

ICS27.140

P59

备案号: J141-2002

中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5135-2001

水电水利工程爆破施工技术规范

Specifications of excavation blasting for hydropower and water conservancy project

主编单位: 中国葛洲坝集团公司三峡工程施工指
挥部

批准部门: 中华人民共和国国家经济贸易委员会

批准文号: 国家经贸委二〇〇一年第 31 号公告

2001—12—26 发布

2002—05—01 实施

中华人民共和国国家经济贸易委员会 发布

前 言

本标准的编制是根据原电力工业部综科教〔1998〕28 号文关于下达 1997 年制定、修订电力行业标准化计划项目的通知确定的,由中国水利水电总公司承担,并委托葛洲坝集团公司组织编写。

本标准在编制过程中,编写组进行了广泛地调查研究、收集资料,认真总结我国水电水利工程钻孔爆破的实践经验,尤其是近 20 年来大中型工程的施工经验,并征求了国内有关单位和专家的意见,同时还借鉴了国外的一些先进经验,经数次易稿编写而成。

2000 年 11 月 10~12 日电力行业水电施工标准化技术委员会在长江三峡水利枢纽工程施工工地主持召开本标准送审稿的审查会。经审查本标准主要技术内容包括适用范围、引

用标准、名词术语、总则、火工材料、明挖钻孔爆破、地下洞室钻孔爆破、水下钻孔爆破、拆除工程钻孔爆破、爆破试验与观测、质量与安全共 11 章以及两个附录。

本标准的附录 A、附录 B 都是标准的附录。

本标准的主编单位：葛洲坝集团公司三峡工程施工指挥部。

本标准的参编单位：广西航务工程局，葛洲坝集团公司第一工程公司。

本标准的起草人：任尚卿、陈 飞、张锦亮、刘临雄、文德钧、刘金焕、陈继尧、
马德渐、周公觉、沈锡荣、刘焕祯。

本标准由电力行业水电施工标准化技术委员会归口并负责解释。

目 次

前 言

- 1 适用范围
- 2 引用标准
- 3 名词术语
- 4 总则
- 5 火工材料
- 6 明挖钻孔爆破
- 7 地下洞室钻孔爆破
- 8 水下钻孔爆破
- 9 拆除工程钻孔爆破
- 10 爆破试验与观测
- 11 质量与安全

附录 A (标准的附录) 爆破器材存放

附录 B (标准的附录) 允许爆破质点振动速度

条文说明

1 适 用 范 围

1.0.1 本标准适用于大中型水电水利工程地面、地下、水下岩石开挖以及拆除工程的钻孔爆破，不涉及集中药包爆破施工。

1.0.2 小型水电水利工程可参照执行。

1.0.3 其他工程岩石开挖钻孔爆破可供参考。

2 引 用 标 准

下列标准所包含的条文，通过本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB 6722—1986 爆破安全规程

GA 53—1993 爆破作业人员安全技术考核标准

DL/T 5123—2000 水电站基本建设验收规程

SD 267—1988 水利水电建筑安装安全技术工作规程

SDJ 249—1988 水利水电基本建设工程单元工程质量等级评定标准

3 名 词 术 语

3.0.1 高边坡 high slope

凡闸坝、厂房、溢洪道开挖边坡高度在 50m 以上者称为高边坡。

3.0.2 高陡边坡 high with abrupt slope

凡闸坝、厂房、溢洪道开挖边坡高度大于 50m，坡度大于 55° 者称为高陡边坡。

3.0.3 滑坡 landslide

斜坡岩土体沿贯通剪切面向临空面下滑的现象。

3.0.4 断层 fault

在地质构造力作用下岩层破裂后两侧发生显著相对位移的破裂面或破裂带。

3.0.5 围岩 surrounding rock

洞室周围一定范围内对稳定性和变形可能产生影响的岩体。

3.0.6 围岩失稳 lose stability of surrounding rock

地下洞室围岩失去天然稳定状态，而发生破坏的现象。

3.0.7 围岩收敛 convergence of surrounding rock

地下洞室开挖后发生洞径缩小的现象。

3.0.8 岩爆 rock burst

高地应力区地下洞室开挖过程中，由于岩体应力释放导致岩块骤然以爆炸形式，从洞室周边岩体内飞射出岩块的现象。

3.0.9 卸荷回弹 relief rebound

在地应力区内由于开挖后使岩体应力释放和调整导致基岩鼓起的现象。

3.0.10 爆破 blasting

利用炸药爆炸瞬时释放的能量，使介质压缩、松动、破碎或抛掷等，以达到开挖或

拆毁目的的手段。

3.0.11 爆力 weight strength

炸药破坏一定体积介质的能力。

3.0.12 爆速 detonation velocity

炸药爆炸时炸药内部爆轰波传播的速度。

3.0.13 猛度 brisance factor

炸药爆炸时粉碎一定体积介质的能力。

3.0.14 殉爆距离 flash-over tendency

炸药爆炸时能引起邻近的不相联系的炸药起爆的最大距离。

3.0.15 安定性 stability

炸药在长期储存中，可保持其物理化学性质稳定的性能指标。

3.0.16 敏感性 sensitivity

表示炸药在外界能量的作用下，引起爆炸反应的灵敏程度的指标。

3.0.17 爆破参数 blasting parameters

爆破介质与炸药特性、药包布置、炮孔的孔径和孔深、装药结构及起爆药量等影响爆破效果因素的统称。

3.0.18 毫秒爆破 ms delayed blasting

利用毫秒延期雷管或继爆管控制多段或多排爆破作业并按预定程序引爆的爆破技术。

3.0.19 梯段爆破 bench blasting

使开挖面呈阶梯形状并利用毫秒爆破技术逐段、逐排、逐孔进行爆破的爆破技术。

3.0.20 浅孔爆破 shallow-hole blasting

炮孔深度一般小于 5m，装药引爆的爆破技术。

3.0.21 深孔爆破 deep-hole blasting

炮孔深度大于 5m，装药引爆的爆破技术。

3.0.22 光面爆破 smooth blasting

沿开挖周边线按设计孔距钻孔，采用不耦合装药毫秒爆破，在主爆孔起爆后起爆，使开挖后沿设计轮廓获得保留良好边坡壁面的爆破技术。

3.0.23 预裂爆破 presplit blasting

沿开挖轮廓线按设计孔距钻孔，不耦合装药，在主爆孔起爆前分段一次起爆，形成一定宽度的贯穿裂缝的爆破技术。

3.0.24 瞬发雷管 instantaneous blasting cap

引爆后瞬时起爆的雷管。

3.0.25 延期雷管 delay blasting cap

引爆后延缓一定时间起爆的雷管。

3.0.26 毫秒雷管 ms delay blasting cap

延期时间以毫秒计的雷管。

4 总 则

4.0.1 为规范水电水利工程钻孔爆破施工而制定本标准。

4.0.2 在钻孔爆破过程中，发现地质条件变化时，应及时研究处理。

4.0.3 应积极采用新技术、新工艺、新材料、新设备，但必须经试验、论证，并报请有关部门批准。

4.0.4 本标准未详之处，按现行有关标准执行。

5 火 工 材 料

5.1 爆破器材的采购

5.1.1 爆破器材的采购计划必须经主管部门审批。采购计划中应明确爆破器材的名称、规格、数量、用途及性能要求。

5.1.2 爆破器材采购应按下列程序进行：

- 1 对生产厂家进行爆破器材的品种、性能、参数、适用条件、包装质量、供货能力、储运条件等调查。
- 2 对厂家的资质进行评审，择优选定供货厂家。
- 3 爆破器材应按工程进度，分年、季用量，签订供货合同。

5.2 爆破器材的运输

5.2.1 承运单位应凭公安部门颁发的“爆炸物品运输证”办理运输。

5.2.2 爆破器材的运输必须遵守下列规定：

- 1 运输车、船必须符合国家有关运输规则的安全要求。
- 2 包装应牢固、严密。不允许共存的爆破器材不得混装在一个车厢、船舱内。常用爆破器材共存范围见附录 A1。
- 3 爆破器材的装卸，宜在白天进行、并有专人组织指挥和警戒。
- 4 装卸和运输爆破器材时严禁烟火和携带发火物品。
- 5 装有爆破器材的车、船应按指定路(航)线行驶。
- 6 气温低于 10℃时运输易冻的硝化甘油炸药或气温－15℃以下运输难冻的硝化

甘油炸药，应采取保温防冻措施。

7 运输硝化甘油类炸药或雷管等敏感度高的爆破器材，车厢和船舱的底部应铺软垫。

5.2.3 汽车运输爆破器材必须遵守下列规定：

- 1 由熟悉爆破器材性质，具有安全驾驶经验的司机驾驶。
- 2 汽车行驶速度：能见度良好时，车速不得超过 40km/h；在扬尘、起雾、暴风雪等天气能见度低时，车速减半。
- 3 平坦道路行驶两辆汽车的距离不得小于 50m；上山或下山时不得小于 300m。
- 4 遇有雷雨时车辆应停置在远离建筑物的空旷处。
- 5 寒冷地区冬季运输必须采取防滑措施。

5.2.4 铁路运输爆破器材必须遵守下列规定：

- 1 装有爆破器材车厢的停车线路应与其他线路隔开；通往该线路的转辙器应锁住；必须采取车辆防滑措施，其前后 50m 处必须设明显的标志。
- 2 装有爆破器材的车厢与机车之间、炸药车厢与雷管车厢之间，应用未装爆破器材的车厢隔开。
- 3 列车运行时速不得超过 30km/h，调车作业及场内不超过 15km/h。

5.2.5 水路运输爆破器材必须遵守下列规定：

- 1 雾天必须停航，停泊地点距岸上建筑物不得小于 250m。
- 2 船头和船尾设危险标志，夜间和雾天设红色安全灯，船上备有足够数量的消防器材。
- 3 装有爆破器材的船舱不得有电源，底板和舱壁应无缝隙，舱口必须关严。
- 4 与机舱相邻的船舱隔墙应采取隔热措施，对蒸汽管道应有可靠的隔热。
- 5 严禁用筏类运输爆破器材。

5.2.6 场内运输爆破器材必须遵守下列规定：

- 1 在竖井、斜井内运输爆破器材必须遵守下列规定：
 - 1)事先通知卷扬机司机和信号工。
 - 2)用罐笼运输雷管或硝化甘油类炸药时，升降速度不得超过 2m/s；用吊桶或斜坡卷扬机运输爆破器材时速度不得超过 1m/s；运输雷管时，应采取绝缘措施。
 - 3)在上、下班或人员集中时间内禁止运输爆破器材。
 - 4)除爆破人员和信号工外，其他人员不得同罐乘坐。
 - 5)用罐笼运输硝铵类炸药装载高度不得超过车厢边缘；运输硝化甘油类炸药或雷管不得超过两层，层间必须铺软垫。
 - 6)严禁爆破器材在井口房或井底停车场停留。
- 2 用电机车运输爆破器材必须遵守下列规定：

- 1)机车前后设“危险”标志。
- 2)用封闭型的专用车厢运输雷管或炸药，车厢内应铺软垫，运行速度不得超过 2m/s。
- 3)装有爆破器材的车厢与机车或装有雷管的车厢应采用空车厢隔开。
- 4)运输电雷管应采取可靠的绝缘措施。
- 5)用架线式电机车运输在装卸爆破器材时，机车必须切断电源。

3 在斜坡道用汽车运输爆破器材必须按下列规定执行：

- 1)行驶速度不得超过 10km/h。
- 2)严禁在上、下班或人员集中时运输。
- 3)车头和车尾应分别安装蓄电池红灯作为危险信号标志。
- 4)应在巷道中间行驶，会车让车时应靠边停车。

4 用人工搬运爆破器材必须遵守下列规定：

- 1)在夜间或井下应携带绝缘手电筒。
- 2)炸药与雷管应分别放在两个背包(木箱)内，严禁装在衣袋内。
- 3)领到爆破器材后应直接送到爆破地点，严禁乱丢乱放。
- 4)爆破器材当班用，当班领，不得携带爆破器材在人群聚集的地方停留。
- 5)一人一次运送的爆破器材数量不应超过下列的规定：

同时搬运炸药和起爆器材	10kg
拆箱(袋)运搬炸药	20kg
背运原包装炸药	一箱(袋)
挑运原包装炸药	二箱(袋)

5.3 爆破器材的储存与管理

- 5.3.1 爆破器材必须存放于专用的仓库、储存室，并有专人管理，不得任意存放。
- 5.3.2 爆破器材仓库、储存室的位置、结构和设施须经主管部门批准，并经当地公安部门认可。
- 5.3.3 爆破器材库区布局必须遵守下列规定：
 - 1 相邻库房不得长边相对，雷管库应布置在库区另一端。
 - 2 库区周围设密实围墙(或双层铁刺网)，围墙距最近库房的距离不小于 15m(小型库房不应小于 5m)，围墙高度不得低于 2m，外围应设排水沟。
 - 3 库区值班室应布置在围墙外侧距围墙不小于 50m 处，岗楼布置在围墙周围。
 - 4 空箱棚(室)应布置在围墙外侧距围墙不小于 25m。
- 5.3.4 库区外部安全距离和库间殉爆安全距离见附录 A3。
- 5.3.5 储存爆破器材的仓库、储存室的管理应按下列规定执行：

1 应派专人负责管理，须有保卫人员守卫。建立出入库检查、登记制度，收存和发放爆破器材必须进行登记，做到账目清楚、账物相符。

2 仓库内储存爆破器材数量不得超过设计容量。不允许共存的爆破器材必须分库储存，仓库内严禁存放其他物品，允许共存的爆破器材见附录 A1，单一库房允许爆破器材最大储量见附录 A2。

3 严禁无关人员进入库区。

4 严禁在库区内吸烟和用火。

5 严禁将其他易燃、易爆物品带入仓库。

6 严禁在库房内住宿和进行其他活动。

7 发现爆破器材丢失、被盗必须及时报告所在地公安机关。

5.3.6 临时性爆破器材库允许储存量可参照附录 A2 小型库房最大允许储存量规定执行。

5.3.7 爆破器材必须储存在爆破器材库内。特殊情况下，经主管部门审核报当地公安部门批准后，方准在库外存放。

5.3.8 爆破器材的储存、发放必须按下列规定执行：

1 装有硝化甘油类炸药、雷管和继爆管的箱(袋)必须放在货架上；其他装有爆破器材的箱(袋)应码堆在垫木上，架、堆之间的通道宽度不小于 1.3m。

2 架上的硝化甘油类炸药和雷管的箱(袋)严禁叠放。

3 爆破器材箱(袋)距上层架板的间距不得小于 4cm，架宽不超过箱(袋)的宽度；货架(堆)距墙壁不小于 20cm。

4 码堆的导火索、导爆索和硝铵类炸药的货架(堆)高度不超过 1.6m。

5 库内必须整洁、防潮、通风良好，并杜绝鼠害。

6 新购进的爆破器材应逐箱(袋)检查包装情况，并按规定作性能检查。

7 爆破器材应按出厂时间和有效期的先后顺序发放使用。

8 变质和性能不详的爆破器材不准发放使用，待检验后处理。

9 起爆器材的发放应在专用的发放室内进行，严禁在储存库房发放。

10 应建立当班领用数、退还数、现场实用数的登记和检查制度。

11 库区消防、通信设备、报警和防雷装置每季度应检查一次。

12 库房的温度和湿度必须经常测定，发现硝化甘油类炸药箱渗油、冻结和硝铵类炸药吸潮结块应及时处理。

13 严禁穿铁钉鞋和易产生静电的化纤衣服进入库房和发放间。开箱应使用不产生火花的工具并在专设的发放间内进行。

5.3.9 变质和过期失效的爆破器材应及时清理出库、申报销毁。

5.3.10 爆破器材库的照明必须按下列规定执行：

1 供电保险等级按 1 类供电场所设计，辅助建筑物按一般供电场所设计。

- 2 从库区变电站到各库房外部线路应采用敷设埋地电缆，外部电线严禁通过库房上空。
- 3 库房内严禁安装电灯照明，应为自然采光或在库房外安装探照灯进行投射采光。
- 4 电源开关必须在库房外设置并装在配电箱中。
- 5 采用移动式照明时只能使用安全手电筒，严禁使用电网供电的移动手提灯。

5.3.11 爆破器材库应设避雷装置。

5.4 检 验

5.4.1 供货厂商对出厂的爆破器材质量必须进行检验。

5.4.2 每批爆破器材必须有产品质量检测的合格证明。

5.4.3 每个包装的箱(袋)中，必须有产品性能、适用条件、出厂日期和有效期限的说明。

5.4.4 雷管必须有段号的明显标识。

5.4.5 对入库的爆破器材，应按下述要求对每批产品进行抽样检验：

1 导火索。在不少于 10%的箱或篓内，任意抽取 20m 进行外观、喷火强度、燃速、耐水性能等检验。

2 导爆索。在其中 4 箱内，每箱任取一卷共 4 卷，进行外观、起爆感度性能、防潮性能、拉力性能检验；对于塑料导爆索还需进行耐温检验。

3 非电导爆管系统。在不同段号的五箱(件)内，每箱(件)任取一组，共 5 组，每组 8 发(根)，每根管长不少于 1.2m，进行外观、断管、漏管、起爆感度、延期量的检验。

4 火雷管。在其中两箱中任取 4 盒，每盒各取 25 发，共 100 发，进行外观、起爆和爆力检验。

5 电雷管。在不同箱至少 20 盒内任取 200 发，进行外观、安全电流、内电阻、串联、防水、延期量的检验。

6 炸药。全部进行外观检查，在不少于 4 箱(袋)内任取不少于 2kg 进行爆轰感度、猛度和殉爆距离的检验；对于硝酸类炸药，还需进行含水量的检验。

5.4.6 经检验认为该批产品不合格，不得使用，并上报主管部门进行处理。

5.4.7 爆破器材性能的检验，必须在安全地方进行。

5.4.8 检验爆破器材的仪器和仪表，应定期送交专门机构标定。

5.5 爆破器材的销毁

5.5.1 经检验确认失效、不符合技术条件要求、不符合国家标准的爆破器材都应销毁。

5.5.2 应销毁的爆破器材，必须将其品种、名称、数量、销毁原因及销毁方法、地点、时

间登记造册，并书面报告主管部门批准。

5.5.3 爆破器材的销毁可采用爆炸法、焚烧法和溶解法。

5.5.4 严禁在夜间、雨天、雾天和三级风以上的天气内销毁爆破器材。

5.5.5 销毁爆破器材工作应有专人负责组织指挥，并由有经验的人员进行销毁，销毁时应遵守下述规定：

1 销毁前应检查销毁的爆破器材、起爆器材、销毁现场安全设施、警戒范围及标志等有关准备工作。

2 销毁现场的警戒线外围必须设有安全警戒人员，严禁无关人员和车辆进入危险区，起爆前做好安全撤离和安全警戒工作。

5.5.6 采用爆炸法或焚烧法销毁爆破器材应按下列规定执行：

1 必须进行爆破器材销毁的爆破设计。

2 销毁场地的碎石及四周易燃物必须清除。

3 销毁场地附近必须有坚固的掩蔽体，掩蔽体至销毁场边沿的距离及安全措施，应由销毁的爆破设计确定。

4 对销毁的爆炸性器材，确认能通过质量良好的起爆药包完全爆炸时，才能允许用爆炸法销毁。

5 包装过硝化甘油类炸药有渗油痕迹的药箱(袋、盒)应予销毁；对不能续用剩余的包装材料，经检查确认没有雷管和残药，可用焚烧法烧毁。

6 需销毁的爆破器材应一次运到现场指定的安全地点，分批进行销毁。

7 爆炸法销毁爆破器材时一次起爆药量不得超过 20kg，应用远距离的网路起爆方法。

8 销毁有金属外壳的爆破器材时只准在深度大于 2m 的坑内(其上覆松土)进行。

9 严禁使用焚烧法销毁雷管、继爆管、连接块、起爆药包。

10 待焚烧的爆破器材应放在燃料堆上，每个燃料堆的爆破器材不得超过 10kg，药包在燃料堆上应排列成行，互不接触。

11 禁止将爆破器材装在容器内燃烧。

12 燃料堆应具有足够的燃料，在焚烧过程中不准添加燃料。

13 在一切准备工作完毕和与点火无关的工作人员进入安全区后才准点火；应从下风方向对敷设的导火索和引燃物点火。

14 确认燃料堆已完全熄火后，才准进入焚烧场地检查。

15 焚烧场地完全冷却后，才准开始焚烧下一批爆破器材的作业。

5.5.7 无抗水性能的确铵类炸药可用溶解法销毁。可在容器中溶解销毁的爆破器材，未溶解的残渣应集中收集，可采用焚烧法或爆破法销毁。

6 明挖钻孔爆破

6.1 一般规定

6.1.1 应按施工图纸、设计文件、有关工程地质、水文地质和水文、气象、河流等资料，以及承包合同、本标准的要求编制施工组织设计与质量计划、施工安全、环保措施。

6.1.2 开工前应作爆破试验或生产性试验，取得合理的爆破参数指导施工。

6.1.3 钻孔爆破准备阶段应作好爆破设计，其内容包括：

- 1 爆破区地形、地质条件。
- 2 爆破区周围环境及质量、安全控制标准。
- 3 梯段高度。
- 4 边坡轮廓、建基面、爆区附近建筑物及文物等防护。
- 5 爆破参数。
- 6 炸药品种。
- 7 装药方法与堵塞。
- 8 爆破方式与起爆方法。
- 9 单响最大起爆药量。
- 10 爆破安全距离计算。
- 11 施工技术要求和质量、安全措施。
- 12 绘制下列图表：
 - 1) 钻孔爆破环境平面图。
 - 2) 孔网平面布置图及剖面图。
 - 3) 单孔装药结构图及排孔装药量明细表。
 - 4) 起爆网络敷设图。

6.1.4 按爆破料的用途确定爆破参数和装药结构及爆破方式，应确保基坑边坡稳定安全及建基面岩石的完整性。

6.1.5 装药结构可选用耦合连续装药、间隔装药或不耦合连续装药、间隔装药及混合装药等方式。

6.1.6 爆破方式可选用齐发爆破、微差爆破、微差顺序爆破、小抵抗线宽孔距爆破及微差挤压爆破。

6.1.7 起爆方法应根据不同的爆破对象和工程技术要求，可选导火索起爆、导爆索起爆、电力起爆及导爆管起爆。

6.1.8 爆后查炮时间：导火索起爆不得小于 15min，电力起爆不得小于 5min。

6.1.9 出现盲爆时应查明原因，采取处理措施，严禁采用掏挖。

6.1.10 每次爆破后对其效果进行检查评估，并应据实调整爆破参数。

6.1.11 失效的炸药及其包装纸、袋不得随意掩埋、倾倒江河，应按本标准 5.5.3 条规定处理。

6.2 边坡钻孔爆破

6.2.1 钻孔爆破前应作好开挖边坡线外的危石清除及截水沟的开挖，并形成钻爆平台。

6.2.2 应采取自上而下分层钻爆，如进行立体双层或多层同时作业时，必须有安全技术论证和可靠的安全措施。

6.2.3 钻具选型应视地形、地质条件和工程量及工期而定。

6.2.4 对不良地质条件部位和需保留的不稳岩体，必须采取控制爆破，边开挖、边支护，确保边坡稳定。

6.2.5 梯段高度应视地质条件、开挖深度与宽度、设计要求及钻具、挖掘设备等因素而定，可采用小梯段或深孔梯段钻爆法，前者孔深宜为 4m~5m，后者为 8m~12m。

6.2.6 梯段顶面应保持平整，并略向开挖前沿倾斜，以利排除积水。

6.2.7 梯段前排孔位应满足钻孔作业安全要求，孔向宜平行梯段坡面。

6.2.8 为减少爆破对边坡岩体的破坏，其轮廓边线应采取预裂防震或光面爆破方法，必要时缓冲孔爆破同时使用。

6.2.9 爆破参数的选择，应根据岩石的强度、地质结构条件和爆破自由面及爆破料的用途等因素，通过爆破试验取得。

6.2.10 钻孔质量应符合下列要求：

1 孔位偏差。一般爆破孔为孔距、排距、抵抗线的 5%，预裂、光爆孔距为 5%。

2 倾角与方向偏差。一般爆破孔为 $\pm 2.5\%$ 孔深(+为超，-为欠)。预裂、光爆孔为 $\pm 1.5\%$ 孔深。

3 终孔高程偏差。一般爆破孔 0~20cm。预裂、光爆孔 $\pm 5\text{cm}$ 。

4 爆后边坡壁面、建基面超欠挖应控制在 20cm 以内。

6.2.11 保护层及其前排爆破孔不得使用浆状炸药。

6.2.12 单响最大段起爆药量必须确保边坡稳定和周围环境安全，邻近保护层不得大于 300kg，保护层不得大于 150kg；如有不稳定岩体，则应据实确定；预裂、光面爆破不宜大于 50kg。

