

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20221256

# 单裂隙分布对复合岩样力学性质和扩展破坏的影响

章德超<sup>1</sup>,肖桃李<sup>1</sup>,张大飞<sup>2</sup>,折海成<sup>1</sup>

(1. 长江大学城市建设学院,湖北 荆州 434000; 2. 成都鼎佳能源技术有限公司,四川 成都 610051)

**摘要:**在富含复杂裂隙的层理岩体中,裂隙分布对其力学性质及损伤破坏具有显著影响。以由类砂岩和类大理岩组成的复合裂隙岩样为例,采用单轴压缩试验和DIC技术,分析裂隙位置和裂隙倾角对岩样力学性质和破坏的影响。结果表明,岩样的力学性质随裂隙位置依次从大理岩、交界面到砂岩的改变及裂隙倾角的增加呈增加趋势。裂隙位置对岩样破坏影响为当裂隙在大理岩中时,初始裂纹易为砂岩中的远场裂纹,表面剥落在砂岩和大理岩中均有发生,但砂岩处破坏更明显,易发生“H形破坏”;当裂隙在交界面和砂岩时,易为砂岩处裂尖产生的翼裂纹、反翼裂纹,剥落现象只发生在砂岩处,分别易发生“1 $\gamma$ 形破坏”和“y形破坏”;同时,初始裂纹产生对应的应力应变水平 $\sigma$ 、 $\epsilon$ 随裂隙位置由砂岩、交界面到大理岩的改变依次提高。裂隙倾角对岩样破坏影响为 $\alpha=90^\circ$ 时裂尖不易起裂, $\alpha=45^\circ$ 时裂尖易起裂;在相同裂隙倾角下,裂隙位置相同时 $\alpha=90^\circ$ 的 $\sigma$ 、 $\epsilon$ 最大, $\alpha=0^\circ$ 、 $45^\circ$ 时最小; $\alpha=0^\circ$ 时均发生“H形破坏”, $\alpha=90^\circ$ 时均发生“y形破坏”。研究结果对实际工程建设和设计具有指导性意义。

**关键词:**复合岩样;预制裂隙;裂隙倾角;裂隙位置;破坏模式

**中图分类号:** TV223.1; TU452

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-7709(2023)04-0176-05

## 1 引言

自然工况中的岩体通常是不同性质的岩体相互交错,且富含裂隙,不仅裂隙对岩体的力学特性会产生各种影响,且裂隙处于不同性质的岩体中会表现出差异性的力学特性和破坏特征,亦影响着这种复合裂隙岩体的稳定性及工程的进行。因此,已开展对于不同力学性质的岩体构成的层状复合岩体的研究,如LIU J等<sup>[1]</sup>制作了岩石—煤—岩石复合试样,单轴压缩试验结果表明,复合岩样的破坏模式主要是X形剪切破坏和劈裂破坏,且其强度特性主要取决于煤的强度;CHENG J等<sup>[2]</sup>采用不同强度的类岩石材料制成不同层理倾角的多层复合岩样,分析了层理面倾角对单轴加载变形、强度和破坏模式的影响;王其虎等<sup>[3]</sup>构建了含单裂隙的左右型复合岩样模型,并进行了模拟,发现在单轴压缩条件下裂隙倾角或长度越大,复合岩样中力学性能相对较弱一侧的裂隙扩展尤其是反翼扩展范围越小;杜超超等<sup>[4]</sup>采用不同强

度的类岩石材料制作了不同层理倾角的多层复合岩样,在不同水平轴压下进行冲击试验,发现复合岩样随轴压的增加破坏程度增大,复合岩样主要以拉—剪组合破坏为主,强度较低的岩层对试样的破坏有控制作用;左建平等<sup>[5]</sup>利用煤岩复合岩体进行了单轴三轴试验,发现单轴条件下,复合岩样以劈裂破坏为主,煤体产生的裂纹贯通到岩体中导致岩体破坏,而三轴试验中复合岩体以剪切破坏为主。目前,对于复合岩体的研究多在单轴和三轴应力条件下,对带有裂隙的复合岩体研究较少,考虑裂隙位置在不同岩性的情况亦极少。为此,本文制作了带裂隙的复合岩样,通过改变裂隙位置及倾角,探讨裂隙分布对于复合岩样力学性质及破坏模式的影响。

