

龚嘴水电站消力塘整治 工程资料汇编

(一)

✻ 美国哈札国际工程公司技术咨询报告

✻ 硅粉混凝土的特性及其应用

西南电业管理局科技处

一九八七年九月

龚嘴水电站消力塘整治 工程资料汇编

(一)

✻ 美国哈札国际工程公司技术咨询报告

✻ 硅粉混凝土的特性及其应用

西南电业管理局科技处

一九八七年九月

目 录

第一章 序 言	(1)
第二章 背景和现状	(1)
第三章 水力学方面的情况	(2)
一、消力塘结构	(2)
二、冲砂孔边墙的气蚀	(3)
三、下游河道对尾水位的影响	(4)
第四章 地质方面的情况	(4)
第五章 工作项目、工作季节、工作场地和交通运输	(5)
一、工作项目	(5)
二、比较方案和推荐方案	(5)
三、工作时段	(6)
四、工作场地	(6)
五、外来设备和材料的转运	(6)
第六章 导 流	(7)
第七章 围 堰	(7)
一、围堰位置	(7)
二、基础开挖	(8)
三、消力塘开挖的出碴	(8)
四、灌 浆	(9)
五、围堰形式的倾向意见	(9)
六、水下混凝土浇注——从基岩到高程 460 米	(10)
七、围堰下游的混凝土保护块	(10)
第八章 厂房端墙、漂木道、分水墙和消力塘	(11)
一、厂房端墙和漂木道的加固	(11)
二、分水墙的锚固	(11)
三、漂木道边墙	(11)

四、消力塘	(11)
五、消力塘衬砌所用的混凝土	(12)

第九章 溢洪道掺气设施的设计 (13)

一、掺气挑坎	(13)
二、需气量	(13)
三、空气补给系统	(14)
四、其它	(14)

第十章 挖除沙洲 (15)

第十一章 造价估算 (16)

第十二章 标书大纲 (17)

第十三章 结 论 (23)

附件F 混凝土硅粉外加剂	
混凝土工艺的一个突破	(41)
硅粉混凝土——一种新型的、具有高强度和富有竞争力的混凝土	(42)
强度及其有关特性	(43)
为什么性能好?	(44)
与耐久性有关的特性	(45)
硅粉混凝土应用实例	(47)
混凝土的抗磨性	(48)

附件G 有关混凝土强度和硅粉外加剂的资料	
14000 磅/平方英寸——24 小时的强度	(61)
硅粉混凝土的性质、应用及局限性	(67)
硅 粉	(75)

文字报告 宾夕法尼亚州KINZUA坝消力池修补混凝土抗磨蚀性能的评价	(79)
混凝土抗磨性的试验方法 (水下法)	(87)

附录 I 国内专家名单	(89)
-------------	------

附录 II 西南电管局提供的资料名称	(89)
--------------------	------

研究报告 自由跌落水舌引起冲刷深度的预测	(90)
水工建筑物掺气设施设计时自由水舌迹线的模拟	(93)
水工建筑物上掺气设施的设计	(100)
硅粉混凝土在修补KINZUA坝消力池中的应用	(105)

第一章 序 言

龚嘴水电站位于四川省大渡河中下游，工程包括一座重力坝，两个厂房，四个溢流孔和三个冲砂孔。两个厂房共装 7 台机组，每台容量为 10 万千瓦。设计水库最高蓄水位为 528.00 米，尾水水位 474.9 米。一条弧形的漂木道用来漂送木材，但未能有效工作。每当木材丰收季节，木材从溢流坝堰顶通过。

因为木材要通过堰顶下漂，在一般过木季节流量范围内，消能采用面流消能形式。溢流坝每孔宽 12 米，溢流堰顶高程 506.00 米，挑流鼻坎高程 471.00 米，工程最大设计流量为 11000 立方米/秒。投入运行以来实际泄洪最大流量约为 5000 立方米/秒（译者注：指通过溢流坝部份，未包括通过机组的流量在内）。在形成消力塘时，具有冲刷能力的石料随着溢洪道出口和消力塘内的漩流对消力塘周围建筑物造成冲刷。另外，石块和其它材料沉积在下游河道上，造成尾水位升高，致使水电站出力减少。

哈札国际工程公司人员应西南电管局邀请访问了龚嘴工程，并帮助研究确定上述问题的整治方法（见附件 1）。鲍文·斯瓦特克先生、佛南克·第瓦学先生和张元钧博士从 1985 年 8 月 3 日至 24 日访问了龚嘴现场并在成都停留。由熟悉情况和工程历史的工程师向他们简要介绍了情况，他们还同过去的和现在的施工负责人进行了讨论。西南电管局提供了说明工程状况的详细材料（向哈札公司工作组提供的详细材料表见附件 2）。本报告讨论了各公司对龚嘴水电站的整治方案，在满足电力生产不中断这一主要要求下，提出了一个建设性的修复计划。报告中还包括了一份为西南电管局对国际招标准备的标书大纲。

