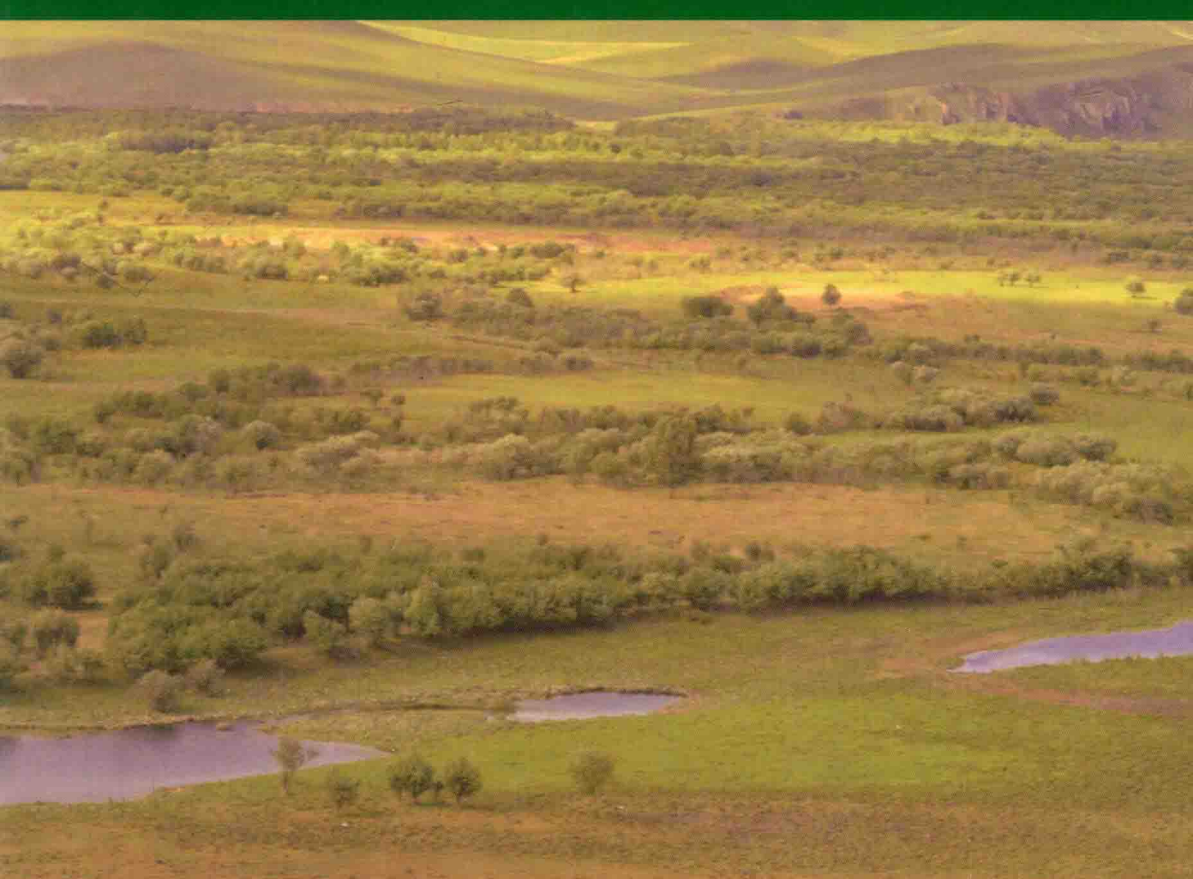




中国土壤环境区划

——原理、方法与实践

郭书海 吴 波 等◎著



科学出版社

中国土壤环境区划

——原理、方法与实践

郭书海 吴 波 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

在阐述区划原理与方法的基础上,通过对全国土壤背景、生态地球化学等调查数据的深度挖掘,基于土壤污染成因,分析了全国土壤环境质量的空间格局与形成机制,提出了土壤环境分区指标体系,完成了全国尺度的土壤环境质量区划、土壤环境功能区划、土壤环境保护与污染控制规划,阐明了土壤环境区划的理论内涵,首次建立了三位一体的土壤环境区划框架体系。

