

# 微型桩在人工挖孔嵌岩灌注桩施工中的应用

冯周飞, 韦兴标, 汤立文

(广西水文地质工程地质勘察院, 广西 柳州 545006)

**摘要:** 柳州市某住宅楼采用人工挖孔嵌岩灌注桩基础, 9根桩因地下水丰富、强风化基岩较厚, 桩孔开挖无法正常进行, 后经采用桩孔内、桩孔外布置钻孔注浆止水, 完成其中8根桩孔的开挖, 但32号桩因强风化基岩特别厚且基岩风化程度高, 钻孔注浆效果不明显, 在桩孔开挖过程中仍有大量细砂涌入桩孔内, 仍无法正常开挖, 后改用微型桩取代该孔段人工挖孔嵌岩灌注桩, 即采用在钢管上钻孔眼并进行压力注浆, 使水泥浆液有效充填到钢管内部和外部, 对钢管底部持力层及钢管外部桩周土进行有效加固, 由钢管桩及桩周土形成的微型桩共同承担建筑物上部荷载。经静载试验, 32号桩单桩竖向承载力16 200 kN, 能够满足设计要求。

**关键词:** 微型桩; 施工技术; 施工注意事项

中图分类号: TU74

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2020)06-0522-05

## Application of micro-pile in the construction of man-dug rock-socketed cast-in-place pile

FENG Zhou-fei, WEI Xing-biao, TANG Li-wen

(Guangxi Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Liuzhou 545006, China)

**Abstract:** In a residential building in Liuzhou, nine piles were drilled into the foundation of rock-socketed cast-in-place pile by hand. Due to abundant groundwater and strong weathered bedrock, the excavation of pile holes could not be carried out smoothly. Eight of them were excavated by grouting inside and outside the pile holes to stop the water. However, the effect of grouting for 32# pile is not successful. Due to the extremely thick and highly weathered bedrock, a large amount of fine sand still pours into the pile hole during the excavation process, resulting to the failure of the excavation. In order to fill the cement slurry into the internal and external on the steel pipe steel tube effectively, micro-piles were used to replace the man-made rock-socketed cast-in-place pile. Small holes were drilled for grouting namely on the steel pipe drilling, so the bottom of the steel tube and the soil outside of the steel tube can be effectively strengthened. In this way, the steel tube pile and the micro-pile formed by the soil around the pile can share the upper load of the building. Through static load test, the vertical bearing capacity of 32# single pile is 16 200 kN, which can meet the design requirements.

**Key words:** miniature pile; construction technology; construction matters needing attention

## 0 概述

柳州市某住宅楼设计楼高33层, 地下室2层, 框剪结构, 采用65根 $\Phi 1\ 500$  mm人工挖孔嵌岩灌注桩基础, 持力层为微风化白云岩, 设计单桩竖向极限承载力15 000 kN。工程桩为人工挖孔嵌岩灌

注桩。开挖过程中, 32号桩遭遇丰富地下水、大量流砂涌入桩孔内等复杂地质条件, 虽经钻孔注浆止水, 但仍无法确保正常开挖。为此, 采用微型桩取代该地质条件复杂孔段的人工挖孔灌注桩, 对钢管桩及其周边土体进行压力注浆, 满足了桩基承载力要求。

收稿日期: 2020-11-17

作者简介: 冯周飞(1987—), 男, 海南乐东人, 工程师, 大学本科, 注册二级建造师, 主要从事水文地质工程地质环境地质、边坡、深基坑支护设计、软弱地基加固处理等工作。E-mail: weixb878111@163.com。

# 1 工程概况

## 1.1 场地内工程地质特征与水文地质条件

### (1) 场地内工程地质特征

根据现场钻探揭露情况, 该场地内地基土 (岩) 主要由耕表土 ( $Q_4^{pd}$ )、第四系冲洪积成因的粉质黏土 ( $Q_4^{al+pl}$ )、第四系残积成因的红黏土 ( $Q_4^{cl}$ ) 及石炭系中统大埔组白云岩 ( $C_2d$ ) 组成 (微型桩地层剖面图见图 1)。各地层岩性、结构特征自上而下描述如下:

第①层耕表土 ( $Q_4^{pd}$ ): 灰黑色、黄褐色, 主要由黏性土组成, 局部为淤泥, 土质欠均匀, 结构松散, 含有少量植物根系及腐殖质, 该层大部分钻孔有揭露, 层厚 0.3~0.5 m。

