

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2012.02.023

逆反射测量系统计量检定技术

李 伟 , 朱传征

(交通运输部公路科学研究院, 北京 100088)

摘要: 针对目前交通运输行业缺少逆反射计量标准, 逆反射计量数据的准确性、有效性和统一性无法得到保证的情况, 以逆反射测量系统的工作原理和数学模型的研究为基础, 制定检定技术方案, 通过进行重复性试验、稳定性试验、不确定度评定和结果验证等技术建立起逆反射测量标准装置, 然后通过逆反射测量标准装置→逆反射标准物质→逆反射测量仪的路径进行量值传递, 从而建立起逆反射量值溯源传递链, 实现了逆反射性能的量值统一和计量准确, 填补了国家计量体系与交通计量体系在逆反射领域的空白。

关键词: 交通工程; 计量检定技术; 量值溯源; 逆反射测量系统

中图分类号: U491.5⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2012) 02-0132-04

Metrological Technology of Retroreflection Measurement System

LI Wei, ZHU Chuanzheng

(Research Institute of Highway, Ministry of Transport, Beijing 100088, China)

Abstract: At present, there is a lack of metrological standard of retroreflection in transportation industry. Accuracy, validity and unity of metrological data of retroreflection cannot be guaranteed. On the basis of working principle and mathematical model of retroreflection measurement system, metrological plan was worked out. By carrying out repeatability experiment, stability experiment, evaluation of uncertainty and verification of result, standard retroreflection measuring equipment was fabricated. Through the route of retroreflection standard equipment→retroreflection standard substance→retroreflectometer, the metrological chain was established, and value unity and accurate metering can be realized nationally. This work filled the blank of domestic metrological system and transport metrology in retroreflective field.

Key words: traffic engineering; metrological technology; value traceability; retroreflection measurement system

0 引言

逆反射材料在交通行业应用广泛, 主要用在交通标志、路面标线、突起路标等交通安全设施中, 对保障交通安全具有重要作用, 是影响公路工程建设整体水平的重要因素, 因此对逆反射材料(设施)质量的有效评价是当前交通专业一项极其重要的工作。逆反射性能是逆反射材料的关键技术指标, 对其进行计量是评价逆反射材料(设施)的最有效和直接的手段。

当前, 由于国内外使用的逆反射测量方法不尽统一, 计量仪器多种多样, 且交通运输行业缺少逆反射计量标准, 因此计量数据的准确性、有效性和统一性无法得到保证, 已不同程度的影响到量值统一、产品和工程质量, 甚至威胁到交通安全。因此, 开展逆反射测量系统计量检定技术的研究非常必要。

1 逆反射测量原理

交通标志、路面标线和突起路标的逆反射性能

收稿日期: 2011-04-06

基金项目: 交通运输部西部交通建设科技项目(2009318223108)

作者简介: 李伟(1981-), 女, 山东济南人, 工程师, 硕士研究生。(wei.li@rioh.cn)

采用逆反射系数和发光强度系数来进行评价。

对逆反射系数和发光强度系数的测量方法从工作原理上分为绝对测量法和相对测量法。相对测量法其量值传递依赖于参考标准物质的标准值, 绝对测量法依据基本的光学传感器进行测量, 从原理上分析, 应具有比相对测量法更高级别的计量学特性。本文通过建立逆反射测量标准装置来对逆反射性能进行计量的方法采用的便是绝对测量法的原理。

绝对测量法的原理是: 按一定角度把光源投射到逆反射试样上, 光接收器以一定角度接收反射光, 根据入射光和反射光的光强比来测定逆反射系数和发光强度系数, 见图 1。

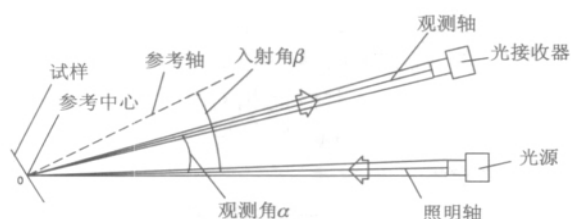


图1 绝对测量法原理

Fig. 1 Absolute measurement principle

2 逆反射测量数学模型

发光强度系数:

$$R_l = R - R_z, \quad (1)$$

逆反射系数:

$$R_A = \frac{R_l}{A}, \quad (2)$$

式中, R_l 是试样的发光强度系数; R 是标准装置测量示值; R_z 是杂散光的测量值; R_A 是试样的逆反射系数; A 是样品有效受光面积。

3 检定技术方案

计量标准是逆反射测量系统实现逆反射性能测量、量值溯源和传递等技术的环节。根据逆反射测量系统的工作原理和数学模型, 通过计量学理论分析、试验研究和数值分析的方法, 结合有效的溯源技术和专业特点, 研究建立逆反射测量标准装置。

