

Research of Static Blasting Agent Based on SCA

Xue Sun, Feifei Gong*, Yinsuo Dai, Xu Shi, Haotian Zhang, Yuehu Tan

College of Defense Engineering, PLA University of Science and Technology, Nanjing Jiangsu
Email: 2870796297@qq.com, *442799174@qq.com

Received: Jul. 31st, 2016; accepted: Aug. 19th, 2016; published: Aug. 22nd, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The soundless cracking agent is an important supplement to traditional blasting technique, and can be widely applied in all kinds of occasions which are limited for blasting and lashing. There are four steps of the test—injecting swelling agent and cement into glass bottles in a different ratio, studying the changing rule of temperature and the breaking time of glass bottle, testing expansion pressure with stress patch in different time, and simulating concrete crushing experiment. The result shows that with the increasing volume of cement in static breaking agent, setting time and breaking time of glass bottle also show an obvious increase. Final setting time of SCA expansion agent is 30 minutes on average, and the breaking time of glass bottle is three and a half hours on average with a 15°C temperature rise in peak, while breaking time of bottle glass of cement blended ones presents a delay of one or two days. SCA expansion agent shows a small amount shrink within two hours, and then keeps swelling in 24 hours in a peak intensity for about 75 $\mu\epsilon$. The theoretical expansion pressure is over 3 MPa. While cement blended ones cost 48 hours to get the peak intensity for 50 $\mu\epsilon$. SCA expansion agent's breaking time to ordinary concrete is three to five hours. Blending ordinary Portland cement can adjust the breaking time for a delay of 24 hours, which provides a multiple choice for all kinds of concrete static crushing construction.

Keywords

SCA, Soundless Cracking Agent, Expansion, Simulated Experiment

基于SCA的静态破碎剂性能研究

孙 雪, 龚飞飞*, 戴银所, 石 旭, 张浩天, 谭跃虎

*通讯作者。

文章引用: 孙雪, 龚飞飞, 戴银所, 石旭, 张浩天, 谭跃虎. 基于 SCA 的静态破碎剂性能研究[J]. 土木工程, 2016, 5(5): 181-189. <http://dx.doi.org/10.12677/hjce.2016.55024>

解放军理工大学国防工程学院, 江苏 南京
Email: 2870796297@qq.com, 442799174@qq.com

收稿日期: 2016年7月31日; 录用日期: 2016年8月19日; 发布日期: 2016年8月22日

摘 要

静态破碎技术是对传统爆破技术是一种重要补充, 可广泛应用于各类对爆炸、冲击等限制的场所。将膨胀剂和水泥进行不同混合后注入玻璃瓶内, 研究温度变化规律和玻璃瓶开裂时间, 然后利用应力片测试不同时间的膨胀压力, 最后进行模拟混凝土破碎试验。研究表明静态破碎剂随着水泥相对掺量的增加, 凝结时间逐渐增加, 玻璃瓶开裂时间也明显增加。SCA膨胀剂终凝时间基本都在半小时左右, 其玻璃瓶开裂时间在三个半小时左右, 此时最高升温达到 15°C , 而掺水泥的破碎剂其玻璃瓶开裂时间一般延迟到1~2天。SCA膨胀剂2小时以内出现少量收缩外, 此后体积一直膨胀, 24小时最大膨胀约, 该理论膨胀压力超过3 MPa, 而掺水泥的破碎剂要到48小时才能达到最大 $50\ \mu\epsilon$ 。SCA膨胀剂作为破碎剂, 对于普通混凝土破碎时间为3~5小时, 通过掺入普通硅酸盐水泥来调节破碎时间可以延迟到24小时, 为各类具体静态破碎施工提供多种选择。

