

团 体 标 准

T/TMAC ××××—202X

气体破岩作业技术规程

Technical specification for rock breaking operation with liquefied gas energy

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

已授权的专利证明材料为专利证书复印件或扉页，已公开但尚未授权的专利申请证明材料为专利公开通知书复印件或扉页，未公开的专利申请的证明材料为专利申请号和申请日期。

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中国技术市场协会 发 布

中国技术市场协会（TMAC）是科技领域内国家一级社团，以宣传和促进科技创新，推动科技成果转移转化，规范交易行为，维护技术市场运行秩序为使命。为满足市场需要，做大做强科技服务业，依据《中华人民共和国标准化法》《团体标准管理规定》，中国技术市场协会有序开展标准化工作。本团体成员和相关领域组织及个人均可提出制修订 TMAC 标准的建议并参与有关工作。TMAC 标准按《中国技术市场协会团体标准管理办法》《中国技术市场协会团体标准工作程序》制定和管理。TMAC 标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议多数专家、成员的同意，方可予以发布。

在本文件实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料反馈至中国技术市场协会，以便修订时参考。

本文件著作权归中国技术市场协会所有。除了用于国家法律或事先得到中国技术市场协会正式授权或许可外，不许以任何形式复制本文件。第三方机构依据本文件开展认证、评价业务，须向中国技术市场协会提出申请并取得授权。

中国技术市场协会地址：北京市丰台区万丰路 68 号银座和谐广场 1101B。

邮政编码：100036 电话：010-68270447 传真：010-68270453

网址：www.ctm.org.cn 电子信箱：136162004@qq.com

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

4 施工设备和破岩器材 3

5 方案设计 7

6 施工方法 8

7 检查及验收 12

附录 A（资料性）气能破岩作业技术方案设计内容 13

附录 B（资料性）破岩参数设计表式样 14

前言

本文件按照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》的规定起草。

本文件由广东宏凯气能技术有限公司提出。

本文件由中国技术市场协会归口。

本文件起草单位：广东宏凯气能技术有限公司、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX、XXXXXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX、XXX。

气能破岩作业设备规程

1 范围

本文件规定了气能破岩技术规程的术语和定义、基本要求、施工设备和破岩器材、方案设计、施工方法和应急预案等。

本文件适用于利用二氧化碳、液氧、氮氧液态混合体等液态气体的能量在明挖基坑、露天矿山开采等工程。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 16423 金属非金属矿山安全规程
GB 6722 爆破安全规程
GB 50842 建材矿山工程施工与验收规范
GB 50598 水泥原料矿山工程设计规范
GB 51016 非煤露天矿边坡工程技术规范
GB 2894 安全标志及其使用导则
GB 14161 矿山安全标志
GBZ 158 工业场所职业病危害警示标识
GBZ 188 职业健康监护技术规范
GB/T 11651 个体防护装备配备规范
GB/T 29639 生产经营单位生产安全事故应急预案编制导则
GB/T 6893 铝及铝合金拉（轧）制管材
GB 50994 工业企业电气设备抗震鉴定标准
GB/T 191 包装储运图示标志
GB/T 2423 电工电子产品环境试验
GB/T 2828 计数抽样检验程序
GB/T 5226 机械电气安全
GB/T 17618 信息技术设备
GB/T 6052 工业液体二氧化碳
GB/T 14193 液化气体气瓶充装规定
JB/T 14437 二氧化碳致裂管
GB/T 35528 低温液化气体安全指南
GB 18218 危险化学品重大危险源辨识
GB/T 37243 危险化学品生产装置和储存设施外部安全防护距离确定方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

