

文章编号: 1001- 4810(2004)03- 0213- 06

# 岩溶隧道涌水及其专家评判系统<sup>\*</sup>

韩行瑞

(中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004)

**摘 要:** 在我国岩溶区许多的铁路、公路隧道及水工隧道的修建中, 遇到大量的岩溶涌水、突泥问题, 给工程施工和运营带来很大危害。基于岩溶水文地质学的最新理论和国内外工程实践, 结合作者多年实践经验, 提出隧道岩溶涌水专家评判系统。该系统认为岩溶隧道涌水是隧道与岩溶水系统在四维时空交汇的结果, 因此, 必须根据隧洞揭露的强岩溶层、岩溶水系统分布、水动力分带、岩溶结构面分析确定涌水的可能性及性质。在此基础上, 根据岩溶水动态计算动态涌水量。

**关键词:** 隧道; 岩溶涌水; 专家评判系统

**中图分类号:** X 141; P642. 25 **文献标识码:** A

## 0 前 言

长隧道的岩溶问题是国内外隧道施工中的重大难题。多年来, 我国在铁路、水工、公路隧道施工中均遇到了岩溶突水突泥、顶板溶洞充填物陷落冒顶、底板塌陷等问题。国外在欧洲阿尔卑斯山隧道及其它一些越岭隧道也发生过类似问题, 无不对施工造成极大危害。

我国 20 世纪 60~ 70 年代, 在西南修建的滇黔铁路、成昆铁路、襄渝铁路等均遇到大量岩溶问题。贵昆铁路梅花山隧道, 施工中遇到地下河及大型溶洞, 最后不得不在隧洞中修隔水墙, 阻截暗河。贵昆铁路岩脚隧道处于岩溶水季节变化带中, 施工期间为枯水期, 底板揭露一干溶洞, 洪水期底板溶洞突然冒水、冒泥, 淹没隧道。襄渝铁路大巴山隧道在通过下寒武统石龙洞灰岩含水层中, 揭露一溶洞突然突泥、突水, 最大涌水量为每日 15 万  $m^3$ , 中断施工 3 个月。该隧道处于暗河口以下 120m, 岩溶管道沿断层强烈发育, 最后采取堵、排、绕处理方案才能通过<sup>[4]</sup>。京广铁路大瑶山隧道的岩溶突水, 形成泥石流, 给运营造成长期危害<sup>[8]</sup>。

近年来在西南修建的水工隧道、铁路隧道、公路隧道也都不同程度地遇到岩溶灾害, 甚至造成重大事故, 如广安—重庆高速公路华蓥山隧道在多处发生岩溶突水突泥, 引起两条地下河的灌入, 来自洞湾地下河的最大涌水量达 35 万  $m^3/d$ , 涌泥沙 1000  $m^3$ ; 来自广洞湾地下河的最大涌水量达 32 万  $m^3/d$ , 涌泥沙 3000  $m^3$ 。渝怀铁路圆梁山隧道发生特大岩溶涌水, 对施工造成极大影响<sup>[9]</sup>。

总的看来, 国内在长岩溶隧道的勘测设计、施工预报方面还存在如下问题:

(1) 对岩溶地区特殊性认识不足, 勘测工作按一般地区勘测程序进行, 调查范围狭窄, 没有查清岩溶水系统的空间结构、地下水动态变化及其与隧道的四维联系。

(2) 对岩溶发育基本规律的研究重视不够, 没能根据物探、钻探综合判断隧道溶洞的准确分布位置。

(3) 不重视施工地质工作及超前预报工作, 超前预报在技术方法上不过关。

(4) 勘测技术手段不配套, 除了钻探、物探外, 缺乏岩溶调查的专门手段和方法。

(5) 特长隧道的岩溶突水预报与防治是我国工程

<sup>\*</sup> 作者简介: 韩行瑞 (1938- ), 男, 研究员, 1965 年长春地质学院研究生毕业, 长期从事岩溶水文工程地质研究工作。

收稿日期: 2004- 05- 20

建设中还没有很好解决的难题,除了 1966~1971 年结合大巴山国家科委组织过一次科研、设计、施工部门联合科研攻关外,再没有开展过大型的科研攻关工作,因此,其整体水平还不能满足建设需要。

