

# “多重环套理论”在豫西缺水低山丘陵区 供水勘查中的应用研究

<sup>1</sup>王献坤 程生平 庞良 刘新建 郭东兴

(河南省地质调查院 郑州 450007)

摘要：本文以数学中的集合理论(交集)为基础,建立豫西缺水低山丘陵区供水勘查的逻辑推理模式。利用分析研究已有成果资料(A集信息),野外实地水文地质与构造地质调查(B集信息)以及地球物理综合勘察技术(C集信息),并特别重视各集信息的多子集信息相互印证,由区域-块段-点的逐步“聚焦”获得富水块段、蓄水地质体、蓄水构造、布井具体位置的信息。通过供水勘查实践,验证了“多重环套理论”在复杂的缺水山丘区供水勘查中的优越性,同时也指出了“多重环套理论”运用过程中应注意的问题。

关键词：多重环套理论；低山丘陵区；供水勘查研究；基岩找水

## 1 引言

河南省西部多为低山丘陵区,地表水、地下水分布极不均一,严重制约着当地的经济发展和人民生活水平的提高。特别是遇到干旱年份,人畜饮水出现严重不足。如1991年的干旱,造成郑州、洛阳、三门峡、平顶山、焦作等市约350万人、100万头大牲畜饮水出现严重困难。为解决豫西缺水低山丘陵区人畜饮水困难,河南省原地矿厅响应省委、省政府号召,组织有关单位进行供水勘查、找水定井工作。作者有幸参加了此项工作及山丘区的其它找水定井工作,为山区人民解决了燃眉之急。

山丘区基岩赋存裂隙和岩溶水,受强烈构造运动的影响,蓄水构造复杂。若仅用单要素信息勘查,查明地下水的赋存规律,存在较大难度,需要用能揭示基岩地下水运动规律多元信息方法综合勘查才能达到预期效果。本文就是利用多元信息理论之一“多重环套理论”在豫西缺水山丘区供水勘察中的应用研究与实践。

## 2、“多重环套理论”的数学表达

“环套理论”的数学含义为集合的交集,其简单数学表达式形式为 $(A \cap B) \cap C = \{x: x \in A \text{ 且 } x \in B \text{ 且 } x \in C\}$ 。如果 $f$ 是 $X$ 到 $Y$ 上的一个映射, $g$ 是 $Y$ 到 $Z$ 上的一个映射,则两个对应关系 $(X \rightarrow Y, Y \rightarrow Z)$ 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 $(g \cdot f)$ 。所谓“多重环套”,简单地讲就是“环套”中的“环套”,即: $D$ 是 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 的交集,而 $A$ 是 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ ……的交集, $B$ 是 $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$ ……的交集, $C$ 是 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ ……的交集。多重环套群集的水平(a)和垂直(b)关系如图1所示。

## 3 “多重环套理论”供水勘查的应用步骤

设区域室内资料的分析找水信息为A集,包括遥感分析( $A_1$ 集)、水文地质分析( $A_2$ 集)、构造地质分析( $A_3$ 集)、区域物探分析( $A_4$ 集)及其它资料分析( $A_5$ 、 $A_6$ ……);野外实地调查找水信息为B集,它是在区域室内资料分析的基础上,对可能的地区进行野外

