

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20222230

山丘区留空库容削峰调洪系统的设计及应用

张艳秋, 陆 杨, 杜尔登, 彭明国

(常州大学城市建设学院, 江苏 常州 213164)

摘要: 山丘区建设项目受地形及工程造价影响, 需尽可能减小围墙外排洪沟断面的过水流量, 但通常建设项目围墙外山洪沟低洼处已有或拟建塘坝库容较小且难以扩容, 常规方法无法满足减小排洪沟断面设计流量的要求。因此, 提出一种建设项目防排洪设小水库留空库容削峰调洪技术方案, 较传统水库调洪可大大节省库容, 同时满足下游减小排洪沟流量的要求, 并结合实际工程实例, 详细阐述了留空库容削峰调洪系统的功能和设计要点, 可为山丘区建设项目特小流域防排洪工程提供重要的技术支撑和经验借鉴。

关键词: 山丘区; 防排洪; 特小流域; 留空库容

中图分类号: TV873

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)06-0074-04

1 引言

受地势条件及统一规划影响, 许多建设项目不可避免地修建在山丘区^[1]。山丘区山高坡陡, 溪河密集, 汛期高强度持续降雨会迅速转化为径流, 造成项目区洪水淹没深度大或排水难度大等问题^[2]。因此, 山丘区建设项目防排洪是保障项目内生产和生活安全的必要工程。常规削峰调洪技术是在现行技术规范条件下分为水库调洪、河道(拦河坝、蓄滞洪区)调洪、河道分洪道分洪等方式。山丘区建设项目排洪主要考虑特小流域^[3], 其设计洪水特点是峰高量小, 洪水历时短^[4], 因此排洪沟断面尺寸必须足够大, 才能满足设计防洪标准的洪峰流量要求; 通过项目围墙外设水库调洪, 可减小排洪沟设计流量及断面尺寸, 节约占地面积和工程投资, 但需足够大的水库调洪库容。实际工程项目中, 常存在建设项目占压山洪沟的情况, 山丘沟壑交错, 地形异常复杂, 考虑地形及工程造价等因素, 围墙外排洪沟断面尺寸受限; 但山洪沟上游建设水库仅考虑防洪安全, 受地形影响, 库容太小且无法扩充。此时, 减少排洪沟的过水流量成为工程项目建设的难题。为此, 本文提出一种设小水库(特指库容小于 $1 \times 10^5 \text{ m}^3$ 的塘坝)留空库容削峰调洪系统及方法, 留空库容暂时存放大流量峰值期间的小水量, 小水库与下游排

洪沟断面尺寸大小可根据实际情况调整, 结果可供参考。

2 山丘区项目防排洪留空库容削峰调洪系统设计

正常水库设计时需兼顾防洪及蓄水^[5,6], 水库上游来水全部进入水库进行调蓄, 达到一定水位后才能开始下泄, 溢洪道用于泄洪, 放水洞用于水库对外供水、发电等。

留空库容系统适用于山丘区建设项目特小流域(流域面积小于 3 km^2)防排洪, 小流域坡度大, 区域气象特征降水历时短、强度大; 洪水过程峰高量小, 留空库容不考虑蓄水, 只考虑防洪安全(若兼顾蓄水, 须在洪水前放空水库)。其主体是小水库和排洪沟两部分联合运用, 排洪沟内的洪水排向下游, 排洪沟底高程与空库放水闸门底高程一致, 上游来水大部分直接通过排洪沟排向下游, 小部分洪水(洪水过程的峰部)自由分洪入小水库滞排, 洪水过后, 将空库内暂时存放的水放空。相比于正常水库调洪, 小水库只暂时存放峰值部分洪水, 因此调洪能力大大提高。

项目防排洪设小水库留空库容削峰调洪系统建设见图1。主要包括空库、排洪沟、拦截大坝、小坝、隔离坝、截洪沟、凹槽和启闭闸门等。沿阻止洪水流入山丘区建设项目区的方向, 在项目围

收稿日期: 2022-10-24, 修回日期: 2022-11-18

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK20210856); 常州市科技计划(应用基础)项目(CJ20210117)

