



T/CECS G XXXX: 2021

中国工程建设协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路隧道内装漫反射材料应用
技术规程

Specification for technical application of diffuse reflector
materials in highway tunnels

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

(空白)

征求意见稿

中国工程建设协会标准

公路隧道内装漫反射材料应用技术规程

Specification for technical application of diffuse reflector materials in
highway tunnels

T/CECS G: DXX-XX-2021

主编单位：中铁长江交通设计集团有限公司
重庆交通大学

批准部门：中国工程建设标准化协会

实施日期：2021年XX月XX日

人民交通出版社股份有限公司

前 言

为规范内装漫反射材料在新建、改建以及既有公路隧道工程中的应用，起到提升隧道运营环境品质的作用，制定了本规程。

本规程在编制过程中，经过编制组的广泛调研和专题研究，充分吸收了国内外应用漫反射材料的成功经验，采纳了经实践证明行之有效的成果，并在广泛征求意见的基础上制定而成。

本规程按照《中国公路学会标准编写规则》（T/CHTS 10001）编制，共分6章、1个附录，主要内容是：1 总则；2 术语；3 基本规定；4 设计；5 施工；6 运营维护。

请注意本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程实施过程中，请将发现的问题和意见、建议反馈至中铁长江交通设计集团有限公司（地址：重庆市渝北区财富大道17号财富2号C栋；联系电话：；电子邮箱：）、重庆交通大学（地址：重庆市南岸区学府大道66号；联系电话：；电子邮箱：），供修订时参考。

本规程由中铁长江交通设计集团有限公司、重庆交通大学提出，受中国工程建设标准化协会委托，由中铁长江交通设计集团有限公司、重庆交通大学负责具体管理。

主编单位：中铁长江交通设计集团有限公司

重庆交通大学

参编单位：

主 编：刘小辉

主要参编人员：

主 审：聂承凯

参与审查人员：

参 加 人 员：

目次

1 总 则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语.....	2
2.2 符号.....	3
3 基本规定	4
4 材料新能	5
4.1 工程性能要求	5
4.2 材料功能要求	9
5 设计	10
5.1 一般规定	10
5.2 铺装要求	10
5.3 节能设计	10
5.4 应急救援设计要求	12
6 施工	14
6.1 一般规定	14
6.2 漫反射涂料施工质量要求	15
6.3 漫反射反光膜施工质量要求	16
6.4 漫反射反光板施工质量要求	16
7 验收	18
7.1 一般规定	18
7.2 验收指标	18
8 运营维护	20
8.1 一般规定	20
8.2 日常清洁	20
8.3 修复更换	22
附录 A 漫反射材料的节能实测数据分析	

1 总 则

1.0.1 为提升公路隧道运营环境品质，增强运营安全性能、改善光环境质量，指导内装漫反射材料在公路隧道中的应用，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于新建、改建公路隧道和既有隧道品质工程提升的设计、施工及运营维护。

1.0.3 公路隧道合理应用内装漫反射材料，可提高照明的质量要素，提高安全性和行车舒适性，促进公路隧道的节能与环保。

1.0.4 本规程涉及到内装漫反射材料的性能、设计、施工、管养等内容，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

征求意见稿

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 漫反射材料 Diffuse reflective material

对射入材料表面的光产生光色一致反射并具有高反射比且不产生眩光（光斑）的材料，可分为涂料、膜材、板材等类型。

2.1.2 漫反射涂料 Reflective coatings

涂装物体表面具备反光特性并呈固态涂膜的一类漫反射材料。

2.1.3 漫反射膜 Reflective film

一种薄膜状可直接铺贴的漫反射材料。

2.1.4 漫反射板 Reflective panel

一种呈型板状可直接铺贴或挂铺的漫反射材料。

2.1.5 蓄能（反光）发光材料 Energy-storing and (reflective) luminescent material

一种在光照条件下能吸收储存并自发光的材料。

2.1.6 余辉亮度 Afterglow luminance

激发光源停止照射后，单位面积的发光表面沿法线方向所产生的发光强度。

2.1.7 余辉亮度持时 Afterglow luminance lasting

激发光源停止照射后，蓄能（反光）发光材料的发光亮度降至 $0.32\text{mcd}/\text{m}^2$ 时的持续发光时间。

2.1.8 路面亮度增量值 Incremental value of pavement luminance

公路隧道在内装漫反射材料后，隧道路面平均亮度的提升率。

2.1.9 亮度设计节能系数 Luminance design energy-saving coefficient

由于内装漫反射材料对隧道光源的反射作用，反射到路面的光提升了路面亮度，进而产生了照明设计节能效果。因此，亮度设计节能系数可定义为：相同路面亮度下，铺装后的照明功率与铺装前的照明功率之比。

2.1.10 安全识别距离 Safety recognition distance

从驾驶员发现前方障碍物，并经纵览、判断、决策、刹车制动直至车辆安全停止所需的

行驶距离。

2.1.11 墙面反射率 Wall reflectivity

隧道侧壁的反射光照度与入射光照度的百分比，称为墙面反射率。

2.1.12 侧壁内装高度 Pavement height of tunnel sidewall

隧道侧壁所铺设的漫反射材料顶部至检修道的垂直高度。

2.2 符号

mcd/m^2 ——亮度单位

征求意见稿

3 基本规定

3.0.1 采用漫反射材料涂装的隧道，其内装品质应满足运营环境安全、舒适和美观要求。

3.0.2 公路隧道内装漫反射材料主要包括满足漫反射性能指标的漫反射涂料、漫反射膜、漫反射板等，其反射率应不低于 0.7。

【条文说明】

反射率指反射亮度与入射亮度百分比。按 HG/T 4915-2016《白色反射膜反射率的测定方法》的方法进行。

根据研究表明，墙面材料的反射率不同，对路面亮度的增益效果亦不同。随着反射率的增加，在相同照明系统条件下的路面亮度越高，意味着在达到相同亮度水平下，高反射率的墙面材料可以适当降低照明系统的功率以达到规定照明要求。

3.0.3 为提升隧道的应急救援诱导功能，宜采用满足漫反射性能指标的蓄能（反光）发光材料。

【条文说明】

长度 500m 以下，未设置夜间照明的隧道，为实现诱导功能，可优先选用蓄能发光材料提供的余辉亮度辅助应急救援。

3.0.4 隧道侧壁内装材料在车辆行驶过程中应满足眩光限制要求，阈值增量 TI (%) 最大初始值应小于 15。

【条文说明】

CIE 88-2004 规定眩光阈值增量必须小于 15%。

3.0.5 采用漫反射材料铺装的公路隧道，其照明质量应满足现行行业标准《公路隧道照明设计细则》(JTG/T D70/2-01-2014) 相关规定。

3.0.6 漫反射材料的运输、储存、施工作业应满足《安全生产法》、《建筑法》、《建设工程安全生产管理条例》等相关法规的要求。

4 材料新能

4.1 工程性能要求

4.1.1 漫反射材料应具有不易燃、不助燃、不产烟等性能，其耐火指标应满足表 4.1.1-1 要求。最低标准不低于 GB8624-2012《建筑材料及制品燃烧性能分级》表一中的 B1 等级。

表 4.1.1-1 耐火阻燃指标

材料类型	漫反射材料
质量损失/g	≤4
炭化体积/cm ³	≤22
标准升温时间/min	≥55

【条文说明】

试验方法可以参照 GB12441-2018《饰面型防火涂料》与 GB28375-2012《混凝土结构防火涂料》相关试验方法执行。目前，大部分地区已不再使用防火涂料，漫反射材料可以规定有一定的不易燃、不助燃、不产烟特性，但不是防火涂料的替代品，故可不做强制性要求。如果建设单位要求要做防火涂料，则先做防火涂层。

