

# Study on Deformation and Failure Characteristics of Roof and Floor Mining Based on FLAC3D Model Ubiquitous

Yuan Zhang, Haifeng Lu, Duoxi Yao

School of Earth and Environment, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui  
Email: 2197346502@qq.com

Received: Jun. 28<sup>th</sup>, 2020; accepted: Jul. 13<sup>th</sup>, 2020; published: Jul. 20<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

In the deep coal seam mining, the mining face of roof and floor strata sedimentary structure affect the strength of the roof and floor, roof and floor when bedding plane development, are more likely to happen damage deformation, causing working face roof and floor of floor heave of caving accidents, serious threat to the mine staff safety of life and destruction of mining equipment of working face. In this paper, Model ubiquitous and Model mohr of FLAC3D numerical simulation are used to compare and analyze the failure and deformation of the working face floor during the bedding development, and the following results are obtained: The structural strength of the roof and floor of the coal mining face is lower than that of the area where the bedding structure is developed. The top and bottom plates are more prone to failure and deformation. When exploiting coal resources in the area with bedding structure development, attention should be paid to strengthening the prevention of water damage to roof and floor and the support of goaf.

## Keywords

Coal Seam Floor, FLAC3D, Model Ubiquitous and Model Mohr, Failure Deformation Characteristics

---

# 基于FLAC3D多节理模型的顶底板采动变形破坏特征研究

张元, 鲁海峰, 姚多喜

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南

Email: 2197346502@qq.com

收稿日期: 2020年6月28日; 录用日期: 2020年7月13日; 发布日期: 2020年7月20日

## 摘要

在对深部煤层进行开采时, 采煤工作面顶底板的地层沉积结构会对顶底板的强度产生影响, 当顶底板层理面发育时, 更易发生破坏变形, 进而引发工作面顶底板的垮落底鼓事故, 严重威胁矿井工作人员的生命安全以及破坏工作面开采设备。本文通过FLAC3D数值模拟的多节理和摩尔本构模型对比分析工作面底板在层理发育时的破坏变形情况, 得出: 层理构造发育区域, 采煤工作面顶底板的结构强度较层理不发育地区要低。导致顶底板更容易发生破坏变形。在层理构造发育地区开采煤资源时, 应注意加强对顶底板的水害防治与采空区的支护。

## 关键词

煤层底板, FLAC3D, 多节理模型, 破坏变形特征

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

深部煤资源开采时, 由于开采扰动会对采煤工作面顶底板产生扰动破坏, 由于顶底板破坏变形, 可能会引起工作面的垮塌事故, 严重威胁矿井工作人员的生命安全以及破坏工作面开采设备。目前大量学者针对采煤工作面顶底板破坏变形特征进行了深入研究[1]-[13], 多数学者利用数值模拟方法对采煤工作面顶底板破坏变形特征从多角度进行研究[1]-[10], 其中部分学者基于多节理本构模型模拟分析了工作面顶底板层状地层的破坏变形特征[1] [2] [3]。部分学者从实际开采工作面实例出发, 结合数值模拟分析了工作面布设规格, 顶底板岩性对顶底板破坏变形特征的影响[4]-[10]。另有部分学者基于相似材料模拟对采煤工作面顶底板支撑应力分布特征以及不同构造环境中顶底板破坏变形特征进行分析[11] [12] [13]。然而对于层理构造对采煤工作面顶底板的破坏变形研究比较少, 对于水平层理构造发育地区, 多数情况下人们往往会忽视其对工作面顶底板的破坏变形的影响。为探究地层沉积层理构造对采煤工作面顶底板破坏变形的影响, 本文基于FLAC3D数值模拟方法, 采用多节理模型模拟地层层理构造, 分析采煤工作面顶底板的破坏变形特征, 并与摩尔库仑模型进行对比分析, 探究层状地层对采煤工作面顶底板的破坏变形的影响规律。

