

鲁南碳酸盐岩丘陵贫水区典型地下水赋存模式分析

——以沂南、费县为例

韩 晔¹, 郑玉萍², 祁晓凡³, 尚 浩³, 张 卓³

(1. 天津华北地质勘查局地质研究所, 天津 300170 ;

2. 天津市控制地面沉降工作办公室, 天津 300061; 3. 山东省地质调查院, 济南 250013)

摘要: 根据山东省沂南、费县两县的抗旱找水打井工作, 利用物探定井、成井以及水文地质试验过程, 对松林、西柳沟、响井、颜河庄4个村的水文地质条件进行了深入分析, 总结了鲁南碳酸盐岩分布区两种典型的地下水蓄水模式, 即断层蓄水构造模式和裂隙-岩溶蓄水构造模式。断层蓄水构造主要分布于该区中下寒武统地层, 分布并不均匀和普遍, 出水效果主要取决于断层的分布、张扭性质以及地下水径流方向的补给源, 与地形情况关系不大; 裂隙-岩溶蓄水构造在该区主要分布于奥陶系及上寒武统地层, 裂隙岩溶发育, 富水性好, 发育较为广泛和普遍, 打井出水成功概率高。对于两种典型地下水赋存模式的深入分析, 可以为今后碳酸盐岩丘陵贫水区的地下水勘查工作提供思路。

关键词: 碳酸盐岩丘陵区; 地下水赋存模式; 鲁南地区

中图分类号: P631; P641 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)04-0109-05

The Occurrence Model Analysis of Groundwater in the Carbonate Water Deficit Hilly Regions in South Shandong ——A Case Study of Yinan and Feixian

HAN Ye¹, ZHENG Yur ping², QI Xiaofan³, SHANG Hao³, ZHANG Zhuo³

(1. Geological Institute of Tianjin North China Geological Exploration Bureau, Tianjin 300170, China;

2. Tianjin Land Subsidence Controlling Office, Tianjin 300061, China;

3. Shandong Institute of Geological Survey, Jinan 250013, China)

Abstract: The water resource explorations in Yinan and Feixian of Shandong Province, the geophysical exploration, well constructions and hydrogeological tests were conducted to investigate the hydrogeological conditions in Songlin, Xiliugou, Xiangjing, and Yanhezhuang. Two typical occurrence models of groundwater in the carbonate regions in South Shandong were summarized including the water storage structure model with faults and water storage structure model with fracture karst. Water storage structure model with faults is mainly distributed in the lower and middle Cambrian System and it is not uniformly or widely distributed. The water effluent effect mainly depends on the distribution and tensor shear property of the fault, and the recharge source of groundwater, while it isn't related with the topography. However, water storage structure model with fracture karst is mainly distributed in the Ordovician System and upper Cambrian System and it is widely spread. This model has good water effluent effects. The analysis of two typical occurrence models of groundwater can provide ideas for groundwater exploration in the carbonate water deficit regions.

Key words: carbonate hilly regions; occurrence models of groundwater; South Shandong

鲁中山区是典型的山丘贫水地区。由于地区海拔差异大、地下水补给条件差、供水管线铺设困难、经济欠发达等原因, 即使在正常年份, 人畜饮水也比较困难, 农业基本“靠天

吃饭”。在干旱年份, 居民用水更是难以得到保障, 经常出现饮水困难、粮食减产甚至绝收的情况。2010年-2011年冬春季, 一场持续大旱席卷山东省粮食主产区, 临沂地区旱情

达到 200 年一遇本次干旱导致 39.3 万人饮水困难, 全市 33.87 万 hm^2 小麦受旱, 其他作物受旱 9.01 万 hm^2 。

2011 年初, 由国土资源部组织的全国国土资源系统抗旱找水打井行动在全国范围内开展。山东省地质调查院受命在临沂的沂南、费县两县开展了为期 3 个月的抗旱找水打井工作。通过这几个月的工作, 成功打井数十眼, 钻取了不少水质水量优良的水井。本文根据此次抗旱打井工作, 总结出碳酸盐岩分布区具有供水意义的地下水赋存模式, 以期对今后的贫水区找水工作提供一些思路。

