

ICS 73.020

CCS D 15

团体标准

T/CGA XX—202X

金矿深井岩爆防治技术规范

Technical specifications for rockburst prevention and control in deep
underground mining of gold mines

（征求意见稿）

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国黄金协会发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语与定义 1

4 通则 2

5 资料收集与调查测试 3

6 岩爆风险分析与评估 4

7 岩爆监测与预警 7

8 岩爆超前预防设计 7

9 工作面爆破预处理 8

10 采场与矿柱卸压 9

11 抗岩爆支护 10

附录 A（规范性） 岩爆等级评价方法 13

附录 B（规范性） 岩爆事件基本信息记录表 15

参考文献 16

前 言

本文件按照GB/T 1.1—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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国黄金协会提出。

本文件由全国黄金标准化技术委员会（SAC/TC 379）归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

金矿深井岩爆防治技术规范

1 范围

本文件规定了金矿深井岩爆防治技术的通则、资料收集与调查测试、岩爆风险分析与评估、岩爆监测与预警、岩爆超前预防设计、工作面爆破预处理、采场与矿柱卸压、抗岩爆支护等方面的要求。

本文件适用于金矿深井岩爆的防治。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 6722 爆破安全规程

GB 16423 金属非金属矿山安全规程

GB 50021 岩土工程勘察规范

GB/T 50266 工程岩体试验方法标准

GB 51036 有色金属矿山井巷工程质量验收规范

KA/T 22.3 矿山隐蔽致灾因素普查规范 第3部分：金属非金属矿山及尾矿库

T/CGA 027 金矿岩爆倾向性评价 钻孔岩芯多指标综合法

3 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

岩爆 rockburst

岩体中聚积的弹性变形势能突然猛烈释放，导致岩石爆裂或弹射出来的现象。

注：包括应变型岩爆、矿柱型岩爆、断层滑移型岩爆。

3.2

岩爆风险 **rockburst risk**

岩爆发生的可能性及其造成的后果。

3.3

爆破预处理 **blast preconditioning**

以爆破方式破碎局部岩体并降低岩体刚度和承载能力的方法。

4 通则

4.1 金矿深井岩爆防治宜分阶段进行，各个阶段开展的主要工作包括：

- a) 设计阶段宜开展资料搜集、岩石力学试验、原岩应力测试、岩体质量评估、岩爆倾向性评价，有岩爆倾向的，应开展岩爆风险预评估、岩爆监测与防治措施制定等工作。
- b) 基建阶段和生产阶段宜开展资料搜集、岩石力学补充试验、原岩应力补充测试、岩体质量动态评估、岩爆倾向性补充测试，有岩爆倾向的，应开展岩爆监测与预警、岩爆风险动态评估岩爆防治专项设计、岩爆治理专项施工等工作。

4.2 存在下列条件之一的，应当进行岩爆倾向性研究：

- a) 有强烈震动、瞬间底鼓或帮鼓、矿岩弹射等现象的；
- b) 相邻矿山开采同一深度发生过岩爆的；
- c) 开采深度超过1 000 m的。

岩爆倾向性研究中的岩石取样和试验应按KA/T 22.3 的相关要求进行，并宜按照T/CGA 027 或附录A的具体要求开展岩爆倾向性评价。

4.3 岩爆风险评估宜进行岩爆风险等级划分，岩爆风险等级宜根据岩爆等级和岩爆破坏严重程度划分为低风险、中等风险、高风险和极高风险四个等级。岩爆风险等级划分符合表 1 的相关规定。

- a) 岩爆等级宜根据岩爆倾向性分析结果或岩爆监测结果确定。岩爆等级可划分为无岩爆、轻微（或弱）岩爆、中等岩爆、强烈岩爆四个等级。岩爆等级应按照T/CGA 027或附录A的要求进行评价。
- b) 岩爆破坏严重程度宜综合考虑潜在的岩爆破坏深度、岩爆荷载、变形收敛值、抛射速度和岩爆能量等因素综合确定，岩爆破坏程度可分为轻微、中度和重度三个等级。岩爆破坏程度可参照表2选择执行。

