

JIANYING HOU DINGBAN JIBO

Xiabaohu Yuejin Wasi Yalichang Shice Yanjiu

坚硬厚顶板极薄

下保护层防突与煤层掘进瓦斯压力场实测研究

成恒棠 俞启香 郑国宝 编著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

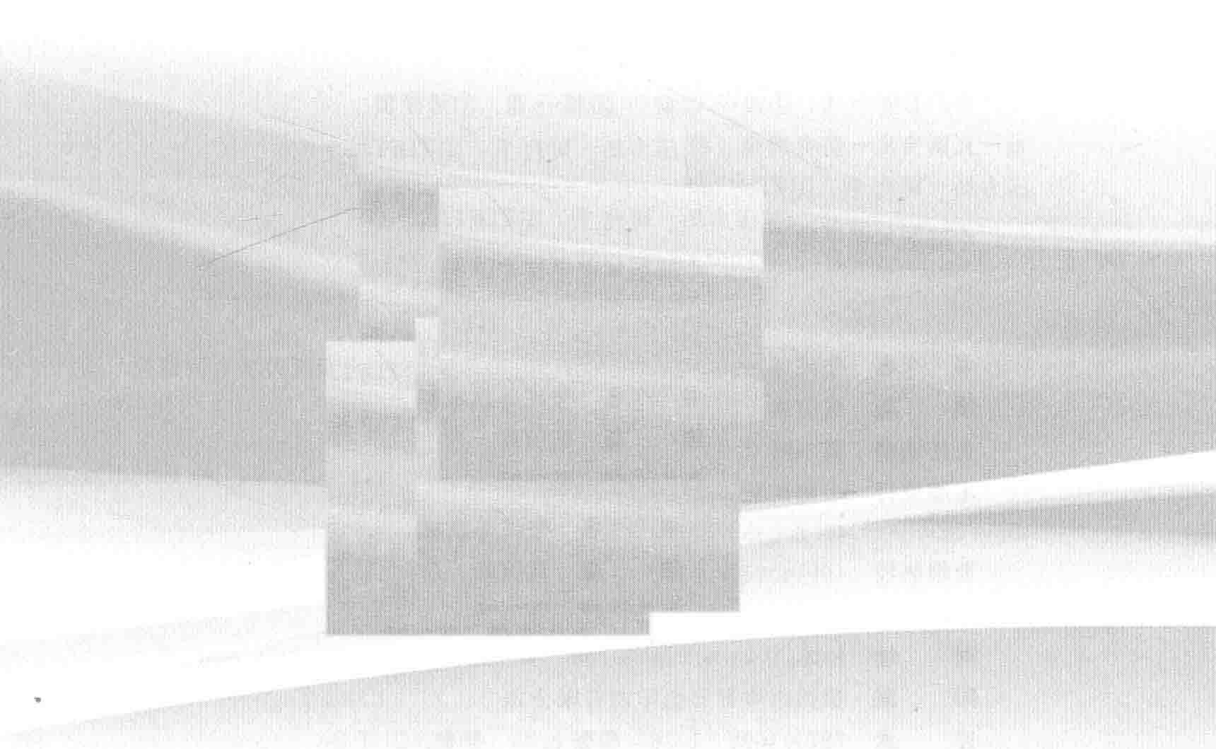
DU DINGBAN JIBO

Yu Yu Meiceng Juejin Wasi Yalichang Shice Yanjiu

坚硬厚顶板极薄

下保护层防突与煤层掘进瓦斯压力场实测研究

成恒棠 俞启香 郑国宝 编著



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

内 容 简 介

全书共三部分内容,第一部分论述了下保护层开采考察方案设计,一₇保护层采动卸压效应,保护层卸压瓦斯抽采及其抽采卸压瓦斯的作用,保护作用机理,二₁煤层保护效果检验等。第二部分论述了煤巷掘进工作面瓦斯压力场分布实测,对石门揭煤震动爆破后煤体的应力变形和瓦斯压力场的变化进行分析,阐述了瓦斯压力场与地应力场的关系,地应力场和瓦斯压力场分布对瓦斯突出的作用。第三部分收录了金岭煤矿瓦斯治理技术规范、保护层开采、卸压瓦斯抽采技术管理等相关内容。

