

水文地质特征对土壤地下水污染扩散的影响

——以某农药厂为例

杜欢, 李辰*

安徽国祯环境修复股份有限公司, 安徽 合肥

收稿日期: 2023年3月6日; 录用日期: 2023年4月11日; 发布日期: 2023年4月18日

摘要

伴随着社会的进步, 土壤和地下水环境污染问题得到更高的重视。由于地块水文地质条件的差异, 地块呈现的污染特征也不尽相同, 如部分区域以红尘沉积的粘性土为主, 其污染多表现为平面上, 垂向上污染深度不深; 部分区域如冲击平原区, 多为粉土和砂土等透水层, 其水平和垂向上污染范围均较大。因此, 在开展污染地块调查的同时需注重地块水文地质条件调查, 更好地为预防、调查和管控治理地块做支撑。本文以中国南方依山而建的农药厂为例, 详细阐述了水文地质条件对污染扩散的影响。

关键词

水文地质, 地下水污染, 土壤污染, 环境调查

Influence of Hydrogeological Characteristics on Soil Groundwater Pollution Diffusion

—A Case Study of an Agricultural Pharmaceutical Factory

Huan Du, Chen Li*

Guozhen Environmental Remediation, Hefei Anhui

Received: Mar. 6th, 2023; accepted: Apr. 11th, 2023; published: Apr. 18th, 2023

Abstract

With the progress of society, more attention has been paid to the environmental pollution of soil and groundwater. Due to the differences in hydrogeological conditions of the block, the pollution

*通讯作者。

characteristics of the block are also different. For example, some areas are dominated by clay soil deposited of red dust, and the pollution is mostly on the plane, and the vertical pollution depth is not deep. In some areas, such as the impact plain area, most of them are permeable layers such as silt and sand, and their horizontal and vertical pollution ranges are large. Therefore, it is necessary to pay attention to the hydrogeological condition survey of the polluted plot while carrying out the survey, so as to better support the prevention, investigation and control of the plot. In this paper, the influence of hydrogeological conditions on pollution diffusion is discussed in detail with an example of an agricultural pharmaceutical factory built against a mountain in southern China.

Keywords

Hydrogeology, Groundwater Pollution, Soil Pollution, The Environmental Investigation

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国对土壤及地下水污染物控制指标的研究一直在不断完善中, 近些年我国根据用地性质的不同, 将原颁布的《土壤环境质量标准》(GB 15618-1995)完善为《土壤环境质量建设用土壤污染风险管控(试行)》(GB 36600-2018)和《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618-2018), 污染物指标也由最初的重金属和农药类 10 个指标, 向有多种污染类型发展, 地下水也从最初的 39 项指标向 82 项指标不断完善[1]。而土壤和地下水污染本身为一体的, 传统的水文地质调查工作对土壤地下水污染迁移有很好的支撑作用[2], 传统水文地质调查工作对地下水污染成因有很好的解释论证工作。伴随着近些年环保对土壤污染的关注度提升, 忽视地块水文地质调查的重要性, 让调查工作走了更多的弯路, 大部分的工业污染地块调查工作, 调查点位的布设主要参考生产设施、建构筑物等的分布情况, 采用判断布点法或网格布点法进行点位布设, 未考虑污染物在不同水文地质条件下的迁移情况[3], 若可以很好地运用水文地质调查工作, 判断相对隔水层和透水层的分布特征, 为建立场地水文地质模型、设计污染土壤取样范围和深度、确定地下水监测井深度提供科学依据, 从而更好地完成地块污染调查工作[4]。

2. 项目背景

该农药厂位于中国南部山地丘陵区, 地块生产历史久远, 从 1970 年建厂至今, 已有 50 年, 该厂前身国营农药厂。国营农药厂历史上主要生产毒杀芬乳油, 磷化铝粉剂、片剂, 氯酸钾, 甲胺磷原油、乳油, 水胺硫磷原油、乳油、草甘膦水剂、三唑磷乳油等产品; 改制后, 农药厂私有化, 主要生产毒性相对较低的三唑磷原药、磷酸三乙酯水剂及乳剂、草甘膦颗粒剂, 但所使用原材料包括苯系物、氯代苯系物等。

地块因位于半山腰至山脚的位置, 调查地块所属区为丘陵区, 东侧紧邻山区, 地块地形起伏较大, 走向呈东北高西南低, 场地最低点与最高点相对高差达 16.42 米。其水文地质条件复杂, 且地下水较丰富, 第四系地层成因主要为残坡积层、洪积层, 部分地层较松散, 地下水径流条件良好。

