

# 水工建筑物岩石基础开挖工程 施工技术规范

SL 47—94

中华人民共和国水利部

关于发布《水工建筑物岩石基础  
开挖工程施工技术规范》SL 47—94 的通知

水建[1994]96号

为适应水工建筑物岩石基础开挖工程施工的需要,我部委托中国水利学会施工专业委员会爆破学组为主编单位,对《水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范》SDJ211—83进行了修订,经审查,现批准为中华人民共和国水利行业标准,其编号为 SL47—94,自一九九四年七月一日起施行,原规范同时废止。

各地在执行中应注意总结经验,发现问题请函告水利部建设司和主编单位。

一九九四年三月三十一日

## 目 次

1 总则	3.6 紧邻水平建基面的爆破
2 开挖、排水和出渣运输	3.7 特殊部位附近的爆破
2.1 开挖	4 基础检查处理与验收
2.2 排水	4.1 一般规定
2.3 出渣运输	4.2 基础检查处理与验收
3 钻孔爆破	附录 A 判断爆破破坏或基础岩体质量的标准
3.1 一般规定	附录 B 质点振动速度传播规律的经验公式
3.2 爆破试验和爆破监测	附录 C 新浇筑大体积混凝土基础面上的安全质点振动速度
3.3 爆破设计与施工	
3.4 预裂爆破和光面爆破	
3.5 梯段爆破	

## 1 总 则

**1.0.1** 本规范适用于 1、2、3 级水工建筑物岩石基础开挖工程。

**1.0.2** 编制水工建筑物岩石基础开挖施工组织设计,应符合本规范的规定。

**1.0.3** 施工前,建设或设计、勘测单位必须向施工单位提交与施工有关的设计文件、施工图纸,以及工程地质和水文地质资料,并进行技术交底。

**1.0.4** 施工中,勘测单位必须按照现行《水利水电工程施工地质规程》的规定,进行施工地质工作。

施工地质工作中,若发现实际地质情况与前期地质资料和结论有较大出入,或发现新的不良地质因素,建设、勘测、设计单位必须及时与施工单位协商,以便采取补救措施或修改设计。设计上的重大修改,必须报经原设计审批单位批准。

**1.0.5** 施工单位必须按照现行《水利水电工程施工测量规范》的规定,进行施工测量工作。

**1.0.6** 施工单位必须按照设计文件、施工图纸和本规范施工。

施工单位对设计文件、施工图纸存在异议,可向建设、设计、勘测单位提出意见,但在未接到修改设计通知书或修改图纸时,不得在施工中变更设计。

施工单位应做好施工记录和有关资料、报告等的整理、编制工作。

**1.0.7** 施工单位应积极采取新技术、新材料、新工艺、新设备施工。

**1.0.8** 水工建筑物岩石基础开挖,应采用钻孔爆破法施工。

严禁在设计建基面、设计边坡附近采用洞室爆破法或药壶爆破法施工。

其他部位如需采用洞室爆破法或药壶爆破法施工,必须通过专门试验(或安全技术论证)证明可行和制定补充规定,并经上级主管部门批准。

**1.0.9** 本规范未作规定者,应执行现行国家或行业标准的有关规定,若仍无规定可循,应由建设、设计、勘测单位和施工单位协商制定补充规定,并经上级主管部门批准。

## 2 开挖、排水和出渣运输

### 2.1 开挖

**2.1.1** 开挖前,施工单位必须提出开挖施工计划和技术措施。

**2.1.2** 开挖应自上而下进行。

某些部位如需上、下同时开挖,应采取有效安全技术措施,并经主管部门同意。

未经安全技术论证和主管部门批准,严禁采用自下而上的开挖方式。

**2.1.3** 设计边坡轮廓面开挖,应采用预裂爆破或光面爆破方法。

高度较大的永久和半永久边坡,应分台阶开挖。

**2.1.4** 基础岩石开挖,应主要采用分层的梯段爆破方法。

**2.1.5** 紧邻水平建基面,应采用预留岩体保护层并对其进行分层爆破的开挖方法,若采用其他开挖方法,必须通过试验证明可行,并经主管部门批准。

**2.1.6** 设计边坡开挖前,必须做好开挖线外的危石清理、削坡、加固和排水等工作。

**2.1.7** 处于不良地质地段的设计边坡,当其对边坡稳定有不利影响时,在开挖过程中,建设、勘测、设计、施工单位必须共同协商,提出相应解决办法。

**2.1.8** 已开挖的设计边坡,必须在及时检查处理与验收,并按设计要求加固后,才可进行其下相邻部位的开挖。

**2.1.9** 在坑、槽部位和有特殊要求的部位,以及在水下开挖,应另行确定相应的开挖方法。

**2.1.10** 基础面的开挖偏差,应符合下述规定:

对节理裂隙不发育、较发育、发育和坚硬、中等坚硬的岩体:

(1) 水平建基面高程的开挖偏差,不应大于  $\pm 20$  cm。

(2) 设计边坡轮廓面的开挖偏差,在一次钻孔深度条件下开挖时,不应大于其开挖高度的  $\pm 2\%$ ;在分台阶开挖时,其最下部一个台阶坡脚位置的偏差,以及整体边坡的平均坡度,均应符合设计要求。

对节理裂隙极发育和软弱的岩体,不良地质地段的岩体,以及对 2.1.9 所述情况,其开挖偏差均应符合设计要求。

## 2.2 排水

**2.2.1** 基坑开挖施工中,应及时排出工作场地的积水。基坑中来水量很大时,应采取有效办法减少来水量。

**2.2.2** 基坑排水应减少污水对河流的污染。

## 2.3 出渣运输

**2.3.1** 出渣运输应按设计要求进行。

**2.3.2** 堆(弃)渣应符合下述要求:

(1) 场地应有足够的容量,施工过程中不宜变动。除通过论证合理或对堆(弃)渣需要利用者外,应避免二次挖运。

(2) 宜不占或少占耕地,有条件时应结合堆(弃)渣造地。

(3) 不得占用其他施工场地和妨碍其他工程施工。

(4) 不得堵塞河道。

**2.3.3** 出渣运输和堆(弃)渣不得污染环境。

# 3 钻孔爆破

## 3.1 一般规定

**3.1.1** 钻孔施工不宜采用直径大于 150mm 的钻头造孔。

钻孔孔径按造孔的钻头直径( $d$ )可分为:

(1) 大孔径  $110\text{mm} < d \leq 150\text{mm}$ ;

(2) 中孔径  $50\text{mm} < d \leq 110\text{mm}$ ;

(3) 小孔径  $d \leq 50\text{mm}$ 。

**3.1.2** 紧邻设计建筑基面、设计边坡、建筑物或防护目标,不应采用大孔径爆破方法。

**3.1.3** 在有水或潮湿条件下进行爆破,应采用抗水爆破材料,若使用不抗水或易受潮的爆破材料,必须采取防水或防潮措施。

在寒冷地区的冬季进行爆破,必须采用抗冻爆破材料。

**3.1.4** 本规范所述炸药用量,以 2 号岩石铵炸药为准,若使用其他品种的炸药,其用量应进行换算。

**3.1.5** 爆破作业的安全,必须遵守现行《爆破安全规程》的规定。

### 3.2 爆破试验和爆破监测

3.2.1 钻孔爆破施工前或施工中,应按有关要求进行爆破试验。爆破试验宜成立由有关人员组成的试验组。

爆破试验前,应编制试验大纲(计划)。

3.2.2 爆破试验应选择下述内容进行:

- (1) 爆破材料性能试验;
- (2) 爆破参数试验;
- (3) 爆破破坏范围试验;
- (4) 爆破地震效应试验。

3.2.3 爆破破坏范围试验的观测方法:

- (1) 在表面应采用宏观调查和地质描述方法;
- (2) 在隐蔽部位应采用弹性波纵波波速观测方法。

采用上述观测方法判断爆破破坏的标准,可执行附录 A 的规定。

3.2.4 爆破地震效应试验,应采用质点振动速度观测方法。

质点振动速度传播规律,可采用附录 B 的经验公式进行统计分析确定。

3.2.5 重要的和有特殊要求的爆破试验,应按有关要求增加其他观测方法。

3.2.6 钻孔爆破施工中,对建筑物或防护目标的安全有要求时,应进行爆破监测。

3.2.7 对爆破空气冲击波(或噪音)、水中冲击波(或动水压力)和飞石等效应有防护要求时,应编入爆破试验或爆破监测大纲(计划),并予实施。

3.2.8 应做好爆破试验和爆破监测资料的记录、整理和分析,及时提出试验研究报告和监测报告。

爆破试验和爆破监测成果,应具有科学性和先进性,并能指导爆破设计与施工。

### 3.3 爆破设计与施工

3.3.1 钻孔爆破施工前,施工单位应进行爆破设计,并报主管部门;重要的爆破设计,应经主管部门批准。

钻孔爆破施工,应按爆破设计要求进行。

3.3.2 钻孔质量应符合下述要求:

- (1) 钻孔孔位应根据爆破设计确定;
- (2) 钻孔开孔位置与爆破设计孔位的偏差,不宜大于钻头直径的尺寸,实际孔位应有记录;
- (3) 钻孔角度和孔深,应符合爆破设计的规定;
- (4) 已造好的钻孔,孔内岩粉应予清除,孔口必须盖严。

钻孔经检查合格才可装药。

3.3.3 炮孔的装药和堵塞,爆破网络的联结以及起爆,必须由爆破负责人统一指挥,由爆破员按爆破设计规定进行。

3.3.4 爆破后,应及时调查爆破效果,并根据爆破效果和爆破监测结果,及时调整爆破参数。

### 3.4 预裂爆破和光面爆破

3.4.1 预裂爆破和光面爆破的效果,除其开挖偏差应符合 2.1.10 的规定外,还应符合下述要求:

- (1) 在开挖轮廓面上,残留炮孔痕迹应均匀分布。残留炮孔痕迹保存率,对节理裂隙不发育的岩体,应达到 80% 以上;对节理裂隙较发育和发育的岩体,应达到 80% ~ 50%;对节理裂

隙极发育的岩体,应达到 50%~10%。

(2) 相邻两炮孔间岩面的不平整度,不应大于 15cm。炮孔壁不应有明显的爆破裂隙。

**3.4.2** 对主要水工建筑物的设计建基面进行预裂爆破时,预裂范围应超出梯段爆破区,其超出尺寸及预裂缝的宽度,应由爆破设计确定。

**3.4.3** 预裂炮孔和梯段炮孔若在同一爆破网络中起爆,预裂炮孔先于相邻梯段炮孔起爆的时间,不得小于 75~100ms。

### 3.5 梯段爆破

**3.5.1** 梯段爆破的效果,应符合下述要求:

(1) 爆破石渣的块度和爆堆,应能适合挖掘机械作业。爆破石渣如需利用,其块度或级配还应符合有关要求。

(2) 爆破对紧邻爆区岩体的破坏范围小,爆区底部炮根少。

(3) 爆破地震效应和空气冲击波(或噪音)小,爆破飞石少。

**3.5.2** 紧邻设计边坡的一排梯段炮孔,其孔距、排距和每孔装药量,应较其他梯段炮孔的小。

**3.5.3** 若采用预留岩体保护层开挖方法,其上部的梯段炮孔不得穿入保护层。

**3.5.4** 梯段爆破的最大一段起爆药量,不得大于 500kg;邻近设计建基面和设计边坡时,不得大于 300kg。

在建筑物或防护目标附近,以及在 2.1.9 所述情况下进行爆破,最大一段起爆药量,应由爆破设计规定。

### 3.6 紧邻水平建基面的爆破

**3.6.1** 紧邻水平建基面爆破效果,除其开挖偏差应符合 2.1.10 的规定外,还不应使水平建基面岩体产生大量爆破裂隙,以及使节理裂隙面、层面等弱面明显恶化,并损害岩体的完整性。

**3.6.2** 紧邻水平建基面的岩体保护层厚度,应由爆破试验确定,若无条件进行试验,可采用工程类比法确定。

**3.6.3** 对岩体保护层进行分层爆破,必须遵守下述规定:

#### 第一层

炮孔不得穿入距水平建基面 1.5m 的范围;炮孔装药直径不应大于 40mm;应采用梯段爆破方法。

#### 第二层

对节理裂隙不发育、较发育、发育和坚硬的岩体,炮孔不得穿入距水平建基面 0.5m 的范围;对节理裂隙极发育和软弱的岩体,炮孔不得穿入距水平基面 0.7m 的范围。

炮孔与水平建基面的夹角不应大于 60°,炮孔装药直径不应大于 32mm。应采用单孔起爆方法。

#### 第三层

对节理裂隙不发育、较发育、发育和坚硬、中等坚硬的岩体,炮孔不得穿过水平建基面;对节理裂隙极发育和软弱的岩体,炮孔不得穿入距水平建基面 0.2m 的范围,剩余 0.2m 厚的岩体应进行撬挖。

炮孔角度、装药直径和起爆方法,均同第二层的规定。

**3.6.4** 必须在通过试验证明可行并经主管部门批准后,才可在紧邻水平建基面采用有或无岩体保护层的一次爆破法。

保护层的一次爆破法应符合下述原则:

(1) 应采用梯段爆破方法;

- (2) 炮孔不得穿过水平建基面;
- (3) 炮孔底应设置用柔性材料充填或由空气充任的垫层段。

无保护层的一次爆破法应符合下述原则;

- (1) 水平建基面开挖,应采用预裂爆破方法;
- (2) 基础岩石开挖,应采用梯段爆破方法;
- (3) 梯段炮孔底与水平预裂面应有一定距离。

### 3.7 特殊部位附近的爆破

3.7.1 如需在新浇筑大体积混凝土附近进行爆破,必须遵守下述规定:

(1) 新浇筑大体积混凝土基础面上的质点振动速度,不得大于安全值。安全质点振动速度应由爆破试验确定,若难以获得试验成果,可执行附录 C 的规定。

(2) 钻孔爆破施工中,可按附录 B 的经验公式进行预报和控制。

(3) 若装药量控制到爆破的最低需用量,新浇筑大体积混凝土基础面的质点振动速度仍大于安全值,应采取有效减震措施,或暂停爆破作业。

3.7.2 如需在新灌浆区、新预应力锚固区、新喷锚(或喷浆)支护区等部位附近进行爆破,必须通过试验证明可行,并经主管部门批准。

## 4 基础检查处理与验收

### 4.1 一般规定

4.1.1 基础检查处理,包括在开挖后对基础面尺寸和基础岩体质量的检查与处理。

基础验收,必须遵守现行《水利基本建设工程验收规程》的规定。

4.1.2 基础验收应由基础验收小组进行。

基础验收小组之下,应有各有关方面的工作人员,代表验收小组进行日常的基础检查与验收工作。

4.1.3 基础检查可分为施工单位自检、基础验收小组初检和终检三个阶段。

4.1.4 对基础的检查处理和质量鉴定,必须以设计文件、施工图纸和本规范为准则。

### 4.2 基础检查处理与验收

4.2.1 开挖后,施工单位必须及时对基础进行检查(自检)和处理。

施工单位对基础检查(自检)处理后,基础验收小组必须及时初检,如发现有不符合质量要求的部位,施工单位必须继续处理。

4.2.2 检查基础岩体质量,宜采用弹性波纵波波速观测方法,并执行附录 A 之式(A1)的标准,也可采用设计规定的方法与标准。

4.2.3 基础处理应符合下述要求:

(1) 基础面如有欠挖,应处理到符合 2.1.10 的规定。

(2) 基础面如有反坡(设计规定者除外),应处理成顺坡。

(3) 基础面的陡坎顶部如呈尖角,应处理成钝角或弧形状,若确不易处理,则应采取结构措施。

(4) 基础面上的泥土、破碎岩石和松动岩块,以及不符合质量要求的岩体,必须清除或处理。

(5) 基础面如发现新的不良地质因素,以及前期地质勘探或试验中遗留的钻孔、平洞、竖井等,均应处理到设计重新提出的质量要求的高程或深度。

(6) 在外界环境作用下极易风化、软化和冻裂的软弱基础面,若其上部的水工建筑物暂不施工覆盖,应按设计要求进行处理或防护。

(7) 按设计提出的其他要求进行处理。

#### 4.2.4 基础处理后,基础验收小组必须及时进行终检验收。

基础验收合格后,勘测、施工单位必须及时测绘基础竣工地质图、地形图。未经测绘基础竣工地质图、地形图、基础验收小组不得签署基础验收签证或基础验收鉴定书,施工单位不得进行基础面上的下一道工序施工。

### 附录 A 判断爆破破坏或基础岩体质量的标准

#### A1.0.1 宏观调查和地质描述方法判断爆破破坏的标准。

有下列情况之一时,判断为爆破破坏:

- (1) 发现爆破裂隙,或裂隙频率、裂隙率增大;
- (2) 节理裂隙面、层面等弱面张开(或压缩)、错动;
- (3) 地质锤锤击发出空声或哑声。

#### A1.0.2 弹性波纵波波速观测方法判断爆破破坏或基础岩体质量的标准同部位的爆破后波速( $C_{p2}$ )小于爆破前波速( $C_{p1}$ ),其变化率 $\eta$ 为:

$$\eta = 1 - (C_{p2}/C_{p1}) \quad (A1)$$

当  $\eta > 10\%$  时判断为爆破破坏或基础岩体质量差。

若只在爆后观测,可用观测部位附近原始状态的波速作为爆破前波速,也可从观测资料的变化趋势和特点进行判断。

### 附录 B 质点振动速度传播规律的经验公式

#### B1.0.1 质点振动速度传播规律的经验公式如下:

$$V = K \left( \frac{W^{1/3}}{D} \right)^a \quad (B1)$$

式中  $V$ ——质点振动速度,cm/s;

$W$ ——爆破装药量,齐发爆破时取总装药量,分段延迟爆破时视具体条件取有关段的或最大一段的装药量,kg;

$D$ ——爆破区药量分布的几何中心至观测点或建筑物、防护目标的距离,m;

$K$ 、 $a$ ——与场地地质条件、岩体特性、爆破条件,以及爆破区与观测点或建筑物、防护目标相对位置等有关的常数,由爆破试验确定。

### 附录 C 新浇筑大体积混凝土基础面上的安全质点振动速度

#### C1.0.1 新浇筑大体积混凝土基础面上的安全质点振动速度见表 C1,其中各栏取值范围内的数值,可用插值法确定。

表 C1 安全质点振动速度

混凝土龄期(天)	0~3	3~7	7~28
安全质点振动速度(cm/s)	1.5~2	2~5	5~7

# 水工建筑物岩石基础开挖工程 施工技术规范

SL 47—94

## 条文说明

### 目 次

1 总则	3.5 梯段爆破
2 开挖、排水和出渣运输	3.6 紧邻水平建基面的爆破
2.1 开挖	3.7 特殊部位附近的爆破
2.2 排水	4 基础检查处理与验收
2.3 出渣运输	4.1 一般规定
3 钻孔爆破	4.2 基础检查处理与验收
3.1 一般规定	附录 A 判断爆破破坏或基础岩体质量的标准
3.2 爆破试验和爆破监测	附录 B 质点振动速度传播规律的经验公式
3.3 爆破设计与施工	附录 C 新浇筑大体积混凝土基础面上的安全质点振动速度
3.4 预裂爆破和光面爆破	

## 1 总 则

**1.0.1** 本规范适用范围的规定。新建、改建、扩建的水利水电工程施工中，都有水工建筑物岩石基础开挖工程。水工建筑物岩石基础开挖，主要是指在露天从事对基础面（含设计建基面和设计边坡轮廓面）的开挖，以及对覆盖在基础面上部的岩石（也称作基础岩石）的开挖；此外，也有在水下开挖的情况。水工建筑物等级划分标准，见现行《水利枢纽工程等级划分及设计标准（山区、丘陵）》（SDJ12—78）和《水利枢纽工程等级划分及设计标准（平原、滨海部分）》（SDJ217—87）。

4、5级水工建筑物的级别和重要性都较低，故可根据具体情况和条件简化执行本规范。

**1.0.2** 文理已明。

**1.0.3** 在我国，对某个水利水电工程的勘测、设计，一般由同一单位来作，但也有同一工程的勘测、设计由不同单位进行的情况，故本规范将勘测、设计分列。进行技术交底，有利于施工单位明确设计意图。

**1.0.4** 现行指正在执行，若某规范或规程被修订或废止，则执行修订后的或重新制定的。现行《水利水电工程施工地质规程》的编号是 SDJ18—78，按其规定，施工地质勘测由原勘测单位作。



B

不良地质因素主要包括：断层破碎带，软弱夹层，溶洞，滑坡体，易风化、软化、膨胀、松动的岩体，有害矿物的岩脉，地下水活动较严重等。因开挖揭露而发现新的不良地质因素是常有的。补救措施一般根据具体情况和条件制定，以尽量减小施工难度，不影响工期为宜。当新发现的某些不良地质因素对水工建筑物的安全稳定有严重影响时，可能迫使设计对基础轮廓、水工建筑物结构或坝轴位置等作出修改。

**1.0.5** 本条强调施工测量由承担开挖的施工单位作。现行《水利水电工程施工测量规范》的编号是 SDJS9—85。

**1.0.6** 我国的规范、规程一般为强制性标准，无论建设方式如何，均要按其执行。本规范属强制性的，它对基础开挖质量的规定较严，因为基础质量关系到水工建筑物的安全稳定，故要求施工单位执行。

常规作法，文理已明。

常规作法，有关具体规定见现行《水利基本建设工程验收规程》(SDJ184—86)。

**1.0.7** 目的是为了保证基础开挖质量，提高施工技术水准，加快施工进度和体现科学技术的进步。

**1.0.8** 钻孔爆破法具有便于机械化施工，爆破药量分散，起爆药量易于分段控制，爆破单位体积岩石的耗药量小，爆破安全性好，爆破的各种有害效应小，爆破对紧邻爆区岩体的破坏范围小，爆破对设计建基面、设计边坡、建筑物或防护目标的不利影响小等优点，为保证基础开挖质量及建筑物或防护目标的安全，故规定采用之。

洞室爆破法或药壶爆破法不具备钻孔爆破法的优点，因而在条文所述情况下不准采用。使用附近一词是因为具体情况和条件不同，不便将其具体化。本规范所述的设计建基面，包括倾斜、垂直和水平建基面，水平建基面中含接近水平的建基面；设计边坡，包括永久和半永久边坡，以及倾斜和垂直建基面。

其他部位指除前款所述情况以外的部位。有时有在某些其他部位采用洞室爆破或药壶爆破施工的情况，如导流洞进、出口岩埂（或围堰）拆除爆破，已成水库输水隧洞进水口岩塞爆破等，这里，爆破距一些重要水工建筑物或防护目标较近，为保障爆破安全，故作出条文所述的规定。专门试验有别于 3.2 的爆破试验，因为后者只规定了钻孔爆破试验的有关条款，没有涉及洞室爆破或药壶爆破。

**1.0.9** 为遵守国家有关标准，并与同级有关标准协调，不致重复或相互矛盾，以保证本规范的完整性和科学性，故对本规范未涉及到的内容，要求执行现行国家或行业标准的有关规定。其他文理已明。

## 2 开挖、排水和出渣运输

### 2.1 开挖

**2.1.1** 开挖施工计划和技术措施，主要根据设计文件、施工图纸的要求和本规范的规定提出，其内容主要包括：

- (1) 工程概况；
- (2) 进度安排；
- (3) 施工布置、施工方法和技术要求；
- (4) 劳力、材料和设备的需用量；
- (5) 辅助设施；

- (6) 采用新技术、新材料、新工艺和新设备施工的措施；
- (7) 施工质量和施工安全方面的技术要求和措施；
- (8) 存在的问题和解决办法；
- (9) 其他。

**2.1.2** 开挖顺序的规定，目的是为了保证施工安全。上指岸坡，下指基坑。

上下同时开挖，易造成施工安全事故，在较狭窄河床地段施工时尤为突出。

自下而上开挖，极易造成施工安全事故。

**2.1.3** 设计边坡轮廓面的开挖，关系到边坡轮廓面的成型和保留岩体的开挖质量，因而作出条文所述的规定并基于下述理由：

(1) 预裂爆破和光面爆破，是已成熟的先进钻孔爆破技术，施工单位如不掌握，不能体现科学技术的进步，也无承包资格。

(2) 绝大多数情况下，预裂爆破和光面爆破能形成质量好的边坡（或基础）轮廓面，可减少超（或欠）挖，减小梯段爆破的有害效应对边坡保留岩体的作用。成功的预裂爆破和光面爆破，有 3.4.1 所述的效果。

设计边坡中的倾斜、垂直建基面是否分台阶开挖，由设计根据水工建筑物结构特点和要求确定，故本规范未作规定。因为目前钻孔爆破施工能力和水平有限，尚难使高度较大的永久和半永久边坡的轮廓面一次开挖成型，故要求分台阶开挖。分台阶开挖可放缓平均坡比，增加边坡的稳定性，并便于设置排水沟槽和对已开挖的边坡进行检查处理与验收及加固。台阶高度主要根据边坡开挖高度、地形地质、岩体特性、施工进度和钻孔机械性能等因素确定。台阶上的马道宽度，一般以能适应钻孔机械操作，便于对边坡进行检查处理与验收及加固的原则确定。