第②层硬塑状粉质黏土 ( $Q_4^{al+pl}$ ): 灰色、黄色, 土质均匀, 结构致密, 土芯切面光泽弱, 无摇振反应, 干强度高, 韧性中等, 手捻土芯略有砂感。该层所有钻孔均有揭露, 顶面埋深 0.8~3.6 m, 层厚 2.0~5.3 m。

第③层可塑状粉质黏土 ( $Q_4^{al+pl}$ ): 黄色, 土质均匀, 结构欠致密, 土芯切面光泽弱, 无摇振反应, 韧性及干强度高, 手捻土芯略有砂感, 手指摁压土芯印痕明显。该层只有部分钻孔有揭露, 顶面埋深 4.0~7.0 m, 揭露厚度为 0.5~3.2 m。

第④层可塑状红黏土 ( $Q_4^{cl}$ ): 黄褐色、黄色, 结构欠致密, 土质均匀, 手指按压土芯印痕深, 切面光滑, 干强度及韧性高, 无摇震反应。该层在部分钻孔有揭露, 主要分布于下伏基岩面附近, 分布不连续。顶面埋深 4.8~10.5 m, 层厚 0.7~2.5 m。

第⑤层强风化白云岩 ( $C_2d$ ): 灰黄色、黄褐色, 岩石风化强烈, 岩体极其破碎, 加上机械破碎作用, 岩芯多呈砂状、粉末状, 少量呈碎块状, 干钻易钻进。完整性差, 属较软岩, 岩体基本质量等级为 V 级。该层在少部分钻孔有揭露, 分布不连续, 本次钻探该层顶面埋深 5.2~10.5 m, 层厚 2.0~8.5 m。

第⑥层中风化白云岩 ( $C_2d$ ): 灰白色, 主要由碳酸盐类矿物组成, 隐晶质结构, 中厚层状构造, 裂隙较发育, 局部地段岩体破碎, 岩芯多呈碎块状、砂状, 大部分地段岩体较完整, 岩芯呈短柱状, 岩石质硬性脆, 断面新鲜, 局部见溶洞、溶槽、溶蚀裂隙、小溶孔, 溶蚀现象较明显。该层岩石属较硬岩, 完整性较好, 岩体基本质量等级为 IV 级。该层在场地内基岩钻孔中分布连续, 钻探深度范围内顶

面埋深 6.8~29.3 m, 层厚 0.50~22.7 m。

第⑦层微风化白云岩 ( $C_2d$ ): 灰白色, 主要由碳酸盐类矿物组成, 隐晶质结构, 中厚层状构造, 裂隙欠发育, 岩芯多呈碎块状、柱状, 岩体完整; 岩石质硬性脆, 断面新鲜。该层岩石属较硬岩, 完整性好, 岩体基本质量等级为 III 级。该层在场地内基岩钻孔中分布连续, 钻探深度范围内顶面埋深 6.5~24.3 m, 未钻穿; 桩端端阻力特征值  $q_p=8\ 000\ \text{kPa}$ 。

时代成因	地层编号	层底深度/m	分层厚度/m	柱状图 1:100	岩土名称及其特征
$Q_4^{pd}$	①	0.50	0.50		耕表土: 黄褐色, 主要由黏性土组成, 局部为淤泥, 土质欠均匀, 结构松散, 含有少量植物根系及腐殖质。
	②	2.80	2.30		硬塑状粉质黏土: 灰色、黄色, 土质均匀, 结构致密, 土芯切面光泽弱, 无摇振反应, 干强度高, 韧性中等, 手捻土芯略有砂感, 手压土芯呈浅印。
$Q_4^{al+pl}$	③	4.00	1.20		可塑状粉质黏土: 黄色, 土质均匀, 结构欠致密, 土芯切面光泽弱, 无摇振反应, 韧性及干强度高, 手捻土芯略有砂感, 手指摁压土芯印痕明显。
	④	5.00	1.00		可塑状红黏土: 黄褐色、黄色, 土质均匀, 结构欠致密, 土芯切面具光泽, 手捻土芯具滑感, 手指按压土芯印痕深, 干强度及韧性高, 无摇震反应。
$C_2d$	⑤	12.00	7.00		强风化白云岩: 灰黄色、黄褐色, 岩石风化强烈, 岩体极其破碎, 加上机械破碎作用, 岩芯多呈砂状、粉末状, 少量呈碎块状, 完整性差, 属较软岩, 岩体基本质量等级为 V 级。
	⑥	14.60	2.60		中风化白云岩: 灰白色、灰色, 隐晶质结构, 中厚层状构造, 质硬性脆, 裂隙较发育, 岩体较破碎, 岩芯多呈碎块状、砂状, 局部呈短柱状, 断面新鲜, 溶洞、溶槽、溶蚀裂隙、小溶孔, 溶蚀现象较明显, 完整性较好, 属较硬岩, 岩体基本质量等级为 IV 级。
	⑦	15.60	1.00		微风化白云岩: 灰色, 隐晶质结构, 中厚层状构造, 质硬性脆, 裂隙欠发育, 岩体较完整, 岩芯多呈碎块状、柱状, 完整性好, 属较硬岩, 岩体基本质量等级为 III 级, 未穿。
	⑧				

