

(3) 为了防止喀斯特水流突然冲溃,及预先发现溶洞的所在,在开凿灰岩地层的坑道掌子面,进行探测钻孔,钻孔深度为15~20公尺,根据岩层中出水的压力,施工人员可以预先采取有组织的预防措施。同时分段在坑道中作电法勘探,以了解隧道周围的喀斯特现象。

(4) 该隧道施工排水,由于设计坡度是人字坡,所以当东北和西南两端同时开挖时,流入坑道的地下水,均可沿着设计坡度流出坑外。但在西南端开挖到变坡点至隧道中部一段,须设置抽水设备排水,其抽水机的排水效能,要大于所判断的坑道涌水量三倍,以防被淹没。

(5) 本区在地史上遭受二期构造运动,断裂位移动重,风化作用亦强烈,破碎的岩石加之大量的地下水参与活动,及喀斯特作用等,因此对隧道衬砌之影响,是个十分复杂的问题。而我们对岩石坚硬系数(f)的确定,主要参考普洛托加可诺夫教授的岩层

等级表,并根据本区的岩性,地表所显示的破碎程度,考虑隧道埋藏的深度,构造与风化作用的轻重,与岩石抗压强度试验数值等等,将普氏值分别予以不同的降低,所以这是带有经验与推演的性质,是很难符合隧道埋藏位置的实际情况,因此该隧道衬砌类型,应根据施工开挖所揭露的岩层条件,予以修正。

(6) 该隧道开挖中所揭露的一切地质现象,是一个非常重要的资料,它是鉴定我们在地表所搜集分析的地质资料的真实性与可靠性,同时亦是对目前有关文献尚认为很复杂的虹吸管式循环带作了揭露。因此配合施工的地质人员,对坑道的地质测绘、观测、分析及研究,是极为重要不可偏废。

本文完稿后,承蒙何以中工程师予以指导,特致以深深的谢意。

注:所判断的坑道涌水量,是没有以抽水试验等资料为依据,仅是考虑最不利的水文地质条件,所提出的经验数值。它的作用只是为了鉴别不同含水层,对坑道充水的相对比较,及施工排水之参考。

## 四川东南喀斯特煤田水文地质勘探方法探讨

水文地质工程地质局 李式铤

### 前言

一九五八年九月作者和四川省地质局吴大洋、周云章同志同赴涪南队协助工作,为期仅八天,了解是不够深入的。但我们认为涪南队在川东南进行了长期工作,取得了很丰富的经验,而类似川东南一带水文地质条件的矿床不在少数,介绍出来是有好处的。

在这篇文字中有些是队上同志已有的看法,有些是与吴、周及队上同志讨论的结果,这是要特别提出来的。

### 一、地质概况

四川盆地东南部,有着细长条带状的平行背斜,它们是由上古生界及中生界组成的隔档式褶皱,走向北东。黄汲清先生称为川东弧。四川著名大型煤田均属此。天府煤田位川东弧的中段,南桐煤田则位于川东弧与婁山褶皱带之交会处。川东南可采煤层可分二叠纪乐平煤系及侏罗纪香溪煤系。前者均为喀斯特条件下的矿床。为我们探讨的对象。

天府煤田之构造形式为一背斜褶皱,出露地层由二叠纪茅口灰岩至侏罗纪香溪煤系,轴部及东翼为几个平行的走向逆断层破坏,矿区以西翼为主,背斜轴

部海拔约600~800公尺,两翼形成喀斯特溶蚀槽地,其海拔约200~300公尺,距矿区南界3000公尺处,嘉陵江横切背斜而过,江水面标高为176~203公尺,虽然背斜在距嘉陵江约4500公尺处即开始倾伏,但嘉陵江河床切割在长兴石灰岩上,长兴石灰岩喀斯特比较发育,并为煤系之顶板,同时矿区内主要的走向逆断层,有时穿过嘉陵江而可继续往南延长。造成水文地质条件复杂化。

