神东矿区世界一流矿井建设示范经验及实用技术

年产 1 400 万 t 大采高工作面关键技术研究

代贵生[1],周海丰[2]
(1. 神华神东煤炭集团有限责任公司 大柳塔煤矿,内蒙古 鄂尔多斯 017209;2. 神华神东煤炭集团有限责任公司 生产管理部,陕西 神木 719315)

摘 要: 基于神东矿区浅埋深大采高工作面年产 1 400 万 t 的生产经验,在分析工作面地质条件的基础上,介绍了大采高工作面巷道布置和设备配套情况,并对大采高工作面顶板岩层控制、巷道支护、末采贯通、两端头垂直过渡、巷道底鼓治理、防止煤壁片帮等关键技术进行研究。结果表明: 末采贯通期间对挂网工艺进行优化,将大采高工作面末采挂网时间由原来的 7 d 缩短为 2.5 d; 大采高工作面两端头采用垂直过渡后单工作面多采出煤炭约 120 万 t,煤炭采出率提高约 2%; 通过采用超前起底 + 预制混凝土块 + 密集单体 + 帮部加固联合治理底鼓的工艺,工作面在底鼓段的推进速度提高了 10 倍。通过采取一系列的关键技术,保证了工作面安全高效回采,实现了单工作面年产 1 400 万 t 的目标。

关键词: 大采高工作面; 高产高效矿井; 浅埋深煤层; 岩层控制
中图分类号: TD82 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253 - 2336(2014)12 - 0120 - 05

Study on Key Technology of High Cutting Coal Mining Face with Annual Coal Production of 14 Million Tons

DAI Gui - sheng[1], ZHOU Hai - feng[2]
(1. *Daliuta Mine, Shenhua Shendong Coal Group Corporation Limited, Ordos* 017209, *China*;
2. *Department of Production Management, Shenhua Shendong Coal Group Corporation Limited, Shenmu* 719315, *China*)

Abstract: In view of production experiences on a high cutting coal mining face with an annual coal production of 14 million t in a shallow depth seam of Shendong Mining Area, based on the analysis on geological conditions of the coal mining face, the paper introduced the gateway layout of a high cutting coal mining face and the equipment matched condition and had a study on the roof strata control, gateway support, terminal mining cut - through, two face end vertical transition, control of gateway floor heave, coal wall spalling prevention and other key technologies of the high cutting coal mining face. The results showed that during the terminal mining period, with an optimization made on the steel mesh paving technique, a steel mesh paving time at the terminal mining of the high cutting coal mining face was reduced from 7 days to 2.5 days. After the vertical transition applied to the two face ends of the high cutting coal mining face, about 1.2 million tons coal additionally were mined from a single coal mining face and a coal mining recovery rate was improved by about 2%. With a pilot floor dinting + premade concrete block + intensive single props + sidewall reinforcement combined floor control techniques applied, an advancing rate of the coal mining face at the floor heave section was increased by 10 times. With a series of key technology applied, a safety and high efficient mining of the coal mining face could be ensured and the target of the annual production of 14 million t per single coal mining face could be realized.

Key words: high cutting coal mining face; high production and high efficient mine; shallow depth seam; rock strata control

0 引 言

自 20 世纪 90 年代以来,高新技术不断向传统采矿领域渗透,美、澳、英、德等国家采用了大功率可控传动、微机工况监测监控、自动化控制、机电一体化设计等先进技术[1-4]。神华神东煤炭集团有限责

收稿日期: 2014 - 07 - 11; **责任编辑:** 杨正凯 **DOI:** 10.13199/j.cnki.cst.2014.12.031
基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划) 资助项目(2012AA062203)
作者简介: 代贵生(1973—),男,甘肃泾川人,高级工程师,硕士,现任神华神东煤炭集团有限责任公司大柳塔煤矿矿长。
引用格式: 代贵生,周海丰. 年产 1 400 万 t 大采高工作面关键技术研究[J]. 煤炭科学技术,2014,42(12):120 - 124.
DAI Gui - sheng, ZHOU Hai - feng. Study on Key Technology of High Cutting Coal Mining Face with Annual Coal Production of 14 Million Tons [J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(12): 120 - 124.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

