

基岩水与平原水转换关系的地球物理勘查技术探讨

武 毅^{1 2)} 郭建强^{1 2)} 朱庆俊²⁾ 程旭学³⁾ 孙振洪⁴⁾

1) 中国地质大学, 湖北 武汉 430074 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 3) 甘肃省水文地质工程地质勘查院, 甘肃 张掖 734000;
4) 保定市自来水总公司, 河北 保定 071051

摘 要 基岩水与平原水转化关系的研究是搞清地表水与地下水转化途径、方式及流量进而进行水资源评价的一个重要内容。本文以河西走廊地区为例, 分析了地球物理勘查技术对解决上述问题的可能性, 同时结合该地区地质地貌特点, 选用了 EH-4 电导率成像系统、自然电位法技术组合进行了实例勘查, 取得了较好的效果, 为前人的假说提供了科学依据, 也为该内容的研究提供有效的手段。

关键词 基岩水与平原水转化 地球物理勘查技术 实例效果

Geophysical Prospecting Techniques for the Interchange between Bedrock Water and Plain Water

WU Yi^{1 2)} GUO Jianqiang^{1 2)} ZHU Qingjun²⁾ CHENG Xuxue³⁾ SUN Zhenhong⁴⁾

1) China University of Geosciences, Wuhan, Hubei, 430074; 2) Institute of Hydrogeological and Engineering Geological Technology, CGS, Baoding, Hebei 071051; 3) Gansu Institute of Hydrogeological and Engineering Geological Exploration, Zhangye, Gansu, 734000;
4) Company of Water Supply of Baoding, Baoding, Hebei 071051

Abstract The interchange relationship between the bedrock groundwater and plain groundwater is an important research field in evaluating water resources. Nevertheless, none of the hypotheses on this relationship has been verified. With the Hexi Corridor as an example, this paper analyzes the possibility of using geophysical method to investigate such relationship and presents the results acquired by integrating the EH-4 electric conductivity imaging system with the natural potential method in accordance with the geological setting of this region. The good results obtained provide scientific evidence for the hypothesis of the previous workers.

Key words interchange relationship between bedrock water and plain water geophysical technique the effect of a real case

1 问题的提出

中国西北干旱地区, 由于基岩山区气候寒冷, 降水量较大是水资源的形成区, 尤其在河西走廊, 南部祁连山山势陡峻, 沟谷切割剧烈, 是河西走廊第四系沉积物的供给区和地表水的形成区。山区的水资源可以 3 种形式存在: ①存在于固体冰川, 经融化成为地表水; ②为地表径流; ③深入地下, 形成基岩裂隙水。由于山前平原降雨很少, 进入山前平原的出山口径流量基本上是流域总水量。为了要揭示流域内

水资源的变化规律, 必须弄清各带之间的水量、水质的转化规律, 地表水与地下水的转化途径、方式及流量。

在河西走廊, 由于南部祁连山地继续强烈上升, 走廊盆地相对下降, 新构造运动十分发育。因而区内构造复杂, 包括了较多的地质单元, 在走廊盆地与祁连山山麓, 可见到由一系列逆冲断层所形成的迭瓦式断裂, 分布于盆地的断裂严格控制着各盆地的水文地质条件。这些构造对于基岩山区与平原地下水之间的转化关系起着关键性作用。基岩水与平原

水经过山前大断裂后是如何转换目前尚无确切的依据,仅有 2 种假说:①基岩水以潜流方式流经断裂,通过浅层第四系沉积物以潜流的方式进入平原形成平原水,断层两侧水位相差较小,两水之间有明显的转化关系;②基岩水流经断层时沿断层垂直跌落,大部分基岩水沿断层走向流动,基岩水水位与平原水水位差异相对较大,两水之间无明显的转化关系。究竟那种说法符合实际情况,本文以河西走廊为例从地球物理勘查技术出发进行了探讨。

2 地球物理勘查方法及要解决的问题

就物探而言,需要解决的问题有:①查明山前大断裂的水平位置、产状性质,为开展该项研究工作圈定靶区;②查清断层两侧的地层结构及分布特征,为进行地下水位确定提供依据;③确定断层两侧地下水位埋深差异;④判断断层两盘及断层本身地下水水流方向等问题。

祁连山山前逆冲断层的下盘沉积巨厚、干燥的砂砾石层,其地下水位埋深较大,通常在 200~500 m 之间。而在上盘靠近出山口水位埋深较浅,砂砾石的厚度相对较薄。同时该区基岩以第三系、白垩系的砂质泥岩、泥岩为主。因此,从物性参数上讲,第四系松散层与深部基岩之间存在较大的电性及地层波速差异,这种差异满足地球物理勘查的前提条件。

