

## 综合找水技术在岩溶发育研究中的应用

张 杰

(山西省水文水资源勘测局, 山西 太原 030001)

**[摘 要]** 本文结合王陶电厂水源地的勘测、选址, 详细介绍了可控源大地电磁、视真电阻率两种方法在寻找岩溶发育阶段, 确定地下水的开采范围等方面的应用, 并对两种方法所取得的资料进行了对比分析, 对王陶电厂水源地的选地、开彩数量等方面提出了建议。

**[关键词]** 可控源大地电磁; 视真电阻率; 对比; 应用

**[中图分类号]** P631.3

**[文献标识码]** B

**[文章编号]** 1004-1184(2006)01-0065-06

### 1 引言

在石灰岩山区, 查清岩溶发育情况是寻找岩溶地下水的先决条件。为查清王陶电厂水源地水文地质条件, 山西省水文水资源勘测局水源中心在区域水文地质调查的基础上采用多种物探方法, 在王陶电厂厂址及周围进行了野外勘测, 通过室内对外业资料校核、计算、制图、分析后, 基本查清了工作区中奥陶统的岩溶分布规律与岩溶地下水的分布特征。

### 2 自然地理及水文地质

#### 2.1 自然地理

王陶电厂位于山西省沁源县的西北部王陶乡, 厂址地理位置见图1。王陶电厂厂址共选出二个厂址, 即王头厂址和南坪厂址。

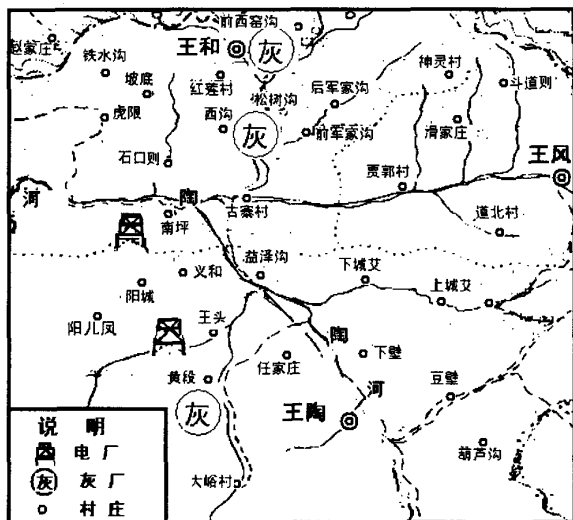


图1 王陶电厂位置图

#### 2.1.1 王头厂址

该厂址位于王陶乡北部2.5km附近, 在甘溪河北岸一、二级阶地上, 地形较为平坦开阔, 自然地面标高在1410.7~1467.0m(1956年黄海高程系)之间, 东北低西南高, 在其南侧座落有任家庄村, 西侧座落有王头村, 已建成的汾屯三级公路由厂址东侧通过。

#### 2.1.2 南坪厂址

该厂址位于王陶乡北部8km附近, 在龙凤河上游支流的西岸一、二级阶地上, 自然地面标高在1360m(1956年黄海高程系)左右, 东北低西南高, 在其西北侧座落有南坪村, 已建成的汾屯三级公路由厂址东侧通过。

#### 2.2 气候及气象特征

沁源县属温带大陆性气候, 四季分明。年均气温8.6℃。一月均温-6.5℃, 七月均温22.4℃。年均降水量为656.7mm, 为全省之冠。无霜期120~160天。霜冻期在10月上旬至次年4月下旬。

#### 2.3 河流水系

境内有沁河、汾河两大水系, 总流域面积2554km<sup>2</sup>。拟建王陶电厂所在地在汾河一级支流龙凤河的上游地区。龙凤河发源于沁源县, 流经绵山峡谷, 在介休市龙凤村南出山, 于介休市洪相村汇入汾河, 全长52km。河道纵坡自上而下逐步变缓, 流域面积为556km<sup>2</sup>, 属常流河。

#### 2.4 地层

区域出露的地层有太古界片麻岩及元古界震旦系石英状砂岩, 古生界寒武系、奥陶系碳酸盐岩, 石炭系、二迭系及中生界三迭系碎屑岩, 新生界上第三系及第四系松散岩。其中以寒武系、奥陶系分布最广, 几

