

参数:

$$K = \frac{0.732Q}{(2H - S)S} \ln \frac{R}{r}$$

$$R = 2S\sqrt{HK}$$

式中: K—含水层渗透系数, m/d;

Q—抽水井流量, m³/d;

S—抽水井中水位降深, m;

H—承压含水层厚度, m);

R—影响半径, m;

r—抽水井半径, m。

表 5-10 单孔稳定流抽水试验成果表

孔号	井深 (m)	井半径 (m)	涌水量 (m ³ /d)	含水层厚 度 (m)	降深 (m)	抽水稳定 时间 (h)	渗透系 数 (m/d)	影响半径 (m)
CS01	60	0.25	530	25	15.32	3.5	2.2	227.2
CS02	48	0.25	270	13	10.35	4	3.2	133.5

由表 5-10 可知, 丘陵区浅层地下水含水层渗透系数为 2.2m/d, 影响半径为 227.2m, 丘内谷地浅层地下水含水层渗透系数为 3.2m/d, 影响半径为 133.5m。

5.10 地下水环境影响预测分析

在评价期间对项目场地的包气带进行了取样监测, 取样深度在 0.2m 和 1.2m, 取样点位 5 个, 主要布置在生产装置区周围、中博厂区周边, 监测因子为 pH、砷、汞、铬(六价)、铅、镉、铜、锌、镍等因子, 监测结果见环境质量现状章节。

5.10.1 地下水预测情景设定

按照《环境影响评价技术导则地下水环境》(HJ610-2016) 要求, 根据项目工程分析, 项目潜在地下水污染源主要是生活污水处理设施(化粪池), 本次预测主要分析正常和非正常状况下污染因子进入潜水含水层, 对地下水造成影响的情景, 结合在建工程及本项目工程分析, 并结合地下水环境现状调查评价, 选取合适的评价方法, 确定评价范围、识别预测时段和选取预测因子, 从而对周边地下水环境影响的范围及程度, 对本项目进行地下水水质影响预测。

本次预测生活污水处理设施(化粪池)废水直接进入含水层, 从而对污染物在含水

层中迁移转化进行模拟计算。

5.10.2 预测范围和时间

考虑到项目需要预测的潜水含水层，为了说明建设项目对地下水环境的影响，预测范围设置在项目调查评价区，通过不同情境对可能产生的地下水污染进行预测分析评价。本次评价从建设项目污染源源强的设定、泄漏点的选择均是在考虑到区域环境水文地质条件上进行的。预测范围为整个地下水调查评价区。

模拟时间为导则规定地下水环境影响预测时段应选取可能产生地下水污染的关键时段，至少包括污染发生后 100d、1000d，服务年限或能反映特征因子迁移规律的其他重要的时间节点。本次预测时间段为 100d、365d、1000d、20a、30a。

5.10.3 预测因子选取

根据在建工程及本项目各阶段工程分析，生产废水主要为循环水，主要外排水为生活污水、锅炉排水及软水制备反冲洗水。外排水污染物产生情况见表 5-11。

表 5-11 外排水污染物产生情况一览表

污水水质		污染物名称		COD	SS	BOD ₅	氨氮
生活污水	960m ³ /a	处理前	产生浓度 (mg/L)	350	300	200	25
			产生量 (t/a)	0.336	0.288	0.192	0.024
锅炉排水	114m ³ /a	处理前	产生浓度 (mg/L)	60	100	28.5	2.18
			产生量 (t/a)	0.0068	0.0114	0.0032	0.0002
软水制备反冲洗废水	136m ³ /a	处理前	产生浓度 (mg/L)	30	10	15	5
			产生量 (t/a)	0.0041	0.0014	0.0020	0.0007
1210m ³ /a		混合后	产生浓度 (mg/L)	286.7	248.6	163.0	20.6
			产生量 (t/a)	0.3469	0.3008	0.1972	0.0249

本次预测因子为 COD 和氨氮。

5.10.4 数学模型和参数选择

5.10.4.1 水文地质概念模型

水文地质概念模型是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等条件进行概化，便于进行数学与物理模拟。水文地质概念模型是对地下水系统的科学概化，是为了适应数学模型的要求而对复杂实际系统的一种近似处理，是地下水系统模拟的基础。它把研究对象作为一个有机的整体，综合各种信息，集多学科的研究成果，以地质为基础，根据系统工程技术的要求概化而成。水文地质概念模型的核心

要素是边界条件、内部结构和地下水流态，通过对调查区的岩性构造、水动力场、水化学场的分析，可以确定概念模型的要素。

1、模型区范围确定

本次模拟范围与调查评价范围一致，面积为 32.1km²。

2、边界条件

①水平边界

根据评价区地下水流场特征，西部、南部以及东北部流向基本与地下水流线一致，因此可将其视为零通量边界；西南侧接受邻区地下水径流补给，东南及北部边界排泄地下水，因此可将其定义为流量边界，见图 5-10。

②垂直边界

潜水含水层的上部边界为水量交换边界，有大气降水入渗、灌溉回渗、潜水的蒸发、人工开采等；潜水含水层与下层承压含水层间水力联系较差，水量交换很少，因此视为零通量边界。

3、含水层结构特征

本次数值模拟对象为浅层含水层，浅层地下水属孔隙裂隙水，类型为潜水——微承压水，根据区内的钻孔柱状图再垂向上将整个调查评价区概化为三层。第一层为以粉质粘土为主，丘内谷地区为粉土，底板埋深为 15~20m，厚度为 15~20m；第二层为砂卵石以及砂岩，是主要的含水层，底板埋深为 25~60m，厚度为 15~45m；第三层为泥岩，是与下部含水层之间的隔水层，底板埋深为 70~80m，厚度为 30~40m。

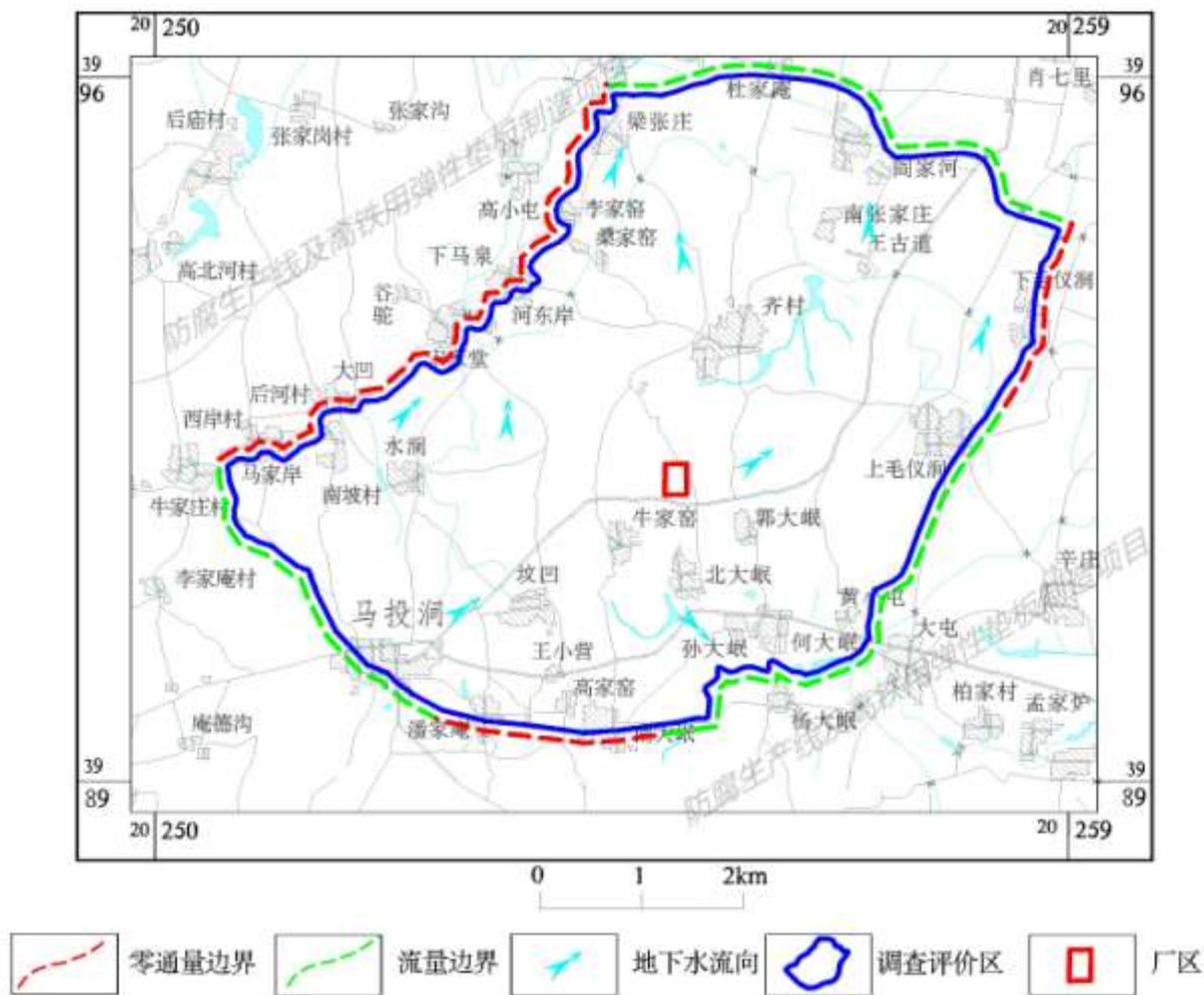


图 5-10 预测模型边界条件示意图

4、水文地质参数

水文地质参数分区是地下水均衡计算、地下水资源计算、地下水环境影响评价的基础环节，意义重大。此次所计算的水文地质参数包括大气降水入渗补给系数、给水度、渗透系数以及弥散度等。

