

文章编号: 1002-0268 (2004) 01-0012-04

旧水泥混凝土路面 FWD 实测数据的分析

苏卫国

(华南理工大学交通学院, 广东 广州 510640)

摘要: 基于某国道的 FWD 实测数据, 分析 FWD 参数与旧水泥混凝土路面状况 (现场调查实录及测试数据) 间的某些相关性, 探索旧水泥混凝土板的接缝传荷能力、弯曲刚度、综合承载能力等定性或定量的判别方法, 提出利用 FWD 加载中心弯沉值总水平评价旧水泥混凝土路面综合承载能力的设想。

关键词: 旧水泥混凝土路面; 接缝传荷能力; FWD 弯沉盆 AREA; 加载中心弯沉值

中图分类号: U416 216 **文献标识码:** A

Analysis of FWD Data from Field Test for Existing Cement Concrete Pavement

SU Wei-guo

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

Abstract: Based on the measured FWD (Falling Weight Deflectometer) data from the field test of the existing cement concrete pavement of a national highway, this paper analyses the relationships between the values derived from the FWD measurement and the pavement condition data which was collected by means of field visual survey and test. Some qualitative and quantitative methods for obtaining the joint load transfer and pavement stiffness and load bearing capacity of the existing cement concrete pavement slab are discussed. An idea of evaluating the load bearing capacity of overall pavement structure with summation of FWD deflections in center of loading plate is offered.

Key words: Existing cement concrete pavement; Joint load transfer; AREA of deflection basin; Deflections in center of loading plate

落锤式弯沉仪 (FWD-Falling Weight Deflectometer) 是 20 世纪 70 年代末开发的无损路面弯沉检测设备。对于水泥混凝土路面, 应用 FWD 主要解决以下问题: 路面接缝传荷能力的评价; 板底脱空的判断; 基础强度的评价; 路面板刚度评价; 路基、路面强度均匀性评价等。目前, 研究者们建立了许多评价模型, 但真正实用的并不多, 主要瓶颈之一就是基础数据不足。本文试图根据某国道旧水泥混凝土路面 FWD 实测数据及大量实拍图片, 分析路面板接缝传荷能力及板块状况, 验证有关实用公式的可靠性。

1 旧路状况

1.1 基本情况

该路全长 3.33km, 路基宽度 22m, 其中中央分隔带 4m、水泥混凝土路面 2×8m、路肩 2×1m, 面层厚度 23

~25cm, 于 1992 年按一级路标准改建, 1993 年建成通车。由于路基及基层施工处理不当、超载车肆意行驶等, 水泥混凝土路面各种病害日益严重。1999 年曾进行挖补维修, 但是整体质量严重先天不足, 导致挖补工作跟不上破损, 故于 2001 年进行全面修复。

1.2 路况调查

于 2001 年全面修复前进行了路况表观详细调查, 见表 1, 坏板所占整个板块数的比例为上行 37%, 下行 89%, 整个路段全断面 63%, 远远超过规范中需进行改善整治的下限值。

2 FWD 测试数据分析

2.1 测试安排

采用 PRI 2100 型 FWD 仪, 承载板直径 30cm, 冲击荷载 50~54kN, 9 个位移传感器, 分别距荷载中心

K2333+ 500~ K2337+ 100 旧水泥混凝土路面损坏状况调查 表 1

损坏类型			上行-左			下行-右			合计	备注
代号	程度	类型描述	1	2	3	4	5	6		
XI	轻	纵向/横向/ 斜向裂缝	15	30	27	83	74	29	258	
XII	中		1	4	3	16	20	7	51	
XIII	重		2	1	1	7	7	0	18	327
ZI	轻	板角断裂	1	8	14	25	79	46	173	
ZII	中		0	5	1	9	39	10	64	
ZIII	重		0	3	0	13	22	6	44	281
YI	轻	交叉裂缝与 破碎板	0	1	2	5	14	3	25	
YII	中		0	2	1	2	4	3	12	
YIII	重		3	5	4	25	49	11	97	134
FI	轻	错台	0	0	0	2	5	0	7	
FII	中		0	4	0	7	0	3	14	21
WI	轻	边角剥落	0	8	9	23	49	9	98	
WII	中		0	3	3	6	10	1	23	
WIII	重		0	1	2	11	14	0	28	149
CI	轻	起皮与网裂	32	100	126	206	170	69	703	
CII	中		14	57	36	45	16	4	172	
CIII	重		7	24	33	5	4	0	73	948
B		补板	19	59	48	132	236	81	575	补板处
J		严重唧泥					5		5	需换填
合计			94	315	310	622	817	282	2440	
(板块总数约 642× 6= 3852)										
坏板比例				37%			89%		63%	

