

国际平整度指数 IRI 作为路面平整度评价指标的研究

蔚晓丹
(交通部公路科学研究所 北京 100088)

摘要 介绍国际通用的路面平整度指标 IRI 和我国规范采用的平整度检测指标即连续式平整度仪测定的标准差 σ 和 3m 直尺测定的最大间隙, 并经过大量的对比试验, 得出了 IRI 和 σ 之间的换算关系, 同时对我国目前能测定输出 IRI 的几种主要测试设备也逐一进行了介绍和参数对比。
关键词 国际平整度指数 标准差 相关关系

Research on the International Roughness Index (IRI) as the Pavement Roughness Index

Wei Xiaodan
(Research Institute of Highway, Beijing)

Abstract IRI , the world wide use for the pavement roughness index is introduced in this paper; the roughness detecting index adopted in China specifications, i.e. standard deviation σ determined by viameter of the continuous type and the maximum clearance determined by 3m straight edge are also introduced; the conversional relation between IRI and σ is obtained through comparative tests on a large number. Meanwhile, main China-made equipments of several types able to determine and output IRI are introduced one by one and parameter comparisons are carried out as well.
Key words International roughness index Standard deviation Correlation

1 路面平整度评价指标

路面平整度是道路的一种质量特征, 车辆在不平整的道路上行驶, 不但影响旅客和司机的安全与舒适性, 而且影响车辆的运行费用 (例如增加油耗, 降低行车速度和车辆使用寿命, 延长出行时间), 同时还会加速道路结构的破坏, 影响路面的使用年限和养护周期。因此, 随着对公路服务质量要求的不断提高及路面管理系统的建立, 平整度成为目前路面使用性能最重要的指标之一。

1.1 国际平整度指数 IRI 简述

为了客观定量分析路面不平整度, 世界银行在 70 年代末 80 年代初组织了世界上有关专家用各国测定平整度的主要仪器, 在巴西利亚进行研究试验, 最

后在 1986 年发表了第 45 号技术文件《The International Road Roughness Experiment Standard for Measurements》, 把国际平整度指数 IRI (即 International Roughness Index 的简写) 定义为标准车身悬架的总位移 (单位为 m) 与行驶距离 (单位为 km) 之比。同时发表了用精密水准仪测得路面一定间隔下的高程进行 IRI 计算的程序, 将表征路面平整度的 IRI (m/km) 指标与世界上各种路面平整度仪建立关系。从而把过去世界各国不同的平整度仪测试结果指标统一到 IRI 来, 这对世界路面平整度测量是一个重大的贡献。目前 IRI 已发展成各国路面平整度的通用指标, 我国路面评价管理系统也已在国内率先采用。

1.2 我国现行规范所采用的平整度评价指标

平整度的控制必须通过路基、基层、面层各个层

次的精心施工方能得以保证。《公路路基路面现场测试规程》规定了 3 个测定平整度试验方法:

T0931-95 3m 直尺测定平整度试验方法;

T0932-95 连续式平整度仪测定平整度试验方法;

T0933-95 车载式颠簸累积仪测定平整度试验方法。

《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ032-94)和《公路工程质量检验评定标准》(JTJ071-94)所采用的平整度检测指标是 3m 直尺测定的最大间隙和连续式平整度仪测定的路面不平平整度标准差 σ 值 (单位为 mm)。

《公路沥青路面施工技术规范》规定, 在施工过程中用 3m 直尺检测, 对高速公路及一级公路的上层要求不大于 3mm, 对中下面层要求不大于 5mm; 在交工验收阶段, 用连续式平整度仪检测, 全线连续检测的平整度标准差不大于 1.8mm。

《公路工程质量检验评定标准》规定表层平整度测定以连续式平整度仪为主, 对高速公路及一级公路要求平整度标准差不大于 1.8mm; 采用 3m 直尺测定路面各结构层平整度时, 每 200m 连续测定 10 尺, 最大间隙不大于 3mm。

西安公路研究所、北京市政工程研究院及上海市政工程研究院都研制生产过连续式平整度仪, 3 种平整度仪在 1984 年 7 月进行了对比试验, 得出的相关关系是: 以西安公路研究所研制的 XLPY-II 连续式路面平整度测定的数据为标准, 使用北京市政及上海市政的仪器时, 测定的数据应分别乘以 0.97 和 0.95。除此 3 家外, 目前生产连续式平整度仪的还有另外一些仪器厂家。

