

漳村煤矿 2502 工作面过 X_{12} 陷落柱方案的探究

黄友金¹ 朱川曲¹ 周泽¹ 阳志成¹

(1. 湖南科技大学 资源环境与安全工程学院,湖南 湘潭 411201)

摘要: 针对漳村煤矿 2502 工作面 X_{12} 陷落柱情况, 本文运用 FLAC^{3D} 数值软件模拟对工作面推进过程中陷落柱变形及煤层中应力变化情况进行了研究, 研究表明: 随着开采的进行, 逐渐出现了较明显的应力集中现象。在过陷落柱期间, 工作面顶板的破坏范围大约在 54m, 而底板的破坏范围大约在 22m。开采到距陷落柱 35m 时, 采动作用对陷落柱开始作用。对过 X_{12} 陷落柱进行可行性分析得出, 采用采煤机截割与放炮破碎相结合的方式强行通过。工程实践表明, 该方案保证了工作面的连续推进, 不仅有效的控制了陷落柱对生产的影响, 提高的煤炭资源的回收率, 而且能为以后的工作面过陷落柱提供技术指导。

关键字: 陷落柱; 数值模拟; 爆破采煤; 工程实践

中文分类号: TD32

Study on scheme—the collapse column of working face x12 of

Zhangcun Coal Mine 2502

Huang youjin¹, zhu chuanqu¹, zhouze¹, yang zhicheng¹

(1. Hunan University of Science and Technology School of Resource, Environment and Safety Engineering, Hunan, Xiangtan 411201)

Abstract: Aiming at the condition, the collapse column of working face x12 of Zhangcun Coal Mine 2502, this paper uses the FLAC3D numerical software simulating collapse column deformation in coal seam and stress change in the advancing process of working face to study, the results show that: in the wake of the mining, it is obvious that the gradual emergence of stress concentration phenomenon. During the collapse column, damage range of roof of working face is about 54m, and the footwall is about 22m. From mining to collapse column 35m, which affected by mining action at the same time. It can be deduced that the combination of coal mining machine cutting blasting and crushing could force a passage when we carry on the feasibility analysis to it. The engineering practice indicates that the project guarantees the continuous advancing working face, not only can effectively control the influence of the collapsing column on the production, improve the recovery percent of coal resources, but also can provide relevant technical guidance for the collapse column working face in later as well.

Keywords: collapse column; numerical simulation; blasting mining; engineering practice

前言

陷落柱是煤系下可溶性岩层经地下水强烈溶蚀后, 形成一定的溶洞, 经过地下各种地质因素的作用, 引起上覆岩层失稳和塌陷, 形成筒状的柱体, 是岩溶引起的一种较为特殊的地质现象。一般认为陷落柱的发育的主要因素为^[1]: 岩溶发育条件、地下水径流条件以及构造发育条件并且相互影响, 相互作用。陷落柱对地下工程, 特别是对煤矿井巷采掘工程的影响比较大, 比如采煤工作面的布置、资源的损失、巷道的延伸, 甚至影响煤炭的质量, 进而影响煤矿企业经济效益^[2-3]。

针对漳村煤矿 2502 综放工作面过 X_{12} 陷落柱的开采情况, 本文采用数值模拟对工作面推进过程中陷落柱变形及煤层中应力变化情况进行了研究, 从技术的可行性及经济的效益性角度出发, 探讨了综放工作面过陷落柱的可行性, 并进行了现场实施, 取得了良好的经济与

收稿日期:

基金项目: 国家自然科学基金(51474104)

通信作者: 朱川曲(1962-), 男, 湖南长沙人, 博士, 教授, 研究开采方法, 矿山压力及其控制, E-mail: cqzhu@hnust.edu.cn

社会效益。

1、陷落柱情况概述

2502 工作面位于 25 采区中部，其东侧为 25 采区大巷，西面、北面、南面均为未采区。其地面位置北侧为陈家庄和常隆水库，距陈家庄最近距离约 260m，距常隆水库最近距离约 480m，西侧为太长高速公路。

根据《潞安环保能源开发股份有限公司漳村煤矿水平延伸区三维地震勘探报告》分析，2502 工作面东部发育一可疑 X_{12} 陷落柱。为进一步确定 X_{12} 陷落柱是否存在及其边界及富水性，漳村煤矿采用井下地震 CT 和瞬变电磁勘探手段^[4-5]对 X_{12} 陷落柱进行了探测，确认 X_{12} 陷落柱在 2502 工作面内存在。详情如下图。

