

城市管网地理信息系统的 数据模型与数据集成机理研究

Data Modeling and Data Integrated
Mechanism on Urban Utilities GIS

牟乃夏 张灵先 邓荣鑫 孙久虎 戴洪磊 著



测绘出版社

城市管网地理信息系统的 数据模型 与数据集成机理研究

Data Modeling and Data Integrated Mechanism
on Urban Utilities GIS

牟乃夏 张灵先 邓荣鑫 孙久虎 戴洪磊 著

测绘出版社

·北京·

©牟乃夏 2018

所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

内容简介

本书对城市管网的数据模型和集成机理进行研究。通过分析配电网、给排水网络、燃气网络等城市管网数据模型存在的问题和城市管网空间数据的共性,提出基于有向节点的管网数据模型。综合调度地理信息系统的核心是多系统集成,鉴于当前数据集成存在的集成度不高、集成层次低、集成理论研究匮乏的现状,兼顾空间数据操作的效率,提出空间数据内存引擎的思想。在有向节点模型和空间数据内存引擎的基础上构建城市管网的综合实时调度地理信息系统,阐述了有向节点模型和空间数据内存引擎的关键技术和实现框架。

图书在版编目(CIP)数据

城市管网地理信息系统的数据模型与数据集成机理研究/牟乃夏等著. —北京:测绘出版社,2018. 11

ISBN 978-7-5030-4081-8

I. ①城… II. ①牟… III. ①市政工程—管网—地理信息系统—数据处理—研究 IV. ①TU990.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 012036 号

责任编辑	李莹	执行编辑	王宇瀚	封面设计	李伟	责任校对	石书贤
出版发行	测绘出版社			电 话	010-83543965(发行部)		
地 址	北京市西城区三里河路 50 号				010-68531609(门市部)		
邮政编码	100045				010-68531363(编辑部)		
电子信箱	smp@sinomaps.com			网 址	www.chinasmp.com		
印 刷	北京建筑工业印刷厂			经 销	新华书店		
成品规格	169mm×239mm						
印 张	9			字 数	173 千字		
版 次	2018 年 11 月第 1 版			印 次	2018 年 11 月第 1 次印刷		
印 数	001-800			定 价	45.00 元		

书 号 ISBN 978-7-5030-4081-8

本书如有印装质量问题,请与我社门市部联系调换。

前 言

城市管网是构建在城市立体空间中错综复杂的物质、能量与信息的三维传输系统,它深入千家万户,和居民生活息息相关,是城市这一复杂系统正常运转的生命线。近几年随着城市范围的急剧扩张、城市人口的飞速增加,城市管网的负荷日趋加重,致使安全事故频发。这对社会秩序、城市功能、资源环境等造成了不同程度的破坏,给人民生活、经济发展和城市正常运转带来了较大影响。供水管道爆裂形成的冲天“喷泉”,排水不畅导致的“雨中看海”,油气管道爆炸造成的触目惊心的现场,电力线路故障造成的生活混乱与无序,无一不彰显着城市管网的重要性。由此,对城市管网进行科学化、智慧化的管理,确保管网系统的正常运行也就显得尤为重要。

近几年来,随着智慧城市概念的推出及其衍生的智慧管网的逐步推进,一大批管网信息系统投入使用,使得管网管理的智能化水平得到大幅度提升。地理信息系统已经成为管网管理、调度、运维等业务化管理的核心平台,在管网管理中起着至关重要的作用。不过,当前的管网地理信息系统大都是基于现有的地理信息平台软件进行二次开发的,分析模型也采用通用的网络模型。尽管借助地理信息平台软件提供的数据管理、数据分析与可视化功能,能够最大限度地保证系统的稳定性、减少系统开发的投入,但是管网系统有其独特的数据特色,虽然我们称之为管网(线),实际上更关注设备,即“点”,这些点可能是电力管线的开关、变压器,可能是给排水管线的检查井、水泵房,也可能是燃气管线的阀门、调压器等。这些点才是控制管网系统运转的核心要素。

从管理模式上看,管理部门关注的是各种设备而非管线,日常工作的资产管理、报警控制、设备检修、生产运维等也是基于设备展开的。表征管网运行状态的流量、压力、温度等参数的传感器设备也抽象为点。而且城市管网从空间分布形态上看管网几何图形规整,图形节点特征明显,无复杂的线型结构,节点连线即为管网的几何网络。此外,管网调度所基于的逻辑网络也是由节点生成的,可见节点才是管网管理的核心。但是现有的管网信息化系统采用的通用网络模型,是由点、线组成的二元结构,没有体现管网系统的特点和本质。因此,本书提出管网系统的有向节点模型,旨在将管网网络模型的点线二元结构简化为节点表示的一元结构,有向节点模型充分反映了管网管理的本质,简化了数据的加工与维护。