应该特别指出的是,尽管我国在岩溶地区的铁路、水工、公路等隧道工程建设已有 40 多年的历史,施工的大长隧道也有数十座,经验、教训很多,但由于体制及管理方面的原因,却不能全面的总结提高,形成系统的理论和方法,同类失误多次重复出现,因此,抓住目前岩溶区正在修建大量隧道的有利时机,积极开展岩溶隧道涌水预测、治理及生态保护研究是岩溶工作者的重要任务。

## 1 岩溶隧道涌水的研究及其概念讨论

### 1.1 岩溶隧道涌水的研究重点

岩溶隧道涌水与岩溶矿床涌水或矿井岩溶涌水,在涌水的成因和机制方面相似,但同一数量级的涌水对隧道和矿井的危害相差很大。矿井一般在地面以下几十米至几百米,任何涌水都必须靠水泵不间断的排水疏干,完全不能自然排水。因此任何一次涌水,那怕涌水量只有  $n \times 1000 \text{ m}^3 / \text{d}$ ,也将给排水带来很大负担。如突然遇到很大的涌水,造成淹井事故就很难避免。

隧道则不同,大多数隧道都是穿越分水岭或河间地块,至少有两个施工口,至少有一面可以自然排水。另一面如果是逆坡施工,用水泵排水,其扬程也不过几十米。因此,对隧道而言,一般在  $K \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{d}$  以下的涌水对工程不会造成很大的危害。特别是裂隙状涌水、小股溶洞水,一般都不会构成很大危害。

据我国 30 余座岩溶长隧道的统计,约 40% 发生过  $K \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{d}$  以上的大型涌突水<sup>[7]</sup>,其中约 30% 发生过  $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{d}$  以上的重大型涌突水,约 20% 发生过  $10.0 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{d}$  以上的特大型涌突水。真正对施工、运营安全造成危害的是单个涌水段涌水量  $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{d}$  以上的大型涌水,特别是  $5.0 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{d}$  以上的重大型涌突水,其中涌水量  $10.0 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{d}$  以上的特大型涌突水往往造成灾害性后果。

因此,对于岩溶隧道涌水问题,应当与矿井涌水加以区分,对于前者应重点抓大型涌突水,特别是重大型及特大型涌突水。

### 1.2 岩溶隧道涌水与岩溶水系统的关系

我国南方岩溶区,特别是西南岩溶区岩溶水系统按其含水介质及水流特征,一般分为两种类型,一是

地下河系统,二是岩溶泉系统。由地下河的干流与支流组成地下河系统,其特征是地下水流集中于地下通道或管道,具有紊流运动状态,有时具有河流特征,其动态变化受当地降水影响明显,具有河水快涨快落的特点。岩溶泉系统的特征是地下水分散于岩溶裂隙及小型管道之中,以层流运动为主,其动态变化较地下河平稳,含水介质中可以发育成渗透性大的强径流带,但不具备地下河性状。

根据调查分析,我国岩溶长隧道的重大型涌突水 ( $\geq 5 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{d}$ )、特大型涌突水 ( $\geq 10 \times 10^4 \text{ m}^3 / \text{d}$ ) 都是由于隧道揭穿地下河系统的主通道、支通道或者有相当大通水能力的溶洞管道而引起的。像地表河道一样,不仅涌水而且涌泥沙。

因此,在岩溶隧道涌突水研究中,对水源的判断应分清是岩溶泉系统还是地下河系统,而后者才是造成重大和特大涌突水的根源。对与隧道有关的地下河系统的调查研究,是隧道岩溶涌水研究的重点。

