

ICS 93.160

P 09

SL

中华人民共和国水利行业标准

SL 47—2020

替代 SL 47—94

**水工建筑物岩石地基开挖
施工技术规范**

**Technical specification for excavation construction
of rock-foundation of hydraulic structures**

2020 - 11 - 02 发布

2021 - 02 - 02 实施

中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部

关于批准发布《水工建筑物岩石地基开挖施工技术规范》等5项水利行业标准的公告

2020年第16号

中华人民共和国水利部批准《水工建筑物岩石地基开挖施工技术规范》(SL 47—2020)等5项为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水工建筑物岩石地基开挖施工技术规范	SL 47—2020	SL 47—94	2020.11.2	2021.2.2
2	堤防工程管理设计规范	SL/T 171—2020	SL 171—96	2020.11.2	2021.2.2
3	水文资料整编规范	SL/T 247—2020	SL 247—2012	2020.11.2	2021.2.2
4	水文年鉴汇编刊印规范	SL/T 460—2020	SL 460—2009	2020.11.2	2021.2.2
5	冰封期冰体采样与前处理规程	SL/T 466—2020	SL 466—2009	2020.11.2	2021.2.2

水利部

2020年11月2日

前 言

根据水利行业标准制修订计划安排，按照 SL 1—2014《水利技术标准编写规定》的要求，对 SL 47—94《水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范》进行修订，并将标准名称改为《水工建筑物岩石地基开挖施工技术规范》。

本标准共 13 章和 3 个附录，主要技术内容有：

- 基本规定；
- 开挖方法；
- 水工建筑物岩石地基开挖各环节（地质、排水、测量控制、钻孔爆破、爆破安全监测、非爆破开挖、出渣、环境影响控制、检查处理与检验评定等）的具体规定。

本次修订的主要内容如下：

- 增加内容：术语、地质、测量控制、爆破安全监测、非爆破开挖、环境影响控制等。
- 修改内容：将原标准中开挖、排水和出渣运输一章调整为基本规定、开挖方法、排水、出渣四章，将原标准中基础检查处理与验收修改为检查处理与检验评定。

本标准中的强制性条文有：5.0.4 条。以黑体字标示，必须严格执行。

本标准所替代标准的历次版本为：

- SDJ 211—83
- SL 47—94

本标准批准部门：**中华人民共和国水利部**

本标准主持机构：**水利部水利工程建设司**

本标准解释单位：**水利部水利工程建设司**

本标准主编单位：**长江水利委员会长江科学院**

本标准参编单位：长江勘测规划设计研究有限责任公司
中国安能建设集团有限公司
武汉大学
中国水利水电第十六工程局有限公司
中国葛洲坝集团股份有限公司

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：赵 根 吴新霞 谢向荣 梅锦煜
卢文波 王文飞 文德钧 刘美山
倪锦初 李 鹏 苏利军 胡英国

本标准审查会议技术负责人：和孙文

本标准体例格式审查人：陈 昊

本标准在执行过程中，请各单位注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给水利部国际合作与科技司（通信地址：北京市西城区白广路二条2号，邮政编码：100053；电话：010-63204533；电子邮箱：bzh@mwr.gov.cn），以供今后修订时参考。

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	3
4	地质	4
5	开挖方法	5
6	排水	6
7	测量控制	7
8	钻孔爆破	8
8.1	一般规定	8
8.2	爆破试验	8
8.3	爆破设计	9
8.4	爆破施工	10
8.5	预裂爆破和光面爆破	12
8.6	台阶爆破	12
8.7	保护层爆破	13
8.8	特殊部位爆破	14
9	爆破安全监测	15
10	非爆破开挖	16
10.1	一般规定	16
10.2	机械开挖方法	16
10.3	非机械开挖方法	17
11	出渣	18
12	环境影响控制	19
13	检查处理与检验评定	20
13.1	检查与处理	20
13.2	检验与评定	20

附录 A 质点振动速度传播规律经验公式 21

附录 B 爆破振动安全允许标准 22

附录 C 判断爆破破坏或地基岩体开挖质量的标准 24

标准用词说明 25

标准历次版本编写者信息 26

条文说明 27

1 总 则

1.0.1 为规范水工建筑物岩石地基开挖施工，保障工程安全及质量，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于水利水电工程水工建筑物岩石地基明挖施工。

1.0.3 本标准主要引用下列标准：

GB 6722 爆破安全规程

SL 52 水利水电工程施工测量规范

SL 377 水利水电工程锚喷支护技术规范

SL 398 水利水电工程施工通用安全技术规程

SL 399 水利水电工程土建施工安全技术规程

SL 551 土石坝安全监测技术规范

SL 601 混凝土坝安全监测技术规范

SL 631 水利水电工程单元工程施工质量验收评定标准——

土石方工程

SL 714 水利水电工程施工安全防护设施技术规范

SL 721 水利水电工程施工安全管理导则

DL/T 5333 水电水利工程爆破安全监测规程

1.0.4 水工建筑物岩石地基开挖施工除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 建基面 surface of foundation

与水工建筑物直接相连的基岩面。

2.0.2 保护层 reserved layer

为防止爆破对建基面或保留岩体造成破坏或不利影响，在紧邻建基面或保留岩面预留的一定厚度岩体。

2.0.3 预裂爆破 presplit blasting

沿开挖边界布置密集炮孔，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。

2.0.4 光面爆破 smooth blasting

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

2.0.5 台阶爆破 bench blasting

在台阶状的开挖面上进行的钻孔爆破作业，也称为梯段爆破。

2.0.6 单段起爆药量 charge weight per delay

延时爆破时，同一段别起爆的炸药总量。

2.0.7 爆破影响范围 blast-induced damage range

在爆破荷载作用下，保留介质受影响的范围。

3 基本规定

3.0.1 工程施工前，应对施工周边环境进行调查，根据有关技术要求、地质条件、水文气象、施工环境等因素制定开挖施工方案，施工过程中应根据实际情况及时进行调整。

3.0.2 应对开挖轮廓线以外的边坡进行必要的削坡、危石清理和加固，并形成排水系统。

3.0.3 开挖施工中应及时对相关作业进行检查、处理和验收，验收合格后方可进行下一工序施工。

3.0.4 建基面开挖偏差，应该满足设计要求。无设计要求时，应按下列要求执行：

1 边坡开挖坡面的平均坡度不陡于设计坡度；坡脚标高允许偏差为 $\pm 20\text{cm}$ ；坡面局部欠挖不大于 20cm ，超挖不大于 30cm 。

2 无结构要求或无配筋的基坑：断面长或宽不大于 10m 时，允许偏差为 $-10\sim 20\text{cm}$ ；长或宽大于 10m 时，允许偏差为 $-20\sim 30\text{cm}$ ；坑（槽）底部标高允许偏差为 $-10\sim 20\text{cm}$ ；垂直或斜面平整度允许偏差为 20cm 。

3 有结构要求或有配筋预埋件的基坑：断面长或宽不大于 10m 时，允许偏差为 $0\sim 10\text{cm}$ ；长或宽大于 10m 时，允许偏差为 $0\sim 20\text{cm}$ ；坑（槽）底部标高允许偏差为 $0\sim 20\text{cm}$ ；垂直或斜面平整度允许偏差为 15cm 。

3.0.5 当遭遇雷雨天气时，应停止爆破作业。

3.0.6 开挖过程中，需要临时支护的边坡，应根据地质条件、边坡形式、开挖顺序等因素进行支护，支护施工及质量控制应符合 SL 377 的规定。

3.0.7 岩石地基开挖施工安全还应执行 GB 6722、SL 398、SL 399、SL714 及 SL 721 的有关规定。

4 地 质

4.0.1 施工前，应收集工区相关工程地质与水文地质资料，主要包括下列内容：

1 开挖区地层及岩性、岩体分级及应力状况、不良地质问题等。

2 地下水补给、排泄和径流，含水层分布及地下水位、涌水量等特征参数，可溶岩区及岩溶洞穴的性状及规模。

4.0.2 开挖过程中，应开展下列地质工作：

1 及时进行地质编录和分析，检验开挖揭露地质情况和前期地质勘探的符合性。

2 预测和预报可能出现的工程地质问题。

3 针对不良地质问题进行补充勘察。

4.0.3 开挖形成建基面后，应开展下列地质相关工作：

1 编录与测绘建基面工程地质图或展示图。

2 测量开挖轮廓尺寸及高程。

3 按设计要求检测建基面岩体质量。

4 编写基岩面地质报告。

5 开挖方法

- 5.0.1 水工建筑物岩石地基开挖可采用钻孔爆破法和非爆破方法。
- 5.0.2 选择开挖方法时应进行技术、经济、安全和环境保护等多因素综合比较。
- 5.0.3 开挖应自上而下进行。某些部位如需上、下同时开挖，应制定专项安全技术措施。
- 5.0.4 严禁采用自下而上造成岩体倒悬的开挖方式。
- 5.0.5 设计边坡采用钻孔爆破法开挖时，应采用预裂爆破或光面爆破开挖成型。
- 5.0.6 水平建基面采用钻孔爆破法开挖时，宜采用预留保护层开挖方法；经试验论证，也可采用不留保护层但有特殊措施的台阶爆破法。

6 排 水

- 6.0.1** 应按照水土保持、环境保护及水工建筑物永久排水要求，进行开挖区施工排水规划和设计。
- 6.0.2** 施工区排水应遵循“高水高排”的原则，避免高处水流入基坑。
- 6.0.3** 在边坡开挖施工过程中，应根据施工需要设置必要的临时排水与截水设施。
- 6.0.4** 基坑开挖施工过程中，应根据排水规划配置足够的设备，及时排出施工区的积水。

7 测量控制

7.0.1 水工建筑物岩石地基开挖施工应及时进行以下测量工作：

- 1 建立施工测量控制网点。
- 2 测绘开挖区原始地形图和原始断面图。
- 3 在开挖面标示特征桩号、高程及开挖轮廓控制点。
- 4 开挖轮廓面和开挖断面放样测量。
- 5 边坡面或建基面开挖断面测量。
- 6 绘制开挖竣工图，提交中间验收和竣工验收测量资料。

7.0.2 开挖轮廓点的点位中误差应符合表 7.0.2 的规定，设计另有要求时应按设计要求执行。

表 7.0.2 开挖轮廓点的点位中误差

工程部位	点位中误差/mm	
	平面	高程
主体工程部位的地基轮廓点	$\pm 50^a$ 或 ± 100	± 100
预裂爆破和光面爆破孔定位点	± 10	± 10
主体工程部位的坡顶点、中间点、非主体工程部位的地基轮廓	± 100	± 100
土、砂、石覆盖面开挖轮廓点	± 200	± 200
a: $\pm 50\text{mm}$ 的误差仅指有密集钢筋网的部位。 注：点位中误差均以相对于邻近控制点或测站点、轴线点确定。		

