

文章编号: 1009-6248(2009)02-0116-10

大荔县地下水环境质量评价及成因浅析

刘瑞平^{1,2}, 朱桦¹, 亢明仲³, 焦建刚², 杨柄超¹, 乔刚¹,
赵阿宁¹, 柯海玲¹

(1. 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054; 2. 长安大学, 陕西 西安 710054;
3. 呼伦贝尔市水利水电勘察设计院, 内蒙古自治区 呼伦贝尔市 021000)

摘要: 基于 2006~2007 年对研究区野外实地调研和水化学数据的测试分析, 以国家地下水质量 Ⅴ类水标准为基值, 筛选出 12 个超标的水化学组分, 利用模糊灰色评价方法对地下水环境质量作出评价。结果表明, 大荔县地下水绝大部分为 Ⅴ类水, 并用熵权赋权法研究导致水质变差的主要水化学组分。结果表明, 铁在该区影响最大, 其次为氯化物、总硬度、氟化物、溶解性总固体, 为苦咸水之源。含水层中铁、总硬度、溶解性总固体、硫酸根、卤化物区域性高含量主要由于大荔县特殊的气候、地质背景条件等所决定。而 COD、硝酸盐、亚硝酸盐、锰、铬含量的增高由人类活动所为。

关键词: 水质; 模糊灰色评价方法; 熵权赋权法; 污染; 大荔县

中图分类号: P534.46 **文献标识码:** A

地下水的质量是非常敏感的议题, 水质的好坏直接影响着人体健康及环境 (Markantonatos 等, 1995)。如锰化合物, 可成为磷酸盐蓄积于骨骼和肝脏等处, 不仅对中枢神经系统有损害, 也可引发肺炎和肝硬化等疾病 (丛晓凤, 1999)。硝酸盐摄入人体后可经过细菌作用还原成亚硝酸盐, 亚硝酸盐是一种有毒物质, 它直接可使动物中毒缺氧, 产生正铁血红元症或消化道系统癌变 (陈建耀等, 2006)。高碘引起甲状腺肿大 (洪福贵等, 2001), 硫化物含量高导致腹泻、呕吐等症状, 而氟对骨相组织牙齿和骨骼, 非骨相组织肝脏、肾脏、脑、胃肠道、中枢神经系统、内分泌系统及生殖系统有不同程度的损伤作用 (王金明等, 2006)。水中铁浓度过高会使水体变黄, 有腥味; 三价铁含量过高则易在人体内形成高价铁血脂 (董维红等, 2005)。氯过量的进入

人体后, 氯的浓度过高或接触时间较长, 常能引起呼吸道深部病变, 发生细支气管炎、支气管周围炎、肺炎及中毒性肺水肿等 (曾昭华等, 2001)。总硬度、氯化物、硫酸盐、总溶解性固体高都是苦咸水的理化特征 (尚天宠等, 2008)。

大荔县地处关中盆地的东部 (图 1), 当地群众长期饮用苦咸高氟水。从建国至今, 研究区的农村饮水工程建设历经农村改水工程、甘露工程、人畜饮水工程等, 改善了人畜饮水条件, 但由于各地经济发展不均衡, 使原来已经吃上矿泉水的地方又回到了饮用高氟苦咸水的年代, 饮水水质超标^①。2002 年陕西省地质调查院对研究区水质进行调查测试, 该区的水质很差, 矿化度为 1~3 g/L 的微咸水, 及 > 3 g/L 的咸水^②。1974 年西安医学院第二附属医院上官存民等人发现大荔县有较多腰腿疼病人求治,

收稿日期: 2009-01-07; 修回日期: 2009-04-13

基金项目: 中国地质调查局国土资源大调查项目 (编号: 水 [2006] 007-07, 1212010634713)

作者简介: 刘瑞平 (1979-), 女, 内蒙古自治区呼和浩特人, 助理研究员, 在职硕士研究生, 主要从事环境、水文地质调查研究工作。通讯地址: 710054, 西安市友谊东路 438 号, 西安地质矿产研究所; 电话 029-87821738; E-mail: lrp1331@sohu.com。

①渭南市水务局, 渭南市农村饮水现状调查评估报告, 2005。

②陕西省地质调查院, 关中盆地地下水资源评价报告, 2002。

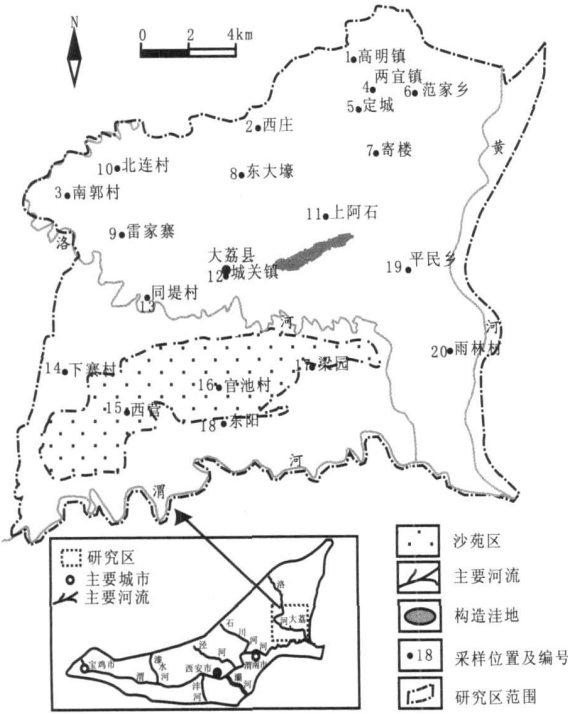


图 1 大荔县样品分布图

Fig. 1 The map of the sample distribution in Dali county

经测定饮用水氟含量在 4.3~9.5 mg/L (霍玉福, 2003)。至今已有 35 个年头, 从 1980 至 1989 年, 研究区进行了找水、改水研究^①; 2000 年后, 以陈宝群、白广禄等为代表进行了改水后出现的问题和改水效果进行了探讨 (陈宝群等, 2003; 阮建平等, 2004)。基于以上前人研究现状, 还存在以下问题: 大荔县苦咸水水质状况以及导致苦咸水的都有哪些因子? 地下水中超标水化学组分成因如何?

