

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20180145

受水库调蓄影响的设计洪水分析

——以格尔木河大干沟水电站为例

温得平¹, 李其江¹, 赵兴明¹, 杜嘉妮¹, 严宝文²

(1. 青海省水文水资源勘测局, 青海 西宁 810000;
2. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:以青海省海西州格尔木河大干沟水电站为例, 研讨了受上游水库调蓄影响时设计洪水的计算方法。根据水电站上游洪水的地区组成, 采用同频率地区组成法定量分析了温泉水库对大干沟水电站洪水的消减作用, 推荐选用最不利组合方案“以区间来水为主、上游水库相应的洪水组合”作为设计洪水成果, 200 年一遇洪水时温泉水库对大干沟水电站的削峰率为 19%。计算方法可为大干沟水电站及青海省受水库调蓄影响的流域设计洪水提供参考。

关键词:设计洪水; 调洪演算; 格尔木河; 温泉水库; 大干沟水电站

中图分类号:TV122

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2019)05-0030-05

河流上水库工程的兴建改变了下游天然洪水的状况, 破坏了水文资料的“一致性”^[1]。水电工程设计洪水计算规范规定“工程设计断面上游有调洪作用较大的水库工程时, 应在分析上游水库下泄洪水与区间洪水组合的基础上, 计算受上游水库影响后的设计洪水”^[2]。在工程水文分析计算中, 要求设计洪水不仅在时间上要具有一条完整的过程线, 而且在空间上要有设计流域各个部分面积上的洪水组成情况^[3]。

1 受水库影响的设计洪水计算方法

目前计算受上游水库影响的设计洪水主要有三种方法, 即洪水随机模拟法、频率组合法和地区组合法^[4]。洪水随机模拟法是利用随机模拟技术, 建立设计断面及各分区洪水过程线的模拟方法, 其核心问题是如何建立合理、适用的洪水随机模型; 频率组合法从数理统计原理出发, 以上游水库断面及区间天然洪水频率曲线为基础, 研究各分区洪水的所有可能组合情况, 通过频率组合计算和上游水库的调洪计算, 推求下游设计断面受上游水库调蓄影响后的洪水频率曲线及设

计值。该方法能较好地反映上游水库对不同概率洪水的调洪效应及其对下游水库的影响。根据对黄河上游兰州断面受上游龙羊峡、刘家峡两座大型水库调蓄影响后设计洪水计算的方法研究表明, 洪水随机模拟法和频率组合法具有一定的精度, 但对资料及计算条件要求较高^[5]。地区组合法包括典型洪水和同频率地区组合法, 其中典型洪水组合法是从实测资料中选择有代表性、对防洪不利的大洪水作为典型, 以设计断面的设计洪量作为控制, 按典型洪水各区洪量的组成比例计算相应的设计洪量。典型洪水法适用于分区较多、组成比较复杂的设计洪水地区组成, 但典型洪水的选择较为关键^[6]; 同频率地区组合法是根据防洪要求指定某一分区发生与设计断面同频率的洪水, 其余分区发生相应洪水。

青海省温泉水库位于格尔木河东支雪水河上, 距格尔木市 137km, 属大(Ⅱ)型多年调节水库, 是格尔木河梯级电站的龙头调节水库。大干沟水电站位于格尔木河干流, 总库容 $978 \times 10^4 \text{m}^3$, 在初步设计中, 对受温泉水库影响的设计洪水采用了典型洪水组成的计

收稿日期: 2018-04-20

作者简介: 温得平(1989-), 男, 青海互助人, 工程师, 本科, 主要从事水文分析计算工作。E-mail: 550978249@qq.com

算方法。本文对受温泉水库影响的大干沟水电站设计洪水复核采用同频率地区组成法进行计算,天然状态下的洪水过程减去温泉水库的调蓄量作为受工程影响后的设计洪水成果。

2 研究区概况

2.1 水电站特征

格尔木河位于青海省柴达木盆地南缘,发源于昆仑山北麓,上游分为东西两大支流,东支雪水河,西支昆仑河。雪水河上建有温泉水库,干流上建有大干沟、小干沟、乃吉里等水电站。格尔木河流域水系见图1。