7.0.3 原始地形图及剖面图比例尺可选用 1 : 500 ~ 1 : 200，竣工地形图及剖面图的测量比例尺可选用 1 : 200 ~ 1 : 100。

7.0.4 开挖区附近永久和临时施工测量控制点应相对稳定，控制网等级及精度应符合 SL 52 的规定。

7.0.5 开挖过程中，应测绘开挖区域平面图、剖面图、主要高程点以及土石分界线。

7.0.6 每次开挖均应放样，并应及时检查超欠挖情况。

8 钻孔爆破

8.1 一般规定

8.1.1 台阶爆破钻孔直径不宜大于 150mm；紧邻保护层的台阶爆破、预裂爆破、光面爆破钻孔直径不宜大于 110mm。

8.1.2 紧邻建基面和设计边坡的开挖爆破应采用毫秒延时起爆网路。

8.1.3 有水或潮湿条件下爆破时，宜采用抗水防潮爆破器材，若采用不抗水或易潮湿的爆破器材，应采取防水或防潮措施。寒冷地区冬季爆破时，应采用抗冻爆破器材。

8.1.4 爆破器材现场管理应符合以下规定：

1 爆破器材应使用专用车（船）按指定线路运输，运达目的地后，应指派专人领取，并认真检查爆破器材的包装、数量和质量。

2 爆破器材到达施工现场后应分开存放，炸药类、射孔弹类和导爆索可同位置存放，雷管类起爆器材应单独存放。

3 施工现场装卸爆破器材地点应设置明显警戒标识。装卸爆破器材应轻拿轻放。

8.1.5 在雷雨季节和附近有通信基站等射频源时，应采用非电起爆网路或工业电子雷管起爆网路。

8.1.6 对噪声有限制的爆破，地表起爆网路应采取有效控制措施。

8.1.7 爆后检查及盲炮处理等应符合 GB 6722 的有关要求。

8.2 爆破试验

8.2.1 钻孔爆破施工前或施工中应进行爆破试验，爆破试验可结合生产进行。

8.2.2 爆破试验前，应编制爆破试验大纲。

8.2.3 根据工程等级和爆破复杂程度，爆破试验宜选择以下内容进行：

- 1 爆破器材性能试验。
- 2 爆破参数试验。
- 3 起爆网路试验。
- 4 爆破影响范围（含保护层）测试。
- 5 爆破振动效应测试。
- 6 数值计算分析。

8.2.4 爆破试验应按工程技术要求，选择地质条件有代表性的区域进行，试验区域的选择应进行爆破安全论证。

8.2.5 爆破试验应符合下列要求：

- 1 爆破器材性能试验采用专用仪器进行测试。
- 2 爆破参数试验根据设计要求进行，并结合爆破试验成果调整爆破参数。
- 3 起爆网路试验根据设计网路进行模拟试验。
- 4 爆破影响范围采用宏观调查、地质描述方法或声波法确定，宜结合数值计算进行对比分析。
- 5 爆破振动效应测试采用质点振动速度测试方法，质点振动速度传播规律按附录 A 的经验公式进行统计分析确定。
- 6 爆破对边坡的稳定性影响，宜根据数值计算结果并结合宏观调查和现场试验成果进行综合分析判定。

8.3 爆 破 设 计

8.3.1 爆破设计应根据工程设计要求、地形地质情况、爆破试验和监测成果、爆破器材性能及施工机械等确定，并应包括下列内容：

- 1 工程概况。
- 2 工程地质及水文地质条件。
- 3 孔网参数。
- 4 炸药品种、用量及装药结构。

- 5 起爆网路。
 - 6 爆破安全控制及防护措施。
 - 7 爆破对环境影响的安全评估。
 - 8 爆破安全监测。
 - 9 应绘制下列图表：
 - 1) 爆区环境图；
 - 2) 钻孔布置平面图及剖面图；
 - 3) 装药结构图；
 - 4) 起爆网路设计图；
 - 5) 爆破器材用量表；
 - 6) 安全防护、警戒图。
- 8.3.2 地质条件发生变化时，应及时调整爆破参数。
- 8.3.3 爆破对环境影响的安全评估应包括下列内容：
- 1 爆破振动、爆破冲击波、爆破飞石、滚石和噪声等对人员、动物、建（构）筑物及重要设备设施的影响程度和范围。
 - 2 爆破对保留岩体的影响程度和范围。
 - 3 爆破对不良地质地段岩体的影响程度和范围。
 - 4 粉尘、有毒有害气体对空气质量的影响。
 - 5 爆破对水环境的影响。

8.4 爆破施工

- 8.4.1 钻孔爆破施工应按批准的爆破设计实施。
- 8.4.2 钻孔质量应符合下列要求：
- 1 钻孔孔位应根据爆破设计进行放样。
 - 2 主炮孔的开孔偏差不宜大于钻头直径；预裂爆破孔和光面爆破孔的开孔偏差应符合表 7.0.2 的规定。
 - 3 钻孔孔向应符合爆破设计规定。主炮孔角度偏差不应大于 $1^{\circ}30'$ ；预裂爆破孔和光面爆破孔角度偏差不应大于 1° 。
 - 4 钻孔孔深应符合爆破设计规定。主炮孔孔深偏差宜为 $0\sim+200\text{mm}$ ，预裂爆破孔和光面爆破孔孔深偏差宜为 $\pm 50\text{mm}$ 。

5 已完成的钻孔，孔内岩粉和积水应清理干净，孔口应采取保护措施。

6 因炮孔堵塞无法装药时，应扫孔或重新钻孔。

8.4.3 炮孔装药应符合下列要求：

1 装药前应对炮孔质量进行检查，对不符合设计要求的炮孔进行处理。

2 应按设计装药结构、雷管段别进行装药。

3 不应使用金属或其他带静电材质的炮棍装药。

4 起爆药包装入炮孔后，应采取有效措施防止后续药卷直接冲击起爆药包。

5 装药发生卡塞时，在雷管或起爆药包装入前，应用非金属长杆处理，装入雷管或起爆药包后，则严禁使用任何工具冲击、挤压。

6 装药过程中，应保护好起爆雷管脚线。

7 采用装药车、装药器以及现场混装炸药车进行装药时，应遵守 GB 6722 的有关规定。

8.4.4 炮孔填塞应符合下列要求：

1 宜用黄泥、岩粉或瓜子石等作为填塞材料。

2 采用水袋填塞时，孔口应用不小于 0.3m 长的炮泥进行封堵。

3 填塞过程中，应防止炮棍直接冲击起爆雷管脚线。

4 应按设计填塞长度进行填塞。

8.4.5 起爆网路连接应符合下列要求：

1 应按爆破设计进行连接和保护。

2 采用导爆管起爆网路时，炮孔内不应有接头，导爆管不应有死结；孔外相邻传爆雷管间以及传爆雷管与相邻导爆管间留有足够的安全距离。

3 工业电子雷管应采用专用仪器进行检测、注册、编号和延期时间设定，并用专用起爆器进行起爆。工业电子雷管起爆规模应符合起爆器的起爆能力。

8.4.6 多个相邻爆破作业面同一时段爆破时，应统一指挥协调，统一起爆信号。

8.5 预裂爆破和光面爆破

8.5.1 预裂爆破和光面爆破效果，除应符合 3.0.4 条的规定外，还应符合下列要求：

1 预裂爆破形成的裂缝面应沿开挖轮廓面贯通。

2 在开挖轮廓面上，炮孔痕迹应均匀分布。完整岩体，半孔率应达到 90% 以上；较完整—较破碎岩体，半孔率应达到 60% 以上；破碎岩体，半孔率应达到 20% 以上。

3 相邻两孔间不平整度应小于 15cm。不允许欠挖部位应满足结构尺寸要求。半孔壁面不应有明显爆破裂隙，除明显地质缺陷处外，不应产生裂隙张开、错动及层面抬动等现象。

8.5.2 台阶开挖部位，预裂孔孔底高程应高于下一台阶顶面高程，预裂孔平面布置范围应超出相应台阶爆破区平面范围，具体控制尺寸应经试验确定。

8.5.3 若在同一起爆网路中起爆，预裂爆破孔先于相邻台阶炮孔起爆的时间不应小于 75ms。

8.5.4 预裂爆破或光面爆破的最大单段起爆药量，不宜大于 50kg。

8.5.5 预裂爆破或光面爆破应采用不耦合装药结构，经试验论证也可采用聚能装药结构。

8.5.6 采取分区爆破时，宜在分区边界面实施施工预裂爆破。

8.6 台阶爆破

8.6.1 台阶爆破应符合下列要求：

1 台阶高度不宜大于 15m。

2 爆破石渣粒径和爆堆，应适合挖掘机械作业。需利用的爆破石渣，其粒径和级配还应符合有关要求。

3 爆破对紧邻爆区岩体的破坏范围小，爆区底部炮根少且

较为平整。

4 爆破振动效应、空气冲击波、噪声强度应符合 GB 6722 的规定。

5 爆破飞石应符合爆破设计要求。

8.6.2 紧邻设计边坡宜设缓冲孔。

8.6.3 台阶爆破的最大单段起爆药量不应大于 300kg；邻近设计建基面和设计边坡的台阶爆破以及缓冲爆破的最大单段起爆药量不应大于 100kg。设计另有要求的爆破，其最大单段起爆药量应符合设计要求，或通过试验确定。

8.6.4 一次爆破排数较多时，宜每隔 4~5 排设置一排加密炮孔。

8.6.5 水工建筑物岩石地基开挖，除应按要求控制单段起爆药量外，还应控制一次爆破总装药量和起爆排数。

8.7 保护层爆破

8.7.1 紧邻建基面保护层爆破效果，应不使原生裂隙进一步恶化，并不损害岩体的完整性。

8.7.2 保护层厚度，应由爆破试验确定；无条件试验时，保护层厚度宜为台阶爆破主炮孔药卷直径的 25~40 倍。

8.7.3 紧邻水平建基面保护层开挖时，经试验证明可行，可选用下列爆破方法：

1 沿建基面采用水平预裂爆破或光面爆破时，上部可采用水平孔台阶爆破或浅孔台阶爆破法。

2 孔底无水时，可采用浅孔台阶爆破，孔底加柔性或复合材料垫层。

8.7.4 紧邻水平建基面保护层开挖可采用分层爆破。

8.7.5 水平建基面采用深孔台阶一次爆破开挖时，应进行爆破试验，并应采取下列措施：

1 水平建基面应采用水平预裂爆破方法。

2 台阶爆破的炮孔孔底与水平预裂面应有合适距离，或采

取合适的隔震措施。

8.7.6 沟槽爆破应采用下列措施：

- 1 采用小直径炮孔，分层、分段爆破开挖。
- 2 对于宽度小于 4m 的沟槽，炮孔直径应小于 50mm，炮孔深度宜小于 1.5m。
- 3 沟槽两侧预裂爆破起爆时间间隔不小于 100ms。

