

ICS 27.140

P 59

备案号：J1698—2013

**DL**

中华人民共和国电力行业标准

**P**

**DL/T 5135—2013**

代替 DL/T 5135—2001

水电水利工程爆破施工技术规范

Specification of excavation blasting for hydropower and  
water resources projects

**2013—11—28 发布**

**2014—04—01 实施**

国家能源局 发布

中华人民共和国电力行业标准

水电水利工程爆破施工技术规范

Specification of excavation blasting for hydropower and  
water resources projects

**DL/T 5135—2013**

代替 DL/T 5135—2001

主编机构：中国电力企业联合会

批准部门：国家能源局

施行日期：2014年4月1日

www.docin.com

## 前 言

本规范是根据《国家能源局关于下达 2010 年第一批能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2010〕320 号）要求，对 DL/T 5135—2001《水电水利工程爆破施工技术规范》进行修订的。

本规范在修订过程中，编写组调查、分析、研究了原规范的执行情况，总结并采用了近年来水电水利工程爆破施工所使用的新技术、新工艺的工程实践经验，在广泛征求意见的基础上，最终经审查定稿。

本规范对 DL/T 5135—2001 修订的主要技术内容包括：

- 增加和删除了部分术语；
- 增加了电子雷管的有关规定；
- 增加了沟槽爆破、放射性岩石爆破、现场混装炸药车等有关内容，增加和修订了允许爆破质点振动速度的有关内容；
- 取消了原火工材料章节，将有关内容并入增设的基本规定章节，并调整和增加了有关内容；
- 将明挖钻孔爆破章节改为露天爆破，地下洞室钻孔爆破章节改为地下洞室爆破，水下钻孔爆破章节改为水下爆破，拆除工程钻孔爆破章节改为拆除爆破，并修订了部分内容；
- 修订了爆破质量控制标准和安全的规定；
- 删除了被淘汰的爆破器材品种及相应的爆破方法；
- 将原规范附录 A 的内容纳入了基本规定章节。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

本规范由中国电力企业联合会提出。

## **DL/T 5135—2013**

本规范由电力行业水电施工标准化技术委员会归口。

本规范主编单位：中国葛洲坝集团股份有限公司、葛洲坝集团公司第一工程有限公司。

本规范参编单位：葛洲坝易普力股份有限公司。

本规范主要起草人：郭光文、吴平安、汤用泉、刘经军、张小华、李继跃、贾志营、周献忠、李仝牢、檀瑞青、陈彬、欧阳水芽、周桂松、郑小英、涂胜、杨银生、喻癭、桂桐生、武福群、杜汉清、王国胜、黄浩、周继红、杨正贵、常国阁、胡智军、张弘、李艳阳、林文斌、李名松、万红彬、仲峰、胡云峰、余祥忠。

本规范主要审查人：梅锦煜、席浩、许松林、汪毅、周厚贵、付元初、张金海、李晶华、楚跃先、康明华、余英、孙来成、吴国如、郑桂斌、魏志远、常焕生、常满祥、王鹏禹、姬脉兴、牛宏力、吴高见、向建、刘志和、和孙文、朱明星、吕芝林。

本规范在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。



## 目 次

## 前言

1	总则 .....	7
2	术语 .....	8
3	基本规定 .....	10
3.1	一般规定 .....	10
3.2	爆破器材 .....	13
3.3	爆破试验 .....	13
3.4	起爆方法 .....	14
3.5	起爆网路 .....	14
3.6	爆破监测 .....	16
4	露天爆破 .....	18
4.1	一般规定 .....	18
4.2	边坡爆破 .....	18
4.3	基坑爆破 .....	19
4.4	沟槽爆破 .....	19
4.5	现场混装炸药车装药爆破 .....	20
5	地下洞室爆破 .....	21
5.1	一般规定 .....	21
5.2	平洞爆破 .....	21
5.3	竖井与斜井爆破 .....	22
5.4	洞室特殊部位爆破 .....	22
5.5	不良地质洞段爆破 .....	23
6	水下爆破 .....	24
6.1	一般规定 .....	24
6.2	爆破施工 .....	24

**DL/T 5135—2013**

6.3 岩塞爆破 .....	25
7 拆除爆破 .....	27
7.1 一般规定 .....	27
7.2 混凝土围堰和岩坎拆除爆破 .....	27
7.3 混凝土防渗墙拆除爆破 .....	27
7.4 厂房扩建与坝体改建爆破 .....	28
8 质量与安全 .....	29
附录 A 安全允许爆破振动速度 .....	30
本规范用词说明 .....	32
引用标准名录 .....	33



## 1 总 则

**1.0.1** 为规范水电水利工程钻孔爆破施工,保证施工质量和安全,制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于水电水利工程的爆破施工。

**1.0.3** 爆破施工应编制施工组织设计和专项爆破施工方案。

**1.0.4** 采用新技术、新工艺、新材料、新设备,应通过论证或试验确定。

**1.0.5** 水电水利工程爆破施工除应符合本规范的规定外,还应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 爆破 **blasting**

利用炸药的爆炸能量对介质做功，以达到预定工程目标的作业。

### 2.0.2 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。

### 2.0.3 延时爆破 **delay blasting**

采用延时起爆器材使同一网路中的药包按设定的顺序和时差起爆的爆破，分为毫秒延时爆破、秒延时爆破等。

### 2.0.4 台阶爆破 **bench blasting**

开挖面呈阶梯形状，采用延时爆破技术的爆破作业。

### 2.0.5 预裂爆破 **pre-splitting blasting**

沿开挖边界布置密集爆破孔，采取不耦合装药或装填低威力炸药，在主爆区之前起爆，从而在爆区与保留区之间形成预裂缝，以减弱主爆破对保留岩体的破坏，并形成平整轮廓面的爆破作业。

### 2.0.6 光面爆破 **smooth blasting**

沿开挖边界布置密集爆破孔，采取不耦合装药或装填低威力炸药，在主爆区之后起爆，从而形成平整轮廓面的爆破作业。

### 2.0.7 拆除爆破 **demolition blasting**

采取控制有害效应的措施，按设计要求用爆破方法拆除建（构）筑物的作业。

### 2.0.8 水下爆破 **underwater blasting**

在水中、水底或临水介质中进行的爆破作业。

**2.0.9 水下岩塞爆破 underwater blasting for rock plug**

隧洞修建完成后，在隧洞内进行预留岩塞贯通的爆破作业。

**2.0.10 沟槽爆破 blasting for ditching**

断面形状为矩形、梯形等槽型结构的爆破作业。

**2.0.11 起爆网路 the network for ignition**

向多个起爆药包传递起爆信息和能量的系统，包括电起爆网路、非电起爆网路和混合起爆网路等。

**2.0.12 复式起爆网路 the double igniting network**

由同一种起爆材料组合形成两套功能相同的起爆网路。

**2.0.13 混合起爆网路 the mixed igniting network**

由两种或两种以上起爆材料组合形成的起爆网路。

**2.0.14 爆破器材 blasting materials and tools**

工业炸药、起爆器材和器具的统称。

**2.0.15 电子雷管 the electric detonator**

采用微型电子定时器延期时间的电雷管。

**2.0.16 现场混装炸药车 the Site explosive mix-loading truck**

在爆破现场完成炸药混制、装填的特种车辆，特指乳化炸药混装车、多孔粒状铵油炸药混装车、重铵油炸药混装车。

**2.0.17 振动速度 particle vibration velocity**

在地震波作用下，介质质点往复运动的速度。

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 开工前应编制爆破试验大纲进行爆破试验，取得合理的爆破参数。

**3.1.2** 爆破施工前应进行爆破设计，爆破设计的主要内容包括：

- 1 爆区地形图、地质条件。
- 2 爆区周围环境、安全控制标准。
- 3 边坡轮廓、建基面、爆区附近建筑物及文物等防护要求。
- 4 爆破参数。
- 5 爆破器材品种。
- 6 装药方法与堵塞。
- 7 爆破方式与起爆方法。
- 8 总药量与单段最大药量。
- 9 爆破安全距离。
- 10 施工技术要求、质量、安全技术与防护措施。

**11** 绘制下列图表：钻孔爆破环境平面图、钻孔平面布置图及剖面图、爆破装药结构图、装药参数明细表、起爆网路图、安全警戒范围及岗哨布置示意图。

**12** 地下洞室爆破设计还应包括：

- 1) 掏槽方式；
- 2) 钻爆循环作业计划表。

**13** 水下爆破设计还应包括：

- 1) 收集设计文件、施工图纸，施工区间的工程地质、水文地质、地形及水文、气象、河流、海象、水生

物等资料，航道通航情况，爆区周围地上、地下、水面和 underwater 环境等资料；

2) 应考虑水位变化、流速、流态、风力的影响。

14 水下岩塞爆破设计还应包括：

1) 收集岸坡及水下地形图、地质图、岩塞工程地质报告，隧洞对岩塞爆破的限制条件等资料；

2) 水中冲击波、涌水对周围建（构）筑物影响的分析论证。

15 拆除爆破设计还应包括：

1) 收集被拆除建筑物的竣工资料、修建和使用情况，拆除爆区邻近运行机组、设施、建筑物等的爆破振动、安全防护标准和拆除技术要求；

2) 进行现场踏勘，核实现场情况。

3.1.3 工程爆破可根据要求采取台阶、预裂、光面爆破等爆破方法，宜根据工程爆破要求设置保护层。

3.1.4 爆破参数的选择应通过爆破试验确定。

3.1.5 钻孔作业应有控制措施，使钻孔符合设计要求，严禁钻孔钻入建基面。

3.1.6 预裂、光面爆破应在沿轮廓线转折处布置钻孔，该钻孔不应装炸药。

3.1.7 预裂、光面爆破在分层、分段爆破时，钻孔衔接处的超、欠值应满足开挖质量要求。

3.1.8 单段最大药量可按式 (3.1.8) 计算，并通过现场试验确定。在新浇混凝土、灌浆区、预应力锚索（锚杆）、喷射混凝土特殊部位附近和建筑物及设备保护对象附近进行爆破，安全允许爆破振动速度应符合附录 A 的规定。

$$V = K \left[ \frac{Q^{\frac{1}{3}}}{R} \right]^a \left[ \frac{Q^{\frac{1}{3}}}{H} \right]^b \quad (3.1.8)$$

式中： $V$ ——安全允许爆破振动速度，cm/s；

$Q$ ——单段最大药量，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；

$K$ ——与爆区中心至计算保护对象间场地有关的系数；

$\alpha$ ——与爆区中心至计算保护对象间的地质条件有关的指数；

$\beta$ ——与爆区中心至计算保护对象间的地形有关的衰减指数。

系数  $K$ 、指数  $\alpha$  可按表 3.1.8 选取或通过现场爆破测试取得，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 3.1.8 爆区不同岩性的  $K$ 、 $\alpha$  值

岩 石	$K$	$\alpha$
坚硬岩石	50~150	1.3~1.5
中硬岩石	150~250	1.5~1.8
软弱岩石	250~350	1.8~2.0

**3.1.9** 炮孔装药后应采用土壤、细砂或其他混合物堵塞，严禁使用块状、可燃的材料堵塞。

**3.1.10** 爆破安全距离应按 DL/T 5370 《水电水利工程施工通用安全技术规程》规定执行。

**3.1.11** 爆破前，按照爆破设计确定的危险区边界设置明显标志，规定爆破时间和信号，在爆破时应安排岗哨警戒。

**3.1.12** 爆破作业应统一起爆时间，由爆破负责人统一指挥；几个邻近工作面进行爆破作业时，应选择好起爆顺序，不得出现同时起爆。



**3.1.13** 爆破后人员进入工作面检查等待时间应按下列规定执行：

1 明挖爆破时，应在爆破后 **5min** 进入工作面；当不能确认有无盲炮时，应在爆破后 **15min** 进入工作面。

2 地下洞室爆破应在爆破后 **15min**，并经检查确认洞室内空气合格后，方可准许人员进入工作面。

3 拆除爆破应等待倒塌建（构）筑物和保留建（构）筑物稳定之后，方可准许人员进入现场。

**3.1.14** 爆破后应对其效果进行检查评估，及时调整爆破参数。

**3.1.15** 保护层及邻近保护层的爆破孔不得使用散装流态炸药。

### 3.2 爆 破 器 材

**3.2.1** 爆破施工应选择使用符合国家标准和行业标准的爆破器材。

**3.2.2** 爆破器材的购买、运输、储存、收发、检验、加工和销毁等应按 **GB 6722** 《爆破安全规程》的规定执行。

**3.2.3** 装药完成后，应将剩余爆破器材及时撤出现场，退回爆破器材库。

### 3.3 爆 破 试 验

**3.3.1** 爆破施工应按编制的爆破试验大纲进行爆破试验。

**3.3.2** 爆破试验应根据需要进行下列试验：

1 爆破器材性能试验；

2 爆破参数试验；

3 爆破网路试验；

4 爆破影响范围测定；

5 爆破振动速度测试、空气冲击波测试、水中冲击波测试等；

6 保护层爆破试验；

7 其他有关试验内容。

### 3.4 起爆方法

- 3.4.1 起爆电源能量应能保证全部电雷管按时准爆。
- 3.4.2 电子雷管应使用配套的专用起爆器起爆。
- 3.4.3 导爆管应使用专用起爆器、雷管或导爆索起爆；用雷管起爆导爆管采用反向起爆方式。
- 3.4.4 导爆索应使用雷管正向起爆。
- 3.4.5 不得使用药包起爆导爆索和导爆管。
- 3.4.6 起爆应采用远距离操作，起爆地点应不受空气冲击波、有害气体和飞散物危害。
- 3.4.7 在有沼气、瓦斯和粉尘爆炸危险的环境中爆破，应使用煤矿许用起爆器材起爆。
- 3.4.8 在杂散电流大于 30mA 的工作面或高压线射频电源危险范围内，不得采用普通电雷管起爆。