### 1.3 关于涌水量的概念

目前隧道涌水量概念和提法较混乱,当涌水量对施工影响不大时,一般既不观测也不报道,当涌水量对施工有重大影响时,才测一下最大涌水量。一般也仅给出一个最大流量值。但这最大流量延续多长时间,是静储量,还是动储量都不明确。这一点与矿井涌水量的清晰概念形成对比。矿井生产必须用水泵排干矿井全部的涌水,一刻都不能停止,这样用排水量的记录很容易查清矿井实际的长期涌水过程。

造成上述情况的原因,一方面反映了隧道涌水研究水平不高,另一方面也说明了人们对地下河系统及岩溶泉域造成岩溶隧道涌水的特点认识不足。

地下河造成的涌突水,不同时期其水量构成也有所不同:

(1) 在枯水季节或非降雨期间,造成隧道涌水的大地下河溶洞,涌水量由两部分组成,即静储量和地下河枯水期动储量。静储量来势凶猛,但一般在 5~10 天内排完。之后,地下河动储量(即正常流量)是隧道主要涌水量。

(2) 在降雨期间,特别是强降雨过程中,造成隧道涌水的大地下河溶洞,涌水量由静储量及洪水期地下河动储量组成,可能形成最大涌水量。降雨停止后,延续一段时间,涌水量减至暗河正常流量。

(3) 如果因隧道涌突水,引起地面塌陷并引起地表水灌入,则隧道涌水量还要考虑地表水涌入量。因此,应该在涌水量评价时,计算动态涌水量。

为此,在涌水量评价时,应计算动态涌水量。

## 2 岩溶水动力分带模式与岩溶涌水

岩溶水动力分带与隧道涌水预测有密切关系,但目前认识较混乱,这里提出我们的分带模式(图 1)。

### 2.1 岩溶水动力垂向分带

#### 2.1.1 表层岩溶带

表层岩溶带水是岩溶山区储存于可溶岩地表强

岩溶化的溶隙及溶孔中的岩溶水,其下界面是溶蚀相对微弱的完整可溶岩面,一般厚度为 5~30m。表层岩溶带水可形成表层岩溶泉,一般流量较小,但分布广泛,出露高程随地形而变。在森林植被好的地区,表层岩溶泉流量稳定,成为山区人畜用水和分散农田灌溉的重要水源。表层岩溶泉与饱水带之间没有直接水力联系,但与包气带有一定关系。当隧道埋深浅时,可能影响表层带,对人畜用水及生态造成影响。

