

区域水污染控制系统规划辅助模型研究

龙 瀛¹, 贾海峰², 何 永¹

(1. 北京市城市规划设计研究院规划研究室, 北京 100045; 2. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要:在对区域水污染控制系统 CAP 模型进行需求分析的基础上, 采用 UML 技术进行 CAP 模型的结构设计, 提出了采用 Geodatabase 作为 CAP 模型的开发模式。以佛山市水污染控制系统规划为例, 介绍了采用 CAP 模型进行辅助规划的具体步骤。实践证明, 采用 CAP 模型辅助区域水污染控制系统规划, 可以提高规划效率及数据完整性, 是其便捷的 CAP 解决方案。

关 键 词: 区域水污染; 控制系统; 计算机辅助规划; 模型; Geodatabase; 佛山市
中图分类号: X522 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6791(2006)01-0122-07

区域水污染控制系统作为一个复杂的系统, 是改善和保障区域水环境质量的重要因素。而区域水污染控制系统规划, 是对这一系统在优化的基础上给出实施方案, 涉及到大量的空间和属性数据^[1]。随着计算机技术的发展, 其在环境规划中已经有了一定的应用, 出现了计算机规划辅助(Computer Aided Planning, CAP)系统的概念, 主要用于实现规划数据的处理、查询等辅助功能。一般 CAP 系统针对性较强, 不具有较好的移植性。而计算机辅助规划模型(以下简称为 CAP 模型), 既可以直接用于规划又可以用于 CAP 系统的开发, 同一套 CAP 模型一般适合于不同规划项目的功能需求, 具有更好的普适性。本文设计和开发了区域水污染控制系统规划的 CAP 模型, 并在佛山市水污染控制系统规划中得以应用, 取得了预期的效果。

1 CAP 模型需求分析

1.1 区域水污染控制系统结构

区域水污染控制系统从结构上可以分为子系统、模块和单元三个层次, 其中第一层次主要分为污染物发生子系统、污水收集输送子系统、污水处理子系统和接纳子系统四个部分。系统结构及各模块之间的相互关系如图 1 所示。

其中部分第二层次——模块的基本元素相对较为复杂, 可以分解为第三层次——单元, 如污水处理厂模块还可以分解为格栅、曝气池和沉淀池等诸多单元。对于区域层次的水污染控制系统的规划, 主要考虑模块层次, 对于单元层次, 在这一层次的规划中一般不予考虑^[2, 3]。

1.2 CAP 模型功能需求

区域水污染控制系统规划, 主要包括资料预处理、水环境解析、污染源解析、基本服务区解析、方案生成、方案评价和方案推荐几个部分的工作, 各步工作一般都涉及到空间、属性数据的管理和分析等工作: 如基本服务区解析部分, 主要包括基本服务区的空间划分、水量计算和污染负荷计算等内容。

2 CAP 模型设计

区域水污染控制系统 CAP 模型的整体结构如图 2 所示, 主要包括要素模型和规则模型。规则模型主要任务是用于驱动要素模型对象的建立和维护, 可以最大程度减少要素模型应用于规划时的数据维护工作量, 提高

收稿日期: 2004-08-03; 修订日期: 2004-10-10

基金项目: 佛山市水资源保护与水污染控制规划资助项目 (2003660)

作者简介: 龙 瀛(1980-), 男, 吉林四平人, 北京市城市规划设计研究院工程师, 主要从事城市生态环境规划、规划支持系统以及水集成系统规划等研究。E-mail: longying02@mails.tsinghua.edu.cn

