

# 基于孔型组合的煤矿水害区域治理模式研究

刘再斌<sup>1,2</sup>

(1.中煤科工集团西安研究院有限公司,陕西 西安 710054;2.长安大学 环境科学与工程学院,陕西 西安 710054)

**摘要:**为了提高水害区域治理技术的适用性,优化治理工程布置,从钻孔形态组合的角度研究煤层底板水害区域治理模式分类方法。以邢台矿区区域治理工程为例,介绍了包括地面定向钻进、地面径向射流和井下定向钻进在内的综合钻进技术,分析了地面条件、采掘工程条件和治理层特征等多种布孔影响因素,划分了不同主孔形态和分支类型,提出了基于不同孔型组合的水害区域治理模式分类方法。研究结果表明:区域治理方案制定时,选用经济可行、技术合理的钻进技术,通过不同类型的孔型组合,可以实现整个治理区的全覆盖;区域治理模式分类方法可以建立适用于浅部构造发育区加固、中深部形态复杂区改造、深部多分区探查等多种条件的水害区域治理技术体系,为华北型煤田水害区域治理工程设计提供参考。

**关键词:**区域治理模式;定向钻进;径向射流;孔型组合;布孔影响因素

**中图分类号:**TD164      **文献标志码:**A      **文章编号:**0253-2336(2018)07-0184-06

## Study on water hazard regional control pattern based on different borehole type combination

LIU Zaibin<sup>1,2</sup>

(1. Xi'an Research Institute Company of China Coal Technology and Engineering Group, Xi'an 710054, China;

2. School of Environmental Science and Engineering of Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** In order to improve the applicability of water hazard regional control and optimize the borehole group layout, coal floor water regional control pattern classification method was studied based on different borehole group type. Xingtai mining area regional control engineering condition was introduced as the study background. Integrated drilling technology including surface directional drilling, radial jetting and underground directional drilling was studied to form different types of main boreholes and branch boreholes. Borehole layout is controlled by multiple influencing factors including ground condition, mining engineering and target layer characteristics. Water hazard regional control pattern classification method was established based on integrated drilling, influencing factors and borehole types. When regional control plan was formulated, economically feasible and technically reasonable drilling technology should be selected to comprehensively cover the entire control region by different types of borehole combinations. Based on the pattern classification method, shallow structural development area strengthening pattern, morphologic complex area transformation pattern and deep multiple areas detecting pattern were established. Research results can provide a reference for mine water regional control engineering design in north China.

**Key words:** regional control pattern; directional drilling; radial jetting; borehole type combination; layout influencing factors

## 0 引言

煤层底板水害治理技术主要包括水害探查、底板加固和含水层改造等方面,水害探查指的是对导

水通道和富水异常区的查找与治理;底板加固指的是对底板隔水层破碎带通过局部注浆,消除突水隐患;含水层改造指的是将含水层或含水层的一段通过全面注浆的方式,改造为相对隔水层(段)。钻探

收稿日期:2017-11-11;责任编辑:曾康生      DOI:10.13199/j.cnki.est.2018.07.029

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2017YFC0804102);中煤科工集团西安研究院有限公司科技创新基金面上资助项目(2015XAYMS17)

作者简介:刘再斌(1982—),男,江苏徐州人,副研究员,博士(后)。E-mail:liuzaibin@ctegxian.com

引用格式:刘再斌. 基于孔型组合的煤矿水害区域治理模式研究[J]. 煤炭科学技术,2018,46(7):184-189.

LIU Zaibin. Study on water hazard regional control pattern based on different borehole type combination [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46 (7):184-189.