液态气体 liquefied gas

一种或多种混合处于液体状态的物质。

3.2

气能 liquefied gas energy

一种或多种液态气体吸热气化后相变所具有的做功能量。

3.3

气能破岩技术 rock breaking technology with liquefied gas energy

利用气能对岩石介质产生冲击破坏作用的施工技术。

3.4

破岩单元 rock breaking unit

安放在炮孔内，容纳液态气体以实现气能破岩的器材。

3.5

二氧化碳致裂器 Carbon dioxide cracking device

由发热装置、二氧化碳致裂器用致裂管、充气装置（单向阀）等组成，利用液体二氧化碳吸热气化物理相变时体积急剧膨胀产生高压致使岩体开裂的装置。

3.6

致裂管 Liquid storage tube

用于储存液态二氧化碳的管式容器，致裂器根据充液和泄气方式，主要由重复性致裂器、孔外充液一次性致裂器、孔内充液一次性致裂器。

3.7

发热装置 Heating device

一种由发热材料、无药部分、点火装置等组成，为液态二氧化碳致裂管内液体二氧化碳提供相变能的装置。

3.8

点火装置 Ignition device

由两根绝缘脚线、熔丝、引药组成，用以引燃发热材料的器件。

3.9

发热材料 Heating material

一种由氧化剂、还原剂、添加剂等组成，在一定压力条件下，通过启动点火装置作用，能够迅速释放大量的相变能的固体粉末混合物。

3.10

泄放压力 Relieving Pressure

致裂器中定压剪切片破断时，所释放的二氧化碳最大压力。

3. 11

液氧储能管 energy storage cylinder for liquefied gas energy

由充液管、可燃物、柔性外壳、排气管和管口密封件等组成，利用液氧吸热气化相变时体积急剧膨胀产生高压，致使岩体开裂或破碎的设备。

3. 12

能量密度 Energy density

致裂单位体积岩石需要消耗的液态气体重量，单位 kg/m^3

3. 13

激发器 exciter

由延时机构、升压器、输出通道、电源、激发开关及控制面板、外壳等组成，用于激发液氧储能管内发火元件的装置。

3. 14

发火元件 ignition element

在激发器高压电脉冲作用下，其金属电阻丝受热并瞬间释放热量，使储能管内可燃物燃烧的器件。

3. 15

液态二氧化碳充装机 liquid carbon dioxide filling machine

控制液态二氧化碳充装数量、充装压力和流速、将其从杜瓦罐中注入刚性致裂管的智能操作设备。

3. 16

杜瓦罐 Dewars flask

为储存、运输和使用液态二氧化碳而设计的具有超级真空绝热功能的不锈钢压力容器。

4 施工设备和破岩器材**4. 1 基本要求**

施工用专用机具和器材应符合相关标准、规范和满足施工要求，并通过合格检验。

4. 2 钻孔及挖掘设备

4. 2. 1 致裂孔钻凿应采用符合国家标准及钻孔要求的各种钻机，与满足破岩技术设计中炮孔直径相符合的钻头及配件。

4.2.2 挖掘设备应满足钻孔施工环节的需要，主要用于钻孔工作平台及进出口道路修整、台阶掌子面根底的清除以及危石的清理。

4.3 液态气体

4.3.1 液态气体是根据破岩技术设计提出，包括液态二氧化碳和液氧，经吸热气化相变后具有破岩做功的能量。

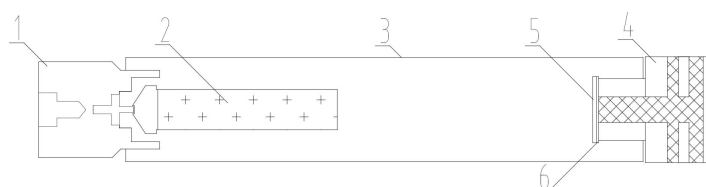
4.3.2 相关特种企业根据施工单位提出的具体要求，将液态气体装入专用储存罐运至施工现场。

