

# T/GRM

## 中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM 162—2026

### 井工煤矿定向钻进与水力压裂工作规程

Working procedures for directional drilling and hydraulic fracturing in underground coal mines

2026 - 03 - 24 发布

2026 - 03 - 24 实施

## 目 次

前 言 .....	II
1 范围 .....	3
2 规范性引用文件 .....	3
3 术语和定义 .....	3
4 基本要求 .....	3
5 准备工作 .....	4
6 设备 .....	4
7 设计 .....	5
8 施工 .....	6
9 验收 .....	7
10 安全要求 .....	8
11 突发事件应急处置 .....	8
12 环保要求 .....	8

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中关村绿色矿山产业联盟提出并归口。

本文件起草单位：山东科技大学、中煤科工开采研究院有限公司、河南屹华智控泵业有限公司、华能煤炭技术研究有限公司。

本文件主要起草人：王刚、王恩茂、孙晓冬、王惠风、徐浩、类延辉、樊程、王衍海、韩宗祥、马贺、石贵兵、陈雪畅、沈俊男、解树亮、刘俊涛。

本文件为首次发布。

# 井工煤矿定向钻进与水力压裂工作规程

## 1 范围

本文件规定了井工煤矿定向钻进与水力压裂一体化作业的基本要求、准备工作、设备、设计、施工、验收、安全要求、突发事件应急处置、环保要求等。

本文件适用于井工煤矿利用定向钻孔技术进行煤岩体分段水力压裂的工程作业。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 19223 煤矿矿井水分类

GB/T 30050 煤体结构分类

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**钻压一体化** integrated drilling and fracturing

利用定向钻进技术构建高精度瓦斯或卸压通道，并在同一钻孔内基于MWD随钻测井数据优化压裂参数，连续实施分段水力压裂的协同工程技术。

### 3.2

**定向钻进** directional drilling

利用随钻测量与控制技术，使钻孔轨迹按照预设方位、倾角、深度等参数延伸的钻进工艺。

### 3.3

**泥浆循环系统** mud circulation system

用于配置、输送、净化和回收冲洗液的闭环管路及设备总称。

### 3.4

**岩屑返排率** cuttings return rate

单位时间内返出孔口的岩屑体积与理论破碎体积之比。

### 3.5

**分段压裂** staged hydraulic fracturing

在定向长钻孔内利用封隔器将钻孔分隔成若干独立区段，逐段实施水力压裂的增透技术。

### 3.6

**起裂压力** breakdown pressure

在水力压裂施工中，使煤岩体孔壁产生拉伸破坏并形成宏观裂缝所需的最小流体压力。

## 4 基本要求

### 4.1 钻压协同原则

定向钻进轨迹应以最大化揭露最佳压裂层位为目标，压裂工艺参数应依据定向钻进的随钻地质数据进行动态调整，实现“轨迹导向压裂、数据指导施工”。

## 4.2 优势指标要求

利用定向钻进技术的精确导向能力，钻孔在目标压裂层位内的有效靶区钻遇率应不低于90%，以确保水力压裂能够连续、均匀地覆盖致灾区域。

## 5 准备工作

### 5.1 地质资料收集与分析

地质资料收集与分析应符合下列要求：

- a) 收集作业区域地质构造、煤层赋存、瓦斯地质及水文地质资料；
- b) 查明拟施工区域顶底板岩性组合、厚度、力学参数及含水性；
- c) 建立工程地质模型，评价顶底板稳定性，为钻孔轨迹控制与封隔器坐封位置选择提供依据。

### 5.2 作业环境准备

作业环境准备应符合下列要求：

- a) 施工场地应平整、支护完好，无杂物堆积，满足设备运输与安装空间要求；
- b) 作业区域应具备独立的通风系统，安装甲烷、一氧化碳等环境监测传感器，确保气体浓度符合相关安全规定；
- c) 完善供水、供电及通讯系统，泵站与钻场间应设置声光报警联动装置。

### 5.3 人员准备

参与定向钻进与水力压裂施工作业的人员配置与培训要求，应符合下列要求：

- a) 作业人员应接受专项技术培训，掌握定向钻机与高压压裂设备的操作规程；
- b) 明确现场负责人、技术员、钻机司机、泵工等岗位职责。

### 5.4 煤层及围岩条件评价

煤层及围岩条件的综合评价应符合下列要求：

- a) 依据GB/T 30050 煤体结构分类；
- b) 探明煤层顶底板隔水层情况，依据GB/T 19223 煤矿矿井水分类，含水层区域应制定专门的压裂隔离措施；
- c) 查明断层、褶皱及陷落柱等构造发育情况，压裂影响区内存在导水构造时不应施工。

