

肖江,郝强强,张思达,等.油井套管对工作面矿压显现规律的影响[J].采矿与岩层控制工程学报,2020,2(1):013522.

XIAO Jiang, HAO Qiangqiang, ZHANG Sida, et al. Influence of oil well casing on the law of strata pressure in working face[J]. Journal of Mining and Strata Control Engineering, 2020, 2(1): 013522.

油井套管对工作面矿压显现规律的影响

肖江^{1,2},郝强强^{1,2},张思达^{1,2},樊思威¹

(1. 西安科技大学 能源学院, 陕西 西安 710054; 2. 教育部西部矿井开采及灾害防治重点实验室, 陕西 西安 710054)

摘要:针对双马煤矿4⁻¹煤层I0104|05综采工作面开采过程由废弃石油井所引发的一系列矿压显现问题,运用理论分析、相似材料模拟试验及现场实测的方法,对无套管和有套管2种情况下工作面矿压显现规律进行探究。以工作面覆岩结构及工作面液压支架承载力为研究对象,详细分析了覆岩破断规律和工作面周期来压规律。研究结果表明:无套管工作面周期来压强度低,顶板回转变形接触底板,形成支架-直接顶-底板铰接结构,降低了工作面支架阻力;有套管工作面中套管对覆岩有锚固作用,周期来压强度高、步距大,顶板回转变形没有接触底板,矿压显现较剧烈。在接近套管时液压支架阻力出现峰值,比无套管工作面高9.4%。

关键词:油井套管;矿压显现;覆岩结构;周期来压

中图分类号:TD 324

文献标识码:A

文章编号:2096-7187(2020)01-3522-08

Influence of oil well casing on the law of strata pressure in working face

XIAO Jiang^{1,2}, HAO Qiangqiang^{1,2}, ZHANG Sida^{1,2}, FAN Siwei¹

(1. School of Energy Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China; 2. Key Laboratory of Western Mine Exploitation and Hazard Prevention, Ministry of Education, Xi'an 710054, China)

Abstract: Aiming at a series of problems caused by abandoned oil Wells in the fully mechanized I0104|05 working face of 4⁻¹ coal seam in Shuangma Coal Mine, the law of working face pressure appearing without or with casing was studied by means of theoretical analysis, simulation experiment of similar materials and field measurement. Taking overburden structure of working face and bearing capacity of working face hydraulic support as research object, the breaking rule of overburden and periodic pressure rule of working face were analyzed. The results showed that the casing free working face had a low periodic pressure strength, and the roof turned and deformed to contact the bottom plate, forming a bracket - direct roof - bottom plate articulated structure. Thus, it reduced the face support resistance. The casing applied in working face has anchoring effect on overburden rock. With high periodic pressure strength and large step distance, the revolving deformation of the roof will not touch the bottom plate, and the mine pressure was quite violent. Therefore, the hydraulic support resistance appeared to peak value when approaching the casing, which was 9.4% higher than the casing free working face.

Key words: oil well casing; strata behavior; overlying stratum structure; periodic pressure

20世纪中期以来,我国对煤炭需求量逐渐增加,采矿技术得到了快速发展^[1],但是我国煤炭储

量有限,而且当前国际煤炭、石油资源贸易日趋紧张,解决煤-油(气)资源的安全开采和高效利用等问题就

收稿日期:2019-06-24

修回日期:2019-08-13

责任编辑:施红霞

作者简介:肖江(1971—),男,四川渠县人,副教授,硕士生导师,主要从事矿山压力与岩层控制方面的研究工作。

通信作者:郝强强(1995—),男,山西忻州人,硕士研究生,主要从事矿山压力及巷旁支护技术方面的研究工作。E-mail:953538789@qq.com

更具迫切性。目前,我国在一些新建矿井和生产矿井的改扩建过程中,遇到了煤-油地层共存的问题,但是含煤地层与含油地层在剖面上相互叠加,开采难度大,并且石油开采后在地层中残留的钻取石油的套管贯穿整个煤层。在采煤过程中,这些废弃套管严重制约着采煤工作的正常进行,主要原因是当采煤工作面推进至废弃套管附近时,矿压显现规律具有不确定性,可能引起上覆岩层应力突变,造成矿压显现。此外,套管中残余硫化氢等有毒废气,工作面切割废弃油井套管存在较大的安全隐患。因此,本文着重研究油井套管对采煤工作面矿压显现产生的影响,为工作面安全开采提供保障。

