



中国教师发展基金会教师出版专项基金资助  
国家自然科学基金项目资助 (编号: 40701147)  
北京市自然科学基金项目资助 (编号: 8102014)



# 道路网多尺度空间数据 建模及可视化

王艳慧 著

Multi-Scale Spatial Modelling and  
Visualization for  
Road Network



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn



中国教师发展基金会教师出版专项基金资助

国家自然科学基金项目资助 (编号: 40701147)

北京市自然科学基金项目资助 (编号: 8102014)

# 道路网多尺度空间数据 建模及可视化

◀◀ 王艳慧 著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书重点介绍了道路网多尺度空间数据建模及可视化的关键技术。针对多尺度建模与可视化需求所带来的目标派生问题,系统介绍了道路网多尺度建模的基本原理,设计了道路网多尺度空间数据模型;重点研究了多尺度目标派生中的目标选取、目标简化和目标内连等关键技术问题,并进行了实验验证。本书所介绍的技术方法可推广应用于测绘、国土、资源、环境、交通、城市规划等领域。

本书可供从事对地观测、3S系统集成、地理信息应用、智能交通系统、信息管理等学科领域的研究开发者、管理者使用,也可供高等院校相关专业学生和教师阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

道路网多尺度空间数据建模及可视化 / 王艳慧著

— 北京:中国水利水电出版社,2011.11

ISBN 978-7-5084-9151-6

I. ①道… II. ①王… III. ①道路网—空间测量—数据模型 IV. ①U412.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第233046号

书 名	道路网多尺度空间数据建模及可视化
作 者	王艳慧 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址:www.waterpub.com.cn E-mail:sales@waterpub.com.cn 电话:(010)68367658(发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话:(010)88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 9.25印张 219千字
版 次	2011年11月第1版 2011年11月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	38.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

# 前言



道路是地理框架数据库的重要要素之一，在不同比例尺下抽象为不同的目标，表现出不同的几何形态和空间细节。在使用同一区域多个比例尺模拟道路图时，可充分利用人的空间认知能力，根据道路网目标自身的几何形态相似信息，进行不同比例尺间对应目标或对应区域的大致配准。在不同比例尺道路网表达目标的细节差距过大时，制图专家可根据人脑逐级抽象的空间认知能力，推断目标由已有两个比例尺过渡到中间未知比例尺下时的选取和简化特征，形成目标和细节连续变化的心象认知地图。

随着计算机技术的发展，在数字化环境下，人们将现有道路图数字化，使得同一比例尺下的相邻图幅可自动拼接，任意缩放，并使不同比例尺间目标及其细节的连续显示成为可能。但目前 GIS 软件中存储的各比例尺数据有限，所采用的对已有各比例尺数据切换显示的方法，本质上仍是离散地、跳跃式显示，在比例尺跨度较大时会出现明显的不协调和不连续现象。

当前，我们国家已经初步建立从 1:500 到 1:400 万的国家级、省级、地市级比例尺的道路网框架数据库，但受建库时的技术水平和设备条件的限制，只是存储了有限几个关键比例尺的数据集。而人们在较大区域范围内活动时，通常需要同时使用多个比例尺的道路图，将各比例尺的对应地图目标关联起来，进行路径的设计与优选，以及感兴趣道路网目标的搜寻、定位和显示。这时就需要系统具备未存储比例尺下道路网目标及其表达细节的多尺度查询和显示功能。而未存储比例尺下道路网目标及其表达细节的获取实际上就是从已有比例尺目标导出未知比例尺目标的目标派生问题。

因此，为了满足交通、规划、旅游等行业从宏观、中观到微观的道路网多尺度空间数据查询、显示等应用的需要，模拟人类对道路网不同比例尺下表达目标及其细节目视配准、细节连续抽象的认知和空间推理能力，在已存

储目标集无法满足需求的前提下，需要考虑如何获取未存储比例尺下的目标。该问题本质上就是利用数据库中已存储比例尺下的表达目标，生成未存储比例尺下表达目标的目标派生问题。

在此背景下，本书针对如何从已有比例尺目标派生未知比例尺目标的目标派生问题，设计了顾及多尺度表达目标之间联系的道路网多尺度数据模型，全面系统的探讨了基于综合权重的内插目标客观选取方法，初步解决了开方根法内插目标数量选取、基于综合权重值的目标结构选取的关键技术，发展了基于自然法则的内插目标客观简化方法，对多尺度内插目标与源目标之间、内插目标之间的几何抽象和细节表达变化进行了归纳和提炼；并提出了基于层次语义匹配规则的道路网多尺度表达目标的内连方法，设计和描述了目标内连的匹配规则和实现算法，力图实现道路网多尺度表达目标的准确匹配；并设计了原型系统对上述研究的关键技术进行了初步验证。

全书共分8章，第1章论述了道路网多尺度表达目标派生研究的必要性，指出了道路网多尺度建模及目标派生所要解决的基本问题。第2章提出了顾及多尺度内连性的道路网多尺度数据模型的原则，引入多尺度层次抽象思想并对传统的模型元素（实体及其间联系）进行了适当的扩展，采用扩展E-R建模方法实现了道路网多尺度扩展E-R模型的概念设计。第3章指出现有制图综合派生法和量化统计派生法各自的特点和不足，提出利用已有一大一小两个比例尺下表达目标携带的关联信息，内插派生中间比例尺下表达目标的基本思想，详细论述了内插法派生中间级比例尺下道路网目标的总体框架和技术流程。第4章设计了基于综合权重的目标选取内插函数，旨在数量选取指标的约束下，依据综合权重大小顺次排序选取目标，保证目标选取方法和结果的客观合理。第5章针对内插目标的简化展开研究，定义了基于自然法则最小模糊圆直径的道路目标简化规则，对目标简化过程中内插目标与源目标、内插目标之间的几何类型、细节抽象、层次和映射关系的变化进行了归纳和提炼。第6章针对道路网多尺度表达目标间建立对应链接关系的实际需求，提出基于层次语义匹配规则的内连解决方法，详细剖析了各内连方法的适用条件和技术策略。第7章对前文研究的关键技术进行了试验验证。第8章对本书的研究工作进行了总结和展望。

