

城市近郊蓄滞洪区非洪水期调度运行管理研究

——以治理深圳河第四期工程为例

涂向阳¹, 林素彬², 吴小明¹, 孙毅²

(1. 珠江水利委员会珠江水利科学研究院, 广东 广州 511610;

2. 深圳市治理深圳河办公室, 广东 深圳 518067)

摘要: 针对城市近郊蓄滞洪区的功能和运行管理特点, 以治理深圳河第四期滞洪区工程为例, 从滞洪区地形和区域布置合理性着手, 分析滞洪区与上下游河道水力高程特点, 开展了非洪水期蓄水、泄水过程模型试验研究。建立了基于理想理论的湿地水体环境水体更换周期预测模型, 研究多因素条件下的滞洪区湿地水体置换周期。为保障非汛期滞洪区生态湿地景观水位和良好水质状态, 根据上游河道来水条件, 制定了滞洪区进水闸、泄水闸调度备用运行方案。

关键词: 滞洪区; 模型试验; 非洪水期; 调度运行; 深圳河

中图分类号: TV873 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008-0112(2014)03-0025-06

蓄滞洪区多是为发生大洪水时调蓄超额水量而设置的, 通常兼具消峰滞洪、生态修复、观光休闲等多目标利用功能。在河道整治工程建设的同时, 结合河道周边地区的综合整治, 兴建规模合理的蓄滞洪区, 应考虑引用洪水的安全, 把洪水引入滞洪水库, 调蓄洪水可用来修复湿地面貌和功能, 滞洪水库和湿地形成以后, 汛期中小洪水发生时, 相机引洪入库补充湿地用水和将其相埒安全地转化为水资源, 借助于洪水预报和平原河网调度, 可在发生需要蓄滞洪区滞洪的超标洪水的情况时, 预泄库内存水, 空库迎洪^[1-3]。

洪水期水动力条件及相关研究通常关注滞洪区滞洪和消退过程及效果, 枯水期运行方案试验研究对于城郊湿地型滞洪区调度管理具有重要意义, 在保障滞洪区在满足设计滞洪效果的前提下, 实现良好的生态湿地景观功能, 有必要针对生态湿地功能的滞洪区开展枯水期水动力调度等方面的研究。采取切实可行的滞洪区设计方案和运行管理模式, 实现蓄滞洪区防洪减灾、生态环境改善、人水关系协调、水土资源合理利用等多目标功能, 是加强不同尺度流域防洪减灾能力建设和保障蓄滞洪区可持续发展的重要课题^[4-5]。本文主要采用理论分析、物模试验的技术手段开展滞洪区方案非洪水期运行管理方面优化研究, 力图建立一套适合于城市近郊滞洪区非洪水期调度运行研究方法, 为类似城滞洪区项目前期设计和方案优化工作提

供借鉴。

1 研究背景

根据区域经济发展水平、使用频率的差异性, 我国蓄滞洪区管理划分为三种类型^[6-7]: ① 湿地生态修复型。运用频率一般在10年一遇以下, 基本实现区内无人化, 具有蓄洪(蓄涝)、生态环境保护、生物多样性、旅游等多种功能。② 规模经营型蓄滞洪区。其运用频率较高, 一般在20年一遇以下, 面积较大, 土地生产效率较高, 这类蓄滞洪区以规模化农业或养殖业生产为主。③ 基本维持现状类型。对于使用频率为20~50年一遇的蓄滞洪区, 除在流域防洪中起关键作用和已计划开展调整的以外, 暂不作调整。

1.1 深圳河第四期治理工程

深圳河发源于梧桐山牛尾岭, 由东北向西南流入深圳湾, 河道平均比降为1.1%, 水系分布呈扇形, 全长约为37 km, 是深圳、香港两地的界河。深圳河曾经泛滥成灾, 给两地带来无数次洪涝灾害和巨大的财产损失。为了两地人民的共同福祉, 深圳、香港政府部门最终携起手来, 创新合作方式, 共同治河, 于2006年11月完成了深圳河前三期全长约为18 km的河流治理, 开创了不同制度模式、不同法律观念的两个地区联手治理界河的先河。2008年4月, 深港双方政府正式启动深圳河第四期治理工程的前期工作, 治理深圳河第四期工程起点位于平原河口, 终于规划莲