## 2. 数值模型

### 2.1. 模型参数

为模拟层理发育时的工作面顶底板围岩的层状构造, 本文采用多节理本构模型来模拟沉积层理, 工作面顶板为细砂岩, 底板为砂质泥岩。模型参数如表1所示。

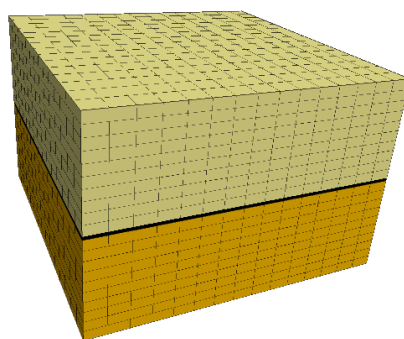
**Table 1.** Multi-joint model parameters**表 1.** 多节理模型参数

地层	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	抗拉强度 MPa	摩擦角(°)	内聚力 MPa	剪切模量 GPa	体积模量 GPa	节理抗拉强度 MPa	节理摩擦角(°)	节理内聚力 MPa
顶板	2487	2.1	38	5.8	6.01	5.97	1.4	18	2.2
煤层	1380	1.2	32	3.5	2.01	4.91	0.6	12	1.5
底板	2483	2.2	32	4.8	7.35	9.97	1.3	15	2.2

同时为对比分析两种本构模型下的工作面底板破坏变形情况，库仑摩尔模型的模型除节理参数，其余参数均与多节理模型一致。

## 2.2. 数值模型及工作面布置

本次数值工作面采动数值模型的尺寸为 300 \* 300 \* 200 m (图 1)，由 100 m 厚顶板，97 m 厚底板及 3 m 厚的煤层组成(图 1 中黑色部分)，模型边界为位移与应力组合的混合边界，底部为全位移约束，四周为侧向位移约束。工作面处于-400 m 水平，等效在模型顶部施加 10 MPa 的垂向荷载，四周边界施加 2.5 MPa 的水平应力。

**Figure 1.** Numerical model and meshing**图 1.** 数值模型及网格划分

工作面开采方向平行煤层，沿 x 轴方向开采，工作面跨度 150 m，模拟时取开采步长 20 m，分 5 步开采，总推进长度为 100 m。

## 3. 模拟结果分析

### 3.1. 破坏特征分析

为探究工作面底板破坏特征，对比分析在两种本构模型下的每一步开采对工作面底板破坏的影响，如图 2 所示。

由图 2 可知，在多节理模型中，破坏类型主要为张拉破坏和剪切破坏，张拉破坏区域主要分布在顶底板中部区域，剪切破坏主要分布在工作面顶底板的两侧。并且随着开采进度顶底板塑性破坏区分布范围逐渐扩大，工作面顶底板破坏深度逐渐向顶底板围岩延伸，最后一步开挖达到最大破坏深度 30 m，破坏区垂向分布范围 40~60 m。开挖过程中，先采区域顶底板破坏垂向分布范围较后采区域要广。由此可知在层理发育的地层环境中，开采工作面顶底板容易发生破坏，且先采区域破坏程度要大于后采区域。为对比分析，导出库仑摩尔模型逐步开挖底板的塑性区分布。

