第 39 卷 第 3 期	中国岩溶	Vol. 39 No. 3
2020年6月	CARSOLOGICA SINICA	Jun. 2020

余逍逍,史文兵,王小明,等,基于数字图像处理技术的溶蚀岩体细观变形破坏机制模拟研究[J],中国岩溶,2020,39(3):409-416. DOI:10.11932/karst2020y29

# 基于数字图像处理技术的溶蚀岩体细 观变形破坏机制模拟研究

余诮诮1,史文兵1,2,王小明2,梁风1,徐伟3

(1.贵州大学资源与环境工程学院,贵阳 550025:2.贵州大学教育部喀斯特地质资源与环境重 点实验室、贵阳 550025; 3.河海大学岩土工程科学研究所、南京 210098)

摘 要:通过数字图像处理技术对广泛发育于岩溶地区的溶蚀岩体的溶蚀特征进行提取,构建离散 元溶蚀岩体模型,并模拟单轴压缩试验研究溶蚀岩体的细观变形破坏机制,以分析溶蚀岩体的变形 破坏特征和裂隙演化规律。结果表明:溶蚀岩体模型能够很好地表征岩体的溶蚀特征,对真实的溶 蚀形态具有较好的还原作用;溶蚀岩体的累计破坏数曲线呈现"S"型变化特征,即分为裂隙不发育阶 段、稳定发育阶段和不稳定发育阶段,溶蚀岩体的破坏具有累进性特点;由于溶蚀孔洞的存在,使得 溶蚀岩体接触力力链表现出各向异性特征,随着加载的进行,岩体骨架为抵抗外部荷载的作用,导致 接触力在岩体骨架内集中,表现为接触力力链线条变粗;随着应变的增加,试样发生起源于溶蚀孔洞 周围的破坏,破坏区域发生卸荷作用,接触力力链被淡化,最终试样发生破坏,力链消失,溶蚀岩体应 力应变关系是试样内部接触力变化规律的宏观表现。

关键词:数字图像处理;溶蚀岩体;离散元;细观变形破坏机制

**中图分类号**:P642.25 文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2020)03-0409-08 开放科学(资源服务)标识码(OSID)



# 0 引 言

溶蚀岩体是可溶性岩石受到水、气候等自然因 素的影响和改造作用下形成的具有一定溶蚀洞体的 特殊地质体。溶蚀洞体的形成,破坏了完整岩体的 组成成分及岩体结构等特征,从而影响到岩体力学 性质等对工程应用中起到关键作用的岩体特性。溶 蚀岩体在岩溶地区分布极为广泛,同时也是工程中 常见的工程岩体,对工程稳定性有极大影响。与一 般相对完整的岩体相比,溶蚀岩体的变形破坏极为 复杂,不仅受溶蚀岩体结构的影响,而且受溶蚀率的 影响也极为显著。

目前对于溶蚀岩体的研究方向主要集中在溶蚀 形态、规律、孔隙演化及机理方面的研究。而对溶蚀 岩体变形破坏开展研究的成果不丰富。王家骏印根 据岩溶形态及其组合,对不同岩溶组合结构工程地 质类型及相应的岩体质量进行定性分类,以便更好 地服务于各工程勘察阶段;李苍松等[2]在对不同工况 下溶蚀磨片的实验基础上,借助分形理论及水化学 动力学理论,进一步探索岩溶形态分形特征与水化 学动力学特征二者之间的相关性;佘敏等[3]通过流体 在岩石内部孔隙中运移与反应的实验方式对溶蚀作 用的控制因素及溶蚀效应进行研究,指出孔隙结构 明显控制碳酸盐岩溶蚀效应和溶孔演化;张菊明等[4]

通信作者:史文兵(1980-),男,博士,副教授,从事地质灾害机理与控制研究。E-mail:wbshi@gzu.edu.cn。 收稿日期:2019-09-25

资助项目:贵州省科技厅科技平台及人才团队计划(黔科合平台人才[2017]5402号);贵州省教育厅青年科技人才成长项目(黔教合KY字[2018] 117号);贵州大学引进人才科研项目(贵大人基合字[2017]77号);贵州大学培育项目(黔科合平台人才[2018]5781号)

