

doi: 10.3969/j.issn.1005-2798.2010.05.004

# 屯留矿陷落柱分布特征及成因探讨

上官明磊<sup>1</sup>, 张玉贵<sup>1,2</sup>, 张子敏<sup>1,2</sup>, 高建成<sup>1</sup>

(1. 河南理工大学 瓦斯地质研究所, 河南 焦作 454003; 2. 中国煤炭学会 瓦斯地质专业委员会, 河南 焦作 454003)

**摘要:**通过三维地震勘探、矿井水文地质等资料分析屯留煤矿陷落柱的分布情况及其发育情况, 结合矿井的地质构造演化分析岩溶陷落柱形成机理, 得出陷落柱发育特征及分布规律, 指导矿井安全生产。

**关键词:**陷落柱; 地质构造; 构造演化

**中图分类号:** P54

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-2798(2010)05-0011-03

## Collapse Column Distribution and Genesis in Tunliu Coal Mine

SHANGGUAN Ming-lei<sup>1</sup>, ZHANG Yu-gui<sup>1,2</sup>, ZHANG Zi-min<sup>1,2</sup>, GAO Jian-cheng<sup>1</sup>

(1. Institute of Gas Geology of Henan Institute of Geology, Jiaozuo 454003, China;

2. Gas Geology Professional Committee of China Coal Institute, Jiaozuo 454003, China)

**Abstract:** Through three-dimensional seismic exploration, mine hydrogeological data analysis such as the distribution of Tunliu Coal Geology and its growth conditions, combined with the geological tectonic evolution of mine karst sink hole formation mechanism, come to collapse column characteristics and distribution of development to guide mine safety production.

**Keywords:** collapse columns; geological structure; tectonic evolution

岩溶陷落柱是中国北方型石炭二叠纪煤田的一种特殊隐伏垂向构造<sup>[1]</sup>, 是华北煤田比较常见的地质灾害异常体, 给矿井的生产和安全带来严重的隐患。岩溶陷落柱有可能穿透地下含水层, 在井下一旦被导通, 便会给煤矿生产造成不堪设想的严重后果; 还可能使其周围煤炭氧化, 从而失去可采价值, 减少井田的煤炭储量, 使得矿井服务年限缩短, 甚至可造成报废井巷工程的重大经济损失。陷落柱分布的广泛性和隐伏性, 对煤矿安全生产存在巨大危害。

屯留矿地处太行山西麓沁水煤田东翼潞安矿区的西部, 区域构造受太行山造山带的构造演化控制。矿井煤系地层广泛被第四纪沉积层所覆盖, 主要含煤地层为上石炭统太原组和下二叠统山西组, 主采煤层为 3<sup>#</sup>煤层, 该煤层位于奥灰岩溶水的高水头压力之下, 该区岩溶水系属山西辛安泉岩溶水系统, 奥灰富水性较强, 岩溶陷落柱广泛发育。

### 1 屯留矿地质构造及陷落柱分布特征

#### 1.1 矿井概况及地质构造

屯留矿是目前潞安集团现有生产矿井中开采深

度最深的矿井, 高瓦斯, 承压开采, 设计生产能力为 600 万 t/a, 服务年限为 81 a。井田位于沁水复式向斜盆地的东翼, 处于晋获褶断带西部, 井田内发育了一系列 SN 向展布的背、向斜和断层。井田基本构造形态与区域构造一致, 为一走向 NNE-SN 向西缓倾的单斜构造。在此基础上发育了方向比较单一的宽缓褶曲 (两翼倾角一般小于 10°), 沿倾向及走向伴有少量断距大于 20 m 的断层和一定数量断距小于 20 m 的断层及陷落柱, 陷落柱多隐伏于地表以下。井田范围内主要褶曲构造自西向东依次有坪村向斜、余吾背斜、余吾向斜、苏村背斜及屯留向斜。其中以西部的坪村向斜和东部的苏村背斜构成井田内煤层起伏的基本形态, 见图 1。

#### 1.2 陷落柱的几何形态和围岩特征

三维地震勘探、瞬变电磁勘探和已揭露的陷落柱表明, 屯留矿的陷落柱比较发育, 井田内已发现控制岩溶陷落柱 80 个, 其中建井时期实际揭露 6 个, 地质精查与三维地质补充勘探控制 74 个, 对现有的陷落柱资料的统计分析, 见表 1、表 2。