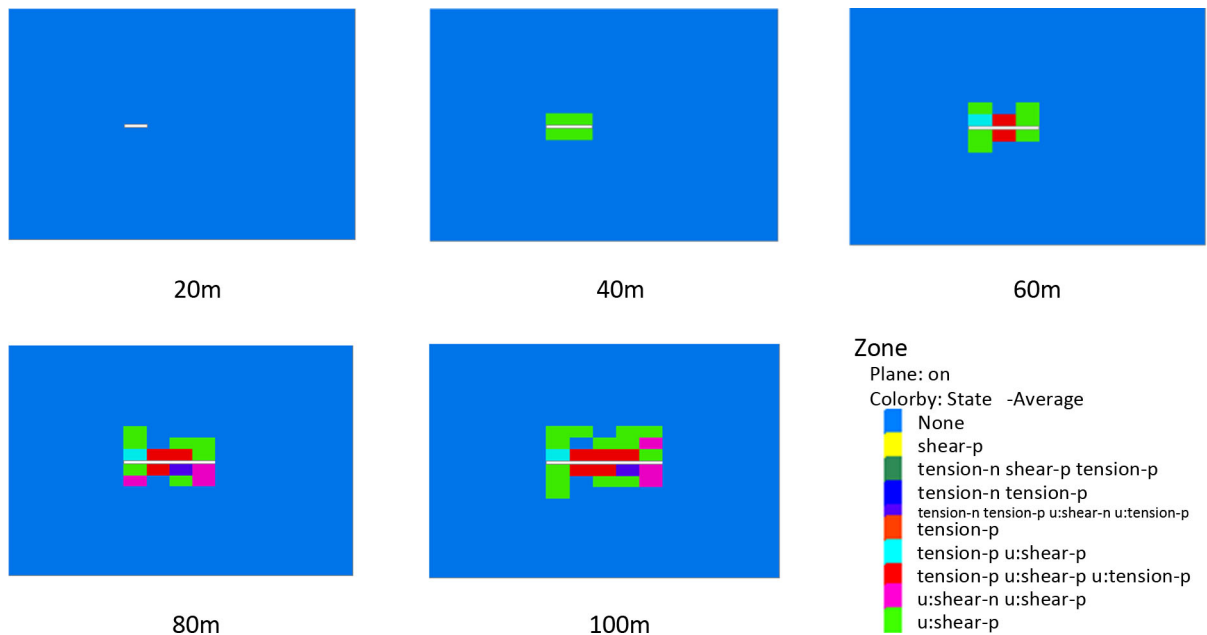


Figure 2. Distribution of plastic zone in XZ section of multi-joint model  
图 2. 多节理模型 XZ 切面塑性区分布

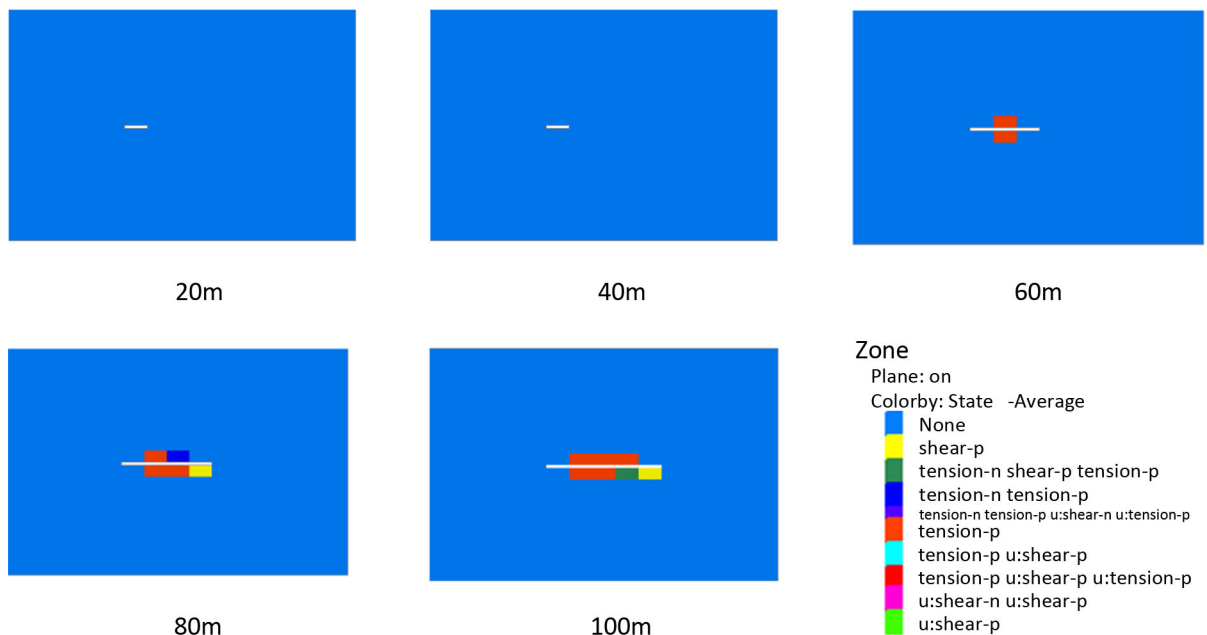


Figure 3. Distribution of plastic zone in the XZ section of Coulomb's model  
图 3. 库仑摩尔模型 XZ 切面塑性区分布

