

龚嘴工程施工导流实践与评价

张 宝 声

(水电部第七工程局)

一、工程概况和自然条件

龚嘴水电站系大渡河中下游第一期开发工程。于1966年1月选定坝址，次年经国家批准按“高坝设计、低坝施工”的原则设计。低坝抬高水位50米，装机七台共70万千瓦，保证出力17.9万千瓦，年发电量34.18亿度。工程除满足发电要求外，尚需解决木材流送过坝问题，在水库进行日调节时，还应考虑流量变化对下游航运的影响。

水工枢纽工程分地下和地面两部分。其中地面工程由混凝土重力坝（包括溢洪道、冲砂底孔、漂木道和厂房进水口等坝段）及坝后式地面厂房组成。最大坝高85米，坝顶全长447米。

坝区岸坡陡峻，河床狭窄，枯水期水面宽约130米。坝区所处河段天然坡降约为千分之二，水流湍急。河床深槽砂砾石覆盖层厚约30米。两岸基岩裸露，多为前震旦纪花岗岩，岩性坚硬，有辉绿岩脉侵入其间，构造破坏较微，但缓倾角裂隙分布较普遍，并有高角度小断层。河床中基岩没有全强风化层。

龚嘴工程施工过程中所遇到的问题在西南地区的水电建设上有代表性，其中有关施工导流的设想与实践富有特色，且反映了当时我国水利水电技术上一定的水平。限于客观条件，未能进行过系统地探讨，现予以补述，作为今后工作的借鉴。

坝址区气候温和，湿润多雨，多年平均年降雨量为1615毫米，最大月降雨量达871毫米。坝址控制的集水面积为76400公里²。

表1 施工分期各频率流量表

分 期	五十年一遇	二十年一遇	十年一遇	五年一遇
1/1 ~31/1	689	655	624	590
1/2 ~10/3	543	520	500	475
11/3 ~10/4	1020	903	809	712
11/4 ~10/5	1850	1690	1570	1420
11/5 ~10/6	4250	3800	3440	3050
11/6 ~31/8	10600	9560	8530	7650
1/9 ~30/9	7200	6450	5820	5170
1/10~10/11	4570	4170	3830	3450
11/11~30/11	1920	1700	1530	1350
1/12~31/12	1050	990	940	883

大渡河的迳流主要来源是降雨。洪水多由石棉以下区间暴雨形成，因其支流呈羽状分布，故迳流丰沛平稳、峰低量大。多年平均流量为1530米³/秒，实测各年最大最小月迳流比值为6至12。

7月至9月为汛期；4月、5月为过渡期；11月至次年3月为枯水期。各施工时段的频率流量见表1。

从表1可以看出，全年最小

流量发生在枯水期的2月1日至3月10日的时段内。6月10日以后即进入汛期。

施工导流采用二十年一遇洪水9560米³/秒设计，五十年一遇洪水10600米³/秒校

核。

二、导流工程施工

1. 导流方案选择 曾比较过左岸明渠导流、右岸隧洞导流和明渠与隧洞组合导流方案。鉴于导流隧洞断面（18米×25米）、工程量（仅洞挖达40万米³以上）都很大，工期亦长，因当时施工技术力量、机械装备与过河交通均不易解决等原因而放弃。左岸小明渠加右岸一条隧洞组合导流方案，也因右岸隧洞的上述缺点而未采用。左岸明渠导流方案具有施工条件好、工程量小、漂木可靠、工期较短等显著优点，但也存在施工后期的明渠坝段在完建时施工强度大、明渠出口导墙地质条件差等缺点，经综合考虑后选定了左岸明渠导流方案。

左岸导流明渠建成后，随即进行原河床截流。用上游断流围堰与下游围堰形成基坑，大渡河水经导流明渠宣泄。截断大渡河时，没有采用通常性的截流戗堤与土石堰体结合型式，而是在二期基坑内另建截流戗堤进占（导流工程布置见图1）。

导流明渠封堵，明渠坝段混凝土浇筑是在冲沙底孔具体运用条件时进行的，枯水期流量通过冲沙底孔宣泄。待明渠坝段浇到拦洪高程时，冲沙底孔下闸封闭即可蓄水。完建期导流工程见图2。