南桐煤田位于重庆之东南,出露地层较天府完整,自寒武纪至白垩纪均有分布,而勘探区地层出露情况与天府相同,地质构造亦同样复杂,有轴向南北而向北倾没之鲜家坪倒转背斜及丛林沟向斜,鲜家坪背斜西翼之南延部分,局部地层亦倒转,而成一倒转单翼,其岩层倾角约70°左右,南桐煤田区内虽无巨大河流,但河流很多,河床坡度很大,水流很急,两峰悬崖陡壁,且大部分河流均横切二迭纪之乐平煤系,煤系顶底均为石灰岩,故水文地质成为本区勘探的一个主要课题。

### 二、水文地质条件

含水层:

Tc.嘉陵江石灰岩:厚650~938公尺,遭受溶蚀

形成平地，溶洞溶斗及地下暗河发育，地下暗河长达2850公尺，泉水众多，均在3升/秒，T<sub>1</sub>浅部含水性弱，南桐 $q=0.74$ 升/秒，南平 $q=0.33$ 升/秒。

T<sub>1</sub>飞仙关页岩：厚150公尺，含水性甚弱，但浅部因风化裂隙的存在而含水，在地表70公尺以上， $q=0.016$ 升/秒。

T<sub>2</sub>玉龙山泥质石灰岩：厚130~168公尺，喀斯特不发育，而裂隙则很发育，尤为垂直层面之一组，泉水众多，最大者31升/秒，该层在王家坝向斜钻孔涌水，高出孔口30公尺， $q=0.0276$ 升/秒。此层之下部有较厚的页岩，在深部能起隔水作用。

P<sub>c</sub>长兴石灰岩：厚54~78公尺，本层喀斯特极其发育，溶斗溶洞面积广泛，最大的平均每平方公里有35个，地表喀斯特现象极盛，地面水流在此层产生强烈垂直渗透作用，泉水不多，但泉常为地下暗河之出口，流量很大，最大为1.17立方公尺/秒。

经证实的地下暗河在南桐即有五个，围绕整个向斜全长约9000公尺。

本层浅部含水性弱， $q=0.03\sim0.28$ 升/秒，浅部尚受降雨影响，据南桐现在获得资料在当地侵蚀基准面以下含水性很弱，但在构造破碎带也还是较强的。

P<sub>L</sub>乐平煤系：厚约100公尺，岩性为页岩夹两层灰岩，含水性较弱，主要含水的为上部燧石灰岩（10公尺）及下部硅质石灰岩（15公尺），均为可采煤K<sub>3</sub>K<sub>4</sub>的间接顶板。

P<sub>m</sub>阳新石灰岩：厚350公尺，喀斯特极其发育，地面成峻峭悬崖，溶洞大者高达80公尺，溶斗大者直径可达100公尺，地下暗河最为发育长均达数千公尺，海孔暗河出口流量为505升/秒。

本层浅部含水性很强， $q=0.15$ 升/秒，在侵蚀基准面以下含水性是逐渐变弱的，标高339公尺， $q=0.000311$ 升/秒，标高在245公尺， $q=0.00005$ 升/秒。

此层距K<sub>1</sub>煤仅数公尺之铝土页岩、角砾岩，是为开采之患。

本区河网切割深度已经很大，而地下暗河尚存在于很高位置，如鲁萨诺夫指出的：“四川东部最新隆起作用，造成这个区发生深层地下水垂直水文地质动力带的重新分布和适应长江水系侵蚀基准面近代位置的复杂作用”。从区域地貌可以见到下列四个侵蚀夷平面。

标高1100公尺由志留纪页岩及阳新灰岩构成。

标高750公尺由中、下侏罗系及三叠纪飞仙关页岩构成。

高于现代河床60~70公尺的侵蚀阶地及与之相当的大部分标高在600公尺由T<sub>c</sub>及P<sub>m</sub>构成的喀斯特平地。

残存的古河床及高于现在河面数公尺的阶地。

根据分布标高的差异，似乎说明本区上升幅度有逐渐变小之趋势。

本区气候温湿，年降雨量940~1400公厘，适于喀斯特之发育。

本区水文地质特征及矿床充水特征可归纳以下几点：

（一）本区开采主要充水岩层为顶板长兴石灰岩及底板阳新石灰岩，在地层倒转的情况下，阳新石灰岩则构成顶板，此时，阳新灰岩对开采K<sub>1</sub>煤层造成严重威胁。