6.2.13 炮孔堵塞长度一般为抵抗线的 0.7~1 倍。

6.2.14 预裂爆破、光面爆破必须采用不耦合装药，不耦合系数采用 2~5，可通过试验调整。

6.2.15 采用预裂或光面爆破的效果应达到下述要求：

- 1 预裂缝应贯通，在地表呈现的缝宽，沉积岩不宜小于 1.0cm，坚硬的火成岩、变质岩不应小于 0.3cm。
- 2 边坡轮廓壁面孔痕应均匀分布，残留孔痕保存率，微风化岩体为 80%以上，弱风化中、下限岩体为 50%~80%；弱风化上、中限岩体为 10%~50%。
- 3 爆后岩面不平整度应不大于 15cm，壁面不得有明显的爆破裂隙。

6.3 基坑钻孔爆破

- 6.3.1** 应按施工组织设计要求进行分区、分层钻爆，并作好施工排水。
- 6.3.2** 梯段高度应控制在挖掘设备安全作业高度范围内，爆破参数、爆破方式和起爆方法应按本标准 6.2 的有关条款的规定执行。
- 6.3.3** 单响最大段起爆药量应经现场试验确定，一般不大于 500kg，建基面保护层的上一层梯段不大于 300kg。
- 6.3.4** 钻孔误差控制标准应按本标准 6.2.10 规定执行。
- 6.3.5** 轮廓预裂或光面爆破各项技术参数应按本标准 6.2 的有关条款的规定执行。
- 6.3.6** 建基面开挖宜采用水平预裂或柔性垫层代替预留保护层的方法。
- 6.3.7** 采用预留保护层，则其层厚须通过现场爆破试验确定，并应采取控制爆破挖除。
- 6.3.8** 建基面保护层采用水平预裂时应按下列规定执行：
 - 1 临近建基面最后一个梯段的爆破孔底部距设计开挖线不得小于 3m。
 - 2 保护层炮孔孔径不宜大于 90mm。炮孔孔底距建基面：孔径 90mm 时不宜小于 70cm；孔径 40mm 时不宜小于 30cm，并应通过试验确定。
 - 3 水平预裂孔孔径不宜大于 90mm，孔深较大时须装有扶正器，确保钻孔质量。
 - 4 水平预裂孔开口高程距设计开挖线一般不大于 20cm。
 - 5 水平预裂一次不能全部完成时，宜在端部设置空孔限裂措施。
- 6.3.9** 建基面保护层采取一次钻爆时应按下列规定执行：
 - 1 炮孔孔径不得大于 60mm。
 - 2 孔底设有柔性垫层，其厚度不小于 20cm。
 - 3 药包直径宜控制在 40mm 以内。
 - 4 爆破参数应通过试验确定。
 - 5 采用微差顺序爆破方式。
- 6.3.10** 沟槽开挖，其轮廓应进行预裂或光面爆破。确保槽口保留面岩体的完整性。
- 6.3.11** 沟槽开挖宜采用先中间后两侧的“V”型钻爆方式，形成梯段爆破临空面，再向两侧扩挖。
- 6.3.12** 同一基坑内开挖与混凝土浇筑平行作业时，必须进行控制爆破，不得影响灌浆、预

应力锚索质量，其控制标准应以质点振动速度峰值确定，见附录 B。

6.4 石料开采钻孔爆破

6.4.1 利用建筑物基础开挖爆破的石渣料或采石场开采的石料作为坝体填料、护坡砌体和混凝土骨料等，开工前应根据地质资料按其用途作好爆破施工规划。

6.4.2 根据对爆破料块度和级配的要求，钻孔爆破前应按本标准 6.1.2 及 6.1.3 规定进行爆破试验，以便确定爆破参数，使其符合设计的块度和级配。

6.4.3 爆区钻孔前，应对剥离层与利用层层面进行界定。遇断层破碎带或溶沟、溶槽亦应确定其利用料的边界。

6.4.4 当利用基坑料时，其爆破参数、爆破方式及起爆方法应按本标准 6.2 及 6.3 的有关规定执行。单响最大段起爆药量一般控制在 500kg，如有论据可不受此限。

6.4.5 采石场开采石料时，应采用深孔梯段爆破，其孔网参数和装药量、装药结构及爆破方式须经爆破试验确定。

6.4.6 采石场钻爆宜优先选用乳化炸药混装车技术进行装药爆破。

6.4.7 大块石开采宜用小孔距大抵抗线，每次起爆一排；一般块石宜每次起爆 1~2 排。采取齐发爆破方式。

6.4.8 一般石渣料开采可用微差、微差挤压爆破方式。

6.4.9 混凝土骨料、混凝土面板堆石坝的过渡料，宜采用宽孔距小抵抗线，微差挤压爆破方式。

6.4.10 钻孔完毕后应按本标准 6.2.10 规定进行验孔，如有超标者可采取补孔或其他变通措施处理，确保爆破质量。

6.4.11 钻孔爆破装药结构应根据石料的块度、级配要求按本标准 6.1.5 规定选用。

6.4.12 爆破方式与爆破方法可按本标准 6.1.6 及 6.1.7 有关规定选用。

6.4.13 采石场的边坡应按设计及时支护，并作好排水设施，确保施工安全和边坡稳定。

6.4.14 基坑爆破的石料临时堆放场，应按不同的用途分别堆存，不得混堆和夹有杂物。

6.5 起爆方法

6.5.1 起爆方法应根据工程技术要求、爆破规模、操作人员技能、周围环境和爆破区允许的安全条件进行选定。

6.5.2 导火索起爆法、导爆管起爆法、非电导爆管起爆法，严禁在有沼气和矿尘爆炸危险地段使用。

6.5.3 导火索起爆法应按下列规定执行：

- 1 点火前用快刀切除导火索点火端 5cm，严禁边点火边切除。
- 2 成片有规则的火炮，宜将导火索集中成束，用点火筒法点火。
- 3 应使用导火索段或专用点火器材点火，严禁用火柴、烟头、打火机点火。
- 4 点火起爆的作业人员不应少于 2 人。
- 5 在爆破区附近应有点炮人员的安全避炮设施。

6.5.4 导爆索起爆法应按下列规定执行：

- 1 进入孔内的导爆索，必须与起爆药包紧密结合。
- 2 起爆导爆索的雷管聚能穴应朝向导爆索的传爆方向，起爆雷管应捆扎在距导爆索末端不少于 15cm 的位置上。
- 3 孔口堵塞前应对导爆索进行检查。

6.5.5 电力起爆应按下列规定执行：

- 1 只允许在无雷电天气、感应电流和杂散电流小于 30mA 的区域使用。
- 2 爆破器材进入爆破区前，现场所有带电的设备、设施、导电的管与线设备必须切断电源。
- 3 支、干线连接前，应作导通检查，并核对其电阻值是否与设计相符。
- 4 起爆电源的开关必须专用并上锁，其钥匙应由专人保管，危险区内人员未撤离、避炮防护工作未完前禁止打开起爆箱。

6.5.6 导爆管起爆法应按下列规定执行：

- 1 起爆导爆管的雷管聚能穴方向与导爆管的传爆方向相反。起爆雷管应捆扎在导爆管末端不少于 15cm 的位置上。
- 2 集中起爆的导爆管应用连接块连接传爆，采用捆扎法应均匀捆扎在起爆雷管的周围，导爆管不得超过两层。
- 3 寒冷季节或高寒地区出现导爆管硬化易折断时，不得使用导爆管起爆法。

6.6 爆 破 网 络

6.6.1 爆破网络使用的爆破器材、网络的结构形式、连接方法必须符合爆破设计要求。

6.6.2 导爆索网络应按下列规定执行：

- 1 起爆网络应采用搭接、扭接和水手结的连接方法，连接处的两根导爆索之间不得夹有异物；除连接处的水手结外，严禁出现打结或打圈。
- 2 导爆索搭接处应用胶布缠紧，缠紧段长度不少于 15cm，导爆索的扭接应接合紧密，扭接处的两端应捆紧，扭接的长度不少于 30cm。
- 3 导爆索敷设的交叉处，两根导爆索之间应设置厚度不小于 10cm 的垫块。
- 4 导爆索网络的主干索、支干索和引爆索相互顺传爆方向的夹角不得大于 90°。

5 导爆索的双向环形微差起爆网络，必须使用双向继爆管，其主干索与支干索之间，支干索与引爆索之间必须采用三角连接法。

6 当采用铵油炸药时，应采取防油导爆索。

6.6.3 导爆管网络应按下列规定执行：

1 同一爆破区起爆的导爆管非电毫秒雷管，应用同厂同批号的产品。

2 网络内的导爆管，应无破口、受外力拉伸时不得变细、不得有死结、孔内不得有接头。

3 采用非电导爆四通、连接块等连接元件实现网络内段间时差间隔，应严格按爆破设计要求的延期时间使用段号。

4 采用连通管实现导爆管网络内的连接，导爆管伸入连通管的深度不得小于10mm，连通管中不准有外露空隙，导爆管与连通管的接头应用胶布缠紧，并搁置于无水处。

6.6.4 电力起爆网络应按下列规定执行：

1 同一作业区起爆网络内应使用同厂、同批、同型号的电雷管，雷管的电阻差不得超过 $0.25\ \Omega$ 。

2 应采用专用电源起爆。

3 进入作业现场的电线绝缘应良好。

4 爆破作业前对网络的起爆电源、开关、插座、导线等应进行检查，确认其可靠性。

5 网络内流经每个雷管的电流值，一般交流电不小于 2.5A，直流电不小于 2A。

6 从电源开关至作业面的网络主线、支线，联网之前必须处于短路状态，遇雷电时应处于断开状态。

7 网络各个接头的连接应保持干净、牢固紧密、绝缘良好，接点处两线错开不得小于 10cm。

8 全网络总电阻实测值与计算值相差不得超过 $\pm 5\%$ ，否则应从工作面起进行检查，直至总电阻符合要求。

9 网络的连接，必须在无关人员已全部撤离作业面之后，从作业面起依次向起爆开关接通。

6.6.5 起爆网络时差，应防止爆破地震峰值叠加与最先落下的飞石不砸坏未传爆网络。

6.6.6 复式起爆网络应按本节的有关爆破网络规定执行。

7 地下洞室钻孔爆破

7.1 洞口段钻孔爆破

7.1.1 洞口明挖宜采用梯段爆破方法；洞脸边坡轮廓应采用预裂爆破或光面爆破的方法。钻爆技术要求应按本标准 6.2 有关条款规定执行。

7.1.2 洞口段的钻孔爆破：

- 1 洞脸削坡和支护完毕后方能进行洞挖；宜采用先导洞、浅孔、小药量爆破法。
- 2 II、III类围岩，宜采用由外向内开洞方法。
- 3 不良地质条件下，有支洞进入的大断面或特大断面隧洞，可采用由内向外开洞钻孔爆破法。
- 4 开挖洞口段的钻爆参数，应通过现场爆破试验确定。
- 5 洞口段应进行支护，不良地质地段宜先作永久性支护，其支护长度不得小于洞径的 2 倍。

7.2 平洞钻孔爆破

7.2.1 洞径小于 10m，断面面积不大于 100m²，宜采用全断面掘进，超过上述尺寸时，可采取上导洞法施工；大洞室和特大洞室可采用分层、分块法施工。

7.2.2 洞室开挖钻孔爆破设计，应包括下述内容：

- 1 掏槽方式。
- 2 孔网参数及布孔图。
- 3 排炮循环进尺。
- 4 单孔装药量及装药结构图。
- 5 爆破器材、起爆方式、起爆网络及其结构图。
- 6 钻孔爆破工艺、技术要求。
- 7 爆破安全技术措施。
- 8 钻爆循环作业计划表。

7.2.3 掏槽部位宜设在断面的中心，如采用空孔掏槽时，其孔径宜大于爆破孔孔径的 2.5 倍；掏槽孔应比其他炮孔深，其值可按实际爆破效果确定。

7.2.4 周边应采用光面爆破或预裂爆破方法，爆破参数应由现场试验确定。

7.2.5 光面爆破与预裂爆破的质量要求：

- 1 径向平均超挖不大于 20cm，地质原因的超挖，应据实确定。
- 2 残留孔迹保留率：光面爆破，弱风化岩体 30%~50%，微风化和新鲜岩体应≥50%；预裂爆破，弱风化岩体 40%~80%，微风化和新鲜完整岩体应不小于 80%。
- 3 孔壁的完整程度：光面爆破无明显爆破裂隙；预裂爆破肉眼不易发现爆破裂隙。

7.2.6 大断面和特大断面洞室的扩挖，应按下列规定执行：

- 1 洞室周边应采用预裂爆破或光面爆破。

- 2 梯段高度应按施工组织设计确定的范围执行，必须满足设备安全生产的要求。
- 3 钻孔直径不宜大于 100mm。
- 4 单位岩石体积的耗药量可根据经验或计算确定，通过爆破试验调整。
- 5 爆破产生的地震效应及冲击波必须控制在支护结构和附近建(构)筑物的安全允许及围岩顶板稳定范围内。

7.3 竖井与斜井钻孔爆破

7.3.1 井口段施工应按下列规定执行：

- 1 井口边坡须削坡完毕，并作好支护处理。
- 2 井口平台外侧按设计要求支护完毕。
- 3 施工道路与渣场已形成。
- 4 井口排水设施业已完毕。

7.3.2 竖(斜)井直径小于 7m 时，可采用正井法全断面或导井扩挖法施工。

7.3.3 竖井采用正井法全断面开挖方法时，应遵守下列规定：

- 1 必须锁好井口，确保井口段围岩稳定，防止井台上杂物坠入井内。
- 2 提升设施应有专门设计。
- 3 井深超过 15m 时，人员上下宜采用提升设备。
- 4 涌水和淋水地段，应有防水、排水措施。
- 5 IV、V 类围岩地段，应及时支护。挖一段衬砌一段或采用预灌浆方法加固岩体。
- 6 井壁有不利的节理裂隙组合时，应及时进行锚固。

7.3.4 导井断面一般为 4m²，应视扩井溜渣需要确定。

7.3.5 导井可采用正井法和反井法施工。

7.3.6 边挖边支护时，爆破后必须检查支护结构的安全性。

7.3.7 导井钻孔爆破，按下列规定执行：

- 1 导井的位置宜设在井的中心部位，斜井宜设在下部。
- 2 导井边缘与井的周边轮廓，必须预留保护层，保护层的厚度可由爆破设计确定，不得小于爆破孔直径的 30 倍。

3 采用正井法由上而下一次造孔，由下向上分段爆破时，必须严格控制钻孔质量，终孔位置的偏差不得超过孔深的 0.5%。

4 采用反井法自下向上分层钻爆时，浅井可用液压提升作业平台，深井应用吊罐法或爬罐法，并可用反井钻施工。

7.3.8 用爬罐法由下向上分段开挖，应采用浅孔多循环的方法进行钻孔爆破，轨道的锚固必须通过单项设计和质量检验。

7.3.9 扩井开挖其周边应采用预裂爆破或光面爆破法，其他爆破孔的各项参数应由爆破设计确定。

7.3.10 扩井过程中应及时进行井壁支护和加强安全监测工作。

7.4 特殊部位的钻孔爆破

7.4.1 相向掘进的两个工作面，相距 30m 爆破时，双方人员均须撤离工作面；相距 15m 时，应采用单向钻孔爆破贯通。竖井或斜井自下而上掘进距贯通面 5m 时，应采取自上而下贯通。

7.4.2 长隧洞相向掘进中，当距贯通面 50m~60m 时，宜采用小导洞贯通。

7.4.3 洞室群钻孔爆破，宜统一起爆时间，并由专人统一指挥；爆破设计时应考虑爆破产生的地震效应对邻近洞(井)壁的支护安全和施工安全的影响。

7.4.4 交叉洞段的钻孔爆破，应采用浅孔多循环方法，边掘进边支护。

7.4.5 岩壁吊车梁支座钻孔爆破，应采取防震措施。对阴、阳角部位可分别按不同次序进行钻爆；对相邻的后爆部位应设防震孔，爆破地震效应的控制标准和要求，应通过现场爆破试验确定。

7.5 不良地质洞段的钻孔爆破

7.5.1 高地应力区洞室开挖钻孔爆破时，应按下列规定执行：

- 1 施工前，必须具有详细的地质勘探资料，应探明构造应力的分布情况。
- 2 施工组织设计中必须有可靠的预防岩爆的施工安全防护技术措施，合理安排洞室群的施工程序。
- 3 钻孔爆破过程必须进行施工地质预测预报，对已挖洞段围岩应力变化须及时进行观测。
- 4 大断面洞室应采用浅孔多循环和控制爆破方法。
- 5 钻孔过程中出现回水含渣量剧增情况时，宜采用超前钻孔震动卸荷，工作面加强洒水，喷网锚杆支护紧跟。

7.5.2 成洞条件差的大断面洞室，不宜采用全断面开挖，应分层、分块进行钻孔爆破，及时加固围岩或作永久支护。

7.5.3 临近断层破碎带的钻孔爆破，应采用浅孔多循环的施工方法。存在大量塌方危险的洞段，应采用超前锚杆或管棚加钢拱架支护紧跟的方法。塌方严重掘进受阻时，可采取预灌浆法施工。

7.5.4 在沼气、瓦斯洞段的爆破作业，使用的爆破器材和作业方法，必须确保施工安全，并有专职人员进行监测。

7.5.5 避炮洞距钻孔爆破工作面不得小于 100m。

7.5.6 地下洞室钻孔爆破与永久衬砌平行作业时，两者相隔距离应通过试验确定。

8 水下钻孔爆破

8.1 钻孔爆破施工准备

8.1.1 水下爆破施工应具有下列资料：

1 设计文件、施工图纸、施工区间的工程地质、水文地质及水文、气象、河流、海象等资料。

2 原航道通航情况。

3 爆区周围地上、地下、水面和水下环境资料。

8.1.2 施工前应做好下述准备：

1 按本标准 6.1.1 规定编制好施工组织设计。

2 对钻爆工作船、钻具、安全防护器具设施的安全性、可靠性进行检查、验收。

3 设置水面和陆上警戒标识及警报信号，并与公安部门联合发布《爆破通告》。

4 有通航的工程部位，水下爆破应通知当地港航监管部门，并就爆破、安全措施取得一致。

8.1.3 在有通航要求区段进行水下爆破时，每次爆破均应提前三天通知港航监督部门。

8.1.4 与港航监督部门，协商落实下述内容：

1 水下爆破影响航道区段、爆破时间、警戒范围、警报信号、安全标志等。

2 水下爆破作业时，应派出巡逻艇指挥危险区水域的安全撤离及安全警戒。

8.2 钻孔爆破设计

8.2.1 水下钻孔爆破设计，除按本标准 6.1.3 的规定执行外，还应考虑流速、流态的影响。

8.2.2 应充分考虑和计算下述情况的爆破安全：

1 水下爆破产生的冲击波(含水击波、地震波)，对附近岸坡和建(构)筑物的安全影响。

2 水深小于 6m 时，爆破飞石对水面和附近地面的危险范围。

3 药包离水面深度与药包半径之比，即比例水深小于 5 时，应校核空气冲击波对附近地面、水面的影响范围及危害程度。

8.3 钻孔爆破施工

- 8.3.1** 钻孔爆破部位应进行水下测量、水面投放标志。
- 8.3.2** 钻机工作平台应不受水流、风浪、水位升降而产生摆动或位移。
- 8.3.3** 严格按爆破设计要求进行布孔，确保钻孔、装药及起爆网络连接的质量。
- 8.3.4** 水下钻孔应在套管保护下施钻，套管底部应嵌入岩体。
- 8.3.5** 水下钻孔爆破的药量计算、孔网参数与水深有关，浅水与陆上钻爆相同，深水则应考虑水的影响。
- 8.3.6** 水下爆破使用的爆破器材，必须具有良好的抗水、防水、耐水压力及抗杂散电流的性能，药包综合密度应大于 1.1g/cm^3 。
- 8.3.7** 水下装药应在套管保护下进行，孔内分层(段)装药时，各层(段)均应设有起爆药包，引出的导线应做好标识。
- 8.3.8** 孔口堵塞应在套管拔出前用砂土填实。
- 8.3.9** 爆破网络连接与陆上钻孔爆破相同。
- 8.3.10** 起爆 15min 后方能进入爆破作业区查炮。
- 8.3.11** 下述情况下应停止水下爆破作业：
- 1 水位变幅大，流速超过 3m/s，浪高超过 80cm。
 - 2 雾天或雷电天气。

8.4 岩 塞 爆 破

- 8.4.1** 水下岩塞爆破应在隧洞工程及其金属结构安装完毕，并通过验收后进行。
- 8.4.2** 编制爆破设计时应具有下述资料：
- 1 进水口岸坡及水下地形图。
 - 2 进水口地质图。
 - 3 进水口岩塞地质纵横剖面图。
 - 4 岩塞工程地质报告。
 - 5 岩塞进水口洞脸、集渣坑围岩等稳定分析成果资料。
 - 6 其他相关资料。
- 8.4.3** 水下岩塞爆破应满足下述要求：
- 1 预留岩塞一次爆通。
 - 2 岩塞口成型良好。
 - 3 岩塞口的洞脸及附近山坡安全、稳定。
 - 4 岩塞口附近建(构)筑物安全。
 - 5 集渣坑安全稳定。
 - 6 施工过程安全。

8.4.4 小断面岩塞可用排孔爆破，岩塞直径大于 5m 时可用洞室装药爆破亦可采用排孔与洞室相结合的爆破方式。

8.4.5 水下岩塞爆破设计应有下述内容：

- 1 爆破方案。
- 2 钻孔爆破施工组织和施工程序。
- 3 排孔或洞室布置和装药结构。
- 4 周边预裂孔网及其爆破参数。
- 5 爆破作用指数，单位岩石耗药量。
- 6 起爆分段顺序时差、起爆网络计算。
- 7 爆破地震、水击波对附近建(构)筑物、设施、山坡稳定影响的计算，预防发生危害性的安全技术措施。
- 8 爆破器材品种、规格、数量。
- 9 绘制下述图纸：
 - 1)排孔或洞室布置平面图、剖面图。
 - 2)装药结构图。
 - 3)起爆网路连接图。

8.4.6 集渣坑开挖应按下列规定执行：

- 1 周边应采用预裂防震或光面爆破。
- 2 单响最大段起爆药量应确保闸门结构及岩塞体的安全。
- 3 开挖后的集渣坑周边岩体应完整、稳定。
- 4 集渣坑开挖的石渣应清至洞外。

8.4.7 药室及导洞开挖应用浅孔、小药量、多循环的钻爆方法。控制单响最大段起爆药量，确保施工安全。

8.4.8 上部药室不允许超挖，其他药室的超欠挖控制在±20cm 范围内。

8.4.9 岩塞钻孔爆破必须设有超前孔探测渗漏水，最后一个循环的超前孔不得穿透岩面。

8.4.10 药室或排孔出现漏水，渗漏量较少可将其引出，渗漏量较大时应采用灌浆或水库内堵漏。

8.4.11 采用关门爆通方式时，应有防井喷的措施以防闸门门叶和止水启闭设备的破坏。

8.4.12 采用开门爆通方式时，应加强闸门底槛、门轨及门楣的防护。

8.4.13 应采取复式爆破网络，确保岩塞一次爆通。

9 拆除工程钻孔爆破

9.1 钻孔爆破准备

9.1.1 爆破设计时应具有下述资料：

- 1 被拆除建筑物的总体布置图和技术资料。
- 2 被拆除建筑物的细部结构竣工图和工程施工技术总结及质量检验报告。
- 3 扩机机坑基础工程地质和水文地质资料。
- 4 爆区邻近运行机组、建筑物的安全防护标准和技术要求。
- 5 爆区 200m 范围内环境平面图。

