

缪协兴,张吉雄.井下煤矸分离与综合机械化固体充填采煤技术[J].煤炭学报,2014,39(8):1424-1433. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2014.9022

Miao Xiexing,Zhang Jixiong. Key technologies of integration of coal mining-gangue washing-backfilling and coal mining[J]. Journal of China Coal Society,2014,39(8):1424-1433. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2014.9022

井下煤矸分离与综合机械化固体充填采煤技术

缪协兴¹,张吉雄²

(1. 中国矿业大学 深部岩土力学与地下工程国家重点实验室,江苏 徐州 221116;2. 中国矿业大学 矿业工程学院,江苏 徐州 221116)

摘 要:在总结综合机械化固体充填采煤技术研究进展的基础上,提出实施煤矸井下分离的现实需求与意义,并着重综述了煤矸选择性破坏法、重介质选煤法、动筛跳汰法等常用井下煤矸分离方法的技术原理、系统及关键装备,提出了井下煤矸分离与固体充填采煤系统设计的基本原理。结合唐山煤矿存在“三下”压煤开采、矿区环境保护以及煤矸井下分离的工程案例,介绍了该矿“采煤→煤矸分离→矸石充填→采煤”闭合循环的采分充采一体化开采技术的基本原理、分离与充填系统设计及实际工程应用效果。研究表明:井下煤矸分离与矸石充填技术的有机结合可实现矸石减排、井下洗选以及地表沉陷控制,是实现绿色开采的重要途径。

关键词:“三下”采煤;井下煤矸分离;固体充填采煤;充填采煤一体化;绿色采煤技术

中图分类号:TD823.7 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-9993(2014)08-1424-10

Key technologies of integration of coal mining-gangue washing-backfilling and coal mining

MIAO Xie-xing¹,ZHANG Ji-xiong²

(1. State Key Laboratory for Geomechanics & Deep Underground Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China; 2. School of Mines, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: On the basis of study progress of solid backfilling coal mining technology, the paper put forward the realistic requirement and significance of coal-gangue separation underground and emphatically introduced the technological principle of the underground coal-gangue separation of the coal gangue selective crushing method, coal preparation method of dense medium, moving sieve jigging method and their systems and key equipment, then put forward the basic principles of system design of coal-gangue separation and backfilling coal mining. Combined with the engineering problem of “three under” coal mining, the mining area environment protection and coal-gangue separation, the paper introduced the basic principles of technologies of integration of coal mining-coal gangue separation-raw waste backfilling and coal mining in detail, washing and filling system design and the actual engineering application effect. Research shows that the combination technology of coal gangue separation and raw waste filling can realize gangue reduction, underground washing and subsidence control, which is the important way to realize the green mining.

Key words: “three under” coal mining; coal-gangue separation underground; solid backfilling coal mining; integration technologies of backfilling and coal mining; green coal mining

我国自主研发的综合机械化固体废弃物充填采煤技术已得到了规模化的工业性推广应用^[1-6],并取得了显著的经济效益和社会效益。随着安全高效的固体充填采煤技术的发展,实施井下煤矸分离成为现

代化矿井实现绿色开采、资源开发与环境协调发展的现实需求。本文简要介绍了综合机械化固体废弃物充填采煤技术在建筑物下、水体下、铁路下的应用研究进展与实现井下煤矸分离的重要意义,重点分析了

收稿日期:2014-06-10 责任编辑:常琛

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAB13B03);国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(2013CB227905)

作者简介:缪协兴(1959—),男,江苏江阴人,教授,博士生导师,博士。Tel:0516-83995518,E-mail:xxmiao@cumt.edu.cn

井下煤矸分离的方法、系统和指标,给出了实施井下煤矸分离与综合机械化矸石充填采煤技术有机结合的工程案例。

1 固体充填采煤技术的研究进展

综合机械化固体充填采煤技术自最初在新汶等

矿区实验以来,目前其工艺、装备及基础理论均已得到了快速发展,并已在平煤集团、兖矿集团、新矿集团、淮北矿业集团、皖北矿业集团、济宁矿业集团、徐州矿业集团、冀中能源集团、开滦矿业集团、阳泉矿业集团以及乌海泰源煤业等多个矿区推广应用(图 1),解放压煤类型涉及建筑物下、水体下、铁路下等。

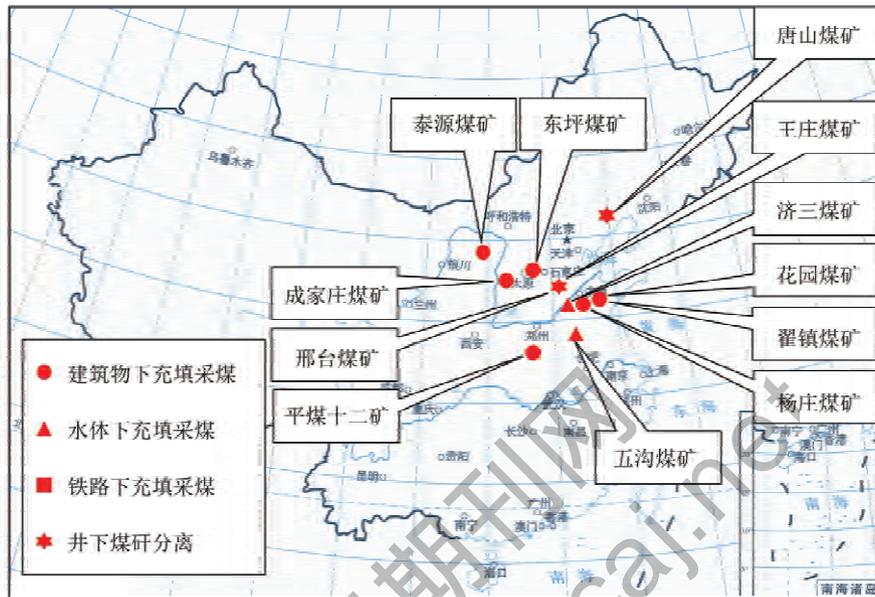


图 1 典型固体充填采煤技术工业应用矿井分布

Fig. 1 The typical mine distributions in industrial application with solid backfill mining technology