同时,实际运行的管网信息系统必定是一个 MIS(管理信息系统)、SCADA(数据采集与监控系统)、GIS(地理信息系统)等多个系统集成的综合系统,因此多系统的数据集成与交换也是管网信息系统的一个核心问题。本书提出空间数据内存引擎的概念,它是构建在计算机内存上的,屏蔽异构异质异地、多格式多系统多空间数据库引擎差别的数据访问层,使得异质数据同质化、异构数据同构化、异地数据本地化,实现了空间数据对数据消费者的均一化和透明化。有向节点模型和空间数据内存引擎概念的提出使管网空间数据的生产、管理、分析和数据集成提高到一个新的高度。

尽管当前管网信息系统的建设取得了巨大的成就,但是在管网数据模型等方面的研究几乎停滞不前,也很少有人去关注它,这使得管网信息系统的数据采集、更新与分析功能总有所欠缺。作者不揣浅陋将此书付梓,目的在于抛砖引玉,引起国内外学者对管网数据模型的重视,更期望得到读者的批评,以使该模型得到更好的完善。

本书由山东科技大学的牟乃夏、张灵先、戴洪磊,华北水利水电大学的邓荣鑫,山东省国土测绘院的孙久虎等同志编写,最后由牟乃夏统稿并定稿。本书编写得到了华北水利水电大学科研团队培育项目“快速城市化背景下区域水土资源耦合开发的环境效应研究”和山东省“泰山学者”建设工程专项经费的联合资助。

本书为一家之言,不当之处必定在所难免,敬请读者批评指正。读者的批评和建议请致信 mounaixia@163.com,作者将不胜感激。

牟乃夏

于青岛开发区洞门山下寓所

二〇一七年十二月

目 录

第 1 章 绪 论	1
§ 1.1 问题的提出	1
§ 1.2 城市管网地理信息系统的特征	5
§ 1.3 研究现状与进展	7
§ 1.4 研究对象与研究内容	12
§ 1.5 技术路线	14
§ 1.6 创新点	15
第 2 章 管网地理信息系统空间数据模型	17
§ 2.1 数据模型与数据结构	17
§ 2.2 空间数据模型	19
§ 2.3 管网数据模型研究	29
§ 2.4 本章小结	37
第 3 章 管网空间数据的有向节点模型	39
§ 3.1 城市管网管理的本质:节点	39
§ 3.2 有向节点模型的概念	45
§ 3.3 有向节点模型的数据结构	47
§ 3.4 有向节点模型的数据存储	52
§ 3.5 有向节点模型的关系构建	57
§ 3.6 基于 SQL 的有向节点模型的数据分析	60
§ 3.7 有向节点模型的扩展	65
§ 3.8 本章小结	66
第 4 章 空间数据内存引擎	68
§ 4.1 空间数据内存引擎的提出	68
§ 4.2 内存调度	71
§ 4.3 数据同步	73

§ 4.4	空间数据内存引擎的结构	74
§ 4.5	数据分析	74
§ 4.6	有向节点模型的内存引擎结构	75
§ 4.7	空间数据内存引擎的扩展	76
§ 4.8	本章小结	76
第 5 章	管网地理信息系统多数据集成的统一框架	78
§ 5.1	地理信息系统多数据集成的概念	78
§ 5.2	集成的发展现状	80
§ 5.3	集成的模式、内容与方法	83
§ 5.4	基于有向节点模型的集成	94
§ 5.5	多数据集成的统一框架	95
§ 5.6	本章小结	104
第 6 章	基于有向节点模型和空间数据内存引擎的城市管网实时调度地理信息系统	106
§ 6.1	管网实时调度地理信息系统介绍	106
§ 6.2	数据编辑	111
§ 6.3	网络表达与分析	118
§ 6.4	空间分析	122
§ 6.5	空间数据可视化与制图表达	123
§ 6.6	实时拓扑	125
§ 6.7	决策支持	126
§ 6.8	本章小结	127
第 7 章	结论和展望	129
§ 7.1	本书的认识及成果	129
§ 7.2	本书的主要不足之处	132
§ 7.3	进一步的工作	133
	参考文献	134

第1章 绪论

§ 1.1 问题的提出

城市作为人口、资源、环境和社会经济要素高度密集的地理综合体,是社会经济、政治、文化的核心,是人类社会物质和精神财富生产、积聚和传播的中心,也是地球上最为复杂与活跃、人际交流强度最高的组成部分。城市的物质、能量和信息流高速运转,吸引着周围资源的流入,加速了城市化的进行。城市化水平和城市经济发展状况成为衡量一国综合发展水平的标志。城市的发展是一个国家发展最重要的动力,具有重要的战略意义,也是人居环境、可持续发展的焦点问题。

