

松软低透气性煤层跟管钻进及压裂抽采技术研究分析

冀前辉

(中煤科工集团西安研究院有限公司,陕西西安710077)

摘要:针对我国松软低透气性煤层瓦斯抽采难题,提出了采用跟管钻进和水力压裂技术提高松软煤层钻孔深度和煤层透气性,通过布孔设计、应力分析论证了该方法的施工可行性,讨论了该方法的施工步骤。该技术有望成为解决松软低透气性煤层瓦斯抽采难题的新工艺方法。

关键词:松软低透气性煤层;瓦斯抽采;跟管钻进;水力压裂

中图分类号:P634;TD712⁺.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)11-0028-03

Research and Analysis on Drilling-while-casing and Fracturing Drainage in Soft and Low Permeability Coal Seams/Ji Qian-hui (Xi'an Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group, Xi'an Shaanxi 710077, China)

Abstract: In order to improve the drilling depth and the permeability of soft and low permeability coal seams, a new technique including underground casing-while-drilling and horizontal hydraulic fracturing is proposed. The paper discusses the feasibility and execution steps of this technology based on the borehole design and stress analysis. It is possible that this technique becomes a new technology to solve the gas drainage difficulties in soft and low permeability coal seams.

Key words: soft and low permeability coal seams; gas drainage; casing while drilling; hydraulic fracturing

1 松软低透气性煤层抽采现状

松软低透气性煤层在我国可采煤层中占有很大比例,这样的煤层一般煤质松软、渗透性极差、瓦斯含量高、瓦斯压力大,是煤矿瓦斯事故的多发煤层。本煤层钻孔预抽瓦斯是治理煤层瓦斯灾害、防止瓦斯事故、保障煤矿安全生产的有效手段^[1],然而在松软低透气性煤层中进行瓦斯抽采面临2个方面的难题。第一,由于松软煤层可钻性差,在这样的煤层中钻进成孔非常困难。泥浆(清水)钻进往往引起孔壁坍塌等事故,不适用于松软煤层钻进。干式螺旋钻进由于没有冲洗介质从而能够减少对孔壁的冲刷作用,在一定程度上能够提高钻孔深度,然而该钻进方法对于设备能力要求高,钻孔深度有限(钻孔深度多在100 m左右、很难突破150 m)。采用空气钻进方法在一些矿区取得了较好的应用,一定程度上提高了钻孔深度和成功率,然而卡钻、抱钻事故也经常发生。由于钻孔不能达到预定深度,在很大程度上影响了瓦斯抽采效率。第二,即使钻孔达到设计深度,由于煤层透气性低、瓦斯流动性差、抽采半径小,往往达不到预期的抽采效果,在煤矿施工现场中,为了保证安全,往往需要在采煤前补钻钻孔^[2],这就增加了工序和工人劳动强度。

由于受到钻孔深度浅以及抽采效率低的限制,目前我国松软低透气性煤层工作面宽度往往较窄,限制了采煤效率。

2 跟管钻进压裂技术

增加钻孔成孔率、提高煤层透气性是突破松软低透气性煤层瓦斯抽采技术“瓶颈”的关键。跟管钻进压裂抽采技术是指:先采用跟管钻进技术在松软突出煤层中实现远距离钻孔,以便增加钻孔成孔率和钻孔深度,然后采用压裂技术增加煤层透气性(见图1),具体的实施步骤如下。

2.1 布孔设计

钻孔位置及钻孔方向的选择直接影响到压裂过程中裂缝的产生,从而对后期瓦斯抽采的效果起到决定性作用,合理进行钻孔布孔设计是该技术的关键之一。由于裂缝始终是沿着垂直于最小应力的方向发展,当沿着最小应力方向进行钻孔布置时,能够获得最好压裂效果^[3],因此在具体施工时,应首先对煤层进行应力分析,找出最小应力方向,结合煤矿现有地质资料及相关参数探测结果,针对煤层进行应力分析,找出煤层最小应力方向及大小,必要时进行预压裂施工分析,即自煤层上一水平巷道向下

