

SHUIGONGJIANZHUYUWUYOUHUASHEJI

水工建筑物优化设计

顾 辉 编著



黄河水利出版社

序

在设计工作中求实创新走出一条优化设计之路,是提高设计质量、节省资金、增加效益的关键环节。设计人员应坚持科学态度,注意引进新技术,不断提高科技含量,以高度的事业心和责任感,进行精心设计,在技术上做到精益求精,不断创新。

本书介绍了作者从事水工建筑物优化设计方面的宝贵经验。在岩基混凝土重力坝坝工设计中,坝址、坝线、坝型、枢纽布置、基础处理以及施工工艺优化选择,对提高设计施工水平、缩短工期,节省工程造价是至关重要的。桃林口水库工程 RCC 筑坝技术和坝面防渗措施的研究,为我国北方寒冷地区建造全断面碾压混凝土坝提出了一个新的范例。此外,水工隧洞采用加斜墙增高马蹄型断面的设计,土基上建闸防冲槽深度的计算方法,土石坝软弱地基防渗加固技术,散粒体地基上建碾压混凝土坝的研究等均有创新。以上优化方法在设计理论和技术方面基本上都是可行的,且已经过工程初步考验。在工程设计中取得的正反两方面的经验,可供设计、科研及高等院校教学人员在今后类似工程中借鉴和参考。

曹楚生

2000.12 天津

目 录

滦河大黑汀水库枢纽工程设计优化·····	(1)
岩基重力坝的滑动及提高安全度的对策·····	(14)
岩基矮宽缝重力坝提高安全度对策研究及监测数据分析·····	(21)
桃林口水库碾压混凝土坝设计与施工特点·····	(32)
桃林口水库工程 RCC 筑坝技术·····	(42)
桃林口水库 5 [#] ~ 22 [#] 坝块大坝建基面抬高设计论证·····	(51)
桃林口水库右岸高边坡坝段稳定分析与优化设计·····	(68)
重力坝岸坡坝段稳定分析方法的改进·····	(78)
碾压混凝土坝防渗设计优化·····	(127)
全断面碾压混凝土坝坝面防渗措施研究·····	(142)
黄壁庄水库抗风险能力分析及提高安全度的对策·····	(146)
土石坝软弱地基防渗加固技术及其发展·····	(153)
散粒体地基上建碾压混凝土重力坝的研究·····	(161)
水工隧洞断面的优化设计·····	(170)
引水工程应用大口径玻璃钢管道的设计·····	(180)
输水工程应用复合材料管道的论证分析·····	(204)

用自记正垂线观测混凝土坝的安全	(209)
土基上建闸防冲槽深度的计算方法	(215)
引水式电站压力前池的优化设计	(223)
挡土墙的优化设计	(229)
污水资源利用技术的新思路	(241)
农业节水工程优化措施	(246)
地下水开发工程设计新技术	(256)
预防水工建筑物混凝土冻融破坏设计	(261)

滦河大黑汀水库枢纽工程设计优化

1 工程概况

大黑汀水库位于河北省唐山市迁西县城西北 5km 的滦河干流上,控制流域面积 35 100km²,占滦河总流域面积的 79%。

大黑汀水库是开发滦河,跨流域向天津市、唐山市及其所属县(区)供水的大型骨干工程之一,其作用是承接上游潘家口水库调节水量、抬高水位,下接引滦入还、引还入陡及引滦入津渠道。为唐山市、天津市及滦河下游工农业及城市用水提供水源,并利用输水进行发电。

水库大坝为 2 级建筑物,水电站为 3 级建筑物;基本地震烈度为 7 度,设计烈度采用 8 度。主坝坝长 1 354.5m,坝顶高程 138.8m(黄海标高,下同),河床高程 102m,最低基岩高程 86m,最大坝高 52.8m,库容为 3.37 亿 m³。大坝按 100 年一遇洪水设计,按 1 000 年一遇洪水校核,按流域内可能最大降雨为保坝标准。技术经济指标见表 1。工程建成后与上游潘家口水库联合运用,每年可向下游供水 21.34 亿 m³,除供滨海地区农业用水 4.15 亿 m³ 外,其余水量 17.19 亿 m³ 全部南调,供唐山市及天津市工农业用水。

