

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		$35\ 100\text{km}^2$	
	潘家口、大黑汀两水库区间		$1\ 400\text{km}^2$	
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	$26\ 940\text{m}^3/\text{s}$
			出库	$26\ 940\text{m}^3/\text{s}$
		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	$35\ 620\text{m}^3/\text{s}$
			出库	$34\ 570\text{m}^3/\text{s}$
		库水位高程		133.7m
		3 日洪量		43.85 亿 m^3
	保坝标准(按流域内最大降雨)	洪峰流量	入库	$67\ 500\text{m}^3/\text{s}$
			出库	$67\ 500\text{m}^3/\text{s}$
		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		$22\ 200\text{m}^3/\text{s}$		

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		逆坡式消力岸	
	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	引滦渠首电站 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		1孔	4孔
每扇闸门尺寸(宽×高)		6.12m×5.55m	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	18.5m	11.0m	
		最大	26.0m	18.0m	
		最小	13.0m	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	
站	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		
	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			
相应下游渠道水位高程		121.0m			
东 渠 首 电 站	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		
	闸门启闭机结构安装		5 177.21t		
	总投资		2.717亿元		
三大材料	水泥		31.3万 t		
	木材		3.06万 m ³		
	钢材		1.94万 t		
水库淹没	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。

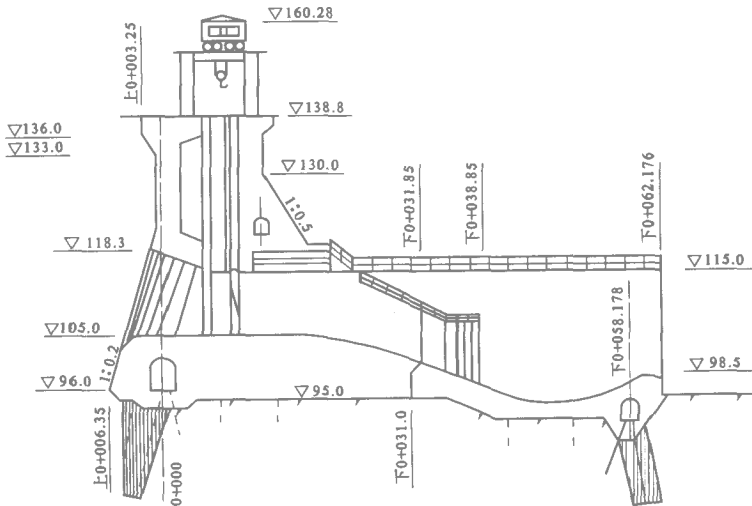


图 1 底孔坝段剖面图

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。

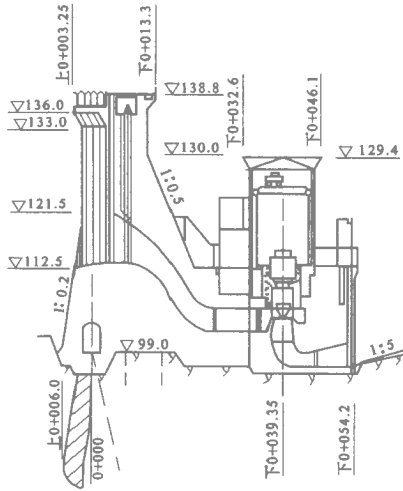


图 2 河床电站剖面图

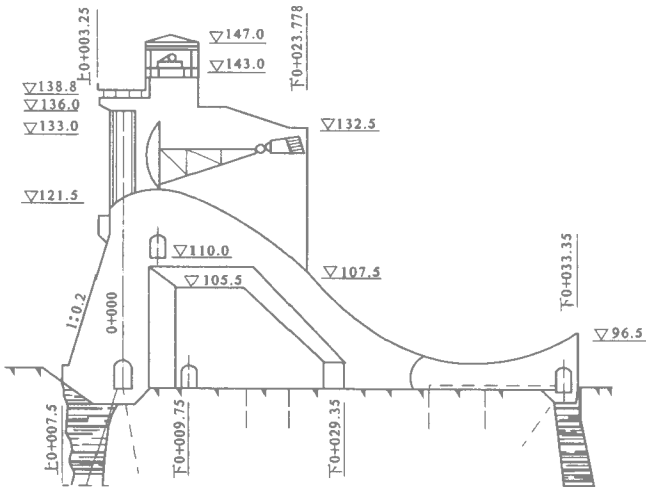


图 3 溢流坝段剖面图

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。

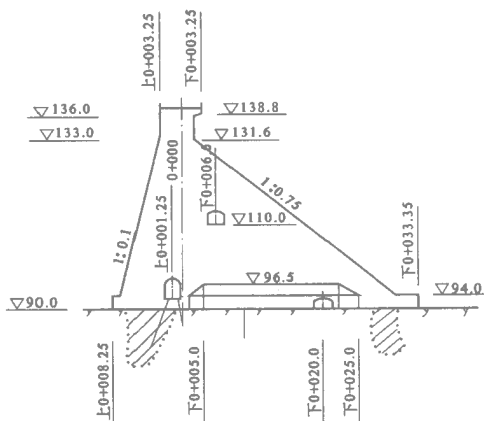


图 4 非溢流坝段剖面图

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;

