

# 隧道工程对生态环境的影响及环境效应

张国珍, 崔圣达, 张洪伟, 徐明飞

(兰州交通大学环境与市政工程学院, 兰州 730070)

**摘要:** 隧道修建在改善路线线形、缩短里程和行车时间以及提高运营效益等方面发挥着巨大的作用, 但是同时又带来了生态环境的影响。本文分别从隧道施工期间和运营期间两个方面阐述了隧道对环境的影响, 并且分析了国内外一些专家学者对隧道环境负效应评价研究, 旨在为隧道修建对生态环境的保护提供参考。

**关键词:** 隧道; 生态环境; 环境负效应

**中图分类号:** U45; P642.5 **文献标识码:** A

## INFLUENCE OF TUNNEL ENGINEERING ON ECOLOGICAL ENVIRONMENT AND ENVIRONMENTAL EFFECTS

ZHANG Guo-zhen, CUI Sheng-da, ZHANG Hong-wei, XU Ming-fei

(School of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** Tunnel construction has a huge role in improving route alignment, shortening mileage and driving time, and improving operational efficiency, but at the same time has brought about the impact on the ecological environment. This paper expounds the influence of the tunnel on the environment from two aspects of the tunnel construction period and operation period, and analyzes the evaluation of some experts and scholars at home and abroad on the negative effect of the tunnel environment, in order to provide reference for the protection of ecological environment in tunnel construction.

**Key words:** tunnel; ecological environment; environmental negative effect

## 1 引言

隧道作为铁路工程建设中的一个重要结构物, 在改善路线线形、缩短里程和行车时间以及提高运营效益等方面发挥着越来越大的作用。它是人们利用地下空间的一种形式, 可以充分利用岩土的性质, 达到最有效的目的, 从而取得良好的社会和经

济效益<sup>[1]</sup>。我国是一个多山的国家, 山区面积约占国土总面积的三分之二, 因此, 修建隧道可以缩短线路长度和行车时间、减少深路堑和后期运营成本等优势, 在现代化交通建设过程中, 被越来越多的技术人员所认同<sup>[2]</sup>。然而隧道工程施工和运营会引起周围生态环境的变化, 对生态环境及居民生活生产带来不利影响。因此笔者对隧道建设及运营期对生态环境的影响做了相关研究。

收稿日期: 2017-05-03 改回日期: 2017-07-20

基金项目: 国家自然科学基金“干旱地区隧道区域水系统稳定及水环境修复安全保障技术体系研究”项目资助支持(项目编号: 51468033)

## 2 隧道建设期对生态环境的影响

在隧道施工过程中,由于工程作业,不可避免的会改变原有的环境状态,并可能使环境向不利于人类生存的方向发展,或造成环境污染。而且这些影响往往是很难恢复甚至是不可恢复的。由于隧道修建于地下,在开挖中势必造成周围应力场的改变,造成岩体结构松散及地表水、地下水重新分布,在施工中带来强烈的噪声、冲击、震动、大气污染、弃渣污染,对施工人员的身体产生危害。

针对乌鞘岭铁路长隧道环境影响的特点,袁庸瑄<sup>[3]</sup>详细分析了该隧道在其施工阶段和环境的关系,主要从水土资源、大气污染、地下水环境污染、噪声及震动等方面找出可能对环境造成的负面影响。王奇<sup>[4]</sup>结合雪山梁隧道施工实际,采用现场测试的方式研究施工粉尘在隧道内的浓度及分布规律,评价了风景区隧道施工粉尘对大气环境的影响程度,并研究了施工噪声对景区环境影响,为类似景区隧道施工噪声影响评价提供参考。针对歌乐山隧道施工特点,李耐霞<sup>[5]</sup>通过现场调查和污染源分析,确定环境监测和评价因子,并采取收集资料、野外踏勘、现场监测、室内实验、数据分析相结合的技术路线进行施工过程水环境影响研究。韩海军<sup>[6]</sup>针对隧道施工对生态环境的影响,从洞口水土流失、地下水流失以及隧道弃渣等方面进行了探讨,对隧道施工的环境保护具有参考性。

总的来说,隧道在建设过程中对生态环境的影响主要在以下几个方面:

### (1) 隧道施工对水土资源的影响

隧道在建设过程中伴随着大量的开挖方和弃土弃渣工程等,势必对水土资源产生影响,其影响主要表现在以下几个方面:一是工程占地及大量填挖方将破坏原地表的水土保持功能,导致地表土层松动,土壤抗蚀性下降,加剧水土流失;二是施工过程中产生的大量弃土、弃渣为加剧水土流失提供了丰富的物质来源,增强了水土流失强度;三是临时工程对原有地表林草植被的破坏使地表裸露,大大降低原有水土保持功能。