2 枢纽布置

大黑汀水库大坝为混凝土坝,坝基以角闪片麻岩为主,间有花岗岩片麻岩。

为了跨流域引水,在大坝右端设 4 孔引滦渠首闸,闸底高程 114m,孔口尺寸为 4m×4m(宽×高),设平板钢闸门。控制引水流量

为 $160\text{m}^3/\text{s}$, 相应下游尾水位为 121m , 并利用引滦输水, 在闸右侧设坝后式渠首电站, 装机 4 台, 每台容量 $3\,200\text{kW}$, 设计水头 11m , 单机最大过水流量为 $37\text{m}^3/\text{s}$, 年发电量 $3\,240$ 万 kWh 。

表 1 技术经济指标表

流域面积	大黑汀水库以上			35 100km ²
	潘家口、大黑汀两水库区间			1 400km ²
年径流	大黑汀水库以上多年平均			28.28 亿 m ³
	潘大区间	多年平均		3.78 亿 m ³
		P = 50%		3.35 亿 m ³
		P = 75%		2.20 亿 m ³
潘大两库 P = 50% 调节			22.20 亿 m ³	
洪水	百年一遇设计	洪峰流量	入库	26 940m ³ /s
			出库	26 940m ³ /s
		库水位高程		133.0m
	3 日洪量		26.17 亿 m ³	
	千年一遇校核	洪峰流量	入库	35 620m ³ /s
			出库	34 570m ³ /s
		库水位高程		133.7m
		3 日洪量		43.85 亿 m ³
水	保坝标准(按流域内最大降雨)	洪峰流量	入库	67 500m ³ /s
			出库	67 500m ³ /s
	库水位高程		138.5m	
	洪量	潘家口 6 日		61.92 亿 m ³
		潘大区间 3 日		15.43 亿 m ³
1962 年洪峰流量			22 200m ³ /s	

续表 1

水 库	调节性能		年调节
	坝顶高程		138.8m
	坝顶长度		1 354.5m
	最大坝高		52.8m
	总库容		3.37 亿 m ³
	正常高水位高程		133.0m
	死水位高程		121.5m
	死库容		1.13 亿 m ³
溢 流 坝	坝轴线起止桩号		0 + 304.6 ~ 0 + 837.0
	坝型		宽缝重力坝
	溢流型式		堰顶溢流
	消能型式		逆坡式消力戽
	堰顶高程		121.5m
	坝 块 长	右边块	9.5m
		1 ~ 28 坝块各长	18.0m
		第 29 坝块	18.9m
		30 个坝块总长	532.4m
	闸墩厚度		3.0m
	闸 孔	孔数	28 孔
		孔宽	15.0m
		总净宽	420.0m
	闸 门	个数	28 扇
		型式	弧型钢闸门
		每扇尺寸(宽 × 高)	15m × 12.1m
	启 闭 机	数量	28 台
		每台启闭能力	90t
	溢 流 量	最大	60 750m ³ /s
		单宽	144.7m ² /s

续表 1

底 孔	坝轴线起止桩号 作用 结构型式 消能型式 进口底高程		0+216.0~0+304.6 泄洪、排沙、输水、放空水库 坝内潜孔 逆坡式消力塘 105.0m	
	孔口	孔数 每孔尺寸(宽×高)	8 孔 5m×10m	
	坝块长	右边块(1块)	12.5m	
		2~7块每块长	10.6m	
		左边块(8块)	12.5m	
		8个坝块总长	88.6m	
	闸门	型式 尺寸(宽×高) 每个门重	平板定轮钢闸门 5.76m×10.05m 43.4t	
启闭机		250t 门机		
泄量	最大 单宽	6 750m ³ /s 168.8m ³ /s		
电 站	名称 坝轴线起止桩号		河床电站 0+200.8~0+216.0	引深渠首电站 0+094.5~0+138.5
	型式 引水型式		河床式坝后厂房 坝内孔口	
	孔口底高程		112.5m	115.415m
	闸门处孔口尺寸(宽×高)		6m×5.48m	4.5m×4.5m
	孔口 闸门	型式	快速平板钢闸门	
		孔数 每扇闸门尺寸(宽×高)	1 孔 6.12m×5.55m	4 孔 4.6m×4.56m
		每孔门重	15.28t	11.0t
闸门启闭机		油压 50t	80t	

