



内蒙古鄂伦春自治旗地下水水质特征及适用性分析

孙岐发^{1,2}, 贾立国², 孙茁桉³, 邢卫国¹, 郝国杰¹, 田辉², 李旭光²

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 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034;

3. 国家珠宝玉石质量监督检验中心沈阳实验室, 辽宁 沈阳 110034

摘要: 在调查、取样、钻井基础上, 充分利用前人成果资料, 应用 SPSS 分析软件、地下水污染分析软件, 得到鄂伦春地区区域地质条件、地下水质量、生活饮用水质量、农田灌溉用水质量特征。认为鄂伦春自治旗地下水铁、锰含量受东北地区铁、锰土壤高背景值控制, 含量普遍较高, 引起地下水色度和浑浊度升高。地下水中 As、SO₄²⁻、NH₄⁺、NO₂⁻ 在不同区域质量浓度值相差较大, 受人类活动的影响较大。以农业和工业用水质量要求以及一定水平的人体健康风险为依据, 铁、锰、色度、浑浊度、pH 值、硫酸根、氟离子含量高, 造成部分井位地下水达到 IV 类水标准, 基本适用于农业和部分工业用水, 适当处理后可作生活饮用水使用。在充分认识这一区域地下水水质变化规律的基础上, 应尽量减少人为因素对地下水造成的污染。

关键词: 地下水; 水质; 土壤; 水污染; 适用性; 内蒙古

CHARACTERISTICS AND APPLICABILITY OF GROUNDWATER QUALITY IN OROQEN QI, INNER MONGOLIA

SUN Qi-fa^{1,2}, JIA Li-guo², SUN Zhuo-an³, XING Wei-guo¹, HAO Guo-jie¹, TIAN Hui², LI Xu-guang²

1. Harbin Natural Resources Comprehensive Survey Center, CGS, Harbin 150081, China; 2. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China; 3. Shenyang Laboratory of National Gemstone Testing Center, Shenyang 110034, China

Abstract: Based on the investigation, sampling and drilling, combined with previous data, the SPSS and groundwater pollution analysis softwares are used to analyze the regional geological conditions, groundwater quality, drinking water quality and farmland irrigation water quality characteristics in Oroqen Qi. It is considered that the groundwater iron and manganese contents in Oroqen Qi is controlled by the high background values of soil iron and manganese in Northeast China, and the generally high contents result in the increase of groundwater chroma and turbidity. Influenced by human activities, the mass concentrations of As, SO₄²⁻, NH₄⁺ and NO₂⁻ in groundwater of different areas vary greatly. According to the agricultural and industrial water quality requirements and certain level of human health risk, high iron, manganese, chroma, turbidity, pH value, sulfate radical and fluoride ion content result in the groundwater in part of well locations reaching the Class IV water standard, basically suitable for agriculture and some industrial water, and used for drinking water after proper treatment. By fully understanding the variation rule of groundwater quality in the region, it is suggested that the pollution of groundwater caused by human factors be reduced as far as possible.

Key words: groundwater; water quality; soil; water pollution; applicability; Inner Mongolia

收稿日期: 2020-07-06; 修回日期: 2020-09-08. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局项目“松嫩平原水文地质调查”(DD20190340), “重点地区地下水流场调查”(DD20211558).

作者简介: 孙岐发(1966—), 男, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事水文地质、工程地质和环境地质调查研究工作, 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

0 前言

地下水是水资源的重要组成部分,随着国家经济发展和人口增长,地下水已经成为我国城市和工农业用水的重要水源.天然地下水在参与自然界水循环的过程中,从其周围介质获得各种成分,所以它是一种复杂的天然溶液.人类活动对环境的干扰,使某些地下水不仅含有天然来源的组分,而且含有人类生产的各种有机和无机化合物以及细菌病毒等,导致地下水的化学组成更加复杂,水质可能恶化.供饮用的地下水中某些组分的贫乏或过量都会影响健康.开展人类活动影响下地下水水质特征研究,对于地下水合理开发利用和地下水环境保护具有重要的理论意义和实际应用价值.

地下水特征是水文地质学科的重要研究内容^[1-2].地下水特征由物源的沉积环境及沉积组合特征决定,并受自然和人为因素交互影响^[3-6].当前,国内外学者主要采用数理统计^[7-10]、相关性分析^[11-16]等技术方法对地下水水质进行研究.

地下水在运移过程中,与介质发生多种多样的物理化学作用,其中包括溶解/沉淀、酸碱平衡、吸附/解吸及氧化还原作用等^[17-20].依据地质、水文地质条件的不同,这些作用往往控制着一个地区地下水的水质变化.

东北地区针对地下水的相关研究主要集中在平原地区进行^[21-25].鄂伦春地处大兴安岭南麓,针对地下水的研究相对较少,在本地区进行地下水水质特征与适用性分析对少数民族地区居民饮水安全和地方经济发展都具有重要意义.中国地质调查局于 2019 年在鄂伦春自治区布署了水文地质研究工作.

1 研究区概况

鄂伦春自治旗位于内蒙古自治区呼伦贝尔市东北部,大兴安岭南麓,嫩江西岸,北与黑龙江省呼玛县以伊勒呼里山为界,东与黑龙江省嫩江县隔江相望,南与莫力达瓦达斡尔族自治县、阿荣旗接壤,西与根河市、牙克石市为邻,东经 121°55'~126°10',北纬 48°50'~51°25'之间.全旗总面积 59 800 km²,属于寒温带半湿润大陆性季风气候,四季变化显著.境内的河流均发源于大兴安岭南侧和伊呼里山南侧,自西北流向东南,汇入嫩江干流,皆属松花江水系.自西北向东南地貌

表现变化规律明显,即由低山区逐渐过渡到丘陵及山间平原,乌鲁布铁镇只包含剥蚀地形、剥蚀堆积地形和堆积地形.区内地层由新元古界至新生界均有分布.大地构造属古亚洲洋构造域中亚造山带东段,并处环太平洋构造域大陆构造-岩浆活动带中.

