

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2018.02.004

南方感潮地区水库的挖潜改造

刘曾美^{1,2}, 郑志勤^{1,2}, 陈斯达^{1,2}, 冯斯安^{1,2}

(1. 华南理工大学土木与交通学院, 广东 广州 510640;
2. 广东省水利工程安全与绿色水利工程技术研究中心, 广东 广州 510640)

摘要: 为有效缓解南方感潮地区严重的内涝灾害和枯水期因受咸潮影响而供水不足的问题, 对南方感潮地区的水库进行挖潜改造, 使其充分发挥滞洪和避咸蓄淡的功能。以位于广东省中珠联围的田心水库为例, 系统介绍水库挖潜改造的思路以及挖潜改造分析过程, 其中水库调度运行规则的拟定方法, 需要结合研究承泄区水位变化规律、涝区暴雨与承泄区水位的遭遇规律以及区域排涝情势才能分析拟定。实例研究表明, 不增加水库汇水面积和坝高时, 在溢洪道上设置高4 m的闸门, 能滞蓄最大6 h洪水与下游错峰, 且增加兴利库容121万m³; 若增加西面山坡地的截流面积, 则在溢洪道上设置高6 m的闸门, 增加2 m坝高, 合理调度, 也能滞蓄最大6 h洪水与下游错峰, 且增加兴利库容193万m³。

关键词: 南方感潮地区; 水库挖潜; 水库调度运行规则; 滞洪; 避咸蓄淡; 预泄

中图分类号: TV697 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2018)02-0122-06

Study on unearthing and developing the potentialities of a reservoir for the flood detention and storage in the southern tidal area

LIU Zengmei^{1,2}, ZHENG Zhiqin^{1,2}, CHEN Sida^{1,2}, FENG Sian^{1,2}

(1. South China University of Technology, School of Civil Engineering and Transportation, Guangzhou 510640, China;
2. Department of Hydraulic Engineering, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In the southern tidal area, it is indispensable to fully unearth and develop the potentialities of a reservoir for the flood detention and storage, which can make the reservoir fully display the functions of the flood detention and the fresh water storage, effectively relieving severe waterlogging disasters and the problem of insufficient water supply due to the influence of saline. Take the Tianxin reservoir located in the Zhong-Zhu union catchment of Guangdong province as an example, these were described in detail including the train of thought about exploiting reservoirs potentialities and methods of making a regulation for the reservoir operation and parsing process. To make a regulation for the reservoir operation is a difficult point, because it must take some factors into account, such as changing rules of outer water level and regional drainage situation. An reservoir revamping is studied at the original catchment area first. By setting 4-meter-high gate on the spillway and using the rational operation regulation, it is possible to reserve a maximum flood of 6 h for the peak shifting and increase the beneficial reservoir capacity by 1.21 million m³ without increasing the dam height. Then, combining the terrain around reservoir region, the flood of the west shoulder is led to the Tianxin Reservoir. The revamping research with increasing catchment area indicates that by setting 6-meter-high gate on the spillway, increasing dam height by 2 m and using the rational operation regulation, it is possible to reserve a maximum flood of 6 h for the peak shifting as well and increase the beneficial reservoir capacity by 1.93 million m³.

Key words: the southern tidal area; unearthing and developing reservoir potentialities; reservoir operation regulation; flood detection; avoid salt water for storing fresh water; discharge in advance

基金项目: 国家自然科学基金(41371498); 广东省水利科技创新项目(2011-18); 广东省水利科技创新项目(2016-27)
作者简介: 刘曾美(1970—), 女, 博士, 副教授, 主要从事水利规划以及水文水资源领域的防灾减灾研究。E-mail: liuzm@scut.edu.cn
引用本文: 刘曾美, 郑志勤, 陈斯达, 等. 南方感潮地区水库的挖潜改造[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2018, 46(2): 122-127. DOI: 10.3876/j.issn.1000-1980.2018.02.004.

