Hans汉斯

基于测井曲线的煤体结构判别技术

——以袁店一井煤矿105采区为例

姜兰兰,鲁海峰*

安徽理工大学地球与环境学院,安徽 淮南

收稿日期: 2025年5月19日; 录用日期: 2025年6月20日; 发布日期: 2025年7月9日

摘要

在我国淮北矿区,复杂地质条件致使煤矿瓦斯突出灾害频发,严重威胁安全生产。研究表明,煤与瓦斯 突出多发生于构造煤发育区域。本文基于构造煤和原生煤在物理结构与化学性质方面的差异,采用视电 阻率、人工伽马、井径、自然伽马和声波时差等测井曲线对袁店一井煤矿105采区10煤层构造煤进行识 别。研究结果表明:105采区煤体结构复杂,构造煤发育,主要分布在采区南部边界、中部以及东部区域 构造复杂位置处。

关键词

构造煤,煤体结构,测井曲线,煤与瓦斯突出

Coal Structure Discrimination Technology Based on Logging Curves

—Taking the 105 Mining Area of Yuandian No. 1 Coal Mine as an Example

Lanlan Jiang, Haifeng Lu*

School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui

Received: May 19th, 2025; accepted: Jun. 20th, 2025; published: Jul. 9th, 2025

Abstract

In China's Huaibei mining area, complex geological conditions lead to frequent coal mine gas

*通讯作者。

outburst disasters, which seriously threatens production safety. The results show that coal and gas outbursts mostly occur in the tectonic coal development area. Based on the differences in physical structure and chemical properties between structural coal and primary coal, this paper uses logging curves such as apparent resistivity, artificial gamma, well diameter, natural gamma and sonic time difference to identify the structural coal of 10 coal seams in the 105 mining area of Yuandian No. 1 Coal Mine. The results show that the coal structure in the 105 mining area is complex and the tectonic coal is developed, which is mainly distributed in the southern boundary, central and eastern regions of the mining area.

Keywords

Tectonic Coal, Coal Structure, Logging Curves, Coal and Gas Outburst

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0). <u>http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</u>

CC O Open Access

1. 引言

我国淮北矿区地质条件复杂,煤矿安全生产灾害频发,其中瓦斯灾害尤为突出。煤与瓦斯突出灾害 由于其事故后果之严重、发生频率之高、防治难度之大而被称为煤矿安全生产的"第一杀手",随着煤 矿采深增加,煤与瓦斯突出的风险与严重性也随之增加,突出预测与防治工作依然面临着严峻的挑战。 国内外众多研究显示,煤与瓦斯突出常发生于韧性变形构造煤(如糜棱煤、碎粒煤)发育区域。构造煤是指 原生沉积的煤层,因硬度较低,在后期构造运动作用下其原生结构遭受破坏,导致煤体结构破碎,与原 生结构煤相比,物理结构和化学性质都发生了显著变化的一类煤[1][2]。从构造煤的特性来看,其低渗透 性、高孔隙率以及破碎性构造,为瓦斯解吸、放散与快速流动提供了有利环境,而其中的薄弱分层,更 是为瓦斯突出的初始激发和持续发展奠定了基础[3]。因此,准确识别构造煤掌握其分布特征对煤与瓦斯 突出预测,提高煤矿安全生产具有重要的理论和实践意义。

煤田地质勘探显示,地球物理测井资料除了能够用于岩层、煤层以及夹矸的分层界定之外,还能对 煤体结构特征作出有效反映。与原生结构煤相比较,构造煤在煤体结构破碎程度、裂隙发育程度等方面 呈现明显差异,在测井曲线上的响应不同,因此我们可以利用测井曲线来判别构造煤的存在[4]。本文以 袁店一井煤矿 105 采区 10 煤层为研究对象,基于 10 煤层的 68 个钻孔测井曲线,结合 105 采区构造发育 特征对构造煤的分布进行探讨。

2. 研究区地质构造特征

从区域地质构造看,袁店井田位于徐宿弧形构造南端,构造格局受近东西向、北东向及徐宿弧形构造所控制。105 采区位于袁店一矿东南部,被五沟杨柳断层与五沟杨柳-1 断层切割成总体上走向 NW、倾向 NE 的单斜块段,无明显褶皱构造。区内断层发育,断层走向主要为NE 向和 NEE 向,地层走向 120°~150°,倾向 30°~60°,地层倾角较平缓,一般 6°~16°,平均倾角 10°,105 采区地质构造见图 1。

