

广州市河涌整治模拟研究与应用

倪培桐，唐造造，黄健东，刘树锋，董志，陆汉柱

(广东省水利水电科学研究院；广东省水动力学应用研究重点实验室，广州，510610)

摘要：为配合广州市河涌综合整治工作，我院近年来相继完成了东濠涌整治物理模型试验和数值模拟研究、广州市北部水系沙河涌等联合补水工程物理模型试验和数值模拟研究、海珠区河网水动力数学模型、海珠区人工湖技术方案论证、荔湾区河网水动力数学模型等一系列专题项目的研究工作，从水安全、水环境及景观等角度，对广州市河涌整治的工程措施及非工程措施进行了综合研究及探讨。河涌整治模拟的相关研究及成果，不但可在广州市将来的河涌整治过程中继续发挥重要作用，亦可应用到珠江三角洲及其他平原河网地区的城市河涌整治，在城市防洪减灾、排水管网设计、城市水安全（防洪排涝）、水环境调控及实时仿真调度等方面具有广泛的应用前景。

关键词：广州市城市河涌整治；模拟研究；防洪排涝；水环境

广州市地处珠江三角洲北缘，接近珠江流域下游入海口。河网交错密布，水情复杂多变。珠江广州河道包括西航道、前航道、后航道、黄埔水道等。前航道、后航道、三枝香水道东流至黄埔附近相汇，黄埔以下为黄埔航道和辽阔的狮子洋。据统计，广州市区范围内共有大小河涌 231 条，总长约 913 公里。随着经济社会迅速发展，由于排污量增大，河涌淤积严重，市区内河涌的脏、乱、臭现象十分突出，严重影响了市容市貌和群众的身心健康。

近年来，广州市开展了大规模的河涌综合整治工作，治水力度不断加大，在此背景下，受有关部门委托，我院针对广州市河涌整治开展了一系列的研究工作，其中包括东濠涌整治物理模型试验和数值模拟研究、广州市北部水系建设沙河涌等河涌补水工程物理模型试验与数值模拟研究、广州市南部（海珠、芳村片）河网水动力数学模型研究以及广州市海珠区雨洪调蓄区（人工湖）引水补水工程模拟研究等。相关研究成果为有关主管部门提供了可靠的科学依据和技术支撑，有力地支援了广州市治水工作的顺利进行。

1 研究思路和技术路线

1.1 城市河涌水体运动的复杂性

首先，广州市中心城区河涌和珠江广州河段大多属感潮河道，汛期既受来自流溪河、北江及西江的洪水影响，又受东江洪水的顶托，更受来自伶仃洋的潮汐吐纳作用，洪潮混杂，致使广州市周边水系水流流态十分复杂；另外部分河流发源于北部山麓，径流季节性变化大，枯水季节会出现干涸现象。其次，在一个足够大的降雨过程中，广州市城市排水管渠的流动情形也非常复杂。单就一根管道中的流动形式来说，就可能有急流、缓流，有明流、满流，还存在明、满流的转变，急、缓流的转变，包括跌水、水跃等，再考虑到多根管渠由节点联接以及各种流动形式的组合，流动情形更是复杂多样。再次，水闸、泵站众多、调度方式复杂也增加了广州市河涌水体运动的复杂性。

1.2 城市河涌水系综合整治研究的目标与模拟手段

城市河涌水系整治的目标为掌握河涌水情的时空变化规律，提高该地区防洪排涝、防灾减灾能力，改善区内河涌水环境及水体景观，使水体可控可调，优化水系格局和工程布局，科学地进行水闸泵站调度。

我院以水工物理模型试验和数值模拟为主要研究手段，结合降雨产流模型、地理信息系统等辅助工具，对广州市南部水系（海珠区、荔湾区）及北部水系部分河涌的防洪排涝、水环境等进

行了较为系统的研究。研究思路一般是首先进行降雨产汇流模型的计算，将其计算成果作为上游流量边界条件及旁侧入流边界条件，对于有条件进行物模试验的问题，采用物模和数模相结合、相互验证的方式进行研究，对于难以进行物模试验的问题如广州市南部河网地区的排涝、水环境分析等，则在数学模型进行率定、验证的基础上，采用数值模拟方法进行研究，并根据需要建立相应的地理信息系统。

水工模型试验是研究水流运动的重要手段，能为规划设计以及方案的决策提供科学和直接的依据。东濠涌整治物模研究选取正态定床模型，证实了在涌内沿程布置的近 300 个东濠涌高架路桥墩群壅水效应是使沿岸的水浸的重要原因。沙河涌补水工程物理模型试验亦采用正态模型，进行设计补水与换水方案条件下不同流量的河涌补水效果试验，通过分析涌内水流运动特性，优化涌口水闸的运行调度方案。

