

裸露岩溶类型矿区水文地质特征及勘探方法的探讨

湖南冶金地质238队

湖南南部,灰岩广布,有色金属矿床常产于其中,形成水文地质条件复杂的岩溶矿区类型。近年来,由于生产和勘探工作实践的需要,我们认为可将本岩溶矿区水文地质类型划分为裸露和隐伏两个亚类。由于二者水文地质特征不同,因而勘探方法也截然不同,但其对生产的危害性则是一样的。特别对裸露岩溶类型,当人们未认识其规律性时,误认为水文地质条件简单,因而可能造成人身死亡或生产停顿,这在湖南有的生产矿山是有教训的。

本文依据湖南香花岭区为重点,结合湖南几个矿区(安源区、铜山岭区)和广西泗汀区的情况,仅就裸露岩溶类型矿区水文地质特征和勘探方法概述如下:

一、自然地质概况

湖南裸露岩溶类型的矿区,大都位于珠江和湘江流域的分水岭或分水岭斜坡地带,属中高山区,地面标高600~700米,地貌属剥蚀构造类型。气候温暖潮湿,雨量充沛,年平均降雨量为1500~1850毫米。

本区构造位于南岭纬向构造带东段的北缘。地层以下古生界寒武系为最老,上复有泥盆系、石炭系、二迭系等。本类型所在矿区主要岩性为灰岩和白云岩。岩溶发育,无明显统一含水层。地表水系不发育,多呈地下暗河形式出现。

二、水文地质特征

1. 岩溶发育规律

本区岩溶可分为地表和地下两类:

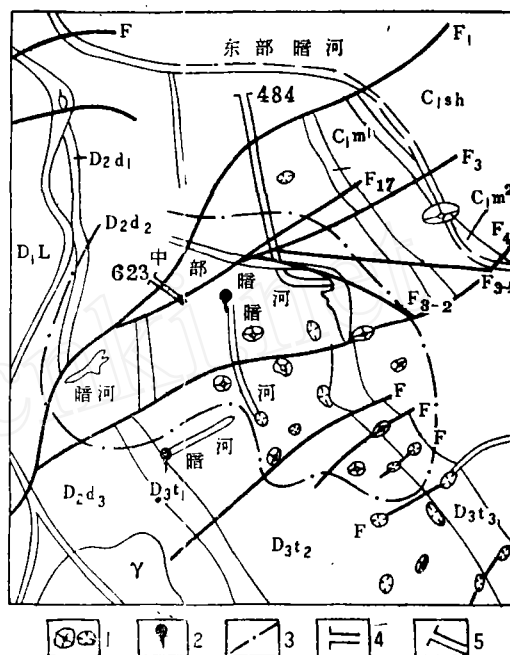


图1 某矿区水文地质简图

D₁L—泥盆系莲花山组砂页岩; D₂d₁—东岗岭组泥灰岩; D₂d₂—东岗岭组白云岩; D₂d₃—东岗岭组炭质灰岩; D₃t₁—天子岭组似竹叶状灰岩; D₃t₂—天子岭组白云岩、灰岩; D₃t₃—天子岭组钙质砂岩灰岩; C₁m¹—石炭系孟公坳组灰岩; C₁m²—孟公坳泥质灰岩; C₁Sh—石碓子组灰岩; Y—花岗岩; 1—岩溶洼地漏斗; 2—泉; 3—地表分水岭; 4—484坑道; 5—623斜井

地表岩溶: 常为溶沟、溶槽、石芽、洼地、漏斗、落水洞(图1)。

地下岩溶: 常为溶洞和具有“几层楼”构造的地下暗河。溶洞规模大小不一,高度2~50米,多半未充填。地下暗河分为沿层面和沿构造发育的两类: 沿层面发育的暗河,高度小,宽度大,高、宽之比约为1:2。沿构造发育的暗河宽度为2~10米,两壁陡