<sup>1</sup> 第一作者简介：王献坤，男，1963年出生，工学学士，工程师，长期从事水文地质、水文物探工作。

实地调查、验证，包括地层调查（B<sub>1</sub>集）、构造调查（B<sub>2</sub>集）、水文地质调查（B<sub>3</sub>集）及其

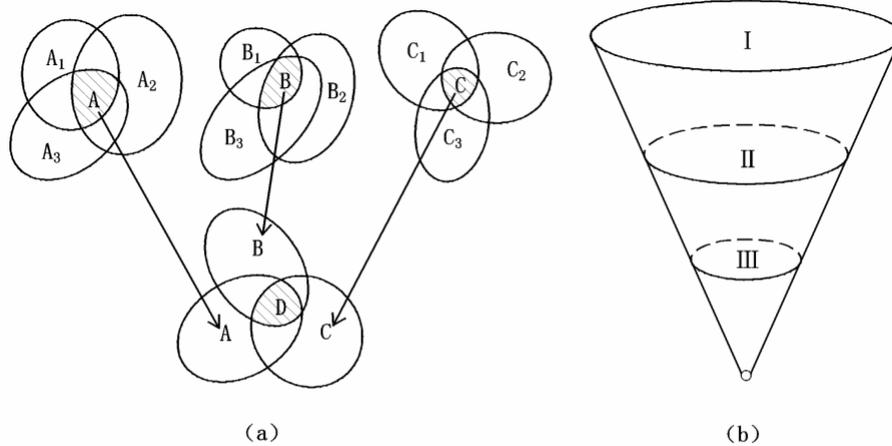


图1 多重环套群集的水平关系 (a) 和垂直关系 (b)

它调查（如矿产开采、地下水开采情况等）；地球物理找水勘探信息为C集，主要包括电阻率法（C<sub>1</sub>集，有中间梯度法、联合剖面法、对称四极测深法、偶极测深法等方法）、激发极化法（C<sub>2</sub>集，对称四极测深法）、声（音）频大地电磁场法（C<sub>3</sub>集）、静电卡法（C<sub>4</sub>集）等。

、若A集信息有水异常反映，则从宏观上反映了赋存地下水的信息。A集信息是充分利用以往的勘察成果以找水定井为目的进行综合分析，运用得当，可以达到事半功倍的效果。

、在有地下水赋存的可能地段，进行野外调查，实地寻找、验证蓄水构造与蓄水地质体等。如果两者同时存在，且有其它水文地质条件、地貌条件等相配合，那么认为该地段有地下水，在局部范围内勘测了地下水的存在。

、地球物理找水勘探（物探）是对蓄水构造的进一步勘察，采集的信息组成C集，从更小的块移及点上反映勘察地段是否存在地下水。

经过综合分析，确定井孔的具体位置。由于物探成果的多解性，要用多种物探方法进行工作，互相印证，且在解译过程中，充分考虑地层、构造、水文地质等条件，以得到真实的结果。上述找水推理过程就如同光学上的聚焦原理一样，由大面到小面，

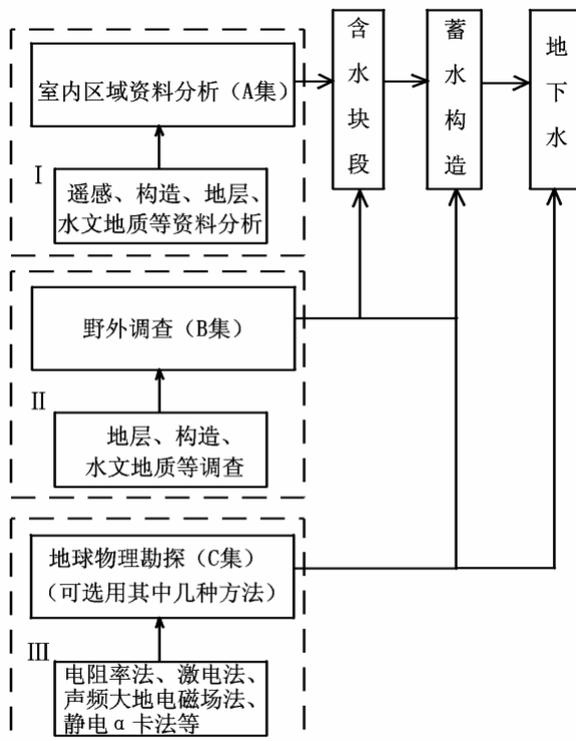


图2 应用“多重环套理论”的供水勘察工作路线

再到点，即 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。工作路线见图 2 所示。

## 4 找水实践

近年来，我单位在山丘区供水勘查工作中，坚持以“多重环套”理论为指导，采用传统物探方法，在前人定井失败的地点，找出了优质地下水。如汝州市王寨乡温庄种鸡厂供水勘查，前人已在此定井一处，凿井用水从几公里外用汽车拉来，最后以无水而告终；我单位应用多重环套理论为指导，从区域 局部 点进行了详细供水勘察，确定井位距原井位 20m，凿井深度 170m，出水量 50m<sup>3</sup>/h；以后又定井多眼，均获得成功。又如前述的梁洼定井，前人已多次定井失败，而我单位以“多重环套理论”为指导，进行了详细勘察，找出了优质地下水。这样的例子还有很多。

