超星·期刊

2024 年 1 月 地 球 学 报 Jan. 2024
第 45 卷 第 1 期: 63-72 Acta Geoscientica Sinica Vol.45 No.1: 63-72
www.cagsbulletin.com

北京小汤山地区第四系高氟地下水与地热水关系研究

刘宗明[1, 2)], 孙少游[3)*], 马静晨[2, 4)], 郭 帅[4)], 李 翔[1, 2)]

1)北京市地质矿产勘查院, 北京 100195; 2)自然资源部浅层地热能重点实验室, 北京 100195;
3)北京市市政工程设计研究总院有限公司, 北京 100082; 4)北京市工程地质研究所, 北京 100084

摘 要: 北京小汤山地区第四系深层地下水氟含量普遍超标, 严重制约区域供水。在收集整理基础地质、水文地质、地热地质资料基础上, 开展第四系高氟地下水与地热水之间关系研究工作。研究表明: 小汤山地区位于复式背斜的核部区域, 该区热储层与第四系地层直接接触并形成水力“天窗”, 受构造应力影响在热储层发育大量张性裂隙, 加之上覆第四系盖层结构松散且厚度较薄, 导致该区成为地热富集带; 在高温高压环境下, 地热水中氟化物含量普遍较高, 地热水上涌同第四系深层地下水发生热流-冷流的混合作用, 导致第四系深层地下水中氟化物含量升高, 形成第四系高氟地下水。

关键词: 城市地质; 高氟地下水; 地热水; 热储层

中图分类号: P641.3 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2023.030201

Study on the Relationship between Quaternary High-fluorine Groundwater and Geothermal Water in Xiaotangshan Area, Beijing

LIU Zongming[1, 2)], SUN Shaoyou[3)*], MA Jingchen[2, 4)], GUO Shuai[4)], LI Xiang[1, 2)]

1) *Beijing Institute of Geology, Beijing* 100195;
2) *Key Laboratory of Shallow Geothermal Energy, Ministry of Natural Resources, Beijing* 100195;
3) *Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Beijing* 100082;
4) *Beijing Institute of Engineering Geology, Beijing* 100084

Abstract: The fluorine content of deep groundwater generally exceeds the standard in Xiaotangshan area of Beijing, which seriously restricts the regional water supply. Based on the collection of basic geological, hydrogeological, and geothermal geological data, the relationship between quaternary high-fluorine groundwater and geothermal water was studied. The study showed that Xiaotangshan area is in the nuclear part of the anticline. In this area, the geothermal reservoir is in contact with the quaternary strata. Under the influence of tectonic stress, a large number of tensile fractures have developed in the geothermal reservoir. Moreover, as quaternary strata are loose and thin, this area has become a geothermal enrichment zone. Under high temperature and pressure, the fluoride content of geothermal water is generally high. Because of the mixing of geothermal water and quaternary deep groundwater, the fluoride content of quaternary deep groundwater increases and high-fluoride groundwater is formed.

Key words: urban geology; high-fluoride groundwater; geothermal water; geothermal reservoir

氟是人体正常代谢的必需微量元素之一, 与人体健康密切相关。当氟摄入过少会引起龋齿和钙、磷代谢及骨质疏松, 老年人导致骨折; 而氟摄入过量则导致氟中毒, 会引起氟斑牙、氟骨症、肾脏、肝脏、大脑损害、免疫功能异常、肺水肿、肺出血等疾病。地方性氟中毒病是一种世界性的地方病,

本文由北京市自然科学基金项目(编号: 8181002)资助。
收稿日期: 2022-10-10; 改回日期: 2023-02-16; 网络首发日期: 2023-03-03。责任编辑: 张改侠。
第一作者简介: 刘宗明, 男, 1980 年生。硕士, 教授级高级工程师。长期从事城市地质、水文地质、地热地质等方面研究与技术管理工作。E-mail: 472584949@qq.com。
*通信作者: 孙少游, 男, 1983 年生。硕士, 高级工程师。长期从事水文水资源、水土保持、水文地质、地热地质等方面研究与技术工作。E-mail: 418171619@qq.com。

超星·期刊

亚洲、欧洲、非洲、美洲等均有报道。在中国，地方性氟中毒病主要分布于贵州、陕西、甘肃、山西、山东、河北、辽宁、吉林、黑龙江等省。人体中氟摄入主要来源于饮水和食物，研究发现水中氟比食物更易于人体吸收。我国北方大部分地区以地下水作为城市主要饮用水源，高氟地下水具有危害大、降解难、成因复杂等特点，因此研究高氟地下水的分布规律及成因机理具有重要的意义。国内外的学者对地下水中氟来源和成因展开了大量的研究工作，高氟地下水形成主要分为三类。

(1)溶滤型

主要分布在富氟岩石和土壤地区。在变质岩、花岗岩出露的山区，存在大量的氟磷灰石、电气石、萤石、黑云母、氟镁石等含氟矿物，在风化作用、溶滤作用下，含氟矿物分解融入地下水(Kanisiwa, 1979; Rao et al., 2003; Valenzuela-Vasquez et al., 2006; 蔡贺等, 2010; 巴建文等, 2010)。同时，土壤的母质来源为岩石风化物，在含氟矿物周边土壤中的氟含量也相对较高，如中国北方黄土地区(李晓颖等, 2009; 李培月等, 2010; 秦兵等, 2012; 张春潮等, 2013)。溶滤型高氟地下水受富氟岩土体控制明显，呈片状分布。

(2)蒸发浓缩型

主要分布在平原和盆地等区域。特别在冲洪积扇中下部地区，地势平坦，第四系松散层属粉细砂与黏土互层结构，地下水埋深较浅，水流缓慢，在干旱气候条件下浅层地下水蒸发作用强烈，蒸发浓缩作用导致地下水中矿物质含量增高，氟普遍超标。如华北平原(李世君等, 2012; 姜体胜等, 2012; 邢丽娜等, 2012; 王新娟等, 2013; 申月芳等, 2021)、松嫩平原(蔡贺等, 2013; 贾璐等, 2021)等地区。蒸发浓缩型高氟地下水主要分布在第四系浅层地下水中，呈面状分布。

(3)地热型

主要分布在地热富集区及深大断裂周边。深层地热水在高温高压环境下，同围岩不断发生物理化学反应，热水中氟含量普遍较高。在深大断裂周边，深部地热水顺断裂带上涌，同第四系地下水混合，导致氟含量超标。如吉林长白山天池(曹玉和等, 2010)、河南南阳盆地(陈娇等, 2013)等地区。地热型高氟地下水主要受深层地热水控制，呈条带状分布，往往在第四系深层地下水氟超标。

