

国家计量技术规范

《车载式路面跳车测量仪》

编制说明

(征求意见稿)

规范编制组

2023年8月

目 录

一、任务来源	1
二、编写背景	1
三、编写过程	3
四、编写依据	4
五、主要技术内容	5
六、试验验证报告	8
七、不确定度分析报告	12

一、任务来源

根据 2022 年国家计量技术规范制修订计划，由交通运输部公路科学研究所等负责国家计量技术规范《车载式路面跳车测量仪校准规范》的制定工作。本规范依据 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》进行制定。

二、编写背景

随着我国经济社会的快速发展、公路养护规模的不断扩大、公路出行需求的迅猛增长，我国公路技术状况检测评定体系也日臻完善。《交通强国建设纲要》指出要坚持推动交通高质量发展，推动交通发展由追求速度规模向更加注重质量效益转变，逐步实现基础设施规模质量位居世界前列。2018 年交通运输部颁布了 JTG 5210-2018《公路技术状况评定标准》，在上一版本基础上为了进一步促进公路行业技术发展，更好地指导我国公路养护管理工作，有效地提升公路工程质量及养护管理水平，补充提出了路面跳车等重要检测指标。JTG 5210-2018《公路技术状况评定标准》在 6.3.7 章节明确指出：路面跳车自动化检测应满足下列要求：1) 应采用断面类检测设备；2) 检测指标应为路面跳车 PB，每 10m 应计算 1 个统计值。

路面跳车是由路面异常突起或沉陷等损坏引起的车辆突然颠簸，路面跳车影响因素包括水泥混凝土路面的错台、沥青路面的坑槽、拥包、沉陷、波浪、井盖突起或沉陷、路面与桥隧构造物异常连接等，如图 1 所示，其危害主要体现在以下几个方面：



图 1 路面异常突起或沉陷工况图

1) 影响行车安全和舒适度。过往车辆在经过时产生跳动，会使驾驶员和乘

车者感到不适，严重跳车会造成翻车、追尾等交通事故，威胁人、车和财物的安全，同时对周边环境也易形成噪音污染。

2) 影响公路通行能力，降低公路使用性能。由于跳车的存在使车辆不得不降低车速，使公路的使用功能和通行能力受到很大影响；另外由跳车产生的水平和垂直冲击力会对路面、路基和桥梁结构物产生损坏，从而增加养护维修费用和管理难度，也降低了公路使用性能。

3) 增加车辆的磨损，加大油耗。跳车时产生的冲击力会对车辆产生不利反力，增加车辆的振动和机械磨损以及轮胎的磨耗，增大油耗，缩短车辆使用年限，增加运输成本。

路面跳车问题已成为高等级公路工程质量和造价的重要影响因素，国内外对路面跳车检测的需求迅速提升。

目前，国内外市场上车载式路面跳车测量仪已陆续投入到检测工作中。其中，包括中公高科养护科技股份有限公司、武汉武大卓越科技有限公司、美国 ROADWARE、上海卓致力天等众多厂家，但因对此类设备的计量工作尚未开展，因此其设备性能水平未可知，其路面跳车检测结果准确度也未可知。

目前，交通行业综合甲级检测机构 127 家，桥隧专项检测机构 87 家，据不完全统计此数量仍在不断上升。随着 JTG 5210-2018《公路技术状况评定标准》的实施推进，车载式路面跳车测量仪将出现井喷式保有。

显然，无配套的计量方法及计量标准装置，无法衡量此类设备输出值的准确与否已严重地制约了《公路技术状况评定标准》的推进工作，阻碍了交通管理工作的有效提升。

在交通计量领域，国外一般采用比对的方式，对仪器设备进行校准，不具有溯源性。国内交通行业先后建立了车载式路面激光平整度仪、车载式路面激光车辙仪、车载式路面损坏视频检测系统、车载式路面激光构造深度仪等的量值溯源体系，真正实现了对设备准确度的衡量，为交通行业专用设备的溯源提供了很好的参考模版。

截至 2017 年全国高速公路 13.65 万公里，高速公路管养占比与建设占比正逐年增加。高速公路的质量直接依赖于路面状况检测结果及评价，检测结果是否真实反映路面状况则越来越深入地依赖于自动化采集设备及方法。性能低劣