为探索顶板岩层破断结构及其对巷道矿压显现影响的规律,我国学者做了大量的研究,韩红凯、邓小鹏等^[2-3]提出顶板关键层失稳后,不会立即压死支架,而是形成一种“再稳定”铰接结构承担部分覆岩压力;鞠金峰、杨本生等^[4-5]提出悬臂梁结构的3种运动形式,并揭示了3种形式下工作面矿压显现规律;李洋^[6]提出覆岩裂隙会随着工作面推进出现扩展、闭合周期性破坏,对覆岩稳定给出了相应观点;王云广、曹胜根等^[7-11]提出不同开采环境下,覆岩活动规律不同,并对覆岩的失稳机理进行了研究;部分学者^[12-13]提出在接近废弃石油井套管时,可能发生顶板来压,残余废气泄露等风险;马智等^[14]根据废弃石油井内气体压力、浓度、煤油距离等6个指标对石油井进行分类,主要分为3类,不同类别的石油井治理手段不同;王金国等^[15]对废弃石油井套管的治理手段进行深入

探索与实践。但我国学者^[16-22]对含有油井套管影响的工作面矿压显现规律的研究较少。

笔者通过理论分析、相似模拟试验和现场实测等方法对无套管和有套管2种情况下的工作面来压规律进行研究,并解决了双马煤矿在开采中覆岩复杂活动的问题,可为其他类似矿井生产提供数据借鉴。

1 工程概况

双马煤矿位于宁夏回族自治区灵武市马家滩镇,矿井设计生产能力4.0 Mt/a,有7层主要可采煤层,本文主要对4⁻¹煤层进行研究,该煤层平均埋深292 m,分布面积约60 km²,平均厚度3.80 m,全区可采。由于双马煤矿处于石油资源与煤炭资源重叠区内,煤层中存在大量废弃石油井,其结构如图1所示。

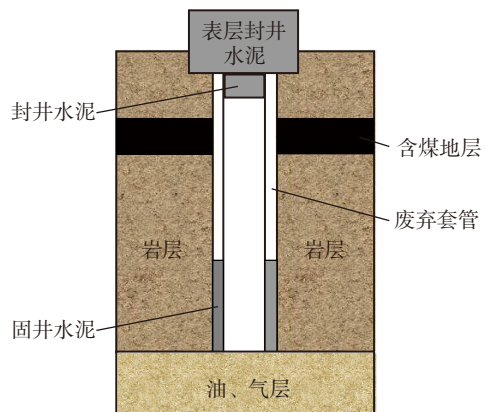


图1 双马煤矿石油井结构示意图

Fig. 1 Oil well structure diagram in Shuangma Coal Mine

矿区内共排查出石油钻孔174个,其中未采石油钻孔37个,废弃钻孔137个。以I0104,05工作面为例,其工作面布置如图2所示。该工作面共经过3个废弃

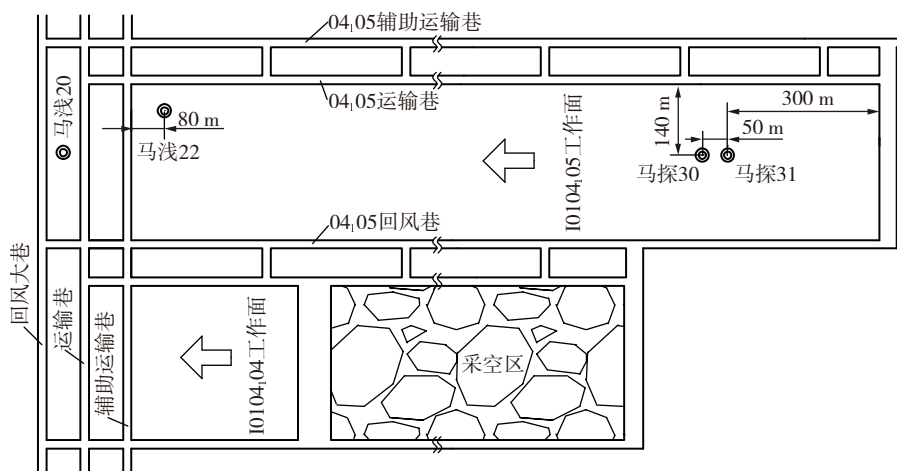


图2 I0104,05工作面布置

Fig. 2 I0104,05 working face layout

石油井,分别为马探31、马探30和马浅22。其中,马探30距马探31石油井50 m,马浅22石油井在靠近工作面终采线80 m处。

I0104.05工作面基本顶为粉砂岩和细砂岩,直接顶为细粒砂岩,厚3.4~5.0 m,厚度稳定。直接底板为浅灰色粉砂岩,粒度不均,厚3.5~4.0 m,波状层理较发育,抗压、抗剪强度低。双马煤矿4⁻¹煤层钻孔综合柱状如图3所示。