关键词

SCA, 静态破碎剂, 膨胀, 模拟试验

1. 前言

静态破碎剂在水化反应过程中体积会不断增大, 当不受约束时, 反应后体积可以增大到原来的 2~3 倍, 当受到约束时可产生 30~40 MPa 膨胀压力, 该膨胀压力作用于孔壁上使被破碎体产生压缩变形, 而在与压缩变形垂直的方向上发生张拉变形。由于混凝土的抗拉强度仅是抗压强度的 1/10~1/20, 仅有 1~8 MPa, 因此只要确定合理的破碎剂量和破裂参数很容易使得混凝土结构受到的拉伸应力达到极限值而产生裂缝, 并随着压力的增长, 裂缝逐渐变宽变大, 最终混凝土等结构被破碎[1] [2]。该技术适用于人口密集地域, 或国防工程以及武器枪支弹药库等预防灾害要求极高的环境中房屋基础、桥墩(台)、涵洞、坝堤、混凝土桩、路面、烟囱底座等施工[3]-[6]。

南京市博物馆地下室扩建工程面积为 $14,007.6\ \text{m}^3$, 地下室为一层, 基坑东侧开挖深度为 6.0 m, 西、南、北侧开挖深度为 5.2 m, 周长为 4814.1 m (其中南北向长 149.21 m, 东西向宽 98.0 m), 由地上 6 层博物馆组成, 场地下均设有一层地下室相连通, 基坑东侧距用地红线四米处有沿江公园, 南侧与滨江大道相连, 西侧与柳州东路相连, 且路上依次有给水、电力、雨水和天然气管道, 基坑北侧与民用住宅区相连, 周边环境复杂, 基坑设计时采用了钻孔灌注桩与一层钢筋混凝土内支撑结合的支护形式。在-2.5 m 设计一道支撑(位于第一层地下室底板以上)。在地下室浇筑到第一层地下室底板时, 将侧壁回填, 并将第一层地下室底板浇筑到支护桩边, 外墙向上施工时需要拆除支撑。在遴选内支撑拆除方案时考虑到若选用人工方法拆除, 则工期较长, 满足不了施工进度要求, 并且安全隐患较多; 若选用机械方法拆除, 则需要引进大型设备, 同时也给施工组织带来更多困难, 最终选用静态爆破方法进行拆除, 既节约了成本, 又提高了施工进度, 在技术措施得当的情况下, 安全性较好。本文开展基于 SCA 膨胀剂的静态破碎剂性能研究, 为该工程静态爆破施工进行技术准备。

2. 原材料

选用唐山北极熊牌 SCA-II 高效膨胀剂, 其化学组分见表 1, 其在普通硅酸盐水泥中的掺量为 7% 时的限制膨胀率见表 2。

3. 试验结果与分析

3.1. 静态破碎剂配合比的试验

本实验用膨胀剂对常见的玻璃瓶进行了破碎实验, 对不同掺量和水灰比进行试验, 根据玻璃瓶的开裂时间来初步判定最佳配合比。本试验共做了 8 组试验, 实验室内温度为 23℃。

3.1.1. 开裂时间

从表 3 可以看到: 随着水泥相对掺量的增加, 凝结时间逐渐增加, 玻璃瓶开裂时间也明显增加, 单独使用 SCA 膨胀剂时终凝时间基本都在半小时左右, 而其玻璃瓶开裂时间在三个半小时左右, 而掺水泥以后玻璃瓶开裂时间一般延迟到 1~2 天。玻璃瓶每段时间破碎情况实拍如图 1~6。

Table 1. Chemical composition content (%) of the polar bear brand SCA-II high efficient bulking agent

表 1. 北极熊牌 SCA-II 高效膨胀剂各化学组分的含量(%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Loss
3~5	8~10	51~53	2~4	25~28	6~8

Table 2. Restrained expansion rate (%) of ordinary Portland cement in a 7% mixing amount

表 2. 普通硅酸盐水泥中的掺量为 7% 时的限制膨胀率(%)