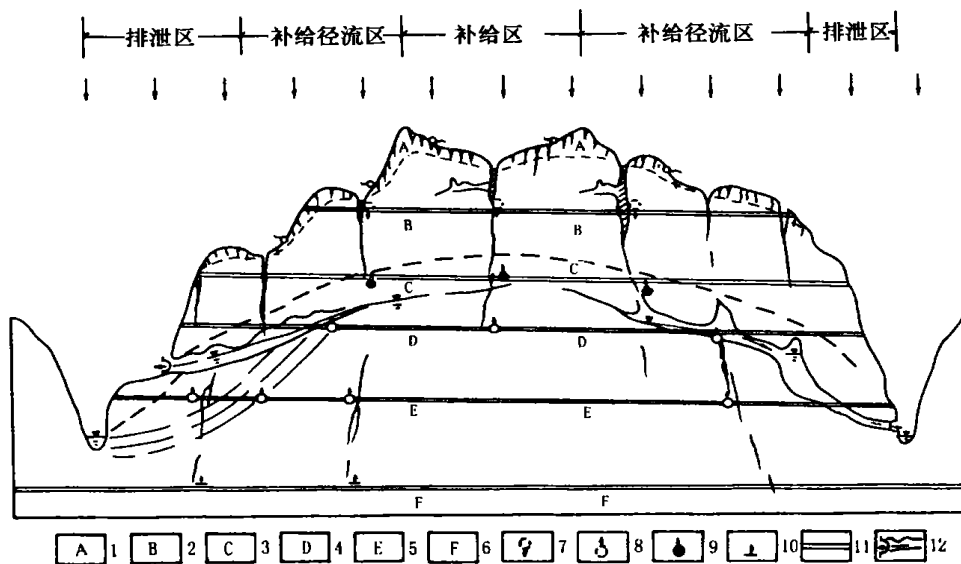


图 1 分水岭(河间地块)岩溶水动力分带与隧道涌水

Fig. 1 Hydrodynamic zone and water bursting in tunnel

- 1. 表层岩溶带; 2. 包气带; 3. 季节交替带; 4. 浅饱水带; 5. 压力饱水带; 6. 深部缓流带; 7. 季节性下渗管流水;
- 8. 季节性有压管流涌水; 9. 有压管流涌水; 10. 有压裂隙水; 11. 隧道; 12. 地下水

#### 2.1.2 包气带

即垂直下渗带,位于表层岩溶带以下、丰水期区域地下水位以上的地带。本带通过溶隙、溶蚀管道、竖井与地表的洼地、漏斗、槽谷相通,可以将大气降水及地表水导入地下。在暴雨期间,大量洪水携带泥沙通过包气带进入地下。与碎屑岩区不同,岩溶区的包气带可以很厚,从十余米到几百米,此带水流在时空方面是不连续的,一般不具静水压力,但在管道中短时间的灌入压力有时很大。本带中多有垂直状态的溶隙及溶洞,但也存在一些水平干溶洞,有时被粘土、碎石充填。

当隧洞通过此带时,由于受到季节性地表水灌入的威胁,洞穴充填物塌陷经常构成危害。

#### 2.1.3 季节交替带

又称过渡带,由于季节变化而引起的地下水位升降波动的地带,位于包气带与饱水带之间。当雨季潜水面升高时,构成饱水带的一部分;旱季潜水面下降,

则成为包气带的一部分。岩溶山区,季节变化带的厚度可达几十米。在此带雨季时节隧洞将可能产生自下而上的有压涌水、突泥。如贵昆铁路岩脚隧道的出口段平行导坑遇到溶洞,平时无水,施工时用渣填埋,一场暴雨后,溶洞冒大水,将石渣、机具冲溃。以后每场大雨后均发生溶洞冒水,雨后逐渐减少。贵昆铁路梅花山隧道平导遇地下河,枯水期河水面低于隧道,但洪水期水位上涨淹没隧道。

#### 2.1.4 浅饱水带

又称水平管道循环带,指枯水期地下水位以下,地下河排水口影响带以上的饱水含水带。本带处于岩溶含水层的上部,岩溶强烈发育,一些水平的洞穴,地下河主通道常发育在此带。此外一些大的充水溶洞、宽大的溶缝、深潭、地下湖均发育在此带,对隧道涌水的威胁很大,一般为有压突水、突泥。此带厚度各地不同,取决于补给区至排泄区的相对高差、水力坡降及构造条件,其厚度可达 500m 以上。

沪蓉西高速公路的很多隧道处于这一带。如野三关隧道区的高丝洞—白岩洞地下河,在补给区水位标高 1125m,在排泄区出口标高 480m,高差达 600 余米,隧道洞身在暗河补给区处于地下水位以下 50~60m,处于浅部岩溶发育带。这里存在一个认识上的错觉,认为隧道处于地下河口以上,就是处于包气带或季节变化带,不会产生大的涌水。事实上,补给区地下水位往往比排泄区高很多。特别是在西南岩溶山体的向斜汇水区,这种情况更为多见。