本书适合环境保护、农业区划和国土资源等行业的管理和技术人员作为研习资料,也可供大专院校、科研院所的相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国土壤环境区划:原理、方法与实践 / 郭书海等著. —北京:科学出版社, 2014.8

ISBN 978-7-03-040885-3

I. ①中… II. ①郭… III. ①土壤环境—环境区划—研究—中国
IV. ①X21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 119648 号

责任编辑:张震 吴春花/责任校对:韩杨
责任印制:钱玉芬/封面设计:无极书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

http://www.sciencep.com

北京盛通印刷股份有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 8 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2014 年 8 月第一次印刷 印张: 12 1/4

字数: 210 000

定价: 108.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

主要作者名单

郭书海 吴 波

李宝林 张玲妍

孙福军 梁成华

雷 梅

前 言

土壤作为一种重要的自然资源，具有生态、生产和生活等多种服务功能。改善和提高环境质量是土壤环境管理的核心工作；保护和调控这些功能是土壤环境管理的终极目标；分区控制和分类指导是土壤环境管理的重要手段。开展全国和地方的土壤环境区划是当代环境管理创新体系的重大需求。本书在传统区划理论的基础上，阐述了土壤环境区划的框架体系及科学方法，构建了土壤环境区划指标体系，并提出了全国尺度的区划方案。

土壤环境管理的三个必备要素包括土壤环境质量、受土壤环境质量约束的土壤环境功能、为保障土壤环境功能而制定的土壤环境质量控制目标。土壤环境区划应涵盖上述内容，并体现各个部分的内在关联性。因此，土壤环境区划应是系统的框架体系，在组成上包括三个部分：即基础性的土壤环境质量区划、适用性的土壤环境功能区划和保障性的土壤污染控制规划。土壤环境区划框架体系中的这三个层次之间逐级递进、彼此支撑、互为因果。

为阐述土壤环境质量区划、土壤环境功能区划和土壤环境保护与污染控制规划三者之间的结构层级和因果关系，本书首先在第 1 章梳理了区域区划与类型区划两种区划类型，并给予了概念性数学表达。然后在第 2 章通过对主要土壤环境信息的数据挖掘和验证计算，在尺度转换基础上阐述了全国土壤环境质量的空间格局，并分析了区域环境质量的形成机制，为在第 3 章提出进行全国土壤环境质量区域等级评估、开展全国土壤环境质量区划奠定了理论与方法基础。第 4 章基于土地利用方式与环境质量的空间叠置处理，完成了全国土壤环境功能区划，并根据功能区划的空间结构和污染风险分析，提出了不同单元的环境管理指标与治

理措施，再以案例形式为局域土壤环境量化管理提供了具体的土壤环境规划模式及制图方法。最后，在第 5 章简要讨论了几个与土壤环境区划相关的基本概念，展望了区划方法与技术 在环保、农业、国土等领域的应用前景。

本书以土壤环境质量格局及区域环境质量形成机制、土地利用方式适宜性与土壤环境功能类型划分、区域污染治理的指标核定与控制要素定量化等作为区划（规划）依据，不仅探索了土壤环境区划的方法学，还初步构建了全国土壤环境区划的基础信息系统。利用 ArcGIS 的空间数据处理能力，对环境数据进行了统计计算和区域分析，建立了包括土壤污染空间分布、土地利用方式、土壤环境质量区域分析与污染风险评估、土壤环境质量区划、土壤环境功能区划和土壤环境规划等内容的综合性数据库和土壤环境管理决策支持系统。

