

监测与评价

地下水环境评价及预测浅析

钱建英

(煤科集团杭州环保研究院有限公司,浙江 杭州 311201)

摘要:结合《环境影响评价技术导则 地下水环境》(HJ 610-2016)要求,通过具体案例分析地下水环境影响评价及预测的过程,案例中采用地下水预测模型系统 GMS 模拟地下水流场。根据案例预测结果,污水站主要构筑物发生污水渗漏或溢流事故后污染物的下渗均会对地下水环境造成影响且发生超标现象,在 10 000 d 时仍存在浓度超标的区域。

关键词:地下水 环境评价 预测浓度 影响

中图分类号:X82 文献标识码:A 文章编号:1006-8759(2018)01-0055-04

ANALYSIS OF GROUNDWATER ENVIRONMENT
ASSESSMENT AND PREDICTION

QIAN Jian-ying

(Hangzhou Environmental Protection Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group, Hangzhou 311201, China)

Abstract: Groundwater environmental impact assessment and prediction procedures were analyzed through a specific case based on "Technical guidelines for environmental impact assessment — groundwater environment" (HJ 610 -2016) requirements and practical work experience. Groundwater Modeling System (GMS) was used to modeling groundwater flow field in this case. The result shows that after sewage leakage or overflow accidents in main structures of sewage pumping station, the infiltration of pollutants impacts the groundwater environment and leads to over -standard concentrations. Areas with excessive concentrations remains 10000 days after sewage leakage or overflow accidents.

Key words: groundwater; environmental assessment; Predicting concentration; Influence.

《环境影响评价技术导则 地下水环境》(HJ 610-2011) 的实施弥补了我国现行环境影响评价标准体系的不足,引起了对地下水环境影响评价的重视。地下水环境影响评价是最近几年才陆续开展的,而过去大多只进行地表水环境影响评价。随着经济的发展,环境污染和环境影响问题越来越多,环境污染呈现出多元性、累积性、潜在性的发展趋势,污染物质由地表土壤层渗透到含水层进而污染地下水,再经过迁移转化,污染物质扩散到其他环境,故地下水环境影响评价工作的开展

显得尤为重要,本文主要通过具体案例分析地下水环境影响评价及预测的过程。

1 地下水动力场模拟预测

1.1 水文地质概念模型

水文地质概念模型是对地下水系统的科学化,是为了适应数学模型的要求而对复杂的实际系统的一种近似处理,是地下水系统模拟的基础。建立水文地质概念模型的目的在于把含水层实际的边界性质、内部结构、渗透性质、水力特征和补给排泄条件概化为便于进行数学与物理模拟的基

本模式。在此将本次研究区域地下水系统的内部结构、水力特征、边界条件及其补径排条件进行概化,从而建立项目区的水文地质概念模型。

评价范围位于临近海域环境,根据区域水文地质特征、现状地下水水位和河流水位监测结果,将项目周边河流作为模拟区边界,模拟区内另存在若干小河流。

垂向边界:模型上表面接受大气降雨和地表水入渗补给,下表面为隔水边界。因此,项目模拟区地下水系统可概化成均质各向同性、空间三维结构、稳定地下水流系统。

1.2 数学模型

本文预测采用地下水预测模型系统 GMS (Groundwater Model System) 来模拟地下水流场, GMS 是由 Brigham Young university 的环境模型实验室和美国军工水道实验站合作开发,具有强大的图形界面,是综合化的地下水模型构建和数值模拟环境的软件包,其核心计算程序是美国地质勘探局 McDonald 和 Harbough 于 1988 年开发的并经不断修改完善的 MODFLOW 模型,采用可变有限差分网络,单元中心算法,可求解饱和和地下水的稳定和非稳定三维流动问题。MODFLOW 模型的地下水水流微分方程如下,其与地下水导则推荐的方程相同。

$$\begin{cases} S \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial h}{\partial z} \right) + \varepsilon & x, y, z \in \Omega, t \geq 0 \\ \mu \frac{\partial h}{\partial t} = K \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)^2 + K \left(\frac{\partial h}{\partial y} \right)^2 + K \left(\frac{\partial h}{\partial z} \right)^2 - \frac{\partial h}{\partial z} (K+p) + p & x, y, z \in \Gamma_0, t \geq 0 \\ h(x, y, z, t)|_{z=0} = h_0 & x, y, z \in \Omega, t \geq 0 \\ \frac{\partial h}{\partial n} \Big|_{\Gamma_1} = 0 & x, y, z \in \Gamma_1, t \geq 0 \\ K_n \frac{\partial h}{\partial n} \Big|_{\Gamma_2} = q(x, y, t) & x, y, z \in \Gamma_2, t \geq 0 \\ \frac{(h_1 - h)}{\sigma} - K_n \frac{\partial h}{\partial n} \Big|_{\Gamma_3} = 0 & x, y, z \in \Gamma_3, t \geq 0 \end{cases}$$

