

# 四川水能资源与开发利用

水利电力部成都勘测设计院 郑平 段开甲

我国水能资源居世界第一位，四川约占全国的四分之一。正确认识和合理开发利用四川的水能资源，对四川以及我国的能源发展和四化建设，都具有重要意义。

## 一、四川的水能资源

四川处于长江上游的中心，地域辽阔，河流众多。长江的上游及其重要支流，几乎都位于或流经四川境内。长江上游川江段（宜宾以上称金沙江），自西向东横穿本省中南部，其北岸有金沙江的支流雅砻江；川江支流大渡河、青衣江、岷江、沱江、涪江、嘉陵江、渠河等，自北向南纵贯全川；川江南岸又有乌江、赤水河、横江等，从云、贵汇入。全省共有大小河流1370余条。除川江外，其中河长在一千公里以上，且主要河道在四川境内者，有金沙江、雅砻江、大渡河、嘉陵江四条；河长在一百公里以上者有115条；流域面积在五百平方公里以上者有260余条；水能资源在一万千瓦以上者有380条。

构成水能资源的两大要素是径流和落差。四川具有径流丰沛和落差巨大的十分优越的自然条件。如金、雅、大、青、岷、沱、涪等干流，天然落差都在二、三千米以上，还有众多的支流落差也在几百至二、三千米左右。且气候湿润，雨量充沛，西部高山终年积雪，使得四川河流不仅汇集本省的径流，还纳入了青、藏、甘、陕、云、贵诸省的部分水量，故径流量大而稳定。全省境内年产水量加过境径流总量约4500亿米<sup>3</sup>，相当于九条黄河的水量。全省平均水能模数266千瓦/公里<sup>2</sup>，约为全国平均值的四倍；可开发的水能资源居全国第一位，占全国的26.8%；平均每平方公里可开发的装机容量162千瓦、年发电量90.87万度，为全国平均值的4.15~4.55倍。四川省境内各河流水能资源见表1。

## 二、水能在四川能源中的地位

四川主要常规能源，是煤炭、石油、天然气和水能。由于水能是可再生资源，其开采年限是无限的、绝对储量是无穷的；而煤、油、气是不可再生的，开采多少就减少多少，都有一定的储量和开采年限。就能源性质而言，水能确是优越的能源。试将以上四种能源，折合标准煤计算，35年内共有可开采储量为107.96亿吨。各种能源所占比重如表2。

表1 四川省境内各河流水能资源统计表 (1979年底统计)

河流名称	包括范围	干流					水能蕴藏量				可开发的水能资源				
		流域面积 (公里 <sup>2</sup> )	河口多年 平均流量 (米 <sup>3</sup> /秒)	河道总长度 (公里)	省内河道 总长度 (公里)	天然落差 (米)	落差 (米)	落差差 (米)	一 万 千 瓦 以 上 流 条 数	蕴藏量 (万千瓦)	占全省 (%)	五百 千 瓦 以 上 电 站 座 数	装机容量 (万千瓦)	年发电量 (亿度)	电量占 全省 (%)
金沙江	干流及中小支 流	473000	4920	2308	1545	3273	2235		54	3009.95	20.00	82	2306.66	1270.51	24.66
雅砻江	全部干支流	130000	1810	1571	1375	3870	3192		78	3343.88	22.24	144	2491.47	1523.07	29.56
大渡河	除青衣江外全 部干支流	77400	1570	1062	852	4177	2788		54	3102.39	20.63	99	2337.03	1267.09	24.59
青衣江	全部干支流	13300	565	276	276	2840	2840		15	424.02	2.80	62	167.93	95.21	1.85
岷江	干流及中小支 流	133000	2850	735	735	3560	3560		37	1332.37	8.90	149	542.48	304.64	5.91
沱江	全部干支流	27860	519	702	702	2354	2354		6	152.64	1.00	45	26.25	16.01	0.31
涪江	全部干支流	36400	572	700	700	2810	2810		16	372.33	2.50	72	133.15	73.57	1.43
嘉陵江	干流及其它支 流	160000	2120	1120	796	2300	350		21	499.39	3.30	44	341.28	163.32	3.17
渠江	全部干支流	39211	663	720	720	1410	1410		22	179.63	1.20	109	76.15	37.51	0.73
赤水河	省内干支流	20440	309	524	245	1588	424		5	28.90	0.20	16	9.23	4.71	0.09
乌江	省内干支流	87920	1650	1037	235	2124	144		13	245.79	1.63	29	204.97	101.60	1.97
川江	干流及其它小 支流	1005501	14300	1030	892	219	198		41	2258.11	15.00	186	500.24	280.85	5.45
其它	黄河、汉水、 沅水支流								18	84.51	0.60	25	31.22	14.57	0.28
合计									380	15033.91	100	1062	9168.16	5152.66	100