图 1 微型桩地层剖面示意图

Fig. 1 Stratigraphic section of micro pile

### (2) 场地内水文地质条件

据本次勘察, 场区地下水可分为上层滞水和白云岩裂隙孔洞 (溶洞) 水, 具体特征如下:

a) 上层滞水: 该层水主要赋存于上覆土层中, 水量分布不均, 不具统一水位, 主要赋存于杂填土、粉质黏土及红黏土中, 以大气降水入渗补给为主, 其赋水空间有限, 水量较小。

b) 白云岩裂隙孔洞 (溶洞) 水: 主要赋存于白云岩溶洞、孔洞、溶蚀及构造裂隙中, 该地下水埋深 2.2~4.3 m, 标高 89.0~90.8 m。该层岩溶水稍具承压性, 场区上覆黏性土为相对隔水层, 该层地下水的承压水头随旱、雨季有所变化, 且与柳江

河水的水力联系较紧密,据现场附近建筑场地桩孔抽水资料,其单桩涌水量 $30\sim 80\text{ m}^3/\text{h}$ ,富水性丰富。

### 1.2 32号桩基本情况

因该场地内地下水与柳江河水水力联系较紧密,且在桩孔开挖过程中长期、大面积抽排地下水(降水),使得各桩岩土界面与岩溶之间的通道(强风化~中风化基岩中的岩溶通道)得到疏通,加之大部分开挖完成的桩孔已安放钢筋笼、浇筑桩身混凝土,造成余下的15号、18号、19号、21号、25号、27号、29号、31号、32号桩,共9根桩孔因丰富的地下水过于集中并携带细砂流入桩孔内,形成“流砂或涌砂”现象,桩孔无法继续进行开挖。为确保桩孔正常开挖和桩孔内开挖安全,对这9根桩进行桩孔内外注浆止水。经过20d的野外作业,除了32号桩外的8根桩钻孔注浆止水效果明显,桩孔能够顺利开挖至设计桩孔深度;但32号桩的钻孔注浆止水效果不理想:每次注浆止水后仅能开挖 $0.5\sim 1.0\text{ m}$ ,与设计桩孔深度还差 $7.6\text{ m}$ 。钻孔注浆止水效果不明显的主要原因是该桩强风化基岩厚度较大,风化后颗粒极细,多呈细砂状,与水泥颗粒相当,水泥浆液难以通过渗透、扩散、充填、劈裂等方法进入细颗粒的强风化基岩中去,形成止水帷幕。

因施工工期紧,经由勘察、设计、施工等单位协商一致决定采用5根直径 $146\text{ mm}$ 、壁厚 $14\text{ mm}$ (45号钢)无缝钢管作为微型桩(钢管上钻眼,对钢管桩及其桩周土进行压力注浆,钢管上部设置二层钢筋网分散应力),取代该桩已开挖桩底以下部分人工挖孔嵌岩段的长度,见图2。

32号桩人工挖孔深度 $7.0\text{ m}$ ,还有 $7.6\text{ m}$ 深的桩孔需要开挖;桩孔深度 $7.0\text{ m}$ 以下虽经钻孔注浆止水,但注浆止水效果不明显,仍有大量流砂涌入桩孔内,开挖出来的土石方还没有涌入桩孔的流砂多,无法继续开挖。