**[收稿日期]** 2005-05-28

**[作者简介]** 张杰(1962—)男, 山西临猗人, 工程师, 主要从事水文地质、工程地质勘探研究与应用

乎遍布全区(含地下埋藏部分),构成岩溶含水系统。岩溶含水层主要为奥陶系中统及寒武系中统,其中以上、下马家沟组二段及张夏组为强含水层。

### 3 地球物理勘探

#### 3.1 水文地质物探范围

工作范围为南坪村北西,由王和、王陶(王陶河)、王风三个方向的地表水汇入龙凤河的交汇处,面积约3km<sup>2</sup>;王头村西通往阳儿凤的电厂厂址附近约2km,地面标高1290~1630m。

#### 3.2 水文地质物探工作方法和工作布置

地球物理勘测工作为直流电阻率测深法与可控源音频大地电磁测深法(CSAMT法)。直流电测深法最大供电电极距AB/2为1000m,供电电极距AB与测量电极距MN之间的配置为三比一温纳尔等比装置。可控源音频大地电磁法采用加拿大凤凰地球物理公司生产的V6-A电磁系统,信号源用T-3电流发射系统产生,接收机和发射机之间由MTU卫星同步钟控制,测量信号采用8F60(信号频率为0.65~9600 Hz,工作频率112个)和4F30(信号频率为1~9600 Hz,工作频率54个)系列。信号发射与接收机之间的距离为2.5~3km。

在南坪村北西,呈东西向分别布置了直流电法勘测剖面3条,编号为I、II、III;呈南北向布置电磁剖面4条,编号为25A、25B、25C、25D;在25D剖面东布置东西向电磁剖面4条,编号为26A、27A、27C、27D。

王头村西北的电磁剖面编号为28A,剖面线长度为1260m,剖面方向呈北西—南东向顺路延伸。

水文地质物探测点、测线分布见图2,图3。

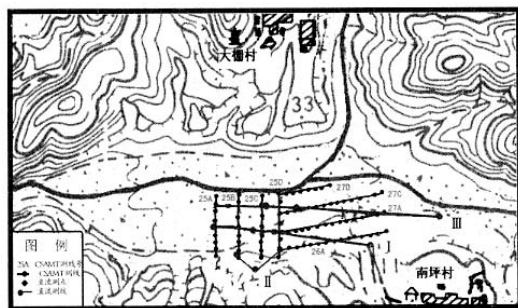


图2 王陶电厂南坪测区物探测点线布置图

#### 3.3 物探勘测资料解释

##### 3.3.1 可控源音频大地电磁法资料解释

###### 1) 资料处理

大地电磁测深法通过测量不同频率的电场分量和磁场分量,求得地层的视电阻率值。V6-A电磁系统可直接给出电阻率值及其曲线,室内利用加拿大凤凰地球物理公司的资料处理软件,对实测资料进行了处理并制图。

视电阻率的计算公式为:

$$\rho_s = \frac{1}{5f} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2$$

有效深度  $h_{\text{有效}} \approx 256 \sqrt{\rho_1 / f}$

式中:  $E_x$  为电场水平分量;

$H_y$  为磁场垂直分量;

$\rho_1$  为地层电阻率;

$f$  为工作频率。

应用电磁法得到的电阻率值有别于直流电法所测得的电阻率值,因此,在资料解释时,应用相对高阻或相对低阻的方法划分岩性及其岩溶发育特征,国内电磁测深法用户均采用本方法解释资料,起到了良好效果。

#### 2) 电磁法电阻率断面图解释

##### (1) 南北向勘测断面特征及解释

25A电阻率断面图特征表明,150~200m以上为河床冲积层与石炭系地层,下伏为中奥陶系石灰岩,1~4号测点间90m范围为岩溶发育段,其深度位于400~850m,中心部位位于3号测点处,电阻率等值线反映为垂向延伸与两侧不连续,强岩溶发育段的宽度约30m(见图4)。

