

文章编号: 1007-6301 (2001) 增刊-0001-13

# 面向地理特征的制图综合指标体系 和知识法则的建立与应用研究

齐清文, 姜莉莉

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要:** 本文以地球系统科学、地球信息科学和现代地图学的理论、方法和技术为指导, 系统地研究和建立了面向地理特征的制图综合的指标体系和知识法则, 并进行了实例应用分析。研究方法是采用地学分析和归纳、地图分析、专家咨询、GIS 和遥感空间分析等方法来总结、提炼和建立制图综合的指标体系和知识法则。指标类型包括数据指标、文字说明指标、图形指标 3 种, 共分数据库概括 (即语义概括) 和地图可视化概括 (即图形概括) 两类。知识法则在横向由几何性知识、结构性知识、过程性知识构成, 在纵向按照地物的地理特征描述性知识、操作项选择知识规则、算法选择知识规则、面向专门地理要素和制图综合知识规则、面向区域制图综合的知识规则等过程和方面来组织和分类。在知识库中则按照概括条件、概括行为和概括要求 (或概括水平) 3 个变量来组织, 形成三维坐标关系的知识法则内部体系。在实例分析中阐述了珠江三角洲经济区的交通网络图的制图综合过程和结果。

**关 键 词:** 地理特征; 制图综合; 指标体系; 知识法则

**中图分类号:** P283      **文献标识码:** A

制图综合作为地图学的一个重点、核心和难点、瓶颈问题, 近年来越来越受到重视。原因是随着数字地球创意的提出, 对多尺度空间数据的产生、管理和表达的需求更加突出。纵观近两届的 ICA 会议上发表的关于制图综合的文章, 可看出有两个重要特征: 一是进一步强调以地学规律 (例如景观分布格局) 作为制图综合的指导, 二是在研究和开发全局性的制图综合方法和工具中, 大量加入人的经验和知识, 并将知识库与数学模型紧密结合。本文研究面向地理特征的制图综合的指标体系和知识法则, 正与这种前沿趋势相吻合。

## 1 问题的实质和关键

制图综合的复杂性和难度集中体现在它对于人的思维活动的高度依赖性; 而人在实施

**收稿日期:** 2001-08; **修订日期:** 2001-09

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (49801017) 和中国科学院知识创新工程领域前沿项目 (CXIOG-D001-01)

**作者简介:** 齐清文 (1963-), 男, 中国科学院地理研究所理学博士, 清华大学“3S”中心博士后。现主要从事地图学与地理信息系统的理论、方法和技术研究, 曾发表文章 30 余篇, 参编专著 10 余部。E-mail: qiqw@igsnr.ac.cn

制图综合时的思维活动又是具有主观性、灵活性和判断标准的模糊性等特征。这也是十多年来国内外地图学界和 GIS 领域对制图综合的研究一直没有实现质的突破,特别是在其理论和方法上缺少系统性,在实现技术上没有找到强有力的工具的主要原因。

要使人主观判断和思维、判断过程变成能够被计算机接受的、可形式化的规则,关键在于建立制图综合指标体系和知识法则,因为它既是研究和建立制图综合数学模型的理论基础和关键性控制环节,也是建立制图综合专家知识库的指导原则和原始素材。

目前从国内教科书和学术论文中可看到零星的制图综合指标和知识法则,但都过于笼统和模糊,留给使用者的余地太大,只适合于依赖高度主观性的手工制图综合操作,不适合于用计算机手段实现制图综合,因为后者需要严格定义和精确描述的指标和知识法则。国外已有专家学者在建立制图综合指标体系和知识法则方面做出了卓有成效的工作(Butterfield and McMaster, 1991; J. C. Muller, 1992; Dan Lee, 1997; Andreas Oxenstierna, 1997; etc.)。但他们的研究主要是从地图表达本身来进行的,所形成的指标和知识法则难以适应复杂地理客体和现象。

本文采用的“面向地理特征的制图综合”概念,正是摒弃上述研究中的缺陷,从复杂地理客体的内在规律入手,总结并抽象出能描述地理客体和现象本质特征的指标和知识法则。因此,按照“面向地理特征的制图综合”的概念来构建包括理论模式、数学模型和专家知识法则在内的一整套解决方案<sup>[1]</sup>,是一条可能而且可行的途径。

本项研究的实质在于:如何把常规手段下高度依赖主观判断的对于不同尺度下地物在地图上的分布规律和格局的概括行为,变成在 GIS 环境下执行连接、判断和辅助数学模型操作功能的知识法则和推理机。同时它也将为智能化地描述多尺度下地物在地图上的分布规律和格局提供坚实的基础。

## 2 研究方法

本项研究采取地学分析和归纳、地图分析、专家咨询、GIS 和遥感空间分析等方法来总结、提炼和建立制图综合的指标体系和知识法则。其中地学分析和归纳方法用于从综合地理学的原理和实地考察中总结和归纳出地物的空间分布格局规律及其在不同空间尺度上的表现,这是本项研究中最关键的部分;地图分析方法则用于从地图上通过量算、迭加、数据统计和复合等总结和抽象出不同地物个体在不同比例尺地图上的分布格局和符号表达规律;专家咨询就是通过向地理学家、地图学家等专家学者咨询,获取专家们关于制图综合方面的经验和知识,这也是非常宝贵的资料来源;GIS 和遥感空间分析方法则是应用 GIS 和遥感技术对数据库中的数据(包括空间数据和属性数据)进行空间分析,从中提取出制图综合需要的概括指标和知识法则。