**2.1.4** 梯段爆破也是成熟的先进钻孔爆破技术，它有爆破自由面多、爆破药量分散、单位耗药量小、起爆药量便于分段控制等优点。成功的梯段爆破，有 3.5.1 所述的效果。对基础岩石采用分层的梯段爆破方法开挖，层厚（梯段高度）是梯段爆破的重要参数，它对爆破效果、劳动工效和爆破施工安全等都有影响。层厚主要根据基础岩石开挖高度、地质条件、岩体特性、施工进度、钻孔机械和挖掘机械性能等因素确定。

**2.1.5** 本规范所述的岩体保护层，是水平建基面以上一定厚度的岩体，预留的目的是为了防止其上部梯段爆破对水平建基面岩体造成破坏或不利影响。保护层分层爆破，是沿用多年的一种开挖方法，故仍予强调，但其效率低，不便于机械化施工。为改变保护层分层开挖的落后状况，近年来，某些水利水电工程通过试验研究，采用了其他较先进的开挖方法，如有或无保护层的一次爆破法，获得了质量良好的水平建基面，也积累了不少生产实践经验，为体现科学技术的进步，本规范将其纳入；与此同时，为慎重计，也作出如条文所述的严格限制，以达到既积极、稳妥地推行较先进的开挖方法，又能确保水平建基面开挖质量的目的。本条所含内容的详细规定见 3.6。

**2.1.6** 开挖线外指非开挖区。做好条文所述的工作，才能保证开挖安全；做好排水，还可使设计边坡少受或免受地表水的浸害。

**2.1.7** 目的是为了保证施工安全和开挖质量。一般根据具体情况和条件提出解决办法。

**2.1.8** 目的仍是为了保证施工安全和开挖质量，并避免形成较高边坡后进行检查处理与验收及加固。检查处理与验收按第四章有关条文的规定进行；是否加固或如何加固，则按设计要求进行。这些工作一般在一个台阶开挖完毕进行，其后再作下一个台阶相邻部位的开挖。

**2.1.9** 坑、槽部位和有特殊要求的部位，一般尺寸较小，或形状较特殊，开挖难度较大，

有时不易全部按常规的预裂（或光面）爆破、梯段爆破方法开挖，例如某些部位可能要求先在其中部采用掏槽爆破方法形成临空面；某些部位边坡高度较小，采用预裂（或光面）爆破方法开挖难以形成好的轮廓面，且费用较大，等等。在上述情况下进行开挖，一般要按具体条件选择钻孔爆破方法，并慎重确定爆破参数，严格控制最大一段起爆药量，以使设计轮廓面成型良好和防止对保留岩体的破坏，尤其是对基础防渗、抗滑稳定起控制作用的坑、槽，更应如此。在水下开挖，主要根据设计要求、地形地质、岩体特性、开挖规模、施工机械和爆破材料，以及附近水工建筑物、船舶通航和水深、水流等情况，确定相应的开挖方法。水下开挖通常采用钻孔爆破法或裸露爆破法，也有采用洞室爆破法或药壶爆破法的事例。

**2.1.10 开挖偏差的规定。**基础面即设计建基面和设计边坡轮廓面，见 1.0.1 条文说明。开挖偏差不可避免，它主要与地质条件、岩体特性、钻孔质量、爆破方法等因素有关。

对条文所述岩体开挖偏差的规定。通常用岩体中节理裂隙发育程度来评价岩体的完整性，现行《水利水电工程地质测绘规程》（SDJ15—78）关于节理发育分级的规定见表 2.1.10。根据该表，节理裂隙不发育、较发育、发育的岩体，分别属Ⅰ级整体、Ⅱ级块体、Ⅲ级破碎的岩体。关于坚硬、中等坚硬的岩体，以及本条下面所述的软弱的岩体，其划分标准可执行现行有关标准的规定，或由勘测、设计确定。

(1) 沿用原《水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范》（SDJ211—83）的规定。

表 2.1.10 节理发育分级

分级	I	II	III	IV
间距 (m)	>2	2~0.5	0.5~0.1	<0.1
描述	不发育	较发育	发育	极发育
完整性	整体	块状	碎裂	破碎

(2) 参照上述编号为 SDJ211—83 的规范并考虑对设计边坡轮廓面开挖尺寸的严格要求作出的规定。开挖高度指边坡的垂直高度。举例说明条文所述内容的含义。某边坡高度 100m，拟分五个台阶开挖，各台阶高度 20m，各台阶的边坡轮廓面按 2.1.3 的规定，采用预裂爆破方法一次钻孔开挖形成。要达到在一次钻孔深度条件下的开挖偏差不大于其开挖高度的  $\pm 2\%$  的要求，对每个台阶边坡轮廓面的预裂炮孔的钻孔精度，以垂直孔而论，其孔向在垂直于各孔轴线所连之面方向的偏差，要求小于或等于  $\pm 1.15^\circ$ ，而倾斜孔的孔向偏差较之还要小；此外，爆破参数也要合理，否则易造成超（或欠）挖。按上述要求开挖完五个台阶，各台阶的边坡坡度和五个台阶边坡的平均坡度，可能符合设计要求，但最下部一个台阶的边坡坡脚位置，不一定符合设计要求，在这种情况下，需要在每个台阶边坡开挖中，通过调整各台阶边坡轮廓面的偏差，使之符合设计对整个边坡平均坡度和坡脚位置的要求。

节理裂隙极发育的岩体，按条文说明之表 2.1.10，属Ⅳ级破碎的岩体。不良地质地段，指 1.0.4 条文说明中的那些有不良地质因素的部位。节理裂隙极发育和软弱的岩体，不良地质地段的岩体，开挖偏差均较难控制。2.1.9 所述的坑、槽部位和有特殊要求的部位，如同该条条文说明所述，一般尺寸较小，或形状较特殊，开挖难度较大，开挖偏差也较难控制，某些部位还有可能不允许超（或欠）挖（如某些轻型水工结构，若设计厚度不大，一般不允许其底板上的基础岩体欠挖，否则对底板尺寸影响较大）；水下开挖比陆地困难，开挖偏差

不易掌握。对上述种种情况基础面的开挖偏差，本规范不宜作出具体规定，故要求由设计确定。

## 2.2 排水

**2.2.1** 工作场地有水，会妨碍施工；爆破中，某些炸药遇水会失去效力，受潮会变质；预裂缝内有水起不到应有的减震作用，等等，故要求及时排出积水。一般可设置排水沟、集水井（坑），用水泵抽水。

基坑来水包括河流渗水、雨水、两岸地表迳流水和地下渗流水等。若来水量很大，影响施工，除采用前款所述排水方法外，还可采用堵（堵漏）、截（截流）、引（引流）等办法，减少基坑中的来水量，以保证工作场地无积水。

**2.2.2** 基坑积水中含有油垢和炸药爆炸后的一些有害成分等，排入河流会对河水造成一定程度的污染，因而要求采用有效措施对污水进行处理。防止对环境的污染，是我国的一项基本政策。

## 2.3 出渣运输

**2.3.1** 设计要求在这里指施工组织设计要求。

**2.3.2** 堆（弃）渣要符合的原则。

(1) 场地容量问题，需要做好石渣和场地容量的综合平衡工作。施工中如不从整体考虑，为了一时的进度将石渣堆放在非指定地点，会造成二次挖运，影响施工效率。此外，对需要利用但暂不能利用的石渣，要堆放在距使用地点较近的便于回采的指定场地，并控制堆渣质量，以提高石渣的利用率。

(2) 所造之地可作为耕地，也可作为施工场地，还可作为美化环境的用地。

(3) 其他指开挖施工以外的。

(4) 河道被堵塞，将造成淤积并使水流条件恶化。

**2.3.3** 要求出渣运输造成大气中粉尘含量和出渣车辆的马达声、喇叭叫声的声压级，不能超过规定指标。此外，出渣车辆泄露在道路上的石渣，乱堆（弃）放的石渣，管理不善的堆（弃）渣等，会影响环境卫生并妨碍其他工程施工，这也是不允许的。

# 3 钻孔爆破

## 3.1 一般规定

**3.1.1** 主要根据地形地质、岩体特性、开挖方式和规模、施工进度等条件，选用钻孔机械。

规定造孔的钻头直径，是基于水利水电工程对基础开挖质量的严格要求和目前的施工现状。若用直径大于 150mm 的钻头造孔，孔内装药直径大，每孔装药量大，爆破的有害效应也大，这对基础开挖质量不利，也对附近建筑物或防护目标的安全有影响，因此，在我国水利水电工程施工中，以往极少采用直径大于 150mm 的钻头造孔。

