井工矿煤岩体压裂技术规范

（征求意见稿）

标准编制说明

标准编制组

2024年3月

编制说明

编制说明的内容包括：

一、工作简况，包括任务来源、协作单位、主要工作过程、中国煤炭学会标准主要起草人及其所做的工作等；

二、确定中国煤炭学会标准主要技术内容（如技术指标、参数、公式、性能要求、实验方法、检验规则等）的论据（包括试验、统计数据），修订中国煤炭学会标准时，应增加新、旧中国煤炭学会标准水平的对比；

三、主要试验（验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果；

四、采用国际标准的程度及水平的简要说明；

五、重大分歧意见的处理经过和依据；

六、贯彻中国煤炭学会标准的要求和措施建议（包括组织措施、技术措施、过渡办法等内容）；

七、其他应予说明的事项。

《井工矿煤岩体压裂技术规范》编制说明

（征求意见稿）

# 1 工作简况

## 1.1 任务来源

根据中煤学会综合函〔2019〕8号文《关于下达首批18项中国煤炭学会团体标准立项计划的通知》，本标准计划编号为：2019005，标准名称为“井工矿煤岩体压裂技术规范”，标准性质为团体标准。本标准由中国煤炭学会归口管理，由中国矿业大学主持起草。

## 1.2 起草单位和起草人

本部分起草单位：中国矿业大学、兖矿能源集团股份有限公司、淮南矿业（集团）有限责任公司煤业分公司、徐州矿务集团有限公司、鹤壁煤业（集团）有限责任公司、四川省华蓥山煤业股份有限公司、徐州佑学矿业科技有限公司

任务编号：2019005

本部分主要起草人员：黄炳香、赵兴龙、陈树亮、邵鲁英、韩晓克、吴占伟、刘生龙、许少东、郭英、陈清华、吕继成、殷邵林。

主要工作：中国矿业大学负责全面起草工作，收集、整理国内外相关标准和技术资料，制定标准框架，以及标准起草和编制说明编写等组织、协调、审核工作。其他起草单位协助搜索、提供技术资料并研究分析，参与编写方案、确定内容，对本标准各版本涵盖的全部内容提出编写和修改意见。

## 1.3 主要工作过程

（1）起草（草案、论证）阶段

2019年9月，由中国矿业大学牵头，联合国内主要煤炭企业等，抽调相关专家成立标准起草小组。

2019年10月~2020年10月，对全国井工矿煤岩体压裂情况进行调研、收集相关资料。

2020年11月~2021年5月，制定了标准大纲和起草方案。

2021年6月~2022年3月，完成了标准《讨论稿》起草工作。

（2）征求意见阶段

2022年4月~2022年8月，对《讨论稿》进行了研讨，并提出了修改意见，于2020年8月形成了《征求意见稿》（初稿）。

2022年9月~2022年10月，聘请行业专家对《征求意见稿》（初稿）进行了研讨，对《征求意见稿》（初稿）进行了修改。

2022年11月~2023年9月，聘请行业专家对修改后的《征求意见稿》（初稿）进行了研讨，于2023年9月形成了《征求意见稿》。

2023年10月~2024年3月，聘请行业专家对修改后的《征求意见稿》进行了研讨，于2023年3月形成了《征求意见稿》（修改稿）。

# 2 标准编写基础及原则

## 2.1 编写基础

（1）技术基础

煤岩体压裂技术具有安全、经济、环保和高效的特点，在煤矿的安全高效生产中具有重要的技术价值和社会效益，作为一项安全高效生产的保障技术在煤矿中已广泛应用。随着理论研究的深入、技术装备及监测手段的改进，煤岩体压裂技术在煤矿开采中广泛应用于综采工作面端头悬顶控制、初次放顶、坚硬岩层定向压裂应力转移保护采掘空间、遗留矿柱应力解除、坚硬顶煤弱化以及低透气性煤层增透等方面[1]-[4]。水压致裂同样被应用于辅助破岩中，该方法采用水压致裂技术对目标岩体进行预压裂来破坏岩体完整性，达到弱化岩体的目的，这种方法不需要对掘进机进行任何改造，具有作用范围广、成本低、无污染的优点，同时还可以有效降低岩爆灾害发生的可能[5]。

考虑长壁采场顶板及其支护系统的整体稳定性特点，根据水压致裂裂缝扩展规律，研究了长壁采场顶板及其支护系统的稳定性[6]-[11]，控制方法确定为“沿巷道帮切断端头顶板+弱化端头顶板锚固体整体力学性能”，设计了水压致裂钻孔布置方案。研制了一套水压致裂控制顶板的设备，特别是小直径压裂管柱和高压封孔装置，为了保证裂缝扩展的均匀性，可以采用后退分段压裂技术[12]。例如，首先在靠近孔底进行封孔，然后进行压裂。随后，回收一定数量的压裂管柱重新封孔，并再次重复压裂。依次类推直至本孔压裂结束，最后收回封孔装置。此外，脉冲压裂利用脉冲压力使得煤岩体发生疲劳损伤，可以形成密集均匀的微小裂缝，对于煤岩体弱化及煤层增透具有良好效果[13][14]。

（2）单位基础

中国矿业大学是教育部直属的全国重点高校、国家“211工程”“985优势学科创新平台项目”和国家“双一流”建设高校，同时也是教育部、应急管理部与江苏省人民政府共建高校。学校为全国首批具有博士和硕士授予权的高校之一，学校设有研究生院。中国矿业大学作为当今全国唯一以矿业命名的特色鲜明高水平大学，在上级主管部门、煤炭能源行业和社会各界的支持下，通过长期发展和建设，已经形成了以工科为主、以矿业为特色，理工文管等多学科协调发展的学科专业体系和多科性大学的基本格局。在煤炭能源的勘探、开发、利用、资源、环境和生产相关的矿建、安全、测绘、机械、信息技术、生态恢复、管理工程等领域形成了优势品牌和鲜明特色。“十二五”以来，共承担包括国家“863计划”、“973计划”、国家科技重大专项、重点研发计划、国家自然科学基金项目等国家级科研项目1627项，省部级科研项目973项；获国家科学技术奖35项，获奖数量位居全国高校前列；获省部级科技奖励361项；授权国内专利9925件（其中发明专利4553件），授权境外发明专利698件。学校研究与发展经费快速增长，2023年到账科研经费12.6亿元。学校建设了完备的高水平科技创新平台，拥有5个全国重点实验室，1个国家工程研究中心，1个国家工程技术研究中心，1个国家地方联合工程实验室，1个省部共建协同创新中心，4个教育部重点实验室，4个教育部工程研究中心，1个教育部野外科学观测研究站，1个教育部国别和区域研究中心，36个其他省部级科研平台。组建了低碳能源研究院、物联网（感知矿山）研究中心、可持续能源研究院、能源资源战略发展研究院和人工智能研究院5个直属科研机构，以及徐州市生态文明建设研究院等3个对外合作科研平台。建成了1个国家大学科技园，入选首批“国家知识产权示范高校”。

本标准主起草单位中国矿业大学和协作起草单位兖矿能源集团股份有限公司、淮南矿业（集团）有限责任公司煤业分公司、徐州矿务集团有限公司、鹤壁煤业（集团）有限责任公司、四川省华蓥山煤业股份有限公司、徐州佑学矿业科技有限公司在我国煤岩体压裂领域研究与应用方面取得很多成果，积累了丰富的理论研究与现场实践经验。

## 2.2 编写原则

（1）先进、科学、规范性原则

本标准以国内井工矿煤岩体井下压裂现场应用经验、设备水平等实际情况为基础，按照国家标准GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写规则》给出的规则编写。

（2）全面、系统、可执行性原则

本标准对井工矿煤岩体压裂技术规范的范围、规范性引用文件、术语和定义、井工矿煤岩体井下压裂的应用范围、压裂方案设计、压裂施工作业、效果评价、报告编制等方面做了较为详细的规定，内容涵盖井工矿煤岩体压裂技术规范所涉及的应用范围→方案设计→施工作业→效果评价→报告编制整个流程。