### 3.5 起爆网路

- 3.5.1 多药包起爆应连接成导爆索网路、导爆管网路、电起爆网路、电子雷管网路、复式网路、混合网路起爆。
- 3.5.2 应根据工程爆破规模、施工环境、气象条件、设计要求等，选择合适的起爆网路。起爆网路应符合下列要求：
  - 1 应安全、可靠、实用、经济；
  - 2 应使用合格的爆破器材；
  - 3 孔网起爆分组应能控制单段最大起爆药量；
  - 4 延时爆破时不得出现重段、串段；
  - 5 应控制起爆网路的时差，确保网路全部安全起爆；
  - 6 网路各个接头的连接应牢固、可靠，网路敷设、连接应整齐、规则，便于施工与保护；
  - 7 应在无关人员已全部撤离作业面后开始网路连接；
  - 8 网路敷设和连接完毕后，应使用专用仪器按规定进行

检查。

**3.5.3** 导爆索网路应按下列规定执行：

- 1 进入孔内的导爆索应与起爆药包绑扎紧密；
- 2 起爆导爆索的雷管聚能穴应朝向导爆索的传爆方向；
- 3 起爆网路应采用搭接、扭接、水手结等方法连接，连接处的两根导爆索之间不得夹有异物；
- 4 导爆索网路的主干索、支干索和引爆索相互顺传爆方向的夹角应小于  $90^\circ$ 。

**3.5.4** 导爆管网路应按下列规定执行：

- 1 同一爆破区起爆的导爆管、非电雷管，应使用同厂、同批号的产品；
- 2 起爆导爆管的雷管聚能穴方向与导爆管的传爆方向相反；
- 3 采用接力起爆网路，孔外应采用低段位雷管传爆，孔内应采用高段位雷管起爆；
- 4 在多排接力起爆网路中，应在前、后排雷管间采取措施，避免多排接力网路出现串段、重段；
- 5 采用复式起爆网路，每个炮孔内应放置两个同样段位的起爆雷管，分别与两套起爆网路连接；
- 6 网路内的导爆管，应无破口、弯折，炮孔内不宜有接头，孔外相邻的传爆雷管之间应留有足够的距离。

**3.5.5** 电爆网路应按下列规定执行：

- 1 起爆电源能量应能保证全部电雷管准爆；网路内流经每个雷管的电流应符合雷管准爆要求；
- 2 同一起爆网路内应使用同厂、同批、同型号的电雷管；
- 3 应在无关人员已全部撤离作业面后开始网路连接；
- 4 网路主线、支线在联网之前应处于短路状态，遇雷电时应处于断开状态；网路与电源之间应设置中间开关。

**3.5.6** 电子雷管网路除应遵守普通电雷管电力起爆网路规定外，还应遵守以下规定：

1 同一网路应使用同一厂家的电子雷管，以及配套的起爆器、网路连接线、设计软件等。

2 电子雷管接线卡的焊脚不得脱焊、短路等。

3 现场应按照爆破网路图上已标注的每个孔的编号进行标识。

4 电子雷管注册前，应在爆破网路图上已标注的每个孔的编号和延期时间上加标雷管注册编号。

5 采用孔外或孔内方式对雷管进行注册，注册后应在雷管标签上书写注册编号，起爆器内的注册编号和雷管标签上书写的编号相同；注册时设定的雷管延期时间与爆破网路图上的对应孔的延期时间相同。

6 将子网路连接形成主网路后，应通过专用设备检测主网路。

7 电子雷管起爆器的使用环境应与其要求的环境条件一致，起爆器的起爆数量应不大于其起爆额定数量；使用前应检查起爆器的电压，起爆时，不得低于规定的最低起爆电压。

#### **3.5.7 混合起爆网路应按下列规定执行：**

1 应对每部分单一器材部分网路进行连接和检测，应检查不同器材在网路中连接点的可靠性。

2 网路设计和现场爆破施工应保证各个单一器材部分网路之间不互相干扰和损坏。

3 混合网路中导爆索、雷管、导爆管和电线之间应留有足够的安全距离；导爆管和导爆索混合网路宜使用导爆索连成环形起爆网路，除导爆索传爆导爆管外，导爆管不得靠近或跨越导爆索。

### **3.6 爆 破 监 测**

**3.6.1** 应依据爆破施工情况确定与爆破安全有关的监测项目，实施时应按编制的爆破安全监测大纲进行爆破监测。

**3.6.2** 应采取仪器监测和宏观调查相结合的方法进行爆破安全

监测。

**3.6.3** 爆破施工监测应按 DL/T 5333 《水电水利工程爆破安全监测规程》的规定执行。

**3.6.4** 应及时整理、分析爆破安全监测资料并提出监测报告。



## 4 露天爆破

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 台阶爆破孔径不宜大于 150mm，预裂、光面爆破孔径不宜大于 110mm。

**4.1.2** 台阶爆破高度不宜超过 20m，炮孔堵塞长度一般宜为抵抗线长度的 1.0 倍~1.2 倍。

**4.1.3** 严禁采用裸露药包。

### 4.2 边坡爆破

**4.2.1** 钻孔爆破前应进行开挖边坡线附近的危石清理及截排水工作，并形成钻爆平台。

**4.2.2** 应采取自上而下分层钻爆，较大作业面可分区钻爆；采用立体作业时，应有可靠的安全措施。

**4.2.3** 同一台阶的开挖宜同步下降，若不能同步时，相邻高差不宜大于一个台阶。

**4.2.4** 对不良地质条件部位和需保留的不稳岩体，应采取控制爆破，及时支护。

**4.2.5** 边坡岩体轮廓边线应采取预裂爆破或光面爆破方法，宜设置缓冲爆破孔。

**4.2.6** 边坡马道爆破应预留保护层，保护层厚度为 1.5m~2.5m。

**4.2.7** 边坡有洞室爆破时应按下列规定执行：

1 先开挖边坡后开挖洞室时，进洞前应先进行锁口支护，洞口段 2 倍洞径范围内应采用短进尺、弱爆破等控制爆破措施；

2 先开挖洞室后开挖边坡时，洞内应先进行锁口，并在洞

内进行辐射状的预裂衔接孔施工，衔接预裂爆破宜先于边坡台阶爆破进行，临洞边台阶爆破时，应调整爆破参数。

### 4.3 基 坑 爆 破

- 4.3.1 应按施工组织设计要求进行分区、分层钻爆。
- 4.3.2 河床段逐层向下开挖时，宜采用先抽槽的施工方法。
- 4.3.3 建基面保护层可采用水平预裂、柔性垫层一次爆破方法或分层爆破方法。
- 4.3.4 预留保护层厚度可通过爆破试验确定，宜为上一层台阶爆破药卷直径的 25 倍~40 倍。
- 4.3.5 建基面保护层采用水平预裂时，垂直孔炮孔孔径不宜大于 50mm，孔底距建基面不宜小于 50cm；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。
- 4.3.6 建基面保护层采取柔性垫层一次钻爆时，炮孔孔径不宜大于 50mm，药包直径宜小于 40mm，孔底柔性垫层厚度不应小于 20cm。

### 4.4 沟 槽 爆 破

- 4.4.1 应根据沟槽的断面形状、长度等条件，采用分段、分层钻爆。
- 4.4.2 沟槽开挖宜采用楔形掏槽钻爆方式或从沟槽一侧端部开始，依次沿纵轴线方向台阶钻爆。
- 4.4.3 楔形掏槽宜采用先中间后两侧的“V”型钻爆方式。
- 4.4.4 对于宽度小于 4m 的沟槽，炮孔直径不宜大于 50mm。
- 4.4.5 周边轮廓岩面应采用预裂或光面爆破，底部预留保护层；沟槽两侧预裂爆破不应同时起爆，其中一侧应至少滞后 100ms。
- 4.4.6 爆破槽段较长时，宜每隔一段距离设置一排加密爆破孔。



#### 4.5 现场混装炸药车装药爆破

**4.5.1** 明挖台阶爆破钻孔直径大于 80mm，单孔装药量大于 50kg 且单次爆破总炸药用量大于 5t，爆破区域距离被保护的边坡或保护层大于 10m 的情况下，宜使用混装炸药车进行装药爆破。

**4.5.2** 装药时应严格计量，按照爆破设计装药。

**4.5.3** 装药过程中发现炮孔漏药情况时，应及时采取措施防止漏药。

**4.5.4** 装药完毕至少 10min 后经检验合格才可进行炮孔填塞。

**4.5.5** 使用混装炸药车装药的爆破应采取专用起爆药柱或爆速较高的防水炸药作为中继药包；炮孔内严禁电雷管入孔起爆。



## 5 地下洞室爆破

### 5.1 一般规定

- 5.1.1** 洞室群爆破施工应充分考虑通风、交通、振动等因素，合理安排开挖爆破顺序。
- 5.1.2** 地下洞室爆破可根据洞室地质条件、断面、结构等要求，采取全断面、导洞、分部等方法进行爆破。
- 5.1.3** 水平预裂、光面爆破孔径不宜大于 50mm，垂直预裂、光面爆破孔径不宜大于 80mm，台阶爆破孔径不宜大于 100mm。
- 5.1.4** 爆破施工时洞内应保持良好通风和降尘。

### 5.2 平洞爆破

- 5.2.1** 应根据洞径大小、围岩地质条件、钻孔设备等因素，选择掏槽形式、循环进尺。
- 5.2.2** 洞口部位爆破应进行专项爆破设计。
- 5.2.3** 洞口爆破后应及时进行支护，破碎岩层处的洞口支护顶板至少应伸出洞口 0.5m；不良地质地段应及时完成永久性支护，其支护长度不得小于洞径的 2 倍。
- 5.2.4** 大断面和特大断面洞室的扩挖应按下列规定执行：
- 1 宜从上往下分层扩挖，台阶高度不宜超过 8m；
  - 2 洞室周边轮廓面宜采用预裂爆破或预留保护层光面爆破；
  - 3 爆破后岩石块度应适合装渣机械作业和爆破料的使用要求。
- 5.2.5** 相向掘进的两个工作面，两端施工应统一指挥。在相距 5 倍洞径或 30m 爆破时，双方人员均须撤离工作面；相距 15m 时，必须采用一个工作面爆破，直至贯通。

**5.2.6** 在间距小于 20m 的两个及以上平行洞室中的一个工作面需进行爆破时，必须通知相邻洞室工作面的作业人员撤离到安全地点。

### 5.3 竖井与斜井爆破

**5.3.1** 竖井、斜井可采用正井法、反井法分段爆破；根据断面大小可采用全断面、导井扩挖爆破。

**5.3.2** 竖井、斜井采用正井法全断面钻爆时，应按下列规定执行：

1 应锁好井口，确保井口段围岩稳定，井口顶部搭设封闭防护围栏，防止井台上石块和杂物坠入井内；

2 掏槽部位宜在开挖断面的中部，掏槽方式可采用圆锥形掏槽、直眼桶形掏槽；

3 竖井周边孔应采用预裂或光面爆破。

**5.3.3** 竖井的导井位置宜设在竖井的中心部位，斜井宜设在斜井下部；导井边缘不宜靠近竖井周边轮廓。

**5.3.4** 导井采用由上而下一次造孔，由下而上分段爆破时，应严格控制钻孔质量，终孔位置的偏差不得超过孔深的 0.5%；下部应有足够的爆破堆渣空间和出渣通道。

**5.3.5** 导井采用自下而上分层钻爆时，浅井可用液压提升作业平台施工，深井可采用爬罐或吊罐法施工。

**5.3.6** 竖井、斜井扩挖周边轮廓线应采用预裂爆破或光面爆破法。

**5.3.7** 对于不良地质条件的竖井、斜井，施工中应及时进行井壁支护和安全监测工作。

**5.3.8** 导井自下而上钻爆时，距贯通面 2 倍洞径时，应采取自上而下贯通方法。

### 5.4 洞室特殊部位爆破

**5.4.1** 地下厂房岩壁吊车梁基础、岩台吊车梁基础、高压岔管、成型后的高墙上开挖洞口等属于洞室特殊部位，应做专门爆破设计。

**5.4.2** 应合理分层、分部，采用浅孔、弱爆破方法，边掘进边支护。

**5.4.3** 高压岔管、成型后的高墙上开挖洞口等洞室特殊部位应超前支护后再进行爆破。

**5.4.4** 岩壁吊车梁基础、岩台吊车梁基础钻孔爆破应按 DL/T 5198《水电水利工程岩壁梁施工规程》执行。

**5.4.5** 爆破施工过程中，应在有代表性的部位布置适当的监测仪器，对其围岩稳定状况进行监测。

### **5.5 不良地质洞段爆破**

**5.5.1** 断层及破碎带，缓倾角节理密集带，岩溶发育、地下水丰富及膨胀岩体地段，高应力区和放射性等不良地质洞段爆破，应根据地质预报，针对其性质和特殊的地质问题，制定专项保证安全施工的工程措施。

**5.5.2** 断层及破碎带，缓倾角节理密集带，岩溶发育、地下水丰富及膨胀岩体地段爆破，应采用浅孔、弱爆破方法，边掘进边支护或超前支护措施。

**5.5.3** 高地应力区洞室开挖钻孔爆破时，应按下列规定执行：

- 1 应探明构造应力的分布情况；
- 2 爆破施工方案中应有可靠的预防岩爆、变形的施工安全防护技术措施，合理安排洞室群的施工程序；

3 钻孔爆破过程应进行施工地质预测预报，对已挖洞段围岩应力、压缩变化须及时进行观测；

- 4 工作面应加强洒水和喷网锚杆支护。

**5.5.4** 地下水活动较严重地段应使用防水型爆破器材。爆破过程中控制单段起爆药量，采取排堵水措施。

**5.5.5** 放射性岩石爆破按下列规定执行：

- 1 钻孔爆破施工应经常对放射性剂量进行测定；
- 2 钻孔应采用水钻。

## 6 水下爆破

### 6.1 一般规定

6.1.1 水下爆破施工前应做好下述准备：

- 1 准备救生设备；
- 2 对钻爆工作船、钻具、水中带电情况、安全防护器具设施的安全性及可靠性进行检查、验收；
- 3 做好爆破器材的水上运输和储存；
- 4 设置水面和陆上警戒标识及警报信号。

