反光材料安全防护作用研究*

刘　琦[1]，王　岩[2]，韩晓宁[2]，龚　龑[2]**
(1. 北京服装学院校服设计研发中心，北京 100029; 2. 北京服装学院材料科学与工程学院，北京 100029)

摘　要: 通过对反光材料安全防护作用的相关标准介绍和理论分析，说明 GB/T 28468—2012《中小学生交通安全反光校服》中对反光校服安全防护性能要求的科学性和重要性，为反光校服及其他中小学用反光安全防护产品的生产、使用、监督检验和规范化管理提供科学依据和参考.

关键词: 反光材料; 学生防护; 安全警示
中图分类号: TB34; TS941. 79　　文献标志码: A　　文章编号: 1001 - 0564(2015) 01 - 0032 - 07
DOI:10.16454/j.cnki.issn.1001-0564.2015.01.006

近年来，随着我国改革开放的深入，经济不断发展，汽车保有量不断增加，预计 2030 年汽车保有量将达到 2. 3 亿 ~ 2. 5 亿辆，将是 2010 年的 4. 6 倍[1]，汽车保有量的大幅增加对土地、能源、环保带来巨大压力的同时也势必对公共交通安全造成压力. 纵观近几年的交通安全情况，交通事故数量逐年增加，特别是安全意识较低的学生群体，更易发生交通事故[2]. 根据公共卫生相关组织调查显示，交通事故是造成 14 岁以下儿童致死的首因[3-4]，因此解决中小学生交通安全问题迫在眉睫. 高可视性服用材料在白天任何光线条件下及夜间车前灯的照射下，能够保证穿着者具备一定的可视性. 充分利用高可视性材料的优势，使其规范化应用于中小学生交通安全的预防上，对科研及相关标准制定都有很大价值.

1　反光材料在安全防护方面的发展

高可视性材料主要包括醒目的彩色荧光材料和具有逆反射性能的反光材料. 一直以来由于我国没有关于服用反光材料性能的标准，也没有相关法律、法规的约束，加上人们对反光服装、逆反射材料知识的缺乏[5]，反光服饰在我国应用并不广泛，特别是与中小学生交通安全防护息息相关的反光校服、反光书包等在国内相关报道较少. 虽然也有部分学校应用了反光校服[6]，但对其是否“高可视”，是否能被司机在一定距离外看见，是否起到了安全防护作用还知之甚少. 经调研发现，一些反光校服无论从材料的光学性能、物理性能及服装的设计款式上都存在着严重的技术缺陷，起不到安全警示作用. 为了使反光校服能更加有效地为学生们起到安全防护作用，必须对其质量和可视性能加以规范.

1. 1　反光材料在职业警示服中的标准及应用

反光材料的应用主要体现在职业服装上，特别是对可视性要求极高的警示服上. 由国家

收稿日期: 2014 - 09 - 11
* 基金项目: 教育部教学仪器设备研究项目《中小学生交通安全反光书包标准的研究》
作者简介: 刘　琦(1980 -)，女，讲师.
** 通讯联系人 E-mail: 2205206742@ qq. com

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

安全生产监督管理局安全科学技术研究中心和 3M 中国有限公司共同起草的国家标准 GB 20653—2006《职业用高可视性警示服》已于 2006 年 12 月 9 日由国家安全生产监督管理总局正式颁布,并于 2007 年 7 月 1 日起开始实施. 该标准为我国从业人员安全警示服装的配备提供了重要依据,并规定了高可视性警示服的特殊要求、颜色、逆反射性能、试验方法及标志.

1.2　反光材料在中小学校服中的标准及应用

由内蒙古自治区公安厅交通管理总队和浙江道明光学股份有限公司共同起草[7]的国家标准 GB/T 28468—2012《中小学生交通安全反光校服》,已于 2012 年 6 月 29 日由国家质检总局正式颁布,并于 2012 年 12 月 1 日起开始实施. 该标准的实施使反光校服的生产、检测和使用得到规范,使其安全防护作用得到应有的发挥. 同时也为中小学生用反光材料相关服饰及用品等的研发和创新提供了标准化依据.

