

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

T/

团 体 标 准

T/XXX XXXX—XXXX

# 应急抢险救援激光破拆技术规范

Technical specification for laser demolition in emergency rescue

(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。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国灾害防御协会

发 布

# 目 次

前 言 .....	II
引 言 .....	III
1 范围 .....	4
2 规范性引用文件 .....	4
3 术语和定义 .....	4
4 目标、原则和要求 .....	6
4.1 目标 .....	6
4.2 原则 .....	6
4.3 要求 .....	6
5 激光破拆、检测装备与适用场景 .....	7
5.1 激光破拆装备 .....	7
5.2 检测装置 .....	7
5.3 适用场景 .....	8
6 激光破拆程序 .....	8
6.1 破拆流程图 .....	8
6.2 救援响应 .....	9
6.3 安全风险评估 .....	9
6.4 激光破拆实施 .....	10
6.5 激光破拆收尾 .....	11
7 辅助救援方法与要求 .....	11
7.1 辅助救援方法 .....	11
7.2 辅助救援要求 .....	12
8 风险识别与安全作业 .....	12
8.1 高处作业 .....	12
8.2 有限空间作业 .....	13
8.3 激光破拆风险 .....	13
参考文献 .....	14
附录 A 埋压条件下人员生理状况和营救等级 .....	16
附录 B 激光破拆现场数据记录表 .....	17
附录 C 救援过程中安全员鸣哨及其他鸣笛要求 .....	18
附录 D 常用建筑材料密度 .....	19

## 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。

本文件由中国灾害防御协会提出并归口。

**本文件主要起草单位：**中煤地质集团有限公司、湖南省工程地质矿山地质调查监测所、南华大学、湖南兵器光电科技有限公司、山河智能特种装备有限公司、西安科技大学、天津凯普林光电科技有限公司、西北工业大学、中南大学、应急管理大学、内蒙古兴安职业技术大学消防学院、四川轻化工大学、国家矿山应急救援大地特勘队、新兴际华应急产业有限公司、新兴际华科技集团有限公司、湖南省矿山地质应急救援技术中心、湖南省地质灾害应急救援技术中心。

**本文件主要起草人：**林中湘、李奋强、朱泽斌、刘准、康玉国、禹建兵、吴兵良、粟琼玉、肖明国、柏兴旺、曾英、赵兰迎、邱长军、张彪、韩效忠、郑学召、王仕文、李文煜、王锦程、刘昌盛、赵海鸣、李彪、陈晨、蔡国斌、王金钢、常必成、欧阳南迪、白戈、谭恒毅、杨中山。

本文件由中煤地质集团有限公司负责解释。

## 引 言

激光破拆装备具有高功率、高效率、高适应、高协同的远距离、非接触的救援等技术特点，可成为现有应急救援破拆器材的有益补充与完善，特别是在一些特殊的救援场景，如：救援人员无法到达位置的破拆、坚硬材料的破拆、狭小空间破拆等。

本团体标准的提出是依托国家重点研发计划《轻量化高效激光破拆救援关键技术》项目（项目编号2023YFC3010900）的研究成果，为更好地推动项目成果的转移转化与实际应用，亟待起草《应急抢险救援激光破拆技术规范》（以下简称“本文件”），为各种灾害场景的抢险救援提供一种新的技术方法和行动指南。

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可能涉及 xxxx 条与外观、标识内容相关的专利的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款或条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案，相关信息可以通过以下联系方式获得：

专利持有人姓名：xxxx 单位

地址：

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

# 应急抢险救援激光破拆技术规范

## 1 范围

本文件规定了应急救援激光破拆过程中的目标、原则和要求，总则，激光破拆、检测装备与适用场景，激光破拆程序，辅助救援方法和要求，危险识别与安全作业等要求。

本文件适用于自然灾害救援、事故灾难救援和安全隐患排除等救援过程中常规破拆工具难于完成的营救通道构建、危险物排除等非接触式抢险救援活动，不适用于激光破拆可能引发危及人员、破拆对象及周边环境安全等次生灾害的抢险救援场所。

## 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 2811 头部防护 安全帽
- GB 2894 安全标志及其使用导则
- GB 5725 安全网
- GB 6095 安全带
- GB 15848 铀矿地质勘查辐射防护和环境保护规定
- GB 18599 通常工业固体废物贮存填埋污染控制标准
- GB 39800.1 个体防护装备配备规范 第1部分：总则
- GB/T 3608 高处作业分级
- GB/T 5082 起重机手势信号
- GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件
- GB/T 7247.1 激光产品的安全 第1部分：设备分类、要求
- GB/T 15313 激光术语
- GB/T 16754 机械安全急停设计原则
- GB/T 29176 消防应急救援 通则。
- GB/T 29428.1 地震灾害紧急救援队伍救援行动 第1部分：基本要求。
- GB/Z 2.1 工作场所所有害因素职业接触限值
- YJ/T 1.2 社会应急力量建设基础规范 第2部分 建筑物倒塌搜救

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**应急抢险救援** emergency rescue and relief

在应急抢险响应过程中，为最大限度地降低事故造成的损失或危害，防止事故扩大，而采取的紧急措施或行动。

[来源：GB/T 29639-2013，3.4，有修改]

### 3.2

**激光破拆** laser demolition

对建（构）筑物及构件倒塌、车船和飞机等交通工具、特种设备、矿山井筒堵塞、危险悬挂物等灾害场景，利用高功率（能量）密度激光束作用于被破拆对象，使其吸收激光能量而产生熔化、汽化或应力断裂，进行拆除或局部分离的行动。

[来源：GB/T 15313-2008，2.5.6，有修改]

