

ICS 93.140

P67

团 体 标 准

T/CWTCA *****-20**

(水下岩石破碎施工技术规程)

(Standard Procedure of Underwater-Rock-Cutting
Methodology)

(征求意见稿)

20**-**-** 发布

20**-**-** 实施

中国水运建设行业协会 发布

团 体 标 准

(水下岩石破碎施工技术规程)

T/CWTCA *****-20**

主编单位：广西新港湾工程有限公司

发布单位：中国水运建设行业协会

实施日期：20**年*月*日

人民交通出版社股份有限公司

20** · 北京

中国水运建设行业协会关于发布
《（水下岩石破碎施工技术规程）》的公告
中水协字〔20**〕 **号

《（水下岩石破碎施工技术规程）》为中国水运建设行业协会标准，标准编号为T/CWTCA *****-20**，自20**年*月*日起实施，由中国水运建设行业协会负责管理和解释。特此公告。

中国水运建设行业协会
20**年*月*日

制定说明

《（水下岩石破碎施工技术规程）》是根据中国水运建设行业协会《关于发布 2019 年（第一批）中国水运建设行业协会团体标准编制计划的通知》（中水协字[2018]48 号）要求，由中国水运建设行业协会组织有关会员单位制定而成。

（编制必要性的简单描述）为满足水运建设工程项目水下破岩需求，编写单位在系统总结我国近年来水下破岩方案设计、施工的实践经验和吸收成熟先进技术的基础上，经广泛征求意见和反复修改完善，制定了本规程。

本规程的主编单位为广西新港湾工程有限公司，参加单位为中交广州航道局有限公司、中交第四航务工程局有限公司、广西交通设计集团有限公司、矿冶科技集团有限公司、广西壮族自治区柳州航道养护中心、广西交通职业技术学院、力凯工程装备（深圳）有限公司、成都易合元科技有限公司。

本规程共分为 9 章和 3 个附录。本规程编写人员分工如下：

- 1 总 则：梁进
- 2 术 语：陆少锋 叶风明 梁进
- 3 基本规定：梁进 陈保健 姚方明 廖烈宏
- 4 水下重锤冲击破岩：陈林 农志祥 彭上志 岑文杰 易学强 查正清
- 5 液压锤破岩：梁进 陈林 彭上志 岑文杰 覃昌佩 易学强
- 6 液压机械胀裂破岩：肖建国 陈林 覃峰 查正清
- 7 水压胀裂破岩：彭上志 纪新刚 覃峰 王尹军 袁明
- 8 高压水射流切割破岩：纪新刚 袁明 陆少锋 梁云
- 9 液态二氧化碳相变破岩：方莹 陈保健 陆少锋 姚方明 王尹军
- 10 质量检查与检验：袁明 农志祥 肖建国

附录 A：（规范性附录）常见岩石抗拉强度表

附录 B：（资料性附录）水压胀裂破岩岩石类别、钻孔孔径、侧向自由面距离对应关系

附录 C：（资料性附录）液态二氧化碳相变破岩岩石类别与适用孔径、孔/排距关系

本规程于 20**年*月*日通过协会审查，20**年*月*日发布，自 20**年*月*日起实施。

本规程由中国水运建设行业协会负责管理和解释。各单位在执行过程中发现的问题和意见，请及时函告中国水运建设行业协会（地址：北京市东城区安定

门外大街甲 88 号中联大厦六层，邮政编码：100011）和本规程管理组（地址：广西南宁市良庆区凯旋路 3 号宁泰新港湾大厦 19 层，广西新港湾工程有限公司，邮编：530200），以便修订时参考。

目 录

| | |
|-------------------|----|
| 1 总则..... | 1 |
| 2 术语..... | 1 |
| 3 基本规定..... | 2 |
| 4 水下重锤冲击破岩..... | 4 |
| 4.1 一般规定..... | 4 |
| 4.2 施工工艺..... | 5 |
| 4.3 主要设备及器材..... | 5 |
| 5 液压锤破岩..... | 5 |
| 5.1 一般规定..... | 5 |
| 5.2 施工工艺..... | 6 |
| 5.3 主要设备及器材..... | 6 |
| 6 液压机械胀裂破岩..... | 7 |
| 6.1 一般规定..... | 7 |
| 6.2 施工工艺..... | 7 |
| 6.3 主要设备及器材..... | 8 |
| 7 水压胀裂破岩..... | 8 |
| 7.1 一般规定..... | 8 |
| 7.2 施工工艺..... | 9 |
| 7.3 主要设备及器材..... | 10 |
| 8 高压水射流破岩..... | 10 |
| 8.1 一般规定..... | 10 |
| 8.2 施工工艺..... | 10 |
| 8.3 主要设备及器材..... | 11 |
| 9 液态二氧化碳相变破岩..... | 11 |
| 9.1 一般规定..... | 11 |
| 9.2 施工工艺..... | 12 |
| 9.3 主要设备及器材..... | 13 |
| 10 质量检查与检验..... | 14 |