4.1.2 漫反射材料不应采用有毒有害物质，其毒性和放射性应符合现行《建筑用墙面涂料中有害物质限量》相关规定要求。

【条文说明】

(1) 现行国标《建筑用墙面涂料中有害物质限量》(GB18582-2020)对有害物质的限定值如下表所示。

水性墙面涂料中有害物质限量的限量值要求

项目	限量值			
	内墙涂料 ^a	外墙涂料 ^a		腻子 ^b
含效应颜料类		其他类		
VOC 含量 ≤	80 (g/L)	120 (g/L)	100(g/L)	100(g/kg)
甲醛含量/(mg/kg) ≤	50			
苯系物总和含量/(mg/kg) [限苯、甲苯、二甲苯(含乙苯)] ≤	100			
总铅(Pb)含量/(mg/kg)(限色漆和腻子) ≤	90			
可溶性重金属含量/(mg/kg) ≤ (限色漆和腻子)	镉(Cd)	75		
	铬(Cr)	60		
	汞(Hg)	60		

CECS XXX:XXX

烷基酚聚氧乙烯醚总和含量/(mg/kg) ≤ [限辛基酚聚氧乙烯醚[C ₈ H ₁₇ -C ₆ H ₄ -(OC ₂ H ₄) _n OH简称 OP _n E0]和壬基酚聚氧乙烯醚 {[C ₉ H ₁₉ -C ₆ H ₄ -(OC ₂ H ₄) _n OH 简称 NP _n E0], n=2~16 }	1000	-
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------	---

a 涂料产品所有项目均不考虑稀释配比。
b 膏状腻子及仅以水稀释的粉状腻子所有项目均不考虑稀释配比；粉状腻子（除仅以水稀释的粉状腻子外）除总铅、可溶性重金属项目直接测试粉体外，其余项目按产品明示的施工配比将粉体与水、胶粘剂等其他液体混合后测试。如施工状态下的施工配比为某一范围时，应按照水用量最小、胶粘剂等其他液体用量最大的配比混合后测试。

装饰板涂料中有害物质限量的限量值要求

项目	限量值			
	水性装饰板涂料 ^a		溶剂型装饰板涂料 ^b	
	合成树脂乳液类	其他类	含效应颜料类	其他类
VOC 含量 ≤	120	250	760	580
甲醛含量/(mg/kg) ≤	50		-	
总铅(Pb)含量/(mg/kg) (限色漆) ≤	90			
可溶性重金属含量/(mg/kg) ≤ (限色漆)	镉(Cd)	75		
	铬(Cr)	60		
	汞(Hg)	60		
乙二醇醚酯总和含量/(mg/kg) ≤ (限乙二醇甲醚、乙二醇甲醚醋酸酯、乙二醇乙醚、乙二醇乙醚醋酸酯、乙二醇二甲醚、乙二醇二乙醚、二乙二醇二甲醚、三乙二醇二甲醚)	300			
卤代烃总和含量/% ≤ (限二氯甲烷、三氯甲烷、四氯化碳、1,2-二氯乙烷、1,1,1-三氯乙烷, 1,1,2-三氯乙烷、1,2-二氯丙烷、1,2,3-三氯丙烷、三氯乙烯、四氯乙烯)	-		0.1	
苯含量/% ≤	-		0.3	
甲苯与二甲苯(含乙苯)总和含量/% ≤	-		20	

a 水性装饰板涂料产品所有项目均不考虑稀释配比。
b 溶剂型装饰板涂料所有项目按产品明示的施工状态下的施工配比混合后测定。如多组分的某组分使用量为某一范围时，应按照产品施工状态下的施工配比规定的最大比例混合后进行测定。

(2) 材料放射性按《消防安全标志通用技术条件》(XF 480.3-2004)第3部分:蓄光消防安全标志》中6.5规定方法进行试验,蓄光部分任何部位的 α 、 β 、 γ 辐射值不应超过自然本底读数。

4.1.3 漫反射材料的粘结性应不低于样板划痕试验的三级,即在样板划痕试验中部位3的完整程度应达到70%以上。

【条文说明】

按照GB/T 1720-2020《漆膜划圈试验》规定的方法进行检测。

以样板上划痕的上侧为检查的目标,一次标出1、2、3、4、5、6、7等七个部位。相应分为七个等级。按顺序检查各部位的涂层完整程度,如某一部位的格子有70%以上完好,则定为该部位是完好的,否则应认为坏损。例如,部位1涂层完好,附着力最佳,定为一级;部位1涂层坏损而部位2完好,附着力次之;定为二级。依次类推,七级为附着力最差。

标准划痕圆滚线如图1所示。结果以至少有两块样板的级别一致为准。

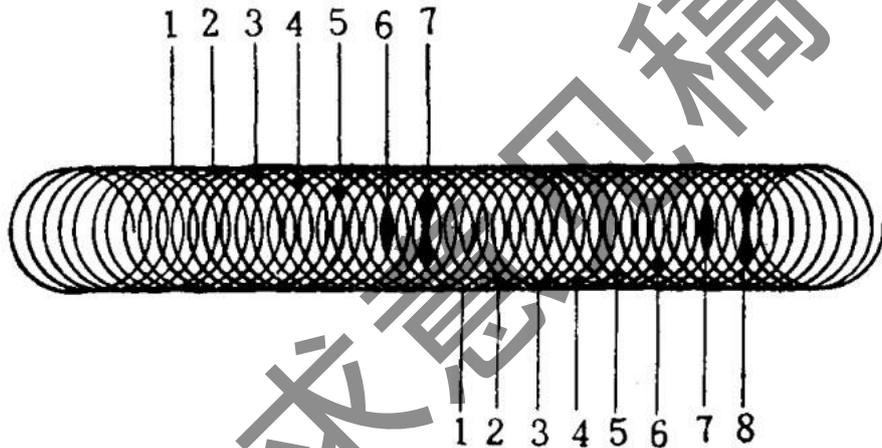


图1 标准划痕圆滚线

4.1.4 漫反射材料应具备一定的粘结强度,在标准试验状态条件下的粘结强度不低于0.60MPa,在冻融循环后状态条件下的粘结强度不低于0.40MPa。

【条文说明】

按《合成树脂乳液砂壁状建筑涂料》(JG/T 24-2018)中的6.17的规定进行检测。

4.1.5 漫反射材料应具备一定的耐水性,应在试验条件下满足720h无异常。

【条文说明】

按GB 28375-2012《混凝土结构防火涂料》(GB 28375-2012)中的第7.8条规定进行检测。

4.1.6 漫反射材料应具备一定的耐洗刷性,应在试验条件下洗刷至10000次后达到合格

条件。

【条文说明】

按 GB/T 9266-2009《建筑涂料涂层耐洗刷性的测定》的规定进行。洗刷至规定次数时，两块试件中有一块露出底材，则认为合格。

4.1.7 漫反射材料应具备一定的耐酸性，应在试验条件下满足 720h 无异常。

【条文说明】

按 GB 28375-2012《混凝土结构防火涂料》中 7.9 条规定进行检测。

4.1.8 漫反射材料应具备一定的耐碱性，应在试验条件下满足 720h 无异常。

【条文说明】

按 GB 28375-2012《混凝土结构防火涂料》中 7.10 条规定进行检测。

4.1.9 漫反射材料应具备一定的耐盐雾腐蚀性，应满足至少 30 次的盐雾箱循环试验并达到合格要求。

【条文说明】

按 GB 28375-2012《混凝土结构防火涂料》中 7.14 条规定进行检测。

4.1.10 漫反射材料应具备一定的耐玷污性，其指标不应低于 360 天。

【条文说明】

按《建筑涂料涂层耐玷污性试验方法》(GB/T 9780-2013)中外墙耐玷污试验方法中刷涂法 B 法 (h 烘箱快速法) 的规定进行测试。

4.1.11 漫反射材料应易清洗，以吸水率为指标。吸水率应在试验条件下满足：平均值不低于 0.5%；单个值不低于 0.6%。

【条文说明】

按 GB 3810.3-2016《陶质砖试验方法第 3 部分：吸水率、显气孔率、表观相对密度和容重的测定》的规定进行。

4.2 材料功能要求

4.2.1 漫反射材料受普通可见光(隧道内装光源、车灯、阴天的日光等均可)激发后,发光光谱宽度范围宜为 450~600nm,色温范围宜为不低于 3000K。

【条文说明】

可见光谱宽度范围为 380-720nm,漫反射材料发光光谱应处于易被发现的范围。

4.2.2 蓄能反光(发光)材料应具备辅助应急救援功能要求,其性能指标需满足以下要求:

1 余晖效果:应具有诱导性能。

2 余晖亮度:蓄能(反光)发光材料在激发光源停止照射 10min 时,发光亮度不低于 $0.145\text{cd}/\text{m}^2$;在激发光源停止照射 1h 时,发光亮度不低于 $0.025\text{cd}/\text{m}^2$ 。

3 余晖持续时间:隧道照明系统失效后,漫反射材料余晖亮度持续时间不低于 12h

【条文说明】

对于有应急救援要求的隧道,隧道侧壁可铺装蓄能(反光)发光材料,当隧道照明系统因故障或火灾之类事故失效后,利用其延时发光所表现出来的视觉诱导性来实现隧道安全救援。漫反射材料的视觉诱导性主要体现在材料的余晖亮度和余晖颜色。紧急断电情况下,照明设备应保证隧道内部环境足够的应急救援亮度以及亮度持续时间。隧道应急照明设备停止工作后,漫反射材料应提供必要的应急救援亮度以及亮度持续时间。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 公路隧道内装漫反射材料宜选用淡黄色、乳白色材料。

5.1.2 在隧道内的紧急停车带、横通道等功能区域，宜采用高反射率的材料铺装。

5.2 铺装要求

5.2.1 漫反射材料可沿隧道轴线方向铺装在侧壁、拱顶等部位，在隧道侧墙的铺装高度不宜低于 2m，出、入口段应全断面布置，宜沿隧道纵向连续铺装。

【条文说明】

公路隧道的接近段、入口段、过渡段、中间段、出口段参照《公路隧道照明设计细则》(JTG/T D70/2-01-2014)的第 3.0.5 条规定执行。

隧道出、入口段由于亮度需求较大，较其他区段相比，应具备更多面积的铺装要求。相关研究表明：

南向洞口晴天时 2m 布设高度，混合天空和阴天时 2.5m 布设高度，与其他布设高度相比单位长度效率比最大，布设到上述高度能够在节能的基础上，体现最高的性价比。

北向洞口晴天和阴天时 2m 布设高度，混合天空时 3m 布设高度，与其他布设高度相比单位长度效率比最大，布设到上述高度能够在节能的基础上，体现最高的性价比。

在实地调研中发现，铺装高度还与材质有关：漫反射反光膜的铺装高度不宜低于 3m；反光涂料不宜低于 2.5m，反光板不宜低于 2m。

5.2.2 漫反射涂料的涂层厚度宜不低于 0.3mm。反光膜和反光板材料不受限制，以各自材料种类的实际厚度为准。

5.2.3 隧道二次衬砌表面平整度小于等于 15mm 时，可直接作为漫反射涂料的基层。大于 15mm 时，宜设找平层作基层。

【条文说明】

编制组经现场实地调研发现，存在隧道衬砌开裂导致漫反射涂料裂纹的现象，其原因是底基层材料本身粘结性的问题。若内衬表面平整度满足要求，则直接涂刷漫反射涂料，并不影响漫反射材料的性能。

5.3 节能设计

5.3.1 公路隧道照明设计宜考虑隧道内装漫反射材料的辅助照明性能，选择漫反射材料

合适的设计参数，各类漫反射材料墙面反射率应不低于 0.7，最优节能照明方案可经技术分析论证后确定。

5.3.2 节能指涂装后的效果所产生的可调减照明负荷。应根据漫反射材料的反射率，充分利用其反射产生的路面亮度增量值。一般而言，路面亮度增量值 α 、墙面反射率 λ 、亮度设计节能系数 β ，三者之间满足如下回归公式：

$$\begin{cases} \alpha = \lambda - 0.6 \\ \beta = 1 - \alpha \end{cases}$$

其中：增量值 $\alpha \leq 0.3$ ，反射率 $\lambda \geq 0.7$ ，节能系数 $\beta \in [0.7, 0.9]$ 。根据回归公式可对隧道照明亮度设计值进行适当折减，节能系数 β 可按表 5.3.2 执行。

表 5.3.2 节能系数

序号	墙面反射率 λ	节能系数 β
1	0.7	0.9
2	0.8	0.8
3	0.9	0.7

备注：如实测反射率处于表中区段时，可采用插值法确定。

【条文说明】

研究表明：墙面材料的反射率不同，对路面亮度的增益效果亦不同。随着反射率的增加，在相同照明系统条件下的路面亮度越高，意味着在达到相同亮度水平下，高反射率的墙面材料可以适当降低照明系统的功率以达到规定照明要求。图 2 为墙面反射率对路面亮度的增益效果，墙面反射率的增加对路面亮度的增大近似满足线性关系，反射率每增加 0.1，亮度可近似增加 10%。

此条规定中的墙面反射率为综合反射率，对于具有自发光功能的材料，其反射率应由发光和反射共同作用来贡献。

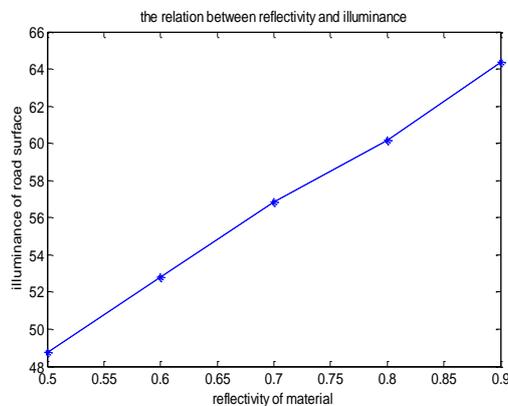


图 2 墙面反射率与路面亮度增益效果之间的关系

5.4 应急救援设计要求

5.4.1 有辅助应急照明要求的隧道，宜采用蓄能发光反光材料。

【条文说明】

JG/T 446-2014《建筑用蓄光型发光涂料》中表 1 规定：(1) 漫反射材料在激发光源停止照射 10min 时，发光亮度不低于 $0.145\text{cd}/\text{m}^2$ 。(2) 漫反射材料在激发光源停止照射 1h 时，发光亮度不低于 $0.025\text{cd}/\text{m}^2$ 。

5.4.2 蓄能（反光）发光材料的余辉颜色宜采用绿光和蓝光，其主波长分别为 480nm 和 541nm。

【条文说明】

1. 蓄能（反光）发光材料的余辉颜色以醒目的浅色为佳。经余辉光谱试验分析在隧道环境中人眼对蓝、绿光的敏感程度较高。蓄能（反光）发光材料作为新的隧道内装侧壁材料，最大的特点在于其自发光的功能，在隧道发生事故灾害时需要应急照明时，可以利用独特的蓄能发光性能，帮助隧道中的被困人员安全逃生，而市面常见的漫反射材料自发光颜色主要为绿色、蓝色，以及极少部分的红色。

2. 蓄能（反光）发光材料的余辉光谱反应了蓄光反光材料自发光中的色彩成分，在不同亮度环境下，不同色彩给人的感知亮度也不相同。表 3 列了市面上常见漫反射侧壁材料的余辉颜色和余辉持续时间。

表 3 几种蓄能（反光）发光材料的余辉性能比较

长余辉材料	发光色	余辉时间 (h)
$\text{Sr}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7: \text{Eu, Dy}$ (新型硅酸盐蓄光反光材料)	蓝光	12
$\text{SrAl}_2\text{O}_4: \text{Eu, Dy}$ (本文试验用铝酸盐蓄光反光材料)	绿光	60
$\text{SrAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}$	绿光	33
$\text{Sr}_4\text{Al}_14\text{O}_{25}: \text{Eu, Dy}$	蓝绿光	60
$\text{CaAl}_2\text{O}_4: \text{Eu, Nd}$	蓝紫光	20
$\text{CaMgSiO}_3: \text{Mn, Eu, Dy}$	蓝光	5
$\text{MgSiO}_3: \text{Mn, Eu, Dy}$	红光	4
$\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7: \text{Eu, Dy}$	蓝光	20