下面以河南省鲁山县梁洼镇供水勘查为例具体说明“多重环套理论”的应用。

梁洼镇及西北部为煤矿开采区（二叠系煤为主），地下水受煤矿矿坑排水影响，水资源贫乏。梁洼镇南部为寒武系碳酸盐岩地层，贮存岩溶裂隙水，但以往多次打井因为没有进行很好的勘察均以失败而告终，不得已花费几百万元引用沼平台干渠水作为供水水源。但近几年干渠水经常干涸，供水发生了严重困难。镇政府决定仍采用清洁、稳定的地下水作为供水水源，委托我院进行供水勘察工作。经过几个月的工作取得了满意的结果。

### 4.1 区域资料的分析

区域资料分析是 I 层次的分析，它是充分利用各类以往地质资料，进行以找水定井为目的的综合分析研究。获得 A 集信息（含水块段）经过反复的分析研究，梁洼南部一带碳酸盐地层分布区应赋存地下水，该区地层的寒武系以可溶盐岩层为主，断裂构造发育，裂隙、溶隙、溶洞发育，是赋存地下水的良好载体。（图 3）

### 4.2 野外调查

野外实地调查是 层次的工作，获得 B 集信息（蓄水地质体、蓄水构造）。它在 I 层次分析研究的基础上，进行野外实地调查，进一步研究和验证梁洼地区地层、构造、含水地质体与蓄水构造、水质状况等，并对重点地段进行重点剖析，掌握含水地质体的岩性、组分、产状及构造特征（图 3）。经过野外调查不但验证了已有的资料，还发现了许多小断层等，如 F<sub>6</sub> 断层即是本次新发现的断层。经过调查分析研究，在勘察区内存在多个蓄水构造，如八里坪一带（F<sub>6</sub> 断层）、扒头部西一带（F<sub>8</sub> 断层）、后连沟一带（F<sub>9</sub> 断裂）。

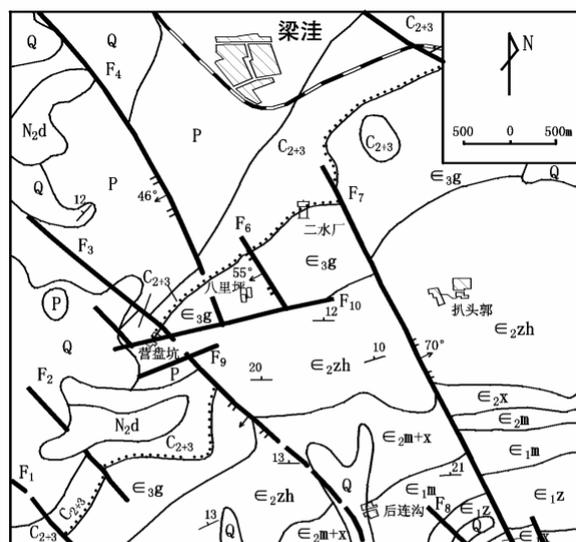
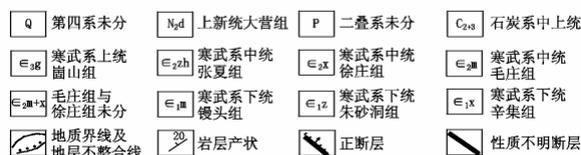


图3 梁洼地区地质图



如八里坪一带，该处断层发育，断层具张扭性。据推算 0-300m 深度内为寒武系岩溶地层，特别是张夏组灰岩（60-200m），质纯、裂隙、溶洞发育，是地下水良好的赋存汇集空间。F<sub>6</sub> 断层对本次定井有最直接的意义，断层带影响范围 30-40m，大部分被土层覆盖，局部可见岩层破碎、岩溶发育。

