

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2021.02.021

青海省德令哈盆地第四系地下水质量评价

曾庆铭^{1,2}, 顾小凡^{1,2}, 杨炳超^{1,2}, 党学亚^{1,2}, 姜军^{1,2}, 犹香智^{1,2}

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心/西北地质科技创新中心, 陕西 西安 710054;
2. 陕西省水资源与环境工程技术研究中心, 陕西 西安 710054)

摘要:地下水质量评价是保护和合理开发利用地下水资源的前提。为准确反映德令哈盆地地下水质量状况,以青海省德令哈盆地第四系地下水的66组水质测试数据为基础,选取12项一般化学指标和4项毒理学指标共16项评价指标,采用基于最差指标判别法和改进的内梅罗指数法相结合的分类组合评价方法对地下水质量进行评价。结果表明:①德令哈盆地第四系地下水质量整体较好。其中,I—III类地下水采样点数占总采样点数的74.24%,IV类地下水采样点数占10.61%,V类地下水采样点数占15.15%。②德令哈盆地内承压(自流)水质量优于潜水,冲湖积平原区地下水质量优于其他地区。③参评的16项指标中超标率(超III类水)大于10%的指标有5种,由高到低依次为硫酸盐、总硬度、钠、溶解性总固体和氯化物。造成本区地下水质量超标的主要因素是地下水中的一般化学指标,三氮和毒理学指标超标较少。④本区地下水质量受原始地质环境和自然环境的控制,受人类活动影响较小。特定的地形地貌、地质构造和沉积环境控制着含水岩组的形成和地下水的循环演化,从而控制着地下水的整体质量;而干旱少雨的气候影响着浅层地下水的整体质量。

关键词:地下水质量评价;德令哈盆地;最差指标判别法;改进的内梅罗指数法;分类组合评价
中图分类号:P641; X824 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-6248(2021)02-0239-09

The Quaternary Groundwater Quality Evaluation of Delingha Basin in Qinghai Province

ZENG Qingming^{1,2}, GU Xiaofan^{1,2}, YANG Bingchao^{1,2}, DANG Xueya^{1,2}, JIANG Jun^{1,2}, YOU Xiangzhi^{1,2}

(1. Xi'an Center of China Geological Survey / Northwest China Center for Geoscience Innovation, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Shaanxi Province Engineering Research Centre of Water Resources and Environment, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Groundwater quality evaluation is the premise of the protecting and rationally exploiting of groundwater resources. In order to accurately reflect the groundwater quality in Delingha basin, 12 general chemical indexes and 4 toxicological indexes were selected using a combination evaluation method of worst index judgment method and improved Nemerow index method, which was based on 66 groups of Quaternary groundwater quality test data in Delingha basin, Qinghai Province. The results show that: ①the overall quality of Quaternary groundwater in Delingha basin is good. Samples from grade I – III groundwater accounts for 74.24% of the total, and grade IV accounts for 10.61%, grade V for 15.15%. ②The quality of confined (artesian) water in Delingha basin is better than that of phreatic wa-

收稿日期:2020-05-13;修回日期:2020-10-10

基金项目:中国地质调查局项目“柴达木盆地巴音河—塔塔凌河流域1:5万水文地质调查”(DD20160291)。

作者简介:曾庆铭(1985-),男,工程师,主要从事水文地质环境地质调查。E-mail:zqm1316@163.com。

ter, and the groundwater quality in the alluvial lacustrine plain areas is better than that in other areas.

③Among the 16 indexes evaluated, 5 indexes, which are sulfate, total hardness, natrium, TDS and chloride, exceed the standard level and the rate of excess is greater than 10%. The major transnormal items are the general chemical indexes in the groundwater, while the 3 - nitrogen and toxicological indexes are less exceeding. ④The quality of groundwater in this area is more controlled by the original geological and natural environment and less affected by human activities. The specific landform, geological structure and sedimentary environment controlled the formation of aquifer and the cyclic evolution of groundwater, thereby controlling the overall quality of groundwater, while the arid and rainless climate affects the quality of shallow groundwater.

Keywords: groundwater quality evaluation; Delingha basin; the worst index judgment method; improved Nemerow index method; classification and combination evaluation

地下水质量评价是地下水资源评价和保护的重要内容。地下水质量评价结果一方面取决于检测数据的准确性,另一方面依赖于评价方法的科学性。不同的地下水质量评价标准、评价方法和评价指标的多寡都会导致评价结果差异很大。目前,关于地下水质量的评价方法较多,如综合指数评价法、灰色聚类分析法、模糊综合评判法、人工神经网络法及集对分析评价法等,每种地下水质量评价方法都有其优点和不足(苏耀明等,2007;张新钰等,2011;方运海等,2018;刘瑞平等,2009;邢西刚等,2017)。例如,《地下水质量标准》(GB/T 14848 - 1993)中推荐使用的内梅罗指数法就是综合指数评价法的一种,该方法具有简洁易懂,运算方便的优点,但该方法由于未考虑权重因素,评价结果易于受极值的影响,而且Ⅲ类水出现概率低,这与地下水质量实际情况不符(林良俊等,2009;费宇红等,2014;李录娟等,2014;倪天翔等,2018)。截至目前还没有一种地下水质量评价方法被大家广泛认可,各种地下水质量评价方法不断被研究和改进。