城市的急剧扩张使城市建设和城市管理的矛盾日益尖锐,城市建设需要解决问题的复杂性和需要处理信息的广义性使城市管理的难度前所未有。居住拥挤、环境污染等城市化进程中的一系列问题用传统的手段无法解决,物质能量的道路步履维艰。城市信息化是解决这一问题的关键,其目的是实现城市信息资源的广泛共享、统一服务与综合利用,减轻物流、人流、事务流的沉重负担,减轻生活压力,使生活更加便捷与舒适。

城市在一个国家中举足轻重,城市基础设施则是城市赖以生存和发展的基础性条件。目前我国处于经济高速发展时期,城市基础设施建设的速度和规模不断加大,结构不断升级,对基础设施的信息化管理显得尤为重要。城市管网是构建在城市三维空间上的错综复杂的网络系统,是城市基础设施的主体。如果说城市是一个有机体,那么它就是这个有机体内的“神经”和“血管”,日夜担负着传递信息和输送能量的工作,是城市赖以生存和发展的物质基础,是城市的“生命线”。城市管网的管理是城市基础设施管理最为重要的一环,良好的基础设施和完善的城市功能所形成的良好的投资环境,是加快经济发展、加速现代化进程的保障。在进行城市规划、设计、施工和管理过程中,如果没有完整准确的地下管线信息,就会到处碰壁,寸步难行,甚至造成重大损失。城市发展越来越快,负载也越来越重,对城市管网的依赖性也越来越大。而且城市管网联系千家万户,和人民生活密切相关,运行一旦出现问题,必将给人们日常生活带来很大的麻烦,影响正常的生活秩序,城市管网的重要性不言而喻。

1.1.1 我国城市管网概况

受传统的计划经济模式和管理体制的影响,我国城市管网的管理运营采用垂直一体化的组织管理方式,政府垄断经营。政府是城市管网等基础设施的规划、投资建设和管理的主体。长期以来由于资金投入不足和一直将城市管网等作为城市的配套设施看待,重视程度不够,我国城市管网存在不少严重问题。近几年,随着市场的开放,各种资本进入城市管网行业,使得城市管网的建设和维护涉及的面更广,问题更为复杂,主要表现在以下几方面。

1. 建设滞后、设备陈旧、标准偏低、资源浪费严重

我国现阶段的人均主要城市基础设施拥有量尚不及发达国家 20 世纪 90 年代初期水平。2002 年,城市用水普及率只有 77%,燃气普及率尚未达到 70%,城市污水集中处理率不到 40%;到 2004 年,这个数字仅仅分别提高到 88.83%、81.5%、45.6%,因供水设施不足每年造成的工业生产损失达 2 000 亿元;2014 年,城市用水普及率达到 97.64%,燃气普及率达到 94.56%,城市污水处理率达到 90.18%。根据《国务院关于加强城市基础设施建设的意见》(国发〔2013〕36 号)的要求,上述数字到 2015 年将分别提高到:城市公共供水普及率 95%;城市燃气普及率 94%、县城及小城镇燃气普及率 65%;全国所有设市城市实现污水集中处理,城市污水处理率达到 85%。

“重地上,轻地下”的思想使城市管网的设计标准、建设标准普遍低于国外标准,“跑冒滴漏”严重,管网长期超负荷运转,安全事故时有发生。例如,贵阳市对供水地下管网进行测漏,全市 1 200 千米管道共测出漏点 186 个,漏水量每小时高达 1 500 吨,每天漏失的水可以充满 30 个标准游泳池。建设部提供的资料表明,根据对 408 个城市的统计,2002 年全国城市供水系统(自来水)的管网漏损率平均达 21.5%,按照这一漏损率推算,全国城市供水每年损失近 100 亿立方米,一方面国家耗巨资给城市调水,另一方面宝贵的自来水白白流失。截至 2014 年 6 月的调查显示,我国城市供水管网漏损率在 15% 以上。保守计算,15% 的城市供水管网漏损率,两年的损失量就能达到一个南水北调中线工程,如果漏损率降低 10 个百分点,即可节水至少 52 亿立方米,相当于 2000 多个昆明湖的水量。由此可见,大幅提升供水管网质量,降低管网漏损率,节约的水资源将相当可观。

