

# 基于推行式断面仪评价南沙大桥 钢桥面沥青铺装平整度研究

黄乔森, 申爱琴

(长安大学, 陕西 西安 710064)

**摘要:**路面平整度是表征路面服务性能的重要指标。该文首先对推行式断面仪的测试原理及评价指标进行分析,然后对南沙大桥铺装前钢桥面板及铺装后沥青铺装的平整性进行测试并分析研究,最后建立基于推行式断面仪评价指标的国际平整度指数与连续平整度仪测试的 $\sigma$ 的相关关系,结果表明,沥青铺装后大大改善了平整度;基于推行式断面仪测试的国际平整度指数 $IRI$ 与连续平整度仪测试的 $\sigma$ 呈线性相关关系,相关系数 $R^2$ 高达0.99;推行式断面仪适宜测试评价沥青铺装的平整度。

**关键词:**推行式断面仪;连续平整度仪;钢桥面;平整度;国际平整度指数

沥青路面平整度是沥青路面施工质量控制及服务水平评价的关键指标之一。沥青路面平整度不好,不仅降低行车速度,影响行车舒适性,还增加汽车油耗和轮胎磨损,甚至会危及行车安全;同时车辆对路面的冲击力增大会加剧道路的破坏,增加后期的养护维修费用,所以路面平整度成为衡量高等级道路性能的一项重要指标。沥青路面的平整度检测与评价方法得到了国内外学者和专家的广泛研究。

平整度检测分为断面类、反应类两大类。断面类主要有3 m直尺、连续式平整度仪和激光路面平整度测定仪,通过测高层得到平整度值;反应类最常用车载式颠簸累积仪,主要通过车辆颠簸情况得到平整度值。每种方法有其优缺点,3 m直尺测试方法操作简单,但效率低,不常用;连续式平整度仪法连续测量,工作效率高,不适合测试破坏严重的路面及平整度较差的路面;激光路面平整度测定仪检测速度快、计算准确、稳定性好,但是成本较高;车载式颠簸累积仪,价格低廉、操作简单,但检测结果不能直接评价,需要换算成国际平整度指数。该文基于操作简单考虑,同时兼顾准确评价沥青铺装的平整度,采用推行式断面仪对钢桥面板及沥青铺装进行测试与评价,并验证该设备的适用性,以便为推进钢桥面铺装平整度检测与评价技术提供参考。

## 1 工程概况

南沙大桥是连接广州和东莞的重要东西向通道,路线起于广州市南沙区东涌镇,经广州市南沙区、番禺区,并先后跨越大沙水道、海鸥岛、坭洲水道后,穿越虎门港进入东莞市沙田镇。路线全长12.891 km,含两座大跨径悬索桥,分别是:坭洲水道桥双塔双跨悬索桥,跨径布置为(658+1 688+522) m(钢箱梁长度为548 m+1 688 m)、大沙水道桥双塔单跨悬索桥,跨径布置为(360+1 200+480) m(钢箱梁长度为1 200 m)。钢箱梁桥面板的坡度达到2%,纵横交接的钢板通过焊接而成,其上采用沥青铺装结构,铺装结构为:下面层3 cm日本环氧沥青混凝土EA10(细级配)+上面层3.5 cm日本环氧沥青混凝土EA10(粗级配)。

## 2 推行式断面仪测试原理及评价指标

### 2.1 测试原理

推行式断面仪是澳大利亚ARRB公司设计的模拟真实步行速度的手推式断面仪,通过安装在滚动平台上的三轴加速度计对纵断面的相对高程及平整度进行测量,其中平整度测试出的结果为国际平整度指数 $IRI$ 。 $IRI$ 是国际上公认的评价路面平整度的指标,它是采用四分之一车模型来模拟实际车辆在80 km/h

的标准速度行驶时车辆弹簧体系与后轴的积累相对竖直位移与行驶距离的比值。

2.2 IRI 评价指标

中国通常采用连续平整度仪法测试路面的平整度,以标准差  $\sigma$  作为评价指标,也采用激光平整度仪测试,以 IRI 作为评价指标。世界银行、纳米比亚、密西