任公司(以下简称神东集团) 采用国际先进的一矿一面生产模式,将引进的先进技术装备和神东矿区煤炭资源优势相结合,形成了 4 ~ 6 m 厚煤层年产 8 ~ 10 Mt 一次采全高采煤技术。先后完成了综采工作面年生产能力由 800 万 t 到 1 000 万 t,再到 1 200 万、1 400 万 t 的升级,先后建成了世界上首个 6.3、7.0 m 大采高重型综采工作面。2004 年神东集团上湾煤矿 5.5 m 大采高工作面创造了单面年产 1 075 万 t 原煤的世界纪录[5-10]。2005 年潞安集团王庄煤矿综采一队采用全套国产大功率设备,创造了单面年产达 608.386 万 t 原煤的纪录。2011 年神东公司补连塔煤矿综采一队创造了单面年产 1 312.4 万 t 原煤的新纪录。2013 年补连塔煤矿综采一队再次创造了单面年产 1 450 万 t 原煤的世界记录。取得这样的成绩,足以说明我国煤炭开采技术到达了世界领先水平[11-17]。基于此,笔者以单面年产 1 450 万 t 原煤的工作面为例,介绍千万吨级综采工作面关键采煤技术及设备选型情况,为国内外类似条件的矿井提供理论依据。

1　工程概况

补连塔煤矿是神东集团所属的特大型现代化矿井之一,可采储量 14.3 亿 t,矿井生产能力为 2 500 万 t/a。井田内煤层赋存稳定,煤层倾角为 1° ~ 3°,平均煤厚 3.0 ~ 7.3 m,上覆基岩厚 110 ~ 230 m,松散层厚度为 5 ~ 35 m,地面标高 + 1 175.2— + 1 305.1 m,煤层底板线标高 + 1 025.4— + 1 092.01 m。矿井地质条件简单,自然灾害影响因素少,为瓦斯矿井,适合综合机械化开采,补连塔煤矿采用平硐加斜井开拓的方式。补连塔煤矿大采高工作面位于 2 - 2 煤层三盘区,地面标高 + 1 185.4— + 1 305.5 m,煤层底板标高 + 1 025.1— + 1 073.8m。22304 工作面推进长度 4 966 m,工作面长 301 m,煤层倾角 1° ~ 3°,煤层平均厚 7.55 m,设计采高 6.8 m,煤层的变异系数 0.7。工作面煤层厚度稳定,上覆基岩厚 120 ~ 310 m,工作面巷道均沿煤层底板掘进,且留有顶煤,煤层直接顶以粉砂岩、砂质泥岩为主,基本顶为粉砂岩及中砂岩。底板在最初回采的 400 ~ 800 m 为泥岩、粉砂岩,其后均为砂质泥岩。

2　大采高工作面布置及设备配套

2.1　工作面巷道布置原则

神东矿区均属于近水平煤层,所以将井田划分成盘区,在盘区内布置工作面,采用倾斜长壁采煤法开采。根据大采高工作面配套的液压支架性能,结合大采高工作面矿压显现规律综合分析,一般大采高工作面长度设计为 300 m 左右; 根据大采高工作面主要设备的修理周期和使用寿命,一般大采高工作面的推进长度设计为 5 000 m 左右。

大采高工作面巷道断面尺寸主要取决于巷道的用途,存放或运输机械器材或运输设备的数量及规格,人行道宽度和各种安全间隙,以及通过巷道的风量等。通过以上分析验算,确定大采高工作面巷道尺寸时首要考虑净断面能否满足工作面所需的大型设备运输以及设备存放的要求,然后留出的人行道的宽度和各种安全间隙。