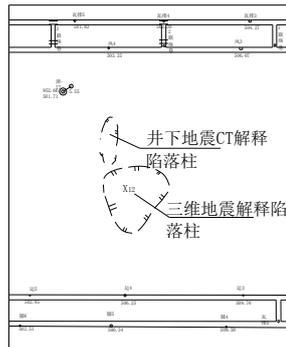


图 1 三维地震勘探与井下地震 CT 解释陷落柱对比图

当 2502 工作面运巷平均推进到 583.4m 时，组织在 2502 工作面切眼对 X_{12} 陷落柱进行了钻探验证，进一步确认 X_{12} 陷落柱存在。首先施工陷落柱探查钻孔对陷落柱发育边界进行了准确控制，根据部分钻孔取芯情况分析，2502 工作面 X_{12} 陷落柱柱体内岩性杂乱（主要为细粒砂岩、中粒砂岩、砂质泥岩和泥岩），岩块大小不一，填充物内含黄铁矿晶体，具备明显的陷落柱特征。同时根据钻探成果准确圈定了陷落柱发育边界：漳村煤矿 2502 工作面 X_{12} 陷落柱平面形态呈不规则椭圆形。2502 工作面现距陷落柱最近距离约 20m，工作面回采通过陷落柱东西跨度 38m，南北跨度 39m，陷落柱位于工作面 52#架至 78#架范围，陷落柱柱体及边缘均干燥无水，顶板、底板也无出水现象，因此 X_{12} 陷落柱不具备导水条件。详情见下图。

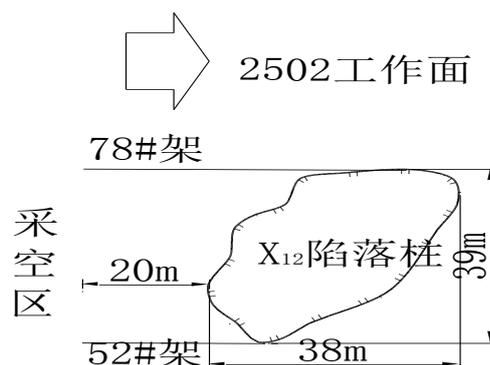


图 2 2502 工作面 X_{12} 陷落柱平面图

2、工作面推进过程中陷落柱变化情况

对于陷落柱在工作面推进过程中变化情况的研究，借鉴研究这方面的专家和学者^[6-8]的经验，运用 FLAC^{3D} 数值模拟软件，对其进行分析研究。

2.1 模型的建立

根据工程区域的实际情况建立数值计算模型。模型的大小为 400×200×228，在距陷落柱

55m 处,按照每开采 10m 进行一次数值计算建模。模型采用六面体网格进行建模计算,共剖分网格单元 122688 个,剖分单元节点 130167 个,网格数量满足高精度数值计算的要求。模型本构关系采用 Mohr-Coulomb 本构模型,具体参数见表 1。

表 1 岩石物理力学性质

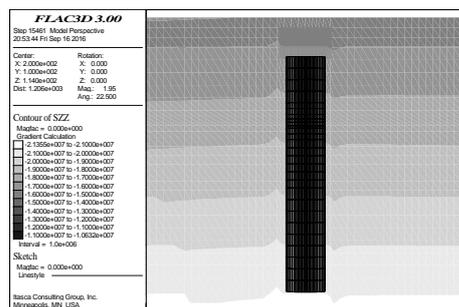
岩性	K/GPa	G/GPa	τ /MPa	C/MPa	ϕ ($^{\circ}$)	ρ /kg.m ⁻³
中砂岩	19.8	9.2	5.7	5.7	30	2459
铝土质泥岩	17.1	8.9	4.7	7.0	26	2542
细砂岩	32.1	14.3	10.1	11.7	29	2436
泥岩	18.2	10.3	4.3	6.5	31	2462
煤层	5.1	3.1	3.1	4.2	27	1345
粉泥岩	17.5	9.3	5.2	8.7	22	2361
细砂岩	31.5	13.1	10.1	11.7	29	2450
奥灰岩	14.7	8.4	7.6	8.2	30	2226
石灰岩	18.4	7.9	5.4	4.3	32	2471
中砂岩	19.2	8.6	5.3	4.8	31	2459
陷落柱	4.2	3.3	1.2	1.8	15	1623