### 2.1.5 压力饱水带

在浅饱水带之下,即暗河口排水面以下,当地主要河流排水基准面影响带以上的含水层。在我国南方岩溶区,当地的岩溶地下水多以泉水或暗河在当地的槽谷、坡立谷或河谷陡壁上的出口排泄,高出附近主要河流的河水面几十米或几百米。人们往往误认为在暗河口以下的含水层岩溶发育微弱,属于“深部缓流带”,不会产生严重的溶洞涌水。事实上,这部分含水层不属于“深部缓流带”,而是受当地主要河流排水基准控制的岩溶水循环带。尽管本带岩溶洞穴化强度不如浅饱水带,但沿着断裂带和各种结构面,岩溶可以发育很强,也可以发育很深。并且由于水头高,压力大,隧道涌水威胁很大,很多特大型突水、突泥都出现于此带。如襄渝铁路大巴山隧道北口 1500m 处的大突水(最大涌水量 15 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ),就是发生在当地暗河口以下 110m 深部的断层带溶洞部位;京广线大瑶山隧道 DK1994+213 竖井突水点在当地岩溶泉口以下 170m 的断裂带,涌水量达 8200  $\text{m}^3/\text{d}$  并产生突泥。隧道洞身高于当地主要河流水 80m。勘测阶段有人曾认为暗河口是当地岩溶水排水基准,暗河口以下岩溶不会发育。

### 2.1.6 深部缓流带

指饱水带之下,受当地排水基准面影响比较弱的含水带。一般情况下岩溶发育较弱,但在大的构造断裂带处亦可形成溶洞或溶蚀断裂带;有时膏溶作用、混合溶蚀作用,古岩溶都能在深部形成溶洞。这种情况对水电工程很重要,但交通隧道一般不会涉及此带。

对于上述各带,要采取不同方法评价其涌水量。

## 2.2 岩溶水动力水平分带

岩溶水系统的水动力水平分带对隧道涌水也有重要影响。从河间地块的分水岭至河谷可以分为补给区、补给径流区、排泄区。

补给区地下水位高,季节变化带厚度大,但饱水带岩溶发育相对弱,发育深度也较浅。

补给径流区,地下水埋深增大,浅饱水带管道发育强烈,岩溶发育深度较浅。排泄区,包气带厚度大,饱水带水平管道发育。特别是岩溶发育深度加大,可以在暗河口以下或河水面以下形成倒虹汲循环带。在暗河口或河床岸边,随钻孔深度加深,钻孔水头不断升高,说明地下水有向上运动的趋势。此带岩溶发育深度,可达暗河口以下一百至数百米。隧道在暗河排泄区下面通过,往往会遇到高压涌水。如大巴山隧道、华蓥山隧道都是在暗河排泄区下面遇到特大涌水,并导致暗河口干涸。

## 3 岩溶隧道涌水专家评判系统

隧道岩溶涌水的预测是非常复杂的问题。目前,在预测工作方面之所以经常出现错误,除了上述一些基本概念问题外,没有一套切合实际的评判系统也是重要原因。基于岩溶水文地质学的最新理论,和国内外工程实践,结合作者多年的经验,提出“岩溶隧道涌水专家评判系统”(表 1)。该系统的评判过程由数个程序模块来完成。

评判过程主要抓住以下四项内容:

首先,要通过准确的隧道工程剖面确定洞身是否揭露区域强岩溶层。西南扬子地台区和华南褶皱带的强岩溶层均具有广泛的区域分布,尽管有岩相变化,但基本都具有厚度大、分布广、质地纯的特点,我国南方 90% 以上的地下河系统均分布在这些岩层中。隧道洞身是否揭露这些岩溶层,揭露宽度多少,是判断突水的首要条件。第二,岩溶层确定后,必须从区域角度调查该层中的岩溶水系统及类型,此时必须通过扩大范围调查及专门性工作,查清岩溶水系统的来龙去脉,往往远离隧道线的暗河也会在地下深处与隧道联通。第三,必须通过钻孔水文地质观测,确定洞身所处的水动力分带,这是决定涌水特征及涌水量评价方法的重要因素。最后通过综合调查、岩溶结构面三维分析及深岩溶研究判断隧道揭露溶洞、溶隙的规模、位置。

