



中华人民共和国矿山安全行业标准

KA 29—2026

煤层定向长钻孔井下分段水力压裂 技术规范

Technical specifications for underground staged hydraulic fracturing in
coal seam directional long boreholes

2026-01-25 发布

2026-05-01 实施

国家矿山安全监察局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 定向长钻孔布置要求	1
5 分段压裂参数要求	2
5.1 压裂方式	2
5.2 分段压裂段数	2
5.3 压裂参数	2
5.4 施工设备	3
6 压裂施工工序	4
7 压裂效果评价	4
8 安全要求	5
附录 A（规范性） 不动管柱与拖动管柱分段水力压裂工艺	6
附录 B（规范性） 分段压裂施工数据	7
附录 C（资料性） 压裂方案设计书编制提纲	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。

本文件由国家矿山安全监察局提出。

本文件由矿山安全行业标准化技术委员会通风与瓦斯防治分技术委员会归口。

本文件起草单位：中煤能源研究院有限责任公司、重庆大学、中煤科工西安研究院(集团)有限公司、中煤科工集团重庆研究院有限公司、山西亚美大宁能源有限公司、国家能源集团宁夏煤业有限责任公司、中国矿业大学、山东科技大学、太原理工大学、辽宁铁法能源有限责任公司、中煤科工集团沈阳研究院有限公司、平安煤炭开采工程技术研究院有限责任公司、阜新矿业(集团)有限责任公司、成都大学、辽宁工程技术大学、西安科技大学、中国矿业大学(北京)、煤炭科学研究总院有限公司。

本文件主要起草人：梁运培、龚选平、李全贵、成小雨、武文宾、孙四清、聂百胜、张庆华、王鹏军、赵文华、翟成、程成、陈冬冬、李良伟、倪冠华、孙万杰、徐吉钊、张跃兵、杨鹏、曲宝、吴国胜、刘波、范晓刚、宋明洋、刘乐、张秀忠、钱亚楠、赵政舵、李子文、张强、何将福、闫发志、徐世波、李杰、童校长、吴志坚、周韬、陈杰、范超军、徐超、杜锋、蔡永博、王龙、陈强、杨康、湛金飞、高亚斌。

本文件为首次发布。

煤层定向长钻孔井下分段水力压裂 技术规范

1 范围

本文件规定了煤层定向长钻孔井下分段水力压裂技术的术语和定义、定向长钻孔布置要求、分段压裂参数要求、压裂施工工序、压裂效果评价和安全要求。

本文件适用于煤层定向长钻孔井下分段水力压裂增透抽采瓦斯。

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 41164 碎软低渗煤层顶板水平井分段压裂技术规范

SY/T 7014 分段压裂工具

3 术语和定义

GB/T 41164、SY/T 7014 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

煤层定向长钻孔 **directional long boreholes in coal seams**

采用随钻测控定向钻机在煤层中按预设路径施工的顺层长钻孔，煤层内长度宜大于 100 m，轨迹可控。

3.2

分段水力压裂 **staged hydraulic fracturing**

利用封隔器将煤层定向长钻孔分隔成若干独立压裂段，并按照一定顺序进行水力压裂的压裂方式。

3.3

不动管柱压裂 **fracturing without pulling string**

一次性下入多段封隔器，通过多级投球等方式隔离目标层段，在封隔器位置不移动的条件下实现多段连续压裂的分段水力压裂工艺。

3.4

拖动管柱压裂 **fracturing with string pulling**

一次下入一组封隔器形成一个压裂段，完成此段压裂后，移动至下一段继续进行压裂的分段水力压裂工艺。

4 定向长钻孔布置要求

4.1 定向长钻孔不宜设计分支，所在煤层煤体坚固性系数 $f \geq 0.5$ ，轨迹控制在煤层中部。

4.2 分段压裂的任意一个压裂段不应布置在以下区域：

- a) 钻孔沿煤层层面 30 m 范围内以及距压裂煤层顶、底板界面法线距离 20 m 范围内的空间范围内存在断层、钻孔、采掘空间的区域；
- b) 钻孔沿煤层层面 100 m 范围内以及距压裂煤层顶、底板界面法线距离 20 m 范围内的空间范围内有含水层的区域。