1.1 综合机械化固体充填采煤发展概况

中国矿业大学在 20 世纪 90 年代与新汶矿业集团合作,在翟镇煤矿井下首次进行了综合机械化矸石充填采煤的工业化试验,其成果曾获国家科技进步二等奖,已推广应用到邢台煤矿等全国多个矿区。

翟镇煤矿充填物来自井下的掘进矸石,该矿实施充填开采的主要目的是解放翟镇镇中心及周边密集村庄群范围内的压煤(占可采储量的 70%)。主要在七采区实施充填。该矿实施充填采煤的主要特点是早期采用无夯实充填工艺,2010 年以后采用自夯实充填工艺。该矿充填后的地面沉降控制效果全部满足地面建(构)筑物设限要求。另外,该矿充填开采的一大特色是同时在井下建立了浅槽重介煤矸分选系统,完全实现了井下煤矸分离。邢台煤矿充填物料来源于地面矸石山矸石与洗煤厂的粉煤灰,该矿实施充填的主要目的是解放矿区范围内的村庄及工业广场建筑物、断层、冲积层下压煤资源,初期主要在六采区实施充填,对应地表为工业广场西北部、矿区专用铁路线以及南三环公路。该矿实施充填采煤的主要特点有:充填材料采用矸石与粉煤灰;充填采煤液压支架夯实机构采用底部夯实与中部夯实结合的方式。

1.2 建筑物下固体充填采煤概况

建筑物下固体充填采煤^[7-9]需要解决的关键问题在于如何通过控制好充填密实度来充分保护好地表建(构)筑物,具体工程设计流程为首先根据覆岩结构及压煤类型,由建筑物的抗变形能力确定地表移动和变形的最大设防指标,然后基于等价采高的概率积分法地表沉降预计模型,反演出允许的最大等价采高,从而得到充实率的理论控制指标,然后综合权衡确定固体充填采煤的关键工程参数,从而确定充实率的工程控制指标,最后通过矿压及地表沉降实测对等价采高及充实率控制指标进行反馈,最终完成固体充填采煤设计,其设计流程如图 2 所示(M_{\max} 为最大等价采高, M_c 为等价采高)。

建筑物下固体充填采煤实施矿井主要有平煤集团十二矿、淮北集团杨庄矿、山西孟县东坪煤业东坪矿以及济宁矿业集团花园煤矿等。其中十二矿主要解放村庄下压煤,杨庄矿主要解放濉溪县古县城下压煤,东坪煤矿主要解放工业广场下压煤,花园煤矿主要解放金乡县城周边地区的建筑物下压煤。其中花园煤矿全矿井全部为建筑物下压煤,原设计采用条带开采,采 40 m 条带,留 80 m 煤柱,采出率不足 32%,现采用沿空留巷无煤柱固体密实充填采煤方法,采出

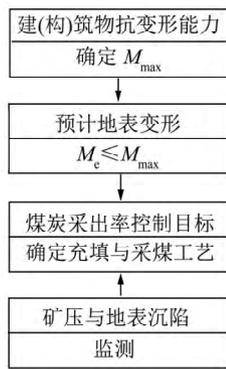


图2 建筑物下固体充填采煤设计

Fig. 2 The solid backfill mining design under buildings

率达到 85%，矿井服务年限由原条带开采的不足 40 a 延长至充填开采的 100 a 左右，该矿 2011 年 3 月开始实施固体充填开采，目前实测地面最大下沉量为 196 mm，地表减沉率在 85% 以上。

1.3 水体下固体充填采煤概况

水体下固体充填采煤^[10-11]的关键在于控制隔水关键层的稳定性，严格控制覆岩导水裂缝带的发育高度。具体工程设计流程：首先根据隔水关键层稳定性控制标准确定最大等价采高，预计导水裂缝带发育高度及裂隙贯通范围，结合实际工程地质条件，得到充实率的理论控制指标，然后根据具体的实施工艺及加固工艺，确定充实率的工程控制指标，最后通过渗流裂隙的实时监测对充实率控制指标进行反馈，最终完成水体下固体充填采煤工艺设计，其设计流程如图 3 所示。

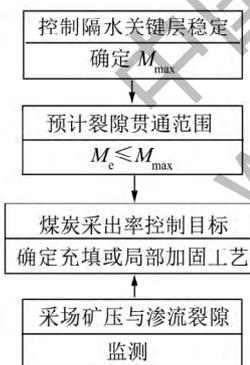


图3 水体下固体充填采煤工程设计

Fig. 3 The solid backfill mining design under water bodies

水体下固体充填采煤实施矿井主要有兖矿集团济三煤矿和皖北煤电五沟煤矿等。济三矿实施采区地表为南阳湖河堤，南阳湖北大堤是南阳湖北侧的关键防洪工程。考虑河堤特点，设计最大允许移动变形值为水平变形 1.0 mm/m。该区域首采工作面已开采完毕，正在进行第 2 个充填工作面的开采，充填开采后的实测地表最大下沉量为 340 mm，湖堤未监测到损坏迹象；五沟煤矿主采煤层上方覆盖 272 m

的与地表水贯通的松散含水层，原设计留设 3 664 万 t 的防水煤柱，防水煤柱块段内煤层离第四纪松散含水层最近区域仅为 15 m，实施充填开采的关键在于将此处的直接顶控制成为隔水关键层，目前正在回采充填该区域内的充填工作面。

1.4 铁路下固体充填采煤概况

据不完全统计，我国铁路下压煤总量达 18.91 亿 t，煤矿开采影响的铁路主要分矿区专用线、铁路支线及铁路干线 3 种^[12]。由于矿区专用线服务矿区本身，只涉及矿区利益，我国铁路下采煤大多在矿区专用线下展开，而仅在铁路支线下进行试验，铁路干线下进行个别试采。相比建筑物及水体下采煤，铁路下固体充填采煤工程设计的主要区别在于如何合理确定其设防标准。

目前在乌海泰源煤矿、开滦集团唐山煤矿等的矿区自有铁路下实施了固体充填采煤。其中唐山煤矿铁三区对应地表区域有唐山煤矿至风井铁路专用线通过，压煤面积约为 2 km²，预计采动后影响面积为 6 km²。影响区主要为原京山铁路和附属的建(构)筑物；泰源煤矿矿区主要为东胜至乌海运煤专用铁路、高压输电线路、棋盘井至石嘴山一级公路等建筑物。

