CCS

发 布

中国煤炭学会

200×-××-××实施

200×-××-××发布

**煤矿冲击地压危险性定量表征方法**

Quantitative Characterization Method of Rock Burst Risk in Coal Mines

（征求意见稿）

代替GB/T17608-1998

中国煤炭学会团体标准

ICS 73.040

D24

1. 前 言

本标准按照GB/T1.1-2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》规则起草。

本标准由中国煤炭学会提出。

本标准由中国煤炭学会归口。

本标准起草单位：煤炭科学研究总院、山东能源集团、辽宁大学、煤炭科学技术研究院有限公司、辽宁工程技术大学

本标准主要起草人：

1. 引 言

冲击地压在未来长期仍将是威胁煤矿安全生产最为主要的动力灾害，明确给出冲击地压的危险区域、危险级别等核心内容的定量表征，则是实现抽象能量具象化，并对防控措施科学设计、有效执行形成切实支撑的关键环节。本文件通过广泛调研和专项攻关，以覆盖矿井全生命周期为原则，针对采前阶段的地质赋存因素，采中阶段的开采参数及干预措施因素以及采后阶段的采空区覆岩因素，完成矿井全要素的归类，给出隶属于各类别的具体要素和作用机制，以此实现认知及定义层面的统一，以此为基础，结合经验打分、数理模型和数据挖掘等手段，完成多场景、多需求条件下冲击地压危险性定量表征方法的设计。

本文件考虑了以下情况：

——煤矿所在区域、建设规模、煤层地质及赋存条件、生产技术条件等的特殊性；

——煤矿开采过程各环节、各设备等全过程的关联性；

——各指标要素对煤矿冲击地压影响程度的差异性。

**煤矿冲击地压危险性定量表征方法**

1 范围

本标准规定了冲击地压危险性定量表征工作中的术语和定义、要素基本作用机制、简化物理模型及数据挖掘方法，以及不同定量表征方法的使用条件。

本标准适用于潜在或具有冲击地压风险的井工煤矿。

2 规范性引用文件

下列文件对伊本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注明日期的引用文件，其最新版本（包括所有修改单）适用于本文件。

GB/T 25217.1-2010 冲击地压测定、监测与防治方法　第1部分：顶板岩层冲击倾向性分类及指数的测定方法

GB/T 25217.2-2010 冲击地压测定、监测与防治方法　第2部分：煤的冲击倾向性分类及指数的测定方法

GB/T 25217.3-2019 冲击地压测定、监测与防治方法　第3部分：煤岩组合试件冲击倾向性分类及指数的测定方法

GB/T 25217.4-2019 冲击地压测定、监测与防治方法　第4部分：微震监测方法

GB/T 25217.5-2019 冲击地压测定、监测与防治方法　第5部分：地音监测方法

GB/T 25217.6-2019 冲击地压测定、监测与防治方法　第6部分：钻屑监测方法

GB/T 25217.7-2019 冲击地压测定、监测与防治方法　第7部分：采动应力监测方法

GB/T 25217.8-2021 冲击地压测定、监测与防治方法　第8部分：电磁辐射监测方法

GB/T 25217.9-2020 冲击地压测定、监测与防治方法　第9部分：煤层注水防治方法

GB/T 25217.10-2019 冲击地压测定、监测与防治方法　第10部分：煤层钻孔卸压防治方法

GB/T 25217.11-2019 冲击地压测定、监测与防治方法　第11部分：煤层卸压爆破防治方法

GB/T 25217.12-2019 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

GB/T 25217.13-2019 冲击地压测定、监测与防治方法　第13部分：顶板深孔爆破防治方法

GB/T 25217.14-2020 冲击地压测定、监测与防治方法　第14部分：顶板水压致裂防治方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

冲击危险性 impact risk in coal mines

地下采掘空间的围岩瞬时释放弹性变形能并发生伴有巨响和冲击波的震动的风险。

3.2

冲击地压危险性 rock burst risk in coal mines

矿井建设、生产过程中，在地质环境、开采环境、人工干预措施及采空区覆岩等因素影响下，矿井发生冲击地压的可能性及危害程度。

3.3

应力集中系数 stress concentration factor

围岩实测的竖向应力与理论埋深产生的竖向应力的比值。

3.4

顶板悬空面积 impending area of the roof

煤层开采过程中，采空区上部未垮落部分顶板的面积。

3.5

孤岛工作面 island mining face

准备回采的工作面周围均为采空区或者工作面顺槽两侧均为采空区的工作面。

3.6

临界应力 critical stress

保持支护与围岩组成的煤岩系统处于稳定平衡状态的极限应力。

3.7

地质环境 geological environment

煤矿井田范围内煤层及地质构造赋存的状态，是影响冲击地压发生的静态因素。

3.8

开采环境 mining environment

为开采地下煤炭资源而人工形成的井筒、巷道、工作面及采掘方法、采掘工艺的组合状态，是影响冲击地压发生的动态因素。

3.9

人工干预措施 manualized interventions

为减小冲击地压发生危险，人为地在煤层、顶板、底板及邻近层采取的一系列措施。

3.10

矿震 mine earthquake

一种由采矿活动诱发的矿井地震现象，是指开采区域内应力场在开采活动作用影响下，高应力区内煤岩体及断层等结构处于失稳临界状态，并在积累了一定能量后受外界扰动以冲击或重力等作用方式瞬时释放出来而产生的岩层震动。

3.11

综合指数法 synthetical index method

通过综合分析开采区域的地质因素和开采技术条件因素确定这些影响因素对冲击地压的影响权重，分别得出地质因素和开采技术条件因素的冲击地压危险指数并取其大值作为冲击地压危险的综合指数，并依据该综合指数对冲击地压危险进行评价预测，确定开采区域的冲击地压危险等级。