大气降水入渗补给系数的基本含义是指大气降水入渗补给地下水的水量 P_r 与降水量 P 的比值，主要受地表岩性、地下水埋深、降水量、地形地貌、植被等因素影响。本次根据收集的相关成果资料进行确定。

给水度是指饱和岩土层在重力作用下自由排出重力水的体积与该饱和岩土层相应体积的比值。它的确定方法主要有室内试验法、抽水试验法、动态资料推求法、水量均衡法、RV 解析法及其它方法。本次根据收集的相关资料以及野外水文地质试验结果，结合评价区地下水变化带的岩性分布和渗透特征确定。

由于水动力弥散尺度效应的存在，难以通过野外或室内弥散试验获得真实的弥散

度。本次参考前人的研究成果进行确定，评价区范围对应的弥散度应介于 1~10 之间，按照偏保守的评价原则，本次模拟纵向弥散度参数值取 10。

5.10.4.2 数学模型

地下水溶质运移数值模拟应在地下水流场模拟基础上进行。因此地下水溶质运移数学模型应包括水流模型和溶质运移模型两部分。

1、地下水流模型

三维、非均质、各向异性的层流、非稳定潜水模型为：

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) + \varepsilon = \mu \frac{\partial h}{\partial t} & x, y, z \in \Omega \\ h(x, y, z) = h_0 & x, y, z \in \Omega \\ h(x, y, z)|_{\Gamma_1} = \varphi(x, y, z) & x, y, z \in \Gamma_1 \\ K_n \frac{\partial h}{\partial \bar{n}} \Big|_{\Gamma_2} = q(x, y, z) & x, y, z \in \Gamma_2 \end{cases}$$

式中：Ω—渗流区域；

x、y、z—笛卡尔坐标（m）；

h—含水体的水位标高（m）；

t—时间（d）；

K_x、y、z—分别为 x、y、z 方向的渗透系数（m/d）；

K_n—边界面法向方向的渗透系数（m/d）；

μ—重力给水度；

ε—源汇项（1/d）；

h₀—初始水位（m）；

Γ₁—一类边界；

Γ₂—二类边界；

\bar{n} —边界面的法线方向；

φ(x, y, z)—一类边界水头（m）；

q(x, y, z)—二类边界的单宽流量（m³/d/m），流入为正，流出为负，隔水边界为零。

2、溶质运移模型

不考虑污染物在含水层中的吸附、交换、挥发、生物化学反应，地下水中溶质运移的数学模型可表示为：

$$n_e \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} (n_e D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j}) - \frac{\partial}{\partial x_i} (n_e C V_i) \pm C' W$$

式中：

$$D_{ij} = \alpha_{ijmn} \frac{V_m V_n}{|V|}$$

α_{ijmn} —含水层的弥散度；

V_m, V_n —分别为 m 和 n 方向上的速度分量；

v—速度；

C—模拟污染质的浓度（mg/L）；

n_e —有效孔隙度；

t—时间（d）；

C' —模拟污染质的源汇浓度（mg/L）；

W—源汇单位面积上的通量；

V_i —渗流速度（m/d）；

C' —源汇的污染质浓度（mg/L）。

以上模型的选择基于以下理由：

（1）有机污染物在地下水中的运移非常复杂，影响因素除对流、弥散作用以外，还存在物理、化学、微生物等作用，这些作用常常会使污染物总量减少，运移扩散速度减慢。目前国际上对这些作用参数的准确获取还存在困难；

（2）假设污染物质在运移中不与含水层介质发生反应，可以被认为是保守型污染物质。保守型污染物质的运移只考虑对流、弥散作用。在国际上有很多用保守型污染物质作为模拟因子进行环境质量评价的成功实例；

