

西部地区地下水勘查 综合物探技术方法展望

曹福祥^{1,2} 孙建平²

(1.中国地质大学 北京 100083 ;

2 中国地质调查局水文地质工程地质技术方法研究所 河北保定 071051)

摘要 西北、西南地区是我国未来经济发展的重要战略区域,水资源短缺严重制约了本地区的经济发展。如何针对西部水资源特点,合理选择综合地球物理勘探技术方法寻找地下水,提高地下水勘查效率,是西部水资源开发工作面临的十分重要问题。本文针对西部地区四种主要的地下水赋存条件,探讨其综合物探技术方法系列。

关键词 西部地下水 综合物探 技术方法系列

1. 引言

西北、西南地区水资源短缺已严重制约了区域经济发展。如何依靠科学技术进步,选择有效的地球物理勘探综合技术寻找地下水,是目前水资源开发中的一个重要问题。沙漠地区埋藏于浅层咸水下的深层淡水的寻找以及黄土地区深部孔隙、裂隙、岩溶水的勘查,是西北地区地下水资源勘察工作面临的主要问题。南方岩溶发育区和红层分布区寻找含水岩溶及孔隙、裂隙水的物探工作也存在许多急需解决的问题。因此,如何针对西部水资源特点,合理地选择地球物理勘探综合技术方法寻找地下水,提高地下水勘查效率,是西部水资源开发工作的重要环节。

物探方法是依据含水层、含水岩溶管道以及构造裂隙破碎带的物理性质(如电阻率和地震波速)有别于隔水层或围岩来进行地下水勘查的一种间接方法。它得到的仅是物性层的空间分布情况,其结果必然有多解性。减少与排除多解性的途径:一是利用目的层与非目的层物性差异的多种参数开展综合物探工作;二是结合有关的地质、钻探及测井资料,将物探结果与地下水矿化度、岩性及构造等水文地质资料综合分析,最终作出合理的地质解释。虽经几十年来国内外广大地球物理工作者的努力,在地下水勘查的物探技术方法及仪器装备方面有了长足的进步,取得了令人瞩目的成绩,但西部地区复杂的水文地质条件给地下水探测增加了难度,单一方法很难满足复杂多变的地质条件下勘查地下水的要求。因此,有必要发展系列探测技术来完善和提高地下水勘查水平。

各种物探方法都有其自身的适用性和局限性,因而在解决某类地下水勘查问题时,选择最有效、最经济的技术方法系列,是关系到勘查效果及效益的首要问题。考虑到各种物探方法在解决各类地下水勘查任务的适用性和经济性以及深浅层(以深度100左右米为界限)地下水勘查难易程度,在总结国内外的找水经验以及近两年来西部缺水地区地下水勘查示范成果的基础上,初步拟定了针对不同类型地下水及不同赋存条件下的地下水勘查物探技术方

法系列，为西部水资源勘察工作提供技术指导。

2. 浅层孔隙水勘查的综合物探技术方法系列

浅层孔隙水是指赋存于第四系松散层以及第三系、白垩系半胶结地层中的地下水，第四系松散层在西北地区广泛分布，第三系、白垩系地层主要分布于鄂尔多斯、准噶尔盆地等。物探勘查的主要目的是了解含水层结构及其富水性、地下水位埋深和地下水矿化度。浅层孔隙水勘查技术国内外均已较成熟，一般情况下采用直流电测深法或激电测深法较为适宜，成本低、方法简单而普及，视电阻率参数可确定含水层结构和地下水矿化度，激电参数用于了解富水性。但有的地区常规电阻率法工作难度较大，如沙漠区地表极为干燥，电极接地电阻较大，供电困难；对于浅部高矿化度地区，电阻率偏低，导致供电电流过大，需大功率供电设备，且测量电压信号小，影响观测精度；部分地区地形条件不利，不易开展工作。此时可选择电磁测深法，如频率域电磁测深法（EH-4 电导率成像系统）观测系统输入阻抗较高，易于开展工作，效率高；瞬变电磁法可采用磁源激励回线，不涉及接地问题。在西北缺水地区地下水勘查示范项目实施过程中，塔里木盆地南缘民丰县安迪尔牧场地表干燥，地形条件复杂，常规电阻率法工作难度较大，采用 EH-4 电导率成像系统较为方便地查清了地下淡水体分布特征，经钻探验证相吻合。对于水文地质条件复杂的地区，在其它物探工作基础上，选择重点区采用 Numis 核磁共振技术确定含水层的深度、厚度、给水度及水量等多个参数，在西北黄土塬区应用效果明显，但该方法成本高，效率较低。