与物理模型试验相比，数学模型具有成本低、研究周期短、方案修改方便快捷等优点，只要率定验证充分，利用数学模型亦可得到较准确的计算结果。采用物模和数模相结合、相互验证的研究手段，可使研究成果更为经济、可靠。

研究中采用的水动力数学模型以描述一维非恒定流运动的 Saint Venant 方程组为控制方程，充分考虑了计算管段分裂、明满流共存交替出现、明渠、有压管段入口、旁侧入流的漫溢、回退以及闸、泵等水工建筑物等问题。利用建立的水动力模型，计算分析了东濠涌现状及推荐整治方案主涌、支涌、截污渠的泄洪能力，得到了沙河涌、车陂涌设计补水与换水方案条件下不同流量的河涌补水效果并提出了涌口水闸的运行调度方案；针对海珠、芳村片网河区，对河涌水系格局和工程布局方案进行了排涝计算，还对海珠区不同雨洪调蓄区方案对周边河涌排涝的影响进行了计算和分析。

在水动力模型的基础上，引入描述污染物输运规律的对流扩散方程，结合基于污染物浓度的水体交换指标，在目前水质基础数据普遍缺乏的情况下，构建了一套简便有效的水环境评判指标。利用该模型，详细计算和分析了海珠、芳村片区河涌疏浚、河涌连通、水闸调度与工程布局以及海珠区不同雨洪调蓄区方案等对河网水体交换的影响。

2 主要研究成果

2.1 东濠涌整治物理模型试验与数值模拟研究

(1) 项目背景与目的

东濠涌是广州市城区中心内集截污、雨水排放和防洪排涝功能于一体的城市河涌，主涌全长 3.65km，始于麓湖，在大沙头以西汇入珠江。河涌两岸建筑物密布，河宽约 10~20m，沿程汇入支涌众多；河涌沿途桥墩林立，涌内仅高架桥墩就有 200 多个。由于河涌狭窄、弯多且曲，在东濠涌沿程修建高架桥等市政建筑后，每遇暴雨，河涌沿岸频频水浸，使沿岸地区的工作、生活、文化、商业活动等受到影响。为改善东濠涌的排洪状况及两岸环境，市政部门拟进行综合整治。为验证整治方案的排洪能力与完善设计方案，我院开展了模型试验，重点研究桥墩群对东濠涌泄洪的影响，采用恒定流试验对规划方案进行验证。由于雨洪的产生是非恒定流的过程，我院进一步进行了非恒定流数值模拟研究，以提出合理和经济的工程方案。

(2) 水工物理模型试验成果

模型选取小比尺正态定床模型，几何比尺 $L_r=38$ 。试验以恒定流方式进行，流量以 20 年一遇暴雨频率洪峰流量为主，涌口排洪设泵排及自排两种方式。

为研究涌内桥墩群体对泄洪的影响，进行了涌内有无桥墩条件下的对比试验。试验结果显示，东濠涌内桥墩群体的壅水影响较大，它不仅减少河涌的过流面积，而且改变了河涌的断面流速分布，极大地降低了断面的过流能力。在规划方案二十年一遇洪水条件下，有、无桥墩时涌内上游水位相差约 1.50m。

根据试验，东濠涌要达到二十年一遇的防洪标准，需要在规划方案的基础上进行全程的拓宽

或疏深。如仅作拓宽处理，所拓河宽为规划方案河宽的一倍左右；如选取拓宽与疏深结合的方案，则在沿程平均疏深 50cm 的基础上，所拓河宽为规划河宽的 50% 左右。

(3) 数值模拟研究成果

针对东濠涌流域建立城市排水管网非恒定流数值模型进行模拟计算，模型解决了开边界类型的自动变换、计算管段分裂、明满流共存交替出现、明渠、有压管段入口、旁侧入流的漫溢、回退以及拍门井等其他水工结构模拟等问题。采用物理模型试验成果和现场观测资料进行模型的率定验证，在此基础上运用数学模型验算了现状河道、原规划方案、修改方案、规划红线方案等各种方案的排洪能力，验算结果与以往研究成果（如《广州市排涝总体规划》、《东濠涌整治水工模型试验研究报告》）相吻合，提出了满足二十年一遇、十年一遇、五年一遇排涝标准的河涌整治断面和水闸调度方案。