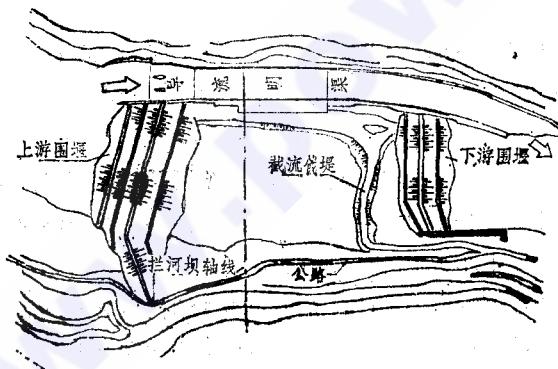


图1 一期导流平面布置图

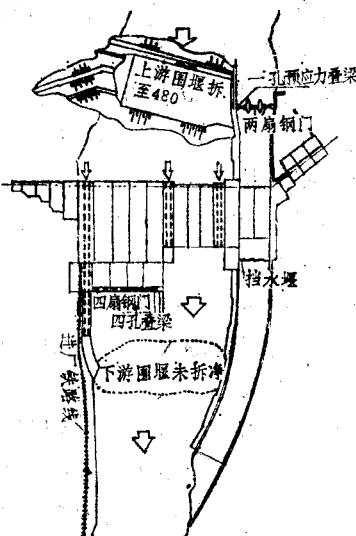


图2 完建期导流平面布置图

左岸导流明渠自1966年3月15日正式开工，1967年2月23日过水，近一年的时间里完成土石方开挖93万米³，混凝土浇筑近10万米³，实现了当年筹建、当年开工、当年运用的创举。如果工期推迟，不能在1967年2月截流，就会直接影响到工程的顺利建成。

2. 导流明渠布置 导流明渠必须满足宣泄施工期流量和漂木过坝的要求。布置方案进行了多次修改，以期合理选择明渠轴线，并在满足导流要求的前提下减少了工程量。最后，明渠用了急流底坡、全断面衬砌以压缩渠宽、增大泄流能力和降低内边坡高度（自进口经闸室过渡到明渠坝段处渠宽39米，后渐变为35米），喇叭形进水口与闸室

相连以便漂木顺利通过闸室，渠身至出口转弯段的曲率半径采用 10 倍底宽，以免发生折冲水流，利于漂木流送。出口入河与河流主流向的夹角布置小于 10 度，以减轻对下游的回流冲刷。实践证明这样布置是成功的。

但也有一些值得吸取的教训。为了减少工程量，过分压缩了明渠长度，造成进口导墙偏短，进口部分产生横向水流，降低了明渠泄流能力；二期基坑长度减短后，给施工带来不便，且影响了枢纽布置的灵活性，地面尾水分流墙被迫减短等。此外，为了降低内边坡的高度，明渠布置过分移向了河床，致使外导墙基础大部分落在岸边卸荷裂隙发育的基岩上，迫使这些部位又进行了加固。

3. 河道截流 二期上下游的横向围堰均采用混凝土防渗墙作为砂砾石地层和水下抛填堰体的心墙止水结构。为避免混凝土四面体进入防渗墙部位给防渗墙槽孔施工带来困难，截流戗堤的选择应特别慎重。

曾比较上围堰下戗堤单向进占、上围堰上下戗堤同时并进、下围堰上戗堤单进和另选戗堤单进等四种截流方案。通过模型试验，由于上围堰的合龙口在左岸，其左侧有一裸露基岩，合龙时料物将大量流失（模型试验时的料物流失量高达 30%），故第一、二方案先行淘汰。第三方案截流的混凝土四面体将落到防渗墙部位，也不宜选用。最后选择第四方案，即另建戗堤的截流方案，不仅避免了上述三个方案中的问题，而且利于围堰快速堆筑，顺利闭气。

水工模型试验表明，混凝土四面体最远的流失距离为 55 米。截流实践表明，当龙口流速在 5 米/秒左右、落差在 3 米以内时（与模型试验值并不相同），一般 9 至 11 吨的四面体，其流失距离未超过 10 米。

