

团 体 标 准

T/CSHE XXXX—YYYY

液氧-生物质破岩技术规范

Technical specifications for rock fracturing with liquid oxygen
and biomass

(征求意见稿)

20XX—XX—XX 发布

20XX—XX—XX 实施

中国水力发电工程学会 发布

目 次

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本规定 3

5 破岩器材与材料 3

 5.1 液氧 3

 5.2 破岩管 3

 5.3 激发网路 4

 5.4 充氧管路 4

 5.5 填塞材料 4

 5.6 材料验收 4

6 破岩设计与破岩试验 5

 6.1 一般规定 5

 6.2 主要设计参数 5

 6.3 破岩试验 7

7 破岩施工 7

 7.1 一般规定 7

 7.2 施工准备 7

 7.3 破岩作业 8

 7.4 未激发孔处理 8

8 质量检查与控制 10

 8.1 施工质量 10

 8.2 破岩效果评价 10

9 安全防护与环境保护 10

 9.1 安全防护 10

 9.2 环境保护 11

附录 A （规范性）破岩管原材料规格参数表 12

附录 B （规范性）破岩管质量验收表 13

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国水力发电工程学会提出并归口。

本文件主要起草单位：中国葛洲坝集团第三工程有限公司、湖北楚道凿岩工程有限公司、长江科学院爆破与振动研究所、中国三峡建工（集团）有限公司。

本文件主要起草人：徐刚、毛惠刚、刘波、胡泉光、刘美山、王滔、彭驭涛、廖文波、董国庆、曹旭、彭会椿、李克、李东飞、杨有权、邵冬、刘慧军、丁晓军、马婧、刘超、邢秦智、尚晓军、张志良、龙启威、邓永军、李奎。

本文件主要技术内容审查人：宗敦峰、席浩、和孙文、李世东、陈振华、覃壮恩、吴新霞、赵明华、杨玉银、雷振华、孙世辉、吴鹤鹤、梁慧琛。

本文件为首次发布。

引 言

液氧—生物质破岩技术是以液态氧为氧化剂、以生物质材料为吸附剂和燃烧剂，在钻孔内激发后通过气体膨胀压力破碎岩体的破岩技术。与常规炸药爆破相比，其器材与材料、施工工艺、安全防护和环境影响等方面各具特点。

为规范液氧—生物质破岩技术的器材与材料、破岩设计与试验、施工、质量检查与控制、安全防护与环境保护，做到安全适用、技术先进、质量可控、环境友好，制定本文件。

液氧 - 生物质破岩技术规范

1 范围

本文件规定了液氧—生物质破岩技术的基本规定、破岩器材与材料、破岩设计与破岩试验、破岩施工、质量检查与控制、安全防护与环境保护。

本文件适用于水利水电工程土石方明挖。

本文件不适用于瓦斯富集区、地下硐室及其他有特殊安全要求的场所。

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 2894 安全标志及其使用导则
- GB/T 3863 工业氧
- GB 6722 爆破安全规程
- GB 12158 防止静电事故通用导则
- GB 12523 建筑施工场界环境噪声排放标准
- GB 15603 常用化学危险品贮存通则
- GB 16912 深度冷冻法生产氧气及相关气体安全技术规程
- 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 35528 低温液化气体安全指南
- GB 39800.1 个体防护装备配备规范 第1部分：总则
- GB 50030 氧气站设计规范
- GB 50057 建筑物防雷设计规范
- GB 55037 建筑防火通用规范
- GBZ 2.1—2019 工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素
- JB/T 6898 低温液体贮运设备使用安全规则
- JGJ 46 施工现场临时用电安全技术规范
- JT/T 617 危险货物道路运输规则
- NB/T 47058 冷冻液化气体汽车罐车
- T/CCGA 10006 低温液体泵使用、维护安全技术规范
- T/CSEB 0011—2020 露天爆破工程技术设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

液氧-生物质破岩技术 rock fracturing with liquid oxygen and biomass

利用液态氧作为氧化剂，采用生物质材料作为吸附剂和燃烧剂，在密闭孔内激发后发生快速化学物理反应，瞬间发生大量气体膨胀使岩体破裂的技术。

3.2

破岩管 rock breaking pipe

由外套管、吸附材料（生物质材料）、点火装置、充氧导管和排气管等组成，置于岩体钻孔内充装液氧，经激发产生压力破碎岩体的专用装置。

3.3

外套管 outer casing

破岩管中用于封装液氧的柔性耐低温膜套，外径与钻孔孔径相适应。

3.4

吸附材料 sorbent material

置于破岩管内、用于吸附液氧并作为燃烧介质的多孔生物质材料。

3.5

点火装置 igniter

安装于破岩管内部，接收激发信号后产生高温，用于点燃吸附材料的终端部件。

3.6

充氧导管 oxygen filling tube

用于向破岩管内充装液氧的耐低温金属管或塑料管，安装前应经脱脂处理。

3.7

排气管 vent pipe

安装在破岩管顶端并伸出孔口，用于排出管内气化气体、平衡管内外压力的管道。

3.8

充氧管路 oxygen filling pipeline network

由管道、三通阀或多通阀串并联形成、用于将液氧充装至各破岩管的管路系统。

3.9

激发导线 excitation wire

布设于破岩管内，一端连接点火装置、另一端连接孔外激发网路，用于传输激发信号的专用导线。

3.10

激发网路 excitation network

由激发导线、连接节点及激发装置等组成，用于将激发信号传输至各钻孔点火装置的回路系统。

3.11

激发装置 excitation device

用于产生并输出激发信号，控制各钻孔点火装置同步或顺序点火的专用设备。

3.12

低温液体运输车 cryogenic liquid transport vehicle

用于运输液氧等低温液态气体的专用车辆。

3.13

未激发孔 un-excited hole

已完成充氧并接入激发网路，但激发后经检查确认点火装置未动作、破岩管未发生作用的钻孔。

3.14

最小抵抗线 minimum burden

破岩管中心至临空面的最短距离，是决定破岩破碎范围与飞石距离的基本参数。

3.15

当量系数 equivalent coefficient

同等条件下破碎单位体积岩体所消耗的二号岩石乳化炸药量与所消耗液氧量之比。

3.16

富氧环境 oxygen-enriched environment

空气中氧体积分数超过 23.5 % 的环境。

4 基本规定

4.1 从事液氧破岩作业的单位应具备相应的施工资质和安全生产许可证，建立施工质量与安全管理体系；充氧、激发等作业人员应取得主管部门发放的移动式压力容器特种设备作业人员证（R2）等相应资格，持证上岗。

