

# 碎裂岩体等效工程特性试验研究

谢晔, 荀晓慧, 魏玉峰, 聂德新

(成都理工大学, 成都 610059)

**摘要:** 碎裂岩体作为一种结构复杂、强度较弱的岩体类型,在工程中通常作为弱带而被处理。为了探究碎裂岩体的工程特性,从碎裂岩体的物理力学特性入手,利用自行研发的原位取样新技术,对不同电站碎裂岩体原位状态下的粒度成分、密度、孔隙比等物理指标进行深入分析,以公伯峡水电站碎裂岩体为研究对象,开展了室内等效压密试验,通过与国内外沉积物压密试验成果及现场原位物理参数测量结果进行对比,成功验证了室内等效压密试验能够获得与原位应力状态下相同的物理力学指标。

**关键词:** 碎裂岩体;等效压密;物理指标;工程特性

**中图分类号:** P642;TV74;TU458 **文献标识码:** A

## EXPERIMENTAL STUDY ON EQUIVALENT ENGINEERING CHARACTERISTICS OF CATACLASTIC ROCK MASS

XIE Ye, XUN Xiao-hui, WEI Yu-feng, NIE De-xin

(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** Cataclastic rock mass, as a type of rock mass with complex structure and weak strength, is usually treated as a weak zone in engineering practice. In order to explore the engineering characteristics of cataclastic rock mass, starting from the physical-mechanical properties of cataclastic rock mass, this study employs self-developed in-situ sampling technology to conduct an in-depth analysis of physical indicators such as particle size composition, density, and porosity of fractured rock masses in different power stations under in-situ conditions. Gongboxia Hydropower Station was taken as the research object to conduct indoor equivalent compaction tests. By comparing the results of sediment compaction tests and in-situ physical parameter measurements at home and abroad, it has been successfully verified that indoor equivalent compaction tests can obtain the same physical and mechanical indicators as in-situ stress situation.

**Key words:** cataclastic rock mass; equivalent compaction; physical parameters; engineering characteristics

### 1 引言

受地质运动和构造应力作用,天然岩体中存在

着大量可见或微裂隙<sup>[1]</sup>。对岩体结构和其物理力学特征进行研究是岩体力学的基本问题。经过数百万年的长期地质演化和复杂构造,岩石受到累积应力

的作用,存在着各种不同尺度的不连续面,从中、微裂缝到大型断层和褶皱。这些软弱带由于其强度、刚度和抗变形能力较低,对岩石的完整性乃至整体力学性能有很大的负面影响。尤其针对碎裂岩体此类力学性质较差的岩体,对其工程特性进行研究,是评价岩体是否适用于工程实践的关键<sup>[2]</sup>。

在过去的几十年里,国内外许多学者们对于碎裂岩体的工程特性有着广泛关注。聂德新等<sup>[3-5]</sup>首先于1994年提出了岩体强度再生理论,认为作用于软弱结构面上的正应力可以一定程度上改善软弱夹层的力学性质,生成与新的地质环境相适应的结构,该结构特征下岩体的力学性质将会恢复至新的强度;郭启良<sup>[6]</sup>认为,尽管岩体的结构与完整程度各不相同,但在原地状态下大都具有一定的承载力;Heping Xie等<sup>[7]</sup>和Pei J L等<sup>[8]</sup>对天然裂隙大理岩进行了单轴压缩试验。认为天然裂隙岩石的破坏特征受裂隙分布和裂隙形态的控制,是一个局部渐进的破坏过程,最终是突然破坏。尽管天然岩石比类岩石材料更难达到理想的效果,但天然岩石的试验研究能更好地揭示实际岩石的工程特性。

在岩体的等效力学特征研究上,Singh<sup>[9-10]</sup>提出了节理岩体的连续介质表征方法,并给出了等效连续介质各向异性岩体弹性模量的估算公式。Zienkiewicz等人<sup>[11]</sup>使用了等效连续体方法(称为多层模型)来模拟不连续岩体;Gerrard<sup>[12]</sup>还使用了等效连续体方法,将单元的柔度表示为完整岩石的柔度和单个节理组的柔度之和;Fossum<sup>[13]</sup>提出了估算随机节理岩体有效弹性性质的关系式;Chen<sup>[14]</sup>基于弹性岩石基质和具有非线性法向和剪切响应的节理组之间应变分配连续介质假设,提出了节理介质应力-应变响应的速率方程;Duncan和Goodman<sup>[15]</sup>将节理岩体描述为等效的各向异性连续体;Amadei和Goodman<sup>[16]</sup>在对节理岩体建模的尝试中,在为裂隙岩体开发的本构关系中隐含地考虑了节理的影响;Wei和Hudson<sup>[17]</sup>开发了一种等效材料方法,根据不连续面的几何和力学性质估算变形模量。