传统的水质评价方法有评分法、比质法、统计法等 (曹万金, 1989)。近年来许多学者对水质评价进行了探讨, 并提出了一些新的评价模型。如聚类法、经济分析法、模糊评价法、灰色关联法、人工神经网络法等 (黄志洪等, 2005), 这些方法基本都能反映水质情况, 但是由于评价因子与水质之间的复杂的非线性关系, 以及水体污染的随机性和模糊性, 它们也都暴露出一些缺陷。笔者利用模糊灰色评价方法 (王西琴等, 1999) 结合熵权法赋权法对水质进行评价。上述两种评价方法的优点是:

- (1) 考虑了评价等级的模糊特点和水质好坏灰色性。
- (2) 水环境是一个多层次、多目标、多因素影响的复杂的控制系统, 特别是影响水质的因素错综复杂。
- (3) 应用熵权法赋权对水质进行评价, 考虑了多个样本间的联系, 根据各项指标值的差异程度, 确定各指标的权重, 可削弱异常值的影响, 使评价结果更准确、合理 (李志萍等, 2007)。

1 样品的采集及测试方法

本文的样品采自研究区 20 个地下水样监测点 (图 1), 并进行 39 项水质分析。表 1 中水质浓度是本项目组经过两年的监测, 并将两年的测试结果求平均 (表 1), 而本文地下水超标水化学组分的划定是以《地下水环境质量标准》(GB/T 14848-93) (表 2) 地下水质量分类的Ⅲ类水为基准值, 以人体健康为依据。主要适用于集中式生活饮用水水源及工、农业用水。

评价标准: 以《地下水环境质量标准》(GB/T 14848-93) 作为各级的标准值 (表 2)。

2 模糊灰色评价地下水质量

2.1 模式简介

水环境模糊灰色评价方法, 是在灰色系统理论的基础上引入模糊数学的某些概念和理论, 进行多目标模糊灰色评价。其基础理论是灰色系统决策理论中的灰色局势决策方法 (邓聚龙, 2002; 徐友宁等, 2007)。决策共有 4 个要素: 事件 (A), 对策 (B), 效果 (C) 和目标 (P)。发生了事件 a_i , 采用一组对策比 $\{b_j\}$, $j > 1$ 去处理事件 a_i 的发生, 从 $\{b_j\}$ 的多个对策中, 根据各个对策目标效果的好坏挑选出一个效果最好的对策, 这就是决策过程的简单羌伏方法 (邓琦等, 1989)。若记事件 a_i ($a_i \in B$), 则称事件和对策的组合为局势, 记为 $S_{ij}(a_i, b_j)$ 引入效果测度 $r_j^{(p)}$, 则某一局势的效果测度就叫“决策

①陕西省地质矿产局第二水文地质工程地质队, 陕西省关中地区高氟地下水分布及改水途径研究, 1989。

表 1 超标的地下水水化学组分平均浓度 (单位: mg/L)

Tab. 1 The average density of exceed standard water chemistry component (mg/L)

水样 编号	总硬度	I	溶解性 总固体	Mn	Fe	Cr	COD	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	F ⁻	地名	地貌 类型
1	108.13	0.22	829.45	0.01	0.04	0.15	0.48	10.91	100.16	19.86	0.05	2.10	高明镇	黄土塬区
2	430.35	0.10	2632.13	1.09	0.33	0.14	0.67	687.16	853.72	17.92	0.01	1.28	西庄	黄土塬区
3	84.00	0.24	897.30	0.02	0.47	0.22	0.58	7.27	87.30	6.52	0.04	2.72	南郭村	黄土塬区
4	349.64	0.20	472.91	0.00	0.01	0.10	0.67	9.09	62.00	25.18	0.02	1.33	两宜镇	四级阶地
5	120.93	0.48	1214.63	0.01	0.01	0.24	0.48	54.54	133.54	58.01	0.02	3.52	定城	四级阶地
6	739.56	0.74	3028.37	0.01	0.10	0.61	2.10	331.37	1419.14	38.36	4.10	1.80	范家镇	四级阶地
7	95.80	0.53	1388.72	0.014	0.44	0.12	2.96	120.17	142.88	64.50	7.60	11.80	寄楼	三级阶地
8	2413.32	0.24	6341.75	0.01	0.06	0.02	1.73	1813.51	2049.48	158.00	0.02	1.63	东大壕	三级阶地
9	591.26	0.21	1344.98	0.22	0.90	0.01	0.48	322.27	367.82	7.84	0.04	1.83	雷家寨	三级阶地
10	234.00	0.30	1256.00	0.56	10.10	0.2	0.86	105.00	286.00	13.60	0.01	4.04	北连村	三级阶地
11	124.70	0.78	1181.80	0.02	0.57	0.12	3.92	131.09	249.07	3.45	10.25	5.12	上阿石	二级阶地
12	316.92	0.07	1168.48	0.02	0.17	0.01	0.67	218.15	213.49	69.28	0.01	2.54	城关镇	二级阶地
13	363.28	0.20	673.00	0.02	0.64	0.02	3.73	107.42	104.26	10.80	6.00	1.70	同堤村	二级阶地
14	1104.00	0.04	2640.49	0.00	0.13	0.03	0.68	492.15	970.40	139.30	0.03	0.04	下寨镇	二级阶地
15	278.98	0.02	367.79	0.04	0.07	0.01	1.53	5.46	75.30	47.90	0.17	0.38	西营	沙苑区
16	671.03	0.02	975.57	0.23	0.38	0.01	0.76	134.73	227.84	209.00	0.08	0.27	官池镇	沙苑区
17	294.10	0.02	470.18	0.01	0.08	0.01	0.48	36.41	94.61	67.10	0.01	0.46	梁园	一级阶地
18	570.47	0.02	769.93	0.16	0.28	0.01	0.67	103.78	184.39	70.00	0.08	0.85	东阳	渭河滩地
19	626.00	0.21	1466.10	1.57	1.60	0.00	2.11	233.00	437.00	0.22	1.08	0.30	平民乡	黄河滩地
20	344.58	0.04	1220.84	0.02	0.25	0.01	0.67	269.05	378.46	1.50	0.01	0.67	雨林村	黄河滩地

分析方法: 本次研究样品的测试单位为西安地质矿产测试中心, 碘化物、氯化物、硫酸盐、COD、F⁻ 采用的离子色谱方法, 铁 (Fe)、铬 (Cr⁶⁺)、硝酸盐、亚硝酸盐采用COL (分光光度仪) 测试, 锰 (Mn) 采用的是 AAS (原子吸收) 方法测试。