## 2 微型桩设计要求

(1) 微型桩布置数量与位置要求:在桩底相互垂直的直径和圆心处各布置1根微型桩,共布置5根微型桩,桩位置允许偏差控制在 $10\text{ mm}$ 以内。

(2) 钻孔深度要求:微型桩须穿过强风化~中风化基岩,桩端要求进入微风化基岩 $1.0\text{ m}$ 以上;钻孔直径要求 $\Phi 150\text{ mm}$ 并一径到底。

(3) 微型桩所用钢管为 $\Phi 146\text{ mm}$ 、壁厚 $14\text{ mm}$ (45号钢)无缝钢管,钢管接长采用45号无缝钢

管接头进行接长,钢管接头必须拧紧,钢管长度要求高出现有的人工挖孔灌注桩桩底 $1.0\text{ m}$ ,即要求无缝钢管嵌入其上部钢筋混凝土桩 $1.0\text{ m}$ ,同时在桩底以下的无缝钢管上每隔 $30\sim 50\text{ cm}$ 钻 $\Phi 8\text{ mm}$ 孔眼,孔眼呈品字形布置,用于注浆加固。

(4) 钢筋网设置要求:为避免出现微型桩应力集中,应自桩底起每隔 $30\text{ cm}$ 设置 $\Phi 20@200\text{ mm}$ 钢筋网。

(5) 注浆加固要求:要求注浆材料应选用标号 $42.5\text{ MPa}$ 及以上的普通硅酸盐水泥;应采用水灰比为 $0.45\sim 0.55:1$ 的纯水泥浆液对无缝钢管内外进行压力注浆,使钢管桩及其桩周土紧密结合,桩端下部虚土及持力层被胶结加固,提高微型桩侧阻力和桩端承载力。

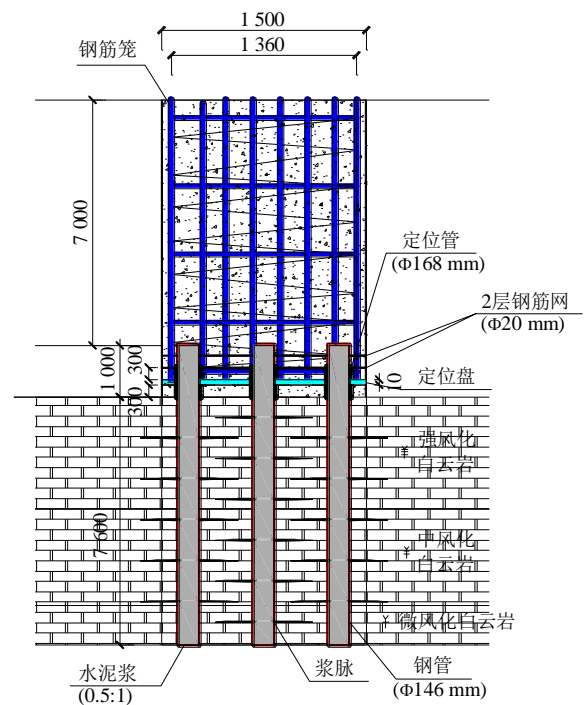


图2 微型桩结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of micro pile structure

## 3 微型桩施工

### 3.1 微型桩施工工艺流程

微型桩施工工艺流程:定位盘制作与安放→机械成孔→清孔→安放钢管→注浆成桩。完成1个钻孔成孔,应对该钻孔进行清孔、安放钢管、注浆成桩,即施工完一根微型桩,再施工下一根微型桩。

### 3.2 微型桩定位

(1) 定位盘固定:为确保微型桩桩位的准确性和避免桩底流砂给机械成孔的不利影响,应先将桩孔内积水抽干并浇筑厚 $30\text{ cm}$ 的C30混凝土封

底, 同时应在混凝土初凝前将事先制作好的微型桩定位盘放入桩孔内。定位盘放于桩底后, 应检查定位盘是否居中和水平; 定位盘调整居中和水平后, 四周用木楔进行固定, 待混凝土终凝后就完成微型桩的定位。

(2) 微型桩定位盘结构: 采用厚 10 mm 钢板切割成  $\Phi 1460$  mm 的圆盘, 并在圆盘上的圆心和  $\Phi 1100$  mm 圆周上分别切割一个  $\Phi 170$  mm 的圆孔; 同时在切割好的  $\Phi 170$  mm 的圆孔上焊上单节长度 60 cm  $\Phi 168$  mm 钢套管作为定位管; 要求钢管在定位盘钢板的上下长度各为 30 cm, 误差控制 10 mm 以内, 同时要求  $\Phi 168$  mm 钢套管上部带丝扣, 便于上部 (人工挖孔段) 接长  $\Phi 168$  mm 钢套管; 定位盘结构见图 3。