由图 3 分析可知，在库仑摩尔模型中，随着工作面开采进尺，顶底板的塑性区分布纵向延伸范围较多节理模型的破坏范围要小，垂向破坏分布范围在 20 m 左右，并且破坏类型以顶底板的张拉破坏为主，仅在第三步开挖时在底板右侧出现剪切破坏。并且先采区与后采区的纵深破坏范围分布受开挖进尺影响较小。

对比分析两种模型下工作面底板的破坏特征分析可知，多节理模型中工作面顶底板更容易发生破坏，随着开挖底板破坏深度逐渐增大，且先采区域的底板破坏程度较后采区域破坏大。同时，库仑摩尔模型中底板破坏程度较多节理模型要小，且先采区与后采区的破坏程度差别不大。综上，可知在沉积层理构

发育区域, 开挖扰动对采煤工作面顶底板破坏区域的分布范围影响较大, 为预防开采次生裂隙导通含水层, 应注意加强顶底板突水水害的防治。

### 3.2. 位移特征分析

为分析工作面顶底板的位移情况, 导出采区中部 XZ 横截面的位移云图。对比分析在两种本构模型下的每一步开采对工作面顶底板变形的影响, 如图 4 所示。

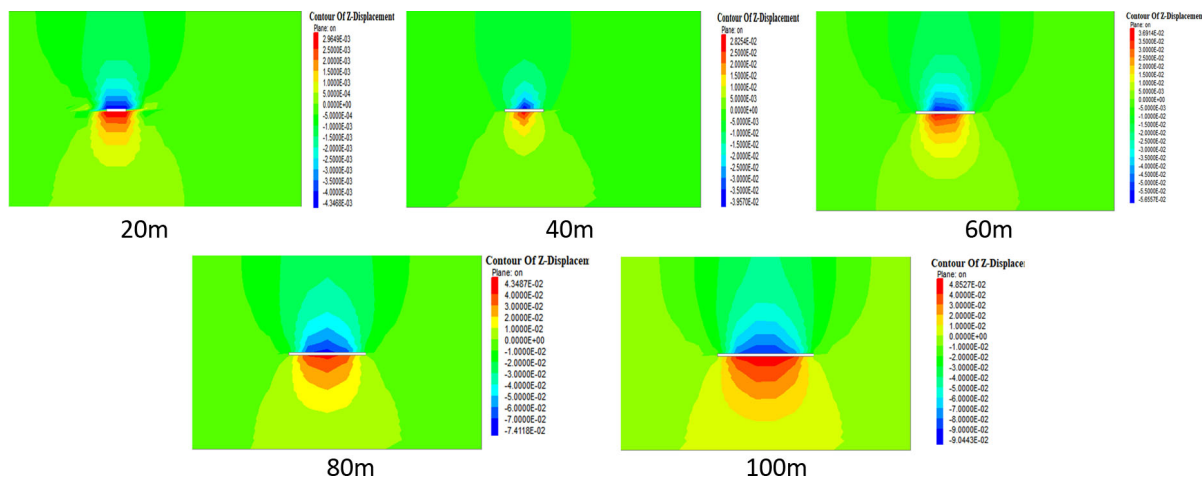


Figure 4. Vertical displacement of XZ section of multi-joint model

图 4. 多节理模型 XZ 切面垂直位移

由图 4 可知, 工作面顶底板最大位移量分布于开挖总步长中部区域, 且随着开采逐步进行顶底板最大垂直位移量逐步增大, 为进一步分析每步开挖顶底板的位移特征, 导出每步开挖后顶底板的最大垂向位移, 如表 2 所示。

Table 2. Multi-joint model gradually excavates the maximum vertical displacement of roof and floor

