

综合指数法使用说明

中国矿业大学 冲击矿压防治工程研究中心

1. 概念

冲击地压影响因素众多，有地质的因素，也有采矿的因素。在地质类因素中，如果某个矿井曾经发生过冲击地压，则能够表明该矿井具备发生冲击地压的充分必要条件，发生次数越多，则冲击地压危险越高；开采深度越大，则围岩应力水平及冲击地压危险越高；上覆裂隙带内坚硬厚层岩层距煤层的距离越近，则顶板运动断裂时产生的震动对冲击地压的影响越大；煤层上方 100m 范围顶板岩层厚度特征越明显，则储存和释放弹性能的能力越强，对冲击地压危险的影响越大；开采区域内构造引起的应力增量越高，对冲击地压的影响越大；煤的单轴抗压强度越高，煤体的完整性越好，煤体越容易冲击破坏；煤的弹性能指数越大，其储存弹性能的能力越强、冲击破坏的强度越大。

在采矿类因素中，如果提前进行保护层开采，可以降低冲击地压危险，如果保护层的卸压程度越高，则冲击地压危险越低；如果在上保护层开采遗留的煤柱下方区域开采，则离煤柱的水平距离越近，则冲击地压危险越高；如果工作面为实体煤工作面，则比临近采空区的工作面冲击地压危险低，如果为孤岛工作面则冲击地压危险高；如果工作面长度过小则可引起两端头拐角煤柱产生的集中应力叠加，引起冲击地压危险上升；如果区段煤柱宽度留设不合理，则可产生应力过度升高的情况，增大冲击地压危险；如果巷道留有底煤，则可在水平应力的作用下产生底鼓冲击破坏；当巷道、工作面向采空区、断层、向斜、背斜、煤层侵蚀、合层或厚度变化区域掘进或回采时，可造成超前支承应力与采空区边缘集中应力或构造应力的叠加，将会增大冲击地压的危险。

在统计已发生的冲击地压灾害的基础上，分析各种地质因素和开采技术因素对冲击地压发生的影响，确定各种因素的影响权重，得到冲击危险综合指数，基于对冲击地压危险性进行预测与等级划分，该方法称为综合指数法。综合指数法由窦林名教授提出并实施应用，后由窦林名、牟宗龙教授做简单修改。其他学者提出的综合分析法、层次分析法、统计分析法等，不能称为综合指数法。

综合指数法在分析已发生的近 200 次冲击地压事故的基础上,通过严格的数学统计方法得到开采区域的地质类和采矿类因素对冲击地压发生影响的权重,分别计算得出两者的危险指数,并取其中的最大值作为最终的冲击地压危险综合指数,依此对工作面冲击地压危险性进行评价,确定开采区域的冲击地压危险等级、状态和防治对策。这是一种宏观角度的评价方法,可用于对矿井水平、采区、采掘工作面等冲击地压危险性进行预测和评价,以便正确的认识冲击地压对生产的威胁。综合指数法中,分地质因素评价冲击危险性指数和开采技术因素评价的冲击危险性指数,综合两者来评价区域的冲击危险程度。

冲击地压危险性评价与预测的综合指数由下式计算:

$$W_t = \max \{W_{t1}, W_{t2}\}$$

其中:

$$W_{t1} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} W_i}{\sum_{i=1}^{n_1} W_{i\max}}, \quad W_{t2} = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} W_i}{\sum_{i=1}^{n_2} W_{i\max}}$$

式中:

W_t ——冲击危险综合指数;

W_{t1} ——地质因素确定的冲击危险指数;

W_{t2} ——采矿技术因素对冲击地压的影响程度及冲击地压危险状态等级评定的指数。

W_i ——为第 i 个地质因素、开采技术因素的评估指数;

$W_{i\max}$ 为第 i 个地质因素、开采技术因素的指数最大值; n_1 , n_2 为地质因素、开采技术因素的数目。

根据冲击地压危险状态等级评定综合指数 W_t , 将冲击地压的危险程度分为四个危险等级,分别为无冲击危险、弱冲击危险、中等冲击危险、强冲击危险。根据冲击地压危险性的等级,采取相应的防治对策,见表 1。