### 3.3

#### 激光破拆装备 laser demolition equipment

一种适用于野外应急抢险救援，对建（构）筑物及构件倒塌、车船和飞机等交通工具、特种设备、矿山井筒堵塞、危险悬挂物等灾害场景，常规破拆工具难于完成的营救通道构建、危险物排除等非接触式的破拆装备。

[新定义]

### 3.4

#### 光束位置 beam position

在垂直光学系统机械轴的规定面内，光束轴相对光学系统固定机械的位移，机械轴为连续限束孔径中心的直线。

[来源：GB/T 15313-2008，2.1.68]

### 3.5

#### 营救通道 rescue channel

在不影响受损物体/物件或建筑物结构安全的前提下，救援人员通过局部改变受损物体/物件或建筑物物理形态（受力状态）为被困人员脱困创建的通道。

[来源：YJ/T 1.2-2022，3.8，有修改]

### 3.6

#### 被困人员 trapped person

被埋压在倒塌建（构）筑物或限制在其他有限空间中的人员

[来源：GB/T 29428.1-201，3.3，有修改]

### 3.7

#### 警戒 guard

为保证激光破拆救援活动的顺利进行或为避免潜在危害造成人员伤亡，通过设置标志和障碍物，控制灾害事故现场进出人员的行动。

[来源：GB/T 29176\_2012，3.11，有修改]

### 3.8

#### 撑顶 shoring

为防止建（构）筑物及构件倒塌或车船、飞机等交通工具倾覆，所采取的支撑或撑顶的行动。

[来源：GB/T 29176\_2012，3.19]

### 3.9

#### 高处作业 work at heights

在距坠落高度基准面2m或2m以上有可能坠落的高处进行的作业。

[来源：GB/T 3608-2008，3.1]

### 3.10

#### 开放空间 open space

救援人员及激光破拆装备在破拆、疏通空间轮廓的外部或内部、作业姿态不受环境限制的空间类型。

[来源：YJ/T 1.2-2022，3.4，有修改]

### 3.11

**有限空间 limited space**

部分封闭、进出口受限但救援人员及激光破拆装备可以进入轮廓空间内部、作业姿态受环境限制的空间类型。

[参考：YJ/T 1.2-2022，3.5，有修改]

**3.12****浅表层埋压 shallow surface trapped**

废墟覆盖浅、受困人员易准确定位，应用简单救援工具就可完成解救的情况。

[来源：YJ/T 1.2-2022，3.9]

**3.13****中层埋压 middle trapped**

废墟覆盖较深、受困人员不易准确定位，应用专业救援装备创建营救通道进行解救的情况。

[来源：YJ/T 1.2-2022，3.10]

**3.14****深层埋压 deeply trapped**

废墟覆盖深、受困人员难以准确定位，应用重型救援装备长时间（大于12h）创建多方向（层次）营救通道进行解救的情况。

[来源：YJ/T 1.2-2022，3.11]

**4 目标、原则和要求****4.1 目标**

本文件旨在规范激光破拆技术在应急救援中的应用，明确装备选型、作业流程、安全防护和场景适用性要求，提升救援效率与作业安全性，为自然灾害、事故灾难、安全隐患排除等救援场景中常规工具难以实施的破拆任务提供技术支撑。

**4.2 原则**

4.2.1 坚持“人民至上、生命至上”，在保障救援人员安全的前提下，快速构建营救通道、排除危险障碍。

4.2.2 遵循“救命为先、先易后难、先重后轻”的救援顺序，科学开展通道构建与人员营救，见附录A。

4.2.3 实行“统一领导、科学决策”，服从现场指挥部指挥，破拆方案应由指挥员、工程及救援技术人员和医疗人员等共同制定。

4.2.4 救援过程中应做好现场保护、证据固定和记录工作，见附录B。

**4.3 要求****4.3.1 人员要求**

4.3.1.1 激光破拆作业人员应经专项培训并考核合格后方可上岗。

4.3.1.2 救援人员应配备符合 GB 39800.1 规定的个人防护装备，安全帽、安全网、安全带应分别符合 GB 2811、GB 5725、GB 6095 的要求。

4.3.1.3 安全员应持续监测作业环境，发现危险及时发出警报，警报信号应符合见附录C规定。

**4.3.2 作业要求**

4.3.2.1 破拆作业前应进行安全风险评估与环境检测，确认作业条件符合安全要求。

4.3.2.2 应根据灾害类型、埋压程度、空间类型选用适宜的激光破拆装备。

4.3.2.3 应设置安全警戒区域，作业过程中全程监控破拆轨迹与环境变化。

4.3.2.4 破拆结束后应及时清理现场，按规定处置废弃物，并做好资料记录与汇交。

**4.3.3 安全要求**

4.3.3.1 应识别并控制激光辐射、有害气体、粉尘爆炸、结构坍塌等风险。

4.3.3.2 高处作业、有限空间作业等特殊环境应执行专项安全规定。

4.3.3.3 应配备并正确使用气体检测、生命感知、快速断电等安全装置。

## 5 激光破拆、检测装备与适用场景

### 5.1 激光破拆装备

#### 5.1.1 激光破拆装备

按照激光器输出功率、激光破拆装备的重量和救援场景的需要，将激光破拆装备分类为便携式、推车式、车载式三个类型：

——便携式：激光破拆装备输出功率 $2\text{kW} \pm 3\%$ ，重量 $\leq 330\text{kg}$ ，外形尺寸： $\leq 800\text{mm} \times 550\text{mm} \times 830\text{mm}$ ，可由2名救援人员搬运至灾害场景进行激光破拆作业；