图 1 说明了本项研究的技术流程。

## 3 指标体系的建立

本研究项目的目标是全面总结和提炼面向地理特征的制图综合过程中的各项指标,建立较为完整的制图综合指标体系。我们首先制定指标体系的基本原则,然后在此原则的基

基础上确定指标体系的组成结构和框架，最后在表格和框架中填充并尽量穷举特定要素和特定区域的各项制图综合指标。

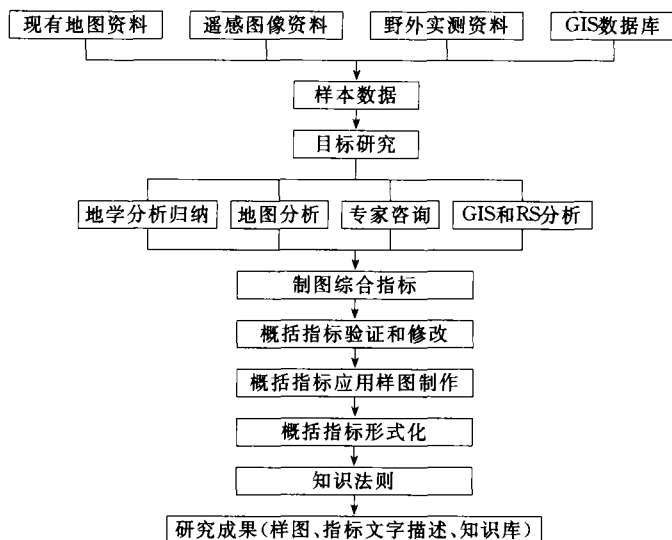


图1 本研究的研究方法和技术流程

Fig. 1 Method and workflow of the research

### 3.1 建立指标体系的基本原则

(1) 科学性和系统性。制图综合是一种科学的创造性劳动。它以对地理客体的科学认知为主客观依据，既是对地理客观实体的空间概括和过滤过程，又是对地理信息进行深加工后的视觉再现过程。因此，制图综合指标体系的建立，必须以地理规律为科学指导，以地图信息的深加工操作为控制机制，以地图信息可视化原则和信息表达规律为指标的依据。由此归纳和建立起来的科学的、系统化的制图综合指标体系，是成功的制图综合的保证。

(2) 实用性和适用性。本研究项目建立的制图综合指标必须有很强的实用性和广泛的适用性。首先，它应该满足实际制图综合过程中各个环节的需要，即该体系中应该包含选取/删除、光滑、合并、移位等各种操作环节的概括指标。其次，本指标体系不但适用于常规纸图的制图综合的需要，而且更应该适用于数字环境下或GIS环境下的制图综合需要。

(3) 地图类型的针对性。以总结普通地图的制图综合指标为主（初级目标），以建立各种专题地图的制图综合指标体系为辅；今后的发展目标是完成上述第二方面的高级目标。

(4) 地图比例尺的针对性。概括指标所适用的比例尺的变换范围以整比例尺为主（初级目标），逐步向任意比例尺间变换过渡（高级目标）。

(5) 适用区域的针对性。以行政单元（乡、县、地区、省、全国）为主（初级目标），兼有按流域和特殊地理区域划分的区域系统（高级目标）。

(6) 指标类型的针对性。拟以数据指标和文字说明性指标为主，以图形指标为辅。

### 3.2 指标体系的组成结构和框架

面向地理特征的制图综合的指标体系的组成结构和框架可由表1说明。从中可看出，该指标体系由纵向的“指标类型”与横向的“概括操作类型”两者交织而成。其中指标类型包括数据指标、文字说明指标、图形指标3种；概括操作类型则由数据库概括（即语义概

括)和地图可视化概括(即图形概括)两大类组成,前者包括取舍、类型归并、等级简化3种,后者则有线划简化/光滑、图斑合并、结构简化/退化/特征化、移位/协调、图形分割等类型。表中的“指标内容特征”部分较详细地介绍了适用于各种不同概括操作项的不同类型的指标的特征及其举例。