（3）保守型考虑符合环境影响评价风险最大的原则。

联合求解水流方程和溶质运移方程就可得到污染物质的空间分布。

3、模拟流场及初始条件

以 2019 年 9 月地下水流场作为初始流场（图 5-11）。

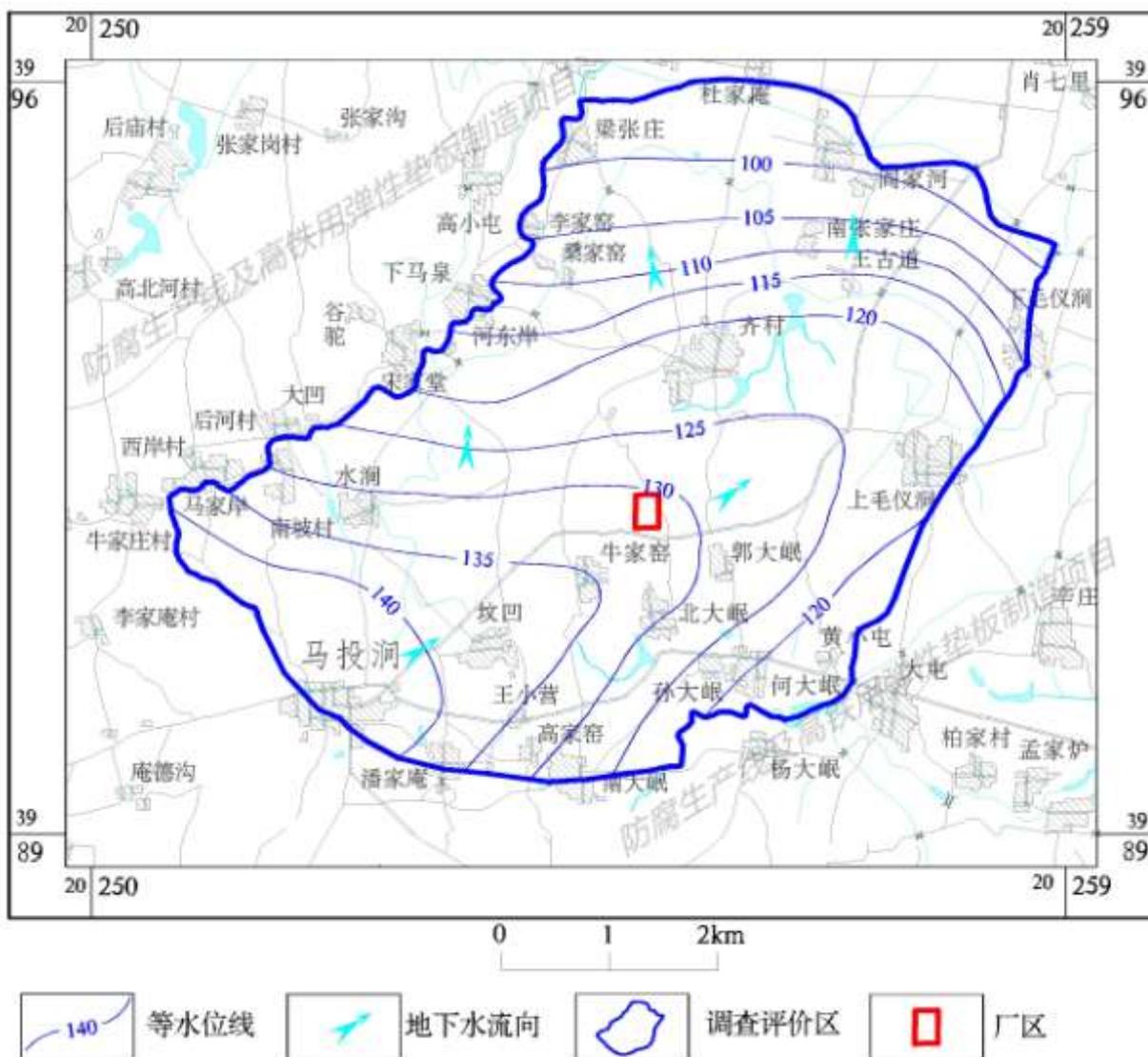


图 5-11 模型初始流场

4、模拟区剖分

模拟区网格剖分单元格 50m×50m，在厂区范围内加密为 25m×25m，以增强计算的准确性，网格剖分见图 5-12。

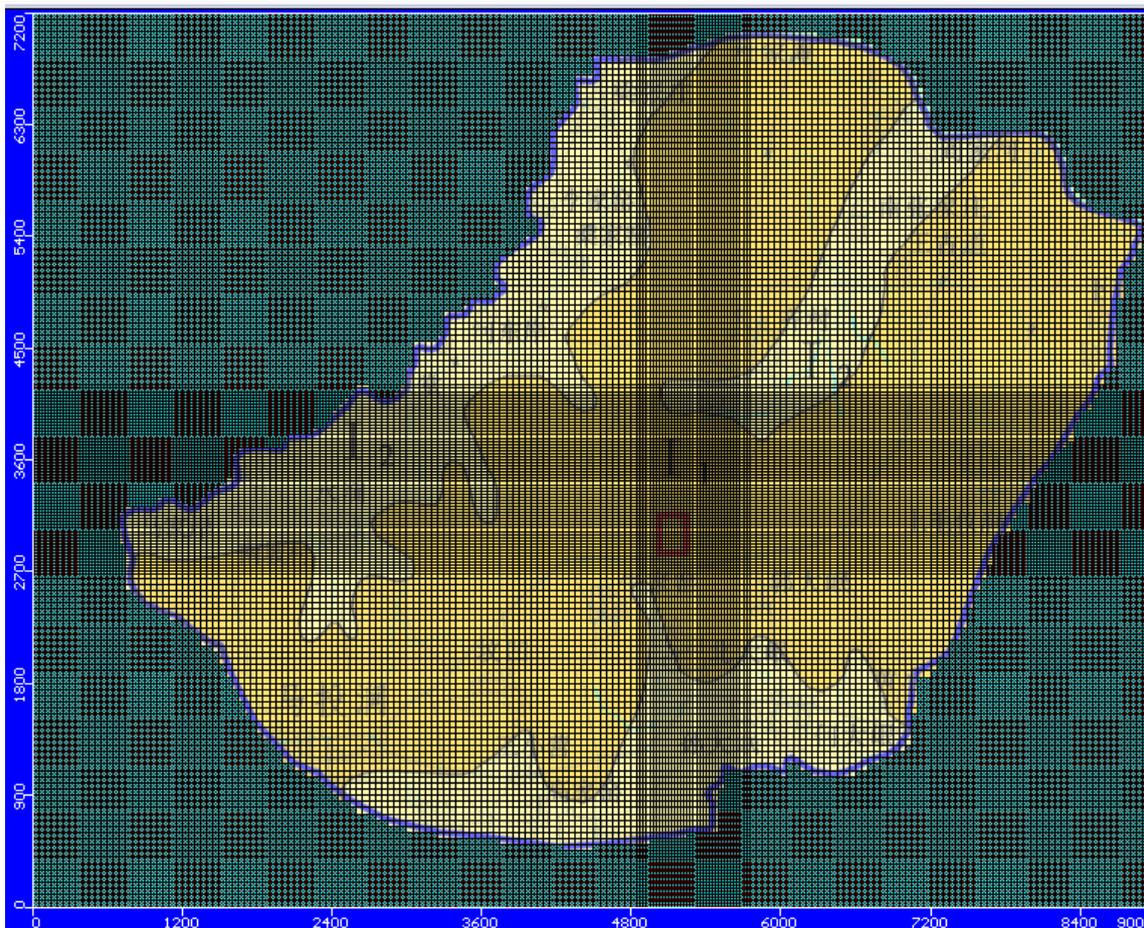


图 5-12 网格剖分

5、模型识别与参数确定

结合现有资料选择以2018年10月—2019年9月作为识别时段，应力期以月为单位，共划分为12个应力期，每个应力期又包括若干个时间步长，时间步长为模型自动控制，严格控制每次的迭代误差，在同一应力期内地下水补排项不变。

模型的识别与验证是整个模拟中极为重要的一步工作，通常要进行反复地调整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。本次模型识别与验证过程采用试估——校正法，属于反求参数的间接方法之一。

运行计算程序，可得到在给定水文地质参数和各均衡项条件下的模拟区地下水流场，通过拟合枯水期的统测流场，识别水文地质参数和其它均衡项，使建立的模型更加符合模拟区的水文地质条件。

模型的识别与验证主要遵循以下原则：a.模拟的地下水流场要与实际地下水流场基本一致；b.从均衡的角度出发，模拟的地下水均衡变化与实际要基本相符；c.模拟的水位动态与统测的水位动态要一致；d.识别的水文地质条件要符合实际水文地质条件。根

据以上四个原则，对模拟区地下水系统进行了识别和验证。通过反复调整参数和均衡量，识别水文地质条件，确定了模型结构、参数和均衡要素。

模拟的每个时间段内包括若干时间步长，时间步长为模型自动控制，严格控制每次迭代的误差。

模型最终识别的水文地质参数分区见图5-13以及表5-12。



图 5-13 模拟区参数分区图

表 5-12 模型识别的主要水文地质参数一览表

层号	分区带号	岩性	渗透系数 (m/d)	给水度	降水入渗系数
1	I	粉质粘土	0.2	0.1	0.02
	II	粉土、粉质粘土	0.3		0.05
2	I	砂岩	2.2	0.2	//
	II	粉砂、砂卵石	3.2		
3	I	泥岩、粉质粘土	0.05	0.05	//
	II				

5.10.4.3 预测模型的建立

1、地下水水流的预测

地下水水流的预测模型所运用的参数是通过模型识别确定的。预测模型的补给量或排泄量采用现状年的资料。模型中的降雨入渗量、灌溉回渗量也是采用现状年的资料。预测模型进行100d、365d、1000d、20a以及30a五个时间段的地下水水流预测。

2、污染物迁移的预测

(1) 地下水污染预测情景设定

1) 正常工况下

正常工况下，项目建设均按照《危险废物贮存污染控制标准》（GB 18597）、《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB18599）等相关规范的要求进行防渗处理，各生产环节按照设计参数运行，地下水可能的污染来源为各管线、储槽、污水池等跑冒漏滴。正常工况下污水不会渗漏进入地下造成污染。因此，正常工况下不应有废水渗漏至地下水的情景发生。因此，本次模拟预测情景主要针对非正常工况进行设定。

2) 非正常工况

根据企业的实际情况分析，如果是装置区或罐区等可视场所发生硬化面破损，即使有物料或污水等泄漏，按目前企业的管理规范，必须及时采取措施，不可能任由物料或污水漫流渗漏，而对于泄漏初期短时间物料暴露而污染的少量土壤，则会尽快通过挖出进行处置，不会任其渗入地下水。因此，只在储罐、化肥池等这些半地下非可视部位发生小面积渗漏时，才可能有少量污染物通过漏点，逐步渗入土壤并可能进入地下水。

综合考虑拟建项目物料、工艺流程、装置设施、废水排放等情况以及项目区水文地质条件，本次评价非正常工况泄漏点设定为：化粪池以及助镀槽。

厂区内包括4个化粪池（图5-14）。化粪池H1底部直径1.8m，高3.6m，体积9m³；化粪池H2底部直径2.3m，高5.5m，体积20m³；化粪池H3底部直径1.8m，高3.6m，体积9m³；化粪池H4底部直径2.3m，高7.4m，体积30m³。根据地下水统调结果可知，厂区内地下水流向为由西南向东北，因此本次预测选择位于下游而且体积较大的化粪池H2作为假定泄漏点。