——推车式：激光破拆装备输出功率 $4\text{kW} \pm 3\%$ ，重量 $\leq 80\text{kg}$ ，外形尺寸： $\leq 690\text{mm} \times 532\text{mm} \times 620\text{mm}$ ，可由2名救援人员推送至灾害场景进行激光破拆作业；

——车载式：激光破拆装备输出功率 $10\text{kW} \pm 3\%$ ，整车 $\leq 6\text{吨}$ ，外形尺寸： $\leq 1390\text{mm} \times 640\text{mm} \times 800\text{mm}$ ，可利用交通工具将其运送到救援地，由2名救援人员进行远程遥控激光破拆作业。

5.1.2 激光破拆装备技术和环境参数，见表1。

表1 激光破拆装备技术和环境参数

装备技术参数	便携式	推车式	车载式
激光输出功率 (kW)	$2 \pm 3\%$	$4 \pm 3\%$	$10 \pm 3\%$
跟踪瞄准精度	100m距离内1mm	100m距离内1mm	100m距离内1mm
电源功率 (kW)	$\geq 8$	$\geq 20$	$\geq 40$
动力补给及续航 (h)	外接，无限时	外接，无限时	纯电0.5h, 满油发电8h
外接电源电压 (V)	220V/50Hz	220V/50Hz	—
行驶速度 (km/h)	—	—	$\geq 20$
最大爬坡能力 ( $^{\circ}$ )	—	—	$\leq 30$
适应环境参数			
能见度 (m)	$\geq 300$	$\geq 300$	$\geq 300$
最大破拆距离 (m)	$\geq 150$	$\geq 300$	$\geq 450$
环境温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	$< 45$	$< 45$	$< 45$
环境相对湿度 (%)	$\leq 90$	$\leq 90$	$\leq 90$

### 5.2 检测装置

5.2.1 针对复杂多变的救援破拆场景，应对破拆物体/物件的周边环境进行检测、分析与判断，确保激光破拆作业、救援人员和被救人员的安全：

——快速生命感知防护断电装置：当激光可能作用区域出现生命体时，则应在限定时间内关闭激光输出，系统响应时间 $\leq 0.01\text{s}$ ；

——气体检测装置：气体检测种类 $\geq 8$ 种，响应时间 $\leq 30\text{s}$ ，使用温度 $< 45^{\circ}\text{C}$ ，使用相对湿度 $\leq 90\%$ ，工作电压： $12\text{VDC} \pm 1\%$ ，样气压力： $0.05\text{MPa} \sim 0.25\text{MPa}$ ，样气流量： $400 \pm 50\text{ml/min}$

5.2.2 气体探测与检测装置的气体检测类型及其技术参数，见表2。

表2 气体检测技术参数

气体类型	检测半径	量程及误差	报警阈值
氨气 ( $\text{NH}_3$ )	$\geq 100\text{m}$	量程：0~100、浓度误差 $\leq 10\text{ppm}$	$\geq 40\text{ppm}$
一氧化碳 ( $\text{CO}$ )	$\geq 100\text{m}$	量程：0~500、浓度误差 $\leq 10\text{ppm}$	$\geq 24\text{ppm}$
乙炔 ( $\text{C}_2\text{H}_2$ )	$\geq 100\text{m}$	量程：0~1000、浓度误差 $\leq 10\text{ppm}$	$\geq 100\text{ppm}$
乙烯 ( $\text{C}_2\text{H}_4$ )	$\geq 100\text{m}$	量程：0~200、浓度误差 $\leq 10\text{ppm}$	$\geq 20\text{ppm}$
乙烷 ( $\text{C}_2\text{H}_6$ )	$\geq 100\text{m}$	量程：0~1000、浓度误差 $\leq 10\text{ppm}$	$\geq 100\text{ppm}$
硫化氢 ( $\text{H}_2\text{S}$ )	$\geq 100\text{m}$	量程：0~200、浓度误差 $\leq 10\text{ppm}$	$\geq 6.6\text{ppm}$
甲烷 ( $\text{CH}_4$ )	$\geq 100\text{m}$	量程：0~100%，分辨率 $\leq 0.01\%$	$\geq 1.0\%$
氧气 ( $\text{O}_2$ )	$\geq 100\text{m}$	量程：0~25%，分辨率 $\leq 0.1\%$	$\leq 19.5\%$

### 5.3 适用场景

5.3.1 激光破拆救援适用的灾害救援类型有自然灾害救援类、事故灾难救援类和安全隐患排除类，典型灾害救援及其应用场景，见表3。

表3 灾害救援及应用场景

灾害救援分类	典型灾害事故	激光破拆典型应用场景
自然灾害救援	地震、水灾、风灾引发的建筑物坍塌	坍塌建筑物破拆场景
	地震、水灾、风灾、泥石流引发的边坡塌方	边坡塌方清障场景
事故灾难救援	高层建筑火灾事故	高层建筑火灾破拆场景
	交通事故事故	涉事车船、飞机等交通工具破拆场景
	深井事故	深井清障场景
	特种设备事故	涉事特种设备处置场景
	矿山井筒堵塞事故	矿山井筒清障场景
	交通隧道坍塌事故	交通隧道清障场景
安全隐患排除	未爆弹爆炸	未爆弹清除场景
	危险悬挂物坠落	危险悬挂物清除场景

