

《水泥矿山爆破间隔材料技术应用规范 干冰》
团体标准编制说明

起草工作组

二〇二六年五月

目 录

一、工作简况	3
1.1 行业发展现状.....	3
1.2 标准任务来源.....	3
1.3 标准制定的目的、意义.....	4
1.4 与相关标准的关系.....	4
1.5 起草单位.....	4
1.6 主要工作过程.....	5
二、标准编制原则.....	5
2.1 原则性	5
2.2 适用性	5
2.3 安全性	5
2.4 技术性	5
2.5 实施性	5
三、标准主要内容.....	5
3.1 范围.....	5
3.2 规范性引用文件.....	6
3.3 术语和定义.....	6
3.4 基本要求.....	6
3.5 技术要求.....	7
3.6 安全要求.....	8
四、主要验证情况分析.....	8
五、标准中如果涉及专利，应有明确的知识产权说明	9
六、产业化情况、推广应用论证和预期达到的经济效益等情况	16
七、采用国际标准和国外先进标准情况，与国际、国内外同类标准水平的对比情况	17
八、与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性	17
九、重大分歧意见的处理经过和依据.....	17
十、标准性质的建议说明.....	18
十一、贯彻标准的要求和措施建议.....	18
十二、废止现行相关标准的建议.....	18
十三、其它应予说明的事项.....	18

一、工作简况

1.1 行业发展现状

在“双碳”目标与生态文明建设深入推进的背景下，水泥矿山绿色发展已成为行业高质量发展的核心导向，爆破作为矿山开采的关键工序，正同步迈向安全、智能、低碳的绿色转型新阶段。当前行业呈现政策标准完善、绿色技术普及、安全管控升级、产业集中度提升、生态治理深化的发展格局，传统粗放开采模式加速向资源节约、环境友好、安全高效的现代化模式转变。

在绿色矿山建设方面，政策标准体系日趋健全，约束与引领作用凸显。自然资源部等七部门联合印发《关于进一步加强绿色矿山建设的通知》，配套发布《国家级绿色矿山建设评价指标》，从矿区环境、资源开采、生态修复、节能减排等维度明确量化要求。建设核心聚焦“边开采、边治理、边恢复”，要求矿区绿化覆盖率达标、废水全回用、固废零排放、粉尘噪声稳定受控。目前国内大型水泥矿山绿色矿山创建率达70%，华东、中南等资源集中区域已基本实现全覆盖，小型矿山整改提速，行业整体生态面貌显著改善。

爆破行业绿色转型加速，技术创新驱动安全环保双提升。传统爆破高振动、高粉尘、高噪声的痛点倒逼技术革新，绿色爆破技术体系逐步成熟，涵盖环保炸药、精准起爆、智能抑尘、低振破岩四大方向。电子雷管渗透率超87%，配合三维地质建模、无人机航测、爆堆仿真等技术，实现炮孔参数、起爆时序、药量分配的精准控制，振动速度较传统爆破降低60%–70%。环保材料方面，低爆速乳化炸药、水凝胶炸药、无起爆药雷管广泛应用，从源头减少污染排放。抑尘技术迭代升级，“压水袋+水膜”、智能爆破抑尘车、湿式爆破等工法普及，粉尘扩散半径压缩至5米内，抑尘效率达90%以上。前沿技术超临界液化空气破岩试点应用，兼具低振动、低飞石、高效率优势，为敏感区域开采提供新方案。

行业安全监管不断强化，产业结构稳步优化，整体规范化程度大幅提升。水泥矿山爆破属于高危作业，严格遵循《爆破安全规程》《民用爆炸物品安全管理条例》相关要求。随着民爆物品全流程溯源、作业人员持证上岗、安全防护距离标准升级等管控举措全面落地，2025年行业安全事故率同比下降35%。

当前市场逐步形成头部集聚、低效中小主体有序退出的发展格局。全国现有五千余家爆破作业单位，易普力、广东宏大、保利联合等龙头企业依托技术、资质、资金等核心优势，行业前五企业市场集中度（CR5）达45%，大型水泥矿山普遍优先选用一体化爆破服务。此外，水泥企业自有爆破队伍与专业爆破服务商协同运营，行业低价竞争态势得到缓解，盈利重心逐步转向技术服务领域，也推动中小经营主体朝着专精特新方向转型升级。

生态修复与节能减排深度融合，绿色发展底色持续夯实。水泥矿山爆破作业同步衔接生态治理，严格落实“边开采、边修复”要求，爆破后及时开展边坡加固、表土剥离、植被重建，实现开采与生态恢复无缝衔接。节能减排成效显著，智能爆破优化参数使炸药单耗降低30%–50%，大块率控制在5%–10%，减少二次破碎能耗。废水、粉尘、固废实现闭环治理，生产废水处理回用率达100%，粉尘排放浓度稳定达标，废石尾矿综合利用率超85%。“双碳”目标下，光伏供电、电动装备、低碳爆破技术加速推广，矿山碳排放强度持续下降，绿色低碳成为核心竞争力。

展望未来，水泥矿山绿色建设与爆破行业将持续深化转型。短期看，环保安全监管趋严将推动落后产能加速出清；长期看，绿色化、智能化、一体化将成为主流方向。行业需持续强化技术创新、严守安全环保底线、深化生态治理融合，推动水泥矿山爆破从传统高危工序向绿色、安全、高效的现代化产业升级，助力水泥行业高质量发展与生态文明建设。