收稿日期: 2014-02-08; 修回日期: 2014-03-15

作者简介: 涂向阳(1981), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事水沙动力、水环境治理和工程泥沙等方面的研究。

塘口岸上游约620 m,河道总长为4 465 m,深圳河治理工程总体布置见图1。



图1 深圳河治理工程总体布置平面示意

1.2 滞洪区规划方案

河道桩号15+370下至滞洪区放水闸下游(桩号14+700)河段围成区域将规划建设滞洪区,并兼作河滩湿地,该工程以滞洪功能为主、生态功能为辅,利用天然河弯建设开敞式滞洪区,调洪错峰,区内进行微地形塑造,设置生态岛,区内种植湿生植物,打造优质河滩湿地,改善河道水质和城市景观。拟采用设溢流堰堰+控制闸方式调控,进水口采用2.0 m×2.0 m箱涵控制闸,出口处设置2.0 m×2.0 m箱涵放水闸,非汛期利用进口闸对滞洪区生态补水,汛期通过溢流堰自由溢流,滞洪区与主河道之间为堤顶宽6 m的土堤,堤顶高程为9.155 m,设计边坡为1:2~1:3,滞洪区面积约为2.2万m²,内设置草皮护坡,蓄洪容积约为8万m³,滞洪区工程布置设计效果图见图2^[3]。

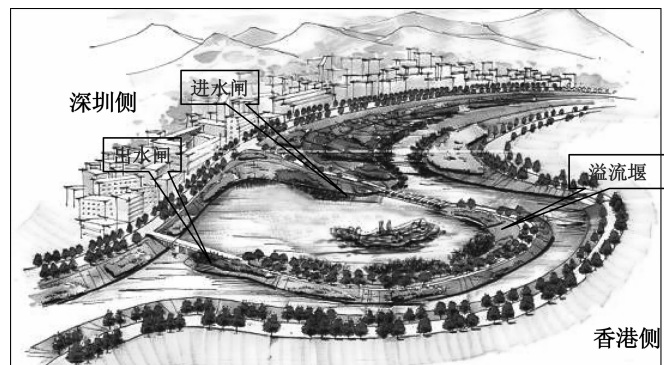


图2 滞洪区工程布置设计效果图示意

1.3 滞洪区物理模型

滞洪区物理模型范围上起滞洪区进口以上450 m(桩号15+610),下至滞洪区放水闸下游设计河道桩号14+130处,长度约1.48 km的河道,物理模型平面比尺为20,为正态模型。试验控制系统采用“新型潮汐模型自动控制系统(HMMC)”,运用潜水泵、变频器和电磁流量计准确控制模型上边界流量过程,采用经验公式计算和水槽试验选定合理的河道加糙方案。

模型下边界采用具有“水位-流量”自拟合功能的“复合堰”控制尾门。物理模型试验将采用经深港两地共同认可四期工程整治后的河道糙率,模型边壁采用水泥砂浆抹面,在河床底部进行“梅花型加糙”达到模型糙率相似要求^[8]。

2 滞洪区布置合理性分析

1) 滞洪区进水采用自流式。发生较大洪水时,通过溢流堰向滞洪区内蓄水(堰顶高程选定在 H 堰顶=6.9 m),非洪水期采用设置在河道右岸(滞洪区西北侧)的进水闸向滞洪区引水,进水箱涵断面尺寸为2 m×2 m,箱涵总长约为40.0 m,设计坡度 $i=0.0249$,进水闸进口处河道底板高程为4.666 m,进水闸箱涵进口端设计底高程为4.466 m,滞洪区侧出口设计高程为3.475 m,与滞洪区内检修路平顺衔接,进水闸可实现自流进水。滞洪区工程平面布置图见图3,滞洪区周边河道恒定流条件下沿程高程分析见图4。