水中养护 1 天	水中养护 3 天	水中养护 7 天	水中养护 28 天	潮湿空气中养护 21 天
0.015	0.025	0.04	0.07	0

Table 3. Mix ratio test of swelling agent

表 3. 膨胀剂的配合比实验

序号	膨胀剂/g	水泥/g	水灰比	初凝时间/min	终凝时间/min	开裂时间/h	是否喷浆
#1	600	500	0.30	37	60	49.0	否
#2	600	500	0.35	40	71	64.6	否
#3	600	400	0.30	26	59	30.3	否
#4	600	400	0.25	22	41	28.1	否
#5	700	400	0.30	22	50	40.3	否
#6	700	400	0.35	18	30	56.0	否
#7	800	400	0.30	9	21	27.0	否
#8	800	400	0.35	14	25	27.5	否
#9	1000	0	0.26	9	25	3.25	否
#10	1000	0	0.28	9	37	3.30	否
#11	1000	0	0.30	11	30	3.42	否
#12	1000	0	0.32	13	35	3.25	否



Figure 1. Situation of coagulating mixture in glass bottle 1#-8#

图 1. 1#~8#成型时情况



Figure 2. Situation of breaking glass bottle 1#-8# in the 90th hour

图 2. 1#~8# 90 小时时破裂情况



Figure 3. Breaking situation of glass bottle 9# in the 210th min

图 3. 9#210 分钟时破裂情况



Figure 4. Breaking situation of glass bottle 10# in the 215th min
图 4. 10#215 分钟时破裂情况

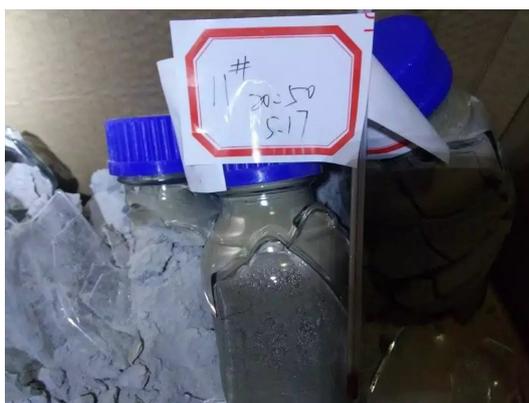


Figure 5. Breaking situation of glass bottle 11# in the 200th min
图 5. 11#200 分钟时破裂情况



Figure 6. Breaking situation of glass bottle 12# in the 210th min
图 6. 12#210 分钟时破裂情况

3.1.2. 温度变化

从图 7 可以看到：随膨胀剂掺量的增加，放热速度加快，在 1 小时左右达到最高温度，最高升温 7℃~15℃，8 小时以后恢复到室温。在 1-8# 试样膨胀剂的相对掺量逐渐增加，反应越快，因此放热越快。当不掺水泥时，膨胀剂反应则迅速得多，三个半小时左右的最高升温达到 15℃，此时玻璃瓶全部破碎。因此综合考虑升温对膨胀的贡献，使用膨胀剂做快速破碎剂时建议不掺水泥，从而提高破碎效率[7]。

