



您可能感兴趣的文章、专题：

“煤矿智能化综述及关键技术”专题

“我国煤矿瓦斯防治理论技术研究进展”专题

“煤地质与煤结构”专题

“煤矿安全+智能化”专题

“深部煤层瓦斯精准抽采”专题

“中国煤科首席科学家”专题

“矿井冲击地压灾害防治技术及工程实践”专题

2020 年度《煤炭科学技术》“领跑者 5000”论文

2021《煤炭科学技术》封面文章

煤炭行业青年科学家论坛(2021 年)

地球科学与测绘



移动扫码阅读

吴涛,方向清,宁树正,等.华北型煤田“三下一上”煤炭资源现状及开发利用研究[J].煤炭科学技术,2021,49(9):129-135. doi:10.13199/j.cnki.cst.2021.09.019

WU Tao, FANG Xiangqing, NING Shuzheng, et al. Study on status quo and development as well as utilization of coal resources “under buildings, water bodies, railways and above confined water” in North China Coalfields[J]. Coal Science and Technology, 2021, 49(9): 129-135. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2021.09.019

华北型煤田“三下一上”煤炭资源现状及开发利用研究

吴涛¹, 方向清², 宁树正³, 吴振岭¹, 徐飞⁴

(1.中国煤炭地质总局水文地质工程地质环境地质勘查院,河北邯郸 056004;2.中国煤炭地质总局水文地质局,河北邯郸 056000;
3.中国煤炭地质总局勘查研究总院,北京 100039;4.中国煤炭地质总局第一勘探局,河北邯郸 056000)

摘要:我国华北地区随着煤矿开采年限的增加,浅部煤炭资源越来越少,部分地区存在资源枯竭的现象。资源枯竭型矿井对“三下一上”煤炭资源的开发利用可有效延长矿井服务年限。为了合理利用我国华北经济发达地区的煤炭资源,通过对煤田地质、水文地质资料分析与研究,利用遥感解译技术手段和煤层底板突水系数法基本摸清了山西、河北、山东、河南及安徽等 5 个省的“三下一上”煤炭资源分布特征。圈定“三下”压覆面积 21 819.27 km²,估算“三下”煤炭资源量约 474.15 亿 t,占资源总量的 12.10%。其中,建筑物下煤炭资源量约 431.25 亿 t,铁路下煤炭资源量约 12.86 亿 t,水体下煤炭资源量约 30.04 亿 t。估算“一上”煤炭资源量约 954.26 亿 t,占资源总量的 24.35%。其中,埋深 600 m 以浅约 1.69 亿 t,埋深 600~1 000 m 约 311.66 亿 t,埋深 1 000~1 500 m 约 640.91 亿 t。通过“三下一上”煤炭资源开发利用技术研究,认为减沉技术和减害技术是目前“三下一上”煤炭资源开发利用最有效的技术手段。分析了制约“三下一上”煤炭资源开发利用的因素主要有成本、材料、工艺等。最后指出随着新型充填技术和开采技术的应用,大量的“三下一上”煤炭资源可被开发利用。

关键词:华北型煤田;充填技术;煤炭资源量;注浆改造

中图分类号:TD823

文献标志码:A

文章编号:0253-2336(2021)09-0129-07

Study on status quo and development as well as utilization of coal resources “under buildings, water bodies, railways and above confined water” in North China Coalfields

WU Tao¹, FANG Xiangqing², NING Shuzheng³, WU Zhenling¹, XU Fei⁴

(1.Hydrogeology Engineering Geological Environment Geology Prospecting Institute, China National Administration of Coal Geology, Handan 056004, China;
2.Hydrogeological Exploration Bureau, China National Administration of Coal Geology, Handan 056000, China; 3.Prospecting Institute, China National Administration of Coal Geology, Beijing 100039, China; 4.First Exploration Bureau, China National Administration of Coal Geology, Handan 056004, China)

Abstract: With the increase of coal mining years in North China, shallow coal resources are becoming less and less, and there is a phenomenon of resource depletion in some areas. The development and utilization of coal resources “under buildings, water bodies, railway-sand above confined water” in resource exhausted mines can effectively extend the service life of the mines. In order to make rational use of the coal resources in the economically developed areas of North China, the distribution characteristics of coal resources in Shanxi, Hebei, Shandong, Henan and Anhui provinces were basically figured out by analyzing and studying the geological and hydrogeological data of coal fields, remote sensing interpretation technology and water inrush coefficient method of coal seam floor. The coverage areas “under buildings, water bodies and railways” are 21 819.27 km². It is estimated that the coal resources “under buildings, water bodies and railways” are about 47.415 billion tons, accounting for 12.10% of the total resources. Among them, the coal resources under buildings are approximately 43.125 billion tons, coal resources under railways are approximately 1.286 billion tons, and coal resources under water