1 区域水文地质条件概述

本次工作碳酸盐岩分布区涉及临沂市沂南县及费县两县。根据地下水的赋存条件、水理性质及其水动力特征, 该区地下水可分为 2 类。

1.1 受断层构造控制的裂隙-岩溶水

该类型地下水主要赋存于寒武系张夏组、崮山组、炒米店组灰岩中被张性断裂所错动的部位。地下水的富水性主要受断裂构造发育情况控制, 断裂发育的部位涌水量可达 $1\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 以上, 不发育处则甚至小于 $50\text{ m}^3/\text{d}$ 。地下水主要补给来源为大气降水, 水位埋深差异较大, 受地形控制明显。地下水水化学类型多为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型水, 矿化度多在 1 g/L 以下。

1.2 受岩溶作用控制的裂隙-岩溶水

此类地下水分布于寒武系凤山组及奥陶系灰岩广泛分布的残丘丘陵区。地表岩溶地貌较为发育, 有利于大气降水的渗入。因此此类地下水主要补给源为大气降水, 主要排泄途径为人工开采。在地势低洼地带, 由于汇水条件好, 富水性较强, 单井涌水量 $1\,000\sim 3\,000\text{ m}^3/\text{d}$, 局部大于 $3\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 。地下水水位埋深多在 $2\sim 15\text{ m}$ 。地下水化学类型多为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型水, 矿化度小于 0.5 g/L 。

2 地下水赋存模式及典型案例分析

根据地下水赋存类型, 地下水的蓄水模式可以总结为两种: 碳酸盐岩断层构造蓄水和碳酸盐岩裂隙-岩溶构造蓄水。

2.1 碳酸盐岩断层构造蓄水

2.1.1 案例一: 沂南县依汶镇松林村 371321028J 号水井

(1) 地质及水文地质概况。场地位于大松林村与两泉庄两个村庄附近地区, 该区为山间谷地, 第四系浅覆盖。北东向丘陵大面积出露寒武系张夏组二段 (C_2z^2) 底部的黄绿色页岩夹泥灰岩透镜体, 含燧石结核薄层灰岩, 倾向南南西, 倾角 8° 左右。根据区域地质资料, 区内发育一条北西-南东向张性断层。目前区内已有两口水井, 见图 1。

根据水文地质条件, 现有两眼井之间的区域汇水条件很好, 这里地势低洼, 地下水补给区分布广泛, 水位埋深浅, 利于地下水的补给和汇集。因此将其作为目标区。

(2) 物探定井。在目标区内, 对北西向已知断裂布设了一条联合剖面 AB。剖面长度 340 m , 剖面方向为 22° , 点距 20 m , 采用 $AO=70\text{ m}$ 、 $MN=20\text{ m}$ 和 $AO=130\text{ m}$ 、 $MN=20\text{ m}$ 两种极距进行施测。 $AO=70\text{ m}$ 时在 110 号点附近出现正

交点, $AO=130\text{ m}$ 时在 102.5 号点附近出现正交点, 而且 ρ_A 、 ρ_B 曲线分离较好, 低阻特征明显, 推断为断裂引起, 见图 2。考虑施工条件及汇水条件后, 将具体位置选定在 103.5 号点上, 即最终成井位置。根据后续对 103.5 号点进行的电测深测量成果, 推断断裂深度在 80 m 左右, 富水段的深度也应在 $80\sim 100\text{ m}$ 。

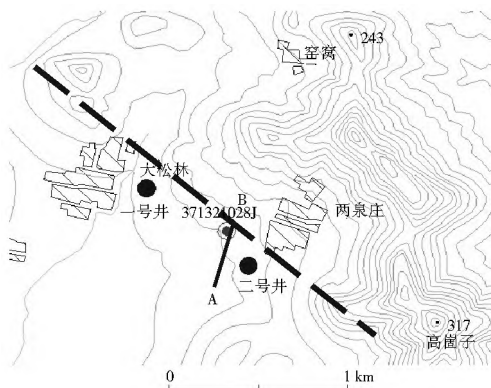


图 1 松林村 371321028J 号施工井及导水隐伏断裂平面图

Fig. 1 The No. 371321028J construction well and water-conductive buried fault in Songlin village

