

撤稿声明

撤稿文章名: 范各庄井田岩溶陷落柱特征及成因机理研究
作者: 王义海
通讯作者邮箱: wangyh_cumt@163.com

期刊名: 矿山工程 (ME)
年份: 2020
卷数: 8
期数: 3
页码 (从X页到X页): 368-379
DOI (to PDF): <https://doi.org/10.12677/ME.2020.83047>
文章ID: 2890427
文章页面: <https://www.hanspub.org/journal/PaperInformation.aspx?paperID=36635>
撤稿日期: 2020-07-29

撤稿原因 (可多选):

- 所有作者
 部分作者:
 编辑收到通知来自于
 出版商
 科研机构:
 读者:
 其他:
撤稿生效日期: 2019-11-21

撤稿类型 (可多选):

- 结果不实
 实验错误
 数据不一致
 分析错误
 内容有失偏颇
 其他:
 结果不可再得
 未揭示可能会影响理解与结论的主要利益冲突
 不符合道德
 欺诈
 编造数据
 虚假出版
 其他:
 抄袭
 自我抄袭
 重复抄袭
 重复发表 *
 侵权
 其他法律相关:
 编辑错误
 操作错误
 无效评审
 决策错误
 其他:
 其他原因

出版结果 (只可单选)

- 仍然有效.
 完全无效.

作者行为 失误(只可单选):

- 诚信问题
 学术不端
 无 (不适用此条, 如编辑错误)

* 重复发表: "出版或试图出版同一篇文章于不同期刊."

历史

作者回应:

是, 日期: yyyy-mm-dd

否

信息改正:

是, 日期: yyyy-mm-dd

否

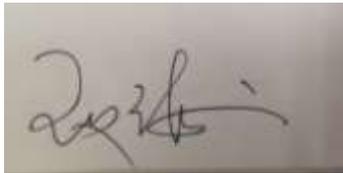
说明:

“范各庄井田岩溶陷落柱特征及成因机理研究”一文刊登在2020年7月出版的《矿山工程》2020年第8卷第3期第368-379页上。因作者个人原因,作者主动要求撤稿。根据国际出版流程,编委会现决定撤除此稿件,保留原出版处:

王义海. 范各庄井田岩溶陷落柱特征及成因机理研究[J]. 矿山工程, 2020, 8(3): 368-379.

<https://doi.org/10.12677/ME.2020.83047>

所有作者签名:

A rectangular box containing a handwritten signature in black ink on a light-colored background. The signature appears to be 'Wang Yihai' written in a cursive style.

Karst Collapse Column Features and Mechanism of Formation in Fangezhuang Coal Mine

Yihai Wang

Department of Investigation, Anhui Survey and Design Institute of Water Resources and Hydropower Co., Ltd., Bengbu Anhui
Email: wangyh_cumt@163.com

Received: Jun. 30th, 2020; accepted: Jul. 15th, 2020; published: Jul. 22nd, 2020

Abstract

Taking the "Karst Collapse Column Features and Mechanism of Formation in Fangezhuang Coal Mine" as the researching object, this paper applies the theory of plate tectonics, tectonic geology, taking the tectonic revolution as the mainline, and by analyzing dynamics background and regional magmatism, in order to probe into the tectonic character and groundwater characteristics, characteristics and evolution of the geological structure, as well as on the formation and development of karst collapse column; for karst collapse column is mainly controlled by groundwater characteristics and structural characteristics, the thesis focused analysis of groundwater characteristics and tectonic characteristics and evolution of detailed study of the structure and groundwater under the control the karst collapse column formation and development law to reveal the role of different scale structure formation of control of karst collapse column.

Keywords

Fangezhuang karst, Collapse Column, Tectonic Revolution, Background Water

范各庄井田岩溶陷落柱特征及成因机理研究

王义海

安徽省水利水电勘测设计研究总院有限公司勘测分院, 安徽 蚌埠
Email: wangyh_cumt@163.com

收稿日期: 2020年6月30日; 录用日期: 2020年7月15日; 发布日期: 2020年7月22日

摘要

本文以“范各庄井田岩溶陷落柱特征及形成机理”为研究对象, 运用板块构造、构造地质学、岩溶陷落柱

形成的构造控制、沉积学等理论与方法,以构造演化为主线,解析动力学背景和地质活动,探讨研究区沉积特征、地下水特征、地质构造特征及其演化,以及对岩溶陷落柱形成及发育的影响;针对岩溶陷落柱主要受控于地下水特点及构造特征,论文重点分析了研究区地下水特征与构造特征及演化,详细研究了构造及地下水控制下岩溶陷落柱柱体形成及发育规律,并揭示了不同尺度构造对岩溶陷落柱形成的控制作用。

关键词

范各庄, 岩溶, 陷落柱, 构造演化, 地下水

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国煤炭储量丰富,但煤矿水文地质条件十分复杂,已探明的煤炭储量中,受水害威胁的约占 27%。随着矿井的深入开采,矿井的地质、水文地质条件变的愈发复杂[1]-[7]。