表 2 地下水评价标准 (mg/L)

Tab. 2 The evaluation criterion of water quality (mg/L)

评价指标					
总硬度	150	300	450	550	> 550
碘化物	0.1	0.1	0.2	1.0	> 1.0
溶解性总固体	300	500	1000	2000	> 2000
锰 (Mn)	0.05	0.05	0.1	1.0	> 1.0
铁 (Fe)	0.1	0.2	0.3	1.5	> 1.5
铬 (Cr ⁶⁺)	0.005	0.01	0.05	0.1	> 0.1
氯化物	50	150	250	350	> 350
硫酸盐	50	150	250	350	> 350
硝酸盐	2.0	5.0	20	30	> 30
亚硝酸盐	0.001	0.01	0.02	0.1	> 0.1
COD	1.0	2.0	3.0	10	> 10
F ⁻	1.0	1.0	1.0	2.0	> 2.0

元”，即 $\frac{r_{ij}^{(p)}}{(a_i, b_j)} = \frac{r_{ij}^{(p)}}{(S_{ij})}$ 。解决同一个问题，可用不同的方法，亦即同一事件 a_i 可用不同的对策 b_j 。 $j=1, 2 \dots m$ ，这样就组成 m 个局势。 $S_{i1} = (a_i, b_1)$ ， $S_{i2} = (a_i, b_2) \dots S_{im} = (a_i, b_m)$ 。使用同一种方法，可能解决若干不同的问题，即同一对策。可有效地、程度不同地处理若干个不同事件 $a^1, a^2 \dots a^n$ ，并组成 n 个局势。 $S_{1j} = (a_1, b_j)$ ， $S_{2j} = (a_2, b_j) \dots S_{nj} = (a_n, b_j)$ 。将上述两类局势的决策元按 n 行 m 列书写，就构成决策矩阵 D

$$D = \begin{vmatrix} \frac{r_{11}}{S_{11}} & \frac{r_{12}}{S_{12}} & \cdots & \frac{r_{1m}}{S_{1m}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{r_{n1}}{S_{n1}} & \frac{r_{n2}}{S_{n2}} & \cdots & \frac{r_{nm}}{S_{nm}} \end{vmatrix}$$

决策的实现就是在决策矩阵的各个决策元素中，选取效果测度 r_{ij} 。最好的 r_{ij}^* 。例如，行决策就是在矩阵 D 的每一行内，选取最优决策元，效果测度最者当选。 $r_{ij}^* = \max r_{ij} = \max \{r_{i1}, r_{i2} \dots r_{im}\}$ 。决策元 $\frac{r_{ij}^*}{S_{nm}^*} = \frac{r_{ij}^*}{(a_i, b_j^*)}$ 为最优决策元， S_{ij}^* 为最优局势， b_i^* 为最优对策。

如果局势决策中有 P 个目标，记局势 S_i 对于第 k 个目标的效果测度为 $r_{ij}^{(k)}$ ， $k = (1, 2, \dots P)$ ，则相应的决策元为上，相应的 k 目标的决策矩阵为 $D^{(k)}$ 。

$$D^{(k)} = \begin{vmatrix} \frac{r_{11}^{(k)}}{S_{11}} & \frac{r_{12}^{(k)}}{S_{12}} & \cdots & \frac{r_{1m}^{(k)}}{S_{1m}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{r_{n1}^{(k)}}{S_{n1}} & \frac{r_{n2}^{(k)}}{S_{n2}} & \cdots & \frac{r_{nm}^{(k)}}{S_{nm}} \end{vmatrix} \quad \text{从而有综合决策矩阵}$$
$$D^{(\Sigma)} = \begin{vmatrix} \frac{r_{11}^{(\Sigma)}}{S_{11}} & \frac{r_{12}^{(\Sigma)}}{S_{12}} & \cdots & \frac{r_{1m}^{(\Sigma)}}{S_{1m}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{r_{n1}^{(\Sigma)}}{S_{n1}} & \frac{r_{n2}^{(\Sigma)}}{S_{n2}} & \cdots & \frac{r_{nm}^{(\Sigma)}}{S_{nm}} \end{vmatrix}$$

其中各决策元 $r_{ij}^{(\Sigma)}$ 为各个单目标决策矩阵 $D^{(k)}$ 中各决策元 $r_{ij}^{(k)}$ 的合成。 $r_{ij}^{(\Sigma)} = \sum_{k=1}^P (W_i^{(k)}, r_{ij}^{(k)})$ ，式中 $W_i^{(k)}$ 为目标 k 对于事件 a_i 的权重 $(W_i^{(k)} = 1)$ 。

在进行水环境质量模糊灰色评价时，具体地把区域水体的“评价断面”、“评价级别”、评价参数”及“评价结论”分别与灰色决策理论中的“事件”、“对策”、“目标”和“效果”一一对应起来。对于对策集“评价级别”具有模糊特征的灰色系统引入隶属函数和隶属度理论概念，对于不同的目标，构造合适的中介过渡函数即隶属函数，以获得对策效果测度。由于水体中某项指标污染强度不同。因此在计算综合决策矩阵时，对不同指标给予不同的权重，用该指标信息的效用值来计算各指标的权重。

2.2 大荔县地下水质量评价

(1) 确定决策要素。①根据模糊灰色模式有事件集 $A = \{ \text{高明镇、双泉乡西庄} \dots \text{赵渡乡雨林村} \} = \{ a^1, a^2, \dots a^{20} \}$ ；对策集 $B = \{ I, \dots \} = \{ b^1, b^2, b^3, b^4, \dots b^5 \}$ ；目标集 $P = \{ \text{总硬度, } I, \dots F- \} = \{ 1, 2, \dots 12 \}$ 。②效果测度的确定。本文取线性函数作为隶属函数，均采用降半梯形函数（付雁鹏，1986）。对于 12 个子目标，分别由上述隶属函数求得效果测度决策矩阵 $D^{(k)}$ 。这样，就形成了由 20 行、5 列组成的 12 个单目标效果测度决策矩阵。限于篇幅， $D^{(k)}$ 未予列出。