2.2 广州市北部水系建设沙河涌等补水工程物理模型试验与数值模拟研究

(1) 项目背景与目的

广州市沙河涌、车陂涌、猎德涌等由于地形与历史的原因，在枯水季节或上游缺乏补水的情况下常常出现干河床现象，加上两岸生产、生活等污水的不断排入，河涌水体黑臭现象严重。为解决这些问题，广州市水利部门拟通过补水工程来改善沙河涌、车陂涌、猎德涌的水环境，修复受污染的水生态。补水工程从珠江前航道东圃大桥处取水，通过管路输送至岑村，并在该处修建调蓄水池，再从调蓄水池通过水泵及管线送水至沙河涌、猎德涌、车陂涌，利用补水水源改善河涌水环境（图 1）。

为了综合评价河涌补水效果，优化补水工程方案，分析调水有效流量、最佳时段等问题，建立泵站、闸群、橡胶坝等多种工程设施的科学优化调度方案，我院开展了广州市北部水系建设三条河涌补水工程物理模型试验和数值模拟研究。

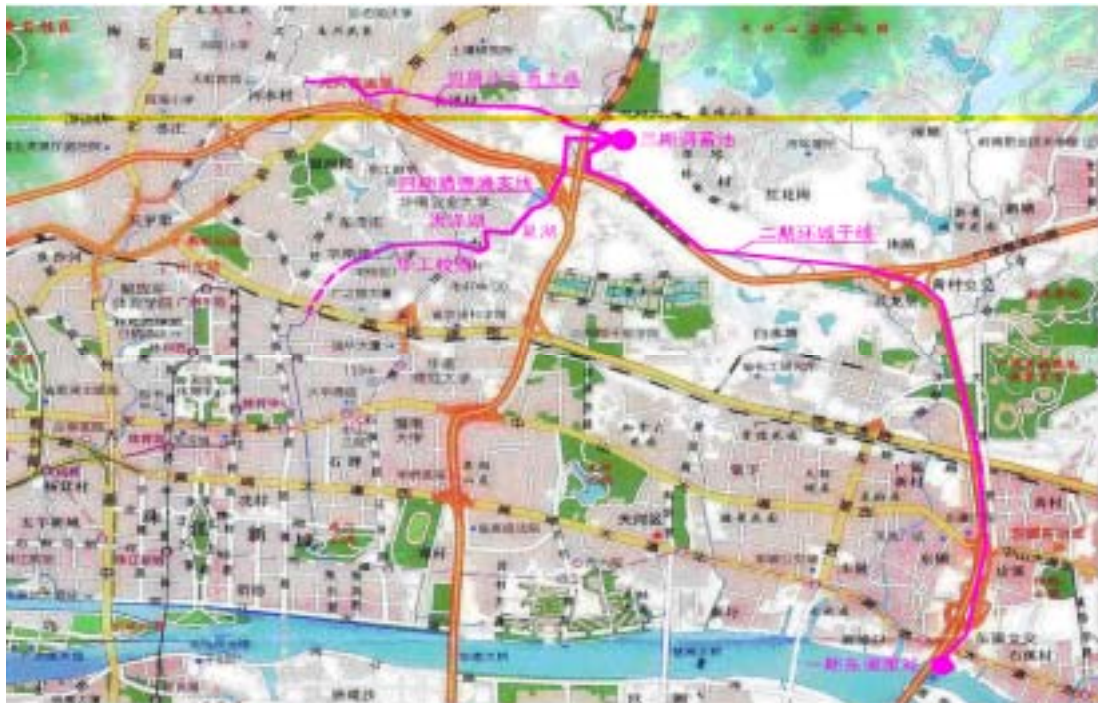


图 1 广州市北部水系建设沙河涌等三条河涌联合补水工程总体布置图

(2) 数值模拟成果

分别建立了沙河涌、车陂涌一维非恒定流数学模型进行模拟研究，模型计算考虑了有橡胶坝和无橡胶坝两种情况，给出了河涌设计补水与换水方案条件下不同流量的河涌补水效果数据，分

析了涌内水流运动特性，提出了涌口水闸的运行调度方案。

(3) 物理模型试验成果

根据试验任务要求，截取沙河涌上、下游各一段进行模拟。上游段截取桩号 10+320~8+500 总长约 1800m 河段，该河段设置两座橡胶坝，采用几何比尺 $L_r=10$ 的正态模型进行模拟，模型长约 190m。下游段截取桩号 4+500~0+000（涌口）以及部分珠江河段，总长约 4500m，该河段设置有两座橡胶坝（桩号分别为 4+168 和 3+025），采用几何比尺 $L_r=20$ 的正态模型进行模拟，模型长约 250m。

