



山西省五台县发现天然矿泉水开发潜力区

孙岐发^{1,2,3,4}, 王宏利¹, 凌 昕¹, 卢 兵¹, 国 林¹, 胡 宸¹, 孙靖尧¹,
周 龙¹, 李 昌¹, 赵 剑¹, 刘昌吉¹, 王 旭¹, 崔大鹏¹

1. 中国地质调查局 哈尔滨自然资源综合调查中心, 黑龙江 哈尔滨 150081; 2. 中国地质调查局
东北地质科技创新中心, 辽宁 沈阳 110034; 3. 黑龙江省两大平原地下水资源开发与保护省级重点实验室,
黑龙江 哈尔滨 150086; 4. 自然资源部哈尔滨黑土地地球关键带野外科学观测研究站, 黑龙江 哈尔滨 150086

摘 要: 利用调查、取样、化验、物探和钻探等方法手段, 对山西五台地区的水文地质条件和地下水水质现状进行了研究, 发现该地区水质状态良好, 部分区域锌(Zn)、锶(Sr)含量达到矿泉水标准, Zn 最大值 2.3 mg/L、Sr 最大值 1.17 mg/L, 富 Zn 面积 73.71 km², 富含 Sr 面积 134.25 km², 实施探采结合并最终钻获高品质的水资源, 在五台县实现了天然矿泉水潜力区的新突破, 有力支撑了地方的健康饮水工程。

关键词: 地下水; 矿泉水; 富锌; 富锶; 五台县; 山西省

POTENTIAL AREA FOR THE DEVELOPMENT OF NATURAL MINERAL WATER DISCOVERED IN WUTAI COUNTY, SHANXI PROVINCE

SUN Qi-fa^{1,2,3,4}, WANG Hong-li¹, LING Xin¹, LU Bing¹, GUO Lin¹, HU Chen¹, SUN Jing-yao¹, ZHOU Long¹,
LI Chang¹, ZHAO Jian¹, LIU Chang-ji¹, WANG Xu¹, CUI Da-peng¹

1. Harbin Natural Resources Comprehensive Survey Center, CGS, Harbin 150081, China;

2. Northeast Geological Science and Technology Innovation Center, CGS, Shenyang 110034, China;

3. Key Laboratory of Groundwater Resources Development and Protection in the Songnen-Sanjiang Plain of Heilongjiang Province, Harbin 150086, China;

4. Harbin Observation and Research Station for Earth Critical Zone of Black Soil, Ministry of Natural Resources, Harbin 150086, China

Abstract: The hydrogeological condition and groundwater quality in Wutai area of Shanxi Province are studied by means of investigation, sampling, laboratory testing, geophysical exploration and drilling. It is found that the water quality in the area is in good condition, and the contents of Zn and Sr in some areas have reached the standard of mineral water, with the maximum Zn content of 2.3 mg/L, the maximum Sr content of 1.17 mg/L, the Zn-rich area of 73.71 km², and the Sr-rich area of 134.25 km². High-quality water resources are finally obtained by exploration-production combined drilling, thus a new breakthrough has been achieved for the natural mineral water potential area in Wutai County, which has strongly supported the local healthy drinking water project.

Key words: groundwater; mineral water; zinc-rich; strontium-rich; Wutai County; Shanxi Province

收稿日期: 2023-10-03; 修回日期: 2023-10-21. 编辑: 黄欣.

基金项目: 中国地质调查局项目“淳沱河上游重点地区水文地质调查(DD20230470)”; 东北区创基金“呼伦贝尔高平原三水转化关系及生态影响机理探索研究”(QCJJ2022-43).