9.1.2 钻孔爆破施工前应按批准后的爆破设计要求，对邻近的机组、建筑物作好安全防护。

9.1.3 结合拆除工程应作小规模의 钻爆试验，以便调整钻爆参数和完善设防措施。

9.2 厂房扩建钻孔爆破

9.2.1 应采用控制爆破。沿厂房端部扩建时可分层抽槽，成槽后再行扩挖。

9.2.2 设计开挖轮廓线预裂防震或光面爆破应按本标准 6.2 有关规定执行。

9.2.3 选用爆破参数必须考虑爆破产生的地震波、空气冲击波等对被保护对象的不利影响。

9.2.4 应作好飞石、粉尘和噪声的防护措施。

9.2.5 装药结构应按爆破试验成果确定。网络连接、起爆方式应按本标准 6.5 及 6.6 有关条款规定执行。

9.2.6 施工过程中必须加强监测，每次爆破均有测试记录。发生超标现象应立即对被保护对象进行检查，并采取相应的措施。

9.3 坝体改建钻孔爆破

9.3.1 拆除钢筋混凝土时，应先割断钢筋网，再进行钻孔爆破。

9.3.2 应采用浅孔、小药量爆破形成临空面。

9.3.3 钻爆参数可用工程类比法选取或结合生产性试验获得。

9.3.4 设计开挖轮廓线的预裂防震或光面爆破应按本标准 6.2 有关规定执行。

9.3.5 结构复杂部位应先打防震孔，宜用切割爆破法施工。

9.3.6 竖井可采用反井钻机完成导井开挖，再行扩挖。

9.3.7 爆破产生的地震波、冲击波对坝体及其附属设施的影响应进行追踪监测，严禁超标。

9.3.8 几个工作面同时进行钻孔爆破，严防串段，地震波叠加，确保质点振动速度不超标。

9.4 临时挡水建筑物与石坝钻孔爆破

9.4.1 工程开工前除具有本标准 6.1.1 规定的相关资料外，还应有附近建筑物的防护标准。

- 9.4.2** 应按本标准 6.1.1 及 6.1.3 规定编制施工组织设计和爆破设计。
- 9.4.3** 围堰基础石埂较宽时，应先爆除堰体基础外的岩石。
- 9.4.4** 挡水建筑物水下部分的拆除，如堰体已有留孔，清孔后再加深炮孔至石埂底部。
- 9.4.5** 孔内出现坍孔，应采取套管法施钻。
- 9.4.6** 爆破参数类同于明挖钻孔爆破，但应考虑侧水压力的作用；单响最大段起爆药量应确保被防护对象的安全。
- 9.4.7** 钻孔标准应按本标准 6.2.10 规定执行。
- 9.4.8** 孔内遇渗漏水，应采用防水型爆破器材。
- 9.4.9** 应采用复式爆破网络，确保水下部分一次爆通。
- 9.4.10** 基坑充水起爆，宜用气泡帷幕防护法，确保建筑物及运行设备的安全。
- 9.4.11** 基坑无水起爆宜设置挡石排，并对建筑物加以防护。

10 爆破试验与观测

- 10.0.1** 为验证、调整爆破设计选用的各项参数和钻爆工艺。成立爆破试验小组，工程开工前进行爆破试验。
- 10.0.2** 爆破试验的方式可分专项试验和结合生产性试验。
- 10.0.3** 爆破试验的项目应包括下述内容：
- 1 火工材料性能试验。
 - 2 爆破参数及爆破方法选择。
 - 3 爆破地震波衰减规律。
 - 4 预裂、光面爆破参数选择。
 - 5 爆破破坏影响范围及其测定。
 - 6 保护层钻孔爆破可靠性试验。
 - 7 特殊工程爆破起爆网路可靠性试验。
 - 8 爆破安全与防护。
- 10.0.4** 爆破试验场地的地质条件，使用的火工材料、钻爆设备及工艺等应与工程实际应用相符。
- 10.0.5** 爆破试验所使用的各类仪器，均应符合有关规范的规定，试测前应经计量部门标定。未经标定的仪器、设备不得使用。
- 10.0.6** 爆破试验监测应采取宏观监测和仪器监测相结合的方法。
- 10.0.7** 对被保护对象的观测应采取爆前、爆后对比，其调查内容应包括下列方面：
- 1 爆破区附近岩体爆破前、爆破后情况。
 - 2 裂隙、层面有无变化。

- 3 被保护对象爆破前后的变化。
- 4 爆破区周围设置的观测物变化情况。

10.0.8 岩石内部破坏范围的试验观测，可采用地震波法、声波法及压水或注水试验法进行爆破前、后对比测试，其成果作为确定爆破影响范围程度的判据。

10.0.9 地震波法测试应符合下列的规定：

- 1 爆破区内设 2~3 条测试线，每条测试线布设 3~5 个测孔。
- 2 测孔孔深应不小于爆破孔加孔径的 40 倍。孔距应按地震波衰减规律确定，一般为 4m~5m。
- 3 爆前、爆后在原孔进行对比测试，爆破孔底部作为测点起始高程，孔底以上 2m 范围内每隔 20cm 量测一次，2m 以下每隔 50cm 量测一次。
- 4 绘出各孔各点爆前、爆后纵波波速变化图，作为破坏分析的依据。

10.0.10 声波法测试应符合下列的规定：

- 1 可采用对穿法或同孔法，用振幅衰减或纵波波速的方法测试。
- 2 爆破区内应布设不少于 2 对测孔。
- 3 测孔在爆破孔底以下的深度应大于爆破孔孔径 40 倍，每对孔孔距应根据声波仪换能器发射能量确定，一般不少于 1m~2m。
- 4 沿测孔孔深方向测点点距为 20cm，爆前、爆后每点重复读数 3 次。绘制波幅，纵波波速变化对比图，作为破坏区分析的依据。

10.0.11 压水试验法应按下列规定执行：

- 1 爆破区中心设压水孔测其深度破坏范围，爆心周围布设压水孔，孔数为 4~5 个，测其水平方向破坏范围。
- 2 压水孔孔径应小于 110mm。压水试段长度为爆破孔孔底以下 40 倍孔径。
- 3 爆前爆后在相同高程用双层阻塞法分段作压水试验，试段长度为 0.5m~1.0m。
- 4 测试水压力一般为 49kPa，但不得抬动基岩。
- 5 每 5min 读数一次，稳压时间为 1h。根据爆前爆后渗漏量变化确定破坏范围。
- 6 当岩石较为破碎无法起压时，可改用注水试验法以确定漏水部位。

10.0.12 爆破测试观测孔在爆前观测完毕后应采用粗砂回填，回填高度应高于爆破区底部高程 50cm。

10.0.13 爆破施工应进行全过程跟踪监测，监测内容应根据工程质量、安全要求选择确定。监测成果作为工程竣工验收的依据。

11 质量与安全

11.1 质 量

- 11.1.1 承包单位必须建立质量保证体系，确保工程质量。
- 11.1.2 质量检验机构应实行对火工材料采购、检验、加工、钻孔、爆破、监测等全过程进行质量控制。
- 11.1.3 开工前承包单位总工程师应组织制定工程质量目标、质量计划和实施措施等，对全员进行技术交底和技术培训。
- 11.1.4 钻孔爆破应按批准的施工技术措施计划和作业指导书进行施工。
- 11.1.5 钻孔爆破施工过程应作记录。
- 11.1.6 质量检查人员应严格按设计标准、合同要求及本标准的规定进行检查、控制。
- 11.1.7 工程监理必须对爆破施工全过程进行监控，并参与爆后效果评议。
- 11.1.8 质量检查人员必须做好质量检查记录。

11.2 安 全

- 11.2.1 爆破施工必须贯彻“安全第一，预防为主”的方针。严格执行 GB 6722，加强安全知识的教育，建立安全生产保证体系，确保安全生产。
- 11.2.2 工程开工前承包单位必须制定安全技术措施，报监理工程师批准后执行。
- 11.2.3 各工序应按安全操作规程和作业指导书进行操作，防止事故发生，做到文明施工。
- 11.2.4 从事爆破工作人员必须进行技术培训，做到持证上岗。
- 11.2.5 承包单位安全检查人员和工程监理应按本标准及国家有关规定进行监督检查，使安全生产全过程处于受控状态。
- 11.2.6 安全管理部门应组织定期进行安全生产大检查，发现隐患应限期整改。
- 11.2.7 发生安全事故，应采取“三不放过”的原则严肃处理，防止事故再次重演。

附录 A(标准的附录)

爆破器材存放

A1 爆破器材的允许共存范围规定

- A1.1 常用的各种爆破器材允许共存的范围见表 A1。

表 A1 爆破器材的允许共存范围

名 称	雷管类	导火索	硝铵类 炸药	属A ₁ 级单 质炸药类	属A ₂ 级单 质炸药类	导爆 索类
雷管类	○	×	×	×	×	×
导火索	×	○	○	○	○	○
硝铵类炸药	×	○	○	○	○	○
属A ₁ 级单质炸药类	×	○	○	○	○	○
属A ₂ 级单质炸药类	×	○	○	○	○	○
导爆索类	×	○	○	○	○	○
注： 1.○表示可同库存放，×表示不得同库存放。 2.雷管类包括火雷管、电雷管、导爆管雷管。 3.属A₁级单质炸药类为黑索金、太安、奥克托金和以上述单质炸药为主要成分的混合炸药或炸药柱(块)。 4.属A₂级单质炸药类为梯恩梯和苦味酸及以梯恩梯为主要成分的炸药或炸药柱(块)。 5.导爆索类包括各种导爆索和以导爆索为主要成分的产品，包括继爆管和爆裂管。						

A2 爆破器材库的爆破器材储存量规定

A2.1 爆破器材库、单一库房及小型爆破器材库的最大允许储存量的规定见表 A2、表 A3。

表 A2 单一库房最大允许容量

序号	爆破器材名称	最大允许容量
1	硝化甘油炸药	20t
2	梯恩梯	150t
3	硝铵类炸药	200t
4	导爆索	30km
5	导火索、点火索、点火筒	不限
6	雷管、继爆管、导爆管起爆系统	6t
7	硝酸铵、硝酸钠	400t

表 A3 小型爆破器材库的最大允许储存量

名 称	单 位	储存量
-----	-----	-----

硝铵类炸药	Kg	3000
硝化甘油炸药	Kg	500
雷 管	发	20000
导火索	M	30000
导爆索	M	30000
塑料导爆管	M	60000

A3 库区外部安全距离和库间殉爆安全距离

A3.1 设置爆破器材仓库或露天堆放爆破器材，其外部各种保护对象的距离，应按下列规定执行：

- 1 外部距离的起算点是库房的外墙墙根、药堆的边缘。
- 2 确定外部距离时，可不考虑炸药性质。
- 3 爆破器材储存区内有一个以上仓库或药堆时，应按每个仓库或药堆核定外部距离。
- 4 仓库或药堆至村庄或居民区的距离，库房或药堆应不小于表 A4 的规定。

表 A4 爆破器材库或药堆至居民区或村庄边缘的最小外部距离

存药量(t)	≤200 ≥150	<150 ≥100	<100 ≥50	<50 ≥30	<30 ≥20	<20 ≥10	<10 ≥5	<5
最小外部距离(m)	1000	900	800	700	600	500	400	300

注：

表中距离适用于平坦地形，下列几种特定地形的数值可适当增减：

- 1 当危险品建筑物紧靠 20m～30m 高的山脚下布置，山坡坡度为 10°～25° 时，危险品建筑物与山背后建筑物之间的距离，按表 A4 可适当减少 10%～30%；
- 2 当危险建筑物紧靠 30m～80m 高的山脚下布置，山坡坡度为 25°～35° 时，危险品建筑物与山背后建筑物之间的距离，按表 A4 可适当减少 30%～50%；
- 3 在一个山沟中，一侧山高为 30m～60m，坡度为 10°～15°，另一侧山高为 30m～80m，坡度为 25°～30°，沟宽 100m 左右，沟内两山坡脚下直对布置两建筑物之间的距离，按表 A4 应增加 10%～50%；
- 4 在一个山沟中，一侧山高为 30m～60m，坡度为 10°～15°，另一侧山高为 30m～80m，坡度为 25°～30°，沟宽 40m～100m，沟的纵坡 4%～10%，沿沟纵深和沟的出口方向建筑物之间的距离，按表 A4 应适当增加 10%～40%。

5 炸药库房之间最小安全距离见表 A5。

表 A5 炸药库房之间允许最小安全距离

C	B	A							
		150~ 200	100~ 150	80~ 100	50~ 80	30~ 50	20~ 30	10~ 20	5~ 10
	硝铵类炸药	42	35	30	26	20	16	12	9
	梯 恩 梯	—	100	90	80	70	60	50	40
	黑 索 金	—	—	100	90	80	70	60	50
	胶 质 炸 药	—	—	—	—	100	85	75	60
注： 1.A—存药量，t；B—距离，m；C—炸药名称。 2.表中为各库均设有土堤的最小距离。 3.相邻两库储存炸药品种不同时，取大值的距离。 4.不设土堤时表中距离增大比值为：一方有土堤为 2.0；双方无土堤为 3.3。 5.导爆索按每万米为 140kg 黑索金计算。									

6 雷管库与炸药房之间允许最小安全距离见表 A6。

表 A6 雷管库与药库之间允许最小安全距离

C	B	A								
		200	100	80	60	50	40	30	20	10
	雷管库与炸药库之间	42	30	27	23	21	19	17	14	10
	雷管库与雷管库之间	71	50	45	39	35	32	27	22	16
注： 1.A—雷管贮量，万发；B—距离，m；C—库房名称。 2.表中为各库均设有土堤的最小距离。 3.不设土堤时表中距离增大比值为：一方有土堤为 2.0；双方无土堤为 3.3。										

允许爆破质点振动速度

在混凝土浇筑或基础灌浆过程中，若邻近的部位还在钻孔爆破，为确保爆破时混凝土、灌浆、预应力锚杆(索)质量及电站设备不受影响，必须采取控制爆破。控制标准见表 B1。

表 B1 允许爆破质点振动速度(cm/s)

项 目	龄 期			备 注
	d			
	3	3~7	7~28	
混 凝 土	1~2	2~5	6~10	
坝基灌浆	1	1.5	2~2.5	含坝体、接缝灌浆
预应力锚索	1	1.5	5~7	含锚杆
电站机电设备	0.9			含仪表、主变压器

中华人民共和国电力行业标准

P
DL/T 5153-2001

水电水利工程爆破施工技术规范

条 文 说 明

主编单位：中国葛洲坝集团公司三峡工程施工指
挥部
批准部门：中华人民共和国国家经济贸易委员会

目 录

- 1 适用范围
- 4 总则
- 5 火工材料

- 6 明挖钻孔爆破
- 7 地下洞室钻孔爆破
- 8 水下钻孔爆破
- 9 拆除工程钻孔爆破
- 10 爆破试验与观测
- 11 质量与安全

1 适用范围

1.0.1 本标准主要针对大中型水电水利工程岩石明挖钻孔爆破；水电站地下厂房、主变压器室和各类隧洞以及斜井、竖井、调压井等岩石开挖的钻孔爆破；水下建筑物基础、导流明渠、航道以及临时围堰与其基础岩埂开挖钻孔爆破；水电站厂房扩机、挡水建筑物的改扩建工程岩石、混凝土开挖钻孔爆破。本标准主要针对采用延长药包方式的钻孔爆破方法，不考虑集中药包的爆破(如药壶爆破、药室爆破、裸体药包爆破等)施工方法。

1.0.3 本标准除水电水利工程岩石开挖钻孔爆破外，亦可用于交通道路、水运码头、工业民用建筑工程岩石基础开挖的钻孔爆破。

4 总 则

4.0.1 制定本标准的目的在于规范施工行为，指导工程施工顺利进行。我国水电水利建设工程土石方钻孔爆破积累了丰富的经验，但由于水电水利建设事业任务十分艰巨，施工队伍不断扩大，往往由于现场管理上、具体操作上存在一些问题，致使质量、安全事故时有发生，为了杜绝各类事故的重演，不断提高施工技术水平和管理水平而制定本标准。

4.0.2 本条规定主要考虑在施工过程中可能遇到地质条件变化的情况，特别是地下洞室、水下基础岩石开挖和水电水利改扩建工程，业主应组织监理、设计、地质、施工人员对出现的问题共同研究，及时提出处理方案。地下洞室如塌方、涌水、瓦斯及有害气体等属地质灾害，一旦发生必须立即研究处理，不得延误，否则将会造成更大的损失。

4.0.3 由于科学技术不断的发展，同样岩石开挖钻孔爆破使用的机具、火工材料、施工工艺也会不断更新，施工过程中应积极提倡采用“四新”。但在采用“四新”时事先必须经过试验鉴定或技术论证，并报请主管部门批准后方能使用。

4.0.4 水电水利工程钻孔爆破是岩石开挖过程中一个重要的环节，它与相关工序有其密切的内在联系，本标准主要系指钻孔爆破，至于相关的其他部分应参照现行标准执行。

5 火工材料

5.1 爆破器材的采购

5.1.1 爆破器材系国家严格控制的危险品，采购计划必须按公安部门的规定，经有关部门审核后持证向民用爆破器材厂家采购。

5.1.2 采购爆破器材时，首先对生产厂家的资质进行调查、评估，择优选定；供货合同必须明确爆破器材的品种、名称、规格、数量、性能、用途和供货计划；供货合同必须按批准的采购计划签订。

5.2 爆破器材的运输

5.2.1 爆破器材承运单位应凭有效的爆破器材供货合同和申请表，向工程所在地公安部门申请办理“爆炸物品运输证”，凭证在有效期内按其指定的线路运输。

5.2.2 爆破器材严禁用翻斗车、自卸汽车、拖车、自行车和摩托车运输，应采用符合国家有关安全技术要求的运输设备进行运输，如专用的运输车(船)，它必须具有结构可靠，机械电器性能良好，有防盗、防火、防雨、防潮、隔热和防静电等安全设施，同时严格按照附录A1 爆破器材的允许共存范围规定分运，不得混装运输。

5.2.3 目前国内汽车运输爆破器材居多，运输中除按本标准规定要求外，当在高速公路上运输爆破器材时，须按国家有关规定执行。

5.2.4 远距离运输爆破器材采用火车运输仍是一种重要的手段。火车运输时除执行本标准的规定外，还应遵守铁道部门的有关规定。

5.2.5 水路运输爆破器材是常用的运输方式，为确保运输安全必须按照本标准各项规定执行。

5.2.6 场内运输爆破器材由于环境复杂，特别是需要人工搬运爆破器材，应严格遵守本条的各项规定。

5.3 爆破器材的储存与管理

5.3.1 爆破器材须有专用仓库、库房存放，不得任意堆放，并配有符合要求的专职守卫人员和熟悉爆破器材性能的保管人员，任何单位和个人不得非法储存爆破器材。

5.3.2 爆破器材仓库、库房选址，仓库、库房结构和其有关配套设施(值班室、岗楼、水电供应、通信、消防设施及交通道路等)应经主管部门批准，并经当地公安机关同意方可修建；爆破器材库区选址应考虑远离村庄或居民区、重要设施、文物，宜设在偏僻地带，并应避开山洪、滑坡和地下水活动危害的地方，尽量利用天然屏障；库房结构和有关设施标准，根据工程规模大小、施工期限，可参照民用爆破器材工厂设计安全规范执行。库房建成后须经验

收合格，并取得爆破器材储存许可证才能投入运用。

5.3.3 爆破器材库区的布局和保卫设施原则与标准，主要参照国标 GB 6722 制定的，是属于强制性的条款必须执行。

5.3.4 爆破器材库区与村庄、居民区、国家的重要设施和文物保护对象的距离，以及库区内各种爆破器材库房之间的距离均为殉爆安全距离，必须按本标准附录 A3 的规定执行。

5.3.5 爆破器材库房的管理涉及国家和人民的生命财产安全问题，做好这一工作至关重要。因而从爆破器材入库到发放使用的全过程都应处于受控状态。除管理人员应符合规定要求外，还应建立严格的各项安全管理制度；爆破器材的储存量和允许共存的各类爆破器材应按附录 A 的有关规定执行。

5.3.6 小型水电水利工程或临时抢险工程，爆破器材用量不大，可建临时性库房，但必须取得当地公安机关认可，其规模可参照附录 A2 小型库房存量的规定执行。

5.3.7 在爆破器材转运中，由于道路问题发生停运或临时性抢险工程，可能会在库房外存放，但须加强防火、防雨、防盗、守卫以防意外事故的发生。

5.3.8 为确保爆破器材安全存放和在保存期内不变质，故规定了堆存要求，同时还规定了存、发放原则和制定各项检查制度、工作制度及建立存发放台账，其目的是为了管好、用好爆破器材，确保国家财产和人民生命的安全。

5.3.9 经检验确定变质、过期失效的爆破器材，须及时清理出库，并将其品种、名称、数量登记造册上报批准处理。

5.3.10 爆破器材在电火花、强磁场作用下，存在着被引燃、引爆的可能。因此，爆破器材库内均对电力照明、防雷作明确规定，应严格遵守；库房外宜安设探照灯投射采光，其电源须使用铠装电缆埋地敷设或架设，但线路不得通过库房上空或地下。

5.3.11 为确保爆破器材库区的安全应设有避雷装置，各类库房防雷标准和防雷装置应按民用爆破器材工厂设计安全规范有关规定执行。

5.4 检 验

5.4.1 生产爆破器材的工厂，必须保证出厂的产品质量合格；对已进货的每批爆破器材，经检验发现不合格产品时，应及时退货。

5.4.5 对新购进的爆破器材抽样检验的目的，是为选择合理的爆破参数，保证爆破质量和施工安全。每批爆破器材检验标准如下：

1 导火索检验标准：

(1)外观检查。取 20m 试样做全部检查，凡粗细均匀(外径误差 $\pm 0.1\text{mm}$)，无折伤变形，外壳无裂缝、发霉、油污及无散头露芯等现象为合格。具有上列缺陷之一者为不合格。

(2)喷火强度试验。取 0.1m 长两根，分别插入内径 6mm~7mm、长 200mm 的洁净

玻璃管内，两线段端头相距 40mm，一根点燃后能引燃另一根为合格。

(3)燃速试验。取同一长度线段 5 根，燃速(用秒表记录)为 100s/m~125s/m，且无断火、透火、外壳燃烧、爆声及速燃、慢燃等现象为合格。出现上述现象之一者为不合格。

(4)耐水性试验。取导火索 5m，两端用防潮剂浸封约 5cm，并盘成内径不小于 25cm 的线卷，浸入 1.0m 深静水(水温 10℃~30℃)中 2h 后(塑料导火索浸 5h)；取出试样揩干，切除防潮剂浸封部分，取 1.0m 长 4 根作燃速试验，符合(3)款者为合格，否则为不合格。

(5)定性及处理。按上述方法检验合格方可使用，如有一项不合格，则该批导火索应作为废品。

2 导爆索检验标准：

(1)外观检查。取 4 卷试样全部检查，包皮无破损、无折伤、无油脂污垢、端部不松散、涂料均匀、粗细均匀(外径误差±0.1mm)等为合格；任一卷中具有上列缺点之一则为不合格。

(2)起爆感爆性能试验。在试样中任取 3 卷，切取索段长 3m 的 1 根和 1m 的 5 根；先将两根 1m 的搭接后再与 3m 的搭接形成母线(捆扎搭长 10cm)；将余下 3 根 1m 的叠成双股，按等距垂直套结在 3m 那根索上，在母线 1m 的自由端捆上 1 发 8 号雷管引爆。6 根导爆索爆轰完全者为合格；若虽能起爆，但爆轰不完全应重复作两次试验，仍爆轰不完全时，即认定为不合格。

(3)防潮性能试验。取 5m 长导爆索，两端用防潮剂密封(塑料导爆管带防潮帽)，盘成直径大于 25cm 的索卷，放入深 0.5m(塑料导爆索浸深 2m)，温度 10℃~25℃的静水中，端头露出水面浸泡 24h 后，取出切成 1m 长的 5 根，用水手结连接，经雷管引爆能完全传爆者为合格，否则为不合格。