截流在 1967 年 2 月 24 日开始，经过五十小时的奋战，于 2 月 26 日 16 时 45 分结束。累计堆筑各种料场 9400 米³，其中铅丝笼 221 个，混凝土四面体 156 个。上述料物在基坑开挖时全部挖除。

4. 上下游围堰 堰型为石渣坝壳，木板心墙防渗，堰基覆盖层用混凝土防渗墙防渗，防渗墙与木板心墙顺接。实践证明，此种堰型防渗可靠，施工简便。关键是必须保证水下堰体的堆筑质量和混凝土防渗墙与木板心墙的可靠衔接。

这种围堰型式始用于龚嘴，后被用于葛洲坝大江围堰。在方案选择时，曾顾虑抛填堰体不能压实，河床接触带附近将会产生卵砾石堆积和集中渗流；防渗墙槽孔建造时，会出现渗水稀释泥浆、槽壁泥皮脱落及塌槽等问题，实践证明这种顾虑是多余的。此种基础处理方案工期短，受不可预见因素的影响较小。当施工力量充裕，在墙深 50 米时（包括水下抛填体深度），60 天内可以完成。

对于堰体堆筑铺层厚度及大吨位载重汽车碾压效果，我们曾做了有益的试验，要求石渣填筑干容重 1.65 吨/米³，铺层厚 1 米以内。砂砾石填筑干容重 1.9 吨/米³，铺层厚 0.6 米以内。但堆筑用石渣最大粒径超过 1 米，层厚很难控制在 1 米以内，因砂砾石与石渣须平起填筑碾压，其层厚更难掌握。原考虑用推土机碾压，后改用汽车自行碾压。表层取样试验证明，填筑干容重均可超过上述规定，砂砾石可达 2 吨/米³ 以上，石渣达 2.1 吨/米³ 以上。这可能是大吨位汽车行走频繁，且轮压较推土机或汽胎碾压都大，故碾压效果较好。

5. 导流明渠进口与地面厂房尾水管封堵 为尽量利用启闭明渠进口三个闸孔的两扇永久钢闸门和一组混凝土预应力叠梁门封闭；地面厂房尾水管出口除用四扇永久尾水门外，其它四孔用预制混凝土叠梁门封堵。

明渠进口的预应力叠梁在动水下沉就位时，通过模型和现场试验表明单根叠梁沉放过程中发生悬浮和翻转。后用钢托梁将五根叠梁整体水下下沉就位（每根跨长 14.05 米、高 1 米，钢托梁高 1.3 米），其余八根叠梁在水上逐根叠放。

叠梁用橡皮水封止水，承受水压后叠梁与门槽间稍有渗漏，向水中抛炉碴后闭气。

地面尾水管出口预制混凝土叠梁是旱地孔内叠装的。施工中取消了橡皮水封，改为沥青麻布和油毡止水。施工中在两端门槽内混凝土叠梁未能紧贴承压轨，当承受水压后，叠梁移动撕裂了沥青油毡，造成水淹厂房基坑的被动局面。

叠梁完成挡水任务后，都由潜水员水下挂钩（或绑扎）进行了回收。用沥青麻布止水的叠梁，回收也未发生困难。

6. 导流明渠内两个坝段的浇筑，是能否按期拦洪蓄水的关键 由于明渠下闸时间拖后，至三月上旬已到枯水末期，坝体欲在汛前挡水，必须将此两个坝段高速施工，因此将设有冲砂底孔坝段改为重力挡水坝段，全断面薄层浇筑改为柱状浇筑，采用抢浇经济挡水断面的办法。柱状块在弱约束区月最大升高达 15 米，幸好该年洪水期洪峰流量较小，有机会赢得了浇筑时间，明渠坝段才得以按计划时间挡水。

三、几点体会

1. 在本工程特定的自然条件下，选择明渠导流方案是正确的。明渠既可宣泄大流量，又解决了漂木过坝问题；且具有工程布置简单、工程量小、施工期短、后期封堵容易、明渠运行安全可靠等优点。

实践证明，明渠导流一般适用于中等坝高（指渠内坝段的高度要能满足在一个枯水季节内可以升至拦洪高程），枢纽布置有各类泄水底孔，或某些部位可设置施工导流底孔以供明渠封堵时宣泄枯期流量之用。当坝高 60 至 80 米时，明渠坝段也可布置梳齿，以争取更长的时段升高坝体（如我国的三门峡和巴西的伊泰普），这是另一种型式的导流明渠。