| | |
|---|----|
| 附录 A（规范性附录）常见岩石抗拉强度表..... | 14 |
| 附录 B（资料性附录）水压胀裂破岩岩石类别、钻孔孔径、侧向自由面距离对应关系..... | 15 |
| 附录 C（资料性附录）液态二氧化碳相变破岩岩石类别与适用孔径、孔/排距关系..... | 15 |

1 总则

1.1 为统一水运工程各种非爆破方式水下破碎岩石的施工设计与技术要求，有效控制工程质量，保证施工和环境安全，制定本规程。

1.2 本规程适用于水运工程中各种非爆破方式的破岩技术和工艺，涉及开挖、拆除、清障，以及水下地基和基础的设计、施工和质量检验。

1.3 水下非爆破方式破碎岩石的设计、施工和质量检验，除执行本规程外，还应遵守国家现行其他有关标准规范的规定。

2 术语

2.1 破岩 rock breaking

破岩是工程领域对破碎岩石的简称，系指利用碎岩工具形成外部集中载荷，使岩石产生局部破碎的过程。

2.2 非爆破方式破岩 Non blasting rock breaking

非爆破方式破岩系指不采用炸药爆炸的方式，而采用各种机械装置进行破岩的施工工程。

2.3 水下重锤冲击破岩

水下重锤冲击破岩是利用起重设备将重锤提高到预定高度，让其自由下落，利用其重力势能转变为动能冲击岩石，使岩石破碎。

2.4 密集孔

在破岩施工中，为削弱岩石的整体强度而钻的孔、排距离不大于 1.0m 的空孔。

2.5 液压锤破岩

液压锤通常搭载在挖掘机等液压工程机械上使用，通过液压控制系统提供动力，驱动活塞往复运动，将液压能转化为冲击能破碎岩石。

2.6 液压机械胀裂破岩

液压机械胀裂破岩方式分为楔式分裂和柱式分裂，楔式分裂是将楔式分裂棒安装于孔口，利用液压系统提供动力将楔式分裂棒楔入岩石，使岩石胀裂；柱式分裂是将柱式分裂棒安装于孔内，利用液压系统提供动力将活塞推出挤压岩石，使岩石胀裂。

2.7 水压胀裂破岩

水压胀裂破岩技术包含增压系统、传输管线、胀裂器三部分，通过增压系统和高压传输管线，向放置在钻孔中的专用胀裂器内注入高压水，控制增压使膨胀器径向膨胀，压迫孔壁，从钻孔内部发力，使岩石破碎。

2.8 高压水射流破岩

将常压水或磨料水增压后通过小口径孔射出，形成高速水射流作用在岩石上，形成冲击、磨削破坏，使岩石破碎。

2.9 水射流

在高压作用下，由喷嘴射出带有动能的连续水流，是一种液体速射体。

2.10 液态二氧化碳相变破岩

该技术利用极短时间内产生的热量，将密闭空间内处于临界温度下和临界压力上的液态二氧化碳瞬间激发产生相变，体积迅速膨胀对外做功。

3 基本规定

3.1 施工点附近有重要设施时，应进行试验和监测。

3.2 水下岩石破碎在重要设施附近及其他环境复杂、技术要求高的水运工程应编制施工设计书，其他条件下可编制说明书，施工设计书和施工说明书均应附有防止事故发生的措施。

3.3 水下岩石破碎工程施工设计书中应制定控制噪声、控制有害气体和飞石、减少粉尘、降低地震和冲击波效应等环境保护措施。

3.4 水下岩石破碎工程施工前应进行现场勘察，主要内容包括：

- (1) 施工区地形地貌、地质及水文气象；
- (2) 周边生态、环保要求，建筑物分布及结构特征；
- (3) 施工区附近重要保护对象及相对位置；
- (4) 必要的照片和影像资料。