峻,高度可达数十米,高、宽之比约为20:1。暗河发育形态往往成阶梯出现(图2),因而下切深,落差大,形势险要。钟乳石、石笋、石柱、石花等点缀其间,绚丽多彩。

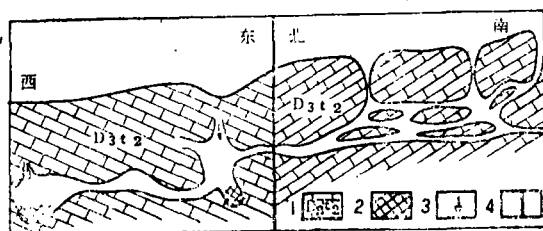


图2 暗河纵剖面投影图

1—泥盆系天子岭组中部白云岩; 2—暗河水塘;
3—流水点; 4—剖面转折线

本区岩溶分布规律,明显地受岩性、构造和不同岩性接触面三个主要因素控制。

岩石性质是岩溶发育的内在因素。质纯层厚,可溶岩,岩溶发育强烈。含杂质成份多,薄层可溶岩,岩溶发育程度相对减弱。据岩石化学分析来看:质纯可溶岩CaO含量在50%以上,不溶物含量为0.25~2.0%;泥炭质灰岩,不溶物为1.7~59%,不利于地下水活动。

断裂构造是岩溶发育的重要条件。如香花岭区中部暗河的上、中游原沿层面由南向北流动,遇 F_{3-2} 断层后,即折转成东西向流动(图1, 3);又如安源区共有28条张扭性断裂,每条断裂均发育成深大的溶沟(图4)。

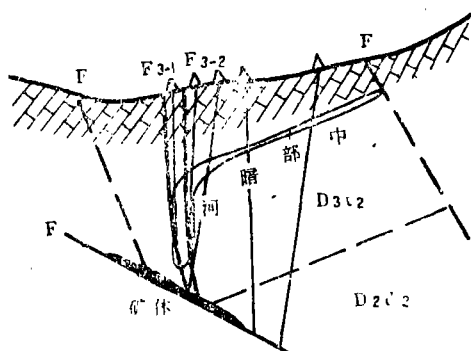


图3 暗河沿构造发育剖面图
(地层代号同图1)

断裂构造与岩溶发育关系之所以十分密切,主要是由于灰岩、白云岩是刚性较强的岩石,在构造应力作用下,往往在张应力最大的部位,岩层被破坏,形成密集的构造裂隙,这些张裂隙就成为地下水活动的主要场所,构成岩溶发育的重要条件。

成层状的暗河,多半沿不同岩性的接触面发育。如香花岭区,东部暗河基本上沿孟公坳组上部泥质灰岩与下部致密灰岩的接触层面发育(图1);安源区,岩溶带沿当冲组砂页岩与栖霞、壶天组灰岩的接触面发育(图4)。显示出两种介质的差异,引起地下水的溶蚀和侵蚀的强烈,因而有利于岩溶化。

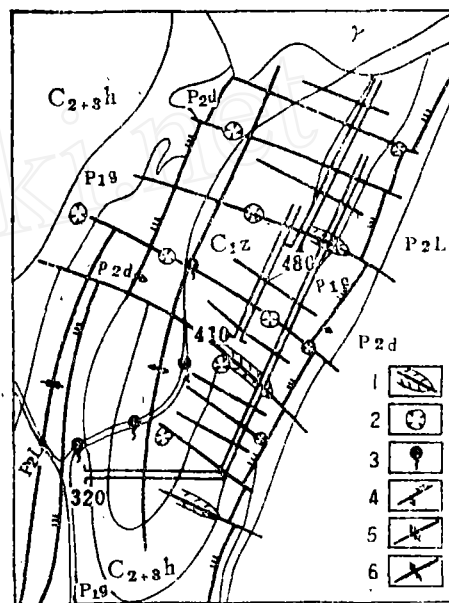


图4 某矿区水文地质简图

P_{2L} —二迭系乐平组砂页岩; P_{2a} —当冲组砂页岩; P_{1g} —栖霞组灰岩; C_{2+3h} —石炭系壶天组灰岩; C_{1z} —樟门桥组灰岩; γ —花岗岩; 1—沿断层发育的溶沟溶槽; 2—漏水洞; 3—泉; 4—逆断层; 5—向斜; 6—背斜

