

公路隧道的养护及病害防治

侯建斌 夏永旭

(1 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064)

摘要: 针对我国目前公路隧道在养护管理中常见的病害, 系统地介绍了公路隧道的病害种类以及所造成的危害, 分析其成因、影响因素及规律, 指出我国目前治理公路隧道病害所存在的问题。结合新的规范和工程实际论述了在隧道运营阶段各种防治公路隧道病害的技术和方法。

关键词: 公路隧道; 养护管理; 病害; 防治

近二十多年来, 我国公路建设发展十分迅速, 截至 2004 年底, 中国公路通车总里程达 181 万公里, 高速公路已突破 3 万公里, 总里程位居世界第二。伴随着公路建设的快速发展, 公路隧道的修建也增长迅速, 截至 2004 年底我国已建成公路隧道 2495 座, 总长 1246 公里, 其中 65% 的隧道已经进入养护维修期。但是, 由于我国地域辽阔, 各地自然条件差异很大, 公路隧道所穿越山体的工程地质及水文地质条件复杂多变, 又由于公路隧道工程的特殊性, 受地质、设计、施工及运营管理和维修养护等因素的影响, 出现的病害也越来越多, 有些隧道的病害已严重影响车辆的正常行使, 甚至危及行车和养护人员的安全。针对目前国内公路隧道运营的现状, 有必要系统深入地研究公路隧道病害产生原因及相应的防治措施。

1. 公路隧道的病害检查及养护管理

公路隧道既是道路工程构造物又是地下工程结构。它涉及工程地质、结构力学、空气动力学、光学、自动控制和工程机械等多种学科, 技术较为复杂。而且, 公路隧道一般都处于崇山峻岭之中, 无绕行可能, 如果隧道内出现严重渗漏水、衬砌开裂或设施故障等情况, 就会妨碍交通, 进而使整个交通线完全处于中断状态, 给公路交通造成恶劣影响。隧道主体结构为永久性建筑物, 日本统计的隧道平均寿命为 50 年以上, 我国公路的设计寿命为 30 年, 但隧道作为地下工程建设其寿命应该大于 100 年。对公路隧道运营阶段的病害检测与治理应本着“预防为主、早期发现、及时维护、对症施治”的原则, 要经常性的对隧道进行检查, 及时发现问题, 建立数据库, 确定需要整治的技术指标, 并采用有效措施整治, 对整治完的隧道要制定质量验收标准。力争做到检测程序化, 处治规范化, 验收标准化。但实现这个目标还有许多专题需要进一步研究。我国交通部于 2003 年 10 月发布了《公路隧道养护技术规范》(JTGH12-2003)^[1], 其中已经对公路隧道结构检查的基本内容和采取的常规对策给出了明确的规定。

1.1 公路隧道的检查

公路隧道的检查是为了掌握隧道的现状, 发现对隧道安全和功能有影响的病害, 为隧道进行合理的养护管理收集和积累资料, 建立隧道养护维修的数据库, 为决策提供基础数据, 以便尽早采取防治病害的措施, 确保隧道安全畅通。公路隧道的检查分为日常检查、定期检查、特别检查和专项检查。

日常检查是为了发现隧道结构的早期破损、显著病害或其他异常情况, 日常检查原则上与道路巡回检查一并进行。《公路隧道养护技术规范》^[1]规定日常检查的频度应不小于 1 次/月, 高速公路隧道应不小于 1 次/周, 特别是在雨季或冰冻季节更应增加日常检查的频度。检查的内容包括隧道衬砌的裂缝、错台、起层、剥落以及排水设施的破损、堵塞、积水和结冰等。

定期检查是按规定周期对隧道结构的基本状况进行全面检查, 检查的目的是系统掌握隧道的基本技术状况, 为制定养护工作计划提供依据, 检查宜采取徒步的目视检查为主, 配备必要的检查工

具或设备，检查的内容除了上述提及的结构病害外，还应扩展到运营的通风、照明、噪音、环保、路面抗滑系数等，检查的周期宜 1 次/年，高速公路隧道应不少于 1 次/年。检查宜安排在春季或秋季，定期检查完成后应提交定期检查报告以及隧道展开图和其他有关检测记录资料。

特别检查是在隧道遭遇地震、洪水等自然灾害，发生火灾、交通事故或出现其他异常事件后对隧道进行的检查，检查的目的是及时掌握隧道结构受损情况，特别检查难以判明破损原因和程度时应作专项检查。