2. 上下游横向围堰堰型选择是恰当的。上围堰高 35 米，总填筑量约 40 万米³，直线工期仅四个月。基坑深挖后，围堰承受超过 50 米的水头，其边坡稳定性和堰基渗漏水量都十分令人满意。堰体水下抛填并在其上成功地建造了深达 50 米的防渗墙，且工期短，实践中还摸索和积累了一套完整的技术，成绩应予肯定。水下抛填堰体和砂砾石地层的防渗，还可以采取新近兴起的振冲加密和旋喷灌注桩等新技术，但在架空地层或水深较大的条件下会受一定的限制。

3. 导流工程施工受来水制约，必须按预定计划完成，各环节工期安排一般比较紧凑，生产中应严格遵守，否则，工程施工可能陷入被动局面。龚嘴工程明渠过水、河道截流及明渠封堵等，预先设计均安排在枯水初期，但在施工中，由于各种原因，工期均有所拖后。河道截流时间推迟到 2 月底，留给上下游围堰的施工时间只有四个月。下游

围堰填筑较晚，于七月初才将冲击钻机匆忙撤退，抢填堰体渡汛；因此，堰基防渗墙尚有部分槽孔未到基岩，形成渗漏窗口，后来又采取灌浆帷幕补救。明渠封堵时间推迟到三月中旬，给明渠段浇筑升高带来极大困难，若不是当年来洪较小，必然会推迟预定的发电时间。

因此，导流工程施工中应本着提前，不能拖后的原则安排，万万不可“前松后紧”把希望寄托在来水不会那么大的侥幸心理上。

4. 钱堤轴线选择问题。另建钱堤的办法一般工程尚属少见，对此争论颇多，意见各异。当时采用第四方案主要是为了解决抛投的混凝土四面体不进入混凝土防渗墙部位，根据水工模型试验成果，其它三种截流方案，混凝土四面体都大量流失或滚落至混凝土防渗墙轴线部位。如果试验中没有上述问题，则不会选择第四方案。

※※※※
※简讯※
※※※※

加快开发中型水电 为我省“富民升位”献计献策

水能规划及动能经济专业委员会扩大会在成都召开

为了加快四川中型水电建设，以缓和我省电力紧张局面，我会水能规划及动能经济专业委员会，于1986年2月21~22日在成都召开扩大会议。参加会议的除本专委会委员外，还邀请了川西电业局、省水利水电设计院、水电部成勘院的有关同志，省科协学会部肖永锡同志参加了会议，到会代表共23人。

会上成勘院的同志介绍了阿坝州汶、理、茂三县若干河流水电规划工作情况，并对三县的中小水电规划进行了讨论，还研究了专委会1986年活动计划。

汶、理、茂三县位于岷江上游，紧邻四川盆地，是阿坝州最靠近成都的地区。三县境内水能资源十分丰富，工农业和水电建设发展较快，在阿坝州国民经济中占有重要地位。区内共有流域面积大于500平方公里的河流十余条，水能资源理论蕴藏量达545万千瓦，平均每平方公里447千瓦，为四川省平均值的1.6倍，是我省目前水电开发的重点和地方水电发展最快的地区之一。初步规划，三县在本世纪内可能开发的中、小水电站16座，共装机容量23.4万千瓦，年发电量约15.6亿度，平均每千瓦投资约1920元，每度电投资约0.29元。阿坝州期望把汶、理、茂三县建成中、小水电能源基地，供电成都地区，为川西经济发展作贡献。

成勘院还介绍了嘉陵江干流亭子口至合川段，开发一系列中型水电站的设想。该河段位居四川盆地腹部，紧靠负荷中心，供电位置优越。设想在段内开发10余座中型水电站。共可开发装机150万千瓦左右，其中马回、青居街、东西关电站已进行可行性研究或初步设计。嘉陵江上游，近期有已建白龙江碧口水库和正建的宝珠寺水库调节径流，远期加上规划开发的白龙江苗家坝水库和嘉陵江亭子口水库后，径流调节更加充分，水

(下转74页)