

贾苏强,孙庆先,董红军,等. 条带开采下沉系数经验公式的适应性分析[J]. 煤炭学报, 2016, 41(S1): 7-13. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2015.0883

Jia Suqiang, Sun Qingxian, Dong Hongjun, et al. Adaptability analysis on empirical formula of strip mining subsidence coefficient[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(S1): 7-13. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2015.0883

## 条带开采下沉系数经验公式的适应性分析

贾苏强<sup>1</sup>, 孙庆先<sup>2,3</sup>, 董红军<sup>4</sup>, 段 华<sup>5</sup>

(1. 临汾市煤炭设计院, 山西 临汾 041000; 2. 煤炭科学技术研究院有限公司 安全分院, 北京 100013; 3. 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室(煤炭科学研究总院), 北京 100013; 4. 山西古县晋辽下辛佛煤业有限公司, 山西 临汾 042400; 5. 冀中能源峰峰集团 牛儿庄采煤有限公司, 河北 邯郸 056201)

**摘 要:** 列举出5个计算条带开采下沉系数的经验公式。分析了采深、采厚、采出率、采宽/留宽的变化对条带开采下沉系数的影响, 以及5个条带开采下沉系数经验公式的表达特征。对比分析表明, 地质采矿条件的多样性、实测资料的有限性、统计分析方法的局限性, 使得5个公式均存在一定的不足, 发现了具有普适性的经验公式。对条带开采下沉系数计算公式的选择应十分谨慎, 根据地质采矿条件分析因素在地表变形中的作用, 选择合理的计算公式。

**关键词:** 条带开采; 下沉系数; 地质采矿条件

中图分类号: TD823.6

文献标志码: A

文章编号: 0253-9993(2016)S1-0007-07

## Adaptability analysis on empirical formula of strip mining subsidence coefficient

JIA Su-qiang<sup>1</sup>, SUN Qing-xian<sup>2,3</sup>, DONG Hong-jun<sup>4</sup>, DUAN Hua<sup>5</sup>

(1. Linfen Coal Design Institute, Linfen 041000, China; 2. Mine Safety Technology Branch, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China; 3. State Key Laboratory of Coal Mining and Clean Utilization (China Coal Research Institute), Beijing 100013, China; 4. Xiaxinfo Coal Mining Group Corporation Ltd., Linfen 042400, China; 5. Niuerzhuang Coal Mine, Jizhong Energy Fengfeng Group Company Limited, Handan 056201, China)

**Abstract:** Five strip mining subsidence coefficient calculation formulas are studied. Changes of mining depth, mining height, mining rate, mining width/leave width band effect on mining subsidence coefficient are investigated. Also, the expression characteristics of five empirical formulas are analyzed. Based on the comparative analysis, the paper concludes that all kinds of strip mining subsidence coefficient calculation formulas are defective, which is owe to the diversity of mining conditions, the limitations of measured data and statistical analysis method. The paper also found a universal empirical formula. The selection of strip mining subsidence coefficient calculation formula should be reasonable according to the factors of mining conditions.

**Key words:** strip mining; subsidence coefficient; mining conditions

条带开采是保护地面建筑的一种有效的开采措施, 该技术在我国比较成熟, 运用效果比较好<sup>[1-2]</sup>。以往研究成果<sup>[1,3]</sup>认为, 条带法适用于埋藏深度400~500 m以内。但是, 超过500 m采深的条带法开采实例十分普遍, 国外条带开采最大采深916 m,

据测算极限开采深度约为1 364 m。大量的实测资料表明, 条带开采地表移动规律与全采相似, 可以用全采地表移动预计方法对条带开采地表移动进行预计<sup>[1,4]</sup>。下沉系数是概率积分法最重要的预计参数之一, 专家学者通过大量的实测资料分析出条带开采

下沉系数与全采下沉系数之间的关系,总结出了经验公式。普遍认可的经验公式<sup>[1-2,5-8]</sup>有

$$q_T = \frac{H - 30}{5\,000 \frac{a}{b} - 2\,000} q_Q \quad (1)$$

$$q_T = \frac{H + 45}{1\,250 - 1\,450 \frac{b}{a + b}} \left( 0.3 + 0.12 \frac{b}{H} \right) q_Q \quad (2)$$

$$q_T = \left[ 4.52M^{-0.78} \rho^{2.13} \left( \frac{b}{H} \right)^{0.603} \right] q_Q \quad (3)$$

$$q_T = \left[ 0.2663e^{-0.5753M} \rho^{2.6887} \ln \left( \frac{bH}{a} \right) + 0.0336 \right] q_Q \quad (4)$$

$$q_T = \frac{H + b}{1\,500 \frac{a}{a + b} - 200} \frac{2b}{H} q_Q \quad (5)$$

式中, $q_T$ 为条带开采下沉系数; $q_Q$ 为全采下沉系数; $M$ 为煤层法向开采厚度,m; $\rho$ 为条带开采采出率; $b$ 为条带开采宽度,m; $a$ 为条带留宽,m; $H$ 为条带开采深度,m。