和注浆是实施各项防治水措施的基础技术手段,随着钻探技术的发展和先进钻探技术的推广应用,水害区域治理工程逐渐成为煤层底板水害防治实践的热点。区域治理是由采前被动治理到掘前主动治理、由局部治理到区域治理的转变,实现了回采工作面、采区到整个井田防治水的超前治理<sup>[1-3]</sup>。

区域治理模式的研究旨在针对水害问题的多样性,适应复杂的施工条件,采用综合的钻进方法,形成最优的钻孔网络,减小无效工程量,提高工程治理效果。钻孔形态与布孔方法的研究主要集中在油气田勘探开发领域的定向钻井技术领域,定向井主要井型有直井、直井丛式井和水平分支井等<sup>[4-6]</sup>。多分支水平井按水平段几何形态分为集束分支水平井、径向分支水平井、反向分支水平井、叠状分支水平井和羽状分支水平井等<sup>[7-9]</sup>。油气田开发中,一个井组中的各个分支井在时间上是并存的,不同水平井形态设置以产能最大化为目标。在区域治理工程中,各个注浆孔依次序施工,每个时刻仅钻施工单个钻孔,钻孔布置主要以各单孔在治理区的均匀分布为目标。

笔者以邢台矿区为研究区域,综合采用地面定向钻进技术、地面径向射流技术及井下定向钻进技术,划分不同主孔和分支布孔类型,通过不同孔型组合,提出水害区域治理模式分类方法。

## 1 邢台矿区水害治理概况

### 1.1 水害概况

邢台矿区开采石炭二叠系煤层,基底为巨厚奥陶系石灰岩强含水层,由于长期高强度开采上组煤,浅部上组煤煤炭资源已基本采完<sup>[10-11]</sup>。转入矿井深部开采后,地质及水文地质条件愈加复杂。目前矿区上组煤开采主采煤层为2号煤和5号煤,受煤层底板大青灰岩水、奥灰水突水威胁。2号煤至奥灰的隔水层厚度在170 m左右,隔水层含伏青、大青、本溪灰岩等多层薄层灰岩,5号煤至奥灰的隔水层厚度为100 m左右。邢台矿区邢东矿开采深度达到了1 260 m,2号煤开采承受奥灰水压达12 MPa以上,突水系数已达0.085 MPa/m。另外,矿区陷落柱发育,发生过东庞2903特大型陷落柱突水事故,突水量峰值达70 000 m<sup>3</sup>/h。

由于长期高强度开采上组煤,区内大部分矿井可采储量严重不足,邢台矿区已有5对矿井开发下组煤。开采下组煤最早邢台矿区章村矿三井已有

40年以上开采历史。下组煤开采主要受顶板大青灰岩水、底板本溪灰岩水、奥灰水威胁,水文地质条件复杂。下组煤开采区构造复杂、陷落柱发育,更加恶化了下组煤的开采条件。随着生产规模逐步扩大,相应采深也逐渐增加,突水系数逐渐接近临界突水系数,其中,有的矿井需开采深部下组煤资源才能保证井田的接续。

### 1.2 区域治理工程概况

邢台矿区水害区域治理工程已在台矿西井、东庞北井矿和邢东矿开展,涵盖上组煤深部开采、构造复杂区下组煤开采和深部下组煤开采等问题,具有典型性和代表性。其中,邢台矿西井开采下组煤9号煤,埋藏浅,基岩薄,构造复杂,通过地面直孔与径向射流造孔的形式实现对奥灰顶部注浆,通过浆液扩散,封堵潜在的垂向导水通道,增加隔水层厚度,确保隔水层完整性;东庞矿9400采区突水系数大于0.1 MPa/m,通过顶面定向钻探与径向射流相结合,将奥灰上段一部分含水层改造成相对隔水层,降低采区突水系数;邢东矿开采深部2号煤,-980 m以深区域突水系数大于构造发育区段底板临界突水系数。通过区域性探查与治理工程的实施,确保煤层底板隔水层的完整性,排除垂向导水构造发育的可能性。

## 2 水害治理综合钻进技术

水害区域治理主要是通过钻进工程,在特定位置形成注浆通道,通过孔口压浆实现注浆材料从地层外向地层内的传输。近年区域治理技术的快速发展一方面是由安全需求的日益增加,更重要的一方面是钻进技术的发展和推广应用。应用于区域治理的钻进技术主要有地面定向钻进、地面径向射流和井下定向钻进技术。

### 2.1 地面定向钻进

地面水平定向钻进是地面区域治理工程的主要钻进手段,地面水平定向分支钻进是指从地面垂直开孔,以一定的角度在目标层位变向为水平孔的钻进技术。地面水平定向钻进通过一个地面主孔施工多个水平分支钻孔,控制注浆改造范围,达到区域注浆改造的目的。钻孔在进入目的层后以水平或近水平状态沿目标层延伸,有效探查钻井范围内目标层中的岩溶、构造和裂隙发育情况,扩大了钻孔控制范围,提高了目标层的可注性及改造加固效果。