3）安全、可靠、普适性原则

本标准编制过程中充分研究、分析井工矿煤岩体压裂技术的特点与难点。坚持科学组织、合理选参，以普遍、实用为指导，根据我国井工矿煤岩体压裂技术的实际情况，编写本部分标准。

# 3 标准主要内容

本标准主要包含以下几个方面的内容：范围、规范性引用文件、术语和定义、井工矿煤岩体井下压裂的应用范围、压裂方案设计、压裂施工作业、效果评价、报告编制、附录。各部分的主要条文说明如下：

## 3.1 范围

本部分介绍了标准的主要内容，规定了标准的适用范围。

（1）本标准规定了井工矿（不限于煤矿）煤岩体井下压裂技术的应用范围、压裂方案设计、压裂施工作业、效果评价、报告编制。

（2）本标准适用于井工矿为达到顶板控制、应力转移、辅助破岩、顶煤弱化、煤层增透等工程目的，采用井下水压致裂方式改造煤岩体结构的工艺技术。

## 3.2 规范性引用文件

本部分为井工矿煤岩体压裂技术所需要遵循的相关标准和规范。规范性引用文件9个，其中国家标准3个，行业标准3个，部门规章3个。这些标准和规范的有关条文将成为本标准的组成部分。

## 3.3 术语定义

本部分术语3.1~3.5给出了压裂、水压致裂、裂缝形态控制压裂、定向压裂、增加裂缝数目压裂、均匀压裂的定义，3.6~3.9给出了压裂施工中用到的压裂钻孔、坚硬岩层、压裂管柱、压裂警戒区域的定义，3.10~3.13给出了压裂中结构改造效应、驱替效应、应力扰动效应、水压致裂的水锁效应的定义，3.14~3.17给出了压裂圈、压裂湿度圈、压裂瓦斯驱替圈、压裂应力扰动圈的定义。

### 3.3.1 压裂警戒区域

**从开始泵注压裂施工至停泵后管路内流体压力卸除前，岩层压裂孔周围20 m范围内（煤层压裂孔周围40 m范围内）且不准许人员进入的区域。**

警戒范围为封孔处两侧巷道至少20 m，在封孔不良的情况前，压裂管柱会从孔中窜出，为保证断裂的压裂管柱不会伤人，设置的安全距离为：

 (1)

式中，*L*为安全距离，m；*k*为安全系数，取2.5；a为巷道的宽度，取6 m；b为巷道的高度，取4 m。由此可知L≥18 m。同时井下单个钻孔压裂半径为5~10 m（煤层为10~20 m），因此将警戒范围设置为不少于20 m（煤层为40 m）。

经过在神东矿区、大同矿区、四川地区、两淮矿区、平顶山矿区等全国多个矿区的几十个工作面的试验表明，钻孔周围安全警戒20 m（煤层为40 m）满足现场施工安全要求。

## 3.4 井工矿煤岩体井下压裂的应用范围

井工矿煤岩体压裂对象为岩层和煤层，所以将应用范围分为岩层控制与煤层改造两大类。根据现场实际需求及生产经验总结，岩层控制类主要包括采煤工作面端头悬顶压裂控制、采煤工作面压裂初次放顶、坚硬岩层定向压裂应力转移保护采掘空间、硬岩弱化辅助破岩以及遗留矿柱应力集中解除等，煤层改造类主要包括坚硬顶煤弱化以及低透气性煤层增透等。标准中针对这些应用范围做出了详细解释。

## 3.5压裂方案设计

压裂设计内容主要考虑压裂钻孔布置方式、压裂钻孔直径的确定、压裂钻孔倾角的确定原则、压裂钻孔间距的确定原则、封孔方式与深度的确定。

### 3.5.1压裂钻孔布置方式

**（1）岩层控制类**

**对于岩层控制类压裂，根据工程需求确定压裂钻孔，在保障压裂效果的前提下，尽量减小钻孔施工工程量。**

针对不同的压裂目的，不同的压裂方案的钻孔布置方式有所不同，但都应在保障压裂施工效果的前提下，首先考虑已有钻机的施工能力，在尽量减小钻孔工程量的基础上确定压裂钻孔布置方式。

**（2）煤层改造类**

**① 对于坚硬顶煤压裂弱化，宜选择在采煤工作面两巷（运输顺槽和回风顺槽）中施工顺层钻孔压裂上位顶煤。**

选择在工作面两侧顺槽施工压裂钻孔可以减少施工工作量，同时施工顺层钻孔可以减少不必要的穿层，避免钻孔经过弱化层面，保障压裂效果。

**② 对于突出煤层压裂增透，宜选择穿层钻孔压裂施工，若采用顺层钻孔压裂抽采煤层瓦斯作为区域防突措施的，应符合《煤矿安全规程》和《防治煤与瓦斯突出细则》中关于顺层钻孔抽采瓦斯作为区域防突措施的相关要求。**

选择穿层钻孔进行压裂施工，可以预防压裂过程中发生的煤与瓦斯突出事故，保障压裂施工安全。

### 3.5.2压裂钻孔直径的确定

**（1）如果控制层位在12 m以内，根据现有锚索钻机配套钻头，选用直径32 mm~34 mm的钻头。**

锚索钻机较为轻便，施工方便，并且可以施工长度为12 m以内的钻孔；此外考虑到封孔器的壁厚和过水断面等因素，钻孔应不小于32 mm，在神东矿区寸草塔二矿、布尔台煤矿，山西高平米山煤矿，四川广安绿水洞煤矿等10多个矿井试验表明，锚索钻机施工的32 mm~34 mm钻孔，满足压裂需要。

**（2）如果控制层位在12 m以上，根据履带钻机配套钻头尺寸，宜优先选用直径为42 mm~130 mm的钻头施工钻孔。**

控制层位在12 m以上，由于锚索钻机扭矩较小，施工难度较大，此时宜优先选用直径为42 mm~130 mm的钻头配套更大扭矩的钻机进行施工，在大同矿区塔山煤矿、雁崖煤矿、崔家沟煤矿等10多个矿井试验表明，履带钻机施工的42 mm~130 mm钻孔，满足压裂需要。

**（3）对于其它岩层控制类，宜选用液压钻机施工，钻头直径42 mm~130 mm。**

进行除端头悬顶控制外的岩层控制类压裂时，钻孔深度一般较深，此时宜优先选用直径为42 mm~130 mm的钻头配套更大扭矩的钻机进行施工，满足压裂需要。

**（4）对于煤层改造类，宜选用液压钻机施工，钻头直径75~130 mm。**

进行煤层改造类的压裂时，因煤体较软，钻孔不易成形，同时考虑施工的便捷性，此时宜优先选用直径为75 mm~130 mm的大直径钻头配套液压钻机进行施工，在四川地区嘉阳煤矿、河南义马矿区的耿村煤矿、陕西的崔家沟煤矿、榆林柳巷煤矿等10多个矿井试验表明，履带钻机施工的75 mm~130 mm钻孔，满足压裂需要。

### 3.5.3 压裂钻孔倾角的确定原则

**保障压裂施工效果，根据钻机的施工能力确定压裂钻孔的倾角，以压裂钻孔工程量最小为原则。**

针对不同的压裂目的，不同的压裂方案的钻孔布置方式有所不同，但都应在保障压裂施工效果的前提下，首先考虑已有钻机的施工能力，在尽量减小钻孔工程量的基础上设计压裂钻孔倾角。

### 3.5.4 压裂孔间距的确定原则

在单孔压裂裂缝圈的基础上，考虑裂缝扩展重叠确定钻孔间距，对于动力灾害煤岩层，还要考虑压裂湿度圈、压裂瓦斯驱替圈、压裂应力扰动圈等的影响，根据压裂效果进行调整。

**（1）对于端头悬顶控制类，相邻钻孔压裂段间距4~10 m。**

进行端头悬顶控制时，应保障钻孔压裂裂缝的良好沟通，根据现场压裂数据，水压裂缝的扩展半径一般在5~15 m，因此相邻钻孔压裂段最大间距设为10 m，同时考虑到多孔同时压裂，将相邻钻孔压裂段最小间距设为4 m。

