



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102635076 B

(45) 授权公告日 2014. 08. 13

(21) 申请号 201210122215. 1

(22) 申请日 2012. 04. 25

(73) 专利权人 武汉理工大学

地址 430070 湖北省武汉市洪山区珞狮路  
122 号

(72) 发明人 杜志刚 万红亮 蒋旭 黄发明  
刘启远 陶鹏鹏

(74) 专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限  
公司 42102

代理人 张安国 伍见

(56) 对比文件

CN 1245951 A, 2000. 03. 01, 全文 .

CN 101250859 A, 2008. 08. 27, 全文 .

US 6902348 B2, 2005. 06. 07, 全文 .

审查员 刘鹤

(51) Int. Cl.

E01F 9/00 (2006. 01)

E01F 9/015 (2006. 01)

E01F 9/08 (2006. 01)

E01F 9/053 (2006. 01)

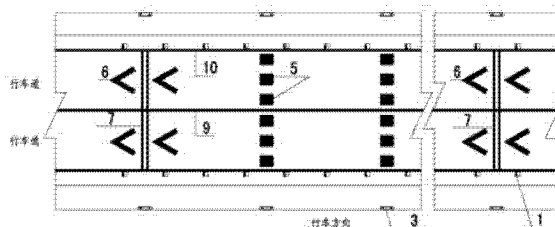
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

基于车速控制与车距保持的隧道逆反射照明  
系统设置方法

(57) 摘要

基于车速控制与车距保持的隧道逆反射照明系统设置方法。首先设置隧道侧墙及路缘石下缘红白相间立面标记线及路侧路面突起路标, 构成空间高频视觉信息流; 其次在前进方向每隔 25 ~ 50m, 隧道侧墙上设置多层轮廓标, 设置侧墙竖向标线并延伸至洞顶, 路面横向设置横向错视觉标线, 构成空间中频视觉信息流; 然后在前进方向每隔 100 ~ 200m, 每间隔 3 道中频横向标线, 路面设置 2 道白色折线及振动标线, 在侧墙设置 2 道白色折线, 构成空间低频视觉信息流。多道频率视觉系统均采用高强度逆反光材料, 从而构成逆反射照明系统, 有效地改善驾驶员的速度知觉、距离知觉, 从而达到隧道照明效益与隧道安全的统一。可应用于限速为 60 ~ 80km/h 的低照度高速公路隧道照明及交通安全设施改善。



1. 基于车速控制与车距保持的隧道逆反射照明系统设置方法,其特征在于:在限速为 60-80km/h 的低照度高速公路隧道,于隧道侧墙及路缘石下缘设置红白相间立面标记线(2)及路侧路面突起路标(1),构成空间高频视觉信息流;其次在前进方向每隔 25-50m,隧道侧墙从上至下设置 3 层以上轮廓标(3),设置侧墙竖向标线(4),并延伸至洞顶,路面横向设置横向错视觉标线(5),组成空间中频视觉信息流;然后在隧道前进方向,每隔 3 道横向错视觉标线(5),路面设置 2 道第一白色折线(6)及振动标线(7),在侧墙设置 2 道第二白色折线(8),构成空间低频视觉信息流;多道频率视觉系统均采用高强度逆反光材料,从而构成逆反射照明系统。

2. 根据权利要求 1 所述的基于车速控制与车距保持的隧道逆反射照明系统设置方法,其特征在于:所述的空間高频视觉信息流的频率为  $8\sim 12\text{Hz}$ 。

3. 根据权利要求 1 所述的基于车速控制与车距保持的隧道逆反射照明系统设置方法,其特征在于:所述的空間中频视觉信息流的频率为  $0.5\sim 1.0\text{Hz}$ 。

4. 根据权利要求 1 所述的基于车速控制与车距保持的隧道逆反射照明系统设置方法,其特征在于:所述的空間低频视觉信息流的频率为  $0.125\sim 0.25\text{Hz}$ 。

5. 根据权利要求 1 所述的基于车速控制与车距保持的隧道逆反射照明系统设置方法,其特征在于:所述的轮廓标采用钻石级反光膜。

6. 根据权利要求 1 所述的基于车速控制与车距保持的隧道逆反射照明系统设置方法,其特征在于:所述的路面突起路标采用高强级反光膜。

7. 根据权利要求 1 所述的基于车速控制与车距保持的隧道逆反射照明系统设置方法,其特征在于:所述的振动标线采用振动型道路反光标线涂料。

8. 根据权利要求 1 所述的基于车速控制与车距保持的隧道逆反射照明系统设置方法,其特征在于:墙面、路面标线采用全天候反光标线。

## 基于车速控制与车距保持的隧道逆反射照明系统设置方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种提升驾驶员车速控制、车距保持能力的隧道逆反射照明系统设置方法,从而实现隧道照明节能与隧道交通安全效益协调。