土壤环境区划涉及环境学、土壤学、地理学等多个学科，作者深感学识有限，曾求教自 20 世纪 50 年代就从事综合自然区划的景贵和先生，三次拜访，受益匪浅。许嘉巍等多位同行也给予了极大帮助，修改了本书的部分内容。刘会立审核了区划数学表达式。张猛、李凤梅、李刚、李晓军、李婷婷等提供部分资料，在此一并感谢。

导师孙铁珩院士对本项工作给予了大力支持与鼓励，不仅对研究构思提出指导性意见，而且在 2011 年就选取了“土壤环境功能区划的原理与方法”作为张玲妍的博士毕业论文题目。可惜先生于 2013 年 7 月因病辞世，未见到本项工作的最后成果和本书的出版。

导师曲久辉院士借鉴水环境区划的层次结构，强调土壤环境区划应体现框架体系的完备性，阐述了环境质量-环境功能-管理目标三者之间的内在逻辑与相互关系，对本项研究的成果凝练和系统集成具有重要的启迪作用和指导意义。

本书由郭书海主笔并负责全书的总体组织，吴波负责基础数据计算和图件绘制，李宝林、张玲妍、雷梅负责各区划单元的属 性分析和边界划定，孙福军、梁

成华负责土壤环境基础条件分析和部分单元说明。

由于本研究目前能借鉴的历史资料极少，数据储备有限，部分结论难免以偏概全。本书部分内容采用 Meta 分析方法，参考文献若有遗漏，恳请宽谅。受作者认知能力所限，书中难免存在疏漏之处，敬请读者批评指正。

郭书海

2014 年 5 月

目 录

前言

1 区划原理、数学描述与实例分析	1
1.1 区划原理与分类	1
1.1.1 区划概述	1
1.1.2 区划原理	2
1.1.3 区划分类	4
1.2 区域区划与数学描述	5
1.2.1 基本概念	5
1.2.2 关系树	6
1.2.3 集合表达	6
1.2.4 从属关系	7
1.3 类型区划与数学描述	7
1.3.1 基本概念	7
1.3.2 关系树	8
1.3.3 集合表达	9
1.3.4 从属关系	10
1.4 区域区划与类型区划实例分析	10
1.4.1 生态区划与生态功能区划	10
1.4.2 实例分析结论	13
1.5 与土壤环境相关的主要区划	13
1.5.1 中国综合自然区划	14
1.5.2 中国地貌区划	16
1.5.3 中国综合农业区划	18
1.5.4 中国土地利用区划	19

1.5.5	中国水文区划	21
1.5.6	中国土壤区划与土壤分类	23
2	全国土壤环境质量状况与空间格局	28
2.1	土壤环境质量及影响因素	28
2.1.1	土壤环境质量与形成机制	28
2.1.2	土壤基础条件	30
2.1.3	全国土地利用方式	39
2.2	土壤重金属污染	41
2.2.1	全国土壤环境背景值	41
2.2.2	全国生态环境地球化学状况	49
2.2.3	全国土壤重金属污染空间分布	52
2.3	土壤有机污染	54
2.3.1	有机氯农药残留	54
2.3.2	多环芳烃累积	59
2.3.3	全国土壤有机污染空间分布	61
2.4	土壤环境质量区域特征与成因	62
2.4.1	全国土壤环境质量概况与污染特征	62
2.4.2	影响区域土壤环境质量的主要因素	68
2.4.3	全国土壤环境质量的区域特征与成因	75
2.4.4	全国土壤污染的空间相关性分析	78
3	全国土壤环境质量区划	80
3.1	区划原则与指标	80
3.1.1	区划原则	80
3.1.2	区划指标	81
3.2	区划方案	82
3.2.1	一级区划	82
3.2.2	二级区划	84
3.2.3	三级区划	86
3.2.4	区划结果统计	90