收稿日期:2021-02-21;责任编辑:王晓珍

基金项目:中国地质调查局地质调查基金资助项目(DD20160187)

作者简介:吴涛(1984—),男,山东临沭人,高级工程师,硕士。E-mail:wt1273@qq.com

通讯作者:方向清(1961—),男,安徽岳西人,教授级高级工程师。E-mail:314667824@qq.com

bodies are approximately 3.004 billion tons. It is estimated that the coal resources above confined water are about 95.426 billion tons, accounting for 24.35% of the total resources. Among them, the buried depth is about 169 million tons below 600 m, the burial depth is about 31.166 billion tons in the depth of 600~1 000 m, and about 64.091 billion tons in the depth of 1 000~1 500 m. Through the research on the technology of coal resource development and utilization in “under buildings, water bodies, railways, and above confined water”, it is believed that the technologies of reducing subsidence and harm are the most effective technical means of coal resource development and utilization in “under buildings, water bodies, railways and above confined water”. The main factors restricting the development and utilization of coal resources, such as cost, material and technology were analyzed. Finally, it is pointed out that with the application of new filling technology and mining technology, a large amount of coal resources “under buildings, water bodies, railways and above confined water” can be developed and utilized.

Key words: North China Coalfield; filling technology; coal resources; grouting transformation

0 引言

华北型煤田位于我国华北地台范围内,北起阴山构造带,南至秦岭构造带,西起贺兰山构造带,东至海岸线,广泛分布在山西、河北、河南、安徽、山东、江苏等省的石炭二叠纪煤田^[1]。其中,山西、河北、山东、河南、安徽等5个省人口密度大,在建筑物下、铁路下、水体下压覆了大量的煤炭资源,并且深部的煤层受底板奥灰水威胁严重。根据第4次全国煤炭资源潜力调查评价成果,山西、山东、河南、河北及安徽5个省煤炭资源总量约3 919.24亿t^[2-5],占全国资源总量的24%左右,在33个国家规划矿区中,资源量百亿吨以上的矿区有15个,其中山西就有13个。山西省也是5个省中煤炭资源最多的省份,占5个省煤炭资源总量的78%。由于山西、河北、山东、河南、安徽等5个省煤炭资源开发程度大,浅部煤炭资源日益减少,存在部分矿井因可采资源枯竭而面临关闭的问题。

“三下一上”煤炭资源的合理开发利用一直是研究热点,随着多年的研究与试验,“三下一上”煤炭资源开发利用技术得到了快速发展。郭文兵等^[6]从减沉控损开采技术入手,简要概述了“三下一上”采煤技术现状,总结了我国“三下一上”采煤技术方法和安全计算措施。赵庆彪^[7]针对“一上”煤炭资源开采,提出了区域超前治理防治水技术,在邯邢矿区得到了应用与推广。近年来,部分矿井已经进行了“三下一上”煤炭资源的开采工作,积累了大量技术经验。

目前,山西、河北、河南等5个省“三下一上”煤炭资源分布情况研究程度不够,对现有“三下一上”煤炭资源开发利用技术手段及存在的问题没有系统的研究。基于此,笔者开展了“三下一上”煤炭资源分布研究及开发利用研究,对煤炭资源枯竭的地区优化产业布局,延长矿井服务年限有

一定的指导意义。

1 “三下一上”煤炭资源分布

1.1 “三下一上”煤炭资源概念

通常来讲,“三下一上”煤炭资源是指煤矿区范围内建筑物下、水体下、铁路下(以下称“三下”)压覆的煤炭资源和承压水体上(以下称“一上”)的这部分煤炭资源。这部分煤炭资源在没有技术保障措施的前提下是不能用普通方法进行开采的,强行开采会引起地面设施的损坏或井下突水事故的发生。

1.2 华北型煤田煤水叠置关系

1) 岩溶水系统。山西、河北、山东、安徽、河南共有岩溶水系统93个,与煤矿区有关的岩溶水系统有66个,规划矿区大多分布在岩溶水系统的径流区及排泄区,形成了水煤共存的特性^[8-10]。中奥陶统碳酸盐岩的厚度和岩性影响了岩溶发育、分布及含水性等特征。在华北型煤田中,中奥陶统碳酸盐岩有着从南往北,由西向东逐渐变厚的趋势。在南部的义马矿区、平顶山矿区及淮南矿区,中奥陶统厚度较薄,岩性以白云岩为主,岩溶不甚发育,含水性一般较弱;在中部地区,包括山西矿区、太行山以东的邯邢矿区、太行山南侧的焦作及郑州矿区、鲁中东矿区、开滦矿区等地,中奥陶统厚度中等偏厚,岩性为含石膏的各类碳酸盐岩,岩溶发育,含水性强。