高氟地下水成因机理不同，氟化物分布特征也不相同，因此全面掌握高氟地下水不同成因类型，对分析某一地区地下水中氟化物分布规律具有重要意义。现有成果对溶滤型和蒸发浓缩型高氟地下水成因研究较多，而地热型高氟地下水成因研究不够深入，相关文献资料较少。北京小汤山地区第四系深层地下水氟含量普遍超标，严重制约区域供水，本文通过收集整理基础地质、水文地质、地热地质等相关资料，开展第四系高氟地下水与地热水关系研究工作，研究成果对于区域供水井的设计实施，以及保障区域供水安全具有现实的社会意义，为今后国内外研究地热型高氟地下水成因机理工作奠定基础。

1 研究区概况

小汤山地区位于北京市昌平区，地处东经116°20′—116°26′，北纬 40°09′—40°12′之间，总面积约 70 km^2。小汤山地区山丘较小，海拔仅 50 m 高，且山麓中有温泉，古人称热水为“汤”，故得名小汤山。小汤山地区自古便有温泉露头，明代此处曾辟为皇家禁苑，清康熙年间在此建汤泉行宫，宫内有乾隆御墨“九华兮秀”四字。建国后，该区地热资源得到充分开发利用，后经评估圈定为小汤山地热田(图 1)。

1.1 基础地质条件

研究区在构造上由黄庄—高丽营断裂和南口断裂切割形成倒三角状复式背斜结构，小汤山地区处于背斜核部地区，向南为背斜翼部地区；地层由新至老依次沉积第四系、白垩系、侏罗系、奥陶系、

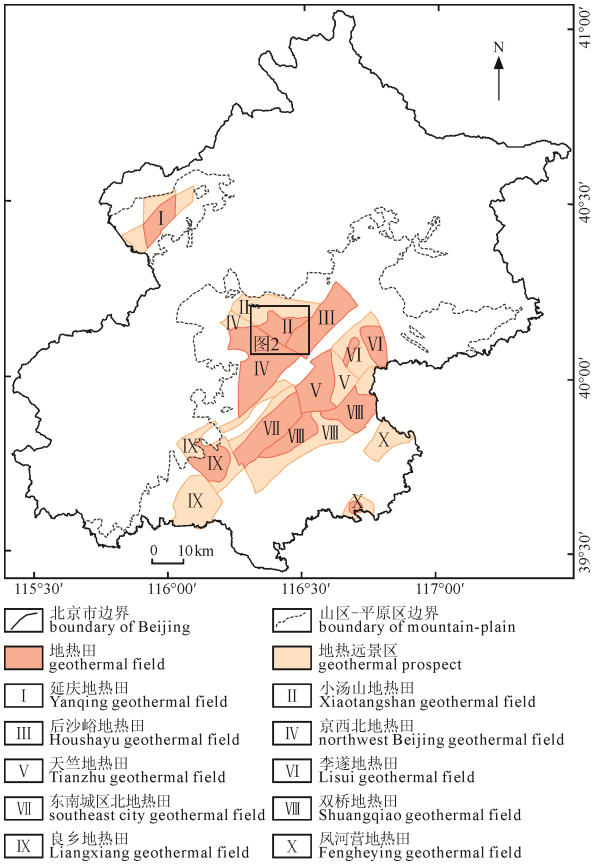


图 1 北京市地热田及地热远景区图

Fig. 1 Geographical field and geographical prospect in Beijing

超星·期刊

寒武系、青白口系和蓟县系(表 1)；主要发育黄庄—高丽营断裂、南口断裂、大柳树断裂、阿苏卫断裂、马坊断裂，其中黄庄—高丽营断裂、南口断裂属深大断裂，为全新世活动断裂(图 2)。

(1)黄庄—高丽营断裂

断裂走向为 45°，倾向南东，倾角近 75°，为高角度正断裂；断裂于燕山运行末期切断了侏罗系及其以前地层，钻孔显示断裂两侧第四系沉积厚度相差近 700 m。

表 1　北京小汤山地区地层表

Table 1　Geologic stratum in Xiaotangshan Area, Beijing

界	系	组	岩性	厚度/m
新生界	第四系(Q)	/	红棕色、黄棕色中细砂、粉砂、黏砂	147~443
中生界	侏罗系(J)	/	紫灰、紫红色安山岩，安山质角砾岩	28~786
古生界	奥陶系(O)	/	浅灰-深灰色灰岩	306~466
	寒武系(€)	/	浅灰-深灰色灰岩、灰紫色页岩	603~1 156
中上元古界	青白口系(Qn)	景儿峪组(Qn*j*)	灰绿、浅黄灰泥灰岩	172~197
		长龙山组(Qn*l*)	青灰色石英砂岩	75~94
		下马岭组(Qn*x*)	褐灰、黑色页岩	330 左右
	蓟县系(Jx)	铁岭组(Jx*t*)	灰色白云岩、泥质白云岩	527~546
		洪水庄组(Jx*h*)	灰黑、黑色页岩	68~75
		雾迷山组(Jx*w*)	浅灰、灰色白云岩、硅质白云岩、燧石团块白云岩	未揭穿

