

河道雨洪调蓄设施布局研究

吴春,刘鑫,李朋

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:雨洪调蓄设施是改善城市内涝的重要工程措施,研究其空间布局及规模尤为关键。现总结了大尺度雨洪调蓄设施规模影响因素,对调蓄设施的调度方式以及布局进行分析研究,并通过案例分析说明调蓄设施采用固定下泄的调度方式便于调度控制,但上游调蓄库容占比越大越容易造成库容浪费,上下游调蓄总库容应采用不同洪水组合相互验证。在下游用地能满足要求的情况下应优先选用区间同频工况下的调蓄库容布局。该研究成果对相关工程规划设计具有一定参考价值。

关键词:调蓄设施;洪水组合;调度方式;调蓄库容

中图分类号: TV64

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)03-0107-04

0 引言

城市化的快速发展以及气候变化,我国城市内涝问题日益显著^[1],而雨洪调蓄设施作为城市内涝防治的重要工程措施,能降低流量峰值,有效应对内涝风险^[2-3]。雨洪调蓄设施主要分为小尺度(如独立地块)、中尺度(如汇水分区)和大尺度(如整个城市、流域)三个层次^[4],现有研究成果主要针对小尺度^[5]和中尺度^[6]的雨洪调蓄设施。

我国很多城市背靠山区,山洪穿城而过,山区洪水汇流速度快、流量峰值大,城市建设过程未给山洪留下足够宽的通道,导致过流能力不足,部分瓶颈段涉及穿越道路、地铁、隧洞或油管等基础设施,拓宽改造难度大。为此,在流域中上游通过建设雨洪调蓄设施能有效降低流量峰值,能有效缓解该矛盾。从降雨到演变成洪水灾情,需要一系列的条件,其中大尺度的涉水调蓄空间布置最为关键,合理的调蓄空间将极大地降低洪涝成灾的可能性^[7-8]。国内近年来针对雨洪调蓄用地空间规划有一定的研究成果^[9-11],但主要停留在客观事实的总结分析及规划策略阶段,而针对不同雨洪调蓄设施布局对应的削峰调蓄库容规模的定量研究较少。本文总结了大尺度调蓄设施规模影响因素,对调蓄设施的调度方式以及布局进行分析研究,并通过案例定量研究调蓄设施分布与调蓄库容之间的规律,为相关工程规划建设提供

参考。

1 调蓄设施布局研究

1.1 调蓄设施规模影响因素

调蓄设施规划布局的主要影响因素有流域下游运行安全泄流量要求、流域内用地供给情况、调蓄设施集中情况、各调蓄设施所在流域位置、相应的库容面积占比及拟采用的调度控制方式。

下游存在瓶颈或存在防洪排涝要求,允许上游流域外排的安全泄流量越小,则上游流域需要的调蓄库容越大;流域中下游地势低洼平坦区域多为建成区,流域末端一般难以集中提供足够的调蓄库容,若调蓄设施需分散布置,则调蓄设施越分散,各调蓄设施所控制的集雨面积越小、洪水汇流速度越快、流量峰值越高,采用固定下泄调度方式最终所需的总库容将越大。

1.2 调蓄设施调度方式

1.2.1 固定下泄调度方式

在流域内只有一处调蓄设施或上下游调蓄库容与面积占比相对应的调蓄设施,可采用固定下泄方式确定调蓄库容规模,上游固定控泄流量由典型洪水过程及调蓄库容计算得到,下游下泄流量即为下游的安全泄流量。本文将重点分析研究该调度方式。该调度方式安全简单,但对于上游库容占比较大时存在一定的库容浪费。

1.2.2 上下游联合调度方式

对于流域内有上下游两座或多座调蓄设施共同削峰调蓄的情况,需结合洪水预报根据区间来水流

收稿日期: 2023-04-09

作者简介: 吴春(1985—),男,硕士,高级工程师,从事水利工程规划设计工作。

量,采用上下游联合调度的方式灵活控制下泄流量的方式调度。该调度方式难度较大、存在一定安全隐患,但有利于库容最大化利用,提高库容使用效率。

1.3 调蓄设施布局分析研究

调蓄设施最集约、最安全、最便于调度的布置方式为将流域所需调蓄库容均集中布置于流域末端控泄断面处。在控泄断面处难以提供足够库容需分散布置时,应尽量避免过度分散或过于集中在流域中上游。若调蓄设施确需分散布置时,应考虑流域降雨分布不均及汇流时间差等因素,避免出现上游蓄不满,下游调蓄库容不足的问题。