2.2　工作面设备配套

22303 大采高工作面配备设备为 ZY16800/32/70 型液压支架、3 × 1000 kW 型刮板输送机、DBT522 kW 型转载机和 DBT522 kW 型破碎机,ZY16800/32/70 型液压支架在 22303 工作面应用过程中支架工作阻力小,无法有效支撑顶板,来压时顶板最大下沉量达 1 m,工作面局部冒顶事故频发,生产管理难度大,且"三机"配套能力不足,不能满足大采高工作面煤炭运输和破碎的要求,无法充分发挥大采高工作面的产能优势,严重制约了原煤产量。经过不断改进和设备改造,形成了新的大采高工作面设备配套模式,22304 工作面采用 ZY18000/32/70D 型液压支架、7LS - 8/LWS762 型采煤机、DBT3 × 1600/2.05 刮板输送机、DBT700/350 kW 型转载机,DBT700/350 kW 型破碎机,该套设备应用全面提升了工作面的生产能力,降低了安全生产管理风险,为成功创建单面年产 1 400 万 t 的生产管理模式奠定了基础。

ZY18000/32/70D 型液压支架技术特征如下:

支架种类	双柱掩护式
支护范围/mm	3 200 ~ 7 000
支架中心距/mm	2 050
护帮板长度/mm	1 100 + 1 620 + 830(三级护帮板)
伸缩顶梁长度/mm	900
工作阻力/kN	18 000
移架步距/mm	865

JOY 7LS - 8/LWS762 采煤机技术特征如下:

采高/mm	4 500 ~ 7 000
生产能力/(t · h^{-1})	≥4 000
装机功率/kW	2 925
滚筒直径/mm	3 500
供电电压/V	3 300

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

外形尺寸/mm	18 850 ×4 093 ×4 070
质量/t	178.5
滚筒有效截深/mm	865

3　大采高工作面关键技术

3.1　工作面顶板岩层控制技术

1) 初采期间顶板岩层控制。大采高工作面投产后,为防止其在初采过程中出现大面积悬顶的现象,随工作面推进突然垮落发生飓风事故,对工作面人员和设备造成伤害和损坏,在大采高工作面投产后割 5 刀煤时,进行深孔预裂爆破强制放顶。初次放顶之后工作面正常推进,大采高工作面初次来压不同步,工作面中部先来压,两端头后来压; 中部来压步距一般在 40 ~49 m,来压持续 4 ~6 m; 两端头来压步距一般在 45 ~65 m, 来压持续 3 ~4 m,在初次来压之前采高一般控制在 5.0 ~5.5 m,加强工作面工程质量管理,顶底板必须平整,避免留下台阶造成支架接顶不严,支护效果不好,支架初撑力要达到规定值。工作面初次来压前,须在工作面设置矿压观察点,实行现场连续观察。对工作面端头、巷道及顶板的煤帮进行观测,工作面超前支护长度和支护质量满足规定要求,必要时提高支护强度。

2) 正常回采时顶板岩层控制。正常回采期间工作面来压也呈现不同步性,基本都是局部来压,来压步距 12 ~17 m,来压持续 3 ~5 m,2013 年大采高工作面支架工作面阻力分布如图 1 所示。大采高工作面正常回采期间采用跟机拉架的方式对顶板进行支护,拉架位置滞后采煤机前滚筒 3 架支架宽度,初撑力达到规定值,打出护帮板位置滞后采煤机后滚筒 3 ~5 架支架宽度,收回护帮板位置超前前滚筒 3 ~5 架支架宽度。当梁端距大于 800 mm 时及时拉超前支架,当拉出超前架后梁端距仍然较大时,要打出伸缩梁。顶底板保持平整,保证支架接顶良好。周期来压期间要加快推进速度,以确保回采期间免受周期来压的影响。工作面过破碎裂隙带时或顶板离层带时,应采用带压移架法控制顶板。若工作面

