

文章编号:1006—2106(2002)04—0068—03

应重视同位素技术在隧道地下水环境研究中的应用

刘 丹

(西南交通大学 环境科学与工程学院,成都 610031)

提 要: 本文基于资料调研及工程实践,论述了隧道工程勘测和施工过程中开展环境同位素研究的必要性,介绍了环境同位素技术的作用及其在隧道工程应用中存在的主要问题,并强调指出为提高我国隧道勘测水平,今后应重视和加强同位素技术在隧道地下水环境中的应用研究。

关键词: 隧道;地下水环境;同位素技术

中图分类号: U455 **文献标识码:** A

1 问题的提出

本世纪以来,随着隧道修筑技术水平的不断提高,道路建设,尤其是在山区的铁路建设,隧道工程往往占有一定的比重。隧道不仅越修越多,而且越修越长。例如,我国的丰沙、宝成、贵昆、京原、湘黔、襄渝、成昆、南昆铁路,其隧道总长均占线路长度的百分之十几以上^[1],其中南昆、成昆、襄渝铁路则分别达22%、31%和34%;80年代前,我国尚无长度超过10 km的特长隧道,但目前我国已建成和贯通的铁路特长隧道达三座,即大瑶山隧道(14.3 km)、长梁山隧道(12.8 km)和秦岭特长隧道(18.4 km)。截止20世纪90年代末,我国已建成的铁路隧道5 300余座,总长超过2 500 km;公路隧道约为450座,总长达120 km^[2]。隧道,尤其是长大隧道的建设,不仅大大提高了线路等级,为铁路的高速重载奠定了基础,而且也有有力地推动了交通隧道的科学技术进步和促进了国民经济的发展。

然而,在国内外一百多年的隧道修建史中,也发生过许多严重的地质灾害,其中尤以涌水突泥(砂)最为常见,且危害性极大。例如,建于火成岩中的日本东海道干线旧丹那隧道(7.804 km),施工阶段曾发生六次大的突水涌泥事件,最大瞬时突水量达 $19.35 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,涌泥量为7 000 m³余,造成严重伤亡,并使工期长达16年之久^[3];我国已建成通车的大瑶山双线铁路

隧道(14.295 km),在施工过程中因岩溶突水^[4]($Q_{\max} = 1.50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)而多次发生淹井事故;修筑于碳酸盐岩地层中的广渝路华蓥山高速公路隧道在1998年曾发生过六次大突水^[5],最大瞬时突水量近 $69.00 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,一次最大涌泥砂量达15 000 m³,致使施工设备被冲毁,隧道淤塞,停工近3个月。所有类似上述的重大突水涌泥事件,无不严重威胁施工人员的生命安全和造成重大的经济财产损失。据不完全统计,我国1988年前已建成的铁路隧道中,约80%在施工中不同程度地发生过涌突水灾害,其中有30余座属大型涌水^[3]($Q \geq 1.00 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$);日本约2 130 km长的铁路隧道中,遇及涌水事件的也占隧道总数的一半以上。问题的严重性还远不仅限于此。或者由于在勘探阶段对隧道所处的地下水环境认识不足,或者由于施工过程中防排水措施设置不当,施工阶段的涌突水灾害往往留下严重的后遗症,最突出的是隧道的渗漏水病害,严重影响隧道建成后的运营安全。到1995年为止,我国仍有大约35%的运营隧道受到地下水渗漏困扰^[6],有时甚至是涌突水威胁,相应的治理和维修更是耗资巨大。上述现象,不能不引起隧道工程技术人员、水文地质工作者和有关部门管理人员的高度关注。