5.3.2 在额定激光输出功率条件下，适用的激光破拆破拆物件/物体及尺寸参数见表4。

表4 破拆对象及尺寸参数

灾害救援场景	破拆对象特征	
	典型物体/物件	尺寸(mm)
矿山井筒、边坡塌方、建筑物坍塌、交通隧道坍塌、深井	锚杆直径	20~28
矿山井筒、边坡塌方、建筑物坍塌、交通隧道坍塌、深井	混凝土钢筋直径	12~32
矿山井筒、边坡塌方、建筑物坍塌、交通隧道坍塌、深井	钢拱架和钢支架	20~36
矿山井筒、边坡塌方、建筑物坍塌、交通隧道坍塌、深井、特种设备	钢板厚度	5~20
矿山井筒、边坡塌方、建筑物坍塌、交通隧道坍塌、深井、车祸	钢材及格栅	5~20
矿山井筒、边坡塌方、建筑物坍塌、交通隧道坍塌、深井	混凝土块体	150~300
高层建筑火灾、危险悬挂物	门窗铝合金杆直径	19~20
高层建筑火灾、危险悬挂物	防盗门厚度	40-60
危险悬挂物排除	广告牌、冰渍、马蜂窝、高层房屋外立面瓷砖等	

## 6 激光破拆程序

### 6.1 破拆流程图

应急抢险救援激光破拆包括：救援响应、安全风险评估、破拆实施和破拆收尾四个阶段，见图1。

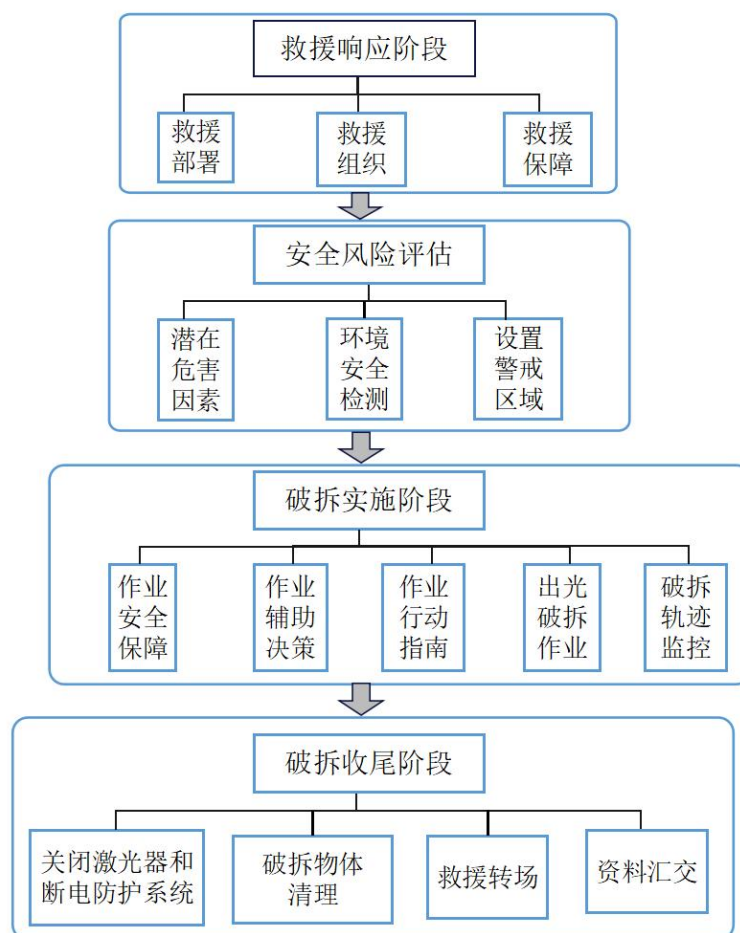


图1 应急抢险救援激光破拆流程图

## 6.2 救援响应

### 6.2.1 救援部署

6.2.1.1 接到调度指令后，应成立激光破拆专项救援小组，迅速与事故现场指挥部取得联系；必要时，派出先遣组快速赶赴事故现场，及时向激光破拆专项救援小组反馈现场救援任务执行情况和困难诉求。