2. 岩溶充填物

掌握溶洞充填的程度和充填物的性质,对指导矿山安全生产关系极大。往往在生产中由于对充填物性质认识不清或忽视,而造成巨大的灾害。

本区岩溶的充填程度和物质来源具有如下特点:

分水岭斜坡地带的矿区：外来物质成分复杂，溶洞内充填物数量多，颗粒直径相差大，显示机械搬运大于溶蚀作用。

分水岭地带的矿区：外来物质少，以原岩溶蚀残余物质或溶蚀崩落物质为主，且颗粒较细，以原岩细砂、粉砂、粘土为主。充填规模也较小。

隐伏岩溶矿区浅部溶洞充填率高，深部充填率低。当矿井排水，水位下降，溶洞中的水和充填物被疏干、淘空，因而形成地面塌陷灾害；裸露岩溶矿区浅部溶洞多半为空洞，泥砂等均充塞溶洞底部，地面相对稳定，容易在矿体开采深度形成灾害。

3. 岩溶水的运动

认识和掌握岩溶水的运动特点，对于正确评价矿区水文地质条件，合理采用防治水措施极为重要。经过多年来在实践中得到以下认识：

(1) 岩溶水的补给 裸露岩溶矿区地面洼地、漏斗、落水洞广泛分布，大气降雨均注入岩溶。据观测，地下暗河流量似山间河谷，具有来势猛，消失快，变化大的特点，严格受大气降雨控制。如香花岭区中部暗河观测：1973年8月17日暴雨前流量为57立方米/小时。暴雨后一小时流量猛增到2288立方米；但高峰只能维持一个半小时，三小时后，流量迅速减小（图5）。这充分证实裸露岩溶地下水均为大气降雨补给。

(2) 岩溶水的迳流 本区岩溶水的迳流运动特点是：

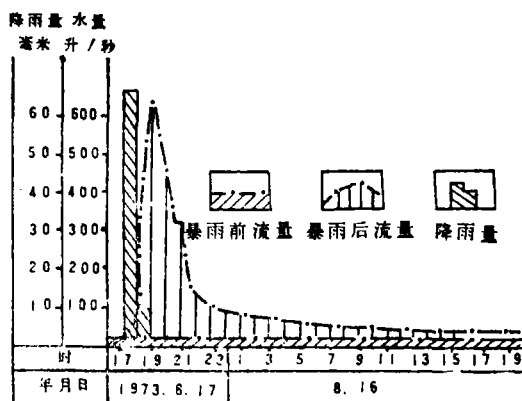


图5 暴雨后暗河流量变化图

①地下水以垂直运动为主：从地面看，由碟状洼地发育成漏斗、落水洞，最后发育成通天式的垂直洞穴（图2）。地下暗河能见到三个阶地，落差均在30米左右。溶沟裂隙发育深度可达230米以上。地下水垂直运动的特点极为显著。

②地下水呈管道形式运动：安源区320中段所揭露的28条裂隙，各条裂隙自成系统，联通甚微。暗河附近二孔相距60米，水位相差75米，矿井抽水试验，形不成降落漏斗等均证实裸露岩溶区无统一地下水面，地下水呈管道形式运动。

③岩溶强度（迳流）分带：由于浅部风化作用和地下水迳流活动强烈，因而近地表部位岩溶也强烈，但随着深度的增加，而逐渐减弱，至一定深度即消失（地下水迳流活动停止）。

如泗汀区，根据勘探资料：在中上泥盆系灰岩中，划分为三个带：标高300~270米处，岩溶发育强烈，渗透系数为64.8米/昼夜；标高270~240米处，岩溶发育中等，渗透系数为12.5米/昼夜；标高240~210米处，岩溶发育微弱，渗透系数为0.4米/昼夜；以下逐渐减弱以至消失（图6）。