无论是隧道修筑过程中的涌突水灾害,还是隧道建成运营后的渗漏水病害,无不与隧道所处的地下水环境密切相关^[7]。长期以来,尽管隧道工程界一直在为

· 收稿日期 2002-08-18 刘丹 教授 男 1957年出生

如何减小或避免隧道工程建设中水的威胁问题而苦苦探索,一直在为寻找一种准确、有效而又经济合理的隧道涌水量预测计算方法而孜孜追求,但迄今为止,仍不能说已经取得了完全成功。究其原因,在很大程度上应归咎于人们往往过于注重隧道涌水量数学模型及其解法的研究,而忽略了隧道所处的地下水环境的透彻分析。尤其是对含有大量地下水运动特征重要信息的同位素资料,缺乏足够的认识和深入的研究,致使这些花钱不多却极具价值的宝贵资料或者被“束之高阁”,或者未“物尽其用”。这对经济实力尚较薄弱、工程建设资金较为有限的我国来说,无疑是一种极大的浪费。有鉴于此,在隧道工程勘察、设计及施工阶段充分而有效地获取和利用同位素资料,深入地研究其中隐含大量的地下水环境的各种重要信息,进而分析和概化出隧道工程所在地区的水文地质概念模型,最终为隧道涌水量数学模型的建立乃至准确地进行涌水量预测计算奠定坚实的基础,就显得尤为重要;不仅如此,同位素资料本身也可用于隧道涌水量来源与组成的预测计算、隧道水质异常成因机理的分析判断等,合理地利用这些资料,往往可以收到事半功倍的效果。总之,同位素资料所提供的信息量是十分巨大的,其作用也是显而易见的,如何有效地利用它们进行隧道工程水害的预测和防治已经成为我们当前亟待解决的一个重大课题。

2 环境同位素技术的应用现状

无论是国外还是国内,在隧道地下水环境的研究方面,至今仍主要侧重在涌水量计算的数学模型及其解法上,而对地下水“质”的状态和变化则鲜有人涉及,尤其是对连接地质原型(地下水实体系统)与数学模型的桥梁—水文地质概念模型的研究在很大程度上被忽略了,这正是导致目前隧道涌水量计算误差较大的一个重要原因。另一方面,从地下水“质”的角度去追踪地下水的赋存、运移和分布规律,将大大有助于科学、合理地概化地下水系统的水文地质概念模型,而在这一研究过程中,日趋成熟的环境同位素技术将是一种强有力的工具,可以发挥极为重要的作用。

概括起来,环境同位素技术目前已广泛用于解决以下几方面的水文地质问题^[8-10]。

(1) 确定地下水的起源与形成

地下水的起源与形成是水文地质学研究的重要问题。由于不同成因的水其稳定同位素组成是明显不同的,且往往具有一定的典型分布值,如现代海水的 $\delta D = 0 \pm 10\%$, $\delta^{18}O = 0 \pm 1\%$, 初生水估计为 $\delta D = 0 \pm 10\%$, $\delta^{18}O = -65 \pm 20\%$; 岩浆水的 $\delta^{18}O = 6 \pm 1\%$; δD

在 $-20 \sim 65\%$, $\delta^{18}O$ 在 $5 \sim 25\%$ 的范围内。因而测定地下水的 δ 值就有助于判断其起源,确定含水层之间以及含水层与降水或地表水的水力联系,确定水循环交替强度等。

(2) 测定地下水的滞留时间

由于放射性元素的衰变速率不随环境温度、压力或化学组成而变化,其半衰期是一个常数,因而可利用此特性,测定地下水在含水层中的平均滞留时间(即年龄),进而推算出水的入渗量、流速等。目前应用较多的是 ^{14}C 及 3H 测定地下水年龄,但前者在理论上尚未完全解决,且在实际应用中往往需要相当复杂的校正。

(3) 示踪地下水的运动

环境同位素(尤其是氦、氡、氧-18)作为示踪剂,具有能随水流动,易检出,不改变天然水流速、流向,且稳定,不易被岩石吸附等优点,因而被广泛地用于研究地下水的运动,特别是在确定岩溶通道的分布和连通情况,测定地下水流速,判断矿坑水的来源,研究绕坝及坝下渗漏等方面取得了很好的效果。

(4) 研究水文地质过程机理

除了人工放射性同位素外,环境同位素也被广泛地用来研究降水入渗过程、弥散机制、土(叶)面蒸发和污染物的运移等。

值得注意的是,80年代以来由于计算机与质谱仪的联用,加速器质谱分析方法的研制以及超微量化学分析技术和中子活化测量技术等的发展,不仅减少了同位素样品量,缩短了样品测定时间,而且扩大了同位素样品的测试种类(如氦-36、氦-37、氦-39、氦-81等),这无疑极有利于拓宽同位素方法的应用领域,可望用于目前涉及不多的深部地质环境、工程环境和灾害地质环境研究。