续表 1

电站	发电水头	设计 最大 最小	18.5m 26.0m 13.0m	11.0m 18.0m 6.0m
	最大过水流量		62.0m ³ /s	4 × 37m ³ /s
	机组	台数	1 台	4 台
		总装机容量	8 800kW	4 × 3 200kW
	年发电量		1 440 万 kWh	3 240 万 kWh
	年利用小时		1 640h	2 530h
	坝块	块数	1 块	2 块
		每块长度	15.2m	22.0m
		总长	15.2m	44.0m
引滦渠首闸	起止桩号		0 + 138.5 ~ 0 + 166.5	
	坝块	数量	2 块	
		每坝块长	14m	
		总长	28m	
	型式		坝内潜孔	
	进口底高程		114.0m	
	孔数		4 孔	
	每孔尺寸(宽 × 高)		4m × 4m	
东渠首电站	闸门	型式	平板定轮钢闸门	
		尺寸(宽 × 高)	4.1m × 4.06m	
		每扇门重	8.81t	
	启闭机		与底孔共用 250t 门机	
	控制引水流量		160m ³ /s	
东渠首电站	相应下游渠道水位高程		121.0m	
	起止桩号		1 + 255 ~ 1 + 285	
	坝块数量		2 个	
	型式		坝后式厂房	
	装机容量		2 × 500kW	
	进口底高程		117.5m	
	孔口尺寸(宽 × 高)		1.5m × 1.5m	
	控制引水流量		10m ³ /s	
	坝块总长		30.0m	

续表 1

重力坝	起止桩号	0-014.5 ~ 0+094.5	0+166.5 ~ 0+200.8	0+837.0 ~ 1+255.0	1+285.0 ~ 1+340.0
	结构型式	重力式	重力式	宽缝重力式	重力式
	坝块数量	7个	2个	24个	4个
	坝块单长	-	17.3m 17.0m	18m 16m	15m 10m
	坝长	109.0m	34.3m	418.0m	55.0m
	坝顶宽	6.5m	6.5m	6.5m	6.5m
	总长	616.3m			
副坝	位置	坝右侧			
	型式	混凝土重力坝			
	坝顶长度	96m			
	坝顶宽	3m			
主体工程量	土石方开挖	合计	252万 m ³		
		其中岩石	75万 m ³		
	混凝土浇筑量		139万 m ³		
	帷幕回填灌浆		2.43万 m		
三大材料	闸门启闭机结构安装		5 177.21t		
	总投资		2.717亿元		
	水泥		31.3万 t		
	木材		3.06万 m ³		
水库淹没	钢材		1.94万 t		
	迁移人口		13 132人		
	迁移村庄		26个		
	淹地面积		776hm ²		

为了排沙、泄洪及放空水库的需要,在渠首闸坝段左侧设底孔坝段。底孔孔口 8 个,孔口尺寸为 $5\text{m} \times 10\text{m}$ (宽 $\times$ 高),孔口底高程 105m,采用平板钢闸门控制水流,当 100 年一遇洪水时,8 个底孔全开,可宣泄流量 $6\,390\text{m}^3/\text{s}$,底孔下游选用逆坡式消力塘消能,见图 1。结合向滦河下游输水,在底孔坝段与渠首闸坝段间,设坝后式河床电站,装设 1 台容量为 $8\,800\text{kW}$ 机组,年发电量 $1\,440$ 万 kWh ,见图 2。