表 2. 多节理模型逐步开挖顶底板最大垂直位移

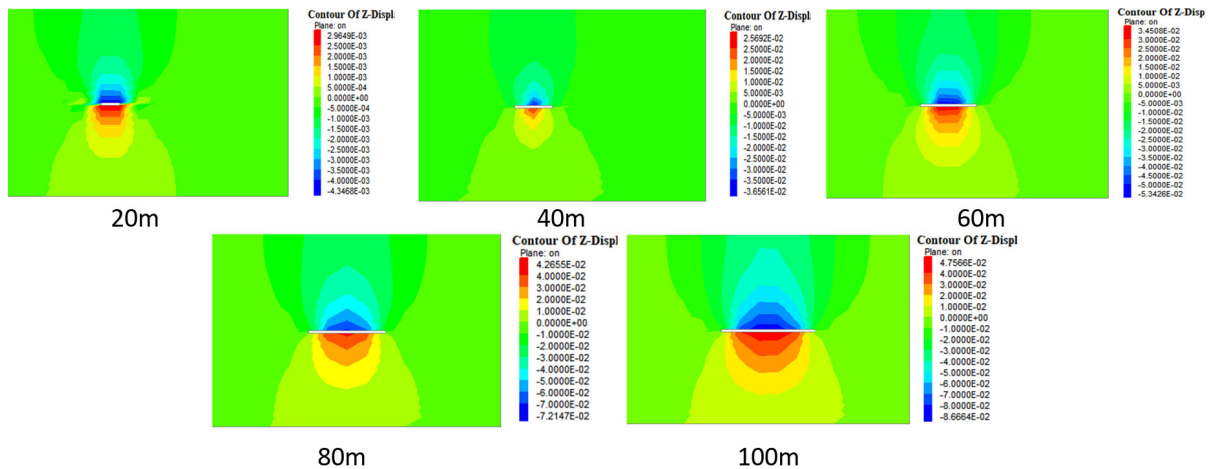
开挖步	20 m	40 m	60 m	80 m	100 m
顶板位移	-0.4347	-3.957	-5.6557	-7.4118	-9.0443
底板位移	0.2965	2.8254	3.6914	4.3487	4.8527
相对位移变量	0.7312	6.7824	9.3471	11.7605	13.897

同理导出库仑摩尔模型逐步开挖垂直位移云图和最大位移量, 如图 5 和表 3。

Table 3. The maximum vertical displacement of the roof and floor of the Coulomb Moore Model

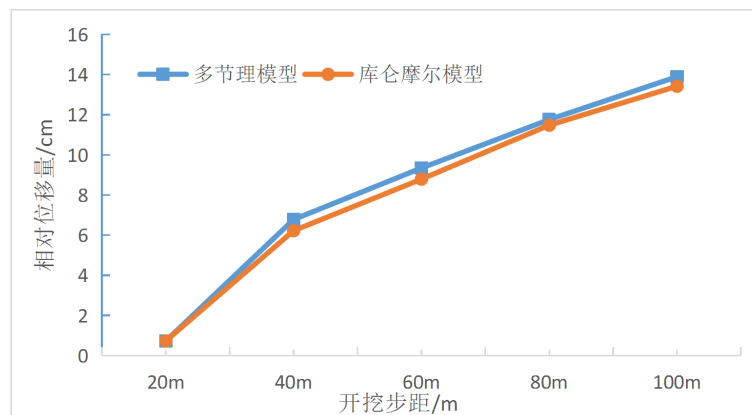
表 3. 库仑摩尔模型逐步开挖顶底板最大垂直位移

开挖步距	20 m	40 m	60 m	80 m	100 m
顶板位移/cm	-0.4347	-3.6561	-5.3426	-7.2147	-8.6664
底板位移/cm	0.2965	2.5692	3.4508	4.2655	4.7566
相对位移变量/cm	0.7312	6.2253	8.7934	11.4802	13.423



**Figure 5.** Vertical displacement of XZ section of Coulomb's model  
**图 5.** 库仑摩尔模型 XZ 切面垂直位移

为直观分析两种不同模型下的逐步开挖顶底板相对位移量变化规律，导出顶底板最大相对位移量曲线，如图 6。



**Figure 6.** Comparison curve of maximum relative displacement  
**图 6.** 最大相对位移量对比曲线

由图 6 可知，随着工作面开采逐步进行，顶底板相对位移量曲线呈上凸形逐步递增，且在进行第 2 步开挖时相对位移量增加率最大。对比两种模型相对垂向位移量曲线可知层理构造发育地区开采扰动导致的顶底板变形量较层理不发育地区的变形量要大，由此可知层理构造会降低顶底板地层的强度，进而导致顶底板更容易发生变形。

#### 4. 结论

本文通过对比多节理模型和库仑摩尔模型，分析了采煤工作面逐步开采层理构造发育对工作面顶底板破坏变形的影响，通过对比分析在多节理模型和库仑摩尔模型下工作面底板的破坏变形特征得出。

