

隧道工程行为的生态环境影响及其生态化策略

余璐璐¹, 李绍才^{1,3}, 孙海龙²

(1. 四川大学 生命科学学院, 四川 成都 610064; 2. 四川大学 水力学与山区河流开发
保护国家重点实验室, 四川 成都 610064; 3. 四川省励自生态技术有限公司, 四川 成都 610064)

摘要: 随着国家对基础设施建设投入的加大, 隧道建设日趋增多, 在其施工技术提高和修建规模增大的同时, 隧道工程行为对生态环境也产生了深远影响。论述了隧道工程行为的内涵及其对生态系统的影响, 分析了隧道工程行为的生态效应, 包括物理效应、化学效应、生物效应和社会效应。在此基础上, 提出了隧道工程行为生态化理念, 并从勘测设计、施工和后期运营等几个方面探讨了隧道工程行为生态化策略。通过隧道工程行为的生态化策略可较好消减其对生态系统结构和功能的干扰和破坏, 减轻对生态系统健康的威胁, 为实现隧道建设和环境保护的协调发展提供参考。

关键词: 隧道工程; 生态环境; 生态效应; 生态化策略

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)06-0233-05

中图分类号: X171.1, U452.2

Effects of Tunnel Project on Ecological Environment and Ecological Strategies

YU Lu-lu¹, LI Shao-cai^{1,3}, SUN Hai-long²

(1. College of Life Science, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610064, China;

2. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Sichuan University,

Chengdu, Sichuan 610064, China; 3. Sichuan Lizi Ecotechnology Company, Chengdu, Sichuan 610064, China)

Abstract: With the increased investments in infrastructure in China, tunnel construction is strengthened, its technology is improved, and its scale is increasingly large. These have some significant influences on ecological environment at the same time. The connotation of tunnel project and its effects on ecosystem are discussed and the effects of tunnel project, including physical effect, chemical effect, biological effect, and social effect, are analyzed. Ecological tunnel project is a logical choice to maintain ecosystem health. Ecological strategies of tunnel project are discussed from the aspects of survey and design, construction, and benefit operation. Ecological tunnel project can alleviate the interference and damages to structure and functions of ecosystem and the threats to ecosystem health. This study may provide some references to the coordination of tunnel construction with environmental protection.

Keywords: tunnel project; ecology environment; ecological effect; ecological strategy

隧道是道路、水电、矿山、国防等工程建设项目的
基本形式之一, 随着施工技术的提高, 隧道的修建日
趋增多。在给人类社会带来巨大社会效益的同时, 隧
道(尤其是长大隧道)的施工引发的排/涌水^[1]、地面
塌陷^[2-3]、环境污染、植被破坏等极大地干扰和破坏
了生态系统的结构和功能, 威胁生态系统健康。因此,
要实现隧道建设的可持续发展, 就必须协调工程建设
需求与生态环境承载力之间的关系, 实现工程建设发
展由需求导向型和效率导向型向生态环境导向型的

转变, 实现隧道工程的生态化发展。隧道工程行为的
生态化研究不仅可以揭示这种干扰和破坏的原因, 而
且可为工程实施提供理论依据, 减少、预防甚至杜绝
干扰和破坏的发生。本研究对隧道工程行为的内涵、
隧道工程行为对生态系统的作用过程及其生态效应
等方面进行了分析, 在此基础上, 提出隧道工程行为
生态化是维护生态系统健康的必然选择, 并从勘察阶
段、设计施工及后期运营等方面分析了隧道工程行为
生态化理念的内容和需要重点解决的问题。

收稿日期: 2010-05-26

修回日期: 2010-06-28

资助项目: 国家科技支撑计划项目“秸秆 TBS 绿化基材与产业化示范”(2007BAD39B03); 环保公益性行业科研专项“生态型水能梯级开发的
评价指标阈值构建与示范”(200809086)

作者简介: 余璐璐(1985—), 女(汉族), 湖北省随州市人, 硕士研究生, 主要从事生态工程研究。E-mail: suixinfish@163.com。

通信作者: 孙海龙(1979—), 男(汉族), 黑龙江省海林市人, 博士, 讲师, 主要从事工程行为的生态影响评价与补偿研究。E-mail: lizist@vip.
sina.com。