（二）喀斯特的发育均在现今侵蚀基准面以上，主要发育形态是地下暗河，暗河的发育特点是以附近的河流为其洩水地，排水坡度很大达10%，一般沿岩层走向发育，且发育在石灰岩底部与隔水层相近的地方，地下暗河的水面相近或稍低于潜水面。这说明暗河是基本适应或正趋于适应该地侵蚀基准面的。同时，各勘探区钻孔喀斯特系数资料说明（图1），喀斯特水平带均分布在各当地侵蚀基准面至其上50~60公尺左右。所以地下水位和流向均受着河流的支配。

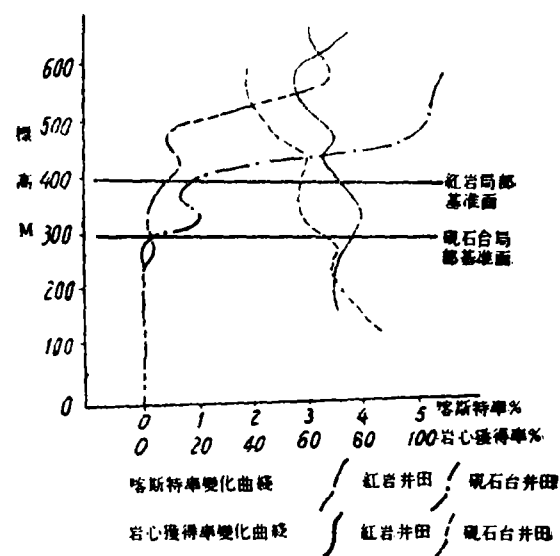


图 1

（三）含水层的含水性浅部很强，因浅部喀斯特及风化，构造裂隙均发育之故，深部，尤以侵蚀基准面以下很弱，从鲜家坪长兴石灰岩的资料可见含水性随深度急剧削弱的规律（图2）。

但是，地下水的水力性质及活动情况和所赋存的地质构造有一定关系，如在背斜倾没部分，喀斯特化作用使地下水沿倾伏构造往深部循环，产生高压，但循环速度已很缓慢。局部地区亦因地下暗河不发育，

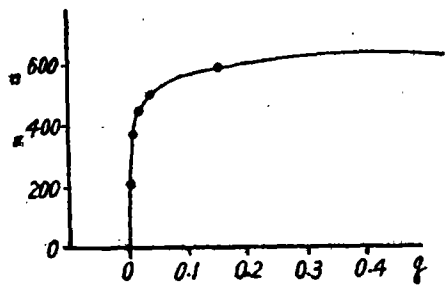


图 2. 群家坪Pc含水层顶板埋藏标高与q关系曲线

| 孔号  | 抽水深度    | 出水处标高   | 水位标高   | q升/秒    |
|-----|---------|---------|--------|---------|
| 51  | 142.65  | 491.61  | 633.44 | 0.382   |
| 153 | 317~483 | 293~127 | 632.01 | 0.0209  |
| 52  | 394~480 | 218~133 | 630.26 | 0.00135 |

浅部潜水不强而致深部循环发育，在较深地带亦含水。

(四) 根据各生产矿井的含水特征综合如下：

1. 煤系多形成凹地，浅部煤层被老窖贯穿，由于塌陷，地面水由此通畅渗入坑道，老窖水可造成大量充水。

2. 茅口灰岩为煤系顶板或底板，喀斯特发育，局部暗河贯穿煤系，水头较高，煤系底部铝质页岩隔水作用不强。

3. 本区褶皱剧烈，断层带附近破碎，含水性强，坑道遇断层涌水，那怕在低于当地侵蚀基准面100公尺处亦有较大的断层出水点。

(五) 矿区附近有河流切割部分，将来开采造成塌陷可能产生河流及补给的情况。

### 三、水文地质工作

本区主要勘探对象为二叠纪乐平煤系，勘探范围延伸很长，在矿区四周分布着大面积的石灰岩，这些灰岩喀斯特发育，含水性强，成为将来矿井充水的地下水源。因此了解这些喀斯特含水层的分布、埋藏、补给来源、含水特征、喀斯特的发育规律就成为十分重要的工作。同时，由现有生产矿井资料可知地表水及老窖水亦是矿坑充水主要来源之一，可以看出，地面水文地质测绘在本区就显得非常重要了。