本书可作为采矿工程、地质工程、安全工程、岩石力学领域的高等院校及科研院所、设计与生产单位的工程技术人员参考资料,也可作为矿业工程学科研究生的参考学习用书。

图书在版编目(CIP)数据

坚硬厚顶板极薄下保护层防突与煤层掘进瓦斯压力场
实测研究/成恒棠,俞启香,郑国宝编著. —徐州:中国矿业
大学出版社,2018.7

ISBN 978 - 7 - 5646 - 4060 - 6

I. ①坚… II. ①成… ②俞… ③郑… III. ①坚硬顶
板—瓦斯突出—防突措施—研究②瓦斯煤层—巷道掘进—
压力场—研究 IV. ①TD713②TD263.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 161945 号

书 名 坚硬厚顶板极薄下保护层防突与煤层掘进瓦斯压力场实测研究

编 著 成恒棠 俞启香 郑国宝

责任编辑 黄本斌

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州市今日彩色印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 8.25 字数 160 千字

版次/印次 2018 年 7 月第 1 版 2018 年 7 月第 1 次印刷

定 价 30.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

编 委 会

主 任:袁占国

委 员:袁占欣 郑光辉 俞启香 成恒棠

刘海旺 郑国宝 郑建华 李宏发

周铁弓 崔建峰 李炎坤

编 著:成恒棠 俞启香 郑国宝

编 审:林柏泉

前 言

郑州市磴槽集团有限公司下属金岭煤矿、磴槽煤矿开采的主采煤层向深部延深后,煤层煤与瓦斯突出严重地威胁矿井安全。2002年8月起,中国矿业大学与郑州市磴槽集团有限公司金岭煤矿合作,共同进行“坚硬厚顶板极薄煤层下保护层开采防突技术的研究”,项目取得了丰富的突破性成果。验证了坚硬厚顶板极薄下保护层的开采条件能够取得对二₁突出煤层的良好保护效果,使突出煤层全面消除了瓦斯突出危险。也与磴槽煤矿合作,对煤巷掘进工作面瓦斯压力场分布开展实测研究,在煤巷掘进与石门揭煤防突理论与技术方面获得了原始性创新成果。

本书在金岭煤矿一₇保护层开采试验取得成功的基础上,结合科技工作者和矿井有关人员的研究工作,系统地总结了下保护层开采技术和全面地阐述了坚硬厚顶板极薄下保护层开采的理论与技术。磴槽煤矿通过煤巷掘进工作面瓦斯压力场分布实测研究工作,系统地阐述了煤巷掘进工作面瓦斯压力场与地应力场的关系和瓦斯压力场分布规律。

全书共三部分内容:第一部分论述了下保护层开采考察方案设计,一₇保护层采动卸压效应,保护层卸压瓦斯抽采及其抽采卸压瓦斯的作用,保护作用机理,二₁煤层保护效果检验等;第二部分论述了煤巷掘进工作面瓦斯压力场分布实测,对石门揭煤震动爆破后煤体的应力变形和瓦斯压力场的变化进行分析,阐述了瓦斯压力场与地应力场的关系,地应力场和瓦斯压力场分布对瓦斯突出的作用;第三部分收录了金岭煤矿瓦斯治理技术规范、保护层开采、卸压瓦斯抽采技术管理等相关内容。

本书在编写过程中,得到了中国矿业大学林柏泉教授的精心审核和热情帮助,得到了郑州市磴槽集团有限公司主要领导的热情帮助和大力支持,在此表示衷心感谢。书中不当之处和错误,敬请读者批评指正。

作者

2018年3月

目 录

第一章 坚硬厚顶板极薄下保护层防突	1
第一节 矿井概况	1
一、矿井地层及煤层	1
二、矿井煤层	1
三、井田开拓与采煤方法	3
四、矿井通风和矿井瓦斯	3
第二节 一 ₇ 煤层保护层开采概述	5
一、简述	5
二、金岭煤矿与国内外其他开采下保护层煤矿的比较	6
第三节 一 ₇ 煤层保护层保护效果考察	7
一、一 ₇ 煤层保护层工作面布置及保护范围	7
二、一 ₇ 煤层保护层考察方案设计	11
第四节 二 ₁ 煤层瓦斯压力与变形等参数测定	14
一、二 ₁ 煤层瓦斯压力参数测定	14
二、煤层瓦斯含量参数计算	22
三、二 ₁ 煤层变形参数测定	25
四、煤层透气性系数测定	30
第五节 一 ₇ 煤层保护层采动卸压效应的分析	36
一、在一 ₇ 煤层保护层采动作用下,二 ₁ 煤层被保护层的应力变形及 瓦斯动力参数变化	37
二、保护层的采动影响在层间垂直方向的卸压作用	42
三、采动影响在倾斜方向上的卸压保护范围	46
四、保护层开采后的应力和瓦斯变化带	46
第六节 一 ₇ 煤层保护层的卸压瓦斯抽采	48
一、抽采巷布置	48
二、抽采钻场和钻孔布置	49
三、钻孔封孔工艺	52