2. 管理手段滞后、应急响应缓慢、安全隐患突出、伤亡事故不断

尽管各级地下管网管理部门纷纷建立了各类管理信息系统进行管网管理,也建立了诸多地理信息系统(geographic information system, GIS),但是受传统管理模式的影响,管理部门更看重资料的管理,导致管网空间数据更新缓慢,甚至在软件的生命周期内几乎不更新,久而久之使地理信息系统往往停留在展示的层面上,没有真正融入工作流程中。很多地理信息系统退化为参观时的演示系统或者是大

屏幕上的展示系统。当然数据更新问题仅仅是地理信息系统不能很好地融入管网业务 workflow 的一个方面,地理信息系统开发者对业务不熟悉,流程设计不科学也是重要的原因。此外,目前针对管网管理与分析的网络模型也不能很好揭示管网的内在逻辑,满足不了业务管理的需求,这是技术层面的原因之一。上述问题导致的现状之一就是,尽管有各类丰富的系统辅助于管理,但是受限于管理人员的业务水平和历史传承,很多时候还是手工管理为主。

管理手段的相对滞后,导致应急响应缓慢,在事故发生时往往得不到及时有效的处理。特别是近几年随着负荷增加和管网老化问题的加剧,伤亡事故屡屡发生,城市生活的“生命线”甚至变成了“夺命线”。近几年燃气、排水、供水等管网的安全事故频发,不仅造成了生命财产的损失,还引起了社会恐慌。管网管理的安全问题日益严峻:

2007年7月18日,暴雨突袭济南,造成30多人死亡,170多人受伤,约33万群众受灾,倒塌房屋约1800间,市区内受损车辆约800辆,损坏市区道路约1.4万平方米,冲失井盖500余套,20多条线路停电,140多家企业进水受淹,市内交通一度处于瘫痪状态。济南全市直接经济损失约13.2亿元。

2008年6月13日,深圳市遭遇罕见特大降雨袭击,造成8人死亡、6人失踪,转移受灾人口10万余人,全市出现1000多处内涝或水浸,直接经济损失约12亿元。

2010年7月28日,南京市栖霞区迈皋桥街道的南京塑料四厂地块拆除工地发生地下丙烯管道泄漏爆燃事故,共造成22人死亡,120人受伤住院治疗,其中14人重伤,直接经济损失4784万元。

2012年7月21日,北京暴雨疯狂肆虐,雨量历史罕见。特别是丰台南岗洼京港澳高速下沉式立交桥淹没、房山区洪水泛滥以及泥石流给全市造成严重灾害,导致因灾死亡78人,受灾人口190万人,直接经济损失116.4亿元。

2013年8月14日,哈尔滨市辽阳街路面突然塌陷,4人落入深坑,两死、两伤。事故原因是连续几场强降雨造成土质沉降,致使老旧排污管线断裂,泥沙灌入人防工程洞体,最终导致地面塌陷。

2013年11月22日,山东青岛中石化东黄输油管道泄漏,原油进入市政排水暗渠,在形成密闭空间的暗渠内油气积聚遇火花发生爆炸。事故造成62人死亡、136人受伤,直接经济损失75172万元。

2014年4月,中石油兰州石化分公司一条管道发生原油泄漏,污染了供水企业的自流沟,威立雅水务集团公司检测发现,其出厂水苯含量高达118~200 $\mu\text{g}/\text{L}$,远超出国家限值的10 $\mu\text{g}/\text{L}$,引起了当地市民抢购矿泉水。

.....

这些事故的发生不仅造成了巨大的经济损失,更造成了人员伤亡,给公众心理

造成了强烈的震颤,不利于社会的和谐稳定。

3. 政出多家、信息不畅、资料不全、档案不清、责任不明

政出多家、分头管理的体制,使各主管部门“自扫门前雪”。由于各种原因造成资料共享困难,并且由于建设主管不一、施工单位不一、建设时间不一,管线分布数据较为散乱,管线拆建、改建、扩建时往往因数据不清而误挖、错挖现象屡屡发生,造成了严重的损失,影响人民生活。现有的情况是,几乎没有一个城市能够提供完整的市政管线资料,现有的资料与实际也多有不符。

4. 没有统筹规划,频繁修修补补

各主管部门在建设过程中没有统筹规划,往往是一家刚刚敷设管线,另一家就破土动工,城市中此类“拉链马路”比比皆是,不仅造成资源浪费,又容易挖断其他管线。就是同一个部门对自己的主管管网也经常三天两头改造。由于资料不清,改扩建过程中经常需要临时变更设计方案,竣工图又不及时整理归档,频繁的改扩建使资料管理前后不一致,自相矛盾,信息化管理更加困难。