鄂伦春自治旗缺乏形成大型自流盆地的条件,境内地下水大部分为潜水,局部存在构造型裂隙及破碎带承压水.地下水类型按含水层特点可分为第四系松散岩类孔隙水和基岩裂隙水两大类型,局部有白垩系嫩江组碎屑岩孔隙承压水.前者多分布在东部河谷地带和波状平原区,后者主要分布于西部山地及丘陵地区.地下水来源以大气降水渗入补给为主,对于下游地区,河水渗漏也是补给来源之一(图 1).

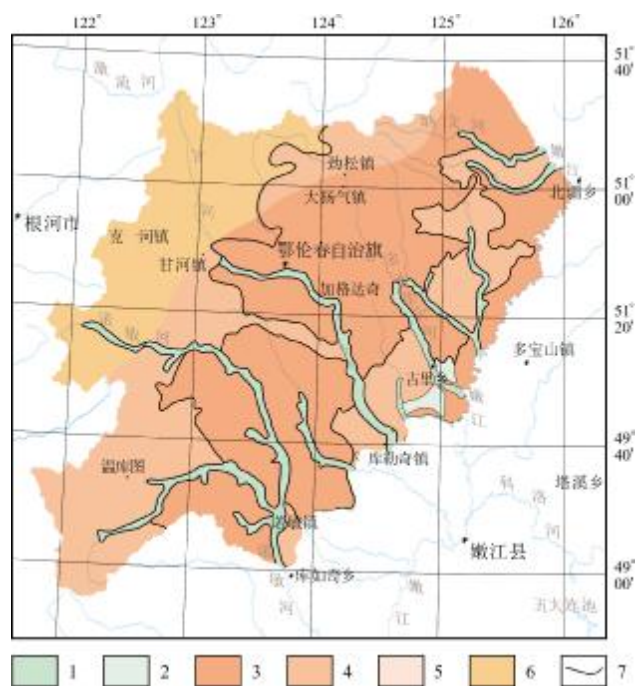


图 1 鄂伦春自治旗水文地质图

Fig. 1 Hydrogeological map of Oroqen Qi

1、2—松散岩类孔隙水富水性(钻孔直径换算为 8"时的单位涌水量, m³/h·m) (water abundance of pore water in loose rocks, unit water inflow when borehole diameter converted into 8"): 1~10, <1; 3、4、5—基岩裂隙水富水性(径流模数, L/s·km²) (water abundance of bedrock fissure water, runoff modulus): 1~10, 0.5~1, <0.5; 6—多年冻土冻结层上水(钻孔直径换算为 8"时的单位涌水量, m³/h·m) (water on frozen layer of permafrost, unit water inflow when borehole diameter converted to 8"): 0.5~3; 7—富水程度分界线(boundary of water abundance)

2 研究方法

2.1 地下水水样采集与测试

地下水采样点针对 14 口水井(Esj01—Esj14),在洗井、抽水实验要结束时,水清澈接近地下原水. 采样时间为 2019 年 7—8 月,共采集地下水水样 17 组(其中平行样 3 组), 采样点分布详见图 2. Esj01—04、Esj06—09 井取的是玄武岩层位的孔洞裂隙水;Esj05 井取的是砂岩层位的孔隙裂隙水;Esj10—14 井取的是第四系砂砾岩层位的孔隙水. 样品严格按《地下水环境监测技术规范(H/164—2004)》进行采集、保存和送样.



图 2 鄂伦春自治旗地下水取样点位置图

Fig. 2 Sampling location map of groundwater in Oroqen Qi
1—井(well); 2—地名(place name); 3—主要公路(main road); 4—铁路(railway); 5—河流(river)

样品由国土资源部东北矿产资源监督检测中心测试完成, 严格按照 HJ776—2015、HJ84—2016、HJ700—2014、GB/T5750—2006、DZ/T0064—1993、HJ828—2017、HJ195—2005 规范标准进行.

2.2 地下水质量评价

采用国家《地下水质量标准》(GB/T14848—2017) 进行评价, 原则上以地下水类型进行评价. 本次参加评价的点为 14 个, 参评项目 20 项, 其中全分析一般化

学指标采用 15 项, 毒理学指标采用 5 项(见表 1).

表 1 地下水质量评价指标及限值
Table 1 Evaluation indexes and limits of groundwater quality

| 类别 | I 类 | II 类 | III 类 | IV 类 | V 类 |
|----------------------------|---------|---------|--------|----------------|----------|
| pH | | 6.5-8.5 | | 5.5-6.5, 8.5-9 | <5.5, >9 |
| 总硬度(以 CaCO ₃ 计) | ≤150 | ≤300 | ≤450 | ≤650 | >650 |
| 混浊度 | ≤3 | ≤3 | ≤3 | ≤10 | >10 |
| 溶解性总固体(TDS) | ≤300 | ≤500 | ≤1000 | ≤2000 | >2000 |
| 硫酸盐 | ≤50 | ≤150 | ≤250 | ≤350 | >350 |
| 氯化物 | ≤50 | ≤150 | ≤250 | ≤350 | >350 |
| 铁(Fe) | ≤0.1 | ≤0.2 | ≤0.3 | ≤2.0 | >2.0 |
| 锰(Mn) | ≤0.05 | ≤0.05 | ≤0.1 | ≤1.5 | >1.5 |
| 铜(Cu) | ≤0.01 | ≤0.05 | ≤1.0 | ≤1.5 | >1.5 |
| 硝酸盐(以 N 计) | ≤2.0 | ≤5.0 | ≤20 | ≤30 | >30 |
| 亚硝酸盐(以 N 计) | ≤0.01 | ≤0.1 | ≤1.00 | ≤4.80 | >4.80 |
| 氨氮(以 N 计) | ≤0.02 | ≤0.10 | ≤0.50 | ≤1.5 | >1.5 |
| 汞(Hg) | ≤0.0001 | ≤0.0001 | ≤0.001 | ≤0.002 | >0.002 |
| 砷(As) | ≤0.001 | ≤0.001 | ≤0.01 | ≤0.05 | >0.05 |
| 铅(Pb) | ≤0.005 | ≤0.005 | ≤0.01 | ≤0.1 | >0.1 |
| 氟化物 | ≤1.0 | ≤1.0 | ≤1.0 | ≤2.0 | >2.0 |
| 耗氧量(COD) | ≤1.0 | ≤2.0 | ≤3.0 | ≤10.0 | >10.0 |
| 色度 | ≤5 | ≤5 | ≤15 | ≤25 | >25 |
| 嗅和味 | 无 | 无 | 无 | 无 | 无 |
| 肉眼可见物 | 无 | 无 | 无 | 无 | 无 |

含量单位:mg/L.