本评判系统根据我国多年区域岩溶研究成果及工程实际资料,给出了多种具体评判模式及区域判断参考资料,并推荐了不同的涌水量评价方法。由于篇幅所限,在此不赘述。

表 1 岩溶隧道涌水专家评判系统

Tab. 1 The expert system for judging karst water bursting in tunnel

评判项目	研究内容	技术方法	涌水条件	评判实例
I 隧道洞身揭露的区域岩溶层段	确定隧道洞身揭露以下那类岩溶层段: A <sub>1</sub> 区域强岩溶层段 ∈ <sub>15</sub> 寒武系下统石龙洞灰岩 ∈ <sub>35</sub> 寒武系上统三游洞灰岩 D <sub>2-3</sub> 泥盆系中上统灰岩 P 二叠系灰岩 T <sub>1</sub> 三叠系下统灰岩 B <sub>1</sub> 区域中强岩溶层段 Z <sub>ed</sub> 震旦系灯影组灰岩 O 奥陶系灰岩 C <sub>1</sub> 弱岩溶层及层间岩溶层	1 通过区域地质、水文地质调查 (1:5~1:1万) 及典型剖面研究, 掌握区域岩溶发育的基本规律, 划分出区域 A B C 三类岩溶层, 并测定其岩性变化、厚度、夹层等 2 通过线路地质调绘 (1:1万~1:2千) 及钻探、物探资料, 提出准确的隧道工程地质剖面, 确定洞身揭露区域岩溶层的空间位置	隧道洞身揭露 A <sub>1</sub> 类岩层是大型至特大型岩溶涌水的必要条件之一; B <sub>1</sub> 类岩层一般只可能构成中、小型岩溶涌水; C <sub>1</sub> 类岩层只可能引起小型涌水	5A 类隧道: 实例: 大巴山隧道 A <sub>1+</sub> A <sub>2+</sub> A <sub>3-2+</sub> A <sub>4+</sub> A <sub>5</sub> , 最大涌水量 15万 m <sup>3</sup> /d, 突水点在逆冲断层上升盘溶洞。 实例: 华蓥山隧道 A <sub>1+</sub> A <sub>2+</sub> A <sub>3-1+</sub> A <sub>4+</sub> A <sub>5</sub> , 最大涌水量 > 30万 m <sup>3</sup> /d 突水点在逆冲断层上盘及横张断层溶洞
II 岩溶层段中的岩溶水系统及类型	确定隧道洞身各岩溶层段中发育那类岩溶水系统, 及补给面积、枯、洪期流量: A <sub>2</sub> 大型地下河系 (补给面积 ≥ 10k m <sup>2</sup> ) B <sub>2</sub> 小型管道状岩溶泉 (补给面积 5~10k m <sup>2</sup> ) C <sub>2</sub> 岩溶泉域	1 通过区域水文地质调查、联通试验、水化学及同位素研究, 圈定地下河系及岩溶泉域的边界和循环条件 2 通过观测, 掌握流量动态, 特别是最大、最小流量和降雨关系	隧道洞身 A <sub>1</sub> 类岩溶层段中发育 A <sub>2</sub> 类地下河系是大型至特大型涌水的必要条件之二, B <sub>2</sub> 及 C <sub>2</sub> 条件一般只能引起中、小型涌水	AB 类隧道: 实例: 岩脚寨隧道 A <sub>1+</sub> A <sub>2+</sub> B <sub>3+</sub> B <sub>4</sub> + A <sub>5</sub> , 暴雨后季节性涌水最大达 14 万 m <sup>3</sup> /d, 雨后渐停, 突水点在逆冲断层上盘及横张断层溶洞。 实例: 大瑶山隧道 A <sub>1+</sub> B <sub>2+</sub> A <sub>3-2+</sub> B <sub>4+</sub> A <sub>5</sub> 最大涌水量 0.82 万 m <sup>3</sup> /d, 涌水点在逆冲大断层上升盘溶蚀带。
