

# 中厚煤层复杂顶板切顶卸压岩石碎胀规律

祁振华\*

(霍州煤电集团有限责任公司,山西 霍州 031400)

**摘要:**巷道切顶卸压后,顶板岩石垮落会在采空区侧堆积成帮,采空区侧岩石的碎胀特性直接影响巷道的稳定性.为研究碎胀系数对巷道稳定性的影响,以5-200回采工作面为工程背景,采用了理论分析与现场实测相结合的方法,对顶板岩石碎胀系数随时间变化的规律进行研究.研究表明顶板岩石碎胀系数随垮落时间增长而变小,在35 d之后趋于稳定,均值为1.36.

**关键词:**复杂顶板;切顶卸压;碎胀系数

**中图分类号:**TD325

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-9102(2019)02-0008-04

## On the Law of Crushing of Rock in Complex Top Roof with Unloading Pressure in Medium-thick Coal Seam

Qi Zhenhua

(Huozhou Coal Electricity Group Co., Ltd., Huozhou 031400, China)

**Abstract:** After the roadway is topped and depressurized, the roof rock collapse will accumulate on the side of the goaf, and the crushing characteristics of the rock on the side of the goaf directly affect the stability of the roadway. In order to study the influence of the coefficient of expansion on the stability of the roadway, this paper takes the 5-200 mining face as the engineering background, and combines the theoretical analysis with the field measurement to study the law of the coefficient of collapse of the roof rock with time. Studies have shown that the coefficient of collapse of the roof rock becomes smaller as the fall time increases, and tends to be stable after 35 days, with a mean value of 1.36.

**Keywords:** complex roof; top crushing; crushing coefficient

采场顶板进行切顶卸压后,顶板岩石会较快充填采空区,而且矸石的充填效果是影响切顶卸压效果的关键因素<sup>[1]</sup>,对转移沿空侧顺槽的应力也起到重要作用.不同的顶板岩性条件对采空区充填效果不同,而影响岩石这一性质的内在关键因素为岩石的碎胀系数,这就需要对顶板岩石的碎胀规律进行研究,特别是随着研究工作面的推进,矸石的进一步压实,即碎胀系数的变化情况.

缪协兴等<sup>[2]</sup>通过实验对兖州矿区岩(煤)样进行了较为系统的碎胀与压实特性研究,测定了岩石(煤)的碎胀系数、碎胀曲线、压实曲线和侧压曲线.张冬至等<sup>[3]</sup>利用相似材料模型实验及部分实测钻孔资料,研究了采空区上方覆岩在压实过程中碎胀系数随时间、工作面推进及距离煤层高度的变化规律.张俊英<sup>[4]</sup>通过相似材料模拟试验,研究了长壁全采、部分开采条件下不同区域、不同高度采动破碎岩体的动态碎胀变化规律.李连崇等<sup>[5]</sup>在数值模拟中引入碎胀效应使计算结果更贴近实际.尤耀军<sup>[6]</sup>对冒落矸石压力实测,结合郭广礼的回归法公式<sup>[7]</sup>分析了工作面向前推进过程中采空区冒落岩层的碎胀系数的变化规律等.马

资敏等<sup>[8]</sup>通过现场实测和理论分析归纳总结了4种冒落矸石碎胀系数的现场实测方法.王想刚<sup>[9]</sup>认为坚硬顶板的碎胀系数越大,岩石越容易控制.梁冰等<sup>[10]</sup>对神东矿区某矿32302工作面采空区垮落岩体应力变化与碎胀系数分布规律进行研究,建立碎胀系数分布模型.本文采用现场实测,研究了5-200工作面采空区垮落岩体碎胀系数随时间的变化规律,利用顶板垮落岩石的碎胀特性实现采空区填充.

## 1 工程背景

5-200工作面埋深225~360 m,切眼长度220 m,顺槽长度1 088 m,切眼至停采线长度(留巷长度)942 m,工作面煤层倾角2°~8°,平均4°,煤层厚度为3.1 m,巷道沿煤层顶底板掘进,设计断面为矩形,掘进断面巷高3.1 m,巷宽4.6 m,净断面巷高3 m,巷宽4.4 m.

