

特殊煤层盾构式“三位一体” 开采方式的研究

黄 君

(山西兰花集团芦河煤业有限公司)

摘 要:针对松软/薄等特殊煤层在钻孔、采掘及支护过程中出现施工难度大等问题,提出盾构式开采方式的理念,形成智能化(无人化)、精准化、流态化“三位一体”的综合开发方式。通过理论辩证和分析,建立了在保压条件下进行智能化监控检测、无人化盾构掘进以及流态化管道运输的开采系统,分析了盾构开采全过程中煤与瓦斯的变化情况,以及对施工过程中产生的影响。研究表明:当采用盾构式开采方式时,减少了对煤层的钻孔施工量,解决了采掘、支护困难等问题,减小因本煤层瓦斯进入巷道引起的通风压力,避免了开采过程中的人员伤亡。研究结论对今后特殊煤层的智能化、无人化、流态化开采具有重要的指导意义。

关键词:特殊煤层;盾构式;三位一体;流态化

近年来,国家大力推动新能源的发展,减少一次性能源(尤其是煤炭)的开发利用,但是,从国家统计局发布的数据来看,煤炭仍然占我国一次能源结构的60%左右,并在很长一段时间内不会大幅变化^[1,2]。因此,煤炭资源的安全、高效、稳定开采和利用是我国能源结构的重要组成部分。

我国大部分浅层煤炭资源日趋枯竭,开采深度逐渐增加,面临的诸多问题也接踵而至,其中“三低一强”的特性导致采前瓦斯抽采困难,煤与瓦斯突出和瓦斯爆炸灾害日趋严重^[3]。行业内的科研学者提

出了多种解决现状的技术措施,并构想了我国煤炭行业未来的发展方向。谢和平^[4]等人提出了对煤炭资源进行流态化开采的颠覆性科学构想,实现将煤炭资源的开采方式从固态到流态化的转变^[5,6]。王金华^[7],王国法^[8]等提出煤炭资源的智能化开采,并引入煤炭近零生态环境影响开发利用理念。袁亮^[9]等提出在传统采矿基础上,利用先进的技术和设备,发展成为以安全可靠为前提的智能少人(无人)精准开采的新模式、新方法。

综上,对于当前采用的保护层开采、无煤柱卸压

开采和未来煤炭采用智能化(无人化)、流态化以及精准化开采方式已经取得了丰硕的研究成果。但对于有效解决松软/薄等特殊煤层在钻孔、采掘及支护过程中出现施工难度大等问题的研究仍较少,现有的先进技术和理念在特殊煤层的运用和研究仍不太理想。

本文从理论的角度上分析了特殊煤层施工难度大等问题的成因。结合现有的先进技术与未来的开采理念,提出采用盾构式开采方式,建立了在保压条件下进行智能化监控检测、无人化盾构掘进以及流态化管道运输的开采系统,为安全高效开采松软/薄等特殊煤层提供理论依据。

1 特殊煤层开采现状

我国松软/薄等特殊煤层在钻孔、采掘及支护过程中出现施工难度大等问题,为此,诸多科研学者开展大量的理论研究、数值模拟和现场试验等工作。

1.1 薄煤层开采现状

相对于容易开采的中厚煤层而言,中国薄煤层分布地域广泛,其整体可采储量高达 6.0×10^9 t,占据我国煤炭可采总量的20%左右。但薄煤层的回采率仅10%,其主要原因是由于薄煤层赋存条件差、人员无法直立行走、劳动强度大,全面实现机械化开采较为困难,从而使得生产效率低下,整体开采成本较高。

随着中厚煤层的开采殆尽,薄煤层的储量在大多数重点煤矿占据的比重逐渐增加,甚至高达85%以上。如何提高薄煤层的回采率和生产效率成为之后煤矿攻克的重中之重。

1.2 松软煤层开采现状

随着开采深度的增加,高瓦斯、煤层破碎、稳定性差作为松软煤层的主要特征,其可采储量占据我

国的60%~80%。因此,松软煤层的安全、高效开采是我国煤炭行业平稳发展的重要保障。

瓦斯抽采钻孔施工过程中,由于煤质松软导致钻孔变形量大,在地应力、瓦斯压力等因素作用下,使得钻孔喷孔、塌孔、卡钻等现象时常发生,对井下工作人员的生命安全构成挑战。

1.3 钻孔塌孔成因分析

防治瓦斯异常涌出与钻孔塌孔等现象的发生,避免开采难度的增加,未施工钻孔之前,上覆岩层的载荷并没有发生变化,煤基质和内部瓦斯压力共同承担载荷压力,并维持平衡状态。随着钻孔施工的进行,平衡状态被打破,上覆岩层自身结构强度和稳定性难以支撑其载荷而发生失稳等现象。同时,由于钻孔施工上方岩层应力的迁移,使得周围煤体所受应力增加,煤基质发生压缩变形、自身煤体强度降低,瓦斯压力增加,在瓦斯的推动下,发生钻孔塌孔、喷孔等现象。