调蓄设施布局、规模及调度控制应考虑以下要点:

(1)调蓄设施调度应确保蓄滞尖峰时期洪水,避免蓄滞尖峰时期前后时段的小流量洪水。

(2)调蓄设施应优先布置在下游,实现调蓄库容集约化、集中化布置,利于削峰调度控制。

(3)上下游调蓄设施总规模与上游调蓄设施的调度控泄方式密切相关。在上游调蓄库容占比相对较小的情况下,可以采用固定控泄方式调度。该调度方式安全简便、调度难度相对较小。

(4)调蓄设施布置在中上游时,需考虑调度方式和降雨分布不均问题,尽量采用安全且便于调度的方式确定调蓄库容,并在下游预留一定的剩余库容。

(5)调蓄设施不宜过度分散布置。分散布置后,需考虑不同洪水组合。在下游用地能满足要求的情况下,调蓄设施规模优先采用上游相应、区间同频的洪水组合确定的调蓄规模;若采用上游同频、区间相应的洪水组合方式确定调蓄设施规模,为避免下游调蓄库容不足,需采用上下游联合调度,在削峰时段进一步将固定泄流量调低,加大上游调蓄量。

2 案例研究分析

为便于分析,通过以下案例加以说明,在上游 A_1 断面处新建调蓄设施 V_1 相应控泄流量 q_1 ,在下游 A_2 断面处新建调蓄设施 V_2 相应控泄流量 q_2 , q_1 、 q_2 之和为下游能承接的安全泄流量 $245 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

断面位置示意图见图 1 所示。

根据上下游不同调蓄库容占比假设 3 种库容布局方案。

方案一:上游调蓄库容占比大于集雨面积占比,在上游建设大部分调蓄库容($V_1=611 \text{ 万 m}^3$),上游控泄 $q_1=40 \text{ m}^3/\text{s}$;

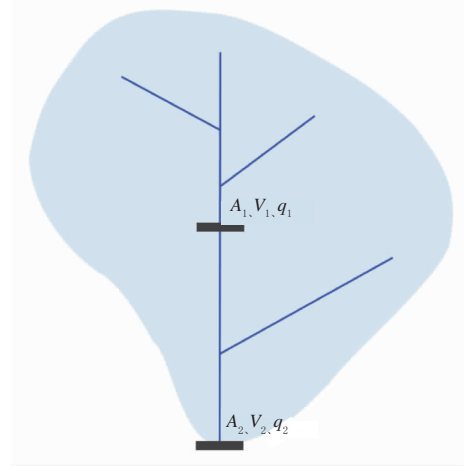


图 1 断面位置示意图

方案二:上游调蓄库容占比接近集雨面积占比,在上游建设调蓄库容 ($V_1=325 \text{ 万 m}^3$),上游控泄 $q_1=103 \text{ m}^3/\text{s}$;

方案三:上游调蓄库容占比小于集雨面积占比,在上游建设部分调蓄库容($V_1=156 \text{ 万 m}^3$),上游控泄 $q_1=160 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

集雨面积及调蓄库容占比详见表 1 所列。

表 1 调蓄设施及库容方案一览表

调蓄设施位置	集雨面积 / km^2	面积占比 /%	调蓄库容占比 /%			控泄流量 / ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
			方案一	方案二	方案三	
上游 A1	28.39	45	66	41	20	q_1
下游区间 A2	34.40	55	34	59	80	q_2
合计	62.79	100	100	100	100	245.0

各方案计算成果见表 2 所列。

表 2 各方案调蓄库容计算成果一览表

方案	位置	控泄流量 / ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	库容 / (万 m^3)			
			上游同频工况		区间同频工况	
			库容计算	库容验算	库容计算	库容验算
方案一 (上游库容较大)	上游区间	40	603	611	611	603
	下游区间	205	254	246 < 314 满足	314	314 > 254 不满足
	小计	245	857	857	925	917
方案二 (上游库容适中)	上游区间	103	357	325	325	357
	下游区间	142	427	459 < 468 满足	468	436 > 427 不满足
	小计	245	784	784	793	793
方案三 (上游库容较小)	上游区间	160	214	156	156	214
	下游区间	85	570	628 = 628 满足	628	570 = 570 满足
	小计	245	784	784	784	784

