

文章编号: 1009-6248(2009)04-00102-07

“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

武选民¹, 郭建强², 文冬光¹, 张福存², 武毅² 张二勇¹ 李旭峰²

(1. 中国地质调查局, 北京 100011; 2. 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 保定 071051)

摘要: 在缺水地区开展找水水文地质勘查工作, 如何提高成井供水效率, 科学的找水方法至关重要。笔者介绍近10年来在我国西部地区300多个缺水村镇找水水文地质勘查实践中, 总结出“逐步逼近式”找水方法。主要包括利用前人调查成果通过预研究确定找水方向、应用遥感解译方法圈定找水靶区、辅以简易快速物探方法的中比例尺地面调查确定富水地段、详细地面调查与物探组合技术结合优化确定钻探孔位、不同含水层选择相应钻探方法和成井工艺5个步骤。以及针对不同找水区在遥感数据源选择、简易快速物探方法应用与多方法有效组合探测的技术要点。

关键词: 缺水地区; 逐步逼近; 找水技术; 应用

中图分类号: P641 **文献标识码:** A

1 问题与研究意义

我国西部陕、甘、宁、青、新、川、渝、滇等13省(区、市), 严重缺水区面积达217万 km^2 , 坐落在这些地区的数百个村镇居民的生产生活用水仍然缺乏保障。有些村镇在旱季从几十里外拉水, 人力、财力消耗巨大; 有些村镇居民吃水完全依靠“水窖”积存雨水, 干旱年份根本无水可积; 有些村镇人畜共饮涝池水, 有些长期饮用苦咸水或氟、砷等含量超标的水。

为解决这些地区居民的生活生产用水疾苦, 自20世纪50年代开始, 我国相关部门及广大水文地质工作者先后开展过大量的水文地质调查与评价工作。原地质矿产部曾于1995年至1998年实施了“西北地区地下水特别勘查计划”, 先后发现了一批可供

当地开发利用的地下水源地。国土资源部中国地质调查局于1999年以来, 始终将这些缺水村镇居民的饮用缺水问题作为重点课题之一进行调查(武选民等, 2006; 侯光才等, 2007; 刘瑞萍等, 2008)。上述工作极大地改善了这些村镇的生产生活用水条件。

老一辈水文地质工作者在实践中也曾总结出了在不同缺水地区的找水方法和经验。如应用航片解译技术, 通过对地质-水文地质现象的解译分析, 判断地下水可能赋存的地段。通过对地表植被分布及其生长的观察分析, 来判断地下水埋藏、水质等情况的找水方法。在基岩山区通过对地质构造的调查研究, 寻找地下水可能埋藏与富集地段的找水方法。应用地球物理电阻率探测技术, 间接判断岩层的含水性等要素的找水方法等等。同时还总结出了很多

收稿日期: 2009-09-17; 修回日期: 2009-10-12

基金项目: 中国地质调查局地质大调查计划项目(1999~2006年)“西部严重缺水地区人畜饮用地下水勘查示范”(项目编号: 1212010535401)。

作者简介: 武选民(1958-), 男, 博士, 教授级高工, 主要从事水文地质、环境地质调查研究与管理。电话: 010-58584576;

E-mail: wuxuanmin@126.com。

找水谚语，如“两沟相交、泉水滔滔”，“两山夹一嘴、嘴前常有水”，“遇到掌心地、找水很有利”，“岩层平如桌、有水也不多”等等（河北省第四水文地质大队，1979）。这些方法和经验对于指导找水起到了重要作用。

但是，针对目前仍然严重缺水的这些村镇，在找水中所遇到地质-水文地质的问题，与以往相比其难度发生了极大变化，如在极度缺水的基岩山区寻找地下水相对富集地段；在咸淡水交错叠置的第四系松散层地区，寻找可供长期开发利用的淡水，并长期开发利用等。用传统找水方法（经验）对解决这些难题已无能为力。现代遥感技术、地球物理探测方法、钻探工艺以及水文地质科学自身发展与应用，为解决这些技术难题提供了基础支撑。但是，如何有效利用这些新技术、新方法，就成为找水水文地质勘查工作者首先要解决方法论与技术路线问