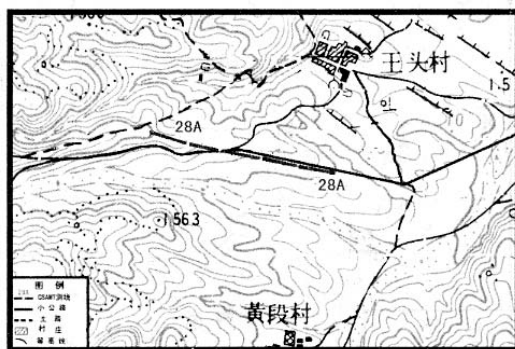


图3 王陶电厂王头测区物探测点线布置图(28A)

25B电阻率断面位于25A东100m,河床冲积物与石炭系地层位于150m以上,下伏奥陶系石灰岩,岩溶发育段集中发育在4号测点处,宽度较A剖面小,岩溶发育深度位于320~350m、480~600m、700~780m之间,电阻率值反映为相对低阻段(见图5)。

25C 电阻率断面位于25B 东100m,奥陶系石灰岩顶板埋深180~200m,岩溶发育段位于1~3 号测点间,宽约70m,中心部位位于3 号测点处,岩溶段主要位于400~800m 之间(见图6)。

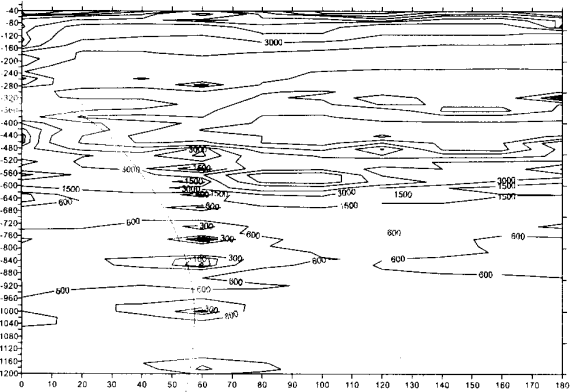


图4 CSAMT 等电阻率断面图(25A)

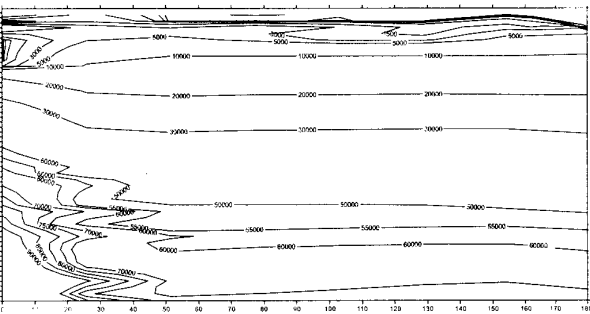


图5 CSAMT 等电阻率断面图(25B)

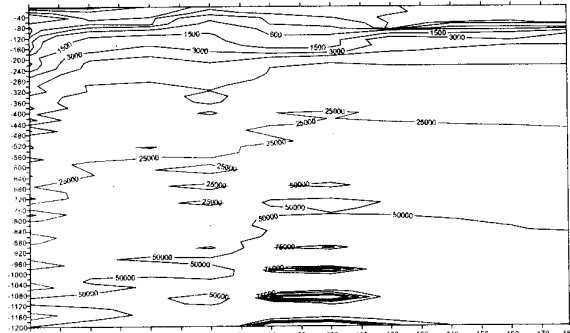


图6 CSAMT 等电阻率断面图(25C)

25D 电阻率断面位于25C 剖面东97m,资料反映奥陶系石灰岩顶板埋深150m 左右,2~7 号测点间,岩溶裂隙不发育,1~2 号测点间,电阻率等值线以80 多度的角度下降,解释为断裂带,1 号点南侧为断层的下降盘,断裂带附近20m 宽度内岩溶裂隙发育(见图7)。

上述四条剖面电性特征反映,在各断面图的1 号测点处,均有电阻率等值线向下延伸的现象,解释在南段有断层通过,勘测断面位于断层的上升盘,勘测时,由于地形影响,未向南端延伸测点;在25A~D 测线之间,有一条近东西向发育的岩溶发育带,宽度30~40m,解释厚度350~800m。

(2) 东西向电阻率断面特征

27A 电磁断面特征,在2~3 号测点间,把电阻率断面图分成两部分,使两侧电阻率等值线不连续。可见,2~3 号间为岩溶发育段,其岩溶发育段在1~2 号测点处,从350m 下延至650m,从西向东延伸;在3~5 点处,其埋深至700~800m。本断面石灰岩顶板埋深约170m(见图8)。