6.1.2 应充分考虑爆破飞石、水中冲击波（动水压力）、爆破振动和涌浪等对周围环境的影响，制定安全保护措施。

6.1.3 应对水中冲击波、涌浪、爆破振动等进行监测。

6.1.4 爆破作业船（平台）上的工作人员作业时穿好救生衣，无关人员不应登上爆破作业船（平台）。爆破施工时，爆破作业船（平台）及其辅助船舶应悬挂信号旗或信号灯。

### 6.2 爆破施工

6.2.1 钻孔爆破部位应进行水下测量、投放水面标志。

6.2.2 水下钻孔爆破宜一次钻至设计高程。

6.2.3 钻机作业船（平台）应稳固、定位准确，并经常校核其位置、钻孔偏差。

6.2.4 水下钻孔应在套管保护下施钻，套管底部应嵌入岩体。

6.2.5 水下爆破使用的爆破器材应具有良好的抗水、防水、耐水压力及抗杂散电流的性能，药包综合密度应大于  $1.1\text{g}/\text{cm}^3$ 。

6.2.6 水下钻孔爆破起爆导线、导爆管和导爆索的长度应根据

水深、流速情况确定，且不应小于孔深与水深之和的 1.5 倍。

**6.2.7** 用电力和导爆管起爆网路时，每个起爆药包内安放的雷管数不宜少于 2 发，并宜连成两套网路或复式网路同时起爆。采用孔外延时起爆网路时，应采取措施对起爆网路进行保护。

**6.2.8** 采用电爆网路时，水下导线宜采用柔韧的绝缘铜线，并避免水中接头。

**6.2.9** 在流速较大的水域进行爆破作业时，应采用高强度导爆管雷管起爆网路，并对起爆网路采取有效的防护措施。

**6.2.10** 孔口堵塞应在套管拔出前用砂土填实。

### 6.3 岩 塞 爆 破

**6.3.1** 在附近闸门关闭时，岩塞爆通应采取保护措施，防止破坏闸门门叶、止水和启闭设备。

**6.3.2** 在附近闸门开启时，岩塞爆通应加强对闸门底槛、门轨、门楣等的防护。

**6.3.3** 岩塞爆破效果应达到以下要求：

- 1 预留岩塞一次爆除；
- 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。

**6.3.4** 采用硐室爆破时，药室及导洞钻爆应采用浅孔、小药量、多循环的钻爆方法，应严格控制单段最大起爆药量；每次循环进尺不应超过 0.5m，每孔装药量不应大于 150g，每段起爆药量不应超过 1.5kg；导洞的掘进方向朝向水体时，超前孔的深度不应小于炮孔深度的 3 倍。

**6.3.5** 岩塞采用钻孔爆破时，应设有超前孔探测渗漏水。

**6.3.6** 当药室或钻孔出现漏水，渗漏量较小时可将其引出，渗漏量较大时应采用灌浆或在迎水面堵漏。

**6.3.7** 岩塞爆破网路应按下列规定执行：

- 1 当使用导爆管起爆网路时，应采用双复式起爆网路，接出洞外引爆；起爆网路使用的炸药和雷管应按设计要求进行防水试验。
- 2 电爆网路的主线应采用防水性能好的胶套电缆，电缆通过填塞时应采用可靠的保护措施。
- 3 爆破网路应进行 1:1 仿真试验。



## 7 拆除爆破

### 7.1 一般规定

- 7.1.1 拆除爆破宜一次爆破完成，确需多次拆除爆破时，宜从上往下分层、分区钻爆。
- 7.1.2 钻孔孔径不宜大于 100mm。
- 7.1.3 拆除钢筋混凝土结构时，宜沿拆除轮廓线切断钢筋，再进行钻孔爆破。
- 7.1.4 拆除爆破时应应对邻近的建筑物等保护对象进行安全防护。
- 7.1.5 应采取覆盖、遮挡等有效措施，将飞石、粉尘、噪声控制在规定范围内。
- 7.1.6 爆破时应进行拆除爆破中有害效应的监测。

### 7.2 混凝土围堰和岩坎拆除爆破

- 7.2.1 混凝土围堰与岩坎钻孔爆破施工应按下列规定执行：
  - 1 应进行专项爆破设计；
  - 2 混凝土围堰在浇筑过程中可预先埋设爆破孔；
  - 3 宜采用高精度导爆管雷管、电子雷管等起爆器材；
  - 4 爆破块度应满足有关要求。
- 7.2.2 应采用延时爆破网路，必要时可采用复式起爆网路。

### 7.3 混凝土防渗墙拆除爆破

- 7.3.1 采用钻机钻孔时，应沿防渗墙墙体轴线布孔，孔深与拆除防渗墙的高度一致；钻孔偏差不应大于 5‰。
- 7.3.2 防渗墙内有预埋管的，应将管作为爆破孔，装药结构宜采

用间隔集中装药的方式。

**7.3.3** 应采用复式延时起爆网路。

#### **7.4 厂房扩建与坝体改建爆破**

**7.4.1** 宜采用浅孔、小药量爆破。

**7.4.2** 设计开挖轮廓线应采用预裂防震或光面爆破。

**7.4.3** 复杂结构部位宜先打防震孔，宜采用切割爆破法施工。

**7.4.4** 几个工作面同时爆破时，应防止串段、爆破振动叠加。





## 8 质量与安全

**8.0.1** 爆破施工质量应按 DL/T 5113.1 《水电水利基本建设工程单元工程质量等级评定标准 第1部分：土建工程》、DL/T 5389 《水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范》、DL/T 5198、DL/T 5099 《水工建筑物地下工程开挖工程施工技术规范》、DL/T 5255 《水电水利工程边坡施工技术规范》开挖质量标准的规定执行。

**8.0.2** 爆破施工安全应按 GB 6722、DL/T 5370、DL/T 5371 《水电水利工程土建施工安全技术规程》的规定执行。

## 附录 A 安全允许爆破振动速度

**A.0.1** 新浇混凝土、灌浆区、预应力锚索（锚杆）、喷射混凝土部位附件进行爆破的安全允许爆破振动速度见表 A.0.1。

**表 A.0.1** 新浇混凝土、灌浆区、预应力锚索（锚杆）、喷射混凝土的安全允许爆破振动速度

序号	项 目	安全允许爆破振动速度 (cm/s)			备 注
		龄期 3d	龄期 3d~7d	龄期 7d~28d	
1	混凝土	2.0~3.0	3.0~7.0	7.0~12.0	
2	灌浆区	0.0	0.5~2.0	2.0~5.0	含坝体、接缝灌浆等
3	预应力锚索（杆）	1.0~2.0	2.0~5.0	5.0~10.0	锚墩、锚杆孔口附近
4	喷射混凝土	1.0~2.0	2.0~5.0	5.0~10.0	距爆区最近的喷射 混凝土

- 注：1 非挡水新浇大体积混凝土的安全允许振动速度可根据表中给出的上限值选取。  
2 控制点位于距爆区最近的新浇大体积混凝土基础上。  
3 地质缺陷部位一般应进行临时支护后再进行爆破，或适当降低控制标准值。

**A.0.2** 建筑物及设备保护对象附近进行爆破的安全允许爆破振动速度见表 A.0.2。

**表 A.0.2** 建筑物及设备保护对象的安全允许爆破振动速度

序号	保护对象类别	不同频段的爆破安全允许振动速度 (cm/s)		
		<10Hz	10Hz~50Hz	50Hz~100Hz
1	土窑洞、土坯房、毛石房屋	0.5	0.5~1.0	1.0
2	一般砖房、非抗震的大型砌块建筑物	1.0	1.0~2.5	2.5~3.0

续表 A.0.2

序号	保护对象类别	不同频段的爆破安全允许振动速度 (cm/s)		
		<10Hz	10Hz~50Hz	50Hz~100Hz
3	钢筋混凝土框架房屋	2.0	2.0~4.0	4.0~5.0
4	一般古建筑与古迹	0.2	0.2~0.6	0.6
5	水工隧洞	5.0	5.0~8.0	8.0~10.0
6	水电站及发电厂中心控制室设备	0.2	0.2~0.5	0.5
7	水电站中控室、厂房及输电设备 基座	3.0	3.0~4.5	4.5~5.0

- 注：1 表中频率为主振频率，是指最大振幅所对应的震波频率。
- 2 频率范围可根据类似工程或现场实测波形选取。选取频率时也可参考下列数据：洞室爆破小于 15Hz；深孔爆破为 10Hz~15Hz；浅孔爆破为 15Hz~60Hz；个别情况可超出上述频率范围。
- 3 选取建筑物安全允许爆破振动速度时，应综合考虑建筑物的重要性、建筑质量、新旧程度、自振频率、地基条件等因素。
- 4 省级以上（含省级）重点保护古建筑与古迹的安全允许爆破振动速度应经专家论证选取，并报相应文物部门批准。

## 本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

GB 6722 爆破安全规程

DL/T 5099 水工建筑物地下工程开挖施工技术规范

DL/T 5113.1 水电水利基本建设工程单元工程质量等级评定标准 第1部分：土建工程

DL/T 5198 水电水利工程岩壁梁施工规程

DL/T 5255 水电水利工程边坡施工技术规范

DL/T 5333 水电水利工程爆破安全监测规程

DL/T 5370 水电水利工程施工通用安全技术规程

DL/T 5371 水电水利工程土建施工安全技术规程

DL/T 5389 水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范

www.docin.com

中华人民共和国电力行业标准

水电水利工程爆破施工技术规范

**DL/T 5135—2013**

代替 DL/T 5135—2001

条 文 说 明

doc in 豆丁  
www.docin.com

## 修 订 说 明

国家能源局以 2013 年第 6 号公告发布 DL/T 5135—2013 《水电水利工程爆破施工技术规范》。

本规范是在 DL/T 5135—2001 的基础上修订而成的，上一版的主编单位是葛洲坝集团公司三峡工程施工指挥部，参编单位是广西航务工程局、葛洲坝集团公司第一工程公司。主要起草人是任尚卿、陈飞、张锦亮、刘临雄、文德钧、刘金焕、陈继尧、马德浙、周公觉、沈锡荣、刘焕祯。

本规范修编过程中，编制组严格遵循编制规范的有效、实用，能体现当前爆破新技术、新工艺和先进水平，公平、公正原则。调查、分析、研究了原标准的执行情况，收集水电水利工程爆破施工新技术和新工艺，参考了现行的国家和行业标准，广泛征求有关单位和专家意见，对原标准进行修改、补充、完善。

为了便于在水电水利工程爆破施工中能正确理解和执行条文规定，编制组按其章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

## 目 次

1	总则 .....	5
3	基本规定 .....	7
3.1	一般规定 .....	7
3.2	爆破器材 .....	14
3.3	爆破试验 .....	15
3.4	起爆方法 .....	16
3.5	起爆网路 .....	17
3.6	爆破监测 .....	23
4	露天爆破 .....	25
4.1	一般规定 .....	25
4.2	边坡爆破 .....	25
4.3	基坑爆破 .....	29
4.4	沟槽爆破 .....	31
4.5	现场混装炸药车装药爆破 .....	32
5	地下洞室爆破 .....	33
5.1	一般规定 .....	33
5.2	平洞爆破 .....	33
5.3	竖井与斜井爆破 .....	36
5.4	洞室特殊部位爆破 .....	37
5.5	不良地质洞段爆破 .....	38
6	水下爆破 .....	40
6.1	一般规定 .....	40
6.2	爆破施工 .....	42
6.3	岩塞爆破 .....	44



**DL/T 5135—2013**

7	拆除爆破	47
7.1	一般规定	47
7.2	混凝土围堰和岩坎拆除爆破	47
7.3	混凝土防渗墙拆除爆破	49
7.4	厂房扩建与坝体改建爆破	50
8	质量与安全	53



www.docin.com

# 1 总 则

**1.0.1** 在水电水利工程爆破施工中，除料场外都是采用钻孔爆破方法进行施工的，有部分工程在料场开采时采用硐室爆破，本规范没有包括。

**1.0.2** 在水电水利爆破施工中，大型和小型的工程爆破施工之间只有爆破规模上的区别较大，在钻孔爆破施工过程中的要求都是相同的，本次修订不再限制工程规模，而是适用于水电水利各类工程爆破施工。

**1.0.3** 为保证水利水电工程爆破施工能优质、安全、按时完成，需根据爆破施工的不同要求，编制施工组织设计和爆破方案来指导现场施工。编制施工组织设计和爆破方案时可参考下列内容编写：

- 1 施工总平面布置方面：
  - 1) 爆破器材仓库、生产、生活设施布置；
  - 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) 钻孔爆破分区布置；
  - 2) 各部位钻孔爆破施工分层顺序；
  - 3) 各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 使用爆破器材品种、名称、规格、数量计划及性能要求。
- 6 工程进度计划。
- 7 投入的机械设备名称、规格型号、数量。

**8** 钻孔爆破施工的质量目标、质量计划、安全技术措施。

**9** 钻孔爆破施工组织机构。

**1.0.4** 由于科学技术的不断发展，岩石钻孔爆破使用的机具、爆破器材、施工工艺也会不断更新，提倡施工过程中积极采用“四新”。规定通过论证和爆破试验的方式是要验证其安全可靠、技术先进性、经济适用性等。

**1.0.5** 水电水利工程爆破施工牵涉的范围较广，施工要求较多，而本规范只是水电水利工程爆破施工技术方面的标准，标准作用范围有限。因此，在爆破施工中不仅要符合本规范的要求，还应符合国家现行有关标准的规定。



## 3 基本规定

在水电水利工程所进行的各种爆破施工中，从爆破设计、钻孔、装药、起爆方法、起爆网路、爆破安全警戒到爆破后检查等全过程有很多共性规定。为使本规范条文规定条理清晰、准确，避免重复，取消了原规范第3章火工材料章节，将爆破施工中具有共性的规定放在一起组成本规范第3章。

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 为确保爆破试验顺利、安全地进行，获得爆破设计和施工所需的各项爆破参数，需要编制爆破试验大纲来指导爆破试验。爆破试验大纲可以参考下列内容：