表 1 制图综合的指标体系的组成结构和框架

Tab. 1 Structure and Scheme of Indices for Generalization

指标类型	数据指标	文字说明指标	图形指标	备 注
数据 库 概 括	取 舍	点状地物(例如居民点)的选取密度、选取数量;线状地物(例如河流)的选取长度、选取密度;面状地物的选取面积指标;面状地物的密度对比指标	点状地物的重要性指标;线状地物的重要性和特殊性指标;面状地物的特殊性和重要性	各种地物间的标准空间格局图可作为取舍的参考模板
	类型归并	类型及其子类型代码	类型及其子类型的名称、意义,合并后的关系	地域分异格局图形及其谱系
	等级简化	简化前后的等级数量及分级标准	等级简化的含义等的说明	简化前后的等级拓扑图(例如水网、道路网等)
地 图 可 视 化 概 括	线划简化/光滑	线划光滑的参数尺寸;弯曲取舍的最小阈值	线划光滑或简化的参数意义说明	线性地物的方向性、线性拓扑关系等
	图斑合并	判断图斑是否合并的最小图斑间隔;图斑合并前后的各类地物面积对比值	图斑合并的意义;图斑合并前后的面积对比说明	图斑间的密度对比和分布格局图
	结构简化/退化/特征化	图形结构简化、退化和特征化的临界比例尺和结构化参数	图形结构简化、退化和特征化的地学意义说明	各种空间分布图形的标准样式(岛状、斑状、扇状、环状、带状、层状、交叉状等)
	移位/协调	判断是否移位的地物间最小距离参数;移位的距离参数	地物移位及协调的意义说明	各种地物间的拓扑关系
	图形分割	图形分割前后的各组成部分(例如居民地内部街区)的数量和结构参数(包括纵、横数量)	图形分割的地学意义说明	图形内部的拓扑关系图

制图综合指标既具有通用性,又是十分具体的、有个性的。上述指标体系结构框架只是一般通用的模式,具体针对某类地物或某一特殊区域的概括,还有所微调。

## 4 知识法则的归纳和知识库建立

### 4.1 建立知识规则的原则和策略

(1) 分阶段、分项实施知识推理。首先,在 GIS 环境下的制图综合应该分两个阶段。第

一阶段是数据的语义概括过程(或数据库综合),又称为“模型概括”,即对客观真实世界进行概念层次上的概括性模拟或模型化,包括选取/删除、类型合并和等级合并等处理,不考虑图形显示方面的问题,结果是产生派生数据库。第二阶段是数据的图形概括过程。即为了视觉表达而对上述派生后的数据库进行的图形表达和概括处理,主要是表示方法的改变、符号化(或重新符号化),以及符号化过程中的图形概括(简化、移位、合并、夸大等),进而生成符合制图规范和可视化原则的地图。其次,制图综合应该分项实施操作,而在实际过程中并不需要运行所有的操作项,而是根据需要有针对性地选择操作项。因此本研究中所建立的面向地理特征的制图综合知识规则也是按照分阶段和分项实施的策略来总结、归纳和组织的。

(2) 知识推理与数学模型、GIS 工具紧密集成。作为一项复杂的系统工程,制图综合不可能单靠某一种方法或手段来完成;特别是在 GIS 环境下智能化的制图综合,更应该将知识推理(专家系统)与数学模型、GIS 工具三者集成到一起。它们各自完成特定的功能,形成一个有机的整体。因此,本研究中所建立的知识规则,除了直接用于概括的规则条目外,也包括对 GIS 工具的判断和选择,对数学模型的判断和选择,以及对从一种手段切换到另一种手段的判断、链接等的知识规则。

(3) 形式化和可执行化。制图综合的知识规则必须是清晰的、简洁的,避免模糊性的判断规则,而且要能够在实际运行中顺利地被执行。因此,形式化和可执行化是本研究中对知识规则好坏的一项关键检验原则或标准。

(4) 与指标体系相辅相成。本研究中所建立的制图综合指标体系与知识规则之间应该是既相互独立,又相互配合的关系。前者是执行制图综合操作项(以数学模型操作为主,GIS 工具和知识库直接操作为辅)时的各项参数,较简单的一部分已集成在数学模型算法中,较复杂的部分则在运行中由系统向用户提供界面入口和参考参数供用户选择。后者则主要用于判断执行何种操作、以及操作项之间的过程连接等事务中。知识规则的归纳和整理以指标体系为基础素材,而且一部分知识规则中已经融入了制图综合的具体指标;此外,在向用户提供参数选择的过程本身就已是知识规则在起判断作用。因此,在建立知识规则时,必须认真考虑与指标体系之间的衔接和相辅相成的配合。

#### 4.2 知识规则的组成结构

表 2 反映的是面向地理特征的制图综合的知识规则的分类体系。从总体特征来分,有 3 种类型,即几何性知识、结构性知识和过程性知识。从操作过程来看,其知识规则又分为 5 类,即关于地物地理特征的描述性知识、用于制图综合操作项选择的知识规则、用于制图综合算法选择的知识规则、面向专门地理要素概括的知识规则、面向典型地理区域的制图综合知识规则等。

在本系统的知识库中,上述制图综合知识规则则按照概括条件、概括行为和概括要求(或概括水平)3 个变量来组织。如果用三维空间坐标系反映它们之间的关系,便可形成图 2 所示的结构图。

在图 2 中,“概括条件”这一维分为 5 个条件:①“存在”状况即某地物在数据库中是否存在;②“表现特征”,即在某数据集中某种性质或特征的表现情况;③“事实”,即某种事实是否为真;④“取值”,即某实体的属性值;⑤“关系”,即地物之间的空间关系或拓扑关系。

“概括行为”这一维分成 3 种情况：① 逻辑控制，即通过控制逻辑判断的改变来驱动制图综合追踪和推理技术，或者通过调整目前被激活的规则处理方法来改变规则；② 空间转换，即调整数据库中实体在空间上显示格局或显示方式；③ 属性转换，即根据制图综合特殊要求修改与某特定地物相联的地物属性。