助镀槽位于厂区南部车间内，长 2m，宽 1.2m，高 1.2m，助镀液的主要成分为氯化锌（ZnCl₂）和氯化铵（NH₄Cl），本次预测选择助镀槽作为假定泄漏点。

针对不同预测情景，对生活污水中主要污染物进入地下水后的浓度变化、影响范围和超标情况进行预测，并分析评价非正常工况对模拟区地下水环境的影响范围和程度。



图 5-14 厂区化粪池分布图

(2) 源强分析

①化粪池

根据在建工程分析及本工程分析，本项目主要排水为天然气锅炉排水、软水制备反冲洗废水以及职工生活污水，锅炉排水、软水制备反冲洗废水与职工生活污水经化粪池处理后，排入市政管网，进入马投涧污水处理厂进行深度处理。污水产生量及污染物浓度见表5-13。

表 5-13 污水产生量及污染物浓度一览表

类别	产生量 (m ³ /a)	污染物浓度 (mg/L)			
		COD	SS	BOD ₅	氨氮
生活污水	960	350	300	200	25
锅炉排水	114	60	100	28.5	2.18
软水制备反冲洗废水	136	30	10	15	5
合计	1210	286.7	248.6	163	20.6

由于项目厂址包气带厚度相对较大，污染物渗漏途径较长，且厂区浅层含水层颗粒较细，渗透性差，因此从环境安全的角度考虑，将发现污染物泄漏并处理的时间延长，假设在无检漏条件下污染物在预测期内发生持续性泄漏。根据源强分析结果，本次模拟选取COD和氨氮作为预测因子。预测源强浓度COD：286.7mg/L、氨氮：20.6mg/L，化粪池H2规格为 ϕ 2.3×5.5m，底面积为4.15m²，在非正常工况下，假设池底部防渗设施失效，在不考虑吸附和降解作用下，假设泄漏液体中的COD和氨氮全部进入到地下水环境中，池底天然基础层渗透系数取值0.041m/d，渗漏量约为4.15×0.041=0.17m³/d。

②助镀槽

助镀液的主要成分为氯化锌（ZnCl₂）和氯化铵（NH₄Cl），氯化锌的浓度为20%左右，氯化铵浓度为40%左右。根据源强分析结果，本次模拟选取Zn²⁺和Cl⁻作为预测因子。据计算，助镀液中Zn²⁺的浓度为239856mg/L，Cl⁻的浓度为520618mg/L，助镀槽的规格为长2m，宽1.2m，高1.2m，在非正常工况下，假设助镀槽底部防渗设施失效，在不考虑吸附和降解作用下，假设泄漏液体中的Zn²⁺和Cl⁻全部进入到地下水环境中，槽底天然基础层渗透系数取值0.041m/d，渗漏量约为2.4×0.041=0.0984m³/d。

表 5-14 非正常工况下污染预测源强

泄漏点	主要污染物	浓度 (mg/L)	泄漏量 (m ³ /d)
化粪池 H2	COD	286.7	0.17
	氨氮	20.6	
助镀槽	<u>Zn</u>	<u>239856</u>	<u>0.0984</u>
	<u>Cl</u>	<u>520618</u>	

5.10.5 场地地下水环境影响预测

将含水层参数、初始条件和边界条件代入水质模型，利用 modflow 软件，联合运行水流和水质模型，得到污染物运移的预测结果。

5.10.5.1 包气带污水入渗到地下水的時間

分析和计算包气带污水入渗到地下水时间，有利于为地下水防护和监测提供依据。

假定污水泄漏后再包气带中符合达西定律，则根据达西公式：

$$V=KI$$

式中， V 为达西流速，即相对速度；

K 为包气带的渗透系数， I 为水力坡度。

随着时间的增大，包气带逐渐饱水，渗透系数 K 趋于定值，在数值上入渗速率等于渗透系数 K 。则水流实际流速为 $V' = V/n$ ，进而得到污水入渗补给到地下水的時間为：

$$t=n \times (M/V)$$

式中， n 为孔隙度；

M 为包气带厚度 (m)；

V 为包气带平均速度 (m/d)。

根据厂区水文地质勘查结果，对包气带特征和参数进行了总结，包气带渗透系数选取渗水试验所得结果，其中包气带平均厚度为 27.5m，包气带平均速度为 0.041m/d，孔隙度参考经验值取 0.35，并对包气带污染入渗到地下水的時間进行了估算。根据计算结果可知，由于地下水埋深较深，一旦发生废水泄漏，保守条件下，污染物将在 235 天之内入渗到地下水中，因此，所涉及的各个生产装置发生污染后均应立即采取相应措施控制污染物的迁移扩散。

