

某固体废物处置场水文地质试验应用实践

于丰泽, 黄方泉, 董云

核工业西南勘察设计研究院有限公司, 四川 成都
Email: daniel_dongyun@163.com

收稿日期: 2021年6月17日; 录用日期: 2021年7月1日; 发布日期: 2021年7月21日

摘要

场地的安全稳定对处置场的正常运行至关重要, 地下水是影响场地安全稳定的一个重要因素, 通过水文地质试验可以获取场地岩土体的渗透特性, 为场地的稳定性计算提供水文地质参数。本文通过试坑渗水试验、钻孔压水试验、注水试验、抽水试验等水文地质试验得到了处置场岩土体的渗透特性, 并获取了相应的水文地质参数, 为进一步的分析计算提供了技术支撑, 对处置场的安全稳定具有十分重要的作用。

关键词

处置场, 水文地质试验, 地下水, 渗透性, 影响半径

Application Practice of Hydrogeological Test in a Solid Waste Disposal Site

Fengze Yu, Fangquan Huang, Yun Dong

Nuclear Industry Southwest Survey and Design Institute Co., Ltd., Chengdu Sichuan
Email: daniel_dongyun@163.com

Received: Jun. 17th, 2021; accepted: Jul. 1st, 2021; published: Jul. 21st, 2021

Abstract

Site safety and stability are very important to the normal operation of the disposal site, while groundwater is a key point affecting the safety and stability. Hydrogeological tests can be applied to get hydrogeological parameters for site stability calculation and to define the permeability characteristics of the rock and soil. In this paper, kinds of hydrogeological tests such as pit seepage test, borehole water pressure test, water injection test and pumping test, were carried out to explore the rock and soil permeability characteristics of the disposal site and get the correspond-

ing hydrogeological parameters for further analysis and calculation, which played a decisive role for site safety and stability.

Keywords

Disposal Site, Hydrogeological Tests, Groundwater, Permeability Characteristics, Radius of Influence

Copyright © 2021 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

处置场对场地安全稳定要求极高, 场地失稳会造成用于存放危险固体废物的建(构)筑物受损。如果造成危险废物泄漏事故, 其后果是十分严重的, 治理也是相当复杂的。处置场的安全稳定受多方面因素影响, 其中地下水是一个重要的因素。通常场地地下水在雨季和枯季的地下水补给、径流和排泄特征有很大差异, 雨季地下水获得丰富补给, 地下水水位抬升, 对处置场的安全稳定构成威胁。如果处置场位于山区, 为了满足处置场建(构)筑物修建的需求, 需要进行高边坡开挖支护, 而开挖会造成岩土体松弛, 改变地下水渗透特征, 对边坡的安全稳定产生影响, 进而对处置场的安全稳定构成进一步威胁。而为了了解地下水的运动特征, 进行渗流分析, 并提出合理的截排水措施, 保证场地安全, 通常需要先进行水文地质试验获取分析研究的基础数据。

2. 工程概况

某处置场位于龙门山断裂带, 地质条件复杂, 其建(构)筑物附近存在高边坡。受 5.12 地震及其余震影响, 处置场及其附近裂隙已发生进一步变化。高边坡支护施工时, 对斜坡进行了开挖, 受开挖影响, 该处置场边坡和场地水文地质条件发生了较大变化, 场地水文地质条件由简单变得十分复杂。此外, 该处置场附近高边坡工程在修建初期便有两处滑坡(1#、2#)形成, 采用截排水及格构锚索等措施对其进行了治理, 但经历雨季之后, 两处滑坡变形再次加剧, 严重威胁坡脚在建工程[1]。为了弄清场地水文地质条件现状, 以及其对处置场场地及边坡安全稳定方面的影响, 在修建处置场时进行了工程科研, 开展了水文地质试验[2]。

3. 水文地质试验

为了获得处置场边坡、场地主要水文地质参数, 进而进行稳定性计算、地下水排水设计施工等, 该处置场进行了水文地质试验, 包括试坑渗水试验、钻孔压水试验、注水试验、抽水试验等[3]。水文地质试验点位置图见图 1。