煤系岩溶陷落柱被地质学家确认最早出现在 20 世纪 30 年代末,小贯义男在河北井陘煤矿井下发现“圆形断层”,1942 年松泽勋首次将其命名为“岩溶陷落柱”[8],并首次提出了“长径”和“短径”的概念等。1950 年以来,尤其是发展综采以来,岩溶陷落柱空间形态的揭示方法不再局限于探巷、掘巷等手段,在范各庄煤矿,地面群孔钻探方法已经可以比较精细地揭示岩溶陷落柱的空间形态[3]。60 年代以后,一些地球物理勘探方法逐渐开始被应用于探测岩溶陷落柱。1990 年岩溶陷落柱的采前勘探和开采中的处理被列为科研攻关重点项目。这个时期的研究内容及结构包括岩溶陷落柱的形成机制、岩溶陷落柱的导水机理、岩溶陷落柱的探测方法和突水岩溶陷落柱的治理几个方面[9][10][11][12][13]。杨高峰[14]描述了马兰矿顶空型松散岩溶陷落柱内部特征;尹万才[15]从平面形状、剖面形状、发育高度及中心轴变化方面,总结了华北煤田岩溶陷落柱的几何特征;张同兴[16]研究了煤系地层岩溶陷落柱围岩的产状、岩性特征等。周治安[17]、杨为民[18]等认为岩溶陷落柱多形成在现代伸展构造或重应力为主的地区,国家矿产资源的钱学溥[19]等人认为,岩溶陷落柱是石膏喀斯特产物。中国地质科学院的陈尚平等根据峰峰地区岩溶陷落柱的地质特征,反驳了石膏溶蚀说,他们认为,燕山期水成岩体和热液的侵入,造成残热水和地下水复杂的循环和溶蚀作用。2000 年以后,计算机和数值模拟方法开始应用于岩溶陷落柱研究[20][21][22][23][24]。AutoCAD 和 ArcView 等计算机辅助工具开始广泛运用,尹尚先等[25]人开始用数值方法模拟岩溶陷落柱突水机理,分析了岩溶陷落柱空间分布形态和规律,并对岩溶陷落柱的形成时间做了较为全面的探究。

2. 研究区地质背景

2.1. 地层岩性

范各庄井田隶属开平煤田,位于开平向斜南东翼。开平向斜是华北地台上的一个小规模的古生代含煤断陷盆地。区域范围主要地层有:太古界(A);上元古界震旦系(Z);古生界寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系和新生界第四系等地层。

范各庄矿勘探和开发揭示出的地层自上而下有:第四系、二叠系、石炭系、奥陶系。范各庄井田煤系地层主要由石炭系、二叠系地层组成,煤系地层包括中石炭统唐山组,上石炭统开平组、赵各庄组,下二叠统的大苗庄组、唐家庄组。研究区地层对岩溶陷落柱影响最大的为奥陶系可溶性灰岩。

2.2. 地质构造

开平煤田在大地构造分区上属 IV 级构造单元, 是由燕山旋回造成的盖层构造——唐山、蓟县陷褶束(III 级构造单元)中的一个复式含煤向斜。位于中朝准地台(I 级构造单元)之上, 燕山沉降带(II 级构造单元)内(图 1)。

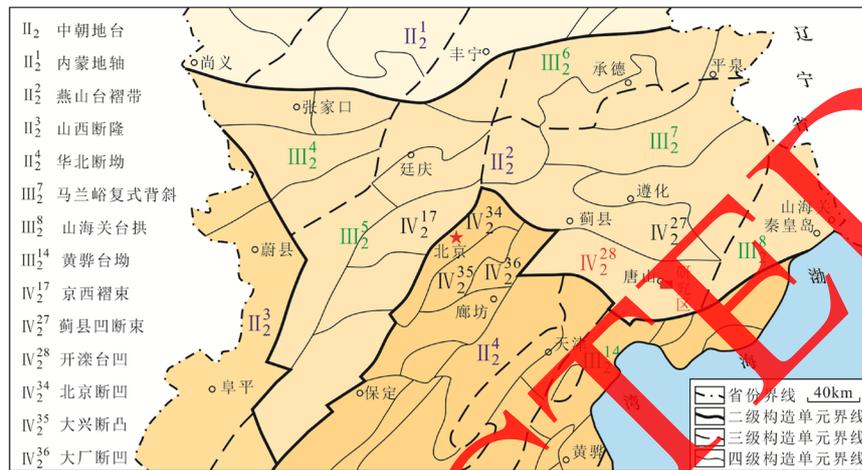


Figure 1. Division of tectonic units

图 1. 大地构造单元划分

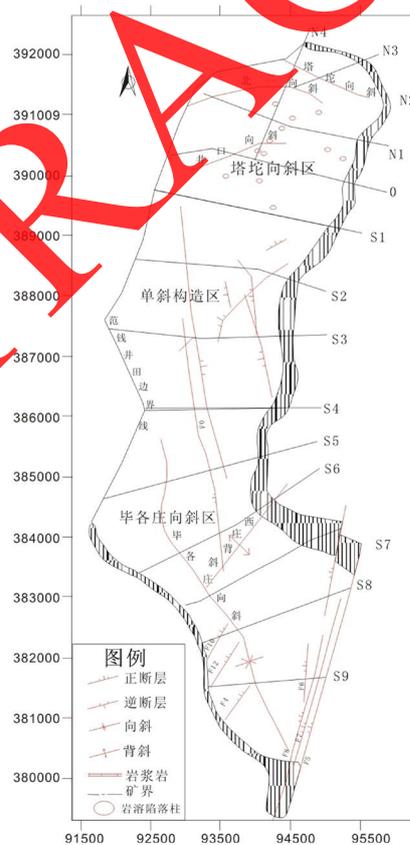


Figure 2. Outline map and tectonic units division of Fanggezhuang mine

图 2. 范各庄井田构造纲要及构造单元划分图

1) 井田构造分布规律

本井田所揭露的地质构造，以断裂构造为特征，根据构造特征，可以将范各庄井田划分为三个构造区(图 2)，即井田北部岩溶陷落柱发育的塔坨向斜区，中部单斜构造区和南部的毕各庄向斜区。

2) 岩溶陷落柱发育概况

岩溶陷落柱作为地质异常体，具有隐伏、孤立、随机分布的特点，这一特点决定了常用的勘探技术手段均难以探明。以往范各庄矿发现的岩溶陷落柱，均是采掘工程临近时，有目标或无目标地将其揭露。

