

您可能感兴趣的文章、专题：

“煤矿智能化综述及关键技术”专题

“我国煤矿瓦斯防治理论技术研究进展”专题

“煤地质与煤结构”专题

“煤矿安全+智能化”专题

“深部煤层瓦斯精准抽采”专题

“中国煤科首席科学家”专题

“矿井冲击地压灾害防治技术及工程实践”专题

2020 年度《煤炭科学技术》“领跑者 5000”论文

2021《煤炭科学技术》封面文章

煤炭行业青年科学家论坛(2021 年)

中国煤炭行业知识服务平台 www.chinacaj.net

移动扫码阅读

韩松林,赵亚娟,高 琳,等.瓦斯地质区划及瓦斯异常分析——以顺和煤矿二$_2$煤层为例[J].煤炭科学技术,2021,49(11):150-156. doi:10.13199/j.cnki.cst.2021.11.020

HAN Songlin,ZHAO Yajuan,GAO Lin,*et al*.Gas anomaly analysis and gas geological division of No.2$_2$ coal seam in Shunhe Coal Mine[J]. Coal Science and Technology, 2021, 49(11): 150-156. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2021.11.020

瓦斯地质区划及瓦斯异常分析
——以顺和煤矿二$_2$煤层为例

韩松林[1],赵亚娟[2],高 琳[1],吕闰生[3]

(1.河南能源化工集团有限公司,河南 郑州 476600;2.永城职业学院 电子信息工程系,河南 永城 476003;
3.河南理工大学 资源环境学院,河南 焦作 454000)

摘 要:为提高煤与瓦斯突出矿井瓦斯有效分级管理水平和瓦斯分区防治技术水平,结合顺和煤矿地质条件和构造分布形态,基于瓦斯地质区划理论和瓦斯地质指标量化技术,运用数理统计学、瓦斯地质学等理论技术与方法,分析了顺和煤矿二$_2$煤层构造演化与瓦斯赋存的地质控制特征,探讨了影响瓦斯异常分布的地质影响因素,运用数量化理论Ⅰ筛选了影响瓦斯异常的主控因素,在此基础上建立了预测瓦斯异常区的预测模型并进行了有效性验证,对未采区进行了瓦斯地质区划。研究结果显示:顺和井田共划分 6 个瓦斯地质单元,边界大中型断层是控制瓦斯分区分带的单元边界;③号瓦斯地质单元局部瓦斯存在正异常,划分出 2 个瓦斯异常区,①和②号单元东部靠近岩浆侵入区瓦斯正异常,④和⑥号单元瓦斯负异常;基岩厚度、煤层顶板岩性和大型断层影响范围是局部瓦斯正异常的主控因素,基岩厚度和岩浆侵入是瓦斯负异常的主要因素;井田反相褶皱是控制煤层埋藏深度变化的主要因素。

关键词:瓦斯异常;沉积演化;瓦斯地质单元;反相褶皱

中图分类号:TD712 **文献标志码**:A **文章编号**:0253-2336(2021)11-0150-07

Gas anomaly analysis and gas geological division of No.2$_2$ coal seam in Shunhe Coal Mine

HAN Songlin[1],ZHAO Yajuan[2],GAO Lin[1],LYU Runsheng[3]

(1.*Henan Energy aucl Chemical Industry Group Co.,Ltd.,Zhengzhou* 476600, *China*;2.*Department of Electronic Information*,*Yongcheng Vocational College*, *Yongcheng* 476003, *China*;3.*Institute of Resources & Environment*, *Henan Polytechnic University*,*Jiaozuo* 454000,*China*)

Abstract:In order to improve the effective hierarchical management level and gas prevention technical level of mine gas zoning control, combining geological condition and geological structure distribution of Shunhe Coal Mine, based on the theory of gas geological regionalization and gas geological index quantification technology, using the theories and methods of mathematical statistics and gas geology, the geological structure evolution of No.2$_2$ coal seam was analyzed.The geological control characteristics of gas occurrence and the geological influence factors affecting gas anomaly distribution were discussed.The crucial controlling factors affecting gas anomalies were screened according to quantitative theory I.Based on this, a mathematic model to predict gas anomaly area was established and validated.Gas geological zoning was carried out in the unmined area.The study results showed that the boundary of large-medium faults were gas geological unit boundaries for controlling the gas zoning, the whole mine field was divided into six gas geological units, there were two partial positive gas anomalies zones in ③ unit and one positive zone near magmatic intrusion in the east of ① and ② units, and ④ and ⑥ unit were gas negative anomaly area.The lithology distribution of the coal seam roof, bed rock thickness and fault range in the mine field were the main controlling factors of gas anomalies.Bed rock thickness and magmatic intrusion are the main factors of gas negative anomaly, reverse folds control the buried depth of 2$_2$ coal seam.

