



平滑钻进一孔多用技术在屯兰矿的应用

牛润晴 肖东辉 刘建华

平滑钻进一孔多用技术是利用钻孔自然弯曲规律，并应用孔底马达使钻孔轨迹按设计延伸钻进目标煤层，探测地质构造、煤层和断层产状的一种钻探方法；同时，利用此钻孔进行瓦斯抽采，降低地质构造区域发生瓦斯事故的风险。2002年2月，VLD-1000钻机成功钻进1 761 m的煤矿井下定向长钻孔；2015年澳大利亚Metropolitan煤矿项目攻克超2 000 m、近水平的长钻孔难题。然而定向钻进技术不仅需要在深度上进行扩展，在宽度上也需有进一步的扩展。我国采煤深度逐年增加，地质构造条件复杂且瓦斯抽采难度加大，屯兰矿北三盘区风坪岭正是一个典型代表，按照屯兰煤矿的规划，采用VLD-1000钻机在风坪岭区域进行一孔多用钻探，尝试试验平滑钻进一孔多用技术，现已掌握煤层地质构造、煤层及断层产状、小窑破坏区情况。利用平滑钻进一孔多用技术作为解决复杂地质条件区域瓦斯抽采和探测地质构造，不但可以解决煤层瓦斯抽采的难题，而且可以扩大定向钻进技术的应用范围。

屯兰矿北三盘区风坪岭概况

平滑钻进一孔多用技术试验地点选在屯兰矿北三盘区的右翼，风坪岭断层的影响区域，西接北三回风巷，东至北一盘区边界煤柱，南邻22301工作面，北邻风坪岭断层保护煤柱。风坪岭断层整体呈向斜构造，东翼煤层倾角较大整体呈5°上山，西翼煤层倾角较小整体呈2°下山，地质构造复杂，存在隐伏构造影响。屯兰矿北三盘区水文地质条件复杂，全区带压，2号煤层底板标高为+770—+842 m；

该区东北邻近小窑破坏边界，最近距离仅为45 m。在利用小型非定向钻机施工钻孔过程中，遇到了瓦斯超标、成孔质量差、百米抽采效果不足0.001 m³/min、钻孔深度有限、无法探测断层位置和产状等困难。因风坪岭断层的影响，北三区周边区域煤层透气性小、钻孔抽采衰减快、瓦斯抽采量小、抽采钻孔深度不足，造成掘进和开采前瓦斯抽采周期长，抽、掘、采计划严重滞后，影响屯兰矿生产接续和年产量。屯兰矿北三盘区风坪岭断层会影响抽采钻孔的施工，且限制掘进和回采进度，此区域瓦斯钻孔施工问题严重影响屯兰矿的生产。

平滑钻进一孔多用技术关键设备

平滑钻进一孔多用技术采用VLD-1000定向钻机，其主要配套设备包括孔底马达DHM、随钻测量工具DMS、钻头、送水器、无磁铜钻杆和钻杆等，VLD-1000钻机主要配套设备如图1所示。钻进过程中对探明风坪岭断层产状和位置等起决定性作用的主要设备为孔底马达和随钻测量设备DDMS。孔底马达由定子、转子、耐磨片、弯头、万向节组成。

平滑钻进一孔多用技术应用的关键

可预留分支和开分支钻进功能为VLD-1000定向钻机平滑钻进技术应用的关键。上述功能可最大程度保证开孔且成孔，确保钻孔不会因为卡钻、抱钻或塌孔而报废，钻孔可再生且避免产生抽采盲区，有利于探测断层产状和增加合理的钻进进尺以增加瓦斯抽采量。VLD-1000钻进的优势是确保钻