专项检查是根据定期检查和特别检查的结果，或者通过其他途径判断，需要进一步查明某些破损或病害的详细情况而进行的更深入的专门检测，例如隧道火灾后的结构损伤评价检查，检查时要邀请一些有经验的专家并辅以专门的检查设备。通过专项检查，应完整掌握病害的详细资料，为其是否实施处治以及采取何种治理病害的措施等提供技术依据。

1.2 公路隧道的病害治理

《公路隧道养护技术规范》(JTGH12-2003)^[1]给出了公路隧道检查和病害治理的基本原则如表 1。

表 1 隧道的基本性能和采取的对策

隧道的性能	对策		
	介于建设时和现状之间的性能	建设时的性能	比建设时更高的性能
耐久性能	补修	补修、补强	补修、补强
安全性能		补强	补强
使用性能		恢复使用性、补强	提高功能性、补强
与第三者影响有关的性能	补修	补修	
美景、美观		修景	修景

2. 公路隧道病害的分类及危害程度

公路隧道病害的类型主要有水害、冻害、衬砌裂损、衬砌侵蚀等。隧道病害发生较多的地段，从地质情况看，一般是断层破碎带，风化变质岩地带、裂隙发育的岩体、岩溶地层、软弱围岩地层等；从地形情况看，多发生在斜坡、滑坡构造地带、岩堆崩坍地带等。隧道内各种病害一般不是单独存在的，而是互相影响、互相作用的。其中最常见病害形式是水害，隧道水害不仅增加隧道内湿度，造成电路短路等事故，危及运输安全，而且还引发其他病害。隧道由于渗漏水、积水，将会造成衬砌开裂或使原有裂缝发展扩大，加重衬砌裂损。当地下水有侵蚀性时，会使衬砌混凝土产生侵蚀，并随着渗漏水的不断发展，使混凝土侵蚀日益严重。在寒冷地区，水是影响隧道围岩冻胀和导致衬砌开裂的重要因素。隧道衬砌裂损病害主要表现为衬砌的变形、开裂和错台。而衬砌一旦开裂，将会给地下水打开一条外渗的通道，引起隧道严重水害，进而就会产生衬砌混凝土的侵蚀，冬季产生冻害等。冻害循环发生，进而使衬砌混凝土再产生开裂变形，导致衬砌承载力下降。春夏季衬砌产生冻害部位解冻，被冻结的冰融化成水，致使衬砌产生渗漏水。在含有侵蚀性地下水的围岩中，地下水的侵蚀将造成衬砌混凝土的疏松、剥落，致使衬砌裂损，承载力降低。总之，隧道内各种病害并不是单独作用的，而是几种情况共同作用，对衬砌结构产生连锁破坏，致使衬砌混凝土开裂变形，产生剥落掉块等，有效厚度减薄，承载力降低，安全可靠减小。随着病害的持续发展，最终导致衬砌结构失稳破坏。

2.1 隧道水害的种类及危害程度

隧道的水害主要是指隧道围岩的地下水或部分地表水，以渗漏或涌出方式进入隧道内造成的危

害。它包括：

(1) 隧道漏水和涌水。隧道漏水和涌水会对隧道的电力设备造成不同程度的损坏，对照明设备产生锈蚀，影响设备的正常运行，降低使用寿命，增加维修费用。渗漏水促使混凝土衬砌风化、剥落，造成衬砌结构破坏。渗漏水还会软化围岩，引起围岩变形；有些隧道渗水中含有对路面的侵蚀性介质，造成一般的混凝土碱化；在寒冷地区造成边墙结冰、拱部挂冰，侵入建筑限界。渗漏水还会造成路面翻浆，危及汽车的安全行驶。严重渗漏水还会引发隧道基础的沉陷，进而造成地面和地面建筑物的不均匀沉降和破坏，使得地表水和含水层水大量流失，破坏周围的生态环境。

(2) 隧道衬砌周围积水。运营隧道中地表水和地下水向隧道周围渗流汇集，水压力较大时会导致衬砌破裂和拱脚下沉，使围岩的结构面软化或泥化，使膨胀性围岩体积膨胀。在寒冷地区造成冰胀和围岩冻胀。在黄土隧道衬砌周围的水还会离析土中的胶体并带出黄土，使周围的衬砌变成空洞。