式中: Ω -渗流区域; h -含水层的水位标高(m); K -渗透系数(m/d); K_n -边界法向方向的渗透系数(m/d); S -自由面以下含水层储水系数; μ -潜水含水层在潜水面上的重力给水度; ε -含水层的源汇项(1/d); p -潜水面的蒸发和降水等(1/d); h_0 -含水层的初始水位分布(m); Γ_0 -渗流区域的上边界,即地下水的自由表面; Γ_1 -渗流区域的水位边; Γ_2 -渗流区域的流量边界; \hat{n} -边界面的法线方向。

本次模拟采用三维地下水流及污染物运移模拟软件 GMS 10.1 来模拟地下水流过程,项目可能影响的地下水为潜水含水层,因此本次模拟上部潜水含水层。模拟区单元网格剖分按网格间距为

20 m,共计 27 412 个计算网格。

1.3 模型的识别与验证

模型的识别与验证过程是整个模拟中极为重要的一步工作,通常要在反复修改参数和调整某些源汇项基础上才能达到较为理想的拟合结果。此模型的识别与检验过程采用的方法称为试估-校正法,属于反求参数的间接方法之一。

将 2016 年 6 月潜水含水层流场拟合图和 2016 年 6 月潜水等水位线图比对发现,两者结果基本一致。上述结果表明,所建立的模拟模型基本达到模型精度要求,符合水文地质条件,基本反映了地下水系统的水力特征,可利用模型进行地下水位和溶质扩散计算。

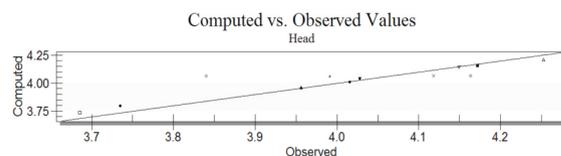


图 1 2016 年 6 月潜水水位实测值与计算值比对

通过模型识别验证,得出模拟区地下水系统水量均衡结果见表 1。由表可以看出,模拟区在模拟期内的水量补排基本平衡。

表 1 模拟期潜水含水层均衡 单位: $\times 10^4 \text{m}^3$

均衡要素	补给量				排泄量				
	人工计算	模型识别	误差	百分比	要素	人工计算	模型识别	误差	百分比
降雨入渗	270	271.0	1.0	0.37	蒸发量	258.75	258.8	0.05	0.019
侧向补给	0.25	0.19	-0.06	-24%	侧向排泄	11.55	12.1	0.55	4.76
总量	270.25	271.19	0.94	0.35	总量	270.30	270.9	0.60	0.22

1.4 场地地下水水质模拟预测

本次地下水污染模拟过程未考虑污染物在含水层中的吸附、挥发、生物化学反应,模型中各项参数予以保守性考虑。

1.4.1 溶质运移数学模型

地下水中溶质运移的数学模型采用 GMS 的 MT3DMS 计算模块,其是一个三维有限差分数值模型,用于分析地下水中的溶质间的对流、扩散和化学反应的数值模拟,MT3DMS 是在完成了 MODFLOW 模拟后进行的,利用 MODFLOW 建立的流场提供的网格水头值和网格间通量值,求解溶质扩散迁移方程,即可计算溶质运移过程。溶质运移扩散方程可用下式表示,溶质扩散是一个随时间变化的过程:

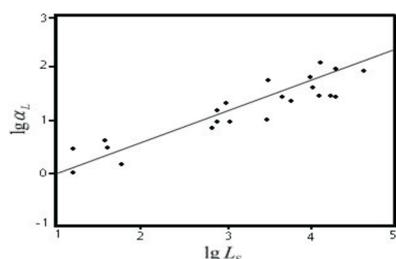
$$R\theta \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\theta D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (\theta v_i C) - WC_s - WC - \lambda_1 \theta C - \lambda_2 \rho_b \bar{C}$$

式中: R -迟滞系数,无量纲; ρ_b -介质密度; θ -介质孔隙度; C -污染物组分; \bar{C} -介质骨架吸附的溶质浓度; t -时间; X_i -空间坐标; D_{ij} -水动力弥散系数; W -水流的源和汇; C_s -组分的浓度。 λ_1 -溶解相一级反应速度, λ_2 为吸附相反应速度,为保守计,本模型中不考虑溶解和吸附过程。

联合求解水流方程和溶质运移方程即可获得污染物空间分布关系。根据本次场地的研究尺度和地勘资料,模型计算中纵向弥散度选用 15 m,结合场地地下水水位梯度(约 0.0004)、潜水层渗透系数(约 0.35 m/d)和有效空隙度 0.46,可计算出纵向弥散系数为 $4.6 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{d}$,根据经验,横向弥散系数取 $4.6 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{d}$ 。