## 2 试验方案

使用两种颜色差异较大的水泥制作砂岩和大理岩,同时,确保两种不同岩样具有明显的强度差异。大理岩的配合比(质量比)为灰色 42.5 普通

**收稿日期:** 2022-06-16, **修回日期:** 2022-07-12

**基金项目:** 岩土力学与工程国家重点实验室开放基金(Z020013);陕西省混凝土结构安全与耐久性重点实验室开放基金(SZ02105);湖北省荆州市科技计划项目(2020AC15);油气钻采工程湖北省重点实验室开放基金(YQZC202204)

**作者简介:** 章德超(1999-),男,硕士研究生,研究方向为岩体压裂技术,E-mail: 201700198@yangtzeu.edu.cn

**通讯作者:** 肖桃李(1978-),男,博士、教授,研究方向为深部岩体围岩稳定性,E-mail: 200536@yangtzeu.edu.cn

硅酸盐水泥 : 硅粉 : 砂 : 铁粉 : 减水剂 : 水 = 1 : 0.13 : 0.8 : 0.25 : 0.003 : 0.325, 砂岩的配合比(质量比)为 32.5 白色硅酸盐水泥 : 砂 : 减水剂 : 水 = 1 : 0.7 : 0.003 : 0.3。模具示意图见图 1。对于复合试样,为保证试件交界面粘结面强度相同,均在振捣完成 15 min 后拔出模具中间隔板,预制裂隙采用预插入钢片制成。

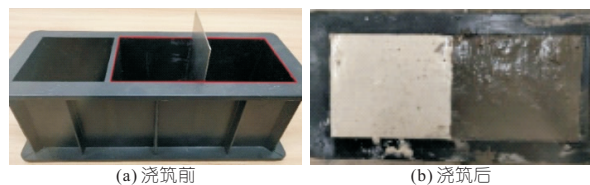


图 1 复合岩试样模具

Fig. 1 Composite rock sample mold

图 2 为不同裂隙位置的岩样示意图。裂隙所在位置依次为砂岩部分、交界面和大理岩部分中心处,其中预制裂隙长度均为 25 mm,裂隙倾角  $\alpha$  依次为  $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ ,且倾角变化均为围绕所在部分的中心点处旋转。

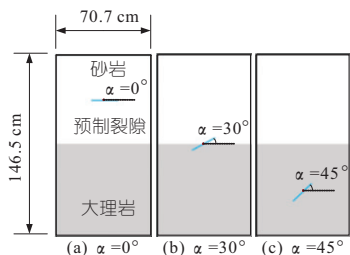


图 2 岩样示意图

Fig. 2 Sample diagram

为了探讨裂隙倾角及裂隙不同位置对复合岩样力学特性及破坏模式的影响,裂隙倾角  $\alpha$  分别取  $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $90^\circ$ ,裂隙不同位置为砂岩、交界面、大理岩,分别表示为 Y(大理岩)、RY(交界面)、R(砂岩)。试验方案及岩样编号见表 1。

表 1 试验方案和试样编号

Tab. 1 Test plan and specimens number

$\alpha / (^\circ)$	大理岩	交界面	砂岩
0	Y-0	RY-0	R-0
30	Y-30	RY-30	R-30
45	Y-45	RY-45	R-45
60	Y-60	RY-60	R-60
90	Y-90	RY-90	R-90

主要仪器由加载系统和 DIC 系统组成,其中,加载系统包括 WAW-1000B 型微机伺服控制万能试验机和数据采集系统;DIC 系统包括拍摄系统与数字图像计算系统。试验中,压力机加载速率为 0.2 mm/min, DIC 照相机拍摄速率为 1 帧/s。

### 3 试验结果与分析

#### 3.1 单一完整岩样的力学性质和破坏

为更好地研究裂隙复合岩样的力学特性,首先对单一砂岩、单一大理岩和完整复合岩进行单轴试验,得到各单一完整岩样的应力应变曲线(图 3)和力学参数(表 2)。

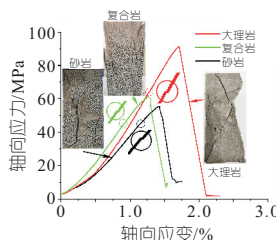


图 3 各单一完整岩样应力应变曲线

Fig. 3 Stress-strain curves of various single intact rock samples

表 2 试样相关力学参数

Tab. 2 Related mechanical parameters of samples

试样种类	弹性模量/GPa	强度/MPa	峰值应变/%
砂岩	4.57	52.39	1.38
大理岩	7.08	89.59	1.72
复合岩	5.75	59.55	1.25

