

静态破碎剂水化释压升温过程的影响因素分析

刘玉法¹, 黄辉², 杜光钢³, 齐文超¹, 冉秋硕⁴, 梁潇¹, 刘磊¹

- 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093;
- 景洪市龙鑫矿业有限责任公司, 云南 景洪 666112;
- 昆明有色冶金设计研究院股份公司, 云南 昆明 650093;
- 昆明理工大学 公共安全与应急管理学院, 云南 昆明 650093

中图分类号: TD235 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2024)04-0041-07

DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2024.04.005

摘要 为探究影响爆破用静态破碎剂水化反应过程中膨胀压力与温度变化的外部因素, 基于多水平正交实验进行静态破碎剂的配方优化设计, 利用“外管法”测试静态破碎剂膨胀压力, 使用温度计探针实时监测破碎剂水化反应温度。从不同水灰比、不同环境温度、不同拌合水温三个方面对静态破碎剂进行水化反应分析研究, 结果表明: 静态破碎剂反应的峰值温度随水灰比的增加而先增加后降低; 随环境温度以及拌合水温的升高而升高, 整体水化反应温度经历“平缓—急剧升温—快速降温”的过程; 静态破碎剂在测试钢管中的峰值压力随水灰比增大而呈现先增大后减小的趋势, 随环境温度升高而升高, 但温度过高易导致破碎剂喷孔使膨胀压急剧降低直至失去膨胀力。适当提高拌合水温对静态破碎剂水化反应起促进作用, 拌合水温不宜高于 35 °C。

关键词 氧化钙; 静态破碎剂; 膨胀压力; 水化反应

引言

传统上以工业炸药为主的爆破方式在施工时会产生大量飞石、振动、噪音等, 对施工人员及附近居民造成不良影响。因此, 在不宜采用常规工程爆破的特殊工况下寻求安全环保的土石方施工方法已成为目前亟待解决的难题。静态破碎剂作为一项对工程爆破的重要补充, 由于施工过程不需要审批, 它在一些特殊的施工阶段或辅助爆破中具有不可替代的作用^[1-3]。

孙雪等人^[4]研究了静态破碎剂掺料发现, 随着掺入水泥量增加, 破碎剂凝结时间增加, 利于延迟破碎剂膨胀压发挥。罗明坤等^[5]通过正交实验确定静态破碎剂的最佳组分配比, 提出一种静态破碎剂胀裂破碎煤岩的方法。李胜等人^[6]通过研究, 确定 CaO 是影响静态破碎剂膨胀率的主要成分。汪智勇等^[7]通过研究 C-S-A-F 四相体系中不同辅助相对静态破碎剂膨胀力学行为的影响分析, 通过实验发现不同辅助相组成对静态破碎剂的凝结时间和膨胀压有不同的影响规律, 且认为硅酸盐相是影响静态破碎剂后期膨胀压发

展的最主要因素, 而对早期的膨胀压和凝结时间影响不太明显。刘文等人^[8]将静态破碎剂的水化升温过程分为初始温度发展、快速上升和缓慢降温 3 个阶段, 并认为添加适量的铅锌尾矿砂对抑制静态破碎剂水化喷孔具有积极作用。张嘉勇等^[9]对静态破碎剂的水化温度进行研究, 分析了粉煤灰掺量与水灰比对水化温度的影响, 并在保证静态破碎剂破碎能力的情况下, 发现可向静态破碎剂中添加适量铁尾矿粉来调节水化反应。郑文忠等^[10]总结了目前在工程中应用最多的静态破碎剂, 主要是以氧化钙、水泥、石膏、减水剂为主要成分的静态破碎剂。杜光钢等^[11]通过实验确定了混配型静态破碎剂各组分适宜质量分数区间。王莹等人^[12]总结归纳了氧化钙的水化反应影响因素和提高氧化钙抗水化性能的措施。

这些研究多侧重破碎剂成分变化对水化反应的影响, 而同时针对不同水剂比、气温和水温条件下的拌合物温度变化以及这些因素与静态破碎剂膨胀压力的关系研究较少。本文通过实验研究水剂比、气温和水温条件对静态破碎剂水化反应膨胀压与水化升温的影响, 为掌握静态破碎剂的使用条件、利用静态