柱状	名称	厚度/m	岩性描述
	细粒砂岩	18.35	灰白色,成分以石英为主,长石次之,水平层理,含少量云母碎片及暗色矿物,夹粉砂岩薄层
	泥岩	4.43	新鲜面黑灰色,泥质结构,块状构造,碎屑成分
	细粒砂岩	26.79	浅灰色块状细粒砂岩,成分以石英为主,长石次之,分选性中等,次棱角状,水平层理
	粉砂岩	13.46	下部砂泥岩交互沉积层,上部以灰色中厚层状粉砂岩为主,分选性好,磨圆度为次棱角状
	泥岩	4.79	中部夹厚层状泥岩,厚度在2.00 m左右,波状层理,与下层明显接触
	粉砂岩	9.57	风化面土褐色,新鲜面土黄色,岩石具粉砂状结构,水平层理结构
	煤岩交互层	3.50	上层为3号煤,黑色半光亮型;沥青-玻璃光泽,次为丝绸光泽,阶梯状断口,性较脆,硬度中等,条带结构,层状构造。下层为粉砂岩,风化面土褐色,新鲜面土黄色,岩石具粉砂状结构,水平层理结构,碎屑颗粒度较细
	粉砂岩交互层	14.06	灰白色砂岩为主(宝塔山砂岩)夹粉砂泥岩,岩性以灰黑色粉砂岩、灰~灰白色细砂岩及黑色泥岩为主,具小型交错层理、波状及水平层理
	细粉砂岩交互层	5.22	上层为4.00 m厚的细粒砂岩,深灰色厚层状,水平层理发育,碎屑颗粒磨圆度较好,与下层1.22 m粉砂岩明显接触
	4 ⁻¹ 煤	3.80	黑色半光亮型煤、玻璃或沥青光泽,阶梯状断口,硬度中等,层状构造,与下层明显接触,局部含有少量夹矸,为深灰色粉砂质泥岩
	粉砂岩	3.92	灰白色,成分以石英为主的砂岩互层,长石次之,分选性中等,次棱角状,水平层理,含少量云母碎片及暗色矿物

图3 双马煤矿4⁻¹煤层钻孔综合柱状

Fig. 3 Comprehensive column diagram of drilling in 4⁻¹ coal seam of Shuangma Coal Mine

2 覆岩变形机理

工作面推进时,上覆岩层垮落后的形态直接影响工作面矿压显现和采场支护方式。相关学者对上覆岩层结构提出了各种假说,如:悬臂梁假说、砌体梁假说、压力拱假说等。但这些假说都是针对一般煤层,对于存在废弃石油井套管工作面开采时,覆岩结构形态如何影响工作面矿压显现,

本文将对分析有无套管环境下工作面覆岩结构及矿压显现规律。

利用式(1)判断存在套管的工作面上覆岩层断裂后的结构形态^[3],求得的 L 为工作面上覆岩层关键层断裂步距,当满足式(1)时覆岩呈悬臂梁,不满足时为砌体梁。

$$M + (1 - K) \sum h_i > h - \sqrt{\frac{2qL^2}{\sigma_c}} \quad (1)$$

式中, M 为煤层采高,取3.80 m; K 为岩石碎胀系数,取1.3; $\sum h_i$ 为直接顶厚度,取4.00 m; h 为关键层厚度,取16 m; L 为关键层断裂步距,m; σ_c 为关键层抗压强度,取14 MPa; q 为上覆岩层荷载,取1.6 MPa。

整理该煤矿关键层数据后得到:当 $L \leq 21.4$ m时,基本顶为砌体梁结构;当 $L > 21.4$ m时,基本顶为悬臂梁结构。

当顶板出现悬臂梁结构时,支架承担顶板大部分压力。随着工作面的推进,顶板暴露面积增大并回转下沉,当接触到采空区断裂岩块时,形成铰接结构,工作面支架阻力降低。在相同地质环境下,顶板出现砌体梁结构时,该结构一般比悬臂梁层位高,此时工作面支架阻力较大。实际上,形成悬臂梁结构的本质原因是顶板岩梁回转过程中产生的拉应力超过岩石极限抗拉强度,岩梁破断垮落,如图4所示。

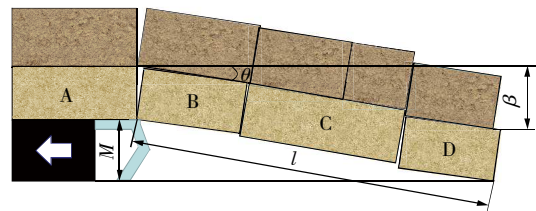


图4 顶板回转变形

Fig. 4 Roof rotation deformation

该过程中岩梁产生的最大回转角^[5]计算公式为

$$\theta_{\max} = \arcsin \frac{\beta}{l} = \arcsin \frac{M - (K - 1) \sum h_i - b}{l} \quad (2)$$

式中, β 为直接顶回转高度,m; l 为直接顶长度,m; M 为煤层采高,3.80 m; K 为岩石碎胀系数,1.3; b 为错位量,m; $\sum h_i$ 为直接顶厚度,取4.00 m。

经计算,在工作面推进时顶板的最大回转角 $\theta_{\max}$ 为5.7°。由此可见,顶板悬顶距离与岩梁最大变形角度将直接影响岩梁运动形态,即当岩梁回转超过5.7°而未触矸时,顶板破断形成悬臂梁。