作者简介: 孙岐发(1966—), 男, 博士, 正高级工程师, 从事水文地质、工程地质、环境地质和灾害地质调查研究工作, 通信地址 黑龙江省哈尔滨市南岗区保健副路 1 号, E-mail//152468435@qq.com

通信作者: 王宏利(1982—), 男, 从事水文地质与水资源调查研究工作, 通信地址 黑龙江省哈尔滨市南岗区保健副路 1 号, E-mail//153538707@qq.com;

凌昕(1986—), 女, 工程师, 从事水文地质、水资源、地球化学调查研究工作, 通信地址 黑龙江省哈尔滨市南岗区保健副路 1 号, E-mail//minmin.0@163.com

矿泉水是珍贵、稀缺的具有重要意义的矿产资源,在我国分布广泛,几乎各省都有,不仅类型多样,且水质较好^[1-4].为了查明山西省五台县矿泉水限量指标的富集性,在资料收集分析的基础上,进行了调查和样品采集工作.通过化验分析及地下水化学特征综合研究^[5-8],发现以茹村乡为中心区域的地下水中富含锶,在研究区东侧以及东南侧区域的地下水中富含锌.为进一步确定地下水资源量,利用高密度电法确定了地下水富集区域.最终,通过探采结合工程在东龙泉村获得丰富的矿泉水资源.这一发现对当地健康饮水意义重大^[9-13],可为这一区域开发利用健康水资源起到示范作用.

1 研究区水文地质概况

研究区主要含水类型为碳酸盐岩类岩溶裂隙水、松散岩类孔隙水、变质岩类裂隙水、碎屑岩类孔隙裂隙水.1)碳酸盐岩类岩溶裂隙水主要位于研究区东南侧山区,该区域地形陡峭,河谷下切强烈.石沟河、泗阳河在区内汇入清水河.岩性分布主要有寒武系中上统的灰岩、页岩,奥陶系下中统的白云岩、灰岩.2)松散岩类孔隙水主要在前寒武系上层分布,集中分布在沟谷、盆地等低洼地带.孔隙水下层含水层与下伏的裂隙水直接联通,相对于其他含水类型,孔隙水分布零散、连通性差、边界不明晰.3)变质岩类裂隙水主要赋存在前寒武系变质岩地层,是区域内分布面积最广的含水类型.原岩包括白云岩、板岩、石英砂岩、玄武岩等,变质程度差异较大,构造发育.多样的岩性导致含水类型结构复杂,地下水类型为赋存在构造裂隙和风

化裂隙中的基岩裂隙水.4)碎屑岩类孔隙裂隙水主要分布于研究区中南部,覆盖于碳酸盐岩之上,由石炭纪、二叠纪地层构成,沿北东东向零星分布.在研究区,碳酸盐岩类岩溶裂隙水富含锌,变质岩类裂隙水及松散岩类孔隙水中富含锶.

2 地下水化学特征

研究发现,工作区内有含 Zn、Sr 天然矿泉水富集开发潜力区.采取的地下水样品经过检测发现部分区域 Zn、Sr 含量达到矿泉水标准,Zn 最大值 2.3 mg/L、Sr 最大值 1.17 mg/L.富 Zn、Sr 的区域分布在沟南乡、茹村乡和蒋坊乡,富 Zn 面积 73.71 km²,富含 Sr 面积 134.25 km².富锌水可以防治发育不良、厌食和异食癖、口腔溃疡、痤疮等;含锶水能够强壮骨骼,促进生长发育,同时对于保护心脑血管、减少心脑血管疾病的发生有一定的辅助作用. Zn、SO₄²⁻、Fe、Cl⁻、K⁺、Na⁺的含量区间分别为 0.001~2.3、0.49~245.2、0.066~1.04、4.28~51.10、0.39~6.68、3.93~52.60 mg/L,变异性大,在区域上分布不均匀; Sr、Mg²⁺的含量区间分别为 0.11~1.17、8.01~46.50 mg/L,变异性较大,区域上分布有差异; Ca²⁺、HCO₃⁻的含量区间为 38.00~134.50、443.70~1 362.00 mg/L,变异性小,区域上分布均匀.受含水岩组不同的影响,研究区内不同地下水类型中的富集元素不同,碳酸盐岩地层的地下水中锌富集,变质岩地层及松散岩地层中锶容易富集(表 1、图 1),这一发现可为后续矿泉水调查研究提供参考.同时,区域内的水资源可作为矿泉水、度假山庄、疗养院、美容院、养老院等健康养生和旅游度假资源开发利用.