8.8 特殊部位爆破

8.8.1 在防洪工程设施附近爆破时，应符合下列规定：

- 1 确需爆破时，应对爆破安全进行专门论证，并经有关主管部门同意。
- 2 相关爆破振动安全允许标准应由爆破模拟试验确定，不具备试验条件的，应符合附录 B 的规定。
- 3 应通过爆破试验，确定适合该场地特征的爆破振动传播规律，进行质点振动速度预报和控制。

8.8.2 在新浇筑大体积混凝土附近爆破时，不同龄期混凝土的爆破振动安全允许标准应按照附录 B 的规定，经过爆破试验论证后实施。

8.8.3 在电站、厂房、开关站等附近爆破时，应按照附录 B 的规定，经过爆破试验论证后实施。

8.8.4 在灌浆区、预应力锚固区、锚喷支护区等部位附近爆破时，应按照附录 B 的规定，经过爆破试验论证后实施。

8.8.5 在公路、铁路、桥梁、油气管道等已有设施附近爆破时，还应按相关行业的技术要求进行爆破有害效应控制。

9 爆破安全监测

9.0.1 应根据工程安全及环境保护要求进行施工期爆破安全监测。

9.0.2 施工期爆破安全监测应包括：开挖爆破作用过程的有害效应、边坡岩体松弛范围和变形、建基面岩体松弛范围、已灌浆部位和已浇混凝土质量等监测和宏观调查。监测项目、安全监测要求及监测仪器校准要求应符合 DL/T 5333、SL 551 和 SL 601 的规定。

9.0.3 应根据开挖规模、施工区的环境条件、地质条件、工程特点等编制爆破安全监测方案。

9.0.4 施工期开挖爆破的动态监测宜选择质点振动速度、质点振动加速度和爆破噪声等项目。

9.0.5 边坡、建基面岩体爆破影响范围检测应采用声波法，进行爆前爆后对比检测。

9.0.6 在爆区周围有需保护建筑物时，应进行爆前爆后的宏观调查。

9.0.7 应收集与施工期爆破安全监测有关的实际爆破参数、爆破效果资料，对监测成果应及时整理和分析。

9.0.8 施工期爆破安全监测过程中，发现异常情况，应及时上报，必要时终止作业并采取措施。

10 非爆破开挖

10.1 一般规定

10.1.1 安全及环境保护有特殊要求时，可采用非爆破开挖方法。

10.1.2 非爆破开挖的施工方法可选用机械开挖或非机械开挖。常用的机械开挖方法包括液压破碎锤破碎、液压分裂机（棒）劈裂、绳锯切割、露天采矿机连续开挖及其组合开挖方法等；非机械开挖方法包括 CO₂ 膨胀破碎、静态破碎和人工撬挖等。

10.1.3 非爆破开挖的施工方法选择应考虑工程类型与规模、周边环境、地形地貌、地质条件、施工工期和安全环保要求等因素，通过综合比较确定。

10.1.4 非爆破开挖施工前或施工中应针对具体开挖方法开展现场试验，确定合理的开挖程序和施工参数，检验开挖效果和施工机械配套效率。

10.1.5 应根据工程设计要求、地形地质条件、现场试验成果和施工机械配套效率等进行非爆破开挖设计，设计内容应包括工程概况、工程地质及水文地质条件、开挖方案、孔网参数或机械工作参数、安全控制及防护措施、环境影响评估等。

10.1.6 非爆破开挖施工应按批准的开挖方案实施，保证施工质量和安全，严格控制施工环境影响。

10.2 机械开挖方法

10.2.1 液压破碎锤可用于软岩开挖、大块石的二次破碎，或作为其他机械开挖方法的辅助手段。

10.2.2 液压分裂机劈裂法应根据机械分裂力确定钻孔深度和开挖厚度，宜辅助破碎锤进行二次破碎。

10.2.3 液压分裂棒劈裂法应根据开挖顺序、机械分裂力确定钻

孔深度、钻孔间距和一次劈裂厚度。

10.2.4 地基开挖料需作为完整石材利用时，可选用绳锯和圆盘锯等机械切割开挖方法。

10.2.5 露天采矿机连续开挖法可用于软岩和节理裂隙发育岩体开挖施工。

10.3 非机械开挖方法

10.3.1 CO₂ 膨胀破碎法施工应进行专项设计，根据参数试验结果，确定钻孔直径、CO₂ 储液管直径、孔网参数和起爆网路等，并进行振动、噪声及飞散物飞散距离的安全校核。

10.3.2 静态破碎法可用于中硬岩地基开挖。施工时应形成开挖临空面，并控制地下水和环境温度等对膨胀破碎效果的影响。

10.3.3 人工撬挖可用于软岩地基开挖、开挖修整或者不良地质部位的处理。

11 出 渣

11.0.1 施工前，应进行出渣道路、弃渣场和开挖料的整体规划和设计，并按选定的渣场进行堆渣（料）。

11.0.2 利用冲沟等地形弃渣的，应制定施工期度汛和排水、截水方案。

11.0.3 出渣方式应根据爆堆情况确定，并观察开挖边坡稳定状况，做好安全协调与警戒工作。

11.0.4 出渣结束后，应对坡面浮石、挂渣、危岩进行及时处理。

11.0.5 开挖渣料应按要求分类堆放。

11.0.6 堆（弃）渣场应保持边坡自身稳定，必要时进行分层碾压。

11.0.7 出渣运输和堆（弃）渣应符合水土保持、环境保护等要求。

12 环境影响控制

12.0.1 边坡开挖过程中，应采取有效措施防止石渣下河堵塞河道或雍高水位。

12.0.2 钻孔过程中应采取集尘措施；出渣运输应采取必要的抑尘措施。

12.0.3 宜采用延时爆破技术，降低爆破振动有害效应。

12.0.4 炮孔填塞宜采取水袋填塞技术，爆破区域可采用水雾降尘措施，以减少爆破粉尘。

12.0.5 宜选用零氧平衡的炸药，减少有毒有害气体排放。

12.0.6 应对预裂爆破或光面爆破孔外连接导爆索进行覆盖，减低爆破噪声。

13 检查处理与检验评定

13.1 检查与处理

13.1.1 应及时对地基进行检查和处理，主要内容包括地基面形体尺寸、地基岩体开挖质量的检查与处理。

13.1.2 地基岩体质量检查，应采用宏观调查、地质描述或声波测试法，质量标准见附录 C，也可采用设计文件规定的方法与标准。

13.1.3 地基处理应符合下列要求：

- 1 地基面有欠挖时，按设计要求进行处理。
- 2 地基面有尖角岩体（块）时，应处理成钝角或弧形状。
- 3 地基面上泥土、破碎岩石和松动岩块，以及不符合质量要求的岩体，应清除或处理。
- 4 地基面地质缺陷和遗留的钻孔、平洞、竖井等处理，均应符合设计要求。
- 5 易风化、软化和冻裂的软弱地基面，上部水工建筑物暂不施工覆盖时，处理或防护应符合设计要求。
- 6 地基处理工作完成后，地基面宜采用高压水（风）枪冲洗，直至满足检验要求。全风化、强风化岩层的边坡坡面清理，宜采用清扫和高压风冲洗相结合的方式。

13.2 检验与评定

13.2.1 地基经检查处理满足设计要求后，按 SL 631 的规定进行质量检验与评定。

13.2.2 地基质量检验与评定应提供以下资料：

- 1 地质素描图，不良地质地段处理资料。
- 2 实测开挖图及测量资料。
- 3 地基岩体质量检查成果。
- 4 重要隐蔽单元工程的质量评定成果。

附录 A 质点振动速度传播规律经验公式

A. 0. 1 质点振动速度传播规律可按下列经验公式确定：

$$V = K(Q^{1/3}/R)^\alpha \quad (\text{A. 0. 1})$$

式中 V ——质点振动速度，cm/s；

Q ——爆破装药量，齐发爆破时取总装药量，分段延时爆破时可取有关段或最大单段装药量，kg；

R ——分段药量的几何中心至监测点的距离，m；

K 、 α ——与场地地形及地质条件、爆破条件等有关的系数和衰减指数，由现场爆破试验确定。

A. 0. 2 当考虑爆破区与监测点的高程差影响时，质点振动速度传播规律可采用下列经验公式确定：

$$V = K(Q^{1/3}/R)^\alpha e^{\beta H} \quad (\text{A. 0. 2})$$

式中 V ——质点振动速度，cm/s；

Q ——爆破装药量，齐发爆破时取总装药量，分段延时爆破时可取有关段或最大单段装药量，kg；

R 、 H ——分段药量的几何中心至监测点的水平距离和高程差，m；

K 、 α 、 β ——与场地地形及地质条件、爆破条件等有关的系数和衰减指数，由现场爆破试验确定。

附录 B 爆破振动安全允许标准

表 B-1 民用建筑物的爆破振动安全允许标准

序号	保护对象类型	安全允许质点振动速度/(cm/s)		
		主频 $\leq 10\text{Hz}$	$10\text{Hz} < \text{主频} \leq 50\text{Hz}$	主频 $> 50\text{Hz}$
1	土窑房、土坯房、毛石房屋	0.15~0.45	0.45~0.9	0.9~1.5
2	一般民用建筑物	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0
3	工业和商业建筑物	2.5~3.5	3.5~4.5	4.5~5.0
4	一般古建筑与古迹	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.5

注 1：表列主频为主振频率。
注 2：主频范围可根据类似工程或现场实测波形选取。

表 B-2 防洪工程的爆破振动安全允许标准

序号	防洪工程类型	安全允许质点振动速度/(cm/s)
1	防洪建（构）筑物（设计水位以下挡水）	0.5~1.0
2	不挡水的土堤	1.0~2.0
	不挡水的钢筋混凝土挡墙	2.0~3.0

注 1：控制点位于堤防背水面堤脚或基础，测点布置在堤顶时，其允许值可提高 0.5~1.0 倍。
注 2：设计水位以下挡水，水位高时取小值。

表 B-3 机电设备及仪器的爆破振动安全允许标准

序号	保护对象类型	状态	安全允许质点振动速度/(cm/s)
1	水电站及发电厂中心控制室设备	运行中	0.9
2		停机	2.5
3	计算机等电子仪器	运行中	2.0
4		停机	5.0