第一作者简介:余逍逍(1995-),女,硕士研究生,地质工程专业,主要从事地质灾害机理研究。E-mail:1119689615@qq.com。

针对溶蚀岩体的溶蚀特性,提出了三维随机洞体的 数学模型,为研究溶蚀岩体的溶蚀率和渗透特性提 供了可视化手段;陈祥军等55为评价溶蚀岩体的渗漏 问题,基于统计分析结果建立了溶蚀岩体的随机结 构模型,再基于随机结构模型计算出渗透系数,进而 对溶蚀岩体的渗漏问题进行定量评价:张社荣等60以 溶蚀岩体的孔隙结构作为研究对象,运用颗粒流模 拟方法,建立具有不同孔隙结构的溶蚀岩体,从细观 力学的角度分析孔隙结构特征及其发育程度对溶蚀 岩体力学特性的影响,并分析了孔隙结构特征对溶 蚀岩体受荷损伤演化、破坏模式及破坏机理的影响; 高阳等<sup>[7]</sup>提出一种利用蒙特卡洛(Monte-Carlo)方法 模拟初始裂隙网络,通过非连续介质方法模拟裂隙 网络中的渗流数值方法,模拟层流-紊流共存流场 的岩溶演化过程;刘海燕等[8-9]采用数值模拟的手段, 探讨了泥灰岩在不同溶蚀阶段力学参数的变化规 律,并定量分析了岩体参数与溶蚀阶段的对应关系, 从岩体的基本地质信息入手,讨论了溶蚀作用从不 同方面对边坡工程性质的影响:黄波林等<sup>[10]</sup>针对三 峡库区峡谷内新发地质灾害事件,通过野外调查、原 位测试和室内试验等手段,首次系统分析了三峡库 区岩溶岸坡表层岩体裂化特征。国外研究学者[11-13] 研究了溶蚀岩体的分类、地质力学模型的建立及其 适用性等问题,提出在使用数值模拟分析岩溶问题 时获取的碳酸盐岩岩体力学参数及参考的地质力学 模型能够有效地代表物理现实,并有能力对输入和 输出数据进行关键评估时,使用复杂的数学模型才 有意义。

对于岩溶分布较广的区域,岩溶工程地质问题 较为突出。水库渗漏、岩溶地基不稳定、地下洞室的 稳定性和涌泥、涌水及岩溶强发育区地质灾害等都 是岩溶发育区域开展人类工程活动时常遇到的问 题。韦昆等<sup>[14]</sup>阐述了贵州省岩溶地质灾害发育的主 要特征;黎志豪等<sup>[15]</sup>通过对碳酸盐岩裸露区和覆盖 区的地质勘查、岩溶特征统计、构造及水文地质条件 分析,总结了研究区域内的岩溶塌陷发育机理;安江 龙<sup>[16]</sup>通过数值计算分析了岩溶地区桩测岩溶对超长 桩基承载力的影响。综上所述,工程建设活动中的 岩溶地质工程问题还需更加深入的研究。

在数字图像处理技术与应用方面, 吕超等<sup>[17]</sup>通 过自主研发的SMAS数字图像分析系统对沙土电镜 照片进行定量分析, 获取土颗粒等效直径和土颗粒 面积等参数, 再通过换算得到沙土颗粒的颗粒级配 曲线,并与传统筛分法和激光粒度分析法对比,讨论 数字图像处理方法和传统颗分发的优缺点;唐朝生 等<sup>[18]</sup>基于室内土体的干燥试验,采用数字图像处理 技术对获取的干缩裂隙图像进行二值化、除噪和骨 架化等操作,提出了一套与裂隙网络几何形态特征 密切相关的量度指标体系,并对室内土体干燥试验 的干缩裂纹进行了定量分析;刘春等<sup>[19-20]</sup>为了准确高 效地测量岩土体裂隙的各形态参数,结合数字图像 处理技术,提出了一套图像识别和定量分析方法,并 成功应用于土体干缩裂纹的定量分析研究中;运用 其自主研发的孔隙(颗粒)及裂隙图像识别与分析系 统,对砂岩的微观结构进行有效地描述及分区,并探 讨数字图像处理技术在微观结构识别领域的可 行性。

本文基于完整岩体的力学性质标定离散元模型的细观参数,野外取样溶蚀岩体,利用数字图像处理技术提取溶蚀岩体的孔隙特征,并通过MATLAB编程转换为CAD格式的几何结构供离散元软件读取,最终建立溶蚀岩体的离散元模型,进而赋值细观参数,分析溶蚀岩体的细观变形破坏特征,以期从细观层面上为岩溶地区的地质灾害孕灾机理研究提供科学依据。