Key words:gas anomaly;sedimentary evolution; gas geological unit; reverse folds

收稿日期:2021-03-21;**责任编辑**:郭 鑫

基金项目:河南省创新团队资助项目(17IRTSTHN025);国家自然科学基金资助项目(41572139)

作者简介:韩松林(1982—),男,河南确山人,高级工程师。E-mail:hansonglin123@126.com

通讯作者:吕闰生(1974—),男,山西平陆人,副教授,博士生导师。E-mail:lvrunsheng@hpu.edu.cn

中国煤炭行业知识服务平台 www.chinacaj.net

0 引　言

瓦斯赋存特征受地质因素控制,瓦斯赋存与分布具有明显的分区分带特征[1-3]。瓦斯地质区划是煤矿实现瓦斯分级管理和分级治理的前提和基础,合理的瓦斯地质单元划分有助于煤矿高效瓦斯管理[4]。前人从瓦斯突出的地质构造控制和瓦斯赋存的地质条件控制方面开展了大量的研究,进一步促进和提高了煤矿瓦斯预测及治理技术水平。张子戌[5]提出了瓦斯地质单元构造复杂程度的定量评价方法,为瓦斯地质单元合理划分提供了理论依据。杨陆武[3]将地质构造、构造煤与瓦斯特征组合,开展了突出危险性区划,划分出了突出区、带、点。吕闰生等[6-8]将影响瓦斯赋存的地质因素进行了定量化研究,提出了定性地质因素的定量化表征方法并进行了应用。辛新平等[9]对瓦斯抽采关键指标-渗透率的地质影响因素进行了研究,并划分出不同抽采瓦斯地质单元。刘明举等[10]对巷道掘进中瓦斯异常涌出的瓦斯地质因素进行了研究,认为影响瓦斯突出的地质因素有很多,构造煤的发育是瓦斯异常的主控因素。王来斌等[11-13]开展了瓦斯地质区划方法研究,针对不同矿区筛选出主控因素,以此进行瓦斯区划。瓦斯地质区划是在空间上、时间上筛选出对瓦斯影响具有共性的指标,分析这些共性指标对瓦斯的贡献[14-15],据此来划分不同瓦斯地质单元的方法。无论使用哪种方法来进行瓦斯区划,其中最核心、最基础的指标是瓦斯含量,而瓦斯含量的准确测试目前仍存在一定难度,即使在煤层同一位置测试结果相差也较大。因此,在进行瓦斯地质区划前需要对瓦斯含量测值可靠性进行评价和筛选[16-18],才能更合理、准确地进行瓦斯地质区划。

以永煤集团顺和煤矿二$_2$号煤层为例,采用瓦斯地质量化技术对影响瓦斯异常的地质因素进行筛选与分析,以期提高瓦斯防治的针对性和有效性,确保煤矿安全生产。

1 顺和井田瓦斯地质概况

顺和井田主要含煤地层为二叠系上、下石盒子组和山西组,含煤地层总厚度约 613 m,共含煤 31 层,平均总厚 11.84 m,含煤系数 1.93%,其中山西组中下部的二$_2$煤层为全区可采,下石盒子组中部三$_2$和三$_4$煤层为局部可采煤层。二$_2$煤层直接顶板为泥岩或炭质泥岩,间接顶板为中粒砂岩;底板为砂质泥岩夹薄层细砂岩;煤厚 0~3.85 m,平均 2.30 m,一般不含夹矸。

本区二$_2$煤层底板标高-400~-1 150 m,地表标高+35~+37 m,瓦斯涌出量 2.00~15.18 m^3/t,井田东部受岩浆侵入影响,发育大片天然焦及侵入体,瓦斯分布极不均衡,为煤与瓦斯突出煤层。井田总体构造为一宽缓单斜构造,煤层倾角 6°~15°,区内发育 SN、NE 向高角度正断层,井田落差≥100 m 断层 4 条,≥50~100 m 的断层 4 条,≥15~50 m 的 13 条,<15 m 的断层 70 条。

2 瓦斯地质区划及特征

顺和井田二$_2$煤层构造复杂,受区域构造-永城隐伏背斜控制,北部与薛湖井田相邻,南部与陈四楼井田相邻,东部为岩浆岩侵入区,西部为边界断层。区内东部和南部存在较多滑动构造,煤层受挤压揉搓形成多个无煤区或不可采区。

2.1 瓦斯地质区划指标

2.1.1 地质构造演化控制

本区构造在 C-P 期间构造形态有 2 种类型:①继承性同沉积构造(SN);②断层二侧断块相对运动方向改变而形成的非继承性断层和“反相”褶皱,包括地垒断块形成的“反相背斜”和地堑断块形成的“反相”向斜,这 2 种反相褶皱控制了本区二$_2$煤层埋藏深度变化,在背斜轴部煤系地层大多遭受剥蚀,甚至二$_2$煤层也被剥蚀掉,向斜核部煤系地层大多得到保存。尽管目前煤层埋藏较深,但瓦斯含量较其他区同深度小。从井下揭露情况分析,靠近逆断层和区内小断层(H<5 m)附近瓦斯含量明显增大,大中型正断层附近瓦斯含量减小。