3.1 标准装置组成

逆反射测量标准装置主要由逆反射测量单元、标准夹具, 标准 A 光源、观测角调节器、入射角调节器 (即光接收器) 和计算机控制系统组成, 如图 2 所示。

3.2 量值溯源途径

根据对逆反射测量系统的工作原理和数学模型的计量学分析得出, 逆反射测量标准装置向国家计

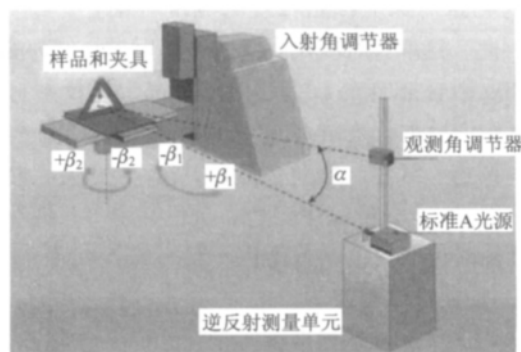


图2 逆反射测量标准装置构成图

Fig. 2 Schematic diagram of standard retroreflection measurement equipment

量基 (标) 准的量值溯源主要分为两部分: 光学部分和长度部分, 采用向国家计量检定机构送检的方式实现量值溯源。

光学部分指逆反射测量单元与标准 A 光源, 由国家一级光照度标准装置对其进行量值传递; 长度部分指标准夹具的样品面积, 由国家标准量块对其进行量值传递。两项共同建立起标准装置向国家计量标准的量值溯源途径, 然后通过标准装置向标准物质的赋值实现本级的量值传递, 见图 3。

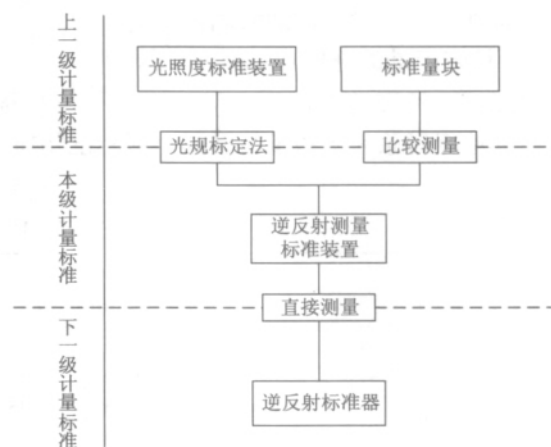


图3 逆反射标准装置量值溯源图

Fig. 3 Value traceability of standard retroreflection measurement equipment

3.3 重复性试验

重复性是标准装置的主要计量特性之一, 它是指在相同的条件下, 重复测量同一个被测量, 标准装置提供相近示值的能力。

3.3.1 测量对象的选择

重复性测量所引入的不确定度, 是测量结果不确定度中的一个分量, 因此为了使评定得到的不确定度可以用在大多数的同类测量中, 重复性试验所

采用的测量对象应该是常规的测量对象。

因此,选取3种应用广泛的逆反射材料作为测量对象:逆反射标志样品、突起路标样品、逆反射标线样品。其中逆反射标志样品选取1级、3级、5级样品中白色、黄色、红色、绿色、蓝色共15个;突起路标样品选取1级、2级样品中白色、黄色共4个;逆反射标线标准样品选取白色、黄色共2个。