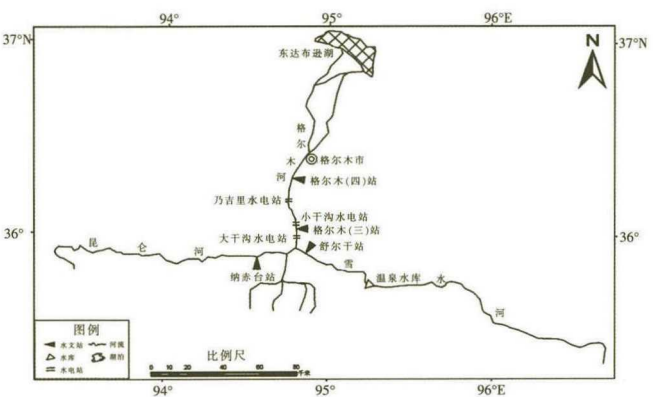


图1 格尔木河流域水系
Fig.1 The Geermu river system

温泉水库由大坝、放水洞、正常溢洪道Ⅰ(原有溢洪道)和正常溢洪道Ⅱ(应急溢洪道改建而成)四大主要建筑物组成,总库容 $2.55\times10^8\text{m}^3$ 。大坝为复合土工膜斜墙砂砾石坝,最大坝高17.5m,坝顶高程3960.8m,坝顶长880m,坝址以上流域面积9374km²。

大干沟水电站主要由引水枢纽、输水系统、发电枢纽、送变电工程四部分组成,枢纽建筑物主要由混凝土重力坝和土工膜心墙砂砾石坝组成。大干沟水电站设计防洪标准为30年一遇,校核防洪标准为200年一遇。

2.2 水文基本资料

格尔木河设有三个水文站,干流设有格尔木站,昆仑河和雪水河分别设有纳赤台、舒尔干站。格尔木站位于干流出山口处,流域面积19614km²,其中格尔木、格尔木(二)站、格尔木(三)站控制流域的产汇流条件一致,资料合并使用。格尔木(四)站资料已受温泉水库的调蓄影响,须还原后方可与上述资料合并使用。纳赤台站位于昆仑河,流域面积5973km²。舒尔干站位于雪水

河出口处,流域面积10723km²。

大干沟水电站位于格尔木站上游6km处,区间无较大支流汇入,来水可忽略不计,坝址处设计洪水可直接采用格尔木站成果。

3 大干沟水电站设计洪水

3.1 天然设计洪水

3.1.1 暴雨洪水特性

(1)暴雨特性。格尔木站多年平均降雨量为56.4mm,实测最大1d雨量22.4mm,次大1d雨量21.8mm;纳赤台站实测最大1d雨量27.8mm,次大1d雨量25.3mm。格尔木河流域的暴雨历时较短,一般仅为1d,长历时暴雨一般可持续1~3d。

(2)洪水地区组成。格尔木河的年最大洪水主要发生在6~9月,由暴雨及冰雪融水共同组成。通常情况下,格尔木站的洪峰流量来自于舒尔干~格尔木站区间,舒尔干~格尔木站区间流域面积占格尔木站的42.5%,洪峰流量占格尔木站的60.3%,舒尔干以上的流域面积占格尔木站的57.5%,洪峰流量占格尔木站的39.7%。格尔木站的洪量50%以上来自舒尔干~格尔木区间。

(3)洪水演进。纳赤台站、温泉水库坝址至格尔木站距离分别为35km、59.4km,洪水在河道演进时会产生坦化变形。对历年实测资料分析,纳赤台至格尔木的洪水传播时间为3~6h,马斯京根槽蓄曲线方程参数槽蓄系数为 $K=4\text{h}$,流量比重因子 $x=-0.13$,河段的洪水演算方程为:

$$Q_{F,2}=0.38Q_{上,2}+0.22Q_{上,1}+0.40Q_{F,1} \quad (1)$$

式中: $Q_{上,1}$ 、 $Q_{上,2}$ 、 $Q_{F,1}$ 、 $Q_{F,2}$ 分别为时段始、末上下断面的出流量,m³/s。

3.1.2 历史调查洪水

对于格尔木河的历史洪水,曾由西北院、铁道部第一设计院、原青海省水文总站等多家单位进行过调查,确定洪峰流量为837m³/s,成果可靠。

3.1.3 洪水资料还原及插补延长

本次大干沟水电站设计洪水复核采用1957~2014年资料系列。温泉水库坝址以上流域面积占舒尔干、格尔木站流域面积的87.4%、50.3%,水库的调蓄改变了舒尔干和格尔木站的天然洪水过程,需对1993~2014年实测洪水资料进行还原。

格尔木站1993~2014年的洪水资料考虑温泉水库的调蓄影响进行还原,即根据温泉水库的逐日蓄变

量及实测流量资料计算出天然日流量,统计格尔木站最大1d、3d时段洪量,洪峰由格尔木站的峰量关系(线性相关系数 R 为0.95)进行插补。

纳格区间的洪水资料根据还原后格尔木站的天然洪水与纳赤台站的实测洪水进行计算。洪量根据格尔木天然与纳赤台同一日平均流量相减,得到区间的逐日平均流量,统计历年各时段的最大洪量。纳格区间1957~1992年最大洪峰流量由区间的场次洪水统计得出,1993~2014年的洪峰由纳格区间的峰量相关关系(线性相关系数 R 为0.96)推算。

舒尔干站1980年以前的时段洪量采用与纳格区间时段洪量相关的方法插补(相关系数 R 为0.96),1993~2014年时段洪量通过温泉水库最大1d、3d入库洪量按面积比放大而得。洪峰根据舒尔干站的峰量相关关系(线性相关系数 R 为0.95)推算。

舒格区间时段洪量根据1980~1992年舒格区间与格尔木同期天然洪水时段洪量关系推算(最大1d、3d时段洪量相关系数 R 分别为0.97、0.94),洪峰根据舒格区间的峰量关系(线性相关系数 R 为0.93)推算。

3.1.4 各站及区间天然设计洪水计算

将各站及区间年最大洪峰流量,最大1d、3d洪量资料系列,加入历史洪水后采用P-Ⅲ型分布曲线适线,推求不同频率的设计洪水成果(见表1)。

3.1.5 温泉水库坝址及温泉水库~格尔木站区间设计洪水

温泉水库坝址和温泉水库~格尔木区间没有实测水文资料,采用地区综合法计算得到其设计洪水。计算公式如下:

$$Q_{\text{设}}=Q_{\text{参}}\times(F_{\text{设}}/F_{\text{参}})^{\alpha}$$
(2)

$$W_{\text{设}}=W_{\text{参}}\times(F_{\text{设}}/F_{\text{参}})^{\beta}$$
(3)

式中: Q 为设计和参证站的设计洪峰, m^3/s ; W 为设计和参证站的设计洪量, 10^4m^3 ; F 为设计和参证站的流域面积, km^2 ; α 、 β 分别为设计洪峰和洪量的地区综合指数。

对于格尔木河的地区综合指数,根据各站及区间设计洪水成果,建立面积-设计洪峰,面积-设计洪量的对数相关关系,经分析设计洪峰为0.50,设计1d、3d洪量为0.75。分别以舒尔干和舒格区间为参证站进行面积比放大,得到温泉水库坝址和温泉水库~格尔木站区间的设计洪水成果。

3.1.6 设计洪水过程线

(1)洪水地区组成和典型洪水选择

采用同频率地区组合法进行洪水地区组成分析。同频率地区组合法指定某一分区出现与下游设计断面同频率的洪量,其余各分区的洪量按水量平衡原则出现相应洪量^[7-8]。相应洪水洪峰取为与相应洪量同样频率时的洪峰^[9-10]。

下游断面发生设计频率 P 的洪水($W_{\text{下},P}$)时,上游断面也发生频率 P 的洪水($W_{\text{上},P}$),区间为相应的洪水($W_{\text{区}}$),即:

$$W_{\text{区}}=W_{\text{下},P}-W_{\text{上},P}$$
(4)