四、抽采钻孔的孔口仪表及连接装置	52
五、瓦斯抽采系统抽采管路	53
六、管网阻力计算	54
七、抽采泵选型	55
八、抽采卸压瓦斯量及其变化规律	56
九、抽采卸压瓦斯的作用及规律	58
第七节 抽采瓦斯利用	59
一、抽采瓦斯发电	59
二、锅炉利用瓦斯	60
三、民用瓦斯	60
四、节能减排效益	60
第八节 保护层作用机理及效果	60
一、保护层作用机理	60
二、保护层作用效果	61
本章小节	64
参考文献	65
 第二章 煤巷掘进瓦斯压力场实测的研究	67
第一节 矿井概况	67
第二节 3 [#] 石门煤与瓦斯突出	68
一、概况	68
二、3 [#] 石门大强度煤与瓦斯突出	69
三、3 [#] 石门大强度突出情况	72
四、3 [#] 石门煤与瓦斯突出的分析	72
五、3 [#] 石门瓦斯突出的教训	73
第三节 煤巷掘进工作面瓦斯压力场实测	74
一、煤巷掘进瓦斯压力场实测条件	74
二、测压方法与钻孔布置	74
第四节 煤巷掘进工作面瓦斯压力场与应力场的分布	75
一、瓦斯压力场与地应力场的关系	75
二、煤巷掘进工作面瓦斯压力场分布	76
本章小结	79
参考文献	80

附录 金岭煤矿瓦斯治理技术规范	81
附录一 瓦斯地质	81
附录二 瓦斯防治机构设置及权责划分	84
附录三 瓦斯防治管理	87
一、瓦斯防治技术管理	87
二、防治煤与瓦斯突出的安全管理	88
三、瓦斯防治工作计划、总结管理	93
四、瓦斯防治措施执行监督管理	93
五、瓦斯异常及防突预警分析处置管理	94
六、煤与瓦斯突出调查处理	96
七、石门揭煤工作面防突管理	99
附录四 开采保护层	100
附录五 瓦斯抽采管理	104
一、瓦斯抽采系统管理	104
二、瓦斯抽采设备检查管理	105
三、瓦斯抽采泵停运联系管理	105
四、瓦斯抽采管路吊挂管理	106
五、打钻、抽采、效果检验造假举报管理	107
六、瓦斯抽采钻场钻孔管理	108
七、瓦斯抽采管理和考核奖惩管理	109
八、瓦斯抽采达标管理和考核奖惩管理	112
九、抽采工程检查验收管理	114
十、抽采技术档案管理	116
十一、先抽后采例会管理	116
十二、交接班管理	118
十三、瓦斯抽采观测工管理	119
十四、抽采泵站值班人员管理	119
十五、抽采设备管理	120
十六、打钻进尺报表管理	120

第一章 坚硬厚顶板极薄 下保护层防突

第一节 矿井概况

金岭煤矿隶属于郑州市磴槽集团有限公司,于2000年4月建矿,矿井井田为马岭山煤田,位于登封市颍阳镇李家沟至三过窖一带,一₇煤层下保护层开采是在金岭煤矿进行试验研究。

一、矿井地层及煤层

金岭煤矿区内地层自老而新有:寒武系、石炭系、二叠系、三叠系和第四系。石炭系和二叠系为主要含煤地层。本井田整体为一单斜构造,地质构造简单,走向近东西,倾向北。煤层倾角 $28^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。