2.1.2 煤层顶、底板岩性

煤层顶、底板岩性及其透气性是影响煤层气垂向运移的主要屏障,透气性高的岩层对应区瓦斯较小,反之则较高。顺和井田二$_2$煤层顶板岩性如图 1 所示。

井田泥岩顶板(砂质泥岩可视为泥岩顶板)主要位于井田中部沿 NE 向展布。对比分析 21、24 采区高瓦斯区,煤层顶板均为泥岩顶板且较厚,21 采区北部二$_2$煤层顶板为中粒砂岩,南部为泥岩或砂质泥岩,相同条件下泥岩顶板瓦斯含量较大,砂岩顶板区瓦斯含量较小。24 采区西翼大巷中粒砂岩顶板区埋深大,反而瓦斯低(6.64 m^3/t),2404 运输巷底板抽放巷南部泥岩顶板区埋深小反而瓦斯大(14.07 m^3/t),说明顶板岩性对瓦斯赋存具有直接影响。

二$_2$煤层底板为泥岩和砂质泥岩,对瓦斯保存影响一致。

中国煤炭行业知识服务平台 www.chinacaj.net

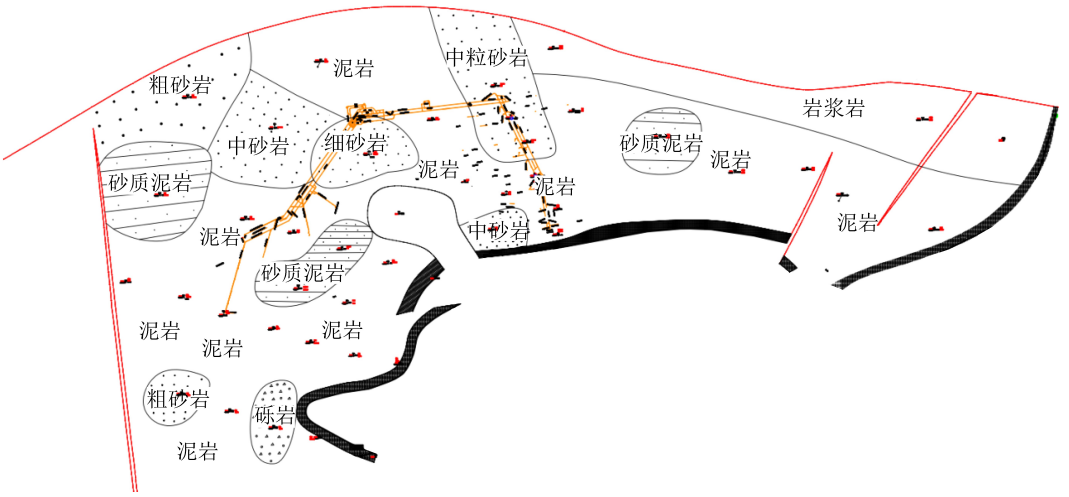


图 1　二$_2$煤层顶板岩性分布

Fig.1　Roof lithology map of No.2$_2$ coal seam

2.1.3　岩浆岩侵入

区内岩浆沿基底断裂上升,遇煤层后沿煤层以岩床、串珠状等形态顺层侵入,造成部分煤层溶蚀、挤压变薄,在岩浆侵入体附近煤层受高温烘烤发育大片天然焦,瓦斯逸散,如东部岩浆侵入及天然焦发育区,瓦斯涌出量仅为 2 m^3/t,但在天然焦边界泥岩顶板附近,煤层受挤压变形而变厚,瓦斯明显增大(最大 5 m^3/t)。本区岩浆侵入区煤层气逸散明显。

2.1.4　煤层厚度

区内在井田西南部(煤厚<0.8 m)、东部岩浆侵入区(煤厚 1.6~1.8 m)、东南部后王庄背斜露头附近煤厚(煤厚1.8 m)变化明显,对应的瓦斯涌出量在 2~4 m^3/t,开采中瓦斯负异常涌出。

2.2　瓦斯地质区划

综合考虑二$_2$煤层地质构造演化特征、顶底板岩性及相变、岩浆岩侵入范围、大中型断层、瓦斯含量,结合生产中瓦斯异常涌出及瓦斯动现象,将顺和井田二$_2$煤层区划为 6 个瓦斯地质单元,分别用①~⑥表示(图 2),各瓦斯地质单元特征见表 1。

1)①单元:瓦斯含量测值较多,瓦斯涌出量(筛选合格值)与埋深关系散点图如图 3 所示,该区东部煤层受岩浆侵入挤压,煤层厚度发生明显变化,存在局部不可采区和大片天然焦。高瓦斯区(瓦斯涌