3.1. 试坑渗水试验

1) 试验概况

为了查明覆盖层的渗透性, 本次选择了 6 个点进行渗水试验, 渗水试验点分布见图 1。试坑深 30 cm, 坑底面积 40 cm², 并保持坑中初始水层厚为 10 cm。渗水试验现场见图 2。

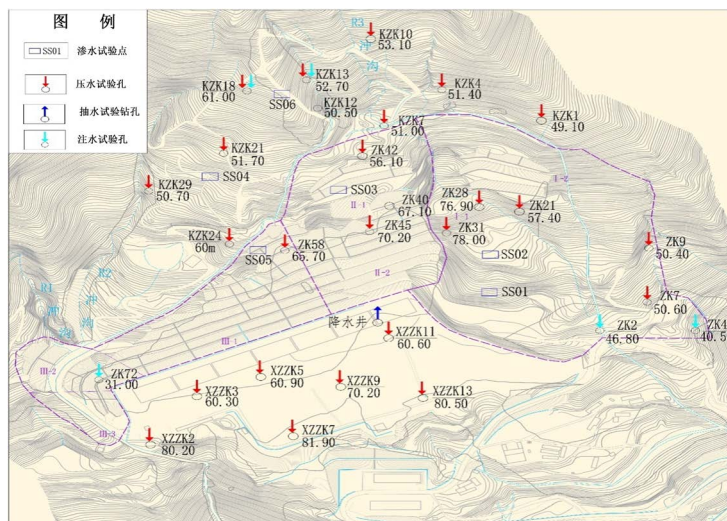


Figure 1. Location of hydrogeological test points
图 1. 水文地质试验点位置图



Figure 2. Infiltration test scene
图 2. 渗水试验现场图

试坑渗水试验及水文地质参数计算结果见表 1。

Table 1. Test pit infiltration test and calculation results of hydrogeological parameters
表 1. 试坑渗水试验及水文地质参数计算成果表

试坑编号	试坑渗水面积(F)	稳定流量(Q)	渗透系数(K)
	cm ²	cm ³ /min	cm/s
SS01 (ZK25 附近)	3200	160	4.6×10^{-2}
SS02 (ZK26 附近)	3200	320	1.7×10^{-3}
SS03 (ZK47 附近)	4800	80	1.4×10^{-2}
SS04 (KZK27 附近)	4800	1600	0.65
SS05 (KZK24 附近)	4800	640	0.26
SS06 (KZK18 附近)	4800	3200	1.1×10^{-2}

2) 试验结果分析

从表 1 中可以看出, SS01、SS03、SS04、SS05、SS06 处覆盖层渗透性等级为强透水, SS02 处覆盖层渗透性等级为中等透水; 结合前期勘察资料可知, SS01、SS02 渗水试验点位于 1#滑坡前缘, 岩性以含碎石粉质粘土为主, 结构松散, 透水性中等~强[3]; SS03 位于 2#滑坡后缘靠近排水渠附近的平台, 岩性为含碎石粉质粘土, 厚度约 5 m, 透水性强。SS04、SS05、SS06 分别位于排水渠外围东侧边坡的中部和顶部, 为原始覆盖层, 岩性分别为粘土、粉质粘土, 但结构松散, 透水性强。

3.2. 钻孔压水试验

1) 试验概况

为了定性地了解地下不同深度岩层的相对透水性和裂隙发育相对程度[4], 根据边坡岩层、地形变化特征, 本次选取了 25 个(边坡 18 个、场地平台 7 个)钻孔进行压水试验。试验采用自上而下的分段压水法, 最大压力 0.6 MPa, 试验段长度一般 5~10 m 左右。压水试验现场见图 3。