1 隧道工程行为概述

1.1 隧道工程行为的内涵

隧道工程行为指人类在一定的生态环境条件下,为实现特定目的以一定手段对隧址区生态系统的形态结构进行改造,从而使隧道得以镶嵌于生态系统的一系列活 动。隧道工程行为包括了施工前的规划、勘探、设计,隧道施工,竣工后的运营、管理各个阶段,以及隧道自身与周围生态环境的物质、能量和信息交流(图 1)。

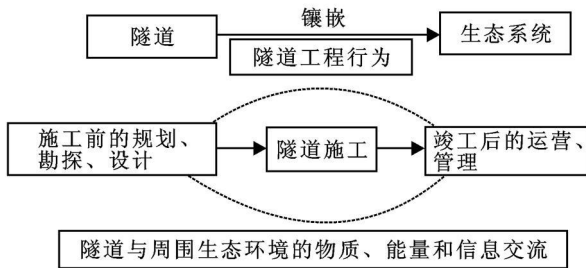


图 1 隧道工程行为的内涵

1.2 隧道工程行为对生态系统的作用过程

生态系统是指一定时空范围内生物成分和非生物成分通过彼此间不断的物质循环、能量流动和信息传递相互联系、相互影响、相互制约而共同形成的一个生态学功能单位^[4]。隧道作为人工镶嵌进生态系统的子系统,其工程行为对生态系统的作用过程经历了物理/化学/生物结构—生态系统功能—生态系统健康的逐级递升过程(图 2)。

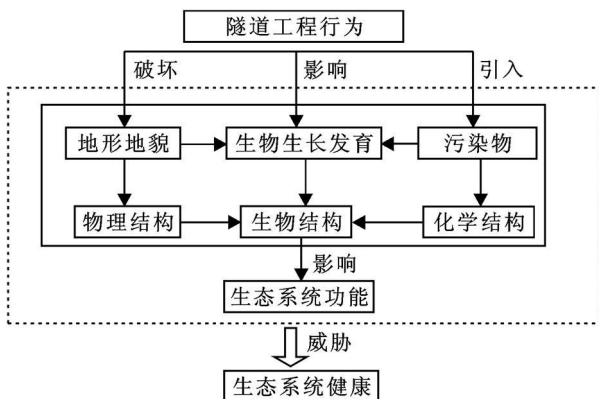


图 2 隧道工程行为对生态系统的作用过程

隧道工程行为从改变生态系统原有的地形地貌等形态结构开始,同时还将引入一些污染性物质,这些物理结构和化学结构等环境方面的变化势必给动植物的生长发育带来影响,导致生物的时空结构发生变化,严重的甚至将引起营养结构改变,从而给生态系统的功能带来严重危害,功能的破坏反过来又对结

构产生进一步的影响,如此循环,生态系统的健康和稳定最终将受到威胁。

2 隧道工程行为的生态效应

根据隧道工程行为对生态系统的作用,以及隧道给人类社会带来的社会效益,将其生态效应可分为 4 类,即物理效应、化学效应、生物效应和社会效应。其中,物理效应、化学效应和生物效应是对自然生态环境的影响和破坏,社会效应是对社会环境的影响。

2.1 物理效应

物理效应指隧道工程行为对生态系统中非生物组分的影响,这种影响源于对自然岩土应力的破坏、水文系统的极大扰动,改变了非生物组分的受力机制、数量、位置等物理参数,包括改变水文循环,引起地面沉降/塌陷、水资源流失、水土流失,减少土地资源等。