3.5 水下岩石破碎工程施工设计书应根据工程特点、现场条件及设计要求等合理编制，主要内容应包括：

- (1) 编制依据；
- (2) 工程概况及工程特点和难点；
- (3) 工程水文、地质、地形、气象和周边环境等；
- (4) 施工方法的选择；

-
- (5) 施工机具和器材；
 - (8) 安全防护措施；
 - (9) 环境影响评价和施工措施；
 - (10) 施工组织及施工平面布置；
 - (11) 资源配置计划；
 - (12) 附图和附表等。

3.6 水下岩石破碎工程施工区域的水文、气象资料应包括下列内容：

- (1) 水位、潮汐、流速、流向、流态、波浪等特征值及有关资料；
- (2) 多沙河流的泥沙资料；
- (3) 风向、风力、雨、雾、雪发生时间、频率和强度等资料；
- (4) 封冻河流的冰冻期、冰层厚度、解冻期和流冰期等。

3.7 水下岩石破碎工程施工影响范围内的地质资料应包括下列内容：

- (1) 破岩区域的岩体结构、产状、岩性和风化程度；
- (2) 附近岸坡、边坡、危岩和潜在滑坡体等的稳定状态；
- (3) 石灰岩地区的岩溶和地下水资料；
- (4) 重点破碎岩石或地质复杂地区的破碎岩石工程地质详图，河床、海床覆盖层厚度、组成、粒径及分布情况；

3.8 水下岩石破碎工程施工影响范围内的环境资料应包括下列内容：

- (1) 居民区、文物保护区、重要建构（筑）物的位置和建构（筑）物的结构及抗震要求等；
- (2) 航道、港区、码头、停泊区、水产养殖区、游泳场、水上游乐场等设施安全和环境保护的要求；
- (3) 当地政府的有关规定。