3 有待进一步研究的问题

迄今为止,尽管环境同位素的理论与方法发展很快,并得到了广泛的应用,但其解决水环境课题的巨大潜力远未充分发挥,特别是在下述方面还存在明显不足。

(1) 同位素方法在水环境方面的应用研究大量集中在水文地质盆地或单元中水流的补给排研究、水资源的计算与评价上,而涉及工程建设项目,尤其是隧道工程水环境方面的研究却极为有限。从检索到的 597 篇有关同位素方法在水环境方面的研究论文中仅有 31 篇(约 5%)涉及土木工程水环境的应用,而与隧道工程水环境有关的内容仅 6 篇(约 1%),其有限性由此可见一斑。

(2) 虽然联合应用多种同位素来解决水文地质问

题在国内外均不乏实例,但这类研究大多是针对大范围范围的水资源评价进行的。对土木工程,特点是隧道工程开展的同位素研究比较单一,表现在:使用的同位素或者以放射性氚为主,或者以稳定同位素氘和氧-18居多;研究的目的是确定隧道渗漏水源或径流通道;采用的同位素数学模型以活塞流模型为主;同位素数据的解释过于模式化、简单化。所有这些,严重制约了对工程所在地区水文地质条件和问题的全面深入认识,从而也就大大削弱了研究成果本身对工程施工的指导作用。

(3)隧道涌水量的预测计算是隧道工程所在地水文地质研究的一个重要内容,也是隧道建设者最为关心的问题之一。涌水量预测计算的数学模型是在研究区水文地质概念模型的基础上建立的,而水文地质概念模型概化的正确与否往往在很大程度上决定了涌水量预测计算的准确性。不幸的是,过去对隧道涌水量计算的数学模型及其解法研究较多,而对水文地质概念模型重视不够。在这方面,特别缺乏应用环境同位素和水化学方法的综合研究,致使建立的隧道涌水量预测计算的数学模型难以真实、客观地反映地下水实体系统状况,这不能不说是造成隧道涌水量预测计算结果出现较大误差的主要原因之一。

(4)同位素方法是进行水文地质研究的重要手段之一,但它并非万能的方法。在过去相当一段时期,在地下水资源勘测、计算和评价中,往往过分倚重于同位素方法的运用,而忽视了水化学及常规水文地质方法的配合使用,结果对资料的解释出现困难,甚至得出错误的认识,从而导致对同位素方法的有效性产生怀疑,以致一定程度影响了该方法在工程领域中的推广应用。

(5)定量不足、不准,微观研究十分薄弱是过去相当一段时期水文地质学发展过程中存在的普遍问题,也是当前长大隧道工程水文地质研究的一大缺陷,而环境同位素方法有助于对水文地质过程研究的定量化和微观化。现有的隧道涌水量计算大多以水量均衡为基础,难以相互验证。利用同位素的质量平衡原理及地下水年龄测定方法并结合水化学资料可计算评价隧道涌水量,从而能够与常规的隧道涌水量计算结果进行对比印证,发现问题,以利改进。不仅如此,与传统的地下水动力学主要研究水量传输不同,环境同位素有助于我们从原子核的层次追踪水质点的运移,从微观上阐明地下水环境中某些专门或特殊水文地质问题的成因机理等。从而可为采取相应的防治措施提供科学依

据。

4 结束语

一方面,同位素技术为解决水文地质难题提供了有效的手段,在各个领域都显示了广阔的应用前景;另一方面,它们在工程项目所在地地下水环境研究方面远未发挥其巨大的潜力,应用研究水平还相当低。因此,在隧道,尤其是长大隧道工程地下水环境的研究中,应当重视环境同位素的理论和方法的研究,特别要加强同位素技术的应用研究。这不仅能够快速、经济、准确查明隧址区含水系统及其水动力特征和有效解决某些专门水文地质问题,大大提高我国隧道勘测水平,而且将有助于建立客观、真实、合理的水文地质概念模型,进而为准确预测计算隧道涌水量,制定科学合理的隧道防排水方案奠定坚实的基础。

