

地下核爆炸对空腔围岩致密性的影响

赵敬珍

本文介绍了石灰岩和黑云母斜长花岗岩中两次地下核试验空腔周围岩石致密性的研究方法、目的和意义；简单叙述了爆后开挖和钻探取样的情况；着重对比分析了这两次试验爆前爆后的岩石致密性指标的测定结果。大量测试数据表明：爆后的岩石容重和孔隙度的变化，随着离空腔壁距离的增大而减小；远离空腔壁一定距离之后，它们就趋近于岩石的爆前测值，但岩石的比重与距离的变化无关，而且爆前爆后基本一致，这说明爆后岩石矿物无明显相变作用，矿物成分也无变化。这一结论也被爆后的岩矿鉴定结果所证实。

文章还论述了岩石致密性的变化与爆炸击波对岩石机械破坏的关系。并认为这种变化特征可以作为自由场岩石破坏分带的一种依据。

一、引言

本文主要介绍我国两次地下核爆炸物理地质效应的一部分——爆后空腔周围岩石致密性变化的特征，并探讨它在划分自由场岩石破坏分带方面的作用。

岩石致密性指标包括岩石容重、比重、孔隙度等。通常容重可根据阿基米德定律，运用静水称重法测得；比重则用比重瓶法测定；它们的测量误差均在2%左右。岩石的孔隙度是利用已测得的岩石容量和比重通过下式计算获得，通常以百分数表示：

$$n = \frac{\gamma - \rho}{\gamma} \times 100\%$$

式中的 n 为岩石的孔隙度， ρ 为岩石容重， γ 为岩石比重，它们都以克/厘米³表示。

在地下核爆炸过程中，空腔以外的岩石介质，由于受到核爆炸产生的击波影响，其致密性也相应的发生变化。据此便可确定击波对介质的影响范围和程度，并为自由场岩石破坏分带提供微观依据。

二、爆前介质的一般岩石学特征及爆后取样

1. 爆前介质的岩石学特征

我国某次地下核爆炸介质是下古生界寒武—奥陶系的厚层—巨厚层石灰岩。岩性均一、质纯，岩石致密、完整，爆前岩石的孔隙度一般都小于1%。岩石的矿物成分以方解石为主（约占矿物总量的98%以上），其次有少量的石英、白云石及生物碎屑等。

另一次地下核爆炸是在黑云母斜长花岗岩中进行的。其岩性总体看是均一的,就局部而言则是不均匀的。岩石的矿物成分,长石类矿物约为60%,石英约为27%,黑云母约为10%,此外还有极少量的白云母、黄铁矿等。由于核试验场地岩石受构造运动的影响,岩体较破碎,节理较发育。岩石的显微观察,石英都有不同程度的波状消光和镶嵌消光现象;个别黑云母颗粒有扭结现象;长石类矿物绿泥石化或高岭土化。岩石中的裂隙多被碳酸盐类物质充填。爆前岩石孔隙度小于1.5%。

2. 爆后岩石取样

对某次地下核爆炸进行了开挖坑道及钻探调查。坑道取样49个,钻探取岩芯样15个;另一次地下核爆炸的钻探调查,取岩芯样品82个。两次地下爆炸后的取样原则,都是根据爆前理论预报的破坏分带的范围,从空腔壁或近空腔壁向外取样点由密到稀,取样点的距离为0.5—1米,1—2米,2—5米,5—10米不等。详情见表。

表1 爆后取样位置及取样点数

核爆炸	取样方式	取样孔号	取样孔深度(米)	取样孔方位	取样孔顶角	水平距(米)	取样位置 或 取样深度(米)	距空腔壁的比例距离(米)	取样点数(个)
某次	钻探	2	190		7°30'		55—146	2—33	15
	坑道						调查坑道	0—2	10
								2—14	30
							主坑道	14—33	9
另一次	钻探	1	235	SW 222°	17'	80	30—222	11—139	77
		3	254	NE 29°35'	11'	48	238—254	0.1—2	5

