

花岗岩体和岩洞爆破震动破坏判据

柯吉恩

本文对爆破岩附近的花岗岩体和数十条巷道和岩洞,进行了大量的宏观调查和仪器观测,综合分析研究大量资料,提出花岗岩体和岩洞围岩,在爆炸动载荷作用下的震动破坏判据,为类似的岩性提供了有价值的设计依据。

一、前言

炸药在岩土体中爆炸,爆源周围的岩体和地下岩洞,在爆炸动载荷作用下,将产生应力场并引起强烈震动。当爆炸应力值和震动强度达到某一极限值时,岩体和地下岩洞围岩将遭到不同程度的破坏。破坏极限值的大小与岩体或岩洞围岩的力学参数有着密切关系。

二、破坏区内峰值震速的衰减规律

评价爆破震动破坏的判据,可以是质点震动位移、速度或加速度等。国内外的大量资料分析认为,用质点峰值震动速度作为评价爆破地震波震动破坏判据,比用位移或加速度能更好地排除土岩震动频率的影响,且能更稳定地找到与结构物或建筑物破坏现象之间的关系。为此,我们将强震仪直接布置在爆破岩附近的地表和地下岩洞底板上,观测质点峰值震速及其与破坏现象之间的对应关系,以建立花岗岩体和地下岩洞围岩的震动破坏判据。基于强震区垂直向分量一般比水平径向和切向分量,且仪器精度较高,所以一般只布置垂直向分量的测量。

根据宏观调查和实际观测结果表明,在所观测的花岗岩中,当垂直向分量的峰值震速, $v_1 > 30$ 厘米/秒时,地表岩体和地下岩洞围岩可能产生不同程度的可见性破坏,如节理裂隙扩张延伸,岩体位移错动,岩洞片帮冒顶等。把地表岩体和地下岩洞底板上垂直向分量的峰值震速 $v_1 > 30$ 厘米/秒的数据点综合起来,进行回归计算,其与比例距离的关系曲线见图1和图2。描述地表岩体和地下岩洞围岩震动破坏区的质点峰值震速衰减规律的经验式为

1. 地表岩体震动破坏区
$$v_1 = 172.2 (R/Q^{1/3})^{-1.82}$$

1985年6月20日收到原稿,12月20日收到修改稿。

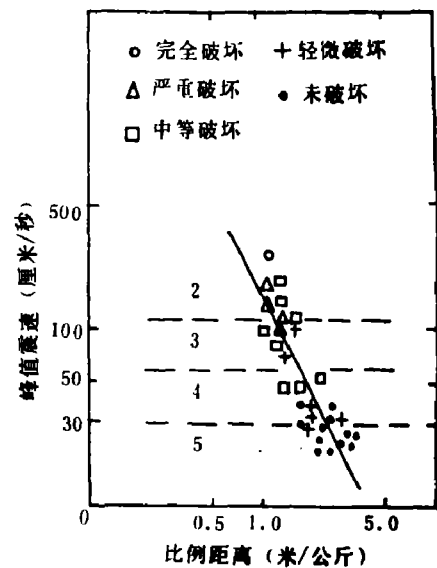


图1 地震岩体峰值震速与比例距离的关系

$$R/Q^{1/3} = 1.06 \sim 2.82 \quad (1)$$

2. 地下岩峒震动破坏区

$$v_{\perp} = 136.2 \left(\frac{R}{Q^{1/3}} \right)^{-1.80},$$

$$\frac{R}{Q^{1/3}} = 0.44 \sim 2.65 \quad (2)$$

式中 v_{\perp} —垂直向分量的峰值震速(厘米/秒);

$R/Q^{1/3}$ —比例距离(米/公斤^{1/3});

R —爆心距(米);

Q —爆破的药量(公斤)。

由(1)式和(2)式可见,在破坏区中,爆破地震波衰减指数基本上是一致的。方差分析表明,(1)式和(2)式都是显著的,峰值震速 v_{\perp} 和比例距离 $R/Q^{1/3}$ 之间的相互关系是密切的