表 1 冲击地压危险综合指数、等级、状态及防治对策表

危险等级 危险状态	综合指数	冲击地压危险防治对策
--------------	------	------------

A 无冲击	$W_t \leq 0.25$	按无冲击地压危险采区管理，正常进行设计及生产作业。
B 弱冲击	$0.25 < W_t \leq 0.5$	考虑冲击地压影响因素进行设计，还应满足： 1. 配备必要的监测检验，治理设备。 2. 制定监测和治理方案，作业中进行冲击地压危险监测、解危和效果检验。
C 中等冲击	$0.5 < W_t \leq 0.75$	考虑冲击地压影响因素进行设计，合理选择巷道及硐室布置方案、工作面接替顺序；优化主要巷道及硐室的技术参数、支护方式、掘进速度、采煤工作面超前支护距离及方式等。还应满足： 1. 配备完备区域与局部的监测检验设备和治理装备。 2. 作业前对采煤工作面支承压力影响区、掘进煤层巷道迎头及后方的巷帮采取预卸压措施。 3. 设置人员限制区域、确定避灾路线。 4. 制定监测和治理方案，作业中进行冲击地压危险监测、解危和效果检验。
D 强冲击	$W_t > 0.75$	考虑冲击地压影响因素进行设计，合理选择巷道及硐室布置方案、工作面接替顺序等；优化巷道及硐室技术参数、支护方式和掘进速度等；优化采煤工作面顶板支护、推进速度、超前支护距离及方式、采放煤高度等参数。还应满足： 1. 配备完备区域与局部的监测检验设备和治理装备。 2. 作业前对采煤工作面回采巷道、掘进煤层巷道迎头及后方的巷帮实施全面预卸压，经检验冲击地压危险解除后方可进行作业。 3. 制定监测和治理方案，作业中加强冲击地压危险的监测、解危和效果检验措施；监测对周边巷道、硐室等的扰动影响，并制定对应的治理措施。 4. 设置躲避硐室、人员限制区域、确定避灾路线。 如果生产过程中，经充分采取监测及解危措施后，仍不能保证安全时应停止生产或重新设计。

2. 地质因素指标与取值说明

2.1 地质因素冲击危险指数

对于每一类地质影响因素和对于每一类地质影响因素的危险指数均分为四个等级，由低至高依次为 0、1、2、3；其中，0 表示对冲击地压没有影响，1 表示对冲击地压影响程度弱，2 表示对冲击地压影响程度中等，3 表示对冲击地压影响程度强。表 2 为地质因素影响的冲击危险指数表。

表 2 地质因素冲击地压危险指数表

序号	影响因素	因素说明	因素分类	危险指数
1	W_1	同一水平煤层冲击地压发生历史 (次数/n)	$n=0$	0
			$n=1$	1
			$2 \leq n < 3$	2
			$n \geq 3$	3
2	W_2	开采深度 h	$h \leq 400\text{m}$	0
			$400\text{m} < h \leq 600\text{m}$	1
			$600\text{m} < h \leq 800\text{m}$	2
			$h > 800\text{m}$	3
3	W_3	上覆裂隙带内坚硬厚层岩层距煤层的距离 d	$d > 100\text{m}$	0
			$50\text{m} < d \leq 100\text{m}$	1
			$20\text{m} < d \leq 50\text{m}$	2
			$d \leq 20\text{m}$	3
4	W_4	煤层上方 100m 范围顶板岩层厚度特征参数 L_{st}	$L_s < 50\text{m}$	0
			$50\text{m} < L_{st} \leq 70\text{m}$	1
			$70\text{m} < L_{st} \leq 90\text{m}$	2
			$L_{st} > 90\text{m}$	3
5	W_5	开采区域内构造引起的应力增量与正常应力值之比 $\gamma = (\sigma_g - \sigma) / \sigma$	$\gamma \leq 10\%$	0
			$10\% < \gamma \leq 20\%$	1
			$20\% < \gamma \leq 30\%$	2
			$\gamma > 30\%$	3
6	W_6	煤的单轴抗压强度 Rc	$Rc \leq 10\text{MPa}$	0
			$10\text{MPa} < Rc \leq 14\text{MPa}$	1
			$14\text{MPa} < Rc \leq 20\text{MPa}$	2
			$Rc > 20\text{MPa}$	3
7	W_7	煤的弹性能指数 W_{ET}	$W_{ET} < 2$	0
			$2 \leq W_{ET} < 3.5$	1
			$3.5 \leq W_{ET} < 5$	2
			$W_{ET} \geq 5$	3

