



中华人民共和国国家标准

GB/T 41164—2021

碎软低渗煤层顶板水平井分段压裂 技术规范

Specifications technology for multistage fracturing in horizontal well within
roof of broken-soft and low permeability coal seam

2021-12-31 发布

2022-07-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 分段压裂方案设计 2

5 分段压裂施工作业 4

6 压裂效果评价 5

附录 A（资料性） 煤层气水平井压裂方案设计附表格式 7

附录 B（资料性） 煤层气水平井压裂施工设计书编写提纲 11

附录 C（资料性） 煤层气水平井压裂施工总结报告编写提纲 12

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。

本文件由中国煤炭工业协会提出。

本文件由全国煤炭标准化技术委员会(SAC/TC 42)归口。

本文件起草单位：中煤科工集团西安研究院有限公司。

本文件主要起草人：许耀波、张培河、张群、杜新锋、降文萍、郑玉柱、吴静、徐建军、王晶、杜志强、巩泽文、朱文侠。

碎软低渗煤层顶板水平井分段压裂技术规范

1 范围

本文件规定了用于抽采煤层气的煤层顶板水平井分段压裂方案设计、施工作业以及压裂效果评价的要求。

本文件适用于碎软低渗煤层的煤层顶板水平井分段压裂,其他煤体结构煤层的水平井或煤层底板水平井分段压裂可参照使用。

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。

- NB/T 14002.2 页岩气 储层改造 第2部分:工厂化压裂作业技术规范
- NB/T 14002.4 页岩气 储层改造 第4部分:水平井泵送桥塞-射孔联作技术推荐作法
- NB/T 14002.5 页岩气 储层改造 第5部分:水平井钻磨桥塞作业要求
- SY/T 5107 水基压裂液性能评价方法
- SY/T 5108 水力压裂和砾石充填作业用支撑剂性能测试方法
- SY/T 5289 油、气、水井压裂设计与施工及效果评估方法
- SY/T 5587.5 常规修井作业规程 第5部分:井下作业井筒准备
- SY/T 5727 井下作业安全规程
- SY/T 6253 水平井射孔作业技术规范
- SY/T 6302 压裂支撑剂导流能力测试方法
- SY/T 6610 硫化氢环境井下作业场所作业安全规范
- SY/T 6690 井下作业井控技术规程
- SY/T 7014 分段压裂工具
- SY/T 7372 微地震地面监测技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

碎软低渗煤层 broken-soft and low permeability coal seam

在地质构造运动的作用下,煤层发生搓揉、挤压和变形,煤体结构被破坏呈碎块状、碎粒状、粉末状、鳞片状,且在上覆地层作用下被压实,致使渗透率较低的煤层。

3.2

顶板水平井 horizontal well within roof

水平段井眼轨迹部署在煤层顶板岩层中的水平井。

3.3

水平井定向射孔 **directional perforation of horizontal well**

在煤层顶板或底板岩层水平井中按预定角度向煤层方向进行射孔。

3.4

顶板水平井分段压裂 **multistage fracturing in horizontal well within roof**

采用封隔工具按照一定的段间距将顶板水平井分成若干段,逐段进行定向射孔和分段压裂,使顶板水平井与下伏煤层沟通,并在煤层中形成有效的压裂裂缝。

4 分段压裂方案设计

4.1 设计原则

顶板水平井分段压裂设计遵循以下原则:

- a) 目的明确、针对性强、可操作性好,符合相关质量、安全、健康和环保规范标准等要求;
- b) 在地质设计与钻井成果的基础上,基于顶板水平井分段压裂理念,以多段改造煤层高效抽采煤层气为压裂设计目标;
- c) 分段压裂设计的设备参数、压裂材料、工具参数以及工艺参数能达到预期的分段压裂目的和满足压裂工艺的要求。

4.2 设计依据

顶板水平井分段压裂设计依据应包括:

- a) 地质资料,包括地层、地质构造、煤层、水文地质、邻近钻孔以及三维地震和煤矿采掘等资料;
- b) 钻井资料,包括井身结构、套管数据、钻遇地层、完钻井深、漏失及井涌情况等,钻井基础数据表格式见附录 A 的表 A.1;
- c) 录井资料,包括岩屑录井、钻时录井、气测录井及水文地质观测资料等;
- d) 测井资料,包括随钻测井、固井质量检测等数据;
- e) 测试资料,包括煤及其顶板黏土矿物、岩石力学参数、储层温度、储层水质、渗透率、储层压力、地应力及方位、储层敏感性实验等测试分析数据;
- f) 邻井开发资料,包括钻井、压裂、裂缝监测及排水采气等资料。

4.3 设计内容

4.3.1 裂缝参数优化

根据地质、煤储层、钻完井资料,以及产气目标,选择合适的数值模拟软件,优化确定最佳压裂段数、裂缝长度、裂缝高度和最优裂缝导流能力。

4.3.2 压裂段位置确定

按照先均分后调整的水平井整体压裂改造设计思路,根据优化确定的水平井分段压裂段数和段间距,在避开套管接箍和复杂地质构造部位的前提下,优先选择距离煤层较近、固井质量较好的位置,作为压裂段选定的位置。并绘制压裂段位置示意图。

4.3.3 分段工艺

根据水平井筒条件、压裂方式、压裂施工成本以及压裂效果要求,优选水力泵送桥塞+定向射孔联作分段压裂工艺,选择坐封位置和坐封方式,确定桥塞封隔工具数量、型号和技术参数,并绘制坐封位置

示意图,坐封工具应满足 SY/T 7014 的规定,坐封工具设计表格式见表 A.2。

4.3.4 定向射孔工艺选择

优选超深穿透定向射孔工艺,设计定向射孔施工方式、射孔井段、射孔枪和射孔弹型号、定向方式、定向射孔夹角、布孔方式、孔密、孔数等参数,同时应明确射孔施工质量要求。射孔设计表格式见表 A.3。

4.3.5 压裂液优化

根据与顶板岩层和煤层配伍性、降低压裂液成本、提高压裂施工效果以及满足水平井压裂工艺要求的原则,设计压裂液类型、添加剂类型及压裂液配方方案,明确压裂液配制质量控制的相关技术要求。按照 SY/T 5107 的方法进行压裂液性能测试评价。压裂液参数明细见表 A.4。

4.3.6 支撑剂优化

根据支撑剂的抗压强度、支撑效果、价格以及便于压裂液输送的原则,设计石英砂、陶粒等支撑剂类型、粒径、组合方式和数量,明确入井前支撑剂质量控制要求。支撑剂物理性能指标及测试方法应满足 SY/T 5108 的规定。导流能力测试应按照 SY/T 6302 的规定执行。压裂支撑剂参数明细见表 A.4。

4.3.7 压裂工艺参数优化

综合考虑压裂管柱、井口设备、压裂施工设备承压能力,以及压裂规模、施工磨阻和穿透煤层裂缝高度控制等要求,优化确定注入排量参数范围。

结合压裂液性能、支撑剂特点、压裂方式,优化确定最佳施工排量、平均砂比、加砂量、前置液比等参数,同时应对施工压力进行预测,设计施工限压值。

4.3.8 泵注程序优化

泵注程序应包括泵注阶段数、液体性质、阶段排量、阶段净液量、阶段砂比、阶段加砂量、累计液量、累计加砂量、注入时间等参数及相关技术要求。

根据优化的压裂施工参数,结合地质资料及煤储层参数,通过压裂模拟软件优化计算,设计合理的裂缝剖面结构,形成最优泵注程序。泵注程序表格式见表 A.5。

正式压裂前应进行测试压裂,编制相应的测试压裂泵注程序,包括泵注阶段数、液体性质、阶段排量、阶段净液量、累计液量、注入时间等参数及相关技术要求。测试压裂泵注程序表格式见表 A.6。

4.3.9 压裂施工设备

根据选择的分段压裂工艺、施工压力、压裂施工参数以及套管条件优选井口装置及防喷装置,强度校核要求额定工作压力应不低于施工限压值的 1.25 倍,最终确定装置的型号和技术参数。