第二章 背景和现状

龚嘴工程的设计始于 1966 年，第一次导流是 1967 年在左岸实施的。在 1971 年开始的第二次导流，大量木材通过溢流堰顶。洪水过后，在溢流坝边墩和其他出水口出现一些冲刷现象。1972 年，靠近漂木道基础的基岩发现冲刷。1973 年，用浇筑水下混凝土的方法在冲刷区采取了补强措施。水下补强措施每数年要重复进行，因为已修复部份又会遭到破坏。如¹1984 年，厂房左边墙及其下游分水墙上的冲坑在继续加深；漂木道基础墙上形成的冲坑也在继续发生；在导墙、溢流鼻坎的下游和紧接冲砂孔的下游部位，出现了轻微气蚀。工程现在的详细情况已在资料 1 中叙述。

工程下游河道被河心洲局部阻塞，致使尾水位抬高，但可以肯定，消力塘形成时所产生的石渣是造成这一现象的原因。另外，第一期下游围堰的残渣对沙洲的堆积也起了一定的作用。清除沙洲时的困难是水流湍急，阻碍了较小挖掘机的航行；而吃水深大于 6 米的大型挖掘机械，因为下游河道水深太浅，也不能到达。沙洲的详细情况见资料 2。

第三章 水力学方面的情况

一、消力塘结构

消力塘范围内的损坏，主要是由于水流挟带着大块花岗岩块石在溢洪消力区旋滚所造成的。这些大块石、卵石磨坏混凝土结构表面和基础。从溢洪道和 10 号坝段底孔射出的高速水流的气蚀造成混凝土结构一些次要的损坏。

修整的第一个要求是清理和改造消力塘形状，使其四周壁面将来的磨损减轻。减轻磨损，要求搬走积存在消力区内的块石、卵石，建造一个有衬护的消力塘，使磨损问题得到彻底解决。这种有衬护的消力塘和底板，可以采用细胞围堰排干消力塘内积水后，浇筑混凝土形成。围堰从厂房左边墙的下游延长端跨过消力塘与漂木道相接（如附图 I—1 所示）。这个经衬护的消力塘底可以从桩号 0+080 的高程 450 米，下坡至桩号 0+120 的高程 440 米，再从 0+165 的高程 440 米起坡到桩号 0+180 的高程 460 米，在这里与永久性细胞潜堰顶相连接。

工程建造前河槽基岩的等高线，示于工程设计图中（资料 1）。基岩等高线表明，7 孔和 9 孔前的基岩，高于桩号 0+180~0+165 之间的高程 440 米。由于这些地方靠近现有边墙基础，不挖到高程 440 米是有深谋远虑的。在 1985 年 2 月的报告（资料 1）表 1 中，工程运行的经历指出，7 号孔和 9 号孔的运行频率小于 8 号孔。因为 8 号孔在 7 号孔和 9 号孔之前开放，7 号孔和 9 号孔开放时的尾水位一般较 8 号孔单独开放时为高，所以消力塘在 7、9 号孔下游部位所经受的水流冲刷较 8 号孔为少。

消力塘最大冲刷深度的外包值，可以用维罗尼斯（Veronese）公式估算（见研究报告）：

$$d_s = 1.9H^{0.255}q^{0.54}$$

式中 d_s = 尾水位以下最大的冲刷深度（米）；

H = 从水库水位到尾水的水头差（米）；

q = 单宽流量（立方米/秒/米）。

迄今为止，龚嘴溢洪道挑坎上的最大单宽流量为 $165 \times 12 / 18 = 110$ 立方米/秒/米（库水位为 525 米）。此时能头 $H = 525 - 478.5 = 46.5$ 米，由维罗尼斯公式得 $d_s = 57$ 米。水舌轨迹从溢流坝进入消力塘，与水平线的平均角度约为 25° ，所以垂直冲刷深度是 $57 \times \sin 25^\circ = 24$ 米，或者说最小理论冲刷高程是 $478.5 - 24 = 454.5$ 米。这是一个保守的估计，因为当溢洪道开放时，通常工程流量大于 5000 立方米/秒，尾水位高于 478.5 米。

溢流坝有一个水平的或接近水平的台坎，实际上它是坝面立面转弯的延长。如图 VI—3 所示，尾水水位流量曲线表明，实际上这一台坎在任何流量情况下都是被淹没的，所以射出的水流，具有射流扩散的特性，而不具有自由水舌抛射跌落的特性。溢洪道具有水平泄流或自由出流与淹没水跃过度流的实际运行历史记载很少。美国的牧师滩（Priesf Rapids）