2　反光材料在中小学生交通安全中的防护作用

反光材料因其颜色醒目的基底材料(荧光黄色、荧光桔红色、荧光红色)和逆反射材料的双重效果,在视觉上使穿着者在白天任何光线条件下及夜间车前灯的照射下,都能与周围环境形成鲜明的反差,使穿着者具备一定的可视性. 学生穿着反光校服可以使司机明显地观察到穿戴者,为停车或采取避让行动提供了充足的反应时间. 反光材料可视性的提高主要有 2 个方面: 1) 增大材料本身与周围环境的对比度; 2) 增加反光材料在服装上的使用面积,在 GB/T 28468—2012 中,对反光校服的高可视性要求有着明确规定.

2.1　反光校服、书包等特殊设计要求

反光校服、书包等主要是在光源照射下具有强逆反射性能,能够显著提高穿着者被辨识力. 1 项新的试验得出,驾驶员在行车时从看见—识别危险—决定行动—开始行动—行动完成需要 10 s 以上[8],而行驶的速度越快需要的时间越长,见表 1.

表 1　行驶速度反应时间与制动距离

速度/($km \cdot h^{-1}$)	时间/s	距离/m
48	10.5	140
97	14.5	304

为了使中小学生身着反光校服、书包等时在日常环境下十分醒目,规范和提高反光布设计要求十分重要. 标准中规定上衣的正面和背面、双袖的侧面和后面,裤子的两侧,应缝(贴)制反光布,保证从任意角度均可观察到反光校服上的反光. 双袖反光布缝(贴)制的位置与袖口的距离应不小于 50 mm. 上衣背面缝(贴)制的反光布,不应被学生书包完全遮挡. 反光布有效宽度应不小于 20 mm,使用条形反光布的,上衣和裤子缝(贴)制反光布各段长度之和应不小于裤长的 2.3 倍. 其中,裤子上缝(贴)制反光布长度之和应不小于 500 mm. 使用非条形反光布的,其面积应不小于条形反光布的面积. 反光书包等其他用品的特殊设计需求也可参考上述反光校服设计原理.

2.2　反光材料的物理性能及质量要求

根据可视性材料的最小面积,材料可视性分 3 个等级,3 级可视性高于 2 级,2 级可视性高

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

于 1 级. 反光材料的逆反射性能是检测反光布是否合格的重要指标之一,其直接关系到反光书包的安全防护性能.

反光材料的反光性能通常用逆反射系数和反光亮度值 CIL 来表示: $CIL = R' \times A$. 早在 1975 年,Berggrund 和 Rumar 就揭示了亮度值与可视距离的关系[6],如图 1 所示.

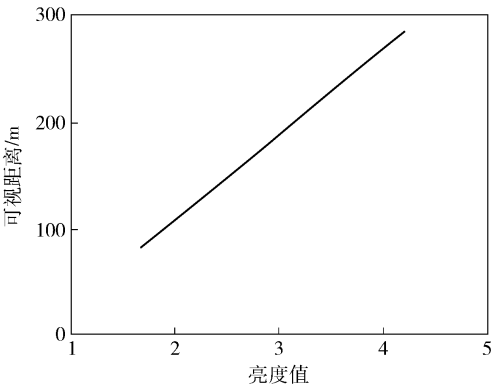


图 1 亮度值与可视距离的关系

由图 1 可见,亮度的对数与材料的可视性距离呈线性正比关系,一定范围内,反光亮度越高,材料的可视性距离就越远. 在材料使用面积一定的情况下,逆反射系数越大,反光亮度越高,材料的可视距离就越远. 根据相关专家的建议,根据我国路况复杂的实际情况,在原有的 1 级和 2 级反光材料基础上,增加了 1 个更高级别的反光材料,即 3 级反光材料. 3 级反光材料的最小逆反射系数见表 2.

表 2 3 级反光材料最小逆反射系数 cd/(lx·m²)

入射角/(°)	观测角/(°)			
	0.20	0.33	1.00	1.05
5	400	270	25	10
20	330	240	15	7
30	200	175	12	5
40	70	60	10	4

标准还规定了反光布在经 50 次水洗后,在 12′观测角、5°入射角条件下,逆反射系数应大于 100 cd/(lx·m²). 经耐磨、屈挠、低温弯曲和温度变化试验后,在 12′观测角、5°入射角条件下,逆反射系数应大于 100 cd/(lx·m²). 同时还规范了逆反射系数实验方法. 实践测试数据见表 3.