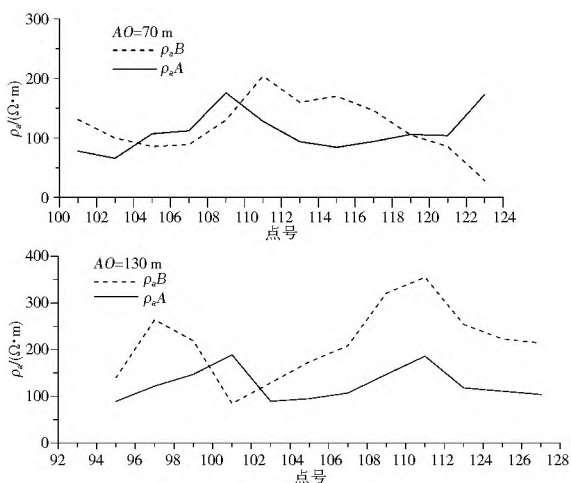


图 2 松林村 371321028J 联合剖面曲线

Fig. 2 The No. 371321028J composite profile curve of Songlin village

(3) 钻探及水文地质试验成果。371321028J 号水井的水文地质钻探揭露的地层为: $0\sim 5.2\text{ m}$, 棕黄色、黄棕色粉质黏土、黏土; $5.2\sim 6.2\text{ m}$, 薄层状黄绿色页岩、泥质页岩、粉砂质页岩, 较破碎; $6.2\sim 80\text{ m}$, 灰色厚层状鲕状灰岩夹白云质、泥质鲕状灰岩。 20 m 向下较破碎, 80 m 处极其破碎, 钻遇断层主断面, 涌水量突增。终孔后测得静水位埋深 12.27 m 。

通过抽水试验, 测得该井稳定降深 3.92 m 时涌水量 $37\text{ m}^3/\text{h}$, 求得导水系数 $T=135.5\text{ m}^2/\text{d}$, 渗透系数 $K=33.9\text{ m/d}$ 。经水质测试分析, 符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006) 对于农村小型集中供水饮用水水质标准, 是良好的饮用水水源。

(4) 讨论。在富水性相近, 具有类似蓄水构造的前提下, 为保证出水效果, 降低开采成本, 应充分考虑地下水汇集条件, 在更有利的位置成井。

2.1.2 案例二:沂南县马牧池乡西柳沟村 371321025J 号水井

(1) 案例简介。工作区地势西南高、东北低,周边分布有寒武系张夏组二段黄绿色页岩、薄层灰岩,张夏组一段厚层鲕状灰岩,部分地区覆盖第四系汶河洪积物。

水井点出露寒武系张夏组二段(ϵ_2z)底部黄绿色页岩夹泥灰岩透镜体,含燧石结核薄层灰岩,倾向北西,倾角 20° 左右。地质资料显示,区内未发现断裂构造。物探工作布设三条剖面,均未解译出理想的富水部位。

井点位置地势较低,南侧以及西侧为广泛发育的灰岩地层,具备良好的汇水条件,见图3。

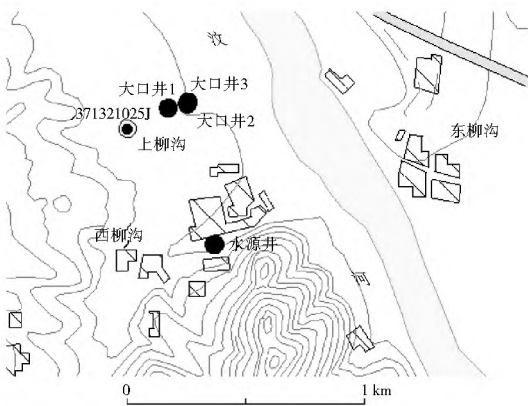


图3 西柳沟村 371321025J 号水井井位示意图

Fig. 3 Location of No. 371321025J well in Xiliugou village

从钻探成果看,0~18 m 为棕黄色、棕褐色粉质黏土;18~110 m 为薄层状黄绿色页岩、泥质页岩、粉砂质页岩夹泥灰岩透镜体,层底发育裂隙,岩芯较破碎;110~138 m 为灰色厚层状鲕状灰岩夹白云质、泥质鲕状灰岩。

