

48-52

钻探(钻孔)工程与环境保护

X322

P634

吴光琳

(成都理工学院·成都·610059)

叙述了钻探(钻孔)技术在地下污染层勘查、核废物储埋库选址、地下污染层解污、地下污染物封隔、污水曝气处理和垃圾场甲烷气利用等方面的应用,列举了环境工程实例。

关键词 环境勘查 环境治理 污染 钻探(钻孔)工程



岩土工程

随着工业的蓬勃发展,经济的迅速增长,城市化进程的加快,人口数量的增加,环境污染也日趋严重。人们已经认识到,保护环境与合理利用资源,开发能源,防治灾害,控制人口,同样是社会和经济可持续发展的重要问题。

我国是世界上最大的发展中国家,工业和城市的发展也带来了废物排放量的增加和环境污染的加重。全国固体废物累计堆存总量已达 66.4 亿 t。1995 年工业废物排放量为 6.45 亿 t(内含冶炼废渣、放射性废渣、化工废渣等 5%~10%),预计本世纪末将达到 9 亿 t/a;生活垃圾排放量为 1.1 亿 t(内含有机成分 20%~36%),本世纪末将达到 1.2 亿 t/a~1.4 亿 t/a。固体废物大部分都堆放在厂矿企业和城市的周围,日晒、风吹、雨淋,成为严重的污染源。其挥发物和淋滤液对大气、土壤和地下水造成巨大的污染。

全国废水 1995 年总排放量(未含乡镇企业)为 356 亿 t(其中有重金属、砷、氰化物、挥发酚、碳氢化合物、硫化物等 11.9 万 t),到 2000 年还有增长的趋势。未经处理的废水不仅污染江湖河海,并且在某些地区还渗入地下,严重污染地下水和土壤。

大气、土壤和地下水的污染,对人类的健康和动植物生长都有着极大的威胁。

90 年代以来,欧美及亚洲许多工业发达国家都非常重视环境保护,且越来越多地采用钻探(钻孔)工程对环境污染进行勘查和治理。环境钻探(钻孔)已逐渐成为一个专门的行业。

从目前来看,钻探(钻孔)工程在环境保护中的应用主要有几个方面。

1 地下污染层的勘查

1.1 勘查目的和手段

尾矿、煤矸石、炉渣堆放场,铬渣、电镀污泥和其它冶炼、化工、放射性废渣堆放场,垃圾填埋场,核反应堆废液泄漏区,工业废液排放区,炼油厂,大型燃料库,机场和军事基地等,它们的所在地及其周围地下,由于重金属污染、油类污染、溶剂污染或放射性污染,往往形成一个大面积的污染层。污染物不仅污染原地土壤,并且还通过地下水扩散到更远的地区,造成大范围的污染。为了弄清污染层的面积和深度,界定污染物的分布范围;查明地下污染层有害物质的成分,了解土壤和地下水受污染的程度;探明地下水的流动特性,确定污染物扩散迁移的情况;评价污染对周围环境的影响,以便进一步制订治理污染的方案和措施,通常都要求进行钻探并采集大量的土壤和地下水样品。

环境污染区钻探一般采用多用途、易于迅速运输的轻型钻机。孔深为 20 m~30 m,最大为 80 m~100 m,孔径经常为 $\varnothing 114$ mm~ $\varnothing 219$ mm。钻进方法有双管双钻头回转钻进、空心螺旋钻进、回转振动钻进等。钻进时可不采用洗孔液,在必要的情况下采用清水或不产生附加污染的可生物降解的酯基洗孔液。少数场合还采用空气,甚至低温氮气作洗孔介质,以保持孔壁稳定和采集松散土层的样品。

取样是环境钻探的重要工作。要求样品中的气体和挥发性物质不致逸散,不产生二次污染,土样应尽量不受扰动。在较深钻孔和坚实土层中采用回转法取样;在较浅钻孔和松散土层中则采用压入法或冲击法取样。通常取土器都带 PVC 衬管,土样极易从中取出,可以避免污染物质与大气及操作人员接触。近来美国试验了低温氮气洗孔钻进,可将土壤中的水和液态污染物冻结在原处(例如被焦油污染的砂层),样品不受扰动;同时氮气又是惰性气体,不会使土样受到二次污染。

本文 1998 年 4 月收到,王梅编辑。

1.2 工程实例

1) 德国东部 Stralsund 原苏军基地环境清理工程。该工程利用钻探查明土壤和地下水污染的严重程度。采用了香港 HD 工程公司生产的 HD50K-S 型钻机,在面积达 25 km² 的 Furstensee 油罐场及 Parchin 和 Parow 机场,用 Ø219 mm 的螺旋钻具施工了共 30 个钻孔,深度为 10 m~30 m;用筒式取土器采集样品。