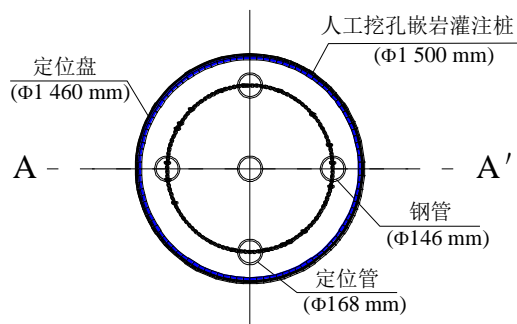


图 3 微型桩定位盘示意图

Fig. 3 Schematic diagram of micro-pile locating disk

### 3.3 微型桩机械成孔与清孔

(1) 每根微型桩钻孔前, 应将  $\Phi 168$  mm 钢套管接长到孔口作为护孔管, 便于将钻孔内岩屑及时排出桩外, 同时避免因钻杆晃动过大而影响钻孔的垂直度。

(2) 机械成孔: 采用 GY-100 型钻机进行机械成孔, 开孔直径  $\Phi 150$  mm, 终孔直径  $\Phi 150$  mm; 采用  $\Phi 150$  mm 金刚石钻头或复合片钻头清水钻进, 钻孔岩屑或岩粉随冲洗液沿护孔管上返到地面, 并排除桩外。

(3) 钻孔深度要求: 依据微型桩设计要求, 钻孔必须钻至微风化基岩 1.0 m 以上。

(4) 清孔: 为确保钻孔沉渣符合设计及规范要求, 当钻孔接近终孔深度还有 20~30 cm 时, 采取无泵干钻方式将余下 20~30 cm 钻完并将钻孔内的岩屑或岩粉捞取干净。若采取无泵干钻方式仍未能将钻孔内的岩屑或岩粉捞取干净, 应采取钢丝钻具进行二次捞取, 确保钻孔干净。

### 3.4 钢管制作与安放

(1) 钢管选用与加工: 在市场上采购  $\Phi 146$  mm、

壁厚 14 mm (45 号钢) 无缝钢管及其接箍, 要求有出厂合格证明, 检查钢管壁厚和材质。依据钻机起吊高度, 将无缝钢管切成两节, 并加工丝扣, 现场采用丝扣进行钢管接长。

(2) 钻孔眼: 在桩底以下的无缝钢管上每隔 30~50 cm 径向上钻 4 个  $\Phi 8$  mm 孔眼, 孔眼呈品字形布置, 用于注浆加固。对于中风化~微风化基岩, 每隔 50 cm 钻  $\Phi 8$  mm 孔眼, 对于强风化基岩, 每隔 30 cm 钻  $\Phi 8$  mm 孔眼, 以确保注浆有效性。

(3) 钢管安放: 现场采用钻机进行  $\Phi 146$  mm 无缝钢管安放, 钢管须安放到孔底; 用钢管接箍对钢管进行接长处理, 钢管接箍丝扣要求满扣。

### 3.5 压力注浆加固

(1) 钢管安放好后, 应及时对钢管内外进行压力注浆加固。为确保钢管内外注浆质量, 现场采用 10 MPa 高压胶管和钻杆作为输送管, 对钢管内外压力注浆加固处理。

(2) 水泥浆现场搅拌: 钢管内部与外部注浆, 采用现场机械搅拌, 要求搅拌均匀; 因现场需搅拌水灰比 0.5:1 的水泥浆, 应试验室提供的配比进行投料, 尤其应控制高效减水剂的投放量。

(3) 注浆材料选用: 水泥选用广西鱼峰水泥股份有限公司生产的鱼峰牌 42.5 MPa 普通硅酸盐水泥, 水选用生活用水, 减水剂选用重庆市高新区高和建材有限公司生产的 FDN 型高效减水剂。1 m<sup>3</sup> 水灰比 0.5:1 的水泥浆配比 (质量比) 为: 水: 水泥: 高效减水剂=612:1 224:16 (kg/m<sup>3</sup>)。