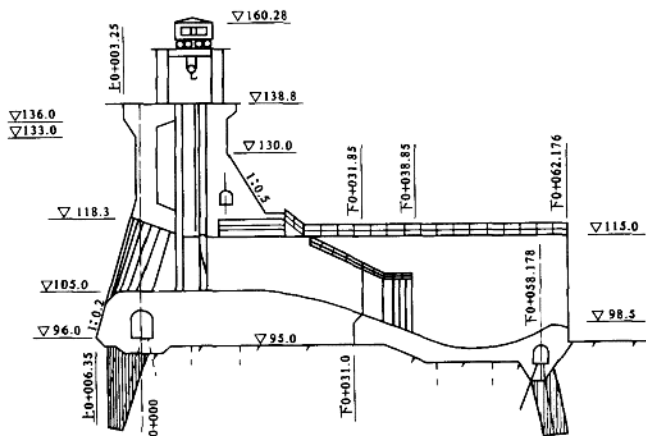


图 1 底孔坝段剖面图

底孔、河床电站及引滦渠首闸门皆由坝顶启闭能力为 $2 \times 125\text{t}/20\text{t}/1\text{t}$ 的门机启闭。

为了宣泄洪水,在底孔左侧设 28 孔溢流坝段,溢流堰采用实用堰。堰顶高程 121.5m ,每孔宽 15m ,中墩宽 3m ,采用 12.1m 高的弧形钢闸门,每孔均设 $2 \times 45\text{t}$ 卷扬式启闭机进行启闭,其单宽流量为 $140\text{m}^2/\text{s}$,当库水位为 138.5m 时,连同底孔,可宣泄洪水 $67\,500\text{m}^3/\text{s}$,见图 3。

在大坝左端设一灌溉引水洞,最大引水流量 $10\text{m}^3/\text{s}$,为当地灌溉服务,结合引水设小型电站。

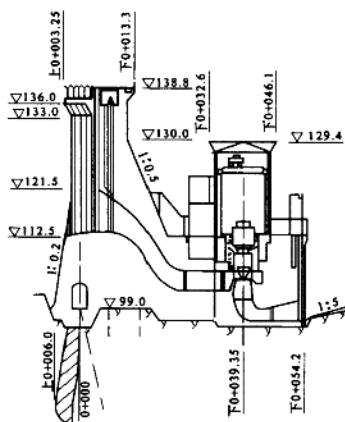


图 2 河床电站剖面图

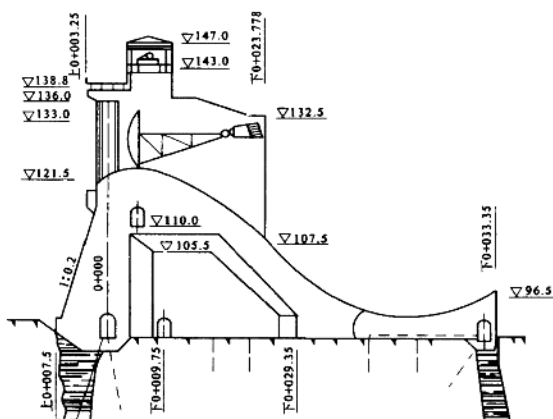


图 3 溢流坝段剖面图

除以上建筑物外,主坝其他坝段为重力坝段,溢流坝左侧 24 个坝块为宽缝重力坝,见图 4。

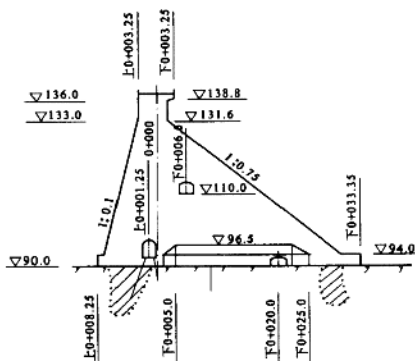


图 4 非溢流坝段剖面图

在主坝右侧坝口处有一座副坝,为实体混凝土重力坝,坝顶长 96m,最大坝高 16m。

水库主体工程量:混凝土 139 万 m^3 ,土石方开挖 252 万 m^3 ,帷幕灌浆 1.38 万 m,金属结构安装 5 177t。

3 工程优化设计

大黑汀水库枢纽工程含主体工程项目 125 个和尾工项目 60 个。在设计与施工过程中采用先进技术,优化设计及技术革新共计 100 余项。例如:坝址、坝型、断面的优化,溢流坝消能型式的优化以及糖蜜外加剂、粉煤灰的使用等起到了很显著的作用。