(4)拉力试验。取 0.5m 长导爆索，施加 50kg 拉力，在 1min 内不被拉断且仍符合(2)款者为合格，否则为不合格。

(5)塑料导爆索耐温试验(视需要决定)。耐高温性能，50℃±2℃的条件下保温 6h，仍符合(2)款者为合格，否则为不合格；耐低温性能，在-40℃±2℃的条件下保温 2h 后，仍符合(2)款者为合格，否则为不合格。

(6)塑料导爆索的端面药芯被火焰导火线点燃(喷)时不引起爆轰者为合格，否则为不合格。

(7)定性及处理。外观检查及起爆、感爆性能试验(含(6)款)有一项不合格时，该批导爆索应予报废。防潮能力不合格，不能用于大量爆破及潮湿地点爆破；耐高温能力不合格，不能用于高温条件作业，耐低温能力不合格，不能用于低温条件作业。

3 非电导爆管系统检验标准：

(1)外观检查。导爆管无沙眼、无断裂、无变形、未老化且色泽均匀，导爆管与雷管接头无松动，雷管外壳正常无气孔者为合格。有上述缺陷之一者为不合格。

(2)断管(芯)漏管试验。取 40 根试样,用导爆管检测仪逐根测试,导爆管无断、漏药芯为合格。若有 1 根药芯有断、漏现象,应加倍复试,复试后仍有断、漏者即认为不合格。

(3)起爆感度试验。对每组试样分别起爆,各组 8 发均起爆者为合格。若有 1 发不爆,应加倍复试,复试后仍有不起爆者,即认定不合格。

(4)延期量试验(视工程需要而定)。另取 10 发,用精度不低于产品说明书段号±时差值的计时仪器逐个测试(毫秒雷管用示波仪测定),延期时间符合产品说明书的规定为合格。

(5)定性及处理。外观检查、管道断漏试验和起爆感度试验均为合格者,方可用于爆破工程。如有一项不合格,该批导爆管不能用于爆破工程。延期量试验不合格,应报上级作为销毁处理。

4 火雷管检验标准:

(1)外观检查。取 100 发试验样逐个检查。管体无变形及裂缝,开口端无杂物,表面无浮药及锈蚀者为合格。其中有 1 发有上述缺点之一者为不合格。

(2)起爆试验。在标准导火索上安装雷管引爆后不留管底者为合格,否则为不合格。

(3)引爆试验。雷管与标准硝铵炸药包装配的起爆药包,爆后不留残药者为合格,否则为不合格。

(4)爆力试验。以 3 发雷管配三块厚 5mm 铅板逐个试验,爆后均能击穿铅板且穿孔直径不小于雷管外径为合格。若有 1 发不合格时,如未能击穿铅板,应加倍复试;如系穿孔直径小于雷管外径,应再取一组(3 发)重试。重试后仍不符合要求者即认为不合格。

(5)定性及处理。全样外观检查不合格,应对该批火雷管逐箱逐发检查,剔除不合格者作报废处理;引爆、起爆试验不合格,该批雷管不得保存和使用,应立即销毁;爆力试验不合格者应即上报处理。

5 电雷管检验标准:

(1)外观检查。全样逐个检查。脚线无松动折断,密封胶和防潮涂料完整牢固,管形正常无气孔为合格,200 发中任 1 发有上述缺点之一为不合格。

(2)安全电流试验。在试样中(外观合格者)任取 20 发,通以 50mA 的恒定直流电,持续 5min 不爆炸为合格;否则为不合格。

(3)电阻试验。在试样中抽取 20 发,以输出电流不大于 30mA 的专用爆破仪表或爆破电桥检测。无断路、短路现象,电阻值稳定且未超出产品说明书规定的标准范围为合格,电路不通或电阻超出上述规定为不合格。

(4)串联试验。抽取 20 发串联为一组,雷管间距 10cm 以上,必须是一次全部爆炸则为合格。若有一发不爆,应重做两次试验,如仍有拒爆者为不合格。

(5)防水试验。取 10 发雷管连同脚线一并浸入深 0.5m, 15℃~20℃的静水中,经 2h 后取出作爆力试验,10 发均能击穿铅板(厚 5mm)且穿孔直径大于雷管直径,则为防水性能合格。若只有 1 发不合格,可加倍复试,复试每发合格可认为防水合格;若有 2 发以上不合

格或 1 发不合格经复试仍不合格时，则为防水性不合格。

(6)延期量试验。视需要决定可取 10 发延期电雷管，用精度不低于产品说明书段号±时差值的计时仪器逐个测试(毫秒雷管用示波仪测定)，延期时间符合产品说明书的规定为合格。

(7)定性处理。外观检查定性处理同火雷管。安全电流、电阻及串联试验有一项不合格，即认为该批电雷管不合格，应报废销毁。防水不合格，该批电雷管必须严格采取防水措施后，方能用于潮湿有水的爆破地点。

6 硝酸铵类炸药检验标准：

(1)外观检查。每批运到的硝铵炸药，全部作外观检查。包皮无破损、无浸湿痕迹，裹封完整且无结块为合格。外观检查不合格，应从该箱中取一个整包或从散装袋中至少取 1kg 作其他项目的检验。

(2)含水量测定。称取 10kg 试样，置于 60℃～70℃的烘箱中烘干至恒量后，再放入盛有氯化钙的干燥箱内冷却，然后称其重量和计算含水量。含水量对岩石硝铵炸药不大于 0.5%，对露天硝铵炸药不大于 1%，对用于大量爆破的铵油炸药不大于 4%时为合格。

当超过上述规定时，应重新在原样箱中取双倍试样复试两次，符合上述限值可认为合格，仍有超过时则为不合格。

(3)爆轰感度——殉爆试验。取 6 筒药包作三次。在试验场均质土面上，用直径同于药径的木棒压出半圆形直线槽，每次两个药包置于槽内时，应将主炸药包凹入端对准殉爆药包的平面端，且端面间距应符合炸药说明书规定的殉爆距离，主爆药包用 8 号雷管引爆；传爆后，若殉爆药包放置处爆轰出现深坑且没有残留炸药，即认为已殉爆，否则为不殉爆或不完全殉爆。三次试验均殉爆，则为合格。岩石硝铵炸药不小于 4cm，露天硝铵炸药不小于 2cm，殉炸距离小于 2cm 者不能使用。

(4)猛度、爆力和爆速试验。视需要决定是否进行。试验方法和标准可参照原兵器工业部制定的有关规程执行。

(5)定性及处理。外观检查及含水量检查不合格，须进行加工处理，再进行检验合格(包括殉爆)后，可按原炸药型号使用；如只是含水量不符但能符合其他型号炸药规定时，可改按符合者使用。

5.4.6 本条主要针对爆破器材进货时的检验，但对重大工程爆破时对库存爆破器材亦须进行检验，一般由爆破器材库的负责人主持，保管员和试验人员按规定进行抽样检验，如发现不合格品属进货的情况应拒收，并通知供货厂商。不属进货的火工器材应报告上级部门作为销毁处理。

5.4.7 爆破器材的爆炸性能检验，应在安全的地方进行，并由爆破技术人员负责组织实施。

5.4.8 为确保爆破器材检验的精度和可靠性，所有参检的仪器、仪表均应在使用前按规定由专门机构检查标定。

5.5 爆破器材的销毁

5.5.1 经检验确认失效、不符合技术条件要求，不符合国家标准的爆破器材不得投入工程使用，否则，不仅影响爆破效果，而且极易发生事故，因此必须销毁。

5.5.2 销毁爆破器材时，应登记造册并编写书面报告。报告中应说明销毁爆破器材的名称、数量、销毁原因、销毁方法、销毁地点及时间，报告一式五份，分送主管部门、单位总工程师、单位保卫部门、爆破器材库负责人、当地公安部门。经会审批准后，按批准销毁的数量全部销毁，销毁后应有 2 名以上参加销毁的人员签名。

5.5.3 被确认可以完全爆炸的雷管、导爆索、导爆管和炸药，可用爆炸法销毁；当燃烧时不会引起爆炸的爆破器材可用焚烧法销毁，但焚烧前必须仔细检查是否混有雷管或其他起爆材料；只有不抗水的硝铵类炸药和黑火药及包装材料(箱、袋、盒)可用溶解法销毁。

5.5.4 本条规定目的是为了确保销毁爆破器材作业人员和周围环境的安全。

5.5.5 负责爆破器材销毁的指挥员，必须对安全措施、安全警戒、人员撤离检查核实，对销毁全过程的安全工作负责。

5.5.6 当采用爆炸法或焚烧法销毁爆破器材时，除按 5.5.2 说明执行外，销毁爆破器材的设计，应包括下列内容：

(1)被销毁爆破器材的品种、规格、数量、原因及销毁方法；

(2)销毁的分批顺序，每批的品种、规格、数量，具体销毁的时间、作业程序、作业方法及安全技术措施；

(3)销毁作业现场的警戒范围、警戒标志、警报信号及安全避炮防护；

(4)执行销毁作业单位名称、组织机构及现场安全措施。

5.5.7 在容器中溶解销毁爆破器材时，对不溶解的残渣可用焚烧法或爆炸法销毁。但不应将其残渣倒入池塘、江河、湖泊，以防造成污染。

6 明挖钻孔爆破

6.1 一般规定

6.1.2 大中型水电水利工程岩石开挖钻孔爆破时，应防止爆破对边坡、基础岩石和周围建筑设施等造成不利的影响。根据工程的特点和要求在开工之前应进行爆破试验，通过试验获得最佳的爆破参数和爆破产生的地震效应与其衰减规律，为制定岩石开挖钻爆技术措施提供科学的依据。

6.1.3 除招标文件提供的资料外，爆区的地形、地质资料和其周围影响区内的建筑设施及

文物保护控制标准，均为爆破设计的依据。爆破设计内容实际是确定设计所给的各项指标和技术要求，但由于岩体并非是均一的，故爆破设计参数亦须在试验过程中加以调整修正；爆破参数应包括梯段高度、梯段坡面的倾角、钻孔倾角、孔深、超钻深度、孔径、药包直径、单位耗药量及线装药密度、单孔装药结构及堵塞长度、抵抗线、孔距、排距、单孔装药量、单响最大段起爆药量、分段时差、爆区总装药量、爆落方量等。

6.1.4 水电水利工程土石方开挖必须考虑挖填施工土石方平衡，应作好规划工作，利用好基坑石渣料，除作为场地回填外，更多石块、石渣料用于坝体填筑或加工成混凝土骨料及护坡块石等。故在钻爆过程中须按其用途决定孔网参数和装药结构及其起爆方式。

6.1.5 当接近建基面或设计边坡线部位应采用不耦合装药，它可缓解炸药爆轰时对孔底、孔壁周围岩石的破坏作用。在大量的石方开挖过程中炮孔中上部可采用不耦合装药，孔底采用耦合装药，实践表明它可以减少钻孔数量，同时爆后不留炮根，提高爆破效果。

6.1.6 我国水电水利工程常用的梯段毫秒爆破方式有：

(1)齐发爆破。同一排孔采用导爆索串联，排间用分段毫秒雷管起爆的方式。此法虽操作简便不易发生错误，但成本高，同时爆轰产生的地震效应比其他爆破方式大，并对边坡的稳定和建基面岩石的完整性不利。

(2)微差爆破。对不同排孔用毫秒级雷管间隔分组起爆的方式，它能降低地震作用、冲击波强度、块石飞散程度，而且碎岩程度高及块度比较均匀。但多排炮孔时，炮根逐排递增，对开挖强度受到一定的限制。

(3)微差顺序爆破。采用雷管组成接力起爆网络，起爆顺序有排间顺序、孔间顺序、波浪式“V”形、梯形及对角线微差起爆方式等，其岩石破碎质量较好，采用高精度的多段毫秒雷管则减震效果更好。若孔内进行间隔装药再分段，可组成孔间、孔内双向微差顺序起爆，并能进一步提高爆破质量，此法用于坝料开采较为理想，但爆破网络复杂、技术要求高，对爆破器材质量要求更高。

(4)小抵抗线宽孔距爆破。其孔网参数与普通爆破有所不同，一般孔距为抵抗线的2~8倍，国内水电水利工程采用2~4倍者居多，爆破的岩石块度均匀，大块率含量低，目前混凝土面板堆石坝填筑料多数采用此法开采。

(5)微差挤压爆破。它与自由空间爆破不同，微差挤压爆破系自由面前有堆渣的多排孔微差爆破，此法可增加开挖强度，且爆破时能减少冲击波和飞石，实现钻孔、爆破、装渣互不制约，但其前排孔须超深、底部装药量加大，以克服孔底阻力。深圳黄田机场飞行道基础置换，填筑约720万m³石渣料就用这一方法开采，使紧靠广深公路边的金山、银山在一年内就安全、快速地被搬走。

6.1.7 水电水利工程土石方开挖的起爆方法通常有：

(1)导火索起爆法。操作简单易行。但需在工作面点火，安全性差，不能精确地控制起爆时间，一次起爆能力小，且不能用于有瓦斯、矿尘爆炸危险的工作面和水下爆破。

(2)导爆索起爆法。此法操作简单，传爆可靠，能抗杂散电流危害，可使成组炮孔同时起爆，亦能实现微差起爆，一般用于预裂爆破居多。

(3)电力起爆法。可实行即发起爆、延期起爆和顺序起爆。它能远离爆破区合闸起爆，一次同时可起爆大量的雷管；能准确地控制起爆时间和起爆顺序；爆前可检测雷管和起爆网络的质量。但起爆网络敷设较复杂，工序多，技术要求高，需有足够的起爆电源容量，导线消耗大，在杂散电流地段和雷电天气情况下须禁止使用普通电雷管。

(4)导爆管起爆法。此法具有抗杂散电流和雷电危害的能力，网络连接多样化，能适应地面、地下、水下起爆，操作简单方便，可实现非电毫秒微差爆破，而且控时准，成本低。但起爆网络雷管用量多，传爆雷管须设于孔外，网络连接质量不能用仪表检测，必须谨慎操作，重要工程爆破需采用复式网络起爆。由于导爆管传爆速度一般为 2200m/s，导爆索为 6500m/s，故不能采用导爆索作为导爆管网络的主要起爆线。

6.1.8 爆后查炮时间仍沿用以往的规定，导火索起爆，炮后查炮时间不得小于 15min，电力起爆，炮后查炮时间不得小于 5min。

6.1.9 盲炮亦称瞎炮、哑炮，在爆破过程中时有发生。造成盲炮的原因主要是起爆材料的质量检查不严，起爆网络连接不良和网络电阻计算有误以及堵塞炮泥操作时损坏起爆线路。当出现盲炮时应立即做好标志，并派专人监护，查明原因后进行处理。一般盲炮处理的方法：

(1)当网络中有拒爆引起盲炮，可进行支线、干线检查处理重新联线再次起爆。

(2)炮孔深度在 0.5m 以内时，可用表面爆破法处理。

(3)炮孔深度在 0.5m~2m 时，宜用冲洗法处理。先用竹、木工具掏出上部堵塞的炮泥，再用压力水将雷管冲出或采用起爆药包进行诱爆。

(4)孔深超过 2m 时，应用钻孔爆破法处理，即在盲炮孔附近处打一平行孔，孔距为原炮孔孔径的 10 倍，但不得小于 50cm，装药爆破。

6.1.10 爆区地质情况并非单一，加之钻孔亦有误差，故每次爆后有关人员应对爆破效果进行检查评估总结，为后续爆破施工取得合理的参数，其目的在于达到更好的爆破效果。

6.2 边坡钻孔爆破

6.2.1 边坡钻孔爆破后，保留体岩面节理可能有不同程度的扩张，且受地表水的作用影响边坡局部稳定。为了边坡的稳定和施工安全以及防止地表水进入基坑，开口线外必须设置截水沟，截水沟的位置一般距开口线 2m~3m 或由工程设计确定，沟内岩面如有裂隙应采取水泥砂浆作嵌缝处理。

6.2.2 边坡开挖钻孔爆破，一般采用自上而下逐层进行正坡开挖方法；当作业面受限采用双层或多层作业时，上下层之间的工作面应错开成交叉状，垂向立体投影范围内必须有可靠

的安全保证措施才能进行同时作业。广西岩滩水电站左岸边坡采用了立体多层交叉作业法，取得了很好的效果，并为提前截流创造了条件。

6.2.3 边坡开挖钻孔爆破的钻具选择，主要考虑保证边坡壁面质量，对节理裂隙较为发育，尤其是存在不稳定岩体的边坡，应采用轻型钻具，并进行浅孔、小药量的钻孔爆破法。

6.2.4 不良地质地段或不稳定岩体边坡的钻孔爆破，必须注意爆破产生的地震波、空气冲击波对边坡的不利影响。高边坡开挖过程中为确保施工安全和边坡稳定，往往采取边挖边支护的方式。近年来国内有关科研部门就爆破动荷对已建立或正在建立的预应力锚杆、锚索作了不少的试验研究工作，试验表明当爆破荷载输入时，锚杆(索)体各部位会产生不同程度的相对位移，索体不仅受轴向力的作用，而且受到弯扭的作用，使已建立的预应力受到一定程度的损失，甚至遭受破坏。故在锚杆(索)体封孔灌浆未能达到一定的强度时，须对钻爆加以控制，施工经验表明，爆区与锚固区相隔一个梯段，初期 0~7d 内质点振速控制在 1cm/s~1.5cm/s 是合适的。

6.2.5 边坡开挖梯段高度的选择主要取决于边坡的技术要求以及钻具的最佳钻孔能力，同时还应满足挖掘设备的最大安全高度，一般为 8m~12m。不良地质地段一般采用孔深 4m~5m 的小梯段小孔径进行控制爆破下挖。

6.2.7 施工过程中须克服炮根，保持台阶顶面平整，除采用后排炮孔增加孔深外，孔向宜平行梯段坡面。

6.2.8 在岩石边坡开挖过程中，为使边坡保留岩体不受爆破产生不良的影响，除采取预裂或光面爆破措施外，一般设置 1~2 排缓冲爆破孔，其孔距、装药量应小于主爆孔；经验表明预裂、光面爆破线装药密度直接关系到爆破的质量，装药量虽有经验公式计算取得，但由于地质条件不同，故工程施工前还应通过爆破试验或结合生产性试验来确定。经验公式和经验数据分述如下：

(1)预裂爆破线装药密度经验公式：

1)葛洲坝公式：

$$Q_x = k r^\alpha \sigma^\beta \quad (1)$$

式中： Q_x ——线装药密度，g/m；

r ——钻孔半径，mm；

σ ——岩石极限抗压强度，kgf/cm²(1kgf/cm²=98kPa)；

k 、 α 、 β ——系数、指数，与地形、地质条件有关，应通过试验求得。

葛洲坝工程当岩石极限抗压强度为 100kg/cm²~1500kg/cm²，炮孔半径为 20mm~85mm，孔距为 40cm~130cm，系数 $k=2.75$ ；指数 $\alpha=0.38$ 、 $\beta=0.53$ 。

2)三峡工程公式：

左岸临时船闸、永久船闸公式：

$$Q_x = 3(Da)^{0.5} \sigma^{1/3}$$

(2)

式中： Q_x ——全孔平均线装药密度， g/m；
 D ——孔径， cm；
 a ——孔距， cm， $a=(7\sim12)D$ ；
 σ ——岩石极限抗压强度， MPa。

左岸大坝与电站厂房公式：

$$Q_x=0.83 \sigma^{0.5} a^{0.6}$$

(3)

式中： σ ——岩石极限抗压强度， 10^5Pa ；
 a ——孔距， cm， $a=(8\sim12)D$ ；
 D ——孔径， mm。

3) 清江高坝洲工程公式：

$$Q_x=0.367 \sigma^{0.5} d^{0.86}$$

(4)

式中： Q_x ——线装药密度， g/m；
 σ_c ——岩石抗压强度， MPa；
 d ——孔径， mm。

4)飞来峡工程公式：

$$Q_x=0.36 \sigma^{0.63} a^{0.67}$$

(5)

式中： Q_x ——线装药密度， g/m；
 σ ——岩石极限抗压强度， MPa；
 a ——孔距， cm。

(2) 经验数据。实际工程已采用的一些经验数据见表 1、表 2、表 3、表 4、表 5。

表 1 间距系数 a/D 经验值

名 称	a/D	名 称	a/D
大朝山水电站	7.6~11	派 恩	6~12
东江水电站工程	11.1	费 申	6.5
岩滩水电站工程	7~11	前苏联《轮廓爆破》	6.6~13.6

表 1(续表)

名 称	a/D	名 称	a/D
大朝山水电站	9~13.6	瑞典古斯塔夫	7.8~12.5
东江水电站工程	7.3~13	瑞典朗格佛尔斯	7~12
岩滩水电站工程	7.8~11	冯叔瑜、马乃耀	7~14

表 2 不耦合系数 D/d 经验值

名 称	D/d	名 称	D/d
葛洲坝工程	2.0~4.9	前苏联《轮廓爆破》	1.7~5.7
二滩水电站工程	1.3~1.4	日本《来华技术座谈资料》	2.35~4.0
长江三峡工程	1.8~3.4	东江水电站工程	1.5~3.46
小浪底水库工程	1.0	大朝山水电站	3.5
《瑞典爆破技术》	1.5~3.0	冯叔瑜、马乃耀	2.0~3.0

表 3 葛洲坝工程预裂爆破参数

岩 石 特 征	钻孔直径 D mm	线装药密度 Q_x g/m	孔距 a cm	间距系数 a/D
黏土质粉砂岩、砂岩互层	65	150	60	9.2
砂 岩	65	180	60	9.2
黏土质砂岩、砂岩互层	91	200	100	11.0
黏土质粉砂岩、砂岩互层	170	220	130	7.6

表 4 国内外建议的孔底装药量增加值

名 称	孔底装药量增加值	
葛洲坝工程	孔深 m	底部 1m 的装药增加量
	<5.0	线装药密度 Q_x 的 1~2 倍
	5~10	线装药密度 Q_x 的 2~3 倍
	>10	线装药密度 Q_x 的 3~5 倍
大朝山水电站	≥ 10	线装药密度 Q_x 的 4 倍
俄罗斯费申柯与艾里斯朵夫		设计线装药密度的 3~5 倍

续表 4

名 称	孔底装药量增加值	
瑞典、古斯塔夫松	孔深	底部装药增加量
	m	kg
	<2.0	0.05
	2.0~1.0	0.10
	1.0~6.0	0.20
	6.0~10.0	0.30

6.2.9 爆破参数主要包括孔距、排距、孔向、倾角、孔径及装药量、装药结构等，合理的爆破参数应通过爆破试验确定，在一般情况下：

(1)孔径与成孔条件和边坡稳定条件有关，岩石较好可采用 80mm~100mm 的孔径；稍差时宜选用 40mm~80mm 的孔径。

(2)孔排距与岩石性质、临空面、炸药性能及起爆方式有关，孔距与排距之比称炮孔密集系数，其值与工程的质量要求有关，一般通过现场试验确定。

(3)装药量计算和单位岩石耗药量的大小直接关系到爆破效果和成本，它与岩石的性质、可爆性、自由面条件、炸药品种等有关，合理的单位岩石耗药量可通过爆破漏斗试验获得，其参考值见表 5。

表 5 各种岩石松动爆破单位岩石耗药量 q

岩石名称	岩 石 特 征	岩石坚固 系数 f	单位岩石耗药量 q kg/m ³
页 岩	风化破碎	2~4	0.33~0.48
千枚岩	完整、微风化	4~6	0.40~0.52
板 岩	泥质、薄层层面张开，较破碎	3~5	0.37~0.52
泥灰岩	较完好，层面闭合	5~8	0.40~0.56

续表 5

岩石名称	岩 石 特 征	岩石坚固 系数 f	单位岩石耗药量 q kg/m ³
砂 岩	泥质胶结，中厚层或风化破碎	4~6	0.33~0.48
	钙质胶结，中厚层，中细粒结构，裂隙不甚发育	7~8	0.43~0.56
	硅质胶结，石英质砂岩，厚层，裂隙不发育，	9~14	0.47~0.68