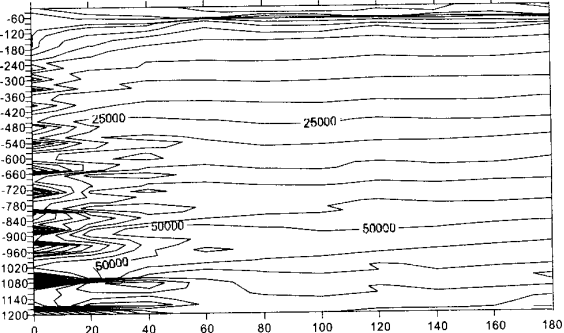


图7 CSAMT 等电阻率断面图(25D)

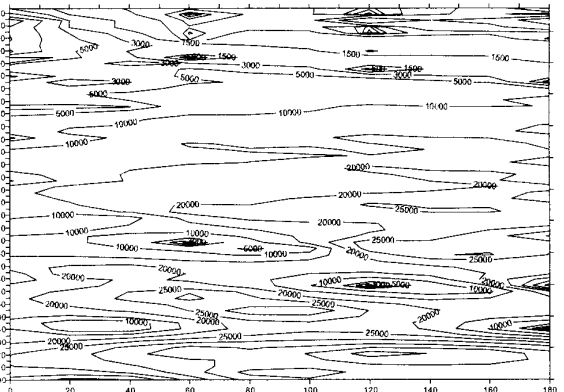


图8 CSAMT 等电阻率断面图(27A)

27C 电磁法电阻率断面图,反映石灰岩顶板埋160~170m,1~3 号测点间为岩溶发育、破碎段,其宽度50~60m,垂向发育深度位于350~800m,主要深度位于400~600m;5~7 号测点间,岩性较完整(见图9)。

27D 电磁法断面图反映石灰岩顶板埋深150~180m 左右,岩溶发育部位位于1 号点与6~7 号测点



3)直流电阻率断面图特征及解释

在Ⅰ剖面上,反映石灰岩顶板埋深为180~240m,西部相对较浅,在各测点处,均有岩溶发育部位,在1号测点处,位于400~500m、500~600m、600~800m之间,均有相对低阻反映;2号测点处,在400~500m、600~700m之间,有低阻反映;3号测点处为明显的低阻部位,其岩溶发育部位从300m处一直延伸至700m。断面图上的低阻带从3号测点处向东延伸至4号测点的550m深度,使4号测点处从300~550m段成为岩溶发育区间(见图13、14)。

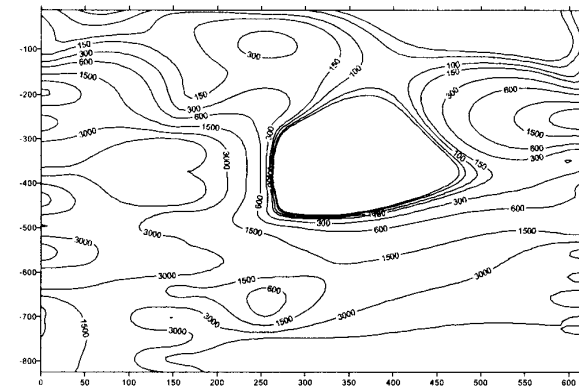


图13 Ⅰ剖面等电阻率断面图

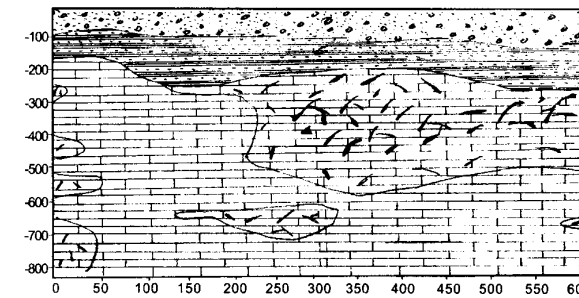


图14 Ⅰ剖面推断地质断面图

位于Ⅰ剖面北86m的Ⅲ剖面电阻率断面,与Ⅰ剖面有完全类似的特征,一方面证明了Ⅰ剖面的岩溶部位是存在的,另一方面表明两断面间有北东——南西的岩溶发育带(见图15、16)