首先进行单项组分评价, 划分所属级别, 用表 2 标准分别确定单项组分评价分值 P_i .

表 2 地下水单项组分质量评价分级表
Table 2 Quality evaluation grading of single component of groundwater

| 类别 | I | II | III | IV | V |
|-------|---|----|-----|----|----|
| P_i | 0 | 1 | 3 | 6 | 10 |

采用内梅罗(N.L. Nemerow)指数法计算地下水水质综合指标评价, 计算公式为:

$$P_{\text{综}} = \sqrt{\frac{(P_{i\text{平均}})^2 + (P_{i\text{最大}})^2}{2}} \quad (1)$$

$$P_{i \text{ 平均}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (2)$$

式中: $P_{\text{综}}$ 为综合评价指标; $P_{i \text{ 平均}}$ 为各单项组分值的平均值; $P_{i \text{ 最大}}$ 为各单项组分值的最大值; P_i 为各单项组分值; n 为参评项目数.

然后根据 $P_{\text{综}}$ 值, 按标准中所规定的方法对地下水质量进行分级. 依据中国地下水质量状况和人体健康风险, 参照生活饮用水及工业、农业等用水质量要求, 依据各组分含量高低 (pH 除外), 分为 5 类 (见表 3).

表 3 地下水质量综合评价分级表

Table 3 Comprehensive evaluation grading of groundwater quality

| 代号 | I | II | III | IV | V |
|----------------|-------|-----------|-----------|-----------|-------|
| 级别 | 优良 | 良好 | 较好 | 较差 | 极差 |
| 污染程度 | 未污染 | 轻微污染 | 中等污染 | 较重污染 | 重污染 |
| $P_{\text{综}}$ | <0.80 | 0.80~2.50 | 2.50~4.25 | 4.25~7.20 | >7.20 |

I 类: 地下水化学组分含量低, 适用于各种用途;
II 类: 地下水化学组分含量较低, 适用于各种用途;

III 类: 地下水化学组分含量中等, 以 GB5749—2006 为依据, 主要适用于集中式生活饮用水水源及工农业用水;

IV 类: 地下水化学组分含量较高, 以农业和工业用水质量要求以及一定水平的人体健康风险为依据, 适用于农业和部分工业用水, 适当处理后可作为生活饮用水;

V 类: 地下水化学组分含量高, 不宜作为生活饮用水水源, 其他用水可根据使用目的选用.

3 地下水质量评价结果

本次参加评价的 14 个点, 经过 15 项全分析一般化学指标和 5 项毒理学指标共 20 项评价, 地下水检出率、超标率如表 4、图 3、图 4.

表 4 地下水检出率、超标率测试评价结果

Table 4 Evaluation results of groundwater detection and excessive rates

| 编号 | 测试指标 | 样品基数 | 检出井数 | 检出率/% | 超标井数 | 超标率/% | 检出样品指标平均值/(mg/L) | 超标样品指标平均值/(mg/L) |
|----|----------------------------|------|------|-------|------|-------|------------------|------------------|
| 1 | 锰(Mn) | 14 | 11 | 78.57 | 4 | 28.57 | 0.18 | 0.39 |
| 2 | 铜(Cu) | 14 | 3 | 21.43 | 0 | 0 | 0.004 | |
| 3 | 氯离子 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 4 | 硫酸根离子 | 14 | 0 | 0 | 1 | 7.14 | | 263.42 |
| 5 | 总硬度(以 CaCO ₃ 计) | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 6 | 溶解性总固体 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 7 | 耗氧量 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 8 | 铅(Pb) | 14 | 1 | 7.14 | 0 | 0 | 0.002 | |
| 9 | 汞(Hg) | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 10 | 氟离子 | 14 | 0 | 0 | 1 | 7.14 | | 1.83 |
| 11 | 硝酸根离子(以 N 计) | 14 | 2 | 14.28 | 2 | 14.28 | 41.89 | 41.89 |
| 12 | 铵离子(以 N 计) | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 13 | 亚硝酸根(以 N 计) | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 14 | 铁(Fe) | 14 | 13 | 92.86 | 9 | 64.29 | 0.93 | 1.27 |
| 15 | 砷(As) | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |

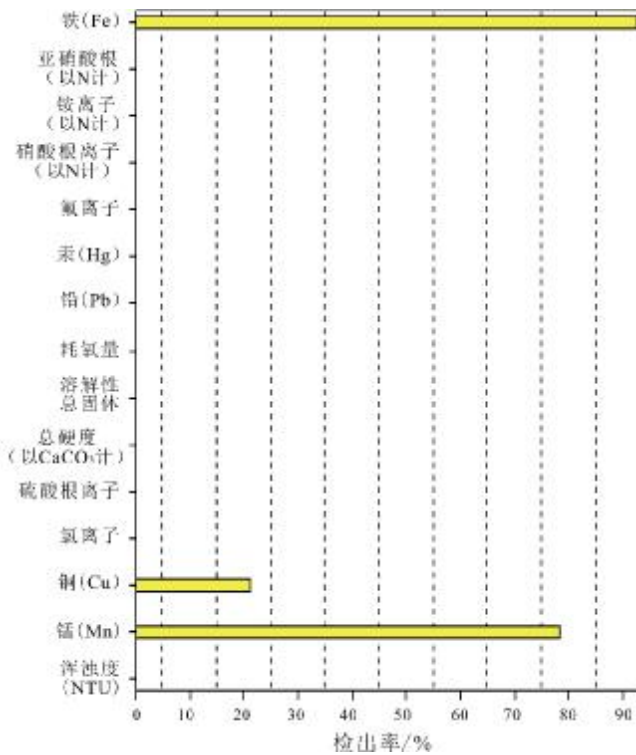


图3 地下水检出率测试结果

Fig. 3 Test results of groundwater detection rate

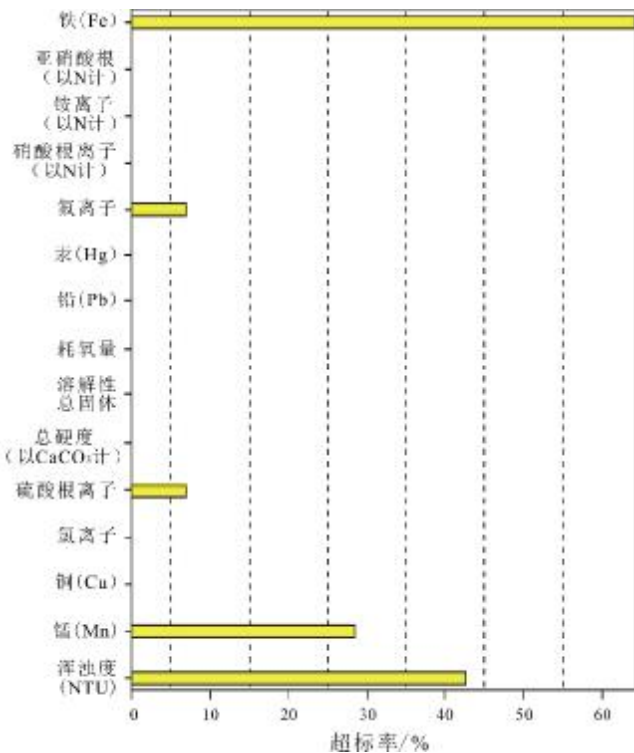


图4 地下水超标率测试结果

Fig. 4 Test results of groundwater excessive rate

3.1 单指标水质评价

测试结果表明,区域内铁、锰、色度、浑浊度、pH

值、硫酸根、氟离子存在超标. 其中铁 IV 类水井数 6 个,IV 类水占比 42.86%;V 类水井数 3 个,V 类水占比 21.43%. 色度 IV 类水井数 2 个,IV 类水占比 14.29%; V 类水井数 7 个,V 类水占比 50%. 锰 IV 类水井数 4 个,IV 类水占比 28.57%. 混浊度 IV 类水井数 6 个,IV 类水占比 42.86%. pH 值 IV 类水井数 1 个,IV 类水占比 7.14%;V 类水井数 1 个,V 类水占比 7.14%. 氟离子 V 类水井数 1 个,V 类水占比 7.14%. 硫酸根 IV 类水井数 1 个,IV 类水占比 7.14%. 铅、铜、氯离子、砷、汞、溶解性总固体、总硬度、耗氧量、亚硝酸盐氮这 9 项指标都在 III 类水质范围之内(表 5).

3.2 地下水质量综合评价

综合评价认为,Esj10、07、08、13 井地下水锰超标;Esj09 井硫酸根离子超标;Esj13 井氟离子超标;Esj05、06、07、08、06、10、12、11、13 井铁超标.

Esj08、13、10、07 井地下水锰含量达到 IV 类水标准;Esj06、08、12、14、09、05 井地下水铁含量达到 IV 类标准,Esj13、10、07 井地下水铁含量达到 V 类标准;Esj13 井氟化物含量达到 IV 类水质标准;Esj03 井硝酸盐含量达到 IV 类水质标准,Esj02 井硝酸盐含量达到 V 类水质标准;Esj09 井氨氮达到 IV 类水质标准;Esj11 井 pH 值达到 IV 类水质标准,Esj01 井 pH 值达到 V 类水质标准;Esj04、14 井色度达到 IV 类水质标准,Esj01、08、13、06、09、05、07 井色度达到 V 类水质标准;Esj08、10、09、13、07、05 浑浊度达到 IV 类水质标准(表 6).

3.3 生活饮用水评价

以《生活饮用水卫生标准》(GB5749—2006)中的小型集中式供水和分散式供水标准为依据,对 14 眼井的地下水质量进行评价. 评价指标选用毒理指标、一般化学指标和感官指标.

经过 3 项毒理指标砷、氟化物和硝酸盐分析,Esj13 井氟离子达到 1.83 mg/L, 限值为 1.2 mg/L; Esj02、03 井硝酸盐分别为 60.53 和 23.24 mg/L, 限值为 20 mg/L(表 7). 建议进一步取样化验.

一般化学指标分析,14 眼井中 Esj05、07、10、13 井铁、锰超标. 铁的限值为 0.5 mg/L, 锰的限值为 0.3 mg/L. 化验结果中铁和锰的最大值分别为 3.05 和 0.57 mg/L (表 8), 可以根据情况进行除铁锰处理后饮用.

表 5 地下水水质单指标评价统计表

Table 5 Evaluation statistics of single index of groundwater quality

| 编号 | 项目 | 测试总井数 | I类井数 | I类水占比/% | II类井数 | II类水占比/% | III类井数 | III类水占比/% | IV类井数 | IV类水占比/% | V类井数 | V类水占比/% |
|----|-------------------------------|-------|------|---------|-------|----------|--------|-----------|-------|----------|------|---------|
| 1 | 色 | 14 | 2 | 14.29 | | | 3 | 21.43 | 2 | 14.29 | 7 | 50 |
| 2 | 嗅和味 | 14 | 14 | 100 | | | | | | | | |
| 3 | 浑浊度 | 14 | 8 | 57.14 | | | | | 6 | 42.86 | | |
| 4 | 肉眼可见物 | 14 | 14 | 100 | | | | | | | | |
| 5 | pH 值 | 14 | 12 | 85.71 | | | | | 1 | 7.14 | 1 | 7.14 |
| 6 | Fe | 14 | 2 | 14.29 | 1 | 7.14 | 2 | 14.29 | 6 | 42.86 | 3 | 21.43 |
| 7 | Mn | 14 | 6 | 42.86 | | | 4 | 28.57 | 4 | 28.57 | | |
| 8 | Cu | 14 | 14 | 100 | | | | | | | | |
| 9 | Cl ⁻ | 14 | 13 | 92.86 | 1 | 7.14 | | | | | | |
| 10 | SO ₄ ²⁻ | 14 | 13 | 92.86 | | | | | 1 | 7.14 | | |
| 11 | 总硬度(CaCO ₃) | 14 | 12 | 85.71 | 1 | 7.14 | 1 | 7.14 | | | | |
| 12 | 溶解性总固体 | 14 | 13 | 92.86 | 1 | 7.14 | | | | | | |
| 13 | 耗氧量 | 14 | 9 | 64.29 | 5 | 35.71 | | | | | | |
| 14 | As | 14 | 14 | 100 | | | | | | | | |
| 15 | Pb | 14 | 14 | 100 | | | | | | | | |
| 16 | Hg | 14 | 14 | 100 | | | | | | | | |
| 17 | F ⁻ | 14 | 5 | 35.71 | 7 | 50 | 1 | 7.14 | | | 1 | 7.14 |
| 18 | NO ₃ ⁻ | 14 | 10 | 71.43 | 2 | 14.29 | 2 | 14.29 | | | | |
| 19 | NH ₄ ⁺ | 14 | 11 | 78.57 | | | 3 | 21.43 | | | | |
| 20 | NO ₂ ⁻ | 14 | 3 | 21.43 | 9 | 64.29 | 2 | 14.29 | | | | |