该区内含煤地层为石炭系太原组、二叠系山西组和上、下石盒子组。总厚度641.4 m,共含9个煤组,计43层,其中一₇煤层和二₁煤层全区基本可采,其他煤层均不可采。

煤系地层综合柱状图如图1-1所示。

二、矿井煤层

一₇煤层为本井田不稳定薄煤层,位于石炭系太原组上部,煤厚0.29~0.8 m,平均厚0.5 m。煤层直接顶板为L₇石灰岩,全厚7~7.5 m,煤层直接底为深

地层	岩层名称	分层厚度 /m	柱状 1:250	岩性描述
二叠系山西组	二 ₁ 煤层	0.18~9.44		黑色粉状、鳞片状、似金属光泽、半亮型为主煤种、贫煤
		4.65~5.0		
	细、中粒石英砂岩	5.0		灰白色厚层状、细中粒石英砂岩、顶部水平层理条状石英砂岩、中细粒含黄铁结核
石炭系	粉砂岩、泥岩薄层	4.5~5.0		灰色粉砂岩及泥岩互层、隔水层
	灰岩	1.2		薄层石灰岩
	泥岩	2.0		深灰色泥岩、中央煤线0.1m,下含菱铁
	石灰岩 L ₇	7.0~7.5		深灰色厚层状、含黄铁矿结核、小断层裂隙发育、有少量裂隙水、稳定
	一 ₇ 煤层	0.29~0.8		黑色块状、性硬、低灰、高硫、高热量的无烟煤
	泥砂岩	1.5~1.6		灰色泥岩
	泥岩	5.7~6.0		灰黑色泥岩、坚硬厚层状,中夹一 ₆ 煤0.3~0.1m
	砂岩	5.0		中粒石英砂岩
	泥岩	4.0		灰色泥岩中夹一 ₅ 煤0.2m
	砂质泥岩	2.8		细砂岩、泥岩互层
	砂岩	2.0		中粒砂岩、夹一 ₄ 煤0.7~0.8m中夹矸
	灰岩	0.8		L ₄ 灰岩
	泥岩	1.2		灰黑色砂质泥岩、薄层状
	灰岩	1.0		L ₃ 灰岩,一 ₃ 煤层
	泥岩	1.2		灰黑色砂质泥岩、薄层状
	灰岩	$\frac{1.6}{0.35}$		L ₂ 灰岩,一 ₂ 煤层
	灰岩	1.0		L ₁ 灰岩
	砂岩	1.2		细砂岩、夹煤线一 ₁ 煤层
	铝土岩	8.79		上部为灰白色铝土岩、光滑细腻,下部为紫红色及砖灰色铝土泥岩
	铝土泥岩			
寒武系	寒武系灰岩	212.42		含水层

图 1-1 煤系地层综合柱状图

灰色细砂岩。

二₁煤层为本井田主采煤层,位于二叠系山西组下部,煤厚 0.18~9.44 m,平均厚度 4.34 m,煤层标高为+500~-600 m,煤层埋深 30~1 300 m。煤层直

接顶板以泥岩、砂质泥岩为主,直接底板为泥岩、砂质泥岩及碳质泥岩。

一₇煤层与二₁煤层的垂直层间距为 21.53 m。

一₇煤层的煤质为低中灰、高硫、低磷、高热量的无烟煤,煤层呈黑色、块状、强度较高,属高强度煤。二₁煤层的煤质为低中灰、低中硫、低磷、中高发热量的贫煤,煤层呈黑色,多呈粉状与鳞片状,偶见小碎块状,以糜棱煤为主,碎粒煤次之的构造煤,煤的坚固性系数 f 值为 0.12~0.28,属低~特低强度易碎煤。

三、井田开拓与采煤方法

(1) 井田地质储量 34.84 Mt,矿井可采储量为 26.2 Mt。

矿井生产能力为 0.8 Mt/a。按矿井可采储量 25.6 Mt 计算,矿井服务年限为 32 a。

(2) 井田开拓方式为斜井开拓,以 4 条斜井开拓全井井田。4 条斜井处于井田中央,分成东西翼,分阶段开拓底板岩石运输大巷和通风大巷,这些大巷可供二₁煤层、一₇煤层开采时运输与通风用。4 条斜井为主斜井、1[#]副斜井、2[#]副斜井和专用回风井,如图 1-2 所示。二₁煤层采用走向长壁采煤方法,全部垮落法管理顶板。

一₇煤层采用长壁采煤方法,炮采,缓慢下沉法管理顶板,使用单体液压支柱。

四、矿井通风和矿井瓦斯

1. 矿井通风方式

矿井通风方式为抽出式,通风系统为中央并列式,由主斜井、1[#]副斜井、2[#]副斜井进风,专用回风井回风,矿井主通风机为防爆型对旋轴流式通风机,型号为 FBCDZ-No28,电动机功率 2×355 kW,转速 740 r/min。矿井总回风量 $145 \text{ m}^3/\text{s}$,风压 1 300~1 400 Pa。

2. 矿井瓦斯

根据井田地质报告,二₁煤层无瓦斯风化带,瓦斯组分中甲烷占 81.53%~99.82%。

23 个地勘钻孔瓦斯含量的测定结果如下:

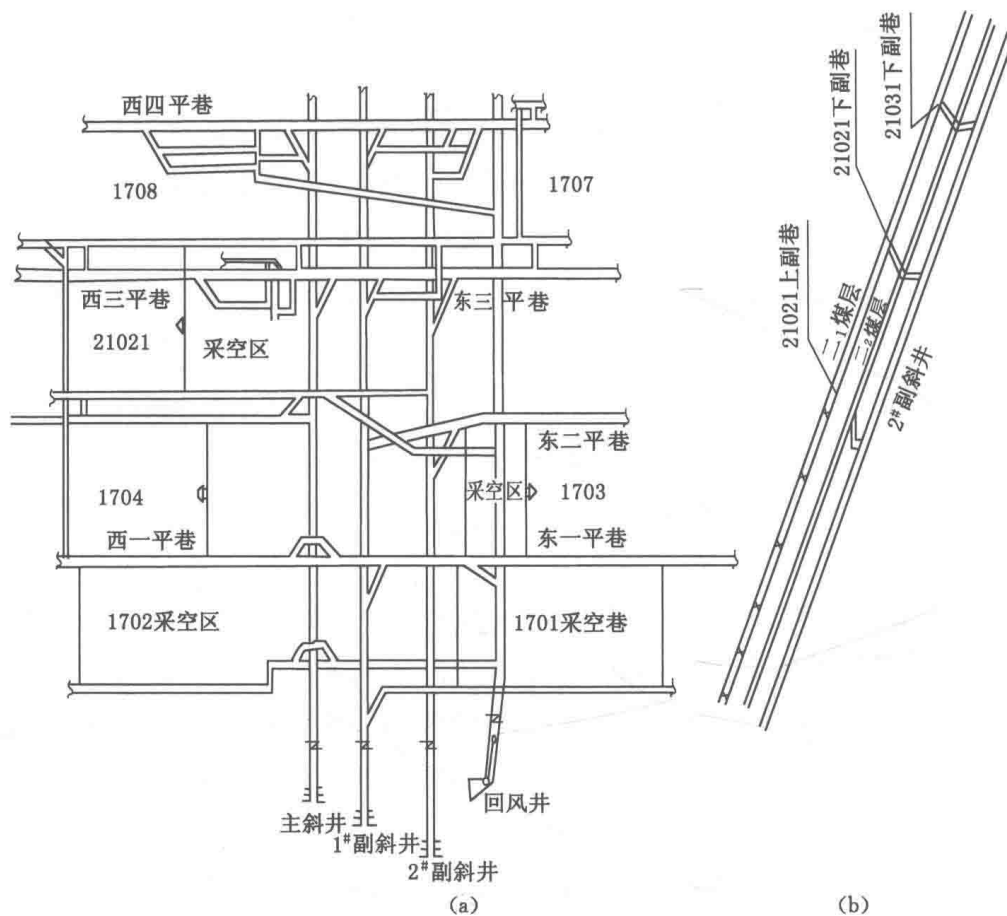


图 1-2 金岭煤矿开拓井巷布置示意图
(a) 主要井巷布置;(b) 2# 副斜井布置

(1) 标高: +312~+250 m 水平, 二₁ 煤层瓦斯含量 5.29~11.22 m³/t, +250~+150 m 水平二₁ 煤层瓦斯含量 10.5~13 m³/t; 二₁ 煤层瓦斯含量在走向(东西)上变化不大, 在倾向(南北)上随着埋藏深度的增加而增大。据地质报告, 预计二₁ 煤层-50 m 标高以下, 相对瓦斯涌出量为 12.75~46.88 m³/t, 平均为 25.69 m³/t。

(2) 二₁ 煤层瓦斯放散初速度 $\Delta p = 19.5$, 二₁ 煤层坚固性系数 $f = 0.12 \sim 0.28$ 。

(3) 2005 年 9 月矿井绝对瓦斯涌出量 24.07 m³/min, 相对瓦斯涌出量 11.93 m³/t。

(4) 采掘工作面瓦斯涌出量:

① 21021 工作面(+244.7~+315 m 标高)绝对瓦斯涌出量 $4.25 \text{ m}^3/\text{min}$, 相对瓦斯涌出量 $5.5 \text{ m}^3/\text{t}$;

② 21021 工作面下平巷掘进(+245 m 标高)绝对瓦斯涌出量 $1.45 \text{ m}^3/\text{min}$, 最高达 $2.3\sim 2.6 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

(5) 实测二₁煤层瓦斯压力 $1.29\sim 1.74 \text{ MPa}$, 瓦斯含量 $12.59\sim 15.10 \text{ m}^3/\text{t}$, 一₇煤层少含瓦斯, 属低瓦斯涌出煤层。