井孔静水位埋深 5 465 m。以 $3.6\text{ m}^3/\text{h}$ 持续抽水 4 h,水位降深已达到 66 735 m,仍未达稳定状态,不足解决村庄用水问题。虽然钻探过程全部钻遇灰岩地层,且补给条件良好,然而由于灰岩的构造和岩溶不发育,不具备好的储水空间,因此最终井孔出水量极不理想。

(2) 讨论。该案例表明,在本区以寒武系张夏组薄层状灰岩为找水目的层的情况下,断层蓄水构造是成功打井出水的必要条件。即使具备良好汇水条件,无断裂提供地下水赋存空间仍无法打出理想水井。

2.1.3 案例三:费县朱田镇 371325111J 号水井

(1) 地质及水文地质概况。工作区大面积出露寒武系崮山组(ϵ_3g)黄绿色页岩、砾屑灰岩及微晶灰岩互层;下伏张夏组藻灰岩、鲕状灰岩地层。根据实地踏勘结果,拟布设水井点以北 20 m 为一条近东西走向张性正断层,倾向近南东向;井点以西 10 m 左右有一条南西—北东向压扭性小型正断层通过,为一正断层,近直立。

从地下水的补给条件看,井点以南为山间沟谷,是该区的地下水汇集区。经调查得知,机井 1 井深 160 m,出水量可达 $16\text{ m}^3/\text{h}$,于 2010 年塌方后废弃;机井 2 井深 180 m,出水量仅为 $3\text{ m}^3/\text{h}$;其余大口井出水量很小。选定井位地处半山腰,地面标高 210.5 m。单从地形地貌看,选定井位处不适宜成井,见图 4。

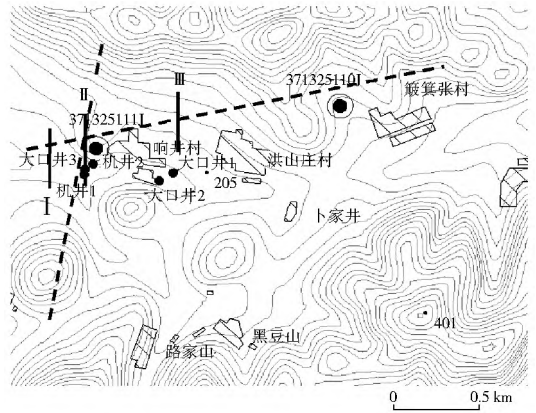


图4 响井村 371325111J 水井井位示意图

Fig. 4 Location of No. 371325111J well in Xiangjing village

(2) 物探定井。为查明东西向断裂走向,在响井村东、西两侧共布设 3 条电阻率联合剖面,见图 5。设定两套极距 $AO = 70\text{ m}$ 以及 $AO = 150\text{ m}$, $MN = 20\text{ m}$,点距 20 m。

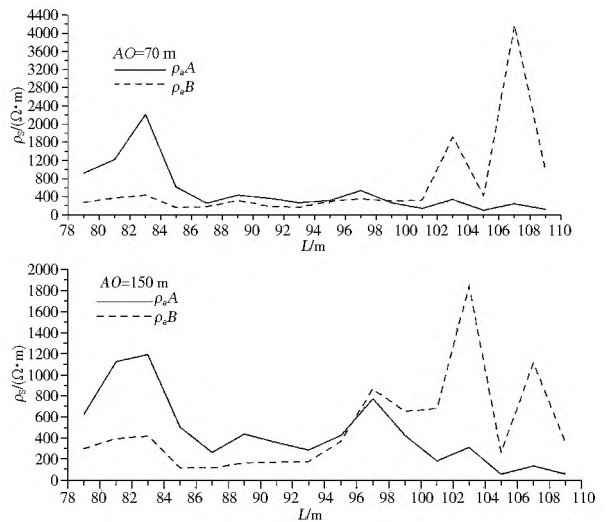


图5 响井村 $\bar{\rho}$ 线电阻率联合剖面曲线图

Fig. 5 Resistivity composite profile curve of Xiangjing village

综合对比 \bar{N} 、 $\bar{\rho}$ 、 \bar{O} 三条剖面曲线, \bar{N} 线两种极距正交点不够吻合; $\bar{\rho}$ 线以西有一条已知阻水断裂。综合考虑选定 $\bar{\rho}$ 线 97 号点作为成井位置,见图 5。后对 97 号点进行单点电测深,确定破碎带埋深 100~145 m 之间。据此确定水井设计深度 150 m。