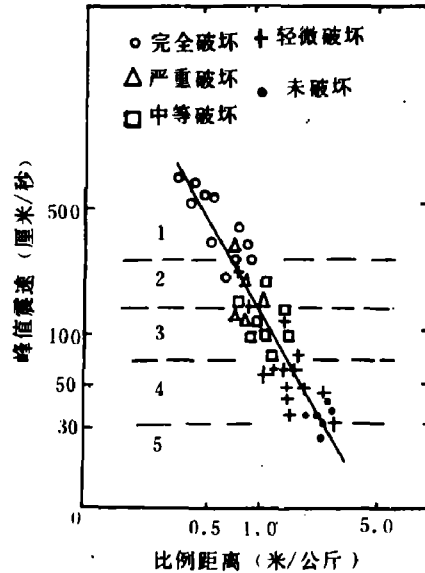


图2 岩峒底板峰值震速与比例距离的关系

三、震动破坏等级及其判别标准

在爆炸载荷作用下,地表岩体和地下岩峒围岩遭到破坏的主要现象是地表岩体和地下岩峒围岩被破碎,产生相对位移,出现新的爆破裂隙,原有节理裂隙扩张延伸,峒壁围岩产生片帮,峒顶坍塌,松石掉落等。这些破坏现象的轻重程度,虽然受地表岩体和地下岩峒围岩的特性,地质构造,地形地貌以及岩峒本身的尺寸等因素的影响。但是从宏观调查的整体性看,随着比例距离的增加,爆破震动强度的减小,破坏程度由重到轻的规律性也是十分明显的。按照破坏程度的轻重大致可分为完全破坏,严重破坏,中等破坏,轻微破坏和未破坏五个等级。划分各破坏等级的判别标准规定如下:

1.完全破坏 地表岩体遭到整体性的毁坏,岩体被爆破裂隙切割成岩块,出现50~250厘米的整体性位移。地下岩峒或岩峒围岩遭到整体性毁坏,形成砌石架空并丧失完整性和支撑能力,岩峒内部被坍塌岩块充填或只有坍塌空间。

2.严重破坏 地表岩体出现径向和环向裂隙,完整性遭到严重破坏,局部出现隆起,可能出现的位移小于50厘米。地下岩峒围岩整体性遭到严重破坏,峒形发生明显变化,峒内被坍塌岩块堆积成半堵塞状态,峒壁爆破裂隙发育,新鲜剥离面可达30~50%,原裂隙普遍张开2~3厘米,少数可达10~20厘米。峒底板坍塌岩块清除困难,无修复加固价值。

3.中等破坏 地表岩体和地下岩峒围岩完整性破坏较轻,爆破裂隙不甚发育,原有裂隙普遍张开0.5~2.0厘米,个别可达6~10厘米,新鲜剥离面不超过30%,岩块之间可能出现2~10厘米的相对位移。峒形改变和围岩坍塌受岩石节理裂隙面控制,底板上坍塌岩块虽然较多,但清理较易。岩峒有修复加固的价值。

4.轻微破坏 地表岩体和地下岩峒围岩基本完好,几乎无爆破裂隙,原有裂隙张开宽度一般小于0.5厘米,个别可出现3~6厘米。峒形变化不明显,围岩一般不坍塌,但有掉块

落石, 在软弱结构面仍可出现明显的相对位移, 具有带状软弱结构面的围岩可能出现条带破坏, 岩峒只稍加清理便可使用。

5. 未破坏 地表岩体和地下岩峒围岩完好, 无爆破裂隙, 原有裂隙无可见性张开和延伸, 岩峒只有个别松石掉落, 清理个别掉落松石后便可使用。

四、各破坏等级对应的实测峰值震速

为了确定以峰值震速作为评价地表岩体和地下岩峒的震动破坏标准, 在爆破峒附近的岩体和观测岩峒底板上, 布置垂直向的强震仪, 在测量质点震动速度的同时, 对测点附近岩体或岩峒围岩所产生的破坏现象进行详细的宏观调查。根据划分破坏等级判别标准, 宏观调查和实测峰值震速结果, 对强震仪测点附近的岩体和岩峒进行破坏分级。表1和表2分别为地表岩体和垂直于爆破峒轴的岩峒围岩各破坏等级对应的实测峰值震速范围及实际出现的破坏现象。

