

# “多元信息供水勘察理论”的研究与应用

——以镇江市缺水丘陵山区为例

陈锁忠, 杨旭, 蒋海琴

(南京师范大学江苏省地理信息工程重点实验室, 南京, 210097)

[摘要] 以数学中的集合理论(交集)为基础, 采用“多元信息供水勘察理论”逐步逼近, 建立镇江地区缺水丘陵山区供水勘察的逻辑推理模式, 利用遥感地质调查、水文地质与构造地质勘查以及地球物理综合勘察技术, 由区域、块段、点的逐步“聚焦”获取富水块段、贮水地质体和贮水构造、布井具体位置的信息。通过供水勘察实践, 验证了“多元信息理论”在构造复杂的缺水丘陵山区供水勘察中的优越性, 同时也指出了“多元信息理论”应用过程中应注意的具体问题。

[关键词] 多元信息理论; 丘陵山区; 供水勘察研究; 江苏镇江

[中图分类号]TV211.1; [文献标识码]B; [文章编号]1008-1925(2001)02-0024-06

## 0 引言

镇江隶属长江下游丘陵平原区, 北为宁镇丘陵, 南为宜溧山丘, 中偏西部为茅山丘陵, 中部为茅东、沿江平原, 西部句溧盆地, 全区面积共为  $11\,276\text{km}^2$ , 其中丘陵岗地约占  $46.5\%$ 。宁镇丘陵、茅山丘陵主要分布于丹徒和句容境内, 部分跨金坛、丹阳、溧水、溧阳交界部位。

由地形、气象和水文特征资料反映, 区内地表水资源分布极不均匀。北缘沿江平原及茅东平原地区, 地表水资源比较丰富, 可利用地表水资源量为  $51.70\text{亿 m}^3$ ; 而广大的丘陵地区, 由于分支河流径流量小, 干旱年份或枯水季节易于断流, 居民供水仅依赖水库、塘坝拦蓄的地表和大气降水。统计表明, 宁镇、茅山丘陵及宜溧山丘地区实际供水能力只达  $14.26\text{亿 m}^3/\text{a}$ , 每年缺水  $10.00\text{亿 m}^3$  左右。此外, 随着乡村小型化工企业的发展, 地表水质量日趋恶化, 地表水供水能力逐年下降, 目前宁镇和茅山丘陵地区严重缺水已成事实, 一些地区遇上干旱年份竟出现水荒。例如, 1994年大旱, 位于茅山丘陵山区的丹徒县荣炳乡西华山村, 河、塘、水库干涸, 居民生活饮用水仅依靠消防车输送, 大面积水田龟裂, 农作物枯死, 旱情十分严重, 遭受巨大的经济损失。

为了从根本上解决镇江市部分严重缺水丘陵山区居民供水难的问题, 镇江市政府在市人大和市政协的建议下, 决定利用地下水作为居民和部分农田灌溉的供水水源, 并列为镇江市政府“九五”期间为民办实事的十大项目之一。然而, 大部分丘陵地区的第四系松散层为下更新统( $Q_3$ )下蜀组粘土层, 其间基本不存在含水砂层, 松散岩类孔隙水缺乏; 至于组成丘陵山区的不同地质时代的碎屑岩、火山碎屑岩、碳酸盐岩地层及不同时期侵入岩类, 虽然其间不同程度地赋存裂隙和溶隙水, 但受强烈构造活动的影响, 蓄水构造复杂, 基岩地下水的赋存和运动规律

\* 收稿日期: 2000-12-08

作者简介: 陈锁忠, 1965-, 南京师范大学地理信息科学江苏省重点实验室水文地质工程地质专业高级工程师, 地理信息系统专业博士研究生, 从事水文地质工程地质的研究工作。

不明显,若仅从单要素信息勘察该地区基岩地下水存在较大的难度,需要从能揭示基岩地下水运动规律多元信息方面综合勘察才能达到预期的效果.本文就是利用“多元信息供水勘察理论”在镇江丘陵缺水山区供水勘察中的应用研究与实践.

1 “多元信息供水勘察理论”的数学表达

“多元信息供水勘察理论”的数学含义为集合,交集是该理论产生的基础,其简单数学表达形式为 $(A \cap B) \cap C = \{x: x \in A \text{ 且 } x \in B \text{ 且 } x \in C\}$ .当 $X = \{x: x \in X\}$ , $Y = \{y: y \in Y\}$ , $X$ 到 $Y$ 上的映射就是从 $X$ 到 $Y$ 上的对应, $X$ 到 $Y$ 内的映射就是从 $X$ 到 $Y$ 内的对应,即 $f: x \rightarrow y$ .如果 $f$ 是 $X$ 到 $Y$ 上的一个映射, $g$ 是 $Y$ 到 $Z$ 上的一个映射( $f: x \rightarrow y, g: y \rightarrow z$ ),则两个对应关系合起来可以得到一个新的对应关系 $x \rightarrow z$ ,也即 $g$ 和 $f$ 的复合映射(记成 $g \circ f$ ).“多元信息供水勘察理论”群集的水平垂直关系如图1所示.