收稿日期: 2024-05-27

基金项目: 云南省重大科技专项项目(202202AG050014); 云南省教育厅科学研究基金项目(2020Y0088)

作者简介: 刘玉法(1999—), 男, 山东聊城人, 硕士研究生, 主要从事工程爆破方面的研究。E-mail: 3011541700@qq.com。

通信作者: 刘磊(1981—), 男, 安徽宿州人, 博士, 教授, 主要从事岩石力学、工程爆破方面的研究工作。E-mail: kgliulei@kust.edu.cn。

破碎剂进行破岩活动提供参考。

1 实验设计

1.1 实验材料及装置

自制静态破碎剂为混配型^[13], 主要组分包括氧化钙、水泥、钠基膨润土、石膏、粉煤灰(作为填充剂)以及减水剂。所用装置主要包括 KBX-17B 箱式炉、小型打粉机、LT5001 电子天平、UT320 探针式温度计、Q235 钢管(外径 48 mm, 内径 40 mm, 长 500 mm, 底端用 20#钢板焊接)、DH3818Y 静态应变测试仪、电热恒温水槽。

1.2 实验方案及流程

利用 KBX-17B 箱式炉在 1 500 ℃ 温度下高温煅烧粒状方解石制备氧化钙熟料并恒温 5 h, 熟料冷却后放入小型打粉机进行粉碎。通过正交设计实验优化静态破碎剂的配方(正交设计各组分质量分数如表 1 所示), 实验过程中设计 4 种不同水灰比: 0.24、0.28、0.32、0.36; 分别设定 20 ℃、30 ℃、40 ℃ 等 3 种环境温度; 设计 15 ℃、25 ℃、35 ℃ 等 3 种拌和水温, 每次选择静态破碎剂 500 g 进行实验。

(1) 设置恒温水槽温度为 20 ℃(±0.5 ℃), 待恒温水槽温度稳定后, 用“外管法”^[14]测定破碎剂的水化膨胀压力, 将测试钢管套袋置于恒温水槽内, 保证静态破碎剂与水充分搅拌后倒入测试钢管, 通过静态应变仪测定钢管外壁的应变, 进而换算出静态破碎剂产生的膨胀压力变化, 以此来测定破碎剂水化反应膨胀压力。

(2) 将破碎剂与水按设定水灰比充分拌合, 放在不锈钢铁盒中, 插入 UT320 探针式温度计进行温度测试, 温度计用铁丝固定探针, 实验过程使用电子监控功能实时记录, 具体测试装置如图 1。

表 2 水化反应 36 h 后破碎剂膨胀压

Table 2 Swelling pressure of static cracking agent at 36 h

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
膨胀压/MPa	66.15	64.45	67.87	74.34	79.59	77.77	70.32	66.66	68.28

表 3 正交实验数据分析结果

Table 3 Results of the orthogonal experimental data analysis

原料	氧化钙	石膏	水泥	膨润土
Σ I /3	66.49	70.19	70.27	71.34
Σ II /3	77.23	69.36	70.57	71.18
Σ III /3	68.42	72.59	71.30	69.62
平均膨胀压极差	10.74	3.23	1.03	1.72

从表 3 中可以看到, 当四种组分氧化钙、水泥、石膏和膨润土在 II、III、III、I 水平时所引起的膨胀

表 1 正交设计各组分质量分数

Table 1 Percentage of each component in orthogonal experiment

编号	氧化钙	石膏	水泥	膨润土	减水剂	粉煤灰
1	70(I)	3(I)	8(I)	6(I)	1	12
2	70(I)	4(II)	9(II)	8(II)	1	8
3	70(I)	5(III)	10(III)	10(III)	1	4
4	73(II)	4(II)	8(I)	10(III)	1	4
5	73(II)	5(III)	9(II)	6(I)	1	6
6	73(II)	3(I)	10(III)	8(II)	1	5
7	76(III)	5(III)	8(I)	8(II)	1	2
8	76(III)	3(I)	9(II)	10(III)	1	1
9	76(III)	4(II)	10(III)	6(I)	1	3