3.1 坝址方案优选

工程规划阶段曾进行过 4 个坝址方案的比较:①张家庄(孙家峪)坝址;②旧城坝址;③小黑汀坝址;④大黑汀坝址。

初设期间又进行了反复的考察,补充野外勘测第一手资料,全面

进行综合分析。经对规划、水工、施工以及工程管理运用方面的反复比较,最后确定大黑汀坝址。

在坝址确定之后,针对坝址的地形地质条件,进行坝轴线选择,经过对坝址区的工程地质详细勘探,结合枢纽工程布置方案,以及现场实际放样校核,取得了一条满意的坝轴线,它使各坝段均能放在较好的基岩上,两岸坝肩对水流绕渗具有足够渗径,坝址区地质条件相对比较简单。同时在坝址附近河床地带储有大量砂石料,场区开阔,易于开采,对外交通也十分便利。

3.2 经济坝型的选择

枢纽工程拦河坝属中等坝高,在宣泄洪水时下游水却很深,如宣泄 100 年一遇洪水时,尾水深度就达 20 多 m,因此坝体将近一半处于水下,承受着很大的浮托力,需有较胖坝体才能维持坝身稳定。

为找到一个经济、合理的坝型,曾研究过浆砌石外层包混凝土的重力式坝型、混凝土重力坝等诸类坝型。

经过多次比较、修改,依据基岩较好,采取增加上下游防渗、排水、留设宽缝等措施,并于坝内抽水以削减坝基扬压力,从而大大减少了坝体混凝土方量。同时这种宽缝重力坝,对坝体混凝土浇筑的散热冷却,运用中观测和维修也是十分有利的。

3.3 溢流坝消能型式的选择

大黑汀水库溢流坝下游消能,曾研究过以下几种型式:①底流式消能;②挑流式消能;③面流式消能;④消力戽消能等型式。

根据大黑汀水库宣泄流量大,尾水深,基岩比较好的特点,参照第十一届国际大坝会议技术文件及铁门大坝有关资料,以“大流量时挑流消能,小流量时水跃消能”的设想,经过水工模型试验及一系列研究工作,寻找到一种在各种运用条件之下,均为淹没混合流态的逆坡式消力戽型式。它的优点是:①较底流消能的工程量要少;②较挑流消能的冲刷坑要浅;③较其他面流消能的流态要稳,同时避免了大流量挑流消能,小流量水跃消能在过渡阶段所产生的不良水流条件;④较原设计节省混凝土工程量 2 万多 m^3 。

3.4 坝基处理工程的两个专项设计

在溢流坝段基础开挖中相继发现了在地质勘探中未曾查出的缓倾角断层,严重影响坝身抗滑稳定。倘若不能及时提出可行的处理措施,工程将被迫停工,设计人员积极收集有关类似工程处理实例资料,并在现场进行地质勘探、试验、拟定多种方案比较,进行了大量的分析计算工作。提出了适合本工程的专项基础处理设计,保证了大坝安全及施工进度。对 F_8 缓倾角断层处理采取 3 条混凝土硃键进行锁固,对 F_{25} 诸断层则用大型井柱桩给予锚固的基础处理措施。通过施工实验和室内模型试验,以及电算分析证实,这两项专题基础处理工程设计是成功的。它的优点是:①以较少的工程量解决了复杂的坝基缓倾角断层处理问题,保证了相应坝段抗滑稳定安全;②能结合施工技术力量实际,未影响施工进度;③结合施工开挖,清楚地查明了地质构造,经实测数据分析,工程处理设计合理。

