

DOI: 10.7652/xjtuxb202003013

中国西北地区某县分散式供水重金属污染 现状与来源解析

陈志文¹, 周敬彪², 王文东¹, 余春育², 李进¹, 张博翔¹, 刘宗宽¹

(1. 西安交通大学人居环境与建筑工程学院, 710049, 西安;

2. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 710055, 西安)

摘要: 为考察中国西北地区某县分散式供水中重金属污染现状及其对人体的潜在危害,选取 13 处水窖和 10 处水井,采用电感耦合等离子体质谱技术对饮用水中常见的 15 种重金属元素进行了抽样检测,并借助美国环保局推荐的风险评价模型对重金属引起的健康风险进行了系统评估。结果表明,某县井水中 Zn、Al 和 Cr 的质量浓度相对较高,但均不存在超标问题。将井水贮存于水窖一段时间后,除 Mn、As 和 Ni 外,大部分元素的平均质量浓度出现不同程度的升高,甚至在 3 号点出现 Cd 的超标现象。与井水相比,雨水中的重金属元素质量浓度普遍偏低,在混入自来水后窖水中 Al 的质量浓度明显偏高。虽然水样中的 Cr 不存在超标问题,但由其引起的致癌风险超出美国环保局规定的可接受风险上限 1×10^{-4} ,且占致癌总风险的 90% 以上。借助物料衡算法对水样中重金属来源进一步分析,发现采煤场周边井水中 98.7% 的 Cd、81.5% 的 Cr 和 61.6% 的 As 源自采煤场的污染排放,焦化厂周边井水中 99.2% 的 Cr 源自焦化厂的污染排放,窖水中的 Cd 和 Cr 则主要源自水窖材质溶出。

关键词: 分散式供水;水窖;重金属;健康风险

中图分类号: X824 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2020)03-0106-07

Current Situation and Source Analysis of Heavy Metal Pollution in Scattered Water Supply in a County in Northwest China

CHEN Zhiwen¹, ZHOU Jingbiao², WANG Wendong¹, YU Chunyu², LI Jin¹,

ZHANG Boxiang¹, LIU Zongkuan¹

(1. School of Human Settlements and Civil Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: To investigate the pollution status of heavy metals in decentralized water supply in a county in Northwest China and the potential hazards to human, 13 water cellars and 10 wells were selected. The sampling determination of the 15 common heavy metals in drinking water were carried out by inductively coupled plasma mass spectrometry technology, and the potential health risks of the heavy metal elements were systematically assessed by using the risk assessment model recommended by US EPA. The results show that the mass concentrations of Zn, Al and Cr in underground well water of the county are relatively high, but there is no phenomenon of exceeding the standard. After the well water is stored in the cellar for a period of time, the average mass concentrations of most elements except Mn, As and Ni increase in varying

degrees. And even Cd content in no. 3 water sample exceeds the standard. Compared with the well water, the mass concentrations of the heavy metals in rainwater are generally lower, but the concentration of Al in cellar water added by tap water is obviously higher. Although the concentrations of Cr in water samples do not exceed the standard, its carcinogenic risk exceeds the upper acceptable risk limit of 1×10^{-4} stipulated by US EPA, and accounts for more than 90% of the total carcinogenic risk. The sources of heavy metals in the water samples were further analyzed by the material balance algorithms, and the results showed that the contribution rates of coal mining field to the contents of Cd, Cr and As in the surrounding well water were 98.7%, 81.5% and 61.6%, respectively. The average contribution rate of coking plant to Cr in well water was as high as 99.2%, while Cd and Cr in cellar water mainly came from the dissolution of cellar material.

