

桃林口水库一期工程
优化设计补充说明

河北省水利水电勘测设计研究院

1996—05

桃林口水库一期工程 优化设计补充说明

目 录

- 一、 工程概况
- 二、 优化设计主要依据
- 三、 优化设计主要内容
 - (一) 大坝建基面抬高
 - (二) 右岸边坡坝段优化设计
 - (三) 溢流坝消能型式优化
 - (四) 水电站水轮发电机组机型的优化设计
 - (五) 泄水底孔由 4 孔变为 2 孔的优化布置
 - (六) 坝基渗流场的计算与渗控措施的优化
 - (七) 大坝抗滑稳定分析及处理措施的优化
- 四、 节省工程量及投资计算
- 五、 优化设计增加的成本
- 六、 优化设计节约投资提成计算

桃林口水库一期工程 优化设计补充说明

桃林口水库一期工程在国家计委、水利部的亲切关怀、支持下，在河北省人民政府的正确领导下，于1992年11月5日正式开工建设。1993年完成导流隧洞及围堰工程，1993年6月1日实现一次导流成功；同年进行了土石方开挖及临时工程；1994年3月开始浇筑坝体混凝土。1994年底达到了82.0m高程。1995年底达到了104.5m高程。计划1996年底左右岸非溢流坝段达到130.0m高程，溢流坝段达到121m高程，水电站厂房全部完成，第一台机组具备发电条件。1997年大坝封顶，二台机组发电，1998年汛前竣工。

该工程主管单位为河北省水利厅，建设单位为桃林口水库工程指挥部，设计单位为河北省水利水电勘测设计研究院，监理单位为能源部、水利部北京勘测设计研究院。通过招标、投标方式选择了武警水电一支队和河北省水利工程局两个施工队伍分别负责大坝左右岸坝基开挖和坝体混凝土工程，水电六局四处负责混凝土骨料生产及运输。

一、工程概况

桃林口水库位于河北省青龙县滦河支流青龙河上，控制流域面积5060km²，是一座供水、灌溉、发电等综合利用的大型水利枢纽工程，也是“引滦入津”后国家对河北省的补偿项目。

1981年5月由当时的万里副总理在天津主持召开了解决天津城市用水问题的会议，提出潘家口水库水量西调天津后，建议河北省修建滦河支流青龙河上的桃林口水库。同年6月国务院以国发〔1981〕102号文件批转了这次会议纪要。1984年原水利电力部以

〔84〕水电计字第 218 号文在给国家计委关于《对河北省人民政府要求将桃林口水库列入国家前期工作重点项目意见的报告》中指出,桃林口水库是解决冀东地区水源不足问题的重要措施,必须抓紧进行前期工作。并再次强调桃林口水库是一个比较好的水源工程。要求河北省 1984 年 6 月底提出补充可行性研究报告。

设计工作从 1981 年正式开始到 1991 年初设审查批准,历经 10 年时间,严格按照国家基本建设程序和规程、规范的要求,经历了规划选点、可行性研究、补充可行性研究、设计任务书、评估、初步设计各个设计阶段。并顺利地通过了中央有关部门的审查。在设计中,对三个坝段 11 条坝线,不同坝型及消能型式进行了几十个布置方案比较,对水库工程规模,设计标准进行了多方案技术经济比较。最后由国家计委计农经〔1990〕1072 号文上报国务院,以计农经〔1990〕1264 号文印发经国务院批准的设计任务书,确定工程分两期建成。一期工程为大 II 型工程,二期工程为大 I 型工程。

一期工程主要解决秦皇岛市及滦河中下游农业用水,大坝为 2 级建筑物,按 100 年一遇洪水设计,1000 年一遇洪水校核。坝顶高程 146.5m,最大坝高 74.5m(原 81.5m),坝型为碾压混凝土重力坝,坝顶长 500m,正常蓄水位 143.4m,总库容 8.59 亿 m^3 。坝后式水电站厂房,3 级建筑物,正常运用洪水为 30 年一遇,非常运用洪水为 200 年一遇。电站装机容量 $2 \times 10MW$,多年平均发电量 $6275 \times 10^4 KWh$ 。升压变电站设在厂坝之间,出线为单回路。二期工程达到最终规模,重点解决冀东钢铁基地用水,大坝为 1 级建筑物,按 500 年一遇洪水设计,5000 年一遇洪水校核。坝顶高程 163.3m,最大坝高 91.3m(原 98.3m)坝顶长 526.62m,正常蓄水位 158.8m,总库容 17.8 亿 m^3 ,水电站总装机容量 $3 \times 10MW$,多年平均发电量 $9330 \times 10^4 KWh$ 。一期工程工程特性表见表 1。