### (2) 隧道建设对水环境的影响

隧道开挖使得山体原有的水系统平衡被破坏,主要为破坏地下水的循环系统。地下水循环系统一旦破坏,地下水的涌出必然引起地下水位的短期或长期降低,造成水资源浪费和水资源局部枯竭;加速围岩风化作用和侵蚀性地下水的形成;围岩中重金属元素或有害元素的活化迁移;使水资源水质下降

和污染土壤;地下水的动态平衡被破坏后会出现地下漏斗,从而引起地表水源地的枯竭、水质下降、甚至地表塌陷等现象;使土壤含水量下降,从而影响植物的正常生长,破坏自然生态平衡。

隧道开挖同样可能在以下方面对地表水产生危害:爆破材料产生的废弃产物会随着涌水的排放流入地表,对土壤及地表水产生污染;在施工中所使用的开挖设备、钻孔设备、运渣机械、喷锚注浆机械等都会不同程度地产生油污,这些油污随着隧道涌水流入地表水体,使石油类和悬浮物质量浓度升高污染水体;注浆材料、喷射混凝土过程以及模筑过程中的污染物(包括水泥砂浆、混凝土等)这些物质随着隧道涌水流入地表水体,致使地表水体 pH 值、悬浮物浓度升高,同时改变水化学成分,可能造成水体不同程度的污染。

### (3) 隧道建设中粉尘废气及噪声与震动的影响

隧道施工中对人类影响最直接、最频繁、危害最大之一的就是粉尘、有害气体。粉尘含量主要由运输材料过程中的道路扬尘、工地装卸材料堆放及施工过程中的风扬灰尘等导致。隧道施工期间的运输车辆及施工机械均是大功率的设备,施工期间各种车辆和施工机械在行使和作业过程中要排放大量尾气,而尾气中含有如 NO、CO 等大量有害成分,严重影响了大气环境。同时隧道开挖过程中揭露出地层中的有害气体会对施工人员的身体健康及安全造成危害。

隧道施工中从效率、经济、技术等各方面来看,钻爆法都是开挖隧洞的主要方法之一。因此爆破振动效应、爆破噪声和冲击波就成了隧道施工过程中噪声和振动的主要来源。此外,隧道施工过程中会使用大量机械,钻孔设备、支护设备、搅拌和运输设备等,机械使用过程中不可避免的产生噪声污染。隧道施工产生的噪声污染是非常严重的,它除了影响隧道建设工人的身心外,也干扰了附近居民的正常生活。

## 3 隧道运营期对生态环境的影响

运营期隧道对生态环境的影响主要表现在对地下水环境和生态植被这两个方面。

### (1) 运营期隧道对地下水环境的影响

许劭<sup>[7]</sup>认为,城市地下工程对环境的影响包括施工期和运营期两个阶段,地下工程施工期间对地下水环境产生的影响是局部范围内的,在一个较长的时间内是能够得到缓解的,而地下工程在运营中对地下水环境的影响则是大范围的,在时间上有明

显的“滞后性”,并且这种影响具有“累积效应”。地铁对地下水的影响主要是迎水面水位略有壅高,背水面略有下降<sup>[8]</sup>。如果地铁隧道埋深与城市主要含水层的深度重合,就会导致区域地下水环境发生改变,将降低城市地下水的循环代谢,加重地下水的污染<sup>[9]</sup>。

西南交大刘丹<sup>[10]</sup>以华蓥山隧道为例把隧道对地下水环境的影响分为3类:第一,隧道长期排水将形成较大规模的降位漏斗,造成漏斗范围内含水层疏干,岩溶供水大泉流量减小或消失,流失大量的地下水资源;其二,隧道排水降位漏斗的扩展,导致在疏干带内较强烈的水文地球化学作用,造成环境的污染;其三,疏干漏斗的形成和由此引起的其他水量交换,又为接受外界的补给,尤其是降水的补给腾出了地下“库容”,从而打破了原有的水文动态平衡,促进了水循环交替。高宝玉<sup>[11]</sup>分析吕梁山隧道对地下水环境的影响包括峡口泉域和吴城泉域分水岭改变、施工受影响的峡口泉和吴城泉难以恢复、小泉干枯衰减。龙门山隧道属于施工引发的隧道涌突水可能引起一系列的次生地下水环境灾害,包括区域地下水水位下降、地面沉降、岩溶塌陷、地下水污染、结构腐蚀和生态环境退化等<sup>[12]</sup>。