由于水平有限和时间仓促，书中定有一些疏漏和不足之处，敬希读者批评指正。

**王艳慧**

2011年7月20日

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 道路网的多尺度抽象与表达</b> .....	1
1.1 模拟地图环境下道路网的抽象与表达 .....	1
1.2 道路网的数字化抽象与表达 .....	7
1.3 道路网要素多尺度表达的必要性.....	13
1.4 道路网多尺度表达的含义与特征.....	15
1.5 道路网表达目标的派生问题.....	17
1.6 本书研究内容及结构安排.....	25
<b>第 2 章 道路网多尺度扩展 E-R 模型分析与设计</b> .....	29
2.1 地理要素多尺度表达研究进展与评述.....	29
2.2 道路网多尺度数据模型的建模要求.....	35
2.3 道路网多尺度数据模型中的基本实体和关系.....	40
2.4 模型中的扩展实体.....	44
2.5 模型中的扩展关系.....	48
2.6 道路网多尺度扩展 E-R 模型中的实体和关系 .....	56
2.7 本章小结.....	60
<b>第 3 章 道路网表达目标派生的内插研究</b> .....	61
3.1 道路网表达目标派生的相关研究简述.....	61
3.2 道路网表达目标派生的内插方法.....	67
3.3 内插法的综合权重函数.....	71
3.4 内插法派生表达目标的总体框架.....	72
3.5 本章小结.....	75
<b>第 4 章 道路网内插目标的数量和结构选取</b> .....	76
4.1 开方根法数量选取指标的计算.....	76
4.2 道路网目标数量选取的试验结果分析.....	79
4.3 内插目标的结构选取原则.....	82
4.4 结构选取中道路综合权重的计算.....	83
4.5 道路网内插目标的选取.....	86
4.6 本章小结.....	88
<b>第 5 章 基于自然法则的内插目标简化</b> .....	89
5.1 自然法则最小模糊圆直径的取值.....	89

5.2	基于最小模糊圆直径的内插目标简化规则	90
5.3	内插目标的简化分析	91
5.4	内插目标的变化分析	95
5.5	道路网多尺度表达目标间的关系分析	98
5.6	本章小结	102
<b>第6章</b>	<b>基于层次语义匹配规则的道路网多尺度表达目标的内连</b>	<b>103</b>
6.1	道路网多尺度表达目标的内连问题	103
6.2	多尺度内连关系维护的现有方法	104
6.3	基于层次语义匹配信息的内连方法	106
6.4	层次语义匹配规则的定义及形式化描述	111
6.5	基于层次语义匹配规则的内连数据结构与算法设计	114
6.6	本章小结	121
<b>第7章</b>	<b>试验系统</b>	<b>122</b>
7.1	开发环境和工具	122
7.2	功能设计	123
7.3	实例验证	126
7.4	本章小结	129
<b>第8章</b>	<b>结论</b>	<b>130</b>
8.1	主要研究工作	130
8.2	创新点	132
8.3	研究展望	132
<b>参考文献</b>		<b>134</b>
<b>致谢</b>		<b>141</b>



# 第 1 章 道路网的多尺度抽象与表达

分析了道路网纸质地图环境下和数字环境下抽象表达的联系和区别, 针对道路网(也称为路网)多尺度查询和显示对目标及其细节连续表达的需求, 明确提出了由此引发的道路网多尺度建模及目标派生问题。论述了道路网多尺度表达目标派生研究的必要性, 指出了道路网多尺度建模及目标派生所要解决的基本问题, 最后说明了本书的研究内容、研究思路和结构安排。

## 1.1 模拟地图环境下道路网的抽象与表达

传统的纸质模拟地图是根据地图模型, 按一定的数学法则、符号、制图综合原则和比例, 将地理实体和现象的形状、大小、相互位置、基本属性等抽象在二维平面上<sup>[1]</sup>。道路作为连接居民地的重要地理要素, 纵横交错地分布在现实世界中。如图 1.1 所示, 从北京紫竹桥区域 1m 分辨率影像上, 可以看到紫竹桥轮廓及其主要细节特征, 以及与它连通的紫竹院路、西三环北路路段的边线轮廓, 桥面及桥下路段上由隔离带隔开的汽车道和自行车道、横跨道路的人行天桥。



图 1.1 紫竹桥 1m 分辨率下的影像图

当把图 1.1 中道路要素抽象在 1:2000 的地图上时, 首先需选取要表达的实体及其间关系: 紫竹桥、紫竹院路、西三环北路路段及其路面上的隔离带、人行天桥等, 这些道路