我国南方感潮地区,汛期暴雨频繁、强度大,常受到台风风暴潮的侵袭,引发内涝,且涝水外排易受外江(海)洪(潮)水位的顶托,造成排涝不畅,导致内涝灾害尤甚;枯水期咸潮上溯,供水水质咸度超标,严重影响居民正常生活乃至社会生产活动。因此,需要对南方感潮地区的水库进行挖潜改造,以充分利用水库库容在汛期滞蓄洪水,减少涝灾发生,在枯水期避咸蓄淡,缓解供水压力。

关于水库挖潜改造方面的研究,多是针对相关特征水位^[1-9]。如:钟平安^[1]对防洪限制水位研究提出了几点思考;李继清等^[2]对刘家峡水库汛期动态防洪限制水位进行了论证研究;袁晶瑄等^[3]采用模糊集分析对水库汛期汛限水位进行动态控制,以实现最大化利用雨洪资源;梁庆华等^[4]研究了江苏省阳澄淀湖区水资源调度的最低目标水位;李响等^[5]将入库洪水不确定性、风险分析与汛限水位动态控制域的确定过程有机结合起来推求三峡水库汛限水位动态控制域;刁艳芳等^[6]把模糊信息熵物元评价法应用与汛限水位动态控制方案优选中;丁伟等^[7]提出了考虑洪水预报信息的水库汛限水位实时动态控制方法;任明磊等^[8]研究了利用短期降雨预报信息进行水库汛限水位动态控制的实时调度方法;王本德等^[9]综述了我国水库(群)调度理论方法研究应用现状,并对水库调度理论研究与工程实践所亟待解决的问题及发展趋势作了展望。调整特征水位和进行动态控制对水库的兴利和防洪都十分有利,但对于地处南方感潮地区的中珠联围,汛期排涝受到承泄区洪(潮)水位的顶托,仅靠调控特征水位难以解决其复杂的水问题。此外,还有关于感潮地区闸群防洪体系的联合优化调度研究^[10-11],这些联合优化调度方法对指导感潮地区的防洪治涝减灾具有一定的参考价值,但都没有涉及有水库的情况。

感潮地区水库挖潜改造需要合理确定包括汛限水位、正常蓄水位的水库特征水位以及水库调度运行规则,但水库调度运行规则的确定必须基于承泄区水位的变化规律以及涝区的排涝情势,而且一些特征水位的确定也必须依据调度运行规则。笔者以位于广东省中(山)珠(海)联围的中山市三乡镇田心水库为例,详细介绍南方感潮地区水库基于天气预报信息的挖潜改造思路、水库调度运行规则拟定方法以及分析挖潜过程。

1 研究区域概况

中珠联围是中(山)珠(海)联围的简称,它位于珠江三角洲下游、广东省中山市的东南部,珠海市的西北部,地跨中山、珠海两市。东南与澳门半岛相邻,南邻马骝洲水道(出海),西南面为磨刀门水道,北接五桂山脉和凤凰山脉。中珠联围的区域构成见图 1,总面积 338 km²,其东部为珠海市香洲区,面积为 118.7 km²;其余属于中山市,包括坦洲镇、三乡镇和五桂区部分地区,以及神湾镇的小片区域,其面积分别为 125.6 km²、73.0 km²、19.1 km² 和 1.6 km²。但中珠排洪渠截流部分直接外排入海,神湾片也被神湾镇直接引流。因此,中珠联围实际集雨面积为 322.3 km²,实际汇水情况如图 1 所示。由于三乡镇西、北、东三面环山,一旦普降大暴雨,山洪滚滚而下,三乡镇中部平原区便遭受洪水的威胁,其洪水经茅湾涌汇入坦洲境内。三乡镇的平原区域和坦洲镇的平原网河区就像 2 个大小和形状各异的“集水盆”,东、西、北方向的降水均汇集于“集水盆”中。中珠联围的实际集水区域的涝水外排通道有 7 个,其中 5 个是排入磨刀门水道,一个是经洪湾涌排入马骝洲水道后出海,还有一个是经前山水道外排出海。