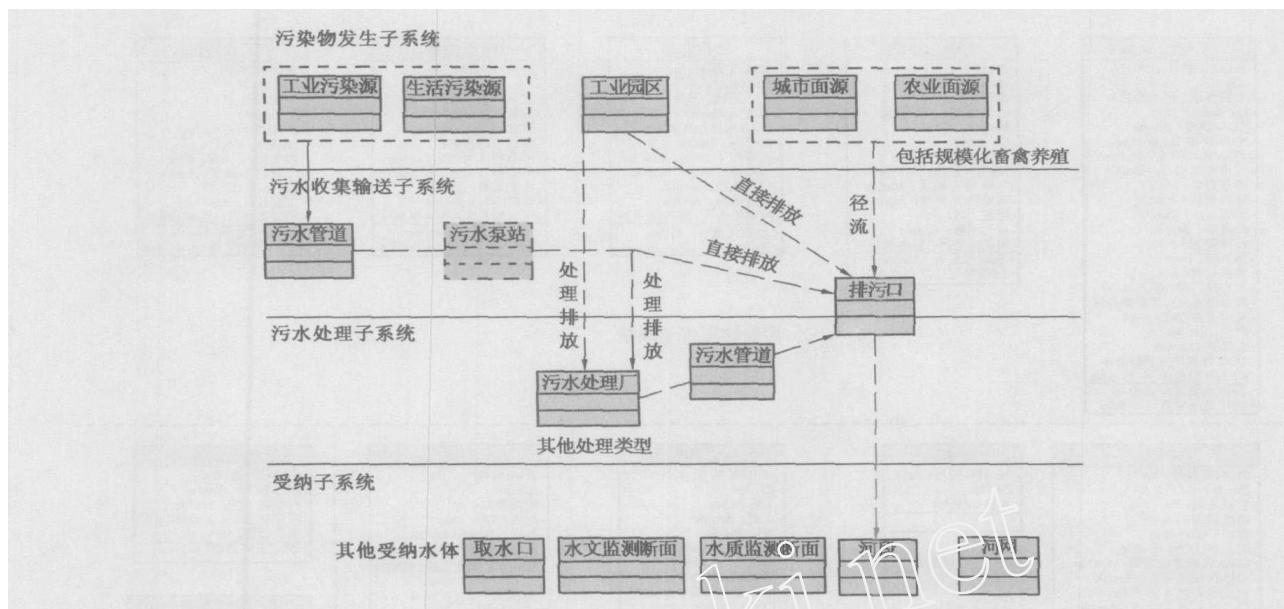


图 1 区域水污染控制系统示意图

Fig. 1 Framework of regional water pollution control system

数据的管理效率和完整性。鉴于 UML (Unified Modeling Language, 统一建模语言) 是软件工程上的通用建模语言, 笔者采用 UML 对 CAP 模型的不同模块进行设计, 以便于 CAP 模型的开发。

2.1 要素模型设计

要素模型的类图如图 3 所示, 主要考虑了区域水污染控制系统中模块层次的基本要素。其中的规划方案类用于组织区域水污染控制系统的各个要素, 以便于进行规划方案的生成、评价和优选等工作。

2.2 域模型设计

域模型定义了各要素模型属性字段的取值范围, 它分为数值域模型和字符域模型两种类型。可以定义每个要素模型的属性字段对应某一个域模型的对象, 以限制该成员变量的取值范围。采用 UML 进行域模型设计的类形式如图 4 所示。

2.3 关系模型设计

关系模型分为简单关系和复合关系: 如果要素模型对象 A 和要素模型对象 B 之间是简单关系, 对象 A 从数据库中被删除后, 对象 B 继续存在; 而如果是复合关系, 一个对象被删除, 消息传送给相关联的对象, 则其也将被删除。

图 5 中要素模型对象与要素模型对象之间的连线表示要素模型对象之间的关联, 如污水处理厂要素模型和基本服务区要素模型的关联, 表示一个污水处理厂对应至少一个基本服务区, 它们之间是一种简单关系。而河段要素模型和监测断面要素模型的关联, 表示一个河段可以有 0 ~ 一个监测断面, 一个监测断面在一个河段上, 如果删除河段要素模型对象, 则它所对应的监测断面要素模型对象也自动删除。