表1 地表岩体实测峰值震速对应的破坏现象

等级 编号	破坏等 级名称	比例距离 \bar{R} (米/公斤 ^{1/3})	峰值震速 v_1 (厘米/秒)	对应的破坏现象
1	完全破坏	1.08	280	岩体出现大量的交错爆破裂隙, 出现整体性破坏, 山坡出现剥落崩塌。
2	严重破坏	0.83~1.31	100~260	岩体遭到严重破坏, 基本上失去整体性, 出现新的放射状爆破裂隙, 原有节理裂隙张开2.5~5.0厘米, 有的达10~20厘米, 仪器基础出现翻转现象。
3	中等破坏	1.08~1.68	50~150	地表风化岩体震松或出现剥落现象, 仪器基础破裂, 原有节理裂隙扩大0.5~2.5厘米, 个别达10厘米。
4	轻微破坏	1.23~2.54	30~110	原有裂隙张开0.2~1.0厘米, 个别达2~5厘米。
5	未破坏	1.70~3.11	30~40	无可见性破坏现象。

表2 地下岩峒实测峰值震速对应的破坏现象

等级 编号	破坏等 级名称	比例距离 \bar{R} (米/公斤 ^{1/3})	峰值震动 v_1 (厘米/秒)	对应的破坏现象
1	完全破坏	0.38~1.07	247~700	岩峒全部毁坏, 被落石堵塞。有坍塌空间的围岩, 新的爆破裂隙发育, 缝宽0.5~2.0厘米, 原节理裂隙扩张达5~20厘米, 岩体相对位移达130~180厘米。
2	严重破坏	0.75~1.21	119~286	岩峒围岩整体性破坏严重, 两帮片落, 形成半堵塞状。岩体相对位移达55厘米, 有新爆破裂隙, 原裂隙60~70%出现张开, 宽达2~5厘米, 有的达10厘米。

续 表 2

等级 编号	破坏等 级名称	比例距离 \bar{R} (米/公斤 ^{1/3})	峰值震速 v_p (厘米/秒)	对应的破坏现象
3	中等破坏	0.75~1.46	73~264	岩峒围岩基本完好,基本上无新爆破裂隙。岩体相对位移达5厘米,原有节理裂隙张开宽度多数为0.5~2.0厘米,个别达10厘米,峒顶掉块较多,有断层等不良地质结构会出现坍塌。
4	轻微破坏	0.75~1.94	32.7~221	岩峒完好,无明显变形,未见爆破裂隙,仅有少数掉块,原节理裂隙有张开0.2~0.5厘米,个别达3~5厘米。
5	未破坏	1.88~2.46	26.9~38.1	无可见性破坏,仅有个别松石掉落。

五、岩体和岩峒的震动破坏判据

为了确定爆破地震波的安全距离,必须确定一个比较可靠的震动破坏判据。以峰值震速作为震动破坏判据时,未考虑安全系数,而是以产生某种破坏等级对应的最小峰值震速作为判据。例如,在所获得的数据中,地表岩体产生轻微破坏的最小峰值震速为30厘米/秒,就以30厘米/秒的峰值震速作为轻微破坏的震动破坏判据。

图1和图2是不同破坏等级及其所对应的峰值震速和比例距离的关系。根据上述确定震动破坏判据的基本原则,同时考虑到某些极不利的地质结构影响因素,在图1和图2上确定地表岩体和垂直于爆破峒轴的地下岩峒的震动破坏判据并列于表3。

表 3 地表岩体和地下岩峒爆破震动破坏判据

破坏等级名称	爆破震动破坏判据 (厘米/秒)	
	地表岩体	垂直于爆破峒轴的岩峒
完全破坏	/	250
严重破坏	120	130
中等破坏	60	70
轻微破坏	30	30
未破坏	<30	<30

表3所列的震动破坏判据是一种概率型标准,因此在地表岩体和地下岩峒围岩比较坚固完整,抗震性能较好时,可能峰值震速已超过某破坏等级的震动破坏判据,但并未出现该破坏等级的破坏现象。例如有一条平行于爆破峒轴的岩峒,全长99米,峒底板实测峰值震速为125.5厘米/秒,按衰减规律计算的峰值震速为134.3厘米/秒。该岩峒靠峒口部位岩体风化,稳固性较差,岩峒中部为 F_3 和 F_4 断层所通过,而峒底部开挖于山体中心,岩体坚固稳定。爆破后各段破坏的状况如下:0~9米(从峒口算起)爆破后围岩整体性丧失,坍塌,峒室毁坏,被崩落岩块全部堵塞;9~13米,原节理裂隙张开3~5厘米,大的张开7~15厘米,新剥离面达60~70%,岩峒底板堆积岩块最高达3.9米;13~31米,原节理裂隙张开1~8厘米,岩体位移5~20厘米,局部喷网破坏,岩块掉落;31~39米:受 F_4 断层控制,拱顶塌落