3.12

机器学习 machine learning

一类从数据中自动分析获得规律，并利用规律对未知数据进行预测的算法，包括监督学习算法和非监督学习算法。

3.13

多传感器融合 multi-sensor fusion

利用计算机技术，将来自多传感器或多源的信息和数据以一定的准则进行自动分析和综合，以完成所需的决策和估计而进行的信息处理过程。

4 冲击危险性定量评价对象

4.1 评价阶段

根据矿井开采过程，对煤矿冲击地压危险性评价阶段进行分类，共分三类：采前阶段、采中阶段和采后阶段。

4.2 评价对象

4.2.1 矿井资源赋存条件

4.2.1.1 开采深度

自重应力是煤矿开采活动中应力的主要来源，开采深度与自重应力成正比，随着开采深度的增加，煤层中的自重应力随之增加，煤岩体中聚积的弹性变形能也随之增加。

4.2.1.2 煤层厚度

煤层开采后会引起上覆岩层的垮落，形成垮落带、裂隙带、弯曲下沉带，称为上三带。上三带的高度与开采煤层厚度正相关。裂隙带范围内坚硬厚岩层运动断裂时产生的震动是引起冲击地压发生的重要因素。

4.2.1.3 单轴抗压强度

在实验室条件下，煤的标准试件在单轴压缩状态下承受的破坏载荷与其承压面面积的比值。煤体抗压强度不同，巷道周边煤岩体内的应力随开采深度的变化也不相同，若赋存深度超过了一定的临界深度，煤体将遭到不同程度的破坏，为冲击地压的发生提供了条件。抗压强度越大，破坏之前承受的力越大，煤体内累积的弹性变形能越大，越易发生冲击。

4.2.1.4 动态破坏时间

煤试件在单轴压缩状态下，从极限强度到完全破坏所经历的时间。

4.2.1.5 弹性能量指数

煤试件在单轴压缩状态下，当受力达到某一值时（破坏前）卸载，其弹性变形能与塑性变形能（耗损变形能）之比。

4.2.1.6 冲击能量指数

煤试件在单轴压缩状态下，在应力应变全过程曲线中，峰值前积蓄的变形能与峰值后耗损的变形能之比。

4.2.1.7 煤层冲击倾向性

煤体具有的积聚变形能并产生冲击破坏的性质，通过煤样的单轴抗压强度、动态破坏时间、弹性能量指数以及冲击能量指数等参数进行标定。

4.2.1.8 煤层冲击地压发生历史

同一水平同一煤层发生过冲击地压事件说明该煤层具备孕育冲击地压灾害的条件，孕灾条件完备时，具有再次发生冲击地压灾害的可能。

4.2.1.9 煤层瓦斯等级

煤层瓦斯压力是冲击地压发生的一种力源。

4.2.1.10 顶板岩层厚度

顶板岩层积聚弹性变形能的能力与岩层厚度正相关。

4.2.1.11 顶板岩层弯曲能量指数

在均布载荷作用下，单位宽度岩梁达到极限跨度时积蓄的变形能。

4.2.1.12 顶板岩层冲击倾向性

顶板岩层积聚变形能并具有产生冲击破坏的性质。

4.2.1.13 顶板岩层厚度特征参数

煤层上方存在坚硬厚岩层，对矿压显现具有主导作用，称为关键层。该岩层容易聚积弹性变形能，在其破断或滑移过程中,大量的弹性变形能突然释放，形成强烈震动,导致冲击地压发生。顶板岩层厚度特征参数反映该范围内煤层顶板岩层对冲击地压的影响。