5-200工作面顶板为复合型顶板,泥质砂岩与中粒砂岩相互交替.由下至上岩性及厚度依次为:砂质泥岩2.1 m,中粒砂岩6.1 m,砂质泥岩0.7 m,5#煤2.4 m,石灰岩6.0 m.煤层底板为砂质泥岩3.3 m,老底为细砂岩2.8 m.

5-200工作面采用110工法自动成巷技术,设计留巷巷道为5-200回风巷,设计留巷长度为942 m.5-200工作面回风巷实施切顶卸压自成巷无煤柱开采新技术,在靠近工作面侧顶板,采用双向聚能爆破沿顺槽走向预裂切顶,随工作面回采,顶板来压,使煤层顶板沿预裂切缝自动垮落,形成顺槽另一帮,极大的减小来自采空区压力,使留巷在下一工作面开采时可重复使用,真正实现无煤柱开采.

根据5-200工作面中202钻孔及后续补打顶板钻孔资料如图1.

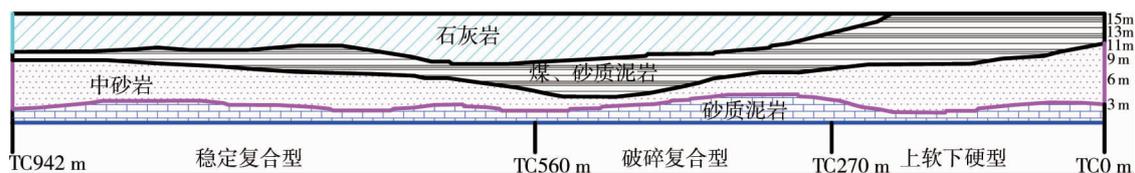


图1 5-200回风巷顶板剖面图及顶板分区

切顶卸压沿空留巷段巷道顶板结构主要可划分为3类:上软下硬型顶板结构(TC0 m~TC270 m)、破碎复合型顶板结构(TC 270 m~TC560 m)及稳定复合型顶板结构(TC560 m~TC942 m).

## 2 顶板岩石碎胀系数测定方法

岩石的碎胀系数:岩石破碎以后的体积将比整体状态下增大,这种性质称为岩石的碎胀性.岩石的碎胀性可用岩石破碎后处于松散状态下的体积与岩石破碎前处于整体状态下的体积之比来表示,该值称为碎胀系数.在110工法<sup>[11]</sup>中挡矸支护采用U型钢、钢筋网或菱形网联合支护,并且随着工作面的推进,在采空区侧铺设菱形网,其中一端与巷帮顶部搭接,另一端与底板接触,菱形网底端插入巷道底板深度不小于300 mm,从而防止了切顶留巷垮落的矸石涌入巷道.故110工法中顶板岩石垮落后的碎胀变形量主要发生在竖直方向上,所以对于110工法岩石破碎垮落的碎胀系数可以表示为岩石破碎垮落后所测量的高度与岩石破碎前处于整体状态下的高度之比<sup>[12]</sup>.

针对5-200工作面顶板岩性分布情况,根据何满潮院士110工法顶板碎胀系数现场确定方法<sup>[11]</sup>,具体为

第一步:移架后,待采空区初次垮落稳定,当顶板煤层垮落且露出成巷侧,测量垮落泥岩初始高度( $H_1$ ),并测量初次顶板垮落高度( $H_1^0$ );

第二步:每2~4 h测量垮落泥岩高度( $H_2, \dots, H_n$ ),并测量相对应的顶板垮落高度( $H_2^0, \dots, H_n^0$ );

第三步:当顶板垮落快垮满巷帮时,停止测量,并根据式(2)计算初始碎胀系数 $K_1$ :

$$K_1 = (H_1/H_1^0 + H_2/H_2^0 + \dots + H_n/H_n^0) / n. \quad (2)$$

第四步:在巷帮做一个标识点,并测量出该标识点距底板的距离( $H_m$ ),由式(3)可求得相对应的顶板

垮落高度:

$$H_m^0 = H_m / K_1 \tag{3}$$

第五步:每天测量该标识点距底板的距离 ( $H_{m1}, \dots, H_{mn}$ ); 利用式(4) 计算实时碎胀系数  $K_n$ , 并形成曲线;

$$K_n = H_{mn} / H_m^0 \tag{4}$$

第六步:  $H_s$  为上覆岩层最终碎胀高度;  $s$  为最终测量次数; 式(5) 求得稳定碎胀系数

$$K_s = H_s / H_m^0 (s = \text{Max}\{1, \dots, n\}) \tag{5}$$

### 3 顶板岩石碎胀系数演化规律

根据上述 110 工法顶板碎胀系数现场确定方法在 5-200 工作面回采的过程中对其进行实时监测与记录, 随着工作面的推进不断加布测点, 并对测点处碎胀系数进行实测, 由此得出 3 个巷道区段内测点的实测碎胀系数随工作面推进时间的变化曲线, 如图 2 所示.

