯沉盆平均值/ μm	40	161
弯沉盆最大值/ μm	52.6	205
弯沉盆最小值/ μm	28.4	117

理论上,如果板角弯沉值大于表3 中的数值,可以认为该板角发生了脱空。如果考虑传力杆和拉杆的影响,计算平面如图5 所示。此时,对应于板中弯沉盆最小值的板角弯沉值为105 μm ,对应于板中弯沉盆最大值的板角弯沉值为176 μm 。

2.2.3 板角弯沉判据的评价

选择95%保证率的板角最大弯沉(本文中的所

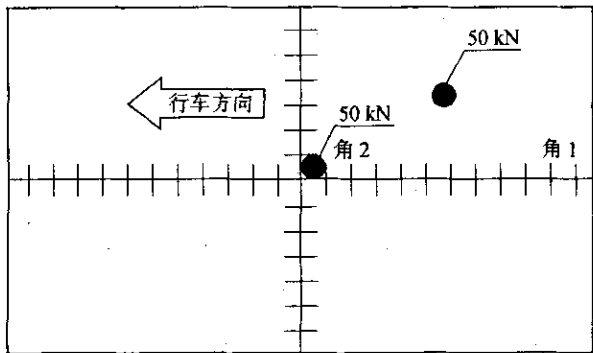


图 5 有传力杆和拉杆的路面板计算图示

谓 95% 保证率下的板角最大弯沉是指: 试验段中板角弯沉大于该弯沉值的概率为 5%) 176 μm 作为弯沉判据的理由: 一般在进行水泥混凝土路面加铺层设计时, 均选择具有一定保证率的代表弯沉值来确定路面结构层参数 (E_i); 此时的代表弯沉盆与本文所定义的最大弯沉值是一致的; 因此, 选择与路面加铺层厚度计算相同的结构参数, 计算板角可能出现的最大弯沉值, 以其作为板角脱空的弯沉判据, 具有一定的合理性。

对于试验段来说, 以此判据定义的脱空板角数量为 10 个, 占实测统计板角数量的 9%。其中, 角 1 发生脱空的点有 3 个, 角 2 发生脱空的点有 7 个 (图 6)。这样一个趋势也是合理的, 符合车轮荷载作用下板下动水压力的运动规律。将这 10 个脱空板角与 FWD 截距法、声振法和压浆量状况进行对比, 其结果如表 4 所示。由表 4 可以看出, 这 10 个板角均在上述 3 种方法判断出的脱空板范围内。

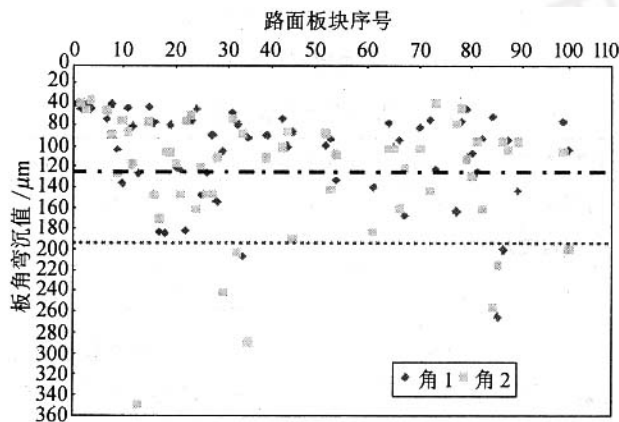


图 6 对应于板角弯沉判据的板角弯沉分布

3 弯沉差作为板角脱空的判据

大量的观测数据和研究成果指出, 水泥混凝土路面板底脱空通常发生于相邻 2 个板角的一侧。因

表 4 最大弯沉判据与 FWD 截距法、声振法和压浆量验证脱空结果对比

板块号	FWD 截距法 $b/\mu\text{m}$	声振法	注浆量 m^3	板角最大弯沉 μm
13 号板之角 2	293.6	脱空	0.056	330
29 号板之角 2	102	脱空	0.086	222
32 号板之角 2	63.7	脱空	0.033	184
33 号板之角 1	64.7	脱空	0.033	186
34 号板之角 2	178.2	脱空	0.095	269
84 号板之角 2	68.7	脱空	0.060	213
85 号板之角 2	67.4	脱空	0.042	236
86 号板之角 1	69.2	脱空	0.042	245
86 号板之角 2	55.5	脱空	0.049	195
100 号板之角 1	58.5	脱空	0.049	181

注: 角 1、角 2 见图 5; 当 b 大于 50 μm 时则板角脱空; 当注浆量大于 0.015 m^3 时则板角脱空; 当板角最大弯沉大于 95% 保证率下理论板角的最大弯沉值 176 μm 时则板角脱空。