金岭煤矿邻近的东风煤矿、友谊煤矿, 开采二₁煤层+250 m 水平时的相对瓦斯涌出量 $13\sim 17 \text{ m}^3/\text{t}$; 东风煤矿二₁煤层采掘时发生过动力现象, 友谊煤矿煤巷掘进时发生过煤与瓦斯突出。

第二节 一₇煤层保护层开采概述

一、简述

金岭煤矿主采二₁煤层, 在采掘+160 m 水平时已发生瓦斯动力现象和煤与瓦斯突出, 确定二₁煤层为煤与瓦斯突出煤层, 二₁煤层始突标高+160 m, 在标高+181 m 水平垂深 387 m, 实测煤层瓦斯压力 1.29 MPa ; 在标高+200 m 水平垂深 415 m, 实测煤层瓦斯压力 1.74 MPa 。金岭煤矿为煤与瓦斯突出矿井。

金岭煤矿最初实施了本煤层瓦斯抽采的区域防突措施, 由于二₁煤层结构破碎, 煤的坚固性系数 $0.12\sim 0.28$, 为低强度结构煤, 煤层的透气性系数 $\lambda = 0.01440 \text{ m}^2/(\text{MPa}^2 \cdot \text{d})$, 较难进行煤层瓦斯抽采, 防突效果很差, 难以达到防止煤与瓦斯突出的区域防突目的, 煤层瓦斯突出危险性依然威胁着矿井的安全生产。因此, 进行开采保护层的试验研究是很必要的。

开采保护层是国内外瓦斯突出矿井采用的主要区域防突措施。国内外的资料证实, 开采保护层后, 被保护层的应力变形, 煤层结构和瓦斯动力参数、瓦斯压力、瓦斯含量、煤层透气性系数等参数都会产生较大的变化, 从而降低或消除突出煤层的突出危险性, 并降低采掘时的瓦斯涌出量, 显著提高矿井的开采效率和保证矿井的人身安全。

实践证实,开采保护层是最有效、最经济、最简便的区域防突措施。

我国从 1958 年进行保护层开采试验以来,有条件的煤与瓦斯突出矿井都优先采用开采保护层区域防突措施。金岭煤矿具备开采保护层的条件,一₇煤层属低瓦斯含量煤层,无瓦斯突出危险性,二₁煤层与一₇煤层层间垂直距离 21.53 m。一₇煤层可作二₁煤层的中距离下保护层。

一₇煤层厚度 0.29~0.80 m,平均厚度 0.5 m,煤层倾角 30°,为极薄倾斜煤层;煤层顶板有一层 7~7.5 m 的坚硬石灰岩。我国采用下保护层的矿井有松藻一井、谢一矿等矿井,开采下保护层防治煤与瓦斯突出已有近 60 年历史。与金岭煤矿采矿地质条件类似且开采保护层的国内外矿井见表 1-1。

表 1-1 国内外开采保护层矿井采矿条件简表

矿名	开采深度 /m	保护层						被保护层		
		名称	位置	倾角 /(°)	采高 /m	工作面长 /m	顶板岩性	名称	厚度 /m	层间垂距 /m
松藻一井	250	10	下	30	0.5	60	灰岩、页岩	8	2	21
谢一矿	570	B10	下	26	0.9	220	页岩、砂岩	B11b	3.8	21
金岭煤矿	420	一 ₇	下	30	0.5	150	坚硬厚层灰岩、泥岩、粉砂岩	二 ₁	3~7	20
磴槽煤矿	510	一 ₃	下	30	0.7~1.13	120		二 ₁	4~6	52
新丰煤矿	520	一 ₅	下	30	0.9~1	140		二 ₁	3~5	34
鸡西滴道河煤矿四井	500	19	下	24	1.3	80	砂岩	20	—	17
南桐煤矿一井	300	5	下	30	0.85	60	粉砂、砂岩	4	2.4	22
沃尔库金斯卡亚(苏)	550	4	下	19	1.46	180	泥岩、粉砂岩	3	2.8	20

二、金岭煤矿与国内外其他开采下保护层煤矿的比较

(1) 金岭煤矿、新丰煤矿、谢一矿、松藻一井、南桐煤矿一井、苏联沃尔库金斯卡亚矿井保护层与被保护层层间垂距均在 10~50 m 之间,属中距离保护层,只有磴槽煤矿层间垂距大于 50 m,属远距离保护层。