2.2 工作面前方应力变化分析

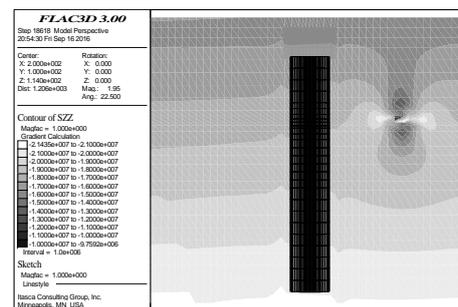
陷落柱柱体内岩性杂乱,因此陷落柱柱体本身的地应力状态与周围的岩体不同,经比较,陷落柱柱体在垂直方向的应力小于正常的地应力。陷落柱经过长期多次的塌陷作用后,内部物质结构变得相当复杂,渐渐形成以柱为中心形状近似环形的不规则破碎裂隙带^[9]。

如图 3 中 (a),其表示了未开采之前的最大的原岩应力为 21.36MPa,如图 3 中的 (b)、(c)、(d),从中可以看出开采煤层揭露前,由于工作面的开采,应力向周边围岩转移,工作面周边为应力升高区,推进距陷落柱 45 m 时,工作面前方的最大垂直应力为 21.44 MPa,约等于原岩应力,推进距陷落柱 25 m 时,工作面前方的最大垂直应力为 29.88 MPa,约为原岩应力的 1.4 倍,推进距陷落柱 5 m 时,工作面前方的最大垂直应力为 37.08 MPa,约为原岩应力的 1.7 倍。表明了随着开采地不断向前,其工作面前方最大垂直应力也不断增大。因此,在工作面向前推进时,需要及时的进行支护。

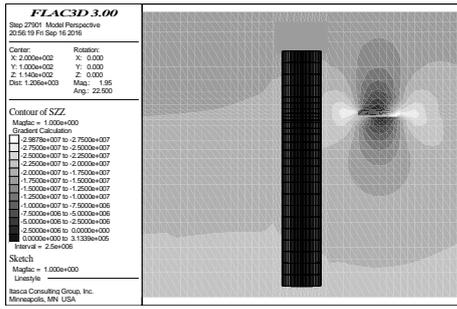
随着工作面向陷落柱推进,在陷落柱周围,应力增高区范围在增加,应力值相应增大^[10]。陷落柱和回采工作面之间的煤柱呈受压状态,并慢慢出现了较明显的应力集中现象。



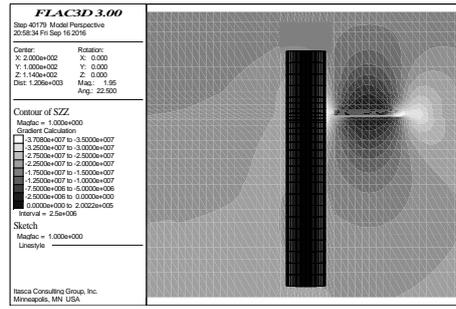
(a) 原岩应力



(b) 开采至距陷落柱 45m



(c) 开采至距陷落柱 25m



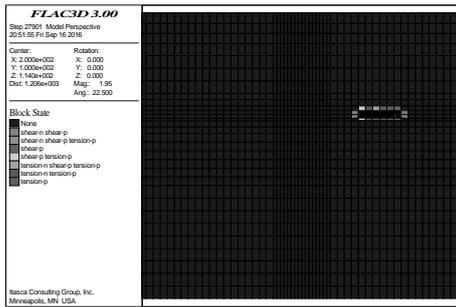
(d) 开采至距陷落柱 5m

图 3 开采煤层过陷落柱的垂直应力图

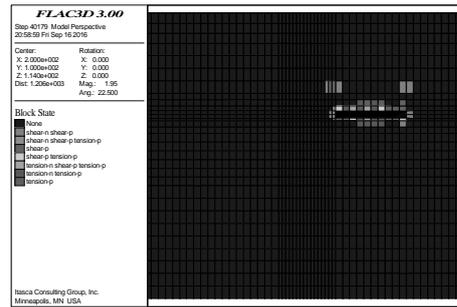
2.3 工作面四周塑性结果的分析

由图 4 可知，在揭露陷落柱之前，随着煤层的开采，塑性区域的发育范围也随之增大。采动作用对煤层围岩的破坏过程为，由于煤层的开采，使得采空区的围岩原来的三向平衡状态受到破坏，当围岩释放的能量大于岩体本身保留的能量时，残余弹性应变能量以脆性破坏形式释放，最终达到岩体能量的重新平衡。工作面顶板岩体的破坏形式为自下而上的，而底板岩体的破坏形式为自上而下的。