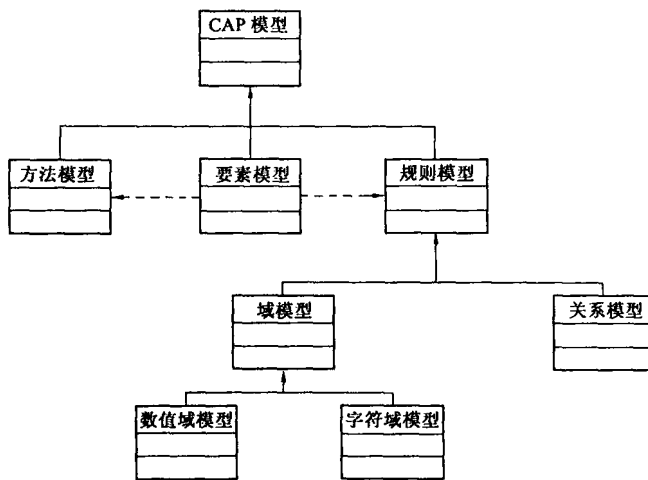


图 2 CAP 模型整体结构

Fig. 2 Main structure of CAP model

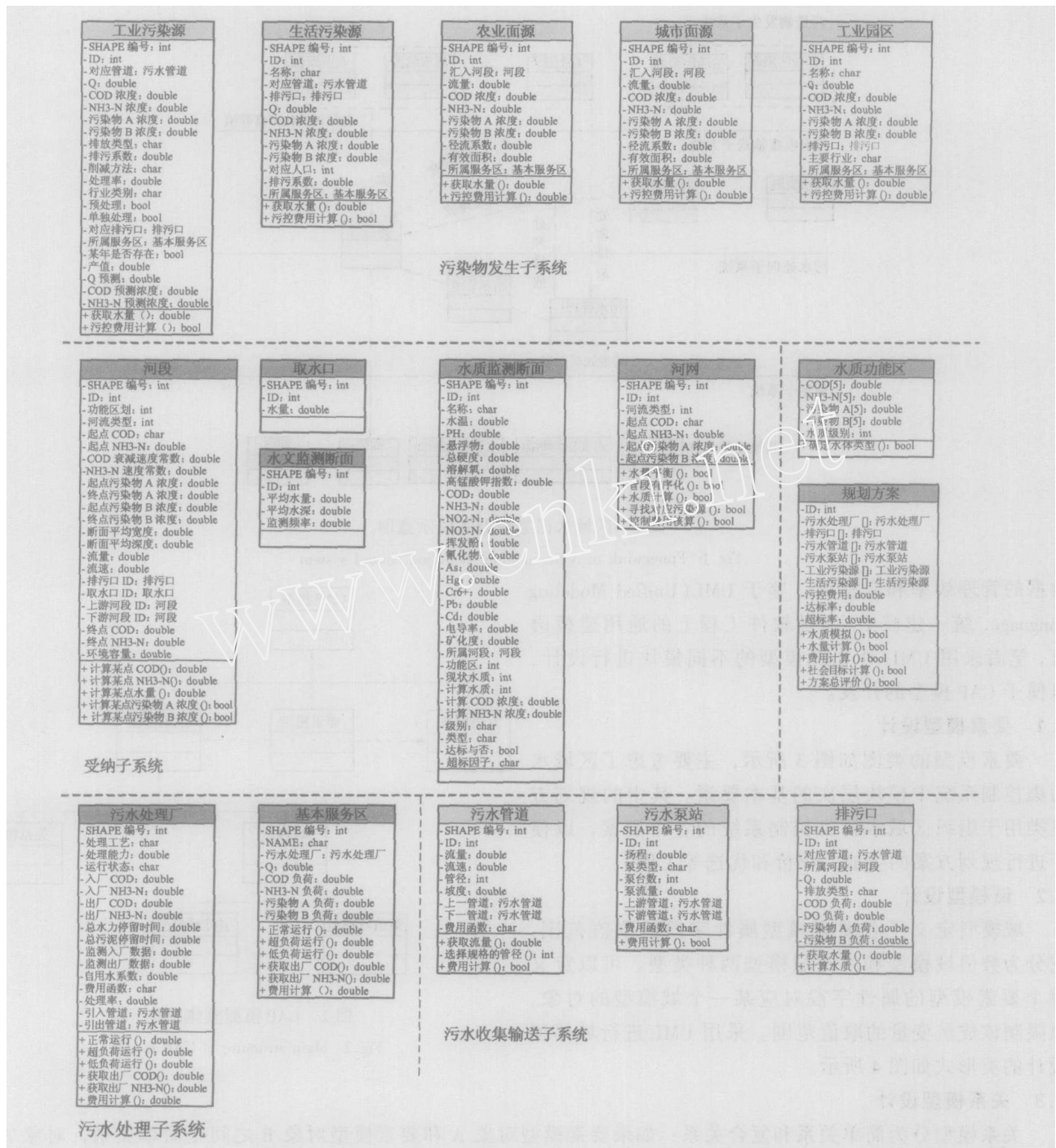


图 3 要素模型设计

Fig. 3 Design of element model

关系模型也以类的形式存在, 其形式如图 5 所示。

2.4 方法模型设计

方法模型主要用于存储对要素模型的相关操作, CAP 模型主要是依靠其方法模型对要素模型进行数据处理, 实现规划辅助的功能, 是 CAP 模型的设计重点。可以采用 UML 对方法模型进行设计, 其类的形式如图 4