和瓦纳盆坝(Wanapam Dams)是按全淹没水跃设计的,台坎短且以水平为主。二十多年的运行,没有听说有关河床基岩冲刷的报告,所以龚嘴泄流可以看作是过渡状态水跃(一种具有大能量的淹没水跃),推动着部分下游水体。应用这一假定,可以估算最终冲刷:

流量:	5000 立方米/秒	10000 立方米/秒
上游水位:	520.0 米	528.0 米
尾水位:	478.5 米	483.0 米
受冲刷的岩石面:	453.5 米	448.0 米

因此,建议8号孔下游开挖至高程440米,7号孔和9号孔的下游挖到448米(图Ⅷ—2、Ⅷ—3、Ⅷ—4),使下泄水舌充分消能,防止被冲石块冲刷混凝土结构。应用上述两种估算之一,理论的冲刷高程与工程运行14年后现在的岩石等高线是一致的。在这段期间内,消力塘基岩顶板等高线仍保持在原来新鲜花岗岩的等高线附近。冲刷主要发生在左侧河床极度破碎的岩石中,而沉积则发生在靠近溢流坝的上游部位。

整治建议的第二个要求是维持木材过坝能力。要求在消能区以内不改变面流流态。在降低了的围堰范围内,流态由于潜堰的影响将会略有改变。这种变化,由于垂直面的约束将使面流流速稍有增大,使木材在过堰坝时加快。由于表面流速仍为正向,过堰能力不会有什么改变。现在运行情况,只有8号孔一孔过木,沿消力塘两侧产生次生旋滚,使一些最后流向下流的木材回转。建议的永久性堰顶高程为460米,水流在5000立方米/秒时的流速为3.2米/秒,现在这里的平均流速为1.9米/秒,所以永久性潜堰上游水位升高不到0.5米,根据目前的条件,面流流态不会明显改变。

在永久潜堰下游,需要一些附加的消能工。永久潜堰应用大混凝土块保护,以防止淘刷细胞围堰基础。当消力塘水流扩散到全河宽度时,混凝土块应延伸至围堰下游55米,以保护混凝土建筑物。这种保护将允许水流扩大到厂房下游现在的流态。

二、冲砂孔边墙的气蚀

10号冲砂孔出口右边墙的气蚀,补气后可能减少。沿墙边桩号0+080的掺气设施将在尾水位以下,因此很难设计出满意的掺气挑坎外形。尾水位下掺气设施的气腔和通气槽可能充满了水,阻止有足够的气流进入。如果像西南电管局和某些国内专家所设想的,只在桩号0+080处设置直立通气槽,槽内充水的危险将更大,因此我们建议,在模型上作一直立挑坎试验,使水流挑离气槽,空气能够进入。

如图Ⅲ—3所示,正好在底孔的末端外,除有一个新的直立挑坎,还设置了一个新的通气槽。如图所示,可以做一个保护盖,或者在墙内钻孔形成通气道。这个建议只是一个假定的设计,最后的几何尺寸,应该用各种比较方案的物理模型试验来确定。

我们建议做一个1:25的细部模型,以确定能使水流掺气的挑坎几何尺寸。模型应该包括整个冲砂底孔及其出口下游25米的距离。我们相信这个模型会适合于一米的真空水槽。即使只在右边墙上补气,水道两旁的闸门槽也应包括在内。如果采用下游补气,原有闸门槽可能需要一个可以移动的盖板,使水流平顺地通过挑坎,形成一个稳定的下游气腔。

减少气蚀的另一个比较方案是改变桩号0+059以下的冲砂孔走向,即从厂房边墙转

8°, 使现有高速水流与下游的厂房边墙在 0+080 以后不再接触。模型试验能够指导决定出挑坎最优的几何外形。

三、下游河道对尾水位的影响

为决定沙洲挖到 465.0 米高程时对目前流态的影响,进行了尾水渠回水分析。沙洲位于溢洪道下游约 400 米处,由大块石、砾石和石碴组成。分析中,包括了长约 2000 米的河段,糙率系数 n 采用满宁的值 0.025,下游河道的末端假定为正常水深,分析流量为 1800 ~ 4000 立方米/秒。小于 1800 立方米/秒的流量没有分析,因为低水位情况需要更准确的地形。分析结果见图 III—1 和 III—2。分析结果表明,在此流量范围内,这一河段水流将是缓流,并受铁路桥和桥下游的断面所控制。

结果还表明,将沙洲挖到 465.0 米高程,在这一流量范围内,对水面线并不产生很明显的影响。沙洲附近水位的降低不会大于 1 米。在枯水季节,流量小于 1500 立方米/秒时,沙洲附近的流态可以得到临时改善,因为随着开挖的进行,浅滩就不复存在。运转数年以后,又会形成沙洲,并再一次影响低水水流。