德令哈盆地位于青藏高原北部、柴达木盆地东北部,是柴达木盆地次一级盆地,行政区划属青海省海西蒙古族藏族自治州德令哈市。本区地处中国西北干旱内陆,降水稀少,蒸发强烈,生态环境十分脆弱。随着近几年德令哈市工农业的快速发展,对地下水资源的需求与日俱增,供需矛盾日益突出。2016~2018年,中国地质调查局在柴达木盆地实施的“柴达木盆地巴音河—塔塔凌河流域1:5万水文地质调查”项目在德令哈市巴音河流域平原区部署了1:5万水文地质调查工作,对德令哈盆地第四系地下水质量进行了采样测试。为了让评价结果更客观地反映区域地下水质量,更有效地指导水资源管

理和利用,笔者依据测试结果和《地下水质量标准》(GB/T 14848 - 2017),采用基于最差指标判别法和改进的内梅罗指数法相结合的分类组合评价方法,对德令哈盆地第四系地下水质量进行评价,为保护和合理开发利用地下水资源,防止地下水污染,加强地下水资源管理提供了科学依据。

1 研究区概况

1.1 自然地理

德令哈盆地北倚宗务隆山,南抵德南丘陵,西起怀头他拉,东邻布赫特山西端余脉。本区地形特点是北高南低,海拔2 800~3 400 m,地势由北向南倾斜。地貌主要由北部的宗务隆山、布赫特山山前洪积倾斜平原、中部的冲洪积平原和南部的冲湖积平原组成。

德令哈市属于典型干旱大陆性气候,以干旱少雨、蒸发量大、冬长夏短、气温较低、昼夜温差大、多风为特点。据德令哈气象站观测资料(1960~2016年),本区多年平均降水量为195.3 mm,多年平均蒸发量为2 036.6 mm,多年平均气温为4.0℃,多年平均风速为2.1 m/s,多年平均相对湿度为38.5%。

区内主要河流为巴音(郭勒)河。巴音河发源于祁连山脉野牛脊山南麓,全长326 km,流域面积约9 918 km²,多年平均流量为10.93 m³/s。支流白水河在黑石山水库下游100 m处汇入巴音河。巴音河河水最终排泄进可鲁克湖(淡)和托素湖(咸)(李健等,2009)。

1.2 水文地质条件

德令哈盆地为一较完整的水文地质单元。第四系松散岩类孔隙水为盆地内最主要的地下水类型,广泛分布于山前洪积倾斜平原、冲洪积平原及冲湖积平原区。

以戈壁砾石为主要地貌景观的山前洪积、冲洪积平原区含水层颗粒粗,厚度大,结构单一,透水性强;含水层岩性主要由砂砾卵石、含泥砂砾石层等组成,地下水类型为潜水。在冲洪积平原前缘至以细土平原为主要地貌景观的冲湖积平原后部,由于地形坡度变小,地表水流速减缓,搬运能力逐渐减弱,细颗粒物开始堆积,形成由北部单一的砂砾石层逐渐过度为砂砾石、砂与粉土、粉质黏土的多层互层结构,地下水类型上部为潜水,下部为承压水。地下水位埋深在山前洪积倾斜平原区普遍大于 100 m,靠近山前大于 200 m,冲洪积平原区埋深一般在 3~100 m,冲湖积平原区埋深一般小于 3 m。