开滦矿区及范各庄矿揭露的岩溶陷落柱分布(图 3)。

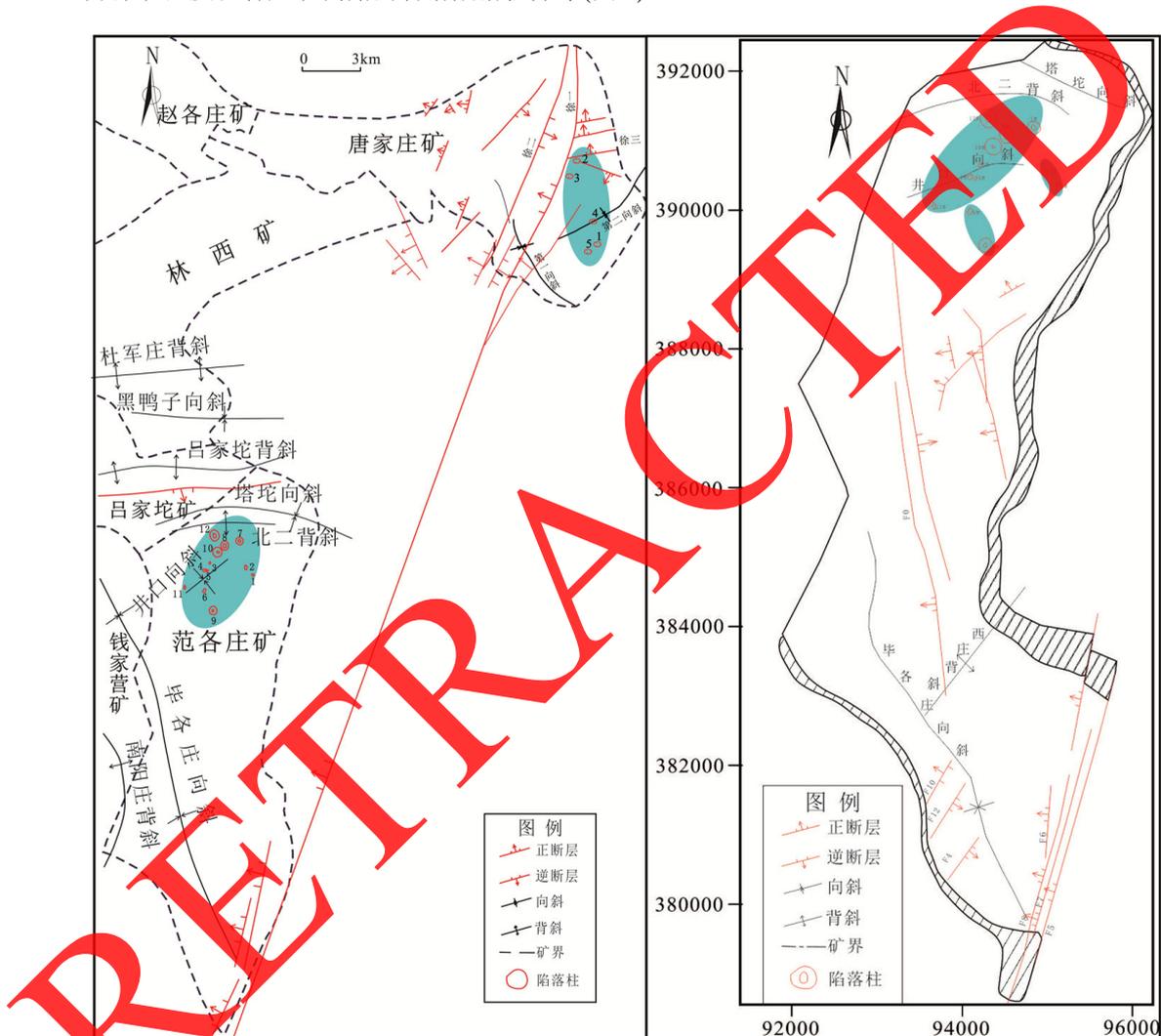


Figure 3. Karst collapse column distribution of south east wing in kaiping syncline and Fanggezhuang mine

图 3 开平向斜南东翼及范各庄矿岩溶陷落柱发育规律图

2.3. 水文地质概况

范各庄井田北部及东部以 14 煤层风氧化带线为界，由 9 个拐点坐标控制。东南部以开滦股份范各庄矿业分公司与原唐山市毕各庄煤矿井田边界线为界，由 3 个拐点坐标控制。南西部以 14 煤层风氧化带线为界，由 4 个拐点坐标控制。西部及西北部以开滦股份范各庄矿业分公司与开滦(集团)钱家营矿业分公司及开滦股份吕家坨矿业分公司井田边界线为界，由 11 个拐点坐标控制(图 4)。

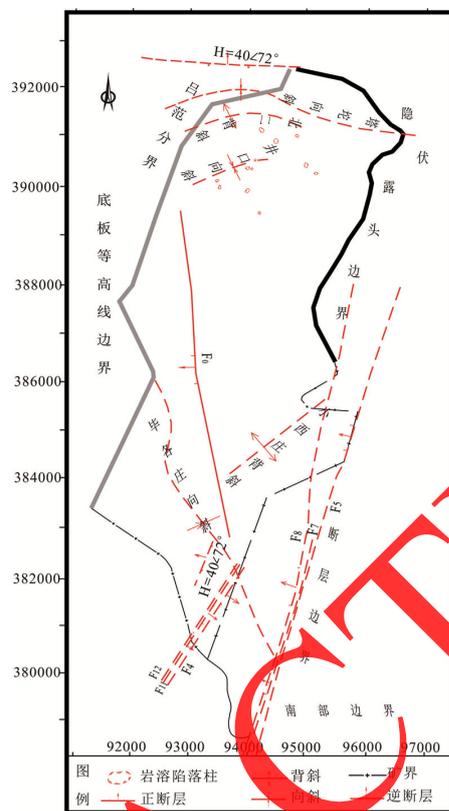


Figure 4. The lateral hydrological boundaries schematic diagram of Fangezhuang mine
图 4. 范各庄矿侧向水文边界示意图

