

# 泰安市第四系水文地质结构对 浅层地下水污染敏感性控制作用研究

马振民 陈鸿汉 刘立才

(中国地质大学水资源与环境工程系,北京 100083)

**摘要:**通过对泰安市第四系水文地质结构研究发现,浅层地下水的污染受地层结构的控制,在包气带岩性及含水层岩性相同的条件下,包气带的厚度越大,其防污性能越高,含水层遭受污染的程度越小;在地面环境质量及包气带岩性和厚度相近的条件下,粗砂含水层较粉质粘土含水层更易遭受污染。

**关键词:**包气带;水文地质结构;污染敏感性。

中图分类号: P641.12; X523 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2000)05-0472-05

**作者简介:**马振民,男,高级工程师,1962年生,中国地质大学(北京)在读博士研究生,现从事水资源环境研究工作。

## 0 引言

地下水污染与防治是目前水文地质学研究的主要领域之一<sup>[1]</sup>。近几十年来,城市化发展带来广泛的地下水资源超采和水质恶化。地下水水位的大幅度降低是人类活动及其对环境影响的指示指标,同时也是引起环境变化的主要原因<sup>[2]</sup>。地下水系统因水文地质条件的复杂性,其污染具有敏感性。浅层地下水尤其是第四系孔隙水为人类活动的主要对象,其污染负荷最大,对污染最为敏感,受水文、气象及水文地质结构控制最为明显<sup>[3]</sup>。本文对泰安市水文地质结构对第四系孔隙水污染敏感性控制作用进行了探讨研究。

## 1 研究区环境状况及水文地质条件概述

研究区位于东岳泰山以南,大汶河以北,包括泰安市区及郊区。西部为低缓丘陵,东部为大汶河冲积平原,中部为泰山山前冲洪积平原,构成山间盆地地貌(图1)。

大汶河为研究区主干河流,其支流滂河、奈河、

双龙河通过泰安市区,为泰安市主要的纳污河道。

研究区几乎全为第四纪冲洪积物所覆盖,由于受古地形控制,第四系分布厚度变化较大,一般厚度10~25 m,局部大于50 m。第四系冲洪积粘性土分布于泰山山前,构成一元结构;冲积砂土沿大汶河、滂河、奈河、双龙河分布,构成二元及三元结构。

冲积砂、砾石含水层富水性强,为本区主要含水层之一,冲洪积粉质粘土构成弱含水层。

第四系孔隙水主要接受大气降水及滂河、奈河及双龙河等地表水补给,地下水位埋深城区为1~5 m,郊区为4~12 m。第四系孔隙水通过其底部的弱透水层以及“天窗”下渗补给岩溶水,构成岩溶水的主要补给来源。

第四系孔隙水主要通过包气带的垂向渗入污染(渗渠、污水坑、化粪池等)、地表水渗入污染及地面塌陷的注入污染等途径接受污染物质。由于城市工业废水和生活污水的排放,致使第四系孔隙水遭受严重污染,1987年以来常量组分TDS、总硬度、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>质量浓度一直有增无减,超标率100%,1995年枯水期检测值分别为1191.3 mg/L,607.6 mg/L,100.0 mg/L,有毒元素Cr<sup>6+</sup>质量浓度超标。孔隙水污染面积已愈30 km<sup>2</sup>。