由图 3 可知,部分曲线在达到峰值应力前的阶段会有轻微应力下降出现,如图 3 圈出放大部分,这表明岩样内部预制裂隙间萌生了新裂纹。统计分析试验数据可得到各岩样的强度、弹性模量和峰值应变(表 2)。其中大理岩强度最高,比砂岩强度高 71.0%,相比于更坚硬的大理岩,砂岩岩性较软弱,两者强度差异明显,比复合岩强度高 50.4%。大理岩弹性模量比砂岩弹性模量高 54.9%,比复合岩弹性模量高 23.1%。砂岩和复合岩力学参数接近,复合岩力学参数略强于砂岩。观察不同岩样的破坏模式,发现大理岩发生明显的剪切破坏,砂岩和复合岩发生拉-剪混合破坏,由于砂岩强度低,优先产生裂纹,最后产生的张拉裂纹贯通至大理岩部分,直至试样破坏。由砂岩和复合岩的破坏模式及相近的力学参数可知,复合岩强度取决于砂岩。

#### 3.2 裂隙位置、倾角对裂隙复合岩样力学性质的影响

按表 1 所设计的试验方案,对裂隙复合岩样进行单轴压缩试验,得到岩样应力应变曲线(图 4)。由图 4 可知,各岩样表现出与单一岩样相似的应力应变曲线,但裂隙岩样在压密阶段曲线更平滑。以  $\alpha = 0^\circ$  岩样为例,各复合岩样弹性模量分别为完整复合岩样 5.75 GPa、裂隙在大理岩时 4.90 GPa、裂隙在交界面时 4.80 GPa、裂隙在砂岩时 4.79 GPa。这是由于预制裂隙的存在,在加载初期裂隙口发生压缩,因此应变相对较大。同

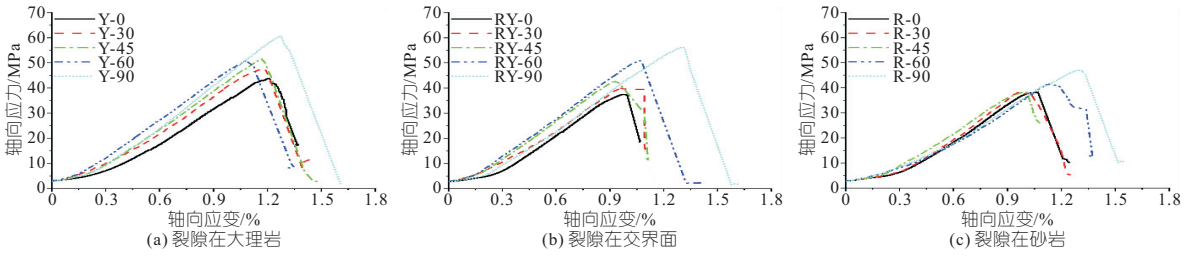


图 4 不同裂隙倾角下的岩样应力应变曲线

Fig. 4 Axial stress-strain curve of rock specimens with different fissure angles

时随裂隙角度的增加,裂隙水平投影长度减小,压缩阶段应变减小,曲线斜率增加。对试验数据进行统计分析,可得裂隙岩样峰值应力和弹性模量随裂隙位置和倾角的变化规律,见图 5。

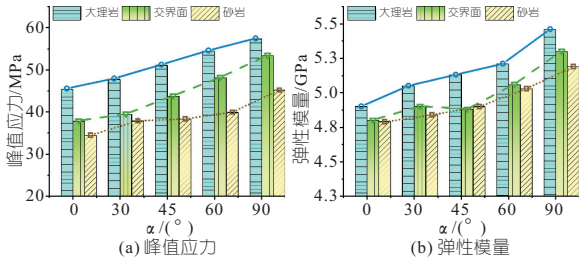


图 5 峰值应力和弹性模量随裂隙位置和倾角的变化规律

Fig. 5 Variation of peak stress and elastic modulus with fissure location and fissure angle