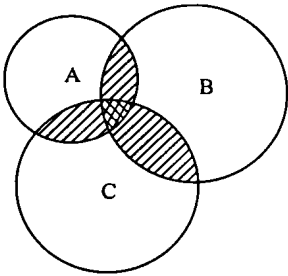


图1 (a) “多元信息供水勘察理论”群集水平关系

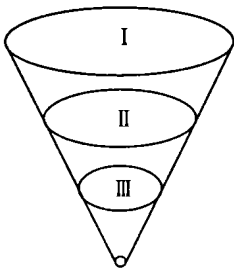


图1 (b) “多元信息供水勘察理论”群集垂直关系

2 “多元信息供水勘察理论”供水勘察的逻辑推理

设多元遥感找水信息为 $A$ 集,水文地质和构造地质找水信息为 $B$ 集,地球物理找水勘察信息为 $C$ 集.若 $A$ 集信息获得水异常反应,则认为勘察区域内相应地块存在地下水,从宏观上反映了赋存地下水的信息;由于地下水的赋存和运移规律受贮水构造与贮水地质体的控制,若 $B$ 集信息反映了 $A$ 集水异常信息地块内贮水构造与贮水地质体同时存在,那么认为该地块有地下水,在局部范围内勘测了地下水的存在;地球物理找水勘察主要采用电法和放射性法,是在多元遥感、水文地质、构造地质调查与勘查的基础上认为存在地下水的块段内对贮水构造与贮水地质体的进一步勘察,采集的信息组成 $C$ 集,从点上反映勘查地段是否存在地下水以及拟定凿井的具体位置.上述找水推理过程就如同光学上的聚焦原理一样,由面到点一步一步地将不肯定的模糊的认识逐渐地向肯定和清晰的方向逼近.逻辑推理线路图如图2所示.

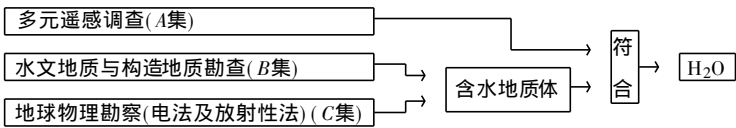


图2 “多元信息供水勘察理论”供水勘察逻辑推理线路图

3 “多元信息供水勘察理论”找水实践

供水勘察地段位于茅山山脉北端的东麓,隶属丹徒县荣炳乡西华山村,为典型的丘陵山

区, 大部分地区出露基岩山体, 其岩性主要有石炭系白云质灰岩、泥盆系与志留系石英砂岩、二叠系栖霞灰岩、三叠系青龙灰岩(角砾状灰岩, 岩溶发育, 为富水岩段) 及白垩系上党火山岩(英安质、安山质火山碎屑岩), 其中以泥盆系与志留系的石英砂岩为主。由于受茅东断裂的强烈影响, 地质构造极其复杂, 蓄水构造不明显, 基岩地下水的赋存与运移规律难以确定, 在以往的地质和水文地质调查过程中, 认为该区为严重贫水区。如果再用单一的勘查手段寻找地下水则很难找到富水块段, 需要多种勘查手段相结合, 获取反映地下水赋存与运移的多元信息才能达到预期的目标。

### 3.1 遥感地质调查

遥感地质解译是从区域上勘查地下水资源存在的信息, 圈定相对富水块段。采用的 TM 图像时相为 1997 年 10 月 18 日, 图像处理采用 TM<sub>4</sub>(红)、TM<sub>3</sub>(绿)、TM<sub>2</sub>(蓝) 波段假彩色合成方案, 其影像色调细腻协调, 层次分明, 主要信息突出。图像上南北向茅山山体清晰可见。以茅山为界, 西部为垄岗地貌区, 东部为湖积平原地貌区, 地质上分属句容盆地(拗陷) 和直溪桥盆地(拗陷)。区域构造解译主要有 EN、SN、NE、NW 四组方向断裂构造(带), 其中 EW 向断裂(带) 不仅控制了句容盆地的发展, 还限制了茅山山体继续向北延伸。直溪桥盆地主要受 NE 向断裂构造控制, 南北向构造则控制了盆地边界。因此, 两个盆地的汇水处应是东西向(EW) 和南北向(SN) 断裂构造(带) 的交汇地带(图 3)。

