

拉萨垃圾填埋场地下水环境质量影响分析研究

周文武¹, 陈冠益^{1,2}, 穷达卓玛¹, 周鹏¹, 汪晶¹, 李扬¹, 旦增^{1,2*}

(1. 西藏大学理学院, 西藏 拉萨 850000; 2. 天津大学环境科学与工程学院, 天津 300072)

摘要:通过在拉萨市垃圾填埋场周边布设4个监测井,于2017—2018年采样分析24项地下水水质指标,并运用单因子指数、综合评价法、污染指数 P_{ki} 法、等标污染负荷比法等对地下水污染状况进行评价。结果表明:地下水水质在良好—优良范围内;单项污染指数>1的有pH值、铅,相比背景井地下水水质有所下降;填埋场周边地下水污染程度呈轻污染,主要受到影响的指标为pH值、高锰酸盐指数、阴离子表面活性剂、铅、氟化物。

关键词:地下水;垃圾填埋场;环境质量评价;拉萨

中图分类号:X523; X824

文献标志码:B

文章编号:1006-2009(2020)04-0020-04

Impact Study of Landfill on Groundwater Environmental Quality in Lhasa

ZHOU Wen-wu¹, CHEN Guan-yi^{1,2}, QIONG Dazhuoma¹, ZHOU Peng¹,

WANG Jing¹, LI Yang¹, DAN Zeng^{1,2*}

(1. School of Science, Tibet University, Lhasa, Tibet 850000, China;

2. School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: 24 groundwater quality indexes were analyzed in the samples from 4 monitoring wells around the landfill in Lhasa from 2017 to 2018. The groundwater pollution was evaluated by single factor index method, comprehensive evaluation method, pollution index P_{ki} method and equal standard pollution load ratio method. The results showed that the groundwater quality was within good to excellent level. Single pollution index of pH value and Pb were greater than 1. The groundwater quality declined compared to that in the background well. The groundwater around the landfill was slight polluted. The main pollution targets were pH value, permanganate index, anionic surfactant, lead and fluoride.

Key words: Groundwater; Landfill; Environmental quality assessment; Lhasa

随着拉萨市经济发展和城市化进程的加快,生活垃圾的增长量大幅度提高。该市2016年生活垃圾产量27.99万t,填埋量27.69万t;2017年生活垃圾产量35.052万t,填埋量32.366万t^[1]。由此可见,拉萨市垃圾处理以填埋为主^[2]。卫生填埋主要是运行和建设成本低,虽然能很好地解决城市生活垃圾的堆放问题,但是由于雨水的冲刷作用,垃圾填埋场会产生渗滤液^[3]。渗滤液对环境的影响有很大的时效性,对其处理不当将会严重污染土壤、地表水和地下水,对人体危害较大^[4-9]。卫生填埋场对地下水的污染主要是由防渗层的泄漏所导致的。国内外对地下水质量评价大部分采用数学方法,主要包括单因子指数法、内梅罗综合指数

法、污染指数 P_{ki} 法、等标负荷方法、累计负荷比法、地下水水质模型模拟预测法、模糊综合评价法等^[10-15]。此外,含水层的污染是一个缓慢的过程,污染具有累积和滞后效应,需要开展准确、长期、系统的地下水动态监测^[16-17]。目前国内对于垃圾填埋场地下水的分析、评价和预测研究有一定的基础

收稿日期:2019-05-15;修订日期:2020-05-15

基金项目:西藏自治区重点科技计划基金资助项目(Z2016C01G01106);西藏自治区地区自然科学基金资助项目(2016ZR-15-12);西藏自治区青年创新支持计划基金资助项目(QCZ2016-01)

作者简介:周文武(1993—),男,四川江油人,在读研究生,研究方向为高原生态与环境安全。

*通信作者:旦增 E-mail: yongzhong2008@163.com

和较为成熟的方法,可对于高原地区垃圾填埋场地下水评价方面的研究较少。今对拉萨市的卫生填埋场区域的地下水进行调查和取样分析,采用单项指数法、综合评价法、污染指数 P_{ki} 法及等标污染负荷比法评价地下水污染现状和主要污染物,为拉萨市地下水监管工作提供技术支持。