表 6 地下水水质综合评价统计表

Table 6 Comprehensive evaluation of groundwater quality

| 序号 | 样品编号 | 评价分值 | 地下水质量分级 | 影响因子 |
|----|-------|------|---------|--------------------------------------|
| 1 | Esj11 | 4.25 | 较差(IV类) | pH 值 |
| 2 | Esj10 | 7.12 | 较差(IV类) | 浑浊度、Fe、Mn |
| 3 | Esj07 | 7.12 | 较差(IV类) | 浑浊度、Fe、Mn |
| 4 | Esj08 | 4.3 | 较差(IV类) | 浑浊度、Fe、Mn |
| 5 | Esj06 | 4.26 | 较差(IV类) | Fe |
| 6 | Esj09 | 4.32 | 较差(IV类) | 浑浊度、Fe、SO ₄ ²⁻ |
| 7 | Esj05 | 4.3 | 较差(IV类) | 浑浊度、Fe |
| 8 | Esj01 | 7.08 | 较差(IV类) | pH 值 |
| 9 | Esj03 | 2.14 | 良好(II类) | |
| 10 | Esj04 | 2.13 | 良好(II类) | |
| 11 | Esj02 | 2.14 | 良好(II类) | |
| 12 | Esj12 | 4.26 | 较差(IV类) | Fe |
| 13 | Esj14 | 4.27 | 较差(IV类) | Fe |
| 14 | Esj13 | 7.17 | 较差(IV类) | 浑浊度、Fe、Mn、F ⁻ |

表 7 毒理指标分析结果

Table 7 Analysis results of toxicological indexes

| 指标 | As | F ⁻ | NO ₃ ⁻ |
|--------|--------|----------------|------------------------------|
| 饮用水标准值 | 0.05 | 1.2 | 20 |
| Esj01 | 0.0001 | 0.31 | 0.84 |
| Esj02 | 0.0001 | 0.045 | 60.53 |
| Esj03 | 0.0001 | 0.11 | 23.24 |
| Esj04 | 0.0001 | 0.37 | 12.85 |
| Esj05 | 0.0000 | 0.19 | 15.25 |
| Esj06 | 0.0000 | 0.48 | 0.06 |
| Esj07 | 0.0000 | 0.15 | 0.06 |
| Esj08 | 0.0000 | 0.27 | 1.20 |
| Esj09 | 0.0000 | 0.40 | 0.35 |
| Esj10 | 0.0000 | 0.22 | 0.06 |
| Esj11 | 0.0000 | 0.31 | 0.11 |
| Esj12 | 0.0000 | 0.17 | 5.74 |
| Esj13 | 0.0008 | 1.83 | 0.01 |
| Esj14 | 0.0000 | 0.63 | 0.00 |

含量单位:mg/L.

表8 感官性状和一般化学指标分析结果

Table 8 Analysis results of sensory properties and general chemical indexes

| 指标 | pH | 色度 | 浑浊度 | TDS | 总硬度 | COD | Mn | TFe | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ |
|--------|---------|-----|------|------|------|------|--------|-------|-----------------|-------------------------------|
| 饮用水标准值 | 6.5-9.5 | 20 | 3 | 1500 | 550 | 5 | 0.3 | 0.5 | 300 | 300 |
| Esj01 | 9.30 | 30 | 1.99 | 96.4 | 11.1 | 0.72 | 0.0052 | 0.14 | 2.15 | 1.51 |
| Esj02 | 6.66 | 10 | 0.13 | 107 | 339 | 0.96 | 0.0031 | 0.020 | 52.9 | 33.4 |
| Esj03 | 6.96 | 10 | 0.47 | 72.6 | 128 | 0.61 | 0.011 | 0.25 | 15.8 | 8.29 |
| Esj04 | 7.24 | 20 | 1.11 | 70.2 | 71.3 | 0.46 | 0.0069 | 0.22 | 5.01 | 4.05 |
| Esj05 | 6.90 | 70 | 8.27 | 232 | 111 | 1.02 | 0.090 | 1.55 | 12.5 | 10.5 |
| Esj06 | 7.64 | 40 | 0.68 | 206 | 154 | 0.67 | 0.095 | 0.31 | 7.86 | 7.28 |
| Esj07 | 6.79 | 100 | 7.27 | 192 | 97.5 | 0.91 | 0.57 | 3.05 | 1.26 | 10.4 |
| Esj08 | 7.40 | 30 | 3.02 | 219 | 71.3 | 0.64 | 0.20 | 0.41 | 19.3 | 17.7 |
| Esj09 | 7.31 | 40 | 4.94 | 478 | 60.3 | 0.41 | 0.048 | 0.52 | 2.10 | 263 |
| Esj10 | 6.69 | 10 | 3.46 | 209 | 133 | 0.56 | 0.55 | 2.68 | 20.0 | 33.7 |
| Esj11 | 6.34 | 0 | 0.46 | 208 | 147 | 1.63 | 0.019 | 0.068 | 2.26 | 5.18 |
| Esj12 | 6.80 | 0 | 0.60 | 193 | 143 | 1.35 | 0.083 | 0.42 | 10.0 | 16.0 |
| Esj13 | 7.32 | 30 | 6.93 | 194 | 120 | 1.10 | 0.22 | 2.01 | 0.53 | 7.29 |
| Esj14 | 7.34 | 20 | 2.16 | 212 | 144 | 1.46 | 0.077 | 0.45 | 1.02 | 5.09 |

含量单位:mg/L.