(4) 注浆压力选用: 为确保钢管外部与钻孔间隙及其基岩空隙充满水泥浆液, 现场采取注浆压力为 4 MPa 进行压力注浆。

(5) 注浆结束标准: 现场以注浆压力 4 MPa 时吸浆量  $\leq 10$  ml 并持续 30 min, 或桩底定位盘抬动为注浆结束标准, 即如注浆压力 4 MPa 时地层吸浆量  $\leq 10$  ml 并持续 30 min 时, 或桩底定位盘抬动时, 应结束注浆。

### 3.6 施工注意事项

(1) 定位盘安装和每根微型桩施钻前, 需要人下入桩底, 对接护孔管, 应注意人身安全, 避免护孔管伤人和高处坠落事故。

(2) 注浆结束后, 在拆卸钻杆时仍有部分水泥浆流出来, 在完成最后一根钢管注浆时, 应及时清除桩底浮浆, 避免浮浆影响上部桩身混凝土浇筑质量。

(3) 浇筑上部桩身混凝土前, 应及时绑扎微

型桩上部二层钢筋网。

(4) 注浆结束后、拆卸注浆管前, 应将回浆阀打开, 让输送管内水泥浆排出和卸压, 避免高压水泥浆对作业人员的伤害, 尤其是水泥浆液对作业人员对作业人员眼部的化学灼伤。

#### 4 微型桩工程质量检测

经过 7 d 野外作业, 顺利完成 5 根微型桩施工任务。微型桩完成后, 由建设单位委托有资质的检测单位对包括微型桩在内的 5 根人工挖孔嵌岩灌注桩承载力进行检测。检测采用静载试验方法测试各桩的单桩承载力, 检测结果: 单桩竖向承载力分别为 15 600 kN、15 900 kN、16 500 kN、16 200 kN (32 号桩) 和 16 800 kN, 满足设计要求。

#### 5 结 语

本工程中, 当地下水丰富、强风化基岩较厚、人工挖孔桩无法正常开挖时, 可在挖孔桩周边中心处布设微型桩, 通过微型桩钻孔注浆, 对桩基底部

土体进行加固。本文介绍了柳州市某住宅楼用微型桩代替人工挖孔嵌岩灌注桩。32 号人工挖孔嵌岩灌注桩在桩孔开挖过程中的条件下, 即以 5 根  $\Phi 146$  mm、壁厚 14 mm (45 号钢) 无缝钢管为基础, 在钢管上每隔一定距离钻眼并对钢管桩及其桩周土进行压力注浆, 使钢管桩及其桩周土紧密结合, 桩端下部虚土及持力层被胶结加固, 压力注浆能够明显提高桩周土的力学性能, 增加单桩竖向承载力, 缩短施工工期, 降低工程成本。

#### 参考文献

- [1] 高翔. 微型桩设计及施工[J]. 工程勘察, 2003(6): 31-33.  
GAO Xiang. Design and construction of miniature pile[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2003(6): 31-33.
- [2] 龚健. 软土地基中杆塔微型桩基础的性状研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.  
GONG Jian. Study on behavior of tower miniature pile foundation in soft soil[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2004.

#### 【简 讯】

#### 第十七届全国岩石动力学学术会议暨高端学术论坛（一号通知）

中国岩石力学与工程学会岩石动力学专业委员会拟定于 2021 年 5 月在江苏省徐州市召开“第十七届全国岩石动力学学术会议暨高端学术论坛”, 欢迎全国相关学科的专家、学者、科技工作者与工程技术人员踊跃赐稿并积极参与会议。

#### 会议主题与专题:

(1) 会议主题:

岩石动力学与深地工程

(2) 会议专题:

岩石动态力学性质与本构关系  
岩体中应力波传播与衰减规律  
岩石动态破坏机理与数值模拟  
岩动特性测试新技术与新方法  
爆炸及动载破岩的理论与技术

岩爆与冲击地压的机理及防控  
矿震、煤与瓦斯突出灾变机制  
岩石工程安全与抗爆抗震防护  
其他与岩石动力学相关的研究

#### 会议重要时间节点:

2021 年 2 月 25 日发第二号通知

2021 年 4 月 10 日发会议报到通知

会议具体地址与时间详见第二号通知

#### 会议秘书处:

E-mai: Rockdyna17@163.com

E-mai: cdychendayong@163.com

E-mai: lxhuang@whrsm.ac.cn

地址: 江苏徐州泉山区大学路 1 号