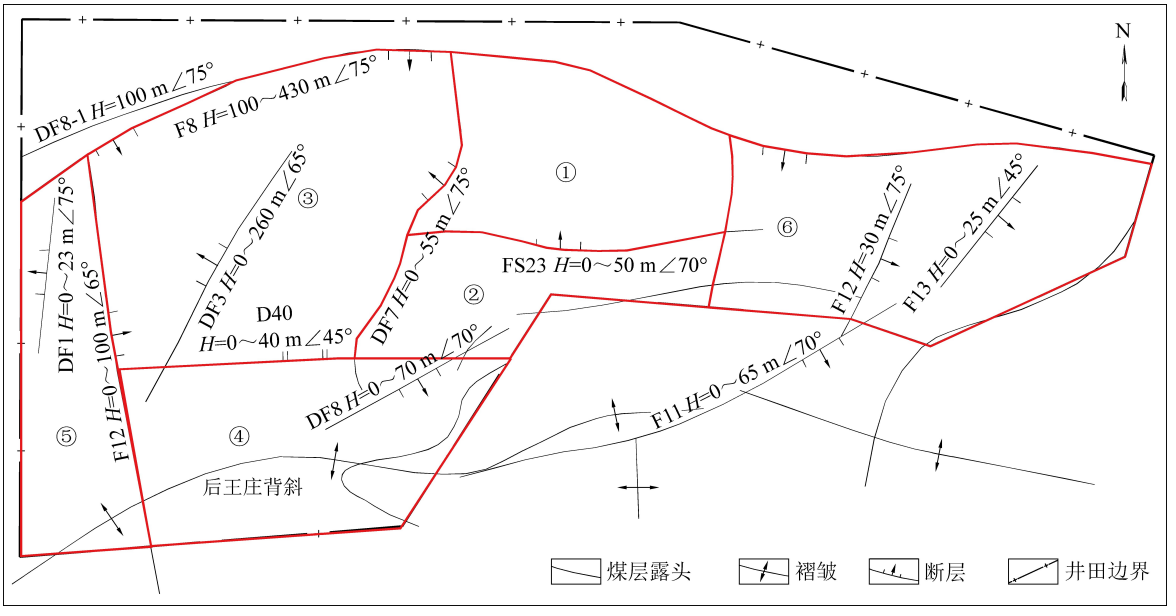


图 2　顺和井田瓦斯地质单元划分

Fig.2　Gas geological unit division of Shunhe Mine Field

中国煤炭行业知识服务平台 www.chinacaj.net

表 1　二$_2$煤层气地质区划特征

Table 1　Gas geological zoning table of No.2$_2$ coal seam

单元	瓦斯涌出量/($m^3 \cdot t^{-1}$)	构造特征	构造煤	顶板岩性	岩浆岩	煤层特征
①	2~6 (波动大无规律)	NE、SN 断层发育,受边界断层控制,北部下降,南部抬升	煤层滑动,存在部分构造煤	泥岩、砂质泥岩,中粒砂岩	大片岩浆侵入区	煤厚变化大,岩浆侵入边界瓦斯大,-550~-1 100 m
②	1.76~2.65 (波动无规律)	近后王庄背斜,存在风氧化带,受边界断层控制,煤层整体抬升	无构造煤发育	泥岩和中砂岩	—	东部煤厚变化大,存在无煤区,西部煤厚稳定,-400~-500 m
③	2.00~15.18 (波动大, 局部存在异常区)	地堑断块,NE 向断层发育,多为高角度正断层,宽缓褶皱	靠近断层附近发育较薄构造煤	北部岩浆岩,南部泥岩、砂质泥岩	—	煤层埋藏深,煤厚变化不大,底板标高-500~-1 150 m
④	— (预测<3)	EW 向断层切割,近后王庄背斜核部	煤层挤压,岩浆侵入附近煤层挤压,存在构造煤	岩为主,局部发育粗砂岩和砾岩	发育大片天然焦,岩浆侵入区	受岩浆侵入挤压,煤厚变化大,煤层底板标高-400~-600 m
⑤	—	宽缓褶皱发育	—	泥岩为主,局部粗砂岩	—	受边界断层影响,存在不可采区
⑥	<2	SN 向断层发育,煤层抬升	煤层受挤压,存在构造煤	泥岩、砂质泥岩	大片侵入	天然焦和岩浆岩大片发育,仅局部可采

出量>5 m^3/t)位于二$_2$煤层不可采边界附近,岩浆侵入对煤层挤压造成煤层滑动,由于岩浆沿煤层顶底板侵入,造成煤层变薄(2.72 m→2.17 m→1.92 m,越靠近岩浆侵入体煤层越薄),同时岩浆高温使煤层发生热变质,生气量增大,在顶、底板附近岩浆岩形成良好盖层,煤层气得以保留,出现瓦斯异常区,不能作为研究瓦斯分布规律的依据,应予剔除。