表 2 面向地理特征的制图综合知识规则分类体系

Tab. 2 Category of Knowledge Rules for Geo-feature Oriented Generalization

知识规则总体分类	几何性知识	结构性知识	过程性知识	备 注
地物的地理特征 描述性知识	描述地理要素的几何 特征和拓扑关系	描述地物的存在环境和 自身分类、等级、规律等		复合型 知识规则
操作项选择知识 规则			根据被处理对象的具体 情形判断和选择制图综 合过程和操作项的知识 规则。	专门型 知识规则
算法选择知识规则			根据被处理对象的具体 情形和操作项的类型判 断和选择制图综合的具 体算法。	专门型 知识规则
面向专门地理要 素制图综合的知 识规则	描述专门地理要素的 几何特征和拓扑关系	描述特定地物的存在环 境和自身分类、等级、规 律等的知识规则	面向专门地理要素的概 括过程的知识规则。	复合型 知识规则
面向典型地理区 域制图综合的知 识规则	描述特定地理区域的 几何特征和拓扑关系	描述特定地理区域的环 境和自身分类、等级、规 律等的知识规则	面向特定地理区域的概 括过程的知识规则。	复合型 知识规则

第三维是概括要求，也可称为概括水平，是指在“一般”制图要求、“专题”制图要求和“特殊用户”制图要求下应达到的制图综合水平。这一维与面向对象的理论和方法是一致的。可以根据不同的要求，对地物实施不同层次、不同复杂程度的组合和“类”的继承。这里的“类”既可以是有形的地物实体“类”，也可以是不同操作水平的概括，即从“一般”到“专题”再到“特殊用户”体现的是制图综合的水平从低到高的发展过程。

上述 3 个变量的任意组合，就构成了知识库中的一个知识规则组的结构。表 3 是两个例子。

#### 4.3 面向地理特征的制图综合知识规则和知识库示例

面向地理特征的制图综合知识规则和知识库示例如表 4 所示。

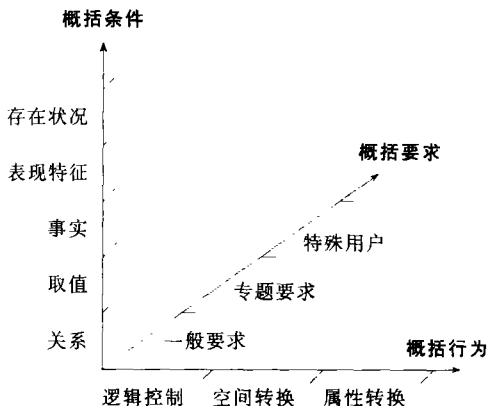


图2 制图综合的知识规则组成结构  
Fig. 2 Structure of Generalization Knowledge Rules

表 3 面向地理特征的制图综合知识规则组示例

Tab. 3 Samples of knowledge groups for Geo-feature Oriented Generalization

第一例	A {一般要求} IF {取值} THEN {逻辑控制} IF product scale is $\geq 50000$ THEN exam all rules relating to point features
	B {专题要求} IF {存在} THEN {空间转换} IF railroad features are normally depicted THEN displace all sidings at least 3.0 mm from railroads
	C {用户要求} IF {事实} THEN {属性转换} IF gas pipeline depth is unknown THEN set navigation caution flag to true
第二例	A {一般要求} IF {关系} THEN {空间转换} IF features coalesce at map scale THEN displace the feature of less importance
	B {专题要求} IF {表现特征} THEN {逻辑控制} IF distribution of buildings in urban areas is too congested THEN group buildings of similar nature to reduced complexity
	C {用户要求} IF {取值} THEN {属性转换} IF methane level of a cave exceeds normal safety levels THEN identify the cave as unsafe for spelunking

表 4 面向地理特征的制图综合知识示例

Tab. 4 Examples of knowledge groups for Geo-feature Oriented Generalization

知识规则示例		规则说明
地物地理特征的 知识描述	基于地理特征的“对象—类”知识 Class name: MAINSTREAM_OF_RIVERS Super class: NATURAL_FEATURE Instance variables: dual_line_symbol, length, width, flow_volumn…… Instance member: Huanghe River, Changjiang River Instance methods: selection, typification, smooth, coalesce, classification, symbolization. Class name: FISRT_BRANCH_OF_RIVERS Super class: MAINSTREAM_OF_RIVERS Instance variables: dual_line symbol, single_line_symbol, length, width, flow_volumn…… Instance member: Jialinjiang River, Hanjiang River Instance methods: selection, typification, smooth, coalesce, classification, symbolization	地物的地理特征可从 3 个侧面来描述：一是地物的地理含义，它包括内部含义（地物定义）和外部含义（空间关系）两种。二是地物的结构特征，又分为主题特征、空间特征和时间特征 3 种。三是地物的等级体系，分为高等级类型和区域、中尺度类型和区域和最小景观单元 3 种等级。本研究中按照实体—对象—符号—要素四级来组织地物对象，把概括结果在它们之间适当地链接并进行传递，其中类与子类之间的变量也随之传递。
用于过程	判定“减少对象数目”过程中的操作项知识规则 ① Object: buildings; Object_Code: 1012 IF (Size_of_1012 < 2mm <sup>2</sup> ) THEN omit 1012 ② Object: river; Object_Code: 2001 IF (Length_of_2001 < 4 cm) THEN omit 2001 ③ Object: buildings; Object_Code: 1012 IF (Size_of_1012 < 4 mm <sup>2</sup> ) and Space_between_1012_and_other_buildings < 0.2 mm THEN group 1012 with other buildings	减少对象数目主要是指在数据库中选取或删除部分地物对象。按“图形显示限制”和“应用要求”两项标准判断是否选取或删除对象，当地物符号超出上述限制时，就需采取相应的概括措施，即删除那些太小、太短的对象，或合并那些间距太窄、太近的图斑即用 一个整体符号代替分散的小符号。

