

河北坝上张北县玄武岩区蓄水构造特征与找水实践

邓启军, 李 伟, 朱庆俊, 马雪梅, 何 锦, 马学军, 罗 旋

DENG Qijun, LI Wei, ZHU Qingjun, MA Xuemei, HE Jin, MA Xuejun, LUO Xuan

中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 河北 保定 071051

Center for Hydrogeology and Environmental Geology Survey, CGS, Baoding 071051, Hebei, China

摘要:张北县地处燕山-太行山集中连片贫困区,区内玄武岩区地质条件复杂,找水难度较大,水源型缺水村庄普遍存在。通过野外观测、理论分析及典型找水实例剖析,开展玄武岩区蓄水构造类型及其富水性影响因素研究。结果显示,区内玄武岩蓄水构造类型主要可以分为单斜型、断裂型、大型孔洞型三类,其中,单斜型蓄水构造依据玄武岩出露条件等又可细分为台地型、平原埋藏型、火山锥外围型及河谷型。富水性影响因素方面,单斜型蓄水构造主要与玄武岩孔洞、裂隙的连通性及其所夹碎屑岩的岩性、结构有关;断裂型蓄水构造受断裂的力学性质及后期活动性影响较大,一般张性断裂、新近活动的断裂导水、富水性较好;大型孔洞型蓄水构造储水空间巨大,富水性极好,其富水性影响因素主要与玄武岩孔洞规模及连通性有关。研究成果对于提高坝上玄武岩区找水打井成井率,解决缺水群众饮水安全问题等具有较好的借鉴意义。

关键词:张北县;玄武岩;蓄水构造;找水实践;河北

中图分类号:P588.14⁺5;P64 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2020)12-1899-09

Deng Q J, Li W, Zhu Q J, Ma X M, He J, Ma X J, Luo X. An analysis of the characteristics of water storage structure and the practice of groundwater exploration in the basalt area of Zhangbei County, Bashang, Hebei Province. *Geological Bulletin of China*, 2020, 39(12): 1899-1907

Abstract: Zhangbei County is located in the contiguous poverty-stricken area of Yanshan Mountain-Taihang Mountain. The geological conditions of the basalt area are complex, which makes it difficult to find groundwater, and hence water-shortage villages are commonly existent. Based on field survey, theoretical analysis and analysis of typical groundwater exploration examples, the authors investigated the water storage structures types in the basalt area and their water-enrichment factors and summarized three types of water storage structures in this area, i.e., monoclinic structure, fault structure, and large holes. The monoclinic water storage structure can be subdivided into platform type, plain buried type, volcanic cone type and valley type according to the basalt exposure conditions. In terms of the influencing factors of water-enrichment, the monoclinic water storage structure is mainly related to the connectivity of basalt holes and fissures as well as the lithology and structure of the clastic rocks in basalt. The fault structure type water storage structure is greatly affected by the mechanical properties of faults and the later activity of the faults. Tensional faults and the newly active faults have good water conductivity and water enrichment capacity. The water storage space of the large hole type water storage structure is huge and hence the water-enrichment is very good. The influence factors of water enrichment are mainly related to the size and connectivity of basalt caverns. The results play a significant role for improving the success rate of finding groundwater in basalt areas so as to solve the problem of drinking water safety for water shortage people.

Key words: Zhangbei County; basalt; water storage structures; groundwater exploration; Hebei Province

张北县地处冀西北坝上生态脆弱及燕山-太行山集中连片贫困区,是国家脱贫攻坚战的主战场之

一。县域南部、西部出露新近系汉诺坝组玄武岩,地质-水文地质条件复杂,富水性极不均匀,找水难

收稿日期:2020-08-15;修订日期:2020-10-20

资助项目:国家重点研发计划项目《旱情判别与应急抗旱关键技术及装备开发》(编号:2018YFC1508703)和中国地质调查局项目《太行山北段综合地质调查》(编号:DD20190259)

作者简介:邓启军(1985-),男,硕士,工程师,从事基岩地下水勘查、评价研究。E-mail:dqjaaa@126.com

通讯作者:何锦(1980-),男,高级工程师,从事水文地球化学研究。E-mail:hejing007105@126.com

度较大,水源型缺水村庄普遍存在。

在系列基岩地下水理论中,“蓄水构造理论”和“新构造控水理论”认可程度最高^[1-3]。“蓄水构造”主要由透水的含水岩组、隔水边界形成利于地下水富集的空间,再加上补给条件好于排泄条件,使地下水能够汇集,是地下水蓄积的场所^[1]。

国内外学者针对玄武岩地下水做过较多的研究,Kulkarni 等^[4]对印度中西部德干高原玄武岩地下水的水文地质概念模型进行了分析,指出片状节理和垂直节理是玄武岩地下水的主要径流通道,裸露的气孔状玄武岩与致密玄武岩相比具有更高的渗透系数及蓄水系数,富水性更好。Lau 等^[5]对美国夏威夷地区玄武岩自流地下水的特征进行了总结,指出在玄武岩形成过程中脱气作用形成的原生孔洞、裂隙等是岩石控水的决定因素。Fernandes 等^[6]对巴西 Serra Geral 玄武岩裂隙含水层研究显示,新老玄武岩之间的裂隙近水平,其地下水的流动呈近水平层状。国内对玄武岩地下水研究较早,20 世纪 70 年代刘光亚等^[7]和谭绩文等^[8]研究指出,区内汉诺坝玄武岩主要喷发于中新世及上新世,玄武岩气孔带孔间隔膜很薄,风化后易被地下水潜蚀连通,形成次生洞穴,由于玄武岩较大的流动性和多期次喷发特征,次生洞穴呈近水平展布及垂向上多层性的特点。20 世纪 80 年代,原地质矿产部开展的“中国玄武岩地下水研究”,对中国新生代玄武岩地下水的时空分布规律、水文地质特征等进行了概括性总结,首次指出玄武岩地下水类型主要为“气孔水”,并根据地形地貌条件划分了其蓄水构造类型^[9]。近年来,李巨芬等^[10]关于山东临朐盆地新构造运动对地下水控制作用中研究指出,不同时期玄武岩接触面古风化壳富水性最好,盆地内新生代玄武岩蓄水构造主要为水平层蓄水构造。莫若平等^[11]、刘国兴等^[12]分别对邻近的内蒙古乌兰察布市、锡盟地区玄武岩地下水富集规律进行了探讨,指出气孔状玄武岩富水性最好,是当地重要成井目的层,玄武岩含水层厚度与富水性密切相关,查明玄武岩含水层的补、径、排条件是寻找地下水源的关键。曹新文等^[13]、罗旋等^[14]分别选用高密度电法和 CSAMT 法对山东蓬莱和坝上地区新生代玄武岩地下水勘查应用进行了研究,指出玄武岩含水层在视电阻率剖面上普遍表现为异常低阻带,低视电阻率分布范围同出水井位对应较好。可以看出,前人