本区地下水主要接受巴音河水和北部山区季节性河水的大量渗漏补给和北部宗务隆山基岩裂隙水的侧向径流补给,地下水整体由北向南径流,在一棵树寺

附近以泉的形式泄出地表形成泉集河,排泄进西南方向的可鲁克湖和托素湖,部分地下水以地下径流的形式排泄进东南方向的尕海,最终通过尾间湖蒸发排泄。

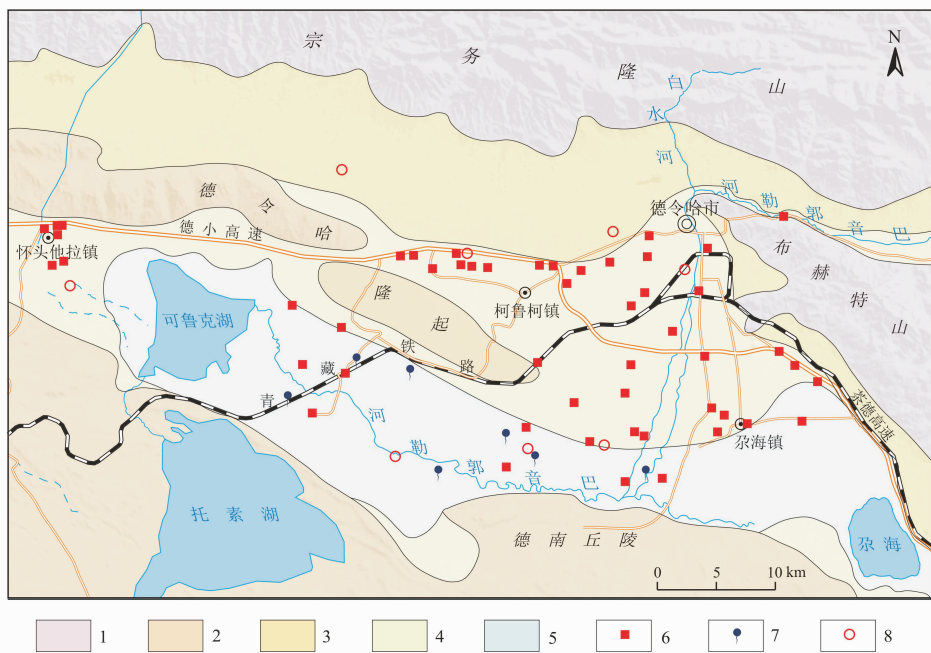
2 样品采集与测试

2016~2018 年,在德令哈盆地共采集第四系地下水全分析样品 66 组(表 1)(图 1)。其中,采集机(民)井地下水样品 51 组、探采结合孔地下水样品 8 组、泉水样品 7 组。采样点主要为机(民)井。样品的采集、保存、运输均严格按照行业规范进行质量控制。样品测试工作由青海省水文地质工程地质环境地质调查院实验室依据《地下水水质检验方法》(DZ/T 0064.1~0064.80—1993)、《生活饮用水标准检验方法》(GB/T 5750.1~5750.13—2006)等测试完成。

表 1 德令哈盆地第四系地下水采样点统计表

Tab. 1 Statistics of Quaternary groundwater samples in Delingha basin

采样点类型	数量(组)	地貌单元	数量(组)	地下水类型	数量(组)
机(民)井	51	山前洪积倾斜平原	2	潜水	56
探采结合孔	8	冲洪积平原	46	承压(自流)水	10
泉	7	冲湖积平原	18	—	—
合计	66	合计	66	合计	66



1. 山地; 2. 低山丘陵; 3. 山前洪积倾斜平原; 4. 冲洪积平原; 5. 冲湖积平原; 6. 机(民)井采样点; 7. 泉采样点; 8. 探采结合孔采样点

图 1 研究区地貌分区及地下水采样点分布图

Fig. 1 Geomorphic division and distribution of groundwater samples in the study area

3 评价指标与方法

3.1 评价指标

依据《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017),选取 16 项评价指标对研究区第四系地下水质量进行评价。16 项指标分为一般化学指标和毒理学指标。其中,一般化学指标包括总硬度(以 CaCO_3 计)、溶解性总固体(TDS)、硫酸盐、氯化物、钠、氨氮、耗氧量、硫化物、铁、铜、锌和铝等 12 项指标;毒理学指标包括亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、氟化物和铅等 4 项指标。

3.2 评价方法

3.2.1 分类组合评价方法

地下水中不同组分对人体健康产生的危害风险不同,比如地下水中的一般化学指标对人体健康的影响不明显,比较容易处理,而毒理学指标可通过饮水或食物链等途径直接或间接对人体健康造成危害,且不少重金属具有致突变、致畸、致癌作用。因此,在进行地下水质量评价的时候,对不同类别的指标采用一种评价方法是不合适的,应区别对待。比如对毒理学指标应采用比一般化学指标更加严格的评价方法。

基于此,笔者提出一种基于短板理论的地下水质量分类组合评价方法,即对一般化学指标和毒理学指标分别进行评价,然后基于短板理论,选取 2 组指标评价结果较差的类别作为该水样的综合评价结果,即:

$$F = \max(F_{\text{一般化学}}, F_{\text{毒理学}}) \quad (1)$$

式中: F ——某一水样水质综合评价类别;
 $F_{\text{一般化学}}$ ——该样品中参评的一般化学指标的评价类别;
 $F_{\text{毒理学}}$ ——该样品中参评的毒理学指标的评价类别。

对于一般化学指标适合采用综合评价法,本次采用改进的内梅罗指数法进行综合评价;而对于毒理学指标来说,则适合采用最差指标判别法,实行“一票否决”。

3.2.2 改进的内梅罗指数法

由于传统内梅罗指数法单项指标评价分值 F_i 取值为 0、1、3、6、10 几个离散的值,而水质测试结果却是连续分布的。在各级标准限值附近,污染物浓度的微小变化都将导致 F_i 值的较大变化,而在同一级标准范围内,污染物浓度变化却对 F_i 值没有影