3.9 进行水下岩石破碎工程施工前应征得有关部门许可并由海事、航道部门发布航行通告、通电。

3.10 施工作业船（平台）及辅助船舶应悬挂信号（灯号），水域危险边界上应设置警告标示、禁航信号。

4 水下重锤冲击破岩

4.1 一般规定

4.1.1 重锤冲击法适用于岩性较脆的水下岩石破碎。

4.1.2 覆盖层厚度少于 0.3m 的，直接冲击破岩；覆盖层厚度大于等于 0.3m 的，应先清除覆盖层，再进行冲击破岩。

4.1.3 重锤宜采用高强度锰钢制造，外形通常分为笔状、多齿或斧（楔）状等，应根据流速和水深情况优化外形，减少水阻力。

4.1.4 重锤的规格应根据水深、流速、岩石特征、船舶设备的起重能力选择，通常重量不宜小于 8.0t。

4.1.5 对坚硬、整体性好的岩层，宜先钻密集孔，削弱岩石的整体强度。

4.1.6 破岩宜分层施工，破岩与清渣交替进行，清渣遗留层厚度不宜超过 0.3m。

4.1.7 采用重锤冲击法施工应考虑冲击引起的振动对周边建（构）筑物、管线、设备设施的影响。冲击引起的振动宜用下列经验公式验算：

$$V = K \left(\frac{M^2 \sqrt{H}}{R^3} \right)^\alpha$$

式中：V—被保护设施所在地安全允许质点振速，cm/s；

K—与重锤形状、水的密度、粘度有关的系数；

M—重锤质量，kg；

H—重锤落高，m；

R—重锤中心与被保护设施的距离，m；

α —与地形地质有关的衰减系数。

K、 α 值应根据现场试验确定，宜用重锤较低落高产生的振动计算出安全落锤高度。

4.1.8 相关操作人员应经过专业培训，具备相应的操作技能。

4.1.9 重锤的起重机具应经安全荷载验算，严禁超负荷运行。

4.1.10 起重钢丝绳应符合有关规范要求，如出现下列情况应立即更换：

(1) 一个捻节内断丝数达总丝数的 10%；

(2) 钢丝绳直径相对于公称直径减小 7% 或更多；

(3) 钢丝绳磨损致使纤维主芯外露。

4.2 施工工艺

4.2.1 施工流程：

施工准备→清除覆盖层→钻密集孔→布点定位→重锤冲击破岩→清碴→进入下一个循环。

4.2.2 施工前，应先对施工区域的淤泥、粘土、碎石等覆盖层进行清理。

4.2.3 覆盖层清理完成后，对坚硬、整体性好的岩层，宜先钻密集孔。

4.2.4 施工时宜依据施工船舶的有效作业宽度分条、分段、分层进行。

4.2.5 将施工船舶定位于设计的条带上，将重锤提高到设计高度，使其自由落下，对岩石进行冲击破岩。

4.2.6 冲击布点间距应根据重锤的重量、形状及岩层厚度和硬度等确定，布点间距宜控制在斧（楔）形重锤厚度、笔形和多齿形重锤直径的 1.5~2 倍范围内。

4.2.7 重锤冲击次数应根据施工前的试验确定，对每个设计点位进行冲击 3~5 次，对岩质较硬的区块，增加冲击点和次数。

4.2.8 完成一个船位作业后，向后移动一个船位，重复以上作业，直至完成一个分段后组织清碴。

4.3 主要设备及器材

4.3.1 施工船舶、起吊设备

具有相应起吊能力或卷扬设备的工程船舶。

4.3.2 重锤

宜用高强锰钢制造，外形通常分为笔状、带齿及斧（楔）状等。

5 液压锤破岩

5.1 一般规定

5.1.1 液压锤破岩适用水深不宜超过 15.0m。

5.1.2 覆盖层厚度少于 0.3m 的，直接锤击破岩；覆盖层厚度大于等于 0.3m 的，应先清除覆盖层，再进行锤击破岩。

5.1.3 对坚硬、整体性好的岩层，宜先钻密集孔，削弱岩石的整体强度。

5.1.4 破岩宜分层施工，且与清碴交替进行。

5.1.5 液压系统的各种管线、接头、销轴、螺栓必须紧固牢靠。

5.1.6 作业时，必须在液压锤的钎头垂直紧压岩面后方可启动液压锤，禁止空打液压锤和使用液压锤的锤身与钎头撬石。

5.1.7 不应将液压锤的锤身用于撞击岩石或坚硬物体，不宜使用液压锤的锤身移动重大岩石或其它坚硬物体。

5.1.8 液压油温超过 80℃时，应停止作业。

5.2 施工工艺

5.2.1 施工流程

施工准备→清除覆盖层→钻密集孔→布点定位→液压锤锤击破岩→清碴→进入下一个循环。

5.2.2 施工准备期间，操作人员应对机器进行检查，发现故障应排除后方可作业。

5.2.3 破岩施工前，应先对施工区域的覆盖层进行清理。

5.2.4 覆盖层清理完成后，对坚硬、整体性好的岩层，宜先钻密集孔。

5.2.5 宜依据施工船的有效作业宽度对施工区域进行分条、分段、分层。

5.2.6 将安装有液压锤的工程船定位于设计的条带上。

5.2.7 液压锤锤击时，钎杆应垂直紧压于被破碎的岩面，禁止斜对岩面进行锤击，防止钎杆断折。如钎杆角度出现偏离，应立即停止锤击，在调正角度后再继续锤击。

5.2.8 岩体破碎后，应立即停止锤击，以免造成打空炮和炸膛现象。

5.2.9 对同一点位连续冲击时间宜少于 15 秒，若破碎岩体还未开裂，转移到原点旁重新锤击。

5.2.10 当出现夹钎杆的情况时，应立即停止锤击，拔出被卡的钎杆。拔钎杆时，钎杆的摇摆角度不宜大于 5 度。

5.2.11 完成一个船位作业后，向后移动一个船位，重复以上作业，直至完成一个分段，再组织清碴。

5.3 主要设备及器材

4.3.1 施工船舶、挖掘机设备

安装有挖掘机且挖掘机上配备有液压锤的工程船舶。

5.3.2 液压锤

液压锤通常搭载在挖掘机等液压工程机械上使用，通过液压控制系统提供动力，驱动活塞往复运动，将液压能转化为冲击能破碎岩石

6 液压机械胀裂破岩

6.1 一般规定

- 6.1.1 液压机械胀裂施工宜有侧向自由面，如无侧向自由面，需开辟侧向自由面。
- 6.1.2 宜用于水深在 20m 以内的水工工程，分层破岩时分层厚度宜在 2~3 米。
- 6.1.3 液压机械胀裂破岩宜进行单排施工。
- 6.1.4 采用楔式分裂棒破岩时，孔深宜超过楔式分裂棒长度的 1.5 倍。
- 6.1.5 采用柱式分裂棒破岩时，孔深宜超过柱式分裂棒长度的 1.2 倍。
- 6.1.6 钻孔直径应大于楔式分裂棒或柱式分裂棒直径 4~6mm。
- 6.1.7 水下作业前，需进行密闭性检查。
- 6.1.8 严禁将楔式或柱式分裂棒作为撬棍使用。
- 6.1.9 空洞、溶洞、溶槽、软弱带，不应使用柱式分裂方法。