注：鉴于机电设备及仪器仪表的控制标准具有一定的复杂性，可根据实际情况确定。

表 B-4 新浇大体积混凝土的爆破振动安全允许标准

序号	龄期	安全允许质点振动速度/(cm/s)		
		主频 $\leq 10\text{Hz}$	$10\text{Hz} < \text{主频} \leq 50\text{Hz}$	主频 $> 50\text{Hz}$
1	初凝~3d	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0
2	3d~7d	3.0~4.0	4.0~5.0	5.0~7.0
3	7d~28d	7.0~8.0	8.0~10.0	10.0~12.0

注 1: 非挡水新浇大体积混凝土的安全允许质点振动速度, 可根据本表给出的上限值选取。
注 2: 控制点位于距爆区最近的新浇大体积混凝土基础上。

表 B-5 灌浆区与预应力锚固区的爆破振动安全允许标准

序号	部位	安全允许质点振动速度/(cm/s)		
		$1\text{d} \leq \text{龄期} < 3\text{d}$	$3\text{d} \leq \text{龄期} < 7\text{d}$	$7\text{d} \leq \text{龄期} < 28\text{d}$
1	灌浆区	< 0.5	0.5~2.0	2.0~5.0
2	预应力锚索(锚杆)	1.0~2.0	2.0~5.0	5.0~10.0

注 1: 地质缺陷部位一般临时支护后再进行爆破, 或适当降低控制标准值。
注 2: 预应力锚索(锚杆)控制点位于锚杆孔口附近、锚墩。

表 B-6 喷射混凝土的爆破振动安全允许标准

序号	部位	安全允许质点振动速度/(cm/s)	
		终凝后 3h 及以内	终凝后 3h 以外
1	喷射混凝土	严禁爆破	5.0~10.0

注 1: 安全允许质点振动速度取值与岩石条件有关, 岩石条件较好的取大值, 较差的取小值。
注 2: 控制点位于距爆区最近喷射混凝土上。

附录 C 判断爆破破坏或地基岩体 开挖质量的标准

C.0.1 采用宏观调查和地质描述方法发现有下列情况之一时，应判断为爆破破坏：

- 1 裂隙频率、裂隙率增大；
- 2 节理裂隙面、层面等软弱结构面张开（或压缩）、错动；
- 3 地质锤锤击发出空声或哑声。

C.0.2 声波测试时，同部位的爆后波速（ C_{P2} ）小于爆前波速（ C_{P1} ），其变化率 η 可按下列式确定：

$$\eta = [1 - (C_{P2}/C_{P1})] \times 100\% \quad (\text{C.0.2})$$

C.0.3 采用声波测试方法判断爆破破坏或地基岩体开挖质量的标准应符合下列规定：

- 1 $\eta \leq 10\%$ 时，岩体无破坏或破坏甚微；
- 2 $10\% < \eta \leq 15\%$ 时，岩体破坏轻微；
- 3 $\eta > 15\%$ 时，岩体破坏或地基岩体开挖质量差。

C.0.4 只在爆后测试时，可用测试部位附近原始状态的波速作为爆前波速，也可根据测试资料的变化趋势和特点进行判断。

标准用词说明

标准用词	严格程度
必须	很严格，非这样做不可
严禁	
应	严格，在正常情况下均应这样做
不应、不得	
宜	允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做
不宜	
可	有选择，在一定条件下可以这样做

标准历次版本编写者信息

SDJ 211—83

本标准主编单位：葛洲坝工程局
长江水利水电科学研究院

SL 47—94

本标准主编单位：中国水利学会施工专业委员会爆破学组
本标准参编单位：长江科学院
长江水利委员会设计局
本标准主要起草人：朱传统 张正宇 曹稼良

中华人民共和国水利行业标准

水工建筑物岩石地基开挖施工技术规范

SL 47—2020

条 文 说 明

目 次

1	总则	29
3	基本规定	30
4	地质	34
5	开挖方法	35
6	排水	37
7	测量控制	38
8	钻孔爆破	39
8.1	一般规定	39
8.2	爆破试验	40
8.3	爆破设计	44
8.4	爆破施工	46
8.5	预裂爆破和光面爆破	47
8.6	台阶爆破	48
8.7	保护层爆破	49
8.8	特殊部位爆破	51
9	爆破安全监测	53
10	非爆破开挖	55
10.1	一般规定	55
10.2	机械开挖方法	56
10.3	非机械开挖方法	57
11	出渣	59
12	环境影响控制	60
13	检查处理与检验评定	61
13.1	检查与处理	61
13.2	检验与评定	61
附录 C	判断爆破破坏或地基岩体开挖质量的标准	62

1 总 则

1.0.1 在水工建筑物岩石地基开挖的施工、检查处理与检验评定过程中，保障施工安全和提高开挖质量是最为重要的问题，因此制定本标准约束施工行为是十分必要的。

1.0.2 本标准适用于新建、改建、扩建的水利水电工程中的水工建筑物岩石地基开挖工程。

水工建筑物岩石地基开挖，主要是指在露天条件下地基面（含设计建基面和边坡轮廓面）及以上岩体的开挖；地下开挖执行 SL 378；水下开挖可参照执行。

SL 47—94《水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范》规定“适用于中型及以上规模的水利水电工程施工”，本次规定“适用于水利水电工程水工建筑物岩石地基开挖施工”。近年来，随着水利水电工程建设的规范管理，各类各等级水利水电工程建设均要求进行专门开挖设计，并提出技术要求，目前各类各等级水利水电工程建设的招标文件中有关开挖技术要求均参照 SL 47—94，并没有因为工程等级低而降低开挖技术要求，小型水利水电工程的水工建筑物岩石地基开挖可根据具体情况和条件简化执行本标准。

水利水电工程等级划分见 SL 252—2017《水利水电工程等级划分及洪水标准》。

3 基本规定

3.0.1 周边环境对开挖爆破施工的影响很大，特别是当周边有需保护建筑物、需保护设施时，更需要采取相应的安全防护措施。在开挖前，通过现场仔细调查，摸清各类保护对象种类与特性，才能从爆破技术、安全防护等方面完善相应的施工方案，确保周边保护对象的安全。

有关技术要求一般包括招标文件要求、施工技术要求、设计文件和施工图纸要求、相关技术标准。开挖施工方案主要内容包括：

- (1) 工程概况。
- (2) 施工布置、施工程序和施工方法。
- (3) 进度计划及工期保证措施。
- (4) 劳动力、材料和设备等资源配置。
- (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) 组织机构及职责。
- (8) 施工质量、施工安全方面的技术要求和措施。
- (9) 存在的问题和解决办法。
- (10) 其他。

地质条件的变化对开挖和支护方案影响较大，施工单位需根据设计要求制定相应方案。当实际地质情况发生变化时，施工单位要及时上报，必要时设计单位需对开挖和支护的设计方案进行修改，施工单位可根据设计修改及时调整开挖和支护方案。

3.0.2 做好条文所述的工作，是施工安全的需要。做好排水，可使设计边坡少受或免受地表水的危害；过程中还要尽量减少对天然植被的破坏。

3.0.3 为了保证施工安全和开挖质量，并避免出现形成较高边

表 1 爆破开挖钻孔质量检查表

承建单位：		合同编号：			
单位工程名称		分部（分项）工程名称			
单元工程名称		工程部位			
施工方法					
施工依据					
检查项目	设计值	允许偏差		检查值	备注
		主炮孔 或缓冲孔	预裂爆破孔 (光面爆破孔)		
钻孔数					
台阶高度/m					
孔径/mm					
排距/m					
孔距/m					
孔斜/(°)					
孔深/m					
承建单位	初检	复检		终检	
	意见： 签名： 年 月 日	意见： 签名： 年 月 日	意见： 签名： 年 月 日	意见： 签名： 年 月 日	意见： 签名： 年 月 日
监理单位	检查意见：				
监理工程师签名： 年 月 日					

表 2 爆破开挖装药质量检查表

承建单位:		合同编号:				分部(分项)工程名称				
单位工程名称		工程部位								
单元工程名称										
施工方法										
施工依据										
检查项目	设计值				允许偏差				检查值	
	主炮孔 或缓冲孔	预裂爆破孔 (光面爆破孔)	主炮孔 或缓冲孔	预裂爆破孔 (光面爆破孔)	主炮孔 或缓冲孔	预裂爆破孔 (光面爆破孔)	主炮孔 或缓冲孔	预裂爆破孔 (光面爆破孔)	备注	
总装药量/kg										
单孔药量/kg										
单段药量/kg										
线装药密度 /(g/cm)										
堵塞长度/m										
爆破作业单位	爆破时间									
起爆网路图:										
承建单位	初检				复检				终检	
	意见:		签名: 年 月 日		意见:		签名: 年 月 日		意见:	
监理单位	检查意见:									
										监理工程师签名:
										年 月 日

坡后的补充作业，特作此规定。检查处理与验收一般在一个台阶开挖完毕后及时进行，其后再进行下一台阶开挖。在上一台阶边坡和马道的施工期临时加固工程完成前，不可进行下一台阶开挖。为了保证施工安全和开挖质量，对于存在不稳定块体、岩溶等不良地质地段，必要时要先采取加固措施后再开挖爆破。开挖过程中要控制爆破有害效应，加强安全监测。

在钻孔、装药、联网等作业完成后也需进行检查和处理，钻孔、装药、联网等检查表格需参照表 1 及表 2。

3.0.5 当雷电到达爆区时，可能会击中雷管引起早爆事故，故规定雷电来临时要停止爆破作业。

3.0.6 对部分临时边坡，或永久支护无法及时实施的永久边坡，往往因施工安全需要而进行临时支护。

4 地 质

4.0.1 开挖前，要收集对开挖施工方案和安全有影响的工程地质与水文地质资料。工程地质和水文地质条件对水工建筑物结构布置和施工开挖方案均有直接的影响。开挖施工中，要进行工程地质和水文地质的编录、预测和预报工作。如工程地质和水文地质的实际情况与设计条件不符，特别是存在不良地质问题时，在设计按规定做出修正的同时，根据实际地质条件调整施工方案，必要时进行补充勘测工作。不良地质问题主要包括：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，地下水活动较严重的岩体等。

4.0.2 在开挖过程中，更多的地质信息得到揭露，通过开挖后地质编录和测绘工作，可作为前期地质勘察资料的补充，同时根据最新地质资料的分析，对可能出现的工程地质问题进行预测和预报，及时调整施工方案，确保施工安全。对于不良工程地质问题要根据实际情况开展专项研究，提出相应的处理意见。