2) 美国俄亥俄州 Wright-Patterson 空军基地的地下水监测网络工程和加利福尼亚州 Fresno 防空基地的污土勘查工程。两个钻探项目都采用了回转与高频振动相结合的钻进方法。由回转振动钻机将双层钻管推进到土层内。外层钻管 Ø150 mm 推到希望深度后成为护孔套管;内层钻管 Ø100 mm 则随推进连续采集土样。取样深度达 75 mm 以上。在冰川沉积中回转振动钻进成孔并连续取样的工作效率为 40 m/d。在 Wright-Patterson 空军基地施工了 35 个监测孔,最大深度为 85 m。在 Fresno 空军基地施工了 5 个勘查孔,孔深超过 75 m,弄清了基地下部水文地质和污染情况。

3) 美国华盛顿州 Hanford 核反应堆工场地下污染层勘查工程。由于提取铀的化学分离和回收过程中产生的高放射性废液等从储罐中泄漏,造成储罐场及其周围地下环境的污染,所以利用钻探和测井手段对地下沉积层中放射性和危险废物的扩散范围进行界定和监测,以便进一步清污。在污染区施工了 75 个监测孔,测定了岩石的水分含量和放射性浓度,另外在孔内还进行了注入试验,研究地下放射性废物的迁移模式;以及作了建立地下渗透性屏障的试验,研究就地处理地下污染物的可行性。钻探表明,大部分放射性废物仍滞留在潜水面以上的渗流层内。

4) 我国某地铁合金厂治污工程。该厂生产金属铬。铬渣积存 25 万多 t。堆放在厂区附近,占地 4 万 m²,其中可溶性六价铬被渗水带入地下,使 15 km²~20 km² 范围内水井遭受污染。为了查明六价铬的垂直渗透和水平运移情况,也曾施工了许多取样和监测钻孔。

2 核废物储埋库的选址

2.1 选址要求

随着核发电、核武器及和平利用原子能工业的发展,核废物日益增多。如何管理好不可避免产生的核废物,防止其危害,是环保的一个重大问题。多

数国家都拟采用深埋的办法,建立地下储埋库,把危险物质与地面隔绝。因此,为核废物储埋库选址也是钻探在环境保护中应用的一个重要方面。选址的要求是:储埋库场地应该是一个有效的屏蔽体,在地质构造上保持稳定,能保证放射性废物不与地下水接触,不含吸引人类开采的矿物资源,并且在有处理技术可用时储埋设施允许废物的回收利用。通过钻探和物探,现在比利时、芬兰、法国、德国、瑞典、瑞士、英国和美国已经找到了许多条件较为理想的核废物储埋库地址。

钻探的任务主要是查明岩石性质,关键为渗透性和裂隙特性;弄清裂隙方向和开度;进行地应力测量,确定岩层的应力状态;研究水文地质情况,确定地下水的驱动力、流向和流速,并且对地下水进行长期监测。

通常要求核储埋库的深度距地面至少为 500 m,所以钻探的深度往往超过 1000 m。一般均采用大型钻机和绳索取芯技术。钻孔时基岩中要求连续取芯,并进行物探测井、水力压裂、抽水试验等工作。

2.2 钻探实例

1) 在英国,UK Nirex 公司负责建立一处国家贮藏固态中放射性废物的储埋库,自 1989 年以来,在英格兰西科姆布里亚的 Sellafield 周围进行了地质和水文勘查,以确定此地是否适用于深部储埋库。鉴别场地特性所用的手段包括 27 个深孔(有些钻孔深达 1900 m),大多数连续取芯;另外还有二维地震勘探和空中物探。最后选择了在海平面以下 650 m 的 Borrowdale 火山岩中建立地下岩性鉴定室,以便在确定储埋库最终设计方案前对深部岩石进行详细检验。钻探表明,火山地层内地下水通过数量有限的裂隙而流动,目前正在进一步为水文地质意义重大的裂隙定性。

2) 在瑞士北部的 Nagra 地区,为选择核废物储埋库场地布置了 12 个孔位。已经完成了 6 个深 1300 mm~2500 mm 的钻孔。钻探的地层为由厚度不等的沉积岩覆盖的结晶岩。任务是了解探区沉积岩和结晶岩的地质结构,以及水文地质和水地球化学条件(包括裂隙充填物),以确定其是否适合于存放高、中、低放射性废物。施工采用的是石油钻机和大直径绳索取芯设备。孔径为 8 1/2"。每个钻孔都使用双层和三层岩心管采集高质量岩芯,并且用孔内电视进行了岩芯定向。在结晶岩孔段采用了非离子型液体作洗孔液。