所示，每一个方法模型对应于该类的一个对象。表 1 给出部分方法模型的具体设计。

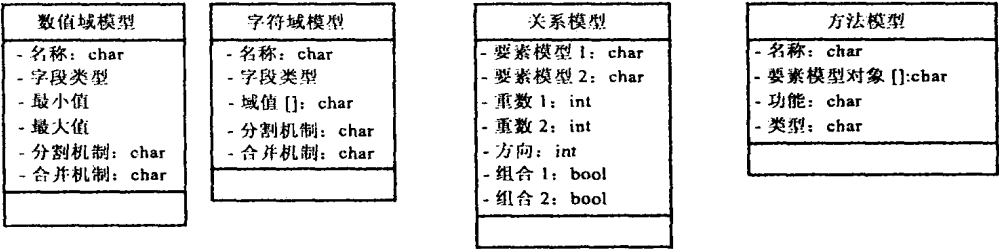


图 4 域模型(左一、左二)、关系模型(左三)及方法模型(右一)的类结构

Fig. 4 Class structures of domain model , relationship model and method model

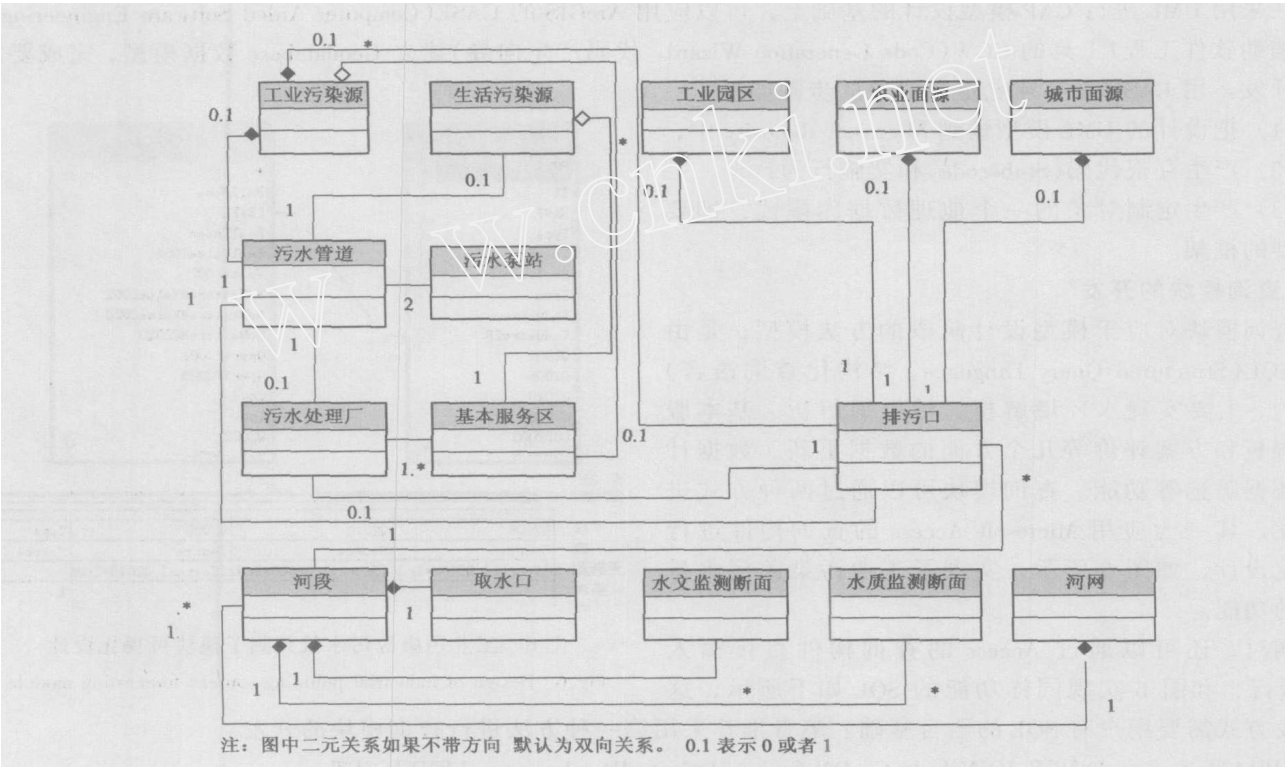


图 5 关系模型结构框图

Fig. 5 Structure framework of relationship model

表 1 方法模型设计

Table 1 Method model design				
序号	名 称	要素模型对象数组	类别	功 能
1	ASS 主要排放行业	工业污染源	生成	根据等标污染负荷，统计主要工业污染行业
2	SEL 预处理的工业污染源	工业污染源	更新	筛选预处理的污染源图层
3	FORE 污染源水量	工业污染源，生活污染源	更新	更新污染源预测水量
4	SEN 基本服务区	工业污染源、生活污染源，污水处理厂	更新	更新基本服务区的水量和负荷属性
5	SEN 河段纳污情况	河流、排放口	更新	统计河段各方案下的纳污情况
6	CAL 基建费用	污水处理厂、污水管道、污水泵站	更新	计算各方案的基建费用