### 1 溶蚀岩体模型建立

#### 1.1 溶蚀孔洞结构建立

溶蚀岩体的结构建立包括图像识别、图像二值 化和去噪处理,最终通过MATLAB编程将二值化图 像的孔洞边界转化为CAD格式,最终建立溶蚀岩体 的孔洞结构。

本文进行识别的溶蚀岩体取自贵州省某工程边 坡中。通过对其拍照获取彩色图像,彩色图像中的 每一个像素都由红黄绿(RGB)3个颜色分量确定,每 个分量的取值范围为0~255。图像识别的原理为根 据孔洞的颜色不同或深浅区分开来,选取孔洞的特 征颜色值(B)作为参照,对于图像中的任一像素点, 计算其颜色值(P)与特征颜色值在RGB颜色空间中 的距离:

#### D = |P - B|

若D值小于给定的像素阈值T,则当前像素点被 识别为孔洞,反之被识别为岩体。被识别的图像(图 1a)通过二值化处理、去噪,即可得到光滑的二值化图 像(图1d),其中黑色区域即代表溶蚀孔洞的位置。



Fig. 1 Flow chart of image recognition of eroded rock mass-denoising-binarization

在对溶蚀岩体进行数字图像处理成为光滑的二 值化图像之后,定量化统计分析溶蚀孔洞的基本信 息,由表1可看出,该溶蚀灰岩的溶蚀孔洞面积占总 面积的83.58%,说明其溶蚀程度严重,溶蚀孔洞的平 均周长为688.02,平均宽度为81.39,孔洞的形状分 形维数为1.0797,分布分形维数为1.2822,均匀系 数约为1.2483,说明其溶蚀孔洞的形状和分布位置 极不均匀,无法通过统计学手段进行描述和研究,因 而通过数字图像处理技术研究溶蚀孔洞具有重要的 实用价值。

在对溶蚀岩体的孔洞特征和基本信息进行提取 之后,使用MATLAB程序对二值化图像的孔洞进行 边缘检测,并提取其边缘坐标,生成CAD格式的多段 线孔洞结构图,矫正坐标后导入离散元程序构建数 值溶蚀岩体模型(图2),而对于没能提取到的微小溶 蚀孔洞,采用自动元胞机方法<sup>[21]</sup>随机生成一定溶蚀 孔洞以匹配溶蚀岩体的真实溶蚀形态。

#### 1.2 溶蚀岩体细观参数标定

本文离散元数值模拟软件采用 PFC2D 颗粒流程 序,模拟溶蚀岩体采用平行黏结接触模型,但 PFC2D 中对应的是细观参数,所以需要匹配标定岩体的宏 观参数与细观参数<sup>[21]</sup>。

PFC数值计算的基础法则是力一位移定律和牛

表 1	溶蚀孔洞基本信	息

Table 1 Basic information of dissolved hole

溶蚀孔洞参数/像素	值
图像面积	2 048 000
孔洞面积	1 711 640
百分比	83.58
最大面积	964 114
平均面积	85 582
平均周长	688.02
平均形状因子	0.629
最长边长度	1 793.94
平均边长	279.72
最大宽度	816
平均宽度	81.39
概率熵	0.8595
分形维数	1.0797
孔洞分布分形维数	1.2822
分选系数	1. 197 478 705
均匀系数	1.248330549

顿第二定律,运用循环遍历算法进行运算。力一位移 定律是要不断地更新颗粒与颗粒之间的接触力,牛 顿第二定律则是通过颗粒间的接触力更新颗粒的运 动,更新墙体与颗粒之间的相对位置和运动速度,并 在此基础上形成新的接触,其原理如图3所示。



图2 溶蚀岩体离散元模型构建流程

Fig. 2 Construction process of discrete element model of dissolved rock mass



图3 颗粒流循环计算过程图

Fig. 3 Particle flow cycle calculation process diagram

为研究溶蚀岩体的细观变形破坏特征,需通过 室内试验获取相应的力学参数,但溶蚀岩体存在取 样困难等问题,因而对同一个地方的相对完整岩体 进行制样(图4b),以获取其单轴压缩条件下的宏观 岩体力学参数(表2)。其力学性能测试按照《工程岩 体试验方法标准》(GB/T 50266-2013),选用 WAW-1000 微机控制电液伺服万能试验机进行。按照 GB/ T 50260-2013 制作试样,尺寸为φ50 mm×100 mm 标 准圆柱样。