感官性状指标分析显示,Esj11井pH值为6.34,限值为不小于6.5;Esj01、05、13、06、07、08、09井色度值都超出限值20 mg/L的标准,Esj05、13、07、08、09、10井的混浊度都超出了限值3 mg/L的标准.混浊度、色度超标和铁锰含量高有直接关系,为水经过长时间放置后,二价铁被氧化成三价铁颜色发生变化并产生沉淀所致.

其他各井都适用于小型集中式供水和分散式供水水源及工农业用水使用.

3.4 农业灌溉水质评价

根据《农田灌溉水质标准》(GB5084—2005),对14眼水井灌溉用水质量进行评价.灌溉用水分为水田灌溉用水、旱田灌溉用水和蔬菜灌溉用水.

通过实验结果分析,只有Esj01的pH值超标,为9.3,不符合灌溉用水要求,灌溉前需要对井水重新进行测试,合格后方可进行灌溉使用.其他各井的指标全部符合农田灌溉水标准,可以作为灌溉水源使用(表9).

4 讨论

4.1 各参数的相关性分析

Pearson 相关性系数矩阵是一种在水文地球化学

表9 农田灌溉指标分析结果

Table 9 Analysis results of irrigation indexes of farmland

| 指标 | Pb | Cu | F ⁻ | As | COD | pH |
|------------|--------|--------|----------------|--------|------|---------|
| 灌溉水标准值(水作) | 0.2 | 0.5 | 2 | 0.05 | 150 | 5.5-8.5 |
| 灌溉水标准值(旱作) | 0.2 | 1 | 2 | 0.1 | 200 | 5.5-8.5 |
| 灌溉水标准值(蔬菜) | 0.2 | 1 | 2 | 0.1 | 60 | 5.5-8.5 |
| Esj01 | 0.0007 | 0.0007 | 0.31 | 0.0001 | 0.72 | 9.3 |
| Esj02 | 0.0003 | 0.0008 | 0.045 | 0.0001 | 0.96 | 6.66 |
| Esj03 | 0.0002 | 0.0005 | 0.11 | 0.0001 | 0.61 | 6.96 |
| Esj04 | 0.0003 | 0.0005 | 0.37 | 0.0001 | 0.46 | 7.24 |
| Esj05 | 0 | 0.004 | 0.19 | 0 | 1.02 | 6.9 |
| Esj06 | 0 | 0.0016 | 0.48 | 0 | 0.67 | 7.64 |
| Esj07 | 0 | 0.0031 | 0.15 | 0 | 0.91 | 6.79 |
| Esj08 | 0.0003 | 0.0015 | 0.27 | 0 | 0.64 | 7.4 |
| Esj09 | 0.0004 | 0.0053 | 0.4 | 0 | 0.41 | 7.31 |
| Esj10 | 0.0004 | 0.0015 | 0.22 | 0 | 0.56 | 6.69 |
| Esj11 | 0 | 0 | 0.31 | 0 | 1.63 | 6.34 |
| Esj12 | 0 | 0 | 0.17 | 0 | 1.35 | 6.8 |
| Esj13 | 0 | 0 | 1.83 | 0.0008 | 1.1 | 7.32 |
| Esj14 | 0 | 0 | 0.63 | 0 | 1.46 | 7.34 |

含量单位:mg/L.

中应用比较广泛的工具, 它可以各类离子或指标之间相关性定量化清楚地表示出来^[10-14]. 本文采用 SPSS19 软件计算水质指标的相关系数矩阵, 见表 10.

铁是地壳中第二大含量丰富的金属, 占地壳质量的 5%. 铁又是生物体必需的微量元素. 地下水铁、锰离子含量高是东北平原普遍存在且较复杂的一个水文地球化学问题, 尤其是在地下水径流缓慢的低平原区, 情况更为严重.

由表 10 可以看出, 氨氮与 TDS(溶解性总固体)之间具有良好的相关性, 说明它们之间可能有相同的来源. 铁与色度、浑浊度都具有显著相关性, 说明色度、浑浊度受铁控制; 铁与锰具有显著相关性, 说明东北地区地下水铁、锰含量受铁、锰土壤高背景值控制; 色度与浑浊度具有显著相关性, 说明地下水受二价铁氧化为三价铁引起的沉淀和颜色变化控制.

4.2 地下水各参数变异特征

统计分析可以反映某一地区或某一时间段内地下

水成分的概略面貌^[5-9]. 为了解该地区的地下水水化学特征, 对鄂伦春自治旗地下水水样检测数据各个指标用 SPSS19 软件进行数理统计分析, 得到水化学组分统计特征值, 如表 11.

从表 11 可以看出, TDS、总硬度(CaCO₃)均值较高, 说明地下水的硬度较高且矿化度较大. 在离子组分方面, SO₄²⁻质量浓度的平均值最大, Cl⁻、NO₃⁻次之, 表明其在地下水离子中占据主导, 在地下水中的绝对质量浓度较高.