注：1、川江为长江干流宜宾至宜昌段；金沙江为玉树（巴塘河口）至宜宾段；  
 2、金沙江资源，实际上居第一位，因是省界河流，有关河段和电站只计一半；  
 3、长江三峡枢纽，利用四川的资源，但坝址在湖北境内，未计入本表（完全统计在湖北省）。

表2 四川能源资源构成表

项 目	煤 炭	石 油	天 然 气	水 能
单 位	亿 吨	万 吨	亿 米 <sup>3</sup>	万 亿 度
可开采储量	28.80	736	1100	18.03
折合标准煤(亿吨)	20.56	0.10	1.30	86.00
构成比重(%)	19.0	0.1	1.2	79.7

注：以煤炭开采年限35年计

不难看出，水能在四川能源资源中占最大优势。即使采用其它计算方法，水能优势也是无疑的。但是，长期以来，四川能源开发违背了“因地制宜，发挥优势”的正确原则，没有发挥水能优势，水电在能源生产中的比重，长期处在10%以下。在1980年全省能源生产构成中，煤炭占78.55%，石油占0.40%，天然气占11.27%（扣出化工及省外用气），水电只占9.78%。如把这种生产构成与资源构成加以对照（表3），就明显看出四川能源结构很不合理。

表3 四川能源资源构成与生产构成对比表

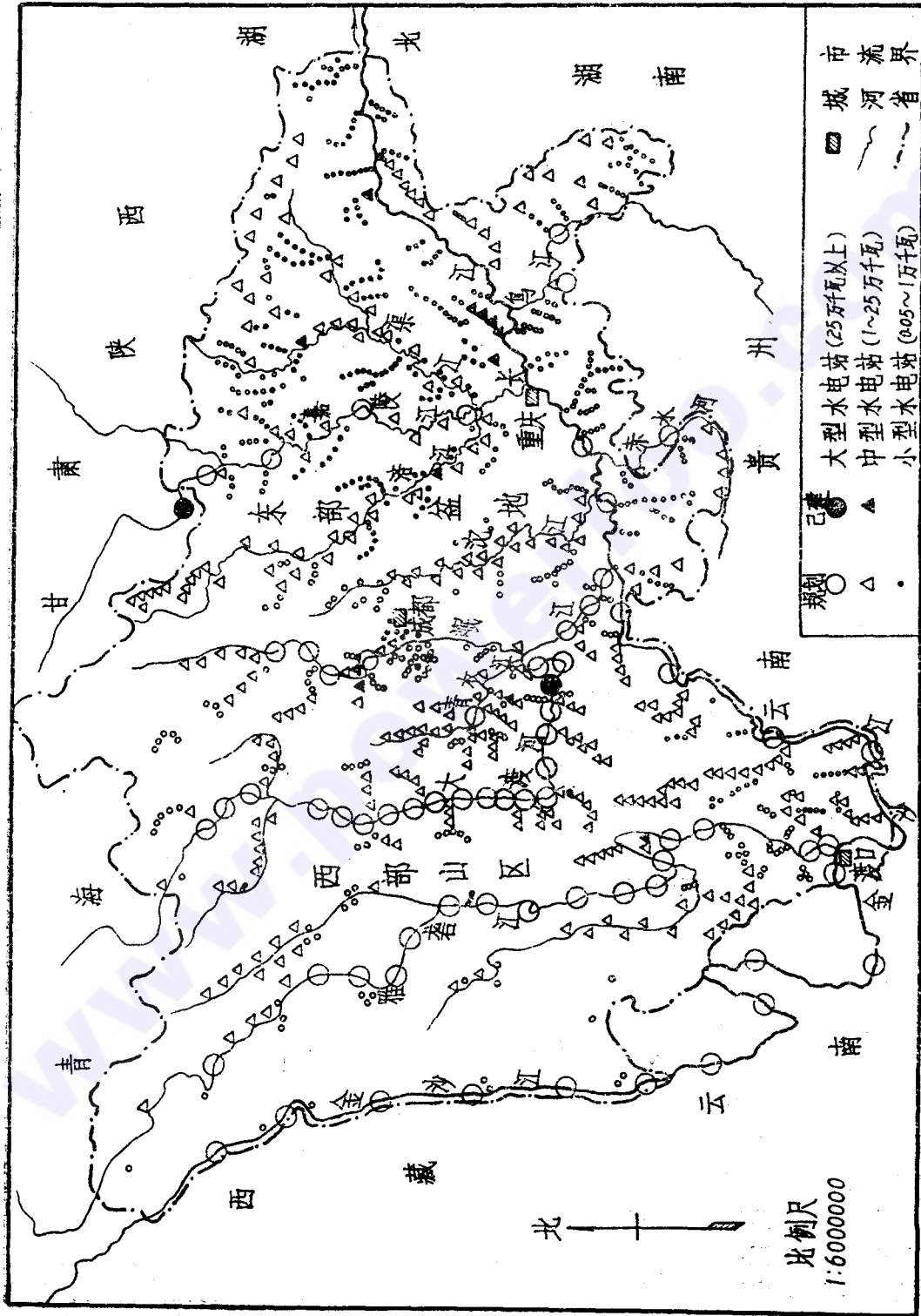
项 目	煤 炭	石 油	天 然 气	水 能
资源构成(%)	19.0	0.1	1.2	79.7
生产构成(%)	78.55	0.40	11.27	9.78
生产构成/资源构成	4/1	4/1	9/1	0.1/1