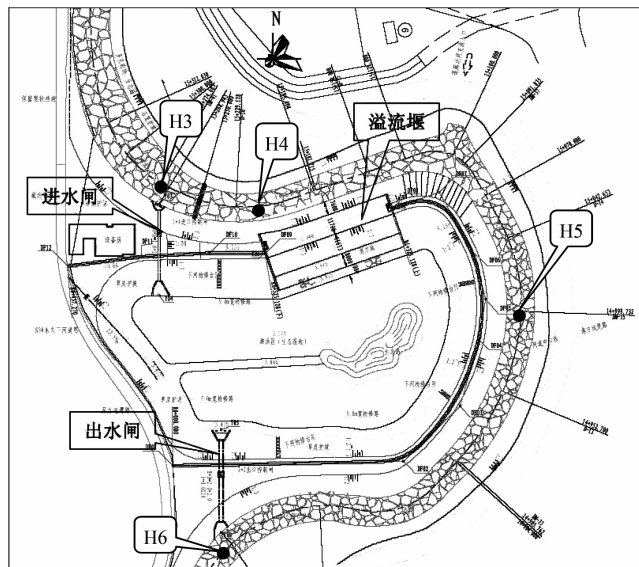


图3 滞洪区工程平面布置(宽堰方案)示意

2) 滞洪区内规划生态岛形成环形流路。滞洪区内东部设置了一座面积约为1 000 m²的具有多种生态栖息地功能的生态岛,其“新月型”体形和位置设计,决定了滞洪区内在蓄洪和引水过程中将形成顺时针环形流路,将加快滞洪区内的水体交换和水质改善。

3) 检修路高程以下设计为库区死库容。沿滞洪区堤防堤脚周边设置了宽度为5.0 m的环形检修路,并在滞洪区内设计了横向连接生态岛和西侧检修路,以便于开展滞洪区内检修工作和清淤工程。检修路高程为3.475 m,该高程以下库区为死库容,向滞洪区中心以1:50的坡度渐变至3.175 m,检修路为滞洪区死水位为3.475 m,相应死库容为2 254 m³,为洪水期进

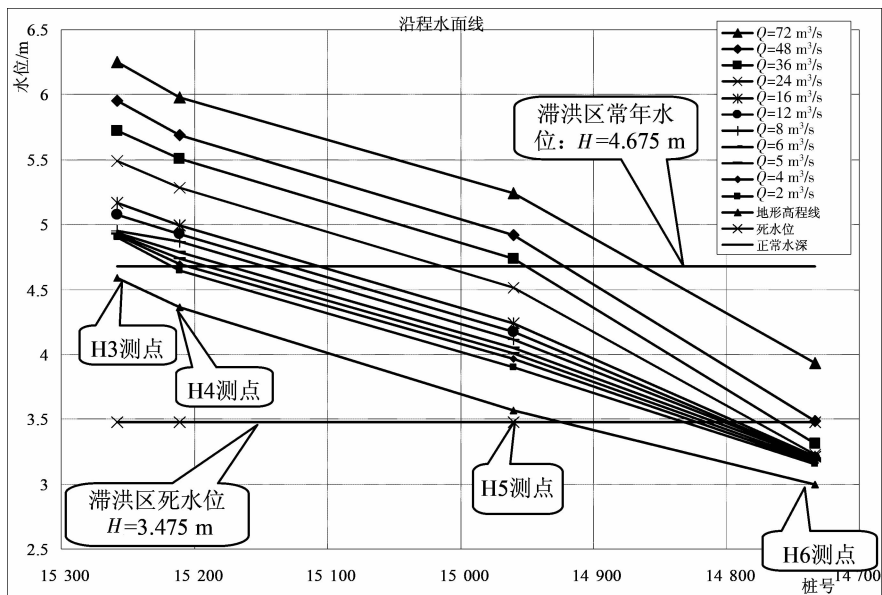


图4 滞洪区周边河道恒定流沿程高程分析

库泥沙预留了淤积空间。

4) 滞洪区泄水采用自流式。泄水闸设置在滞洪区西南侧，泄水箱涵断面尺寸为2 m×2 m，箱涵总长约为47.0 m，设计坡度*i*=0.0224，泄水闸采用1:5缓坡接滞洪区内检修路，泄水闸进口端设计底高程为3.175 m，出口底板高程为3.075 m，与滞洪区内检修路平顺衔接，进水闸可实现自流进水。

5) 泄水闸出口底板设计高程为3.075 m，泄水闸附近河道处水位测点H6处河道底高程为3.0 m，滞洪区泄水初始条件为常年水位 $H_{\text{常年水位}}=4.675$ m情况下，进水闸在非洪水期河道来流条件下，河道来流 $Q_{\text{上游}} \leq 48$ m³/s时均可实现自流泄水至死库容。