4.4 破岩单元

4.4.1 重复使用二氧化碳致裂器

安放发热管和存放液态二氧化碳的容器，通过底部泄气释放能量并可重复使用见图1。

注：重复使用致裂器（孔外充装）通常由充装端头、发热装置、主管体、泄能端头、密封垫片、破裂片等零部件组成。



标引序号说明：

1——充装端头

2——发热装置

3——主管体

4——泄能端头

5——密封垫片

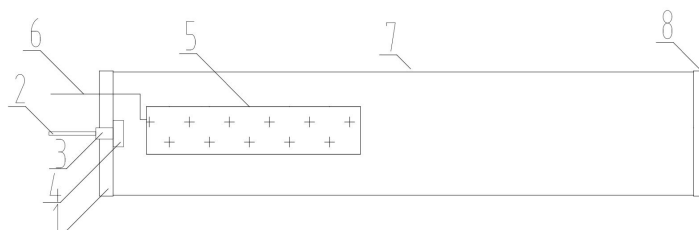
6——破裂片

图 1 孔外充装重复使用致裂器示意图

4.4.2 一次性二氧化碳致裂器

用于安放发热管和存放液态二氧化碳，气体能量从管身侧面焊缝处释放的一次性容器见图2。

注：一次性致裂管通常由上端头、输气管、输气管接头、单向阀、发热装置、导线、主管体、下端头等零部件组成。



标引序号说明：

1-上端头

2-输气管

3-输气管接头

4-单向阀

5-发热装置

6-导线

7-主管体

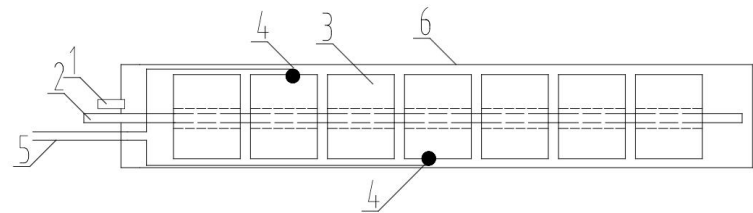
8-下端头

图 2 孔外充装一次性致裂管示意图

4.4.3 一次性液氧储能管

盛装处于临界温度和临界压力下液氧的柔性管腔见图3。

注：储能管通常由柔性膜套、进液铝管、排气软管、电点火元件、燃芯等零部件组成。



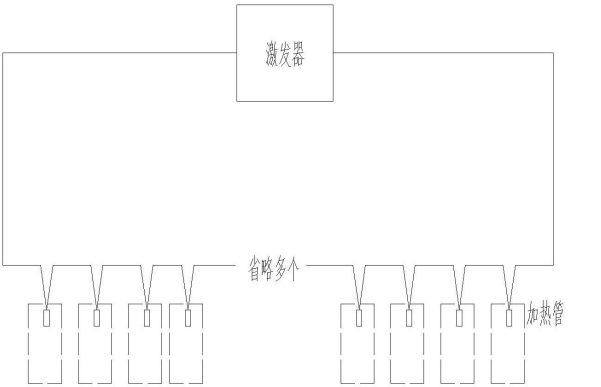
- 标引序号说明：
- | | |
|---------|---------|
| 1——排气管 | 4——电点火头 |
| 2——进液管 | 5——导线 |
| 3——可燃介质 | 6——柔性管膜 |

