

为 9.23 米,中部为 10.02 米,南部为 9.96 米。对工作面的地表将产生连续的槽形移动盆地。各移动盆地中心充分采动区的下沉值接近最大下沉值,但其它各种变形值较小。各槽形盆地的外边缘区可出现因拉伸而产生的裂缝和正曲率变形,内边缘区可产生较大的挤压和负曲率,而边缘中部区可能产生较大的倾斜变形和水平移动。移动总的延续时间为 30—85 年。地表移动范围一般都比对应的采区范围大。

2. 地表塌陷对矿区的环境影响较大,其中对工业与民用建筑和水资源的影响最为突出。因此,对大型的构筑物、村庄和十里河水源应考虑留设保护煤柱,或采取特殊开采方法和顶板管理措施。

### 参 考 文 献

- [1] 何万龙,煤炭科学技术,(6),46—52(1983).  
[2] 煤炭科学院开采所,煤矿地表移动与覆岩破坏规律及其应用,煤炭工业出版社,1981年。

## 淮北市地下水污染初步研究

邱 志 勇

(安徽省地矿局第一水文地质工程地质队)

淮北市是一个新兴的中等工业城市,是我国重要的煤炭基地之一,近几年来发展较快。随着城市工业的迅速发展和人口增加,对地下水的需求愈加迫切。因此,查明淮北市地下水污染状况以及污染原因,探讨北方型岩溶裂隙水污染机制,为该市地下水污染治理提供依据具有重要意义。

### 一、环境水文地质与水污染

淮北市位于皖北北部,座落在相山东南麓。山体走向北北东。相山东、南、西均为第四纪冲积平原,濉河、岱河由北而南流经市郊。相山主要由寒武系、奥陶系碳酸盐岩组成,岩溶裂隙发育。其周围第四系为冲积相碎屑堆积,岩性在相山东西两侧差异较大。其东侧几乎全是棕红色、青黄杂色亚粘土,尤其是在市区更是如此。仅岱河两侧古河道出现有较薄的砂土或亚砂土。亚粘土中垂向裂隙发育,有利于地下水垂向渗透。相山西侧一般为亚粘土、亚砂土、粉细砂、中粗砂互层,其中砂层总厚占第四系厚度的 30—50%,储存有丰富的地下水。埋藏于第四系之下的基岩地层,在相山东西两侧依次为奥陶系、石炭系、二迭系。碳酸盐岩层破碎强烈,北北东向断层和近东西向张性断层纵横交错,密集分布。由于后期的沉积充填<sup>[1]</sup>,某些张性断裂的导水能力下降,一定程度上起着阻水作用。区域上岩溶裂隙水的分布,补给、迳流、排泄受到构造控制,表现为不均一性。

淮北市地下水主要集中开采区有:相山电厂区

(渠沟),市区,高岳区,棉纺厂区(三堤口)。各开采区地下水开采层位多为奥陶系,部分为石炭系和寒武系。各区均已形成一定规模的区域性水位下降,并且各区降落漏斗之间在某种程度上已经相互干扰。

地下水开采层位——碳酸盐岩层,水量丰富。岩溶裂隙水(简称溶隙水)运动以垂向交替为主。其主要来源是,降水通过灰岩裸露区的直接渗入以及在地下水开采过程中,河流及降水渗入松散岩组含水层,然后以越(渗)流形式补给灰岩含水层。因而灰岩裸露区水文地质环境的好坏对地下水水质优劣有着重大影响<sup>[2]</sup>。

淮北市共有工矿企业数百家,大部分集中在高岳工矿区、市内工业区、三堤口工业区,一小部分分布在郊县。据淮北市环境保护部门统计,1984年全市污水排放量为  $5684.19 \times 10^4 \text{t}$ ,其中工业废水  $4218.27 \times 10^4 \text{t}$ ,含有汞、镉、铬、砷、铅等重金属和酚、氰、石油等有机污染物。市内污水由地下管道通往郊外转入明沟排放,连同三堤口区污水排入老濉河。高岳区污水经土沟排入岱河,均造成水体的严重污染。淮北市历年堆有工业废渣(粉煤灰、炉渣、煤矸石等)  $1652.76 \times 10^4 \text{t}$ ,大都堆放在郊区,一部分用于充填塌陷洼地。废渣中某些污染物经雨水淋溶渗入地下水,影响地下水的水质。