1.3 采用 IRI 作为路面平整度的检测和评定指标的必要性

随着公路路网的建设, 特别是高等级公路的飞速发展, 我国公路建设的标准不断提高, 公路建设和建成使用中对路面测试评价的要求也在提高, 3m 直尺最大间隙及连续式平整度仪所测得的 σ 值作为路面平整度的检测和评定指标显示出越来越大的局限性。因受其测试仪器的限制 (一般有效长度为 3m), 这些指标难以反映路面较长波长 (10m 以上) 的颠簸和起伏, 而在较高行车速度下, 10~30m 的波动对乘车舒适性影响较大, 故 3m 直尺及连续式平整度仪所测得的 σ 值已难以满足在高等级公路上平整度测量的需要。另外连续式平整度仪在使用中也反映出不少问题, 主要有以下几点。

(1) 测试效率低, 速度慢, 难以在病害严重的路面进行测试;

(2) 机械配置庞大而笨重 (XLPY-II 连续式路面平整度仪全套仪器总重 262 公斤), 使用起来很不方便。

(3) 有些仪器再现性差, 不同的厂家不同的仪器会测出不同的结果。

为适应我国高速公路建设发展的需要, 准确有效地检测、控制和评定已建和在建高等级公路的路面平整度水平, 已成了生产发展的迫切需要, 为此, 我国自行开发研制了许多高效实用的检测仪器, 一些公路交通部门也陆续从美国、加拿大、澳大利亚、瑞典等国引进了不少先进的测试设备, 这些设备大都采用了国际平整度指数 IRI 作为其评价指标。综上所述, 为了客观准确高效地检测和评定路面平整度, 与国际通用评价指标保持一致, 有必要在规范中采用国际平整度指数 IRI 作为路面平整度的检测和评定指标, 并与标准差 σ 值进行对比研究, 建立各种检测仪器和测定指标之间的相关关系, 把我国不同平整度仪的测试结果也统一到国际平整度指数 IRI 上来。

2 国际平整度指数 IRI 的测试

目前能输出国际平整度指数 IRI 的测试设备主要有精密水准仪、车载式颠簸累积仪、手推式断面仪、激光断面仪等, 其中以精密水准仪对路段进行详细精确的纵断面测定, 测得的数据用世行公布的程序计算出的 IRI 为标准, 而用其它方法测得的 IRI 均须与此建立相关关系。

2.1 精密水准仪

用精密水准仪测得路面的高程或标高, 通过计算机程序求出国际平整度指数 IRI 。具体方法如下。

A. 在长为 260~300m 的路段上, 每隔 0.25m 或 0.50m 用油漆作好明显的标点标记。

B. 用经过校准的精密水准仪 (分辨率 0.5mm) 测出每标点上的标高 (海拔高程或相对标高均可)。

C. 将所测得的标高数据 (mm) 存入计算机一数据文件中。

D. 运行世界银行公布的国际平整度指数计算程序 $IRI.EXE$, 结果即为此段路的国际平整度指数 IRI 。

2.2 车载式颠簸累积仪

车载式颠簸累积仪是一种高效反应类车载式仪器, 这种平整度测试车在通过被测路面时, 路面凹凸不平引起测试车的振动颠簸, 这时车后轴与车厢之间

的单向位移累积值即表征了路面的平整度状况。路面平整度好的累积值小，路面平整度差的累积值就大，此颠簸累积值可与国际平整度指数 *IRI* 和标准差 σ 建立起很好的对应关系。

交通部公路科学研究所“七五”国家重点科技攻关项目 75-24-03-02 (1-1)《车载式颠簸累积仪的研制》中曾研制生产了一种简易式颠簸累积仪，该仪器目前已有上百套工作在路面管理系统 CPMS 中，为系统采集了大量的平整度数据。但这种早期产品精度较低（分辨率 1cm），没有对应的距离测定，所有数据均用微型打印机输出后人工输入计算机中，不便于储存和保管。为此，我所在长期的使用中不断改进，在简易式颠簸累积仪基础上，采用 STD 总线上下位机计算机技术及距离传感器，研制开发出装有颠簸累积仪的平整度测试车，该测试车由装载车（轿车或面包车）、光电编码位移传感器、距离传感器、数据采集处理系统等组成。其中位移传感器精度高达 1mm，数据采集处理系统通过上下位机把位移和距离传感器取得的信号加以处理并显示记录，能直接显示、打印和存储国际平整度指数 *IRI*、标准差 σ 、测试速度及距离，具有自动、高效、高精度等特点，在测试精度和测试速度上均优于国内外同类产品。