续上表

	知识规则示例	规则说明
识别的知识规则	判定“简化空间内容”过程中的知识规则 ① Object: coastline, Object_code: 4112 IF (Distance_of_curve < 0.4 mm) THEN smooth 4112 ② Object_1: city; Object_1_Code: 2301; Object_2: Province_road; Object_2_Code: 3001 IF (Area_of_2301 <= 4 cm <sup>2</sup> ) and (3001 bisect 2301) THEN collapse 2301 and preserve bisect_relation	通常有两种操作,一是线划光滑处理(即线划简化),二是图形“退化”处理(重新符号化的一种)。第一例根据曲线上各小弯曲之间的距离判断采用光滑处理。第二例根据城市的轮廓面积值判定采用轮廓退化处理,同时保持道路与城市间的拓扑关系。
	判定“简化属性内容”过程中的操作项的知识规则 ① Object_1: Mud lake, Object_1_Code: 5101 Object_2: green lake, Object_2_Code: 5102 Object_3: clear lake, Object_3_Code: 5103 IF (demand_generic_class = true) THEN classify 5101, 5102 and 5103 into 'lake' ② Object_1: lake, Object_1_Code: 6101 Object_2: stream, Object_2_Code: 6102 Object_3: pond, Object_3_Code: 6103 IF (demand_higher_level_class = true) THEN generalize 5101, 5102 and 5103 into 'waterbody' ③ Object_1: streets, Object_1_Code: 7101 Object_2: buildings, Object_2_Code: 7102 Object_3: parcel, Object_3_Code: 7103 IF (demand_higher_level_object = true) THEN aggregate 5101, 5102 and 5103 into 'city'	本过程主要是类型的概括和数量分级的简化,只修改对象的属性值,而不会影响到对象的数量和空间内容。 在第一例中,3种不同的湖泊被归到总体类型“湖泊”;在第二例中,湖泊、河流和水池3者概括为高级类型“水体”;在第三例中,街道、建筑物和空地3者被合并为高等级地物“城市”。
用于算法选择	根据对数据处理的方式和要求来选择 ① Object: linear feature IF (smooth_criterion = number_of_points_removed) THEN smooth_algorithm = Radical law (Topfer) ② Object: linear feature IF (smooth_operation = reserve_skeleton_points) THEN smooth_algorithm = Douglas-Peucker with Tolerance = 2 cm ③ Object: linear feature IF (smooth_criterion = number_of_points_removed and (smooth_operation = reserve_skeleton_points)) THEN smooth_algorithm_1 = Radical law (Topfer) and smooth_algorithm_2 = Douglas-Peucker with Tolerance = 2 cm	① 如果光滑处理只是按照计算出的比例来去除曲线上的—定数量的点,则应选择 Topfer 的方根模型; ② 如果光滑处理的作法是按照—定的阈值保留曲线的骨架点,则最好采用 Douglas-Peucker 算法; ③ 上述两种算法都有缺陷,故将二者结合起来形成复合算法。
	根据被处理的特征确定算法 ① Object: continuous_surfacial phenomena IF (simplification_approach = holistic_solution) THEN simplification_algorithm = trend-surface matching _and_selection ② Object: linear feature IF (Nature_of_feature = self-similar) THEN smooth_approach = fractal_dimension Solution ③ Object: linear feature IF (Nature_of_feature = network-complex) THEN smooth_approach = topological-solution	① 若被处理的是用等值线法表示的连续变化的面状地理现象,且处理途径是全局性的而不是从单个点或线条入手,则应采用趋势面拟合筛选法; ② 若被处理的线状地物具自相似性,则可采用分形—分维方法; ③ 若被处理的线状要素联结成网络形态,则可采用拓扑分析法。
根据被处理对象的数据结构确定算法	Object: areal feature IF (data_source = raster_sata_file) THEN simplification_approach = Mathematical morphological_techniques	如被处理对象是以栅格数据存储的,则应采用面向栅格数据的算法(例如数学形态学方法)。