作者简介: 张艳秋(1990-), 女, 博士、讲师、硕导, 研究方向为市政工程、水文与水文地质学, E-mail: zhangyanqiu@cczu.edu.cn

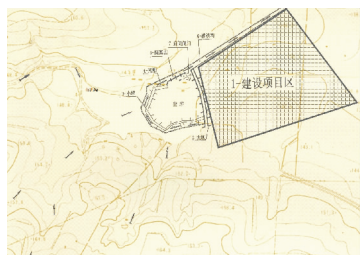


图 1 留空库容平面示意图

Fig. 1 Schematic diagram of empty library

墙外山洪沟洼地处设拦截大坝;拦截大坝上游位置设空库;环绕空库分别设置隔离坝和小坝,隔离坝将空库和排洪沟隔开;隔离坝一端连接上游山坡,另一端连接拦截大坝;隔离坝既是空库副坝,又是排洪沟内岸壁的一部分;隔离坝顶端靠近上游位置设置凹槽,靠近下游位置底部设置可启闭的泄洪闸门;环绕空库与上游山坡处设置小坝,小坝一端连接拦截大坝,另一端连接隔离坝,用于阻挡上游山坡雨水汇入空库;排洪沟与上游山洪沟相接,下游与原山洪沟相接;在小坝外围设截洪沟,截洪沟引空库外围坡面流洪水入排洪沟。

借助于自然环境的优势,空库可设置在山洪沟洼地处,也可直接利用已有塘坝做空库,减少施工成本。拦截大坝可直接采用项目围墙代替,以减少工程量及占地面积。隔离坝的截面见图 2。自上游至下游设计一定坡度,其高度综合考虑空库大坝与排洪沟的两岸高程,一般低于空库大坝和排洪沟外岸,有利于工程安全及排水;在隔离坝上游端顶部开挖凹槽,以利于排洪沟的洪水超过一定水位时自由分洪入空库;在隔离坝下游底部设带启闭的泄洪闸门,以利于洪水过后将空库内暂时存放的水排走。排洪沟底高程与空库放水闸门底高程一致,空库底高程略高于相对应的排洪沟底高程,以便将空库内暂时存放的水排空。排洪沟与拦截大坝相接处设置明渠或桥涵。空库及排洪沟的大小、位置和形状,根据具体地形及建设项目工程规范确定。

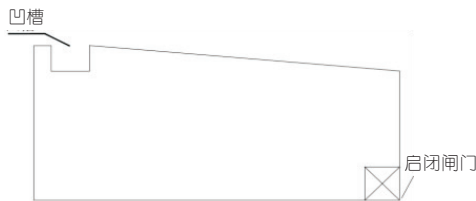


图 2 空库隔离坝纵断面示意图

Fig. 2 Schematic diagram of vertical section of empty reservoir isolation dam

若需利用空库内暂时存放的水,可在泄洪闸门处接引水管,将水引出利用,但必须在洪水到来前将空库放空。

3 工程应用

3.1 工程概况

某厂址拟建于山丘区,地处城市开发区,区域属温带大陆性半湿润季风气候区,四季分明,寒暑适宜,雨热同季。多年平均降水量为 706.0 mm。受季风气候影响,年际降水变幅较大,年最大降水量 1 498.0 mm,年最小降水量 199.0 mm。年内降水分布不均衡,夏季降水最多,占年降水量的 65.2%,冬季最少,仅占 3.6%。设计 100 年一遇 24 h 降水量为 352.0 mm。项目区域自然地形起伏较大,属低山丘陵区,岩石裸露,植被一般,项目区自然标高在 132.6~151.0 m 之间,由西向东汇流的山洪沟穿过项目区,对西围墙外山洪沟进行改道是最佳的防排洪方案。

结合地形现状分析,西围墙外控制流域面积为 0.604 km²,山洪沟长 1.147 km,山洪沟坡比 22.877%,流域内山洪沟坡度大,下渗率小,形成的洪水过程峰高量小,对建设项目危害大。根据国家及行业的相关规程规范,计算西围墙外水文断面设计洪峰流量为 24.7 m³/s,洪水历时 2.35 h,径流总量 5.26 × 10⁴ m³。根据计算结果,将五点法过程线划分为等时段的过程线,有利于调洪演算。西围墙断面设计时段洪水过程线特征值见表 1,相应设计小流域洪水过程见图 3。