**（2）对于其它岩层控制类，相邻钻孔压裂段间距10~30 m。**

根据目前压裂泵的排量和现场压裂数据，已知现场岩层水压裂缝的扩展半径一般在5~15 m，因此将相邻钻孔压裂段最小间距设为10 m，相邻钻孔压裂段最大间距设为30 m。

**（3）对于煤层改造类，相邻钻孔压裂段间距10~40 m。**

进行煤层改造时，增透压裂需要加大钻孔的密度，因此将相邻钻孔压裂段最小间距设为10 m，同时相对于岩层来说，煤体裂隙发育，强度较低，在进行坚硬煤体弱化压裂时，钻孔间距可以适当放大，因此将相邻钻孔压裂段最大间距设为40 m。

**（4）根据压裂20 min时的裂缝扩展范围，确定合理的相邻钻孔压裂段间距。**

根据现场实测的压裂时间与裂缝扩展范围的关系曲线，如图1。由图1可知当压裂时间小于20 min时，裂缝扩展速率较快，压裂效率高；当压裂时间大于20 min时，由于裂隙贯通表面，裂缝扩展速率明显降低。



图1 裂缝扩展距离与压裂时间的关系

同时，根据大量现场实测，此钻孔间距下，水压裂缝比较发育，顶板冒落块度相对较小，顶板冒落后的充填效果较好。因此根据压裂20 min时的裂缝扩展范围，确定合理的钻孔间距。

### 3.5.5 封孔深度的确定

**（1）封孔深度根据需要进行压裂改造的煤岩体位置确定，封孔器应封闭到煤岩体中，封孔深度不小于1.1 m。**

单个膨胀胶囊封孔器封孔的原理是封孔器在内部的高压水的作用下膨胀并且挤压钻孔内壁，由此产生的钻孔内壁与封孔器外壁之间的摩擦力可以抵抗压裂段高压水对封孔器前段的推力：

*μ*(*P*1- *P*2)*n*π*daL*≥*P*1π*d*2/4 (2)

式中，*μ*为钻孔内壁与封孔器外壁之间的摩擦系数，取0.1；*P*1为压裂段内水压力，取60 MPa；*P*2为封孔器的开启压力，取5 MPa；*n*为孔隙率取0.5；d为钻孔直径，取0.1 m；*a*为钻孔内壁与封孔器外壁的接触长度与封孔器总长度的比值，取0.5；*L*为封孔器长度，m。由此可知*L*≥1.1 m。

经过在神东矿区、大同矿区、四川地区、两淮矿区、平顶山矿区等全国多个矿区的几十个工作面的试验表明，封孔器的长度从1.1 m、1.2 m、1.5 m、1.6 m、1.8 m不等，均能满足封孔要求，与理论计算情况相符，因此封孔器长度大于等于1.1 m即可满足现场施工需要。

**（2）****在突出煤层压裂时，顺层钻孔封孔深度不小于22 m，且封孔段距孔口的安全距离（裸孔段）不小于20 m，穿层钻孔封孔深度不小于17 m，且封孔段距孔口的安全距离（裸孔段）不小于15 m。**

在进行突出煤层压裂时，增大钻孔深度可以降低压裂过程中发生的煤与瓦斯突出的概率，保障压裂施工安全，防突细则中规定顺层钻孔的安全屏障不少于20 m，因此要求顺层钻孔封孔深度不小于22 m；防突细则中规定穿层钻孔的安全屏障不少于15 m，因此要求穿层钻孔封孔深度不小于17 m。

## 3.6 压裂施工作业

压裂施工作业包括施工前培训、施工压裂钻孔、布置压裂系统、泵注压裂、停泵后处理、安全环保注意事项。

### 3.6.1 压裂系统技术指标

**（1）压裂岩层的高压泵额定排出压力≥50 MPa，流量≥4.8 m³/h；煤矿压裂高压泵应有防爆合格证和煤矿安全标志。**

**① 压裂岩层的高压泵额定输出压力≥50 MPa**

根据弹性力学理论，轴向裂缝起裂压力[15]-[17]：

 (3)

式中：*P*为钻孔内水压力，*σ3*为最小主应力，*σ1*为最大主应力，*σ*t为抗拉强度。

根据弹性力学理论，径向裂缝起裂压力[18]-[22]：

 (4)

根据大量地应力实测数据统计，中国煤矿井下地应力随埋深的变化规律为[23]：

 (5)

式中：*σH*为最大水平主应力，*σh*为最小水平主应力，*σV*为垂直应力，*H*为埋深。国内矿井埋深一般小于1000m。埋深按1000m计算，可知*σH*=24.767MPa，*σh*=13.254MPa，*σV* =24.5 MPa。

煤层顶板以砂岩和石灰岩为主，石灰岩的强度一般高于砂岩，石灰岩抗拉强度一般在5~25 MPa之间，由公式（3）和公式（4）可知顶板压裂理论起裂压力P在20~40 MPa之间，考虑管路的沿程损失及采动应力等因素影响，同时考虑一定的富余系数，确保所有的坚硬顶板均能压裂开，高压泵的额定压力需高于顶板岩石的理论起裂压力。

经过在神东矿区、大同矿区、四川地区、两淮矿区、平顶山矿区等全国多个矿区的多个煤矿试验表明，顶板的破裂压力一般在30~50 MPa**。**因此，高压泵的额定输出压力大于等于50 MPa，能够满足现场施工需要。

**② 压裂岩层的高压泵公称流量≥4.8 m3/h**

最低泵注流量大于滤失速率才能使裂缝起裂，排量的大小会影响裂缝扩展范围及网络形态，经过对高压泵50 L/min、70 L/min、80 L/min、120 L/min、200 L/min等5种流量进行实测，发现高压泵流量在80 L/min及以上时水压裂缝扩展速度相对较快，扩展范围符合需求，综合考虑现有高压泵的流量、体积、施工速度、售价等因素，推荐使用高压泵的流量大于等于80 L/min，即4.8 m3/h。



图2 岩层中裂缝扩展距离与泵注排量的关系

**③ 压裂煤层的高压泵额定输出压力≥30 MPa**

根据实测数据统计，煤的抗拉强度一般在0.1~5 MPa之间，由公式（3）和公式（4）可知煤层压裂理论起裂压力*P*在15~20 MPa之间，考虑管路的沿程损失及采动应力等因素影响，同时考虑一定的富余系数，确保所有的煤层均能压裂开，高压泵的额定压力需高于煤的理论起裂压力。

经过在陕西榆林、铜川、河南义马矿区、山西白芦等全国多个矿区的多个煤矿试验表明，煤层的破裂压力一般在10~20 MPa，个别煤矿的个别工作面煤层破裂压力超过25 MPa，但未超过30 MPa**。**因此，高压泵的额定输出压力大于等于30 MPa，能够满足现场施工需要。

**④ 压裂煤层的高压泵公称流量≥12 m³/h**

经过对高压泵80 L/min、120 L/min、200 L/mi、300 L/min、350 L/min等5种流量进行实测，发现高压泵流量在200 L/min及以上时水压裂缝扩展速度相对较快，综合考虑现有高压泵的流量、体积、售价、施工速度等因素，推荐使用高压泵的流量大于等于200 L/min，即12 m3/h。