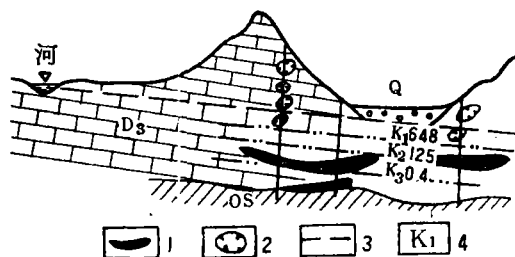


图6 某矿区沿表层（风化带）岩溶发育带剖面图
Q—第四纪冲积层；Ds—泥盆纪灰岩；OS—志留奥陶系灰岩；1—矿体；2—溶洞；3—地下水位；4—岩溶带及渗透系数

香花岭区，根据160个钻孔资料，也可分三个带：上部岩溶带，标高650~537米，见洞率55%；中部岩溶带，标高537~431米，见洞率37%；岩溶下限带，标高431~378米，见洞率7.4%；378标高以下未见溶洞。说明已到岩溶发育下限（图7）。

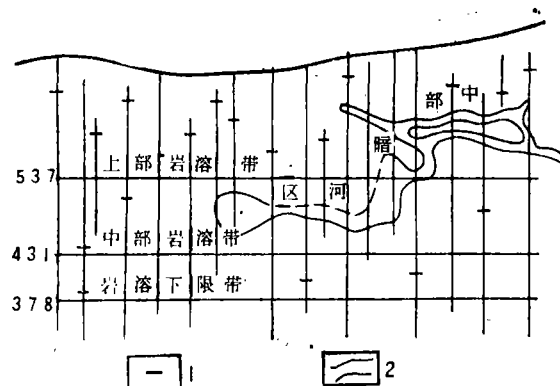


图7 岩溶强度垂直分带图

1—溶洞；2—暗河

以上只是一般性规律，如遇巨大构造破碎带，岩溶发育深度可达地表以下250米。

由于地下水以垂直运动为主，因而浅部岩溶比深部岩溶发育，这是裸露岩溶区带有普遍性的规律。

(3) 岩溶水的排泄 裸露岩溶水的排泄主要以下降泉形式出现，其排泄点出露标高也很不一致。在同一区内，高差可达到50~100米，反映出各泉水自成补给—迳流—排泄系统。

4. 岩溶富水特征

岩溶水主要赋存在溶洞和溶蚀裂隙中，其富水性的强弱，与岩溶发育规模、分布、溶洞充填程度、当地暴雨强度有关。裸露岩溶富水性的特征，从矿床开采角度说，应以静储量为主。动储量的大小则与降雨量强度有关。

香花岭区484“水库”抽水试验历时38天，抽出总水量24379立方米，最大水位降深34米，稳定流量16立方米/小时；623斜井放水试验历时14天，放出总水量7009立方米，其中动水量1481立方米，静水量5528立方米，水位下降29米，稳定流量8.7立方米/小时。上述资料证实岩溶水以静储量为主。

是不是可以说裸露岩溶地下水对矿山生产就没有危害呢？据观测484中段，当小时暴雨量为67毫米时，坑内流量可猛增到12270立方米/小时，即增加200倍，因而严重地影响生产和威胁人身安全，可造成停产或否定

矿床的开采价值。

三、水文地质勘探方法

毛主席教导我们：“按照实际情况决定工作方针，这是一切共产党员所必须牢牢记住的最基本的工作方法。”由于矿区水文地质特点不同，采用的勘探手段也应有所区别。对裸露岩溶矿区的勘探研究重点是查明岩溶形成条件、发育规律、地下水运动特征及其对矿床开采危害程度和防治水措施。围绕这些问题，我们综合采用了水文地质调查、钻探、坑探、水平钻、动态观测、水文地质试验和电法勘探等多种手段。现将主要方法要点叙述如下：