一期工程枢纽建筑物由电站坝段、底孔坝段、溢流坝段、两岸非溢流坝段以及发电厂和升压变电站等部分组成,共 29 个坝块,泄水建筑物按二期工程 100 年一遇洪水设计。施工期为 5 年。

表 1 工 程 特 性 表

序 号 及 名 称	单 位	数 量	备 注
一、水文			
(一) 流域面积			
全流域	km ²	6340	
工程地址以上	km	5060	
(二) 利用的水文系列年限	年	55	
(三) 多年平均年径流量	亿 m ³	9.6	
(四) 代表性流量			
多年平均流量	m ³ /s	30.4	
实测最大流量	m ³ /s	8760	
调查历史最大流量	m ³ /s	14000~15000	
设计洪水标准及流量(P=1%)	m ³ /s	14340.0	
校核洪水标准及流量(P=0.1%)	m ³ /s	23848.52	
施工导流标准及流量(P=10%)	m ³ /s	153.0	9.16~6.30
(五) 洪量			
实测最大洪量(三天)	亿 m ³	11.67	
设计洪水洪量(三天)P=1%	亿 m ³	14.61	
校核洪水洪量(三天)P=0.1%	亿 m ³	24.73	
(六) 泥沙			

续表 1

序号及名称	单位	数量	备注
多年平均输沙量	万吨	386.0	
多年平均含沙量	kg/m ³	4.0	
实测最大含沙量	kg/m ³	34.8	
(七) 天然水位			
实测最低水位(相应流量 1.1m ³ /s)	m	83.85	
实测最高水位(相应流量 8760m ³ /s)	m	93.12	
调查最高洪水水位(相应流量 14000~15000m ³ /s)	m	95.15~95.51	
二、水库			
(一) 水库水位			
校核洪水水位	m	144.32	
设计洪水水位	m	143.40	
正常蓄水位	m	143.40	
死水位	m	104.0	
(二) 正常蓄水位时水库面积	km ²	38.07	
(三) 回水长度	km	34.40	
(四) 水库容积			
总库容(校核洪水水位以下)	亿 m ³	8.59	
调节库容(正常蓄水位至死水位)	亿 m ³	7.09	
死库容	亿 m ³	0.35	
(五) 库容系数	%	74	
(六) 调节特性			多年
(七) 水量利用系数	%	70	

续表 1

序号及名称	单位	数量	备注
三、下泄流量及相应下游水位			
(一) 设计洪水时最大泄量 $P=1\%$	m^3/s	14340	
相应下游水位	m	95.15	
(二) 校核洪水时最大泄量 $P=0.1\%$	m^3/s	23848.52	
相应下游水位	m	97.99	
四、淹没损失及施工占地			
(一) 淹没耕地	万亩	4.27	
征地标准 ($P=20\%$)			
(二) 迁移人口	万人	4.0	
移民标准 ($P=5\%$)			
(三) 淹没房屋	间		
(四) 淹没公路长度和改线长度	km	40.3	
(五) 淹没电讯线及输电线长度和改线长度	km	247.3	
(六) 其它重要的淹没及淹没对象			
(七) 施工占地	亩	2423.14	
五、主要建筑物及设备			
(一) 挡水建筑物			
型式			碾压混凝土重力坝
地基特性			板状粉细砂岩夹石英砂岩
地震基本烈度/设防烈度	度	6/6	
坝顶高程	m	146.5	
最大坝高	m	74.5	