表 1 地下水样品中健康物质含量统计表
Table 1 Statistics of healthy substance contents in groundwater samples

成分	Zn	Sr	Fe	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	pH
平均值	0.1209	0.345	0.1614	67.56	21.28	1.94	11.93	14.95	29.18	663.52	7.71
最大值	2.3	1.17	1.04	134.50	46.50	6.68	52.60	51.10	245.20	1362.00	8.22
最小值	0.001	0.11	0.066	38.00	8.01	0.39	3.93	4.28	0.49	443.70	7.18
标准差	0.4215	0.2018	0.1704	19.33	9.43	1.46	8.83	12.49	42.97	172.66	0.24
变异系数	3.486	0.585	1.0556	0.29	0.44	0.75	0.74	0.84	1.47	0.26	0.03

含量单位:mg/L.

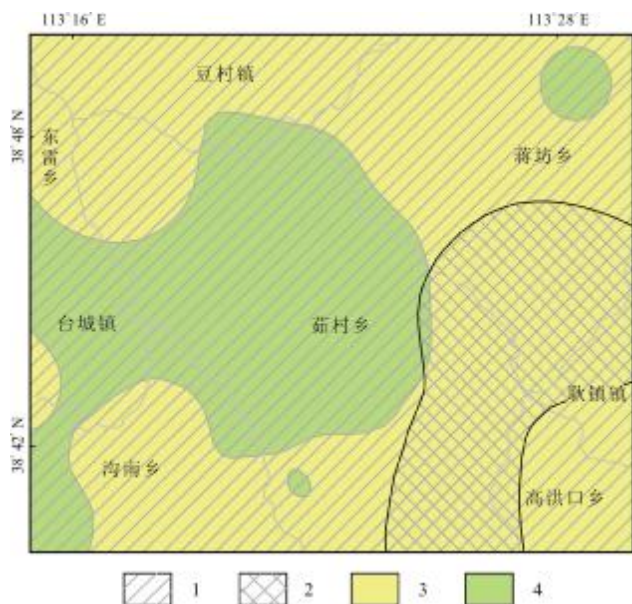


图1 五台地区富锶和富锌区域分布图

Fig. 1 Distribution map of Sr- and Zn-rich areas in Wutai area
1—锌普通区(Zn normal area); 2—锌富集区(Zn enrichment area); 3—锶普通区(Sr normal area); 4—锶富集区(Sr enrichment area)

在滹沱河群豆村亚群神仙脑组的白云岩地层地下水富锶区,利用探采结合井钻获富锶基岩裂隙水,出水量 2 010 m³/d,有力支撑了健康饮水和乡村振兴。

3 结论

五台县部分区域地下水富含锌和锶,具有矿泉水开发潜力,特别是富锌矿泉水作为稀有资源,具有较高经济价值。利用探采结合井,钻遇基岩裂隙含水层,水量丰富,有力支撑五台县的高质量发展,为地方经济发展和健康饮水做出贡献,进一步推动我国健康水资源事业的发展。

致谢:本研究得到中国地质调查局及东北地质科技创新中心区创基金项目支持。感谢五台县各级政府在调查研究中的大力支持。感谢编辑和匿名评审建设性意见和建议。感谢自然资源部哈尔滨自然资源综合调查中心实验室的化验成果。

参考文献(References):

- [1]刘庆宣,王贵玲,张发旺. 矿泉水中微量元素锶富集的地球化学环境[J]. 水文地质工程地质, 2004, 31(6): 19-23.
Liu Q X, Wang G L, Zhang F W. Geochemical environment of trace

element strontium (Sr) enriched in mineral waters[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2004, 31(6): 19-23.

- [2]李占敏. 我国饮用矿泉水中偏硅酸组分的形成[J]. 勘察科学技术, 1993(1): 41-43.

Li Z M. Formation of meta-silicic acid constituent in potable mineral water in our country[J]. Site Investigation Science and Technology, 1993(1): 41-43.

- [3]严金叙. 浙北地区偏硅酸型矿泉水分布与成因分析[J]. 中国煤田地, 1993, 5(4): 47-55, 61.