Figure 3. Slope water pressure test site
图 3. 边坡压水试验现场图

边坡钻孔压水试验结果见表 2; 将边坡压水试验成果进行统计所得的结果见表 3。

Table 2. Test results of water pressure in slope drilling
表 2. 边坡钻孔压水试验成果表

钻孔编号	试段编号	试段起止(m)	透水率(Lu)	渗透系数(cm/s)	渗透性分级
ZK21	1	14.8~20.3	18.70	2.45×10^{-4}	中等透水
	2	20.4~26.3	17.68	2.84×10^{-4}	中等透水
	3	26.4~32.3	5.88	7.67×10^{-5}	弱透水
	4	32.4~38.3	2.38	3.15×10^{-5}	弱透水
	5	38.4~44.3	2.36	3.12×10^{-5}	弱透水
	6	44.4~50.3	2.31	3.06×10^{-5}	弱透水
	7	50.4~55.8	2.92	3.47×10^{-5}	弱透水
	8	55.8~61.8	2.50	3.31×10^{-5}	弱透水
	9	61.8~66.3	1.57	1.47×10^{-5}	弱透水
.....

Continued

KZK4	1	17.7~24.4	5.31	8.57×10^{-5}	弱透水
	2	24.4~30.4	1.42	2.13×10^{-5}	弱透水
	3	30.4~39.4	11.57	1.75×10^{-5}	中等透水
	4	39.4~45.4	2.56	3.84×10^{-5}	弱透水
	5	45.4~51.4	8.27	1.35×10^{-5}	弱透水
.....
ZK42	1	12.50~20.40	9.24	6.23×10^{-5}	弱透水
	2	20.00~27.90	9.58	6.58×10^{-5}	弱透水
	3	27.90~33.30	6.24	4.11×10^{-5}	弱透水
	4	33.30~39.20	7.55	5.01×10^{-5}	弱透水
	5	39.10~47.50	5.73	3.87×10^{-5}	弱透水
	6	47.50~56.10	5.28	3.42×10^{-5}	弱透水

注：表 2 中所示内容仅展示部分边坡钻孔压水试验成果。

Table 3. Test results of water pressure in slope drilling

表 3. 边坡钻孔压水试验成果表

统计项目	压水试验透水率 q 值(Lu)				
	$0.1 \leq q < 1$	$1 \leq q < 10$	$10 \leq q < 100$	$q \geq 100$	不起压
段数	7	69	19	1	9
比例(%)	6.7	65.7	18.1	0.9	8.6

场地钻孔压水试验结果见表 4；将场地压水试验成果进行统计所得的结果见表 5。

Table 4. Test results of drilling water pressure on site

表 4. 场地钻孔压水试验成果表

钻孔编号	试段编号	试段起止(m)	透水率(Lu)	渗透系数(cm/s)	渗透性分级
XZZK2	1	11.87~18.2	9.8361	2.82×10^{-5}	弱透水
	2	17.57~22.7	3.9563	4.33×10^{-5}	弱透水
	3	22.57~30.2	1.4424	2.54×10^{-5}	弱透水
	4		不起压段		-
	5	34.57~42.2	8.0477	1.53×10^{-4}	弱透水
	6	41.57~46.7	7.3779	7.97×10^{-5}	弱透水
	7	43.37~52.7	9.2110	3.24×10^{-4}	弱透水
	8	55.37~64.7	11.7798	4.87×10^{-4}	中等透水
	9	64.57~69.7	1.3115	1.43×10^{-5}	弱透水
	10	69.59~80.2	5.4941	1.45×10^{-4}	弱透水
.....
XZZK5	1		不起压段		-
	2		不起压段		-
	3	16.0~22.1	3.6785	4.96×10^{-5}	弱透水
	4	22.39~29	4.4950	6.72×10^{-5}	弱透水

