

背景

随着我国经济与技术的快速发展，高速公路隧道建设取得了巨大的成就，带来了良好的社会、经济效益。但是，频繁的交通事故也引起了人们对公路隧道行车安全的担忧。近年来国内外发生多起重特大隧道交通事故，令人触目惊心。

2012年3月13日，一辆比利时牌照客车在瑞士南部瓦莱州谢尔附近9号高速公路的一处隧道失控撞上紧急停车带的水泥墙，导致28人死亡，其中包括22名儿童。2014年3月1日，晋济高速岩后隧道内2辆甲醇车追尾，致使甲醇泄漏起火燃烧，波及隧道内42辆车及煤炭等货物，事故共造成31人死亡，9人失踪。2017年8月10日，西汉高速秦岭1号隧道发生客车正面碰撞隧道洞门墙事故，车辆严重变形，致36人死亡，13人受伤。

一桩桩惨重的交通事故，无不在警醒隧道建设各方与管理单位：隧道交通安全问题始终是重中之重。

高速公路 隧道行车安全若干问题探讨

叶 飞, 高 翔, 秦鲜卓, 秦 楠

长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064

高速公路隧道交通事故资料显示，隧道内事故形态主要包括碰撞事故、刮擦事故、翻车事故和失火事故。碰撞事故主要发生于机动车之间或机动车与隧道结构物之间，包括正面碰撞、侧面碰撞、追尾碰撞，如图1、2所示。交通事故有时表现为单一形态，有时表现为两种以上并存形态，对两种以上形态的事故，一般采用时间顺序加以认定主次。对事故形态的认定，有利于

抓住其共性问题，进而提出有效的措施。

据统计，隧道进、出口段是事故高发路段，进口路段洞内事故多于洞外事故，出口路段洞外事故多于洞内事故，且隧道长度与交通事故存在一定关系。隧道内追尾事故及单车碰撞隧道壁和侧翻事故占比80%以上，其主要原因在于隧道内行车速度快、洞内环境差及躲避空间有限；火灾事故在隧道交通事故中所占比例虽不高，但由于高速公路隧道本身的特点，难以组织有效救援，所造成的损失同其他形态交通事故相比大得多，如图3所示。



图1 追尾碰撞



图2 正面碰撞



图3 失火事故

1 影响高速公路隧道行车安全的若干因素

隧道交通事故是在特定的交通环境中，由于人、车、环境诸因素配合失调而发生的，因此，分析交通事故的成因时最主要就是分析人、车、环境因素对交通事故形成的影响。

1.1 环境因素

1.1.1 线形条件

公路隧道的线形条件包括平面线形和纵断面线形，隧

道交通事故是在特定的交通环境中，由于人、车、环境诸因素配合失调而发生的，因此，分析交通事故的成因时最主要的就是分析人、车、环境因素对交通事故形成的影响。

道平面线形应尽量选择直线，避免设置平曲线。由于车辆在平曲线上行驶时，司机的视距不足，导致平曲线路段的事故发生率较高。根据事故统计资料，高速公路发生在平曲线上的交通事故率是直线上的1.5~4倍，且损失更为严重。英国学者格兰威尔通过试验研究道路平曲线的曲率与道路交通事故率的关系，结果如表1所示。

纵断面线形主要控制路线的坡度及坡长，坡度过大，在重力和惯性的作用下，车辆会以较大的加速度行驶，车速快速增加，驾驶员需不断制动，道路坡度越大，制动就越频繁制动效能越低，事故率则越高；而上坡时，必然导致车速降低，特别是单位质量功率低的大型车，其行驶速度降低过多，车速与小汽车的速度差较大，极易出现超车现象和追尾事故。坡长对交通安全的影响依赖于坡度，主要起放大或减小作用。

1.1.2 交通安全设施缺陷

标志标线的作用在于加强驾驶人在公路隧道内安全行车的意识、引导和指示驾驶行为、规范交通秩序、减少交通事故。目前我国高速公路隧道交通安全设施的设置存在较大的不足，其现有功能远滞后于交通发展速度，标志标线部分缺失，可视性能差，反光效果不明显，可变信息牌设置数量少，管理模式落后，在一定程度上不能满足高速公路隧道安全行车的需要，对隧道交通安全极为不利，如图4、5所示。

隧道入口处护栏主要作为路基段或桥梁段向隧道内壁位置过渡的一种防护结构，主要用于绊阻车辆，使车辆回复到正常行驶方向，防止车辆失控撞向隧道壁，达到保护驾乘人员生命安全的目的。当前部分高速公路隧道入口处无过渡护栏，车辆一旦失控将直接撞向隧道洞门，如图6所示；

表1 曲率与交通事故率的关系

曲率	0~1.9	2~3.9	4~5.9	6~9.9	10~14.9	> 15
每公里事故率 (次 / 百万辆)	1.62	1.86	2.17	2.36	8.45	9.26