5 分段压裂参数要求

5.1 压裂方式

5.1.1 煤层定向长钻孔井下分段水力压裂工艺可采用不动管柱分段水力压裂、拖动管柱分段水力压裂。不动管柱分段水力压裂工艺应按照附录 A 图 A.1 实施,拖动管柱分段水力压裂工艺应按照附录 A 图 A.2 实施。

5.1.2 不动管柱分段水力压裂工艺适用于煤体坚固性系数 $f \geq 0.8$ 的煤层,且分段段数不大于 10。

5.2 分段压裂段数

对于不动管柱分段水力压裂,分段压裂总长度与压裂段长度的关系按照公式(1)计算。对于拖动管柱分段水力压裂,分段压裂总长度与分段压裂段数、分段压裂单元长度的关系按照公式(2)、(3)计算。

$$L_Z = n(D + d_p) \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

L_Z ——压裂总长度,单位为米(m);

n ——分段压裂段数;

D ——分段压裂段长度,单位为米(m);

d_p ——不动管柱分段水力压裂封隔器长度,单位为米(m)。

$$L_Z = nL \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

L ——分段压裂单元长度,单位为米(m)。

$$L = D + d + d_{m1} + d_{m2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

d ——分段压裂段间距,单位为米(m);

d_{m1} ——拖动管柱分段水力压裂前封隔器长度,单位为米(m);

d_{m2} ——拖动管柱分段水力压裂后封隔器长度,单位为米(m)。

5.3 压裂参数

5.3.1 煤层破裂压力可按照公式(4)预估。

$$p_i = \sigma_{\min} - \sigma_p + T \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

p_i ——煤层破裂压力,单位为兆帕(MPa);

$\sigma_{\min}$ ——最小水平地应力和煤层垂向应力中的较小值,单位为兆帕(MPa);

σ_p ——煤层孔隙压力,单位为兆帕(MPa),一般取煤层瓦斯压力;

T ——煤层抗张强度,单位为兆帕(MPa),实验室测试获得,工程取值 0.2 MPa~2 MPa。

5.3.2 压裂管路液柱压力按照公式(5)计算。

$$p_{Hj} = \rho_{\text{液}} \times g \times \Delta h_j \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

p_{Hj} ——第 j 段压裂管路液柱压力,单位为兆帕(MPa), $j=1,2,3\cdots,n$;

$\rho_{液}$ ——压裂液密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

g ——重力加速度,单位为米每二次方秒(m/s^2);

Δh_j ——第 j 段压裂段与压裂泵组的高程落差,单位为米(m)。

5.3.3 压裂液沿程摩擦阻力按照公式(6)计算。

$$p_F = \frac{\gamma L_G v^2}{2\varphi g} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

p_F ——压裂液沿程摩擦阻力,单位为兆帕(MPa);

γ ——摩擦阻力系数,无因次,可由雷诺数 Re 计算, $\gamma = \frac{64}{Re}$;

L_G ——压裂管路长度,单位为米(m);

v ——压裂液在管道中的流速,单位为米每秒(m/s);

φ ——压裂管路内径,单位为米(m)。

5.3.4 分段压裂的每段最小泵注压力根据煤层破裂压力、压裂管路液柱压力和压裂液沿程摩擦阻力进行计算。当压裂段的标高大于或等于压裂泵组作业位置标高时,按照公式(7)计算,当压裂段的标高小于压裂泵组作业位置标高时,按照公式(8)计算。

$$p_{wj} = p_i + p_{Hj} + p_F \dots\dots\dots (7)$$

式中:

p_{wj} ——第 j 段压裂段的最小泵注压力,单位为兆帕(MPa)。

$$p_{wj} = p_i - p_{Hj} + p_F \dots\dots\dots (8)$$

5.3.5 每段压裂需要的注水量应按照公式(9)估算。将每段压裂所需要的注水量累加即为定向长钻孔分段水力压裂总注水量。

$$Q_{液j} = 2\lambda M_j r_j D \dots\dots\dots (9)$$

式中:

$Q_{液j}$ ——第 j 段压裂段需要的注水量,单位为立方米(m^3);

λ ——与煤层吸水性、孔隙率有关,无量纲,取 0.01~0.02,当煤层吸水性、孔隙率大时,取较高值,反之取较低值;

M_j ——第 j 段压裂段位置处煤层平均厚度,单位为米(m);

r_j ——第 j 段压裂段设计压裂半径,单位为米(m)。

5.3.6 压裂前应按附录 B 表 B.1 编制煤矿井下定向长钻孔分段水力压裂施工基础数据设计表。

5.3.7 压裂施工时应进行压裂数据记录,并按附录 B 表 B.2 编制煤矿井下定向长钻孔分段水力压裂数据记录表。

5.4 施工设备

5.4.1 压裂泵组额定排量不小于 200 L/min,额定压力不低于压裂煤层计算的最小泵注压力的 2 倍。

5.4.2 不动管柱分段水力压裂封隔工具一般包含引鞋、压差滑套、多个封隔器、多个投球滑套和丢手等部分。拖动管柱分段水力压裂封隔工具一般包含引鞋、一套封隔器(包含 1 个前封隔器与 1 个后封隔器)、压差滑套和丢手等部分。

5.4.3 压裂所使用的管路、接头和阀门的工作压力应不小于压裂泵组的最大压力。

5.4.4 采用流量计或流量传感器计量注水量,流量精度不小于 0.1 L。

5.4.5 采用压力表或水压传感器监测记录管路压力,压力精度不小于 0.1 MPa,压力表记录频率不少于 5 次/min,水压传感器采样频率不小于 1 Hz,仪器仪表量程不小于压裂泵组额定压力的 1.5 倍。

6 压裂施工工序

6.1 连接压裂泵组及压裂管路。调试压裂泵组确保泵组正常运行以及水压等信号传输稳定,泵组运行正常后,向连接好的高压管路系统注入不高于 1 MPa 的压裂液,检查高压管路及各个连接处是否正常。

6.2 将分段压裂封隔装置通过压裂管柱送入钻孔指定深度,按照所选分段压裂工艺实现不同压裂段封隔,随后注入压裂液至设计泵注压力值,直到满足压裂结束条件。

6.3 采用不动管柱分段水力压裂工艺执行压裂作业时,首先将所有不动管柱分段压裂封隔装置通过压裂管柱送入钻孔指定深度,通过压裂泵组加压至封隔器坐封压力,使所有封隔器实现坐封,然后增加注水压力至压裂设计的泵注压力值,实施第一段压裂;随后投入 1 级投球,打开第二段投球滑套,实施第二段压裂;随后投入直径小于 1 级投球的 2 级投球,打开第三段投球滑套,实施第三段压裂;重复投入直径依次减小的投球,依次实施所有压裂段的压裂工作。

6.4 采用拖动管柱分段水力压裂工艺执行压裂作业时,首先将拖动管柱分段压裂封隔装置通过压裂管柱送入钻孔指定深度,通过压裂泵组加压至封隔器坐封压力,使前、后封隔器实现坐封,然后增加注水压力至压裂设计的泵注压力值,实施第一段压裂;随后停止压裂泵组运行,管路压力降低至 0.1 MPa 后,打开压裂管柱的孔口部分进行排水卸压,保证前、后封隔器收缩到位;退出一定数量的孔内压裂管柱,将封隔装置拖动至下一段设计压裂位置,通过压裂泵组加压至封隔器坐封压力,使前、后封隔器实现坐封,然后增加注水压力至压裂设计的泵注压力值,实施第二段压裂;重复排水卸压、封隔装置拖动操作、加压坐封操作,依次实施所有压裂段的压裂工作。

6.5 压裂过程中,应对泵注压力和注液量进行监测和记录。如采用微震监测技术评估分段压裂煤层破裂范围,应在压裂过程中的注水时段内同步开展监测。

6.6 达到以下条件之一,可以结束本段压裂:

- a) 达到设计的注水量;
- b) 压裂泵组压力降到最小泵注压力以下,并持续一定的时间;
- c) 压裂钻孔、压裂区域煤层或邻近区域出现异常涌水、淋水、瓦斯异常涌出等;
- d) 其他涉及安全风险的情况。

6.7 压后处理。压裂结束后,应进行排水卸压作业。完成全部设计压裂段压裂后,应及时退出孔内压裂工具,并将钻孔连接瓦斯抽采系统或按设计要求处置。

7 压裂效果评价

7.1 定向长钻孔分段水力压裂过程中应采用一种或多种方法对压裂效果进行评价。当采用单一方法评价压裂范围时,确定的压裂范围半径仅可作为分段压裂影响范围半径的参考值,采用两种及以上方法评价压裂范围时,确定的最小压裂范围半径可作为分段压裂影响范围半径的确定值。

7.2 可采用煤矿井下或地面微震监测手段,通过捕捉和定位压裂过程中煤层的破裂微震信号,评价压裂影响范围。

7.3 可通过在压裂目标煤层区域施工取芯钻孔测试压裂前后煤层含水率变化,对定向长钻孔分段水力压裂煤层含水率影响范围进行评价。压裂前用于取芯的钻孔应远离压裂孔,或进行加固处理。

7.4 可采用定向长钻孔配套的瞬变电磁设备,对定向长钻孔分段水力压裂后的煤层含水率影响范围进行评价。

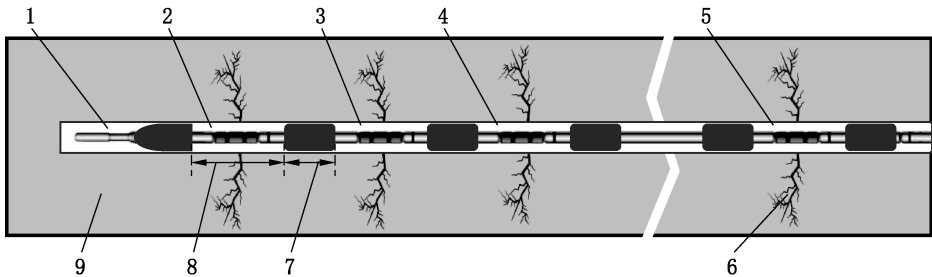
8 安全要求

- 8.1 压裂前应按照附录 C 编制压裂方案设计书,其安全技术措施应包含压裂风险评估、安全警戒范围、监测监控及通信系统和井上下联动应急处置方案等。
- 8.2 压裂期间应设置警戒,防止无关人员误入,警戒范围包括但不限于压裂高压管路区域、压裂泵组安装位置至压裂孔口下风侧 200 m 范围、高压管路覆盖区域的上下 20 m 范围以及压裂目标位置可能联通的钻孔孔口、巷道等区域。
- 8.3 压裂泵组、压裂孔口下风侧 10 m 内应安设甲烷传感器,监测压裂孔周边的瓦斯浓度变化情况,压裂过程中应对邻近钻孔、压裂目标位置可能联通的钻孔和巷道进行瓦斯涌出监测。
- 8.4 压裂孔口附近、压裂泵组等地点应安装视频监控,实时监测压裂孔口及周边、压裂泵组的运行情况,发现异常及时停泵处理。
- 8.5 压裂过程中出现压裂孔口异常涌水、压裂煤层附近巷道异常涌水、压裂煤层附近巷道顶底板异常变形等情况之一时立即关闭压裂泵,停止压裂施工。
- 8.6 压裂泵组附近应安装应急电话。
- 8.7 压裂泵组及压裂管路停泵拆除时应充分卸除管路残余压力,防止伤害事故发生。

附录 A
(规范性)