表 1 岩爆风险等级划分标准

岩爆等级	破坏严重程度
------	--------

	轻微	中度	重度
无岩爆	I	I	I
轻微岩爆	I	II	II
中等岩爆	II	III	III
强烈岩爆	III	III	IV
I表示低风险，II表示中等风险，III表示高风险，IV表示极高风险。			

4.4 开采深度超过800 m或有岩爆倾向的地下矿山，应建立岩爆在线监测系统。

4.5 矿山采用采场与矿柱卸压、工作面爆破预处理或抗岩爆支护等方式进行实地岩爆防治时，应制定专项施工方案与安全技术措施，现场实施应满足GB 16423和GB 6722的相关规定。

4.6 应根据现场监测结果，结合必要的数值模拟分析，评估岩爆潜在发生区域的微震事件衰减程度和岩爆风险水平，满足返回条件后方可进入作业。

4.7 开展金矿深井岩爆防治工作的人员应执行GB 16423的相关要求，并遵守矿山现场的安全管理规定。

5 资料收集与调查测试

5.1 资料收集按照矿山处于的不同阶段应符合下列要求：

- 勘察阶段的资料主要包括区域地质成果及矿区地形地貌，地层岩性、地质构造、水文地质条件、工程地质条件、环境地质条件、围岩与矿体类别及其岩石力学测试结果、钻孔编录信息等；
- 设计阶段的资料主要包括安全设施设计、采矿方法与井巷工程设计、岩爆倾向性评价与岩爆预测分析结果、岩爆监测方案以及岩爆防治技术措施等；
- 基建阶段和生产阶段的资料主要包括专项施工方案、施工过程资料、现场调查资料、现场测试数据、地压监测数据以及现场岩爆实测信息等。

5.2 宜充分利用勘察钻孔及井下暴露空间开展结构面调查，并对相关矿岩开展岩体调查与测试，相关调查与测试应符合下列要求：

- 结构面调查内容包括断层、软弱夹层及优势节理分布、产状、形态、张开度、粗糙度、充填胶结特征、规模和充水情况等；
- 针对典型矿岩条件，选择有代表性的测段，开展钻孔深部岩体测试，获得结构面产状、发育密度等。

5.3 开采深度超过800 m的矿山，宜开展原岩应力的现场测试和地应力场反演工作，有条件的矿山可开展扰动应力的测试：

- a) 矿山原岩应力现场测量方法可采用GB/T 50266或DB/T 14中的方法；
- b) 矿山原岩应力现场测量的测点数量应不少于3个，且至少3个测点应处于不同标高，同一测点测试数量不少于2次。

5.4 应对矿体及其上盘、下盘和涉及井巷工程的典型岩体分别取样，并开展常规条件和特殊条件岩石物理力学性质试验，要求如下：

- a) 岩样的取样方法应符合GB 50021的相关规定；
- b) 常规条件岩石物理力学性质试验宜包括岩石的块体密度试验、（天然/饱和）单轴抗压强度试验、单轴压缩变形试验、抗拉强度试验、三轴压缩强度试验等，岩石试件的加工制作及有效数据应按GB/T 50266等的相关规定执行；
- c) 特殊条件岩石力学性质试验宜包括循环加卸载试验等，岩石试件的有效数据不少于3个，试验方法可按GB/T 50266等的相关规定执行。

5.5 应对矿体及其上盘、下盘和涉及井巷工程的典型岩体开展岩体质量评价。岩体质量评价宜采用RMR法、Q法、GSI法、MRMR法、GB/T 50218等方法。

5.6 基建阶段及生产阶段搜集与高应力相关的岩体变形破坏、支护结构变形破坏和岩爆事件等信息，并应符合下列要求。

- a) 与高应力相关的岩体破坏信息：
 - 1) 饼化岩芯的分布位置、深度范围和岩饼厚度等；
 - 2) 巷道或采场围岩剥落和片帮的破坏位置、区域、深度和范围等；
 - 3) 钻孔孔壁发生应力剥落的分布、深度和孔径变化情况。
- b) 支护结构变形破坏信息包括支护方式和结构的破坏形态、分布区域、监测的支护体应力等。
- c) 岩爆事件信息包括但不限于附录B的要求。
- d) 矿山宜建立岩爆事件数据库，记录并统计岩爆事件信息及相应的监测信息。