题。

1999年以来，中国地质调查在开展我国西部地区、辽西山区缺水村镇找水水文地质勘查过程中，总结出了“逐步逼近式”找水新方法。作者代表项目组将其介绍给同行们，以期能为缺水地区的找水水文地质勘查工作提供借鉴。

2 “逐步逼近式”找水方法的技术路线

所谓的“逐步逼近式”找水方法是指针对某一特定缺水村镇，为达到打井供水这一终极目标，所应开展水文地质勘查的工作步骤。逐步逼近的含义是从区域地质——水文地质调查开始，一步一步缩小调查研究范围，最终优化确定出取水井位置，这样逐步逼近目标的系统找水技术方法核心包含5个实施步骤（图1）。

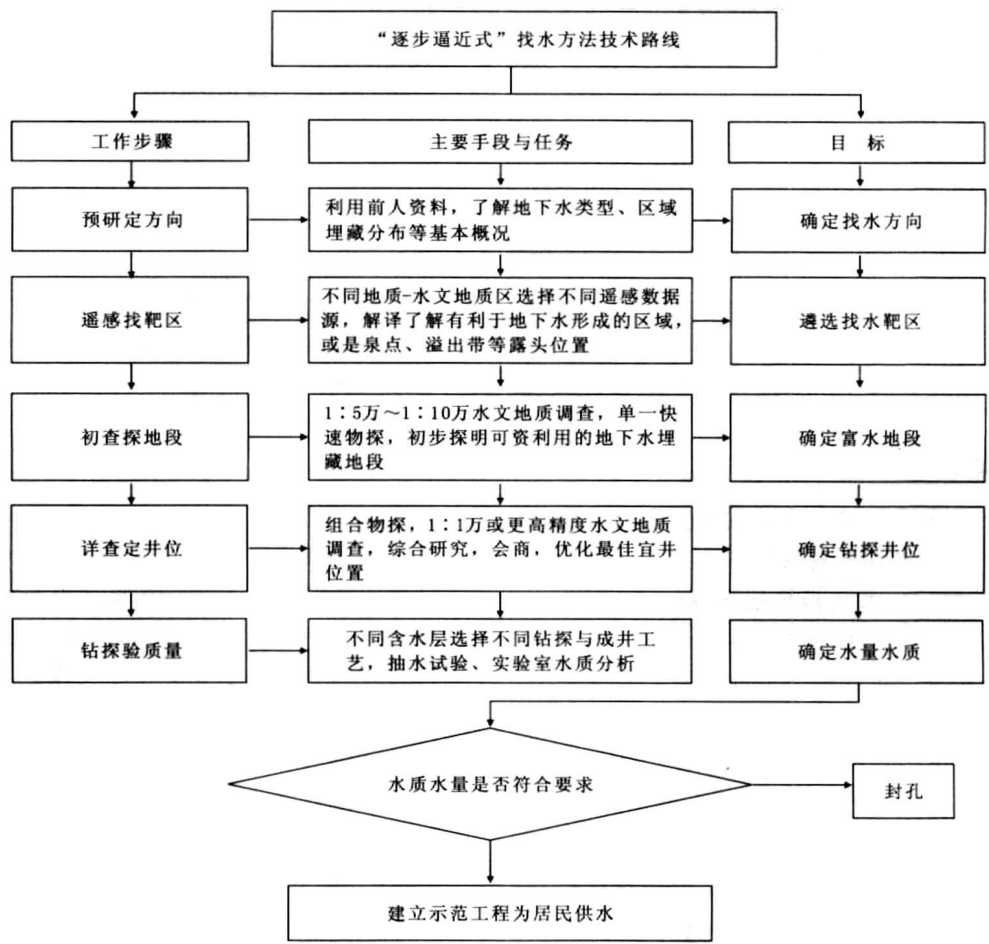


图1 “逐步逼近式”找水方法技术路线图

Fig.1 The technical routing of step by step approximant method to find groundwater

2.1 预研定方向

指要应用前人地质、水文地质调查成果资料,通过对找水的可行性研究,大致确定出找水方向。

2.2 遥感找靶区

指针对不同地质-水文地质区选用不同的遥感数据,通过以遥感解译为主要手段的区域水文地质信息解译,遴选出具有找水前景的调查靶区。

2.3 初查探地段

指在所遴选的靶区内,开展以 1:5 万或 1:10 万精度水文地质调查为主,辅以简易、快速、单一的地球物理探测(不同地区选用不同的物探方法),初步圈定出可供利用的地下水埋藏地段。