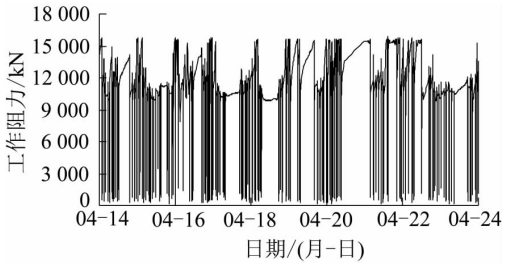


图 1　2013 年大采高工作面支架工作阻力分布

在周期来压期间或顶板破碎带开采时,支架工必须紧跟采煤机前滚筒及时拉架。在顶板比较破碎的情况下,应采用超前拉架法进行作业。

3) 末采时顶板岩层控制。大采高工作面末采期间,在工作面距终采线 50 m 时,对所有支架立柱的安全阀进行校验、更换,并更换损坏的护帮板,保证支架动作灵敏可靠。保证工作面所有设备正常工作,防止因故障停机时间过长造成顶板破碎,导致发生冒顶事故。采煤机司机在回采时保证工作面平整,拉架时一定要控制好支架的队形,保证其初撑力符合要求,及时跟机拉架,保证支架对顶板的有效支护。当工作面推进到距离主回撤通道 200 m 时,加强矿压观测,准确预测周期来压步距。如果末采期间,遇到顶板较为破碎的区段,则在主回撤通道内施工钻孔,向工作面顶板以及煤壁内注射加固材料来提高顶板和煤壁的强度。

3.2　工作面巷道支护技术

为了解决大采高工作面巷道矿压大、围岩变形严重、片帮、底鼓等问题,提高了巷道支护强度,保障了工作面的安全回采,对巷道设计断面尺寸、顶板及两帮支护参数和支护材料进行了优化。巷道顶板均选用 ø18 mm ×1.8 m 的螺纹钢锚杆,配合 ø10 mm ×80 mm ×4.9 m 的钢带联合支护,锚杆和钢带的排距均为 1.2 m。

工作面运输巷高度和宽度分别为 6.0、4.5 m,其顶板布置 5 根锚杆,间距分别为 1.4、1.4、0.8、1.1 m,两端锚杆距正帮和副帮分别为 1.1、0.3 m; 运输巷正帮采用玻璃钢锚杆 + 塑料网的支护方式,采用 3 片塑料网,宽度分别为 1.5、1.5、1.4 m,每排布置 4 根规格为 ø18 mm ×2.2 m 的玻璃钢锚杆; 运输巷副帮采用圆钢锚杆 + 金属网 + 钢带的支护方式,采用 3 片金属网,宽度分别为 1.5、1.5、1.4 m,每排布置 4 根规格为 ø16 mm ×1.8 m 的圆钢锚杆,钢带规格为 10 mm ×3.9 m。

工作面回风巷高度和宽度分别为 5.4、4.4 m,其顶板布置 4 根锚杆,间距分别为 1.4、1.0、1.4 m,两端锚杆距正帮和副帮均为 1.0 m; 回风巷正帮采用玻璃钢锚杆 + 塑料网的支护方式,采用 2 片塑料网,宽度分别为 1.8、1.5 m,每排布置 3 根规格为 ø18 mm ×2.2 m 的玻璃钢锚杆; 运输巷副帮采用圆钢锚杆 + 金属网 + 钢带的支护方式,每排布置 3 根规格为 ø18 mm ×1.8 m 的圆钢锚杆,在距顶板 0.5、2.0 m 处补打 2 排间距为 2.4 m 的锚索加强支护,

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

钢带规格为 10 mm × 3. 9 m。

工作面联络巷高度和宽度分别为 5. 0、4. 5 m，其顶板布置 4 根锚杆，间距分别为 1. 1、0. 8、1. 1 m，两端锚杆距正帮和副帮距离均为 1. 1 m; 联络巷两帮正帮均采用圆钢锚杆 + 金属网的支护方式，采用 2 片金属网，宽度分别为 2. 0、1. 5 m 采用规格为 ø18 mm × 1. 8 m 的圆钢锚杆。