### 3.2 水文地质与构造地质勘查

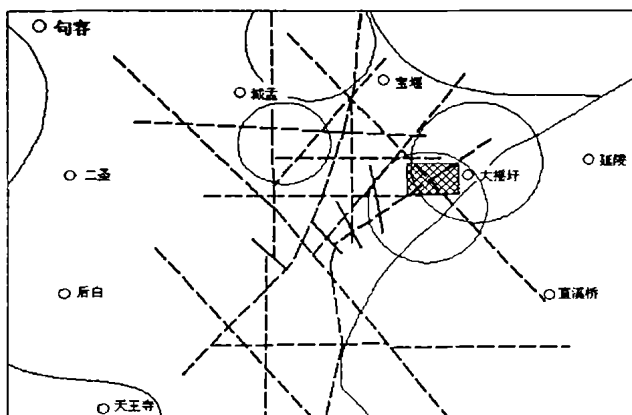
利用 1:20 万水文地质图与构造地质图、1:5 万地质图与基岩地质图, 结合以往的地球物理勘察资料和地面实地勘察, 深入研究荣炳乡西华山村地区地层、构造体系、含水地质体与储水构造, 并对遥感解译的富水块段进行重点剖析, 摸清地下水在该区赋存和运动的一般规律, 掌握含水地质体的岩性、组分、产状及构造特征(图 4)。

分析结果表明, 勘查区内存在含水地质体和一储水构造。军民水库—九龙塘发育一条近东西向的张性—张扭性断裂, 属于控水构造; 军民水库东侧的隐伏地层中, 120~130m 深度以下分布三叠系

青龙组角砾状灰岩, 期间岩溶发育, 且溶洞通过溶隙互相连通, 形成了网状含水层; 三叠系青龙组灰岩上覆白垩系葛村组粗砾岩、岩屑砂岩和上党组英安质、安山质火山碎屑岩, 呈致密状, 构成了角砾状灰岩含水层良好的隔水顶板, 使岩溶水具有较好的承压性; 灰岩含水层的东侧与白垩系地层呈断裂接触, 形成灰岩含水层的挡水墙。含水地质体和储水构造的剖面详见图 5。

### 3.3 地球物理综合勘察

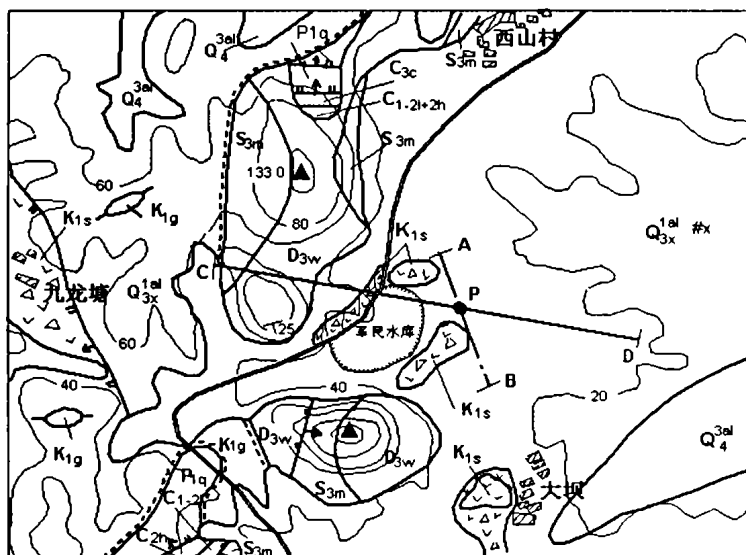
虽然应用遥感地质调查和水文地质、构造地质勘查技术确定了含水地质体及储水构造, 并不说明在含水地质体及储水构造内处处都能凿井开出地下水。基岩地下水运动过程十分复杂, 若找不到其运动的“水线”, 就很难拟定凿井位置。为在储水构造中找到合适的宜井位置, 采用