在关于碎裂岩体的力学试验研究方面,目前最常用的方法就是采用相似材料进行配比来代替岩石材料进行试验。如廖美春<sup>[18]</sup>采用石膏模型来代替岩体对深埋隧洞(厂房)开挖时产生的分区破裂现象进行物理模拟;也有学者<sup>[19-20]</sup>根据相似原理设置物理模拟材料,通过插入铝皮设置节理缝隙,探究了经锚杆加固后碎裂岩体的力学特征;印度的Tiwari<sup>[21]</sup>通过石灰与细砂经过一定配比制作岩石试样进行三

轴试验。

对于非原岩材料制样的模拟实验来说,试验结果并不能真实地反映岩体的真实参数,怎样才能得到岩体的真实参数是一个需要解决的问题。对于大多数岩石工程,现场地质条件总是复杂多变的,现场原位试验总是难以控制<sup>[22]</sup>。此外,由于不同位置工程岩体的地质特征不同,现场试验结果往往反映局部场地,即试验结果仅对试验区域有效,而不适用于整个工程区域。因此,在有关天然状态下碎裂岩体的工程特性方面的研究,目前少有考虑岩体的赋存环境。本文通过分析碎裂岩体的成岩过程,结合国内外沉积物压密试验成果,以公伯峡水电站碎裂岩体为研究对象,开展室内等效压密实验,从而对碎裂岩体的等效工程特性进行探讨。

## 2 碎裂岩体天然状态物理性质

### 2.1 粒度成分

根据谷德振先生在《岩体工程地质力学基础》<sup>[23]</sup>提出的岩体结构理论认为,受构造或风化作用影响、由岩屑和碎屑组成的结构面间距不超过50 cm的岩体为碎裂岩体。而《水力发电工程地质勘察规范》(GB50287-2006)<sup>[24]</sup>将碎裂结构岩体又进一步细分为两大类:结构面间距在10~30 cm之间的为块裂结构岩体和结构面间距小于10 cm的为碎裂结构。上述两种碎裂岩体结构划分依据均为岩体结构面间距,而在构造或风化作用强烈地区的碎裂岩体,其结构特征往往受大量发育、不规则的微小结构面控制,这些微小的裂纹尚未贯通扩展为裂隙面,但在开挖、爆破等冲击震动作用下极易相互贯通,形成形状各异的短小裂隙,裂隙之间经过相互交切,使岩体显得十分破碎。针对此类破碎较强的岩体,其结构面间距测量工作开展往往相对困难,为了进一步获取碎裂岩体的结构尺度特征,本文对向家坝左岸挤压带(图1)、溪洛渡玄武岩层间错动带(图2)和白鹤滩水电站柱状节理碎裂岩体(图3)进行取样分析,通过室内筛分实验,获取不同电站碎裂岩体级配特征如图4~6。