合理的能源结构，应使生产构成与资源构成相适应，两者大致为1比1的关系。而四川煤、油、气开发程度过高，水能开发程度太低，能源结构与资源条件的关系倒置。这就造成水能优势得不到发挥，巨大的水能白白流掉；较少而不能再生的煤、油、气资源，却被强化开采，储量急速减少，产量衰减，能源供应必然日益紧张。因此，大力开发水能资源，优先发展水电，提高水电比重，是当前四川改善今后能源结构、搞好能源建设的主要途径。

### 三、水能资源特点与开发条件

四川水能资源量大，电源点多，其分布东少西多。全省大致以岷江为界，东部盆地区约占25%，电源点以中小型居多，大型较少；西部山区约占75%，电源点多，大型电站集中（见图1）。根据自然条件和社会经济状况的不同，全省水能开发条件，大致可分为西部山区、盆地腹部区和盆地边缘区三个类型。

（一）盆地腹部区：主要河流有川江和岷、沱、涪、嘉、渠等河流的中下游及其支流。这里一般为丘陵和平原，水流平缓，河谷开阔，沿岸人口、耕地集中，工农业发达，交通方便，灌溉、航运已有悠久历史，是“天府之国”的精华地区。河流开发具有防洪、灌溉、航运、发



四川水能资源分布示意图

图 1

电、城镇及工业供水等很多效能，视情况不同而有所侧重。区内工程地质条件一般较好，广泛出露红色砂页岩及粘土岩，构成简单，河床复盖层薄，地震烈度低。因受地形条件和人口稠密的限制，一般不宜兴建淹没过大的高坝。水能开发宜与防洪、灌溉、航运等工程相结合，采取低水头径流式开发，兴建中小水电站。目前，区内已建成毛毛寺、东风、永安、龙凤（包括小白塔）、回马、青居街、舵石鼓等许多中小水电站，对地方经济发展起了一定作用。区内还有大量的中小型水电电源尚未开发，装机几千至一、两万千瓦的点子，几乎各县都有。这类工程规模小，交通方便，技术上要求不高，可就地取材，投资不多，收效较快，且当地又有用电要求。故盆地腹部区，是我省发展中小水电的主、客观条件最好的地区。在干流上，也有一些大型径流式电源点，值得研究开发。

（二）盆地边缘区：这里主要属岷、涪、嘉、渠等河的上游，青衣江，白龙江和乌江的下游以及川江南岸和川东的许多中小河流。这些河段处于由山区向盆地的过渡地带，落差大，水能资源丰富，又有筑坝建库的良好地形地质条件，适合水电开发。区内建设水库，淹没少、效益大，不仅可调节径流发电，尤其是结合解决盆地区的防洪、灌溉、航运和供水等问题将起重要作用。如宝珠寺、武都、紫坪铺、飞仙关、风滩（高）等工程。这个地区一直是四川水电开发的重点，已建的有龙溪河梯级、大洪河、映秀湾、渔子溪Ⅰ级、吴河、小江、风滩（低）等中型水电站和许多小水电站。区内有许多中小河流，上游可建龙头水库进行调节，以下实行全河梯级开发，效益尤为显著，可对电力系统发挥补偿作用，如周公河、龙河、磨刀溪等。本区有很多开发条件好的大型及中型电源点，靠近四川腹地，供电位置好，交通施工较方便，是我省近期水电开发的好地方，尤其适合于发展中型水电。