7	CAL 方案水质模拟输入	排放口	生成	根据排放口图层数据，为模拟模型提供输入数据

3 CAP 模型开发

3.1 开发模式选择

CAP 模型可以采用两种模式进行开发,一种是基于 COMGIS(组件式 GIS)技术进行开发,一种是基于 ESRI 的 Geodatabase 数据模型进行开发。基于 Geodatabase 开发 CAP 模型,可以实现更为强大的功能,但是要依赖于 ESRI 的 ArcGIS 平台和微软的 Access 数据库或 SQL Server 数据库(本文选用 Access 数据库)^[4]。这种开发方式主要包括两大模块的开发工作,其一为包括要素模型、域模型和关系模型的要素模块的开发,其二为基于 Access 的查询模块的开发。

3.2 要素模块的开发

在采用 UML 进行 CAP 模型设计的基础上,可以应用 ArcGIS 的 CASE(Computer Aided Software Engineering, 计算机辅助软件工程)工具的 CGW(Code Generation Wizard, 代码产生向导)建立 Geodatabase 数据模型,完成要素模块的开发。用 CASE 工具建立定制对象的步骤如下^[5]:

- (1) 把设计的 UML 模型输到 Microsoft Repository 中;
- (2) 产生存根代码(Stub-code)和实施行为;
- (3) 产生定制对象的一个地理数据库模式,即要素模型的框架。

