

排水系统应急抢险过程中计算机数学模型的应用

蒋隽睿

(上海地球工程咨询有限公司)

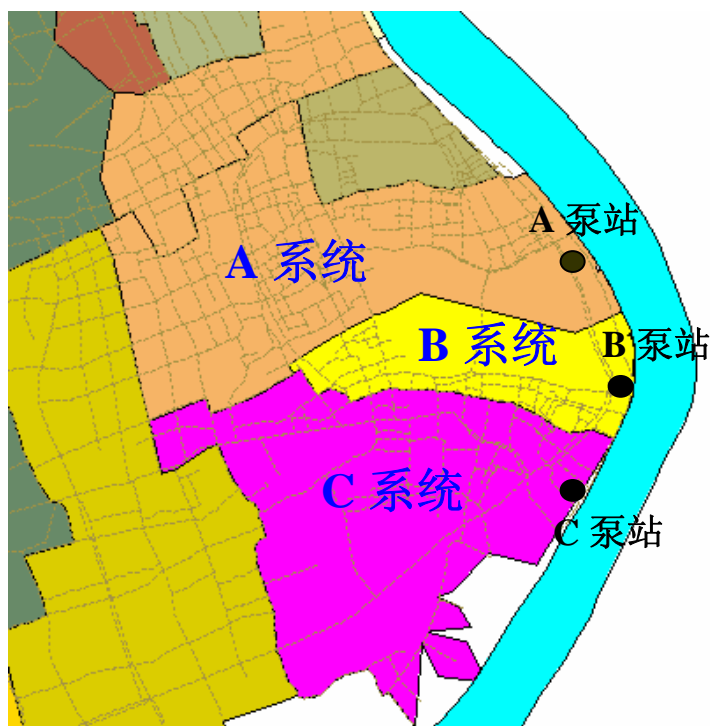
张彦晶

(上海市城市排水有限公司)

摘要： 计算机数学模型是近年来逐步发展起来的一个新型工具。在计算机数学模型基础上形成的城市排水管网水力学模型可以快速、直观、动态的对排水管网系统的运行进行模拟仿真，使管网系统的设计、建设和运行管理部门充分了解掌握排水系统管网、泵站、污水处理设施的运行特点，为城市排水系统在设计、管理、抢险等方面提供了重要的辅助手段。本文针对某城市排水系统抢险为例，讨论计算机管网水力学模型在排水行业中的应用。

一、 项目背景

左图为某城市中心地带排水系统的分布情况。模拟区域包括 A、B、C 三个系统。三个排水系统均为合流制排水系统，设计重现期为 1 年，系统总占地面积约为 6 平方公里。三个排水系统中各有一个合流制泵站，将本系统内收集的合流污水通过直排的方式直接排入河道。



由于外部不可抗拒的原因突然造成了上述系统中 B 块系统中的 B 泵站丧失排水能力，有关的管理部門为了减少 B 系统区域内因排水能力降低而对地区的影响，

考虑采用一些简单的、临时性的工程措施，通过调整其他周边泵站的运行来提高 B 系统雨污水的收集能力和系统的防汛能力。为此要求建立上述区域的计算机管网模型，通过模型模拟，特别是雨天运行情况的模拟研究对三个排水的运行情况进行评估，分析对比各种工程方案优劣，优化调整相邻泵站的运行管理控制方案，并预测方案实施后的效果，为系统的合理运行提供技术支持。