4.2 所有管理和作业人员应接受专项安全技术培训，掌握液氧危险特性、操作规程和应急技能，其中应急技能应包括富氧环境燃爆、低温冻伤及缺氧窒息的应急处置，经考核合格后方可上岗；充氧、激发等关键岗位人员应持有效操作证书。

4.3 破岩施工前应编制破岩设计、专项施工技术方案，并对所有参与人员进行技术与安全交底。

4.4 破岩施工前应进行现场生产性试验，破岩参数应根据生产性试验效果评价优化后确定；当应用场景或地质条件发生显著变化时，应重新进行现场破岩试验，试验要求应符合 6.3 的规定。

4.5 液氧的采购、储存、运输、使用应符合国家有关规定，并应符合第 9 章的规定。

5 破岩器材与材料

5.1 液氧

5.1.1 液氧质量应符合 GB/T 3863 的规定，液氧纯度（体积分数）应不小于 99.5 %。

5.1.2 液氧运输应采用低温液体运输车运输，液氧运输应采用低温液体运输车运输，车辆应符合 NB/T 47058 的规定。液氧现场暂存应采用专用的低温液体储罐，储罐及安全附件（压力表、安全阀、液位计等）应定期检验合格，应符合 GB 50030、GB/T 35528 和 JB/T 6898 的规定。

5.1.3 与液氧接触的储罐、管路、阀门、接头及工具应经脱脂处理，不应有油脂、油污及其他可燃物残留；充装前应进行脱脂质量检查并记录，检查合格后方可使用。

5.2 破岩管

5.2.1 外套管应采用高强度、高气密性、耐低温、抗老化的柔性复合材料制成，在液氧温度条件下不

应发生脆化、开裂或渗漏。外套管材料的拉伸强度、断裂伸长率及气密性试验压力等量化指标应符合附录 A 规定，并应检验合格。

5.2.2 吸附材料应架空存储，离地、离墙不应小于 30cm，并应采取防潮、防火、防油脂污染措施。

5.2.3 吸附材料的含水率、孔隙率、燃烧值及灰分等性能指标应符合产品技术文件的要求，其验收限值应在专项施工方案中明确，并应经检验合格后方可使用。

5.2.4 激发导线应符合 5.3.1 的规定。

5.2.5 充氧导管应符合 5.4.1 的规定。

5.2.6 加工成型的破岩管应进行型式检验和出厂检验。出厂前每批次（或每件）产品应进行外观检查、设计压力及气密性试验，合格后方可使用，检验项目应符合附录 A 和附录 B 的有关规定。

5.2.7 管体应有清晰、耐久的标识，包括：产品名称、规格型号、生产批号、设计工作压力、生产日期、有效期及生产厂家。

5.2.8 点火装置应与激发装置的输出特性相匹配，同一次破岩作业宜采用同一型号、同一批次的产品；点火装置应在破岩管内固定牢靠并与吸附材料充分接触，其与激发导线的连接应牢固可靠并采取绝缘密封措施，用于水孔时应采取防水措施。

5.2.9 加工成型的破岩管应分类存放于干燥、通风、阴凉的专用库房，远离火源与热源，避免阳光直射、挤压和机械损伤，并应与油脂、有机溶剂及其他可燃物隔离存放；运输过程中应防止剧烈碰撞与挤压。破岩管应在标识的有效期内使用，超过有效期或外观异常的破岩管不应使用。

5.3 激发网路

5.3.1 激发导线应采用铜芯或镀锌铁芯绝缘导线，单芯横截面面积不应小于 0.5 mm^2 ，并应具有防静电、防杂散电流性能；绝缘层应完好，在低温及孔内潮湿条件下不应脆化、开裂。

5.3.2 激发导线的连接应采用专用连接件或锡焊，连接应牢固可靠，连接部位应进行绝缘密封；水孔及潮湿部位应采取防水措施。

5.3.3 激发装置应为专用设备，其输出激发电流和激发能量应能保证设计网路内全部点火装置可靠发火，并应具有防止误激发的保险装置，外壳应可靠接地。

5.3.4 激发装置应由专人保管，使用前应进行功能检查，并应定期检定或校准。

5.3.5 激发网路检测应采用专用检测仪表，其工作电流不应大于 1.5 mA 。

5.3.6 激发导线、激发装置及检测仪表的进场验收与复验应符合 5.6 的规定。

5.4 充氧管路

5.4.1 充氧管路应采用耐低温、严格脱脂的金属管或塑料管，应设置泄压、防泄漏装置，使用前应完成脱脂、干燥处理。

5.4.2 充氧管路及阀门、接头等附件与液氧接触的表面应进行脱脂处理，脱脂施工及验收应符合 GB 16912 的有关规定。

5.5 填塞材料

5.5.1 钻孔孔口填塞材料应采用无尖锐棱角的干燥颗粒材料（如砂、岩屑），含水率不应大于 5% ，不应含有油脂；不应使用金属碎屑、有机物料或已受潮结块的物料，最大粒径宜不大于 10 mm 。

5.6 材料验收

5.6.1 所有进场的主要材料（包括破岩管、吸附材料、液氧、激发导线、激发装置、填塞材料等），

其规格、性能应符合本章相关规定，并应具备有效的产品合格证、质量检验报告等证明文件；进场材料的抽检比例不应小于 5%，且不应少于 3 件。

5.6.2 主要材料应按相关标准及批次规定进行抽样复验，复验不合格的材料不应用于工程。复验项目可包括但不限于：

- a) 破岩管的气密性、耐压性能；
- b) 激发导线的导通性、绝缘性，激发装置的输出性能，检测仪表的检定状态；
- c) 液氧的纯度；
- d) 吸附材料的含水率、燃烧值。

