

# 贵州省公路隧道常见病害调查与成因分析

孟庆生, 黄启舒

(贵州省质安交通工程监控检测中心有限责任公司, 贵州 贵阳 550000)

**摘要:** 以 2018 年贵州 5 条高速公路隧道土建结构定期检测结果为基础, 对各类病害进行频率统计, 结合规范中各类病害在评分中的权重  $W_i$ , 并引入各类病害的养护关注系数  $J_i$ , 分析养护单位对各类病害的关注程度, 为贵州省公路隧道病害处治提供依据, 提高养护的针对性; 结合地质、水文、气候等资料及各类病害的养护关注系数  $J_i$ , 分析病害的成因主要包括工程地质、水文地质、施工工艺和人为因素等。

**关键词:** 隧道; 病害调查; 成因分析; 养护关注系数

中图分类号: U457

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)05-0147-05

隧道工程结构的隐蔽性、病害的突发性, 对管养单位提出了较大考验, 也使隧道养护越来越引起人们的关注。王少飞提出构建公路隧道大数据中心, 从不同维度对数据进行深入分析和应用; 潘正中等对中国高速公路隧道运营安全风险进行辨识, 构建隧道分区段和总体运营安全风险评估指标体系, 提出了隧道分区段运营安全风险评估标准; 周嘉宾对河南省运营隧道现状进行评价并给出了针对性的对策和建议。为提高隧道养护的针对性, 该文对贵州省 5 条高速公路隧道土建结构进行定期检测, 根据检测结果分析各项病害的关注程度及成因。

## 1 隧道土建结构常见病害类型

(1) 洞口病害。主要有山体滑坡, 岩石崩塌、危石、落石, 边坡冲沟, 挡墙开裂、倾斜, 地基不均匀沉降等。

(2) 洞门病害。主要有墙身开裂(断裂)、起层、剥落(掉落)、倾斜(倾倒)、沉陷、错台、垮塌, 壁面渗水、喷水、挂冰, 钢筋外露、锈蚀, 填料流失等。

(3) 衬砌病害。主要有变形、沉降, 裂缝, 衬砌后空隙, 拱部背后空洞, 起层、剥落, 衬砌结构侵限, 钢筋锈蚀, 砼材料劣化, 渗漏水等。

(4) 路面病害。主要有路面浸湿、积水、漫水、结冰、裂缝、落物、隆起、沉陷、坑洞、表面剥落、露骨、破损, 路面板错台、断裂, 路面溜滑等。

(5) 检修道病害。主要有检修道面板缺角、缺损、缺失、开裂。

(6) 排水设施病害。主要有结构破损, 淤积、堵塞, 漏水、溢水、涌水等。

(7) 悬吊结构及各种预埋件病害。主要有悬吊结构变形、破损、开裂、掉落, 预埋件锈蚀、断裂、严重变形、松动或脱落。

(8) 内装饰病害。主要有内装饰层(如防火涂层)污脏、变形、破损、脱落。

(9) 标志、标线、轮廓标病害。主要有脏污、脱落、缺失、破损等。

## 2 贵州公路隧道病害统计与分析

2018 年, 采用人工与智能检测车结合的手段, 辅以资料调研与现场检查等方法, 对贵州省某 5 条高速公路隧道(见表 1)土建结构进行定期检测。

表 1 贵州省 5 条高速公路隧道统计

路线编号	单洞数/个				合计
	短隧道	中隧道	长隧道	特长隧道	
1	10	8	21	5	44
2	11	2	2	2	17
3	4	2	2	0	8
4	8	2	6	0	16
5	8	4	10	0	22
总计	41	18	41	7	107

对 5 条高速公路隧道的检测结果按上述九类病害进行统计, 结果见表 2 和图 1。

由表 2 和图 1 可知: 2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup> 和 5<sup>#</sup> 高速公路上隧道的衬砌病害最多, 排水设施病害次之; 1<sup>#</sup> 和 4<sup>#</sup> 高速公路上隧道的排水设施病害最多, 衬砌病害次之。总体来看, 隧道病害集中在衬砌、排水设施和内装饰三类, 分别占总病害数量的 55.80%、23.08% 和 94.9%; 其他病害如检修道、路面、标志标线、洞门、