表 1 不同时段流量及洪量

Tab. 1 Flood discharge and peak discharge at different time periods

序号	时段 T/h	流量/(m ³ ·s ⁻¹)	洪量/m ³
1	0	0	0
2	0.29	3.945	2 059.3
3	0.59	24.655	15 083.6
4	0.88	14.400	20 597.6
5	1.18	2.786	9 063.9
6	1.47	2.070	2 561.1
7	1.77	1.350	1 803.7
8	2.06	0.700	1 081.2
9	2.35	0	370.4
洪水总量			52 620.8

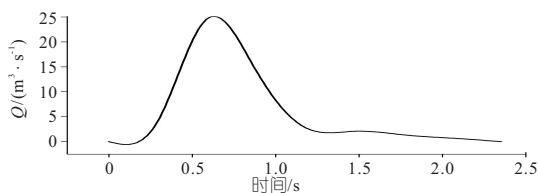


图 3 设计山洪沟洪水过程线

Fig. 3 Design flood process line of mountain flood gully

3.2 山丘区建设项目防排洪常规方法分析

山丘区项目防排洪常规方法分为不设水库及

设水库两种。其中,不设水库方案(图 4)是在项目西围墙外新开挖排洪沟断面,再与上游山洪沟相接,山洪沟上游洪水直接沿排洪沟下泄,需开挖满足山洪沟设计流量 $24.66 \text{ m}^3/\text{s}$ 的排洪沟断面;设水库方案是在西围墙外拦截山洪沟建水库大坝,在大坝北端设开敞式溢洪道,下泄洪水沿西围墙外排洪沟向下游排泄。

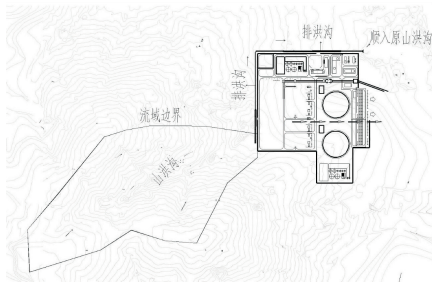


图 4 山丘区项目防排洪不设水库方法示意图

Fig. 4 Schematic diagram of flood prevention and drainage method without reservoir in hilly area project

根据实测地形图量算,以等高距 139、140、142、143、144 m 分别计算面积和相应容积,不同水位间对应的体积采用棱锥及棱台体积公式计算:

$$V = (S_1 + \sqrt{S_1 S_2} + S_2)H/3 \quad (1)$$

式中, V 为相邻水位间的体积, m^3 ; S_1 为棱台底面积, m^2 ; S_2 为棱台顶面积, m^2 ; H 为棱台高, m 。

根据不同的水位分级,计算水库的水位—库容关系,见表 2。由表 2 可知,根据现有山洪沟地形建大坝用作水库进行调蓄,考虑起调水位 143 m,前期雨量极易将 143 m 以下库区充满水,洪峰未到,水库已满,基本无削峰能力。增大开挖水库库容,可减小下游排洪沟断面,但投资、占地等技术经济较不合理。起调水位降至 139 m,则来水等于泄水,无调蓄作用;受下游排洪沟下泄能力小的影响,水库很快满库,表 2 计算库容 $2.99 \times 10^4 \text{ m}^3$ 远未达到要求。可见要实现同时减小水库库容及下泄流量、提高调蓄能力按常规方法不可能实现。

表 2 水库(山洪沟)容积

Tab. 2 Volume of reservoir (mountain flood gully)

等高距/m	水位/m	面积/ m^2	区间容积/ m^3	容积/ m^3
139	139	0	0	0
139~140	140	1 586.6	528.9	528.9
140~142	142	5 385.8	6 597.1	7 125.9
142~143	143	11 810.0	8 390.4	15 516.3
143~144	144	17 126.3	14 386.1	29 902.4