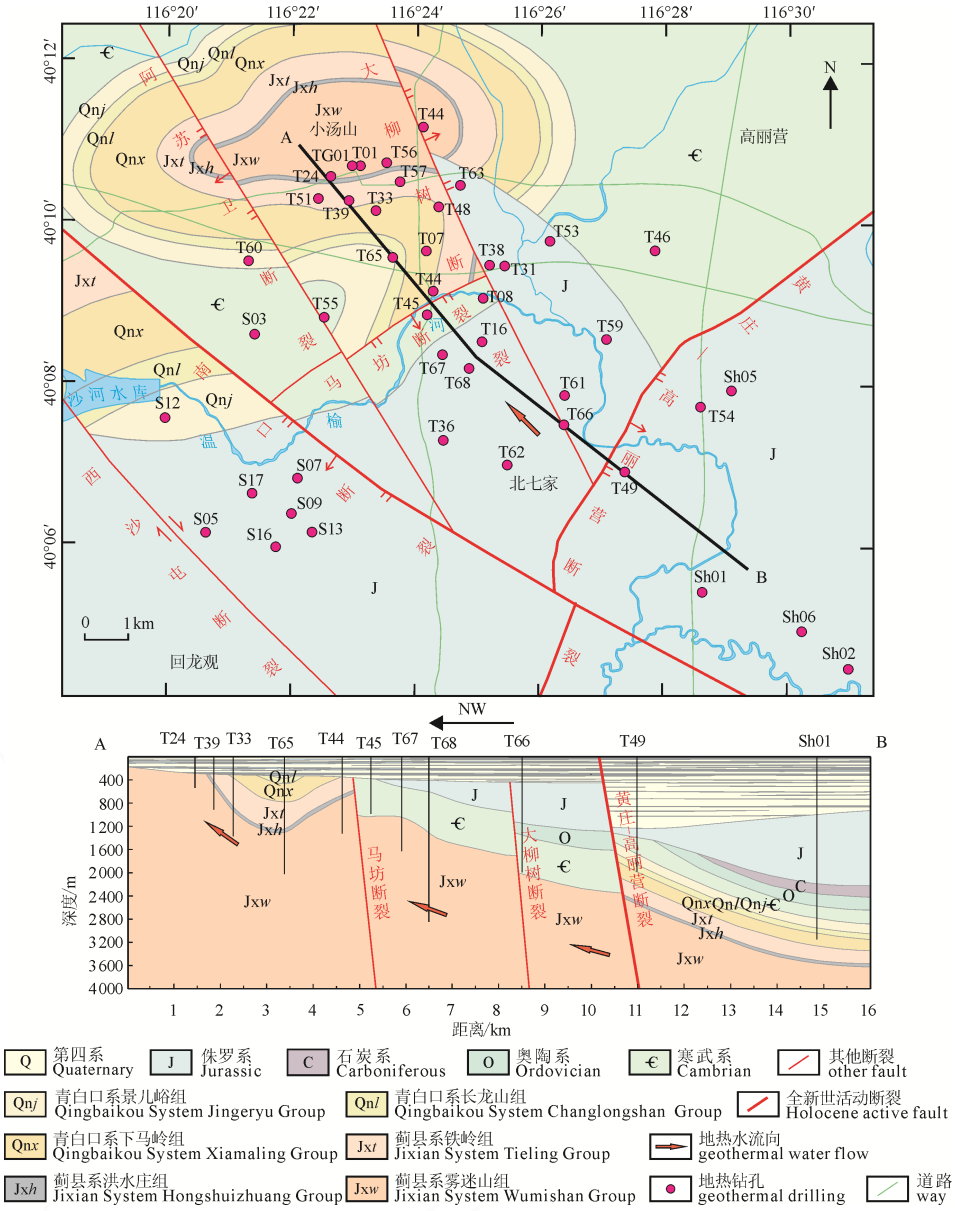


图 2　北京小汤山地区地质图

Fig. 2　Geological map in Xiaotangshan Area, Beijing

超星·期刊

(2)南口断裂

断裂走向为 315°，倾向南西，倾角为 60°~70°，为正断层；燕山期该断裂具有明显的左旋特征，而喜山期表现为差异性升降运动。

1.2 水文地质条件

研究区位于北运河地下水系统中游地区，该区城市供水以第四系孔隙地下水为主，属河湖沉积相松散颗粒层结构，岩性为中细砂、粉砂、黏砂互层结构，地下水主要蕴藏于中细砂、粉砂地层中，属孔隙地下水类型。根据含水层不同埋藏深度，可分为四个含水层组，第一含水层组含水层埋深 30~50 m、第二含水层组 70~100 m、第三含水层组 150~180 m、第四含水层组 270~300 m。第一含水层组和第二含水层组统称为浅层地下水，主要用于农业灌溉、工业用水等方面；第三含水层组和第四含水层组统称为深层地下水，主要用于本地居民饮用水。

研究区第四系地下水富水性较好，出水量为 1 000~2 000 m^3/d；浅层地下水水位埋深整体呈西北浅、东南深的特点，在小汤山地区地下水埋深为 10~15 m，向东南可达 25~30 m(图 3)。地下水补给

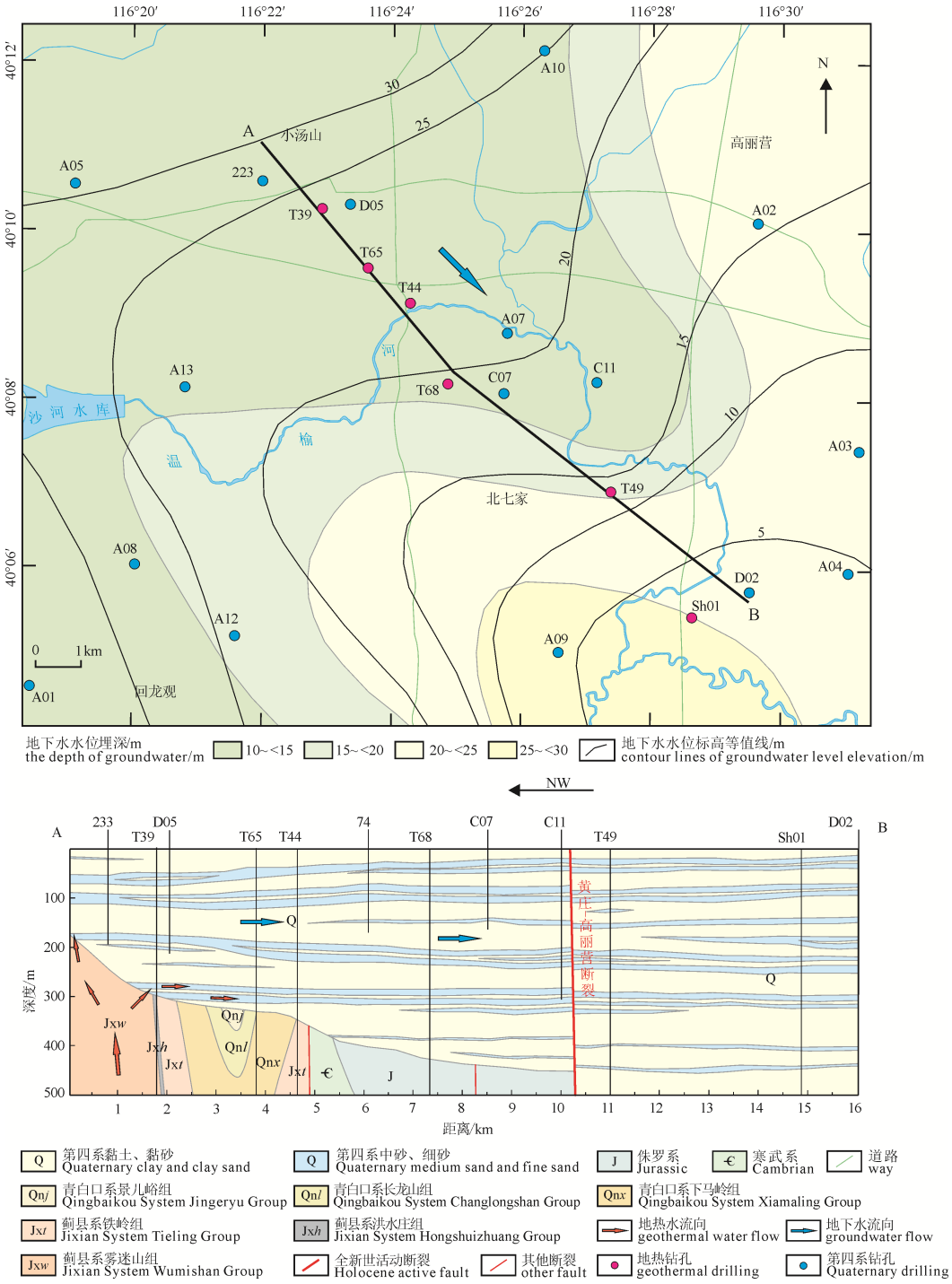


图 3 北京小汤山地区第四系地下水水位等值线图

Fig. 3 Contour lines of Quaternary groundwater level in Xiaotangshan Area, Beijing