第四章 地质方面的情况

消力塘内的基岩主要由前震旦纪灰白色、中粒、斑状、黑云母花岗岩组成,有三组主要裂隙,产状详见附件 1。高程 430 米以上的一裂隙受区内岩体卸荷影响。基础右侧的岩石表面低于左侧,但相当完整;左侧岩石表面较高,严重风化,漂木道基础即建造在这一风化岩石上(译者注:应该是漂木道中下段基础建造在这一风化岩石上)。

工程建造以前和运行十四年以后的基岩等高线比较表明,基坑内相当数量的风化破碎岩石,已经出现冲刷。根据其他工程的经验,当洪水大于这 14 年出现的洪水时,预计塘底冲刷还要加深。根据这一理由,本报告建议塘底不仅应进行清除,还应将可能受到继续冲刷的风化岩石挖掉。还有,因为岩体中存在裂隙,建议塘底增加 1 米厚的混凝土,以防止高速水流进入裂隙,进一步抬动岩体。衬砌的主要作用是封闭岩石中的裂隙和节理,防止岩体在脉动高压水流作用下,“拔起”节理之间的石块。衬砌的厚度可以根据其他工程的成功经验来决定。

混凝土衬砌最好应该连续浇筑,消力塘两边斜坡的混凝土应首先浇筑,最后浇筑水平部分的衬砌,混凝土配比应是低坍落度的。各层混凝土间的接触面应处理干净,无泛浆泡沫,尽可能保持连续浇筑。按预定大小制作的钢筋网应离基础底部约 30 厘米,钢筋应布满所有浇筑层的接触面,这样就可以尽量避免构造缝。

第五章 工作项目、工作季节、工作场地和交通运输

一、工程 项 目

完成要作的项目，修复工程计划至少需要两个或可能三个枯水季，工作程序如下：

1. 第一个枯水季

- (1) 修筑围堰下部基础（用导管浇注水下混凝土）
- (2) 从消力塘基坑内搬走石碴
- (3) 在水下混凝土基础下游安放（预制）混凝土块
- (4) 用后张预应力锚索加固右侧分水墙

2. 第二个枯水季

- (1) 在水下混凝土基础上建筑临时围堰
- (2) 抽干消力塘基坑内的积水
- (3) 修补消力塘周围混凝土结构
- (4) 开挖和镶护消力塘
- (5) 装设补气设施和修改冲砂孔出口
- (6) 拆除临时围堰

3. 第三个枯水季

开挖河心洲

为了避免电力生产的中断，需在 0+186 桩号右侧分水墙跨河修一围堰（见图 IV—1）。围堰顶部高程为 480 米，其底部应建筑在高程为 442 米的基岩上。围堰高 38 米。

二、比较方案和推荐方案

建造围堰，曾考虑过四个比较方案：

1. 水下混凝土基础浇至 460 米高程，然后用拉杆加固临时性 Z 型钢板桩，回填沙子，高程从 460 到 480 米（图 V—1）。

2. 水下混凝土浇至 460 米高程，然后用 25 米直径的圆形钢板桩细胞围堰，高程从 460 到 480 米（图 V—2）。

3. 水下混凝土浇至 455 米高程，从 455 米到 468 米高程采用永久性钢板桩细胞围堰，从 468 米到 480 米高程用临时性钢板桩细胞围堰（不推荐）。

4. 四个全高 23 米直径的钢板桩细胞围堰成菱形排列（见图 V—3）。这些细胞在 468 米高程截断。468 米以上的临时细胞围堰，建到高程 480 米（不推荐）。

推荐采用方案 1 或方案 2，理由将在下面章节中叙述。

所有上面的施工项目，均在消力塘内完成，并不影响电厂的运行和洪水季节过木。

三、工 作 时 段

整个建筑工程和拆除围堰，开挖和衬砌消力塘，修补和加固消力塘的墙基，都必须在两个枯水季内完成。

有些工作在每个枯水季开始前，水流流速较小时就可以进行，这可通过溢流坝中间的闸门部分开启加以控制。假定闸门部分开启时下泄流量 720 立方米/秒，木材可不通过闸门底下泄。

在第一个枯水季进行的初期工作，包括围堰基础深水水下开挖孤石和覆盖层。第二个枯水季中，一些临时围堰可在闸门部分开启的低流速情况下进行修建。

因此，每个枯水季初，采用部分开启闸门，可以在每年十月一日开始工作（见资料 3，1937~1979 年逐日流量记录）。

在第二枯水季末拆除临时围堰时，有些扫尾工作也可以在适当的尾水流速下进行。3300 立方米/秒的导流，应在六月初开始。这样每个枯水季就有 8 个月的时间可以利用。

四、工 作 场 地

在右岸铁路高程 490 米，近坝处应有 3000 平方米工作场地，用来堆放铁路卸货和存放货物。当有直接通向塔吊的通道时，这一场地对组装 Z 形围堰的 A 型放样构架或组装细胞围堰的放样构架，都是很重要的。