区域治理地面定向孔类型多为单弧孔眼轨道,

由直孔段、增斜段和水平段组成。增斜段使孔斜角由零度钻至水平段的起始位置。目前国内区域治理定向钻探多采用中半径水平井,曲率半径在150~300 m,地面水平定向钻探技术多应用在治理目标层埋深400 m以深的矿井。

在深部含水层区域治理工作中,进一步改进了地面定向钻进工艺,形成顺层定向钻进技术,提高定向孔在治理区域的覆盖效率,减少治理盲区,通过长距离顺层反倾向钻进工艺,提高了钻探工程对地层条件的适应性。

## 2.2 地面径向射流造孔

径向射流造孔技术利用高压水力切割的原理,依靠同时向前和先后喷射的高压水成孔,如图1所示。高压水射流向前对围岩进行切割、破碎,向后提供在整个喷头和软管向前的动力,拖动喷射软管前移。最大射流压力达137 MPa,射流孔孔径25~75 mm,孔深最大110 m。在一个直孔的同一个地层或不同层位,可沿径向钻出多个水平孔眼。

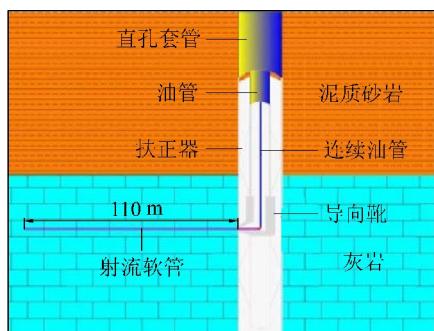


图1 径向射流造孔示意

Fig.1 Radial jet drilling schematic

径向射流孔施工时,首先采用普通回转钻机完成垂直孔的施工,完成套管的下入及固管,在进入目标层后,洗孔并观测终孔静止水位。然后,通过钻孔压水试验,测定受注层段单位吸水率,选择合适的注浆材料和配比开始注浆,达到注浆技术标准后,透扫钻孔,开始径向射流钻孔施工。每一个径向孔原则上一次注浆完成,之后,按照射流造孔、注浆的顺序依次完成钻探注浆工作。

## 2.3 井下定向钻进

井下定向钻孔多用于煤层瓦斯抽采,在灰岩钻进时,通过优化钻进工艺,可以使其在灰岩地层中高效钻进,有效提高底板灰岩治理效率。井下区域治理定向孔由套管段、回转造斜段、定向造斜段和定向稳斜段组成。钻进时首先采用螺旋钻杆回转钻进工艺进行套管段施工,下入套管并试压;然后采用稳定

组合钻具回转造斜钻进至注浆目的地层,使钻孔倾角略为增加,以减少后期定向钻进倾角调整难度;最后采用螺杆钻具定向钻进技术进行定向造斜和稳斜钻进,对钻孔实钻轨迹进行实时测量和精确控制,使钻孔在注浆目的地层中长距离延伸。

## 3 布孔影响因素

钻孔布置是区域治理工程方案设计的核心,需要考虑地面条件、采掘工程、治理层特征等多种因素。与油气田勘探开发中井型优化的研究不同的是在布孔时需要考虑采掘工程的影响<sup>[12-14]</sup>。

地面条件包括施工场地条件、交通条件、环保条件等,要充分考虑注浆材料的补给、输送问题,孔位选择时要将钻探、注浆工程对居民生活环境的干扰降至最小。孔位选择在较为空旷,便于施工的地段。当地面没有地面钻进施工条件时,采用井下钻进技术进行区域治理。

采掘工程因素包括采空区分布及采掘衔接等情况,根据采掘工程部署确定治理区块、面积、形态。尽可能使钻孔轨迹避开采空区与巷道,并保持一定的安全距离。分支孔形态也要充分考虑采掘工程的衔接,当治理工程工期紧张时,可以将分支孔钻进方向与工作面推进方向平行布置,保证接续面采掘前相应的治理工程施工完成。