Continued

	5	29~35.1	2.1229	2.86×10^{-5}	弱透水
	6	34.55~41.2	28.1253	2.55×10^{-4}	中等透水
XZZK5	7	41.2~47.3	17.4063	3.18×10^{-4}	中等透水
	8	41.95~48.8	5.6450	7.70×10^{-5}	弱透水
	9	54.8~60.9	120.6579	1.22×10^{-3}	强透水
.....
	1	35.8~42.4	5.7974	9.51×10^{-5}	弱透水
	2	41.95~48.8	1.5529	2.41×10^{-5}	弱透水
XZZK13	3		不起压		-
	4	54.85~61.3	3.4077	4.91×10^{-5}	弱透水
	5	62.55~72	2.1472	4.88×10^{-5}	弱透水
	6	71.65~80.6	2.3737	5.06×10^{-5}	弱透水

注：表 4 中所示内容仅展示部分场地钻孔压水试验成果。

Table 5. Statistics of site water pressure test results [3]

表 5. 场地压水试验成果统计表[3]

统计项目	压水试验透水率 q 值(Lu)				
	$0.1 \leq q < 1$	$1 \leq q < 10$	$10 \leq q < 100$	$q \geq 100$	不起压
段数	1	41	5	1	5
比例(%)	1.9	77.4	9.4	1.9	9.4

2) 试验结果分析

a) 边坡钻孔压水试验

从表 2 和表 3 并结合前期勘察资料可以看出，勘察区地层岩性渗透性总体为弱透水，弱透水区占 65.7%。由于裂隙、破碎带发育某些钻孔存在中等透水或强透水区段[3]。压水试验揭示，勘察区地层的渗透性总体上具有随深度逐渐减弱的特征；受裂隙和破碎带发育的影响，部分试段的 Lu 值呈跳跃式浮动[4]，如 KZK4 钻孔 3 试段。根据钻孔岩心资料，大部分中等透水试验段位于钻孔的上部，受风化作用明显，岩芯破碎，以饼状和短柱状为主，风化裂隙发育。在压水试验过程中，裂隙由于水的冲积，造成裂隙宽度增加，使压入水量增大，透水率随之增大[4]。由于破碎带某些试段给压小，压入水量也很大，为强透水区。

b) 场地钻孔压水试验

从表 4 和表 5 并结合前期勘察资料可以看出，场区地层岩性渗透性总体为弱透水，弱透水区占 77.4%。由于裂隙、破碎带发育某些钻孔存在中等透水或强透水区段[3]。压水试验揭示，场区地层的渗透性总体上变化不大，局部破碎带位置，渗透性较大，渗透系数约为 1.22×10^{-3} cm/s。

c) 压水试验总体情况

基岩总体上为弱透水区，局部裂隙发育、岩心破碎段，其渗透性相对较好，呈中等~强透水区。

3.3. 注水试验

1) 试验概况

为了测定松散岩土体的渗透性，本次试验采用钻孔降水头注水法对 7 个钻孔进行注水试验，并用 Diver 自动检测水头值。钻孔注水试验结果见表 6。

Table 6. Test results of borehole water injection
表 6. 钻孔注水试验成果表

孔号	渗透系数(cm/s)	渗透等级
ZK40	5.51212×10^{-5}	弱透水
KZK12	9.07443×10^{-5}	弱透水
KZK13	8.261×10^{-5}	弱透水
KZK18	2.06432×10^{-5}	弱透水
ZK72	6.48908×10^{-4}	中等水
ZK2	1.37948×10^{-5}	弱透水
ZK4	1.91913×10^{-5}	弱透水

2) 试验结果分析

从表 6 可以看出，钻孔破碎的基岩渗透性基本为弱透水，个别极破碎的渗透等级为中等透水，实验结果与钻孔压水试验结果吻合。在试验过程中通过对水头的观测，从浅到深，大部分钻孔水头下降基本成线性，为弱透水；在局部破碎段下降快，渗透性为中等透水[3]。个别钻孔岩心整体破碎，渗透性为中等透水。

3.4. 抽水试验

1) 试验概况

为了获取场区降水井的特征曲线，计算降水井最大涌水量与单位涌水量，确定含水层的水文地质参数，本次水文地质试验进行了降水井抽水试验[5]。降水井井深 13.8 m，稳定水位埋深约 3.6 m，水位高程 602.4 m，井壁结构见图 4。抽水试验在满足水泵抽水能力条件下，对降水井进行稳定流抽水试验，并达到三次降深要求，抽水试验观测数据曲线见图 5~7。