表2 高速公路隧道各类病害统计

路线编号	各类病害数量/处								
	洞口	洞门	衬砌	路面	检修道	排水设施	吊顶及预埋件	内装饰	标志、标线
1	4	24	2 272	323	376	2 306	15	883	64
2	5	4	1 072	36	41	112	4	110	15
3	4	0	311	58	18	56	4	53	8
4	4	10	529	22	131	621	3	34	35
5	3	2	3 809	129	209	211	12	280	103
总计	20	40	7 993	568	775	3 306	38	1 360	225

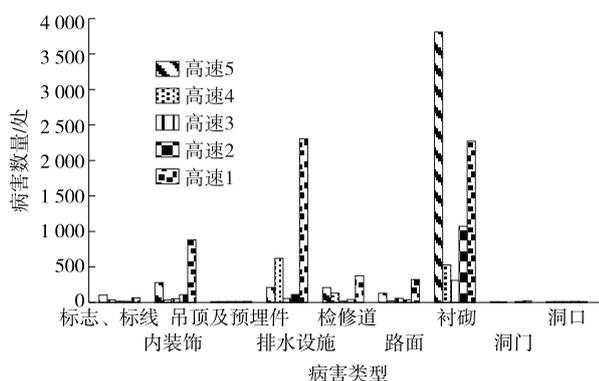


图1 5条高速公路隧道病害分布

吊顶及预埋件、洞口病害分别占病害总数的5.41%、3.97%、1.57%、0.28%、0.27%、0.14%。各类病害按出现频率由大到小排序为衬砌、排水设施、内装饰、检修道、路面、标志标线、洞门、吊顶及预埋件和洞口。

结合 JTG H12-2015《公路隧道养护技术规范》中隧道各类病害评分权重  $W_i$  进行分析,同时引入养护关注系数  $J$  衡量养护需关注的分项。各类病害的养护关注系数  $J_i$  按式(1)计算,结果见表3。

$$J_i = \frac{f_i \times W_i}{\sum_{i=1}^n f_i \times W_i} \quad (1)$$

式中:  $f_i$  为各类病害在总病害中出现的频率。

表3 高速公路隧道各类病害的养护关注系数

病害类型	权重 $W_i$	频率 $f_i/\%$	养护关注系数 $J_i/\%$
洞口	15	0.14	0.08
洞门	5	0.28	0.06
衬砌	40	55.80	90.23
路面	15	3.97	2.40
检修道	2	5.41	0.44
排水设施	6	23.08	5.60
吊顶及预埋件	10	0.27	0.11
内装饰	2	9.49	0.77
标志、标线	5	1.57	0.32

根据各类病害的养护关注系数  $J_i$ , 养护单位关注各类病害的程度由高到低依次为衬砌、排水设施、路面、内装饰、检修道、标志标线、吊顶及预埋件、洞口和洞门。

### 3 贵州公路隧道病害成因分析

根据5条高速公路隧道定期检测结果,结合地质、水文、气候等资料及各类病害的养护关注系数  $J_i$  分析病害成因。

#### 3.1 衬砌病害成因

5条高速公路隧道的衬砌病害主要为衬砌裂缝及衬砌渗水、涌水。

##### 3.1.1 衬砌裂缝

衬砌裂缝从视觉上影响行人舒适程度,且会影响隧道结构的耐久性。如果放任裂缝任意发展,会使衬砌中的钢筋暴露于空气之中,使二次衬砌中钢筋锈蚀进而影响衬砌的受力分布,导致衬砌薄弱部分局部受力过大而使原有裂缝继续扩大。衬砌裂缝的产生是多种因素共同作用的结果,主要因素有水文地质条件、工程地质条件、砼质量、施工工艺、施工方法等。主要体现在:

(1) 隧道地质环境多样,围岩等级差,围岩在开挖后沉降较大且不易稳定,受外界因素影响会继续产生变形挤压二次衬砌,使二次衬砌受到限制而产生裂缝。

(2) 围岩水压力过大导致衬砌裂缝。地下水主要来自大气降水及地下水侧向补给,水量随季节变化大,使隧道围岩地下水位抬升,导致更大范围的围岩孔隙水压力增大,岩石经水体浸泡后强度下降,导致围岩变形增大,从而使衬砌产生裂缝。