3.3 查询模块的开发

查询模块对应于模型设计阶段的方法模型,是由多个 SQL(Structured Query Language, 结构化查询语言)构成的,主要实现水环境解析、污染源解析、基本服务区解析和方案评价等几个方面的数据更新、数据计算和数据筛选等功能。查询模块可以通过两种方式进行开发,其一为应用 Microsoft Access 的查询构件进行可视化设计,如图 6 所示,实现了工业污染源污水量预测的功能。

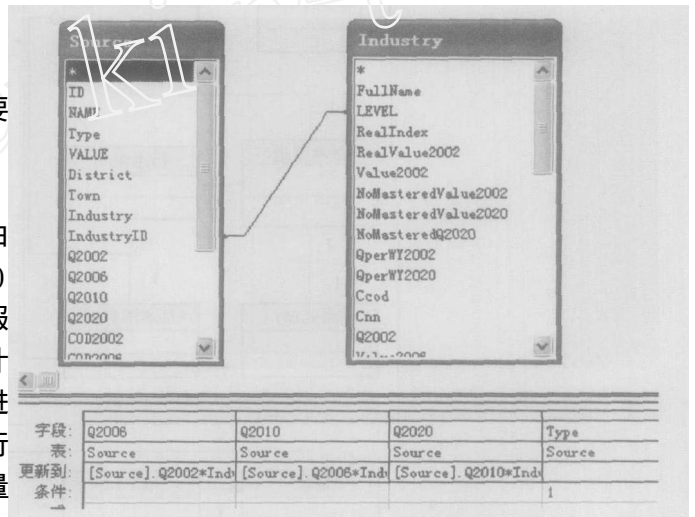


图 6 工业污染源污水量预测子模块可视化设计

Fig. 6 Design of industrial polluting sources forecasting module

同时,还可以通过 Access 的查询构件直接输入 SQL 进行,和图 6 实现同样功能的 SQL 如下所示,这种开发方式需要用户有 SQL 的语言基础。笔者推荐采用第一种方法进行查询模块的开发。

```
UPDATE Source INNER JOIN Industry ON Source. IndustryID = Industry. LEVEL SET
Source. Q2006 = [Source]. Q2002 * Industry. [r02 - 06] ^4 * (1 + Industry. [b02 - 06]) ^4,
Source. Q2010 = [Source]. Q2006 * Industry. [r07 - 10] ^4 * (1 + Industry. [b07 - 10]) ^4,
Source. Q2020 = [Source]. Q2010 * Industry. [r11 - 20] ^10 * (1 + Industry. [b11 - 20]) ^10
WHERE ( ( (Source. Type) = 1));
```

3.4 模型特点

采用 Geodatabase 这种数据模型开发的区域水污染控制系统规划 CAP 模型具有如下特点:

- (1) 便于规划数据管理 所有空间数据和属性数据都保存于同一个关系数据库中,提高规划数据的集成度;
- (2) 易于操作 只需要按照 CAP 模型要素模块的指定格式导入规划相关数据,就可利用 CAP 模型的查询模块对原始数据进行处理并获得目标数据;
- (3) 便于与其他平台进行数据交换 利用 ArcGIS 强大的空间数据输入输出功能,以及 Microsoft Access 数据

库的数据格式转换功能，可以充分利用各种格式的原始数据，同时还可将规划成果导出到其他平台进行后续处理；

(4) 提高数据完整性。通过建立模型之间的关系模型以及模型的属性域模型, 可以提高系统的自动维护能力, 提高规划效率, 降低区域水污染控制数据库维护的工作量。

4 CAP 模型应用

在“佛山市水资源保护与水污染控制规划”课题的研究中,为了配合规划工作的开展,笔者采用 UML 设计了 CAP 模型,并采用 Geodatabase 模式进行了 CAP 模型要素模块的开发,利用 Microsoft Access 的查询构件进行查询模块的设计,其实体是空间图层的框架和配套的查询系统。在应用过程中,主要是根据规划内容,利用查询模块和 ArcGIS 的编辑、空间分析功能,完善 CAP 要素模块中要素模型的数据,并利用域模型和关系模型对数据有效性进行验证,以保证数据质量。