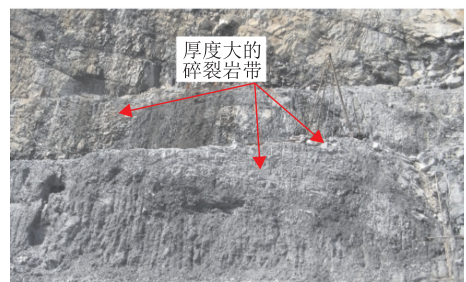


图1 向家坝左岸挤压带碎裂岩体



图 2 溪洛渡玄武岩错动带



图 3 白鹤滩柱状节理碎裂玄武岩

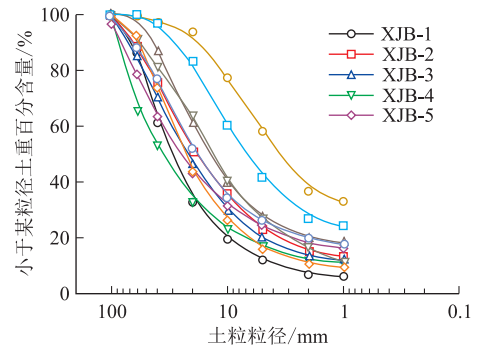


图 6 向家坝水电站碎裂岩体级配曲线

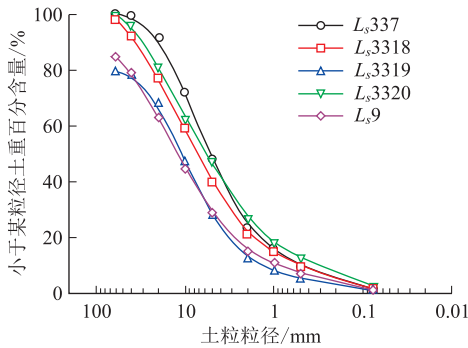


图 4 白鹤滩水电站碎裂岩体级配曲线

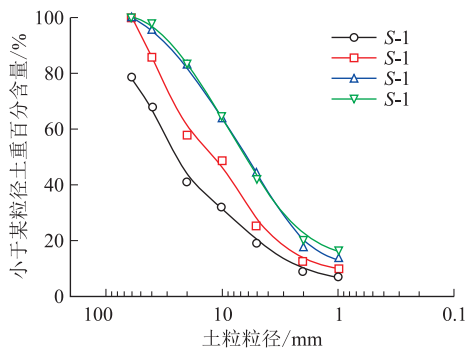


图 5 溪洛渡水电站碎裂岩体级配曲线

岩体块度的规定有着很好的对应性。因此,结合现场调查结果,对于碎裂岩体结构也可以通过岩体块度指标进行定义为:由构造作用形成的、块度在 10 cm 以下的岩块或碎屑;由风化卸荷形成的块度在 10~30 cm 之间的岩块或碎屑。

### 2.2 物理指标

碎裂岩体由于其特殊的结构性易受扰动而解体,因此在取样过程中稍有碰撞或冲击就会破坏其原状性质。为了尽量获取岩体真正原位状态下的物理指标,避免钻探过程中冲洗液浸泡导致岩体含水率增大,利用减震法将错动带上层完整岩体削去,采用团队新开发的原位取样技术,获取溪洛渡水电站和白鹤滩水电站坝址区层内错动带以及向家坝水电站左坝肩破碎带碎裂岩体未松弛状态下的原状试样(图 7)。通过上述取样方法获取的试样是在打开岩盖后即刻进行的,且采用了特质的材料进行包裹,能够有效避免岩体长时间暴露后吸水或者松弛,通过室内比重试验、及烘干实验,获取不同坝址区碎裂岩体原状试样密度及含水率如表 1~3 所示。

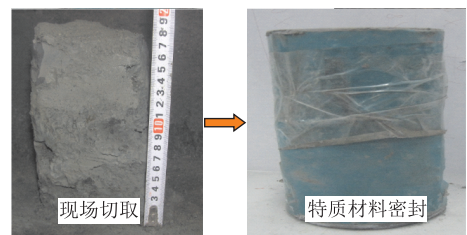


图 7 碎裂岩体原状样取样过程

从不同水电站坝址区碎裂岩体级配曲线中可以看出,试样中块度在 10 cm 以下的土重含量均大于 80%,且基本不含黏粒,该试验结果与上述关于碎裂

由上述试验结果可以看出,原位状态下的碎裂岩体具有较高的密度和较低的含水率,天然密度在 2.3~2.5 g/cm<sup>3</sup> 之间,干密度在 2.3~2.4 g/cm<sup>3</sup> 之间,含水率基本在 3%~6% 之间。且从溪洛渡水电站收集到的试样室内实验结果(图 7)可以看出,随着距离洞壁深度的增加,岩体的含水率逐渐降低,密度逐渐增大。这是由于位于深部的岩体未受扰

动,避免了表部风华剥蚀,能够基本保持早期构造或重力压密的状态。由此可以看出,岩体的物理指标很大程度受岩体所处的地质环境影响,深埋状态下

的碎裂岩体应具有相对较高的密度和较低的含水率特性。

表 1 溪洛渡碎裂岩体物理性质

试样编号	距洞壁深度/cm	天然密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	天然含水率/%	干密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	孔隙比	饱和度
1	0	2.22	14	1.95	0.376	99.7
2	10	2.34	9.1	2.14	0.250	97.7
3	32	2.45	4.8	2.34	0.146	87.9
4	60	2.42	6.2	2.28	0.176	94.4
5	60	2.472	3.3	2.39	0.120	73.7
6	50~70	2.487	4.72	2.38	0.128	98.5
7	60~70	2.476	2.80	2.41	0.113	66.6
较深部位平均值		2.463 8	3.55	2.38	0.126	75.3