- 1 试验目的和内容；
- 2 试验地点和部位；
- 3 爆破方案；
- 4 观测内容、布置、方法和仪器设备的配置；
- 5 数值仿真分析（需要时）；
- 6 试验工作量和进度；
- 7 试验人员配置，需有关部门配合的项目和内容等；
- 8 预期成果；
- 9 其他。

**3.1.2** 为了确保爆破施工能安全、优质、经济、按期完成，在爆破施工前应进行爆破设计来指导施工，同时也使爆破设计内容能够标准化而制定本条规定。

**3.1.3** 爆破工程中台阶爆破、预裂和光面爆破是最基本的方法，广泛应用于露天明挖、地下洞室开挖等工程。保护层根据情况预

留，为防止建基面岩体遭钻孔爆破的影响，在邻近基坑建基面和边坡马道上都预留有保护层。

**3.1.4** 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，岩石较好时采用不大于 150mm 的孔径；稍差时宜选用 80mm~110mm 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，孔距与排距之比称为炮孔密集系数，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 1。

表 1 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 <sup>3</sup> )
页岩 千枚岩	风化、破碎	2~4	0.33~0.48
	完整、微风化	4~6	0.40~0.52
板岩 泥灰岩	泥质、薄层层面张开，较破碎	3~5	0.37~0.52
	较完好，层面闭合	5~8	0.40~0.56
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，未风化	9~14	0.47~0.68
砾石	胶结性差，砾石以砾岩或较不坚硬的岩石为主	5~8	0.40~0.56
	胶结好，由较坚硬的岩石组成，未风化	9~12	0.47~0.64

续表 1

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 <sup>3</sup> )
白云岩 大理岩	节理发育, 较疏松、破碎, 裂隙频率大于 4 条/m	5~8	0.40~0.56
	完整、坚硬	9~12	0.50~0.64
石灰岩	中薄层或含泥质, 或细状、竹叶状结构及裂隙较发育	6~8	0.43~0.56
	厚层、完整或含硅质、致密	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	7~12	0.43~0.64
	未风化, 完整、致密	12~20	0.53~0.72
流纹岩 粗面岩 蛇纹岩	较破碎	6~8	0.40~0.56
	完整	9~12	0.50~0.68
片麻岩	片理或节理发育	5~8	0.40~0.56
	完整、坚硬	9~14	0.50~0.68
正长岩 闪长岩	较风化, 整体性较差	8~12	0.43~0.60
	未风化, 完整、致密	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	8~14	0.47~0.64
	很坚硬, 完整、致密	14~20	0.57~0.80
安山岩 玄武岩	受节理裂隙切割	7~12	0.43~0.60
	完整、坚硬、致密	12~20	0.53~0.80
辉长岩 辉绿岩 橄榄岩	受节理切割	8~14	0.47~0.68
	很完整, 很坚硬、致密	14~25	0.60~0.84

**3.1.5** 钻孔质量是爆破质量、安全、进度的关键工序，包括两个方面：

1 钻孔作业控制措施就是对钻孔所用钻机进行控制，使钻机位置稳定，钻杆方位不发生偏移，钻孔质量达到设计要求。工程中常采用控制钻机的措施是：

- 1) 采用钢轨和枕木、钢管搭样架等设施控制钻机；
- 2) 小型手风钻、潜孔钻利用钻机支架、支腿，液压钻机利用自身液压装置等控制钻具。

**3.1.6** 预裂、光面爆破在结构轮廓线转折位置布置不装炸药钻孔，爆破施工中通常也称为导向孔。该孔不装炸药的作用是使预裂、光面延时爆破时所产生的裂隙面在轮廓线转折不装药的导向孔处间断停止，形成预裂爆破、光面爆破转折线。

**3.1.7** 在明挖和地下洞室等部位分层、分段爆破施工中，预裂、光面爆破受钻具体型影响，在进行下一层或下一段钻孔作业时，钻机不能保持沿上一次预裂、光爆岩面进行钻孔。为满足爆破结构和架设钻具要求，在现场实际施工中，层间衔接处常利用开挖质量标准允许范围获得的架钻平台。开挖质量标准在 DL/T 5113.1 中有明确规定，施工时按其规定执行。

**3.1.8** 在爆破施工时，一般都是以爆破振动的安全要求来选择单段最大起爆药量。原规范在边坡钻孔爆破，对邻近保护层不大于 300kg，预裂、光面爆破不宜大于 50kg 等部位单段最大起爆药量的规定，都是根据爆破振动安全要求来确定的。因按原规范规定单段最大起爆药量适用范围有限，本次修编没有规定单段最大起爆药量，而是用爆破允许振动速度公式式 (3.1.8) 计算选择初始值，通过现场试验确定爆破单段最大起爆药量和计算公式中参数数值，使爆破中单段最大起爆药量的规定适用范围更广、更可靠。

在式 (3.1.8) 中，当有保护对象时，安全允许爆破振动速度  $V$  的选择应符合附录 A 的规定。公式中的系数  $K$ ，指数  $\alpha$ 、 $\beta$  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。国内水电工程实测爆破地震衰减规律  $K$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$  值见表 2；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见表 3；长江三峡大坝二期工程混凝土浇筑块与相邻部位爆破控制标准见表 4；长江三峡大坝工程质点安全振速控制标准见表 5；国内水电工程边坡开挖爆破控制标准见表 6。

表 2 国内水电工程实测爆破地震衰减规律  $K$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$  值

工程名称	爆破条件	地质条件	$K$	$\alpha$	$\beta$
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 0.17~0.32 0.10~0.50 0.10~0.30
	潜孔钻毫秒梯段爆破	粉砂岩（表层）、中细粒砂岩	48.1	0.89	
	减振试验，通过预裂缝松动爆破	中细粒灰色砂岩	67.9	1.00	
	轮胎钻梯段爆破	中细粒灰色砂岩	45.0	1.36	
		砂岩、黏土质粉砂岩	92.0	1.17	
大化水电站	手风钻电力起爆	灰岩（硬）、泥灰岩（软）	135.0	2.02	0.08~0.29
白山水电站	扇型深孔爆破	混合岩	8.9	1.49	0.07~0.80
	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
	通过预裂缝手风钻梯段爆破		140.0	2.00	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	0.08~0.60
	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	0.07~0.17
	延长药包毫秒松动爆破	花岗闪长岩（左坝肩）	51.0	0.86	0.06~0.18
	延长药包毫秒松动爆破	花岗闪长岩（溢洪道出口）	49.4	1.41	0.10~0.85
	延长药包毫秒松动爆破	花岗闪长岩（爆源近区）	28.5	1.09	0.14~0.76
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3 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

$V$ $D$	$Q$	$R$									
		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	100.00	100.00	100.00
									~	~	~
									139.84	150.00	150.00
3	2.0	0.59	4.72	15.93	37.77	73.78	100.00	100.00			
									~	~	
									127.49	150.00	
7	3.0	1.74	13.98	47.21	100.00	100.00					
					~	~					
					111.91	150.00					
28	5.0	6.87	54.96	100.00							
				~							
				150.00							

注：1  $R$ ——爆区中心至被保护对象的距离，m； $Q$ ——允许最大段起爆药量，kg； $V$ ——安全允许爆破振动速度，cm/s； $D$ ——混凝土龄期，d。

2 表中采用的经验公式：

$$Q = (V/32.1)^{3/1.12} R^3 \quad (1)$$

式中： $R$ ——爆心至被保护对象的距离，m；

$Q$ ——最大段起爆药量，kg；

$V$ ——质点安全允许爆破振动速度，m/s。

表4 长江三峡大坝二期工程混凝土浇筑块与相邻部位爆破控制标准

$V$	$Q$	$R$				
		10~20	20~50	50~100	100~150	>150
≤1.5		1	12	90	300	500
1.5~2.0		2	25	150	300	500
2.0~3.0		6	75	150	300	500
3.0~5.0		20	150	300	500	500
5.0~8.0		>5	150	300	500	500
8.0~10.0		>5	150	500	500	500

注： $R$ ——爆区中心至混凝土浇筑块的距离，m； $Q$ ——最大段起爆药量，kg；

$V$ ——安全允许爆破振动速度，cm/s。

表5 长江三峡大坝工程质点安全振速控制标准

混凝土龄期 (d)	初凝~3	3~7	7~28	>28	设计坡面	正在灌浆
振动速度 (cm/s)	1.5~2.0	2.0~3.0	3.0~5.0	5.0~8.0	≤10	≤1.5

表6 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
	坝肩及升船机边坡		28
	引航道边坡		35
长江三峡工程	永久船闸边坡	微风化花岗岩	15~20
			10~20
			10
新疆石门子水库工程	拱坝坝肩边坡	微风化砾岩	10

**3.1.9** 爆破孔装药后孔口应堵塞；用块状的爆破时产生的飞石距离将超出警戒范围造成安全事故，同时堵塞效果也不好。若用可燃材料堵塞，在堵塞作业时易燃烧引爆起爆器材而出现早爆事故，因此规定爆破孔口堵塞严禁用块状和可燃材料。

**3.1.10** 爆破安全距离主要包括：爆破振动安全标准、空气和水中爆破冲击波对人员的最小安全距离、个别飞散物对人员的最小安全距离、飞石对人员的安全距离。

**3.1.11** 爆破设计所确定的危险区边界，就是爆破施工通常需要明确的爆破警戒范围，为确保爆破施工安全制定了本条规定。

**3.1.12** 为确保爆破施工按时准爆和爆破安全：

- 1 强调统一指挥，主要是为了防止现场混乱，出现事故；
- 2 在施工范围大、多个工作面爆破施工中，如果出现同时起爆很有可能出现串段、爆轰波叠加，造成爆破振动超标，给保护对象造成不利影响；

**3** 地下洞室群爆破宜统一安排起爆时间，须由专人指挥，各部位起爆时间应错开，目的是为确保作业人员和施工设备的安全，不同时起爆是为了防止爆破产生的地震波叠加对邻近洞室的影响。

**3.1.13** 爆破后检查是为预防除渣施工出现安全事故。不同类型爆破查炮等待时间是不相同的。

**1** 明挖爆破在禁止使用导火索起爆后，都是采用电雷管、击发枪起爆网路，在爆后 **5min** 检查人员可进入爆破作业点进行爆破检查。在不能确认有无盲炮时应经 **15min** 后进入爆区检查。

**2** 规定了地下洞室爆破等待时间：

**1)** 首先按露天爆破不能确认有无盲炮时等待 **15min** 后，主要是考虑洞室钻爆中进洞距离较短时，通风排烟不需要等待 **15min** 空气就可达到合格标准，若进洞后可能会出现事故；

**2)** 经通风吹排烟空气检查合格，主要是确保作业人员的身体健康。

**3.1.14** 爆区地质条件、部位、规模不同，爆破后效果也各不相同，爆后有关人员爆破效果进行检查评估、总结，为后续爆破施工或类似工程爆破取得合理的参数，其目的在于达到更好的爆破效果。

**3.1.15** 因浆状炸药、混装炸药车配制的炸药等散装流态炸药易渗入岩体裂隙内，引起装药结构发生变化，爆破时对保留岩体产生不利的影晌，故在保护层及其开挖设计线前排的爆破孔不得使用此类炸药。

## **3.2 爆 破 器 材**

**3.2.1** 要确保各项爆破施工安全，避免出现盲炮，使各项爆破作业能按时准爆，同时满足爆破施工使用要求，只有按照国家标准和行业标准生产的爆破器材才能做得到。

**3.2.3** 装药后将爆破施工的剩余爆破器材及时撤离现场，主要是为防止剩余爆破器材丢失，给社会造成危害，同时也使运输爆破器材车辆能在起爆前撤离到警戒范围外。

### 3.3 爆 破 试 验

**3.3.1** 在进行爆破试验前所编制的爆破试验大纲是经过严格审批的指导爆破试验的文件和依据，按照爆破试验大纲进行爆破试验所取得的爆破参数能满足爆破施工要求，同时保证爆破试验能安全、有序、按期完成。

**3.3.2** 由于爆破施工的工程结构、施工环境、爆破要求各不相同，爆破施工中常根据爆破施工、安全与防护、工程承包合同等要求选择爆破试验内容。以下试验内容仅供参考，施工现场很多是没有条件做的。

**1** 爆破器材性能试验内容主要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、导爆索及导爆管的爆速等；

**2** 爆破参数内容主要包括预裂爆破、光面爆破、掏槽爆破、平地掏槽爆破、台阶爆破、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参数；

**3** 爆破网路试验、特殊工程起爆网路试验内容主要包括起爆网路传爆的可靠性、起爆网路的延时误差等。

**4** 爆破破坏范围的测试主要包括：

- 1)** 爆破对爆区底部或四周保留岩体的破坏情况，确定岩体保护层厚度或需要获得的其他有关数据；
- 2)** 观测爆破对建筑物或防护目标的破坏影响，判断它们的安全性，为调整爆破参数和控制爆破规模提供依据。

**5** 爆破振动速度、空气冲击波、水中冲击波测试主要内容包括：

- 1) 爆破振动速度测试主要包括与爆区中心至计算保护对象间场地有关的系数，地质条件相关系数、与地形条件有关的衰减系数；
  - 2) 空气、水中冲击波测试主要包括爆破时空气或水中初始压力，空气冲击波波阵面上的峰值压力。
- 6 保护层爆破试验内容主要包括：
- 1) 确定适用于施工场地地形地质条件和爆破条件的爆破振动传播规律经验公式，并进行预报和控制；
  - 2) 测试建筑物或保护目标及其基础面上的爆破振动参数的量值，配合爆破破坏范围测试，判断它们的安全性，为调整爆破参数和控制爆破规律提供依据。
- 7 其他有关试验内容主要是根据工程情况来确定，如爆破飞石距离测定。