在右岸水边，在高程 483 ± 米高程附近应有一个工作场地，并有 9 米宽斜坡道从 490 米高程通下。工作场上游应有一个斜坡道用来装卸渡船，也应有一条横跨浮桥到河中沙洲的卡车道。

在尾水平台上设一条皮带输送机和轻便卡车道也是必要的。坝顶已经有通道到达漂木道上，漂木道的顶部 530 米高程可以有一条 100 米长的栈桥，作为卡车运走开挖石碴或材料进出围堰的直接通道。在栈桥末端，应设有一台转运吊车。

紧接围堰下游有一条渡船缆索，从漂木道一侧到右岸场地的上游端（桩号约为 0 + 430），可以供浮运设备和材料从工作场地（译者按：此处实际为装卸场地）跨过厂房尾水运送到围堰。渡船应能容纳二辆 15 吨自卸卡车。

在左岸无类似的通道与工作场地，因为尾水出流的主流是沿左岸的。

五、外来设备和材料的转运

上海是到中国的合适进口港，船只和驳船经长江从上海到达重庆，从重庆有正规货运铁道线直接到达右岸工作场地。在铁道干线上有许多隧洞。

公路简陋，是一条山区性的、无人行道、许多地段只有单车道和急弯的公路。有一座限制载重为 10 吨的索桥通达右岸工作场地。

钢板桩将从日本或欧洲运来，货运装船的适宜长度可达 25 米。20~25 米长的钢板桩经过铁路隧洞中曲线段的净空需要校核。隧洞垂直净空的标准是 6.7 米。

第六章 导 流

为了完成整治工作，主要的是不仅要利用厂房过水和15号冲砂孔泄流，还要利用4号孔的溢流堰泄流。假定用拦木漂子可以使木材不被吸入4号溢流堰的水流。规划导流和工作季节的流量是以逐日流量记录为根据的（资料3）。

图Ⅵ—1和Ⅵ—2表示十月和五月份（包括六月初）导走3300立方米/秒，和十一月到四月导走流量2600立方米/秒（即消力塘排水期间）的推算。

图Ⅵ—3是最近测得的尾水水位曲线。

图Ⅵ—4给出了水库蓄水位——容积曲线。

备用溢洪道（4号出水口）闸门的可工作性必须经过试验给予肯定。

第七章 围 堰

一、围 堰 位 置

不管围堰设计选用什么方案，应该尽一切努力将围堰建造在没有覆盖层的基岩上。

通过对附图30（资料1）“在建坝以前所作的坝基岩石顶板线”的研究，发现在坝址以下基岩有两个深潭，一个刚好在溢流坝下游，桩号0+085至0+145，深度在高程440米以下；另外一个在下游较远处，桩号0+200至0+350米，深度也在高程440米以下。

右岸分水墙末端桩号约为0+170，基岩的顶板在两个深潭之间的最高处，高程为442米。

为了取得最小的围堰工作量，桩号0+186被选为最优围堰位置。围堰不能上移，否则将缩短有混凝土衬砌的消力塘。由于水力学上的原因，要求消力塘长度较长。

如围堰移向下游，将遇到一些额外的麻烦，如：

（1）有一部分围堰的基础将伸入从厂房排出的水流中。这里是一个围绕分水墙末端的深切横向河谷，可能产生2米/秒的流速，需对这股水流，进行大范围阻拦，才能进行下游围堰的水下混凝土浇筑。

（2）在桩号0+186米处，围堰长80米。在桩号0+230米处，堰长110米，且还要横穿河床最深冲刷坑，坑底高程为430米。长度增长，深度加深，这两项就使围堰造价增加25%，并延长了建设时间。实际上，施工时间增加至少是一个枯水季。消力塘基础的工作（需完成围堰和抽水后才能进行），加上开挖和施工，以及拆除围堰，都要求在一个为时8个月的枯水季内完成。围堰上增加相当大的工程量，将导致全部计划不能实现。

（3）分水墙要求增加后张锚索，从墙顶钻孔灌浆深入到基岩内，这些锚索是为了在基坑抽水后，防止分水墙倾复。围堰从0+186移到0+230，增加了这一工作量。当围堰位于

0+186 处时，分水墙的下游实体是由围堰自身支撑的。

二、基础开挖

在桩号 0+186 横剖面上（见图Ⅶ—1）可见到河床基岩以上覆盖层厚 5 米。图中还表明此处漂木道边的基础冲深 20 米。

在拟定的水下混凝土基础平面，用 5 立米重型带齿蛤式抓斗清除沉积物是绝对必要的。蛤式斗的重量最少应有 10 吨。

建议用马尼托渥克 4600 型履带式起重机进行水下开挖，挖除覆盖层，使基岩露出。这种起重机可以在 80 英尺（24 米多）运转半径内操纵 5 立米的蛤式抓斗。装有 5 立米斗的 4600 起重机在运转半径 80 英尺的负荷能力为 45000 磅（22.5 吨）以内。对于在 30 米水深下的坚硬大孤石，4600 装 5 立米挖斗每小时可挖 40 立方米。对于一般覆盖层，挖掘速度可增加到 240 立方米/小时。