钻孔水文地质仅能给出在点的位置上沿深度的水文地质垂直变化，和具体数字做为计算时的依据。因限于勘探范围之内，它不能供给更广泛的实际资料。

本区生产矿井众多，矿井水文地质资料乃是非常宝贵的，它可以作为检查我们预计涌水量计算的标准，还可以作为用比较法计算的依据。还可以从矿井资料中启示我们在勘探中应加强注意的问题。

目前，在党的勤俭办地质事业，加快勘探速度以

适应工农业大跃进的号召下，结合本区具体情况，我们的矿区水文地质工作应该是：“加强地面测绘和矿井实际资料的收集，削减部分不必要的钻孔水文地质工作；提高简易水文的质量，合理布置专门水文地质工作量”。

(一) 地面测绘工作：

进行1/5万大面积的水文地质、地貌测量，目的在于了解喀斯特含水层在不同地段的特征及喀斯特的分布、形态及发育规律。

进行1/万矿区水文地质测量（包括老窖水的调查在内），目的在于了解不同的水文地质因素对将来开采时充水的影响。

(二) 专门水文地质钻孔：

专门水文地质孔的主要目的在于取得涌水量计算的数字依据。在本区广大范围内某一个块段其水文地质条件是相似的，而井田的划分纯系人为的，故专门孔工作量的布置应该打破井田界限而进行区域性的控制，即将两三个井田综合起来考虑，以减少不必要的工作量。

专门孔工作量应基于勘探孔布置，可以根据具体情况适当削减，但工作量必须目的明确。

1. 专门孔应布置在水文地质具有代表性的地方，可以不考虑将来竖井或平硐的位置。因为后者将由生产部门投资进行井筒检查孔。

2. 抽水层次应布置在对煤层开采影响最大的含水层，本区即是长兴灰岩，茅口灰岩及煤系本身。玉龙山灰岩及嘉陵江灰岩在一定距离内有资料说明则不必进行。

3. 专门孔的布置应考虑各主要含水层的抽水层次，在平面上和不同标高上都有适当勾度的控制，最好不要在一个孔内进行所有含水层的抽水试验，这样也造成钻孔结构的复杂化。

4. 目前勘探的高级储量集中浅部，将来亦首先开采浅部，且浅部含水性较强，本区喀斯特水平带正发育在当地侵蚀基准面附近，故抽水层次的布置应考虑多放在浅部、当地侵蚀基准面附近。

5. 抽水层次的布置亦须考虑开采方法，若用平硐开采、且只开上山煤时，则在平、标高上、下仅用少量专门工作即可；若平硐以下亦有高级储量则主要工作量应放在平硐标高以下。

6. 对喀斯特化程度在深部及浅部不等的厚层石灰岩含水层，应分段进行抽水试验，分别了解其含水性，使获得的资料更切合实际，也便于计算。

7. 在足以使矿坑充水的河流附近、主要断裂破碎带等水文地质条件特殊的地方，应布置适当工作量加以了解。

### (三) 簡易水文工作

为了掌握矿区內喀斯特及含水性的变化, 弥补專門孔工作的不足, 应尽量做到每孔均进行簡易水文, 保証簡易水文工作的質量, 本区主要項目应包括: 喀斯特系数、水位、消耗量。

1. 喀斯特系数: 利用鑽孔岩心資料, 得出喀斯特空隙所佔百分比, 即綫喀斯特系数。

2. 水位: 本区含水层的划分已肯定, 水位測定間隔可以放寬, 5~10公尺一个点。大层水位仍須測量, 可用注水办法輔助穩定。

3. 消耗量: 它对鑽进沒有妨碍, 且能說明問題, 是种廉价資料, 要求每班測定3~4次。

队將实行不取岩心鑽进, 这时喀斯特系数无法測定, 要求測定消耗量及各大层水位。

### (四) 長期观测工作。

長期观测資料是我們掌握水文地质条件季节性变化規律的基本資料, 要求至少达到一个水文年, 在目前勘探範圍伸展很远, 三四个井即勘探完毕一个井田的情况下, 建議將長期观测工作交給地方繼續进行。