1.5 井下煤矸分离与矸石充填采煤概况

井下煤矸分离与矸石充填采煤技术的有机结合，是充填采煤技术进一步发展的方向，地面运输及投料系统被井下煤矸分离系统取代，充填材料直接来源于井下，生产系统集约化程度更加集中。由于井下煤矸分离系统需要结合到矸石充填系统中，对矿井管理水平也提出了更高的要求。我国新汶矿区翟镇煤矿及开滦集团唐山煤矿分别采用浅槽重介及动筛跳汰的煤矸分离方法，实施了对原煤进行井下分选后直接充填采煤。其中翟镇煤矿井下煤矸分离工程于 2010 年 8 月开始建设，2011 年 1 月投入使用，设计处理能力 50 万 t/a，最大入洗能力为 150 t/h。该矿实施煤矸井下分离避免了矸石提升后再回填造成的运输浪费，实现了煤矸分离和煤、矸的分储分运，提高了原煤煤质，每年主、副井节约电费约 20 万元，减少主井(矸石)提升量约 10 万 t。

1.6 井下煤矸分离的意义

充填开采所采用的充填材料主要来自矿井自身产生的矸石、电厂产生的粉煤灰以及矿区周边可用的固体材料，如地表黄土等。一方面，充填前期主要采用地面矸石山的矸石，若按照 1.2~1.8 的充采比设计，地表矸石山矸石的储量不足以维持井下多工作面的充填需求；另一方面，井下矸石运至地面会加重运输系统的负担，尤其是运输路线较长的矿井，因此，并

下煤矸分离是实施充填采煤重要的辅助措施,可以同时解决矸石的长距离输送问题,降低井下矸石提升费用、减少煤矸石地表堆积面积、保护生态环境,越来越多的国有大型煤矿将煤矸分离技术应用到井下。

2 井下煤矸分离方法与系统及装备

井下煤矸分离过程要满足适应井下空间狭小、安全性高、生产能力及连续生产等要求,因此井下分选设备选择需满足:体积小、防爆性好、实用性强、分选效果好、可靠性高等性能,目前井下煤矸分选的方法主要有:煤矸选择性破碎方法^[13-15]、重介质选煤法^[16-17]、动筛跳汰法^[18-19]等。

2.1 煤矸选择性破碎法

煤矸选择性破碎法包括液压式煤矸自动分选、冲击式煤矸破碎分离、转子式煤矸分离等方法,该方法主要利用煤与矸石的硬度差异,利用不同原理的煤矸分离破碎装置实现初级分离(图 4),适用于对煤炭产品粒度无特殊要求的矿井。该方法存在块煤率低,处

理量小,且噪声较大,分选精度低等缺点,推广范围小,需要进一步研究。

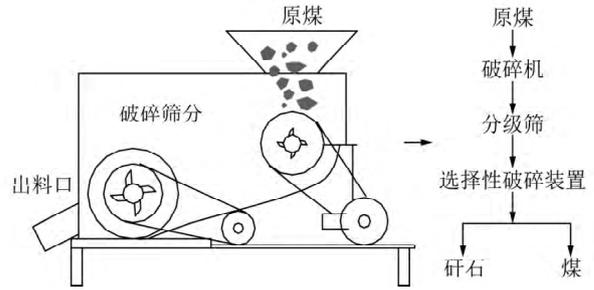


图 4 选择性破碎方法及工艺

Fig 4 The selective crushing method and its process

2.2 重介质选煤法

重介质选煤法主要利用配置的悬浮液作为分选介质,按颗粒密度的大小差异进行选煤。该方法是分选效率最高的选煤方法(图 5),其中浅槽分选机的分选粒度范围宽,但需要有介质净化回收作业,因而工艺系统较为复杂,占地面积较大,设备台数较多,生产费用较高。

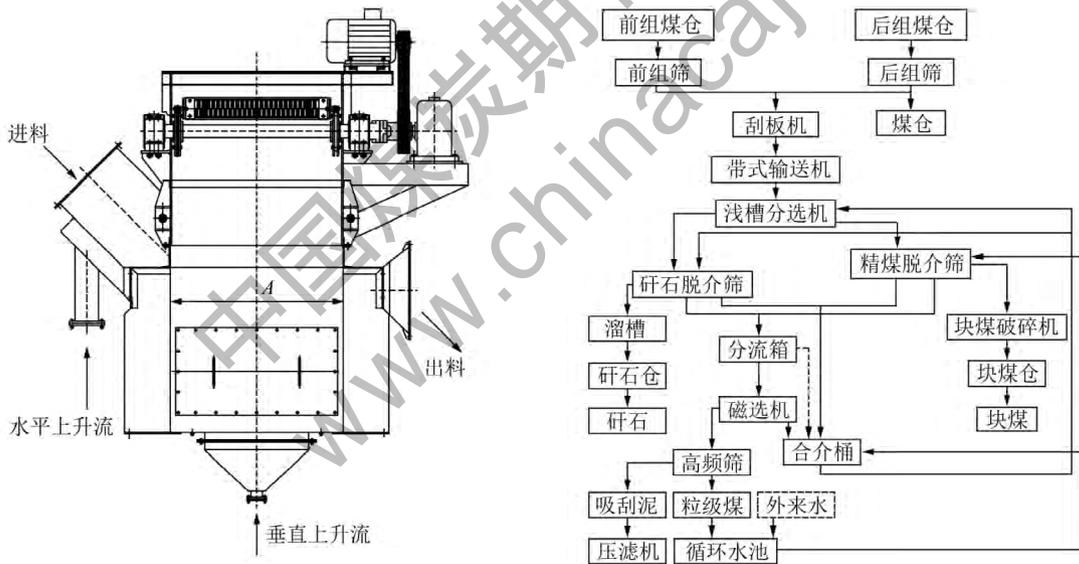


图 5 重介质方法及工艺

Fig 5 The dense medium coal separation method and its process

2.3 动筛跳汰法

动筛跳汰方法原理为物料在跳汰机中受脉动介质(水、空气)流作用按密度分层(图 6),进而达到分选的目的。其设备简单、成本较低、生产效率高,工艺系统简单,是井下分选排矸的优选方案之一。但目前的动筛跳汰机机体和排料装置体积较大,需要对其进行结构优化,以适应于井下应用。