### 二、地下水污染状况

淮北市地下水的污染,可分为第四系孔隙潜水

污染和岩溶裂隙水污染。根据近十年来零散的水质资料证明,地下水中污染物不断增加。

### 1. 第四系孔隙潜水污染

潜水化学类型一般特征:本区以  $\text{HCO}_3\text{-CaMg}$  型水为主,多分布于山前地带,矿化度  $0.4\text{--}0.6\text{g/L}$ ,如高岳-市区-渠沟一带,少数分布于河流两侧以及偏远乡村。局部地段受人为影响,如濉河西侧的杜庙为  $\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{-MgNa}$  型水,高岳以东的溥洼为  $\text{HCO}_3\text{Cl-MgNa}$  型水,高岳马庄为  $\text{HCO}_3\text{Cl-Ca}$  型水,矿化度  $0.7\text{--}1.5\text{g/L}$ 。

从三堤口到濉溪县城一带基本上属于  $\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{-CaMgNa}$  型水,矿化度  $0.5\text{--}1.0\text{g/L}$ 。部分地段

氯化物偏高,矿化度可大于  $1.0\text{g/L}$ 。淮北市高岳、市区附近至三堤口潜水硬度普遍偏高,大多为 25—35 德国度,局部地段低于 25 德国度。城市远郊硬度一般低于 25 德国度 pH 值 7—8。

近几年潜水中污染物含量连年增加,其中氰和酚的检出率分别为 66.7% 和 22.2%。虽然有些成分并未超过国家饮用水标准,但却反映了潜水水质有恶化的趋势。例如濉溪县老县政府井总硬度、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$  明显增加(图 1)。濉溪县城  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  含量分别达到  $250\text{--}350\text{mg/l}$  和  $60\text{--}72\text{mg/l}$ 。其它地段  $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  三项也常被同时检出,尤其是城市近郊大多利用污水灌溉,使得潜水中

表 1 污染区潜水检测结果(单位: mg/L)

位置		$\text{NO}_3^- \text{-N}$	$\text{NO}_2^- \text{-N}$	$\text{NH}_4^+ \text{-N}$	COD	游离 $\text{CO}_2$	锰	铁
市区外围	渠沟东	0.18	0.365	0.233	5.3	33.0	0.03	0.2
	方顶	2.17	0.523	0.187	1.9	8.8	0.05	0.48
	劳动局枝校	10.39	0.158	0.047	1.1	10.3	0.39	0.2
	朱庄	1.35	0	0.031	1.4	28.8	0.53	3.4
高岳	徐圩	0.14	0.152	0.031	3.7	20.4	0.04	0.12
	马庄	9.85	0.231	0.093	1.4	17.9	0.10	0.02
对照区		0—1.53	0—0.012	0	0.3—0.8	6—14	—	0.1—0.3

注:检测时间:1985年5月

“三氮”等增长幅度较大(表 1)。由于微生物分解有机质而产生一定量的游离  $\text{CO}_2$ ,使潜水处于还原条件占优势的环境<sup>[3]</sup>。

### 2. 岩溶裂隙水污染

由于淮北市几个地下水集中开采区有的不属于同一个水文地质单元,因此溶隙水在水化学类型上也表现出一定的差别。

高岳-市区-渠沟属于同一个大的水文地质单元,溶隙水水化学类型主要为  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  型水以及  $\text{HCO}_3\text{-CaMg}$  型水,仅在位于灰岩裸露区的两个排灰池附近水化学类型为  $\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{-CaMg}$  型水。矿化度一般为  $0.3\text{--}0.6\text{g/L}$ ,总硬度 15—22 德国度。三堤口水化学类型则为  $\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{-CaMg}$  型水,矿化度  $0.6\text{--}0.7\text{g/L}$ ,总硬度 23—26 德国度。全区 pH 值 7—8。