对新生代玄武岩原生、次生孔洞、裂隙形成条件及玄武岩地下水赋存特征进行了较充分的研究,亦初步划分了蓄水构造类型,但其蓄水构造类型主要是依据玄武岩出露条件及所处的地形、地貌单元划分的,对于近年来坝上玄武岩地区新发现的蓄水构造类型未能全面涵盖,迫切需要进行进一步的总结,同时,对于不同类型的蓄水构造其富水性影响因素亦需要更深入的分析研究。

2018 年以来,中国地质调查局在张北县连续实施地质扶贫找水及 1:5 万水文地质调查工作,累计实施探采结合孔 34 眼,直接解决了 24500 余人的安全饮水及相关扶贫产业的用水问题。本次研究基于在县域玄武岩区实施的大量探采结合孔及水文地质调查的新发现,从玄武岩地下水的含水层、相对隔水层及补径排条件出发,系统总结区内玄武岩蓄水构造类型并开展其富水性影响因素研究。本次研究更全面的划分了坝上地区新生代玄武岩蓄水构造类型,较前人对于区内玄武岩蓄水构造类型的划分新增了断裂型、大型孔洞型 2 类,对不同类型蓄水构造的富水性影响因素进行了深入研究,并对区内解决缺水群众饮水安全的典型探采结合孔实例进行了剖析。研究结果为坝上玄武岩区寻找新的地下水源、提高山区打井取水成井率,为解决贫困区缺水群众饮水安全问题等提供一定的借鉴。

1 研究区概况与工作部署

1.1 研究区概况

1.1.1 自然地理

张北县位于河北省西北部,内蒙古高原南缘的坝上地区,面积 4185 km²,属于寒温带半干旱大陆性季风气候,气候寒冷,无霜期短,风多雨少,多年平均降水量为 392.6 mm,降水量年内年际变化大,多集中在 6~9 月,多年平均蒸发量为 1850 mm,是降水量的 5 倍。张北县有河流 25 条,总长 793 km,较大的河流有 13 条,大部分河流源于坝头山区,多呈 SN、EW 走向,水源主要靠天然降水补给,部分河流汇聚山间形成的泉水溪流,在流程中又渗漏或蒸发,多为季节性河流。

县域地势整体呈南高北低,南部“坝头”地区地形切割强烈,为低山丘陵地貌,北部地形平缓,切割较浅,呈现波状平原地貌,张北县城—公会镇一带玄武岩直接被第四系覆盖。区内玄武岩区呈现典

型的火山地貌,具体可分为熔岩台地、火山残锥、台面洼地等地貌单元^[8]。

1.1.2 地层岩性与构造

区内新近系汉诺坝组(N_1h)玄武岩喷发于中新世和上新世,玄武岩中夹喷发间歇期沉积的蓝灰色粘土岩、砂岩,广泛而稳定。中新世玄武岩主要为安山玄武岩、橄榄石玄武岩,呈致密状、气孔状、杏仁状或气孔杏仁状,分布于南起坝头、北至公会一带,厚度较厚,喷发间歇可达 11~12 层之多,其横向特征表现为从火山喷发中心至外围地区玄武岩厚度由大变小,沉积夹层由少变多^[7]。上新世玄武岩岩性主要为伊丁石化橄榄玄武岩、拉斑玄武岩等,火山口附近有红色浮岩,主要分布于台路沟—大河—海流图—单晶河—大西湾—一线地区,除火山口外,普遍为厚 30~50 m 的熔岩盖层,多呈熔岩台地地貌^[7]。

区内中生代以来火山活动频繁,至新生代,构造运动仍有继续,构造形迹以断裂为主,但因受新生界覆盖影响,大多性质不明。区内新构造运动相对强烈,主要表现为多级层状地貌、强烈的火山活

动、断裂活动、地块掀斜等,新生代以来近 EW 向、近 SN 向断裂活动较弱,而 NE 向、NW 向断裂活动较强烈,控制了新近系以来的地貌差别、盆地分布、地表水系等^[15-16]。

1.1.3 水文地质概况

玄武岩地下水主要赋存于玄武岩的原生、次生孔洞、裂隙及所夹碎屑岩中^[9],主要接受大气降水及冰雪融水入渗补给,其次是河流季节性渗漏和农田灌溉回归补给,人工开采及蒸发是其主要排泄方式。由水文地质图(图 1)可知,玄武岩地下水主要分布于县域的西南部及隐伏于张北县城至公会镇一带的第四系松散层之下,几乎全部位于安固里淖内流系统内;玄武岩地下水自坝头由南向北、西北径流,最终汇入到县域西北部的安固里淖(现已干涸);其水文地质分区变化较明显,南部坝头一带为补给区,馒头营一带为地下水径流区,向北至安固里淖、许清房一线主要为其排泄区。