2) 奥灰水水头压力与隔水层厚度特征。奥灰水压呈中东部较高、西部较低的特点。如东部的济宁矿区、淮南矿区一带奥灰水压为6~10 MPa,中部的焦作矿区、峰峰矿区一带为4~8 MPa,山西为3~4 MPa。以上是目前开采地段的水压,随着开采深度的增加,水压将逐渐增大。

中石炭统本溪组是华北型煤田的区域隔水层,本溪组的厚度对带压煤层的安全开采起到至关重要的作用。一般规律是向西、向北变厚,如开滦为170 m,沿太行山向南变薄,峰峰矿区、焦作矿区、晋城矿区、潞安矿区厚度在25 m左右;东部、西部各矿

区较厚,大多数矿区厚度 40~50 m,而淮南及淮北则大于 100 m。

1.3 调查评价方法

1.3.1 资源量估算方法

“三下一上”煤炭资源量的估算是以矿区为单元,在 1:100 000 及以上比例尺的煤炭资源分布图或煤层底板等高线图上进行,采用计算机软件对评价区内“三下一上”煤炭资源面积进行圈定并估算埋深 1 500 m 以浅的“三下一上”煤炭资源量。资源量的估算方法主要采用地质块段法,即

$$Q=SMd$$

式中: Q 为资源量,万 t; S 为块段面积, km^2 ; M 为块段煤层的平均厚度,m; d 为煤的视密度, t/m^3 。

1.3.2 “三下一上”资源面积获取技术方法

1)“三下”资源面积的确定。“三下”压覆面积主要是通过卫片的遥感解译获取,提取建筑物、铁路和水体的信息。并将解译的信息叠加到煤炭资源分

布图或煤层底板等高线图上,进一步统计出建筑物下、铁路下和水体下压覆煤炭资源的面积。

2)“一上”资源面积的确定。煤层开采受奥灰水的威胁,目前常用突水系数法进行评价。突水系数越大,说明受奥灰水威胁越严重。正常地段以突水系数 0.1 MPa/m 为临界值,评价煤炭资源开采的安全性。根据矿区内的钻孔资料、奥灰水水位资料,利用突水系数法计算带压煤层的突水系数,生成突水系数等值线,圈定突水系数大于 0.1 MPa/m 的区域,即“一上”煤炭资源的面积。

1.4 “三下一上”煤炭资源分布

1.4.1 “三下”煤炭资源分布

1)“三下”资源面积。通过对山西、河北、河南等 5 个省国家规划矿区遥感解译,初步圈定了山西、河北、河南等 5 个省“三下”压覆总面积约 21 819.27 km^2 ,约占煤炭资源面积的 18.94%。其中建筑物下 19 963.92 km^2 ,水体下 1 493.07 km^2 ,铁路下 362.28 km^2 (表 1)。

表 1 “三下”压覆面积

Table 1 Coverage area under buildings, water bodies and railways

省份	“三下”压覆面积/ km^2			小计	煤炭资源面积/ km^2	“三下”压覆面积占比/%
	建筑物下	铁路下	水体下			
山西	4 321.01	296.23	145.67	4 762.91	45 576	10.45
河北	1 099.34	32.13	116.56	1 248.03	4 068	30.68
河南	6 101.70	91.46	492.79	6 685.95	26 687	23.13
山东	5 017.85	77.28	241.41	5 336.54	22 659	23.55
安徽	3 424.02	15.75	346.08	3 785.85	14 210	26.64
合计	19 963.92	362.28	1 493.07	21 819.27	115 200	18.94

2)“三下”煤炭资源及分布特征。经估算,埋深 1 500 m 以浅的山西、河北、河南等 5 个省的“三下”煤炭资源约 474.15 亿 t,约占资源总量的 12.10%(表 2)。建筑物下压煤最多,占“三下”压煤总量的 90.95%;水体下压煤占总压煤量的 6.34%;铁路下压煤最少,占“三下”压煤总量的 2.71%。5 个省份中山西省“三下”煤炭资源最多,其次为河南省。在国家规划矿区中大同、朔南、霍州、晋城、潞安、阳泉、淮北等矿区“三下”煤炭资源量相对较多,均在 20 亿 t 以上。离柳、河保偏、开滦、平顶山、永夏、巨野等矿

