北京市某垃圾填埋场周边地下水质分析研究

朱国祥，王峰，王慧玲，张学平
（北京市勘察设计研究院，北京　100038）

摘要：本文通过对北京市某垃圾填埋场所在区域地下水水位及水质进行监测，分析垃圾填埋场周边地下水污染状况，结合所在区域地质环境条件，对地下水的污染趋势进行分析，并对垃圾填埋场设计、运行中可能出现的问题提出建议。

关键词：垃圾填埋场；地下水水质；地质环境
中图分类号：X523　　**文献标识码**：A

Abstract：This paper analyzes the pollution situation of groundwater around a landfill in Beijing suburb through the data of groundwater level and quality monitored，discusses the tendency of pollution in aquifers，and proposes some opinion in designing and using of a landfill.

Key words：landfill；groundwater quality；geological environment

0　引言

随着北京市城市规模的不断扩大，城市人口的日益增长，城市生活垃圾的排放量逐年增大。据统计，北京市 2005 年全年共产生生活垃圾 536.93×10^4t，而且每年还以 8%的速度递增。20 世纪 90 年代早期，北京市的垃圾基本是露天堆放，1994 年后北京市陆续采用符合国际卫生填埋标准的大型垃圾填埋场。但是，据资料显示，到目前为止北京市平原区非正规垃圾处理场及转运站共有 368 处，占正在运营的垃圾处理场地总数的 95%。即使是正规填埋场，近年来大部分已发现发生了明显的渗漏，有些已造成周围 10 余 km^2 范围内的地下水污染。

为分析垃圾填埋场周边地下水污染状况，我们对北京市某垃圾填埋场周边地下水水质进行了检测，并对该垃圾填埋场周边的地质环境条件进行分析，以期从地质环境条件和土层结构等方面对垃圾填埋场的设计、运行等提出一些建议。

1　北京某垃圾填埋场概况

北京市某垃圾填埋场 1996 年 12 月投入使用，设计日处理垃圾量 700t，使用期限为 14 年。该垃圾填埋场在原地面上按 1∶3 的坡度堆积而成，共分 4 层，每层 10m，总填埋高度为 40m。填埋场底部采用黏土和膨润土混合压实方式形成防渗层，防渗系数为 10^{-9}m/s，场底有导流层，在渗沥液流动方向设有一定的坡度，以有利于渗沥液的收集。渗沥液经收集管收集到渗沥液收集池内进行处理。随着填埋场使用年份的增加，堆体内积存的渗沥液量不断产生，填埋气体也逐渐进入丰产期。2004 年引进了 PALL 公司的 DTRO 碟管式反渗透污水处理设备和美国 SHAW 公司的沼气收集及利用系统。

2　场地所在区域水文地质条件

北京市某垃圾填埋场位于永定河洪冲积扇的下部，土层分布条件较复杂，分布有多层地下水。场地周围缺乏各含水层水质的背景资料，因此该垃圾填埋场对地下水的污染问题，需要从区域地下水水质的对比上才能发现。为此在场地附近及其周边一定范围内设置地下水监测孔。本次工作在场地附近及周边共设置 9 组地下水监测孔(见图 1)，每组包含 3 个监测孔，监测的含水层深度分别为地面下 8m 内、10~23m 和 30~50m。

2.1　场地所在区域土层分布

场地所在区域地面下 55m 深度内主要分布有黏性土、粉土和砂土，从地层岩性及水平向分布的连续性看，场地所在区域地层大体可分为 5 层(图 2)。

第 1 层主要为耕植土和填土，岩性以黏质粉土为主，厚度一般在 0.5~2m 左右。

第 2 层主要为黏性土和粉土，厚度一般为 3~24m，在场地周围 5km 范围内均有分布。该层厚度在场地以南和以东相对较小，而在场地以西和以北相对较大。此外，该层在场地以西和以北夹有砂土，其中的砂土层赋存有上层滞水。

收稿日期：2007-06-14；**修订日期**：2007-09-15

作者简介：朱国祥(1964－)，男(汉族)，浙江海滨人，教授级高级工程师，硕士.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