長期观测包括以下几个部分。

1. 生产矿井及老窖水: 我們主要是进行收集。收集內容是不同标高、不同岩层、不同時間的出水情况; 收集出水点、出水性質、涌水量、补给来源等資料, 最好繪在矿坑平面图上。收集涌水量与降雨量、与采煤量关系的資料。

2. 泉、井: 每个井田在各主要含水层选1~2个具代表性的泉进行。

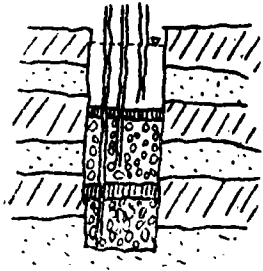


图3

3. 鑽孔: 選擇長期观测鑽孔亦应从区域条件来考虑, 不要限在井田这个圈子里。数量大約1~2个井田保留一个孔, 对主要含水层进行观测。

为了节约鋼材, 可用如图(3)所示。在不同含水层分別下入測水管, 投入礫石, 然后用水泥止水。

4. 河流: 凡对矿坑充水有影响的河流, 在河流流入、流出矿区处設站进行观测。观测水位、流量、水漲。

長期观测間隔時間除特殊情况外, 每十天观测一次。

### (五) 其他。

本区地下暗河应利用連通試驗进行証实, 但可以只証实長兴灰岩及阳新灰岩的就行了。

## 四、涌水量計算方法

鉴于本区地下暗河发育, 根据專家建議分成上下

兩帶进行計算, 上帶为受地面水影响的泉水、暗河直接补给矿井的。上帶涌水量的計算方法, 即將矿区內在开采場陷后可能流入坑道的各泉水地下暗河流量統加起来。下帶为岩层中的地下水, 符合于地下水运动規律的。

关于下帶涌水量計算方法, 根据生产矿井資料、已勘探完毕正在建井的資料分析結果, 認為在本区坑道涌水量計算采用“大井”法、比拟法計算比較接近实际。在采用公式上用裘布依公式較克拉斯諾波利斯公式接近实际, 因本区除暗河本身外岩层中地下水的运动状态仍应为层流, 流速也不大。

根据附近生产矿井的資料, 开采的場陷范围可能影响到玉龙山灰岩, 理論上計算場陷影响高度为开采厚度的150倍亦接近玉龙山灰岩, 但真正影响則是若干年后的問題, 开采初期涌水量可以不予考虑。

本区構造复杂, 含水层埋藏各不相同, 进行水文地质計算时应根据具体情况划分块段分別計算。斜孔抽水的滲透系数計算, 除了考虑含水层的水力性質外, 還需注意含水层的傾角大小。現就承压水和潛水的滲透系数計算叙述如下。

### (一) 承压水

(1) 当水位降至含水层頂板以上时, 采用承压水完整井公式計算(图4)。

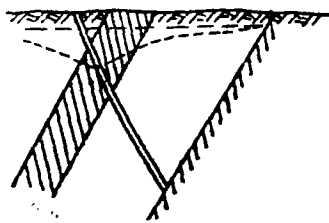


图4

(2) 承压水位被降至隔水頂板以下, 而岩层傾角:

I. 小于30°时, 采用承压轉无压完整井公式計算。或另一 $\pi/2$ 采用潛水計算(图5)。

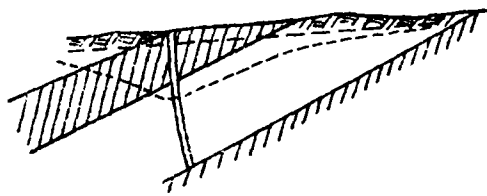


图5

(下轉第8頁)

专业机动力。协助专、县地質局(处)建立专业队,下面保送学员代為訓練,到一定时机,在不削弱主力情况下,逐步协助解决骨干力量。局長或副局長一人分工亲自掛帅加强领导,定期检查工作;給总工程师明确責任,在技术上全面管起来,迅速糾正某些人員只管地質,不管或不愿管专业技术的現象,大队行政和技术負責人多向领导請示汇报工作,争取领导支持。