区“三下”煤炭资源量均在 10 亿 t 以上。其他矿区“三下”煤炭资源量均低于 10 亿 t。

从“三下”压覆资源量占比分析,“三下”占比最大是河北省,为 27.46%;其次是山东省,为 21.66%;再次是河南省,为 20.50%;占比最小的是山西省,约 9.99%。占比大小与地区的经济发展呈顺向分布,并与地理特征密切相关,河北、山东、河南省煤矿区地貌特征多以平原为主,经济较发达,人口数量多,村庄、厂房等建筑物相对较密集,山西省煤矿区地面特征多以低山、丘陵为主,人口密集度相对较低。

表 2 “三下”煤炭资源量统计

Table 2 Statistics of coal resources amount under buildings, water bodies and railway

省份	“三下”压覆煤炭资源量/亿 t				煤炭资源量/亿 t	“三下”压覆资源量占比/%
	建筑物下	铁路下	水体下	小计		
山西	277.99	10.70	17.68	306.37	3 067.63	9.99
河北	33.89	0.86	4.25	39.00	142.00	27.46
河南	49.39	0.68	3.83	53.90	262.99	20.50
山东	31.75	0.51	1.44	33.70	155.57	21.66
安徽	38.23	0.11	2.84	41.18	291.05	14.15
合计	431.25	12.86	30.04	474.15	3 919.24	12.10

1.4.2 “一上”煤炭资源分布

1) “一上”资源面积。采用煤层底板突水系数法,对规划矿区内带压煤层突水系数大于 0.1 MPa/m 的区域进了圈定。“一上”煤炭资源总面积约

32 617.01 km²,约占煤炭资源面积的 28.31% (表 3)。山西省“一上”煤炭资源面积最多,约占 5 个省“一上”资源面积的39.35%。河北省是“一上”资源面积占比最大的省,约为 40.78%。

表 3 “一上”煤炭资源面积统计

Table 3 Statistics of coal resource area above confined water

省份	不同埋深“一上”煤炭资源面积/km ²				煤炭资源面积/km ²	“一上”资源面积占比/%
	0~600 m	600~1 000 m	1 000~1 500 m	小计		
山西	21.21	4 033.28	8 781.72	12 836.21	45 576	28.16
河北	16.43	836.40	804.00	1 658.80	4 068	40.78
河南	—	4 136.00	4 652.00	8 788.00	26 687	32.93
山东	—	2 410.00	4 272.00	6 682.00	22 659	29.49
安徽	—	—	2 652.00	2 652.00	14 210	18.66
合计	37.64	11 415.68	21 161.72	32 617.01	115 200	28.31

2) “一上”煤炭资源及分布特征。经估算,埋深 1 500 m 以浅的山西、河北、河南等 5 个省的“一上”

煤炭资源量约 954.26 亿 t,占资源总量的 24.35% (表 4)。

表 4 “一上”煤炭资源量统计

Table 4 Statistics of coal resources above confined water

省份	不同埋深“一上”煤炭资源量/亿 t				煤炭资源量/亿 t	“一上”资源量占比/%
	0~600 m	600~1 000 m	1 000~1 500 m	小计		
山西	1.23	233.93	509.34	744.5	3 067.63	24.27
河北	0.46	20.91	20.10	41.47	142.00	29.20
河南	—	41.22	51.82	93.04	262.99	35.38
山东	—	15.60	26.34	41.94	155.57	26.96
安徽	—	—	33.31	33.31	291.05	11.44
合计	1.69	311.66	640.91	954.26	3 919.24	24.35

根据煤层埋深条件来划分,在埋深 1 000—1 500 m 的“一上”煤炭资源最多,占“一上”煤炭资源总量的 67.16%;其次是埋深 600—1 000 m 的“一上”煤炭资源,占“一上”煤炭资源总量的 67.16%,占“一上”煤炭资源总量的 32.66%;埋深 600 m 以浅“一上”煤炭资源最少,说明煤层埋深越深受岩溶水威胁越严重。

华北型煤田“一上”煤炭资源由东向西逐渐增多(图 1)。山西省“一上”煤炭资源最多,占“一上”煤炭资源总量的 78.02%。其次为河南省,占“一上”煤炭资源总量的 9.75%。从矿区位置分布来看,中西部的矿区“一上”煤炭资源最多,北部的大同矿区、开滦矿区、南部的淮北、淮南矿区“一上”煤炭资源相对最少。“一上”煤炭资源的分布与煤层所在的水文地质条件有重要的关联。