上述统计资料表明, 屯留煤矿的陷落柱长轴直

收稿日期: 2010-01-18

作者简介: 上官明磊 (1983-), 男, 福建龙岩人, 河南理工大学在读硕士研究生, 主要从事瓦斯地质理论研究与应用。

径大部分都大于 50 m,占 91. 4%,长轴发育方向以 EW 和 NEE向为主,这与屯留煤矿的向斜轴垂直,说明具有张裂性质。

已揭露的陷落柱表明,其构造位置多在断裂附近或构造复合带,屯留矿陷落柱分布特征:

- 1) 地貌上陷落柱的形状一般为椭圆形或者是近圆形的陷落盆地,外围的岩层产状正常而连续。
- 2) 陷落柱的总体形态一般是上小下大的不规则锥形,它们在水平切面上多呈椭圆和似圆形状,规模变化较大。
- 3) 陷落柱内所揭露的岩石以不规则灰色中粒砂岩、黑灰色泥岩、砂质泥岩为主,碎屑泥质充填,结构松散。岩性杂乱、经与地质综合柱状图比较,地质年代跨度较大,除煤层顶板泥岩外,还有二叠系下统山西组灰色中粒石英砂岩。
- 4) 陷落柱与围岩的接触界面多呈现出规则的锯齿状,接触处的围岩产状基本正常,接触带的煤层以及顶底板一般无牵连现象,接近陷落柱时,岩层裂隙发育,煤层破碎。
- 5) 陷落柱发育具有集中分布和定向延展的特征,陷落柱主要发育在小型向斜轴部和转折端附近。陷落柱围岩小断层发育,断层倾向柱体,断距小,延伸不远即消失,局部见煤层等软弱岩层向柱体倾斜。

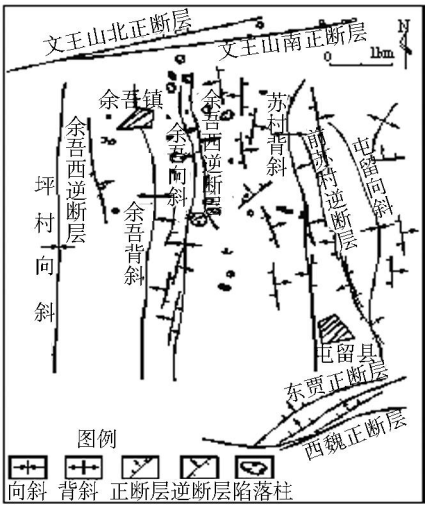


图 1 屯留矿井田构造纲要  
表 1 陷落柱长轴长度统计

长轴长度 /m	<50	50 ~ 100	100 ~ 150	150 ~ 200	200 ~ 300	> 300	合计
数量	6	17	17	11	14	5	70
/%	8. 6	24. 3	24. 3	15. 7	19. 2	7. 1	100

表 2 陷落柱长轴方向统计

方向	NS	EW	NNE	NEE	NNW	NW	NWW	NE	合计
数量	13	25	3	11	6	6	6	10	80
/%	16. 25	31. 25	3. 75	13. 75	7. 5	7. 5	7. 5	12. 5	100

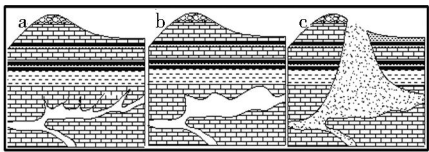
2 陷落柱形成机理

2. 1 陷落柱形成的成因

岩溶是发育分布在石灰岩地层中,由流动的地下水进行长期的溶蚀作用而形成的。在石灰岩中古溶洞非常发育,由于地下水的不断溶蚀、洞穴越来越大。在地质构造力和上部覆盖岩层的重力长期作用下,有些溶洞发生坍塌,覆盖在上部的上覆地层也随之陷落。由于这种塌陷呈圆形或不甚规则的椭圆形柱状体,所以叫陷落柱。

陷落柱既和原沉积岩性有关,是一定岩性结构的产物,同时亦与地质构造有关,其形成受构造控制,而形成过程又是水化学、水动力作用和机械作用的结果<sup>[2]</sup>。

