

# 大瑶山隧道岩溶水文地质研究

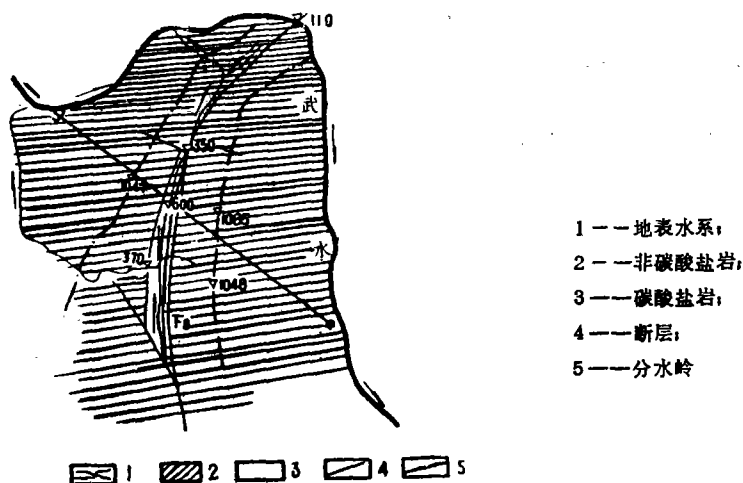
铁道部第四勘测设计院

邓谊明 蒙曙辉 白日升

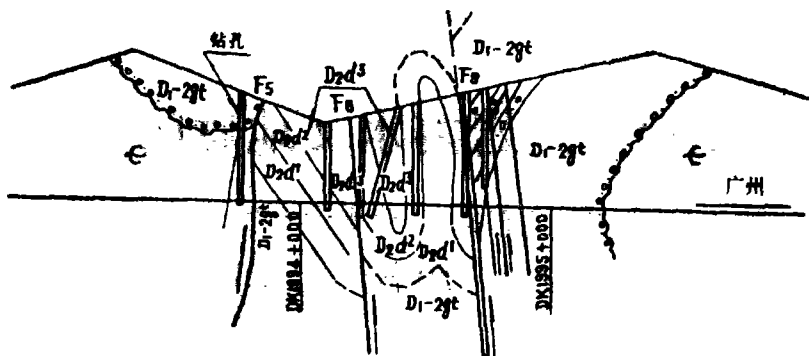
大瑶山隧道洞体穿越地层有震旦、寒武系浅变质碎屑岩（占整个隧道的94%）和泥盆系碳酸块岩（占整个隧道的6%）。隧道处在粤北山字型脊柱构造中的强烈挤压带部位，地质十分复杂。

## 一、斑古坳地区岩溶水文地质特征

碳酸块岩类分布于斑古坳槽谷的狭长地带，组成长约11公里，宽约1~2公里的船形向斜。船形向斜南、北两端翘起，隧道在北翘起端尾部通过。该向斜为一复式褶曲，由数个紧闭、陡立、同斜的褶曲组成，并伴随 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 等冲断层，构成九峰挤压带。岩层强烈片理化，裂隙普遍被方解石脉充填。作为相对隔水层的泥灰岩反复出现。 $F_1$ 和 $F_2$ 断层皆有断层泥，具阻水作用，将断层上、下盘不同含水层阻隔开。 $F_3$ 断层产出向斜近中部，下盘岩层受构造影响相对较轻微，上盘岩层受强烈挤压，倾角陡立。主要断层的主断层带岩体破碎或次级迭瓦式冲断层密集，构成条带状富水带。（图一1、图一2、图一5）。



图一 大瑶山隧道碳酸块岩平面分布图（1:20万）



图—2 大瑶山隧道斑古坳地段——地质复杂地段地质构造示意图

1 : 30000

### (一) 斑古坳地区地下水流向

根据斑古坳地区钻探收集的地下水位资料, 绘制地下水等位线图(图—3)。

据该图分析得知:

1. 地下水存在一个分水岭, 与地表分水岭一致。
2. 地下水的流向自斑古坳分水岭分向南北两端, 并循此方向运移、排泄。(图—3、图—4(a))。

### (三) 地下水动水剖面分带

工程区(斑古坳槽脊碳酸块岩区)地下水类型主要有:

1. 断层带构造裂隙水——岩溶裂隙水: 工程区以走向压性断层为主导, 规模较大的 $F_5$ 、 $F_6$ 两断层呈带状富水;(图—6、图—7)。

2. 浅部岩溶裂隙水: 位于地下水垂直渗流带和水平流动带范围内(图—6)。

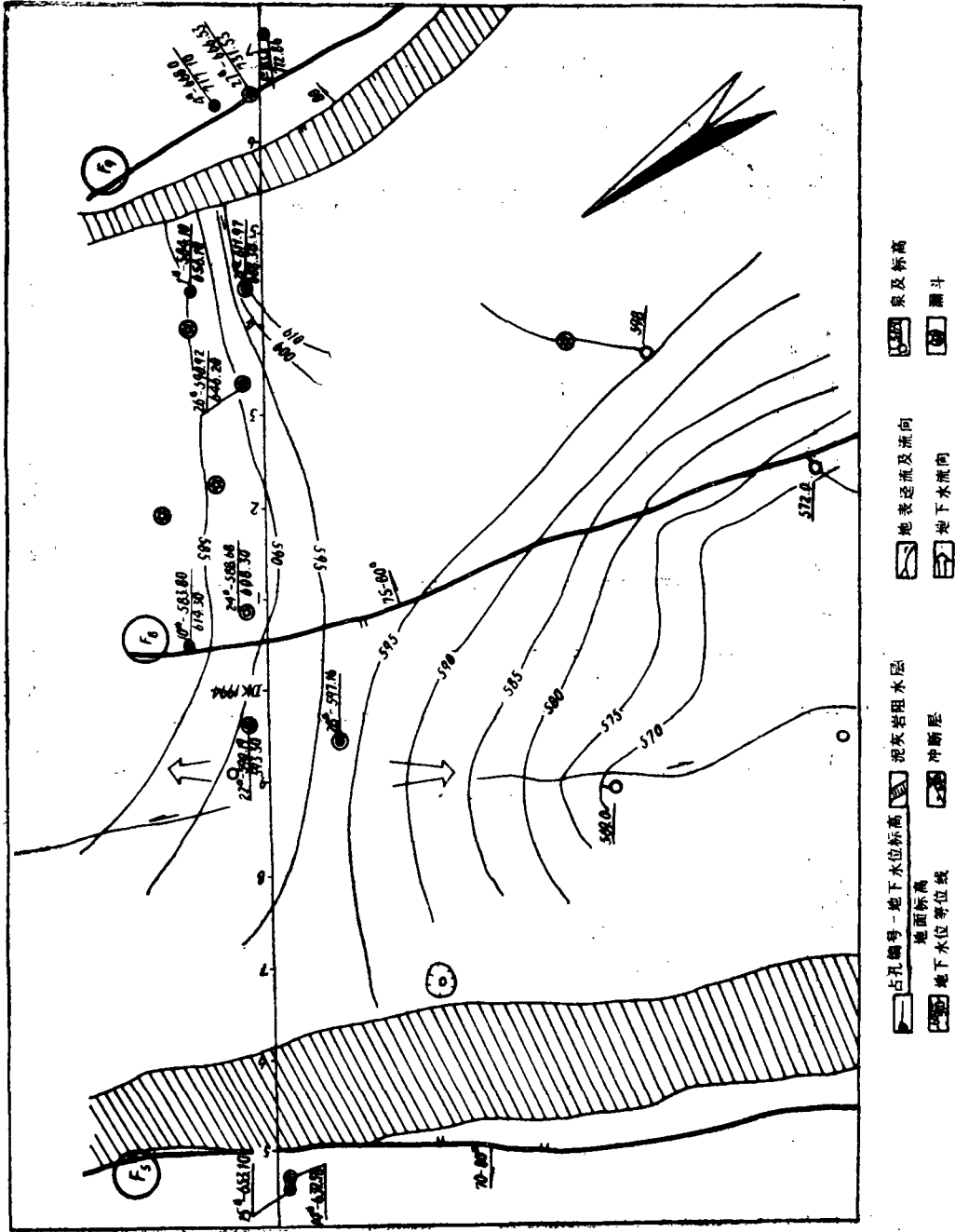
根据深钻孔揭露和竖井施工提供的垂直剖面资料分析可知:

1. 地下水位于斑古坳隧道竖井附近, 标高为590m, 埋深约3—5m, 两侧山坡地面标高逐增, 水位埋深也加深, 约30—60m。

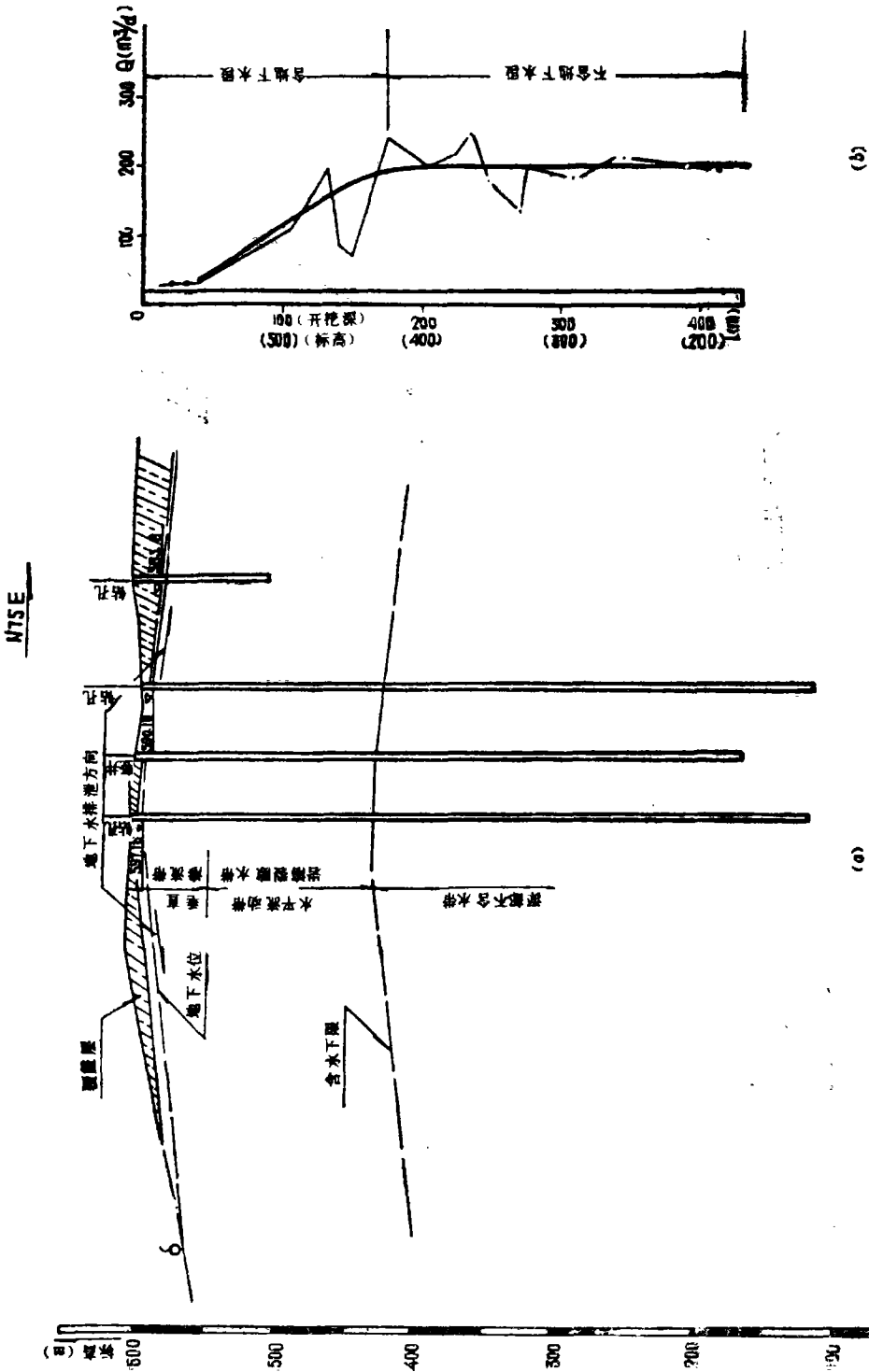
2.  $F_6$ 断层的上下盘的地下水位不一致, 上盘水位(709m标高)高于下盘(612m标高), 说明由于断层泥的阻隔作用, 将上下盘的地下水阻隔分割成两个含水体系。施工实践也得到验证。

3. 竖井施工过程中, 随着竖井不断开挖延深, 其总涌水量不断增大, 但掘至140m深(460m标高)后, 涌水量不再随竖井开挖增加而增加, 保持稳定, 说明主要含水层为浅部(0—140m深)。

综合上述资料, 将斑古坳地区地下水垂动向水分带划分如表—1:



图一-3 大瑶山隧道至古坳地段地下水等位线图



图一-4

(a) 大瑶山隧道距古坳地表分水岭部位地下水垂差分布状况 1 : 5000

(b) 竖井滴水量

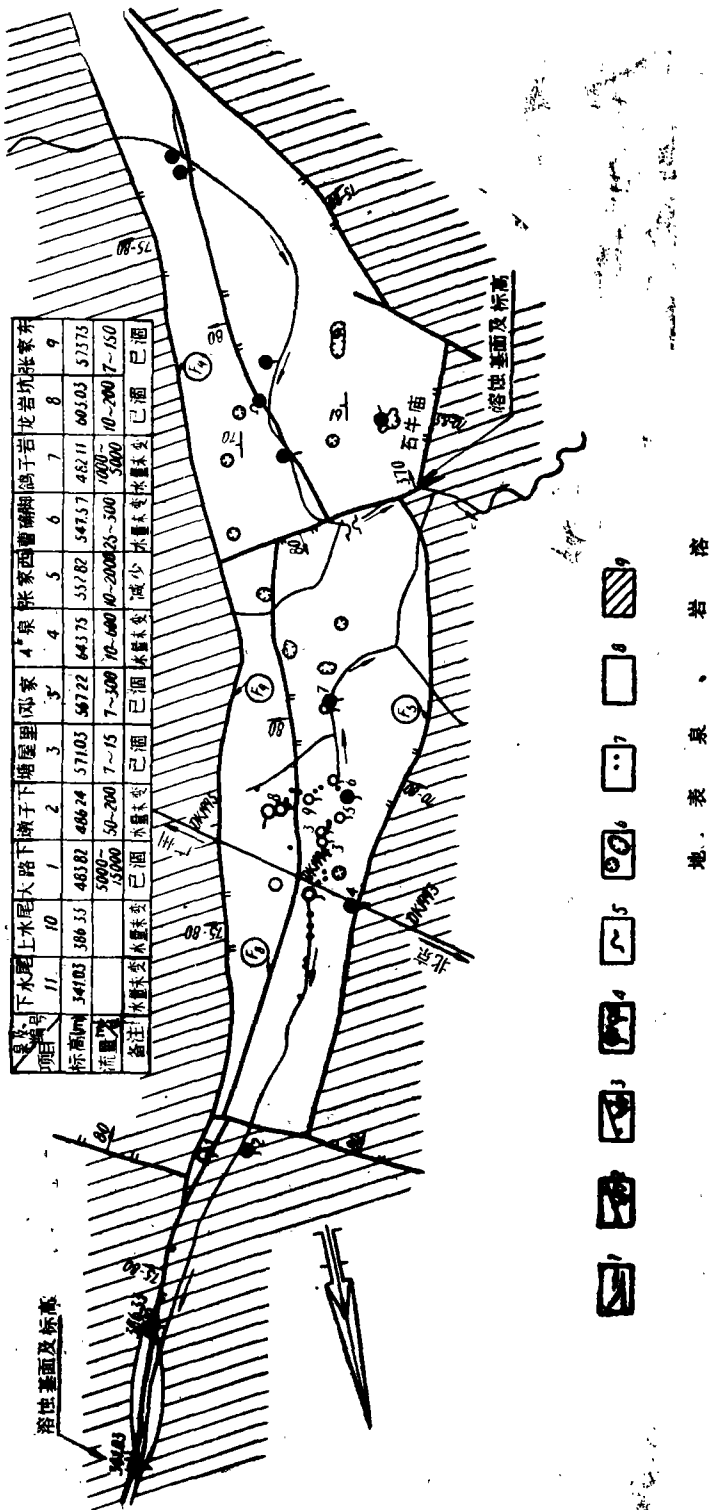


图 5 大瑶山隧道附近古坳地段涌水引起地表塌陷分布图。 1:50000  
 1—溪流及流向; 2—冲断层; 3—正断层; 4—流量稳定泉; 已涸泉及编号; 5—水平洞穴;  
 6—漏斗、小溶蚀洼池; 7—涌水涌水引起地表塌陷; 8—碳酸盐岩类; 9—非可溶性岩类。

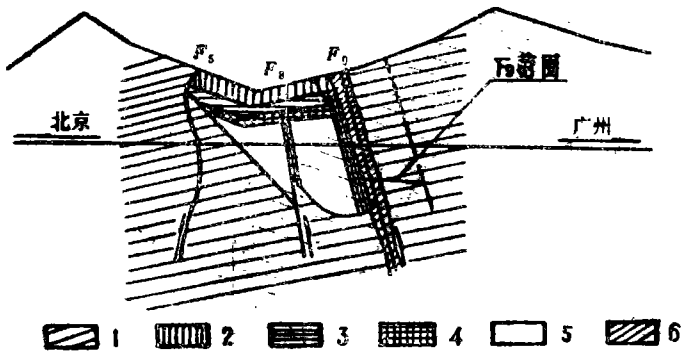


图-6 大瑶山隧道斑古场地区纵部面地下水垂直分带图 1:5000  
1—非可溶性岩; 2—垂直渗流带; 3—水平流动带; 4—岩溶裂隙水带;  
5—裂隙水带; 6—阻水带。

表-1

垂直深度 (m)	相对标高 (m)	非断层地段		断层带地段	
		动水分带	岩溶强度分带	动水分带	岩溶强度分带
0—60	540以上	垂直渗流带	相对发育	垂直渗流带	发育
60—100	540—500	水平流动带	微弱发育	水平流动带	弱发育
100—150	500—450	裂隙水带	微弱	岩溶裂隙水带	弱
>150	<450	不含水	无		微弱

(四) 碳酸盐岩类中构造控制的地下水深部运移

F<sub>5</sub>断层沿走向延展达30km, 倾角陡, 几乎直立, 在工程区主断层带宽78m, 其中断层泥达38m~40m。断层泥将上下两盘含水带阻隔。下盘(灰岩)发育顺层冲断层, 形成相间产出的条带状含水带。

二、岩溶发育规律

(一) 岩层呈紧密复式褶皱, 作为相对隔水层的泥灰岩反复出现, 将向斜分隔成更小的单元; 岩层强烈片理化, 裂隙多被后期方解石脉胶结充填, 透水性差, 渗透系数小(k=0.005m/d), 不利于岩溶的普遍发育。

(二) 岩溶发育受地质构造控制明显。岩溶主要沿断层带发育, 循断层走向呈带状分布。其次产生于不同岩性界面(如泥灰岩和灰岩界面)和小断层、节理裂隙的交汇处以及沿溪谷一线。

(三) 从深钻孔揭露岩溶发育状况(表-2)分析得知:

1. 本区渗透系数小, 岩溶发育率低, 与有关岩溶发育强度划分标准对比, 应属微弱发育。

表一2 大瑶山隧道斑古坳地区深钻孔岩溶发育率表

钻孔编号	钻孔地表标高 (m)	全孔深 (m)	出现岩溶地段				岩溶率 (%)	备 注
			出现位置 (孔深m)	相应标高 (m)	层厚 (m)	总厚 (m)		
Jz-21	668.30	550.14	35.70~38.31	632.60~629.99	2.61	13.87	0.0252	岩溶发育于浅部
			43.53~43.91	624.77~624.39	0.38			
			53.13~64.01	615.17~604.29	10.88			
Jz-22	593.30	482.12					0	
Jz-24	608.30	480.46	236.62~240.49	371.68~367.81	3.87	3.87	0.0080	岩溶发育于F <sub>2</sub>
Jz-26	646.20	500.56	254.80~255.05	492.93~492.69	0.24	0.24	0.00048	岩溶发育于F <sub>2</sub> 附近
Jz-27	731.53	570.05	254.66~259.16	476.87~472.37	4.50	29.26	0.051	岩溶发育于F <sub>2</sub>
			317.89~330.08	413.64~401.45	12.19			
			362.54~367.62	368.99~363.91	5.08			
			420.82~425.49	310.71~306.04	4.67			
			437.71~440.53	293.82~291.00	2.82			