根大学等相关报告(表 1)中对不同路面状况的平整度值给出规定,世界银行对不同道面平整度的范围进行统计;纳米比亚对优良、差路面的平整度范围有明确规定;密西根大学对不同服务质量的路面平整度范围进行了进一步的划分。由于钢板凹凸不平的现状,对桥面沥青铺装的平整度没有明确的规定。

表 1 不同国家地区的研究报告

世界银行报告		纳米比亚报告		密西根大学报告		中国规范	
IRI/ ( $\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$ )	路面状况	IRI/ ( $\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$ )	路面状况	IRI/ ( $\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$ )	路面状况	IRI/ ( $\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$ )	路面状况
0.25~1.75	机场跑道、高速公路	2	良好沥青路面	$<0.79$	非常平整路面	$\leq 2.0$	新建高速、一级公路沥青路面
1.25~3.50	新路面	4	较差沥青路面	1.58~1.97	一般路面	$\leq 4.2$	新建其他等级公路沥青路面
2.25~5.75	旧路面	6	良好的碎石路面	1.42~2.52	重交碾压的路面	$\leq 2.2$	新建高速、一级公路水泥路面
3.25~10.00	经常养护的路面	8	较差的碎石路面	$>2.76$	需要维修路面	$\leq 3.3$	新建其他等级公路水泥路面
4.00~12.00	已损害的道路	—	—	$>3.47$	不能使用的路面	—	—
$>7.75$	不平整的无铺面道路	—	—	—	—	—	—

3 钢桥面板及沥青铺装平整度检测与分析

推行式断面仪行进速度保持为 3~4 km/h,以保证测试的稳定性与精确性。对铺装前桥面板及铺装后沥青铺装的横断面、纵断面进行测试;纵向每隔 100 m 测试 1 个横断面,连续测试 7 个横断面,每个横断面测试 17 m,每 1 m 输出 1 个 IRI 值;横向距中分线 5 m 左右各测 1 个断面,共测试 2 个纵断面,纵断面测试长度为 950 m,每 1 m 输出 1 个结果。

3.1 横断面

3.1.1 钢桥面板平整度测试与分析

测试过程需连续进行,钢桥面板的 IRI 测试结果如图 1 所示,对每个横断面的测试结果进行统计分析,如表 2 所示。

由图 1 可知,7 个横断面平整度变化趋势基本一致,IRI 最大值出现在 10 m 左右,平整性最差,变异系数比较大,IRI 最大处基本出现在焊接缝位置附近,

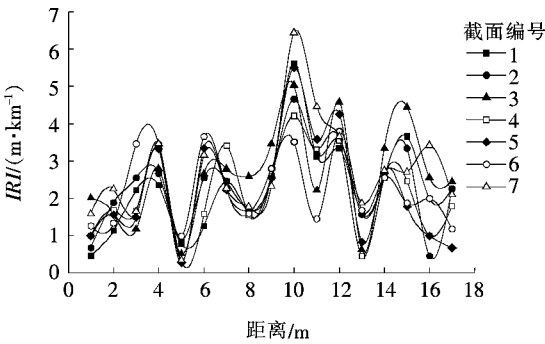


图 1 钢桥面板横断面 IRI 测试结果

这与钢桥面板的实际情况相符合。从表 2 可看出: IRI 平均值为 2~3 m/km, IRI 平均值大于 3 m/km 的大约为 30%,7 个截面的 IRI 值分布概率表现出不同的特征,这与桥面板的实际表面状况有关。研究结果可为施工中调节摊铺机熨平板提供依据。

3.1.2 沥青铺装平整度测试与分析

与钢桥面板测试位置相同,沥青铺装的平整度测试结果如图 2 所示,对每个横断面的测试结果进行统计分析,如表 3 所示。

表 2 钢桥面板横断面 IRI 测试结果

截面 编号	IRI/(m·km <sup>-1</sup> )			方差	变异 系数	总样本 数/个	不同 IRI(m/km)分布概率/%					
	最小值	最大值	平均值				0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6
1	0.458	5.615	2.29	1.23	0.53	17	11.76	29.41	35.29	17.65	0	5.88
2	0.450	4.661	2.32	1.08	0.46	17	17.65	17.65	41.18	17.65	5.88	0
3	0.616	5.032	2.64	1.29	0.49	17	11.76	11.76	47.06	11.76	11.76	5.88
4	0.314	4.205	2.14	1.15	0.54	17	23.53	29.41	17.65	23.53	5.88	0
5	0.174	5.510	2.22	1.42	0.64	17	29.41	23.53	17.65	17.65	5.88	5.88
6	0.986	3.510	2.28	0.98	0.43	17	5.88	47.06	17.65	29.41	0	0
7	0.338	6.442	2.72	1.36	0.50	17	5.88	29.41	29.41	23.53	5.88	5.88