(2) 权重的确定（李正最，1998）。权重值按下式计算： $\overline{W_i^{(k)}} = W^{(k)} / \sum_{k=1}^P W_i^{(k)}$ ， $W_i^{(k)} = C_{0i}^{(k)}$ ，式中 $C_i^{(k)}$ —第 i 个断面第 k 个指标的实测浓度值， $C_{0i}^{(k)}$ —第 k 个指标的平均标准值。 $C_{0i}^{(k)} = 1/5 (\overline{C_i^{(k)}} + \overline{C_i^{(k)}} + \overline{C_i^{(k)}} - \overline{C_i^{(k)}} + \overline{C_i^{(k)}})$ ，权重计算结果见表 3。

(3) 计算综合决策矩阵。由 (2) 和 (3) 得 $D^{(\Sigma)}$ ，由 $D^{(\Sigma)}$ 得到行最优对策元 $r_{ij}^* = \max \{ r_{ij}^{(\Sigma)} \} = \max \{ r_{i1}, r_{i2}, \dots r_{im} \}$ 。由最佳局势和对策可得出相应的评价结果。最优局势为 $r_{ij}^* \Rightarrow (a_i, b_i^*) \Rightarrow b_i^*$ 。详见表 4。

(4) 通过各断面局势效果测度的对策加权可获得相应的综合质量系数 k_i ， $k_i = \sum_{j=1}^5 (r_{ij}^{(\Sigma)}, j)$ 见表 4。因 $k_4 < k_{17} < k_9 < k_{18} < k_1 < k_{15} < k_{16} < k_5 < k_3 < k_2 < k_{10} < k_{19} < k_{14} < k_8 < k_{13} < k_6 < k_7 < k_{11} < k_{12} < k_{20}$ ，由此得出不同监测点水质综合质量的优劣次序。

表 3 权重计算结果表

Tab.3 Calculation results of specific gravity

水样 编号	总硬度	I	溶解性 总固体	Mn	Fe	Cr	COD	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	F ⁻
1	0.031	0.052	0.082	0.002	0.006	0.345	0.011	0.005	0.050	0.130	0.114	0.171
2	0.059	0.011	0.125	0.136	0.025	0.154	0.007	0.165	0.204	0.057	0.006	0.050
3	0.021	0.049	0.076	0.004	0.064	0.431	0.011	0.003	0.037	0.037	0.078	0.190
4	0.126	0.060	0.059	0.001	0.002	0.283	0.019	0.006	0.039	0.209	0.058	0.137
5	0.021	0.069	0.073	0.001	0.001	0.338	0.006	0.016	0.040	0.232	0.028	0.175
6	0.017	0.014	0.023	0.000	0.001	0.109	0.004	0.013	0.055	0.020	0.733	0.011
7	0.001	0.006	0.007	0.000	0.004	0.013	0.003	0.003	0.004	0.022	0.887	0.049
8	0.150	0.012	0.136	0.001	0.002	0.009	0.008	0.196	0.221	0.226	0.010	0.029
9	0.138	0.041	0.109	0.048	0.117	0.019	0.009	0.131	0.150	0.042	0.075	0.122
10	0.021	0.023	0.040	0.047	0.515	0.147	0.006	0.017	0.046	0.029	0.004	0.106
11	0.001	0.007	0.005	0.000	0.004	0.011	0.003	0.003	0.005	0.001	0.942	0.017
12	0.077	0.014	0.098	0.002	0.023	0.014	0.013	0.093	0.091	0.389	0.010	0.177
13	0.007	0.003	0.005	0.000	0.007	0.004	0.006	0.004	0.004	0.005	0.947	0.010
14	0.131	0.004	0.108	0.000	0.009	0.029	0.006	0.102	0.200	0.380	0.028	0.001
15	0.082	0.005	0.037	0.011	0.011	0.023	0.035	0.003	0.038	0.323	0.399	0.032
16	0.087	0.002	0.044	0.027	0.027	0.010	0.008	0.030	0.051	0.621	0.083	0.010
17	0.112	0.006	0.062	0.003	0.017	0.030	0.014	0.024	0.063	0.588	0.030	0.050
18	0.133	0.004	0.062	0.033	0.036	0.019	0.012	0.042	0.075	0.377	0.150	0.057
19	0.046	0.013	0.037	0.104	0.065	0.001	0.012	0.030	0.056	0.000	0.631	0.006
20	0.139	0.013	0.170	0.006	0.056	0.032	0.021	0.189	0.266	0.014	0.016	0.077

用综合评价法研究, 结果显示综合评价分值在 7.13~7.30, 按《地下水环境质量标准》(GB/T 14848-93), 综合评价分值在Ⅲ类或Ⅳ类水的分界值为 7.2, 研究区地下水质量为Ⅲ类与Ⅳ类水之间。由于地下水评价等级具有模糊特点, 本论文中用模糊灰色评价法研究, 能较好地区分研究区地下水主要隶属Ⅲ类水。

3 熵权赋权法求水化学组分的权重

3.1 模式概述

在水质评价中, 根据各项监测指标值的差异程度来确定各指标的权重, 熵是系统无序程度的度量,

它还可以度量数据所提供的有效信息程度, 代表各指标在该问题中提供有效信息的多寡程度(孟庆生, 1989)。“当评价对象在某项指标上的值相差较大时, 熵值较小, 说明该指标提供的有效信息大, 该指标的权重也应较大; 反之, 若某项指标的值相差较小, 熵值较大, 说明该指标提供的信息量较小, 该指标的权重较小; 如果评价对象某项指标的指标值全部相等, 该指标在综合评价中几乎不起作用”。因此, 熵权理论是一种客观的赋权方法, 其本质是利用该指标信息的效用值来计算各指标的权重, 效用值越高, 其对评价的重要性越大, 其计算步骤如下(邹志红等, 2005)。