响,使得 F_i 值不能客观反映出污染物的浓度情况,降低了评价的灵敏度。

为了解决传统内梅罗指数法中 F_i 不连续的问题,笔者采用倪天翔提出的对 F_i 的修正公式(倪天翔等,2018),在不改变 F_i 期望值的前提下使得 F_i 取值连续。

$$F'_i = \begin{cases} 0, & u \leq S_1 \\ 2 \times \frac{u - S_1}{S_2 - S_1}, & S_1 < u \leq S_2 \\ 2 + 2 \times \frac{u - S_2}{S_3 - S_2}, & S_2 < u \leq S_3 \\ 4 + 6 \times \left(\frac{u - S_3}{S_4 - S_3} \right)^2, & S_3 < u \leq S_4 \\ 10, & u > S_4 \end{cases} \quad (2)$$

式中: F'_i ——修正后的单项指标评价分值;
 u ——水样中某单项指标的实测浓度值;
 S_i ——水样中该单项指标的第 i 级标准限值, $i=1, 2, 3, 4$ 。

改进后的综合评价分值 F' 的计算如下式。

$$F' = \sqrt{((F_{\max}')^2 + \bar{F}'^2)/2} \quad (3)$$

$$\bar{F}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F'_i \quad (4)$$

式中: F_{\max}' ——修正后的各单项指标评分值 F'_i 中的最大值;
 \bar{F}' ——修正后的各单项指标评分值 F'_i 的平均值。

3.2.3 最差指标判别法

该方法为最新修订实施的《地下水质量标准》(GB/T 14848-2017)中推荐的地下水质量评价方法。先按单项指标值所在的限值范围确定地下水单项指标质量类别,指标限值相同时,从优不从劣。然后再进行地下水质量综合评价,按单指标评价结果最差的类别确定。

该方法是操作最为简单的一种水质评价方法,不仅简单直观,而且综合评价结果的划分与单指标评价结果划分相对应,使得评价结果的物理意义更加明确。但该方法评价过于严格,评价结果较为悲观,适合于毒理学指标或重金属指标的评价。

4 结果与分析

基于上述评价方法,首先采用改进的内梅罗指数法对 12 项一般化学指标进行评价,然后采用最差指标判别法对 4 项毒理学指标进行评价,最后取 2

组指标评价结果较差的类别作为该水样的综合评价结果。最终评价结果见表 2。

表 2 地下水质量评价结果分类统计表

Tab. 2 Classification statistics of groundwater quality evaluation results

分 类	分类数量(组)					合计	
	I 类水	II 类水	III 类水	IV 类水	V 类水		
全 部	1	18	30	7	10	66	
地下水类型	潜水	0	12	29	5	10	56
	承压(自流)水	1	6	1	2	0	10
地貌单元	山前洪积倾斜平原+冲洪积平原	0	10	22	6	10	48
	冲湖积平原	1	8	8	1	0	18

4.1 评价结果

评价结果表明,本区第四系地下水质量整体较好。其中, I 类水 1 组; II 类水 18 组; III 类水 30 组; IV 类水 7 组; V 类水 10 组。可以直接作为生活饮用水(I—III 类水)的地下水采样点数占总采样点数的 74.24%; 经过适当处理后可作生活饮用水(IV 类水)的地下水采样点数占 10.61%; 不宜作为生活饮用水(V 类水)的地下水采样点数占 15.15%。超 III 类水点主要集中分布在怀头他拉镇、柯鲁柯镇一带,其余则零星分布(图 2)。

从地下水类型上看,本区潜水中超 III 类水有 15 组,约占 26.79%; 承压(自流)水中超 III 类水仅有 2

组,约占 20.00%,且无 V 类水。从地下水水化学主要组分统计特征来看(表 3),潜水中主要指标的平均值和最大值均大于承压(自流)水,潜水中主要指标的平均值为承压(自流)水的 1.03~2.21 倍。

从地貌单元上看,山前洪积倾斜平原和冲洪积平原区超 III 类水有 16 组,约占 33.33%; 冲湖积平原区超 III 类水仅有 1 组,仅占 5.56%,且无 V 类水。从地下水水化学主要组分统计特征来看(表 3),山前洪积倾斜平原和冲洪积平原区地下水中主要指标的平均值和最大值均大于冲湖积平原区,其主要指标的平均值为冲湖积平原区的 1.02~1.59 倍。