6.2.1.2 激光破拆专项救援小组集结奔赴事故现场、传达救援命令、部署救援任务，应及时记录救援过程。

### 6.2.2 救援组织

结合事故特征，制定救援专项作业方案，评估潜在的危險源，制定危險源管控和现场安全生产管理措施，并做好岗前相关安全培训和技术交底工作。

### 6.2.3 救援保障

6.2.3.1 参照表 1 和表 4 组织激光破拆所需装备，参照表 4、附录 D 和 YJ/T 1.2 相关条款配备辅助救援设备和物资。

6.2.3.2 加强与地方物流单位、事故现场指挥部、道路交通管制部门的联系，确保救援所需要的各类装备、工具和材料能够快速运送到事故现场。

## 6.3 安全风险评估

### 6.3.1 潜在危害因素

6.3.1.1 在有限空间进行激光破拆可能造成的危害有：

- 有限空间内空气有害物质的浓度增加；
- 有限空间内过多的破拆引发的如氨气、一氧化碳、甲烷、乙炔等气体；
- 缺氧；

——直接入射的激光辐射造成的危害，以及由直接反射或漫反射的激光辐射危害；  
 ——增强的倾倒和冲击危害等。

6.3.1.2 激光破拆过程中，包括如下环境影响：

——温度（冷、热）；  
 ——湿度（雨、雾、冰雹）；  
 ——机械作用（振动、风压）；  
 ——电磁效应（雷击）；  
 ——能见度（日光、灯光）。

6.3.2 环境安全检测

6.3.2.1 通过泵吸式、无人机协同取样或扩散采样方式，抽吸环境气体，由传感器进行检测，当气体浓度超过表2设定阈值，自动触发检测装置预警报警。

6.3.2.2 采用泵吸式时，应保证流量控制器的旁通流量有流量放空；采用扩散式时，响应控制在400mL/min,流量控制在 $\pm 50$ mL/min。

6.3.2.3 确定救援环境安全后，方可进入现场进行激光救援破拆工作。

6.3.3 警戒区域设置

6.3.3.1 根据环境安全评估结果，设置第一道安全警戒线和各种安全警示标志、建立现场视频监控系统，安全标志设置应符合GB 2894有关规定。

6.3.3.2 确认环境适宜时，开机启动云平台，根据破拆对象所在位置设置激光出光的第二道警戒线，见图2。

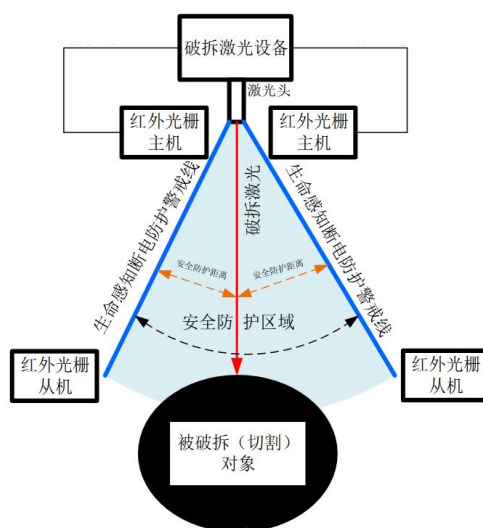


图2 红外光栅警戒线图

——警戒距离： $2\text{kW} \leq \text{功率} < 4\text{kW}$ 设置50m警戒区， $4\text{kW} \leq \text{功率} \leq 10\text{kW}$ 设置100m警戒区；

——探测方式：遮挡相邻两光束或单光束；

——报警持续时间： $> 1\text{s}$ 或即时报警，LED指示、蜂鸣提示；

——反应时间： $< 40\text{ms}$ 。

## 6.4 激光破拆实施

### 6.4.1 破拆作业安全保障

6.4.1.1 基于6.3.2、6.3.3，激光破拆辅助决策云平台应设置紧急关断功能，当破拆区域出现气体浓度阈值超限与人员闯入时，及时关断激光器并记录报警信息。

6.4.1.2 激光破拆辅助决策云平台具备动态目标检测功能，破拆区域出现生命信号（表现为具备人体特征的头、四肢及躯干），需及时发现并关断激光器、记录报警信息。

6.4.1.3 激光破拆辅助决策云平台具备姿态检测功能，激光器出现倾倒或异常运行姿态，需及时关断激光器并记录报警信息。

## 6.4.2 破拆作业辅助决策

### 6.4.2.1 标准化场景的破拆作业要点演示

系统预设10种标准灾害救援场景（如建筑物坍塌、车辆事故、隧道清障等），可据此分场景演示破拆要点及注意事项，提升现场决策指挥与设备操作的安全性。

### 6.4.2.2 辅助决策方案

在激光破拆辅助决策云平台上应用基于深度自适应学习的激光破拆救援快速安全评估模型，对破拆区域进行分析评估并生成辅助决策方案，提供装备推荐、破拆路径、安全注意事项等建议，以供决策指挥与现场作业参考。

## 6.4.3 破拆作业行动准备

6.4.3.1 根据现场状况和需开通的营救通道，应对受损的物体/物件进行必要的检测与分析，确定其受损状态，制定支护加固方案和灭火、降尘与排烟措施。

6.4.3.2 破拆装备选择对于浅层埋压、中层埋压和深层埋压受困人员或障碍物，应针对开放空间、有限空间环境综合选用激光破拆装备，见表1。

6.4.3.3 按照加固支护方案和灭火、降尘与排烟措施，做好被破拆物体/物件的固定受损的物体/物件的加固与防护，建立可行的通风和淋喷管路，确保激光破拆作业安全。

6.4.3.4 对于浅层埋压、中层埋压和深层埋压受困人员或障碍物，应针对开放空间、有限空间环境中，综合运用切割、破拆、顶升、移除、支撑及绳索技术，参照7.1、7.2条款进行施救。

### 6.4.4 出光破拆作业

开启激光破拆装置的跟瞄系统，启动激光破拆，确保光束位置始终保持在规划的破拆路径轨迹中部，直至破拆任务完成。

### 6.4.5 破拆轨迹监控

6.4.5.1 破拆过程中，应在激光破拆辅助决策云平台上始终跟踪光束移动轨迹，采用人工或自动的方式确保破拆轨迹始终处在事先规划的路径中。

6.4.5.2 破拆过程中，应在激光破拆辅助决策云平台上始终监控快速断电保护装置持续处在工作状态，确保救援、被救援和误闯入人员的安全。

## 6.5 激光破拆收尾

### 6.5.1 激光器和断电防护系统

当单个物体破拆完成，应立即停止出光，关闭激光器和断电防护系统，确保破拆空间环境安全后，方可进入到救援的下一个环节。

### 6.5.2 破拆物体清理

破拆后物体的清理，应结合开放或有限空间环境和不同埋压条件，综合采用顶升、移除、支撑及绳索技术等方法进行清理，参照7.2条款。

### 6.5.3 救援转场

6.5.3.1 救援现场清理出的固体废弃物，应按照GB 18599规定处置；放射性废物应按照GB 15848规定处置。对现场不能处置的有毒有害废物应外运至特定处置场所进行处理。