图4 道路标线失效

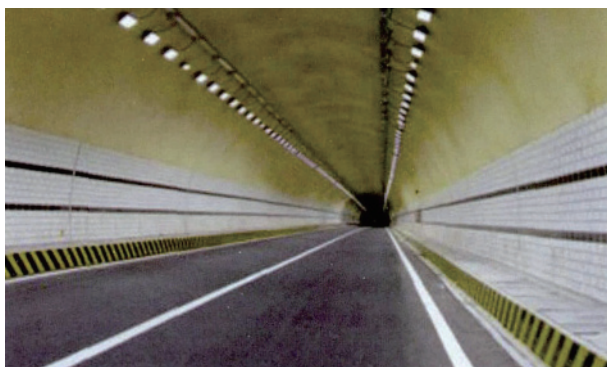


图5 无隧道轮廓标



图6 未设置过渡护栏

部分隧道护栏设置不合理,当车辆失控碰撞护栏后,由于护栏尤其是波形梁护栏横向变形较大,车辆将产生过大的横向位移和侧倾,造成正面碰撞隧道壁或绊阻在检修道上,导致车辆翻车和损毁,如图7所示。

1.1.3 路面条件

隧道路面因素的影响主要表现为路面附着系数的变



图7 过渡护栏设置不合理

化。隧道内路面处于一个相对封闭的环境,受外界因素影响较小,车辆排放的废气及其引入的尘埃及污染物逐渐沉积在路面上,由于长期得不到冲洗,覆盖路面的微观粗糙结构,造成路面附着系数降低,易产生“泥滑”、“润滑”现象。隧道内路面虽不直接受大气降水的影响,但隧道内来源于围岩和车辆带入的水源仍较丰富,且不易消除,行车时易出现“水滑”现象,当车辆发生滑水时,刹车能力急剧下降,操作不当便会发生事故,如图8所示。

高速公路隧道多采用水泥混凝土路面,采用刻槽构造提高路面的抗滑性能,但该构造在行车荷载及隧道内环境因素的作用下,极易被磨蚀,尤其当刻槽深度过浅或路面砂浆强度过低时,混凝土路面抗滑性能衰减极快,严重影响通行安全,如图9所示。除此之外,由于高速公路道路路面和隧道路面一般采用不同的材料,二者抗滑性能存在较大差异,尤其在气候变化时,隧道出入口路面附着系数将产生较大变化,加之隧道洞口积



图8 路面积水



图9 刻槽构造过度磨损

水不易消退，若车速过快，容易引发车辆侧滑、追尾等交通事故。

1.1.4 照明与通风

公路隧道运营通风的目的主要在于：稀释有害气体（主要是CO）、稀释烟雾、稀释异味，保证隧道内卫生条件及行车安全，提高隧道内行车的舒适性。当隧道内通风设计不足或通风系统运行状况不良时，洞内会聚集大量的烟雾，致使能见度降低，给行车带来直接威胁，如图10所示。



图10 隧道通风条件恶化

车辆从进入隧道至驶出隧道，驾驶员会出现不同的视觉问题。在进出隧道时，驾驶员会经历“暗适应”及“明适应”过程，在一段时间内看不清路况，极易发生交通事故；在隧道内行驶时，汽车尾气形成的烟雾吸收和散射车灯及道路照明器发出的光线，会降低隧道内能见度，使驾驶员产生焦虑及压迫感，降低驾驶员注意力。因此，为保证行车安全，必须给隧道内提供良好的视觉环境，隧道照明尤为重要。但目前隧道照明存在较大问题，部分照明设计未按规范执行，大量隧道由于电费开支问题，灯具开启数量有限，隧道进出口段照明条件难以满足明暗过渡的需

要，在隧道基本段，隧道内部照度不均，行车中明暗变化形成频闪，易造成驾驶员视觉上的疲劳和不适，致使驾驶员对车速和距离的判断出现偏差，影响行车安全，如图11、12所示。

1.2 人的因素

人作为道路交通的主体，在交通安全中占据主导地位。统计显示，导致交通事故的主要因素是人为因素，人为因素包括驾驶人和管理者。

驾驶人在高速公路行车时安全意识低，隧道内保持车辆高速行驶，甚至疲劳驾驶，违章超车，极易在观察、判断和操作三个环节出现失误；并且隧道内行驶所产生的不良反应也易导致操作失误，诱发交通事故。

管理因素主要包括管理部门人员的疏忽大意、管理部门对高速公路行车的管理检查以及管理部门制定的一些规定措施不当等。



图11 隧道洞口照明条件不良



图12 隧道洞内照明不良

人作为道路交通的主体，在交通安全中占据主导地位。统计显示，导致交通事故的主要因素是人为因素，人为因素包括驾驶人和管理者。

1.3 车辆因素

车辆性能的好坏是影响道路交通安全的重要因素，除超载、日常检修维护工作不到位等原因外，还与车辆性能有很大的关系，如操纵稳定性、

制动性、轮胎的性能等。

2 交通事故预防对策

2.1 加强驾驶员的安全意识及车辆的日常维护

驾驶员应主动提高安全防范意识，加强对高速公路基础设施和交通诱导标识的了解，避免由于操作不当或疲劳驾驶等引起交通事故；加强车辆的日常维护，确保车辆的技术状况良好。

2.2 优化设计

(1) 隧道线形应选择良好的平纵线形组合，尽量减少连续下坡和小半径弯道路段。当坡道、弯道不能完全避免时，在隧道前较长路段应设置视线良好的减速带，并设置连续的减速及限速标志。