由图 5 可知,裂隙在大理岩中的力学特性明显强于另外两种裂隙位置岩样的力学性质。裂隙在大理岩中强度最高,在砂岩中强度最低,峰值应力平均高出 30.92%;裂隙在大理岩中弹性模量最高,裂隙在交界面时弹性模量略高于裂隙在砂岩时,但未表现出太大差距。峰值应力随裂隙倾角增加有明显增加趋势,裂隙在大理岩时,α=0°、90°岩样峰值应力增幅 26.2%;裂隙在交界面时,增幅 41.3%;裂隙在砂岩时,增幅 31.0%,但裂隙岩样强度均小于完整复合岩样 59.6 MPa。岩样弹性模量随裂隙倾角增加呈递增趋势,增幅在 8.4%~11.4%之间。

### 3.3 裂隙位置、倾角对裂隙复合岩样破坏的影响

在试验中,通过 DIC 系统拍摄记录裂纹的扩展过程,能得到初始裂纹的产生及岩样破坏过程。以编号 Y-0(裂隙在大理岩,倾角为 0°)岩样为例,如图 6(a)所示,虚线圈出部分的裂纹为加载过程中萌生的初始裂纹,在加载后期,试样破坏非常迅速,裂纹在瞬间大量产生,并伴随剥落等剧烈的破坏现象(图 6(c)、(d))。其中图 6(b)、(d)素描图中下半部分表示大理岩,上半部分表示砂岩;实线为最终破坏裂纹;黑色阴影与淡色阴影表示不同岩样部位表面的剥落。

同时能得到初始裂纹产生的应力及应变水

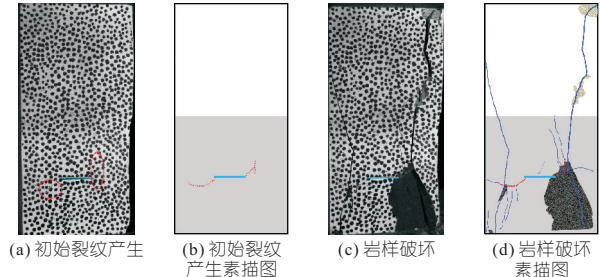


图 6 岩样裂纹发展过程

Fig. 6 Crack development process of rock samples

平,探究不同岩样初始裂纹产生的差异。由于岩样的破坏程度较严重、散斑的干扰致使破坏后照片不利于分析观察,因此采用能体现初始裂纹及破坏裂纹更清晰的素描图进行探讨分析。采用虚线将初始裂纹进行区分并标注对应的应力应变水平,见图 7。由图 7 可得以下结论。