	未风化		
砾 石	胶结性差,砾石以砾岩或较不坚硬的岩石为主 胶结好,以较坚硬的岩石组成,未风化	5~8	0.40~0.56
		9~12	0.47~0.64
白云岩 大理岩	节理发育,较疏松破碎,裂隙频率大于4条/m, 完整、坚硬的	5~8	0.4~0.56
		9~12	0.5~0.64
石灰岩	中薄层或含泥质的,或鲕状、竹叶状结构的及 裂隙较发育的	6~8	0.43~0.56
	厚层、完整或含硅质、致密的	9~15	0.47~0.68
花岗岩	风化严重,节理裂隙很发育,多组节理交割, 裂隙频率大于5条/m	4~6	0.37~0.52
	风化较轻,节理不甚发育或未风化的伟晶、粗 晶结构的	7~12	0.43~0.64
	未风化完整致密的	12~20	0.53~0.72
流纹岩 粗面岩 蛇纹岩	较破碎的	6~8	0.40~0.56
	完整的	9~12	0.50~0.68
片麻岩	片理或节理发育的	5~8	0.40~0.56
	完整坚硬的	9~14	0.50~0.68
正长岩 闪长岩	较风化,整体性较差的	8~12	0.43~0.60
	未风化,完整致密的	12~18	0.53~0.70
石英岩	风化破碎,裂隙频率大于5条/m	5~7	0.37~0.52
	中等坚硬较完整的	8~14	0.47~0.64
	很坚硬完整致密的	14~20	0.57~0.80

续表 5

岩石名称	岩 石 特 征	岩石坚固 系数 f	单位岩石耗 药量 q kg/m ³
安山岩 玄武岩	受节理裂隙切割的	7~12	0.43~0.60
	完整坚硬致密的	12~20	0.53~0.80
辉长岩 辉绿岩 橄榄岩	受节理切割的	8~14	0.47~0.68
	很完整、很坚硬致密的	14~25	0.60~0.84

6.2.10 钻孔质量是影响爆破质量、安全和效果的主要因素之一,施钻过程中应严加控制,

钻孔完毕后须对孔位、孔向、孔底高程进行检查验收。多年来的工程实践表明边坡与建基面岩石开挖平均超挖都大于 20cm，由于采取预裂、光面爆破措施后超挖量有所减少，本标准规定按 20cm 计，如遇不良地质部位的允许超挖值应由有关部门据实商定。

6.2.11 考虑浆状炸药易渗入岩体裂隙内，引起装药结构发生变化， 爆破时对边坡保留岩体产生不利的影响。故在保护层及其开挖设计线前排爆破孔不得使用此类炸药。

6.2.12 边坡爆破单响最大段起爆药量，应根据边坡稳定和周围环境允许的爆破地震安全要求，采用经验公式反算求得：

$$v = K \left(\frac{Q^{\frac{1}{3}}}{R} \right)^{\alpha} \left(\frac{Q^{\frac{1}{3}}}{H} \right)^{\beta}$$

(6)

式中：v——质点振动速度，cm/s；

Q——药量，kg；

R——爆区中心至被保护对象的水平距离，m；

H——爆区中心与被保护对象的高差，m。

系数K，指数α、β值与爆破区地形条件、介质传播特性、爆破方法和爆破条件等因素有关，可通过现场爆破测试取得，其参考值见表 6、表 7。如爆区与被防护对象高差不

大时， $\left(\frac{Q^{\frac{1}{3}}}{H} \right)^{\beta}$ 可忽略不计。

表 6 国内水电工程实测爆破地震衰减规律 K、α 值

工程名称	爆 破 条 件	地 质 条 件	K	α	β 值范围
葛洲坝 水利枢纽	潜孔钻梯段爆破	粉砂岩(表层)，中细粒砂岩	12.8	1.16	0.22~1.11
	潜孔钻毫秒梯段爆破	粉砂岩(表层)，中细粒砂岩	48.1	0.89	0.17~0.32
	减振试验，通过预裂缝松动爆 破	中细粒灰色砂岩	67.9	1.00	0.10~0.50
		中细粒灰色砂岩	45.0	1.36	0.10~0.30
	轮胎钻梯段爆破	砂岩，黏土质粉砂岩	92.0	1.17	
大化水电 站	手风钻电力起炮爆	灰岩(硬)，泥灰岩(软)	135.0	2.02	0.075~0.286
白山水电 站	扇型深孔爆破	混合岩	8.9	1.49	0.0652~0.80
	通过预裂缝手风钻梯段爆破	混合岩(地表)混合岩(岩体内)	250.0	1.78	0.03~0.55
			140.0	2.00	

	通过预裂缝手风钻梯段爆破				0.15~0.93
东江水电站	潜孔钻预裂爆破	中细粒少斑花岗岩	19.6	1.16	0.10~0.60
	手风钻预裂爆破	中细粒少斑花岗岩	100.6	1.17	0.08~0.6
	通过预裂缝手风钻掏槽爆破	中细粒少斑花岗岩	70.6	1.26	0.10~0.40
	通过预裂缝手风钻梯段爆破	中细粒少斑花岗岩	31.7	1.00	0.05~0.40
		中细粒少斑花岗岩	191.1	1.46	0.04~0.40
龙羊峡水电站	延长药包毫秒松动爆破	花岗闪长岩(右坝肩)	59.1	1.07	0.067~0.171
	延长药包毫秒松动爆破	花岗闪长岩(左坝肩)	51.03	0.855	0.06~0.178
	延长药包毫秒松动爆破	花岗闪长岩(溢洪道出口)	49.44	1.41	0.103~0.845
	延长药包毫秒松动爆破	花岗闪长岩(爆源近区)	28.45	1.09	0.14~0.762
	延长药包毫秒松动爆破				
密云水库	集中药包毫秒爆破	变质岩, 花岗片麻岩	203.0	1.50	0.16~0.75

表 7 爆区不同岩性的K、α 值

岩 石	K	α
坚硬岩石	50~150	1.3~1.5
中硬岩石	150~250	1.5~2.0
软弱岩石	250~350	2.0~2.2

为有效地控制单响最大段起爆药量产生的爆破震动在被保护对象的安全允许范围内。本条规定的邻近保护层和保护层及预裂、光面爆破的单响最大段起爆药量，是根据多年工程实践经验按被保护对象允许安全震速反推求得的。国内水电工程边坡开挖爆破控制标准见表 8。

表 8 国内水电工程边坡开挖爆破控制标准

工 程 名 称	部 位	岩 性	允许峰值质点振动速度 cm/s
隔河岩水电站工程	厂房进出口边坡	石灰岩	22
隔河岩水电站工程	坝肩及升船机边坡	石灰岩	28
隔河岩水电站工程	引航道边坡	石灰岩	35
长江三峡工程	永久船闸边坡	微风化花岗岩	15~20

长江三峡工程	永久船闸边坡	弱风化花岗岩	10~20
长江三峡工程	永久船闸边坡	强风化花岗岩	10
新疆石门子水库工程	拱坝坝肩边坡	微风化砾岩	10

6.2.13 孔口堵塞的合理长度关系到爆破安全和改善爆破效果。堵塞过短，爆能易从孔口首先越出，造成上部岩块飞散、下部爆能损失、出现大块石和增大炮根而影响爆破效果，堵塞过长孔口段易形成大块。合理的堵塞长度应根据现场爆破试验确定，堵塞长度一般为抵抗线的 0.7~1.0 倍。

6.2.14 预裂爆破采用不耦合装药，炮孔孔壁与药包之间留有空隙，炮孔直径 D 与药包直径 d 的比值称为不耦合系数。由于采用不耦合装药，当炸药爆轰时产生的冲击波首先在药包与孔壁之间空隙中一定程度的衰减，如果间隙适当孔壁处爆轰产生的压力低于岩石的抗压强度，则孔壁不致于被压碎，因此试验时必须选择好不耦合系数。国内外工程预裂爆破不耦合系数见表 2。当留有保护层时，进行光面爆破其用药量可按预裂爆破线装药密度的 70%~90% 进行调整确定。工程施工中应优先考虑采用预裂爆破。

6.2.15 为使边坡保留岩体不受爆破的破坏影响，达到预期的开挖轮廓壁面，在爆区设计轮廓线先爆出一条具有一定宽度的贯穿性裂缝，以缓冲、反射爆破时产生的地震波。施工经验表明只要满足本标准规定的缝宽，减震效果能够达到，须强调指出即使预裂缝宽能满足本条款规定要求，但主爆区的钻爆未能及时跟上，缝隙被泥、水充填，也达不到预裂减震的目的。

6.3 基坑钻孔爆破

6.3.1 水工建筑物基岩开挖，钻孔爆破是一个重要环节，编制施工组织设计时应明确下列内容：

- (1) 施工总平面布置方面：
 - 1) 爆破器材仓库、避炮洞及现场生产设施布置。
 - 2) 风、水、电、交通线路及弃渣场的布置。
 - 3) 钻孔爆破分区布置。
- (2) 钻孔爆破施工程序与方法：
 - 1) 各部位钻孔爆破施工分层顺序。
 - 2) 各层钻孔爆破施工程序与方法。
 - 3) 自由面开创的方法。
 - 4) 沟槽、基坑钻孔爆破的施工程序与方法。
 - 5) 边坡及建基面保护层钻孔爆破施工程序与方法。
- (3) 爆破试验。

- (4)爆区范围、孔网参数、装药量与装药结构。
- (5)钻孔爆破施工的质量目标、质量计划、安全技术措施。
- (6)使用爆破器材品种、名称、规格、数量计划及性能要求。
- (7)投入的机械设备名称、规格型号、数量。
- (8)工程进度计划。
- (9)钻孔爆破施工组织机构。

6.3.3 基坑钻孔爆破单响最大段起爆药量类同于边坡，都应根据被保护对象或控制建基面岩石完整性的要求，通过爆破试验确定。本条规定单响最大段起爆药量控制在 500kg 以内是水电工程土石方开挖已沿用过多年，如经现场爆破试验论证可不受此限，但靠近建基面上部钻爆应慎重，本条提及的保护层系指紧靠建基面上部的岩层。

6.3.6 为防止建基面岩体不遭钻孔爆破的影响，传统方法是采用预留保护层，此法钻爆次数多，工程成本高，质量控制难度大，建基面岩体完整性不能得到保证。近年来国内不少工程采用水平预裂或孔底设置柔性垫层代替了预留保护层爆破的方法，如长江三峡一、二期工程大坝开挖就采用了水平预裂，尽管该工程基岩节理、裂隙发育，亦取得了良好的效果。

6.3.7 在某些情况下如仍采取预留保护层法，其中第二层和第三层钻孔爆破应采用单孔起爆，应使用非电毫秒雷管或导火索爆破法。

6.3.8 建基面采用水平预裂防震时，为确保建基面岩体的完整性，须注意下列事项：

(1)上部大量岩石开挖过程中，最后一个梯段的孔底距建基面应有一个预留层，这个预留层的厚度一般不少于通常保护层的厚度。

(2)临近建基面的主爆孔的终孔位置距下部水平预裂孔：本标准规定当孔径 90mm 时为 0.7m，孔径 40mm 时不小于 0.3m，其值亦可根据岩石性质和炸药性能按实际爆破效果调整确定。

(3)水平预裂孔的孔径按岩石性质及进度要求选定，当岩体较为完整时，可采用 75mm~90mm 孔径进行深孔水平预裂；如岩体节理裂隙发育，钻孔亦有一定难度时，可用 40mm~50mm 孔径进行浅孔多循环水平预裂。

(4)水平钻孔质量要求严格，尤其是在深孔钻进时容易出现向下飘移，为此应装有扶正器，确保飘移值在规定的允许超挖范围内。

(5)水平预裂一般按钻爆程序分区段、分块逐一进行，分次爆破的界面须采用施工预裂割切，以防相邻爆区建基面岩体和设计边坡轮廓的损坏。

6.3.9 为加快基坑开挖速度，确保建基面岩石的完整性，近二十年来有些水电水利工程建基面保护层采取一次爆除方法。该法主要是在孔底设置柔性垫层(或空气层)，采用微差爆破技术，从而缓解了爆轰时对孔底岩体的破坏作用，此项钻爆技术已成熟，但应结合工程具体情况经过试验取得论证后方能使用。

6.3.10 沟槽开挖时其轮廓须先进行预裂，亦可采用光面爆破以免槽口保留岩体受损。近年

来一些大中型水电水利工程沟槽开挖，均采用预裂、光面爆破措施取得良好的效果。

6.3.11 当沟槽较宽时可采取槽中抽槽形成临空面后再进行扩挖，至于小沟槽可采取中间或两端开创自由面后扩挖，亦可采用浅孔、小药量分层钻爆法开挖。长江三峡工程永久船闸由于闸室开挖两侧为高陡边坡，为使闸室壁面岩体不受爆破影响，确保边坡安全，施工过程中紧靠侧墙设计开挖线留有 3m~5m 的保护层，同时亦作为锚杆(索)的施工平台， 实践表明此法效果很好。

6.3.12 在宽河床大基坑的水电水利工程施工过程中，为利用有利的季节提前浇筑混凝土，当基岩钻爆尚未完毕，就开始基础处理和混凝土浇筑。为确保灌浆和混凝土质量不受影响，基坑内剩余的石方开挖应采取控制爆破，其控制标准见附录 B。根据控制标准反算单响最大段起爆药量，其计算公式见式(6)，同时还应校核爆破产生空气冲击波的影响和飞石的安全距离，其计算式如下：

(1)爆破产生的空气冲击波安全距离按经验公式计算：

$$R_k=K_kQ^{1/3} \tag{7}$$

式中： R_k ——空气冲击波最小安全距离， m；

Q ——单响最大段起爆药量， kg；

K_k ——系数(对作业人员取 25， 对居民或其他人员取 60， 对建筑物取 70)。

爆破产生空气冲击波对建筑物允许极限超压值 ΔP 的安全距离按经验公式计算：

当 $n\geq 1$ 时

$$R_k = \frac{2(1+n^2)}{\sqrt{\Delta P}}\sqrt{Q} \tag{8}$$

当 $n<1$ 时

$$R_k = \frac{4n^2}{\sqrt{\Delta P}}\sqrt{Q} \tag{9}$$

式中： R_k ——最小安全距离， m；

ΔP ——允许的冲击波极限超压值见表 9、表 10；

Q ——单响最大段起爆药量， kg；

n ——爆破作用指数。

表 9 冲击波超压值对人员的损伤程度

损伤等级	损伤程度	空气冲击波超压 Δp kPa
轻	轻微的挫伤	20~30

微		
中 等	听觉器官损坏，中等挫伤骨折等	30~50
严 重	内脏严重挫伤，可引起死亡	50~100
极 严 重	可大部分死亡	>100

表 10 冲击波超压值对建筑物的破坏程度

损伤 等级	损 伤 程 度	空气冲击波超压 Δp kPa
1	砖木结构完全破坏	>200
2	砖墙部分倒塌，土房倒塌，木结构建筑物破坏	100~200
3	木结构梁柱倾斜部分折断，砖木结构屋顶掀掉，墙部分移动或裂缝，土墙局部倒塌	50~100
4	木隔板墙破坏，木屋破、折断，顶棚部分破坏	30~50
5	门窗破坏，屋面瓦大部分掀掉，顶棚部分破坏	15~30
6	门窗部分破坏，玻璃破碎，屋面瓦部分破坏，顶棚抹灰脱落	7~15
7	玻璃部分破坏，屋面砖瓦部分翻动，顶棚抹灰部分脱落	2~7

(2) 爆破时个别飞石安全距离经验计算公式：

$$R_F = 20n^2WK_F \tag{10}$$

式中： R_F ——飞石对人的安全距离，m；

n ——计算药包的爆破作用指数；

W ——最大一个药包的最小抵抗线；

K_F ——安全系数，一般采用 1.0~1.5，大风时应取 1.5~2.0。

计算时应注意：

- 1) 飞石对机械设备影响，按上式计算值减半。
- 2) 一般抛掷爆破的个别飞石飞散范围可参考表 11。
- 3) 在不同爆破条件下，其爆破作用指数 n 值可以从表 12 查得。

表 11 抛掷爆破个别飞石的安全距离 m

最小抵抗线 m	对 人					对 机 械				
	爆破作用指数 n					爆破作用指数 n				
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
1.5	200	300	350	400	400	100	150	250	300	300
2.0	200	400	600	600	600	100	200	350	400	400
4.0	300	500	700	800	800	150	250	500	550	550
6.0	300	600	800	1000	1000	150	300	550	650	650
注：当$n<1$ 时，将最大药包的最小抵抗线W换算成相当于抛掷爆破的最小抵抗线W_p，$W_p = \frac{5}{7}W$，再根据$n=1$ 条件下按本表查得碎石飞散的安全距离。										

表 12 不同条件下的爆破作用指数 n 值

爆 破 条 件		n 值
多临空面	抛 掷	1.0~1.25
	加强松动	0.7~0.8
陡 坡	抛 掷	0.8~1.0
	加强松动	0.65~0.75

长江三峡工程结合工地的具体条件亦作了规定，见表 13、表 14、表 15。

表 13 长江三峡大坝一期工程混凝土浇筑块与相邻部位爆破控制标准

A		B C D	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0~3	1.5		0.27	2.18	7.37	17.48	34.14	59.00	93.68	100~ 139.84	100~150	100~ 150
3	2		0.59	4.72	15.93	37.77	73.78	100~ 127.49	100~150			
7	3	1.74	13.98	47.21	100~ 111.91	100~ 150						
28	5	6.87	54.96	100~ 150								

注：1. A —距离，m； B —允许最大段起爆药量，kg； C —安全质点振动速度，cm/s； D —混凝土龄期，d。

2. 表中采用的经验公式：

$$Q = (v/32.1)^{3/1.12} \cdot R^3$$

(9)

式中： R ——爆心至被保护对象的距离，m；
 Q ——最大段起爆药量，kg；
 v ——质点振动速度，cm/s。

$$Q=(v/32.1)^{3/1.12} \cdot R^3$$

v ——质点振动速度, cm/s。

R	Q	$10 \sim 20$	$20 \sim 50$	$50 \sim 100$	$100 \sim 150$	> 150
≤ 1.5	1.0	12	90	300	500	
$1.5 \sim 2.0$	2.0	25	150	300	500	
$2.0 \sim 3.0$	6.0	75	150	300	500	
$3.0 \sim 5.0$	20	150	300	500	500	
$5.0 \sim 8.0$	> 5	150	300	500	500	
$8.0 \sim 10.0$	> 5	150	500	500	500	

注： R —爆心至混凝土浇筑块的距离，m； Q —最大段起爆药量，kg； v —质点振动速度，cm/s。

混凝土龄期 d	初凝~3	3~7	>-28	>28	设计坡面	正在灌浆
质点振速 cm/s	1.5~2.0	2.0~3.0	3.0~5.0	5.0~8.0	≤10	≤1.5

6.4.1 基坑开挖料的利用，它直接关系到工程成本，工程开工前应作好周密的规划。应根据地勘资料划分剥离层和有用层，并按利用料的种类，依其岩层产状、力学性能及节理、裂

隙情况作好钻孔爆破设计，使爆落的石料符合设计块度和级配要求。三峡工程混凝土总量为 2800 万m³，需砂石骨料约 4582 万m³，基坑开挖可供利用的石料(微风化及新鲜岩石)为 2845 万m³。由于考虑土石方平衡，加之扣除开挖、运输及堆存等各种损耗，可利用料为 1300 万 m³，除一期工程采用天然骨料 746 万m³外，尚需开采石料 1958 万m³才能满足要求。大量的工程实践表明基坑料的利用较专用采石场复杂，它不仅涉及工程的施工程序，更重要的是涉及现场的施工管理，因此开工前作好规划工作极其重要。

6.4.2 由于水电水利工程地质条件复杂，地勘阶段很难揭露得十分清楚，同时涉及有关爆破参数也难以准确的选定。因而大中型水电工程开工前在现场选择有代表性的部位进行爆破试验，取得的成果基本上能反映各种因素的影响。通常爆破试验有两个目的，一是为了尽快地挖好基坑，它只需将岩石破碎到一定程度，能满足装运要求和爆破时避免基础、边坡及其被保护对象不利的影响；二是为了利用开挖的石料，如作为截流的块石、护坡砌石和坝体填筑及混凝土骨料等，这些石料均有其要求，因此爆破试验时必须按利用料规格进行爆破设计，使所开采的石料块度控制在设计允许范围内，并按照粒径组成级配爆破成型。总之，爆破试验是十分必要的，为后续开挖爆破过程中针对地质条件，逐步调整孔网参数和装药结构，达到最佳的爆破效果起指导作用。

6.4.3 爆区按设计要求将无用层全部剥离完毕后，由地质、爆破、施工人员对利用层层面进行界定，确认是利用层才能进行施钻，同样如遇断层破碎带或溶沟、溶槽时亦应由上述人员进行勘定其边界，并对无用料提出处理措施，确保开采的石料质量不受影响。

6.4.4 利用建筑物基坑石料时，应从保护建筑物基岩的完整性及边坡的稳定性出发，其钻爆方法应选用梯段微差爆破技术。实践表明采用深孔梯段毫秒微差爆破，只要爆破参数调整得当，是可以获得符合设计要求的块度和粒径组成级配比例的石料，并能有效地控制爆破产生的地震效应。如无防护对象的要求，其单响最大段起爆药量不受此限。

6.4.5 现今采石场广泛地使用深孔梯段爆破技术，它不仅能达到开采强度大、石料质量好、综合成本低，而且有利于边坡的稳定。经验表明，无论开采大块石或级配料，只要调整好孔网参数和单位耗药量及装药结构，能获得满意的石料。此项调整工作只能通过爆破试验或结合生产性试验才能完成。水电水利工程深孔梯段爆破采石工程实例见表 16。

表 16 深孔梯段爆破开采石料特征参数

			爆	破	参	数	爆破石料颗料主要特征参数
--	--	--	---	---	---	---	--------------

项目	岩性	石料类别	爆 破 参 数								爆破石料颗料主要特征参数					
项目	湖北西北口水库	石灰岩	抵抗线 3.4	间距比 q/W_2 1.13	孔深 L_1 12.2	深度比 L_1/W_1 3.59	孔口堵 L_2 4.2	堵长比 L_2/W_2 1.43	单耗 $0.37 \sim 0.51$	孔距 a	排距 W_2	孔 间	d_{10} 44	d_{50} 190	d_{60} 275	不均 匀系 数 6.3 d_{60}/d_{10}
	湖北水布垭电站	石灰岩	3	1	10	3.3	2.5	1.2	0.42	3.0	2.5	V 型	13	150	175	13.4
	广东高塘水电站	花岗岩	5.74	1.12	15.19	2.64	5.9	1.02	0.6	6.47			9.7		274	28.2
	广东大河水库	石英变质砂岩	3.0	1.51	12.9	5.3	3.13	1.32	0.438				27	150	250	9.25

	云南柴石滩水库	白云岩	面板坝主堆石料	4.3	2.05	16	3.7	3.0	0.69	0.45	8.85			10	100	250	25
	云南横山水库	凝灰岩	面板坝主堆石料	1.2	2.08	14.5	1.2	2.0	1.66	1.1	2.5	1.2		14	100	150	10.7
	重庆南川鱼跳水电站	砂岩	面板坝主堆石料	3.0	1.33	15.0	5.0	6.0	2.5	1.0	4.0	1.5	V型	10	110	190	15.8
石料	葛洲坝大江防淤堤	石灰岩	1m ³ ~5m ³ 大块石	2.5/3.0	1	10	4	1.5	0.6	0.25	2~2.5		单排				
	湖北王甫洲水电站	巨厚层石灰岩	直径30cm~70cm	2.5	1.28	8.5	3.4	2.0	0.8	0.42	3.2						
骨料	三峡	花岗	混凝土骨	3.3	1	12.5	3.4	3	1.1	0.44	3.3	3.3	V型	碎石最大块度≤70cm			

[illegible]

技术熟练程度及安全可靠程度来确定。对有沼气爆炸危险的环境应采用电力起爆，严禁采用非电起爆，对深孔爆破及一次起爆孔、排数较多的大规模爆破，应采用电雷管、导爆管或导爆索等微差顺序起爆。无论采用何种起爆方法，作业人员必须掌握起爆器材性能，熟悉安全操作工艺技术，能根据爆区周围安全允许条件，实现安全作业。当今主要的起爆方法有导火索起爆法、导爆索起爆法、导爆管起爆法和电力起爆法。

6.5.2 地下工程施工时，当空气中的瓦斯含量达到 4%~15%，遇热源即能爆炸；同样粒径不大于 1.0mm 的煤粉(煤尘)，当煤尘在空气中含量达到一定程度遇火可发生爆炸，因而凡产生明火的爆破器材不得使用。