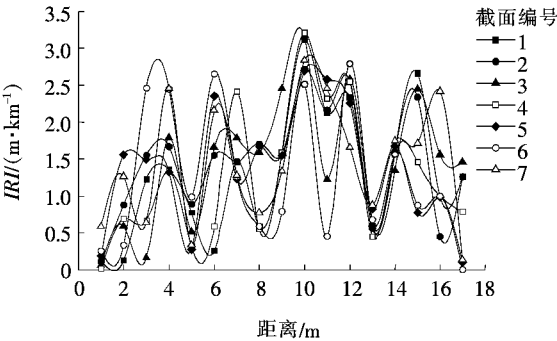


图 2 沥青铺装横断面 IRI 测试结果

从图 2、表 3 可知:IRI 平均值为 1 m/km 左右,相对钢桥面板平整度提高了 50%,IRI 平均值为 0~2 m/km 大约占 75%;个别平整度较差,可能是钢桥面板存在焊缝或者摊铺机压实不够造成的;7 个断面分布规律大致相同。按照世界银行报告与纳米比亚报告的指标,沥青铺装层整体处在一个比较良好的状态。

3.1.3 铺装前后平整度对比分析与评价

对铺装前钢桥面板与铺装后沥青铺装的 IRI 进行统计分析,结果如图 3 所示。

表 3 沥青铺装横断面 IRI 测试结果分析

截面 编号	IRI/(m·km <sup>-1</sup> )			方差	变异 系数	总样本 数/个	不同 IRI(m/km)分布概率/%			
	最小值	最大值	平均值				0~1	1~2	2~3	3~4
1	0.115	3.115	1.30	0.88	0.67	17	29.41	47.06	23.53	0
2	0.112	2.713	1.47	0.73	0.50	17	29.41	47.06	11.76	11.76
3	0.059	3.149	1.47	0.88	0.60	17	52.94	23.53	11.76	11.76
4	0.014	3.205	1.26	0.91	0.72	17	35.29	41.18	23.53	0
5	0.100	2.693	1.38	0.80	0.58	17	58.82	11.76	29.41	0
6	0.001	2.789	1.27	0.94	0.74	17	35.29	35.29	29.41	0
7	0.135	2.834	1.45	0.82	0.57	17	29.41	35.29	35.29	0

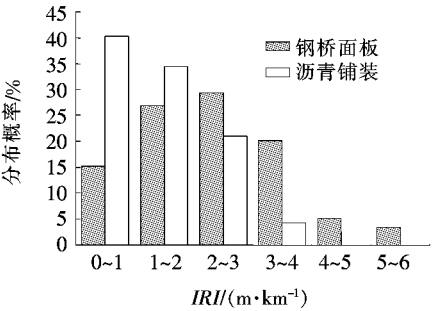


图 3 铺装前后横断面 IRI 测试对比

由图 3 可得:沥青铺装的 IRI 为 0~1 m/km 区域比钢桥面板多了近 2 倍,沥青铺装的 IRI 为 1~2 m/km 区域是钢桥面板 1.5 倍左右,沥青铺装大大提高了横断面的平整度。

3.2 纵断面

3.2.1 钢桥面板平整度测试与分析

对钢桥面全长进行检测,钢桥面板的平整度测试结果见表 4,分析结果如图 4 所示。

从表 4 可得,两个断面平整度大小不一致,IRI 最

表 4 钢桥面板纵断面 IRI 测试结果

位置	IRI/(m·km <sup>-1</sup> )			方差	变异系数	样本数量/个	不同 IRI(m/km)分布概率/%					
	最小值	最大值	平均值				0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	大于 5
断面 1	0.48	5.97	2.05	0.42	0.20	950	11.83	38.49	32.47	14.52	2.47	0.22
断面 2	0.66	5.66	2.15	0.33	0.15	950	11.05	39.79	31.58	9.37	7.89	0.32
整体	0.48	5.97	2.13	0.37	0.17	1 900	9.79	37.74	34.52	13.29	4.42	0.25