5.10.5.2 污染物在地下水中的迁移

(1) 化粪池

通过对化粪池 H2 非正常工况情景下污染物迁移范围进行了模拟，污染物 COD 和氨氮泄露扩散预测结果污染物迁移分布见图 5-15~5-24，见表 5-15。



图 5-15 渗漏 100d 地下水中 COD 运移预测图

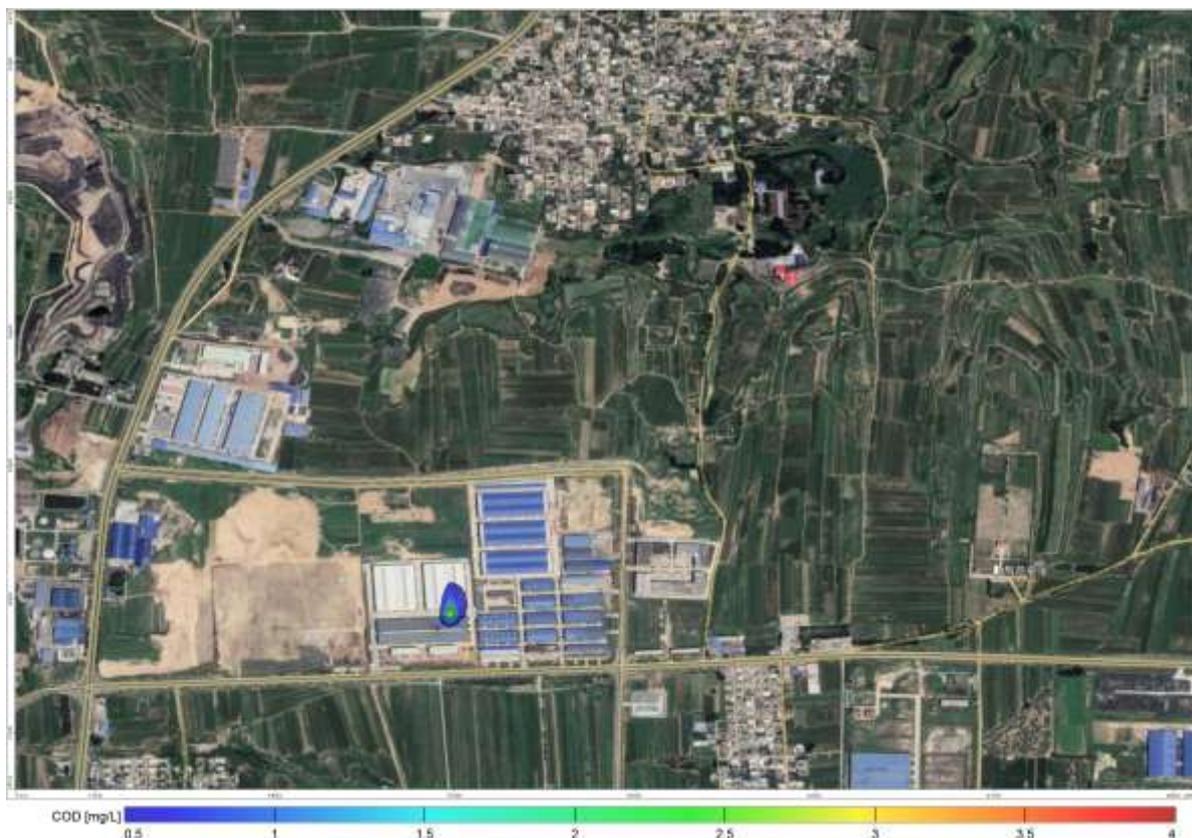


图 5-16 渗漏 365d 地下水中 COD 运移预测图



图 5-17 渗漏 1000d 地下水中 COD 运移预测图

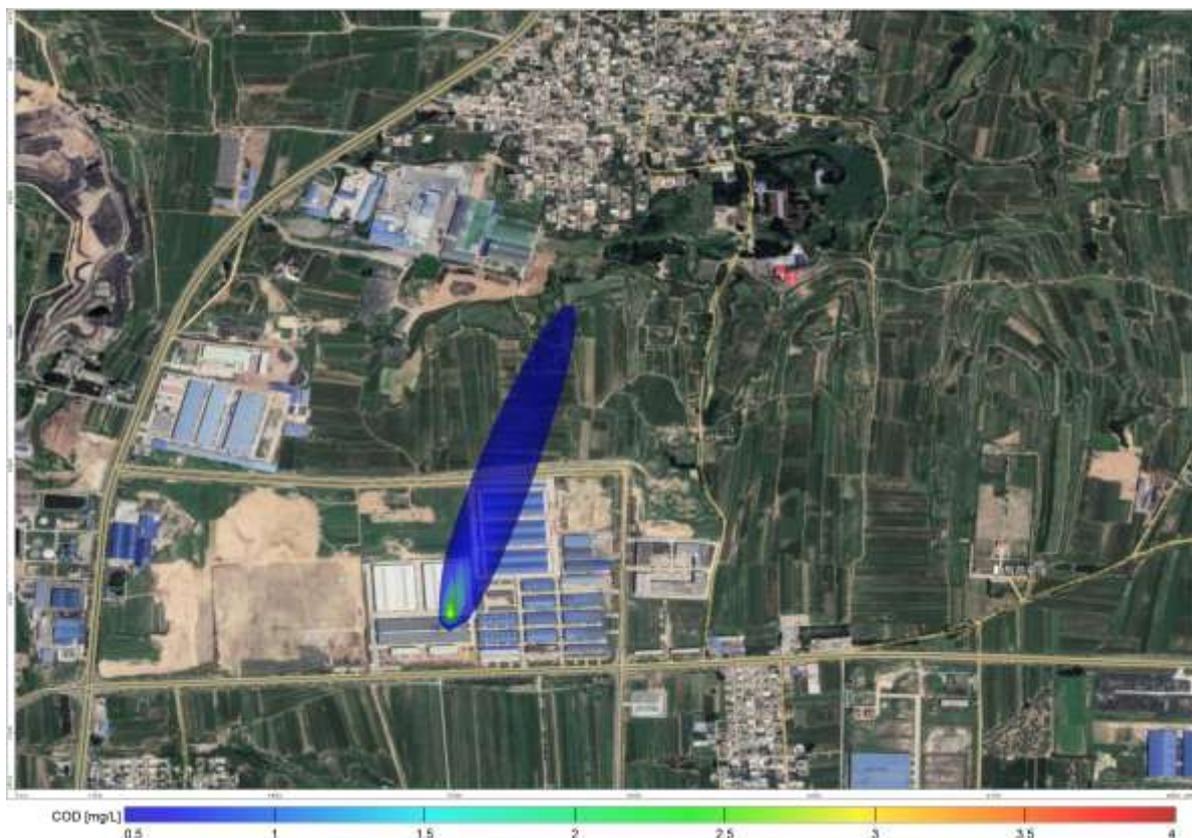


图 5-18 渗漏 20a 地下水中 COD 运移预测图



图 5-19 渗漏 30a 地下水中 COD 运移预测图



图 5-20 渗漏 100d 地下水氨氮运移预测图

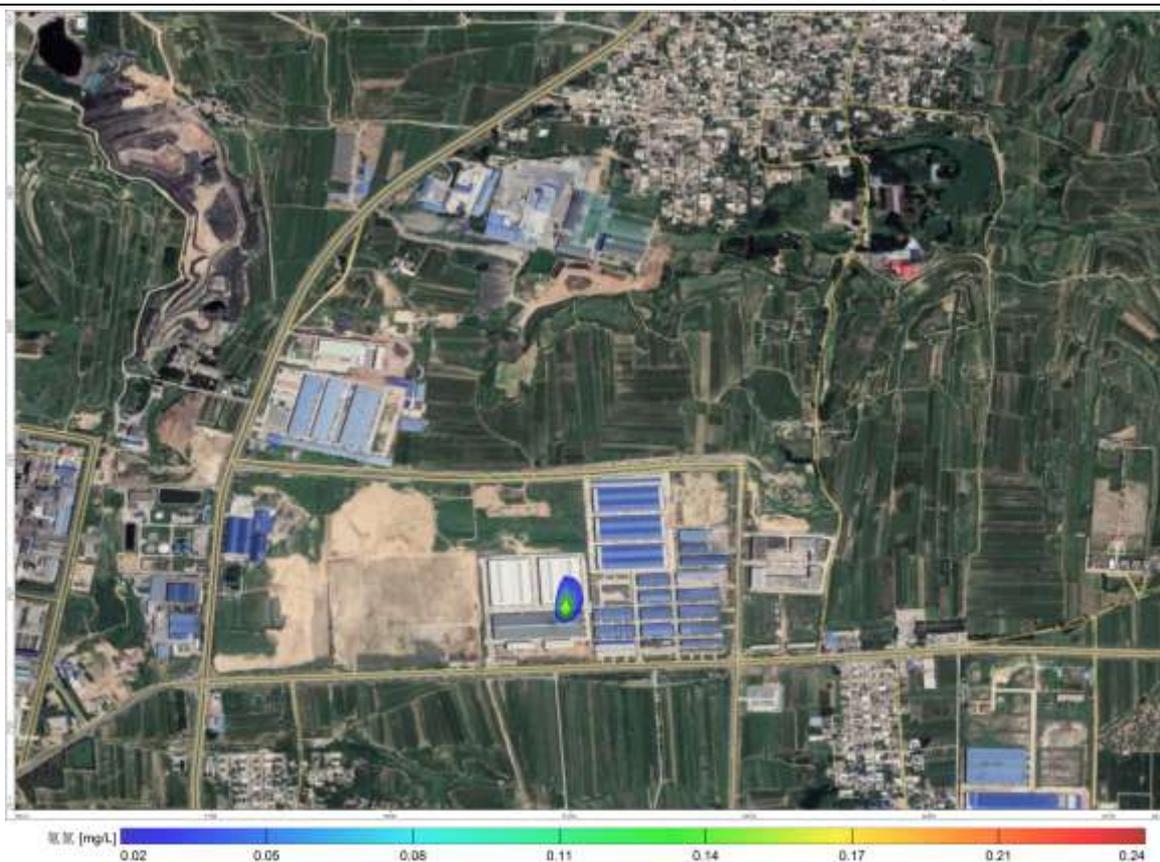


图 5-21 渗漏 365d 地下水氨氮运移预测图

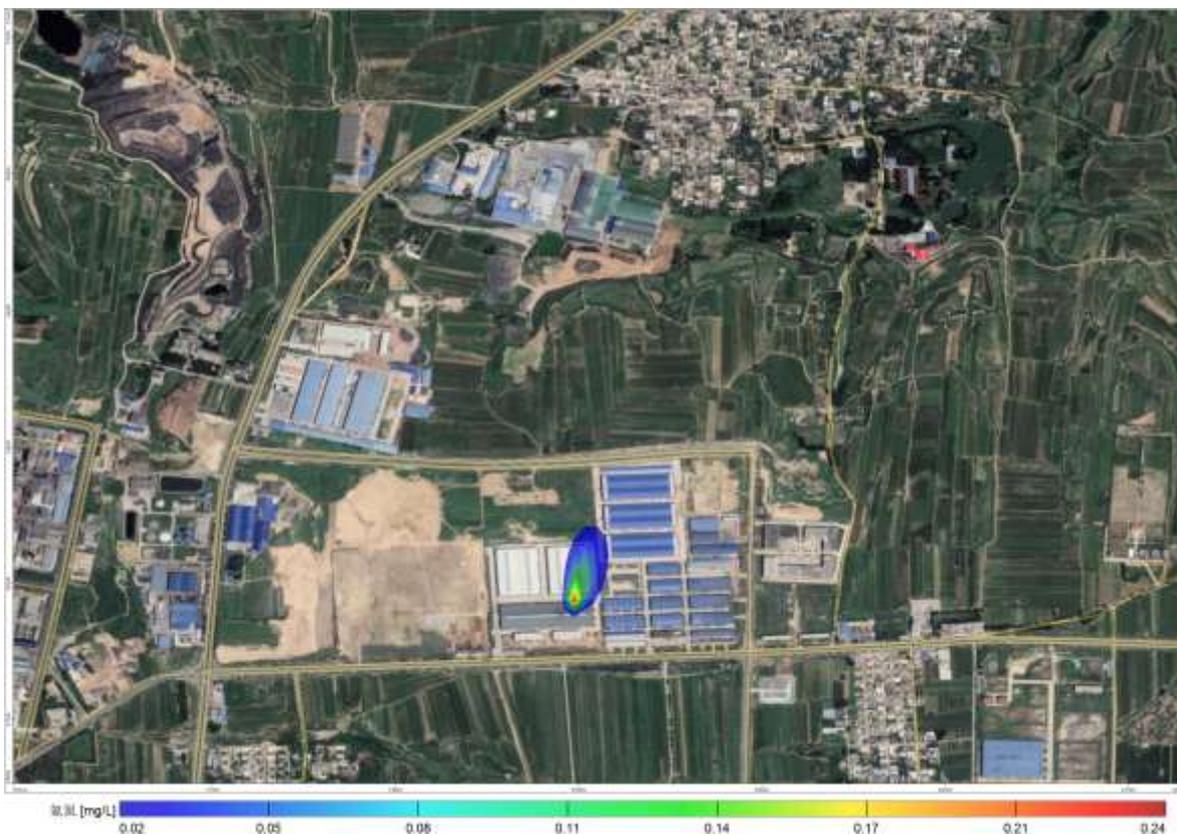


图 5-22 渗漏 1000d 地下水氨氮运移预测图

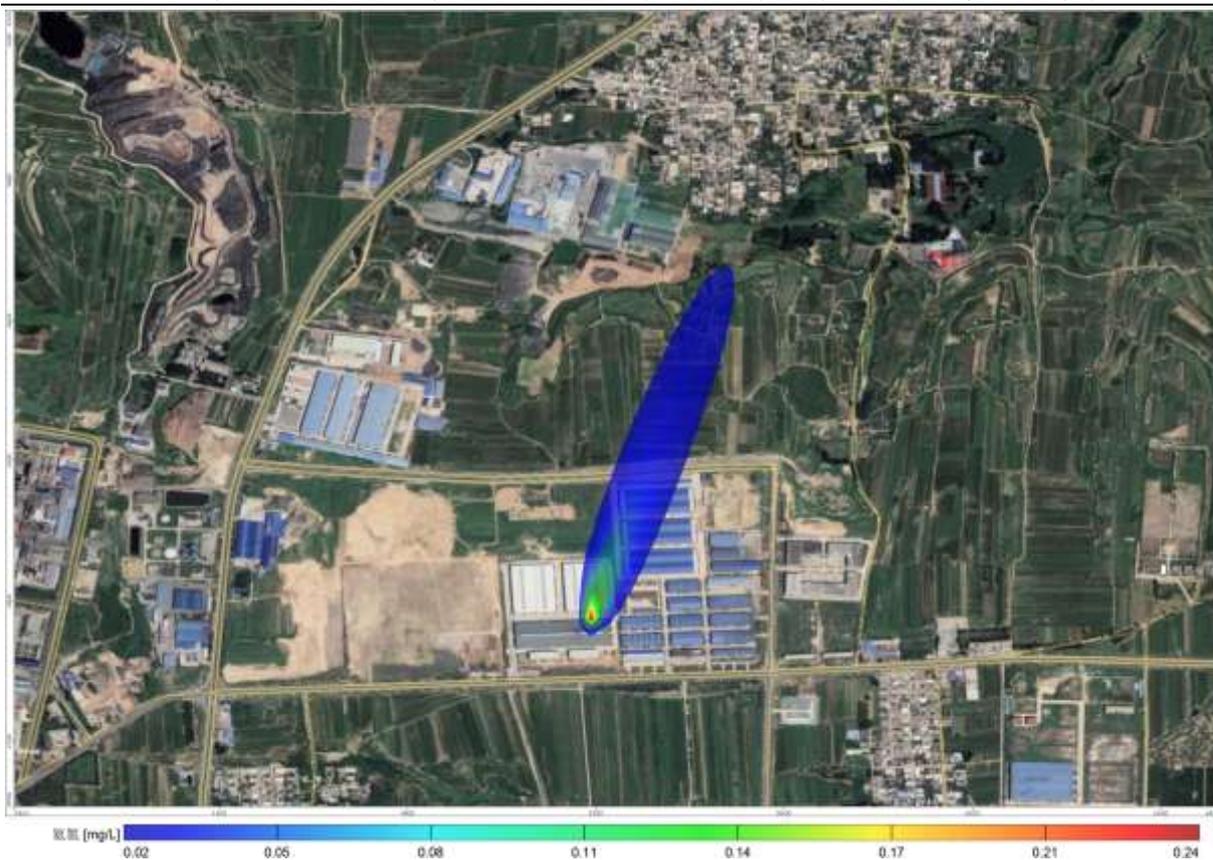


图 5-23 渗漏 20a 地下水氨氮运移预测图

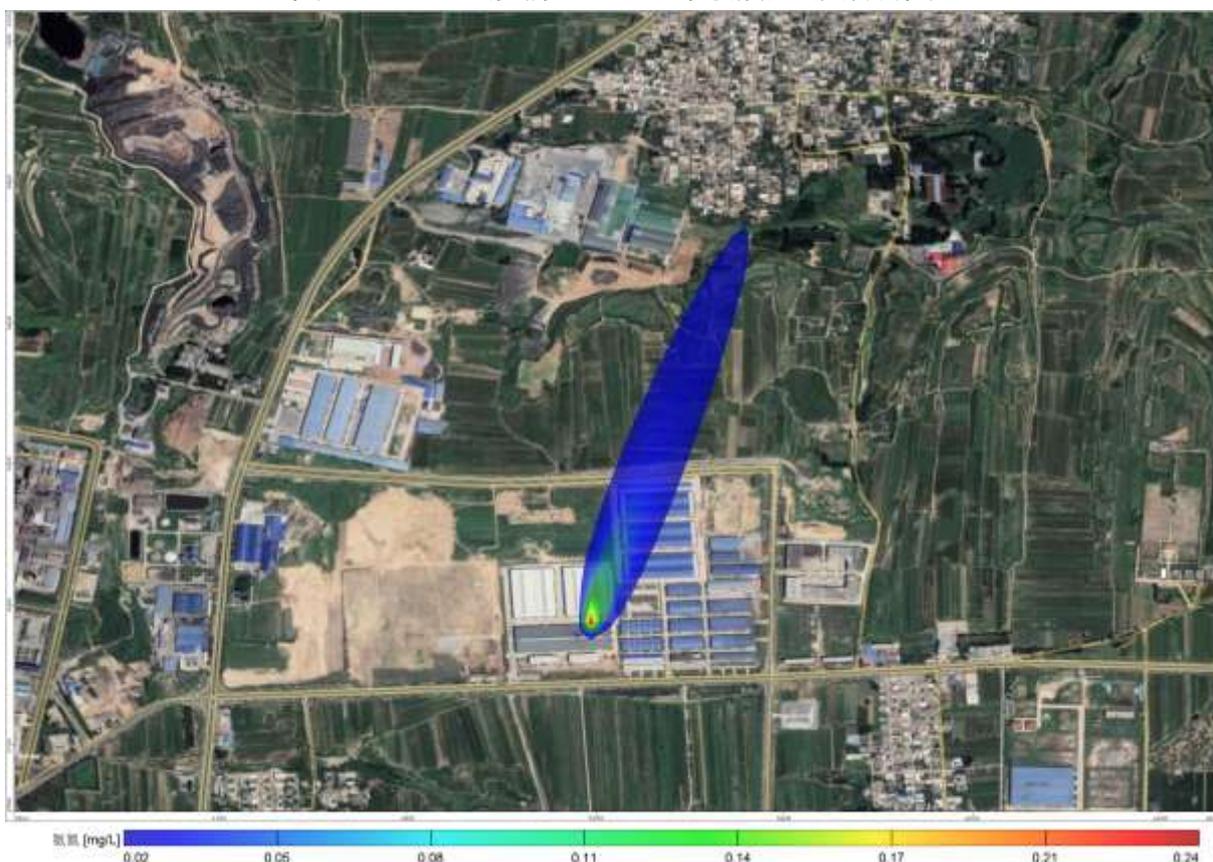


图 5-24 渗漏 30a 地下水氨氮运移预测图

表 5-15 化粪池 H2 泄漏污染物扩散预测表

污染源	污染物	模拟时间 (d)	水平扩散最 大距离 (m)	污染物检出 范围 (m ²)	污染物超标 范围 (m ²)	标准	检出限
						(mg/L)	(mg/L)
化粪池 H2 泄漏点	COD	100	37.5	2000	750	3	0.5
		365	65	5000	2000		
		1000	180	13437.5	4500		
		7300	737.5	80000	8437.5		
		10950	800	95000	9375		