Figure 4. Profile characteristic map of dewatering well in site area
图 4. 场区降水井剖面特征图

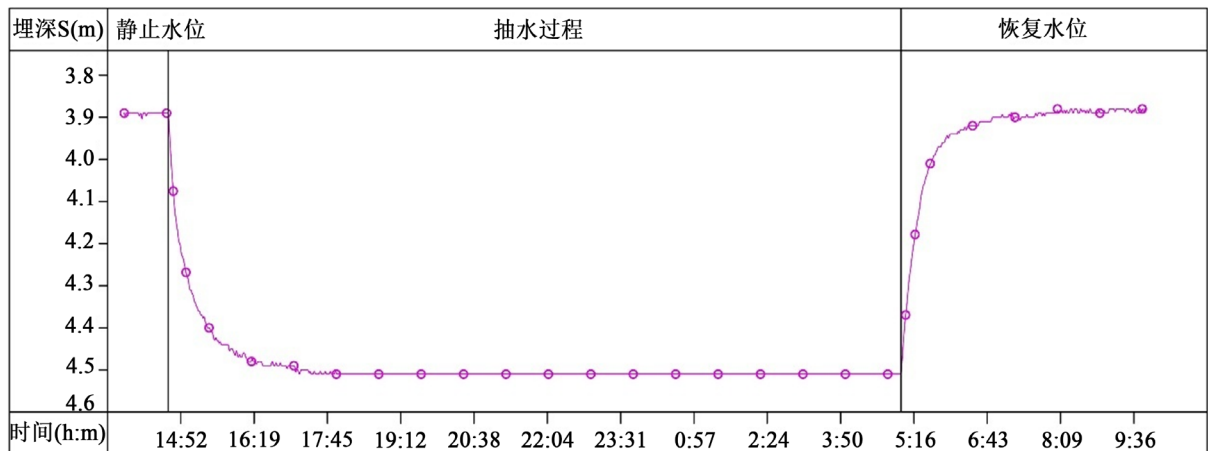


Figure 5. Observation data curve of 0.63 m depth drop [3]

图 5. 降深 0.63 m 观测数据曲线[3]

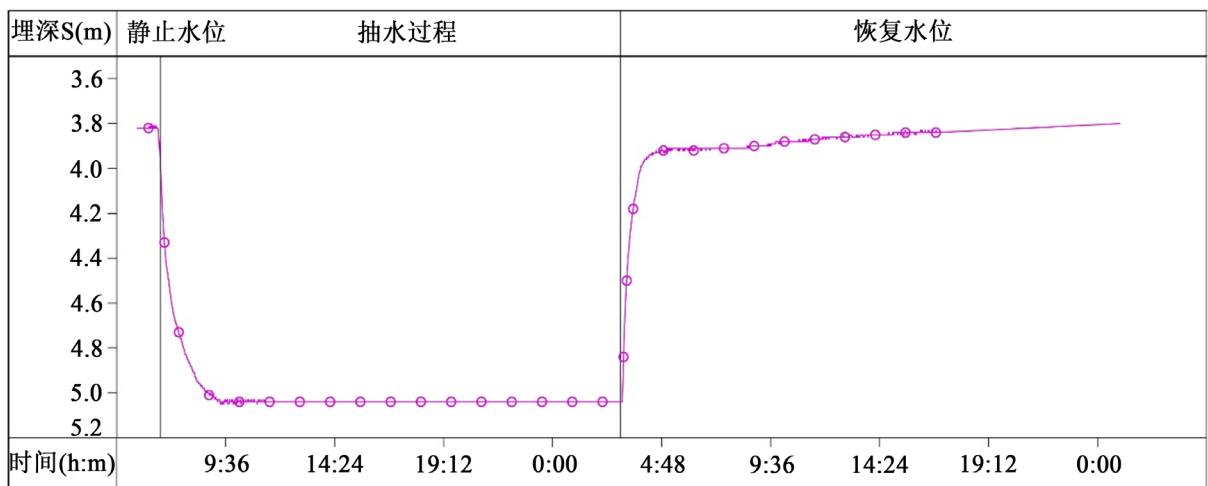


Figure 6. Observation data curve of 1.25 m depth drop [3]

