

ICS

CCS 点击此处添加 CCS 号

T/GRM

中关村绿色矿山产业联盟团体标准

T/GRM XXXX—XXXX

围岩爆破振动安全判据构建方法

Method for constructing safety criteria for blasting vibration of surrounding rock

（征求意见稿）

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中关村绿色矿山产业联盟 发布

目 次

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体要求 2

 4.1 监测围岩 2

 4.2 监测爆破参数 2

 4.3 监测测点 2

 4.4 围岩损伤等级 2

 4.5 安全判据指标 3

5 构建流程 3

 5.1 场地筛选与围岩 BQ 定量化表征 3

 5.2 现场测试 4

 5.3 测试数据计算与统计 4

 5.4 围岩爆破振动响应与围岩 BQ 相关性 5

 5.5 BQ 围岩爆破振动安全判据 5

6 工程应用 5

 6.1 安全允许距离计算 5

 6.2 安全允许药量计算 5

附录 A 6

附录 B 7

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》给出的规则起草。

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。

本文件由中关村绿色矿山产业联盟提出。

本文件由中关村绿色矿山产业联盟标准化工作委员会归口。

本文件起草单位：山东科技大学、东南大学、江西省地质局第五地质大队、中国矿业大学、南京理工大学、江西理工大学、安徽理工大学、中煤科工开采研究院有限公司、长安大学、石家庄铁道大学、中铁五局集团有限公司、临沂大学、聊城大学。

本文件主要起草人：王晓、李文鑫、李星、史新帅、张学朋、万义有、刘梁、孙文斌、刘进晓、黄冬梅、袁伟、谢理想、王振、顾琳琳、周浩、潘城、张权、杨建威、柴少波、戎立帆、刘攀飞、薛彦超、屈晓、赵振龙、孟凡宝、刘万荣、侯晓风。

围岩爆破振动安全判据构建方法

1 范围

本文件规定了围岩爆破振动安全判据构建的总体要求、构建流程和工程应用等。

本文件适用于地下工程围岩爆破振动安全判据构建及工程应用。

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/T 50218 工程岩体分级标准

T/CSEB 0008 爆破振动监测技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

爆破振动 blast vibration

爆破引起传播介质沿平衡位置作直线或曲线往复运动的过程。

3.2

峰值质点振动速度 peak particle velocity

振动波形的正向峰值与负向峰值的绝对值中的最大值。

3.3

主振频率 main vibration frequency

介质质点最大振幅对应波的频率。

3.4

比例距离 scaled distance

监测点至爆源中心距离与单段起爆药量的立方根之比。

3.5

岩体基本质量 rock mass basic quality (BQ)

岩体固有的、影响工程岩体稳定性的岩石坚硬程度和岩体完整程度等基本属性。

3.6

岩体完整性指数 intactness index of rock mass

岩体弹性纵波速度与岩石弹性纵波速度之比的平方。

3.7

岩体体积节理数 volumetric joint count of rock mass

每立方米岩体体积内的结构面数目。

3.8

点荷载强度指数 point load strength index

直径 50mm 圆柱体试件径向加压时的点荷载强度。

4 总体要求

4.1 监测围岩

监测围岩可按 GB/T 50218 的工程岩体分级标准，分为下列内容：

- a) 砂岩、页岩、花岗岩、石灰岩等岩性；
- b) 坚硬岩、较坚硬岩、较软岩、软岩等岩石硬度；
- c) 未风化、微风化、中等风化、强风化等风化程度；
- d) 节理、裂隙、小断层数目、产状、尺寸、张开度等结构面参数。

4.2 监测爆破参数

监测场地爆破参数应包括下列内容：

- a) 深孔爆破、浅孔爆破等爆破工艺；
- b) 爆破围岩压力、自由面数目、炮孔封堵材料等爆破参数；
- c) 倾斜炮孔开槽、垂直炮孔开槽等开槽方式；
- d) 耦合装药、不耦合装药、连续装药、分段装药等装药结构；
- e) 10kg~300kg 等爆破药量；
- f) 延时 0ms、25ms、50ms、70ms、110ms 等导爆管延时。

4.3 监测测点

监测测点应符合下列规定：

- a) 纵向围岩、环向或横向围岩均应布置测点，纵向围岩测点集中程度宜为 5~10 m，环向或横向围岩测点集中程度宜为 2~4 m；
- b) 距爆源最近测点距离可为 5 m、10 m、20 m 等；
- c) 监测测点可包括洞（硐）身、洞（硐）口、洞（硐）室交叉点、洞（硐）室群等空间结构。