图 3 柔性储能管结构示意图

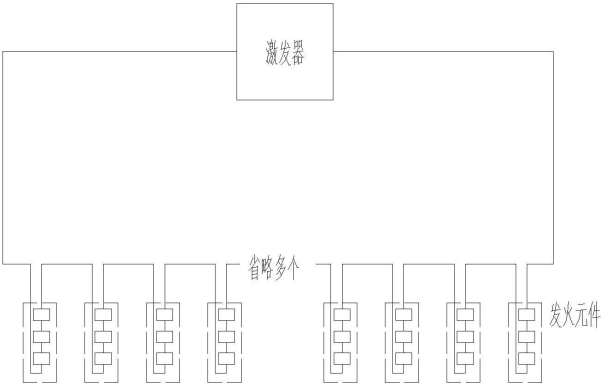
4.5 激发系统

4.5.1 激发系统组成

激发系统由点火装置、加热装置和网路连接线组成。激发系统应符合本标准的要求，确保破岩作业中储液内液态气体的可靠激发。激发系统结构见图 4。



a) 液态二氧化碳激发系统



b) 液氧激发系统

图 4 激发系统网路连接图示意图

4.5.2 点火装置的结构及主要性能

4.5.2.1 点火装置的结构

激发器由延时机构、升压器、输出通道、电源、激发开关及控制面板、外壳等组成，其结构原理见图 5。

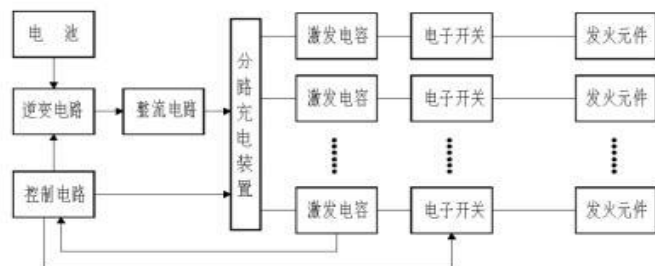


图 5 点火装置结构原理图

4.5.2.2 点火装置的主要性能：

点火装置主要性能包括：

- 激发电压：1500V-3000V 可调；
- 信号输出通道：不少于 10 个通道；
- 各通道信号输出的间隔时间 Δt ：5ms 或 10ms 可调；
- 可靠性：置信度 99.9%；
- 系统时间误差：激发器信号输出和发火元件反应总时间控制在 5ms 以内；
- 防震性能：满足国标 GB50994；
- 使用环境温度： -30°C 至 $+50^{\circ}\text{C}$ 。

4.6 液态气体充装

4.6.1 孔外充装重复二氧化碳致裂管

通过高压泵将液态二氧化碳充入致裂管，用电点火元件引燃发热装置，发热装置发热产生热量使液态二氧化碳相变，使泄能片破坏，释放高压气体进入炮孔，对岩石介质冲击做功的设备。

4.6.2 孔外充装一次性二氧化碳致裂管

把液态二氧化碳充入致裂管，用电点火元件引燃发热装置，发热装置发热产生热量使液态二氧化碳相变，使一次性刚性致裂管焊缝破坏，释放高压气体进入炮孔，对岩石介质冲击做功的设备。

4.6.3 孔内充装一次性二氧化碳致裂管

把未充气的致裂管装入炮孔，然后将炮孔堵塞起来。所有炮孔都堵塞好以后，再逐个给致裂管充入液态二氧化碳，用电点火元件引燃发热装置，发热装置发热产生热量使液态二氧化碳相变，使致裂管焊缝破坏，释放高压气体进入炮孔，对岩石介质冲击做功的设备。

4.6.4 孔内充装一次性液氧储能管

把未充气的储能管装入炮孔，然后将炮孔堵塞起来。所有炮孔都堵塞好以后，再逐个给储能管充入液氧，用发火元件引燃可燃物，可燃物爆燃产生热量使液氧相变，使储能管柔性外壳破坏，释放高压气体进入炮孔，对岩石介质冲击做功的设备。

4.7 规格及尺寸

施工设备和破岩器材的主要规格、尺寸均应符合设计和使用要求，主要尺寸偏差应小于 $\pm 1\%$ 。

5 方案设计

5.1 基本要求

5.1.1 二氧化碳相变破岩技术设计方案和施工组织设计应由本单位具有相应资格的技术人员完成。

5.1.2 二氧化碳相变破岩技术设计方案和施工组织设计应由本单位负责人组织相关专家进行评审，对方案中的致裂器的选用、孔网参数等关键内容进行技术合理性和作业安全性评价。