续表 1

序号及名称	单位	数量	备注
坝顶长度	m	500.0	
(二) 泄水建筑物(溢流坝)			
型式			表孔式溢流
堰顶高程	m	128.3	
溢流段长度	m	207.0	
孔数	孔	11	
孔宽	m	15	
单宽流量	$m^3/s/m$	77.06	
消能型式			宽尾墩与消力池联合消能
闸门尺寸及数量	m	11—15×15.6	
启闭机型式及容量	2×160t		油压启闭机
设计泄洪流量 P=1%	m^3/s	12714.4	
校核泄洪流量 P=0.1%	m^3/s	22207.42	
(三) 放水建筑物(泄水底孔)			
型式			有压短管
孔口尺寸(宽×高)	m	5×6	
孔数	孔	2	
进口底高程	m	90.0	
工作闸门型式			弧形门
闸门尺寸(宽×高)	m	5×6	
启闭机容量		200t/50t	摇摆式油压启闭机
设计泄洪流量	m^3/s	1625.6	

续表 1

序号及名称	单位	数量	备注
校核泄洪流量	m ³ /s	1641.1	
消能型式			底流
(四) 引水建筑物(发电站)			
设计引用流量	m ³ /s	2×25.62	
最大引用流量	m ³ /s	2×25.62	
进水口型式			喇叭口
进口底高程	m	102.0	
闸门型式、尺寸及数量	m	平板门 3—3 ×3.5	
引水道型式			钢管
压力管道条数	条	3	
压力管道长度	m	89.82	
压力管道直径	m	3.0	
(五) 发电厂房			
型式			坝后式
地基特征			弱风化板岩 夹石英砂岩
主厂房尺寸(长×宽)	m	49.54×14.4	
机组安装高程	m	84.40	
(六) 主要机电设备			
水轮机 台数	台	2	
型号		HLA208— LJ—180	
额定出力	kw	10370	
转速	r/min	300	

续表 1

序号及名称	单位	数量	备注
吸出高度	m	0.0	
最大工作水头/最小工作水头	m	58/23.9	
设计水头	m	45.0	
每台机组过水能力	m ³ /s	25.62	
发电机 台数	台	2	
· 型号		SF10—20/ 3250	
额定容量	KVA	12500	
额定功率	KV	10000	
(七) 输电线路			
电压	万 KV	11	
回路数	回路	1	
输电起止			双山子—桃林口
输电距离	km	31.5	

二、 优化设计主要依据

桃林口水库一期工程初步设计,水利部以水规[1991]12号文批准后,我院针对审查意见和水利水电规划设计总院要求,在完成水文、规划、水工、机电、施工等初设补充工作基础上,1992年5月先后提出了“关于桃林口水库初步设计审查意见的综合说明”、“桃林口水库补水灌区规划”以及“桃林口水库初步设计大坝深层抗滑定分析及处理措施”和“桃林口水库初步设计施工组织设计补充报告”两个专题报告,呈报水利水电规划设计总院,补充、完善了初步设计。1993年3月16日至3月19日由水利水电规划设计总院对初设审查后报送的补充文件和专题报告在桃林口水库施工现场进行了复核。

在进入招标设计和技施设计阶段后,针对桃林口水库工程特点,重点对右岸边坡坝段、大坝建基面抬高、消能型式比较、机型选择、大坝深层抗滑稳定计算以及消力池渗控措施等工程设计项目进行了优化。通过大量的设计计算、试验研究和先进的勘测手段,在满足大坝稳定安全前提下,通过设计优化,工程量与初设工程量相比有大幅度节约,节约工程总投资 10089 万元,工期可加快 1 年,经济效益和社会效益十分显著。优化设计主要依据是:

(一) 根据 1991 年 12 月 2 日,水利部水规[1991]第 12 号文《对青龙河桃林口水库初步设计的批复》精神,在完成水文、地质、规划、水工、机电和金属结构、施工等初设补充工作基础上,对部分工程项目进行优化。