5.6.3 材料应分类存放于指定区域，标识清晰，并应符合防火、防潮、防油脂污染等储存要求。

6 破岩设计与破岩试验

6.1 一般规定

- 6.1.1 破岩设计应符合 GB 6722 和国家现行有关标准的规定。
- 6.1.2 破岩设计前应进行现场勘查，破岩设计基础资料应包括岩体物理力学参数、地质构造、水文条件、地形地貌及周边环境敏感目标。
- 6.1.3 破岩设计应包括施工组织设计和破岩参数设计，其中破岩参数主要有钻孔参数（孔径、孔深、钻孔超深、钻孔倾角）、布孔方式与孔网参数、单孔充氧量、填塞长度、预期破碎效果、安全警戒范围等。
- 6.1.4 破岩参数设计应根据生产性试验效果评价优化后确定。
- 6.1.5 破岩区临近居民区、保护文物或其他重点建筑设施时，应进行专项设计并采取控制有害效应的专项措施，方可进行破岩作业。

6.2 主要设计参数

6.2.1 充氧量可按公式（1）（2）（3）计算，具体应通过试验校准。

$$Q_{单孔} = \frac{q \times a \times b \times H}{\eta} \dots\dots\dots (1)$$

式中：
 $Q_{单孔}$ ——单个钻孔所需充氧量，kg；
 q ——单方岩石破碎所消耗的二号岩石乳化炸药量，kg/m³；按 T/CSEB 0011—2020 中 7.2 的规定取值，单位炸药消耗量；
 a ——钻孔孔距，m；
 b ——最小抵抗线（或排距），m；
 H ——梯段/台阶高度，m；
 η ——同等条件下破岩所消耗的二号岩石乳化炸药量与所消耗液氧量的当量系数，应通过现场破岩试验验证确定，无试验数据时宜取 0.3 ～ 0.6。（硬岩应取较小值）；取值应与本条 $Q_{单方}$ 参考取值区间校核一致。

单方岩石破碎所需的充氧量 $Q_{单方}$ 可参考以下取值，软岩（岩石坚固系数 $f < 8$ ）：0.4 ～ 0.61 kg/m³；中硬岩（ $8 \leq f < 14$ ）：0.61 ～ 0.81 kg/m³；硬岩（ $f \geq 14$ ）：0.81 ～ 0.98 kg/m³。

$$Q_{总重量} = k \times Q_{单孔} \times n \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$Q_{\text{总重量}}$ ——单次破岩所需充氧总重量，kg；

$Q_{\text{单孔}}$ ——单个钻孔所需充氧量，kg；

n ——单次破岩钻孔总孔数，孔。

k ——充氧富裕系数，考虑管路输送损失及计量误差等因素，宜取 1.1~1.2。

$$Q_{\text{总重量}} = Q_{\text{单方}} \times V_{\text{总方量}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$Q_{\text{总重量}}$ ——单次破岩所需充氧总重量，kg；

$Q_{\text{单方}}$ ——单方岩石破碎所需的充氧量，kg/m³；

$V_{\text{总方量}}$ ——单次破岩总方量，m³。公式（2）与公式（3）应互为校核，二者计算结果不一致时宜取大值。

6.2.2 充氧时间可按公式（4）（5）计算，具体应通过试验校准。

$$v = \sqrt{2 \times P / \rho} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\Delta t = \frac{Q_{\text{总体积}}}{C \times v \times A \times 3600} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

Δt ——充液时间，h；

$Q_{\text{总体积}}$ ——单次破岩所需充氧总体积，m³；

C ——改正系数，应通过试验校准，宜取 2.25；

v ——液体流速，m/s；

A ——管道的流通截面面积，m²；

P ——管道内压力，MPa；

ρ ——液体密度，kg/m³（液氧密度为 1141 kg/m³）；

6.2.3 吸附材料（生物质材料）与液氧的配比应根据吸附材料的吸附性能经试验确定，并应满足单孔设计充氧量的要求。

6.2.4 充氧管路的管径与充氧压力应根据充氧量、充氧时间和输送距离经计算确定。

6.2.5 破岩飞石安全距离应按 GB 6722 的有关规定核算，初步估算可按公式（6）进行：

$$R_f = 20 \times k^2 \times W \times K_f \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

R_f ——碎石飞散对人员的安全距离，m；

k ——爆破作用指数 n （ n 为破岩漏斗半径 r 与最小抵抗线 W 的比值）；破岩漏斗半径 r 经过单孔试验确定；

W ——最小抵抗线，m；

K_f ——安全系数， K_f 宜取 1.0 ~ 1.5。

示例： $W=5\text{m}$ ， η 由单孔试验得=0.7，取 $K_f=1.2$ 经计算： $R_f=20 \times (0.7)^2 \times 5 \times 1.2 = 58.8 \text{ m}$

6.2.6 安全警戒半径应根据飞石、爆破振动、空气冲击波、低温冻伤及富氧环境燃爆等有害效应分别核算，并取其最大值；安全警戒半径不应小于 100m。

6.2.7 破岩振动安全允许标准及振动效应评估应符合 GB 6722 的有关规定；爆破振动衰减规律计算式中的 K 、 α 等场地参数应通过现场试验回归确定，并按保护对象核定允许质点振动速度。

6.2.8 填塞长度应根据最小抵抗线、钻孔孔径和岩性经试验确定，初步取值不宜小于最小抵抗线的 0.7 倍，且不宜小于 20 倍钻孔孔径，并应通过现场破岩试验验证。

6.2.9 多孔成组激发时应分段或延时激发，单段最大充氧量（或单段最大孔数）应根据按 6.2.5、6.2.6

和 6.2.7 核算的飞石安全距离与质点振动速度允许值确定，并应在破岩设计中明确。

6.3 破岩试验

6.3.1 破岩试验前应编制试验大纲，试验大纲应包括试验目的与依据、试验场地与地质条件、试验孔数量与分组、孔网参数与单孔充氧量、测试项目与方法、振动与飞石监测、安全警戒与应急措施、组织机构及预期成果等。试验大纲应经编制单位技术负责人审批后方可实施。

6.3.2 试验应选择具有代表性的岩体区域，宜进行不同孔网参数和不同单孔充氧量的对比试验，并应记录充氧压力、充氧时间、单孔充氧量和激发时间等参数。试验孔数量、分组方式及重复次数应在试验大纲中明确，并应满足参数比选与成果可靠性的要求。