## 6 设备

### 6.1 钻进设备

#### 6.1.1 钻机主机

钻机主机的设备选型、性能参数及核心部件配置，应符合下列要求：

- a) 选用额定转矩、给进力及起拔力满足设计孔深施工要求的全液压定向钻机；
- b) 回转器固定螺栓扭矩应不低于350 N·m，液压系统应配备油温保护与加热装置。

#### 6.1.2 导向系统

导向系统的随钻监测功能与信号传输装置配置，应符合下列要求：

- a) MWD配备随钻测量系统，具备方位角、倾角、工具面角实时监测与数据传输功能；
- b) 长距离钻进时应配备泥浆脉冲或电磁波信号增强装置，确保信号传输稳定。

#### 6.1.3 钻具

钻杆与钻头钻具的选型配置与质量要求，应符合下列要求：

- a) 钻杆：选用高强度通缆钻杆或无线随钻钻杆，螺纹部位应经超声波探伤合格；
- b) 钻头：根据岩性选用PDC钻头或复合片钻头，硬岩层宜选用刀翼角度35°左右的加强型钻头。

#### 6.1.4 紧固件

设备关键紧固件的复紧操作及扭矩控制，应符合下列要求：

- a) 使用扭矩扳手按设备手册要求复紧关键螺栓；
- b) 回转机构固定螺栓扭矩不低于350 N·m。

### 6.2 压裂设备

#### 6.2.1 压裂泵组

压裂泵组的性能参数与安全保护装置配置，应符合下列要求：

- a) 额定工作压力应大于设计最大泵注压力的1.5倍；
- b) 配备超压自动保护装置与远程卸压阀。

#### 6.2.2 封隔器

根据钻孔孔径与裸眼段围岩条件，应选用胶筒式或机械式封隔器，耐压等级应满足分段压裂设计要求。

#### 6.2.3 混砂与添加装置

应具备连续添加支撑剂、暂堵剂的功能，添加比例可调。

### 6.3 辅助设备

泥浆循环系统与数据监测采集等辅助设备的选型与配置，应符合下列要求：

- a) 配备满足钻孔循环流量需求的泥浆泵及配套的泥浆净化系统；
- b) 配备防爆型流量计、压力变送器及数据采集系统。

## 7 设计

### 7.1 钻孔轨迹与地应力协同设计

钻孔层位的选择、轨迹布置、周边既有钻孔的封堵及与地应力的协同设计，应符合下列要求：

- a) 层位选择：钻孔轨迹应布置在煤层赋存稳定、煤体结构完整的层位，避开断层破碎带；
- b) 轨迹设计：绘制钻孔平面与剖面轨迹图。根据设计孔深，合理设计造斜段、稳斜段与纠偏方案，设计靶区控制精度应满足终孔靶心半径≤3 m的要求；
- c) 当压裂影响半径内存在瓦斯抽采孔或勘探孔时，应设计封堵方案；
- d) 为降低起裂压力，定向钻孔的水平段方位角设计应尽量沿最小水平主应力方向布置。钻孔轴线与最大水平主应力方向的夹角 $\alpha$ 应满足 $60^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ 。

### 7.2 基于随钻数据的动态分段设计

改变传统的固定间距分段模式，采用基于钻进比能的动态分段模型。单段压裂间距 $L_i$ 按公式(1)计算：

$$L_i = L_{base} \times \eta_{ROP} \times \eta_{GR} \quad (1)$$

式中：

$L_{base}$ ——基准设计间距，根据煤体结构类型取值，原生结构取40 m，碎裂结构取30 m；

$\eta_{ROP}$ ——钻速修正系数，当该段平均机械钻速 $ROP > 120\%$ 基准值时，取0.8；当 $ROP < 80\%$ 基准值时，取1.2；其他情况取1.0；

$\eta_{GR}$ ——伽马修正系数，当随钻伽马曲线显示含夹矸 $GR < 60$ API时，取1.1，避开非储层段。

### 7.3 基于轨迹影响的起裂压力预测

建立包含定向轨迹参数的起裂压力 $P_b$ 计算模型，按公式(2)进行泵注能力校核：

$$P_b = 3\sigma_{\min} - \sigma_{\max} - P_p + S_t - \Delta P_\alpha \quad (2)$$

式中:

$\sigma_{\min}$ ——最小水平主应力, 单位为兆帕(MPa);

$\sigma_{\max}$ ——最大水平主应力, 单位为兆帕(MPa);

