

分层止水技术在污染场地环境调查中的应用

常林祯, 杨文轩, 徐 树, 景 龙, 廉 欣, 李 斌
(河北省地矿局第四水文工程地质大队, 河北 沧州 061000)

摘要: 由于工业与化工企业违规排放废(污)水,造成了场地区域土壤与水源的污染,在后期污染场地环境调查评价中,地下水污染深度界定尤为重要,地下水污染深度是地下水健康风险评估的主要依据。在河北省沧县某化工厂污染场地环境调查中,采用锥形止水器进行 2 层坐封式有效分层止水,准确界定地下水的污染深度。结合该工程实例,阐明分层止水器的分层止水技术进行第四系地下水污染深度调查、界定的技术方法。实践证明,该技术具有施工简单、使用灵活等优点,止水效果良好,技术有效、可行。

关键词: 止水器; 分层止水; 环境调查; 污染深度

中图分类号: P641.7 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2017)07-0024-05

Application of Stratified Water Shut-off Technology in Environmental Investigation of Contaminated Sites/CHANG Lin-zhen, YANG Wen-xuan, XU Shu, JING Long, LIAN Xin, LI Bin (No. 4 Team of Hydrogeology and Engineering Geology, Hebei Provincial Bureau of Geo-exploration and Mineral Development, Cangzhou Hebei 061000, China)

Abstract: Due to illegal emission of waste water by the industrial and chemical enterprises, the soil and water resources around the contaminated sites are polluted. It is very important to define the polluted depth of groundwater in the later investigation and evaluation of contaminated sites, because the polluted depth of groundwater is the main basis of health risk assessment of groundwater. Take the case of environmental investigation of a chemical plant contaminated site in Hebei, the cone type water-stopping devices were used with 2 layers setting for effective stratified water shut-off, in order to obtain the accurate definition of the polluted depth of groundwater. This paper elaborates the technical methods by stratified water shut-off device in the investigation and definition of the polluted depth of Quaternary groundwater. The practice proves that this technology has advantages of simple construction and flexible use with good sealing effect and the technology is effective and feasible.

Key words: water-stopping device; stratified water shut-off; environment investigation; pollution depth

随着我国城镇化、工业化进程的快速发展,污染已成为制约经济可持续发展的“瓶颈”。由于部分工业与化工企业违规排放废(污)水,造成场地区域土壤与水源的污染,对粮食安全和其他生物正常生存造成严重威胁。在污染场地环境调查中,为了精确而全面揭示污染物在地下水系统中的时空分布特征和所经历的复杂过程,必须测定水头及污染物浓度的垂向分布情况。为了获得这方面的信息,必须使用定深分层取样技术,即在单个钻孔中的不同深度上取水样,通过取水样分析,界定地下水污染深度,以对地下水污染进行正确风险评估,有效提出污染优化控制方案。

1 项目背景

1.1 场地概况

收稿日期:2017-05-13; 修回日期:2017-05-29

作者简介:常林祯,男,汉族,1970年生,水文工程地质专业,从事水文地质、工程地质、钻探工程技术与管理工作,河北省沧州市新华区黄河东路蔡御街, changlinzhen1970@163.com。

某化工厂位于河北省沧县小朱庄地域,厂区周围大部分为耕地和居民区,南侧有河流通过。该厂始建于 20 世纪 80 年代末期,历经 20 多年生产历史。该企业主要生产间羟-N,N-二基苯胺、间氨基苯磺酸、苯胺-2,5-双磺酸单钠盐。多年来因废(污)水处理、排放不当,使厂区附近土壤、地表水和地下水造成不同程度污染,给当地居民的生产、生活带来了影响^[1]。

1.2 分层止水试验目的

在化工厂场区严重污染区域(硝基苯污染源存放区)采用分层止水技术进行分层止水试验,采集不同深度含水层水样,通过水质化验,测定水中污染物浓度,以确定不同深度含水层的污染状况,界定地下水垂向污染深度。

2 止水器结构设计及止水原理

2.1 止水器结构设计

针对第四系松散地层的特点,我单位早在20世纪80年代即采用过锥形止水器进行浅层止水试验,取得良好效果。经过近年来分层止水试验孔的实践,进一步完善了止水器的技术结构,止水效率、质量均取得了重要突破。锥形分层止水器是由过滤器(滤水管)、锥形体、取水泵室管、连通管(100 m以深使用)四部分组成的管串结构。分层止水器结构设计见图1。