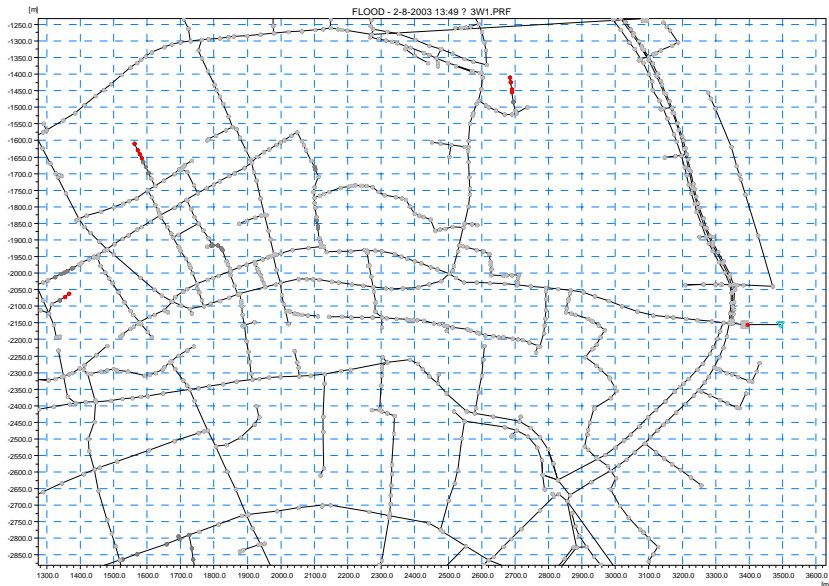
二、 模型的建立与研究

2.1 模型的建立

完整的网络结构、合理的流量荷载条件以及模型的边界条件是组成了建立计算机管网水力学模型的基本条件和要素。管网的组成结构和管段的物理参数是建立模型模拟的基础。由于上述区域均为老城区，排水管道分布较为复杂，新老系统重叠，如果不加以区分全部放入模型中进行模拟，不仅对模型的建立工作带来了较大的困难，同时也不利于模拟结果的分析，甚至会影响到最终研究成果的正确与否，为此需要对上述排水系统中的管网结构进行简化。

对合流制系统而言，影响管网系统收集和输送排放能力的因素很多，但主要是管网系统的调蓄容量。泵站的运行是为了提高管网蓄水能力而服务的。泵站如果有了充分的抽水能力，就能加速管网内污水的流动，在较短的时间内降低管道内的过水断面（指重力流管道），为管网系统腾出更大的调蓄容量，有了充分的调蓄容量管网才有可能接纳更多的污水，因此管网的调蓄容量是影响系统收集能力，降低地面积水的关键。根据资料上述三个区域内的管道总长为 60 公里左右，其中 500mm 口径以下管道占了总长 52.3%，而空管管容却只占整个管网系统空管管容的 8.7%，因此该部分管道相对于其他口径管道对整个排水系统的运行影响较小，所以在模拟过

程中将 500mm 以下管道加以了简化。整个模型的网络结构见右图。除了管网结构以外，对模型中涉及的其他重要排水设施，例如泵站水泵等均按照实际情况建立。



模型模拟除了管网结构外，精确的流量荷载条件也是影响模拟准确与否的关键因素。由于上述地区的排水体制为合流制区域，因此对于模型的流量荷载除了需要掌握地区污水量的变化情况外，还必须要考虑降雨期间的地面径流量。模型的地面径流计算采用 runoff 地面径流模型。针对上述地区的用地性质，主要计算参数的设置如下：不透水面积比率取值 70%；

汇流时间 (Time of Concentration) 为 10 分钟; 初始径流损失 (Initial Loss) 0.0006 米、折减系数 (Reduction Factor) 为 0.9; 同时为了便于同实际运行情况对比, runoff 模型的计算雨型采用了自记雨量计提供的数据。经过计算率定后的模型流量荷载与实际水量的误差在 5%-6% 之间, 基本上能够反映该地区的水量变化情况。

在设置好上述参数后, 接下来最重要的就是出水边界条件。由于模拟区域只是城市整体排水管网中的一个部分, 因此难免会和其他系统发生水量交换, 但是要摸清每一个边界点的水量变化规律和流向是困难的, 也是时间不允许的。为了便于模拟只能机械地将模拟区域从整体排水管网系统中隔离出来, 不考虑与其他排水系统与模拟区域的水量交换, 这也是在本次模拟研究中的一大遗憾。

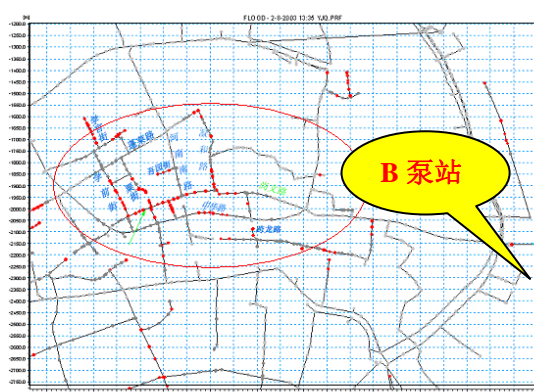
对于模型模拟平台的选择, 选用了丹麦 DHI 公司提供的 MOUSE 水力学模型软件平台。MOUSE 软件是一个先进的、功能强大、全面的水力模型软件。针对城市排水系统、雨水管、生活污水管等方面拥有地面径流模型、明渠模型、管流模型、水质模型和沉淀物输送模型等多种模型, 适用于任何无压、有压的交替管网。在一个完整的图形界面上, 其包含了水文、水力、水质和沉淀物的输送等方面的信息, 可用于无论简单还是复杂网络的分析、设计、管理运行研究等, 为城市错综复杂的排水和污水工程提供了完整有效的计算环境。

2.2 模型的模拟与分析

本次应急抢险措施主要包括两个方面:

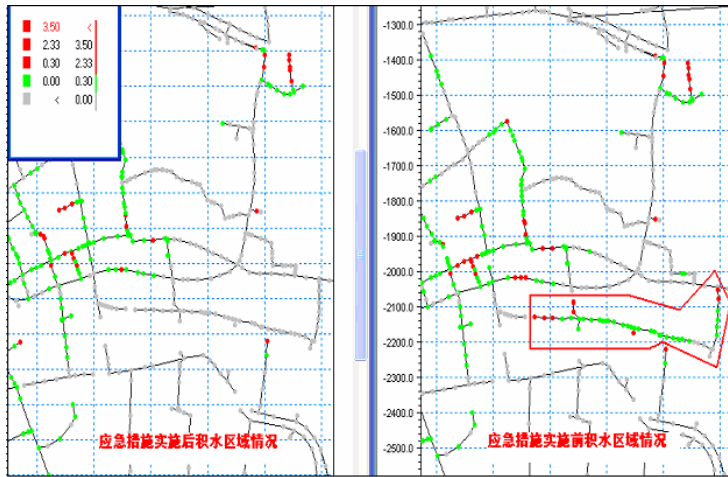
1. 在三个排水系统的相交处设置连通管, 打通三个系统的排水管道, 使之成片;
2. 在原先 B 泵站位置处设置临时泵站, 泵站流量由原先的 5.1 立方米/秒降低为 2 立方米/秒;

通过模型的模拟可以看出尽管只采取了简单的工程措施但是对整个排水系统所带来的影响还是较大的。首先从最关心的地区积退水情况分析来看, B 泵站一旦失去作用后可能会造成 B 系统西部, 特别是 B 系统管网末端服务区域的大面积积水 (参看右图)。模型推算出上述区域的退水持续时间约为 1 小时 30 分钟 (由于没有考虑地面的淹没过程, 因此这个退水时间只具有参考价值, 实际情况可能存在较大的差距)。尤其是在 B 系统靠



近泵站中下部区域由于存在不同管径的错接情况从而产生了该地区的积水效果尤其明显，退水过程十分缓慢的现象。

增加了A、B、C三个系统的连通管后，B系统的积水区域有所缩小，分析对比连通管设置

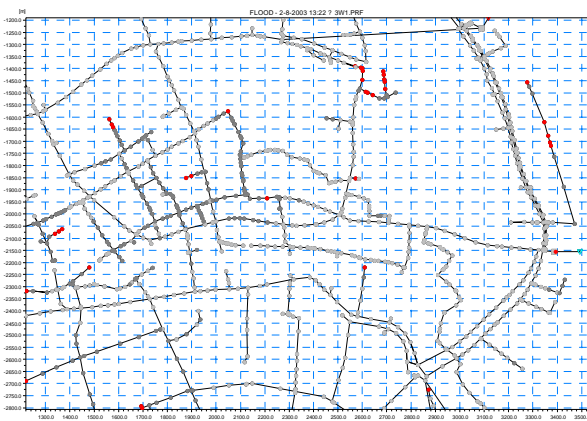


前后的产生冒溢情况的节点分布情况(见右图)可以看到增加连通管后，通过连通管B系统收集的雨污水转输给A和C两个系统，同时同时对B系统本身雨污水的迅速收集也起到一定作用，模型推算得退水时间缩短了半个小时。对缓

解B排水系统地区雨天积水有一定积极作用。但是由于本地区积水区域的管网不够完善，合流总管理深较浅及管道坡度较小等因素，因而应急连通管所发挥的作用是有限的，很难大幅度解决B系统的积水现象的发生。为了进一步利用连通管的通水能力，必须改变附近的相邻泵站的运行控制水位，从而充分发挥出这些泵站的**最大支援效果。A、B、C三个系统合流制泵站的配泵情况见下表：

泵站名称	泵型号	流量 (m ³ /s)	扬程 (m)	数量 (台)
A系统泵站	VUP1002M2800/10-92	2.44	8.4	2
	P17101/865	2.44	8.4	6
	AFP500/M750/9-55	0.625	8	4
B系统临时泵站	700QZDB-70	1.3	7.2	1
	500QZDB7-50	0.7	5.4	1
C系统泵站	1200HLB-12A	3.3	8	4