3. 水文地质条件

3.1. 土层分布条件

本地块共布设 23 个土壤孔, 揭露地块区域范围内的土层分布情况, 根据现场钻探揭露的地层结构自

上而下可分4层,即硬化地面①层、坑内杂填土①层、粉质粘土②层、砂岩角砾混粘性土、粉土③层、中风化砂岩④层。分述如下:

第①层硬化地面:

除绿化带与水塘周围无混凝土垫层外,硬化地面分布于整个场地,呈灰白、灰黑,密实状态。厚度为0.1~0.5米,平均厚度为0.27米。

第①层坑内填土:

分布于地块中北部,为原山地深坑堆填形成,呈灰黑色,饱和,松散状态。坑内填土主要为上部的建筑垃圾填土,和下部含玻璃、橡胶、纱网等生产生活垃圾的杂填土,腐殖化程度高。

第②层粉质粘土:

分布于整个地块,呈棕黄色,潮,密实状态。厚度为1.4~5.0米,平均厚度为2.88米。埋深1.6~5.2米,平均埋深3.26米。

第③层砂岩角砾混粘性土、粉土:

分布于整个地块,呈棕黄、黄褐色,饱和,密实状态,含大块砂岩角砾石,局部地块含风化高岭石团块。厚度为3.8~8.7米,平均厚度为5.38米。埋深1.8~12.2米,平均埋深7.4米。

第④层中风化砂岩:

分布于整个地块,呈灰黑、紫红、棕黄色,密实状态。埋深7.7~13米,平均埋深10.98米。

地层倾向偏东,第四系地层层厚由东向西逐渐增厚,东侧最浅约7米及可揭露至基岩,西侧最深到13米可揭露基岩层。地层分布情况见图1所示。

3.2. 地下水分布条件

根据调查期间所揭露的地下水资料,场地地面以下最大勘探深度(14.0 m)范围内揭露到1层地下水,地下水类型属承压水型:

- (1) 人工填土①层部分区域赋存上层滞水,范围小,受大气降水和地块内地形的影响及控制。
- (2) 粉质粘土②层为不透水层,赋水性极差,为隔水层。
- (3) 砂岩角砾混粘性土、粉土③层,赋水性好,为含水层。
- (4) 中风化砂岩④层,风化联系发育完全,连通性差,为相对隔水层。

含水层地下水类型为承压水,主要赋存于以砂岩角砾混粘性土和粉土为主的第③层,在场地连续分布,局部具有承压性。该层地下水的天然动态类型为弱径流型,主要接受上游山区大气降水补给,以径流的形式排泄。勘察期间统测的静止水位埋深为1.32~5.80 m,相应静止水位标高为64.49~78.70 m。6口地下水监测井统一测量水位结果见表1。

Table 1. Monitoring data of shallow groundwater level in block
表 1. 地块浅层地下水水位监测数据一览表

监测井编号	地面相对高程(m)	监测井深度(m)	地下水埋深(m)	水位高程(m)	监测层位
AW01	68.292	13.0	3.802	64.49	③
AW02	68.386	6.0	3.136	65.25	③
AW03	67.059	13.2	2.742	64.317	③
AW04	71.554	10.0	3.297	68.257	③
AW05	78.062	11.0	3.66	74.402	③
AW06	80.021	7.7	1.319	78.702	③

为反映场地内一定垂直深度内水文地质条件, 特选取 1 条典型剖面线为东西向, 贯穿全场, 制作水文地质剖面(图 1)。剖面图中可看出地块地下水水头由东向西水头逐渐降低。根据各监测点的水位情况绘制本地块地下水的流向图(图 2), 可以看出场地浅层地下水整体上自东向西流动, 因场地西北部的填埋区地势相对低洼, 且坑内杂填土① 1 层渗透性较好, 导致局部地下水向坑内杂填土处汇流。