区间洪水与下游断面洪水同频率,上断面为相应洪水,即:

$$W_{\text{上}}=W_{\text{下},P}-W_{\text{区},P}$$
(5)

为分析水库调蓄对格尔木站的影响,采用两种洪水地区组成:①格尔木站与温泉水库同频、区间相应,典型洪水选择19890620洪水;②格尔木站与区间同频、温泉水库相应,典型洪水选择19890722洪水。

(2)设计洪水过程线放大

采用峰量同频率法放大格尔木站、温泉水库坝址及温泉水库~格尔木站区间的设计洪水过程线,放大时先用洪峰流量和不同时段设计洪量的放大倍比进行放大,然后手工修正,使得设计洪水过程线放大后的洪峰与时段洪量和设计值相同。

3.2 考虑温泉水库影响的设计洪水

3.2.1 温泉水库防洪运用方式

温泉水库库容曲线及泄流曲线采用2010年温泉水库除险加固初步设计成果。2010年除险加固时,增设非常溢洪道(正常溢洪道Ⅱ),并设闸门控制,温泉

表1 格尔木河各站及区间天然设计洪水复核成果
Table1 The rechecking results of natural design flood at different stations and sections of the Geermu river

频率	格尔木			舒尔干			纳赤台			纳格区间			舒格区间		
	洪峰 / $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	1d洪量 / 10^4m^3	3d洪量 / 10^4m^3	洪峰 / $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	1d洪量 / 10^4m^3	3d洪量 / 10^4m^3	洪峰 / $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	1d洪量 / 10^4m^3	3d洪量 / 10^4m^3	洪峰 / $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	1d洪量 / 10^4m^3	3d洪量 / 10^4m^3	洪峰 / $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	1d洪量 / 10^4m^3	3d洪量 / 10^4m^3
0.5%	1 210	6 759	15 640	488	3 290	8 287	647	2 526	5 481	1 010	5 483	12 480	783	3 230	7 017
3.33%	733	4 171	9 770	264	1 780	4 555	393	1 702	3 776	567	3 102	7 084	501	2 267	4 948

水库的防洪运用方式调整为：当上游发生洪水时利用正常溢洪道泄洪，当水库水位达到 50 年一遇水位时，开启非常溢洪道泄洪，直至水库水位回落至正常蓄水位。

3.2.2 受温泉水库影响后格尔木站的设计洪水

不考虑温泉水库至格尔木站的洪水演进，采用温泉水库入库与出库洪水过程的差值考虑洪水传播时间(6h)平移至格尔木站作为水库的影响量,格尔木站天然设计洪水过程减去水库工程影响量即为工程影响后的设计洪水。不同地区组成情况下受水库影响后的成果见表 2。经水库影响后的格尔木站设计洪水过程线(以 19890722 洪水为例)见图 2。

可以看出，受温泉水库调蓄影响的格尔木站设计洪水较天然成果均有减小,以 200 年一遇洪水为例,对于水库与格尔木站同频、区间相应的地区组成,格尔木站洪峰比天然减少 35%;对于格尔木站与区间同频、水

库相应的地区组成,格尔木站比天然减少 19%。按照对工程不利原则,选择“区间同频、水库相应的地区组成”组合方式作为大干沟水电站的设计洪水，经水库调蓄后相应的 30、200 年一遇设计洪峰分别为 595m³/s、982m³/s。

3.3 合理性分析

1995 年大干沟水电站初步设计、2011 年格尔木河防洪规划设计洪水均以格尔木站为参证站,本次成果与以上阶段成果相比较(见表 3)。可以看出本次计算成果与初步设计、防洪规划阶段成果接近。认为本次采用同频率地区组合法计算受水库影响的大干沟水电站设计洪水成果比较合理。

表3 受水库影响后的格尔木站设计洪水成果不同阶段比较
Table3 The comparison of design flood at the Geermu station affected by the reservoir in different stages