表 3 反光材料——8925 银灰反光布测试数据 cd/(Lx·m²)

初始 CPL 值					物理实验后 CPL 值(5°入射角,12′观测角)							
观测角	入射角/(°)				磨损	屈挠试验	冷折叠	高低温性能	水洗 25 次	干洗	雨淋	
	5	20	30	40							0°	90°
12′	524	512	444	285	457	505	503	504	433	501	149	145
20′	380	370	334	223								
1°	33.1	38.6	33.5	30.1								
1°30′	18.7	19.7	20.5	11.5								

标准 GB/T 28468—2012《中小学生交通安全反光校服》规定的基底材料和非荧光材料色牢度要求包括耐摩擦色牢度、耐汗渍色牢度、耐水洗色牢度、耐干洗色牢度、耐次氯酸盐漂白色

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

牢度和耐热压色牢度. 色牢度可根据表 4 规定的性能要求和试验方法确定.

表 4　色牢度要求

要求	最低色牢度等级		试验方法
	基底材料	反光材料	
耐摩擦		变色: >4; 变色: >4	GB/T 3920
耐汗渍		变色: >4; 沾色: >3	GB/T 3922
耐水洗	变色: 4 ~ 5; 沾色: 4 ~ 5	变色: 3 ~ 4; 沾色: 4 ~ 5	GB/T 12490—1990
耐干洗	变色: 4; 沾色: 4	变色: 4;　沾色: 4 ~ 5	GB/T 5711
耐次氯酸盐漂白	变色: 4;	变色: 4;	GB/T 7069
耐热压	变色: 4 ~ 5; 沾色: 4	变色: 4;　沾色: 4	GB/T 6152

2.3　反光材料的检测方法

2.3.1　设备及要求

山东纺织科学研究院制的 LFY-224E 型逆反设系统测定仪可适用于《职业用高可视性警示服》中 3 级反光材料标准的测定,同时也有 3M 公司所用专业逆反射测定仪器 road vista 933 逆反射测试工作站及其他系列产品,其测试效果更为精确,测试过程更为简便.

观测角应能在 12′ ~ 2.0°范围内连续可调,最小分度值不应大于 6′; 入射角应能在 0° ~ 40°范围内可调,最小分度值为 1°.

2.3.2　试验环境

调湿和试验用标准大气,温度(20 ± 2) ℃,湿度 65% ± 5%,测试距离依材料性能需求和仪器不同而定.

2.3.3　试样要求

从书包上不同部位反光布截取 20 mm × 20 mm 的试样 5 块.

2.3.4　逆反射系数测试步骤

1) 样品需放置在规定的试验环境中达到所需时间后开始测试.

2) 调整逆反射系数测量仪的入射角和观测角至规定条件,用已计量的标准逆反射系数板(或桶)进行标定.

3) 将被测 5 块试样顺序放在仪器的测量孔下(试样应全部覆盖测量孔),待数据稳定后即可记录数值.

4) 测量时,仪器与转动台平面垂直紧密结合,以防数据不准.

5) 当变换不同的观察角时,要重新校准.

6) 记录 5 块试样的逆反射系数值,精确到 0.1 cd/(lx·m^2).

2.3.5　结果计算

检测结果以所测 5 块试样的算术平均值修约到整数报出.

2.4　逆反射材料的安全警示作用

2.4.1　逆反射材料的反光原理

逆反射材料一般是由玻璃微珠[10](或微棱镜)和起镜面作用的反射层以及起支撑作用的基材(织物、塑料等)组成,前 2 者构成了逆反射的光学系统. 当 1 束光线入射到该材料表面后,经球形透镜反射,反射光大部分回到光源方向. 如果将每 1 个反射元素(微珠)及反射层构

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

成的光学系统看做 1 个反光点,那么逆反射材料就是由许多个分布均匀的反光点构成的定向反射膜层,如图 2 所示.

逆反射也称回归反射[11]. 逆反射入射光和反射光位于法线同侧,其原理可从图 2 和 3 的定向反光光路图中看出.

当一束光 Ⅰ 射向玻璃微珠时,在微珠表面 P 点发生折射,折射光在 A 点发生镜面反射,然后在 P' 点再发生折射,返回光源.