BaMgSi 207: Eu, Dy	蓝光	6
CaS: Eu, Tm	红光	0.75
ZnS: Cu, Co	黄绿光	8

3. 硅酸盐和铝酸盐漫反射材料的自发光 (1min) 光谱能量分布如图 3。由图 3 可见, 自发光 1min 后两种漫反射材料光谱分布都为单峰的分布形式显示, 硅酸盐漫反射材料自发光最高辐亮度对应的波长为 468nm, 主波长为 480nm, 为蓝光波长, 自发光颜色为蓝色。铝酸盐漫反射材料的自发光最高辐亮度对应的波长为 520nm, 主波长为 541nm, 为绿光波长, 自发光颜色为绿色。

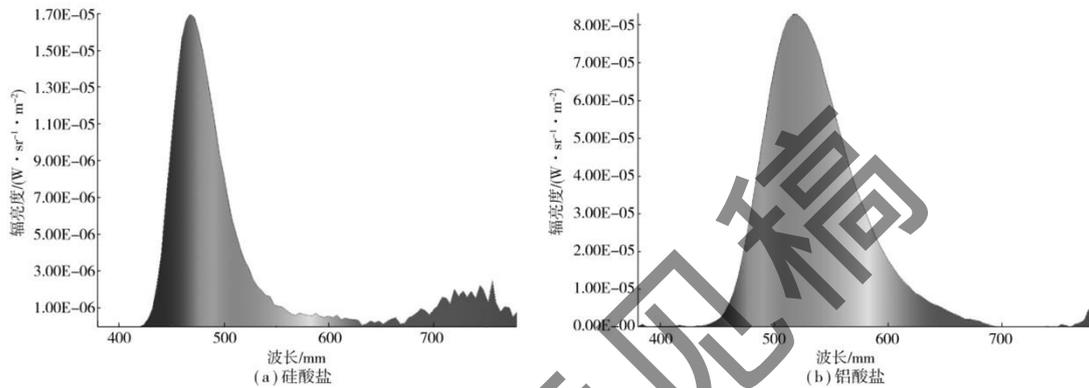


图 3 硅酸盐和铝酸盐漫反射材料自发光光谱

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 正在施工作业的长隧道需要进行封道处理，做好施工期间的交通组织，以保证施工人员及行车安全。

6.1.2 各类漫反射材料进场施工前，应查验产品检验合格证，其相关参数、材料品质与性能指标应符合施工图设计文件的具体要求。

6.1.3 漫反射材料施工前应在建设、监理、施工单位共同见证下，从现场材料中随机取样检测，其检测结果应符合本规程规定的材料性能要求。

6.1.4 漫反射材料及安装材料进场检验时，应满足以下要求：

1 材料进场时，建设单位、施工单位、监理单位必须依照国家相关规范的规定，按照材料的进场验收程序，核对产品合格证、质量保证书、检验报告证明等原件。

2 产品合格证应包括产品的型号、名称、规格、生产单位及地址等内容。

3 成批交付的产品应具有批次编号、抽样件号、检验日期、出厂日期、检验员签盖等内容。

4 可能对人体有潜在危害的产品（如放射性和有害气体），应出具环保、消防部门的认可文件。

6.1.5 在漫反射材料铺装前，隧道二衬表面及作业环境需符合以下规定：

1 隧道混凝土结构的施工质量必须合格。

2 隧道二衬结构表面应清洁、干燥，无水迹、灰尘、油渍等杂物。

3 隧道内装漫反射材料施工的环境温度和相对湿度应符合涂料产品说明的要求。无特殊要求时，施工环境温度宜在 5℃-30℃之间，相对湿度不应大于 85%，且通风顺畅。当风速大于 5m/s、雨雪天或内壁表面有结露时，不宜施工。

6.1.6 在漫反射材料铺装前，涂料基层应满足以下规定：

1 涂料基层应干净整洁，无渗水、无砂浮、无起壳等现象。

2 涂料基层的粘结强度应符合本规程 3.2.5 的规定。

3 新建隧道在施工前，应先对混凝土侧壁进行拉毛处理，再涂刷抗碱封闭底漆。

4 已建成隧道在翻新改造施工之前，应清除疏松的旧装修层，并涂刷界面剂。

5 混凝土或抹灰基层涂刷溶剂型涂料时，含水率不得大于 8%；混凝土或抹灰基层涂刷乳液型涂料时，含水率不得大于 10%；木质基层涂刷任意类型涂料，含水率不得大于 12%。

6.1.7 在隧道漫反射材料全面施工前，应先做试验段，经对试验段检测合格后，方可进行全段施工。

【条文说明】

(1) 内装漫反射材料的施工基层必须是合格的混凝土结构表面。

(2) 经调研分析，涂层之所以出现开裂、空鼓和脱落等质量问题，主要原因是基体表面清理不干净，如：基体表面尘埃、疏松物、脱模剂和油渍等影响粘结牢固的物质未彻底清理干净；基体表面光滑，涂抹前未作毛化处理；基体表面浇水不透，涂抹后材料中的水分很快被基体吸收，未充分水化，导致粘结力不够。上述情况都会影响粘结强度。

(3) 对施工环境的控制，保证了漫反射材料的凝固成型和照明质量，起到防止漫反射材料的开裂起鼓、凹凸不平的作用。

(4) 施工厚度偏小时，不能保证漫反射材料的照明功能。过大时，容易产生起鼓、脱落等质量问题；不同材料基体交接处，由于吸水和收缩性不一致，接缝处表面的抹灰层容易开裂。上述情况均应采取加强措施，以切实保证施工的质量。

6.2 漫反射涂料施工质量要求

6.2.1 反光涂料的施工宜采用专门的喷涂设备或机具湿法喷涂。当气压为 0.4MPa~0.6MPa 时，宜采用口径为 2mm~8mm 的斗式喷枪，也可采用人工涂膜的方式。

6.2.2 反光涂料的施工应分遍成活，首层涂料施工时厚度宜控制在 0.5mm 左右，后续各道涂层的厚度不宜超过 1mm，并要求前道涂层干燥后方可喷涂后道涂层，直至喷涂道所要求的厚度为止。

6.2.3 蓄能（反光）发光涂料的施工作业顺序应按测量放线、底层涂料施工、面层涂料施工的步骤进行。底层和面层涂料每平方米用量及施工涂刷遍数应符合设计要求，一般底层涂料涂刷 1~2 遍，漆膜厚度 $\geq 180 \mu\text{m}$ ；面层涂料涂刷 1 遍下面漆、1 遍上面漆，漆膜厚度 $\geq 120 \mu\text{m}$ 。

6.2.4 蓄能（反光）发光涂料宜采用无气喷涂方法进行施工，喷枪压力宜控制在 0.4~0.8MPa 的范围内。喷涂时喷枪与墙面应保持垂直，距离宜在 500mm 左右，匀速平行移动。两行重叠宽度宜控制在喷涂宽度的 1/3。

6.2.5 涂覆后的涂层应完整、无漏涂、表面均匀、不应出现粉化、空鼓、脱落和明显裂

纹等缺陷。

6.2.6 在施工过程中,施工单位质检员应及时按照相关规定检查涂层厚度,应符合设计要求,并做好检查记录。

【条文说明】

(1) 通常无气喷涂法涂装效果好、效率高,对大面积的涂装及施工条件允许的情况下,应首选采用无气喷涂法。对于小面积、形状复杂的部位,可采用人工涂刷。

(2) 材料搅拌不均匀导致水化不充分、成团不散、厚度不一,影响漫反射材料的成型质量。

(3) 一次涂抹过厚,导致干缩率较大,容易产生开裂起鼓、凹凸不平等现象。并且将导致材料水化不均匀、难以凝固,容易形成滴坠、结露,甚至脱落等施工质量问题,严重影响漫反射材料的成型。