表 2 白鹤滩碎裂岩体物理性质

错动带名称	取样位置/m	密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$		含水率/%		干密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	
		试验值	均值	试验值	均值	试验值	均值
Ls3320-1	PD921 平洞洞深 134.5~137 m	2.31		4.52		2.21	
		2.40	2.35	6.19	5.46	2.26	2.23
		2.35		5.67		2.22	
		2.39		4.25		2.29	
		2.42		5.56		2.29	
Ls9	PD921 平洞洞深 193~196 m	2.41		5.09		2.29	
		2.47	2.42	6.11	5.25	2.33	2.30
		2.47		10.34		2.24	
		2.48		9.20		2.27	
		2.42		5.04		2.30	
LS337	PD133 平洞洞深 93~95 m	2.42		7.73		2.24	
		2.40		4.32		2.30	
		2.39	2.41	3.59	5.57	2.31	2.28
		2.41		4.48		2.31	
		2.44		7.73		2.27	

表 3 向家坝碎裂岩体物理性质

试样编号	岩性特征	天然密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	天然含水率/%	干密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
1		2.32	3.39	2.24
2	破碎带泥质物	2.38	3.35	2.30
3		2.30	3.41	2.22
均值		2.33	3.38	2.25

### 3 国外自重压密试验成果分析

构造运动过程中岩体在高地应力条件下会产生褶皱和断层,断层错动继而引起岩体发生变形和破碎,在剪胀作用下碎裂的岩块之间出现空隙,新出现的空隙使原有的岩体体积变大,随着时间推移,当后期的构造运动不再剧烈或构造应力达不到形成断层时的应力量值时,此时岩体受上覆新的沉积物自重应力作用而被逐渐填充、挤压,从而体积减小、密度增大。通过总结国内外有关自重压密的研究成果,获取不同沉积物盖层厚度-干密度关系曲线图、孔隙比-压力曲线图如图 8。

在不同盖层厚度下孔隙比和盖层压力关系曲线如图 8 所示,方程对应的干密度和孔隙比指标见表 4。

表 4 国外不同沉积物孔隙比、压力关系汇总表

孔隙比	比重	干密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	下线压力/ $\text{MPa}$	中线压力/ $\text{MPa}$	上线压力/ $\text{MPa}$
0.1	2.8	2.55	89.67	102.87	158.90
0.11	2.8	2.52	84.91	97.73	151.61
0.12	2.8	2.50	80.56	93.03	144.95
0.13	2.8	2.48	76.56	88.72	138.83
0.14	2.8	2.46	72.86	84.72	133.16
0.15	2.8	2.44	69.41	81.00	127.88
0.16	2.8	2.41	66.19	77.52	122.94
0.17	2.8	2.39	63.16	74.25	118.31
0.18	2.8	2.37	60.30	71.16	113.93
0.19	2.8	2.35	57.60	68.25	109.80
0.2	2.8	2.33	55.04	65.48	105.88
0.21	2.8	2.31	52.60	62.85	102.14
0.22	2.8	2.30	50.27	60.34	98.58
0.23	2.8	2.28	48.05	57.94	95.18
0.24	2.8	2.26	45.93	55.65	91.93
0.25	2.8	2.24	43.89	53.45	88.81
0.26	2.8	2.22	41.93	51.33	85.81
0.27	2.8	2.21	40.04	49.30	82.92