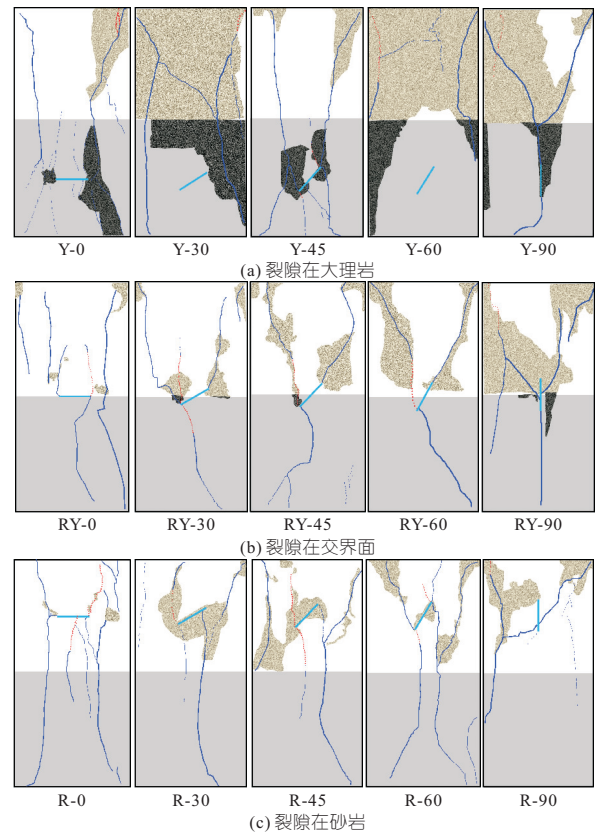


图 7 岩样破坏图

Fig. 7 Rock sample failure map

(1) 裂隙位置和倾角对初始裂纹的影响:①裂

隙位置对初始裂纹的影响。当裂隙在大理岩中时,由于两种岩样强度差的存在,相比于在裂隙尖端积累损伤,产生宏观裂纹,初始裂纹更易在脆弱的砂岩中积累损伤产生,且均为受端部效应影响形成的远场裂纹;当裂隙在砂岩和交界面时,初始裂纹均在砂岩处,且易为裂尖产生的翼裂纹、反翼裂纹,属于张性拐折扩展裂纹,朝向最大主应力方向,符合断裂力学中受压闭合裂纹是纯Ⅱ型的裂纹模型。表明存在预制裂隙这种损伤时,不同岩样的力学性质对初始裂纹的产生影响更大。②裂隙倾角对初始裂纹产生形式的影响。裂隙在大理岩时除  $\alpha = 45^\circ$  外的岩样初始裂纹均为砂岩处的远场裂纹,而  $\alpha = 45^\circ$  的岩样初始裂纹是产生在裂隙尖端的翼裂纹,对三种裂隙位置的  $\alpha = 45^\circ$  岩样,初始裂纹产生对应的应力应变水平相较于同一类型其他裂隙倾角的岩样低,表明  $\alpha = 45^\circ$  时裂尖更易起裂,满足纯Ⅱ型裂纹模型中<sup>[6]</sup>优势角在  $45^\circ \sim 60^\circ$  之间的结论。裂隙位置在交界面处和砂岩处的岩样初始裂纹均为裂隙尖端的翼裂纹或反翼裂纹,但这两种裂隙位置倾角为  $90^\circ$  的岩样和裂隙在大理岩倾角为  $90^\circ$  的岩样初始裂纹均为砂岩处的远场裂纹,这表明  $90^\circ$  裂隙倾角对初始裂纹有影响。在  $\alpha = 90^\circ$  时,裂尖  $K_{II} = 0$ ,裂尖只存在张拉应力,且裂隙的水平投影长度最小,不易压缩发生较大应变而产生裂纹,表明  $\alpha = 90^\circ$  时裂尖不易起裂。

(2)裂隙位置和倾角对初始裂纹产生时对应的应力应变水平的影响:①裂隙位置对初始裂纹产生时对应的应力应变水平的影响。相同裂隙倾角的初始裂纹产生对应的应力应变水平  $\sigma$ 、 $\epsilon$  由裂隙位置从大理岩、交界面、砂岩处改变依次减小。而当  $\alpha = 60^\circ$ 、 $90^\circ$  时在交界面和砂岩两种不同裂隙位置的  $\sigma$ 、 $\epsilon$  表现较接近。这也反映了裂隙倾角对初始裂纹产生的影响。②裂隙倾角对初始裂纹产生时对应的应力应变水平的影响。通过对比裂隙位置相同岩样的初始裂纹产生时对应的应力应变值,发现当  $\alpha = 90^\circ$  初始裂纹对应的应力应变值最大,表现为  $\alpha = 90^\circ$  的岩样峰值强度相较于相同裂隙位置的其他岩样高。当  $\alpha = 0^\circ$ 、 $45^\circ$  时  $\sigma$ 、 $\epsilon$  均比同裂隙位置岩样小。 $\alpha = 0^\circ$  时,预制裂隙水平,裂尖无剪切力,只存在张拉应力,相较于其他角度裂隙张拉应力更大,所以更易产生张拉裂纹,因此三种裂隙位置的  $\alpha = 0^\circ$  岩样破坏时,产生的裂纹更多,强度均最低。但裂隙位置在砂岩倾角  $45^\circ$  的岩样  $\sigma$ 、 $\epsilon$  值最小,但强度并非最低,这说明初始裂纹并不能代表岩样强度,由于初始裂纹并非主破

坏裂纹形成的最弱断面,在主破坏裂纹路径上的材料仍需积累损伤,随着应力水平的提高造成破坏;裂隙在大理岩时, $\alpha = 0^\circ$ 、 $30^\circ$  的岩样初始裂纹在砂岩处,因此  $\sigma$ 、 $\epsilon$  较相近, $\alpha = 45^\circ$  初始裂纹出现在大理岩处,因此初始裂纹产生的  $\sigma$ 、 $\epsilon$  值有所提高。