(3) 钻探及水文地质试验成果。从钻探成果看,揭示地层为:0~0.2 m,棕褐色黏土,夹大量灰岩、泥质页岩碎块;0.2~30 m,黄色泥质页岩与薄层灰岩夹层互层;30~120 m,纯灰岩,自 60 m 向下出水量渐大,破碎程度越来越高,至 120 m 达到最大涌水量;120~145 m,纯灰岩,坚硬、致密。基本不含水、不透水。

从抽水试验结果看,在稳定降深 8 225 m 的情况下,出水量 $20.2\text{ m}^3/\text{h}$ 。求取导水系数 $T = 29.59\text{ m}^2/\text{d}$,渗透系数 $K = 5.92\text{ m/d}$ 。水质分析结果符合国标农村小型供水的饮用水标准。

(4) 讨论。从上述分析可知,地形因素虽然对于地下水补给起到重要作用,但是在碳酸盐岩分布区又非主导作用。具备了储水空间及地下水运移通道,即可成功打井出水。本

例中调查过的几眼已知井均位于谷地,但是出水量不能满足需要,而本次最终的成井虽处半山腰,但由于井位处于南西—北东向已知断裂与新勘查近东西向断裂的交汇处,保证了良好的出水效果。并且,井位处较高的地势和较近的距离使得村庄取水更加方便。

2.1.4 总结

由上述案例,可以总结出碳酸盐岩断层蓄水构造的特点如下。

(1) 以中、下寒武统为目的取水层位的地区,含水层富水性极不均匀。富水性主要受断裂控制。脆性灰岩被张性断裂错动的部位往往具备良好的储水条件,是找水的有利部位。

(2) 地形因素控制的汇水条件并非该类型的主要控水条件。实际工作中宜因地制宜,综合考虑,在成功出水的前提下减小开采成本及开采难度,增加取水的方便性。

2.2 碳酸盐岩裂隙—岩溶蓄水构造

以颜河庄 371325112J 号水井为案例。

(1) 地质及水文地质概况。该地段地貌上属于残丘丘陵,地表岩溶较为发育。水井点位处基本无第四系或有较薄的第四系红褐色黏土覆盖,大面积出露奥陶系马家沟组五阳山段(O_m^*)青灰色厚层灰岩、中层云斑灰岩夹角砾状泥质白云岩。该套地层产状平缓,岩溶普遍比较发育。井位处地势低洼,汇水条件良好,富水性强。

(2) 物探定井。在考虑施工条件,取水条件的基础上,共布置 6 个电阻率测深点。从图 6 所显示的电阻率测深剖面来看,明显可以看到在 4 号点附近 10~200 m 深度存在一条明显的低阻带,推测为富水带。

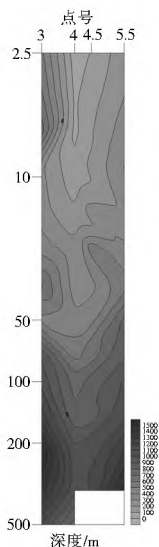


图 6 颜河庄电测深成果剖面图

Fig.6 Electrical sounding profile of Yanhe village

(3) 钻探及水文地质试验成果。从钻探成果来看:0~0.5 m 为红褐色黏土;0.5~57 m 为坚硬纯灰岩,完整、坚硬;57~71 m 为较破碎的碎屑状灰岩,碎屑直径多在 1 cm 左右;71~73 m,溶洞,充填红色黏土;73~78 m,较破碎灰岩,呈碎石状;78~176 m,较完整灰岩,质坚硬。

从抽水试验成果看,稳定降深 33.6 m 的情况下,涌水量 $20.2 \text{ m}^3/\text{h}$ 。求取导水系数 $T = 5.52 \text{ m}^2/\text{d}$,渗透系数 $K =$

0.39 m/d 。

在抽水试验进行中,前一阶段携带大量泥沙,待泥沙渐少水清澈之后,水位下降速率明显减小。说明抽水过程加强了地下含水层各溶洞之间的连通性。另外,该情况说明,成井后孔内保留了大量泥沙。终孔后必须及时洗井,防止含水层径流通道淤塞乃至井孔废弃情况的发生。