三、爆后岩石致密性测定结果及岩石学特征

1. 石灰岩测定结果及岩石学一般特征

用上述测定方法,对64个岩样进行了岩石容重、比重的测定及孔隙度的计算。部分结果见表2。图1表示了岩石致密性指标与距空腔壁比例距离的关系。由图1和镜下鉴定表明:

(1)距空腔壁比例距离约6米范围内,岩石容重低,其平均值为2.62克/厘米³,比爆前值(2.70克/厘米³)降低3%,岩石平均孔隙度为3.5%,是爆前值(0.4%)的9倍。在空腔壁处,岩石容重最低,为2.52克/厘米³,比爆前值降低7%,孔隙度最高,是爆前的18倍。

在此范围内,由于岩石受到强烈击波作用,岩石严重破碎。其宏观特征:岩石表面呈灰白色—白色,并有粉末;裂隙发育,尤其在空腔壁附近,径向、切向裂隙发育,裂隙面上有擦痕,有的还有辐射状条纹。岩石显微特征:矿物解理及裂隙均发育,在空腔壁附近更为强烈。它们都是沿粗结晶的方解石解理面和双晶面形成锯齿状,有的在隐晶—细晶质方解石集

表 2 地下核爆炸石灰岩致密性测定结果

距空腔壁距离 (米)	比重	容重 (克/厘米 ³)	孔隙度 (%)	距空腔壁距离 (米)	比重	容重 (克/厘米 ³)	孔隙度 (%)
爆前		2.70	0.40	6.0		2.65	
0		2.52	7.02	6.8		2.67*	2.71
0.2		2.58	6.84	7.0		2.67	2.71
0.4		2.60	4.06	7.2		2.68	2.71
0.6		2.60		7.6		2.69	
0.8		2.62	2.97	7.8		2.69	2.71
1.0		2.63	2.60	8.6		2.70	2.71
1.2		2.66		9.0		2.69	
1.4		2.67	1.84	9.3		2.67	2.71
1.6		2.66		10.1		2.68*	
1.8		2.64	1.50	11.0		2.67	2.71
2.0		2.66*	1.84	11.3		2.65	2.70
2.1		2.66		11.7		2.67	2.70
2.3		2.58	4.80	12.1		2.67	
2.5		2.60		12.8		2.64	
2.7		2.61		13.2		2.66	
3.0		2.66*	2.22	13.6		2.69*	2.71*
3.1		2.61		14.0		2.61	
3.3		2.67		14.4		2.60	2.70
3.5		2.65	1.86	14.8		2.60	
3.7		2.66		15.2		2.66*	
3.9		2.66*	2.22	15.6		2.70	2.71
4.1		2.60		16.0		2.66	
4.3		2.62	2.97	16.3		2.70	
4.5		2.66		16.7		2.68*	2.71
4.7		2.63		17.1		2.69	
4.9		2.69*	0.74	17.5		2.68	2.70
5.1		2.58		21.4		2.70	2.71
5.3		2.59		25.3		2.68	2.72
5.6		2.61	3.70	29.2		2.70	2.72
5.8		2.64	2.22	33.1		2.69	2.71
5.8		2.66*	0.74	37.0		2.70	2.71