6 岩爆风险分析与评估

6.1 岩爆风险的预评估宜预判岩爆可能发生的位置，可按照表2预判岩爆发生形式，分析岩爆可能造成破坏的严重程度。

6.2 矿山应综合考虑地应力状态、工程地质条件、水文地质条件、开采顺序和岩石力学特性等因素，可采用岩石力学判据法、数值模拟法、监测预警法或经验法等进行岩爆风险的动态评估，要求如下：

- a) 岩石力学判据法可选用岩石强度理论判据法、能量理论判据法、脆性理论判据法或刚度理论判据法等；
 - b) 数值模拟法宜同时考虑岩石本构特性、开挖尺寸、动力扰动、支护条件等因素，分析开挖扰动后岩体能量聚集、转移与释放过程，评估可能的岩爆等级及发生区域；
 - c) 监测预警法可选用应力监测、位移监测或微震监测等方法，通过在线监测结果进行岩爆风险的动态评估；
 - d) 经验法宜根据矿山现场岩爆案例情况以及经验进行总结归纳确定，应建立适应于本矿山的岩爆风险评估经验方法。
- 6.3 矿山宜建立涵盖地质-生产-监测的岩爆可视化管控模式，动态评估采掘生产过程中的岩爆发生形式、可能发生位置和破坏严重程度。
- 6.4 宜根据岩爆风险的评估结果，提出岩爆风险的处治技术方案和措施。

表 2 岩爆发生形式和预期破坏严重程度

岩爆发生形式	岩爆破坏机制	破坏严重程度	破坏深度/m	破坏荷载/（ $\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$ ）	收敛值 ^a /mm	速度 ^b v_e /（ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ）	能量/（ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ）
破裂但无弹射	高应力岩石具有少量 多余应变能	轻微	<0.25	<7	15	<1.5	非关键的
		中度	<0.75	<20	30		非关键的
		重度	<1.5	<50	60		非关键的
破裂并发生弹射	高应力岩石具有显著 过高应变能	轻微	<0.25	<7	50	1.5~3	非关键的
		中度	<0.75	<20	150		2~10
		重度	<1.5	<50	300		5~25
远场地震引起弹射	地震能量传递给 节理或破碎岩石	轻微	<0.25	<7	<150	>3	3~10
		中度	<0.75	<20	<300		10~20
		重度	<1.5	<50	>300		20~50
冒落	强度自身不足，地震 加速度增加了驱动力	轻微	<0.25	<7 $g/（a+g）^c$	—	—	—
		中度	<0.75	<20 $g/（a+g）^c$	—	—	—
		重度	<1.5	<50 $g/（a+g）^c$	—	—	—
^a 有效支护系统下的收敛值； ^b v_e ——位移或抛射岩石的速度； ^c a ——地震加速度； g ——重力加速度。							

7 岩爆监测与预警

7.1 金矿深井的岩爆监测与预警，要求如下：

- a) 基建阶段宜根据井巷工程掘进过程中的岩爆风险动态评估、岩爆影响区域大小等资料，开展岩爆动态监测与预警，制定岩爆防治措施；
- b) 生产阶段宜根据岩爆风险评估资料，采用区域与局部相结合的岩爆监测方法开展岩爆监测。根据长期监测结果，优化岩爆预警指标，制定岩爆防治专项方案。

7.2 采用微震监测等进行区域监测时，要求如下：

- a) 宜根据监测范围、矿岩性质、岩爆风险分析与评估等资料，选定传感器类型及参数、优化设计传感器间距及数量、传感器安装方式、通讯及供电方案等内容，原则上微震有效监测范围应覆盖岩爆潜在发生区域，传感器的布置宜在空间上包围岩爆潜在发生区域；
- b) 通过对微震信号进行远距离实时动态监测，记录微震事件发生的时间、能量、震级及三维空间坐标、频次等参数。