4.0.3 开挖完成后，对建基面进行地质编录、测绘和岩体声波波速检测，并依据实际地质条件和声波波速对地基（含边坡）进行最终的质量安全评价，为工程竣工验收提供资料。

5 开挖方法

5.0.1 长期以来水利水电工程水工建筑物岩石地基开挖主要采用爆破法施工。与其他爆破方法相比，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，爆破安全性好，爆破有害效应小，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，采用钻孔爆破法施工有利于保证岩石地基开挖质量及周围建筑物或防护目标的安全。近年来，随着液压破碎锤破碎、液压分裂机（棒）劈裂、绳锯切割、CO₂ 膨胀破碎、静态破碎剂破碎等非爆破技术的发展，在水工建筑物岩石地基开挖的某些特殊部位，特别是对爆破振动、飞石、噪声等控制要求严格的区域，也可采用这些非爆破技术施工。

5.0.2 要结合工程实际，充分考虑技术、经济、安全、环境保护等因素，进行开挖方法比选。

5.0.3 开挖顺序的规定，目的是为了保证施工安全。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。如果某些部位确需上下同时施工时，只有经安全技术论证可行并报相关部门批准，采取有效的安全措施后方可施工。

5.0.4 自下而上开挖，极易造成施工安全事故，特别是对于造成岩体倒悬的开挖情况。

5.0.5 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，因而条文所述的规定是基于下述理由：

(1) 预裂爆破和光面爆破，是已成熟的钻孔爆破技术。只要爆破参数合理选择，预裂爆破和光面爆破就能形成质量好的边坡（或地基）轮廓面，可减少超（或欠）挖，减小台阶爆破对边坡保留岩体的有害影响。成功的预裂爆破和光面爆破，有标准正文 8.5.1 所述的效果。

(2) 预裂面还有减震作用，一般优先采用预裂爆破；对于岩石较破碎的部位可优先采用光面爆破。

5.0.6 在水平建基面的开挖过程中，预留一定厚度的保护层可防止台阶爆破产生的爆破裂隙延伸到建基面，减小上部爆破对建基面的破坏影响。随着爆破技术的发展和新工艺的出现，可对台阶爆破的底部破坏影响进行控制，而不需要预留保护层，但不留保护层的水平建基面台阶爆破法需采取一些特殊措施或施工工艺（参见标准正文 8.7），经试验验证可行，并经相关部门批准后方可实施。

6 排 水

6.0.1 施工前，利用收集到的水文气象、工程地质与水文地质资料，做好施工期排水规划，以满足水土保持和环境保护要求，并满足施工需要。工作场地有水，对边坡稳定不利，妨碍施工，故要求将水及时排出。可结合工程永久排水设施，设置截（排）水沟和集水井（坑）。

基坑积水中含有油垢和炸药爆炸后的一些有害成分等，排入河流会对水环境造成一定程度的污染，因而要求采用有效措施对污水进行收集处理。污水处理后的中水，可作为养护水或水土保持浇灌水。

6.0.2 对于施工区不同高程可能影响施工的地下水和地表水，需就近开挖集水坑和排水沟，并设置足够的排水设备，及时将水排至不影响施工的适当地点，尽可能避免高处水流入基坑。

6.0.3 在开挖施工过程中，需在边坡坡顶和马道等部位设置截水沟、排水沟。

6.0.4 施工区积水有碍施工，还将影响建基面的开挖爆破质量。基坑来水包括河流渗水、雨水、施工用水、两岸地表径流水和地下渗流水等。若来水量很大，影响施工，除采用堵（堵漏）、截（截流）、引（引流）等办法减少基坑中的来水量外，还需配备足够的排水设备及时排出施工区积水。

7 测量控制

7.0.2 有混凝土覆盖的地基一般不允许欠挖。

7.0.3 本条的测图比例尺比 SL 52《水利水电工程施工流量规范》的规定要求高，需结合 SL 52 其他规定执行。

7.0.4 控制网分平面控制网和高程控制网，其等级与精度要根据工程规模、开挖放样精度要求确定，SL 52 中有明确规定。

7.0.5 每一台阶开挖，均要沿开挖轮廓测绘平面、剖面图和主要高程点以及土石分界线，为开挖设计提供依据。每一台阶按设计要求进行开挖，才能保证整体开挖满足设计要求。测量比例参照正文 7.0.3 条规定，测量精度按正文表 7.0.2 规定，剖面图的测量间距可在 5~20m 范围内选择。有特殊要求的部位按设计要求进行。

7.0.6 每循环开挖均要放样，以保证按设计要求进行钻孔，并对前次循环出现的超欠挖进行及时处理。

8 钻孔爆破

8.1 一般规定

8.1.1 由于钻孔直径、钻孔方式等对水利水电工程岩石地基开挖质量具有直接的影响，故对钻孔作业进行了一些必要的规定。主要根据地形地质条件、开挖方式和规模、施工强度等条件，选用钻孔机械。

规定钻孔直径，是基于水利水电工程对岩石地基开挖质量的严格要求和目前的施工现状。若钻孔直径大于 150mm，孔内装药直径大，单孔装药量大，爆破的有害效应也大，这对地基开挖质量不利，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，钻孔直径不宜大于 150mm。

紧邻保护层的台阶爆破钻孔直径不宜大于 110mm，有利于保护建基面的质量；预裂爆破和光面爆破的钻孔直径不宜大于 110mm，是为了控制不耦合系数在合理范围内。

8.1.2 采用毫秒延时起爆网路有利于控制最大单段起爆药量，减小爆破对建基面和边坡的不利影响。

8.1.3 不抗水或易受潮的爆破器材，浸水后会失效，受潮后易变质，使用它们会拒爆或炸药爆轰不完全，达不到预期的爆破效果。不抗冻的爆破器材，冻结后会变质，有时也会拒爆。

8.1.4

1 如果包装破损、数量与质量不符，要立即报告有关部门，并在有关代表参加下编制报告书，分送有关部门。

3 装卸爆破器材的地点要远离人口稠密区并设置明显标识：白天悬挂红旗和警标，夜晚有足够的照明并悬挂红灯。人工搬运爆破器材时，要遵守 GB 6722《爆破安全规程》的相关规定。

8.1.5 雷雨季节和多雷地区，采用电爆网路易发生雷电引起电雷管早爆的事故，故要采用非电起爆网路或其他可抗雷电的起爆

网路（如工业电子雷管网路等）。

8.1.6 导爆索起爆网路产生的爆破噪声较大，当对噪声有限制时，可采用非电雷管起爆网路或工业电子雷管起爆网路。

8.2 爆破试验

8.2.1 爆破试验可分为现场原型、现场模型、室内模型试验和数值计算分析四种类型，一般以现场原型试验和数值计算相结合为主，因为现场原型试验直观、可靠，便于直接应用；数值计算分析经济、全面，便于效果预报。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做试验，这样做既结合生产，又节省试验费用；数值计算分析可利用少量的试验资料进行分析预报。爆破试验是一项必须进行的工作。

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，对保证地基开挖质量和建筑物及防护目标的安全，加快施工进度，推动爆破技术的发展，都起到了关键作用。本标准很多条款也是在试验研究成果的基础上制定的。但是，由于施工场地的地形地质条件、爆破作用过程的复杂性和多变性，使得某些已有的试验研究成果不能简单套用，各工程还需依据自身特点，通过试验确定适合工程特点的各种爆破方式下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，亦要求进行爆破试验。

数值计算分析技术虽然发展已有几十年历史，在某些行业已广泛应用，但在工程爆破领域，一般只在一些重点工程中采用，如：三峡、小湾、龙滩等。采用 LS-DYNA 等程序对边坡在爆破荷载作用下的稳定性进行评价；采用 DDA 等程序对爆破后的爆堆形状进行预报；采用 ANSYS 等程序对爆破荷载作用下中远区的结构物安全性进行评价等，是一种经济、快捷的手段。由于岩体结构的复杂性，数值计算也需要利用试验实测资料进行分

析，因此，现阶段的现场爆破试验还不可或缺。

由于模型试验的动力相似难以满足要求，因此，较难通过模型试验来获得准确的爆破参数，但通过模型试验可对爆破后的现象进行分析研究，从而优化爆破参数和爆破方案。

8.2.2 爆破试验大纲（计划）的主要内容包括：

- (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) 数值计算分析（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。

8.2.3 爆破试验内容主要根据设计、施工和安全与防护要求选择。本条所述爆破试验内容，不包括爆破空气冲击波（或噪声）、水中冲击波（或动水压力）、飞石和有害气体等效应的试验，在特殊情况下，根据需要选择相关项目列入试验内容。如：向家坝水电站紧邻某城镇，施工初期爆破噪声及空气冲击波超压较大，虽然爆破产生的振动仅为本标准允许值的 1/10，但居民对爆破仍然有抱怨，随后进行爆破试验和监测，在各方努力下爆破噪声得到有效控制，施工得以顺利进行。

1 爆破器材性能试验的主要目的：检测实际施工中使用的爆破器材性能指标，是否满足实际工程需要，并为爆破设计和分析爆破效果提供依据。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、延期时间误差等试验。

2 爆破参数试验主要包括：

(1) 确定适合施工场地地质条件的预裂爆破、光面爆破和台阶爆破参数。

(2) 确定采用有或无岩体保护层的一次爆破法台阶爆破参数。

(3) 确定各种开挖条件的爆破参数。

爆破参数是否合理，除根据爆破效果判断外，还要结合爆破破坏范围、爆破有害效应测试成果进行综合分析确定。

3 重要的爆破要进行起爆网路试验，目的是检查起爆网路的传爆可靠性、起爆网路的起爆延时误差等。

4 爆破影响范围测试主要包括：

(1) 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。

(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 爆破振动效应试验主要包括：

(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，配合爆破破坏范围测试，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。

6 数值计算分析主要包括：

(1) 对爆破荷载作用下的边坡稳定性和爆区周围需保护物的安全性进行预报。

(2) 对不同爆破部位允许的最大单段起爆药量进行预报。

(3) 对爆堆形状等爆破效果进行预测。

(4) 对爆区周围保留岩体的破坏情况进行预报，将数值分析结果与实测值进行对比分析，确定保护层的厚度或爆破影响范围。

8.2.4 爆破试验区域应有代表性，便于试验成果的推广应用。爆破试验的结果可能成功也可能失败，失败的试验产生的爆破有害效应就可能对周围保护物和环境造成一定程度的破坏。因此，在试验场地的选择时，要预估万一爆破试验失败造成的危害程度