(3) 潜流冲刷。主要是指由于地下水渗流和流动而产生的冲刷和溶蚀作用，使得隧道衬砌基础下沉。它可使边墙开裂或者仰拱、隧道内路基下沉开裂；围岩滑移错动可导致衬砌变形开裂；对超挖回填不密实或未全部回填者，引起围岩坍塌，导致衬砌结构破坏。

2.2 隧道冻害的种类及危害程度

我国冻土地区分布广泛，其中多年冻土占整个陆地面积的 1/5，在冻土地区修建的公路隧道易产生冻害现象，例如新疆的天山二号隧道因渗漏水侵蚀和冻胀破坏而报废，青海的大阪山隧道成为“冰河”，甘肃的七道梁隧道因渗漏水 and 冰冻而被迫向隧道送暖气，辽宁的八盘岭隧道和吉林的密江隧道因渗漏水而被迫在混凝土衬砌内加复衬。

2.2.1 拱部挂冰、边墙结冰

渗漏的地下水通过隧道衬砌混凝土裂缝逐渐渗出，在渗水点出口处受低温影响在拱部形成挂冰，边墙积成冰柱，尤其在施工接缝处渗水点多，结冰明显，累积十至几十厘米厚的冰溜子（又称为挂冰）。如不清理，挂冰越积越大，侵入限界危及行车安全。公路隧道排水沟相关设施，保温不良引起冰冻称冰塞子。水沟因结冰堵塞，使地下排水困难，水沟（管或槽）冻裂破损。隧道衬砌周边因水结冰而冻胀，致使隧道内各种冻害接踵而至，特别是路面结冰严重危及汽车的安全行驶。

2.2.2 围岩冻胀破坏

隧道修筑在不良地质地段的围岩，如果围岩层面及结构内含水多时，冬季就易发生冻胀破坏，致使隧道拱部和边墙衬砌发生变形与开裂。当边墙壁后排水不畅，积水成冰，产生冻胀压力，会造成拱脚移动，或者墙顶内移；有的虽然墙顶不动但墙中发生内鼓现象，也有墙顶内移致使断裂多段。如果隧道衬砌混凝土设计标号较低，抗渗性差，在地下水丰富地区，水就渗入混凝土内部。到冬季水在混凝土结构内结冰，膨胀产生冻胀压力，经多年冻融循环使衬砌结构变酥、强度降低，造成结构破坏。隧道衬砌除结构内含水受冻害外，由于岩体冻胀压力的作用，也会使衬砌发生纵向裂纹和环向裂纹。

2.3 隧道衬砌裂损的种类及危害程度

2.3.1 隧道衬砌裂损的种类

隧道衬砌裂损的类型主要有衬砌变形、衬砌开裂、衬砌腐蚀破坏、衬砌背后空洞、拱脚下沉以及仰拱破碎（进而引起路基下沉、路面翻浆冒泥）等。隧道衬砌开裂根据裂缝走向，分为纵向裂缝、环向裂缝和斜向裂缝三种。环向工作裂缝一般对于衬砌结构正常承载影响不大，拱部和边墙的纵向及斜向裂纹对隧道结构的整体性危害较大。

2.3.2 衬砌裂损的危害程度

衬砌裂损的危害是不言而喻的，它可导致隧道结构变形、掉块甚至塌落；降低衬砌结构对围岩的承载能力；使隧道的净空变小，侵入建筑限界，影响车辆安全通过；衬砌裂缝还会成为渗漏水的通道。

2.4 衬砌侵蚀的种类及危害程度

建在富含腐蚀性介质的公路隧道，其衬砌背后的腐蚀性环境水，容易沿衬砌的工作缝、变形缝、毛细孔，及其它孔洞渗流到衬砌内侧，成为隧道渗漏水对衬砌混凝土和砌石、灰缝产生物理性或化学性的侵蚀作用，造成衬砌侵蚀。

2.4.1 衬砌侵蚀的种类

衬砌侵蚀的种类分为物理侵蚀和化学侵蚀两类。物理侵蚀的种类主要有：冻融交替部位的冻胀性裂损和干湿交替部位的盐类结晶性胀裂损坏两种。隧道衬砌混凝土的化学侵蚀是一个很复杂的物理化学过程。综合国内外的研究成果，根据主要物质因素和腐蚀破坏机理，可分为硫酸盐侵蚀、镁盐侵蚀、溶出性侵蚀（软水侵蚀）、碳酸盐侵蚀和一般酸性侵蚀五种。