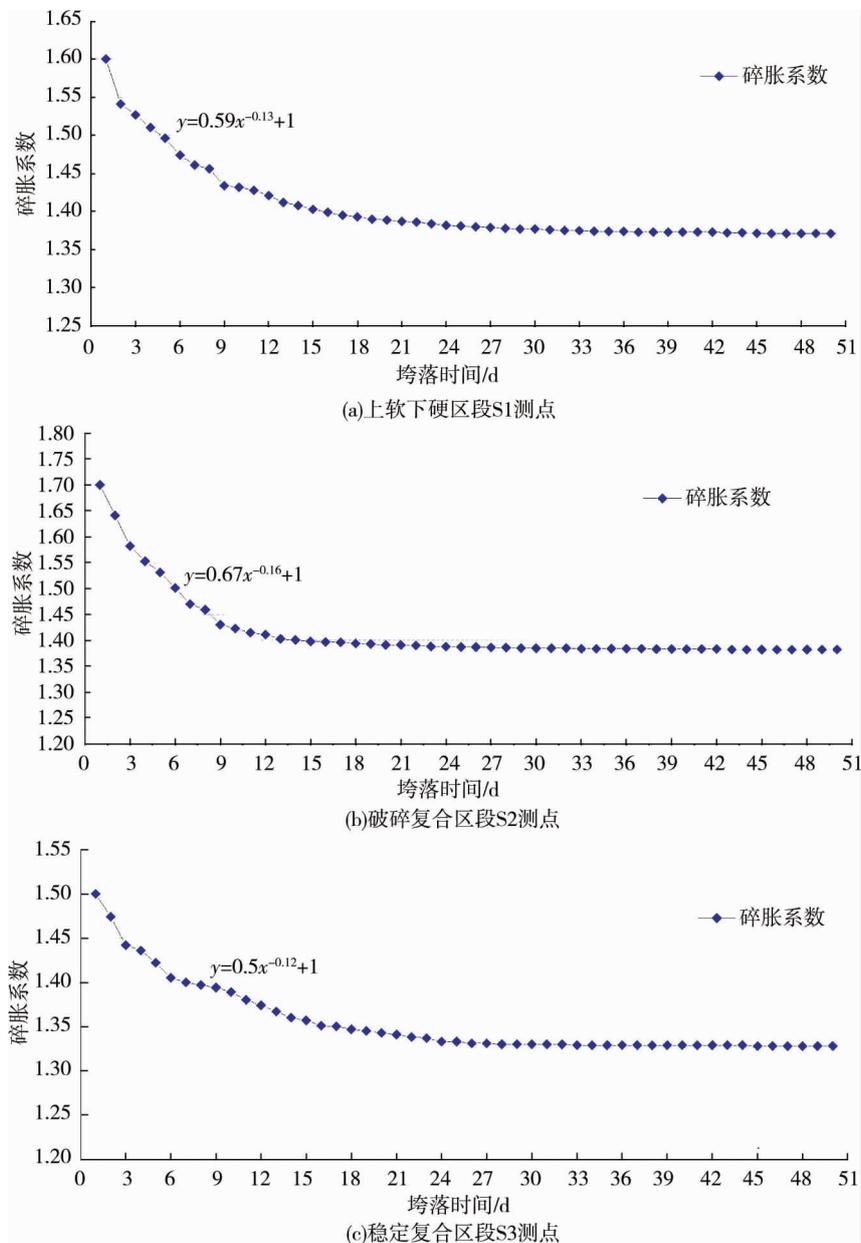


图 2 各测点碎胀系数随时间变化曲线

从图 2 所示的曲线, 可以分析得出:

1) 上软下硬区初始碎胀系数为 1.6, 随着时间的变化碎胀系数变小, 在 0~15 d 变化较大, 在 15~30 d 变化缓慢, 30~50 d 稳定在 1.37 左右.