在煤系地层中，与矿井直接沟通的含水层是 5 煤层顶板砂岩裂隙承压含水层、5~12 煤层间砂岩裂隙承压含水层和 12~14 煤层间砂岩裂隙承压含水层。奥陶系灰岩岩溶含水层则是通过导水断裂和岩溶陷落柱成为矿井的直接突水水源。

3. 岩溶陷落柱发育特征

3.1. 分布特征

开滦矿区岩溶陷落柱分布情况见图 3。

1) 从整个开滦矿区看，岩溶陷落柱的分布有地带性，延伸有一定方向性：

在开滦矿区，目前只有位于开平向斜东部转折端的唐家庄徐家楼区和开平向斜南东翼的范各庄矿井口区发现岩溶陷落柱。徐家楼陷落柱分布区、彭家塔坨塌陷坑分布区和范各庄井口岩溶陷落柱分布区，呈 NE-SW 向的带状分布，与 NNE 向大断裂构造相一致。

2) 在一个井田内集中分布：其位置主要受井田内地质构造制约，均分布在地质构造复杂的褶曲地带。如唐家庄矿徐家楼区井下实见岩溶陷落柱的位置均处于向斜的两翼，而且大致呈对称出现。陷落柱向深部延伸到奥灰的位置正处在向斜的轴部。范各庄矿的岩溶陷落柱主要分布在塔坨向斜南翼的复式褶皱地带，岩溶陷落柱在旋转构造的核心部位，即井口向斜的中部集中分布，向周围零星分布。井田内岩溶陷落柱分布仍满足 NNE 向分布，个别分布零散。

3.2. 形态特征

同一岩溶陷落柱，由于垂向上围岩岩层性质的差异，其平面形状有时也有变化。部分岩溶陷落柱柱

体变化较不规律，可能受到后期构造运动的改造作用，或岩溶陷落柱本身是不同期次形成的。但整体而言仍呈现底部坍塌空间较大，向上逐渐变小的趋势。

在岩溶陷落柱三维空间数据库的基础之上，对各岩溶陷落柱进行柱体形态模拟。利用克里格插值法，对岩溶陷落柱的柱面数据进行插值，拟合其标高等值线，生成一系列相对应的格网文件。利用“3D 表面”功能，绘制各岩溶陷落柱的柱体模拟图如图 5 所示。

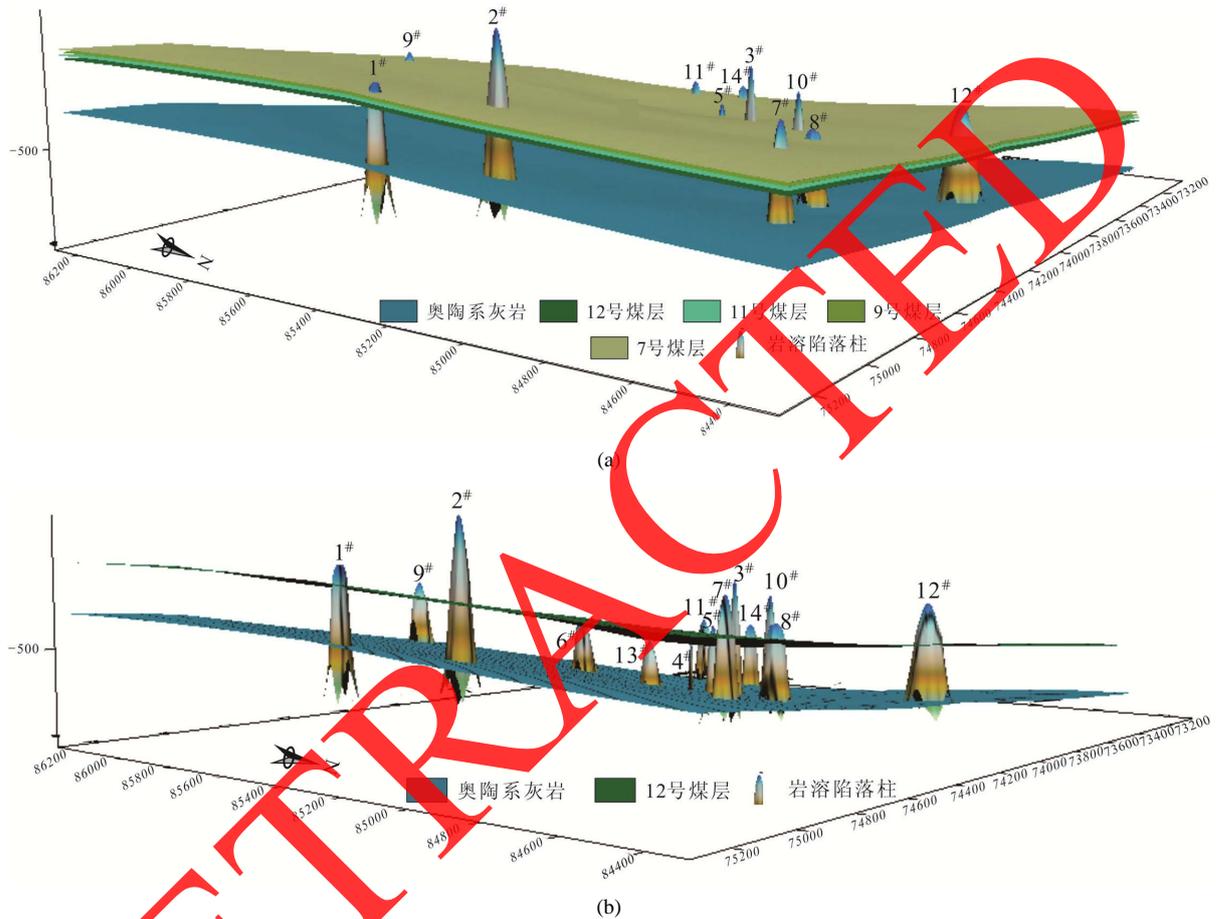


Figure 5. Space simulation of development characteristics about karst collapse column in Fangezhuang mine