2.4 井下煤矸分离方法应用情况

目前,井下煤矸分离技术主要在龙煤集团鹤岗分公司益新煤矿、新汶翟镇煤矿、新汶协庄煤矿、西山杜

儿坪煤矿、新汶济阳煤矿、冀中能源邢东矿、山东良庄矿业等煤矿进行应用,主要分离方法涵盖本节介绍的重力选矿法、重介浅槽法、动筛跳汰法等方法,具体情况见表 1。

3 井下煤矸分离与固体充填采煤系统设计

井下采煤工作面割落的原煤不直接经过煤炭运输系统运输至地面,而是在井下形成一套完整的煤矸分离与固体充填采煤系统,其中煤矸分离系统将煤流中的矸石分离出来,处理成符合充填开采要求的固

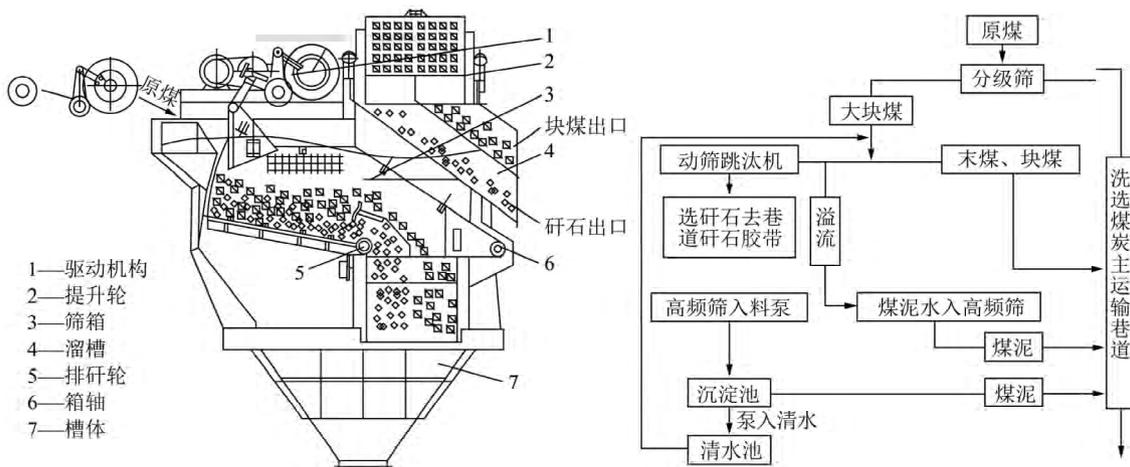


图6 动筛跳汰法及工艺

Fig 6 The moving sieve jigging method and its process

表1 井下煤矸分离应用矿井情况

Table 1 The application of coal gangue separation underground

序号	矿井名称	实施目的	分离方法	关键分选设备	实施效果
1	龙煤集团鹤岗分公司益新煤矿	原煤含矸率高,缓解主运系统压力	重力选矸	跳汰机、分选机、破碎机	每天分选矸石约 200 t
2	新矿集团翟镇煤矿	矸石不升井,提高原煤煤质,实现绿色开采	重介浅槽	XZQ1620 重介浅槽机、破碎机、脱介筛、磁选机	减少了出井矸石量,实现矸石回填,提高了原煤煤质
3	新矿集团协庄煤矿	解决老矿井生产环节多,原煤含矸率高的问题	动筛跳汰	WD4 型动筛跳汰机	减少年矸石提升量 18 万 t,降低提升电耗 103.14 万 kW·h,减少矸石占地 4 667 m ² ,节约各项费用 117.18 万元
4	西山煤电杜儿坪煤矿	解决煤炭出井后进行煤、矸分选,排放大量的矸石的问题	液压式煤矸分离	筛分机、振动机、矸石抛射机	实现煤矸石井下分离
5	新矿集团济阳煤矿	解决井下矸石量大、矸石占地、污染环境、地面塌陷的问题	重介浅槽	重介浅槽分选机、破碎机、脱介筛、磁选机	每年可减少矸石升井费用、洗选费用、地面塌陷赔偿费共计 1 574.01 万元
6	冀中能源邢东煤矿	解决矸石地表堆积问题	柔性空气室跳汰分选	YTQG-2S 柔性空气室跳汰机、筛分机、破碎机	矸石井下处理量 60~120 t/h
7	山东良庄矿业有限公司	解决薄煤层夹矸问题	旋转冲击式	筛分破碎机、带式输送机、分级筛、分离机	分离物中含煤量 5% 以下,矸石回收率达到 70% 以上

体物料,然后运至充填采煤工作面;固体充填采煤系统在进行正常采煤的同时,采用矸石进行采空区全断面充填,2个系统紧密结合,实现井下煤矸分离与充采一体化技术,达到矸石不升井直接置换煤炭的目的。其技术原理如图7所示。

其中充填系统的关键装备有自移式转载输送机、充填采煤液压支架、多孔底卸式输送机等,其基本应用情况统计见表2~4,结构原理分别如图8~10所示。自移式转载输送机实现固体充填物料自低位的带式输送机向高位的多孔底卸式输送机机尾的转载;

充填采煤液压支架同时掩护采煤与充填的作业空间,提供多孔底卸式输送机的悬挂空间,提供充填物料的夯实动力;多孔底卸式输送机则实现固体充填物料在采空区定时定量的输送,以及定点卸载。固体充填采煤工艺在自移式转载输送机、充填采煤液压支架、多孔底卸式输送机的有序配合下完成。