3 滞洪区非洪水期蓄水过程分析

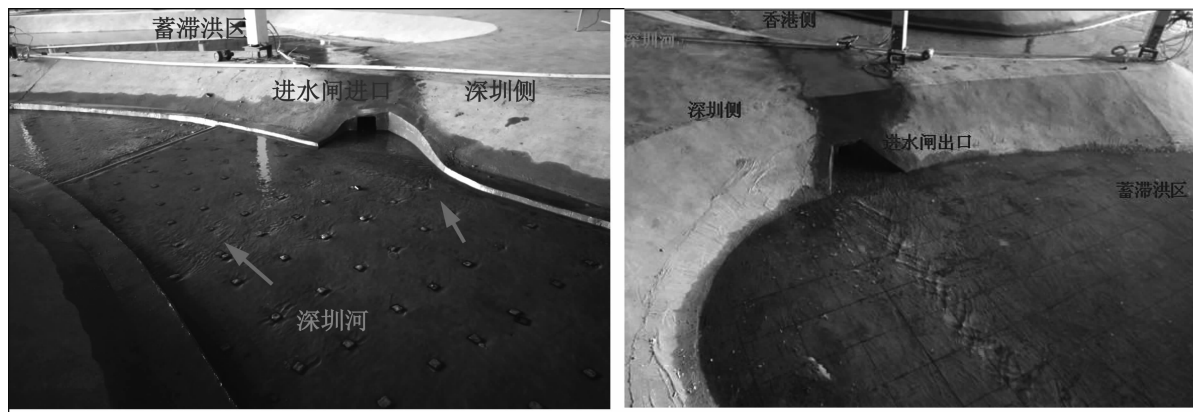
非洪水期采用设置在河道右岸的进水闸(桩号为15+269)向滞洪区引水，进水闸出口与滞洪区内检修路平顺衔接，进水闸可实现自流进水。进水闸下游约19 m处设置有垂直于河道轴线的壅水坎，底部高程为4.566 m，高度为30 cm、长度为20 m，相对于未设置

壅水坎条件下，将明显提高非洪水期进水闸处河道水位。蓄滞洪区进水闸所在河道附近枯水期5年一遇洪峰流量为12.0 m³/s，将 $Q_{\text{上游}}=12.0$ m³/s作为深圳河上游滞洪区段枯水期的典型来流量。本次试验开展了滞洪区上游枯季来流 $Q_{\text{上游}}=2 \sim 72$ m³/s等11个不同流量条件下的滞洪区蓄水试验，试验成果统计见表1。上游流量小于 $Q_{\text{上游}}=6$ m³/s时，采用“潜水泵+浮子流量计”控制上游来流量，上游流量大于 $Q_{\text{上游}}=6$ m³/s时，采用“变频器+潜水泵+电磁流量计”控制模型上游来流量。

枯水期上下游河道流态，枯水期河道流量、水深和流速均较小，河道整体流态平稳，水动力轴线基本平行于河道轴线，以非洪水期上游河道流量为 $Q=6.0$ m³/s为例，滞洪区进水闸上下游水域流态见图5。该水文边界条件下，滞洪区进水闸蓄水入流量为1.04 m³/s，滞洪区内大部分范围流速均小于0.20 m/s，进水闸出口附近最大流速小于1.0 m/s。

表1 滞洪区非洪水期恒定流蓄水试验数据(推荐方案, $Q_{\text{上游}}=2 \sim 72$ m³/s)

实际流量/(m³·s ⁻¹)	2	4	5	6	8	10	12	24	36	48	72
模型控制流量/(m³·h ⁻¹)	2.02	4.05	6.06	6.04	8.1	10.12	12.15	24.3	36.44	48.59	72.89
河道水位/m	4.898	4.917	4.926	4.935	4.953	5.073	5.165	5.49	5.719	5.951	6.252
不蓄水河道水位/m	4.906	4.926	4.936	4.946	4.966	5.093	5.19	5.53	5.77	6.01	6.32
蓄水后水位差值/cm	0.008	0.009	0.01	0.011	0.013	0.02	0.025	0.04	0.051	0.059	0.068
进水流量/(m³·s ⁻¹)	0.922	0.97	0.99	1.04	1.15	1.54	1.91	3.02	3.92	5.07	6.62
蓄水最终库容/万m³	2.23	2.26	2.27	2.29	2.31	2.50	2.65	3.19	3.59	4.00	4.55
蓄水至河道水位历时/h	6.04	5.82	5.74	5.51	5.05	4.11	3.53	2.73	2.38	2.07	1.82
蓄水至1.2 m水深历时/h	5.00	4.75	4.66	4.43	4.01	2.99	2.41	1.53	1.18	0.91	0.70