2.4 详查定井位

指在初步圈定出的地段内,以经济、有效的地球物理组合探测技术为主(不同地区组合方法不同),通过 1:1 万或者更大比例尺供水水文地质详细调查,以及对各种信息的综合研究等,优化确定出实施钻探工程的钻孔位置,并取得设计钻孔所必需的地层参数。

2.5 钻探验质量

指针对不同含水层(体)要选择不同的钻探方法和成井工艺,通过钻探成井、抽水试验、实验室水质分析等,获取水位埋深、出水量、水质等定量参数,以确定是否具有利用价值的供水井。

3 各步骤主要目的及其应用要点

3.1 预研定方向

我国近半个多世纪的水文地质调查研究,已近积累的 1:20 万水文地质普查资料覆盖面积达 400 多万 km^2 , 1:50 万水文地质普查资料近 300 万 km^2 , 部分地区还开展过 1:5 万~1:10 万的专门水文地质勘查工作。前人调查研究成果不仅为今天的进一步开展工作提供了宝贵资料基础,而且我国也已建成了 1:20 万水文地质普查成果为主的信息系统,为这些资料的使用提供了方便平台。

针对拟开展找水工作的村镇,第一步工作就是要通过对前人成果的收集与分析,了解缺水村镇及其周边地下水的类型、埋藏与分布特征、开发利用条件等基本信息,拟定找水的主攻方向。如,地下水类型(孔隙水、裂隙水、岩溶水)、大概位置(山

区、山前、平原)等。主要目的是为部署后续的遥感解译、地面调查等工作提供依据。

3.2 遥感找靶区

在初步拟定找水的主攻方向后,第二步就是通过遥感技术的应用,确定需要开展地面水文地质调查工作的靶区。主要目的是为水文地质专业、地球物理专业实施实际调查与探测提供必要依据。

遥感图像(数据)具有信息量大、多时相、更新快获取方便费用低,以及分辨率日趋增高等优点。近年来,随着 ETM、SPOT、INSAR 等高分辨率数据的获取日趋方便,解译技术快速发展,遥感技术与地理信息系统(GIS)、全球定位系统(GPS)等技术的综合应用,它已经成为人们研究相关课题不可缺少的工具之一(乔彦肖,1999)。在水文地质调查中通过遥感解译既能快速了解区域水文、地质与水文地质、构造发育等基本现状,也可以通过多时相数据对比分析了解其演化过程。也可以用来扑捉泉水或溢出带,沙漠地区古河道埋藏、咸水与淡水分布状况等直观信息。但是,由于我国地域辽阔,从南到北从东到西,地质、水文地质条件地域差异较大,与地下水相关的水文、气候、植被等时空变化也具有独特的规律(陈梦熊等,2002),不同时相遥感数据所反映的信息差异较大。因此,在不同水文地质区找水,因需要解决的水文地质科学问题不同,有针对性的选择不同特点、不同时相遥感数据源则更为重要(武选民等,2006;辜彬等,1993)。否则,往往事倍功半。本次研究总结出的不同水文地质区应选择的遥感数据源列于附表 1。

3.3 初查探地段

这一步骤是指水文地质专业人员在所确定的找水靶区内通过地面初步水文地质调查,以及地球物理探测方法的应用,将工作靶区缩小到某一地段。主要目的为开展更详细的水文地质调查、地球物理探测提供依据。初步水文地质调查是在前人已有工作基础上进行,一般可按照 1:5 万的技术要求部署。地质、水文地质条件相对简单地区也可按照 1:10 万的要求进行。

