

数字排水用于管网升级改造设计与评估

赵冬泉^{1,2} 王浩正¹ 王浩昌¹ 王婧¹ 陈吉宁²

(1 北京清华城市规划设计研究院环境与市政所,北京 100084;2 清华大学环境科学与工程系,北京 100084)

摘要 由于城市化的加快,排水管网系统的老化情况日益凸显,其升级改造成为维护城市排水可持续发展的重要措施之一。目前我国由于缺乏有效的管网改造方案设计和评估手段,管网改造工程存在着一定的盲目性,工程实施后往往难以从根本上解决问题。介绍了数字排水平台如何对排水管网系统的结构缺陷进行全面分析,对管网升级改造的优先级按照排水负荷的规律进行排序,以筛选和缩小管网升级改造的区域;并辅助进行改造方案的设计,以及对方案实施后的排水负荷变化规律进行动态模拟和评估计算,从而保障升级改造方案的可行性和有效性。

关键词 数字排水 升级改造 缺陷分析 改造方案评估

0 前言

排水管网是城市的重要基础设施之一,排水管网的结构稳固和功能保障是城市排水安全的重要保证。由于排水管网服务时间长、建设时期不同,排水管网的老化及不同建设期管网的状态差异是各国排水系统管理部门普遍面临的问题。在我国,城市建设的日新月异,导致了排水管网系统的新旧层次尤其突出,部分建设年代久远的管网已接近老化,排水设施欠账过多,污水排放不畅导致的溢流、下渗等问题直接影响城市居民的正常生活,造成水体环境的污染,与城市经济和社会发展很不适应。因此,城市排水系统存在的种种问题已成为我国城市可持续发展的限制性因素之一,而对排水管网进行有效的升级改造是解决排水系统新旧层次突出和管网老化导致的排水系统功能缺陷的主要措施,也是各级排水管理部门的主要业务之一。但是,地下管网设施由于其掩埋于地下的隐蔽性导致了管网升级改造方案制定的困难,我国目前的排水系统改造工程多是在排水设施已发生事故后的补救措施。而且改造工程的设计缺乏先进的分析和评估手段,现有的简单调查和静态分析的手段对于管网排水性能缺陷的分析识别以及改造方案的制订都存在一定的盲目性和局限性,难以从整个管网的角度去分析和解决问题;改造方案的针对性不强,而且缺乏可靠的评估依据和方法,难以实现管网改造

方案的最优化。

数字排水(DigitalWater)平台基于地理信息系统(GIS)和专业的排水管网水力水质计算模型,开发了完善的排水数据集成管理、空间数据查询与分析、动态模拟计算和模拟结果多视图展示等功能。在该平台基础上,可以科学有效的开展管网改造设计与评估工作,通过对现状管网水力特征的动态模拟可以快速准确的把握管网的运行状态,分析管网的结构缺陷;通过对改造前后模拟结果中的管道充满度和液位等状态参数的对比分析,可以科学评价方案的改造效果并及时改进设计方案。通过DigitalWater平台,实现了管网性能评估、问题分析、改造方案设计、评估和优化的“一体化操作”,提高了排水管网更新改造的科学化水平。下节将通过示例介绍基于DigitalWater的城市排水系统升级改造的数字化操作过程。

1 应用示例

1.1 管网现状分析

现状管网运行状态和管网结构的分析是管网更新改造的基础,只有全面的掌握管网的运行现状和结构特征,才能发现管网中目前存在的问题和导致问题的原因,并缩小和锁定导致管网出现问题的区域范围,以制定更加有针对性更加经济有效的管网改造方案。数字排水(DigitalWater)平台的多窗口模拟结果分析功能,可在动态模拟计算的基础

上,同时显示模拟结果的专题图、曲线图及三维视图,是科学有效的管网现状分析工具,具体如何有效的进行管网现状分析和评估参见本期“数字排水(DigitalWater)模块二:污水管网结构分析与现状评估”中的相关内容。本例中,对一片服务面积约为 30 km^2 的污水管网排除系统进行管网现状分析,发现管网缺陷位置,并进行相应升级改造方案的设计和评估。首先,通过模拟计算获取该管网系统的现状计算结果并进行可视化显示,如图1所示。