6.3 漫反射反光膜施工质量要求

6.3.1 反光膜应均匀、平整且紧密缠绕在刚性的圆芯上,不得有变形、缺损、边缘不齐等缺陷。对有色反光膜的制作,可通过将彩色透明膜贴敷在白色反光膜上的方式实现。

6.3.2 反光膜应有平滑、洁净的外表面,不应有明显的划痕、条纹、气泡等缺陷,不应有杂色和逆反射不均匀等情况。防粘纸上不应有气泡、褶皱、污点等缺陷。

6.3.3 每卷反光膜长度一般小于45m。整卷反光膜不能沿宽度方向拼接,而长度方向拼接处应明显可见。每拼接一处,应留出0.5m反光膜的富余量。每段反光膜的连续长度不应小于10m。

【条文说明】

(1) 反光膜应具有颜色的可印刷性能,常温环境下采用与反光膜匹配的油墨及印刷方式,可对反光膜进行各种颜色的印刷。透明彩色面膜也称为电刻膜。

(2) 有缺陷的产品影响施工质量,不平整、有气泡的反光膜粘结不稳,容易脱落。

(3) 反光膜沿长度方向拼接,并留下明显的拼接缝,是为了便于后期维护修补。留出0.5m的搭接能避免粘结不足而脱落。

6.4 漫反射反光板施工质量要求

6.4.1 安装反光板的龙骨骨架钢材或铝材应符合国家现行的相关规定并满足设计要求。采用非标准五金件材质、力学性能应符合设计要求,并应附出厂合格证,同时应符合现行国家标准《紧固件机械性能不锈钢膨胀螺栓、螺钉、螺母和螺柱》GB/T3098的规定。

6.4.2 隧道内装漫反射反光板应符合国家现行的相关规定，并附出厂合格证、检测报告等。

6.4.3 反光板安装前，应先在墙上标定挂铺基准起始线，再将基准线引至各墙体立面上，最终确定各块反光板安装控制线。依据一级控制基准点的尺寸，形成安装水平面上其它各钢角码的施工控制线。

6.4.4 主体龙骨安装必须在调平立柱后，采用满焊固定。

6.4.5 板材应当先初装，确认龙骨及板材无任何问题后，才能全面展开安装。板材铺装应先将板材安装到位并校准，配套压条最上端必须由专用型材收顶。安装完毕后应清洗施工现场。

【条文说明】

(1) 隧道中的空气湿度很高，对龙骨的防腐性能有很高要求，隧道装饰板用的龙骨要采用热镀锌钢材、铝材或不锈钢材作为龙骨材料。

(2) 隧道装饰板主要生产工艺流程：隧道装饰板板基检测、锯机切割成型、板面开槽等特殊工艺处理、周边倒角、清洗等处理、喷涂表面处理、抽检。

(3) 根据设计单位提供的轴线和标高为依据，用各种仪器测量后设立一级控制基准点，各基准点之间应成 90 夹角并呈闭合状态，基准点间连线水平距离用 50 米钢卷尺测量。

(4) 安装时当钢角码被调整至符合要求的水平度和垂直度后用化学锚栓或膨胀螺栓固定在土建结构上，并用防锈漆进行两遍涂刷和面漆一遍涂刷。

(5) 立柱及横梁定位安装后，要求横平竖直，水平和垂直度控制在标准范围内，平整度相对误差控制在 $\pm 2\text{mm}$ (2m 靠尺和塞尺检测)，当大于上述范围时必须重新找平。对所有的连接处进行防腐、防锈等必要处理后，进行隐蔽工程验收。

(6) 在龙骨与板块间隙处，用双面胶条衬垫，起到紧固板块，调节缝隙与减少磨擦引起噪音等作用。

7 验收

7.1 一般规定

7.1.1 公路隧道内装漫反射材料工程质量的验收应在施工单位自检的基础上，由第三方进行检测验收。

【条文说明】

第三方检测机构，必须为取得计量认证合格证书的产品质量检验机构。

7.1.2 相同材料、工艺和施工条件的隧道内装漫反射材料，每 500m²应划分为一个检验批。不足 500m²的，应划分为一个检验批。

7.1.3 每个检验批，每 100m²应至少抽查一处，每处不得小于 10m²。不足 100m²的，应至少检验一处。检验指标应满足本章 7.1.4 及后续条款的要求。

7.2 验收指标

7.2.1 漫反射材料的反射光光谱主波长应位于蓝绿光附近。

【条文说明】

反射光谱也称反射波谱，是指地物的反射率随波长变化的规律。地物的反射光谱特性可以通过其反射光谱特性曲线直观表达出来。

7.2.2 漫反射材料内装于隧道侧壁的反射率应不低于 0.7。

【条文说明】

按 GB/T 23981.1 的规定进行。反射率仪采用 D65 光源。结果取三块试件的算术平均值。

7.2.3 蓄能（反光）发光材料余辉亮度与持续时间应符合施工图设计文件的要求。当设计无要求时，发光粉含量不宜高于 0.3。

【条文说明】

根据《隧道新型硅酸盐蓄能反光材料性能研究与应用》的研究成果：

材料配比对蓄能反光材料的初始余晖亮度和余晖时间影响很大，当发光粉含量占总量 30%时，能够更好地发挥蓄能反光材料的余晖性能。

大多数蓄能反光材料遵循以下衰减公式： $I = I_0 t^{-n}$

其中， I 为光源停止激发 t 时间后，材料的发光强度； I_0 为光源停止激发时材料的发光强度； t 为停止激发后所经过的时间，单位秒； n 为衰减常数。

研究表明,当蓄能反光材料配比从 0.1 提高到 0.2,其余辉初始亮度从 $0.828\text{cd}/\text{m}^2$, 提高为 $1.618\text{cd}/\text{m}^2$,余辉初始亮度增加了 95%。当材料配比从 0.2 提高到 0.3,余辉初始亮度增加了 127%;当材料配比从 0.3 提高到 0.4,余辉初始亮度增加不到 10%。余辉时间同样保持了相同的增长规律,最长的余辉时间为 14h。

7.2.4 反光涂料和蓄能(反光)发光涂料附着力应小于等于 1 级。

【条文说明】

参考 JGT446-2014《建筑用蓄光型发光涂料》标准执行。

7.2.5 反光膜背胶应有足够的附着力,且各结构层间结合牢固,按 GB/T 18833-2012 中 6.8 的方法试验后,在 5min 后的剥离长度不应大于 20mm。

【条文说明】

参考 GB/T 18833-2012《道路交通反光膜》标准执行。

7.2.6 反光板与基层墙体必须粘贴牢固,无松动和虚粘现象。反光板与基层墙体拉伸粘结强度不得低于 0.15MPa 。

7.2.7 反光板的龙骨最低防锈等级应满足表 5.5.2 的要求:

表 5.5.2 反光板龙骨的最低防锈等级要求

序号	防锈漆的类别	最低防锈等级
1	油性酚醛、醇酸等防锈漆	St2
2	高氯化聚乙烯、氯化橡胶、氯磺化聚乙烯、环氧树脂、聚氨酯等防锈漆	Sa2
3	无机富锌、有机硅、过氯乙烯等底漆	Sa2.5

【条文说明】

防锈等级的确定方法,采用国家标准《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》GB8923 中规定的图片,做对照观察评定。

7.2.8 反光板的龙骨防锈涂料品种、涂装遍数、涂层厚度均应满足设计要求。当设计无要求时,涂层总厚度不应小于 $150\mu\text{m}$ 。

【条文说明】

涂层厚度的允许偏差为 $-25\mu\text{m}$,每一遍涂层的干漆厚度的允许偏差为 $-5\mu\text{m}$ 。

8 运营维护

8.1 一般规定

8.1.1 为了保持运营隧道中漫反射材料辅助照明的效果，养护应包括日常清洁、评估、更换、修复等内容。同时应符合《公路隧道养护技术规范》(JTG H12-2015)的相关规定。