Keywords: scattered water supply; water cellar; heavy metals; health risk

分散式供水是我国西北缺水地区农村居民的主要用水形式,包括水窖和水井等^[1]。大量调查结果表明,以地下水为水源的井水水质相对较好,一般不需进行额外净化处理,是较为理想的分散供水形式^[2-3]。在严重缺水的地区,水窖则为主要的供水形式^[4-6]。自 20 世纪 80 年代以来,我国通过母亲水窖工程、甘露工程和窖水蓄流工程,不断推进雨水利用技术的应用,至今已累计解决超过 1 亿居民的饮水问题^[7]。与水井不同,雨水水窖受地表径流和维护管理方式的影响较大,在窖水的长期贮存过程中普遍存在水质恶化现象^[8-9]。有机组分、氨氮和硝酸盐氮的质量浓度一般在 8.74~23.83、0.18~1.15 和 1~20 mg/L 之间^[7]。大量研究结果已证实,由于营养组分含量偏高,窖水中的细菌等微生物超标问题十分严重^[7,10]。除有机组分、氨氮和微生物超标问题外,受害水材质释放大、地表径流汇入以及地下水污染等因素的影响,雨水和地下水在水窖中长期存放后还可能面临重金属污染问题,存在用水安全隐患。然而,现有研究对农村饮用水中重金属的污染问题缺乏明确认识^[11]。本文对我国西北地区某县的井水和窖水中的重金属污染状况及其健康风险进行研究,并通过物料衡算法对水中重金属的来源进行解析,为我国西北干旱地区分散式供水设施的维护管理提供参考。

1 研究方案与方法

1.1 某县供水概况

某县位于我国西北地区,西部为山区,东部为丘陵和河谷,中部多为黄土丘陵,海拔在 600~900 m 之间,如图 1 所示。该区域年平均气温为 13℃,年平均降雨量在 566.4 mm 左右,年蒸发量为 903.8

mm,属于典型的半干旱地区^[12]。降水年内分配极不均匀,雨水水窖是当地农村居民的主要贮水和供水设施。在地下水位较浅的区域,水井的使用则较为普遍。图 1 虚线所围区域是县城,居民饮水主要由集中式供水设施提供,非本文关注的重点,但受用水习惯的影响,在部分集中供水点,水窖仍为主要的贮水设施。西部低山地区分布有采煤场、洗煤厂和焦化厂各 1 个,为区域主要径流工业污染源^[13-14]。

1.2 点位布置与水样采集方法

某县各分散式供水设施采样点的地理位置如图 1 所示,为获得某县地下水各重金属的环境背景值,对位于西部山区的 23 号点位地下水、区域中部 13、16、17 和 15 号点位地下水以及东部临近黄河流域的 10、11 和 12 号点位地下水进行采样分析。同时考虑到研究区域内煤矿类产业活动较为活跃,为考



图 1 某县地形特征与水质采样点分布图

察其对窖水水质的影响,分别对洗煤厂、焦化厂和采煤场周边以及远离污染源的 7、8 和 9 号水窖进行采样分析。在所调查的水窖中,有 5 处以径流雨水为水源(9、18、19、20、21 号)、5 处以井水为水源(2、3、4、7、8 号)、3 处以径流雨水和市政集中供水为混合水源(1、14、22 号),各采样点的具体情况见表 1。所考察水窖的窖体均为混凝土材质。水窖集流面除 A 村的 14 号点外均为混凝土地面。采样时,取水面下 20 cm 处的窖水和井水作为待测水样,低温保存于酸洗过的高密度聚乙烯采样瓶中运回实验室进行检测分析。

表 1 各采样点的水样采集信息

点位编号	地点	水源	设施类别	窖体材质	集流面材质
1,22	A 村	自来水+雨水	水窖	混凝土	混凝土
14	A 村	自来水+雨水	水窖	混凝土	黄土
2,3,4	B 村	地下水	水窖	混凝土	混凝土
5,6	C 村	地下水	水井		
7,8	D 村	地下水	水窖	混凝土	混凝土
9	E 村	雨水	水窖	混凝土	混凝土
10,11,12	F 村	地下水	水井		
13,15,16,17	G 村	地下水	水井		
18,19,20,21	H 村	雨水	水窖	混凝土	混凝土
23	I 中学	地下水	水井		