(3) 二次衬砌厚度与初期支护厚度不均匀,导致局部应力集中,对隧道结构受力不利,会使薄弱的地方开裂。

(4) 砼强度不足,在外力作用下产生不均匀变

形,致使衬砌产生裂缝。

(5) 水灰比过大及脱模过早,导致砼产生裂缝。

### 3.1.2 衬砌渗水

隧道衬砌渗水会降低衬砌的耐久性和承载力,当拱顶有水滴落或边墙渗水流至路面时,会导致沥青路面的摩擦系数降低进而影响行车安全,也会导致沥青路面寿命大大降低。导致隧道衬砌渗水的因素主要为:

(1) 地质条件。公路隧道在穿过山体的过程中将山体原有地下水系统打破,使局部水压力增大,导致衬砌出现渗水。

(2) 水文地质。隧道所在地区降雨量丰富,溪沟发育,地表支流有季节性水流,大气降水汇集及地下水泉外溢为其主要补给来源,第四系空隙潜水、构造状裂隙水丰富。地表径流及垂直渗透为主要排泄方式,岩溶通道、落水洞发育,岩体渗透系数大。

(3) 防排水设计质量与管理不足。衬砌渗漏水直接受降水影响,极易在衬砌背后形成较大承压水头。衬砌结构长期在高水压环境下,防水体系破损失效、排水体系堵塞不畅,最终形成多个渗漏和涌水点,一定程度上影响衬砌结构的整体安全(见图2、图3)。



图2 水压过大引起衬砌开裂错台



图3 边墙喷射状渗水

### 3.2 排水设施病害成因

路缘边沟破损多为车辆碾压所致,沉沙井盖缺失为人为原因造成,且未及时进行修复。

排水设施堵塞有三方面原因:一是垃圾及泥沙未及时清理;二是路缘边沟破损,侵占了排水空间

(见图4);三是洞口排水沟未连接出洞外,导致雨季雨水漫至路面上,影响行车安全。



图4 排水设施损坏且堵塞

### 3.3 路面病害成因

运营期间路面病害多为裂缝、坑槽、积水、脏污、车辙等。路面裂缝是由于在车辆荷载作用下结构承载力下降,在受到较多碾压的地方先被挤压出纵向裂缝,之后逐渐发展为龟裂(见图5)。



图5 路面存在裂缝

在车流量激增和超载车辆作用下,沥青没有压实的地方先出现破坏,产生车辙。由于一些大型车辆在刹车过程中会有水产生,水与沥青接触会减弱沥青与集料之间的粘结性,在疲劳荷载作用下,沥青颗粒被带走,在多次重复过程作用下,路面在薄弱处形成坑槽。

隧道路面渗水或中央排水沟井盖顶出导致路面破坏的原因主要与中央排水沟排泄能力较低有关。隧道一般设计有仰拱,而隧道中间或围岩好的段落无仰拱,无仰拱段隧道施工时,若中央排水管之间搭接不好,地下水直接往中央排水沟里渗流,在中央排水沟里形成钙质堆积,会影响中央排水沟的流水面积,甚至局部形成堵塞。此外,由于设计无仰拱,加上环、纵向排水设施失效,衬砌背后的地下水无法通过隧道原有排水设施排走,致使水从路面薄弱处渗出(见图6)。

### 3.4 内装饰病害成因

5条高速公路隧道存在防火涂料脱落及错台修饰砼剥落的情况。防火涂料脱落主要集中在拱腰和拱顶部位,由涂料与砼表面粘结强度不足、砼表面未



图6 路面渗水

经凿毛处理所致;错台修饰砼剥落是施工中二次衬砌台车控制不好,导致较大错台,为使二次衬砌表面平顺而在错台部位修补砼,由于施工缝不均匀沉降导致修补的砼产生反射裂缝,进而使砼整体剥落(见图7)。



图7 内装饰脱落

### 3.5 检修道病害成因

检修道存在的问题是盖板破损或丢失。盖板破损的原因有两种:一是电缆检修时撬开再盖上的过程中操作不规范,没有对盖板作有效防护;二是盖板不平,检修人员在上面行走形成较大冲击,使盖板破损或断裂(见图8)。