(2) 金岭煤矿与松藻一井保护层平均采厚都为 0.5 m, 属极薄煤层, 较其他矿井采厚薄, 松藻一井层间无厚层石灰岩硬岩层。

(3) 金岭煤矿层间灰岩厚度 7~7.5 m, 为厚层坚硬顶板。新丰煤矿一₅煤层与二₁煤层层间灰岩厚度 8~9.35 m, 磴槽煤矿一₃煤层与二₁煤层层间灰岩 14~15.15 m。

(4) 一₇煤层、一₃煤层与二₁煤层层间都有厚层的坚硬石灰岩层, 一₇煤层较一₅煤层、一₃煤层厚度薄。

以上条件可认为一₇煤层保护层的保护范围和保护效果对我国类似条件开采下保护层的区域防突措施及金岭煤矿深部开采保护层具有重要借鉴价值。

第三节 一₇煤层保护层保护效果考察

一、一₇煤层保护层工作面布置及保护范围

(一) 保护层工作面布置

煤层群开采利用一₇煤层底板三、四岩石平巷进行运输和回风, 参见图 1-3 和图 1-4。该岩巷与一₇煤层之间垂直距离 8 m。三、四集中平巷与一₇煤层以开拓运输石门和回风石门相连接。一₇煤层采煤工作面采落的煤由下运输巷运至运输石门到运输集中岩巷, 工作面回风由回风石门回到回风集中岩巷。被保护层二₁煤层按照一₇煤层保护层开采后的卸压角布置二₁煤层工作面的上回风巷和下运输巷。

一₇下保护层开采试验是在第四岩石平巷即 +150 m 水平进行的, 试采工作面布置在该水平的东翼和西翼, 东翼为 1707 工作面试验区, 西翼为 1708 工作面试验区。在试验区布置考察巷, 考察钻场兼作抽采巷。在试验区内一₇煤层与二₁煤层层间垂距 21.53 m。一₇煤层厚 0.5 m, 直接顶为 7~7.5 厚层坚硬石灰岩, 底板为泥岩、粉砂岩, 煤层倾角 30°左右。被保护层二₁煤层平均厚 5 m, 直接顶为砂岩、砂质泥岩。1707 试验区因断层影响走向长约 130 m, 保护层一₇煤层工作面长约 130 m。1708 试验区走向长约 600 m, 保护层一₇煤层工作面长约 110 m。