3. 浅层岩溶、裂隙水勘查的综合物探技术方法系列

浅层岩溶水主要指西南岩溶石山地区地下岩溶管道水，亦即地下暗河。岩溶区地表水与地下水转化频繁，地下水空间分布极不均匀，纵向上具有双层或多层结构。物探勘查的主要目的是查明岩溶管道的空间分布特征，但受其规模和埋深条件的限制物探找水难度较大，可选择的物探技术手段有探地雷达、EH-4 电导率成像系统、瞬变电磁法以及浅层高分辨率地震。探地雷达在其有效勘探范围内可探明异常体形态特征；EH-4 系统能够反映地下裂隙、岩溶发育情况，但当地表介质分布不均匀时产生静态效应，甚至无法作出合理解释；瞬变电磁法观测纯二次场，对探测高阻围岩中的低阻异常体效果较好；浅震技术可通过分析同轴错动和相位值幅度变化情况来确定异常体空间分布特征。当岩溶管道水埋深大于 100 米时，目前可利用的方法有瞬变电磁法、浅震技术，但应用程度尚不成熟，有待进一步试验、研究。

浅层裂隙水包括构造裂隙水和碎屑岩层裂隙水。在西部缺水地区地下水勘查示范区，构造裂隙水主要指西南红层构造裂隙水和西北鄂尔多斯盆缘、其它山区基岩构造裂隙水；碎屑岩层裂隙水主要指西南红层风化带网状裂隙水和浅层层间承压裂隙水。上述两种类型地下水勘查中物探技术的应用程度较为成熟，国内外均已有成功的经验。

对于构造裂隙水，物探勘查的主要目的是了解构造裂隙带的空间分布特征及其富水性，在实际工作中，首先快速、准确地查明构造裂隙带的平面分布特征，可选择的方法有直流电

阻率剖面法、电磁剖面法、音频大地电场法、甚低频法等(其中直流电阻率剖面法效率较低、受地形条件限制大,但该方法较普及);在此基础上,选择有利地段了解构造带的地下空间展布情况及其富水性,一般情况下,在地质背景清楚、条件简单的地区,激电测深法较为简单、实用、有效,视电阻率参数可了解构造带岩性结构变化,激化参数可确定富水部位;在条件复杂的地区,可利用频率域电磁测深法(EH-4系统)了解构造产状及裂隙发育情况,进而采用核磁共振技术确定含水层段和富水性。内蒙古边境阿拉善盟苏宏图西北部为环境恶劣、人烟稀少的玄武岩荒漠戈壁,当地军民长期饮用高氟苦咸水,许多部门及单位都试图寻找淡水而没有成功,1997年中国地质调查局水文地质工程地质技术方法研究所利用音频大地电场法、激电测深法、EH-4电导率成像系统等综合物探技术找水方法在该地区找到了可饮用水,钻探结果井深105m,出水量 $542.2\text{m}^3/\text{d}$,矿化度 0.76g/l ,属优质饮用水。

浅层碎屑岩层裂隙水勘查目的类似于浅层孔隙水,即主要了解含水层结构、富水性以及地下水矿化度变化特征。采用的物探方法主要有直流电阻率测深法、频率域电磁测深法(如EH-4电导率成像系统)、瞬变电磁测深法,对于水文地质条件复杂的地区,在其它物探工作基础上,选择重点区采用Numis核磁共振技术确定含水层的深度、厚度、给水度及水量等多个参数。

