

红山窑强风化砂岩试验特性

范大林 阮怀宁 王 强

(河海大学岩土工程研究所 ,江苏 南京 210098)

摘要 对红山窑水利枢纽工程中的强风化砂岩进行了室内物理力学性质测试和膨胀性能试验研究。结果表明 ,该工程中的强风化砂岩为低强度的膨胀岩 ,其强度变化、膨胀变形以及膨胀压力的发展对含水率有明显的依赖性。试验成果为该工程的设计、施工提供了科学依据。

关键词 强风化砂岩 膨胀岩 膨胀力 膨胀变形

中图分类号 :TU45 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2004)02-0197-03

膨胀岩是一类与水发生物理化学反应可引起体积膨胀的岩石。目前 ,已发现有 40 多个国家和地区存在膨胀岩 ,如我国广西、云南、山西等地就存在着大量的膨胀岩。由于膨胀岩具有复杂的力学变形机制 ,因此会引起许多工程灾害 ,如铁路、公路路堑边坡破坏 ,巷道围岩开裂、底鼓 ,衬砌变形 ,支护失效等。目前对膨胀土的研究比较多 ,理论方面也比较成熟 ,并且已有相应的规范^[1] ,而对于膨胀岩的研究还处于起步阶段。杨庆、缪协兴、王小军等在这方面做了研究 ,并取得了一些成果^[2~8]。然而 ,膨胀岩研究无论是试验还是理论均相当缺乏 ,而当前水利工程建设又正在向膨胀岩地区推进 ,因此对膨胀岩的研究意义十分重大。本文根据室内试验结果 ,对红山窑强风化岩特性进行研究。

1 工程概况

红山窑水利枢纽工程由电力抽水站、节制闸、船闸组成 ,位于南京市六合区瓜埠镇以东约 4 km 的钟家洼 ,为滁河下游的挡蓄水工程。该工程始建于 20 世纪 70 年代中期 ,经过 30 多年的运行 ,工程内部出现大量缺陷和损伤 ,主要表现为 :地基底版、岸墙和翼墙、护坦开裂和发生过大位移 ;上游挡水墙、下游挡水墙、岸墙、进出水通道和水泵室发生严重贯穿性裂缝和渗漏 ,大部分电机梁出现断裂裂缝 ;建筑物出现严重裂缝和位移 ,已不能适应工程运行要求。但是当地经济发展则对该工程提出了更高的要求 ,当地政府和水利部门综合考虑各种因素 ,决定在原址重建新的红山窑水利枢纽工程。强风化砂岩是该建筑物的主要持力层。因其具有膨胀性 ,故可判为膨胀岩。为防止在重建及以后运行过程中出现类似工程事故 ,必须对红山窑水利枢纽工程中的强风化砂岩特性进行研究。在红山窑水利枢纽工程场地内未发现规模较大的断裂及褶皱构造 ,基岩较稳定。区域地震最大加速度 0.1g。地貌上红山窑水利枢纽工程场地属滁河河床及滁河漫滩 ,河口站址接近入河口 ,区域上受长江控制 ,属于长江高漫滩。场地地层上部主要为第四纪松散堆积层 ,下部为风化长石石英砂岩。

2 红山窑强风化砂岩物理力学性质

2.1 物理性质

红山窑强风化砂岩为泥质胶结、密实的深砖红色粉砂岩。X 衍射分析结果表明 ,强风化砂岩蒙脱石含量为 29.7% ,还含有少量伊利石、高岭石。其天然含水量接近饱和 ,密度比普通粘土要大。具体物理性质见表 1、表 2。

由于蒙脱石的晶格是活动性的 ,因而具有强烈的亲水性。蒙脱石吸水后会发生膨胀 ,体积可增大数倍 ,脱水后则可收缩 ,岩土材料

表 1 红山窑强风化砂岩矿物成分及其含量

Table 1 Mineral composition of highly weathered sandstone at Hongshanyao

矿物成分		含量/%
粘土	蒙脱石	29.7
	伊利石	1.3
	高岭石	0.6
其他	石 英	41.7
	钾长石	8.4
	钠长石	17.8
	赤铁矿	0.5

表2 红山窑强风化砂岩密度、含水率、相对密度、孔隙率

Table 2 Density, water content, relative density, porosity of highly weathered sandstone at Hongshanyao

物理性质指标	干密度 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	湿密度 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	相对密度	天然含水率 /%	孔隙率 /%
最大值	1.90	2.14		15.08	
最小值	1.81	2.07		12.52	
平均值	1.85	2.10	2.69	13.60	31.11