6.5.3 导火索起爆法又称火雷管起爆法，是一种传统的起爆方法。

(1)起爆雷管加工，即将导火索段和火雷管按要求结合在一起的过程，加工好的雷管称起爆雷管，它必须在专门的加工房或洞室内按照安全操作规程要求进行加工，加工程序一般为：

1)按所需长度用锋利小刀从导火索卷中截取导火索段，导火索段长度最短不得小于 1.2m 以保证作业人员有充分时间撤到安全地点；插入火雷管端要切开，点火端宜切成斜面，以增加点火接触面。

2)检查雷管口确无杂物后把导火索平整端轻轻插入火雷管内。

3)用专用雷管钳夹紧雷管口，雷管钳的侧面与雷管口平齐，钳夹长度不得大于 5mm，避免夹到雷管中的起爆管，用力不能过猛，避免夹破导火索；如是纸壳雷管可用胶布缠紧方法固定导火索段。

(2)起爆药包加工，即将起爆雷管装入药包中，形成起爆药包。首先用竹木或铜制的工具沿药包中部的长轴方向戳成小孔，将起爆雷管全部插入，并将药包四周包纸收拢紧贴导火索，用胶布或细绳捆扎好。

(3)点火，当装药结束，一切无关人员撤至安全地点，发出点火警报后，即进行点火。点火前，必须用快刀将导火索点火端切除 5cm(点火前先全部切除好)，确保点火端无受潮状态，必须用导火索段或专用点火器材点火，严禁用烟头、火柴、打火机点火，对成片规则火炮，宜用点火筒法点火。从点炮人员的安全考虑，每次点火起爆作业人员应不少于 2 人，点炮区附近应有安全避炮设施。

6.5.4 导爆索起爆法，即利用绑在导爆索一端的雷管起爆导爆索，由导爆索引爆药包。

(1)起爆药包加工。导爆索的传爆可直接引爆起爆药包，对于深孔爆破起爆药包加工方法一般为：首先将导爆索直接绑扎在药包上，然后送入孔内；其次对散装炸药，将导爆索一端系一重块(石块或药包)，用石块时将导爆索把重块挽成一个结，送入孔底，然后按要求装药。

(2)导爆索的起爆。导爆索需用雷管起爆，因导爆索传爆速度快，连接雷管的聚能穴应朝向传爆方向；为起爆可靠，雷管应绑结在离导爆索末端不小于 15cm 处；为了安全，必须在起爆前方能将雷管绑在导爆管上。

6.5.5 电力起爆法，当电雷管中输入大于安全准爆电流后即可起爆。因此，本条规定的各项要求，均是防止早爆现象必须遵守的基本安全条件。为了避免事故的发生，故特别强调了“专人保管起爆箱”的重要性。

6.5.6 导爆管起爆法，导爆管传递的爆轰波是一种低爆速的爆轰波，只能起爆与之相匹配的非电雷管，再由雷管爆炸引爆孔内炸药。因其传爆速度较低，为避免起爆雷管聚能穴方向高速聚能流在爆轰波来不及传给导爆索之前切断导爆管，而出现导爆管拒爆的现象，故起爆导爆管的雷管聚能穴方向应与导爆管的传爆方向相反。

集中起爆的导爆管，为使爆能同步传给每根导爆管，宜采用连接块连接传爆。当用捆扎法时，应将导爆管均匀捆扎在起爆雷管周围，且不超过两层，同时在外围用胶布缠绕

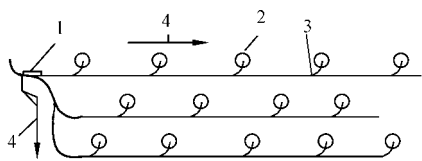
不少于 2 层，以利爆能迅速传入导爆管内。

6.6 爆 破 网 络

6.6.1 爆破网络包括：起爆器材选用、孔网起爆分组(段)、组间起爆时差、网络结构型式、连接方法与要求等，爆破设计确定后施爆时应严格按爆破设计要求执行。

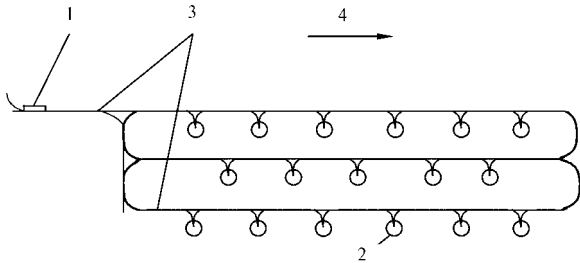
6.6.2 导爆索网络包括主干索、支干索和引入炮孔中的导爆索， 连接方法有开口网络和环形网络两种。

(1)开口网络又称分段并联网路，由一根主干索，若干根并联支干索及各炮孔中的引爆索组成，即炮孔中的引爆索并联在支干索上，各支干索并联在主干索上，整个网络是开口的，开口网络见图 1。



1—起爆雷管；2—炮孔；3—导爆索；4—传爆方向
图 1 开口网络

(2)环形网络又称双向并联网路或闭口网络，其特点是各炮孔中的引爆索接受从两个方向传来的爆轰波，起爆可靠性好，但导爆索消耗大，环形网络见图 2。



1—起爆雷管；2—炮孔；3—导爆索；4—传爆方向
图 2 环形网络

(3)导爆索起爆法的微差起爆，可通过继爆管与导爆管组成的微差起爆网络，有双向继爆管和单向继爆管；采用单向继爆管时，应避免接错方向，主动导爆索应同继爆管上的导爆索搭接在一起，被动导爆索应同继爆管尾部的雷管接在一起，确保顺利传爆。

(4)导爆索的连接，一般采用搭接和扭接的方法。连接段长度：搭接长度大于 15cm，扭接长度大于 30cm，连接处的两根导爆索之间不得夹有杂物，且接合紧密两端捆紧。为顺利传爆避免拒爆，主干索、支干索和引爆索的连接，顺传爆方向的夹角应小于 90°，各种连接法见图 3。

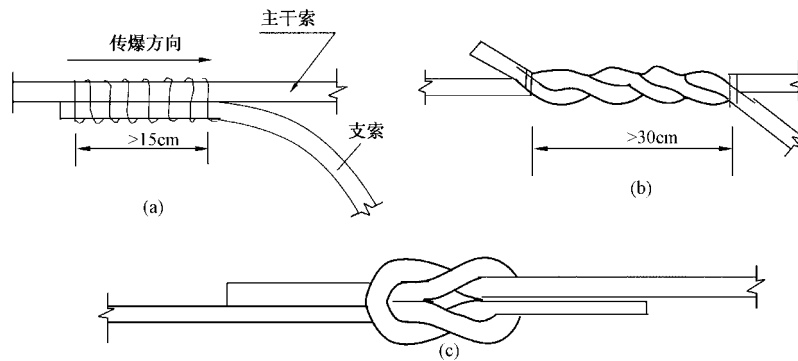


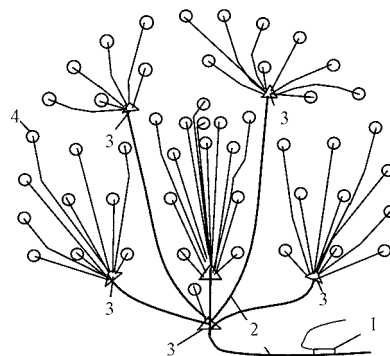
图3 导爆索连接法

(a)搭接法；(b)扭接法；(c)水手结法 1—起爆雷管；2—导爆管；

普通导爆索不具抗油性能，当采用铵油炸药时须用防油导爆索。

6.6.3 导爆管网络有并并联法和并串并联法及在串联和并联基础上的混合联法。

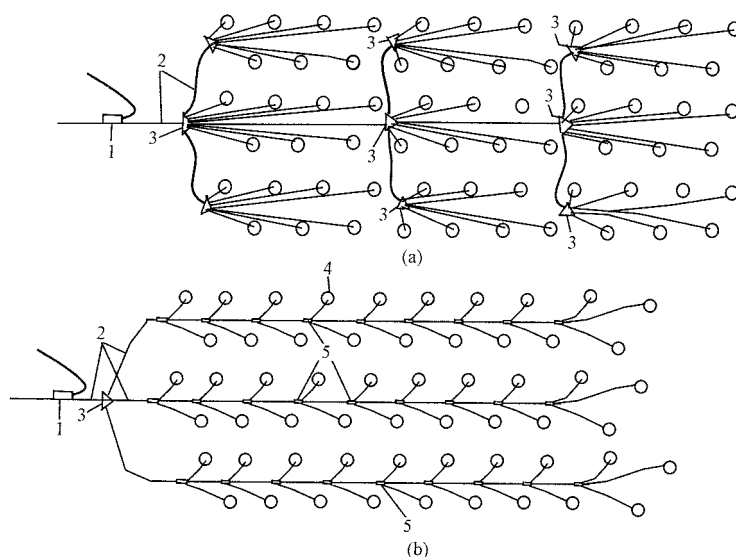
(1)并并联法：一般用于地下工程隧洞爆破网络，可用于孔内、孔外微差爆破，孔内微差爆破就是将各段别毫秒雷管装在炮孔内，实现微差爆破，孔外微差就是在各炮孔内装即发雷管，不同段别的毫秒雷管装在孔外，实现微差顺序爆破。并并联网络见图4。



1—起爆雷管；2—导爆管；
3—连接块符号 Δ ；4—工作元件

图4 并并联网络

(2)并串并联法：一般用于露天深孔爆破网络。并串并联网络见图5。



1—起爆雷管；2—导爆管；3—连接块；4—炮孔及工作元件；5—连通管

图5 并串并联网路

(3)应用特点:

- 1)操作技术较简单，与电力起爆法比较起爆准备工作量少。
- 2)安全性较高，一般不受外来电影响，除非雷电直接击中它。
- 3)能实现各种方式的微差起爆，每次起爆总孔数不受限制。
- 4)缺点是，起爆前无法用仪表检查网络连接质量；不能用于有沼气和矿尘起爆危险的地点；爆区太长或延期段数太多时，空气冲击波或地震波可能会破坏起爆网络；在高寒地区塑料管硬化影响导爆管传爆性能。这些缺点在施爆前均应认真研究，采取有效措施。

5)各种导爆索连接网络中都应保证由低段向高段，由前排向后排顺序起爆。在多组串并联混合网络中必须消除因分段而产生的后排先于前排起爆的现象。

起爆网络连接后施工、质检、监理必须认真对照网络设计图复查。

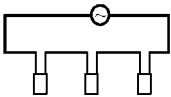
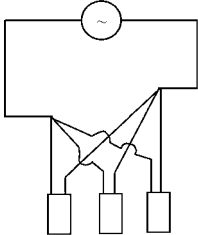
6.6.4 电力起爆网络，有串联、并联和混合联三种形式。

(1)串联网络。是最简单的网络，但只要其中任何一个雷管或任何一个接头发生故障，则整个网络失效，使用中应严格对每个雷管进行质量检查，确保每个接头的连接质量，如：接头所处位置不产生对地放电及不产生线间短路。为使这种网络起爆可靠，宜用串并联网路又称复式串联网络。

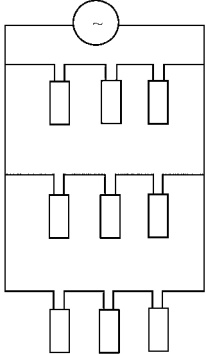
(2)并联网络。即将各个电雷管的一根脚线联在一起，另一根脚线也另联在一起，分别接到电源的两极上，成为并联网络，它的可靠性较高，但要求起爆总电流较大。

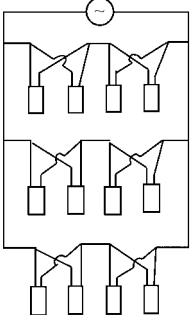
(3)混合联网络。又称复式起爆网络，由并串联和并串并联混合联网络组成。并串联即同一组炮孔并联后，将若干组串联为一个支路，并串并联即将若干支路并联接通主干线路。在大规模爆破中常采用混联网络，它要求各支路电阻平衡后，才能并联接入主干线路，当全网络总电阻值与计算值超过 $\pm 5\%$ 时，说明有个别支路断路，或对地短路，必须从工作面起进行检查处理，直至总电阻符合要求。电爆网路的连接形式与计算见表 17。采用电力起爆方法须注意感应电流、杂散电流、感生电能、静电电能的作用，以避免引起电雷管早爆的安全事故。下述环境中不宜采用电力起爆：

表 17 电爆网络的连接形式与计算

连接形式	网 路 示 意 图	网 路 计 算	说 明
串 联 网 络		总电阻: $R=R_1+R_2+nr+R'$ 总电流: $I>i$ 所需电压: $U=RI=(R_1+R_2+nr+R')I$	1.串联在一组内的电雷管电阻差不应大于 0.25Ω ; 2.并联网络中各支路电阻必须平衡; 3.式中: R ——网络的总电阻, Ω ; R_1 ——主导线电阻, Ω ; R_2 ——端线、连接线、区域线电阻之和, Ω ; R' ——电源内电阻, Ω ; 电网电阻可忽略不计; $R_{\max}$ ——电阻平衡后大支路电阻, Ω ; I ——总电流, A; U ——电源电压, V; n ——串联电路中电雷管数; r ——单个电雷管电阻, Ω ; i ——每个电雷管所需准爆电流, A; m ——串并联网络支路数; N ——并串并网络中的大支路数
并 联 网 络		总电阻: $R = R_1 + R' + \frac{1}{m}(R_2 + r)$ 总电流: $I>ni$ 所需电压: $U = RI = \left[R_1 + R' + \frac{1}{m}(R_2 + r) \right] I$ 即: $I = \frac{U}{R_1 + R' + \frac{1}{m}(R_2 + r)} > i$	

续表 17

连接形式	网 路 示 意 图	网 路 计 算	说 明
串 并 联 网 络		总电阻: $R = R_1 + R' + \frac{1}{m}(R_2 + nr)$ 总电流: $I>mi$ 所需电压: $I = \frac{U}{R_1 + R' + \frac{1}{m}(R_2 + nr)} > mi$ 即: $I = \frac{U}{R_1 + R' + \frac{1}{m}(R_2 + nr)} > mi$	1.串联在一组内的电雷管电阻差不应大于 0.25Ω ; 2.并联网络中各支路电阻必须平衡; 3.式中: R ——网络的总电阻, Ω ; R_1 ——主导线电阻, Ω ; R_2 ——端线、连接线、区域线电阻之和, Ω ;

并串 并联网 络		总电阻：$R = R_1 + R' + \frac{1}{N} R_{\max}$ 总电流：$I \geq Ni$ 所需电压： $U = RI = \left(R_1 + R' + \frac{1}{N} R_{\max} \right) I$ $I = \frac{U}{Ni \left(R_1 + R' + \frac{1}{n} R_{\max} \right)} > Ni$	R' —— 电源内电阻，Ω；电网电阻可忽略不计； $R_{\max}$ —— 电阻平衡后大支路电阻，Ω； I —— 总电流，A； U —— 电源电压，V； n —— 串联电路中电雷管数； r —— 单个电雷管电阻，Ω； i —— 每个电雷管所需准爆电流，A； m —— 串并网络支路数； N —— 并串并网络中的大支路数
-------------------------	---	---	--

(1)雷电天气。

(2)杂散电流、感应电流超过 30mA 的环境。

(3)广播电台、广播电视台发射机 3.5km 范围内，国际广播发射机 17km 范围内，移动式无线电发射机 300m 范围内。

(4)电力输电线下产生感应电流大于 30mA 的范围，在电力输电线附近即使感应电流小于 30mA，电爆网络线路应避免与架空电力线平行敷设，网络两根主线的间距应不超过 15cm。

从事电力爆破作业人员不得穿化纤、毛与化纤混纺衣服，尤其是不宜将导电性能差的毛衣与化纤衣服叠穿。压气装药管宜用导电性能良好的管道等，避免积聚高纯静电引起电雷管早爆事故。

大规模爆破分组较多时，应严格掌握起爆微差顺序和爆破前冲方向，防止最先落下的飞石砸坏未起爆网络，确保顺利起爆。

6.6.5 大规模爆破时，总装药量较大，起爆分组(段)较多，爆破地震作用引起的安全问题，除严格控制单组(段)起爆药量外，还应严格控制起爆时差相近的组(段) 爆破地震波，增加峰值在安全允许范围内。实测资料表明，起爆组(段)间隔时差小于 70ms 时， 可能出现爆破地震波峰值叠加状况，间隔时差越小，叠加的峰值就更大。大规模爆破分组较多时， 应严格掌握起爆微差顺序和爆破前冲方向，防止最先落下的飞石砸坏未起爆网络，保证顺利起爆。

7 地下洞室钻孔爆破

7.1 洞口段钻孔爆破

7.1.1 洞脸的边坡轮廓采用预裂爆破或光面爆破方法，对确保岩体的完整性和稳定性起到积极的作用。开挖后的洞脸坡顶和临近洞口上部应设置马道、截水沟和防护栏以利于施工安

全。

7.1.2 根据洞口段的地质条件而选择进洞方式，其目的是为了安全生产顺利进洞。一般情况下尤其浅埋暗挖洞段都应采用正面掘进，在设有支洞的条件下亦可采用反向开挖。经验表明开始洞挖时应采用先导洞，浅孔、小药量爆破，这对洞口段围岩稳定及成洞断面形状有好处。不良地质条件下，进口段须及早作好支护，支护可采用临时性或永久性，其长度根据围岩性质及洞径跨度而定。本标准规定的支护长度不小于 2 倍的洞径。地下洞室按断面尺寸和围岩地质分类标准见表 18、表 19。有关钻爆参数可采用工程类比法或通过现场爆破试验确定。

表 18 地下洞室按断面尺寸的分类

项 目	断面积 m ²	等效直径 m
小断面	<20	<4.5
中断面	20~35	4.5~6.5
大断面	35~120	6.5~12
特大断面	>120	>12

表 19 地下洞室围岩按地质分类表

类别	名称	围岩主要工程特征		地下水活动状态	开挖面毛洞围岩稳定状况	山岩压力计算理论	支护意见
		岩 体 状 况	结构面特征				
I	稳定	岩石新鲜完整，受地质构造影响轻微，节理裂隙不发育或稍发育，多系闭合且延伸不长，无或偶有软弱结构面，宽度一般小于 0.1m。 岩体呈块状整体结构或块状砌体结构	结构面无不稳定组合。 断层走向与洞线近正交	洞 壁 干 燥 或 只 有 轻 微 潮 湿 现 象，沿个别节理裂隙有微弱渗水	成 洞 条 件 好，无坍塌、掉块现象	不计山岩压力	一般可不支护
II	基本稳定	岩石新鲜或微风化，受地质构造影响一般，节理裂隙稍发育或发育，有少量软弱结构面，宽度小于 0.1m，层间结合差，岩体呈块状砌体结构或层状砌体结构	结构面组合基本稳定，仅局部有不稳定组合，断层等软弱结构面走向与洞线斜交或正交	洞 壁 潮 湿 沿 一 些 节 理 裂 隙 或 软 弱 结 构 面 有 渗 水、滴水	开挖中，局部有掉块现象，局部地段成洞条件差，长时间暴露，局部有小坍塌	须考虑部分落石荷载，可采用极限平衡理论，或结构面分析法进行计算	局部支护
III	稳定性差	岩石微风化或弱风化，受地质构造影响严重，节理裂隙发育，部分张开且充泥，软弱结构面分布较多，宽度小于 1m。岩体呈碎石状镶嵌结构	结构面组合不利于围岩稳定者较多。 断层等软弱结构面走向与洞线斜交或近平行	地 下 水 活 动 显 著，沿节理裂隙或断层有渗水，滴水或呈线状涌水	成 洞 条 件 稍 差，无支撑时产生小规模坍塌，高边墙侧有时局部	结合地质分析，采用极限平衡理论，或散体理论计算	一般需要支护

					失稳		
--	--	--	--	--	----	--	--

续表 19

类别	名称	围岩主要工程特征		地下水活动状态	开挖面毛洞围岩稳定状况	山岩压力计算理论	支护意见
		岩体状况	结构面特征				
IV	不稳定	同第Ⅲ类岩体状况，但软弱结构面较多，宽度小于2m，节理裂隙局部极发育。岩体呈碎石状压碎结构	结构面组合不利于围岩稳定。 断层等软弱结构面走向与洞线近平行	地下水活动显著，沿节理裂隙或断层带有渗水，滴水或呈线状涌水	成洞条件差，顶拱一般因坍塌而超挖，无支撑时可产生较大坍塌，边墙有失稳现象	采用散体理论计算	需支护
V	极不稳定	1.石质围岩：岩石弱风化或全风化，受地质构造影响严重，节理裂隙发育，断层破碎带宽度大于2m，以断层泥、糜棱岩、角砾岩为主，裂隙中多充泥。岩体呈角砾、泥砂、岩屑状散体结构。 2.松散土层、砂层、滑坡堆积层及一般碎、卵、砾石土等。 3.挤压强烈的大断层带，裂隙杂乱，呈土夹石或石夹土等	结构面呈零乱状不稳定组合。 断层等主要软弱结构面走向与洞线近平行	地下水活动强烈，有较大涌水量，常引起不断坍塌	成洞条件很差，围岩极易坍塌，甚至出现地表下沉或冒顶	采用散体理论计算	应加强支护

7.2 平洞段钻孔爆破

7.2.1 平洞钻孔爆破方法视围岩工程地质、水文地质条件和施工设备的能力，由承包单位选定。当成洞条件好、钻孔设备能力满足，在施工和环境安全的情况下：洞径小于10m，断面积不大于100m²的平洞可采用全断面掘进法；洞径大于10m的平洞宜采用导洞法施工。大直径洞室掘进方式较多，有上导洞、下导洞、中间导洞等方式。导洞亦可采用超前导洞，其目的为尽早探明地质情况，但超前导洞不宜过长，否则会增加出渣、通风的困难，一般20m～30m即可。

7.2.2 开工前应依据设计图纸、技术文件、工程地质、水文地质条件及钻孔机具、爆破器材等进行爆破设计。爆破设计应体现当今技术进步和综合机械化施工的发展与文明施工的水平，大型的主厂房、主变室和尾调室采用分层、分块开挖，一般洞室宜采取全断面开挖。根据围岩成洞条件和施工设备配套情况，排炮钻孔深度可按2m～3m或4m～5m，周边孔应采用光爆或预裂，主爆孔采用微差顺序爆破技术，尽量减少对围岩的干扰。加强监测工作，充分发挥围岩自承能力，采取喷锚支护技术，按信息法施工达到安全生产快速开挖的要求。

7.2.3 为了获得较好的爆破效果，洞室爆破关键在于合理的炮孔布置和起爆程序，其中掏槽孔是至关重要，它是决定排炮循环进尺。应根据围岩的岩性，节理、裂隙发育情况布置掏槽孔，常见的有直孔掏槽、斜孔掏槽。一般掏槽孔宜设在断面中部，为了达到更好的爆破效果，应利用掌子面的地质薄弱部位进行掏槽布孔。采用空孔掏槽时，其孔径要比主爆孔大，孔深比主爆孔深 15cm~20cm，装药量亦应增加 15%~20%。直孔掏槽主要参数见表 20。

表 20 直孔掏槽主要参数

掏槽型式	布 孔 型 式	掏槽孔间距 mm			装药系数	起爆顺序	适 用 条 件
		a	b	c			
一字形		150	300	400	0.8L L-孔深	1 [#] ~3 [#] 一段 4 [#] ~5 [#] 二段 6 [#] ~9 [#] 三段	f=3~4 砂岩、石灰岩
四 孔 三角形		$E=2.5d$ d=孔径				1 [#] ~3 [#] 一段	泥页岩
六 孔 三角形		$E=2.0d$				1 [#] ~3 [#] 一段	砂 岩

续表 20

掏槽型式	布 孔 型 式	掏槽孔间距 mm			装药系数	起爆顺序	适 用 条 件
		a	b	c			
单空孔菱形		100~ 150	170~ 200		(0.7~ 0.8)L	1 [#] ~2 [#] 一段 3 [#] ~4 [#] 二段	页岩和中硬岩
双空孔菱形		100~ 150	170~ 206		(0.7~ 0.8)L	1 [#] ~2 [#] 一段 3 [#] ~4 [#] 二段	坚硬岩石