田心水库地处中珠联围顶端,在五桂山境内(图 1),位于茅湾涌最上游,但隶属于三乡镇,是三乡镇最大的水库。其集雨面积为 4.42 km²,现状下总库容为 288 万 km³,原设计是以防洪、灌溉为主,兼有供水功能的小(一)型水库。由于三乡镇不仅存在“水多”、“水咸”,还存在“水脏”(三乡镇境内和边缘因没有过境河流、河涌主要依靠雨水补给,导致河涌水环境差)的问题^[12],而田心水库溢洪道为开敞式宽顶堰、未设置闸门,且有一定的坝高富裕度,因此,拟对田心水库进行挖潜改造,增加库容,改善水库调度运行规则,使充分发挥滞洪、蓄洪和避咸取淡的功能,以缓解三乡镇的“水问题”以及中珠联围的排涝问题。

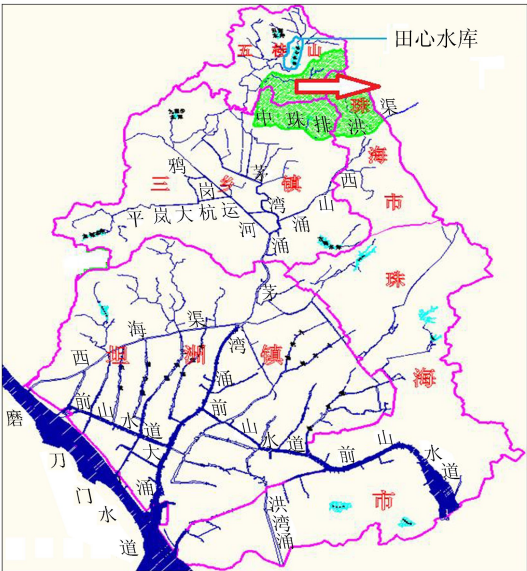


图 1 中珠联围水系图

Fig. 1 Map of comprising and confluence of the Zhong-Zhu union catchment

2 田心水库挖潜改造思路与调度运行规则

2.1 挖潜改造思路

田心水库的设计标准与校核标准分别为 50 年一遇与 1000 年一遇,开敞式宽顶堰堰顶高程为 13.93 m,经设计洪水推求和水库调洪演算,求得现状下设计洪水位与校核洪水位分别为 16.50 m 和 17.61 m;根据 SL274—2001《碾压式土石坝设计规范》^[13],求得正常运用条件的坝顶超高和非正常运用条件的坝顶超高分别为 1.81 m 和 0.96 m,故计算坝顶高程为 18.54 m。而田心水库现有坝顶(防浪墙)高程为 19.7 m,故坝高尚有 1.16 m 的富裕度;现状下田心水库的正常蓄水位为堰顶高程,故正常蓄水位和兴利库容还有很大的提升空间,因此有必要对其进行挖潜改造^[12]。

田心水库的挖潜改造,需要结合天气预报信息,通过预泄和超蓄的方式合理确定汛限水位、正常蓄水位、水库的调度运用方式以及其他特征水位。为了确保大坝的安全,现状下田心水库的运行方式为汛期总是使汛限水位远远低于堰顶高程,使水库的兴利功能严重受限。事实上,可以结合天气预报采用预泄的方式降低水位腾空库容以迎接洪水^[8,14]。为满足汛期兴利与非汛期避咸蓄淡的需求,田心水库需要增设闸门,以提高正常蓄水位。为最大化地发挥兴利蓄水功能,其正常蓄水位应在限制因素下取最大值,因此可用现有坝顶高程减去相应计算坝顶超高,得到正常蓄水位。由于在洪水后期,水库水位不必回落到防洪限制水位,可以实行超蓄^[14],以更好地利用雨洪资源来兴利,因此汛限水位的选择,可通过假定不同起调水位,以考虑降水预报而预泄的方式^[8]按分析拟定的调度运行规则进行调蓄演算,求得对应的设计洪水位和校核洪水位,从而得到相应坝顶超高,使计算坝顶高程等于现有坝顶高程得到汛限水位。