1 日常巡查应包括日常巡查中发现、记录、报告或处理明显异常。

2 评估与养护应包括发现多功能蓄能发光材料的异常，掌握并判定其技术状况，明确相应的养护对策或措施。

3 正在清洗除污的长隧道需要进行封道处理，以保证施工人员及行车安全，作业时间宜选择在晚上进行，最大程度减小对交通的影响。

8.2 日常清洁

8.2.1 隧道内装漫反射材料的清洁作业，应综合考虑隧道养护等级（见表 8.2.1-1、表 8.2.1-2）、交通组成、脏污程度、清洁方式及效率和环境条件等因素确定清洁方案和频率。

表 8.2.1-1 高速公路、一级公路隧道养护等级分级表

单车道 年平均日交通量 [pcu/(d·Ln)]	隧道长度 (m)			
	L > 3000	3000 ≥ L > 1000	1000 ≥ L > 500	L ≤ 500
≥ 10001	一级	一级	一级	二级
5001 ~ 10000	一级	一级	二级	二级
≤ 5000	一级	二级	二级	二级

表 8.2.1-2 二级及二级以下公路隧道养护等级分级表

单车道 年平均日交通量 pcu/d	隧道长度 (m)			
	L > 3000	3000 ≥ L > 1000	1000 ≥ L > 500	L ≤ 500
≥ 10001	一级	二级	二级	三级
5001 ~ 10000	二级	二级	三级	三级
≤ 5000	二级	三级	三级	三级

注：上表取自《公路隧道养护技术规范》JTG H12-2015 的表 3.1.1-1、表 4.3.1-2。

8.2.2 清洁频率应当以现场实测折射率为指标，当折射率低于 0.7 时，应进行及时的清洁，且隧道清洁维护频率宜不低于表 8.2.2 的规定。

表 8.2.2 公路隧道的最低清洁频率

清洁项目	养护等级		
	一级	二级	三级
隧道壁面涂料、反光膜、反光板。	1 次/季度	1 次/半年	1 次/年

8.2.3 隧道墙壁的污染主要是煤烟、粉尘和油分。这些物质附在隧道内装漫反射材料表面时，将影响发光材料的透光率，使发光效率降低。清洗作业应符合如下要求：

1 物资部应配足所需要的全部设备、物资，保证其清洗除污工作能够按期正常进行。另一方面，应对隧道内其他设备应进行保护。如：水沟、电缆槽盖板和电缆电务等设备。

2 墙壁表面的刷洗，应当使用配有软刷的专用清洗车和洗涤剂。洗涤剂以中性为宜，不伤害作业人员的皮肤，不引起各种设施和墙面的腐蚀。

3 高压水枪冲洗时，水压不应大于 2.5MPa。冲洗过程中可根据现场实际冲洗情况随时调整水压，以及高压水枪距冲洗面的距离，应确保隧道内建筑构件等设施不被损坏。

4 冲洗工作宜分区间进行，每 30m-50m（相邻两检查井之间的距离）为一个区间，在每个区间下游中心水沟检查井处设置拦截设施对粉尘垃圾进行拦截沉淀。每个段落冲洗完成后及时组织人员将检查井内沉积物等进行清除，将垃圾装桶（袋）运至洞外集中处理。

5 对隧道侧壁底部等难以冲洗到和污染比较严重冲洗不掉污渍的地方，应人工进行清理。清扫完成后将粉尘等垃圾装袋运至洞外集中处理，不应乱倒乱弃，以免对环境造成破坏。

7 在清洗完成后，应对侧壁表面进行干燥处理，避免残留水对侧壁造成危害以及灰尘等污染物沾附污染。

8 清洗除污完毕后，应现场检测材料的反射率。若反射率低于 0.7，应对其再次进行冲洗、除污、清理等工作，直到达到标准要求为止。

【条文说明】

- (1) 准备环节的基本原则是不能因清洗漫反射材料，而对隧道造成更大的伤害。
- (2) 冲洗适用于面积大、形状规则的普通部位。
- (3) 人工清洗适用于面积小、形状不规则的特殊部位。

(4) 未经干燥处理的隧道墙面，不仅影响漫反射材料的反光性能，更会加速漫反射材料的老化。

(5) 清洗的验收主要是感官质量验收，特殊的隧道可采用现场光学测试结果作为评价。

8.3 修复更换

8.3.1 按照公路隧道养护等级，内装漫反射材料的经常检查频率应不低于表 8.3.1 的规定，且在雨季、冰冻季节及极端天气下，或发生严重异常情况时，应提高检查频率。

表 8.3.1 公路隧道内装漫反射材料经常检查频率表

检查分类	养护等级		
	一级	二级	三级
经常检查	1 次/月	1 次/2 月	1 次/季度

8.3.2 经常检查宜采用人工与信息化手段相结合的方式，配以简单的检查工具进行。应当场记述检查内容、缺损情况，估计缺损范围和程度以及养护工作量，并提出相应的养护措施。

8.3.3 若漫反射材料更换需要较长时间，宜在隧道大修的时候同步进行，最大程度减小对交通的影响。

8.3.4 经常检查以感官的定性判断为主，检查内容和养护措施宜按表 8.3.4 执行。

表 8.3.4 隧道内装漫反射材料的检查内容和养护措施

分项设施	评估内容	养护措施
漫反射涂料	外观是否完好，有无开裂、脱落、粉化、起皮	修复破损部分
漫反射反光膜	外观是否完好，有无开裂、脱落、粉化、起皮	根据缺损面积决定修复或更换
漫反射反光板	外观和结构是否完好，连接是否牢固	更换

附注：发生渗水等严重影响材料黏附力的情况时，应查找原因处理基层，满足本规程 5.1.3 中对基层的要求后，方可开展更换作业。

【条文说明】

(1) 定期检查的意义不仅在于能够及时处理漫反射材料出现的损坏，更在于防患病害在更大面积上的扩散。

(2) 重大灾害发生后，应根据主体结构的最新评估情况，基于主体结构的具体修复方案，确定漫反射材料的修复措施。

(3) 在调研中，我们对修补处的漫反射材料进行了测试，发现偶尔有反光不均匀的现象，经过分析，确定是由于材料、施工方法不一致的原因导致的。

(4) 漫反射材料在修补中，常常需要架设施工平台，故而建议与隧道大修同步进行。

征求意见稿

附录 A 漫反射材料的节能实测数据分析

第五章中的第 5.3.2 条,节能是指涂装后的效果所产生的可调减照明强度。编制团队经现场实地调研,对漫反射材料的路面增量效果,进行了详细研究。4 座隧道分别为青村隧道、伊家隧道、木兰隧道、南坂隧道。具体测试数据附表如下,可作为设计时的参考依据。

附表 A-1 青村隧道铺装前的反射率分布值

段别	混凝土基面									
	左侧					右侧				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
入口 1 段 (20~30m)	0.18	0.21	0.21	0.2	0.21	0.22	0.21	0.2	0.19	0.21
过渡 1 段 (65~75m)	0.18	0.2	0.18	0.22	0.18	0.2	0.21	0.2	0.18	0.19
过渡 2 段 (130~140m)	0.21	0.21	0.21	0.18	0.21	0.21	0.21	0.21	0.2	0.19
过渡 3 段 (200~210m)	0.21	0.19	0.21	0.19	0.21	0.21	0.22	0.22	0.19	0.19
基本 1 段 (305~315m)	0.22	0.22	0.21	0.2	0.19	0.19	0.18	0.22	0.19	0.22
基本 2 段 (357~367m)	0.21	0.2	0.18	0.21	0.18	0.2	0.21	0.19	0.22	0.22
过渡 3 段 (450~460m)	0.19	0.2	0.22	0.2	0.21	0.21	0.2	0.22	0.21	0.21
过渡 2 段 (530~540m)	0.2	0.18	0.22	0.2	0.19	0.2	0.22	0.2	0.19	0.22
过渡 1 段 (580~590m)	0.18	0.21	0.18	0.19	0.22	0.19	0.2	0.21	0.18	0.22
出口段 (635~645m)	0.2	0.18	0.19	0.19	0.22	0.19	0.21	0.18	0.18	0.21
平均反射率值	0.198	0.200	0.201	0.198	0.202	0.202	0.207	0.205	0.193	0.208