不动管柱与拖动管柱分段水力压裂工艺

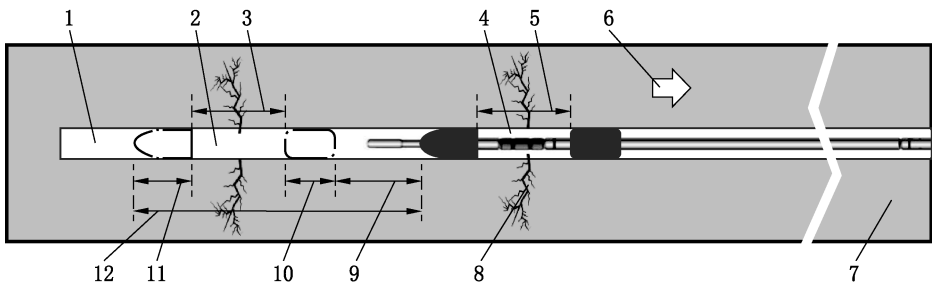
A.1 不动管柱分段水力压裂工艺见图 A.1。



- 标引序号说明：
- | | |
|------------------|--------------|
| 1——定向长钻孔； | 6——水力压裂裂缝； |
| 2——第 1 个分段压裂段； | 7——封隔器长度； |
| 3——第 2 个分段压裂段； | 8——分段压裂段长度； |
| 4——第 3 个分段压裂段； | 9——分段压裂目标层位。 |
| 5——第 n 个分段压裂段； | |

图 A.1 不动管柱分段水力压裂工艺示意图

A.2 拖动管柱分段水力压裂工艺见图 A.2。



- 标引序号说明：
- | | |
|------------------|-----------------|
| 1——定向长钻孔； | 7 ——分段压裂目标层位； |
| 2——第 1 个分段压裂段； | 8 ——水力压裂裂缝； |
| 3——第 1 个分段压裂段长度； | 9 ——分段压裂段间距； |
| 4——第 2 个分段压裂段； | 10 ——压裂段后封隔器长度； |
| 5——第 2 个分段压裂段长度； | 11 ——压裂段前封隔器长度； |
| 6——管柱拖动方向； | 12 ——分段压裂单元长度。 |

图 A.2 拖动管柱分段水力压裂工艺示意图

附 录 B
(规范性)
分段压裂施工数据

B.1 分段压裂施工基础信息记录见表 B.1。

表 B.1 分段压裂施工基础信息记录表

钻孔编号					
施工地点					
目标煤层		煤层厚度 m		煤层埋深 m	
顶板岩性		底板岩性			
瓦斯含量 m ³ /t		瓦斯压力 MPa		钻孔孔径 mm	
钻孔总长度 m		岩孔长度 m		煤孔长度 m	
压裂方式		压裂设备型号		压裂影响半径 m	
破裂压力 MPa		压裂液沿程 摩擦阻力 MPa		静水压力损失 MPa	
最小泵注压力 MPa		作业时间 h		注液总量 m ³	

B.2 分段压裂数据记录见表 B.2。

表 B.2 分段压裂数据记录表

班次		压裂泵组型号				
记录人		压裂方式				
钻孔编号		压裂开始时间		___年___月___日___时___分		
钻孔位置		压裂结束时间		___年___月___日___时___分		
压裂段编号	数据记录时间 (__时__分)	泵注压力 MPa	流量 m ³ /min	单次注液量 m ³	累计注液量 m ³	巷道瓦斯浓度 %
第__段						
第__段						
第__段						

附 录 C

(资料性)

压裂方案设计书编制提纲

- 1 前言
 - 1.1 设计目的
 - 1.2 主要任务
- 2 矿井概况及施工条件
 - 2.1 矿井概况
 - 2.2 压裂区条件
- 3 方案设计原则及依据
 - 3.1 设计原则
 - 3.2 设计依据
- 4 水力压裂设计
 - 4.1 钻孔布置要求
 - 4.2 压裂方式
 - 4.3 压裂液
 - 4.4 压裂施工参数设计
 - 4.5 压裂设备选型
 - 4.6 压裂施工设计
- 5 安全技术措施
 - 5.1 压裂风险评估
 - 5.2 安全警戒范围
 - 5.3 监测监控及通讯系统
 - 5.4 井上下联动应急处置方案

附图 1:压裂孔结构示意图

附图 2:压裂孔布置示意图

附图 3:孔内管柱及工具组合示意图

附图 4:压裂设备连接及管线布置图

附图 5:通风系统图

附图 6:供水、供电系统图

附图 7:监测监控及通信系统图

附图 8:避灾路线图