3) 在瑞典 Aspo 岛,为建立核废物储埋库,在结

晶岩中钻了一口4000 m的科学钻孔,以探明该地的岩石特性,并且通过测井与岩芯定向搞清储埋层的孔隙率、裂隙分布和地下温度等数据,为设计并施工储埋库的隧道系统提供依据。在隧道系统试运行阶段,还要钻10口500 m左右的取芯钻孔,终孔直径76 mm,并进行地球物理测井,确认该系统储埋核废物的可行性。

3 地下污染层的解污

3.1 解污方法

经过钻探确定了污染区的范围以后,如果污染层的土壤和地下水中有有害物质的含量超出了环保标准。[例如美国环保要求地下水中PCB(多氯联苯)的含量不超过 0.5×10^{-9} ,苯不超过 5×10^{-9} ,四氯化碳不超过 5×10^{-9} ,铅不超过 15×10^{-9} 等],则必须进行整治,甚至要把污染层清理到原来未污染的状态。

目前清理地下水污染层的方法主要有抽提、生物整治和空气解吸等。

1)抽提法是在污染区施工一对或数对钻孔。向一个孔中注入清洁的水,从另一个孔中抽出含污染物的水,到地表进行处理,以去除污染物或使其失效。在有些情况下处理过的水又重新注入地下,然后再抽出,一直持续到抽出的液体不含污染物为止。抽提法还用于清除土壤中以沉淀形式存在的重金属。为了提高清污效果和速度,往往在注入水中添加试剂,让试剂和土壤中的重金属作用,产生溶解性的金属离子或金属试剂络合物,然后从抽出液中回收金属。如果在注入水中再添加无毒性易降解的表面活性剂,则能促进土壤中微量金属阳离子解吸,达到更为彻底的解污。

2)生物整治法是利用微生物的代谢作用加速污染物降解,减少现场有害物质浓度或使其完全无害化,实现地下水污染层的解污。具体做法是在污染区钻若干钻孔,然后向土壤和地下水接入外源的污染降解菌,同时提供这些菌生长所需的营养;或者利用地下土著降解菌,并定期由钻孔向地下水投加 H_2O_2 和营养(例如向石油污染的土壤和地下水中连续注入适量的氮和磷营养),促进污染物的生物降解。

3)空气解吸法是将压缩空气经由钻孔注射到污染地下水的下部,气流加速地下水和土壤中有机物的挥发和降解。在通入空气时还可加入一定量的 NH_3 气,为土壤中降解菌提供氮营养,使降解菌通过

代谢将污染物彻底矿化成 CO_2 和 H_2O 。

上述方法在渗透性良好的土层中解污效果较佳。在渗透性不良的土层中,为了提高渗透性,往往采用土层压裂技术,该技术包括钻孔和注入压裂液两步作业。压裂液是按3.6 kg砂加入4.5 l液体的比例混合而成。泵送压力为8.4 MPa,泵送液量为114 l/min,以形成有效的充填裂隙网络,减少解污时间,提高解污效果。近来在解污工程中还越来越多地采用水平定向钻孔。与垂直钻孔相比,水平定向钻孔可平行于污染地层层面,同污染层接触面积大,因此解污更为经济而有效。

3.2 治理实例

1)德国Humburg地区铁路装油站地下土层的解污。石油污染面积达3300 m^2 ,深度为2.5 m。严重危害地下水源。该工程由欧洲共同体资助。由于土层渗透性低,所以采用了VHP-400轻型空气压缩机与FRAC压裂装置相结合的解污系统。FRAC装置包括4只外径为32 mm的压力管。工作时插入土壤3 m,使其处于石油污染层以下。然后送入压力高达20 bar的压缩空气,进行解污。一次插入解污完成,设备就按50 cm的距离向前移动,并不断重复这一过程。

2)我国北京肯特中心对面加油站地下土层的解污。由于加油站储油罐漏油,造成了长200 m、宽30 m的污染带,使一条重要的电缆沟受到威胁,所以采用了打密孔、下管填砾料、注水洗井等方法替换地下带油的污染液。设备为DDP-100-5型汽车钻机和W-9/7型空压机。设计了两排40个钻孔,孔距为1.2 m~1.5 m,孔深8 m,孔径300 mm。全部钻孔均用空气洗井,并且注入清水冲刷,取得了良好的效果。