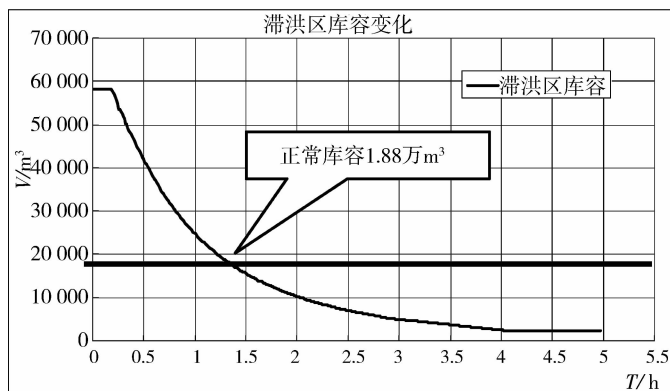
(a) 进水闸进口 (b) 进水闸出口

图5 滞洪区枯水期蓄水局部流态(推荐方案, $Q_{上游} = 6.0 \text{ m}^3/\text{s}$)

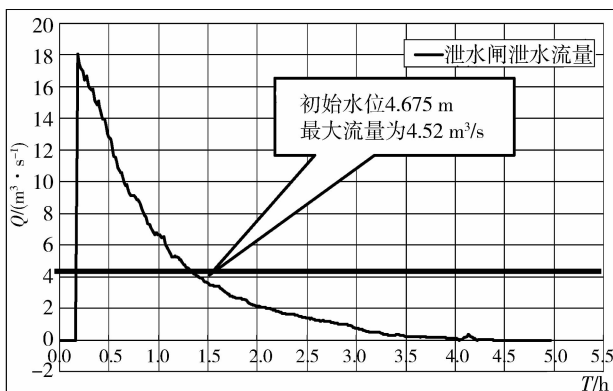
4 滞洪区泄水过程试验和分析

滞洪区应在洪水期前放空至防洪库容,开展采用泄水闸泄水过程试验,分析滞洪区泄水过程中的水位、库容、流路、流态及水动力特点。泄水过程试验初始条件:滞洪区内水位为平堰水位 $H = 6.9 \text{ m}$,滞洪区初始库容为 $5.812 \times 10^4 \text{ m}^3$,关闭滞洪区进水闸,泄水闸

全部开启,下游河道流量为枯季河道流量 $Q = 2.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 。滞洪区泄水闸在自流条件下开展泄水过程试验成果见图6和图7。泄水过程中滞洪区内流速较小,靠近泄水闸进口区域流速较大 V_2 、 V_5 最大流速分别为 0.11 m/s 和 0.15 m/s ,泄水闸进口处流速最大为 2.15 m/s ,泄水闸出口处河道中心处流速最大为 2.12 m/s 。



(a) 库容变化曲线



(b) 泄水流量过程

图6 滞洪区泄水试验成果



图7 滞洪区泄水闸出口局部流态

泄水闸最大流量 $Q_{引水} = 4.52 \text{ m}^3/\text{s}$,滞洪区进水闸南侧、生态岛西侧和泄水闸进口附近水域流速较大,该区域最大流速为 0.65 m/s ,水体逐步向滞洪区西南侧泄水闸进口附近运动,流场呈扇形分布,生态岛

北侧及东侧附近水域流速均小于 0.05 m/s 。

5 滞洪区水体置换需求预测

滞洪区湿地生态系统良性循环的重要指标包括水量和水质状态。初始水质、水质指标的选择、污染物降解系数、蒸发系数、渗漏系数、降水和补充径流等参数有关^[9],由污染物决定的滞洪区湿地第 i 月的引水量计算模型为:

目标函数:

$$1) \text{ 水量平衡方程: } \Delta V = (Q_{Ini} + R_i + S_i + D_i) - (Q_{Outi} + E_i + G_i) \quad (1)$$

$$2) \text{ 污染物质量守恒方程: } C_i V_i = C_{i-1} V_{i-1} + (Q_{Ini} C_{Ini} + R_i C_{ri} + S_i C_{si} + D_i C_{di} + \Delta V_i C_w) - (Q_{Outi} C_{Outi} + G_i C_{si} + KC_i V_i) \quad (2)$$

式中 水质控制方程: $C_i \leq C_{st}$,湿地水质浓度应控制

在景观水体水质 C 类标准以上,并考虑地表水水质标准方能满足景观娱乐的要求。滞洪区湿地入库水源采用深圳河河道地表水,滞洪区正常蓄水初始水位为 4.675 m,以 1 年为研究周期,若不换水,氨氮浓度随时间逐渐升高。湿地水体水质须满足景观娱乐用水 C 类标准,即氨氮浓度应低于 0.5 mg/L,氨氮浓度高于 0.5 mg/L 后应对湿地水体进行置换。

滞洪区 1.2 m 水深对应的库容为 1.88 万 m^3 ,参考国内外对湿地水体更换周期相关文献,考虑了湿地库容、来水条件、降雨补充、蒸发、渗漏损失和污染物降解系数等因素,将已确定的滞洪区库水初始水质 C_0 、水质更换指标 C_t 、氨氮降解系数 K 、蒸发系数 E_t 、渗漏系数 C_g 、降水补充量 S 和径流补充 R 等参数代入算上式中:预测滞洪区生态湿地氨氮降解系数为 $K=0.26/d$ 和 $0.10/d$ 条件下的水体置换周期为 15 d 和 12 d。

6 滞洪区非洪水期运行调度备选方案

为保障非汛期滞洪区生态湿地水景观水位和良好水质状态,应根据上游河道的不同来水条件,按照进、出水闸门开启时间和方式的不同,采取相适应的进出口闸门联合调度运行方式。

1) 关闭泄水闸,开启进口闸门补水至目标库容。适用条件:湿地水量较少,水质尚可,上游来流量较少。仅补水不排水的调度方式:当河道来水较少,不能满足滞洪区库水完全更换要求,且水质尚可,只需补充部分河水稀释、改善库水水质,并达到景观水质要求,可选用该补水调度方案,达到滞洪区内水环境容量的增加和水质改善的效果。

2) 泄水闸部分开启、开启进口闸门实现动态引水。适用条件:湿地水质尚可,需加强库内水体动力交换,上游来流量丰沛。上游有一定来流量,滞洪区水体较少,水质尚可,但不需要全部置换时,可采用控制泄水闸有一定开度(5~10 cm),开启进水口引水。应根据进水闸进水流量和置换水总量的需要,灵活调节泄水闸门的开度和流量,以实现滞洪区内水量可控的动态水体置换。可实现湿地保持一定水位,减小水位波动对水生态的负面影响。当滞洪区水体需要完全置换或需要最大程度的改善水质时,不适用于该方案。

3) 开启泄水闸排至死库容,关闭泄水闸,开启进水闸蓄水至目标库容。适用条件:湿地水质较差、上游来流量丰沛、需要改善滞洪区水体水质,或滞洪区内需开展清淤、整修等工作。先排后蓄方式:预测

到河段在较大来流量前,打泄水闸,将滞洪区水质较差水体全部或者部分排出,关闭出水闸,打开进水闸门蓄至湿地水常年水深,完成一次滞洪区换水调度运行,该运行调度方式能较好满足要求。

在滞洪区需要调度换水时,应结合上游河道来水状况和滞洪区生态湿地内的水量、水质状况等条件确定,选择合适的闸门调度运行方案。

7 结论

1) 在保障滞洪区在满足设计滞洪效果的前提下,为保障城市近郊生态湿地型滞洪区良好的景观功能,开展非洪水期运行与管理研究对于滞洪区调度管理具有重要意义。

2) 进水闸蓄水效果开展模型试验研究成果表明:滞洪区进水闸推荐方案箱涵断面尺寸由原方案 1 m × 1 m 调整为 2 m × 2 m,并在进水闸下游约 19 m 处设置了垂直于河道轴线的壅水坎(高度为 30 cm),抬高了非洪水期进水闸处河道水位,增大了进水闸进水过流断面面积,提高了滞洪区非洪水期条件下的引水保证率,对于改善滞洪区生态湿地供水条件具有重要作用。