屯留煤矿岩溶陷落柱系上覆为坚硬的非可溶性岩层的古老基岩塌陷,首先是奥陶系中统岩丘状高度聚集的硬石膏层在水化过程中产生的巨大膨胀力,将上覆岩体挤碎,继而因石膏及其周围岩层的溶蚀,随地下水强径流带走,形成地下空洞。破碎的顶板岩体即石炭二叠系煤系地层向下伏奥陶系碳酸盐岩中的空洞不断崩塌,陷落以至冒顶,从而形成陷落柱,见图 2。奥灰地层中石膏层发育是形成陷落柱必要条件,其发育特征和分布规律受到构造的控制和地貌的影响,且随地下水径流带水力作用的强弱形成不同的陷落规模。



a—奥灰岩中发育有溶洞; b—溶洞的逐渐扩大; c—陷落柱形成  
图 2 陷落柱形成过程示意

2. 2 构造演化对陷落柱形成的影响

华北地区早古生代被海水淹没,至奥陶纪末,加里东运动使华北地区全面整体抬升,缺失志留系、泥盆系及下石炭统,沉积中断 1 亿年以上。中石炭世,本区开始沉陷,接受了晚古生代的沉积,其中包括厚度稳定、标志层明显的煤系地层,三叠纪开始的印支运动及中生代开始的燕山运动,使本区抬升,并在 NNE向极为宽缓褶曲的基础上,普遍发育断裂变形,从而形成了本区的煤系地层的基本构造格架。

印支运动、燕山运动、喜马拉雅运动对陷落柱的形成起到巨大影响,地层差异升降是陷落柱形成过程中的主控因素<sup>[3]</sup>。受断块升降运动的影响,该区多形成宽缓的褶皱,在地貌和新构造运动上表现为较单一的断块隆升山地和沉降盆地。

- 1) 印支期。由于印度洋板块与欧亚大陆板块

发生碰撞,产生 SN 向的挤压运动,构造应力场主压应力方向为 S - N 向,轴向都是近东西向的,大致走向为 NW300°~SE120°左右。华北板块边缘发生变形,而板块内部活动较弱。该区位于华北板块内部,此期变形相对微弱。

2) 燕山期。受到强烈的构造挤压作用,形成了一系列 NNE 向的向、背斜褶皱和压性、压扭性断裂,构造应力场主压应力方向 NWW - SEE 向。该期由于构造运动,应力场发生了根本改变,华北板块发生逆时针旋转,体现为左旋压扭性。晋获断裂带呈现东盘向北,西盘向南的压扭运动,这样在矿区就形成了 NNE—NE 向的压扭性褶皱和断裂构造。而屯留井田近 SN 向构造是由于燕山初期强烈的东西向挤压形成的。

3) 喜山期。印度洋板块与欧亚板块进一步碰撞,产生 NNE 向的主压应力,华北板块西侧由于受力较大向北运动,沿晋获断裂带发生右旋走滑运动,在燕山期形成的正断层如西川正断层北盘、文王山等由于该带东盘的挤压作用应力集中发生上拱而形成地垒构造,而应力松弛地带地块下陷则形成地堑构造。

印支、燕山期的构造运动使得先前沉积的煤系地层产生了共轭剪切破裂,裂隙或断层得以产生,溶洞上覆地层有了可能产生塌陷的薄弱环节;其次褶皱的产生使褶曲轴部成为裂隙发育带,并使向斜部位成为赋水构造,使裂隙发育带的地层塌陷更具可能<sup>[4]</sup>。

### 2.3 屯留矿陷落柱发育原因

1) 华北的石炭二叠纪煤系地层绝大多数是直接沉积在奥陶系灰岩上的,奥灰地层中石膏层发育是形成陷落柱必要条件,根据屯留矿地质勘探资料显示,对陷落柱形成影响较大的地层为奥陶系中统地层峰峰组,该地层厚 120 m,底部为泥灰岩。其普遍有厚 20~60 m 的石膏层,石膏易受侵蚀、膨胀,溶蚀作用是形成陷落柱的重要原因。