和影响范围，也就是说选择的试验场地即使产生爆破有害效应，对周围的影响也在可控、可接受范围内。

8.2.5

1 爆破器材性能试验：炸药和导爆索爆速采用爆速仪测试；毫秒雷管延期时间采用采样频率在 10kHz 以上的记录设备进行测试。

2 爆破参数试验：

(1) 预裂（光面）爆破参数试验，确定孔间距、线装药密度、装药结构及填塞长度等。

(2) 台阶爆破参数试验，确定孔距、排距、炸药单耗、装药结构及填塞长度等，测试爆堆形状、大块率等。爆渣有级配要求时，确定爆渣粒径及级配。一次爆破排数超过 6 排，要确定加密孔的位置、间距、装药量、装药结构及填塞长度等。

(3) 缓冲孔爆破参数试验，确定孔间距、抵抗线、至预裂面的距离、单孔装药量、装药结构、填塞长度等。

3 起爆网路要进行实爆试验或等效模拟试验：

(1) 网路实爆试验。按设计网路进行起爆试验。施工中结合爆破效果、振动强度及破坏范围的测试结果，对起爆网路进行优化。

(2) 等效模拟试验。电爆网路至少有一条支路按设计进行雷管连接，其他各组可用等效电阻试验，验证网路的准爆性，并测试传爆时间。

导爆索网路或导爆管网路，可用排间传爆主网路及最后一排支路或延期时间最长的一排支路进行试验，并测试传爆时间。

4 爆破对保留岩体的破坏范围测试：测定预裂爆破前后保留岩体的声波变化，确定预裂爆破后保留岩体的破坏范围；测定台阶爆破后预裂及光爆面内侧保留岩体的破坏范围；测定台阶爆破后，炮孔底部以下保留岩体的破坏范围（竖直方向和水平方向）；在保留区进行岩体表面裂缝调查并作地质素描。试验可同时采用以下方法：

(1) 在表面可采用宏观调查和地质描述方法。

(2) 在隐蔽部位可采用声波观测方法。

采用上述观测方法判断爆破破坏的标准，可按附录 C 的规定选取。

必要时还可利用 LS-DYNA 等程序进行数值分析计算，确定爆破引起的破坏范围。

5 爆破地震效应测试，可采用质点振动速度测试方法。

试验中所采用的仪器设备需先进、可靠；采用的观测方法、分析计算方法需比较成熟；得出的数据及经验公式要可靠。

6 在高陡边坡和重要需保护物附近进行爆破时，可通过爆破试验和数值分析对其安全性进行论证。计算所采用的程序需满足动力分析要求；计算出的数据需准确、可靠；论证需合理、科学。

8.3 爆破设计

8.3.1 爆破设计主要根据工程设计文件、地形地质条件、爆破器材性能、施工机械以及爆破试验或爆破监测成果等进行。

对重要的爆破工程要按条文中规定的内容进行爆破设计，如：坝肩开挖中较大规模的爆破、特殊部位的爆破以及施工组织设计中的标准设计等，但对某一具体工程，如边坡开挖，每天只在不同部位进行同类规模和性质的爆破，可在施工组织设计中进行标准设计，并在施工初期进行试验，确认合理的爆破设计参数，其后的日常爆破，只需提交炮孔布置平面图、剖面图、装药结构图、起爆网路图、爆破安全评估（最大单段起爆药量、飞石控制等）及爆破器材用量表。

8.3.2 在开挖过程中，需针对不同的岩体条件，调整爆破参数，改善爆破效果，避免保留岩体出现爆破裂隙或使原有结构裂隙扩展，以及岩体的自然状态产生不应有的恶化。

通过分析爆破效果，可以判断所采用的爆破参数是否合理。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、保留岩体的破坏情况等；对台阶爆破，其爆破石渣的粒径或级配、爆堆形状、爆破对保留岩体的破坏、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。进行爆破振动监测时，根据爆破振动安全控制标准判断爆破是否对边坡产生危害，及时调整单段起爆药量。对爆破抛掷方向有要求时，要根据爆破效果，及时调整起爆顺序。

此外，还需对每次爆破所使用的爆破器材生产厂家名称和批号进行记录，与爆破效果进行对比分析，对合理优化爆破参数具有重要意义。

8.3.3 水工建筑物岩石地基开挖爆破对环境影响的安全评估，要根据爆破工程周围环境影响情况，逐项进行分析核算，确定安全范围，作出综合分析评估。

1 根据地面、地下建（构）筑物及重要设施的抗震性能，校核爆破振动安全允许距离。空气冲击波、噪声等对周围人员、房屋门窗等影响较大；水中冲击波对水生物，特别是鱼类的影响较大。

2 爆破对保留岩体的影响范围（深度），通常采用声波法测试。

3 根据地质勘察资料，通过试验或数值分析，确定爆破对不良地质地段岩体的影响程度和范围，并制定相应的控制爆破措施。

4 爆破粉尘、有害气体对空气的质量影响主要表现在瞬时影响较大，但如施工时间长、爆破又频繁，其影响也不可忽视，需采取有效的降尘措施，使用环保型炸药等。

5 爆破对水环境的影响主要指由于爆破开挖截断或改变了地下水或地表水的渗透路径，还有一种情况是爆破有害效应和爆炸残留物对水环境的污染。

8.4 爆破施工

8.4.2 钻孔是爆破施工的重要环节，实际证明，爆破效果不好，地基成型质量差，钻孔质量不好是其主要原因之一。预裂爆破和光面爆破的壁面成型质量主要取决于钻孔质量。

1 若不按爆破设计确定孔位钻孔，势必影响爆破效果和地基开挖质量。

2 钻孔开孔位置有偏差不可避免，但不可太大，尤其是在轮廓面上的预裂爆破孔或光面爆破孔，以及紧邻设计轮廓面的台阶炮孔，若开孔偏差太大，会造成超（或欠）挖，并影响地基和边坡的开挖质量。

3 钻孔角度的准确性也很重要。对预裂爆破孔或光面爆破孔，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正文 3.0.4 条的要求，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。

由于爆破器材质量提高和爆破技术进步，爆破成型已不再是主要问题。因此，预裂爆破和光面爆破的质量，很大程度取决于钻孔精度和质量，现有的钻机钻孔精度基本可以满足设计要求，但仍需对操作人员加强培训和管理。

4 孔深不符合规定，可能会产生超欠挖等一些不利影响。

5 钻孔中的岩粉不清除，炮孔的有效深度减小；钻孔内积水不排除，将不利于装药到位，此外还可能影响炸药爆炸威力，影响爆破效果。炮孔孔口可用锥形塞子填塞，如果不加以保护，孔口周围的岩粉或石渣掉入孔内造成堵塞，将增加清孔工作量或减小炮孔的有效深度，有时还会造成废孔。

6 经检查不符合质量要求的钻孔，需要进行处理或重新钻孔，以保证获得良好的爆破效果。

8.4.6 当有多个施工单位在相近区域、同一时段进行爆破时，

要成立统一的爆破指挥机构，明确责任单位和责任人，统一起爆信号。多个起爆网路在同一时段内起爆时，可自下而上进行，相邻区域爆破时差不可太大，避免先爆破部位的爆破飞石砸坏后爆破部位的起爆网路。

8.5 预裂爆破和光面爆破

8.5.1

1 形成贯通良好的预裂面，是实现预裂爆破目的最基本要求。

2 半孔率，即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钻孔总长的比率。条文所述半孔率数据，参考了我国相关已完成工程（三峡、小湾、锦屏、溪洛渡等）的开挖技术水平，考虑最新技术的发展与应用，比以往常用经验数据略有提高。

3 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经验数据，是保证地基轮廓面开挖质量的基本要求。线装药密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。

8.5.2 本条关于高程差的规定，是为防预裂面向下延伸破坏保留台阶面的完整性；本条关于预裂孔平面布置范围的规定，是为保证预裂缝的隔振效果。如采用水平预裂或预裂面延伸方向有保留体（保留轮廓面）时，也需同理作相应的控制。

8.5.3 预裂爆破孔和台阶炮孔在同一爆破网路中起爆为常见工况，因为如不在同一网路起爆，单独起爆预裂爆破孔，其孔口附近表面岩体可能被拉裂，需要平整处理才能钻台阶炮孔；或者使邻近已钻好的台阶炮孔错动或堵塞，将增加补孔或清孔工作量。条文规定的预裂爆破孔先于相邻台阶炮孔起爆的时间，可以保证预裂缝超前形成，从而起到减小台阶爆破地震对保留岩体的作用，并阻断台阶爆破在保留岩体中产生爆破裂隙，以及避免节理裂隙面和层面等弱面的恶化。

8.5.4 限制预裂爆破或光面爆破的最大单段起爆药量，有利于控制爆破振动并降低预裂爆破或光面爆破本身对保留岩体的不利影响，其最大单段起爆药量可由试验确定，在无试验资料条件下不宜大于 50kg，段间时差要尽量小。本标准所述炸药用量，以 2 号岩石硝铵炸药的相关性能指标为参考，若使用其他品种的炸药，其用量需进行换算。

8.5.6 施工预裂爆破是指当采用分区爆破时，为减少本区爆破对相邻后爆区岩体的破坏影响，便于后爆区钻孔施工，改善爆破效果，在分区线上宜实施宽孔距、高线装药密度的预裂爆破。施工预裂爆破的孔间距可在 10~15 倍钻孔直径之间选择，线装药密度也较常规预裂爆破大，经现场试验验证后最终确定。

8.6 台阶爆破

8.6.1 为了获得满意的台阶爆破效果，特制定本条规定。

1 合理的台阶高度，可方便施工及保证边坡的施工质量和施工安全。

2 爆破石渣的粒径合适与否，通常以挖掘机械的斗容来衡量，超过斗容的是大块。大块率一般不可大于 5%，否则，二次爆破工作量大。要求爆堆较集中、且平缓，便于提高挖装效率。水利水电工程施工中，往往有利用爆破石渣的要求，故予规定。合适的爆破石渣粒径或级配，需通过试验取得合理的爆破参数，并经精心的爆破设计和施工获得。

3 破坏范围小，炮眼少，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台阶爆破破坏范围小，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。

4 爆破有害效应受控，可避免爆破施工致害扰民。

5 爆破产生的人员伤害事故大多由爆破飞石引起，需特别重视，避免发生爆破飞石事故。一般要求爆破无飞石或少飞石，

飞石飞散距离近。

8.6.2 紧邻设计边坡可设缓冲孔或缓冲空孔，以减小前排主炮孔对设计边坡的不利影响。缓冲孔孔距、排距，建议较前排台阶炮孔减小 $1/3\sim 1/2$ ，其爆破炸药单位岩石耗药量要与前排主炮孔相同，按每个炮孔所爆破的体积及爆破单位岩石耗药量来确定缓冲孔装药量。缓冲空孔密集布置，孔内不装药，只起减振作用，但孔内有水时作用较小，故一般较少采用。