2. 除断层带外的一般地段发育于浅部(0—100m),深部岩溶发育微弱或不发育。

3. 断层带岩溶发育率高于其他地区。沿深部有一定的发育,但随着深度增加而减弱。

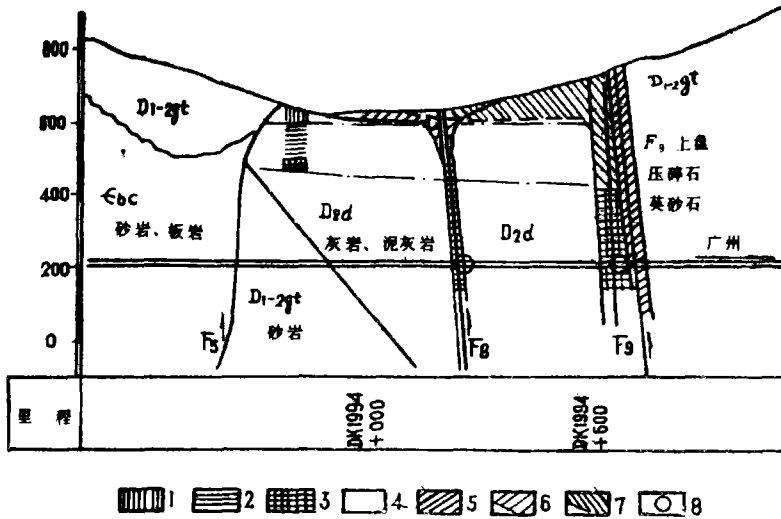
(四) 浅部(0—100m)地下水渗入等活动频繁,循环强烈,岩溶相对发育,由于岩溶化作用,沿节理裂隙纵横不断溶蚀,形成一定的岩溶网络。所以表层—浅层地下水具有一定的连通性。

(五) 本区以陡倾角压性断层带富水为主,沿走向呈条带状分布,彼此相间产出。因渗透性各处异性悬殊,所以深部很难形成统一的地下水流场。如F<sub>2</sub>下盘DK1994+601等处涌水后,F<sub>2</sub>的涌水量未见变化,说明F<sub>2</sub>和F<sub>3</sub>断层于深部彼此互相缺乏联系;F<sub>2</sub>下盘的两相间产出的次级顺层冲断层带涌水(DK1994+601和DK1994+604)颜色各异,各自形成自己的峰值,衰减过程也各异,说明F<sub>2</sub>本身两相邻次级断层含水带于深部彼此水力连系也很微弱,仅在各自的狭长带状(断层带)含水范围内有一定的水力联系,因地壳抬升,地表水流下切,产生微弱的水力循环,沿倾向发育一些间断的串珠状溶隙或局部的小型垂直溶隙管,但随深度增加而减弱。

(六) 岩溶发育的垂直深度的强度分带与动水分带相对应(见表一1)。

### 三、洞体涌水特征

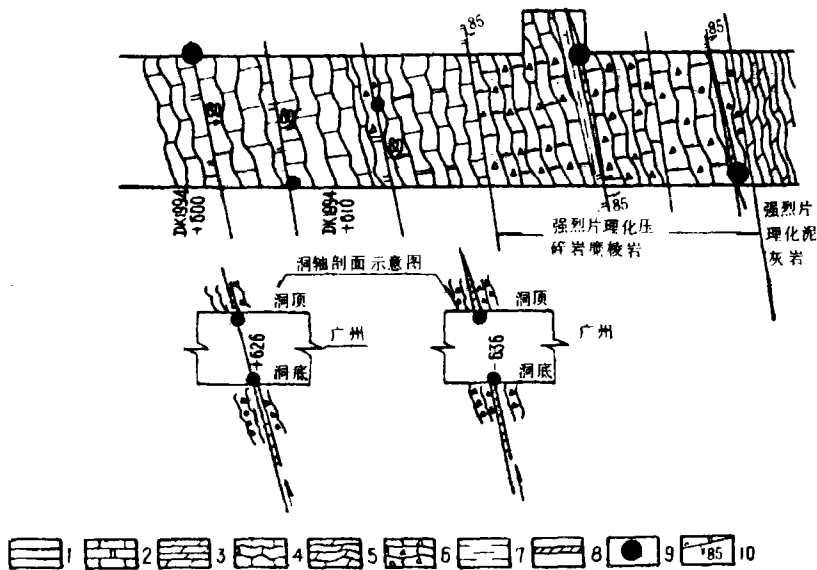
1. 碳酸盐岩类中的洞体路肩标高180m,埋深420~520m,隧道开挖在该段(DK1993+844~DK1994+698,计长854m)涌水位置集中于断层带(F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>两断层带)(图—7、图—8、9、表—3)。