（三）西部山区：属于金沙江、雅砻江、大渡河三大河流域，山高谷深，河大水丰，径流稳定，落差巨大，是我国水能资源最丰富的地区。全省目前规划的26座100万千瓦以上的特大型水电站中，有23座分布在这三大河流上，也是我国特大型水电电源点最集中的地区。这些大河，适宜进行高坝开发，电站效益大，淹没损失小，动能经济指标十分优越。如雅砻江下游五级电站，共装机1080万千瓦，平均每千瓦装机投资不到1000元，每千瓦保证出力投资1730元，每度电能投资0.15元，每万千瓦淹没耕地不到19亩，每万千瓦迁移人口不到21人，这些指标在全国也不多见。但有的电站还存在坝高、库容小、工程量大、施工场地狭窄，对外交通不便等问题（有些河段已通铁路、公路）；有的河段还有地质构造复杂、地震烈度高、河床复盖层厚等不利因素。区内还有众多中小支流，水量丰、落差大，引水发电十分有利，如南桷河、瓦斯沟、磨房沟、九龙河、鲹鱼河、美姑河等，可开发规模分别达10万至近100万千瓦。目前，干流上只建成一座大渡河龚嘴（低坝）水电站（70万千瓦），是四川现在的主力电源；支流上仅开发了磨房沟Ⅱ级、南桷河南瓜桥、洗马沽等三座中型电站及其它小水电站。这里是我国建设多年的“大三线”地区，又是我国矿产和自然资源最丰富的宝库。区内的渡口市至西昌一带，已形成我国重要的冶金工业基地。开发本区水能资源，以廉价水电促进冶金工业的发展，加速矿产开发，对四川的经济发展具有重大的意义；还可补充邻近省区工农业用电。诚然，这里的水能开发工程艰巨，技术要求高，投资大、工期较长，条件亦较复杂，并有一系列具有世界水平的科学技术难题，非四川省的能力所能解决。

总的来看：东部盆地内河平谷宽，不宜建淹没大的高坝大库；西部山区水大流急，河陡谷狭，建高坝也难获得大库，一般是高坝小库。当实现全河梯级开发联合运行后，四川的

河流可以达到较好的径流调节效果。但在近期能够单独出现的点子，多为径流式，调节性能差。所以，四川近期水电开发的一个重要特点，就是缺乏调节水库，季节性电能多。对少数调节性能较好和具有补偿作用的电源点，应予特别重视。

#### 四、水能开发利用及存在问题

四川水能资源，若不开发利用则相当于每年流掉八亿吨原煤，比目前全国煤炭年产量大得多，其可开发资源相当于每年可提供2.4亿吨标准煤的能量，为目前全省年能源消费量的六倍。但由于我们对水能优势认识不足，缺乏正确的能源政策，使得水电发展缓慢，水能资源开发程度很低。到1980年底，全省已建的一万千瓦以上大中型水电站十四座（其中十万千瓦以上者仅有三座），农村小水电八千余处，总装机容量仅约200万千瓦，该年发电量72.7亿度，只占可开发电量的1.41%，占蕴藏电量的0.55%，即98%以上的水能资源尚待开发利用。

开发水能资源，优先发展水电，是解决四川能源问题的正确途径。由于目前经济技术能力的限制，以及水能开发工作的艰巨性和复杂性，看来近期内四川的水电发展速度不可能很快。预计：1990年以前能建成的大型水电站很少，急需抓紧兴建一批中型水电站，1990年至2000年可能出现四川发展大型水电的高潮。必须从现在起，下定决心，采取有力措施，为这个高潮的到来做好准备。目前，除在建项目外，应尽快促成宝珠寺、桐子林、太平驿、紫坪铺等电站开始兴建；坚持完成南桷河的全河梯级开发。四川省除应配合中央有关部门搞好大型水电开发外，还应尽快组织本省的中型水电建设队伍，利用盆地区的有利条件，建设一批中型水电站，最好抓一、两条类似龙溪河那样的中小河流梯级开发（如龙河、周公河等）。四川小水电发展快，地县建设力量较强，应充分利用这个有利条件，有规划、有指导地大力发展小水电。