6.3.3 试验应记录并分析：实际破岩方量、岩石松散系数、液氧消耗量、破碎块度分布（大块率、粉化率）、裂缝发育及抛掷效果等。

6.3.4 破岩试验应对质点振动速度、充氧压力及作业环境氧气体积分数进行监测，监测点布置、仪器精度与监测频次应在试验大纲中明确。

6.3.5 应根据试验结果对破岩设计参数进行优化调整，形成试验总结报告。试验总结报告应包括试验条件、监测成果、破岩效果分析、推荐采用的破岩参数及安全警戒范围，并经审批后作为确定实施阶段施工参数的依据。

7 破岩施工

7.1 一般规定

7.1.1 施工环境温度不宜高于 40℃，风力不宜超过 6 级。雷暴、大雪、大雾等恶劣天气不应进行充氧及激发作业。

7.1.2 当作业环境相对湿度小于 40%时，应采取静电消除措施；小于 30%时，应加强抑尘与除静电。增湿宜在非液氧作业区域进行，不应在充氧区、孔口区及激发装置区域喷水雾；不具备增湿条件时，可采用惰性气体等不引入水气的抑尘措施。

7.1.3 破岩管、充氧管路及孔口金属构件应可靠接地，接地电阻不应大于 10 Ω，并应定期检测；作业人员应穿戴防静电防护用品；防雷设施的设置应符合 GB 50057 的规定。施工现场临时用电的敷设与管理应符合 JGJ 46 的有关规定。

7.2 施工准备

7.2.1 基于破岩试验成果，结合每次破岩区的现场实际条件，编制详细破岩设计。

7.2.2 按破岩设计进行钻孔测量放样，准确标定钻孔孔位。

7.2.3 根据破岩规模，提前加工好足量的破岩管。

7.2.4 应根据破岩时间，提前做好液氧配送工作；低温液体运输车的进场路线和作业场地应满足车辆安全通行与停靠要求，并应由专人指挥，路况不良或场地不具备安全作业条件时，运输车辆不应进场，液氧配送及运输车辆进场路线应符合 JT/T 617 的规定。

7.2.5 检查破岩管、激发装置、低温液体运输车、充氧管路及安全防护设施，确保其完好、清洁、无油脂污染。

7.2.6 作业点周围 30 m 范围内应清除所有易燃易爆物品，设立警戒线和警示标志，作业点周围防火间距及消防要求应符合 GB 55037 的规定。

7.2.7 充氧作业前应应对破岩区域机械设备渗漏的油污油脂进行清除或砂土覆盖。

7.3 破岩作业

7.3.1 布孔与钻孔

7.3.1.1 钻孔作业应按破岩设计文件确定的孔网参数施工，孔位、孔深、倾角的允许偏差应符合设计要求。钻孔完毕后应清理孔内残渣。

7.3.1.2 钻孔设备宜选用电动或风动钻机。若使用油动钻机，应采取有效措施，防止油料、油脂污染孔壁及破岩区场地。

7.3.1.3 钻孔作业应采取粉尘控制措施，宜采用湿式凿岩工艺。在条件受限、采用干式钻孔时，应配备并启用高效除尘装置。

7.3.1.4 钻孔过程中，遇地质条件、现场环境与设计依据不符时，应做好记录，及时上报设计人员；孔网参数的调整应经原设计人员确认或履行设计变更程序。

7.3.2 破岩管安装与钻孔填塞

7.3.2.1 破岩管安装作业区与钻孔作业位置应保持不小于 10 m 的安全距离。

7.3.2.2 破岩管安装入孔应做到平稳、顺滑，并确保下放至设计孔底，不应暴力抽拔或下捣。

7.3.2.3 破岩管安装入孔后，破岩管外露于钻孔外的充氧导管长度宜为 0.5m~1.5 m，以便于与充氧支管连接，外露于钻孔外的排气管长度宜为 0.3 m。

7.3.2.4 填塞材料应符合 5.5 的规定，填塞应分层进行，每层填塞厚度不宜超过 30 cm，填料后应使用专用工具捣实，确保填塞长度和整体密实度满足设计要求。

7.3.2.5 水孔应按孔内积水高度分别处理：

a) 积水高度不超过孔深 1/3 时，钻孔完成后应立即安装破岩管并完成填塞；

b) 积水高度大于孔深 1/3 且不超过 1/2 时，应立即安装水孔防水型破岩管并完成填塞；

c) 积水高度大于孔深 1/2 时，应先抽排积水，待孔内水位稳定且不超过孔深 1/2 后方可安装专用破岩管并完成填塞，静置时间应在专项施工方案中明确。

7.3.2.6 水孔防水型破岩管的外套管及接口应采取可靠的防水密封措施。

7.3.3 充氧管网敷设

7.3.3.1 充氧管路应依据专项施工方案进行布设，管路走向应平顺、固定牢靠，避免急弯和应力集中。充氧支管长度应均衡，确保向各钻孔内的破岩管输送的液氧阻力相近，流量分配均匀。

7.3.3.2 液氧的充装应使用经脱脂处理的专用管道、阀门和防爆型低温输送泵。充氧管路的各管道连接应使用专用防泄漏快装接头，并应采取保温措施，防爆型低温输送泵的使用与维护应符合 T/CCGA 10006 的规定。

7.3.3.3 充氧管路与低温液体运输车出口阀门的连接应使用防爆工具，不应使用可能产生火花的工具。所有管路接头安装完成后，应进行 5 分钟的试充氧。试充氧期间，应随时检查充氧管路，发现明显泄漏的，应立即停止作业并处理。

