

方向的偏差可控制在 $5^\circ$ 以内,有时偏差仅在 $1^\circ$ 以内。

上述分析和设计可为用控制爆破方法拆除不同高度的烟囱的设计提供参考。

## LOAD REDUCING SLOT

Ji Yunfeng

### Abstract

In order to prevent the chimney from collapse towards the opposite of the designed direction during demolition by control blasting, beginning with mechanical analyses, this paper proposes some methods how to reduce the considerable upward force generated on the chimney during blasting. This paper first proposes excavating a load reducing slot and analyses theoretically. The experimental results are successful. This paper provides a reference for the design of demolition of different kinds of chimneys and water towers.

# 地下核爆炸引起不稳定性岩体的探测

褚玉成

(1985年3月25日收到)

本文通过我国某次地下核试验场地爆前及爆后钻孔中声波测试结果,计算钻孔中岩体的弹性波参数及岩体力学参数,确定因爆炸造成围岩的破裂松散区范围及地表剥离的深度,为试验安全埋深提供了地质依据。

当核装置在地下深处爆室起爆后,冲击压缩波在岩石介质中迅速传播,使岩体破裂,爆室周围一定范围内岩体形成不稳定区域。当压缩波传播到自由表面时,由于反射在岩石内形成拉伸应力波,使爆室地表一定厚度的岩体被剥离破坏。因此,了解爆炸后造成岩体的破坏

范围及地表剥离厚度，是研究地下核爆炸力学效应的重要课题之一。多年来，国内外许多工程实践证明，利用声波测井方法评价地下深处岩体特性是一种行之有效的手段。目前，我国各项工程实践利用这种手段测井深度一般不超过150米。在我国某次地下核试验中，首次运用这种技术，我们改进原有设备，使探测深度大大超过原来设备，较好地确定出该次试验造成爆室周围破裂松散区的边界，爆炸形成地表剥离层的深度，为安全试验提供参考。

## 一、仪器与方法

声波是一种弹性波，它的传播速度与岩质、岩性、岩体结构以及所受应力等密切相关。这种内在的联系，为声波测井提供了基本的物理基础。

本次测试使用SSJ-2A型一发双收自动记录声波测井仪。该设备同目前各家测井设备基本相同，其差别在于本仪器时间—孔深曲线是自动连续记录的，测井深度可达500米，仪器方框图见图1。

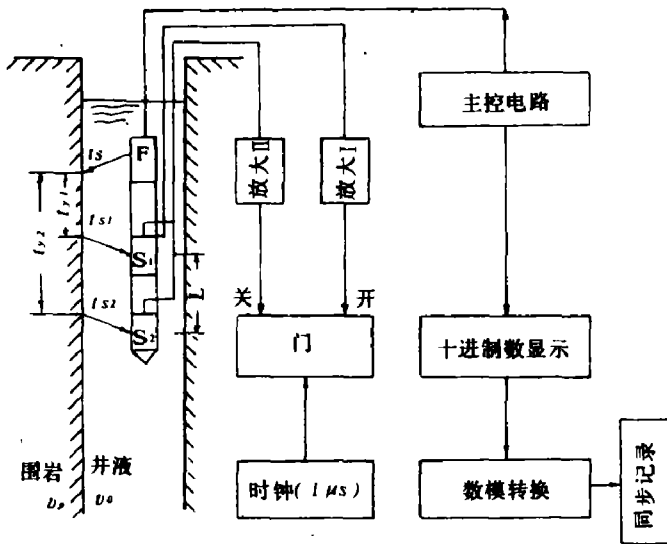


图1 SSJ-2A自动声波测井仪方框图

当主控电路发射脉冲信号加给F电路的发射换能器时，换能器将电脉冲信号转换成声振动信号，通过井液（清水或泥浆）向井壁围岩辐射出去。由于围岩的声波速度大于井液的声波速度，其中以第一临界角 $i$  ( $\sin i = v_0/v_p$ )入射的声波沿井壁产生滑行波。滑行波连续产生返回井液的折射波，分别被接收换能器 $S_1$ 和 $S_2$ 接收并转换成微弱的电讯号，经过放大后输回仪器。当 $S_1$ 接收到讯号，使门打开，由标准时钟记数；当 $S_2$ 接收到信号后立即关门，停止时钟记数。这样便可得到 $S_2$ 和 $S_1$ 的时差，在用数字显示的同时，记录仪自动描绘时间—孔深（距离）曲线。