目前，这种装有颠簸累积仪的平整度测试车广泛应用于各等级公路与城市道路的路面平整度评价测试、施工现场平整度控制、竣工验收以及为 CPMS 进行的量大面广的路面平整度数据采集，受到了各级公路部门的欢迎和好评。

2 3 ARR B 手推式断面仪

澳大利亚公路运输研究所 ARR B 生产的手推式断面仪（WALKING PROFILER）集军工技术与计算机技术于一体，结构小巧轻便，使用方便快捷，测试精度高，实时数据图形处理功能强，可测量出道路的真实纵断面，并能直接输出国际平整度指数 *IRI* 值。测试时用此仪器在选定的路段上推过，即可得到此路段的相对高程及国际平整度指数 *IRI* 值。

2 4 激光断面仪

激光断面仪利用车载式激光传感器和高精度加速度计等传感器，可精确地检测道路纵断面、横断面、构造深度等数据，使路面平整度测试技术达到了较高的水平。激光断面仪所测得的数据含有丰富的信息，经处理可绘制图形，进行频谱分析，经过处理可得到国际平整度指数 *IRI*。该仪器测试速度为 20 ~ 12km/h，效率高，易于使用。但目前基本依赖进口，价格昂贵，难以全面推广。

3 用各种设备测定国际平整度指数 *IRI* 的对比试验

世界银行规定了国际平整度指数是以精密水准仪测定计算结果为准，因此，采用其它任何一种设备测定时，都必须将其测定结果与精密水准仪的测定结果建立换算关系。鉴于每次都采用精密水准仪测定工作量太大的实际情况，我们选用相对简捷的 ARR B 手推式断面仪作为标定的传递工具，具体做法是：先对 ARR B 手推式断面仪与精密水准仪进行标定，建立可靠的相关关系；然后再以 ARR B 手推式断面仪作为基准，用它对装有颠簸累积仪的平整度测试车等其它仪器进行标定。

3 1 ARR B 手推式断面仪（简称 WP）测得的 *IRI* 与精密水准仪测算出的 *IRI* 的对比试验

1997 年 4 月，在山西太原对 ARR B 手推式断面仪测得的 *IRI* 与精密水准仪测算出的 *IRI* 进行了对比试验，参加单位有交通部公路科学研究所、山西省交通基本建设工程质量监督站、山西省太原旧关高速公路管理局，其测试结果见表 1。

精密水准仪与 ARR B 手推式断面仪对比试验结果 表 1

路段	<i>IRI</i> _{WP} (<i>x</i>)	<i>IRI</i> _{精密水准仪} (<i>y</i>)	<i>y</i> - <i>x</i>
1	1. 17 (两次平均)	1. 40	0. 23
2	4. 68 (两次平均)	4. 90	0. 22
3	6. 23 (两次平均)	6. 45	0. 22

线性回归结果:

$$IRI_{精密水准仪} = 0. 997\ 87\ IRI_{WP} + 0. 23\ 189$$

相关系数 $r = 0. 999\ 999\ 78$

对比试验结果表明：ARR B 手推式断面仪与精密水准仪测得的 *IRI*，存在着非常好的相关性，ARR B 手推式断面仪可以作为较理想的 *IRI* 标定设备，但其输出应按上式进行修正，换算为精密水准仪测算出的 *IRI* 值。

3 2 用 ARR B 手推式断面仪对其它设备的标定

3 2. 1 对装有颠簸累积仪的平整度测试车标定

经“七五”国家科技攻关项目研究，平整度测试车的颠簸累积值 *VBI* 与国际平整度指数 *IRI* 之间有良好的线性关系

$$IRI = a + b\ VBI.$$

颠簸累积值 *VBI* 的大小和仪器装载车的底盘悬挂性能有关，因此，仪器装车后应对每一台测试车进行标定，与国际平整度指数 *IRI* 和标准差 σ 建立起一定的相关关系。