3. 3　工作面末采贯通技术

由于大采高工作面采高大，末采贯通难度较大，工作面距离终采线 15 m 时，需要在工作面顶板上铺设人工顶板，传统末采挂网工艺为在顶梁上铺设多片金属网做为人工顶板，挂网劳动强度高、效率低、存在安全隐患。22304 大采高工作面贯通时采用柔性纤维网代替金属网做为人工顶板，提高了贯通效率。柔性纤维网相对金属网的优点为: ①安全性高，挂网作业人员只需挂一次网，贯通期间不需要再次进入煤壁前方作业; ②效率高，22305 大采高工作面使用柔性纤维网后贯通仅需 55 h，挂网结束后，作业人员只需在支架内撩网、放网，不影响正常推进，提高了推进速度，避免长期停机造成片帮、冒顶等事故，保证了贯通质量; ③劳动强度低，使用金属网时每班需 80 ~ 100 人进行运网、联网，使用柔性纤维网每班仅需 12 人利用绞盘进行撩网、放网，减少作业人员，降低了劳动强度。

经不断创新，采用自制挂网连接环和绞车滑轮双向提升柔性纤维网等新技术，进一步提高了作业效率，降低了劳动强度，保证了工作面安全生产，22305 大采高工作面用时 55 h 顺利、安全、高效贯通，创造了大采高工作面贯通用时最短纪录。将大采高工作面末采挂网时间由原来的 7 d 缩短为 2. 5 d，大幅缩短了挂网时间，为安全末采提供了良好的基础。

3. 4　工作面两端头垂直过渡技术

大采高工作面两端头采用垂直过渡，大幅提高了资源采出率。以补连塔煤矿 22303 大采高工作面为例说明垂直过渡技术，采煤机运行至机头时，从 8 号支架开始降低采高，到 4 号支架时采高降低到 6. 5 m，在 3 号支架采用垂直过渡，直接将采高降至 4. 3 m(巷道高度) ，保持 4. 3 m 采高将工作面机头段割通。机尾过渡与机头方法一样，从 144 号支架开始降低采高，到 148 号支架时采高降低到 6. 5 m，在 149 号支架采用垂直过渡，直接将采高降至 4. 2 m(回风巷高度) ，保持 4. 2 m 采高将工作面机头段割通。工作面两端头采用垂直过渡技术，每循环多采出煤炭 36 t，单工作面多采出煤炭约 120 万 t，煤炭采出率提高约 2% 。

3. 5　工作面巷道底鼓治理技术

大采高工作面巷道由于受回采动压影响，回采过程中巷道发生底鼓，严重时底鼓达 3. 5 m。为有效治理巷道底鼓，笔者采用超前起底 + 预制混凝土块 + 密集单体 + 帮部加固联合治理底鼓的工艺。超前起底长度根据采动影响范围确定; 预制混凝土块采用标号 C30 混凝土配双层 ø12 mm 钢筋制作，混凝土块规格分别为 2 600 mm × 2 000 mm × 250 mm、2 000 mm × 2 000 mm × 250 mm，制作时要求混凝土块中间加 2 层规格 ø12 mm 圆钢配筋，其中纵向配筋长度 2 m，间距 350 mm，横向配筋长度 2. 5、2. 0 m，间距 350 mm，混凝土块上施工密集单体液压支柱，每排施工 11 根单体液压支柱，采取注马丽散和在巷帮上提前补打锚杆进行锚索加强支护。22306 大采高工作面过底鼓区期间，日均推进 12. 83 m，日均产煤 3. 78 万 t，较 22305 工作面过底鼓段效率提高约 10 倍，22306 大采高工作面巷道移近量如图 2 所示。