5.1.3 技术人员应根据专家评审意见对技术设计方案和施工组织设计进行完善和补充，经本单位负责人批准后方可实施。

5.2 方案设计基本资料

应获取以下资料：

- 地质结构：层理、断层、节理、软弱夹层和褶皱等；
- 施工区域的地形地貌等；
- 施工区域的水文、气象条件等；
- 岩石的物理力学性质：抗拉强度、抗压强度、弹性模量、波速和泊松比等力学性能、容积密度、孔隙率、风化度、波阻抗等；
- 施工区域周边环境情况：对周围环境状况的勘察，包括施工区域的方位、交通等情况的勘察和对施工可能危及的供水、排水、供气、供电、通讯、输油管线等设施，以及对周边交通隧道、堤坝、铁路、桥梁和建筑物等重要设施的勘察。

5.3 破岩技术方案设计

5.3.1 设计依据

主要包括以下内容：

- 有关的国家标准、行业规范和技术规程；
- 工程业主的委托书或合同；
- 工程设计单位提出的勘测任务书和矿山设计文件、图纸及现场实测、复核资料；
- 相关的地质勘查报告，现场试验报告和检测报告等；
- 施工区域工程地质报告；
- 其他相关的设计参考资料和文献等。

5.3.2 设计内容

主要包括以下内容：

- 工程概况，包括施工对象、施工环境概述及相关图纸，施工质量、工期、环保及安全要求；
- 总体方案设计，包括施工方法、选定方案的主要参数及相关图纸；
- 主要技术参数设计，包括：

- 台阶高度：两个施工平台之间的垂直距离；
- 孔网参数：孔径 d 、最小抵抗线 W 、孔距 a 、排距 b 、孔深 L 、炮孔倾角 θ 、超深 h 、储能管长度 l_1 、填塞长度 l_2 、储能管和炮孔直径的比值等；
- 一次破岩工程量 M ：一次破岩作业完成的总方量；
- 一次破岩总注入量 $Q_{\text{总}}$ ：一次破岩作业消耗的液化气体总质量；
- 最佳液化气体混合比例 x ：液氮与液氧的合理比值；
- 单孔注入量 Q ：单个炮孔内的液化气体总质量；
- 每延米炮孔注入量 p ：沿轴向长度每米炮孔的液化气体总质量；
- 最大单段注入量 Q_{max} ：一个延期单段的最大注入质量；
- 段间延期时间 Δt ：两排炮孔或两个炮孔之间的激发时间差；
- 总段数 n ：延期时间的总个数；
- 单耗 q ：破碎每立方米岩石消耗的液化气体质量。

——施工人员、材料、机具设备的安排和组织；

——施工安全、环保、质量和文明施工措施

——事故处理措施及应急预案。

6 施工方法

6.1 施工准备

6.1.1 应在施工范围设置作业施工公告，内容包括施工作业项目名称、委托单位、设计施工单位、施工区域、施工作业时限等

6.1.2 工程施工前，应根据技术方案设计、施工组织设计和场地条件，对施工场地进行规划，并开展施工现场清理与准备工作。

6.1.3 施工场地规划内容应包括：

- 施工区段或作业面划分及其程序编排；
- 与清运作业交叉循环的合理方案；
- 有碍破岩作业的障碍物拆除与处理方案；
- 现场施工机械的规划和配置；
- 进出场主通道及各作业面临时通道布置；
- 施工用风、水、电供给系统的方案编制；
- 施工机具、设备维修场地布置；
- 施工用器材现场临时存放与保管的场所布置；
- 施工现场防洪与排水措施。

