

大型水电站导流洞预留岩坎围堰拆除爆破关键技术

韩进奇, 杨帆, 曾强

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610081)

摘要: 大型水电站导流洞进出口围堰预留岩坎水下拆除爆破成功与否直接关系到导流洞过流与后期水电站截流。以白鹤滩水电站导流洞进出口围堰预留岩坎拆除为例, 总结分析了大型水电站进出口围堰水下拆除爆破采用的关键技术。

关键词: 导流洞; 岩坎; 拆除爆破; 关键技术; 白鹤滩水电站

中图分类号: TV7; TV554; TV542; TV551.3

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2014)增1-0085-06

1 概述

大型水电站进出口围堰拆除是导流洞实现过流目标与后期水电站截流的关键, 而导流洞进出口围堰拆除的关键是水下拆除爆破。导流洞水下拆除爆破是一种特殊条件下的拆除爆破, 以白鹤滩水电站左岸导流洞进出口围堰拆除为工程实例, 总结分析了大型水电站进出口围堰水下拆除爆破采用的关键技术。

2 白鹤滩水电站

白鹤滩水电站位于云南省巧家县大寨镇与四川省凉山彝族自治州宁南县六城交界的白鹤滩, 上游与乌东德梯级电站相接, 下游尾水与溪洛渡梯级电站相连, 是金沙江下游(雅砻江口~宜宾)河段4个梯级开发中的第二级, 共布置了5条导流洞, 其中左岸3条(编号1#、2#、3#), 右岸2条

(4#、5#)。

左岸导流洞进出口采用全年围堰挡水, 设计标准10a一遇洪水流量 $22\ 700\text{ m}^3/\text{s}$, 相应进口设计水位高程624.3 m, 出口设计水位高程为620.71 m(不考虑溪洛渡回水影响)。进出口围堰采用预留岩埂顶部加混凝土围堰和预留岩埂挡水结构形式, 拆除总工程量为54.6万 m^3 , 其中进口围堰31.3万 m^3 , 出口围堰23.3万 m^3 。进口围堰需拆除水下围堰长度约292 m, 拆除方量约28万 m^3 ; 出口围堰堰体距最近的塔体混凝土距离约10 m, 距进口闸门最近约30 m; 出口围堰需拆除的水下围堰长度约198 m, 拆除方量约12.3万 m^3 , 围堰堰体距最近的洞脸混凝土约32 m, 距尾水闸门最近约330 m(图1)。

