

中华人民共和国能源行业标准

NB/T 14002.6—2016

页岩气 储层改造 第 6 部分：水平井分簇射孔作业要求

Shale gas reservoir stimulation—
Part 6 : Requirements for construction technology of clustering perforation
in horizontal well

2016 — 12 — 05 发布

2017 — 05 — 01 实施

国家能源局 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 作业条件要求 1

5 现场施工作业技术要求 4

6 应急预案 6

7 HSE 要求 6

附录 A（资料性附录） 典型电缆防喷控制装置配置图 7

附录 B（资料性附录） 管串配重计算方法 8

前 言

NB/T 14002《页岩气 储层改造》分为6个部分：

- 第1部分：压裂设计规范；
- 第2部分：工厂化压裂作业技术规范；
- 第3部分：压裂返排液回收和处理方法；
- 第4部分：水平井泵送桥塞—射孔联作技术推荐作法；
- 第5部分：水平井钻磨桥塞作业要求；
- 第6部分：水平井分簇射孔作业要求。

本部分为NB/T 14002的第6部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本部分由国家能源行业页岩气标准化委员会提出并归口。

本部分起草单位：中国石油集团川庆钻探工程有限公司测井公司、中国石油化工股份有限公司石油工程技术研究院、中国石油西南油气田公司工程技术研究院、中国石油勘探开发研究院、中国石油化工股份有限公司江汉工程公司、中国石油化工股份有限公司江汉油田分公司石油工程技术研究院。

本部分主要起草人：陈锋、欧跃强、王海涛、唐凯、曾波、鄢杨、曾博、任国辉、潘金国、陈建波、王大江、王海。

页岩气 储层改造

第 6 部分：水平井分簇射孔作业要求

1 范围

NB/T 14002 的本部分规定了页岩气水平井电缆输送分簇射孔施工工艺对作业条件、现场施工作业、应急预案及 HSE 的技术要求。

本部分适用于页岩气水平井电缆输送分簇射孔施工作业。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 20489 油气井聚能射孔器材通用技术条件

SY/T 5225 石油与天然气钻井、开发、储运防火防爆安全生产技术规程

SY/T 5325 射孔施工及质量监控规范

SY 5436 井筒作业用民用爆炸物品安全规范

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 5727 井下作业安全规程

SY/T 6276 石油天然气工业 健康、安全与环境管理体系

SY/T 6277 含硫油气田硫化氢监测与人身安全防护规程

SY/T 6610 含硫化氢油气井井下作业推荐作法

SY/T 6690 井下作业井控技术规程

SY/T 6751 电缆测井与射孔带压作业技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电缆多级点火 cable multistage ignition

电缆一次下井可完成 2 级及以上射孔（桥塞）点火作业。

3.2

选发控制器 selective controller

电缆多级点火作业中，实现射孔（桥塞）点火作业的控制装置。

4 作业条件要求

4.1 井筒要求

4.1.1 水平段和大斜度段套管内应无变径。

4.1.2 施工前确认井筒特殊尺寸套管位置，并做好记录。推荐在 30° 井斜角处和水平段中部下入便于校深的特殊长度套管。

4.1.3 施工前应按照 SY/T 5587.5 的规定进行通井和洗井，并在桥塞坐封位置刮削套管，通井深度应深于桥塞坐封位置 20m。

4.1.4 实施电缆输送分簇射孔施工前，井筒与地层应建立有效通道（在额定工作压力下，满足水平井泵送作业的最低排量要求）。

4.1.5 每次加砂作业完成后，因各种原因未能立刻进行后续泵送作业时，等候时间超过 8h，在泵送作业前，应以压裂最大排量冲洗井筒（推荐大于井筒容积 2 倍的液量）。