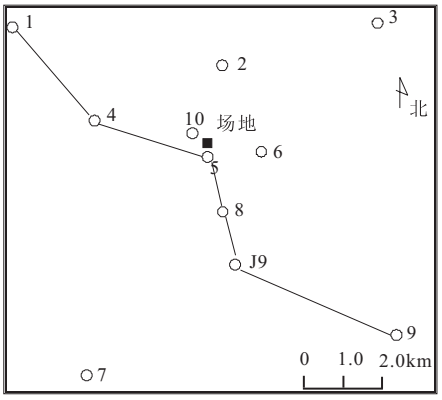

图 1　水位及水质监测点分布

○1~○9 为本次设置的监测孔，○J9 为搜集的深井

○10 为饮用水源井 ■ 场地位置　1~9 为地层剖面线

第 3 层主要为砂土，层间夹有黏性土透镜体。该层厚度一般为 1~9m，东西向变化较大，南北向变化相对较小。此外，该层在场地的东南埋深相对较浅，而在场地的西北埋深相对较深。从颗粒组成及其赋水特征来看，该层可构成含水层。

第 4 层以黏性土为主，层间夹有砂土透镜体。该层厚度一般为 4~35m。该层在场地的东南厚度较大，而在场地的西北厚度相对较小。该层土颗粒相对较细，其透水能力较低，构成相对隔水层。

第 5 层主要为砂土，局部夹黏性土透镜体。该层厚度一般为 6~28m，东西向分布相对稳定，南北向变化相对较大。从颗粒组成及其赋水特征来看，该层可构成含水层。

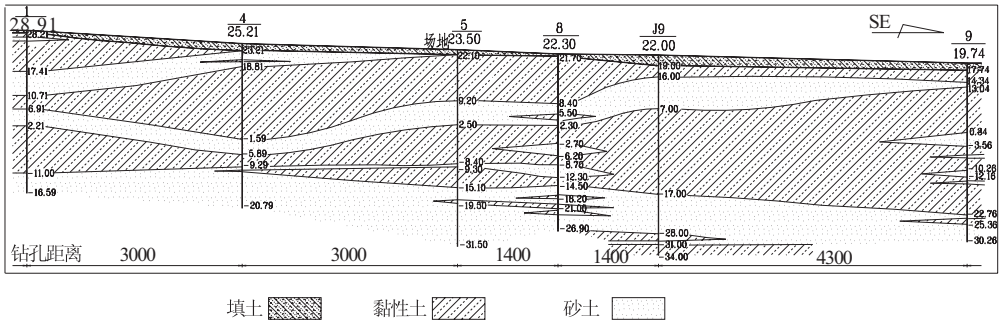

图 2　垃圾填埋场所在区域含水层分布

2.2 场地周围地下水分布

地下水一般赋存在粗颗粒地层(如砂土)中，从钻探揭露的地层资料看，本场地所在区域 55m 深度内主要分布 2 层地下水，即潜水和承压水，55m 以下分布多层承压水。为便于分析，本次将 55m 内的承压水称为浅层承压水，55m 以下的承压水称为深层承压水。此外，在场地的西北，地面下 5m 内分布的砂土夹层中受地表水体的影响局部量测到上层滞水。

地下水的流向关系到污染物的运移方向，地下水流向的监测方法有多种，一种比较实用的方法是在平面上有水力联系的含水层中设置监测孔，观测该含水层同一时间点的水位，经拟合得到地下水的流向。

为了解场地所在区域潜水和浅层承压水的流向，本次在场地所在区域对潜水含水层和浅层承压水含水层分别设置地下水位监测孔，并对孔中的水位进行监测。由于场地周围地层尖灭现象较多，浅部含水层在横向上可能不连续，部分监测孔中量测的潜水水位可能不是同一层水的水位，因此对这部分监测孔中的水位进行剔除。图 3 和图 4 分别为场地周围同一天量测的潜水水位和浅层承压水水位标高经拟合得到的等值线图。两幅图的等值线十分接近，从图中可得到潜水和浅层承压水流向均为东南偏南方向。

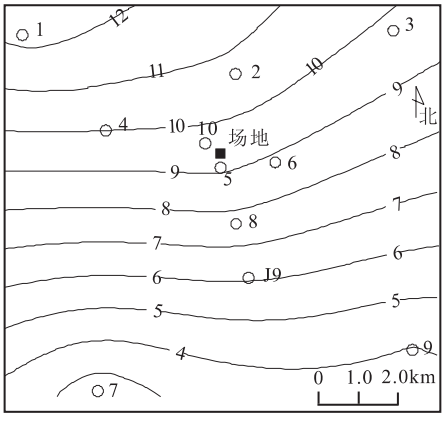

图 3　潜水水位标高等值线(m)

2.3 场地周围地下水补、径、排关系

根据现场调查和地下水水位监测结果，场地所在区域浅层地下水中潜水水位略高于承压水水位，浅层地下水水位总体高于深层地下水水位，结合对场地周围浅层地下水和深层地下水补、径、排条件的分析，场地所在区域浅层地下水中的承压水主要接受侧向径流补给和上部潜水的越流补给，并向下