1.2 标准任务来源

《中国制造 2025》国家战略鼓励传统制造业向绿色、低碳化转型。水泥矿山作为典型的传统工业场景，其绿色、低碳发展是重要方向；自然资源部、生态环境部等七部门联合印的《关于进一步加强绿色矿山建设的通知》，为全面推进绿色矿山建设提供了标准化的框架和方向，坚持创新驱动，转型升级，着力推动关键技术突破，促进绿色低碳新技术的快速发展和广泛应用。

本团体标准的编制是水泥矿山行业发展的内生需求：

解决行业痛点：随着城市化进程深化与绿色发展理念逐步落地，爆破过程中产生的冲击波、振动、飞石及噪音等，在部分场景下可能对周边建筑、地下管网及基础设施产生一定影响，其作业模式与现代工程建设对安全环保、“绿色矿山”建设的发展导向存在一些发展空间。同时干冰作为间隔材料可以拓展二氧化碳资源化利用场景。

填补标准空白：在国家标准和行业标准层面，针对“水泥矿山”这一特定场景的“干冰作为间隔材料”技术规范是一片空白。海螺集团基于国内现有矿山行业标准，制定适合水泥矿山干冰作为间隔材料破岩作业的要求标准，对矿山环境、施工方案设计、施工准备、干冰作为间隔材料破岩作业流程等方面进行详细规定，从而为水泥矿山干冰作为间隔材料的应用与推广打下基础，确保绿色矿山建设的质量与水平，推动水泥矿山转型升级。

规范技术应用：干冰作为间隔材料在矿区的应用涉及方案设计的编制和审核、安全告知、搬运、装填、起爆等多个环节，缺乏统一的技术指南会导致爆破效果差异化，存在安全隐患，也增加破岩工艺的风险。

1.3 标准制定的目的、意义

水泥矿山的绿色化建设以干冰作为间隔材料为核心，利用干冰相变势能配合炸药达到破岩目的，从而降低矿企生产成本、减少破岩产生的次生灾害和环境影响，提高炸药利用效率、提升本质安全管理水平，助力矿业绿色、安全、低碳、高效发展，赋能传统矿山企业绿色、低碳化转型升级。因此，制定该标准有利于水泥行业加快干冰作为间隔材料的推广应用，更好的推进绿色矿山建设规模化发展，为实现国家碳达峰、碳中和政策提供有力支持。

1.4 与相关标准的关系

目前还没有其他相关的标准化文件来规范干冰作为间隔材料在水泥矿山中的应用要求。本文件填补水泥行业干冰作为间隔材料标准的空白，各项指标在现行的同列标准中具有先进性和新颖性。

1.5 起草单位

本团体标准的主要起草单位有：安徽海螺集团有限责任公司、安徽海螺产业技术研究院有限公司、中国水泥协会、安徽海螺水泥股份有限公司、安徽理工大学、中国科学技术大学。

主要起草单位负责收集资料，制定标准大纲，编写标准原则、范围、名词解释、主要

条款等内容，形成标准初稿和征求意见稿，征集修改意见和建议，形成标准报审稿等。

1.6 主要工作过程

中国水泥协会于 2025 年 11 月组织成立了《干冰与炸药协同破岩技术规范》团体标准起草工作组（以下简称工作组）。

2025 年 12 月，工作组编制完成《<干冰与炸药协同破岩技术规范>项目建议书》及立项材料，并且团体标准立项通过专家评审及论证。

2026 年 1 月至 3 月，主编单位完成团体标准的初稿。

2026 年 4 月至 5 月，工作组邀请外部标准编制专家，并召开线上标准研讨会，针对讨论稿形成一致修改意见，对稿件继续进行修改完善，形成征求意见稿。

2026 年 6 月，工作组面向全行业开始征求意见。

二、标准编制原则

2.1 原则性

本标准按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求编写，综合考虑生产企业的能力和利益，寻求最大的经济、社会效益，充分体现了标准在技术上的先进性和合理性。

2.2 适用性

本文件适用于在水泥矿山开采工况下，利用干冰作为间隔材料进行矿山开采工作，其他具备开采条件的矿山作业可参照使用。

2.3 先进性

吸纳行业干冰爆破最新技术成果与成熟工程经验，相较于传统爆破间隔工艺，突出绿色、节能、安全、高效的技术优势，契合行业技术升级方向。

2.4 技术性

内容基于科研数据或实践验证，立足水泥矿山不同岩性、不同工况的实际作业需求，技术指标正确可靠。条款简洁清晰、可操作性强，贴合一线施工流程，便于企业落地执行、培训推广与现场监管，推动产业升级。