的车载式路面跳车测量仪其漏点和误判带来的负面影响不可估量，因设备不准确引起的检测结果失真在全国高速公路管理工作中带来的直接、间接经济损失也将难以评估。

为了防止质量低劣及不符合交通领域需求的车载式路面跳车测量仪进入检测活动，研究此类设备的计量方法，以期建立其完整有效的量值溯源体系从而促进公路工程质量的提升显得迫在眉睫。

三、编写过程

(一) 主要起草人员及其所做的工作

主要起草人及其所做的工作如表 1:

表 1 主要起草人及其所做的工作

人员	单位	所做工作
张金凝	交通运输部公路科学研究所	车载式路面跳车测量仪主要计量技术指标分析及确认，校准规范方案确认,全部章节编写
周毅姝	交通运输部公路科学研究所	车载式路面跳车测量仪校准规范制定方案确定，第 3 到第 6 章的编写
曹瑾瑾	中路高科交通科技集团有限公司	其他计量技术指标理论分析，第 1 到第 2 章的编写
刘倡	北京公科固桥技术有限公司	车载式路面跳车测量仪校准规范制定方案确定，第 3 到第 6 章的编写
陈柳清	中路高科交通科技集团有限公司	车载式路面跳车测量仪校准规范制定方案确定，第 3 到第 6 章的编写
郭鸿博	中路高科交通科技集团有限公司	试验验证，第 3 到第 4 章的编写
刘越	交通运输部公路科学研究所	拟建标准适用性研究,第 5 到第 6 章的编写

(二) 工作进程

1.工作进程如下几个阶段:

(1) 2022 年 03 月~2022 年 04 月，成立标准起草组，对车载式路面跳车

测量仪主要计量技术指标进行梳理，完成车载式路面跳车测量仪研究现状及使用情况的国内外相关资料调研并编写草案稿；

(2) 2022年05月~2022年06月，分析确定主要计量技术指标及量值复现方法，并进行试验验证和不确定度评定，完善草案稿；

(3) 2022年06月~2023年08月，发送检测机构、生产厂家等广泛征求意见，完善草案稿，形成征求意见稿；

(三) 重大分歧意见的处理经过和依据

本规程在编写过程中无重大分歧意见。

四、编写依据

(一) 编写原则

标准编写格式依据 JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则编写。

(二) 参考文献

在规程编写中，编写组搜集了部分国内标准或规程资料，主要参照以下标准或规程：

JJF 1001	通用计量术语及定义
JJF 1059	测量不确定度评定与表示
JTG 5210	公路技术状况评定标准
JJG 146	量块
JJG 703	光电测距仪

(三) 国内外标准技术文件的兼容情况

国内外相关只有试验规程，但是无相应设备的校准规范。该设备除国际间差异大，国外无校准规范外，在实施“一带一路”过程中，大量中国企业对外援助时无法使用国内的标准和规范，此后建议制订校准规范外文版。

(四) 与国家或其他行业计量校准规范的关系

本规程不违反现行法律、法规和强制性国家标准。

五、主要技术内容

(一) 计量性能要求

按照 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》的要求制定车载式路面跳车测量仪校准规范。在内容格式上保持一致，规范的具体内容有范围、概述、计量性能要求、通用技术要求、计量器具控制、附录等内容。

参考 JTG 5210-2018《公路技术状况评定标准》从以下方面考虑计量参数的选择及指标的确定。

1) 垂直测距示值误差

垂直测距示值误差： $\pm 1.0\text{mm}$ 。

2) 纵向测距传感器误差

纵向测距传感器误差应不大于 0.05%。

3) 路面跳车测量误差

路面跳车测量误差：不大于 15%。

4) 路面跳车测量重复性

路面跳车测量重复性大于 5%。

依据：此设备的激光器及其他测量装置与车载式路面激光平整度仪和车载式路面激光车辙仪相同，其技术指标和环境指标也与这两类设备一致，按照 JJG(交通) 075-2010 车载式路面激光平整度仪和 JJG(交通) 076-2010 车载式路面激光车辙仪中的技术要求，跳车的计算方法与 JTG 5210—2018 公路技术状况评定标准保持一致，制定了此类设备的技术指标。通过试验验证，其技术指标符合大多数试验设备的需求，指标合理。