图一7 大瑶山隧道洞体涌水位置及形成的降落漏斗示意图

1 : 20000

1—垂直渗流带；2—水平流动带；3—岩溶裂隙水带；4—裂隙水带；5—阻水层；  
6—F<sub>9</sub>涌水降落漏斗；7—F<sub>8</sub>涌水降落漏斗；8—洞体涌水处。

图一8 F<sub>9</sub> 断层下盘 洞体基面图

1—砂岩；2—灰岩、白云岩；3—泥灰岩；4—片理化灰岩；5—片理化压碎岩；  
6—片理化压碎岩；7—糜棱岩；8—溶隙、溶槽；9—涌水位置；10—断层，



表—3

主要涌水位置	所在构造位置	涌水量 (m <sup>3</sup> /d)			涌水性质
		初期 Q	经常 Q	最大 Q	
DK1994+213(平导)	F <sub>8</sub> 上盘界面	2000—4000	1000—2000	6000	岩溶裂隙水
DK1994+601	F <sub>9</sub> 下盘次级顺层冲断层带	5000—10000	1500—3000	15000	岩溶裂隙水
+604					
+612		124			
+626		186			
+635					

2. 隧道洞体涌水初期排泄的为地下水静储量, 其涌水量达最大值, 随之变小。由于长期排水, 富水带中裂隙、溶隙中原充填物不断随水泄出, 起着不断的疏导作用, 这个过程的反复进行, 涌水量也随之渐增。

### 3. 涌水量变化特征及涌水性质。

由于F<sub>8</sub>、F<sub>9</sub>断层带的构造破碎程度、充填情况、岩溶发育程度和状况等的不同, 其循环系统的粘滞效应和加速度效应也不同, 因而涌水处的流量过程曲线(Q—t曲线)也显出差异, 其涌水性质和特征也不同。

F<sub>8</sub>断层涌水(DK1994+213)过程曲线(图—10)反映的特征有:

- (1) 涌水量与降雨量有明显的滞后时间。
- (2) 涌水量随降雨变化, 但动态变化稳定, 其年调节系数为

$$\gamma_{86\text{年}} = \frac{Q_{\text{max}}}{Q_{\text{min}}} = \frac{2939}{1370} = 2.1;$$

$$\gamma_{87\text{年}} = \frac{Q_{\text{max}}}{Q_{\text{min}}} = \frac{3349}{1402} = 2.2;$$

与有关流量动态稳定程度划分(表—4)对照得知, 应属流量变化稳定类型。

表—4

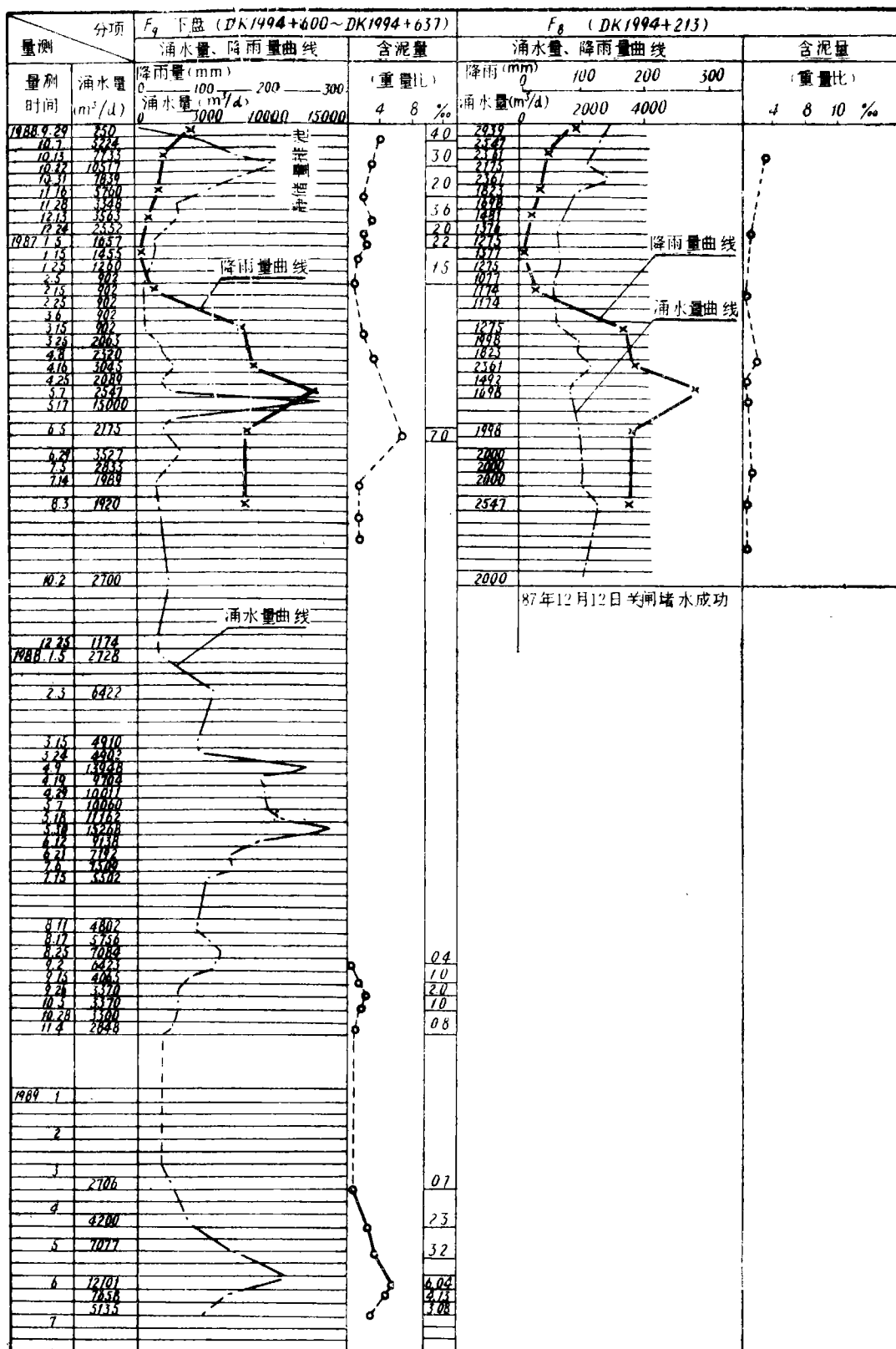
调节系数 $\gamma$	$\leq 1-2$	2—5	5—10	10—50	$> 50$
稳定性	极稳定	稳定	较稳定	不稳定	极不稳定