2) 在区域应力场作用下,在向斜轴部的岩层底面受张拉,有利于岩溶发育,张性断裂裂隙使岩层破碎为倒楔形岩块,重力作用下的“倒楔形”有利于岩块整体下移;而背斜轴部岩层底面受压,岩溶不发育,压性或压扭性断裂裂隙使岩层破碎为“正楔形”岩块,不利于整体下移,因此从力学角度考虑,向斜岩层陷落柱较背斜发育<sup>[5]</sup>。

3) 近代岩溶作用较弱,地表岩溶形态一般不发育,局部地区在新应力场作用下,古岩溶陷落柱有可能重新活动,使其导水。

### 3 陷落柱对瓦斯赋存的影响

陷落柱的形成对煤层瓦斯含量的分布产生一定的影响。煤区发育的陷落柱,破坏了煤储层的内、外边界条件,不仅造成煤层含气量整体下降,同时也引起了煤层气组分的显著变化,给煤层气勘探带来更多的风险<sup>[6]</sup>。陷落柱周围煤层裂隙发育,原始煤体的瓦斯加强解析,由于陷落柱形成过程中,使陷落柱周围的煤、岩层因柱体向下塌陷,周围产生大量的张性节理,从而有利于煤层瓦斯向外运移排放。在局部地质构造单元内,陷落柱发育状况成为煤层含气性最主要的控制因素。如余吾向斜附近区域,该区瓦斯明显减小,如 704<sup>#</sup>钻孔尽管埋深比 705<sup>#</sup>钻孔深,但由于其位于陷落柱附近,造成煤层瓦斯含量明显降低,仅为 4.87 ml/(g·r),而 705<sup>#</sup>钻孔离陷落柱较远,其瓦斯含量高达 21.05 ml/(g·r)。

据已采掘的资料,矿井内陷落柱较为发育。陷落柱垂向穿越 3<sup>#</sup>、9<sup>#</sup>、15<sup>#</sup>煤层,形状为倒漏斗型,剖面为近塔柱状,对煤层破坏程度较大。

### 4 结论和建议

1) 岩溶陷落柱围岩破碎,应力大大降低,是导致陷落柱突水的必要条件。在地质构造复杂带内的陷落柱岩体的力学强度比正常岩体要弱得多,因此,陷落柱突水大多都发生在构造带内,并且应发生在构造带内的某一局部;地下水在某一局部突破后,其周围空隙水压力迅速降低,附近不再可能形成突水,故突水是局部发生而不是沿构造带大面积发生。

2) 从力学角度考虑,向斜岩层陷落柱较背斜发育,因此在靠近向斜部位必须充分重视陷落柱的勘探。当大巷或工作面推进至陷落柱附近时,要先进行先探后掘。

3) 印支期、燕山期、喜山期的地层差异升降运动是屯留煤矿陷落柱形成的主控因素。

4) 含煤区的陷落柱对煤层气资源起破坏作用,增大煤层气勘探的地质风险。为了提高煤层气勘探效率,在勘探评价选区时应加强陷落柱发育规律的研究,避免在陷落柱多发区部署勘探工作量。

分析陷落柱的成因及掌握分布发育规律,对采区设计和工作面的布置具有十分重要的意义,对矿井生产和经济效益的提高影响很大。

### 参考文献:

- [1] 尹尚先,武强,王尚旭.北方岩溶陷落柱的充水特征及水文地质模型[J].岩石力学与工程学报,2005,1(24).

(下转第 16 页)

理且涉及各种物理场的叠加或耦合等共同作用的结果,COMSOL - Multiphysics软件非常适合求解多物理场耦合问题,可以针对煤与瓦斯突出这一集合模型定义几种物理模型并通过计算分析从而选取最为科学合理的模型。COMSOL - Multiphysics其本身的物理模型也都是经典的模型有着实际的物理和工程意义。软件提供的专业模块,可以直接定义物理参数创建模型形成二维物理场分析,同时不同的物理模块可以叠加进行任意场的耦合模拟和数值解析。针对不同问题可以进行静态和动态分析,线性和非线性分析,特征值和模态分析等各种数值分析。使得物理过程更逼真,结果的可视化、定量化,COMSOL - Multiphysics软件引入到矿业工程领域将能促使相关的研究更快更好的发展,其应用前景将非常广泛。