#### (2) 运营期隧道对生态植被的影响

隧道施工打破了隧址区域地下水系统平衡,而生态问题常常与水相关,尤其是地下水,许多研究都证实了影响天然植被生长和恢复的土壤水分和盐分与地下水埋深高低密切相关<sup>[13-17]</sup>。汤梦玲、徐恒力、曹李靖等<sup>[18]</sup>在西北地区的气候及水资源的基本特征的基础上,分析了植被的分带、生存适应性及演替与地下水的关系,并阐述了地下水开采对植被的影响规律。结果表明:植被的分布、生存和演替主要受控于水位和盐分条件。地下水埋深愈浅,植物的生长发育状况愈好。张丽、董增川等<sup>[19]</sup>深入研究了植物生长与地下水埋深的关系,以生态适宜性理论为基础,根据塔里木河干流流域典型植物的随机抽样调查资料,建立了干旱区几种典型植物生长与地下水埋深关系的对数正态分布模型。根据塔里木河流域地下水蒸发观测数据,潜水蒸发在2 m是个转折点,地下水埋深小于2 m时,由于强烈的毛细管蒸腾作用而将大量的盐分带到地表,造成地表土壤含盐量增加的情况,土壤含盐量增加又会对植物的生长发育起抑制作用。

## 4 隧道工程的环境效应研究

根据张殿印等<sup>[20]</sup>人的研究,环境效应可定义为

在众多环境要素的综合影响下,物质之间通过物理、化学和生物方面的共同作用所产生的环境效果。

按形成成因环境效应可分为自然环境效应、人为环境效应,按产生机理可分为环境物理效应、环境化学效应和环境生物效应,按对环境产生的作用和对人类造成的影响又可分为环境正效应和环境负效应。<sup>[21]</sup>

#### (1) 环境正效应

环境正效应<sup>[20,22]</sup>是指对环境或人类利大于弊或有利而无害的环境效应。地下水环境正效应指人类在进行开发建设活动时,对环境产生的有利变化,体现在以下几个主要方面:调蓄地下库容、减弱旱灾影响、控制土壤返盐、改善水质等方面。

#### (2) 环境负效应

环境负效应<sup>[21]</sup>是指对人类或环境有害而不利或者是弊大于利的环境效应。地下水环境负效应是指人类开发建设活动对环境产生的不利影响。岩溶隧道地下水环境负效应指岩溶地区因隧道工程疏排水而对地下水环境产生的不利影响,主要体现在以下几方面:隧道涌突水、区域地下水水位下降、地面沉降、岩溶塌陷、地下水污染、地表水源枯竭、隧道工程结构腐蚀破坏。

隧道等地下工程修建于地壳表层,位于地下水最为活跃的部位。在岩石中开凿的隧道,将可能成为其四周特别是工程上部地质内的地表、地下水汇集场所或新的排泄通道,进而影响安全施工和破坏隧址区生态环境<sup>[21]</sup>。虎维岳<sup>[23]</sup>、王凤生<sup>[24]</sup>、桂祥友<sup>[25]</sup>等、周涛发<sup>[26]</sup>等、张善堂<sup>[27]</sup>详细论述了矿山开采可能诱发的各种环境负效应类型,主要包括岩溶塌陷、地面沉降、采空区塌陷、矿井涌突水、滑坡、泥石流、岩崩、瓦斯爆炸和矿体自燃、元素污染和生态破坏、水环境污染、固体废弃物堆放等,并在此基础上分析了其成因,同时提出了初步防治对策。王石春等<sup>[28]</sup>通过研究和总结发现隧道或矿山坑道等长期排放地下水,将造成工程地区含水层被疏干,使生态环境恶化,主要表现为地表水和泉、井枯竭,生活、工农业用水缺失,地表沉降、岩溶塌陷、土壤沙化、水土流失、建筑物被破坏。如京通线桃山隧道涌水导致“四道沟”所有泉水干枯,中梁山隧道、大巴山隧道、大瑶山隧道及南岭隧道等除造成地表井泉水干枯、农业和饮用水短缺外,还发生了大量的地面塌陷,致使房屋破坏或倒塌。刘丹等<sup>[10]</sup>通过对华蓥山隧道排水的研究,得出隧道排水将导致:①地下水资源大量流失;②煤系地层水入侵,并导致水质恶化;③水文循环失衡,地表水体污染风险增大。意大利