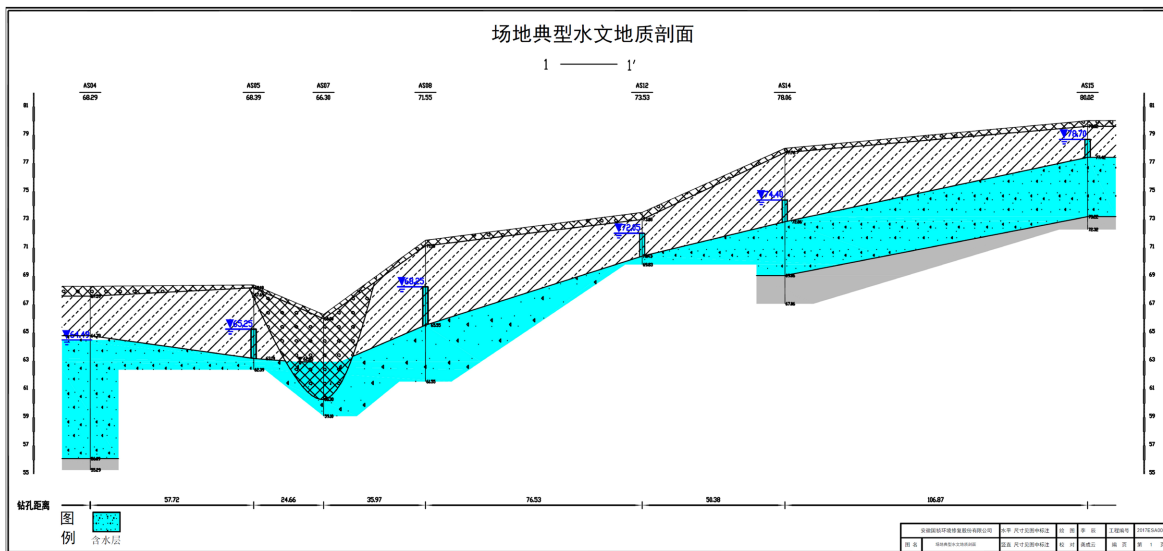


Figure 1. Typical hydrogeological section of the block
图 1. 地块典型水文地质剖面图

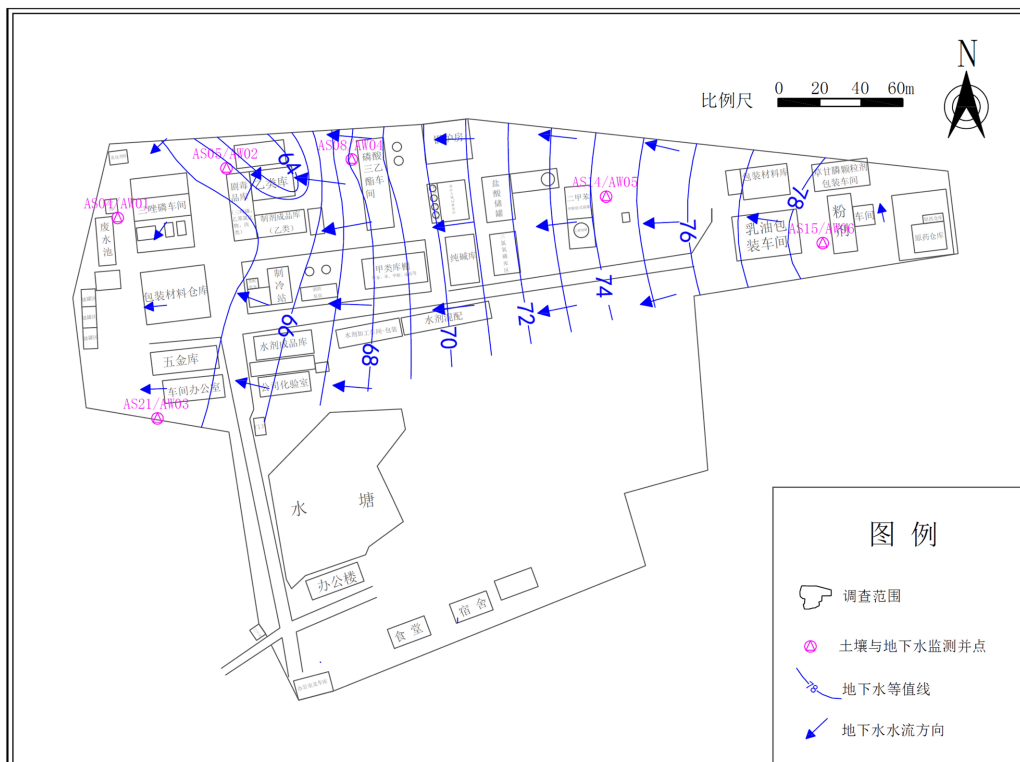


Figure 2. Picture of groundwater flow direction
图 2. 地块地下水流向图

3.3. 含水层渗透性

为更好的证明地块土壤的渗透性能, 本次调查期间, 针对靠近山体的 AW06 号井和远离山体的 AW01 号井开展了现场提水试验, 通过两个井的回水速率验证含水层的渗透性。

并采用外国学者 Hvorslev 于 20 世纪 50 年代提出的微水试验, 通过测定井内水位因提水后瞬时改变的情况, 并通过统计分析方法, 获取该含水层的渗透系数, 参照张昌新[5]相关研究确定渗透系数计算公式如下:

$$K = \frac{R_c^2 \cdot \ln(L/R_w)}{2LT_0} \quad (1)$$

上式中, R_c 为井管半径, L 为进水管长度, R_w 为滤水管半径, T_0 为基本滞后时间(即 $(H-h)/(H-H_0) = e^{-1} = 0.37$ 所对应的时间), Hvorslev 试验模型及理论方法见图 3。