1.3 重金属检测方法

所考察的重金属元素均为西北地区饮用水中的常见元素,包括 Se、Te、Al、As、Pb、Ni、Cr、Cd、Mn、Hg、Be、Cu、Ag、Zn 和 Mo 共 15 种。由于其含量普遍较低,统一采用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法进行测定。为保证检测结果的准确度和精密度,利用国家标准物质中心提供的标准物质进行质量控制,并设置空白样和平行样,使测量结果的相对误差 $R_E<\pm 20\%$,相对标准偏差 $R_{SD}<10\%$ 。

1.4 健康风险评价方法

根据毒理学效应,将污染物通过饮水进入人体所引起的健康风险分为致癌物风险和非致癌物风险。国际癌症研究机构(IARC)化学污染物致癌分类系统将重金属铅、砷、铬和镉等元素划分为致癌或可能致癌物,其年均致癌风险 R^n 可利用下式^[15-16]评价

$$R^n = \frac{C_{DI}S_F}{m} \tag{1}$$

式中: C_{DI} 为日摄入剂量; S_F 为污染物的致癌斜率因子; m 为中国人平均寿命,设 $m=73$ ^[17]。

非致癌风险评价的年均风险 R^c 采用下式^[16,18]计算

$$R^c = \frac{C_{DI}10^{-6}/R_{ID}}{m} \tag{2}$$

式中 R_{ID} 为非致癌物参考剂量。 C_{DI} 按下式^[18]计算

$$C_{DI} = \frac{CI_R}{B_W} \tag{3}$$

式中: C 为水样中的重金属质量浓度; I_R 为成人每日饮水量,取 2.0 L/d^[18]; B_W 为人均质量,成年人平均质量为 70 kg^[18]。 S_F 和 R_{ID} 取值源自 EPA IRIS 系统^[19],具体参数见表 2、表 3。

表 2 重金属致癌斜率因子

致癌物	$S_F/(kg \cdot d \cdot mg^{-1})$
As	15.0
Cd	6.1
Cr	41.0

表 3 非致癌物参考剂量

非致癌物	$R_{ID}/(mg \cdot kg^{-1} \cdot d^{-1})$
As	0.300 0
Cd	0.000 5
Cr	0.003 0
Se	0.005 0
Ni	0.020 0
Al	0.000 4
Mn	0.140 0
Cu	0.005 0
Zn	0.300 0
Mo	0.005 0

2 结果与讨论

2.1 重金属检测结果

某县各分散式供水观测点处重金属元素的检测结果见表 4。由表 4 可知,该地区农村居民饮用水中的重金属元素以 Zn、Al 和 Cr 为主,其平均质量浓度明显高于其他元素。此外,供水形式不同,水中重金属元素的平均质量浓度也存在一定的差异。如 Zn、Al 和 Cr 在井水中的平均质量浓度分别为 54.4、20.7 和 12.3 $\mu g/L$,高于其在雨水水窖中的平均质量浓度。与新抽取的井水相比,对于以井水为补给水的水窖,由于贮存时间较长(一般为 6 个月),窖水中 Zn、Al 和 Cr 的质量浓度则呈现一定程度的