4.4 围岩损伤等级

围岩损伤等级划分应满足下列要求：

a) 损伤等级划分应分析围岩的损伤破坏特征以及围岩块体结构的滑动位移，围岩损伤破坏特征应按监测围岩波速变化确定；

b) 损伤等级可划分为 I 级、II 级、III 级；

c) 损伤等级应具有特定的定量化描述，I 级损伤应包括围岩块体滑动冒落或滑动位移超过 X_1 mm 或围岩声波降低超过 $Y_1\%$ ；II 级损伤应包括围岩块体滑动位移超过 X_2 mm 或围岩声波降低超过 $Y_2\%$ ；III 级损伤包括围岩块体滑动位移超过 X_3 mm 或围岩声波降低超过 $Y_3\%$ 等。

4.5 安全判据指标

安全判据指标应符合下列规定：

a) 安全判据指标宜采用峰值质点振动速度（PPV）和主振频率（ f ），PPV 应为三向（X、Y、Z 方向）峰值质点振动速度的最大值；

b) 安全判据值应根据围岩岩体基本质量（BQ）分类，BQ 可分为下列类型：

1) $BQ > 550$ ；

2) $451 < BQ < 550$ ；

3) $351 < BQ < 450$ ；

4) $251 < BQ < 350$ ；

5) $BQ \leq 250$ ；

c) 主振频率可分为 $f \leq 10$ Hz、 $10 \text{ Hz} < f \leq 50$ Hz、 $f > 50$ Hz；

d) 应给出不同 BQ 围岩爆破振动安全 PPV 范围，围岩 $BQ > 550$ 、 $f \leq 10$ Hz 时，围岩爆破振动安全 PPV 宜为 20 cm/s~25 cm/s。

5 构建流程

5.1 场地筛选与围岩 BQ 定量化表征

5.1.1 爆破振动监测场地应在爆破振动监测前筛选，应确保场地围岩岩体质量的多样性，应满足 5.1 的要求

5.1.2 围岩 BQ 的定量化表征可参照 GB/T 50218 执行，BQ 可根据岩石饱和单轴抗压强度 R_c 与岩体完整性指数 K_v ，按下式确定：

$$BQ = 100 + 3R_c + 250K_v \quad (1)$$

式中， R_c 和 K_v 采用实测值，当没有实测值时， R_c 可根据实测的岩石点荷载强度指数 $I_{s(50)}$ 的换算值，并按下式换算：

$$R_c = 22.82 I_{s(50)}^{0.75} \quad (2)$$

对于岩体完整性指数，当无条件取得实测值时，可用岩体体积节理数 J_v ，并按表 1 确定对应的 K_v 值。

表 1 J_v 和 K_v 的对应关系

J_v (条/ m^3)	< 3	3 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 35	≥ 35
K_v	> 0.75	0.75 ~ 0.55	0.55 ~ 0.35	0.35 ~ 0.15	≤ 0.15

5.1.3 采用公式（1）计算时，应符合下列规定：

- a) 当 $R_c > 90K_v + 30$ 时，应以 $R_c = 90K_v + 30$ 和 K_v 带入计算 BQ 值；
- b) 当 $K_v > 0.04R_c + 0.4$ 时，应以 $K_v = 0.04R_c + 0.4$ 和 R_c 带入计算 BQ 值。

5.2 现场测试

5.2.1 现场测点布置应满足 5.3 的要求。

5.2.2 现场爆破振动数据测试宜采用三向爆破振动监测仪，并应符合下列规定：

- a) 采样频率宜为 1~50 kHz；
- b) 频率响应范围宜为 0~10 kHz；
- c) 可连续触发记录，记录精度不应小于 0.01 cm/s。

5.2.3 现场围岩损伤测试宜采用岩石声波参数测试仪，并应符合下列规定：

- a) 发射电压宜为 250~1000 V，且分档可选；
- b) 声时采样间隔最小应为 0.1×10^{-6} s，且连续可调；
- c) 声幅测量量程不应小于 60 db，最小分辨率应为 1 db。

