

# 巴哈马北阿巴科港岩石渗透性测量与研究

白金朋<sup>1)</sup>，高立东<sup>1)</sup>，李瑜霞<sup>1)</sup>，彭华<sup>2)</sup>，马秀敏<sup>2)</sup>

1) 中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司，北京，100024；

2) 中国地质科学院地质力学研究所，北京，100081

岩石渗透性能与岩体稳定、结构强度密切相关，是现代水电、交通、矿山、能源及核废料处理等工程中不可缺少的基础资料，同时也是科学优化工程设计的重要依据（丁立丰等，2009；徐德敏等，2010）。

## 1 工程区地质概况

工程区位于大西洋西岸，美国佛罗里达州以东，古巴和加勒比海以北的巴哈马国。场区勘探深度内，钻孔揭露其表层为第四系全新统海相沉积层，主要由红树林根系及其腐植物、淤泥等组成，下覆基岩为上第三系珊瑚灰岩，以全一强风化为主，局部为中风化碎块或短柱状，碎屑结构、薄层状构造，岩体比较完整，构造裂隙少，岩层产状平缓。

## 2 渗透系数测量

依据水利水电工程规范《DL/T5355-2006》对从现场取回的岩性为上第三系珊瑚灰岩层中的②<sub>1</sub>层和②<sub>3</sub>层钻孔岩芯样进行了渗透试验，岩芯取样位置埋深在 0.39~12.22m 之间。②<sub>1</sub>层岩样孔状构造发育、岩石较为疏松，②<sub>3</sub>层岩样相对②<sub>1</sub>层孔状构造发育较少、岩样较为致密。本次试验采用高压泵逐级加压，测量岩样在不同水头下的渗透系数（陈卫忠等，2008；黄润秋等，2009）。

通过测量岩样在不同压力下的流速，计算岩石的渗透系数。图 2-1 给出了岩石渗透仪的结构和试验原理。试验时采用下列公式计算渗透系数  $K$ ：

$$K_T = \frac{QL}{ATp} \quad (2.1)$$

$$K_{20} = K_T \frac{\eta_T}{\eta_{20}} \quad (2.2)$$

其中：

$K_T$  为水温  $T$  °C 时的渗透系数，cm/s；

$Q$ -为时间  $t$  秒内的渗透水量，cm<sup>3</sup>；

$L$ -为试样长度，cm；

$A$ -为试样的截面积，cm<sup>2</sup>；

$p$ -为式样两端的压力差，MPa；

$\eta_T/\eta_{20}$ -水的  $T$  °C 与标准温度时的动粘滞系数比，可根据规范《DL/T5355-2006》查出相应温度的系数。

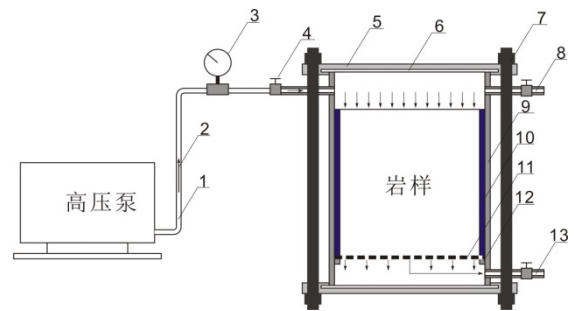


图 2-1 岩石渗透试验示意图

1.高压管；2.水流方向；3.压力表；4.阀门；5.盖板；6.止水胶垫；7.紧固螺栓；8.排气口；9.试样容器；10.密封材料；11.透水板；12.固定托环；13.出水口

## 3 测量结果

本次试验岩样取样深度分布在 0.39~12.22m 之间，所处岩层产生的围岩属于小围岩应力区，为更好的模拟现场实际情况，本次室内岩石渗透试验施加的围压为 0MPa，施加的轴向应力（荷载）也为 0MPa，通过高压泵提升岩样进水口端的水头，按照由低向高的水头压力顺序，以 0.5MPa 为压力梯度逐级增加试验水头压力，试验过程中若岩样破坏或压力超过 5.5MPa 停止试验。分别沿着和垂直于岩层层理方向制样并测量，统计不同压力下的流量，再结合岩石试样尺寸求得平均渗透系数，测量