过滤器为胎管打眼,外缠滤网,最大外径 ≥ 110 mm(与目的含水层终孔孔径相匹配)。过滤器结构见图2。骨架胎管选用 $\text{Ø}88.9$ mm \times 6.45 mm无缝钢管,各滤水管间采用接箍丝扣连接。圆孔直径10 mm,孔隙率达20%,滤网采用16号冷轧钢丝圈骨架纵向筋绕制而成,网丝间距为0.8 mm,金属丝断面为梯形,绕制成的滤水孔断面呈V形。根据目的含水层颗粒粒径大小,外包1~2层60~80目尼龙网,以进一步起到阻砂过滤作用^[2]。

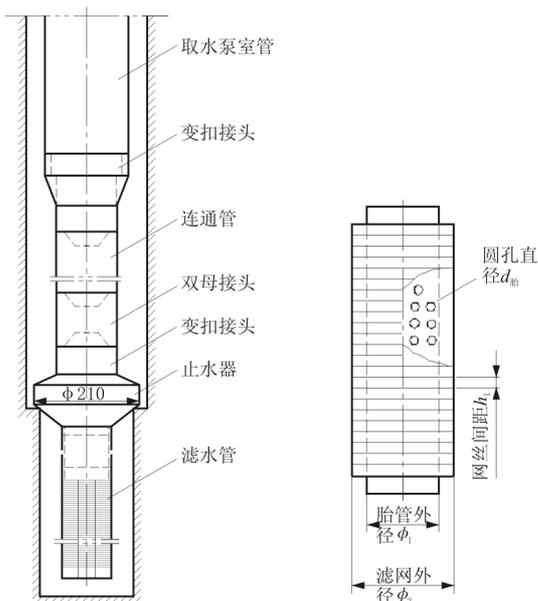


图1 分层止水器管串结构

图2 过滤器结构^[3]

锥形体为中间粗两端细的似枣核状钢制结构,总长度500 mm左右,下部锥度约为上部锥度的2倍,中部最大外径200~210 mm(与目的含水层上部隔水层终孔孔径相匹配),内径50 mm,锥形体下端预留母扣连接下部过滤器,上端预留公扣通过变扣接头与泵室管或连通管连接。

连通管选用 $\text{Ø}88.9$ mm 施工钻杆,取水泵室管

材质选取 $\text{Ø}139.7$ mm 无缝钢管,各管之间采用接箍丝扣连接。

2.2 止水原理

分层止水取样由浅至深进行,采用锥形止水器坐封止水,止水器主要靠粘性土层台阶密封止水。取水目的层以浅大径成孔,自上而下对应下入取水泵室管、连通管及锥形体;取水目的层段小径成孔,对应下入滤水管。止水时依靠管串自重使锥形体坐封于变径台阶上,从而使大小孔径空间分开,达到止水目的^[4]。泵室管与下部滤水管连通,使泵室管内完全反应取水层的信息。取水完毕后将管串提出,再次分级成孔,进行下层取水。止水效果根据取水管串内外水位差进行判别。

3 场地水文地质情况

根据详细调查阶段中首先实施的综合水文地质孔取心勘探和物探测井成果,场区85 m 勘探深度内垂向含水层结构划分如下。

(1) 潜水含水层(第1含水层):埋深0~15 m,地层岩性以粉土、粉砂为主,夹杂分布薄层不连续的粉质粘土、粘土等弱透水层,与地表水具有较强的水力联系,该层划为潜水含水层。

(2) 弱透水层:埋深15~19 m,该段地层为一连续分布,厚度4~5 m的粉质粘土,较松散,该层为弱透水层,对污染物具有一定的阻隔作用。

(3) 微承压含水层(第2含水层):埋深19~32 m,地层岩性以粉细砂、粉砂为主,其间分布不连续的粉质粘土、粘土等弱透水层透水性、富水性均较好,通过弱透水层和人工“天窗”与第1含水层具有一定的水力联系,存在一定的水量交换。

(4) 隔水层:埋深32~49 m,为16~17 m厚的连续粘性土层,岩性以粉质粘土为主,为稳定的隔水层,对污染物具有较强的阻隔作用,是上部微承压含水层的良好隔水底板。

(5) 承压含水层(第3含水层):埋深49~71 m 岩性以粉砂、细砂、粉细砂为主,夹有粉土夹层,为较连续的砂性土层,透水性、富水性较好,水质结构为咸水型,其顶板为良好的隔水层,与上部含水层可视为无水力联系。