1. 地表、地下水文地质调查

水文地质调查分为区域、矿区和地下三种。

区域调查：主要研究区域含水层、隔水层的分布、岩溶发育规律、地下水补给、排泄条件。重点在于研究区域地下水与矿区地下水的关系。工作范围一般包括区内一个比较完整的水文地质单元。比例尺采用1:25000。

矿区调查：是在区域调查基础上进行的。比例尺采用1:2000~1:5000。重点查明地表岩溶分布规律、发育程度，特别注重研究地表岩溶与地下岩溶的关系。重要水文点要用仪器测定。

地下调查（实际应属地下探险）：主要查明地面漏斗、落水洞、深大溶槽和地下暗河、溶洞的相互关系。比例尺采用1:500，用挂罗盘、经纬仪测量，这是掌握地下岩溶（暗河）在平面分布和垂直深度变化以及地下水运动全过程的最有效方法。进行这项工作必须要有“一不怕苦，二不怕死”的革命精神，要有“明知征途有艰险，越是艰险越向前，悬岩绝壁无所惧，激浪勇进炼红心”的英雄气概。我们在香花岭区，共探查暗河一万余米，基本探明埋藏在地下二百多米深的地下暗河之来龙去脉，为治水方案提供了科学依据（图2）。

2. 水文地质钻探

利用地质钻孔进行水文地质观测所获的

资料, 不仅能对矿区水文地质条件进行一般性评价, 而且可为进一步设计专门水文地质试验工程提供依据, 更是研究岩溶发育规律、岩溶含水层等水文地质问题的重要手段。在做法上, 要注意下列三点:

(1) 所有水文、地质孔均进行钻孔溶洞登记和统计工作。

(2) 所有地质孔均记录漏水位置、水位变化。

(3) 对主要地质孔进行岩心描述, 进一步掌握岩溶发育情况及岩溶与岩性、构造的关系。

将上列资料及时填入综合表, 依据这些成果, 编制岩溶垂直纵剖面图, 为岩溶垂直发育程度的分带提供依据。

3. 水文地质坑探

利用坑探探水, 是水文地质勘探方法上少见的。根据本区的水文地质特征, 采用了水文地质坑探。经与钻探手段对比, 坑探有以下优点:

(1) 坑道揭开暗河后, 可以直接进行实地调查, 测量、研究岩溶形态及观测暗河流量变化。

(2) 有色金属矿床往往具有含矿带、构造带交织在一起的特点, 地下暗河又多沿构造线发育, 因而坑道既能探水, 又能探矿。

在坑道设计上应做到与矿山生产部门共同研究, 以保证探水坑道达到最高利用率。

4. 水文地质试验

进行水文地质试验的目的是进一步研究和掌握矿区内岩溶、含水层及构造破碎带的富水性、渗透性能、水力联系程度和开采疏干时的主要来水方向等水文地质问题。根据不同的目的和要求, 本区采用的水文地质试验分为: 注水、矿井抽水、放水试验和联通试验。

(1) 注水试验 主要在岩层富水性差的钻孔中进行。稳定时间要求超过4小时, 因为透水性差, 一般只进行一次水头抬高。

(2) 抽水试验 在二壁陡峻的地下暗河进行抽水试验, 为达到预定的抽降深度, 水

泵必须随水位降低下放。如何将数吨重的排水设备安全地提升和下放, 经试验对比, 采用“搭台移泵”的方法较为安全可靠。对于地面观测孔的布置, 要注意以下四点:

①观测孔应布置在两组或三组构造线交叉部位。②已知地下水面以下溶洞部位应有观测孔。③不同岩层、层位要有适当控制, 以了解岩层间相互关系。④对推断可能来水方向应慎重考虑, 但不应布置过多。