8.6.3 限制最大单段起爆药量可降低爆破对保留岩体及邻近需保护建（构）筑物的不利影响。随着起爆技术的发展与进步，本条文对最大单段起爆药量的规定是容易实现的。特殊工况下允许的最大单段起爆药量也可通过现场爆破试验确定。

8.6.4 随着爆破规模越来越大，开挖中一次起爆排数较多，如不布置加密炮孔，易使后排残留大量炮根，影响爆破效果。加密孔的孔间距可为主爆孔的 $1/2\sim 2/3$ ，其余参数不变。

8.6.5 起爆排数过多时，存在夹制作用，爆破效果较差，容易重段，爆破振动控制困难。总药量的控制，相当于控制了一次爆破的规模，有利于建基面开挖质量的控制。

8.7 保护层爆破

8.7.1 爆破使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、压缩或错动等）和建基面岩体的完整性遭到破坏，对水工建筑物的稳定与安全不利；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等工作量。

8.7.2 试验确定保护层厚度，是水工建筑物岩石地基开挖中一项最基本的工作。

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、炮孔装药直径等有关。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，保证建基面的开挖质量，加快施工进度。

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。表 3 可供采用工程类比方法时参考，其中， H 是保护层厚度， D 是台阶主炮孔的装药直径。

表 3 保护层厚度

岩体特性	完整和坚硬的岩体	较完整、较破碎和较坚硬的岩体	破碎和较软的岩体
H	$25D$	$30D$	$40D$

8.7.3 本条为针对一次性爆除保护层的规定。孔底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负面作用。柔性材料可用锯末、发泡材料等制成，空气垫层也能起到缓冲作用。孔底有水时会减弱垫层的缓冲作用。

8.7.4 保护层分层爆破，是沿用多年的一种开挖方法，故仍予保留，但其效率低，不便于机械化施工。在特殊要求的情况，仍可采用。

第一层：炮孔孔底距水平建基面不可小于 1.5m；药卷直径小于 40mm；可采用浅孔台阶爆破法。

第二层：对完整、较完整、较破碎和坚硬、较坚硬的岩体，炮孔孔底距水平建基面不可小于 0.5m；对破碎、极破碎和较软岩、软岩及极软岩，炮孔孔底距水平建基面不可小于 0.7m。炮孔与水平建基面的夹角不要大于 60° ，药卷直径不大于 32mm。可采用单孔起爆方法。

第三层：对完整、较完整、较破碎和坚硬、较坚硬的岩体，炮孔不可穿过水平建基面；对破碎、极破碎和较软岩、软岩及极软岩，炮孔不可穿入距水平建基面 0.2m 的范围，剩余厚 0.2m 的岩体可进行撬挖。炮孔角度、装药直径和起爆方法，均同第二层的规定。

8.7.5 水平建基面采用台阶一次爆破需进行专项试验，确定合理参数，试验中还需对爆破影响范围进行测试，爆破试验成果符合设计对建基面的质量要求时，才可在地基开挖中采用。

1 水平预裂爆破形成的预裂面能减小台阶爆破振动效应对水平建基面岩体的作用，阻断台阶爆破产生的爆破裂隙延伸到建基面以下的岩体之中。

2 台阶炮孔底与水平预裂面留有一定距离，进一步减小了台阶爆破对水平建基面岩体的不利影响。炮孔孔底与预裂面间的岩体在炸药爆炸产生的入射和由预裂面反射的应力波，以及高温、高压气体的作用下易破碎、容易清除。台阶孔布孔范围不要超过预裂面范围，其孔底至预裂面的距离要通过试验确定，试验初始值可取 10~15 倍的台阶孔直径。

8.7.6 沟槽爆破时临空面条件较差，两侧夹制作用较大，爆破易对两侧保留岩体产生不利影响。

8.8 特殊部位爆破

8.8.1 实际工作中在防洪工程设施附近进行爆破不可避免，特制定此条规定。

1 在防洪工程设施附近爆破作业前，要由具有相应安全评估资质单位中的具有爆破安全评估资格的人员进行安全论证，主要论证爆破产生的有害效应是否对防洪工程产生危害，并由防洪工程的主管单位主持进行专家评审，批准后方可开始爆破施工。

2 防洪大坝工程要进行专门论证确定其爆破振动安全允许标准。

3 施工初期，还需进行爆破试验，参照附录 A 的经验公式，预测在需保护的防洪工程设施上产生的最大质点振动速度，或确定满足爆破振动安全允许标准条件下的最大允许单段起爆药量，确保爆破不对防洪工程设施产生危害。

8.8.2 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存在的有别于其他工程施工的问题。因新浇筑混凝土的强度低，它与基岩接触面的黏结强度更低，极易受到爆破破坏，为保证新浇筑混凝土的安全，根据有关单位结合葛洲坝、大化、铜街子、隔河岩、三峡等工程的试验研究和监测成果，同时依据

GB 6722，作出本标准的规定。

(1) 确定安全质点振动速度，需要大量观测数据的统计分析，更需要破坏性试验资料。由于爆破对混凝土的影响十分复杂，涉及爆破作用机理，混凝土的强度等级、龄期、混凝土结构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，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，可按标准正文附录 B 确定。

(2) 当已知爆破药量和距离，可参照附录 A 的经验公式，预报新浇混凝土基础面上质点振动速度，并与安全值相比较；反之，用新浇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。本条所指的距离为新浇混凝土基础距离爆区最近的距离。

(3) 减振措施中，可采用毫秒延时爆破降低单段起爆药量的方法，也可采用形成预裂缝的方法，但在实施预裂爆破时，要论证其本身的地震效应对新浇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浇混凝土的安全，可等混凝土达到设计强度后再进行控制爆破，或采取其他方法开挖。

8.8.3 电站、厂房、开关站等的机电设备和及电子仪器，一般较这些部位的建筑结构对爆破振动更敏感。

8.8.4 灌浆锚固区一般为安全稳定的薄弱环节。

对于施工期的临时支护，有利于边坡稳定，在爆破振动控制时，要以边坡振动允许值为准。

在无试验条件时可参考标准正文附录 B，地质缺陷处理部位除外。

9 爆破安全监测

9.0.1 施工期爆破安全监测的目的是保证开挖爆破施工安全和开挖施工质量。在居民区附近进行爆破，除了在爆破区域附近进行安全监测外，还需在居民区对爆破有害效应进行监测。

9.0.2 施工期爆破安全监测包括两方面内容：其一是爆破作用过程的动态监测，记录爆破振动、冲击波、噪声、动应力、动应变等物理量的变化过程，包括幅值及频率等；其二是爆破前后的对比测量，监测保留岩体的松弛范围及变形变化，判别保留岩体和边坡受爆破影响损伤的程度；监测爆破对已灌浆部位和已浇筑混凝土的影响。

监测项目分为：爆破地震效应（质点振动速度、加速度、应力、应变与位移等）、边坡变形、空气冲击波、水中冲击波与动水压力、噪声、飞石、滚石、有毒气体、岩体波速、渗透系数等。DL/T 5333、SL 551 和 SL 601 对不同的开挖部位及工程规模的监测项目均有明确规定。根据工程需要选择相应的监测项目。

9.0.3 爆破安全监测方案可包括以下内容：

- (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。

9.0.4 国内外爆破行业通常以质点振动速度作为爆破振动引起的损伤和破坏的标准判据。监测过程中质点振动速度测量还需与其他观测项目同步协调进行，以便进行综合分析。

加速度监测一般在需要进行动力计算时采用。

爆破噪声仅在开挖区周围有居民区或对噪声有控制要求时安排该项观测。

9.0.5 边坡岩体松弛范围检测可在每级马道和每一单级边坡坡面各布置一组垂直于被测岩体面的测孔，可每 200m^2 布置一组测孔。每组布置 3 个测孔，呈三角形布置，孔深根据岩体性质确定，一般为 $3\sim 8\text{m}$ 。

9.0.6 选择有代表性的在爆破前已有裂缝的部位进行调查，测试爆破前后裂缝是否扩展，对非爆破（如温度变化、雨季地基沉降等）引起的裂缝扩展进行记录。

9.0.7 施工期安全监测，需及时提交监测简报，并定期提交监测月（年）报；监测工作结束后，需及时提交监测总报告。监测总报告需对被测目标进行安全性评价。

9.0.8 发现异常情况可在 24h 内采用口头或书面形式报告相关单位，必要时可立即报告，并采取相应措施。

此外，进行规模较大的爆破时，除进行爆破振动监测外，还可利用爆区附近的永久监测设施及时进行爆前、爆后的边坡变形监测。

10 非爆破开挖

10.1 一般规定

10.1.3 非爆破开挖的施工方法选择需考虑工程类型和规模、周边环境、地形地貌、地质条件、施工工期和安全环保要求等因素，通过技术经济的综合比较确定。

工程规模：对大规模开挖工程，选用 CO₂ 膨胀破碎和液压机械劈裂开挖较合适；小规模开挖或工点地形条件、施工作业面等受限的工程，小型的机械劈裂、破碎锤、静态破碎剂破碎方案可能更为经济。

岩性和地质条件：非爆破开挖的施工方法选择与岩性和地质条件密切相关，如软岩和孔隙率很高的岩石体，劈裂效果不佳，不可采用机械劈裂法、静态膨胀剂开挖；岩溶发育岩体，采用液态 CO₂ 膨胀破碎方法不合适；对完整硬岩，机械连续铣挖开挖效率低，不可采用。

开挖平整度：不同开挖方法形成的地基不平整度差别较大，CO₂ 膨胀破碎因为冲击作用，往往难以形成规则的开挖面，需要辅助于液压锤的局部修整；机械劈裂、机械切割和静态破碎，能控制岩石破裂面，形成平整开挖面。

开挖速度和施工效率：CO₂ 膨胀破碎效率最高，液压分裂机劈裂开挖效率居中，静态破碎施工效率最低。

安全环保：液压分裂机（棒）劈裂法，为机械施工，工作可控，不会产生振动、冲击、大噪音、粉尘、飞屑等，周围环境影响小，即使在人口稠密地区或运行厂房内，以及精密设备旁，都可以无干扰地工作，安全环保性能优异；液态 CO₂ 膨胀破碎不会产生有毒有害气体，但仍会产生一定强度的振动和噪声以及个别飞石；静态膨胀剂破碎具有潜在地下水污染等环境影响。