其中 AW01 和 AW06 监测井的提水试验, 应用 Hvorslev 分析方法计算含水层的渗透系数, Hvorslev 分析方法拟合曲线如图 4 所示。经计算可知, AW01、AW06 监测井的地下水渗透系数分别为 0.01 m/d、0.11 m/d, 反映出该场地靠山体一侧含水层较远离山体一侧含水层渗透性好。

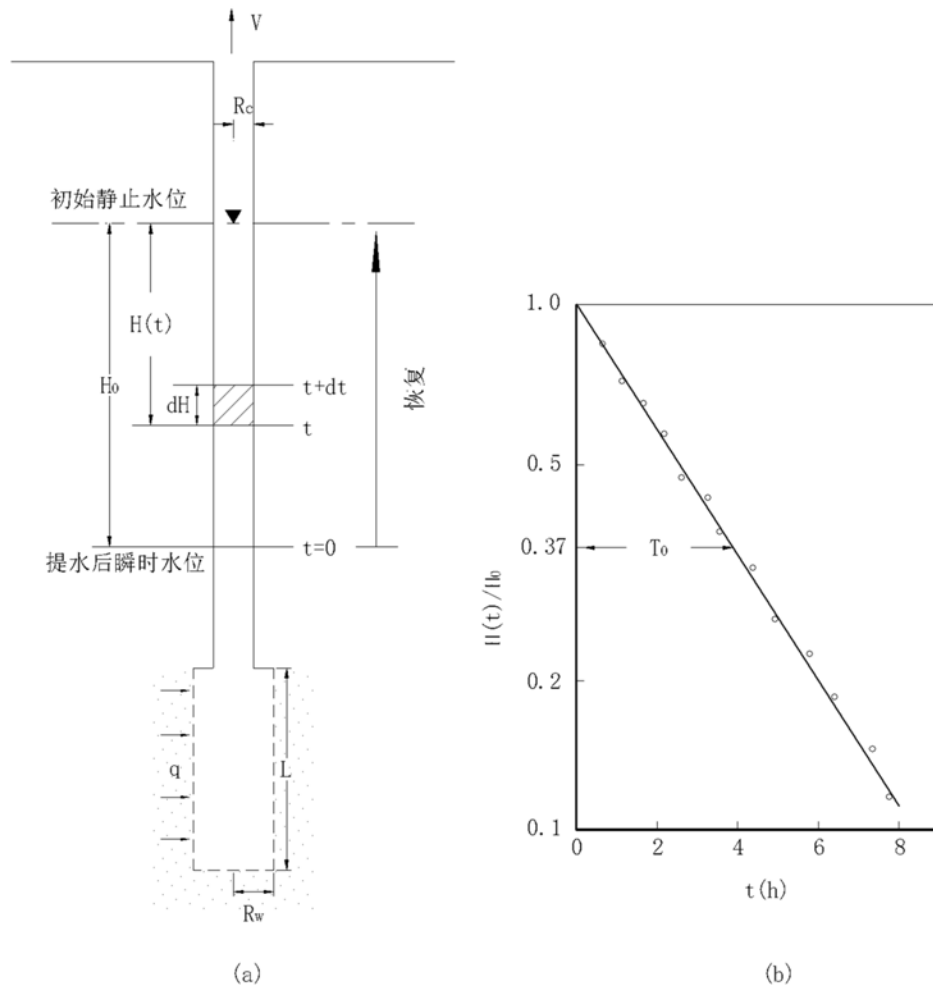
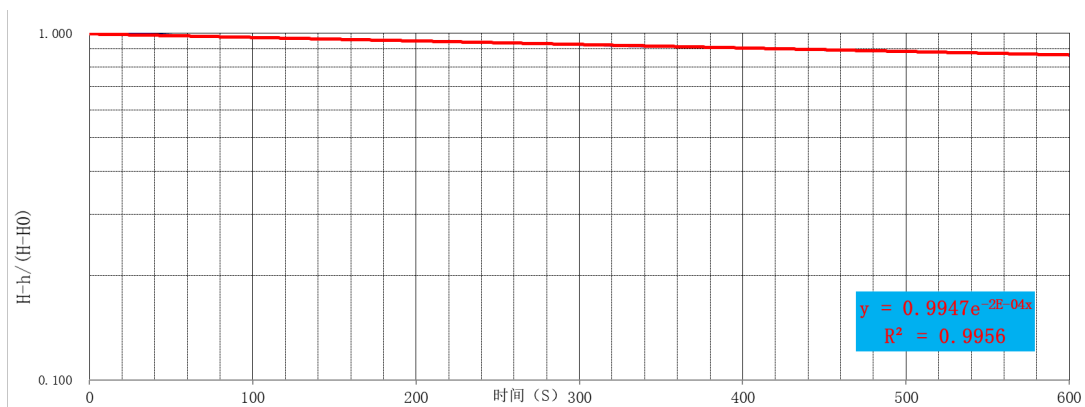
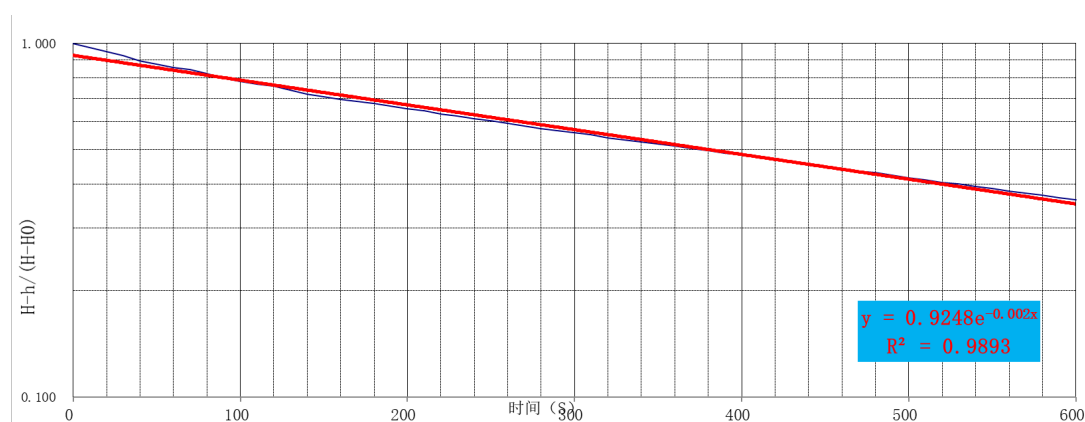