实体间的连通关系也要表示出来；然后在地图平面上建立直角坐标系  $(X, Y)$ ，按  $1:2000$  的比例，选用横轴等角切圆柱投影进行投影变换，导出地图上目标点的坐标  $(x, y)$  跟地面对应点的地理坐标  $(B, L)$  之间的函数关系，把选取出的每一道路实体的位置标识点、宽度标识点、长度标识点、走向控制点等特征点的地理坐标  $(B, L)$  换算为地图上的平面坐标  $(x, y)$ ；再将这些特征点按其地图平面坐标缩小展绘在地图图面的相应位置处；最后用线划将具有拓扑连通关系的点连起来。这样，能够表达出宽度信息的道路实体图面上就用双线展绘出来，否则就用单线展绘。

经过上述步骤，紫竹桥及其相关路段展绘在  $1:2000$  地图上的情况如图 1.2 所示。可以看到， $1:2000$  地图上抽象出以下道路要素表达目标及关系：紫竹桥的轮廓、用双线表示的与紫竹桥连通的小路、紫竹院路和西三环北路路段的边线轮廓，以及路段内的隔离带、横跨路段的人行天桥等。

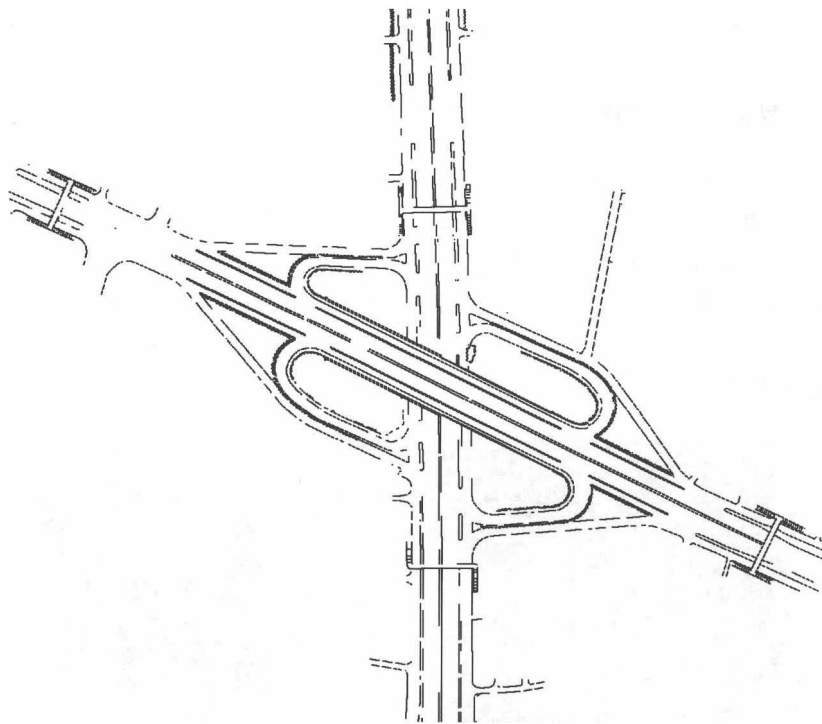


图 1.2 紫竹桥在  $1:2000$  地形图上的表达

上面这个制图过程，即从现实世界的道路实体到地图世界道路目标的抽象过程，要经历综合选取、投影转换、符号表示环节。

### 1.1.1 道路要素的综合选取

#### 1.1.1.1 道路要素的抽象选取原则

道路要素的抽象一般在基本比例尺（如  $1:2000$ 、 $1:1$  万、 $1:5$  万、 $1:25$  万）序列下进行。在这个过程中，要将地球曲面上纵横交错、高低起伏的道路网抽象为地图平面上的目标，不论区域大小都需要缩小才能表示在有限的地图图面上；而且当地图比例尺缩小

后,受地图幅面的限制,较大比例尺地图中的道路网(可简称路网)要素由于地图空间有限而不能完全表现在较小比例尺地图上,且图形中的某些细部结构将无法清晰地表现出来。因此,解决矛盾的办法就是根据适当的综合原则,在不同比例尺地图上选取不同的道路要素进行概括,舍弃一些次要的道路网要素并对其余的要素进行图形化简,以突出重要道路网要素的主要特征。

在选择哪些道路网要素应该在较小比例尺下继续表达的通用综合原则是:道路等级越高,越应该表达;空间分布越重要,越应该表达。考虑到道路网要素是呈结构状分布的,公路一般分为高速路、国道、省道、一般公路等,城市街道分为主干道、次干道、快速道等,分类分级明确;某一路段的空间分布重要性可用它与其他道路组成的道路网眼面积大小来衡量,面积大,说明该路段周围的其他道路较少,它的重要性自然就体现出来了。因此可根据道路网眼面积和道路等级确定要素的取舍,并删除路段几何表达上多余的点达到简化的目的。

### 1.1.1.2 不同比例尺下道路要素的综合抽象结果

由上可以看出,在不同比例尺下,当把同一道路实体在不同比例尺下抽象时,表达目标的变化并不是简单的图形尺寸缩放,而是伴随着目标数量和表达细节的增减。较大比例尺下,每个道路目标要占用较大的地图空间,地图上能表达的道路网区域范围较小,地图上能表现的路网要素的细节越多;较小比例尺下,道路表达目标占用的地图空间较小,地图幅面能表达的区域范围较大,地图中表现的道路网要素的细节越少。从而道路网要素在不同比例尺地图上抽象为不同的地图目标。

如将图 1.1 中的紫竹桥在不同比例尺下抽象,结果如图 1.3 所示,在 1:2000 下抽象为由若干弧段和节点构成的复杂目标,桥面的主要形态、路段内隔离带、汽车道、自行车道的细节、与桥连通的小路都能表达出来;在 1:1 万比例尺下只能表达出立交桥的轮廓,路段也用轮廓线表示,桥面和路段的细节信息、小路被舍弃;在 1:25 万比例尺下,立交桥抽象为一个点,路段用单线表示。从而道路不同比例尺下的抽象目标呈现出不同的几何形态和细节。