(2) 保证隧道的通风照明设计满足通行要求，推进高速公路隧道照明LED节能改造，开展太阳能光纤照明、光带照明等新技术的应用。在隧道接近段可采取一定的减光措施，主要包括：设置减光构筑物、利用植被减光及控制洞外景物表面亮度，以此形成光过渡带，降低亮度剧变对驾驶员造成的视觉冲击，优化行车环境，保证行车安全，如图13所示。



图13 隧道遮光棚

(3) 隧道内除通风与照明系统外，还应设置电视监控系统、消防系统、CO浓度和烟雾浓度检测系统等，实时监测隧道运营状况，保证隧道正常运行。

2.3 加强隧道内附属设施及路面的维护管理

(1) 加强管理隧道内通风、照明、消防等附属设施，定期检测，及时维修更换，确保其处于正常工作状态。

(2) 严格监控，切实发挥监控系统应有的作用，根据监测信息进行系统控制，发布控制命令，避免事故发生。

(3) 隧道路面铺筑选用摩阻系数较大的抗滑路面，

基于隧道设计、运营管理及道路使用者三个方面的防治，进行必要的安全设计，加强运营管理及监控，改善隧道运营状况，强化驾驶员安全意识，保证多因素协调统一，以此改善高速公路隧道运营安全的现状。

养护管理人员在日常维护中应对隧道路面进行定期清扫，定期检测隧道抗滑性能，保证隧道路面的摩阻系数保持在正常范围；在隧道进出口处设置彩色防滑路面，不仅可防止车辆洞口侧滑，又能起到警示作用，如图14所示。



图14 洞口防滑构造

2.4 严格限制并控制车速

(1) 根据各隧道的具体情况制定车速限制，并用交通标志和路面交通标示将所限制的速度标示出来，但应保证限速有一个渐变的过程，同类交通标志连续提示，避免出现突然降低限速，造成驾驶员采用紧急刹车减速的情况。

(2) 采用物理的方法，主要是采用特殊设计或设置障碍物，来强制车辆降低行驶速度。

2.5 优化完善高速公路隧道交通安全设施

(1) 加大隧道交通安全设施资金的投入，增加交通安全设施的数量，丰富交通信息，增强交通标志标线的可视化，加强管理，及时修复。

(2) 推广主动发光技术的应用。主动发光亮度是反光亮度的10倍左右，穿透能力强，可安全有效地为驾驶员指导方向。主动发光的轮廓标志可以某种频率闪烁，因人的视觉对变化更为敏感，故其警示作用较强，如图15所示。

(3) 隧道洞口处设置过渡护栏，并应在车辆碰撞后使运行轮迹满足导向驶出框要求，车辆行驶至隧道

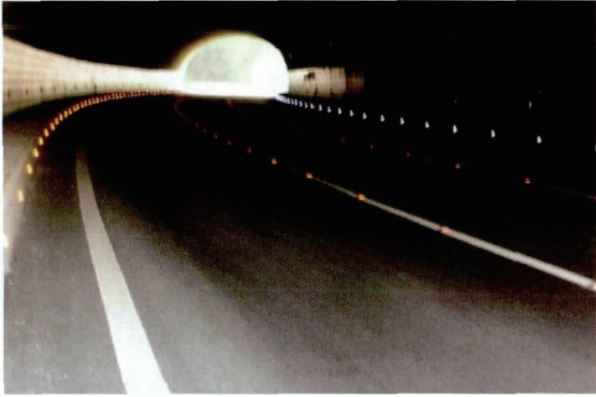


图15 主动发光标志

洞壁以及检修道位置时可向前方顺利导出并驶入隧道内，避免车辆碰撞接近隧道洞壁位置护栏时与隧道洞壁或检修道产生绊阻，如图16所示。开发应用新型过渡护栏，优化提高护栏的防撞性能、导向性能及缓冲性能，提升隧道交通安全防护水平，如图17所示。



图16 过渡段护栏设置



图17 旋转式防撞护栏

(4) 隧道内合理设置安全防护设施。隧道紧急停车带、车型横通道等均存在直角或者棱角，车辆高速行驶时一旦失控，将直接撞击隧道壁出现事故，因此应在此类部位处设置防撞设施，如图18所示。



图18 防撞设施

3 结语

高速公路隧道是一个复杂的运营系统，其运营安全直接关系到高速公路能否有效发挥其快速、安全、舒适、高效的功能。人、车和环境作为影响高速公路隧道交通安全的基本要素，应从系统的角度出发综合考虑三者的影响，减少隧道交通事故的发生。基于隧道设计、运营管理及道路使用者三个方面进行必要的安全设计，加强运营管理及监控，改善隧道运营状况，强化驾驶员安全意识，保证多因素协调统一，以此改善高速公路隧道运营安全的现状。✎