1 研究方法

1.1 研究区概况

拉萨市卫生填埋场服务于市区及周边县城的生活垃圾填埋处理。该填埋场建设使用年限 20 a (2001—2020 年),库容量设计为 190.28 万 m^3 ,日填埋垃圾量 172 t/d ~ 411 t/d,其防渗工程是在填埋场底 2 m ~ 5.8 m 的天然砂质粉土下铺设 C_{20} 砼底板进行防渗,防渗系数 $< 10^{-7}$ cm/s。拉萨市地下水位埋深为 10 m ~ 30 m,水量贫乏^[18-19]。西侧的尼浦为季节性溪流,其余支谷为临时性洪流;其补给来源主要有大气降水、冰雪融水、山区基岩裂隙补给和地表水季节性补给^[18-20]。

1.2 样点布设和样品采集

根据该填埋场项目特点和所处地质环境状况,依照《地下水环境监测技术规范》(HJ/T 164—2004)和《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)(以下简称《地下水标准》)确定主要监测项目为 pH 值、电导率(EC)、溶解氧(DO)、高锰酸盐指数(I_{Mn})、氨氮(NH_3-N)、化学需氧量(COD)、石油类、挥发酚、六价铬(Cr^{6+})、氰化物(CN^-)、阴离子表面活性剂(以下简称活性剂)、砷(As)、汞(Hg)、硒(Se)、镉(Cd)、铅(Pb)、溶解性总固体(TDS)、总硬度、硝酸盐(NO_3^-)、亚硝酸盐(NO_2^-)、氟化物(F^-)、铜(Cu)、锌(Zn)、氯化物(Cl^-)等 24 个水质指标。

在该填埋场场址周围选取 4 口监测井,分别为 J2、J3、J5、J6(见图 1),监测井深度多在 70 m ~ 80 m。分别于 2017 年 11 月(枯水期)、2018 年 5 月(平水期)和 2018 年 8 月(丰水期)各采样 1 次,共采集 12 个地下水样。采样前先抽出监测井中表层带有杂质的水,半小时后再采用玻璃材料的采样瓶进行采样。水样由西藏自治区环境监测中心站进行数据分析。

地下水背景值数据为该垃圾填埋场初始选址建设时期对周边地下水进行监测的数据,监测项目(监测值)包括:色度(10°)、浑浊度($< 3^\circ$)、嗅和味

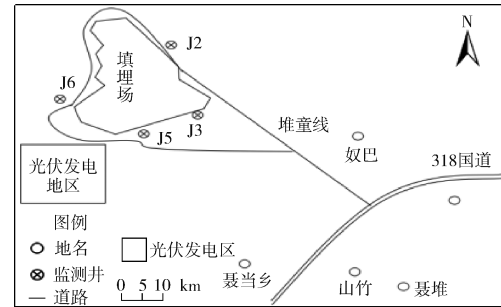


图 1 监测井分布

Fig. 1 Distribution of monitoring well

(无)、pH 值(7.5)、总硬度(26.52 mg/L)、硫酸盐(5.4 mg/L)、 Cl^- (4.4 mg/L)、 NO_3^- (0.24 mg/L)、Cu(0.5 mg/L)、Pb(未检出)、Zn(0.8 mg/L)、Cd(未检出)、Fe(0.3 mg/L)、Hg(未检出)、总大肠菌群(230 个/L)。

1.3 地下水评价方法

垃圾填埋场地下水执行《地下水标准》中Ⅲ类标准,文中仅对标准中有限值规定的指标和监测出的指标进行质量评价。评价地下水质量状况时先采用单因子指数法评价地下水污染程度,再用综合评分法评价地下水质量状况;采用污染指数 P_{ki} 法对地下水污染现状作评价;采用等标污染指数法确定监测井中影响较大的污染物^[11,13-14,19,21-22]。