2 “三下一上”煤炭资源开发利用技术

我国“三下一上”煤炭资源开发始于 20 世纪 50 年代后期,近几年发展迅速,在多个矿区如开滦、峰峰、鹤壁、焦作、邢台、肥城、新汶、淮南等都进行“三

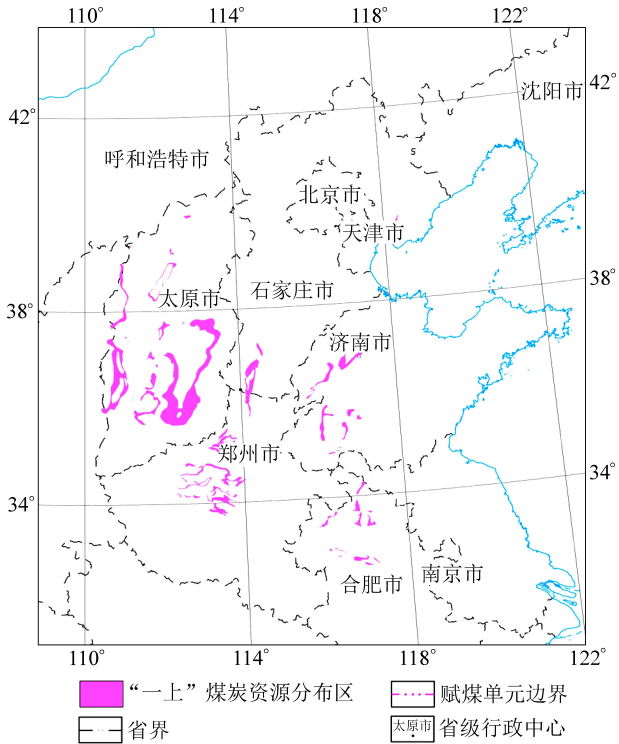


图 1 “一上”煤炭资源分布

Fig.1 Distribution of coal resources above confined water

下一上”采煤工作,平均每年采煤量在 3 000 万 t 左右。据不完全统计,我国“三下一上”煤炭资源仅开采出 10 多亿 t,但仍有大量的“三下一上”煤炭资源没有被开采出。“三下”煤炭资源的开发利用面临的首要问题是减少采空沉降,从而避免地表建筑物、水体、铁路因地面沉降而造成的破坏。“一上”煤炭资源开发利用面临的首要问题是解决或减小煤层底板奥灰水水害威胁,最大程度降低奥灰水水害事故的发生。目前“三下一上”煤炭资源开采常用到的技术手段有:适用于“三下”采煤的减沉技术和适用于“一上”采煤的减害技术。

2.1 减沉技术

减沉技术主要有充填开采和离层注浆技术。充填开采是煤矿绿色开采的主要技术之一,通过充填系统将充填材料传送至采空区,提高采出率,实现置换煤炭、控制围岩变形的目的^[11]。由于其有效控制了围岩的变形与破坏,对控制地面沉降、减少地表变形起到了一定的作用,是“三下”煤炭资源开采的主要技术方法之一。根据充填材料的材质特征可以分为:膏体充填、矸石充填、高水材料充填。

矸石充填的方式多样,主要包括自留充填、人工充填、机械充填和风力充填,关键设备是输送系统、充填支架和抛矸机,适用于构造复杂、主采或配采、普通保护体的地区^[12-13]。膏体充填采煤技术是把煤矸石、粉煤灰、河砂、劣质土等在地面加工成膏状体,膏体固体充填材料一般破碎至 25 mm 以下,充填材料的质量分数一般在 65%~85%,采用充填泵或重力加压,通过管道输送到采空区。关键设备是地面加工站、输送系统和密闭封堵系统。适用于煤层稳定、顶底板岩性稳定、重要保护体的地区^[14-15]。超高水材料填充技术,是将 2 种含水量高、流动性好的高水材料由地面工作站通过 2 根管道输送井下混合凝固后进行充填^[16]。核心技术是充填材料的制作,关键技术是井下充填技术。关键设备是输送系统、密闭封堵系统和井下搅拌站。由于充填材料的流动性强,充填面最好倾斜,顶底板岩性完整。适用于单一煤层、顶底板岩性完整、缺少固体充填材料、普通保护体地区。

离层注浆技术是适用“三下”采煤的新技术,通过地面注浆孔经超高水材料或粉煤灰等充填材料注入到覆岩破坏的离层空间内(图 2)。控制覆岩的进一步破坏,起到减小地表下沉的目的^[17]。主要适用于大采深、覆岩层厚度大、有离层带的地区。