附表 A-2 青村隧道铺装后的反射率分布值

段别	改性纳米沸石粉涂料基面									
	左侧					右侧				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
入口 1 段 (20~30m)	0.72	0.71	0.75	0.71	0.7	0.72	0.75	0.76	0.71	0.71
过渡 1 段 (65~75m)	0.7	0.72	0.75	0.76	0.71	0.75	0.71	0.72	0.74	0.73
过渡 2 段 (130~140m)	0.72	0.75	0.71	0.72	0.74	0.73	0.72	0.75	0.76	0.75
过渡 3 段 (200~210m)	0.71	0.72	0.74	0.73	0.72	0.71	0.72	0.75	0.71	0.72
基本 1 段 (305~315m)	0.71	0.72	0.75	0.71	0.72	0.74	0.73	0.72	0.72	0.71
基本 2 段 (357~367m)	0.75	0.71	0.72	0.74	0.71	0.72	0.75	0.71	0.73	0.72
过渡 3 段 (450~460m)	0.71	0.72	0.75	0.71	0.72	0.74	0.73	0.72	0.72	0.73
过渡 2 段 (530~540m)	0.73	0.72	0.72	0.73	0.74	0.71	0.72	0.75	0.72	0.71
过渡 1 段 (580~590m)	0.73	0.74	0.71	0.72	0.75	0.71	0.72	0.74	0.72	0.74
出口段 (635~645m)	0.72	0.75	0.75	0.71	0.72	0.74	0.71	0.72	0.71	0.72
平均反射率值	0.75	0.71	0.73	0.72	0.75	0.71	0.72	0.75	0.71	0.72

附表 A-3 青村隧道铺装前的路面照度分布值

中心桩号	隧道长度	路面情况	灯光排数	开灯情况	设计照度
K360+791	894m	砼面层	双排灯	全开	1200Lx
检测部位	右侧路肩	右幅中心	道路中线	左幅中心	左侧路肩
0	1360	1490	1871	1510	1369
1	1348	1478	1860	1475	1357
2	1320	1430	1840	1360	1326
3	1295	1401	1798	1376	1290
4	1264	1395	1689	1340	1250
5	1210	1345	1565	1315	1190
6	1180	1320	1529	1280	1124
7	1130	1260	1437	1226	1063
8	1080	1184	1386	1160	987
9	996	1134	1364	1113	967
10	987	1076	1167	1021	953
单线照度	1197.273	1319.364	1591.455	1288.727	1170.545
测区照度	1313				

附表 A-4 青村隧道铺装后的路面照度分布值

中心桩号	隧道长度	路面情况	灯光排数	开灯情况	设计照度
K360+791	894m	砼面层	双排灯	全开	1200Lx
检测部位	右侧路肩	右幅中心	道路中线	左幅中心	左侧路肩
0	1550.4	1698.6	2132.94	1721.4	1560.66
1	1536.72	1684.92	2120.4	1666.75	1546.98
2	1504.8	1630.2	2097.6	1550.4	1498.38
3	1489.25	1583.13	2067.7	1568.64	1483.5
4	1453.6	1604.25	1908.57	1541	1437.5
5	1367.3	1519.85	1768.45	1485.95	1344.7
6	1345.2	1504.8	1697.19	1459.2	1281.36
7	1265.6	1398.6	1609.44	1373.12	1190.56
8	1242	1361.6	1593.9	1334	1135.05
9	1125.48	1281.42	1541.32	1257.69	1092.71
10	1125.18	1226.64	1330.38	1163.94	1086.42
单线照度	1364	1499	1806	1466	1333
测区照度	1494				

附表 A-5 伊家隧道铺装前的反射率分布值

段别	混凝土基面									
	左侧					右侧				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
入口 1 段 (20~30m)	0.2	0.22	0.19	0.21	0.19	0.19	0.19	0.21	0.18	0.2
过渡 1 段 (65~75m)	0.22	0.22	0.2	0.2	0.19	0.19	0.2	0.19	0.22	0.22
过渡 2 段 (130~140m)	0.21	0.22	0.18	0.22	0.2	0.22	0.18	0.2	0.21	0.18
过渡 3 段 (200~210m)	0.19	0.18	0.21	0.2	0.21	0.19	0.19	0.21	0.18	0.2
基本 1 段 (305~315m)	0.22	0.19	0.19	0.2	0.22	0.21	0.19	0.18	0.18	0.22
基本 2 段 (357~367m)	0.22	0.18	0.18	0.21	0.21	0.18	0.18	0.19	0.18	0.18
过渡 3 段 (450~460m)	0.21	0.18	0.2	0.22	0.19	0.2	0.22	0.22	0.22	0.19
过渡 2 段 (530~540m)	0.18	0.22	0.19	0.18	0.19	0.2	0.18	0.18	0.19	0.22
过渡 1 段 (580~590m)	0.2	0.21	0.22	0.22	0.2	0.21	0.19	0.18	0.18	0.21
出口段 (635~645m)	0.22	0.19	0.19	0.19	0.18	0.21	0.22	0.19	0.19	0.18
平均反射率值	0.207	0.201	0.195	0.205	0.198	0.200	0.194	0.195	0.193	0.200

附表 A-6 伊家隧道铺装后的反射率分布值

段别	改性纳米沸石粉涂料基面									
	左侧					右侧				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
入口 1 段 (20~30m)	0.71	0.75	0.71	0.7	0.72	0.71	0.7	0.72	0.75	0.76
过渡 1 段 (65~75m)	0.72	0.75	0.76	0.71	0.75	0.76	0.71	0.75	0.71	0.72
过渡 2 段 (130~140m)	0.75	0.71	0.72	0.74	0.73	0.72	0.74	0.73	0.72	0.75
过渡 3 段 (200~210m)	0.72	0.74	0.73	0.72	0.71	0.73	0.72	0.71	0.72	0.75
基本 1 段 (305~315m)	0.72	0.75	0.71	0.72	0.74	0.71	0.72	0.74	0.73	0.72
基本 2 段 (357~367m)	0.71	0.72	0.74	0.71	0.72	0.74	0.71	0.72	0.75	0.71
过渡 3 段 (450~460m)	0.72	0.75	0.71	0.72	0.74	0.71	0.72	0.74	0.73	0.72
过渡 2 段 (530~540m)	0.72	0.72	0.73	0.74	0.71	0.73	0.74	0.71	0.72	0.75
过渡 1 段 (580~590m)	0.74	0.71	0.72	0.75	0.71	0.72	0.75	0.71	0.72	0.74
出口段 (635~645m)	0.75	0.75	0.71	0.72	0.74	0.71	0.72	0.74	0.71	0.72
平均反射率值	0.71	0.73	0.72	0.75	0.71	0.72	0.75	0.71	0.72	0.75

附表 A-7 伊家隧道铺装前的路面照度分布值

中心桩号	隧道长度	路面情况	灯光排数	开灯情况	设计照度
K360+257	782m	砼面层	双排灯	全开	1250Lx
检测部位	右侧路肩	右幅中心	道路中线	左幅中心	左侧路肩
0	1378	1527	1871	1510	1369
1	1348	1490	1860	1475	1357
2	1320	1376	1840	1360	1326
3	1270	1340	1798	1376	1290
4	1230	1315	1689	1340	1250
5	1180	1280	1565	1315	1190
6	1130	1226	1529	1280	1124
7	1050	1160	1437	1226	1063
8	990	1113	1386	1160	987
9	974	1021	1364	1113	967
10	969	1010	1167	1021	953
单线照度	1167	1260	1591	1289	1171
测区照度	1296				