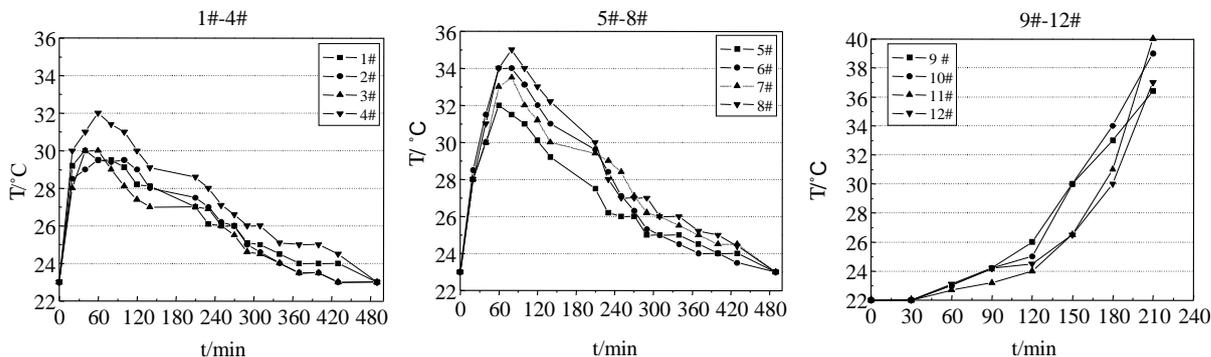


Figure 7. Changing rules of time varying temperature of cracking agents

图 7. 破碎剂的温度随时间的变化规律

3.2. 膨胀压力测试

评价静态破碎效果最主要的指标是膨胀压力，但是由于玻璃瓶开裂试验只能定性的分析其破碎过程和效果，但不能准确计算出膨胀力的大小，因而不能完全代替膨胀压测试。

3.2.1. 测试方法

采用 YJ-26 静态电阻应变仪(华东电子仪器厂生产), 应变片型号为 BX120-5AA (浙江台州市黄岩双立工程传感器厂生产), 金属管为冷拔无缝钢管, 孔径 $\Phi 47.5 \times 4$ mm, 长度 1 m。首先将钢管表面划出贴片中心线, 将粘贴应力片处打磨平, 再采用丙酮清洗, 去除油污, 待风干后, 使用胶基 T-1 型 502 胶水胶粘贴应力片, 并焊接导线, 为研究沿钢管长度方向应变的分布情况, 在钢管表面等距贴有 5 片应变片, 实验装置如图 8。该方法具有操作简便, 结果可靠准确等优点, 可以准确获得静态破碎的膨胀数据, 通过弹性力学中薄壁筒理论来计算钢管所受的膨胀压力[8]。

3.2.2. 结果分析

在配合比试验的基础上选用水灰比相同, 而膨胀破碎性能差异明显的 7#和 11#试样进行膨胀压力测试, 取钢管中部应力片的数据作图 9。

从图 9 可以看到, 在钢管中灌浆以后, 1#破碎剂试样 18 小时内体积急剧收缩, 然后才逐渐膨胀弥补收缩的量, 并产生宏观体积膨胀。这是因为在水泥的水化初期水化反应的主要产物是 C-S-H 凝胶, 虽然固相体积增加, 但水泥-水体系的绝对体积会减小, 理论上体积减少约为 7%~9%。该过程一般发生在硬化前的塑性阶段, 约拌和后 1~4 小时以内, 即在终凝前比较明显。此时膨胀剂的膨胀量当不足以抵消水泥的体积收缩, 表现为总体宏观体积收缩; 此后随着膨胀量的逐步增加, 此时膨胀剂的膨胀作用使水泥石结构致密。而 SCA 膨胀剂除了 2 小时以内出现少量收缩外, 此后体积一直膨胀, 24 小时左右膨胀速度开始降低, 最大膨胀约 $75 \mu\epsilon$, 而 1#试样要到 48 小时时才能达到 $50 \mu\epsilon$ 。

将实验测得 $\Phi 47.5 \times 4$ mm 孔径下的环向应变, 将测得的应变值按式(1)换算为破裂剂膨胀压力[8]。

$$P = E \cdot (K^2 - 1) [\epsilon_\theta / (2 - \nu)] \quad (1)$$

P ——膨胀压力, MPa;

E ——钢管弹性模量(2.06×10^5 MPa);

K ——钢管外径与内径之比;

ϵ_θ ——环向应变;

ν ——钢管材料泊松比, 0.3。



Figure 8. Experimental facility and test system for expansion pressure testing
图 8. 膨胀压力测试实验装置及测试系统

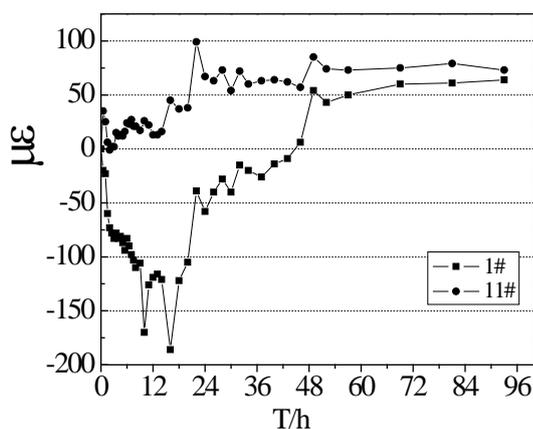


Figure 9. Expansion pressure-curing time relation curve

图 9. 膨胀压与养护时间的关系曲线

当环向应变为 $50 \mu\epsilon$ 时，进行计算得膨胀压力 P 约 2.2 MPa，当环向应变为 $70 \mu\epsilon$ 时计算膨胀压力 P 约 3.0 MPa。