表 4 水样中重金属质量浓度测定结果

供水设施类型	采样点编号	重金属质量浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)										
		Zn	Al	Cr	Mn	Se	As	Ni	Cd	Cu	Ag	Mo
水	5	10.6	15.5	36.7	0.6	3.6	1.6	3.0	2.7	0.4	0.1	0.6
	6	3.9	11.7	35.4	0.7	2.6	1.1	1.3	2.7	0.7	0.1	0.7
	10	135.1	34.6		8.3	2.5	3.1	5.9	1.5	2.7		1.1
	11	122.1	30.0	1.4	1.5	5.6	2.4	6.5	2.1	4.3		
	12	147.3	40.7		9.1	2.6	3.2	6.9	1.4	3.3		1.3
	13	22.1	5.9		36.7	2.3	7.8	3.4	0.4	1.7		0.9
	15	10.1	18.6	21.2	1.3	3.2	4.5	2.1		0.6		0.8
	16	1.7	17.7		2.2	1.0	4.8	2.8		0.4		
	17	49.0	25.7	23.4	3.1	4.3	3.3	4.8	0.1	0.9		0.2
	23	41.9	6.1	4.5	1.4	4.5	1.7	3.8	0.1	0.5		0.2
	平均值	54.4	20.7	12.3	6.5	3.2	3.3	4.0	1.1	1.5	0.1	0.6
井水水窖	平均占标率/%	5.4	10.4	24.6	6.5	32.1	33.4	20.2	22.0	0.2		0.8
	2	6.8	20.9	44.9	0.3	5.7	1.2	3.1	4.1	0.7	0.2	1.2
	3	48.1	67.5	49.0	0.8	5.9	1.4	6.4	7.1	1.1	0.3	1.9
	4	62.3	17.4	44.3	16.1	5.7	1.6	3.9	3.7	1.3	0.1	1.3
	7	100.1	38.0	11.5	1.9	1.9	3.3	3.9	2.0	15.8	0.2	2.9
	8	78.3	15.1	9.6	0.2	2.0	3.4	3.0	2.7	2.3	0.2	3.3
	平均值	59.1	31.8	31.9	3.9	4.2	2.2	4.0	3.9	4.2	0.2	2.1
雨水水窖	平均占标率/%	5.9	15.9	63.7	3.9	42.2	21.8	20.2	78.4	0.4		3.0
	9	100.1	25.1		4.7	0.7	2.4	1.5	1.7	1.5		0.3
	18	13.4	7.7	25.8	0.8	6.2	1.2	4.1	0.9	0.3		
	19	10.5	5.4	19.9	0.7	5.3	2.1	2.3	1.8	1.3		1.1
	20	15.7	7.0		0.5	2.1	0.5	4.4	1.4	0.6		1.2
	21	29.4	52.2	7.3	1.7	4.5	1.4	5.2	0.5	0.5		0.5
	平均值	33.8	19.5	10.6	1.7	3.8	1.5	3.5	1.2	0.8	0.0	0.6
雨水+自来水水窖	平均占标率/%	3.4	9.7	21.2	1.7	37.6	15.3	17.5	24.8	0.1		0.9
	1	26.2	202.7	31.2	0.5	5.1	1.4	3.8	2.3	3.1	0.1	2.1
	14	10.9	150.4		0.5	0.4	5.4	1.4		0.5		
	22	4.5	172.3	11.3	0.4	4.1	1.4	5.6	0.5	0.6		
	平均值	13.9	175.1	14.2	0.4	3.2	2.7	3.6	0.9	1.4	0.0	0.7
生活饮用水标准值 ^[21]	平均占标率/%	1.4	87.6	28.4	0.4	31.8	27.1	17.9	18.6	0.1		1.0
		1 000	200	50	100	10	10	20	5	1 000		70

上升趋势,相应的平均质量浓度分别为 59.1、31.8 和 31.9 $\mu\text{g/L}$ 。出现上述变化的原因可能与窖水贮存过程中水窖材质的释放有关^[20],但 3 种元素在除 1 号以外的所有观测点位处均不存在超标的现象。

与其他点位相比,Al 元素在 1、14 和 22 号 3 处窖水中的质量浓度明显偏高,1 号点位甚至出现 Al 的超标现象。现场调查发现,距县城最近的 A 村已铺有市政供水管网,但自来水供应并不稳定,断水现象经常发生。为此,包括 1、14 和 22 号 3 处点位在内的大部分 A 村居民仍以饮用窖水为主。除雨水外,市政管网集中供应的自来水也是主要的窖水来