但在工作面推进时,覆岩垮落带顶梁是一个动态

变化过程^[3],不是单纯以悬臂梁或砌体梁结构出现,受工作面推进速度、岩石碎胀系数、采空区垮落矸石堆积状态等因素影响,当垮落带岩梁回转接触到已断块体形成稳定铰接结构,工作面支架支撑压力减小。为了直观反映存在废弃石油井的工作面覆岩结构形态对工作面矿压显现的影响,对宁夏双马煤矿进行相似模拟试验研究。

3 试验过程及结果分析

以双马煤矿4⁻¹煤层I0104.05工作面为研究对

象,通过相似模拟试验分别模拟有套管和无套管的工作面覆岩变化情况,进而分析油井套管对工作面矿压规律的影响。

3.1 模型设计方案

选用2个长×宽×高=3 000 mm×200 mm×1 500 mm的平面应力模型支架进行物理相似模拟试验,容重相似常数为1.6,应力及荷载相似常数为320^[13]。试验以河砂为骨料,以石膏、大白粉为黏结剂,模型几何比沿用经验值1:200。相似模拟试验中各相似常数及分层厚度见表1。

表1 双马煤矿模型材料装填配比及分层厚度(1:200)

Table 1 Filling ratio and stratification thickness of model materials in Shuangma Coal Mine (1:200)

岩石名称	岩层厚度/m	模型厚度/cm	原型强度/MPa	模型强度/kPa	层数	配比(河砂:石膏:大白粉)/(kg·cm ⁻³)
4 ⁻¹ 煤	3.80	1.900	8	25.0	1	6.96:0.35:1.74:6.96(粉煤灰)
粉砂岩	1.22	0.610	37	115.0	1	14.20:0.53:1.24
细粒砂岩	4.00	2.000	48	150.0	2	14.00:0.80:1.20
细粉砂岩互层	14.06	7.030	45	140.0	4	14.00:0.80:1.20
粉砂岩	2.17	1.085	37	115.0	1	14.20:0.53:1.24
3 ⁻² 煤	1.33	0.665	8	25.0	1	6.96:0.35:1.74:6.96(粉煤灰)
粉砂岩	9.57	4.785	37	115.0	4	14.20:0.53:1.24
泥岩	4.79	2.395	20	62.5	2	14.20:0.36:1.42
粉砂岩	13.46	6.730	37	115.0	3	14.20:0.53:1.24
粗粒砂岩	26.79	13.395	40	125.0	7	14.20:0.53:1.24
泥岩	4.43	2.215	20	62.5	1	14.20:0.36:1.42
细粒砂岩	18.35	9.175	48	150.0	5	14.00:0.80:1.20

石油井套管实际直径为200~300 mm,考虑套管强度高,为保证相似比例及材料强度的准确性,根据文献[13],采用16号直径为1.6 mm的铁丝模拟套管。套管从地表贯穿至煤层,根据煤矿实际套管间排距,从开切眼450 mm开始布置,每隔250 mm布

置1条套管,共布置5条。主要测试手段:采用108路压力计算机数据采集系统,将CL-YB-114型应力传感器布置于煤层底板,对采场支承压力分布进行实时采集。采用TS11-1R500型光学全站仪对煤层上覆岩层运动规律进行实时采集,如图5所示。

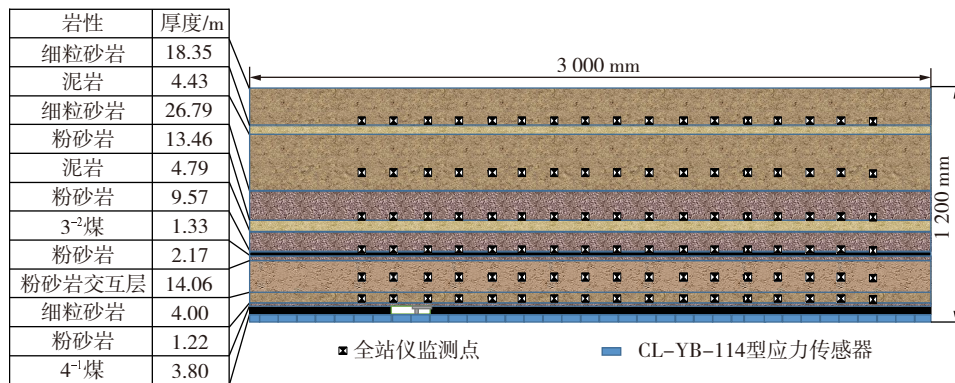


图5 模型监测设计

Fig. 5 Model monitoring design

3.2 试验结果分析

通过模拟有无套管的工作面矿压显现规律,对

比无套管工作面来压情况,确定有套管工作面在套管影响下其矿压显现特征,并结合覆岩结构对2种

工作面矿压显现规律进行分析。

3.2.1 无套管工作面来压情况分析

根据应力相似比及模型几何比将试验原始数据转化为工程实际,结果见表2。

表2 推进度、支架工作阻力、周期来压步距和增载系数对应关系(无套管)