研究区主要含煤地层为上、下石盒子组和山西组,其中研究对象 10 煤层位于二叠系下统山西组地 层,煤层厚度 1.01~5.54 m,平均煤厚 3.91 m,煤层结构简单,局部含夹矸 1~2 层,为全区基本可采的较 稳定中厚~厚煤层;直接顶板以粉砂岩为主,局部为泥岩、砂岩,直接底板以粉砂岩为主,局部为砂岩; 为中灰分、特低硫、高发热量焦煤。



Figure 1. Structural outline map of mining area 105 图 1. 105 采区构造纲要图

3. 煤体结构分类、识别原理及对瓦斯开采的影响

3.1. 煤体结构类型划分

通过观察袁店一矿 105 采区的煤岩心,按照煤体赋存状态及分层特征、光泽与层理特性、煤体破碎状况、裂隙揉皱发育程度和手试强度(依据 GB/T18023、GT/T30050),将煤体结构划分为原生结构煤、碎裂煤、碎粒煤和糜棱煤,详见表1。

应用测井技术识别构造煤时,难以细致判识构造煤内部分类,构造煤结构分类越细致,测井解释区 分不同结构的难度越大,精度越低[5]。因此,本项目依据测井曲线识别的精确度将煤体结构分为以下三 类:I类煤(原生结构煤)、II类煤(碎裂煤)、III类煤(碎粒煤、糜棱煤)[6]。

Table 1. Different types of coal macrostructure 表 1. 不同煤体宏观结构类型

类别	煤体结构 类型	赋存状态和分层 特点	光泽层理	煤体破碎程度	裂隙揉皱发育程度	手试强度
I类煤	原生煤	层状、似层状、整 合接触	层理清晰,原生 条带状结构显著	结构完整,呈较大块 状,块体无位移	内生、外生裂隙发 育,构造裂隙稀 疏,无揉皱镜面	坚硬难捏或 呈厘米级碎 粒
Ⅱ类煤	碎裂煤	层状、似层状、透 镜状、整合接触	层理保存良好, 原生条带状结构 断续可见	结构较为完整,呈不 规则棱角状块体,块 体间位移明显	垂层、顺层以及斜 交构造裂隙为主, 无揉皱镜面	可捻成毫米 级碎粒
Ⅲ类煤	碎粒煤	透镜状、团块状、 不整合接触	光泽黯淡, 层理 模糊	结构被破坏,以碎粒 为主,偶见块状	构造镜面发育	易捻成毫米 级碎粒
	糜棱煤	透镜状、团块状、 不整合接触	光泽黯淡, 层理 完全消失	整体破碎,多见粉末 状	构造揉皱镜面发育	极易捻成粉 末状

3.2. 不同类型煤对瓦斯地质特征的影响

(1) 孔径分布特征及瓦斯吸附能力

研究发现I类煤即原生结构煤孔径分布相对均匀,且以中孔和大孔为主,微孔占比少对瓦斯的吸附能力弱;III类煤即典型构造煤孔径分布极不均匀,且随着煤体结构破坏程度增加,煤体内部微孔、小孔等 孔径的体积增加,孔比表面积越大对瓦斯的吸附能力就越强,在相同温度及压力下,瓦斯的吸附量就越 大[7]。

(2) 孔隙结构特征

I类煤孔隙以原生孔隙为主,孔形态为规则的管状、蜂窝状以及圆形气泡孔,孔隙连通性好,裂隙规则发育,无挤压闭合现象;Ⅲ类煤由于受到构造作用强烈影响,孔隙被挤压破坏,呈不规则裂隙状,孔隙 连通性差,且因挤压破碎呈"闭合-充填"状态。

(3) 渗透性

渗透率是评价煤储层渗透性的重要指标,国内外许多学者认为煤层的渗透率随着煤破坏程度的增加 呈现先增后减的趋势,即碎裂结构煤 > 原生结构煤 > 碎粒煤、糜棱煤[8]。

(4) 瓦斯解析能力

原生结构煤由于微孔占比少,孔比表面积小,煤层瓦斯解析量小、解吸速率慢;碎裂煤由于受到构造的轻微破坏,原生孔隙部分被破坏,微孔占比增加,瓦斯吸附量较原生煤有所增加,初始解吸速率为 原生煤的 1.5 倍;碎粒煤和糜棱煤受到强烈构造作用,煤体呈碎粒状和糜棱状,微孔占比大于 50%,瓦 斯初始解吸速率最快,解吸总量最大,是煤矿瓦斯突出的典型煤层[9]。