6.2 清表及进出口道路修整

6.2.1 应采用机械挖运设备清除施工区域表土及植被层，为钻孔施工创造工作面。

6.2.2 根据施工组织设计修筑钻机和挖运设备进出施工平台的道路。

6.3 布孔

6.3.1 炮孔布置分为单排布孔或多排布孔，一般采用梅花形布孔方式。

6.3.2 依照技术设计方案在施工平台进行布孔测量放样，具体内容为：

- 依据技术设计中的布孔方式和孔网参数要求确定每个布孔的位置；
- 标注每个炮孔的孔位、钻孔角度和深度。

6.4 钻孔

- 6.4.1 采用潜孔钻、液压凿岩钻或手持凿岩机等钻机实施钻孔。
- 6.4.2 严格控制钻孔精度，每孔最大轴向偏差不大于 1.5%，深度偏差为 1.0%，间排距允许误差 1.0%，第 1 排炮孔的最小底盘抵抗线允许误差 2%。
- 6.4.3 对钻孔情况进行实时记录，钻孔结束后应标注记录具有炮孔缺陷、含水层和不良工程地质的孔位，并进行技术交底。

6.5 验孔

- 6.5.1 应将孔口周围 0.5 m 范围内的碎石、杂物清除干净，对不稳定的孔口岩壁应进行维护。
- 6.5.2 对炮孔的孔深、孔距、排距、炮孔倾斜度以及孔内的堵塞情况进行逐孔测量、登记验收，确定是否需要进行补孔、修孔。补修孔后应重新进行验收。
- 6.5.3 应及时处理不合格炮孔，未达验收要求的不得装孔。
- 6.5.4 对掌子面存在的过大根底，应采用工程机械进行提前处理。
- 7.5.5 应采用柔性材料对验收合格的炮孔封口保护。

6.6 破岩单元安放

6.6.1 基本要求

- 6.6.1.1 破岩单元可根据充装方式分为孔外充装及孔内充装，不同充装方式的破岩单元安放顺序不同。
- 6.6.1.2 充液前应撤离施工警戒范围内的油动机械设备，避免充液与油动凿岩设备、挖运设备等交叉作业。
- 6.6.1.3 分别检查液态二氧化碳贮瓦罐、充装机、液体输送管道的完好性，确保液态二氧化碳输送组成部分工作状态正常。
- 6.6.1.4 根据施工现场炮孔的分布情况确定液态二氧化碳充装设备各组成部分的安装部位。

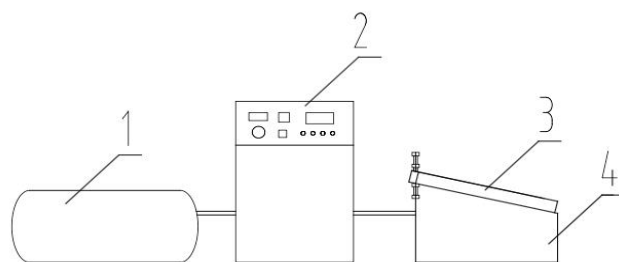
6.6.2 孔外充装

6.6.2.1 基本要求

- 6.6.2.1.1 气能破岩设计中采用孔外充装时液化气体可选择二氧化碳；破岩单元可选择重复使用二氧化碳致裂器或一次性二氧化碳致裂器。
- 6.6.2.1.2 采用孔外充装时，破岩气体安放的施工顺序为充装、装孔、填塞。

6.6.2.2 设备连接

孔外充装时，设备连接见图6：



标引序号说明：

1——杜瓦罐 2——充装机 3——破岩单元 4——充气台

图 6 孔外充装设备组成示意图

6.6.2.3 充装

根据工程特点，岩石性质，台阶高度及临空面间距、致裂管孔径、以及直列顺序等分别计算每个孔外致裂管二氧化碳充装量，并在致裂管上标记直列顺序；二氧化碳充装量可参考下表1。

表1 二氧化碳气体致裂设备数据采集表

管直径	长度	充气量	重量	打孔直径
51mm	1.2m	0.7kg	12kg	60mm
73mm	93cm	0.7-0.9kg	22kg	90mm
83mm	1.2m	1.4kg	37kg	100mm
95mm	1.2m	2.0-2.3kg	43kg	115mm
98mm	1.7m	3.7kg	47kg	115mm
108mm	2.3m	6.8kg	108kg	125mm