为 21, 33, 51, 81, 127, 150, 180, 210cm；沿行车方向主车道板块，每隔约 50m，分别测对应板块中间弯沉值及其与相邻板块接缝两侧弯沉值，共测试约 120 组数据。随后在 FWD 的板中测点位置，用贝克曼梁测取单点弯沉值，后轴载 100kN，千分表记录。

2 2 板中弯沉的相关性

水泥混凝土面板板中 FWD 值 D_{FWD} 和贝克曼梁弯

沉值 D_{BB} 对比试验部分数据见表 2，图 1 是测值的散点图，可见两者的相关性比较好。而且外观破损严重的板块基本都对对应较大的 D_{FWD} 和 D_{BB} 值，图 2 板块对应表 2 中序号 6 ($D_{FWD}=123$, $D_{BB}=124$)，而表 2 中序号 1 ($D_{FWD}=85$, $D_{BB}=76$) 所在板块图 3，基本没有任何破损，说明 FWD 值的大小能基本反映板块的破损情况。

FWD 和贝克曼梁弯沉测试对比 (单位: $\times 10^{-3}$ mm) 表 2

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
贝克曼梁(D_{BB})	76	38	228	84	170	124	64	82	142	130	102	112
FWD 值(D_{FWD})	85	86	135	75	94	123	119	89	189	91	94	90
板块破损描述	完好	微裂	角隅	完好	横穿	陷裂	极重	完好	沉陷	完好	好	好

2 3 接缝传荷能力

水泥混凝土路面的接缝是影响混凝土路面使用寿命以及行车平稳和舒适的关键部位，如果接缝传荷能力降低到一定程度，势必会引起严重的唧泥、错台和板块断裂等接缝类病害，而准确识别或判定接缝传荷能力，是评价路面寿命或使用性能的重要指标。

根据美国 AASHTO 1993 推荐，使用以下传荷率 ΔT 公式计算传荷能力

$$\Delta T=100\times\left[\frac{\Delta_{ul}}{\Delta_l}\right]\times B$$

(1)

式中， ΔT 为传荷率，%； Δ_{ul} 为未加载侧板块弯沉值， μm ； Δ_l 为加载侧板块弯沉值， μm ； B 为板块弯曲修正系数

$$B=\frac{d_{0center}}{d_{12center}}$$

(2)

式中， $d_{0center}$ 为板块中弯沉值； $d_{12center}$ 为距加载中心 305mm 处弯沉值。由部分数据表 3 计算值，并结合实际板块照片，发现相邻板有一侧破裂严重者或接缝张开较宽、有明显唧泥者，传荷率大为降低，图 4 中接缝处板块明显破裂，其传荷率 ΔT 仅为 19% (表 3

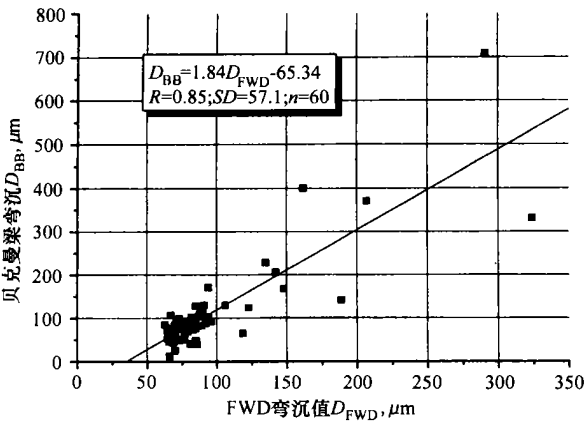


图 1 FWD 和贝克曼梁弯沉值对比散点图



图 2 表 2 中序号 6 对应板块

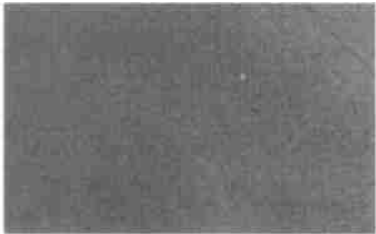


图 3 表 2 中序号 1 对应板块

序号 3)。而接缝处完好的板块（图 5），传荷率 ΔLT 可达 92%（表 3 序号 8）。这种吻合在其它实验路的 FWD 测试中也得到证实，说明以 ΔLT 计算值来反映传荷能力是基本符合实际的。