表3 不同含水率砂岩的力学参数

Table 3 Mechanical parameters of sandstone with different water contents MPa

含水状况	单轴抗压强度	弹性模量	变形模量
$w=0$	3.16	392	260
$w=3\%$	0.97	117	110
$w=6\%$	0.51	49	36
$w=9\%$	0.28	47	31
$w=12\%$	0.19	22	20
饱和	0.13	15	13

注: w 表示含水率。

强度随着含水率的增加而急剧下降,强风化砂岩的软化系数可降至 0.04。

3 红山窑强风化砂岩的膨胀特性

3.1 制备样自由膨胀率及原岩自由膨胀率

本次试验中,制备样的自由膨胀率为人工制备的通过 0.5 mm 筛的烘干试样在水中增加的体积与原体积之比的百分数,其计算式为

$$\delta_{ef} = \frac{V_w - V_0}{V_0} \times 100\%$$

式中: δ_{ef} ——自由膨胀率; V_w ——试样在水中膨胀稳定后的体积; V_0 ——烘干试样初始体积。试验所得强风化砂岩的自由膨胀率为 13.5%。自由膨胀率是膨胀岩的综合判定指标,其测试方法简单。自由膨胀率仅反映岩样中蒙脱石等粘土矿物的含量,而不能反映原状膨胀岩的膨胀变形。

原岩自由膨胀率试验借鉴国际岩石力学学会(ISRM)推荐的膨胀岩原岩自由膨胀率试验方法^[10],在侧向自由的条件下,向烘干的标准岩样(高径比 2:1)加入不同份量的水,所得岩样轴向膨胀量与初始高度之比即定义为原岩自由膨胀率。试验得到的强风化砂岩原岩自由膨胀率随含水率变化曲线如图 1 所示。从图 1 可以看出,原岩自由膨胀率随着含水率的增加而增加。

3.2 强风化砂岩不同初始状态的膨胀力

膨胀力测试亦采用国际岩石力学学会推荐的方案^[10]——保持试样体积不变,在含水量改变的情况下,作用在试样上部的压力为膨胀力。笔者做了 2 种方案的膨胀力测试:一种是初始为干燥状态下加不同份量的水,测得其膨胀力,结果见表 4;另一种是从不同起始含水率加水到饱和,结果如图 2 所示。2 种方案试验结果

表4 从干燥到不同含水率状态的膨胀力

Table 4 Swelling pressure for dryness to different water contents

含水率改变状态	0→6%	0→9%	0→12%	0→饱和
膨胀力/kPa	204.1	212.4	230.9	251.7

中蒙脱石含量在 5% 以上就会有明显的膨胀性^[9],因此,红山窑风化砂岩属膨胀岩。

2.2 力学性质

红山窑强风化砂岩的力学性质随地质环境的变化而改变,地下水位的升降对风化砂岩强度的影响尤其明显。不同含水率的砂岩强度参数相差甚远。本项试验是在 RMT—150B 岩石刚性伺服试验机上完成的。该试验系统是由中国科学院武汉岩土力学研究所与河海大学岩土工程研究所共同研制、开发的,不仅可以做单轴压缩试验,而且还可完成岩石三轴压缩试验、单轴拉伸试验以及剪切试验等。将含水率 0、3%、6%、9%、12% 以及饱和的强风化砂岩标准样(高径比 2:1)在 RMT—150B 岩石刚性伺服试验机上做单轴抗压试验,试验过程采用应变控制式。试验得到不同含水率砂岩的力学参数和单轴抗压强度随含水率的变化状况,见表 3。从表 3 可以看出,砂岩的

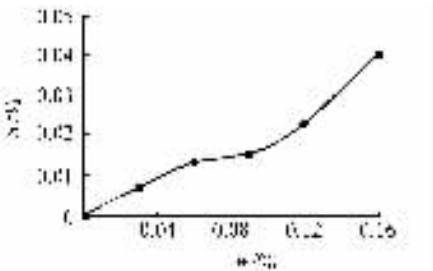


图1 含水率-轴向自由膨胀率关系曲线
Fig.1 Relationship between water content and axial unconfined swelling ratio

表明,干燥状态到含水率 6% 时膨胀力增长幅度很大,而起始含水率 6% 到饱和的过程中膨胀力增加幅度很小。总体上强风化砂岩的膨胀力较大,从干燥到饱和状态膨胀力达 251.7 kPa。