在长期实践中笔者注意到,在明确的地质条件下计算下沉系数,式(1)~(5)有时相差数倍,这造成了对实施方案选择的困难,增加了地面建筑保护措施和费用的不确定性,有时可能造成资源的浪费,有时可能造成对建筑物无法弥补的灾难性损失。因此,分析上述公式的适用性,明确其适用范围是十分必要的。本文试图从数学角度对前述公式进行理论分析,揭示各个公式的适用性,发现比较有普适性的公式,从而解惑消疑,减少盲目性、随意性,有利于现场工程技术人员有针对性地开展工作。

文献[9]分析了条带开采下沉系数与松散层厚度占采深的比值的比值的关系,并建立了经验公式,但公式适用于巨厚松散层(600 m以上)。还有学者提出了极不充分开采条件的下沉系数计算方法<sup>[8,10]</sup>。对这些公式的应用应特别注意适用条件,本文不做讨论。

## 1 各种因素对下沉系数的影响分析

上述计算条带开采下沉系数的公式都是全采下沉系数的函数,在分析上述公式适用性时,为便于计算和比较,假定全采时的下沉系数为0.8。

### 1.1 采深变化对下沉系数的影响分析

采宽、留宽均为50 m,采厚2.0 m。观察采深变化对式(1)~(5)的影响,如图1(a)所示。

从图1(a)可以看出,式(1),(2)计算所得下沉系数与采深成线性关系,随着采深的增加,下沉系数越来越大;式(4)随着采深增加,下沉系数也逐渐增

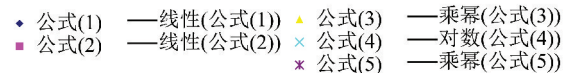
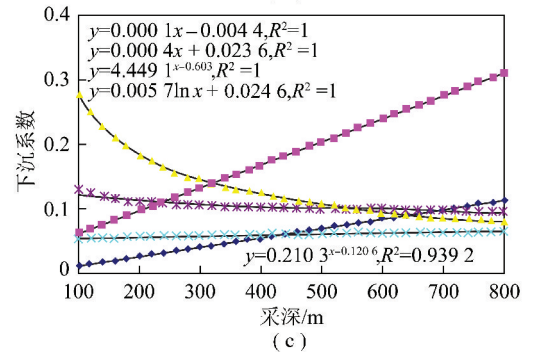
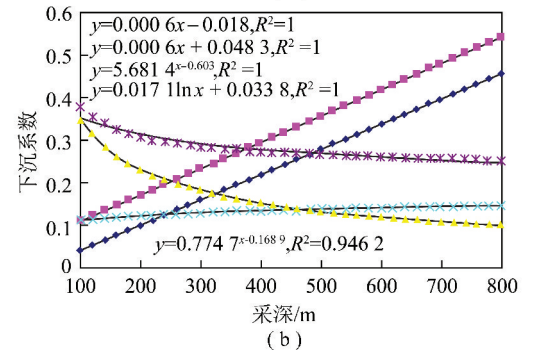
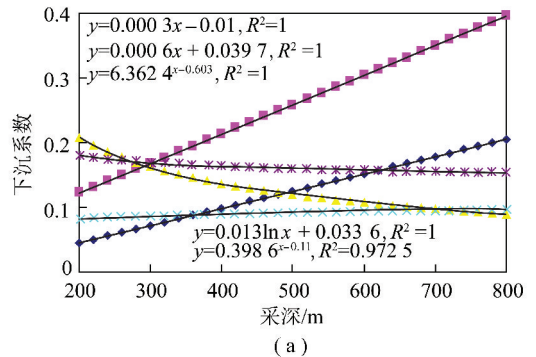


图1 采深变化对下沉系数的影响

Fig. 1 Impact of mining depth on subsidence coefficient

大,但增速十分缓慢,采深200 m时,下沉系数0.082,采深800 m时,下沉系数0.097,采深增加3倍,下沉系数仅增加0.18倍;式(3),(5)随着采深的增加,下沉系数缓慢减小。当采深为800 m时,下沉系数最大值为式(2)计算所得0.39,最小值为式(3)计算所得0.09,前者为后者的4.3倍,式(1),(3)~(5)计算所得0.09~0.21之间,特别是式(3),(4)计算所得十分接近。