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

越流补给深层地下水；而深层地下水主要接受侧向径流补给和浅层地下水的越流补给。地下水的排泄主要有侧向径流排泄和人工开采(包括农用井和饮用水井的开采)。

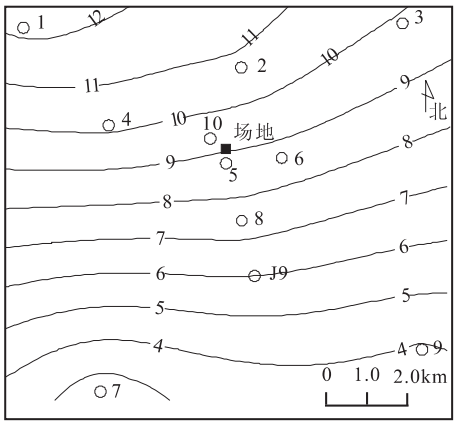

图 4　承压水水位标高等值线(m)

各含水层之间的黏性土、粉土相对隔水层的渗透性相对较小(渗透系数为 1.50×10^{-3}~2.00×10^{-3} m/d)，因此，一般情况下各个含水层相互之间的水力联系相对较弱。然而调查发现，在场地周围约 5km 范围内分布有 1000 余口水井(包括农用井和饮用水井)，大部分农用井井深在 80m 以内，开采的地下水通常是上下多层含水层的混合水。饮用水井的井深一般在 80~300m 之间，近几年新钻探的饮用水井深度一般在 300m 左右。场地所在区域广泛分布贯穿多个含水层的水源井构成了透水天窗，使得各个含水层中的地下水相互连通，在一定程度上增强了各层地下水之间的水力联系，这也可从监测孔中量测的潜水与浅层承压水的水位差不明显以及两者流向基本一致得到佐证(潜水水位略高于浅层承压水水位)。

3 场地周围地下水质分析

本次在场地附近、场地西偏北及场地南偏东设置的地下水监测孔中取潜水和浅层承压水水样进行水质分析检测，取水样位置基本上按地下水的流向布置，检测结果表明(见表 1)。

(1) 场地附近潜水中氯化物、溶解性总固体、高锰酸盐指数和总硬度、氨氮等指标值均明显高于离场地较远的潜水。

(2) 场地附近潜水中锰、铜、锌、钡、镍、氯化物、总硬度、溶解性总固体、高锰酸盐指数和氨氮的指标值明显高于其下部的浅层承压水。此外场地附近潜水的 pH 值呈酸性。

(3) 离场地较远的潜水中某些指标值(如氨氮、高锰酸盐指数等)虽然比场地附近潜水中相应的指标值低，但也已达到《地下水质量标准》(GB/T14848-93)的Ⅳ类或Ⅴ类标准，说明场地所在区域浅层地下水均已受到不同程度的污染。

(4) 深层地下水水质良好，大部分指标值明显低于浅层地下水。

总的来说，场地附近潜水水质比远离场地的潜水水质要差，且上部地下水中某些指标值大于下部地下水中相应的指标值。

上述水质分析结果表明，场地附近浅层地下水已受到不同程度的污染，虽然浅层地下水的污染不单独由该垃圾填埋场形成，但从垃圾填埋场附近浅层地下水中某些指标值高于远离场地的浅层地下水中的相应指标值看，该垃圾填埋场对地下水的污染不容忽视。从饮用水水质分析结果看，深部的地下水目前尚未受到污染，但随着地下水开采强度的增大，地下水位急剧下降，使得上部受污染的地下水补给下部地下水，从而产生地下水的污染从浅部向深部发展的趋势。

4 讨论

(1) 20 世纪 90 年代，北京兴建的垃圾填埋场，多数是在原地面上堆填形成，由于堆积如山的垃圾堆体底面积较大，在上部荷载作用下防渗层将产生不均匀沉降。一般中心点处的沉降量大于周边的沉降量。地基的不均匀沉降导致防渗层的开裂，为污水下渗提供了通道。

一般而言，深部的土层在上部土层作用下处于固结或超固结状态，其压缩性小，因此在地质环境稳定、渗透性小的土层中开挖后再进行卫生填埋，不仅可增加垃圾的填埋量，而且可降低防渗层的变形。

(2) 垃圾填埋场选址不仅要考虑场地内垂向上土层的分布条件，还应考虑区域地质环境条件，如相对隔水层在水平向分布的稳定性等，此外，应预测垃圾填埋场运行过程中一旦渗漏可能造成的污染范围，在分布有多层地下水的地区，还应充分考虑由于浅部地下水污染可能引起深部地下水污染的问题。