接缝传荷力 ΔLT 的计算 表 3

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
加载侧 FWD 值(Δ_l)	120	84	365	100	141	157	103	88	120	212	135	89
未加载侧 FWD 值(Δ_{ul})	74	63	72	60	84	87	78	72	81	35	110	73
传荷能力 (ΔLT) %	70	86	19	68	63	67	89	92	70	19	91	92



图 4 接缝处破裂



图 5 接缝处完好

接缝的传荷能力受到板块周边约束如路肩的结构形式、板底支承情况、接缝形式等多种因素的影响，FWD 测值的 ΔLT 计算值是这些因素的综合体现。目前还没有规范规定引起接缝类病害的 ΔLT 的最低限值。实际应用中，如果对评价路段的每条接缝都去测试，每块板就有纵横 4 条接缝，显然从影响交通及工作量和时间方面考虑都是不可取的，比较实用的方法是：首先进行路况表观调查（病害实描），据此选取可以代表评价路段特点的路段，沿主车道外侧轮迹随机或重点选取一定数量的横接缝，测取缝边缘处的 FWD 值，计算 ΔLT 值并以平均值来衡量该路段的总体传荷能力。如果环境温度大于等于 30℃，板块膨胀使接缝的嵌锁能力增强，此时的测值不能反映一般情况，建议不要测试 ΔLT 值。

2 4 弯沉盆面积判别板块状况

Hoffman 和 Thompson 提出用弯沉盆面积（AREA）或称弯沉曲线来判别旧水泥混凝土路面板的好坏。AREA 的计算公式如下

$$AREA=6\times\left[1+2\left(\frac{d_{12}}{d_0}\right)+2\left(\frac{d_{24}}{d_0}\right)+\left(\frac{d_{36}}{d_0}\right)\right] \quad (3)$$

式中， d_0 为承载板中心弯沉值， μm ； d_{12} 、 d_{24} 、 d_{36} 分别为距加载中心 305、610、914mm 处的弯沉值， μm 。

可以看出，AREA 是弯沉测点范围内的弯沉盆截面积除以最大弯沉值，其量纲为 mm。Hoffman 和 Thompson 得出结论：AREA 在 740~810mm 范围的水泥混凝土板属好板。

根据（3）式计算部分数据如表 4，路段内 AREA 沿路线的变化曲线如图 6，通过对应实拍板块验证，AREA 超出 740~810mm 的板，均呈现不同程度的破损。如图 2 破裂板块，其对应 AREA 值为 693mm。

弯沉盆面积 AREA 的计算 表 4

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
加载中心 FWD 值(d_0)	85	86	135	75	94	123	119	89	189	91	94	90
AREA/mm	775	746	680	777	811	693	698	757	831	750	783	767

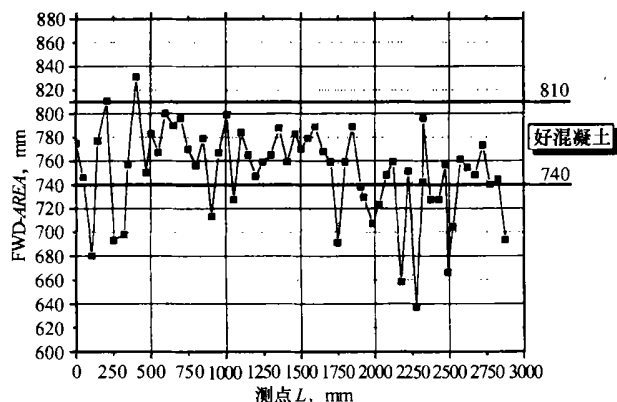


图6 AREA沿路线变化曲线

观察 AREA 值基本相同的板块及其弯沉盆曲线,发现只要 AREA 相等,即使加载中心的弯沉值 d_0 相差达 $20\mu\text{m}$,它们的弯沉曲线形状几乎是一样的,见图7。显然,用 AREA 指标评价板块的弯曲刚度是比较好的,而同一刚度 (AREA 相同) 的板块, d_0 值不同,主要代表路基反应模量 k 值 (发生单位弯沉所需施加到承载板上的单位面积荷载) 的不同,即 d_0 值越小, k 值越大,路基承载能力越高。