	氨氮	100	40	2125	0	0.5	0.02
		365	75	5312.5	0		
		1000	200	15312.5	0		
		7300	775	82500	0		
		10950	900	98750	0		

由计算结果可知，在化粪池 H2 非正常工况情景下污染物泄漏后 100d，浅层含水层中 COD 的检出范围面积为 2000m²，超标范围是 750m²，污染晕水平方向最大迁移距离为 37.5m；泄漏后 365d，COD 的检出范围面积为 5000m²，超标范围是 2000m²，污染晕水平方向最大迁移距离为 65m；泄漏后 1000d，COD 的检出范围面积为 13437.5m²，超标范围是 4500m²，污染晕水平方向最大迁移距离为 180m；泄漏后 7300d，COD 的检出范围面积为 80000m²，超标范围是 8437.5m²，污染晕水平方向最大迁移距离为 737.5m；泄漏后 10950d，COD 的检出范围面积为 95000m²，超标范围是 9375m²，污染晕水平方向最大迁移距离为 800m。

在化粪池 H2 非正常工况情景下污染物泄漏后 100d，浅层含水层中氨氮的检出范围面积为 2125m²，超标范围是 0m²，污染晕水平方向最大迁移距离为 40m；泄漏后 365d，氨氮的检出范围面积为 5312.5m²，超标范围是 0m²，污染晕水平方向最大迁移距离为 75m；泄漏后 1000d，氨氮的检出范围面积为 15312.5m²，超标范围是 0m²，污染晕水平方向最大迁移距离为 200m；泄漏后 7300d，氨氮的检出范围面积为 82500 m²，超标范围是 0m²，污染晕水平方向最大迁移距离为 775m；泄漏后 10950d，氨氮的检出范围面积为 98750m²，超标范围是 0m²，污染晕水平方向最大迁移距离为 900m。

由此可见在化粪池非正常工况下，污水持续下渗，在水动力条件作用下，污染晕范围持续向下游扩散，污染物对厂区周边地下水水质有明显影响，但在预测期内污染物尚未扩散至下游敏感目标。因此，如果化粪池发生泄漏，应即刻采取有效的应急措施，以保护地下水环境，避免发生地下水污染后长期难以修复的困境。