收稿日期:2014-03-31

作者简介:冀前辉(1984-),男(汉族),河南禹州人,中煤科工集团西安研究院有限公司工程师,矿产普查与勘探专业,硕士,从事煤矿勘探机械及煤层气工艺的科研工作,陕西省西安市锦业一路82号,jiqianhui@cctegxian.com。

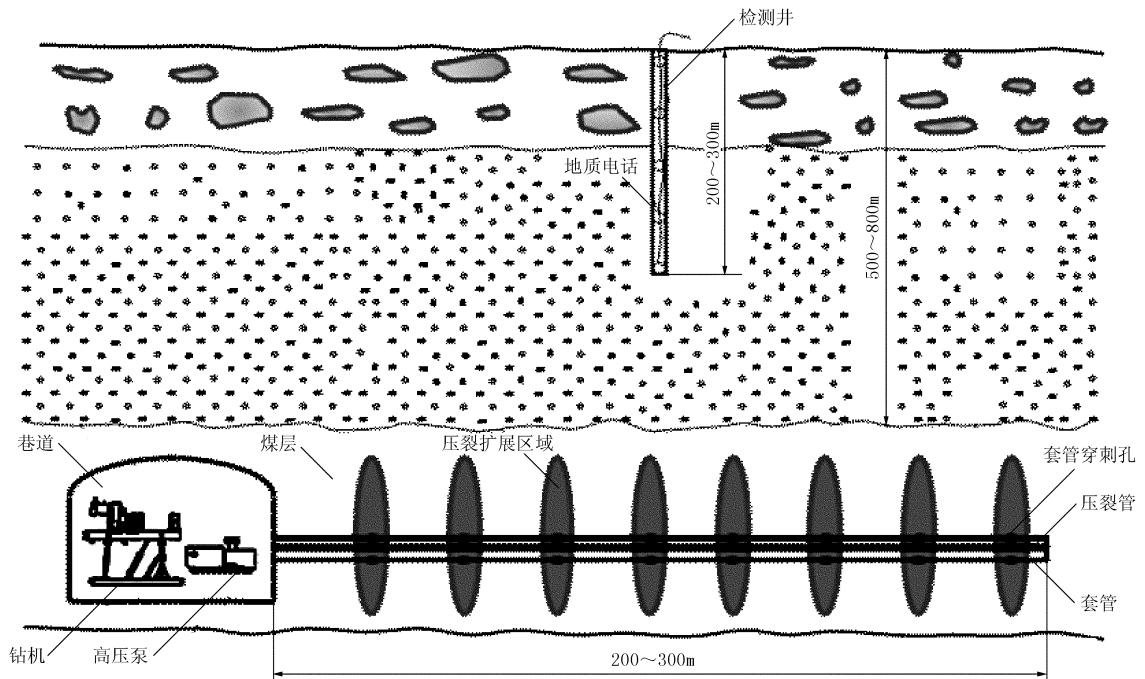
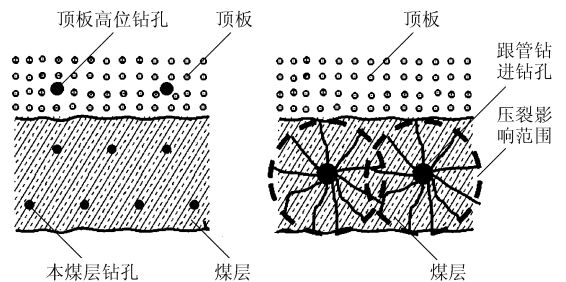