采宽60 m、留宽40 m、采厚2.0 m的情形如图1(b)所示。采宽40 m、留宽60 m、采厚2.0 m的情形如图1(c)所示。对比图1可以看出,采宽、留宽的改变没有导致式(1)~(5)计算所得下沉系数随采深变化而发生实质改变,仅变化速率有所不同。采宽60 m、留宽40 m、采厚2.0 m、采深800 m(图1(b))时,下沉系数最大值为式(2)计算所得0.55,最小值

为式(3)计算所得0.1,最大值是最小值的5.5倍;采宽40 m、留宽60 m、采厚2.0 m、采深800 m(图1(c))时,最大值仍为式(2)计算所得0.38,最小值为式(4)计算所得0.06,最大值与最小值的差值缩小,但倍数增加至6.3倍。

以采深为自变量,其他因素为常量,下沉系数为因变量,建立回归方程。式(1),(2)的回归方程为线性函数,斜率为正值;式(3),(5)为幂函数,指数为负值;式(4)为对数函数。方程具体形式如图1所示。

笔者分析大量的实测数据<sup>[4,11]</sup>发现,下沉系数与采深呈负相关关系,采深越大,下沉系数越小,但非线性关系。有文献[12]认为,由于覆岩厚度的增加,采动岩体破裂碎胀量增大,必然导致下沉系数的减小。据此认为,不论采宽、留宽比重相对变化(采出率变化)如何,式(1),(2),(4)计算所得下沉系数均随着采深的增加而增加,有悖于开采沉陷的一般规律,尤其是式(1),(2),下沉系数与采深成正比关系,下沉系数随采深增加而增大的速率较大,而式(4)增速很小;式(3),(5)符合开采沉陷一般规律,但不足的是式(3)随采深增加而减小的速率较大。因此,从采深的角度考虑,式(3)~(5)均较为适宜。

## 1.2 采出率变化对下沉系数的影响分析

留宽50 m,采厚2.0 m,采出率由小到大变化,观察采出率变化对下沉系数的影响,如图2所示。其中图2分别是采深250,350,450 m的情形。

观察图2发现,随着采出率的增加,不论采深多大,式(1)~(5)计算所得下沉系数都随着采出率的增加而逐渐增大,符合开采沉陷一般规律,但增速不一。式(5)的增速最大,特别是在采出率大于50%之后,增速明显增大,在采深250 m(图2(a))时,采出率38%水平的下沉系数是0.07,采出率67%水平时为0.75,采出率增加不到1倍,下沉系数增加了10倍以上。式(5)在不同采深时,计算所得下沉系数随采出率增加而增大的速率基本不变,这侧面说明采深变化对式(5)的影响较小;式(1)的增速整体上仅次于式(5),采深450 m(图2(c))时,接近并超过了公式(5),采出率38%水平的下沉系数是0.05,采出率67%水平时为0.67,采出率增加不到1倍,下沉系数增加了13倍以上。在不同采深,公式(1)随采出率增加而增大的速率不一样,采深越大,增速越大。在采深450 m时,式(1)计算所得下沉系数随采出率增加的增速接近式(5),这侧面说明公式(1)对采深变化十分敏感;式(2)~(4)计算所得下沉系数随采出率增加而增大的速率比较缓慢;采出率超过55%之后,不论采深多大,式(4)计算所得下沉系数均最小,