续上表

	知识规则示例	规则说明
海湾	① IF (Area (bay_x>min_bay_area)) THEN bay_x, importance=1 ② IF (Depth (bay_x>min_bay_depth)) THEN bay_x, importance=1 ③ IF (On (bayx, city_y==True)) AND (Importance (cityy==High)) THEN bay_x, importance=Importance (city_y) ④ IF (Into (bay_x, river_y==True)) AND (Importance (river_y==High)) THEN bay_x, importance=Importance (river_y)	① 按“海湾面积”作为指标,确定海湾的取舍知识规则; ② 按“海湾深度”作为指标,确定海湾的取舍知识规则; ③ 用海湾与主要城市的相对关系作为指标,使海湾通过空间关系继承了城市的重要性; ④ 海湾继承了注入海湾的河流的重要性值,即用河流的重要性值作为海湾重要性值。
道路	① IF (Type (road_x==drive_road)) AND (Length (road_x<150 m)) THEN road_x, importance=0 ② IF (Type (road_x==access_road)) AND (Length (road_x<200 m)) AND (Attribute (road_x≠landmark_value)) THEN road_x, importance=0 ③ IF (Type (road_x==street)) AND (In (area_y, road_x<True)) AND (Attribute (area_y==populated_place)) THEN road_x, importance=1	这里的道路是指机动车道、便道、街道等。其概括规则主要是依据道路长度和道路属性。 ① 长度小于150 m的机动车道在地图上不表示; ② 长度小于200 m的便道在地图上不表示,除非它具有路标意义; ③ 所有居住区的街道都应该在图上表示,不论其长度大小。
面向典型地理要素的制图综合知识规则	桥梁 ① IF (Length (bridge_x>=100 m)) AND (Quality (bridge_x==asphalt)) THEN bridge_x, importance=1 AND Label (bridge_x, quality) ② IF (Type (bridge_x==drawbridge)) THEN bridge_x, importance=1 AND Label (bridge_x, type) ③ IF (Attribute (bridge_x==important_historically)) THEN bridge_x, importance=1 AND Label (bridge_x, Attribute)	通过长度、种类和重要意义来控制桥的选取和符号化。 ① 长度大于100 m、质地为沥青路的桥梁应该在图上表示,且应在符号边加注质地说明; ② 不论长度如何,吊桥都应该在图上表示,且应在符号边加注类型说明; ③ 不论长度如何,具有历史意义的桥梁都应该在图上表示,且应在符号边加注属性(意义)说明。
城市区段	DEFINE Scale==1:25 000 ① IF (Area (city_block_x>=2.0 km <sup>2</sup> )) THEN city_block_x, size='large' AND Plot (city_block_x, pink tint) ② IF (Area (city_block_y<=0.5 km <sup>2</sup> )) AND (Distance_to_large_block>0 km) AND (Distance_to_large_block<=5 m) THEN city_block_y, type='isolated_island adjacent_to_large_blocks' AND Plot (city_block_y, pink tint)	本例表示的是综合考虑大、小区段的概括规则。先确定地图比例尺为1:25 000,然后判断面积大于2.0 km <sup>2</sup> 的街区为“大街区”,并将其表示为品红平涂色块。接着又判断面积小于0.5 km <sup>2</sup> 、与大街区的距离在0~5 m范围内的区段为“与大街区相邻的孤岛”,并把它也绘成与大街区相同的平涂色。
湖泊和水库	① DEFINE Scale==1:25 000 IF (Area (lake_x<200 m <sup>2</sup> )) THEN lake_x, importance='small' ELSE IF (Area (lake_x<400 m <sup>2</sup> )) THEN lake_x, importance='medium' ELSE lake_x, importance='large'	① 在比例尺为1:25 000地图上的湖泊按面积大小的分级方案。面积小于200 m <sup>2</sup> 的湖泊定为“小湖泊”;面积在200~400 m <sup>2</sup> 的湖泊定为“中等湖泊”;面积大于400 m <sup>2</sup> 的湖泊定为“大湖泊”;

续上表

	知识规则示例	规则说明
	<pre> ② DEFINE Scale==1:25 000   IF (reservoir_x, size== 'small')     THEN Plot (reservoirx, solid_outline (       AND Label(reservoirx)     IF (reservoir_x, size== 'medium')     THEN Plot (reservoir_x, outline_to_scale)       AND Label(reservoir_x)     IF (reservoir_x, size== 'large')     THEN Plot(reservoir_x, outline_to_scale)       AND Plot(reservoir_x, symbol) </pre>	<p>② 在上例的基础上,对分了等级的水库进行分级符号化;对于小水库,在图上把它绘成实心点,并在符号旁边加注标记;中等水库的边界线依比例绘出,水库旁边加注标记;对于大水库,则其边界依比例绘出,且内部填绘颜色或晕线。</p> <p>然后根据地块面积大小分别对各类地块进行选取和加注标记。</p>
林地	<pre> IF (Coverage_rate (land_x&lt;20%)) THEN land_x, type== 'bare_land' ELSE IF (Coverage_rate (land_x&gt;=20%))   AND (Coverage_rate (land_x&lt;35%)) THEN land_x, type== 'rare_coverage_land' ELSE land_x, type== 'wood_land' IF (Area(land_x&gt;min_size))   AND (Type(land_x== 'bare_land')) THEN land_x, importance==1   AND Label (land_x, bare_land) IF (Area (land_x&gt;min_size))   AND (Type(land_x== 'rare_coverage_land') THEN land_x, importance==1   AND Label (land_x, rare_coverage_land) IF (Area (land_x&gt;min_size)   AND (Type (land_x == 'wood_land')) THEN land_x, importance==1   AND Label (land_x, wood_land) </pre>	<p>林地图斑的取舍一般也是依据其面积大小。然而对林地中间的裸地的处理,以及对有一定百分比的树木覆盖的区域的判断(判断是否属于林地)则较困难。</p> <p>在本例中,先按照地块中树木覆盖率大小把地块分为“裸地”、“稀树地”和“林地”3类。</p>
东南丘陵地区	<pre> ① (rule river_system1)   if (object_region is "South-eastern Hilly Region")     and (river_system_pattern is parallel tree-style)   then select 1st &amp;_2nd_level river with length&gt;=5cm     Certainty is 0.95) ② (rule river_system2   if (object_region is "South-eastern Hilly Region")     and (river_system_pattern is unparallel tree-style)   then select 1 of each 2 2nd_level rivers with length &lt;=     5cm and select 1 of each 3 2nd_level rivers with     length &lt;=5cm     Certainty is 0.95) ③ (rule river_system3   if (object_region is "South-eastern Hilly Region")     and (river_system_pattern is network)   then generate river_system using topology analytical     method     Certainty is 0.95 ④ (rule relief1   if (object_region is "South-eastern Hilly Region")   then remove valleys to make valley-distance=2cm     and plot contour lines with round-curve style     Certainty is 0.95) </pre>	<p>本研究对每个地区的水系、地貌、居民地和道路4项地理要素的制图概括规则进行总结。规则所涉及的都是能够形式化的指标。每条规则分3部分:首先是地理特征的描述(如水网形态特征等),其次是操作项的选择,最后是给定概括操作时的参数。原数据库(地图)比例尺是1:5万,目标数据库(地图)比例尺为1:20万。</p> <p>① 水系规则1:在江南丘陵,如果河流是对称的树枝状水系,选取长度大于5cm的一、二级河流;</p> <p>② 水系规则2:在江南丘陵,如果河流是不对称的树枝状水系,长度小于5cm的二级河流中每隔三条选一条;</p> <p>③ 水系规则3:在江南丘陵,如果河流是网络状水系,则用拓扑分析方法生成水系;</p> <p>④ 地形规则1:在江南丘陵,删除长度小于2cm的沟谷,并用圆曲线风格来绘制等高线;</p>
面向我国典型地理区域的制图综合知识规则		