(5) 瓦斯运移能力

原生煤中的瓦斯以沿裂隙通道渗流为主,构造煤由于微裂隙闭合,孔隙变形而流通受阻,运移方式 由流通转向扩散,不利于煤层瓦斯抽采。

3.3. 测井曲线识别构造煤原理

在漫长的地质历史时期,煤层经历挤压、拉伸、剪切等构造应力的作用,其结构由完整状态逐渐向 破碎转变,受到破坏的煤层其孔隙率、渗透率、强度等物理性质以及煤中有机质含量等化学性质发生显 著变化,这些物理化学性质的改变会直观的体现在煤的测井曲线上。根据测井曲线幅值与形态呈现出不 同的变化,可识别出煤层中的构造煤。统计整理袁店一矿 105 采区钻孔测井资料,发现测井参数主要包 括视电阻率测井、人工伽马测井、井径测井、自然伽马测井以及声波时差测井。通过不同煤体结构测井 曲线对比分析,发现视电阻率曲线,人工伽马曲线幅值变化明显,而自然伽马曲线、井径曲线及声波时 差曲线变化并不显著,因此本次研究将视电阻率和人工伽马测井曲线作为识别煤体结构的主要依据,同 时以自然伽马、井径和声波时差曲线作为辅助参考。不同煤体结构的测井响应特征如下:

(1) 主要识别曲线

1) 视电阻率测井曲线特征

相比于原生结构煤,构造煤由于结构破碎不完整,产生大量孔隙,导电网络发达,在钻井过程中裂隙中可能混入泥浆,使煤层导电性大大增加,视电阻率降低,在测井曲线上表现为幅值明显降低,波动起伏明显。随着煤体破碎程度增加,视电阻率幅值越低[10]。

2) 人工伽马测井曲线特征

人工伽马测井曲线是通过测量煤(岩)层对人工 y 射线的吸收与散射特性,来反映煤(岩)层物理性质, 这种对 y 射线吸收与散射的特性与煤层的密度相关。构造煤相比于原生煤密度降低,在人工伽马曲线上 反映出更高的幅值。

(2) 辅助识别曲线

1) 并径测井曲线特征

对于原生结构煤来说,其原生结构保存完整,在钻井过程中受到影响小,构造煤原生结构被破坏, 煤体结构松散,在钻井过程中极易造成井壁垮塌,致使井径异常扩大,且随着煤体结构破碎程度增加, 扩径现象越严重。

2) 自然伽马测井曲线特征

自然伽马测井反映煤层放射性特征。对构造煤来说,由于其内部孔隙和裂隙显著发育,单位体积内 有机质含量大幅降低,煤层中所含放射性物质的含量也随之降低,在自然伽马测井曲线上,通常呈现出 幅值降低的响应特征。若煤层中混入断层泥,自然伽马值可能升高[11]。

3) 声波时差测井曲线特征

声波时差测井判断煤(岩)层致密程度。构造煤因结构破碎导致声波传播速度降低、能量衰减,在测井 曲线上表现出明显正异常现象。由原生结构到构造煤,煤层小分子含量以及孔隙不断增加,声波传播速 度逐渐变小,即声波时差随着煤体破碎程度增加而增大[12]。

基于以上原理,建立基于测井响应的煤体结构判识准则表,如表2所示。

相体结构								
床伴结构	视电阻率	人工伽马	自然伽马	声波时差	井径			
I类煤	高幅值	低幅值	高幅值,部分中值	低幅值	低,形态规则			
Ⅱ类煤	低幅值	中幅值	中低幅值	中幅值	略有增高,扩径不 明显			
Ⅲ类煤	低幅值, 波动大	高幅值	低幅值,部分高值	高幅值	高,扩径明显			

Table 2. Logging identification table of coal structure in 105 mining area of Yuandian No. 1 mine 表 2. 袁店一矿 105 采区煤体结构测井判识表

4.10 煤层构造煤判识结果

对 105 采区共 68 个钻孔测井曲线进行判识,判识结果见表 3。《防治煤与瓦斯突出细则》中没有规 定具有突出危险性的III类煤分层厚度的临界值,依照严家平在祁东煤矿构造煤识别中,取 0.4 m 作为预 测瓦斯突出危险性临近值[13]。

结果表明: 10 煤层 68 个钻孔测井曲线中,全煤层属一类煤的钻孔数为 34 个,占总数的 50%。见I类煤的钻孔数为 18 个,其中仅有 5 个钻孔全煤层为I类煤,主要分布在采区南部五沟杨柳-1 断层与采区北部 BF33 断层之间;采区见II类煤的钻孔较多有 48 个,占比 63.24%,其中有 9 个钻孔全煤层为II类煤,钻孔位置较分散,主要位于采区北部以及西部边界位置处;采区见III类煤的钻孔有 48 个,占总数比 70.59%,其中全煤层属III类煤的钻孔有 21 个,钻孔位置集中于采区东北部 BF33 断层附近、南部五沟杨柳-1 断层附近以及西南部 BF2 断层附近。采区III类构造煤厚度都大于 0.4 m,均厚为 3.34 m,位于 BF33 断层附近的 2022-9 钻孔以及位于 BF3 断层附近的 2022-6 钻孔III类煤厚度高达 7.11 m 和 5.96 m。