具体的辅助规划步骤为：

(1) 数据标准化 对于大部分规划相关的基础资料, 需要利用 CAP 模型的查询模块对部分数据进行标准化, 以完善部分要素模块的数据;

(2) 水环境解析 利用 CAP 模型的查询模块, 根据各监测断面的水质监测数据, 以及监测断面的“所属河流”属性, 进行河流现状水环境质量评价; 同时利用 ArcGIS 平台的编辑功能实现河网的概化工作, 生成要素模型中的河流图层, 以建立取水口、排放口与河流的对应关系, 便于后续水质模拟工作的开展;

(3) 污染源解析 包括污染源评价、筛选和预测的工作, 主要利用 CAP 模型的查询模块, 按照相应的评价、筛选标准, 直接对污染源的现状数据进行评价, 统计主要的纳污河流、污染行业以及污染物, 并筛选进入市政污水处理厂前需要预处理的工业污染源和需要独立排放的工业污染源。对于污染源预测的工作, 在 CAP 模型的查询模块中给出供选择的几种污染源预测方式, 优选出一种预测方式完成污染源的预测工作;

(4) 基本服务区解析 利用 ArcGIS 的空间分析功能, 根据佛山市的地形地貌、行政区划以及河网分布, 划分污水处理厂的基本服务区, 作为构成污水处理厂服务区的基本要素。利用污染源与基本服务区的从属关系, 并结合 CAP 模型的查询模块, 计算基本服务区各阶段的污水量及污染物负荷;

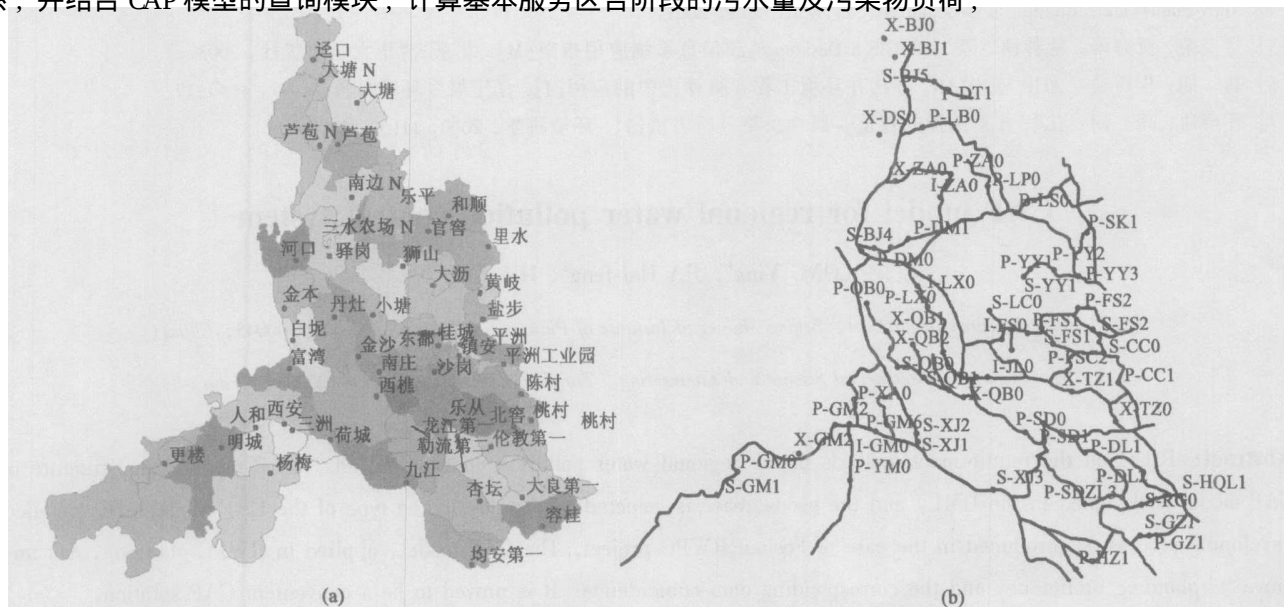


图7 规划方案4的污水处理厂服务区分布图(a)及其排放口分布图(b)