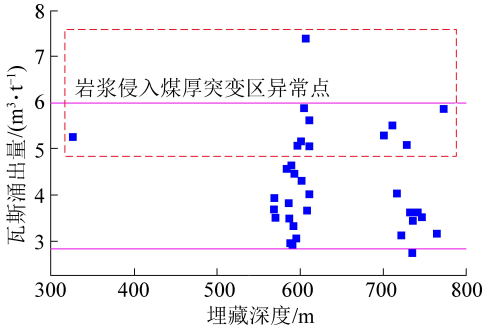


图 3　①单元瓦斯涌出量与埋深关系

Fig.3　Relationship between gas content and buried depth on ① unit

2)②单元:单元中部为后王庄背斜轴部剥蚀区,出露山西组及下石盒子组地层,发育二$_2$煤层露头。该单元为 DF 7断层与 F40 逆断层的下盘抬升区,埋深变浅,煤层遭受风化剥蚀。瓦斯涌出量测值较多(1.76~2.65 m^3/t),靠近煤层露头附近处于瓦斯风化带,在统计该区瓦斯分布规律时,剔除瓦斯涌出量测值小于 2 m^3/t 数值(图 4 中红色点),瓦斯涌出量分布规律如图 4 所示,-420 m 以浅为瓦斯风化带。

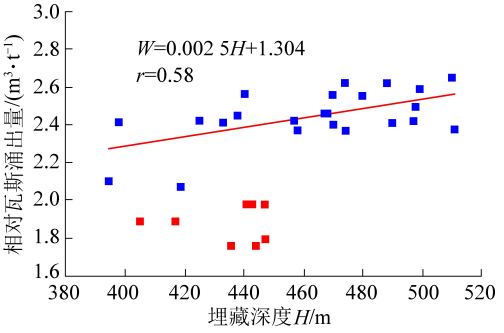


图 4　②单元瓦斯涌出量与埋深关系

Fig.4　Relatinship between gas content and buried depth on ② unit

3)③单元:本单元处于地堑构造区,煤层埋深北深南浅,区内瓦斯含量波动大,存在瓦斯异常区。局部瓦斯含量随着埋深增大而减小,如 1303 钻孔二$_2$煤厚仅 2.04 m,相邻 1312 孔、83022 孔、1402 孔的煤厚分别为 2.85、2.99、2.69 m,瓦斯涌出量测值最大点(15.85 m^3/t)位于煤层厚度突变处附近。2401 轨道巷底抽巷联巷实测瓦斯含量为 5.62 m^3/t(688 m),而 2402 运输巷实测瓦斯涌出量3.74 m^3/t(741 m)。受南部 F40 逆断层、煤层产状及煤层厚度控制,虽然煤层被抬升埋深变浅,但大落差逆断层受压封闭条件较好,制约了浅部瓦斯的逸散,同时本区煤层顶板为泥岩发育区。因此,本单元可划分为

中国煤炭行业知识服务平台 www.chinacaj.net

正常区和异常区,正常区瓦斯梯度每 100 m 为 1.14 m^3/100 m,异常区瓦斯梯度每 100 m 是 4.61 m^3。瓦斯赋存规律如图 5、图 6 所示。预测本区瓦斯风化带深度为 439 m(-403 m),预测 5 m^3/t 趋势线深度为 702 m(-665 m),预测 10 m^3/t 趋势埋深为 1 053 m(-1 016 m)。异常区 5 m^3/t 上限深度 787 m(-750 m),下限深度 681 m(-644 m);10 m^3/t 上限深度 678m(-641 m),下限深度 573 m(-536 m)。