淮北市地处半山坡,污水极易沿岩溶裂隙下渗污染地下水,已有的资料证实,人们的活动已不断影响到地下水水质,高岳-市区-渠沟各处均受到不同程度的污染。如高岳皇后窑(如图 2),市区中心(如图 3)溶隙水中  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、总硬度、化学耗氧量、矿化度均有随时间增长的趋势。高岳区酚和氰的检

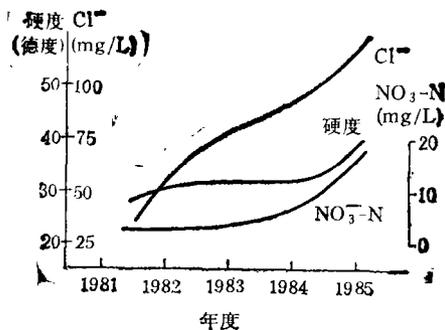


图 1 老县政府井潜水离子动态曲线

出率为 66.7%,其中在高岳的煤炭 30 处废井 1982 年停用前曾测得水中挥发性酚  $0.014\text{mg/L}$ ,并且水质颜色呈微黄绿色,有异味。分别位于市医院和矿工医院附近的自来水公司 8 号井和 2 号井,1984 年 10 月 4 日测得水中大肠杆菌群分别为 161 个/L 和超过 230 个/L,远远高于国家饮用水标准 3 个/L。高岳和市中心  $\text{NO}_3^- \text{-N}$  含量都偏高,只有  $\text{NO}_2^- \text{-N}$  和  $\text{NH}_4^+ \text{-N}$  较潜水低(表 2)。因此到 1985 年 6 月止,高岳区已有数口基岩井因水质不良而报废。

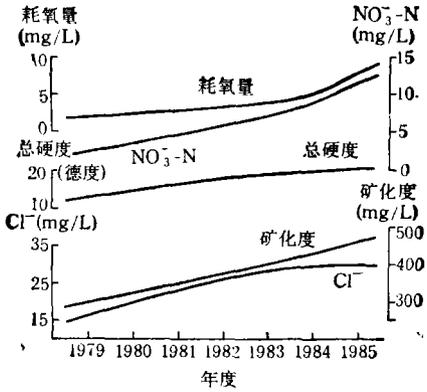


图 2 皇后窑地下水离子动态曲线

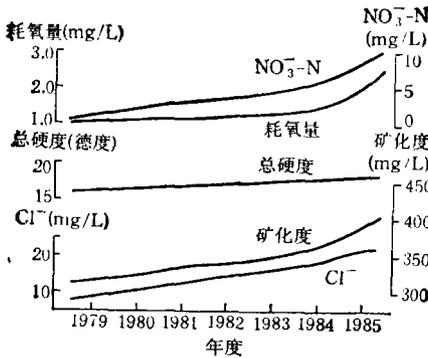


图 3 市中心地下水离子动态曲线

表 2 污染区溶隙水检测结果(单位: mg/L)

位置		COD	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N
高岳	36处老井	6.2	21.68	0.003	0.047
	土石方公司井	2.7	10.66	0.243	0.031
	910厂井	8.8	12.42	0.001	0.062
市区	市医院住院部井	1.1	11.29	0.006	0
	水厂1号井	2.5	9.94	0.024	0
对照区		0.7—1.1	0.18—0.72	0	0

注: 检测时间: 1985年5月。

### 三、地下水污染程度

首先分别求得选择因子的区域背景值和地下水污染起始值, 然后求解出各区地下水综合污染指数, 进行地下水污染程度分区。

1. 区域背景值。 本区缺乏完整的多年系列水质监测资料, 因此只能采用水文地质条件相似的对照区(“未污染区”)的水质资料, 通过统计计算出其地下水区域背景值<sup>[4]</sup>, 解得各因子区域背景值见表3。