图8 检修道盖板断裂、缺失

### 3.6 标志、标线、轮廓标病害成因

导致标线和轮廓标损坏、缺失的原因有车辆碾压、安装质量、人为因素;标志损坏是由车辆擦挂或人为撞击所致;脏污是由于长期清洁不到位。

### 3.7 吊顶及预埋件病害成因

导致预埋件锈蚀的因素是水和提供溶氧的空气,隧道里潮湿的空气使金属预埋件表面被一层电解质水膜覆盖,由于表面成分或受力变形等不均匀,邻近的局部产生电极电位差,形成许多微电池使金

属预埋件锈蚀。

### 3.8 洞口病害成因

洞口的一般问题是边坡轻微的局部滑落、挡土墙护坡开裂,暂未出现滑坡、崩塌等迹象。易风化岩受到自然因素作用其强度及完整性降低,在雨水冲刷作用下形成山体冲刷、垮塌。挡墙开裂可能是由于背后坡体受雨水浸泡,强度下降,变形增大,产生不均匀沉降,导致剪切裂缝。

### 3.9 洞门病害成因

洞门病害主要有墙身轻微开裂、渗水及水渍。造成端墙式洞门裂缝的主要原因是基础不均匀沉降,洞门施工时基础变形没有完全稳定;其次是洞门墙浇筑时因外观较差而用砂浆砼修饰,经长时间日晒雨淋,修饰砼与原浇筑的砼剥离,从而形成裂缝。水渍是渗水干后留下的痕迹。

## 4 结语

通过对贵州5条高速公路隧道定期检查中各类病害的统计,引入各类病害养护关注系数,得出养护单位对各项病害的关注程度由高到低依次为衬砌、排水设施、路面、内装饰、检修道、标志标线、吊顶及预埋件、洞口和洞门;结合地质、水文、气候及各类病害的养护关注系数,分析病害产生原因主要包括工程地质、水文地质、施工工艺和人为因素等。

### 参考文献:

- [1] JTG H12-2015,公路隧道养护技术规范[S]
- [2] 王少飞,张建阳,赵春艳,等.大数据技术在公路隧道工程中的应用探讨[J].公路,2017(8).
- [3] 潘正中,郭洪波,廖军洪,等.高速公路隧道运营安全风险研究[J].公路,2017(1).
- [4] 王亚琼,周绍文,孙铁军,等.基于模糊贴近度的公路隧道结构健康评价[J].公路交通科技,2014,29(12).
- [5] 周嘉宾.河南省公路隧道病害调查分析与运营管理思考[J].现代隧道技术,2018,55(2).
- [6] 张素磊,张顶立,刘昌.公路运营隧道衬砌裂缝长期监测及分析[J].现代隧道技术,2017,54(3).
- [7] 宋维龙,来弘鹏,刘禹阳,等.基于围岩浸水的黄土公路隧道衬砌开裂分析[J].中国公路学报,2018,31(5).
- [8] 孙铁军,王伟,罗明睿,等.不同衬砌结构缺陷对隧道结构整体安全性的影响[J].建筑科学与工程学报,2017,34(3).
- [9] 雷波,漆泰岳,王睿,等.海底隧道不同防排水条件下衬砌结构开裂情况研究[J].铁道科学与工程学报,2015,32(4).

