

无声破碎

魏承景 谢逢午



广西土木建筑学会冶金建筑分会

无 声 破 碎

魏承景 谢逢午

广西土木建筑学会冶金建筑分会

本书根据作者实践经验和国内外文献,系统地介绍了无声破碎的机理、特点和应用范围,无声破碎要素,国内外各种破碎剂的性能,无声破碎工程的设计和施工,还例举了国内外大量施工实例,内容丰富,供工业与民用建筑、交通与能源建设、建筑材料生产、水利与矿山开采等有关专业技术人员 and 工人阅读,也供这些专业师生参考。

无 声 破 碎

魏承景 谢逢午

广西土木建筑学会冶金建筑分会
(南宁市江南路广西冶金设计院内)
广西壮族自治区茅桥印刷厂印刷

1985年11月

前 言

发展安全、无公害而且效率高的破碎法是建设者们多年的愿望，1979年日本开始采用非爆炸性破碎剂对破碎对象进行平静的破碎，从而在颇大程度上实现了这一愿望。

这种破碎法是在岩石或混凝土上钻孔，用水将非爆炸性破碎剂搅合填入孔内静置，硬化后使破碎对象（岩石或混凝土）产生裂缝，经10~24小时后就可用其他机具简便地将碎块清除。

采用这种破碎法时，破碎对象破裂时无声响，且破裂过程进行得比较平静，没有震动，所以人们就把这种破碎法叫做无声破碎或静态破碎；又由于破裂过程进行得比较缓慢，所以又有人把这种破碎法叫做缓动作破碎；还由于破碎对象的破裂是通过破碎剂膨胀产生膨胀压力而导致的，所以又有人把这种破碎法叫做膨胀破碎。由此可知，这些名称都是只根据该方法的某一特性而取的，不能全面反映该法的特点，因而至今还不能统一，本书在叙述时将根据具体情况采用相应的名称。

我国于1980年也开始进行无声破碎的研究、试验研制无声破碎剂，1982年进行了工业性试制，1983年通过鉴定，并推广应用于破碎工程，取得了良好效果。

为了更好地推广应用无声破碎技术，本书根据国内外文献和实践经验，对这一新技术作了系统的介绍，使读者对它有完整的认识，首先于第一章介绍该法的破碎机理、特点和应用范围，接着于第二章介绍无声破碎的要素——膨胀压、钻孔参数和钻孔布置型式，并对破裂时间加以推算，第三章

介绍国内外各种破碎剂的性能，第四章介绍破碎工程的设计和施工，最后于第五章介绍国内外无声破碎工程实例。

本书由中国有色金属工业总公司南宁公司魏承景和广西冶金建设公司谢逢午编写。

在编写过程中承广西冶金建设公司许广志、向洪武、陈乐生等同志协助整理施工实例资料，建筑材料科学研究所SCA研究组提供有关资料，谨在此一并表示感谢。

由于水平有限，而且时间比较仓促，难免有错误不当处，谨请读者指正。

编 者

1985年5月

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 无声破碎机理	(2)
第二节 无声破碎的特点	(5)
第三节 无声破碎的适用范围	(6)
第二章 无声破碎要素	(7)
第一节 膨胀压及其影响因素	(7)
一、温度的影响	(8)
二、水灰比的影响	(9)
三、孔径的影响	(9)
第二节 钻孔参数	(10)
一、孔径和孔深	(10)
二、孔距	(11)
三、排距和抵抗线	(16)
第三节 钻孔布置基本形式	(17)
一、裂缝规律	(17)
二、钻孔布置基本形式	(19)
三、钻孔方向	(20)
第四节 破碎时间推算	(20)
第三章 无声破碎剂的性能及其使用要点	(23)
第一节 国产无声破碎剂	(23)