* 钻孔岩芯样测值

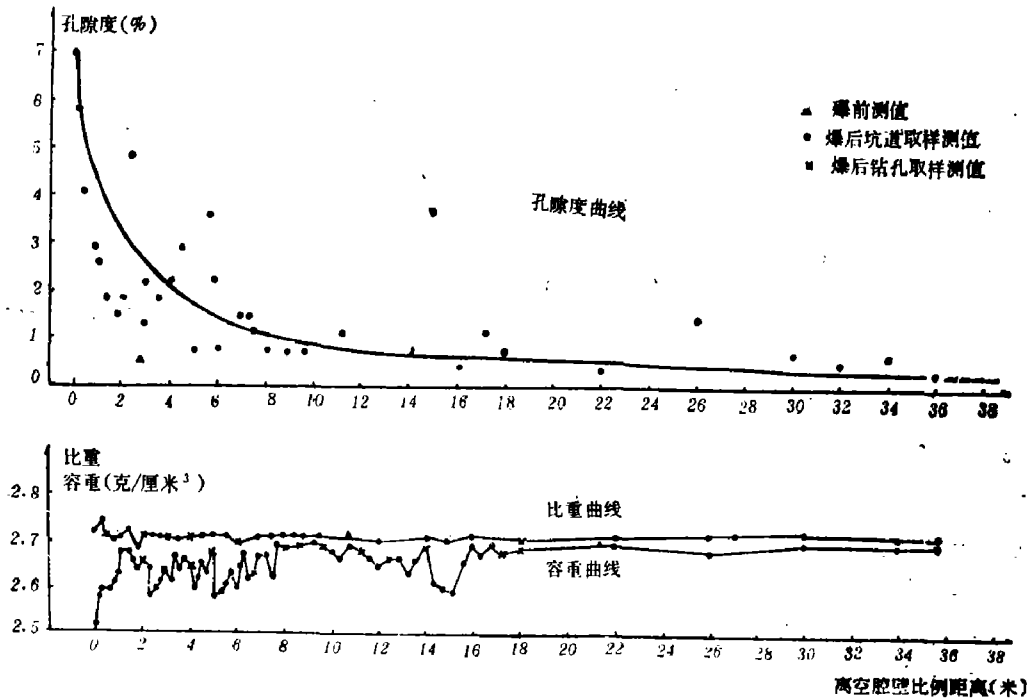


图1 爆后灰岩致密性与距腔壁比例距离的关系曲线

合体中呈不规则形状，其宽度一般为0.02—0.03毫米，个别达0.3毫米，长度数毫米。

(2)距腔壁的比例距离6—18米之间，岩石容重的平均值为2.66克/厘米³，比爆前值降低21.5%，孔隙度的平均值为1.55%，约是爆前值(0.4%)的4倍。

在这一范围内，核爆炸击波衰减到数万巴—数千巴，对岩石的破坏能力减弱。岩石手标本的颜色、结构构造与爆前岩石无明显差别，但显微观察，剪切裂隙较爆前发育，微裂隙比6米范围内的岩石减少，但仍比爆前发育。

(3)距腔壁的比例距离18—33米间，岩石容重、孔隙度都与爆前值相近。容重为2.68—2.69克/厘米³，孔隙度为0.6%左右。此范围内的岩石，微裂隙极少，但仍有裂隙发育。

(4)距空腔壁比例距离33米以外，岩石致密性指标与岩石学特征都与爆前一致。

2. 爆后黑云母斜长花岗岩致密性特征

爆后对此类岩石的测定结果见表3和图2。它的致密性变化规律与石灰岩基本类似。距空腔壁比例距离22米以内，岩石容重为2.67—2.68克/厘米³，低于爆前值(2.69—2.70克/厘米³)；孔隙度为1.8%，高于爆前(1.1%)。爆后介质较破碎，尤其在空腔壁附近，石英颗粒强烈破碎，在显微镜下，有的石英呈网格状，黑云母的扭结现象易见到。比例距22米以外，爆后岩石容重、孔隙度与爆前一致，岩石的宏观及微观特征都与爆前无差别。