图1 跟管钻进及压裂抽采示意图

以垂直于煤层方向施工钻孔,穿过煤层顶板、到达煤层,进行预压裂,并检测裂隙发展方向,从而确定最小应力方向。为节省成本,如果地质条件变化不大,在进行下一工作面布置时可以减少预压裂钻孔,甚至可以直接借用相邻工作面的探测结果。在进行工作面布置规划时,也可以考虑多个水平同时探测,从而一次找出各个水平的煤层最小应力方向,从而降低成本。尽量将钻孔轨迹沿着最小应力方向设计。在煤矿井下瓦斯抽采过程中,本煤层钻孔抽采,由于没有无效进尺,具有钻孔进尺少、成孔速度快、抽采效果好等优点,目前在施工条件允许时,常被作为井下首选的瓦斯抽采方法^[1];另外,在压裂过程中,由于裂缝有向上发展的趋势^[3],钻孔应布置在煤层的下部。综合考虑以上理论,压裂钻孔应并大致沿着煤层最小应力的方向进行布置钻孔,并保证全部或者大部分钻孔轨迹处于煤层中,并将钻孔布置在距离煤层底板大约 1/3 煤层厚度处,以便能够取得较好的压裂效果。在保证较好的抽采效果的同时,钻孔间距越大,成本越低,考虑到压裂对于煤层透气性的影响,相对于常规本煤层钻孔抽采,可以适当增大钻孔间距,初选钻孔间距在 3 ~ 5 倍煤层厚度之间。具体施工过程中,可以根据以上原则和地层参数进行几个试验钻孔施工,对前几组钻孔压裂效果进行考察,检验其效果,以确定最优方案。

传统抽采方法从巷道向着煤层布置密集钻孔,进行本煤层瓦斯抽采,有时还需布置顶板高位钻孔

(图 2a),从临近层抽采瓦斯,然而由于本煤层钻孔困难,钻孔往往达不到预定深度,影响抽采效果。而采用跟管钻进压裂抽采方法时,由于水力压裂增加了煤层透气性,因而能够大大减少施工钻孔数(图 2b)。



(a) 传统抽采布孔方法 (b) 跟管钻进压裂抽采布孔方法

图2 传统抽采与跟管钻进压裂抽采布孔方法对比

2.2 跟管钻进施工

跟管钻进技术已在国内外广泛应用于坚硬、破碎、松散等复杂地层的工程钻孔施工中,但由于跟管钻进工艺复杂、对设备要求高,因此在煤矿井下应用较少。跟管钻进工艺在钻进的同时跟入套管保护钻孔壁,利用套管的刚性导向作用,可以抑制钻孔弯曲,保证钻孔的直线度。用合理的设备在松软突出煤层中施工跟管钻进钻孔,能够防止煤层应力及孔壁稳定性差引起的钻孔坍塌。

为减少套管对于后续采煤的影响,护孔套管可以考虑采用阻燃抗静电塑料套管,在后续采煤过程

中与采煤机摩擦不会产生火花,不存在安全隐患。另外,为满足后续压裂施工工艺要求,套管按照不同距离开设筛孔,用来用作压裂介质通道。

2.3 压裂

压裂技术在石油开采领域已经成功应用了几十年,大大提高了油气田的产量和服务年限。大多通过向钻孔中注入高压水,打开地层中的拓展自然裂隙、产生新裂隙,使得困固在地层中的气体变为游离气体,从而实现商业开采。近年来,部分煤矿企业针对松软煤层进行了煤层水力压裂的试验和研究。在河南新安矿区进行的水力压裂增透试验从煤层上方巷道钻孔(钻孔与煤层成 30° 夹角),并在钻孔穿过煤层段进行压裂,探测了水力压裂有效半径,大大减少抽放钻孔工作量^[4]。通一矿进行的水力压裂试验,从煤层上方向下钻进垂直钻孔,在煤层中进行水力压裂,通过分析、检测等手段考察了水力压裂过程发展规律、影响范围以及抽采效果松软突出煤层水力压裂试验与抽采效果分析^[5]。

完成钻孔施工后提出钻具,对钻孔进行封孔,由于松软煤层孔壁松散,因此钻进结束后的封孔作业将直接影响到压裂的实施效果以及后续瓦斯抽采效果,应采用专用封孔器进行封孔,并根据煤层情况适当加长封孔长度。然后从孔口下入压裂管、连接高压泵进行压裂。在压裂过程中,会经过多次反复压力下降过程,当孔口高压泵的压力、流量达到相对稳定时,即可终止压裂过程^[4]。

2.4 检测

为检测压裂过程中,裂缝在煤层中的产生、发展情况,同时也为了保证压裂裂缝的可控性,需要对其进行检测。可以考虑采用2种检测方法,直流电法方法和微震检测方法。

当采用滑溜水作为压裂液进行压裂作业时,产生的裂缝瞬间被压裂液充满,从而形成低阻区,由于水的电阻率远远小于岩石的电阻率,因此采用直流电法的方法能够分辨出水的存贮区域,从而反推出压裂裂缝的扩展范围和规律。