### 3.4 起爆方法

**3.4.1** 在电雷管起爆方法中，常用于起爆电雷管的电源有电力起爆器、动力电、照明电、发电机、蓄电池、干电池。但无论使用哪种电源方式，其起爆电流能量均须大于流入全部网路中每个电雷管的准爆电流，才能保证网路安全起爆。

**3.4.2** 电子雷管和专用起爆器目前国内还没有统一标准，不同厂家生产的电子雷管只能使用自己厂设计的配套专用起爆器起爆，是不能通用的。因此使用电子雷管时一定要选择同一厂家的电雷管和配套的专用起爆器起爆。一般使用前厂家技术人员会进行培训。

**3.4.3** 导爆管雷管起爆是使用专用起爆器为击发枪（器）起爆。用雷管反向起爆导爆管，主要是因为雷管的聚能穴方向能量较强，金属壳雷管爆炸的金属飞片容易先将导爆管击断（穿）而产生拒爆，所以包裹时应将雷管的聚能穴指向导爆管的相反方向。

**3.4.4** 导爆索应使用雷管正向起爆，主要是因为雷管爆轰波传到

聚能穴后汇聚成一股速度和压力都很高的气流，称为聚能流，其方向与导爆索传爆方向一致，有利于导爆索的起爆和传爆。

**3.4.5** 在爆破施工中，药包是通过雷管或导爆索产生的能量去引爆，而导爆索本身需要先用雷管引爆。导爆管是一种内壁涂有混合炸药粉末的塑料软管，采用雷管、导爆索、击发枪等击发元件起爆。药包是被起爆体，不能作为击发元件来起爆导爆索和导爆管。

**3.4.6** 为确保起爆作业安全，在明挖、地下洞室、水下、拆除等爆破都采用远距离操作起爆。起爆地点的选择要不受空气冲击波、有害气体和个别飞散物的危害。在爆破施工中可以根据现场实际情况，综合分析研究安全的起爆地点。

**3.4.7** 在有沼气、瓦斯和粉尘爆炸危险的环境中爆破使用普通爆破器材，因有喷火（火花）现象产生，有引起沼气、瓦斯和粉尘爆炸的危险，所以应使用煤矿许用起爆器材起爆。

**3.4.8** 杂散电流大于 30mA 或高压线射频电源危险范围均超出了普通电雷管安全允许电流值范围，会引爆普通电雷管出现安全事故，因此制定了本条规定。

### 3.5 起爆网路

**3.5.1** 水电水利工程爆破开挖工程量较大，爆破一般都是采用多药包起爆，常用的起爆网路为导爆索网路、导爆管网路、电爆网路、电子雷管网路、混合网路，在实际爆破施工时需要根据现场实际情况进行选用。

**3.5.2** 起爆网路是保证爆破按时准爆的关键，需要考虑的因素和要求较多。

1 起爆网路的安全可靠就是按时准爆，然后应满足爆破振动要求及方便操作、经济适用等要求。

2 使用合格的爆破器材，应能够确保按时准爆，避免出现盲炮；爆破器材的各项技术指标可靠，能保证爆破效果。

3 大规模爆破时，总装药量较大，起爆分组（段）较多，爆



破地震作用易引起安全问题，爆破施工的关键就是要严格控制单段最大起爆药量。

4 网路中出现重段和串段时，容易使爆破振动峰值出现叠加，引起爆破振动超标。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，叠加的峰值越大。

5 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路，采用孔外低段位、孔内高段位接力起爆网路，其效果是当孔内高段位雷管起爆后，飞石未落到地面时，孔外接力起爆网路都已引爆完毕，从而避免最先落下的飞石砸坏未起爆网路。

在采用多排接力起爆网路中存在起爆网路延时累计误差出现串段和重段现象，从而造成爆破地震波峰值叠加状况。消除起爆网路延期累计误差的办法就是，通过计算得出重段发生的位置，在重段位置前搭接一个延时雷管，从而消除重段前的网路延期累计误差，后续网路重新按原起爆网路接力起爆，依次循环到结束。

3.5.3 导爆索网路包括主干索、支干索和引入炮孔中的导爆索，连接方法有开口网路和环形网路两种。

1 开口网路又称分段并联网路，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，整个网路是开口的。开口网路见图1。

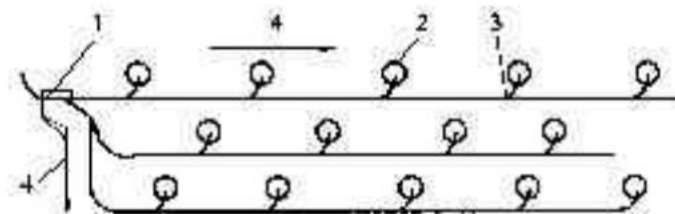


图1 开口网路

1—起爆雷管；2—炮孔；3—导爆索；4—传爆方向

2 环形网路又称双向并联网路或闭口网路，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。环形网路见图 2。

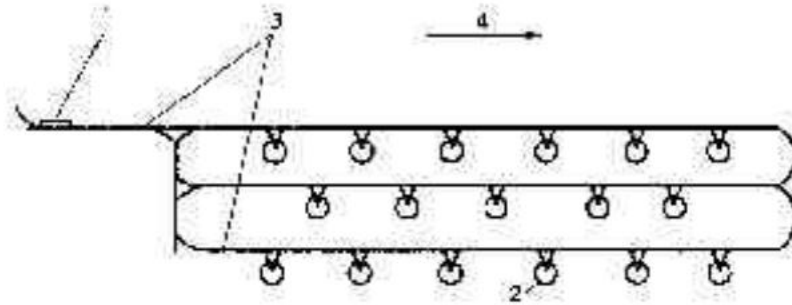


图 2 环形网路

1—起爆雷管；2—炮孔；3—导爆索；4—传爆方向

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路，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  $90^\circ$ ，各种连接法见图 3。普通导爆索不具有抗油性能，当采用铵油炸药时须用防油导索。

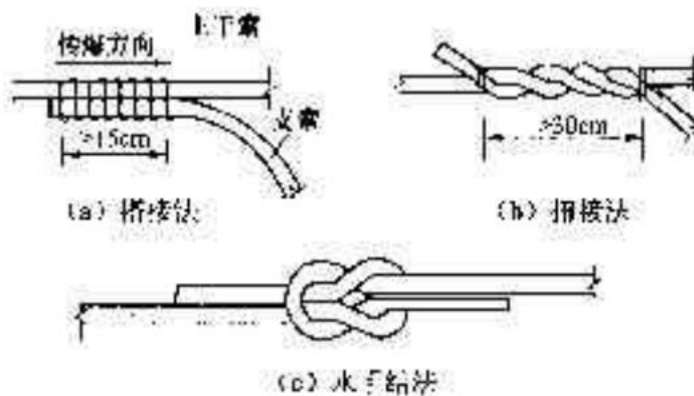


图 3 导爆索连接法



3.5.4 导爆管网路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路，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；孔外微差爆破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。起爆网路连接后要认真对照网路设计图复查。并并联网路见图 4。

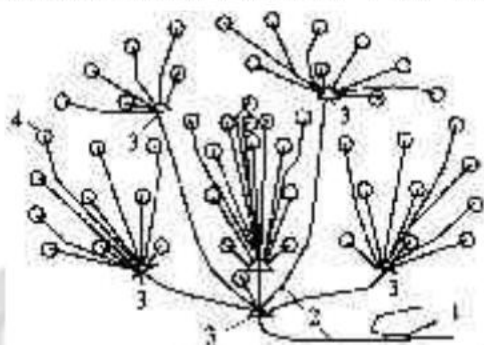


图 4 并并联网路

1—起爆雷管；2—导爆管；3—连接块符号；4—工作元件

2 并串并联法：一般用于明挖深孔爆破网路。并串并联网路见图 5。

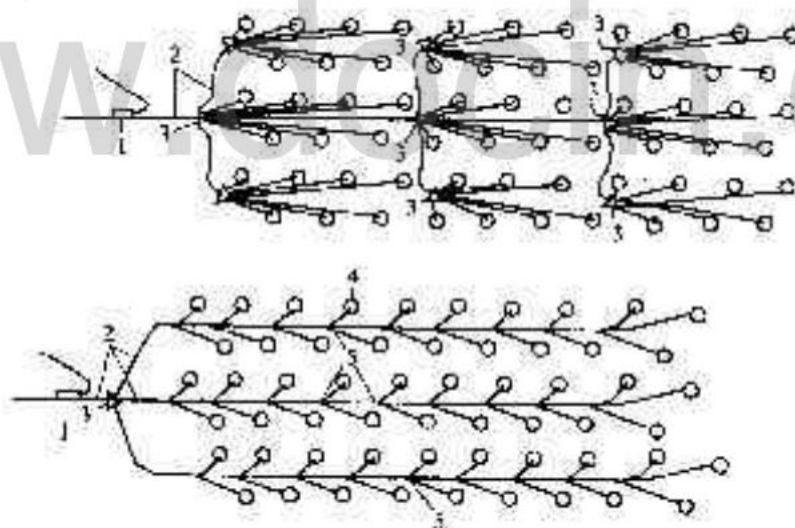


图 5 并串并联网路

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

### 3.5.5 电力起爆网路有串联、并联和混合联三种形式。

1 串联网路：是最简单的网路，但只要其中任何一个雷管或任何一个接头发生故障，则整个网路就失效，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。为使这种网路起爆可靠，宜用串并联网路，又称复式串联网路。

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

3 混合联网路：由并串联和并串并联混合联网组成。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路，它要求各支路电阻平衡后，才能并联接入主干线路，当全网路总电阻值与计算值超过±5%时，说明有个别支路断路或对地短路，应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可以参考表7。

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。

表7 电爆网路的连接形式与计算

连接形式	网路示意图	网路计算	说明
串联网路		总电阻： $R = R_1 + R_2 + m + R'$ 总电流： $I > i$ 所需电压： $U = RI = (R_1 + R_2 + m + R')I$	1. 串联在一组内的电雷管电阻差不应大于0.25Ω。 2. 并联网路中各支路电阻必须平衡。 3. 式中：
并联网路		总电阻： $R = R_1 + R' + \frac{1}{m}(R_2 + r)$ 总电流： $I > ni$ 所需电压： $U = RI = [R_1 + R' + \frac{1}{m}(R_2 + r)]I$	$R$ ——网路的总电阻，Ω； $R_1$ ——主导线电阻，Ω； $R_2$ ——端线、连接线、区域线电阻之和，Ω；

续表 7

连接形式	网路示意图	网路计算	说 明
并联网路		即 $I = \frac{U}{R_1 + R' + \frac{1}{m}(R_2 + nr)} > i$	
串并联网路		总电阻: $R = R_1 + R' + \frac{1}{m}(R_2 + nr)$ 总电流: $I > mi$ 所需电压: $U = RI = [R_1 + R' + \frac{1}{m}(R_2 + nr)]I$ 即 $I = \frac{U}{R_1 + R' + \frac{1}{m}(R_2 + nr)} > mi$	$R'$ ——电源内电阻, $\Omega$ (电网电阻可忽略不计); $R_{\max}$ ——电阻平衡后大支路电阻, $\Omega$ ; $I$ ——总电流, $A$ ; $U$ ——电源电压, $V$ ; $n$ ——串联电路中雷管数; $r$ ——单个电雷管电阻, $\Omega$ ; $i$ ——每个电雷管所需准爆电流, $A$ ;
并串联网路		总电阻: $R = R_1 + R' + \frac{1}{N}R_{\max}$ 总电流: $I \geq Ni$ 所需电压: $U = RI = (R_1 + R' + \frac{1}{N}R_{\max})I$ 即 $I = \frac{U}{Ni \left( R_1 + R' + \frac{1}{N}R_{\max} \right)} > Ni$	$m$ ——串并联网路支路数; $N$ ——并串联网路中的大支路数。

**3.5.6** 电子雷管与电雷管起爆网路要求是相同的,但在具体操作上区别较大。电子雷管起爆网路作为一种新的爆破技术正在不断普及,也是今后的发展趋势。不同生产厂家的产品,其操作是有区别的,一般在使用前厂家技术人员会进行培训。

1 同一爆破网路中使用同一厂家产品的目的是为了防止因制造和操作的差别以及不兼容的问题产生的误差，从而发生早爆、拒爆等意外。

5 规定了“四个相同”：电子雷管的注册号与炮孔的编号相同；雷管标签上书写的编号与注册编号相同；注册时设定的雷管延期时间与爆破与爆破网路图上的对应孔的延期时间相同。电子雷管的爆破网路只有保证了这“四个相同”，才能实现爆破设计的目的。

应提示注意的是：由于深孔或重要爆破，经常每孔使用2发或多发雷管，孔中只会有1发雷管是孔号、注册号、标签号“三个相同”的，其他雷管的注册号、标签号与炮孔号虽然表面上数字不同，但实际含义仍然是相同的。

3.5.7 为提高起爆系统的准爆率和安全性，在起爆网路中常采用混合网路。混合起爆网路就是在网路中有两种以上起爆器材混合使用。如：电雷管、导爆管混合网路，导爆索、导爆管混合网路，电雷管、导爆索混合网路，电雷管、导爆索、导爆管混合网路。混合起爆网路既有独立网路，也有组合网路，操作上除应严格执行各自网路规定外，还要注意组合时应满足各种起爆器材的要求。组合混合网路的目的是要提高起爆系统的准爆率和安全性，或为克服复杂环境条件，提高起爆系统的准爆率和安全性，所以应在提高起爆系统准爆率和安全性的前提下尽量简化网路。

### 3.6 爆 破 监 测

3.6.1 对于重要的爆破或有保护对象的爆破都要进行必要的施工爆破安全监测，具体监测项目根据现场实际要求来确定。监测大纲可以有以下内容：

- 1 工程概况；
- 2 编制依据；
- 3 监测的内容和目的；

- 4 测点布置及监测频度；
- 5 资源配置；
- 6 预期成果报告。

**3.6.2** 爆破施工中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无法获得，只能通过仪器随机信号采集、记录、分析取得。只有两者相互佐证才能得到可靠的结果，这也是水电水利系统一直沿用的方法。