由图 1 可知,$\angle\alpha = \angle PAO$(同位角),据反射定律 $n\sin\angle PAO = n'\sin\angle P'AO$,而在玻璃微珠内部反射 $n = n'$ $\therefore$ $\angle PAO = \angle P'AO$,由光路的可逆性 $n\sin\alpha' = n'\sin\angle P'AO = n\sin\angle PAO = n\sin\alpha$ $\therefore$ $n\sin\alpha' = n\sin\alpha$,即 $\alpha = \alpha'$,则 Ⅰ // Ⅰ′. 入射光 Ⅰ 平行于反射光 Ⅰ′意味着 1 个反射单元对 1 束平行光的反射光也将是 1 束平行光,而由于微珠很小(250 ~ 400 目),所以反射光束的光轴和入射光束的光轴几乎重合,也就是反射光是向光源方向返回,即定向反光原理.

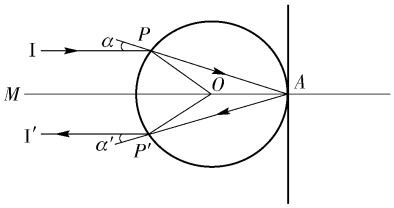
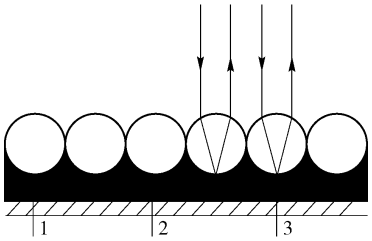


图 2 微珠定向反光光路图



1—玻璃微珠; 2—反射层; 3—基材.

图 3 反光系统示意图

2.4.2 逆反射材料的安全警示作用

反光原理只是理论上的分析,是理想的逆反射现象,理想的逆反射体将光线沿着入射光轴全部反射回光源,而这种反射用处并不大,因为这样的标志膜会将所有入射光反射回光源,而不会有任何光被观察者的眼睛接收,实际上没有理想的逆反射膜,所有的反射膜都将入射光线以光锥形式反射回去,该光锥的轴线是入射光光径,其中大部分光强都集中在轴线附近,离轴线越远,光强越弱,这种发散的光回归方式,到达驾驶者眼睛的光是沿着略偏于入射光径的路径返回的光线,如图 4 所示. 这 2 条路径(入射路径和反射路径)之间的夹角称为观察角.

对于远距离的机动车来说,反射光线的路径仅仅微偏于入射光线的路径,这意味着远距离处观察者的观察角非常小,随着车辆逐渐驶近标志,观察角也不断增大,光线向较大观察角的发散对驾驶者来说极为重要,因为这样可确保在不同距离处,标志都能被看见. 在车辆行驶过程中,判断反光膜是否具有持续夺目的能力,就看其在较大观察角是否具有一定的亮度. 目前测试设备已可精确测出在高达 2°的观察角条件下反光膜的亮度.

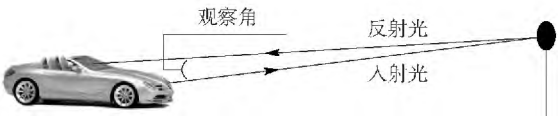


图 4 观察角示意

由于逆反射材料具有将入射光反射回光源的特性,因此它在夜间或灰暗处对光源射来光线的反射效果尤为突出,这使处于光源处的观察者能在较远的地方就发现它的存在,并做出反应. 这一特性被应用在公路标志、警示牌、警示服、矿井下的警示标志等.

有关部门最新研究得出的驾驶者在行车时从发现问题到作出决定并完成安全行动所需的

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

实际时间见图 5.