一、力士牌无声破碎剂.....	(23)
二、南京型静态破碎剂.....	(30)
三、TJ—1型膨胀破裂剂.....	(34)
四、JC ₁ 系列静态爆破剂.....	(37)
五、广西型静力破碎剂.....	(37)
第二节 国外产无声破碎剂.....	(37)
一、“普拉依斯达”型膨胀破碎剂.....	(37)
二、“卡姆玛依托”型缓动作破碎剂.....	(42)
三、NRS—1型无声炸药.....	(47)
第四章 无声破碎工程设计与施工	(47)
第一节 设计.....	(47)
一、钻孔参数与布孔形式的决定.....	(48)
二、破碎剂用量计算.....	(54)
第二节 施工.....	(54)
一、钻孔.....	(55)
二、破碎剂选择与充填.....	(57)
三、养护.....	(61)
四、破碎剂浆体喷出现象的产生原因分析.....	(62)
五、二次破碎和清渣.....	(64)
六、注意事项.....	(64)
第三节 石材开采.....	(64)
一、两面切割.....	(65)
二、三面切割.....	(67)
第五章 无声破碎工程实例	(68)
第一节 柳州及海南地区无声破碎工程实例.....	(68)
一、混铁炉基坑“摘瘤”.....	(70)
二、混凝土路面拆除.....	(73)
三、地基平整.....	(75)

四、池壁拆除·····	(77)
五、钢筋混凝土基础拆除·····	(80)
六、混凝土墩拆除·····	(81)
七、摇床基础拆除·····	(84)
八、回转窑基础拆除·····	(84)
九、锻锤基础拆除·····	(86)
十、巨石切割·····	(88)
第二节 其他地区无声破碎工程实例·····	(90)
一、无声破碎在葛洲坝工程中的应用·····	(90)
二、其他无声破碎工程实例·····	(91)
第三节 石材切割·····	
一、大理石切割·····	(93)
二、花岗石切割·····	(94)
第四节 国外无声破碎施工实例·····	(97)
一、混凝土破碎施工实例·····	(97)
二、岩石破碎施工实例·····	(100)
结束语·····	(101)
附录 静态破碎剂S—玛依托标准定额·····	(103)

第一章 概述

无声破碎又名静态破碎或无震破碎，它是属于化学物理法范畴的一种低爆速、低爆力的新的控制破碎技术。这种破碎法是先在岩石或混凝土上钻孔，然后用水将非爆炸性破碎剂搅合并填入孔内静置、经过水化膨胀后使被破碎物体（岩石或混凝土）产生裂缝，经10~24小时后就可使用其他机械简便地将碎片清除。这种破碎法既无震动又无噪音，同时还不产生飞石、粉尘和有害气体，是一种安全且无公害的破碎方法。

采用这种破碎法的设想虽早已产生，但因合适破碎剂的研制迟缓，所以在七十年代末期以前还未达到实用的程度。在国外，最早进行这种破碎剂研究的是日本的田中秀男，他用生石灰粉与水搅拌成浆体充填到钻孔中，企图通过水化反应，产生膨胀压使混凝土构筑物破坏。后来田中毛见把波特兰水泥、石膏、矿渣、 CaO 、 CSA 、赤泥与水拌合，使其产生膨胀。这些方法都由于膨胀压较低，工艺复杂而未能实用化。1979年4月日本小野田水泥公司开始出售具有实用价值的以石灰石为主要原料、以氧化钙为主要成份的呈粉末状的破碎剂，使无声破碎技术进入了实用阶段。目前，日本已有小野田、住友等多家公司生产无声破碎剂。美国康塔克工业公司购买了日本的专利，也于1982年开始生产普拉依斯达型破碎剂。

在国内，为了适应四化的需要，建筑材料科学研究院于1980年开展了无声破碎剂（Soundless Cracking Agent，

简称SCA)的研制工作。在1981年试验室研究成功的基础上,于1982年6月和12月先后进行了两次工业性试制,1983年通过部级鉴定,并正式投产,供应全国。在此同时,中国人民解放军第七三一七工厂和铁道部第二工程局科研所合作,也于1980年开始对无声破碎进行研究,1981年6月在南京试验成功类似于日本“普拉依斯达”(Bristar)的第一代无声破碎剂,后又反复试验改进,研制成功具有我国特色的静态破碎剂,并于1984年11月8日在南京通过正式鉴定。