开发大江大河，是水电建设的骨干。四川大江大河甚多，开发工作不能齐头并进。现阶段，应集中力量进行雅砻江下游梯级开发。该河段不仅水能资源集中，而且在坝基岩性、河床复盖层、构造稳定性、淹没指标等方面都相对较好，建设条件和开发方案比较明朗。

省内金沙江、雅砻江、大渡河、岷江、嘉陵江等，规划的水电开发规模，在全国占举足轻重的地位，其中金沙江和雅砻江是全国最大的水电基地。可以设想，四川的水电将与云南、贵州联成一片，构成以水电为主的西南巨大能源基地，西电东送，促进其他省区的经济发展。充分开发四川的水能资源，还将对整个长江流域的综合利用和经济发展起很大作用。长江总水量的44%流自四川，是长江中下游洪水的主要来源。在四川开发水电，调节径流，对配合解决长江中下游地区防洪，发展航运、灌溉和水产，提高葛州坝电站效益，改善城市及工业供水，搞好环境保护，发展旅游事业等方面，都将有一定的综合效益。在这些方面，是否可有取代或分担长江三峡枢纽的作用，值得进一步尽早加强研究论证。

四川的水能开发工作，目前存在以下问题，应予重视解决：

（一）首要的问题是四川应制定适合本省特点的能源政策。能源政策应立足于资源条件，因地制宜，发挥优势。据了解，广西壮族自治区根据本区资源特点的分析，把水电列为该

（下转第18页）

在试验中,前后进行了四孔、三孔和三孔加排沙孔三种方案布置的比较(详图3)。除考虑技术经济和便于施工外,结合闸址位置的选择,着重在水力学方面,研究了引水防沙和改善下游冲刷问题。

(1) 四孔和三孔方案布置比较。比较成果如表4~6。

从以上三表中可看出:三孔方案各闸孔流量分配均匀,横向水面坡降小,泄流均匀,护坦末端贴壁冲刷较浅,防冲措施较简易;“门前清”流量(即取水口前底沙能被冲出一条“清带”的最小流量)比较低,泄洪排沙闸门操作运用灵活,一年中可保持“门前清”流量的时间长,有利于防止底沙侵入取水口,比四孔方案经济合理。因此,决定采用三孔方案。

(2) 三孔方案和三孔加排沙孔方案比较。根据试验资料,三孔加排沙孔方案,可将“门前清”流量进一步降低到 $110\text{米}^3/\text{秒}$ ,而大于此流量的多年平均天数为46.5天/年。因此,有排沙孔的方案,在汛期可提前开闸排除底沙,库内汛前淤积量即可大大减少。用“门前清”流量为110和 $150\text{米}^3/\text{秒}$ 的试验资料作比较,前者每年开闸时间比后者多近两倍,而库内汛前淤积约为后者的三分之一。由此可见,降低“门前清”流量,对引水防沙和减轻库内淤积有明显作用。最后决定拦河闸采用三孔泄洪闸加排沙孔的布置方案。

## 2. 拦河闸底板高程的选定

在试验过程中,前后比较研究了多种方案:(1)三孔泄洪闸底板高程均为1179.0;(2)均为1181.0米;(3)在闸轴线处均为1180.0米,从闸轴线起,向下游成1:33的斜坡;(4)左侧第一孔闸底板高程为1179.0米,其余两孔为1181.0米;(5)左侧第一孔闸底板高程为1179.0米,其余两孔从闸轴线起,自高程1181.0米向下游成1:33的斜坡;(6)泄洪闸和排沙闸孔底板高程均为1181.0米;(7)泄洪闸和排沙闸孔底板高程均为1179.0米。试验结果表明,第(7)方案底板高程1179.0米,比较接近闸址处天然河底高程,基本上不改变原河道的输沙能力和底沙运动状况。其余六个方案,不同程度造成上游壅水,影响底沙的运动状况,扩大了上游的淤积范围,削弱了环流排沙作用,对引水防沙显然不利。所以,最后选用拦河闸各孔闸底板高程均为1179.0米。

(上接第6页)

区八大优势之一;并把水电与甘蔗并列为该区的两大支柱,大力促进了红水河的开发。而四川矿物能源不足,水能则居最大优势,因此,四川省应制定一项以开发水能为重点,优先发展水电,逐步过渡到以水电为主的能源政策,是理所当然的,也是十分迫切的、必要的。