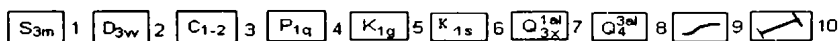
比例尺: 1/25万

1- 地层界线 2- 解译环形构造  
3- 解译断裂构造 4- 断层 5- 解译富水块面

图3 区域构造遥感解译图

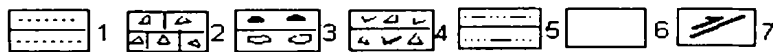
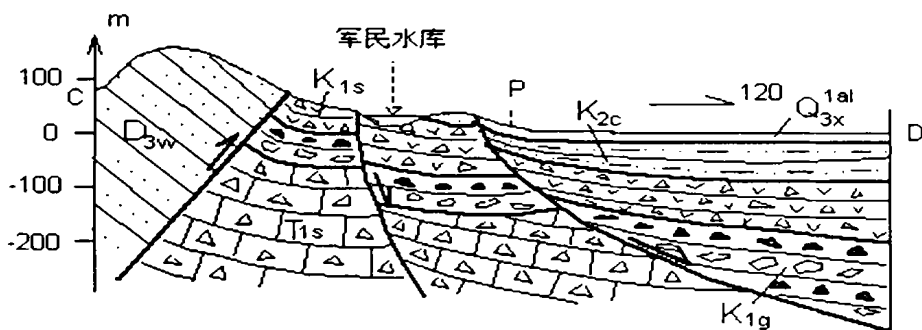


比例尺: 1:15,000



1- 茅山组 2- 五通组 3- 老虎洞及黄龙组 4- 栖霞组 5- 葛村组  
6- 上党组 7- 下更新统下蜀组 8- 全新统 9- 地层界线 10- 水文地质勘查剖面

图4 供水勘查块段地质图勘察剖面布置图



1- 泥盆系五通组石英砂岩 2- 三叠系青龙组角砾状灰岩 3- 白垩系葛村组粗砾岩、岩屑砂岩  
4- 白垩系上党组英安质、安山质火山碎屑岩 5- 白垩系赤山组泥质粉砂岩 6- 上更新统下蜀组粘土 7- 断层

图5 供水勘查地段地质剖面图

地球物理勘察方法中的对称四极电测深和静电 $\alpha$ 卡法勘察。勘察剖面线的布置如图4的AB所示,电测深剖面 and 静电 $\alpha$ 卡法勘察剖面重合。电测深勘察的 $AB/2=400\text{m}$ ,勘察点距为50m,共布设20个点,其中P点及左右两点的电测深曲线如图6所示;静电 $\alpha$ 卡法的勘察点距20m,采用3min脉冲观测,测量剖面图如图7所示。

图6反映了P点及其相邻两点地层的视电阻率随地层埋藏深度的变化特征,由视电阻率( $\rho_s$ )—— $AB/2$ 单根曲线的走势解译可得如下地层信息:0.0~3.0m为下蜀组粘土;3.0~8.0m为基岩风化壳,其母岩是赤山组、上党组、葛村组泥质粉砂岩、火山碎屑岩和粗砾岩;8.0~