4.2.1.14 底板岩层厚度

底板岩层积聚弹性变形能的能力与其岩层厚度正相关。

4.2.1.15 底板岩层弯曲能量指数

在均布载荷作用下，单位宽度岩梁达到极限跨度时积蓄的变形能。

4.2.1.16 底板岩层冲击倾向性

底板岩层积聚变形能并具有产生冲击破坏的性质。

4.2.1.17 断层

由采掘活动造成的扰动引起断层活化，断层附近岩层沿断层面突然滑移，其形成的动载是冲击地压发生的一种力源。

4.2.1.18 褶区

褶区轴部常形成构造应力集中，是冲击地压发生的一种力源。

4.2.1.19 陷落柱

陷落柱附近常形成构造应力集中，部分陷落柱会穿过含水层，形成导水通道。由其形成的集中应力和裂隙水压力是冲击地压发生的一种力源。

4.2.1.20 煤层相变

煤层合层或厚度变化部分常形成构造应力集中，是冲击地压发生的一种力源。

4.2.1.21 岩浆侵蚀

煤层受岩浆侵蚀部分常形成构造应力集中，是冲击地压发生的一种力源。

4.2.1.22 古河流冲刷

煤层受古河流冲刷部分常形成构造应力集中，是冲击地压发生的一种力源。

4.2.1.23 含水层

疏水引起富水区岩层物理力学性质不均质损伤导致煤层局部应力集中，当该集中应力与其它应力（自重应力、支承压力等）叠加总和超过发生冲击临界值时，易诱发冲击地压。

4.2.2 开采环境

4.2.2.1 掘进工艺

掘进工艺分为炮掘和机掘，机掘又细分为综掘、掘锚、连采等，不同的工艺引起的扰动强度不同。

4.2.2.2 巷道断面积

巷道断面积越大，掘进引起的采扰动强度越大。

4.2.2.3 巷道支护方式

巷道支护方式分为刚性支护和柔性支护，巷道的支护刚度越大，抵御变形的能力越高，积聚弹性变形能的能力越强，从而发生冲击地压的危险越大。

4.2.2.4 留底煤厚度

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。

4.2.2.5 掘进工作面与遗留煤柱位置关系

遗留煤柱处易形成高水平的应力集中，掘进工作面与其距离越近，发生冲击地压的危险越大。

4.2.2.6 掘进工作面与空巷位置关系

空巷处易形成高水平的应力集中，掘进工作面与其距离越近，发生冲击地压的危险越大。

4.2.2.7 掘进工作面与采空区位置关系

采空区处易形成高水平的应力集中，掘进工作面与其距离越近，发生冲击地压的危险越大。

4.2.2.8 回采工作面工艺

现使用较广回采工作面工艺有普通机械化开采、高档普通机械化开采、综合机械化开采等，不同的工艺引起的开采扰动强度不同。

4.2.2.9 回采工作面长度

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。

4.2.1.10 采高

回采工作面一次采高越大，引起的开采扰动强度越大。

4.2.1.11 区段煤柱宽度

由采动引起的支承压力在区段煤柱中呈马鞍形分布，区段煤柱的宽度决定了应力集中的程度，应力集中程度越高，越易发生冲击地压。

4.2.1.12 采空区处理方式

采空区处理方式分为全部垮落法和充填法，不同的采空区处理方式造成顶板积聚弹性变形能的能力不同。

4.2.1.13 回采工作面推进速度

回采工作面推进造成的开采扰动是诱发冲击地压的主要动载来源，推进速度越快，引起的开采扰动强度越大，越易引发冲击地压。

4.2.2.14 回采工作面与遗留煤柱位置关系

遗留煤柱处易形成高水平的应力集中，回采工作面与其距离越近，发生冲击地压的危险越大。

4.2.2.15 回采工作面与空巷位置关系

空巷处易形成高水平的应力集中，回采工作面与其距离越近，发生冲击地压的危险越大。

4.2.2.16 回采工作面与采空区位置关系

采空区处易形成高水平的应力集中，回采工作面与其距离越近，发生冲击地压的危险越大。

4.2.2.17 生产爆破

生产过程中进行的各种爆破作业，可诱发冲击地压。

4.2.2.18 硐室掘进

在煤层中为生产服务掘进的硐室周围常出现应力集中现象，增加冲击地压发生的危险。

4.2.3 人工干预措施

4.2.3.1 煤层注水

在煤层具有冲击危险性的区域注水，改变煤层冲击倾向性等物理力学性质，降低冲击危险性的方法。

4.2.3.2 煤层钻孔卸压

在煤层冲击危险区域中施工钻孔，降低煤体应力应力集中程度的一种冲击地压局部防治方法。

4.2.3.3 煤层卸压爆破

通过对煤层冲击危险区域实施爆破达到降低冲击危险的一种冲击地压防治方法。

4.2.3.4 开采保护层

为消除或降低临近煤层的冲击危险而现行开采其他煤层，保护层的卸压程度越高，则冲击地压危险越低。

4.2.3.5 顶板深孔爆破

为增加顶板岩体裂隙、破坏顶板完整性与连续性、释放顶板储存的弹性变形能而在顶板中进行的爆破作业。

4.2.3.6 顶板水压致裂

在顶板岩层中注入高压液体，使顶板岩层产生新的或扩大原有裂隙，达到控制顶板断裂与能量释放的防冲技术。

4.2.3.7 瓦斯抽采

瓦斯抽采就是向煤层和瓦斯集聚区域打钻，将钻孔接在专用的管路上，用抽采设备将煤层和采空区中的瓦斯抽至地面，加以利用。瓦斯抽采后会减小煤层和瓦斯集聚区域的瓦斯压力，减小应力集中程度。

4.2.4 煤矿采空区潜在矿震风险评估

煤矿开采后留下大面积的采空区，采空区失稳将诱发矿震灾害，进而造成地面塌陷、覆岩冲击破坏、气浪等一系列次生灾害。采空区矿震主要发生在地质构造比较复杂、地应力(构造应力)较大、断裂活动比较显著的矿区。以失稳机理可将煤矿采空区矿震的类型分为三类：煤柱压缩型矿震、顶板断裂型矿震和结构面错动型矿震。

4.2.4.1 悬顶面积

当采空区上覆岩层存在一定厚度的坚硬岩层，且采空区悬顶裸露面积超过其极限跨距，悬空顶板突然破断垮落触底，并产生巨大声响，引发采空区内的震动，发生顶板断裂型矿震。顶板断裂型矿震影响范围大，释放能量大，发生强度高。根据“砌体梁”理论和“关键层”结构力学模型，坚硬岩层中的关键层的悬顶面积在矿震风险评估中起主导作用。

4.2.4.2 结构面位移量

由于采空区上方周边范围的覆岩层存在大的结构面，受开采扰动后应力重分布，结构面围岩体活化后发生粘滑或者突然的剪切失稳而产生结构面错动型矿震，并伴生的矿震应力波对周围煤岩体应力扰动剧烈，进而诱发相邻区域围岩的动力灾害。通过结构面位移量反映该结构面的活化程度，进而评估矿震发生的风险。

4.2.4.3 煤柱稳定性

采空区顶底板失稳或采空区附近煤岩体开采都将引起煤柱应力变化，煤柱发生屈服或者垮落，导致煤柱出现突发性的失稳，进而煤柱压缩型矿震。煤柱的稳定性与煤体强度、煤柱尺寸、煤柱内部地质改造、煤柱自由面、煤柱与顶底板的接触与粘聚力、围岩岩性、煤柱所受侧向力以及所受载荷的时空演化等诸多因素有关。

4.2.5 评价阶段与评价对象对应关系

评价阶段与评价对象对应关系见表1。

表1 评价阶段与评价对象对应关系表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 评价阶段 | 评价对象 |
| 1 | 采前 | 矿井资源赋存条件 |
| 2 | 采中 | 开采环境  人工干预措施 |
| 3 | 采后 | 煤矿采空区潜在矿震风险 |

5 冲击地压危险性定量评价方法

5.1 基于现场经验的冲击地压危险性定量评价方法

基于现场经验的多尺度冲击危险性评价方法是在旧的综合指数法评价体系基础上优化改进，确定不同尺度区域的冲击危险状态。本方法根据不同的评价对象，优选不同尺度的评价指标，通过分析各影响因素并根据实际工况赋予不同的危险指数分值，最终计算可得评价区域的冲击地压综合危险指数及相应冲击危险等级，并制定出对应级别的响应对策。

5.1.1 冲击危险性的评价对象

根据评价范围确定评价对象，评价对象包括矿井、采区（盘区）、回采工作面和巷道。根据评价对象确定评价对象适用的冲击危险性评价指标，冲击危险性评价指标包括矿井尺度、采区（盘区）尺度、回采工作面尺度和巷道尺度。

5.1.2 冲击危险性评价的影响因素

冲击危险性评价指标为“影响因素”与“危险指数分值”以及二者的对应关系，“影响因素”对应的“危险指数分值”分为六个等级，由低到高依次为-2、-1、0、1、2、3；其中，-2表示对冲击地压有明显的减弱作用，-1表示对冲击地压较小的减弱影响，0表示对冲击地压无影响，1表示对冲击地压有较小的促进作用，2表示对冲击地压有明显的促进作用，3表示对冲击地压有较强的促进作用。

“影响因素”包括“地质类影响因素”和“开采类影响因素”。不同尺度的影响因素见表2。

表2 不同尺度对应的冲击危险性评价影响因素

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 评价尺度 | 矿井尺度 | 采区（盘区）尺度 | 回采工作面尺度 | 巷道尺度 |
| 影响因素类别 | 地质类影响因素 | 地质类影响因素  开采类影响因素 | 地质类影响因素  开采类影响因素 | 地质类影响因素  开采类影响因素 |