6.2 施工工艺

- 6.2.1 施工流程一般为“施工准备→清除覆盖层→开凿侧向自由面→定位钻孔→安装分裂棒→增压胀裂破岩→卸压回收分裂棒→清碴→进入下一个循环”。
- 6.2.2 钻孔宜平行侧向自由面，排孔与侧向自由面距离宜为 0.6~1.0m，孔距 1.0~1.8m，孔距应相等，以使各孔之间应力分布均匀。
- 6.2.3 钻孔应平直，以方便破岩后拔出分裂棒。
- 6.2.4 钻孔施工中应做好记录，钻孔达到设计孔深后，将分裂棒插入合适位置，方可启动液压系统增压破岩，如孔内残留石粉、碎碴等需提前清理。
- 6.2.5 分裂棒直径应不小于 85mm，活塞推出长度为 25~45mm。
- 6.2.6 系统启动应得到现场负责人指令。
- 6.2.7 系统工作时如出现泄漏现象，应停机卸压维修。
- 6.2.8 操作人员在升压、降压时应缓慢操作。
- 6.2.9 楔形分裂棒每分裂 3~5 个孔后，宜涂抹润滑脂，以减少分裂棒与岩石之间的摩擦力。

6.3 主要设备及器材

6.3.1 施工船舶、钻孔设备

具备测量定位能力且安装有钻孔设备、液压系统的工程船舶。

6.3.2 楔式分裂棒

安装于孔口，利用液压系统提供动力，驱动楔式分裂棒楔入岩石，使岩石破裂的装置。

6.3.3 柱式分裂棒

安装于孔内，利用液压系统提供动力，驱动活塞柱头挤压岩石，使岩石破裂的装置。

7 水压胀裂破岩

7.1 一般规定

7.1.1 水压胀裂破岩适用于质地较为均匀的岩石，一般不受水深影响。

7.1.2 对于有多个自由面的孤石，水压胀裂破岩的布孔方式可采用梅花形、正方形等；对有两个自由面的边坡、台阶状工作面，宜单排布孔；对于只有单一自由面的工作面，需先开槽或切缝，开辟侧向自由面，然后再进行直线布孔。

7.1.3 钻孔方向宜平行于侧向自由面，采用排孔布置，每次施工一排孔，孔距应相等，以使各孔之间应力分布均匀。

7.1.4 孔距应根据不同岩石的抗拉强度进行设计，抗拉强度高，取小值；抗拉强度低，取大值，不明强度的岩石，孔距宜由5倍孔径开始试验，再逐步调整到合理范围。

7.1.5 岩石硬度较大时，可以适当缩减孔距或增加钻孔孔径，且采用大直径胀裂器。

7.1.6 孔径与胀裂器外径间隙在5mm-10mm之间，保证胀裂器平顺下放，工作时与岩石孔壁耦合。

7.1.7 钻孔深度应大于胀裂器长度5~20cm，作业时胀裂器完全放入孔内。

7.1.8 高压泵应水平放置，机座固定牢靠。

7.1.9 水箱应使用洁净水，使用前检查水箱内水位，应位于液位线范围内。

7.1.10 连接胀裂器前应检查胀裂器和管路的完好情况，如有磨损、漏水等现象，应及时更换。

-
- 7.1.11 当环境温度低于 5℃时，应使用防冻液代替洁净水。
 - 7.1.12 设备长期停放时，应排出主机和胀裂器内的液体，并保持干燥通风。
 - 7.1.13 钻孔时如发现空洞、溶洞、溶槽、软弱带，不应继续使用该技术。

7.2 施工工艺

7.2.1 施工流程一般为“施工准备→清除覆盖层→开辟侧向自由面→定位钻孔→安装胀裂器→增压胀裂破岩→卸压回收胀裂器→清碴→进入下一个循环”。

7.2.2 如无侧向自由面，需开辟侧向自由面。

7.2.3 钻孔的孔距及其与自由面的距离，应根据孔径、注水压力、岩石强度、节理裂隙的发育程度进行布置。部分岩石种类的钻孔孔径及其与自由面距离的对应关系，可参见附录 B.1 进行确定。