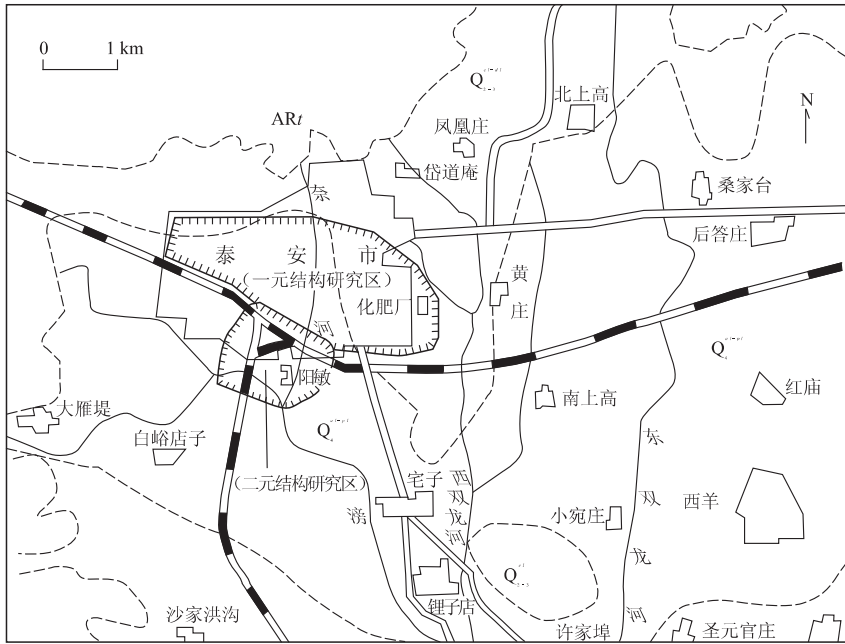


图1 山东省泰安市地质结构示意图

Fig.1 Sketch map showing geological structure of Taian, Shandong Province

表1 泰安城区二元结构包气带厚度与离子(组分)等标指数及绝对增量

Table 1 The relationship between the thickness of double structural vadose zone and the ratios and increments of components in groundwater in Taian city

序号 编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
包气带岩性	B20	M7	BA11	G10	M12	B30	M11	M14	B25	M15	B24	B22	
包气带厚度/m	0	1.20	1.40	1.50	1.90	2.05	2.20	2.40	2.45	3.10	4.15	5.35	
含水层岩性	粗砂	粗砂	粗砂	粗砂	粗砂	粗砂	粗砂	粗砂	中粗砂	中粗砂	中粗砂	细砂	
含水层厚度/m	7.47	2.10	1.90	1.10	6.20	8.05	3.20	2.40	5.60	2.00	2.00	1.85	
I	1985年测试值	2116	955	1355	1315	1376	1219	1427	957	566	1098	632	503
	1960年对照值	415	270	450	440	570	610	620	363	285	730	330	420
	等标指数	5.1	3.5	3.0	3.0	2.4	2.0	2.3	2.6	2.0	1.5	1.9	1.2
	绝对增量 Δc	1701	685	905	875	806	609	807	594	281	368	302	83
II	1985年测试值	1374	521	775	680	502	628	518	475	350	538	361	227
	1960年对照值	370	325	310	250	335	300	235	247	185	415	515	285
	等标指数	3.7	1.6	2.5	2.7	1.5	2.1	2.2	1.9	1.9	1.3	0.7	0.8
	绝对增量 Δc	1004	196	465	430	167	328	283	228	165	123	-154	-58
III	1985年测试值	406.7	94.0	150.0	200.0	151.2	171.7	216.2	110.2	83.7	177.7	70.1	53.0
	1960年对照值	62.0	40.0	60.0	60.0	110.0	95.0	100.0	46.2	40.0	135.0	65.0	110.0
	等标指数	6.6	2.4	2.5	3.3	1.4	1.8	2.2	2.4	2.1	1.3	1.1	0.5
	绝对增量 Δc	344.7	54.0	90.0	140.0	41.2	76.7	116.2	64.0	43.7	42.7	5.1	-57.0

注: I. ρ(TDS)/(mg·L<sup>-1</sup>); II. 硬度/(mg·L<sup>-1</sup>); III. ρ(Cl<sup>-</sup>)/(mg·L<sup>-1</sup>).

## 2 水文地质结构对第四系孔隙水污染敏感性的控制作用

### 2.1 包气带结构特征

(1) 研究区位于污染最严重的铁路三角区地段,

面积 4 km<sup>2</sup>. 第四系水文地质结构及物质组成为:包气带为粉质粘土,含水层为粗砂,富水性强.采用 13 个钻孔(民井)水质分析资料对包气带厚度与离子等标指数(1985 年测试值与 1960 年对照值的比值)及绝对增量相关性进行分析(见表 1 及图 2,3)<sup>[4]</sup>.