模型试验测试了上、下游河涌段的壅水水面线和流态，推荐了河涌补水流量。上、下游河涌试验所得水面线成果与数模计算结果基本一致，试验成果可供工程设计和运行参考。

2.3 广州市南部水系（海珠区、芳村片）河网水动力数学模型研究

(1) 项目背景与目的

珠江广州河段和城区河涌多属强感潮河流，洪潮交汇，水流形态十分复杂。以海珠区、芳村片区最为典型，该区域四面临江，区内河涌纵横、交织成网，据统计区内现有大小河涌近 200 条。由于河涌自净能力低，几十年来污染的不断积累，海珠区、芳村地区绝大多数河涌的河水和底泥均黑臭不堪。现有河涌防洪排涝标准普遍偏低，大部分河涌没有达到 20 年一遇防洪排涝标准。为改善城区河涌水环境，提高河涌防洪排涝、防灾减灾能力，通过建立海珠区、荔湾区河网水动力与水质数学模型，从水体交换、防洪排涝的角度对海珠区、芳村片河涌整治方案进行比较、分析和研究，重点优化水系格局、工程布局以及制定水闸泵站的调度原则和方法，科学明确南部水系建设的总体方案和建设思路，为水行政主管部门的决策提供科学依据，亦为工程设计提供必要的设计参数和依据。

(2) 海珠区河网水动力数学模型研究

数学模型

河网水流控制方程采用描述一维非恒定流运动的圣维南方程组，河网水质模型的控制方程采用一维物质输运方程。采用河网一维水动力数学模型，进行海珠区河涌排涝状况的模拟；以河网一维水动力、物质输运模型为基础，利用溶解态保守物质的浓度为示踪剂，建立海珠区感潮河网水体交换数值模式。

模型计算范围为自老鸦岗至黄埔站的珠江广州河段及海珠区所有河涌，包括白坭水、水口水道、前航道、后航道及海珠区内的河涌（图 2）。

排涝状况模拟分析

采用河网一维水动力数学模型，对现状方案、疏浚方案、基本规划方案、连通方案的河涌排涝状况进行模拟，对广州市海珠区不同规划方案的排涝状况进行了计算、分析。计算结果显示：海珠区现状河涌断面堤岸高程高于计算峰值水位的主要有墩和涌、人纸涌和广耐厂涌，区内大多数河涌未完全达到 20 年一遇排涝标准，果树保护区内的河涌尚未完全达到 10 年一遇排涝标准；河涌连通与清淤是降低海珠区排涝水位、改善河涌水环境的有效措施，黄埔涌两端、赤岗涌和琶洲围外围建闸对改善琶洲围和共和围排涝状况、降低排涝水位效果明显，应优先安排实施。

水体交换状况模拟分析

引入换水率、换水周期等指标，研究了城区河涌与外江水道的现状水体交换特点，结果表明，河涌换水周期分布特征与河涌现状水质分布特征一致；河涌疏浚、水系连通、水闸建设、水闸泵站调度等工程因素与非工程因素对城市感潮河涌水体交换有一定影响。为改善河涌水体交换效果，综合河道疏浚整治、河道水系连通、水闸调度等方案研究水体交换问题，推荐了水体交换的优化方案。该方案可以缩短瑞宝涌、康乐涌的换水周期，在此方案的基础上增加泵站引水措施，是加速康乐涌、瑞宝涌、墩和涌等断头河涌水体交换速率的有效方法。