马尼托渥克 4600 起重机配上 5 立米索铲也可用于完成下游沙洲开挖任务，比起反铲来，它有更好的伸及区。

作为升降起重机，它也可用来架立临时围堰。对于今后其它水电站大坝的施工，它是完成各种工程任务的最好施工起重机之一。

关于马尼托渥克 4600 起重机的性能，参见参考资料 A。

我们原来推荐大型反铲作沙洲的挖掘，斜撑桅杆式起重机作水下开挖，两种机械的价格比较是：

	美国价格 (美元)	运 费 (美元)	合 计 (美元)
1466 Koehring反铲	1250000	120000	1370000
S—40 刚性支柱	600000	110000	710000
	1850000	230000	2080000
4600马尼托渥克	1200000	150000	1350000

无论对于反铲或是斜撑起重机来说，4600 是一种较好的设备，如上所示，价格也是比较低的。至于组装式浮船的价格，4600 或斜撑起重机大致相同。

所以，推荐马尼托渥克 4600 起重机代替反铲和斜撑式起重机（见参考资料 A）。

三、消力塘开挖的出碴

趸船上安装马尼托渥克 4600，可以专用来开挖和装（驳）船。这些驳船必须以同样的速度在消力塘内容易到达的地点卸料。

同样，消力塘内 18000 立方米石方开挖也必须倾卸到围堰以外。

可以完成这两项工作的直接通道是：

在漂木道上架设一条高程为 530 米的栈桥（见图 I—1）。栈桥应向下游延伸到桩号 0+120，在这个位置处漂木道顶上装一起重机，可以将驳船上的石块、石碴转运到栈桥上的

卡车内。

卡车可以通过坝顶，到达水库上游右岸一些安全距离的卸碴场地。70000 立方米的卸碴只有很小一部份淤积在水库内。

这样一条运输线，也将成为进出围堰材料的备用通道。

业主应指定一个卸碴地点。

四、灌 浆

如果河床上有某些巨大漂石沉积在凹槽内而不能用重型 5 立米蛤斗挖除，则围堰将建造在这些沉积物上。

可以预计，这些沉积物有孤石和沙子填充，如果渗透性很强，沉积又厚，于是就需要帷幕灌浆以形成一截水墙，能抽干围堰内积水。这是很费时间的，所以应当尽一切努力，在围堰跨过全河床的范围内，找到一个合理的最小宽度、能达到基岩的截水槽。

五、围堰形式的倾向意见

西南电管局的施工力量，已经说明了对修补消力塘周边墙混凝土的水下施工非常熟练，水下施工包括潜水员在水下搭脚手架，立模板，安装预制混凝土板和进行水下混凝土浇注等。

国内施工力量可以很容易地建成从基岩到高程 460 米的水下混凝土潜堰。其中约 38700 立方米的水下混凝土是一项主要任务。就国内施工力量而言，我们相信浇筑水下混凝土潜堰，不会有不可克服的技术问题。假定基础开挖从 10 月 1 日开始，则混凝土潜堰可以在第一个枯水季的二月末完成。这样，第一个枯水季还有三个半月时间，可以用装有马尼托渥克 4600 起重机的趸船开挖消力塘（见图 VII—4）。

建造 20 米高的钢板桩细胞围堰（方案 2）看来没有多大困难，它符合世界公认的实践；但是建造高 36 米高的钢板桩细胞围堰（方案 4）则很少做过并存在一些问题。因为中国缺乏经验，在讨论 36 米钢板桩时存在很大困难，完成这一工程，方案 4 存在很大的冒险，所以不予推荐。

对于方案 1 来说，方案 2 也是能成立的。然而，因在中国西南是第一次采用细胞围堰，当地施工力量可能更倾向于方案 1，即采用直线型墙拉杆加固 Z 型板桩围堰。与图 V—2 上的造价比较表明，两种形式没有区别。

直线 Z 型板桩临时围堰，可以建在水下混凝土基础顶部 460 米高程上。A 型放样塔架可以在第二个枯水季开始时，安放在水下混凝土基础上（见图 VII—3）。实际上这些塔架的架立可以在流速为 0.6 米/秒的水下进行，即可以在 10 月初架设（见图 VII—3）。

Z 板桩由 18 吨、3 × 25 米的拼块组装而成，用 4600 桅杆型起重机吊运就位。安放拉杆将是很困难的，因为它的长度为 24 米，需要很仔细地规划。拉杆加固围堰以后，通过皮带输送机将沙、卵石充填入围堰中。