1.1.2 城市管网的特征

城市三维空间上纵横交错的管网系统,是典型的复杂网络系统。特别是我国由于历史原因和人为因素,作为和人民生活密切相关的城市网络系统,城市管网具有以下特点。

1. 种类繁多

按照权属,城市管网分为城市公用事业管网和专用管网。公用事业管网服务于整个城市的居民;专用管网有部队专用、铁路专用、石油专用等,为某一具体行业 and 单位使用。按照输送介质分为供水管网、排水(雨水、污水)管网、燃气(煤气、液化气)管网、热力管网、电力网、通信网、工业管线(石油、化工等)等管线类型。按照级别又可分为城市主干网、小区(庭院)网等。

2. 隐蔽性强

城市管网中的排水、供水、燃气一般埋设于地下,电力、电信网既有地上线路,又有地下电缆。城市管网遍布城市地上地下的三维空间,构成错综复杂、密如蛛网的传输系统。

3. 设备类型复杂

城市管网不仅种类繁多,每一种管网又包括大量的设备。如供水、排水、燃气、热力等系统由大量的阀门、盖堵等控制设备,不同材质、不同管径的管材等输送设备,三通、四通等分支设备,调压器、加压站等压力调节设备,排气阀、积水缸、检修井等辅助设备等组成;电力、电信系统由大量的开关、熔丝等阻断设备,配电箱、环网柜、分支箱、开关站等分配设备,监测电压、电流、信号通路等智能化监测设备等组成。同时每一种设备又有不同型号、不同生产厂家、不同设备参数等,使管网管

理的设备类型更加庞杂。

4. 动态变化

城市管网建设时间较长,一个城市管网建设历经几十年甚至上百,不同历史时期的建设标准、档案资料管理均不一样,而且早期的资料散失较多。特别是近十几年来,大规模的改建扩建城市管网,使管网的资料管理更加困难。

5. 多家管理

由于体制的原因,我国的城市管网一直由多家分头管理,各自为政。给水管网由自来水公司管理,排水管网由排水管理处管理,燃气管网由燃气集团管理,热力管网由热力处管理,电力、电信各有自己的主管部门,没有形成统一的管理模式。特别是目前采取了多元化的投资方式,进行市场化运作,包括融资、投资、贷款等形式,使市政基础设施建设迈入了快速发展的轨道,但因为多家主管部门信息不通,造成重复投资、资源难以共享。

6. 不同管线相互影响

不同类别的城市管网在设计、建设过程中,互相影响,互相制约。为此国家标准和规范限制不同管线的最小净距、标高、跨越时的处理、管线敷设时的走向关系等,以保证管网安全与高效运行。

7. 用户数量大

城市管网为千家万户服务,涉及重要工矿企业等大用户和城市居民等普通用户。管网管理部门要具体管理到每一户的资源使用、收费信息和管网设备的连接关系等,对一些大用户的特殊保障措施和特殊设备也要进行图资管理。可以说城市居民每家每户都涉及供水、供热、电力、电信等服务,复杂的用户信息构成了海量的数据库。

8. 多源头补给,管网结构复杂(枝状、环状结构结合)

城市管网在建设初期多为枝状结构,随着城市发展和管网改造由枝状结构向环状结构发展,形成主干网为环网,分支网为枝状的交错结构。目前,发达城市的供水供电线路等全部为环状结构。管网也由过去的单源供应变为多元同时补给,不仅使管网的流量压力等参数实时可变,而且输送介质的流向也随时间和调配模式而变,城市管网运营结构更加复杂。

§ 1.2 城市管网地理信息系统的特征

城市是地理信息系统应用的主战场,城市管网是城市地理信息系统应用的重中之重^[1]。管网空间数据因本身具有的复杂性,非常适于将地理信息系统引入到管理中。城市管网管理不仅仅是针对空间数据即几何特征的管理,更有其运行状态、实时调度的需要。管理的目的是保证城市管网合理、有序、稳定、高效的运行,

使工农业生产和居民生活正常运转。与其他地理信息系统相比,管网地理信息系统在空间数据和管理运行上具有明显的区别。

从管网空间数据的几何特征上讲,城市管网具有以下特点:

(1)数据准备复杂。管网的数据分析和对底层数据的依赖性非常强,数据的质量和规则直接影响空间管理的效果,上层管理系统需要针对不同的数据作特殊的调整,同一数据在不同的系统中具有不同的分析结果。往往是上层软件设计者根据软件本身的功能要求对管网数据准备提出要求,数据和上层软件的绑定加大了数据准备的难度和工作量,并造成管网 GIS 的通用性较差。