另外一种方法是采用微震检测方法,在煤矿巷道安置地质电话来检测压裂过程中的微震信号,然后进行分析处理,得出压裂裂缝的产生扩展情况。必要时在地面进行垂直钻孔,将地质电话放置到孔底进行监测(如图1所示)。

2.5 施工所需主要设备

2.5.1 跟管钻进钻机

为保证跟管钻进的顺利实施,需要研制能够机

械下入套管的钻机,我院已研制成功具有双夹持器机构的套管钻机,适合加持不同直径的钻杆和套管,同时也能够相互配合用于拧卸钻杆或者套管^[6],能够实现煤矿井下松软突出煤层跟管钻进。

2.5.2 压裂高压泵

目前,煤矿井下水力压裂施工多采用煤矿用乳化液泵,已有多家企业研制出适合于煤矿井下水力压裂所需的高压乳化液泵,且大多可以实现压力和排量等参数的实时记录,有利于记录、分析压裂参数,最高压力可达52.8 MPa,最大流量1128 L/min^[7]进行套管钻进水力压裂过程中可以考虑采用现有的高压泵。

3 优点与不足

3.1 优点

相比传统钻孔瓦斯抽采,本煤层钻孔压裂抽采方法在提高松软突出煤层生产效率等方面具有显著优点。

(1)该技术能够有望减少工作面钻孔施工量。压裂裂隙有望向煤层顶底板进行延伸,从而扩大单孔瓦斯抽采半径,相比传统钻孔抽采方法,压裂技术的实施有望大大提高单孔瓦斯抽采量和抽采效率,因此在特定工作面的瓦斯抽采钻孔量将会大大减少,有望降低总体瓦斯抽采成本。

(2)该技术能够提高工作面设计宽度,从而提高采煤效率。目前松软低透气性煤层的工作面宽度有限,有的煤矿甚至仅有100多米,一个很重要的原因就是瓦斯抽采钻孔深度不够,制约瓦斯抽采效果。利用该技术能够有效提高钻孔深度,因此在进行工作面设计时,可以根据煤层赋存情况适当提高工作面宽度,使得提高后续采煤效率成为可能。

3.2 存在的问题

然而该技术尚处于可行性研究阶段,遇到的问题主要有以下几个方面。

(1)施工程序较为繁琐,施工过程中,该技术需要在上层煤中进行垂直钻孔施工、在本煤层中进行套管钻进以及压裂施工等,并且施工程序繁琐,对设备和工艺要求高。

(2)单孔钻孔成本大。由于需要针对钻孔进行跟管钻进,并需要进行专门的压裂,这都将大大提高单孔施工成本。

(3)由于地质条件、煤层赋存情况的差异,进行该技术施工时,需要针对不同矿区、同一矿区不同

(下转第56页)

材料自身性质 EI , 还与模型的自由段长度 L_3 有关。但若在指向式导向系统的导向机构中 $L_3 = 0$, 式(21)就无法准确地表达偏心环组 B 增大钻头偏移范围的精确值。

将 $x = L_3$ 代入式(17)可得出悬臂梁自由端的挠度:

$$y_2 = \frac{FL_3^3}{3EI} \quad (22)$$

因为在 $L_3 = 0$ 时偏心环组 B 所产生的挠度 y 和式(22)中 y_2 相等, 即 $y = y_2$, 故 $y = FL_3^3 / (3EI)$, 则:

$$L_3^2 = \frac{3EI}{F} y^{2/3} \quad (23)$$

将式(23)代入到式(21)中, 可得:

$$\Delta\theta = \frac{3^{3/2}}{2} \left(\frac{F}{EI} \right)^{1/3} y^{1/3} = Ky^{1/3} \quad (24)$$

其中系数 $K = (3^{3/2}/2) [F/(EI)]^{1/3}$, 暂可称为增角系数。因为力 F 也是未知数, 所以 K 应通过设计试验而得到, 但现阶段尚未进行相关试验和研究。