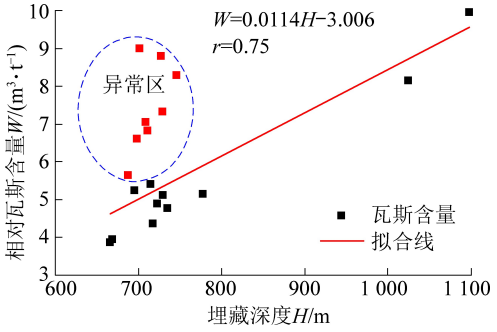


图 5　③单元瓦斯含量与埋深关系

Fig.4　Relationship between gas content and buried depth on ③ unit

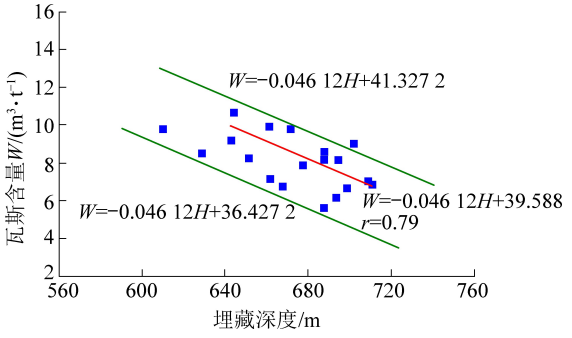


图 6　③单元异常区瓦斯分布规律

Fig.6　Gas abnormal distribution rule of ③ unit

4)④单元:该单元东部为煤层露头,遭受风化剥蚀,煤层底板标高-400~-550 m,大部分位于后王庄背斜隆起部分,本区煤层整体抬升埋深变浅。本单元没有瓦斯含量数据,结合煤层埋藏深度及地质条件分析,本区瓦斯赋存地质条件与②号瓦斯地质单元东南块段类似,可参照②号瓦斯地质单元瓦斯赋存规律。瓦斯风化带深度为 383 m(-420 m),相对瓦斯含涌出量最大 3 m^3/t。

5)⑤单元:为 F_8 断层上盘与 F_{12} 断层下盘所夹块段,单元西南部煤层变薄,煤层底板标高-500~-1 100 m,北部深南部浅。该区勘探钻孔较少且无瓦斯含量钻孔,该区瓦斯分布参照③号瓦斯地质单元。瓦斯风化带深度为 439 m(-402 m),5 m^3/t 趋势线深度为 702 m(-676 m),10 m^3/t 趋势埋深为 1 053 m(-1 016 m)。

6)⑥单元:本单元发育大片天然焦和岩浆岩侵入体(无开采价值),仅局部可采,煤层厚度变化大,区内发育 NE 向正断层,瓦斯涌出量为 2~4 m^3/t。

3　瓦斯异常分析

顺和矿在掘进 24 采区-702 m 水平西翼轨道、输送带、回风大巷、2401 轨道巷、2401 底抽巷、2404 轨道巷、2404 底抽巷时,瓦斯异常增大。

3.1　瓦斯异常定量分析

为进一步定量评价主控地质因素对瓦斯异常的贡献,在此采用数量化理论 I 对定量、定性地质因素进行筛选。数量化理论 I 相当于多元线性回归分析,用于从定性的或兼有定量的自变量对因变量的预测问题[19-21]。

3.1.1　预测模型变量选取与建模

选取瓦斯含量为因变量,选取基岩厚度、大型断层影响范围(H>30 m)、煤层顶板岩性、基岩厚度、煤层厚度、褶皱平面变形系数、岩浆侵入等 8 个瓦斯影响指标为自变量。其中,煤层顶板岩性、断层为定性变量,用以二态变量取值,即用“0”和“1”表示属性的“无”和“有”,砂质泥岩、页岩可划分为泥岩项目“有”之类目。断层影响范围项目以统计单元中心到断层的距离以 50 m 为界,划分为 2 类,即<50 m 取“1”,>50 m 取“0”。

顺和井田③号瓦斯地质单元处于 4 条断层的下降盘断块,$二_2$煤层埋深大,采掘中瓦斯含量较高,而其他单元瓦斯含量均较小,在此仅评价③号单元瓦斯异常特征。该单元共划分出 20 个统计单元,其中 18 个单元数据用于建立模型,2 个统计单元数据用于验证模型精度。基于数量化理论 I,经数学统计分析,筛选出基岩厚度、顶板岩性和大型断层距离 3 个自变量,建立瓦斯地质数学模型:

$$W=0.038\ 35dl(1)-11.326\ 2dx(1,1)-10.013\ 91dx(1,2)+2.436\ 8dx(2,2) \quad (1)$$

式中:W 为瓦斯含量预测值,m^3/t;$dl(1)$ 为基岩深度,m;$dx(1,1)$ 为顶板岩性“泥岩”类目之反应;$dx(1,2)$ 为顶板岩性项目“非泥岩”类目之反应;$dx(2,2)$ 为断层项目“<50 m”类目之反应。

3.1.2　预测模型精度检验

预测模型的 F 统计为 29.47,大于 0.01 水平自由度为 3 的 F 临界值,$F_{3,18}^{0.01}=5.092$,模型的理论精度较高,置信度为 99%。模型的偏相关系数 R 和 t 统计量分别为

$R=0.853\ 6$

$R_1=0.766\ 2$　　$t_1=5.508\ 2$

$R_2=0.894\ 9$　　$t_2=8.508\ 0$

中国煤炭行业知识服务平台 www.chinacaj.net

$R_3=0.497\ 1$　　$t_3=2.806\ 5$

预测模型复相关系数为 0.853 6,3 个自变量的偏相关系数和 t 统计量均大于置信度 95%($\alpha=0.05$)的临界值。模型实际检验误差为 9.23%,精度满足工程实践。