Table 2 Propulsion degree, support working resistance, periodic pressure step and load coefficient correspondence (without casing)

来压次数	推进度/m	支架初撑力/kN	支架最大工作阻力/kN	来压步距/m	增载系数
初次来压	41	7 500	8 724	41	1.16
第1次周期来压	63	6 843	8 452	22	1.24
第2次周期来压	86	7 369	8 216	23	1.11
第3次周期来压	111	6 837	8 335	25	1.22
第4次周期来压	132	7 359	8 157	21	1.11
第5次周期来压	152	8 034	8 334	20	1.04
第6次周期来压	171	7 784	8 434	19	1.08
第7次周期来压	225	6 834	8 334	24	1.22
第8次周期来压	250	7 610	8 167	25	1.07
第9次周期来压	272	6 842	8 527	22	1.25
第10次周期来压	298	7 301	8 430	26	1.15
第11次周期来压	319	7 281	8 108	21	1.11
平均值		7 300	8 352	24	1.15

由表2可知,在无套管影响的煤层中推进时,工作面共发生11次周期来压,工作面周期来压平均步距24 m,来压时支架平均受力为8 352 kN。初次来压时支架阻力较高为8 724 kN,此后11次周期来压支架阻力均不超过8 600 kN。在周期来压时,顶板受向下的压力作用向采空区自由空间回转,岩石内的张力大于岩石极限抗拉强度,产生裂隙。

在模拟试验中出现的最大回转角为4.5°,小于理论计算结果5.7°,直接顶回转变形与采空区底板接触,岩体未发生折断并保持一定的抗压强度,如图6所示。通过岩块之间互相挤压形成支架—直接顶—底板铰接稳定结构。支架上覆岩层部分质量通过回转变形的顶梁转移至底板,所以工作面矿压显现较小。

3.2.2 有套管工作面来压情况分析

有废弃石油井套管的工作面共发生8次周期来压,周期来压时工作面推进度、支架工作阻力及来压步距见表3。

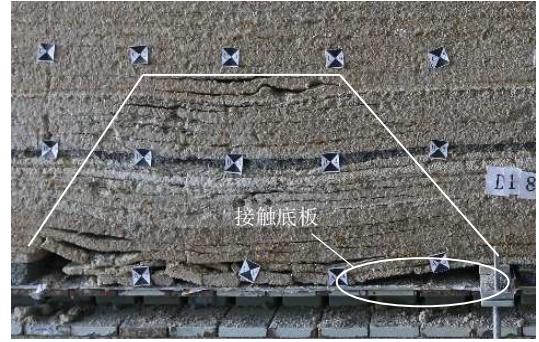


图6 无套管工作面顶板垮落结构

Fig. 6 Roof collapse structure of casing free working face

表3 推进度、支架工作阻力、周期来压步距和增载系数对应关系(有套管)

Table 3 Propulsion degree, support working resistance, periodic pressure step and load coefficient correspondence (with casing)

来压次数	推进度/m	支架初撑力/kN	支架最大工作阻力/kN	来压步距/m	增载系数
初次来压	55	7 810	8 450	55	1.39
第1次周期来压	86	7 963	9 132	31	1.35
第2次周期来压	120	6 484	8 235	34	1.41
第3次周期来压	156	8 494	9 381	36	1.43
第4次周期来压	181	7 514	8 634	25	1.42
第5次周期来压	214	6 864	8 435	33	1.42
第6次周期来压	242	8 684	9 451	28	1.33
第7次周期来压	271	6 854	8 234	29	1.43
第8次周期来压	300	8 479	9 067	29	1.37
平均值		7 683	8 780	33	1.39

由表3可知,有石油井套管工作面周期来压时支架平均受力为8 780 kN,增载系数平均1.39。其中,第1,3,6,8次周期来压支架最大工作阻力均超过9 000 kN。相对无套管的工作面,存在套管的工作面来压次数少,且矿压显现剧烈,支架阻力较大。所以套管的存在对工作面矿压显现有显著影响。工作面支架阻力及套管位置对照如图7所示。

当工作面接近第1根套管时,出现第1次周期来压,支架阻力较高,为9 132 kN。工作面距第2根套管20 m时,发生第2次周期来压,支架最大阻力为8 235 kN,来压后工作面出现套管,如图8所示。工作面距离第3根套管9 m时,发生第4次周期来压,支架最大阻力为8 634 kN。推进至240 m时,出现第4根套管,此时支架阻力达到9 451 kN,发生第6次周期来压。当工作面推进至超前第5根套管10 m时,