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} 诸断层则用大型并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 4680 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。

岩基重力坝的滑动及 提高安全度的对策

1 坝基地质条件及非溢流坝型的确定

大黑汀水库坝基系震旦系地层 以花岗片麻岩、云母角闪片麻岩为主；弱风化层厚 $5.9 \sim 10.0\text{m}$ ，相应渗透系数 $K = 0.288 \sim 2.304\text{m/d}$ 。一般岩层仅在表层单位吸水量较大，吕荣值在 $6 \sim 7\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m} \cdot 10^4\text{Pa})$ 之间，下部岩层单位吸水量均小于 $3\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m} \cdot 10^4\text{Pa})$ 基本上为微透水层 可视为相对不透水层。

非溢流坝地段基础为比较新鲜的角闪片麻岩，极限抗压强度为 40MPa 允许抗压强度为 4MPa 。坝体混凝土与微风化基岩面的摩擦系数 $f = 0.65$ ，与弱风化基岩面的摩擦系数 $f = 0.55$ 。

坝型选择及坝体断面取决于坝地质条件，以及水平推力的 大小；该坝基础较好，坝体抗滑稳定及坝基应力的控制条件主要取决于地震荷载 按拟静力法 即把地震惯性力、动水压力、动土压力作为水平荷载计算大坝的稳定和应力。经计算坝体断面较肥胖，坝体断面 积达 $1\,267\text{m}^2$ 宽缝重力式 24 个坝块需混凝土 52.9万 m^3 。

为了节省混凝土工程量，在设计过程中经过对岩基的滑动机理分析，采取降低坝基扬压力的措施。除采用帷幕灌浆及基孔排水外，还考虑了全封闭排水。为实现这种排水措施，坝体结构采用了矮宽缝的断面型式，利用宽缝将坝基内积水经常排干或降低，坝基浮托力按宽缝内水位计算，上下游水位引起的坝基扬压力按渗透压力计算。采用这种坝型不但减少了坝基扬压力，节省了缝体部分的工程量，而且比高宽缝坝容易施工。

2 岩基上坝体滑动面的机理分析及滑动面的确定

由理论和试验研究证明混凝土的失事和变形，多数是因设计中假定的滑动机理不恰当造成的。当建筑物与基础沿垂直面转动时，破坏也正在形成。坝上游岩基开始破坏时要产生很集中的斜张裂，这些张裂在受压面下边发生，并且向对面延伸至基岩之中，最终在下游坝趾由于受压面发生岩石破碎，使坝趾形成一种弹性铰，其轨迹线与主拉应力平面相吻合。在裂缝的形成过程中，应力的方向也是改变的。

根据规律可建立 $\tau = f(\sigma_n)$ 的关系。考虑下游坝趾岩基抗压强度对混凝土坝稳定的影响，拉裂的开始与产生并不影响基础的承载力。因大坝基础应力场的多向性，拉裂并立即传播，要增加剪切力才能进一步使拉裂扩展。剪切的增大使坝体上游面的受拉区增大，同时在下游面形成一个压力区，其范围随剪切荷载的增长而减少。当压应力上升到基础材料的极限压应力值时，基础的承载力也达到极限，并造成大坝下游侧岩体的压裂区，剪切荷载也达到最大 τ_p ，于是基础承载力降低，再增大剪切荷载将造成坝体沿破裂区不断变化，而产生滑动。

对非溢流坝段基础进行了全面的开挖，经现场地质测绘、岩石试验及分析，基岩极限抗压强度达 40MPa，岩石新鲜、完整、无软弱夹层，为此可以不考虑深层滑动。将坝体与岩基的结合面作为抗滑的最弱层面，以地震荷载为控制条件，计算坝体抗滑稳定与坝基应力。

3 降低坝体扬压力的几种措施

3.1 帷幕灌浆的作用

帷幕灌浆不仅可以防止在软弱夹层、断层破碎带、岩石裂隙充填物产生机械管涌或化学管涌，而且是减少渗透损失，防止渗透破坏以及降低扬压力最有效的措施之一。

大黑汀水库正常蓄水位高程 133.0m，水头 44.2m。坝基岩石的单位吸水量大部分小于 $3\text{L}/(\text{min}\cdot\text{m}\cdot 10^4\text{Pa})$ 。帷幕深度根据基岩的单位吸水量小于 $1\text{L}/(\text{min}\cdot\text{m}\cdot 10^4\text{Pa})$ 控制。孔深 20~25m，单排孔，孔距