III 隧道洞身所处岩溶水动力垂向分带	确定隧道洞身各岩溶层段所处的岩溶水系统的垂直水动力带的部位: A <sub>3-</sub> 浅饱水带 A <sub>3-</sub> 压力饱水带 B <sub>3</sub> 季节变化带 C <sub>3</sub> 表层岩溶带及包气带	1 通过对地面各种水点 (如暗河出露点、竖井、天窗等) 的调查, 测定地下水位及其变化 2 通过钻孔水位观测, 确定地下水位及其变化规模 3 所有钻孔深度必须打到稳定地下水以下	隧道洞身处于 A <sub>3-1</sub> A <sub>3-2</sub> 垂直水动力带是大型至特大型涌水的必要条件之三; 处于 B 带是季节性涌水的必要条件; 处于 C 带雨季可能有下灌式涌水、突泥	实例: 大瑶山隧道 A <sub>1+</sub> B <sub>2+</sub> A <sub>3-2+</sub> B <sub>4+</sub> A <sub>5</sub> 最大涌水量 0.82 万 m <sup>3</sup> /d, 涌水点在逆冲大断层上升盘溶蚀带。
IV 隧道洞身所处岩溶水动力横向分带	确定隧道洞身各岩溶层段所处的岩溶水系统横向水动力分带的部位: A <sub>4</sub> 排泄区 B <sub>4</sub> 补给径流区 C <sub>4</sub> 补给区	1 地下河系及泉域的水文地质调查分析 2 钻孔水位及水头观测分析。钻孔水头随深度不断下降的地段为补给区; 钻孔水头随深度有上升趋势的地段为排泄区 3 通过钻孔确定岩溶发育深度, 特别是在排水基准面以下的深度	隧道洞身处于 A <sub>4</sub> 区和 B <sub>4</sub> 区是大型至特大型涌水的必要条件之四	ABC 类隧道: 实例: 山西引黄工程南线隧道 A <sub>1+</sub> C <sub>2+</sub> C <sub>3+</sub> C <sub>4+</sub> B <sub>5</sub> 处于包气带, 未产生涌水, 但遇干溶洞充填物塌落, 掩埋工作面。
V 隧道洞身岩溶及岩溶结构面发育强度及空间位置	确定隧道洞身的溶洞、管道、溶蚀带及各种岩溶结构面发育强度和空间位置: A <sub>5</sub> 洞身发育强岩溶并有岩溶结构面通过, 溶洞直径 > 80cm, 溶隙宽度 > 60cm B <sub>5</sub> 洞身岩溶发育中等强度, 有岩溶结构面通过, 溶洞直径 < 80cm, 溶隙宽度 < 60cm C <sub>5</sub> 洞身岩溶发育弱, 未见岩溶结构面通过	1 各种岩溶结构面的三维分析, 如沿张性断裂、张扭性断裂、逆冲断裂上升盘、层间滑动面等易于岩溶发育, 并控制岩溶方向 2 通过钻探、物探 (包括钻孔透视) 查明洞身岩溶 3 钻孔水文地质试验及水化学研究	本要素是评判隧道岩溶涌水可能性及涌水规模的关键要素之一。由于岩溶发育的不均一性, 使隧道涌水具有有机遇性, 根据国内隧道涌水的研究分析, 绝大部分涌水溶洞、溶隙、通道几乎均与岩溶结构面有关, 特别是深部岩溶全部与岩溶结构面有关, A <sub>5</sub> B <sub>5</sub> 条件是大型至特大型涌水的必要条件	