6.5.3.2 救援结束后应拆除临时设施，回收并清理各种宣传牌、标示牌、警示牌等物品，在现场指挥部指导下安全、有序地撤出事故现场。

6.5.3.3 救援任务结束后应主动与现场指挥部及有关部门协调撤场事宜，登记报备队伍撤离情况和提供相关救援资料。

### 6.5.4 资料汇交

6.5.4.1 救援结束后应开展救援复盘总结，根据搜救救援过程中的不足之处进行剖析，形成书面总结报告。

6.5.4.2 汇交内容包括但不限于现场勘查、交通路线规划、破拆作业、记录资料（工作部署记录、数据记录、行程记录、录音、影像资料记录、新闻报道）、事故救援总结（应急响应效率评估、后勤保障、应急救援、资金使用报告、经验教训）等。

## 7 辅助救援方法与要求

### 7.1 辅助救援方法

7.1.1 逐层清除法 将被埋人员上面或侧面的残渣废墟或障碍物逐层清除，优先破拆影响营救通道推进但又不影响整体结构安全的钢筋连接的大型墙体、柱、梁等构件，遇有能够通往被埋人员时，应停止大型设备作业，直到靠近或能见到被埋人员。

7.1.2 挖掘通道法 选择距离被埋人员较远的地方作为通道入口，如遇有坍塌的可能时，应根据坍塌倾斜相反的一面作为破拆入口，运用各种挖掘（钻孔）工具、破拆装备向被埋压人员所在的位置方向挖掘，破拆障碍物时应对通道和构件固定再实施，构筑出一条营救通道，接近并救助幸存者。

7.1.3 综合法 将逐层清除法与挖掘通道法综合运用，或者通过逐层破障、清理侧面的重物，缩短打开营救通道的距离。

## 7.2 辅助救援要求

7.2.1 移除障碍物应按下列方法和要求进行：

7.2.1.1 参照附录D，评估障碍物的重量，选择移除装备；

7.2.1.2 宜按从外到里，从小到大，从轻到重的原则进行移除；

7.2.1.3 移除作业应避免障碍物周边构件发生位移；

7.2.1.4 起重吊运作业应按GB 5082指挥移除作业。

7.2.2 支撑加固不稳定建（构）筑物应按下列方法和要求进行：

7.2.2.1 应根据支撑位置和荷载确定支撑点；

7.2.2.2 支撑点应避免结构松动、移位和悬挂的部位；

7.2.2.3 根据支撑环境和支持荷载宜采用垂直、水平、斜向、组合等支撑方法；

7.2.2.4 支撑材料宜选用松木或杉木，斜向支撑支柱与底部基础角度宜切割成  $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$  之间。

7.2.3 顶撑障碍物应按下列方法和要求进行：

7.2.3.1 参照附录D，评估障碍物的重量，选择顶撑装备；

7.2.3.2 应根据顶撑位置和顶撑荷载确定顶撑点；

7.2.3.3 顶撑作业应避免障碍物周边构件发生位移；

7.2.3.4 顶撑障碍物应边顶撑边支撑。

7.2.4 破拆障碍物应按下列方法和要求进行：

7.2.4.1 破拆作业前应确认作业场地无易燃、易爆物质，并全程监测；

7.2.4.2 有限空间、密闭空间破拆作业，应采取通风、降尘措施；

7.2.4.3 破拆作业时，应防止废墟掉落，避免造成人员伤害。

7.2.5 建立绳索救援系统应按下列方法和要求进行：

7.2.5.1 应选择两个或两个以上的锚定点，荷载应分配在多个锚定点上，锚定点应能够承受所有荷载；

7.2.5.2 绳索救援系统各部件应能够承受所有荷载；

7.2.5.3 应建立垂直升降或穿越建（构）筑物的救援通道；

7.2.5.4 应运用担架、吊带、绳索等对被困人员进行固定、保护和转移。

## 8 风险识别与安全作业

### 8.1 高处作业

8.1.1 高处作业救援人员应穿紧口工作服、防滑鞋、正确佩戴符合GB 2811的安全帽。

8.1.2 作业时，在无立足点、平台临边无护栏、无防护网等安全防护设施和悬空作业时必须系安全带，安全带的选用与佩带应符合GB 6095的规定。

8.1.3 高处作业暂时不用的工具，应装入工具袋，随用随拿，不得在高处向下抛掷物件。

8.1.4 当设备安置高度 $>2\text{m}$ 时，应按GB/T 3608进行Ⅱ级及以上高处作业管理，平台载荷安全系数 $\geq 3$ （考虑设备振动）。

8.1.5 高处作业时个体防护装备应防坠落，激光护目镜应配备系绳。

8.1.6 直接引起坠落的危险因素：

——阵风风力五级（风速 $8.0\text{m/s}$ ）以上；

——作业场地有冰、雪、霜、油等易滑物；

——摆动，立足处不是平面或只有很小的平面，即任一边小于 $500\text{mm}$ 的矩形平面、直径小于 $500\text{mm}$ 的圆形平面或具有类似尺寸的其他形状的平面，致使作业者无法维持正常姿势；

- 存在有毒有害气体或空气中含氧量低于19.5%的作业环境；
- 可能会引起各种灾害事故的作用环境或抢救突然发生的各种灾害事故。

## 8.2 有限空间作业

8.2.1 根据有限空间内危险有害气体检出结果，将有限空间作业环境危险等级分为1级、2级、3级。

8.2.1.1 符合下列条件之一的环境为1级：

- 含氧量小于19.5%或大于23.5%；
- 可燃性气体、蒸汽浓度大于爆炸下限（LEL）的10%；
- 有毒有害气体、蒸汽浓度大于GBZ 2.1 4.1条款规定的限值。