### 背景技术

[0002] 隧道路段运营照明不足,隧道内超速普遍,追尾、撞侧墙事故多发。1999 年颁布的《JTJ026. 1-1999 公路隧道通风照明设计规范》、2004 年颁布的《JTG/T D 71-2004 公路隧道交通工程设计规范》,使我国公路隧道的机电设施配置达到了很高的水平。对于高速公路隧道而言,按照我国国家标准设置照明,每延公里隧道照明负荷应不小于 60kW。以高速公路长隧道为例,其照明总功率接近 100kW/km,电费按 0.6 元 / 度计算,每年电费用为 320 万 /km。因而导致公路隧道机电设备配得起,用不起;中西部很多高速公路实际运营中,白天开灯率较低,且具有一定盲目性,往往牺牲了交通安全。同时相应交通安全设施不足,环境单调,参照物少;驾驶员缺乏方向感、速度感,表现为驾驶员视野变窄,急于逃离隧道,造成了普遍的超速现象。国内隧道事故统计表明超速是主要事故原因,占事故总数 50% 以上,追尾及撞隧道侧墙事故是主要事故形态,占到总事故 80%。陈昌武等在论文“基于视知觉环境的隧道内超速致因分析”一文(公路与汽运. 2011 年 4 月)通过室内模拟实验表明,在不同照度和对比度条件下,公路隧道会有显著的速度低估,并容易导致超速事故。

[0003] 现有隧道照明标准过于保守,有必要针对事故原因及形态设置隧道照明及安全设施。现有隧道照明理论建立在隧道内危险障碍物识别分析基础上,即驾驶员在停车视距范围内能有效视认行驶车道中心 10cm 大小的障碍物,过于保守,对于交通量较小的我国中西部隧道也不必要。因此很有必要根据事故形态(追尾、撞侧墙)及事故原因(超速),通过提升驾驶员对侧墙、前方车辆的识别能力,具体为车速控制、车距保持能力,以达到隧道照明的安全与效益的统一。

[0004] 基于光流率的车速控制方法得到应用。光流率被认为是影响速度感知的重要视觉因素。光流率是人运动时,空间中各点穿过视野的相对速度。国内外学者通过光流率在交通中“无意识”地进行速度控制的使用来提升公路环境速度知觉,刘兵在硕士论文“基于驾驶员视知觉的车速控制和车道保持机理研究”中(武汉理工大学,2008 年)通过心理物理实验得出当光流率小于 2Hz,或大于 32Hz 时,驾驶员会出现速度低估,光流率在 4Hz~16Hz 时,实验者对速度产生了高估,其中光流率为 12Hz 高估达到 30% 以上。

[0005] 逆反射材料及技术已日趋成熟。随着近些年,反光膜、反光片、反光漆等逆反射材料的应用越来越广泛,成本越来越低,同时,逆反射检测技术也进一步完善,这就为隧道内部采用“逆反射照明”夯实了基础。逆反射技术最大特点是充分利用车辆前灯的亮光,通过逆反射材料的表面结构,为驾驶人感知,从而改善驾驶者的安全视距,优化道路沿线交通设施视认效果,让驾驶者获得更多的时间、更强化的感受,来判断路况和获取指导信息,以便及时正确的采取安全措施。它是以物理手段调动人的主观能动性,提高行驶安全,是一种节能环保的低成本道路安全解决方案。

[0006] 现有隧道内一般是通过前方交通设施及景观信息来确定车速、车距,如路面标线、轮廓标、线形诱导标等。但是由于隧道内照度及对比度较低,因此隧道内普通交通工程设施难以被驾驶员发现,事故资料也表明它们的作用有限。同时现有隧道照明主要侧重于隧道照明节能控制、智能照明控制系统、自然光与人工光结合的隧道照明设置等,较少基于交通事故进行研究,也导致设置及运营成本较高,交通安全与效益不匹配。同时现有的基于视觉光流率的速度感知提升方法,对于方向感、距离感方面缺乏研究,也导致驾驶员熟悉局部信息后,敏感程度下降,控速效果降低,甚至出现报复性加速。因此亟需在保障隧道节能与隧道交通安全效益的前提下,从事故形态及原因出发,采用新的隧道照明系统。光逆反射系统则是一种非常行之有效的思路。