2.4.2 衬砌侵蚀的危害程度

隧道内混凝土衬砌的腐蚀按其种类不同，可分为水蚀、烟蚀、冻蚀及骨料溶胀等。隧道衬砌侵蚀，使衬砌出现起毛、酥松、蜂窝麻面、起鼓剥落、孔洞露石、骨料分离等材质破坏，衬砌厚度变薄。还会导致衬砌内的钢筋腐蚀，使得衬砌结构强度减小，降低隧道衬砌的承载能力，缩短使用寿命，危及行车安全。

3. 公路隧道病害的成因与防治

3.1 隧道病害的防治原则

- (1) 病害防治应尽量不中断运营或尽量减少对运营的影响；
- (2) 摸清病害产生的原因，根据围岩地质等具体因素，选择合理的整治；
- (3) 病害整治时宜尽量利用既有的临时设施，如便道、房屋、水池等，以降低病害整治费。

3.2 水害的成因及防治方法

3.2.1 水害的成因

隧道水害的成因是修建隧道破坏了山体原始的水系统平衡，隧道成为所穿越山体附近地下水集聚的通道。在工程勘测设计中对其工程地质及水文地质情况了解得不够仔细，对衬砌周围地下水源、水量、流向及水质勘察不全；有时还缺乏反映防水材料性能的室内实验数据和对结构抗渗、抗腐蚀的具体要求；另外由于施工和监理中存在的问题也是形成水害的原因；目前国内许多厂家生产的防水材料质量不过关也是一个很重要的原因。

3.2.2 水害的防治方法

隧道治水的具体措施就是防、排、堵、截相结合，刚柔相济，因地制宜，综合治理，使之既能自成体系，又能互相配合，形成一个完整的隧道防治水体系。主要的处置方法有：①完善或者补充地表和地下截水；②在垭口和地质不利的地方采取截留和引排使水远离隧道；③贯通隧道内的原有排水系统；④衬砌背面注浆；⑤在渗漏水的衬砌设置排水设施包括引水管、泻水管和引水渡槽；⑥⑦在衬砌内贴防水层；⑧在施工缝和变形缝处用止水带、遇水膨胀橡胶等密封防水材料进行封堵；⑨对严重漏水的隧道应采取套拱加固。

3.3 冻害的成因及防治方法

3.3.1 冻害的成因

气温变化是冻融交替的主要原因。衬砌周围冬季冻结、夏季融化范围的围岩沿衬砌周围各最大冻结深度连成的圈叫季节冻融圈。如果在设计过程中，对围岩的岩性即冻胀性土没有考虑或考虑不周，隧道的排水设施如埋在冻结圈内则冬季易发生冰塞。

3.3.2 冻害的防治方法

隧道冻害的根本原因就是围岩地下水的冻结，如果能将水排除在冻结圈以外，杜绝水进入冻结圈，就能达到防治冻害的目的，综合治理是防治冻害的最基本措施。为防治冻害而采取的治水措施主要是：①消灭衬砌漏水缺陷，保证衬砌污工不再充水受冻；②加强结构层和接缝防水（所用防水材料要有一定的抗冻性）；③对有冻害的段落，保证排水系统畅通，不允许衬砌背后积水，并防止冻结圈外的地下水向冻结圈内迁移；④衬砌背后空隙用砂浆回填密实；⑤保证排水设施或泄水沟应在任何季节，任何条件下不冻结；⑥在严寒地区可采用中心深埋泄水洞；⑦更换土壤、增加保温材料防冻、防止融坍、加强结构等措施。