3米左右,底板塌落岩块堆积高度达3~4米,残留峒壁未见爆破裂隙,原节理张开0.5~2.0厘米;39~54米,F₂断层反应强烈,背爆面岩峒围岩出现70~120厘米的位移,拱顶分离体塌落,原节理裂隙张开0.5~2.0厘米,喷混凝土出现0.5~1.0厘米新裂隙,局部出现剥离现象;54~63米,峒形改变较明显,底板堆积塌落岩块多且大(最大尺寸为5.2×1.45×3.2米³),原节理裂隙张开0.5~2.0厘米,最大为5厘米,锚杆绳索被拉断和切断;63~75米围岩片帮冒落严重,峒宽增加4米,高度增加1.0~1.8米,峒形变化明显,峒底板堆积岩块多,原节理裂隙张开0.2~0.5厘米,最大为5~10厘米;75~99米,除岩峒交接处混凝土出现张裂和局部掉皮外,其余无明显破坏现象。

上述调查结果表明,此峒峒底在山体中,岩石坚固,岩体稳定,节理裂隙少,抗震性能好。虽然实测峰值震速达125.5厘米/秒,峒底并没有出现严重破坏。从0~75米的范围内,岩峒基本上属于严重破坏,局部强风化岩体属于完全破坏。但从宏观调查的整体性,确保安全和经济性等观点出发,判断岩峒的破坏等级为严重破坏是较合适的。这与以峰值震速作为震动破坏判据来判断基本上是一致的。然而,也不排除在某些特殊地质条件下,如软弱结构面,断层破碎带和强风化岩体等,在峰值震速低于某破坏等级的震动破坏判据时,会偶然出现该破坏等级的破坏现象。但是地表岩体和地下岩峒同一破坏等级的破坏概率总是随着峰值震速的增加而增大的。岩峒围岩各破坏等级对应的比例距离列于表4。

由表4可见,以峰值震速为震动破坏判据和以宏观破坏现象为依据所确定的比例距离基本上是一致的。这进一步说明,以峰值震速作为震动破坏判据能较好地反映宏观破坏现象,其与结构物的破坏现象之间的关系是密切的。采用峰值震速作为震动破坏判据是合理的。

表4 岩峒围岩各破坏等级对应的比例距离

破坏等级名称	以峰值震速为判据	以宏观破坏现象为判据
完全破坏	0.71	0.75
严重破坏	1.03	1.09
中等破坏	1.45	1.60
轻微破坏	2.30	2.19
未破坏	>2.30	>2.19

分析大量宏观调查和实测资料表明,在峰值震速相同的条件下,平行于爆破峒轴的地下岩峒围岩的破坏程度,比垂直于爆破峒轴的要高一破坏等级。也就是说,在某一震速条件下,垂直爆破峒的地下岩峒围岩,如果产生中等破坏,那么在同一震速条件下,平行爆破峒的地下岩峒将产生严重破坏。当岩峒破坏等级高一级时,峰值震速将增加1.6~1.7倍。因此,本文推荐把垂直于爆破峒轴的岩峒围岩的破坏判据,乘以0.60~0.65的系数作为平行于爆破峒轴的地下岩峒的震动破坏判据。如果考虑这样的系数,各破坏等级的安全距离将相应增加25%左右。

六、结 论

根据大量宏观调查和实测的质点峰值震速的综合分析认为,在花岗岩地表岩体和地下岩

峒围岩中, 出现可见性破坏的极限峰值震速为30厘米/秒。按照破坏程度的轻重将地表岩体和地下岩峒围岩分为五个破坏等级是合适的。推荐的地表岩体和垂直于爆破峒轴的岩峒围岩, 各破坏等级所对应的震动破坏判据见表3。表3中岩峒围岩的震动破坏判据, 乘以0.60~0.65的系数, 可作为平行于爆破峒轴的地下岩峒围岩的震动破坏判据。

VIBRATIONAL FAILURE CRITERION FOR THE GRANITE STRATUM AND GROTTO UNDER EXPLOSION

Ke Jiken

Abstract

On the basis of many macroscopic investigations and observations with apparatus, synthetic analyses and material studies of the granite stratum and tens of tunnels and grottoes, in this paper, the author proposed a vibrational failure criterion for the granite stratum and the grotto under dynamical loading of explosion. It provides a valuable design basis for engineering.