7.2.4 胀裂器可采用串接实现深孔胀裂，串接时如采用方向型胀裂器，应按照标识对齐胀裂器。

7.2.5 高压注水管路在使用过程中应避免与尖锐锋利的物体接触，以防止注水过程中因抖动摩擦损坏管道。

7.2.6 管路、胀裂器在安装过程中，高压注水设备的主机应断电，防止误触启动。

7.2.7 连接好管路后，应开机低压输水检查每个连接端口，如有漏水应关机泄压后重新连接，注水前应重新检查，确保连接牢固。

7.2.8 每次连接好管路后，应开机以不大于 1Mpa 的压力，重复加压泄压 3~5 次，以排空管线内空气。

7.2.9 注水时，高压注水设备操作员与管路检查员要保持联络畅通。

7.2.12 应得到现场负责人的指令才能启动。

7.2.13 系统工作时如出现泄漏现象，应立即停机卸压维修。

7.2.14 采用预压、增压两次加压模式，预增压到 1~10Mpa，检查管路，确保正常，再增压至岩石破裂。

7.2.15 增压时，如出现岩石破裂、水压显著下降的情况，应立刻停止增压注水。

7.2.16 增压破岩结束时，打开泄压阀门放水泄压，等压力完全卸载后，再取出胀裂器，如长时间不用，应拆除胀裂器及管路。

7.3 主要设备及器材

7.3.1 施工船舶、钻孔设备

具备测量定位能力且安装有钻孔设备的工程船舶。

7.3.2 水压机

分为气动水压机、液压水压机、燃油水压机、电驱动水压机，根据实际需要
进行选用。

7.3.3 胀裂器

安装于孔内，在高压水作用下产生径向膨胀并对岩石做功，使岩石破裂的装
置。

8 高压水射流破岩

8.1 一般规定

8.1.1 高压水射流技术适用于水下各类岩石切割、破碎。

8.1.2 应采用压缩空气型喷咀，内径应不大于 3mm，以增加切割、破碎效
率。

8.1.3 水射流压力应不小于岩石抗压强度的 2.5 倍，添加磨料的射流压力
应不小于岩石抗压强度 1 倍。

8.1.4 作业人员应穿戴好专用防护用品。

8.1.5 高压系统的运行压力不得高于其额定工作压力。

8.1.6 高压软管布置应平顺，减少过度磨损，承压状态下不得随意移动软
管接头，软管接头应使用安全柔性扣作保护。

8.1.7 控制装置应由专人管理和操作，禁止其他人员操作。

8.1.8 高压射流设备应根据使用说明书和设备状况进行维修和保养。

8.2 施工工艺

8.2.1 施工流程：

施工准备→清除覆盖层→布线定位→水射流破岩→清碴→进入下一个循
环。

8.2.2 施工准备应包括确定压力、流量、加入的磨料品种、规格和数量等
工况。

8.2.3 设备安装前应对管路、接头及垫圈清洗干净，并确保正确密封、连

接牢靠。

8.2.4 高压管应布置在无人员穿越行走的位置，管路及接头应连接牢固，禁止车辆碾压。

8.2.5 喷咀安装前应检查是否有损坏、堵塞及其它问题。

8.2.6 操作人员得到现场负责人的指令后，方可启动设备。

8.2.7 系统工作时如出现泄漏现象，应停机卸压维修。

8.2.8 在升压、降压时应缓慢操作。

8.2.9 操作切割的人员应做好防护措施，禁止喷咀朝向人员、设备等。

8.2.10 水流喷射方向与切割面的法线夹角宜为 10° ，最大不应大于 45° 。

8.2.11 岩石切割厚度大于 30cm 时，可采用宽缝切割法。

8.2.12 在下列情况下应及时卸压停机：

- (1) 工作完成或停止作业；
- (2) 无关人员或未做好安全防护措施的人员进入作业区；
- (3) 设备及管路运行出现异常；
- (4) 设备部件需更换或维修。