左岸进口围堰处地面高程为600~620 m, 出

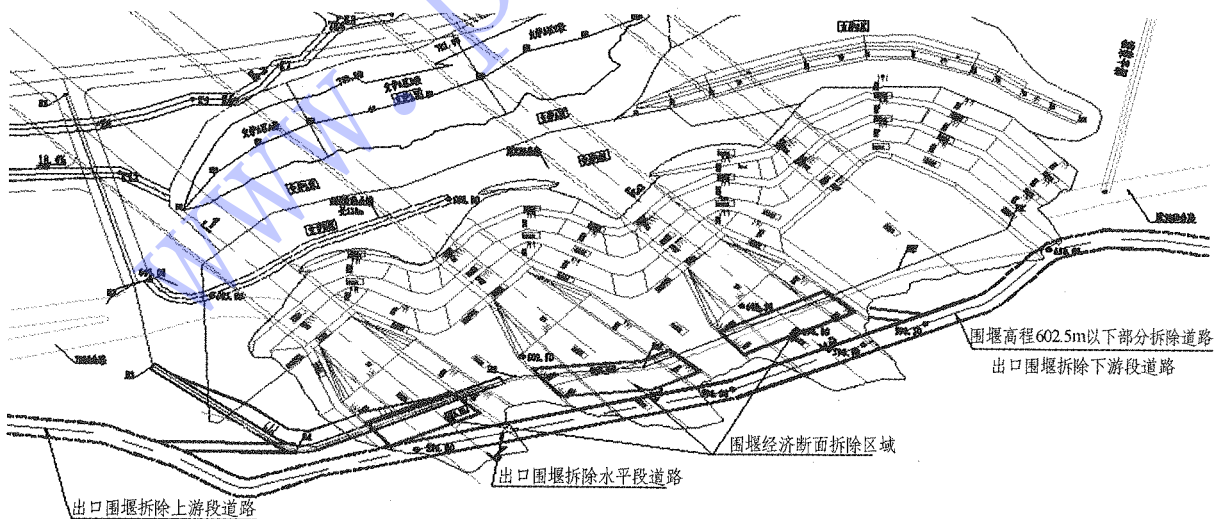


图1 出口围堰平面布置图

收稿日期: 2014-06-28

口围堰处地面高程为 610 ~ 645 m, 覆盖层浅薄, 基岩多裸露, 进口围堰利用高程 600 ~ 605 m 以下、出口围堰利用高程 610 ~ 623 m 以下岩体作为岩埂。岩埂岩体质量为 II ~ IV 类, 其中岩埂上部主要为弱风化上段、弱卸荷的 III2 类岩体, 局部为 IV 类岩体, 中下部为 III1 ~ IV 类岩体, 微新、无卸荷的 II ~ III1 类岩体分布于岩埂底板(导流洞底板)以下。局部段为 IV 类岩体, 围堰区层内错动带发育。导流洞进出口处底板高程处于地下水位和江水位以下, 围堰范围内岩体受风化卸荷作用影响渗透性较强, 岩埂中上部为中等透水性, 底部为中弱透水。此外, 进口围堰上游侧发育层间错动带 C4, 特别是中部发育的断层 f754, 虽然其规模较小, 但走向与围堰轴线近垂直, 构造带内岩体破碎, 岩体透水性强, 沿构造破碎区域可能形成渗漏通道。出口围堰范围内层内错动带发育, 走向与围堰轴线呈小角度相交, 围堰上游侧发育节理密集带 T303, 主要由两组近垂直相交的节理组成, 沿节理可能形成渗流通道。

3 本工程的重点与难点

(1) 围堰外侧水下地形、地质条件复杂, 施工难度大。

堰外水下地形存在很多不确定因素。围堰堰体局部节理裂隙发育, 存在不良地质缺陷, 这些因素均给设计和施工带来很大困难。水下地形、地质条件的复杂性, 给钻孔、装药施工带来很大的难度, 易产生卡钻、穿孔、装药困难、装药不到位等现象, 从而影响爆破效果。部分围堰堰外明渠需要采取爆破的方式开挖, 而爆破必然会对经济断面迎水面的岩体产生损伤。由于围堰本身处于强风化富水卸荷区域, 因此, 这种损伤对经济断面的施工有时候会是致命的难题。

(2) 拆除爆破规模大, 工期紧, 施工强度高。

左岸导流洞进出口围堰拆除总工程量达 54.6 万 m^3 , 其中进口围堰 31.3 万 m^3 , 出口围堰 23.3 万 m^3 且经济断面的施工时段只有 1 个月, 拆除规模大、工期紧、强度高。

出口围堰水下钻孔爆破后, 渣料采用水下清渣和冲渣方案, 因此对爆破块度要求较严, 爆渣粒径按 40 cm 控制, 要求粒径大于 40 cm 的不超过 5%。出口围堰采用长臂反铲进行清挖出渣, 效率低, 出渣难度大, 成本高。

(3) 起爆网路复杂、爆破器材抗水性能要求高。

网路设计及施工精度是保证围堰爆破效果和爆破安全的关键, 不仅要求按设计起爆顺序、起爆时间全部准爆, 而且不允许发生重段和串段现象。由于炮孔数量多、炸药用量大, 从而使整个起爆网路非常复杂。白鹤滩水电站导流洞进出口围堰拆除属于水下爆破, 水深大于 10 m, 对爆破器材的抗水、抗压性能提出了很高的要求。同时, 为减小爆破振动伤害, 必须严格控制单响药量。

4 围堰拆除施工的关键技术

笔者以白鹤滩水电站左岸导流洞出口围堰拆除为例, 总结分析了大型水电站进出口围堰水下拆除采取的关键技术。

4.1 围堰经济断面的设计

(1) 经济断面顶高程的确定。

出口围堰经济断面的高程选择应充分结合水文条件, 确保经济断面拆除期间江水不漫顶。本工程围堰经济岩坎顶高程确定为 596 m, 其根据如下:

根据工程的实际进度, 在围堰拆除前已基本确定经济岩坎的拆除时段为 2014 年 4 ~ 5 月, 通过对水文资料进行分析得知, 自 1998 年以来 4 月份最大流量为 2 800 m^3/s , 对应到 2014 年水位流量关系曲线的高程为 595 m 左右; 5 月份最大流量为 5 280 m^3/s , 对应水位高程为 599 m。若在 5 月份拆除围堰, 则围堰经济岩坎高程需选择到高程 600 m, 从而导致围堰经济岩坎高度过高, 拆除难度较大。因此, 确定经济岩坎需在 2014 年 4 月份拆除完成, 同时考虑大风、涌浪等因素, 最终确定经济断面高程为 596 m。

(2) 经济断面的稳定性。

围堰经济断面顶宽 10.5 m, 迎水面坡比为 1 : 0.1, 背水面坡比为 1 : 0.2, 防渗帷幕距经济断面内侧 3 m, 外侧 7.5 m。通过对围堰经济断面抗剪、抗浮和抗倾覆稳定性进行计算, 围堰经济断面稳定性满足要求。

4.2 施工方案

围堰拆除的分期分区与导流洞衬砌、导流洞明渠施工、尾闸井施工息息相关。围堰拆除期间, 导流洞内各部位仍在进行施工。因此, 确保围堰拆除期间江水不漫顶、围堰不渗水是关键。为此,

围堰分层高程应紧密结合拆除时段及相应时段对应的江水位确定。

出口围堰分两期进行拆除。受上游水电站因电网“保供电”需求而增发电量、电站事故检修等不确定因素增加泄水情况影响而使江水位抬升,围堰拆除时增加了4.7 m宽预留子堰(高程602.5

~596 m);同时,为防止出口围堰二期拆除爆破施工破坏防渗帷幕,造成围堰渗水影响导流洞内施工,需在经济断面外侧预留8 m厚的保护层。预留子堰及高程596 m以下部分为二期开挖,其余部分为一期开挖。出口围堰具体分区、分期情况见图2。

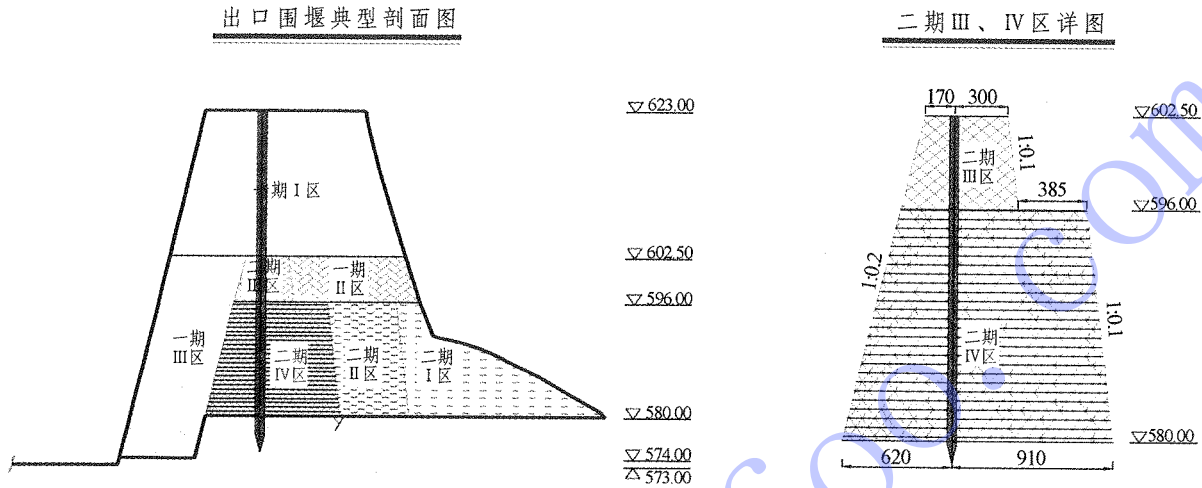


图2 出口围堰拆除分期、分区示意图

左岸导流洞出口围堰一期拆除为水上部分拆除,采用一般明挖施工工艺。出口围堰二期拆除为本次围堰拆除的重点。首先进行出口围堰二期I区、II区拆除,该部分为出口围堰靠江侧减薄开挖,采用垫渣的方式形成作业平台后进行爆破作业;出口围堰二期II区拆除在相应段预留子堰(二期III区)占压段开挖完成后进行,同时,在条件允许的情况下进行出口围堰二期III区的拆除施工;最后形成出口围堰的经济断面。经济断面的拆除是出口围堰拆除的关键,经济断面拆除以相