由上述成果可见,方案一由于上游控泄流量较小,调蓄库容较大,削峰时段较长,为此总调蓄库容远大于方案二。此外,由于区间同频情况下区间洪水量较大、而上游相应洪水削峰时段进一步延长,上游所需调蓄库容也增大,导致区间同频工况所需库容比上游同频大 68 万 m^3 。区间同频工况确定的上游库容 611 万 m^3 需采用上游同频洪水组合进行验算,计算表明需在主峰时段进一步下调控泄流量,以蓄满上游库容,此时下游调蓄库容为 246 万 m^3 小于 314 万 m^3 ,库容满足需求;上游同频工况确定的上游库容 603 万 m^3 需采用区间同频洪水组合进行验算,计算表明削峰调蓄后两个时段上游库容蓄满后,超过控泄流量的洪水则来多少下泄多少,下游库容将由 254 万 m^3 增加至 314 万 m^3 ,即库容不能满足要求,为此方案一(上游控泄 40 m^3/s)要求总库容应采用 917 万 m^3 ,即上游 603 万 m^3 ,下游 314 万 m^3 。

方案二上游同频工况下总调蓄库容比区间同频库容小 9 万 m^3 ,主要原因为上游相应、区间同频洪水削峰时段比上游同频工况多两小时(详见表 2 内第 33

和 42 时段)。区间同频工况确定的上游库容 325 万 m^3 需采用上游同频洪水组合工况进行验算,经计算上游来水过程后几个时段上游库容蓄满后,超过控泄流量的洪水则来多少下泄多少,下游库容要求增大至 459 万 m^3 ,小于区间同频工况要求的 468 万 m^3 ,库容满足需求;上游同频工况确定的上游库容 357 万 m^3 需采用上游相应、区间同频洪水组合进行验算,该工况下要求在主峰期上游固定控泄流量进一步下调,确保能蓄满上游库容,经计算下游库容要求为 436 万 m^3 ,大于上游同频工况所要求的 427 万 m^3 ,库容不能满足要求,为此方案二(上游控泄 103 m^3/s)要求总库容应采用 793 万 m^3 ,即上游 325 万 m^3 、下游 468 万 m^3 或上游 357 万 m^3 、下游 436 万 m^3 ,若采用上游 357 万 m^3 布局方式,则对上游调蓄设施调度要求较高,需在主峰时段进一步下调上游调蓄设施的控泄流量,而采用上游 325 万 m^3 布局方式,则上游调蓄设施调度较为简便,无论是区间同频还是上游同频工况均可采用固定下泄方式调度。方案二上游同频和区间同频调蓄规模计算过程见表 3 和表 4 所列。

表 3 方案二上游同频工况调蓄规模计算过程一览表

时段	上游同频流量 $Q/(m^3 \cdot s^{-1})$	上游外排流量/ $(m^3 \cdot s^{-1})$	上游调蓄水量/ $(万 m^3)$	区间相应流量 $Q/(m^3 \cdot s^{-1})$	下游来水流量/ $(m^3 \cdot s^{-1})$	下游外排流量/ $(m^3 \cdot s^{-1})$	下游调蓄水量/ $(万 m^3)$
		(1)		(2)	(3)=(1)+(2)	(4)	
32	69.0	69.0	0.0	99.8	168.8	168.8	0.0
33	98.6	98.6	0.0	164.0	262.6	245	6
34	154.9	103	18	260.4	363.4	245	48
35	241.4	103	68	339.2	442.2	245	119
36	316.8	103	145	371.6	474.6	245	202
37	334.2	103	228	367.7	470.7	245	283
38	289.5	103	295	327.8	430.8	245	350
39	214.1	103	335	267.1	370.1	245	395
40	151.8	103	353	207.2	310.2	245	419
41	114.7	103	357	162.4	265.4	245	427
42	87.8	87.8	357	130.2	218.0	218.0	427
43	65.2	65.2	357	105.1	170.3	170.3	427

注:粗体标注时段下游流量并未达到控泄流量,若考虑上下游联合调度,上游外排流量可加大。

方案三上游调蓄库容较小,削峰时段主要由下游控制,该方案总调蓄库容最小。区间同频工况确定的上游库容 156 万 m^3 需采用上游同频洪水组合进行验算,计算表明上游库容蓄满后削峰调蓄后两个时段(第 38、39 时段)不控泄来多少下泄多少,下游库容将增加至 628 万 m^3 ,库容与区间同频工况总库容一致,库容满足要求;上游同频工况确定的上游库容 214 万 m^3 需采用区间同频洪水组合进行验算,该工况要求在主峰期上游控泄流量进一步下调,确保