炮孔划分为大、中、小三种孔径，适合目前我国水利水电工程钻孔爆破施工的实际情况，其孔径范围是一组经验数据。

**3.1.2** 目的是为了保证设计建基面、设计边坡的开挖质量和建筑物或防护目标的安全。建筑物包括水工建筑物和其他建筑物；防护目标指除建筑物以外的其他需要保护的對象，如仪器仪表、设施、自然边坡等。

**3.1.3** 不抗水或易受潮的爆破材料，浸水后会失效，受潮后易变质，使用它们会拒爆。

不抗冻的爆破材料，冻结后会变质，有时也会拒爆。

3.1.4 可通过现场对比试验（如爆破漏斗试验等）进行换算，也可按下式换算：

$$e = \frac{\text{2号岩石硝铵炸药的爆力(或猛度)}}{\text{实用炸药的爆力(或猛度)}} \quad (3.1.4)$$

式中  $e$  称作换算系数。由于施工单位一般不具备炸药爆力（或猛度）的试验条件，故在按式（3.1.4）换算时，可从炸药的产品说明书中获取相应指标，或参考有关文献。通常采用爆力换算。

3.1.5 现行《爆破安全规程》的编号是 GB6722—86。

## 3.2 爆破试验和爆破监测

3.2.1 爆破试验可分为现场原型、现场模型、室内模型试验三种类型，一般以现场原型试验为主，因为它直观、可靠，便于直接应用。本规范指的主要是现场原型试验。现场原型试验可以在钻孔爆破施工前或施工中进行，通常选择待开挖或正在开挖的部位作试验，这既结合生产，又节省试验费用。有关要求是指有关单位，如上级主管部门，建设、设计、施工或其他有关单位的要求。这里说的其他单位，可能与水工建筑物岩石基础开挖施工无关，但其管辖的建筑物或防护目标若位于施工场地附近，有不允许受到爆破破坏或危害影响的情况。爆破试验是一项很重要的工作。自 20 世纪 70 年代以来，我国一些水利水电工程施工中，进行了一系列爆破试验，对保证基础开挖质量和建筑物或防护目标的安全，加快施工进度，推动爆破技术的发展，都起到了关键作用，本规范的许多条款。也是在许多试验研究成果的基础上制定的。但是，由于施工场地地形地质条件、岩体特性和爆破作用过程的复杂性，使得某些已有的试验研究成果不能简单套用，各工程还得依据自身特点，通过试验确定适合自身需要的各种爆破的合理参数和爆破效应的有关数据，以便采取相应的施工方案和安全防护措施；此外，要完善和提高已有的爆破技术，开发和推广新的爆破技术，认识爆破作用机理等等，以便更好地为钻孔爆破施工服务，亦要求进行爆破试验。通常，在钻孔爆破施工中，根据爆破效果不断调整爆破参数和控制爆破规模，事实上也是爆破试验的一种最简单的形式和作法。

成立爆破试验组，可以统一组织、管理和顺利开展试验。有关人员包括建设（或监理）、设计、施工、科研、地质、测量、质检及其他方面的。

爆破试验大纲（计划）的主要内容包括：

- (1) 试验内容和目的；
- (2) 试验地点和部位；
- (3) 爆破和观测方案；
- (4) 试验组数，观测布置、方法、内容和仪器设备；
- (5) 试验工作量和进度；
- (6) 试验人员配置，需有关部门配合的内容、设备和工作量；
- (7) 预期成果；
- (8) 其他。

3.2.2 爆破试验内容的规定。主要根据设计、施工和安全与防护的需要选择有关内容进行试验。本条所述爆破试验内容，不包括爆破空气冲击波（或噪音）、水中冲击波（或动水压力）、飞石和有害气体等效应的试验，因为在一般情况下，它们与水工建筑物岩石基础开挖质量的关系不密切。

(1) 主要包括炸药和雷管性能试验。炸药性能试验主要包括爆破漏斗试验，炸药传爆速

度、殉爆距离试验等；雷管性能试验主要包括准爆率、起爆时间误差等试验；重要的爆破还要进行爆破网络试验。爆破材料性能试验的主要目的是为爆破设计和分析爆破效果提供依据。

(2) 爆破参数试验的主要目的是：

- a. 确定合适施工场地地质条件、岩体特性的预裂爆破、光面爆破和梯段爆破参数；
- b. 确定采用有或无岩体保护层的一次爆破法时的梯段爆破参数；
- c. 确定 2.1.9 所述情况下各种开挖方法的爆破参数。

各种爆破参数是否合理，除根据爆破效果判断外，还要与爆破破坏范围试验和爆破地震效应试验的结果进行综合分析确定。

(3) 爆破破坏范围试验的主要目的是：

- a. 观测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；
- b. 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。

(4) 爆破地震效应试验的主要目的是：

- a. 观测确定适用于施工场地地形地质、岩体特性和爆破条件的爆破振动参数传播规律的经验公式，以用来进行预报和控制；
- b. 观测建筑物或防护目标及其基础面上的爆破振动参数的量值，配合爆破破坏范围试验，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。

**3.2.3 爆破破坏试验观测方法的规定。**所规定的观测方法是多年来在我国水利水电工程爆破试验中采用过的和比较成熟的，它们直观、可靠、省事、省时，并且能解决问题。

(1) 条文所述观测方法是对被观测物体（岩体、建筑物或防护目标等）的表面破坏情况的调查和描述，如岩体表面是否产生爆破裂隙，岩体的节理裂隙面、层面等弱面是否张开（或压缩）、错动，岩体是否被爆破震松，建筑物或防护是否有肉眼可见的爆破破坏等。

(2) 隐蔽部位是指观测物体的内部，如岩体、建筑物或防护目标等的内部。弹性波纵波波速可用钻孔声波法、电火花法、微地震法和地震剖面法等方法得到。

所用观测方法是对被观测物体进行非爆破动态过程观测，一般作爆破前、后的对比，因其观测资料有很好的可比性，易对照附录 A 规定的标准作出有、无爆破破坏的判断。若只作爆后观测，则要根据观测资料的变化趋势和特点，与爆破和环境因素进行综合分析，才能作出较正确的判断；在隐蔽部位，还可把观测部位附近未扰动（原始）状态的波速资料作为爆前值，用来进行比较和判断。附录 A 的标准，已在我国许多水利水电工程爆破试验中采用。

**3.2.4 质点振动速度观测，**属爆破中对被观测物体进行的爆破动态过程（历史）观测。在对爆破地震效应的观测中，质点振动速度参数被各国工程爆破界公认为较另外两个参数（如速度和位移）更合适。

附录 B 之式 (B1) 是国内外工程爆破界常用的经验公式，由相似律和量纲分析推导而来。

**3.2.5 重要的和有特殊要求的爆破试验**主要包括：开挖工程量很大的工程的爆破试验，施工场地地形地质、岩性特性和环境条件复杂的爆破试验，在重要建筑物或防护目标附近、3.7 所述的特殊部位附近爆破时所作的试验，以及为开发新的爆破技术而进行的试验等。上述爆破试验中，若有关方面有要求时，除采用 3.2.3、3.2.4 规定的观测方法外，还要增加

某些其他观测方法。其他观测方法主要有：

(1) 爆破前、后对被观测物体进行透水率、试件强度、钻孔录像等的观测，岩体中还包  
括岩心质量指标（或获得率）。

(2) 爆破中对被观测物体进行质点振动加速度、位移和应力参数（应力、应变或压力）  
等的观测。

**3.2.6** 爆破监测已在国内外引起高度重视。美国垦务局 1980 年修订的《爆破规程审定报  
告》中规定，没有可靠的爆破监测系统，不能进行爆破施工。我国自 70 年代以来，在不少  
水利水电工程施工中作过爆破监测，它对保证基础开挖质量和建筑物或防护目标的安全，都  
起到了重要作用，本规范的某些内容（如 3.7.1 及附录 C），也主要是在爆破监测成果的基  
础上制定的。爆破监测如同爆破试验一样，需按有关要求，成立监测组，编制监测大纲  
（计划）。爆破监测主要是监测爆破地震效应和爆破破坏情况，监测方法可按实际需要参照  
3.2.3、3.2.4 的规定和 3.2.5 条文说明的内容选用。

**3.2.7** 有时有对条文所述爆破效应进行试验或监测的情况，如爆区附近的重要建筑物或防  
护目标（重要通讯线路、高压输电线等），可能对空气冲击波、飞石有防护要求；水下爆破  
时，附近的建筑物、船舶等对水中冲击波（或动水压力）可能有防护要求。水工建筑物岩石  
基础开挖，主要是在露天进行的，爆破的有害气体扩散很快，一般不会对生命造成伤害，故  
本条未纳入。