1.3.1 地下水质量评价

$$S_i = C_i / C \quad (1)$$

$$F = \sqrt{\frac{\bar{S}_i^2 + S_{i\max}^2}{2}} \quad (2)$$

式(1)中: S_i 为单项污染物*i*的污染指数; C_i 为单项污染物*i*的实测值; C 为单项污染物*i*的标准值; i 为组分号。 $S_i < 1$ 为未污染, $S_i > 1$ 为严重污染。按照《地下水标准》中推荐的方法进行单项组分评价划分所属类别, F_i 值划分为Ⅰ类(0)、Ⅱ类(1)、Ⅲ类(3)、Ⅳ类(6)、Ⅴ类(10)。式(2)中: F 为综合评分值; S_i 为单项组分评分值; \bar{S}_i 为 S_i 的平均值; $S_{i\max}$ 为 S_i 中最大值。其中 F 值评分法按照《地下水标准》推荐方法划分地下水质量级别为优良($F < 0.80$)、良好($0.80 \leq F < 2.50$)、较好($2.50 \leq F < 4.25$)、较差($4.25 \leq F < 7.20$)、极差($F \geq 7.20$)5个等级。

1.3.2 地下水污染现状评价

采用张兆吉等^[14]修改后的单因子污染指数法进行评价,计算公式为:

$$P_{ki} = (C_i - C_0) / C_{III} \quad (3)$$

式(3)中: P_{ki} 为 k 水样 i 指标的污染指数; C_i 为 k 水样 i 指标的监测值; C_0 为 k 水样 i 指标的背景值,背景值未检出按检出限计算; C_{III} 为《地下水标准》中Ⅲ类标准限值。污染指标分级标准见表1。

表1 污染指标分级标准^[14]Table 1 Classification criteria of pollution indicators^[14]

P_{ki}	污染等级	污染程度	P_{ki}	污染等级	污染程度
$P_{ki} \leq 0$	I	未污染	$0.6 < P_{ki} \leq 1.0$	IV	较重污染
$0 < P_{ki} \leq 0.2$	II	轻污染	$1.0 < P_{ki} \leq 1.5$	V	严重污染
$0.2 < P_{ki} \leq 0.6$	III	中污染	$P_{ki} > 1.5$	VI	极重污染

1.3.3 地下水较大影响污染物评价

等标污染负荷比法是《环境影响评价技术导则 地下水环境》(HJ 610—2016)中规定的对污染源进行评价的方法。先根据文献[11]计算各单项指标的等标污染负荷比 R_i ,再将 n 指标中累计污染负荷比 $RI > 70\%$ 确定为主要污染物^[11]。其中 $S_{总}$ 是污染物总的污染指数。

$$S_{总} = \sum S_i \quad (4)$$

$$RI = \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n (S_i / S_{总}) \quad (5)$$

2 结果与讨论

2.1 地下水监测结果

4口监测井的地下水监测结果见表2。依照

《地下水标准》中的Ⅲ类标准限值计算污染物超标率。由于 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 COD 、 Cu 、 Zn 无监测值,石油类、挥发酚、 CN^- 、 Hg 、 Se 、 NO_2^- 未检出,故未在表2中列出,下面的地下水质量、污染现状及主要污染物评价也均不包括这10个项目。由表2可知,地下水监测值中仅 pH 值、 I_{Mn} 、 Pb 、 F^- 有超标。