7.3.4 激发网路布设

7.3.4.1 激发网路敷设应符合设计方案。激发网路应沿地面敷设，并予顺直、固定，避免悬空或承受张力。

7.3.4.2 激发网路的导线连接应由持有相应资格证书的操作人员实施。

7.3.4.3 激发网路的导线接头应可靠连接。必要时，可在接头附近对激发导线进行固定，以防松脱。导线接头还应使用绝缘胶带进行包扎，确保导线连接处绝缘良好。

- 7.3.4.4 在孔口处的激发网路导向应保持松弛状态，不应拉紧，并应妥善固定和防护，避免被损伤、踩踏或与尖锐物体接触。
- 7.3.4.5 激发网路连接完成后，应使用专用检测仪表进行激发网路全电阻检测。检测仪表的工作电流应不大于 1.5mA。发现短路、断路故障，应立即查明原因并排除。
- 7.3.4.6 连接完成后应由现场技术负责人检查验收，并签字确认。
- 7.3.4.7 激发网路检测合格、安全警戒布设完毕并经现场指挥人员下达指令后，方可接入激发装置。

7.3.5 充氧

- 7.3.5.1 破岩作业区应通风良好，不应有明火。
- 7.3.5.2 充氧操作开始时，所有无关设备和人员应撤离至破岩作业警戒区域外，确保充氧过程中无外界干扰。
- 7.3.5.3 充氧过程中应对压力、温度等关键参数进行实时监测，充氧压力宜控制在 0.5~0.8 MPa，最大充装压力不宜超过 1.4 MPa，并做好记录。充氧过程中出现压力超过 1.4 MPa、管路或接头泄漏、异常结霜、仪表失灵等情况时，应立即停止充氧、关闭低温液体运输车出口阀门，缓慢泄压并将管内余气排空，查明原因并处置后方可恢复作业。
- 7.3.5.4 充氧时，应缓慢开启低温液体运输车出口阀门，并控制充氧速度。
- 7.3.5.5 充氧完成后应在专项施工方案规定的时间窗口内实施激发，该时间窗口应通过现场破岩试验确定；超过规定时间尚未激发的，应重新检测孔内液氧残余量，不足时应补充充氧，并按 7.4 的规定处理。

7.3.6 激发

- 7.3.6.1 激发装置的激发电流应大于设计总网路的最大所需电流，激发网路的电阻实测值与设计值的误差不应超过 $\pm 5\%$ 。
- 7.3.6.2 激发处应设在警戒区外视野良好的上风侧。
- 7.3.6.3 激发完成后，应将激发装置与激发网路断开连接。
- 7.3.6.4 激发前的等待时间及警戒人员的配置数量与布设位置应在专项施工方案中明确；确认人员、设备全部撤离、警戒人员到位并经现场指挥复核后，方可实施激发。

7.3.7 破岩后检查

- 7.3.7.1 激发后，应等待至少 15 分钟，人员方可进入检查。进入前应检测作业区氧气体积分数，氧气体积分数应恢复至 19.5% ~ 23.5%，必要时检测一氧化碳等有害气体浓度，检测合格后方可进入。
- 7.3.7.2 检查人员应首先检查有无未激发孔，若发现有未激发孔应按 7.4 处理。

7.4 未激发孔处理

- 7.4.1 发现未激发孔应立即报告，并划定危险区，加强警戒。
- 7.4.2 未激发孔处理应由经验丰富的专业人员在统一指挥下进行。
- 7.4.3 处理措施不限于切断所有激发线路，设置明显标志，疏散人员至安全警戒区外。一般等待时间不应少于 30 min；高温、强日照或通风不良等不利于液氧挥发消散的环境条件下，等待时间应延长至 60 min 以上，并应经检测确认作业区氧气体积分数恢复正常、管内液氧完全挥发消散后方可解除警戒进入。
- 7.4.4 在处理结束前，不应进行可能产生火源、静电的行为，无关人员和设备不应靠近破岩区域。
- 7.4.5 不应掏挖、掏出未激发孔内的破岩管，且不应二次激发。
- 7.4.6 确认孔内液氧完全挥发消散后，应按下列程序进行最终处置：
 - a) 取出或就地回收破岩管及吸附材料，并按 9.2.4 的规定分类处置；

- b) 记录孔位、处置方式与处置结果，形成未激发孔处置记录并归档；
- c) 处置完成并报请现场指挥同意后，方可解除警戒。

8 质量检查与控制

8.1 施工质量

- 8.1.1 钻孔验收项目应包括孔位、孔距、孔径、孔深及倾角，其允许偏差应符合破岩设计和专项施工方案的规定。
- 8.1.2 充氧量是过程控制关键指标，实际充装量允许偏差应控制在设计值的±20%以内。
- 8.1.3 填塞长度与密实度应符合设计要求，填塞应分层捣实，每层厚度不宜超过30cm。
- 8.1.4 激发网路连接全电阻检测应符合7.3.4.5的规定。
- 8.1.5 钻孔、填塞、充氧、激发网路等施工工序的检查验收均应形成记录，记录内容应包括检查项目、质量标准、检验结果、检查人员及日期。

8.2 破岩效果评价

- 8.2.1 破岩施工完成后，应对破岩效果进行综合评价，评价前应检查并记录岩体爆堆、破碎形态、块度、裂缝等，主要指标应包括：
 - a) 破岩后岩体的松散度、堆积形态及范围满足清运或后续施工要求；
 - b) 岩石破碎块度级配符合设计预期或合同约定；
 - c) 开挖轮廓线符合设计要求，超挖、欠挖在允许范围内，大块率和粉化率符合设计要求；
 - d) 对保留岩体、边坡及周边建（构）筑物的有害影响（如振动、飞石、裂缝）控制在设计允许范围内。
- 8.2.2 破岩效果的定量判定指标（大块率、粉化率、超挖值、欠挖值及质点振动速度等）应在破岩设计或合同中明确，并应符合GB 6722及国家现行有关标准的规定。
- 8.2.3 未达到设计要求时，应分析原因，并调整后续施工的破岩设计参数。
- 8.2.4 应将一次激发成功率（或一次激发失败孔率）作为液氧破岩特有的质量评价指标，其合格判据应在破岩设计或合同中明确；一次激发成功率未达到要求时，应分析充氧量、激发网路连接及激发参数等原因并采取改进措施。