3.5 底孔工程设计

底孔尺寸在国内尚属较大,当时对其结构应力、水流状态的认识,无工程先例及资料可借鉴,经过光弹试验、水工模型试验等大量的计算分析工作完成了底孔的施工详图设计。实践表明,底孔布置合理,结构设计优化,在水库的管理运用上十分主动。

3.6 方框式导墙设计

河床电站尾水渠与底孔西侧的导墙,原拟采用现场浇筑的混凝土重力式立墙。由于当时木材供应紧张,设计人员与施工单位共同研究采用了方框式的垂直立墙,采用滑动钢模板进行浇筑。该导墙不但外形光滑美观,且节约了大量木材。

3.7 “双 T”型屋面板

枢纽工程的电站厂房屋面,全采用预应力“双 T”型结构,它具有重量轻,用材少,施工方便的优点。

3.8 金属结构设计

大黑汀水库的闸门及启闭机项目多,工程量大,溢流坝有宽 15m、高 12.1m 的弧形工作闸门 28 扇,采用 $2 \times 45t$ 固定式启闭机,其

检修闸门为宽 18m、高 16.7m 及高 11.7m 的大型浮动式检修门各一扇,该检修门不需要专门启闭设备,因而节省投资,经运行证明工作灵活可靠。泄洪底孔工作闸门为宽 5m、高 10m 的大型定轮式闸门 8 扇,用坝顶 $2 \times 125t$ 门式起闭机操作,河床电站进口为 $6 \times 5.48m$ 快速闸门,50/130t 油压式启闭机控制。

4 结语

大黑汀水库枢纽工程是河北省负责修建的第一座混凝土坝,70 年代初着手设计工作,在缺乏经验、缺少资料(当时混凝土重力坝设计规范还未出版)的情况下,吸取了国内外水利工程建设中的经验教训,结合工程实际,实事求是地进行了引用、改革和创新,取得了较显著的成绩。

(1)在设计中,根据施工技术力量,选择各种结构型式,力求结合实际,便于施工,以利保证工作质量。水库修建过程中,及时地总结了“75·8”暴雨对河南省所造成的惨痛灾害及唐山“7·28”地震的影响,将原设计的一段混凝土坝和一段土坝的混合式枢纽布置,全部改为混凝土坝,并以可能最大降雨标准复核,以确保大坝安全。

(2)大黑汀水库和潘家口水库联合运用,每年可向下游供水 21.34 亿 m^3 ,除 4.15 亿 m^3 供给滨海地区农业使用外,其余 17.19 亿 m^3 全部南调,供给唐山市、天津市,同时每年还可获得 $4\,680$ 万 kWh 的电力。大黑汀水库枢纽工程的建成取得了显著的经济效益。

(3)大黑汀水库工程的兴建,在坝址、坝型和特殊的坝基处理等方面,十分重视地形、地质勘测及科学试验研究。用可靠的设计数据,验证了工程关键部位的稳定性、强度和水流流态,使得工程布置合理,坝体安全可靠。如: F_{25} 断层的处理,溢流坝段基础扬压力消减,下游消能工程,以及坝身混凝土浇筑温控等。

(4)在施工技术力量比较薄弱、施工机械设备比较缺乏的情况下,设计人员密切结合当时当地具体施工条件,提供了适应施工条件的建筑物结构型式。与施工单位配合,以共同对国家、对人民负责的

精神,确保工程质量第一,为工程建设创造优质、高产、低消耗的施工提供了条件。

(5)水库大坝主体混凝土工程自 1973 年 10 月开工,1983 年 8 月完成,于 1986 年底全面竣工。自投入运行至 1994 年,累计向天津、唐山、滦河下游供水 183 亿 m^3 ,发电 17 402 万 kWh,累计创经济效益 100 多亿元,同时发挥了显著的社会效益。

经蓄水运行表明,大黑汀水库工程设计合理,施工质量较好。