表 4 大荔县不同监测点综合决策矩阵与评价结果表

Tab.4 The results of evaluation and synthetical decision matrix

综 合 决 策 矩 阵						最佳局势和对策	评价结果	综合质量系数	优劣次序
$D^{(\Sigma)} =$	$\frac{0.080}{S_{11}}$	$\frac{0.054}{S_{12}}$	$\frac{0.306}{S_{13}}$	$\frac{0.044}{S_{14}}$	$\frac{0.517}{S_{15}}$	$\frac{r_{15}^{(\Sigma)}}{S_{15}} \Rightarrow S_{15} \Rightarrow b_5$	高明镇为级	3.864	5
	$\frac{0.022}{S_{21}}$	$\frac{0.030}{S_{22}}$	$\frac{0.161}{S_{23}}$	$\frac{0.051}{S_{24}}$	$\frac{0.784}{S_{25}}$	$\frac{r_{25}^{(\Sigma)}}{S_{25}} \Rightarrow S_{25} \Rightarrow b_5$	西庄为级	4.545	10
	$\frac{0.062}{S_{31}}$	$\frac{0.062}{S_{32}}$	$\frac{0.224}{S_{33}}$	$\frac{0.031}{S_{34}}$	$\frac{0.685}{S_{35}}$	$\frac{r_{35}^{(\Sigma)}}{S_{35}} \Rightarrow S_{35} \Rightarrow b_5$	南郭为级	4.407	9
	$\frac{0.121}{S_{41}}$	$\frac{0.089}{S_{42}}$	$\frac{0.364}{S_{43}}$	$\frac{0.426}{S_{44}}$	$\frac{0.000}{S_{45}}$	$\frac{r_{44}^{(\Sigma)}}{S_{44}} \Rightarrow S_{44} \Rightarrow b_4$	两宜镇为级	3.095	1
	$\frac{0.052}{S_{51}}$	$\frac{0.034}{S_{52}}$	$\frac{0.130}{S_{53}}$	$\frac{0.040}{S_{54}}$	$\frac{0.744}{S_{55}}$	$\frac{r_{55}^{(\Sigma)}}{S_{55}} \Rightarrow S_{55} \Rightarrow b_5$	定城为级	4.39	8
	$\frac{0.001}{S_{61}}$	$\frac{0.003}{S_{62}}$	$\frac{0.010}{S_{63}}$	$\frac{0.029}{S_{64}}$	$\frac{0.957}{S_{65}}$	$\frac{r_{65}^{(\Sigma)}}{S_{65}} \Rightarrow S_{65} \Rightarrow b_5$	范家镇为级	4.936	16
	$\frac{0.003}{S_{71}}$	$\frac{0.006}{S_{72}}$	$\frac{0.014}{S_{73}}$	$\frac{0.006}{S_{74}}$	$\frac{0.971}{S_{75}}$	$\frac{r_{75}^{(\Sigma)}}{S_{75}} \Rightarrow S_{75} \Rightarrow b_5$	寄楼为级	4.938	17
	$\frac{0.005}{S_{81}}$	$\frac{0.013}{S_{82}}$	$\frac{0.034}{S_{83}}$	$\frac{0.019}{S_{84}}$	$\frac{0.929}{S_{85}}$	$\frac{r_{85}^{(\Sigma)}}{S_{85}} \Rightarrow S_{85} \Rightarrow b_5$	东大壕为级	4.853	14
	$\frac{0.009}{S_{91}}$	$\frac{0.057}{S_{92}}$	$\frac{0.329}{S_{93}}$	$\frac{0.318}{S_{94}}$	$\frac{0.288}{S_{95}}$	$\frac{r_{93}^{(\Sigma)}}{S_{93}} \Rightarrow S_{93} \Rightarrow b_3$	雷家寨为级	3.82	3
	$\frac{0.025}{S_{101}}$	$\frac{0.035}{S_{102}}$	$\frac{0.118}{S_{103}}$	$\frac{0.053}{S_{104}}$	$\frac{0.808}{S_{105}}$	$\frac{r_{105}^{(\Sigma)}}{S_{105}} \Rightarrow S_{105} \Rightarrow b_5$	北连为级	4.703	11
	$\frac{0.003}{S_{111}}$	$\frac{0.003}{S_{112}}$	$\frac{0.017}{S_{113}}$	$\frac{0.008}{S_{114}}$	$\frac{0.980}{S_{115}}$	$\frac{r_{115}^{(\Sigma)}}{S_{115}} \Rightarrow S_{115} \Rightarrow b_5$	上阿石为级	4.988	18
	$\frac{0.054}{S_{121}}$	$\frac{0.166}{S_{122}}$	$\frac{0.211}{S_{123}}$	$\frac{0.017}{S_{124}}$	$\frac{0.861}{S_{125}}$	$\frac{r_{125}^{(\Sigma)}}{S_{125}} \Rightarrow S_{125} \Rightarrow b_5$	城关镇为级	5.392	19
	$\frac{0.004}{S_{131}}$	$\frac{0.017}{S_{132}}$	$\frac{0.024}{S_{133}}$	$\frac{0.009}{S_{134}}$	$\frac{0.947}{S_{135}}$	$\frac{r_{135}^{(\Sigma)}}{S_{135}} \Rightarrow S_{135} \Rightarrow b_5$	同堤为级	4.879	15
	$\frac{0.018}{S_{141}}$	$\frac{0.021}{S_{142}}$	$\frac{0.040}{S_{143}}$	$\frac{0.004}{S_{144}}$	$\frac{0.922}{S_{145}}$	$\frac{r_{145}^{(\Sigma)}}{S_{145}} \Rightarrow S_{145} \Rightarrow b_5$	下寨镇为级	4.802	13
	$\frac{0.143}{S_{151}}$	$\frac{0.139}{S_{152}}$	$\frac{0.000}{S_{153}}$	$\frac{0.000}{S_{154}}$	$\frac{0.722}{S_{155}}$	$\frac{r_{155}^{(\Sigma)}}{S_{155}} \Rightarrow S_{155} \Rightarrow b_5$	西营为级	4.033	6
	$\frac{0.024}{S_{161}}$	$\frac{0.052}{S_{162}}$	$\frac{0.150}{S_{163}}$	$\frac{0.068}{S_{164}}$	$\frac{0.708}{S_{165}}$	$\frac{r_{165}^{(\Sigma)}}{S_{165}} \Rightarrow S_{165} \Rightarrow b_5$	官池镇为级	4.39	7
	$\frac{0.163}{S_{171}}$	$\frac{0.255}{S_{172}}$	$\frac{0.000}{S_{173}}$	$\frac{0.000}{S_{174}}$	$\frac{0.588}{S_{175}}$	$\frac{r_{175}^{(\Sigma)}}{S_{175}} \Rightarrow S_{175} \Rightarrow b_5$	梁园为级	3.612	2
	$\frac{0.092}{S_{181}}$	$\frac{0.130}{S_{182}}$	$\frac{0.157}{S_{183}}$	$\frac{0.114}{S_{184}}$	$\frac{0.510}{S_{185}}$	$\frac{r_{185}^{(\Sigma)}}{S_{185}} \Rightarrow S_{185} \Rightarrow b_5$	东阳为级	3.831	4
	$\frac{0.007}{S_{191}}$	$\frac{0.016}{S_{192}}$	$\frac{0.058}{S_{193}}$	$\frac{0.017}{S_{194}}$	$\frac{0.902}{S_{195}}$	$\frac{r_{195}^{(\Sigma)}}{S_{195}} \Rightarrow S_{195} \Rightarrow b_5$	平民乡为级	4.791	12
	$\frac{0.141}{S_{201}}$	$\frac{0.179}{S_{202}}$	$\frac{0.355}{S_{203}}$	$\frac{0.074}{S_{204}}$	$\frac{0.776}{S_{205}}$	$\frac{r_{205}^{(\Sigma)}}{S_{205}} \Rightarrow S_{205} \Rightarrow b_5$	雨林为级	5.735	20