## 发明内容

[0007] 本发明根据空间频率在  $8\sim 12\text{Hz}$  作用下时,感知速度显著大于物理速度,最高达 30% 以上,而中频、低频条件下 ( $<2\text{Hz}$ ),感知速度小于物理速度(参见图 1)。在行车环境中,理想感知速度应比物理速度略大为宜 ( $<10\%$  或者  $5\%$ ),因此需要将高频、中频、低频信息结合起来,以达到感知速度与物理速度相协调,并实现速度控制的长效机制(参见图 2)。

[0008] 本发明针对隧道事故的事态形态(追尾、撞侧墙)及事故原因(超速),对于低照度设置的隧道,通过设置高强度反光材料组成的不同频率的轮廓标、侧墙及路缘石下边缘立面标记线与侧墙立面标线、路面横向标线、洞顶横向标线,通过高频、中频、低频多道视觉信息设置,大幅度提高隧道侧墙、路面及相关交通设施的逆反射效率,全面提升驾驶员行车过程中的速度感、方向感、距离感,从而达到规范和引导隧道内的驾驶行为,有效避免事故的发生的目的。

[0009] 本发明所采用的技术方案是:

[0010] 一种基于车速控制与车距保持的隧道逆反射照明系统设置方法,充分利用侧墙、洞顶、路面空间设置高反光高频、中频、低频的环形信息,以全面提升驾驶员的速度感、方向感、距离感。在限速为  $60\sim 80\text{km/h}$  的低照度高速公路隧道,于隧道侧墙及路缘石下缘设置红白相间立面标记线及路侧路面突起路标,构成空间高频视觉信息流,增大驾驶员瞬时速度知觉,提升驾驶员速度感;其次在前进方向每隔  $25\sim 50\text{m}$ ,隧道侧墙从上至下设置 3 层以上轮廓标,设置侧墙竖向标线,路面横向设置横向错视觉标线,或在洞顶设置中频横向闭合标线,组成空间中频视觉信息流,以改善驾驶员的方向感;然后在隧道前进方向每隔  $100\sim 200\text{m}$ ,每隔横向错视觉标线,路面设置 2 道白色折线(低频车距确认标线)及振动标线,在侧墙设置 2 道白色折线,构成空间低频视觉信息流,提高驾驶员车距确认的能力;多道频率视觉系统均采用高强度逆反光材料,从而构成逆反射照明系统。

[0011] 本发明的方法中,利用隧道侧墙及路缘石下缘红白相间立面标记线及路侧路面突起路标,构成空间频率为  $8\sim 12\text{Hz}$  的高频视觉信息流,以提升驾驶员的速度感。

[0012] 本发明的方法中,在前进方向上每隔  $25\sim 50\text{m}$ ,隧道侧墙上设置多层轮廓标,设置侧墙竖向标线,路面横向设置横向错视觉标线,组成空间频率为  $0.5\sim 1.0\text{Hz}$  的中频视觉信息流,以改善行车中驾驶员的距离知觉。

[0013] 本发明的方法中,在前进方向上每隔  $100\sim 200\text{m}$ ,隔 3 道横向错视觉标线,路面设置 2 道白色折线及振动标线,在侧墙设置 2 道白色折线以构成空间频率为  $0.125\sim 0.25\text{Hz}$  的低

频视信息流,以提高驾驶员车距确认的能力。

[0014] 本发明的方法中,提升速度知觉水平的高频信息主要包括侧墙及路缘石下沿立面红白标线,针对设计车速为 60~80km/h 的高速公路隧道,其空间频率为 8~12Hz,间距取 1.5~3m,立面红白标线高度不超过 60cm;同时隧道路面边缘线外侧设立突起路标,与立面标线同频率设置。高频敏感信息流的设置可以提供瞬时速度知觉,增大驾驶员视觉心理响应,并确保车辆运行过程中的驾驶员感知速度显著大于物理速度。

[0015] 本发明的方法中,提升方向知觉水平的中频信息主要为侧墙竖向标线、轮廓标及洞顶、路面横向标线,针对设计车速为 60~80km/h 的高速公路隧道,设置空间频率为 0.5~1.0Hz,间距为 25~50m;侧墙竖向标线为白色实线,宽度为 45cm,轮廓标侧墙上从上到下设置 3 道,间距为 80~120cm,最下面一道离地面高度约 60~80cm;路面横向标线为虚线,宽度为 45cm,线段长 45cm,间隔 45cm(参照新国标中高速公路收费站减速标线画法);洞顶白色实线,宽度为 45cm,线段长 45cm,间隔 45cm。中频信息刺激以提供中等心理反应,满足驾驶人的方向感及节奏感。