4 地下污染物的封隔

4.1 封隔措施

治理污染区的另一举措是对地下污染物实行封闭和隔离处理。为此也要利用钻孔工程。封隔地下污染物常用的措施有两种。一种是固结;另一种是屏障隔离。

1)固结是在钻孔中进行土层压裂后灌注水泥浆液,或者在钻孔中直接喷浆搅拌,使土壤或沉积物中的重金属、放射性、烃类等污染物固定,防止其向周围环境迁移。

2)屏障隔离是建立灌浆帷幕、防渗墙或渗透性屏障,截断污染物扩散的去路。当地下水通过渗

透性土层可能进入河流和生活用水区时,则施工多排间距只有数米的钻孔,每个孔都钻到渗透性低的基岩内,然后向孔内压入水灰比一定的水泥浆,形成嵌入基岩的防渗帷幕,阻止污水渗流。另外,建造地下防渗墙,把污染物封闭在由底部不透水岩石和周围地下防渗墙组成的隔离盆中。较新的措施是建立渗透性屏障(又称渗透性反应墙)。这种渗透性反应墙起着过滤器的作用。当地下污水流过由钻孔注入化学药剂的反应墙时,地下水中的污染物就被反应墙捕集,或者降低化合价位而失效。

4.2 施工实例

1)英国诺丁汉地区 Kier 煤矿建立的灌浆帷幕。该帷幕的作用是防止废物堆放场的污水经由高渗透性土层流进矿区并污染 Erewash 河。为建立帷幕施工了3排共62个钻孔,最终孔距是2.5 m。每个孔都钻到低渗透性岩层以下2 m,最深钻孔为42 m。帷幕宽5 m,长95 m。灌浆水灰比为3:1。地层有大孔隙时还在混合物中加砂,成功地实现了隔断污水的目的。

2)我国某地采用地下防渗墙封闭由于六价铬渗入地下形成的污染区。防渗墙为粘土混凝土连续墙,墙厚0.7 m,墙深12 m左右,进入基岩0.8 m~1 m。总长为800 m。防渗墙建成后监测的结果是污染前锋地下水六价铬含量0.0037 mg/l~0.015 mg/l,符合饮用水中低于0.05 mg/l的标准。国外控制污染的地下防渗墙多数是土—水泥混合墙。施工时采用空心三层螺旋钻具。在钻进土层和排土的过程中,通过螺旋轴泵送水泥浆液。螺旋钻的螺旋和搅拌板均匀地把土和水泥浆混合起来,在原地形成连续搭接的土—水泥柱。一般墙厚为305 mm~610 mm,墙深可大于60 m。8h的生产率为90 m²~140 m²。

3)美国华盛顿州 Hanford 基地曾采用一排钻孔向土层注入连二亚硫酸盐,建立渗透性屏障,以处理608 m宽的被铬酸盐污染的地下水扩散带。

5 污水的曝气处理

采用深井曝气处理污水,让其解污后排放或循环再用,是钻孔工程在环境保护中的又一应用。

深井曝气是对污水进行充氧的生物处理过程。其原理是向污水中投放活性污泥,在供氧的情况下,附在污泥上的细菌将污水中的有机物吸附并氧化代谢,使其一部分生成CO₂、H₂O及无机盐;另一部分则合成为新的活性污泥,从污水中分离出去。由此

污水得到净化。

曝气深井直径为1 m~6 m,深度为50 m~150 m。直径3 m以内的井用回转钻或冲击钻施工,而直径大于3 m的井则用沉井法或竖井掘进法施工。井内安装曝气槽,有同心圆和U形管两种形式。直径小于3 m的槽体用封底的钢管制作,槽体外侧灌注混凝土或充填粘土球和石料。曝气槽内的液流靠气举或泵提实现循环。气举时压缩空气既是循环的动力,又是生化的氧源;而泵提时生化所需的空气则另行注入。深井曝气技术常用于食品加工、化工、制药、造纸、酿造等工业废水和城市污水的处理。日处理污水量可达数千t至2万t~3万t。目前国内已有几十座深井曝气污水处理装置。

例如某厂处理环氧乙烷皂化废液施工的曝气深井,直径为1 m,深度为70 m。钻井设备为8JZ-95型冲抓机和SPJ-300型钻机。采用冲抓沉井、回转钻进和锅锥取渣等方法成井。再如北京制药三厂废水处理站的曝气深井。直径为2 m,深度为101 m,曝气槽直径为1.4 m。日处理污水量达3000 t。施工设备为GPS-25型钻机及其配套装置。成井方法是泵吸反循环和气举反循环。