Fig. 7 WWTP service units and their dischargers of scenarios 4

(5) 方案生成 利用 ArcGIS 的编辑和空间分析功能, 确定基于基本服务区的各污水处理厂服务区, 并确定污水处理厂的地址、排放口位置、处理程度, 以及服务区间必要的污水转输管道, 如有必要根据污水处理厂的高程设计污水提升泵站。最后结合 CAP 模型的查询模块, 完善每个规划方案的污水处理厂、服务区间污水转输管道、污水提升泵站和排放口等要素图层的数据。本规划生成了五个规划方案, 其中方案 4 的污水处理厂服务区分布及排放口分布如图 7 所示;

(6) 辅助水质模拟 根据河流现状评价和污染源现状评价的结果, 确定要进行模拟的水质因子, 本规划最终选取的水质指标为 COD 和氨氮。利用 CAP 模型的查询模块, 为水质模型提供输入数据, 对各规划方案进行水质模拟。在水质模型的输出结果基础上, 利用查询模块完善监测断面图层, 统计监测断面的达标率;

(7) 方案计算 水污染控制系统方案的选择属于多目标决策问题, 其规划方案的选择涉及到经济、环境和管理等多方面问题^[6, 7]; 利用查询模块中的费用函数, 计算各方案的相应建设费用和运行费用, 实现方案的经济指标评价; 同时利用 ArcGIS 的空间分析功能, 辅以查询模块实现其他指标的评价。最后将各指标评价结果归一化并计算最终方案价值, 最终确定方案 4 为优选方案。

5 结 论

CAP 模型在区域水污染控制系统规划中, 主要起到了规划相关数据的管理和计算, 以及成果表达的功能, 相比一般的计算机辅助规划系统, CAP 模型具有较好的可移植性、可维护性和数据完整性。在佛山市水污染控制系统规划课题中, CAP 模型得以充分应用, 已经被证明在相关方面优于传统的规划辅助平台。在我国现阶段, 区域水环境污染控制工作正在逐步开展, 这种区域水污染控制系统规划的计算机解决方案将有广阔的应用前景, 同时适当改动也将适用于城市水污染控制系统规划。

参考文献:

- [1] 欧志丹, 程声通, 贾海峰. 情景分析法在赣江流域水污染控制规划中的应用[J]. 上海环境科学, 2003, 22(8): 568 - 573.
- [2] 孙慧修. 排水工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996.
- [3] 姚雨霖, 任周宇, 陈忠正, 等. 城市给水排水[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986.
- [4] Andy MacDonald. Building a Geodatabase[M]. ESRI Press, 2001.
- [5] 党安荣, 贾海峰, 易善桢, 等. ArcGIS 8 Desktop 地理信息系统应用指南[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [6] 高 朗, 程声通. AHP 与 SMART 方法在环境工程方案评比中的应用[J]. 辽宁城乡环境科技, 1997, 4(4): 17.
- [7] 程声通, 高 朗. 工程方案选择的权重 - 属性决策分析方法[J]. 环境科学, 2000, 11(5): 24 - 26.

CAP model for regional water pollution control system

LONG Ying¹, JIA Hai-feng², HE Yong¹

(1. Planning Research Department, Beijing Municipal Institute of Planning and Design, Beijing 100045, China;

2. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Based on the requirement analysis of the regional water pollution control (RWPC) CAP model, the structure of CAP model is designed in the UML, and the geodatabase is selected as the developing type of the CAP model. The detailed developing process is introduced in the case of Foshan RWPC project. The CAP model, applied in RWPC planning, can improve its planning proficiency and the corresponding data coincidence. It is proved to be a convenient CAP solution.

Key words: regional water pollution; control system; CAP; model; geodatabase; Foshan city