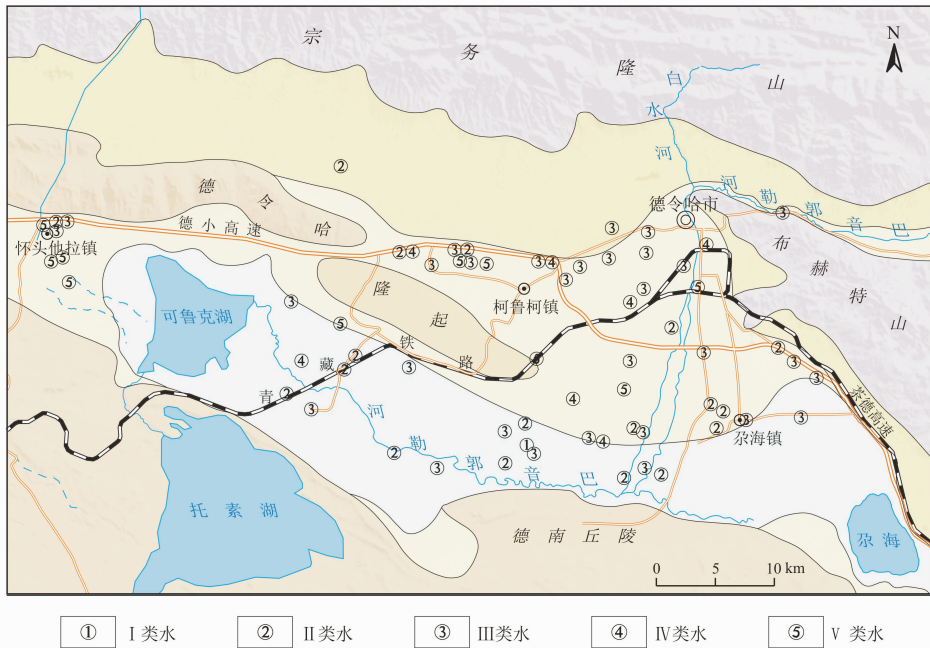


图 2 地下水质量评价结果图

Fig. 2 Evaluation results of groundwater quality

表3 地下水水化学主要组分分类统计表
Tab.3 Statistics of main hydrochemical components of groundwater

分类	项目	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	TDS	总硬度	
地下水类型	潜水	平均值(mg/L)	160.84	75.58	41.46	157.90	249.21	263.84	814.38	359.48
		最大值(mg/L)	615.00	194.00	136.00	772.00	860.00	498.00	2 654.00	797.18
		最小值(mg/L)	38.50	26.05	8.11	48.70	62.44	155.00	354.02	109.45
		标准差	104.82	35.48	30.37	140.88	149.11	79.94	418.26	165.78
		变异系数	0.65	0.47	0.73	0.89	0.60	0.30	0.51	0.46
	承压(自流)水	平均值(mg/L)	93.67	56.95	25.92	71.55	129.74	257.10	496.40	248.92
		最大值(mg/L)	150.00	74.40	42.00	111.00	221.00	339.00	662.00	343.71
		最小值(mg/L)	44.80	25.20	12.40	52.10	43.50	170.00	322.00	113.95
		标准差	32.98	15.50	10.74	19.33	57.78	64.06	114.79	77.30
		变异系数	0.35	0.27	0.41	0.27	0.45	0.25	0.23	0.31
地貌单元	山前洪积倾斜平原和冲洪积平原	平均值(mg/L)	167.07	73.87	42.42	161.10	255.34	263.98	829.57	359.16
		最大值(mg/L)	615.00	194.00	136.00	772.00	860.00	498.00	2 654.00	797.18
		最小值(mg/L)	38.50	25.20	8.11	52.90	43.50	155.00	354.02	109.45
		标准差	110.31	37.84	32.29	148.81	159.86	81.55	445.11	178.02
		变异系数	0.66	0.51	0.76	0.92	0.63	0.31	0.54	0.50
	冲湖积平原	平均值(mg/L)	106.91	69.81	30.26	101.38	166.50	259.72	597.22	298.91
		最大值(mg/L)	210.00	129.00	56.10	268.00	297.00	351.00	956.00	459.27
		最小值(mg/L)	44.80	44.20	13.70	48.70	71.90	164.00	322.00	183.67
		标准差	44.09	20.01	13.04	64.55	63.96	66.86	184.65	88.10
		变异系数	0.41	0.29	0.43	0.64	0.38	0.26	0.31	0.29

由此可见,德令哈盆地内承压(自流)水质量优于潜水,冲湖积平原区地下水质量优于其他地区。

4.2 与其他方法对比分析

为了验证该方法的科学性和合理性,将该方法的评价结果与最差指标判别法、传统内梅罗指数法2种方法的评价结果进行对比,对比结果见表4。

从表4中可以看出,最差指标判别法评价结果主要集中在Ⅲ类水和Ⅳ类水,超Ⅲ类水比例高达45.45%,评价结果较差,这与德令哈盆地地下水实际情况有所差距,主要原因是该方法评价过于严格,