(6) 隔水层:埋深71~77 m,为7 m厚的连续粘性土层,岩性为粉质粘土,可视为稳定的隔水层,是上部第3含水层的隔水底板。

(7)承压含水层(第4含水层):埋深77~84 m,为6 m 多厚的粉砂、粉细砂层,上部富水性较差,水质结构为咸水型,与上部第3 含水层具有一些水力联系。84 m 以深为该含水层底板,岩性为粉质粘土(未揭穿)^[1]。

4 技术要求及实施难点

4.1 技术要求

在场地严重污染区域(硝基苯污染源存放区),根据综合水文地质钻孔揭露85 m 深度内物探测井、地质取心成果和初步环境调查结果确定分层止水目的含水层段,进行2~3 层分层止水试验工作。

各目的含水层段的止水、洗井、简易抽水的分层止水试验自上而下的顺序进行,每层抽水结束前取全分析水样及污染分析水样各一件。通过对不同深度目的含水层的水样化验分析,确定各含水层的污染状况,界定地下水垂向污染深度。

4.2 实施难点

(1)分层止水试验孔位靶区范围狭小(不足10 m²),2~3 层的分层止水试验必须在同一孔内进行。

(2)污染物为化工产品,其极易对地层和地下水造成侵蚀污染,发生地球生物化学作用使污染物降解,因此,在分层止水试验钻探实施中泥浆、钻具极易造成上、下层交叉污染,而导致对目的含水层地下水水质污染状况的错误评判。

(3)场区勘探深度内为冲积为主的第四系地层,岩性多以松散细粒为主,此类地层可钻性强,孔壁稳定性差,极易造成孔壁坍塌、缩径等事故。

(4)由于钻遇地层较松软,分层止水各工序衔接应紧凑,止水洗井、抽水历时不宜过长,否则分层止水器管串起拔较困难。

5 分层止水施工工艺

5.1 成孔结构

根据前期场地初步环境调查结果可知,场地32 m 以浅地层和含水层已不同程度受到污染,本次详查目的是通过2~3 层分层止水试验、取样化验,查明32 m 以深2~3 层含水层受到污染程度。因此,本次分层止水试验根据勘探深度内场地水文地质结构暂定2 层:第一层止水目的含水层位置为49~71 m,第二层止水目的含水层位置为78~84 m。分层止水试验成孔结构为四级孔径结构,最终钻孔结构

见图3。

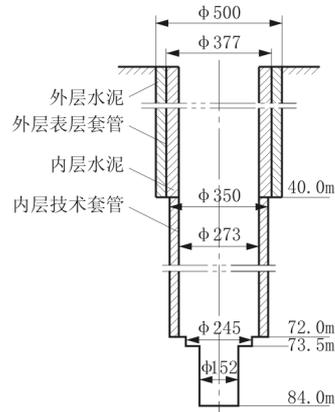


图3 成孔孔身结构

5.2 钻探设备

为满足分层止水试验孔钻深和试验能力要求,根据场地面积大小条件,施工设备应选用钻深能力大于100 m,成孔孔径>500 mm 的钻井设备。该项目选用TSJ-300 型钻机、BW250/50 型泥浆泵和 $\varnothing 89$ mm 钻具。

5.3 成孔工艺

根据各级成孔孔径要求选用不同直径的组合钢齿牙轮钻头,减小回转扭矩,加快钻进速度,使成孔钻具回转平稳,防止出现螺旋形孔壁^[3]。

成孔采用钻铤加压,正循环减压回转钻进工艺,确保钻孔垂直度不得超过1°。

每层段成孔均采用首次小径开孔,再次扩孔的二级成孔工艺。这种成孔工艺降低钻具扭矩,加快钻速,减少泥浆对含水层(地层)的渗透时间,利于保证孔壁地层的原装结构^[3]。

泥浆控制方面,根据项目特点和场地地层岩性特征,未污染的饮用水作为泥浆液,成孔钻进采用原土造浆。成孔施工中严格控制固相含量,采用振动筛除屑和泥浆池沉淀相结合,并及时做好排浆清运工作。钻进时原土造浆后的泥浆液稠度较高,不但影响钻进速度,而且使孔壁泥皮增厚,造成含水层出水困难,不利于洗井。根据以往施工实践,做到冲洗液失水量小,粘度适中,能携带颗粒岩(土)粉,且具有良好的护壁功能^[5]。

为防止孔壁坍塌,控制泥浆性能参数范围为:相对密度1.10~1.25 g/cm³,粘度18~25 s,失水量<20 mL/30 min,固相含量中有效固相(造浆粘土)含量4%左右,无用固相(粘土岩屑、砂)含量<8%(体