以上两种介质的岩石比重，爆前爆后基本没有变化。

四、讨 论

1. 地下核爆炸后，岩石容重，孔隙度的变化，随离空腔壁的比例距离增加而减小。

在地下核爆炸过程中，空腔壁附近的岩石受到核爆炸应力的复杂作用，其完整性遭到强

表 3 地下核爆炸黑云母斜长花岗岩致密性测定结果

取 样 孔 号	距 比 空 例 腔 距 壁 离 (米)	容 重 (克/厘米 ³)	比 重 (克/厘米 ³)	孔 隙 度 (%)	取 样 孔 号	距 比 空 例 腔 距 壁 离 (米)	容 重 (克/厘米 ³)	比 重 (克/厘米 ³)	孔 隙 度 (%)
3	0.1	2.67	2.73	2.20	1	28.1	2.71		
	0.3	2.67	2.73	2.20		28.8	2.69	2.72	1.11
	0.5	2.68	2.73	1.84		29.4	2.71		
	0.7	2.67	2.78	3.96		30.1	2.71	2.73	0.74
	1.6	2.69	2.73	1.50		30.7	2.70		
1	7.2	2.68	2.73	1.84		31.4	2.72		
	11.1	2.67	2.71	1.50		32.0	2.70		
	13.1	2.68	2.72	1.50		32.7	2.70	2.72	0.74
	15.0	2.68	2.71	1.11		33.3	2.69		
	15.7	2.67	2.70	1.11		34.0	2.71	2.73	1.50
	16.3	2.66	2.70	1.50		34.6	2.71	2.73	0.74
	17.0	2.67	2.72	1.84		35.3	2.70	2.73	0.74
	17.7	2.68	2.72	1.50		36.0	2.70		
	18.0	2.68	2.72	1.50		37.3	2.71		
	18.3	2.70	2.73	1.11		37.9	2.69	2.73	0.74
	19.0	2.66	2.72	2.20		38.6	2.70	2.73	1.50
	19.3	2.67				39.9	2.71	2.73	1.11
	19.6	2.68	2.72	1.50		41.2	2.70		
	19.9	2.67				41.8	2.71		
	20.3	2.68	2.73	1.84		43.0	2.71	2.72	0.40
	20.9	2.68				44.4	2.73		
	21.6	2.70	2.73	1.11		45.1	2.75		
	22.2	2.70				46.4	2.72		
	22.9	2.70				47.7	2.66	2.73	2.56
	23.5	2.68				49	2.72	2.74	0.74
24.2	2.73			49.7		2.73			
24.8	2.73	2.75	0.74	51.0		2.73	2.75	0.74	
25.5	2.70	2.71	0.40	52.3	2.72				
26.1	2.72			53.6	2.72	2.75	1.11		
26.8	2.72			爆前	41.2	2.69-2.70	2.73	1.11	
27.5	2.72	2.73	0.40	爆前	53.6	2.71-2.72	2.73	1.11	