超星·期刊

为大气降水、温榆河补水和山区侧向径流补水，排泄方式为人工开采、侧向径流排出，地下水流动方向总体由西北向东南流动(图 3)。

1.3　地热地质条件

研究区位于小汤山地热田内，地热资源勘查工作可追溯到 20 世纪 50 年代。1970 年后，陆续钻凿了几眼地热井，早期开采的地热井多为自流井，随着地热井的不断开凿，地热开采量逐年增加，地热水位呈现逐年下降的趋势。自 2000 年开始，政府采取了控制开采、增加回补等措施，地热资源超采得到有效控制，地热水位逐渐回稳。目前小汤山地热田共有各类地热井 100 余眼，热田面积 186.42 km^2，是北京开发时间最早、勘查和开发程度最高的地热田。

(1)热储层

研究区热储层为蓟县系雾迷山组白云岩地层，在局部地区也存在蓟县系铁岭组地层热水混采现象，该地层属岩溶裂隙型热储层，是地热资源富集的前提条件。

(2)热储盖层

研究区热储盖层为青白口系、寒武系、奥陶系、侏罗系、第四系地层，在黄庄—高丽营断裂和南口断裂交汇区热储盖层厚度最大，可达 2 500 m，热储层顶板温度 70 ℃(图 4)。热储盖层起到了良好的隔热保温作用，随着热储盖层厚度的增加，热储层顶板温度也随之增加。

(3)导热通道

由图 4 还可以看出，地层深部高温区主要分布在黄庄—高丽营断裂周边，呈明显的条带状分布，在黄庄—高丽营断裂和南口断裂交汇处温度大于 75 ℃。由此可见黄庄—高丽营断裂是导热构造，构成深部热流的上涌通道，深部热流来自于黄庄—高丽营断裂和南口断裂交汇处；而南口断裂、大柳树断裂、阿苏卫断裂、马坊断裂是深部热流的扩散通道。

2　第四系高氟地下水分布特征

北京地区已建成覆盖全市域的地下水监测网，包括监测井 1 786 眼，其中区域地下水监测网 1 306 眼井、重点污染源监测网 480 眼井，每年定期开展地下水位、水质监测工作。本文选取其中

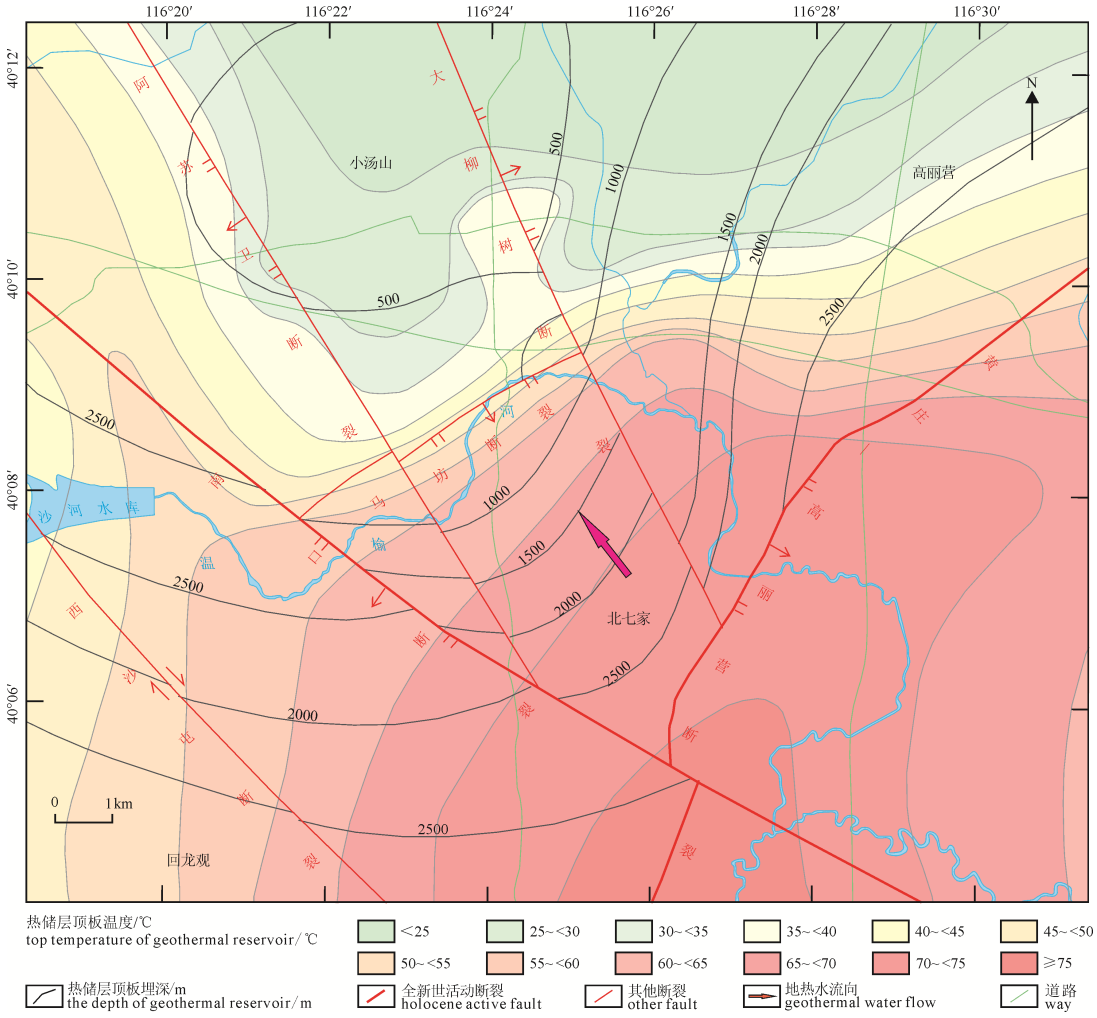


图 4　北京小汤山地区地热地质图

Fig. 4　Geothermal geological map in Xiaotangshan Area, Beijing

超星·期刊

46 眼第四系监测井，其中包括第一含水层组地下水监测井 13 眼、第二含水层组监测井 14 眼、第三含水层组监测井 12 眼、第四含水层组监测井 7 眼。采用 2020 年 9 月监测数据进行分析，研究该区第四系地下水氟化物分布特征。

根据水质分析资料结果，研究区第一含水层组地下水中氟化物存在点状超标，超标点位于小汤山地区的 A06 井，超标含量为 1.25 mg/L；第二含水层组地下水中氟化物并未超标；第三含水层组地下水中氟化物在小汤山地区存在面状超标区，超标面积为 13.2 km^2，超标含量为 1.08~1.49 mg/L；第四含水层组地下水中氟化物出现大规模面状超标区，超标面积为 97.1 km^2，超标含量为 2.94~3.05 mg/L，超标区以小汤山地区为中心，向东南方向呈扇面展布。由此可见，研究区第四系高氟地下水主要分布在深层地下水(150 m 以深)中，表现为第四含水层组超标面积最大、第三含水层组次之的特征(图 5)。第四系深层地下水主要用于本地居民饮用水，严重威胁了区域供水安全。