在这一阶段,地球物理勘探应以经济、简单易单一快速的方法为主。但需要注意的是方法自身对探测不同水文地质区与地下水相关信息的有效性。

3.4 详查定孔位

表1 不同水文地质区遥感数据来源选择

Tab. 1 The suit condition of remote sensing data for different hydrology area

水文地质区	地 下 水 类 型	遥 感 数 据 选 择
内陆盆地山前平原区	山前活动断裂和隐伏构造裂隙水	初冬季节获取的热红外图像或秋季的可见光
	山前冲洪积扇区松散孔隙水	地面分辨率高的影像
	扇前平原区孔隙水	夏、秋季的全色波段影像, 以及对干涉具有较强穿透能力的微波影像
	冲洪积扇前缘与平原区交接地段泉水、地下水溢出带	秋季获取的可见光、红外影像或春初、秋末获取的热红外影像
黄土覆盖区	黄土裂隙水	选用 TM 影像解译黄土地貌类型, 选择春季或冬季空间分辨率较高的影像, 提高微地貌景观特征的解译精度; 选择大比例尺黑白或彩红外航片, ETM、SPOT 以及微波雷达影像等, 可较好地反映地表及次地表的土壤水分, 可圈定杖形地、掌形地等局部富水区
	碎屑岩孔隙裂隙水、基岩裂隙水及岩溶水	选择秋季多光谱影像和微波雷达图像较为适用。TM/ETM 图像对解译隐伏断裂构造有明显的表征, 微波雷达能敏感地探测到微地貌变化及隐伏断裂破碎带
基岩山区	山间盆地、河谷川地松散岩类孔隙水	可见光和红外波段影像
	碎屑岩构造盆地、熔岩台地、裸露或隐伏碳酸盐岩区、向斜两翼区	近红外到中红外波段
	构造裂隙水	红外波段 或微波遥感图像
	盆地边缘和河谷川地地下水溢出带、泉水出露点	TM6 或 ETM6 热红外波段影像及航空热红外影像
红层地区	浅层地下水及隐伏构造裂隙水	利用红外波段及热红外波段影像, 时间段的选择以春季无降水或降水很少期间的图像为主要数据源; 依靠具有较高空间分辨率的 ETM、SPOT 卫星影像以及航空影像, 查明区内微地貌特征、褶皱、断裂构造发育程度, 确定含水岩层, 圈定可能的富水构造部位

这一步骤是决定通过打井工程的实施, 能否为缺水村镇居民提供可持续供水水源的关键环节。主要工作内容是要求水文地质专业人员在所选定的可能地段内, 开展1:1万甚至更大比例尺的水文地质调查, 初步确定出实施钻探工程的位置。要求地球物理专业人员在水文地质人员确定的范围内, 开展多方法组合探测, 为水文地质人员综合分析、最终确定井位提供详细的信息, 为钻探工作实施提供必要的参数。这个阶段的关键是要做到水文地质、地球物理等不同专业人员之间的会商, 通过对各种信息的综合、去伪存真、经验判断等, 可以把失败风险减低到最小程度。地球物理探测技术从20世纪50~60年代被应用到地下水勘查以来, 经过半个多世纪的发展, 已经从早期的直流电测深发展到电磁法、重力、磁法、地温法等7大类几十种方法(表2)(武选民等, 2006)。

地球物理探测多方法的组合应用, 可以解决单一方法多解性带来的信息失真, 误导水文地质专业的判断。

表2 可用于地下水勘查的地球物理方法

Tab. 2 The geophysical method available for groundwater survey

重力	重力法	磁法	磁 法	
	微重力法		高精度磁测	
放	α 径迹法	地震	高分辨率浅层地震法	
	α 卡法		三维地震法	
射 性	α 杯法	电 		

表3 不同类型地下水勘探地球物理方法选择与组合

Tab.3 Optimization grouping of geophysical methods for exploring groundwater in different water-bearing media