在抽水试验过程中, 应适当延长抽水时间, 籍以鉴别其动、静水储量关系。在雨季更要注意观测孔水位变化幅度。

(3) 放水试验 在距放水点岩层安全厚度范围内, 打一个 $6 \times 3.5 \times 2.2$ 米(长 $\times$ 高 $\times$ 宽)水平钻硐室。根据所需放水量, 设计放水孔数。采用KM300型钻机改装的水平钻机揭露放水点, 开孔口径110毫米, 终孔口径62毫米。每孔开孔钻进2米, 下73毫米套管作井口管, 用水泥封塞其间隙, 3~5天即可钻进, 然后装上阀门开关, 控制水量, 进行放水试验。

(4) 联通试验 主要用不同染色剂(萤光红, 亚硝酸钠)放入水中, 查明暗河相互间联系, 在本区取得一定的效果。

5. 水文地质物探

利用可溶岩和岩溶不同的电性特点, 探索岩溶发育程度和分布规律, 是岩溶矿区水文地质勘探中的一种行之有效的方法。本区使用的物探方法有: 对称四极法、联合剖面法、电测探法、屏障三极法、激发极化法和充电法等。经过长时间的大量试验, 得出以下五点认识:

(1) 对于寻找和追索岩溶管道型的暗河, 当埋藏深度大于60米时, 上述试验方法难以取得效果。

(2) 浅部裂隙、空洞地带, 可以用复合对称四极法的离差曲线来圈定, 用联合剖面法选择合适的极距同样可以把更有利的地段划分出来。并在评价某些断层的含水时, 起一定作用。

(3) MN相同而AB不同的两个极距的

四极法结果可以用比值法消除地表干扰。采用 $MN = 1/3 AB$ 装置的剖面测深结果,在剖面对比时有一定的作用,有时还能圈定暗河发育的有利部位。

(4) 当围岩电阻率比水大100倍时,用充电法追索暗河最好。当暗河成阶梯状出现时,充电法效率降低,甚至很不可靠。所以必须分段追索,分段用钻孔验证、揭露、追索,最为有效。当水力坡度不大时,追索有效范围为100米左右。

(5) 力求在野外工作方法和资料整理上消除干扰,以提高方法的有效性。水文地质人员与物探人员共同解释异常,是取得方法效果的重要保证。

四、矿坑涌水量预测

裸露岩溶分布地区如何合理预测矿坑涌水量,是一个比较复杂的问题。常用的方法有地下水动力学法、均衡法和水文地质比拟法。预测的内容应包括动、静储量。我们认为在富水性极不均匀的裸露岩溶区采用均衡法计算动储量,用钻孔溶洞高度相似比拟法计算静储量是合适的。现将香花岭区计算实例介绍如下:

1. 动储量的计算

裸露岩溶区地下水补给来源为直接降雨贯入,垂直方向的补给应为地下水最主要补给方向。能形成灾害的是暴雨后,井下出现洪峰流量。故采用均衡法预测矿坑涌水量。

(1) 计算公式 采用地下迳流系数法

$$Q = F \cdot A \cdot \alpha \cdot y, \text{ 式中:}$$

Q —暴雨时最大涌水量(立方米/小时);

F —汇水面积(平方米);

A —小时暴雨量(毫米);

α —地下迳流系数(%);

y —洪峰水量占总水量的百分数(%);

(2) 计算参数确定

① 汇水面积的圈定(F) 汇水面积要根据地面分水岭、已知地下暗河长度、地表漏斗、落水洞发育方向、地下分水岭、相对隔水层界线、泉水的出露等六个因素综合考虑圈定。

② 降雨量(A) 降雨量的取用,我们认为应取小时暴雨量为宜,这样才能计算出矿坑最大涌水量。采用年、月、日的平均降雨量会使计算结果大大偏小,得出错误的结论。

③ 地下迳流系数(α) 裸露岩溶区在汇水面积内,无地表迳流,所有降雨全渗入成地下迳流。考虑到降雨至地面后的损失、蒸发、土层的吸收,故采用90%作为迳流系数。

④ 洪峰水量占总水量的百分数(y) 裸露岩溶区内流水点较多,且难以观测到暴雨后的总流量(因水量太大)。应设法选择地下暗河或有代表性的泉水进行长期观测,利用分点洪峰水量的百分比,以类比全区总水量的百分数(图5)。