5.2.4 现场围岩块体滑动位移宜采用顶板离层仪，并应符合下列规定：

- a) 最大量程不应小于 500 mm；
- b) 读数精度不应大于 1 mm；
- c) 安装锚孔直径宜为 28~33 mm。

5.3 测试数据计算与统计

5.3.1 现场测试过程中以及测试后应对测试数据进行计算与统计，计算与统计内容见附录 A。

5.3.2 围岩岩性、岩石硬度、风化程度、结构面描述、爆破药量、开槽方式、装药结构、导爆管延时、爆破工艺、地下空间结构描述等内容，应通过现场观测、测试以及相关室内试验获得。

5.3.3 峰值质点振动速度 PPV 应通过分析振动波形的正向峰值与负向峰值的绝对值中的最大数值获得，并应符合满足式（3）的要求。

$$PPV = \max\{PPV_x, PPV_y, PPV_z\} \quad (3)$$

式中， PPV_x ， PPV_y ， PPV_z 为三向振动速度波形的峰值速度。

5.3.4 主振频率 f 应按 PPV 对应方向上的速度时程曲线，经傅里叶变换获得。

5.3.5 比例距离 SD 应按下列式计算：

$$SD = \frac{R}{Q^{1/3}} \quad (4)$$

式中，R 为监测点至爆源中心距离，m，Q 为单段起爆药量，kg。

5.3.6 围岩损伤描述和围岩损伤等级确定应满足 5.4 的要求。

5.4 围岩爆破振动响应与围岩 BQ 相关性

5.4.1 PPV 与围岩 BQ 相关性应通过统计分析确定不同位置测点 PPV 与围岩 BQ 的相关性，建立下列基于围岩 BQ 的爆破振动 PPV 传播衰减预测方程确定：

$$PPV = K(BQ) \times \left(\frac{R}{Q^{1/3}} \right)^{-\beta(BQ)} \quad (5)$$

式中， $K(BQ)$ 和 $\beta(BQ)$ 为不同 BQ 围岩场地系数，且具有下列形式：

$$K(BQ) = a \times (BQ)^b + c \quad (6)$$

$$\beta(BQ) = d \times (BQ) + e \quad (7)$$

式中， a 、 b 、 c 、 d 、 e 为拟合系数，通过统计分析拟合得出。

5.4.2 主振频率 f 与围岩 BQ 相关性应统计分析 f 与围岩 BQ 的相关性确定。

5.4.3 围岩爆破振动损伤与围岩 BQ 相关性应包括下列内容：

- a) 统计分析爆破振动后围岩声波降低百分比与围岩 BQ 的相关性；
- b) 统计分析爆破振动后围岩块体滑动位移与围岩 BQ 的相关性。

5.5 BQ 围岩爆破振动安全判据

5.5.1 不同 BQ 围岩爆破振动安全判据内容见附录 B。

5.5.2 不同 BQ 围岩爆破振动安全判据建立应满足 5 的要求。

5.5.3 不同 BQ 围岩爆破振动安全判据建立应基于 6.3 和 6.4 的数据测试、计算与统计分析确定。

5.5.4 重要隧道、隧洞、巷道等工程围岩爆破振动安全判据应进行折减修正，折减系数宜为 0.5~0.8。

6 工程应用

6.1 安全允许距离计算

爆破振动安全允许距离，可按下式计算：

$$R = \left(\frac{a \times (BQ)^b + c}{PPV} \right)^{\frac{1}{d \times (BQ) + e}} \times Q^{1/3} \quad (8)$$

6.2 安全允许药量计算

爆破振动安全允许药量，可按下式计算：

$$Q = \left[R / \left(\frac{a \times (BQ)^b + c}{PPV} \right)^{\frac{1}{d \times (BQ) + e}} \right]^3 \quad (9)$$

附录 B

(资料性)

不同 BQ 围岩爆破振动安全判据

围岩损伤等级 与损伤描述	围岩 BQ	PPV (cm/s)		
		$f \leq 10 \text{ Hz}$	$10 < f \leq 50 \text{ Hz}$	$f > 50 \text{ Hz}$
I (损伤描述 I)	BQ > 550			
	451 < BQ < 550			
	351 < BQ < 450			
	251 < BQ < 350			
	BQ ≤ 250			
II (损伤描述 II)	BQ > 550			
	451 < BQ < 550			
	351 < BQ < 450			
	251 < BQ < 350			
	BQ ≤ 250			
III (损伤描述 III)	BQ > 550			
	451 < BQ < 550			
	351 < BQ < 450			
	251 < BQ < 350			
	BQ ≤ 250			
... (损伤描述...)	BQ > 550			
	451 < BQ < 550			
	351 < BQ < 450			
	251 < BQ < 350			
	BQ ≤ 250			