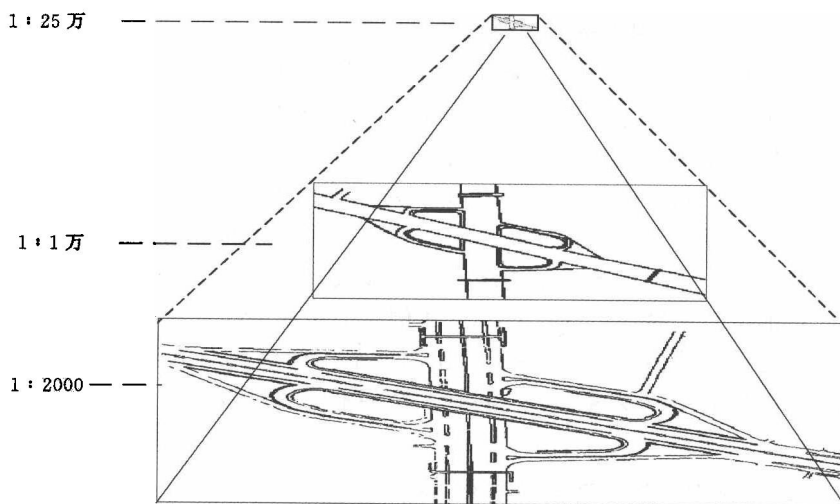


图 1.3 紫竹桥 1:2000、1:1 万、1:25 万比例尺下的抽象表达目标

## 1.1.2 道路要素的投影变换

要把地球表面上的道路实体映射在有限的地图平面上,并在地图图面上准确反映道路实体位置、属性、实体间联系的信息,必须经过投影变换的处理。

### 1.1.2.1 投影变换原理

所谓投影变换,是通过把地球曲面上的经纬网地理坐标转换为地图平面直角坐标或平面极坐标的地图投影方法来实现的,也就是建立地球球面与地图平面之间点与点间一一对应的函数关系式<sup>[3]</sup>。有了该函数关系式,即可按一定制图需要,将一定间隔的经纬网交点的平面直角坐标计算出来,并展成经纬网,构成新编地图的控制骨架。采用不同的投影方法,可以得出不同的控制骨架,即不同的经纬网格。

实际上,地图投影只能使平面和球面之间保持一种对应的函数关系,经过投影后并不能保持平面与球面之间在长度(距离)、角度(形状)、面积等方面完全不变。只能根据具体用图目的、表现区域等,在长度、角度、面积几种中选择一种,并令其不变形,或者虽有几种变形,但变形值相对不至于过大而已。因此,对同一区域选用不同的投影会产生不同的变形。

### 1.1.2.2 不同比例尺下路网要素的投影变换

对于道路,由于其通常起到导行作用,因此常要求方向正确而选用等角投影。在基本比例尺地形图序列(1:500~1:100万)下,选用横轴等角切圆柱投影(高斯-克吕格投影),在1:100万比例尺下选用等角割圆锥投影。由于投影的不同,使得各条纬线(或经线)变形不同,其最大长度变形分别达到0.14%和0.03%<sup>[3]</sup>。

这样,同一道路实体不同比例尺下的抽象表达目标可能会因投影变换方式的不同产生不同的变形,从而导致几何方位上的差异。

## 1.1.3 道路要素的符号表达

对于同一道路实体在不同比例尺、不同类型地图上的抽象表达目标来讲,其图面上的符号表示并不相同。

### 1.1.3.1 不同比例尺地形图上道路要素的符号表达

在不同比例尺地形图上,不同功能等级的道路分别用规定的单线或双线图形符号以及惯用的记号(标记、颜色、色调、图案等)等图式符号加以表示。较大比例尺地图上的道路用双线表示,较小比例尺地图上的道路用单线表示。

同一比例尺下,不同类型的道路的表达符号也不相同。如较大比例尺下,公路以不同宽窄、粗细的双线表示,并配以色彩和说明注记,表明路面的质量和宽度;其他道路(如大车道、乡路及小路)在地形图上常用细实线或虚线表示。

如图1.3中的紫竹院路段,在1:2000比例尺下用复杂的双线要素表示,路段内部的隔离带、人行道也以双线表示;在1:1万比例尺下用简单的双线要素表示;在1:25万比例尺下用一个简单的单线要素表示。同时,这些不同的道路表达符号也反映出不同比例尺地形图上不同类型道路的表达详细程度不同。

### 1.1.3.2 不同类型地图上道路要素的符号表达

不同类型的地图上,道路表达目标的标记符号的颜色和线型不同。地形图上道路要素

的符号表达颜色一般为黑色，若表达为双线，其间一般不会填充颜色；而专题地图则不同，如图 1.4 所示，1:5 万比例尺道路专题交通图上的公路常用双线套红底色或套黄底色表示，而 1:25 万比例尺道路专题地图上分别用黑色和红色的较粗单线表示，并以粗细表示路段的数量和类型差异。