注: 括号内 I、II、III 表示水平。

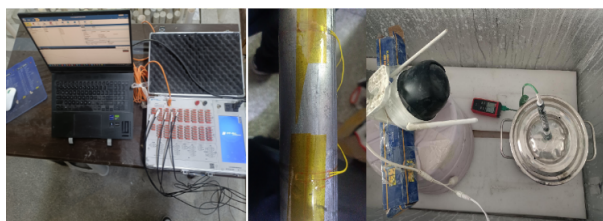


图 1 膨胀压与测温装置

Fig. 1 Expansion pressure and temperature measuring device

2 实验结果及分析

2.1 静态破碎剂配方

水化反应 36 h 后破碎剂膨胀压力见表 2。由实验可知, 每组实验膨胀压力都比一般岩石及混凝土 1~10 MPa 的抗拉强度高^[15], 这为工程实际中岩石、混凝土的开裂提供了依据。

通过对氧化钙、水泥、石膏、膨润土等 4 种配料在相同水灰比条件下的用量进行正交实验, 找出优化的最佳配方。具体实验参数如表 3 所示。

力最大, 即: 73% 的氧化钙、10% 的 P·O42.5 水泥、5% 的硫酸钙(石膏)、6% 的钠基膨润土、1% 的减水剂和 5% 的粉煤灰制作静态破碎剂。

2.2 水灰比的影响

环境温度为 20 ℃, 拌合水温 25 ℃, 水灰比分别为 0.24、0.28、0.32、0.36 时拌合物温度—时间曲线如图 2, 不同水灰比测得的膨胀压—时间关系如图 3。

图 2 中曲线整体经历“平缓上升—急剧上升—快

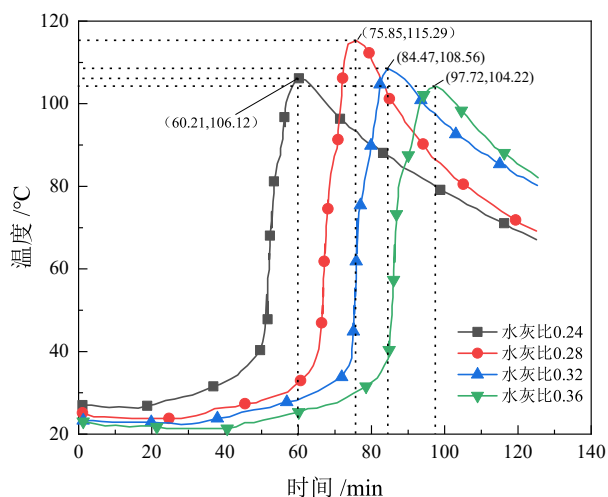


图2 不同水灰比静态破碎剂拌和物温度—时间关系
Fig. 2 Temperature-time relationship of static crusher mixes with different water-cement ratios

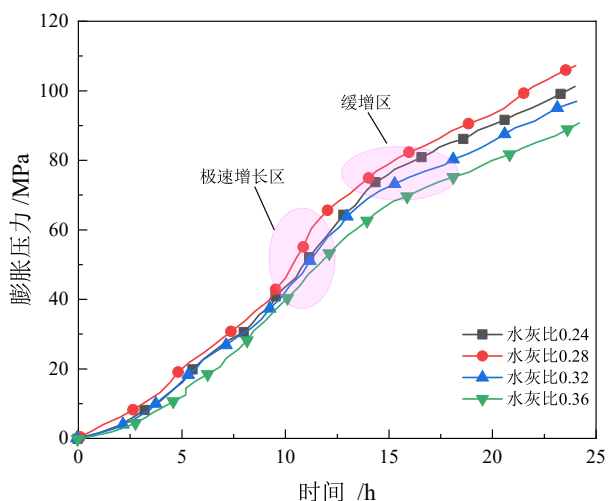


图3 不同水灰比条件下静态破碎剂膨胀压—时间关系
Fig. 3 Expansion pressure-time relationship of different water ash ratio static crushing agent

速下滑”的过程,随水灰比增加,水化反应温度峰值先增大后减小^[16]。反应初期静态破碎剂的反应较缓慢,水化产热^[13]与散热系统基本平衡,水化温度曲线变化平缓;不同水灰比配制的静态破碎剂在这段时间内水化速率“基本同步”。反应初期水化反应较慢,主要是氧化钙被其他辅助组分包裹住,胶凝剂(硅酸盐水泥)增强反应物之间的胶结程度,使硬化速率与膨胀压力增长速率一致。缓凝剂(石膏)利用功能团在氧化钙表面吸附,减缓初始水化速率。水泥与石膏的反应活性直接影响水化放热量及放热速率,进而对水化速率与硬化浆体的微观结构和力学性能造成进一步的影响。