4. 深层孔隙水勘查的综合物探技术方法系列

深层孔隙水主要指西北地区塔里木盆地、柴达木盆地、天山山麓第四系深层孔隙水和鄂尔多斯、准噶尔盆地第三系白垩系碎屑岩类胶结半胶结孔隙水。物探勘查的目的与浅层裂隙水勘查类同,但在方法选择上侧重点有所不同。该类地下水埋深超过了100m,甚至大于300m,由于直流电阻率测深法受高阻屏蔽分辨率降低,应用效果较差;同时,瞬变电磁法在进行大深度探测时,需布设大的激励线圈,不易开展工作;此种情况下,最佳的方法选择频率域电磁测深法(如EH-4电导率成像系统)。随着研究程度的深入,地震勘探技术将用于划分地层结构和确定岩性孔隙度,存在的问题有待于进一步试验研究。

自1996年‘西北找水特别计划’实施以来以及近两年西北缺水地区地下水勘查示范项目的开展,在新疆罗布泊、柴达木盆地、鄂尔多斯等地区,深层地下水勘查取得了重大突破。1997年新疆地矿局和中国地质调查局水文地质工程地质技术方法研究所深入‘生命禁区’罗布泊,利用EH-4电导率成像系统和浅层地震等物探找水方法,找到了淡水。井深500余m,出水量400余 m^3/d ,矿化度小于 2g/l 。淡水的发现将使该地区丰富的钾盐开发成为可能。

5. 深层岩溶、裂隙水勘查的综合物探技术方法系列

深层岩溶、裂隙水主要指西北鄂尔多斯盆地周边地区深埋碳酸盐岩岩溶裂隙水。物探勘查的主要目的是了解灰岩界面埋深及岩溶裂隙发育程度、位置,由于岩性构造的复杂性,单一的物探手段难以取得理想的效果,在宁夏南部地区深埋岩溶水勘查中,采用的主要物探

手段有直流电测深法、EH-4 电导率成像系统、浅层地震以及瞬变电磁法。直流电测深法主要用于普查工作，在此基础上，选择重点区开展其它方法精测工作。EH-4 电导率成像系统进行 EMAP 连续测量工作，可获得较高的横向分辨能力，并能够反映深部构造信息；地震法可较为准确地确定深部构造错动及破碎情况；瞬变电磁法由于具有勘探深度大、对低阻目标反映灵敏等优点，在勘探深部低阻裂隙含水带时能够取得好的效果。

1996 年陕西地矿局和中国地调局水文地质工程地质技术方法研究所在陕西省富平县黄土覆盖下的隐伏岩溶地区，利用 EH-4 电导率成像系统等物探找水技术方法，找到了深埋岩溶水。井深 778.32m，水位降深 12m，出水量 1.33 万 m³/d，水温 41℃，水质达到了饮用天然矿泉水标准。这眼井的成功突破了以往认为海平面以下岩溶水赋存条件不好的传统观念，给深埋岩溶水的勘查开发带来了生机。

6 . 结语

西部地区地下水类型复杂多变，近年来随着国家重视程度的提高和投资力度的加大，西部缺水地区地下水勘查取得了重大突破，如鄂尔多斯周缘深埋岩溶水勘查、深层碎屑岩类孔隙裂隙水勘查以及干旱沙漠区淡水体勘查等。随着勘探范围的扩大和研究程度的深入，许多问题急待解决，如西南岩溶管道水勘查技术、碎屑岩含水孔隙度的确定、基岩裂隙水矿化度的确定以及山地地球物理勘探技术等。

对于各种类型地下水地球物理勘查技术系列，方法的选择应考虑其实用性、有效性和经济性，各种方法有其自身的特点：直流电阻率法成本低、方法简单而普及，但效率较低；频率域电磁测深法工作便捷、效率高，但易受工业游散电流干扰，不适宜城镇附近开展工作；在干旱沙漠区地表极度干燥，瞬变电磁法不接地回线装置看似理想，但观测的视电阻率值同其它方法相比有一定的偏差，不利于准确地划分地下水矿化度；地震技术在油气勘探方面较为成熟，应用于地下水勘查领域尚属起步阶段，仍需进一步应用研究；核磁共振技术可直接反映含水层位置、厚度和水量，但探测深度较浅（小于 150 米）。针对各种方法的特点及应用条件，结合实际水文地质条件，才能合理地选择不同类型地下水地球物理勘查技术系列。