[0016] 本发明的方法中,提升车距知觉水平的低频信息主要为车距确认标线,主要通过设置侧墙标线及洞顶、路面标线实现,针对设计车速为 60~80km/h 的高速公路隧道,设置空间频率为 0.125~0.25Hz,间距为 100~200m,每隔 3 道中频横向标线设置一道,体现为侧墙、路面、洞顶的白色折线,一组车距确认标线为连续设置的 2 道标线组成,侧墙、路面、洞顶为白色折线;标线总宽 300cm,线条宽 45cm,2 道标线间距为 5m;并同时设立 2 道振动标线,宽度为 30cm,间隔为 45cm。低频信息流可以确保驾驶人行驶过程中与前车进行车距确认,满足驾驶员的距离感,同时振动标线也能给驾驶员起到行程提醒作用。

[0017] 本发明的方法中,轮廓标采用钻石级反光膜,路面突起路标采用高强级反光膜(考虑到实际运营过程中容易被灰尘覆盖,维护难度大,容易部分失效),振动标线采用振动型道路反光标线涂料,其余墙面、路面标线采用全天候反光标线。

[0018] 本发明优点如下:

[0019] 1) 在隧道侧墙及路缘石下缘设计小尺度、高频的红白相间立面标记线,同时路面两侧设置同样频率的突起路标,共同作用,能提高驾驶员的瞬时感知速度;

[0020] 2) 在隧道侧墙设置中等频率的多排轮廓标,同时隧道路面、侧墙设置同等密度的横向闭合白色环线,共同作用,并确保驾驶员在行驶过程中能看到前进方向至少 4 个轮廓标,能提升驾驶人的方向感。

[0021] 3) 在隧道侧墙、路面设置低频的车距确认线,能增加驾驶员的距离感,同时设置的低频振动标线,也能起到行程提醒及控制车速的效果。

[0022] 4) 根据室内模拟实验表明,低照度(1/8 到 1/2 照度国家规范值设置环境)、低对比度条件下,采用本方法的隧道中部逆反射照明,在 60~100km/h 车速时,驾驶员的知觉速度约等于物理速度,同时知觉碰撞时间(碰撞时间是车距保持的关键因素)也约等于碰撞时间,差值均在 5% 左右,同时认知失误率也显著降低;表明了按照本方法设置的逆反射照明系统,能全面提升驾驶员的速度感、方向感、距离感。

[0023] 5) 本方法综合考虑视觉控速与振动控速结合,从主动、被动安全两方面全面改善驾驶员隧道行车车速适应性,是一种典型的人因工程改善方法,容易为驾驶员理解执行。

[0024] 6) 本方法采用低成本的高反光构成的道路标线和视觉诱导系统,不涉及大规模道

路基础设施,投资少,施工易,见效快,能改善隧道照明、确保隧道安全。

### 附图说明

[0025] 图 1:不同光流率下感知速度与物理速度关系示意图

[0026] 图 2:理想感知速度、实际物理速度关系示意图

[0027] 图 3:隧道逆反射系统设置平面图

[0028] 图 4:隧道逆反射系统设置立面图

[0029] 图 5:隧道逆反射系统设置横断面图

[0030] 附图中阿拉伯数字含义如下:1- 隧道路面突起路标;2- 隧道侧墙、路缘石立面标记线;3- 隧道侧墙轮廓标;4- 隧道侧墙竖向标线;5- 隧道路面横向错视觉标线;6- 隧道路面白色折线;7- 隧道路面横向振动标线;8- 隧道侧墙白色折线;9- 隧道车道分界线;10- 隧道车道边缘线;11- 隧道洞顶灯具。

### 具体实施方式

[0031] 1)先清洗隧道侧墙、路面,施画侧墙、路缘石立面标记线 2 (红白相间)及路侧突起路标 1;

[0032] 2)从下至上安装隧道侧墙上的多层轮廓标 3,并施画侧墙竖向标线 4 延伸到洞顶,隧道路面设置横向错视觉标线 5;

[0033] 3)按照国标施画路面两道白色折线 6 (间距为 5m),并在折线之间设置 2 道横向振动标线 7,隧道侧墙与路面纵向相同位置设置白色折线 8;