Yan J X. Distribution and genesis analysis of silicic acid type mineral water in northern Zhejiang region[J]. Coal Geology of China, 1993, 5(4): 47-55, 61. (in Chinese)

- [4]张玉敏,赵焱,杨洁诺,等. 双城盆地矿泉水地球化学特征与成因探讨[J]. 能源研究与管理, 2011(2): 44-46.

Zhang Y M, Zhao Y, Yang J N, et al. Primary discussion of geochemistry characteristic and formation of the mineral water in the Shuangcheng Basin[J]. Energy Research and Management, 2011(2): 44-46.

- [5]孙岐发,贾立国,孙苗桢,等. 内蒙古鄂伦春自治旗地下水水质特征及适用性分析[J]. 地质与资源, 2022, 31(1): 88-97.

Sun Q F, Jia L G, Sun Z A, et al. Characteristics and applicability of groundwater quality in Oroqen Qi, Inner Mongolia[J]. Geology and Resources, 2022, 31(1): 88-97.

- [6]孙岐发,杨柯,孙苗桢,等. 长春新区地下水水质特征及其对生态健康的评价[J]. 中国地质, 2022, 49(3): 834-848.

Sun Q F, Yang K, Sun Z A, et al. Characteristics of groundwater quality in Changchun New Area and its evaluation on ecological health[J]. Geology in China, 2022, 49(3): 834-848.

- [7]孙岐发,孙苗桢,田辉,等. 长春新区地下水动态特征及差异性分析[J]. 地质与资源, 2020, 29(4): 369-373.

Sun Q F, Sun Z A, Tian H, et al. Dynamic characteristics and difference analysis of the groundwater in Changchun New District[J]. Geology and Resources, 2020, 29(4): 369-373.

- [8]孙岐发,贾林刚,田辉,等. 长春莲花山地区地下水化学特征及成因分析[J]. 地质与资源, 2020, 29(5): 476-482.

Sun Q F, Jia L G, Tian H, et al. Chemical characteristics and genesis analysis of the groundwater in Lianhuashan area, Changchun City[J]. Geology and Resources, 2020, 29(5): 476-482.

- [9]孙岐发,孙苗桢,贾林刚,等. 吉林省长春莲花山地区地下水中锶及偏硅酸的形成机理研究[J]. 中国地质, 2023, 50(1): 181-191.

Sun Q F, Sun Z A, Jia L G, et al. Formation mechanism of strontium and metasilicic acid groundwater in the Lianhuashan area, Changchun, Jilin Province[J]. Geology in China, 2023, 50(1): 181-191.

- [10]孙岐发,田辉,郭晓东,等. 吉林长春地区地下水中发现偏硅酸和锶富集区[J]. 中国地质, 2017, 44(5): 1031-1032.

Sun Q F, Tian H, Guo X D, et al. The discovery of silicic acid and strontium enrichment areas in groundwater of Changchun area, Jilin

- Province[J]. *Geology in China*, 2017, 44(5): 1031–1032.
- [11] 孙岐发, 田辉, 郭晓东, 等. 长春莲花山发现锶富集区[J]. *中国地质*, 2019, 46(2): 430–431.
- Sun Q F, Tian H, Guo X D, et al. Strontium-enriched areas discovered in Lianhuashan, Changchun[J]. *Geology in China*, 2019, 46(2): 430–431.
- [12] 李莉莉, 王莉. 安徽省和县香泉镇老山双泉 1 号泉饮用天然矿泉水成因分析[J]. *地下水*, 2016, 38(5): 16–18.
- Li L L, Wang L. Analysis of formation causes of natural mineral water no1 springs between Anhui Province and Laoshan double spring of Xianxiang County[J]. *Ground Water*, 2016, 38(5): 16–18.
- [13] 黄树春, 赵帅军, 夏友, 等. 湖南省饮用天然矿泉水资源潜力评价与开发利用区划[J]. *地质与资源*, 2017, 26(1): 67–72.
- Huang S C, Zhao S J, Xia Y, et al. Potential evaluation and exploitation division of the drinking mineral water resources in Hunan Province[J]. *Geology and Resources*, 2017, 26(1): 67–72.