2.2 地下水评价结果

2.2.1 地下水质量现状评价结果

地下水质量评价结果见表3。 EC 、 DO 因无质量标准不参与地下水质量、污染现状及主要污染物评价。由表3可知,单项指标仅J3中 pH 值和J2中 Pb 的质量评价结果为Ⅱ类,其余指标均为Ⅰ类。综合看4口监测井中J2和J3的水质为良好,J5和J6的水质为优良,可相对于背景井的优良水质($F = 0.57$),监测井中水质有所下降。从3个水期的水质看,丰水期水质($F = 0.49$)好于平水期($F = 0.76$)好于枯水期($F = 0.85$)。总体上看,填埋场地下水水质处于良好状态(F 范围为0.63~1.16)。韩智勇等^[11]研究表明,西藏地区地下水综合评价水质为良好($F = 2.14$),两者研究结果趋于一致。

2.2.2 地下水污染现状评价结果

在参与评价的12项指标中仅总硬度、 NO_3^- 、 Cl^- 3项指标有背景监测值,其余指标均以检出限来计算污染指数 P_{ki} 。经计算得出,7项指标的 P_{ki} 分别为 I_{Mn} (-0.66~-0.30)、 Cr^{6+} (-0.88~0)、活性剂(-0.50~-0.43)、 As (-0.85~0)、

表2 地下水监测结果

Table 2 Groundwater monitoring results

监测项目	检出率/%	J2 $\rho / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		J3 $\rho / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		J5 $\rho / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		J6 $\rho / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		超标率/%
		范围	均值	范围	均值	范围	均值	范围	均值	
pH 值 ^①	100	7.74~8.10	7.96	8.15~9.48	8.63	7.83~8.78	8.22	7.98~8.40	8.24	16.7
EC	100	87~835	337	72~813	321	72~826	326	70~855	333	0
DO	100	6.07~6.92	6.36	5.11~7.04	6.05	5.97~7.38	6.48	5.97~7.22	6.41	0
I_{Mn}	100	0.50~1.70	1.03	1.30~3.20	2.10	1.00~2.40	1.53	0.90~3.20	1.77	16.7
Cr^{6+}	41.7	0.007	0.007	0.015~0.018	0.017	—	—	0.006	0.006	0
活性剂	33.3	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	0
As	16.7	0.0015	0.0015	0.0058	0.0058	—	—	—	—	0
Cd	8.3	0.0002	0.0002	—	—	—	—	—	—	0
Pb	33.3	0.016	0.016	0.006	0.006	0.004	0.004	0.004	0.004	8.3
TDS	100	104~246	165	183~276	243	88~288	171	68~266	159	0
总硬度	100	127~172	146	32.1~193	108	34.4~188	107	126~166	140	0
NO_3^-	91.7	1.20~7.08	3.34	0.28~1.40	0.84	0.17~1.00	0.59	1.30~2.27	1.79	0
F^-	58.3	0.42~0.48	0.45	0.31~1.56	0.94	0.26~0.96	0.61	0.25	0.25	8.3
Cl^-	33.3	6.99	6.99	81.5	81.5	4.99	4.99	35.5	35.5	0

①无量纲。

表 3 地下水质量评价结果
Table 3 Evaluation results of groundwater quality

监测项目	单项污染指数 S_i								F 值	质量类别
	背景井	J2	J3	J5	J6	枯水期	平水期	丰水期		
pH 值	0.33	0.64	1.09	0.81	0.83	1.12	0.80	0.62	0.98	良好
I_{Mn}	0	0.34	0.70	0.51	0.59	0.59	0.68	0.34	0.62	优良
Cr^{6+}	0	0.14	0.33	0	0.12	0	0.16	0.14	0.27	优良
活性剂	0	0.57	0.57	0.53	0.50	0	0	0.54	0.55	优良
As	0	0.15	0.58	0	0	0.18	0	0	0.48	优良
Cd	0	0.04	0	0	0	0	0.01	0	0.04	优良
Pb	0	1.60	0.60	0.40	0.40	0.75	0	0	1.25	良好
TDS	0	0.16	0.24	0.17	0.16	0.13	0.15	0.27	0.22	优良
总硬度	0.06	0.33	0.24	0.24	0.31	0.18	0.26	0.40	0.30	优良
NO_3^-	0.01	0.17	0.04	0.03	0.03	0.12	0.03	0.06	0.13	优良
F^-	0	0.45	0.94	0.61	0.25	0.31	1.00	0	0.77	优良
Cl^-	0.02	0.03	0.33	0.02	0.14	0	0	0.13	0.25	优良
F 值	0.57	1.16	0.85	0.63	0.63	0.85	0.76	0.49		