(二)水文地質工程地質設備由于水文地質工程地質队伍的增長及过去专业设备发展迟緩,而目前并在更加緊張。供应情况的緊張在今年大跃进中仍会存在,因此,希各省局在制定供应計划中要全面考虑,统一安排。此外还应:

1. 采用代用品:如缺乏鋼制濾水管可試用肋骨濾水管,竹、木濾水管,礫石水泥濾水管,石棉水泥管等。在一些专业队上之采用,初步取得了一定的成效。

2. 利用修配能力自行制造:在鑽机上,除机械岩

心鑽外,可利用修配厂或修配間制造适用于第四紀松散岩层的人力冲击鑽及經常使用的拉桿水泵。这些装备制造簡單,用錢少而使用广,在一般的修配間中均有条件制造,以解决目前之急需。

(三)干部不足应立即通过各种方式来培养。除了爭取国家多分配一些大專学生以外,希望各省地質院校中,凡是沒有設立水文地質工程地質系科专业的,建議設立起来。此外,繼續开办訓練班和工作中帶徒弟的方式解决。地質院校毕业的同学,在最近几年中数量还是不多,与工作中之需要还有相当大的距离。但經驗証明,开办訓練班和帶徒弟的方法,是行之有效的方法之一,現在有不少的骨干力量,是通过这种方式培养出来的。

(四)迅速建立水文地質工程地質专业队实验室,以便及时获得分析成果。充实加强修配間的机械设备和补充技术工人,鼓励对专业设备进行改善創造。

(上接第18頁)

Ⅱ.  $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ , 用承压轉无压完整井三面进水( $3\pi/2$ ), 在含水层巨厚情况下另 $\pi/2$ 可用潛水公式計算(图6)。

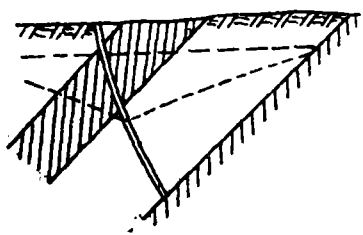


图6

Ⅲ.  $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ , 这种情况下計算是比較困难的, 近似的計算方法是接近于Ⅱ, 不过还把它看成不完整井情况而已。

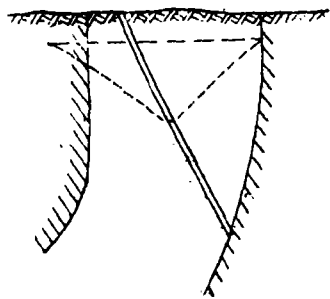


图7

Ⅳ.  $90^{\circ}$  情况下, 利用潛水不完整公式計算, 視含水层厚度及鑽孔位置采用 $\pi \sim 2\pi$  进水(图7)。

(三)潛水:

(1) 較厚

的含水层傾角小于 $30^{\circ}$ , 周圍影响半径能正常扩展, 用四面进水潛水完整井公式(图8)。

(2) 較厚的含水层傾角小于 $30^{\circ}$ , 周圍的影响半



图8

徑, 只能三面正常扩展, 用三面进水的潛水完整井公式(图9)。

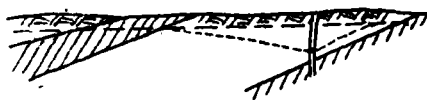


图9.

(3) 厚含水层, 岩层傾角大于 $30^{\circ}$ , 用三面进水或四面进水的非完整井潛水公式(图10)。

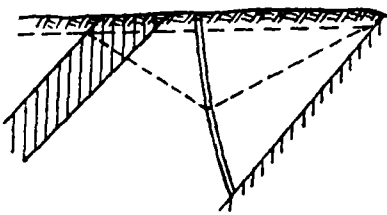


图10

(四) 薄含水层:

I. 岩层傾角小于 $30^{\circ}$ , 用三面进水的潛水完整井公式。

Ⅱ. 傾角大于 $30^{\circ}$ , 用三面进水的潛水非完整井公式。

这些計算方法仅仅是初步的, 不成熟的, 希望大家討論、批評。