(2)连接关系复杂,行业规范严格。不同的管网都有自己一整套的行业规则,管线与管线、设备与设备之间具有复杂的强制的连接关系。例如,给水管网的分支线必须通过分支接头(三通、四通等)和主干管线连接,不同管径的管段须通过变径接头连接,高压管线和低压管线须通过减压器连接。配电网进入小区用户需要通过变压器连接,主干线和分支线需要通过分支箱连接。排水系统中不同管径、不同污水性质的管线连接,对埋深、标高、连接检查井的处理均有明确规定。

(3)多重属性表达。城市管网构成的城市资源供排网络,同一管线经常具有多重属性的表现。例如,雨水、污水合流的城市排水系统,排污管线既是城市雨水系统的管线又是城市污水系统的管线,一段管线属于两个系统共有。城市配电系统的供电线路可能既属于一条支线又属于另一条支线,所属支线与配电线路的实时运行状态有关。配电线路的同杆架设的实质是在两个杆塔之间有多条线路存在,现有的 GIS 模型规定两个点之间只能存在一条直线,同杆架设在实际显示和空间分析过程均需要按多条线路对待,即同一个杆塔同属于几条不同的线路,同杆架设是 GIS 典型的多重属性表达。现有的 GIS 模型难以从根本上解决管网的多重属性表达问题。

就运行管理而言,城市管网的管理是多个系统协同工作、实时工况同步监测、多个部门共同协调的生产保障体系,不仅要保证管网设备的正常运转,还要有规划预测和辅助决策的功能。

就运行管理而言,管网具有以下特点:

(1)多系统集成。城市管网科学管理的目的就是更可靠、更安全地为城市居民服务,单纯的地理信息系统如果仅仅停留在对城市管网资料本身的管理上是达不到上述目的的,必须和主管部门的管理信息系统(management information system, MIS)、客户信息系统(client information system, CIS)、实时数据获取与控制(supervisory control and data acquisition, SCADA)系统、办公自动化(office automation, OA)系统等集成,将 GIS 作为主管部门日常管理的基础平台,在其上进行资料管理、业扩收费、事故抢修方案快速制定、地理信息服务等,使 GIS 成为管理部门整个信息岛的核心,切实提高工作效率和管理水平。

(2)实时参数显示。城市管网的隐蔽性、复杂性特点使管网实时运行工况难以测量。各管理部门已经建立了大量的实时信息的监测点,实时监测管网的压力、流量、功率、负荷状态等信息。传统的实时信息一般在各自的实时监测系统中以逻辑示意图的方式显示,没有与具体地理位置结合,调度人员无法及时得到监测点的实际地理方位,一旦事故发生难以及时制订合理有效的抢修预案,特别是在大城市中管网复杂的地区暴露的问题更是突出。在 GIS 图上表达管网运行工况显得尤为必要。

(3)辅助决策。城市管网一旦出现如停水、停电、爆管等严重影响居民生活秩序,甚至使居民有生命危险等问题,必须以最快的速度进行抢修,而人工查找资料确定抢修方案,费时费力、准确性差,无法满足紧急事故抢险的需求。GIS 利用空间分析功能,结合用户管网资料、客户资料,自动生成抢修需要关停的阀门、开关和负荷转移方案,并且能给出一次关阀不成功的二次关阀应急方案,结合道路数据给出最优路径,以最快的速度抵达现场,彻底解决人工制订方案的不确定性、随机性、随意性的弊端。

§ 1.3 研究现状与进展

1.3.1 研究现状

20 世纪 80 年代,随着成熟 GIS 平台软件的出现,GIS 逐步进入城市管网的管理中。此后对 GIS 在管网中的应用、管网线性网络的数据结构、多系统的数据集成等方面有了进一步的研究,并出现了专门针对城市管网研究应用的公司,如 Miner & Miner 公司等。平台 GIS 软件也开始提供针对城市管网应用的模块,如 Esri、Smallworld、Intergraph 等提供的网络分析模块等。同时这些公司根据管网管理的特点,提出了煤气、供排水、电力等企业级解决方案,进一步推动了 GIS 在城市管网中的应用。进入 21 世纪以来,随着信息化建设速度的加快、科学管理的需要,GIS 在城市管网中应用呈面状铺开。下面从管网 GIS 建设、GIS 基础平台研究、管网 GIS 数据模型和多系统集成等方面对城市管网 GIS 研究现状做一概述。

1. 管网 GIS 项目建设

20 世纪 80 年代中后期,Lincoln Electric 公司将 GIS 引入工作管理中,建立了 Lincoln Electric System,实现对所管电力线路的综合管理。1985 年,法国 CEP 供水服务公司在 CAD 的基础上建立了初步的 GIS,管理所辖 2 350 千米的管道、12 300 个阀门、66 000 个连接点、25 000 组公共设施和 280 万用户的资料。20 世纪 80 年代城市管网 GIS 的功能非常简单,基本上是资料的静态管理。近十年来,国外平台软件的功能有了很大的发展,国内的 GIS 平台软件也逐步完善,加之管理部