4.2 井口要求

4.2.1 井口（或流程）应安装经过校正后的井口压力表。

4.2.2 井口漏电流不大于 10mA。

4.2.3 井口应提供便于拆卸电缆防喷装置的操作台（操作台应牢固且有护栏和上下梯子）或升降机，其接地电阻应不大于 10Ω。

4.2.4 井口装置应试压合格并配备 API 标准的法兰，井口装置内通径应大于或等于施工套管内径。

4.3 井场要求

4.3.1 井场的地面应平坦、整洁，应预留空间摆放射孔作业设备，电缆绞车至井口的距离应满足施工及安全要求。

4.3.2 电缆绞车与井口之间无障碍物。

4.3.3 施工现场应预留射孔器装配区域，设置警戒区。

4.3.4 井场电源及照明满足 24h 连续作业要求，夜间作业时井口、射孔枪装配区域、高压管线等关键位置确保照明。

4.3.5 不应在距警戒区域边界 15m 以内设置加油区，加油管汇不应穿越警戒区。

4.3.6 在距警戒区域边界 50m 以内不应吸烟、使用明火和电焊等作业，不应使用无防爆功能的无线通信设备，不应堆放易燃、易爆物品。

4.3.7 在高压作业区与射孔作业区宜安装防护墙。

4.4 资料准备要求

4.4.1 施工前应收集的资料包括但不限于施工井压裂设计及钻完井资料。

4.4.2 施工前应根据施工井试油设计编制施工井分簇射孔施工设计。设计应包括但不限于以下内容：

- 作业井基本信息；
- 射孔器材工具及设备选择；
- 通过能力分析；
- 泵送程序设计；
- 作业流程；
- 风险分析及应急预案；
- HSE 要求。

4.5 吊装设备要求

4.5.1 配备的提升设备应满足提升吨位和高度的要求。

4.5.2 吊装设备应摆放在便于吊装井口电缆防喷装置的位置。

4.5.3 吊装索具应在检测有效期内使用，外观检查无损伤。

4.6 试压设备及液体要求

4.6.1 配备试压设备一套，其额定工作压力不低于预计最高井口施工压力的 1.2 倍。

4.6.2 配备满足试压作业要求的工作液。

4.7 泵送设备要求

4.7.1 泵送设备在额定功率内满足泵送作业排量要求。

4.7.2 泵送设备应具有监测信号分频功能，可将泵送施工监测信号输送至射孔绞车指挥室。

4.7.3 配备满足泵送作业要求的工作液。

4.8 人员资质要求

4.8.1 从事水平井分簇射孔作业人员应取得爆破培训、井控培训、硫化氢防护培训及 HSE 培训合格证。

4.8.2 特种作业人员应持有相应的特种作业有效操作证件。

4.9 分簇射孔主要设备及器材要求

4.9.1 仪器、车辆

4.9.1.1 配备具有分簇射孔功能（电缆多级点火、跟踪校深等）的地面仪器。

4.9.1.2 配备性能完好的电缆绞车（或具备承载、起下电缆功能的设备）。

4.9.1.3 配备专用器材运输车。

4.9.2 电缆防喷装置及配套器材

4.9.2.1 分簇射孔用电缆防喷装置的主要部件包括：转换法兰、泵入短节、电缆封井器、防落器、快速试压短节、防喷管、抓卡器、电缆剪切器、注脂控制头、防喷盒、刮绳器、注脂控制系统等（典型电缆防喷控制装置配置图参见附录 A）。