Figure 3. Hvorslev test model and its theoretical schematic diagram
图 3. Hvorslev 试验模型及其理论示意图



(a). AW01 地下水监测井



(b). AW06 地下水监测井

Figure 4. Schematic diagram of Hvorslev method analysis monitoring well test**图 4.** Hvorslev 方法分析监测井试验示意图

4. 地块污染情况

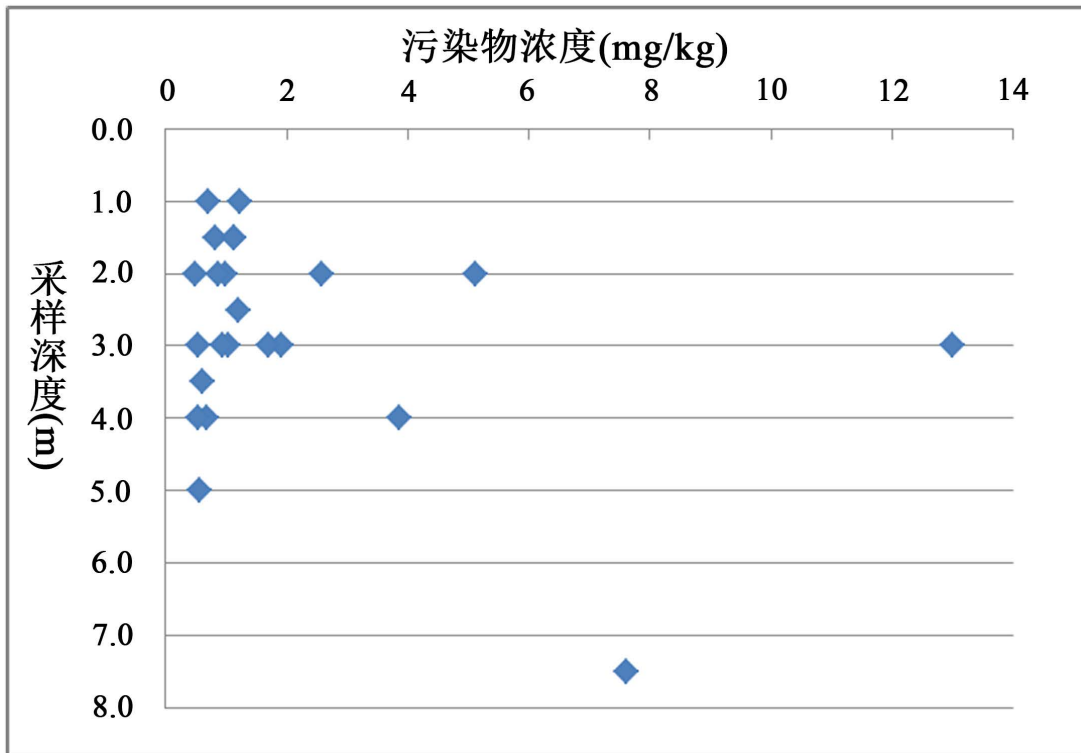
4.1. 污染特征

为更好地解释本地块水文地质条件对污染的影响, 本次调查选择关注度较高的六六六污染物污染特征进行分析。针对本次初步调查取样的 139 件土壤样品检测六六六, 总计有 23 件样品超标, 超标率达到 16.55%。