随着无声破碎剂的研制成功并投产,各地区、各部门都相继推广应用无声破碎技术,并取得了满意的效果。本章将扼要介绍无声破碎的机理、特点和应用范围。

第一节 无声破碎机理

岩石和混凝土等典型脆性物体,其抗压强度高而抗拉强度低。一般情况下,岩石的抗压强度为 $1000\sim 1200$ 公斤/厘米²,抗拉强度只为 $40\sim 70$ 公斤/厘米²;混凝土的抗压强度为 $150\sim 500$ 公斤/厘米²,而抗拉强度才只 $15\sim 30$ 公斤/厘米²。无声破碎法就是抓住脆性物体抗拉强度小这一特点,利用填充于钻孔中的破碎剂浆体在水化过程中产生的膨胀压力对其进行破碎。用水调成浆状填充在岩石或混凝土钻孔中的破碎剂,随着化学反应的进行,生成一种膨胀性的结晶体,体积可增大三倍,但在钻孔中,在体积膨胀受到约束的情况下,便产生膨胀压力作用于孔壁,使孔壁产生两个方向的力,一个是径向压应力,一个是与压应力垂直的拉应力,如图1—1所示。当此拉应力超过被破碎体的抗拉强度时,即在孔壁最薄弱处(一般为钻孔之间的连接处)产生裂纹。

大型石山或大型混凝土构筑物，由于受到与膨胀压力相反的外压作用（这种外压是由约束引起、且随约束条件而不同），因此不能简单地推算出它们破碎时所需的膨胀压力。但对一般的岩石或一般的混凝土构筑物，则可应用Tresca所提出的完全脆性体屈服理论公式推算出它们破碎时所必需的膨胀压力概略值（表1—1）。

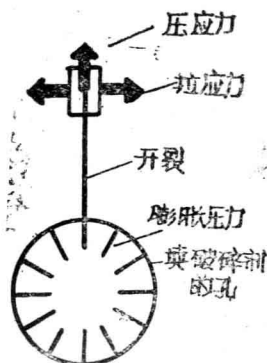


图1—1 破碎机理图

岩石种类与所需膨胀压的推算值 表1—1

岩石种类	抗压强度 (公斤/厘米 ²)	抗拉强度 假定值 (公斤/厘米 ²)	孔径 (2a) (厘米)	孔间隔 (2r) (厘米)	岩石开裂 所需的膨 胀压力推 算值 (公斤/厘米 ²)
软石(Ⅱ)	<600	30~60	4	65	84~167
中硬岩	600~1200	60~100	4	55	157~262
硬岩	>1200	100~130	4	40	230~299

从表1可知，要使岩石或混凝土开裂，破碎剂的膨胀压力必须在300公斤/厘米²左右。从实际破碎时间反算破碎剂的膨胀压与这样求得的膨胀压之间可以得到大体一致的结果。

Tresca的屈服条件式如下：

$$\sigma_0 = y \ln \frac{r}{a} - p + y \quad (1-1)$$

$$\text{但 } c \geq r \geq a$$

式中 σ_0 ——物体内部产生拉应力值；

γ ——破坏时的拉应力值；

p ——膨胀压力；

a ——孔半径；

r ——从孔中心至计算点的距离；

c ——从孔中心至塑性区边缘的距离。

无声破碎剂与炸药不同，当受到约束时具有保持膨胀压力的性质，再则当被破碎物体发生裂缝之后，破碎剂又受到由碎片产生的部分约束，因此残留着一定的膨胀压力，这种压缩力又将裂缝扩大。另外，在自由面附近因产生剪应力，进而使它发生新的裂缝，使物体进一步破碎，如图 1—2 所示。这样，便可在无震动、无噪音、无飞石、无粉尘、无有毒气体的情况下，把岩石或混凝土破碎，既可达到爆破拆除的目的，又能保证安全，不污染环境。由此可知，由破碎剂

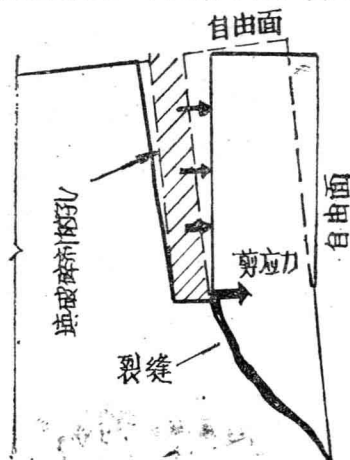


图 1—2 自由面多的被破碎体断面裂缝发生图
引起的拉应力，使岩石或混凝土破碎是按照“裂缝的发生→裂缝的扩散→裂缝的扩大”的过程来完成的，其破碎机理与炸药爆炸完全不同。