(二) 在投资上,没有把水电与其它一次能源放在平等地位,更谈不上优先。要改变这种状况,近期应给水电以战略投资,今后仍应保持给水电以优先投资。

(三) 前期工作薄弱,满足不了加快发展水电的需要。四川河流多,自然条件复杂,前期工作量大,而勘测设计力量不足,加之使用不当,长期拿不出几个能达到初设或可行性研究阶段以供选择的项目,甚至列入开工的工程,施工队伍已进驻现场,还等待勘测设计资料。故此,应重视四川水电前期工作,急需充实力量,特别是有效地使用力量,更新设备,提高技术水平。

(四) 四川西部水能开发,有许多重大科学技术课题,影响着水电建设。如高山峡谷区

### 3. 拦河闸护坦坡度和尾墩长度的确定

护坦坡度开始用1:10, 通过试验, 发现护坦末端冲刷情况和沿沉沙池外边墙基础的冲刷情况均不够理想。为了改善护坦的受力条件, 减小下滑力, 以期减薄护坦的厚度, 乃将坡度改缓为1:22。通过试验, 上述冲刷情况均有所改善, 故用1:22坡度。关于护坦在平面上的扩散角度, 鉴于右岸受基岩陡壁的限制, 无法扩散; 而左岸又受沉沙池布置的约束, 基本已定型, 而且在护坦坡度的比较试验中, 现用坡度1:22的水流流态和下游冲刷问题, 均已比较理想, 故未进一步作专门的试验研究。

在护坦坡度、长度及扩散角确定后, 主要对护坦上的水流流态做了进一步的比较研究。由于拦河闸位于弯道末端, 各闸孔泄流能力不全等, 影响到护坦水流分布不够均匀, 而闸下游的河道又不平直, 因而造成下游的冲刷深度也不均匀, 局部地段冲刷过深, 对护坦不利。为使护坦上的水流分布较为均匀, 使沉沙池外边墙基础的冲刷深度尽量减小, 决定在闸墩末端加设尾墩(即闸墩的延长段, 建于护坦上), 以调整水流的分布。对尾墩长度, 做了三种布置方案的试验: (1)三个尾墩均长11.0米; (2)均长15.0米; (3)右侧两个尾墩长11.0米, 左侧一尾墩长22.0米。通过试验比较, 以第(2)方案较为优越, 尤其是在泄大流量时, 沿沉沙池边墙的冲刷较小。因此, 决定采用三个尾墩均长15米。

在经上述各项试验确定护坦型式的基础上, 又进行了在各级流量及相应含沙量情况下, 下游冲坑范围及深度的试验, 以便确定护坦末端齿墙的开挖深度和下游防护措施。通过试验, 在设计洪水 $1160\text{米}^3/\text{秒}$ (初设中数据)的泄流情况下, 下游冲坑最深处距护坦末端约15.0米, 冲深约9.0米; 在校核洪水 $1760\text{米}^3/\text{秒}$ 时, 最大冲坑深约10.2米, 距护坦末端约20.0米。经过分析研究, 选用护坦末端齿墙的开挖深度为9.0米, 以保证护坦的运行安全。同时, 为了减小护坦末端的贴壁冲刷深度, 做了用混凝土块或石块抛填来防护齿墙基础的比较试验。通过试验, 在距护坦末端5.0米范围内的河床中, 用混凝土块或用直径1~2米的石块防护, 测得的护坦下游及沿沉沙池外边墙基础的冲刷深度均差不多, 都有一定的防护作用。为节约混凝土及钢材, 决定用闸基开挖出来的直径1~2米的漂卵石作为防护材料。

水工建筑物型式及其布置, 交通和施工问题的解决; 高坝、高边坡、高速水流、高坝过木过船; 强地震、河床深厚复盖层的处理; 深埋长大隧洞及大型地下洞室的开挖; 远距离超高压高海拔输电的研究; 高水头、大流量、大容量机组的研制等等, 都需要进行深入细致的研究工作。为此, 国家应及早考虑建立专门的科学研究机构。

(五) 还要加强河流综合利用规划工作, 充实水电施工队伍, 更新施工设备; 合理解决水库的淹没和移民问题; 重视季节性电能用户配置的研究等。国家和省、地、县各有关部门在国防和工业布局上, 还要注意保护拟建的水库区和坝址区, 不应任意占用等。

## 主要参考资料

电力工业部成都勘测设计院编:

“中华人民共和国 分省水力资源普查成果 第23卷 四川省”

1982.2.