

红山窑风化红砂岩膨胀特性试验研究

何 山,朱珍德,王思敬

(河海大学岩土工程科学研究所,江苏 南京 210098)

摘要 对红山窑水利枢纽工程中的风化红砂岩进行膨胀特性试验研究. 试验表明,不同风化程度的红砂岩随着含水率的逐渐加大、风化程度的加深,其自由膨胀率、有侧限自由膨胀率和膨胀力都逐渐增大,其中,强风化砂岩的膨胀率与膨胀力随含水率的变化而改变的幅度最大,并与上部荷载的大小密切相关.

关键词 红砂岩 膨胀特性 含水率 风化程度

中图分类号 TV223.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2006)05-0557-04

膨胀岩问题的研究目前尚处于起步阶段,还没有统一的定量判别与分级标准^[1],因此,研究膨胀岩的判别与分级标准,及膨胀特性和相应的本构关系模型,对膨胀岩地区工程勘探、设计和施工有一定的现实意义^[2-5].

由红山窑电力抽水站、节制闸和船闸组成的红山窑水利枢纽工程为滁河下游的拦蓄水工程,距滁河与长江汇合口处 12.2 km. 红山窑水利枢纽工程经过近 30 年运行,各种严重危及安全运行的缺陷和损伤主要表现为:(a)地基底板、岸墙和翼墙、护坦开裂并发生过大位移;(b)上游、下游挡水墙,岸墙,进出水流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;(c)建筑物出现严重裂缝与位移;(d)闸门和启闭系统损伤、陈旧,带病工作威胁河道控制等.

根据《六合县红山窑水利枢纽改建工程地质勘察报告》,红山窑风化红砂岩中的强风化砂岩和弱风化砂岩可初步判定为一般膨胀岩,具有特殊的力学特性,是建筑物的主要持力层,且膨胀岩的膨胀能力随着岩石内风化的逐渐加强会发生相应的改变. 本文以红山窑风化红砂岩为例,讨论其膨胀变化特性.

1 膨胀特性试验^[6-9]

表 1 自由膨胀率试验结果

Table 1 Experimental results of free expansion ratio

风化程度	试样编号	密度/ (g·cm ⁻³)	干密度/ (g·cm ⁻³)	孔隙率/%	自由膨胀率/%	平均自由膨胀率/%
全风化	117	2.68	1.80	32.77	14	13.0
	118				13	
强风化	119	2.69	1.85	31.11	14	13.5
	120				13	
弱风化	121	2.69	1.89	29.79	12	12.0
	122				12	
微风化	123	2.69	1.92	28.64	12	11.5
	124				11	

1.1 自由膨胀率试验

取粒径小于 0.5 mm 的烘干试样 10 cm³ 倒入已经加水 30 cm³ 的量筒中,加入 5 cm³ 质量分数为 5% 的分析纯氯化钠溶液. 用搅拌器搅拌悬液,加纯水冲洗搅拌器和量筒壁使悬液体积达 50 cm³. 待悬液澄清后,测读土面读数,直到读数稳定. 则自由膨胀率为

$$\delta_{ef} = \frac{V_{we} - V_0}{V_0} \times 100\% \tag{1}$$

式中: δ_{ef} ——自由膨胀率,%; V_{we} ——试样在水中膨胀稳定后的体积; V_0 ——试样初始体积.

全、强、弱、微风化砂岩的自由膨胀率共计 8 组,16 个样. 试验结果见表 1.

1.2 原岩自由膨胀率试验

本文借鉴国际岩石力学学会(ISRM)推荐的膨胀岩自由膨胀率试验方法^[9]. 将制好的标准试样(径高比为 1:2)放入烘箱,温度控制在(107±2)℃,烘干 24 h. 然后,将试样装入塑料袋内,用抽气机排尽气体,使塑料袋与试样紧密接触,用排水法测初始体积 V_0 .

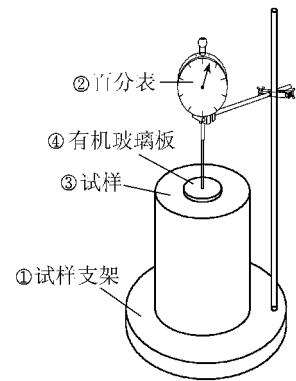


图1 自由膨胀率试验装置
Fig.1 Experimental installation
for free expansion ratio

用塑料膜包裹试样放到支架上(图1),按比例加入不同的水量,同时测出试样轴向变形量.膨胀稳定后,得到膨胀稳定后的轴向变形量,并用抽气法测得膨胀稳定后的体积 V_{end} .