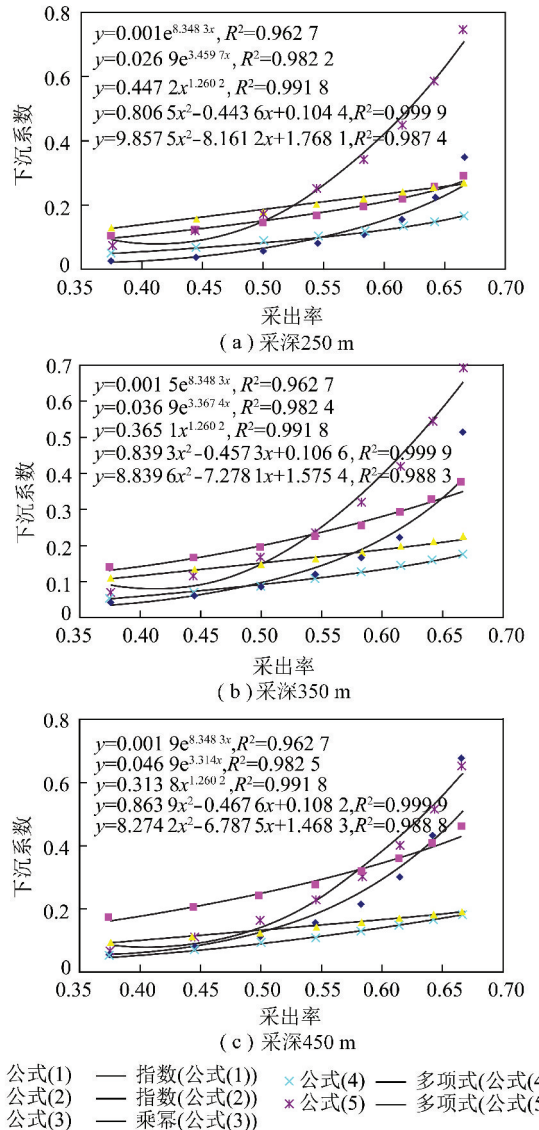


图2 采出率变化对下沉系数的影响

Fig. 2 Impact of mining rate on subsidence coefficient

也即公式(4)的增速是最小的,这侧面说明式(4)对采深变化略显迟钝。

观察图2发现,在采出率67%水平,采深250 m时,最大、最小下沉系数分别为式(5),(4)计算所得0.75,0.17,前者是后者的4.4倍;采深350 m时,最大、最小下沉系数分别为式(5),(4)计算所得0.69,0.18,前者是后者的3.8倍;采深450 m时,最大、最小下沉系数分别为公式(1),(4)计算所得0.67,0.18,前者是后者的3.7倍。总之,在采出率67%水平,不论采深如何,最大、最小下沉系数相差悬殊,这是不合理的。

可以得出这样的结论,采出率较高(约大于55%之后)时,不论采深多大,需要谨慎选择公式,特别是公式(5),增速过快,其次是公式(1),增速较快。

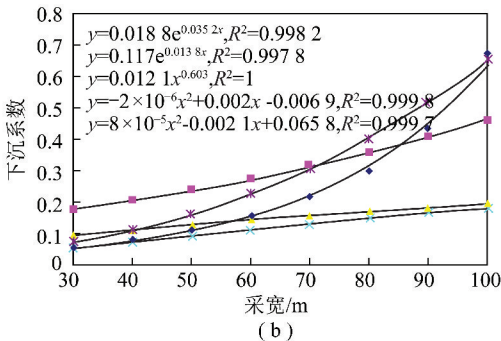
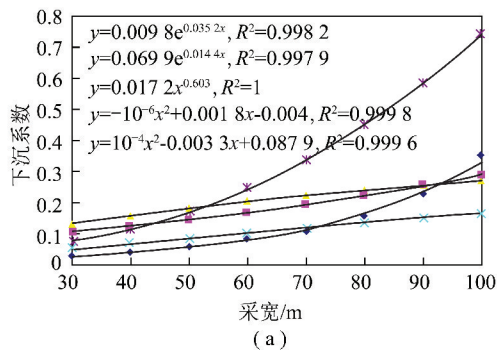
观察图2发现,在采出率50%水平,式(1)在采

深 250, 350, 450 m 时计算下沉系数分别是 0.06, 0.09, 0.11, 下沉系数随采深的增加而增加, 有悖于一般规律, 与前述结论一致; 式(2), (4) 也是如此。式(3) 计算所得下沉系数不仅随采出率的增加而增加, 也随采深的增加而减小, 符合一般规律。但式(3) 计算所得下沉系数随采出率的增加而增加的速率略显缓慢。综合考虑采深、采出率因素, 式(3) 比较理想, 其次为式(2), (4)。

以采出率为自变量, 其他因素为常量, 下沉系数为因变量, 建立回归方程。式(1), (2) 的回归方程为以  $e$  为底数的指数函数; 式(4), (5) 为二次函数方程, 系数为正值; 式(3) 为幂函数, 指数为正值。方程具体形式如图 2 所示。

### 1.3 采宽变化对下沉系数的影响分析

留宽 50 m, 采厚 2.0 m。观察采宽变化对公式(1) ~ (5) 的影响。采深 250 m 的情况如图 3(a) 所示, 采深 450 m 的情况如图 3(b) 所示。



- ◆ 公式(1) — 指数(公式(1))
- ▲ 公式(3) — 乘幂(公式(3))
- 公式(2) — 指数(公式(2))
- × 公式(4) — 多项式(公式(4))
- ◆ 公式(5) — 多项式(公式(5))

图 3 采宽变化对下沉系数的影响

Fig. 3 Impact of mining width on subsidence coefficient

由于采宽与采出率正相关, 采宽增加即采出率增加, 因此, 采宽变化对下沉系数的影响与采出率对下沉系数的影响是一致的, 这从图 3(a) 与图 2(a) 相似(留宽均为 50 m, 采深均为 250 m、采厚均为 2.0 m)、图 3(b) 与图 2(c) 相似(留宽均为 50 m、采深均为 450 m、采厚均为 2.0 m) 可以得到证实。式(1) ~ (5) 计算所得下沉系数都随着的采宽的增加