2.2 地质因素冲击危险指数取值说明

(1) W_1 : 同一水平同一煤层冲击地压发生的历史, 这里“冲击地压”是经过认定的“冲击地压”事件。“煤炮”、“震动”不在此范围。

(2) W_2 : 评价区域煤层开采深度。按区域内最大值进行计算。

(3) W_3 : 处于裂隙带范围内的厚层坚硬岩层距离煤层顶板的距离。厚层: 单层厚度大于 10m; 坚硬岩层: 单轴抗压强度大于 60MPa, 单轴抗压强度为自然含水率条件下。

(5) W_4 : 煤层上方 100m 范围顶板岩层厚度特征参数确定方法:

$$L_{st} = \sum h_i r_i$$

式中： L_{st} ——顶板岩层厚度参数；

h_i ——顶板在 100m 范围内第 i 种岩层的总厚度；

r_i ——第 i 种岩层的弱面递减系数。

若定义砂岩的强度系数和弱面系数为 1.0，则煤系地层各岩层的强度比和弱面递减系数如表 3 所示。

表 3 煤系地层岩层的强度比和弱面系数比

岩层	砂岩	泥岩	页岩	煤	采空区冒矸
强度比	1.0	0.82	0.58	0.34	0.2
弱面递减系数比	1.0	0.62	0.29	0.31	0.04

评价区域内若柱状图范围小于 100m 时，计算后折算到 100m。评价区域内多个柱状图可供选择时，分别对各个钻孔进行计算，取最大值。

(5) W_5 ：指构造应力分量减去正常水平应力与正常水平应力的比值。如果该区域有实测地应力数据，当该区域应力场为构造应力场（即最大主应力为水平应力）时，实测最大水平应力分量减去正常水平应力分量（一般正常水平应力分量是垂直应力的 1.3 倍，即 $\sigma_h=1.3\sigma_v$ ），因此计算方法为： $\gamma = \frac{\sigma_{h\max} - \sigma_h}{\sigma_h}$ 。其中：

$\sigma_{h\max}$ 为水平应力最大值（或近水平最大应力分量）； σ_h 为正常水平应力。例如：实测地应力值为最大水平应力为 15MPa，自重应力为 10MPa，则：

$$\gamma = \frac{\sigma_{h\max} - \sigma_h}{\sigma_h} = \frac{15-13}{13} = 0.154 = 15.4\%$$

若无实测地应力数据，则需要根据矿井地质构造的发育（主要为断裂构造与褶皱构造）情况进行推测。

(6) W_6 ：煤的单轴抗压强度，以评价区域“冲击倾向性鉴定报告”中的单轴抗压强度为准。

(7) W_7 ：煤的弹性能指数，以评价区域“冲击倾向性鉴定报告”中的弹性能指数为准。

3. 采矿因素影因素指标与取值说明

3.1 采矿因素冲击危险指数

对于每一类采矿技术影响因素和对于每一类采矿影响因素的危险指数均分为四个等级，由低至高依次为 0、1、2、3；其中，0 表示对冲击地压没有影响，1 表示对冲击地压影响程度弱，2 表示对冲击地压影响程度中等，3 表示对冲击地压影响程度强。表 4 为采矿类因素影响的冲击地压危险指数表。