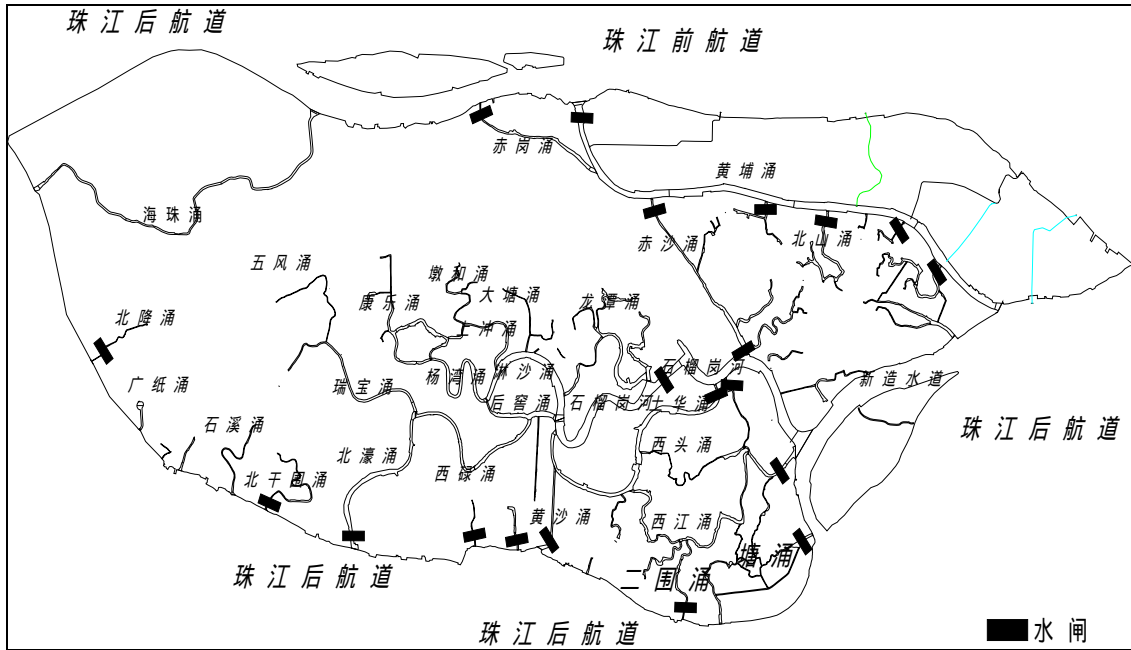


图 2 广州市海珠区河涌水系及水闸

(3) 荔湾区河网水动力数学模型研究

数学模型

采用河网一维水动力数学模型，进行河涌排涝状况的模拟；以河网一维水动力、物质运输模型为基础，利用溶解态保守物质的浓度为示踪剂，建立芳村地区感潮河网水体交换数值模式。建立大范围河网一维水动力学与水质数学模型，模型计算范围为自老鸦岗至黄埔站的珠江广州河段、佛山水道、平洲水道、陈村水道、三尾冲以及荔湾区南片——芳村地区所有主要的河涌。

排涝状况模拟分析

对芳村地区的河涌水系格局和工程布局方案进行排涝计算，拟定排涝计算方案如下：

一现状方案，将芳村地区现状河涌、连通情况和河涌工程布局作为排涝计算的基准方案，称为“现状方案”；二疏浚方案，在“现状方案”基础上进行河涌清淤或疏浚的方案，称为“疏浚方案”，疏浚/清淤控制高程为-1.0 m、-1.5 m；三基本规划方案，将在现状河涌和工程布局上进行河涌疏浚和河涌出口新建水闸的方案作为河涌整治规划的基本工程方案，称为“基本规划方案”，基本规划方案 1 新建塞坝闸、葵蓬闸，基本规划方案 2 进一步新建花地河南、北闸和广佛闸；四连通方案，在基本规划方案的基础上，通过河涌连通和打通断头涌实现水系的调整，称为“连通方案”，进行 5 种水系连通方案的比较；五推荐方案即通过排涝与水环境计算分析，综合选定的河涌疏浚、水系连通、河涌规模及水闸规划的工程方案。

排涝状况分析显示，芳村地区内大多数河涌未完全达到 20 年一遇排涝标准，必须对本区河涌进行整治；河涌出口建闸、河涌连通是改善芳村地区排涝状况、降低内河涌排涝水位的有效措施；排涝计算结果显示，新建塞坝闸、牛肚湾闸、葵蓬闸及花地河南、北闸与广佛闸（花地河景观闸）后，区内与新建水闸和花地河有水力联系的河涌排涝水位明显下降，可明显提高芳村地区的防洪排涝能力，新建塞坝闸、葵蓬闸及花地河南、北闸与广佛闸对排涝而言是必要的。