### 4.3 地球物理综合勘察（物探）

物探工作是 层次工作，获得 C 集信息，可查明蓄水构造的富水部位及井孔的具体位置。虽然应用遥感地质调查和水文地质、构造地质勘查技术经区域资料的分析研究、野外调查、验证确定了含水地质体及蓄水构造，但并不说明在含水地质体及蓄水构造内处处都能凿井取出地下水。为在蓄水构造中找到最佳井位，还需采用物探方法进行详细勘察。适合于山区找水定井的物探方法主要有：电阻率法，为传统方法，原理明确、可靠，但也经常出现有异常无水或有水无异常的现象；激电测深，该法大量用于找水时间较晚，但效果较好，在电阻率法不能发现异常时，仍有较明显的异常，且能在垂向上指出含水层位置，该法成本稍高，一般是在其它方法发现异常后，作高精度的探测；声频大地电磁场法，该法是最近几年发展起来的一种新方法，仪器轻便、工作快速，适合于普查；静电卡法，该法相对以前的放射性法有较大改进，效率成倍提高，它的优势是抗电磁干扰能力强。

本次梁洼找水定井共用三种物探方法，以八里坪测区为例进行介绍，工作布置见图 4。



图4 八里坪测区物探测线布置示意图

首先应用声频大地电磁场法在八里坪一带进行较大面积的普查测量，共布设 6 条剖面线，点距 10 m。其中 IV 号线异常较明显，见图 5。从图 5 可知，11-15 号点出现明显的低值负异常，参考其它资料，该异常是断层破碎带或岩溶发育带的反映。

#### 静电卡法

为了验证声频大地电磁场法，在 IV 号剖面线又进行静电卡测量，点距 20m，测量结果见图 6。12 号点异常最大，可达背景值 10 倍，且异常

带宽度较大，说明岩层的破碎宽度大，这些与声频大地电磁场法是一致的。

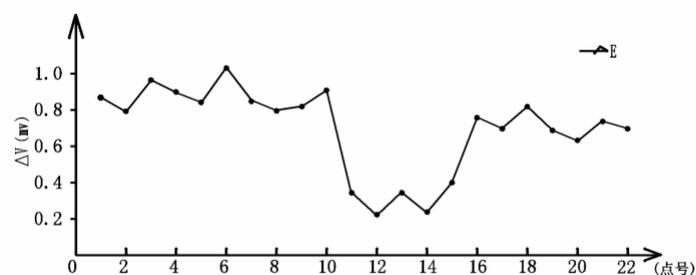


图5 IV号线上测定点号声频大地电场法的发电曲线

激发极化测深法（激电测深）：野外工作采用温纳装置，测量参数主要有极化率、激发比 J、衰减度 D 和视电阻率  $\rho_s$ 。本次工作在 IV 线的 12、14、16 号作了 3 个点的激发极化法测深。各点异常均有不同程度的反映，异常反映的深度从 12 至 16 号点逐渐变小，

推算倾角 50° -60° 左右，这与地质推断 F<sub>6</sub> 断层倾角、倾向是一致的。12 号点处异常较明

显,参考水文地质条件等因素出水深度(异常深度)较合适,是良好的最佳布井位置,见图7。从图7可推断如下地质信息:0-15m,粉质粘土夹碎石;15-30m,灰岩,发育有裂隙、溶洞;30-180m,灰岩较完整;180-230m,灰岩,局部破碎,岩溶发育;230-300m,灰岩、页岩。从图7还发现,视电阻率 $\rho_s$ 曲线对水异常没有明显的反映,而 $\rho_s$ 、J、D各曲线对异常均有很明显的反映。