4 工程应用实例

4.1 工程地质概况

唐山矿业分公司始建于1878年,是中国最早采用西方先进工业技术开凿、使用机械开采的大型矿

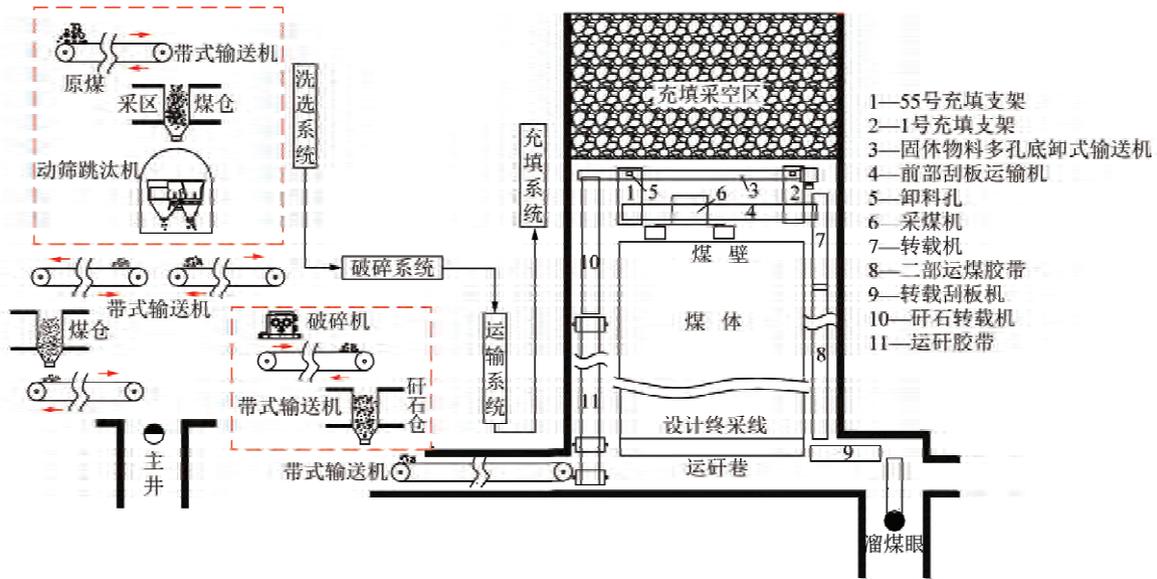


图 7 井下煤矸分离系统设计原理

Fig 7 Principles of system design of coal-gangue separation

表 2 充填采煤液压支架应用情况统计

Table 2 The application of backfilling hydraulic support

类型	型号	关键技术参数			应用矿井
		支护强度/MPa	初撑力/kN	工作阻力/kN	
六柱	ZZC4800/16/32,ZZC10000/20/40,ZC14100/20/38 等	0.46~0.97	3 956~11 622	4 800~14 100	济三煤矿、五沟煤矿、杨庄煤矿、平煤十二矿、东坪煤矿、泰源煤矿、花园煤矿、唐山煤矿
四柱	ZZC4800/16/32,ZZC9200/22/45,ZZC5000/18/38 等	0.60~0.83	3 956~7 752	4 800~9 200	邢台煤矿、成家庄煤矿

表 3 自移式转载输送机应用情况统计

Table 3 The application of self-moving belt conveyor

型号	关键技术参数			应用矿井
	带宽/mm	带速/(m·s ⁻¹)	功率/kW	
GSZZ-800/15	800	0~2.50	500	济三煤矿
SZB-730/75	730	0~1.39	400	翟镇煤矿
SDY80/500/55S	800	0~5.00	500	杨庄煤矿、唐山煤矿
DZL-80/50	800		550	平煤十二矿
DZY80/45/15	800	0~2.50	450	东坪煤矿、成家庄煤矿
GSZ1000/30	1 000	0~2.50	750	泰源煤矿

表 4 多孔底卸式输送机应用情况统计

Table 4 The application of perfomated scraper conveyor

型号	关键技术参数				应用矿井
	输送量/(t·h ⁻¹)	刮板链速/(m·s ⁻¹)	卸料孔尺寸/(mm×mm)	刮板链型式	
SGBC764/250	500	1.090	345×460	边双链	济三煤矿、花园煤矿、五沟煤矿、杨庄矿、唐山煤矿、成家庄煤矿
SGZ630/264	400	1.000	345×460	中双链	翟镇煤矿
SGZC764/250	500	1.160	345×240(双排)	中双链	平煤十二矿、东坪煤矿
SGB630/150	250	0.868		边双链	邢台煤矿
SGZC800/400	700	1.140	345×460	中双链	泰源煤矿

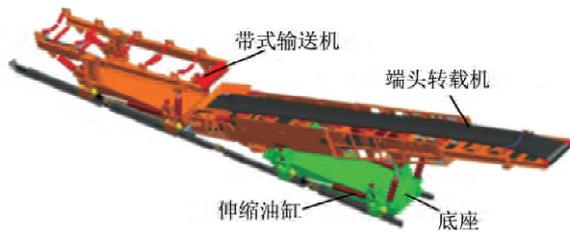


图 8 自移式转载输送机

Fig 8 Self-moving belt conveyor



图 9 充填采煤液压支架

Fig 9 Backfilling hydraulic support

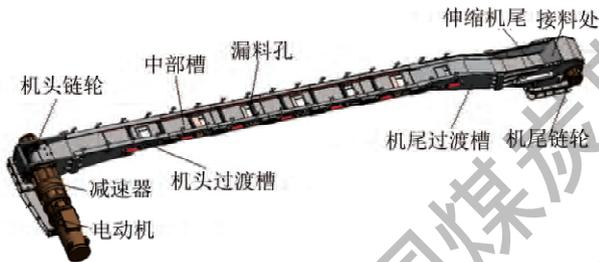


图 10 多孔底卸式输送机

Fig 10 Perforated scraper conveyor

井,素有“中国第一佳矿”之称。目前年生产能力 400 万 t,截至 2008 年底,矿井地质储量 36 568.3 万 t,

其中可采储量 13 035.5 万 t,约占矿井地质储量的 35.6%。井田范围地表为密集建筑物,建(构)筑物下压煤问题十分突出,建筑物及村庄下压煤 17 117.3 万 t。其中铁三、铁四区(包括老生产区)城镇下压煤 4 920 万 t,已严重制约着矿井的生存与可持续发展;同时,唐山矿业分公司地表堆放大量矸石,且每年仍有 90 万 t 矸石产出量,其中洗选矸石 80 万 t,掘进矸石 10 万 t。由于该矿井地处市中心,矿区工业广场已无可利用的矸石堆放区域,且唐山建设市政府大南湖生态城的需要,严禁矿区矸石堆积于地表。解放“三下”压煤,处理矸石地面排放和环境保护三大问题已成为唐山矿业公司亟需解决的难题。