1.2 工作部署

本次研究涉及到的工作方法主要有野外观测及井、泉水样室内分析,其中野外观测包括 1:5 万

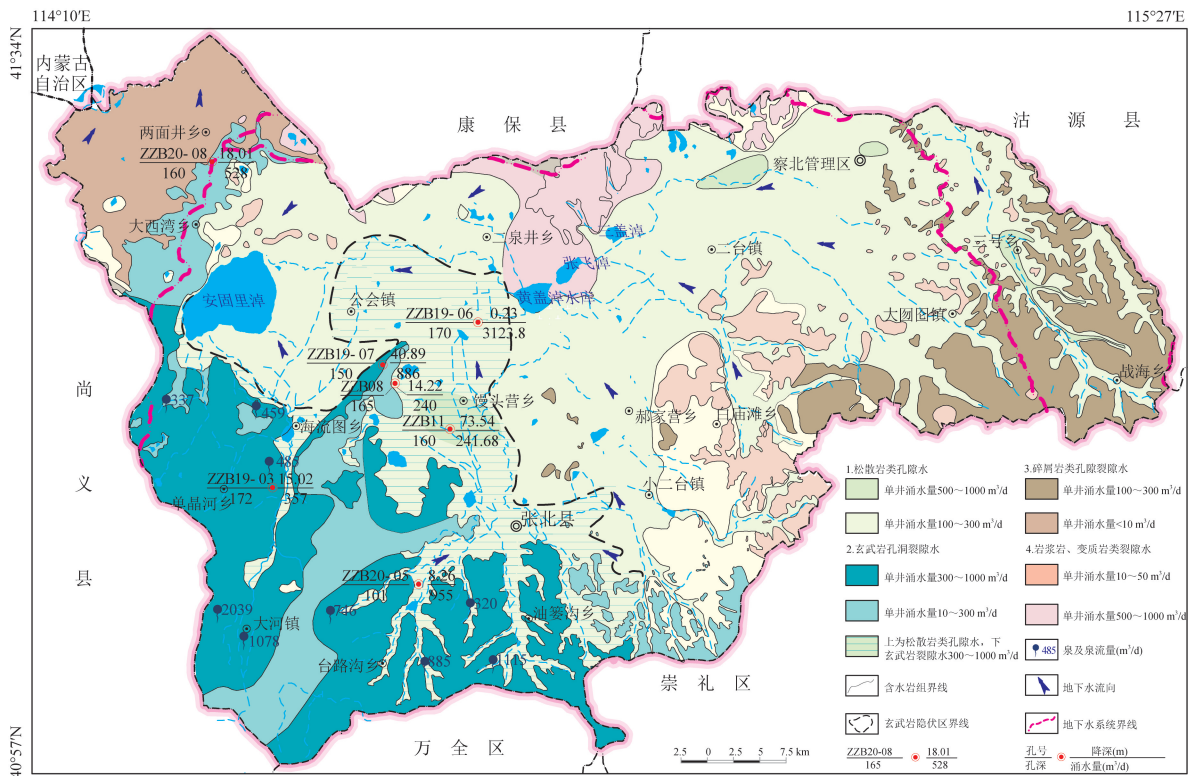


图 1 张北县水文地质简图

Fig. 1 The hydrogeological map of Zhangbei County

水文地质调查、地球物理勘查、水文地质测井、单孔抽水试验等。1:5 万水文地质调查范围包括玄武岩裸露区、隐伏区,总面积 1800 km²,重点对玄武岩区地形地貌、断裂构造、含水岩组分布、富水性特征及出露于熔岩台地中众多泉水的水文地质条件等进行了分析。结合玄武岩地质条件及区内强电磁干扰特征,找水打井主要选择高密度电阻率法、激发极化法、可控源音频大地电磁法等,总计 1712 点;井径、超声成像、电阻率等水文地质综合测井 590 m。探采结合孔成井以后,进行了三落程单孔稳定流抽水试验 31 台班并采取了饮用水样。区域井、泉水样及饮用水样,在青岛地质工程勘察院试验测试中心进行室内分析,测试指标主要包括 pH、TDS、常规离子、重金属离子、锶(Sr)、偏硅酸(H₂SiO₃)、耗氧量(COD)、挥发性酚等 41 项,测试数据均进行了阴阳离子平衡检验,误差在 5% 左右,数据质量符合分析研究的要求。

2 蓄水构造类型及富水性影响因素

2.1 单斜型蓄水构造

新构造运动导致区内地块掀斜,具体表现为强烈的南部坝头抬高和北部安固里淖下降,导致研究区地形坡度加大和岩层向北倾斜(倾角 3°~10°)。玄武岩在多次喷溢间隔期内遭受强烈的风化剥蚀和地下水潜蚀、搬运作用^[8],进一步扩大连通,形成孔隙度较高、结构松散的玄武岩风化壳,具有一定的蓄水空间。同时,除剥蚀上升区外,玄武岩亦接受新近系的碎屑岩沉积,其中砂砾岩、砂岩等可作为含水层。岩层倾斜及似层状的孔洞、裂隙或砂砾岩、砂岩作为含水层,而粘土岩层、致密玄武岩层等作为相对隔水层,在适宜的补给条件下,形成了典型的似层状单斜型蓄水构造。影响该型蓄水构造富水性的因素主要为玄武岩风化壳(气孔带)的孔隙率、连通性及所夹碎屑岩的岩性、结构等。玄武岩风化壳(气孔带)孔隙率越大,连通性越强,其富水性越好;当玄武岩所夹为砂砾石、粗砂或玄武岩直接覆盖砂砾石层之上时,其含水性、透水性一般较好。