6.6.2.4 装孔

6.6.2.4.1 根据炮孔深度和充好液的致裂管长度确定装孔人员数量，避免致裂管在装孔过程中不发生线路短。

6.6.2.4.2 作业人员应协同将致裂管缓慢装入炮孔内，确保储能管端部到达孔底；装孔过程中应注意保护发火元件的脚线不破损。

6.6.2.4.3 致裂管装入炮孔后，应检查发火元件脚线是否完好并处于炮孔口部外。

6.6.2.5 填塞

6.6.2.5.1 根据填塞的质量和长度要求将填塞物装填于炮孔内口部一定深度处，确保填塞效果。

6.6.2.5.2 填塞过程中应注意防止石块等杂物进入炮孔中。

6.6.2.5.3 装填过程中应注意保护发火元件脚线不受损；

6.6.3 孔内充装

6.6.3.1 基本要求

6.6.3.1.1 气能破岩设计中采用孔内充装时液化气体可选择二氧化碳或液氧；破岩单元可选择一次性二氧化碳致裂器或一次性液氧储能管。

6.6.3.1.2 采用孔内充装时，破岩气体安放的施工顺序为装孔、填塞、充装。

6.6.3.2 设备连接

孔内充装时，设备连接见图7：

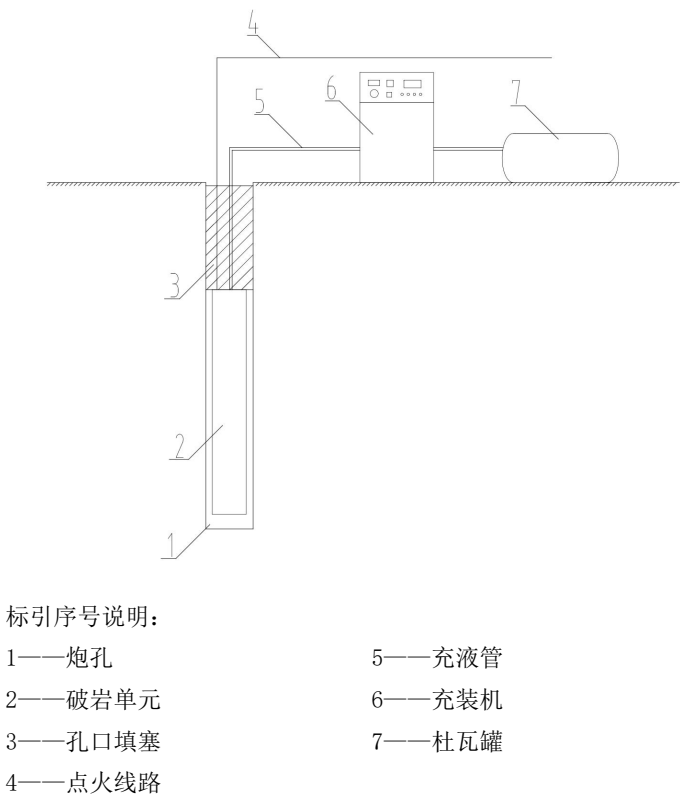


图 7 孔内充装设备组成示意图

6.6.3.3 填塞

同本文件7.6.2.4条。

6.6.3.4 装孔

同本文件7.6.2.5条。

6.6.3.5 充装

6.6.3.5.1 打开杜瓦罐，通过充装机、充液管和液体输送管道向炮孔内破岩单元输入定量的液态气体，直至所有炮孔内破岩单元均注入等量的液态气体。

6.6.3.5.2 液态二氧化碳充装量可参考本文件 6.2.3；液氧充装量应根据方案设计确定。

6.6.3.5.3 全部炮孔充液完成后，关闭液态杜瓦罐阀门和充装机阀门开关，撤除输送设备各组成部分并移至安全地点。

6.6.3.5.4 应打开存放在安全地点的输送设备各组成部分的所有阀门开关，使管内残留液体自然挥发。

6.7 敷设激发网络

6.7.1 基本要求

6.7.1.1 各种激发网络，均应使用现场检查合格的器材，并由专人进行激发网络的联接，网络连接检查人员不少于两人；

6.7.1.2 在可能对激发网络造成损害的部位，应采取措施保护

6.7.1.3 敷设激发网络应由有经验的技术人员实施，并实行双人作业制。

6.7.2 激发网络连接

网络连接应严格按设计进行串联联接，网络连线中严禁有死结，炮孔内严禁有接头，相邻炮孔之间应留有足够的距离；

6.7.3 激发网络检查

联线工作完成后，由施工负责人和生产经理进行检查，其它人员必须全部撤到警戒线以外，应检查内容包括：

- 有无漏接或中断、破损；