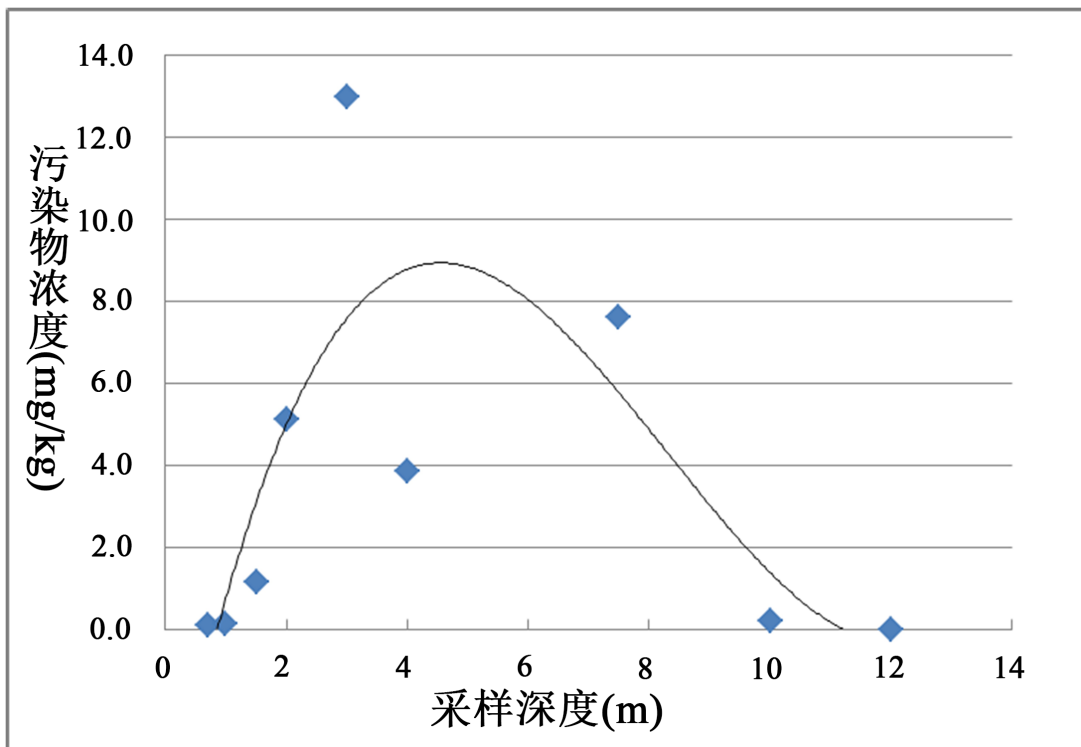
六六六超标点位包括 AS02、AS04、AS08、AS10、AS13、AS17、AS19 和 AS21。六六六浓度为 [0.5, 5] mg/kg 的样品总共有 20 个, 六六六浓度大于 5 mg/kg 的样品共有 3 个。六六六浓度大于 5 mg/kg 的样品分别为土壤监测点 AS04 在 2.0、3.0、7.5 m 处样品, 其中废水池旁 AS04 点位在 3.0 m 垂向采样位置处土壤样品六六六超标倍数最大, 超标倍数为 24.97 倍(浓度为 12.984 mg/kg)。污染较重的超标点位主要分布在废水池、三唑磷车间、包装材料仓库以及磷酸三乙酯车间, 均为原厂区的核心生产区。

依据六六六超标样品采样深度 - 污染物浓度散点图(图 5(a)), 超标样品在垂向深度上主要集中在 1~4 m, 其中污染较重的超标点位主要分布在 2~3 m 的采样深度, 污染物浓度主要集中在 [0.5, 3] mg/kg。选择污染较重的 AS04 孔, 制作土壤六六六污染物浓度垂向分布图(图 5(b)), 并添加趋势线, 趋势线表明随着深度的增加六六六浓度呈现先增高后降低的特征, 且在 3~6 m 之间污染物浓度最大。

本次初步调查取样土壤六六六超标点位及污染范围示意图见图 6 和图 7。



(a) 超标样品采样深度 - 污染物浓度散点图



(b) AS04孔采样深度 - 污染物浓度散点图

Figure 5. Scatter chart of BHC concentration vertical distribution

图 5. 六六六污染物浓度垂向分布散点图



Figure 6. Schematic diagram of excess points of BHC in soil (mg/kg)
 图 6. 土壤中六六六超标点位示意图(mg/kg)