(二) 计量校准方法

1 通用技术要求

通过目测和手感检查路面跳车仪。

2 垂直测距示值误差

试验过程如下：

a) 将检测车停放在硬性水平路面上，启动检测系统，手动调整检测平台，使激光线投影点位于检测平台的中心位置，调整检测平台的水平；

b) 激光测距传感器测试至检测平台的垂直距离，作为零基准点，然后分别放入标准值为 5mm、20mm、40mm、80mm 四种规格的标准量块，记录对应得到的检测系统输出示值，按照式（1）计算垂直测距示值误差：

$$K = H_1 - H_0 \quad (1)$$

式中：

K ——垂直测距示值误差，mm；

H_1 ——测量值，mm；

H_0 ——量块标准值，mm。

3 纵向测距传感器误差

试验过程如下：

a) 选择合适的平整直线路段，用全站仪量取 500m 长度，并分别在起点、终点刻画标记；

b) 检测车停放在试验路段的起点处，将纵向测距传感器测距轮的中心线对准起点横线，启动测试系统，检测车出发沿车道线平行方向驶向终点，同时开始距离测量，当测距轮的中心线与重点横线对准时停车，记录检测系统输出的行驶距离测试值，按照式（2）计算纵向测距传感器误差：

$$D = \frac{|D_1 - D_0|}{D_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

D ——纵向测距传感器误差；

D_1 ——测量值，m；

D_0 ——500m 长度标准值，m。

4 路面跳车测量误差

试验过程如下：

a) 设置 4 个不同的跳车试验路段，在轮迹带沿车道线平行位置画上明显的测线，并在起点、终点刻画标记；

b) 检测车停在试验路段起点位置前 100m 处，启动检测系统后车辆开始加速，车辆行至起点横向位置时，速度应达到 25km/h；

c) 检测车保持 25km/h 的时速匀速通过试验路段，检测过程中激光测距传感器应沿测线通过，当激光测距传感器经过终点标记后，结束测试；

d) 重复步骤 b) 和 c) 10 次，取平均值作为试验路段的跳车值，按照式 (3) 计算路面跳车测量误差：

$$R = \frac{|R_1 - R_0|}{R_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

R ——路面跳车测量误差；

R_1 ——测量值，m；

R_0 ——标准值，m。

5 路面跳车测量重复性

试验过程如下：

参照 3.3.4 的方法，计算 4 个路段路面跳车测试结果的重复性 C_v ，计算公式如式 (4)、式 (5)：

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4)$$

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

S ——重复性标准差；

x_i ——第*i*次测量结果， $i = 1, 2, 3, \dots$ ；

\bar{x} ——测量结果算术平均值；

n ——测量次数。

在 4 个路段的路面跳车测量重复性试验中，选择重复性较大的路段作为测量结果。

依据：此设备的载车及控制系统与车载式路面激光平整度仪和车载式路面激光车辙仪相同，其技术指标也与这两类设备一致，按照 JJG(交通) 075-2010 车载式路面激光平整度仪和 JJG(交通) 076-2010 车载式路面激光车辙仪中的测量方法，制定了此类设备的技术测量方法，既可以与保证试验准确，也可以保证试验的流畅，通过试验验证，试验方法合理，便于应用。

(三) 通用技术要求

按照 JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则格式要求进行编辑。

(四) 计量器具控制中的校准条件

按照 JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则给出了试验条件和计量器具及要求编写，环境温度定为 0℃~40℃，湿度为不大于 85%。

依据：由于 0℃以下会结冰，40℃以上容易造成设备过热，同时由于与车载式路面激光平整度仪和车载式路面激光车辙仪相同共用载车，其指标也与 JJG(交通) 075-2010 车载式路面激光平整度仪和 JJG(交通) 076-2010 -车载式路面激光车辙仪一致。