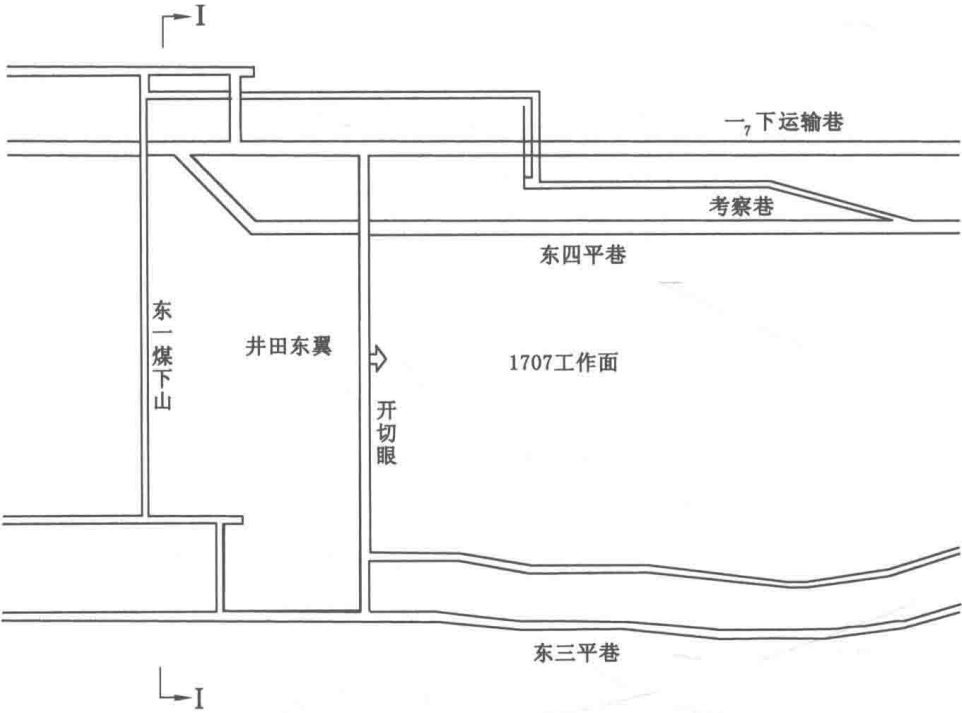


图 1-3 东翼试验区布置图

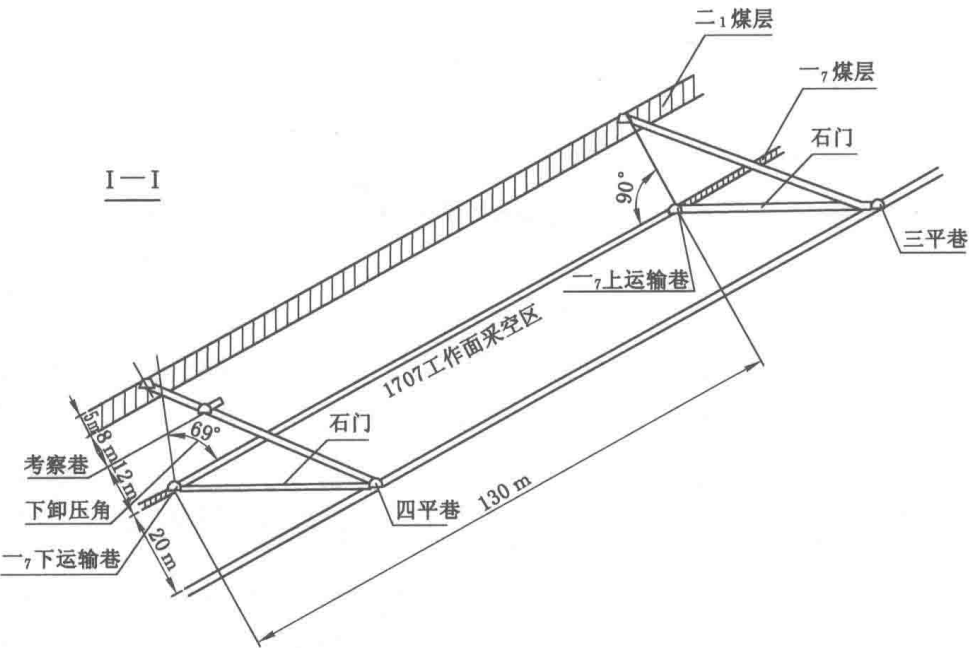


图 1-4 I—I 剖面图

(二) 保护范围

保护范围是保护层开采后,在保护层周围煤岩层产生采动影响,在该采动影响范围内被保护层的应力变形和瓦斯压力、瓦斯含量等瓦斯动力参数发生重大变化,使突出危险煤层在空间上完全丧失突出危险的有效范围。保护范围的内容包括:层间保护范围,倾斜方向的保护范围,沿走向方向的保护范围(即走向的最小超前距离)。开采 γ_7 煤层保护层后,保护范围应根据矿井实测资料确定,对尚未获得实测资料的矿井按照《防治煤与瓦斯突出规定》第四十八条的规定,参照以下数据确定。

1. 保护层与被保护层的层间保护范围

(1) 保护层保护作用的有效最大层间保护垂距

保护层开采后,保护作用的有效最大层间保护垂距,取决于卸压程度的大小。保护层开采后其周围岩层和煤层向采空区方向移动和变形,在垂直层面方向上形成三个带:即垮落带或缓慢下降带,移动带(岩石完整性破坏带),岩层弯曲带。当瓦斯抽采后,有效层间垂距可扩大。

根据 γ_7 煤层保护层 1707、1708 试验区的工作面长度 130 m、110 m 和开采深度 420 m,计算确定层间最大保护垂距,计算公式如下:

$$S = S' \beta_1 \beta_2$$

式中 S' ——下保护层的理论最大保护垂距, m;

β_1 ——保护层开采的影响系数,当 $M > M_0$ 时, $\beta_1 = 1$;

M_0 ——保护层的最小有效厚度, $M_0 = 0.42$ m;

M ——保护层的开采厚度, m;

β_2 ——层间硬岩(砂岩、石灰岩)含量系数, γ_7 保护层石灰岩占有层间岩石的百分比 $\eta = 35.7\%$, $\eta < 50\%$, $\beta_2 = 1$ 。

$$S = 145 \times 1 \times 1 = 145 (\text{m})$$

经计算 γ_7 煤层保护层保护作用的最大有效层间垂距为 145 m。

当经过初步计算后还需进行实际考察,应根据考察结果确定。

(2) 开采 γ_7 煤层保护层不破坏上部被保护层的最小层间垂距由以下计算确定:

当煤层倾角 $\alpha < 60^\circ$ 时:

$$H = kM \cos \alpha$$