治理层特征包括治理层埋深、地层产状、断层发育条件、裂隙发育条件等多个因素。治理层埋深是钻进方法选择的主要依据,当治理层埋藏较浅时,没有足够的造斜距离,顺层孔段长度小,可以选择径向射流的方法进行造孔,当治理层埋藏较深时,顺层孔段的进尺可以通过加重钻具充分延长,从而减少地面开孔,优化孔网布局;顺层钻孔沿地层走向钻进时要尽量减少顺层段的局部低洼点,使岩屑易于排出,反倾向布孔时要充分考虑钻进过程的排渣与摩阻问题;断层规模较大,对治理区块造成切割,形成垂向导水通道时,要针对断层布置治理钻孔,切断多层含水层之间的水力联系,保证底板顺层孔注浆工程的有效性;顺层孔钻进方位要与主裂隙方向斜交或垂直,提高裂隙的钻遇率,保证灰岩裂隙注浆体的完整性。

## 4 孔组类型

区域治理工程孔组的布设是以提高治理工程有效性,降低治理工程成本为目标,在布孔过程受多种

因素的限制,且各个钻孔按次序施工并注浆,与油气田钻井工程有所不同。因此,提出适用于区域治理工程的孔组分类方法,包括定向主孔形态、分支类型、射流孔组形态和井下定向孔组形态。

#### 4.1 定向主孔形态

定向主孔包括直孔(Z孔)、斜孔(X孔)、L型孔和J型孔,如图2所示。通过斜直孔形成反向位移,可以降低直孔造斜形成的治理盲区。L型孔是指造斜后,定向孔沿走向或倾向钻进,顺层段近似水平或下俯钻进。J型孔指的是造斜后,定向孔反倾向上仰钻进,该型孔可以提高孔位选择的灵活性,适用于深部治理工程。



Fig.2 Main borehole morphology

#### 4.2 分支类型

钻孔轨迹的方位包括主孔方位与分支孔方位,主孔方位的选择要保证其他分支孔能够实现,并且覆盖目标区域,一方面,主孔方位要保证钻孔单元中两侧钻孔能够顺利完,另一方面,钻孔轨迹还应尽可能与裂隙的优势发育方位斜交。分支的角度是分支类型划分的主要依据,按照不同角度将分支类型分为V状分支、F状分支、Y状分支和E状分支等,如图3所示。

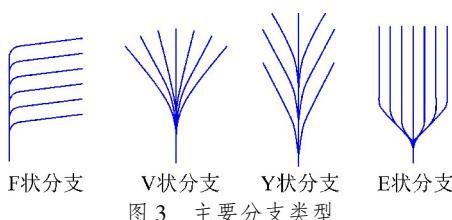


Fig.3 Main branching type

1)V状分支各分支孔无明显主次之分,钻孔夹角小,钻进过程摩阻小,钻孔密度不均匀,分支位置附近存在钻孔密集区,造成无效进尺较多。

2)F状分支主孔与各分支孔之间角度较大,近似垂直,分支孔平行布设,一方面可以使钻孔均匀布置,另一方面可以沿工作面推进方向钻进,根据工作面采掘衔接调整钻孔施工次序。由于分支拐弯角度较大,钻进过程中摩阻较大,适用于埋藏较深的地层。

3)Y状分支通过主动脉孔向两翼以较小的角度分支,两翼分支钻孔即可以是长距离的治理孔,也可以是针对断层等治理边界的探查短孔,适用于形态复杂、构造发育区段的治理。

4)E状分支在主孔进入目标层后往两侧和前方分支,钻探效率较高,与采掘工程衔接好,在造斜段底部存在盲区,适用于地面施工条件较好的区段。

通过V状分支、F状分支、Y状分支和E状分支的变形及组合,可以形成复杂形态的定向顺层钻孔群。

#### 4.3 射流孔组形态

径向射流可以在直孔中任意方位造孔,应用于区域治理工程中时,采用梅花形嵌套布孔法进行单层含水层注浆改造,射流孔组嵌套均布,实现无盲区全覆盖。地面直孔按照梅花形布孔,单个直孔内布置3个径向射流孔,射流孔方位角夹角为120°,射流孔组间隔套嵌布置,相互控制射流盲区。三分支射流孔组(TR孔组, Triple Radial Jetting)如图4所示。