2.5 实施性

结合市场需求，解决行业共性问题。制定过程广泛征求意见，确保程序公正。

三、标准主要内容

3.1 范围

该部分规定了标准使用的范围。

3.2 规范性引用文件

未注明日期的引用文件，其最新版本适用于本文件。

3.3 术语和定义

该部分主要规定了间隔材料的术语和定义。

3.3.1 间隔材料。核心作用是通过调整炸药能量分布，降低对孔壁的初始冲击，延长能量作用时间，从而改善破碎效果并降低炸药用量。

3.4 基本要求

3.4.1 干冰成分要求

根据 GB/T 17582-2011《工业炸药分类和命名规则》要求，干冰不属于化学危险品管控。

1、采用干冰宜符合下述要求，干冰成分要求见下表

表 1 干冰成分

项目	指标
外观	不透明白色块状、粒状、条状或不规则状
气味	有微酸味，无其他异常气味
干冰的含水率	<50ppm。

3.4.2 适用条件

1、干冰作为间隔材料可应用在露天水泥石灰石矿山，但要结合地质条件及周围环境等情况，作为干冰使用量的设计依据。

2、水泥石灰石矿山岩石情况应符合 GB50218《工程岩体分级标准》的规定。

3.4.3 爆破工程管理

3.4.3.1 安全评估

1、爆破作业项目经公安机关审批前，先由相应爆破资质的爆破单位对项目进行安全评估。

2、承接爆破作业项目的单位资质要符合项目规定。

3、爆破作业项目的等级是否符合规定。

4、设计依据的资料是否完整。

5、设计方案的选取，设计方法、参数是否合理。

6、保证工程环境安全的措施是否可行，及应急预案的制定是否合理。

3.4.3.2 安全监理

1、经公安机关审批通过的爆破作业项目，实施爆破作业时，应由具有相应资质的爆破作业单位进行监理。

2、爆破作业单位是否按照设计方案施工。

3、爆破有害效应是否控制在设计范围内。

4、审查爆破作业人员的资格，制止无资格人员从事爆破作业。

5、监督爆破作业单位遵守国家有关标准和规范的落实情况，发现违章指挥和违章作业有权停止其爆破作业，并向委托单位和公安机关报告。

3.4.3.3 工程分级

1、水泥矿山石灰石爆破属于岩土爆破，作业的等级按照 GB6722 进行分类。

表 2 工程等级分级

作业范围	分级计量标准	级别			
		A	B	C	D
岩土爆破	一次爆破药量 Q/t	$Q \geq 100$	$100 > Q \geq 10$	$10 > Q \geq 0.5$	$Q < 0.5$

2、对于外部环境有特殊要求导致爆破等级需要提升的按照 GB6722 的规定执行。

B、C、D 级一般岩土爆破工程，有符合下列情况之一的需提高一个工程级别

a 距爆区 300 米范围内有省级文物、医院、学校、居民楼、办公室等重要保护对象。

b 距爆区 500 米范围内有国家三级文物、风景名胜区、重要的建（构）筑物、设施。

c 距爆区 1000 米范围内有国家一、二级文物或者特别重要的建（构）筑物、设施。

3.5 技术要求

本章为标准核心实操章节，涵盖材料储运储存、技术原理、爆破设计、现场作业技术规范。

3.5.1 技术原理

选用干冰作为爆破间隔材料进行爆破，其原理是利用炸药爆炸产生的能量使干冰迅速升温、升华，形成相变。干冰升华过程中的体积膨胀率高达 700-800 倍，能够对破岩形成强致裂作用，二者协同作用实现破岩目的。

该爆破方式既能显著提升炸药破岩效果、改善爆破块度与破碎均匀性，又能实现炸药单耗的有效降低，减弱爆破振动等有害效应，比传统爆破降低 25%以上炸药量。

3.5.2 材料进厂与运输储存

材料进厂与运输储存：明确干冰运输人员资质、厂区行车安全距离、定点停放要求；规定干冰通风、低温、干燥的储存环境，严禁密闭储存，防范升华升压爆炸风险；统一包装材料、保温设备的性能规格要求，减少干冰升华损耗。

1、运输干冰的有关人员要掌握干冰性质、危害特性和意外事故时的应急处置。

2、运送干冰车辆在矿山厂区内行驶时，为确保车辆行驶安全，严格遵循矿山道路运输规定。

3、运输干冰车辆需在爆破现场作业人员指挥下停在指定位置，不得随意停车。

4、干冰在露天环境使用时，将干冰放置在保温箱，减少干冰升华造成的质量损失。

5、干冰储存在保温箱中，且选取良好隔热保温材料制成保温箱，保温箱通常选取 PE 材质，且 24 小时内，保温箱内干冰损失量不超过 6%。

6、鉴于干冰升华这一特性，在储存干冰时，干冰不应储存在全封闭容器中，避免干冰升华后产生的压力导致容器爆裂，常储存在干冰保温箱。

3.5.3 爆破设计

1、要求结合矿山工程、地质、设备、环境条件优选爆破参数，对核心药量、装药长度、填塞长度等关键参数进行验算；

2、结合大量试验数据，明确干冰间隔爆破单位炸药消耗量宜降低 25%以上，形成节

能降本的核心技术指标。

3、中心不耦合方式和分层间隔是炸药、干冰的装药结构，是指炸药、干冰在炮孔内的空间分布与安置方式，直接影响爆破能量释放、岩石破碎效果及围岩损伤控制。

3.5.4 现场作业

规范恶劣天气停工、器材搬运、孔深检测、防冻防护、含水炮孔调整、溶洞裂隙处置、卡塞处理、脚线保护、填塞防护等全流程作业细节，全面规范一线施工操作，规避人为操作失误引发的质量与安全问题。