由于每一台平整度测试车的性能、测试速度及车型均有所不同，其相应的标定参数亦有所不同，所以必须逐台进行标定。1998 年 3 月 23 日至 27 日，我

所在北京公路局质量监督处举办了全国部分地区平整度测试车的集中标定, 标定结果非常理想, 大多数测试车的各参数回归结果相关系数 r 在 0.99 以上, 达到了预期效果, 各单位均感满意。目前这些设备已经投入新建公路平整度的检测评价和现有路网路面平整度测定工作。以山西省高速公路管理局的平整度测试车为例, 其仪器装于 1996 年 6 月, 装载车为金杯面包, 图 1 为该测试车标定结果的相关关系图。

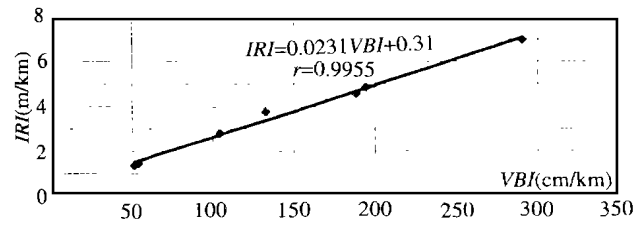


图 1 山西太旧高管局平整度测试车标定结果 (50km/h)

3.2.2 激光断面仪的标定

河南省交通基本建设质量检测监督站于 1995 年进口了一台丹麦单激光断面仪, 一直觉得所测出的 IRI 偏小。1998 年 3 月, 该仪器在北京与澳大利亚手推式断面仪进行了对比试验, 试验结果见表 2。

路 段	IRI (m/km)	
	丹麦单激光断面仪	WP 修正值
1	4.64	4.57
2	2.54	2.79
3	3.29	3.76
4	1.10	1.33
5	1.36	1.43
6	4.62	4.86
7	6.92	6.93

线性回归结果
 $IRI_{WP修正值} = 0.9682 IRI_{\text{丹麦单激光断面仪}} + 0.2825$
相关系数 $r = 0.9964$

通过这次对比试验, 为河南省交通基本建设质量检测监督站引进的丹麦单激光断面仪所输出 IRI 的合理修正提供了基础和依据。

4 国际平整度指数 IRI 与平整度标准差 σ 的相关关系

从 1990 年至今, 我所曾多次组织对国际平整度指数 IRI 与平整度标准差 σ 进行对比试验, 试验数据见表 3。对此数据进行回归分析, 得到国际平整度指数 IRI 与平整度标准差 σ 的相关关系如下

$$\sigma = 0.5926 IRI + 0.013$$
$$\text{相关系数 } r = 0.9875$$

试验表明: 国际平整度指数 IRI 和标准偏差 σ 之间存在着一定的相关关系, 两类指标可以互换应用, 大体上 σ 为 IRI 的 0.6 倍。如图 2 所示。

国际平整度指数与平整度标准差对比试验数据 表 3			
路 段	IRI (cm/km)	σ (mm)	备 注
1	2.67	1.160	1990 年北京通县
2	5.13	2.320	
3	7.65	4.680	
4	10.88	6.340	
5	3.36	2.030	1997 年 7 月长春
6	0.97	0.550	
7	1.50	0.860	
8	2.12	1.390	
9	5.42	3.250	1997 年 8、9 月 北京通黄路 京良路
10	1.58	1.215	
11	6.82	4.253	
12	3.14	1.668	
13	4.67	2.873	1997 年南京机场路
14	0.88	0.630	
15	0.80	0.600	
16	0.78	0.610	
17	0.82	0.540	1997 年沪宁路
18	1.55	0.970	
19	1.17	0.850	
20	1.38	0.920	
21	1.12	0.730	1998 年 3 月北京 通黄路 京良路
22	1.33	0.900	
23	1.24	0.730	
24	1.30	0.740	
25	4.57	2.570	1998 年 5 月北京通黄路
26	3.76	1.880	
27	2.79	1.270	
28	1.45	0.800	
29	1.43	1.050	
30	4.86	2.830	
31	7.07	4.840	
32	7.05	4.370	