5.1.2.1 地质类影响因素

根据评价对象和评价对象适用的冲击危险性评价指标，选取“地质类影响因素”和与“地质类影响因素”对应的“危险指数分值”，地质类影响因素的冲击危险指数的计算见式1，

 （1）

式中，*W*t1为地质类影响因素的冲击危险指数，*W*i为第i个地质类影响因素的实际危险指数分值，*W*imax为i个地质类影响因素中的最大危险指数分值，*n*i为地质类影响因素数目；

5.1.2.2 开采类影响因素

根据评价对象和评价对象适用的冲击危险性评价指标，选取“开采类影响因素”和与“开采类影响因素”对应的“危险指数分值”，开采类影响因素的冲击危险指数的计算见式2，，

 （2）

式中，*W*t2为开采类影响因素的冲击危险指数，*W‘*i为第i个开采类影响因素的实际危险指数分值，*W‘*imax为i个开采类影响因素中的最大危险指数分值，*n‘*i为开采类影响因素数目。

5.1.2.3 冲击危险等级及响应对策

冲击综合危险指数*W*t=max{*W*t1，*W*t2}。

冲击危险等级与冲击综合危险指数呈正相关关系，冲击危险等级分为A、B、C、D、E五个等级，对应危险状态为无、弱、中、强和不安全五个状态。冲击危险等级分为五类：当*W*t＜0.25时，冲击危险等级属于A类，为无冲击危险；当0.25≤*W*t＜0.5时，冲击危险等级属于B类，为弱冲击危险；当0.5≤*W*t＜0.75时，冲击危险等级属于C类，为中等冲击危险；当0.75≤*W*t＜0.95时，冲击危险等级属于D类，为强冲击危险；当*W*t≥0.95时，冲击危险等级属于E类，为不安全状态。根据不同的危险等级，采取不同的响应对策，冲击危险等级及响应对策见表3。

表3 冲击危险等级及响应对策

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 危险等级 | 危险状态 | 危险指数 | 采取响应对策 |
| A | 无 | ＜0.25 | 所有的采矿工作可按作业规程进行。 |
| B | 弱 | 0.25～0.5 | (1)所有的采矿工作可按作业规程进行。  (2)作业中加强冲击危险状态的观察。 |
| C | 中 | 0.5～0.75 | 下一步的采矿工作应与该危险状态下的冲击地压防治措施一起进行，且通过预测预报确定冲击危险程度不再上升。 |
| D | 强 | 0.75～0.95 | (1)应当停止采矿作业，不必要人员撤离危险地点。  (2)矿主管领导确定控制冲击地压危险的方法及措施，以及控制措施的检查方法，确定参加防治措施的人员。 |
| E | 不安全 | ≥0.95 | 应根据专家的意见采取特殊条件下的综合措施及方法。采取措施后，通过专家鉴定，方可进行下一步的作业。如冲击地压的危险程度没有降低，则停止进行采矿作业，该区域禁止人员通行。 |

5.1.3 不同尺度影响因素指标体系

5.1.3.1 矿井尺度

矿井冲击危险性评价（即矿井冲击危险性预评估）是在建井阶段，以矿井为评价对象，对其开采过程中发生冲击地压的可能性进行的整体评价。此时矿井设计并未确定，该阶段评价只考虑“地质类影响因素”。

矿井尺度的“影响因素”为“地质类影响因素”，矿井尺度的“地质类影响因素”包括“邻近矿井冲击地压显现情况”、“开采深度”、“顶板中坚硬厚岩层（h≥10m、Rc≥60MPa）与煤层的距离”、“开采区域内构造应力集中程度”、“顶板岩层厚度特征参数”、“煤的抗压强度”和“煤层厚度变异系数”。矿井尺度下“地质类影响因素”及对应“危险指数分值”见表4。

表4 评价冲击危险性的地质类影响因素及对应危险指数分值（矿井尺度）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 影响因素 | 影响因素定义 | 影响因素分类 | 危险指数分值 |
| 1 | *W*1 | 邻近矿井冲击地压显现情况 | 未发生过 | 0 |
| 发生过1次 | 1 |
| 曾多次发生 | 3 |
| 2 | *W*2 | 开采深度*h* | *h*＜400m | 1 |
| 400≤*h*＜800m | 2 |
| *h*≥800m | 3 |
| 3 | *W*3 | 顶板中坚硬厚岩层（h≥10m、Rc≥60MPa）  距煤层的距离*d* | *d*＞100m | 1 |
| 50＜*d*≤100m | 2 |
| *d*≤50m | 3 |
| 4 | *W*4 | 开采区域内构造应力  集中程度 |  | 0 |
|  | 1 |
|  | 2 |
|  | 3 |
| 5 | *W*5 | 顶板岩层厚度特征参数*L*st | *L*st＜50 | 0 |
| 50≤*L*st＜80 | 1 |
| 80≤*L*st＜90 | 2 |
| *L*st≥90 | 3 |
| 6 | *W*6 | 煤的抗压强度*R*c | *R*c＜7MPa | 0 |
| 7*≤R*c＜14MPa | 1 |
| 14*≤R*c＜20MPa | 2 |
| *R*c≥20MPa | 3 |
| 7 | *W*7 | 煤层厚度变异系数*γ* | *γ*＜0.1 | 0 |
| 0.1≤*γ*＜0.25 | 1 |
| 0.25≤*γ*＜0.40 | 2 |
| *γ*≥0.4 | 3 |

5.1.3.2 采区（盘区）尺度

采区（盘区）冲击危险性评价，是以采区（盘区）为评价对象，对其开采过程中冲击地压危险性进行的区域评价。该评价“影响因素”主要是针对采区的具体工况进行选取。采区（盘区）尺度的“影响因素”包括“地质类影响因素”和“开采类影响因素”。

采区（盘区）尺度的“地质类影响因素”包括“矿井冲击地压历史”、“开采深度”、“顶板中坚硬厚岩层（h≥10m、Rc≥60MPa）与煤层的距离”、“开采区域内构造复杂程度”、“开采区域内构造应力集中程度”、“顶板岩层厚度特征参数”、“煤的抗压强度”、“煤的弹性能量指数”、“冲击能指数”、“动态破坏时间”、“煤层厚度变异系数”和“瓦斯赋存情况”。采区（盘区）尺度下的“地质类影响因素”及对应“危险指数分值”见表5。