**3.6.3** DL/T 5333 对本规范的明挖、地下洞室、水下、拆除等各类爆破安全监测的内容、监测断面及测点布置、爆破检测与监测方法、检测仪器设备等都已全面规定，应按其规定执行。

**3.6.4** 当爆破安全监测完成后，及时对监测资料进行整理和分析，可及时知道爆破影响情况和规律来指导钻爆施工。

## 4 露天爆破

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 水电水利工程爆破最主要的特点是控制爆破振动对被保护对象和基础建基面岩体的影响，也就是控制单段最大起爆药量，同时还要控制大块率。经过水电水利工程长期爆破施工总结，制定了本条规定。

**4.1.2** 随着施工设备和技术水平的提高，深孔台阶高度由原规范的8m~12m提高到不宜超过20m；炮孔堵塞以不能被爆轰气体直接冲出炮眼口为宜，中间不能间断。堵塞长度宜为抵抗线的1.0倍~1.2倍是通过爆破施工总结出来的经验数据，实际施工最好根据爆破试验确定。

**4.1.3** 裸露药包爆破时会产生很大的爆炸声，对被保护对象产生振动破坏，飞行距离超出警戒范围的飞石，其方向也无法控制，造成的危害有不可预测性。

### 4.2 边坡爆破

**4.2.1** 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，通常采取水泥砂浆做嵌缝处理。

在进行截水沟开挖的同时，将边坡钻爆顶部的覆盖层也开挖走后，就形成了钻爆的平台。

**4.2.2** 在边坡自上而下的开挖过程中，边坡作业面随着边坡不断

下降而增大，为满足施工进度要求，在较大作业面条件时还应分区钻爆施工。当作业面受限采用双层或多层，形成立体作业时，如分层钻爆，为确保爆破施工安全，应有可靠的安全保证措施才能进行同时作业。

**4.2.3** 考虑边坡钻爆施工安全，一般采用同步下降；若施工范围较大，同步下降施工时间太长，施工中常采取上下分区钻爆施工，相邻出现上下分区高差，为确保施工安全，一般不大于一个台阶。

**4.2.4** 不良地质地段或不稳定岩体边坡的钻孔爆破所产生的地震波、空气冲击波会对边坡带来不利影响，为确保施工安全，常采取浅孔、弱爆破爆破方法控制爆破，爆破后根据现场情况，采用喷混凝土、挂钢筋网、锚杆、预应力锚索等方式及时进行支护。

**4.2.5** 为减弱主爆区爆破时对保留岩体的破坏并形成平整轮廓面，边坡岩体轮廓边线采取预裂或光面爆破。同时为防止已爆预裂面被主炮孔破坏，一般在预裂面和主爆孔之间设置1排~2排缓冲爆破孔，其孔距、装药量应小于主爆孔。以下公式和资料可供参考。

1 预裂、光面爆破的爆破参数主要通过经验公式计算和经验类比法来选择，在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) 预裂爆破经验计算式通式：

$$Q_x = K[\sigma_{\text{R}}]^a[\alpha]^\beta[d]^\gamma \quad (2)$$

式中：  $Q_x$ ——线装药密度，kg/m；

$\sigma_{\text{R}}$ ——岩石极限抗压强度，MPa；

$\alpha$ ——炮孔间距，m；

$d$ ——炮孔直径，m；

$K$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ ——系数、指数，与地形、地质条件有关，应通过试验求得。

具体的公式有：

长办长江科学院计算式：



$$Q_x = 0.034 [\sigma_{\text{压}}]^{0.63} [a]^{0.67} \quad (3)$$

式中： $Q_x$ ——线装药密度，kg/m；  
 $\sigma_{\text{压}}$ ——岩石极限抗压强度，MPa；  
 $a$ ——炮孔间距，m。

葛洲坝工程计算式：

$$Q_x = 0.367 [\sigma_{\text{压}}]^{0.5} [d]^{0.86} \quad (4)$$

式中： $Q_x$ ——线装药密度，kg/m；  
 $\sigma_{\text{压}}$ ——岩石极限抗压强度，MPa；  
 $d$ ——炮孔直径，m。

长江三峡工程计算式：

左岸临时船闸、永久船闸计算式：

$$Q_x = 3 [Da]^{0.5} [\sigma_{\text{压}}]^{1/3} \quad (5)$$

式中： $Q_x$ ——全孔平均线装药密度，g/m；  
 $D$ ——孔径，cm；  
 $\sigma_{\text{压}}$ ——岩石极限抗压强度，MPa；  
 $a$ ——孔距，其值为  $7D \sim 12D$ ，cm。

左岸大坝与电站厂房计算式：

$$Q_x = 0.83 [\sigma_{\text{压}}]^{0.5} [a]^{0.6} \quad (6)$$

式中： $\sigma_{\text{压}}$ ——岩石极限抗压强度，MPa；  
 $a$ ——孔距，其值为  $8D \sim 12D$  ( $D$  为孔径，单位为 mm)，  
 cm。

清江高坝洲工程计算式：

$$Q_x = 0.367 [\sigma_{\text{压}}]^{0.5} [d]^{0.86} \quad (7)$$

式中： $Q_x$ ——线装药密度，g/m；  
 $\sigma_{\text{压}}$ ——岩石极限抗压强度，MPa；  
 $d$ ——孔径，mm。

飞来峡工程计算式：

$$Q_x = 0.36 [\sigma_{\text{压}}]^{0.63} [a]^{0.67} \quad (8)$$

式中： $Q_x$ ——线装药密度，g/m；



$\sigma_{\text{压}}$ ——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 8～表 11。

表 8 间距系数  $a/D$  经验值

来源	$a/D$	来源	$a/D$
葛洲坝工程	7.6~11	派恩	6~12
二滩水电站工程	11.1	费申柯	6.7
长江三峡工程	7~11	苏联“轮廓爆破”	6.6~13.6
大朝山水电站工程	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 9 不耦合系数  $D/d$  经验值

来源	$D/d$	来源	$D/d$
葛洲坝工程	2~4.9	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”	2.4~4
长江三峡工程	1.8~3.4	东江水电站工程	1.5~3.5
小浪底水库工程	1	大朝山水电站	3.5
《瑞典爆破技术》	1.5~3	冯叔瑜、马乃耀	2~3

表 10 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

续表 10

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	170	220	130	7.6

表 11 国内外建议的孔底装药量增加值

来源	孔深 (m)	底部 1m 的装药增加量
葛洲坝工程	<5	线装药密度的 1 倍~2 倍
	5~10	线装药密度的 2 倍~3 倍
	>10	线装药密度的 3 倍~5 倍
大朝山水电站工程	≥10	线装药密度的 4 倍
俄罗斯费申柯与艾里斯朵夫	—	线装药密度的 3 倍~5 倍
瑞典、古斯塔夫松	<2	0.05
	1~2	0.10
	1~6	0.20
	6~10	0.30

**4.2.6** 在边坡施工中为确保边坡稳定，通常设有马道。由于边坡马道的宽度较小，为确保马道轮廓形状和减小爆破有害效应对马道保留岩体的作用，通常采取预留保护层的方法进行马道爆破。

**4.2.7** 在边坡有洞室部位进行爆破施工时，洞口处易出现坍塌。因此施工前应先对洞口处进行锁口支护加固，增强岩体整体性，爆破时采用短进尺、弱爆破等控制爆破措施，可防止洞口出现坍塌造成人员和设备安全事故。

### 4.3 基 坑 爆 破

**4.3.1** 水工建筑物基坑基岩开挖规模和爆破工程量较大，另外结

构也较为复杂，需要根据设计要求和地质、地形条件，采取分区、分层钻爆才能达到设计结构要求。

**4.3.2** 基坑开挖进入河床段为一整体，为减少爆破施工振动和增加施工作业面，在向下开挖时常采取先进行抽槽，然后进行扩挖。河床断面不大不用抽槽方式，采用全断面向下爆破开挖。

**4.3.3** 为防止建基面岩体不遭钻孔爆破的影响，在邻近建基面上预留有保护层。保护层爆破方法随着钻爆技术的不断进步，除传统保留分层爆破法外，近年来国内很多工程采用水平预裂或孔底设置柔性垫层一次爆破方法效果较好。如长江三峡一、二期工程大坝、大渡河大岗山大坝等开挖就采用了水平预裂，尽管这些工程基岩节理、裂隙发育，还是取得了良好的效果。传统的分层爆破保护层方法虽然进度不快，但能有效减少爆破对建基面岩体的影响，在工程中还常使用。

**4.3.4** 预留保护层厚度主要与地质条件、爆破方式和规模、爆破器材性能、爆破孔装药直径等有关，一般由台阶爆破孔底以下的破坏深度试验结果确定。在确无条件情况下，保护层厚度也可采用工程类比方法确定。本条规定的保护层厚度宜为上一层台阶爆破药卷直径的 25 倍~40 倍就是工程类比的取值范围。一般按以下规定取值：完整和坚硬岩体取 25 倍；较完整、较破碎和较坚硬的岩体取 30 倍；破碎和较软的岩体取 40 倍。

**4.3.5** 建基面保护层采用水平预裂，一般同时设垂直孔来破碎岩石，控制垂直孔径和孔底深度，就是为防止水平预裂后建基面在垂直孔爆破后被破坏。

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。

**4.3.6** 建基面保护层采取柔性垫层一次爆破，控制钻孔孔径、药包直径，就是要减少爆破对建基面岩体的影响。

## 4.4 沟槽爆破

**4.4.1** 水利水电工程的沟槽形式多种多样，如明渠、溢洪道、船闸上下引航道，消力池齿槽、闸坝齿槽等，它们钻孔爆破施工的共同特点就是由地面向下抽槽而成，断面为矩形或梯形的槽形结构，只是长度、深度、高度、边坡坡比不同。针对沟槽结构特性，施工常采用分段、分层钻爆。

**4.4.2** 沟槽开挖一般有楔形掏槽、沿纵向轴线台阶钻爆两种方式。根据现场情况和爆破要求选用爆破方法。

**4.4.3** 当沟槽较宽时可采取槽中抽槽形成临空面后再进行扩挖，小沟槽可采取中间或两端开创自由面后扩挖，也可采用浅孔、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，同时也作为锚杆（索）的施工平台，实践表明此法效果很好。

**4.4.4** 宽度小于 4m 的沟槽，爆破临空面少，两侧夹制作用较大，爆破易对两侧保留岩体产生不利影响，爆破应采取炮孔直径小于 50mm、炮孔深度小于 2.0m 的浅孔爆破方法。

**4.4.5** 为确保沟槽开挖质量和岩体的完整性，沟槽周边采用预裂或光爆，底部预留保护层。较窄沟槽钻爆临空面少，岩体夹制作用大，两侧预裂爆破孔同时起爆可能会产生振动和破坏的叠加，使沟槽两侧保留岩体破坏，因此规定采用微差爆破，其中一侧应至少滞后 100ms。

**4.4.6** 在长距离沟槽采用台阶抽槽时，一次起爆排数较多，会造成爆渣无法翻动和大量炮根，影响爆破效果和延长出渣时间。施工中常采取台阶中部先起爆，采用减弱抛掷爆破计算药量，每隔一段距离设置加密孔。

#### 4.5 现场混装炸药车装药爆破

采用现场混装炸药车进行爆破作业，就是把地面生产炸药的工艺和现场混装装药车技术集为一体，在地面制备站只贮存原材料或生产半成品，在爆破施工现场采用混装炸药车完成炸药混制、装填、爆破等工作，本质安全性高，作业效率更高，代表着一体化发展的方向。在欧美等发达国家，现场混装炸药车技术应用极为普遍，达到其用量的80%以上，目前混装炸药车在国内也迅速发展，被广泛应用于水电、火电、核电、场平、矿山等领域。为鼓励混装炸药爆破技术在我国水电工程领域的推广与应用，在原规范基础上增加了混装炸药车爆破的有关内容。

## 5 地下洞室爆破

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 洞室群由两个以上的洞室组成，洞室群中各洞室相互间为层叠布置，交叉洞口多，钻爆施工难度大，影响爆破安全施工因素多，因此在洞室群爆破施工时规定全面规划、统筹安排地下洞室群的开挖钻爆顺序。

**5.1.2** 全断面、导洞、分部法爆破是地下洞室常用的爆破方法，现场应综合根据现场地质条件、断面大小、施工机械、结构布置等要求选择爆破施工方法。

**5.1.3** 水平预裂、光面爆破孔径不宜大于 50mm，主要是对平洞（包括斜洞）爆破；垂直预裂、光面爆破孔不宜大于 80mm，台阶爆破孔孔径不宜大于 100mm，主要是对大断面和特大断面洞室向下分层爆破。

**5.1.4** 地下洞室爆破作业需要良好的通风和降尘才能正常工作，并且当有人员在工作面时也一直保持良好状态。

### 5.2 平洞爆破

**5.2.1** 平洞钻爆前只有一个自由面，采用掏槽方式增加了临空面，以提高钻爆效果。平洞掏槽方式有很多种，如楔形掏槽、直孔掏槽、斜孔掏槽等。现场施工时需根据洞径大小、地质条件等因素，综合分析比较后选择掏槽方式和每一钻爆循环进尺长度。国内水电水利工程一些隧洞采用的钻爆参数见表 12。