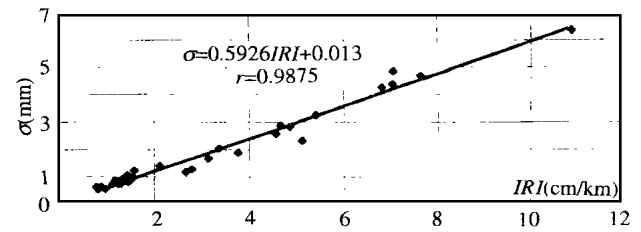


图 2 国际平整度指数 IRI 与标准差 σ 的关系曲线

5 IRI 界限值建议

平整度测定设备从“七五”研制开发简易式的颠簸累积仪, 到目前的平整度测试车, 位移传感器的精

度已从 1 cm 到 1 mm, 增加了距离传感器, 并采用 STD 总线下位机和便携式计算机适时处理, 完全可以满足施工检控和评定验收对各种长短路段的检测需要。

为了便于应用, 我们取 $\sigma=0.6IRI$ 。 *IRI* 和 σ 之间存在着一定的相关关系, 两类设备的测定结果可以互相转换。下面参照不同等级公路及不同路面结构的 σ 标准值, 算出相应的 *IRI* 界限值如表 4。

<i>IRI</i> 和 σ 对比值													表 4
σ	0.6	1.0	1.2	1.5	1.8	2.5	3.0	3.5	4.5	5.5	6.0	8.0	10.0
<i>IRI</i> 1	1.0	1.7	2.0	2.5	3.0	4.2	5.0	5.9	7.6	9.3	10.1	13.5	16.9
<i>IRI</i> 2	1.0	1.7	2.0	2.5	3.0	4.2	5.0	5.8	7.5	9.2	10.0	13.3	16.7
差值	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2

其中: $IRI1=(\sigma-0.013)/0.5926$ $IRI2=\sigma/0.6$ 差值= $IRI1-IRI2$

由表 4 可以看出, 在保留小数点后一位的情况下, 由公式 $\sigma=0.5926IRI+0.013$ 和 $\sigma=0.6IRI$ 计算出的 *IRI* 差值不超过 0.2; 当 σ 不大于 3 时, 两公式计算出的 *IRI* 值完全一致。有鉴于测试过程中的误差远大于这个差值, 为了使用方便, 我们建议用公式 $\sigma=0.6IRI$ 来进行国际平整度指数 *IRI* 与平整度标准差 σ 两个指标之间的相互换算。

6 结论

(1) 国际平整度指数 *IRI*, 可以利用精密水准仪测量路面纵断面一定点的标高, 用程序算出 *IRI*, 此方法精确易行, 公路工程单位及检测单位都能实践和重现。

(2) 我国现行规范采用的 3m 直尺和连续平整度仪测试效率不高, 并且不能反映路面较长波长下 (10~30m) 的波动对乘车舒适性的影响, 在用 3m 直尺测量时还存在着一定的读数误差, 无法客观反映路面平整度的实际状况, 难以满足公路现代化和评价养护

管理系统大面积采集路面平整度数据的要求。
(3) 随着我国国民经济的发展, 高等级公路的增多, 要求有更多更合理更高效的路面平整度测试设备投入使用, 而国际平整度指数 *IRI* 正是比较理想而科学同时又易重现的指标, 作为评价路面平整度和统一各种平整度测试仪器的标准是适当的。采用国际平整度指数 *IRI* 来评价路面, 可与国际通用评价指标保持一致, 有利于国际技术交流, 提高我国公路技术水平。

(4) 采用国际平整度指数 *IRI* 来评价路面, 测试设备来源更多更丰富, 可以缓解国内测试手段短缺和落后状况, 并可使众多的测试仪器统一到易于重现的国际平整度指数 *IRI* 标准上来。用装有颠簸累积仪的平整度测试车测定 *IRI* 方法简单快捷, 精度高。

(5) 通过研究试验, 国际平整度指数 *IRI* 与现行规范采用的不平整度标准差 σ 有线性关系 $\sigma=0.6IRI$, 两个指标之间可以相互换算。