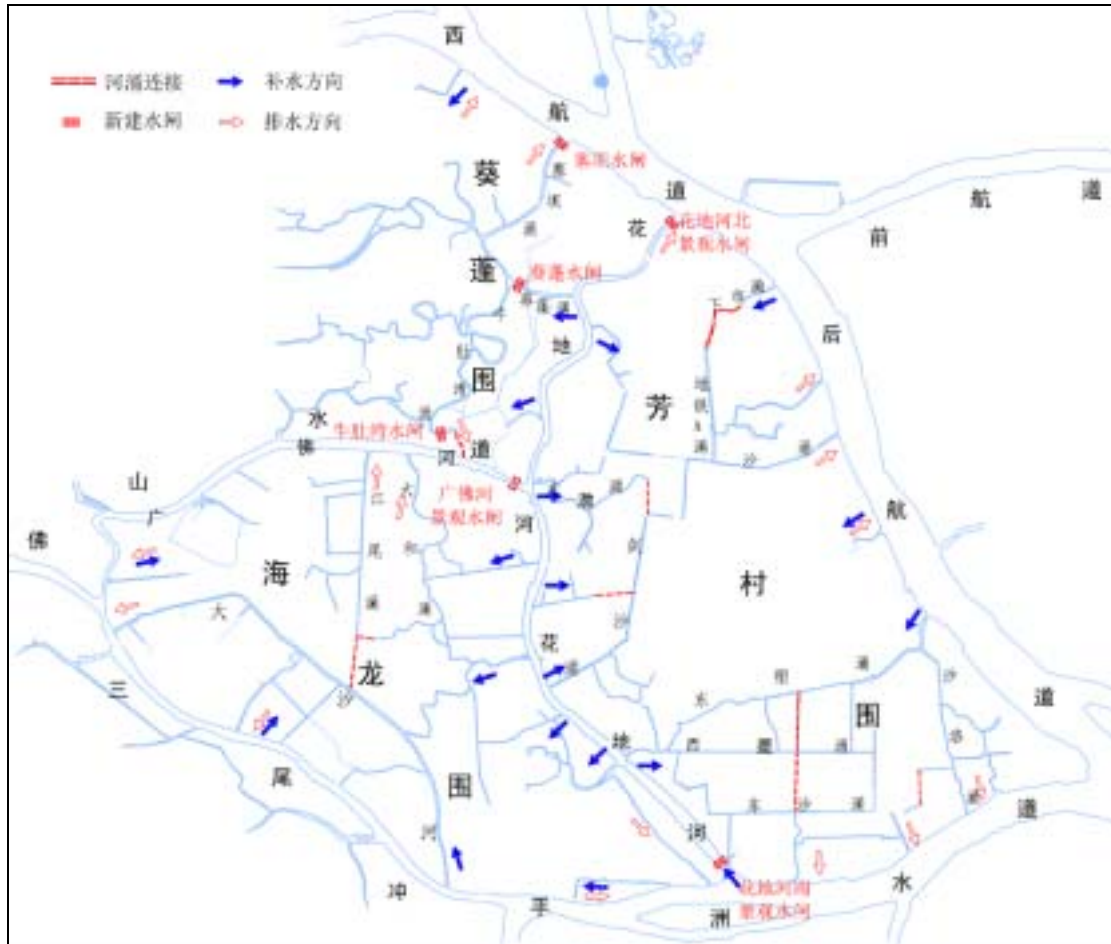


图3 芳村地区工程布局与引排水方向(推荐方案、单向流调度)

水体交换状况模拟分析

引入换水率、换水周期等指标，对芳村地区的水体交换状况进行分析。

水体交换计算结果显示，地铁A涌与下市涌连接、江尾涌与大沙河连接、牛肚湾涌与广佛河连接，可以显著改善地铁A涌、江尾涌、牛肚湾涌等河涌的水质，进行河涌连通是必要的；水闸调度规则的计算表明，单向流方案虽然对水流方向下游的部分河段的水体交换不利，但总体效果上比双向流方案更能改善水质，而且换水更为彻底、有效；新建塞坝水闸、葵蓬涌闸（花地河四闸之一）、牛肚湾水闸，可以使葵蓬围各河涌形成闸群联动，实现引、排自如。花地河建闸（花地河南、北闸、葵蓬闸、广佛闸）后，不但可以通过水闸调控保持景观水位，而且还可以实现换水彻底的单向流（图3），从而达到更好的引清排污效果。

2.4 广州市海珠区雨洪调蓄区（人工湖）技术论证研究

（1）项目背景与目的

海珠区雨洪调蓄区位于海珠区的安成围（图4），是海珠区引水补水工程中拟实施的重要内容之一，拟建成具有雨洪调蓄、引水补水功能的城市绿色生态公园。针对雨洪调蓄区不同的规划方案（水面面积），进行河涌排涝和水体交换的模拟、计算，对不同雨洪调蓄区方案对周边河涌排涝和水体交换的影响进行分析，对引水补水工程方案和雨洪调蓄区实施后的效果进行评价，为设计单位和政府相关职能部门合理确定雨洪调蓄区的规模提供技术支撑。

（2）研究成果

采用广州市海珠区河网水动力与水质数学模型，对实施雨洪调蓄区后海珠区内河涌的排涝和水环境状况进行模拟，针对不同补水量以及雨洪调蓄区的不同规模（水面面积）按10种方案计

算，结果显示新建雨洪调蓄区可以改善周边河涌的排涝条件，降低其排涝峰值水位，且雨洪调蓄区水面面积越大，河涌排涝水位降低也越明显；但在考虑低洼区自然调蓄作用的情况下，雨洪调蓄区对排涝的改善作用明显削弱。海珠区新建雨洪调蓄区可以增加区域环境容量，可在一定程度上改善其临近河涌和排水通道河涌的水质，并对改善五凤涌、康乐涌、墩和涌、大塘涌等断头涌的水质有一定作用。