1、作业前要对爆破区域进行检查，并对炮孔进行检查，对于不合格的孔要进行处理。

3、干冰的温度在 -78.5°C ，干冰作业时戴好防冻手套，避免冻伤。

5、检查孔内是否有水，这是由于干冰与水接触时，干冰的低温让水层上部结冰成块漂浮在上部，对爆破效果产生影响。

6、炸药、干冰装填过程中不得拉拽雷管脚线，是因为干冰低温让雷管脚线变脆，拉扯过程中易使脚线破皮，导致雷管检测短路。

7、爆破技术负责人确定爆破警戒区域并派出岗哨进行警戒。

8、爆破遵守预警信号、起爆信号和解除信号；预警信号：该信号发出后爆破警戒范围内开始清场；起爆信号：起爆信号在确认人员全部撤离爆破警戒区，警戒人员到位后发出。起爆信号发出后现场经现场指挥后确认达到安全起爆条件后下令起爆。

9、解除信号：安全等待时间过后（爆后 15min），检查人员进入爆破警戒区域内检查，确认安全后报请现场指挥同意，方可发出解除警报信号。

10、确认有无盲炮。

11、设计方案和爆破参数的评述，提出改进设计的意见。

12、结合施工过程情况与爆破效果进行安全分析，论述施工中存在的的社会因素、隐患及防范办法。

3.5.5 效果评价

1、底根是评价爆破效果的重要指标之一，是指铲装设备对爆堆生产结束后残留在底部且超过下部台阶水平的岩体部分。

2、岩墙是评价爆破效果的重要指标之一，是指因爆破参数设计不当或操作失误，导致相邻炮孔间岩石未被充分破碎而留下的未爆岩埂或隔墙，称为岩墙。

3.6 安全要求

本章依托现行矿山、爆破安全标准，结合干冰理化特性制定专项安全管控体系。

1、明确整体安全管控、安全评估的合规依据。

2、规范爆破安全设计内容，重点针对爆破振动、个别飞散物、有害气体、粉尘四大有害效应制定管控、计算与防控措施。

3、创新优化干冰爆破振动计算公式，结合不同岩性的 K 、 α 参数取值，实现振动精准预判与管控。

4、干冰作为间隔材料的爆破振动公式是结合撒到夫斯基公式和振动测试数据试验所得。

5、爆破振动布测试装置选用型号为 TC-4850-3 爆破测振仪，将其布置在离爆源中心位置 100 米处进行测试，同时记录 XYZ 三个方向振动最大值。

6、对不同干冰掺入量下，爆破振动最大合速度变化进行研究，保持干冰+炸药的总质量不变情况下，得到干冰含量 $x(\%)$ 与最大合速度 $y(\text{cm/s})$ 的拟合函数。

7、爆破振动最大合速度是 XYZ 三个方向测试得到的振动速度最大值矢量和所得。

8、建立完善的安全应急预案，明确应急小组、警戒管控、冻伤事故、人员伤害、盲炮处置等应急流程，全面覆盖各类突发风险场景，筑牢作业安全防线。

四、主要验证情况分析

目前，海螺集团联合安徽理工大学合作研发的“炸药-干冰协同破岩机理及应用研究”项目已在国内外海螺多家下属矿山开展现场试验，爆破效果达预期目标，有效减弱爆破有害效应的产生，并且在部分敏感区域（爆区附近有民用建筑物、文物保护建筑等）表现尤佳。

干冰作为间隔材料应用在水泥矿山于 2024 年 9 月经中国爆破行业协会鉴定整体上具有国际先进水平，同年 10 月荣获中国爆破行业协会科学技术进步奖一等奖，如图 1 所示。