应尾水出口为界分三次进行水下爆破。

4.3 经济断面拆除爆破的设计

4.3.1 爆破方案

本工程采用下闸关门爆破,爆破方向往围堰内侧,堰内不充水,布孔方式采用堰顶向下钻垂直孔或小角度斜孔的钻孔方案。矩形布孔,采用多钻孔,高单耗,低单响的设计原则,渣料采用水下清渣和冲渣方案,爆破块度按照40 cm控制。起爆采用孔内延时、孔外分段的高精度非电接力式起爆网路(图3)。

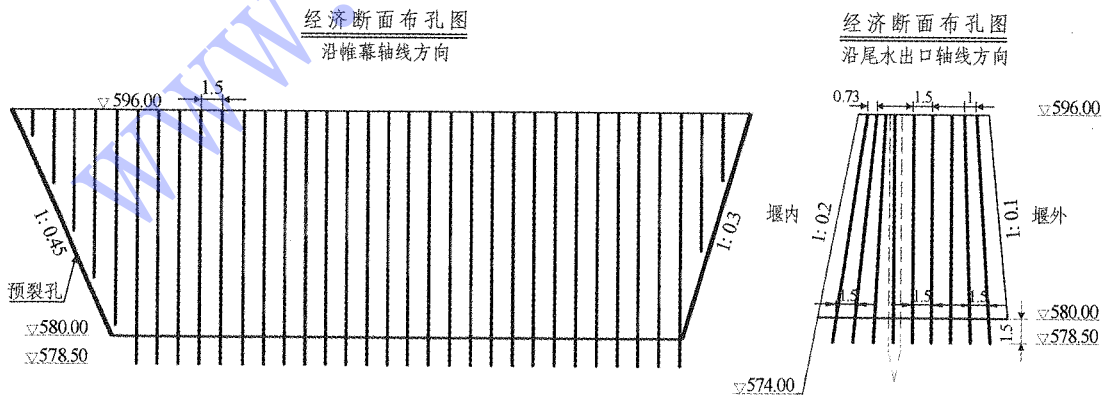


图3 经济断面布孔示意图

4.3.2 爆破参数的设计

(1) 主爆破孔的爆破参数。

① 钻孔设备:考虑到围岩体岩坎地质条件较差,导流洞出口围堰采用CM351 高压风跟管钻机

造孔,孔内设PVC管护孔;对于局部基岩较好、可直接成孔的部位可不跟套管造孔。

② 钻孔直径:对于需要PVC管护孔的炮孔,孔径为130 mm;对于不需要PVC管护孔的炮孔,孔径为110 mm。PVC管内径为82 mm,满足 $\phi 70$ 特制乳化炸药的装药要求。

③ 炸药单耗:一般水下爆破的炸药单耗按 $q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4$ 计算。式中 q_1 为基本炸药单耗,一般为陆地台阶爆破的2倍。对于水下垂直钻孔,再增加10%。根据导流洞出口边坡实际开挖情况, $q_1 = 1 \text{ kg/m}^3$; q_2 为爆区上方水压增量单耗, $q_2 = 0.01 h_2$,式中 h_2 为水深。出口围堰爆破时水位高程约为592 m, $q_2 = 0.12 \text{ kg/m}^3$; q_3 为覆盖层增量单耗。爆区上方无覆盖层,故 $q_3 = 0.01 h_3$,式中 h_3 为覆盖层厚度, $q_3 = 0 \text{ kg/m}^3$; q_4 为岩石膨胀增量单耗, $q_4 = 0.03 h_4$,式中 h_4 为梯段高度,出口围堰拆除高度为16 m, $q_4 = 0.48 \text{ kg/m}^3$,依此计算的出口围堰拆除理论炸药单耗为 1.6 kg/m^3 。

④ 炮孔间排距:以高程580 m进行控制,炮孔采用矩形布置,延伸到设计底高程的间排距为 $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$,顶部内侧设4排排距为0.73 m的斜孔,顶部中间设3排排距为1.5 m的垂直孔,顶部临江侧设2排排距为1 m的斜孔。