地下水类型	条件/特征		方法及组合	作用	适应范围
孔隙水	浅层 (< 100m)	古河道型	电阻率剖面法+ 电阻率测深法 或高密度电阻率法 或音频大地电磁测深 * 核磁共振法	剖面法用于确定古河道位置及走向, 电测深法用于确定岩性特征和含水层埋深与厚度	盆地、平原地区, 山前冲洪积扇, 山间谷地, 河床阶地等的松散、胶结与半胶结岩类孔隙水
				高密度电阻率法兼具剖面与测深特点, 可代替上述两种方法	
				核磁共振法可用于确定含水层埋深、厚度和水量估评, 水文地质条件较差的地区可选用	
	中深层 (> 100m)	其他	电阻率测深 或高密度电阻率法 * 核磁共振法	电测深法、高密度电阻率法、核磁共振法作用同上	
		咸淡水划分	电阻率测深	根据含水层电阻率值分析判断地下水矿化度, 划分咸淡水界面, 埋深等	
		全部	音频大地电磁测深 或瞬变电磁法	两种方法均可用于确定含水层埋深、厚度、分布状况及岩性特征	
黄土孔隙裂隙水	浅层(< 100m)		电阻率测深+ 激发极化法	电阻率测深用于判断黄土层的厚度与埋深, 激发极化用于判断水位、富水性	黄土高原地区黄土塬、峁、梁、杖、掌地等孔隙裂隙地下水
			* 核磁共振法 * 高密度电阻率法	核磁共振法可以确定水位、含水量, 水文地质条件较差的地方可选用; 高密度电阻率可以用于判断黄土层厚度等, 可选用	
	中深层(> 100m)		电阻率测深或音频大地电磁测深	用于确定黄土层厚度、地层结构等	
基岩裂隙水	基岩裸露、半裸露和浅埋藏地区 (覆盖层< 50m)		音频大地电场法+ 激发极化法+ 音频大地电磁测深法 音频法可用放射性、甚低频法、电磁剖面法等简易方法代替, 条件允许和水文地质条件差地区可用核磁共振代替激发极化法	音频大地电磁法可用瞬变电磁法代替。音频大地电场法(放射性、甚低频、电磁剖面法) 可用于快速调查构造位置、岩性界面, 判定构造走向, 富水性等; 激发极化用于判断深度破碎带位置, 富水性; 音频大地电磁法可用于准确判断构造特征, 岩性完整程度, 为定孔设计提供依据	基岩山区的构造裂隙水, 风化裂隙水, 成岩裂隙水等
	基岩深埋藏地区 (覆盖层> 50m)		音频大地电磁测深+ 地震反射波法音频大地电磁测深法可用瞬变电磁测深代替	音频大地电磁测深可用于判断覆盖层厚度、隐伏构造位置及岩性特征; 地震可用精确判断构造裂隙带的发育特征, 提供钻孔依据	
岩溶水	岩溶裂隙溶隙水		方法同基岩裂隙水		碳酸盐岩地区的裂隙、溶隙及管道岩溶水
	管道岩溶水(埋深< 150m)		充电法+ 音频大地电磁法 充电法可以用音频大地电场、电磁剖面等方法代替; 音频大地电磁法可用瞬变电磁法代替	充电法可通过岩溶“天窗”, 确定管道的走向、分布, 音频大地电磁法用于确定岩溶的埋深及形态	
红层风化裂隙水			高密度电阻法 或电测深法	高密度电阻率法可用于确定有利的风化、构造裂隙发育部位, 划分咸淡水界面埋深。电阻率测深可用于确定风化层厚度、状态及咸淡水界面	红层地区的风化裂隙水、构造裂隙水

但是,各类方法在不同水文地质区能够解决的地下水问题差异很大,如何有效使用各种方法以及选择那些方法进行最佳、最经济的组合,也是必须关注的重要环节。本次在不同地区找水中总结出组合技术列于表3(武选民等,2006;卢金凯,1985;武毅等,2002)。

3.5 钻探质量

钻探包括钻井技术和成井工艺两个环节。对于需要钻孔揭露的导水、储水意义的断裂带、裂隙等关键部位,如果钻探过程的泥浆比不合理,后期洗井方法不当,也可能导致阻塞导水通道而人为干孔。在第四系粉细砂含水层中成井,因滤水存在问题造成水量小无法达到供水目的,或者因涌砂於井很快报废的例子屡见不鲜。因此,对不同含水层(体)采用最佳钻探技术、适宜成井工艺也至关重要。同时,对完成的井孔实施现场抽水试验、取样和室内水质分析等工作,最终获取水位、出水量、水质等定量数据。

4 应用效果

“西部严重缺水地区人畜饮用地下水勘查示范”项目自1999年实施以来,通过对找水技术方法的不断探索总结,以及“逐步逼近式”方法的推广应用,显示出了良好效果。如,本项目在西北干旱区的青海省西宁、陇中等中生代碎屑岩盆地,河西走廊、塔里木等第四系盆地,辽宁西部山区和山西吕梁山区等300多个缺水村镇,无论是在基岩山区寻找裂隙水相对富集地段、储水构造,还是在第四系盆地的咸淡水交错分布区寻找淡水层(体)埋藏地段过程中,通过这一方法应用,所实施的400多个钻探孔位,其成井率达到95%,与国内同类项目成井率80%的指标相比较,将成井率指标提高了15个百分点。