为防止类似现象的发生,在进行采煤过程中,保持带压掘进,通过增加辅助压力替换由煤基质和内部瓦斯共同承担的载荷压力,辅助压力和上覆岩层的结构强度共同维持上覆载荷,防止钻孔失稳现象的发生;同时,由于辅助压力的作用,减小了采煤上方煤岩体应力向周围的转移,避免周围煤体压缩变形导致自身强度的降低和瓦斯压力的增加。

综上所述,为了防止瓦斯异常涌出和钻孔失稳现象的发生,在采煤过程中,将作业空间进行密闭、增压,实现带压工作,可作为一种重要的技术手段。但是,对于当前传统的开采方法和技术手段还无法实现,为此,提出采用盾构式开采方式,实现在保压条件下进行智能化监控检测、无人化盾构掘进以及流态化管道运输的开采方式。

2 盾构式开采装备及工程应用

2.1 盾构式开采装备的构成

通过分析和总结前人对当前开采方式的优化和未来发展趋势的展望,提出盾构式开采方式进行煤炭资源的开采利用,最终形成智能化(无人化)、精准化、流态化三位一体的综合开采方式。盾构式开采装备作为该开采方式的核心,其主要包括盾构机、监测监控装置、增压舱室、调压舱室以及与之连通的管路、封孔材料(图1所示)。

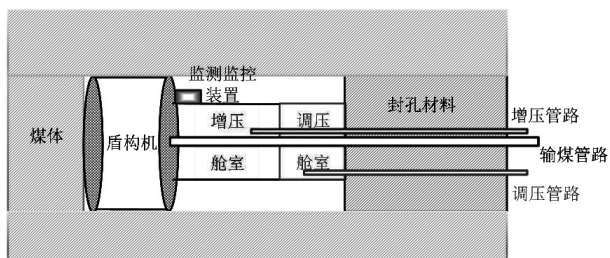


图1 盾构机及其附属装置简图

其中,构成盾构式开采装备组件的功能和用途如下:

(1)盾构机:通过驱动刀盘装置和推进油缸,不断将前方的煤体进行破碎,并通过输煤管道将其输送至地面。

(2)监测监控装置:用于实时监测盾构机周围的瓦斯浓度、压力等数据,并将其传输至井上;同时,配置有煤岩识别系统和纠偏系统,以确保煤炭开采效率。

(3)增压舱室:保证盾构式开采装备始终保持在高压条件下,当密闭空间的压力大于瓦斯压力,有效抑制周围煤层中瓦斯的扩散,从而防止瓦斯喷出(突出)现象的发生;同时密闭空间具有较高的压力条件,可以一定程度的支撑上覆岩体的压力,减少由于采动影响引起塌孔现象的发生。

(4)调压舱室:在开采工作结束后,为方便盾构式开采装备的回收,通过调压管路将密闭空间与外界连通,安全地释放密闭空间内的压力;当采掘至断层、褶曲轴部等瓦斯积聚的构造处,检测监控装置显

示密闭空间内的瓦斯浓度、压力突然增加,利用调压舱室将突出的瓦斯排出密闭空间,以确保密闭空间的稳定。

(5)封孔材料:利用聚氨酯/水泥砂浆等材料,在钻孔前段附近进行封孔作业,以确保密闭空间具有高压环境,是实现保压条件下盾构式开采的关键环节。

2.2 盾构式开采方式的工程应用

相比传统的开采方式,采用盾构式开采有其特有的优势,将现有开采方式与智能化开采理念有机结合。在现有的开采条件下,根据煤层赋存状况,实现盾构式开采方式在现场工程应用,并将其分为井下开采和地面开采两种开采方式。其中井下开采主要应用于埋藏较深的煤层群开采,地面开采主要应用于埋藏较浅/单煤层的开采。