2) 破碎复合区初始碎胀系数为 1.7, 随着时间的变化碎胀系数变小, 在 0~12 d 变化较大, 在 12~33 d 变化缓慢, 33~50 d 稳定在 1.38 左右.

3) 稳定复合区初始碎胀系数为 1.5, 随着时间的变化碎胀系数变小, 在 0~18 d 变化较大, 在 18~33 d 变化缓慢, 33~50 d 稳定在 1.33 左右.

综上所述, 各测点的碎胀系数随着时间的变化由大逐渐变小, 初始碎胀系数从 1.6 左右逐渐变小, 最终残余碎胀系数稳定于 1.33~1.38, 均值为 1.36; 测点碎胀系数剧烈变化时间为 1~15 d, 在 15~35 d 变化缓慢, 35 d 后基本稳定; 各测点碎胀系数随时间变化情况曲线符合“ $y=x^n (n<0)$ ”这类幂函数规律.

结合工作面推进情况, 在顶板垮落 15 d 时, 工作面推进长度约为 60 m, 垮落 35 d 时, 工作面推进长度约为 160 m. 即顶板垮落 15 d 之内, 距工作面约 60 m 范围内, 碎胀系数变化较大, 15~35 d, 距工作面约 60~160 m, 碎胀系数变化缓慢; 35 d 之后, 距离工作面大于 160 m, 碎胀系数基本稳定.

## 4 结论

1) 碎胀系数是随着时间和空间变化而变化的, 其主要是受顶底板岩层垮落及运动的影响. 随着时间的变化及滞后工作面距离的加大, 碎胀系数变化逐渐趋于平稳. 初始碎胀系数从 1.60 左右逐渐变小, 最终残余碎胀系数稳定于 1.33~1.38, 均值为 1.36. 各测点碎胀系数随时间变化情况曲线符合“ $y=x^n (n<0)$ ”这类幂函数规律.

2) 顶板跨落后 15 d 之内, 滞后工作面距离约 60 m 范围内, 顶底板运动剧烈, 碎胀系数变化较为剧烈; 15~35 d, 约滞后工作面距离 60~160 m, 碎胀系数逐渐趋于平稳; 35 d 滞后工作面距离大于 160 m 后碎胀系数基本稳定.

## 参考文献:

- [1] 孙晓明, 刘鑫, 梁广峰, 等. 薄煤层切顶卸压沿空留巷关键参数研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(7): 1449-1456.
- [2] 缪协兴, 茅献彪, 胡光伟, 等. 岩石(煤)的碎胀与压实特性研究[J]. 实验力学, 1997(3): 64-70.
- [3] 张冬至, 邓喀中, 周鸣. 采动岩体碎胀系数变化规律研究[J]. 江苏煤炭, 1998(1): 3-5.
- [4] 张俊英. 采动破碎岩体的动态碎胀性物理模拟的研究[J]. 选煤技术, 2006(s1): 69-72.
- [5] 李连崇, 唐春安, 梁正召. 考虑岩体碎胀效应的采场覆岩冒落规律分析[J]. 岩土力学, 2010, 31(11): 3537-3541.
- [6] 尤耀军. 采空区岩体碎胀系数的变化规律研究[J]. 山西煤炭, 2012, 32(4): 55.
- [7] 郭广礼, 李逢春, 张连贵. 综放开采地表移动参数的稳健回归分析[J]. 测绘通报, 2001(10): 22-24.
- [8] 马资敏, 郭志飏, 刘晓宇, 等. 切顶留巷冒落矸石碎胀规律与力学特性研究[J]. 煤炭工程, 2017, 49(11): 94-98.
- [9] 王想刚. 深部巷道开采坚硬顶板治理机理研究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2017(11): 144.
- [10] 梁冰, 汪北方, 姜利国, 等. 浅埋采空区垮落岩体碎胀特性研究[J]. 中国矿业大学学报, 2016, 45(3): 475-482.
- [11] 何满潮, 宋振骥, 王安, 等. 长壁开采切顶短壁梁理论及其 110 工法——第三次矿业科学技术变革[J]. 煤炭科技, 2017(1): 1-9.
- [12] 苏晓军, 黄彪, 类成楠. 大埋深工作面“110”工法开采技术研究与应用[J]. 山东煤炭科技, 2018(4): 63-65.