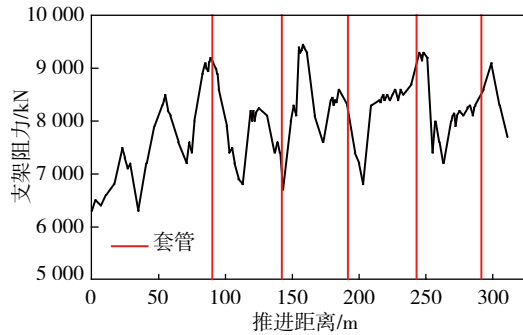


图7 工作面支架阻力及套管位置对照

Fig. 7 Comparison of working face support load and casing position

发生第8次周期来压, 支架阻力达到9 067 kN。综上所述可知, 工作面接近套管时, 支架阻力逐渐升高, 其中, 在距离第1根、第3根、第4根及第5根套管10 m内发生周期来压。来压时采空区顶板直接垮落, 垮落后支架阻力会继续保持一段时间高阻力状态。

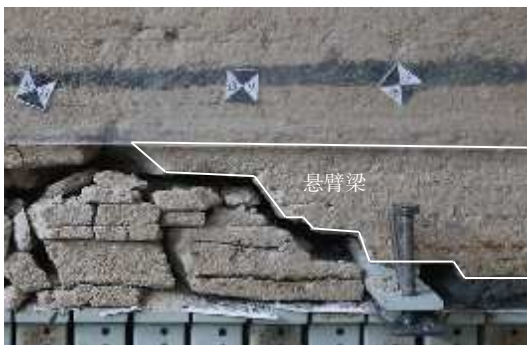


图8 出现的套管

Fig. 8 Casing appears

对于有套管工作面周期来压步距平均为33 m, 大于理论计算值21.4 m, 所以周期来压后基本顶以悬臂梁形式出现, 如图9所示。

由于采空区顶板垮落后支架上方悬臂梁范围较大, 冒落顶板无法形成铰接结构, 此时支架将承担较大的覆岩应力, 所以周期来压后支架会保持一段时间高阻力状态。当工作面继续推进而离开套



(a) 悬臂梁结构

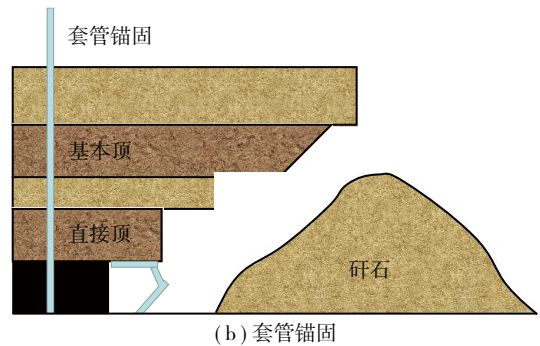


图9 有套管工作面覆岩结构

Fig. 9 Overburden structure of casing working face

管影响范围时, 支架阻力降低。发生周期来压时, 采空区顶板直接垮落, 工作面矿压显现较剧烈, 支架工作阻力峰值比无套管工作面支架高9.4%。

综上所述, 无套管工作面推进时, 采空区顶板回转变形接触底板, 形成支架-直接顶-底板铰接稳定结构, 承担部分覆岩压力, 工作面矿压显现较为缓和。有套管工作面其套管对工作面覆岩有锚固作用, 提高了顶板强度, 基本顶整体性较好, 关键层断裂时一般以悬臂梁结构出现, 并且悬臂梁末端与采空区冒落矸石未形成铰接结构, 矿压显现较为剧烈, 周期来压步距大。工作面接近套管过程中, 支架阻力逐渐升高, 在套管附近支架阻力达到峰值, 容易发生周期来压。

4 现场观测及结果分析

沿工作面距马探31油井-50 ~ 50 m区域采用支架阻力监测。由于实测平均阻力受支架实际初撑力、支架架型、支架额定阻力、围岩条件和距石油井套管距离等因素的影响, 在工作面的不同位置围岩性质不同。在工作面共布置3个测站, 每个测站设置2条测线, 分别布置在相邻的2台支架上, 具体布置情况如下: 工作面选用ZY10000/22/45D型液压支架, 上部测站的2条测线分别布置在9, 10号支架上, 中部测站的2条测线分别布置在69, 70号支架上, 下部测站的2条测线分别布置在119, 120号支架上。套管位置在70号支架周围。测站布置及支架监测应力曲线如图10所示。

综合上述分析可以看出, 工作面中部平均工作阻力相对较大, 两边较小。整个工作面来压步距23.30 ~ 29.45 m, 在距离套管36 m时, 受套管影响, 工作面支架阻力逐渐增加, 在套管周围支架阻力达