## 表2 岩体室内试验力学参数

Table 2 Mechanical parameters of laboratory test on rock mass

名称	抗压强度/Mpa	弹性模量/Gpa	泊松比
值	171.06	21.55	0.19

为获取岩体的细观参数,在数值模拟软件中建 立与单轴压缩实验试样尺寸相同的离散元数值模 型,模型颗粒为49678个,通过模拟单轴压缩试验, 且不断调整,最终得到与宏观参数匹配的细观力学 参数。从图5中可看出,单轴抗压强度(UCS)为 172.3 Mpa,弹性模量(E)为20.9 Gpa,泊松比(v)为 0.20。标定所得细观参数见表3,以此结果作为基础 细观参数。

# 2 结果与分析

#### 2.1 应力应变关系

从图6可看出,溶蚀岩体的应力应变曲线呈现出 双峰型的特点,且最大单轴抗压强度为7.7 Mpa,弹 性模量为4.78 Gpa,强度和弹性模量分别仅有完整岩 体的4.5%和22.9%,说明完整岩体在被溶蚀之后具 有很高的损伤,这导致了岩体强度大幅下降。根据 溶蚀岩体应力应变的特点,将应力应变曲线分为三 个阶段:在S1阶段,应力应变曲线呈直线型变化,表 现为随着应变的增加,应力呈线性增加,该阶段在荷 载和其他外动力的条件下,地下溶蚀岩体的应力增 加;在S2阶段,应力应变曲线呈双峰型的变化规律,



岩体试样一典型破坏形式图 图 4 Fig. 4 Rock sample-typical failure pattern diagram



Fig. 5 Calibration results of discrete element parameter

Table 3 Mesoscopic parameters of rock mass		
名称	参数值	
Rmax/Rmin	1.66	
Rmin/mm	5	
平行黏结抗拉强度(pb_ten)/Mpa	均值:78.0,方差:1.5	
平行黏结内聚力(pb_coh)/Mpa	均值:84.0;方差:1.5	
平行黏结内摩擦角(pb_fa)/°	0	
摩擦系数	颗粒与加载板间为0 颗粒与颗粒间为0.7	
有效模量(emod)/Gpa	线性和黏结均为11.5	
刚度比(kration)	线性和黏结均为1.6	

# 表3 岩体细观参数

表现为在第一峰前,随应变的增加应力呈非线性增 加,达到第一峰后应力呈非线性降低,随着应变的持 续增加,应力降低后又呈非线性增加,直至达到最大 值,岩体开始发生破坏;而在峰后(S3)阶段,应力应 变曲线表现为持续并迅速降低,溶蚀岩体整体发生 破坏。





# 2.2 细观力链及裂隙演化特征

图7所示为溶蚀岩体在单轴压缩条件下的累计 破坏数一应变曲线,从图中可看出,试样开始破坏时 的应变约为0.12%,与应力应变曲线中S1与S2的分 界处对应。在S1阶段,试样没有破坏出现,表现为累 计破坏数为0;在S2阶段,溶蚀岩体的累计破坏特征 表现为破坏数先缓慢增加,随后迅速增加,最后再次 增速放缓,宏观上可表现为裂隙的稳定发育;在应变 大于0.25%之后,试样进入S3阶段,累计破坏曲线初 段呈直线增加,随后增速放缓,宏观表现为裂隙的不 稳定发育,即试样整体发生破坏,强度丧失。

在加载过程中,为了抵抗轴向荷载,溶蚀岩体内 部的接触力必然会发生一定的变化,通过分析加载 过程中试样内部接触力力链的演化过程,进一步揭 示溶蚀岩体变形破坏过程中试样内部件接触力的相 互传递规律。

从图8中可看出,在加载过程中,试样内部接触 力的力链分布发生了明显变化,在不同的应变条件 下,接触力力链的分布情况不同,尤其是在试样发生 破坏后。在应变为0时,试样内部的接触力分布由于 溶蚀孔洞的存在呈现出网状各向异性分布,在局部







Fig. 8 Distribution diagram of contact force chain under different strain rates 注:图中线的粗细代表接触力的相对大小。

出现接触力集中的情况;随着加载的进行,接触力集 中的区域变为溶蚀孔洞周围的岩体骨架,且接触力 线条加粗;在应变为0.08%时,溶蚀岩体加载初期, 试样孔洞周围压应力集中,灰色力链变粗,在溶蚀孔 洞顶部形成的绿色张拉应力集中于岩体骨架上,在 应变为0.2%时,溶蚀孔洞顶部由于张力应力集中, 主要发生拉破坏,溶蚀岩体周围骨架在集中的压应 力作用下主要发生剪破坏,从而在溶蚀孔洞周围产 生破坏裂隙,破坏部位卸荷形成松弛区,应力集中随 即向其他区域转移,形成次级应力集中区,直至次级 应力集中区发生破坏,如此往复,溶蚀孔洞逐渐贯 通。在溶蚀孔洞相互贯通、岩体受力骨架发生破坏 后,其内部发生强烈卸荷作用,导致溶蚀岩体不再能 承受外力作用,最终溶蚀岩体整体被破坏。