即使只有一项参评指标为Ⅳ类或Ⅴ类水,而其余参评指标均未超过Ⅲ类水,则该水样综合评价结果也被判定为Ⅳ类或Ⅴ类水。传统内梅罗指数法评价结果主要集中在Ⅱ类水和Ⅳ类水,缺失Ⅲ类水,且超Ⅲ类水比例依然高达45.45%,可见传统内梅罗指数法评价结果不合理。笔者提出的分类组合评价法评价结果中Ⅰ—Ⅴ类水均有评出,其中Ⅲ类水最多,其次为Ⅱ类水,超Ⅲ类水比例为25.76%。由此可见该方法的评价结果是比较客观合理的,更符合实际情况。

表4 不同评价方法评价结果对比表
Tab.4 Comparison of evaluation results of different evaluation methods

评价方法	分类数量(组)				
	Ⅰ类水	Ⅱ类水	Ⅲ类水	Ⅳ类水	Ⅴ类水
分类组合评价方法	1	18	30	7	10
最差指标判别法	0	5	31	19	11
传统内梅罗指数法	5	31	0	22	8

4.3 影响指标分析

为了解不同水质指标对地下水质量的影响程度,将前述的16项地下水质量评价指标分类统计(表5)(图3)。16项评价指标中超标率(超Ⅲ类水)大于20%的指标有1种,为硫酸盐(28.79%);超标率大于10%的指标有4种,分别为总硬度(18.18%)、钠(16.67%)、溶解性总固体(13.64%)、氯化物(10.61%);V类水中超标率大于5%的指标

有3种,分别为硫酸盐(12.12%)、氯化物(9.09%)、总硬度(7.58%)。而氨氮、硝酸盐氮和铅3种指标仅有1个采样点超标,耗氧量、铜、锌、铝和亚硝酸盐氮5种指标则没有出现超标。

由此可见,造成本区地下水质量超标主要是地下水中的一般化学指标,三氮和毒理学指标超标较少,可见本区地下水质量受原始地质环境和自然环境的控制,受人类活动影响较小。

表5 地下水质量影响指标统计表

Tab.5 Statistics of groundwater quality impact index

指 标		数量(组)			超标率(%)	
		I+II+III类水	IV类水	V类水	超Ⅲ类水	V类水
一般化学指标	总硬度	54	7	5	18.18	7.58
	溶解性总固体	57	8	1	13.64	1.52
	硫酸盐	47	11	8	28.79	12.12
	氯化物	59	1	6	10.61	9.09
	钠	55	9	2	16.67	3.03
	氨氮	65	0	1	1.52	1.52
	耗氧量	66	0	0	0.00	0.00
	硫化物	61	4	1	7.58	1.52
	铁	64	0	2	3.03	3.03
	铜	66	0	0	0.00	0.00
	锌	66	0	0	0.00	0.00
	铝	66	0	0	0.00	0.00
毒理学指标	亚硝酸盐氮	66	0	0	0.00	0.00
	硝酸盐氮	65	1	0	1.52	0.00
	氟化物	64	2	0	3.03	0.00
	铅	65	1	0	1.52	0.00

4.4 影响因素分析

德令哈盆地地下水质量整体较好,这是因为本区地广人稀,海拔较高,自然环境比较恶劣,戈壁荒漠和湿地沼泽分布面积大,人类活动范围和强度均较小,地下水质量主要受原始地质环境和自然环境的控制,而受人类活动影响较小。这与同为西北干旱-半干旱地区的河西走廊石洋河流域地下水环境受人类活动强烈影响截然不同(王化齐等,2019)。影响本区地下水质量的因素主要有以下几方面。

(1)干旱气候。本区干旱少雨的气候对浅层地下水的质量影响较大。潜水水质较承压(自流)水差主要是由于在冲洪积平原前缘和冲湖积平原区潜水

含水层厚度减小,地形平缓,水力坡度减小,地下水径流相对滞缓;加之本区潜水埋藏深度浅,一般小于3m,干旱气候使得潜水蒸发浓缩作用强烈,地下水中溶质含量比例增加,导致潜水中总硬度、溶解性总固体、硫酸盐、氯化物、钠等一般化学指标超标严重,而承压(自流)水埋藏深度大,受蒸发浓缩作用影响较小,水质相对较好。

(2)地质构造。德令哈盆地北高南低的整体地形控制了宗务隆山前平原地下水主流方向是由北向南流动,但在平原西侧柯鲁柯镇一带,由于德令哈背斜构造的阻挡作用,地下水在德令哈隆起北侧由北向南径流受阻,地下水在乌兰干沟村—花土村一带