依据优化设计的施工参数和限压值,计算压裂施工所需的水马力,且压裂泵注水马力应不低于设计水马力的 1.2 倍,确定压裂施工泵车型号及数量、混砂车型号及技术参数以及其他辅助设备的型号、数量和技术参数。压裂施工作业设备表格式见表 A.7。

4.3.10 裂缝监测

压裂施工过程中可设计微地震、大地电位等裂缝监测方法对裂缝长度、高度、方位等参数进行监测,同时应明确裂缝监测施工的井段位置及技术要求。

4.3.11 压后放喷

应设计井口压力监测方法及监测频率,以及合适的压后放喷点、放喷方式、放喷强度等参数和排出

液处理要求。

4.3.12 钻桥塞洗井

应设计钻洗工具组合,明确工具的型号、尺寸及技术参数,以及钻洗施工参数及技术要求。U 型水平对接井应明确钻洗结束后水平井与对接直井再次连通的技术要求。

4.4 设计书

应包含设计人信息、审批人信息、审查结果和按照设计要求编制的内容。设计书编写提纲见附录 B,压裂设计相关表格见附录 A。

5 分段压裂施工作业

5.1 压裂施工程序

应按照以下程序执行:

- a) 压前作业及井口设备、放喷设备安装;
- b) 压裂设备及地面管线连接,高压管线与闸门试压至限压值,3 min 压降小于 0.5 MPa 为合格,之后顶替井筒;
- c) 依据 L 型或 U 型水平井井型,采用相应的分段压裂工艺对第一段进行射孔、桥塞坐封施工;
- d) 按照测试压裂设计要求进行测试压裂施工,并完善主压裂施工方案;
- e) 按照压裂设计进行主压裂施工;
- f) 施工结束,观测停泵压力,测压降曲线,确定裂缝闭合压力;
- g) 用压裂液基液顶替全井段后,进行下一段射孔、坐封施工;
- h) 重复施工程序 e)~g),直至压完目的井段,压裂结束;
- i) 按照放喷设计,开始返排;
- j) 放喷结束后下入钻洗工具,完成全井段钻洗施工,提出管柱,施工结束。

5.2 压前准备

压前准备应包括:

- a) 井场准备,井场面积和承重能力应满足压裂施工要求,且具备工作区域相互独立、人员和设备撤离的应急通道;
- b) 井筒条件准备,包括压前通井、刮削、洗井、试压和井口设备安装等各种作业工序,按照 SY/T 5587.5、SY/T 5727 和 SY/T 6690 的规定执行,对于水力泵送射孔桥塞联作施工的水平井还应采用与实际施工管串相匹配的模拟管串通井;
- c) 压裂液准备,应按照每段设计量的 1.2 倍配制压裂液体系,压裂施工前还应提交压裂液配伍性试验报告、压裂液性能检测报告、压裂液配制材料检验合格证等;
- d) 支撑剂准备,应按照每段设计量的 1.1 倍准备支撑剂材料,压裂施工前还应提交支撑剂室内评价报告、检验合格证等;
- e) 井下工具准备,应按照设计要求准备井下工具,下井前还应提交包括分段压裂施工用封隔桥塞和定向射孔工具的测试试验报告、出厂合格证等;
- f) 压裂施工设备准备,按照设计要求准备压裂泵注施工以及辅助压裂施工设备,且应选择 2 000 HHP 以上的压裂泵注设备。