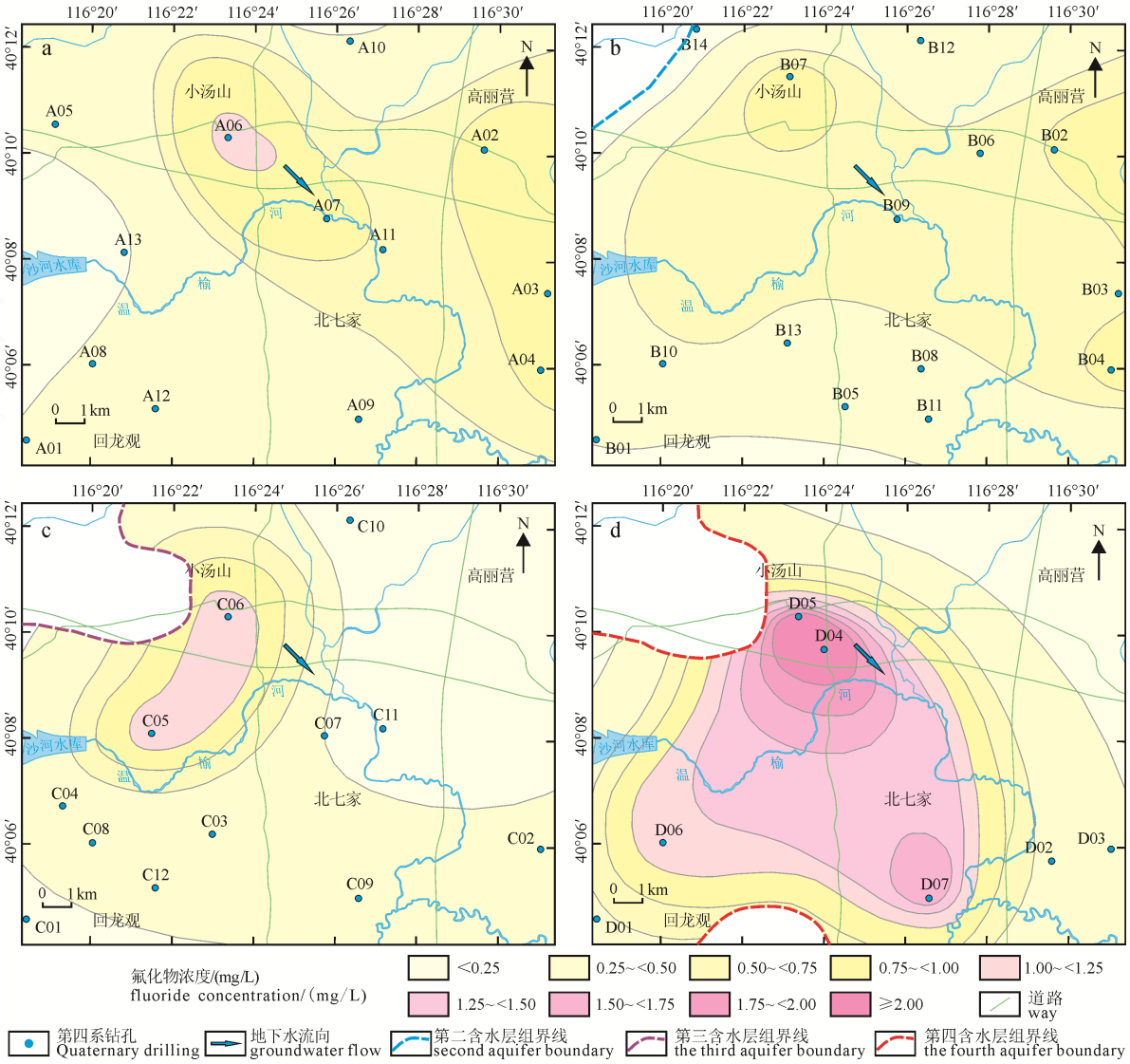
3 第四系高氟地下水与地热关系

3.1 地层接触关系

研究区构造上属复式背斜结构，小汤山地区位于背斜核部，该区第四系厚度较薄，仅为 147 m。地层结构上，第四系深层含水层(第三含水层组、第四含水层组)同热储层蓟县系雾迷山组直接接触，为第四系冷水和热储层热水的混合作用创造了前提条件(图 6)。

3.2 地热富集带形成

通过前文分析，研究区的深部热流来自于黄庄—高丽营断裂和南口断裂交汇处，该地区处于背斜



a—第一含水层组; b—第二含水层组; c—第三含水层组; d—第四含水层组。

a–the first aquifer; b–the second aquifer; c–the third aquifer; d–the fourth aquifer.

图 5 研究区第四系地下水氟化物浓度分区图

Fig. 5 Fluorine concentration of Quaternary groundwate in the study area

超星·期刊

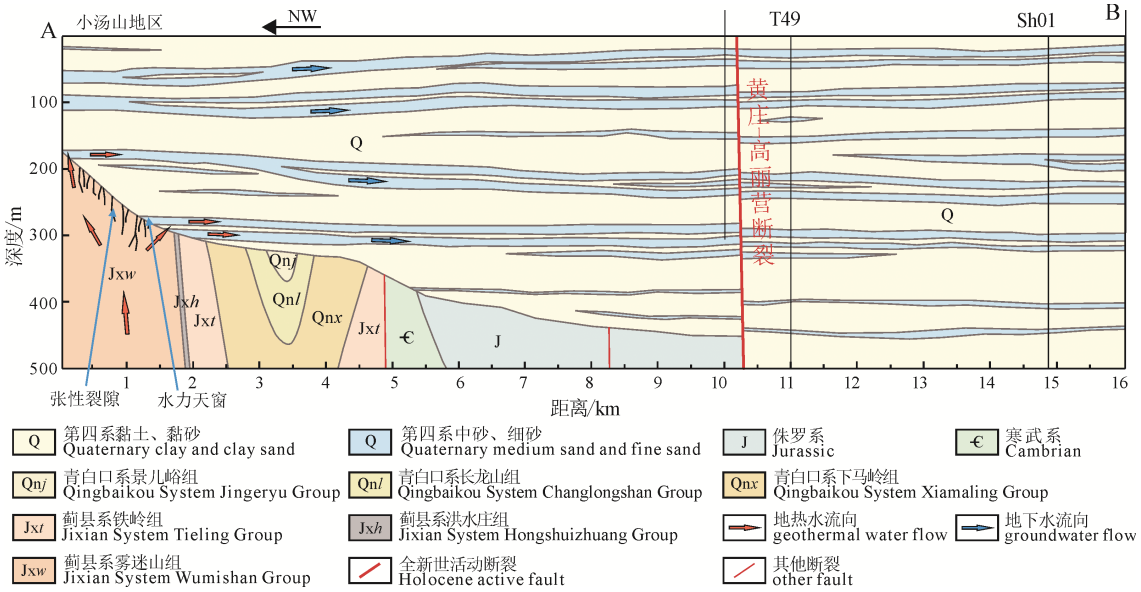


图 6　研究区热水-冷水混合作用示意图

Fig. 6　Schematic diagram of mixing of cold water and hot water in the study area

翼部，热储层埋深较深，热储盖层厚度大于 2 500 m，热储顶板温度大于 70 ℃，地层压力较大，地层深部地质条件复杂，岩溶裂缝发育不均，地热水单位出水量小于 25 $m^3/(d\cdot m)$。