2.1.1 水文循环改变 物理效应中最直接和最显著的影响反映在对水文系统的极大扰动带来的水文循环改变。影响水文循环机制改变的因素主要有地质条件、施工方法、气象条件、地下含水量、隧道埋深等。在地质条件较差(如岩溶地区)或富水的地区,或者采取不恰当的施工方法修建隧道,排/涌水量可高达 $4\ 000 \sim 100\ 000\ \text{m}^3 / (\text{d} \cdot \text{km})$,形成的疏干漏斗的扩展范围最初可达到几百米范围,长期排水将引起更大范围的疏干漏斗(1 km 以上),而在主渗透方向上甚至更大^[5]。气象条件的变化对隧道涌水和地下水位变化有密切关系。其中,地表降雨是隧道涌水的基本因素,隧道涌水对于降雨具有滞后性,当降雨经过一段时间累积和大气降雨达到一定量时才突然增大,且隧道埋深越大,滞后时间越长^[1]。对于地表水资源的减少,有研究者认为,其涉及的范围也与隧道的埋深有关,埋深越大,范围越广^[6]。

2.1.2 地面沉降 地面沉降也是极为重要的物理效应之一。影响地面沉降的因素有隧址区的地质条件、岩土性质、施工方法、隧道结构、隧道埋深、降雨等。其中,控制地面变形沉降的关键因素是岩土强度与负载压力之比^[7]。同时,在松散疏松的地质中修建隧道,更容易引起地面沉降,而对于结晶岩类如花岗岩则可能因为微裂纹的出现并扩大发生塌陷^[8]。地面最大沉降量出现的位置主要受围岩状况和隧道上覆土层厚度是制约,一般在隧道轴线上方,其沉降量随覆土厚度与盾构外径之比增加而减小^[9-10]。地面沉降受降雨的影响比较明显,尤其是在水力联系较强的岩溶地区。大量研究表明,地面沉降发生或者沉降量增大的主要时间都是在雨季或暴雨季节^[11]。对于双

线或多线隧道,隧道间的距离和建设顺序对地面沉降量、形态和范围有很大的影响^[23]。需要指出的是,沉降并不能直接表示生态环境的损失,它只是个间接参数,需要进一步研究地面沉降对周边建筑物、路面、管线系统可能造成的损失,才能得到生态环境真正的损失。

2.2 化学效应

化学效应也是隧道工程行为对生态系统非生物组分的影响,与物理效应不同的是,化学效应的出现是伴随着的化学反应的发生以及化学组分改变。根据环境因子的类型可分为对水环境的污染,对空气环境的污染,对土壤环境的污染以及释放噪声引起的声环境的污染。

2.2.1 水环境污染 水环境污染的主要来源是施工设备漏油、隧道爆破后用于降尘的水、喷射水泥砂浆污染物泄露等,尤其是含有有害成分的加固剂,其泄漏液对水环境的影响最为显著。一般情况下,隧道施工引起水环境污染的主要污染物有石油类, COD, $\text{NH}_3\text{-N}$, NO_3^- , 固体悬浮物(SS);并且伴随有 pH 值升高,部分污染物的浓度在开挖后可增大 5~6 倍^[12]。

2.2.2 空气环境污染 隧道工程行为对空气环境的污染主要发生在运营期,来源是机动车排放的废气。这些废气组分主要包括氮氧化物、一氧化碳、二氧化碳、总烃等挥发性有机物及颗粒物,通常以氮氧化物浓度最高,毒害最大。一些研究表明,受通风条件的影响,隧道内 CO , SO_2 和 PAM_{10} 浓度是隧道外的 2~3 倍左右, NO_x 可相差 40 多倍,甚至是乡村污染物背景值的上百倍^[13]。

2.2.3 土壤污染 土壤污染主要是弃渣及隧道废水造成的,主要影响因素有弃渣成分、土壤吸附降解能力、气象条件等,污染因子有 Pb, Cd, Zn, Cr 等重金属离子以及石油类, TNT, NO_3^- , NO_2^- 等非金属离子。而当土壤中的污染因子均来自弃渣及隧道废水时,重金属污染因子之间将可能具有较高的相关系数,并有出现复合污染的趋势^[14]。

2.3 生物效应

生物效应指生态系统中生物组分受隧道工程行为的影响发生的一系列的变化。生物效应一般是间接发生的,是生物组分周围环境变化对其产生的影响或者是生物组分为适应环境变化做出的响应。

隧道工程的挖掘引起水文循环的破坏,水量对动植物的生长繁殖、空间分布有显著的制约作用。当其减少至超过某些生物的适应范围时,这些生物将因缺水表现出种种不适,严重的可能导致死亡甚至灭绝。