门普遍认识到科学管理对管网安全、可靠运行的重要性, GIS 在城市管网中的应用大规模开展起来, 目前我国大部分城市的地下管线管理都引入了 GIS。管理部门不再将 GIS 看作是一个独立的系统, 而是将其作为整个管理部门的中心系统在其上集成其他应用系统, GIS 逐渐成为行业管理智能化系统中的核心系统。

GIS 在国内城市管网中的应用在 20 世纪 90 年代起步, 目前已广泛应用到电力、供排水、燃气、电信等管理部门。国内已建成的几千个企业级 GIS 中, 城市管网方面的应用占 60% 以上。但是国内城市管网 GIS 应用规模普遍偏小, 基本上是地市级和县级规模的应用, GIS 本身的优势不明显。国内电力部门应用 GIS 时间较长, 用户数量最多, 智能化程度最高, 目前基本上地市级电力部门均有 GIS, 部分建立了以 GIS 为主的综合管理调度系统。供水行业接近 40% 建立了供水 GIS, 其中一类水司(最高日供水量超过 100 万立方米)90% 建立了 GIS, 二类水司(最高日供水量 50 万~100 万立方米)近 60% 建立了 GIS^[2]。燃气、热力和电信 GIS 尚处于开始发展阶段, 但它们起点较高, 有较多的项目经验可供借鉴, 已建成的 GIS 接近国外先进水平。

2. 基础平台研究

目前在管网 GIS 上没有独立的运行平台, 都是在通用平台的基础上进行行业应用。1969 年, Esri 和 Intergraph 公司成立, 开始通用地理信息系统平台的研制, Esri 公司在 1981 年发布 ArcInfo 平台, Intergraph 公司在 1989 年发布 MGE 平台, 但这些平台对硬件要求很高, 限制了进一步使用。1986 年, MapInfo 公司成功进行桌面地理信息系统平台的研制, 1988 年, SmallWorld 公司开始专力于电力地理信息系统的研发。Miner & Miner 公司从 1986 年开始, 专心致力于建设城市公用设施 GIS, 但是它一直在 Esri 的 ArcInfo 和 ArcGIS 平台上进行二次开发, 没有自己独立知识产权的底层平台, 主要研究基础平台软件和具体行业规则的结合, 以满足具体管理部门的需求。

国内也没有从底层开发的直接支持城市管网数据模型的专用 GIS 平台软件, 同样是在通用 GIS 平台软件上进行行业应用。但是国内 GIS 平台在平台稳定性、数据存储、多用户数据访问、底层数据库互联等方面和国外平台存在很大差距^[3]。城市管网仅仅是 GIS 平台的一个重要的应用领域, 迄今为止, 国内还没有一家专门研究城市管网 GIS 的大中型公司或科研机构。GIS 开发者不了解管网具体行业规则、行业模型和运行规程, 管网管理者不了解 GIS 的概念和思想。导致已有的管网 GIS 退化为图资资料管理系统, 与管网具体管理和实时运行没有紧密集成, 决策支持功能很弱。

3. 数据模型研究

国内外均将城市管网高度抽象, 抽象为数学基础上的平面强化的点线结构, 忽略城市管网本身的规则和模型, 将管网作为地理网络的一种, 用线性网络进行管网

的空间分析。MapInfo 等非空间拓扑结构在进行空间分析特别是网络分析时,需要解构原数据,用数据结构本身的算法构建分析用的数据,分析结果还原为实际的管网数据本身。ArcInfo 等带有空间拓扑关系的管网数据用路径系统或者几何网络、逻辑网络进行管网的空分析。高度抽象的平面强化模型揭示了管网数据的最本质的图形关系,模型本身没有考虑管网的连接规则、拓扑规则和行业运行规则,仅仅将管网作为点线组成的二元网络,在具体的行业应用时,无法在统一框架内实现 GIS 管网模型和行业规则模型的无缝连接。

数据模型研究的重点放在如何高效、快速地进行线性网络的路径分析、空间索引等数学算法上,在理想数据下空间分析的时间复杂度和分析结果的精度均有明显的提高。实际使用的管网数据千差万别,部门管理模式直接影响数据的结构,实际数据解析为理想管网分析数据的过程成为空间分析的瓶颈,这一瓶颈使管网 GIS 可移植性、通用性存在很大问题,更不用说在不同种类管网之间进行数据的统一管理。目前急需提出在管理应用层次上的管网 GIS 数据模型,找出管网管理的共同点,抽象出针对管网数据结构的适应性模型。