(3)裂隙位置和倾角对破坏模式的影响:①裂隙位置对岩样破坏模式的影响。裂隙在大理岩处时,岩样起裂更易在砂岩处,产生的张拉裂纹向大理岩贯通形成“H形破坏”;裂隙在交界面时,易在裂隙尖端产生翼裂纹与反翼裂纹形成“y形破坏”,这是由于在交界面的裂隙和砂岩中产生的剪切裂纹共同形成了一个较长的剪切面,在剪切力作用下这个剪切面向大理岩中扩展;裂隙在砂岩处时,易在裂隙尖端产生翼裂纹与反翼裂纹形成“1y形破坏”,这是由于形成的剪切面跨度较小,局部剪应力无法达到大理岩的抗剪强度,因此大理岩中产生的裂纹主要为张拉裂纹。②裂隙倾角对岩样破坏模式的影响。 $\alpha = 0^\circ$  时均发生“H形破坏”,这是由于裂隙水平无法形成纯Ⅱ型的裂纹模型,产生的张性拐折裂纹会笔直地朝向主应力方向扩展,易形成这种“H形破坏”。当  $\alpha = 90^\circ$  时均发生“y形破坏”,当  $\alpha = 30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$  时,若破坏裂纹由裂隙引起,则破坏模式是裂隙尖端产生的翼裂纹或反翼裂纹形成,且相同裂隙位置的岩样在这三种裂隙倾角下破坏表现相近。③表面剥落通常发生在裂纹产生的部位,是变形较大、裂纹大量产生的表现。当裂隙在大理岩时,表面剥落在大理岩中也会出现,但砂岩破坏更明显;但当裂隙不在大理岩时,剥落现象均发生在砂岩处,表明两种岩样有较大的强度差。

## 4 结论

a. 完整复合岩样力学强度介于砂岩与大理岩之间,强度由砂岩控制;复合裂隙岩样的力学性质随裂隙位置由砂岩、交界面和大理岩的改变及裂隙倾角的增加呈增加趋势。

b. 当裂隙在大理岩时,初始裂纹易为砂岩中的远场裂纹,当裂隙在交界面和砂岩时,初始裂纹易为砂岩处裂尖产生的翼裂纹、反翼裂纹。预制裂隙倾角会影响到初始裂纹产生的形式,裂隙倾角  $\alpha = 90^\circ$  时裂尖不易起裂,初始裂纹易为在砂岩处的远场裂纹, $\alpha = 45^\circ$  时裂尖易起裂。

c. 相同裂隙倾角的初始裂纹产生对应的应力应变水平  $\sigma$ 、 $\epsilon$  大小由裂隙位置从大理岩、交界面、砂岩处改变依次减小。裂隙位置相同时  $\alpha = 90^\circ$

的  $\sigma, \epsilon$  最大,  $\alpha=0^\circ, 45^\circ$  时  $\sigma, \epsilon$  最小。

d. 裂隙在大理岩处时发生“H 形破坏”, 表面剥落在砂岩和大理岩中均有发生, 但砂岩处破坏更明显; 裂隙在交界面时, 发生“y 形破坏”, 裂隙在砂岩处时, 发生“1 $\gamma$  形破坏”, 裂隙在这两种位置时, 剥落现象只发生在砂岩处。当  $\alpha=0^\circ$  时均发生“H 形破坏”, 当  $\alpha=90^\circ$  时均发生“y 形破坏”, 当  $\alpha=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  时破坏表现相近。

参考文献:

[1] LIU J, WANG E, SONG D, et al. Effect of rock strength on failure mode and mechanical behavior of composite samples[J]. Arabian journal of geosciences, 2015, 8(7):4527-4539.

[2] CHENG J, YANG S, CHEN K, et al. Uniaxial

experimental study of the acoustic emission and deformation behavior of composite rock based on 3D digital image correlation (DIC)[J]. ACTA mechanica sinica, 2017, 33(6):999-1021.

[3] 王其虎, 王杰, 叶义成, 等. 复合岩样中单裂隙几何特征对其破坏模式及强度的影响[J]. 金属矿山, 2020(2):134-140.

[4] 杜超超, 温森, 孔庆梅. 一维动静组合加载下复合岩样动态力学特性试验研究[J]. 振动与冲击, 2021, 40(21):168-178, 206.

[5] 左建平, 谢和平, 吴爱民, 等. 深部煤岩单体及组合体的破坏机制与力学特性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(1):84-92.

[6] 李世愚, 和泰名, 尹祥础. 岩石断裂力学导论[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2010.