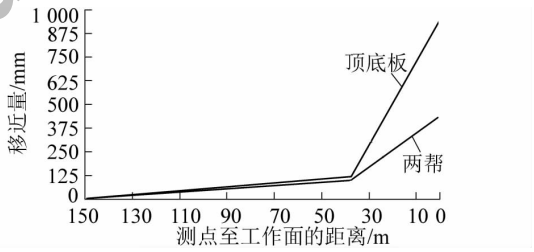


图 2　22306 大采高工作面巷道移近量

3. 6　工作面防止煤壁片帮技术

为了有效控制煤壁片帮，首先将支架护帮板由二级增加为三级，现场实践可知支架护帮板的收回和打出也非常重要的，为了有效控制煤壁片帮，安排专人收，打护帮板，通过观察煤壁破损情况决定收护帮板的方式，煤壁情况良好可以成组收回护帮板，提高割煤速度，煤壁片帮严重时逐架收回护帮板控制片帮煤。护帮板的打出滞后采煤机后滚筒 3 架支架宽度。另外通过加高运输机挡煤板和在采煤机两摇臂上加挡煤板，减小采煤机在割煤过程煤块的抛掷的现象。通过以上措施的实施，大幅减少了煤壁片帮，降低了劳动强度，也保证了作业人员的安全。

4　结　　语

工作面煤层厚度在 6. 3 ~ 7. 3 m，煤层赋存稳定，煤层倾角为 1° ~ 3°，布置 7 m 大采高工作面是

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net

实现单面年产 1 400 万 t 的前提条件。科学合理的综采工作面设备配套，全面提升了工作面的生产能力，降低了安全生产管理风险，充分发挥大采高工作面的产能优势，为成功创建单面年产 1 400 万 t 的生产管理模式奠定了基础。顶板岩层控制技术、巷道支护技术、巷道底鼓治理技术、防止煤壁片帮技术、工作面两端头垂直过渡技术等这些技术为综采工作面单面年产 1 400 万 t 提供了技术保障。

参考文献:

[1] 代贵生，范文胜. 大采高综采面贯通回撤护顶柔性纤维网铺设技术 [J]. 煤炭工程，2013(7)：61－62.

[2] 杜　锋，白海波. 薄基岩综放采场直接顶结构力学模型分析 [J]. 煤炭学报，2013，38(8)：1331－1337.

[3] 代贵生，范文胜. 7m 大采高工作面贯通方法实践 [J]. 中国煤炭，2012，38(3)：52－54.

[4] 代贵生. 采高 7m 的大采高工作面应用技术 [J]. 山西煤炭，2012(8)：62－63.

[5] 孙庆先，牟　义，杨新亮. 红柳煤矿大采高综采覆岩“两带”高度的综合探测 [J]. 煤炭学报，2013，38(S1)：283－286.

[6] 王金华. 特厚煤层大采高综放开采关键技术 [J]. 煤炭学报，2013，38(12)：2089－2098.

[7] 代贵生. 提高煤矿单产单进水平的有效途径 [J]. 山西煤炭，2014(2)：75－77.

[8] 代贵生. 实现煤矿安全生产“零伤害”的有效途径 [J]. 内蒙古煤炭经济，2014(2)：81－82.

[9] 周海丰. 大采高工作面过大断面空巷切顶机理及控制技术 [J]. 煤炭科学技术，2014，42(2)：120－123.

[10] 惠本利. 深部矿井厚煤层超大采高综采技术研究展望 [J]. 煤炭科学技术，2014，42(4)：1－4.

[11] 张子飞，杨　鹏，罗　文. 7m 大采高采煤机易维护全直齿摇臂设计研究 [J]. 煤炭科学技术，2014，42(5)：125－128.

[12] 尹希文. 大采高工作面压架原因分析及防治对策 [J]. 煤炭科学技术，2014，42(7)：26－29.

[13] 鞠金峰，许家林，朱卫兵. 浅埋特大采高工作面关键层“悬臂梁”结构运动对端面漏冒的影响 [J]. 煤炭学报，2014，39(7)：1197－1204.

[14] 郭卫彬，刘长友，吴锋锋，等. 坚硬顶板大采高工作面压架事故及支架阻力分析 [J]. 煤炭学报，2014，39(7)：1212－1219.