源。据此推测,1、14 和 22 号窖水中的 Al 可能与自来水净化过程中铝盐混凝剂的残留有关。值得注意的是,Zn、Al 和 Cr 在水样中的质量浓度虽然较高,但其平均占标率(1、14 和 22 号的 Al 元素除外)即出现超标的风险则并不突出。

由表 4 可知,As、Se 和 Cr 在井水中的平均占标率最高,分别为 33.4%、32.1%和 24.6%。受水窖材质污染释放等因素的影响,井水在水窖中贮存一段时间后,平均占标率排名前三的元素演变为 Cd、Cr 和 Se,其占标率分别为 78.4%、63.7%和 42.2%。尤其是 Cd,其在以井水为补给水的 3 号水窖中出现

超标现象,进一步证实了混凝土材质金属元素的释放现象,对窖水中大部分处于微量甚至痕量级别的重金属元素来说,其影响不可忽视。袁晓露等发现,水泥制品在自然水环境下随着时间的推移依次溶出 Zn、Cr、Cu、Cd 等重金属^[22]。与以井水为补给水的窖水相比,以雨水为补给水的窖水中占标率较高的元素仍为 Cd、Cr 和 Se,占标率排序则明显不同,由高至低分别为 Se、Cd 和 Cr。

综合不同分散式供水类型下重金属元素的质量浓度和占标率分布情况可知,某县居民饮水中 Zn、Al、Cr、As、Se 和 Cd 的质量浓度或超标风险相对较高,Al 和 Cd 在个别采样点甚至出现超标问题。除质量浓度需满足国家水质标准要求外,重金属元素的生态毒性及其对人体健康的影响也不可忽视。

2.2 重金属风险评价

2.2.1 致癌风险 根据 1.4 节公式计算各观测点处重金属的致癌风险 R^n ,结果见表 5。可知,某县窖水和井水的致癌总风险均超出美国环保局规定的可接受风险上限 1×10^{-4} 。其中,以地下水为源水的窖水的致癌风险最大,而雨水水窖、自来水+雨水水窖和水井中 3 类重金属元素的致癌总风险相当。对比可知,某县分散式供水的致癌风险主要由 Cr 引起,其在各类供水设施中的致癌风险均大于 1×10^{-4} ,且占致癌总风险的 90.9%~94.4%,属于重点控制重金属组分。

表 5 3 种重金属污染物致癌风险评估

供水设施类型	致癌风险 $R^n/10^{-4}$			致癌总风险/ 10^{-4}
	As	Cd	Cr	
水井	0.20	0.26	2.0	2.2
井水水窖	0.13	0.94	5.1	5.4
雨水水窖	0.89	0.30	1.7	1.8
雨水+自来水水窖	0.16	0.22	2.3	2.5

2.2.2 非致癌风险 重金属元素通过饮水途径所引起的年均非致癌风险(R^c)评价结果见表 6。整体上,分散式供水中的重金属元素的非致癌风险均较

小,低于美国环保局规定的健康风险下限 1×10^{-6} 。其中,以雨水和自来水为源水的窖水的非致癌总风险最大。这主要与 1、14、22 号水窖中自来水混入后所引起 Al 的质量浓度上升有关,但并不会引起可预期的健康风险。某县分散式供水中重金属元素的非致癌总风险比其致癌总风险小 2 个数量级,某县重金属元素对饮水的影响以致癌风险为主。

2.3 重金属元素来源解析

综合考虑重金属的超标和潜在健康风险,Zn、Cr、Al、Se、As 和 Cd 这 6 种元素在某县分散式供水中的质量浓度值得关注。为明确其主要来源,借助物料衡算法对天然矿物溶出(代表地下水天然背景水平)、地表径流、水窖混凝土材质溶出和部分点源污染的贡献情况进行了定量分析,结果见表 7 和表 8。对于井水,其水质受地表径流的影响较小,但背景值(排除采煤场和焦化厂等污染源的影响)在不同点位间存在一定程度的波动,为方便计算取各采样点的平均值。采煤场对附近井水 Cr、Zn 和 As 的质量浓度有显著影响,平均贡献率分别为 98.7%、81.5%和 61.6%;焦化厂对地下水中 Cr 的平均贡献率高达 99.2%。10~12 号井水中 95.1%的 Zn 和 54.9%的 Al 则主要由未知污染源所贡献。