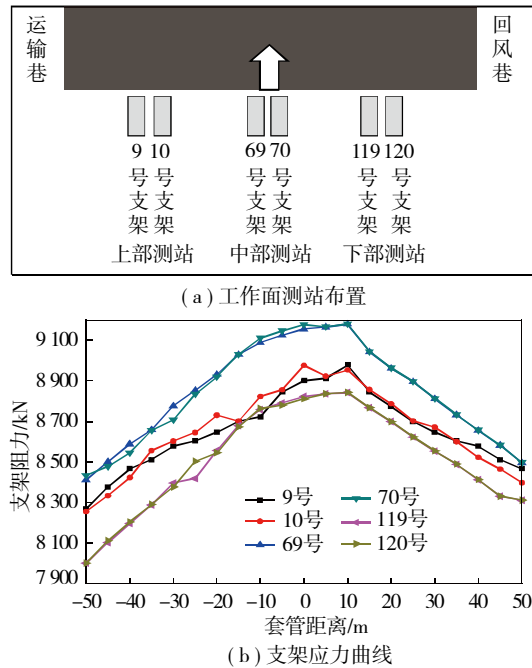


图10 工作面测站布置及矿压监测情况

Fig. 10 Mining pressure monitoring diagram of working face and station layout

到峰值。在过石油井套管9 m处发生周期来压,来压后覆岩呈悬臂梁结构,悬顶距离最大为27 m,并且悬臂梁末端与采空区冒落矸石未形成铰接结构,矿压显现较为剧烈,此时出现峰值压力为9 177 kN,且工作面离开石油井套管距离越远,周期来压步距越小。因此,套管对局部覆岩有锚固作用,导致矿压显现剧烈。现场监测结果验证了相似模拟试验数据的准确性。

5 结 论

(1) 由于套管的锚固作用提高了上覆岩层的整体性,顶板强度较高,周期来压次数少。工作面接近套管10 m范围内,支架阻力升高,在套管处峰值达到9 000 kN以上,容易发生周期来压,来压时支架阻力峰值比无套管工作面高9.4%。

(2) 无套管工作面顶板回转高度4.20 m,大于采煤高度3.80 m,顶板岩块回转变形接触采空区底板,形成支架-直接顶-底板铰接稳定结构,该结构承担部分覆岩压力,工作面矿压显现较小。有套管煤层工作面接近套管时,基本顶以悬臂梁结构呈现,暴露面积较大,回转变形没有接触采空区底板,液压支架承担覆岩压力较高。

(3) 现场观测整个工作面来压步距23.30 ~ 29.45 m,接近套管时顶板来压步距增大,在距套管

9 m范围内容易发生周期来压,来压后覆岩呈悬臂梁结构,并且悬臂梁末端与采空区冒落矸石未形成铰接结构,该观测结果与相似模拟试验结果一致。

参考文献(References):

- [1] 康红普,徐刚,王彪谋,等. 我国煤炭开采与岩层控制技术发展40 a及展望[J]. 采矿与岩层控制工程学报,2019,1(1):013501.
KANG Hongpu, XU Gang, WANG Biaomou, et al. Forty years development and prospects of underground coal mining and strata control technologies in China[J]. Journal of Mining and Strata Control Engineering, 2019, 1(1):013501.
- [2] 韩红凯,王晓振,许家林,等.覆岩关键层结构失稳后的运动特征与“再稳定”条件研究[J].采矿与安全工程学报,2018,35(4):734-741.
HAN Hongkai, WANG Xiaozhen, XU Jialin, et al. Study on the movement characteristics and "re-stabilization" conditions of overlying key stratum structure after losing stability [J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2018, 35(4):734-741.
- [3] 邓小鹏,张基伟.大采高工作面覆岩运移规律及灾变机理研究[J].煤炭技术,2017,36(6):35-37.
DENG Xiaopeng, ZHANG Jiwei. Study on overlying strata movement rules and disaster mechanism of high-seam working face[J]. Coal Technology, 2017, 36(6):35-37.
- [4] 鞠金峰,许家林,王庆雄.大采高采场关键层“悬臂梁”结构运动型式及对矿压的影响[J].煤炭学报,2011,36(12):2115-2120.
JU Jinfeng, XU Jialin, WANG Qingxiong. Cantilever structure moving type of key strata and its influence on ground pressure in large mining height workface[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(12):2115-2120.
- [5] 杨本生,张磊.覆岩关键层位置的快速判别及来压预测[J].煤炭工程,2013,45(7):79-81.
YANG Bensheng, ZHANG Lei. Rapid identification and weighting prediction of key strata in overburden[J]. Coal Engineering, 2013, 45(7):79-81.
- [6] 李洋.开采煤层上覆岩层裂隙扩展规律研究[J].煤炭与化工,2017,40(10):115-118.
LI Yang. Study on law of crack propagation evolution of overlying rock[J]. Coal and Chemical Industry, 2017, 40(10):115-118.
- [7] 王云广,郭文兵,白二虎,等.高强度开采覆岩运移特征与机理研究[J].煤炭学报,2018,43(S1):28-35.
WANG Yunguang, GUO Wenbing, BAI Erhu, et al. Characteristics and mechanism of overlying strata movement due to high-intensity mining[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43 (S1):28-35.
- [8] 王瑞.浅埋深厚煤层覆岩运动规律研究[J].煤炭工程,2018,50(10):101-105.
WANG Rui. Research on overlying strata movement law of shallow-buried thick coal seam[J]. Coal Engineering, 2018, 50(10):101-105.
- [9] 于斌,朱卫兵,李竹,等.特厚煤层开采远场覆岩结构失稳机理[J].煤炭学报,2018,43(9):2398-2407.