隧道工程中注浆、运输、爆破等行为不可避免的将向环境中引入一些化学物质,它们(尤其是重金属)可通过饮食在动物的肾脏、肝脏、头部等部位富积,改变这些器官的功能,甚至影响其生殖能力或是导致死亡^[15]。对于植物,土壤或水环境中的重金属离子通过扰乱酶的正常功能,或者通过产生活性氧化物^[16]破坏植物的正常代谢,限制植物的生长发育,当某种污染物的含量过高时,可能引起其敏感生物整体迁移或在污染范围区灭绝。

此外,隧道工程会对动物产生回避和阻碍影响,动物为回避这些干扰导致其在选择生境时发生改变,形成生境回避。隧道工程形成的障碍作用一方面造成生境和种群的破碎化,大种群被分隔为相互隔离的小种群,小种群数量波动大,灭绝率高,重新定殖又受到线路阻碍,时间渐长可使种群数量下降,甚至局部灭绝。线路障碍还能造成种群隔离,最终发生遗传学变异^[17]。

2.4 社会效应

社会效应是隧道工程行为对人类生活、生产及社会经济等方面的影响。隧道的优越性在于缩短行车里程,节省运费;节约能源,减少汽车损耗;节约土地,保护环境;行车不受天气影响,提高了行车安全舒适性;沟通交通欠发达地区,促进交流,带动经济发展。但是,隧道施工引起的水资源流失、环境污染也给生活供水和畜牧业发展带来了不利影响。

3 隧道工程行为生态化过程与策略

隧道工程行为在给人类带来便利的同时,也对生态环境和生活环境产生了影响。在人类大肆改造环境的今天,可持续发展作为保护生态系统健康的必然选择已成为全球共识。这需要对传统意义上的隧道工程行为进行革新,即隧道工程行为生态化。该理念是在隧道工程设计施工及运营管理过程中,将维持或提高生态系统健康作为指导思想,吸收、融合生态学理论,逐步把隧道子系统镶嵌到整个生态系统中,实现两个系统的结合。依照这种理念建造的隧道工程即能够实现隧道传递运输物质能量信息的功能价值,又能兼顾建设一个健康的生态系统。

隧道工程行为生态化策略首先要坚持以维持或提高生态系统健康为指导思想,以整个隧址区的生态系统为研究对象,正确评估经济效益与环境效益之间的关系。

3.1 全面勘察设计

在前期勘察过程中,应与环保部门做好环境影响报告及有关报表的编制,加强对隧址区生态系统的调

查,包括地形地貌、水体质量、大气质量、噪声震动、生物资源等(图3),这可使得各设计阶段应采取的措施更加明确。

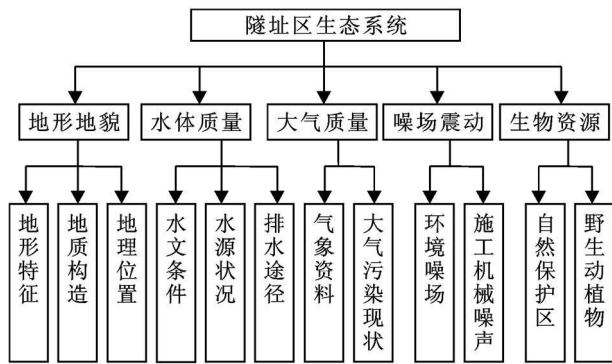


图3 隧址区生态环境调查

在设计过程中,应根据工程自身特点和工程所处的环境地质条件,采取适当的生态环境保护措施。在选择隧道位置时,不仅要考虑符合工程技术标准和有稳定的工程地质条件,而且也要考虑首先利用地形和有利于环境保护。隧道洞门的设计要根据洞门口处的地形、地质状况,因地制宜地选择隧道洞门形式,使其与周边的自然环境和景观相协调。另外,应避免洞口处挖深过大,破坏山体坡面的稳定和植被。对隧道洞口部分、施工场地、弃碴场、便道要进行绿化设计,维护当地自然景色。并利用植物的生理生态特性,起到固定土壤,维持水文系统平衡,降解吸收污染物等作用。