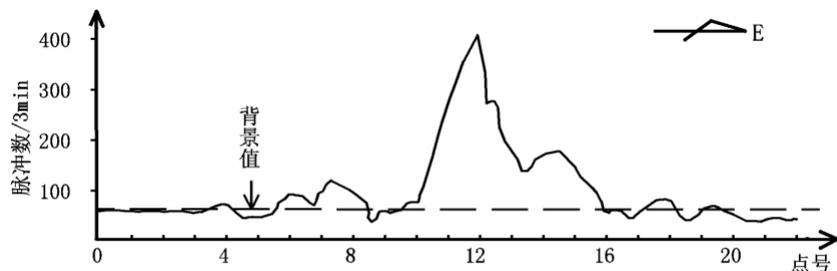


图6 静电 $\alpha$ 卡法脉冲数随点号的变化曲线(IV线)

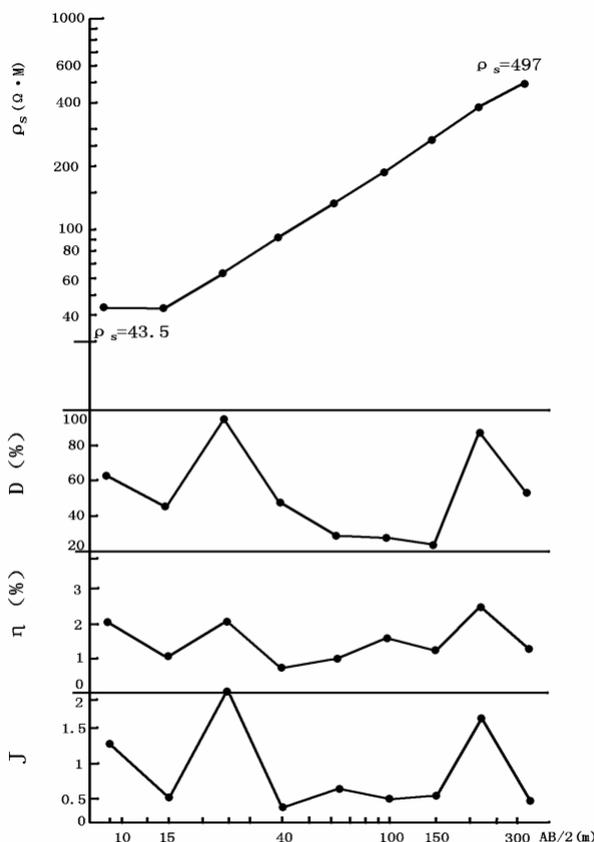


图7 激发极化测深曲线

#### 4.4 钻井验证

根据资料的分析研究,野外实地调查,物探综合勘查表明,12号点为合适的布井

位置。通过凿井钻探,钻探深度300m,钻探结果与最终推断结果基本上是一致的。在26m深处,遇到大溶洞,但有泥、砂质充填,并发生了吊钻等事故;在220m深处,岩层破碎、裂隙、溶洞发育,有漏浆情况发生;260m以下,页岩增多。通过抽水试验,静水位7.40m,降深28m,出水量 $51.61\text{m}^3/\text{h}$ 。

## 5、结论

应用“多重环套理论”进行供水勘察,是解决构造复杂的缺水低山丘陵区供水困难的行之有效的方法。特别是现在要求定井的地区一般前人均作过不同程度工作,往往被否定无水,因此更显得该方法重要。该方法通过“多重环套理论”的逻辑推理和从区域局部点的不同方法的勘察,

可以在前人认为无水的地区,找到优质的基岩地下水。

在应用“多重环套理论”指导基岩区供水勘察中,不但要坚持多环肯定,单环否定的原则,还要注意“环中环”(子环)的作用,一个环节出现了问题,就有可能使整个工作失败。另外,在多环肯定过程中,出现否定结果时,应认真分析,找出原因并给予解决。“多重环

套理论”在地下水勘察中的应用还有待于进一步实践，还有许多需要深化的地方，需要在以后的基岩区供水勘察中不断完善。

### 参 考 文 献

- [1] 霍明远.地下水资源系统勘查技术与综合评价方法.北京：科学技术出版社，1993
- [2] 汪培庄.模糊集与随机集落影.北京师范大学出版社.1985
- [3] 刘光亚.基岩地下水，北京：地质出版社，1979。