变异系数是变量变幅和稳定性的特征. 变量变幅越小, 稳定性越强, 变异系数就越小, 反之亦然. 较大的变异系数说明地下水化学组分形成及演化的影响因素复杂. TDS、CaCO₃、COD 变异系数较小, 反映其在该地区的地下水中的质量浓度相对稳定. TDS、CaCO₃ 不仅质量浓度较高, 且稳定; 而 As、SO₄²⁻、NH₄⁺、NO₂⁻的变异系数较大, 说明其在不同区域质量浓度值相差较高, 易受水文气象条件、地形地貌、含水层介质和人类活动

表 10 地下水水化学参数相关性系数矩阵

Table 10 Correlation coefficient matrix of groundwater hydrochemical parameters

| | TDS | Mn | TFe | F ⁻ | NO ₃ ⁻ | 氨氮 | pH | 色度 | 浑浊度 |
|------------------------------|---------|---------|---------|----------------|------------------------------|-------|--------|---------|-----|
| TDS | 1 | | | | | | | | |
| Mn | 0.132 | 1 | | | | | | | |
| TFe | 0.161 | 0.912** | 1 | | | | | | |
| F ⁻ | 0.12 | 0.04 | 0.218 | 1 | | | | | |
| NO ₃ ⁻ | -0.407 | -0.347 | -0.303 | -0.339 | 1 | | | | |
| 氨氮 | 0.780** | -0.107 | -0.028 | 0.324 | -0.25 | 1 | | | |
| pH | -0.13 | -0.255 | -0.257 | 0.175 | -0.274 | 0.075 | 1 | | |
| 色度 | 0.246 | 0.457 | 0.580* | -0.007 | -0.214 | 0.045 | 0.105 | 1 | |
| 浑浊度 | 0.426 | 0.519 | 0.757** | 0.35 | -0.306 | 0.257 | -0.035 | 0.773** | 1 |

** 为在 0.01 水平(双侧)上显著相关; * 为在 0.05 水平(双侧)上显著相关.

表 11 地下水化学组分统计特征值

Table 11 Statistical eigenvalues of groundwater chemical compositions

| 组分 | Mn | TFe | Pb | Cu | F ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | As | TDS | CaCO ₃ | COD | NO ₂ ⁻ | NH ₄ ⁺ |
|------|--------|---------|----------|----------|----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|----------|---------|-------------------|--------|------------------------------|------------------------------|
| 极小值 | 0.0031 | 0.02 | 0 | 0 | 0.045 | 0.53 | 1.51 | 0 | 0 | 70.2 | 11.1 | 0.41 | 0.0021 | 0 |
| 极大值 | 0.57 | 3.05 | 0.0007 | 0.0053 | 1.83 | 52.9 | 263 | 60.53 | 0.0008 | 478 | 339 | 1.63 | 0.14 | 0.51 |
| 均值 | 0.1413 | 0.86414 | 0.000186 | 0.001393 | 0.39179 | 10.9064 | 30.2421 | 8.5929 | 0.000086 | 192.086 | 123.607 | 0.8929 | 0.017129 | 0.06879 |
| 变异系数 | 1.34 | 1.18 | 1.19 | 1.18 | 1.13 | 1.28 | 2.24 | 1.94 | 2.45 | 0.52 | 0.60 | 0.43 | 2.14 | 2.17 |

含量单位: mg/L.

等因素的影响。

4.3 水质讨论

结合巴彦公社幅 1:200 000 水文地质普查报告^①, 分析鄂伦春自治旗地下水水质情况, 认为本区地下水水质受铁、锰、色度和浑浊度影响较大, 地下水中铁、锰超标主要是受东北地区土壤中铁、锰背景值高影响, 地下水中铁、锰超标引起色度和浑浊度相应超标。集中及分散饮水过程中, 只要对铁、锰适当处理, 铁、锰、色度和浑浊度指标都会向好, 同时应减少区域内人类活动对地下水的影响, 达到对 NH_4^+ 、 NO_2^- 高含量的控制。

5 结语

1) 区域内铁、锰、色度、浑浊度、pH 值、硫酸根、氟离子存在超标现象, 使得部分井位地下水水质达到 IV 类水标准。

2) 东北地区地下水中铁、锰含量受铁、锰土壤高背景值控制, 铁与色度、浑浊度都具有显著相关性。只要对地下水中的铁、锰作适当处理, 水的色度和浑浊度就会得到改善。

3) 地下水中 As 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 、 NO_2^- 在不同区域的质量浓度值相差较大, 易受水文气象条件、地形地貌、含水层介质和人类活动等因素的影响, 应加强对人类生活污染的控制。

参考文献(References):

- [1] 钱会, 马致远. 水文地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 2005.
Qian H, Ma Z Y. Hydro-geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005. (in Chinese)
- [2] 沈照理, 朱宛华, 钟佐辛. 水文地球化学基础[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
Shen Z L, Zhu W H, Zhong Z X. Basic hydro-geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993. (in Chinese)
- [3] 章光新, 邓伟, 何岩, 等. 中国东北松嫩平原地下水水化学特征与演变规律[J]. 水科学进展, 2006, 17(1): 20-28.
Zhang G X, Deng W, He Y, et al. Hydrochemical characteristics and evolution laws of groundwater in Songnen Plain, Northeast China[J]. Advances in Water Science, 2006, 17(1): 20-28.
- [4] 谢振华, 刘凯, 李志萍, 等. 基于沉积物物质来源的地下水化学特征分析: 以北京市平原区为例[J]. 地学前缘, 2010, 17(6): 81-87.
Xie Z H, Liu K, Li Z P, et al. Analysis of groundwater chemical characteristics based on sediment provenance analysis: A case study of