3.3 强风化砂岩不同荷载下的侧向受限膨胀率

本项试验方法与膨胀力测试相似,亦保持干燥岩样侧向受限,但其上部载荷不变,向试样内加水至饱和,测试样的轴向变形。从试验结果(图3)可知,随着上部恒定荷载的增加,强风化砂岩的膨胀率降低;当压力超过一定值时,砂岩轴向变形发生负增长,即出现类似湿陷的压缩状况。

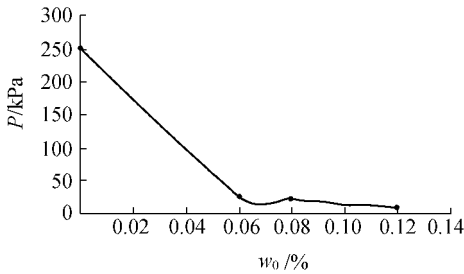


图 2 不同起始含水率到饱和的膨胀力

Fig.2 Swelling pressure for different initiative water contents to saturation

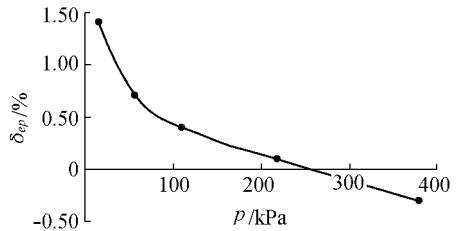


图 3 不同轴向荷载作用下的膨胀率

Fig.3 Relationship between swelling ratio and axial pressure

4 结 论

- a. 红山窑水利枢纽强风化砂岩中蒙脱石含量达到 29.7%, 膨胀力可达 251.7 kPa, 因此可判定其为膨胀岩。
- b. 强风化砂岩的强度随着含水率的增加而急剧下降, 强风化砂岩的软化系数可至 0.04。
- c. 强风化砂岩的膨胀率与含水率的改变幅度及上部荷载的大小密切相关。含水率增幅越大, 膨胀率就越大, 砂岩上部荷载越大, 则膨胀率越小。
- d. 强风化砂岩的膨胀力与砂岩始、末状态的含水率有关, 干燥状态加水到 6% 左右时膨胀力上升很大, 而从含水 6% 到饱和状态时膨胀力增加不大。

参考文献：

[1] GBJ 112—87 膨胀土地区建筑技术规范[S].
[2] 杨庆, 廖国华, 吴顺川. 膨胀岩三维膨胀本构关系的研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1995, 14(6): 33—38.
[3] 杨庆, 吴顺川, 廖国华. 膨胀性岩中巷道地压的模拟[J]. 北京科技大学学报, 1994, 16(6): 507—516.
[4] 缪协兴. 湿度应力场理论的耦合方程[J]. 力学与实践, 1995, 17(6): 22—24.
[5] 缪协兴. 用湿度应力场理论分析膨胀岩巷道围岩变形[J]. 中国矿业大学学报, 1995, 24(1): 58—62.
[6] 王小军, 赵中秀. 用生石灰改良膨胀岩基床的室内试验研究[J]. 岩土工程学报, 1998, 20(1): 39—43.
[7] 张颖均, 王小军. 云台山隧道膨胀岩的膨胀特性[J]. 中国铁道科学, 1994, 15(2): 96—105.
[8] 张玉军, 唐仪兴. 李家窑膨胀岩膨胀性能的试验研究[J]. 岩土力学, 1999, 20(3): 5—40.
[9] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算[M]. 第2版. 北京: 中国水利水电出版社, 1996. 1—9.
[10] 国际岩石力学学会膨胀岩委员会和试验方法委员会. 膨胀岩工作小组关于泥质膨胀岩室内试验的建议方法[J]. 岩土力学, 1994, 15(3): 81—93.

Physical properties of highly weathered sandstone at Hongshanyao

FAN Da-lin , RUAN Huai-ning , WANG Qiang

(Geo-technical Research Institute of Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China)

Abstract : Laboratory physical-mechanical property test and swelling performance study on the highly weathered sandstone in the Hongshanyao Hydraulic Project indicate that the sandstone is a special kind of low-strength swelling rock. Research also shows that the variation of the strength and swelling-induced deformation of the sandstone and the development of swelling pressure in the sandstone obviously depend on its water content. The experimental result provides a scientific basis for engineering design and construction.

Key words : highly weathered sandstone ; swelling rock ; swelling pressure ; swelling-induced deformation