#### 4.2 科学意义和理论价值

基于 COMSOL - Multiphysics研究煤矿煤与瓦斯突出,在传统方法的基础上使用多物理场耦合分析软件有效的融合高速数字电子计算机和数值方法理论形成相对理想的数值模拟平台,使以前许多不能解决的数学、物理问题的求解成为可能。通过对方程的控制和调解建立煤与瓦斯突出的有效的数学模型并在计算机上对其求解、分析。不断完善并建立新的数学模型,将煤与瓦斯突出理论研究提高到更高的水平并建立煤与瓦斯突出的研究系统,实现预测的高科技、程序化、数字化。

多物理场耦合分析软件的使用将引起对煤与瓦斯突出问题更多的思考,各物理场的叠加、耦合将有可能产生新的科学发现或者新的理论。其应用为学者们研究煤与瓦斯突出提供了又一新的工具和新的视角。数值模拟仿真会激发起新一轮思想和科技的火花。

#### 参考文献:

[1] 孙德陪,杨东全,陈奕柏. 多物理场耦合模型及数值模

拟导论 [M]. 北京:中国科学技术出版社, 2007.

- [2] 张玉宝,李 强. 基于 COMSOL Multiphysics的 MEMS 建模及应用 [M]. 北京:冶金工业出版社, 2007.
- [3] 周世宁,何学秋. 煤和瓦斯突出机理的流变假说 [J]. 中国矿业大学学报, 1990(2): 1 - 9.
- [4] 李萍丰. 浅谈煤与瓦斯突出机理的假说——二相流体假说 [J]. 煤矿安全, 1989(11): 29 - 35.
- [5] 梁 冰,章梦涛,潘一山,等. 煤和瓦斯突出的固流耦合失稳理论 [J]. 煤炭学报, 1995, 20(5): 492 - 496.
- [6] 蒋承林,俞启香. 煤与瓦斯突出机理的球壳失稳假说 [J]. 煤矿安全, 1995, 16(2): 17 - 25.
- [7] 宋少云. 多场耦合问题的建模与耦合关系的研究 [J]. 武汉工业学院学报, 2005, 24(4): 21 - 23.
- [8] 盛金昌. 多孔介质流 - 固 - 热三场全耦合数学模型及数值模拟 [J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 15(增 1): 3029 - 3033.
- [9] 张建国,魏风清. 含瓦斯煤的突出模拟实验 [J]. 矿业安全与环保, 2002, 29(1): 7 - 10.
- [10] 罗新荣,俞启香. 煤层瓦斯运移方程的数值模拟分析 [J]. 煤矿安全, 1996(2): 24 - 27.
- [11] 易 俊,姜永东,鲜学福. 应力场、温度场瓦斯渗流特性实验研究 [J]. 中国矿业, 2007, 16(5): 113 - 116.
- [12] 张瑞超. 煤与瓦斯突出的机理研究 [J]. 科技信息, 2008(21): 320.
- [13] 朱连山. 煤与瓦斯突出机理浅析 [J]. 矿业安全与环保, 2002, 29(2): 23 - 25.
- [14] 王永祥,杜卫新. 煤与瓦斯突出机理研究进展 [J]. 煤炭技术, 2008, 27(8): 89 - 90.
- [15] 卢连宁,张迎新,张保勇. 煤与瓦斯突出机理及其区域预测技术对比 [J]. 黑龙江科技学院学报, 2007, 17(1): 33 - 35.

[责任编辑:王玉梅]

(上接第 13 页)

- [2] 贾贵廷,胡宽琛. 华北型煤田陷落柱的形成及分布规律 [J]. 中国岩溶, 1989, 8(4): 261 - 266.
- [3] 陈敬轶,姚军朋,张子敏,等. 晋城成庄煤矿陷落柱成因与差异升降运动 [J]. 河南理工大学学报, 2006, 25(6): 465 - 468.
- [4] 段东升. 潞安矿区构造演化对煤田陷落柱发育的影响 [J]. 商场现代化理论探析, 2005(6).

- [5] 尹尚先,武 强,王尚旭. 华北煤矿区岩溶陷落柱特征及成因探讨 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(1): 120 - 123.
- [6] 王生朗,卢福长. 陷落柱对煤层含气性的影响 [R]. 21 世纪中国煤层气产业发展与展望研讨会. 2002

[责任编辑:王玉梅]