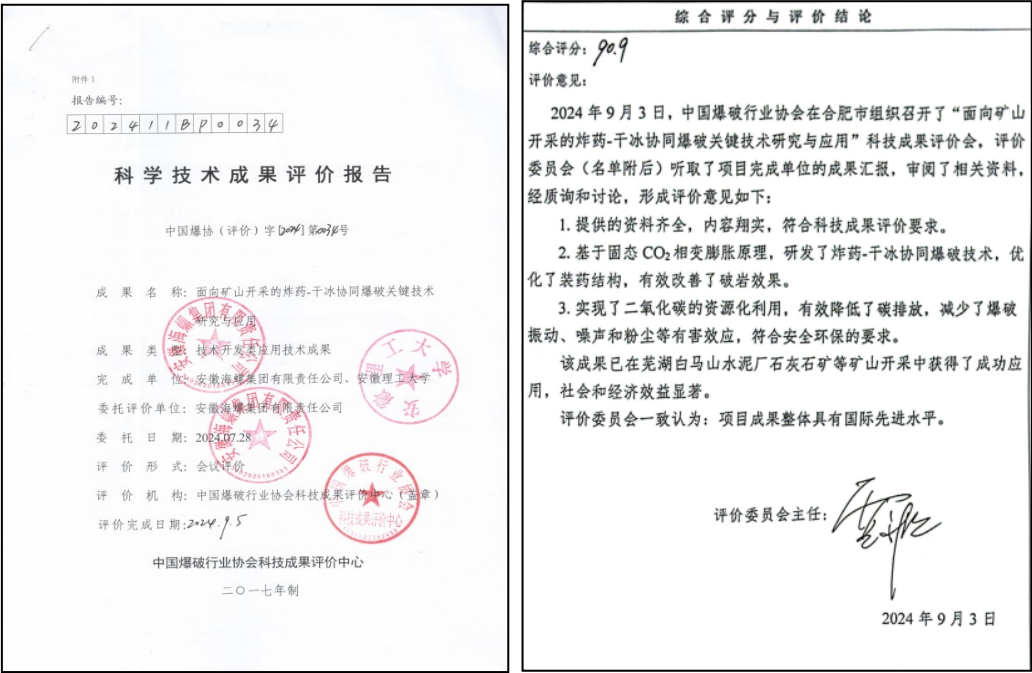


图 1 干冰作为间隔材料技术成果图

本技术规范收集了干冰作为间隔材料在对炸药、干冰起爆性能的研究及多家矿山现场试验情况，具体详情见下表。

4.1 干冰对炸药温度影响的研究

考虑干冰对炸药影响，探究干冰不同距离炸药是否性质发生改变，出现析晶现象。从而导致炸药反应不完全，甚至出现半爆、拒爆的现象，因此研究了干冰对于接触炸药温度的影响。模拟干冰爆破炮孔装药结构，干冰放置炸药上部。分别距离干冰 1cm、3cm、5cm、7cm 和 9cm 处设置热电偶，记录炸药温度变化曲线，检测装置示意图如图 2 所示，实验结果如图 3 所示。

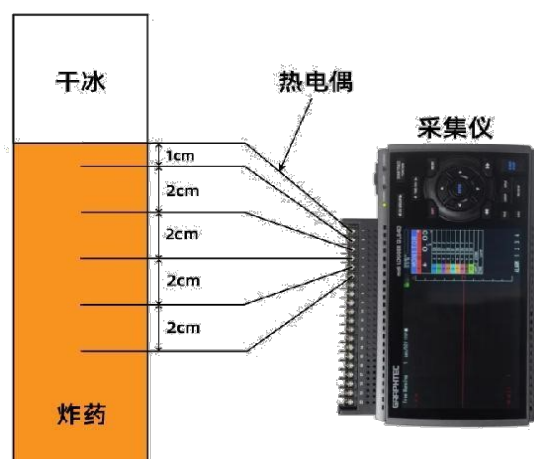


图 2 不同距离炸药温度示意图

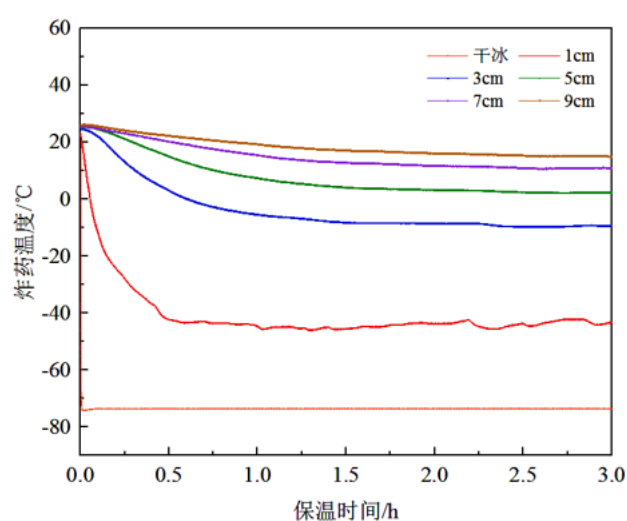


图 3 不同距离炸药温度曲线

由图 3 可知，距离干冰 1cm、3cm、5cm、7cm 和 9cm 位置，炸药温度变化曲线呈现不同趋势。在接触干冰初期，炸药温度迅速下降，1.5 小时后炸药温度基本保持稳定。仅距离干冰 1cm 附近炸药温度出现大幅度下降，而距离干冰 9cm 处的炸药温度从开始的 24.6℃ 缓慢下降到 15℃ 左右说明干冰影响炸药距离有限。

图 4 距离干冰不同位置下乳化炸药形貌，我们能够发现，距离干冰越近，硝酸铵析晶越严重。当距离干冰 9cm 时化炸药基本没有析晶现象，说明干冰影响乳化炸药范围有限。为了进一步减少干冰对炸药的影响，干冰爆破过程中，将炸药与干冰分层放置，并填充保温材料，以降低干冰对炸药析晶的影响，确保炸药、干冰和堵塞物分层放置的装药结构。

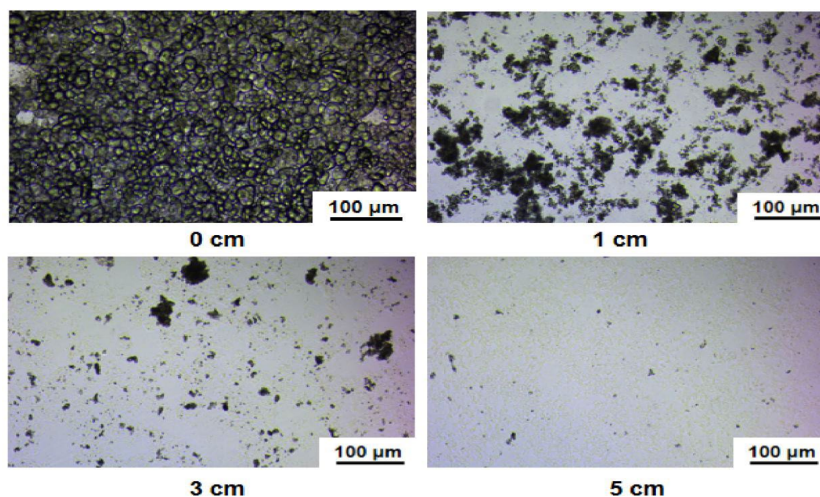


图 4 不同位置乳化炸药形貌

4.2 干冰对炸药爆速影响的研究

为探究干冰对于炸药爆速影响，将安装好爆速测试装置的乳化炸药分别放置 25℃、15℃、5℃、-5℃和-15℃的恒温环境下保温 3 小时，使得炸药温度与设置的恒温环境一样，分析低温环境下炸药爆炸性能的变化。