4.2 采选一体化系统原理

根据唐山煤矿实际工程背景与地质概况,结合井下煤矸石分离直接充填的选采充一体化技术思路,通过研究地面矸石运输系统、井下矸石不升井系统和井下煤流矸石分选系统,开发出适合井下选煤的关键技术与装备,提高井下煤矸分离效能,形成高效的井下煤矸分选和采空区充填技术,实现矸石井下直接处理与充填开采对岩层移动及地表沉陷的有效控制。唐山煤矿设计充填的首采区为铁三采区,铁三区地处市区,地表建筑物众多,地下管线复杂。地面建筑物包括老火车站,唐山机车车辆厂以及密集的商业区、厂房和居民区以及多达 800 多家的企事业单位;地下管路包括供水、供暖、供电、路南区的污水管路等。设计实施充填采区所在煤层为 8 号煤层,属复杂结构煤层,煤层倾角 $7^{\circ}\sim 10^{\circ}$,平均倾角 8.5° ,煤的密度 1.49 t/m^3 ,煤层平均厚度 3.77 m,煤层埋深为 720.0~731.0 m。其顶底板情况见表 5。

表 5 工作面顶、底板情况

Table 5 The roof and floor of working face

类别	分项	主要岩石	厚度/m	岩性描述
顶板	基本顶	灰白色中砂岩	4.5	成分以石英、长石为主,硅质到硅泥质胶结,局部风化砂岩
	直接顶	灰白色粉砂岩	0~3.0	成分以石英、长石为主,硅质胶结,含植物根化石
	伪顶	深灰色碳质泥岩	0~0.5	泥质成分,碳质成分高
底板	直接底	深灰色粉砂岩	1.5	泥质胶结,含云母碎屑和植物根化石
	基本底	灰白色细砂岩	15.2	成分以石英、风化长石为主,硅泥质胶结,坚硬

4.3 洗选及充填系统设计

4.3.1 井下矸石来源分布

根据矿井实际的开采情况,井下建立的煤矸分选系统必须与现有生产系统和矸石充填系统衔接及配套,经分析,502 煤仓与 5021 煤仓分别担负 5020 胶带斜巷(5 煤)和 7010 胶带斜巷(9 煤)运输的原煤,其

中 502 煤仓运量达到 450 t/h,5021 煤仓运量达 550 t/h,设计在 502 煤仓与 5021 煤仓之间的联络巷内建立井下煤矸分选系统。原煤洗选矸石以及地面投料井输送的矸石统一集中至矸石集中运输巷,然后运输至采场充填系统。该系统矸石与原煤运输如图 11 所示。



图 11 煤炭与矸石井下运输路线

Fig. 11 The underground transport route of coal and gangue

4.3.2 洗选系统

根据唐山煤矿大于 50 mm 的入选原煤浮沉校正分析可知,主导密度级为大于 1.8 kg/L 级,产率占 75.94%,浮物灰分为 59.06%,说明该密度级别为分选重点密度级。当精煤灰分为 32.38%时,理论分选密度约为 1.8 kg/L,±0.1 含量约为 16.42%,属中等可选煤。由此设计选择动筛跳汰机选煤技术工艺进行粗选,具体跳汰排矸系统的工艺如下:井下原煤通过分级筛,筛上物(+50 mm 以上)进入入料胶带机,筛下物进入末煤胶带机,进入入料胶带机的筛上物经过机械动筛跳汰机分选后,矸石进入矸石胶带机后充填至工作

面,块煤进入末煤胶带机;机械动筛跳汰机的煤泥水进入煤泥水处理工艺。跳汰排矸工艺流程如图 6 所示。

4.3.3 充填系统

煤炭采出后形成采空区,充填作业在充填空间内进行,充填物料由转载输送机转载至悬挂在支架后顶梁下方的多孔底卸式输送机上,然后逐次运输,并定时定量定点的卸载至采空区,铰接在支架底座上的夯实机构对固体物料进行夯实,形成致密充填体^[20-21],取代原有空间的煤炭支撑顶板,由于充填体的支撑作用,直接顶往上的顶板岩层仅出现小幅度的弯曲下沉,不会出现明显断裂及垮落^[22-25],采动损害基本不会波及地表,地面不会出现塌陷,从而保证地面建筑物的安全使用。T₃281 充填采煤工作面设备布置及其控顶基本原理如图 12 所示。

4.3.4 关键充填采煤装备

T₃281 充填工作面采用的主要设备有采煤机,刮板输送机,ZZC7000/20/40 型充填采煤液压支架,SDY80/500/55S 型自移式转载输送机以及 SG-BC764/250 型多孔底卸式输送机等,其中采煤机,刮板输送机均是常规的设备,其选型与综采面设备选型无异。而其他设备则是固体充填开采关键设备,其选型需结合充填开采的要求进行,设备型号见表 6。