图 5. 范各庄矿岩溶陷落柱空间发育规律模拟图

1) 平面形态:

岩溶陷落柱的平面形状是指岩溶陷落柱柱体与地表或岩层层面的切割面形状，也称为横切面形状。根据目前揭露的岩溶陷落柱的资料。其平面形状主要有椭圆形、似圆形、肾形、长条形和不规则形等，其中呈椭圆形和似圆形者居多，尤以椭圆形为最多。同一岩溶陷落柱，由于垂向上围岩岩层性质的差异，其平面形状有时也有变化。在不同的矿区和井田，或同一井田不同构造区段的岩溶陷落柱，因受形成条件和各种因素的影响，其平面形状有所不同，长、短轴大小不一，平面面积有大有小，并且相差十分悬殊。最大的长轴近 600 m，最小的长轴不足 10 m，面积最大可达数万平方米到十余万平方米，面积最小者仅几十平方米。

2) 剖面形态:

岩溶陷落柱的剖面形状主要受所穿过岩层的岩石物理力学性质制约，其粗细变化不一，多呈不规则

的柱状体。在岩性比较坚硬均一、裂隙又比较发育的岩层中，其形状多呈上小下大的圆锥状，塌陷角一般在 $60^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 之间，华北型煤田中这种形状的岩溶陷落柱最多，在松散层中，岩溶陷落柱的剖面形状多呈上大下小的漏斗状，塌陷角比较小，约 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 。

结合平剖面综合分析，可以发现区内岩溶陷落柱多呈弯曲倾斜发育，且局部位置受后期改造较明显，产生较强烈的局部形变，并有二次发育的现象。从母岩及岩溶陷落柱的产状等可以推测出，岩溶陷落柱形成后地层整体由下到上向西倾斜了一定角度，且层序正常，说明岩溶陷落柱在形成之后受燕山期构造作用改造明显。

3) 中心轴形态：

岩溶陷落柱各横切面中心点的连线称为岩溶陷落柱的中心轴。理想的岩溶陷落柱发育应该是垂向上受重力作用发育的，故其中心轴形态应该是一条垂向上的直线。但在研究区范各庄矿，受其形成时的构造作用影响，岩溶陷落柱并非发育成垂直岩层面的形态。在构造作用下，研究区首先会形成利于岩溶陷落柱发育的褶皱构造，尤其是向斜构造。在向斜构造发育形成的基础上，原始的岩溶空洞上覆岩层在垂向作用力下发生坍塌，形成垂向的岩溶陷落柱，此时，其中心轴形态往往不会垂直岩层面。同时，受岩石物理力学性质及裂隙发育等因素影响，岩溶陷落柱的中心轴常有变化，同时受燕山期构造作用影响，岩溶陷落柱中心轴形态多呈歪斜状。

3.3. 水文地质特征

从已揭露的情况来看，各岩溶陷落柱充水和导水的情况不同，大致可分为 3 种类型。

强充水型：岩溶陷落柱内充填物未被压实，柱内水力联系好，直接导通奥灰高压水，沟通了煤系地层各含水层，采掘工程一旦揭露就发生突水，水量大而稳定。如范各庄矿的 2[#]、9[#] 及 10[#] 岩溶陷落柱。

边缘充水型：陷落柱内充填物压实紧密，风化程度较强，柱内水力联系不好，只是柱边发育的次生裂隙充水，对奥灰水的导通性不好，未将奥灰水直接导入煤系上部含水层。采掘工程揭露时一般以淋水为主，涌水量不大，如 1[#]、3[#]、5[#]、6[#]、8[#]、12[#] 岩溶陷落柱。

疏干型：岩溶陷落柱内充填物压实紧密，风化程度极强，边缘裂隙水已被疏降，工程揭露时无水或有少量滴水。范各庄矿的 4[#]、7[#]、11[#] 岩溶陷落柱均属于这种类型。

4. 岩溶陷落柱发育的控制因素

4.1. 物质基础

奥灰岩溶陷落柱是碳酸盐岩分布区岩溶发育引起的地质现象，所以岩溶陷落柱形成的物质基础是奥灰岩溶的发育。

寒武纪和奥陶纪的地壳运动主要发生在海盆内部，海进海退交替频繁，陆源区则相对稳定，而且随着时间的推移，抬升速度降低，剥蚀作用削弱，分化分异作用逐渐成熟，陆源物质供给量逐渐减少。寒武纪主要形成了红色单陆屑建造；奥陶纪主要形成了白云岩型蒸发岩建造、膏盐型蒸发岩建造和异地碳酸盐建造。各沉积建造多成席状展布，连续沉积，地层稳定，区内此期沉积厚度最大约 1500 m，属海相建造型。

中奥陶世以后，加里东运动使华北上升为陆地，即老虎山组沉积后，海水又撤出本区。历经志留、泥盆纪及早中石炭世。由于风化剥蚀，致使奥陶系灰岩厚度大大减薄与上覆地层呈平行不整合接触。在此后 1.5 亿年的风化剥蚀过程中，奥陶系顶部的碳酸盐岩长期裸露于地表，物理风化作用十分强烈，风化裂隙大量发育，在大气淡水长期而又充分的淋滤溶蚀下，形成了一个以溶蚀为主并有大小不等岩溶洞穴的岩溶发育带，构成了一个准平原化岩溶地貌。

4.2. 地下水控制

岩溶发育必须具备可溶性岩层和良好的地下水动力两个条件,除了地下水流通道和排泄口的畅通与否对岩溶和岩溶陷落柱的形成具有特别重要的意义外,可溶岩层与地下水的良好溶蚀反应亦是岩溶陷落柱形成的关键,这是岩溶空洞形成的基础。