7.3 采用应力监测等对岩爆可能发生的目标区域进行局部监测时，宜根据监测位置、矿岩性质、岩爆风险分析与评估、地应力测试等资料，选定传感器类型及安装方案、确定监测周期及频率等。

7.4 岩爆预警宜在实验室试验或类比法设定岩爆风险预警临界指标初值的基础上，根据现场实际监测资料和积累的数据，综合确定并动态调整岩爆风险的预警临界指标。

7.5 金矿深井应按照GB 16423的相关要求，设立专门机构或配备专职人员负责地压管理工作，做好现场监测和预测、预报工作。

8 岩爆超前预防设计

8.1 金矿深井岩爆超前预防应从采矿方法、规划设计、回采顺序、回采方向、采场结构参数、井巷工程设计等方面综合开展。

8.2 金矿深井的规划设计，遵循的原则要求如下：

- a) 宜充分考虑地质条件、岩体结构、地应力状态等，合理布局巷道和采场；
- b) 可采用数值模拟等方法对未来的采矿过程进行分析。

8.3 金矿深井采矿方法的选择，从岩爆超前预防角度，遵循的原则要求如下：

- a) 宜优先选择不留设顶柱、底柱的采矿方法；
- b) 宜优先考虑下行式充填采矿方法；

c) 采用上行式采矿方法时,应采取避免上部待采矿岩高应力过度集中的措施。

8.4 金矿深井的回采顺序、回采方向、采场结构参数等,宜根据地应力状态、岩体力学特性与地质条件等,采用数值模拟等方法进行分析确定,并根据现场监测结果进行复核和优化调整。

9 工作面爆破预处理

9.1 对于金矿深井开拓工程、采准工程中易发生应变型岩爆的区域,宜采用工作面爆破等预处理的方法,降低潜在的岩爆风险水平。

9.2 工作面爆破预处理的设计总体原则,要求如下:

- a) 宜通过爆破方式,在巷道围岩内部目标区域形成相互贯通的岩体质量弱化带,且确保巷道表面围岩无明显破坏;
- b) 应根据开拓工程、采准工程所处的应力水平和结构面产状发育特征,确定工作面爆破预处理孔的数量和位置;
- c) 可在巷道顶部与底部的边角附近设置边角孔,在掌子面两侧的夹角附近设置边帮孔,在掌子面布置平直孔;
- d) 工作面爆破预处理的炮孔布孔参数和爆破参数,应根据地质条件、应力状态、岩体力学特性、巷道形状等综合分析确定。

9.3 工作面爆破预处理的方案设计,要求如下。

- a) 边角孔宜朝向远离巷道空间的斜前方布置,与水平面保持一定夹角,钻孔长度宜与正常掘进爆破炮孔长度保持一致;边帮孔宜朝向远离巷道空间的斜前方布置,与水平面夹角为 0° ,炮孔长度宜与正常掘进爆破炮孔长度保持一致;平直孔宜垂直掌子面布置,与水平面夹角为 0° ,炮孔长度宜为正常掘进爆破炮孔长度的 2 倍。
- b) 工作面爆破预处理炮孔直径宜与正常掘进爆破炮孔直径保持一致。
- c) 工作面爆破预处理炮孔应在孔底装药,装药长度宜为 0.6 m~0.9 m,炮孔堵塞长度不应小于 1/3 炮孔长度。
- d) 预处理炮孔宜同时起爆,并在间隔不少于 400 ms 以后起爆正常掘进爆破炮孔。
- e) 宜采用现场单孔爆破试验、现场多孔爆破工业试验和数值模拟相结合的方法,对工作面爆破预处理的设计方案进行分析论证与优化。

9.4 工作面爆破预处理的效果评估,要求如下:

- a) 现场单孔爆破试验阶段,宜采用钻孔摄影、超声波测井、钻孔声波测试、地质雷达、瞬变电磁法或微震监测等方法,综合评估爆破预处理的岩体质量弱化效果;

- b) 现场多孔爆破工业试验阶段,宜采用地质雷达、瞬变电磁法或微震监测等方法综合开展爆破预处理效果评估;
- c) 推广应用阶段,宜通过中长期的微震监测、岩爆现象观测与统计等方法综合开展岩爆处治效果的分析评估,宜建立现场岩爆记录台账,统计中长期岩爆发生频率与等级、工作人员再入返回作业的时间等关键数据。

10 采场与矿柱卸压

10.1 对于金矿深井生产过程中岩爆风险高且对生产过程产生直接威胁的采场或矿柱,可采用非爆破卸压帷幕或爆破卸压帷幕方法,降低岩爆风险水平。

10.2 采场与矿柱卸压的设计总体原则,要求如下:

- a) 宜通过爆破或非爆破方式,在采场或矿柱内部目标区域形成相互贯通的岩体质量弱化带,且确保目标区域不会发生冒落破坏;
- b) 应根据采场或矿柱所处的空间环境、应力水平以及微震监测事件等级和频率,以切断导致潜在岩爆发生的应力传递路径为目标,确定卸压帷幕的几何位置和具体布置;
- c) 采场与矿柱卸压的卸压孔布孔参数或爆破参数,应根据地质条件、应力状态、岩体力学特性等综合分析确定。

10.3 采用非爆破卸压帷幕方法开展采场与矿柱卸压的方案设计,要求如下:

- a) 卸压钻孔深度应超过矿柱支承压力峰值位置;
- b) 卸压钻孔直径宜为100 mm~200 mm;
- c) 卸压钻孔间距应保证各钻孔周围的卸压区相互贯通,形成弱化带,钻孔间距宜不超过3倍孔径;
- d) 当现场实测卸压孔采用单排布置卸压效果达不到要求时,宜采用双排“三花”布置;
- e) 宜采用现场单孔试验、现场多孔试验和数值模拟相结合的方法,对采场与矿柱卸压的设计方案进行分析论证与优化。

10.4 采用爆破卸压帷幕方法开展采场与矿柱卸压的方案设计,要求如下:

- a) 爆破孔开孔位置、倾角、深度应根据现场条件、矿柱位置等综合确定;
- b) 爆破孔直径宜为60 mm~165 mm;
- c) 爆破孔间距应保证各爆破后的卸压区相互贯通,形成弱化带;
- d) 装药量应根据爆破岩层层位、厚度、强度等综合确定;
- e) 封孔长度不应小于爆破孔深度的1/3,且不应小于5 m;

- f) 引线连接宜采用孔内并联、孔间串联的方式；
- g) 宜采用现场单孔爆破试验、现场多孔爆破试验和数值模拟相结合的方法，对采场与矿柱卸压的设计方案进行分析论证与优化。

10.5 采场与矿柱卸压的效果评估，要求如下：

- a) 现场单孔试验、现场多孔试验、单孔爆破试验或多孔爆破试验阶段，宜采用钻孔摄影、超声波测井、钻孔声波测试、地质雷达、瞬变电磁法或微震监测等方法，进行效果的综合评估；
- b) 推广应用阶段，宜通过中长期的微震监测、卸压帷幕两侧应力监测或多点位移监测、岩爆现象观测与统计等综合性方法开展岩爆处治效果的分析评估，宜建立现场岩爆记录台账，统计中长期岩爆发生频率与等级、工作人员再入返回作业的时间等关键数据。