3.2 注重施工过程

在施工过程中,应坚持减少扰动,加强防护措施,建立必要的施工营地和施工队伍的环境保护管理制度。

(1) 保护水环境。为避免隧区地下水受到影响,在隧道施工中应采取切实有效的防水和防渗措施。施工期间坚持贯彻“以堵为主、限量排放”的原则^[18],对于施工污水可利用隧道洞口外自然地形,设置污水处理设施等。

(2) 合理利用弃碴。对于施工期间的开采,原则上是尽可能利用挖掘出的弃碴用于施工场地的发展和路基填方的需要。倾卸场地的选择应按国家土地利用的基本政策,尽量占用荒地,少占良田。弃碴完毕后因地制宜地对弃碴场进行植草植树绿化或复耕还田^[19]。

(3) 减少噪音。隧道往往修建在硬岩中,从效率、经济、技术等各方面来看,钻爆法是开挖隧洞的主要方法之一,但在隧道施工过程中产生大量噪声和振动。因此,防噪在隧道施工中须引起重视,对产生较

大噪声的机械设隔音装置,或尽量采取低威力、低爆速炸药或微差爆破技术,控制每次爆破的装药量,减轻施工爆破振动的环境影响。

(4) 降低空气污染。隧道内空气的特点是含烟尘、粉尘和CO等毒性气体,降尘可采用静电吸尘或其它空气过滤系统,降毒则必须采用某些触媒来中和有毒气体的毒性。另外,施工现场应尽量选用电动机机械而少用内燃机械,尽量使用有轨运输方式而避免采用无轨运输。

(5) 加强生物保护。采用适当的技术或管理手段引导动物安全穿越隧道或避开隧道是保护生物必要措施。施工前应开展生物调查,对道路影响区域的物种组成、迁移和死亡率等因子的调查,统计分析道路对物种生存或迁移的影响^[20]。根据动物出没路线,一方面可以采取给动物修建专门的跨线桥,桥上覆土种植与周围环境相似的灌丛和草类,以利于动物通过。另一方面,应建立“回避→减轻→补偿”模式,以期对自然生态网络和自然过程的保持和恢复以及生物多样性的良好保护。

3.3 加强后期管理

在后期运营过程中的生态环境问题应从隧道建设所带来的长期的正面效应与隧道建设所带来的负面效应两个方面区分,协调镶嵌后隧道与生态系统的相互作用、相互影响与相互关系。此外,应不断总结经验,适时加以推广。

4 结论

隧道作为加快信息、能量、物质沟通的必要桥梁,促进了社会经济的发展,但其工程行为带来的生态环境问题,严重威胁了生态系统的健康和稳定。隧道工程行为生态化结合了隧道工程本身特点,在隧道工程设计施工及运营管理过程中,将维持或提高生态系统健康作为指导思想,吸收、融合生态学理论,兼顾环境的可持续发展。但是目前隧道工程行为的生态化研究和应用还处于起步发展阶段。就发展策略而言,未来的隧道工程行为生态化建设和发展应该着重考虑方面主要有:(1) 注重科学规划。应根据工程自身特点和工程所处的环境地质条件,采取适当的生态环境保护措施。(2) 强化施工规范。在施工过程中,应加强防护措施,建立必要的施工技术标准与环境保护管理制度。(3) 加强后期管理。协调隧道建设所带来的经济正面效应与环境影响的负面效应。(4) 不断总结经验。隧道工程行为生态化建设在国内外均已开展探索工作,要适时加以总结,借鉴成功经验,使其得到推广与完善。

[参 考 文 献]