表 2 泰安城区一元结构包气带厚度与离子(组分)等标指数及绝对增量

Table 2 The relationship between the thickness of single structural vadose zone and the ratios and increments of components in groundwater in Taian city

序号 编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
包气带岩性	粉质粘土	粉质粘土	粉质粘土	粉质粘土	含砾粘土	含砾粘土	含砾粘土	含砾粘土	含砾粘土	含砾粘土	含砾粘土	
包气带厚度/m	0.40	0.80	1.00	2.00	2.60	2.85	3.00	3.12	3.26	4.05	10.80	
含水层岩性	粉质粘土	粉质粘土	粉质粘土	粉质粘土	粉质粘土	粉质粘土	粉质粘土	粉质粘土	粉质粘土	粘土	粉质粘土	
含水层厚度/m	24.5	8.20	22.70	21.70	20.40	21.00	19.00	46.38	23.04	5.85	15.20	
I	1985 年测试值	1 041	694	1 418	1 064	968	1 006	863	830	571	663	467
	1960 年对照值	495	240	645	485	570	590	615	640	520	660	609
	等标指数	2.1	2.9	2.2	2.2	1.7	1.7	1.4	1.3	1.1	1.0	0.8
	绝对增量 $\Delta c$	546	354	773	579	398	416	248	190	51	3	-142
II	1985 年测试值	642	373	583	454	430	470	478	393	195	157	215
	1960 年对照值	270	167	365	300.0	290	245	265	355	280	315	412
	等标指数	2.4	2.2	1.6	1.5	1.5	1.9	1.8	1.1	0.7	0.5	0.5
	绝对增量 $\Delta c$	372	206	218	154	140	225	213	38	-85	-158	-197
III	1985 年测试值	284.5	74.3	188.0	150.9	112.4	175.2	79.5	88.0	35.9	111.0	43.6
	1960 年对照值	75.0	25.5	120.0	95.0	95.0	90.0	100.0	125.0	120.0	111.0	167.6
	等标指数	3.8	2.9	1.6	1.6	1.2	1.9	0.8	0.7	0.3	1.0	0.3
	绝对增量 $\Delta c$	209.5	48.8	68.0	55.9	17.4	85.2	-20.5	-37.0	-84.1	1.1	-124.0

注: I.  $\rho(\text{TDS})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ ; II. 硬度/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ ; III.  $\rho(\text{Cl}^{-})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ .

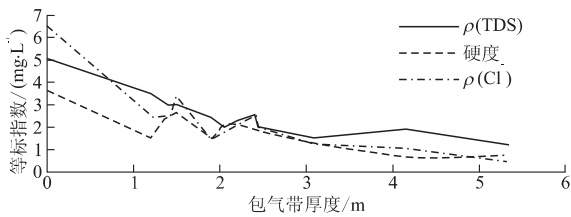


图 2 等标指数与包气带厚度关系曲线

Fig. 2 Relative curves between the ratios of components and the thickness of vadose zone

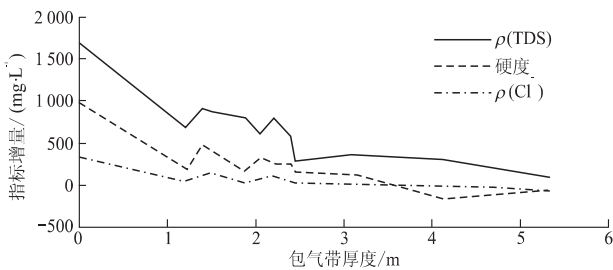


图 3 指标增量与包气带厚度关系曲线

Fig. 3 Relative curves between the increments of components and the thickness of vadose zone

表 1 和图 2, 3 显示:  $\rho(\text{TDS})$ 、硬度、 $\rho(\text{Cl}^{-})$  等标指数及绝对增量随包气带厚度增大而减小; 在污染负荷相近及水文地质结构相同条件下, 包气带厚度控制了孔隙水污染程度, 包气带厚度越小, 其防污性能越弱; 包气带厚度越大, 其防污性能越强。

(2) 该区位于污染最严重的市区中心地段, 面积  $8 \text{ km}^2$ . 第四系水文地质结构及物质组成为: 包气带为粉质粘土或含砾粘土, 含水层为粉质粘土及含砾粘土, 弱富水性. 利用 11 个钻孔及民井水质分析资料, 分析包气带厚度及岩性对地下水污染敏感性的控制作用(见表 2 及图 4, 5)可知, 在污染负荷及包气带、含水层物质组成相同条件下, 孔隙水  $\rho(\text{TDS})$ 、硬度及  $\rho(\text{Cl}^{-})$  等标指数和绝对增量与包气带厚度呈负相关; 包气带厚度控制第四系孔隙水的污染程度, 包气带薄, 其吸附、溶解、沉淀等水文地球化学作用过程短, 包气带对污水的净化程度低, 地下水水质差; 反之, 包气带对污水的净化程度高, 地下水水质好<sup>[5-9]</sup>.