至于田心水库的调度运行规则,因其位于中珠联围的上游,故可利用库容滞蓄洪水,实行与下游洪水“错峰”调度。但因中珠联围的涝水外排易受到外江(海)洪(潮)水位的顶托,对中珠联围实行径流补偿调节,需结合中珠联围的排涝情势来研究。关键是确定滞洪时间,滞洪时间确定后,还需要计算滞洪总量和重新进行调洪演算复核坝顶高程,确定库容是否仍有富余或是否需要采用预泄的调度手段,进而得到预泄的水位并计算水库的预泄能力。

挖潜改造通常针对水库的原有集雨面积进行,而根据三乡镇的水利综合规划^[12],可通过截洪沟将水库集水区域以西的部分山丘地的雨洪引至田心水库实现高水高排,这要求水库有更大的滞洪库容。若在原来的挖潜改造中水库库容尚有富余,则可对增加集水区域后的洪水进行调洪演算确定调度方法;若库容已无富余或虽有富余但不足以滞蓄增大面积后的洪水,则需要结合地形,分析是否有增加坝高的可能性。

2.2 调度运行规则

为了减少下游的排涝压力,田心水库应在高潮位时关闸滞洪,实行与下游洪水错峰调度。但如何滞洪、滞洪时间需多长,需要研究承泄区水位变化规律、涝区暴雨与承泄区水位的遭遇规律以及分析区域排涝的情势后才能分析确定。

中珠联围的产水排至磨刀门水道或排至外海,而外海水位只受浅海潮波的影响,但磨刀门水道的水位既受浅海潮波的影响,又受上游河川径流的作用,是下游潮波和上游来水共同作用的结果。对于潮位过程的 2 个特征指标高潮位和低潮位而言,高潮位受下游潮波作用和上游洪水作用都非常明显,而低潮位主要受上游来洪的影响,基本上呈正相关关系^[15]。磨刀门灯笼山潮位站(坦洲镇境内)接近多年平均最高潮位的 5 场潮位过程如图 2 所示^[16],其中 1994 年 6 月 22—24 日和 1998 年 6 月 26—28 日的潮位过程的低潮位分别是由西江“94 大洪水”和“98 大洪水”抬高所致。

根据中珠联围暴雨与承泄区水位的遭遇规律^[17](图 3)确定与设计暴雨相组合的治涝设计水位^[18],再结合承泄区水位变化规律确定治涝设计水位过程^[16]。确定

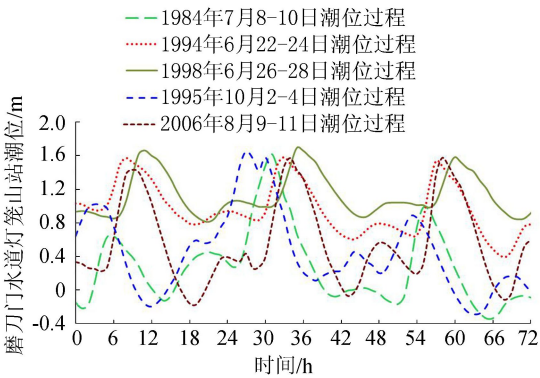


图 2 灯笼山潮位站与多年平均最高潮位相近的 5 场潮位过程

Fig. 2 The five-tide process in the Denglongshan Tide observation station which is close to the average of annual highest tide

了涝区暴雨过程和承泄区治涝设计水位过程后,便可进行排涝调蓄演算。中珠联围排除涝水的思路是,充分利用河涌的调蓄容积,在高潮时关闸滞洪,在低潮时利用所有闸门开闸放水来实行抢排,抢排难以实现或抢排能力不够时辅以泵站抽排^[19]。当中珠联围遭遇 10 年一遇暴雨且承泄区遭遇相应治涝设计潮位时,完全利用中珠联围的外排闸门抢排的排涝计算结果见表 1。