水文地质调查结果显示,该单斜型蓄水构造水文地质特征可以概括为:①玄武岩地下水的总体流向与地层倾向相同,由南向北自低山丘陵、熔岩台地流向洪湖积平原、沟谷平原区,最终流向以淖为

中心的湖沼平原区;②南部低山丘陵、熔岩台地地形起伏明显,径流条件好,水质较好,而湖沼平原区地形坡度起伏小,水流滞缓,蒸发浓缩作用强烈,水质较差;③玄武岩含水层沿倾斜方向在平原区尖灭,倾末端易形成承压水斜地。

根据玄武岩的埋藏条件及所处不同地貌单元等因素,该单斜型蓄水构造又可以细分为台地型、平原埋藏型、火山锥外围型及河谷型 4 个亚类,分述如下。

(1) 台地型

该类型主要分布于县域的南部、西部及西北部两面井一带,所处位置普遍较高,玄武岩一般裸露地表,其气孔和裂隙较发育。新构造运动使该区多次缓慢上升,玄武岩层遭受强烈的风化剥蚀及河流冲沟的切割作用,熔岩台地易形成“阶梯状”的残留面。除前述影响该型蓄水构造富水性的因素外,玄武岩厚度亦是影响台地型蓄水构造富水性的重要因素,熔岩台地中玄武岩越厚,所夹含水层越多,地下水富集能力越强。该型蓄水构造由于玄武岩多裸露地表,较有利于大气降水的补给和存储,地下水类型以潜水居多,大气降水入渗补给后经过短途径流,在台地边缘的沟谷切割处,多以下降泉流出。本次水文地质调查,在台地边缘的沟谷切割处,发现有 30 多处下降泉,多呈集中点状分布,泉水流量一般为 0.1~4.0 L/s,动态稳定,TDS 含量为 97~427 mg/L。

(2) 平原埋藏型

该类型分布于张北县城北至公会镇一带地势低平的波状平原区,玄武岩隐伏于第四系松散堆积物之下(图 1),形成平原埋藏型蓄水构造。因隐伏玄武岩层直接与县域南、西侧裸露玄武岩相连,接受熔岩台地玄武岩地下水的侧向补给及上覆松散岩类孔隙水补给,其总体补给条件较好,利于地下水的富集,地下水类型多为承压水。抽水试验显示,该型蓄水构造单井涌水量可达 300~1000 m³/d,富水性为中等-较好,水位埋深较浅。

(3) 火山锥外围型

该类型分布于县域南、西部熔岩台地的火山锥(残丘)外围,主要有 13 处,目前以十字街及中华山火山口保存最好,可见环状分布的火山残锥。该型蓄水构造以火山锥为中心,呈放射状向外扩散,一般倾角较缓,多由玄武岩夹火山溶渣层或火山碎屑

岩共同组成含水岩组。大气降水入渗以后随地势向下径流,往往在火山锥的外围以泉或泉群的形式排泄,地下水类型为潜水,富水性贫乏—中等。如本次水文地质调查过程中,在台路沟乡郝家营子村东发现一火山残丘,整体呈浑圆状,残丘顶部见明显柱状节理,垂向裂隙发育,紧邻火山残丘的东部为近NW向河谷,在火山残丘底部河谷西侧出露线状下降泉群(4个泉眼),其枯季累计流量可达10.24 L/s。

(4)河谷型蓄水构造

该类型分布于县域南、西部熔岩台地之间的河谷地带,玄武岩埋藏于河谷松散堆积层之下(图1),与上覆松散含水层组成统一的含水岩组,因此形成河谷型蓄水构造。该型蓄水构造一般呈条带状分布,规模较小,含水层主要由玄武岩“孔洞层”和砂砾石组成,河水是该型蓄水构造的主要补给来源,地下水类型多为潜水,但若玄武岩之上有粘土隔水层存在时,亦可形成承压水。

2.2 断裂型蓄水构造

除受风化剥蚀和地下水潜蚀作用以外,后期的断裂活动,也进一步促进了玄武岩次生孔洞、裂隙的发育,断裂带的裂隙和孔隙形成了较好的蓄水空间,也可以作为良好的地下水补给通道,而断层两盘岩石成为相对隔水边界,在适宜的补给条件下,可形成断裂型蓄水构造。新生代以来,本区断裂活动较强烈,虽多隐伏于第四系以下,但断裂型蓄水构造在区内玄武岩中亦较常见。

断裂的力学性质及后期的活动性对玄武岩地下水的运动与富集起重要的控制作用^[2,17]。一般张性断裂导水、富水性较好,新近活动的断裂往往具有充填程度低、胶结程度差等特点,利于地下水的导水与富集。王行军等^[16]研究表明,NE向区域控制性断层张北—沽源大断裂在第四系全新世仍有活动;蔡华昌等^[18]则认为区内存在NE向、NNE向、NW向3组断裂,该3组断裂均属于第四纪早期活动断裂,其中以NNE向断裂最新。

2.3 大型孔洞型蓄水构造

该型蓄水构造指地下水赋存于玄武岩的原生、次生的大型孔洞中,而孔洞的顶底板一般作为隔水边界。玄武岩洞穴可以分为原生洞穴或次生洞穴,原生洞穴的主要形态有熔岩隧道、熔岩管道和孤立气洞,其发育主要受熔岩的喷发强度及岩浆本身物

质成分影响;次生孔洞是玄武岩长期风化剥蚀、地下水潜蚀及新构造运动综合影响的产物^[9]。玄武岩洞穴大者可达数米,甚至是十数米,可孤立存在,亦可以相互连通,形成层状连通的孔洞层。如在张北煤田的主副井掘进过程中,发现5层原生及次生孔洞层^[8]。该型蓄水构造富水性极好,其富水性影响因素主要与孔洞的规模及连通性有关。