		续上表	
知识规则示例		规则说明	
⑤ (rule relief2 if (object_region is "South—eastern Hilly Region") then remove small hill—tops and preserve irregular distributive pattern of hills Certainty is 0.95)		⑤ 地形规则 2:在江南丘陵,删除小山头,同时保留不规则的山坡格局;	
⑥ (rule residence if (object_region is "South—eastern Hilly Region") then select residential area unequally with area $\geq 6\text{ cm}^2$ and preserve discrete distributed pattern of residence Certainty is 0.95)		⑥ 居民地规则:在江南丘陵,选取面积小于 $6\text{ cm}^2$ 的居民地,同时保留离散分布的居民地格局;	
⑦ (rule transportation if (object_region is "South—eastern Hilly Region") then select roads according to distributive pattern of roads Certainty is 0.95)		⑦ 交通规则:在江南丘陵,根据道路的分布格局来选取道路。	
四川盆地	.....	.....	.....
黄土高原	.....	.....	.....
江浙水网地区	.....	.....	.....
石灰岩地区	.....	.....	.....
西部高山地区	.....	.....	.....
干旱地区	.....	.....	.....

5 应用实例分析

本研究以珠江三角洲经济区的经济交通网络图的制图综合为实例之一,就上述面向地理特征的制图综合的指标体系和知识法则进行实际验证(图版 1)。珠江三角洲经济区位于广东省南部核心地带,辖有广州、惠州、肇庆、佛山、中山、珠海、东莞、江门、深圳九个地级市,是广东省经济开发的黄金地带。其中珠海、深圳两市紧临澳门、香港,是改革开放以来中国经济发展的示范性经济特区,更是香港和澳门回归祖国后联接内陆与香港、澳门的重要门户。区内交通线路十分发达。除了有铁路线与邻省保持畅通的交通联系外,区内公路交通线四通八达。其中国家级干线公路(简称“国道”)纵贯南北,横穿东西;高速公路已具雏形,同规划中的高速公路一道将组成以广州为中心的环形与辐射形相结合的高速公路网络。除此而外,还有省级公路、县级公路延伸到每个县和乡、镇,呈现出以大中城市为中心枢纽、以县级市为城乡集散地的网状交通线路格局。

本研究将制图综合的指标和知识法则融入网络分析中,进而采用网络分析方法对本图的内容进行了信息过滤。即首先对网络分析中的组成成分“边”、“节点”和“附属组分”进行了规定和配置,把铁路和各级公路均定为边,将城市和小城镇定为节点,把加油站、路边建筑物、桥梁、地形转折点或转折带(如山峰、沟谷等)等确定为附属组分。然后按照网络分析方法确定图中的节点和边的强度值,然后按其强度值按大小顺序排列。选取时就依据强度值从大到小的顺序,直到被选取的道路数量达到其定额选取指标为止。网络分析采用路径分析

(Routing Analysis)中的“多点”类中的“固定点至固定点”(Fixed to Fixed)模式,规定“最短距离”为第一标准,其次是“速度最快”。在前两个条件均相同的情况政,再考虑“运输费用”和“最少换车次数”等标准,依次类推。

通过上面的路径分析,得到了同一等级和不同等级城市之间联系的最佳路径。当把某一层次的各项最佳路径合在一起,就得到某一重要程度级别的所有道路。这种从原始地图上提取不同重要程度道路层的做法,实质上就是对交通线路的选取概括。