11 抗岩爆支护

11.1 金矿深井宜根据潜在的岩爆发生形式和岩爆破坏严重程度，对重点区域井巷工程进行针对性的抗岩爆支护。

表 3 支护系统应达到的控制效果

岩爆发生形式	破坏严重程度	支护系统的控制效果
破裂但无弹射	轻微	允许轻微的破坏或通过加固岩体以防止破裂
	中度	限制岩体破裂和控制岩体位移
	重度	控制岩体破裂并且大的岩石位移
破裂并发生弹射	轻微	保持住少量的喷出岩石并限制岩石位移
	中度	保持喷出的岩石并留住位移的岩石
	重度	保持住喷出的岩石同时承受大的岩石位移，并吸收能量
远场地震引起弹射	轻微	用吸收能量的支护系统保留少量的喷出岩石
	中度	保持住喷出的岩石，吸收能量并限制住岩石位移
	重度	保持住喷出的岩石，吸收能量，并限制住大的岩石位移
冒落	轻微	加固岩体以防止破坏或崩解
	中度	加固岩体以保持和支撑不稳定的岩石
	重度	提供最大的承载能力，采用强力支护保持岩体的完整性

11.2 金矿深井的抗岩爆支护设计总体原则，要求如下：

- a) 矿山宜根据待支护位置的具体支护需要，从荷载需求、变形需求和能量需求等方面开展抗岩爆支护设计；
- b) 根据潜在的岩爆发生形式和破坏严重程度，支护系统实现的作用宜满足表 3 要求；
- c) 矿山宜对常用支护元件进行力学性能测试并确定其峰值荷载、极限位移量和能量吸收能力等指标，并明确特殊能量吸收类支护元件的相关指标；
- d) 对于待支护位置的抗岩爆支护系统的能力应满足表 4 的相关要求。

表 4 抗岩爆支护系统能力要求

岩爆发生形式	破坏严重程度	荷载/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$)	位移/mm	能量/ ($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$)
(破裂) 但无弹射	轻微	50	30	非关键的
	中度	50	75	非关键的
	重度	100	150	非关键的
(破裂) 导致弹射	轻微	50	100	非关键的
	中度	100	200	10~20
	重度	150	>300	20~50
远场地震引起弹射	轻微	100	150	10~20
	中度	150	300	20~50
	重度	150	>300	>50
冒落	轻微	100	无法提供	无法提供
	中度	150	无法提供	无法提供
	重度	200	无法提供	无法提供
最大实际支护极限		200	300	50

11.3 金矿深井的井巷工程抗岩爆支护方案设计，要求如下：

- a) 宜采用钢筋网（或纤维）、喷射混凝土、锚杆等主动支护方式；
- b) 巷道顶板宜采用砂浆或树脂锚固剂等作为锚固介质的全长锚固式锚杆进行系统支护，巷道边帮可采用摩擦式锚杆进行系统支护；
- c) 对于变形和能量需求较大的区域，宜在常用支护元件主动支护的基础上，采用能量吸收类锚杆联合网带等进行二次支护，且能量吸收类锚杆的锚固深度应超过常用支护元件的锚固深度不少于 20 cm；
- d) 对于变形和能量需求较大的区域，应在方案设计时进行必要的深孔多点位移、锚杆（索）支

护力、工程变形等监测设计。

11.4 矿山宜根据现场抗岩爆的支护效果，对抗岩爆支护设计进行反分析与效果评价，为进一步优化抗岩爆支护设计提供依据。

11.5 抗岩爆支护的能量吸收类锚杆应进行现场抗拔力试验，试验数量应符合GB 51036规定的预应力锚杆验收要求。

附 录 A
(规范性)
岩爆等级评价方法

A.1 岩石强度应力比法岩爆等级评价应符合表A.1规定。

表 A.1 岩石强度应力比法岩爆等级评价

判别阈值	岩爆等级
$R_c/\sigma_m > 7$	无岩爆
$4 < R_c/\sigma_m \leq 7$	轻微岩爆
$2 < R_c/\sigma_m \leq 4$	中等岩爆
$R_c/\sigma_m \leq 2$	强烈岩爆
注： R_c 为岩石饱和单轴抗压强度（MPa）， σ_m 为垂直工程纵轴线方向上的最大主应力（MPa）。	