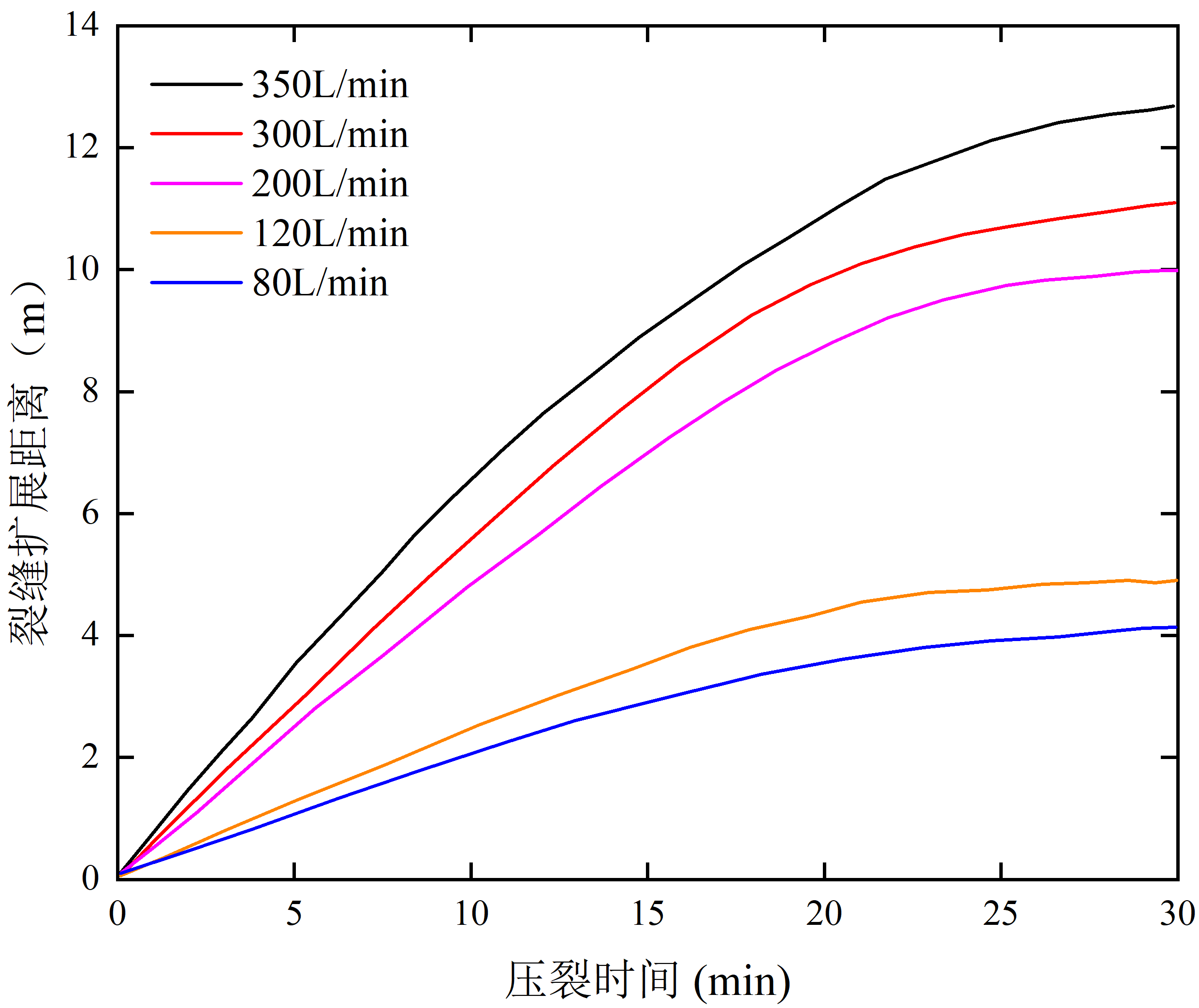


图3 煤层中裂缝扩展距离与泵注排量的关系

**（2）水箱容积应大于1 m3，并进行持续给水，给水流量要大于高压泵的流量。**

为防止突然停水等事件造成高压泵空转，应在压裂系统中配套水箱，以提供一段时间内的稳定水源供给，水箱容积过大占地面积相应较大，结合推荐使用高压泵的流量，水箱容积为1 m3即可。

**（3）橡胶膨胀封孔器长度不小于1.1 m，封孔器直径应与钻孔直径配套，具体可参照GB/T 32475中规定的软管外径与适用钻孔直径的关系。**

橡胶膨胀封孔器长度不小于1.1 m的原因同3.5.5。

### 3.6.2 安装与调试高压泵

**（1）进行脉冲压裂时，将高压泵放置在压裂区域外30 m~100 m范围内；进行其它压裂时，将高压泵放置在压裂区域外50 m~300 m范围内。**

脉冲压裂时，管路过长会有较大的沿程损失，降低脉冲破岩效果，因此要求减小脉冲压裂高压泵距钻孔的位置，将高压泵放置在压裂区域外30 m~100 m范围内；而在进行其它压裂时，为恒排量泵注，管路长度影响不大，综合考虑移泵次数与沿程损失，所以选择将高压泵放置在压裂区域外50 m~300 m范围内。

### 3.6.3 管路固定

**（1）管路连接完成后，用双股10#铁丝将每根高压胶管两端靠近接头处固定在巷帮；巷帮不具备固定条件时，用双股10#铁丝将快速接头两端的高压胶管连接，防止接头处因高压脱开伤人。**

选用强度适宜10#铁丝进行管路固定，铁丝过细无法保证固定强度，过粗则难以安装拆卸，影响施工效率，同时要求用双股10#铁丝进行固定，增强管路固定可靠性。

## 3.7 效果评价

针对前文的压裂使用条件，给出压裂效果评价部分，包括压裂施工监测评价和工程效果评价，以供检验压裂效果好坏。

### 3.7.1 压裂施工监测评价

**（1）通过水压力曲线评价施工质量，岩层类压裂水压力低于10 MPa，压裂施工无效，煤层类压裂水压力低于5 MPa，压裂施工无效。**

国内矿井埋深一般大于300 m。埋深按300 m计算，可知*σH*=9.717MPa，*σh*=5.344 MPa，*σV* =7.35 MPa。

煤层顶板以砂岩和石灰岩为主，石灰岩的强度一般高于砂岩，石灰岩抗拉强度一般在5~25MPa之间，由公式（3）和公式（4）可知岩层压裂理论起裂压力一般大于10 MPa，考虑管路的沿程损失及采动应力等因素影响，同时考虑一定的富余系数，岩层类压裂水压力低于10 MPa，可能时由于沟通断层或其它弱面导致，此时没有足够的水压使岩层起裂，所以视为压裂无效。

根据实测数据统计，煤的抗拉强度一般在0.1~5 MPa之间，由公式（3）和公式（4）可知顶板压裂理论起裂压力*P*在5~10 MPa之间，考虑管路的沿程损失及采动应力等因素影响，同时考虑一定的富余系数，煤层类压裂水压力低于5 MPa，可能时由于沟通断层或其它弱面导致，此时没有足够的水压使煤层起裂，所以视为压裂无效。

### 3.7.1工程效果评价

**（1）采煤工作面端头悬顶压裂控制**

压裂后，端头采空区沿工作面推进方向有超过10 m的悬顶，端头悬顶控制效果较差；端头采空区沿工作面推进方向有5 m~10 m的悬顶，端头悬顶控制效果一般；端头采空区沿工作面推进方向有0 m~5 m的悬顶，端头悬顶控制效果较好。

工作面端头悬顶突然垮落会挤出瓦斯，导致瓦斯超限，悬顶面积越大，危害性就越大，因此压裂控制后的悬顶面积越小越好，控制效果的评价标准依据现场施工经验确定，以下为端头悬顶压裂控制的实际案例：

**① 寸草塔二矿22115综采工作面端头悬顶压裂控制**

神东矿区草塔二矿22115综采工作面综合机械化一次采全高，全部垮落法处理采空区。工作面胶运顺槽顶板有几段为细粒砂岩，由于细粒砂岩顶板坚硬不易冒落，再加上支护强度大，在采空区形成悬顶—垮落—再悬顶的循环过程。端头悬顶多为沿回采巷道走向的窄长板悬顶形式。悬顶最大长度达到20 m，悬顶面积大于120 m2。