3.2　瓦斯异常区预测

基于式(1),对顺和矿③号瓦斯地质单元二$_2$煤层气含量进行预测,瓦斯异常区预测结果如图 7 所示。③号瓦斯地质单元共有 2 个瓦斯异常区,瓦斯含量大于 10 m^3/t,一个位于单元南部 F40 逆断层北部,泥岩顶板区;另一个位于-1 016 m 以深区域。

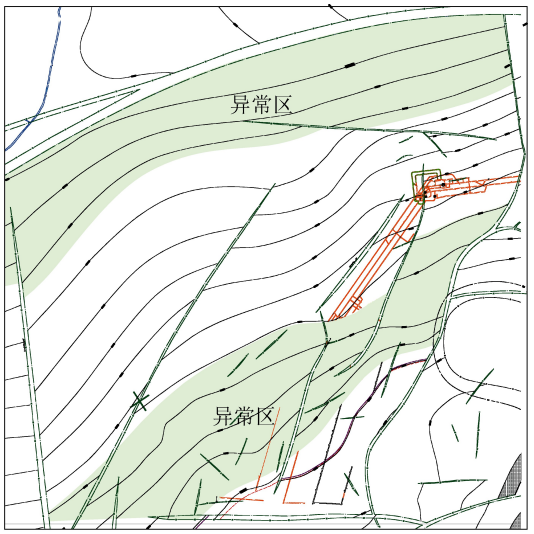


图 7　③号单元瓦斯异常区分布

Fig.7　Gas abnormal area distribute of ③ unit

4　结　　论

1)在定性分析地质构造发育特征的基础上,对顺和井田进行了瓦斯地质区划,划分出 6 个瓦斯地质单元,其中③瓦斯地质单元局部瓦斯存在正异常,①和②单元东部靠近岩浆侵入区瓦斯正异常,④和⑥单元瓦斯负异常。

2)采用瓦斯地质量化技术与方法,筛选出基岩厚度、煤层顶板岩性、大型断层的影响范围 3 个地质因素是影响③单元瓦斯异常的主控因素。

3)分析了顺和煤矿二$_2$ 号煤层构造演化与瓦斯赋存的地质控制特征,不同期次的构造运动及其造成的“反相”褶皱是控制顺和井田煤层埋深变化的控制因素,也是造成二$_2$煤层盖层厚度变化的主因。

参考文献(References):

[1] 雷东记, 李钰魁, 张玉贵,等.基于地质单元的邹庄矿瓦斯异常区划分 [J].煤田地质与勘探, 2015, 43(3):15-21.
LEI Dongji,LI Yukui, ZHANG Yugui,*et al*.Division of gas abnormal area based on geotectonic unit in Zouzhuang Mine[J].Coal Geology & Exploration, 2015,43(3):15-21.

[2] 李恒乐.祁东矿瓦斯地质规律和瓦斯地质单元划分研究 [D].焦作:河南理工大学, 2012.

[3] 杨陆武, 彭立世, 曹运兴.应用瓦斯地质单元法预测煤与瓦斯突出 [J].中国地质灾害与防治学报, 1997,8(3):22-27.
YANG Luwu, PENG Lishi, CAO Yunxing.Prediction on coal and gas outbrust based on gas geological unit[J].The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1997,8(3):22-27.

[4] 钟福平, 白万备, 林　辰,等.淮南煤田潘一矿瓦斯地质单元划分 [J].煤炭科学技术, 2014, 42(10):57-61.
ZHONG Fuping, BAI Wanbei, LIN Chen, *et al*.Unit division of gas geology in Panyi Mine of Huainan Coalfield[J].Coal Science and Technology, 2014, 42(10):57-61.

[5] 张子戌.瓦斯地质单元构造复杂程度的定量评价 [J].焦作矿业学院学报, 1995, 14(1):10-13.
ZHANG Zixu.The Structure complexity Quantification of the gas geological unit[J].Journal of Jiaozuo Mining Institute, 1995,14(1):10-13.

[6] 吕闰生, 张子戌.煤层气围岩封盖能力的定量分析 [J].矿业安全与环保, 2007, 34(6):1-3,95.
LYU Runsheng, ZHANG Zixu.Quantitative Analysis on gas sealing capacity of coal surrounding rock [J]. Mining Safety & Eniveronment Protection, 2007,34(6):1-3,95.

[7] 吕闰生, 张子戌.瓦斯地质参数定量取值自动计算方法 [J].矿业研究与开发, 2011, 31(3):65-67,107.
LYU Runsheng, ZHANG Zixu. Automatic calculating methods of gas geological parameters on quantitative selection[J].Mining R & D, 2011,31(3):65-67,107.

[8] 姜　波, 屈争辉, 李　明,等.矿井瓦斯评价与预测的构造动力学方法 [J].中国煤炭地质, 2009, 21(1):13-16.
JING Bo,QU Zhenghui, LI Ming, *et al*.Structural dynamic method of mine gas evaluation and prediction[J].Coal Geology of China, 2009,21(1):13-16.