**3.2.8** 常规作法，文理已明。

科学性含正确性和可靠性，要求理论上是正确的，观测数据是可靠的；先进性则要求采  
用先进爆破技术、观测技术和观测仪器进行试验或监测，其目的都是为了促进开挖施工科学  
技术的进步。条文还要求试验和监测成果具有指导爆破设计与施工的实用性。

### 3.3 爆破设计与施工

**3.3.1** 重要的爆破设计，主要是指只许成功、不许失败的，或者是对爆破安全及建筑物或  
防护目标的安全有重大影响的爆破的设计。爆破设计主要根据设计文件、施工图纸、本规范  
的规定和爆破试验或爆破监测成果，以及地形地质、岩体特性、爆破材料性能、钻孔机械和  
挖掘机械等条件进行。

文理已明。

**3.3.2** 对钻孔质量的规定。钻孔质量是钻孔爆破施工的重要环节，许多事例说明，爆破效  
果不好，基础开挖质量差，主要是钻孔质量不好引起的。

(1) 若不按爆破设计确定钻孔孔位，乱造孔，势必影响爆破效果和基础开挖质量。

(2) 钻孔开孔位置有偏差不可避免，但不宜太大，尤其是在轮廓面上的预裂炮孔或光面  
炮孔，以及紧邻设计轮廓面的梯段炮孔，若开孔偏差太大，会造成超（或欠）挖，并影响基  
础的开挖质量。不宜大于钻头直径的尺寸是指，若采用直径 150mm 的钻头造孔，偏差不宜  
大于 150mm，其余类推。作好实际孔位记录，有利于分析爆破效果，并便于分析某些炮孔的  
早爆、迟爆或拒爆等事故。

(3) 钻孔角度的准确性也很重要。对预裂炮孔或光面炮孔，其钻孔偏斜若超过爆破设计  
的规定，会造成开挖轮廓面的不平整度大于 3.4.1 的要求，并产生超（或欠）挖，有时甚至  
不能形成良好的轮廓面；对紧邻设计边坡的一排炮孔，钻孔角度不准确，可能造成边坡保留  
岩体破坏，或使边坡壁面残留贴面岩石。孔深不符合规定，各类炮孔的爆破也会产生一些不  
利影响。

(4) 钻孔中的岩粉不清除，其有效深度减小，会影响爆破效果。钻孔孔口不加保护，会

被孔口外的岩粉或石渣掉入堵塞，将增加清孔工作量或减小炮孔的有效深度，有时还会成为废孔。

经检查不符合质量要求的钻孔，需要进行处理或重新造孔，以保证有良好的爆破效果。

### 3.3.3 常规作法，文理已明。

3.3.4 爆破效果调查的内容主要包括：对预裂爆破或光面爆破，其开挖轮廓面的残留炮孔痕迹的分布和保存率，不平整度，爆破裂隙，保留岩体的破坏等；对梯段爆破，其爆破石渣的块度或级配，爆堆，爆破对四周保留岩体的破坏，炮根，爆破飞石等；对紧邻水平建基面的爆破，是否使水平建基面岩体产生了大量爆破裂隙，使节理裂隙面、层面等弱面明显恶化，并损害了岩体的完整性等。其他文理已明。

## 3.4 预裂爆破和光面爆破

### 3.4.1 预裂爆破和光面爆破的质量标准。

(1) 残留炮孔痕迹保存率，指在开挖轮廓面上保存的炮孔痕迹总长与炮孔痕迹总长的比率。条文所述残留炮孔痕迹保存率为一组经验数据，是参考我国一些工程的实际结果和国内外一些资料制定的，这主要包括：

a. 现行《水工建筑物地下开挖工程施工技术规范》(SDJ212—83)，水利电力出版社，1983年。

b. 《水利工程中的预裂爆破》，载《土岩爆破文集》(第一集)，冶金工业出版社，1980年。

c. D.K. 霍姆斯等，《尼亚加拉水电站的预裂爆破》，载美国《爆破工程师》杂志，1961年。

d. A.A. 费先柯、B.C. 艾里斯托夫，《水工建设中的轮廓爆破》，1972年。

(2) 不平整度也称作起伏差，是衡量相邻两炮孔间岩面凹凸程度的一个指标。条文规定的不平整度，也是经验数据。规定的理由同本条条文说明(1)，其中，文献还包括原《水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范》(SDJ211—83)。装药集中度合理的预裂爆破和光面爆破，炮孔壁没有或仅有少量细小的爆破裂隙。

3.4.2 要求预裂范围超出梯段爆破区和有一定的预裂缝宽，是为了减小梯段爆破地震效应对保留岩体的作用，并阻止梯段爆破在岩体中产生的爆破裂隙和节理裂隙面、层面等弱面的破坏延伸到保留岩体之中，以保证主要水工建筑物基础岩体的开挖质量。预裂范围和预裂缝宽，主要与梯段爆破的破坏范围和地震效应有关，一般根据爆破试验结果或实际需要确定，其中，预裂缝宽因取决于地质条件、岩体特性和爆破装药量，故只要它能起到应有的减震效果，对缝宽不宜苛求，否则，如片面要求有较大缝宽，势必增大装药量，这将对设计建基面岩体质量有不利影响。下述情况的预裂缝不能超深：对倾斜、垂直建基面施行预裂爆破时，预裂缝不能超深到水平建基面的下部；对水平建基面施行预裂爆破时，则不能超深到倾斜、垂直建基面的保留岩体内部。

3.4.3 预裂炮孔和梯段炮孔在同一爆破网络中起爆的事例很多，因为如不在同一网络起爆，单独起爆预裂炮孔，其孔口附近表面岩体可能被拉裂，需要平整处理才能造梯段炮孔；或者使邻近已造好的梯段炮孔错动或埋住，将增加补孔或清孔工作量。条文规定的预裂炮孔先于相邻梯段炮孔起爆的时间，可以保证预裂缝超前形成，从而起到减小梯段爆破地震效应对保留岩体的作用，并阻止梯段爆破在岩体中产生的爆破裂隙和节理裂隙面、层面等弱面的破坏延伸到保留岩体之中。



### 3.5 梯段爆破

#### 3.5.1 梯段爆破的质量标准。

(1) 爆破石渣的块度合适与否，通常以挖掘机械的斗容来衡量，超过斗容的是大块。大块率一般不宜大于5%，否则，二次爆破工作量大。要求爆堆较集中，便于挖装。水利水电工程施工中，有关方面（主要是设计和施工）往往有利用爆破石渣的要求，尤其是天然砂石料缺乏的工程，这可节省工程费用，故予规定。合适的爆破石渣块度或级配，可通过精心的爆破设计与施工获得。

(2) 破坏范围小、炮根少，说明炸药爆炸能量主要用于爆区破岩，也便于后续钻孔爆破施工。紧邻设计建基面或设计边坡的梯段爆破的破坏范围小，可以减小爆破对建基面或边坡保留岩体的不利影响；当采用预留岩体保护层方法开挖时，还可以减小保护层厚度，从而减少保护层开挖工程量。

(3) 条文所述的爆破效应小，说明炸药爆炸能量主要用作有用功（在爆区破岩），用作无用功的少，这对爆破的安全与防护也有利。

**3.5.2** 目的是将这排梯段爆破的装药量，分散到较多的炮孔中，以减小爆破对边坡保留岩体的不利影响。这排梯段炮孔孔径，在3.1.2已有规定，故本条未纳入。

**3.5.3** 上部梯段炮孔若穿入保护层，爆破将造成水平建基面岩体破坏。

**3.5.4** 目的是为了保证爆破安全。所规定的最大一段起爆药量，是多年来在我国水利水电工程施工中实际采用的，运用中未发生不良后果。

条文所述情况千差万别。本规范不宜作出具体规定，爆破设计在确定其最大一段起爆药量时，宜根据爆破试验或爆破监测结果，或按具体条件通过充分的安全技术论证。

### 3.6 紧邻水平建基面的爆破

**3.6.1** 紧邻水平建基面爆破的质量标准。爆破使水平建基面岩体产生少量爆破裂隙是难免的，但若产生大量爆破裂隙，使弱面恶化（如张开或压缩、错动）和建基面岩体的完整性遭到破坏，于水工建筑物的安全稳定不利；此外，对这些爆破缺陷进行处理，还会造成超挖并增加回填混凝土工程量。