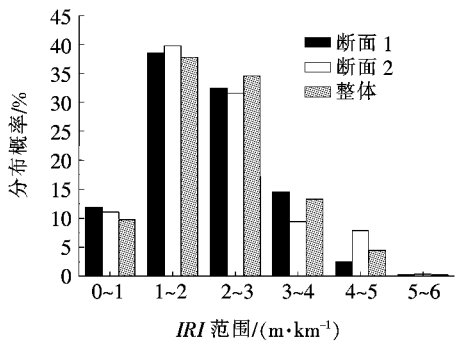


图 4 钢桥面板各断面 IRI 概率分布图

大处基本出现在横向焊接缝位置附近,IRI 平均值为 2 m/km 左右,焊接缝位置凹陷较大;变异系数相对较小,这与纵向良好的平整度有关,还可能与测试数据较多有关;从图 4 可看出,IRI 平均值为 0~2 m/km 区域大约占 50%,IRI 平均值为 0~3 m/km 区域大约占 80%。

3.2.2 沥青铺装平整度测试与分析

与钢桥面板相同的测试位置,每 1 m 测试一个结果,沥青铺装平整度测试结果如表 5 所示,各 IRI 测试分布如图 5 所示。

表 5 沥青铺装纵断面 IRI 测试结果

位置	IRI/(m·km <sup>-1</sup> )			方差	变异系数	样本数量/个	不同 IRI(m·km <sup>-1</sup> )分布概率/%				
	最小值	最大值	平均值				0~1	1~2	2~3	3~4	大于 4
断面 1	0.48	1.51	1.15	0.11	0.096	930	48.49	38.5	11.2	1.81	0
断面 2	0.66	1.66	1.23	0.09	0.073	950	42.79	42.6	12.3	2.21	0.1
整体	0.48	1.97	1.19	0.05	0.042	1 980	45.74	40.8	10.8	1.65	0.01

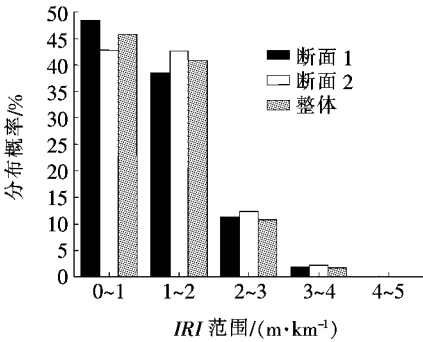


图 5 沥青铺装各断面 IRI 概率分布图

由表 5 可知,IRI 平均值为 1 m/km 左右,变异系数不足 0.1,两个断面平整度大小不一致,IRI 最大处基本出现在焊接缝位置附近;从图 5 可得,IRI 平均值为 0~1 m/km 区域大约占 50%,IRI 平均值为 0~2 m/km 区域大约占 90%;整体平整度较为优良。

3.2.3 铺装前后平整度对比分析与评价

对比分析铺装前后的 IRI 分布规律,结果如图 6 所示。

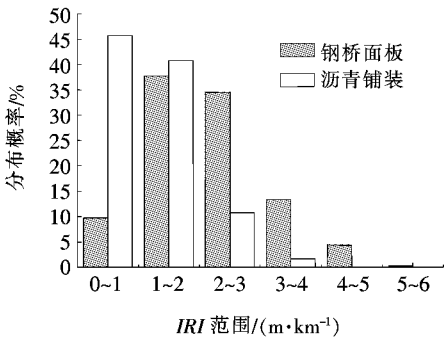


图 6 铺装前后纵断面 IRI 测试对比

由图 6 可得,沥青铺装的 IRI 为 0~1 m/km 区域是钢桥面板 4 倍多,沥青铺装的 IRI 为 1~2 m/km 区域与钢桥面板基本一样,沥青铺装的 IRI 范围基本都在 0~2 m/km,沥青铺装改善了纵断面的平整度。