由图3可知膨胀压总体持续增长,增长速度先缓慢到快速最后逐渐放缓。反应初期,CaO分子与水分子未充分接触,膨胀压低速增长,此时水灰比对水化反应的影响不大。图3中极速增长区的出现是因为

经过上一阶段水化反应的进行,生成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 分子充斥内部孔隙,CaO分子分散,破碎剂总体表面积增大,加快了水化反应,固相体积不断增加,致使膨胀压力快速增长;缓增区的出现是由于当水化反应进入中后期,大部分CaO分子与水反应基本完成,水化产物逐渐增多,阻碍水分子与CaO分子的进一步接触,膨胀压力增长速度减缓。其次,破碎剂后续反应受水灰比影响较大。反应时间达到15 h后,相同水温条件,水灰比越小浆液质量浓度越大,水化反应放能越多,催化了反应的释压^[17]。值得注意的是,由于水灰比为0.24时的破碎剂流动性差,装入钢管以后密实度不够,使破碎剂水化反应略慢于水灰比为0.28时的破碎剂反应,表现为相同时间点水灰比为0.24的破碎剂水化反应膨胀压值小于水灰比为0.28时的膨胀压值,故在水灰比为0.28的条件下进行后续实验。

2.3 环境温度的影响

拌和水温 25°C ,恒温水槽温度分别为 20°C 、 30°C 、 40°C 时拌合物温度—时间曲线如图4,不同环境温度测得的膨胀压—时间关系如图5。

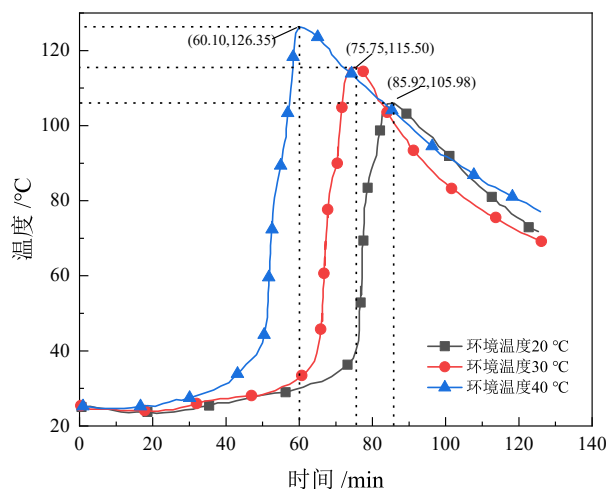


图4 不同环境温度破碎剂水化反应温度—时间曲线
Fig. 4 Temperature-time curve of different environmental temperatures

由图4所示,不同环境温度静态破碎剂拌和物温度—时间关系曲线与不同水灰比拌和物温度—时间关系曲线走向大体一致,皆呈现“平缓—急剧上升—快速下滑”的走势。前期静态破碎剂水化反应仍较缓,但是静态破碎剂水化峰值温度随环境温度的升高而升高,环境温度越高,静态破碎剂水化急剧升温时间越提前,主要原因是高温促进破碎剂内各成分反应的水化进程。

分析图5发现不同环境温度下膨胀压增幅不一致,主要是环境温度影响静态破碎剂的水化速率进而影响破碎剂膨胀压释放。环境温度为 40°C 时,破碎

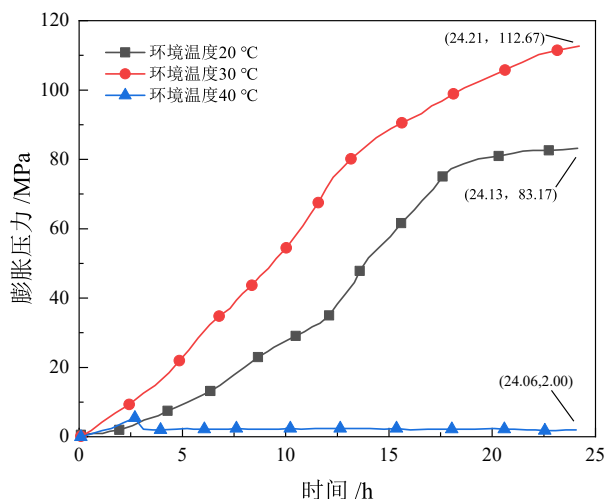


图5 不同环境温度破碎剂膨胀压—时间曲线

Fig. 5 Expansion pressure-time curve of the crushing agent at different ambient temperatures