8.2.1.2 含氧量为19.5~23.5%，且符合下列条件之一的环境为2级：

- 可燃性气体、蒸汽浓度大于爆炸下限（LEL）的5%且不大于爆炸下限（LEL）的10%；
- 有毒有害气体、蒸汽浓度大于GBZ 2.1 4.1条款规定的限值的30%且不大于GBZ 2.1 4.1条款规定的限值；
- 作业过程中可能缺氧；
- 作业过程中可燃性或有毒有害气体、蒸汽浓度可能突然升高。

8.2.1.3 符合下列所有条件的环境为3级：

- 含氧量为19.5~23.5%；
- 可燃性气体、蒸汽浓度不大于爆炸下限（LEL）的5%；
- 有毒有害气体、蒸汽浓度不大于GBZ 2.1 4.1条款规定的限值的30%；
- 作业过程中各种气体、蒸汽浓度值保持稳定。

8.2.2 对于存在有毒有害气体、可燃性气体等可能引发中毒、窒息、爆炸等风险作业空间，应编制专项作业方案，报事故现场指挥部审批后，方可实施。

### 8.2.3 安全作业

8.2.3.1 在确认作业环境、作业程序、安全防护设备、个体防护装备及应急救援设施符合要求后，方可允许救援人员进入有限空间作业。

8.2.3.2 救援人员应遵守现场指挥部审批后的有限空间专项作业方案，正确使用安全防护设备及个体防护装备，并与救援监护人进行有效的信息沟通。

8.2.3.3 救援现场安全监护人员应当全程进行监护，与救援人员保持实时联络，不得离开救援现场或进入有限空间参与救援作业。发现异常情况，救援现场安全监护人员应立即组织救援人员撤离现场。

### 8.2.4 实时监测与持续通风

8.2.4.1 作业过程中应对救援场所进行实时监测，并符合以下要求：

- 评估检测结果为3级环境的，应采取个体检测或监护检测；
- 评估检测结果为2级环境的，应同时采取个体检测和监护检测；
- 个体检测和监护检测应至少每15min记录1个瞬时值。

8.2.4.2 作业过程中应对作业环境保持通风，初始评估检测结果为3级环境的，作业过程中应至少保持自然通风；初始评估检测结果为1级、2级环境的，作业过程中应持续进行强制通风。

- 作业环境存在爆炸危险的，应使用防爆型通风设备；
- 应向有限空间内输送清洁空气，不应使用纯氧进行通风。

### 8.2.5 异常情况处置

8.2.5.1 作业期间发生下列情况之一时，救援人员应立即中断作业，撤离有限空间：

- 救援人员出现身体不适；
- 安全防护设备或个体防护装备失效；
- 气体检测报警仪器报警；
- 救援现场安全监护人员或现场指挥员下达撤离命令；
- 其他可能危及救援人员生命安全的情形。

8.2.5.2 救援作业中断超过10min，救援人员再次进入有限空间作业，应重新进行环境的评估检测。

## 8.3 激光破拆风险

8.3.1 破拆过程中产生危害主要包括辐射危害、材料和物资产生的危害和外部环境导致危害。

#### 8.3.1.1 辐射危害包括：

- 由直接入射或反射的激光束产生的危害（也应考虑激光器背后可能发生的辐射）；
- 电离辐射产生的危害；
- 诸如放电管或射频功率源等产生的伴随辐射（如紫外线、微波等）造成的危害；
- 因光束影响，由目标再次发射产生的二次辐射造成的危害（由目标再次发射的波长可能与原始光束不同）。

#### 8.3.1.2 材料和物资产生的危害包括：

- 光束与材料之间的相互作用产生的危害（如浓烟、颗粒、蒸汽、碎片）、火灾或爆炸；
- 用于辅助激光与目标相互作用的气体产生的危害，以及产生的浓烟造成的危害，这些危害包括爆炸、火灾、毒副作用和缺氧等。

#### 8.3.1.3 外部环境导致危害包括：

- 激光器工作时功率和环境状况，可能会引起设备故障，导致出现危险状况；
- 外部冲击/振动、源电压中断/波动；
- 目标物周围的金属蒸汽、灰尘或环境中的气体等。

### 8.3.2 破拆危害预防

#### 8.3.2.1 激光辐射危害的防护

- 应按照GB7247.1的规定采取工程措施，防止未经授权的人进入危险区；
- 使用过程中人暴露在危险区时，应采取工程或管理控制措施，包括使用诸如护目镜和防护服等个人防护设备；
- 紧急停机控制应符合GB/T 5226.1和GB/T 16754的要求。

#### 8.3.2.2 材料和物质产生危害的防护

- 熟悉破拆对象的材质，预判可能产生的危害因素（如金属可能产生金属蒸汽、塑料可能产生有毒有害气体、混凝土可能会产生粉尘等），评估作业风险并制订必要的预防措施；
- 采取适当的措施防止或控制措施，采取抽吸的方式从破拆区排出粉尘、颗粒和浓烟，防止火灾或爆炸二次灾害的发生。