表 4 采矿类因素影响的冲击地压危险指数表

序号	影响因素	因素说明	因素分类	危险指数
1	W_1	保护层的卸压程度	好	0
			中等	1
			一般	2
			很差	3
2	W_2	工作面距上保护层开采遗留的煤柱的水平距离 h_z	$h_z \geq 60\text{m}$	0
			$30\text{m} \leq h_z < 60\text{m}$	1
			$0\text{m} \leq h_z < 30\text{m}$	2
			$h_z < 0\text{m}$ (煤柱下方)	3
3	W_3	工作面与临近采空区的关系	实体煤工作面	0
			一侧采空	1
			两侧采空	2
			三侧及以上采空	3
4	W_4	工作面长度 L_m	$L_m > 300\text{m}$	0
			$150\text{m} \leq L_m < 300\text{m}$	1
			$100\text{m} \leq L_m < 150\text{m}$	2
			$L_m < 100\text{m}$	3
5	W_5	区段煤柱宽度 d	$d \leq 3\text{m}$, 或 $d \geq 50\text{m}$	0
			$3\text{m} < d \leq 6\text{m}$	1
			$6\text{m} < d \leq 10\text{m}$	2
			$10\text{m} < d < 50\text{m}$	3
6	W_6	留底煤厚度 t_d	$t_d = 0\text{m}$	0
			$0\text{m} < t_d \leq 1\text{m}$	1
			$1\text{m} < t_d \leq 2\text{m}$	2
			$t_d > 2\text{m}$	3
7	W_7	向采空区掘进的巷道， 停掘位置与采空区的距离 L_{jc}	$L_{jc} \geq 150\text{m}$	0
			$100\text{m} \leq L_{jc} < 150\text{m}$	1
			$50\text{m} \leq L_{jc} < 100\text{m}$	2
			$< 50\text{m}$	3
8	W_8	向采空区推进的工作面， 停采线与采空区的距离 L_{mc}	$L_{mc} \geq 300\text{m}$	0
			$200\text{m} \leq L_{mc} < 300\text{m}$	1
			$100\text{m} \leq L_{mc} < 200\text{m}$	2
			$L_{mc} < 100\text{m}$	3
9	W_9	向落差大于 3m 的断层推进的工作面或	$L_d \geq 100\text{m}$	0

		巷道，工作面或迎头与断层的距离 L_d	$50m \leq L_d < 100m$	1
			$20m \leq L_d < 50m$	2
			$L_d < 20m$	3
10	W_{10}	向煤层倾角剧烈变化 ($>15^\circ$) 的向斜或背斜推进的工作面或巷道，工作面或迎头与之的距离 L_z	$L_z \geq 50m$	0
			$20m \leq L_z < 50m$	1
			$10m \leq L_z < 20m$	2
			$L_z < 10m$	3
11	W_{11}	向煤层侵蚀、合层或厚度变化部分推进的工作面或巷道，接近煤层变化部分的距离 L_b	$L_b \geq 50m$	0
			$20m \leq L_b < 50m$	1
			$10m \leq L_b < 20m$	2
			$L_b < 10m$	3

3.2 采矿因素冲击危险指数取值说明

(1) W_1 : 保护层开采的卸压程度。按照国标“冲击地压测定、监测与防治方法第12部分：开采保护层防治方法”，评价区域处于有效卸压范围、有效卸压期限内时，保护层卸压程度为“好”；处于有效卸压范围，但是超出卸压有效时间时，保护层卸压程度为“中等”；不处于保护层卸压有效范围内，保护层卸压程度为“一般”；保护层开采时遗留承载煤柱，且该煤柱平面投影处于评价区域内，保护层卸压程度为“很差”。

无保护层开采时，此项不考虑。

(2) W_2 : 指评价工作面边界距离与上保护层开采遗留承载煤柱的水平距离，当此煤柱平面投影处于评价区域内时，此时位于“煤柱下方”。

无保护层开采时，此项不考虑。

(3) W_3 : 工作面周边采空区情况。相邻矿井采空区、本矿井相邻采区（带区、盘区）对工作面的影响，若煤柱宽度隔离采空区影响（一般大于50m），若煤柱宽度不足以隔离采空区影响，则需要作为相邻采空区考虑。