$P_p$ ——孔隙压力, 单位为兆帕(MPa);

$S_t$ ——岩石抗拉强度, 单位为兆帕(MPa);

$P_\alpha$ ——轨迹方位贡献值, 单位为兆帕(MPa)。

其中 $\Delta P_\alpha$ 由定向钻进控制的夹角 $\alpha$ 决定:

$$\Delta P_\alpha = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) \times \sin^2 (90^\circ - \alpha) \quad (3)$$

式中:

$\alpha$ ——定向钻进夹角, 单位为度( $^\circ$ )。

#### 7.4 压裂参数与孔身结构的匹配

压裂泵注排量 $Q$ 应受限于定向钻孔的环空间隙, 防止孔口压力过高。

$$Q \leq \frac{\pi}{4} (D_{\text{hole}}^2 - D_{\text{pipe}}^2) \times v_{\text{critical}} \quad (4)$$

式中:

$D_{\text{hole}}$ ——通孔划眼后的实测孔径, 单位为米(m);

$D_{\text{pipe}}$ ——指钻杆或管柱的外径, 单位为米(m);

$v_{\text{critical}}$ ——允许的最大临界流速, 单位为米每秒(m/s)。

#### 7.5 安全设施设计

压裂作业的警戒避灾及设备防喷等安全设施设计, 应符合下列要求:

- a) 设计压裂作业警戒区域与避灾路线;
- b) 设计孔口防喷装置及高压管路固定方案。

#### 7.6 压裂场地布置

压裂设备的安装位置、安全间距、管路敷设及场地排水等布置, 应符合下列要求:

- a) 压裂泵站距钻场水平距离不应低于30 m, 高压水输送采用抗冲击矿用软管;
- b) 压裂泵组安装场地平整、坚实, 并固定压裂泵组。巷道内安装压裂泵组时, 应与巷道帮留有足够操作检修空间;
- c) 作业场地应设置防爆型排水系统, 排水沟容量不应低于返排液预估量的120%。

#### 7.7 远程操控场地设置

操作台距泵站不应低于20 m, 且处于上风侧。

#### 7.8 作业区域通风检查

作业区域的通风条件、气体浓度控制及日常监测记录, 应符合下列要求:

- a) 作业区域风速不低于0.5 m/s,  $\text{CH}_4$ 浓度不高于0.8%;
- b) 每班次进行2次通风参数记录。

### 8 施工

#### 8.1 开孔

开孔作业的钻具安装、参数调整及初期钻进工序, 应符合下列要求:

- a) 安装开孔钻具, 调整钻机方位角与倾角至设计值;
- b) 开启钻机同时启动泥浆泵, 当钻孔深度达到15 m且孔口管固结稳定后, 更换定向钻具组合。

#### 8.2 定向钻进

定向钻进施工中的轨迹实时控制与钻进参数动态调控, 应符合下列要求:

- a) 轨迹控制：利用导向系统实时监测轨迹，方位角偏差 $>3^{\circ}$ 时，利用螺杆马达配合弯接头进行工具面定向纠偏；倾角偏差 $>2^{\circ}$ 时，通过调整钻机给进力与支撑角度进行微调；
- b) 参数调控：根据钻遇地层岩性变化调整钻压与转速，进入松软煤层应降低钻压，防止钻具下塌；进入硬岩段应适当增加钻压，保持稳定进尺。

### 8.3 岩屑处理与泥浆管理

钻进过程中的泥浆循环净化、性能参数监测及岩屑处理，应符合下列要求：

- a) 钻进过程中应确保泥浆循环畅通，返浆经过滤系统净化后循环使用；
- b) 性能监测：每班次检测泥浆密度，煤系地层宜保持在 $1.05\sim 1.10\text{ g/cm}^3$ ；每2 h测试API滤失量，若30 min超过15 mL，应添加预胶化淀粉等降滤失剂。

### 8.4 终孔与撤钻

终孔阶段的孔壁处理、钻具起拔以及设备的撤收与维护，应符合下列要求：

- a) 钻至设计深度后，进行全孔段通孔划眼，确保孔壁光滑；
- b) 起出全部钻具，封堵孔口；
- c) 设备撤收：施工结束后，应清洗钻机及泥浆系统，对裸露液压管路接口进行包扎防护，将设备移至指定存放地点并进行防锈处理。