4.9.2.2 至少每年应由有资质的检测机构对防喷装置进行检测，各部件功能测试合格，并出具检测报告。

4.9.2.3 额定承压指标应不低于作业井预计最高施工压力的 1.2 倍。

4.9.2.4 防喷管串的内通径应大于射孔枪最大外径 15mm 且大于入井管串最大外径 6mm。

4.9.2.5 防喷管净空高度应大于入井管串总长度 1m。

4.9.2.6 密封件应在有效期内使用，确认无变形、刺伤和裂口。

4.9.2.7 应根据施工区域的环境温度，选取适宜的专用高压密封脂。

4.9.3 电缆

4.9.3.1 电缆长度应大于最大作业深度至少 600m。

4.9.3.2 电缆应无断丝和明显变形、磨损。

4.9.4 射孔器材

4.9.4.1 根据试油设计要求选用射孔枪和射孔弹，射孔器材应满足 GB/T 20489 的规定。

4.9.4.2 若作业不采用射孔与桥塞联作方式，则应配备相应的泵送环。

4.9.5 桥塞及坐封工具

4.9.5.1 若采用射孔与桥塞联作方式作业，应根据试油设计选择合适的桥塞及配套桥塞坐封工具。

4.9.5.2 桥塞外径与套管内径间隙宜在 9mm ~ 15mm 之间。

5 现场施工作业技术要求

5.1 施工准备

5.1.1 根据作业井井身结构、工具串参数和井斜、方位、狗腿度等井眼轨迹数据分析工具串在全井筒内的通过能力，设计管串长度。

5.1.2 根据井身结构、井斜数据、泵送液参数、工具串参数、电缆弱点设置等参数确定泵送参数和程序。泵送参数和程序设置的总体原则是：管串受泵注冲击力大于或等于管串运行所受阻力。