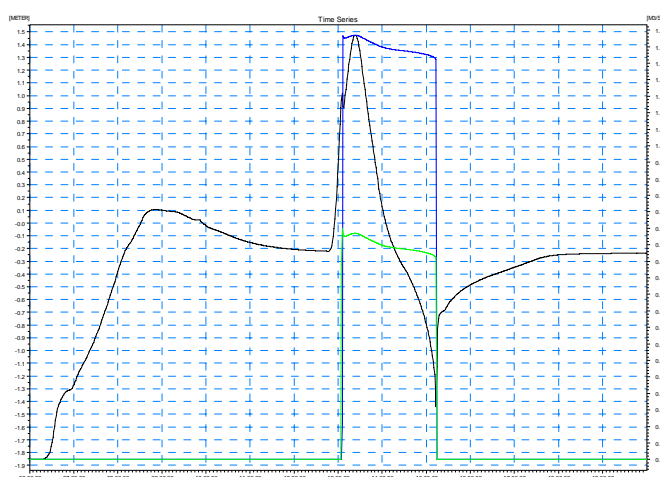
根据资料，上述三个泵站除了B系统的临时泵站外，其余两个泵站的控制水位均有可以进一步调整的余地。为了配合B系统的运行，提高连通管的过水流量，因此必须降低A系统泵



站和C系统泵站的控制水位。经过多次试验模拟后，得出一个相对比较合理的控制水位组合，即：A系统的水泵运行控制带在原先的基础上降低0.5-1m，C系统泵站前池水位控制带在原有的基础上降低0.5m左右，同时在充

分利用B系统管道调蓄容量的基础上适当抬高B系统临时泵站的开泵水位，从而有意识的形成降雨过程初期管网收集的雨污水流向A、C两个系统泵站的局面。经过调整后整个B系统的产生冒溢的区域明显减少，B系统西部区域的大面积冒水现象得到了较好的改善（见左图），除了在B系统中上部依旧存在部分节点发生冒溢外，其余地区的积水情况均相应得到缓解，同时模型显示这些冒水点的水头也小于未做调整时的水头。同时区域内的退水持续时间也有原先的1个多小时，减少为25—30分钟左右，在同等条件下A、B、C三个系统的合流污水收集量较之过去提高了10%左右，调整效果极为明显。

由于控制水位的调整，在一定程度上也降低了B系统临时泵站的运行压力，右图为泵站前池水位和水泵流量的曲线图。从图中可以看出B系统临时泵站在雨天的运行特点，该泵站在未下雨的情况下基本可以保持停泵状态，只在降雨高峰出现时才会启动水泵帮助抽水，水泵运行扬程基本维持在5.8—7.0m的区间范围内。水泵运行效率大于80%，基本处于运行高效段。



其他A、C两个泵站的运行模拟相对原先的情况而言就存在了一定的差距，由于这两个相邻泵站的水泵运行扬程被拉大，从而导致了水泵的单泵流量有所降低，约为原先的95%——85%。晴天泵站的水泵开机台数可以保持不变，但是运行持续时间有所延长，甚至在个别情况下出现了水泵间歇启闭的情况，整个泵站运行功耗明显增加了；雨天由于过水流量增加了约8%——17%，因此在某些时段内，开泵数量会较现状增加1——2台，单泵流量不超过现状的83%，运行工况点据额定工况点有一定的偏离，效率降低，影响还是比较大的。

三、 结论和建议

通过计算机管网水力学模型对某区域排水系统在发生紧急情况下的抢险方案进行模拟分析研究是计算机模型的一个重要应用领域。通过本模型的模拟研究工作可以充分证明计算机模型在评估紧急情况下排水系统的运行特点以及对服务区域内的生产生活带来得影响、对应急处置预案的评价、预测和优化等方面具有较大的优势和可信度。本模型的研究预测结果能够与改建措施实施以后的运行结果相互吻合，并得到了有关管理部门的好评。在本项目的研究过程中有三个重点显得尤为重要：

1、资料的可靠性、完整性是建立真实可信模型的基础条件。资料包括静态的管网系统基本物理尺寸数据以及动态的模拟对象运行历史记录，只有充分的占有这些资料才有可能建立起准确的，具有说服力的计算机模型；

2、边界条件的设置 由于目前城市的排水管网经过多年的建设已经形成了相当的规模。系统与系统之间、管道与管道之间在很多地方互通互联甚至是雨污混接，因此如果只是单独模拟若干个排水系统的运行就会造成系统间转输流量的不确定性，这是在模型模拟过程中所需要尽量避免的；

2、模型间的互通性 由于城市排水过程是一个复杂的水资源迁移过程，涉及降水、地面径流、管道内流动、地面淹没等过程，单单依靠管网水力学模型只能对其中的一部分进行精确描述，难以对整个雨污水收集、输送和排放过程进行模拟和仿真。虽然可以采取一定的技术处理手段进行假设，但是终究在可信度方面会存在一定的偏差。因此建立起完备的模型模拟体系，标准化的模型数据交换接口，形成多种模型联合仿真模拟可能是今后的发展方向和工作重点。