(3) 涌水消耗地下水储量缓慢, 延续时间长, 动态稳定, 说明地下水调蓄能力强, 具裂隙流或溶隙流性质。

F<sub>9</sub>断层下盘涌水特征:

- (1) 主要涌水点变化特征

① DK1994+601—初期涌水因排泄静储量达最大值(4000 m<sup>3</sup>/d), 静储量排泄后



显著减小 ( $1000 \sim 2000 \text{ m}^3/\text{d}$ ), 动态变化稳定  $\gamma$  (年)  $= \frac{Q_{\text{max}}}{Q_{\text{min}}} = \frac{4000}{1000} = 4$  )。

② DK1994+636—溶蚀空隙中充填粘土类碎石。初期涌水只  $40 \sim 50 \text{ m}^3/\text{d}$ , 由于未能及时回填封堵, 排水未断, 充填物不断随涌水泄出, 孔隙不断疏导畅通, 涌水量逐渐增加; 当携带的充填物将孔隙填堵后, 流量暂减少; 当堵塞物疏通后又重增加, 呈间歇递增, 并逐渐稳定 ( $2000 \sim 3000 \text{ m}^3/\text{d}$ )。由于此过程反复进行, 当疏导扩大, 与浅层岩溶裂隙联系时, 涌水量峰值对暴雨反应灵敏, 然暴雨后和旱季仍保持一定的涌水量。

#### (2) 涌水过程曲线反映的特征:

① 除涌水初期排泄静储量时和以后的暴雨时出现峰值外, 其余时间保持一定的基值 (稳定值), 如1987年枯季基值约为  $1000 \text{ m}^3/\text{d}$ , 雨季基值约为  $2500 \text{ m}^3/\text{d}$ ; 1988年枯季基值约为  $2000 \text{ m}^3/\text{d}$ , 雨季基值约为  $5000 \text{ m}^3/\text{d}$  (因88年测流断面设在 DK1994+760, 包括部分 F<sub>2</sub> 断层上盘流量, 故偏大)。两年的暴雨时的峰值相近, 为  $15000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。说明涌水峰值虽对暴雨反应较灵敏, 但平时仍具明显的扩散流 (裂隙流或溶隙流) 性质。由于其蓄调作用, 使涌水保持一定的稳定流量。

② 暴雨时出现的涌水峰值曲线, 显示一定的隙管流的性质。说明垂直隙管在暴雨时起着导水作用。峰值自1987年以来未见显著增加, 说明垂直隙管数量、规模变化不大。

4. 呈带状富水。洞体涌水补给以顺走向为主。在不同深度的含水段形成不同范围的补给降落漏斗。深部岩溶裂隙水段400米标高以下, 岩溶发育弱, 渗透系数较小, 降落漏斗范围也小, 横向仅局限于断层带宽度范围内; 向上水平流动带段, 岩溶发育渐增强, 渗透系数也渐增大, 降落漏斗范围也随之增大; 表层垂直渗流带段, 岩溶发育, 连通性较好, 降落漏斗范围骤增。从地表形成的坍塌分布分析, 纵向沿构造线方向影响半径达  $700 \sim 1000 \text{ m}$ , 横向影响半径约  $300 \text{ m}$  (图—5、图—7)。

5. 涌水为岩溶裂隙水, 所以一般含泥, 丰水期暴雨时涌水夹带粉细砂。一般含泥砂量为  $0.5 \sim 3\%$ 。涌水初期和涌水高峰时含泥砂量较大, 短期可达  $9\%$ 。含泥砂量一般随涌水量增加而增大。非暴雨时涌水泥砂的颗粒级配为:

表—5

颗粒直径 $\phi$ (mm)	所占比例 (%)	颗粒直径 $\phi$ (mm)	所占比例 (%)
0~0.25	0.3	0.05~0.005	76.6
0.25~0.10	0.5	<0.005	6.8
0.10~0.05	15.8		

## 四、对大瑶山隧道排水情况下所引起的 若干问题的探讨

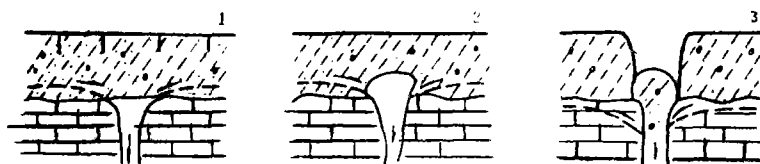
### (一) 地表坍塌问题

#### 1. 坍塌原因

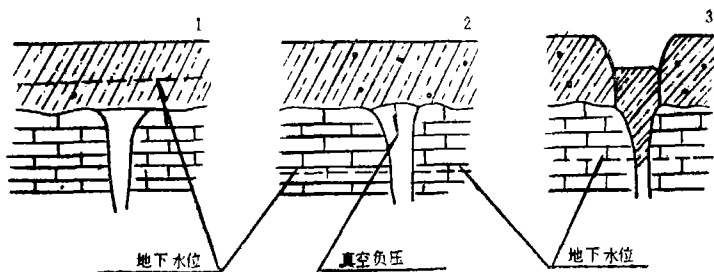
(1) 由于隧道施工过程中任地下涌水长期排放, 改变了地下水的排泄基面, 使地下水位大幅度下降;

(2) 竖井淹井和采取抽水保井措施, 进行反复抽水, 地下水位急剧反复升降, 不断“冲洗”裂隙、带走充填物、疏导原联系微弱的地下隙道, 使地下和地表的连系得以逐渐明显;

(3) 上述原因致使地下水位骤降和反复升降过程中, 促使地表水渗入循环的加强及其潜蚀作用、真空吸蚀作用等的产生, 使地表沿被土层覆盖的原岩溶腔处产生坍塌(图—10、图—11)。



图—10 潜蚀作用形成坍塌机理图



图—11 真空吸蚀作用形成坍塌机理图

## 2. 坍塌特征及规律。

坍塌主要分布于碳酸盐岩区内, 特别沿 $F_8$ 、 $F_9$ 断层带及其附近。

(1) 隧道洞体涌水初始阶段, 水位骤降, 潜蚀作用和真空吸蚀作用强烈, 坍塌出现的多。 $F_8$ 和 $F_9$ 二处涌水初期就分别出现两次坍塌高潮(表—6)。

表—6 坍 陷 出 状 况 表

时 间	累计月数	涌 水 、 排 水 特 征	涌水量 ( $m^3/d$ )	坍塌开裂个数	出现频率 (个/月)	备 注
1985.4~1985.12	9	$F_8$ 突水、反复抽排、水位反复升降	2000~3000	50	5.6	坍塌趋减少
1986.1~1986.4	5	$F_8$ 涌水疏排	3000~6000	14	2.6	
1986.5~1986.9	5	$F_8$ 稳定排水	3000~6000	趋稳定		
1986.10~1987.5	8	$F_9$ 下盘突水、排水	1000~2000	43	5.4	新修水渠沿坍塌区严重渗漏
1987.6~1988.8	15	$F_9$ 下盘洞内排水	2000~15000	32	2.1	
1988.9~1990.2	18	$F_9$ 下盘集中四管引排	1500~12000	41	2.2	

(2) 水位急剧变动、反复升降时, 动水压力增加, 水力梯度增大, 潜蚀作用增强, 坍陷出现的多。如F<sub>1</sub>涌水后, 为保竖井, 曾采取反复抽排措施, 水位升降反复往返变动频繁, 坍陷不断出现。

(3) 坍陷受地质构造控制。浅部岩溶多发育于断裂构造带及其附近, 多发育于节理、裂隙密集地带及其交汇处。

(5) 坍陷受土层厚度制约。土层薄, 真空负压吸蚀作用容易奏效, 潜蚀作用容易使隐伏岩溶上的空洞发展到地面形成坍陷。斑古坳地段因南端土层比北端薄, 所以坍陷在南端先出现, 数量也较多些。

(6) 坍陷的分布受地下水降落漏斗边界控制。随着洞体不断排水, 地下水降落漏斗范围不断扩大。在降落漏斗向外扩展的边缘处, 水位变化频繁, 坍陷常伴随产生, 并随降落漏斗的扩展, 坍陷的分布也随之外延。所以坍陷分布范围与地下水降落漏斗一致。若降落漏斗范围超稳定或扩展缓慢, 则其坍陷也渐减少或趋稳定。

(7) 坍陷除受地质构造等因素控制外, 还常在河谷低洼处产生。

## 参 考 资 料

1. 任美镔等, 《岩溶学概论》 商务印书馆 1983年;
2. 铁道部第二设计院 《岩溶工程地质》 中国铁道出版社 1984年;
3. 方国祥、祝功武 “武江坪石~乐昌段河谷工程地貌研究” (未刊论文) 1989年。