以上分析说明溶蚀岩体为了抵抗外部荷载,试 样接触力集中在岩体的骨架上,而在垂直于加载方 向上的岩体骨架中则由于非均值轴向力的传递导致 了这些区域出现垂直于加载方向的张拉力;随着荷 载的增加,分布于岩体骨架上的接触力逐渐增大,直 至岩体骨架发生起源于溶蚀孔洞周围的破坏,在岩 体骨架破坏的区域接触力力链线条明显变细,说明 这些区域发生了卸荷作用,最后接触力力链消失,试 样完全被破坏。

# 3 结 语

(1)数字图像处理技术的溶蚀岩体模型构建方 法能够真实还原溶蚀岩体的表观溶蚀现象,能够准 确描述溶蚀岩体的溶蚀特征;通过对溶蚀孔洞边缘 提取所建立的溶蚀岩体模型,保留了溶蚀岩体本身 的细观特征,该方法具有可行性;

(2)溶蚀岩体的应力应变曲线分为三个阶段:S1 阶段应力随应变的增加呈线性增长,试样没有破坏 出现,表现为累计破坏数为0;S2阶段应力应变曲线 呈双峰变化,在峰前,随着应变的增加,应力呈非线 性增加,表现为裂隙的稳定发育阶段;进入S3阶段, 累计破坏曲线初段呈直线增加,即试样发生整体破 坏,强度丧失;

(3)溶蚀岩体的累计破坏数曲线呈现"S"型变化 特征,表现为裂隙不发育阶段、稳定发育阶段和不稳 定发育阶段,具有累进性特征;在加载初期,试样内 部由于溶蚀孔洞的存在,使得溶蚀岩体接触力力链 表现出各向异性特征,随着加载的进行,试样内部接 触力力链的分布发生了明显变化,岩体骨架为抵抗 外部荷载的作用,导致接触力在岩体骨架内集中,表现为接触力力链线条变粗;随着应变的增加,试样发 生起源于溶蚀孔洞周围的破坏,破坏区域发生卸荷 作用,接触力力链被淡化,最终试样发生破坏,力链 消失,溶蚀岩体应力应变关系是试样内部接触力变 化规律的宏观表现;

(4)此次研究的是细观尺度的溶蚀岩体变形破 坏力学机制,其与宏观尺度的岩溶塌陷、崩塌灾害具 有对应关系,但如何建立这种对应关系,还有待研究。

## 参考文献

- [1] 王家骏.岩溶地区坝基岩体质量工程地质分类[J].中国岩溶, 1992,11(2):15-27.
- [2] 李苍松,吴丰收,赵岩杰,等.基于溶蚀实验的微观岩溶形态 分形特征和水化学动力学特征研究[J].现代隧道技术,2018, 55(2):110-120.
- [3] 佘敏,寿建峰,沈安江,等.碳酸盐岩溶蚀规律与孔隙演化实验研究[J].石油勘探与开发,2016,43(4):564-572.
- [4] 张菊明,王思敬,曾钱帮,等.溶蚀岩体三维随机洞体数学模型的设计[J].工程地质学报,2004,12(3):237-242.
- [5] 陈祥军,马凤山,王思敬,等.溶蚀岩体随机结构模型建立及 其在岩体渗漏评价中的应用[J].工程地质学报,2004,12(2): 193-198.
- [6] 张社荣,王枭华,王超.孔隙结构特征及发育程度对溶蚀岩体 力学特性的影响[J].天津大学学报(自然科学与工程技术 版),2017,50(10):1018-1028.
- [7] 高阳,邱振忠,于青春.层流一紊流共存流场中岩溶裂隙网络 演化过程的数值模拟方法[J].中国岩溶,2019,38(6): 831-838.
- [8] 刘海燕,李增学,郭建斌,等.泥灰岩溶蚀模型力学效应分析[J].人民黄河,2009,31(7):64-65.
- [9] 刘海燕,伍法权,祁生文,等.三峡库区泥质灰岩溶蚀作用与 边坡岩体破坏[J].煤田地质与勘探,2006,34(4):37-41.
- [10] 黄波林,殷跃平,张枝华,等.三峡工程库区岩溶岸坡消落带 岩体劣化特征研究[J].岩石力学与工程学报,2019,38(9): 1786-1796.
- [11] Tony W. The engineering classification of karst with respect to the role and influence of caves [J]. International Journal of Speleology, 2002, 31(1-4):19.
- [12] Andriani G F , Parise M . On the applicability of geomechanical models for carbonate rock masses interested by karst processes [J]. Environmental earth ences, 2015, 74(12):7813-7821.
- [13] Gioacchino Francesco Andriani, Mario Parise, Giuseppe Diprizio. Uncertainties in the Application of Rock Mass Classification and Geomechanical Models for Engineering Design in Carbonate Rocks[M]. Springer International Publishing, 2015.
- [14] 韦昆,张淑芳.岩溶地区地质灾害发育的特征及预防措施:以