附表 A-8 伊家隧道铺装后的路面照度分布值

中心桩号	隧道长度	路面情况	灯光排数	开灯情况	设计照度
K360+257	782m	砼面层	双排灯	全开	1250Lx
检测部位	右侧路肩	右幅中心	道路中线	左幅中心	左侧路肩
0	1557.14	1756.05	2132.94	1721.4	1560.66
1	1536.72	1698.6	2139	1666.75	1560.55
2	1504.8	1568.64	2097.6	1550.4	1498.38
3	1460.5	1514.2	2067.7	1568.64	1483.5
4	1414.5	1512.25	1908.57	1541	1437.5
5	1333.4	1446.4	1768.45	1485.95	1344.7
6	1288.2	1397.64	1697.19	1459.2	1292.6
7	1176	1287.6	1609.44	1373.12	1190.56
8	1108.8	1279.95	1593.9	1334	1125.18
9	1100.62	1153.73	1541.32	1257.69	1092.71
10	1104.66	1161.5	1330.38	1163.94	1086.42
单线照度	1326	1434	1808	1466	1334
测区照度	1474				

附表 A-9 木兰隧道铺装前的反射率分布值

段别	混凝土基面									
	左侧					右侧				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
入口 1 段 (15~25)	0.19	0.2	0.2	0.22	0.2	0.21	0.19	0.2	0.22	0.2
过渡 1 段 (50~60)	0.18	0.2	0.21	0.19	0.21	0.21	0.22	0.21	0.18	0.22
过渡 2 段 (110~120)	0.21	0.22	0.21	0.21	0.18	0.18	0.21	0.18	0.22	0.19
基本 1 段 (240~250)	0.18	0.18	0.22	0.21	0.22	0.19	0.19	0.18	0.2	0.18
基本 2 段 (340~350)	0.22	0.2	0.18	0.2	0.22	0.22	0.2	0.18	0.19	0.18
过渡 2 段 (500~510)	0.22	0.19	0.22	0.21	0.2	0.22	0.21	0.22	0.21	0.19
过渡 1 段 (570~580)	0.22	0.18	0.21	0.18	0.22	0.22	0.18	0.19	0.21	0.18
出口段 (605~615)	0.21	0.22	0.2	0.2	0.2	0.21	0.22	0.22	0.2	0.19
平均反射率值	0.204	0.199	0.206	0.203	0.206	0.208	0.203	0.198	0.204	0.191

附表 A-10 木兰隧道铺装后的反射率分布值

段别	改性纳米沸石粉涂料基面									
	左侧					右侧				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
入口 1 段 (15~25)	0.81	0.83	0.8	0.83	0.8	0.81	0.81	0.8	0.82	0.8
过渡 1 段 (50~60)	0.81	0.83	0.82	0.8	0.81	0.82	0.82	0.81	0.82	0.81
过渡 2 段 (110~120)	0.82	0.83	0.81	0.81	0.81	0.82	0.81	0.81	0.8	0.8
基本 1 段 (240~250)	0.82	0.82	0.82	0.8	0.83	0.82	0.82	0.83	0.82	0.83
基本 2 段 (340~350)	0.83	0.82	0.83	0.8	0.81	0.81	0.8	0.81	0.82	0.81
过渡 2 段 (500~510)	0.8	0.81	0.8	0.81	0.8	0.83	0.83	0.81	0.83	0.83
过渡 1 段 (570~580)	0.83	0.83	0.82	0.82	0.8	0.83	0.83	0.83	0.8	0.8
出口段 (605~615)	0.82	0.8	0.8	0.8	0.83	0.83	0.8	0.8	0.8	0.82
平均反射率值	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81

附表 A-11 木兰隧道铺装前的路面照度分布值

中心桩号	隧道长度	路面情况	灯光排数	开灯情况	设计照度
K367+602	626m	砼面层	双排灯	全开	750Lx
检测部位	右侧路肩	右幅中心	道路中线	左幅中心	左侧路肩
0	794	864	976	843	786
1	785	843	887	841	767
2	774	841	864	837	765
3	765	839	843	829	754
4	754	828	841	818	748
5	748	824	839	802	745
6	745	816	828	795	736

7	736	794	824	784	734
8	734	785	816	769	728
9	728	776	794	754	715
10	715	768	785	745	710
单线照度	752.5	816.2	845.2	801.5	744.4
测区照度	792				

附表 A-12 木兰隧道铺装后的路面照度分布值

中心桩号	隧道长度	路面情况	灯光排数	开灯情况	设计照度
K367+602	626m	砼面层	双排灯	全开	750Lx
检测部位	右侧路肩	右幅中心	道路中线	左幅中心	左侧路肩
0	977	1063	1200	1037	967
1	958	1037	1082	1026	936
2	937	1043	1045	1013	926
3	941	1032	1037	1020	927
4	935	1010	1043	1014	928
5	920	997	1032	986	916
6	909	1004	1010	970	898
7	891	977	997	949	888
8	903	966	1004	946	895
9	895	954	977	927	879
10	872	937	958	909	866
单线照度	921.5	1001.7	1035.0	981.5	911.5
测区照度	970				

附表 A-13 南坂隧道铺装前的反射率分布值

段别	混凝土基面									
	左侧					右侧				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
入口1段(15~25)	0.19	0.22	0.18	0.19	0.21	0.22	0.19	0.19	0.19	0.21
过渡段(30~40)	0.18	0.18	0.2	0.2	0.22	0.21	0.19	0.18	0.2	0.21
基本段(50~60)	0.2	0.2	0.18	0.22	0.2	0.2	0.2	0.22	0.2	0.21
过渡段(70~80)	0.2	0.21	0.19	0.2	0.19	0.18	0.19	0.18	0.22	0.2
出口段(90~100)	0.21	0.2	0.21	0.19	0.22	0.19	0.2	0.2	0.18	0.18
平均反射率值	0.196	0.202	0.192	0.200	0.208	0.200	0.194	0.194	0.198	0.202

附表 A-14 南坂隧道铺装后的反射率分布值

段别	改性纳米沸石粉涂料基面									
	左侧					右侧				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
入口1段(15~25)	0.83	0.8	0.83	0.83	0.83	0.81	0.83	0.8	0.82	0.81
过渡段(30~40)	0.8	0.83	0.81	0.81	0.83	0.81	0.8	0.8	0.82	0.81
基本段(50~60)	0.82	0.8	0.83	0.8	0.8	0.81	0.82	0.83	0.8	0.81
过渡段(70~80)	0.82	0.81	0.83	0.83	0.81	0.82	0.83	0.81	0.8	0.8
出口段(90~100)	0.81	0.8	0.82	0.82	0.8	0.82	0.81	0.82	0.82	0.83
平均反射率值	0.82	0.81	0.82	0.82	0.81	0.81	0.82	0.81	0.81	0.81

附表 A-15 南坂隧道照度分布值

中心桩号	隧道长度	路面情况	灯光排数	开灯情况	设计照度
K367+423	115m	砼面层	双排灯	全开	965Lx
检测部位	右侧路肩	右幅中心	道路中线	左幅中心	左侧路肩
0	1260	1390	1771	1410	1269
1	1248	1378	1760	1375	1257
2	1220	1330	1740	1260	1226
3	1195	1301	1698	1276	1190
4	1164	1295	1589	1240	1050
5	1110	1245	1465	1215	1090
6	1080	1220	1429	1180	1024
7	1030	1160	1337	1126	963
8	980	1084	1286	1060	887
9	896	1034	1264	1013	867
10	887	976	1067	921	853
单线照度	1097	1219	1491	1189	1061
测区照度	1212				

附表 A-16 南坂隧道铺装后的路面照度分布值

中心桩号	隧道长度	路面情况	灯光排数	开灯情况	设计照度
K367+423	115m	砼面层	双排灯	全开	965Lx
检测部位	右侧路肩	右幅中心	道路中线	左幅中心	左侧路肩
0	1550	1710	2178	1734	1561
1	1523	1709	2147	1678	1559
2	1476	1636	2105	1525	1508
3	1470	1587	2089	1569	1452
4	1443	1567	1970	1538	1271
5	1365	1531	1802	1494	1341
6	1318	1501	1743	1440	1260
7	1246	1404	1618	1362	1165
8	1205	1333	1582	1304	1091
9	1102	1272	1555	1246	1066
10	1073	1191	1302	1114	1041
单线照度	1342.9	1494.5	1826.5	1454.9	1301.2
测区照度	1550				