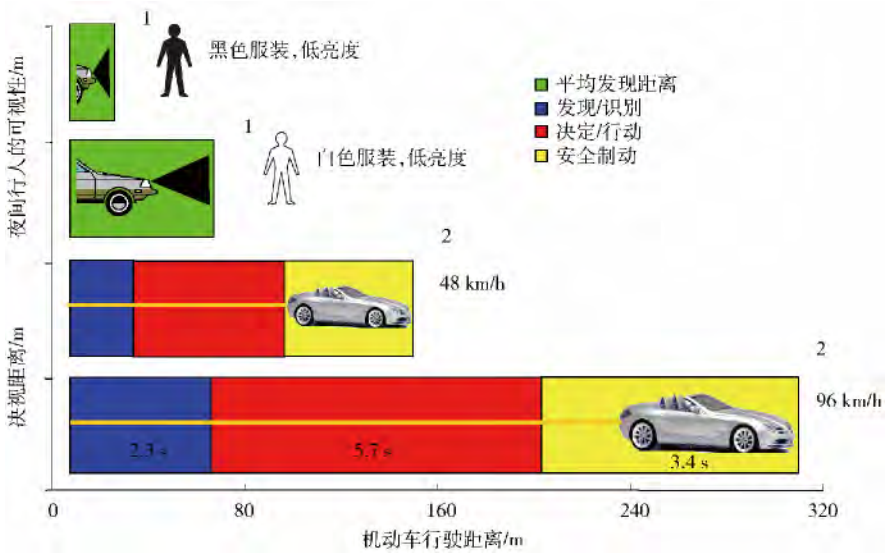


图 5　决定视距示意

随着交通事业的飞速发展,车辆越来越多,车速越来越快,当车速为 100 km/h,驾驶者通常需要至少 380 m 的距离[12]来识别标志及做出反应,而逆反射材料的高反光特性恰恰解决了这一问题.

3　结　语

反光材料主要是在光源照射下,具有强逆反射性能、能够显著提高穿着者存在辨识力的可视材料. 国家标准 GB/T 28468—2012《中小学生交通安全反光校服》的制定是以我国现行法律、法规和有关标准为依据,并结合了我国目前的实际情况,对反光校服的质量和性能作出具体规定. 同时根据国内相关检测技术发展情况,规范了中小学交通安全防护产品的检测手段,以便质量监督检验机构对个体防护用品进行监督检验. 目前,反光校服在我国尚未被广泛使用和推广,中小学用反光书包等产品更是极少被人们关注. 标准的实施将会促进和规范服装产业在中小学安全防护用品上的发展,使中小学生交通安全有一个切实的保障.

参　考　文　献

[1] 马艳丽,高月娥. 我国未来汽车保有量情景预测研究[J]. 公路交通科技,2007(1):121-125.
[2] 陈静英. 婺城区 2009—2011 年 15 岁以下儿童死因分析[J]. 中国农村卫生事业管理,2013(3):311-312.
[3] 杨建. 2004—2008 年渠县 14 岁以下儿童步行者道路交通伤害事故流行特征分析[J]. 预防医学情报杂志,2010(3):192-194.
[4] 张岚,戴馨,胡晓云. 儿童伤害的类型、危险因素及预防措施[J]. 公共卫生与预防医学,2011(2):69-72.
[5] 郭子山,吴文宜. 纺织品反光性能及其测试研究[J]. 中国纤检,2014(8):72-74.
[6] 记者 郝文婷. 内蒙古推广反光交通安全校服[N]. 中国教育报,2011-09-22(1).
[7] 宋洋,王雪松. 中小学生交通安全教育现状分析与改进策略研究[J]. 中国安全科学学报,2013(2):153-159.

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[8] 董会君,葛玥,李晓平. 高可视性警示服的安全防护作用研究[J]. 中国安全生产科学技术,2007,3(3):53-57.
[9] 李雄. 基于运营安全的隧道环境保障技术[D]. 重庆:重庆交通大学,2013.
[10] 周金磊. 空心玻璃微珠/环氧树脂复合材料的制备及性能研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2013.
[11] 徐恩明. 一种新型成像系统及回归反射材料的研究[D]. 安徽:安徽大学,2006.
[12] 杜勇. 基于面部信息的驾驶者疲劳状态分类方法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012.

Safety Protection of Reflective Materials

LIU Qi[1], *WANG Yan*[2], *HAN Xiao-ning*[2], *GONG Yan*[2]
(1. Uniform Design R&D Center, Beijing Institute of Fashion Technology, Beijing 100029, China;
2. School of Materials Science and Engineering, Beijing Institute of Fashion Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: In this paper, the national standards of reflective materials applied inChina for safety protection are briefly reviewed. The theories related to these kinds of materials for safety protection are presented. Particularly, the requirements in design, quality and performance of reflective materials with reference to the national standard GB/T28468—2012, "The Traffic Safety Reflective Uniform for Primary and Middle School Students", are explained in detail, which provides the scientific basis and reference for the production, application, supervision and inspection of uniforms for primary and secondary students.

Key words: reflective material; safety protection; national standards; student uniforms

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net