采用式(2)计算轴向膨胀应变:

$$\epsilon_{ax} = \frac{\delta_{ax}}{h_0} \tag{2}$$

式中: δ_{ax} ——轴向位移; h_0 ——试样的初始高度.

采用式(3)计算体积膨胀率:

$$V_{\text{expand}} = \frac{V_{\text{end}} - V_0}{V_0 - \lambda} \tag{3}$$

式中 λ 为塑料袋的体积.

在试验中,取5种含水率状态,分别为3%,6%,9%,12%和

饱和状态,量测不同风化程度原岩的自由膨胀率,试验结果见表2.不同风化程度原岩不同含水率情况下的自由膨胀率与时间关系曲线见图2.

1.3 原岩有侧限膨胀率试验

将制好的标准试样(径高比为1:2)放入烘箱,烘箱温度控制在 $(107 \pm 2)^\circ\text{C}$,烘干24 h.然后,将试样装入塑料袋内,用抽气机排尽气体,使塑料袋与试样紧密接触,用排水法测体积 V_0 .用塑料膜包裹试样,按比例加入不同的水量,并将试样放入施加侧限的钢模具中(图3),测试样的轴向变形量,最后得到膨胀稳定后的轴向变形量.

采用式(4)计算轴向膨胀应变:

$$\epsilon_{ax} = \frac{\delta_{ax}}{h_0} \tag{4}$$

式中: δ_{ax} ——轴向位移; h_0 ——试样的初始高度.

表2 原岩自由膨胀率试验结果

Table 2 Experimental results of free expansion ratio of original rock

风化程度	含水率/%	自由膨胀率/%
不同含水率的强风化	3	0.70
	6	1.33
	9	1.53
	12	2.27
	饱和	4.03
不同含水率的弱风化	3	0.67
	6	1.40
	9	1.49
	12	2.01
	饱和	3.35
不同含水率的微风化	3	0.65
	6	1.29
	9	1.38
	12	1.85
	饱和	3.14

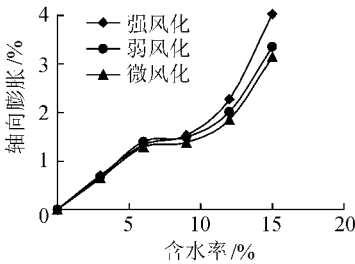


图2 含水率-轴向自由膨胀率关系曲线

Fig.2 Relationship between water content and free expansion ratio in axial direction

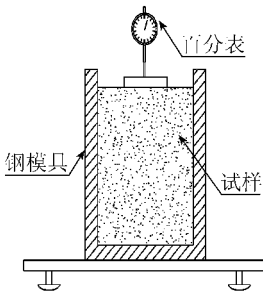


图3 有侧限膨胀试验装置

Fig.3 Experimental installation of expansion test with lateral restraint

在试验中,取5种含水率状态,分别为3%,6%,9%,12%和饱和状态,量测不同风化程度原岩的有侧限膨胀率,试验结果见表3,不同风化程度原岩、不同含水率情况下的有侧限膨胀率与时间关系曲线见图4.

1.4 膨胀力试验

膨胀力是原岩体积不变而含水率改变情况下的1个力学指标.试验时,将试样置于特制的壁厚为5 mm的钢环中,并施加反力(图5).按不同含水率(3%,6%,9%,12%,饱和)向试样中加水.试样膨胀后,不断增加铁砂,使试样不发生轴向膨胀.在某级荷载作用下,若试样高度在2 h内不发生变化,此时作用在试样上的压力即为膨胀力.试验结果见表4.

表 3 原岩有侧限膨胀率试验结果
Table 3 Experimental results of expansion ratio of original rock with lateral restraint

风化程度	含水率/%	有侧限膨胀率/%
不同含水率的强风化	3	0.43
	6	0.84
	9	1.01
	12	1.19
	饱和	1.61
不同含水率的弱风化	3	0.41
	6	0.81
	9	0.98
	12	1.11
	饱和	1.42
不同含水率的微风化	3	0.39
	6	0.80
	9	0.96
	12	1.07
	饱和	1.35

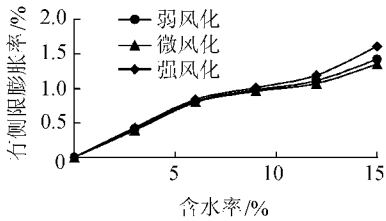


图 4 含水率-有侧限膨胀率关系曲线
Fig.4 Relationship between water content and expansion ratio with lateral restraint