9 安全防护与环境保护

9.1 安全防护

- 9.1.1 应建立并实施覆盖液氧破岩全过程的安全生产责任制和安全管理体系。
- 9.1.2 施工现场应配备必要的安全防护设施、消防器材和应急救援装备，并确保有效可用；在充氧作业或可能发生泄漏的区域，应特别配备针对富氧环境燃爆与低温冻伤的专用应急救援装备。
- 9.1.3 充氧作业区及可能发生泄漏的区域应进行氧气体积分数检测，当氧气体积分数大于23.5%时，应立即停止作业、撤离人员并采取通风措施，待检测合格后方可恢复作业。
- 9.1.4 应为作业人员提供符合GB 39800.1要求的个人防护装备，并监督其正确使用；接触液氧人员应配备防冻手套、防护面罩或护目镜、防静电服及安全鞋，充氧区域操作人员应穿着防静电工作服并使用专用工具。

9.1.5 应采取措施保障作业人员职业健康，预防冻伤、噪声聋、尘肺等职业病，作业场所职业危害因素接触限值应符合 GBZ 2.1 的规定。

9.1.6 安全警戒与信号发布应符合下列规定：

a) 激发前应先发出清晰、明确的预警信号，该信号发出后，所有人员、设备撤离至安全警戒区外，并由专人清场和值守。

b) 在确认人员全部撤离至安全警戒区外，所有警戒人员到位，具备安全激发条件时发出激发信号，该信号发出后经现场指挥最终确认安全后下达激发指令。

c) 安全等待时间过后，检查人员进入安全警戒范围内检查、确认安全后，报请现场指挥同意，方可发出解除警戒信号。在此之前，岗哨不应撤离，非检查人员不应进入。

d) 各类信号均应使安全警戒区域及附近人员能清楚地听到或看到。

9.1.7 应在施工前编制专项应急预案，并定期组织演练。预案应包括但不限于液氧泄漏、火灾、冻伤、富氧窒息、未激发孔处理等内容，并应明确液氧泄漏的处置流程：切断泄漏源、划定并扩大警戒区、消除火源与静电、通风置换、人员撤离与救护。

9.1.8 应指定专人负责施工现场的安全监督，检查各项安全措施落实情况，纠正违章行为。安全警戒、清场、信号发布等应由现场指挥统一负责。

9.1.9 充氧、破岩管安装、激发等主要危险工序不宜在夜间进行。确需夜间施工时，应制定专项安全保障方案，提供充足、防爆的照明，并加强安全警戒和指挥协调。

9.2 环境保护

9.2.1 施工前应制定并实施环境保护与水土保持方案，采取措施减少施工对环境的负面影响。

9.2.2 应优先选用低噪声、低能耗、低排放的环保型施工设备，并加强维护保养。

9.2.3 应采取有效的粉尘与噪声控制措施。钻孔作业宜采用湿式凿岩或配备除尘装置。施工道路、物料堆场应洒水抑尘。噪声排放应符合 GB 12523 等标准要求，避免扰民。

9.2.4 应科学管理施工材料，减少浪费。施工产生的各类废弃物（废旧破岩管、包装物、生活垃圾等）应分类收集、标识清晰；废弃破岩管及沾染油脂的包装物应按危险废物管理要求交由有资质的单位转运和处置，并应保存转运联单记录。危险废物的贮存与转移应符合 GB 18597、《国家危险废物名录》和《危险废物转移管理办法》的有关规定，并应核实废旧破岩管及吸附材料的危险废物属性归类。

附 录 A

(规范性)

破岩管原材料规格参数表

表 A.1 规定了破岩管原材料规格参数。

表 A.1 破岩管原材料规格参数表

序号	部件	项目	规格参数	材质	备注
1	外套管	厚度	0.2 mm±0.01 mm	HDPE/PE	
2		扁平宽度	23 cm±0.5 cm	HDPE/PE	适配孔径 140 mm
3		扁平宽度	18 cm±0.5 cm	HDPE/PE	适配孔径 115 mm
4		拉伸强度	≥10MPa	HDPE/PE	
5		断裂伸长率	≥130%	HDPE/PE	
6		气密性试验压力	≥0.03MPa	HDPE/PE	3 分钟内无渗漏
7	吸附材料	单筒长度/直径	20 cm±1 cm/ 11.5 cm±0.5 cm	生物质材料	适配孔径 140 mm
8		单筒长度/直径	20 cm±1 cm/ 9 cm±0.5 cm	生物质材料	适配孔径 115 mm
9		含水率/孔隙率/燃烧值	符合产品技术文件	生物质材料	
10	充氧导管	外直径/壁厚（铝管）	8 mm±0.1 mm/ 1 mm±0.01 mm; 10 mm±0.1 mm/ 1 mm±0.01 mm	铝管	
11		外直径/壁厚（塑料管）	8 mm±0.2 mm/ 1.5 mm±0.05 mm; 10 mm ±0.2 mm/ 1.0 mm±0.05 mm; 12 mm ±0.2 mm/ 1.0 mm±0.05 mm; 14 mm±0.2 mm/2.0 mm ±0.05 mm	PU/TPU/PE	
12	排气管	外直径/壁厚	同序号 11	PU/TPU/PE	
13	激发导线	型号/规格	ZC-RVB 2×0.75 mm² ± 0.05 mm²; DBV-1 2× 0.6 mm² ±0.05 mm²; UGVS-2 2×0.62 mm² ± 0.05 mm²（镀锌）	铜芯/镀锌铁 芯	
14	点火装置	型号/电阻范围/最小发 火能量/最大不发火电 流	符合产品技术文件，并 与激发装置输出特性 匹配	/	见 5.2.8、5.3.3

附录 B
(规范性)
破岩管质量验收表

表 B.1 规定了破岩管原材料规格参数。

表 B.1 破岩管原材料规格参数表

项目名称				破岩管编号		
施工班组				验收日期	年 月 日	
项次	检验项目	质量标准		检验记录		结论
1	外套管	厚度、扁平宽度符合附录 A，无破损、无气泡、无老化裂纹				
2	吸附材料	规格符合附录 A，无油脂污染、无受潮结块				
3	点火装置	安装牢固、居中，与吸附材料充分接触，连接处绝缘密封				
4	充氧导管	规格符合附录 A，经脱脂处理，无油脂残留				
5	排气管	规格符合附录 A，通畅无堵塞				
6	激发导线	导通良好，绝缘层完好				
7	气密性	设计压力下无渗漏				
8	耐压性能	在设计压力下无破裂、无永久变形				
9	标识	符合 5.2.7 规定，清晰耐久				
班 组 自评意见		班组长签名：年 月 日				
车 间 验收意见		车间质检人员签名：年 月 日				
项目部 验收意见		项目部质量部门负责人签名：年 月 日				