由表 1 可以看出,不设置外排泵站的条件下,闸前水位超过 1.0 m 的时间不超过 6 h,闸前水位超过 1.3 m 的时间不超过 4 h。由中珠联围暴雨与磨刀门水道灯笼山潮位站潮位的联合概率密度分布图(图 3)可见,将中珠联围磨刀门水道上闸门的闸前控制水位提高至 1.3 m 非常有利,可以大大提高闸门抢排的几率^[16]。而三乡镇排涝的暴雨设计标准为 20 年一遇,经相似的分析计算得到,倘若当中珠联围的设计暴雨标准提高到 20 年一遇时,完全利用中珠联围的外排水闸抢排的话,闸前水位超过 1.3 m 的时间不超过 6 h^[15]。

表 1 闸排时暴雨洪水与潮位过程各种对应下的调蓄计算结果

Table 1 Calculated results corresponding to various combination of rainstorm flood and tide process when flood water is drained only with Sluices

涝区暴雨洪水与 外潮位的对应关系	潮位滞后时间/h				峰峰 对应	潮位提前时间/h					
	4	3	2	1		1	2	3	4	5	6
闸前最高水位/m	1.60	1.66	1.69	1.80	1.79	1.81	1.61	1.46	1.17	1.01	0.85
>1 m 历时/h	5	6	6	5	5	5	5	4	3	1	0
>1.3 m 历时/h	3	4	4	3	3	3	2	2	1	0	0

注:磨刀门水道的潮位过程比外海晚 1 h,以磨刀门水道的潮位峰值与暴雨洪水的峰值对应为峰峰对应。

为了减轻中珠联围的涝灾程度和减小其排涝实施的规模,在遭遇 20 年一遇治涝标准的暴雨时,田心水库应在承泄区水位较高、中珠联围内的洪水难以排泄时滞洪不下泄。考虑最不利的情况为蓄存最大 6 h 洪水,即在最大 6 h 洪水发生时,停止泄洪,利用水库滞蓄洪水,从而与下游洪水错峰,以此来设计水库的防洪库容;当最大 6 h 洪水结束后再开闸泄洪,且泄洪的最大流量以下游河涌的最大过流量控制。故田心水库的挖潜改造,必须满足滞蓄 20 年一遇最大 6 h 洪水的要求,且滞蓄洪水后开闸泄洪的泄流量以田心水库下游河涌的最大过流能力控制。对于超过 20 年一遇的洪水,当蓄满滞蓄 20 年一遇最大 6 h 洪水的库容(防洪库容)后,就开闸泄洪,在水库水位不再升高的前提下,尽量用闸门控制下泄流量,以减轻对下游河涌安全的威胁。

由此可见,田心水库的调度运行规则的合理确定是非常关键,也是南方感潮地区水库挖潜改造中的难点所在。

3 挖潜改造分析计算

3.1 针对原集雨面积的挖潜改造

由田心水库挖潜改造的思路分析,经济可行的改造方案应为增设闸门,提高正常蓄水位与汛限水位,堰高不变。

坝顶超高计算结果中,最大坝顶超高为 1.81 m,为增大兴利库容,改造后田心水库的正常蓄水位可取 17.89 m(防浪墙高程为 19.7 m)。而堰顶高程为 13.92 m,与正常蓄水位相差 3.97 m,因而可在溢洪道上设置 4 m 高的闸门。田心水库现有兴利库容为 197.06 万 m³,增设闸门后兴利库容为 318.06 万 m³,增加了 121 万 m³。汛限水位的确定则采用滞蓄 20 年一遇洪水的最大 6 h 洪水(总量为 111 万 m³),按图 4 所示进行调洪计算,计算得当起调水位为 14.10 m 时,最高洪水位刚好为 17.89 m,此时计算坝顶高程等于现有坝顶高程 19.70 m,说明对水库进行了充分的挖潜。因此,在不增加坝高与考虑降水预报的前提下,防洪限制水位可取 14.10 m。

但考虑到降雨预报的时间为 1~3 d,经计算,在保证下游河涌安全的前提下,通过闸门泄流可在 24 h 内将库水位从 17.89 m 降低至堰顶高程 13.92 m。为增加田心水库在汛期的兴利作用,洪水消落后蓄水位可提