- [10] 杨明举,黄景林.隧道衬砌开裂探析及处治措施[J].公路,2014(8).
- [11] 张素磊,丰权章,应国刚,等.公路隧道渗漏水成因及新型排水材料现场试验研究[J].公路交通科技,2013,30(10).
- [12] 高菊如,张博,袁玮,等.既有铁路隧道病害综合整治技术与设备配套研究[J].现代隧道技术,2013,50(6).
- [13] 黄宏伟,刘德军,薛亚东,等.基于扩展有限元的隧道衬砌裂缝开裂数值分析[J].岩土工程学报,2013,35(2).
- [14] 叶飞,何川,夏永旭.公路隧道衬砌裂缝的跟踪监测与分析研究[J].土木工程学报,2010,43(7).
- [15] 刘德军,黄宏伟,薛亚东.基于灰色关联的隧道衬砌裂缝致灾通道分析[J].同济大学学报:自然科学版,2013,41(11).
- [16] 姚正中,杨春平.高速公路现役营运隧道渗漏水病害整治措施[J].交通科技,2014(2).
- [17] 王平让.隧道病害快速检测技术现状及分析比较[J].公路与汽运,2016(3).
- [18] 张腾飞,刘伟华.东马各庄隧道运营安全仿真评价分析[J].公路与汽运,2018(6).
- [19] 哈元元.跨省界公路隧道管理运营模式及救援预案研究与设计[D].西安:长安大学,2017.
- [20] 杨明举.公路隧道事故及安全规范初探[A].运营安全与节能环保的隧道及地下空间暨交通基础设施建设第四届全国学术研讨会论文集[C].2013.
- [21] 张建华.公路隧道运营管理中的几个问题[J].海峡科技与产业,2017(9).
- [22] 孔祥凯.滑坡引起隧道病害的机理分析与整治[D].石家庄:石家庄铁道大学,2017.
- [23] 林亮伦,杜清超,徐志武.重庆某隧道病害调查分析与治理对策[J].重庆建筑,2018,17(8).
- [24] 张仁立.山区高速公路隧道病害分析与处治[J].四川建材,2017,43(5).
- [25] 孟宪会.高速公路隧道病害统计及成因分析[J].中外企业家,2018(31).
- [26] 魏龙海,刘继国,李波,等.山西某既有高速公路隧道病害综合治理技术研究[J].公路,2015(4).
- [27] 张龙.浅谈隧道病害研究发展现状及展望[J].四川水泥,2016(8).
- [28] 杨树.高速公路隧道病害成因机理及防治方案[J].工程技术研究,2019(2).
- [29] 周翔.山岭隧道质量无损检测及缺陷力学特性研究[D].成都:西南交通大学,2005.

收稿日期:2019-03-05

\*\*\*\*\*

(上接第61页)

混合料的动态模量大,可起到抗车辙的作用。

(3) 在同一温度下,30<sup>#</sup>硬质沥青 AC-20 混合料的动态模量随频率的增大而增大,低频区段的动态模量随荷载频率的增大急剧增大,在 5 Hz 以上区段则趋于稳定。

(4) 随荷载频率的增大,30<sup>#</sup>硬质沥青 AC-20 混合料的动态模量主曲线呈 S 形,主曲线拐点的两侧部分,曲线随着频率的降低和升高均趋于平缓,说明在高温低频和低温高频段,混合料动态模量受频率影响较小,且不同沥青混合料表现出的力学特性和适用范围不同。

#### 参考文献:

- [1] 沈金安,李福普,陈景.高速公路沥青路面早期损坏与防治对策[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [2] 魏建明,侯岩峰,王国清.基于动态剪切流变试验的沥青高温性能研究[J].公路与汽运,2007(5).
- [3] 陈胜军,马瑞.天然岩沥青改性沥青混合料路用性能研究[J].公路交通科技:应用技术版,2015(10).
- [4] 胡朋,张小宇.基于双轴加速加载试验的沥青路面车辙预测模型[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2017,36(7).
- [5] 交通运输部公路科学研究院.宽刚度域长寿命沥青路面协调设计模型的研究总报告[R].北京:交通运输部公路科学研究院,2016.
- [6] 杨洋,李玉鑫,张争奇,等.沥青混合料 SPT 简单性能试验及参数评价[J].中外公路,2013,33(1).
- [7] 王振华,田卫群,严世祥.采用 SPT 试验研究改性沥青混合料的高温性能[J].公路交通技术,2010(6).
- [8] 钟远帆.沥青混合料高温稳定性试验评价[D].长沙:长沙理工大学,2016.
- [9] 石宁,陈佩茹,周富杰.沥青混合料永久变形特性简单性能试验的初步验证[J].公路,2003(6).
- [10] John M Samuels, E Dean Carlson, Rebert E Skinner, et al. Simple performance test for superpave mix design[R]. NCHRP Report 465, 2002.
- [11] 包桂钰.沥青稳定碎石的动态模量及其影响因素研究[J].公路交通科技:应用技术版,2010(3).
- [12] 罗桑,钱振东, HARVEY J. 环氧沥青混合料动态模量及其主曲线研究[J].中国公路学报,2010,23(6).
- [13] 宋鑫,方鑫,孙凯,等.沥青混合料动态模量试验研究[J].科技促进发展,2009(12).

收稿日期:2019-06-23