[0034] 4)隧道路面施画车道分界线 9、车道边缘线 10,安装洞顶灯具 11。

[0035] 注意事项:

[0036] 1)本方法适用于低照度的高速公路隧道,对现有的照明系统是一种有益的补充,因此要求隧道内安装有照明机电系统,且运营照明不能全部关闭。

[0037] 2)本方法需要通过一些交通工程设施,如隧道入口设置隧道内请开灯行驶的警告性标志,隧道内限速一般为 60~80km/h。

[0038] 3)对于超速程度较严重的公路隧道,可在中频横向标线中设置多道振动标线,以达到合理控速的效果。

[0039] 4)本方法中隧道内部内逆反射照明系统应注意保养、维护,当轮廓标反光系数降低到设计数值的 70% 以上时,应注意更换反光膜。

[0040] 5)对于隧道入口过渡段,由于照明过渡特别剧烈,可在隧道入口内 50m 范围内采用增大轮廓标反光膜面积,增大侧墙、路面中频标线宽度来实现隧道入口的顺利过渡。

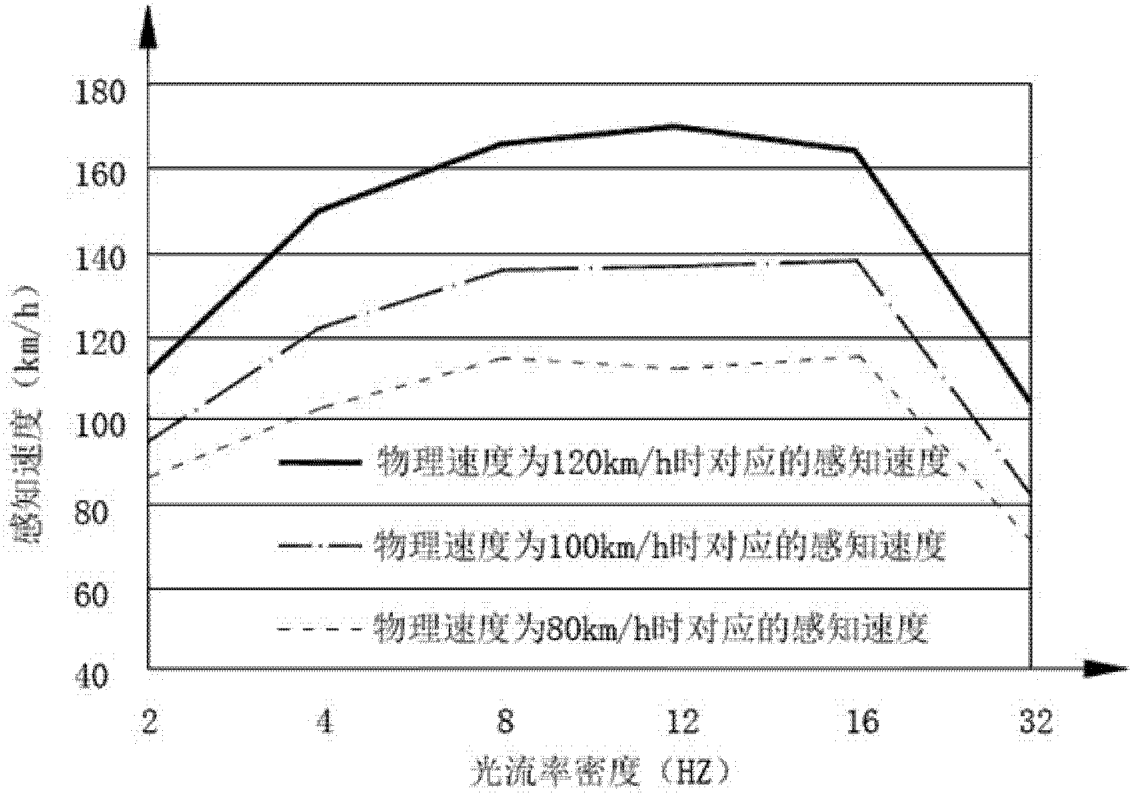


图 1

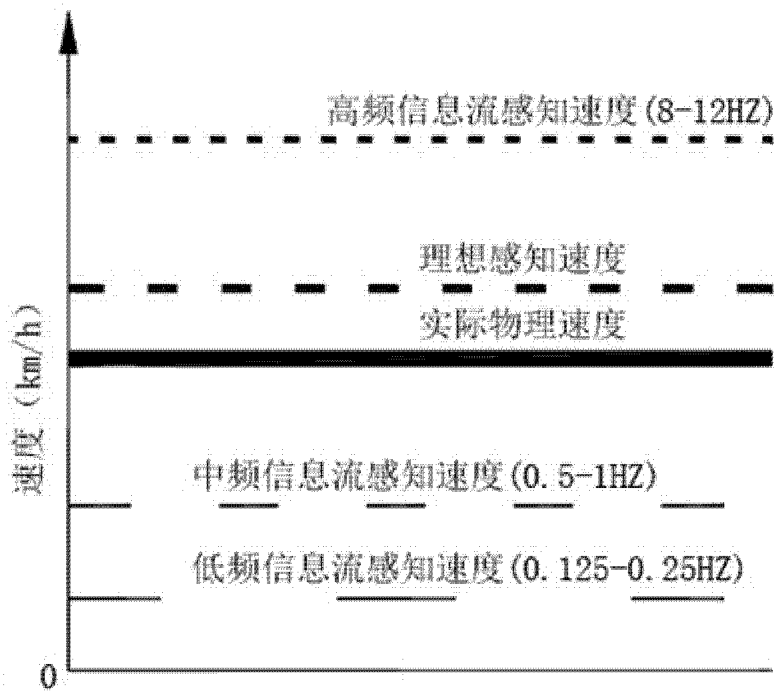


图 2

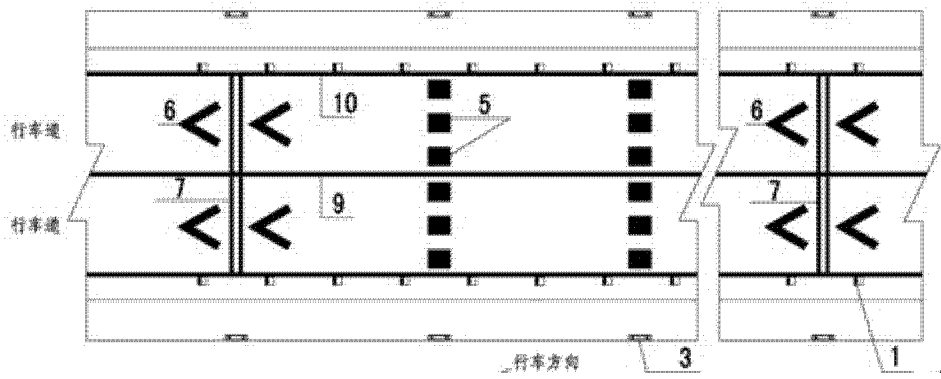


图 3

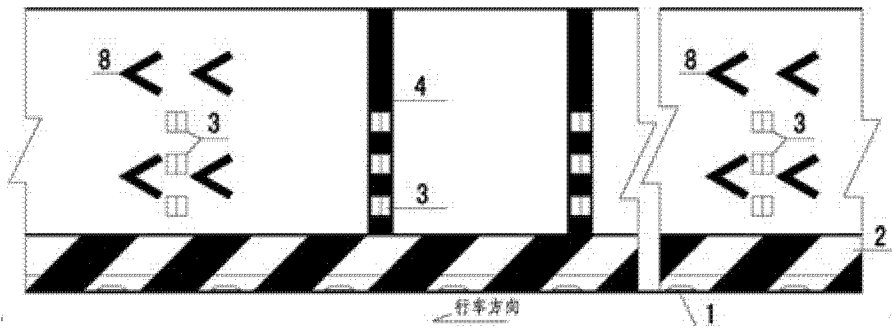


图 4

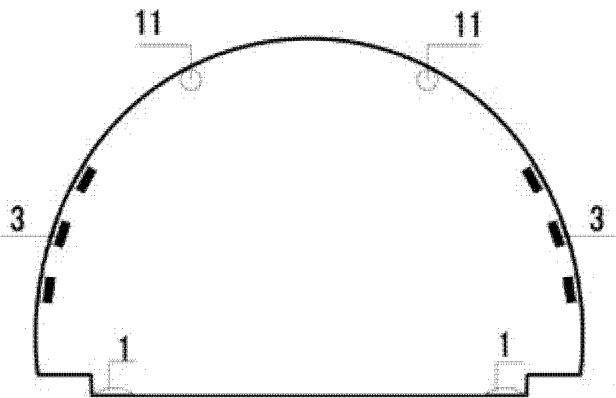


图 5