参考文献

- [1] 蒋蔚光.隧道工程地质[M].中国铁道出版社,1991-01, 230-247.
- [2] 王建宇.隧道工程的技术进步[A].见:纪念西南分院建院40周年学术论文集[C].成都,1999.2-3.
- [3] 石文慧.论铁路隧道涌水灾害的防治[J].中国地质灾害与防治学报,1993,4(1):46.
- [4] 邓宜明,等.大瑶山隧道深层岩溶水地段洞内长期排水引起的水文地质变化特征及其整治措施[J].水文地质工程地质,1992,19(6):44.
- [5] 杨保安,张红军,等.华蓥山隧道西段泄水洞工程及其对治理隧道暴雨涌突水的作用[J].世界隧道,1999,(5):24.
- [6] 刘丹,关宝树.铁路隧道涌(突)水基本特征及地质环境效应[A].见:王建宇.第八届铁路隧道及地下工程科技动态学术会议论文集[C].成都,西南交通大学出版社,1995. 212.
- [7] Jimenez S J. Introducing the discussion on water and trnnel——Design. Serrano J M Tunnel and Water, Madrid,1998[M]. A. A. Balkema Publishers,1998. 3-5.
- [8] 王恒纯.同位素水文地质学[M].地质出版社,1991-02. 39-54.
- [9] 张人权,等编译.同位素方法在水文地质这中的应用[M].地质出版社,1983.1-3,6-87.
- [10] 陈礼宾.国外同位素水文地质研究的一些进展[A].见:王东生,徐乃安.第二届全国同位素水文地质方法学术讨论会论文集.吉林[C].天津大学出版社,1993.271-272.

(下转第78页)

验和资料。

CONSTRUCTION TECHNOLOGY OF CAVITY SECTION PDK354+255~+275 IN PARALLEL HEADING AT INTAKE PORTAL OF YUANLIANG MOUNTAIN TUNNEL

ZHANG Min-qing, HAN Zhan-bo, SUN Guo-qing

Science and Technology Research Institute, China Railway Tunnel Engineering Group Co.

Abstract: Yuanliang mountain tunnel is the longest tunnel in Yuhuai railway-line. Passing through high tension and richness water area, the construction of the tunnel is full of difficulties. It is intituled as the "forbidden zone of tunnel design and construction in China". The text introduces the geology advance forecast, advance grouting reinforce and timbering, grouting effect check-up and the construction process in cavity section PDK354+255~+275 of the tunnel. It offers reference for the similar projcets in the future.

Key words: tunnel potral; cavity; parallel heading; forecast; grouting-reinforce; effect check-up

(上接第 81 页)

ELEMENTARY ANALYSIS OF MICRO-CRACKS ON FORMWORKING CONCRETE LINING IN TUNNEL

CAO Xiao-lin

China Railway Third Engineering Bureau Group Co., Ltd

Abstract: By applying the method of mechanics and combined with the construction situation of railway tunnels, the analysis on the loading situation of the structure of the formworked concrete lining in the single track railway tunnel with the surrounding rock of above IV class has been put forward, and the comparisons with the actual situation of cracks on the tunnel lining are put forward also in this paper. The courses of producing micro-cracks on tunnel lining are expounded, and the suggestions to avoid producing cracks are proposed.

Key words: surrounding rock; tunnel lining; crack; load; elastic stress; anchor bolt-spray support

(上接第 70 页)

GREAT EMPHASIS ON APPLICATION OF ISOTOPE TECHNIQUE TO STUDY OF TUNNEL GROUNDWATER ENVIRONMENT

LIU Dan

College of Environmental Science and Engineering, Southwest Jiaotong University

Abstract: Based on the data collected and engineering practice, the paper deals with the necessity to carry out environment isotope study in reconnaissance and construction of tunnels. The functions of environmental isotope techniques and the main problems occurred in their applications to tunneling are presented. And it is pointed out emphatically that the great attention should be paid to the application of isotope techniques to study of tunnel groundwater environment in order to improve the level of our tunnel survey.