2.2 减害技术

减害技术主要有煤层底板注浆、疏排带压开采

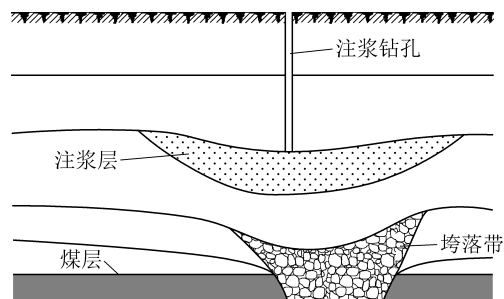


图 2 离层注浆示意

Fig.2 Separation grouting diagram

技术。煤层底板注浆技术充分体现了源头治理的现代绿色安全开采理念,对保护地下含水层起到了作用。承压煤层的底板注浆可分为地面注浆和井下注浆 2 种方式。井下注浆往往是点或线上的注浆,而地面注浆通常为区域性的注浆。定向钻技术和分支技术的应用,使得地面注浆治理目的性更强,治理效果更好。通过煤层底板注浆可以加固底板破碎地带,或改造含水层为隔水层,相对增加承压煤层底板抗压水性能,以此来解决承压煤层底板突水问题^[18]。

当前,水平分支注浆治理技术被广泛应用于承压煤层底板改造中^[19-22]。其中,“羽状水平分支井轨迹精细刻画技术”对煤矿底板隔水层进行区域加固治理取得了较好的社会效益。冀中能源集团梧桐庄矿二、六、八采区采用该技术方法进行了区域治理。梧桐庄矿区域治理水平分支孔剖面如图 3 所示。

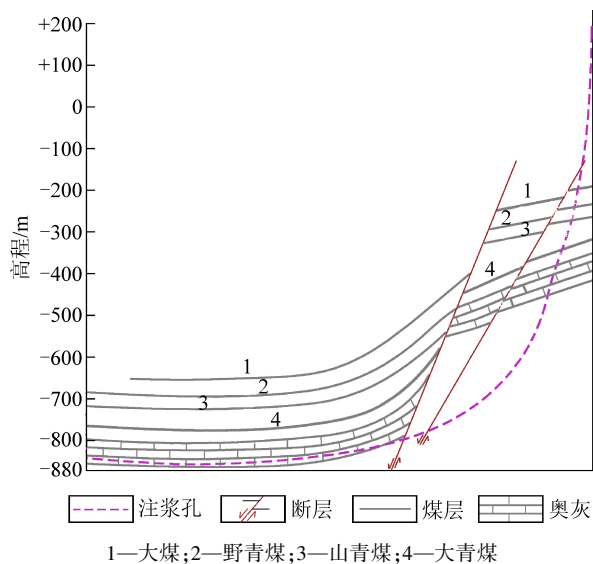


图 3 水平分支孔剖面

Fig.3 Profile of horizontal branch hole

3 存在问题和前景分析

3.1 存在的问题

近几年随着“三下一上”采煤技术的发展,“三

下一上”煤炭资源的开发利用取得了重大的成果,但仍存在一些问题,主要表现在以下4个方面:

1)膏体和高水材料充填需要备用工作面,不能同煤层开采同时进行。膏体和高水充填材料不但需要严格的密闭空间,而且凝结固化需要较长的时间,造成了生产效率不高。

2)充填开采需要建设充填系统、输送系统等,前期投入大,煤炭采出成本每吨约增加50~100元,某种程度上对该技术的普及有所制约。

3)目前煤矿的充填开采用到的材料主要为煤矸石、粉煤灰等,由于煤矸石和粉煤灰产量相对煤炭开采量低,不能满足长远的充填开采要求,急需一种新型的、稳定的、环保的充填材料。

4)目前对于煤层底板注浆治理工程没有设计、施工、质量验收等规范性文件,不利于煤层底板注浆质量的管控和评价。

3.2 开发利用前景

近几年,随着钻探注浆工艺的提升及充填材料的持续改进。充填采煤技术越发成熟,煤层底板注浆治理效果日益显著。地下气化技术也由试验阶段转向工业生产^[23-24]。这些技术的提升与应用,预示着“三下一上”煤炭资源,有很大的可供开发潜力。为了更好地开发利用“三下一上”煤炭资源,今后工作开展方向有以下5点:

1)加强高效充填技术的研究与应用,提升充填设备的自动化水平。加强研究充填与开采平行作业技术,实现开采与充填同时进行,从而提高充填效率,降低充填开采的成本。

2)膏体和高水材料对充填空间密闭技术要求高,当前人工铺设塑料布效率低、成本高,急需研发一种新型的空间密闭材料与设备,增加工作效率,降低投入成本。

3)加强新型、高效、环保、低成本充填材料或注浆材料的研发。充填材料或注浆材料的性能直接决定了充填或注浆效果,应深入研究充填材料的相关特性,研发适用性更强、更经济、更环保的新型注浆材料。