为了稳定 Z 型板桩加固围堰，宽度将是 22 米。充填料的体积为 33000 立方米。运输能

力为 125 立方米/小时的皮带机需要 13 天时间装填这些材料。这样, 11 月初临时围堰即可形成, 准备抽水。

第一和第二个枯水季施工计划示于图 VII—4 和 VII—5 中。

六、水下混凝土浇注——从基岩到高程 460 米

顶高程 460 米的选择, 需经过水力模型试验的验证。潜堰要完成两个目的: (1) 在洪水期维持面流、漂送木材; (2) 修到足够的高度防止围堰下游河床的松散石块被带入消力塘内。前一目的要求一个低堰, 而后一目的则要求围堰高一些。

另外需考虑水下混凝土基础与上部钢板桩之间比较实际的高程划分。460 高程要求有 20 米的板桩作临时围堰。这样的板桩长度我们已从葛洲坝工程中了解到是可以实现的。如果这些板桩是平腹板并具有 300 吨/米的锁口强度, 则就可推荐采用细胞围堰的方案 2。

建议水下灌注混凝土的铺筑厚度不超过 2 米, 因为水泥含量多将造成高的水化热。每小时生产 80 立方米的混凝土工厂制作的、顺水流方向排列的分隔模板在大的基础浇筑层上, 间距不应大于 6 米, 这样上升速度大约可以保持在 0.20 米/小时。各层分隔模板接缝应该互相错开, 用射流水清除每层顶部的过剩水泥和浮浆皮, 可改进各层间的胶结质量。对于较大仓面, 缓凝剂可以保持水下混凝土浇筑层的和易性。

板桩和水下混凝土基础顶部 460 米高程的接触面, 可以在板桩底部下游回填面, 加一卵石过滤层使其相对防水。在围堰填满以后, 过滤层可以用一定数量的稠水泥沙浆灌注 (见图 VII—6)。

七、围堰下游的混凝土保护块

为了防止水下混凝土围堰基底下游面受到水流淘刷, 需要铺一层预制混凝土块, 估计每块重 15 吨就已足够, 然而必须经水工模型试验。

为了防洪, 这些混凝土块应该在第一个枯水季后就铺设。

第八章 厂房端墙、漂木道、分水墙和消力塘

一、厂房端墙和漂木道的加固

在厂房基础和漂木道基础地带，消力塘开挖将在这些墙下进行。靠近厂房基础的高程达到 458 米。漂木道的基础高程是 460 米。

为消力塘的开挖与混凝土的浇筑，必须采用分段跳仓施工的方法，以安全地加固这些结构物。每一段应为 10 到 12 米。当某一段为浇筑混凝土而被开挖时，邻近的岩石块应保持原状，以便为厂房和漂木道的基础提供侧向支撑。当交替块段有了混凝土挡墙（即消力塘边墙）的可靠支撑时，这些未开挖的地段，才能挖掉。消力塘边墙应该锚入岩石面内。

二、分水墙的锚固

当溢洪道消力塘抽干补修时，分水墙为了支撑厂房尾水侧的水压力的倾覆作用，应该用伸入基岩的后张缆索使其垂直（见图 I—1，剖面 A—A）。建议通过分水墙垂直钻孔，缆索通过这些钻孔，经灌浆后锚固于基岩中。

在临时围墙拆除后，分水墙消力塘一侧的洪水水位差产生的反向负荷，使后张负荷释放。

计算锚索的数目或锚索的粗细，只有在基坑抽干水、对分水墙下基础的支持情况作出评价后，才能正确计算出。

分水墙对于在大洪水从顶高程 460 米的潜堰溢流时所产生的水位差的抵御能力是有一定限度的。这一条件下的试算见图 VII—1。建议在浇筑消力塘边墙时，靠消力塘一侧也应该用混凝土填补。

三、漂木道边墙

西南电管局工程师们已经证实，漂木道边墙在消力塘抽干时也能稳定。

四、消力塘

建议消力塘衬砌至图 VII—2、VII—3 和 VII—4 所示的高程。如在第三章所讨论的，这能满足溢洪道水舌能量的消减，其形状也适合于河床基岩顶高程，使岩石开挖和厂房、漂木道基础的开挖量减到最少。

建议岩石爆破应小心，以使消力塘底板和边墙下原有的岩石裂缝开裂最小。已经开挖的

基岩表面应仔细清理干净，使岩石与衬砌有较好的结合。有了良好结合与锚固之后，进而建议不设排水孔。排水孔和下部排水将使消力塘中瞬时的高波动水压力传到底板以下，这是应避免的。