4 IRI 与 σ 的相关性分析

为了验证推行式断面仪对于评价铺装的适宜性,

与连续平整度仪测试的结果进行对比分析,测试在沥青铺装同一纵断面上,设置相同的输出频率,对连续

48 个点的测试结果进行对比分析,测试结果如表 6 所示,并对测试结果进行相关性分析,结果如图 7 所示。

表 6 IRI 与  $\sigma$  测试结果

IRI/ ( $\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$ )	$\sigma$ / mm	IRI/ ( $\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$ )	$\sigma$ / mm	IRI/ ( $\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$ )	$\sigma$ / mm	IRI/ ( $\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$ )	$\sigma$ / mm
0.302	0.245	2.554	1.557	2.224	1.397	2.499	1.460
0.547	0.380	2.670	1.678	2.366	1.481	1.158	0.718
0.998	0.610	2.227	1.411	0.256	0.200	2.014	1.192
0.970	0.680	1.115	0.740	0.150	0.167	1.998	1.183
1.025	0.599	2.225	1.410	0.457	0.349	1.157	0.718
0.500	0.375	2.280	1.443	0.558	0.409	1.987	1.226
0.397	0.310	1.288	0.845	1.117	0.740	2.244	1.376
0.853	0.550	1.256	0.825	0.847	0.580	0.358	0.277
0.258	0.210	2.224	1.409	1.359	0.884	1.587	0.993
0.654	0.466	2.268	1.332	1.156	0.874	1.257	0.773
0.588	0.435	2.188	1.288	2.357	1.476	2.587	1.470
0.587	0.400	2.456	1.436	1.118	0.741	2.259	1.327

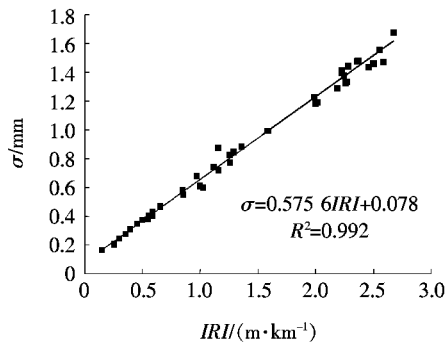


图 7 IRI 与  $\sigma$  相关性分析

从图 7 可看出:国际平整度指数 IRI 与  $\sigma$  呈线性相关关系,且满足  $\sigma = 0.575\ 6IRI + 0.078$ ,相关系数  $R^2$  达到 0.992,相关性较好,标准误差只有 0.2,验证了采用推行式断面仪测试的可行性,测试结果准确,测试过程简单,可以推广应用于评价沥青铺装的平整度。

5 结论

基于推行式断面测试并对比评价南沙大桥钢桥面板与沥青铺装的平整度,得到以下主要结论:

(1) 钢桥面板由于纵横接缝的存在,桥面板的平整性较差,可以通过铺装提高整体的平整度。

(2) 环氧沥青铺装整体平整度较为优异。

(3) 基于推行式断面仪测试的国际平整度指数 IRI 与连续平整度仪测试的  $\sigma$  的关系满足  $\sigma = 0.575\ 6IRI + 0.078$ ,相关系数  $R^2$  达到 0.992。

(4) 推行式断面仪测试的结果准确、可靠,操作简单,高效,可以推广应用。

参考文献:

[1] 周晓青,孙立军,颜利.路面平整度评价发展及趋势[J].公路交通科技,2005(10).  
[2] 吴庆雄,陈宝春,奚灵智.路面平整度 PSD 和 IRI 评价方法比较[J].交通运输工程学报,2008(1).  
[3] 王国忠.基于快速检测技术的桥面平整度检测方法探讨[J].中外公路,2016(5).  
[4] 欧阳爱国,罗茶根.中国沥青路面断面测试方法探讨[J].中外公路,2011(2).  
[5] 刘桂,许新权,李浩.高精度断面仪在高速公路平整度检测中的应用[J].广东公路交通,2018(3).  
[6] 钟阳,王哲人.对国际平整度指数法的评论[J].中国公路学报,1994(1).  
[7] 陆键.各种路面平整度仪的相关分析研究[J].公路,2002(9).