为了保证顶板及时垮落保证安全生产，现场共进行了18个钻孔的压裂，水压致裂弱化端头顶板之前，端头支架后方采空区顶板悬顶长度在12 m以上，在矿灯的视野范围内看不到悬顶的端头。经过水压致裂弱化，端头支架后方采空区顶板基本跟随支架移动及时冒落，滞后支架1~2 m，杜绝了大面积顶板突然垮落造成工作面瓦斯超限的情况，消除了安全隐患。

**② 绿水洞煤矿3251工作面端头悬顶压裂控制**

四川省华蓥山煤业绿水洞煤矿3251工作面采用走向长壁后退式综合机械化采煤，一次性采全高，全部垮落法管理顶板。由于顶板坚硬、巷道支护强度大，在上隅角形成沿工作面走向长15 m、倾向长10 m的周期性悬顶，导致采空区瓦斯积聚。大面积悬顶突然垮落将采空区积聚的瓦斯挤出至工作面造成瓦斯超限。采用炸药爆破治理端头悬顶导致的瓦斯超限效果不理想，爆破施工后单月内上隅角瓦斯浓度超过0.8%的次数仍达10次，且炸药爆破处理端头悬顶存在严重安全隐患。

为了保证顶板及时垮落保证安全生产，现场共进行了9个钻孔的水压致裂，根据现场观测，压裂前上隅角沿工作面走向悬顶长度为15 m；压裂后走向悬顶长度为2 m左右，悬顶长度减小10 m以上，基本随采随冒。压裂后顶板垮落的岩石块度适中，平均表面积为679 cm2，碎胀系数较大，易于填充满采空区，避免了采空区的瓦斯集聚。压裂后工作面上隅角瓦斯浓度与压裂前相比降低了53.3 %，瓦斯浓度超过0.8%的次数趋于0次。确保了大倾角采煤工作面端头顶板及时充分垮落，避免了端头悬顶突然垮落挤出采空区瓦斯导致工作面瓦斯超限，保障了工作面安全高效生产。

**（2）采煤工作面压裂初次放顶**

压裂后，工作面推进40 m后采空区顶板垮落，放顶控制效果较差；工作面推进30 m~40 m采空区顶板垮落，放顶控制效果一般；工作面推进20 m~30 m采空区顶板垮落，放顶控制效果较好；工作面推进小于20 m，采空区顶板垮落，放顶控制效果好。

压裂后，工作面推进55 m后老顶初次破断，放顶控制效果较差；工作面推进30 m~55 m时老顶初次破断，放顶控制效果一般；工作面推进小于30 m时老顶初次破断，放顶控制效果好。

基于我国煤矿矿山采场顶板管理经验可知，工作面顶板初次垮落会导致初次来压，如果初次来压步距过大，悬空的顶板岩层突然破断可能会导致工作面支架受损，初次来压步距越大，危害性就越大，因此压裂控制后的初次来压步距越小越好，控制效果的评价标准依据现场施工经验确定，以下为工作面压裂初次放顶控制的实际案例：

**① 山西高平米山煤矿15112工作面压裂初次放顶。**

山西高平科兴米山煤业有限公司15112综采工作面位于井田的东部，井下标高750~800 m，地面标高898~926 m，盖山厚度约126~148 m，15112综采工作面北部为15113准备工作面，东部为保安煤柱，南部为15111采空区，西部为15104运输顺槽。工作面所采煤层为15号煤，工作面长度145.5 m，煤层厚度平均3 m，煤层倾角3～8°。煤层顶底板情况：煤层顶板为K2灰岩、泥岩，底板为泥岩、铝土质泥岩和砂质泥岩。15112切眼设计长度150 m，为矩形断面，净宽为7.0 m，净高为3.0 m，方位角1°。采用锚网索联合支护方式。

在15112工作面切眼内在前煤壁（正帮）、距底板2.5 m处沿工作面推进方向，仰角60°斜向上布置一排钻孔，钻孔直径75 mm，施工深度7 m，孔间距15 m。切眼内在后煤壁（副帮）、距底板2.5 m处沿工作面推进方向的反方向，向后实体煤方向，仰角80°布置一排钻孔，钻孔直径75 mm，施工深度12 m，钻孔间距15 m与正帮钻孔相间布置。对切眼内两排压裂钻孔实施压裂后，工作面推进到15m，采空区顶板部分垮落；工作面推进到22m，采空区顶板全部垮落。

**② 陕西旬邑青岗坪煤矿42108工作面压裂初次放顶**

陕西旬邑青岗坪矿业有限公司青岗坪煤矿42108工作面位于一采区东翼，西为一采区三条巷道保护煤柱，东为井田边界，南为42106综放工作面采空区，北为42110综放工作面未开采区，周边无采掘巷道。工作面对应地面标高 +1387m～+1543m ，工作面标高+985m～+1055m。工作面主采煤层为4#煤层，煤层厚度为10～14m，平均煤厚12.0m。煤层中含2～3层夹矸，厚度0.2～1.2m，以泥岩为主。煤层老顶为粉砂岩，厚度3.0～18m，平均厚度8.5m。煤层直接顶为中粒砂岩，厚度0～2.0m，平均厚度1.0m。42108综放工作面切眼为矩形巷道，长150m，宽7.5m，高3.3m，顶部采用锚网梁索联合支护，两帮采用锚网梁联合支护。机采高度3.0m（±0.2m），放顶煤高度9.0m，采放比为1：3，采煤机割、放煤步距为0.8m；工作面长度150m，走向可采长度1365m；初放顶：回采15m开始放煤；末采放顶：距停采线15m停止放煤。

在42108切眼内，在前煤壁（正帮）、距底板2.5 m处沿工作面推进方向，以仰角80°斜向上施工一排钻孔（共10个），钻孔直径为75 mm，施工深度为23 m，钻孔间距为15 m。实施压裂后，工作面推进10 m时，采空区有大量顶煤冒落，推进到15 m时工作面可正常放煤，工作面推进至38m时，老顶初次来压。

**（3）坚硬岩层定向压裂应力转移保护采掘空间**

压裂后，被保护巷道与未采取压裂措施的类似巷道相比，变形量降低20%以内，控制效果较差；变形量降低20%~50%，控制效果一般；变形量降低50%以上，控制效果好。

巷道围岩变形受静载与动载影响，采取压裂手段可以转移调控采动应力，降低动载影响，但无法有效消除静载，因此经压裂控制后，巷道围岩变形降低一半就证明控制效果很好，以下为坚硬岩层定向压裂应力转移保护采掘空间的实际案例：

**① 淮南矿业顾北煤矿13321工作面压裂应力转移保护盘区大巷。**

淮南矿业顾北煤矿13321工作面位于南一1煤采区，所采煤层为1号煤层。地面标高+18.1～+27.4 m，工作面标高-477.292～-583.435 m。该工作面位于井底车场西南侧，东侧为南一1煤采区系统巷道；南侧为设计的13421工作面；西侧为1煤防水煤柱线及风氧化带；北侧为设计的13221工作面。走向长1388 m，倾斜宽207 m。工作面直接顶为泥岩及砂质泥岩组成的复合顶板，平均厚度3.6 m，抗压强度为10.24～72.5 MPa，面内局部缺失，由砂岩老顶直覆；老顶为细砂岩，平均厚度为6.5 m，抗压强度为37.4～149.4 MPa。