5.1.3 核实法兰型号、井身结构、压井液性质、地层压力、井口压力、施工内容信息等井筒数据和施工参数。

5.1.4 施工前，相关方进行沟通协调，应明确技术及 HSE 要求等。

5.1.5 设置射孔作业区域，摆放警示标志，作业现场应预留供人员和车辆出入的安全通道。

5.1.6 根据电缆直径、关井压力、管串运行摩阻、浮力等参数计算入井管串重量，管串配重计算方法参见附录 B。

5.1.7 配备防爆无线通信设备，确保施工过程中通信畅通。

5.1.8 检查确认井口阀门开关正确、压裂管汇畅通、供液满足泵送要求。

5.1.9 泵送液应清洁，无砂粒。

5.2 电缆防喷装置的安装和试压

5.2.1 安装电缆防喷装置前，应对电缆防喷装置的所有部件、密封面及其配件进行检查，更换受损部件及配件，确保所有部件、配件完好。

5.2.2 电缆封井器应至少安装三级闸板，下面一级为剪切全封闸板，上面两级为半封闸板。

5.2.3 阻流管与电缆之间的间隙宜控制在 0.05mm ~ 0.4mm。

5.2.4 根据预计最高井口压力、流体性质、电缆尺寸和单根阻流管长度，确定阻流管数量。

5.2.5 电缆防喷装置的安装按照 SY/T 6751 的规定执行。

5.2.6 对电缆防喷装置试压，试压前向控制头注入密封脂，试压压力应高于预计最高井口施工压力的 1.2 倍，稳压时间 15min，压降应小于 0.5MPa。

5.3 组装射孔器

5.3.1 组装射孔器之前，应对射孔枪、射孔弹、选发控制器及配件进行检查，确保完好无损后方可使用。

5.3.2 组装各簇射孔枪，应由专人负责检查装配质量并记录装配人和检查人。

5.3.3 连接选发控制器之前，应检查导线通断绝缘，绝缘值应不小于 200MΩ。

5.4 组装泵送环或桥塞坐封工具及桥塞

5.4.1 若不采用射孔与桥塞联作方式作业，则在下井管串的尾部装配与套管内径尺寸相匹配的泵送环。

5.4.2 若采用射孔与桥塞联作方式作业，坐封工具点火头绝缘值应不小于 50MΩ。

5.5 连接下井管串

5.5.1 连接下井管串之前，应切断绞车外接电源和射孔地面系统电源，并将电缆缆芯和缆皮短路。

5.5.2 将桥塞管串和各簇射孔枪按照施工井分簇射孔施工设计依次连接，不带桥塞作业时应将泵送环和各簇射孔枪按照施工井分簇射孔施工设计依次连接。

5.6 管串入井

5.6.1 管串入井前应将张力显示值调校与实际值一致；将深度系统归零，记录滚筒最外层电缆圈数。

5.6.2 开井前，应施平衡压力平衡电缆防喷装置内压力与井筒压力，再缓慢打开井口闸门。

5.6.3 全开井口闸门和电缆防喷装置的防落器，缓慢下放管串，待管串全部通过捕集器后，将捕集器恢复至关闭状态。

5.6.4 管串下放至深度 70m 后才可接通仪器车电源，若具备测试功能则应测试各级选发控制器。

5.6.5 根据现场施工情况调整下放速度，推荐在井斜角小于 45° 井段下放速度不超过 4000m/h，井斜角大于 45° 井段下放速度不超过 3000m/h。

5.6.6 泵送作业过程中，泵车操作人员应按照泵送指令进行开泵、加减排量、停泵等操作，排量提升过程应快速、平稳。

5.6.7 管串到达预定深度后，应先停泵再停绞车。

5.7 校深定位

5.7.1 将管串泵送至预定深度后依次停泵和绞车，根据测得的 CCL 曲线与测井套管曲线图或套管接箍深度数据进行校核。

5.7.2 根据射孔位置深度（若采用射孔与桥塞联作方式则根据桥塞坐封位置）计算上提电缆停车深度，缓慢上提电缆，至预定深度停车。

5.7.3 核实并确认停车深度无误。

5.8 点火作业

5.8.1 若采用射孔与桥塞联作方式作业，确定深度无误后点火坐封桥塞，点火成功 5min 后方可上提电缆。

5.8.2 射孔作业应按照井筒自下而上的顺序逐级进行，根据该段第一簇射孔位置计算上提电缆停车深度，缓慢上提电缆，至预定深度停车。

5.8.3 确定深度无误后方可点火射孔。

5.8.4 按照 5.8.2 和 5.8.3 步骤依次完成后续射孔簇的跟踪点火射孔。

5.8.5 不带桥塞作业按照 5.8.2 ~ 5.8.4 步骤依次完成分簇射孔各簇的跟踪点火射孔。

5.9 起出下井管串

5.9.1 上提过程中应密切注意电缆的运行状态及深度、张力变化情况，如有异常应停车检查处理，并在滚筒上将电缆排整齐。

5.9.2 管串起至深度 70m 时，切断绞车外接电源和射孔地面系统电源，并将电缆缆芯和缆皮短路。

5.9.3 确认管串完全进入防喷管后，关闭电缆防喷装置防落器，然后关闭井口闸门。

5.9.4 缓慢开启泄压闸门，将防喷管内压力泄为零，并开启手动泄压阀确认泄压完全。

5.9.5 取出射孔枪，检查射孔质量，应符合 SY/T 5325 中质量要求的规定。

5.9.6 若桥塞工具需要人工泄压，应在安全区域按照桥塞工具操作说明书的泄压步骤进行泄压作业。

5.9.7 电缆防喷装置的拆卸按照 SY/T 6751 的规定执行。

6 应急预案

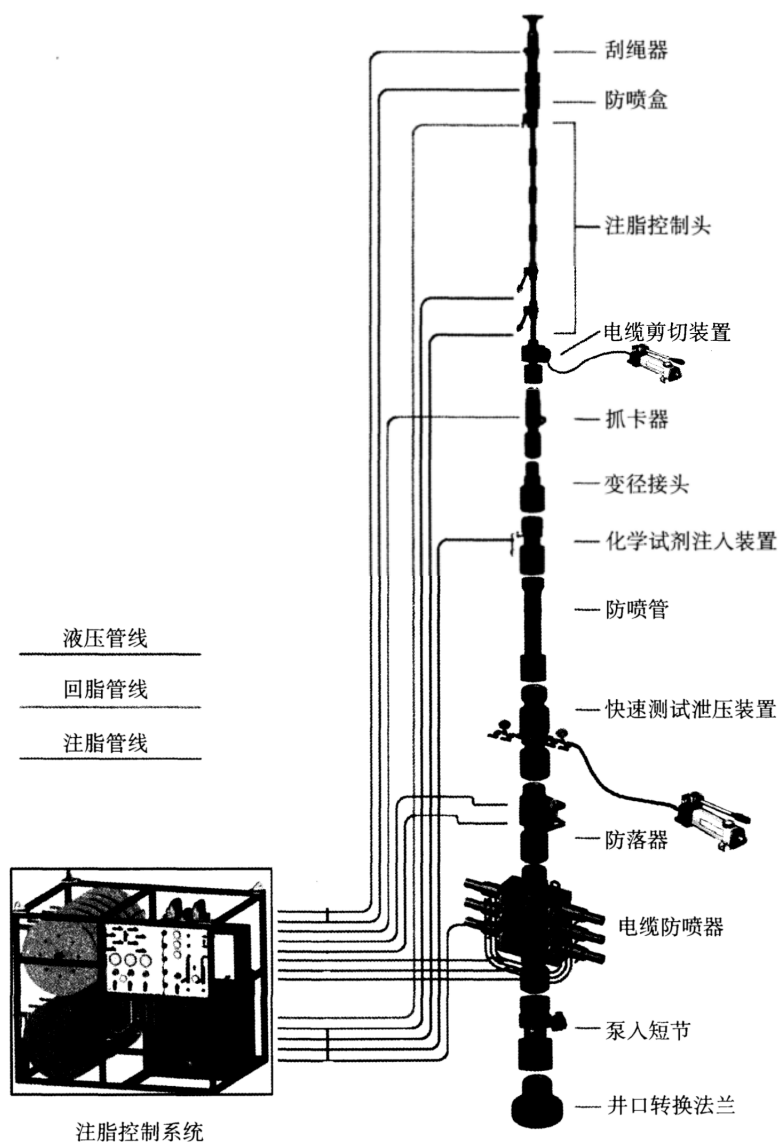
应根据工艺特点和作业井井况进行风险分析并制定相应的应急预案。应急预案应包括但不限于以下内容：注脂控制头密封失效、电缆在阻流管内遇卡、下井管串遇阻、下井管串遇卡等。