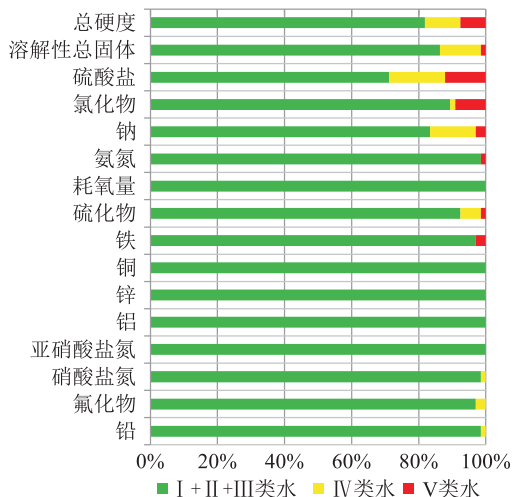


图3 地下水质量影响指标统计图

Fig. 3 Statistical chart of groundwater quality impact index

形成地下水径流相对滞缓区和地下水位上升区。本区地下水循环更新速度慢,加之浅埋的地下水受蒸发浓缩作用影响,形成了一定范围的地下水水质较差区,地下水中 TDS 均大于 1 g/L。

(3)地层含盐量。可鲁克湖西侧怀头他拉镇一带地下水水质较差与地层高含盐量密切相关。通过对本区水文地质勘探孔 BK8 孔 0~153 m 地层土壤易溶盐样的系统采集与分析,发现怀头他拉镇一带地层在 0~20 m 含盐量最高,平均含盐量达 6 934 mg/kg,为亚硫酸盐型中盐渍土;另外,在 34~51 m、75~88 m 段地层平均含盐量也达到 4 525 mg/kg 和 4 952 mg/kg。而本区地下水位在 10~15 m,地层中如此高的含盐量导致地下水中主要化学组分超标严重,该地段地下水中 TDS 在 2.6~2.9 g/L,为微咸水,地下水化学类型为 $SO_4 \cdot Cl - Na \cdot Mg$ 型水(图 4)。

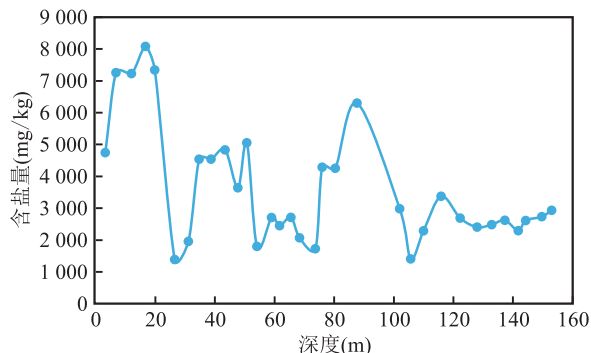


图4 BK8 钻孔地层含盐量统计图

Fig. 4 Statistical chart of salt content in strata of BK8 borehole

(4)人类活动。虽然本区人口稀少,地下水受人类活动影响较小,但位于冲洪积平原的德令哈工业园区,近年来大力发展纯碱、烧碱、电石、PVC、氯化钙等产品,构建柴达木两碱化工基地。随着德令哈地区碱化工业资源开发利用的广度和深度的增大,加之本区包气带岩性防护性能差,本区地下水面临着极大的威胁。目前,污染源主要是碱厂排污管道的“跑、冒、滴、漏”、露天晒碱池和引碱厂废液土渠的渗漏等,导致局部地下水已受到污染。例如,尕海镇新源村供水井水质变咸,难以饮用,就是受到晒碱池渗漏的影响,地下水中溶解性总固体明显增高,氯离子、钙离子大幅度增加,并且水化学类型也由 $Cl \cdot HCO_3 - Ca \cdot Mg$ 型变为 $Cl - Ca \cdot Mg$ 型(赵振等,2014)。

5 结论

(1)德令哈盆地第四系地下水质量整体较好。其中, I 类水 1 组; II 类水 18 组; III 类水 30 组; IV 类水 7 组; V 类水 10 组。I—III 类地下水采样点数占总采样点数的 74.24%, IV 类地下水采样点数占 10.61%, V 类地下水采样点数占 15.15%。超 III 类水点主要集中分布在怀头他拉镇、柯鲁柯镇一带,其余则零星分布。

(2)德令哈盆地内承压(自流)水质量优于潜水,冲湖积平原区地下水质量优于其他地区。本区潜水中超 III 类水约占 26.79%,承压(自流)水中超 III 类水约占 20.00%;山前洪积倾斜平原和冲洪积平原区超 III 类水约占 33.33%,冲湖积平原区超 III 类水仅占 5.56%。

(3)参评的 16 项指标中超标率(超 III 类水)大于 10% 的指标有 5 种,由高到低依次为硫酸盐、总硬度、钠、溶解性总固体和氯化物。造成本区地下水质量超标的主要是地下水中的一般化学指标,三氮和毒理学指标超标较少。

(4)德令哈盆地地下水质量受原始地质环境和自然环境的控制,受人类活动影响较小。特定的地形地貌、地质构造和沉积环境控制着含水岩组的形成和地下水的循环演化,从而控制着地下水的整体质量;而西北内陆干旱少雨的气候影响着浅层地下水的整体质量。

(5)笔者提出的基于最差指标判别法和改进的内梅罗指数法相结合的地下水质量分类组合评价方

法,其评价结果较最差指标判别法的评价结果稍乐观,而且能够较好地解决传统内梅罗指数法 F_i 取值不连续导致Ⅲ类水出现概率低的问题,同时还考虑了一般化学指标和毒理学指标之间的差异性,是一种科学合理的地下水质量评价方法。

参考文献(References):

方运海,郑西来,彭辉,等. 基于模糊综合与可变模糊集耦合的地下水质量评价[J]. 环境科学学报, 2018, 38(2): 546-552.