(二) 1993 年 4 月和 1994 年 1 月两次水利部江河水利水电咨询中心的专家咨询意见。

(三) 重力坝岸坡坝段稳定分析方法的改进及计算机辅助设计应用研究,科学技术成果鉴定意见(编号(93)冀水科鉴字 013 号)。

(四) 桃林口水库溢流坝消能型式的试验研究,科学技术成果鉴定意见(编号(94)冀水科鉴字 03 号)。

(五) 桃林口水库工程坝基利用定量参数确定最优建基面研究,科学技术鉴定意见(编号 冀水科鉴字[93]字 72—91)。

(六) 能源部、水利部水利水电规划设计总院(92)水利便字第 28 号文《关于桃林口水电站机型问题的函》。

(七) 能源部、水利部水利水电规划设计总院,水规水[1994]0028 号文《对桃林口水库大坝建基面高程和管理局基地设计变更问题的复函》。

(八) 水利部水规计[1995]446 号文《关于河北省桃林口水库一期工程修改概算及优化设计报告的审查意见》。

三、 优化设计主要内容

(一) 大坝建基面抬高

为使大坝建基面达到优化的目的,首先对混凝土坝基开挖深度的控制标准进行了研究。结合工程实际,根据岩体质量等级和定量参数确定坝基开挖深度和建基面高程。由于坝基岩石为板状砂岩夹中厚层石英砂岩,产状平缓,确切地划分风化界线难度较大,经过大量的地质勘探、现场原位测试、室内岩石物理力学性质试验及固结灌浆试验等,对取得的观测试验数据进行了系统综合分析论证,确定最优建基面为Ⅲ级岩体(弱风化中下部)为主,提出了控制大坝建基面的主要定量参数。同时考虑了多方面的因素,大坝建基面高程和地基处理措施的相互关系;大坝结构本身要求开挖的深度与水工设计要求之间的关系;坝基岩石质量与坝体断面之间的关系;综合分析地质条件和相应的结构措施以及工期、经济性问题。

桃林口水库大坝建基面的选定分为三个阶段,初设阶段按照规范要求根据钻孔资料以目测划分岩石等级,大坝建基面选在微风化岩层上限,招标设计阶段,经过进一步的地面地质、山地工作以及钻探、固结灌浆试验、现场和室内各种测试成果分析,将建基面普遍抬高2.0~3.0m;施工详图阶段,根据开挖暴露的岩石,经过现场测试结合岩性组成、岩体强度、风化程度、声波速度、构造断裂和层间夹泥等情况综合分析结合坝体经济断面选择,又将5~22#坝块建基面抬高2.0~7.0m。在弱风化岩层的中下部,与初设比较,节省了石方开挖和混凝土工程量,降低了施工强度,加快了施工进度。各阶段选定建基面见表2。

1994年3月8日至9日,由水利部、省水利厅、省重点工程建设领导小组办公室和建设、监理、设计、施工单位组成桃林口水库坝基开挖工程验收委员会,听取了设计、施工单位和初验小组的汇报,审

阅了初验文件、资料,对验收项目逐块逐段验收后,认定坝基岩石较好,建基面及断层和破碎带开挖处理等分项工程符合规范规定的标准和设计要求,同意验收。

桃林口水库工程坝基利用定量参数确定建基面研究成果于1995年11月20日经过专家鉴定达到国内领先水平。

表 2 5~22 坝块建基面高程选定表

坝块编号	桩 号	坝段名称	建基面高程(m)		
			初设	标书	选定
5	0+158.0~0+175.0	右非溢流坝段	70	72	74
6	0+175.0~0+192.0	电梯井坝段	70	72	74
7~8	0+192.0~0+224.0	电站坝段	70	72	74
9~10	0+224.0~0+254.0	底孔坝段	70	72	74
11~12	0+254.0~0+284.0	溢 流 坝 段	65	72	74
13~14	0+284.0~0+321.1		65	67	74
15	0+321.0~0+339.3		65	65	72
16	0+339.3~0+357.5		65	67	72
17~18	0+357.5~0+393.9		65	67	74
19~20	0+393.9~0+430.3		65	72	76
21~23	0+430.3~0+461.0		70	72	76