7 HSE 要求

- 7.1 爆炸物品的储存、运输及使用按照国家法律法规及 SY/T 5225 和 SY/T 5436 的规定执行。
- 7.2 施工作业前，应预留安全通道以便紧急情况下撤出专用器材运输车辆。
- 7.3 电缆防喷装置的管理按照 SY/T 6690 的规定，并由有资质的检测机构定期检测，出具检测报告。
- 7.4 在压裂施工前应将防喷管吊离本井井口。
- 7.5 未起爆的射孔器起出井口后应及时取出雷管放入防爆箱。
- 7.6 浓雾、暴雨、雷电、大风等恶劣天气不可进行施工作业。
- 7.7 井场照明条件不满足观察防喷管顶部密封及井口拆装工作时不可进行施工作业。
- 7.8 施工作业过程中应正确使用密封脂、液压油，在射孔作业区域内做好废油、密封脂与地面的隔离和收集措施，防止发生环境污染。
- 7.9 杜绝使用任何对环境有重大影响的有害物质，环保要求按照 SY/T 6276 的规定执行。
- 7.10 施工结束后对井场（作业区域）进行全面清理，将生活垃圾、火工品包装箱、废油、密封脂等进行分类收集，并按要求统一堆放处理。
- 7.11 含 H₂S 井作业按照 SY/T 6277 和 SY/T 6610 的规定执行。

附 录 A
(资料性附录)
典型电缆防喷控制装置配置图

典型电缆防喷控制装置配置图如图 A.1 所示。



附 录 B
(资料性附录)
管串配重计算方法

加重的计算公式见公式 (B.1) 和公式 (B.2)：

$$W_g > (F_m + F_f + F_t - W_q) \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

$$F_t = P \cdot S \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

W_g ——加重杆的重量，单位为牛顿 (N)；

F_m ——电缆与流体、阻流管之间摩擦力，单位为牛顿 (N)；

F_f ——井下流体对下井工具（仪器）串和加重杆的浮力，单位为牛顿 (N)；

F_t ——井下压力在防喷管电缆入口处对电缆向上的推力，单位为牛顿 (N)；

W_q ——下井工具（仪器）串的重量，单位为牛顿 (N)；

P ——井口压强，单位为帕斯卡 (Pa)；

S ——电缆横截面积，单位为平方米 (m²)。

现场作业时，加重可按 W_g 与 W_q 之和大于 F_f 与 F_t 之和的 1.2 倍计算。

中华人民共和国
能源行业标准
页岩气 储层改造
第6部分：水平井分簇射孔作业要求
NB/T 14002.6—2016

*

石油工业出版社出版
(北京安定门外安华里二区一号楼)
北京中石油彩色印刷有限责任公司排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

880×1230 毫米 16 开本 1 印张 23 千字 印 1—600
2017 年 8 月北京第 1 版 2017 年 8 月北京第 1 次印刷
书号：155021·7572 定价：20.00 元
版权专有 不得翻印