3 典型找水实例分析

3.1 两面井乡七格赖村

两面井乡总人口16959人,其中贫困人口3716人,占比22%。全乡自然条件极差,少雨多旱,无地表水,薄层第四系松散层以下,主要为厚层新近系开地坊组(N_1k)杂色泥岩,仅在两面井乡东部见有一NE向延伸,宽1200~3200 m的熔岩台地(图1),玄武岩厚35~40 m。区内地下水资源极度匮乏,仅有的少量地下水“碱”和“砷”含量严重超标,不适合人畜饮用。2012年两面井乡选择条件稍好的七格赖村东和两面井村南山2处作为地下水源统一集中供水,但由于地质条件所限,2处供水井涌水量仅为400 m³/d,水量严重不足,群众饮水安全保障程度极低。结合本区的地质—水文地质条件,认为该地区找水主要以寻找台地型蓄水构造为主。经过精心勘查,在熔岩台地边缘选择玄武岩厚度最大的七格赖村一带成功实施一眼探采结合孔(图1,ZZB20-08),孔深171.7 m。

由井径、超声成像、电阻率等综合测井曲线(图2)可以明显看出,该熔岩台地处玄武岩厚约39 m,其中可见5个明显的“气孔带”,相应段井径扩大,电阻率呈现明显的低阻特征,是该孔主要出水段。该孔静水位12.5 m,抽水试验降深18 m的情况下,单井涌水量可达528 m³/d;水质测试结果为锗型矿泉水(pH 8.10, Sr 0.56 mg/L, TDS 445.5 mg/L)。该孔的实施解决了困扰两面井乡多年的饮水安全问题,社会效益显著。

3.2 台路沟乡后大营滩村

台路沟乡后大营滩村位于张北县的西南部季节性河流群马河的西岸,其西北、西南和东南三面被玄武岩台地包围,2017年该村曾被列为台路沟乡唯一的省级深度贫困村,目前正在以集中安置、人畜分离等方式进行新农村建设与旅游开发,村内用水安全保障程度较低。因玄武岩台地分布于河谷

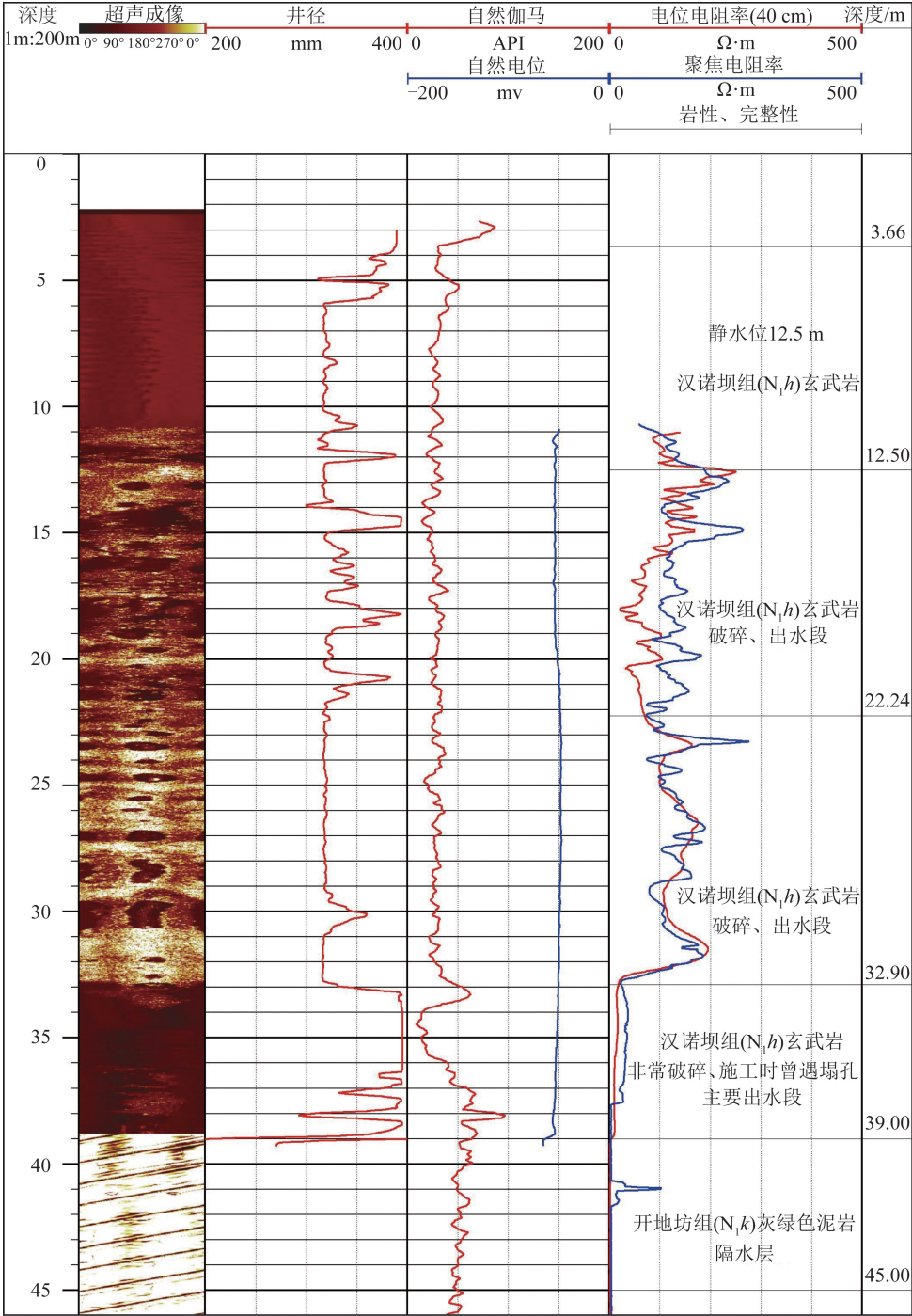


图2 七格赖村探采结合孔(ZB20-08)测井曲线(0~45 m)