#### 8.3.2.3 外部环境危害预防

- 安装减振装置，防止激光器的颤动；
- 采用蓄电池或外部电源供电方式，防止现场发电造成激光器的颤动。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国应急管理部令 第13号，2023.《工贸企业有限空间作业安全规定》。
- [2] 煤矿安全规程（2025版） 2026年2月1日。
- [3] GB/T 17906\_2021 消防应急救援装备 液压破拆工具通用技术条件。
- [4] GB/T 18462-2025 激光加工机械 金属切割的性能规范。
- [5] GB/T 18490.1-2017 机械安全 激光加工机第1部分：通用安全要求。
- [6] GB/T 18490.3-2017 机械安全 激光加工机 第3部分：激光加工机和手持式加工机及相关辅助设备的噪声降。
- [7] GB/T 29179\_2012 消防应急救援 作业规程。
- [8] GB/T 29425-2012 自然灾害救助应急响应划分基本要求。
- [9] GB/T 29428\_2-2014 地震灾害紧急救援队伍救援行动 第2部分：程序和方法。
- [10] GB/T 29639-2013 生产经营单位生产安全事故应急预案编制导则。
- [11] GB/T 32459-2015 消防应急救援装备 手动破拆工具通用技术条件。
- [12] GB/T 32460-2015 消防应急救援装备 破拆机具通用技术条件。
- [13] GB/T 40112-2021 地质灾害危险性评估规范。
- [14] GB/T 40702-2021 油气管道地质灾害防护技术规范。
- [15] GB/T 42991-2023 急进高原灾害紧急救援队伍防护指南。
- [16] GB/T 44011.1-2024 自然灾害综合风险评估技术规范 第1部分：房屋建筑。
- [17] GB/T 44815-2024 激光器和激光相关设备 激光束偏振特性测量方法。

- [18] GB/T 44954-2024 山岳地区雷电灾害防御技术规范。
- [19] AQ 6111-2023 个体防护装备安全管理规范。
- [20] AQ 9012-2023 安全生产事故应急救援评估规范。
- [21] AQ/T 3001-2021 加油（气）站油（气）储存罐体阻隔防爆技术要求。
- [22] AQ/T 3044-2013 氨气检测报警仪技术规范。
- [23] AQ/T 3049-2013 危险与可操作性分析（HAZOP分析）应用导则。
- [24] AQ/T 3052-2015 危险化学品事故应急救援指挥导则。
- [25] AQ/T 3052 危险化学品事故应急救援指挥导则
- [26] AQ/T 4262-2015 工作场所职业病危害因素检测工作规范。
- [27] XF 3009-2020 救援三角架。
- [28] XF 3010-2020 消防用雷达生命探测仪。
- [29] XF/T 3012-2020 钢结构防火保护板。
- [30] YJ/T 28-2024 音视频采集和传输通用技术要求。

## 附录 A

(资料性)

## 埋压条件下人员生理状况和营救等级

A.1 营救等级见表 A.1。

表A.1 埋压条件下人员生理状况和营救等级

编号	受伤类型	身体及环境状况	救助等级
一级	受到严重伤害且如果不立即医治将导致生命危险	肢体受到强烈冲击而导致失血过多、已失去意识或精神面临崩溃	急需营救
二级	受到较严重伤害但长时间得不到救助会导致生命危险	肢体被建(构)筑物卡压而无法挣脱、坍塌物不稳且不能承受二次伤害	需要尽快营救
三级	受到较严重伤害但短时间内无生命危险	不会发生二次坍塌, 肢体无法挣脱且神智较为清晰	需要营救
四级	立即死亡或受到生命性伤害	已无任何生命迹象	暂时放弃营救

## 附录 B

(资料性)

## 激光破拆现场数据记录表

B.1 激光破拆现场数据记录表，见表 B.1。

表 B.1 激光破拆现场数据记录表

救援灾害场景	如：建筑物坍塌			
救援地点	如：国家矿山应急救援大地特勘队基地			
救援日期	Xx 年 xx 月 xx 日			
救援装备及数量	Xx 装备/系统/平台			
破拆对象及规格参数	如：钢板，Q235，8mm 等			
环境描述	气温：           ； 风速：           ； 湿度           ； 风向           ； 降水：           ； 其他：			
辅助测试仪器及方法	如：激光测距仪（≥500m）、秒表；现场查看、界面显示			
破拆现场记录				
破拆距离 /m	破拆起始时间	切割终止时间	破拆速率、精度	现场效果
	时 分	时 分	切割速率 mm/s	
			精度 mm	
	时 分	时 分	切割速率 mm/s	
			精度 mm	
	时 分	时 分	切割速率 mm/s	
			精度 mm	
	时 分	时 分	切割速率 mm/s	
			精度 mm	
设备运行状况描述：				
现场救援现状描述：				
操作人员（签字）：			记录人员（签字）：	
监督人员（签字）：				

## 附录 C

(规范性)

### 救援过程中安全员鸣哨及其他鸣笛要求

C.1 在救援过程中，安全员应检查安全防护装备，监视受损建（构）筑物二次倒塌、次生灾害等风险，发现危险或潜在危险时应发出警报。哨子及其他鸣笛应按以下规定发出警报：

- 紧急撤离：三声短，每秒一次，每次间隔1s，连续3次，重复到疏散完毕（■■■■ ■■■■ ■■■■）；
- 停止行动或保持安静：一声长，持续3s（■■■■■■■■■■）；
- 重新行动：一声长，持续3s，一声短，持续1s（■■■■■■■■■■ ■■■■）。

## 附录 D

(资料性)

## 常用建筑材料密度表

## E.1 常用建筑材料密度表 E.1。

表E.1 常用建筑材料密度表

单位: kg/m<sup>3</sup>

材料名称	密度	材料名称	密度
普通粘土砖	1800~1900	木纤维板	200~1000
粘土空心砖	900~1450	刨花板	300~600
耐火砖	1900~2200	普通玻璃	2550
土坯砖	1200~1500	花岗岩	2500~2700
普通混凝土	2200~2450	砂子	1400~1700
泡沫混凝土	600~800	毛石	1700
加气混凝土	550~750	钢材	7850
水泥	1250~1450	铸铁	7250
松木	500~600	铜	8500~8900
杉木	400~500	铝	2700
硬杂木	600~700	铝合金	2800
软木板	250		