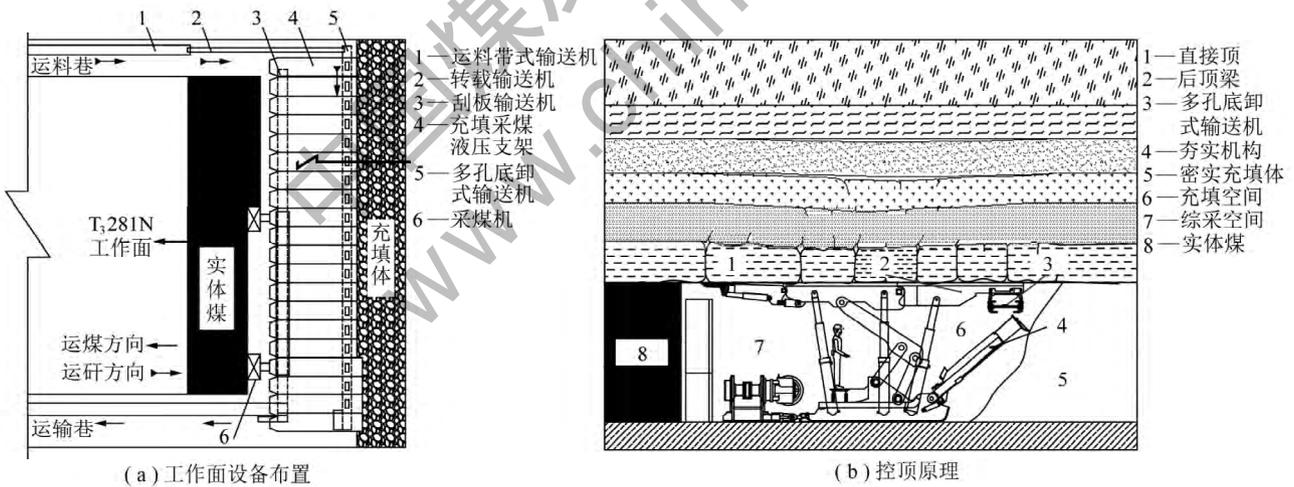


图 12 充填系统

Fig. 12 Backfilling systems

表 6 主要充填设备技术参数

Table 6 The technical parameters of main backfilling equipment

名称	型号	主要技术参数
充填采煤液压支架	ZZC7000/20/40	中心距 1 500 mm,高度 2 000~4 000 mm,宽度 1 420~1 590 mm,推移步距 600 mm,工作阻力 7 000 kN,支护强度 0.725 MPa
自移式转载输送机	SDY80/500/55S	电机功率 55 kW,带宽 1 000 mm,爬坡能力±16°,运行速度 0~5 m/s,运输能力 500 t/h,紧链型式为闸盘紧链,双边链;输送量 500 t/h,圆环链规格 2-φ26 mm×92 mm,刮板链速 1.09 m/s,链条中心距 600 mm,槽规格 1 500 mm×730 mm(内宽)×315 mm,卸载方式为底卸
多孔底卸式输送机	SGBC764/250	

4.4 应用效果分析

4.4.1 地表沉陷预计及监测

T₃281N 试验首采工作面于 2012 年 5 月试运转,2013 年 7 月回采完毕。工作面地表移动变形观测开始于 2012 年 10 月,截至 2013-09-25 共进行了 10 次工作面地表移动变形观测,T₃281N 首采工作面开采(预计)地表下沉 258 mm,水平变形 0.87 mm/m,倾斜变形 0.78 mm/m;T₃281N 首采工作面开采(实测)地表下沉 19 mm,水平变形 0.1 mm/m,倾斜变形 0.1 mm/m。

T₃281N 充填采煤工作面回采后,预计地表下沉 258 mm,实测地表下沉值最大为 19 mm,下沉系数仅为 0.002 5%,远低于地表建筑物变形极值。水平变

形及倾斜变形均大大小于预计值。地表建筑物受采动影响很小,无明显裂缝,均能正常使用,说明矸石充填有效地控制了地表移动变形。

4.4.2 经济效益分析

T₃281N 充填采煤首采工作面目前采出“三下”煤炭资源约 8.0 万 t,充填矸石 10.22 万 t(其中投料并投放矸石 6.65 万 t,翻笼矸石 2.24 万 t,工作面分选矸石 1.33 万 t),平均采充比达到 1.4:1.0,投料系统矸石输运能力达到了 550 t/h。井下煤矸分离与矸石充填技术在唐山矿业分公司应用,不但开采了“三下”煤炭资源,同时还处理了井下、地面的矸石,全部采用该技术后,累计将带来超过 50 亿的巨大经济及附加环境和社会效益,具体经济效益见表 7。

表 7 效益综合分析

Table 7 The benefit comprehensive analysis

开采情况	经济效益			环境效益		社会效益	
	新增产值/亿元	新增利税/亿元	减少搬迁费用/亿元	运输提升费用/亿元	处理固体废物/万 t	减少土地占用/hm ²	延长服务年限/a
首采工作面	0.365	0.11			10.2		0.02
全部开采	93.7	28.1	21.4	9.37	2.436	47.3	25

5 结 论

(1)综合机械化固体充填采煤技术在工艺、装备及基础理论等方面发展迅速,已在平煤集团、兖矿集团、新矿集团等多个矿区推广应用,解放压煤类型涉及建筑物下、水体下、铁路下等多种类型,固体充填采煤岩层控制的关键在于控制充实率。

(2)同步实施煤矸井下分离具有明确现实需求与意义,目前常见的煤矸煤矸分离方法有选择性破坏法、重介质选煤法、动筛跳汰法以及射线光学学等方法,益新煤矿、新汶翟镇煤矿、新汶协庄煤矿等煤矿均进行了不同程度的井下煤矸分离工程实验。

(3)井下煤矸分离与固体充填采煤系统设计的基本原理是:在井下形成一套完整的煤矸分离与固体充填采煤系统,其中煤矸分离系统实现煤矸分离,充填采煤系统实现矸石密实充填,2 个系统紧密结合,实现井下煤矸分离与充采一体化技术,达到矸石不升井直接置换煤炭的目的。

(4)唐山煤矿工程实践表明,采分充采一体化技术在唐山矿具有很好的应用效果,井下煤矸分离与矸石充填技术的有机结合可实现矸石减排、井下洗选以及地表沉陷控制,解决了唐山矿所面临的三大工程难题,同时带来了显著的经济、社会以及环境效益,对存

在类似工程难题的矿井具有很好的借鉴意义,是实现绿色开采的重要途径。

(5)综合机械化固体废弃物充填采煤是实现绿色采矿的核心技术之一,该技术与固体废弃物综合利用、矿区土地和生态环境保护以及企业综合经济效益结合起来,在国家产业政策支持下,必将得到更加快速的推广应用。

参考文献:

- [1] 缪协兴. 综合机械化固体充填采煤技术研究进展[J]. 煤炭学报, 2012, 37(8): 1247-1255.
Miao Xiexing. Progress of fully mechanized mining with solid backfilling technology[J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(8): 1247-1255.
- [2] 缪协兴, 张吉雄, 郭广礼. 综合机械化固体充填采煤方法与技术研究[J]. 煤炭学报, 2010, 35(1): 1-6.
Miao Xiexing, Zhang Jixiong, Guo Guangli. Study on waste-filling method and technology in fully-mechanized coal mining[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(1): 1-6.
- [3] 缪协兴, 黄艳利, 巨峰. 密实充填采煤的岩层移动理论研究[J]. 中国矿业大学学报, 2012, 41(6): 863-867.
Miao Xiexing, Huang Yanli, Ju Feng. Strata movement theory of dense backfill mining[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2012, 41(6): 863-867.
- [4] Miao Xiexing, Zhang Jixiong, Feng Meimei. Waste-filling in fully-mechanized coal mining and its application[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2008, 18(4): 479