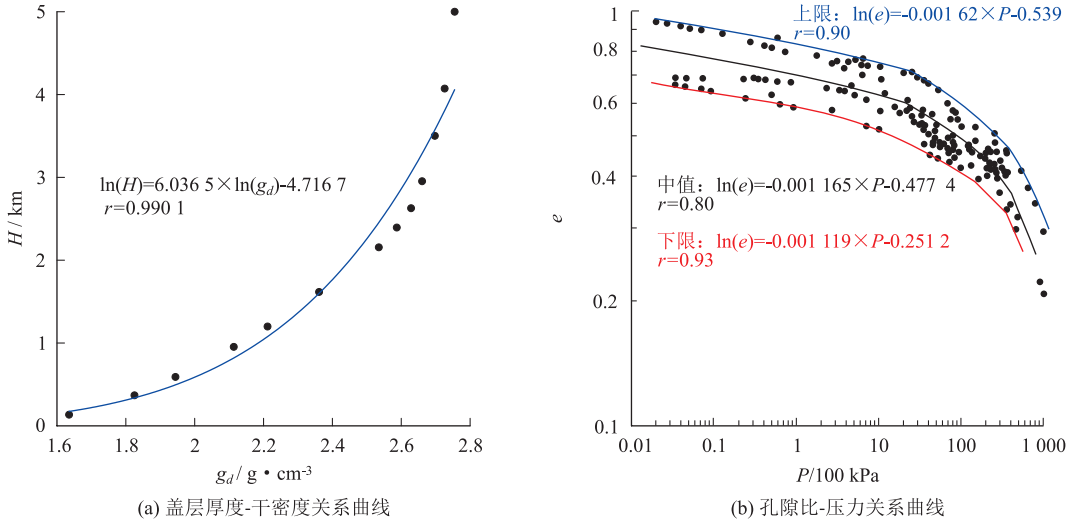


图 8 国内外不同盖层厚度物理指标关系曲线

从收集的资料可以看出,当沉积物干密度在 2.3~2.4 g/cm<sup>3</sup> 之间时,所承受的压力在 50~60 MPa 左右,因此可以认为,现场获取的试样在历史上曾受到的压力达 50~60 MPa。

## 4 碎裂岩体等效压密试验

### 4.1 试验依据

由于组成碎裂岩体的岩块或碎屑本身的抗变形能力较大,通常认为其是不可压缩的刚体,因此碎裂岩体压缩的实质可以被看作是岩块或岩屑之间空隙被填充或挤压的过程,岩体的孔隙比计算公式可以表示为:孔隙比=空隙体积/块体体积。

通过对公伯峡水电站右岸坝址区揭露的岩层进行现场调查发现,临近古风化花岗岩中随处可见嵌入的第三系红色砾砂岩(图 9),对二者进行物理指标参数试验发现其密度基本一致。从两种不同的岩性成岩过程来看,红色砾砂岩是在临夏组地层沉积时填充至断层或褶皱中,随古风化花岗岩一同经历重力压密作用,即使花岗岩无论从结构还是构造上密度都要比砾砂岩要低,但经历了相同历史时间的压密和重分布,最终导致两者在密度和物理力学性质上保持高度的相似性。由此可以看出,虽然天然压密条件下存在一定的时间效应,原位碎裂岩体的强度和压缩量更大,但同时可以作为室内等效压密实验结果的安全冗余度来考虑,即天然碎裂岩体的室内等效压密与天然地质条件下的压密结果应该是具有等效性的。

根据实际工程调查结果可以看出,原岩状态下的碎裂岩体即使被大量发育的随机节理相互切割,



图 9 公伯峡水电站右岸揭露的岩层

但在长时间重力压密条件下,如果未发生错动,其结构应当仍具有一定的完整性和较高的强度及模量。通过室内高精度压密试验,理论上可以对相同碎裂程度的岩块进行等效压密恢复至原岩状态下岩体的物理状态,即给予岩体历史上经受的天然压力进行压密,应该能够获取与野外原位状态下相近的密度、孔隙比等物理指标。根据胡克定律:

$$\sigma = E \cdot E_s \quad (1)$$

式中, $\sigma$  为应力; $E$  为弹性模量; $E_s$  为压缩模量。

$$E_s = \frac{P_i + 1 - P_i}{S_i + 1 - S_i} \quad (2)$$

式中, $P$  为压力(MPa); $S$  为不同压力下对应的压缩量(应变)。

根据前述等效压密原理,在室内高精度加压条件下,是否能获得与天然地质条件下碎裂岩体相同或接近的压缩模量,是检验室内等效试验结果的可靠依据。

### 4.2 试验过程

试验采用是团队所在单位国家重点实验室引进

的美国 MTS 岩石试验机,仪器主要由伺服机操作系统、加压系统组成,其中,试验伺服控制系统可以记录试样加载全过程压力、变形曲线。试验加压装置采用特质的具有极高强度、抗变形能力达 1 000 MPa 的模具及加压活塞,模具外径 250 mm,内径与