A.2 深井工程断面形状、尺寸和地应力场明确时，可采用岩石应力强度比法评价岩爆等级。采用开挖面断面周边最大切向应力 σ_θ 与岩石饱和单轴抗压强度 R_c 的比值进行岩爆等级评价，岩石应力强度比法的岩爆等级评价应符合表A.2规定。

表 A.2 岩石应力强度比法的岩爆等级评价

判别阈值	岩爆等级
$\sigma_\theta/R_c < 0.3$	无岩爆
$0.3 \leq \sigma_\theta/R_c < 0.5$	轻微岩爆
$0.5 \leq \sigma_\theta/R_c < 0.7$	中等岩爆
$\sigma_\theta/R_c \geq 0.7$	强烈岩爆
注： R_c 为岩石饱和单轴抗压强度（MPa）， σ_θ 为开挖面断面周边最大切向应力（MPa）。	

A.3 工程地质和试验资料缺乏时，岩爆等级评价应符合下列规定：

可开展室内岩石力学试验，计算弹性变形能指数，确定岩石岩爆倾向性。弹性变形能指数应按式(A.1)计算：

$$W_{et} = W_{sp}/W_{st} \quad (\text{A.1})$$

式中：

W_{et} ——弹性变形能指数，无量纲；

W_{sp} ——试样加载到单轴抗压强度的0.7倍~0.8倍应力水平后卸载到单轴抗压强度的0.05倍应力水平时恢复的弹性应变能，单位为焦耳每立方米（J/m³）；

W_{st} ——加卸载循环中试样产生塑性变形和微裂隙而消耗的能量，单位为焦耳每立方米（J/m³）。

弹性变形能指数法的岩爆等级评价应符合表A.3规定。

表 A.3 弹性变形能指数法的岩爆等级评价

判别阈值	岩爆等级
$W_{et} < 2.0$	无岩爆
$2.0 \leq W_{et} < 3.5$	轻微岩爆
$3.5 \leq W_{et} < 5.0$	中等岩爆
$W_{et} \geq 5.0$	强烈岩爆

A.4 矿山的岩爆案例数据、地应力场条件、地质条件、岩石力学性质、支护设计等信息充分时，可采用基于深度学习的人工智能方法动态评价岩爆等级。

附 录 B

(规范性)

岩爆事件基本信息记录表

日期	时间	空间位置/工程方位角	断面尺寸/m	岩石类型	优势结构面产状	运动特征 ^a	声响特征 ^b	爆落岩块特征 ^c	爆坑相对位置 ^d	爆坑面积/m ²	爆坑深度/m	最大弹射距离/m	发生时机 ^e	震级大小 M_R	岩爆发生形式	质点峰值速度/ $m \cdot s^{-1}$	震源与破坏地点空间距离/m	支护方式与参数	支护破坏严重程度	再入返回作业的时间/h
^a 运动特征包括：①—破裂、②—剥落、③—弹射、④—抛掷、⑤—冒落； ^b 声响特征包括：①—噼啪声、②—清脆爆声、③—似爆破声、④—地震晃动声； ^c 弹射岩块特征包括：①—片状、②—板状、③—碎裂状、④—块状； ^d 爆坑相对位置包括：①—顶板、②—边帮、③—底板，可进一步用数字量化描述； ^e 发生时机包括：①—支护前、②—支护中、③—支护后，可进一步描述跟爆破之间的时间关系。																				

参 考 文 献

- [1] GB/T 50218 工程岩体分级标准
 - [2] DB/T 14 原地应力测量水压致裂法和套芯解除法技术规范
 - [3] NB/T 10143 水电工程岩爆风险评估技术规范
 - [4] Hedley D.G.F. Rockburst Handbook for Ontario Handbook Mines[R]. Ottawa, Canada: CANMET, 1992
 - [5] Kaiser, P.K. Canadian Rockburst Support Handbook[M]. Sudbury, Canada: Geomechanics Research Centre, 1996
 - [6] Potvin Y, Hadjigeorgiou J. Ground Support for Underground Mines[M]. Perth, Australia: Australian Centre for Geomechanics, 2020
-