由图1中可以看到，声波由发射点经过井液—围岩—井液到达两个接收换能器 $S_1$ 、 $S_2$ 的时间分别为

$$T_{s1} = t_s + t_{v1} + t_{s1}$$

$$T_{s2} = t_s + t_{v2} + t_{s2}$$

当被测钻孔的井径无变化，井内装置（探头）与井的轴线平行时，那么 $t_{s1} = t_{s2}$ ，则声波由 $s_1$ 到 $s_2$ 的时间为

$$\Delta t = T_{s2} - T_{s1} = t_{v2} - t_{v1}$$

由于声波在 $\Delta t$ 时间内穿过围岩的距离与两个接收换能器之间的距离 $L$ 相等，所以

$$v_p = L / \Delta t$$

即为声波在围岩内的传播速度值。实际工作中，记录仪描绘出的时间—距离曲线就是地质分析钻孔内岩体特征的根本依据。

## 二、爆前岩体特征

本次试验是在某种介质中进行的。岩体因受后期构造运动的影响。北东、北西方向两组裂隙较为发育。岩石结构致密，块状构造，矿物组成主要是石英，长石和黑云母。由本区新采取的岩石样品，室内测试岩石试件的有关物理力学参数列于表1。

表1 岩石试件的物理力学参数

抗压强度 ( $10^5 Pa$ )	抗拉强度 ( $10^5 Pa$ )	抗剪强度 ( $10^5 Pa$ )	弹性模量 ( $10^{10} Pa$ )	剪切模量 ( $10^{10} Pa$ )	泊松比	纵波速度 ( $m/s$ )	横波速度 ( $m/s$ )	密度 ( $g/cm^3$ )	孔隙度 (%)
1776.3	76.5	63.1	6.76	2.81	0.21	5323	3276	2.75	1.5