在工作面停采前，在煤层回风巷内布置钻孔S1-S10，用于压裂切断距离1煤层顶板19.8 m的细砂岩，阻断采动应力对盘区大巷的影响。具体钻孔布置参数如下：钻孔直径94 mm，钻孔倾角23°，钻孔长度70 m，钻孔间距20 m。13121工作面、13321工作面为相邻的回采工作面。13121工作面开始回采至回采结束，未采取切顶措施对系统大巷进行保护，导致13121工作面对应的底板胶带机巷变形严重。13321工作面回采时，提前采取了压裂切顶措施用以保护系统大巷，通过对13321工作面对应的胶带机巷、回风巷和轨道巷巷道变形高度和宽度的观测对比发现：胶带机巷两帮移近量最大为16 cm，顶底板移近量最大为13 cm，且观测后期变化量渐渐趋于稳定；回风巷两帮移近量最大为14 cm，顶底板移近量最大为9 cm，且观测后期变化量渐渐趋于稳定; 轨道巷两帮移近量最大为9 cm，顶底板移近量最大为16 cm，且观测后期变化量渐渐趋于稳定。而13121工作面对应的底板胶带机巷两帮移近量最大为122 cm，顶底板移近量最大为197 cm。通过对比可知，使用压裂技术后，13321工作面对应底板胶带机巷两帮移近量减少86%，底板胶带机巷顶底板移近量减少93%。

**② 山西大同同忻煤矿8105工作面压裂应力转移控制临空巷道强矿压显现。**

同忻煤矿一盘区石炭系3~5#煤层的8105工作面煤层平均厚度为15.49 m。煤层含夹矸层6层左右，夹矸厚度平均0.23 m。煤层埋深为377.6~519 m。8105工作面采用综放开采，机采高度为3.9 m，放煤厚度为11.59 m，采放比1:2.97。工作面东部为实煤区；北部为8106工作面采空区；西部为三条盘区大巷；南部为未采的8104工作面。5105巷为临空巷道，煤柱宽度45 m。直接底为泥岩，质疏松易碎。直接顶为粉砂岩及炭质泥岩。老顶为粉细砂岩及含砾粗砂岩，岩层较坚硬。

在5105巷超前工作面300 m的位置，垂直于巷帮，以仰角37°斜向上，朝8106工作面采空区方向施工钻孔，钻孔间距20 m，减轻侧向支承压力对巷道的影响。在5105巷超前工作面300 m以上的位置，以仰角45°（斜向采空区方向）偏角20°（偏向工作面侧）施工钻孔，钻孔间距20 m，减轻超前支承压力对巷道的影响。

水力致裂前，工作面周期来压时，端头区部分支架出现前、后柱增阻，支架工作阻力达45.5 MPa，导致安全阀打开；超前支护段，木垛被压弯，中间鼓出300~400 mm；冲击性来压时，超前支护段的液压单体支柱被压弯、压爆（安全阀来不及打开）。实施水力致裂后，本工作面来压缓和，端头区支架工作阻力最大达41.1 MPa，多数情况都在40 MPa以下，至少减小10%，没有再发生冲击性来压。工作面超前支护段，巷道变形缓和，底鼓量和顶板下沉量均减少60%，巷道口断面缩小程度减轻42%。

**（4）硬岩弱化辅助破岩**

压裂后，岩体完整性系数为0.75~0.55，弱化效果较差；岩体完整性系数为0.55~0.35，弱化效果一般；岩体完整性系数小于0.35，弱化效果好。

岩体破碎程度越高，代表岩体强度越低，在硬岩弱化中，压裂裂缝缝网的密集程度越大，岩体相应的就越破碎，参照岩体完整程度划分，确定了以上效果评价标准。

压裂后，综掘掘进（机械破岩）速度与压裂前相比，提高10%以内，弱化效果较差；提高10%~20%，弱化效果一般；提高20%以上，弱化效果好。

硬岩经压裂弱化后，可以大幅降低掘进工序花费的时间，但巷道掘进还包括喷浆支护等工序，掘进工序只占巷道掘进总时间的约1/3，因此确定压裂后，综掘掘进（机械破岩）速度与压裂前相比提高20%以上，弱化效果就是好，以下为硬岩弱化辅助破岩的实际案例：

**淮南矿业顾桥煤矿硬岩巷道脉冲压裂辅助破岩。**

东区无轨胶轮车检修、加油、存放硐室（前期）主要用途是为顾桥煤矿东区无轨胶轮车检修、加油、存放服务，选取67 m长的无轨胶轮车存放硐室为脉冲压裂试验地点。此段巷道断面为三心拱形状，净宽×净高=6200×4580 mm；掘宽×掘高=6400×4710 mm，墙基100 mm。巷道掘进过程中将揭露的岩层主要为粗砂岩/中砂岩及细砂岩，单轴抗压强度167.44 MPa，岩层质密完整，无明显裂缝。爆破掘进过程中，崩落的岩石块度较大，工人破碎矸石劳动强度大。

在掘进头前方即将被揭露的坚硬岩层内预先形成密集缝网，使其充分破碎。在后续爆破作用下顺利掉落，从而提高掘进速度。在东区支架库开门点处沿巷道坡度向正前方施工长钻孔，钻孔长度为60 m，钻孔直径为94 mm。在东一（1）11-2回风上山（二）掘进头沿巷道坡度向正前方施工长钻孔，钻孔长度80 m，钻孔直径94 mm。在东二11-2煤顶板回风上山掘进头向正前方施工长钻孔，钻孔倾角5°，钻孔长度50 m，钻孔直径94 mm。在1622（3）工作面转载巷掘进头沿巷道坡度向正前方施工长钻孔，钻孔长度50 m，钻孔直径94 mm。脉冲压裂后，压裂孔附近缝网较密，裂缝平均间距2 cm，裂缝密度为50条/m，距离压裂孔较远处缝网较疏，裂缝平均间距20 cm，裂缝密度为5条/m；其中局部区域缝网较密，裂缝平均间距约4 cm, 裂缝密度为25条/m。炮掘工作面压裂后的岩石块度明显减少，大部分矸石块度小于300 mm，大于300 mm矸石明显减少，降低了人工破碎矸石劳动强度。

**（5）遗留矿柱应力集中解除**

压裂后，应力集中影响巷道与未采取压裂措施的类似巷道相比，变形量降低20%以内，控制效果较差；变形量降低20%~50%，控制效果一般；变形量降低50%以上，控制效果好。

巷道围岩变形受静载与动载影响，采取压裂手段可以转移调控采动应力，降低动载影响，但无法有效消除静载，因此经压裂控制后，巷道围岩变形降低一半就证明控制效果很好，以下为遗留矿柱应力集中解除的实际案例：

**山西大同白洞煤矿8107工作面上覆遗留煤柱压裂应力集中解除。**

晋能控股煤业公司白洞煤矿5#煤层8107工作面和8105工作面为相邻工作面，平均埋藏深度约为450 m，8107工作面为5#煤层开采的第一个工作面。5#煤层和3#煤层相距较近，3#煤层的老顶厚度约为8.8 m，3#煤层的直接顶厚度约为3 m，3#煤层的厚度约为4.1 m，3#煤层底板厚度为5.1 m，5#煤层的厚度约为11.6 m。5#煤层8107工作面开采前3#煤层已经回采结束。5#层8107工作面和8105工作面之间的煤柱宽度为35 m。3#层和5#层煤柱重叠布置。3#煤层遗留煤柱产生的高应力向下传递与5#煤层8107工作面回采动压叠加，导致8107工作面回风顺槽超前工作面180 m处巷道开始出现严重变形。

在5#煤层8107工作面回风顺槽超前工作面400 m处，在煤柱侧帮壁距离底板2 m的位置，打设A1压裂钻孔，钻孔倾角44°，钻孔直径50 mm，钻孔长度37 m。在距离A1压裂钻孔，向停采线方向5 m的位置，在距离煤柱侧帮壁1.1 m的顶板上，斜向煤柱侧帮壁，打设B1压裂钻孔，钻孔倾角80°，钻孔直径50 mm，钻孔长度26.5 m**。**再向停采线方向5 m的位置以相同方式布置压裂钻孔A2~A20、B2~B20。以相同方式，在5#煤层8105工作面运输顺槽布置压裂钻孔（编号：C1~C20，D1~D20），两巷中同类型钻孔相互错开**。**与未采取压裂措施时的该工作面回风顺槽超前工作面300 m范围内巷道相比，压裂后试验巷道围岩变形降低60%以上，减少了大量的巷修工作量，同时消除了安全隐患，控制效果好。