## 参考文献

- [1] 韩行瑞, 等. 岩溶水系统 [M]. 地质出版社, 1993.
- [2] 韩行瑞, 时坚, 等. 丹河岩溶水系统 [M]. 广西师大出版社, 1994.
- [3] 韩行瑞, 等. 岩溶单元流域综合开发与治理 [M]. 广西师大出版社, 1997.
- [4] 地质科学院水文所隧道岩溶组. 西南某越岭隧道岩溶涌水及预
- [5] 姜云, 王兰生. 深埋长大公路隧道高地应力岩爆和岩溶突水问题及对策 [J]. 岩石力学与工程学报, 2002. 9.
- [6] 徐济川, 黄少霞. 大瑶山隧道的突泥涌水机制 [J]. 铁道工程学报, 1996. 6.
- [7] 徐则民, 黄润秋, 罗杏春. 特长岩溶隧道涌水预测的系统辨识方

报 [J]. 水文地质工程地质, 1974. (3).

法[J].水文地质工程地质, 2003. 4: 50-54.

[8] 陈成宗,牟瑞芳.大瑶山隧道岩溶涌水系统分析[J].工程地质学报, 1993. 9.

[9] 陈绍林,等.四川广(安)一渝(重庆)高速公路华蓥山隧道岩溶突水的研究与整治[J].岩石力学与工程学报, 2002. 9.

## KARST WATER BURSTING IN TUNNEL AND EXPERT JUDGING SYSTEM

HAN Xing-rui

(Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin, Guangxi 541004, China)

**Abstract** The problems of karst water and mud bursting in tunnels have occurred in many tunnels, highway and railway constructions and operations, which endanger many projects. Based on relation between karst water system and karst water bursting in tunnel, regime and course of water bursting, karst hydrodynamic zone and the latest karst hydrogeologic theory as well as construction practicing experiences, the expert system for judging karst water bursting in tunnel is provided.

**Key words** Tunnel; Karst water bursting; Expert system for judging

### 沉痛悼念杨明德教授和宋林华教授

正当全国为我健儿在雅典 28届奥运会上旗开得胜而欢呼之时,不幸传来我国岩溶学界权威杨明德教授和宋林华教授与其学生因车祸而去世的噩耗,令人感到万分悲痛。杨、宋两位教授久负声望,卓有建树,他们不幸过早地离去,令人难以接受,是岩溶学界的重大损失。

杨明德教授在我国西南这片岩溶的中心地——贵州,勤勤恳恳地耕耘,培养了几代献身岩溶科学事业的人才,在我国高等学校中,首先于贵州师范大学形成一个教学密切联系实际、成果斐然的岩溶研究与教育相结合的中心。杨明德教授在开展中外学者联合调查研究中国岩溶方面,也在教育界树立了典范,取得好效果。杨明德以其在岩溶地貌上的许多成果,而享誉中、外学术界。杨明德教授为人平易近人,和蔼可亲,治学严谨。他的许多高尚人格、优秀的研究作风,都是很值得我们学习的。

宋林华教授正是处在黄金岁月,在岩溶研究方面有着更好的前程。多年来,他不仅在领导中科院地理所岩溶研究方面,作出了重大的贡献,而且在国际岩溶界中有着许多的交往,享有很高的声誉,故去前仍担任国际洞穴协会的副秘书长之职。正当我们期待通过他在国际上的威望,促进我国和世界岩溶科学交流

和合作作出更大贡献时,他却意外遇难。宋林华的治学精神和对待同行的无私相助的品德,都是深深值得我们学习的。

杨明德教授和宋林华教授是我国岩溶学界的将帅和精英。他们把一生贡献给我国的岩溶事业,也为我国在世界上取得岩溶研究方面的盛誉,作出了重大的贡献。这次,他们是为了申报世界自然遗产以让我国岩溶景观能更多地得到世界上的关注,而因公殉职的。他们光荣、奉献的一生,我们将永远铭记。

在这悲痛的时刻,请杨明德教授和宋林华教授在天之灵,安息吧!

我们将更好地团结一致,为中国和世界的岩溶事业进一步作出贡献;我们要更好地完成你们未竟的事业,进一步扩大中国岩溶研究成果在国际岩溶界中的影响;我们要出更多更好的研究成果,为我国社会主义建设作出更大的贡献。愿以此来告慰杨明德教授和宋林华教授在天之灵。

安息吧! 杨明德教授!

安息吧! 宋林华教授!

(卢耀如 泣挽)