5.3 压裂施工

压裂施工应包括以下程序。

- a) 桥塞坐封施工,按照分段设计要求进行水平井桥塞坐封施工,施工前应采用2倍坐封段井筒体积的压裂液基液顶替全井段后方能进行水力泵送桥塞联作施工。坐封结束后试压至施工限压值进行验封,3 min压降小于0.5 MPa视为坐封合格。桥塞坐封施工按照SY/T 6690和NB/T 14002.4的规定执行。
- b) 定向射孔施工,按照射孔设计要求进行水平井定向射孔施工,射孔施工按照SY/T 6253、NB/T 14002.4和SY/T 6690的规定执行。
- c) 设备连接,按照设计的压裂设备进行摆放、连接,相邻压裂主设备之间的间距应不低于0.8 m,压裂前应对设备进行调试及管路试压,试压至限压值后3 min压降小于0.5 MPa为合格,并绘制井场压裂设备摆放示意图。按照NB/T 14002.2的规定执行。
- d) 压裂施工,按照泵注程序设计要求进行压裂施工,压裂过程中实时监控设备的运行状态,并实时采集压力、砂比、砂量、液量等施工参数,压裂停泵后采集停泵压力和压降曲线等内容。按照NB/T 14002.2的规定执行。
- e) 裂缝监测,按照裂缝监测设计要求对目标压裂段进行裂缝参数监测,实时采集微震事件,按照SY/T 7372的规定执行。

5.4 压后作业

5.4.1 压后排液管理

应按照放喷设计要求进行连续放喷过程管控,排液过程中应严格控制放喷强度、计量放喷总液量,并适时对返排液性能进行检测。对含硫化氢和其他有毒气体的井排液时,按照SY/T 6610的规定执行。

5.4.2 压后钻桥塞作业

应按照钻塞作业设计进行钻塞、洗井施工,U型水平对接井应确保水平井与对接直井充分连通,按照SY/T 5587.5和NB/T 14002.5的规定执行。

5.5 压裂施工应急措施

针对压裂施工过程中可能出现的通井管柱遇阻、遇卡,射孔和分段工具遇阻、遇卡和掉井,高压管汇爆裂,施工压力高,施工砂堵等各种复杂情况,应制定相应的应对措施。

5.6 健康安全环保(HSE)

健康、安全和环境保护要求按照SY/T 6690、SY/T 6610和SY/T 5727的相关规定执行。

5.7 现场资料录取与提交

压裂过程中应及时录取各环节的施工单位、负责人和施工时间信息,以及施工参数和图件等原始资料,还应明确现场资料提交的内容及要求。

6 压裂效果评价

6.1 资料汇总

压裂结束以后,应及时汇总施工资料,包括压裂施工设计书、压裂液配伍性评价报告、压裂液检验报

告、压裂支撑剂室内评价报告、定向射孔-桥塞联作施工记录、小型测试压裂记录及施工曲线、加砂压裂记录及施工曲线和裂缝监测等原始资料。

6.2 压裂效果评价

应对入井材料、施工过程和设计完成效果进行评述,还应对整个压裂施工质量和压裂改造效果进行评价。按照 SY/T 5289 的规定执行。

6.3 报告编制

压裂结束以后,应及时编制压裂施工总结报告。报告编写提纲见附录 C。

附 录 A
(资料性)

煤层气水平井压裂方案设计附表格式

A.1 基础数据表

表 A.1 给出了煤层气水平井基础数据表。

表 A.1 ××煤层气水平井基础数据表

坐标	X：		地理位置								
	Y：		构造位置								
	H：		井别					井型			
补心高/m				完钻原则							
钻头 程序	一开钻头直径/mm		一开钻达井深/m			二开钻头直径/mm		二开钻达井深/m			
	三开钻头直径/mm		三开钻达井深/m								
套 管 程 序	套管名称	尺寸 mm	型号 钢级	壁厚 mm	联入 m	下深 m	阻位 m	定位短节 m		试压 情况 MPa	
	表层										
	技术										
	生产										
固 井 参 数	水泥用量/t		平均密度/(g/cm ³)				替量/m ³		碰压/MPa		
	人工井底/m	磁定位/m	水泥返深/m		固井水泥环质量						
					水平段	第一界面	第二界面				
井 身 质 量	最大井斜					闭合方 位/(°)	最大全角变化率				
	井深/m		井斜/(°)	方位/(°)	井深/m		全角变化率/[(°)/25 m]				
备注											

A.2 分段压裂封隔参数设计表

表 A.2 给出了煤层气水平井分段压裂封隔参数设计表。

表 A.2 ××煤层气水平井分段压裂封隔参数设计表

射孔段	压裂深度/m	坐封深度/m	工具型号	坐封方式	耐压参数/MPa	耐温参数/(°)
1						
2						
3						
...						