- YU Bin, ZHU Weibing, LI Zhu, et al. Mechanism of the instability of strata structure in far field for super-thick coal seam mining[J]. Journal of China Coal Society, 2018, 43(9): 2398–2407.
- [10] 曹胜根, 姜海军, 王福海, 等. 采场上覆坚硬岩层破断的数值模拟研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2013, 30(2): 205–210.
- CAO Shenggen, JIANG Haijun, WANG Fuhai, et al. Numerical simulation of overlying hard strata rupture in a coal face[J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2013, 30(2): 205–210.
- [11] 茅献彪, 缪协兴, 钱鸣高. 采动覆岩中复合关键层的断裂跨距计算[J]. 岩土力学, 1999, 20(2): 1–4.
- MAO Xianbiao, MIAO Xiexing, QIAN Minggao. Fracture span calculation of composite key strata in mining overburden[J]. Rock and Soil Mechanics, 1999, 20(2): 1–4.
- [12] 赵罡, 彭振华. 煤矿采空区油气管道安全保护与管理[J]. 石油工业技术监督, 2009, 25(6): 5–8.
- ZHAO Gang, PENG Zhenhua. Safety protection and management of oil and gas pipeline in goaf of coal mine [J]. Technical Supervision in Petroleum Industry, 2009, 25 (6): 5–8.
- [13] 樊思威. 废弃石油套管对工作面顶板影响研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2018.
- FAN Siwei. Study on roof control technology of working face under the influence of waste oil casing[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2018.
- [14] 马智, 张刚, 马兴华, 等. 煤矿井田内废弃油井风险分类及治理方案的选择[J]. 煤田地质与勘探, 2018, 46(S1): 97–99.
- MA Zhi, ZHANG Gang, MA Xinghua, et al. Risk classification of abandoned oil wells in coal mine fields and selection of plugging scheme[J]. Coal Geology and Exploration, 2018, 46(S1): 97–99.
- [15] 王金国, 李慧平, 陈盼. 煤矿井田内废弃油井治理的探索与实践[J]. 煤炭技术, 2014, 33(4): 262–265.
- WANG Jinguo, LI Huiping, CHEN Pan. Exploration and practice on treatment technology of depleted oil wells in coal mine [J]. Coal Technology, 2014, 33(4): 262–265.
- [16] 宋选民, 顾铁凤, 闫志海. 浅埋煤层大采高工作面长度增加对矿压显现的影响规律研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(S2): 4007–4012.
- SONG Xuanmin, GU Tiefeng, YAN Zhihai. Effects of increasing working face's length on Underground pressure behaviors of mining super-high faces under shallow coal seam [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(S2): 4007–4012.
- [17] 许兴亮, 田素川, 李俊生, 等. 小纪汗煤矿工作面顶板破断结构对巷道矿压影响规律研究[J]. 煤炭学报, 2017, 42(2): 308–314.
- XU Xingliang, TIAN Suchuan, LI Junsheng, et al. Influence law of roof breaking structure of working face on roadway pressure in Xiaojihan Coal Mine [J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42 (2): 308–314.
- [18] 王翰钊, 李守国, 段鹏飞, 等. 风积沙厚度对浅埋煤层大采高工作面矿压显现的影响[J]. 中国安全生产科学技术, 2016, 12(4): 25–29.
- WANG Hanzhao, LI Shouguo, DUAN Pengfei, et al. Influence on strata behaviors at large mining height working face in shallow coal seam by depth of aeolian sand [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2016, 12(4): 25–29.
- [19] 杨胜利, 王兆会, 吕永. 大采高采场周期来压顶板结构稳定性及动载效应分析[J]. 采矿与安全工程学报, 2019, 36(2): 315–322.
- YANG Shengli, WANG Zhaohui, LYU Huayong. Analysis of structure stability of main roof and dynamic loading effect during periodic weighting in a large mining height stope [J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2019, 36(2): 315–322.
- [20] 付宝杰, 方恩才, 涂敏, 等. 深埋弱黏结顶板采场矿压显现特征及载荷传递机理研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2019, 36(1): 24–29.
- FU Baojie, FANG Encai, TU Min, et al. Study on load-transfer mechanism and strata behavior characteristics in deep-buried weak-caking roof [J]. Journal of Mining and Safety Engineering, 2019, 36(1): 24–29.
- [21] JIANG Haijun, CAO Shenggen, ZHANG Yun, et al. Analytical solutions of hard roof's bending moment, deflection and energy under the front abutment pressure before periodic weighting[J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2016, 26(1): 175–181.
- [22] 张伟. 近距离煤层采空区下综采工作面矿压显现规律[J]. 煤矿开采, 2011, 16(6): 84–86.
- ZHANG Wei. Underground pressure behavior of full-mechanized mining face under gob of near-distance coal-seam [J]. Coal Mining Technology, 2011, 16(6): 84–86.