2. 污染起始值。 地下水污染起始值表示地下水开始发生恶化的某些物质的起始含量。通过与对

表 3 地下水某些化学因子的区域背景值和污染起始值

地下水类型	水文地质分区	类别	总硬度(H°)	COD(mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	酚(mg/L)	CN <sup>-</sup> (mg/L)	Fe(mg/L)	Mn <sup>2+</sup> (mg/L)
岩溶裂隙水	高岳市区	区域背景值	13.51 -19.09	0.60 -1.79	4.36 -14.18	3.20 -10.60	0 -0.025	0 -0.011	0 -0.0001	0 -0.001	0.004 -0.066	0 -0.023
		污染起始值	21.88	2.52	19.08	15.37	0.0403	0.0183	0.00015	0.0015	0.097	0.039
	三堤口	区域背景值	21.79 -25.83	0.148 -2.04	27.24 -49.60	3.00 -6.24	0 -0.034	0 -0.015	0 -0.0001	0 -0.0015	0.10 -0.34	0 -0.18
		污染起始值	27.85	2.99	62.00	8.12	0.053	0.025	0.00015	0.0025	0.48	0.29
潜水	全区	区域背景值	17.83 -22.21	0.30 -0.55	21.18 -46.28	0 -1.59	0 -0.031	0 -0.029	0 -0.0001	0 -0.001	0.048 -0.192	0.022 -0.064
		污染起始值	25.35	0.75	58.83	2.47	0.049	0.047	0.00015	0.0015	0.264	0.084
饮用水标准			25	1.0	200	45	0.03	0.05	0.002	0.05	0.3	0.1

注: COD, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 参照国内部分地方以及欧洲经济共同体等组织制定的饮用水标准[5]。