Ⅰ剖面南的Ⅱ剖面,反映石灰岩顶板埋深为300~350m,石灰岩电阻率值普遍大于3000Ω·m,反映岩溶发育程度不如北部各断面所在位置。灰岩顶板埋深与Ⅲ剖面的6号点、Ⅰ剖面的4号点相同,而比其他测点的灰岩顶板埋深深100m。将这些点联系在一起,推断南坪村北有北东~南西向断裂构造通过(见图17、18)。

4)岩溶平面分布图

综合电磁法与直流电法两种勘测资料,得到工作区奥陶系中统石灰岩岩溶发育平面分布图(垂向发育岩溶由断面图解释结果给出)。由图可知,岩溶基本呈东~西向发育,且有较好的连通性,由测点控制,最宽的达60多m(见图19)。

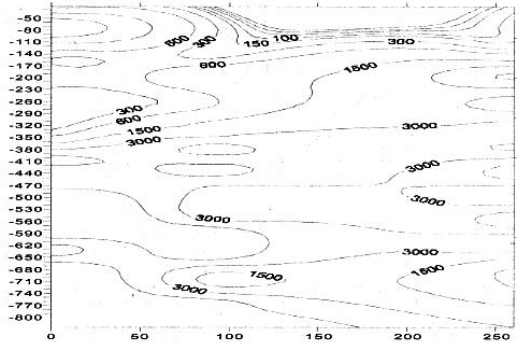


图15 Ⅱ剖面等电阻率断面图

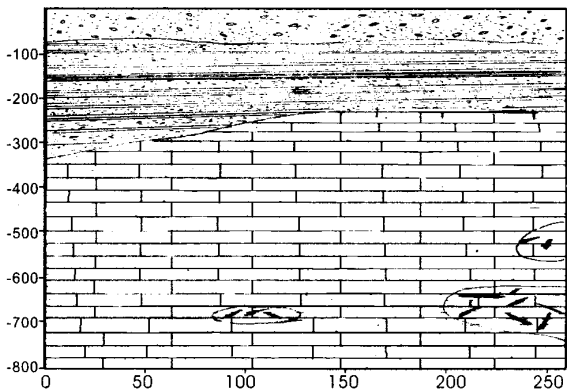


图16 Ⅱ剖面推断地质断面图

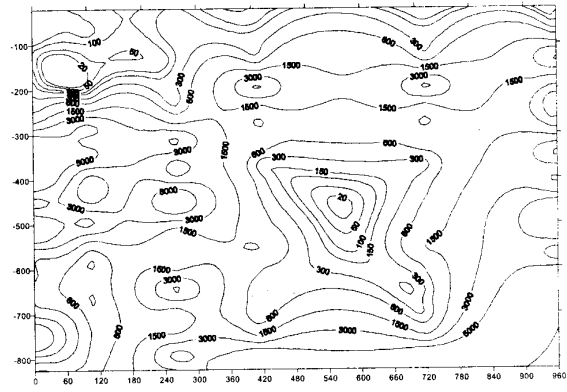


图17 Ⅲ剖面等电阻率断面图

3.4 水文地质物探结论

通过对南坪村北西河床工作区和王头村西的勘

测成果对比分析后,认为河床岩溶发育面大,厚度大,连通性好,地下水补给条件、开采条件优于王头村西,因此,电厂水源地选择在南坪村西北为宜。

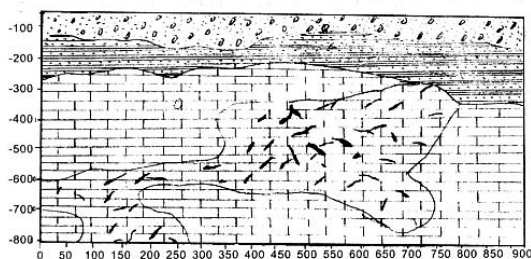


图18 Ⅱ剖面推断地质断面图

通过对药测资料进行全面分析、研究后,初步认为,在南坪村西北水源地岩溶发育较好地地段开凿三眼深度为750~850m的深井,开采奥陶系中统上下马家沟的岩溶地下水,根据岩溶发育特点,预计两眼井的出水量可达150m<sup>3</sup>/h,另一眼井可作为备用井,即可满足王陶电厂的用水量。由于工作区岩溶水的开采属空白区,给单井出水量的估算带来困难。因此,开采井的