A.3 定向射孔参数设计表

表 A.3 给出了煤层气水平井定向射孔参数设计表。

表 A.3 ××煤层气水平井定向射孔参数设计数据表

射孔段	射孔深度/m	射孔长度/m	枪型/弹型	定向方式	布孔方式	定向夹角/(°)	孔密/(孔/m ¹)	孔数/孔
1								
2								
3								
...								

A.4 压裂施工入井材料明细表

表 A.4 给出了煤层气水平井压裂施工入井材料明细表。

表 A.4 ××煤层气水平井压裂施工入井材料明细表

序号	名称	规格、型号	单位	数量	备注
1					
2					
3					
4					
...					

A.5 压裂施工泵注程序表

表 A.5 给出了煤层气水平井压裂施工泵注程序表。

表 A.5 ××煤层气水平井××段压裂施工泵注程序表

程序	步骤	液体性质	排量 m ³ /min ¹	净液量 m ³	累计净液量 m ³	砂比 %	砂量 m ³	累计砂量 m ³	泵注时间 min	备注
前置液	1									
	2									
	3									
	...									
携砂液	1									
	2									
	3									
	...									
顶替液	1									
	2									
	3									
	...									
合计										

A.6 压裂施工测试压裂泵注程序表

表 A.6 给出了煤层气水平井压裂施工测试压裂泵注程序表。

表 A.6 ××煤层气水平井××段压裂施工测试压裂泵注程序表

步骤	液体性质	排量/(m ³ /min ¹)	净液量/m ³	累计净液量/m ³	备注
1					
2					
3					
4					
5					
6					
...					

A.7 压裂施工作业设备要求表

表 A.7 给出了煤层气水平井压裂施工作业设备要求表。

表 A.7 ××煤层气水平井压裂施工作业设备要求表

序号	设备类型	数量	型号	备注
1				
2				
3				
4				
5				
...				

附 录 B
(资料性)

煤层气水平井压裂施工设计书编写提纲

图 B.1 给出了煤层气水平井压裂施工设计书编写提纲。

- 1 压裂施工目的和任务

1.1 压裂施工目的

1.2 压裂施工任务
- 2 设计原则及依据

2.1 设计原则

2.2 设计依据
- 3 压裂施工方案

3.1 裂缝参数优化

3.2 压裂选段

3.3 分段方式

3.4 定向射孔方案

3.5 压裂液

3.6 支撑剂

3.7 压裂施工参数

3.8 压裂施工设备

3.9 泵注程序

3.10 裂缝监测

3.11 压后管理

3.12 钻塞洗井
- 4 压裂施工作业程序

4.1 压裂施工程序

4.2 压前准备

4.3 压裂施工

4.4 压裂施工应急预案

4.5 压后作业
- 5 资料录取与提交
- 6 健康安全环保措施
- 附图 1:井身结构示意图

附图 2:压裂施工管柱示意图

附图 3:井场压裂设备摆放示意图

图 B.1 煤层气水平井压裂施工设计书编写提纲

附 录 C
(资料性)

煤层气水平井压裂施工总结报告编写提纲

图 C.1 给出了煤层气水平井压裂施工总结报告编写提纲。

1	压裂施工概况
2	压裂施工方案
2.1	分段方式
2.2	定向射孔方案
2.3	压裂液
2.4	支撑剂
2.5	压裂施工设备
2.6	泵注程序
2.7	裂缝监测
2.8	压后管理
2.9	钻塞洗井
3	定向射孔-桥塞坐封施工总结
3.1	定向射孔施工
3.2	坐封施工
3.3	射孔-坐封效果分析
4	压裂施工总结
4.1	测试压裂施工
4.2	测试压裂施工分析
4.3	压裂施工
4.4	压裂施工效果分析
5	裂缝监测结果及分析
6	压后作业总结
6.1	压后放喷管理
6.2	钻塞洗井
7	健康安全环保评价
	附件 1:压裂液配伍性评价报告
	附件 2:压裂液检验报告
	附件 3:压裂支撑剂室内评价报告

图 C.1 煤层气水平井压裂施工设计书编写提纲