剂反应一段时间后“喷孔”，仅少量残留破碎剂仍继续水化反应，膨胀压力缓慢减小。依据“水蒸气压喷孔”学说^[18]，静态破碎剂的水化过程属放热过程，其主要组分CaO与水化合并放出大量热量，当测试钢管处于40℃环境中不能及时地将热量散发出去，反应释放的热量要比钢管流失的多，钢管中出现严重的“热积聚”^[19]、“热失衡”现象，过多热量使化学反应中的水分加速汽化，生成不同大小的水汽气压团，当气团压力不断增加，直至超过破碎剂和孔壁间的摩擦力^[20]，就会出现喷孔现象。而环境温度为20℃、30℃时测试过程未发生喷孔现象，同时，与室温30℃环境相比，20℃下时破碎剂产生的膨胀作用力略小，可以看出在一定条件下，环境温度升高可以适当提高静态破碎剂的膨胀压力，但温度过高易使破碎剂喷孔，综合考虑认为静态破碎剂的环境温度应该在30℃左右。

2.4 拌和水温的影响

依据2.3节对静态破碎剂适宜环境温度的分析，认为静态破碎剂使用环境温度不宜超过40℃。实验设计静态破碎剂水灰比0.28，为与2.2节测试实验形成对照，恒温水槽温度设置为20℃，设置拌和水温15、25、35℃。不同拌和水温的破碎剂温度—时间曲线与膨胀压随时间的变化关系曲线分别如图6、图7所示。

由图6可以看出，随着拌和水温的提高静态破碎剂水化峰值温度增加但总体相差不大，水化反应剧烈升温的时间提前^[21]。由于静态破碎剂在水化放热的同时，越高的拌和水温使得水化升温起点越高，而拌和水温越低，水化放出的部分热量会用于拌和用水的升温，水化反应达到急剧升温阶段的时间相对越久。

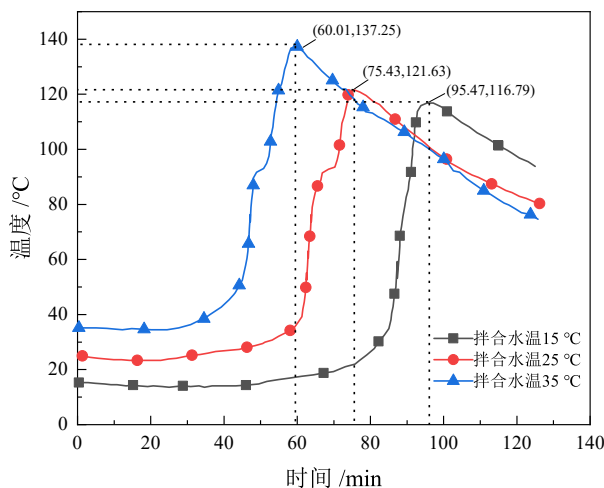


图6 不同拌和水温破碎剂水化反应温度—时间曲线

Fig. 6 Hydration reaction temperature-time curve of crushing agent with different mixing water temperatures

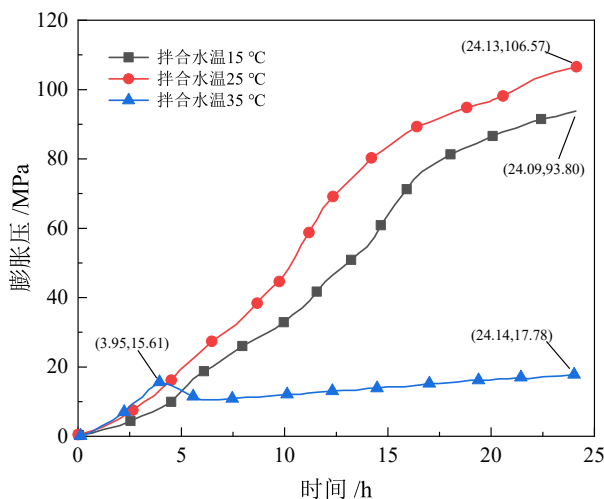


图7 不同拌和水温破碎剂水化反应膨胀压—时间曲线

Fig. 7 hydration temperature-time curve of crushing agent with different mixing water temperatures