四空孔十字形		160~ 200	250~ 300		(0.7~ 0.8) <i>L</i>	1 [#] 一段 2 [#] ~5 [#] 二段	各类岩层
--------	--	-------------	-------------	--	------------------------	--	------

续表 20

掏槽型式	布 孔 型 式	掏槽孔间距 mm			装药系数	起爆顺序	适 用 条 件
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>			
九孔中空 对称形		160~ 200	350~ 400			1 [#] ~4 [#] 一段 5 [#] ~8 [#] 二段	软岩和中 硬以下岩层
大孔径空孔		中空孔径 $\phi 100\sim\phi 200\text{mm}$ ，联成“8”字形重叠孔，掏槽孔与中孔的孔距一般为 100~400mm					

说明○→不装药空孔
●→装药孔

斜孔掏槽(V形掏槽)方式，它适用于隧洞有一定的宽度，循环进尺约为洞宽的 50%，一般采用两层掏槽，或多层掏槽，掏槽角一般不小于 60°，见图 6。掏槽应采取上、下层孔微差起爆，其时差宜为 50ms，上层孔应使用同段雷管。在不同孔径和所用炸药条件下，抵抗线 W_1 、 W_2 和掏槽高度 h 与底部装药集中度之间的关系见图 7。

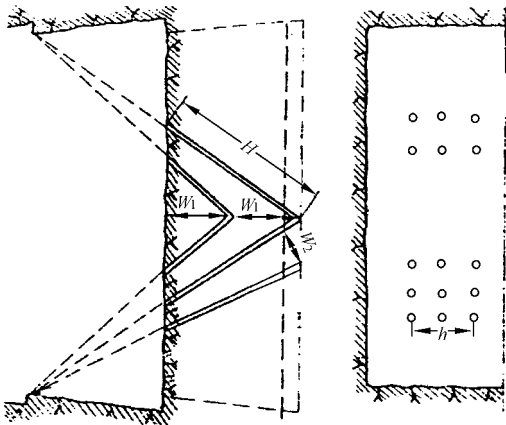


图 6 斜孔掏槽

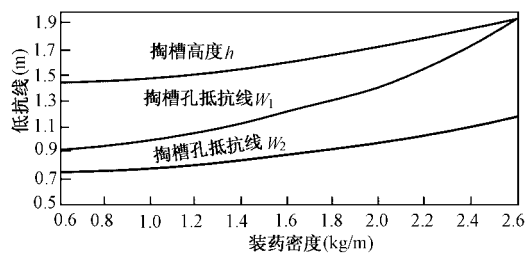


图 7 抵抗线与装药密度关系

有关国内水电水利工程部分隧洞钻爆参数见表 21。

表 21 我国一些隧洞采用的钻孔爆破参数

[illegible]

7.2.4 地下洞室开挖钻孔爆破过程中，强调周边采取光爆或预裂爆破措施，其目的在于控制开挖断面规格，使围岩免遭破坏或少受干扰，以便发挥自承能力。减少超挖量，对降低工程造价有极大好处。有关预裂、光面爆破参数可参考下列图表。

(1)光面爆破的参数一般应通过试验确定，初次选用的参数，见表 22。

表 22 光面爆破参数参考表

岩石坚固 系数 f	不耦合 系数 D/d	线装药密度 Q_x g/m	孔距 a m	最小抵抗线 W m
2~4	2~2.4	50~125	0.40~0.30	0.40~0.30
4~6	1.6~1.8	100~200	0.45~0.35	0.45~0.35
6~10	1.4~1.6	150~250	0.50~0.40	0.55~0.45
>10	1.2~1.5	200~300	0.55~0.45	0.70~0.60

(2)洞室周边光面爆破参数及光面、预裂爆破孔距与孔径关系，见图 8。

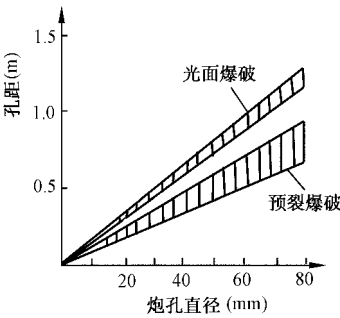


图 8 光面、预裂爆破孔距与孔径关系图

7.2.5 根据大量的统计资料表明，采用钻爆法施工洞室径向超挖值一般均超过 20cm，其原因除地质条件外主要是由于钻孔插入角控制不严，为了减少超挖量开钻时应调整好角度，并保持周边孔孔向一致，超挖量与孔深、插入角的关系式如下。

$$\Delta R=C+0.5L\tan \alpha$$

(11)

式中： ΔR ——平均超挖值，cm；

C ——钻机离设计线最小操作空间距离，cm,一般 C 为 10cm；

L ——循环进尺，cm；

α ——插入角(钻杆与洞轴线夹角)，(°)。

本条所规定的光面、预裂爆破残留孔迹保留率指标，工程实践表明只要认真操作均可达到。

7.2.6 在钻爆过程中为减少对围岩的扰动，周边布设光爆孔或预裂孔是极为必要。梯段高度应以满足石渣挖装设备的安全作业为准，一般控制在 6m为宜，最大不得超过 8m。单响最

$$V=K\left(\frac{Q^{1/3}}{R}\right)^{\alpha}$$

大段起爆药量应确保已挖洞段围岩的稳定和支护设施的安全,其药量可按经验公式反算求得,再经生产性试验加以调整。

7.3 竖井与斜井钻孔爆破

- 7.3.1 本条是挖井前必备的条件,须经有关方面验收后方能开始挖井。
- 7.3.2 由于钻孔机具不断的改进,加之爆破技术的进步,国内水电水利工程和矿山一般竖(斜)井直径不大于 7m时,可采用自上而下全断面或先导井后扩挖的正井法施工,已有 $\phi 7\text{m}$ 的竖井全断面下挖 800m成井的实例。但在施工过程中应着重解决好通风、排水、出渣和井壁的支护等问题。
- 7.3.3 当井口段下挖 5m~10m 后,无论露天井口或埋藏式井口,均须进行锁口,可结合永久性衬砌确保井口稳定。井台岩石完整时,经充分论证后不受此限。为确保作业人员上下交通安全,当井深在 15m 以内应设置 Z 型扶梯,若井深超过 15m 必须采用提升设备。挖井过程中排水极为重要,应采取有效措施确保作业面无积水。如遇Ⅳ、Ⅴ类围岩时,应采取边开挖、边支护,必要时可结合永久性支护,确保施工安全和井壁围岩的稳定。当井壁出现大量渗、漏水时,应采取灌浆处理。
- 7.3.4 通常大直径竖(斜)井都采取先导井后扩井的方法施工,导井的断面应视扩井溜渣的需要而定,一般 4m²为宜。
- 7.3.5 当今较大断面的竖井多数采用导井法施工。导井法又分为正井法和反井法两种,前者系指由上而下进行分层钻爆下挖成井,后者采用吊罐、爬罐由下而上进行反向钻爆成井。一般导井均采用钻孔爆破法施工,亦有使用反井钻钻井法施工。反井钻钻井法它速度快、质量好,尤其围岩爆破条件受限制的地段采用该法较为理想,但费用昂贵、成本高,二滩水电站地下厂房一些竖井采用反井钻施工;重庆南川鱼跳水电站引水发电洞调压井直径为 12m,高为 70m,采用反井钻完成直径 1m 的导井,仅用 20 余天即贯通。根据已建工程统计资料表明,竖、斜井采用钻爆法施工,其最大开挖深度如下:
- (1)正井钻孔爆破法大于 800m。

(2)反井法见表 23。

表 23 各类反井法适应深度范围

方 法	普通法	吊罐法	爬罐法	*反井钻法
深度 m	<100	<100	<150	>1000
* 非钻爆法。				

- 7.3.6 在Ⅳ、Ⅴ类围岩开挖过程中,炮后须对喷锚、桁架支护结构进行检查,如发现有异常现象,应及时研究分析采取加固措施。
- 7.3.7 当竖(斜)井采用先导井后扩挖的方法时,导井位置取决于施工习惯和爆破效果。竖井考虑方便扩挖,斜井考虑扩挖时钻爆效果、排水和出渣运输线的布设;竖井中导井留边厚度主要是考虑导井爆破产生的爆破裂隙不超出周边孔爆破时产生的破坏区,并顾及扩挖时钻孔爆破作业的需要而留有一定的厚度。导井施工采用从上一次钻孔,由下而上分段爆破成井,此法在钻孔过程中须严格控制钻孔质量,特别是深井钻孔,要随时检查及时纠偏,确

保钻孔质量。装药时上下口堵塞是关键，须按爆破设计要求认真地堵好炮泥。反井法施工手段很多，选择时可根据工程具体情况，应考虑施工技术力量和经济效益的问题。

7.3.8 由于地下工程围岩岩性不一，本标准强调当采用爬罐法施工时，应特别注意轨道的锚固问题。在实施过程中必须根据围岩的变化随时变更锚固设计，并对其安装质量进行监督检查，确保爬罐运行安全。

7.3.9 本条与 7.2 平洞钻孔爆破类似，可参照 7.2.4 的条文说明。

7.3.10 在扩井过程中如遇断层破碎带应采取支护加固，并加强监控随时掌握井壁围岩变形情况，确保施工安全和井壁围岩稳定。

7.4 特殊部位的钻孔爆破

7.4.1 本条采用水电水利工程、矿山、军工传统规定，多年的实践表明是安全有效的。

7.4.2 在长隧洞或曲线洞施工过程中，往往由于测量累积误差可能引起洞轴线偏移，为便于纠偏故在交会段采用小导洞先贯通，如有出现偏移则在扩挖时加以顺直。

7.4.3 地下洞室群爆破宜统一安排起爆时间，须由专人指挥，各部位起爆合闸时间应错开，目的是为确保作业人员和施工设备的安全，同时还应考虑爆破产生的地震波的叠加对邻近洞室支护的影响。

7.4.4 在已挖洞室壁面开洞或两洞交岔处，这些部位围岩应力十分复杂，为确保安全施工，须采取边挖边支护。初始可用锚杆或喷网锚杆支护，待距洞口 5m~10m 后宜作永久支护。

7.4.5 为减少地下式水力发电厂厂房的跨度，近二十年来国内水电工程大多采用岩壁吊车梁，并积累了不少的施工经验。经验表明钻孔爆破前必须作好周密的设计，选择有代表性的部位进行试验，以便调整爆破设计参数和完善施工工艺。为确保梁座阴阳角岩体不受损，周边采用预裂爆破割切或光面爆破成型。在施工过程中应采取浅孔、小药量控制爆破，如遇围岩节理发育，可采用先锚后挖的方法。

7.5 不良地质洞段的钻孔爆破

7.5.1 在高地应力区开挖地下洞室过程中可能发生岩爆，岩爆亦属一种地质灾害，至今还无有效的防治措施。我国水电工程古田溪一级水电站、天生桥二级水电站的引水发电洞和二滩水电站地下厂房在开挖过程中都发生过不同程度的岩爆，而且延续的时间较长。以二滩水电站为例，根据三维测试提供的资料表明，主厂房和主变室的最大应力分别为 64.4MPa 和 52.7MPa，在开挖过程中发生过数十次不同程度的岩爆，且遍及每个洞室。岩爆发生的时间没有规律，有的发生在开挖后 1 个星期内，有的发生在 1 年后，岩爆发生的部位多数位于起拱线以上和边墙靠近低部区域。

岩爆的防治，可以说要完全避免高应力区洞室施工中岩爆的发生是十分困难，甚至是不可能的，但可以通过优化设计和合理的组织施工，尽可能地避免出现应力过分集中的地区或部位，及时做好围岩的支护和补救工作。通常的办法如下：

(1)在工程设计时，建筑物的布置应尽可能使地下洞室的长轴轴线方向与最大应力 σ_1 方向呈小角度相交，减少洞壁的切向应力。

(2)施工中应采用浅孔多循环进行控制爆破，控制单响最大段起爆药量以减轻对围岩的扰动，从而改善围岩的应力条件。

(3)在高应力区和岩爆发生区，洞室开挖后应及时支护，除采用常规的锚杆、锚索、喷网锚杆、钢拱架及混凝土衬砌支护外，还应考虑采用柔性材料支护(如软式锚索、锚索采取低应力锁定、挂网等)以适应围岩的变形。

(4)加强围岩变形监测，施工期间洞室围岩应力会不断地调整 and 变化，一旦发现支护严重变形时，应尽快采取补强加固处理。

总之，在岩爆地区进行地下洞室施工时，应以控制爆破、喷网锚杆支护和围岩变形监测为基础，在确保安全的前提下加快工程进度。

7.5.2 当水工隧洞进口段由于受地质、地形条件和洞线布置的限制，不得不采取浅埋暗挖的方式进行施工时，或洞身段遇到断层，给施工带来很大的困难，而打乱了工程计划和整个部署时，一般均采用先边墙后顶拱分块的方式进行施工，边开挖边衬砌。例如，陕西天生桥二郎坝水电站进水口遇断层破碎带采取浅埋暗挖，由于岩性差、洞径大，开始工程进展缓慢成为关键性的控制项目，后采取了超前锚杆、管棚，两侧边墙及上部导洞进行浅孔、小爆破，在支护棚架的保护下边挖边衬，待上部施工完毕后再进行下部施工；福建古田溪龙亭水电站引水隧洞塌方段，在导洞扩挖时发生严重的塌方事故，由于该工程停歇时间过久，一直塌至地表，最后采取了灌浆处理重新开挖；广东东(江)深(圳)引水三期扩建工程，输水线路须穿山、跨河，其中七八座隧洞总长达 20km，过水断面 $6.4\text{m} \times 7.2\text{m} \sim 5.6\text{m} \times 7\text{m}$ ，由于隧洞进出口与输水箱涵、渡槽相接，故洞线选择受限，加之山涧、冲沟多，部分洞段顶板围岩厚度不足 2m，为减少开挖工程量节省投资，采取浅埋暗挖方式。

一般进出口洞段围岩软弱，地下水丰富，给施工带来很大的难度。东深引水工程施工采取的方式如下：

(1)进出口洞脸。采取从上而下分层下挖，边挖边支护，一般都用喷网锚杆或锚索作为支护手段。

(2)洞口段。采用上导洞或双侧导洞正台阶法施工，采取浅孔多循环，临时支护以喷网锚杆或注浆管棚加钢拱支架。

(3)洞身段。I、II类围岩采用全断面开挖，无须支护，局部洞段视围岩性质酌情采取喷混凝土支护；III类围岩采用全断面或上导洞正台阶法开挖，采取随机锚杆加喷混凝土支护；IV类围岩采用上导洞正台阶法开挖，采取喷网锚杆，必要时改为超前锚杆支护；V类围岩采用上导洞正台阶法开挖，遇地下水丰富时可在起拱线下方两侧先打排水洞，支护型式除按IV类围岩洞段采取的措施外，加钢拱架或将超前锚杆改为注浆管棚；断层洞段按V类围岩施工。

在不良地质洞段开挖，应按信息法施工，并加强监测，采取边开挖边衬砌，做到步步为营确保施工安全。

7.5.3 地下洞室在施工过程中，当开挖至临近断层带或溶洞时，为了探明确切的位置而采取浅孔、小爆破、多循环的掘进方式，以确保施工安全。

7.5.4 凡在有沼气、瓦斯的洞室从事钻爆作业时，应使用符合钾矿爆破安全要求的爆破器材，由经验丰富的爆破人员担负此项任务；加强监测工作，及时提交测试数据。监测人员在响炮 15min 后方能进入作业面检测瓦斯浓度，确认浓度在允许范围内方能继续生产。

7.5.5 避炮洞应距爆破作业面不得小于 100m，这是多年来确保爆破作业人员的人身安全沿用行之有效的经验规定。

7.5.6 地下洞室钻孔爆破与混凝土衬砌平行作业时，确保混凝土衬砌不遭破坏，实践表明爆破飞石对新浇混凝土的距离，一般不宜小于 50m。至于爆破产生的地震效应，可用经验公

式
$$V = K \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right)^\alpha$$
 进行计算。通过现场测试获得 K 、 α 值后，确定单响最大段起爆药量，以最小安全距离控制爆破地震作用。应充分考虑各段药量产生爆破地震波的峰值叠加，并控制在安全允许范围内。

8 水下钻孔爆破

8.1 钻爆准备

8.1.1 在承包合同签订后,承包单位除按本标准 6.1.1 规定收集资料外,还应获得航务方面的资料及爆破作业区周围地面、地下、水面、水下的环境情况。这些资料作为编制施工组织设计的依据。

8.1.2 承包单位根据收集的有关资料,按本标准 6.1.1 规定编制的施工组织设计,并经有关单位批准后送交当地港航监督部门备案。同时就水上危险区范围、警戒标志、信号、警戒位置、警戒措施等得以认可。必要时水面警戒由当地港航监督部门负责。

文中的第三款系指承包单位的下属对钻爆作业设施检查、验收时,重点检查作业船的定位设施(含定位桩、锚定装置)以及避洪地点与其安全防护设施的可靠性作出评估,如有不妥之处应限期整改以策安全。

8.1.3 凡有通航要求的区段进行爆破时,承包单位均需提前 3 天通知港航监督部门,港航监督部门接到通知后,迅速告知有关部门,协助作好安全工作。

8.1.4 港航监督部门根据商定的水下爆破航段、位置、爆破时间、警戒位置及信号、标志等有关事项发布航行通告,除口头通知外,应在“海运、交通报”或“地方”报纸登载。爆破作业时应派出巡逻艇指挥危险区域船只和人员的安全撤离及安全警戒。

8.2 钻爆设计

8.2.1 水下钻孔爆破设计除按 6.1.3 规定外,还须考虑水流的影响和便于清渣,故装药量一般要比陆地大一倍,见 8.3.5 条文说明。

8.2.2 水下钻孔爆破引起的地震效应、水击波、飞石,对被保护对象的安全影响可分别按下列经验公式求得。

地震效应可按公式 6 求得。

水击波压力可按式求得:

$$P = 52.7 \frac{Q^{1/3}}{R} \quad (12)$$

飞石安全距离可按式求得:

$$L = 200 \frac{Q^{1/4}}{nh - 2} \quad (13)$$

以上两式中: p ——冲击波压力, MPa;

R ——药包中心到测点的距离, m;

Q ——药包重量, kg;

L ——安全距离, m;

h ——水深, m;

n ——系数,与地形、地质有关,一般为 1~1.3。

一般情况下钻爆船冲击波压力限值为 2MPa,航行船舶限值为 1MPa;当在水深大于 30m 的水域内进行水下爆破时,水中冲击波安全允许距离应通过试验确定;飞石的安全距离取决于水的深浅而定,一般水深在 2m 以内其安全警戒距离可控制在 300m;水深在 2m~4m 可控制在 100m~200m;当水深超过 4m 时块石极少飞出水面,其安全警戒距离可控制在 100m。

8.3 钻爆施工

8.3.1 为了确保孔位的准确性，钻孔前可用 GPS 或全站仪控制钻爆船的位置，并以船舷首尾定出孔位。采用 OD 法施工。

8.3.2 钻孔作业过程中如遇风浪或水流变化时，须对钻爆船或钻爆工作平台的定位装置(定位桩或缆绳固定设施)进行检查，必要时可采用仪器校测其位置。

8.3.3 水下钻爆一般按品字形布孔，相当于陆上的梅花形布孔；采取耦合装药，为确保准爆，装药时每孔宜放 2 只起爆药包，并在其内增加 1~2 个即发雷管与引爆雷管绑扎在一起或每个起爆药包内安放 2 发雷管，并连成两套网络同时起爆，采用这种方式起爆盲炮事故可以避免。当今水下钻孔爆破起爆网络采取电雷管激发非电导爆系统引爆为主，爆破效果好，但在连线时应注意接口的操作。

8.3.4 使用套管进行水下钻孔，其目的在于：① 起钻孔导向作用；② 穿过覆盖层时防止孔壁坍塌；③ 便于装药和堵塞孔口段。套管嵌岩深度应视江河流速和覆盖层厚度而定，一般情况下嵌入一定的深度即可。

8.3.5 本标准 8.2.1 条文说明中已提及有关水下爆破药量计算问题，一般可用浅水爆破和深水爆破算式求得。

(1)浅水爆破。水深在 1.0m 左右，抵抗线 2m 以内平地钻爆，单孔药量计算式为：

$$Q=qW^3 \quad (14)$$

式中：Q——单孔装药量，kg；

q ——水下钻爆单位耗药量， kg/m^3 ,参考表 24 查得；

W ——药包中心至岩石表面的距离，m。

表 24 水下钻爆单位耗药量 q 值

土 石 类 别	q	土 石 类 别	q
含砾石的土	0.7	中等坚硬岩石	1.86
坚硬的黏土	1.4	坚硬岩石	2.20
松软的裂隙岩石	1.53		

(2)深水钻孔爆破。考虑水深的影响，其单孔装药量计算式为：

$$Q = qWaH \left(1.45 + 0.45e^{0.33 \frac{H_0}{W}} \right) \quad (15)$$

表 25 表 26 式中：Q——单孔装药量，kg；

W ——最小抵抗线，m；

H ——梯段高度，m；

H_0 ——水深，m；

q ——水下钻爆单位耗药量， kg/m^3 ；

a ——孔距，m。

国内外水下钻爆各项技术指标参见表 25、表 26。

表 25 国内水下爆破工程钻爆主要技术指标

工 程 名 称	地质条件	爆破工程量 m ³	平均深度 M	钻孔数量 个	钻孔总长度	总药量 kg	雷管总数 个	单位耗药量 kg/m ³	单位雷管耗量 个/m ³
新丰江进水口	花岗岩	28000	27	1150	6330	5.5	24000	0.85	0.91
辽宁港池工程		9900	4.5	706	1774	2.5	3993	0.40	1.50
黄埔航道整治 A	红砂岩	97000	6.1	4329	17665	4.0	55220	0.57	0.41
黄埔航道整治 B	红砂岩	125000	5.7	8390	43115	5.2	5860	0.47	0.29
黄埔航道整治 C	红砂岩	78000	6.6	4732	20492	4.3	4150	0.53	0.31
葛洲坝上游围堰拆除	混凝土	21502	12	2377	40000	47800			

表 26 国内外水下钻爆主要参数

国家和地区			中 国	中 国	加拿大	中国香港	意大利	日 本	日 本
工程名称			黄埔港大豪洲	长江三峡工程	马迭朗	水下隧道基础	热那亚	天草 3 号桥脚	种市港
水 深 m			7~11.5	8.1~13.6	3~6	20	6	10	3
开挖方量 m ³			500000	130000	20800	125000	土方 80000 石方 145000	1800	30000
岩 石 种 类			红砂岩	花岗岩	石英花岗岩	硬质花岗岩	辉绿岩	砂 岩	凝灰岩
钻 孔	长 度 m	4~6	0.5~9.0	5.6	9.0	8	2.6~3.1	4	
	直 径 mm	96	160	102	70	64.51	50	75	
	孔距 a×孔距 b m	1.5×2.5	3.5×3	1.8×2.4	1.8×1.8	2.0×2.0	2.0×2.0	2.6×2.5	
		2.0×2.5		1.5×2.1	2.0×1.8				
		2.5×2.5			2.0×2.0				
炸药种类		2 [#] 岩石炸药 少量, 40%硝化甘油炸药	乳化炸药	FIOseI-S	90%硝化甘油	胶质炸药	新 桐	新桐	
单位耗药量 kg/m ³		0.4~0.65	2.09	1.59	0.9~1.4	0.6	0.54	0.4	

(3)梯段爆破孔、排距与抵抗线的关系

$$a=b=(0.8\sim2.0)W$$

式中： W ——设计抵抗线，一般取 $W=0.4m\sim 1.0m$ ， m ；

H ——梯段高度， H 大小和岩石硬度有关，当 H 大时 W 取小值，反之取大值， m 。

8.3.6 水下爆破应使用抗水的或经防水处理的爆破器材，用于深水区爆破的器材还应具有抗压性能或采取有效的抗压措施。

8.3.7 水下装药可利用钻孔的套管或专用的塑料管进行。采用分段间隔装药结构时，各段须设有起爆药包，该起爆药包应按本标准 8.3.3 条文说明要求制作。当确有可靠的隔绝电源和防止错位等安全措施时，才能采取边钻孔边装药。引出的导线在水面上要做好标识。