2.1 查明地层结构、地下水位、断层性质的地球物理方法

查明地层结构、地下水位、断层性质采用的地球物理方法较多,如常规的直流电阻率法、电磁法、地震法等。

常规的电阻率法在较大的勘探深度(大于 300 m)分辨率急剧下降,达不到对深部地层进行划分的目的;另外,由于地表干燥,供电电流难以供入地下,工作十分困难。因此,常规电阻率法在有利的条件下对浅部可以进行勘查。但对深层目的体的勘查将是十分困难的。地震法勘查成本较高,特别在水位埋深较大的情况下,要求震源能量很大,否则,无法达到勘查要求的深度。因此炮眼的深度要求很大,施工也较困难。从经济角度上讲,地震法不应作为该项工作的首选方案。

EH-4 电导率成像是电磁法中一种新技术的产物,属于天然场源与部分可控源相结合的一种大地电磁测深系统。是目前国际上先进的一种频率域电磁法勘探手段。研究的是响应与频率之间的关

系。该方法在现有条件下,最大地发挥了交流电阻率法分辨率高、轻便、勘探深度大等特点,其接地电阻要求在 $10 \times 10^3 \Omega \cdot m$ 以下,一般较容易满足。因此,无论从哪个方面,选择 EH-4 电导率成像系统作为该研究工作的首选方案都是合适的。

EH-4 电导率成像系统在测区以测量天然场为主,基本原理、工作方法与大地电磁测深基本相同(郭建强,1998;武毅,2001)对该方法已做介绍,在此不再叙述。仅介绍其特点如下:现场实时进行信号采集(电场分量 E_x 、 E_y ,磁场分量 H_x 、 H_y)、数据处理(时域采集,进行傅氏变换,求得互功率谱)和资料处理(EMAP 法),并全过程显示,不仅可有效地控制勘探过程,而且使电磁勘探的工作效率大大提高。

采集频点丰富且频率低,反映出该法具有分辨率高、勘探深度大的特点。该系统用于河西走廊地区的磁探头频率响应为 0.1 Hz 至 1×10^3 Hz,其频点有 58 个,是其他电磁法系统(如 V5、GDP32)的 2~3 倍。可见其分辨率较高,勘探深度较大。

因此,针对河西走廊祁连山山前的地质地貌特点,查明地层结构、地下水位埋深、断层性质,EH-4 电导率成像系统是非常有效的一种地球物理勘查手段。

2.2 判断地下水水流方向的地球物理方法

2.2.1 自然电位法 自然电位法进行地下水流向判别遵循的原理是岩石中地下水运移的电动效应。根据电化学理论可以知道:当地下水在多孔隙岩石中流动时,沿水流方向形成电位差。一般是在水流的流出方向显示正电位,而在水流的流入方向显示负电位。因此,可以根据电位值的正负判别地下水水流方向(刘天佑,2001)。

2.2.2 自然充电法 充电法在判断地下水水流方向,利用在地面观测到的等电位线的形状和分布情况来判断测量点与充电点地下水体是否同一水体,从而判断地下水水流方向(傅良魁,1985)。对于解决平原水与基岩水转化问题,需要在断层的一盘充电,另一盘测量。首先判断断层两盘是否为同一水体,其次,根据二者地质地貌条件判断水流方向。

2.2.3 其他方法 同位素示踪法和人工注入示踪法等同充电法一样需要在断层上下盘都有地下水的出露点,在上盘出露点注入示踪剂,在断层下盘地下水出露点进行测量,根据是否能测到示踪剂的浓度进行地下水水流方向的判别。

从上述几种方法原理分析,充电法、同位素示踪法、人工注入示踪法都需要有地下水的出露点,现场

条件不一定能够满足。另外也不一定取得较好的效果,因为地下水的流速、流向在越过断层后的变化及地下水的通道尚不清楚,对同位素无法做到准确有效的测量。因此,对地下水的流向判别目前只有自然电位法是可行有效的方法。

2.3 地球物理方法组合及工作步骤

经过上述分析,在该地区进行有效的、经济的、合理的地球物理勘查技术应是频率域电磁测深法及自然电位法的组合,既体现了方法的先进性又继承了传统方法的有效性。其工作步骤是:采用电磁法进行断层水平位置、性质产状、地层结构和地下水位埋深的勘查,然后分别在断层的上、下盘及断层带上布置自然电位法,查明 3 处不同地质单元的地下水流向。从而分析基岩水与平原水的转化关系。