安徽理工大学爆破试验场的 1kg TNT 当量球形爆炸容器进行爆速测量，得到了不同温度下炸药爆速的曲线图（见图 5）。实验结果表明，随着炸药温度降低，其爆速有所下降，但在测试温度范围内仍能可靠起爆。

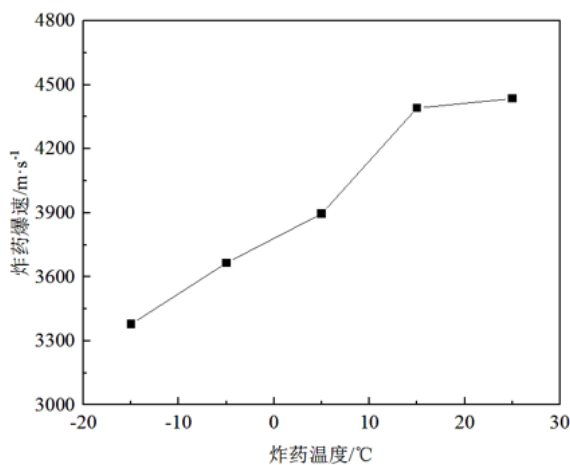


图 5 不同炸药温度爆速曲线

4.3 电子雷管性能检测

为探究低温环境下电子雷管是否能够顺利起爆，我们将其置于干冰中，装置结构示意图如图 6 所示。随后对其电流和网络进行检测，测试结果见表 3。

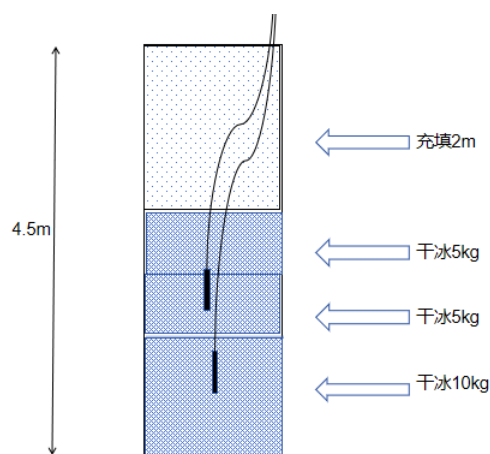


图 6 装置结构示意图

表 3 雷管性能检测结果

装填完成后时间	0h	1h	2h	3h	4h
电流检测	正常	正常	正常	正常	正常
网路检测	正常	正常	正常	正常	正常

装填完成后第一次检测雷管性能正常；1h 后第二次检测正常；2h 后第三次检测正常；3h 后第四次检测正常；6h 后第五次检测雷管仍能正常起爆。

4.4 干冰作为间隔材料在现场实验情况

表 4 白马山水泥厂现场试验情况汇总

试验	试验①	试验②	试验③
孔数	9	9	15
炸药量（kg）	972	1620	1451
干冰体积占比（%）	40	0（纯炸药）	42.5
炮堆块度（mm）	366.58	231.92	/
爆破振动（cm/s）	0.654	1.728	2.343
铲装情况	正常	正常	正常
备注			因本次爆破有冲孔，导致振动数据偏大；目前尚未完成炮堆块度分析工作

本次试验干冰体积占比 40%、42.5%均整体爆破效果良好，下步计划稳步提升干冰体积占比并持续开展现场试验，进一步探索最优参数组合。



图 7 白马山水泥厂 40%（左）和 42.5%（右）干冰掺入比爆后炮堆

根据测振数据测算，干冰体积占比 40%的爆破方案，其振动强度较纯炸药爆破降低约 60%，降振效果显著。后续将持续开展同类振动对比试验，积累系统性数据，进一步验证该技术降振效果的稳定性与可靠性。

表 5 宣城海螺现场试验情况汇总

试验	试验①	试验②
孔数	13	9
炸药量（kg）	2184	1296
干冰体积占比（%）	40	50
炮堆块度（mm）	120.77	138.08
爆破振动（cm/s）	2.362	2.181
铲装情况	正常	少量岩石需用反铲铲装

本次试验干冰体积占比 40%整体爆破效果良好，干冰体积占比 50%爆破抛掷效果不明显但不影响铲装。后续计划在干冰体积占比 50%的基础上通过适当减小孔网参数或降低干冰掺入比来进一步改进优化。