爆前我们对709°钻孔进行声波探测，测试结果见图2。从图2的时间—距离曲线看出，

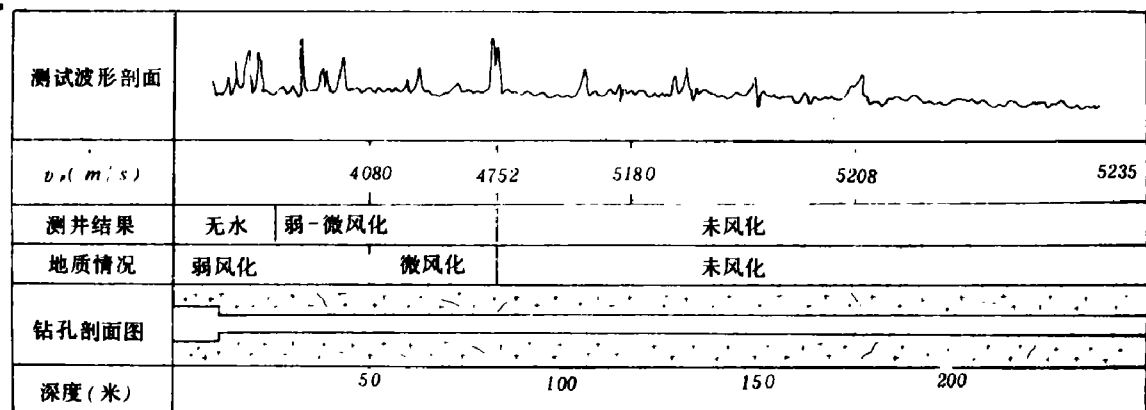


图2 黑云母斜长花岗岩爆前709°孔声波测井结果

除上部裂隙较发育外，在50米以下岩体是较为完整的。根据岩石试件及岩体声波测试结果，采用经验公式，分别计算岩体的有关参数，对爆炸前钻孔中岩体的稳定性给予评价。

### 1. 岩体的弹性波参数

岩体的弹性波参数以完整系数和裂隙系数表示：岩体完整系数 $= v_{pm}^2 / v_p^2$  [12]，岩体裂隙

系数 =  $(v_{pr}^2 - v_{pm}^2)/v_{pr}^2$ 。式中,  $v_{pr}$ 、 $v_{pm}$  分别代表岩石试件和岩体的纵波速度。通过上式我们计算出岩体的弹性波参数。根据我国目前工程上广泛采用的以弹性波参数为依据的岩体分类评价<sup>(1)(2)</sup>, 将709\*孔岩体状态列于表2。

表2 709\*孔岩体弹性波参数及评价

钻孔深度 (m)	26~50	50~85	85~117	117~176	176~259
纵波速度 (m/s)	4080	4725	5108	5208	5295
完整系数	0.59	0.80	0.92	0.95	0.99
裂隙系数	0.41	0.20	0.08	0.05	0.01
岩体状态现场描述	张性裂隙发育, 节理面上有风化产物, 岩块内部新鲜	岩体块状, 岩块内部新鲜	岩体块状, 岩块坚硬新鲜	局部有裂隙, 岩块坚硬新鲜	岩体块状, 岩块坚硬新鲜
岩质	良	好	好	好	好
评价	基本稳定	稳定	稳定	稳定	稳定

## 2. 岩体风化程度分级

工程实践证明, 岩体风化程度分级以风化系数为标准<sup>(2)</sup>, 它的计算公式为风化系数 =  $(v_0 - v)/v_0$ 。式中,  $v_0$ 、 $v$  分别代表新鲜岩石及风化岩体的纵波速度。根据上式计算结果, 以我国工程上用的风化程度分级标准, 将计算结果列于表3。

表3 709\*孔岩体风化程度分级及描述

钻孔深度 (m)	26~50	50~85	85~117	117~176	176~259
纵波速度 (m/s)	4080	4752	5108	5208	5295
风化系数	0.23	0.11	0.04	<0.04	<0.04
风化等级	II	I~0	0	0	0
风化程度	弱	微	未	未	未
岩体现场描述	岩体结构未变, 节理面上邻近矿物局部变色, 岩体呈块状构造	沿节理面上局部有水锈, 随着深度增加减少, 岩体保持原来结构	岩体保持原来结构, 节理面新鲜, 无水锈		

## 3. 岩体力学参数计算

岩体弹性波速度反映岩体结构特征, 利用岩体的纵波速度及岩石试件的力学参数, 可计算岩体的力学参数。它们之间存在下列关系。

$$\sigma_c = (v_{pm}/v_{pr})^2 \cdot \sigma_{cc}$$

$$\sigma_t = (v_{pm}/v_{pr})^2 \cdot \sigma_{ts}$$

$$\sigma_s = (v_{pm}/v_{pr})^2 \cdot \sigma_{ss}$$

式中,  $\sigma_c$ 、 $\sigma_t$ 、 $\sigma_s$  分别表示岩体的抗压、抗拉和抗剪强度;  $\sigma_{cc}$ 、 $\sigma_{ts}$ 、 $\sigma_{ss}$  分别表示岩石试件的

抗压、抗拉及抗剪强度。计算结果列于表4。

表4 709°孔岩体力学参数

钻孔深度(m)	26~50	50~85	85~117	117~176	176~259
纵波速度(m/s)	4080	4752	5108	5208	5295
$\sigma_c (10^5 Pa)$	1048	1412	1634.2	1776.3	1776.3
$\sigma_t (10^5 Pa)$	45.1	61.2	70.4	76.5	76.5
$\sigma_s (10^5 Pa)$	37.2	50.5	58.1	63.1	63.1