[9] 辛新平,马　耕,杨程涛.瓦斯抽采地质单元划分及评价方法 [J].煤矿安全, 2015, 46(2):146-150.
XIN Xinping, MA Geng, YANG Chengtao, *et al*.Gas extraction geological unit division and evaluation methods[J].Safety in Coal Mine, 2015,46(2):146-150.

[10] 刘明举, 房耀洲, 魏建平,等.基于瓦斯地质观点的巷道掘进瓦斯涌出异常分析 [J].煤矿安全, 2007, 38(7):21-24.
LIU Mingju, FANG Yaozhou, WEI Jianping, *et al*.Analysis of gas abnormal emission in tunnel roadway based on gas geology [J].Safety in Coal Mines, 2007, 38(7):21-24.

[11] 王来斌, 沈金山.基于构造复杂程度定量评价地质构造对煤层瓦斯的控制作用 [J].中国煤炭地质, 2015, 27(10):19-23.
WANG Laibin, SHEN Jinshan. Quantitative assessment of geologic structural controlling on coal seam gas based on structure complexity[J].Coal Geology of China, 2015,27(10):19-23.

[12] 王璐明, 崔洪庆, 钟福平,等.丁集矿 11-2 煤层瓦斯赋存规律及瓦斯地质单元划分 [J].煤矿安全, 2015, 46(11):156-159.

中国煤炭行业知识服务平台 www.chinacaj.net

WANG Luming, CUIHongqing, ZHONG Fuping, *et al*. Gas occurrence law and division of gas geological Unit in 11－2 coal seam of dingji Mine[J]. Safety in Coal Mines, 2015, 46(11): 156-159.

[13] 王玉怀, 余　博, 索　航. 基于划分瓦斯地质单元的瓦斯赋存规律研究[J]. 华北科技学院学报, 2015, 12(6): 1-4.
WANG Yuhuai, SUO Hang. Research on the gas deposit law based on delineation gas－geological unit[J]. Journal pf North China Institute of Science and Technology, 2015, 12(6): 1-4.

[14] 吴财芳, 曾　勇. 瓦斯地质的主要研究内容及其发展方向分析[J]. 采矿技术, 2003(2): 98-100.
WU Caifang, ZENG Yong. Main research contents and development direction of gas geology[J]. Mining Technology, 2003(2): 98-100.

[15] 孔胜利, 杨　洋, 贾　音, 等. 煤层瓦斯赋存特征及其关键地质因素影响研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(7): 53-58.
KONG Shengli, YANG Yang, JIA Yin, *et al*. Study on occurrence characteristics of coal seam gas and its key geological factors[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(7): 53-58.

[16] 辽宁省煤炭研究所第一研究室. 直接测定煤层瓦斯含量方法可靠性的估价[J]. 煤矿安全, 1974, 5(5): 24-32.
The first laborartory, Liaoning Coal Research Institute. Evaluation of the reliability of direct determination of coal seam gas content[J]. Safety in Coal Mines, 1974, 5(5): 24-32.

[17] 陈　亮, 刘明举, 吴　兵, 等. 基于瓦斯吸附-解吸试验确定瓦斯含量临界值[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(7): 57-60.
CHEN Liang, LIU Mingju, WU Bing, *et al*. Determination on critical value of gas content based on gas adsorption and desorption experiment[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(7): 24-32.

[18] 郭　晨, 夏玉成, 孙学阳, 等. 高瓦斯矿井采煤工作面瓦斯地质分级评价方法与实践[J]. 煤炭学报, 2019, 44(8): 2109-2148.
GUO Chen, XIA Yucheng, SUN Xueyang, *et al*. Method and practice of gas geological grading evaluation on coal mining face of high gas mine[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(8): 2409-2418.

[19] 张许良, 单菊萍, 彭苏萍. 瓦斯含量及涌出量预测的数学地质技术与方法[J]. 煤炭学报, 2009, 34(3): 350-354.
ZHANG Xuliang, SHAN Jupng, PENG Suping. Mathematical geology technique and method for prediction of gas content and emission[J]. Journal of China Coal Society, 2009, 34(3): 350-354.

[20] 张子戌, 张许良, 袁崇孚. 瓦斯地质数学模型软件的开发[J]. 煤田地质与勘探, 2002, 30(2): 28-30.
ZHANG Zixu, ZHANG Xuliang, YUAN Congfu. Development of mathematical model software for gas geology[J]. Coal Geology & Exploration, 2002, 30(2): 28-30.

[21] 张子戌, 袁崇孚. 瓦斯地质数学模型法预测矿井瓦斯涌出量研究[J]. 煤炭学报, 1999, 24(4): 34-38.
ZHANG Zixu, YUAN Congfu. Study on mathematical model of coalbed gas geology used to prediction of mine gas emission[J]. Journal of China Coal Society, 1999, 24(4): 34-38.