2.2.1 盾构式开采方式与传统开采方式的对比

目前,随着开采深度的增加,“三低一强”——低压力、低渗透率、低饱和度及非均质性强的特性明显,导致高瓦斯/突出矿井的数量和比重迅速增大。瓦斯的有效抽采成为煤矿安全生产的重要保障,而抽采系统的布置无疑增加了煤炭的生产成本。同时,在煤炭的采掘过程中,为了保证井下工作人员的安全生产,提供足量的新鲜风流,增大了通风系统的压力;悬浮在空气中的粉尘时刻威胁着工作人员的身体健康,增加患有尘/硅肺病等职业病的风险。与传统开采方式相比,采用盾构式开采方式可以省去防止瓦斯喷出/突出而建立的抽采系统,极大的降低了煤炭的生产成本;同时,由于掘进过程在密闭的空间内,避免了因采掘引起的粉尘增加、瓦斯涌出等现象的产生,减小了通风系统的供风压力和职业病的威胁。

对于松软/薄等特殊煤层而言,传统开采方式除了存在上述采掘过程中的问题之外,煤层在钻孔和支护过程中也存在施工难度大等问题。在钻孔和支

护过程中,由于松软煤层高瓦斯、煤层破碎、稳定性差的特征,时常出现喷孔、塌孔、卡钻等现象,使得施工难度增加,通过采取一定的技术措施和装备支持,从而增加了生产成本。同时,由于薄煤层赋存条件差、人员无法直立行走、劳动强度大,全面实现机械化开采较为困难,影响了采煤效率。采用盾构式开采方式,减少钻孔数量和劳动强度,避免人员进入工作面,实现工作面无人化(智能化)。在工作面的密闭空间内,较高的压力支撑上覆煤岩体和煤体内瓦斯,防止了喷孔、塌孔、卡钻现象的发生。

2.2.2 井下盾构式开采

煤层群的开采过程中,由于松软/薄等特殊煤层的开采难度大和开采成本高等因素的限制,对特殊煤层的开采利用率仍较低。传统的开采方式一般通过保护层开采等卸压手段,以确保主采煤层的安全生产。井下盾构式开采是利用盾构机及附属装置从主采煤层的岩巷向目标煤层(松软/薄等特殊煤层)钻进,并通过输送管路将煤-瓦斯-水混合物经岩巷输送至地面(图2所示)。井下盾构式开采方式是传统开采方式与未来开采理念的结合体,将现有的煤/岩巷道和通风系统充分再利用,不影响现有的开采进度的同时,利用先进的盾构技术、监测监控技术、煤岩识别技术等装置,实现智能化(无人化)、精准化、流态化开采。

其中,井下盾构式开采方式主要分为3个阶段,分别为:

(1)准备阶段:在主采煤层的岩巷内寻找合适的掘进位置,盾构机在岩体内朝着特殊煤层方向钻进。为防止在揭煤过程出现瓦斯喷出/突出,当钻进至特殊煤层的安全距离附近时,利用聚氨酯/水泥砂浆等封孔材料进行封孔工作。待封孔材料凝固后,盾构机及附属装置处于一个密闭空间内,通过增加舱室和增压管路向密闭空间增压。盾构机在高压的密闭

空间内继续向特殊煤层方向掘进,直至进入煤体。

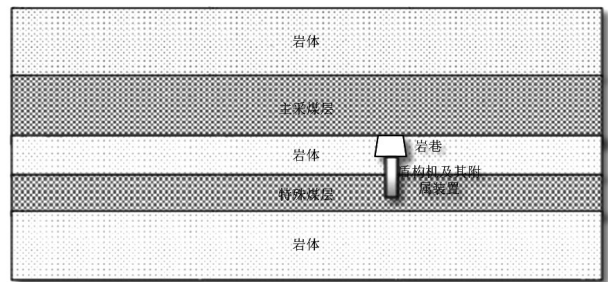


图2 井下盾构式开采方式

(2)采煤阶段:当盾构机进入煤体后,利用煤岩识别系统和纠偏系统进行采煤轨迹的实时调控,以确保采煤工作的有效性。在采煤过程中,当检测监控装置中显示密闭空间内的瓦斯浓度、压力突然增加,则表明采至“瓦斯包”等瓦斯积聚的构造处,需要利用调压舱室将涌出的瓦斯排出密闭空间,以确保密闭空间的稳定。