**3.6.2** 保护层厚度，主要与地质条件、岩体特性、爆破方式和规模、爆破材料性能、炮孔装药直径等有关，一般根据对梯段炮孔底以下的破坏深度的试验结果确定。因为各工程具体情况和条件不一，保护层厚度也有差异，通过试验确定，可以减少保护层开挖的盲目性，保证水平建基面的开挖质量。试验确定保护层厚度，是水工建筑物岩石基础开挖中一项最基本的工作，允许在确无条件情况下采用工程类比方法确定，一般是极少出现的。表3.6.2可供采用工程类比方法时参考，其中， $H$ 是保护层厚度， $D$ 是梯段炮孔底部的装药直径。该表数据取自原《水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范》(SDJ211—83)。

表 3.6.2 保护层厚度

岩体特性	节理裂隙不发育和坚硬的岩体	节理裂隙较发育、发育和中等坚硬的岩体	节理裂隙极发育和软弱的岩体
$H/D$	25	30	40

**3.6.3** 保护层分层爆破的规定。分层爆破是为了保证水平建基面的开挖质量达到3.6.1规定的标准。

### 第一层

意即炮孔只能钻至距水平建基面 1.5m, 以防止水平建基面岩体被本层爆破破坏, 例如, 保护层厚 4m, 炮孔深 2.5m; 厚 3m, 炮孔深则为 1.5m。当保护层厚只有 1.5m 或小于 1.5m, 则不存在本层的开挖。特别地, 若保护层厚略大于 1.5m, 施工中可以把大于 1.5m 的那部分岩体, 连同第二层一起开挖, 但要遵守第二层的规定, 并以第二层规定的炮孔角度、装药直径和起爆方法能否有效爆落其间的岩体, 来衡量一起开挖的可行性。

规定的炮孔装药直径, 可以减小本层爆破对水平建基面岩体的不利影响。

梯段爆破有 2.1.4 条文说明所述的优点。关于梯段爆破的最大一段起爆药量, 因 3.5.4 已作规定, 故本条未纳入。

### 第二层

若第一层开挖后, 其岩面高程正好距水平建基面 1.5m, 则本层的炮孔深度, 对节理裂隙不发育、较发育、发育和坚硬、中等坚硬的岩体, 只能为 1m; 对节理裂隙极发育和软弱的岩体, 则为 0.8m。

规定的炮孔角度、装药直径, 可以减小本层爆破对水平建基面岩体的不利影响。

单孔起爆药量进一步减小了爆破对水平建基面岩体的不利影响。单孔起爆可采用塑料导爆管毫秒雷管进行孔间微差顺序爆破, 或采用火雷管起爆予以实施。

### 第三层

节理裂隙不发育、较发育、发育和坚硬、中等坚硬的岩体中, 爆破破坏范围小, 故不留撬挖层, 炮孔钻至水平建基面后进行爆破。节理裂隙极发育和软弱的岩体, 极易受到爆破破坏, 故留 0.2m 厚的岩体作为撬挖层, 以减小爆破对水平建基面岩体的不利影响。本层的炮孔深度, 当第二层开挖到预定的高程面时, 在两种类型的岩体中都是 0.5m。

规定的炮孔角度、装药直径和起爆方法, 都是为了减小本层爆破对水平建基面岩体的不利影响。

**3.6.4** 本条根据近年来在我国万安、东风、铜街子、东江、板桥、隔河岩等水电站进行试验研究并积累了一定生产实践经验的基础上制定。有或无岩体保护层的一次爆破法的推广应用, 将把水工建筑物岩石基础开挖施工中, 控制开挖质量较严、难度较大、用时较长的紧邻水平建基面基础岩石开挖问题, 提高到新的水平, 但是, 这两种方法只能在通过试验证明可行并经主管部门批准后才可采用, 而不能用工程类比方法确定相应的钻孔爆破参数。

保护层的一次爆破法所要遵循的原则。

(1) 梯段爆破有 2.1.4 条文说明所述的优点。

(2) 意即炮孔只能钻至水平建基面, 目的是为了了一次能开挖到水平建基面。

(3) 垫层段可以缓冲炸药爆炸产生的冲击波和高温、高压气体对水平建基面岩体的作用。柔性材料可用锯末、旧棉絮、发泡材料等做成, 空气也能起到缓冲作用。如果炮孔内有水, 柔性材料被水浸泡, 或空气垫层段被水充填, 垫层则起不到应有的缓冲作用, 因此, 要求将炮孔内的水清除。垫层段长度由爆破试验确定。垫层段范围内的岩体被爆破震松, 易清除。

无保护层的一次爆破法所要遵循的原则。

(1) 预裂爆破有 2.1.3 条文说明所述的优点, 并且, 预裂面能减小梯段爆破地震效应对水平建基面岩体的作用, 和阻止梯段爆破在岩体中产生的爆破裂隙和节理裂隙面、层面等弱面的破坏延伸到保留岩体之中。

(2) 梯段爆破有 2.1.4 条文说明所述的优点。

(3) 梯段炮孔底与水平预裂面留有一定距离, 进一步减小了梯段爆破对水平建基面岩体的不利影响。炮孔底与预裂面间的岩体, 在爆破产生的岩体中的入射和由预裂面反射的应力波, 以及在高温、高压气体的作用下碎裂, 易清除。炮孔底与预裂面的距离由爆破试验确定。

### 3.7 特殊部位附近的爆破

**3.7.1** 新浇筑大体积混凝土, 3.7.3 所述的新灌浆区、新预应力锚固区、新喷锚(或喷浆)支护区, 均是本节称谓的特殊部位, 而新则是指龄期 28 天前的, 因为它们在 28 天时才能达到设计强度。在初凝至 28 天内, 混凝土或浆液强度的增长, 大致可分为三个阶段, 3 天前增长很快, 可达设计强度的约 50%~60%; 7 天前可达 70%~80%; 28 天时达到 100%。在新浇筑大体积混凝土附近进行爆破, 是水利水电工程施工中出现的有别于其他工程施工的新问题。自 70 年代以来, 我国一些水利水电工程为加快施工进度, 采用了边浇筑大坝混凝土, 边在其附近进行爆破施工的做法, 因新浇筑混凝土的强度低, 它与基岩接触面的粘结强度更低, 极易受到爆破破坏, 为了保证新浇筑混凝土的安全, 有关单位结合葛洲坝、大化、铜街子、隔河岩等工程的施工, 进行了一些试验研究和监测, 并作了较大比尺的模型试验研究, 取得了一定的进展。本规范的规定, 主要就是依据上述试验研究和监测成果, 同时也参照了国外一些研究者的有关资料。

(1) 确定安全质点振动速度, 需要大量观测数据的统计分析, 更需要破坏试验资料。由于爆破对混凝土的影响十分复杂, 涉及爆破作用机制, 混凝土的标号、龄期, 混凝土对爆破作用的动力响应等问题, 加之系统破坏试验耗资大, 所以, 迄今尚无完整的试验研究资料可供参考, 故要求进行爆破试验确定安全质点振动速度, 但在试验成果不易获得的情况下, 则可按附录 C 确定。

(2) 当已知爆破药量和距离, 可用经验公式预报新混凝土基础面上质点振动速度, 以与安全值相比较; 反之, 用新混凝土基础面上的安全质点振动速度, 控制爆破药量或距离。

(3) 减震措施中, 可采用打防震孔或挖一定宽度沟槽的办法, 也可采用形成预裂缝的办法, 但在施行预裂爆破时, 要论证其地震效应对新混凝土有无不利影响, 如有, 则不能采用。若无恰当办法保证新混凝土的安全, 可等混凝土达到设计强度后再进行爆破, 或采取别的方法开挖。

**3.7.2** 目前, 在条文所述的那些特殊部位附近爆破的试验研究和监测资料较少, 缺乏可供参考的安全质点振动速度或其他有关参数的控制指标, 故作出条文所述的严格规定, 以保证它们的安全。

## 4 基础检查处理与验收

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 基础检查处理的含义。基础面尺寸和基础岩体质量, 即基础开挖质量。首先, 要对基础开挖质量进行检查, 如有不符合设计文件、施工图纸和本规范要求者, 则要进行处理。