为研究矿区地下水对灰岩溶蚀的影响,采用室内试验的方法模拟其溶蚀过程。为了逼近实际条件和环境,溶蚀实验过程在封闭容器内选择静水条件下进行。而由于当时地下水所承受的压力未知,故实验模拟多个气压下岩石的溶解性。本次实验采用的方法是测量溶液中各离子浓度的大小来表示灰岩的溶蚀率。首先向杯内加入 250 mL 蒸馏水,然后把岩样立放于杯内,置入封闭容器中,抽真空至 0.5 个大气压,注入 CO₂ 气体,使容器内气压恢复至四个不同值,即可开始试验。实验结果如表 1 所示。

Table 1. The situation of limestones reaction with water and CO₂ at different pressures

表 1. 灰岩在不同压力下与水 and CO₂ 的反应情况

	200 pia C(1/zB ²⁺) mmol/L	400 pia C(1/zB ²⁺) mmol/L	600 pia C(1/zB ²⁺) mmol/L	800 pia C(1/zB ²⁺) mmol/L
Ca ²⁺	19.91	38.17	40.47	48.80
Mg ²⁺	0.78	1.47	2.55	3.68
HCO ₃ ⁻	20.60	33.42	38.46	46.19
SO ₄ ²⁻	0.26	0.31	0.33	0.38

结合参考资料及其他实验结果表明,不同的碳酸盐岩组分及结构类型对碳酸盐岩的溶蚀率有很大影响:一般而言,溶蚀率大小为白云质灰岩 > 灰岩 > 灰质白云岩 > 白云岩,而对于碳酸盐岩的不同结构,其溶蚀率大小排序是泥晶灰岩 > 细晶灰岩 > 中晶灰岩。通过野外观测可以发现,研究区内上马家沟组碳酸盐岩主要为灰岩,而下马家沟组则多为灰质白云岩,其溶解性较好。

4.3. 构造控制

1) 构造对岩溶发育的控制

根据构造曲率的计算方法及 12 煤层底板等高线值计算 12 煤层底板曲率,并做出 12 煤层底板最大主曲率等值线图(图 6),可以发现 12 煤层底板最大主曲率等值线与奥灰岩溶的发育有明显的相关性,在向斜发育的轴部走向上,底板曲率及变化值较大,这些地方往往是奥灰岩溶发育的地方,如塔坨向斜及毕各庄向斜区。

井田中部 12 煤层底板存在部分构造曲率的变化,但整体变化较小,变化趋势不明显,结合井田构造纲要图(图 2)可以看出,井田中部单斜构造区断层发育,但不存在明显的褶曲,故部分构造曲率变化是由于断层的存在造成的。

2) 构造对地下水的控制

地下水的径流和排泄是受地质构造条件控制的,特别是受断裂构造发育条件所制约。断裂构造,特别是张性断裂构造是坚硬岩石的水流通道。开平向斜南东翼的边幕状近东西向的小型背向斜,受到了近南北向的大断裂所切割。由于区域地层岩性组合的关系,在上部煤系地层为塑性形变的向斜褶曲部位,在下部煤系基底的奥灰岩中则往往由于脆性岩石形变而发育张性断裂构造。与近南北向大断裂构造形成断裂构造网,为奥灰水的径流和排泄创造了条件。

3) 构造对地应力的控制

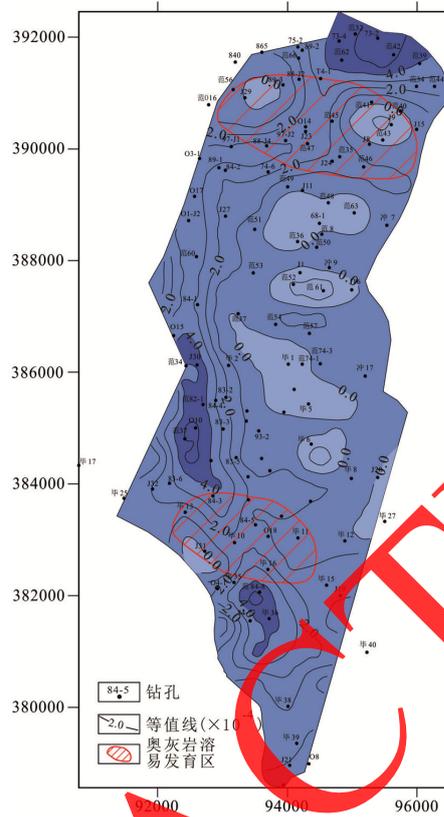


Figure 6. Curvature isoline of floor structure about coal 12
图 6.12 煤层底板构造曲率等值线

当奥灰岩溶位于向斜轴部时，从地应力的角度分析，上覆岩层上部受压，下部奥灰岩受拉，导致上部岩层塑性变形，岩石内部致密；下部奥灰岩受拉，发生脆性变形而发育张性的高角度节理，形成倒楔形结构(图 7)，受到向下的地应力及自身重力作用；同时由于上覆岩层的致密性，随着溶洞体积的扩大，原奥灰岩溶空洞内形成真空腔，为真空吸蚀作用创造了条件，在多重作用力的影响下，溶洞上覆岩层极易坍塌垮落。