六、试验验证报告

按照《车载式路面跳车测量仪校准规范》(草案稿)规定的试验步骤，分别

对垂直测距示值误差、纵向测距传感器误差、路面跳车测量误差和路面跳车测量重复性进行试验，试验结果均能满足本规范对技术指标的要求，试验现场如图 3 所示。



图 3 试验现场图

6.1 试验目的

通过试验数据确定垂直测距示值误差、纵向测距传感器误差、路面跳车测量误差和路面跳车测量重复性的计量技术指标要求。

6.2 试验方法

按照《车载式路面跳车测量仪校准规范》（草案稿）确定的试验方法开展。

6.3 数据分析

准备 2 台不同型号的跳车测量仪，将其调整达到工作状态，分别用水准仪、全站仪、量块、条式水平仪对垂直测距示值误差、纵向测距传感器误差、路面跳车测量误差和路面跳车测量重复性进行测试，测试结果如下表 1～表 2 所示。

表 1 路面跳车仪测试结果

样品名称	车载式路面跳车测量仪		样品编号	C2020-004-002			
型号规格	ZOYON-RTM		出厂编号	201912			
制造单位	武汉武大卓越科技有限责任公司						
校准依据	《车载式路面跳车测量仪校准规范》 (草案稿)		校准地点	嘉兴市平湖区 迎晖路			
校准前样品状态	正常		校准后样品状态	正常			
环境条件	温度: 25 °C; 湿度: 80 %RH; 其他:						
测试所用的计量 标准装置器具/ 主要仪器设备	名称	测量范围	不确定度/准 确度等级/ 最大允许误差	证书编号	证书有效 期至	使用 前情 况	使用 前情 况
	水准仪	(1.8~ 30) m	DSZ05 级	106926	2021.03.11	正常	正常
	全站仪	(1.5~ 5400) m	I级	106925	2021.03.03	正常	正常
	量块	(5~80) mm	3 等	CDlx2020 -00567	2021.04.07	正常	正常
	条式水 平仪	±300"	$U=5\%, k=2$	CDjc2020 -01328	2021.04.08	正常	正常
测试结果							
序号	项目	状态	结果				
一	外观检查	<input checked="" type="checkbox"/>	正常				
二	垂直测距示值误差 (记录左、右传感器示值)	<input checked="" type="checkbox"/>	左测距 示值 (mm)	示值误 差(mm)	右测距 示值 (mm)	示值误 差(mm)	
		量块 1	4.9	-0.1	5.0	0	
		量块 2	19.9	-0.1	20	0	
		量块 3	39.9	-0.1	40.0	0	
		量块 4	80	0	80	0	
		垂直测距示 值误差	左侧	-0.1	右侧	0	
三	纵向测距传感器误差 (记录距离输出值)	<input checked="" type="checkbox"/>	传感器测值(m)		纵向测距传感 器误差(%)		
			499.857		0.03		
四	路面跳车测量误差	<input checked="" type="checkbox"/>	(20~50)mm		3.6%		

		<input checked="" type="checkbox"/>	(50~70)mm	1.3%
五	路面跳车重复性	<input checked="" type="checkbox"/>	(20~50)mm	0.6%
		<input checked="" type="checkbox"/>	(50~70)mm	0.4%

校准：_____

核验：_____

日期：_____

表 2 路面跳车仪测试结果

样品名称	车载式路面跳车测量仪		样品编号	C2020-024-001			
型号规格	LP-1		出厂编号	A31C20160562			
制造单位	中公高科养护科技股份有限公司						
校准依据	《车载式路面跳车测量仪校准规范》 (草案稿)		校准地点	乌鲁木齐市米东区轮台东路			
校准前样品状态	正常		校准后样品状态	正常			
环境条件	温度： 31 °C；湿度： 16 %RH；其他：						
测试所用的计量标准装置器具/主要仪器设备	名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	证书编号	证书有效期至	使用前情况	使用前情况
	水准仪	(1.8~30)m	DSZ05 级	106926	2021.03.11	正常	正常
	全站仪	(1.5~5400)m	I级	106925	2021.03.03	正常	正常
	量块	(5~80)mm	3 等	CDlx2020-00567	2021.04.07	正常	正常
	条式水平仪	±300"	$U=5, k=2$	CDjc2020-01328	2021.04.08	正常	正常
测试结果							
序号	项目	状态	结果				
一	外观检查	<input checked="" type="checkbox"/>	正常				
二	垂直测距示值误差 (记录左、右传感器示值)	<input checked="" type="checkbox"/>	左测距示值 (mm)	示值误差 (mm)	右测距示值 (mm)	示值误差 (mm)	
		量块 1	5.0	0	5.1	0.1	
		量块 2	19.9	-0.1	19.9	-0.1	
		量块 3	39.9	-0.1	39.9	-0.1	