Fig. 2 The logging curve of exploration and exploitation well in Qigelai Village(0~45 m)

的外围,距离村庄较远且地下水开采成本较高,河谷内玄武岩主要隐伏于第四系松散层之下,本村寻找玄武岩地下水以寻找河谷型蓄水构造为主,故自北向南在台地及河谷交界地带部署了高密度电阻率法。

勘查结果(图3)显示,整条剖面以300 m为界,

前后具有明显不同的地层结构,前端(北侧)垂向上为厚度超过70 m,水平方向上长约150 m的高阻砂体,推测为河流相砂岩和砂砾岩,中间明显可见电阻率为40~50 Ω·m的“眼球状”透镜体,分析应为孔隙较发育的玄武岩。后端(南侧、靠近群马河)呈现典型的三层结构,中部的泥岩从北往南逐渐增

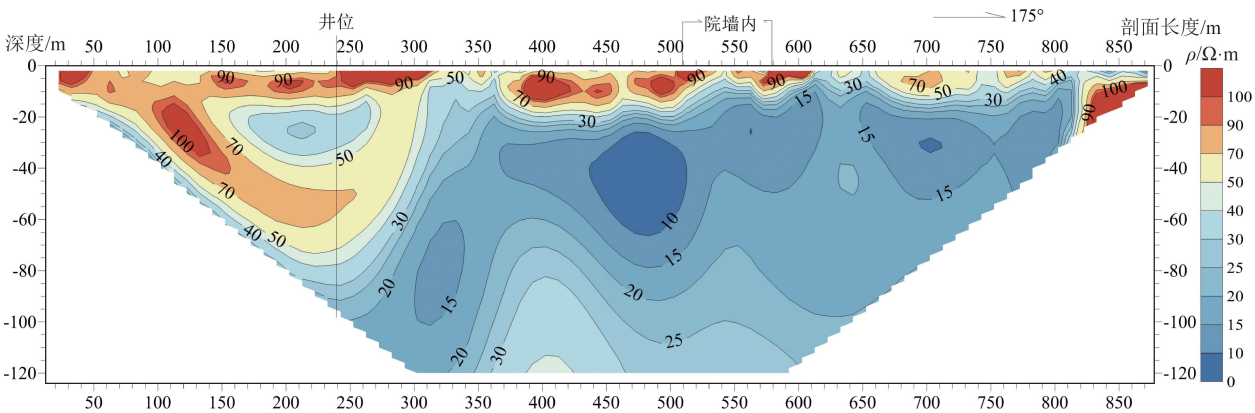


图 3 后大营滩探采结合孔高密度 I 线二维反演结果

Fig. 3 The two-dimensional inversion results of high density resistivity line I of exploration and exploitation well in Houdayingtan Village

厚,为较好的隔水层,下部为孔隙较发育的砂岩。据解译结果,孔位布置于该线 240 m 位置处,结果显示,0~6 m 为第四系亚砂土,6~35 m 为孔隙较发育的玄武岩,35~100 m 为灰白色松散的砂层,判断为古河道沉积物,该古河道沉积物的厚度高逾 70 m,平面上沿近 SN 走向,长度大于 150 m。玄武岩层直接覆盖于古河道的砂层之上,为典型的河谷型蓄水构造。该孔静水位 10.76 m,抽水试验降深 8.26 m 的情况下,涌水量可达 1200 m³/d;水质测试结果为锍型矿泉水 (pH 8.05, Sr 0.45 mg/L, TDS 334.08 mg/L)。

3.3 公会镇东不拉村

张北县公会镇地处安固里淖排泄区,内陆水系的蒸发浓缩作用造成区内普遍水质较差,镇内 30 余

个村庄及易地扶贫搬迁的集中安置区采用统一的集中供水,但集中供水水源面临供水量不足、用水安全保障程度较低等情况。经过精心勘查,在熔岩台地边缘(水文地质调查发现沿该熔岩台地边缘出露 NE65°向延伸,倾角约 70°的断层)东不拉村一带施工 1 眼探采结合孔(图 1,ZZB19-07),孔深 200.7 m,于 97.45 m 左右遇一张性断层,玄武岩极为破碎,断层带为主要出水段,分析认为该孔揭穿为典型断裂型蓄水构造(图 4)。该孔因上部松散层内的地下水被封住,静水位 44.62 m,抽水试验显示降深 40.89 m 时,涌水量 886 m³/d,该孔的成功实施极大缓解了公会镇及集中安置区的生活用水紧张局面。