积比)^[3]。

孔内压力波动是破坏孔内压力平衡的主要因素,易造成孔壁坍塌,因此开泵、停泵要稳,提下钻具采用低挡位,控制上下钻具速度,还应时刻观察孔内泥浆液面高度,及时向孔内回灌泥浆,使孔内泥浆面始终保持与孔口地表持平^[6]。

5.4 避免二次交叉污染的技术措施

5.4.1 层段封隔

为避免上、下层段施工间的交叉污染,该分层止水试验孔自上而下逐段进行,每层每级成孔后吊下护壁管并水泥固井进行分段封隔。

5.4.2 护壁管选用

为防止外来污染物对本次施工的污染,本次选用的护壁管材质为内外不喷刷任何漆料的无缝钢管,井管间焊接连接,避免漆料和丝扣油的污染。

5.4.3 泥浆液选用与清理

为使泥浆液免受间接污染,泥浆坑及循环沟全部铺设新塑料布与地面隔离,泥浆液均采用未污染的饮用水,成孔钻进中原土造浆,不加入任何外来泥浆材料。

每层段和每级孔径成孔完毕均将孔内及孔外泥浆液用未污染的饮用水进行置换,原泥浆液排运至指定地点。泥浆坑及循环沟及时更换铺设新的塑料布。

5.4.4 钻具、止水器清洗

每层段和每级孔径成孔完毕均须用未污染的饮用水循环、冲洗钻具。

每层止水试验完毕须将止水器滤水管外包的尼绒网拆除,并用未污染的饮用水循环、冲洗止水器管串,最后重新更换尼绒网。

5.5 止水试验方法

5.5.1 第一层止水试验

(1)首先采用 $\varnothing 350$ mm 钻头开孔,先钻进至第一层设计止水位置40 m,而后采用 $\varnothing 500$ mm 钻头二级扩孔。

(2)0~40 m 成孔完毕吊下 $\varnothing 377$ mm \times 5.75 mm 表层套管,套管间采用焊接连接。护壁管吊下到位,用密度为 1.75 g/cm³水泥浆封孔固化至地表,为确保止水、封孔效果,固井水泥浆管外全返,并候凝72 h。

(3)在护孔管内换 $\varnothing 245$ mm 钻头钻穿止水目的层42.5 m 以浅隔水层孔段。

(4)最后采用 $\varnothing 152$ mm 钻头钻至70.5 m,钻穿48.53~70.5 m 第一层目的含水层。

(5)将外径略大于三开孔径的自制钢丝破壁器上部连接钻具下入孔内,自上而下对目的含水层段进行通井破壁;破壁到底后逐步进行换浆,将泥浆粘度降至16 s 左右,密度 1.05 g/cm³左右,而后提出破壁(换浆)钻具。

(6)预先根据目的含水层段厚度和止水深度,丈量、组装止水器管串,使锥形体坐封位置、过滤器和泵室管长度与目的含水层厚度和止水孔的深度相吻合。

破壁、换浆完毕按照过滤器、锥形体、连通管、取水泵室管的先后顺序及时将止水器管串下入孔内预设位置,使锥形体靠止水器管串自重坐封于隔水层的变径台阶上。止水器管串外注满未污染泥浆(或水),时刻观测止水器泵室内、外水位变化。

(7)通过对止水器取水泵室管内、外水位观测,确定止水密封效果良好后,进行止水目的取水段的洗井工作,洗井方法采用泵室管内拉活塞和泵抽联合洗井。洗井选用的活塞外径和抽水潜水泵型号应与泵室内径和目的含水层水头压力水位相匹配。洗井效果达到泵室管内、含水层内的残留泥浆全部排除,直到出水水清沙净。

洗井后及时进行简易抽水试验,了解各目的层的静水位、相对稳定的动水位,抽水结束前按照设计要求取各类分析水样。

(8)第一层止水目的层抽水、取样结束后,及时将止水器管串提出孔内,而后在本孔内继续向下施工第二层止水试验。

5.5.2 第二层止水试验

(1)第一层止水试验结束后,在原孔内采用 $\varnothing 350$ mm 钻头扩孔钻进至二层设计止水位置72 m (一级成孔)。

(2)全孔吊下 $\varnothing 273$ mm \times 8 mm 技套护壁管,技套护壁管间采用焊接连接。技套护壁管吊下到位用密度 1.75 g/cm³水泥浆封孔固化至地表并候凝72 h。