此, 测量两相邻板角间的弯沉差也是目前判断板底脱空的常用办法。美国沥青混凝土加铺层设计手册 (MS-17), 规定的弯沉差判别标准为 0.05 mm (对应于 BB-40kN) 和 0.08 mm (对应于 FWD-40 kN)^[3]。对应于我国 100 kN 的标准轴载, 假定弯沉差满足线性变化规律, 则应该为 0.1 mm (FWD-50 kN)。按此判据, 共有 9 个板角被判断为脱空, 占实测统计板角数量的 8%。9 个被判断为脱空的板角中有 7 个与最大弯沉判据相重合, 另外 2 个也非常接近最大弯沉判据线 (如图 7 所示)。从图 7 中还可以看出, 有 3 个点没有被弯沉差判据选中, 这是因为相邻两板的弯沉都较大, 弯沉差较小的缘故。

这 9 个板角分别位于第 13、22、29、32、33、34、44、84、86 号板上。从注浆量验证脱空来看, 通过板角弯沉差判断的这 9 个脱空板中, 有 7 块板的 2 个板角都存在脱空现象, 而剩下的 2 块板均各有 1 个板角脱空。从 FWD 截距法与声振法检测结果来看, 这 2 种方法均只能检测出其中的 8 个脱空板, 而各遗漏了 1 个脱空板。

综合来看, 板角最大弯沉和板角弯沉差共判断出 12 个脱空板, 通过注浆量验证均为脱空板。因此, 板角最大弯沉和板角弯沉差这 2 个判据结合起来使用是很有必要的, 并可以统称为水泥混凝土路面板脱空的弯沉判据。

4 结语

鉴于目前我国施工单位的实际条件, 能方便运

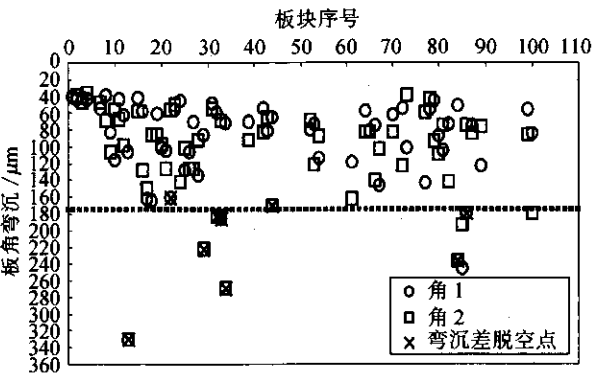


图 7 弯沉差判据与最大弯沉判据一致性图示

用于工程实践方面的水泥混凝土路面板脱空的检测条件尚不成熟,而设计和常规的质量评定中多以弯沉值作为主要指标,因此本文利用试验段的实测数据进行分析计算,提出了以一定保证率下板角最大

弯沉值和板角弯沉差作为路面板板底脱空的弯沉判据,为施工单位提供一种简单实用的识别脱空方法。

参考文献:

[1] 黄仰贤. 路面分析与设计[M]. 人民交通出版社, 1998.
[2] 彭永恒,等. 声振法对刚性路面板脱空状况检测应用的研究[J]. 公路交通科技, 2005, (3).
[3] AI. Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation (Manual Series No. 17) [M]. Asphalt Institute, USA, 1983.
[4] Missouri Department of Transportation. Void Detection with the FallingED Weight Deflectometer [Z]. MoDOT, USA, 2004.
[5] 庄楚强,等. 应用数理统计基础[M]. 华南理工大学出版社, 2000.

Research on Deflection Criterion for Detecting Void Under Concrete Pavement Slab

QIU Li-zhang , WANG Duan-yi

(College of Traffic and Communications, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The deflection criterion of the void under slab of the cement concrete pavement is studied on the basis of the results of several void detective methods in the experimental road. The deflection criterion for determining the slabs with voids is put forward by the slab corner deflection together with the difference of the slab corner deflection under certain assurance rate, which provides a simple and practical method to determine the presence of voids under concrete pavement slabs for the contractors.

Key words: cement concrete pavement; void under slab; deflection criterion

“东联西出”大通道正加紧建设

日前,出席中亚区域经济合作第五次部长级会议的交通部国际司副司长李光灵透露,中国正在新疆投资打造东联中国内地省区、西联中亚国家的交通大通道,以新疆为平台促进中国内地与中亚国家间的人员和贸易往来。

中国规划建设通往中亚国家的12条主要公路运输通道的中国境内路段,其中5条为近期重点建设的路线。这5条路线的中国境内部分全位于新疆。

新疆在实施“西出”战略的同时,与内地省区“东联”的通道也在加快打通。“十一五”期间,新疆将继续加大公路建设投资力度,交通固定资产投资达550亿元,新改建公路达4.2万km,到2010年,新疆公路总里程达到11万km。为此,在公路基础设施建设方面,新疆将大力推进国道主干线、西部开发省际公路通道和国家高速公路网新疆境内段的建设;重点抓好“三个打通”,打通与内地联系的主要通道,打通纵贯南北疆的快速干线,打通对外通道。