3 实例及分析

该项研究工作点选择在张掖盆地的龙家坡地区。

3.1 勘查结果

龙家坡附近祁连山大断裂走向近 SN 向,倾角较大。靠近平原区一侧沉积着巨厚的第四系松散层,岩性以砂砾石、砾卵石为主,地下水位埋深较大。

靠近祁连山一侧松散层厚度较小,岩性也以砂砾石、砾卵石为主,水位埋深较浅。基底岩性为第三系的泥岩。

物探剖面垂直于祁连山山前大断裂的走向呈 EW 向布置,首先进行地层结构、地下水位和断层性质的探测,其次,开展自然电位法的探测。从图 1-a 可以看出,靠近祁连山前在埋深 50~60 m 以上电阻率值较大,可达 $400\ \Omega\cdot\text{m}$ 以上,推断为干燥的砂砾石、砾卵石层,往下出现低阻体,推断为水位界面。在剖面 300 m 处清楚地反映出断层存在,且断层西倾,西侧上升,东侧下降,推断为逆冲断层,倾角较大。在剖面 300 m 以后为平原区,300 m 以上电阻率值较高,可达 $400\ \Omega\cdot\text{m}$ 以上,推测为第四系松散沉积物,岩性为干燥的砂砾石、砾卵石层,厚度达 300 m 左右,往下电阻率值降低,推断水位埋深约 300 m 左右。可见,祁连山大断裂两侧水位埋深相差约 250 m(图 1-b)。在此基础上,分别在剖面的 100 m(图 1-b 中 A 位置)、300 m(图 1-b 中 B 位置)、800 m(图 1-b 中 C 位置)处(即断层两侧及断层上方)布设自然电位法进行地下水水流方向的判断。图 1-c 为 A、B、C 三处自然电位在 8 个不同方向测得自然电位值的连线图(自然电位单位为 mV),图中