		量块 4	80	0	80.1	0.1
		垂直测距示值误差	左侧	-0.1	右侧	-0.1
三	纵向测距传感器误差 (记录距离输出值)	<input checked="" type="checkbox"/>	传感器测值(m)		纵向测距传感器误差(%)	
			500.0		<0.01	
四	路面跳车测量误差	<input checked="" type="checkbox"/>	(20~50)mm		4.4%	
			(50~70)mm		1.4%	
五	路面跳车重复性	<input checked="" type="checkbox"/>	(20~50)mm		2.1%	
			(50~70)mm		2.6%	

校准：_____

核验：_____

日期：_____

6.4 试验结论

通过对 2 台路面跳车仪测试数据的收集、整理，垂直测距示值误差、纵向测距传感器误差、路面跳车测量误差和路面跳车测量重复性均符合校准规范提出的参数指标。

七、不确定度分析报告

7.1 概述

车载式路面跳车测量仪是通过激光测距设备测量路面断面高程，并计算路面跳车值的设备。测试仪主要由激光测距传感器、纵向距离传感器和计算机处理系统等部分组成。计量技术参数包括：垂直测距示值误差，纵向测距传感器误差，路面跳车测量误差，路面跳车重复性。

7.2 垂直距离测量结果的不确定度

7.2.1 测量模型的建立

$$\Delta = L_1 - L_0 \quad (6)$$

式中：

Δ ——垂直测距传感器示值误差，mm；

L_1 ——被检设备测得的垂直距离，mm；

L_0 ——量块标称值，mm。

7.2.2 不确定度分量的评定

1) 由测量重复性引入的不确定度

选取典型设备，测量标称值为 20mm 标准量块，重复三次测量，所得数据为：20.1mm，20.0mm，20.1mm。

用极差法计算标准差（3 次 C_n 取 1.69）

$$S_l = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{C_n} \quad (7)$$

代入计算得 $S_l = 0.059\text{mm}$ 。

$$u_1 = \frac{S_l}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

代入计算得 $u_1 = 0.034\text{mm}$ 。

(2) 由标准装置引入的不确定度

查 JJG 146-2011 量块检定规程，标称 20mm 的 4 等量块测量不确定度为 $u_2 = 0.25\mu\text{m}$ 。

7.2.3 合成标准不确定度的计算

1) 不确定度分量的汇总

路面跳车仪垂直测距传感器示值校准结果的不确定度分量汇总见表 3。

表 3 不确定分量汇总

序号	不确定度来源	不确定度分量	类别	分布
1	测量重复性引入的不确定度	$u_1 = 0.034\text{mm}$	A	/
2	标准装置测值的不确定度	$u_2 = 0.25\mu\text{m}$	B	正态