加压活塞尺寸相同,为 50 mm。加压过程如图 10 所示。由图 10(e)、(f)可以看出,加载后的碎裂岩体试样在高压作用下展现出与原状岩体极为相似的面貌。

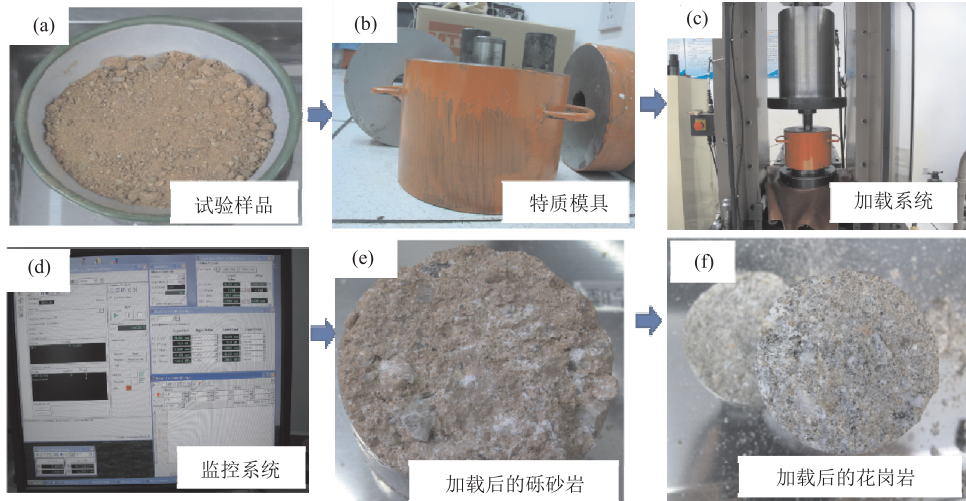


图 10 试验过程

### 4.3 试验结果分析

试验过程中的砾砂岩与花岗岩各项物理力学指标变化曲线如图 11 所示。从图 11 中的过程曲线可以看出,无论是孔隙比、干密度、压缩模量和变形模量,随压力的变化曲线规律性均较好,拟合出的曲线方程相关度均较高。通过查阅相关地质资料,公伯峡水电站盖层分布厚度在 1 900~2 000 m 左右,根

据前述物理指标试验结果,若取干密度在 2.4~2.5 g/cm<sup>3</sup> 之间,则压力可在 48~50 MPa 之间,考虑该地区曾受喜马拉雅构造运动作用,以 10 MPa 构造应力为冗余度,可认为公伯峡水电站第三系地层及古全风化花岗岩曾受 50~60 MPa 压力。将室内试验结果、国内外研究资料以及现场研究资料中 50~60 MPa 压力下各项指标进行对比,如表 5 所示。

表 5 等效实验、现场测量与国内外研究成果对比

测量方法		加载压力 /MPa	各级压力下孔隙比	各级压力下试样干密度 /g·cm <sup>-3</sup>	变形模量/MPa
等效试验值	古全风化花岗岩	50~60	0.207~0.223	2.289~2.231	734~906
	砾砂岩	50~60	0.272~0.284	2.222~2.243	931~1042
现场测试	古全风化花岗岩	50~60	0.195~0.226	2.25~2.31	700~1000
	砾砂岩	50~60	0.173~0.219	2.23~2.317	760~1060
国内外资料	中线值	50~60	0.23~0.26	2.222~2.276	—
	下线值	50~60	0.18~0.22	2.295~2.373	—

从表 5 中可以看出,在 50~60 MPa 压力下,等效试验中古全风化花岗与砾砂岩各项物理指标基本接近,证明二者在相同量级的压力下可以最终达到相同的物理力学性质;室内试验结果与现场测试获取的结果具有较好的对应性,无论是干密度与变形模量基本能够保持一致。其中等效试验结果中无论是花岗岩还是砾砂岩,均与国外资料中的下线值有着较高的匹配度,从而证明了开展室内等效实验压密实验的准确性。

## 5 结论

本文通过不同水电站碎裂岩体的物理指标和等效压密试验,对碎裂岩体的等效工程特性进行研究,主要获得了以下研究成果:

(1) 获取了不同电站的碎裂岩体粒度成分、密度、含水率、孔隙比等物理指标,从块度角度重新定义了碎裂岩体结构的划分标准。

(2) 收集了国内外岩体自重压密试验成果,获取了不同沉积物厚度与密度、压力、孔隙比等指标的

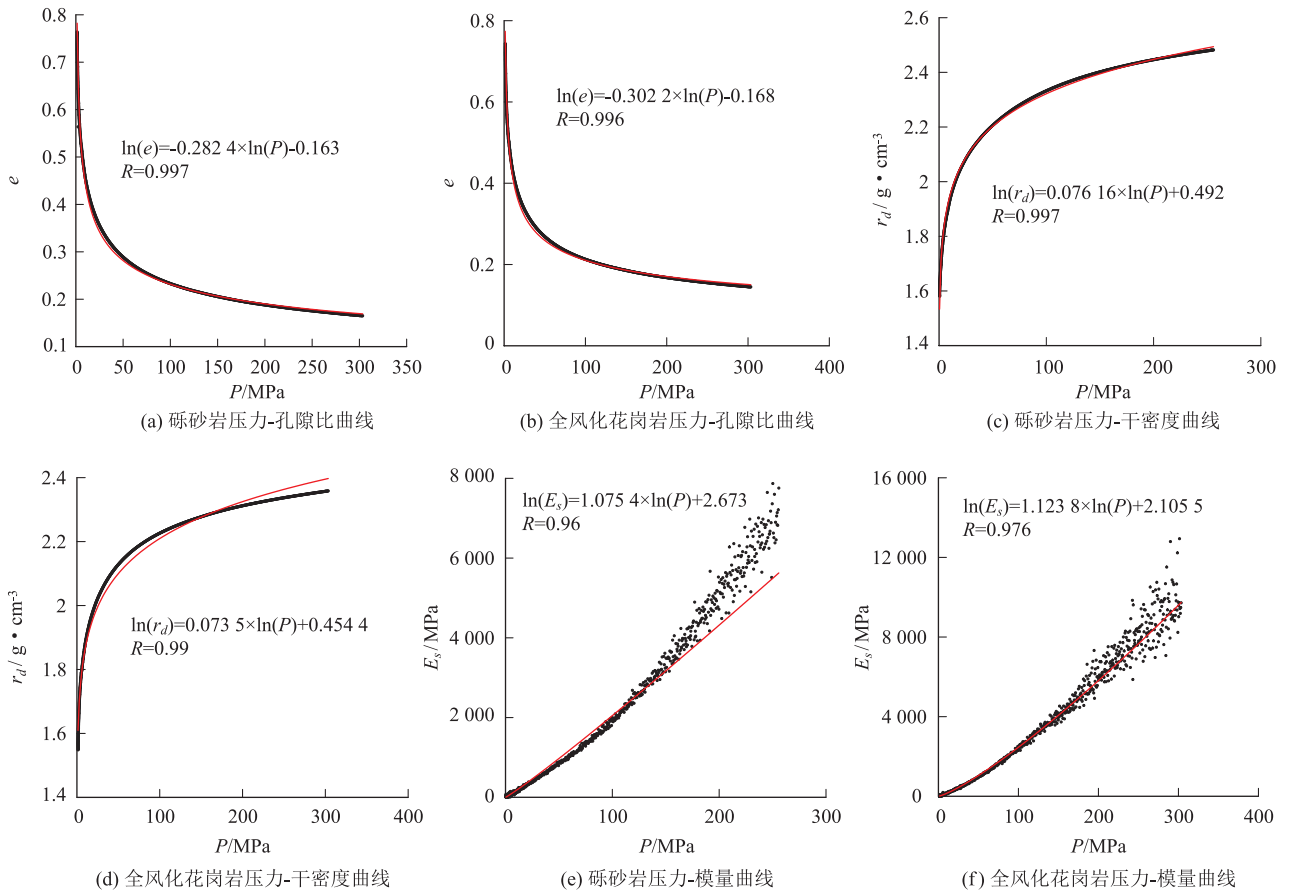


图 11 等效压密试验力学指标过程曲线

关系曲线。

(3) 通过对公伯峡水电站古风化花岗岩和第三系砾砂岩进行室内等效压密试验, 验证了室内压密试验获取的各项物理指标与原位状态下碎裂岩体的物理指标具有一定的等效性。

参考文献

[1] Heping Xie, Jianliang Pei, Jianping Zuo, et al. Investigation of mechanical properties of fractured marbles by uniaxial compression tests [J]. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2011, 3(4): 302-313.  
 [2] Sitharam T G, Shimizu N, Sridevi J. Practical equivalent continuum characterization of jointed rock masses [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2001, 38(3): 437-448.  
 [3] 彭社琴, 赵其华, 聂德新. 强度再生效应的环境演变分析[C]. 第五届全国工程地质大会文集, 地震出版社, 1996. 2.  
 [4] 张咸恭, 聂德新, 韩文峰. 影响软弱夹层抗剪强度的主要因素及其相关关系研究[J]. 地质灾害与环境保护, 1990, 1(2): 30-33.  
 [5] 任光明, 聂德新, 左三胜. 滑带土结构强度再生研究[J]. 地质灾害与环境保护, 1996, (3): 7-12.  
 [6] 郭启良, 丁立丰. 岩体力学参数的原地综合测试技术与应用研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(23): 3928-3931.