(2) 助镀槽

通过对助镀槽非正常工况情景下污染物迁移范围进行了模拟，污染物 Zn 和 Cl 泄露扩散预测结果污染物迁移分布见图 5-25~5-34，见表 5-16。

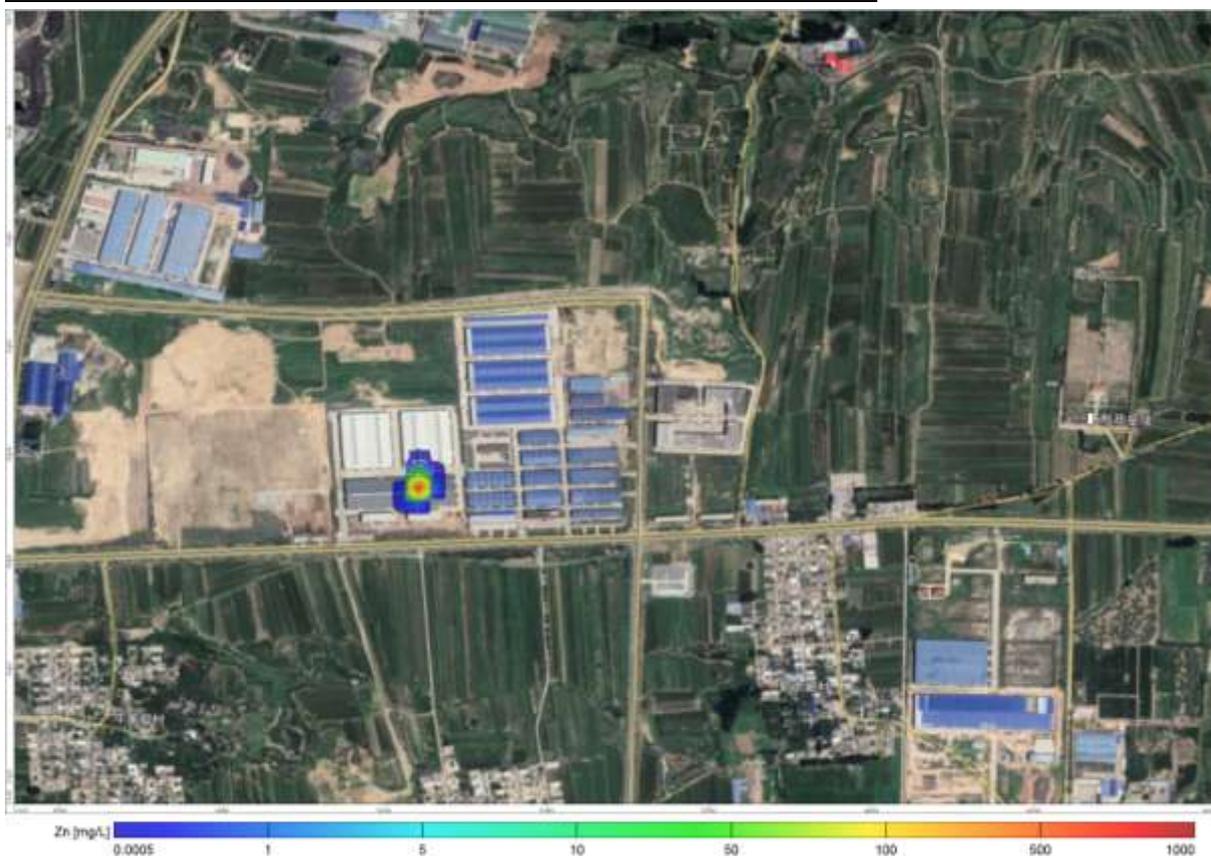


图 5-25 渗漏 100d 地下水 Zn 离子运移预测图

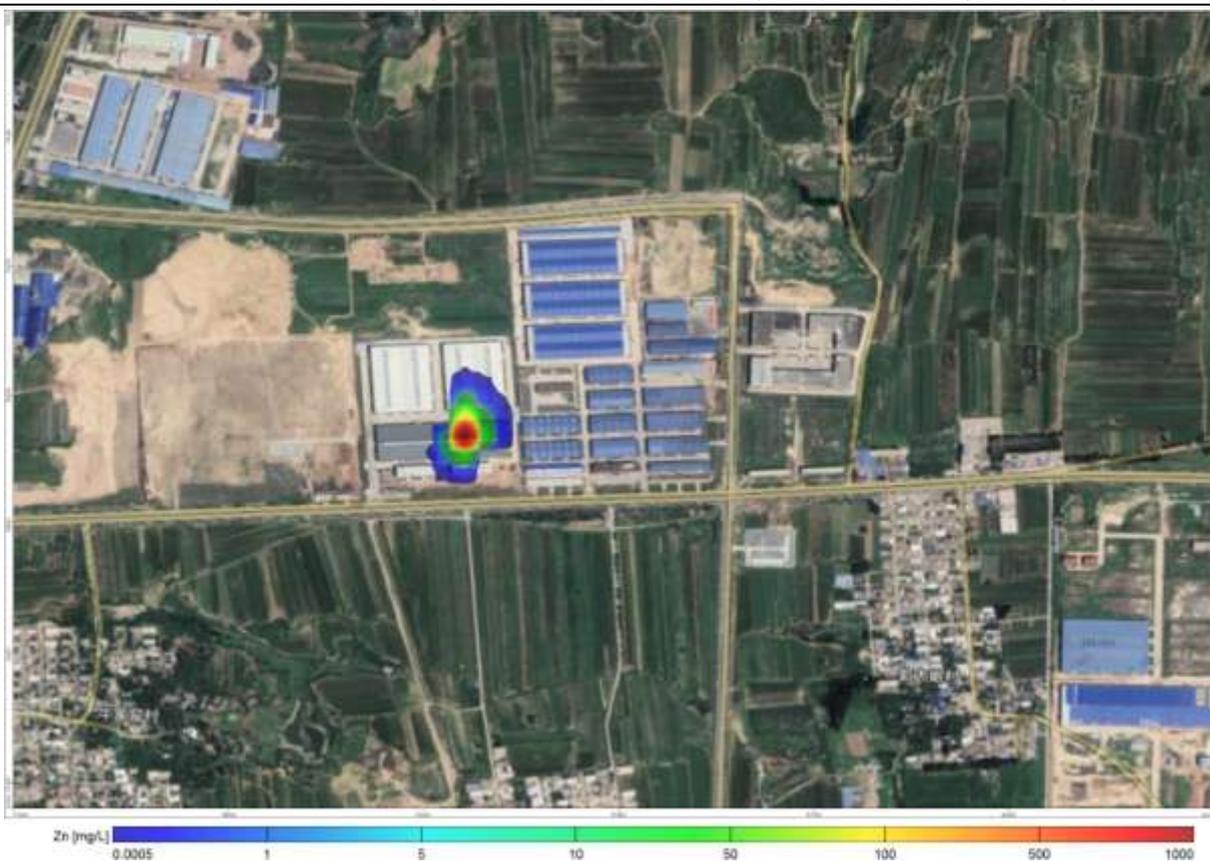


图 5-26 渗漏 365d 地下水 Zn 离子运移预测图

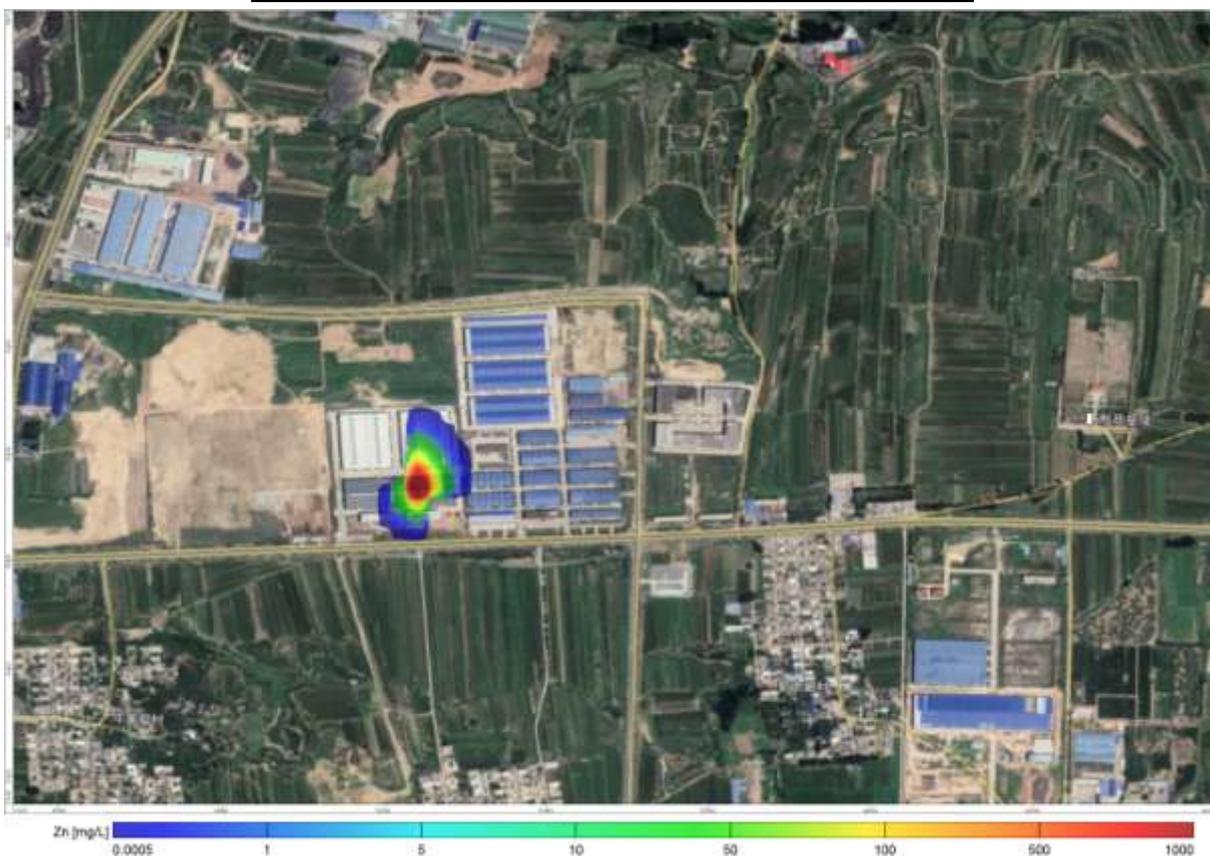


图 5-27 渗漏 1000d 地下水 Zn 离子运移预测图