(3) 算计成果

根据 $Q = F \cdot A \cdot \alpha \cdot y$ 公式计算成果见表

1、表2:

洪峰水量计算参算表

表1

F (平方公里)	α (%)	y (%)	A (毫米)	
0.90	90	42.8	67.2	45

洪峰水量计算成果表

表2

成果总类	降雨量(毫米)	计算水量 (立方米/小时)	实际观测水量 (立方米/小时)	二者相差 (%)
五年一遇洪峰水量	67.2	15574	12270	+26.9
每年可能遇到的水量	45.0	10429	11000	-5.2

上列计算结果与实际观测数很近似,说明均衡法计算符合裸露岩溶区客观水文地质条件。另尚有泉水流量汇总法等,也可以用来计算地下水动储量。

2. 静储量的计算

岩溶地区地下溶洞甚多,地下水面以下空洞往往充满水或泥砂。本区采用岩溶率系数法和相似比拟法计算这些静储量。岩溶率系数法,已为众知。现将相似比拟法介绍如下:

有色金属矿区部分地下溶洞已为坑道揭露,测量空洞体积就可得出钻孔所见空洞高度与溶洞体积的关系。如:中18号孔见溶洞高36米,经测量该洞体积为8984立方米,每米洞高相当249立方米;另一空洞,经试算每米洞高相当210立方米,得出计算公式:

$$\frac{H_1}{V_1} = \frac{H_2}{V_2}$$

中式: H_1 —已知钻孔见溶洞高度(米);

V_1 —已知相似洞高体积(立方米);

H_2 —实测钻孔见洞高(米);

V_2 —预洞相似洞高体积(立方米)。

本区利用岩溶率系数法所计算的静储量为23916立方米,用相似比拟法所计算的静储量为28498立方米,二者较为接近。因此,二种方法可在同一地区同时计算,以便对比。

五、岩溶水的防治

毛主席教导我们:“马克思主义的哲学认为十分重要的问题,不在于懂得了客观世界的规律性,因而能够解释世界,而在于拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界”。认识裸露岩溶矿区地下水特征,是为了改造和治服它对矿产开采的危害,变不利为有利。裸露岩溶水最主要特征是来势猛,消失快,变化大。动储量变化可以从每小时数十立方米,突然增大到一万多立方米,二者相差400~500倍,静储量也可以达到数千至数万立方米。对于具有这种特点的地下水,原采用“堵、铺、截、引、围、排”

六字治水方针。后经内外“三结合”小组充分研究认为这种水不好堵,难得排。要治理只能因势利导,充分利用地下水自上向下运动的特点及坑道自然排水的有利条件。

本区依据生产和勘探工作实践,认为“截流引洪”是治理裸露岩溶矿区地下水有效方法之一,其具体措施如下:

1. 在坑道掘进过程中,坚持以水平钻指导施工,探明前进方向岩溶规模,及时预测和疏干溶洞内静储量,放水降压(特别是泥砂),以便确保安全生产。这是一条十分重要的经验。

2. 根据勘探资料,选择强烈岩溶发育带的下部结合当地侵蚀面的最低标高,开掘平窿,以利自然排水。如:泗汀区雨季动水量高达4000立方米/小时,故在疏干方案中采用疏干平窿与局部注浆堵水的联合治水方案。预期可以彻底解决地下水对北部矿体开采的威胁(图8)。安源区,利用320中段则可基本排除岩溶水静、动储量和泥砂对矿床开采的威胁(图9)。

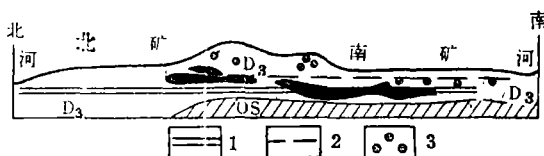


图8 某矿区疏干平窿布置图

1—疏干平窿; 2—地下水位; 3—溶洞
(其它符号见图6)