阶 段	年数	设计洪峰	
		0.5%	3.33%
本次复核/m³·s ⁻¹	58	982	595
初步设计/m³·s ⁻¹	34	947	585
防洪规划/m³·s ⁻¹	54	—	620
与初步设计比较/%		4	2
与防洪规划比较/%		—	-4

4 结论

本文通过分析格尔木河流域的暴雨及洪水地区分布,对受水库影响的洪水资料进行还原,得出各站

地区组成		频率	不同频率格尔木站的设计洪水		
			洪峰 /m³·s ⁻¹	1d 洪量 /10⁴m³	3d 洪量 /10⁴m³
温泉水库、格尔木站同频， 区间相应	0.5%	783	4 222	10 606	
	3.33%	491	2 707	6 291	
格尔木站、区间同频，温泉 水库相应	0.5%	982	4 863	11 386	
	3.33%	595	2 971	6 760	

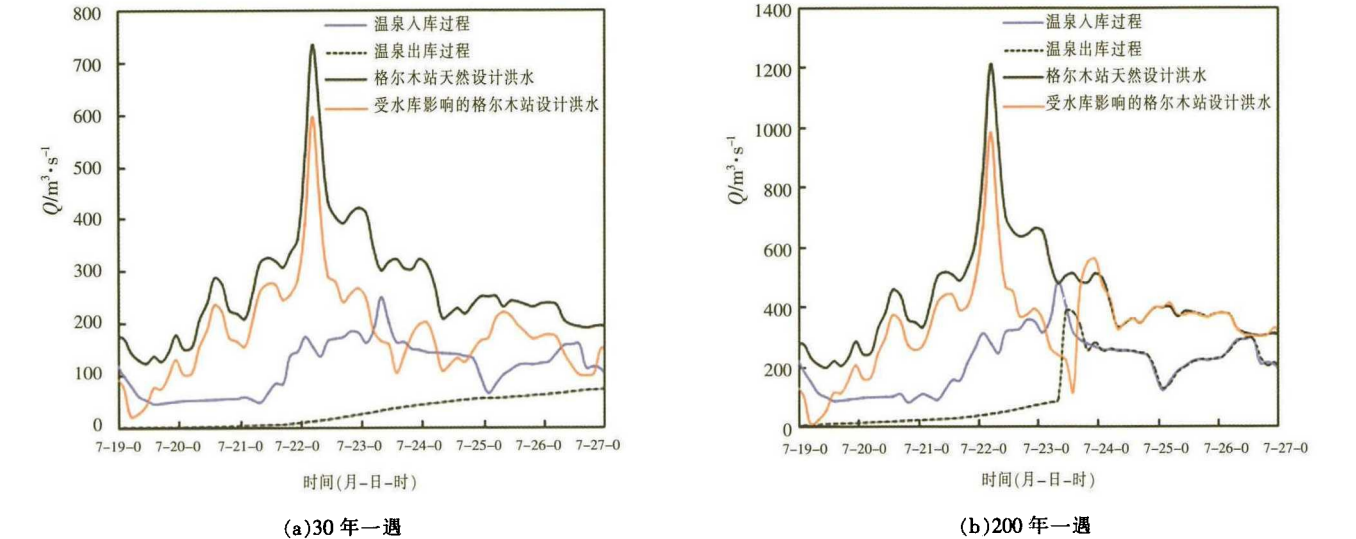


图 2 受水库影响后的格尔木站设计洪水过程线
Fig.2 The design flood hydrograph of the Geermu station affected by the reservoir

及区间天然设计洪水,采用同频率地区组成对受水库调蓄影响的设计洪水进行计算,结果与大干沟水电站初步设计中用典型洪水组成法计算的成果接近,也间接反映了某分区的洪水与设计断面洪水的相关关系比较好时,二者同频组成的可能性较大。因此,本方法对青海省受水库调蓄影响的流域设计洪水计算有一定的参考及实践价值。

参考文献:

- [1] 李伟佩,王玉峰,刘红珍,等. 对受水库影响的洪水资料还原的有关问题探讨[J]. 人民黄河, 2000,12:14-15. (LI Weipei, WANG Yufeng, LIU Hongzhen, et al. Research of issues on restoring flood data influenced by reservoirs[J]. Yellow River, 2000,12:14-15. (in Chinese))
- [2] NB/T35046-2014, 水电工程设计洪水计算规范 [S]. (NB/T35046-2014, Code for Calculating Design Flood of Hydropower Projects[S]. (in Chinese))
- [3] 黄灵芝,谢小平,黄强,等. 梯级水库设计洪水地区组成研究中的 JC 法[J]. 自然灾害学报, 2006,15(4):163-167. (HUANG Lingzhi, XIE Xiaoping, HUANG Qiang, et al. JC method in research on design flood region composition of cascade reservoirs[J]. Journal of Natural Disasters, 2006,15(4):163-167. (in Chinese))
- [4] SL44-2006, 水利水电工程设计洪水计算规范 [S]. (SL44-2006, Regulation for Calculating Design Flood of Water Resources and Hydropower Projects[S]. (in Chinese))
- [5] 吉超盈. 梯级水库设计洪水计算的理论与方法研究[D]. 西安:西安理工大学, 2005. (JI Chaoying. Research on Theory and Methods for Calculating Cascade Reservoirs Design Floods [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2005. (in Chinese))
- [6] 郭生练,刘章君,熊立华. 设计洪水计算方法研究进展与评价[J]. 水利学报, 2016,47 (3):302-314. (GUO Shenglian, LIU Zhangjun, XIONG Lihua. Advances and assessment on design flood estimation methods[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2016,47(3):302-314. (in Chinese))
- [7] 水利部长江水利委员会水文局. 水利部南京水文水资源研究所. 水利水电工程设计洪水计算手册 [M]. 北京; 中国水利水电出版社, 1995.(Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission. Nanjing Institute of Hydrology and Water Resources. Handbook of Calculation Design Flood for Water Resources and Hydropower Projects [M]. Beijing: Hydropower and Electrical Press, 1995. (in Chinese))
- [8] 谢蕾. 同频率地区组成法在区间洪水计算中的应用[J]. 新疆农业大学学报, 2010,33(5):442-447.(XIE Lei. Application of method of same frequency area composition in calculating interzone floodwater [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2010,33(5):442-447. (in Chinese))
- [9] 水利水电科学研究院水资源研究所. 水文计算经验汇编(第四集)[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984:172-183.(Department of Water Resources of Institute of Water and Hydropower Research. Proceedings of Hydrological Calculation Experience (4th)[M]. Beijing: Hydropower and Electrical Press, 1984:172-183. (in Chinese))
- [10] 杨菊香. 考虑上游水库影响的杜河水电站设计洪水分析 [J]. 山西水利科技, 2015,3:90-95. (YANG Juxiang. Analysis on the design floods for the Duhe hydropower station under the impact of the upstream reservoir [J]. Shanxi Hydrotechnics, 2015,3:90-95. (in Chinese))

Estimation of Design Flood under Influence of Upstream Reservoir: Taking A Case of Dagangou Hydropower Station on Geermu River

WEN Deping¹, LI Qijiang¹, ZHAO Xingming¹, DU Jiani¹, YAN Baowen²

(1. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Qinghai Province, Xi'ning 810000, China;

2. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Agriculture and Forest University, Yanglin 712100, China)

Abstract: Taking the Dagangou Reservoir on the Geermu River in Qinghai Province as an example, this paper discussed how to calculate the design flood under the influence of the upstream reservoir filling. According to the upstream flood area composition of the hydropower station, the flood mitigation effect of the Wenquan Reservoir on the Dagangou Hydropower Station was quantitatively analyzed by using the method of local composition with the same frequency. It is recommended to choose the most unfavorable combination scheme, "the flood combination mainly consisting of intermediate inflow and corresponding flood combination of upstream reservoir" as the result of design flood. According the calculation result, The peak cutting rate of the Wenquan Reservoir to the Dagangou Hydropower Station is 19%. The calculation method can provide a reference for the flood calculation in the similar basins of Qinghai province affected by reservoir storage.

Key words: design flood; flood routing; Golmud River; Wenquan Reservoir; Dagangou hydropower station