[7] Heping Xie, Jianliang Pei, Jianping Zuo, et al. Investigation of mechanical properties of fractured marbles by uniaxial compression tests. [J]. Rock Mech Geotech Eng. , 2011, 3(4): 302-313.  
 [8] Pei J L, Fei W P, Liu J F. Spatial evolution and fractal characteristics of natural fractures in marbles under uniaxial compression loading based on the source location technology of acoustic emission[J]. Environmental Earth Sciences, 2016, 75 (9): 828-834.  
 [9] B Singh. Continuum characterization of jointed rock masses: Part I-The constitutive equations[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 1973, 10(4): 311-335.  
 [10] B Singh. Continuum characterization of jointed rock masses: Part II -significance of low shear modulus[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 1973, 10(4): 337-349.  
 [11] O C Zienkiewicz, D W Kelly, P Bettess. The coupling of the finite element method and boundary solution procedures[J]. Numer Methods Eng 1977, 11(2): 355-375.  
 [12] C M Gerrard. Elastic models of rock masses having one, two and three sets of joints[J]. Rock Mech Min Sci & Geomech Abstr, 1982, 19(1): 15-23.  
 [13] Fosum AF. Effective elastic properties for a randomly jointed rock mass[J]. Rock Mech Min Sci & Geomech Abstr, 1985,

- 22:467-470.
- [14] E P Chen. A constitutive model for jointed rock mass with orthogonal sets of joints[J]. Journal of Applied Mechanics, 1989;56(1):25-32.
- [15] Duncan JM, Goodman RE. Finite element analysis of slopes in jointed rocks[C]. U. S. Army corps of Engineers Report TR, 1968;1-68.
- [16] Amadei B, Goodman RE A 3-D constitutive relation for fractured rock masses [C]. Proceedings of the International Symposium on the mechanical behaviour of structured media, Ottawa, Canada, Part B, 1981;267-286.
- [17] Z Q Wei, J A Hudson. Moduli of jointed rock masses[C]. Proceedings of the International Symposium on Large Rock Caverns, Helsinki, 1986. 1073-1086.
- [18] 廖美春,郭志昆,刘峰,等.深部岩体分区破裂化模拟试验模型几何尺寸的确定[J].防灾减灾工程学报,2006,(1):58-62.
- [19] 吴德海,曾祥勇,邓安福,等.单锚锚杆加固碎裂结构岩体模型试验研究[J].地下空间,2003,(2):158-161+225.
- [20] 曾祥勇,唐树名,邓安福.锚索加固边坡碎裂结构岩体模型试验[J].重庆大学学报(自然科学版),2004,(8):128-131+135.
- [21] Tiwari R P, Rao K S. Post failure behavior of a rock mass under the influence of triaxial and true triaxial confinement [J]. Engineering Geology, 2006,84(3-4):112-129.
- [22] Zhu WC, Liu J, Tang CA, et al. Simulation of progressive fracturing processes around underground excavations under biaxial compression [J]. Tunnelling and Underground Space Technology. 2005,20(3):231-247.
- [23] 谷德振.岩体工程地质力学基础[M].科学出版社,1979.
- [24] 王惠明.水力发电工程地质勘察规范(GB50287-2006)[S].北京市,中国水电工程顾问集团公司,2005-12-13.

作者简介: 谢晔(1976—),女,博士,地质工程专业。E-mail:35710159@qq.com

## 《地质灾害与环境保护》征订启事

本刊主管单位:四川省教育厅;主办单位:成都理工大学、地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室。学术性期刊,季刊。1990年创刊,国内外公开发行。大16开,每期112页,约22万字。欢迎订阅。

**定价:** 2008~2024年每期定价15元,全年4期,年定价60元;2005~2007年每期定价10元,全年4期,年定价40元;1991~2004年过刊每套定价154元(包括:总第3期~总28,30~53期,计42册);也可分年分期选订:1991~1993年,半年刊,每册定价1.00元;1994~1997年,季刊,每册定价2.00元;1998~1999年,季刊,每册定价3.00元;2000~2001年,季刊,每册定价4.00元;2002~2004年,季刊,每册定价5.00元。

### 订阅办法

1. 2000年起开始邮发,邮发代号62-140,可在全国各地邮局订阅。
2. 本刊已参加“全国非邮发报刊联合征订”,代号5314号。
3. 向本刊编辑部订阅: 请用邮局汇款。收款单位:《地质灾害与环境保护》编辑部。  
地址:成都市成华区二仙桥东三路1号 成都理工大学;邮政编码:610059。  
编辑部联系电话:(028)84078481。

《地质灾害与环境保护》编辑部

2023年12月25日