3.3. 破碎混凝土模拟试验

在进行混凝土静态破碎设计时，要考虑与周围结构的连接情况，以及它本身的几何尺寸进行合理的布孔设计及钻孔。一般情况下，岩石和混凝土破碎的钻孔参数见下表 4 [1]。

混凝土试块尺寸为 $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 550 \text{ mm}$ ，设计强度等级为 C20，其配合比为：水 2.8 kg、C32.5 普通硅酸盐水泥 8.5 kg、中砂 14 kg、碎石 2.5 kg。在混凝土内部预埋 $\Phi 30$ 的硬木棍，图 10，混凝土脱模时拔出硬木棍，省去钻孔的工序，硬化 10 天时进行破碎试验。炮孔布置如图 11 所示，即孔径 d 为 3 cm，孔深 L 为 10 cm，孔距 a 为 12 cm，抵抗线 W 为 6 cm。选用破碎性能差异明显的 1# 和 11# 试样进行混凝土破碎模拟实验。

从图 12 可以看到 5.5 小时 11# 破碎剂已经将混凝土完全涨裂，而 7# 破碎剂却需要 24 小时，其破碎效果远大于后者，这与它们的不同膨胀性能完全一致。混凝土设计强度等级为 C20，10 天时强度一般约 13 MPa [9]，而抗拉强度小于 1.3 MPa；当环向应变为 $50 \mu\epsilon$ (约 18 小时) 时计算的膨胀压力已经超过 2 MPa，必然能够破碎混凝土。根据图 9 能够估算出 SCA 膨胀剂约 5 小时左右其膨胀压力就能够达到混凝土的抗拉强度而使混凝土破碎，因此通过膨胀压力实验能够为开发各类静态破碎剂进行理论指导。