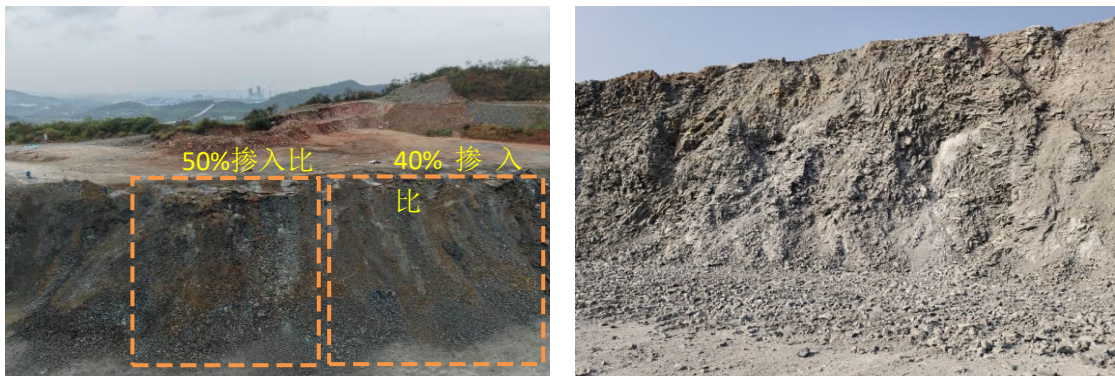


图 8 宣城海螺矿山爆后炮堆及铲装情况

表 6 芜湖海螺现场试验情况汇总

试验	试验①	试验②
孔数	19	20
炸药量（kg）	2700	2137
干冰体积占比（%）	40	50
炮堆块度（mm）	79.38	/
爆破振动（cm/s）	2.662	1.667
铲装情况	正常	炮堆松散度不佳，存在部分底根，需反铲协助处理
备注		尚未完成炮堆块度分析及全部铲装工作

本次试验干冰体积占比 40%整体爆破效果良好。干冰体积占比 50%存在抛掷效果不佳及部分区域底根问题，计划后续计划通过尝试适当降低二排炮孔干冰体积占比的优化方案来提高爆破效果。



图 9 芜湖海螺矿山 40%干冰掺入比爆后炮堆及铲装情况

表 7 重庆海螺现场试验情况汇总

试验	试验①	试验②
孔数	13	5
炸药量（kg）	2600	700
干冰体积占比（%）	35	50

炮堆块度 (mm)	190.86	214.19
爆破振动 (cm/s)	1.977	1.590
铲装情况	正常	正常

本次试验干冰体积占比 35%、50%均整体爆破效果良好。



图 10 重庆海螺 35%（左）和 50%（右）干冰掺入比爆后炮堆

表 8 金边海螺现场试验情况汇总

试验	试验①	试验②	试验③	试验④
孔数	11	11	12	13
炸药量 (kg)	1520	1403	1660	1040
干冰体积占比 (%)	35	40	35	37.5
炮堆块度 (mm)	/	/	/	52.75
爆破振动 (cm/s)	1.266	1.228	2.310	/
铲装情况	正常	正常	正常	正常
备注				

本次试验 35%体积占比（16.5 米孔）和 37.5%体积占比(11 米孔深）爆破效果良好，炮堆沉降明显，平台眉线整齐，无后震，块度良好，40%体积占比（16.5 米孔）效果不佳，主要存在爆破后振较大，炮堆外推不明显，大块较多现象。



图 11 由左到右分别为金边海螺 35%、40%、35%和 37.5%干冰掺入比爆后炮堆情况

五、标准中如果涉及专利，应有明确的知识产权说明

该标准内容经编制组核查，不涉及专利事宜。

六、产业化情况、推广应用论证和预期达到的经济效益等情况

1、目前白马山矿山年生产量 550 万吨，消耗炸药 1000 吨，炸药单价 6500 元/吨，干冰单价 1800 元/吨。以上述干冰实验为例，干冰掺入比为 30%，爆破效果最佳，年节约爆破成本 140 万元，每吨矿石节约 0.25 元。海螺集团矿山每年生产矿石约 5 亿吨，未来预计每年可节约成本 1.25 亿元。

2、在提高骨料成品率方面：根据白马山水泥厂和马鞍山建材矿山现场试验情况，干冰爆破可提升骨料成品率约 10%。目前海螺集团骨料年产量约 1.5 亿吨，干冰爆破可提升骨料产量 2100 万吨/年，骨料以 40 元/吨核算，未来可增加骨料营收约 8.4 亿元，以骨料纯利润 10 元/吨核算，可增加利润约 2.1 亿元

通过研究“干冰作为间隔材料”应用在水泥石灰石矿山能够有效降低传统工程爆破中产生的冲击波、振动、噪声和粉尘等有害效应，同时可解决当前液态二氧化碳爆破技术所面临的成本高、致裂成缝控制难度大、效果不稳定等难题。该成果先后在安徽海螺集团有限责任公司白马厂、马鞍山绿色建材、铜陵海螺、芜湖海螺等多家公司矿山推广使用，取得了良好的社会效益、经济效益和环保效益。干冰作为间隔材料应用在各单位经济效益情况如图所示。