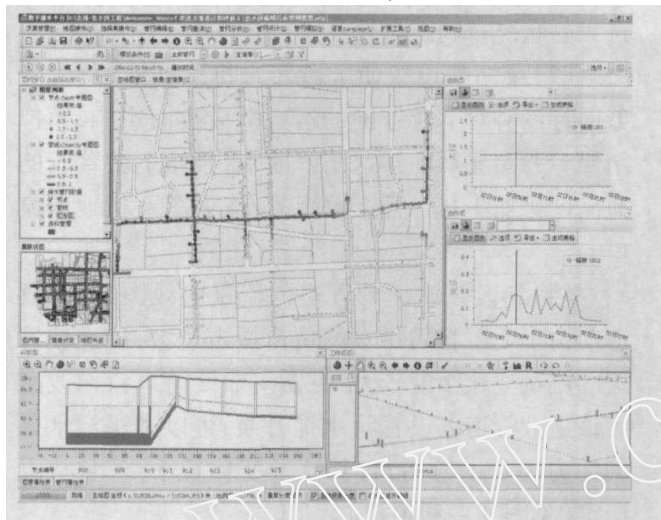


图1 现状管网模拟结果

城市排水管道负荷过大会导致排水不畅,造成上游检查井积水、甚至引发溢流对周围的生态环境造成危害。管道充满度是描述管网中各段管道排水负荷的一个重要参数,正常情况下,污水管道的充满度应小于或等于最大设计充满度。因此,通过对模拟结果中管道充满度的分析可发现负荷过大的管道个数、位置及充满度过大的时间段,从而为发现管网系统的薄弱环节所在位置提供决策支持。本例中,模拟后统计报表显示该研究区内1868根管道中共有163根充满度过大,其中144根满管时间过长($>10\text{ h}$),这种现象就是过载(重力流管道中,污水处于压力流但尚未溢出地面影响地表环境的水力状况)。当突然遇到大暴雨或排污高峰时将很有可能造成溢流危害,发达国家的设计规范都认为过载易造成城市排水安全隐患,应当避免。所以需对该区域管网进行改造。通过充满度的专题图分析发现,本例中长时间满管的管道空间位置分布较为集中,而且主要集中在一个区域,其余大部分区域管道负荷正常,只有个别管道充满度过大。上

图中主界面显示的是满管流情况最为严重的区域,通过对该区域最下游检查井的上游管道进行网络查询分析发现,该检查井(编号910)上游共有199根管道,总长度 $6\,506.06\text{ m}$,其中长时间满管($>10\text{ h}$)的管道124根,总长度 $3\,987.51\text{ m}$,是本例中管网改造的重点。

1.2 管网改造方案设计

在实际管网系统中,管道设计管径过小、管道逆坡和管道堵塞等都可能造成本段管道或上游管道充满度过大,增加溢流风险。在本例中,通过纵断面分析图和局部管网的三维视图可以发现管道满流最严重区域的下游与检查井910连接的管道逆坡,使得上游污水无法顺畅排入下游管道,而且该点下游连接的6根管道管径为 400 mm ,远小于上游管道的管径 $1\,200\text{ mm}$,这两个因素是造成图1所示区域排水不畅的主要原因。

综合现行的各种管网改造措施,主要有以下几类:结构改造、设施改造、布局改造和BMPs(最佳管理实践)措施等。进行管网改造方案设计时可根据改造目的结合施工难度、施工造价和运行成本等方面综合考虑选择改造方案。

在本例中,首先考虑选择调整下游管道的管底高程来改变逆坡状况。但管网纵断面分析发现,检查井910上游管道管底高程大部分都低于游检查井910的管底高程,若采用改变管底高程这一方法,需要调整的管道数量较多,且须考虑地下其他设施的影响,工程施工难度太大。若考虑采用新建管道的方案,在原线位旁侧 $2\sim 3\text{ m}$ 处按标高要求新建,改造后将上游的排水管接入,拆除现有的导致逆坡的管道,则工程造价太高。而污水泵是污水管网中常见的附属构筑物,设置污水提升泵站可以将局部污水管网由重力流改为动力流,利用泵站的提升动力使污水从低处流向高处。因此,基于充分利用原有管网的原则,在检查井910处设置中途泵站来提升上游污水。利用数字排水(DigitalWater)平台中的模拟分析计算结果,通过分析检查井910的水深与流量变化曲线,选择合适的污水泵,并将所选泵的工作特性曲线输入DigitalWater平台用于改造方案的评估(见图2)。另外对于下游管道管径远小于上游管道管径的情况,将原来下游6根管道管径由 400 mm 调整为 $1\,200\text{ mm}$ (见图3)。