图4 径向射流孔组示意

Fig.4 Triple radial jetting schematic

#### 4.4 井下定向孔形态

井下定向分支孔一般和工作面推进方向平行,从开孔位置向钻进前方呈E状分支。地层条件允许时,井下定向孔也可以采用F状、V状及Y状分支方式。

### 5 区域治理模式

#### 5.1 模式分类方法

区域治理模式分类考虑布孔影响因素、钻进方式选择、孔组类型等指标,见表1。区域治理方案制定时,根据实际施工条件选取使用的钻进方法,优化钻孔布置。将各分类指标进行编号,通过不同组合形式对应不同的区域治理模式,例如:TL-RJ-TR模式,指的是考虑治理层埋藏深度条件,选用地面径向射流的造孔技术,布设三分支径向射流孔组;GC-SDD-XJF模式,指的是考虑地面施工条件,选用地

面定向钻进方法,以斜直孔与反倾向钻进的形式施工主孔,采用 F 状分支布置顺层定向孔。

表 1 区域治理模式分类指标系统

Table 1 Regional control pattern classification indexes

| 区域治理模式分类指标 |              |                          |
|------------|--------------|--------------------------|
| 布孔影响因素     | 钻进方法         | 钻孔形态与分支类型                |
| 地面条件 (GC)  | 地面定向钻进 (SDD) | 主孔形态: Z 孔、X 孔、L 型孔; J 型孔 |
| 采掘工程 (ME)  | 地面径向射流 (RJ)  | 分支类型: V 状、F 状、Y 状、E 状    |
| 治理层特征 (TL) | 井下定向钻进 (UDD) | 特殊孔型: 三分支射流孔组 (TR 孔)     |

## 5.2 浅部构造发育区 TL-RJ-TR 模式

治理区 I 地面标高 +90 m, 基岩埋深 170~190 m, 平均埋深 190 m。煤层底板标高 -120~-180 m, 煤层底板距奥灰平均 32 m, 目标层位进入奥灰 25 m, 改造层段埋深为 260~330 m, 改造层位上部基岩厚度为 90~150 m。布孔的主控因素为目标层埋深条件 (TL), 难以施工地面定向钻孔, 且矿井未基建矿井, 没有井下巷道, 不具备井下施工条件, 因此通过直孔加径向射流钻孔进行地面区域治理 (RJ)。布置径向射流孔组 (TR), 地面直孔孔距 240 m, 排距 120 m, 地面直孔编号为: A1、A2、B1—B4、C1—C5、D1—D3 及 E1—E3。径向射流钻孔单孔深度 110 m, 通过射流孔实现治理区的全覆盖, 同时实现区内断层的探查与治理, 治理模式为 TL-RJ-TR 类型, 如图 5 所示。

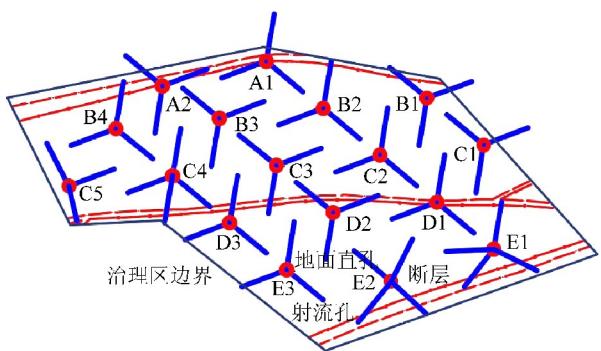


图 5 TL-RJ-TR 模式示意

Fig.5 TL-RJ-TR pattern schematic

## 5.3 中深部形态复杂区 ME-SDD+RJ-ETR 模式

治理区 II 拟开采 9 号煤, 突水系数大于 0.1 MPa/m, 治理区煤层底板标高 -260~-480 m, 改造层段埋深 -420~-640 m, 受采掘工程布设影响 (ME), 改造区为不规则的三角形。为了提高地面