本文通过这种方法提取了以下 3 个道路层(除原图外):

(1) 较大尺度图(或数据层):所有的铁路、高速公路、国道和省级公路,部分县级公路(县级城市间最佳路径的组成路段);

(2) 中尺度图(或数据层):所有的铁路、高速公路和国道,部分省级公路(县级城市与地区级城市之间最佳路径的组成路段),少数县级公路(县级城市与地区级城市之间最佳路径的组成路段);

(3) 较小尺度图(或数据层):所有的铁路和高速公路,多数国道(地区级城市之间最佳路径的组成路段),部分省级公路(地区级城市之间最佳路径的组成路段)。

图版 1 中的 3 幅地图分别是样区道路网经过概括后的 3 个道路层的地图(比例尺分别是 1:400 万、1:600 万和 1:800 万)。

用网络分析方法得到的珠江三角洲经济区交通网图的多级概括数据层和地图,实质上具备了基于主导数据库的交通网多重表达机制的雏形,只要将层与层之间通过层号的前后顺序相连即可。它从多层次的角度展示了样区内交通线路的网络格局、不同等级交通线的功能和联结关系,进而反映了样区内地区与地区之间、县与县之间的交通联系方式(交通线类型)、方便程度(通达性)、联系强度(线路密集程度)等人文景观特征。

## 参考文献:

- [1] 齐清文,刘岳. GIS 环境下面向地理特征的制图概括的理论和方法[J]. 地理学报, 1998, 55(4).
- [2] 齐清文,张安定. 关于多比例尺 GIS 中主导数据库多重表达的几个问题的研究[J]. 地理研究, 1999, 18(2).
- [3] 齐清文,潘安敏. 智能化制图综合在 GIS 环境下的实现方法研究[J]. 地理科学进展, 1998, 17(2).
- [4] 齐清文,刘岳. 非连续分布面状地理现象的图形自动概括方法[J]. 地理研究, 1996, 15(1).
- [5] Jean-François Hangouët, Sylvie Lamy. Automated Cartographic Generalization: Approach and Methods[C]. Proceedings of 19th ICA Conference, Ottawa, 1999.
- [6] Elizabeth Glover, William A. Mackaness. Dynamic Generalisation from Single Detailed Database to Support Web Based Interaction[C]. Proceedings of 19th ICA Conference, Ottawa, 1999.
- [7] Thomson R C, Dianne E. Richardson The 'Good Continuation' Principle of Perceptual Organization, applied to the Generalization of Road Networks[C]. Proceedings of 19th ICA Conference, Ottawa, 1999.
- [8] Andriani Skopeliti, Lysandros Tsoulos. A knowledge based approach for the generalization of linear features[C]. Proceedings of ICC 2001 BEIJING CHINA.
- [9] Wu Hehai. Research of fundamental theory and technical approaches to automating map generalization[C]. Proceedings of ICC 2001 BEIJING CHINA.
- [10] Dan Lee. Generalization in the new generalization of GIS[C]. Proceedings of ICC 2001 BEIJING CHINA.
- [11] Sylvain Bard, Sebastien Mustiere. Revision of Cartographic Generalization Rule Based on Interactive Alteration Analysis[C]. Proceedings of ICC 2001 BEIJING CHINA.
- [12] Cecile Duchene, Mathieu Barrault, Kelvin Haire. Road network generalization: a multi agent system approach [C]. Proceedings of ICC 2001 BEIJING CHINA.

- [13] Buttenfield, McMaster. Map Generalization: Making Rules for Knowledge Representation[M]. London: Longman, 1991.
- [14] 特普费尔. 制图综合[M]. 江安宁 译. 范小林, 李道义 校. 测绘出版社, 1982.
- [15] Wanning Peng, Martien Molenaar. An objected—Oriented Approach to Automated Generalization[C]. Proceedings of GeoInformatics '95 Hong Kong, Pulished by Chung Chi College, 1995.
- [16] 王家耀 等编著. 普通地图制图综合原理[M]. 测绘出版社, 1993.
- [17] 祝国瑞, 徐肇忠 编著. 普通地图制图中的数学方法[M]. 测绘出版社, 1990.

## Research on the Index System and Knowledge Rules for Geographic—Feature—Oriented Generalization

QI Qing-wen, JIANG Li-li

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** This paper expounded the author's research on the index system and knowledge rules for Geographic—Feature—Oriented Generalization, and an example of its application. The research approach is the integration of geo-science analysis & conclusion, map analysis, expert consulting, as well as GIS & RS spatial analysis method, to extract, conclude and build them. The index system include three types as data, literal and graphic index, and on the other hand grouped by database generalization index and map visualization index. The knowledge rules include, in crosswise, geometric, structure and procedure knowledge, and in lengthways, the knowledge of geographic feature description, operator selection, algorithm selection, as well as specific geo-object oriented and specific region oriented knowledge. In the knowledge base, these knowledge rules are organized by three dimension of variables as generalization condition, generalization scope/level, and generalization actions. The example is the generalization of The Map of Transportation Network in Zhujiang Delta Economic Zone.

**Key words:** Geographic—Feature—Oriented; Generalization; Index System; Knowledge Rules