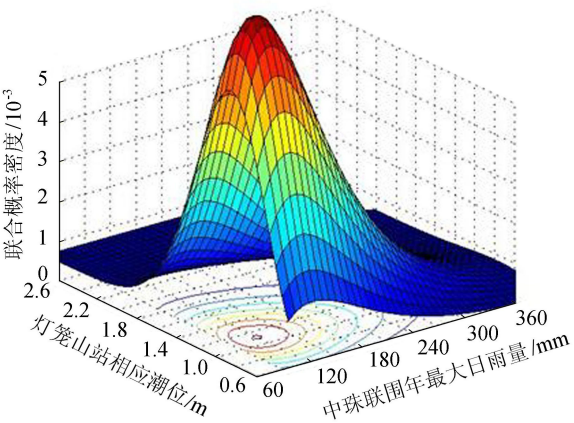


图 3 暴雨与承泄区水位的联合概率密度分布

Fig.3 Distributions of the joint probability density of rainstorms and outer water level

高至正常蓄水位 17.89 m。除此之外,田心水库的死水位 4 m 至堰顶高程 13.92 之间的库容为 175 万 m³,若洪水来临前通过开闸与输水涵管预泄将库水位降低至 12.65 m,则利用改造后的水库即可滞蓄 50 年一遇最大 6 h 洪水,且最大下泄流量为下游河涌的安全泄流量 45 m³/s。

综上所述研究得到,不增加田心水库集雨面积的前提下,结合中珠联围的排涝格局,对田心水库的挖潜改造的结论为,在堰顶上增设 4 m 闸门,提高正常蓄水位至 17.89 m,增加 121 万 m³ 兴利库容。汛限水位取 14.1 m,水库能滞蓄 20 年一遇最大 6 h 洪水,且最大泄流量不超过下游河道的安全泄流量;若结合降水预报,洪水来临前通过输水涵管预泄至 12.65 m,则可滞蓄 50 年一遇最大 6 h 洪水。

3.2 增加汇水面积的挖潜改造

通过对原集雨面积的挖潜改造计算,清楚该改造方案能满足防洪排涝需求且增加兴利效益。而且原集雨面积的 20 年一遇最大 6 h 洪水为 111 万 m³,50 年一遇最大 6 h 洪水为 147 万 m³,水库最大可利用库容为 296 万 m³,说明库容仍有富余,可进行进一步挖潜改造以解决区域水问题。根据三乡镇水利综合规划,洪涝问题的解决需要建设截洪沟截流实行高水高排,其中一条靠近田心水库的截洪沟可将山洪引至田心水库,所以可以考虑增加汇水面积对水库进行进一步的挖潜改造。原集雨面积与增加汇水面积后的设计洪水结果如表 2 所示。

由表 2 知,增加汇水区域后,20 年一遇最大 6 h 洪量为 227 万 m³。正常蓄水位 17.89 m 至堰顶高程 13.92 m 间的库容为 121 万 m³,至死水位 4 m 间的库容为 296 万 m³。经计算,按原挖潜改造方案,洪水来临前需将水位预泄至 6.67 m 才能滞蓄最大 6 h 洪水。考虑到堰以下水位的降低由输水涵管实现,但输水涵管的泄流能力有限,该改造方案不能完全满足防洪排涝的需求。同时,根据田心水库地形图,水库有提高坝顶高程的可能,受垭口限制其坝顶高程最高可提高至 22.0 m 左右。因此可以适当增加坝高,增加滞洪库容,同时增加兴利库容。

初步设定提高坝高 2~21.7 m,则需设置 6 m 高的闸门,正常蓄水位可提高至 19.89 m。结合天气预报采取预泄的方式对增加汇水面积后的水库进行调蓄计算,为节省篇幅,计算过程在此省略。计算结果表明,洪水来临时需提前通过输水涵管将水库的水位预先放至 11.08 m 水位,才能滞蓄增加集水区域后的 20 年一遇最大 6 h 洪水,并且下游河涌的安全泄流量增加为 98 m³/s,所以需对下游河涌进行相应改造。再以 11.08 m 作为洪水起调水位,分别对 50 年一遇设计洪水和 1000 年一遇校核洪水进行调洪计算,水库的坝顶高程完全能满足要求。