(4) 讨论。奥陶系及上寒武统地层在山东部分地区(如济南、枣庄、淄博等)是一套岩溶广泛发育的地层,富水条件好,往往蕴藏丰富的地下水资源。因此,此套地层发育的地方往往是较易打井出水的地区。

由于岩洞较发育,因此井孔施工时,需注意施工工艺,保证施工安全,防止卡钻、埋钻及塌孔等孔内事故。施工后应进行长时间抽水洗井,一方面达到“水清沙净”的要求,另一方面增加地下径流通道的连通性,增大涌水量,防止地下水径流通道淤塞。

3 结论

(1) 碳酸盐岩分布区找水主要有两个方向:以断层蓄水构造为主的找水方向;以裂隙—岩溶蓄水构造为主的找水方向。

(2) 断层蓄水构造找水时主要适用于以中下寒武统为找水目的层的情况。张性断层能够提供地下水的赋存空间,水井的出水效果主要取决于断层的性质以及地下水径流方向的补给源,与地势情况关系不大。断层蓄水构造含水层一般为非均质各向异性含水层,地下水多承压。

(3) 裂隙—岩溶蓄水构造找水时主要适用于以奥陶系及上寒武统地层为找水目的层的情况。该套地层裂隙岩溶发育,富水性好,打井出水成功概率高。打井时需注意施工安全并充分洗井以保证良好的出水效果。

参考文献(References):

- [1] 李国玺,郭海敏,马立新.塔河油田碳酸盐岩油藏找水工艺技术研究[J].石油天然气学报,2008,30(2):320-322. (LI Guoxi, GUO Hai min, MA Lixin. Technique for Water Searching in Carbonate Reservoirs of Tahe Oilfield[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2008, 30(2): 320-322. (in Chinese))
- [2] 李华,焦彦杰,吴文贤,等.西南岩溶地区找水的地球物理方法探讨[J].水文地质工程地质,2011,38(5):25-28. (LI Hua, JIAO Yanjie, WU Wenxian, et al. Tentative Analysis on the Geophysical Technique which is Compatible for Groundwater Exploration at Karst Area in Southwest of China[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2011, 38(5): 25-28. (in Chinese))
- [3] 冯润田.棋盘井地区岩溶找水获重大突破[J].内蒙古地质,2001,(1):28-30. (FENG Runtian. A Significant Breakthrough of Discovering Groundwater in Qipanjing Karst Region Inner Mongolia[J]. Geology of Inner Mongolia, 2001, (1): 25-28. (in Chinese))
- [4] 张贵.珠琳地区岩溶水分布规律及找水经验[J].水文地质工程地质,2003,(1):73-75. (ZHANG Gui. Occurrence of Karst Water and Groundwater Searching Experience in Zhulin Region of Guangan County, Yunnan Province[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2003, (1): 73-75. (in Chinese))
- [5] 席义明,杨涛毅.贵州岩溶石山区物探找水方法综合集成趋势