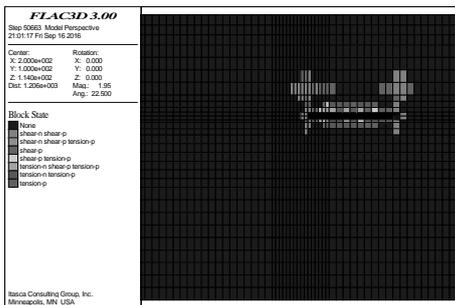
从图 4 中 (b) 中可以看出，当煤层开采至距陷落柱 5m 时，塑性区的范围发育到了陷落柱处。从图 2 中 (c)、(d) 中可以看出，在过陷落柱的过程当中，顶板的塑性区发育较快，而底板的塑性区发育慢慢趋于稳定，陷落柱的工作面顶板的破坏范围大约在 54m，而底板的破坏范围大约在 22m。



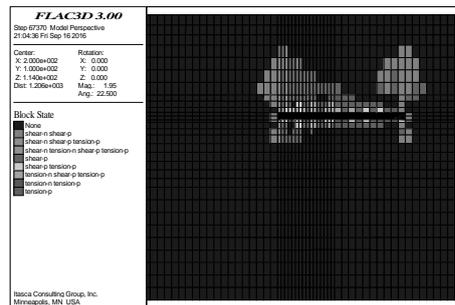
(a) 开采至距陷落柱 25m



(b) 开采至距陷落柱 5m



(c) 开采至陷落柱中



(d) 开采刚过陷落柱 0m

图 4 开采煤层过陷落柱的塑性区发育图

2.4 陷落柱内应力的监测情况

在陷落柱内距离工作面顶板 15m 处，布置了一个监测点，用了监测采动作用下对陷落柱内应力的影响，其结果如下图所示。该图表明了，在开挖至距陷落柱 35m 之前，采动作用对陷落柱内的应力影响并不大。之后随着开采的继续进行，采动作用对陷落柱内的应力的影响越来越大，并在开挖至距陷落柱 5m 处，使得陷落柱内的应力达到最大。在过陷落柱期

间，陷落柱内的应力极速下降，说明了陷落柱已经破坏。在过了陷落柱之后，陷落柱内的应力又趋于平稳，表明了过了陷落柱之后，开采对陷落柱内的应力并没有什么影响。

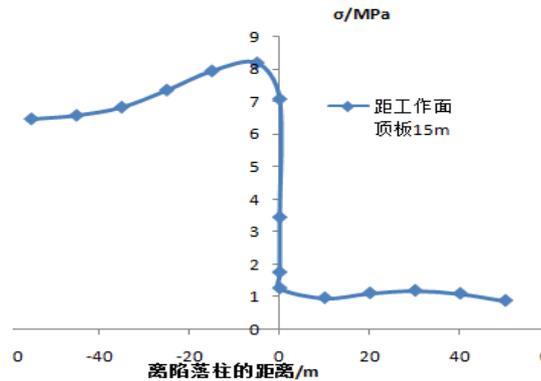


图5 陷落柱内一点的应力变化图

3、过陷落柱的可行性方案分析

目前，我国回采工作面陷落柱的处理方法主要是根据陷落柱出现在工作面内的位置、大小、形状以及采煤方法等因素，采用另开切眼或缩短工作面等技术措施来处理^[11]。对此，2502综放工作面过陷落柱可有2种方案：一是另开切眼，绕过陷落柱；二是强行通过陷落柱。方案一要进行相应的巷道施工和工作面长度调整，技术难度小，但煤炭损失量大，准备时间长。方案二无需另掘巷道和工作面搬家，不损失煤炭资源，但在通过过程中可能会存在透水、冒顶压架、底板下陷等影响工作面推进的安全隐患^[12]。方案一的煤炭损失较大，从煤炭采出率的角度来看，对资源紧缺型矿井的影响更大。方案二在现有的技术条件下，做好安全技术措施后，可以保障工作面安全、快速的通过陷落柱，最大限度的保证采区生产的连续性，提高采出率。为此，对陷落柱进行了详细的勘探，明确了陷落柱的位置、范围，查明了该陷落柱为弱含水性，通过过程中涌水量很小，认为可以通过采用采煤机截割与放炮破碎相结合的方式强行通过。