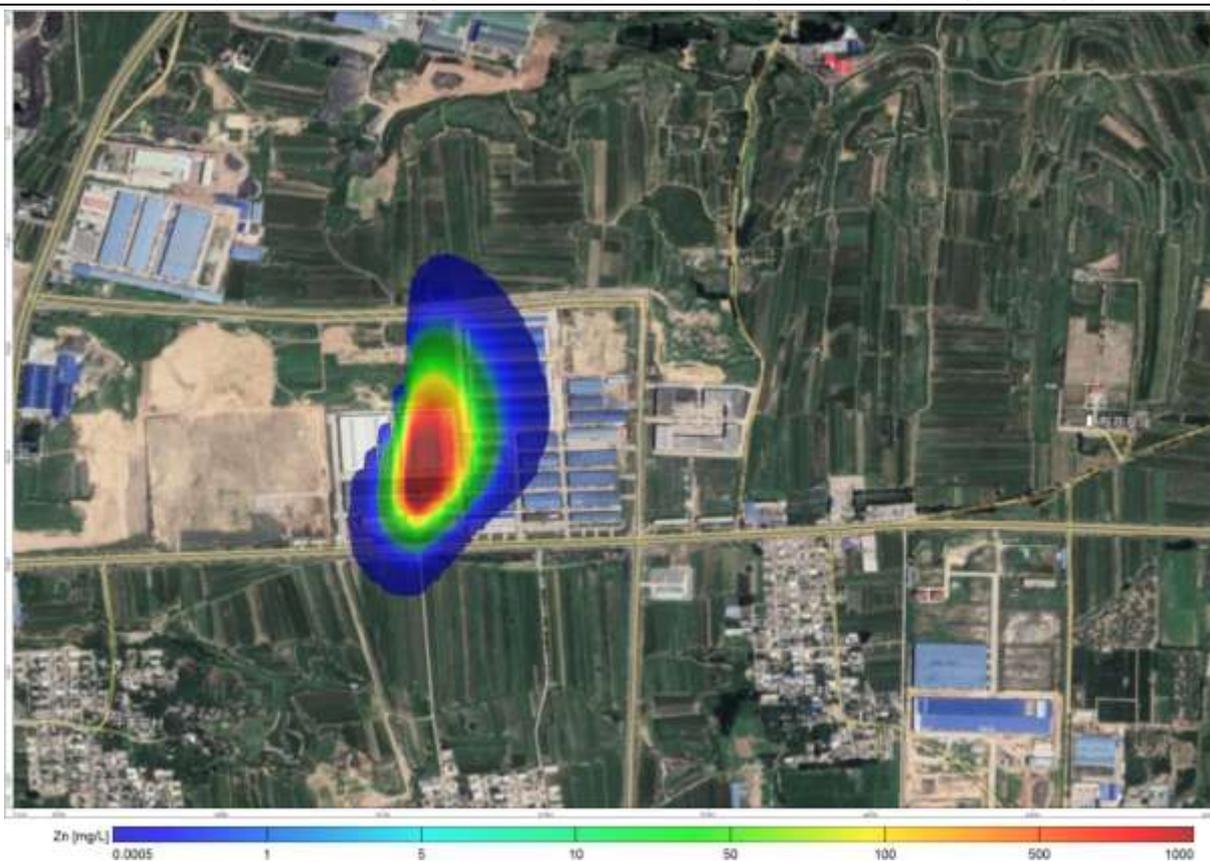


图 5-28 渗漏 20a 地下水 Zn 离子运移预测图

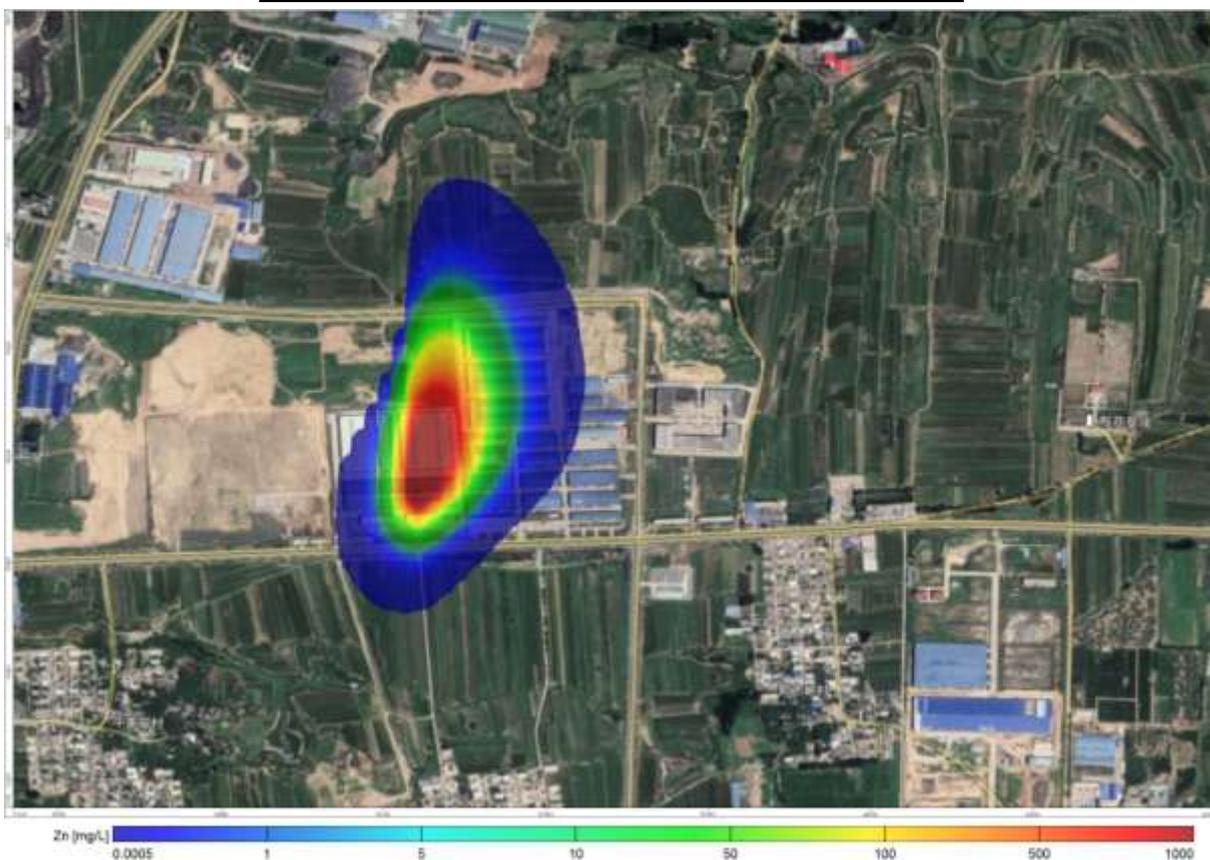


图 5-29 渗漏 30a 地下水 Zn 离子运移预测图

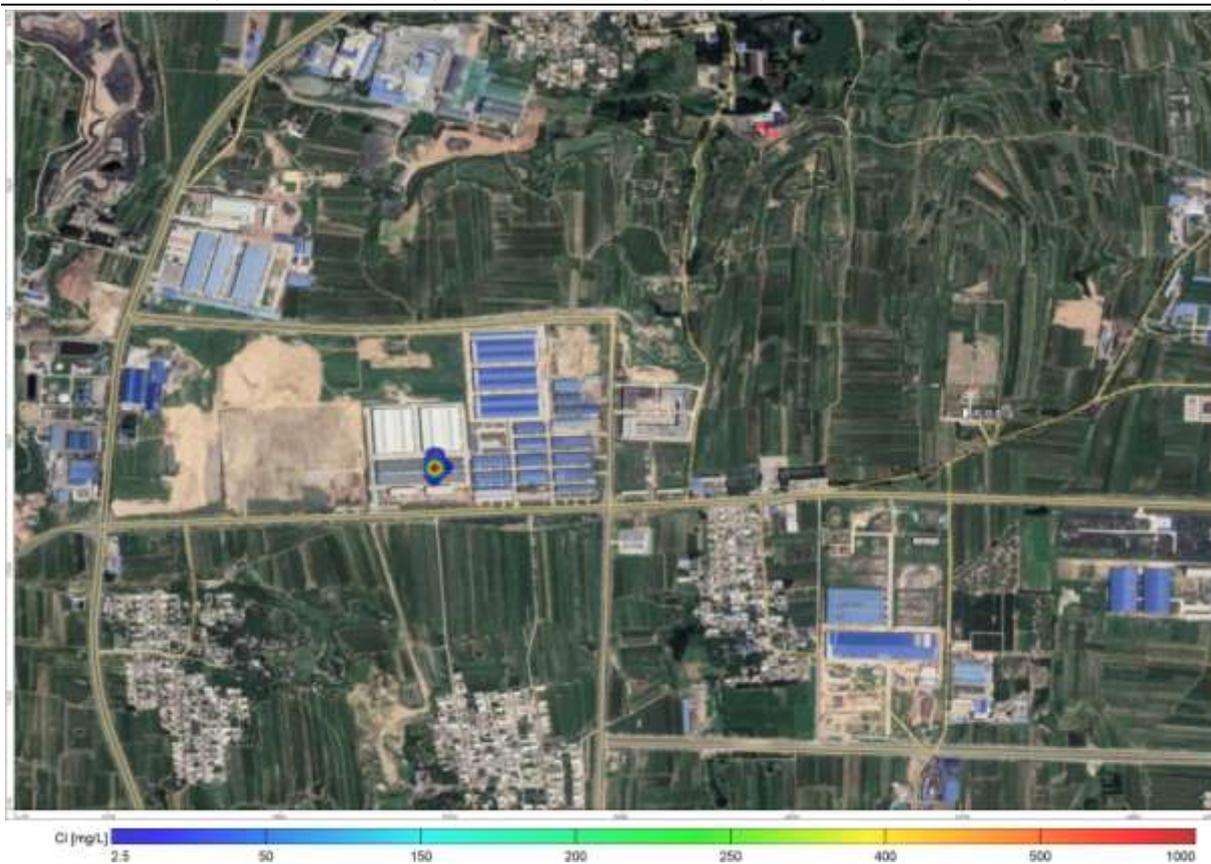


图 5-30 渗漏 100d 地下水 Cl 离子运移预测图

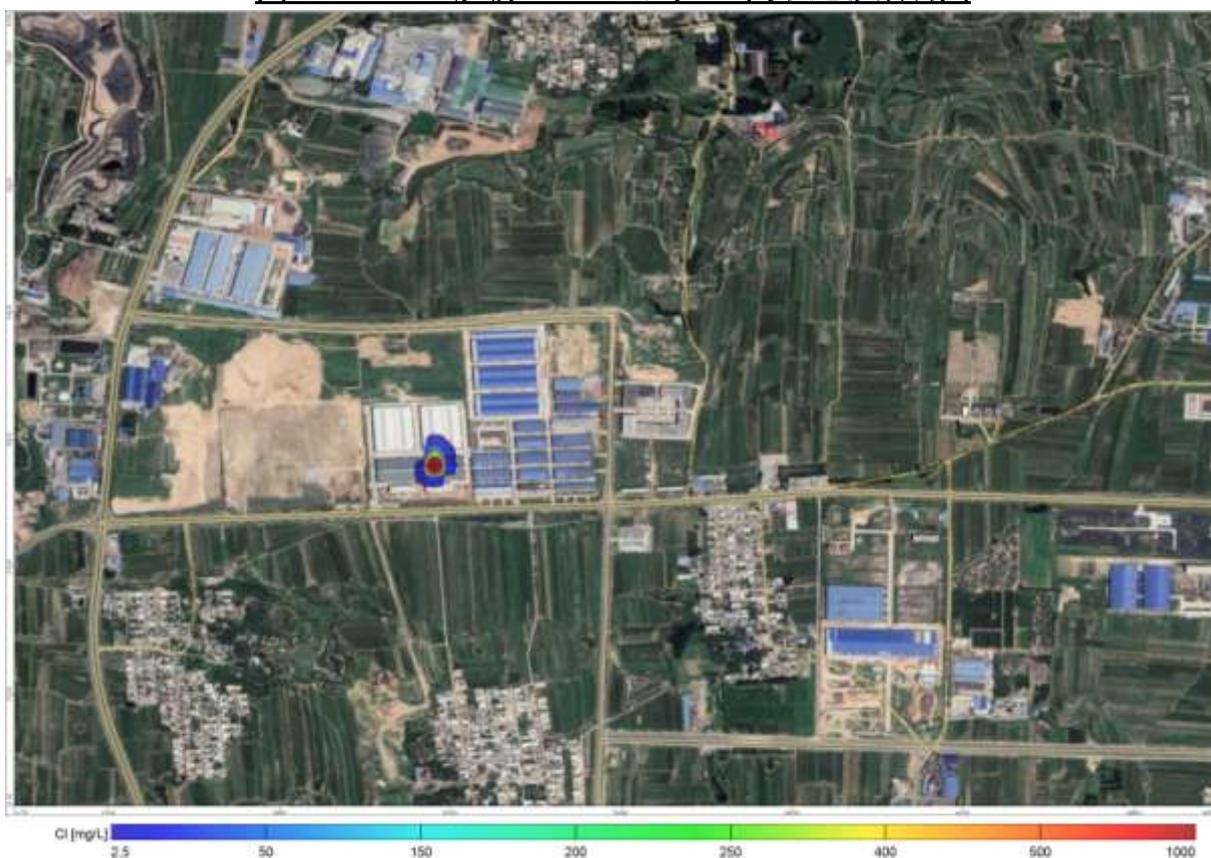


图 5-31 渗漏 365d 地下水 Cl 离子运移预测图