主爆孔采用连续装药结构,主爆孔单孔根据 $\phi 70$ 药卷装药线密度为 3.75 kg/m ,主爆孔单孔延米最大负担面积为 2.25 m^2 ,则设计高程位置最小单耗为 $1.67 \text{ kg/m}^3 > 1.6 \text{ kg/m}^3$ 。如果考虑超深增加的药量,则最小单耗将 $> 1.67 \text{ kg/m}^3$,可以满足爆破块度40 cm的控制技术要求。

⑤ 钻孔深度:出口围堰拆除梯段高度为16 m。根据专家意见,钻孔时超深1.5 m,钻孔深度 $\geq 17.5 \text{ m}$ (倾斜孔大于孔深17.5 m)。由于炮孔较深,需要严格控制钻孔精度。

⑥ 堵塞长度:为保证炮孔顶部不产生大石块,主爆孔堵塞长度 $L = 2 \text{ m}$ 。

(2) 预裂孔爆破参数。

① 孔距:0.8 m。

② 炮孔倾角:与出口明渠轮廓面坡度一致。

③ 炮孔深度:从高程596~580 m,预裂孔不超深。

④ 炸药类型: $\phi 32$ 乳化炸药,竹片绑扎下药,

导爆索传爆。

⑤ 线装药密度:采用间隔装药结构,线装药密度为 500 g/m 。

⑥ 堵塞长度:堵塞长度为0.8 m。

4.3.3 起爆网路设计

(1) 设计原则^[1]。

起爆网路的设计原则为:

① 起爆网路的单段药量应满足爆破振动安全要求。

② 在单段药量严格控制的情况下,同一排相邻段、前后排的相邻孔不能出现重段和串段现象。

③ 整个传爆信号绝大部分进孔以后第一段才能起爆。

(2) 雷管的选择。

普通塑料导爆管雷管具有误差大、雷管延时容易重段等缺陷。导流洞围堰拆除爆破追求最佳的爆堆形状、最合理的抛掷方向、最优化的抛掷顺序、最佳的减振效果,因此,对起爆顺序和起爆时间的准确性要求很高,普通塑料导爆管雷管起爆系统难以满足要求。而高精度塑料导爆管雷管在一定程度上克服了普通塑料导爆管雷管延时误差大的问题。鉴于导流洞爆破的重要性,考虑到导流洞出口围堰为半水下爆破,需要采用性能可靠的高精度非电雷管起爆系统,故经济断面岩坎围堰拆除爆破设计应采用高精度塑料导爆管非电雷管。雷管选择如下:

① 排间传爆雷管的选择。

在考虑起爆雷管延时误差的情况下,必须保证前后排相邻孔不能出现重段和串段现象,杜绝前排孔滞后或同时于后排相邻孔起爆。

选择42 ms做排间、排间搭接雷管。

② 孔间传爆雷管的选择。

在分段药量严格控制的情况下,同一排相邻段是不能出现重段和串段现象的。在不考虑起爆雷管延时误差的情况下,同一排相邻孔是不会重段的。但若考虑起爆雷管的延时误差,当接力雷管延期时间小于起爆雷管误差时,则有可能出现重段,甚至出现同一排设计先爆孔滞后于相邻设计后爆孔起爆的情况。

选择17 ms做孔间传爆雷管,上下游延期使用9 ms。

③ 孔内起爆雷管的选择。

为防止由于先爆孔产生的爆破飞石破坏起爆网路,必须使孔外接力雷管传爆到一定距离后孔内雷管才能起爆。这就要求起爆雷管的延时尽可能长些,但延时长的高段别雷管其延时误差也大。为达到排间相邻孔不串段、重段,同一排相邻的孔间尽可能不重段的目的,高段别雷管的延时误差不能超过排间接力传爆雷管的延时值,对单段药量要求特别严格的爆破,高段别雷管的延时误差还不能超过同一排孔间的接力雷管延时值。

选择 1 020 ms 高精度导爆管雷管。

(3) 起爆方案。

导流洞出口围堰经济断面的爆破设计是以冲渣为主、清渣结合的方案,出渣道路设计在上游侧,下游侧的 2#尾水出口围堰最先爆破,3#尾水

出口围堰次之,4#尾水出口围堰最后爆破。单个围堰从中间略靠上游侧向两侧顺序起爆。爆破方式类似于 V 形起爆,从而增加了岩块间碰撞的机会,两侧顺序起爆的排数也要比单侧起爆减少一半,从而有利于改善爆破效果。爆渣堆放在略靠上游侧,既有利于冲渣,又能保证在冲渣不完全的情况下采用机械清渣。