5 问题与建议

由于严重缺水地区地下水埋藏的复杂性、地球物理解译的多解性,应用物探技术找水往往需要多种方法相互验证,也会造成人力、财力投入较大。建议通过各种方法在不同地区适宜性的继续研究,进一步探索经济、有效的物探技术方法(武选民等,2005)。

参考文献(References):

- 武选民,等.西部严重缺水地区人畜饮用地下水勘查示范工程[M].北京:中国大地出版社,2006.
- 侯光才,张茂省,王永和,等.鄂尔多斯盆地地下水资源开发利用[J].西北地质,2007,40(1):7-34.
- 刘瑞萍,朱桦,杨炳超,等.大荔潜水含水层中氟的赋存规律及水化学成因[J].西北地质[J].2008,41(3):134-141.
- 河北省第四水文地质大队.水文地质手册[M].北京:地质出版社,1979.
- 乔彦肖.遥感技术在河北省新一轮1:20万区域水文地质普查中的应用效果分析[J].遥感信息,1999:32-34.
- 陈梦熊,马凤山.中国地下水资源与环境[M].北京:地震出版社,2002.
- 辜彬,方方.基岩裂隙水调查的遥感物探方法[M].地质出版社,1993.
- 卢金凯.基岩裂隙水的野外调查方法[M].地质出版社,1985.
- 武毅,郭建强,等.多种物探技术勘查宁南深层岩溶水的组合试验[J].物探与化探,2002,26(2):113-117.
- 武选民,文冬光,吴登定.我国主要平原盆地地下水资源可持续利用的几点思考[J].水文地质工程地质,2005,32(1):96-99.
- WU Xuanmin. Groundwater exploration for drinking in the water-shortage area of the western China [M]. China Land Press, Beijing, 2006.
- HOU Guangcai, ZHANG Maosheng, WANG Yonghe, et al. Groundwater Resources of the Ordos Basin and Its Development and Utilization [J]. Northwestern Geology, 2007, 40(1):7-34.
- LIU Ruiping, ZHU Hua, YANG Bingchao, et al. Occurrence Pattern and Hydrochemistry Cause of The Shallow Groundwater Flouride in the Dali County, Shaanxi Province[J]. Northwestern Geology, 2008, 41(3):134-141.
- WU Yi, GUO Jianqiang, et al. The Combination of Varied Geophysical Techniques in Exploring Deep-seated Karstic water of South Ningxia [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2002, 26(2):113-117.
- CHEN Mengxiong, MA Fengshan. Groudwater resource and environment in China [M]. Earthquake Press, Beijing, 2002.
- WU Xuanmin, WEN Dongguang, WU Dengding. Some thoughts on sustainable utilization of groundwater

resource in the main large plains and basins of China (1): 96-99.

[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2005, 32

The Successive Approximation Method on Groundwater Exploration and Its Application in Hydrogeological Investigation in Water-shortage Areas

WU Xuan-min¹, GUO Jian-qiang², WEN Dong-guang¹, ZHANG Fu-cun²,
WU Yi², ZHANG Er-yong¹, LI Xu-feng²

(1. China Geological Survey, Beijing 100011, China; 2. Center for Hydrogeology and Environmental Geology Survey, CGS, Baoding 071051, China)

Abstract: The application of scientific groundwater exploration is most important to improve efficiency of well construction and water supply for hydrogeological survey of groundwater exploration in water-shortage areas. In this paper, we introduced practices of groundwater exploration which were carried out in more than 300 water-shortage villages and towns over the past decade, and summarized the successive approximation method on groundwater exploration. There were five main steps for this method. The first was confirming the groundwater exploration direction by pre-research with convenient survey data. The second was delineating underground water-bearing area with remote sensing techniques. The third was confirming water-rich aquifers by medium surface investigation with simple fast geophysical exploration methods. The fourth was designing the well with further detailed surface investigation and combined geophysical techniques. The last was selecting drilling methods and well construction technologies according to characteristics of groundwater aquifers. We also supplied technical outlines on data source selecting of remote sensing, application of simple fast geophysical methods and combined exploration of effective geophysical methods.

Key words: water-shortage area; successive approximation method; groundwater exploration technologies; application