(4) W_4 : 指工作面实际面长，评价区域内面长发生变化时，以最小面长进行计算。

(5) W_5 : 指区段煤柱净宽。

(6) W_6 : 工作面两巷设计（或实际）底煤的厚度，如倾斜煤层的三角底煤、厚煤层沿顶板掘进时留底煤、过构造区域、煤层厚度变化区域的底煤厚度。

不留底煤即为0。

(7) W_7 : 以停掘位置巷道中线的延长线至采空区边界的垂直距离计算。

(8) W_8 : 以停采线距离采空区边界最小垂直距离计算。

(9) W_9 : 以巷道迎头线/工作面至断层面的最小垂直距离计算；巷道与工作面穿过断层时，距离为 0。

(10) W_{10} : 以巷道迎头线/工作面至褶曲的轴迹线的最小垂直距离。

(11) W_{11} : 以巷道迎头线/工作面至煤层的合并线、分叉线、侵蚀线、煤层厚度变异系数高于 50% 线的最小垂直距离。

掘进巷道与工作面需要穿过以上区域时，距离为 0。

4. 执行说明

(1) **综合指数法版本**。到目前为止，综合指数法经过了两个阶段，课题组早期著作与文献中采用的是最初版本。《防治煤矿冲击地压细则专家解读》中使用的是修改后的版本，也即是手册中的引用的版本，建议采用此版本。特定情况下，使用老版本也是正确的。

(2) **综合指数法的使用对象**。综合指数法可以对煤层、水平、采区、采掘工作面进行评价。但是此时煤层、水平、采区、采掘工作面即为一个评价对象，得到是一个冲击危险综合指数与冲击危险等级。一个对象中不出现两个冲击危险综合指数与冲击危险等级。

(3) **综合指数法的精度与范围**。综合指数法是基于采掘工作面已经发生的冲击地压事件的数理分析得到的结果，本质是将选择区域内的最大指标（如开采深度，选择的是区域内的最大深度），然后平均（权重不同）每个指标（地质因素 7 个指标平均），因为每个指标都有其影响范围，指标与指标对冲击的发生也有相互影响。因此，对一个对象（采区、采掘工作面）不建议进行网格化（比如将工作面划分成 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 网格）。

(4) **评价区域内差异性过大的处理**。如果出现一个评价区域内不同部分地质与生产技术条件差异过大，比如，一个工作面的范围为 $2000\text{m} \times 200\text{m}$ ，前 100m 范围指标值均很高（强冲击危险），而其他 1900m 的区域指标很很低（无冲击危险），如果将工作面定为“强冲击危险”似乎不合理。但是，能够出现这样结果

的原因，一定是前 100m 与其余部分，在地质条件或者生产技术因素上有重大差异，不然不会出现跨越两个及加上的危险等级。此时，可以将评价区域根据实际划分为不同的单元进行评价，这两个单元形成独立的防冲单元，进行独立管理。但是不能将整个区域平均为“中等冲击危险”。

(5) 综合指数法与多因素耦合法的关系。综合指数法是将区域内最大指标的平均值，代表了区域内平均最高冲击危险性，是对区域冲击危险指数与等级的确定，是宏观上定性质，确定评价区域的防冲要求与能力的方法。多因素耦合法是根据矿井的实际条件（发生规律、主控因素等），在综合指数法的基础上进行细分，划分不同冲击危险区域。但是，多因素耦合法划分的区域至少有一个区域冲击危险等级大于等于综合指数法确定的危险等级，比如，综合指数法确定的危险等级时“强冲击危险”，但是多因素耦合法划分的最高等级是“中等冲击危险”，甚至“弱冲击危险”，这是不正确的；同样，如果多因素耦合法确定的冲击区域中最低等级高于综合指数法确定的危险等级，也是不科学。比如，多因素耦合法将整个工作面全部划分“中等冲击危险”，但是综合指数法确定的危险等级为“弱冲击危险”，这就表明，综合指数法确定的危险等级偏低了。因此，两者是相辅相成的，并不矛盾。