而增加, 符合开采沉陷一般规律。

在采深 250 m 时, 式(5) 计算下沉系数随采宽的增加(即采出率的增加) 而急剧增大, 与前述结论一致; 在采深 450 m 时, 式(1) 的增速与式(5) 相近, 与前述结论一致。其他公式不论采深怎样, 下沉系数随采宽增加而增加的速度都相对比较平缓, 与前述结论一致。

比较图 3 发现, 采宽 100 m(采出率 67%) 时, 采深 250 m 时公式(1) 计算所得下沉系数为 0.35, 采深 450 m 时为 0.67, 采深越大, 下沉系数越大, 是不符合开采沉陷一般规律的, 与前述结论一致; 式(2), (4) 也是如此, 只有式(3), (5) 既随采宽的增加而增大, 又随采深的增加而减小, 整体上符合开采沉陷的一般规律。

由于采宽的变化与采出率变化是一致的, 因此, 以采宽为自变量和以采出率为自变量建立的回归方程的性质是一致的, 仅系数有变化。方程具体形式如图 3 所示。

### 1.4 采宽、留宽相对变化对下沉系数的影响分析

采深 400 m, 采厚 2.0 m, 观察采宽、留宽相对变化时对下沉系数的影响。图 4 分别为留宽 30, 40, 50 m 时采宽变化对下沉系数的影响情况。

采宽相对于留宽变化, 实质上也是采出率的变化。对比图 4 发现, 式(1) ~ (5) 在采深固定、采宽相对于留宽逐渐增加时, 下沉系数也逐渐增大, 符合开采沉陷一般规律, 但增速不一, 式(1), (5) 增速大, 式(2) ~ (4) 增速平缓, 这与采出率变化对下沉系数的影响结论是一致的。

比较图 4 并简单计算可以发现, 不论采宽、留宽具体数值为多少, 只要比例相同(即采出率相同), 式(1), (4) 计算所得下沉系数是一样的, 例如, 留宽: 采宽 = 1 : 1 时, 计算所得下沉系数分别是 0.99, 0.90, 留宽: 采宽 = 2 : 3 时, 分别为 0.22, 0.14, 留宽: 采宽 = 1 : 2 时, 分别为 0.59, 0.18, 这从公式的形式也可以得到解释, 式(1), (4) 把采出率或(和)采宽、留宽的比值作为变量。

以采宽为自变量, 其他因素为常量, 下沉系数为因变量, 建立回归方程。方程性质必然与前述一致, 仅系数不同, 如图 4 所示。

对于式(5), 采宽、留宽越小, 下沉系数越小: 采宽 60 m、留宽 30 m 时(采出率 67%) 为 0.37, 采宽 80 m、留宽 40 m 时(采出率 67%) 为 0.51, 采宽 100 m、留宽 50 m 时(采出率 67%) 为 0.67。从公式(5) 的变化说明, 如果限定采出率, 从下沉系数角度考虑, 小采宽、小留宽对地表的影响比大采宽、大留

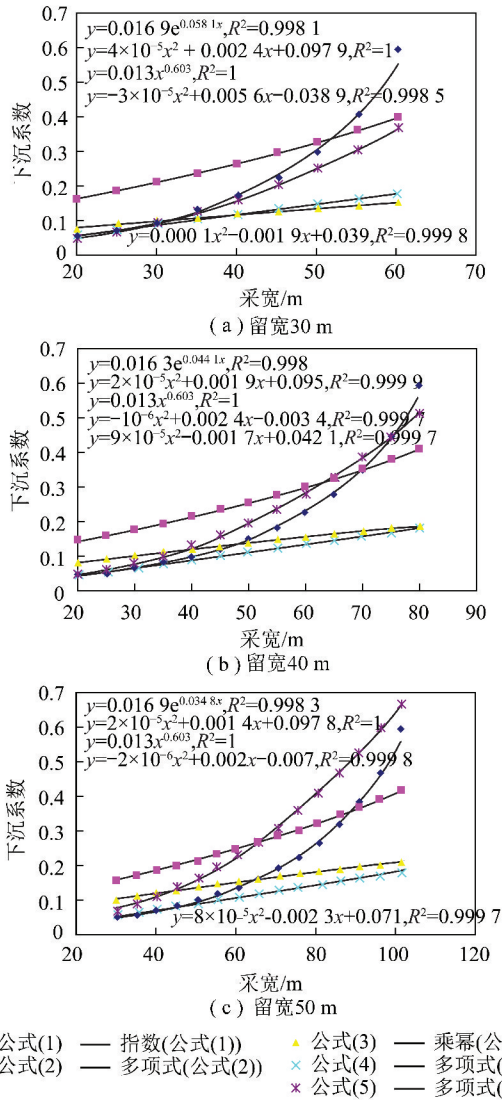


图4 留宽、采宽相对变化对下沉系数的影响

Fig.4 Impact of mining width and leave width on subsidence coefficient

宽的影响小,对建筑的保护更加有利。但是,从煤柱稳定性角度考虑,大留宽、大采宽时煤柱的稳定性增加<sup>[1]</sup>,对地表建筑物有利。这样就出现了相反的结论,形成了矛盾,笔者认为,采宽、留宽应当适中,在保持煤柱稳定性的同时,应尽量缩小采宽、留宽的尺寸。