表 12 我国一些隧洞采用的钻孔爆破参数

项目	单位	二滩水电站1号泄洪洞	二滩水电站筏木隧洞	太平哨引水隧道	鲁布革水电站引水洞下游段	长江三峡工程左岸地下电站引水隧洞	重庆南川鱼跳水电站隧洞
围岩条件		坚硬的玄武岩 $f=14\sim 16$ , $V_p=600\text{m/s}\sim 6300\text{m/s}$	坚硬玄武岩 $f=16$	黑云母混合片麻岩 $f=4\sim 10$	厚层白云岩和白云质岩 $f=7\sim 14$ , $V_p=4600\text{m/s}\sim 6000\text{m/s}$	花岗岩 $f=13\sim 14$	粉砂岩 $f=2\sim 3$
开挖断面积	$\text{m}^2$	133/114	140	99	55	214	100
开挖循环进尺	$\text{m}$	3.8	3.5	2.0~2.6	4.4	3.8	2.5
掏槽方式		双星直孔、五星掏槽	三星直孔掏槽	双楔形掏槽	直孔空孔掏槽	直孔空孔掏槽	双楔形掏槽
炮孔数量	个	210	130/45	187	143	500	190
炸药用量	$\text{kg}$	950	146/156	138	620	246	140
单位钻孔量	$\text{孔}/\text{m}^2$	2	2	2	3	2	2
单位耗药量	$\text{kg}/\text{m}^3$	2.07	0.70	1.40	2.68	1.15	0.74
光面或预裂爆破		光面爆破	光面爆破	—	光面爆破	光面爆破	光面爆破
孔距 $a$	$\text{cm}$	—	—	50~60	50~60	60~80	50~60
最小抵抗线 $W$	$\text{cm}$	—	—	50	60	80	60
钻孔密集系数 $m=a/W$		—	—	0.8~1.0	0.8~1.0	0.3	0.8~1.0
孔径 $d$	$\text{mm}$	45	—	42	50	45	42
药卷直径 $d_0$	$\text{mm}$	40	—	25	25	25、32	32
不耦合系数 $D_0$		1.11	—	1.7	2.0	1.4~1.8	1.3
装药集中度	$\text{g}/\text{m}$	125	—	250~300	440	150	100
平均超挖	$\text{cm}$	>15	—	17	—	20	15~20

注：分子为导洞面积，分母为台阶扩挖面积。

分子为导洞钻孔数，分母为扩挖钻孔数。

岩石坚固系数。

岩石弹性波速度。



**5.2.2** 洞口部位施工与进洞方式有关，不同的进洞方式，洞口部位施工方法和要求是不同的，所以洞口部位爆破应进行专项爆破设计确定。

**5.2.3** 各种洞口地质条件较差，节理交叉切割，形成不稳定岩体，甚至还有崩塌坡积体存在，因此洞口应及时支护。破碎岩层处洞口、支护的顶板至少应伸出洞口自由面 **0.5m**，防止洞口坡上岩块滚落造成人机伤害。不良地质条件下，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。本规定规定的支护长度不小于 2 倍的洞径。

**5.2.4** DL/T 5099 按照断面面积或跨度进行划分：大断面面积为  $60\text{m}^2 \sim 120\text{m}^2$ ，跨度为  $7.5\text{m} \sim 12\text{m}$ ；特大断面面积大于  $120\text{m}^2$ ，跨度大于  $12\text{m}$ 。本条所说的洞室扩挖是在洞顶开挖完成后向下开挖。

**1** 为满足围岩稳定、石渣挖装设备的安全作业，台阶高度一般以控制在 **8m** 为宜，岩石地质条件较好，洞室结构允许时，可根据现场情况作适当调整，可大于 **8m**。施工中应加强监测。

**2** 扩挖钻爆轮廓面采用预裂爆破或预留保护层爆破，可减小爆破对围岩的破坏影响和有效控制洞室扩挖轮廓线超欠挖。

**3** 大断面和特大断面洞室扩挖对爆破料块度都是有要求的，首先应满足装渣设备的作业要求，如果需要利用爆破料，则要满足使用要求。

**5.2.5** 本条为强制性条文。为确保钻爆破施工安全和施工能按期完成，通常采用相向两个作业面同时施工。相距 **5** 倍洞径或 **30m** 的规定，应根据洞径条件进行选择。大洞室选择 **5** 倍洞径，小洞径选择 **30m**。大量的工程经验表明遵守上述规定可以保证人员设备安全。

**5.2.6** 本条为强制性条文。在间距小于 **20m** 的几个平洞的钻爆施工中，其中一个平洞工作面进行爆破会影响其他洞室作业人员的安全。为确保距离较近的其他平洞的施工安全，制定了本条规定。



### 5.3 竖井与斜井爆破

**5.3.1** 竖井、斜井采用正井法、反井法、全断面、导井扩挖法都是常用的基本方法，实际施工中应根据现场实际情况综合分析比较后选用。

**5.3.2** 竖井、斜井采用正井法全断面钻爆施工，为防止井口塌方，保证竖井施工安全，应进行锁口。掏槽位置选择中部主要是为减小爆破对井壁的影响和确保竖井钻爆位置准确。周边采取光爆或预裂爆破措施，其目的在于控制开挖断面尺寸，使围岩免遭破坏或少受干扰。同时减少超挖量，对降低工程造价有极大好处。

**5.3.3** 当竖井、斜井采用先导井后扩挖的方法时，斜井导井设在下部是为了方便出渣，但导井边缘也就是导井轮廓线不宜靠近周边轮廓线，主要是考虑防止导井爆破产生的爆破裂隙进入轮廓线外岩面。

**5.3.4** 导井施工采用从上而下一次钻孔，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。终孔偏差不得超过孔深的0.5%，主要是防止导井偏差较大超出周边轮廓线开挖质量允许范围。因此在钻孔作业时要随时检查，及时纠偏，确保钻孔质量。下部爆破堆渣空间是指从下往上分层爆破时，导井爆破临空面到已爆破部分的空间体积，能够容下导井分层爆破松散岩体的体积。足够的通道是为满足出渣运输机械的施工要求。

**5.3.5** 导井自下而上分层钻爆，浅井采用液压提升平台，确保了施工安全，效率高。深井钻爆采用爬罐法施工时，应特别注意轨道的锚固问题。在实施过程中应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。深井钻爆采用吊罐法时，吊罐顶部防护结构要可靠，提升时要做好上下通信联系，控制提升速度。提升卷扬机、电器控制设备应按规定保养、检查。

**5.3.6** 竖井、斜井扩挖的周边轮廓线采用预裂或光面爆破，可减

小爆破对围岩的破坏影响和有效控制竖井轮廓线超欠挖。

**5.3.7** 在不良地质条件竖井、斜井的施工中易出现井壁塌方等事故，井壁支护可增加井壁岩体稳定性，安全监测可随时掌握井壁变形情况，从而达到预防井壁塌方要求。

**5.3.8** 导井自下往上钻爆在小于或等于2倍洞径时，容易出现塌方事故。为确保施工安全，应停止自下往上的钻爆，改为从上往下贯通。

#### 5.4 洞室特殊部位爆破

**5.4.1** 地下洞室特殊部位的钻爆特点是，地质条件复杂、结构复杂、钻爆质量要求高。为保证爆破施工安全和质量，按期完成特殊部位钻爆。施工前根据现场实际情况，进行综合分析、研究，编制专门爆破设计，制定出切实可行的施工方法和各项预防措施。

**5.4.2** 洞室特殊部位地质条件复杂，相交轮廓面多，不能一次成型。钻孔爆破首先应根据地质条件和结构要求进行合理的分层分块。爆破方法采用浅孔、弱爆破主要是为控制爆破振动，减少爆破对围岩的影响，同时保证洞室轮廓线开挖要求。边掘进边支护是为确保施工安全。

**5.4.3** 高压岔管、成型后的高墙上开挖洞口，在相交位置呈锐角，围岩应力十分复杂。为确保施工安全，防止塌方，应先进行超前支护，然后再采用浅孔、弱爆破方法进行爆破施工开孔。

**5.4.4** 为减少地下发电厂房的跨度，近二十年来国内水电工程大多采用岩壁吊车梁，积累了不少施工经验，并且已编制了 DL/T 5198，施工时应按其规定执行。

**5.4.5** 为确保特殊部位钻爆施工安全，及时掌握爆破振动的影响情况，调整爆破参数和施工方法，应在有代表性的部位布置监测仪器，监测围岩稳定情况。代表性的部位一般是洞顶、边墙、洞室交叉处等。

## 5.5 不良地质洞段爆破

**5.5.1** 不良地质洞段种类，在地下洞室爆破中经常遇到，施工中最易出现塌方、岩爆、淹没等事故，其施工环境条件差。施工前应进行地质预报，并且根据地质预报和钻爆要求，研究制定应对不良地质洞段可能出现各种问题措施的施工方案，以确保施工安全。目前超前预报的方法较多，如直接预报法、地质分析法、物探法、地质物探综合分析法等，各有优劣，编写组认为，直接预报法比较可靠，即采用水平钻孔或超前导洞的方法。

**5.5.2** 不良地质洞段除高应力区、放射性洞段外，其他各类不良地质洞段的钻爆施工所采取的方法和要求与洞室特殊部位钻孔爆破是相同的。

例如：陕西天生桥二郎坝水电站进水口遇断层破碎带，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。

**5.5.3** 在高地应力区开挖地下洞室过程中可能发生岩爆，岩爆也属于一种地质灾害，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、二滩水电站地下厂房、锦屏二级水电站、新疆布伦口引水洞等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，主厂房和主变压器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。

岩爆的防治主要是通过优化设计和合理的组织施工，及时做好围岩的支护和补救工作。除条文中规定的要求外，还可参考以下方法：

**1** 施工中应采用浅孔、多循环、弱爆破的方法进行控制，控制单段最大起爆药量以减轻对围岩的扰动，从而改善围岩的应力条件。

**2** 加强掌子面和洞壁洒水，采用超前钻孔向岩体均匀注水，主要是起到软化和降低岩石强度，提前释放弹性应变能的作用。

**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，还可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。

**5.5.4** 在地下水活动较严重地段，采用防水型爆破器材能够保证按时准爆；控制单段最大起爆药量是为控制爆破振动，防止塌方；采取堵排水措施是为保证现场能够干地施工，减少地下水对现场施工的影响。

**5.5.5** 在地下洞室爆破中会遇到在放射性岩石洞段进行爆破施工，施工中经常对放射性剂量进行测定，就是为及时发现放射性剂量是否超标。采用水钻钻孔可避免钻孔时产生放射性岩石粉尘，给作业人员带来伤害。

## 6 水下爆破

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 为确保水下爆破正常进行，需提前做好各项准备工作。

1 救生设备一般是指救生船只、急救设备。

2 对钻爆船、钻具等的检查就是要保证钻孔作业时能正常工作。

3 爆破器材水上运输应使用符合水上运输要求的船只；需要连续爆破作业时，爆破器材可存放在专用储存船内。

**6.1.2** 水下钻孔爆破引起的地震效应、水中冲击波、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。地震效应可按式(3.1.8)计算。

冲击波压力可按式(9)计算：

$$p=52.7 \frac{Q^{1/3}}{R} \quad (9)$$

飞石安全距离可按式(10)计算：

$$L=200 \frac{Q^{1/4}}{nh-2} \quad (10)$$

以上两式中： $p$ ——冲击波压力，MPa；

$R$ ——药包中心到测点的距离，m；

$Q$ ——药包质量，kg；

$L$ ——安全距离，m；

$h$ ——水深，m；

$n$ ——系数，与地形、地质条件有关，一般为1.0~

1.3。

国内水下爆破工程钻爆主要技术指标见表 13；国内外水下钻爆主要参数见表 14。

表 13 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 <sup>3</sup> )	平均深度 (m)	钻孔数量 (个)	钻孔总长度 (m)	总药量 (kg)	雷管总数 (个)	单位耗药量 (kg/m <sup>3</sup> )	单位雷管耗量 (个/m <sup>3</sup> )
新丰江进水口	花岗岩	28 000	27.0	1150	6330	5.5	24 000	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	97 000	6.1	4329	17 665	4.0	55 220	0.57	0.41
黄埔航道整治 B	红砂岩	125 000	5.7	8390	43 115	5.2	5860	0.47	0.29
黄埔航道整治 C	红砂岩	78 000	6.6	4732	20 492	4.3	4150	0.53	0.31
葛洲坝上游围堰拆除	混凝土	21 502	11.4	3548	40 383	47 780	20 000	—	—

表 14 国内外水下钻爆主要参数

国家和地区	中国		加拿大	中国香港	意大利	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)	7~12	8~14	3~6	20	6	10	3
开挖方量 (m <sup>3</sup> )	500 000	130 000	20 800	125 000	土方 800 000、石方 145 000	1800	30 000
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



续表 14

国家和地区		中国		加拿大	中国香港	意大利	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
钻 孔	长度 (m)	4.0~6.0	0.5~9.0	5.6	9.0	8.0	2.6~3.1	4.0
	直径 (mm)	96	160	102	70	65	50	75
	孔距 $a \times$ 孔 距 $b$ (m)	1.5×2.5	3.5×3.0	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 号岩石 炸药少 量, 40% 硝化 甘油	乳化 炸药	FIOsel-S	90%硝化 甘油	胶质炸药	新桐	新桐	
单位耗药量 (kg/m <sup>3</sup> )	0.40~ 0.65	2.09	1.59	0.90~ 1.40	0.60	0.54	0.40	

**6.1.3** 水下爆破时进行爆破监测, 就是监测水下爆破有害效应是否超标, 并通过监测资料分析, 对爆破效果进行全面评估、总结。

**6.1.4** 工作人员作业时穿好救生衣, 是为防止作业时掉入水中。无关人员不应登上爆破作业船, 是为防止无关人员上船影响爆破作业, 同时也不安全。爆破施工时, 爆破作业船(平台)及其辅助船舶应悬挂信号旗或信号灯是为提醒其他船只, 同时防止航行船只碰撞爆破作业船。

## 6.2 爆 破 施 工

**6.2.1** 为确保水下爆破质量和到达预期效果, 在爆破施工前必须进行水下测量就是测出在水下爆破范围的地形图, 为钻爆设计提供依据。钻爆设计后再按照爆破设计在水面上放出水下爆破孔位。

为了使爆破作业人员知道水下爆破范围和钻孔位置，在水下测量时需要根据水面上的投放标志指出水下爆破范围和钻孔位置。

**6.2.2** 水下钻爆后清渣不易彻底，如果分层爆破会造成后续钻孔困难，另外水下爆破工程量相对较小，架钻定位、装药、联网难度较大，爆破警戒范围协调工作难度也较大，完成一次爆破不容易，因此水下爆破一般不采用分层钻爆，尽可能一次钻爆到设计高程。