小汤山地区为背斜核部，受大地构造作用力影响，在背斜核部顶端的热储层发育大量的张性裂隙，形成了良好的导水通道，加之上覆第四系盖层结构松散且厚度较薄，地层压力较小，导致该区成为地热水压力释放区。深部地热水由地层压力较大的南侧背斜翼部向北流动，在地层压力较小的背斜核部小汤山地区汇聚形成地热富集带，该区地热水单位出水量基本大于 100 $m^3/(d\cdot m)$(图 7)。

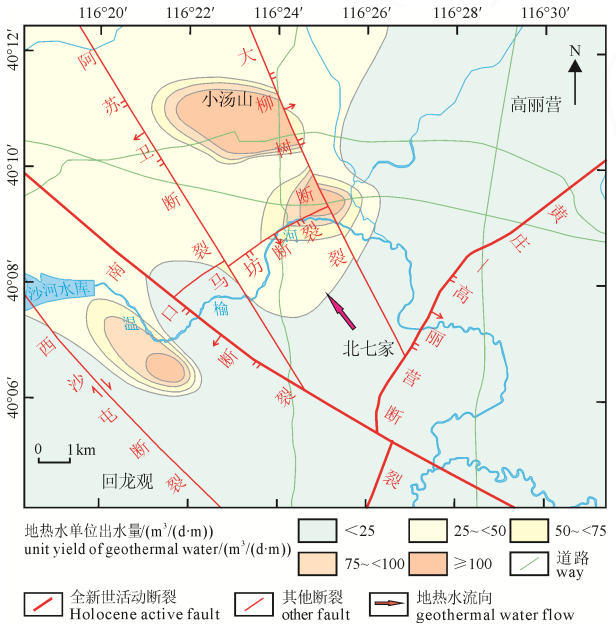


图 7　研究区地热水出水量分区图

Fig. 7　Geothermal water yield in the study area

3.3　水力联系

图 8 选取小汤山地区典型监测井多年水位数据进行分析，从图中可以看出，在第四系和热储层的接触带区域形成了水力“天窗”，地热水和第四系深层地下水(第三含水层组、第四含水层组)的热水-冷水混合作用大致可分为三个阶段。在 2005 年以前，地热水的承压水头高于第四系深层地下水，属热流补给冷流期；2005—2010 年，地热水的承压水头和第四系深层地下水相近，属热流-冷流交织互补期；2010 年以后，地热水的承压水头低于第四系深层地下水，属冷流补给热流期。

3.4　水化学特征

研究区第四系浅层地下水(第一含水层组、第二含水层组)水化学类型主要为 HCO_3-Ca·Mg·Na 型、HCO_3-Ca·Mg 型、HCO_3-Mg·Na 型和 HCO_3-Ca·Na·Mg 型，第四系深层地下水(第三含水层组、第四含水层

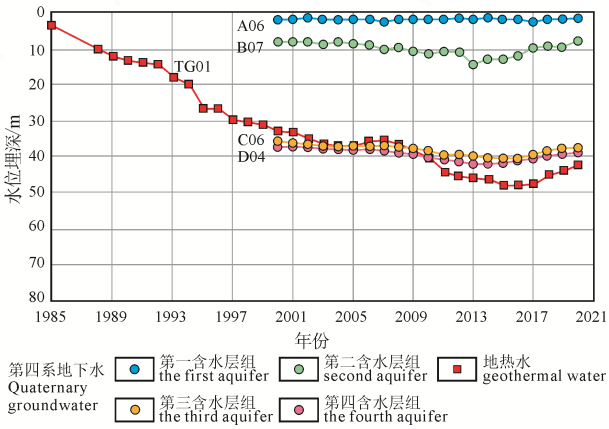


图 8　研究区地热水和第四系地下水多年水位曲线图

Fig. 8　Water level curves of geothermal water and Quaternary groundwater in the study area

超星·期刊

组)水化学类型主要为 HCO_3-Na·Ca 型和 HCO_3-Na 型，而热储层地热水水化学类型为 HCO_3-Na·Ca 型。从水化学类型上看，地热水和第四系深层地下水更为相似。

图 9 为研究区氟化物浓度剖面图，从图中可以看出，小汤山地区地热水氟含量为 6.30 mg/L，第四系第四含水层组地下水氟含量为 3.00 mg/L；第三含水层组为 1.49 mg/L，第二含水层组地下水氟含量为 0.58 mg/L。由此可见，在第四系与热储层直接接触的第四含水层组氟化物含量最高，向上氟化物含量逐渐减小。同时，氯离子、钠离子和钾离子在垂向上也表现出同样的特征，由此可见，地热水通过热流-冷流的混合作用影响了第四系深层地下水的水化学组成。

3.5 综合分析

蓟县系雾迷山组热储层中的地热水在深部运移过程中，在高温高压环境下，不断和围岩发生物理化学反应，导致热水中氟化物含量普遍较高，在研究区可达 4.20~7.60 mg/L。研究区构造上属复式背斜结构，小汤山地区位于背斜核部，第四系与热储层直接接触，形成水力“天窗”。热储层在背斜核部裂隙发育，加之上覆第四系盖层结构松散且厚度较薄，在小汤山地区形成地热富集区，大量地热水汇聚上涌，同第四系第四含水层组地下水发生热流-冷流的混合作用，导致该层地下水中氟化物出现大规模超标，超标含量为 2.94~3.05 mg/L。超标区在平面上表现为以水力“天窗”为中心，向东南方向呈扇面展布的特征，这也同该区第四系地下水总体由西北向东南流动相吻合。在第四系第三含水层组地下水氟化物超标含量为 1.08~1.49 mg/L，表现为该层与地热水存在水力联系，但热水-冷水混合作用并不强烈。而至第二含水层组地下水并未超标，表明与地热水不存在水力联系。由此可见，研究区第四系深层地下水的“氟源”来自地热水，含有高含量氟的地热水在水力“天窗”区域，通过热流-冷流的混合作用，使第四系深层地下水形成高氟区。

值得注意的是，小汤山地区第四系第一含水层组(30~50 m)地下水中氟化物呈点状超标，浅层地下水氟化物超标应首先考虑受蒸发浓缩作用所致，而蒸发浓缩作用一般发生于地下水埋深小于