从上述各种参数计算结果及测井曲线表明：709°钻孔在孔深130~150米、199米左右出现的声速异常值<sup>(3)</sup>，主要是由裂隙引起的，这由地表地质调查及岩心钻探资料得到证实。根据我国工程施工上使用的岩体弹性波参数与岩体分类标准<sup>(2)</sup>：完整系数在0.5~0.7、裂隙系数在0.25~0.5、风化系数在0.1~0.2范围内的岩体属于基本稳定型的。709°孔在孔深50米以上岩体的弹性波参数与此相符，因此，我们确定它是属于基本稳定的。除此而外，其他孔段岩体的完整系数 $>0.75$ ，裂隙系数 $<0.25$ ，风化系数 $<0.1$ ，均属稳定性岩体。总之，709°孔岩体弹性参数与岩体分类标准弹性波参数相比，整个孔段岩体是稳定的。

### 三、爆后岩体特征

这次试验圆满成功。爆后对地表影响的最远边界距爆心地面投影点约2.5公里，严重扰乱区最大边界距爆心地面投点约250米。地表岩体破坏的形状严格地受断层的控制。爆前709°、702°、707°及710°预留孔爆后分别在孔深5米、70.13米、10.04米和17米位错。

爆后我们再次对709°孔进行声波测井，测试结果列于图3。这里需要说明一点，钻探资

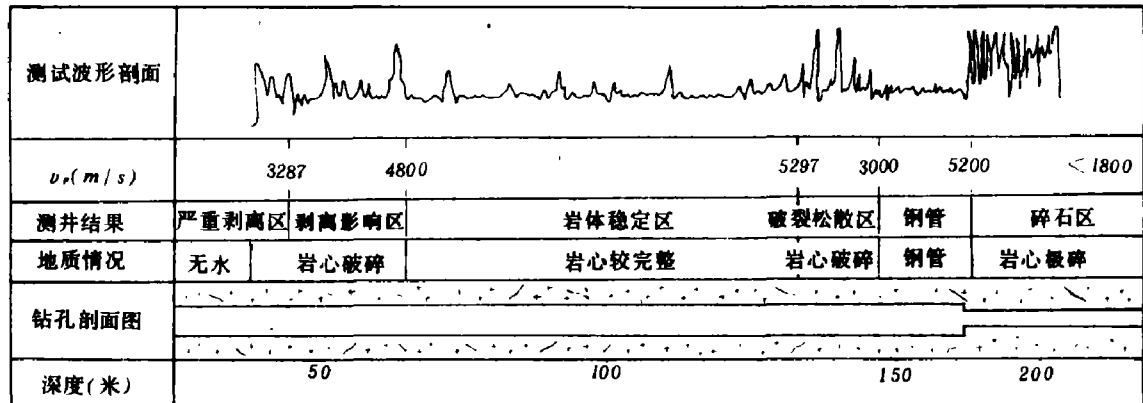


图3 黑云母斜长花岗岩爆后709°孔声波测井结果

料表明：709°孔在孔深5米处位错，终孔后侧斜资料证明爆前爆后709°孔的方位相差很小，钻孔俯角没有变化。这为我们爆前爆后测试结果对比分析提供了基础。

根据图3声波测试的结果，计算爆后709°孔岩体弹性波参数及岩体力学参数列于表5和

表6。

表5 爆后709°孔岩体弹性波参数

钻孔深度(m)	28~40	40~60	60~80	80~217	217~242	242~279	279~304
纵波速度(m/s)	3287	4000	4800	5297	3000	5200*	<1800
完整系数	0.38	0.56	0.81	0.92	0.31	<0.31	<0.31
裂隙系数	0.62	0.44	0.19	0.08	0.68	>0.68	>0.68
岩体状态 现场描述	张性裂隙发育, 岩体破裂, 岩心采取率低	裂隙发育, 岩心采取率低	有裂隙, 岩心采取率增加	局部发育裂隙	岩体破裂呈碎块, 结构松散, 有塌孔现象	同左	岩体极破碎, 松散, 钻孔不成孔
评 价	稳定性较差	基本稳定	稳 定	稳 定	不稳定	不稳定	极不稳定