照区比较, 由公式求得各因子地下水污染起始值(见表3)。

3. 综合污染指数。 根据地矿部水文地质研究所提出的污染指数方案进行计算\*, 解出各地段地下水综合污染指数, 所得结果基本上能满足污染区划分

的要求。 依污染指数的变化范围进行地下水污染程度分区(见表6), 并且从图上也可直观地看出各地

\* 中国环境科学学会环境质量评价专业委员会编, 环境质量评价方法指南, 140—147页, 1982年。

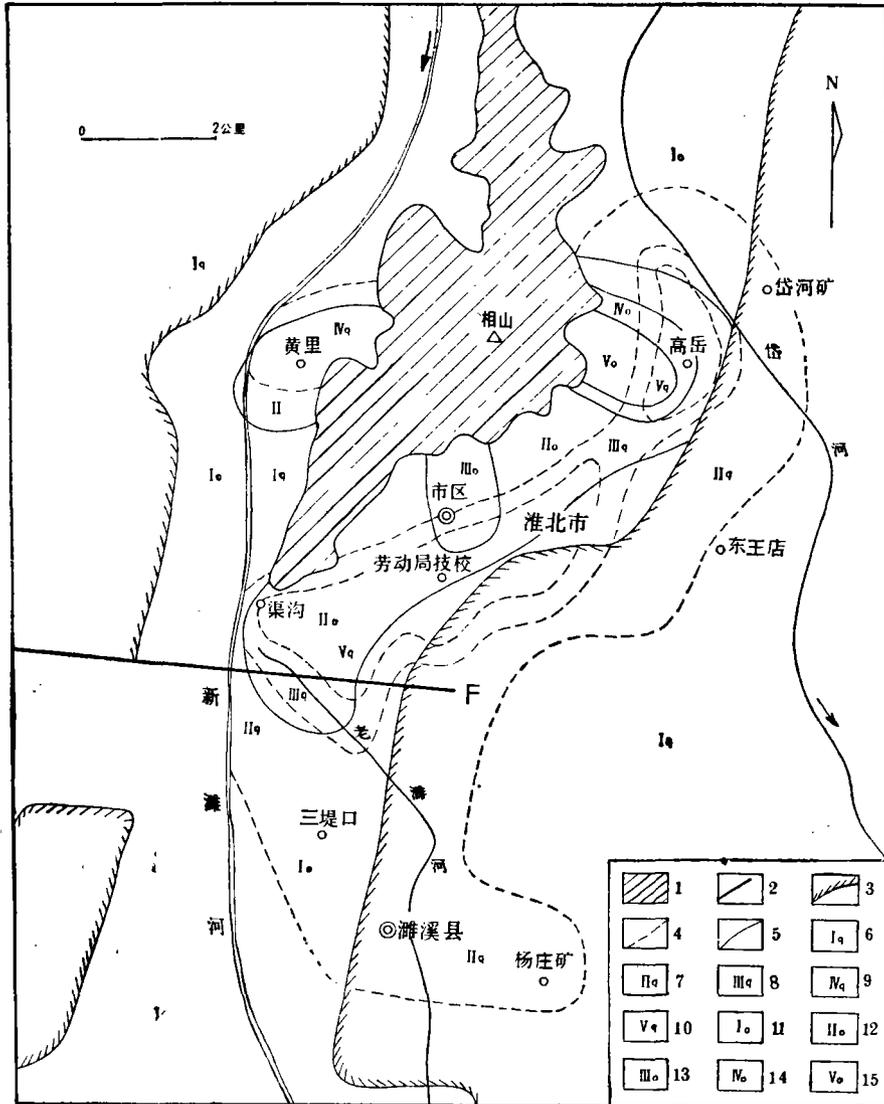


图 4 淮北市地下水污染程度分区图

- 1. 灰岩裸露区 2. 弱导水断层 3. 溶隙水隔水边界 4. 潜水污染分区界线 5. 溶隙水污染分区界线 6. 潜水未污染区 7. 潜水轻污染区 8. 潜水中等污染区 9. 潜水重污染区 10. 潜水严重污染区 11. 溶隙水未污染区 12. 溶隙水轻污染区 13. 溶隙水中等污染区 14. 溶隙水重污染区 15. 溶隙水严重污染区

段地下水的污染程度(如图 4)。

#### 四、地下水污染机理探讨

1. 潜水污染 主要为面状和带状污染。由于市内污水沿土沟排泄,从而造成市区外围潜水大面积污染以及排污沟两侧的带状污染。土壤经淋滤,溶解出易溶的钙镁硫酸盐等组分,使水中总硬度、 $SO_4^{2-}$  普遍增高。并且污灌区潜水明显地处于缺氧的还原环境,厌氧生物分解引起硝酸盐还原作用,造成

$NO_3^-$ 、 $NH_4^+$  含量较高,在一定范围内也使得铁、锰含量偏高(见表 1)。

濉溪县城生活污水大多直接渗入地下,潜水中总硬度、 $Cl^-$ 、 $NO_3^-$ -N 逐年增加(如图 1)。矿区煤渣、煤堆经过雨水淋滤,使微量元素溶解后渗入地下,表现为微量元素增长的轻度污染。但黄里煤灰池经淋滤而出现潜水较重污染。

渠沟、老濉河一带由于潜水含水层以砂性土为主,污染物易水平运移和扩散,影响范围较大,并且

表 4 地下水综合污染指数分级

地下水类型	等级划分	污染程度	污染指数	1985年枯水期分布范围
岩溶裂隙水	I <sub>0</sub>	未污染	<9	徐里, 支架厂以北, 三堤口以南和以西
	II <sub>0</sub>	轻污染	9—19	黄里, 渠沟, 老滩河, 市东西区, 高岳外围
	III <sub>0</sub>	中度污染	19—30	市中心
	IV <sub>0</sub>	重污染	30—40	高岳严重污染区外围
	V <sub>0</sub>	严重污染	>40	高岳机械配件厂, 910厂
潜水	I <sub>q</sub>	未污染	<9	外围
	II <sub>q</sub>	轻污染	9—19	杨庄矿, 三堤口, 东王店, 岱河矿
	III <sub>q</sub>	中度污染	19—30	严重污染区外围宽约200米地段
	IV <sub>q</sub>	重污染	30—40	黄里
	V <sub>q</sub>	严重污染	>40	高岳, 方顶, 劳动局技校, 渠沟