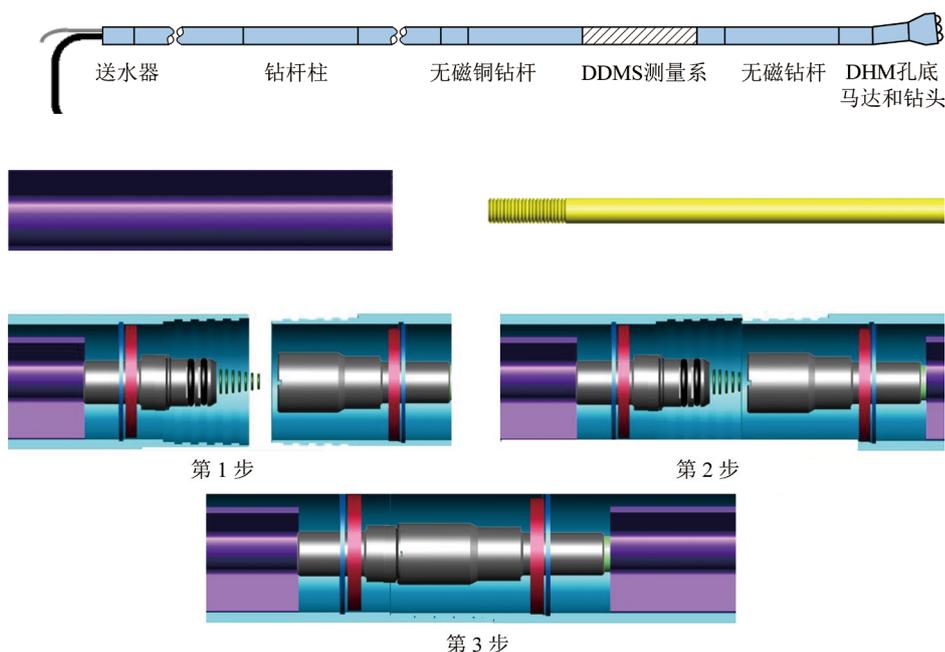


图1 VLD-1000钻机主要配套设备

图2 氯丁橡胶套管平面图

图3 信号传输铜芯线

图4 CHD通缆钻杆连接形式

孔成孔，在地质构造区域开分支探测；同时，尽可能地保证钻孔直向钻进，减少弯曲度，成孔抽采通道畅通，利于瓦斯抽采和探测地质构造。

提高地质构造区域钻孔信号传输对策

针对屯兰煤矿北三风坪岭构造区域，定向钻孔需求和信号传递随钻进深度减弱的具体问题，改用性能更好、耐磨性更强、信号传递内部件更完善的CHD钻杆，采用旋转和平滑钻进相结合的对策控制信号传递减弱的问题，通过旋转和平滑钻进相结合，较大程度上减少钻孔的弯曲和起伏变化，进而减少孔内钻杆柱的扭曲和同钻孔壁的接触摩擦力，防止钻杆柱信号接触点的瞬时缺失。新型打钻液的使用也对信号损失控制起到一定的作用。为了提高长钻孔信号传输成功的概率，安装使用Rod Communication System软件（RCS），传输信号的主要部分包括先进的CHD通缆钻杆，钻杆内部件包括铜芯线（2 914 mm）、铜芯线的氯丁橡胶套管（2 855 mm）、弹簧、不锈钢连接件、卡环和固定O型圈。主要部件如图2、图3所示，CHD通缆钻杆连接形式如图4所示。

新型CHD钻杆的优势总结为以下3点：①CHD

钻杆耐磨损能力强；②采用套管保护内部件，套管选用氯丁橡胶材料，耐弯曲，抗拉抗压，并且不易产生裂缝，钻杆钻进中，装拆钻杆、推拉和旋转钻杆等操作不会轻易引起成钻杆内芯部件的损坏。原先采用的NQ钻杆内塑料套管容易裂缝或破损，钻进中又一直有水的影响（如腐蚀、生锈、减弱信号），在这种情况下继续使用钻杆，逐渐累积的问题就会越来越多，直到严重影响信号的传输，而新型的CHD钻杆完全解决了这一问题；③CHD钻杆更换旧钻杆内部件简单方便成本低。

预留分支和开分支探测构造能力提高方案

VLD-1000定向钻机具备一钻多孔和开分支侧钻功能，针对屯兰矿风坪岭区域的复杂情况，需能实现 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 大角度地钻进探测断层位置和产状，并形成径向流动以提高瓦斯抽采量。定向钻进在软煤层适用的钻进技术为预留分支技术和开分支侧钻技术，其要求有以下3点：①利用定向钻机的预留分支功能，预留大量分支点，以备后用；②开分支功能，实现开分支侧钻进入设计区域探测；③尽可能以 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 大角度钻进入指定区域，并在探明地质构造或小煤窑边界后撤回。