### 1.5 采厚对下沉系数的影响

从涉及的因素看,式(1),(2),(5)与采厚无关,仅式(3),(4)与采厚有关,故仅观察式(3),(4)随采厚变化的情况。采宽、留宽均为50 m,采出率50%。图5分别为采深250,550 m的情形。

从图5可以看出,下沉系数与采厚呈非线性负相关关系,采厚增大,下沉系数减小,但变化缓慢,采厚对下沉系数影响较小,这与有关研究成果<sup>[6,12]</sup>是相同的。不论采深如何,式(3)比式(4)变化迅速,即式(3)比式(4)对采厚更加敏感。

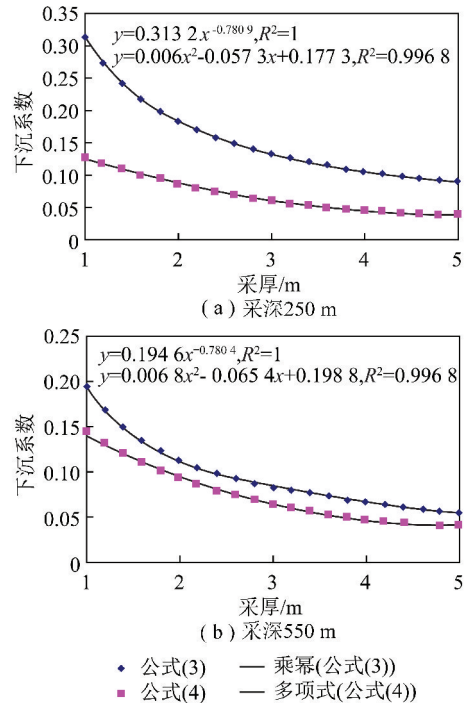


图5 采厚变化对下沉系数的影响

Fig.5 Impact of mining height and leave width on subsidence coefficient

对比图5发现,式(3)计算所得下沉系数随采深的增加而减小,式(4)则相反,这从侧面再次验证了前述结论,即式(3)更加符合开采沉陷一般规律,而式(4)则有悖于一般规律。

## 2 经验公式表达特征分析

研究表明,开采引起的地表沉陷受多种因素共同影响,是一个非线性的复杂动力学演化过程。

(1)从5个经验公式的内容上看,式(3),(4)不仅把采深、采出率、采宽、留宽作为下沉系数的影响因素,而且把采厚也作为影响下沉系数的因素,比式(1),(2),(5)考虑的因素更全面。

(2)从5个经验公式的形式上看,式(1),(2),(5)是采深的线性函数,式(3),(4)是采深、采宽的幂函数或指数函数;在公式(1),(2),(5)中,留采比或采出率是下沉系数的反比例函数,式(3),(4)中除明确采出率是下沉系数的幂函数外,还将采宽作为下沉系数的幂函数或对数函数,即式(3),(4)中反复考虑了采宽对下沉的复杂影响。

(3)文献[1]表明,式(1)的使用范围为 $2a \geq b$ 且 $b < 1/3H$ 。由公式可以看出,当留宽与采宽的比值小于0.4时(此时, $b > 2.5a$ 或采出率大于71.4%),计算所得下沉系数为负值,这是有悖于开采沉陷一般规律的。从形式上看,式(2),(3)存在同样问题,即采

出率大于86%时,计算所得下沉系数为负值,这是不合理的。式(3),(4)不存在这样的问题。因此,式(3),(4)比式(1),(2),(5)有更大的适用范围。

### 3 实例验证分析

文献[13]提供了实例。峰峰集团某矿轻型放顶煤条带开采,采宽75 m,留宽50 m,采深490 m,计算采出率为60%,采厚5.5 m,全采时下沉系数按《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规

程》(煤炭工业出版社,2000)附录中所列取均值为0.8,将这些参数代入公式(1)~(5),计算下沉系数分别为0.276,0.359,0.070,0.042,0.346,根据实测资料计算下沉系数为0.16,式(1)~(5)与实际值差值分别为0.116,0.199,-0.089,-0.118,0.186。可见公式(3)计算所得下沉系数最接近实际值。