图4 广州市海珠区雨洪调蓄区示意图

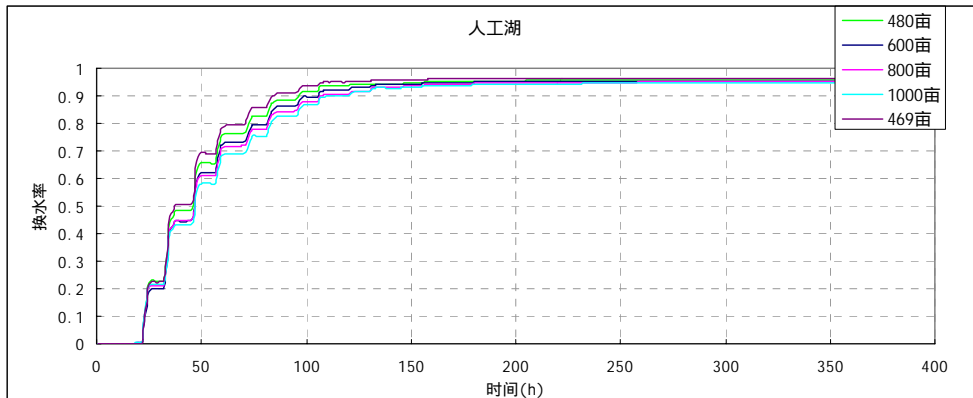


图5 方案6~方案10人工湖断面换水率对比图

3 总结

近年来，我院相继完成了东濠涌整治水工物理模型试验和数值模拟研究、沙河涌等联合补水物理模型试验和数值模拟研究、海珠区河网水动力数学模型、海珠区人工湖技术方案论证、荔湾区河网水动力数学模型等一系列专题项目的研究工作，服务了广州市的城市河涌整治工作。主要工作体会总结如下：

3.1 数值模型与物理模型相结合的城市河涌整治模拟研究思路

广州市的河涌整治需要考虑河涌的特点，因地制宜采取相应的治理措施。在河涌整治方案的制定上，充分利用现有的先进科技手段，物理模型和数学模型相结合，可以突破原有的常规技术手段，对相关的技术方案进行论证，对其中的关键技术问题进行研究。

在广州市城市河涌整治中，对大范围、区域性河涌整治方案的比选，区域水系格局和工程布局方案的的制订，引水补水方向的选择和论证，整治方案实施后效果的评价，可以利用数学模型

进行研究，充分发挥数学模型模拟方便、方案转换便捷、费用低廉的特点。但是，对于河涌整治中的一些复杂工程问题的研究，如水闸下游消能防冲、堤岸防护以及需重点了解工程局部流态等情况，则可采用水工物理模型进行研究，可以发挥物理模型直观、可靠的特长。对于河涌整治中一些重要的工程问题，可以物理模型和数学模型相结合，两种模型取长补短，共同完成关键技术问题的论证工作。

(1) 东濠涌整治水工物理模型试验通过建造小比尺正态定床模型，对东濠涌内桥墩群对洪水的沿程壅水影响及各支涌出口的流态进行了试验，提出了满足规划水位要求的治理方案，充分发挥了物理模型直观、可靠的特性。东濠涌整治数值模拟采用一维渐变非恒定流数学模型，该模型能够处理城市排水管网非恒定流计算中的多种复杂边界，对东濠涌及其关联河涌、排水管网进行了模拟，验证并提出了满足不同排涝标准的主、支涌断面宽度和涌口水闸泵站的运行方式。

(2) 通过开展广州市北部水系建设沙河涌、车陂涌、猎德涌补水工程物理模型试验与数值模拟研究，优化了补水工程方案、调水有效流量、最佳时段等问题，建立了泵站、闸群、橡胶坝等多种工程设施的科学优化调度方案。

3.2 换水率、换水周期等指标的引进与应用

在海珠区、荔湾区河涌水系格局、工程措施、水闸调度研究中，为评判水环境改善效果，以河网一维水动力、物质输运模型为基础，引入换水率、换水周期等水体交换指标，以此分析水体交换、水环境改善的效果。

换水率定义为不同时刻、不同河涌、不同里程位置内河涌被外江水体置换的程度。其物理含义为：河涌水体（浓度值假定为1）与外江水体（假定为干净水体，浓度为0）在涨潮、落潮过程中，河涌水体与外江水体不断混合，混合后的水体在潮流的作用下向外江运输。随着水体交换时间变长，河涌水体浓度不断下降，当浓度降低为0时，代表河涌水体水质与外江水质相同。另外定义城市内河涌任意断面浓度降为起始值一半时的交换时间为该断面的半换水周期。

在水质数据普遍缺乏的情况下，这些指标可宏观、形象地反映河涌整治工程措置（如河涌连通方案、疏浚方案、水闸建设）、非工程措施（如水闸调度）实施后对水环境改善的效果。对于广州市河涌而言，截污及减少污水排放是改善水环境的根本措施。维持河网地区潮流特性等水动力学自然规律，加快水体交换频率，是水环境治理的重要水力学指标。