2) 不确定度的合成

合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \quad (9)$$

计算得： $u_c = 0.03400092\text{mm}$ ，取 $u_c = 0.035\text{mm}$

7.2.4 合成扩展不确定度的计算

取 $k = 2$ ，则 $U = 0.070\text{mm}$

7.2.5 不确定度的描述

垂直距离测量结果的扩展不确定度：

$$U = 0.07\text{mm}, k = 2$$

7.3 纵向距离测量结果的不确定度

7.3.1 测量模型的建立

$$\Delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (10)$$

式中：

Δ ——纵向距离传感器示值相对误差；

l_1 ——被检设备测得的纵向距离，m；

l_0 ——标准装置测得的纵向距离，m。

7.3.2 不确定度分量的评定

1) 由设备分辨力或测量重复性引入的不确定度

a) 由设备分辨力引入的不确定度

被校准设备为数字式显示设备，分辨力为0.01m，则区间半宽度为0.005m，

可假设为均匀分布，查表得 $k = \sqrt{3}$ ，

由分辨力引起的标准不确定度分量为

$$u_1 = \frac{0.005\text{m}}{\sqrt{3}} = 0.0029\text{m} = 2.9\text{mm}$$

b) 测量重复性引入的不确定度

选取典型设备，设置测量长度为 500m，重复性条件下进行三次测量，所得数据为：500.05m，500.03m，500.09m。

用极差法计算标准差（3 次 Cn 取 1.69）

$$S_l = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{C_n} \quad (11)$$

代入计算得 $S_l = 0.0355\text{m} = 35.5\text{mm}$ 。

$$u_l = \frac{S_l}{\sqrt{n}} \quad (12)$$

代入计算得 $u_l = 20.5\text{mm}$ 。

由测量重复性引入的相对标准不确定度远大于由设备分辨力引入的相对标准不确定度，因此取测量重复性引入的标准不确定度作为合成不确定度的分量。

2) 由标准装置引入的不确定度 u_2 ；

查 JJG 703-2003 光电测距仪检定规程，I 级全站仪标准差为 1.5mm，测量 9 次，不确定度为 $u_2 = 1.5/\sqrt{9} = 0.5\text{mm}$ 。

7.3.3 合成标准不确定度的计算

1) 不确定度分量的汇总

路面跳车仪纵向距离测量结果的不确定度分量汇总见表 4。

表 4 不确定度分量汇总

序号	不确定度来源	不确定度分量	类别	分布
1	测量重复性引入的不确定度	$u_1 = 20.5\text{mm}$	A	/
2	标准装置引入的不确定度	$u_2 = 0.5\text{mm}$	B	正态

2) 不确定度的合成

合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \quad (13)$$

计算得： $u_c = 20.506\text{mm}$ ，取 $u_c = 21\text{mm}$ 。

7.3.4 合成相对扩展不确定度的计算

取 $k = 2$ ，则 $U = 42\text{mm}$ ，

测量长度为 500m 时，相对扩展不确定度为

$$U_r = 0.01\%, \quad k = 2$$

7.3.5 不确定度的描述

纵向距离测量的相对扩展不确定度：

$$U_r = 0.01\%, \quad k = 2$$

7.4 路面跳车测量结果的不确定度

7.4.1 测量模型的建立

$$\Delta = \frac{TC_1 - TC_0}{TC_0} \times 100\% \quad (14)$$

式中：

Δ ——路面跳车测量示值误差；

TC_1 ——被检设备测得的路面跳车测量值，mm；

TC_0 ——路面跳车标称值，mm。

7.4.2 不确定度分量的评定

1) 标准装置引入的不确定度

进行跳车测试时，根据跳车标准装置的工作原理以及计量标准器和主要配套设备的工作条件，标准装置所提供的试验线路高程测量结果所受到的影响因

素包括校准装置试验路组块重复测量不一致性、跳车组块环境稳定性、试验路路面环境稳定性、精密水准仪影响量、全站仪影响量（测距）、全站仪（环境）稳定性（测距）六个。为了便于表述与计算，将不确定度的来源和表示等以表 5 形式给出。

表 5 不确定度来源和表示

序号	不确定度来源	符号	类别	分布, k_1	标准不确定度分量
1	试验路组块重复性测量	Δ_1	A	均匀, $k_1=\sqrt{3}$	$u_1=\Delta_1/\sqrt{3}$
2	跳车组块环境稳定性	Δ_2	A	正态, $k_2=3$	$u_2=\Delta_2/3$
3	试验路路面环境稳定性	Δ_3	A	正态, $k_3=3$	$u_3=\Delta_3/3$
4	精密水准仪影响量（证书）	U_4	B	正态, $k_4=3$	$u_4=U_4/3$
5	全站仪影响量（测距）（证书）	U_5	B	正态, $k_5=3$	$u_5=U_5/3$
6	全站仪（环境）稳定性（测距）	Δ_6	A	正态, $k_6=3$	$u_6=\Delta_6/3$

a) 试验路组块重复性测量 u_1

重复测量 10 次 2cm-5cm 的跳车路面, 结果为: 3.03、3.03、3.02、3.03、3.03、3.03、3.05、3.04、3.03、3.04, 单位: cm。平均值为 3.033cm, 标准差为 0.00823cm, 相对不确定度为: $u_1=(0.00823/3.033)/1.732=0.157\%$ 。