Key words: tunnel; groundwater environment; isotope technique

作者: [刘丹](#)
作者单位: [西南交通大学, 环境科学与工程学院, 成都, 610031](#)
刊名: [铁道工程学报](#) **ISTIC** **PKU**
英文刊名: [JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年, 卷(期): 2002 (4)
被引用次数: 1次

参考文献(10条)

1. [蒋爵光](#) [隧道工程地质](#) 1991
2. [王建宇](#) [隧道工程的技术进步](#) 1999
3. [石文慧](#) [论铁路隧道涌水灾害的防治](#)[期刊论文]-[中国地质灾害与防治学报](#) 1993 (01)
4. [邓宜明](#) [大瑶山隧道深层岩溶水地段洞内长期排水引起的水文地质变化特征及其整治措施](#) 1992 (06)
5. [杨保安](#); [张红军](#) [华蓥山隧道西段泄水洞工程及其对治理隧道暴雨涌突水的作用](#) 1999 (05)
6. [刘丹](#); [关宝树](#) [铁路隧道涌突水基本特征及地质环境效应](#) 1995
7. [Jimenez S J](#) [Introducing the discussion on water and trnnel—Design](#). [Serrano J M](#) [Tunnel and Water, Madrid, 1998](#) 1998
8. [王恒纯](#) [同位素水文地质学](#) 1991
9. [张人权](#) [同位素方法在水文地质学中的应用](#) 1983
10. [陈礼宾](#) [国外同位素水文地质研究的一些进展](#) 1993

本文读者也读过(10条)

1. [邱仓虎](#). [刘建明](#). [刘建平](#) [在沿海炎热多雨多台风地区的多高层建筑中使用轻质砌块材料做围护结构时防渗漏初探](#) [期刊论文]-[建筑科学](#)2002, 18 (4)
2. [胡伟伟](#). [李婷](#). [马致远](#). [豆惠萍](#) [地下水资源可更新性的环境同位素研究](#)[期刊论文]-[地下水](#)2011, 33 (2)
3. [代雅建](#). [崔健](#). [王晓光](#). [DAI Ya-jian](#). [CUI Jian](#). [WANG Xiao-guang](#) [应用环境同位素分析吉林市松花江水与地下水的联系](#)[期刊论文]-[地质与资源](#)2011, 20 (1)
4. [林刚](#). [何川](#) [连拱公路隧道施工方法模型试验研究](#)[期刊论文]-[现代隧道技术](#)2003, 40 (6)
5. [周本涛](#). [ZHOU Ben-tao](#) [公路路基变形破坏机理相似模型试验方法](#)[期刊论文]-[湖南交通科技](#)2008, 34 (1)
6. [徐行军](#). [XU Xing-jun](#) [重载交通下水泥砼路面力学机理的影响分析](#)[期刊论文]-[河北工程大学学报 \(自然科学版\)](#) 2009, 26 (3)
7. [朱云升](#). [李洪亮](#). [曹耐尔](#). [廖良生](#). [欧湘萍](#). [ZHU Yun-sheng](#). [LI Hong-liang](#). [CAO Nai-er](#). [LIAO Liang-sheng](#). [OU Xiang-ping](#) [道路滑坡稳定性分析有限元方法研究](#)[期刊论文]-[公路交通科技](#)2007, 24 (4)
8. [高正夏](#). [刘亚钦](#). [曹岩](#). [Gao Zhengxia](#). [Liu Yaqin](#). [Cao Yan](#) [深圳抽水蓄能电站厂房区地下水环境同位素分析](#)[期刊论文]-[勘察科学技术](#)2009 (3)
9. [樊哲超](#). [陈建生](#). [李世兴](#). [FAN Zhe-chao](#). [CHEN Jian-sheng](#). [LI Shi-xing](#) [环境同位素和模糊聚类法研究堤坝渗漏](#) [期刊论文]-[水科学进展](#)2006, 17 (1)
10. [贾伟光](#). [邸志强](#). [金洪涛](#). [王恩德](#) [东北平原西部山前台地区地下水环境同位素分析--以洮儿河流域中上游为例](#) [期刊论文]-[东北大学学报 \(自然科学版\)](#)2004, 25 (10)

引证文献(1条)

1. [金新锋](#). [夏日元](#). [梁彬](#) [宜万铁路马鹿箐隧道岩溶突水来源分析](#)[期刊论文]-[水文地质工程地质](#) 2007 (2)

引用本文格式：[刘丹](#) [应重视同位素技术在隧道地下水环境研究中的应用](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2002(4)