综合以上结果可以看出,采区 10 煤层结构破碎,III类构造煤发育,整体上呈片状、带状分布于采区 南部边界以及中部偏东位置处,在采区北部边界五沟杨柳断层附近III类煤不发育;构造煤欠发育区主要 在采区西南部 BF3 与 BF2 断层附近、北部五沟杨柳断层附近、采区中部以及东部边界处。

钻孔数/个	占总数比/%					
68	/					
18	26.47					
43	63.24					
48	70.59					
48	70.59					
5	/					
9	/					
21	/					
	钻孔数/个 68 18 43 48 48 48 5 9 21					

Table 3. Identification results of structural coal in 105 mining area 表 3. 105 采区构造煤判识结果

5. 结论

1) 通过煤层测井资料对比分析,发现袁店一矿 105 采区 10 煤层测井响应特征为:随煤体结构破碎 程度增加,视电阻率曲线幅值降低,人工伽马幅值增加,出现明显扩径现象,声波时差幅值也随之增大; 自然伽马曲线幅值随煤体结构破坏程度的增加而降低;煤体结构破坏越严重幅值变化越明显,井径扩大 越严重。

2) 10 煤层煤体结构复杂,包括I类原生煤、II类过渡型构造煤和III类典型构造煤。采区III类构造煤较 发育,主要分布在采区南部边界、中部以及东部边界位置处,构造煤平均厚度较大,在 BF3 断层附近以 及南部五沟杨柳-1 断层附近厚度达到峰值;II类煤全区发育,在 BF3 与 BF2 断层附近以及东部边界位置 处厚度较大。

3) 经分析研究发现,构造煤的分布与断层密切相关,断层的宽度与规模越大,韧性变形构造煤越发育;断层弯曲段或分叉点由于应力集中,常形成厚层糜棱煤带,在采区 BF33 断层分叉处 2022-9 钻孔存 在厚层构造煤,可能为瓦斯突出危险区域。

深入了解采区构造煤类型以及分布规律,不仅可以预测瓦斯突出,在煤层气勘探开发中指导井位部 署与压裂设计,还可为煤矿的安全开采提供参考。

参考文献

- [1] 琚宜文, 姜波, 侯泉林, 等. 构造煤结构-成因新分类及其地质意义[J]. 煤炭学报, 2004(5): 513-517.
- [2] 王定武.利用模拟测井曲线判识构造煤的研究[J].中国煤田地质, 1997(4): 72-75.
- [3] 王来斌, 沈金山, 高锡擎, 等. 任楼井田 82 煤层构造煤分布规律及其控制因素[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(10): 112-116.
- [4] 严家平, 王定武. 利用煤田钻孔测井信息判识祁东煤矿构造煤的理论与实践[J]. 矿业安全与环保, 2003(6): 37-38+46.
- [5] 姜亚南. 大宁-吉县区块煤体结构类型测井曲线判别法[J]. 测井技术, 2020, 44(5): 477-481.
- [6] 张超, 黄华州, 徐德林, 等. 基于测井曲线的煤体结构判识[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(9): 47-51.
- [7] 卢守青, 檀鲁锐, 秦玉金, 等. 压力和粒径影响下原生煤和构造煤非稳态扩散特性研究[J]. 煤矿安全, 2025, 56(5): 9-19.
- [8] 张瑶. 沁水盆地榆社-武乡区块煤体结构测井识别技术研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安石油大学, 2021.
- [9] 王俏, 刘佳, 罗琼, 等. 破坏类型对构造煤吸附解吸特性影响实验研究[J]. 江西煤炭科技, 2024(4): 144-148+159.
- [10] 陈跃, 汤达祯, 许浩, 等. 应用测井资料识别煤体结构及分层[J]. 煤田地质与勘探, 2014, 42(1): 19-23.

- [11] 陈萍, 张荣飞, 唐修义. 对利用测井曲线判识构造煤方法的认识[J]. 煤田地质与勘探, 2014, 42(3): 78-81.
- [12] 徐鹏, 吴发宏, 韦博蔓, 等. 基于测井曲线组合特征的煤层结构综合判断[J]. 煤矿安全, 2015, 46(4): 155-158.
- [13] 严家平, 王定武. 利用煤田钻孔测井信息判识祁东煤矿构造煤的理论与实践[J]. 矿业安全与环保, 2003(6): 37-38+46.