从公开发表的文献中收集到的实测资料与式(1)~(5)计算所得列于表1。全采下沉系数仍取0.8。

表1 公式计算下沉系数与实测下沉系数对比

Table 1 Measured subsidence coefficient and formula subsidence coefficient

名称	南票煤矿	峰峰三矿	淄博岱庄煤矿	唐口煤矿	小屯矿	马蹄沟煤矿	大庄煤矿	新生煤矿	
资料来源	文献[2]	文献[2]	文献[2]	文献[9]	文献[13]	文献[14]	文献[15]	文献[16]	
采宽/m	110	15	50	100	75	30	40	10	
留宽/m	30	15	50	100	50	40	40	10	
采深/m	355	135	430	1010	490	274.4	300	314	
采厚/m	5.7	1.4	2.5	4.5	5.5	4.07	2	1.8	
公式计算所得 下沉系数	式(1)	-0.408 6	0.028	0.106 7	0.261 3	0.276	0.041 8	0.072	0.075 7
	式(2)	0.974 6	0.085 9	0.227 2	0.501 4	0.359	0.127 1	0.166 1	0.166 2
	式(3)	0.104 9	0.168 9	0.110 44	0.063 4	0.070 0	0.072 8	0.142 7	0.065 4
	式(4)	0.057 0	0.099 3	0.074 4	0.044 0	0.042 0	0.038 1	0.086 5	0.094 3
	式(5)	1.898 5	0.048 5	0.162 4	0.319 7	0.346 0	0.081 0	0.131 9	0.030 0
实测值	0.29	0.13	0.24	0.16	0.16	0.057	0.075	0.077	
公式计算所得与 实测值的差值	式(1)	-0.698 6	-0.102	-0.133 3	0.101 3	0.116	-0.015 2	-0.003	-0.001 3
	式(2)	0.684 6	-0.044 1	-0.012 8	0.341 4	0.199	0.070 1	0.091 1	0.089 2
	式(3)	-0.185 1	0.038 9	-0.129 6	-0.096 6	-0.089	0.015 8	0.067 7	-0.011 7
	式(4)	-0.233	-0.030 7	-0.165 6	-0.116	-0.118	-0.018 9	0.011 52	0.017 3
	式(5)	1.608 5	-0.081 5	-0.077 6	0.159 7	0.186	0.024	0.056 9	-0.047

经过简单比较可以发现,尽管式(3),(4)计算所得下沉系数有时在全部5个公式中不是最接近实测值的,但大多数要比其他3个公式更接近实测值,甚至在巨厚松散层这样比较特殊地质条件下也比其他3个公式更接近实测值,整体上明显是最好的;公式(1)计算所得下沉系数出现负值,式(5)计算所得下沉系数接近1.9,这明显是公式本身适用性的缺陷所致;式(2)计算所得下沉系数出现0.97,一般情况下也是不合理的。总之,经过实例验证分析可以认为,式(3),(4)是更加合理的。

### 4 结 论

5个经验公式无优劣之分,而是适用范围的问题。在文献资料不断的引用过程中,经验公式的出处、适用条件被人们所忽略、忽视,造成后人采用时的困惑。本文从数学角度对5个经验公式进行了分析,比较了各种因素的作用和特征。

(1)在影响下沉系数的各种因素中,采出率是最重要因素。采宽、留宽也是重要因素,采宽或留宽与采宽的比例变化归根结底还是采出率的变化;采深对下沉系数的影响也比较剧烈;采厚是影响下沉系数的因素之一,但作用是较小的。

通过比较各种因素在公式中的作用大小和作用方式发现,在5个经验公式中,式(3),(4)在5个公式中较为理想,具有较大的普适性。

(2)从5个经验公式的特征分析,式(3),(4)比式(1),(2),(5)更能体现各种因素作用的复杂性。

(3)实例验证分析结果发现,虽然式(3),(4)的计算结果有时不是最接近实际值的,但从总体上看,计算结果是最合理的,没有出现“反常”值。

总之,式(3),(4)比其他3个公式更符合开采沉陷一般规律,具有普适性。比式(1),(2),(5)更能体现各种因素作用的复杂性。

(4)应注意适用条件。早期的公式往往适用于

浅部或中深部的开采,后期的公式更适用于中深部和深部的开采。对于公式(1),应用条件为 $2a \geq b$ 且 $b < 1/3H$ ;对于式(1),(3),(4),均应注意采出率的问题,偏大的采出率可能导致计算值为负值。经验公式来源复杂,应用时的地质采矿条件具有特定性,因此也存在局限性,不能随意外延应用。

(5)需要根据地质采矿条件和建筑物性质确定主导因素和次要因素,选择合理的公式,以便增加预计的准确性。例如,在确定地表设施变形允许值/极限值后,就某单一煤层而言,其采深已经确定,采出率(采宽/留宽)、采厚是主要因素;如果对于建筑物下有多个煤层可供选择,则采深和采出率是主导因素,需要重点考虑哪层(或哪几层)煤条带开采,以及采宽与留宽的大小。