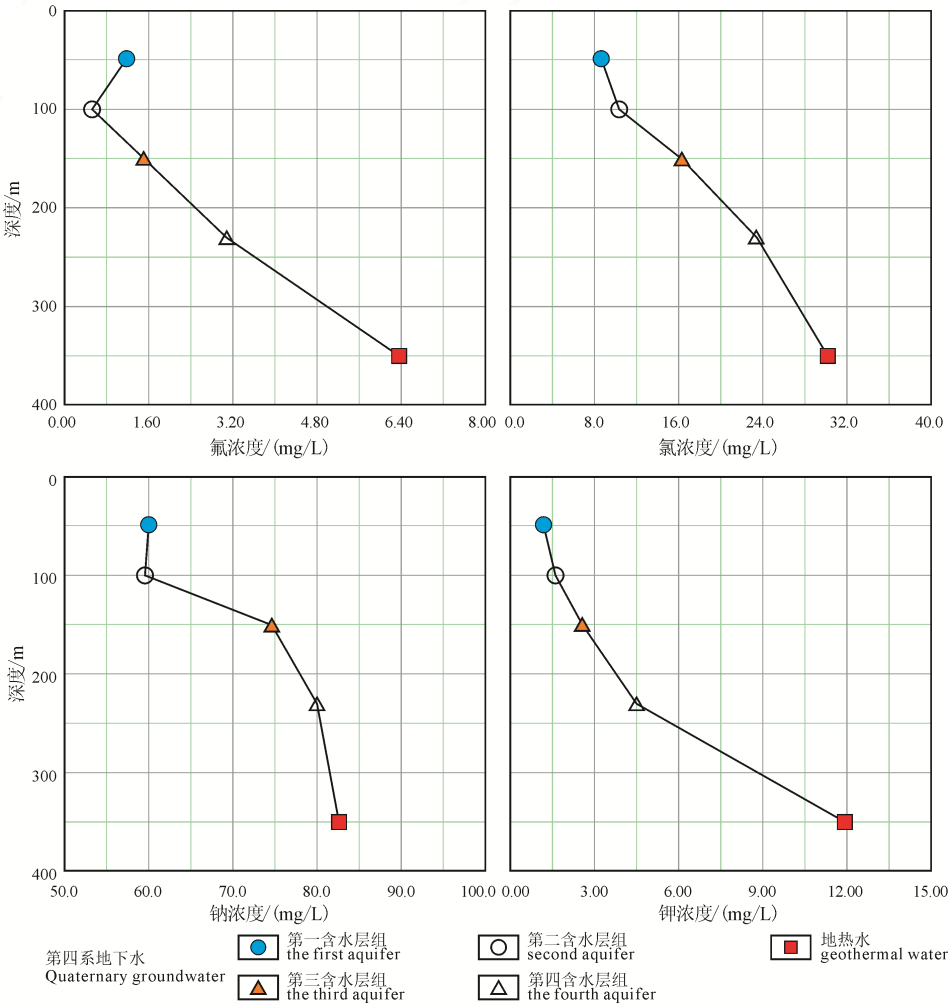


图 9 研究区水化学浓度剖面图

Fig. 9 Profile of the chemical concentration in the water in the study area

超星·期刊

5 m 的区域, 小汤山地区地下水埋深为 10~15 m, 因此基本排除了蒸发浓缩作用。通过地表调查, 发现该区存在多个农业科技园, 地热水也广泛的用于地表农田灌溉、温室大棚、水产养殖, 由此推断地热水通过地表入渗, 使第一含水层组出现个别超标现状。

4 结论

本文通过收集整理基础地质、水文地质、地热地质等相关资料, 开展北京小汤山地区第四系高氟地下水与地热水关系的研究工作, 深入探讨了地热型高氟地下水成因机理, 主要结论如下:

(1)研究区构造上属复式背斜结构, 小汤山地区位于背斜核部, 第四系与热储层直接接触, 形成水力“天窗”;

(2)热储层在背斜核部裂隙发育, 加之上覆第四系盖层结构松散且厚度较薄, 在小汤山地区形成地热富集区;

(3)热储层中地热水上涌和第四系地下水发生热流-冷流的混合作用, 在垂向上表现为第四系第四含水层组最为强烈、第三含水层组次之的特征, 混合作用导致第四系深层地下水形成高氟区。

Acknowledgements:

This study was supported by Natural Science Foundation of Beijing (No. 8181002).

参考文献:

巴建文, 闫成云, 2010. 河西走廊平原区地下水中氟的富集规律及成因探讨[J]. 干旱区资源与环境, 24(3): 93-97.

蔡贺, 王长琪, 张梅桂, 等, 2010. 中国东北饮水型地方性氟中毒的地质环境特征及防治[J]. 中国地质, 37(3): 645-650.

蔡贺, 张梅桂, 李旭光, 等, 2013. 松嫩平原高氟地下水的分布特征及防氟改水研究[J]. 干旱区资源与环境, 27(9): 148-152.

陈娇, 宁立波, 王亚男, 等, 2013. 基于构造控制的深层高氟地下水成因探讨[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 36(5): 86-91.

曹玉和, 齐佳伟, 熊绍礼, 2010. 吉林省氟中毒病区水文质地特征及防氟改水对策[J]. 中国地质, 37(3): 690-695.

贾璐, 梁秀娟, 肖长来, 等, 2021. 白城市浅层高氟地下水分布特征及富集机理[J]. 水电能源科学, 39(1): 51-54, 123.

姜体胜, 杨忠山, 王明玉, 等, 2012. 北京南部地区地下水氟化物分布特征及成因分析[J]. 干旱区资源与环境, 26(3): 96-100.

李培月, 钱会, 2010. 彭阳县饮用地下水氟离子含量空间变异性及其与地质环境的关系[J]. 水资源与水工程学报, 21(2): 33-38.

李世君, 王新娟, 周俊, 等, 2012. 北京大兴区第四系高氟地下水分布规律研究[J]. 现代地质, 26(2): 407-414.

李晓颖, 孙铁珩, 孙丽娜, 等, 2009. 彰武县浅层地下水氟污染特征及成因分析[J]. 河北农业科学, 13(12): 47-49.

秦兵, 李俊霞, 2012. 大同盆地高氟地下水水化学特征及其成因[J]. 地质科技情报, 31(2): 106-111.

申月芳, 马晗宇, 杨耀栋, 等, 2021. 武清凹陷浅层含氟地下水演化特点及成因分析[J]. 物探与化探, 45(2): 528-535.

王新娟, 李世君, 周俊, 等, 2013. 北京大兴区第四系地下水氟分布特征及成因分析[J]. 南水北调与水利科技, 11(2): 52-57.

邢丽娜, 郭华明, 魏亮, 等, 2012. 华北平原浅层含氟地下水演化特点及成因[J]. 地球科学与环境学报, 34(4): 57-67.

张春潮, 王文科, 孙一博, 等, 2013. 高氟地下水影响因素信息的提取[J]. 水资源与水工程学报, 24(3): 76-80.

References:

BA Jianwen, YAN Chengyun, 2010. A discussion of the enrichment and formation of fluorine in groundwater in the plain of Hexi Corridor[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 24(3): 93-97(in Chinese with English abstract).