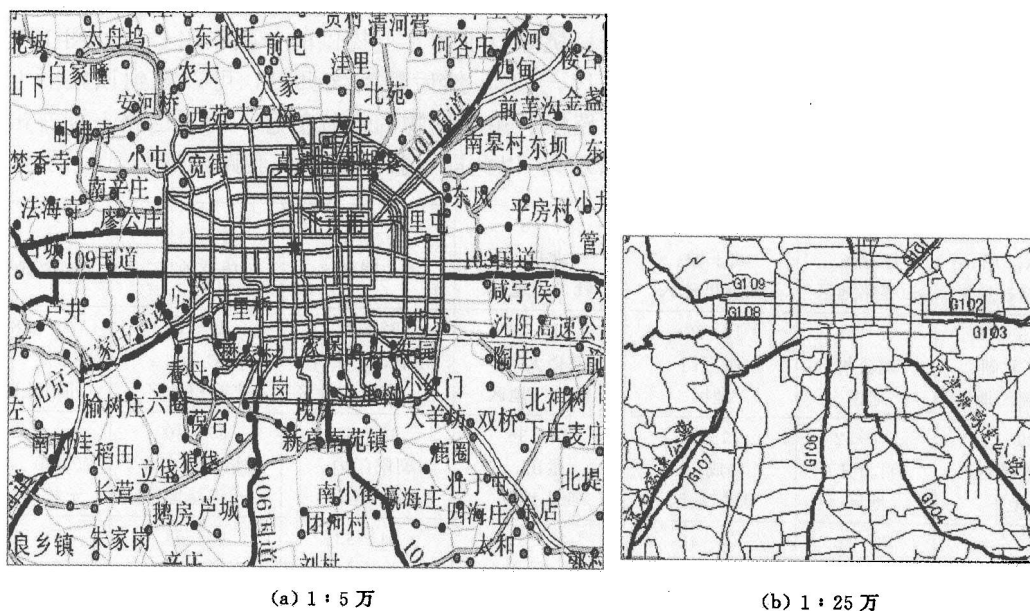


图 1.4 北京部分地区 1:5 万和 1:25 万比例尺下道路专题要素的表示符号

此外，不同类型的地图上，符号标记内容也不相同。如一般地形图上道路只注明路名及其技术等级；而专题地图如公路交通图，作为专门给驾驶汽车者使用的地图或地图册，图上以非常醒目的线状与个体符号表示高速公路、国道、省道、其他等级的道路、各级公路的编号、各地段距离、高速公路出入口、立交桥，以及加油站、修车点、休息点、收费点、饭店等附属设施。

通过上述综合选取、投影变换、符号表达等方面的处理，呈现在用户眼前的地图始终是清晰的，并呈现出层次性的特征。这也符合了人类的认知和推理习惯，正如 Muller 所言，人类的推理是以一种有序的方式对思维对象进行各种层次的抽象，以便使自己既看清了细节，又不被枝节问题扰乱了主干<sup>[2]</sup>。

#### 1.1.4 多比例尺纸质道路地图的使用及存在的不足

在进行从宏观规划到微观分析的空间决策时，多比例尺道路地图具有很多用途，其中之一就是用多比例尺道路交通地图进行行驶路线的显示和引导。如从外省市驾车进入北京时，除了要配备较小比例尺的全国交通地图手册外，还要配备沿途各城市范围内的司机导行地图册，以及市内较详细的街道网地图。

如 2002 年版本的《中国交通驾驶员实用地图册》采用 32 开本，共有全国地图（1:100 万）4 幅、省级地图（1:25 万）34 幅、城市地图（1:8 万）92 幅，各图幅尽可能保持地域联系；为便于查找相邻省区，图沿处有盾状邻图页码。高速公路和国道、省道注明了

县级以上行政中心之间或与二级公路交叉点间的里程，以方便读者查询。

当司机依《中国交通驾驶员实用地图册》上提供的信息选择合适的国道或高速公路进入北京时，翻开《北京司机导行手册》，看到北京市区按地理方位被分为 84 个区 42 幅地图，司机可以从首页的分幅索引表（图 1.5）上查找目的地所在的分幅索引号，然后再翻到该索引号页码，即可查到到达目的地的沿线出入口、交通走向、沿线重要地物等指示信息。如快到紫竹桥时，可以根据《北京司机导行手册》上提供的分幅索引号（如图 1.5 所示）先查到紫竹桥所在的索引区页码（17—18），然后翻到该页码，可以看到该幅图上不仅标明了紫竹桥的详细结构形态和周围路段、主要地物的方位信息，而且道路上标有出入口、通行方向的指示箭头（如图 1.6 所示），以此即可找到相应行驶路线通行到目的地。

1—2 六郎庄、 北坞村地区	3—4 海淀路、 知春路地区	5—6 北土城、 知春里地区	7—8 北辰、 牡丹园地区	9—10 樱花园地区	11—12 望京地区	13—14 酒仙桥地区
15—16 昆明湖、 蓝靛厂地区	17—18 魏公村 地区	19—20 西直门 地区	21—22 鼓楼大街、 德胜门地区	23—24 东直门、和平 里、安定门地区	25—26 东直门外、 亮马桥地区	27—28 麦子店、酒 仙桥地区
29—30 五棵松 地区	31—32 百万庄 地区	33—34 阜成门、 月坛地区	35—36 景山、 西山地区	37—38 朝阳门内、 东四地区	39—40 团结湖、工体、 光华路地区	41—42 农展馆、苇 子坑地区
43—44 石景山 地区	45—46 公主坟、莲 花池地区	47—48 广安门、西便 门、天宁寺地区	49—50 天安门、前门、 宣武门地区	51—52 崇文门 地区	53—54 广渠门、双 井地区	55—56 百子湾、大 郊亭地区
57—58 丰台地区	59—60 六里桥地区	61—62 白子坊、菜 户营地区	63—64 永定门 地区	65—66 方庄、刘家窑 地区	67—68 潘家园 地区	69—70 北工大 地区
71—72 看丹桥 地区	73—74 丰益桥 地区	75—76 玉泉营 地区	77—78 马家堡 地区	79—80 大红门 地区	81—82 小红门 地区	83—84 十八里店 地区