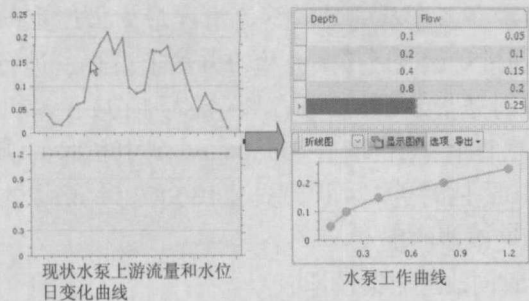


图2 利用模拟结果确定污水提升泵工作曲线

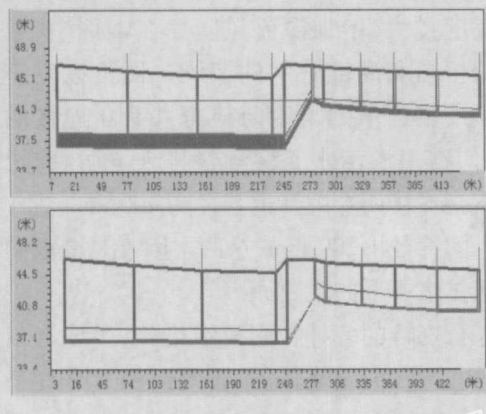


图3 管径改造示意

综上,初步确定该区域的管道改造方案为:(1)在逆坡管道处设置污水提升泵;(2)并将泵站下游6根管道加粗,管径由原来的400 mm调整为1 200 mm。利用数字排水(DigitalWater)平台的编辑功能可实现改造方案的设计和模型计算参数的同步修改,即在设计的同时自动构建了改造后的管网模拟模型,用于对该设计方案进行评估计算。

1.3 管网改造方案评估

利用数字排水(DigitalWater)平台对管网改造后模型进行模拟计算,可以科学有效的分析改造后管网的运行状态,对管网改造方案进行技术评估。通过模拟结果发现,与改造前相比,改造后的管网运行状态有了较大改善。下面将分别从整个管网系统水力负荷变化和泵站的运行情况分析改造方案的效果:

(1)模拟结果统计报表显示改造后该区域内1 868根管道中在典型日的模拟中有89根管道出现了满管,但满管持续时间较短,只有20根管道满管时间超过10 h,较改造前144根管道长时间满管相比减少了124根,说明这一改造方案有效降低了管道的充满度,改善了整个研究区域管网的运行状

态,且改造区域已消除满管和过载现象。

(2)模拟结果专题图以颜色直观地显示了管网的水力变化情况,改造后该分支管网即使在排水高峰时刻大部分管道充满度都在0.5以下(见图4地图窗口)。通过管道纵断面和上游管道模拟结果曲线可知,改造前逆坡管道的上游管道中水位较高,一直处于满管状态,而改造后由于污水泵的提升作用使得上游管道中的污水可以顺利进入下游管道,泵站上游管道水位降低,说明改造区域内管网负荷过大的状况得到了有效改善。

(3)泵站的设置使上游污水排除畅通、负荷降低而且没有对下游管网的运行造成负面影响,模拟结果专题图显示在排水高峰时刻,泵站下游管线的充满度仍低于0.5且无溢流节点(见图4主地图窗口)。

(4)新设泵站上游管道的流量曲线图显示,改造前由于上游管网污水的负荷冲击过大,该逆坡管道的流量变化幅度较大(见图1曲线窗口);而改造后该逆坡管道处设置污水提升泵,可以利用污水泵的动力提升上游污水,其流量变化较小,排水状况稳定(见图4曲线窗口)。

通过以上分析可知:对重点改造区排水管网进行改造后,通过模拟分析科学合理选择的提升泵,能达到改造的要求,可有效消除由于高程差异造成的局部管网积水;原逆坡管道上游管网内的水位和充满度明显降低,且改造方案的实施对下游管道的负荷未造成较大的冲击,整个管网系统运行正常。该设计方案可改善局部管网负荷过重的现状,并可提高整个区域管网的排水和运行效率。

2 管网升级改造数字化管理实现方法

管网改造方案的设计是一个复杂的、专业化的过程,为方便用户进行分析,数字排水(DigitalWater)平台开发了流程化的管网改造方案设计和评估模式(见图5)。整个设计和评估过程分四个阶段:管网现状分析-管网缺陷分析-改造方案设计-改造方案评估。首先通过管网动态模拟分析发现现状管网中存在的问题,然后通过对管网进行结构分析寻找问题发生原因和位置;然后利用DigitalWater中的设计和计算一体化功能有针对性的进行改造方案的设计,同时自动生成改造后的管网模拟模型,最后通过与改造前的模拟结果进行对比分