图 6. 降深 1.25 m 观测数据曲线[3]

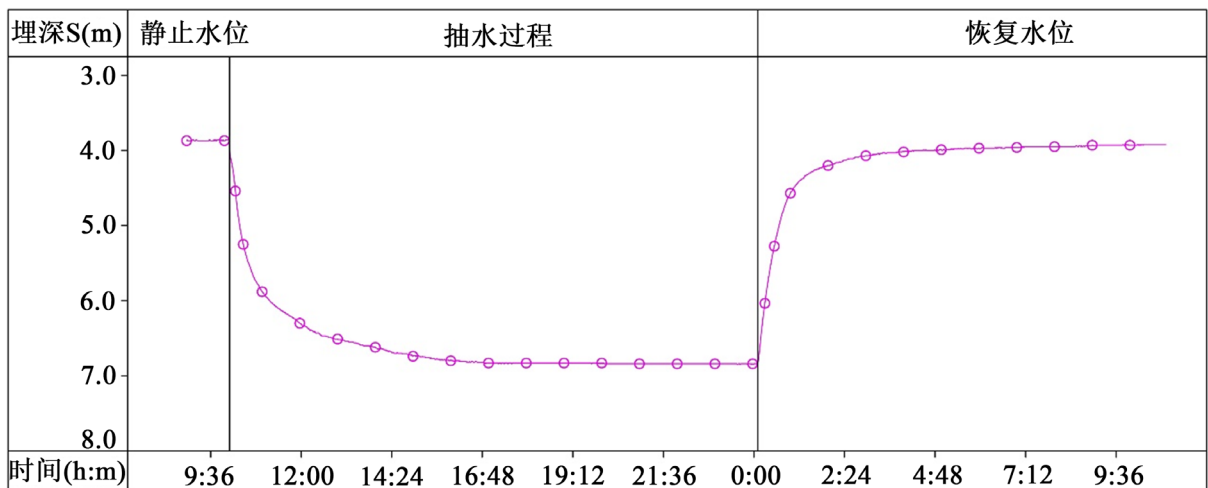


Figure 7. Observation data curve of 2.96 m depth drop [3]

图 7. 降深 2.96 m 观测数据曲线[3]

在对降水井完全抽水后,井壁均出现涌水,认为降水井实际并未完全揭露该含水带,可视作非完全井。因此,依据《水利水电工程钻孔抽水试验规程》(SL320-2005),按巴布什金推荐承压水非完整井公式计算降水井抽水试验参数[6],其计算结果见表7。

Table 7. Results of dewatering well pumping test [3]

表 7. 降水井抽水试验成果表[3]

降深次数	降深 S (m)	涌水 Q (m ³ /d)	含水层渗透系数 K (m/d)	抽水影响半径 r (m)
1	0.63	76.8	4.260	14.244
2	1.25	150	4.194	28.041
3	2.96	288	3.400	59.790
	平均值		3.951	34.025

2) 试验结果分析

根据抽水试验成果可知,降水井所在含水层渗透系数在 3.400~4.260 m/d 之间,降水井抽水降深在 2.96 m 时,稳定出水量达 288 m³/d,停止抽水后 2 个小时即恢复原水位,说明降水井富水性较强,为中等富水含水层[3]。而降水井主要岩性为泥质页岩,富水性较差,据场地压水试验结果,这类泥质岩类地层的渗透系数在 8.64×10^{-4} ~ 8.64×10^{-2} cm/s 之间,为弱透水~微透水[3]。