- [1] 张武国. 岩溶地区铁路长隧道涌水涌泥砂及地表塌陷规律的研究[J]. 世界隧道, 1999(4): 15-19.
- [2] Chehade F H, Shahrour I. Numerical analysis of the interaction between twin tunnels; Influence of the relative position and construction procedure[J]. Tunneling and Underground Space Technology, 2008, 23: 210-214.
- [3] 周罡, 杨新安, 孔少波, 等. 超小间距隧道施工中的地表沉降研究[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2006, 25(5): 717-719.
- [4] 丁圣彦. 生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 92-93.
- [5] 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(6): 308-313.
- [6] Hamza M, Ata A, Roussin A. Ground movements due to the construction of cut-and-cover structures and slurry shield tunnel of the Cairo metro[J]. Tunneling and Underground Space Technology, 1999, 14(3): 281-289.
- [7] Hoek E. Big tunnels in bad rock[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2001, 127(9): 726-740.
- [8] Golshani A, Oda M, Okui Y. Numerical simulation of the excavation damaged zone around an opening in brittle rock[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2007, 44: 835-845.
- [9] 胡炜, 曾东洋. 平行盾构隧道施工地表变位影响因素研究[J]. 铁道工程学报, 2007(3): 50-55.
- [10] 张海波. 地铁隧道盾构法施工对周围环境影响的数值模拟[D]. 江苏: 河海大学, 2005.
- [11] 曾晓燕. 岩溶隧道涌水对生态环境的影响[D]. 四川: 西南交通大学, 2006.
- [12] 蒋成海, 吴湘滨, 黄栋梁, 等. 雪峰山隧道浅埋段隧道涌水对生态环境影响研究[J]. 中南公路工程, 2006, 31(1): 34-37.
- [13] Chiang H L, Hwu C S, Chen S Y, et al. Emission factors and characteristics of criteria pollutants and volatile organic compounds (VOCs) in a freeway tunnel study[J]. Science of the Total Environment, 2007, 381: 200-211.
- [14] 刘煌. 歌乐山隧道施工弃渣对土壤环境影响评价[D]. 四川: 西南交通大学, 2004.
- [15] Salminen J, Haimi J. Horizontal distribution of copper, nickel and enchytraeied worms in polluted soil[J]. Environmental Pollution, 1999, 104: 351-358.
- [16] Halliwell B, Gutteridge J M. Oxygen toxicity, oxygen radicals, transition metals and disease[J]. Biochemistry Journal, 1984, 219(1): 1-14.
- [17] 田栋. 铁路工程中的生态环境问题及其研究方法[J]. 甘肃科技, 2009, 25(8): 79-81.
- [18] 蒋忠信. 隧道工程与水环境的相互作用[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(1): 121-127.
- [19] 孙健, 白晓军, 朱雷. 隧道工程施工期环境影响及对策探讨[J]. 铁道劳动安全卫生与环保, 2008, 35(1): 15-18.
- [20] 陈璐玲. 生态公路的发展现状与对策思考[J]. 中外公路, 2009, 29(3): 7-10.

(上接第 232 页)

[参 考 文 献]

- [1] Meyer W B, Turner B L. Change in Land Use and Land Cover: A Global perspective[M]. London: Cambridge University Press, 1994, 1(1): 12-20.
- [2] IGBP/HDP. IGDP/HDP LUCC Science Plan[R]. Stockholm: IGBP, 1994.
- [3] 蔡运龙, Barry Smit. 全球气候变化下中国农业的脆弱性适应对策[J]. 地理学报, 1997, 51(3): 202-207.
- [4] 张新时, 周广胜, 高琼, 等. 中国全球变化与陆地生态系统关系研究[J]. 地学前缘, 1997, 4(2): 137-144.
- [5] 杨永春, 杨晓娟. 1949—2005 年中国河谷盆地型大城市空间扩展与土地利用结构转型: 以兰州市为例[J]. 自然资源学报, 2009, 24(1): 37-49.
- [6] 杨永春. 试论河谷盆地型城市土地利用空间结构模式: 以西北地区典型河谷盆地型城市兰州为例[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2001, 37(3): 127-133.
- [7] Costanza R. The Value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387: 253-260.
- [8] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919.
- [9] 兰州统计年鉴编辑委员会. 兰州市统计年鉴 1986—2005 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.
- [10] 徐俏, 何孟常, 杨志峰, 等. 广州市生态系统服务功能价值评估[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2003, 39(2): 268-272.
- [11] 赵景柱, 肖寒, 吴刚. 生态系统服务的物质量与价值量评价方法的比较分析[J]. 应用生态学报, 2000, 11(2): 290-292.