b) 跳车组块环境稳定性 u_2

任选一个跳车试块（厚度 2.5cm）放置在室外环境下观测, 观测温度从 20℃ 到 45℃, 温度影响观测结果（高度变化）, 单位: cm, 2.501（20℃）、2.502（23℃）、2.503（26℃）、2.509（29℃）、2.515（32℃）、2.523（36℃）、2.535（39℃）、2.548（45℃）, 平均值为 2.517cm, 标准差为 0.0172cm, 相对不确定度为: $u_2=(0.0172/2.517)/1.732=0.394\%$ 。

c) 试验路路面环境稳定性 u_3

对试验道路（不设组块）, 在不同温度下观测断面变化, 观测温度从 20℃ 到 45℃, 观测结果如下（单位 cm）: 0.26（20℃）、0.26（23℃）、0.26（26℃）、0.26

(29℃)、0.27(32℃)、0.27(36℃)、0.27(39℃)、0.28(45℃)，平均值为 0.265cm，标准差为 0.0076cm，相对不确定度为： $u_3=(0.0076/0.265)/1.732=1.647\%$ 。

d) 精密水准仪影响量（证书） u_4

由检定证书获得单次高差标准差为 0.05mm，通过控制水准测量方法，可以保证因 i 角存在产生的测量误差不大于 0.1mm，由此得到水准测量支点高差的最大误差为 0.15mm，通过计算可得因水准仪测量误差引出的跳车误差为 0.16mm，以最小跳车示值做参考，最大 $u_4=(0.15/8.30)/3=0.602\%$ 。

e) 全站仪影响量（测距）（证书） u_5

由检定证书获得， $u_5=((0.50+0.3 \times 0.5)/500000)/3=0.00043\%$ 。

f) 全站仪（环境）稳定性（测距） u_6

选取长度 20m，无风天气，观测点不动，观测温度从 20℃到 45℃，单位为 m，测量结果为 20.0026(20℃)、20.0031(23℃)、20.0027(26℃)、20.0023(29℃)、20.0034(32℃)、20.0019(36℃)、20.0033(39℃)、20.0028(45℃)，平均值为 20.0028m，标准差为 0.0005m，相对不确定度为： $u_6=(0.0005/20.0028)/3=0.001\%$ 。

则由标准装置引入的相对不确定度 $u_{c1} = \sqrt{\sum_{i=1}^6 u_i^2}$ ， $i=1 \sim 6$ ，计算得 $u_{c1}=1.80\%$ 。

2) 测量重复性引入的不确定度

测量过程中采用 10 次重复测量平均值作为仪器示值误差的计算依据。在路面跳车试验专用道路上进行试验，用路面跳车仪标准装置，在相同条件下短时间重复测量 10 次，结果如表 6 所示

表 6 重复性测量结果

序号	路面跳车测量值/mm
1	30.5
2	30.6
3	30.2

序号	路面跳车测量值/mm
4	30.8
5	30.6
6	30.5
7	30.4
8	30.3
9	30.7
10	30.5
\bar{y}_i	30.51
$s(y_i)$	0.179
$s(y_i) / \bar{y}_i$	0.6%

由测量重复性引入的不确定度为：

$$u_2 = 0.0567\text{mm}$$

由测量重复性引入相对不确定度为：

$$u_{r2} = 0.19\%$$

7.4.3 合成相对标准不确定度的计算

1) 不确定度分量的汇总

路面跳车测量结果的相对标准不确定度分量汇总见表 7。

表 7 不确定度分量汇总

序号	不确定度来源	不确定度分量	类别	分布
1	标准装置引入的相对不确定度	$u_{c1} = 1.80\%$	B	正态
2	测量重复性引入的相对不确定度	$u_{r2} = 0.19\%$	A	/

2) 相对不确定度的合成

合成相对标准不确定度为：

$$u_{rc} = \sqrt{u_{c1}^2 + u_{r2}^2} \quad (15)$$

计算得： $u_{rc} = 1.81\%$ 。

7.4.4 合成相对扩展不确定度的计算

取 $k = 2$ ，则 $U_r = 3.7\%$ ，

当测量结果不确定度小于 5%时，一般取 $U_r = 5\%$ 。

7.4.5 不确定度的描述

路面跳车测量结果的相对扩展不确定度为：

$U_r = 5\%$ ， $k = 2$ 。