(3) 垃圾填埋场对地下水的污染主要由垃圾体中的渗沥液产生的，因此垃圾填埋场运行过程中尽可能控制渗沥液的产生以及尽快将渗沥液集中收集起来处理十分必要。垃圾填埋前预处理和填埋后控制雨水的入渗是控制渗沥液产生量的有效措施之一。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

地下水水质检测结果　　表 1

检测结果 / 检测项目	4~2	4~1	5~2	5~1	8~2	8~1	10*
	潜水	承压水	潜水	承压水	潜水	承压水	饮用水井(深层水)
	指标值(mg/l)	指标值(mg/l)	指标值(mg/l)	指标值(mg/l)	指标值(mg/l)	指标值(mg/l)	指标值(mg/l)
铁(Fe)	0.21	0.42	0.052	0.18	0.078	0.049	
锰(Mn)	0.76	0.012	2.09	0.045	0.32	0.013	
铜(Cu)	0.012	0.025	0.063	0.014	0.028	0.016	
锌(Zn)	1.85	0.008	1.28	0.007	2.16	0.12	
钼(Mo)	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	
钴(Co)	<0.002	<0.002	0.0035	<0.002	<0.002	<0.002	
汞(Hg)	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
砷(As)	0.0031	0.0026	0.0019	0.02	0.0001	0.0008	<0.007
镉(Cd)	0.0005	0.00051	0.00053	0.00052	0.00051	0.0005	
六价铬(Cr^{6+})	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004
铅(Pb)	0.0008	0.0008	0.00081	0.00081	0.00081	0.0008	0.003
铍(Be)	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	
钡(Ba)	0.25	0.02	1.79	0.02	0.14	0.038	
镍(Ni)	<0.002	<0.002	0.051	<0.002	0.0016	0.0016	
色度	5	10	50	10	5	5	5
pH	7.7	8	6.6	8.2	7.5	9.2	8.08
总硬度(以 $CaCO_3$ 计)	703	136	2620	370	506	171	182
氟化物(F^-)	1.58	1.38	0.33	0.66	0.98	0.63	0.42
硫酸盐(SO_4^{2-})	41.6	98	43.3	57.6	92.7	40.6	107
氯化物(Cl^-)	234	34.8	1510	123	37	35.2	14.6
硝酸盐(NO_3^-)(以 N 计)	0.05	<0.01	0.06	0.03	0.05	0.03	0.443
亚硝酸盐(以 N 计)	0.14	0.29	<0.003	0.2	0.16	0.048	0.019
溶解性总固体(TDS)	1140	480	4570	885	642	294	171
挥发性酚类(以苯酚计)	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
阴离子合成洗涤剂	<0.05	<0.05	0.22	<0.05	0.09	0.11	
高锰酸盐指数(COD_{Mn})	9.71	28.9	44.2	31.4	3.08	6.62	<0.5
碘化物(I^-)	0.12	0.16	<0.05	0.16	<0.05	<0.05	
氰化物(CN^-)	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
氨氮(NH_3-N)	0.77	2.66	2.38	1.93	0.4	0.85	<0.05

*10 水分析结果据清华永新环保有限公司

(4) 生活垃圾降解是放热反应，垃圾堆积体内温度一般较高，如杭州天子岭填埋场垃圾体内的温度在 38~50℃，堆积体底面防渗层长期受较高温度的影响其性状是否发生改变这方面研究很少见到，因此对运行中的垃圾填埋场防渗层在高温、高压下防渗效果的监测研究十分必要。

5 结语

(1) 北京某垃圾填埋场所在区域潜水与浅层承压水的流向基本一致，均为自西北向东南偏南方向流动，反映了潜水与浅层承压水有密切相关的水力联系。

(2) 场地附近潜水水质比远离场地的潜水水质要差，且上部地下水水质比下部地下水水质差，因此该垃圾填埋场对浅层地下水的污染不容忽视。由于场地所在区域广泛分布的水源井构成了透水天窗，在一定程度上增强了各层地下水之间的水力联系，使得地下水污染有可能向深部发展。

(3) 垃圾填埋场形成的堆积体底面积较大，在上部荷载作用下，不同部位将引起差异沉降，破坏防渗层的结构。因此在地质条件允许的条件下，优先采用开挖填埋。

参 考 文 献

[1] 薛禹群. 地下水动力学[M]. 北京：地质出版社，1997.

[2] 庄乐和. 土力学[M]. 地质出版社，1982.

[3] 冯广德，俞觊觎. 垃圾填埋场内垃圾成分变化的研究[J]. 环境卫生工程，2000，(2)：74~75.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net