- 有无打结或打圈，支路拐角是否符合规定；
- 线路连接方式是否正确是否与设计相符；
- 网络保护措施是否可靠。

6.8 激发前准备工作

6.8.1 激发前应做好施工范围内的清场工作。

6.8.2 应在通往施工区域的路口和警戒区域的主要关口设置明显标识。

6.8.3 施工地点与人员、其它保护对象的安全允许距离应符合设计要求。

6.8.4 上述准备工作完成后，工程指挥人员和激发器操作人员应到达指定位置。

6.9 储能管激发

6.9.1 所有警戒点人员汇报现场警戒情况，确认安全后工程指挥人员下达预警信号。

6.9.2 预警信号发出 3min 后，工程指挥人员下达激发指令，激发器操作人员按下激发器的按钮。

6.9.3 施工区炮孔激发 15min 后，安全员进入现场检查破岩情况，确认所有炮孔激发并无异常情况，向指挥人员报告。工程指挥人员下达解除警戒指令，警戒点人员撤回。

7 检查及验收

7.1 施工质量检查应包括下列内容：

- a) 钻孔定位；
- b) 每延米炮孔注入量；
- c) 安全警戒范围；
- d) 安全防护。

7.2 清碴后，应对破岩施工区进行测量，验收破岩效果。

7.3 破岩边坡不得陡于设计边坡，应检查测量资料。

附 录 A

(资料性)

气能破岩作业技术方案设计内容

- 1 工程概况
 - 1.1项目概况
 - 1.2地质情况
 - 1.3区域环境
- 2 编制依据
 - 2.1设计原则
 - 2.2编制依据
 - 2.3适用范围
- 3 总体方案设计
- 4 资源配置计划
- 5 气能技术参数设计
 - 5.1孔网参数
 - 5.2技术参数
 - 5.3施工流程
- 6 安全管控措施
- 7 质量保证措施
- 8 文明施工措施
- 9 应急预案

附图表

图 1 破岩环境平面图

图 2 孔网布置图

图 3 破岩安全防护图

图 4 破岩安全警戒图

附 录 B

(规范性)

破岩参数设计表式样

表B. 1为气能破岩作业技术参数设计表式样。

表 B. 1 气能破岩作业技术参数设计表

序号	破岩参数	单位	设计取值	备注
1	台阶高度 H	m		
2	孔径 d	mm		
3	最小抵抗线 W	m		
4	孔距 a	m		
5	排距 b	m		
6	孔深 L	m		
7	炮孔倾角 θ	°		
8	超深 h	m		
9	储能管直径与炮孔直径比值 m	/		
10	储能管长度 l_q	m		
11	填塞长度 l_T	m		
14	每延米炮孔注入量 p	L/m		
15	单孔注入量 Q	L		
17	单耗 q	L/m ³		
19	一次破岩总注入量 $Q_{总}$	L		
20	一次破岩工程量 M	m ³		