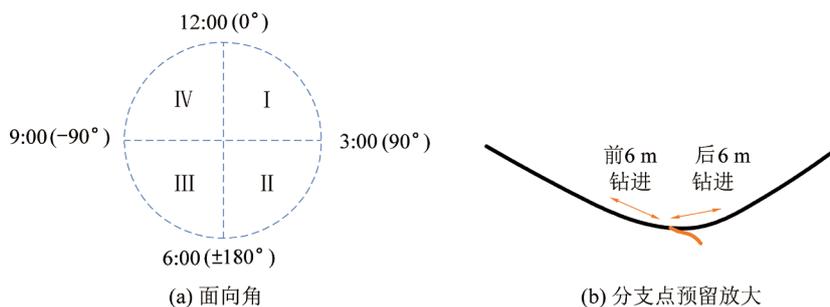


图5 DHM工具面向角和分支点预留放大

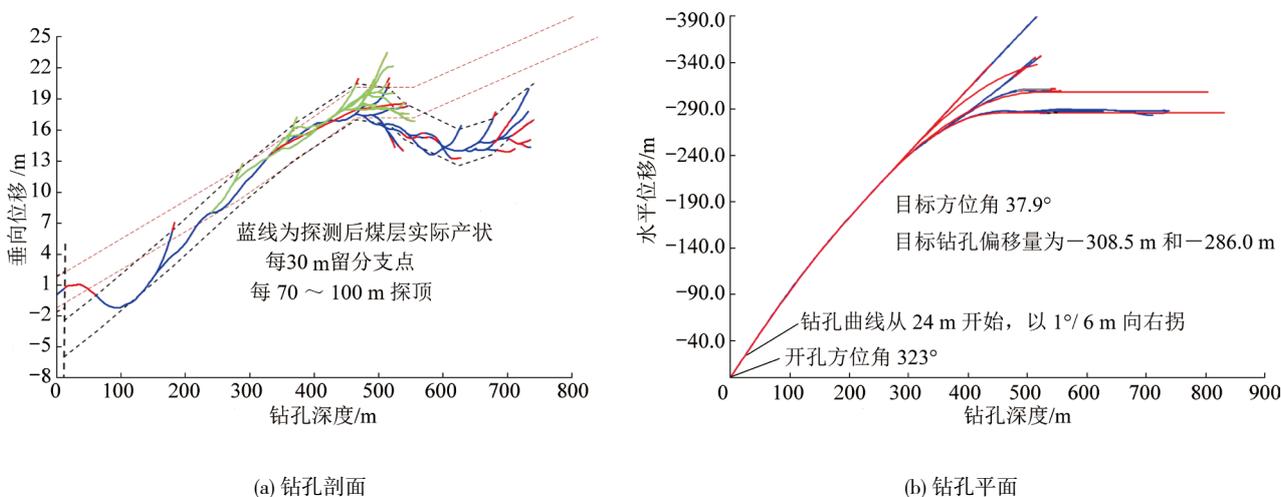


图6 一孔多用典型钻孔B2301-1-1.2.3号钻孔剖面 and 平面

通常预留分支点需满足以下2点要求：①前6 m 钻进即加速降斜过程，孔底马达的工具面向角控制在3:00—9:00方向，控制钻头形成向下钻进姿态；②紧接着的后6 m 钻进即急剧增斜过程，要求工具面向角控制到9:00—3:00方向，形成向上的钻进姿态，分支点即可预留出来，如图5所示。

定向平滑钻进中实现对轴线弯曲变直或由直线变弯曲的控制是依赖DHM孔底马达工具面向角的变化来实现的；DHM工具面向角的控制是钻工依据随钻测量的数据，对比钻孔设计进行不断调整来实现的。配套VLD-1000定向钻机的孔底螺杆马达弯头角度范围为 $0.75^{\circ} \sim 2.00^{\circ}$ ，必须旋转大转矩、合适的弯头向角和合适的耐磨片。平滑钻进一孔多用技术需要大量开分支和预留分支作业，为了钻进中预留分支和开分支方便，需选择大于 1° 的DHM并要求大转矩以利于多次开分支探测断层。