表6 爆后709°孔岩体力学参数

钻孔深度(m)	28~40	40~60	60~80	80~217	217~242	242~279	279~304
纵波速度(m/s)	3287	4000	4800	5297	3000	5200*	<1800
$\sigma_1 (10^5 Pa)$	667.3	1003.1	1444.4	1776.3	564.2	/	/
$\sigma_2 (10^5 Pa)$	29.2	43.2	62.2	76.5	24.2	/	/
$\sigma_3 (10^5 Pa)$	23.9	35.6	51.3	63.1	20.0	/	/

\* 该段因岩体破碎, 钻孔不成孔, 故采用钢套管保护孔壁, 表5和表6中所列声速为所测钢套管的声速值。

由上可知, 爆前709°钻孔岩体尽管有一定深度的风化层及局部地段发育裂隙, 但对岩体的稳定性没有明显的影响。然而, 核爆以后, 709°孔测试结果同爆前相比, 岩体的稳定性受到很大的影响。爆后709°孔在孔深60米以上岩体波速值较爆前降低了20%; 在217~304米范围, 声速值降低幅度更大, 其值超过43%。钻探资料提供: 在该区域钻孔漏水十分严重, 孔内经常掉块, 以至于在242~279米之间不得不安装钢套管保护孔壁, 在279米以后采用水泥注浆护孔, 这些措施表明了岩体的破碎程度。显然, 由于岩体声速值下降, 岩体弹性波参数及力学参数亦相应下降(表5和表6)。按照我国工程实践中用弹性波参数对岩体分类评价标准<sup>(2)</sup>, 当岩体的完整系数为0.35~0.5, 裂隙系数为0.5~0.65, 那么这部份岩体是稳定性较差的; 当完整系数为0.2~0.35, 裂隙系数为0.65~0.80, 这部份岩体是不稳定的; 当完整系数<0.2, 裂隙系数>0.8, 这部份岩体就是极不稳定的。这个标准同我们表5所列数据以及现场观测都是一致的。

根据上述分析, 我们确定这次核爆炸造成的不稳定区域距爆心最远距离为84米, 地表剥离厚度为60米, 剥离影响深度可达80米。

#### 四、结 语

综上所述, 地下核试验在距爆心一定距离范围内及地表下一定深度的岩体结构发生明显的变化, 即原来完整坚硬, 裂隙稍发育的稳定性岩体变成碎裂状, 裂隙很发育的不稳定性岩体。如果在两种不稳定性岩体中间所保留的稳定性岩体没有足够的厚度, 那将给安全试验带

来极大的不利因素。

地表剥离程度和深度同风化层的程度至少在本次试验有着密切的关系。地表风化层的存在,降低了岩体的抗拉强度(表3),因而在距爆心地面投影点附近(709°孔距爆心地面投影点40米左右)地表剥离厚度较大,远离爆心地面投影点剥离深度减少。这已被本次试验地震资料所证实。当然,他们之间的关系是十分复杂的,有待今后深入研究。

声波测井法对地下深处岩体稳定性的探测是一种值得推广应用的方法。

参加测试工作的还有李宁和吴国荣同志。

### 参 考 文 献

- (1) 谷德振, 岩体工程地质力学基础, 科学出版社(1979)。
- (2) 陶振宇, 岩石力学的理论与实践, 水利出版社(1979)。
- (3) 江汉石油学院测井教研室编, 矿场地球物理测井技术测井资料解释, 石油工业出版社(1981)。

## OBSERVATION OF THE UNSTABLE ROCK MASS UNDER AN UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSION

Chu Yucheng

### Abstract

This report describes the results of the pre-explosion and post-explosion sound wave velocity logging in the drill hole under an underground nuclear explosion. Elastic waves and mechanical parameters of rock mass are calculated with these results. The surrounding rock crack-loose range and the earth surface spall depth resulted from the nuclear explosion are determined. Then the safe buried depth of test is provided on an experimental geological basis.

## 地下核爆炸冲击波对围岩声速的影响

赵文瑞

(1985年5月10日收到)

本文给出了地下核爆炸爆后围岩样品声速测量结果。测量结果表明空腔以