综上所述, 包气带粘性土的厚度与其防污能力成正比. 原因在于: 粘性土的吸附能力强, 包气带的粘性土越厚, 污染物迁移到含水层就越困难, 含水层就越不易污染<sup>[10]</sup>.

## 2.2 含水层介质特征

研究区位于泰安城区, 水文地质结构为一元结构(包气带与含水层岩性相同, 为粉质粘土、粘土)及二元结构(包气带为粉质粘土, 含水层为粗砂), 面积  $16 \text{ km}^2$ . 利用 36 个钻孔(民井)资料, 分析含水层富水性对地下水污染敏感性的控制作用(见表 3).

从表 3 可知, 在污染负荷及包气带岩性厚度相近条件下, 粗砂含水层较弱粉质粘土含水层更易污

表3 泰安市城区粗砂及粉质粘土含水层等标指数及绝对增量对比

Table 3 Comparison of the ratios and increments of components in groundwater in Taian city

包气带厚度	含水层岩性	$\rho(\text{TDS})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$				硬度/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$				$\rho(\text{Cl}^{-})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$			
		等标指数		绝对增量 $\Delta c$		等标指数		绝对增量 $\Delta c$		等标指数		绝对增量 $\Delta c$	
		范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值
<2.00m	粗砂	2.4~5.1	3.4	685~1701	1039	1.5~3.9	2.7	167~1004	513	1.4~6.6	3.3	41.2~344.7	144.0
	粉质粘土	2.1~2.9	2.4	354~733	558	1.6~2.4	2.1	206~372	265	1.6~3.8	2.8	68.0~209.5	108.8
2.00~	粗砂	2.0~2.6	2.2	281~807	573	1.9~2.1	2.0	165~328	251	1.8~2.4	2.1	43.7~76.7	75.2
3.00m	粉质粘土	1.4~2.2	1.8	248~579	410	1.5~1.9	1.7	140~225	183	0.8~1.9	1.4	-20.5~85.2	34.5
>3.00m	粗砂	1.2~1.9	1.5	83~368	251	0.7~1.3	0.9	-154~123	-30	0.5~1.3	1.0	-57.0~42.7	-3.1
	粉质粘土	0.8~1.3	1.0	-142~190	26	0.5~1.1	0.7	-197~38	-101	0.3~1.0	0.6	-124.0~1.1	-61.0

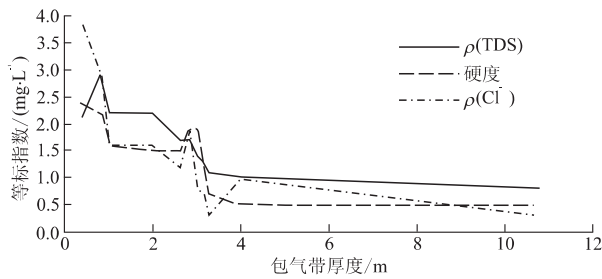


图4 等标指数与包气带厚度关系曲线

Fig. 4 Relative curves between the ratios of components and the thickness of vadose zone

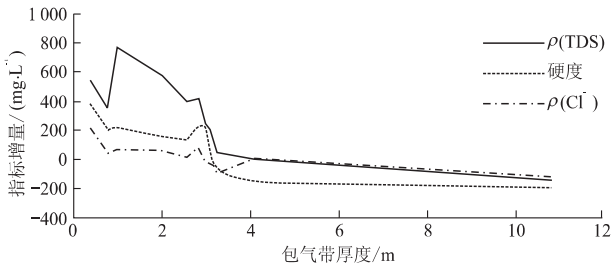


图5 指标增量与包气带厚度关系曲线

Fig. 5 Relative curves between the increments of components and the thickness of vadose zone

染.其原因在于:粉质粘土具有较强的吸附能力,对污染溶质起到良好的净化作用;而粗砂由于颗粒大,吸附能力弱,所以,粗砂含水层较粉质粘土含水层的污染程度重.