孔口使用率, 减少施工占地, 在埋藏较深的区域布置地面定向孔组 (SDD), 在治理区浅部、边角及定向钻探盲区, 采用径向射流钻孔 (RJ) 补充, 实现对整个治理区域的全覆盖。定向钻孔采用 E 状分支改造工作面范围, 径向射流孔组以三分支 (TR 孔组) 为主。治理区 2 为注浆改造工程, 模式为 ME-SDD+RJ-ETR 类型, 如图 6 所示。

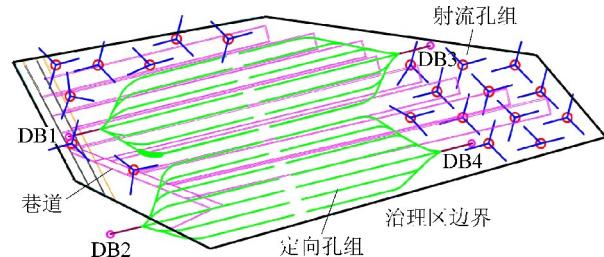


图 6 ME-SDD+RJ-ETR 模式示意

Fig.6 ME-SDD+RJ-ETR pattern schematic

## 5.4 深部开采多分区 GC-SDD-XJF 模式

治理区 III 位于市区范围, 地面村庄、建筑物较多, 可供地面钻探施工的条件有限, 且施工扰民影响较大, 综合考虑地面施工占地、交通条件 (GC), 地面孔口选择在市区东环路西侧, 交通方便, 场地开阔, 易于钻探及注浆施工。治理区分为 2 个亚区, 在下山巷道两翼布置。治理区煤层底板标高 -980~-1 250 m, -980 m 以深区域突水系数为 0.070~0.098 MPa/m, 大于构造发育区段底板临界突水系数 0.06 MPa/m。目标层选择在进入奥灰 80~100 m 位置, 治理层埋深 1 130~1 500 m。采用地面定向钻进手段施工探查治理钻孔 (SDD)。受地面施工条件限制, 采用斜直孔 (X 孔) 加 J 型上仰孔的形式施工主孔, 从而缩短靶前距, 减小盲区; 由于治理层位埋藏深, 治理层段钻进能力强, 顺层孔段钻进距离长, 通过 F 状分支, 实现探查治理孔的分区布置, 治理区 3 为探查治理工程, 模式为 GC-SDD-XJF 类型, 如图 7 所示。

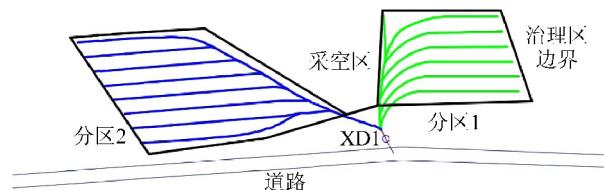


图 7 GC-SDD-XJF 模式示意

Fig.7 GC-SDD-XJF pattern schematic

## 6 结 论

1) 地面定向钻进、地面径向射流和井下定向钻

进等钻探技术应用于煤层底板水害区域治理时具有不同的优缺点,工程方案制定时要充分考虑地面条件、采掘工程和治理层特征在内的多种影响因素,选择经济可行、技术合理的钻进技术施工区域治理钻孔。

2)孔型设计时,根据钻探能力选择不同的孔型组合,确保治理区全面覆盖,不留盲区,尽量避免局部的钻孔密集区,节约钻探工程量。

3)基于布孔影响因素、钻进方式选择与孔组类型的模式分类方法可以提供从浅部到深部、构造复杂区、形态复杂区等条件的治理工程布孔法,在实际应用中通过不同组合形式及孔型变异可提高孔型组合的适用性。