导流洞出口围堰起爆网络采用塑料导爆管雷管排间、孔间、孔外接力传爆网路。为保证网路传爆的可靠性,增加安全储备系数,排间、孔间接力雷管 2 发高精度雷管并联,孔内起爆采用 3 发 1 020 ms 高精度雷管。孔间间隔 5~6 个结点用两发 42 ms 高精度塑料导爆管雷管进行排间搭接。具体爆破网路见图 4 和图 5。

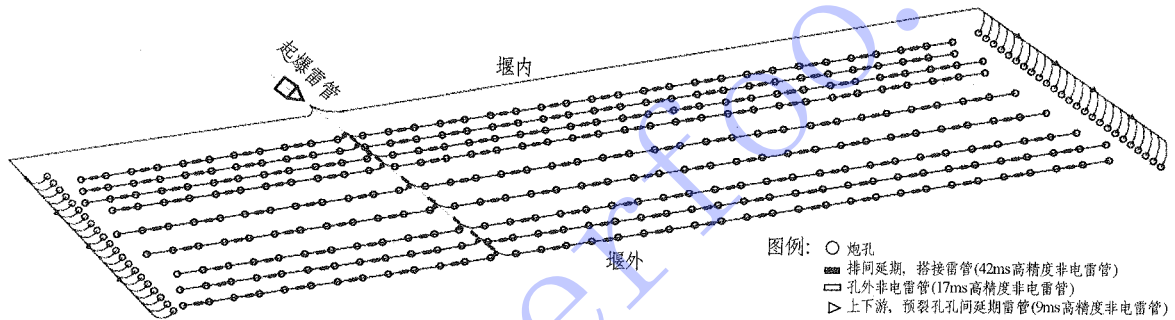


图 4 爆破网路设计图

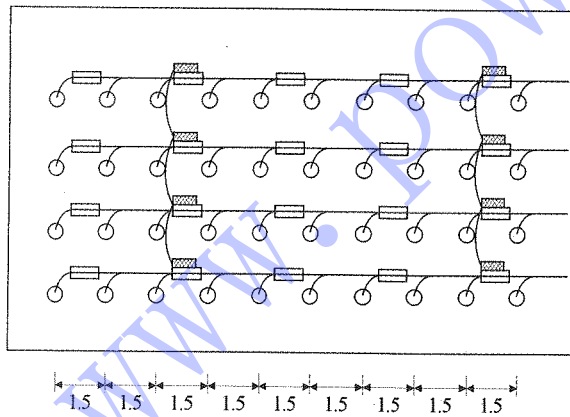


图 5 排间交叉搭接示意图

5 爆破效果

金沙江白鹤滩水电站左岸导流洞进出口围堰于 2014 年 4 月底成功爆破,所有炮孔均一次准爆成功,爆破形成的爆堆及缺口理想(图 6)。

1#~3#导流洞进口围堰经济断面采用下闸关门充水爆破,在对爆破后的堆渣进行分析后得知,爆炸粒径基本小于 40 cm,完全满足设计要求。

1#、3#导流洞出口围堰经济断面爆破后大约 10 min 爆渣均被水流带入导流洞闸后段;2#导流洞出口围堰经济断面由于卸荷发育,裂隙较大,渗水严重,导致堰内外水位高差较小(仅 2 m 左右),

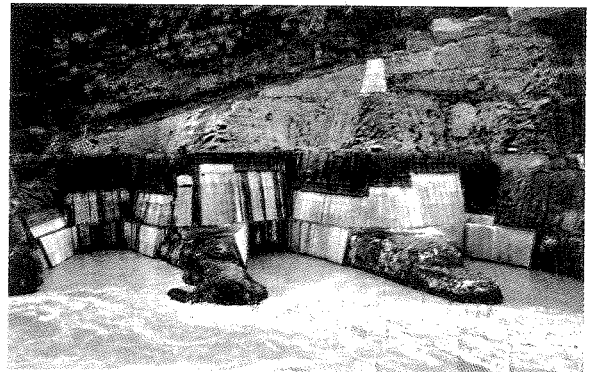


图 6 左岸导流洞出口围堰爆破后效果图

爆破后水流较缓,爆渣未能被水流带入导流洞闸后段,采用机械清渣出渣,对爆破后的堆渣进行分析得知,爆炸粒径基本小于 40 cm,完全满足设计

要求。

导流洞出口围堰爆破达到了预期效果,标志着导流洞过流目标的圆满成功(图6)。

6 结语

金沙江白鹤滩水电站左岸导流洞进出口围堰的成功爆破,对其他类似工程有重大的借鉴意义。通过白鹤滩水电站进出口围堰的拆除爆破,总结了大型水电站进出口围堰水下拆除爆破成功的关键技术有以下几点:

(1)爆破振动是爆破控制的重点。严格控制单响药量,采用高精度分段雷管起爆网路,对控制爆破振动十分有效;同时,围堰外侧减薄开挖时做好后部的预裂和减震工作,是确保经济断面围堰稳定和防渗体安全的必要措施。

(2)围堰外侧部分岩体位于水下,地形复杂,施工困难。采取垫渣形成作业平台是解决该部位钻孔、装药以及爆破的有效手段。

(3)围堰围岩地质条件较差,同时部分围堰的拆除需垫渣形成作业平台,成孔困难。采用跟管钻机造孔,孔内设PVC管护孔能有效防止钻孔后塌孔、堵孔现象的产生。

(4)保证装药到位并按设计装药结构和装药量进行装药是保证爆破效果的关键。由于炮孔装

(上接第56页)

采用定额调整系数的方式反映海拔对工程投资的影响有一定的局限性,距离实际情况有一定的差距。如土石坝与混凝土坝相比,前者使用柴油机械较多,后者使用电力机械较多,相同的定额调整系数显然不能反映两者的差异,需要根据实际情况予以调整。

(上接第67页)

目已完成但业主尚未完全结算支付,超交或垫交了企业费用,购置了较多设备资产,业主未确认产值占比过大,业主欠结算款等;债务项目上占用资金比较大的原因,一般是前期总价承包项目支出超出业主结算收入,超业主结算进度支付了分包单位款,存货量较大等。

若以上测算亏损,但资金尚不紧张。造成这种状况的原因一般是业主预付款额较大或超进度支付了工程款,同时应付未付的债务也较大。对此,项目部应对其格外引起重视,严格控制资金使

药长度大,加之炮孔渗水、漏水等恶劣施工环境的制约,在装药过程中易出现送药困难的问题。采用特制塑料硬壳炸药能够解决装药困难的问题并保证装药质量。

(5)合理的爆破块度和良好的爆堆形状是冲渣过流的关键。合理的块度是指能够冲渣过流的最大块度^[2],考虑到水深影响炸药爆速降低,围堰拆除实际炸药单耗应大于理论炸药单耗,采用高单耗的爆破方式能够使爆渣达到设计粒径要求;良好的爆堆形状是形成冲渣过流的最低缺口^[2],采用高精度分段雷管起爆网路可以实现对爆堆最低缺口的控制。

参考文献:

- [1] 曾 垒,徐元亭,李四金,刘美山. 瑞丽江水电站导流洞进出口围堰拆除爆破设计[J]. 云南水力发电,2007,23(4):65-68.
- [2] 李 泉. 几种水下钻孔爆破炸药单耗计算公式的分析与比较[J]. 爆破,2012,29(1):94-97.

作者简介:

韩进奇(1978-),男,湖北应城人,白鹤滩施工局总工程师,高级工程师,一级建造师,从事水电工程施工技术与管理工作;
杨 帆(1985-),男,四川彭州人,白鹤滩施工局技术部副主任,工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工作;
曾 强(1988-),男,四川彭州人,助理工程师,学士,从事水利水电工程施工技术及管理工作。(责任编辑:李燕辉)

作者简介:

李 凯(1980-),男,湖北黄冈人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作;
胡志国(1977-),男,河北唐山人,项目副经理,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

用,同时采取提高效益的措施。

4 结语

总之,根据笔者的实践体会认为,此方法简便、明了,基本能满足对项目经营管控所需要的及时性、前瞻性、准确性要求,可对今后改进项目经营管理工作提供有益的、重要的数据支撑和指导作用。

作者简介:

张云祥(1963-),男,山东昌乐人,高级工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与经营管理工作。

(责任编辑:李燕辉)