3.3 山丘区项目防排洪留空库容削峰调洪系统应用分析

结合实际地形,以西围墙作为小水库大坝,在坝内区域山洪沟洼地建空库,排洪沟、小坝、隔离

坝、截洪沟、凹槽和启闭闸门等设置按留空库容削峰调洪技术方案设计(图 1)。上游山洪沟洪水及库区上游的坡面流雨水均经山洪沟首先沿排洪沟向下游排走,当流量增大排洪沟内水位高于隔离坝凹槽底部时,峰值部分洪水自由分流入空库,同时大部分洪水仍沿排洪沟向下游排泄。

系统在计算排洪沟水文要素时按明渠均匀流考虑,且建成后明渠的水文参数如糙率、下渗率等与计算值一致。隔离坝上端凹槽底部对应水位是设计排洪沟流量对应的水位,超过该水位的峰值流量即是凹槽的最大过水流量,故凹槽过水能力加排洪沟过水能力刚好是上游来水的峰值流量。计算设计暴雨时段是一定标准下的 24 h 降水量,特小流域洪水峰高量小,洪水历时短,一般历时不足 1 h,一次洪水继续时,不会发生下次洪峰叠加现象,因此不会出现排洪沟和空库内水漫溢情况。

基于系统设计,峰值部分水量见图 5 中斜线部分面积,计算过程见表 3。

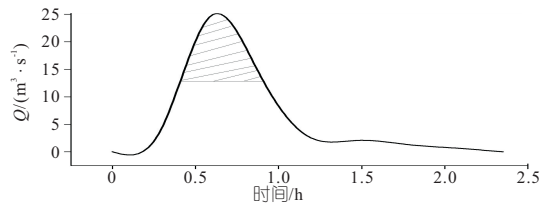


图 5 留空库容水量示意图

Fig. 5 Schematic diagram of empty storage capacity

表 3 留空库容计算结果

Tab. 3 Calculation results of empty reservoir

序号	T/h	Q/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	洪量/ m^3	洪峰时段洪量/ m^3	空库容/ m^3
1	0	0	0		
2	0.290 0	3.945	2 059.3		
3	0.406 7	12.000	3 348.9		
4	0.590 0	24.655	12 095.1	4 175.7	
5	0.880 0	14.400	20 386.7	7 858.7	
6	0.932 3	12.000	2 485.3	225.9	12 260.4
7	1.180 0	2.786	6 592.5		
8	1.470 0	2.070	2 561.1		
9	1.770 0	1.350	1 803.7		
10	2.060 0	0.700	1 081.2		
11	2.350 0	0	370.4		

假设西围墙外排洪沟只能排泄 $12 \text{ m}^3/\text{s}$,根据表 3 内插洪峰流量为 $12 \text{ m}^3/\text{s}$ 相对应的时间分别为 0.460 7、0.932 3 h,计算流量 $12 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上面积(图 5 中斜线部分)即为所需调洪峰值库容,算得该部分水量为 $1.226 \times 10^4 \text{ m}^3$,即空库库容为 $1.226 \times 10^4 \text{ m}^3$,相比于正常水库调洪,大大节省了库容。

3.4 经济效益分析

3.4.1 山丘区建设项目防排洪常规方法

常规方案只考虑开挖排洪沟,由常规方法布置图(图 4)可知,需从项目西围墙外开挖排洪沟

上接山洪沟,向下游顺入原山洪沟,断面大小需满足排泄 $24.7 \text{ m}^3/\text{s}$ 的流量,排洪沟总长度约 2.2 km ,总费用为 575.96 万元。

3.4.2 山丘区项目防排洪留空库容削峰调洪系统

留空库容削峰调洪系统布置见图 1。由计算结果可知,留空库容削峰调洪系统中围墙外排洪沟断面流量由 $24.7 \text{ m}^3/\text{s}$ 减至 $12.0 \text{ m}^3/\text{s}$,节省流量 $12.7 \text{ m}^3/\text{s}$,需开挖排洪沟长约 2.2 km ,同一项目开挖排洪沟位置、地形、采取的设计方案、排洪沟形状、采用护砌方式等均相同,每米造价节省费用 948 元,占常规方法开挖流量为 $24.7 \text{ m}^3/\text{s}$ 的断面每米投资造价 $2\ 618$ 元的 36.2% ,效益非常显著。