4)水害区域治理模式分类可以为水害治理工程三维设计平台的研发提供依据,未来研究要从水害类型、注浆工艺及施工接续等方面,进一步细化区域治理模式分类方法。

#### 参考文献(References):

- [1] 赵庆彪.奥灰岩溶水害区域超前治理技术研究及应用[J].煤炭学报,2014,39(6):1112-1117.  
ZHAO Qingbiao.Ordoonian limestone karst water disaster regional advanced governance technology study and application [J].Journal of China Coal Society,2014,39(6):1112-1117.
- [2] 赵庆彪,张建公,王海桥.华北型煤田深部开采底板突水机理与区域治理关键技术[J].华北科技学院学报,2015,12(4):1-7.  
ZHAO Qingbiao,ZHANG Jiangong,WANG Haiqiao.Mechanism of coalfield deep mining floor water burst and key technology of regional control in North China [J].Journal of North China Institute of Science and Technology,2015,12(4):1-7.
- [3] 赵庆彪.奥灰岩溶水上带压开采区域超前治理防治水技术[J].煤炭科学技术,2014,42(8):1-4,21.  
ZHAO Qingbiao.Technology of regional advance water prevention and control applied to pressurized coal mining above Ordovician limestone karst water [J].Coal Science and Technology,2014,42(8):1-4,21.
- [4] 张继成,李科熳.井型适应性评价与优选[J].当代化工,2016,45(6):1211-1214.  
ZHANG Jicheng,LI Keman.Well type selection and evaluation of its adaption [J].Contemporary Chemical Industry,2016,45(6):1211-1214
- [5] 何东博,贾爱林,冀光,等.苏里格大型致密砂岩气田开发井型井网技术[J].石油勘探与开发,2013,40(1):79-89.  
HE Dongbo,JIA Ailin,JI Guang,*et al*.Well type and pattern optimization technology for large scale tight sand gas Sulige gas field [J].Petroleum Exploration and Development,2013,40(1):79-89.
- [6] 李腾.不同构造条件下多煤层区煤层气井井型井网优化设计[D].徐州:中国矿业大学,2014,75-79.
- [7] 鲜保安,陈彩红,王宪花,等.多分支水平井在煤层气开发中的控制因素及增产机理分析[J].中国煤层气,2005,12(1):16-19.  
XIAN Bao'an,CHEN Caihong,WANG Xianhua,*et al*.Analysis on control factors and production enhancing mechanism of multiple laterals horizontal well in developing CBM [J].China Coalbed Methane,2005,12(1):16-19.
- [8] 高德利,鲜保安.煤层气多分支井身结构设计模型研究[J].石油学报,2007,28(6):113-117.  
GAO Deli,XIAN Bao'an.Research on design models of multi-lateral well structure for coal-bed methane [J].Acta Petrolei Sinica,2007,28(6):113-117.
- [9] 鲜保安,蒋卫东,黄勇.煤层气分支井井身结构设计模型研究[J].天然气技术,2007,23(6):28-30,94.  
XIAN Bao'an,JIANG Weidong,HUANG Yong.Research on well structure design models for coalbed methane multi-branch wells [J].Natural Gas Technology,2007,23(6):28-30,94.
- [10] 尹尚先,韩永,常浩宇,等.邯邢矿区岩溶水资源优化配置研究[J].煤炭科学技术,2016,44(8):29-34.  
YIN Shangxian,HAN Yong,CHANG Haoyu,*et al*.Study on optimal allocation of karst water resources in Hanxing mining area [J].Coal Science and Technology,2016,44(8):29-34.
- [11] 张党育.深部开采矿井水害区域治理关键技术研究及发展[J].煤炭科学技术,2017,45(8):8-12.  
ZHANG Dangyu.Research and development on key technology of mine water disaster regional control in deep mine [J].Coal Science and Technology,2017,45(8):8-12.
- [12] 彭彩珍,薛晓宁,杨满平,等.页岩气藏合理开发方式及井型优选[J].油气藏评价与开发,2016,6(6):67-74.  
PENG Caizhen,XUE Xiaoning,YANG Manping,*et al*.Reasonable development method and well type selection of shale gas reservoir [J].Reservoir Evaluation and Development,2016,6(6):67-74.
- [13] 张建涛.樊庄区块煤层气井型优选与钻井方案评价[D].青岛:中国石油大学,2011:3-5.
- [14] 吴金生,张统得,刘卫东,等.高原生态脆弱区钻探技术体系综合研究与示范[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):117-121.  
WUJingsheng,ZHANG Tongde,LIU Weidong,*et al*.Research and demonstration of drilling technology system in the ecological fragile zone of plateau [J].Exploration Engineering (Rock and Soil Drilling and Tunneling),2016,43(10):117-121.