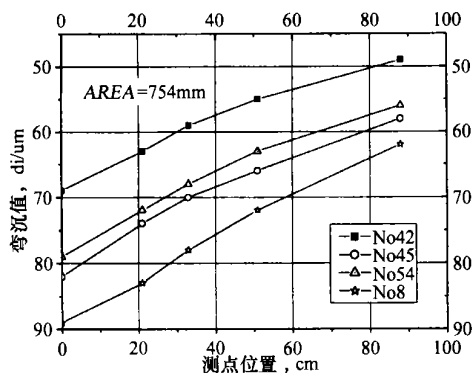


图7 弯沉盆曲线形状

2.5 FWD 实测数据评价路面综合状况

本试验路段上行、下行破损状况差别很大,故 FWD 测试数据也分别处理分析。

按上行、下行分别测取 61 组 FWD 数据,通过计算各测点的 AREA 值,发现上行、下行段超出 740 ~ 810mm 的板块数基本相同,都是 16 块,也即两边水泥混凝土板块本身的质量水平应该是基本差不多的,通过取芯测试也证实了这点。而两边各测点加载中心的 FWD 值 d_0 的总水平 (各测点 d_0 值总和) 则所不同,上行: $\sum d_0 = 5221$,下行: $\sum d_0 = 5767$,可见由于下行侧坏板率达 89%,导致其承载能力较上行侧为差,故

d_0 的总水平较高。进一步的比较发现, AREA 值在 740 ~ 810mm 范围的板块 (各边均为 45 块) 所得出的 d_0 总水平,两边基本差不多,上行: $\sum d_0 = 3739$,下行: $\sum d_0 = 3776$,也就是说这些板块的路基承载能力大体一致,现场开挖发现,大部分板块下是 1992 年之前的老路基,压实程度较好;主要差别在那些 AREA 超出 740 ~ 810mm 的板块,上行: $\sum d_0 = 1482$,下行: $\sum d_0 = 1991$,可以认为, AREA 值在 740 ~ 810mm 范围的所谓好板块,它们的总体承载能力仍维持在某种“尚可”的水平,而下行路段路况的严重恶化应该主要是由那些 AREA 超出 740 ~ 810mm 的所谓坏板引起的,而这些“板”并不主要是由于其水泥混凝土本身的质量所致,主要是由于板底的支承条件差所致,经过现场开挖,这些板块的基层基本都是松散状砂砾,有些处在旧河沟位置,路基填土质量很差,根本无法为路面层提供有效支承,因而体现在加载中心的 d_0 值较大。

由此我们设想,将 FWD 实测计算所得 AREA 值,结合 d_0 的总水平来判别路段综合承载能力,具体指标有待通过进一步试验研究建立。

3 结论

基于大量实测数据研究 FWD 评价旧水泥混凝土路面的方法,是一种实用可行的途径,本文通过大量实测数据进行了一些尝试,得出以下初步结论: (1) 在旧水泥混凝土路面上, FWD 测值与传统的贝克曼梁弯沉值有较好的相关性。 (2) 用 FWD 实测值判别板块接缝传荷能力是基本准确的。 (3) 弯沉盆面积 AREA 可以较好的判别板块的弯曲刚度, AREA = 740 ~ 810mm 属于好板块,基本与实际相符。 (4) FWD 加载中心弯沉值 d_0 的总水平基本反映了路基路面总体承载能力的相对水平,可以进一步探索 FWD 的 AREA 值及加载中心弯沉值总水平评价旧水泥混凝土路面综合承载能力的方法。

参考文献:

- [1] M. I. Darter, Design Construction, and Rehabilitation of Portland Cement Concrete Pavements [M]. Workshop Material, 1999
- [2] 姚祖康, 著. 水泥混凝土路面设计 [M]. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1999.
- [3] JTJ 073.1-2001, 公路水泥混凝土路面养护技术规范 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2002