(1) 原始数据矩阵归一化设 m 个评价指标, n 个评价对象的原始数据矩阵为 $A = (a_{ij})_{m \times n}$, 对其归一化后得到 $R = (r_{ij})_{m \times n}$, 对大者为优的指标而言, 归一化公式为:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\max_j a_{ij} - \min_j a_{ij}}$$

而对小者为优的指标 (如) 而言, 归一化公式为

$$r_{ij} = \frac{\max_j \{a_{ij}\} - a_{ij}}{\max_j \{a_{ij}\} - \min_j \{a_{ij}\}}$$

(2) 定义熵 “在有 m 个指标、 n 个被评价对象

的评估问题中, 第 i 个指标的熵” 为

$$h_i = - \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij}$$

式中: $f_{ij} = r_{ij} / \sum_{j=1}^n r_{ij}$, $k = 1 / \ln n$; 当 $f_{ij} = 0$ 时, 令 $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$ 。

(3) 定义熵权。可得到第 i 个指标的熵权: $w_i =$

$$\frac{1 - h_i}{m - \sum_{i=1}^m h_i} \quad (0 \leq w_i \leq 1, \sum_{i=1}^m w_i = 1)。$$

3.2 熵权赋权法评价

表 5 各个污染物的信息熵和熵权

Tab. 5 The entropies and its weights of each pollutant

评价 指标	总硬度	I	溶解性 总固体	Mn	Fe	Cr	COD	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	F ⁻
信息熵	0.980	0.958	0.979	0.976	0.983	0.979	0.958	0.981	0.974	0.969	0.971	0.980
熵权	0.064	0.134	0.066	0.077	0.056	0.067	0.136	0.061	0.082	0.099	0.093	0.065

表 5 表明, 地下水中铁的熵权最小为 0.56, 其次为氯化物、总硬度、氟、溶解性总固体, 为 0.061、0.064、0.065 和 0.066。由此可见, 一直关注的大荔地区高氟水和苦咸水得到了验证。同时, 该研究区地下水中铁含量高也不容忽视。

4 污染因子的成因分析

化学需氧量 COD 是评价一个地区工业生产和环境是否和谐发展的关键因素(Prakash Raj Kannel 等, 2008), 而在研究区相当一部分并现已废弃或在停灌期间未能妥善维护, 各种昆虫、杂质、生活垃圾等均浸泡其中, 导致井水腐臭浊化^①, 水体有机物和微生物污染程度很高 (Cansu Filik Iscen 等, 2007)。COD 的高值以点状分布, 主要集中在安仁上阿石和同堤村一带。

高碘主要分布在黄土台塬区及渭河、洛河冲积平原区, 以面状展布。形成原因可能是由于研究区的第四纪地层为浅湖相沉积^②, 且水化学类型主要为 HCO₃-Na 等弱碱性—碱性水介质条件, 都是有利于沉积物或岩石中含碘物质向孔隙水中进一步迁

移和富集 (孙大鹏, 2007)。

高铁在不同地貌单元都有分布。其污染主要由于铁在地壳中重量百分数居第四位, 大量分散存在于地壳的岩石、土壤、水体中。研究区第四纪地层中含有大量的角闪石、电气石等富含铁矿物^③。它受 pH、Eh 影响极大, 在研究区主要以微碱的环境 pH = 7.15 ~ 8.3, 在还原条件下, 高铁的地下水以稳定的 Fe²⁺ 形式 (沈照理, 1999)。

硝酸盐、亚硝酸盐在全区含量都很高, 主要有以下污染源: ①由于农业生产的需要, 农业要施氮肥, 而我国氮肥利用率仅为 30% ~ 50%, 其中约有 50% ~ 70% 淋溶损失, 进入土壤及地下水, 使土壤作物及地下水硝酸盐含量明显增加 (刘红, 1997)。②生活污水、垃圾、粪便及污灌引起的地下水硝酸盐污染。研究区下水道极不完善, 任意排放污水严重。畜禽养殖业发展较快, 这些污水、垃圾及粪便中的有机物、氮、磷和病原微生物含量很高。据研究, 1 kg 粪便垃圾会使 1 t 水的硬度和硝酸盐氮的含量分别升高 4.2 mg/L 和 0.16 mg/L (唐莲, 2003)。这一点也会引起 COD 的升高; b. 在灌溉季节, 地下水水位大幅度下降, 扩大了消化作用地

①西安地质矿产研究所, 陕西省大荔县高氟水调查评价报告, 2007。
②陕西省地质局第一水文地质队, 陕西省关中盆地水文地质调查报告, 1979。
③陕西省地质矿产局第二水文地质工程地质队, 陕西省关中地区高氟地下水分布及改水途径研究, 1989。