8.3.8 为确保孔口堵塞的质量，在装药结束后，套管提高至药包顶面时方能在套管保护下进行堵塞。一般情况下孔口堵塞长度为孔径的 5~6 倍即可。

8.3.9 爆破网络连接见本标准 6.6 有关条文说明。

8.3.10 水下爆破由于使用非电导爆系统起爆，只要严格按规程进行操作都能准爆，如须检查则可采用人工潜水或水下声纳探测器查炮。

8.3.11 本条是根据我国内河和川江水下钻爆实践经验制定的。

8.4 水下岩塞爆破

8.4.1 这是水下岩塞爆破工程的必须具备的条件，否则就不得施工。

8.4.2 水下岩塞爆破设计较其他工程爆破设计复杂，工程在实施过程中具有一定的风险，爆破设计工作应慎之又慎，设计所需的基本资料必须齐全。

8.4.3 本标准的规定是水下岩塞爆破的一般要求，岩塞口轮廓边线的孔网布置和装药结构，必须按设计要求进行布置施工。施工前应对岩塞口的洞脸和附近山坡的安全稳定及临近的建筑安全影响进行验算。

8.4.4 根据国内外岩塞爆破方式资料统计，小断面岩塞多数采用排孔装药爆破，岩塞直径大于 5m 者，一般均采用洞室装药爆破或排孔与洞室相结合的装药爆破方式，国内岩塞爆破实例见表 27。

表 27 国内一些岩塞爆破工程实例

项 目	工程名称	辽宁清河 水库	黑龙江 镜泊湖水库	丰湖水库	江 西 “七一”水库	河 南 香山水库	密云潮河 泄空隧洞	浙 江 横锦水库
岩塞口水深 m		24	23	22	18	24	34	
岩塞跨度 m		6	8	11	3.5	3.5	5.5	6.0
岩塞厚度 m		7.5	8	15	4.2	4.5	8.1 ^①	9.0
岩塞方量 m^3		800	1112			247	546	551.6
岩塞至大坝距离 m		750		280		100	约 130	
岩塞倾角		45	45	60		45	30	

度							
总药量 t	1.19	1.2	4.11	0.94	0.23	0.74	0.627 ^②
单位耗药量 kg/m ³	1.5	1.11	1.14		2.22	1.65	
装药方式	药室、排孔	单层药室	多层药室	药室、排孔 裸露药包	排孔	排孔	
起爆方案	关门	关门	关门				
	开门开门	开门	开门	开门	开门		
石渣处理	集渣坑	集渣坑	泄渣	泄渣	泄渣	泄渣	泄渣
工程用途	工业取水	发电	泄洪	发电、灌溉 放空水库	泄洪	放空水库	增加泄洪引水
① 岩层厚 5.0m，覆盖层 3.1m。 ② 最大的起爆药量 326.6kg。							

8.4.5 岩塞爆破中排孔、预裂孔药量的计算是岩塞爆破设计中极为重要的问题。它直接关系到能否一次爆通，爆后形成的进水口形状能否达到设计要求，周围被保护的對象不遭破坏。根据国内外的实践经验，排孔药量可按陆上明挖钻孔爆破公式计算得到，再加上水的影响增加药量。据国内一些岩塞爆破工程实践表明，周边轮廓预裂爆破其孔距为 30cm，孔径为 40mm，一般孔深为 3m~8m，装药量为 270g/m，爆后效果能满足要求。

8.4.6 集渣坑钻爆过程中应严格控制单响最大段起爆药量，以策闸门结构和岩塞体的安全，其药量可采用被保护对象的允许震速反推求得。集渣坑开挖过程中如发现局部岩石不稳，应立即采取加固措施。

8.4.7 岩塞爆破施工过程中导洞、药室开挖应采用浅孔、小药量爆破，循环进尺不宜超过 0.5m。

8.4.8 岩塞如采用药室爆破方式，在开挖过程中应注意围岩渗漏水，尤其上部药室顶板距水岩界面最近处，须严格按爆破设计的要求不允许超挖。

8.4.9 岩塞钻孔爆破的每个掘进循环，必须设有超前孔，其孔深应大于主爆孔孔深的 3 倍，藉以察探渗漏水情况。据此确定该循环钻孔深度及单响最大段起爆药量。最后一个循环的超前孔不得穿透岩面，孔底距水岩界面控制在 20m~30cm。

8.4.10 岩塞爆破施工过程中出现渗漏水是常有的事，一旦出现视其漏量大小采取相应的措施。如漏量小可用管子引出作业面，若漏量大则应采取灌浆堵漏或在库内岩塞体上方抛填黄土堵漏。

8.4.11 由于采取关门方式进行岩塞爆破，爆破时产生高速气水和石流冲向闸门井，届时会发生井喷现象。井喷是一种复杂的物理现象，它对闸门井的门叶、门轨、门楣、底槛都有一定的破坏作用，故岩塞爆破前须对闸门井的金属结构进行防护，以免造成过大的损失。

8.4.12 当岩塞采取开门爆通方式时，爆破产生的高速气水和石流冲向洞内，对闸门及其埋件有一定的破坏作用，爆前应采取保护措施。

8.4.13 岩塞爆破必须做到万无一失，确保一次爆通，关键在于爆破网络连线无误。一般爆前先行进行仿真试验，实际施爆都采用了复式起爆网络。

9 拆除工程钻孔爆破

9.1 钻孔爆破准备

9.1.1 随着国民经济发展的需要或水工建筑物老化，对原有的水电水利工程进行改造和扩建。拆除开挖钻孔爆破是一项十分复杂的工作，既要计划目标拆除，又要保护好附近的建筑物和正在运行的设备不受爆破影响，因而拆除之前的一切准备工作必须认真做好。这些准备工作包括原建筑物的竣工图纸、技术资料 and 拟建工程的设计图纸、技术要求的收集和进行现场调查研究。在上述调研工作的基础上编制施工组织设计 & 详细的施工计划措施(包括质量计划、安全措施等)。对被拆除的建筑物事先应作些钻爆试验和防护拦挡设施，取得各项参数以便指导施工。

9.1.2 在电站厂房改扩建钻孔爆破过程中，除拦挡飞石外，还须排除粉尘、炮烟。拦挡飞石的设施可采用全封闭的支档排架；爆后排除粉尘、浓烟除加强通风外，还可采取喷雾措施。

9.1.3 拆除工程开始前作些小规模钻孔爆破试验是必要的，葛洲坝电站自备电厂施工前就做了不少的试验工作并取得了大量的试验数据，一方面对原钻爆设计进行了验证，同时还指导、完善施工工艺。

9.2 厂房扩建钻孔爆破

9.2.1 为创造良好的临空面，初始应采取挖先锋槽，待形成临空面后再进行扩挖，以便提高爆破效果。

9.2.2 在改扩建工程钻爆过程中，对被拆除建筑物的轮廓边线使用预裂或防震孔，是当今解决防震的主要措施。

9.2.3 电站厂房扩机增容开挖钻孔爆破工作难度较大，它既要考虑爆破产生地震效应、飞石对正在运行设备的影响，又要降低噪声和避免粉尘的扩散。例如： 50 年代末古田溪一级水电站地下厂房增容扩机，在第一批机组运行中进行第二批机组机坑开挖钻孔爆破；70 年代青铜峡水电站换机将原有机坑钢筋混凝土挖除；90 年代二滩水电站建设过程中为了加快工程进度，在同一厂房内一边进行机组安装一边进行机组机坑开挖钻孔爆破。为使相邻机组运行、安装不受影响，除了采取控制爆破减小地震波的影响外，对飞石的防护作了拦挡设施，成功地解决了扩机开挖钻孔爆破与机组安装、运行的矛盾。有关开挖钻孔爆破参数见表 28。

表 28 葛洲坝、地滩水电站厂房各部位开挖钻孔爆破参数

工程名称	序号	开挖部位	工程量 m³	单位耗药量 kg/m³	最大一段起爆药量 kg	最大一次用药量 kg	钻孔爆破次数	备注
葛洲坝自备电厂	1	空腔隔板	2133.0	0.74	2.3	112.3	52	均为混凝土和钢筋混凝土
	2	吊物孔	396.0	0.7	2.1	48.1	18	
	3	上游门槽孔	454.0	1.22	0.9~1.1	40.0	78	
	4	下游尾水门槽孔	388.7	1.29	2.5	26.0	37	
	5	各种井挖	13.3	1.25	1.5	6.2	8	
	6	转子坑	6.0	1.23	2.3	4.6	4	
	7	化粪池	8.0	1.25	2.5	5.0	4	
	8	各种部位钢筋混凝土钻孔爆破		2.30	2.3			

	9	各部位光面 爆破		0.5	2.0	24.0		
	10	各部位掏槽 爆破		2.8~3.3	2.0	10.0		
二滩 水电站	1	1 [#] 机机坑		0.14~ 0.55	8	24~69.6	4	玄武岩

9.2.6 见 9.3.7 条文说明。

9.3 坝体改建钻孔爆破

9.3.1 由于钢筋网的夹制力影响爆破效果，因而拆除钢筋混凝土时，应先将钢筋网割断后，再行钻孔爆破。

9.3.2 拆除已建的部分工程，因涉及邻近保留的建筑或正在运行的设备安全，初始宜采用密孔、浅孔、小药量爆破，待形成临空面后，再行规模开挖钻孔爆破。

9.3.3 改建工程涉及面广，施工比较复杂，在一般情况下应通过爆破试验取得钻爆参数，但亦可采用工程类比法选取或结合生产性试验获得。

9.3.4 见 9.2.2 条文说明。

9.3.5 为使保留体不遭损伤可先采取打防震孔，并用切割爆破完成开挖，该法类同于预裂爆破。

9.3.6 改建工程中一些竖井的施工，可用反井钻钻井替代钻爆法完成或先挖导井后再行扩挖，对邻近的设施可不必进行防护，但其施工成本较高。

9.3.7 已建的水工建筑物，由于某种需要对坝体改建。如在混凝土坝体开孔增加泄洪、排沙或安装机组增加发电量等。改建是一项十分复杂的工程，开挖钻孔爆破过程中对原有建筑物、设备的安全运行尤为重要。90 年代葛洲坝水利枢纽工程为增加备用电源，在二江泄水闸左导墙排漂孔下部的空腔中改建成自备电厂，安装一台 20MW 的水轮发电机组，工程共需钻孔爆破钢筋混凝土 3413m³。施工过程中为了确保大坝、泄水闸及二江电厂运行正常采取预裂切割、光爆措施，以密孔、小药量多循环方法进行开挖爆破，平均每立方米钢筋混凝土钻孔约 8m，单位耗药量为 1.16kg/m³，每次爆破均进行地震波、飞石的跟踪监测，前后共测试 150 余次，除了 3 次因出现雷管串段引起超过控制值 15%~10%，后经调整药量尽管在一次装药量为 112.3kg，分为 120 段的情况下，所测的质点振速都在控制值范围内。葛洲坝自备电厂、二滩水电站 1[#]机机坑开挖爆破质点振动速度控制标准见表 29：

表 29 爆破质点振动速度控制标准

项 目 工程名称及部位		距爆源 M	允许质点 振动速度 cm/s	允许最大段 起爆药量 kg
葛洲 坝电 厂	二江电厂机电设备、7 [#] 主变压器	33.3	0.9	2.03
	二江泄水闸护坦基础帷幕	47.6	1.2	5.56
	集控楼与导墙电梯井房	30	5.0	16.6
	集控室、计算机等设备	30	1.5	11.86
二滩水电站厂房		74~111	2	8

柘林水库扩建工程	0	2	0.5
注：1.二滩水电站 1 [#] 机机坑开挖钻孔爆破，同时 4 [#] 机尾水管里衬安装和混凝土浇筑，5 [#] 机座环安装、机墩混凝土浇筑，6 [#] 机座环安装正在施工。 2.葛洲坝电站自备电厂钢筋混凝土开挖钻孔爆破时二江电厂机组正在运行。			

9.3.8 改建工程由于钻爆作业面复杂，往往为了压缩非生产性作业占用过多的时间，采取集中统一起爆，如果一次合闸起爆很有可能串段产生爆轰波叠加，因此须按作业面多少分次合闸为宜。

9.4 临时挡水建筑物与石埂钻孔爆破

9.4.1 依爆区附近建筑物或设备的防护标准，作为控制单响最大段起爆药量的根据，是爆破设计的主要资料，因此工程开工前必须收集。

9.4.2 参见本标准 6.1.3 的条文说明。

9.4.3 为满足过流的需要围堰基岩必须按设计要求挖除，此时可将围堰下压石埂外的岩石先挖除，留下石埂与堰体一并爆除。一般情况下往往在围堰未建之前利用枯水季节，在临时围堰保护下将堰外多余的岩石先挖除，减少后期水下开挖的难度。

9.4.4 混凝土围堰或浆砌块石围堰，在施工过程中一般事先将拆除时的爆破孔作了预留，石埂部分待拆除时再行钻孔。爆破孔分垂直孔或水平孔，水平孔爆破时对建筑物防护比垂直孔复杂，爆破设计时应视具体情况而定。

9.4.5 石埂钻孔如遇构造时，出现坍孔、漏水，则应采取措施确保钻孔质量。

9.4.6 采用钻爆法拆除混凝土围堰与石埂，它既非陆地钻爆，又非纯属水下钻爆，确切的说介于两者之间，可按类同于陆地钻爆加上水的侧压作用，其钻爆参数和装药量计算分述如下。

(1)炮孔平面系数、药包直径、装药长度和密度及单位耗药量的关系见下式：

$$A = \frac{0.785d^2 \Delta (L - L_0)}{qL} \quad (17)$$

式中：A——炮孔平面系数，m²/孔；

d——药包直径，m；

Δ——装药密度，kg/m；

L——孔深，m；

L₀——堵塞长度，m；

q——单位耗药量，kg/m³。

(2)炮孔平面系数、炮孔间距、抵抗线与炮孔密集系数的关系分别为：

$$M = \frac{a}{W} \quad (18)$$

式中：a——炮孔间距， $a = \frac{A}{W}$ ，m；

W——抵抗线，m；

M——炮孔密集系数，一般 M=1.25~1.5。

(3)药量计算如下：

$Q=qcWaL$

(19)

式中：Q——单孔装药量,kg;
q——单位耗药量, kg/m³;
c——炸药换算系数;
W——抵抗线, m;
a——孔距, m;
L——孔深, m。
(4)拆除实例见表 30。

表 30 葛洲坝、漫湾水电站围堰工程混凝土、石埂拆除

项 目		拆除方 量 m ³	拆除深 度 m	孔 距 m	孔径 mm	药包直 径 mm	单位耗药 量 kg/m ³	总装药量 t	单位长度装 药量 kg/m	
工程名称										
葛洲坝大江、二江上游围堰 混凝土心墙拆除		21502	23	0.8	90~100	60	1.8	47.8	0.6 6 ~2.5 (上部) 1~ 3 (下部)	
漫 湾 水 电 站	1 [#] 导流洞进口 混凝土拱围堰拆除	1024	16	1	40(埋管)	40	0.33	2		
	1 [#] 导流洞进口 围堰下部石埂拆除	1803.3	9	1.6	80*	65	1.56	2.82		
项 目		段内药量 Kg		段 数 段		起爆方案		爆破网络形式	起爆方法	防护方式
工程名称										
葛洲坝大江、二江上游围堰 混凝土心墙拆除		10.5~37.5		324		基坑充水		双复式交叉 并串联	电力引爆	气泡帷幕
漫 湾 水 电 站	1 [#] 导流洞进口 混凝土拱围堰拆除			15					非电雷管引 爆	最大一段起 爆药量控制
	1 #导流洞进口 围堰下部石埂拆除	80		15		基坑无水		复式导爆索网 络		
* 钻孔孔径 120mm，塑料药管内径 80mm。										

9.4.7 参见 6.2.10 条文说明。

9.4.9 临时挡水建筑物的拆除和岩塞爆破相类似，爆破时都应做到万无一失，确保一次爆通，否则后患无穷。为此，爆破时一般多采取复式起爆网络。

9.4.10 本条与 9.4.11 都与爆破防护有关。当临时挡水围堰在完成使命后，一般均须采取钻孔爆破方法拆除。爆破时基坑内分充水起爆或无水起爆两种方式，但两者对建筑的防护方法有所不同。前者除爆破产生的地震效应外，还有水击波、飞石对建筑物引起危害；后者主要是地震效应、空气冲击波和飞石的影响。大基坑、高围堰拆除爆破时采取基坑充水方式。为防止水击波对建筑物的破坏作用，实践表明采用气泡帷幕防护法较好，葛洲坝二期工程上游土石围堰混凝土心墙拆除时就用此法进行防护取得满意的效果。当永久建筑物距临时围堰较近时，且水下拆除深度不大，在堰内搭设临时拦挡飞石措施亦是可行的。

10 爆破试验与观测

10.1 爆破试验

10.0.1 爆破的各项参数,尤其是单位岩石耗药量、爆破震动效应的 K 、 α 值等与岩石性质、炸药种类、工程地质、地形条件等多种因素有关。因爆破条件多变,炸药爆轰过程和岩石破碎过程的复杂性,至今尚无完善的理论计算方法。各种经验公式和经验参数的适用范围存在局限性,合理的爆破参数,只能通过现场爆破试验获得。为实现爆破工程的进度、质量、安全、经济等目标,在施工准备阶段和主体工程开工初期,应进行爆破试验。

10.0.2 爆破试验的实施方式,可根据工程承包合同的有关要求和施工组织设计选用的钻爆法进行试验,试验方法可采取专项爆破试验或结合生产进行试验。

10.0.3 爆破试验的内容及要求:

(1)爆破试验内容应符合工程承包合同的要求。

(2)火工材料试验的目的,在于控制进场火工材料的质量、安全的可靠性。其测试内容至少包括炸药的爆轰速度、殉爆距离、临界直径等性能及炸药品种换算系数,毫秒、秒雷管的准爆、起爆时差,电雷管的电阻值,导火索的燃速、导爆索及导爆管的爆速等。

(3)爆破参数的确定,按照试验内容的要求,对预裂爆破、光面爆破、掏槽爆破、平地掏槽爆破、梯段爆破、保护层爆破等技术和施工组织设计选定爆破方法及其相关的参数,通过爆破试验调整确定。

(4)防震、减震效果验证应包括施工组织设计中采用防震孔、预裂孔、不耦合装药的减震效果、爆破地震、空气冲击波、水中冲击波及 K 、 α 值的测定。

10.0.4 爆破试验场地只有选择在工程地质、水文地质条件与工程实际基本相似的部位,试验时所使用的火工材料、钻孔机具及施工工艺亦与工程实际相符,所获得的爆破参数才具有一定的代表性,对施工工艺才有指导的意义。

10.0.5 爆破试验(含施工爆破监测)所用的仪器性能参数、指标关系到测试成果的可靠性及精度。仪器出厂前,厂家对其性能指标参数须标定;用户在使用中为确保测试质量,应对仪器性能参数进行定期标定和检验。爆破试验中如采用多套设备或几个单位合作时,在试验开始前全部仪器应在同一条件下进行标定。

10.0.6 爆破试验中对岩石边坡、基础破坏范围的监测通常采用宏观和仪器相结合的监测方法。前者较为简单、直观,但瞬态和内部的变化是无法获得,只能通过仪器随机信号采集、记录、分析取得。两者相互佐证才能得到可靠的成果,这也是水电水利系统一直沿用的方法。

10.0.7 为了确保试验资料的真实性、准确性和可比性,须对爆破区附近岩体的断层、裂隙、层面、节理,被保护对象的原始状态和爆后变化的情况进行观测。要使资料的真实、准确应尽可能缩短爆破前、后的观测间隔时间。如果只进行爆破后的观测,则应建立具有可比较的或有变化规律的测点进行观测。一般水电水利工程基础岩石、边坡开挖采用爆破前、后对比的观测方法。对改、扩建工程当条件允许时可以考虑采用有变化规律的测点进行观测。

10.0.8 采用物理量法通过介质在扰动前后的变化观测,对爆破动态过程产生的影响进行量测,这是一项要求较高的工作。采用两种以上的方法进行爆破振动影响变化规律的观测,是保证实测资料的科学性、合理性的重要手段。本标准规定的三种测试方法是水电水利工程爆破观测多年来沿用的方法,具有准确、测试简单、规律性强的特点。

10.0.9 本条与 10.0.10、10.0.11 都对三种测试方法实际操作作了原则性的规定。同时为工程施工过程中质量检测的基本方法和统一检测标准亦作了规定。

10.0.12 为确保原孔进行爆后测试,在爆前测试完后可用灌砂保护,一般填砂高度应超

过计划开挖线 0.5m 以上。

10.0.13 重要部位爆破作业应进行跟踪监测，目的在于因防止超标引起对被保护对象产生的不利影响。如有超标现象的出现，必须究其原因，以便采取措施。监测资料应作为工程竣工验收的档案材料，亦是评定工程质量的依据之一，应全面、完整、准确地收集。

11 质量与安全

11.1 质 量

11.1.1 为使工程按计划工期完成，确保施工质量，承包单位必须按 ISO 9000 系列要求，建立质量保证体系，规范施工行为使参与项目施工的全体人员做到有章可循，明确各自的责任，实现工程预期的质量目标。

11.1.3 这是工程开工前的技术准备工作之一，项目总工程师在编制施工组织设计时，根据工程设计标准、合同要求，制定工程质量目标、质量计划和实施的措施，组织向参与项目的全体人员进行交底，使他们了解设计意图，须达到的标准和采取的各项措施，并作好技术培训工作，从而使全员明确岗位质量责任，为实现质量目标而作好本职工作。

11.1.4 本条提及的作业指导书实则是现场爆破设计的细化，它包括爆破部位、孔径、孔距、排距、孔深、倾角、抵抗线、孔排数、药包直径、单位耗药量、单孔装药量和装药结构、炸药品种、单响起爆药量、总药量、毫秒分段、爆破网络、主爆方向、爆破方量、质点振动速度控制标准及安全防护措施等。现场施工、质检、监理必须认真检查、监督执行。

11.1.6 承包单位应视工程的规模设立质量检查机构，并配备足够的专职质量检查人员，对施工全过程进行质量控制。

11.1.7 在钻爆施工过程中监理人员对钻孔质量、单孔及最大段起爆药量、起爆段数、起爆顺序进行检查，并参与爆破效果的评议，其主要目的是为检查爆破效果。

11.1.8 专职质检人员作好现场质量检查记录，为竣工验收提供资料，同时还为爆破事故提供分析材料。这个记录既是工程的原始资料，又是工程的技术档案，因而质量检查人员必须全面完整、真实准确地做好记录。

11.2 安 全

11.2.1 承包单位在施工过程中必须贯彻“安全第一，预防为主”的方针，安全为了生产、生产必须安全。对全员进行安全知识的教育，目的在于使广大员工掌握安全知识。据有关方面统计，发生的安全事故属于责任事故者占 90%，这些有违章作业、违章指挥造成的。出现这些事故主要是缺乏安全生产的法制观念，缺乏法律、法规知识和缺乏安全自护意识等。安全知识主要是涉及安全的法规知识和具体的安全技能知识，或者说自我保护知识，这些都是要求掌握的。项目工程应设有安全管理机构，建立安全生产保证体系，使施工过程符合有关安全生产规程、规范的要求，切实保障钻孔爆破作业者的人身安全与健康，防止各类事故的发生。

11.2.2 开工前承包单位制定安全措施计划是保证工程安全施工的前提，必须做好此项工作。安全措施计划报监理工程师审批，以利于在实施过程中得到检查、监督、落实。

11.2.3 可参照 11.1.4 说明。

11.2.4 爆破工作是属于国家规定的特种作业岗位，从事这一工作的人员必须经过专门培训，实行持证上岗。本条规定是属强制性执行条款。

11.2.6 为了确保安全生产，使国家有关法令、法规得到贯彻执行，安全管理部门除平时

进行现场安全检查外，还须进行定期组织安全生产大检查，检查过程中发现的安全隐患须限期整改，实践表明这是行之有效的办法。

11.2.7 水电水利工程多年来采用“三不放过”的原则处理安全事故，起到了防范事故重复发生、强化安全责任的良好效果。“三不放过”起到了教育责任人和提高全员安全生产意识的作用，是目前水电水利工程安全管理中的一个行之有效的方法。