3.4 二泉井乡西大淖村

二泉井乡西大淖村位于张北盆地北部边缘地

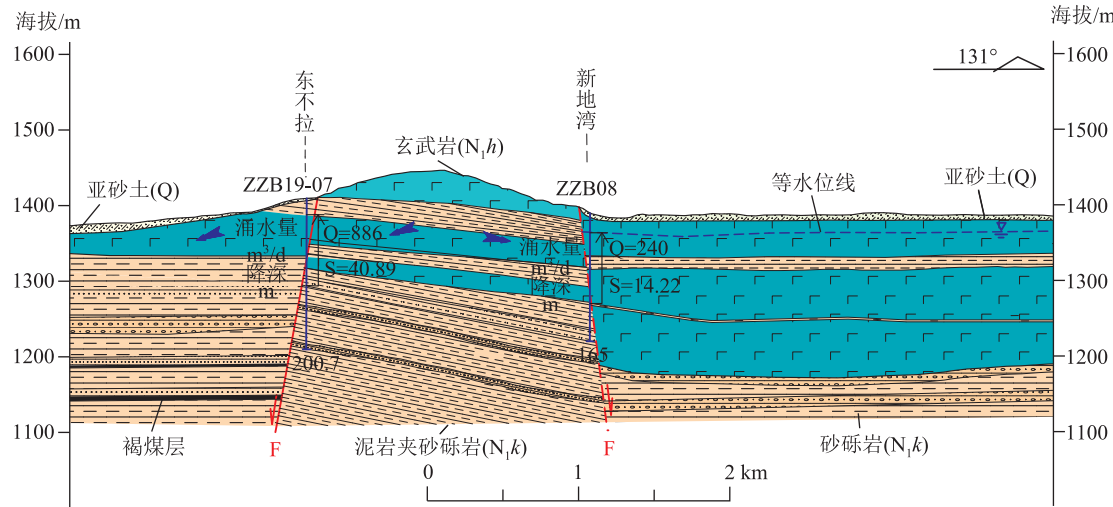


图 4 东不拉探采结合孔水文地质剖面示意图

Fig. 4 The hydrogeological profile of exploration and exploitation well in Dongbula Village

Q—第四系;N₁h—新近系汉诺坝组;N₁k—新近系开地坊组

带,地表均为第四系覆盖,下部为玄武岩及元古代变粒花岗岩。2019 年度在该村西北部成功实施 1 眼探采结合孔(图 1,ZZB19-06),孔深 170 m,揭露了坝上玄武岩地区罕见的大型孔洞型蓄水构造。高密度电法勘查结果(图 5)显示,该处上部 80 m 左右的玄武岩是找水目的层,其中 40~80 m 段表现为 $30 \Omega \cdot \text{m}$ 等值线所围限区域,推测认为该段玄武岩孔洞、裂隙发育程度极好。而另一条过孔位并垂直 IV 线的高密度电法勘查结果(图 6),亦进一步验证了该分析判断,解译结果可见有明显的似层状含水层。综合不同方向的高密度勘查结果,认为该玄武岩 40~80 m 段玄武岩孔洞裂隙极发育,推测有玄武岩孔洞水存在的可能。

孔位选择于高密度 IV 线 370 m 位置处,钻进过程中,于 60.1~76 m 深度位置直接掉钻,除捞有砂砾石及直径 2~7 cm 玄武质卵砾石外,未取得岩心,该段为一高约 16 m 的大型孔洞层,后采用水泥等灌浆才能继续钻进。抽水试验显示降深在 0.23 m 时,涌水量约 $3123.84 \text{ m}^3/\text{d}$,水量极丰富。

该孔洞型蓄水构造,规模之大,在坝上及邻近玄武岩分布区是极罕见的,不论是从蓄水构造成因、地下水补径排条件方面均具有代表性,其储水空间巨大,能起到多年的调节作用,富水特征类似岩溶地区地下暗河,为区内水文地质调查重要新发现。

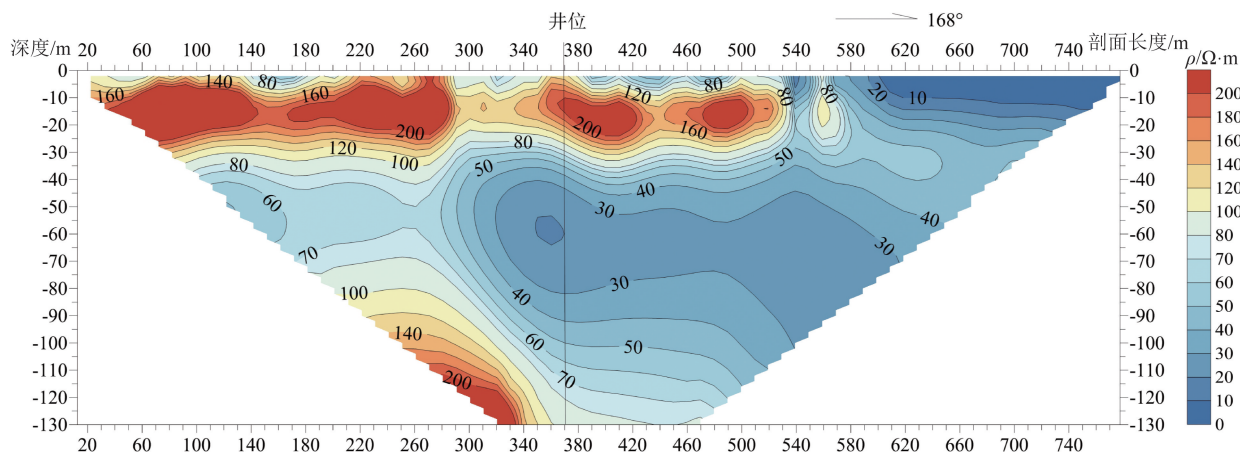


图 5 西大淖探采结合孔高密度电阻率法 IV 线勘查结果

Fig. 5 The investigation results of high density resistivity line IV of exploration and exploitation well in Xidanao Village