FANG Yunhai, ZHENG Xilai, PENG Hui, et al. Groundwater quality evaluation based on fuzzy synthetic evaluation and variable fuzzy sets[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2018, 38(2): 546-552.

费宇红,张兆吉,郭春艳,等. 区域地下水质量评价及影响因素识别方法研究——以华北平原为例[J]. 地球学报, 2014, 35(2): 131-138.

FEI Yuhong, ZHANG Zhaoji, GUO Chunyan, et al. Research on the method for evaluation and influence factors identification of regional groundwater quality: a case study of the North China Plain [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2014, 35(2): 131-138.

李健,王建军,黄勇,等. 青海德令哈市巴音河流域水资源开发利用[J]. 干旱区研究, 2009, 26(4): 483-489.

LI Jian, WANG Jianjun, HUANG Yong, et al. Analysis on the exploitation and utilization of water resources in the Bayin River Watershed, Delingha City, Qinghai Province [J]. Arid Zone Research, 2009, 26(4): 483-489.

李录娟,邹胜章. 综合指数法和模糊综合法在地下水质量评价中的对比——以遵义市为例[J]. 中国岩溶, 2014, 33(1): 22-30.

LI Lujuan, ZOU Shengzhang. Comparison of comprehensive index method and fuzzy comprehensive method in the evaluation of groundwater quality: a case study in Zunyi City[J]. Carsologica Sinica, 2014, 33(1): 22-30.

林良俊,文冬光,孙继朝,等. 地下水质量标准存在的问题及修订建议[J]. 水文地质工程地质, 2009, 36(1): 63-64.

LIN Liangjun, WEN Dongguang, SUN Jichao, et al. Problems in groundwater quality standard and suggestions for revision [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2009, 36(1): 63-64.

刘瑞平,朱桦,充明仲,等. 大荔县地下水环境质量评价及成因浅析[J]. 西北地质, 2009, 42(2): 116-125.

LIU Ruiping, ZHU Hua, KANG Mingzhong, et al. Assessment of water environment quality and pollution factors for Dali County [J]. Northwestern Geology, 2009, 42(2): 116-125.

倪天翔,杨庆,王俊豪,等. 一种新内梅罗指数法的修正方法及应用[J]. 水文地质工程地质, 2018, 45(2): 171-174.

NI Tianxiang, YANG Qing, WANG Junhao, et al. A new improvement of Nemerow index method and its application [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2018, 45(2): 171-174.

苏耀明,苏小四. 地下水水质评价的现状与展望[J]. 水资源保护, 2007, 23(2): 4-9.

SU Yaoming, SU Xiaosi. Present situation and prospecting of groundwater quality evaluation [J]. Water Resources Protection, 2007, 23(2): 4-9.

王化齐,黎志恒,张茂省,等. 石羊河流域水资源开发的生态环境效应与国土空间优化[J]. 西北地质, 2019, 52(2): 207-217.

WANG Huaqi, LI Zhiheng, ZHANG Maosheng, et al. Eco-environmental impact caused by water resources exploration and land space optimization in Shiyang River basin [J]. Northwestern Geology, 2019, 52(2): 207-217.

邢西刚,刘凌,乔丹颖,等. 水质集对分析评价模型的不足与改进[J]. 水电能源科学, 2017, 35(4): 49-53.

XING Xigang, LIU Ling, QIAO Danying, et al. Shortcomings and improvements of set pair analysis model for water quality evaluation [J]. Water Resources and Power, 2017, 35(4): 49-53.

张新钰,辛宝东,刘文臣,等. 三种地下水水质评价方法的对比分析[J]. 水资源与水工程学报, 2011, 22(3): 113-118.

ZHANG Xinyu, XIN Baodong, LIU Wenchen, et al. Comparative analysis on three evaluation methods for groundwater quality assessment [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2011, 22(3): 113-118.

赵振,陈惠娟,冯林传. 青海德令哈主要环境地质问题及其防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2014, 25(2): 83-89.

ZHAO Zhen, CHEN Huijuan, FENG Linchuan. Environmental geological problems in Delinghe, Qinghai and its countermeasure research [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2014, 25(2): 83-89.

国家技术监督局. GB/T 14848-1993 地下水质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.

Bureau of Technical Supervision of the People's Republic of China. GB/T 14848-1993 Quality standard for groundwater [S]. Beijing: China Standard Press, 1993.

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 14848-2017 地下水质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 14848-2017 Standard for groundwater quality [S]. Beijing: China Standard Press, 2017.