Figure 10. Preformed hole
图 10. 预留孔

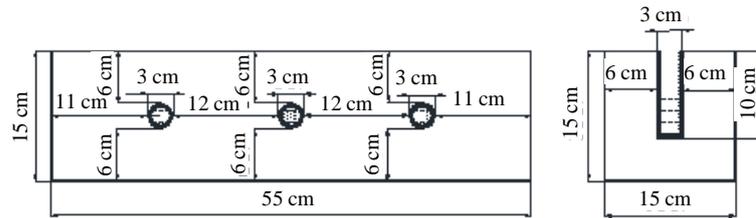


Figure 11. Blast hole pattern
图 11. 炮孔布置图

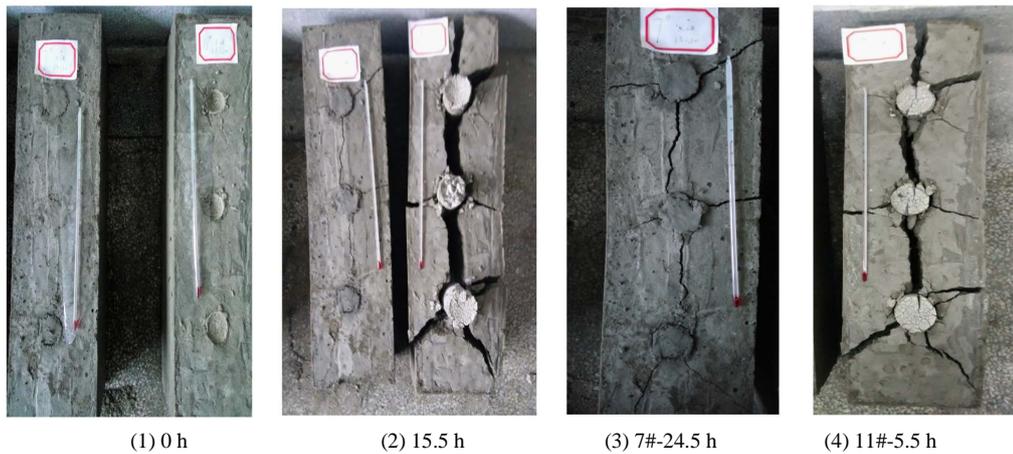


Figure 12. Crushing effect of cracking agent
图 12. 破碎剂破碎效果

Table 4. The design reference of soundless cracking
表 4. 无声破碎设计参考值

被破碎物体	钻孔参数			
	孔径 d (mm)	孔距 a (cm)	孔深 L	抵抗线 W (cm)
轻质岩破碎	40~50	40~60	H	40~60
中、硬质岩破碎	40~65	40~60	105% H	30~50
岩石切割	30~40	20~40	H	100~200
无筋混凝土破碎	35~50	40~60	80% H	30~40
钢筋混凝土破碎	35~50	15~30	90% H	20~30

4. 试验结果与分析

1) 随着水泥相对掺量的增加,静态破碎剂凝结时间逐渐增加,玻璃瓶开裂时间也明显增加。SCA 膨胀剂终凝时间基本都在半小时左右,其玻璃瓶开裂时间在三个半小时左右,此时最高升温达到 15℃,而掺水泥的破碎剂其玻璃瓶开裂时间一般延迟到 1~2 天。

2) SCA 膨胀剂 2 小时以内出现少量收缩外,此后体积一直膨胀,24 小时最大膨胀约 75 $\mu\epsilon$,而掺水泥的破碎剂要到 48 小时才能达到最大 50 $\mu\epsilon$,该理论膨胀压力超过 2.2 MPa。

3) SCA 膨胀剂作为破碎剂,对于普通混凝土破碎时间约 3~5 小时,通过掺入普通硅酸盐水泥来调节破碎时间可以延迟到 24 小时,为各类具体静态破碎施工提供多种选择。

5. 结语

静态破碎技术是对传统爆破技术的一种重要补充,可广泛应用于各类对爆炸、冲击有限制的场所;通过掺入普通硅酸盐水泥和控制静态破碎剂相对掺量,达到调节破碎时间和膨胀效果的目的,从而满足不同环境对静态破碎施工的要求。

基金项目

解放军理工大学学员创新基金资助项目(LGDX2015028)。

参考文献 (References)

- [1] 游宝坤. 静态爆破技术 - 无声破碎剂及其应用[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2008.
- [2] 郝兵元, 黄辉, 冯子军, 等. 单轴应力状态下石灰岩体静态破碎裂纹演化规律及应用[J]. 煤炭学报, 2014, 39(12): 2397-2404.
- [3] 施浩席. 复杂周边环境下基坑支撑拆除方法的选用[J]. 建筑施工, 2015, 37(9): 1056-1058.
- [4] 单兰亮, 张建江, 罗维成, 等. SCA 静态爆破技术在壶流河水库除险加固工程中的应用[J]. 水利水电施工, 2013(6): 9-12.
- [5] 戴银所, 顾月兵, 龙源, 等. 静态爆破技术在非战争军事行动中的应用[J]. 国防技术基础, 2009(9): 42-46.
- [6] 戴银所, 赵旭东, 袁继峰, 等. 静态破碎剂及其施工方案设计[J]. 硅酸盐通报, 2015, 34(S1): 90-94.
- [7] 马冬冬, 马芹永, 袁璞. 气温和水温对静态破碎剂膨胀性能影响的试验分析[J]. 爆破, 2014, 31(4): 124-128.
- [8] 冯或雷. 静态破碎剂的膨胀压力测试实验与应用[D]: [硕士学位论文]. 淮南: 安徽理工大学, 2010.
- [9] 湖南大学, 天津大学, 同济大学, 等. 土木工程材料[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011: 6.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网覆盖推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>