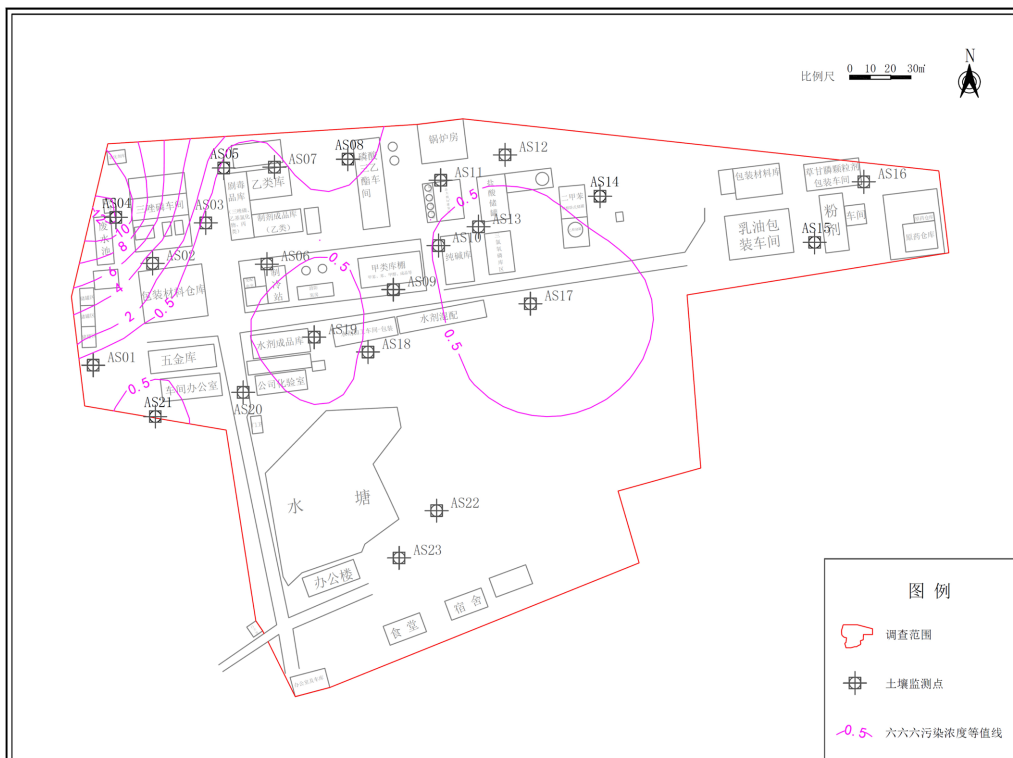


Figure 7. Schematic diagram of soil BHC pollution range (mg/kg)
 图 7. 土壤六六六污染范围示意图(mg/kg)

4.2. 污染概念模型

2008年,王昭于利用地下水污染指数法研究了91种有机污染物的淋溶迁移性,结果表明,其中多数具有高淋溶和迁移性,当这些污染物进入到环境中时,易对含水层造成较大范围的污染[6]。2018年,李克祖等人针对黑河流域浅层地下水防污性能的调查结果表明,地下水埋深、净补给量、含水层介质、地形梯度、包气带介质以及水力梯度都影响防污性能。其中净补给量、地形梯度以及水力梯度越大则防污性能越差,污染物扩散的速率越高;包气带和含水层介质,直接影响土层渗透性,对防污性能影响显著;而地下水埋深越深污染达到含水层距离越长,污染物经地下水扩散的几率越高[7]。

因此基于以上前人的研究,并通过地块踏勘、调查访问,收集场地现状和历史资料及相关文献,深入分析化主要原辅材料、产品、生产工艺、污染物排放情况和处理方式处置方式,可以判定场地污染途径主要是大气有组织和无组织排放源的大气扩散,物料储存、运输、加工过程中的遗洒、渗漏,污水处理设施及污水管线的渗漏,废弃物的随意堆放填埋。

其中大气扩散、物料储存、运输、加工过程中的遗洒、渗漏等污染途径多会造成地表土壤的污染,因本地块上部有稳定的粉质粘土层,根据土层防污性能的估算,该层土有较好的污染阻隔效果,因此通过上述途径污染物向深度扩散的可能性较小,主要集中在表层土壤污染。

污水处理区和废弃物填埋区的均位于地下,废水处理站以及各车间的废水处理池,这些构筑物为水泥材质,使用年限长久后容易产生裂缝,高浓度污水渗漏造成构筑物下方土壤和地下水污染,且污染深度较深,深入含水层,在该构筑物一定范围内的地下水存在污染,且在垂向上表现出地表及底部土壤污染较轻、含水层污染重的情况,符合污染物在含水层中扩散的特征。