抽水试验期间,对降水井附近钻孔及监测井均进行水位观测,但水位均未明显降低,这与勘察期间大量抽取降水井情况下对监测井的水位观测数据相吻合,说明降水井与场区地下水的相关性不明显[3]。

从上述特征,结合地质环境分析,降水井水量远大于该地区水井的水量(单井出水量一般小于 1 m³/d,水量较大的 1~5 m³/d),认为降水井为一定地质构造背景下,具有稳定地下水补给的构造裂隙成因地下水[3]。

4. 场地主要地层水文地质参数

处置场场地和边坡地层的渗透性水文地质参数,根据注水、压水和抽水试验结果分析,用渗透系数来表征。以下从三个方面进行描述。

1) 第四系松散沉积物的渗透特征

根据压水试验资料统计分析,处置场边坡和场地人工填土渗透系数约为 1.4×10^{-2} cm/s~0.65 cm/s,为中等~强透水,其地下水影响半径为 10~30 m。崩坡积物渗透系数为 1.0×10^{-1} cm/s~ 1.7×10^{-3} cm/s,为中等~强透水,其地下水影响半径为 5~15 m。

2) 风化裂隙含水介质的渗透性特征

根据压水实验资料统计分析,处置场场地和边坡强风化带(一般在 20 m 范围)内渗透系数为 1.98×10^{-3} ~ 4.81×10^{-4} cm/s,为中等透水。微弱风化带地层渗透系数 2.6×10^{-4} cm/s~ 3.2×10^{-6} cm/s,渗透性有从地表向深部逐步变小的特征。较均匀的风化裂隙介质地下水影响半径 5~10 m。

3) 构造(裂隙密集)带的渗透性特征

根据钻孔压水和抽水试验统计分析,处置场场地构造(裂隙密集)带渗透性变化很大,具有明显的不均匀性,渗透性数从强透水(压水试验表现为不起压)~ 1.7×10^{-4} cm/s,渗透性等级为强~中等透水。构造(裂隙密集)带地下水影响半径 5~10 m。

5. 结论

本文主要针对试坑渗水试验、钻孔压水试验、注水试验、抽水试验等水文地质试验在某固体废物处置场中的应用实践进行了介绍,通过对试验结果进行分析可以得出如下结论:

- 1) 处置场覆盖层渗透性等级总体为强透水, 局部碎石粉质粘土覆盖层渗透性等级为中等透水。
- 2) 处置场基岩总体上为弱透水层, 局部裂隙发育、岩心破碎段, 其渗透性相对较好, 呈中等~强透水。
- 3) 钻孔降水头注水试验结果与钻孔压水试验结果吻合, 从浅到深, 大部分钻孔水头下降基本成线性, 为弱透水; 个别钻孔岩心整体破碎, 渗透性为中等透水。
- 4) 处置场降水井与场区地下水相关性不明显, 结合地质环境分析, 该降水井具有稳定地下水补给的构造裂隙成因地下水。
- 5) 通过水文地质试验, 得到了第四系松散沉积物、风化裂隙含水介质、构造(裂隙密集)带的渗透特征, 获取了该处置场场地和边坡的渗透性水文地质参数, 为后续的稳定计算、地下水排水设计施工提供了基础数据支撑, 对工程的安全稳定具有重要意义。

参考文献

- [1] 于丰泽, 黄方泉, 董云. 多技术融合的地震多发区边坡及场地稳定性分析与加固治理研究[J]. 土木工程, 2021, 10(4): 268-275.
- [2] 秦菲. 江西何魁核电站水文地质条件及渗透性特征研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 东华理工大学, 2014.
- [3] 曾彩霞. 某废弃物处置场污染迁移模拟研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2016.
- [4] 韩继伟. 某场地红层岩溶发育特征及工程影响研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2015.
- [5] 张洁. 孔隙地下水抽水试验仿真技术研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京师范大学, 2016.
- [6] 范中原, 等. SL 320-2005 水利水电工程钻孔抽水试验规程[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.