4)进一步完善煤层底板注浆行业标准,明确钻探工艺、注浆要求、验收标准等,建立健全煤层底板注浆的管理体系。

5)今后应加快地下气化、液化技术适用条件研究,研究及评价适合地下气化、液化的煤质及地质、水文地质条件。使地下气化、液化技术等特殊采煤技术成为解决“三下一上”采煤新的技术方法。

4 结 语

通过分析研究,河北、山西等5个省份“三下一上”煤炭资源量约千亿吨,有很大的开发利用潜力。充填采煤技术和煤层底板注浆治理技术近几年发展迅速,在开滦、峰峰、焦作、邢台、淮南等矿区得到了较好的应用,取得了良好的效果,成功解放了部分“三下一上”煤炭资源。有待进一步加强该技术的推广工作,使各大矿区“三下一上”煤炭资源能得到有效的利用。通过分析研究,当前我国“三下一上”煤炭资源的开发利用仍存在一定问题。因此,需要煤矿生产企业要从思想上转变认识,加大科研投入力度,进一步改进充填材料的性能,进一步尝试特殊开采技术,如地下气化、无人化采煤等,提高“三下一上”煤炭资源利用率。

参考文献(References):

- [1] 孙杰,陈美英,唐朝苗,等.我国煤炭资源勘查现状跟踪研究[J].中国煤炭地质,2017,29(11):1-8.
SUN Jie, CHEN Meiyang, TANG Chaomiao, *et al.* Tracking study on the present situation of coal resources exploration in China [J]. Coal Geology of China, 2017, 29(11): 1-8.
- [2] 王永,王冬,康高峰,等.中国可供性煤炭资源潜力分析[J].中国地质,2009,36(4):845-852.
WANG Yong, WANG Tong, KANG Gaofeng, *et al.* Analysis of the potential of Chinese available coal resources [J]. Geology in China, 2009, 36(4): 845-852.
- [3] 王冬,邵龙义,夏玉成,等.中国煤炭地质研究取得的重大进展与今后的主要研究方向[J].中国地质,2017,44(2):242-262.
WANG Tong, SHAO Longyi, XIA Yulong, *et al.* Significant progress in Chinese coal geological research and future major research directions [J]. Geology in China, 2017, 44(2): 242-262.
- [4] 张增奇,梁吉坡,李增学,等.山东省煤炭资源与赋煤规律研究[J].地质学报,2015,89(12):2351-2362.
ZHANG Zengqi, LIANG Jipo, LI Zengxue, *et al.* Study on coal resources and coal-bearing regularity in Shandong Province [J]. Acta Geologica Sinica, 2015, 89(12): 2351-2362.
- [5] 张苗,郝珺,刘炎昊.河南省煤炭资源现状及其潜力评价[J].中国煤炭地质,2011,23(8):85-89.
ZHANG Miao, HAO Jun, LIU Yanhao. Present situation and potential evaluation of coal resources in Henan Province [J]. Coal Geology of China, 2011, 23(8): 85-89.
- [6] 郭文兵,马志宝,白二虎.我国煤矿“三下一上”采煤技术现状与展望[J].煤炭科学技术,2020,48(9):16-26.
GUO Wenbing, MA Zhibao, BAI Erhu. Current status and prospect of coal mining technology under buildings, water bodies and railways, and above confined water in China [J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(9): 16-26.
- [7] 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. Research and application of advanced treatment technology in Ordovician limestone karst water hazard area [J]. Journal of China Coal Society,2014,39(6):1112-1117.
- [8] 方向清,王红燕,万雪林,等.华北型煤田下组煤突(涌)水模式及特征[J].中国煤炭地质,2015,27(8):38-42.
- FANG Xiangqing, WANG Hongyan, WAN Xuelin, *et al.* Model and characteristics of coal burst (Pinrush) water in the lower group of North China coal field[J]. Coal Geology of China, 2015, 27(8): 38-42.
- [9] 方向清,傅耀军,王红燕,等.华北型煤田岩溶水矿床充水模式及特征[J].中国煤炭地质,2013,25(9):32-36.
- FANG Xiangqing, FU Yaojun, WANG Hongyan, *et al.* Water filling model and characteristics of karst water deposits in North China type coalfields [J]. Coal Geology of China, 2013, 25(9): 32-36.
- [10] 孙文洁,王亚伟,李学奎,等.华北型煤田矿井水文地质类型与安全事故分析[J].煤炭工程,2015,47(6):103-105.
- SUN Wenjie, WANG Yawei, LI Xuekui, *et al.* Analysis of hydro-geological types and water hazard accidents in North China Coalfield [J]. Coal Engineering, 2015, 47(6): 103-105.
- [11] 孙 宁,王其杰,徐振鲁,等.深部中厚煤层工作面矸石充填技术理论研究[J].中国煤炭,2019,45(7):106-110.
- SUN Ning, WANG Qijie, XU Zhenlu, *et al.* Theoretical research on gangue filling technology in deep medium thick coal seam working face [J]. China Coal, 2019, 45(7): 106-110.