图 1.5 《北京司机导行手册》分幅索引表

使用多比例尺道路纸质交通地图的好处是：可以借助多比例尺地图册提示的信息，利用人的综合判读能力和主观经验，能较容易判断出相同道路网不同比例尺地图间的对应表达区，找到沿途行车路线、出入道路的拐口，顺利抵达目的地；一目了然，直观简便。

但是使用多比例尺纸质道路地图册的方式由于很大程度上借助于人眼的判读功能，以及分幅存储的限制，使用时存在以下不足：

(1) 查找行驶路线时不方便。不同的路段需要翻阅不同的索引表指示的图幅，沿途需要翻查若干次，费时费力。而且分幅索引表只是对北京地区道路网的分布进行了粗略的划分，在查找抵达目的地的通行路线时，必须对该目的地的大致方位有一定了解，知道它大致在哪个索引区，这样才能快速找到目标。例如若对紫竹桥较陌生，要先在北京市较小比例尺（1:8 万）地图上排查紫竹桥所在的大致区域（魏公村），然后再翻查《北京司机导行手册》索引表，找到紫竹桥所在的图幅索引号，最后才能看到紫竹桥及其附近的通行路线，准备时间较长。

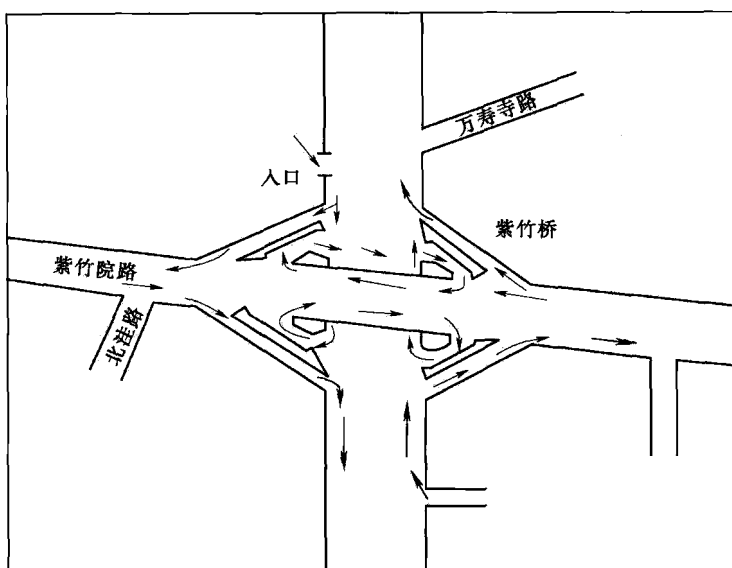


图 1.6 《北京司机导行手册》中紫竹桥区域通行示意图

(2) 提供的引导信息可能较模糊。受地图图幅尺寸和表达上视觉清晰度的限制，地图册只是为司机提供了行使路线的模糊指引信息，并不一定完整和精确。如一条主干道上可能有很多出口和入口提示箭头，提示可以从主干道拐出到支路上或从支路拐入主干道，但很多支路并没标出名称（如图 1.6 右下方的两条小路并没标出路名），提供的匹配信息并不完整，如果不小心在某一路口拐错，很可能事倍功半。

(3) 不同比例尺下地图表达目标的对应信息可能不精确。由于分幅索引图所用的比例尺较大，每幅图覆盖的区域较小，主干道或快速道经常分布于不同的图幅上，会有若干索引号，查找小比例尺地图上一条路段在大比例尺地图上的对应路段时，《北京司机导行手册》提供的索引信息可能并不精确。如紫竹院路位于《北京司机导行手册》魏公村地区和百万庄地区两个图幅中，彼此不能交叠，每个图幅都不可能单独提供目的地的完整信息，若只根据一个索引号浏览或查阅，获得的信息显然是不准确的。

(4) 提供的信息量有限。由于纸质地图图面上能表示的内容有限，多比例尺纸质道路地图册只能表示出道路的位置、走向以及与之相连接的道路信息，很少能表示宽度属性信息及其他空间关系信息，且提供的只是静态的引导和提示信息，并不能较直观动态地提醒司机。司机只能用眼睛进行大致目估，如果不小心看错指示箭头，逆行或错拐，会造成较严重后果。

## 1.2 道路网的数字化抽象与表达

### 1.2.1 道路图的数字化

随着计算机技术的发展，数字化测图方法的出现，人们努力使已有的纸质模拟地图数字化，生成数字线划地图。和纸质模拟道路图不同的是，数字化环境中，模拟地图中道路实体及其间的网络连通关系被数字化为数字编码，由传统地图可被人们直接感知的可视符

号集转变为一串串人类所不能直接理解的数字编码, 存储于完全不同于纸质地图的载体中<sup>[3]</sup>。数字线划道路图既要表达和处理道路实体及其间关系, 还要考虑计算机的存储和处理性能<sup>[4]</sup>。

因此, 从道路模拟地图到 GIS 环境下道路数字线划地图的数字化处理包括:

(1) 用扫描仪进行手扶跟踪或向量扫描, 将原始模拟道路图上的点、线、面等图形要素转换成数字资料。

(2) 在计算机中将这些数字资料按一定的模型和数学方法, 进行投影变换等一系列编辑整理, 定义图形数据中的点、线、面等基本几何表达目标, 以及离散点如何连接成线、线如何组合成多边形、不同表达目标间的拓扑规则, 将模拟道路图上的点转换成道路线划地图中的坐标  $(x, y)$ , 线用坐标串  $(x_1, y_1; x_2, y_2; \dots; x_n, y_n)$  表示, 面用  $(x_1, y_1; x_2, y_2; \dots; x_n, y_n; x_1, y_1)$  表示。

经过上述处理, 原始模拟道路图上的点、线、面等图形要素将转换成数字环境下的道路表达目标, 道路目标的属性及其间关系被存储起来, 使得空间数据和非空间数据能相互定位, 成为以计算机为载体, 可供传输、处理、共享的数字化信息。

与传统的道路纸质模拟地图相比, 这种道路数字线划图具有以下特点:

(1) 可以突破纸质地图幅面尺寸的限制, 方便地对地图内容进行任意形式的组合、拼接。

(2) 不用再以某一固定比例尺显示数据。可根据用户的需要任意缩放, 输出不同比例尺和不同图幅大小的地图。此时比例尺主要表明地图目标的数据精度, 屏幕显示比例尺的变化, 并不携带地图目标本身数据质量的特征。

(3) 可表示道路及其间关系的更多信息。道路的位置用  $(x, y)$  坐标串表示, 并可在屏幕上随鼠标的移动动态显示; 道路的等级、名称、长度、宽度、交通流量等均可作为该道路表达目标的属性记录下来; 目标间的连通、临近等空间关系可通过存储的邻接关系表查询计算得到, 从而能较全面地描述道路及其间关系。

### 1.2.2 道路数字线划图的抽象

目前 GIS 领域所能见到的道路模型有 TIGER、Arcinfo 的 Link-Node 模型, 国际标准化组织制定的地理数据文件标准 ISO 14825—2004 (Geographic Data File Standard, 简称 GDF) 中的分层道路数据模型<sup>[5]</sup>, Vonderohe 和 Hepworth 的 NCHRP 20—27 模型<sup>[6]</sup>、Dueker 和 Butler 的 Enterprise GIS—T 数据模型<sup>[7]</sup>、陆锋的交通网络数据模型等基于特征的模型<sup>[8]</sup>。以上模型对道路网的抽象基本上可概括为三种模式: Link-Node 模式、面向要素的 Feature\_based 模式和 GDF 模式。其中, Link-Node 模式使用较为广泛, Vonderohe、Dueker、陆锋等对所提出的基于要素的道路网数据存储模式的研究尚停留在理论阶段, 缺乏实际检验。因此此处仅对较有代表性的 Link-Node 模式和 GDF 分层管理路网数据的模式进行分析。

#### 1.2.2.1 Link-Node 模式

对 GIS 环境下的道路数字线划图而言, 通常采用 Link-Node 模式。如图 1.7 所示, 将现实世界的道路网 [图 1.7 (a)] 抽象为弧段, 道路交叉口抽象为节点 [图 1.7 (b)],



存储道路及其间的拓扑关系 [图 1.7 (c)]。点由参考坐标系中的坐标表示，弧段由两个相连的点表示，道路网目标间的拓扑关系通常用邻接目录表来表示 (如表 1.1 所示)。

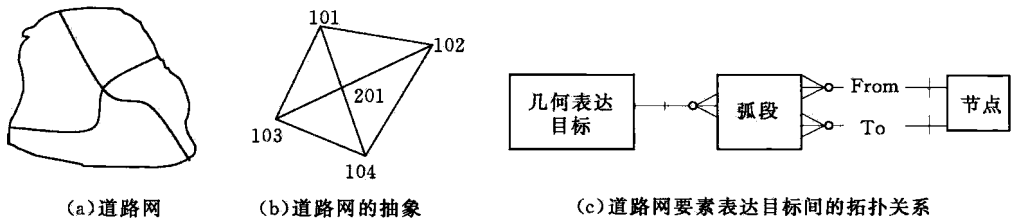


图 1.7 基于 Link-Node 模式的道路网要素及其间关系的抽象

表 1.1 道路网目标间拓扑关系邻接目录表

节点编号	邻接边数 $V(i)$	邻接的节点编号	节点编号	邻接边数 $V(i)$	邻接的节点编号
101	3	102 103 201	104	3	102 103 201
102	3	101 104 201	201	4	101 102 103 104
103	3	101 104 201			

这类道路网数据抽象与管理模式在交通网络中的应用十分普及，它的最大优势就是简单。但是它最明显的缺陷就是网络路线分段数的迅速扩张，因为任何交叉点——无论是物理意义上的交叉点还是统计意义上的交叉点，总是要在交叉处产生一个节点，标志为路段的起始或终止节点，这就使得地面上可能连续的道路被分割成许多小的、完全独立的分段。但组成一条道路的路段并不“知道”它们是同一条道路的组成部分。虽然这些隐含的关系可以从数据库中推导出来，但由于对道路进行整体操作就必须检索所有相关弧段，这无疑降低了处理效率。此外也使属性数据库中冗余数据增多，数据完整性维护困难。

### 1.2.2.2 GDF 分层抽象模式

GDF (Geographical Data File) 道路模型是目前应用在交通导航系统中的较具代表性的路网概念模型，如图 1.8 所示，它将路网要素抽象为 7 个不同的要素表达类型，分别是拓扑点、拓扑线、拓扑面、复杂对象、非拓扑点、非拓扑线、非拓扑面<sup>[5]</sup>。