表 2 预测参数取值

项目	渗透系数 k (m/d)	水力坡度 I	有效 孔隙度 n	纵向弥散系数 (m^2/d)	横向弥散系数 (m^2/d)
取值	0.35	0.0004	0.46	4.6×10^{-3}	4.6×10^{-4}

图 2 孔隙介质二维数值模型的 $\lg \alpha_L - \lg L_S$

1.4.2 地下水污染预测情景设定

项目产生的污水经厂内预处理后纳入污水管网,接入污水处理厂处理达标后排放,由于调节池和事故应急池等构筑物均经过防水、防腐蚀、防渗土工膜等措施,能够起到良好的防渗效果,正常情况下都不会渗漏,不会对地下水产生影响。

非正常工况是指通过常规监测井数据分析,发现项目某生产单元出现泄露事故时的情景。项目污水调节池和事故应急池等均有可能是地下水的主要潜在污染源,服务期中(期满后)污水处理站调节池发生裂缝渗漏,或因非正常工况,引起事故应急池溢流等,均可能导致污染物下渗污染地下水,因此项目主要分析污水调节池和事故应急池对地下水的影响。

1.4.3 污染物浓度检出限和水质标准

项目地下水水质标准执行《地下水水质标准》(GB/T14848-93)中的 III 类标准,地下水影响评价时,将模型计算所得的浓度增量值和本底值进行叠加后,对照水质标准进行评价。模型计算时 COD_{Cr} 源强按 COD_{Mn} 计算,因《地下水水质标准》中无 COD_{Cr} 标准,因此评价时将 COD_{Cr} 转化为 COD_{Mn} 进行评价。

表 3 主要污染物检出限、标准值及本底值

污染物	标准值(mg/L)	本底值(mg/L)
COD_{Mn}	3.0	3.99
氨氮	0.2	0.141

注: $\text{COD}_{Cr} : \text{COD}_{Mn} = 2.5$

2 地下水预测结果

2.1 调节池发生渗漏

项目污水站主要构筑物包括综合调节池、厌氧池、兼氧池和好氧池等,具体尺寸各不相同,而每种构筑物都存在墙体破裂造成污水渗漏的可能性,无法事先确定,给后续预测源强计算带来较大困难,因此本文假设其中一个构筑物如综合调节池发生破裂渗漏,因构筑物材料(钢砼)以及所处的场地土体性质基本一致,因此具有一定的代表性。根据污水处理站设计方案,综合调节池尺寸为 $16 \times 16 \times 4.5 \text{m}$,假设调节池发生长度 16 m、宽为 0.05 m 的破损裂缝,造成泄露,污水通过破损处,短时间内持续下渗入潜水含水层。根据地勘报告,上层土体冲填土及砂质粉土层水平渗透系数约在 0.35~0.46 m/d。不考虑渗漏过程中包气带对污染物的吸附阻滞过程,视为污染物全部进入潜水含水层,则日渗漏量约为 $0.37 \text{m}^3/\text{d}$,假设渗漏持续时间为 10 d,则总渗漏量为 3.7m^3 ,主要污染物浓度为 COD_{Cr} 为 4 135 mg/L,氨氮为 73 mg/L。

表 4 综合调节池渗漏污染物源强

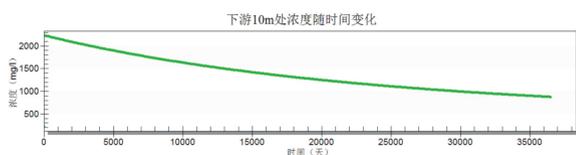
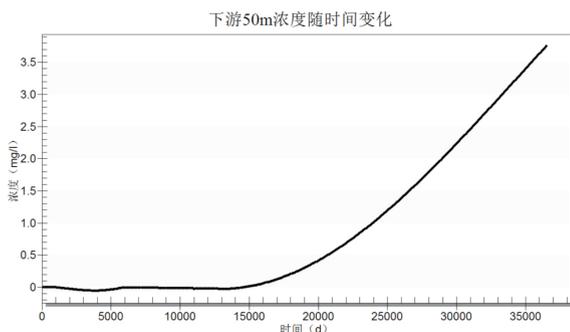
序号	情景	渗漏量 m^3/d	源强(kg/d)	
			COD_{Cr} 渗漏量	$\text{NH}_3\text{-N}$ 渗漏量
1	调节池渗漏	0.37	1.53	0.03