**6.2.3** 钻孔作业过程遇风浪或水流变化时，钻爆船或钻爆工作平台会发生移动，需对钻爆船或钻爆工作平台的定位装置经常进行检查，同时应采用仪器校测其位置。

**6.2.4** 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。

**6.2.5** 对水下爆破所使用爆破器材的各项性能进行规定，就是确保水下爆破能按时准爆。药包综合密度为大于  $1.1\text{g}/\text{cm}^3$ ，大于水的密度  $1.0\text{g}/\text{cm}^3$ ，药包可沉入炮孔底部，满足装药要求。

**6.2.6** 本条规定是水下爆破施工中总结出来的经验数据。

**6.2.7** 本条规定是为了确保水下爆破能够按时准爆。

**6.2.8** 水具有导电性，为防止水下爆破起爆网路接头与水接触后不能准爆，各种水下起爆网路连接处应避免与水接触。

**6.2.9** 在流速较大的水域进行爆破作业时，水流会产生较大拉力，采用高强度导爆管雷管能够承受水流拉力，起爆网路能正常起爆。对爆破网路采取有效的防护措施主要是防止水流中出现漂浮物进入起爆网路范围内破坏起爆网路，一般采取在水流的上游侧用船打捞。

**6.2.10** 孔口堵塞是在装药结束后，套管提高至药包顶面时，在套



管的保护下用砂土进行堵塞，砂土的容重比水大，能够达到密实。

### 6.3 岩 塞 爆 破

**6.3.1** 附近有闸门关闭进行岩塞爆破时，爆破会产生高速气水压力，并且还有石渣冲向闸门井，会发生井喷现象，对闸门产生很大的压力。一般采取在闸门前堆积树枝、沙袋或堆积石渣措施，对闸门的金属结构进行防护。爆破完毕后再清理砂袋和爆破石渣。

**6.3.2** 附近有闸门开启进行岩塞爆破时，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冲击作用。一般采取在爆破岩塞后设置集渣坑、洞内堆积石渣等措施，对闸门的金属结构进行防护，减少水和石渣的冲击力。为检验采用集渣坑、洞内堆积石渣等措施的可靠性，都应经水工模型试验来验证。

**6.3.3** 水下岩塞爆破首先应满足一次爆通要求，若一次不能爆通，隧洞被水淹没，很难重新爆破。爆破后岩塞口成型良好就是洞口断面尺寸符合设计要求，周边轮廓线平顺使过水流态好。岩塞口的洞脸及附近山坡安全、稳定和建筑物的安全，就是要求爆破施工中要控制爆破振动；集渣坑安全、稳定就是要求，在集渣坑爆破开挖施工中要采取支护等措施防止侧墙失稳。国内一些岩塞爆破工程实例见表 15。

表 15 国内一些岩塞爆破工程实例

工程名称 项目	辽宁清 河水库	黑龙江 镜泊湖 水库	吉林丰 满水库	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	20	18	24	34	—
岩塞跨度 (m)	6	8	11	3.5	3.5	5.5	6
岩塞厚度 (m)	7.5	8	15	4.2	4.5	8.1	9
岩塞方量 (m <sup>3</sup> )	800	1112	—	—	247	546	551.6

续表 15

工程名称 项目	辽宁清 河水库	黑龙江 镜泊湖 水库	吉林丰 满水库	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
岩塞至大坝距离 (m)	750	—	280	—	100	约 130	—
岩塞倾角 (°)	45	45	60	—	45	30	—
总药量 (t)	1.19	1.2	4.11	0.94	0.23	0.74	0.63
单位耗药量 (kg/m <sup>3</sup> )	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	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

注：岩层厚 5.0m，覆盖层厚 3.1m。

最大的起爆药量为 326.6kg。

**6.3.4** 岩塞爆破采用硐室爆破方法时，药室、导洞开挖是在背水面施工，为防止岩塞岩体透水造成安全事故，应遵守采用浅孔、小药量、多循环爆破规定施工。采用药室爆破，在开挖过程中应注意围岩渗漏水，尤其是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。

**6.3.5** 岩塞采用钻孔爆破方法时，因预留爆破岩塞厚度有限，地质情况也较复杂，为防止钻孔将岩体钻穿，隧洞外的水流进入洞内淹没隧洞出现安全事故，在岩塞钻时应设有超前孔，以察探渗漏水情况。

**6.3.6** 岩塞爆破施工过程中出现渗漏水是常有的事，一旦出现，

要视其漏量大小采取相应的措施。可参考的措施：若漏量小，可用管子引出作业面；若漏量大，则应采取灌浆堵漏或在迎水面岩塞体上方抛填黄土堵漏。

**6.3.7** 岩塞爆破是在水下隧洞内进行，本条规定是为确保岩塞起爆网路能按时准爆。

**1** 使用双复式导爆管是为了确保按时准爆；网路接出洞外引爆，是为确保爆破作业人员的安全；在岩塞钻爆施工时会遇到地下水，虽然使用的是防水性能的爆破器材，为掌握防水效果，还应按设计要求进行防水试验。

**2** 隧洞内一般都有水，采用电雷管起爆网路的主线，为防止线路遇水影响电路畅通，应采用防水性能好的胶套电缆。

**3** 进行 1:1 仿真试验是为了确保网路的可靠性。

## 7 拆除爆破

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 由于进行一次爆破拆除后，有的建筑物会有不稳定或拆除困难的情况，因此建议一次完成。

**7.1.2** 钻孔不宜大于 100mm，是为控制装药量、爆破振动和爆破后的块度，也是目前混凝土围堰与岩坎拆除爆破常用的钻孔孔径要求。

**7.1.3** 由于钢筋混凝土内的钢筋，有夹制力作用影响了爆破效果。为减少爆破难度和确保钻爆质量，在有钢筋部位进行拆除爆破时，可采取先凿槽将面层钢筋割断，再进行混凝土钻爆。

**7.1.4** 在进行水工建筑物拆除爆破时，对拆除爆破范围内需保护的對象采取减少爆破振动、表面采取防护等措施，才能不影响设备正常运行和建筑物的安全。

**7.1.5** 拆除爆破时覆盖常采用荆芭、草帘、钢丝网、砂袋、竹跳板等措施；遮挡常采用竹排架、钢管架、帆布、草帘、竹跳板等措施。

**7.1.6** 水电水利工程拆除爆破中的有害效应主要是爆破振动、空气冲击波、水击波、飞石、粉尘。对拆除爆破进行监测，就是监测拆除爆破有害效应是否超标，并通过监测资料分析，对爆破效果进行全面评估、总结。

### 7.2 混凝土围堰和岩坎拆除爆破

**7.2.1** 本条规定首先是保证混凝土围堰与岩坎钻孔爆破能按时准爆，同时规定爆破块度应满足爆破后开挖和运输要求。

1 混凝土围堰与岩坎拆除爆破施工难度、涉及范围大,质量、安全要求高。为了确保混凝土围堰与岩坎拆除爆破施工安全、能按期完成,应进行专项爆破设计,选择合理的爆破参数,制定出切实可行的施工方法和各项预防措施来指导施工。

2 在混凝土浇筑时预先埋设爆破孔,可以减少混凝土围堰拆除钻孔工程量和加快拆除爆破施工进度。常采用埋设竹筒、PVC管材及拔管等方法埋设或形成未来的爆破孔。

3 由于临时挡水建筑物与岩坎钻孔爆破要求高,为确保起爆网路能按时准爆,目前国内一些工程都采用先进的高精度导爆管雷管、电子雷管等起爆器材。

4 临时挡水建筑物与岩坎爆破后,水下部分出渣所用机械斗容比露天所用机械斗容要小得多,爆破块度过大,机械挖不动或捞不上来,使出渣达不到设计要求。拆除爆破时应控制爆破后块度,国内拆除爆破的块度为30cm~100cm。国内水工建筑物拆除实例见表16。

表16 葛洲坝、漫湾水电站围堰工程混凝土、岩坎拆除

工程名称	项目	拆除方量 (m <sup>3</sup> )	拆除深度 (m)	孔距 (m)	孔径 (mm)	药包直径 (mm)	单位耗药量 (kg/m <sup>3</sup> )	总装药量 (t)	单位长度装药量 (kg/m)
葛洲坝大江、二江上游围堰混凝土心墙拆除		21 502	23	0.8	90~100	60	1.8	47.8	0.66~2.5 (上部)、1~3 (下部)
漫湾水电站	1号导流洞进口混凝土拱围堰拆除	1024	16	1	40 (埋管)	40	0.33	2	—
	1号导流洞进口围堰下部岩坎拆除	1803.3	9	1.6	80*	65	1.56	2.82	—

续表 16

项目 工程名称		段内药量 (kg)	段数 (段)	起爆方案	爆破网路 形式	起爆方法	防护方式
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号导流洞 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号导流洞 进口围堰下 部岩坎拆除	80	15	基坑无水	复式导爆 索网路	—	

注： 钻孔孔径为 120mm，塑料药管内径为 80mm。

**7.2.2** 混凝土围堰、预留岩坎的拆除爆破经常分为水上和水下两部分，水上部分经常采用延时爆破网路，水下部分经常采用复式起爆网路。

### 7.3 混凝土防渗墙拆除爆破

**7.3.1** 混凝土防渗墙拆除难点在水下部分，防渗墙厚度一般为 80cm，深度为 20m~30m。拆除爆破不仅要能按时准爆，爆破块度也要满足水下机械除渣要求。防渗墙拆除爆破钻孔终孔偏差大了，钻孔可能钻到墙外，满足不了爆破设计效果；偏差小了，钻孔难度大、效率低。钻孔偏差不应大于 5‰的钻孔偏差控制要求，是在葛洲坝大江上游围堰混凝土防渗墙拆除爆破试验以及现场爆破施工经验中总结而来的，并且在国内防渗墙拆除爆破的推广应用取得了很好的效果。

钻孔的终孔偏差不得大于 5‰，这是因为防渗墙一般厚度较小，钻孔较深，终孔偏差大了钻孔可能钻到墙外，偏差小了钻孔难度大、效率低。终孔偏差不大于 5‰是能达到设计爆破效果和爆破块度满足水下机械除渣要求的控制值。防渗墙钻孔为垂直孔，

孔内存在渗漏水，在葛洲坝大江防渗墙钻孔中研究出浮漂倒垂孔检查钻孔质量，其方法简单、实用，检查精度高。

**7.3.2** 为减少防渗墙拆除爆破时的钻孔工程量，加快施工进度，在防渗墙内混凝土浇筑时预埋镀锌钢管作为拆除防渗墙的爆破孔。采用间隔集中装药的方式是为保证预埋管和混凝土炸开。

**7.3.3** 采用复式延时起爆网路是为确保起爆网路能按时准爆。

#### 7.4 厂房扩建与坝体改建爆破

**7.4.1** 厂房扩建与坝体改建爆破距离被保护对象较近，允许爆破振动值较小，采用浅孔、小药量爆破方法能有效控制爆破有害效应。国内葛洲坝电厂、二滩水电站厂房扩建、改建开挖钻孔爆破参数见表 17；国内水电站厂房扩建、改建爆破振动速度控制标准见表 18。

表 17 国内葛洲坝电厂、二滩水电站厂房扩建、改建开挖钻孔爆破参数

工程名称	序号	开挖部位	工程量 (m <sup>3</sup> )	单位起爆药量 (kg/m <sup>3</sup> )	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	0.70	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	—	—	



续表 17

工程名称	序号	开挖部位	工程量 (m <sup>3</sup> )	单位起爆药量 (kg/m <sup>3</sup> )	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
葛洲坝电厂	9	各部位光面爆破	—	0.50	2.0	24.0	—	均为混凝土和钢筋混凝土
	10	各部位掏槽爆破	—	2.80~3.30	2.0	10.0	—	
二滩水电站	1	1号机机坑	—	0.14~0.55	8.0	24.0~69.6	4	玄武岩

表 18 国内水电站厂房扩建、改建爆破振动速度控制标准

项 目		距爆源 (m)	允许质点振动速度 (cm/s)	允许最大段起爆药量 (kg)
工程名称及部位				
葛洲坝电厂	二江电厂机电设备、7号主变压器	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	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号机机坑开挖钻孔爆破，同时4号机尾水管里衬安装和混凝土浇筑，5号机座环安装、机墩混凝土浇筑，6号机座环安装正在施工。

2 葛洲坝电厂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。

**7.4.2** 设计开挖轮廓线采用预裂防震或光面爆破，是满足结构轮廓线开挖要求和控制爆破振动的有效措施。

**7.4.3** 复杂结构打防振孔主要是为减少爆破振动对厂房与坝体保留部分的振动影响，采取分割爆破可增加临空面和工作面，减少爆破药量，从而达到控制爆破振动的目的。



**7.4.4** 在厂房扩建和坝体改建施工中为按期完成爆破施工，常有几个工作面同时进行爆破施工，爆破时间都是按照爆破规定时间进行，会出现同时起爆的情况，若起爆安排不当，将会出现串段、爆破振动叠加，造成爆破振动速度超标，给被保护对象带来危害。施工中可参考以下方法：

- 1** 提前安排、协调各工作面起爆顺序进行起爆；
- 2** 工作面较近时，用延时爆破法将各工作面起爆网路连接起来进行延时起爆。



## 8 质量与安全

**8.0.1** 水电水利工程爆破施工质量是按照开挖施工质量标准进行控制的。开挖施工质量在 DL/T 5113.1、DL/T 5198、DL/T 5099、DL/T 5389、DL/T 5255 中都有明确规定，按照标准一致性原则，本规范爆破施工质量将按其规范规定执行。

1 在 DL/T 5113.1 中对露天开挖、地下洞室开挖质量标准作出了明确规定；

2 DL/T 5389 对明挖基础开挖质量，预裂、光面爆破质量作出了明确规定；

3 DL/T 5255 对边坡开挖质量作了明确规定；

4 DL/T 5099 对地下洞室开挖质量作了明确规定；

5 DL/T 5198 对岩壁梁开挖质量作出了明确规定。

**8.0.2** 水电水利工程爆破施工安全规定在 GB 6722、DL/T 5370、DL/T 5371 中都有明确规定，按照标准一致性原则，本规范爆破施工安全将按其规范规定执行。

doc in 豆丁

[www.docin.com](http://www.docin.com)



