### 3 结语

通过对泰安市水文地质结构对第四系孔隙水污染敏感性控制作用的分析,可得出以下几点认识:(1)水文地质结构对第四系孔隙水污染具有控制作用,在相同的水文地质结构条件下,包气带厚度越

大,第四系孔隙水污染越轻,即防污性能越强.在包气带厚度及岩性相近条件下,含水层富水性越强,地下水越易受污染,即防污性能差.(2)在特定的水文地质条件下,第四系孔隙水  $\rho(\text{TDS})$ 、硬度及  $\rho(\text{Cl}^{-})$  具有相对稳定性,可用作评价孔隙水污染敏感性的基本指标,以便定量评价孔隙水的污染敏感性程度.

### 参考文献:

- [1] Malcolm Cox, Hiller J, Foster L, et al. 澳大利亚昆士兰州布里斯班市迅速城市化对地下水的环境影响[J]. 刘吉成,译.地质科学动态,1997, (1): 14~15.
- [2] 姜翠玲,夏自强,刘凌. 污灌对奎河两岸土壤和地下水环境要素的影响[J]. 河海大学学报,1997, 25(5): 114~116.
- [3] 钟佐燊. 地质环境及其功能的控制与开发[J]. 地学前缘,1996, (1): 11~16.
- [4] 王焰新. 水质监测在识别水动力条件中的应用[J]. 地质科技情报,1995, 14(3): 84~90.
- [5] Willian F R, Anastasia E M C. Effect of Africultural land use on groundwater quality in a small Pennsylvania watershed [J]. Groundwater, 1985, (1): 68~79.
- [6] Lerner D N, Papatolios K T. A simple analytical approach for predicting nitrate concentrations in pumped ground water [J]. Groundwater, 1993, (3): 370~375.
- [7] National Research Council. Alternatives for groundwater clean up [M]. Washington D C: National Academy Press, 1996.
- [8] Wiedemeier T H, Swanson M A, Wilson J T. Approximation of biodegradation rate constants for monoaromatic hydrocarbon (BTEX) ground water [J]. GWMR, 1996, Summer: 186~194.
- [9] Nyer E K, Gearhart M J. Plumes don't move [J]. GWMR, 1997, Winter: 52~55.
- [10] 王焰新. 地下水系统的自净能力及其水污染控制意义 [A]. 见:王焰新,编. 中国青年学者论环境[C]. 北京: 中国环境科学出版社,1996. 303~305.

# CONTROLLING EFFECT OF QUATERNARY HYDROGEOLOGICAL STRUCTURE ON CONTAMINATING SENSITIVITY OF SHALLOW GROUNDWATER, TAIAN CITY

Ma Zhenmin Chen Honghan Liu Licai

(Faculty of Water Resources and Environmental Engineering, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The Quaternary hydrogeological structure in Taian shows that the contamination in shallow groundwater is controlled by the Quaternary hydrogeological structure. When the lithology of vadose zone is the same as that of aquifer, the vadose zone is thicker, increasing the pollution-prevention index, so that the contamination in the aquifer is smaller. However, on the similar conditions in surface environmental quality and in lithology and thickness of the vadose zone, the coarse-sand aquifer is easier to contaminate than the silty-clay aquifer.

**Key words:** vadose zone; hydrogeological structure; contaminating sensitivity.

\*\*\*\*\*

## 《地球科学——中国地质大学学报》

2000 年 第 25 卷 第 6 期 要目预告

论油气系统与油气系统动力学 .....	吴冲龙等
南海更新世以来 <i>Botryocorytis scutum</i> (放射虫) 的丰度变化及其地层和古海洋学意义 .....	王汝建
地球空间元数据研究 .....	周成虎等
大别—苏鲁区残余超高压构造及其动力学意义 .....	索书田等
超高压变质作用中相变增压 .....	胡宝群等
辉绿岩脆—塑性变形转化的高温高压实验研究 .....	金淑燕等
东昆仑东端苦海—赛什塘地区晚古生代蛇绿岩的地质特征 .....	王秉璋等
山东蓝宝石资源的特性及其开采利用方向研究 .....	韩 美
琼东南盆地高精度层序地层学研究 .....	魏魁生等
时间谱电阻率法的二维正演算法 .....	孟永良等
地下水资源开发过程中的异常涨落和水量失调期 .....	徐恒力等
软土地基上填土桥坡的工后沉降三维有限元研究 .....	安关峰等
煤层气藏分析的参数与流程 .....	王生维等
论天然气同位素倒转现象——以徐家围子断陷深层天然气为例 .....	黄海平
大别超高压变质过程中部分熔融作用的地球化学约束 .....	凌文黎等