根据实际地形及设计要求,按现行材料造价

及工程量,留空库容削峰调洪系统主坝、隔离坝、截洪沟及闸门等各部分造价见表 4。由表 4 可知,留空库容削峰调洪系统工程总造价为 396.65 万元,与常规方法相比,节省约 179.31 万元。若小水库利用原山洪沟洼地或水塘,可减小开挖断面占地面积,进一步节省土地费用。因此,与现有常规技术相比,该系统方法具有显著的经济效益。

山丘区地形、建设项目规模及项目区周围小流域的水文特征,会造成设计总图布置方案不同。围墙外排洪沟设计流量及拦截大坝以上调蓄库容的大小,可具体问题具体分析,根据实际地形条件、设计洪水要素、设计围墙外可开挖断面大小等多因素进行技术经济比较后确定。

表 4 不同方案造价

Tab. 4 Cost of different projects

方案	流量 $/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	排洪沟 长度/km	排洪沟造 价/万元	空库大 坝/万元	空库隔离 坝/万元	空库截洪 沟/万元	闸门 /万元	总造价 /万元	节省 /万元
常规	24.7	2.2	575.96					575.96	
留空库容削峰调洪	12.0	2.2	367.50	6.9	17.25	3	2	396.65	179.31

4 结论

本文提出一种山丘区留空库容削峰调洪系统及方法,适用于坡度大、流域面积小于 3 km^2 的特小流域,区域降水历时短、强度大,洪水过程峰高量小。系统以较小库容暂存大流量峰值期间的小水量,可减小排洪沟下泄流量、水库库容及下游山洪沟断面面积,实现了显著的削峰调洪,同时节约了工程投资。该技术具备完善的理论基础和实用模型,可在相关行业建设项目全面推广应用。

参考文献:

[1] 李卫东,周宏,陈睿星,等. 特小流域设计洪水计算

方法在山谷型干灰场中的应用[J]. 中国农村水利水电,2017(1):80-83.

[2] 杨亚铃,刘金涛,杨爽,等. 基于物理相似法的山丘区流域水文分类及模型参数移用方法[J]. 水电能源科学,2022,40(4):23-27.

[3] 胡娟娟,翁朝晖,徐峰. 湖北省特小流域洪水汇流参数复合综合分析[J]. 水利水电技术,2016,47(8):97-101.

[4] 师鹏飞,杨涛,张和喜,等. 城市山丘区突发性洪水模拟与情景分析[J]. 水电能源科学,2014,32(12):63-66.

[5] 王俊,郭生练. 三峡水库汛期控制水位及运用条件[J]. 水科学进展,2020,31(4):473-480.

[6] 许龙. 中小型水库与河网联合供水模式用于某丘陵城镇[J]. 中国给水排水,2015,31(12):71-75.

Design and Application of a System with a Vacating Reservoir for Flood Peak Reducing and Capacity Regulation of Construction Project in Hilly Regions

ZHANG Yan-qiu, LU Yang, DU Er-deng, PENG Ming-guo

(School of Urban Construction, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: Influenced by terrain and construction costs, the water flow of the flood drainage ditch outside the surrounding wall of the construction project in hilly regions should be minimized as much as possible. However, the capacity of existing or planned small reservoir in the low-lying areas of mountain flood gully outside the walls of construction projects is usually small and difficult to expand, which cannot meet the normal requirements of reservoir flood control. Aiming at this kind of engineering technical problems, this paper proposes a technical scheme with the construction of a small empty reservoir for flood prevention and drainage in construction projects. Compared with the normal reservoir flood regulating system, the storage capacity in this system can be greatly reduced, and the downstream flow reduction requirements can be met. The function and design points of the empty storage capacity peak cutting and flood regulating system are elaborated in detail combined with the actual engineering cases, which aim to provide important technical support and experience for the flood prevention and drainage project of small watershed in mountain and hilly regions.

Key words: hilly regions; mini-basin; vacate reservoir; flood control