结合前述污染调查结果,结合污染概念的模型(见图8),确定该地块污染分布主要为表层土壤大范围的污染,以及重点区域含水层污染迁移。

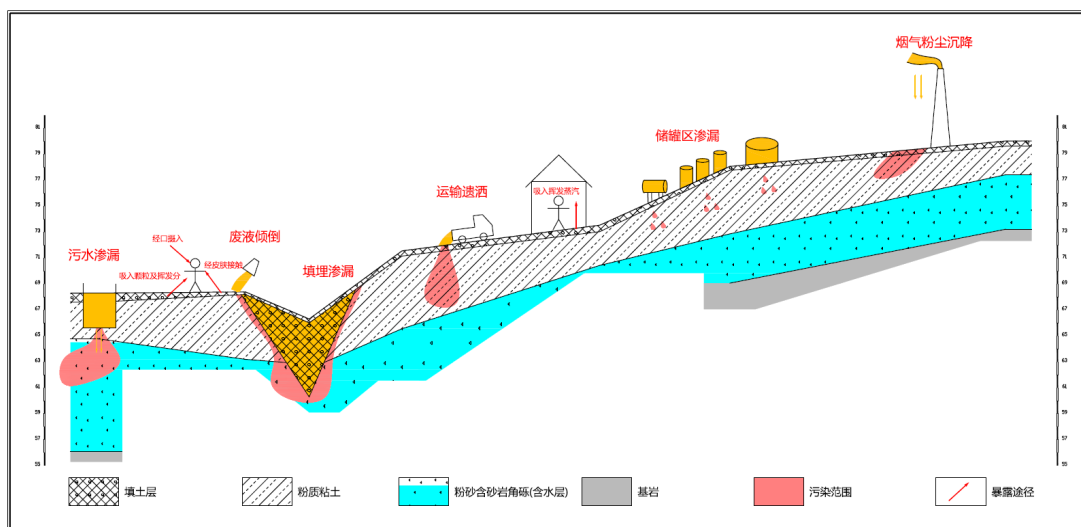


Figure 8. Plot Pollution Conceptual Model Map

图8. 地块污染概念模型图

5. 总结与建议

通过对本农药厂地块的水文地质特征和污染特征分析,得出如下结论:

(1) 渗透性较差的粘性土对污染物有入渗的阻隔作用,同时可能因地表径流的发育造成污染区面上的范围扩散。

(2) 有一定水溶性的污染物在含水层中的扩散行为与地下水流向、浓度梯度造成的污染物弥散因数有关, 伴随含水层中污染物的扩散, 对应区域土壤会受到二次污染。

(3) 地下水丰富的山区, 其含水层渗透性表现出靠近山体的渗透系数较远离山体的渗透性更好, 污染更容易扩散, 且靠山一侧为地下水上游区, 受地形影响水力梯度较大, 以上双重因素影响会加速污染的进一步扩散。

并提出如下建议:

(1) 对于产污企业建厂之前时进行的地质勘查, 除注意土层的力学性质外, 更需要进一步了解地块水文地质条件, 可作为产污环节构筑物位置布设依据之一, 切断或抑制污染的进一步扩散。

(2) 根据水文地质调查的结果, 结合地块污染特征推侧出地下水及土壤的污染范围, 预测污染扩速率及扩散方向, 制定相对应的地下水治理修复及风险管控措施。

参考文献

- [1] 张新钰, 辛宝东, 王晓红, 郭高轩, 陆海燕, 纪轶群, 沈媛媛. 我国地下水污染研究进展[J]. 地球与环境, 2011, 39(3): 415-422.
- [2] 谢建文, 屠显章, 郑晓静. 传统水文地质调查方法在地下水环境污染调查中的应用[J]. 勘察科学技术, 2012(1): 37-41.
- [3] 许伟, 张建荣. 工业污染场地环境调查工作存在的问题及对策[J]. 宁夏农林科技, 2016, 57(4): 52-54.
- [4] 张建荣, 陈春明, 吴珉, 史永松, 孟凡义, 顾凤祥. 水文地质调查在污染场地调查中的作用[J]. 环境监测管理和技术, 2016, 28(2): 29-32.
- [5] 张昌新. 基于 Hvorslev 模型的微水试验应用[J]. 铁道勘察, 2016, 42(2): 16-20.
- [6] 王昭. 华北平原地下水质量评价及微量有机污染物淋溶迁移性研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质科学院, 2008.
- [7] 李克祖, 王金哲, 刘学全, 宋淑红, 孟令群. 黑河流域浅层地下水防污性能评价[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(13): 61-64+103.