2m 灌浆压力以 $p = p_0 + p_v + 0.24h$ 估算 采用 0.4~0.6MPa 底部 0.8~1.2MPa, 帷幕孔与垂直线夹角为 7° 向上游)

3.2 坝基排水的布置

通过妥善的排水措施把帷幕后的渗透水头进一步降低, 以减少坝基的渗透压力。

该坝在上游主廊道内, 设主排水孔一排, 孔深 15m 孔距 2m 与垂直线夹角 $7^\circ \sim 10^\circ$ (向下游) 孔径 150mm。在中心线 0 + 0.20m 排水廊道内 设辅助排水孔一排 孔深 10m 孔距 3m 孔径 65mm。在中心线下 0 + 0.10m、0 + 0.26m 处设两排浅排水孔, 孔深 7.5m 孔距 1.0m 孔径 65mm 孔口顶部扣内径 50cm 的混凝土半圆管 构成排水网 将渗透水引至集水井。

3.3 满槽浇筑对提高抗滑稳定安全系数的作用

在坝体上游侧基坑满槽浇筑混凝土可以延长坝基防渗轮廓线。但对于这种情况的渗透计算, 尚缺乏精确而简捷的公式, 如采用近似的估算 由于该坝段较长 若出现偏大或偏小的数值 则影响很大 为此采用保角变换原理, 以累次转换法将坝踵满槽浇筑混凝土的影响按无限深均匀透水地基推导。经计算, 满槽浇筑后可降低坝基扬压力水头 3%, 从而提高了坝体的抗滑稳定安全系数。

3.4 坝基面向上游倾斜后坝体抗滑稳定及坝基应力计算

把坝基面开挖成略向上游倾斜, 可以提高坝的抗滑稳定性, 但是坝基面向上游倾斜的角度如何控制, 首先需要根据重力坝断面的各种受力条件、岩基机理分析, 推求坝体断面和坝基倾角的关系, 在满足坝的强度和抗滑稳定要求的条件下, 求出坝基底线与水平线间的最优夹角, 使坝体横断面最小, 由于影响坝体断面的因素较多, 而且坝的最优断面, 不仅仅取决于最小的混凝土工程量, 也取决于最小的开挖量。

研究坝体混凝土和岩石间接缝的倾角, 结构的受力状态静力分析是非常复杂的; 因此, 需对影响坝体横断面的主要因素进行简化和假设。在本文公式推导中, 按实体重力坝, 取 1m 坝长为计算单元; 将坝体简化为三角形横断面; 坝基岩石为均质岩体; 坝体与坝基岩石

接触的地质参数为常数；按平面问题分析。经此推导满足横断面坝基应力和抗滑稳定要求的综合判别式。

坝基应力用偏心受压公式表示：

$$\sigma_v(u, v) = \frac{V}{h\beta} \pm \frac{6M_0}{h^2\beta^2} \quad (1)$$

式中 $\sigma_v(u, v)$ ——坝基上下游边缘的垂直正应力, kN/m^2 ;

V ——有效作用力的铅直分力总和, kN ;

$h\beta = b$, b 为坝底线宽度, m ;

h ——坝体上游高度, m ;

β ——坝体横断面三个坡度 u 、 V 、 P 的综合参数;

M_0 ——对横断面底线中心 O 的力矩总和 $\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

压应力的符号取正号, 拉应力取负号。对于横断面中心 O 的力矩 顺时针为正 逆时针为负。式中符号如图 1 所示。

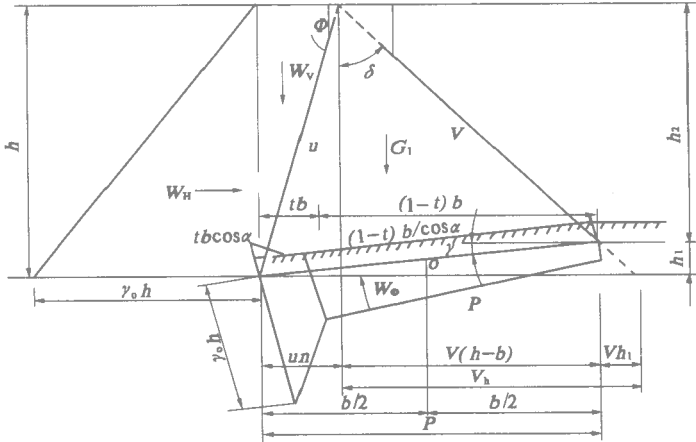


图 1 坝基倾斜后受力简图

抗滑稳定判别式用下式表示：

$$K_x = \frac{\left(Nf + \frac{\cosh\beta}{\cos\alpha} \right)}{T} \quad (2)$$