与井水不同,水窖材质释放对窖水中重金属元素的贡献不可忽视,其对井水水窖中 Cd 和 Cr 的平均贡献率分别为 69.1%和 58.8%。对于雨水水窖和混有自来水的雨水水窖而言,Cd 和 Cr 则几乎全部源自混凝土材质的溶出。与 Cd 和 Cr 不同,As、Zn、Se 和 Al 4 种元素主要来自水窖的补给水。以雨水水窖为例,窖水中的 As 元素几乎全部由雨水径流所贡献,对 Zn、Se 和 Al 的平均贡献率分别在 90.2%、69.1%和 51.2%。对于混有自来水的雨水水窖,原水对其 Al 元素的贡献率为 94.6%,远高于仅由雨水径流补给的水窖(51.2%),进一步证实自来水对窖水中 Al 的贡献显著。为解决 Cd 的超标问题以及 Cr 的潜在健康风险,建议选择低重金属溶出的水窖材质。

表 6 重金属污染物非致癌风险评估

供水设施类型	非致癌风险 $R^c/10^{-10}$										非致癌总风险/ 10^{-7}
	As	Cd	Cr	Se	Ni	Al	Mn	Cu	Zn	Mo	
水井	0.044	8.7	16	2.5	0.79	200	0.180	1.20	0.71	0.46	0.23
井水水窖	0.028	31.0	42	3.3	0.79	310	0.110	3.30	0.77	1.70	0.39
雨水水窖	0.020	9.9	14	2.9	0.68	190	0.047	0.66	0.44	0.49	0.22
雨水+自来水水窖	0.036	7.4	18	2.5	0.70	1700	0.013	1.10	0.18	0.56	1.70

表 7 水井中重金属元素来源解析

水井位置	元素	平均贡献率 %				总和
		天然矿物溶出	采煤场	焦化厂	未知污染	
附近无污染源	Zn	4.9	0.0	0.0	95.1	100.0
	Cr	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	Al	45.0	0.0	0.0	55.0	100.0
	Se	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	As	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	Cd	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
采煤场附近	Zn	18.5	81.5	0.0	0.0	100.0
	Cr	1.3	98.7	0.0	0.0	100.0
	Al	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	Se	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	As	38.4	61.6	0.0	0.0	100.0
	Cd	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
焦化厂附近	Zn	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	Cr	0.8	0.0	99.2	0.0	100.0
	Al	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	Se	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	As	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	Cd	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0

表 8 水窖中重金属元素来源解析

水窖类型	元素	平均贡献率 %		
		补给水源	混凝土溶出	总和
井水水窖	Zn	94.4	5.6	100.0
	Cr	41.2	58.8	100.0
	Al	70.1	29.9	100.0
	Se	72.5	27.5	100.0
	As	100.0	0.0	100.0
	Cd	30.9	69.1	100.0
雨水水窖	Zn	90.2	9.8	100.0
	Cr	0.0	100.0	100.0
	Al	51.2	48.8	100.0
	Se	69.1	30.9	100.0
	As	100.0	0.0	100.0
	Cd	0.0	100.0	100.0
雨水+自来 waters 窖	Zn	76.1	23.9	100.0
	Cr	0.0	100.0	100.0
	Al	94.6	5.4	100.0
	Se	63.5	36.5	100.0
	As	100.0	0.0	100.0
	Cd	0.0	100.0	100.0

3 结 论

分散式供水作为我国西北缺水地区农村居民的主要用水形式,其水质状况与人民的饮水安全息息相关。本文以中国西北地区某县 23 处分散式供水设施为研究对象,对水体中重金属的污染现状、健康风险和来源进行全面的解析,结论如下。