GDF 有别于其他模型的最突出的一点就是对路网要素分层抽象。它将道路实体分别按简单要素、复杂要素分为两层抽象，在第 1 层 (Level-1) 中存储简单要素，在第 2 层 (Level-2) 中存储复杂要素，这种分层组织路网数据的方式对交通路径规划、引导、显示等具有重要的意义，如可以加快数据读取操作、加快最优路径动态计算、快速分级显示等。但是对框架路网要素的抽象而言，仍存在以下方面的不足：

(1) 没有从地理框架要素的角度考虑道路网的抽象。GDF 主要从交通运输应用的角度，研究交通专题数据库中路网要素的抽象，着重考虑的是路网要素间的拓扑关系，其总的采集、抽象、入库规则是：不论实际道路是单向车道还是双向车道，均将道路中心线作为定位线。

而本书道路网多尺度抽象和表达是在多尺度基础框架数据库背景下进行的，面向的是多个用户而非一个用户，并不能单单考虑交通或规划的需求，不仅要考虑要素的抽象类，

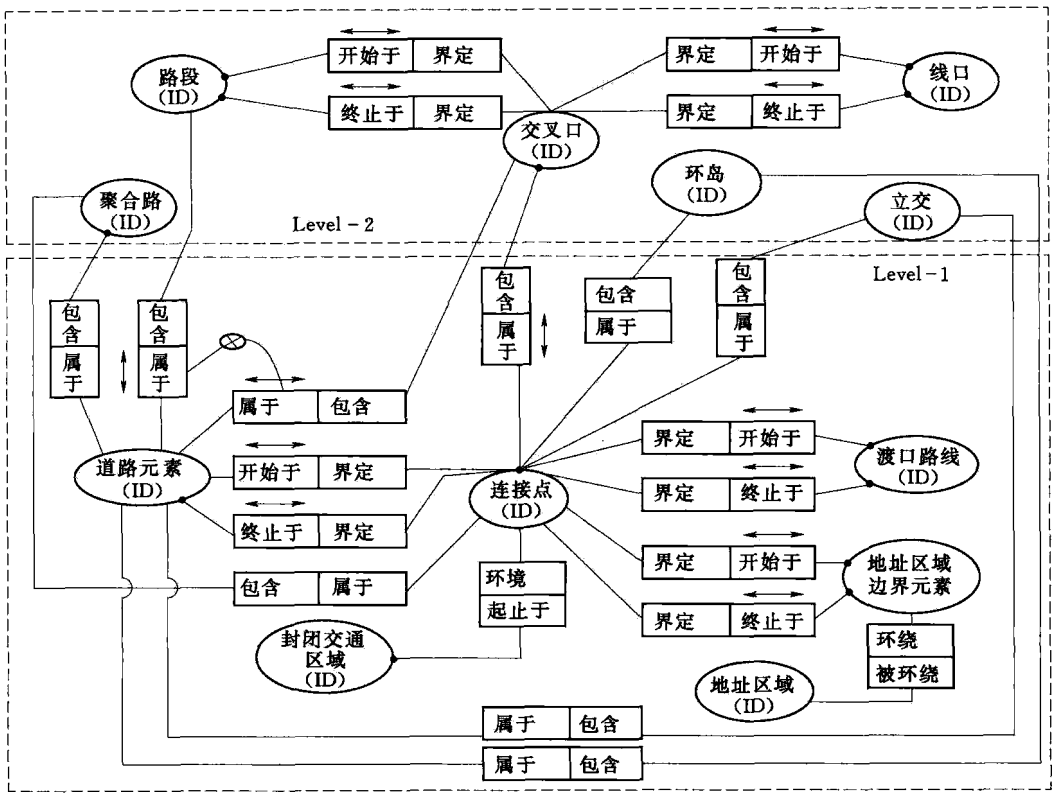


图 1.8 GDF 中的道路数据模型

还要考虑要素的几何抽象类型，因此需要研究一种比较客观的、符合地图制图规范和实践的抽象表达模式，显然，GDF 没有考虑多尺度数据库背景下路网要素的抽象表达问题。

(2) 不能很好地处理不同比例尺表达目标间多对多的聚集关系。GDF 模型的道路要素分层表达是对较详细抽象层次上的要素再进行较抽象的概括，只定义了一对多的聚集关系，这在两个抽象层次相差比较悬殊（如 1:500 和 1:25 万比例尺）的情况下可能比较适用，而在相差不大（如 1:500 比例尺和 1:2000 比例尺）的数据集下，要素间可能是集合—集合间多对多的对应关系（如图 1.9 所示），这种情况下 GDF 模型对多对多的映射聚集则没有很好的处理能力。

(3) 没有完全反映出不同比例尺表达目标间的语义和尺度关系。GDF 分层组织道路网数据，虽然可在一定程度上反映出不同抽象层次下路网要素的聚集/概括关系，但其出发点只是把详细层次上的复杂表达目标抽象为简单目标，以便利用简单目标简化最优路径的提取，在本质上并没有考虑比例尺因子对道路表达的影响。

而且，它所反映出的聚集/概括关系是在最详细层次（考虑现实世界的所有路网要素及道路附属设施）基础上的概括，只能反映出单向的从较大尺度（Level-1）到较小尺度（Level-2）的两层结构的聚合关系。虽然聚集关系是不同尺度下表达目标间的最基本关系，但仍有其他一些尺度关系（如概括、选择、消失）存在。如路网抽象过程中，由于制图区域和制图规范的约束，一些较低等级的道路（如支路）在较大比例尺层次上得以表