可渗入岩溶裂隙水。高岳、劳动局技校一带主要为粘性土, 垂向裂隙发育, 易使污染物垂向渗透, 可直接渗入裂隙水中, 但水平方向运移能力低, 污染物扩散范围较小。例如, 位于相距数百米的两个简易排污沟之间的李楼矿务局职工学校水井, 几乎没有受到污水的影响。

地下水中的污染物是按照一定规律在含水层三维空间内扩散、运移和变化的<sup>[6]</sup>。进入潜水的污染物, 在垂向裂隙发育的粘性土中水平方向的扩散较垂直方向的运移要弱得多。在无干扰的条件下, 污染物进入潜水后, 即随潜水垂向运动, 同时逐渐沿水平方向扩散, 平面上形成严重污染与轻度污染之间比较明显的界线。在垂直方向上潜水的污染程度却是随着深度增加逐渐减小。而在渠沟、老滩河一带潜水含水层主要为砂性土地段, 情况却相反。因此粘土区潜水污染范围一般多局限于污灌区以及排污沟两侧附近。

2. 岩溶裂隙水污染 岩溶裂隙水的污染程度及其范围取决于污染物的排放和地质构造条件对其污染的控制作用。本区的主要污染类型为下渗型和越流型。

位于灰岩裸露区的工厂、医院等单位利用冲沟任意排泄污水, 大量废水直接沿溶洞、裂隙、断层渗入地下。例如高岳某化工厂排出的废水大部分还未流出厂区就已渗漏。高岳已成为岩溶裂隙水污染最

为严重地段, 污染指数最高可达 100。另外市区内排放的污水部分沿地下管道渗漏, 直接渗入地下造成裂隙水中度污染, 大肠菌群远远超过国家饮用水标准。尤其是两个医院都地处半山坡, 地下排污设施不完善, 是市区裂隙水污染的主要因素之一。

淮北市岩溶裂隙水的大量开采, 造成潜水越(渗)流补给。由于市中心外围潜水的严重污染, 其越(渗)流势必影响到裂隙水水质。潜水污染区粘性土中发育的垂向裂隙, 成为污染物向下运移的良好通道。但粘土的吸附作用<sup>[7]</sup>和裂隙水强烈的迳流条件, 可使较广范围遭到轻度污染。例如在黄里和渠沟附近的粉煤灰池通过雨水淋滤, 周围裂隙水则遭到某些元素的轻度污染。

本区碳酸盐岩层受到地质构造运动的强烈影响, 岩层破碎程度高, 各种断层呈网格状密集分布, 为地下水的运动和贮存创造了良好条件。裂隙水开采期间的补给途径除通过灰岩裸露区直接接受降水入渗外, 第四纪孔隙潜水通过垂向越(渗)流又是另一个补给源。因此, 污染物常常通过这两种途径进入地下而污染裂隙水。但裂隙水的污染范围又多受构造控制及地下水开采规模的影响。

虽然本区各种基岩断层发育, 在燕山期以后处于缓慢地沉降过程, 断层受到后期粘土和化学物质的沉淀和堆积充填, 降低了断层的导水能力, 在一定程度上起到阻水作用, 部分成为弱导水断层, 从而限制了部分地段裂隙水的污染扩散。高岳裂隙水的污染范围就是受到这种断层的控制, 延缓污染物向南北的扩散速度, 其表现为从严重污染区到轻度污染区比较突然的演变过程。但是这种延缓程度是有限的, 随着南北两侧裂隙水开采规模的扩大, 污染区开采井报废停用, 水头上升, 势必增加侧向迳流的水力梯度, 加速地下污水的南北扩散<sup>[8]</sup>。只有市中心中度污染区位于区域裂隙水降落漏斗中心, 处于强迳流带, 地下水中污染物向四周扩散则是很微弱的。因此, 加速对排放污水的治理, 合理开发利用地下水资源已成为当地有关部门急待解决的问题。