Firenzuola 隧道(长 15.0 km)施工时,由于隧道排水导致地表溪流和多数泉眼干枯,对生态系统造成了严重影响<sup>[29]</sup>。韩国首尔 287 km 长地铁隧道每年涌水量高达  $63 \times 10^6 \text{ m}^3$ ,引起了区域地下水位严重下降,造成大量水井被弃用<sup>[28]</sup>。陈强<sup>[31]</sup>对岩溶地区地下工程对环境的影响类型进行了总结,主要有古岩溶的激活、现代岩溶发育速度的增加、水文地质环境的改变、大面积地表水干涸、地下水及地表沙土流失、地下岩溶管道内的充填物流失以及植被减少等。

刘天剑<sup>[32]</sup>总结出隧道建设过程中裂隙水诱发的主要环境问题有水资源枯竭、围岩地下水位下降、水污染、引起塌方和侵蚀混凝土等,并以雪峰山隧道为例,研究了裂隙水防治的方法。

李耐霞<sup>[5]</sup>以渝怀铁路歌乐山隧道为例,通过现场调查和水质监测,评价了隧道施工对当地水环境的影响。

由上述文献可知,尽管在隧道工程和地下水环境之间的相互影响方面已开展过较多研究,但目前的研究主要集中在分析隧道工程产生地下水环境负效应的表现形式和相应的控制措施上,而对于如何评价隧道施工的环境负效应,既有研究仍十分薄弱。目前,已有的研究成果,可见以下文献:

2006年,曾晓燕<sup>[33]</sup>以歌乐山隧道为例,建立了隧道涌水对表生生态环境影响评价指标体系,包括地质地貌因素、水文地质因素和气象因素三大类指标。地质地貌因素包括包气带岩性和包气带结构,水文地质因素包括地下水位埋深、地下水矿化度、地下水化学类型、土壤含水量和土壤含盐量,气象因素包括降雨和蒸发。采用层次分析法和模糊评判法相结合的评价方法,对歌乐山隧道涌水对表生生态环境影响进行了评价。

2007年,刘向远<sup>[22]</sup>以国道沪蓉高速公路垫邻支线铜锣山隧道为例,建立了岩溶隧道施工中地下水环境负效应评价的指标体系,应用模糊数学构建地下水环境负效应评价指标隶属函数,从而对各评价指标进行量化,最终确定负效应程度属于中等,与现场实际情况相符。

2009年,潘海泽<sup>[34]</sup>选用隧道埋深、植被覆盖情况、年平均降雨量、地表水状况、地下水腐蚀性、围岩裂隙连通情况、设计施工因素、气候情况 8 项指标,利用距离判别分析模型大寨隧道和魏黄隧道渗漏水情况进行预测,并提出相应治理措施。

2011年,刘建<sup>[21]</sup>系统论述了岩溶隧道地下水环境负效应指标体系、评价方法体系、可视化评价系统实现,并分别以垫邻高速铜锣山隧道和纳黔高速

叙岭关隧道为例,实现了岩溶隧道地下水环境负效应综合评价。

## 5 总结

研究结果证明隧道不管是在建设期还是运营期都对生态环境带来极大的影响。主要影响方面为水环境、生态植被、水土流失、大气及噪音污染等方面。目前国内专家已经做了大量相关研究,并且也取得了很多成果,很多成果也已经应用到了实践中。

但是仍然存在许多问题尚未解决,目前多数研究只是针对单一实例隧道的评价指标,未能实现一套完整的指标体系以应对各种隧道问题,因此我们仍需不断研究隧道负效应问题。通过大量的研究及总结,力争构建一套完善的适用各类隧道问题的负效应评价体系,为优化隧道工程选址、确保隧道施工、运营安全和保护隧址区生态环境提供科学依据,为隧道工程的生态环境影响识别和评价提供实用参考。