(上接第55页) 许多河流受到污染,同时由于河川径流日趋减少及入河排污量的日趋增多,使得市内的主要河段受到一定程度的污染。同时由于城市污水的渗漏,浅、中、深层地下水受到污染。地下水的超量开采,特别是在地下水超采区改变了地下水的动力条件,加速了晋中市地下水的污染。全市污染区分布面积占全市总面积的11.9%,其中平川受污染面积1518km<sup>2</sup>,占平川区总面积的68%,占全市受污染面积的77.7%。现状条件下,地下水超标项目主要有氯化物、硫酸盐、总硬度、矿化度、氟化物、氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、汞、六价铬、砷化物、挥发酚、锰、铁,其中超标倍数较大的为亚硝酸盐氮和氨氮,分别为183.2倍和87倍。主要集中分布在经济相对发达,地下水开发利用程度较高,工矿企业和人口密集的城镇区。

### 3 城市污水处理与利用的必要性

工业废水和生活污水长期以来通过自然形成的明沟明渠外排,不仅对地表水体造成污染,而且由于缺少防渗防腐措施,这些废水逐渐向地下渗透,已经造成部分地下水污染。同时,这些污水流经郊外时,农民大量用污水灌溉,对农作物也带来危害。因此,对晋中市污水进行处理,综合整治城区面貌,改善环境质量十分必要,势在必行。

针对水资源匮乏及污染严重这一现实,本着开源与节流并重的原则,在加强节水的同时,更要合理利用和开发污水资源。实践表明,污水再生利用不仅减少污染,增加水资源,污水再生利用产生的经济、社会

数量最终可根据抽水试验的资料确定。

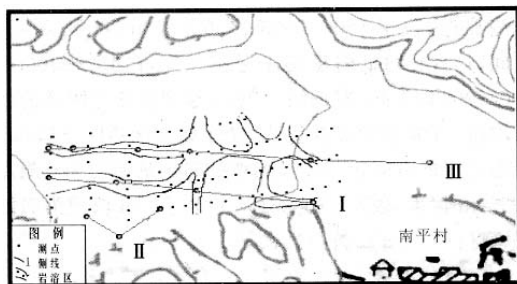


图19 物探推断岩溶分布图

## 4 结语

水文地质物探工作中,应用可控源音频电磁测深法(CSAMT)和直流电法两种勘测方法,探测水源地岩溶发育,取得了较好的勘测效果。特别是应用CSAMT法,可解决由于探测深度大带来的地形条件、接地条件等困难,保证勘测资料的精度。

和生态效益也是显而易见的。主要体现在:降低给水处理与供水费用,改善生态环境与社会经济环境,促进工农业的发展,促进和保障人体健康,增加可供水量,促进经济发展并避免因缺水造成的损失等。

## 4 城市污水处理与利用存在的问题及建议

### 4.1 集中治理工业污染源

由于历史原因,晋中市工业区、商业区、文教区和居民区相互交错,布局混乱,缺乏明确的功能区划。因此,除加强厂内废水治理外,应按照功能区划要求,搬迁布局不合理的工业企业,使其布局逐渐趋于合理,逐步减少工业污染源。

### 4.2 健全污水排放系统,治理环境污染

目前全市的排水系统为雨水、生活污水、工业废水合流制,污水采用明渠排泄,这样不仅会造成地下水体污染,而且由于蚊蝇滋生,臭气四溢,严重影响大气质量,破坏城市景观。因此,应结合城市建设,改造和完善排水管网系统,最终实现雨、污、废水完全分流。这样既可减少污水治理难度和费用,又便于合理利用水资源。

### 4.3 加强城市污水处理与再生利用的协调发展

晋中市在污水处理和水资源化方面与国务院对城市污水污染控制方面的要求相差甚远。城市污水处理厂建成后,由于处理后的净化水二次使用,从而使污水处理率和水资源复用率都能得以提高。因此,应加快建设污水处理厂,使污水资源得以再生利用,以缓解全市水资源紧张的局面。