液氧-生物质高能破岩技术规范

编 制 说 明

二〇二六年五月

目 次

1 编制背景 1

2 编制主要原则 1

 2.1 科学性 1

 2.2 安全性 2

 2.3 适用性 2

 2.4 前瞻性 2

3 主要工作过程 3

 3.1 前期工作 3

 3.2 征求意见稿阶段 4

 3.3 送审稿阶段（计划） 5

 3.4 报批稿阶段（计划） 5

4 标准结构和内容说明 5

5 相关标准对比说明 7

 5.1 采用国际标准和国外先进标准情况，与国际、国内同类标准水平的对比情况 7

 5.2 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 7

6 标准实施措施说明 7

 6.1 重大分歧意见的处理经过和依据 7

 6.2 其他应予说明的事项 8

《液氧-生物物质高能破岩技术规范》编制说明

1 编制背景

本标准是根据《中华人民共和国标准化法》、《团体标准管理规定》以及《中国水力发电工程学会团体标准实施细则》的有关规定，由中国葛洲坝集团第三工程有限公司提出，中国水力发电工程学会归口管理的团体标准。

为深入践行国家“碳达峰、碳中和”战略，推动“绿色建造”在水利水电、矿山开采等领域的落地实施，亟需探索和发展绿色低碳的石方开挖与破岩新技术。传统的炸药爆破技术存在振动大、飞石远、有害气体排放及火工品管控难度高等固有缺陷。

液氧-生物物质高能破岩技术作为一种新型的物理破岩方法，利用液态氧相变膨胀产生的巨大能量破碎岩石，具有本质安全性高、环境友好、振动小、飞石可控等突出优势。该技术已在新疆大石峡水利枢纽工程等大型项目中成功应用，验证了其可行性与先进性，具备了从企业标准上升为团体标准的基础，对于规范市场、指导施工、促进该技术的推广应用具有重要意义。

2026年9月24日，中国水力发电工程学会在重庆组织召开了该标准的立项技术审查会，与会11位专家一致同意通过立项审查，并提出了一系列重要的修改意见和建议。编制组据此开展了初稿的编制工作。

2 编制主要原则

2.1 科学性

基于液氧相变膨胀理论，通过数值模拟和现场试验，确定破岩机理和技术原理。标准中给出了充氧量、充氧时间、飞石安全距离等关键参数的计算

公式（参见初稿第 6 章），这些公式均来源于理论推导并经新疆大石峡等工程的现场试验数据校准。针对不同岩性（如石灰岩、花岗岩），开展了系统的破岩试验，统计了破碎块度分布、飞石距离等数据，从而优化了钻孔参数（孔径、孔距、排距）、液氧充装量等设计参数。引入第三方检测机构对技术全过程进行安全鉴定，确保性能指标安全可靠。

2.2 安全性

标准将安全要求贯穿始终。第 5 章对破岩管的原材料选用、生产制作、贮存、出厂检验作了详细规定，确保材料本质安全。第 6 章和第 7 章规定了施工组织流程及技术标准，明确了充氧压力控制（ $0.5\sim 0.8\text{MPa}$ ，最大不超过 1.4MPa ）、安全警戒距离（不小于 100m ）、未激发孔处理措施（等待不少于 30 分钟）等关键安全参数。第 9 章对施工安全和环境保护进行了明确规定，建立了覆盖液氧采购、储存、运输、使用全过程的安全生产责任体系，并要求编制专项应急预案并定期演练。

2.3 适用性

基于新疆大石峡水利枢纽工程大坝填筑料场开采和露天矿山开采中技术应用成果。广泛征求建设单位、施工单位、设计单位、监理单位、科研院所、相关高校等各方意见，充分考虑液氧破岩技术应用特点，使其能够有效适用各类型水利水电项目露天开挖和矿山露天开采工程项目。采用液氧破岩技术对比传统爆破开挖可降低破岩施工成本超过 20%，且替代了传统炸药破岩所用的石化能源，无污染物排放，实现绿色破岩。标准在附录 A 和附录 B 中提供了具体的原材料规格参数和质量验收表格，便于现场操作执行。

2.4 前瞻性

在水利水电工程领域，未来将愈发重视快速履约投产和集约化管理。液氧破岩技术在基坑工程、料场开采、边坡工程中的应用将以其施工便捷、安全经济等优势为优质工程建设提供保障，尤其在炸药管控受限、安全标准要求高的工程中，技术应用更能发挥优势。

在露天矿山工程领域，我国有露天矿山近 15000 座，年开采量约 280 亿吨，矿业使用炸药 400 余万吨/年，矿业炸药使用规模数量全球第一。液氧破岩技术的安全经济和绿色环保特性将为绿色矿山建设提供强有力的支撑与贡献，实现了对传统炸药爆破技术的有力补充、完善。标准在参数设计、施工工艺等方面预留了优化空间，为未来智能化控制、新材料应用等技术升级奠定了基础。

3 主要工作过程

3.1 前期工作

2024 年 8 月 1 日：中国葛洲坝集团第三工程有限公司结合技术研发实验和工程现场应用，编制完成一套完整的企业标准，包括《液氧破岩技术施工技术规范》《安全作业规程》《施工作业指导书》等，邀请行业专家评审通过后发布实施。

2025 年 3 月 15 日：中国水力发电工程学会组织中国工程院院士参与的专家组在西安对公司液氧破岩技术应用成果进行了评审，认定技术达到了国际领先水平。

2025 年 7 月 1 日：中国葛洲坝集团第三工程有限公司作为主要起草人，联合湖北楚道凿岩工程有限公司、长江科学院爆破与振动研究所、中国矿业大学（北京）、中国三峡建工（集团）有限公司多家单位，完成标准大纲的

编制。

2025年9月24日：中国水力发电工程学会在重庆召开立项技术审查会，11位专家一致同意通过立项审查，并提出了三条主要修改建议：标准名称修改为《液氧-生物质高能破岩技术规范》；按照GB/T 1.1-2020优化结构；标准内容侧重技术要求；附录充实质量验收要求，取消相关操作规程。