第二节 无声破碎的特点

我们知道，用炸药爆破物体，炸药爆轰时，在很短的时间（ $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 秒）内释放出巨大的能量，产生几万个至十几万个大气压、 $2000 \sim 4000^{\circ}\text{C}$ 高温，爆炸过程具有高压瞬时的特点；采用燃烧剂爆破时也一样，起爆后也能在很短的时间内（ $10^{-1} \sim 1$ 秒）产生几千个大气压、 $3000 \sim 5000^{\circ}\text{C}$ 高温，破碎过程也是高压、瞬时。而无声破碎剂则不同，水化反应需经4~24小时才能产生300~500个大气压，与上述两种破碎材料相比，能量低得多。所以，无声破碎过程具有低压、慢加载的性质，它与其它方法比较，有以下几个特点：

1. 无声破碎剂不是危险品，不受法规限制，操作简单，保管方便，尤为突出的是不需要有操作负责人。任何人在任何地点都可安全而简便地进行破碎作业。不象炸药爆破，需精确计算药量，操作复杂，还要有“爆破证”。

2. 由于这种方法不是爆炸破碎而是开裂破碎，故与其他破碎法不同，破碎时没有爆炸声和冲击声等噪音，也不产生震动、飞石、粉尘，有害气体等公害。随着时间的增长就能使裂缝扩大，容易进行二次破碎。

3. 施工简便。此法只需将经水处理的破碎剂填入孔内静置，就可使被破碎体发生裂缝，无需象炸药那样要用粘土或水泥砂浆将炮眼封闭后再点火放炮。

4. 通过适当设计孔径、孔距和孔的角度，就可以进行定向破碎。这是传统爆破法较难办到的。

表1—2是无声破碎与其它爆破法比较情况

三种破碎法的比较

表 1 — 2

破碎材料	炸药	燃烧剂	无声破碎剂
破碎原理	气体膨胀	气体膨胀	固体膨胀
速度(秒)	$10^{-5} \sim 10^{-6}$	$10^{-1} \sim 10^0$	$10^4 \sim 10^5$
压力(公斤/厘米 ²)	几万~十几万	几千	300~500
温度(℃)	2000~4000	3000~5000	50~80
破碎特点	高压, 瞬时	高压, 瞬时	低压, 慢加载
对环境的影响	有震动、噪音、飞石、瓦斯	震动、噪音、飞石等较少	全无公害

第三节 无声破碎的适用范围

无声破碎原则上适用于一切混凝土和岩石, 但在下列场合使用时, 它的特点尤为突出:

1. 邻近有住宅、厂房、铁道、道路、电缆等不允许有震动、噪音、飞石和瓦斯的破碎工程;
2. 使用重型机械或人工破碎效率低的场所;
3. 使用炸药部分破碎时, 恐怕对其他部分有恶劣影响的场所;
4. 作为控制爆破的预裂手段;
5. 作为炸药爆破后的补充手段。

以下分别按岩石和混凝土列出无声破碎法的适用范围:

1. 岩石:

- (1) 建造房屋时地基岩石的破碎;
- (2) 道路扩幅工程的岩石破碎;

- (3) 护坡形成工程的岩石破碎;
 - (4) 岩石的小切割, 岩石二次破碎;
 - (5) 煤气管, 下水管, 电缆等敷设工程的岩石开沟;
 - (6) 大理石、花岗石、汉白玉等贵重石材的荒料开采、切割;
 - (7) 地下人防工程的修整;
 - (8) 矿山井下局部地方修整。
2. 混凝土:
- (1) 设备基础、建筑物基础的破碎;
 - (2) 桥墩、桥台、涵洞的破碎;
 - (3) 墙壁的破碎;
 - (4) 堤坝的破碎;
 - (5) 混凝土桩的切割破碎;
 - (6) 混凝土的部分破碎拆除;
 - (7) 控制爆破前的预裂破碎。