分析可得，水灰比一定，随着拌和水温的增加，静态破碎剂的完全反应时间减少，拌和水温与反应速度呈反向相关性。

由图7发现，反应初期，静态破碎剂的膨胀压随拌和水温的升高而增大，拌和水温达35℃时膨胀压测试曲线趋势同环境温度40℃相似，都为近似平滑的一条横线。静态破碎剂在钢管中水化膨胀一段时间后发生“喷孔”，高拌和水温的静态破碎剂浆体在注入测试钢管时，水化反应进行得越加激烈，水化升温起点越高^[22]，水化升温的过程缺少“热平衡”阶段，未能及时形成散热通道有效散热，直接导致整个反应体系的“热失衡”，最终出现喷孔现象。而在拌和水温15℃、25℃时测试过程未发生喷孔现象且拌和水温25℃时静态破碎剂所产生的膨胀压大于拌和水温15℃所产生的膨胀压，可以得出适当提高拌和水温促进静态破碎剂水化反应，利于膨胀压的有效释放。

分析不同拌和水温膨胀压测试结果,认为配方优化后的静态破碎剂适宜拌和水温在 25 ℃ 左右。

3 结论

(1)采用正交实验法优选出质量分数为 73% 的氧化钙、10% 的 P·O42.5 水泥、5% 的硫酸钙(石膏)、6% 的钠基膨润土、1% 的减水剂、5% 的粉煤灰来制作静态破碎剂。

(2)静态破碎剂水化升温主要经历“平缓升温—急剧升温—快速降温”三个阶段,相较于水化升温,水化释压的过程则表现为伴随环境温度、拌和水温的升高而持续增大。当环境温度超过 40 ℃ 或拌和水温超过 35 ℃ 时静态破碎剂在内径 40 mm 的炮孔中极易因为体系内“热失衡”发生喷孔事故。

(3)在施工过程中,静态破碎剂浆料的有效膨胀力在水灰比 0.28 的情况下最大,但考虑到破碎剂浆体注入炮孔时对浆体的流动性需求,水灰比为 0.28~0.32 时较优;适宜使用环境温度为 30 ℃;使用拌和水温不宜高于 35 ℃。

参考文献:

- [1] 马芹永,袁璞,卢小雨.静态破碎技术在桥梁临时支撑拆除中的应用[J].施工技术,2013,42(增刊):337-340.
MA Q Y, YUAN P, LU X Y. Application of soundless cracking technology in demolishing bridge temporary support[J]. Construction Technology, 2013, 42(Suppl.): 337-340.
- [2] 李元杰,刘鹏,樊文明.静态破碎技术在拆除工程中的应用[J].山西建筑,2010,36(31):155-156.
LI Y J, LIU P, FAN W M. Application of static breakage technology in demolition engineering[J]. Shanxi Architecture, 2010, 36(31): 155-156.
- [3] 谭毅.静态破碎剂在回采工作面端头悬顶处理中的应用与研究[D].太原:太原理工大学,2012.
TAN Y. Application and research of the soundless cracking agent in mining working face end hanging roof[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2012.
- [4] 孙雪,龚飞飞,戴银所,等.基于 SCA 的静态破碎剂性能研究[J].土木工程,2016,5(5):181-189.
SUN X, GONG F F, DAI Y S, et al. Research of static blasting agent based on SCA[J]. Hans Journal of Civil Engineering, 2016, 5(5): 181-189.
- [5] 罗明坤,李胜,李宗杰,等.煤岩致裂中的静态破碎剂组分及其性能[J].工程爆破,2017,23(3):5-9.
LUO M K, LI S, LI Z J, et al. Composition and performance of static cracking agent in coal and rock fracture[J]. Engineering Blasting, 2017, 23(3): 5-9.
- [6] 李胜,李宗杰,罗明坤.煤岩静态破碎剂合理组分及配比实验研究[J].爆破,2018,35(1):137-141+153.
LI S, LI Z J, LUO M K. Experimental study on reasonable composition and ratio of coal rock static crushing agent[J]. Blasting, 2018, 35(1): 137-141+153.
- [7] 汪智勇,陈旭峰.辅助相对静态破碎剂性能的影响[C]//第七届全国混凝土膨胀剂学术交流会论文集,2018:73-78.
WANG Z Y, CHEN X F. Effect of auxiliary relative static breaker performance[C]//Proceedings of the Seventh National Concrete Expansion Agent Academic Exchange Conference, 2018: 73-78.
- [8] 刘文,吴爱军,王辉,等.铅锌尾矿砂掺量对静态破碎剂性能影响的实验研究[J].爆破,2020,37(2):121-126+140.
LIU W, WU A J, WANG H, et al. Experimental study on effect of lead-zinc mine tailing on properties of static crushing agent[J]. Blasting, 2020, 37(2): 121-126+140.
- [9] 张嘉勇,崔啸,许慎,等.铁尾矿粉对静态破碎剂反应温度影响研究[J].矿产综合利用,2018(2):121-124.
ZHANG J Y, CUI X, XU S, et al. Study on effect of iron tailings powders on reaction temperature of static cracking agent[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2018(2): 121-124.
- [10] 郑文忠,李瑞森,徐笠博,等.静态破碎技术研究综述与建议[J].哈尔滨工业大学学报,2021,53(5):190-200.
ZHENG W Z, LI R S, XU L B, et al. Review and analysis on research and application of static crushing technology[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2021, 53(5): 190-200.
- [11] 杜光钢,董立哲,李祥龙,等.静态破碎剂的配方优化设计与水化反应分析[J].爆破器材,2022,51(6):32-38+44.
DU G G, DONG L Z, LI X L, et al. Optimization of the formulation design of the static crushing agent and the hydration reaction analysis[J]. Explosive Blasting, 2022, 51(6): 32-38+44.
- [12] 王莹,余超,董博,等.氧化钙材料的性能及优化研究进展[C]//第十八届全国耐火材料青年学术报告会论文集,2022:28-34.
WANG X, YU C, DONG B, et al. Research progress on the properties and optimisation of calcium oxide materials[C]//Proceedings of the 18th National Refractories Youth Symposium, 2022: 28-34.
- [13] 徐国庆.静态破碎剂制备及力学性能研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2020.
XU G Q. Study on the preparation and mechanical properties of static crushing agents [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2020.
- [14] 国家发展和改革委员会. JC 506—2008, 无声破碎剂[S].北京:建材工业出版社,2008.
National Development and Reform Commission. JC 506—2008, Soundless cracking agent[S]. Beijing: Building Materials Industry Press, 2008.
- [15] 冯戛雷.静态破碎剂的膨胀压力测试实验与应用[D].淮南:安徽理工大学,2010.
FENG Y L. Test and application of static crushing agent[D]. Huainan: Anhui University of Science and Technology, 2010.

- [16] 张嘉勇, 关联合, 张新双, 等. 水灰比和粉煤灰对静态破碎剂反应温度影响研究[J]. [矿产综合利用](#), 2020(1): 173–176+106.
- ZHANG J Y, GUAN L H, ZHANG X S, et al. Study on the influence of water ash ratio and fly ash on the reaction temperature of static crushing agent[J]. [Multipurpose Utilization of Mineral Resources](#), 2020(1): 173–176+106.
- [17] 谢益盛, 杨光辉, 黄小朋. 静态破碎剂膨胀力学性能实验研究[J]. [煤矿安全](#), 2019, 50(3): 9–12+16.
- XIE Y S, YANG G H, HUANG X P. Experimental research on mechanical properties of static breaking agents[J]. [Safety in Coal Mines](#), 2019, 50(3): 9–12+16.
- [18] 陈卫东, 吴培文, 于会军, 等. 静态破碎剂防喷和破岩的实验与仿真[J]. [哈尔滨工程大学学报](#), 2021, 42(9): 1295–1302.
- CHEN W D, WU P W, YU H J, et al. Spray-prevention trial and rock-breaking simulation of a static cracking agent[J]. [Journal of Harbin Engineering University](#), 2021, 42(9): 1295–1302.
- [19] 武世亮, 翟成, 向贤伟, 等. 钻孔内静态破碎剂喷孔实验研究[J]. [煤炭技术](#), 2015, 34(9): 142–145.
- WU S L, ZHAI C, XIANG X W, et al. Experimental study on jet orifice of static cracking agent in drilling hole[J]. [Coal Technology](#), 2015, 34(9): 142–145.
- [20] 王作鹏, 杜华善, 张现亭, 等. 一种新型静态破碎剂的研制[J]. [煤矿爆破](#), 2004(2): 13–15.
- WANG Z P, DU H S, ZHANG X T, et al. Development of a new type of static crushing agent[J]. [Coal Mine Blasting](#), 2004(2): 13–15.
- [21] 康志鹏, 罗勇, 余国锋, 等. 静态破碎剂性能分析及致裂效果实验研究[J]. [科学技术与工程](#), 2024, 24(4): 1740–1748.
- KANG Z P, LUO Y, YU G F, et al. Performance analysis of static crushing agent and experimental study on fracturing effect[J]. [Science Technology and Engineering](#), 2024, 24(4): 1740–1748.
- [22] 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实验分析[J]. [爆破](#), 2014, 31(4): 124–128.
- MA D D, MA Q Y, YUAN P. Test and analysis on air temperature and water temperature for expansion performance of static cracking agent[J]. [Blasting](#), 2014, 31(4): 124–128.