综上所述,增加汇水区域后,结合中珠联围的排涝格局,对田心水库进行挖潜改造的结论为,需要增加坝高 2 m,增设 6 m 闸门,正常蓄水位取为 19.89 m,增加 193 万 m³ 兴利库容,而且根据降水预报进行预泄至 11.08 m 水位,可使水库滞蓄 20 年一遇最大 6 h 洪水。

4 结 语

南方感潮地区易遭受涝灾、咸潮上溯等水问题影响,而对其水库进行挖潜改造不失为有效缓解其水问题的可行方法。以广东省中(山)珠(海)联围的田心水库为例,详细介绍了南方感潮地区水库挖潜改造的思路、水库调度运行规则的拟定方法以及分析挖潜过程。根据承泄区水位变化规律及区域排涝调蓄演算的成果,拟定田心水库的调度运行规则,根据水库调度运行规则,进行大量的分析计算和综合分析比较最终确定挖潜方案。通过田心水库的挖潜,可达到充分利用水库进行滞洪、蓄洪和避咸取淡的目的。该研究可为其他水库的挖潜改造提供参考。

参考文献:

[1] 钟平安. 防洪限制水位研究的几点思考[J]. 河海大学学报(自然科学版),2002,30(6):1-5. (ZHONG Ping'an. Study on limit levels for flood control[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences),2002, 30(6):1-5. (in Chinese))

表 2 田心水库设计洪水成果

Table 2 Design flood of the Tianxin reservoir

计算区域	洪水 频率/%	最大流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	最大 6 h 洪量/ 万 m ³	24 h 洪量/ 万 m ³
原集雨面积	5	128.5	111	143
	2	151.0	147	184
	0.1	222.2	245	313
增加汇水面积 后的总汇水 区域	5	193	227	304
	2	215.5	273	378
	0.1	286.7	389	577