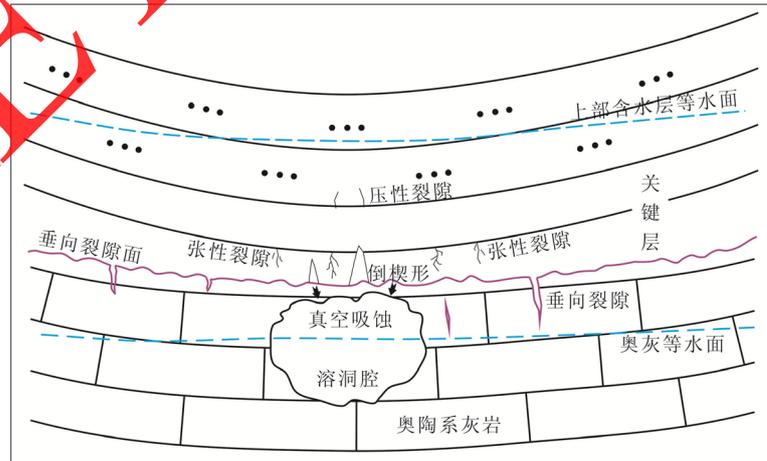


Figure 7. Causes diagram of karst collapse column at synclinal shaft
图 7. 向斜轴部岩溶陷落柱成因示意图(据张茂林[26])

5. 成因机理

1) 范各庄井田奥灰岩溶空洞形成期

通过前文对研究区地层及岩溶陷落柱形成的物质基础可知,影响岩溶形成的地层主要有上马家沟组中统、下马家沟组中统亮甲山组下统及冶里组下统的厚层灰岩及白云岩。

由于中奥陶世以后加里东运动的影响,华北地台上升成为陆地,使研究区缺失早奥陶世沉积,历经志留纪、泥盆纪及早石炭纪,由于风化剥蚀作用,使得奥陶系灰岩厚度减薄,与上覆地层呈不整合接触。在接受风化剥蚀作用长达 1.5 亿年的历史时期内,奥陶系顶部的碳酸盐岩长期裸露于地表,接受了强烈的物理风化作用,高度发育风化裂隙,从研究区地层勘探结果来看,在石炭系下统唐山组底部发育大量厚度不均的 G 层铝矾土,表征着在大气淡水长期的淋蚀作用下奥灰顶部形成了大小不均的岩溶洞穴,奥灰顶部凹凸不平,这些岩溶发育带为后期形成岩溶陷落柱的原始坍塌空间提供了基本条件。

奥陶纪灰岩沉积并接受剥蚀以后,研究区进入到稳定了碎屑岩沉积阶段,形成石炭—二叠纪煤系地层,印支运动末期至燕山期,强烈的构造运动形成了影响岩溶陷落柱发育的褶皱构造,同时形成的断裂构造成为了地下水的径流与排泄通道。此时的褶皱与断裂构造也奠定了研究区的基本构造形态。燕山运动末期至喜山早期,研究区地壳抬升,地下水对原始的岩溶空洞进一步作用。

2) 上覆围岩坍塌过程

岩溶陷落柱的形成是在奥灰岩溶空洞形成的基础上,上覆围岩不断的坍塌溶蚀形成的地质现象。在围岩坍塌的过程中,主要受地下水溶蚀、构造作用和真空吸蚀力等因素影响。

①地下水对上覆围岩失稳的影响

地下水对岩溶陷落柱的形成主要有两种促进方式。首先,地下水以自身渗流和水岩反应影响地应力的改变,其次地下水通过物理及化学溶蚀带走已垮落的陷落物。

②真空吸蚀导致上覆岩层坍塌

煤系地层形成时,地壳处于下沉期,在形成褶皱,尤其是向斜构造的情况下,上部煤系地层因柔性受压塑性形变使奥灰岩上覆煤系地层致密屏蔽,下部奥灰岩受拉破碎,下部奥灰岩溶空洞腔内形成真空。随着溶洞附近的围岩被地下水逐渐冲蚀,以及地下水的变动,岩溶溶腔内有压水面转为无压,水面以上空间出现低气压或真空负压。随着溶洞的不断溶蚀扩大或地下水水位的突降,都会导致真空吸蚀力的增加,对上覆岩层内部结构产生强烈而迅速的破坏作用。

③构造作用影响岩溶陷落柱的发育

印支期:该期古地理基本继承了晚二叠世的轮廓,与晚二叠世之间为连续沉积;早—中三叠世,区内未发现较强的构造运动形迹。印支期意味着该区开始进入强烈活动阶段。

燕山期:侏罗—白垩纪期间,本区地壳经历了翻天覆地的剧烈变化,地壳活动时间连续,具有明显的阶段性和节奏性。地壳变动的基本动力为太平洋板块俯冲产生的北西向挤压力。

早侏罗世,此期形成的盆地均发育在燕山海槽的范围内,受北部原东西向古陆及西部太行山的限制,在特定的构造应力场作用下,本期产生两种不同的构造线方向,即北东东向和近东西向。中侏罗世以来,区域内断裂活动加剧,在中侏罗世末构造运动更加强烈,主要表现为褶皱变形,中等规模为主,并伴随有同生断层,在这种构造运动影响下,研究区形成了连续的复式向斜。进入晚侏罗世后,本区发生了剧烈的构造变形,即燕山运动的激化期。构造变形以断块活动为主,褶皱作用相对较弱。断裂构造以北北东向为主,幅度较大,数量较多。断裂的形成或为继承断层或为新生断层,同期派生的北北西和北东东向两组断层,多发育于构造稳定的脆性岩石分布区,交互组成网状构造,也成为地下水流的良好通道。

经过晚侏罗世的剧烈构造变形,早白垩世本区地壳活动进入相对平静的调整期,构造变形强度明显

减弱,形成的褶皱变形简单。中-晚白垩世为燕山运动的结尾局部区域出现较明显的构造活动。

综上,中侏罗世及其以前,中生代的沉积主要受东西向和北东东向基底构造控制,至晚侏罗世,由于太平洋板块向北西方向的挤压力加剧,使本区的北东-北北东向断裂大规模活动,并控制了中生代的沉积作用。晚侏罗世的构造活动,奠定了本区现今构造格局的基本轮廓。

喜马拉雅期:进入喜马拉雅旋回后,位于西太平洋岛弧后地带的地区主要处于北西-南东方向的拉张应力场,燕山运动以来形成或复活的一些主干断裂,由挤压转换为引张,并发生一侧沉降,从而孕育了新生代的主要的盆地。