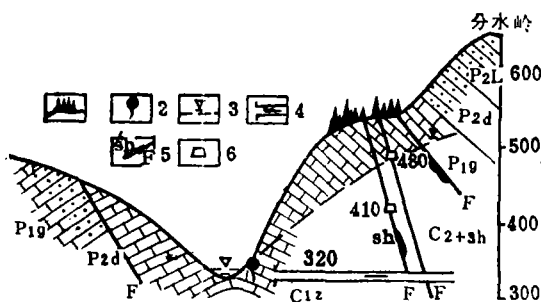


图9 某矿区平窿自然排水示意图

1—地面岩溶石芽; 2—泉; 3—地下水位;
4—坑道冒水、泥处; 5—断层矿体; 6—坑道
(其它符号见图4)

3. 拟作自然排水的坑道, 所遇溶洞裂隙均应采取“填洞补缝”, 以堵塞水量渗漏和

表 3

岩溶类型		裸露岩溶	隐伏岩溶
水文地质工程地质特征	地形地貌形态	中高山区分水岭或斜坡地带	低山丘陵向斜盆地
	岩溶形态	地面溶沟、溶槽、石芽、洼地、漏斗常见，地下以暗河形态为主	地下以溶洞为主，地面岩溶形态少见
	岩溶发育的控制因素	岩性、构造、层面、分水岭地段强烈	岩性、构造、层面、侵蚀基准面，近地表部位强烈
	含水层	无统一含水层和地下水位，抽水形不成降落漏斗，含水性极不均匀	有统一含水层和地下水位，抽水能形成降落漏斗
	地下水运动规律	地下水源主要靠大气降雨，通过地面岩溶直接补给。地下水以垂直运动为主，并以管道形式运动，具来势猛、消失快、变化大等特点	岩溶水主要为大气降雨，通过复盖层间接补给，地下水以泉群、暗河形式排泄，受季节性变化。以水平运动为主
	水量特征	以静储量为主，动储量具有变化大的特点	补给水量充沛，动储量较稳定
	工程地质条件	浅部溶洞多半未充填，深部半充填，因而地面较稳定，井下易形成涌泥事故	浅部溶洞充填率高，深部充填率低，由于矿井排水，地下水位大幅度下降，常引起地面塌陷
	对矿床开采的危害程度	易形成突然性灾害	往往威胁生产
勘探方法		以地表、地下探查为主，钻探、坑探、物探、抽水试验配合	以钻探、抽水、放水试验为主，地表调查、物探配合
治理方法		控制暗河，截流引洪，自然排水	查明主要含水层、预先井下疏干

减少下一个中段的“额外”排水量。

4. 掌握放水巷道水量及岩溶发育的变化规律，这是矿山防治水工程设计中一项必不可少的资料。

六、裸露与隐伏岩溶矿区水文地质特征之异同点

为便于掌握裸露和隐伏岩溶的特征，将其异同点列于表 3。

* * *

本文是我们在裸露岩溶矿区进行水文地质勘探工作的一些体会。由于我们的工作局

限在一个地区，有些认识还很不完全，有待生产实践的检验，只有通过实践，认识，再实践，再认识的反复过程，才能正确认识岩溶水的客观规律性。不当和错误之处，望批评指正。

（内部资料从略）参考文献

1. 广东省地质局，《隐伏岩溶类型矿区水文地质特征及勘探方法》，地质出版社，1973
2. 地质部水文地质工程地质局、地质部水文地质工程地质研究所，《实用水文地质学》，地质出版社，1959
3. 辛奎德，喀斯特类型矿床水文地质勘探中的几个问题，《中国地质》，1963，No. 2
4. 地质部矿区水文地质干部进修班，《矿坑涌水观测方法》，中国工业出版社，1963