### Effect of Single Fissure Distribution on Mechanical Properties and Propagation Failure of Composite Rock Samples

ZHANG De-chao<sup>1</sup>, XIAO Tao-li<sup>1</sup>, ZHANG Da-fei<sup>2</sup>, SHE Hai-cheng<sup>1</sup>  
(1. School of Urban Construction, Yangtze University, Jingzhou 434000, China;  
2. Chengdu Dingjia Energy Technology Co., Ltd., Chengdu 610051, China)

**Abstract:** Fissure distribution has a significant effect on mechanical properties and damage failure of layered rock mass with complex fissures. Based on the uniaxial compression test and DIC technique, the influence of fissure location and fissure angle on the mechanical properties and failure of the composite fissure rock sample composed of sandstone-like and marial-like rocks was analyzed. The results show that the mechanical properties of composite fissure rock samples increase with the change of fissure location from sandstone, interface and marble and the increase of fissure angle. Influence of fissure location on rock sample failure: When the fissure is in marble, the initial crack is easy to be the far-field crack in sandstone, and the surface spalling occurs in both sandstone and marble, but the failure is more obvious in sandstone, is prone to "H-shaped failure". When the fissure is at the interface and sandstone, it is easy to produce wing crack and anti-wing crack at the crack tip of sandstone. Exfoliation occurs only in sandstone, "1 $\gamma$  shape failure" and "y shape failure" are easy to occur, respectively. At the same time, the stress-strain levels  $\sigma$  and  $\epsilon$  corresponding to the initial crack generation at the same fissure angle increase with the change of fissure position from sandstone, sandstone to marble and marble. Influence of fissure angle on rock sample failure: When  $\alpha=90^\circ$ , the tip is not easy to crack, and when  $\alpha=45^\circ$ , the tip is easy to crack. When the fissure location is the same, the  $\sigma$  and  $\epsilon$  of  $\alpha=90^\circ$  are the largest, while the  $\sigma$  and  $\epsilon$  of  $\alpha=0^\circ$  and  $\alpha=45^\circ$  are the smallest. "H-shaped failure" occurs when  $\alpha=0^\circ$  and "y-shaped failure" occurs when  $\alpha=90^\circ$ . The research results are instructive for practical engineering construction and design.

**Key words:** composite rock sample; precast crack; fissure angle; crack location; failure mode

\*\*\*\*\*  
(上接第 202 页)

[5] 高兴夫, 胡程顺, 钟登华. 工程项目管理的工期-费用-质量综合优化研究[J]. 系统工程理论与实践, 2007(10):112-117.

[6] 王博, 郜军艳, 聂相田, 等. 综合成本-质量-完工风险的水利工程进度优化[J]. 水力发电学报, 2014, 33(2):267-272.

[7] 关宏艳, 李宗坤, 王娟, 等. 水利工程模糊多模式工期-成本-质量均衡优化[J]. 水力发电学报, 2015, 34(7):80-87.

[8] 孙轶轩, 邵春福, 计寻, 等. 基于 ARIMA 与信息粒化

SVR 组合模型的交通事故时序预测[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2014, 54(3):348-353, 359.

[9] WANG J, JIANG Z, LI F, et al. The prediction of water level based on support vector machine under construction condition of steel sheet pile cofferdam [J]. Concurrency and computation: Practice and experience, 2021, 33(5):e6003.

[10] 王秋生, 邓洪森, 周鹏展. 基于最小二乘支持向量机的桥墩局部冲刷深度预测方法[J]. 水电能源科学, 2022, 40(1):120-123.

### Optimization of Construction Schedule of Large Box Culvert Based on NSGA II -SVR

HAO Shi-yang<sup>1</sup>, WU Tian-qi<sup>2</sup>, WU Xin-miao<sup>1</sup>, QIE Zhi-hong<sup>1</sup>

(1. College of Urban and Rural Construction, Hebei Agriculture University, Baoding 071001, China;  
2. Fengtai Power Supply Company of State Grid Beijing Electric Power Company, Beijing 100071, China)

**Abstract:** The determination of water conservancy project construction scheme is one of the most important decisions during the whole project construction period, which has an important impact on the progress and cost of the project. Considering the influence of main construction machinery and team configuration on construction period and cost, this paper established SVR model to simulate different construction schemes and corresponding construction period and cost data, and used multi-objective genetic algorithm to optimize construction schemes. Taking a box culvert project of South-to-North Water Transfer as an example, optimization model was established considering both construction period and cost. The optimization of project construction scheme was realized, and the applicability and accuracy of the model and method were verified.

**Key words:** multi-objective genetic algorithm; support vector regression machine; large box culvert; construction progress; optimization