3) 滞洪区泄水闸采用控泄方式可实现自流泄水功能。泄水试验初始水位为 $H=6.9$ m,泄水闸敞泄条件下,初期最大泄流量为 $Q_{泄水max}=18.12$ m^3/s ,随着滞洪区水位逐步降低、泄水闸泄水流量逐步减小、泄水过程总历时为 3 h 50 min 后,滞洪区水位达到死水位 3.475 m。滞洪区泄水闸控泄方式较为合理,可实现汛前快速排空至死库容效果。

4) 根据滞洪区非洪水期蓄水和泄水过程试验,除进水闸出口和泄水闸进口处流速较大,滞洪区范围内大部分区域最大流速不超过 0.5 m/s,非洪水期蓄水和泄水过程对区内湿地植物和水生物不会产生明显不利影响。

5) 滞洪区生态湿地管理须同时满足水量和水质的控制目标。参考国内外对湿地水体更换周期相关文献,建立了基于理想静止理论的湿地水体环境水体更换周期预测模型,该模型考虑了湿地库容、来水条件、降雨补充、蒸发、渗漏损失和污染物降解系数等因素,可预测出滞洪区生态湿地水体置换周期,供滞洪区运行管理参考。

6) 依据滞洪区上游河道不同来水状况,按照进、出水闸门开启时间和方式的不同,提出了三种水体置换闸门联合调度方案。应结合上游河道来水状况、湿地内水量、水质状况,选择相适应的滞洪区水体置换闸门调度运行方案。

参考文献:

- [1] 涂向阳, 高学平, 韩延成, 等. 天津市洪沥水资源化存储研究[J]. 自然资源学报, 2006, 21(3): 1-8.
- [2] 黄焕坤. 北江潞江蓄滞洪区与飞来峡水利枢纽蓄洪库区联合调度问题的研究[J]. 广东水利水电, 2011(9): 4-7.
- [3] 陈芷菁, 许扬生. 北江下游蓄滞洪区运用对石角洪水位的影响分析[J]. 广东水利水电, 2006(2): 54-56.
- [4] Brierley G, Fryirs K, Outhet D, et al. Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South Wales[J]. Australia. Applied Geography, 2002(22): 91-122.
- [5] Baina M B, Harigh A L, Louekse D P. Aquatic ecosystem protection and restoration: advances in methods for assessment and evaluation [J]. Environmental Science & Policy, 2000(3): 89-98.
- [6] 水利部规划设计总院. 全国防洪规划(初稿)[R]. 北京: 水利部规划设计总院, 2002.
- [7] 向立云. 蓄滞洪区管理案例研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2003, 1(4): 260-265.
- [8] 李昌华, 金德春. 河工模型试验[M]. 北京: 人民交通出版社, 1981.
- [9] 刘光莲. 河口湿地公园景观需水量及置换周期研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2010.

(本文责任编辑 王瑞兰)

Operation and Management Research on Flood Detention Region Located in Suburban during Non - Flood Period

—A case study of Phase IV Training projects for Shenzhen River

TU Xiangyang¹, Lin Subin², Wu Xiaoming¹, Su Yi²

(1. Scientific Research Institute of PRWRC, Guangzhou 510611, China

2. Shenzhen River Management Office of Shenzhen, Shenzhen 518067, China)

Abstract: Considering the Phase IV Training projects of Shenzhen River as a representative case study, according to the characteristics of function and operation management of flood detention located in suburban, approaching from the rationality on detention basin topography and regional layout, elevation relations analysis between the flood detention and up - downstream river. The storage and discharge process model test research in non - flood period. Based on the ideal theory, A prediction model for water replacement cycle of wetland was established to analyze the flood detention area under various conditions. In order to preserve landscape water level and good water quality during the non - flood season, the intake and sluice operation schemes of flood detention were formulated for water management departments.

Key words: flood detention region; physical test; scheme optimization; Shenzhen River