4. 数据集成研究

GIS 本身就是图形和属性数据的集成,集成随 GIS 的产生而出现。GIS 如果不和用户的实际业务系统结合,单纯进行资料的管理其实用性不大。目前国内外建成的 GIS 中,或多或少地和用户的业务系统进行了集成,有些部门建成了以 GIS 为核心的综合管理系统,在 GIS 的基础上进行日常事务的管理。

数据集成方面,国内外的研究基本是基于数据库的属性数据的集成,GIS 只管理图形数据,其他所有属性资料、用户资料通过关键字段(标识码)实现内容共享。不同的系统各有自己的数据库,进行数据操作时需要从多个数据库中获取数据,频繁地读取数据库降低了数据操作的效率,特别是在大数据量时,图形数据的传输和属性数据的匹配形成的数据瓶颈是多系统集成亟待解决的问题,有时甚至一个简单的操作都会超过用户的忍耐极限。许多学者提出的基于文件的集成、基于可执行程序的集成、基于动态库的集成等集成方法没有从根本上解决问题。

1.3.2 研究进展

管网 GIS 在国内外取得了许多成功的工程应用,同时诸多学者也认识到管网 GIS 存在的问题,开始研究管网 GIS 的理论与应用,在数据模型、数据集成以及综合调度系统等方面做了一些工作。

城市管网在数据模型上抽象为平面强化的点线二元结构的网络^[4],将复杂的管网网络抽象为简单的点线,从数学上解决了管网的本质问题,为管网的数据存储、查询检索和空间分析的实现奠定了基础。线性网络作为现实存在的地理网络的抽象,必然舍弃管网的本身特点,这使其适用性大打折扣。平面强化的平面图节

点—弧段模型在表达管网网络的多重属性、特征间的几何拓扑关系、特征目标与平面图目标之间的语义关系以及存在大量几何特征重叠的多模式网络上存在明显缺陷,统一的地理网络模型在管网上的应用受到限制。为了适用管理的需要,提出了基于特征的 GIS 模型将地理实体作为地理建模的基本单元,在较高的层次上理解和分析地理实体。具体到管网可以将某一条配电网线作为一个特征,而不是将其分为多个弧段,这不仅符合管理的实际情况,也使查询、分析、制图和网络表达更加方便。

Esri 公司在 Geodatabase 的基础上提出了线性网络的概念,以几何网络、逻辑网络来表述城市管网,几何网络表征管网的几何形态,逻辑网络表征管网的内在关系,用于空间分析,并将网络划分为简单网络和复杂网络,将节点分为简单节点和复杂节点。复杂网络解决“细碎化”问题,在这一点上和基于特征的模型是相似的。复杂节点对应于简单节点和简单边的群,例如配电网中的配电箱和供水网络中的水泵站等。

针对具体管网某方面管理的特点,即空间图形功能要求不高,数据结构相对简单,但多用户并发访问较多的情况,国内提出基于关系数据库存储关键设备点的思想,使用简单的 GIS 功能和数据库功能实现管理需求^[5]。这种模型思想仅仅针对有限的特定应用,通用性差,和 GIS 发展的趋势似乎是“相悖”的。

城市管网管理是多个系统协同工作的集成系统,已建成的管网 GIS 也或多或少进行了多系统的集成。在数据格式转换、数据互操作和直接数据访问的基础上,发展了多源数据无缝集成、通用空间数据引擎等集成模式,在已有数据源基础上构造两级或多级数据访问引擎,实现数据访问的数据格式无关、数据结构无关、异构数据库访问和位置无关等特性。从而解决不同数据资源并合理利用,屏蔽数据外在因素差异的影响,最大限度地提高数据的可用性。

将 GIS 应用于城市管网,如果不与管网管理的实时监控系统结合,为规划决策、实时事故报警和抢修提供技术支持,其实用性和应用前景必然受到影响。GIS 越来越多地作为城市管网综合调度系统的基础平台系统而存在,作为整个管网管理诸多系统的数据流中心,GIS 逐步成为管网管理的综合决策支持平台和日常运行办公自动化平台。

1.3.3 存在的问题

在已建成的城市地理信息系统工程中,管网 GIS 占了相当的比重,也取得了明显的效益,遗憾的是迄今为止专门针对管网的 GIS 基础平台和理论研究几乎是空白。目前的情况是,管网 GIS 仅仅是基础 GIS 平台的一个行业应用,以现有的 GIS 数据模型解决城市管网特殊应用,没有考虑管网运行的行业特征,存在一系列的问题。以通用模型解决特殊应用,似乎是以不变应万变的策略,但是如果不在底