Cd(-0.96~0)、TDS(-0.84~-0.76)、 F^- (-0.75~-0.07),均属于未污染;pH值和 NO_3^- 的 P_{ki} 分别为0.06~0.14和0.02~0.15,均处于轻污染;Pb的 P_{ki} 为-0.6~0.6,75%属于未污染,25%为中污染;总硬度的 P_{ki} 为0.18~0.27,轻污染和中污染各占50%; Cl^- 的 P_{ki} 为0.002~0.31,75%为轻污染,25%为中污染。由此可见,地下水受Pb的影响较大,总体上地下水为轻污染状态。

2.2.3 地下水主要污染物评价结果

地下水主要污染物评价结果见表4。由表4可知,累计负荷比RI接近70%的污染指标有pH值、 I_{Mn} 、活性剂、Pb、 F^- ,表明这些是受影响的主要指标。在单个监测井中,J2受影响较大的为Pb,J3受影响的为pH值、 F^- ,J5受影响的为pH值、 I_{Mn} 、活性剂、 F^- ,J6受影响的为pH值、 I_{Mn} 。

表 4 地下水主要污染物评价结果

Table 4 Evaluation results of main pollutants in groundwater

监测项目	R_i				RI
	J2	J3	J5	J6	
pH 值	0.14	0.19	0.24	0.24	0.82
I_{Mn}	0.07	0.12	0.15	0.17	0.53
Cr^{6+}	0.03	0.06	0	0.04	0.12
活性剂	0.12	0.10	0.16	0.15	0.53
As	0.03	0.10	0	0	0.14
Cd	0.01	0	0	0	0.01
Pb	0.35	0.11	0.12	0.12	0.69
TDS	0.04	0.04	0.05	0.05	0.18
总硬度	0.07	0.04	0.07	0.09	0.28
NO_3^-	0.04	0.01	0.01	0.03	0.08
F^-	0.10	0.17	0.18	0.07	0.52
Cl^-	0.01	0.06	0.01	0.04	0.11

综上所述,综合质量评价结果表明,填埋场地下水水质良好,属于轻污染状态。与周鹏等^[23]对拉萨市典型的简易垃圾填埋场评价结果表明填埋场地下水质量处于轻污染状态的评价结果较一致、稍有差别。

3 结论

(1) 通过对垃圾填埋场周边地下水水质调查分析发现,出现超标的指标有pH值、 I_{Mn} 、Pb、 F^- ,其中Pb超标主要出现在J2,其余指标均未出现超标现象。

(2) 单项污染指数评价结果显示仅pH值和Pb属于II类,其余指标为I类水平。而综合评价结果显示,地下水质量总体上处于良好。

(3) 地下水污染现状评价表明,填埋场地下水受到一定影响,属于轻污染。对主要污染物分析,受到填埋场影响的污染物指标有pH值、 I_{Mn} 、活性剂、Pb、 F^- ,表明填埋场周围地下水受到影响。

[参考文献]

- [1] 周文武,陈冠益,穷达卓玛,等. 拉萨市垃圾填埋场地下水水质的居民健康风险评价[J]. 环境化学, 2020, 39(6): 1513-1522.
- [2] 周文武,陈冠益,旦增,等. 垃圾填埋场区域地下水铅的修复方案比选:以拉萨市为例[J]. 环境工程, 2020, 38(6): 88-93.
- [3] RAPTI-CAPUTO D, SDAO F, MASI S. Pollution risk assessment based on hydrogeological data and management of solid waste landfills[J]. Engineering Geology, 2006, 85(1/2): 122-131.

(下转第 51 页)