压裂后，工作面过应力集中区时，矿压显现强度与正常来压时相比，支架时间加权平均工作阻力增加20%以上，控制效果差；支架时间加权平均工作阻力增加10%~20%，控制效果一般；支架时间加权平均工作阻力增加10%以内，控制效果好。

岩层经过压裂后，整体强度结构被改造，形成弱化带，可以转移调控采动应力集中，工作面过应力集中区时支架阻力大小反映了强度弱化效果，但压裂无法消除原岩应力，采矿工作面应力集中系数一般在1.5左右，因此经压裂控制后，支架时间加权平均工作阻力增加10%以内就证明控制效果好。

### 3.7.2 煤层改造类

**（1）坚硬顶煤弱化**

压裂后，顶煤冒放块度与未采取压裂措施前相比，块度降低20%以内，控制效果差；块度降低20%~40%，控制效果一般；块度降低40%以上或块度小于0.5 m，控制效果好。

顶煤破碎块度与煤体缝网的密集程度和工作面矿压显现剧烈程度有关，在矿压显现程度一定的情况下，通过压裂手段降低煤体块度40%以上就证明弱化效果较好，同时考虑放煤口尺寸大小，确定破碎块度小于0.5 m放煤效果较好，反映压裂控制效果好，以下为坚硬顶煤弱化的实际案例：

**① 陕西崔家沟煤矿2303工作面脉冲压裂顶煤弱化。**

陕西省崔家沟煤矿2303综放工作面为崔家沟煤矿二水平三盘区第二个工作面，南至西翼三条集中巷保安煤柱，北部至井田边界，西部为2301工作面采空区，东部为未采区。工作面设计走向长度平均1750 m，可采长度1680 m（包含30 m煤柱），倾向长度195 m。4-2煤层较硬，即便在褶皱、断层附近，也未见构造破坏煤。煤的坚固性系数0.8～2.1，抵抗外力破坏的能力较强。

在运输顺槽施工相互平行的、垂直煤壁的倾向长钻孔，开孔位置距离底板1.2 m，终孔位置距离顶板1 m，钻孔长度为81 m，钻孔直径75 mm，钻孔间距30 m；在回风顺槽施工相互平行的、垂直煤壁的倾向长钻孔，开孔位置距离底板1.2 m，终孔位置距离顶板1 m，钻孔长度为81 m，钻孔直径75 mm，钻孔间距30 m，两顺槽钻孔相互错开布置。通过对压裂前后工作面放煤块度的测试对比，水力致裂后放煤的块度明显小于水力致裂前放煤的块度，水力致裂后的顶煤冒放平均块度为致裂前的43%，块度降低57%放煤效果很好。

**② 榆林柳巷煤矿30110综放工作面脉冲压裂顶煤弱化。**

榆林柳巷煤矿30110综放工作面为301盘区第七个工作面，地面标高+1290～+1350，井下标高+1067～1081m。地面为山区，无河流通过，无任何建筑。井下位置及四邻关系：东侧为长城保安煤柱；南侧为301盘区30108工作面(采空区)；西侧为大巷保护煤柱；北侧为301盘区30112工作面(未开采区)。可采走向长度1541 m，倾向长度200 m，煤层厚度呈东厚西薄趋势，最厚11.4m，最薄9.4m，平均厚度10m。煤层老顶为21 m的粉砂岩，直接顶为4.6 m厚的泥岩。

在30110工作面运输顺槽，在距离切眼15 m位置垂直于巷帮向工作面中部施工一组钻孔（1#孔），钻孔间距30 m，钻孔倾角8°，钻孔直径75 mm，钻孔长度75 m。在距离切眼30 m位置垂直于巷帮向工作面中部施工一组钻孔（2#孔），钻孔间距30 m，钻孔倾角30°，钻孔直径75 mm，钻孔长度38 m。在30110工作面回风顺槽，在距离切眼30 m位置垂直于巷帮向工作面中部施工一组钻孔（3#孔），钻孔间距30 m，钻孔倾角8°，钻孔直径75 mm，钻孔长度75 m；在距离切眼45 m位置垂直于巷帮向工作面中部施工一组钻孔（4#孔），钻孔间距30 m，钻孔倾角30°，钻孔直径75 mm，钻孔长度38 m。通过对压裂前后工作面放煤块度的测试对比，水力致裂后放煤的块度明显小于水力致裂前放煤的块度，水力致裂后的顶煤冒放平均块度为致裂前的58%，块度降低42%，且破碎块度小于0.5m，放煤效果很好。

**（2）低透气性煤层增透**

压裂后，单孔瓦斯抽采纯量与压裂前相比，纯量增加20%以内，增透效果差；纯量增加20%~50%，增透效果一般；纯量增加50%以上，增透效果好。

压裂过后以压裂钻孔为中心形成裂缝网络，增大裂缝开度，增强裂缝导流能力，扩大抽采半径，提高单位时间抽采纯量，基于现场施工经验可知，普通压裂主要形成单缝，抽采纯量可提高20%，而采用脉冲压裂可以提高一倍以上，以下为低透气性煤层增透的实际案例：

**① 四川嘉阳煤矿1202工作面脉冲压裂煤层增透。**

四川嘉阳煤矿1202工作面位于+160 m水平12采区，其东为12采区石溪镇保安煤柱，南侧为实体煤，西侧为三条采区大巷，北侧为实体煤。所对应地面标高为+531.8 m～+400 m，巷道标高为+182.8～+165 m。工作面开采的K7煤层厚度在1m左右，且煤层为“四煤三矸”的复杂结构，属于典型的复合煤层，施工顺层长钻孔抽采本煤层瓦斯时，钻孔容易进入到煤层顶底板和夹矸中，导致瓦斯抽采流量低，抽采效果差。K7煤层瓦斯压力0.71 MPa，瓦斯含量6.43 m3/t。

在1202工作面机巷和两回风巷中施工一组水压致裂钻孔，孔径94 mm，孔深70 m，孔间距30 m。施工一组水压致裂钻孔后，开始对钻孔逐一进行水压致裂，相邻钻孔作为压裂孔的泄压孔。待一组压裂孔全部压裂完成后，在两个压裂孔之间补打一个瓦斯抽采孔，孔径94mm，孔深90m，钻孔间距30m。压裂后对12022风巷的瓦斯抽采情况进行分析，第一阶段：4月24日～5月10日（共17天），平均抽采孔数22个，刚接入抽采系统后的这一段时间内，浓度、纯量等值均相对较低，平均总浓度为64 %，平均总流量为1.325 m3 / min（平均单孔流量为0.059 m3 / min），平均总纯量为0.850 m3 / min（平均单孔纯量为0.038m3 / min）；第二阶段：5月11日～10月6日（共149天），平均抽采孔数21个，这一阶段各参数数值相对稳定且有一定升高，为稳定抽采期，平均总浓度为75 %，平均总流量为1.236 m3 / min（平均单孔流量为0.060 m3 / min），平均总纯量为0.930 m3 / min（平均单孔纯量为0.045 m3 / min）。压裂后，平均单孔抽采纯量是压裂前的4-5倍，抽采效果好。

## 3.8 资料性附录

提供了5个资料性附录，分别为：井工矿煤岩体压裂施工设计书目录、压裂设备系统连接示意图、高压胶管接头处固定方法示意图、压裂施工记录表、压裂施工总结报告目录。通过参考井工矿煤岩体压裂施工设计书目录，技术人员可以快速准确的编写井工矿煤岩体压裂施工设计书，从而使施工人员掌握具体的施工流程和安全注意事项。通过参考压裂设备系统连接示意图，有助于压裂系统的准备、连接与调试。通过参考高压胶管接头处固定方法示意图，有助于更好的了解高压管路的固定方式，保障压裂施工作业的安全。通过参考压裂施工记录表，有助于更好的记录压裂施工的相关数据，可参考此数据及时对压裂参数进行必要的优化，此外也为报告的编写提供更详细参考。通过参考压裂施工总结报告目录，有助于对压裂全过程进行总结与分析。