五、消力塘衬砌所用的混凝土

消力塘衬砌所用的混凝土应该是高质量的，尽可能获得高耐磨强度。消力塘下游的潜堰有可能将一部分石碴拦阻在塘内。这些石碴一般由小石块组成，当它被水流挟带在塘内转动时，对混凝土表面将产生研磨作用，这种类型的磨损，已成为许多工程的一个问题。

采用坚硬密实的骨料和低水灰比，可以改善混凝土的耐磨性，抗压强度不应低于 280 公斤/平方厘米，最大骨料尺寸不大于 40 毫米。

最近，美国工程师兵团的试验证实，一种新的外加剂“硅粉”可以显著提高抗磨强度，特别是采用高范围减水剂（超塑化剂）时。在美国有一种硅粉和高范围减水剂的商业产品就是 EMSAC，是由宾夕法尼亚州匹茨堡 Elkem 化学公司生产的。电传：812374 Elkem Chem Pgh。

EMSAC 以每 100 磅水泥加 2~3 加仑的比例掺入。这种外加剂在一般配合比的情况下使抗压强度增加到 705 公斤/平方厘米（100000 磅/平方英寸），并具有优越的抗磨性能。我们了解到可以买到液体的或粉末状的 EMSAC，但是价格昂贵。如果西南电管局决定采用它，我们将提供更多的资料。

附件 G 包括了有关一般混凝土和特种混凝土的抗磨方面的资料，以及硅粉混凝土（硅烟）方面的资料。

硅粉不是一种专利产品，它是一种生产硅铁合成或硅金属的电炉过滤气体中收到的一种细粉末（尘埃）。最大的硅粉（硅烟）生产国如下表：

国	家	米制吨*
美	国	300000
苏	联	150000
挪	威	120000
日	本	70000

在美国可以从下列公司买到：

雷诺金属公司 (Reynolds Metals Company)

弗吉尼亚州 立契模特 (Richmond)

产品是非晶硅，RS—1，由谢菲尔德，亚拉巴马州工厂生产。

* 根据 1981 年的估计。

第九章 溢洪道掺气设施的设计

为了减少溢流坝面和靠近鼻坎边墙的气蚀损坏,我们建议在溢流坝桩号 0+018 处作一补气设施。补气设施包括:在溢流坝陡坡桩号 0+014 和 0+018 之间作一挑坎使水流挑起,并作一个补气系统,补充水流充气所需要的气量。

一、掺气挑坎

掺气挑坎在水平方向的长度为 4 米,从桩号 0+014 至 0+018。挑坎在桩号 0+014 与溢流面切线成 4° 角。挑坎端部使水舌在桩号 0+018 挑起离坝面 0.7 米,挑坎和补气系统的总布置见图 IX-1。在桩号 0+018 需建一 2 米高的台阶,为将空气输至挑出的水舌下表面提供一个的空腔。挑坎的设计要考虑到在水库水位 525 米闸门全开、每孔泄流 2000 立方米/秒流量时,能对溢流面和挑流鼻坎的边墙提供足够的保护。

溢流坝泄流能力,是从西南电管局所提供的泄流曲线上查得的(见资料 1,图 3)。

在给定流量的情况下,为保证掺气挑坎工作正确,应用有限元法进行分析研究,预测水舌轨迹和所需补气量(见参考资料 4)。因为溢流反弧段,将产生明显的压力降低;在底部,压力较大,迫使被裹挟的气泡加速移向表面和边墙,所以在与混凝土接触的边界层,为减少空蚀损害,约 50% 的高含气浓度是需要的。希望水舌在反弧段附近重新与混凝土表面接触,而不是在反弧段内接触。曾研究过一些不同挑角的挑坎,最后选用 4° 挑角,因为较大挑角的挑坎,将使水舌冲击至人们所不希望的反弧段;挑角太小,水舌重新接触坝面过快,使掺气不充分。

为了分析从掺气挑坎挑出的水舌轨迹,最先的有限元网格如图 IX-2 所示,网格从挑坎上游大约一倍水深处开始,网格至反弧段距离是足够长的。

上游端的水舌深度是按标准 S 型堰水面曲线估算的。龚嘴的溢流面比标准 S 形溢流面稍高,但并不希望反弧段附近的水深变化过大。分析中,依据的泄流单宽流量为 166.7 立方米/秒/米,估计水深 12.7 米,上游流速估计为 13.2 米/秒,图 IX-3 为计算所用的水舌流网。

二、需气量

确定了不同平均空腔压力的水舌需气量曲线。空气需要量与水舌的抛射(空腔)长度和水流流速有关。抛射长度是根据自由水舌的有限元分析计算出的,自由水舌考虑了负压下的空腔作用(1)。

水舌的空气掺入量(需气量)可用下式计算。

$$Q_a = C_a V L W$$

式中 Q_a = 需气量,每孔立方米/秒;

V = 流经补气挑坎的平均水流流速;