- [12] 谢德瑜.建筑物下矸石充填巷式开采技术应用[J].煤炭工程,2011(9):31-33.
- XIE Deyu. Application of waste filling roadway mining technology under buildings [J]. Coal Engineering, 2011(9): 31-33.
- [13] 祁和刚,张 农,李 剑,等.煤矿“短充长采”科学开采模式研究[J].煤炭科学技术,2019,47(5):1-11.
- QI Hegang, ZHANG Nong, LI Jian, *et al.* Research on the scientific mining mode of "short filling and long mining" in coal mines [J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(5): 1-11.
- [14] 宋光远,周华强.膏体充填回收条带煤柱覆岩活化规律研究[J].煤矿开采,2019,50(2):228-31.
- SONG Guangyuan, ZHOU Huaqiang. Study on activation law of overburden rock in paste filling and recovery strip [J]. Coal Mining Technology, 2019, 50(2): 228-31.
- [15] 余伟健,冯 涛,王卫军.充填开采的协作支撑系统及其力学特征[J].岩石力学与工程学报,2012,31(S1):2803-2813.
- YU Weijian, FENG Tao, WANG Weijun. Collaborative support system for filling mining and its mechanical characteristics [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(S1): 2803-2813.
- [16] 孙希奎.矿山绿色充填开采发展现状及展望[J].煤炭科学技术,2020,48(9):48-55.
- SUN Xikui. Development status and prospect of green filling mining in mines [J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(9): 48-55.
- [17] 许家林,轩大洋,朱卫兵,等.基于关键层控制的部分充填采煤技术[J].采矿与岩层控制工程学报,2019,1(2):69-76.
- XU Jialin, XUAN Dayang, ZHU Weibing, *et al.* Partial filling coal mining technology based on key stratum control [J]. Journal of Mining and Strata Control Engineering, 2019, 1(2): 69-76.
- [18] 金 鑫,段会军,崔岩波,等.桑树坪矿煤层底板注浆加固定向钻孔钻进技术[J].煤炭工程,2016,50(1):45-47,51.
- JIN Xin, DUAN Huijun, CUI Yanbo, *et al.* Directional drilling technology for grouting reinforcement of coal seam floor in Sangshuping mine [J]. Coal Engineering, 2016, 50(1): 45-47, 51.
- [19] 张党育,蒋勤明,高春芳,等.华北型煤田底板岩溶水害区域治理关键技术研究进展[J].煤炭科学技术,2020,48(6):31-36.
- ZHANG Dangyu, JIANG Qinming, GAO Chunfang, *et al.* Research progress on key technologies for regional treatment of karst water disaster in the floor of North China Coalfield [J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(6): 31-36.
- [20] 王 桦.定向钻孔技术在我国煤矿地层注浆改造中的应用及发展[J].煤炭工程,2017,49(9):1-5.
- WANG Hua. Application and development of directional boring technology in grouting reform of coal mines in China [J]. Coal Engineering, 2017, 49(9): 1-5.
- [21] 李长青,方 俊,李泉新,等.煤层底板超前注浆加固定向孔注浆工艺技术[J].煤田地质与勘探,2014,42(8):59-63.
- LI Changqing, FANG Jun, LI Quanxin, *et al.* Technology of directional hole grouting for advanced grouting reinforcement of coal seam floor [J]. Coal Geology & Exploration, 2014, 42(8): 59-63.
- [22] 杨 鑫.承压水上开采底板注浆效果综合检验技术[J].工程勘察,2015,43(7):91-95,98.
- YANG Xin. Comprehensive inspection technology of floor grouting effect in confined aquatic mining [J]. Engineering Survey, 2015, 43(7): 91-95, 98.
- [23] 张华兴.对“三下”采煤技术未来的思考[J].煤矿开采,2011,16(1):1-4.
- ZHANG Huaxing. Thoughts on the future of "three down" coal mining technology [J]. Coal Mining Technology, 2011, 16(1): 1-4.
- [24] 陈石义,李乐忠,崔景云,等.煤炭地下气化(UCG)技术现状及产业发展分析[J].资源与产业,2014,16(5):129-135.
- CHEN Shiyi, LI Lezhong, CUI Jingyun, *et al.* Technical status and industrial development analysis of coal underground gasification (UCG) [J]. Resources and Industry, 2014, 16(5): 129-135.