1) 在多节理模型中，破坏类型主要为张拉破坏和剪切破坏，张拉破坏区域主要分布在顶底板中部区域，剪切破坏主要分布在工作面顶底板的两侧。并且随着开采进度顶底板塑性破坏区分布范围逐渐扩大，工作面顶底板破坏深度逐渐向顶底板围岩延伸，最后一步开挖达到最大破坏深度 30 m，破坏区垂向分布范围 40~60 m。并且先采区域顶底板破坏垂向分布范围较后采区域要广。

2) 在库仑摩尔模型中, 随着工作面开采进尺, 顶底板的塑性区分布纵向延伸范围较多节理模型的破坏范围要小, 垂向破坏分布范围在 20 m 左右, 并且破坏类型以顶底板的张拉破坏为主, 仅在第三步开挖时在底板右侧出现剪切破坏。并且先采区与后采区的纵深破坏范围分布受开挖进尺影响较小。

3) 通过对两种模型顶底板的相对垂向位移量分析, 可知层理构造发育地区开采扰动导致的顶底板变形量较层理不发育地区的变形量要大, 由此可知层理构造会降低顶底板地层的强度, 进而导致顶底板更容易发生变形。

综上所述可知在层理构造发育区域, 采煤工作面顶底板的结构强度较层理不发育地区要低。导致顶底板更容易发生破坏变形, 当受到开挖扰动产生次生裂隙时, 极大程度上会导通与顶底板含水层之间的水力联系, 进而引发突水事故。故而在层理构造发育地区开采煤资源时, 应注意加强对顶底板的水害防治与采空区的支护。

## 基金项目

安徽省教育厅 2019 年高校自然科学研究重大项目(KJ2019ZD11); 国家自然科学基金面上项目(No. 419 77253)。

## 参考文献

- [1] 蓝航, 姚建国, 张华兴, 徐乃忠. 基于 FLAC3D 的节理岩体采动损伤本构模型的开发及应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2018, 27(3): 572-579.
- [2] 黄书岭, 丁秀丽, 邬爱清, 卢波, 张宜虎. 层状岩体多节理本构模型与试验验证[J]. 岩石力学与工程学报, 2012(8): 1627-1635.
- [3] 胡亚元, 王超. 多节理岩体的非线性耦合损伤本构模型[J]. 煤炭学报, 2019, 44(S1): 52-60.
- [4] 周杨. 大采高超长工作面底板破坏深度数值模拟分析[J]. 煤矿安全, 2019, 50(6): 245-249.
- [5] 程浩, 杨本水. 基于 FLAC3D 五沟煤矿 1031 工作面采动覆岩变形破坏特征研究[J]. 皖西学院学报, 2018, 34(2): 134-140.
- [6] 年宾. 钱营孜矿 32 煤层开采顶底板变形破坏的数值模拟分析[J]. 矿山工程, 2019, 7(2): 171-176.
- [7] 王连国, 毕善军, 宋扬. 底板变形破坏规律的数值模拟研究[J]. 矿山压力与顶板管理, 2004(4): 35-37.
- [8] 陈敏. 厚松散薄基岩煤层密实充填开采的覆岩移动破坏变形规律研究[D]: [硕士学位论文]. 淮南: 安徽理工大学, 2016.
- [9] 高召宁, 孟祥瑞. 采动条件下煤层底板变形破坏特征研究[J]. 矿业安全与环保, 2010, 37(3): 17-20, 24.
- [10] 朱术云, 鞠远江, 赵振中, 刘德乾. 三软煤层综放回采巷道底板变形破坏实测[J]. 煤炭科学技术, 2008(10): 10-13.
- [11] 陈卫, 余芳芳, 魏中举, 刘富奎. 基于相似模拟试验的采煤工作面过断层研究[J]. 煤, 2016, 25(9): 5-6, 29.
- [12] 关英斌, 李海梅, 范志平. 煤层底板破坏规律的相似材料模拟[J]. 煤矿安全, 2008(2): 67-69.
- [13] 谭峰, 胡才梦, 魏中举, 刘富奎. 工作面支承压力变化规律相似模拟试验研究[J]. 山东工业技术, 2016(18): 209.