该指标在海珠区、荔湾区河网水动力学数学模型、海珠区人工湖工程等项目水环境研究中得到良好的应用。

3.3 兼顾防洪安全、水环境改善的工程措施与非工程措施

海珠区、荔湾区河网水动力学数学模型分别对海珠区、荔湾区（芳村片）现状河涌以及不同规划方案措施（河涌疏浚、涌口建水闸、河涌连通、水闸调度等）下的排涝状况、水环境状况等进行了计算、分析，通过分析比较，优化了海珠区、荔湾区（芳村片）河涌水系格局、工程布局，提出了满足排涝标准和水环境要求的推荐方案及其水闸调度方式，为河涌水行政主管部门的决策提供科学依据，亦为工程设计提供必要的设计参数和依据。

采用类似思路，广州市海珠区雨洪调蓄区（海珠湖）技术论证项目对海珠区引水补水工程规划深化实施方案和不同雨洪调蓄区方案下海珠区河涌排涝和水体交换进行模拟、计算，对不同雨洪调蓄区方案对周边河涌排涝和水体交换的影响进行分析，对引水补水工程深化实施方案和雨洪调蓄区实施后的效果进行评价，为设计单位和政府相关部门合理确定雨洪调蓄区的规模提供技术支撑。

3.4 河涌整治工程措施与非工程措施需要符合河涌水体的自然运动规律

在制定河涌整治工程措施与非工程措施时，要合理地或优化这些人工控制行为，以达到对河涌自然水体的负面影响最小而正面影响最大，使河涌水环境和人类社会沿合理或协调的方向发展。

以海珠区共和围水系为例，围内根据地势自低至高分别种植蔬菜、水果等农作物，根据农作

物速排速灌要求，高潮时引水灌溉，水位不能超过 1.2m，低潮时排干，使土壤长期保持湿润，且不发生内涝。因此这些区域所采用的水系格局和工程布局、水闸调度方式不应改变果树保护区和农作区的正常灌排方式。黄埔涌作为贯穿共和国的重要河涌，两端均设置水闸，在黄埔涌水闸调度时不应单纯考虑河涌水景观水位这一要求，还应考虑共和国内农作物速排速灌要求，使黄埔涌内水体维持原有的随潮涨落规律。

海珠区、荔湾区河网水体运动规律研究表明，首先并非所有的河涌单向流调度模式的换水效果都较好，尽管部分双向水流调度模式下推荐方案的水体交换速度较单向水流为慢，但该模式维持了区内河涌天然的双向流动，最大限度地保留了河流的自然形态，更为符合现代生态学的工程理念，且双向水流模式经过较长时间的水体交换亦能达到单向水流模式的最终效果，因此应视具体情况决定是采用单向流调度还是采用更有利于保护河涌生态的双向流调度。

4 结语

在近年来的河涌整治模拟研究中，我院建立了包括东濠涌城市排水管网非恒定流数学模型、海珠区河涌水系河网水动力学数学模型、荔湾区河涌水系河网水动力学数学模型、沙河涌、车陂涌补水数学模型等在内的多套数学模型，模拟的对象除珠江广州河道外，还涵盖了城市排水管网、沟渠、河涌、水闸、泵站等，对广州市河涌整治中的许多关键问题进行了论证，服务了广州市的河涌整治。水工物理模型也在解决一些重要的工程问题和关键问题方面发挥了重要作用。我院河涌整治模拟的相关研究及成果，不但可在广州市将来的河涌整治过程中继续发挥重要作用，亦可在珠江三角洲及其他平原河网地区的城市河涌整治中大显身手，在城市防洪减灾、排水管网设计、城市水安全（防洪排涝）、水环境调控及实时仿真调度等方面具有广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 广州市荔湾区河网水动力学模型计算报告[R]. 广州: 广东省水利水电科学研究院, 2009.
- [2] 广州市海珠区河网水动力学模型计算报告[R]. 广州: 广东省水利水电科学研究院, 2009.
- [3] 广州市海珠区雨洪调蓄区技术论证报告[R]. 广州: 广东省水利水电科学研究院, 2009
- [4] 广州市东濠涌整治水工物理模型试验研究报告[R], 广州: 广东省水利水电科学研究所, 2000.9
- [5] 广州市东濠涌改造工程非恒定流数学模型研究报告[R]. 广州: 广东省水利水电科学研究院, 2002.9
- [6] 广州市北部水系建设沙河涌等三条河涌联合补水第三期工程数值计算研究报告[R]. 广州: 广东省水利水电科学研究院, 2008.12
- [7] 广州市北部水系建设三条河涌补水工程沙河涌物理模型试验研究报告. 广州: 广东省水利水电科学研究院, 2008.12