表5 评价冲击危险性的地质类影响因素及对应危险指数分值（采区尺度）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 影响因素 | 影响因素定义 | 影响因素分类 | 危险指数分值 |
| 1 | *W*1 | 矿井冲击地压历史 | 未发生过 | 0 |
| 发生过1次 | 1 |
| 曾多次发生过 | 3 |
| 2 | *W*2 | 开采深度*h* | *h*＜400m | 1 |
| 400≤*h*＜800m | 2 |
| *h*≥800m | 3 |
| 3 | *W*3 | 顶板中坚硬厚（*h*≥10m、*R*c≥60MPa）岩层距煤层的距离*d* | *d*＞100m | 1 |
| 50＜*d*≤100m | 2 |
| *d*≤50m | 3 |
| 4 | *W*4 | 开采区域内构造复杂程度 | 简单 | 1 |
| 中等 | 2 |
| 复杂 | 3 |
| 5 | *W*5 | 开采区域内构造应力  集中程度 |  | 0 |
|  | 1 |
|  | 2 |
|  | 3 |
| 6 | *W*6 | 顶板岩层厚度特征参数*L*st | *L*st＜50 | 0 |
| 50≤*L*st＜80 | 1 |
| 80≤*L*st＜90 | 2 |
| *L*st≥90 | 3 |
| 7 | *W*7 | 煤的抗压强度*R*c | *R*c＜7MPa | 0 |
| 7*≤R*c＜14MPa | 1 |
| 14*≤R*c＜20MPa | 2 |
| *R*c≥20MPa | 3 |
| 8 | *W*8 | 煤的弹性能量指数*W*ET | *W*ET＜2 | 0 |
| 2≤*W*ET＜5 | 1 |
| 5≤*W*ET＜10 | 2 |
| *W*ET≥10 | 3 |
| 9 | *W*9 | 冲击能指数*K*E | *K*E＜1.5 | 0 |
| 1.5≤*K*E＜5 | 1 |
| 5≤*K*E＜10 | 2 |
| *K*E≥10 | 3 |
| 10 | *W*10 | 动态破坏时间 | *DT*＜500 | 0 |
| 50＜*DT*≤500 | 1 |
| *DT*≤50 | 2 |
| 11 | *W*11 | 煤层厚度变异系数*γ* | *γ*＜0.1 | 0 |
| 0.1≤*γ*＜0.25 | 1 |
| 0.25≤*γ*＜0.40 | 2 |
| *γ*≥0.4 | 3 |
| 12 | *W*12 | 瓦斯赋存情况 | 低瓦斯煤层 | 0 |
| 高瓦斯煤层 | -1 |
| 突出煤层 | -2 |

采区（盘区）尺度的“开采类影响因素”包括“保护层开采年限”、“采区内保护层与被保护层的距离”、“采区内工作面与上保护层开采遗留煤柱的相对位置关系”、“采区与其临近采空区的关系”、“采区工作面接续情况”、“区段煤柱宽度”、“留底煤厚度”和“采区内同时回采的相邻工作面或掘进巷道之间的距离”。采区（盘区）尺度下的“开采类影响因素”及对应“危险指数分值”见表6。

表6 评价冲击危险性的开采类影响因素及对应危险指数分值（采区尺度）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 影响因素 | 影响因素定义 | 影响因素分类 | 危险指数分值 |
| 1 | *W*1 | 保护层开采年限 | ＜3a | 0 |
| ≥3a | 1 |
| 2 | *W*2 | 采区内保护层与被保护层的距离 | ＜50m | 0 |
| ≥50m | 1 |
| 3 | *W*3 | 采区内工作面与上保护层开采遗留煤柱的相对位置关系 | 遗留煤柱处于采区工作面内部 | 0 |
| 遗留煤柱与采区工作面巷道斜交（或与巷道平行但位于巷道上方） | 1 |
| 遗留煤柱与采区工作面巷道垂直 | 2 |
| 4 | *W*4 | 采区与其临近采空区的关系 | 实体煤 | 0 |
| 一侧采空 | 1 |
| 两侧采空 | 2 |
| 孤岛采区 | 3 |
| 5 | *W*5 | 采区工作面接续情况 | 顺序开采 | 0 |
| 孤岛工作面 | 2 |
| 6 | *W*6 | 区段煤柱宽度*d* | *d*＜3m，或*d*＞50m | 0 |
| 3m≤*d*＜6m | 1 |
| 6m≤*d*＜10m | 2 |
| 10m≤*d*≤50m | 3 |
| 7 | *W*7 | 留底煤厚度*t*d | *t*d=0m | 0 |
| 0m＜*t*d＜1m | 1 |
| 1m≤*t*d＜2m | 2 |
| *t*d≥2m | 3 |
| 8 | *W*8 | 采区内同时回采的相邻工作面或掘进巷道之间的距离*L*z | *L*z＞500m | 0 |
| 350m＜*L*z≤500m | 1 |
| 150m＜*L*z≤350m | 2 |
| *L*z≤150m | 3 |

5.1.3.3 回采工作面尺度

回采工作面冲击危险性评价是以工作面为评价对象，对其回采过程中发生冲击地压的可能性进行的区域评价。该评价“影响因素”主要是针对回采工作面的具体工况进行选取。

回采工作面尺度包括“地质类影响因素”和“开采类影响因素”。

回采工作面尺度的“地质类影响因素”与采区（盘区）尺度的“地质类影响因素”相同。回采工作面尺度下的“地质类影响因素”及对应“危险指数分值”见表5。

回采工作面尺度的“开采类影响因素”包括“保护层开采年限”、“保护层与被保护层的距离”、“工作面距上保护层开采遗留煤柱的水平距离”、“工作面与临近采空区的关系”、“工作面长度”、“区段煤柱宽度”、“留底煤厚度”、“向采空区推进的工作面停采线与采空区的距离”、“向落差大于10m的断层推进的工作面与断层的距离”、“向煤层倾角剧烈变化（＞15°）的向斜或背斜推进的工作面与之的距离”、“向煤层侵蚀、合层或厚度变化部分推进的工作面接近煤层变化部分的距离”、“工作面内部遗留巷道情况”和“是否属于异形工作面”。回采工作面尺度下的“开采类影响因素”及对应“危险指数分值”见表7。