Analysis of External Influence Factors and Hydration Reaction of Static Crushing Agent

LIU Yufa¹, HUANG Hui², DU Guanggang³, QI Wenchao¹, RAN Qiushuo⁴, LIANG Xiao¹, LIU Lei¹

1. Faculty of Land Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China;

2. Jinghong Longxin Mining Co., Ltd., Jinghong 666112, Yunnan, China;

3. Kunming Nonferrous Metallurgical Design and Research Institute Co., Ltd., Kunming 650093, Yunnan, China;

4. School of Public Safety and Emergency Management, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China

Abstract: In order to explore the external factors affecting the expansion pressure and temperature changes during the hydration reaction of static crusher, the formula optimization design of static crusher was carried out based on multi-level orthogonal test, the expansion pressure of static crusher was tested by using the “outer tube method”, and the hydration reaction temperature of crusher was monitored in real time by thermometer probe. The results showed that the peak temperature of the static crusher increased first and then decreased with the increase of the water-cement ratio. With the increase of ambient temperature and mixing water temperature, the overall hydration reaction temperature undergo a process of “gentle-sharp heating-rapid cooling”. The peak pressure of static crusher in the test steel pipe increases first and then decreases with the increase of water-cement ratio, and increases with the increase of ambient temperature, but too high temperature can easily lead to the expansion pressure of the crusher nozzle to decrease sharply until it loses its expansion force. Appropriately increasing the mixing water temperature can promote the hydration reaction of the static crusher, and the mixing water temperature should not be higher than 35 °C. increase the mixing water temperature on the static crusher hydration reaction to promote the role of mixing water temperature should not be higher than 35 °C.

Keywords: calcium oxide; static crusher; expansion pressure; hydration reaction

引用格式: 刘玉法, 黄辉, 杜光钢, 齐文超, 冉秋硕, 梁潇, 刘磊. 静态破碎剂水化释压升温过程的影响因素分析[J]. 矿产保护与利用, 2024, 44(4): 41-47.

LIU Yufa, HUANG Hui, DU Guanggang, QI Wenchao, RAN Qiushuo, LIANG Xiao, LIU Lei. Analysis of external influence factors and hydration reaction of static crushing agent[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2024, 44(4): 41-47.

投稿网址: <http://kcbhyly.xml-journal.net>

E-mail: kcbh@chinajournal.net.cn



通信作者简介:

刘磊(1981—), 安徽宿州人, 博士, 教授。中国爆破行业协会专家库专家, 云南省“兴滇英才”青年人才。云南省级公安机关治安部门枪爆危险品专家, 云南省国土资源厅专家库专家, 主要从事水下爆破、拆除爆破、静态爆破、高温岩石动力学、高性能纤维混凝土方面的教学和科研工作。主持项目 20 余项, 其中国家自然科学基金 1 项。发表 SCI/EI 论文 30 余篇, 参编教材 5 部, 授权专利 50 余项, 获中国爆破行业协会科技进步一等奖 1 项、中国黄金协会科技进步二等奖 1 项。