收稿日期：2015-01-02；改回日期：2015-02-03；责任编辑：郝梓国。

作者简介：白金朋，男，1987 年生。硕士，助理工程师，地质工程专业。Email: baijinpeng1987@yeah.net。

结果如表 3-1 所示（水利水电工程钻孔压水试验规程）。

## 4 结论

通过对这 10 块岩样渗透试验测量结果进行分析，可以得到以下结论：

(1) 取样深度分布在 0.39~12.22m 之间的测试岩样渗透系数分布在  $4.28 \times 10^{-7} \sim 2.55 \times 10^{-3}$  cm/s 之间,岩样渗透系数相对较大,这是由于岩石取样深度接近地表,风化强、结构疏松且孔状构造发育较多造成的,岩样的渗透系数基本随岩样深度的增加呈逐渐变小的趋势;

(2) ②<sub>1</sub>和②<sub>3</sub>不同深度层段岩样渗透系数差距较为明显,②<sub>1</sub>层的 6 块岩样深度为 0.39~5.07m 内,渗透系数分布在  $1.73 \times 10^{-5} \sim 2.55 \times 10^{-3}$  cm/s 之间,而②<sub>3</sub>层 4 块岩样深度为 11.46~12.22m 内,渗透系数分布在  $4.28 \times 10^{-7} \sim 5.05 \times 10^{-6}$  cm/s 之间,两层深度相差 10m 左右,渗透系数却相差 2~3 个数量级;

(3) 发生渗透变形破坏的岩样其破坏形式均为管涌破坏,在渗透压力为 5.5MPa 以内,浅层段岩样比深层段岩样发生渗透变形破坏的几率高:②<sub>1</sub>层段的 6 块岩样中有 4 块岩样发生了渗透变形破坏,而②<sub>3</sub>层段的 4 块岩样中只有 1 块岩样发生了渗透变形破坏;

(4) 垂直地层层理方向和平行地层层理方向的岩样渗透系数相差并不明显:②<sub>1</sub>层段 3 块垂直岩样的渗透系数平均值为  $8.83 \times 10^{-4}$  cm/s,②<sub>1</sub>层段 3 块水平岩样的渗透系数平均值为  $4.24 \times 10^{-4}$  cm/s;②<sub>3</sub>层段 2 块垂直岩样的渗透系数平均值为  $2.74 \times 10^{-6}$  cm/s,②<sub>3</sub>层段 2 块水平岩样的渗透系数平均值为  $8.22 \times 10^{-7}$  cm/s;所有岩样中 5 块垂直岩样的渗透系数平均值为  $5.31 \times 10^{-4}$  cm/s;5 块水平岩样的渗透系数平均值为  $2.55 \times 10^{-4}$  cm/s;这说明同一位置岩样渗透系数与岩样的取样方式关系不明显。

表 3-1 岩石渗透试验结果

岩样名称	岩样深度 m	制样方向	临界坡降 $i_k$	破坏坡降 $i_f$	渗透系数 $K_{20}$ cm/s	破坏类型
② <sub>1</sub> 层	0.84~0.93	竖 直	3273	4545	$1.52 \times 10^{-5}$	/
	0.82~0.92	竖 直	/	/	$2.55 \times 10^{-3}$	/
	4.95~5.07	竖 直	2982	4736	$8.23 \times 10^{-5}$	管涌
	0.39~0.53	水 平	/	/	$1.17 \times 10^{-3}$	/
	1.83~1.94	水 平	2627	4182	$8.51 \times 10^{-5}$	管涌
	0.88~1.08	水 平	2941	5882	$1.73 \times 10^{-5}$	管涌
② <sub>3</sub> 层	11.85~12.0	竖 直	/	/	$5.05 \times 10^{-6}$	/
	12.00~12.22	竖 直	5155	6014	$4.28 \times 10^{-7}$	管涌
	12.00~12.22	水 平	/	/	$5.14 \times 10^{-7}$	/
	11.46~11.60	水 平	/	/	$1.13 \times 10^{-6}$	/

## 参 考 文 献 / References

陈卫忠, 杨建平, 伍国军, 谭贤君, 贾善坡, 戴永浩, 于洪丹, 2008. 低渗透介质渗透性试验研究. 岩石力学与工程学报. 27 (2) 236~244.  
丁立丰, 郭放良, 王成虎, 2009. 工程岩体裂隙渗透性试验方法研究及应用. 岩石力学 30 (9): 2599~2605.  
黄润秋, 徐德敏, 2009. 岩石 (体) 渗透性测试的体变量法研究. 岩石力学. 30 (10) :2961~2964.

徐德敏, 黄润秋, 虞修竟. 2010. 高渗透小水力梯度岩石渗透性测试. 岩石力学 31 (4): 1103~1105.  
中华人民共和国国家发展和改革委员会. 2006. 水利水电工程土工试验规程, 《DL/T5355-2006》.  
中华人民共和国水利部. 2003. 水利水电工程钻孔压水试验规程, 《SL/T31-2003》.