8.3 主要设备及器材

8.3.1 施工船舶

配备有高压水射流切割设备的工程船舶。

8.3.2 水射流喷咀

水射流喷咀又叫沙管、砂管、磨料喷咀、水嘴、水刀、水刀沙管等，一般为复合碳化钨材料加工制作而成。

9 液态二氧化碳相变破岩

9.1 一般规定

9.1.1 液态二氧化碳储罐设备应安置在通风、阴凉处，禁止剧烈摇晃、碰撞及暴晒。

9.1.2 液态二氧化碳储罐及充装设备有腐蚀、损伤、裂纹等缺陷时，应及时更换。

9.1.3 施工前对储罐进行灌装，做到随用随灌，不长期保存。

9.1.4 在运输、充装作业时，作业人员应远离排气孔。

-
- 9.1.5 应使用水下专用一次性致裂管。
- 9.1.6 应选用摩擦系数和密度较大的介质对放置于钻孔内的致裂管以上至孔口部位进行堵塞。
- 9.1.7 二氧化碳相变破岩宜采用同排同时激发。
- 9.1.8 施工后剩余的储液致裂管必须排空回收，严禁带液储存。
- 9.1.9 同次使用的激发管、致裂管宜分别为同厂同一标准同批次生产的产品。
- 9.1.10 应使用符合现行标准的器材，禁止使用未经鉴定、出厂日期不明和质量不合格的器材。
- 9.1.11 激发管和专用欧姆表，应每月检查一次并在每次施工前重新检查。
- 9.1.12 同一网路的激发管，单个镍铬桥丝电阻差值不得大于 $0.8\ \Omega$ 、康铜桥丝电阻差值不得大于 $0.3\ \Omega$ 。
- 9.1.13 电力激发管应采用输出电流小于 30mA 的专用仪表检测，宜在布药和堵塞完毕后进行；网路宜顺水流方向连接，激发前网路应保持短路状态。网路连接前应检测每个激发管及导线的电阻值，确认接点牢固并绝缘良好。
- 9.1.14 激发网路的主线与电源连接前，应检测网路的总电阻值，实测电阻值与计算值的偏差不得超过 5%。

9.2 施工工艺

- 9.2.1 施工流程一般为“施工准备→清除覆盖层→定位钻孔→充装、安装致裂管→堵塞→警戒→激发破岩→清碴→进入下一个循环”。
- 9.2.2 二氧化碳相变破岩宜有侧向自由面，减少夹制作用；如无侧向自由面需开辟侧向自由面。
- 9.2.3 宜选择外径比钻孔直径小 $10\sim 15\text{mm}$ 的致裂管。
- 9.2.4 孔网参数应根据岩石强度、节理发育程度、自由面等情况进行确定，孔网参数的设计可参照附录表 C.1。
- 9.2.5 根据地质、地形情况绘制钻孔布置图，确定钻孔顺序。
- 9.2.6 钻孔时，应根据现场岩面高程、设计底标高和超深值，计算钻孔深度。
- 9.2.7 钻孔工作完成后，应进行验孔，如钻孔不合格，可在原钻孔周围补

钻。

9.2.8 充装二氧化碳前，应先检查安全阀是否正常，致裂管、激发管、激发脚线是否合格。

9.2.9 连接液态二氧化碳充装机，向致裂管内充装液态二氧化碳，充装压力应控制在 5~10MPa。

9.2.10 高温天气充装时宜先充放 1~2 次，对致裂管进行降温。

9.2.11 把充装好的致裂管安装至孔底，预留足够长度的激发脚线，堵塞钻孔，堵塞时应注意对激发脚线的保护，避免损伤或碰断脚线。

9.2.12 连接激发脚线，宜采用串联网路，并严格按照设计实施。

9.2.13 警戒范围宜根据水深进行确定，当水深超 4m 时，警戒范围不小于 30m；水深在 2~4m 时，警戒范围不小于 60m；水深小于 2m 时，警戒范围不小于 100m。