4、工程实践

4.1 通过前准备工作

为防止2502工作面回采期间陷落柱不稳定，发生冒顶和底板事故，提前对陷落柱进行注浆加固。2502工作面X₁₂陷落柱注浆加固，在开采距陷落柱10m处，向底控制段深22m，向顶控制段高54m进行注浆，共设计7组及8个验证孔，共计88个钻孔。其钻孔实际施工见下图。

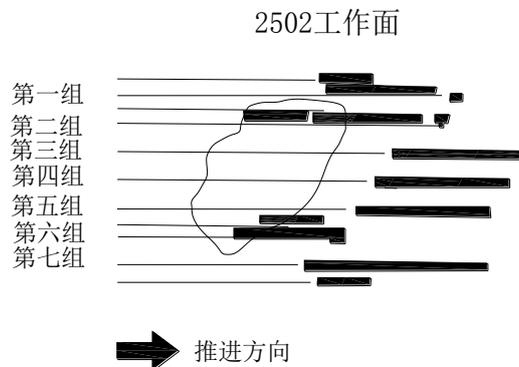


图6 2502工作面X₁₂陷落柱注浆加固钻孔布置平面图

并在开采至距陷落柱35m处开始，需要对工作面进行超前支护，消减采动作用压对陷落柱的影响。陷落柱揭露区前后20m范围内液压支架、电缆和液管用废皮带包裹保护。完

善工作面风水管路，保证工作面 40#-90#范围内每 10m 一个甩头，确保打眼用风。

4.2 过陷落柱

在过陷落柱过程中，爆破根据揭露的陷落柱岩性、致密度和硬度，以松动爆破破岩满足采煤机截割为主。由于陷落柱位于工作面中部，在采煤工艺方面采取机组割过后，空刀退至陷落柱机尾方向，在机组前方进行爆破，避免爆破的岩石过机组的问题。在对陷落柱进行爆破时，主要是对坚硬的岩石打眼爆破，若陷落柱岩石普氏硬度系数 <4 ，直接采用采煤机截割；若陷落柱整体或局部矸石（长、宽、高大于 1m）普氏硬度系数 ≥ 4 ，则进行放炮破碎，执行放炮安全技术措施。炮眼布置参数见下图及下表。具体炮眼布置要根据揭露陷落柱的岩性、致密程度及硬度等进行实时的调整，以保证达到放炮效果。爆破过程中，先按照 0.8m 步距进行爆破，为保证 0.8m 步距，打眼必须达到 1.2m 深度。对爆破后不能通过破碎机的 大块岩石，采用风镐进行破碎，必要时打眼放炮处理。爆破方式根据揭露陷落柱长度进行调整，一次爆破长度以落岩能满足前溜运输为准，不能一次爆破时采用一次打眼，分次装药，分次爆破。

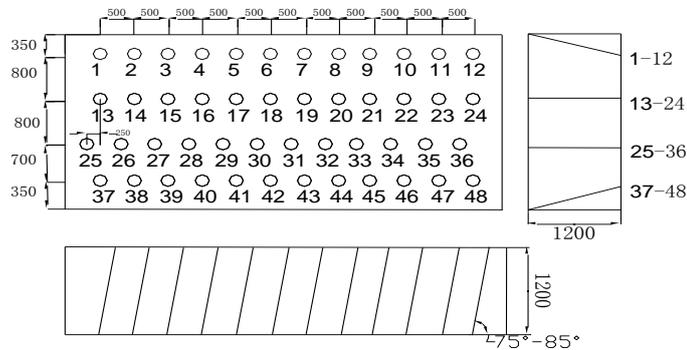


图 7 炮眼布置图

表 2 爆破说明表

眼号	炮眼名称	眼深 mm	炮眼角度		每孔药量	雷管个数	封泥长度	爆破顺序	联线方式
			水平	垂直					
1-12	顶眼	1200	上斜 21°	外斜 75°	0.4Kg	12	600	1	全部
13-36	中间眼	1200	75°-85°	0°	0.4Kg	24	600	1	串联
37-48	底眼	1200	下斜 21°	外斜 75°	0.4Kg	12	600	1	