钻孔轨迹精度提高方案

钻孔探测地质构造和小煤窑的关键之一是钻孔轨迹精度的提高，避免钻进过程中错失目标；关于钻孔轨迹的精度提高，VLD-1000实现平滑钻进需首先进行钻孔设计，钻孔设计主要依据VLD-1000的钻机性能特点进行设计，设计基本准则为倾角变化率 $0.5^{\circ} \sim 1.5^{\circ}/(3\text{ m})$ ；方位角变化率 $0.5^{\circ} \sim 1^{\circ}/(3\text{ m})$ ；实际钻进轨迹倾角和方位角变化率不应 $>1.5^{\circ}/(3\text{ m})$ ；设计和钻进轨迹可通过相关公式计算。

通过相关公式计算和VLD-1000钻机自带的计算机程序系统，实现井下钻进情况随时测定、随时掌握，在计算机显示屏上可以清楚地看到钻孔轨迹，但为了施工方便，通常VLD-1000定向钻机钻工会按照6~12 m采用随钻测量DDMS进行一次测定，得到钻进数据包括进尺、倾角、方位角、工具面方向角等；然而测定过程中因为测定距离和测定

表1 成功案例钻孔数据

钻孔编号	钻进终孔日期(年-月-日)	钻孔总进尺/m	百米瓦斯抽采量/($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)
B2301-1-1、B2301-1-2、B2301-1-3	2018-07-02	2 466	0.008
B2301-1-4	2018-07-12	1 050	0.009
B2301-2-1、B2301-2-2	2018-07-25	1 635	0.008
B2301-2-3、B2301-2-4	2018-08-21	3 102	0.010
B2301-2-6	2018-08-23	417	0.010
B2301-2-7	2018-08-25	474	0.010
B2301-2-5	2018-09-03	954	0.009
B2301-1-5、B2301-1-6	2018-09-15	1 332	0.007
B2301-1-7、B2301-1-8	2018-09-19	891	0.012

注：钻孔功能为探明风坪岭断层位置、煤层产状和抽采煤层气；百米瓦斯抽采量是普通钻孔的8~10倍。

手段的问题会产生一定程度的误差。常规测定是每2根钻杆即6 m以上进行1组数据测定，测定数据包括钻孔深度、倾角、方位角、工具面方向角等重要数据。然而通过计算建立的基础是钻杆弯曲忽略不计，弧线可以看作是直线进行的计算。为了达到最大的精度计算，可以采取如下2点对策：①缩短测量距离，测量距离按照3 m测定，把钻柱因重力产生的弧线逐一分段为直线进行测定；②计算时选取2组数据的平均值。按照更加精确的计算编辑进入VLD-1000钻机计算机进行测量计算，虽提高了井下钻进的劳动强度，但可以提高钻进轨迹的精度。

平滑钻进一孔多用技术应用成果

在北三风坪岭区域施工的多个钻场和多个一孔多用钻孔，其中B2301-1-1、B2301-1-2、B2301-1-3号孔共计钻进45个班次完孔，B2301-1-4、B2301-1-5及B2301-1-6号孔共计钻进36个班次，共计施工进尺5 814 m，平均进尺72 m/班，其中煤4 148 m，岩石1 666 m。该钻场所有钻孔均按照设计要求施工，预留并成功进行多个平滑钻进分支钻探，探测出钻孔覆盖区域风坪岭断层的位置和走向

及煤层的产状，典型的平滑钻进一孔多用的成功案例如图6和表1所示。

结语

古交矿区井田内分布有古交断层156 m，土地沟断层120 m，头南岭断层140 m，后风坪岭断层80 m等多条大的断层。受地应力及断层影响，井田内大小断层较多，严重影响了矿井工作面的布置和煤炭资源的回收。平滑钻进一孔多用技术在屯兰北三风坪岭区域的成功应用，为精准掘进、采煤、抽采瓦斯和防治水探明了位置，指明了方向。该技术的应用将降低投资成本，推广平滑钻进一孔多用技术具有实际意义；此外，推广一孔多用技术有利于减少瓦斯事故并可精准化采煤。

■ 助理编辑：李艾稣

作者简介：

第一作者：牛润晴，助理工程师。

E-mail: hacknrq@163.com

作者单位：山西焦煤集团西山煤电屯兰矿；

威利朗沃矿业设备(北京)有限公司