施工成本：现阶段总体看，传统岩石爆破最便宜，CO₂ 膨

胀破碎介于岩石爆破和液压分裂机（棒）劈裂之间；静态破碎剂破碎和机械切割成本较高。

综合以上比较，针对大规模的水工建筑物岩石基础非爆破开挖方案，可在 CO₂ 膨胀破碎、液压分裂机辅助破碎锤组合破碎等方案中选用。

10.1.4 类似于爆破开挖方法，液压分裂机（棒）劈裂法、静态破碎剂破碎和 CO₂ 膨胀破碎施工方案，均需要钻孔。为了获得良好的劈裂效果，均需要合理布置开挖工作面和推进方向，形成良好的劈裂开挖临空面，临空面越多，劈裂效果越好；同时需要合理选择与分裂力或膨胀力匹配的抵抗线和孔间距。

10.1.6 非爆破开挖施工需严格控制施工振动、飞石、噪声等环境影响。

10.2 机械开挖方法

10.2.1 液压破碎锤开挖通过液压机械高速驱动钎杆撞击来破碎岩石，设备体积小，需与挖掘机搭配使用，灵活机动，但开挖效率低，工期长，施工噪声大等，适用软岩地基开挖或则作为其他开挖方法的补充。

10.2.2 液压分裂机劈裂法采用表面式分裂方式，要沿临空面布置一排钻孔，钻孔深度 20~50cm，通过分裂机驱动楔入钻孔的楔块使岩体薄层开裂。小型分裂机分裂力可达 600t 左右，大型分裂机分裂力可达 3000t 左右。小型分裂机对小规模地基开挖和大块岩石二次破碎比较适用，用于大规模地基开挖效率较低；大型分裂机效率较高，但需要反铲或吊车等起吊设备，分裂机的楔块需要不断更新、更换，配件维护费用高。液压分裂机分裂岩体后一般辅助以破碎锤进行二次破碎。

10.2.3 液压分裂棒劈裂法开挖采用深层插入式分裂方式，钻孔深度约为 1m，分裂力可达 1000~1500t，施工效率高，安全节能环保。该技术需要做好工作面规划，确定合理的开挖推进方向，并形成良好的开挖临空面条件；对钻孔要求较高，钻孔直径

100mm 左右；因此要求配置较大的钻机及操作简单、效率高、维护费用少、环保、经济的空压设备。施工中需配套高效钻孔和起吊设备，可辅助以破碎锤进行二次破碎。采用该技术对地基无破坏，安全、环保、简单，适用于不允许爆破的大规模中硬和硬岩地基开挖。

10.2.4 机械切割法包括绳锯切割和圆盘锯切割法等，此类方法主要用在石材开采上。金刚石串珠绳锯切割开挖的建基面平整，但切割成本较高，主要来自金刚石串珠绳的消耗；圆盘锯开采法适合切割各种石材，设备操作简单，效率高，能耗低，安全可靠，成本相对适中。采用机械切割法进行岩石开挖时，需根据现场条件、施工吊装运输能力等，确定分块体的大小，划分分块体的部位，并进行定位分割。

10.2.5 露天采矿机连续开挖方法，集切削、破碎和装料功能于一体。在国外广泛应用于既有线公路、铁路不停运拓宽的山体开挖、隧道落底、矿山开采、水利水渠及水库开挖、旧路面混凝土拆除回收等工程领域，其特点是可适应软岩和节理裂隙发育岩体，施工速度快，设备造价适中，具有环保、切削精度高等优点。

10.3 非机械开挖方法

10.3.1 液态 CO₂ 膨胀破碎利用液态 CO₂ 相变气化膨胀，在炮孔中产生数十到最大达数百兆帕的膨胀压力破碎岩体。该方法的优点是微振动，飞石可控，施工效率较高，高于其他非爆破开挖方法，作业过程不产生明火和有害气体，生产、储存、运输过程也相对安全；缺点是施工工艺和安全控制比较复杂，对作业人员技术要求高。采用该法进行岩石开挖时，需沿临空面布置炮孔，且采用逐排作业施工。具体钻孔参数要根据致裂器型号、岩石性质和破碎效果进行调整，如当钻孔直径为 130mm 时，孔距一般为 2.0~3.0m，抵抗线为 1.5~3.0m，孔深为 3.0~6.0m。

10.3.2 静态膨胀剂破碎法适用于中等强度岩体、具有较好开挖

临空面等的小规模地基开挖工程。该方法的优点是施工无噪音和振动，设备配置简单、施工简便、易于操作；缺点是施工周期较长、施工效率低，受水和温度影响大，存在一定的环境污染并易对施工人员皮肤造成伤害。采用该法进行岩石开挖时，需根据环境和气候条件选择适宜型号的静态胀裂剂，钻孔机装药参数需根据破碎效果进行及时调整，施工过程中需做好个人防护工作，特别是要戴护目眼镜，以防装药过程中出现冲孔。

10.3.3 人工撬挖采用人工用镐、撬棍或大锤破碎岩石，其施工效率低、劳动强度大和安全防护差。

11 出 渣

11.0.1 堆（弃）渣规划和设计要求包括：

（1）对渣场的场地容量进行复核，需要做好石渣和场地容量的综合平衡工作。

（2）堆渣场可尽量规划在距使用地点较近的便于回采的地点，堆渣过程中可控制堆渣质量，以提高石渣的利用率。

（3）弃渣场可合理规划利用，尽量使其成为施工用场地，或造地返田。

（4）堆（弃）渣需不占或少占耕地。

11.0.2 避免弃渣堵塞河道，阻碍行洪，造成淤积并使水流条件恶化。对于利用冲沟等地形进行弃渣的，要制定汛期排水方案及截水措施，防止产生次生灾害；必要时对防止发生泥石流灾害的措施进行论证。

11.0.3 在出渣的过程中，需根据爆堆形状、爆破粒径等，选择合适的出渣机械设备、出渣方式等，并注意观察边坡的稳定情况，确保出渣安全。

11.0.5 对可利用的开挖渣料，需按要求分类堆放，避免因相互混杂而无法使用。

11.0.7 从环保和安全等方面考虑，对利用溪、沟堆（弃）渣要进行水保和环保论证，设置拦渣和排水等防护设施，避免事故发生和水土流失。出渣运输造成大气中粉尘含量和出渣车辆的马达声、喇叭声的声压级，不能超过规定指标。此外，出渣车辆掉落在道路上的石渣，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，可采取措施加以避免或迅速清理；更不能随意倒入河边，污染环境。可定期对大气中的粉尘含量以及河道中水质进行监测，定点对车辆噪声进行监测。

12 环境影响控制

12.0.1 边坡开挖过程中，要控制石渣下河堵塞河道、抬高水位，主要采用松动爆破、控制起爆方向、外侧采用松动爆破、边缘石渣用反铲装车、采用拦渣坎挡渣、下部建截渣平台等方式进行控制。

12.0.2 钻孔过程中，钻孔设备要安装集尘装置，减少钻孔产生的灰尘；出渣车可进行封闭运输；道路可用洒水车进行洒水减少扬尘。

12.0.3 逐孔起爆技术是常用的降低爆破振动效应的延时爆破技术。逐孔起爆技术是爆区内处在同一排炮孔按照设计好的延期时间从起爆点依次起爆，同时，爆区排间炮孔按另一延期时间依次向后排传爆，从而使爆区内相邻炮孔的起爆时间错开。逐孔起爆技术可以达到较好的破碎效果，爆破振动也较常规爆破小。

此外采用电子雷管起爆的延时起爆技术也是现在逐步开始应用的爆破振动控制技术。电子雷管是用电子延时芯片取代延期火药的一类新型延时雷管。电子雷管具有以下特点：延时时间范围大，延时精度高，延时时间可以按需任意设定，起爆网络检测系统智能便捷，安全性能好，有效改善岩石破碎效果，显著降低爆破振动影响。

12.0.4 实践证明采用水袋填塞在一定程度上减少了爆破粉尘，而且还可改善填塞段的岩石破碎效果；爆破区可采取洒水措施，特别是在边坡开挖中，可在边坡上布置一些喷雾装置，爆破时进行喷雾降尘。

12.0.6 在对爆破噪声有要求时，可用沙袋对预裂爆破或光面爆破的孔外导爆索进行覆盖，可有效降低爆破产生的噪声。

13 检查处理与检验评定

13.1 检查与处理

13.1.1 地基面尺寸用测量方法检查，执行 SL 52 的规定。

13.1.2 声波测试方法不但在爆破试验中广泛采用，许多水利水电工程也用来检查地基岩体开挖质量，可按 SL 264《水利水电工程岩石试验规程》的有关规定进行。

附录 C 的标准，在爆破试验中用作判断爆破破坏范围；在检查地基岩体开挖质量时，则用来判断其优劣。采用设计规定的方法与标准，有如下含义：

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

(2) 附录 C 的标准较严，以其评价地基岩体开挖质量，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，不同部位对地基岩体开挖质量的要求也有差异，因此，在采用声波方法检查时，设计可根据不同情况予以区别，提出符合工程自身特点要求的设计标准。

13.2 检验与评定

13.2.1 如开展地基检验与评定工作需要，其他相关资料也要按需提供。

附录 C 判断爆破破坏或地基岩体 开挖质量的标准

C.0.1

1 裂隙频率为单位面积上的裂隙条数，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。

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；被爆破破坏松动的岩体，发出空声或哑声、频率较低。

C.0.2 声波法是目前广泛采用的判断岩体质量的一种方法，一般采用钻孔跨孔和同孔法进行声波检测。

C.0.3 利用爆破开挖前后岩体声波变化率作为判据，需考虑：爆破开挖前后岩体声波的降低率，固结灌浆前后开挖影响区岩体声波的提高率，岩体声波参数与岩体变形、强度间的关系。

研究表明：当岩体纵波速度降低 10% 时，弹性模量降低 19%，单轴抗压强度降低 21%；当岩体纵波速度降低 15% 时，弹性模量降低 28%，单轴抗压强度降低 31%。

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地基的强度，通过基础灌浆，这些部位的整体性和强度都会改善。依赖于不同工程开挖影响区岩体的可灌性，固结灌浆前后声波波速提高率为 6%~16%，平均提高幅度为 11%。

如爆破开挖影响可以由地基的固结灌浆作用来弥补，对重要工程（1 级、2 级水工建筑物），建议爆前爆后开挖影响区岩体的声波变化率维持在 10%；而对 3 级、4 级水工建筑物，建议爆前爆后开挖影响区岩体的声波变化率可放宽至 15%。

C.0.4 只作爆后观测，一般多发生在检查地基岩体质量中。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，才能作出较正确的判断。