应用单位证明		应用单位证明		应用单位证明	
项目名称	面向矿山开采的干冰爆破关键技术开发与应用	项目名称	面向矿山开采的干冰爆破关键技术开发与应用	项目名称	面向矿山开采的干冰爆破关键技术开发与应用
应用单位	安徽海螺水泥股份有限公司	应用单位	马鞍山海螺绿色建材有限公司	应用单位	安徽铜陵海螺水泥有限公司
通讯地址	安徽省芜湖市鸠江区九华南路 1013 号，邮编：241000	通讯地址	马鞍山市博望区丹阳镇龙山村山口自然村 1000 号，邮编：243131	通讯地址	安徽省铜陵市郊区古圣，邮编：244061
项目应用起止时间	2022 年至今	项目应用起止时间	2023 年至今	项目应用起止时间	2023 年至今
应用情况、效果及效益分析		应用情况、效果及效益分析		应用情况、效果及效益分析	
安徽海螺集团有限责任公司“面向矿山开采的干冰爆破关键技术开发与应用”项目涉及干冰爆破配方、装药结构优化以及白马山水泥厂矿山爆破应用，降低矿山爆破危害效应以及解决固态二氧化碳资源化利用的问题。		安徽海螺集团有限责任公司“面向矿山开采的干冰爆破关键技术开发与应用”项目涉及安徽海螺水泥股份有限公司白马山水泥厂的干冰爆破技术推广应用，用于降低矿山爆破危害效应以及解决固态二氧化碳资源化利用的问题。		安徽海螺集团有限责任公司“面向矿山开采的干冰爆破关键技术开发与应用”项目涉及安徽海螺水泥股份有限公司白马山水泥厂的干冰爆破技术推广应用，用于降低矿山爆破危害效应以及解决固态二氧化碳资源化利用问题。	
自 2022 年以来，我单位与安徽理工大学展开合作交流，开展了干冰爆破的可行性研究，并在矿山中得到应用。通过干冰爆破技术有效控制了振动、噪声、粉尘污染等危害效应，取得了良好的经济效益和社会效益。		自 2023 年以来，积极与安徽海螺水泥股份有限公司白马山水泥厂合作交流，并在矿山中得到应用。通过干冰爆破技术有效控制了振动、噪声、粉尘污染等危害效应，取得了良好的经济效益和社会效益。		自 2023 年以来，积极与安徽海螺水泥股份有限公司白马山水泥厂合作交流，并在矿山中得到应用。通过干冰爆破技术有效控制了振动、噪声、粉尘污染等危害效应，取得了良好的经济效益和社会效益。	
经济效益分析		经济效益分析		经济效益分析	
2022-2024 年期间，经济效益经初步计算结果如下： 新增销售额总计约 4180 万元，利润 428 万元。		2023-2024 年期间，经济效益经初步计算结果如下： 新增销售额总计约 2100 万元，利润 220 万元。		2023-2024 年期间，经济效益经初步计算结果如下： 新增销售额总计约 2000 万元，利润 200 万元。	
 		 		 	
2024 年 5 月 15 日		2024 年 7 月 14 日		2024 年 7 月 18 日	

图 12 干冰作为间隔材料在不同单位的经济效益情况

七、采用国际标准和国外先进标准情况，与国际、国内外同类标准水平的对比情况

1、国内技术标准现状（干冰作为间隔材料）

干冰作为间隔材料破岩是将炸药爆炸释放的能量与干冰（固态 CO_2 ）相变膨胀能耦合，通过“爆轰驱动 + 气体楔裂”联合作用实现低振、低飞石、高破岩效率的新型破岩技术。目前我国尚无专门的国家标准（GB）或行业标准，相关技术要求主要依托：

1）通用爆破标准：GB 6722《爆破安全规程》、民用爆炸物品管理条例等；

2）二氧化碳相变致裂相关团体标准：如 T/JSUSS 01—2023《干冰粉静态气动压裂破岩技术及工艺规程》（江苏地下空间学会，2023），规定了干冰致裂系统设计、施工、安全、检验等基础要求；

3）企业标准与地方规范：部分高校、科研院所及矿山企业制定了协同破岩工法、参数指南及安全控制细则。

总体来看，国内标准呈现“通用标准兜底、团体标准补位、企业标准细化”的格局，对炸药与干冰配比、起爆时序、压力控制、振动限值、大块率、单耗等协同耦合关键指标尚未形成统一国标，技术标准化仍处于起步阶段。

2、国际 / 国外同类技术标准水平对比

国际上与干冰 / 液态 CO_2 致裂最接近的是 CO_2 相变爆破，起源于 1914 年欧美，美、英、加、澳等国应用较早，主要用于高瓦斯矿井、城市石方、水泥窑清堵等。

美国：以矿业局（USBM）安全规范、各州矿山安全与健康管理局（MSHA）许可制度为主，强调设备耐压、泄压可靠性、振动与飞石控制，无专门协同破岩标准，仅将 CO_2 致裂作为“低能爆破”纳入通用爆破管理。

欧盟（EN）：遵循爆破安全标准 EN 16228 及压力容器标准 EN 13445，对 CO_2 致裂管设计压力、疲劳寿命、泄放阈值有明确量化要求，但未涉及与炸药联用的协同工法。

国内 vs 国外：

1）标准体系完整性：国外 CO_2 相变爆破技术标准成熟、安全门槛高，但仅限纯 CO_2 致裂；国内在协同破岩方向标准空白更大，但创新应用推进更快。

2）安全指标严格度：国外对振动、噪音、气体排放、设备耐压限值更严；国内现有标准偏“原则性”，量化指标偏少、执行弹性更大。

3）技术路线差异：国外以纯 CO_2 相变（无炸药）为主，追求本质安全；国内炸药-干冰协同是差异化创新，兼顾效率与低扰动，国际无直接对标标准。

本标准水平为国内先进水平，本标准项目没有对应的国际标准或国外先进标准；

八、与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本标准与我国的现行法律、法规和强制性国家标准没有冲突。

九、重大分歧意见的处理经过和依据

无

十、标准性质的建议说明

建议本文件作为行业推荐性标准发布。

十一、贯彻标准的要求和措施建议

标准发布后通过互联网、发布会等公告标准发布信息，组织开展标准的宣贯，介绍标准的特点和实施情况等，让行业、企业等深入了解该标准，从而使标准得到更好的贯彻和实施。建议发布后 2 个月实施。

十二、废止现行相关标准的建议

本文件为新制定标准，无需废止其它标准。

十三、其它应予说明的事项

无