6 垃圾场甲烷气的利用

自1979年以来,我国的城市垃圾平均每年以8.98%的速度增长。由1980年的3132万t猛增到1995年的10748万t。预计到2000年将达到1.2亿t~1.4亿t。其中含有机成分为20%~36%,若以每吨有机垃圾产生100 m³甲烷气计算,则每年甲烷气产生量为120亿m³~140亿m³(相当于1200万t~1400万t石油)。全国每个大中城市都有垃圾堆放场,许多城市处于垃圾包围之中,由垃圾逸散出来的甲烷气不仅污染居民生活环境,而且其温室效应是CO₂的20倍,对臭氧层的破坏是CO₂的7倍。CH₄是全球温度升高的一个重要因素。因此,利用垃圾甲烷气,变害为利,是许多国家关注的问题。甲烷气可用于发电、制造化肥、碳黑和甲醛。世界上少数地区垃圾填埋场的甲烷气已有商业性应用。美国有30多个厂家回收利用垃圾场产生的甲烷气,南加州有一座50MW的蒸气涡轮机电厂,完全用垃圾场甲烷气作燃料。英国也有类似的小型发电厂。北欧一些国家还利用垃圾场甲烷气作燃料供热。

例如瑞典斯德哥尔摩郊区 Gladokvarn 垃圾场堆积了15年的各种生活垃圾。为了保护环境并节约石油,决定利用垃圾场产生的甲烷气。采用外径为

10"的空心螺旋钻具施工了70个钻孔,孔深15 m~20 m,最深为22 m。成孔后,孔身用耐热的PVC套管加固,并在孔底设置了长度为2 m的砾石过滤器。自1992年以来,垃圾场已从深达20 m的钻孔中抽出甲烷气,日产量为22000 m³。甲烷气通过13 km长的管线输送到一座5 MW的供热厂,然后供热厂以中央供热的方式将暖气送到附近的住宅区,供2500户家庭取暖。

从广义上说,环境保护应包括环境污染的管理和地质灾害的防治。本文只涉及了钻探(钻孔)工程在地下污染层勘查和整治以及污水和废气处理方面的一些应用。实际上,钻探(钻孔)技术在滑坡、泥石流、危崖崩落、地面沉降、地面塌陷、堤岸破坏等地质灾害的防治方面也是大有作为的。由此可见,环境保护是钻探界的一个很大的服务领域,值得大家重视。

参考文献

- 1 1995年中国环境状况公报.环境保护,1996(7)
- 2 Rotasonic investigations. Geo Drilling International. Dec, 1994:9
- 3 Chadwick J. East German clean - up. Geo Drilling International. Apr, 1994:19
- 4 Ellis D, et al. Environmental applications of oilfield technology. Oilfield Review. Autumn, 1996:44~57
- 5 Grout curtain to contain contaminated water inflows. Geo Drilling International. Dec, 1994:2
- 6 冉德发. 加油站地下油污染的治理. 探矿工程. 1997(7):41
- 7 Bioremediation of polluted land by FRAC. Geo Drilling International. Dec, 1994:2
- 8 爱呈辉,等. 土壤重金属污染治理方法研究进展. 环境科学. 1997(3):72~75
- 9 丛嵩森. 地下连续墙治理地下水污染. 地质与勘探. 1997(1):59~64
- 10 The S M W. technique in environmental protection. Geo Drilling International. Apr, 1993
- 11 聂水丰,等. 中国固体废物管理与减量化. 环境保护. 1998(2):6~9
- 12 应道宜. 深井曝气废水处理技术的原理及其评价. 探矿工程. 1993(6):11~13
- 13 徐德亮. 曝气污水处理成井工艺. 探矿工程. 1993(6):10~12
- 14 Drilling method extracts gas from domestic waste. Geo Drilling International. June, 1993:7~8
- 15 孟范平. 固体废物填埋场甲烷气生成与减少途径. 上海环境科学. 1996(6):34~36
- 16 Landfill monitoring in Wales. Geo Drilling International. Feb, 1994:3

DRILLING ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

Wu Guanglin

the drilling techniques have to identifying subsurface polluted layer, selection of nuclear waste burying site, treatment of subsurface polluted layer, separation of subsurface polluted layer, treatment of sewage and blasting gas, and utilization of methane in waste. Some engineering examples are exhibited to show the application of drilling techniques.

Key words investigation of environment, environmental improvement, pollution, drilling engineering



第一作者简介

吴光琳,男,教授,国家有突出贡献专家。1958年毕业于前苏联列宁格勒矿业学院探矿工程专业。1989~1990年赴美国加利福尼亚大学伯克利分校和爱达荷大学采矿系做访问学者。一直从事岩石破碎,定向钻进和取芯方面的教学和科研工作。

通讯地址:四川省成都市二仙桥东三路一号 成都理工学院勘察与机电工程系 邮政编码:610059