### 参考文献:

- [1] 何国清,杨伦,凌赓娣,等. 矿山开采沉陷学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1994.
- [2] 谭志祥,邓喀中. 建筑物下采煤理论与实践[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2009.
- [3] 刘义新,郭文兵,孟伟峰,等. 深部条带开采的开采深度探讨[J]. 矿业快报,2007,(8):6-7,75.  
Liu Yixin, Guo Wenbing, Meng Weifeng, et al. Study of mining depth strip mining[J]. Express Information of Mining Industry, 2007,(8):6-7,75.
- [4] 李希勇,郭惟嘉,阎卫玺. 新汶矿区充填开采地表移动规律研究[M]. 北京:煤炭工业出版社,2013.
- [5] 张华兴. 开采沉陷预测的标准化[J]. 煤矿开采,2014,19(1):1-2,20.  
Zhang Huaxing. Standardization of mining subsidence prediction[J]. Coal Mining Technology, 2014,19(1):1-2,20.
- [6] 张玉庆,刘明河,谭洪山. 梁宝寺煤矿厚冲积层下条带开采地表移动规律研究[J]. 矿山测量,2008,(2):62-64.  
Zhang Yuqing, Liu Minghe, Tan Hongshan. Research on surface movement laws of strip-pillar mining under thick alluvium in liangbaosi coal mine[J]. Mine Surveying, 2008,(2):62-64.
- [7] 郭文兵,邓喀中,邹友峰. 条带开采地表移动参数研究[J]. 煤炭学报,2005,30(2):182-186.  
Guo Wenbing, Deng Kazhong, Zou Youfeng. Research on surface movement partial mining[J]. Journal of China Coal Society, 2005,30(2):182-186.
- [8] 鲍红波,李鲲鹏. 深部条带开采地表移动预计研究的探讨[J]. 太原科技,2009,(1):89-91,93.  
Bao Hongbo, Li Kungpeng. Predicted research of surface movement in deep strip mining[J]. Taiyuan Sci-Tech, 2009,(1):89-91,93.
- [9] 刘义新,戴华阳,郭文兵. 巨厚松散层下深部宽条带开采地表移动规律[J]. 采矿与安全工程学报,2009,26(3):336-340.  
Liu Yixin, Dai Huayang, Guo Wenbing. Surface movement laws of deep wide strip-pillar mining under thick alluvium[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2009,26(3):336-340.
- [10] 邓喀中,张冬至,张周权. 深部开采条件下地表沉陷预测及控制探讨[J]. 中国矿业大学学报,2000,29(1):52-55.  
Deng Kazhong, Zhang Dongzhi, Zhang Zhouquan. Study on prediction and control of surface subsidence in deep mining[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2000,29(1):52-55.
- [11] 国家煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[S]. 北京:煤炭工业出版社,2000.
- [12] 郭文兵,刘义新. 深部条带开采下沉系数与采厚关系的数值模拟[J]. 河南理工大学学报(自然科学版),2007,26(3):254-258.  
Guo Wenbing, Liu Yixin. Numerical simulation study on the relationship between mining height and subsidence factor in deep strip pillar mining[J]. Journal of Henan Polytechnic University (Natural Science), 2007,26(3):254-258.
- [13] 秦书斌,王利雪. 轻型放顶煤条带开采参数的确定及地表移动变形规律[J]. 河北煤炭,2009,(2):15-17.  
Qin Shubin, Wang Lixue. Research on the defining of slip mining parameter of light roof mine and the law of the surface moving deforming[J]. Hebei Coal, 2009,(2):15-17.
- [14] 谢飞鸿,罗冠炜,刘京学,等. 条带开采沉陷预测分析与工程应用[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2008,27(6):825-828.  
Xie Feihong, Luo Guanwei, Liu Jingxue, et al. Prediction and discussion of strap mining subsidence by numerical simulation analysis and its engineering application[J]. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science), 2008,27(6):825-828.
- [15] 杨鹏旭,李兴,张鹏. 条带开采在工业广场煤柱回采中的应用中州煤炭,2009,(12):61-62.  
Yang Pengxu, Li Xing, Zhang Peng. Application of strip-pillar mining under industrial site[J]. Zhongzhou Coal, 2009,(12):61-62.
- [16] 袁坚,冯涛,刘金海,等. 条带采宽及留宽对地表沉陷影响的研究[J]. 采矿与安全工程学报,2007,24(1):88-91.  
Yuan Jian, Feng Tao, Liu Jinhai, et al. Effect of mining width and retaining width on ground subsidence[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2007,24(1):88-91.