(1)某县分散式供水中 Zn、Al、Cr、As、Se 和 Cd 质量浓度或超标风险相对较高,除 1 号观测点窖水中的 Al 和 3 号观测点窖水中的 Cd 存在超标现象外,其他重金属元素的质量浓度均满足《生活饮用水卫生标准》的限值要求,整体上供水水质状况良好。与井水相比,雨水中的重金属元素质量浓度普遍偏低,且混入自来水后窖水中 Al 的质量浓度明显偏高,为降低饮用水中重金属超标的风险,建议优先选用雨水作为水窖的储水水源。

(2)某县窖水和井水的非致癌风险远低于健康风险下限 1×10^{-6} ,对居民饮水安全的影响较小且在可接受范围内,但致癌总风险均超出美国环保局规定的可接受风险上限 1×10^{-4} ,即该县重金属元素对饮水的影响整体上以致癌风险为主,且以地下水为源水的窖水的总致癌风险最高。各类分散式供水中 Cr 的致癌风险在致癌总风险中所占比重高达 90.9%~94.4%,是导致该县饮水存在较高致癌风险的主要元素,需增加检测频率并重点掌握其污染状况。

(3)厂矿对周边井水中重金属质量浓度存在显著影响,其中采煤场对周边井水中 98.7%的 Cd、81.5%的 Cr 和 61.6%的 As 源自采煤场的污染排放,焦化厂周边时水中 99.2%的 Cr 源自焦化厂的污染排放,建议该县加强监控和治理区域内采煤场和焦化厂污染排放的同时注重地下水水质的检测工作。窖水中的 Cd 和 Cr 主要源自水窖材质的溶出,而 As、Zn、Se 和 Al 则主要源自补给水或地表径流。为保障分散式供水的水质安全,建议适当缩短水窖的储水时长并选用低重金属溶出的橡塑等作为水窖材质,同时加强供水设施和雨水集流面的日常维护。

参考文献:

[1] 汪建武. 西北地区农村分散式供水的消毒方法 [J]. 陕西农业科学, 2013, 59(3): 257-258.
[2] 钱惠康, 王滇红. 地下水应是乡镇供水的首选水源 [J]. 地下水, 1996, 18(3): 136-138.
[3] 纪媛媛, 贾瑞亮, 周金龙. 新疆伊犁河谷地地下水水质