现行《水利基本建设工程验收规程》的编号是 SDJ184—86。

**4.1.2** 基础验收小组的组成和职责, 见现行《水利基本建设工程验收规程》(SDJ184—86)。

各有关方面, 主要包括建设(或监理)、设计、施工、地质、测量、质检等, 验收小组之下有这些方面的工作人员, 才能顺利开展日常的基础检查与验收工作。

**4.1.3** 参照目前某些工程在基础检查与验收中的作法制定。

**4.1.4** 常规作法。本规范对基础开挖质量有要求的条文是 2.1.10、3.4.1 和 3.6.1；对基础检查处理有要求的条文是 4.2.1、4.2.2 和 4.2.3。

## **4.2 基础检查处理与验收**

**4.2.1** 如不及时检查处理，会造成某些不良后果，例如，设计边坡开挖中，对上部已开挖部分不及时检查处理，待形成较高边坡后再进行将很困难；处于不良地质地段的设计边坡，不及时检查处理或按设计要求加固，可能造成边坡坍塌或其他形式的破坏；已开挖边坡上的松动岩块不及时清除，可能砸伤施工人员或砸坏施工设备等。

基础验收小组的初检，可由其下的工作人员来作，某些检查还可委托有关单位来作，但不能委托施工单位。不符合质量要求，即不符合设计文件、施工图纸和本规范对基础开挖质量的要求。

**4.2.2** 检查基础岩体质量，是检查基础开挖质量中的一部分〔另一部分基础面尺寸，用测量方法检查，因现行《水利水电工程施工测量规范》(SDJS9—85)已有规定，故本规范未涉及〕。弹性波纵波波速观测方法不但在爆破试验中广泛采用，近年来，许多水利水电工程也用来检查基础岩体质量。附录 A 之式 (A1) 的标准，在爆破试验中用作判断爆破破坏范围；在检查基础岩体质量时，则用来判断其优劣。采用弹性波纵波波速观测方法和附录 A 之式 (A1) 的标准检查和判断基础岩体质量，一般能满足要求。采用设计规定的方法与标准，有如下含义：

(1) 特殊情况下，若设计要求对基础岩体进行其他（如强度、透水率等）方面的检查，则由设计规定相应的方法与标准。

(2) 附录 A 之式 (A1) 的标准较严，以其评价基础岩体质量，对水工建筑物的安全稳定有利，但由于水工建筑物的级别或重要性有差别，不同部位对基础岩体质量的要求也有异，因此，在采用弹性波纵波波速方法检查时，设计可根据不同情况予以区别，提出比附录 A 之式 (A1) 稍宽或更严的标准。

### **4.2.3 对基础处理的规定。**

(1) 欠挖的基础面要进行处理。超挖的基础面已无法回复到符合 2.1.10 规定偏差范围，故未涉及。

(2) 反坡对水工建筑物的安全稳定不利。

(3) 尖角易使水工结构产生应力集中，故要处理。结构措施包括采用修改水工结构尺寸或增强结构受力部位（如配筋、加大混凝土标号）等办法。

(4) 条文所述情况如不消除或处理，将影响混凝土与基础面的结合和水工建筑物的稳定。

(5) 不良地质因素即地质缺陷。对条文所述情况的处理，有别于对爆破缺陷的，要求设计重新提出处理的高程或深度，还便于确定超挖和回填混凝土工程量。

(6) 外界环境主要包括空气（含气温）和水。设计可根据实际情况和当地条件，提出处理或防护意见，如采用喷浆覆盖，或在基础面上预留一定厚度岩体（俟上部水工建筑物施工前夕再行开挖）等办法，但后者要以重新开挖是否方便和对其他施工是否有干扰来循其可行性。

(7) 其他要求因具体情况而定，如按有关设计、地质等规范（或规程）的规定提出的相应要求，某些部位的特殊要求等。

**4.2.4** 若不及时进行终检验收，将延误基础面上的下一道工序施工，或者难以进行终检验

收。

根据现行《水利水电工程施工地质规程》(SDJ18—78)的规定,竣工地质图由进行施工地质的勘测单位测绘。竣工地形图归承担开挖的施工单位测绘。

本款强调了测绘基础竣工图、签署验收文件和进行下一道工序施工的次序,是为了保证基础竣工资料能顺利收集,以防止在现场验收合格后急于进行下一道工序施工而影响测绘工作。下一道工序包括整修、清仓、立模和浇筑混凝土,或喷锚(喷浆)支护及其他形式的施工。

## 附录 A 判断爆破破坏或基础岩体质量的标准

### A1.0.1 宏观调查和地质描述方法判断爆破破坏的标准。

只具备所述条件之一,即可判断为破坏。

(1) 现行《水利水电工程地质勘察资料内业整理规程》(SDJ19—78)中,裂隙频率被定义为单位面积( $m^2$ )上的裂隙条数,裂隙率则为单位面积上的裂隙面积。产生爆破裂隙,裂隙频率和裂隙率都会增大;原有裂隙张开,也会使裂隙率增大。

(2) 文理已明。

(3) 从地质锤锤击时的发声状况进行判断,一般新鲜、完整的岩体,发声清脆、频率较高;被爆破振松的岩体,发出空声或哑声、频率较低。

### A1.0.2 弹性波纵波波速观测方法判断爆破破坏或基础岩体质量的标准。

所定标准依据观测仪器的观测误差,但比之略大。许多场地采用钻孔声波法、电火花法、微地震法所作的误差试验表明,观测误差一般为4%~7%,本规范则把标准统一定为大于10%,其理由是:

(1) 许多场地大量实测数据表明,在绝大多数情况下,其变化率( $\eta$ )或小于所用仪器观测误差(即判断为不破坏),或大于10%,(即判断为破坏),而在观测误差与10%之间的数据很少。

(2) 国内一些研究者从观测数据的变化率处于观测误差与10%之间的很少,以及它们相对于观测误差所增加的百分点(只有几个)不大的情况,把这类数据对应的破坏,称为轻微破坏区的下限。

(3) 通常,轻微破坏区的下限只涉及少数局部部位,对岩体来说,它的存在并不影响整体基础的强度,通过基础灌浆,这些部位的整体性和强度都会增强。

只作爆后观测,一般多发生在检查基础岩体质量中。实践表明,把观测部位附近原始(未扰动)状态的波速当作爆前波速进行比较判断,也能得出较正确的结果。观测资料的变化趋势和特点,需与爆破和环境因素进行综合分析,才易作出较正确的判断。

## 附录 B 质点振动速度传播规律的经验公式

B1.0.1 公式(B1)中的常数项 $K$ 、 $a$ ,根据对爆破观测数据的统计分析求得,若确无条件进行试验观测,可参照表B1选取。表B1摘自现行《爆破安全规程》(GB6722—86),其中,岩性在本规范中称为岩体特性;坚硬岩石、中硬岩石和软岩石,则分别称作坚硬的岩体、中等坚硬的岩体和软弱的岩体。

表 B1 爆区不同岩性的  $K$ 、 $a$  值

岩性	$K$	$a$
坚硬岩石	50 ~ 150	1.3 ~ 1.5
中硬岩石	150 ~ 250	1.5 ~ 1.8
软岩石	250 ~ 350	1.8 ~ 2.0

此外,当考虑爆破区与观测点或建筑物、防护目标的高程差对质点振动速度传播规律的影响时,可采用下述经验公式:

$$V = K \left( \frac{W^{1/3}}{D} \right)^a \left( \frac{W^{1/3}}{H} \right)^\beta \quad (\text{B1})$$

式中  $V$ ——质点振动速度, cm/s;

$W$ ——爆破装药量, 齐发爆破时取总装药量, 分段延迟爆破时视具体条件取有关段的或最大一段的装药量, kg;

$D$ 、 $H$ ——分别为爆破区药量分布的几何中心至观测点或建筑物、防护目标的水平距离和高程差, m;

$K$ 、 $a$ 、 $\beta$ ——与场地地质条件、岩体特性、爆破条件, 以及爆破区与观测点或建筑物、防护目标相对位置等有关的常数, 由爆破试验确定。

上述经验公式 (B1), 摘自《爆破安全与防护》(水利电力出版社, 1990年7月)。

## 附录 C 新浇筑大体积混凝土基础面上的 安全质点振动速度

**C1.0.1** 表 C1 把新浇筑大体积混凝土的龄期, 按 3.7.1 条文说明所述划分为三个阶段, 而没有对初凝前的安全质点振动速度作出规定, 是因为尚未初凝的混凝土在爆破振动作用下, 相当于对其再次振捣, 将使它的结构更密实。表 C1 主要参考下述文献制定:

(1) 《爆破对新浇筑混凝土的影响和控制标准的研究》, 载《爆破》杂志, 1990年第3期。

(2) C.M.Nieble, 《Vibration Aspects on Planning Blasting for Dam Foundations》, 1978.

(3) G.A.Scott, 《Concrete and Grout Damage Control for Blasting at Upper Stillwater Dam》, 1986.