3.2 征求意见稿阶段

标准初稿编制完成后，召开团标初稿审查会，形成《团标初稿审查会会议纪要》，共提出6条修改意见；同时，编制组广泛收集行业专家的评审意见，累计收到专家评审意见26条，意见覆盖标准结构、术语定义、范围与规范性引用文件、施工材料、破岩设计与试验、施工工艺、质量要求、安全与环保等方面。

编制组对会议纪要及专家提出的全部意见进行汇总梳理，形成意见汇总处理表，共计有效处理意见32条。其中采纳26条，部分采纳5条，不予采纳1条。对不予采纳的意见，编制组充分分析意见背景及与会议纪要要求的冲突情况，作出相应说明。

根据审查意见，编制组重点开展以下修改工作：调整标准名称，删除名称中的“高能”表述；优化标准章节设置，增设引言；调整标准适用范围，补充不适用场景；对标准中的术语和定义进行补充、完善，并按照技术逻辑重新排序；完善标准中计算公式的参数说明，明确相关参数取值要求；细化破岩试验相关规定，补充试验大纲编制、试验审批、监测项目、试验总结报告等要求；修正归口单位、章节编号等文稿错误；补充完善规范性引用文件；对破岩管、生物质材料、填塞材料、液氧等原材料增加量化技术指标及验收

要求；完善飞石安全警戒、静电接地、富氧环境监测、易燃易爆物安全距离、积水孔作业、充氧超压处置、未激发孔处置等安全技术条款；补充质量验收记录、施工质量判定、应急处置、人员培训、现场警戒管理等相关内容；精简优化部分术语条文。

编制组逐条落实各项修改意见，完成标准文本修改完善，形成本团体标准征求意见稿，开展面向行业的公开征求意见工作。

3.3 送审稿阶段（计划）

2026年7月，计划充分吸收征求意见期间所收集的信息，对反馈意见进行分类整理和逐条研究与处理，及时反馈并形成标准送审稿后提交审查。

3.4 报批稿阶段（计划）

2026年9月，计划按照送审稿评审过程提出的意见，切实落实并修改完善，完成报批稿的编制并组织评审。

4 标准结构和内容说明

本标准共分为9章及2个附录，具体结构如下：

第1章 范围：明确了本文件规范的内容（总体要求、施工材料、破岩设计与试验、施工工艺、质量要求、安全与环境保护）以及适用范围（水利水电、矿山开采、交通建设等领域露天岩土开挖，不含煤层开采）。

第2章 规范性引用文件：列出了本文件引用的国家、行业标准及法规，包括GB/T 3863《工业氧》、GB 16912《深度冷冻法生产氧气及相关气体安全技术规程》等20余项。

第3章 术语和定义：定义了“液氧-生物物质高能破岩技术”“破岩管”“充氧导管”“吸附材料/生物物质材料”“点火装置”等12个关键术语，统

一了行业认知。

第4章 总体要求：规定了从事液氧破岩作业的单位资质、施工前勘察与方案编制、液氧管理、现场安全防护等基本要求。

第5章 施工材料：详细规定了破岩管（外套管、吸附材料、充氧导管、排气管等）、液氧、封堵材料、激发导线、充氧管路、个人防护装备等的规格、性能和检验要求。附录A给出了破岩管原材料规格参数表，附录B给出了破岩管质量验收表。

第6章 破岩设计与破岩试验：这是标准的核心技术章节。规定了破岩设计的一般规定、主要设计参数（充氧量计算公式、充氧时间计算公式、飞石安全距离计算公式）以及破岩试验的要求和方法。

第7章 施工工艺：规定了作业环境要求（温度、风力、湿度、水孔处理等）、施工准备、破岩作业流程（布孔与钻孔、破岩管安装与封堵、充氧管网敷设、激发网路连接、充氧、安全警戒与激发、破岩后检查）以及未激发孔处理措施。

第8章 质量要求：规定了材料进场复验要求、施工过程质量控制指标（钻孔偏差、充氧量允许偏差 $\pm 20\%$ 、封堵要求、激发网路电阻误差 $\leq \pm 5\%$ ）以及破岩效果评价指标。

第9章 安全与环境保护：规定了安全生产责任制、人员培训与持证上岗、专项应急预案、夜间施工限制等安全要求，以及粉尘控制、噪声控制、废弃物管理等环境保护要求。

附录A：破岩管原材料规格参数表，包括外套管、吸附材料、充氧导管、排气管、激发导线的推荐规格。

附录 B：破岩管质量验收表，包括充氧导管、吸附材料、激发导线、排气管、外套管等共 20 项检验项目及验收流程。

5 相关标准对比说明

5.1 采用国际标准和国外先进标准情况，与国际、国内同类标准水平的对比情况

经检索，目前国际上尚无专门针对“液氧-生物质高能破岩技术”的同类标准。本标准是在国内首创性技术成果基础上制定的，填补了国内外在该领域的标准空白。该技术经中国工程院院士领衔的专家组鉴定为国际领先水平。与传统炸药爆破标准相比，本标准在安全性、环保性方面具有显著优势；与现有的《爆破安全规程》（GB 6722）等标准相比，本标准针对液氧这一特殊介质制定了专门的工艺要求和安全措施，是对现有标准体系的重要补充。

5.2 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

本标准在编制过程中，充分考虑了与现行法律、法规、规章及相关标准的协调性。标准中引用的《工业氧》（GB/T 3863）、《危险化学品安全管理条例》（国务院令第 591 号）等均为现行有效版本。本标准规定的液氧储存、运输、使用要求均符合国家对危险化学品的强制管理规定。经广泛调研和多方面征求意见，本标准与国内相关法律、法规、规章、相关标准及强制性标准相协调，无冲突。

6 标准实施措施说明

6.1 重大分歧意见的处理经过和依据

本文件在制定过程中，起草工作组多方面收集各类反馈意见，并根据标准制定准则给予分类处理和完善。在立项审查会和初稿编制阶段，专家提出

的主要修改意见（如标准名称调整、结构优化、附录内容充实等）均已得到落实。经汇总分析，无重大分歧意见。

6.2 其他应予说明的事项

无其他应予说明的事项。