- 482.
- [5] 缪协兴,钱鸣高.中国煤炭资源绿色开采研究现状与展望[J].采矿与安全工程学报,2009,26(1):1—14.
Miao Xiexing, Qian Minggao. Research on green mining of coal resources in China current status and future prospects[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2009, 26(1): 1—14.
- [6] 缪协兴.综合机械化固体充填采煤矿压控制原理与支架受力分析[J].中国矿业大学学报,2010,39(6):795—801.
Miao Xiexing. Principle of underground pressure control in fully-mechanized coal mining with solid filling and force analysis of mining support[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2010, 39(6): 795—801.
- [7] 张吉雄,缪协兴,茅献彪,等.建筑物下条带开采煤柱矸石置换开采的研究[J].岩石力学与工程学报,2007,26(S1):2687—2693.
Zhang Jixiong, Miao Xiexing, Mao Xianbiao, et al. Research on waste substitution extraction of strip extraction coal-pillar mining[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(S1): 2687—2693.
- [8] 周楠,张吉雄,缪协兴,等.预掘两巷前进式固体充填采煤技术研究[J].采矿与安全工程学报,2013,30(5):642—647.
Zhou Nan, Zhang Jixiong, Miao Xiexing, et al. Advancing solid backfill mining on condition of two entries pre-excavation[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2013, 30(5): 642—647.
- [9] 张吉雄,吴强,黄艳利,等.矸石充填综采工作面矿压显现规律[J].煤炭学报,2010,35(S1):1—4.
Zhang Jixiong, Wu Qiang, Huang Yanli, et al. Strata pressure behavior by raw waste backfilling with fully-mechanized coal mining technology[J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(S1): 1—4.
- [10] 张吉雄,缪协兴,郭广礼.矸石(固体废物)直接充填采煤技术发展现状[J].采矿与安全工程学报,2009,26(4):395—401.
Zhang Jixiong, Miao Xiexing, Guo Guangli. Development status of backfilling technology using raw waste in coal mining[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2009, 26(4): 395—401.
- [11] 张吉雄,李猛,邓雪杰,等.含水层下矸石充填提高开采上限方法与应用[J].采矿与安全工程学报,2014,31(2):220—225.
Zhang Jixiong, Li Meng, Deng Xuejie, et al. Method and application of extending mining upper limit under aquifer by gangue backfill mining[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2014, 31(2): 220—225.
- [12] 邹友峰,邓喀中,马伟民.矿山开采沉陷工程[M].徐州:中国矿业大学出版社,2009.
- [13] 丁开旭,张志高,张建臣.旋转冲击式井下煤矸分离可行性研究[J].煤矿机械,2007,28(8):44—45.
Ding Kaixu, Zhang Zhigao, Zhang Jianchen. Feasibility study of rotating-impact method of coal-gangue separation underground-well[J]. Coal Mine Machinery, 2007, 28(8): 44—45.
- [14] 董长双,姚平喜,刘志河.井下煤和矸石液压式自动分选技术[J].煤炭科学技术,2007,35(3):58.
Dong Changshuang, Yao Pingxi, Liu Zhihe. Hydraulic automatic separation technology of coal and refuse in underground mine[J]. Coal Science and Technology, 2007, 35(3): 58.
- [15] 李建平,杜长龙,徐龙江.煤和矸石的冲击式破碎分离试验[J].煤炭学报,2011,36(4):687—690.
Li Jianping, Du Changlong, Xu Longjiang. Impactive crushing and separation experiment of coal and gangue[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(4): 687—690.
- [16] 赵春祥,叶桂森.重介质选煤过程控制模型及控制算法的研究[J].煤炭学报,2000,25(S1):196—200.
Zhao Chunxiang, Ye Guisen. Study of heavy-medium coal preparation process control model and control algorithm[J]. Journal of China Coal Society, 2000, 25(S1): 196—200.
- [17] 彭耀丽,谢广元,蒋兆桂,等.基于高浓度煤泥水的柱式主再浮试验研究[J].煤炭学报,2013,38(S1):195—200.
Peng Yaoli, Xie Guangyuan, Jiang Zhaogui, et al. Experimental study on primary and secondary column flotation based on high concentration coal slurry[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(S1): 195—200.
- [18] 梁和平.充填开采与井下原煤分选一体化技术[J].煤炭科学技术,2013,41(8):35—37,41.
Liang Heping. Integrated technology of backfill mining and raw coal separation in underground mine[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(8): 35—37, 41.
- [19] 马方清,丁恩杰.跳汰机选煤生产过程智能控制[J].中国矿业大学学报,2002,31(3):80—84.
Ma Fangqing, Ding Enjie. Intelligent control for jigging process[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2002, 31(3): 80—84.
- [20] 黄艳利,张吉雄,张强,等.充填体压实率对综合机械化固体充填采煤岩层移动控制作用分析[J].采矿与安全工程学报,2012,29(2):162—167.
Huang Yanli, Zhang Jixiong, Zhang Qiang, et al. Strata movement control due to bulk factor of backfilling body in fully mechanized backfilling mining face[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(2): 162—167.
- [21] Zhang Jixiong, Zhou Nan, Huang Yanli, et al. Impact law of the bulk ratio of backfilling body to overlying strata movement in fully mechanized backfilling mining[J]. Journal of Mining Science, 2011, 47(1): 73—84.
- [22] Huang Yanli, Zhang Jixiong, An Baifu, et al. Overlying strata movement law in fully mechanized coal mining and backfilling longwall face by similar physical simulation[J]. Journal of Mining Science, 2011, 47(5): 618—627.
- [23] Zhang Jixiong, Zhang Qiang, Huang Yanli, et al. Strata movement controlling effect of waste and fly ash backfillings in fully mechanized coal mining with backfilling face[J]. Mining Science and Technology, 2011, 21(5): 721—726.
- [24] 周跃进,陈勇,张吉雄,等.充填开采充实率控制原理及技术研究[J].采矿与安全工程学报,2012,29(3):351—356.
Zhou Yuejin, Chen Yong, Zhang Jixiong, et al. Control principle and technology of final compression ratio of backfilling materials[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2012, 29(3): 351—356.
- [25] Zhang Jixiong, Li Meng, Huang Yanli, et al. Interaction between backfilling body and overburden strata in fully mechanized backfilling mining face[J]. Disaster Advances, 2013, 6(S5): 1—7.