- [2] 李继清,姚志宗,贾怀森,等. 刘家峡水库汛期动态防洪限制水位论证研究[J]. 水力发电学报,2007,26(5):1-6. (LI Jiqing, YAO Zhizong, JIA Huaisen, et al. Feasibility argumentation on the dynamical flood control limited water level of Liujiaxia reservoir in flood season[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2007, 26(5):1-6. (in Chinese))
- [3] 袁晶瑄,孙广平. 白龟山水库汛期模糊集分析及在洪水资源化中的应用[J]. 水资源保护,2008,24(6):40-42,52. (YUAN Jingxuan, SUN Guangping. Application of fuzzy set analysis during flood seasons in utilization of flood resources in Baiguishan Reservoir[J]. Water Resource Protection, 2008, 24(6):40-42, 52. (in Chinese))
- [4] 梁庆华,李灿灿. 江苏省阳澄淀泖区水资源调度最低目标水位研究[J]. 水资源保护,2012,28(5):90-94. (LIANG Qinghua, LI Cancan. Study of minimum target water level for water resources regulation in Yangcheng and Dianmmao districts of Jiangsu Province[J]. Water Resource Protection, 2012, 28(5):90-94. (in Chinese))
- [5] 李响,郭生练,刘攀,等. 考虑入库洪水不确定性的三峡水库汛限水位动态控制域研究[J]. 四川大学学报(工程科学版),2010,42(3):49-55. (LI Xiang, GUO Shenglian, LIU Pan, et al. The dynamic control bound of flood limited water level considering inflow uncertainty in Three Gorges Reservoir[J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science), 2010, 42(3):49-55. (in Chinese))
- [6] 刁艳芳,王本德. 水库汛限水位动态控制方案优选方法研究[J]. 中国科学(技术科学),2011,41(10):1299-1304. (DIAO Yanfang, WANG Bende. Scheme optimum selection for dynamic control of reservoir limited water level[J]. Scientia Sinica (Technologica), 2011, 41(10):1299-1304. (in Chinese))
- [7] 丁伟,梁国华,周惠成,等. 基于洪水预报信息的水库汛限水位实时动态控制方法研究[J]. 水力发电学报,2013,32(5):41-47. (DING Wei, LIANG Guohua, ZHOU Huicheng, et al. Real-time dynamic control of limited water level of reservoir based on flood forecast information[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2013, 32(5):41-47. (in Chinese))
- [8] 任明磊,何晓燕,黄金池,等. 基于短期降雨预报信息的水库汛限水位实时动态控制方法及风险分析[J]. 水利学报,2013,44(增刊1):66-72. (REN Minglei, HE Xiaoyan, HUANG Jinchi, et al. Real-time dynamic control of reservoir water level in flood season and its risk analysis based on short-term rainfall forecast information[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(Sup1):66-72. (in Chinese))
- [9] 王本德,周惠成,卢迪. 我国水库(群)调度理论方法研究应用现状与展望[J]. 水利学报,2016,47(3):337-345. (WANG Bende, ZHOU Huicheng, LU Di. The state-of-the-art review in the theory research and its application of multi-reservoir system operation in China[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2016, 47(3):337-345. (in Chinese))
- [10] 刘芹,黄贤荣,罗东兰. 平原河网水力计算及闸群防洪体系优化调度[J]. 人民长江,2008,39(16):52-54. (LIU Qin, HUANG Xianrong, LU Donglan. Hydraulic computation of river network and optimized regulation of gate-group flood control system in plain areas[J]. Yangtze River, 2008, 39(16):52-54. (in Chinese))
- [11] 吴松柏,闫凤新,余明辉. 平原感潮河网闸群防洪体系优化调度模型研究[J]. 泥沙研究,2014(3):57-63. (WU Sonbai, YAN Fengxin, YU Minghui. Study on optimal model of flood control system with sluice groups in plain tidal river network[J]. Journal of Sediment Research, 2014(3):57-63. (in Chinese))
- [12] 刘曾美,林剑青,黎智良,等. 中山市三乡镇水利综合规划[R]. 中山:中山市水利水电勘测设计咨询有限公司,2015.
- [13] 黄河水利委员会勘测规划设计研究院. 碾压式土石坝设计规范:SL 274—2001[S]. 北京:中国水利水电出版社,2002.
- [14] 顾圣平,田富强,徐得潜. 水资源规划及利用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2009.
- [15] 刘曾美,覃光华,陈子燊,等. 感潮河段水位与上游洪水和河口潮位的关联性研究[J]. 水利学报,2013,44(11):1278-1285. (LIU Zengmei, QIN Guanghua, CHEN Zishen, et al. Study on the correlation of the water level of the tidal river with upstream flood and estuary tide level[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(11):1278-1285. (in Chinese))
- [16] 刘曾美,董天明,潘伟斌,等. 中山市坦洲镇水利规划[R]. 广州:华南理工大学,2014.
- [17] 刘曾美,吴俊校,陈子燊. 感潮地区暴雨和潮水位遭遇组合的涝灾风险[J]. 武汉大学学报(工学版),2010,43(2):165-169,174. (LIU Zengmei, WU Junxiao, XIAO Sufen. Waterlogging risk based on encounter of rainstorm and tidewater level in tide influenced area[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2010, 43(2):165-169, 174. (in Chinese))
- [18] 刘曾美,陈子燊,吴俊校. 河口区治涝的承泄区设计潮位的选取[J]. 水利水运工程学报,2010(4):21-26. (LIU Zengmei, CHEN Zishen, WU Junxiao. Selection of design tidal level for flood control works in estuarine area[J]. Hydro-Science and Engineering, 2010(4):21-26. (in Chinese))
- [19] 刘曾美,吴俊校,肖素芬. 感潮地区排涝分析计算方法和思路研究[J]. 人民珠江,2009,30(5):8-11. (LIU Zengmei, WU Junxiao, XIAO Sufen. Study on methods and ideas of analysis and calculation of drainage in tidal region[J]. Pearl River, 2009, 30(5):8-11. (in Chinese))