3.3.2 重复性试验方法

采用逆反射测量标准装置,在相同的测量条件下,对选定的逆反射样品分别进行10次独立重复测量,并在连续时间内完成,根据式(3)进行重复性计算。

$$s(y_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}, \quad (3)$$

式中, $s(y_i)$ 是重复性; $\bar{y}$ 是 n 次测量结果的平均值; n 是重复测量次数。

以1级白色突起路标为例,试验数据如表1所示。

3.4 稳定性试验

稳定性是标准装置的另一个主要特性,它是指标准装置保持其计量特性随时间恒定的能力。

3.4.1 核查标准的选择

根据核查标准选择原则,对于逆反射测量标准装置,其检定对象为实物量具(逆反射标准物质),

表1 重复性测试数据

Tab. 1 Result of repeatability measurement

序号	$\alpha = 0.2^\circ$			$\alpha = 0.33^\circ$	
	$\beta_2 = 0^\circ$	$\beta_2 = 20^\circ$	$\beta_2 = 20^\circ$	$\beta_2 = +6^\circ$	$\beta_2 = 6^\circ$
1	1 452.9	1 264.8	1 153.3	859.1	759.1
2	1 451.0	1 264.4	1 153.1	859.4	760.4
3	1 461.2	1 263.6	1 152.7	860.0	759.8
4	1 451.6	1 264.3	1 152.1	859.1	760.0
5	1 451.3	1 264.9	1 152.8	859.4	760.1
6	1 450.8	1 264.8	1 162.9	859.5	759.4
7	1 449.7	1 265.9	1 153.3	859.6	759.7
8	1 450.3	1 266.0	1 152.1	858.0	759.3
9	1 450.8	1 266.5	1 153.9	857.3	759.3
10	1 451.6	1 267.4	1 154.7	859.9	759.5
$s(y_i)$	0.85	1.16	0.79	0.85	0.41

应选择性能比较稳定的实物量具作为核查标准,因此根据经验选取逆反射性能相对稳定的3级白色逆反射标志样品作为核查标准。

3.4.2 稳定性试验方法

采用逆反射测量标准装置对核查标准每隔1个月(及以上)进行1组10次的重复测量,共进行6组,并根据式(4)进行稳定性考核,考核结果如表2所示。

$$V_R < U \cdot \bar{X}, \quad (4)$$

式中, V_R 是稳定性,是6组测量结果中的最大值与最小值之差; $\bar{X}$ 是6组测量结果的平均值; U 是逆反射测量标准装置的自身不确定度。

表2 稳定性考核结果

Tab. 2 Result of stability checking

序号	$\alpha_2 = 0^\circ$			$\alpha_2 = 0.33^\circ$			$\alpha = 0.2^\circ$		
	$\beta_1 = -4^\circ$	$\beta_1 = +15^\circ$	$\beta_1 = +30^\circ$	$\beta_1 = -4^\circ$	$\beta_1 = +15^\circ$	$\beta_1 = +30^\circ$	$\beta_1 = -4^\circ$	$\beta_1 = +15^\circ$	$\beta_1 = +30^\circ$
1	313.01	307.06	302.98	213.12	213.49	213.04	20.96	20.47	19.63
2	314.45	310.18	305.56	212.83	212.44	212.90	20.77	20.53	19.87
3	314.55	313.23	308.86	215.35	214.93	213.31	20.80	20.49	19.73
4	314.11	312.88	308.30	215.05	214.78	212.94	20.69	20.63	19.96
5	313.56	312.07	308.14	213.74	213.07	212.94	20.79	20.60	19.86
6	313.50	312.1	308.09	213.72	213.09	211.71	20.84	20.60	19.88
V_R	1.55	6.17	5.88	2.51	2.50	1.61	0.27	0.16	0.33
$U \cdot \bar{X}$	14.44	14.32	14.12	9.34	9.83	9.78	0.96	0.95	0.91
判定	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格

3.5 不确定度分析

计量标准的不确定度是指用该计量标准检定或校准被测对象时,该计量标准在测量结果中所引入的不确定度分量,其中不应包括由被测对象、测量方法以及环境条件等对测量结果的影响。

对于逆反射测量标准装置,其不确定度来源主要包括国家计量检定部门证书信息中标准装置的示

值误差、国家计量检定部门校准结果的不确定度、装置在最佳工作状态下的重复性、角度误差等因素。

同时,选取白色3级逆反射标志样品和白色1级突起路标样品作为不确定度评定的试验样品,这2种样品受外界条件的影响较小,能间接表现出标准装置的最佳测量状态。

依据《JJF 1059-1999 测量不确定度评定与表

示》,对标准装置的各不确定度分量进行评定,计算合成标准不确定度;并取包含因子 $k=2$,计算得到标准装置的扩展不确定度:

$$U = 4.6\% \quad k = 2。$$

3.6 检定/校准结果验证

为了客观、公正的评价逆反射测量标准装置的工作现状,包括其量值溯源的准确可靠性、量值传递的准确一致性、测量结果的准确程度、检定人员的技术水平等,我实验室组织其他3家国际国内实验室开展了实验室间比对工作。