表7 评价冲击危险性的开采类影响因素及对应危险指数分值（回采工作面尺度）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 影响因素 | 影响因素定义 | 影响因素分类 | 危险指数分值 |
| 1 | *W*1 | 保护层开采年限 | ＜3a | 0 |
| ≥3a | 1 |
| 2 | *W*2 | 保护层与被保护层的距离 | ＜50m | 0 |
| ≥50m | 1 |
| 3 | *W*3 | 工作面距上保护层开采  遗留煤柱的水平距离*h*z | *h*z＞60m | 0 |
| 30m＜*h*z≤60m | 1 |
| 0m＜*h*z≤30m | 2 |
| *h*z≤0m（煤柱下方） | 3 |
| 4 | *W*4 | 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 |
| 5 | *W*5 | 工作面长度*L*m | *L*m＞300m | 0 |
| 150m＜*L*m≤300m | 1 |
| 100m＜*L*m≤150m | 2 |
| *L*m≤100m | 3 |
| 6 | *W*6 | 区段煤柱宽度*d* | *d*＜3m，或*d*＞50m | 0 |
| 3m≤*d*＜6m | 1 |
| 6m≤*d*＜10m | 2 |
| 10m≤*d*≤50m | 3 |
| 7 | *W*7 | 留底煤厚度*t*d | *t*d=0m | 0 |
| 0m＜*t*d＜1m | 1 |
| 1m≤*t*d＜2m | 2 |
| *t*d≥2m | 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＞300m | 0 |
| 200m＜*L*mc≤300m | 1 |
| 100m＜*L*mc≤200m | 2 |
| *L*mc≤100m | 3 |
| 9 | *W*9 | 向落差大于10m的断层推进的工作面与断层的距离*L*d | *L*d＞100m | 0 |
| 50m＜*L*d≤100m | 1 |
| 20m＜*L*d≤50m | 2 |
| *L*d≤20m | 3 |
| 10 | *W*10 | 向煤层倾角剧烈变化（＞15°）的向斜或背斜推进的工作面与之的距离*L*z | *L*z＞50m | 0 |
| 20m＜*L*z≤50m | 1 |
| 10m＜*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接近煤层变化部分的距离*L*b | *L*b＞50m | 0 |
| 20m＜*L*b≤50m | 1 |
| 10m＜*L*b≤20m | 2 |
| *L*b≤10m | 3 |
| 12 | *W*12 | 工作面内部遗留巷道  情况 | 无 | 0 |
| 1条 | 1 |
| 多条 | 2 |
| 13 | *W*13 | 是否属于异形工作面 | 否 | 0 |
| 是 | 2 |

5.1.3.4巷道尺度

巷道冲击危险性评价是以巷道为评价对象，对其掘进过程或周围存在开采活动时发生冲击地压的可能性进行的区域评价。该评价 “影响因素”主要是针对巷道的具体工况进行选取。巷道尺度包括“地质类影响因素”和“开采类影响因素”。

巷道尺度的“地质类影响因素”与采区（盘区）尺度的“地质类影响因素”相同。巷道尺度下的“地质类影响因素”及对应“危险指数分值”见表5。

巷道尺度的“开采类影响因素”包括“保护层开采年限”、“采区内保护层与被保护层的距离”、“巷道距上保护层开采遗留煤柱的水平距离”、“巷道断面”、“区段煤柱宽度”、“留底煤厚度”、“向采空区掘进的巷道其与采空区的距离”、“向落差大于3m的断层推进的巷道其迎头与断层的距离”、“向煤层倾角剧烈变化（＞15°）的向斜或背斜推进的巷道其迎头与之的距离”和“向煤层侵蚀、合层或厚度变化部分推进的巷道接近煤层变化部分的距离”。巷道尺度下的“开采类影响因素”及对应“危险指数分值”见表8。

表8 评价冲击危险性的开采类影响因素及对应危险指数分值（巷道尺度）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 影响因素 | 影响因素定义 | 影响因素分类 | 危险指数分值 |
| 1 | *W*1 | 保护层开采年限 | ＜3a | 0 |
| ≥3a | 1 |
| 2 | *W*2 | 采区内保护层与被保护层的距离 | ＜50m | 0 |
| ≥50m | 1 |
| 3 | *W*3 | 巷道距上保护层开采  遗留煤柱的水平距离*h*z | *h*z＞60m | 0 |
| 30m＜*h*z≤60m | 1 |
| 0m＜*h*z≤30m | 2 |
| *h*z≤0m（煤柱下方） | 3 |
| 4 | *W*4 | 巷道断面 | 宽巷 | 0 |
| 非宽巷 | 1 |
| 5 | *W*5 | 区段煤柱宽度*d* | *d*＜3m，或*d*＞50m | 0 |
| 3m≤*d*＜6m | 1 |
| 6m≤*d*＜10m | 2 |
| 10m≤*d*≤50m | 3 |
| 6 | *W*6 | 留底煤厚度*t*d | *t*d=0m | 0 |
| 0m＜*t*d＜1m | 1 |
| 1m≤*t*d＜2m | 2 |
| *t*d≥2m | 3 |
| 7 | *W*7 | 向采空区掘进的巷道其  停掘位置与采空区的距离*L*jc | *L*jc＞150m | 0 |
| 100m＜*L*jc≤150m | 1 |
| 50m＜*L*jc≤100m | 2 |
| *L*jc≤50m | 3 |
| 9 | *W*9 | 向落差大于3m的断层推进的巷道其迎头与断层的距离*L*d | *L*d＞100m | 0 |
| 50m＜*L*d≤100m | 1 |
| 20m＜*L*d≤50m | 2 |
| *L*d≤20m | 3 |
| 10 | *W*10 | 向煤层倾角剧烈变化（＞15°）的向斜或背斜推进的巷道其迎头与之的距离*L*z | *L*z＞50m | 0 |
| 20m＜*L*z≤50m | 1 |
| 10m＜*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巷道接近煤层变化部分的距离*L*b | *L*b＞50m | 0 |
| 20m＜*L*b≤50m | 1 |
| 10m＜*L*b≤20m | 2 |
| *L*b≤10m | 3 |