[15] 王家臣，王　蕾，郭　尧. 基于顶板与煤壁控制的支架阻力的确定 [J]. 煤炭学报，2014，39(8)：1619－1624.

[16] 代贵生. 千万吨级矿井大系统的构建及分析步骤 [J]. 山西煤炭，2010(12)：65－66.

[17] 李化敏，蒋东杰，李东印. 特厚煤层大采高综放工作面矿压及顶板破断特征 [J]. 煤炭学报，2014，39(10)：1956－1960.

(上接第 112 页)

[3] CAO Dian－xue，SUN Yong，WANG Gui－ling. Direct Carbon Fuel Cell：Fundamentals and Recent Developments [J]. Power Sources，2007，167：250－257.

[4] MENG Xiang－mei，Wiebren de Jong，Ranadeep Pal，*et al*. In Bed and Downstream Hot Gas Desulphurization During Solid Fuel Gasification：A review [J]. Fuel Processing Technology，2010，91：964－975.

[5] Phillip R Westmoreland，Douglas P Harrison. Evaluation of Candidate Solid for High Temperature Desulfurization of Low－Btu Gases [J]. Environmental Science & Technology，1976，7(10)：659－665.

[6] Wridzer J W Bakker，Freek Kapteijn，Jacob A Moulijn. A High Capacity Manganese－Based Sorbent for Regenerative High Temperature Desulfurization with Direct Sulfur Production Conceptual Process Application to Coal Gas Cleaning [J]. Chemical Engineering Journal，2003，96：223－235.

[7] Sena Yasyerli. Cerium－Manganese Mixed Oxides for High Temperature H_2S Removal and Activity Comparisons with V－Mn，Zn－Mn，Fe－Mn Sorbents [J]. Chemical Engineering and Processing，2008，47：577－584.

[8] ZHANG Jin－chang，WANG Yan－hui，MA Run－yu，*et al*. A Study on Regeneration of Mn－Fe－Zn－O Supported Upon γ－Al_2O_3 Sorbents for Hot Gas Desulfurization [J]. Fuel Processing Technology，2003，84：217－227.

[9] Atakül H，Wakker J P，Gerritsen A W，*et al*. Removal of H_2S from Fuel Gases at High Temperatures Using MnO/γ－Al_2O_3 [J]. Fuel，1995，74：187－194.

[10] Sena Yasyerli，Irfan Ar，Gulsen Dogu，*et al*. Removal of Hydrogen Sulfide by Clinoptilolite in a Fixed Bed Adsorber [J]. Chemical Engineering and Processing，2002，41：785－792.

[11] Oguz Karvan，Husnu Atakul. Investigation of CuO/Mesoporous SBA－15 Sorbents for Hot Gas Desulfurization [J]. Fuel Processing Technology，2008，89：908－915.

[12] Priyanka P Dhage. Promoted ZnO Sorbents for Wide Temperature Range H_2S/COS Removal for Applications in Fuel Cells [D]. Auburn：Auburn University，2011.

[13] KwangBok Yi. Ceria Zirconia Oxide High Temperature Desulfurization Sorbent [D]. Baton Rouge：Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College，2004.

[14] Naoki Ikenaga，Yousuku Ohgaito，Hiroaki Matsushima，*et al*. Preparation of Zinc Ferrite in the Presence of Carbon Material and its Application to Hot Gas Cleaning [J]. Fuel，2004，83：661－669.

[15] Harris D K，Cahela D R，Tatarchuk B J. Wet Lay up and Sintering of Metal－Containing Microfibrous Composites for Chemical Processing Opportunities [J]. Composites Part a－Applied Science and Manufacturing，2001，32(8)：1117－1126.

[16] Kalluri R R，Cahela D R，Tatarchuk B J. Microfibrous Entrapped Small Particle Adsorbents for High Efficiency Heterogeneous Contacting [J]. Separation and Purification Technology，2008，62(2)：304－316.

中国煤炭期刊网 www.chinacaj.net