(二) 右岸边坡坝段优化设计

桃林口右岸山坡近于直立,山坡相对高度140m,岸坡坝段座落

在开挖后的多级坡上。岸坡坝段的坝体设计、稳定分析仍以《混凝土重力坝设计规范》为依据。岸坡坝段的稳定问题是坝工设计中比较复杂的问题,为防止大坝裂缝、不均匀沉陷,进行了分缝、分块及温度控制设计。初设阶段,按着规范的要求,将右岸坡 92m 长的坝段分为 5 个坝块,其中 4 个坝块座落在具有平台和斜坡组成的基础上,每个坝块长 18m,稳定计算方法以规范要求的材料力学理论二维稳定力学计算,使用手工配合 PC-1500 进行计算。基岩开挖边坡顺坝轴线方向的坡比为 1:0.5,平均综合坡比为 1:0.863。按坝基平台的建基高程选择坝体断面,上游边坡比为 1:0.15,下游边坡比为 1:0.8。

由于岸坡基岩弱风化岩层分界线变化幅度较大,层厚由 10m 变为 80m;其 2~4 坝块建基面较低,至使开挖岩石及混凝土工程量偏大。因此,右岸坡开挖坡度的确定是直接影响工程量变化的关键,甚至成为控制工期的主要因素。为了经济合理的确定坝体断面和优化的开挖边坡,首先对岸坡坝段的稳定计算方法进行了研究,提出了对岸坡坝段采用并缝的措施,随着微机的发展,编制了微机上的电算程序改进了岸坡坝段三维稳定计算方法,进行了三维稳定分析和整体有限元分析;经计算最后确定顺坝轴线方向开挖平均综合坡为 1:0.527,坝顶长度比初设缩短了 16m,从而减少了岩石开挖和混凝土工程量,同时降低了施工强度,工期还可以提前。

桃林口水库右岸劈坡工程于 1993 年 12 月 22 日全部完成,1994 年 3 月 8 日经过验收。经两年的观测表明边坡稳定、安全。

重力坝岸坡坝段稳定计算分析成果于 1993 年 12 月 14 日经过专家鉴定达到国内先进水平。

(三) 溢流坝消能型式优化

桃林口水库在初设阶段,溢流坝采用平尾墩二级消力池底流消

能型式,池长 144.995m,其中一级池长 78.495m,一级坎顶高程 90.25m。

初设审查后,根据审查意见进一步优化了底流消能型式,为解决溢流坝的消能和防冲问题,对水头高、能量大、下游水深浅的高速水流的底流消能型式存在的消力池规模大,消能效果不尽理想的水力学问题,在原平尾墩二级消力池水工模型试验基础上采取多种方案的分析研究、试验和比较;针对桃林口水库下游水深浅、地质条件差、水头高、泄量变幅大的特点,采用宽尾墩——消力池联合消能工,成功的解决了桃林口工程的消能问题。

宽尾墩是在设有闸墩的泄水建筑物上,根据泄流条件将墩尾部适当加宽的一种辅助消能型式。由于墩尾加宽,出口相应缩窄,呈窄缝出流的射流条件,改变了闸室内水舌流态,变抛物线水面线成为逐渐加深壅高的水面线形式,边壁水舌竖起射出闸室,呈“鸡尾形”窄而高纵向拉开的薄片水舌,除水舌下缘沿坝面下泄外,大部水流畅空中运动跌落在下游消力池内,水流在空间的运行过程中充分掺气,由于墩形的改变和约束,使水舌在闸墩后不远处相交撞击而抛起,成为“水冠”状,在整个水流运动的物理过程中,经收缩后的水流在空中掺气、交汇、撞击、抛起、消耗了一部分能量后,跌落在池内扩散并形成三元多轴水流翻滚,在水流相互摩擦作用下,使用下泄水流的动能大幅度消耗,达到了消能的目的,提高了消能率。

通过 13 种布置形式及 29 组试验比较,选用 Y 型宽尾墩长度为 9.0m,收缩比为 0.35,消力池采用一级池,池长 68.5m,梯形尾坎顶高程 85.0m,尾坎后设 15m 长 1:10 顺坡式护坦。

该成果于 1994 年 6 月经专家鉴定,在下泄流量变幅大,下游水深浅的底流消能技术方面达到国内领先水平。1995 年汛后进行消力池开挖,1996 年汛前完成大部分混凝土浇筑任务。