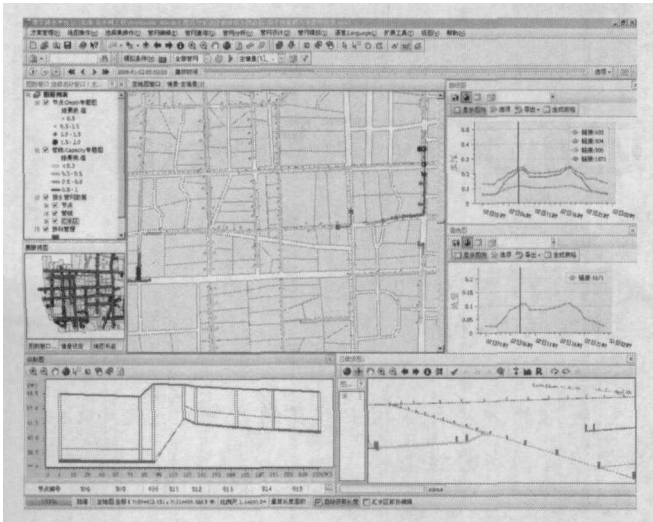


图4 管网改造后模拟结果示意图

析,评估改造后管网的运行状态和该改造方案的可行性。并根据评估结果对改造方案进行进一步优化和调整。

3 结论

排水管网的结构稳固和功能保障是城市排水安全的重要保证,管网的维护和改造是保证管网长期、安全、稳定运行的重要措施。主动发现管网存在的缺陷并实施科学合理的管网改造方案可以有效改善管网的运行状态、降低管网发生风险的概率、提高管网的运营效率。

应用数字排水(DigitalWater)平台的管网升级改造方案设计与评估模块,可以有效的发现现状管网中存在的问题,针对现状管网存在的问题从管网

结构上寻找原因并对症下药地设计升级改造方案,方案设计的同时生成改造后的管网水动力学计算模型,以对改造方案实施后的管网运行状态进行准确全面的技术评估,从而对改造方案进行改进和优化,从根本上避免管网升级改造的盲目性和局限性。在利用 DigitalWater 建立管网现状评估模型后,该模块可用于排水管网各级管理、设计和评价部门对管网系统升级改造方案进行制定和评估工作。

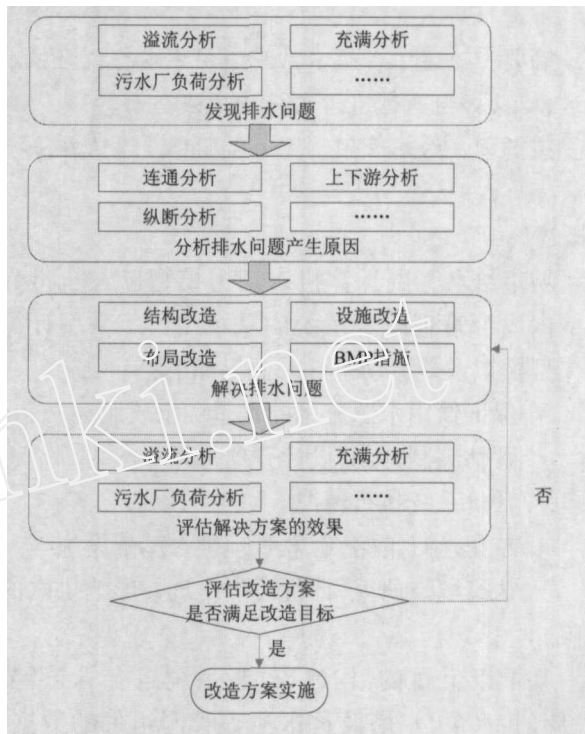


图5 污水管网系统改造方案设计与评估解决流程

<p>9月27日河北水进京三大水厂</p> <p>2008年9月27日,南水北调第一批河北水进京,第九、第三和田村山三大自来水厂将消纳河北应急来水。</p> <p>9月22日,南水北调北京市水量配置计划出台,同时,北京市水务局编制了《南水北调京石段应急供水工程用水调度计划》,将对“河北水”进行适当调节。第九水厂、第三水厂、田村山水厂将消纳河北应急来水。这三家自来水厂均是为市民供应自来水的主力水厂。</p> <p>目前,北京市南水北调办已经完成应急调水演练,并利用房山地区蓄积的雨水,对管道进行了彻底冲洗。</p> <p>——法制晚报</p>	<p>哈尔滨市群力污水处理厂核心将完工</p> <p>日前从哈尔滨市建委有关部门了解到,群力污水处理厂生化池主体工程建设预计年内可以完工。据介绍,生化池是污水处理厂的核心部分,是将污水变成清水的关键环节。</p> <p>据介绍,何家沟群力污水治理工程是哈尔滨市落实国家松花江流域水污染防治规划重点实施项目,该项目于2008年6月启动工程建设。截至目前,群力污水处理厂工程已完成3个生化池的土方和基础混凝土垫层及滑动层施工,计划年内完成群力厂生化池的土建工程和粗细格栅间、污水提升泵站、二次提升泵站等地下混凝土工程。</p> <p>——东北网</p>
---	---