(3)在技套护壁管内换 $\varnothing 245$ mm 钻头钻穿止水目的层73.5 m 以上隔水层孔段。

(4)最后采用 $\varnothing 152$ mm 钻头钻至83.55 m,钻穿77.4~83.55 m 第二层目的含水层。

(5)第二层止水试验的破壁、换浆,止水器止

水,洗井、抽水、取样等工序方法同第一层止水试验的相应工序。

(6)第二层止水目的层抽水、取样结束后,及时将止水器管串提出孔内,而后向本孔内投填 $\text{O}20 \sim 30 \text{ mm}$ 半风干优质粘土球进行封孔,待粘土球沉淀密实后,其上部 3 m 采用水泥浆封固。

6 技术质量检验

分层止水技术质量判别主要依据止水试验期间水位判别和后期水质分析判别。

6.1 水位判别

根据止水器泵室管内、外水位值可初步判断目的层止水效果,泵室管内可真实反应试验层静、动水位。

该项目的 2 层分层止水试验,自下入止水器坐封到位至洗井、抽水、止水试验结束前时段内,时刻对泵室管内、外水位进行监测,做到管外泥浆液面始终与地表基本持平无下降趋势,且始终与管内水位保持水位差;每层止水试验期间管内静水位与区域对应层位水位基本吻合,真实反应了试验层水位。可初步判定止水效果良好、无串层现象。

6.2 水质判别

根据分层止水目的层水样化验结果,可最终判别分层止水技术质量效果。通过对分层止水试验目的层和已查明的浅层污染含水层取样化验出的污染物检出浓度值进行对比分析,各层污染物浓度值有明显区别,再次可以判断各层止水效果可靠。具体污染物检出浓度值见表 1。

表 1 场地不同深度含水层关注污染物检出浓度值

含水层位	含水层埋深/m	硝基苯/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	苯胺/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	COD/ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	取样方式
第一层	0 ~ 13.0	50600	640	4490	已有井内取样
第二层	19.5 ~ 32.5	0.97	8	397	已有井内取样
第三层	48.53 ~ 70.50	<0.5	<2.5	39	分层止水取样
第四层	77.90 ~ 83.55	<0.5	<2.5	45	分层止水取样

注:COD 为化学需氧量。

分层止水目的层取样化验出的关注污染物检出浓度值,均小于国家标准《地表水环境质量标准》

(GB 3838—2002)中规定的数值(集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值:硝基苯 $17 \mu\text{g}/\text{L}$,苯胺 $100 \mu\text{g}/\text{L}$;地表水环境质量标准基本项目标准限值:V类 COD $\leq 40 \text{ mg}/\text{L}$)。最终判定本次分层止水试验效果良好,技术可靠,可准确界定该污染场地的垂直污染深度为 32.5 m,32.5 m 以深含水层未受污染。

7 结语

(1)在河北平原区污染场地环境调查中,分层止水器的分层止水技术进行第四系地下水污染深度调查、界定,止水效果良好,技术质量有效、可行。

(2)在污染场地环境调查中采用分层止水器的分层止水技术,为确保施工过程中不被间接污染,以真实反应止水试验目的含水层的水质情况,必须做好上下层段、钻井液、钻探器具等免受污染的可靠技术措施。

(3)在成孔与分层止水试验期间需控制泥浆性能,保持孔内泥浆液面始终与地表持平,以稳定孔壁,预防孔壁坍塌、缩径等事故发生。

(4)在第四系地层中采用分层止水器进行分层止水,其具有成本低,制作简易,施工简单,使用灵活,组装简便和重复使用等优点,但其不适宜在孔内进行长时间的洗井、抽水作业,一般不应累计超过 8 h,否则止水器管串起拔较难。

参考文献:

- [1] 环境保护部环境规划院,中国地质大学(北京),中国科学院地理科学与资源研究所,等.某化工厂污染场地风险评估报告[R].2014.
- [2] GB 50296—2014,管井技术规范[S].
- [3] 杨永明,景龙,常林祯,等.滨海平原第四系地层灌采井成井工艺及回灌方法[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(5):5-8.
- [4] 中国地质调查局.水文地质手册(第二版)[M].北京:地质出版社,2012:436-437.
- [5] 王江平.河南舞阳铁矿深孔钻进工艺实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(6):27-30.
- [6] 胡郁乐,张绍和.钻探事故预防与处理知识问答[M].湖南长沙:中南大学出版社,2010:69-74.
- [7] DB11/T 811—2011,场地土壤环境风险评价筛选值[S].