贵州省毕节市大方县为例[J]. 冶金与材料,2018,38(6): 183,185.

- [15] 黎志豪,许光泉,余世滔,等.淮南舜耕山岩溶塌陷发育特征 及形成机理研究[J].中国岩溶,2019,38(3):418-426.
- [16] 安江龙. 岩溶区大直径桩侧溶洞对其竖向承载特性影响的数 值模拟分析[D]. 西安:长安大学, 2013.
- [17] 吕超,唐朝生,李胜杰,等.基于数字图像处理技术的砂土颗 粒级配分析研究[J].高校地质学报,2019,25(3):431-436.
- [18] 唐朝生,王德银,施斌,等.土体干缩裂隙网络定量分析[J].岩 土工程学报,2013,35(12):2298-2305.
- [19] 刘春,王宝军,施斌,等.基于数字图像识别的岩土体裂隙形态参数分析方法[J].岩土工程学报,2008,30(9):1383-1388.
- [20] 刘春,许强,施斌,等.岩石颗粒与孔隙系统数字图像识别方 法及应用[J].岩土工程学报,2018,40(5):925-931.
- [21] 石崇,张强,王盛年.颗粒流(PFC<sup>5.0</sup>)数值模拟技术及应用[J]. 岩土力学,2018,39(S2):36.

# Simulation on mesoscopic deformation and failure mechanism of dissolved rock mass using digital image processing technology

YU Xiaoxiao<sup>1</sup>, SHI Wenbing<sup>1,2</sup>, WANG Xiaoming<sup>2</sup>, LIANG Feng<sup>1</sup>, XU Wei<sup>3</sup>

(1.College of Resources and Environmental Engineering, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China; 2. Key Laboratory of Karst Geological Resources and Environment, Ministry of Education, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China; 3.Geotechnical Research Institute of Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China)

Abstract The dissolved rock mass is widely distributed in southwest China, of which deterioration of the mechanical properties can cause geological hazard in special conditions. Due to the particularity of its material composition and structural characteristics, it is difficult to collect samples of dissolved rock mass and conduct laboratory tests. To solve this problem, taking a project slope in Guizhou Province as an example, this work extracts dissolution information from this rock mass using the digital image technology. Firstly, the morphological characteristic parameters of the dissolved rock mass are obtained by digital image processing technology, and then the discrete element model of the dissolved rock mass is constructed on the basis of parameter calibration, finally, the deformation and failure characteristics and fracture evolution law of the dissolved rock mass are analyzed by the uniaxial compression numerical test. The results show that the stress-strain curve of dissolved rock can be divided into three stages, elastic deformation stage, stable deformation stage and failure stage. The stress-strain relationship of dissolved rock mass is the macroscopic manifestation of the change law of the contact force inside the specimen. The failure of dissolved rock mass is progressive. Because of the existence of dissolved holes, the contact force chain of the dissolved rock mass shows anisotropic characteristics. As the load increases continuously, the external load is mainly borne by the rock skeleton, which shows that the range of contact force chain increases continuously. With the increase of strain, the failure began to occur around the dissolved hole of the specimen, and then the failure area continued to expand, and the contact force chain scope continued to decrease, eventually, the failure occurred in the specimen and the force chain disappeared. The model of dissolved rock mass based on digital image processing technology can well represent the characteristics of dissolved rock mass. Moreover, the mesoscale deformation and failure mechanism of dissolved rock mass is of great guidance and practical significance to the study of geological disasters such as karst collapse and rock avalanche.

Key words digital image processing, dissolved rock mass, discrete element, mesoscopic deformation failure mechanism

(编辑 黄晨晖)