- 分析[J]. 贵州地质, 2012, (2): 108-110. (XI Yi ming, YANG Tai yi. Analyses on Development Direction of Comprehensive Geophysical Ground Water Exploration Technology in karst Mountain Area of Guizhou[J]. Guizhou Geology, 2012, (2): 108-110. (in Chinese))
- [6] 秦军付. 岩溶地区物探找水的技巧[J]. 广西水利水电, 2012, (3): 1-3. (QIN Jun fu. Skills of Water Search by Geophysical Prospecting in Karst Area[J]. Guangxi Water Resources and Hydropower Engineering, 2012, (3): 1-3. (in Chinese))
- [7] 张之淦, 陈伟海. 岩溶蓄水构造与找水——以广西来宾小平阳为例[J]. 水文地质工程地质, 2006, (6): 1-3. (ZHANG Zhi gang, CHEN Wei hai. Water bearing Structures in Karst Terrain: A Case Study in Xiaopingyang Area, Laibin, Guangxi[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2006, 6: 1-3. (in Chinese))
- [8] 焦彦杰, 吴文贤, 杨剑, 等. 云南岩溶石山区物探找水方法与实例分析[J]. 中国地质, 2011, 38(3): 13-15. (JIAO Yan Jie, WU Wen xian, YANG Jian, et al. Geophysical Water Exploration Methods in Stone Mountain Karst Areas and Case Analysis [J]. Geology in China, 2011, 38(3): 13-15. (in Chinese))
- [9] 王伟, 向群. 黔西北地区岩溶水系统划分及找水方向[J]. 贵州地质, 2010, 27(1): 49-52. (WANG Wei, XIANG Qun. Division of Karst Water System and Water Prospecting Direction in Northwest Guizhou[J]. Guizhou Geology, 2010, 27(1): 49-52. (in Chinese))
- [10] 郑东明, 叶松青, 孟庆龙, 等. 基岩山区找水电测深曲线解释初探[J]. 吉林地质, 2005, 24(1): 22-25. (ZHENG Dong ming, YE Song qing, MENG Qing long, et al. Interpretation of Electrical Sounding Curves of Water Research in the Bedrock Mountain Area[J]. Jilin Geology, 2005, 24(1): 22-25. (in Chinese))
- [11] 彭玉明. 沂南县贫水区找水定井技术研究[J]. 山东国土资源, 2012, 28(1): 34-36. (PENG Yu ming. Research on Borehole Location Techniques in Water Shortage Mountain Areas in Yinan County[J]. Shandong Land and Resources, 2012, 28(1): 34-36. (in Chinese))
- [12] 武选民, 郭建强, 文冬光, 等. “逐步逼近式”找水方法及其在缺水地区水文地质勘查中的应用[J]. 西北地质, 2009, (4): 14-16. (WU Xuan min, GUO Jian qiang, WEN Dong guang. The Successive Approximation Method on Groundwater Exploration and Its Application in Hydrogeological Investigation in Water shortage Areas[J]. Northwestern Geology, 2009, (4): 14-16. (in Chinese))
- [13] 陈鑫发, 牛建设. 空气潜孔锤钻进技术在豫西抗旱找水打井施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2001, 38(10): 37-39. (Chen Xin fa, Niu Jian she. Construction for Drought Resistance in Westem Henan[J]. Exploration Engineering(Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2001, 38(10): 37-39. (in Chinese))
- [14] 刘新号. 基于蓄水构造类型的山区综合找水技术[J]. 水文地质工程地质, 2011, 38(6): 24-26. (LIU Xin hao. Integrated Techniques of Locating Groundwater in Mountain Areas Based on Groundwater impounding Types[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2011, 38(6): 24-26. (in Chinese))
- [15] 王祥永, 王建, 彭超, 等. 泰安市山丘区地下水找水方向[J]. 山东国土资源, 2011, 27(11): 26-28. (WANG Xiang yong, WANG Jian, PENG Chao, et al. Direction of Underground Water Exploitation in Hilly Areas in Tai'an City[J]. Shandong Land and Resources, 2011, 27(11): 26-28. (in Chinese))

(上接第 108 页)

- [12] Chen C X, Jiao J J. Numerical Simulation of Pumping Test in Multilayer Wells with Non Darcy Flow in the Wellbore[J]. Ground Water, 1999, 37(3): 465-474.
- [13] 王允麒, 王涟, 孙存忠. 辐射管集水计算模型研究[J]. 工程勘察, 1994, (5): 26-28. (WANG Yun qi, WANG Lian, SUN Cun zhong. The Research on Calculated Model of Water Collection into the Radial Well[J]. Geotechnical Investigation and Surveying, 1994, (5): 26-28. (in Chinese))
- [14] 陈崇希. 岩溶管缝-裂隙-孔隙三重空隙介质地下水流模型及模拟方法研究[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 1995, 20(4): 361-366. (CHEN Chong-xi. Groundwater Flow Model and Simulation Method in Triple Media of Karstic Tube Fissure Pore[J]. Earth Science Journal of China University of Geosciences, 1995, 20(4): 361-366. (in Chinese))
- [15] 曾献奎, 卢文喜, 王伟卓, 等. 地下水与地表水耦合模拟模型研究与展望[J]. 人民黄河, 2009, 31(11): 47-49. (ZENG Xian kui, LU Wen xi, WANG Wei zhuo, et al. The Research and Prospection of Groundwater and Surface Water Coupling Model[J]. Yellow River, 2009, 31(11): 47-49. (in Chinese))