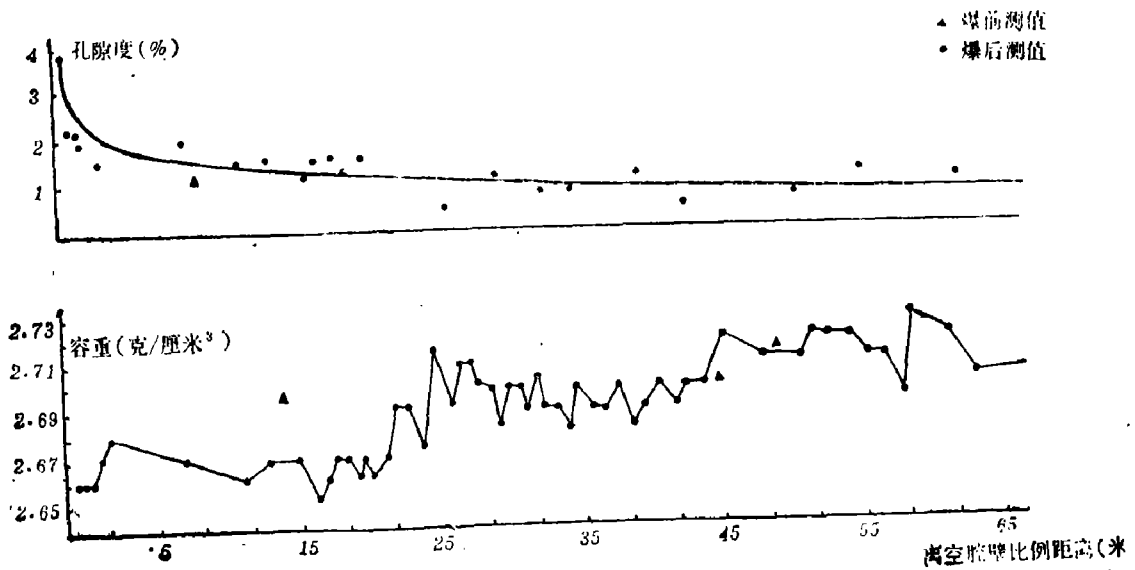


图2 爆后黑云母斜长花岗岩致密性与距腔壁比例距离关系

烈破坏，不但使岩石矿物中的原生裂隙加大，而且还产生一些新的裂隙、微裂隙，致使岩石容重、孔隙度的变化增大；在远离空腔壁方向上，击波压力急剧衰减，岩石矿物中的微裂隙减少，岩石容重、孔隙度的变化也随之减小；当击波压力衰减到不足以破坏岩石时，即击波压力值小于岩石三向抗压强度时，岩石仍保持爆前特征。

2. 岩石致密性的径向变化特征与现场爆后调查的自由场岩石破坏分带范围基本一致。

根据爆后石灰岩的容重、孔隙度的变化大小，在离空腔壁比例距离上可分四个范围：0—6米，容重孔隙度变化大；6—18米，变化次之；18—33米之间岩石容重孔隙度基本没有变化；33米以外与爆前一致。这与爆后现场坑道调查结果基本吻合(见表4)。因此，爆后在距空腔壁不同的比例距离上所测得的岩石致密性指标，可以作为自由场岩石破坏分带的一个依据。

表4 爆后石灰岩破坏分带

自由场岩石破坏分带依据	压缩带 (距空腔壁比例距离) (米)	破碎带 (距空腔壁比例距离) (米)	破裂带 (距空腔壁比例距离) (米)	弹性带 (距空腔壁比例距离) (米)
现场调查	0—4	4—18.7	18.7—54	54以外
岩石致密性	0—6	6—18	18—33	33以外

3. 岩石的比重，爆前爆后一致。爆后矿物的X光衍射分析及薄片鉴定没有发现方解石的高压相—文石。这说明爆后空腔围岩的矿物没有相变。石灰岩的矿物成分，在空腔壁约几厘米距离内有的碳酸钙变成了生石灰(氧化钙)，但空腔外的岩石矿物成分均无变化。

4. 为了更有效地讨论爆炸对岩石致密性的影响程度，必须进一步研究微裂隙与击波压力的关系。

5. 为了更准确地划分地下核爆炸对岩石致密性的影响范围，必须与矿物的X—光衍射及

矿物热释光等研究方法紧密结合。

这项工作得到了有关同志的大力支持和帮助。赵文瑞和唐润棣同志参加了测试工作，在此表示感谢。

参 考 文 献

- (1) 多尔特曼, H. B. 等著, (徐世哲等译), 岩石和矿石物理性质测定指南, 中国工业出版社(1962)。
- (2) 科勃兰诺娃, B. H. 等著, (许炳如等译) 岩石物理性质的测定, 地质出版社(1959)。

EFFECTS OF UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSION ON THE COMPACTNESS OF ROCK SURROUNDING THE CAVITY

Zhao Jingzhen

Abstract

This paper presents the method, purpose and significance of studying the compactness of rock surrounding the cavity in two underground nuclear explosions conducted in limestone and biotite-Plagioclase granite respectively. The sample collection method during the excavation and drilling after detonation is briefly described. And the measurement results of compactness index of the postshot rock samples have been analysed and contrasted with those in the pre-shot rock samples. A lot of measured data indicate that the change of rock compactness including volume weight and total porosity decrease with increase of distance from the cavity wall. However, when the distance is far enough from the cavity wall, the compactness of postshot rock will be approximate to that of pre-shot rock. The specific gravity of postshot rock always remains the same in spite of where the samples were collected, and agrees approximately with that of pre-shot rock. This fact shows that the minerals in the rock after detonation have neither distinct phase transition nor any change in composition. The above mentioned conclusions are confirmed by the petrographical study in the rock samples after detonation.

This paper also discusses the relationship between the change of compactness of postshot rock and the mechanical damage effect of the shock wave of nuclear detonation on rock. We consider that this relationship may be used as a criterion in the division of damaged zones of the free-field rock after detonation.