图 3 和图 4 是渗漏点下游 10 m 和 50 m 处, COD_{Mn} 浓度随时间变化的过程曲线,从图可知,污染物渗漏前期,扩散作用以浓度梯度作用为主,后期则以地下水流速作用为主。渗漏开始时,浓度比较高,梯度比较大,所以刚开始以浓度梯度扩散为主,另外由于项目所在地潜水含水层流速极小,污染物扩散速度极其缓慢,污染物不易扩散,发生渗

漏事故后极长时间内,如 15 000 d、20 000 d 甚至更长,污染晕边界才到达下游 50 m 处。

表 5 综合调节池渗漏污染预测结果

运移时间	COD _{Mn}		氨氮	
	最大超标距离(m)	超标范围(m ²)	最大超标距离(m)	超标范围(m ²)
100 d	31	3 074	29	2 956
1 000 d	33	3 298	30	3 110
3 650 d(10a)	38	3 554	32	3 354
10 000 d	47	4 010	37	3 980

图 3 下游 10 m 处, COD_{Mn} 浓度增量随时间变化图 4 下游 50 m 处, COD_{Mn} 浓度增量随时间变化

2.2 事故应急池发生溢流

项目设计事故应急池容量为 2 400 m³, 假定发生特大事故, 废水量短时间内急剧增加, 应急池存储能力不能满足需求, 致使溢流, 若按应急池总容量的 5% 考虑, 则事故应急池一次性溢流量约为: 2 400 m³ × 5% = 120 m³, 持续时间按 1 h 计, 主要污染物浓度为 COD_{Cr} 为 4 135 mg/L, 氨氮为 73 mg/L。

表 6 事故应急池溢流污染源强

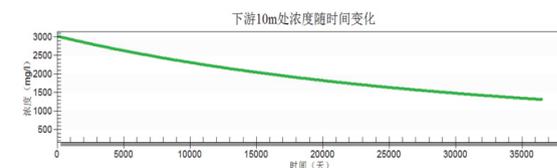
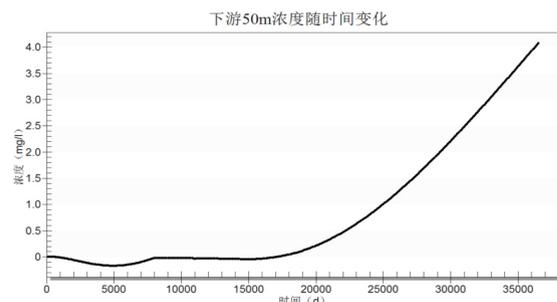
序号	情景	溢流量 m ³ /次	源强(kg/次)	
			COD _{Cr} 溢流量	氨氮溢流量
1	应急池溢流	120	496	8.76

图 5 和图 6 是渗漏点下游 10 m 和 50 m 处, COD_{Mn} 浓度随时间变化的过程曲线, 从图可知, 污染物渗漏前期, 扩散作用以浓度梯度作用为主, 后期则以地下水流速作用为主。由于项目所在地潜水含水层流速极小, 污染物扩散速度极其缓慢, 污染物不易扩散, 发生溢流事故后极长时间内, 如

15 000 d、20 000 d 甚至更长, 污染晕边界才到达下游 50 m 处。

表 7 事故应急池溢流污染预测结果

运移时间	COD _{Mn}		氨氮	
	最大超标距离(m)	超标范围(m ²)	最大超标距离(m)	超标范围(m ²)
100 d	35	4 191	32	4 011
1 000 d	37	4 233	33	4 121
3 650 d(10a)	40	4 550	38	4 331
10 000 d	48	4 911	46	4 879

图 5 下游 10 m 处, COD_{Mn} 浓度增量随时间变化图 6 下游 50 m 处, COD_{Mn} 浓度增量随时间变化

2.3 地下水预测结果小结

从项目场地水文地质条件分析, 项目潜水含水层岩土渗透性差, 地下水水力梯度小, 因此渗流速度极小, 污染物不易扩散, 在较长时间内, 将聚集在渗漏点或溢流点附近。

根据预测结果, 无论是调节池还是事故应急池发生渗漏或溢流事故后污染物的下渗均会对地下水环境造成一定范围的影响, 且发生超标现象, 在 10 000 d 时仍存在浓度超标的区域。根据模型预测, 地下水体中污染物浓度随着时间将越来越低, 但污染毕竟是存在的, 且地下水一旦遭受污染, 自清洁条件较差, 污染具有长期性, 因此首先确保项目内污水处理设施安全正常运营, 加强管理, 定期监测观测井, 确保不发生泄露。如在发生意外泄露的情形下, 要在泄露初期及时控制污染物向下游进行运移扩散, 综合采取水动力控制、抽采或阻隔等方法, 在污染物进一步运移扩散前将其控制、处理, 避免对下游地下水造成污染影响, 避免在项目运营过程中造成地下水污染。