带,引起硝酸盐污染(丛培凯,2001)。

高含量的总硬度、溶解性总固体、硫酸根、氯化物主要分布在除沙苑区其他地貌单元。污染的原因:主要水盐均衡的破坏,而且研究区基本以种棉花为主,地表环境变化不大,污染点的含水层厚度基本为 23~44.15 m,厚度小,从 1964~2006 年污染区水位埋深变幅 5~17.41 m,水位下降不仅使包气带加厚,由相对比较还原的环境变为氧化环境,使一些矿物溶解,加之包气带变厚导致了入渗途径加长,使总硬度、溶解性总固体、硫酸根、氯离子含量增加,而且含水层减少,稀释能力变弱,导致盐污染。在这种情况下往往伴生着硝酸盐、亚硝酸盐污染(Omar Ali Al-Khashman, 2007)。研究区潜水主要为第四系松散岩类孔隙水。在包气带不是很厚的黄土地区,CO₂ 气体、O₂ 气含量高,碳酸平衡向重碳酸根增加的方向发展,水流相对滞缓地区,从补给区到排泄区含水层中易溶盐不断被溶解,这种溶滤作用导致矿化度不断增高,硫酸根、氯离子含量也逐渐增高(如 2 号点,4 号点)。研究区属于干旱半干旱气候,在埋藏浅的地方浓缩作用明显,盐分发生浓缩,出现高矿化度水,如 8、9、14、19、20 号点。

高锰主要分布于傍河地区,监测同期黄河、渭河、洛河的水质,发现锰含量均超过地表水环境质量标准(GB3838-2002),锰污染可能是由于地表水补给造成的。

地下水中铬的存在是由于一些工业生产排放废水的渗入而引起的,研究区 Cr 污染主要分布于垂直节理发育的黄土台塬和四级阶地碎屑岩,也有洛河河漫滩的沙层结构,且 Cr⁶⁺ 不易被包气带吸附,迁移性好,容易造成地下水铬污染(宋国慧,2001)。

高氟分布主要在洛河以北的黄土台塬区和冲积平原区。污染主要在背景值高,多层交互的地层,颗粒细小的地区发生上述水文地球化学作用,造成该区大面积高氟。

5 结论

(1) 通过对研究区地下水物理化学调研,发现改水后的大荔县水质不容乐观。利用模糊灰色评价模型以人体健康为准值对水质做以评估:(a)从综合决策矩阵看出,地下水水质基本隶属 V 类水,只有

两宜镇和冯村雷家寨分别为 类和 类水,整体上已属于重污染水体,不能保证人体健康饮水的水质要求,且作为农业灌溉用水也受到严重威胁。因此,加强水资源保护以及减少废污水的排放,已成为一项刻不容缓的工作。(b)由综合质量系数可得,污染最严重的监测点排在前 5 位的分别是:赵渡乡雨林、城关镇、安仁上阿石、安昌寄楼、范家镇。

(2) 利用熵权赋权法对 12 个超出《地下水质量标准》(GB/T 14848) 类水质标准的水化学组分进行权重排序,主要高铁权重最小,其次为氯化物、总硬度、氟、溶解性总固体,这样导致了高氟苦咸水的出现。39 项测试指标中,污染物占 30.77%。在本次调查中,有不少老百姓反映饮用改水后的地下水氟病的人数减少了,可是肺病却成增长的趋势。污染物种类之多,污染面之广,对人体健康造成威胁新隐情的存在,不得不引起当地政府和群众警示。

(3) 一方面大荔县特殊的气候、地质地貌、水文地质、岩性等条件导致含水层中铁、总硬度、溶解性总固体、硫酸根、卤族元素 7 个水化学组分区域性高含量。另一方面人类活动,如工业生产,农业灌溉和生活污染、过量开采等因素也造成水质变差。主要出现 COD、硝酸盐、亚硝酸盐、锰、铬含量的增高。

参考文献 (References):

- 丛晓凤. 太和县地下水锰含量测定及其对人体影响探讨[J]. 安徽预防医学杂志, 1999, (2): 168.
- 陈建耀, 王亚, 张洪波, 等. 地下水硝酸盐污染研究综述[J]. 地理科学进展, 2006, 25 (1): 34-41.
- 洪福贵, 王会, 杨冬, 等. 高碘高氟地区儿童智力及碘氟代谢水平的调查研究[J]. 中国地方病防治杂志 2001, 16 (1): 12-14.
- 王金明, 刘海涛, 马俊杰, 等. 氟中毒及其相关研究技术[J]. 动物医学进展, 2006, 27 (3): 51-5.
- 董维红, 廖资生, 朱雪芹, 等. 人类活动对哈尔滨市高铁地下水时空分布的影响[J]. 水文, 2005, 25 (3): 15-19.
- 曾昭华, 曾雪萍. 地下水中氯的形成及其与人群健康的关系[J]. 地下水, 2001, 23 (1): 43-45.
- 尚天宠, 高立国, 潘平, 等. 纳滤应用于苦咸水淡化处理的可行性分析[J]. 给水排水, 2008, 34 (7): 20-22.
- 霍玉福. 陕西省地方病防治回顾与展望[J]. 中国地方病学杂志, 2003, 22 (5) .