- 量与污染评价[J]. 节水灌溉, 2014(3): 32-36.
- Ji Yuanyuan, JIA Ruiliang, ZHOU Jinlong. Assessment of groundwater quality and pollution in Ili River Valley of Xinjiang [J]. Water Saving Irrigation, 2014 (3): 32-36.
- [4] 权少敏. 宁夏南部山区窖水水质现状调查及其健康风险评价[D]. 银川: 宁夏医科大学, 2014: 1-5.
- [5] 冯元东, 韩俊杰. 水资源充分利用与生态环境保护: 水窖的功能[J]. 科协论坛, 2012(5): 136-137.
- FENG Yuandong, HAN Junjie. Full utilization and eco-environmental protection of water resources: functions of cellars [J]. Science & Technology Association Forum, 2012(5): 136-137.
- [6] 王喜君. 甘肃中部干旱地区集雨水窖类型及效益分析[J]. 甘肃水利水电技术, 2009, 45(8): 41-42.
- WANG Xijun. Types and benefit analysis of cellars gathering rainwater in arid areas of central Gansu province [J]. Gansu Water Resources and Hydropower Technology, 2009, 45(8): 41-42.
- [7] 乔国亮. 雨水污染物负荷在窖水中的迁移转化规律研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2014: 1-8.
- [8] 雷占琴. 渭北旱塬地区窖水水质特征及水质改善技术研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2013: 1-6.
- [9] 白先发, 高建恩, 许秀泉, 等. 基于饮水安全的雨水收集系统水质时空变化规律研究[C]//海峡两岸水土保持学术研讨会论文集. 北京: 中国水土保持学会, 2014: 78-87.
- [10] 何春生. 水窖水质管理与维护技术研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2010: 1-9.
- [11] 王海东, 方凤满, 谢宏芳. 中国水体重金属污染研究现状与展望[J]. 广东微量元素科学, 2010, 17(1): 14-18.
- WANG Haidong, FANG Fengman, XIE Hongfang. Research status and prospect of heavy metal pollution in water in China [J]. Guangdong Trace Elements Science, 2010, 17(1): 14-18.
- [12] 杨润康. 韩城市地下水资源调查评价[J]. 地下水, 2011, 33(4): 129-130.
- [13] 张丹梅, 权少敏, 吴惠忠. 宁夏农村窖水水质现状及水质影响因素分析[J]. 宁夏医科大学学报, 2015, 37(5): 549-552.
- ZHANG Danmei, QUAN Shaomin, WU Huizhong. Current water quality situation and analysis of influencing factors of cellar in Ningxia rural areas [J]. Journal of Ningxia Medical College, 2015, 37(5): 549-552.
- [14] 王志贤, 荆东亮. 陕西韩城市农村饮水安全策略研究[J]. 黄河水利职业技术学院学报, 2008, 20(4): 17-19.
- WANG Zhixian, JING Dongliang. Study on safety strategy of rural drinking water in Hancheng city, Shaanxi province [J]. Journal of Yellow River Conservancy Technical Institute, 2008, 20(4): 17-19.
- [15] 孙超, 陈振楼, 张翠, 等. 上海市主要饮用水源地水重金属健康风险初步评价[J]. 环境科学研究, 2009, 22(1): 60-65.
- SUN Chao, CHEN Zhenlou, ZHANG Cui, et al. Health risk assessment of heavy metals in drinking water sources in Shanghai, China [J]. Research of Environmental Sciences, 2009, 22(1): 60-65.
- [16] 尤汉虎, 庞智锋, 梁雅慧, 等. 佛山市某城区饮用水重金属健康危害风险初步评估[J]. 华南预防医学, 2011(3): 32-36.
- YOU Hanhu, PANG Zhifeng, LIANG Yahui, et al. Health risk assessment of heavy metals in drinking water in a certain district of Foshan city [J]. South China Journal of Preventive Medicine, 2011(3): 32-36.
- [17] 白剑峰. 我国人均期望寿命达73岁[J]. 中国社会导刊, 2008(35): 22.
- [18] Office of Solid Waste Emergency Response. Risk assessment guidance for superfund: volume I Human health evaluation manual: part A Interim final: EPA/540/1-89/002 [R]. Washington, USA: US EPA, 1989: 8-26.
- [19] US EPA. Integrated risk information system [EB/OL]. (2013-03-15)[2019-04-19]. <http://www.epa.gov/iris>.
- [20] 杨昱, 杨玉飞, 黄启飞, 等. 废物水泥窑共处置产品中重金属释放pH静态试验研究[J]. 环境科学研究, 2008, 21(6): 52-56.
- YANG Yu, YANG Yufei, HUANG Qifei, et al. pH-dependence test study on the release of heavy metals in cement product from co-processing waste in cement kiln [J]. Research of Environmental Sciences, 2008, 21(6): 52-56.
- [21] 中华人民共和国卫生部. 生活饮用水卫生标准: GB 5749—2006 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006: 2-6.
- [22] 袁晓露, 周世华. 水泥制品中重金属元素的溶出特性与环境安全评估[J]. 混凝土与水泥制品, 2016(7): 38-42.
- YUAN Xiaolu, ZHOU Shihua. Dissolution characteristics and environmental safety assessment of heavy metals in cement products [J]. China Concrete and Cement Products, 2016(7): 38-42.

(编辑 武红江)