CAI He, WANG Changqi, ZHANG Meigui, et al., 2010. Geological environment characteristics of potable water endemic fluorosis areas in Northeast China and the prevention and control measures[J]. Geology in China, 37(3): 645-650(in Chinese with English abstract).

CAI He, ZHANG Meigui, LI Xuguang, et al., 2013. Distribution of the high-F groundwater and improvement of water quality in Songnen Plain[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 27(9): 148-152(in Chinese with English abstract).

CHEN Jiao, NING Libo, WANG Ya’nan, et al., 2013. Research on the Genesis of High-fluoride Deep Groundwater Based on Geological Structure[J]. Journal of Natural Science of Hunan Normal University, 36(5): 86-91(in Chinese with English abstract).

CAO Yuhe, QI Jiawei, XIONG Shaoli, 2010. Hydrogeological characteristics of endemic fluorine disease areas of Jilin Province and water source project countermeasures for fluorine prevention[J]. Geology in China, 37(3): 690-695(in Chinese with English abstract).

JIA Lu, LIANG Xiujuan, XIAO Changlai, et al., 2021. Distribution Characteristics and Enrichment Mechanism of Shallow High Fluorine Groundwater in Baicheng City[J]. Water Resources and Power, 39(1): 51-54, 123(in Chinese with English abstract).

JIANG Tisheng, YANG Zhongshan, WANG Mingyu, et al., 2012. The distribution characteristics and causes of fluoride in groundwater of southern district, Beijing[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 26(3): 96-100(in Chinese with English abstract).

KANISIWA S, 1979. Content and behavior of fluorine in granitic rocks, Kitakami Mountains, Northeast Japan[J]. Chemical Geology, 24(1-2): 57-67.

LI Peiyue, QIAN Hui, 2010. Spatial Variability of Fluorion in Drinking Groundwater and Its Relationship With Geologic Environment in Pengyang County[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 21(2): 33-38(in Chinese with English abstract).

LI Shijun, WANG Xinjuan, ZHOU Jun, et al., 2012. Distribution Law of High Fluoride Groundwater in Quaternary in Daxing District of Beijing[J]. Geoscience, 26(2): 407-414(in Chinese with English abstract).

LI Xiaoying, SUN Tieheng, SUN Li’na, et al., 2009. Characteristics and Causes of Fluorine Pollution in Shallow Groundwa-

超星·期刊

ter in Zhangwu County[J]. Journal of Hebei Agricultural Science, 13(12): 47-49(in Chinese with English abstract).

QIN Bing, LI Junxia, 2012. Hydrochemistry and Occurrence of High Fluoride Groundwater in Datong Basin[J]. Geological Science and Technology Information, 31(2): 106-111(in Chinese with English abstract).

RAO N S, DEVADAS D J, 2003. Fluoride incidence in groundwater in an area of Peninsular India[J]. Environmental Geology, 45: 243-251.

SHEN Yuefang, MA Hanyu, YANG Yaodong, et al., 2021. Evolution characteristics and genesis of shallow fluorine-bearing groundwater in Wuqing Sag[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 45(2): 528-535(in Chinese with English abstract).

VALENZUELA-VÁSQUEZ L, RAMÍREZ-HERNÁNDEZ J, REYES-LÓPEZ J, et al., 2006. The origin of fluoride in groundwater supply to Hermosillo City, Sonora, México[J]. Environmental Geology, 51: 17-27.

WANG Xinjuan, LI Shijun, ZHOU Jun, et al., 2013. Fluoride Distribution and Its Genetic Analysis in Quaternary Groundwater of Daxing District in Beijing[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 11(2): 52-57(in Chinese with English abstract).

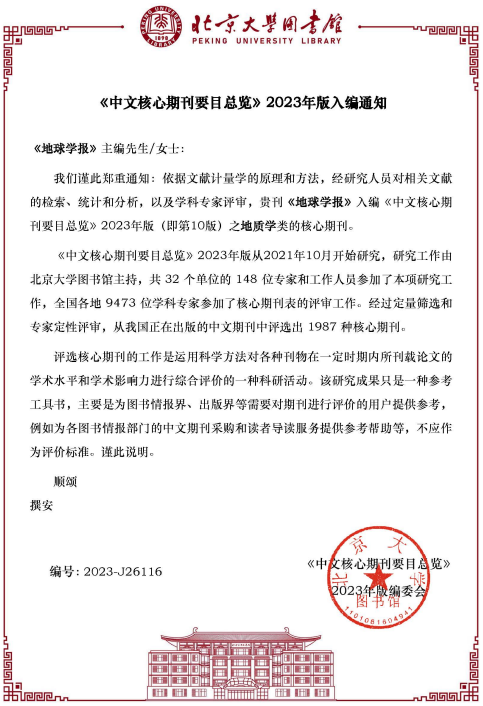
XING Li'na, GUO Huaming, WEI Liang, et al., 2012. Evolution Feature and Gensis of Fluoride Groundwater in Shallow Aquifer from North China Plain[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 34(4): 57-67(in Chinese with English abstract).

ZHANG Chunchao, WANG Wenke, SUN Yibo, et al., 2013. Extraction of information of impact factors of groundwater with high fluoride[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 24(3): 76-80(in Chinese with English abstract).

《地球学报》继续入编《中文核心期刊要目总览》

Acta Geoscientica Sinica Continued to be indexed by *A Guide to the Core Journals of China*

依据文献计量学的原理和方法，经研究人员对相关文献的检索、统计和分析，以及学科专家评审，《地球学报》入编《中文核心期刊要目总览》2023 年版(即第 10 版)之“地质学”类的核心期刊。这是《地球学报》连续第十次入编《中文核心期刊要目总览》。



北京大学图书馆 PEKING UNIVERSITY LIBRARY

《中文核心期刊要目总览》2023年版入编通知

《地球学报》主编先生/女士：

我们谨此郑重通知：依据文献计量学的原理和方法，经研究人员对相关文献的检索、统计和分析，以及学科专家评审，贵刊**《地球学报》**入编《中文核心期刊要目总览》2023年版（即第10版）之**地质学**类的核心期刊。

《中文核心期刊要目总览》2023年版从2021年10月开始研究，研究工作由北京大学图书馆主持，共 32 个单位的 148 位专家和工作人员参加了本项研究工作，全国各地 9473 位学科专家参加了核心期刊表的评审工作。经过定量筛选和专家定性评审，从我国正在出版的中文期刊中评选出 1987 种核心期刊。

评选核心期刊的工作是运用科学方法对各种刊物在一定时期内所刊载论文的学术水平和学术影响力进行综合评价的一种科研活动。该研究成果只是一种参考工具书，主要是为图书情报界、出版界等需要对期刊进行评价的用户提供参考，例如为各图书情报部门的中文期刊采购和读者导读服务提供参考帮助等，不应作为评价标准。谨此说明。

顺颂

撰安

编号：2023-J26116

《中文核心期刊要目总览》
2023年版编委会

本刊编辑部 **采编**