6. 总结

陷落柱的形成是多种地质条件综合作用的结果,其在分布发育上与诸多地质因素存在内在的联系,根据研究区奥灰岩溶勘探和岩溶陷落柱实际揭露的资料分析,发现区内岩溶陷落柱呈NNE向展布的空间分布规律,在一个井田内集中分布在地质构造复杂的褶曲地带。区内岩溶陷落柱多呈弯曲倾斜发育,局部形变强烈,并有二次发育的现象。岩溶陷落柱形成后中心轴形态受到NW向的改造,说明岩溶陷落柱在形成之后受喜山期构造作用改造明显。

范各庄井田奥陶系灰岩在石炭系沉积之前受风化剥蚀作用已经形成了岩溶地表,发育大量的溶孔溶洞,后期强烈的构造运动使岩层遭遇到剧烈变动奥灰岩进一步接受溶蚀作用,并形成不同形态的岩溶空洞。随着构造运动的演化,在研究区形成利于岩溶陷落柱发育的向斜构造,下部奥灰岩受拉形成高角度的张性裂隙,使岩层破碎为倒楔形岩块,有利于岩块的整体垮落;同时,地下水的作用使岩溶空洞不断扩大,破坏原始应力状态,引起上覆岩层的应力释放,引起坍塌。

上覆围岩坍塌后,地应力得到暂时的稳定;由于地质与水文地质条件没有太大变化,地下水不断对坍塌的岩石进行机械搬运与化学溶蚀,冒落的岩石被逐渐带走,并不断溶蚀原始溶洞围岩,使溶洞进一步扩大,围岩再次失稳坍塌,继而再次被溶蚀搬运,此过程的反复进行,使岩溶陷落柱不断向上发展。

参考文献

- [1] Laurence, D. (2006) Optimisation of the Mine Closure Process. *Journal of Cleaner Production*, **14**, 285-298. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.04.011>
- [2] Marek, U. (2009) Monitoring of Methane and Rock Burst Hazards as a Condition of Safe Coal Exploitation in the Mines of Kompania W Głowa SA. *The 6th International Conference on Mining Science & Technology*, Vol. 1, 54-59. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2009.09.011>
- [3] Roberto, S. and Iran, D.S. (2002) Development of Collapse Sinkholes in Areas of Groundwater Discharge. *Journal of Hydrology*, **264**, 1-11. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00062-8)
- [4] Milannovic, P.T. (1981) *Karst Hydrogeology*. Water Resources Publications, Littleton.
- [5] 钟亚军. 开滦煤矿防止综合技术研究[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2001.
- [6] 白文彪. 回采巷道过岩溶陷落柱锚网支护技术[J]. 河北煤炭, 2006, 28(6): 23-24.
- [7] 胡洪涛, 郑亚东, 刘卫东. 不明岩溶陷落柱对回采工作面布置的影响[J]. 中州煤炭, 2007, 28(2): 30-31.
- [8] 小贵义男. 河北井隆炭田地质调查报告[R]. 1943: 25-27.
- [9] 崔若飞. 利用反射波地震法探测岩溶陷落柱[J]. 勘察科学技术, 1993, 10(4): 56-58.
- [10] 李长有, 于福清. 沈南煤田岩溶陷落柱及其导水性特点[J]. 东北煤炭技术, 1995, 21(2): 49-52.
- [11] 苏朴, 樊行昭. 用高精度磁力仪探测岩溶陷落柱的初步尝试[J]. 煤田地质与勘探, 1994, 22(4): 51-53.
- [12] 侯恩科, 夏玉成. 矿井岩溶陷落柱的成因分析及其预测[J]. 西北地质, 1994, 15(2): 18-22.
- [13] 李天真. 西山煤田岩溶陷落柱的特征对生产的影响及其处理对策[J]. 西山科技, 1992, 15(4): 1-5.
- [14] 杨高峰. 马兰矿松散岩溶陷落柱特征及对生产危害性分析[J]. 山西焦煤科技, 2007, 30(1): 26-28.

- [15] 尹万才, 施龙青, 卜昌森. 华北煤田岩溶陷落柱发育的几何特征[J]. 山东科技大学学报, 2004, 23(2): 23-25.
- [16] 张同兴, 闫东育, 马建民, 等. 煤系地层岩溶陷落柱特征与煤层气分布浅析[J]. 断块油气田, 2003, 9(1): 22-24.
- [17] 周治安, 杨为民. 山西岩溶陷落柱的岩体力学背景[J]. 煤炭学报, 1999, 24(4): 341-344.
- [18] 杨为民, 周治安. 岩溶陷落柱形成的岩体力学条件[J]. 煤田地质与勘探, 1997, 25(6): 31-33.
- [19] 钱学溥. 石膏喀斯特岩溶陷落柱的形成及其水文地质意义[J]. 中国岩溶, 1988, 7(4): 14-17.
- [20] 段俭君. 大同煤田(北区)岩溶陷落柱发育规律及成因分析[J]. 煤炭与化工, 2009, 42(12): 1-5.
- [21] 尹尚先, 连会青, 刘德民, 等. 华北型煤田岩溶陷落柱研究 70 年: 成因·机理·防治[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(11): 1-29.
- [22] 严其, 魏树林. 基于地面钻探技术的岩溶陷落柱探查研究[J]. 中国煤炭地质, 2018, 30(4): 53-55, 69.
- [23] 任海波. 岩溶陷落柱震波场特征的研究与验证分析[J]. 技术应用与研究, 2019(16): 44-45.
- [24] 周琛龙. 综合法在岩溶陷落柱探查中的应用研究[J]. 煤炭与化工, 2019, 42(11): 72-74.
- [25] 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.
- [26] 张茂林, 尹尚先. 华北型煤田陷落柱形成过程研究[J]. 煤田地质与勘探, 2007, 35(6): 26-29.

RETRACTED