需要注意的是，机组割陷落柱岩体期间，放慢采煤机牵引速度，采取割一架拉一架的承压移架方式及时管理顶板。工作面顶板破碎或片帮严重时，根据现场情况采取绞顶和注浆加固措施。如果出现大溜下陷情况，采取吊溜和大溜下部垫道板措施。保证大溜正常推进。如果出现支架下陷情况，要采取提架措施，在支架下垫柱帽或道木保证顺利拉架。陷落柱揭露区域周围 5 架范围内不进行放煤作业，减弱陷落柱进入老塘后应力集中程度。采煤机割陷落柱石头时，必须控制割煤速度，根据实际情况及时补充截齿，安排了专人用水冲前后滚筒。

6、结论

(1) 采用井下地震 CT 和瞬变电磁勘探手段对 X₁₂ 陷落柱进行了探测，验证了 X₁₂ 陷落柱的存在，并利用钻孔探测的技术确定了 X₁₂ 的具体位置。

(2) 通过对过 X₁₂ 陷落柱的进行数值模拟，得出了随着开采的进行，煤柱前方最大垂直应力不断增大，逐渐出现了较明显的应力集中现象。在过陷落柱期间，工作面顶板的破坏范围大约在 54m，而底板的破坏范围大约在 22m。因此，向顶板注浆的高度为 54m，底板的注浆高度为 20m。开采到距陷落柱 35m 时，采动作用对陷落柱开始作用，这时，需要对工作面进行超前支护。

(3) 通过对过 X₁₂ 陷落柱的可行性进行分析，选取了通过采用采煤机截割与放炮破碎

相结合的方式强行通过。该方案无需另掘巷道和工作面搬家，有效的缓解了工作面的推进速度，不损失煤炭资源，提高了煤炭回收率。

(4) 2502 工作面过 X_{12} 陷落柱运用强行通过的方式，不仅有效的控制了陷落柱对生产的影响，提高的煤炭资源的回收率，而且能为以后的工作面过陷落柱提供技术指导。

参考文献:

- [1] 张书林, 张子敏, 王运革, 卢志刚. 潞安常村井田陷落柱分布规律与成因初探[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2011,30(3): 283-287.
- [2] 孟鑫, 王安顺. 综采工作面过陷落柱技术初探[J]. 煤炭技术, 2010,29(11):239-240.
- [3] 郑学亮. 综放工作面过断层技术管理实践[J]. 煤矿开采, 2006,11(6):55-56.
- [4] 杨武洋. 煤矿陷落柱赋水特征的综合物探探查原理与方法[J]. 采矿与安全工程学报,2013,30(1): 45-50.
- [5] 孔祥贵, 杨卫亮, 张伟强. 瞬变电磁法在查明断层陷落柱含导水性中的应用[J]. 山东国土资源, 2014,30(3): 82-84.
- [6] 郝兵元, 张玉江等. 综采面过陷落柱采动应力与柱体应力相互影响模拟研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2015,32(2): 192-198.
- [7] 李永军, 李琛, 孙浩. 陷落柱影响煤层安全开采的数值模拟分析[J]. 煤炭技术, 2015,34(4): 9-12.
- [8] 王中亮, 秦帅等. 综放工作面快速过上松下硬陷落柱开采技术[J]. 煤矿安全, 2013,44(3): 81-84.
- [9] 李斌, 周起谋, 刘虎生. 煤层开采推过陷落柱矿压显现规律数值模拟研究[J], 煤炭与化工,2014,37(6):7-13.
- [10] 黄炜伟. 采动条件下陷落柱变形破坏与突水危险性研究[J], 煤炭技术,2014,33(6): 146-148.
- [11] 李晋平, 肖亚宁, 万世文. 综放工作面遇陷落柱高效开采技术[J]. 煤炭科学技术, 2006,34(10):36-38.
- [12] 张育恒. 综放工作面过陷落柱开采技术探讨[J]. 煤矿开采, 2012,17(4): 24-29.