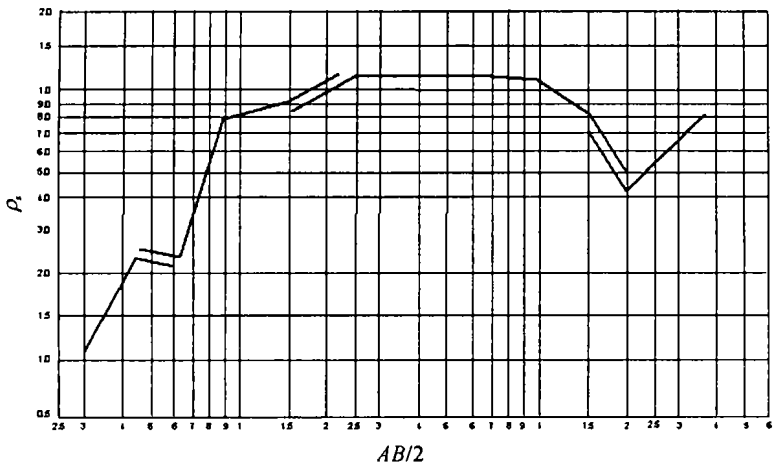


图 6 电测深勘察剖面 P 点处视电阻率  $\rho_s(\Omega)$  —  $AB/2(m)$  单根曲线图

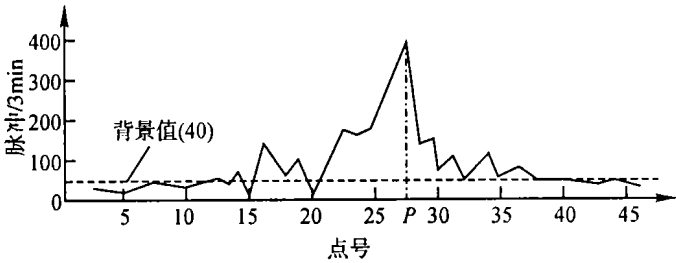


图 7 静电  $\alpha$  卡勘察剖面曲线图

135.0m 为白垩系赤山组、上党组、葛村组地层及葛村组地层与下伏岩层的接触带; 135.0m 以下, 曲线的尾支呈 45° 上翘, 说明是碳酸盐岩地层, 即三叠系青龙组地层——区内的含水层, 其岩性为角砾状灰岩。图 7 反映了勘探剖面 AB 上深部基岩地下水赋存与运移位置, 由曲线揭示, 勘察剖面上静电  $\alpha$  卡 3min 脉冲的背景值约 40 左右, 而 P 点及附近则出现了 400 脉冲/3min 的峰值, 是背景值的 10 倍, 呈明显异常, 且异常带宽度较大, 说明青龙组角砾状灰岩的透水性好, 岩层的破碎宽度大, 是良好的布井位置。

3.4 钻井验证

由遥感地质调查、水文地质与构造地质勘查、地球物理综合勘察信息表明, P 点为合适的布井位置, 通过钻探, 于地面以下 130.0m 处揭露了三叠系青龙组角砾状灰岩地层, 期间岩溶发育, 钻进过程漏水明显, 此现象反映富含地下水。经过成井和抽水试验, 该含水层承压性好, 静水为埋深仅 7.7m; 水位降深 7.8m, 涌水量为 624m<sup>3</sup>/d, 若设计最大水位降深 30.0m, 则其涌水量可达 1 225.0m<sup>3</sup>/d。从保护地下水资源的角度出发, 决定每天开采 1 000 m<sup>3</sup>, 解决了丹徒县荣炳乡西华山村的居民饮用水及部分农田灌溉用水紧缺的问题。

4 结语

应用“多元信息供水勘查理论”进行供水勘查, 是解决构造复杂的缺水基岩山区供水困难的行之有效的办法, 通过“多元信息供水勘查理论”的逻辑推理和从区域 局部 点的勘查, 可以在“1:20 万水文地质普查”和“1:5 万区域地质调查”被认为贫水的地区, 找到相对富水的

块段,凿井开采优质的基岩地下水,解决居民用水的实际问题,而且还能对勘查区基岩地下水的赋存和运移规律进行新的认识,为类似水文地质条件地区的供水勘察提供较有效的勘察思路和经验。

鉴于基岩地下水赋存和运移规律的复杂性,应用“多元信息供水勘察理论”时,为了确保其准确性,必须坚持多元肯定、单元否定的原则。在多元肯定过程中,出现否定结果时应认真分析,不要轻易否定多元肯定的结论,具体地分析误差出现的原因并给予解决。“多元信息供水勘察理论”在地下水勘查中的应用处于起步阶段,还有待于进一步实践,存在许多不完备和需要深化的地方,需要在以后的寻找地下水的实践中不断地完善。

#### [参考文献]

- [1] 霍明远. 地下水资源系统勘察技术与综合评价方法[M]. 北京: 科学出版社, 1993
- [2] 汪培庄. 模糊集与随机集落影[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1985
- [3] 沈照理, 刘光亚. 水文地质学[M]. 北京: 科学出版社, 1985
- [4] 江苏省地质矿产局编著. 宁镇山脉地质志[M]. 江苏: 江苏科学技术出版社, 1989
- [5] 朱焕. 水文地质地球物理探测原理[M]. 北京: 地质出版社, 1986

## Study and Application on the Theory of Multi-element Information Water Supply Survey ——An Instance of Water-lacking Hill Country in Zhenjiang

Chen Suozhong, Yangxu, Jiang Haiqing

(Jiangsu Provincial Key Laboratory of Geographic Information Science, Nanjing Normal University, Nanjing, 210097, PRC)

**Abstract:** According to the set theory (intersection) of mathematics and the theory of "multi-element information water supply survey", this paper established the logically inferential model of water supply survey in the water deficient hill country in Zhenjiang. By means of geologic remote-sensing research, geohydrologic and tectonic examination and geophysical synthetic prospecting, the authors gradually acquired the information about the watery blocks, water storage geologic body, water storage tectonics and idiographic placing of wells from region section point. Through the practice of water supply survey, the authors confirmed the advantages of "multi-element information theory" in water-supply survey in water-deficient hill country of the complicated tectonics. Simultaneously, the authors also recommended the practical problems that must be paid attention to during the procedure of making use of "multielement information theory".

**Key words:** Multi-element Information Theory, Hill Country, Water Supply Survey, Zhenjiang Jiangsu

[责任编辑: 严海琳]