- 陈宝群, 白广禄, 马长安, 等. 2001 年陕西省饮水型氟中毒重点病区调查结果分析 [J]. 地方病通报, 2003, 18 (2): 32-34.
- 阮建平, 刘忠岐, 宋健玲, 等. 陕西大荔县改水对氟牙症患病情况的影响 [J]. 中华口腔医学杂志, 2004, 39 (2): 139-140.
- 曹万金. 水资源计算、评价、管理 [M]. 南京: 河海大学出版社, 1989: 158-174.
- 黄志洪, 武鹏林. 基于 BP 神经网络模型的水质评价方法探讨 [J]. 太原理工大学学报, 2005, (3): 174-176.
- 王西琴, 周孝德. 渭河 (陕西段) 水环境质量的现状评价 [J]. 西北大学学报 (自然科学版), 1999, 29 (6): 620-623.
- 李志萍, 何雨江, 朱中道. 熵权法在农村安全饮水水质评价中的应用 [J]. 人民黄河, 2007, 29 (5).
- 邓聚龙. 灰预测与灰决策 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002. 190-196.
- 徐友宁, 袁汉春, 刘瑞平. 酸性矿井水治理方案灰局势决策择优法 [J]. 环境工程学报, 2007, 1 (3): 142-144.
- 邓琦, 周强, 汪秉仁, 等. 水资源灰色系统预测与决策 [M]. 北京: 测绘出版社, 1989: 30-42.
- 付雁鹏, 高嘉瑞. 模糊数学分析方法在水环境评价中的应用 [M]. 华中工学院出版社, 1986. 46-49.
- 李正最. 区域水环境质量模糊灰色评价探讨 [J]. 水资源保护, 1998 (1): 6-8.
- 孟庆生. 信息论 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1989: 19-36.
- 邹志红, 孙靖南, 任广平. 模糊评价因子的熵权法赋权及其在水质评价中的应用 [J]. 环境科学学报, 2005, 25 (4): 552-555.
- 孙大鹏. 我国高碘卤水分布规律及其形成——高碘卤水的形成条件和找碘方向 [J]. 盐湖研究, 2007, 15 (1).
- 沈照理, 朱宛华, 钟佐深. 水文地球化学基础 [M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- 刘红. 盐渍化改造区的发展交替及其氮肥利用率与环境问题研究 [J]. 农业环境保护, 1997, 16 (2): 49-5.
- 唐莲, 白丹, 蒋任飞, 等. 农业活动非点源污染与地下水的污染与防治 [J]. 水土保持研究, 2003, 10 (4): 212-214.
- 丛培凯, 冷家峰, 叶新强. 硝酸态氮引起的地下水污染对人体健康的影响 [J]. 山东环境, 2001, 106: 46.
- 宋国慧, 史春安. 铬在包气带的垂直污染机理研究 [J]. 西安工程学院学报, 2001, 23 (2).
- Markantonatos. P. G., Bacalis, N. C. and Angelidis, M. O. Pollution control in the catchment basin of the river evrotas, Greece [J]. Water Sci. Tech. 1995, 32: 247-255.
- CHEN Jianyao, WANG Ya, ZHANG Hongbo, et al. Overview on the Studies of Nitrate Pollution in Groundwater [J]. Progress in Geography, 2006, 25 (1): 34-41.
- HONG Fugui, WANG Hui, YANG Dong, et al. The study of children's intelligence and metabolism levels of iodine and fluoride [J]. China Ctrl Endem Dis, 2001, 16 (1): 12-14.
- WANG Jinming, LIU Haitao, MA Junjie, et al. Fluorosis and Application of Interrelated Technology in it [J]. Progress in Veterinary Medicine, 2006, 27 (3): 51-5.
- DONG Weihong, LIAO Zisheng, ZHU Xueqin, et al. Impact of Human Activities on Spatial-Temporal distribution of groundwater with high iron concentration In Harbin City [J]. Hydrology. 2005, 25 (3): 15-19.
- ZENG Zhaozhu, ZENG Xueping. The formation of chlorine in groundwater and with public health relation [J]. Goundwater, 2001, 23 (1): 43-45.
- SHANG Tiansheng, GAO Guoli, PAN Ping, et al. Viability assessment at the filtration applying to downplay the bitter salt water [J]. Rechang and Dischang, 2008, 34 (7): 20-22.
- HUO Yufu. The history and future of controlling the endemic diseases in Shaanxi Province [J]. Chinese Journal of Endemology, 2003, 22 (5).
- CHENG Baoqun, BAI Guanglu, MA Chang'an, et al. Investigation on Drinking-Water Fluorosis in Focal Endemic Areas in Shaanxi Province [J]. Endemic Diseases Bulletin, 2003, 18 (2): 32-34.
- RUAN Jianping, LIU Zhongqi, SONG Jianling et al. Effect of drinking water change upon the dental fluorosis [J]. Chin J Stomatol, 2004, 39 (2): 139-140.
- HUANG Zhihong, WU Penglin. Study of Water Quality Evaluation Way Based on BP Neural Network Model [J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2005, (3): 174-176.
- WANG Xiqin, ZHOU Xiaode. Evaluation of present water environmental quality On Weihe Of Shaanxi section [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 1999, 29 (6): 620-623.
- XU Youning, YUAN Hanchun, LIU Ruiping. Choice to the optimization methods for treating colliery water by grey situation [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2007, 1 (3): 142-144.
- Prakash Raj Kannel, Seockheon Lee, Young-Soo

Lee. Assessment of spatial-temporal patterns of surface and ground water qualities and factors influencing management strategy of groundwater system in an urban river corridor of Nepal [J]. Journal of Environmental Management, 2008: 595-604.

Cansu Filik Iscen, Özgür Emiroglu, Semra Ilhan, et al. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of surface water quality in Uluabat Lake, Turkey [J]. Environ Monit Assess, 2007.

SUN Dapeng. Distribution and Evolution Characteristics of China's Iodine rich Brines-Formation Condition of the Brines and Iodine Explonation Orientation [J]. Journal of Salt Lake Research, 2007, 15 (1).

LIU Hong. Research of the development of saline soils and

the utilization of Nitrogen fertilizers [J]. Agro-environmental Protection, 1997, 16 (2): 49-52.

Tang Lian, Bai Dan, Jiang Renfei, et al. Effect of agriculture non-point source pollution on groundwater pollution and control measures [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2003, 10 (4): 212-214.

Omar Ali Al-Khashman. Assessment of the spring water quality in the Shoubak area [J]. Jordan Environmentalist, 2007.

SONG Guohui, SHI Chun'an, The research of The mechanism of chrome pollution in unsaturated zone [J]. Journal of Xi'an Engineering University, 2001, 23 (2).

Assessment of Water Environment Quality and Pollution Factors for Dali County

Liu Rui-ping^{1,2}, ZHU Hua¹, KANG Ming-zhong³, JIAO Jian-gang²,
YANG Bing-chao¹, QIAO Gang¹, ZHAO A-ning¹, KE Hai-ling¹
(1. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an, Shaanxi 710054, China;
2. Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China; 3. Hulunbuir Water Resources
Hydropower Surverving and Design Institute, Hulunbuir, Inner Mongolia, 021000 China)

Abstract: In order to evaluate the groundwater quality and pollution in Dali county, we carried out the field survey and analysis of the water chemistry from 2006 to 2007. Based on the indexes for third-grade water of the National groundwater quality standard of China, we selected 12 hydro-chemical components which exceed the standard to assess the groundwater environment quality using the fuzzy-grey evaluation model. The result shows that the majority of water fall the type. Further study indicates that the factors affecting water quality are, from great to small, oxide of iron, chloride, total hardness, fluoride, total dissolved solid, which are the source of bitter salt water. The high contents of oxide of iron, total hardness, total dissolved solid, sulfate, halid are determined by geological condition and climate of Dali county, while that of COD, nitrate, nitrite, manganese, and chrome pollutant are mainly caused by human behaviors.

Key words: water quality; fuzzy-grey evaluation model; weighted entropy endow entropy model; pollution; Dali