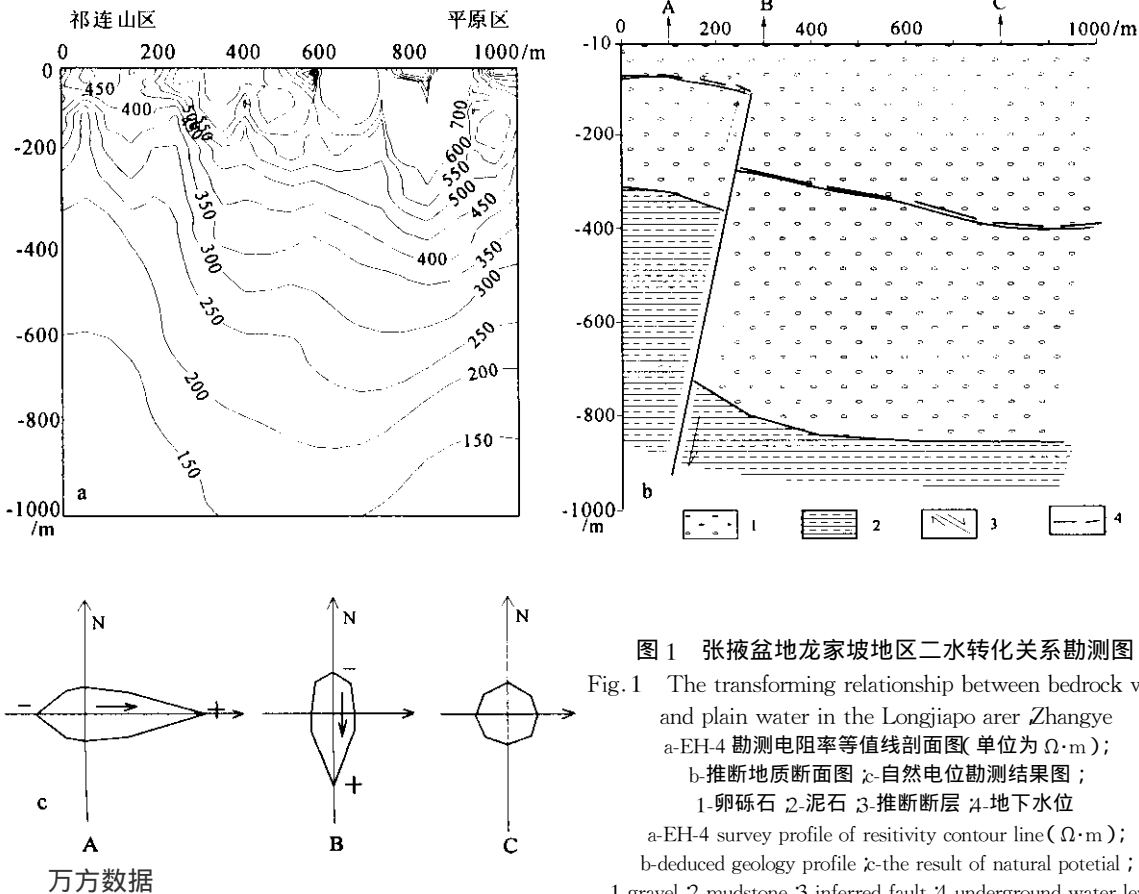


图 1 张掖盆地龙家坡地区二水转化关系勘测图
Fig.1 The transforming relationship between bedrock water and plain water in the Longjiapo arer Zhangye
a-EH-4 勘测电阻率等值线剖面图(单位为 $\Omega\cdot\text{m}$);
b-推断地质断面图 c-自然电位勘测结果图;
1-卵石石 2-泥石 3-推断断层 4-地下水位
a-EH-4 survey profile of resitivity contour line($\Omega\cdot\text{m}$);
b-deduced geology profile c-the result of natural potetial;
1-gravel 2-mudstone 3-inferred fault 4-underground water level

的箭头方向为地下水水流方向。从图 1-c 勘查结果分析,基岩构造水水流方向由西向东,断层内水流方向从北向南,在断层东侧(即平原区内)看不出水流方向。

3.2 结果分析

从上述勘查实例结果分析认为:基岩水与平原水二者转换无明显的关系,其理由如下:

(1)祁连山大断裂两侧从岩性结构上分析,靠近山前的砂砾石、砾卵石厚度较薄仅 50 m 左右,而在平原区松散层厚度增大,可达 300 m 左右,两侧相差较大。

(2)从祁连山大断裂两侧的地下水位埋深分析,靠近山前的地下水位埋深为 50 m 左右,而在平原区一侧地下水位埋深可达 300 m 左右,两侧相差约 250 m。因此,可以排除基岩水和平原水通过松散层以径流方式越过断层的可能性。

(3)根据自然电位勘测结果分析,靠近山前一侧的水流方向从山区流向断层,在断层内水流方向沿断层走向自南而北流动,在平原区一侧,自然电位没有发现水流方向。说明在该区地下水位埋深较大(或地下水流流速非常缓慢),证实了 EH-4 电导率成像系统的勘查结果。

(4)从性质及产状上分析,祁连山大断裂为一逆冲断层,倾角很大,通常逆断层为阻水断层(或弱透水断层)。

4 结论及建议

综上所述认为:河西走廊地区基岩水与平原水二者无明显的转化关系,为该区两水转化关系的第二种假说提供了科学依据。

通过技术方法探讨及实例勘查结果认为:地球

物理勘查技术在研究基岩水与平原水二者转化关系方面具有可能性。结合具体的地质地貌情况,选择 EH-4 电导率成像系统和自然电位法的组合技术对河西走廊两水转换关系的研究是可行和有效的。

由于基岩水与平原水的转换关系是一个复杂的问题,利用上述地球物理勘查技术仅能回答一些简单的问题,如要彻底地查清基岩水与平原水的转化关系,如:两水的转化量、转化规律等一系列问题,尚需地质、物探、钻探等方面工作的实施。

参 考 文 献

- 郭建强,武毅等.1998. EH-4 电导率成系统简介及其应用. 物探与化探 22(65):458~464.
- 武毅,郭建强等.2001. 宁南深埋岩溶水勘查的物探新技术. 水文地质工程地质 28(2):45~48.
- 刘天佑.2001. 勘查技术方法概论. 武汉:中国地质大学出版社.
- 傅良魁等.1985. 电法勘探教程. 北京:地质出版社.

References

- Guo Jianqiang, Wu Yi et al. 1998. A brief description of the EH-4 electrical conductivity imaging system and its application. Geophysical and Geochemical Exploration, 12(65):458~464 (in Chinese with English abstract).
- Wu Yi, Guo Jianqiang et al. 2001. New techniques application in the exploration of Ningnan deep-seated karst waters. Hydrogeology and Engineering Geology 28(2):45~48 (in Chinese with English abstract).
- Liu Tianyou. 2001. General situation of exploration method. Wuhan: Publishing House of China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).
- Fu Liangkui et al. 1985. Electric prospecting. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).