(四) 水电站水轮发电机组机型的优化设计

桃林口水库的主要任务为调节水量,水电站利用工农业及城市生活供水进行发电。

在初步设计中,按本电站具体条件,经技术经济比较选定水轮机型号为 HL220—LJ—140,一期工程装机为 $3 \times 6.5\text{MW}$,二期工程装机为 $4 \times 6.5\text{MW}$ 。

1990年12月,由部规设总院代表水利部对工程的初设进行了审查,审查意见指出“同意水库一期工程建设选用三台竖轴混流式水轮发电机组,单机容量为 6.5MW ,机型暂定为 HL220—LJ—140,希下阶段根据供水及水库调度方式,研究增大单机容量,减少机组台数的合理性”。

据此,我院进一步作了机型的优化工作。

我们收集了国内有关生产厂家适合桃林口的六种机型及其模型转轮参数,并按电站具体特性指标依据各转轮型号的水头稳定运行范围及运转特性曲线,分别以55年水文资料,进行了一、二期工程的多年电能计算。

从一期工程计算成果来看,较优机型有 HLA208—LJ—180型(装机 $2 \times 10\text{MW}$)及 HLA286—LJ—180型($2 \times 10\text{MW}$)两种,其多年平均发电量在生产厂家所提供的六种型号机组中为最多。而 HLA208—LJ—180型转轮(以下简称208转轮)又比 HLA286—LJ—180型转轮(以下简称286转轮)的多年平均发电量多 $197\text{万 kW} \cdot \text{h}$,比原初设时所确定的 HL220—LJ—140机型多 $809.8\text{万 kW} \cdot \text{h}$ 。从单位千瓦年发电量看,208转轮经286转轮多 $98.6\text{kW} \cdot \text{h}$,比220转轮多 $334.9\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

从运行效率看,220转轮已为老转轮,其最高运行效率仅为89%,而所选208转轮及286转轮的最高效率分别可达92%及

93.7%。在后两者之间进行比较,当本电站水头处于46m以下时,208转轮效率又高于286转轮1.5%,46至73m之间时二者效率基本相同。而当水库初期蓄水发电水头较低水头在30m以下时,原选220转轮已不能运行,而208转轮甚至可在23m水头下正常运转。以30m水头情况下运行工况比较,所选208转轮的效率此时可达88%,而原选220转轮的效率仅为75%。值得提出的是,208转轮的气蚀系数较大须适当降低装机高程。但本电站厂房基础岩石风化较为严重,必须下挖,故此项要求并不构成限制条件。

从单位千瓦投资及单位电能投资看,所选208转轮为228元/kW及0.0725元/kWh,286转轮为280元/kW及0.0921元/kWh,而原选220转轮则为234.4元/kW及0.0836元/kWh。

此外,选用208转轮方案后,所配电气设备因机组台数减少可减少6万元,机组成套设备投资可减少1.5万元。减少了一条引水管道,坝段缩短了8m。

(五) 泄水底孔由4孔变为2孔的优化布置

在初设阶段推荐“枯水围堰,分期导流”的方案,利用4个 $5\times 6\text{m}^2$ 永久底孔与4个 $5\times 5\text{m}^2$ 临时导流底孔浅双层布置。初设审查后,我院又提出了“桃林口水库初步设计施工组织设计补充报告”在“报告”中提出四个导流方案,并推荐“枯水围堰,分期导流”方案。在招标设计阶段,根据指挥部意见改为“枯水围堰,隧洞导流”。

为了早期泄洪及将来放空水库、排沙要求,设置4个 $5\times 6\text{m}^2$ 短管深式永久底孔,进口底高程90.0m,设置了弧形工作门及平板事故检修门各一道,分别由摇摆式200t/50t油压启闭机和坝上200t/25t/12.5t门机启闭。采用底流二级消力池消能。考虑底孔长期处于高水头条件下运行,容易造成脉动、气蚀破坏,通过大量的水工模型试验和减压箱试验研究,对堰面、进出口及闸门槽、支座等进行了局