### 五、结 语

淮北市地下水污染, 其根本原因在于城市工业布局不当, 工业废水和生活污水不合理排放所致。而地下水污染治理又是相当困难的, 应引起有关部门给予足够的重视。

对已遭受污染的水源地不宜简单地将开采井报废, 而应进行积极防治。可将这样的水源作为生产

(下转第46页)

$$= 18.46 \mu\text{m}$$

因  $\varphi_0 \left( \frac{\ln \frac{x_c}{x_g}}{\ln \sigma_g} \right) = \varphi_0(0.1065) = 0.543$ , 故  $x_i \geq x_c$

的油滴脱除率

$$E_1 = 1 - \varphi_0 \left( \frac{\ln \frac{x_c}{x_g}}{\ln \sigma_g} \right) = 0.457$$

又  $\varphi_0 \left( \frac{\ln \frac{x_c}{x_g}}{\ln \sigma_g} - 2 \ln \sigma_g \right) = \varphi_0(-1.20) = 0.115$  故  $x_i < x_c$  的油滴脱除率

$$E_2 = \frac{L}{h} \frac{K}{u_0} \cos \theta x_g^2 \exp(2 \ln \sigma_g)$$

$$\cdot \varphi_0 \left( \frac{\ln \frac{x_c}{x_g}}{\ln \sigma_g} - 2 \ln \sigma_g \right) = 0.231$$

油滴总脱除率  $E = E_1 + E_2 = 0.688$

(上接第94页)

用水, 加快地下水循环, 促使其自然净化。否则有可能使已污染的地下水水位(头)上升, 造成污染物扩散的趋势。

对地下水污染防治, 首先应建立严格的卫生防护带, 其范围应包括严禁带和限制带。对于碳酸盐岩含水系统上覆第四纪潜水, 应避免受到污染, 已治理的污水可由无渗漏的排污管道排往一定距离以外的第四纪粘土区。防护带内有化学毒物排放或废水难以治理的工厂, 应实行转产或搬迁。市政部门应该加强对城区排污管道的科学管理和防渗维修。

### 参 考 文 献

[1] 中国地质学会岩溶专业委员会编, 中国北方岩溶和

出水中油含量为  $158(1-0.688) = 49.3$  mg/l

### 参 考 文 献

- [1] Morrison, J., *J. Oil & Gas*, 68(50), 86(1970).
- [2] 石油工业部计划司, 炼油工业环境保护, 104 页, 石油工业出版社, 北京, 1985 年.
- [3] Tramier, B., *Proceedings of the Institute of Petroleum*, No. 2, 1P84-011, The Institute of Petroleum London, 1984.
- [4] Azad, H. S., *Industrial Wastewater Management Handbook*, pp. 8-31, McGraw-Hill Book Co., New York, 1976.
- [5] 井出哲夫等, 水处理工程理论与应用, 张自杰等译, 31 页, 建工出版社, 北京, 1986 年.
- [6] Churchill, R. J. & Burkhardt, C. W., *J. Oil & Gas*, 74(24), 76(1976).
- [7] Wiesmann, U. & Binder, H., *Filtration & Separation*, 22(5), 302(1985).
- [8] Bennett, C. O. & Myers, J. E., *Momentum, Heat and Mass Transfer*, p. 117, McGraw-Hill Book Co., New York, 1982.
- [9] Hazlett, R. D. et al., *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, 24(1), 101(1985).

岩溶水, 10-13 页, 地质出版社, 1982 年.

- [2] G. L. Larson et al., *Ground Water*, 24 (2), 166-172(1986).
- [3] 麦克拉伦等著, 闵九康等译, 土壤生物化学, 464 页, 农业出版社, 1984 年.
- [4] 王秉忱、杨天行等编著, 地下水污染地下水水质模拟方法, 北京师范学院出版社, 1985 年.
- [5] 吉林省图书馆编译, 国外环境标准选编, 57 页, 中国标准出版社, 1984 年.
- [6] Bouwer, H., *Groundwater Hydrology*, McGraw-Hill Book Company, N., Y. 1978.
- [7] 丘丘诺娃, 等著, 张先起译, 防止地下水污染的水质预测, 125-145 页, 地质出版社, 1985 年.
- [8] Roxburgh, I. S., *Water Resources Research*, 21 (4), 616 (1985).