- Beijing Plain[J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(6): 81-87.
- [5] 李旭光, 何海洋, 田辉, 等. 通辽科尔沁地区地下水水化学特征分析[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(6): 92-98.
Li X G, He H Y, Tian H, et al. Geochemistry of groundwater in Tongliao Horqin area[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(6): 92-98.
- [6] 安乐生, 赵全升, 叶思源, 等. 黄河三角洲浅层地下水化学特征及形成作用[J]. 环境科学, 2012, 33(2): 370-378.
An L S, Zhao Q S, Ye S Y, et al. Hydrochemical characteristics and formation mechanism of shallow groundwater in the Yellow River delta [J]. Environmental Science, 2012, 33(2): 370-378.
- [7] 张涛, 何锦, 李敬杰, 等. 蛤蟆通河流域地下水化学特征及控制因素[J]. 环境科学, 2018, 39(11): 4981-4990.
Zhang T, He J, Li J J, et al. Major ionic features and possible controls in the groundwater in the Hamatong River basin [J]. Environmental Science, 2018, 39(11): 4981-4990.
- [8] 孙立梅, 刘晓洁. 吉林省松辽平原东部高平原白垩系地下水水化学特征[J]. 吉林地质, 2005, 24(3): 22-27.
Sun L M, Liu X J. The hydrochemical characteristics of the Cretaceous ground water in the high east plain, Songliao Plain, Jilin Province[J]. Jilin Geology, 2005, 24(3): 22-27.
- [9] 王水献, 王云智, 董新光. 焉耆盆地浅层地下水埋深与 TDS 时空变异及水化学的演化特征[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(5): 90-93.
Wang S X, Wang Y Z, Dong X G. The spatio-temporal variation of shallow groundwater TDS, depth and it's evolvement characteristic of water chemistry in Yanqi Basin[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2007, 26(5): 90-93.
- [10] 邢立亭, 张凤娟, 李常锁, 等. 鲁北平原浅层地下水水化学特征[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(6): 90-94.
Xing L T, Zhang F J, Li C S, et al. Hydro-chemical characteristics of shallow groundwater in the North Shandong plain[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015, 34(6): 90-94.
- [11] 陈倩, 钟金先, 李长顺. 数理统计方法在区域浅层地下水水文地球化学研究中的应用[J]. 现代地质, 2012, 26(3): 607-613.
Chen Q, Zhong J X, Li C S. Application of mathematical statistics methods on the study of hydrogeochemistry for the shallow groundwater [J]. Geoscience, 2012, 26(3): 607-613.
- [12] 孙斌, 邢立亭. 济南市附近地下水化学特征研究[J]. 中国农村水利水电, 2010(11): 33-37, 40.
Sun B, Xing L T. Research on groundwater chemical characteristics in urban areas in Jinan [J]. China Rural Water and Hydropower, 2010(11): 33-37, 40.
- [13] 张伟敬, 孙晓明, 柳富田, 等. 曹妃甸地区地下水水化学特征及影响因素的 R 型因子分析[J]. 安全与环境工程, 2010, 17(1): 1-5.
Zhang W J, Sun X M, Liu F T, et al. Application of R-mode

① 李景, 等. 中华人民共和国区域水文地质普查报告: 巴彦公社幅 M-51-[23]. 齐齐哈尔: 黑龙江省第一水文地质队, 1979.

- analysis on chemical characters and influential factors of quaternary groundwater in Caofeidian Area [J]. *Safety and Environmental Engineering*, 2010, 17(1): 1-5.
- [14]袁建飞, 邓国仕, 徐芬, 等. 毕节市北部岩溶地下水水化学特征及影响因素的多元统计分析[J]. *中国地质*, 2016, 43(4): 1446-1456.
- Yuan J F, Deng G S, Xu F, et al. The multivariate statistical analysis of chemical characteristics and influencing factors of karst groundwater in the northern part of Bijie City, Guizhou Province [J]. *Geology in China*, 2016, 43(4): 1446-1456.
- [15]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.
- [16]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.
- [17]冯亿年, 张建涛, 王路, 等. 永城市芒山矿泉水特征及成因研究 [J]. *水文地质*, 2015, 40(5/6): 24-25, 28.
- Feng Y N, Zhang J T, Wang L, et al. Genesis and Characteristics Research on Mineral Water in Mangshan Mountain of Yongcheng City [J]. *Hydrogeology*, 2015, 40(5): 24-25, 28.
- [18]杨炳超, 李小等, 张戈, 等. 诺木洪河流域地下水水化学特征及演化规律研究[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2016, 44(10): 214-220.
- Yang B C, Li X D, Zhang G, et al. Hydrochemistry characteristics and evolution of groundwater in Nomhon River Basin in Qinghai [J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2016, 44(10): 214-220.
- [19]姜凌. 干旱区绿洲地下水水化学成分形成及演化机制研究——以阿拉善腰坝绿洲为例[D]. 西安: 长安大学, 2009.
- Jiang L. Study on hydrochemical composition formation and evolution mechanisms of the groundwater in oasis of arid areas: A case of Yaoba Oasis in Alashan [D]. Xi'an: Chang'an University, 2009.
- [20]钱程, 武雄. 盐池内流区地下水水化学特征及其形成作用[J]. *干旱区资源与环境*, 2016, 30(3): 169-175.
- Qian C, Wu X. Hydrochemical characteristics and formation mechanism of groundwater in the inner flow area in Yanchi [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2016, 30(3): 169-175.
- [21]孙岐发, 田辉, 张扩. 下辽河平原地区历史地面沉降情况研究[J]. *地质与资源*, 2014, 23(5): 450-452.
- Sun Q F, Tian H, Zhang K. Study on the history of land subsidence in lower Liaohe River plain [J]. *Geology and Resources*, 2014, 23(5): 450-452.
- [22]孔庆轩, 刘彩虹, 吴庭雯. 黑龙江省黑河市地下水脆弱性评价及地下水资源保护区划[J]. *地质与资源*, 2013, 22(4): 279-283.
- Kong Q X, Liu C H, Wu T W. Assessment of groundwater vulnerability and regionalization for water resources in Heihe City, Heilongjiang Province [J]. *Geology and Resources*, 2013, 22(4): 279-283.
- [23]苑丽华. 松嫩平原地下水化学特征[J]. *地质与资源*, 2006, 15(2): 122-124, 132.
- Yuan L H. Hydrochemistry of the groundwater in Songnen Plain [J]. *Geology and Resources*, 2006, 15(2): 122-124, 132.
- [24]田辉, 金洪涛, 孙岐发, 等. 基于层次分析法的盘锦湿地生态评价 [J]. *地质与资源*, 2018, 27(3): 268-271, 287.
- Tian H, Jin H T, Sun Q F, et al. Ecological evaluation on Panjin Wetland based on analytic hierarchy process [J]. *Geology and Resources*, 2018, 27(3): 268-271, 287.
- [25]孔庆轩, 董宏志, 王燕, 等. 哈尔滨地区浅层地下水质量与污染评价[J]. *地质与资源*, 2015, 24(1): 70-74.
- Kong Q X, Dong H Z, Wang Y, et al. Assessment for the quality and pollution of shallow groundwater in Harbin, Heilongjiang Province [J]. *Geology and Resources*, 2015, 24(1): 70-74.