(上接第 81 页/Continued from Page 81)

- [16] 秦红富, 谈树成, 施旖奇, 等. 基于 CF-LR 组合模型的地质灾害易发性评价——以云南省宁洱哈尼族彝族自治县为例[J]. *人民长江*, 2022, 53(7): 119–127.
- Qin H F, Tan S C, Shi Y Q, et al. Geological hazard susceptibility assessment based on CF&LR combined model: Case of Ning'er Hani and Yi Autonomous County, Yunnan Province[J]. *Yangtze River*, 2022, 53(7): 119–127.
- [17] 罗路广, 裴向军, 黄润秋, 等. GIS 支持下 CF 与 Logistic 回归模型耦合的九寨沟景区滑坡易发性评价[J]. *工程地质学报*, 2021, 29(2): 526–535.
- Luo L G, Pei X J, Huang R Q, et al. Landslide susceptibility assessment in Jiuzhaigou scenic area with GIS based on certainty factor and logistic regression model[J]. *Journal of Engineering Geology*, 2021, 29(2): 526–535.
- [18] 屠水云, 张钟远, 付弘流, 等. 基于 CF 与 CF-LR 模型的地质灾害易发性评价[J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2022, 33(2): 96–104.
- Tu S Y, Zhang Z Y, Fu H L, et al. Geological hazard susceptibility evaluation based on CF and CF-LR model[J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2022, 33(2): 96–104.
- [19] 黄敬军, 甘义群, 缪世贤, 等. 江苏省地质环境区划评价指标体系初步研究[J]. *中国地质*, 2011, 38(6): 1599–1606.
- Huang J J, Gan Y Q, Miao S X, et al. A preliminary study of the evaluation index system for geo-environment regionalization in Jiangsu[J]. *Geology in China*, 2011, 38(6): 1599–1606.
- [20] 郭邦梅, 权开兄. 基于 ArcGIS 的青海隆务河流域灾害风险性评价[J]. *地质与资源*, 2019, 28(3): 289–292.
- Guo B M, Quan K X. ArcGIS-based disaster risk assessment of Longwu river basin in Qinghai Province[J]. *Geology and Resources*, 2019, 28(3): 289–292.

(上接第 114 页/Continued from Page 114)

- [32] 孙红丽, 王贵玲, 蔺文静. 西宁盆地地下热水的 TDS 分布特征及富集机理[J]. *地质科技通报*, 2022, 41(1): 278–287, 299.
- Sun H L, Wang G L, Lin W J. Distribution characteristics and enrichment mechanism of TDS geothermal water in Xining Basin[J]. *Bulletin of Geological Science and Technology*, 2022, 41(1): 278–287, 299.
- [33] 邢一飞, 王慧群, 李捷, 等. 雄安新区地热水的化学场特征及影响因素分析[J]. *中国地质*, 2022, 49(6): 1711–1722.
- Xing Y F, Wang H Q, Li J, et al. Chemical field of geothermal water in Xiong'an New Area and analysis of influencing factors[J]. *Geology in China*, 2022, 49(6): 1711–1722.
- [34] 张萌, 蔺文静, 刘昭, 等. 西藏谷露高温地热系统水文地球化学特征及成因模式[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2014, 41(3): 382–392.
- Zhang M, Lin W J, Liu Z, et al. Hydrogeochemical characteristics and genetic model of Gulu high-temperature geothermal system in Tibet, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2014, 41(3): 382–392.
- [35] 郭宁, 刘昭, 男达瓦, 等. 西藏昌都觉拥温泉水化学特征及热储温度估算[J]. *地质论评*, 2020, 66(2): 499–509.
- Guo N, Liu Z, Nan D W, et al. The characteristics and reservoir temperatures of hot springs in Jueyong, Chamdo, Xizang (Tibet) [J]. *Geological Review*, 2020, 66(2): 499–509.
- [36] 龚晓洁, 田良河, 袁锡泰. 河南平原区天然地热流体同位素特征对其成生环境的揭示[J]. *科学技术与工程*, 2019, 19(25): 33–37.
- Gong X J, Tian L H, Yuan X T. Isotopic characteristics and forming environment of natural geothermal fluids in the plain area of Henan Province[J]. *Science Technology and Engineering*, 2019, 19(25): 33–37.