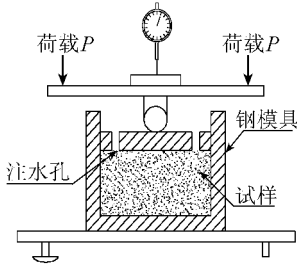


图 5 膨胀力试验装置
Fig.5 Experimental installation for expansive stress

表 4 膨胀力试验结果
Table 4 The result of the expansive stress experimentation

风化程度	含水率/%	膨胀力/kPa
不同含水率的强风化	3	
	6	204.1
	9	212.4
	12	230.9
	饱和	251.7
不同含水率的弱风化	3	
	6	176.4
	9	
	12	
	饱和	220.5
不同含水率的微风化	3	
	6	169.9
	9	
	12	194.3
	饱和	210.7

2 试验结果分析

- a. 微风化、弱风化、强风化、全风化红砂岩随着含水率的逐渐加大,其自由膨胀率、有侧限自由膨胀率和膨胀力都逐渐增大.
- b. 微风化、弱风化、强风化红砂岩随着风化程度的加深,其自由膨胀率、有侧限自由膨胀率和膨胀力都逐渐增大,但对于全风化红砂岩,由于风化已造成岩体结构的破坏,其自由膨胀率、有侧限自由膨胀率均较强风化红砂岩有所减小.
- c. 强风化砂岩的膨胀率与膨胀力随含水率的变化而改变的幅度最大,并与上部荷载的大小密切相关.含水率增幅越大,膨胀率越大.砂岩上部荷载越大,则膨胀率越小.
- d. 各种风化砂岩的膨胀力与砂岩始、末状态的含水率有关,从干燥状态加水到含水率为 6% 左右时膨胀力上升很大,而从含水率为 6% 到饱和状态时膨胀力增加不大.

参考文献：

[1] 王小军. 膨胀岩的判别与分类和隧道工程[J]. 水文地质工程地质,1995(2): 44-48.

[2] 杨庆. 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] 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.

[4] 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.

[5] ISRM COMMISSION ON STANDARDISATION OF LABORATORY AND FIELD TESTS. Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and the swelling and slake durability index [G]//BROWN E. T. Rock Characterisation, Testing and Monitoring. Oxford: Pergamon Press, 1981: 84-93.

[6] 中华人民共和国建设部. GBJ 112—87 膨胀土地区建筑技术规范[S]. 北京: 地质出版社, 1991.

[7] 中华人民共和国地质矿产部. DY—94 岩石物理力学性质试验规程[S]. 北京: 地质出版社, 2002.

[8] 中华人民共和国建设部. GB/T 50123—1999 土工试验方法标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 1999.

[9] 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.

Experimental study on expansive properties of
weathered red sandstone at Hongshanyao

HE Shan, ZHU Zhen-de, WANG Si-jing

(Geotechnical Research Institute of Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The expansive properties of the weathered red sandstone in Hongshanyao Hydro Project are studied by experiments. Some conclusions are drawn: with the increase of water content and degree of rock weathering, the free expansion ratio with or without lateral restraint and the expansive stress of sandstone gradually increase; the variations of expansion ratio and expansive stress of seriously weathered sandstone due to the change of water content are most significant, and they are closely related to the upper loads.

Key words: red sandstone; expansive properties; water content; degree of weathering

+++++

《河海大学学报(自然科学版)》征订启事

《河海大学学报(自然科学版)》是以水资源开发、利用与保护为重点的综合性学术期刊,主要刊登本校在水资源、水文、地质、测量、水利工程、水电工程、水运工程、海洋及海岸工程、水工结构、工程力学、水力学及河流动力学、岩土工程、计算机科学、电力工程、电子技术及自动化工程、工业与民用建筑、管理工程、水利经济、环境工程、机械工程等学科方面的科研成果、学术论文、学术讨论、研究动态等学术性文章,可供上述有关专业的科技工作者及大专院校师生阅读和参考。

本刊创办于1957年,是我国中文核心期刊,在国内工程技术界和学术界有较大影响。刊载的文章中,有不少国家科技攻关(重点)项目和各种科学基金资助项目的研究成果,部分达到了国内领先和国际先进水平,为我国水利、水电、水运工程及其他有关工程建设的规划、设计、施工和管理提供了科学理论、方法和具体建议,发挥了较大的社会效益和经济效益,深受工程界和科技界赞许,并获得全国高校科技期刊优秀编辑出版质量奖以及中国期刊方阵“双效期刊”、江苏省优秀期刊、全国水利系统优秀期刊称号。

本刊每逢单月出版,国内外公开发行。邮发代号:28-63,每期定价12.00元,全年6期共72元。欢迎广大读者在全国各地邮局订阅或直接与编辑部联系。联系地址:南京市西康路1号《河海大学学报(自然科学版)》编辑部,邮政编码:210098。联系电话:025-83786343。