9.2.14 警戒完成后，应及时激发破岩。激发后应检查有无盲炮，检查的等待时间不应少于 5min。

9.2.15 发现盲炮及其他险情时，检查人员应立即报告并及时处理，并在现场设立危险标志，采取相应的安全措施。

9.2.16 盲炮处理时应立即切断电源及时将激发网路短路。

9.2.17 处理水下二氧化碳相变破岩的盲炮时，如因激发网路而引起的盲炮，可重新连线激发，如其他原因导致的盲炮应对激发网路销毁处理。

9.3 主要设备及器材

9.3.1 施工船舶、钻孔设备

具备测量定位能力且安装有钻孔设备的工程船舶。

9.3.2 致裂管

在二氧化碳相变破岩中用于充装液态二氧化碳，由储液管、充装头、安全阀等组成的器材。

9.3.3 激发管

安装于致裂管内，经激发迅速燃烧发出大量热量，使液态二氧化碳相变为气态的发热装置。

9.3.4 液态二氧化碳储罐

储存低温液态二氧化碳介质的压力容器。

9.3.5 液态二氧化碳充装机

用于给致裂管内充装液态二氧化碳的设备，泵体上有柱塞孔、高压柱塞、单向阀、管道口及管道等部件。

9.3.6 激发器

用于引燃激发管的点火药头及其组成的网路的电器设备。

9.3.7 专用欧姆表

用于测定激发管点火药头的电阻及激发网路连通状况的电子仪器。

10 质量检查与检验

10.1 施工质量检查应包括下列内容：

- (1) 定位标志和水尺零点；
- (2) 施工工艺和工序；
- (3) 防护措施和安全质量等。

10.2 清碴后，应对破岩施工区进行测量，检验破岩效果。

10.3 破岩边坡不得陡于设计边坡，应检查测量资料。

10.4 水下破岩底高程应采用硬式扫床或多波束扫侧检查；条件不具备时，非航行水域也可采用水下加密测量方法检查，并应在交工验收资料中注明。

10.5 水下破岩开挖基槽应每 5m 测 1 个断面，且不得少于 3 个断面，每个断面每隔 1~2m 应测 1 个点，检查方法可采用测深仪或测深水砣检查。

附录 A（规范性附录）常见岩石抗拉强度表

常见岩石抗拉强度

表 B.1

| 岩石名称 | 抗拉强度 mpa | 岩石名称 | 抗拉强度 mpa | 岩石名 称 | 抗拉强度 mpa |
|------|-------------|------|-------------|----------|-------------|
| 辉长岩 | 15~36 | 花岗岩 | 7~25 | 页岩 | 2~10 |
| 辉绿岩 | 15~35 | 流纹岩 | 15~30 | 砂岩 | 4~25 |
| 玄武岩 | 10~30 | 闪长岩 | 10~25 | 砾岩 | 2~15 |
| 石英岩 | 10~30 | 安山岩 | 10~20 | 灰岩 | 5~20 |
| 大理岩 | 7~20 | 片麻岩 | 5~20 | 片岩 | 1~10 |
| 白云岩 | 15~25 | 板岩 | 7~15 | 千枚岩 | 1~10 |

附录 B （资料性附录） 水压胀裂破岩岩石类别、钻孔孔径、 侧向自由面距离对应关系

水压胀裂破岩施工岩石类别、钻孔孔径、侧向自由面距离关系 表 A. 1

| 岩石类别 (mm) 侧向自由面距离 钻孔孔径 | 40 | 50 | 70 | 90 | 110 |
|------------------------------|-----|-----|------|------|------|
| 特坚岩 | 400 | 500 | 700 | 1000 | 1200 |
| 坚岩 | 500 | 700 | 1000 | 1200 | 1300 |
| 次坚岩 | 700 | 800 | 1100 | 1300 | 1500 |
| 软岩 | 800 | 900 | 1200 | 1500 | 1800 |

注：1. 孔距与侧向自由面距离相当，或在孔距适当增大时减小侧向自由面距离，孔距较小时适当增大侧向自由面距离。
2. 表中单位为 mm。

附录 C （资料性附录） 液态二氧化碳相变破岩岩石类别与适 用孔径、孔/排距关系

液态二氧化碳相变破岩施工岩石类别与适用孔径、孔/排距关系 表 C. 1

| 岩石类别 | 岩石抗压强度 (MPa) | 常见岩石 | 钻孔孔径 (mm) | 孔距×排距 (mm) |
|------|--------------|-----------------------------|--------------|------------------------|
| 软岩 | ≤60 | 煤层、泥岩页岩、粉砂岩、风化破碎的中砂岩、粗砂岩等。 | Φ50 Φ70 | 1000×1000 2500×2500 |
| 次坚石 | 60~80 | 中风化砂岩、风化的粗砂岩、中层石灰岩，裂隙发育花岗岩。 | Φ51 Φ100 | 1000×1000 1500×2500 |
| 坚岩 | 80~100 | 砂岩、粗砂岩、厚层石灰岩，中风化石英岩 | Φ70 Φ100 | 500×500 1500×1500 |
| 特坚石 | >100 | 裂隙不发育花岗岩、辉绿岩、硅质石灰岩。 | Φ100 Φ120 | 1000×1000 1500×1500 |