注：巷道断面面积小于20m2为非宽巷，≥20m2为宽巷。

5.2 基于数理模型的冲击地压危险性定量评价

5.2.1 基于煤岩内部能量状态的评价方法

静载产生的弹性应变能与采动带来的动载能量叠加超过了围岩破坏所需要的最小能量时，会发生冲击地压，评价方法如式3所示。

*E*s + *E*d- *E*f > 0 （3）

式中，*E*s为静载产生的弹性应变能，*E*d为采动带来的动载能量，*E*f煤岩破坏所需要的最小能量。

5.2.2 基于临界应力的评价方法

当实际应力与临界应力的比值大于实际塑性区深度与理论塑性区深度的比值时，巷道易发生冲击地压。临界应力指数的计算见式4。

（4）

式中，*I*cr为临界应力指数；*P*为待评价区域的实际应力；*P*cr为理论计算得到的临界应力；*R*cr为计算得到的塑性区深度；*R*为实际测量的塑性区深度。

将具有相同冲击倾向性、发生过冲击地压的煤层的冲击地压发生指标记为*I*cr0，根据*I*cr和*I*cr0的关系得出的冲击危险性分级见表9。

表9 由临界应力指数获得的冲击危险性分级

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *I*cr | *I*cr<0.25 *I*cr0 | 0.25 *I*cr0<*I*cr<0.5 *I*cr0 | 0.5 *I*cr0<*I*cr<0.75 *I*cr0 | *I*cr>0.75 *I*cr0 |
| 冲击危险性 | 无冲击危险 | 轻度冲击危险 | 中度冲击危险 | 重度冲击危险 |

5.2.3 基于应力叠加的评价方法

在某一点自重应力的基础上，叠加各个诱发冲击地压因素对该点产生的应力增量，获得煤体的总应力，用煤体总应力与煤岩体单轴抗压强度比值来定量描述冲击危险性，如式5所示。

（5）

式5中，*Rc*(*x*)为冲击危险性指数，*σ*(*x*)为某一点总应力，*σ*c为煤岩的单轴抗压强度。

冲击危险性判断指数获得的冲击危险性分级见表10。

表10 由冲击危险性判断指数获得的冲击危险性分级

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *I*c(*x*) | 0.0～1.5 | 1.5～2 | 2～2.5 | ＞2.5 |
| 冲击危险性 | 无冲击危险 | 轻度冲击危险 | 中度冲击危险 | 重度冲击危险 |

5.2.4 基于顶板-煤柱结构失稳的评价方法

当作用在承载煤柱上的支承压力大于煤体支承强度时，这部分煤柱会易发生冲击地压。煤柱冲击危险的评价方法见式6。

（6）

式中，*R*c为煤柱冲击指数，*σ*s为煤体实测的支承压力，*σ*0为煤体的单轴抗压强度，*μ*为煤体平均抗压系数。

由煤柱冲击指数获得的冲击危险性分级见表11。

表11 由煤柱稳定性指数获得的冲击危险性分级

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *R*c | 0～1 | 1～1.2 | 1.2～1.5 | ＞1.5 |
| 冲击危险性 | 无冲击危险 | 弱冲击危险 | 中等冲击危险 | 强冲击危险 |

5.3 基于冲击地压监测数据的统计分析评价方法

5.3.1 冲击地压监测数据的来源

冲击地压监测数据来源主要包括以下监测方法：（1）微震监测方法；（2）地音监测方法；（3）钻屑监测方法；（4）采动应力监测方法。四种监测数据的获取方法可依据中华人民共和国国家标准《冲击地压测定、监测与防治方法》中的第4至第7部分。

对于其他冲击地压监测方法或矿压监测方法获取的数据，如电磁辐射、工作面支架阻力和锚杆（索）受力等各类数据，可在专家论证后决定是否采用。

5.3.2 冲击地压监测数据的格式

冲击地压监测数据的格式应符合《煤矿冲击地压感知数据接入细则》中相应的要求。

5.3.3 针对单一类型监测数据的评价方法

针对单一类型的监测数据进行冲击地压危险性评价，可以采用统计分析方法和机器学习方法两种，具体如下：

5.3.3.1 统计分析方法

对于微震、地音、钻屑和采动应力监测方法所获得的监测数据，其数值与冲击地压危险性存在正相关关系，所以可据此进行区域的冲击危险性评价。

首先将需要进行评价的区域栅格化，根据现有监测数据，采用插值法等统计方法，计算出每个栅格节点的冲击地压危险性评价指标值，形成对整个区域的评价。

一个基于微震监测的冲击地压危险性评价结果如图1所示。

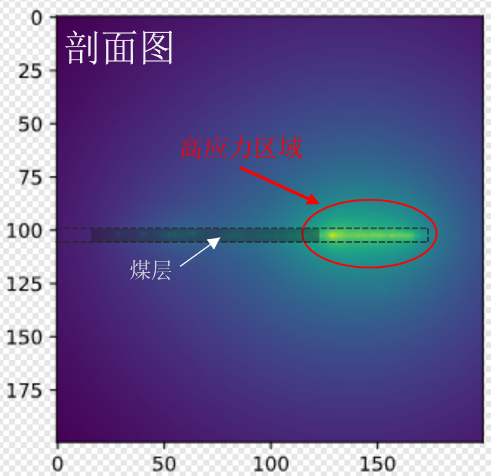
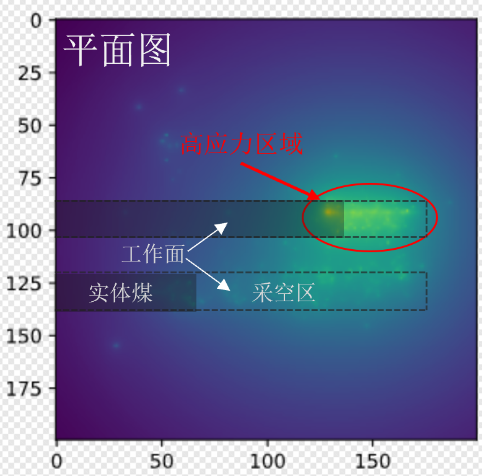