### 8.5 水力压裂施工

水力压裂施工的系统试压、分段作业及后续排水等核心工序，应符合下列要求：

- a) 系统试压：连接高压管路，进行1.2倍最大工作压力的耐压试验，保压10 min无泄漏；
- b) 分段压裂具体要求如下：
  - 1) 送入封隔器至预定位置，坐封并验封；
  - 2) 起裂与注水：启动压裂泵，按设计排量注水。观察压力曲线，当压力出现明显突降 $>8\text{ MPa}$ 时判定为地层起裂；
  - 3) 加砂与暂堵：根据地层情况，适时加入支撑剂或暂堵剂，推荐添加量为暂堵剂 $3\sim 5\text{ kg/m}^3$ ，具体应根据不同储层条件及现场试验数据调整用量及配比；
  - 4) 停泵：达到设计注水量或压力异常升高时停泵，记录最终压力与总注水量；
- c) 排水：压裂结束后，利用孔口阀门组控制放水，返排液应接入专用管路排放。

## 9 验收

### 9.1 验收组织

由项目委托方或煤矿企业组织工程技术、安全监督及施工单位等相关部门人员，或委托第三方专业机构进行联合验收。

### 9.2 钻孔工程验收

钻孔工程完工后的资料查验与各项质量指标验收，应符合下列要求：

- a) 资料查验：检查钻孔轨迹数据、施工记录及测井资料；
- b) 指标验收：按表2执行。

表2 钻孔工程质量验收标准

验收项目	允许偏差	检测方法
终孔靶心半径	$\leq 3\text{ m}$	MWD数据反演与复测
倾角累计偏差	$\leq$ 设计值 $\pm 1.5^{\circ}$	陀螺仪复测
方位角累计偏差	$\leq$ 设计值 $\pm 3^{\circ}$	轨迹拟合分析
有效孔段长度	$\geq$ 设计长度95%	岩屑录井对比
孔口密封性	8 MPa保压30 min降压 $\leq 0.5\text{ MPa}$	现场打压试验

### 9.3 压裂效果验收

压裂效果的分段间距控制与施工曲线特征评价，应符合下列要求：

- a) 分段间距误差应 $\leq$ 设计值 $\pm 10\%$ ；
- b) 压裂施工曲线应具有典型的“憋压—起裂—扩展”特征。

## 10 安全要求

### 10.1 现场作业安全

施工作业现场的设备运行安全与人员岗位纪律，应符合下列要求：

- a) 不应在设备运行期间拆卸高压管路或检修旋转部件；
- b) 钻机与泵站之间应保持通讯畅通，操作人员应坚守岗位，不应脱岗。

### 10.2 防喷与防爆

压裂施工区域的高压管路防喷固定与电气防爆防护，应符合下列要求：

- a) 高压管路每隔 3~5 m 应设置防甩绳或固定链；
- b) 压裂区域所有电气设备应符合防爆要求，线缆连接可靠。

## 11 突发事件应急处置

### 11.1 井下异常工况

钻进过程中针对卡钻与井漏等井下异常工况的应急处置，应符合下列要求：

- a) 卡钻：立即停止进尺，维持泥浆循环，采用倒扣、震击等解卡工艺；若无效，按专项打捞方案处理；
- b) 井漏：立即停钻，泵入高浓度随钻堵漏剂；若发生失返性漏失，应立即起钻并封堵漏层。

### 11.2 压裂异常

水力压裂施工中针对压力骤升与管路破裂等异常工况的应急处置，应符合下列要求：

- a) 压力骤升：若泵压瞬间超过额定压力90%，立即停泵卸压，检查管路堵塞或地层闭合情况；
- b) 管路破裂：发生高压刺漏时，应先远程停泵并完全卸压后，再安排人员进入警戒区处理。

### 11.3 气体超限

监测到瓦斯或一氧化碳浓度超限时，应立即切断电源，停止作业，所有人员撤离至安全地点，并向调度指挥中心汇报。

## 12 环保要求

### 12.1 泥浆与岩屑处理

钻进施工作业中的泥浆闭路循环配置与废弃岩屑的固液分离处置，应符合下列要求：

- a) 泥浆循环系统应配备固控设备，实现泥浆闭路循环；
- b) 钻进产生的岩屑及废浆应进行固液分离处理。分离后的固相物料应运至井下专用排矸点或升井处置，不应随意丢弃在巷道内。

### 12.2 压裂返排液处置

水力压裂施工作业中产生的返排液收集处理与水质达标排放，应符合下列要求：

- a) 压裂返排液应集中收集，通过沉淀、过滤等工艺处理；
- b) 处理后的水质应符合GB/T19223-2015 煤矿矿井水分类等相关标准要求，达标后可复用或排放。