综上所述, $n = 2$ 时的指向式导向系统的性能比 $n = 1$ 要有所提高。在 $L_3 = 0$ 的情况下, 能保证有效提高导向性能的情况下减少系统的复杂性。其导向性能与其自身性质有关, 如最大偏心挠度 y , 偏心力 F , 以及 EI , 需要通过实验得出。但仍需要进一步研究。

4 结论

(1) 当 $n = 2$ 且两组偏心环组的偏心方向呈 180° , 即偏心方向相反时, 可以在一定程度上增大钻头的偏移范围。

(2) 通过建立指向式旋转导向系统的力学模型

进行转角方程和挠曲线方程的推导, 从理论上证明了偏心环组数 $n = 2$ 的指向式旋转导向系统可以有效增大钻头的偏移范围。

(3) 在实际生产实践的造斜过程中, 心轴处于连续回转钻进状态中, 但本文中的力学模型是在静态偏置条件下建立的, 未考虑动态模式下心轴的回转所造成的影响。

(4) 改进后的指向式导向系统与原导向系统性能一致, 在 $\alpha = 0.675$ 处, 旋转轴在较小的挠曲状态下、较小的偏置力 F 和 M_1 下工作, 提高旋转轴的使用寿命。但偏心轴承的存在会使得旋转轴的挠曲度变大, 下一步应针对相应的材料弯曲强度和使用寿命进行研究。

(5) $L_3 = 0$ 时的钻头偏移范围的增量与偏心环组 B 的偏心作用所产生的挠度 y 成正相关。

(6) 对于增量系数 K 可以通过设计相关试验进行确定。

(7) 本文只在理论上讨论了 $n = 1$ 和 $n = 2$ 的情况, 对于 $n > 3$ 的情况未予讨论。

参考文献:

- [1] 薛启龙, 丁青山, 黄蕾蕾. 旋转导向钻井技术最新进展及发展趋势[J]. 石油机械, 2013, 41(7): 1-6.
- [2] 吕建国, 刘宝林, 杜建生, 等. 指向式旋转导向系统旋转轴弯曲旋转试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(S1): 108-114.
- [3] 冯定, 袁咏心, 李汉兴, 等. 井眼轨迹控制工具发展现状及趋势[J]. 石油机械, 2011, 39(3): 70-73.
- [4] 杜建生, 刘宝林, 李清涛, 等. 指向式旋转导向系统偏置心轴力学模型及优化[J]. 石油机械, 2008, 36(8): 28-35.
- [5] 吕建国, 刘宝林, 李清涛. 指向式旋转导向钻井系统旋转轴力学模型[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(12): 29-32.

(上接第30页)

水平甚至同一水平不同工作面等进行工艺研究, 根据不同情况调整施工方法和施工技术参数, 这在一定程度上增加了工艺研究的工作量。

4 结语

考察相关行业的跟管钻进技术和煤层压裂技术的应用情况, 认为松软突出煤层跟管钻进压裂技术有望通过提高本煤层钻孔的钻孔深度和煤层透气性, 进而提高瓦斯抽采效率, 有望从根本上解决松软突出煤层瓦斯抽采难题。但该技术尚处于可行性研究阶段, 还需要在设备研制、技术开发及现场施工等方面进行进一步的研究。

参考文献:

- [1] 石智军, 胡少韵, 姚宁平, 等. 煤矿井下瓦斯抽采(放)钻孔施工新技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2008.
- [2] 殷新胜, 凡东, 姚克, 等. 松软突出煤层中风压空气钻进工艺及配套装备[J]. 煤炭科学技术, 2009, 37(9): 72-74.
- [3] Yew, Ching H. Mechanics of Hydraulic Fracturing [M]. Houston: Gulf Publishing Company, 1997.
- [4] 周军民. 水力压裂增透技术在突出煤层中的试验[J]. 中国煤层气, 2009, 6(3): 34-39.
- [5] 喻晓峰. 松软突出煤层水力压裂试验与抽采效果分析[J]. 矿业安全与环保, 2012, 39(5): 75-76.
- [6] 姚亚峰, 姚宁平, 彭涛. 松软煤层套管钻机夹持器机构设计与分析[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(3): 73-76.
- [7] 张有狮. 煤矿井下水力压裂技术研究进展及展望[J]. 煤矿安全, 2012, 43(12): 163-165.