(3)后处理阶段:采煤工作结束后,将盾构机及其附属装置撤至封孔位置,利用调压舱室和调压管路降低密闭空间的压力与外界巷道压力一致,并将其完全撤出。重新封孔作业并留有抽采管路,该采空区为邻近煤层提供卸压条件,利用抽采管路对涌入采空区的瓦斯进行抽采工作。

2.2.3 地面盾构式开采

相对于煤层群开采,当松软/薄等特殊煤层为单煤层开采时,则采用地面盾构式开采方式。利用盾构机及附属装置在地面进行钻孔作业,并通过输送管路将煤-瓦斯-水混合物输送至地面煤-瓦斯-水分离装置,实现煤、瓦斯、水三者的分离(图3所示)。

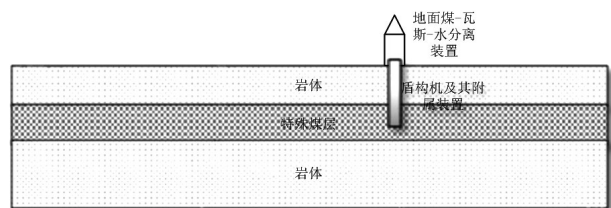


图3 地面盾构式开采方式

与井下盾构式开采方式相比,地面盾构式开采在3个阶段的差异为:

地面盾构式开采方式在准备阶段,是在地面寻找合适的掘进位置,盾构机从地面朝着特殊煤层方向钻进;在采煤阶段,与之相同;在后处理阶段,由于特殊煤层为单煤层开采,周围无邻近煤层,只需利用抽采管路对采空区周围因卸压而释放的瓦斯进行抽采即可。

3 结 论

(1)分析了当前松软/薄等特殊煤层在钻孔、采掘及支护过程中出现施工难度大的开采现状以及将其充分利用的必要性。

(2)提出了在保压条件下进行智能化监控检测、无人化盾构掘进以及流态化管道运输的盾构式开采系统。

(3)根据煤层的赋存条件,将盾构式开采分为井下盾构式开采和地面盾构式开采,并阐明了盾构式

开采3个阶段的操作流程。

参考文献:

[1]中华人民共和国统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2018.

[2]谢和平,吴立新,郑德志.2025年中国能源消费及煤炭需求预测[J].煤炭学报,2019,44(7):1949-1960.

[3]付建华,程远平.中国煤矿煤与瓦斯突出现状及防治对策[J].采矿与安全工程学报,2007,24(3):253-259.

[4]谢和平,周宏伟,薛东杰,等.我国煤与瓦斯共采:理论、技术与工程[J].煤炭学报,2014(08):1391-1397.

[5]谢和平,高峰,鞠杨,等.深地煤炭资源流态化开采理论与技术构想[J].煤炭学报,2017,42(03):547-556.

[6]谢和平,王金华,王国法,等.煤炭革命新理念与煤炭科技发展构想[J].煤炭学报,2018,43(05):1187-1197.

[7]王金华,谢和平,刘见中,等.煤炭近零生态环境影响开发利用理论和技术构想[J].煤炭学报,2018,43(05):1198-1209.

[8]王国法,庞义辉,刘峰,等.智能化煤矿分类、分级评价指标体系[J].煤炭科学技术,2020,48(3):1-7.

[9]袁亮.煤炭精准开采科学构想[J].煤炭学报,2017,42(01):1-7.

(上接第31页)

序号		
1	主体设备费用	440
2	机电设备(泵)	30
3	管道、管件、阀门	60
4	钢结构	30
5	仪表、电气及自动化控制系统	90
6	安装费用	55
7	土建费用	80
8	专利技术费、工程设计费、现场技术服务费等	35
9	合计	820

管道,不包含一次供电界区外电缆材料。

(2)吨水运行单耗及吨水运行费用

项目	吨水耗量值	单 价	吨水运行费用
电费	1.5kwh	0.5元/kwh	0.75元
蒸汽0.4MPa 温度150度	0.1t/h	100元/t	10.0元
30%液碱消耗量	10kg/h	0.75元/kg	7.50元
合计			18.25元

注:

(1)电费按照0.50元/度;0.40MPa蒸汽按100元/吨;30%碱液按750元/吨;

(2)未计算设备系统折旧费,不增加操作人员人工费用。