能蓄满上游库容,经计算下游库容要求为 570 万 m^3 ,库容与上游同频工况一致,库容满足要求。方案三(上游控泄 160 m^3/s)要求总库容为 784 万 m^3 ,为便于调度控制,应尽量采用上游 156 万 m^3 ,下游 628 万 m^3 的规模布置方式。

由上述分析可见上游调蓄库容占比较大的方案一调蓄库容将偏大较多,其余方案调蓄库容均较为接近,偏大的原因为固定控泄流量较小,削峰时段较长,蓄滞了部分下游可以承接无需调蓄的洪水。

表4 方案二区间同频工况调蓄规模计算过程

时段	上游同频流量 $Q/(m^3 \cdot s^{-1})$	上游外排流量/ $(m^3 \cdot s^{-1})$ (1)	上游调蓄水量/ $(万 m^3)$	区间相应流量 $Q/(m^3 \cdot s^{-1})$ (2)	下游来水流量/ $(m^3 \cdot s^{-1})$ (3)=(1)+(2)	下游外排流量/ $(m^3 \cdot s^{-1})$ (4)	下游调蓄水量/ $(万 m^3)$
32	83.3	83.3	0.0	85.4	168.8	168.8	0.00
33	140.9	103	13	121.8	224.8	224.8	0.00
34	218.8	103	55	196.5	299.5	245	19.62
35	259.4	103	111	321.2	424.2	245	84.14
36	253.7	103	165	434.6	537.6	245	189.48
37	239.7	103	215	462.2	565.2	245	304.74
38	221.9	103	257	395.5	498.5	245	395.99
39	197.0	103	291	284.3	387.3	245	447.21
40	162.7	103	313	196.3	299.3	245	466.77
41	130.6	103	323	146.5	249.5	245	468
42	106.8	103	325	111.2	214.2	214.2	468
43	88.8	88.8	325	81.4	170.3	170.3	468

注:粗体标注时段下游流量并未达到控泄流量,若考虑上下游联合调度,上游外排流量可加大。

3 结论

本文通过案例定量计算分析不同调蓄设施布局方案下不同洪水组合所需要的调蓄库容,主要结论如下。

(1)采用固定下泄调度方式便于调度控制,但上游调蓄库容占比越大,总调蓄库容将增加越多,越容易造成上游库容浪费。

(2)调蓄库容需采用不同洪水组合相互验证,调蓄设施规模优先采用上游相应、区间同频的洪水组合确定的调蓄规模。

(3)若下游用地难以满足,在发生上游相应、区间同频洪水时,不能所有时段均采用同一固定流量下泄,需上下游联合调度,该情况对调度要求较高、难度较大。

本文为类似城市上下游调蓄设施的规划布局具有一定参考价值,考虑案例城市的独有区位特征,建议后续开展不同类型城市及不同调蓄设施位置对调蓄设施规模的影响研究。

参考文献:

- [1] 周宏,刘俊,高成,等.我国城市内涝防治现状及问题分析[J].灾害学,2018,33(3):147-151.
- [2] 齐明.城市初期雨水调蓄池布局优化和功能强化研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2020.
- [3] 陈丰.城市排水系统内涝与溢流控制性能评价与优化研究[D].北京:清华大学,2016.
- [4] 车伍,武彦杰,杨正,等.海绵城市建设指南解读之城市雨洪调蓄系统的合理构建[J].中国给水排水,2015,31(8):13-17,23.
- [5] 张伟,车伍,王建龙,等.利用绿色基础设施控制城市雨水径流[J].中国给水排水,2011,27(4):22-27.
- [6] 姜芊孜,俞孔坚,王志芳.基于SWMM的陂塘系统雨洪调蓄能力及应用研究[J].中国给水排水,2018,34(11):132-138.
- [7] 包志毅,陈波.城市绿地系统建设与城市减灾防灾[J].自然灾害学报,2004,13(2):155-160.
- [8] 代斌.城市化对海河天津段防洪排涝影响的研究[D].南京:河海大学,2005.
- [9] 杨晓.基于丘陵水系的雨洪利用规划策略研究[D].长沙:湖南大学,2014.
- [10] 蒋祺,郑伯红.城市雨洪调蓄空间对洪涝灾害影响研究——以长沙市2017年洪涝灾害为例[J].自然灾害学报,2018,27(3):29-38.
- [11] 张高媛,高斌,庄宝玉.河道调蓄在城市内涝防治中的应用研究[J].给水排水,2015,51(增刊):105-108.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com