图1 基于微震监测的冲击地压危险性评价结果

5.3.3.2 机器学习方法

通过对历史样本集的学习自动确立预警判据，并能随监测时间推移，不断加入新样本并重新训练样本集，自动生成新的预警判据。

机器学习方法高度依赖历史样本，所以数据量要求大于50条。数据量过低会造成训练后的模型存在较大误差，故应设法收集更多数据。

1. 监督式学习方法

监督学习方法需要监测数据和对应的预警指标两部分作为训练数据。监测数据作为描述冲击地压的特征，预警指标作为评价冲击地压危险性的结果。

冲击地压监测原始数据由相应的监测方法获取确定，之后需要对数据进行特征提取，具体采用如下方法：①对于微震、低音等波形数据，采用信号处理分析原理，分别对时域和频域进行特征提取。设为实时采集的监测信号，其功率谱为，具体特征计算方法参见表12；②对于钻屑法和采动应力法的监测数据，可直接利用其监测数值作为特征数值。

表12 波形数据特征提取方法

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 分类 | 特征 | 公式定义 |
| 1 | 时域 | 均值 |  |
| 2 | 方差 |  |
| 3 | 均方根值 |  |
| 4 | 峰值 |  |
| 5 | 峰值因子 |  |
| 6 | 峭度指标 |  |
| 7 | 偏度 |  |
| 8 | 频域 | 频率重心 |  |
| 9 | 频段能量 |  |

冲击地压危险性评价指标可采用以下两种类型：①通过经验方法，人为划定冲击地压监测数据的危险等级，如1-3级等；②将实际发生的动力现象，如煤炮、煤岩弹射、矿震和冲击地压等动力现象作为危险性评估判据。

监督学习算法可采用逻辑回归、决策树、SVM支持向量机或集成算法等，具体可以在开展训练时根据评价结果的准确性决定。

一个基于监督学习的冲击地压危险性评价模型如图2所示，其中的圆圈代表监测数据点，根据是否空心将监测数据划分为低冲击地压危险性和高冲击地压危险性两种等级，利用监督学习算法得到图中的虚线，之后便可以判断新的监测数据的危险性属于何种冲击地压危险性等级。

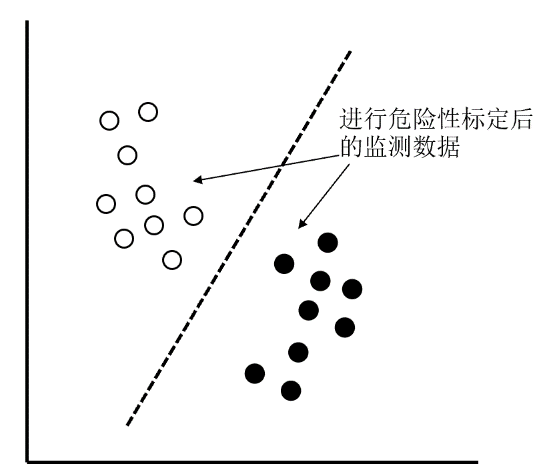


图2 监督学习方法获得的预测模型

2. 无监督式学习方法

因无监督学习无需标定监测数据的预警指标，所以可作为一种补充方法，检测所收集的冲击地压监测数据是否存在较大差异性，如可分类，再判断各类监测数据与冲击地压危险性的联系，最终达到冲击地压危险性评价的目的。

无监督学习算法可采用K均值或者层次聚类方法等，具体可以在开展训练时根据评价结果的准确性决定。

一个基于无监督学习的冲击地压危险性评价模型如图3所示，其中的圆圈代表监测数据点，但监测数据未进行认为标定，利用无监督学习算法得到图中的椭圆虚线框和矩形虚线框两种分类，在获得分类后，还需要人为分析每个类型所代表的冲击地压危险等级，之后便可以判断新的监测数据的危险性属于何种分类，进而确定其所代表的冲击地压危险等级。

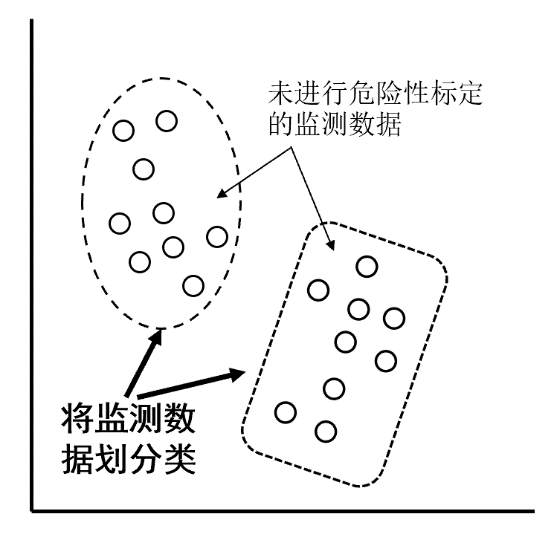


图3 无监督学习方法获得的预测模型

5.3.4 多监测因素数据融合方法

以上冲击地压危险性评价方法只针对单一监测方法，还可以采用数据融合方法，将多个监测方法获得的数据进行融合，最终形成统一的冲击地压危险性评价结果。可以采用统计分析方法和机器学习方法。

5.3.4.1 统计分析方法。

可以选用加权平均法、卡尔曼滤波法和多贝叶斯估计法等，具体可以在开展计算时根据评价结果的准确性决定。

5.3.4.2. 机器学习方法

直接将多个监测方法获得的监测数据整合在一起，统一作为描述冲击地压的特征进行训练，与单一监测数据方法一样，可分别以监督学习和非监督学习方法开展，要求与单一监测数据方法一致。

6 煤矿冲击地压危险性定量评价方式与流程

6.1 评价方式

6.1.1 由第三方机构或团体按照本文件规定，经过现场实地调研获取被评价煤矿冲击地压危险性相关指标参数，得出煤矿冲击地压危险性评价结论。

6.2 评价流程

6.2.1 获取工作面条件相关评价指标值，根据煤矿冲击地压危险性定量评价指标及参考要素相关要求，以符合相应资质要求的技术报告为依据，确定工作面的地质条件、煤岩力学条件、矿井采掘布置等评价指标。

6.2.2 采用本标准中的定量评价方法对冲击地压危险性进行评价，根据计算结果对应的评价结果集，确定巷道或工作面的冲击地压危险性。

6.3 评价报告

6.3.1 采煤工作面概况应阐明工作面煤层厚度、赋存条件和开采技术参数，并明确评价时间及相关评价人员。

6.3.2 冲击地压危险性定量评价应详细阐明评价流程，并给出工作面或巷道的冲击地压危险性定量评价结果。

6.3.3 最后根据评价结论给出冲击地压防治的问题及建议，并由评审人员签字。