3.4 衬砌裂损的成因及防治方法

3.4.1 衬砌裂损的成因

隧道设计时因围岩级别划分不准、衬砌类型选择不当，造成衬砌结构与围岩实际载荷不相应引发裂损病害。客观上因隧道穿越山体的工程地质和水文地质条件复杂多变，受勘测设计工作的数量、深度所限，大量的隧道都只有较少的地质钻孔，设计阶段难以取得完整准确的资料，可能出现一些地段的围岩级别划分不准，衬砌类型选择不当的情况。如果在施工中得不到纠正，或施工中进行了错误的设计变更，都会造成这些地段得衬砌结构与围岩实际载荷不相适应。例如对一些具有膨胀性围岩地段未采取曲墙加仰拱衬砌；偏压地段未采取偏压衬砌；断层破碎带、褶皱区等局部围岩松散压力或构造应力较大的地段未采取相应的衬砌结构加固措施；对地基软弱和易风化泥化地段未设可靠防排水设施等。施工时受技术条件限制，方法不当，管理不善，造成工程质量不良。例如先拱后墙法施工时拱架变形下沉，造成拱部衬砌产生不均匀下沉，拱腰和拱顶发生施工早期裂缝；拱顶与围岩不密贴；过早拆除模板支撑使沉砌承受超容许的荷载，易发生裂损。上述这些问题包括水害均可能造成隧道衬砌的裂损。

3.4.2 衬砌裂损的治理方法

整治衬砌裂损病害，首先要消灭已有的衬砌裂损对结构及运营的一切危害，并防止裂损扩大。其次是采取以稳固围岩为主，稳固岩体与加固衬砌相结合的综合治理措施。稳固围岩的工程措施有：治水稳固岩体、锚杆加固岩体、注浆加固岩体、支挡加固岩体、衬砌背后空洞压浆、回填和换填等。衬砌更换与加固的方法有：压浆加固、嵌补加固、喷锚加固、套拱加固、更换衬砌等。

3.5 衬砌侵蚀的成因及防治方法

3.5.1 衬砌侵蚀的成因

环境水对混凝土和水泥砂浆的侵蚀作用主要可归纳为三种：溶出性侵蚀（即非结晶性侵蚀）、结晶性侵蚀和复合性侵蚀（溶出性和结晶性两种侵蚀同时作用或交替作用）。对溶出性侵蚀，只要能解决衬砌的渗漏水问题，彻底治理好水，就能达到防蚀的目的。对于结晶性侵蚀，由于侵蚀是因水泥中的化合物与水作用后的新生成物或水中盐类介质析出结晶，发生体积膨胀而导致材料破坏，而析出结晶的条件是混凝土中的干湿变化，干湿变化越频繁，侵蚀速度越快。因此对类这侵蚀，只防止渗漏而不防止混凝土充水是不行的，即不仅要防渗漏，还要防止混凝土浸水，避免侵蚀水与混凝土发生作用。复合性侵蚀包含了上述两种侵蚀的特性。

3.5.2 衬砌侵蚀的防治方法

产生侵蚀的三个要素是，第一，腐蚀介质的存在；第二，易腐蚀物质的存在；第三，地下水的存在具有活动性。针对侵蚀产生的原因和条件，对公路隧道侵蚀采取的防治措施主要有：①提高混凝土的密实性和衬砌的整体性；②外掺加料法；③选用耐侵蚀水泥；④加强衬砌外排水措施；使用密实的与混凝土不起化学反应的材料在衬砌外表面做隔离防水层；⑤采用与侵蚀性环境水不起化学反应的天然石料砌筑衬砌；⑥向衬砌背后压注防蚀浆液；⑦使用防腐蚀混凝土等。

4. 治理隧道病害存在的问题

二十年来，我国的公路隧道已经从最初的建设期进入到现在的建设管理期，每年有大量，对于其他的隧道病害乃至隧道的日常检测内容、方法、频率、安全性评价指标、处治质量检测标准等研究较少，目前还没有一套针对公路隧道的养护维修管理系统，工程中只能根据经验判提出养护治理的办法。本文所叙述的只是一些常见的病害和处治的一般性办法，更科学、合理、系统的公路隧道养护维修以及病害治理办法有待于进一步研究和完善。

参 考 文 献

- [1]中华人民共和国行业标准. 公路隧道养护技术规范 (JTG H12—2003): 北京. 人民交通出版社. 2003
- [2]方利成等. 隧道工程病害防治图集[M]. 北京: 中国电力出版社. 2001
- [3]扬新安, 黄宏伟. 隧道病害与防治[M]. 上海: 同济大学出版社. 2003
- [4]中华人民共和国行业标准. 公路隧道设计规范 (JTG D70—2004): 北京. 人民交通出版社. 2004
- [5]关宝树. 隧道工程维修管理要点集[M]. 北京: 人民交通出版社. 2004