# 4 参考文献：

1. 黄炳香，程庆迎，，刘长友，等. 煤岩体水力致裂理论及其工艺技术框架[J].采矿与安全工程学报，2011，28（02）：167-173.
2. 黄炳香，赵兴龙，陈树亮，等. 坚硬顶板水压致裂控制理论与成套技术[J]. 岩石力学与工程学报，2017，36（12）：2954-2970.
3. Cheng Q Y, Huang B X, Li Z H. Evolution law of the structure and permeability for coal under solid-liquidcoupling. Journal of Mining and Safety Engineering, 2012, 29(3):400-406.
4. Huang B X, Huang C M, Cheng Q Y, et al. Hydraulic fracturing technology for improving permeability in gas-bearing coal seams in underground coal mines[J]. Journal- South African Institute of Mining and Metallurgy, 2012, 112(6):485-495.
5. 张渊. 基于水力压裂辅助破岩硬岩巷道快速掘进技术及工艺研究[D]. 中国矿业大学, 2022.
6. Huang B X, Cheng Q Y, Liu C Y, et al. Hydraulic Fracturing Theory of Coal-Rock Mass and Its Technical Framework[J]. Caikuang yu Anquan Gongcheng Xuebao/Journal of Mining and Safety Engineering, 2011, 28(2):167-173.
7. Alekseenko O P, Vaisman A M, Zazovsky A F. A new approach to fracturing test interpretation using the PKN model[J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 1997, 34(3-4):282.e1-282.e13.
8. Altounyan P, Taljaard D. Developments in controlling the roof in South African coal mines - A smarter approach[J]. Journal- South African Institute of Mining and Metallurgy, 2001, 101(1):33-40.
9. Banerjee G, Yadava K P, Ray A K, et al. Hard roof management - A key for high productivity in longwall coal mines[J]. Journal of Mines, Metals and Fuels, 2003, 51(7).
10. Huang B X, Bin Y U, Feng F, et al. Field investigation into directional hydraulic fracturing for hard roof in Tashan Coal Mine[J]. Journal of Coal Science & Engineering, 2013, 19(002):153-159.
11. Huang B, Li P, Ma J, et al. Experimental Investigation on the Basic Law of Hydraulic Fracturing After Water Pressure Control Blasting[J]. Rock Mechanics & Rock Engineering, 2014, 47(4):1321-1334.
12. HUANG B X，WANG Y Z. Roof weakening of hydraulic fracturing for control of hanging roof in the face end of high gassy coal longwall mining：a case study[J]. Archives of Mining Sciences，2016，61(3)：601–615.
13. 陈江湛,曹函,孙平贺,等.三轴加载下煤岩脉冲水力压裂扩缝机制研究[J].岩土力学,2017,38(04):1023-1031.DOI:10.16285/j.rsm.2017.04.013.
14. 林柏泉,李子文,翟成,等.高压脉动水力压裂卸压增透技术及应用[J].采矿与安全工程学报,2011,28(03):452-455.
15. Haimson B , Fairhurst C . Initiation and Extension of Hydraulic Fractures in Rocks[J]. Society of Petroleum Engineers Journal, 1967, 7(6): 310-318.
16. Hossain, M.M, Rahman, M.K, Rahman, Sheik S. A Comprehensive Monograph for Hydraulic Fracture Initiation From Deviated Wellbores Under Arbitrary Stress Regimes[C]// Society of Petroleum Engineers, 1999.
17. M.M Hossain, M.K Rahman, S.S Rahman. Hydraulic fracture initiation and propagation: roles of wellbore trajectory, perforation and stress regimes[J]. Journal of Petroleum ence and Engineering, 2000, 27( 3-4): 129-149.
18. Hubbert MK, Willis DG. Mechanics of hydraulic fracturing[J]. Trans. AIME 210, 1957, 153-166.
19. FAN T, ZHANG G, CUI J. The impact of cleats on hydraulic fracture initiation and propagation in coal seams[J]. PETROLEUM SCIENCE, 2014, 11(4): 532-539.
20. Detournay, Emmanuel. Mechanics of Hydraulic Fractures[J]. Annual Review of Fluid Mechanics, 2016, 48(1): 311-339.
21. B H. Initiation and Extension of Hydraulic Fractures in Rocks[J]. SPE Journal, 1967(3): 310-318.
22. SCHMIDT D. R. Z M D. Poroelasticity effects in the determination of minimum horizontal principal stress in hydraulic fracturing test a proposed breakdown equation employing a modified effective stress relation for tensile failure[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanics Abstracts, 1989, 26(6): 499-506.
23. 康红普，伊丙鼎，高富强，等. 中国煤矿井下地应力数据库及地应力分布规律[J]. 煤炭学报，2019，44（1）：23-33.

# 5 与国际、国外同类标准水平的对比情况

通过全国标准信息公共服务平台（http://std.samr.gov.cn/ search），以“压裂”、“水压致裂”、“水力致裂 ”等为关键词以不同的组合方式进行检索。检索到相关标准有：

GB/T 25217.14-2020《冲击地压测定、监测与防治方法 第14部分：顶板水压致裂防治方法》

GB/T 41164-2021《碎软低渗煤层顶板水平井分段压裂技术规范》

GB/T 40545-2021《煤层气井压裂作业导则》

《冲击地压测定、监测与防治方法 第14部分：顶板水压致裂防治方法》和《碎软低渗煤层顶板水平井分段压裂技术规范》都属于顶板压裂范畴，《冲击地压测定、监测与防治方法 第14部分：顶板水压致裂防治方法》是利用水压致裂技术防治冲击地压，《碎软低渗煤层顶板水平井分段压裂技术规范》是利用水压致裂技术抽采煤层气，而本标准设计范畴广，是利用水压致裂技术解决顶板控制类（综采工作面端头悬顶控制、初次放顶、坚硬岩层定向压裂应力转移保护巷道）以及煤层结构改造类（坚硬顶煤弱化、低透气性煤层增透），所要解决的问题更广。《煤层气井压裂作业导则》属于煤层地面压裂范畴，本标准属于井工矿煤岩体井下压裂范畴，压裂方法不一样。

综上所述，以上三个标准与井工矿煤岩体压裂技术规范均不相关。

# 6 与现行法律、法规、政策及相关标准的关系

本标准与《煤矿安全规程》等现行相关法律、法规、规章及相关标准协调一致，无冲突。本标准参考引用了以下标准。

GB/T 32475 煤层注水、钻孔封堵及瓦斯排放橡胶软管和软管组合件

GB/T 9234 机动往复泵

GB/T 10544 橡胶软管及软管组合件 油基或水基流体适用的钢丝缠绕增强外覆橡胶液压型 规范

MT/T 1110 矿用封孔器通用技术条件

MT/T 661 煤矿井下用电器设备通用技术条件

MT/T 986 矿用U形销式快速接头及附件

# 7 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

# 8 对标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

《井工矿煤岩体压裂技术规范》在后期实施过程中，如实施效果良好，符合推荐性标准制定条件，可以申请转化为推荐性标准。

# 9 贯彻国家标准的要求和措施建议

本标准由中国煤炭学会制定并归口，由各煤炭生产企业参考实施。发布后建议及时通知各相关应用企业参考学习，必要时集中组织相关应用人员培训。标准工作小组会及时收集应用人员在应用过程中的意见反馈，必要时对标准进行修订，增强标准的适用性和科学性。

该标准是新制订标准，但是执行中不涉及相关技术、装备和工程的更新、改造，所以，过渡时间不必太长，建议在3个月为宜。

# 10 废止现行有关标准的建议

无废止现行有关标准的建议。

# 11 其他应予以说明的事项

无。

《井工矿煤岩体压裂技术规范》编制工作组

2024年03月22日