根据重复性试验测量对象的选取原则,选取应用广泛的逆反射标志样品、突起路标样品、逆反射标线样品作为比对样品,并根据比对验证方法的原理对测量数据进行分析,见式(5)。

$$|y_{\text{lab}} - \bar{y}| \leq \sqrt{\frac{n-1}{n}} U_{\text{lab}}, \quad (5)$$

式中, y_{lab} 为组织实验室的测量值; U_{lab} 为组织实验室的测量不确定度; $\bar{y}$ 是比对参考值(参加实验室测量结果的平均值); n 是参加实验室的个数。

经过对全部比对试验数据的统计分析可知,我方实验室对传递标准的所有测量结果均为可以接受。

以白色突起路标比对样品为例,比对结果如表3所示。

表3 比对结果

Tab.3 Result of comparison

序号	$\alpha = 0.2^\circ$			$\alpha = 0.33^\circ$	
	$\beta_2 = 0^\circ$	$\beta_2 = +20^\circ$	$\beta_2 = -20^\circ$	$\beta_2 = +5^\circ$	$\beta_2 = -5^\circ$
实验室1(y_{lab})	964.0	394.20	365.80	648.90	672.70
实验室2	902.67	338.19	371.45	605.05	655.68
实验室3	974.71	397.48	399.89	655.73	670.57
实验室4	937.40	422.80	345.0	596.90	648.50
$\bar{y}$	944.69	388.18	370.54	626.64	661.86
$ y_{\text{lab}} - \bar{y} $	19.30	6.06	4.71	22.23	10.83
$\sqrt{\frac{n-1}{n}} U_{\text{lab}}$	42.58	17.41	16.16	28.66	29.71
判定	可以接受	可以接受	可以接受	可以接受	可以接受

3.7 量值传递途径

逆反射测量标准装置对逆反射标志标准器组、突起路标标准器组、逆反射标线标准器组等标准物质进行赋值后,根据检定规程JJG 059-2004《逆反射测量仪》,采用赋值的标准物质对便携式逆反射测量仪等工作计量器具进行检定,从而建立起一条从计量标准到工作计量器具的完整的逆反射量值溯源传递途径。

4 结语

本文通过对逆反射测量系统计量检定技术的研究,建立了逆反射测量系统有效的量值溯源传递途径,补充和完善了国家计量检定体系,对保证交通建设的质量和运营的安全要求,实现社会的和谐发展有重要意义。

参考文献:

References:

- [1] 苏文英,王玮. 道路交通安全设施计量检测技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
SU Wenying, WANG Wei. Metrological Test Technology of Road Traffic Safety Facilities [M]. Beijing: China Communications Press, 2008.
- [2] 顾龙芳. 计量学基础 [M]. 北京: 中国计量出版社, 2008.
GU Longfang. Metrology Basis [M]. Beijing: China Metrology Publishing House, 2008.
- [3] CIE54. 2-2001, Retroreflection: Definition and Measurement [S].
- [4] ASTM E810-03, Standard Test Method for Coefficient of Retroreflection of Retroreflective Sheeting Utilizing the Coplanar Geometry [S].
- [5] ASTM E2177-11, Standard Test Method for Measuring the Coefficient of Retroreflected Luminance (R_L) of Pavement Markings in a Standard Condition of Wetness [S].
- [6] JJG 059-2004, 逆反射测量仪 [S].
JJG 059-2004, Retroreflectometer [S].
- [7] JJF 1033-2008, 计量标准考核规范 [S].
JJF 1033-2008, Rule for Examination of Measurement Standard [S].
- [8] JJF1059-1999, 测量不确定度评定与表示 [S].
JJF1059-2009, Evaluation and Expression of Uncertainty in Measurement [S].
- [9] 白媛媛, 朱传征. 逆反射体光度性能测试技术分析 [J]. 照明工程学报, 2010, 21 (5): 7-10.
BAI Yuanyuan, ZHU Chuazheng. Analyze for Photometric Performance Test Technology of Retroreflector [J]. China Illuminating Engineering Journal, 2010, 21 (5): 7-10.
- [10] 苏文英, 李丹, 王振华. 旋转角对道路交通逆反射材料测试的影响研究 [J]. 公路交通科技, 2011, 28 (1): 112-115.
SU Wenying, LI Dan, WANG Zhenhua. Study on Effect of Rotation Angle on Testing of Retroreflection Materials for Road Traffic [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2011, 28 (1): 112-115.