## 参考文献

- [1] 陈豪雄,殷杰. 隧道工程[M]. 北京:中国铁道出版社,1995.
- [2] 何川,余健. 高速公路隧道维修与加固[M]. 北京:人民交通出版社,2006. 4.
- [3] 袁庸瑄. 乌鞘岭隧道建设过程中的环境问题及其对策分析[D]. 成都:西南交通大学,2007.
- [4] 王奇. 雪山梁隧道施工对黄龙景区地表环境影响评价研究[D]. 成都:西南交通大学,2015.
- [5] 李耐霞. 歌乐山隧道施工过程对水环境影响研究[D]. 成都:西南交通大学,2004.
- [6] 韩海军. 某隧道施工对生态环境的影响分析[J]. 中国水运, 2014, 14(7):186-187.
- [7] 许劼,王国权,李晓昭. 城市地下空间开发对地下水环境影的初步研究[J]. 工程地质学报,1999, 7(1):15-19.
- [8] 陈爱侠,杨晓婷,王文科. 城市快速轨道交通建设对地下水环境影响分析——以西安市城市轨道交通二号线为例[J]. 西北大学学报, 2008, 38(2):313-317.
- [9] 庄乾城,罗国煜,李晓昭,等. 地铁建设对城市地下水环境影响的探讨[J]. 水文地质工程地质, 2003, 30(4):102-105.
- [10] 刘丹,杨立中,于苏俊. 华蓥山隧道排水的生态环境问题及效应[J]. 西南交通大学学报, 2001, 36(3):308-313.
- [11] 高宝玉. 太中银铁路吕梁山隧道对水环境影响的探讨[J]. 山西水利科技, 2008, (4):68-69.
- [12] 罗敏,许模,任蕊. 一种随机数学方法预测隧道涌突水量研究[J]. 现代隧道技术, 2010, 47(5):37-43.
- [13] 李新. 塔里木河水资源利用与土地荒漠化效应分析[J]. 中国沙漠, 1998, 18(增刊1):46-54.
- [14] 侯印伟,王常明. 水文地质环境在土地沙漠化发展过程中的控制作用[J]. 水文地质工程地质, 1992, 19(5):25-28.

- [15] 许模,王士天.岩体渗流模型对比及分析[J].成都理工学院学报,2001,28(Z1):49-52.
- [16] Ma J Z. Sustainable exploitation and utilization of water resources in the inland river basin of arid Northwest China [J]. Chinese Geographical Science,1997,7(4): 347-351.
- [17] Ma J Z ,Qian J, Gao Q Z. The groundwater evolution and its influence on the fragile ecology in the south edge of Traim Basin[J]. Journal of Desert Research,2000,20(2):145-149.
- [18] 汤梦玲,徐恒力,曹李靖.西北地区地下水对植被生存演替的作用[J].地质科技情报,2001,20(2):79-82.
- [19] 张丽,董增川,黄晓玲.干旱区典型植物生长与地下水位关系的模型研究[J].中国沙漠,2004,24(1):110-113.
- [20] 张殿印.环保知识400问[M].冶金工业出版社.2004.
- [21] 刘建.岩溶隧道地下水环境负效应评价体系研究[D].成都:西南交通大学,2011.
- [22] 刘向远.岩溶隧道施工中地下水环境负效应评价指标体系研究[D].成都:西南交通大学,2007.
- [23] 虎维岳.矿山开挖与环境负效应[J].煤炭学报,1998.23(5):513-516.
- [24] 王凤生.矿山开采诱发的地质环境负效应及其综合治理工程[J].吉林地质,2001.20(1):35-44.
- [25] 桂祥友.马云东,矿山开采的环境负效应与综合治理措施[J].工业安全与环保.2004.30(6):26-28.
- [26] 周涛发,张鑫,袁峰,等.矿山城市矿产资源利用的环境负效应及其防治[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2004.27(3):225-228.
- [27] 张善堂.浅谈金矿开采诱发的环境负效应及其综合治理[J].黄金,2005,26(12):23-24.
- [28] 王石养,陈光宗.隧道水文地质环境变化及其对生态环境影响的评估[J].世界隧道,1998,(5):8-13.
- [29] Valentina Vincenzi. Alessandro Gargini. Nico Goldschider. Using tracer tests and hydrological observations to evaluate effects of tunnel drainage on groundwater and surface waters in the Northern Apennines(Italy)[J]. Hydrology Journal. 2009, 17(1):135-150.
- [30] Gi-Tak Chae, Seong-Taek Yun, Byoung-Young Choi, et al. Hydrochemistry of urban groundwater. Seoul. Korea: The impact of subway tunnels on groundwater quality[J]. Journal of Contaminant Hydrology. 2008. 101(1-4):42-52.
- [31] 陈强,朱宝龙,刘少巍,等.岩溶地区地下工程对环境影响的初步分析[J].水土保持学报,2003,17(5):96-99.
- [32] 刘大剑.裂隙水对越岭隧道的影响及其综合防治技术[D].湖南:中南大学,2005.
- [33] 曾晓燕.岩溶隧道涌水对生态环境的影响[D].成都:西南交通大学,2006.
- [34] 潘海洋.隧道工程地下水水害防治与评价体系研究[D].成都:西南交通大学,2009.

作者简介: 张国珍(1969—),男,博士,教授,博士生导师,从事环境管理与规划、饮用水处理及水污染治理等方面的研究工作。  
E-mail:guozhen zhang126@126.com