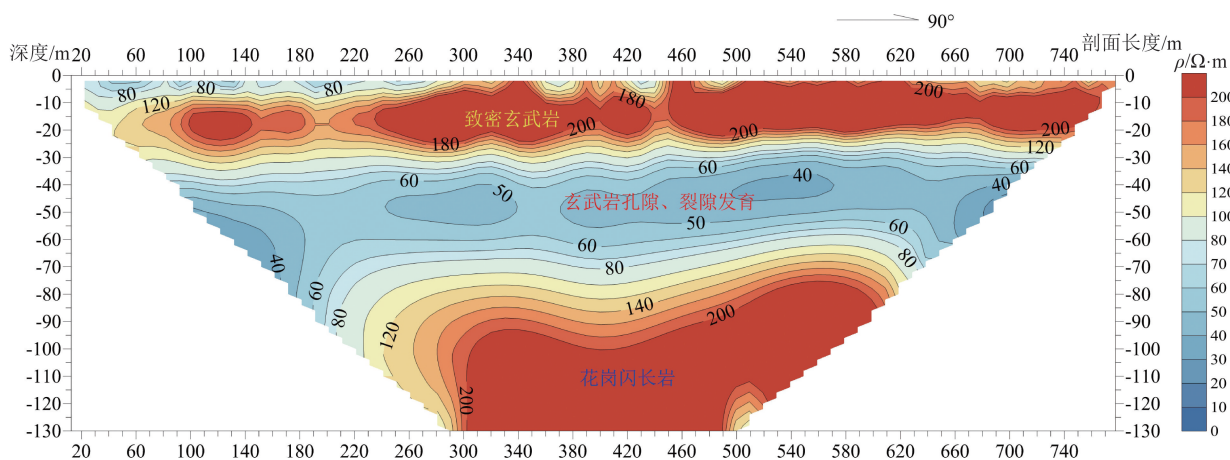


图 6 西大淖探采结合孔高密度电阻率法 III 线勘查结果

Fig. 6 The investigation results of high density resistivity line III of exploration and exploitation well in Xidanao Village

4 结 论

(1)张北县区内玄武岩蓄水构造类型主要可以分为单斜型、断裂型及大型孔洞型,其中单斜型蓄水构造依据玄武岩出露条件、所处地貌单元,又可以分为台地型、平原埋藏型、火山锥外围型及河谷型。本次研究系统地划分了坝上张北地区新生代玄武岩的蓄水构造类型,较前人研究新增了断裂型、大型孔洞型两类,并分别总结了不同类型的蓄水构造的富水性影响因素。

(2)单斜型蓄水构造富水性影响因素主要与玄武岩风化壳(气孔带)的孔隙率、连通性,以及所夹碎屑岩的岩性、结构等有关。风化壳(气孔带)孔隙率越大,连通性越强,其富水性越好;当玄武岩所夹为砂砾石、粗砂或玄武岩直接覆盖砂砾石层之上时,其含水、透水性一般较好;玄武岩厚度是影响台地型蓄水构造富水性的重要因素。断裂型蓄水构造富水性主要受断裂的力学性质及后期活动性影响,一般张性断裂导水、富水性较好,新近活动的断裂往往具有充填程度低、胶结程度差等特点,有利于地下水的导水与富集。

(3)大型孔洞型蓄水构造在坝上玄武岩地区是首次发现,其储水空间巨大,富水性极好,富水特征类似岩溶地区地下暗河;玄武岩孔洞规模、连通性是其富水性主要影响因素。

致谢:对参与野外调查及室内资料整理的中国地质调查局水文地质环境地质调查中心“太行山北段综合地质调查”项目组成员,以及成文过程中提出宝贵修改意见的审稿专家等表示衷心感谢。

参考文献

[1] 刘光亚.基岩蓄水构造的理论与实践[J].河北地质学院学报,

1981,(4):28,50-56.

- [2] 肖楠森,高明.论新构造运动对地下水资源分布的控制作用[J].工程勘察.1982,(4).1-6.
- [3] 袁文波.近代地壳运动对基岩裂隙水的控制作用研究[D].南京大学硕士学位论文,2018.
- [4] Kulkarni H, Deolankar S B, Lalwani A, et al. Hydrogeological framework of the Deccan basalt groundwater systems, west-central India[J].Hydrogeology Journal,2000,8: 368-378.
- [5] Lau M.Hydrology of the Hawaiian Islands[M].Honolulu: University of Hawaii Press,2006.
- [6] Fernandes A J, Maldaner C H, Negri F, et al.Aspects of a conceptual groundwater flow model of the Serra Geral basalt aquifer(Sao Paulo, Brazil) from physical and structural geology data [J]. Hydrogeology Journal,2016,24(5): 1199-1212.
- [7] 刘光亚,谭绩文,孙德佩.汉诺坝玄武岩的时代归属[J].河北地质学院学报,1978,(2): 32-46.
- [8] 谭绩文,刘亚民.汉诺坝玄武岩次生洞穴形成条件及其水文地质特征[J].河北地质学院学报,1983,(3): 23-35.
- [9] 贾福海.中国玄武岩地下水[M].北京:地质出版社,1993: 47-62.
- [10] 李巨芬,李伟,冯庆达,等.山东临朐盆地新构造运动特征及其对地下水的控制作用[J].水文地质工程地质,2020,47(1): 28-36.
- [11] 莫若平,邵显珉,赵延庆.内蒙古锡盟地区新生代玄武岩地下水富集规律探讨[J].内蒙古煤炭经济,2002,(6): 70-72.
- [12] 刘国兴,冯文丽,姜志刚,等.玄武岩地区地下水资源富水性影响因素分析[J].水资源研究,2010,(4): 5-7.
- [13] 曹新文,马秀敏,彭华,等.山东蓬莱玄武岩覆盖区高密度电法找水效果分析[J].地球物理学进展,2018,33(6): 2528-2534.
- [14] 罗旋,朱庆俊,于蕾,等.综合电法在张北县玄武岩孔洞水勘查中的应用[J].地质调查与研究,2020,43(3): 251-258.
- [15] 闫永福.冀西北坝上新构造运动[J].华北地质矿产杂志,1998,(2): 3-5.
- [16] 王行军,王德强,班长勇,等.冀西北康保、沽源一带新构造运动特征[J].地质调查与研究,2006,(1): 38-46.
- [17] 万天丰.中国大地构造学[M].北京:地质出版社,2011: 202-246.
- [18] 蔡华昌,张四昌,张振江,等.张北地震区的断裂构造特征[J].华北地震科学,2002,(2): 1-9.