第二章 无声破碎要素

膨胀压、钻孔参数和布孔形式是无声破碎的三个要素, 它们不但决定了破碎效果, 而且决定了破碎时间, 所以, 无论是从事破碎剂研制还是进行破碎工程的设计, 都必须了解并掌握。下面分别加以介绍。

第一节 膨胀压及其影响因素

从破碎机理可知, 膨胀压是无声破碎剂的主要性能指

标。作为无声破碎剂，加水拌合后，除了凝结时间必须满足填孔作业需要外，应具有缓慢的膨胀性而无爆炸性，在岩石或混凝土钻孔中，能随着时间的增长由水化作用进而硬化产生强度，并随强度的发展同时产生膨胀压力，24小时内达到300公斤/厘米²左右。

膨胀压的测定方法一般是，将无声破碎剂浆体填入钢管内，测定不同时间钢管的应变并按厚壁圆筒理论进行计算。经测定，无声破碎剂的膨胀压随着时间的延续而增长，第一天增长最快，随后渐趋缓慢，图2—1示某无声破碎剂在不同温度条件下膨胀压随时间而变化的情况。

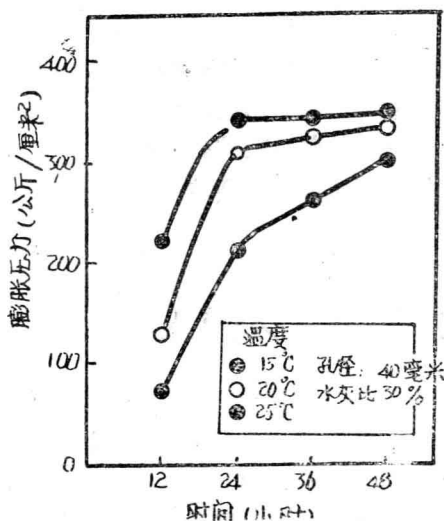


图2—1 破碎剂膨胀压力随时间的变化

除时间因素外，影响膨胀压的主要因素有以下几点：

一、温度的影响

在破碎剂品种不变、测定膨胀压力所用的钢管、环境温

度以及水灰比不变的条件下，温度对膨胀压力的影响示于图 2—1。由图可知，温度愈高膨胀压力的增长愈快，而且48小时后的膨胀压力也愈高。这是由于温度愈高能进一步促进CaO水化以及Ca(OH)₂的再结晶过程所致。

破碎剂浆体的温度不变而被破碎体的温度不同时，热容量大的被破碎体的温度将使膨胀压力的发展受到影响。进一步说，被破碎体导热系数不同也会使浆体温度发生变化，进而也会使膨胀压力发生变化。

二、水灰比的影响

水灰比与膨胀压力的关系示于图 2—2。如果水灰比在28~38%的范围内，则膨胀压力随水灰比的减少而增大。这意味着在浆体的单位体积中破碎剂的占有量不同时，膨胀压力也就有变化。从向孔内填塞所必需的流动性出发，水灰比约为一定值，通常采用30%为宜。

三、孔径的影响

试验用的钢管的内径与膨胀压力的关系示于图 2—2。

从图中可以看出它们之间存在着内径越大膨胀压力越大的趋

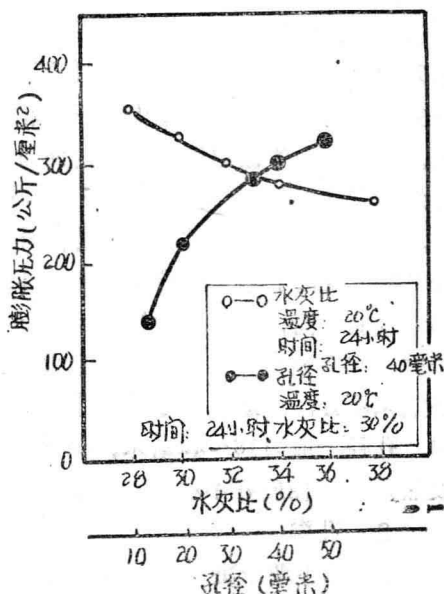


图2—2 水灰比、孔径与膨胀压力的关系