3.3 三级区划单元说明	90
4 土壤环境功能区划与土壤环境规划	135
4.1 全国土壤环境功能区划	135
4.1.1 土壤环境功能与区划原则	135
4.1.2 全国土壤环境功能区划方案	136
4.1.3 区划结果与分析	139
4.2 全国土壤环境规划	145
4.2.1 污染风险等级	145
4.2.2 全国土壤环境规划方案	150
4.3 典型应用案例	156
4.3.1 案例背景	156
4.3.2 总体思路	157
4.3.3 流程与方法	158
4.4 土壤环境管理信息系统	165
4.4.1 数据集成	166
4.4.2 系统结构	166
4.4.3 主要功能	167
5 探讨与展望	169
5.1 土壤环境质量、功能与控制目标	169
5.2 对环境区划原则的理解	170
5.3 土壤环境区划的主要定量指标	170
5.4 土壤环境区划框架体系	171
5.5 展望	172
参考文献	174
索引	179
后记	181

区划原理、数学描述与实例分析

1.1 区划原理与分类

1.1.1 区划概述

区划是根据自然或社会特征在地域上总体和部分之间的差异性与相似性而进行的区域划分，其意义在于为合理利用自然资源并制定各种规划提供理论依据。区划的科学基础是区域单元及其组成成分的特征、变化和分布规律。

区划的最早思想萌芽可以追溯到春秋战国时期的《尚书·禹贡》和《管子·地员篇》等地理著作。前者依据自然环境中河流、山脉和海洋等自然界线，把全国划分为九州，后者则根据土地类型对全国土地资源进行了分区分级，二者均体现了朴素的区划思想。系统、科学的区划工作出现于 18 世纪末的欧洲。赫特纳(A. Hettner)、洪堡(A. von. Humboldt)、霍迈尔(H. G. Hommeyer)、梅里亚姆(C. H. Merriam)、道库恰耶夫(V. V. Dokuchaev)、罗士培(P. M. Roxby)、翁斯台(J. F. Unstead)、费尔曼(N. M. Fenneman)、布迪科(М. И. Будыко)、格里哥里耶夫(A. A. Rphropbeb)和贝利(R. G. Bailey)等均在学科发展过程中做出了重要贡献，区划领域涵盖了土壤、植物和自然地理，并由早期的单要素区划发展成多要素区划。

我国是世界上较早开展现代区划研究的国家之一。多名学者在 20 世纪 20~30 年代便已开始区划的研究工作。1929 年竺可桢的《中国气候区域论》、1932 年李长傅的《中国之地理区研究》、1934 年洪思齐的《划分中国地理区之初步研究》及 1940

年黄秉维的《中国之植物区域》等研究成果均对我国的区划发展具有重要作用。

20 世纪 50 年代以后,新中国的经济建设迫切需要全面了解全国自然条件和自然资源,自然区划工作被列为国家科学技术发展规划中的重点项目。黄秉维于 1958 年提出了《中国综合自然区划的初步草案》,揭示并肯定了地带性规律的普遍存在,完善了经典的区划方法论,推动了全国和地方自然区划工作的深入,为工农业发展做出了巨大贡献。

20 世纪 80 年代后,与综合自然区划相呼应,其他种类的部门/单要素区划同期展开,如气候区划、水文区划、植被区划、地貌区划、农业区划、交通区划、建筑区划、地震区划等。90 年代后我国还开展了功能区划,如水(环境)功能区划、海洋功能区划等。

从某种程度上讲,与全国综合自然区划相比,部门/单要素区划具有更强的实用价值。以环境保护领域为例,20 世纪 80 年代以来,改善生态系统和可持续发展的呼声日益高涨,我国生态区划发展迅速,基于生态系统的生态学原理和方法论被逐渐引入自然地域系统研究。侯学煜、郑度、傅伯杰等对生态地理分区问题进行了深入研究,分别提出了各自的区划方案(侯学煜,1988;Zheng,1999;傅伯杰等,2001)。

总体而言,20 世纪后半叶我国的区划研究主要服务于农业生产,80 年代后兼顾为区域经济发展服务,90 年代后,区划的目的则转向为可持续发展服务,考虑人文因素的呼声越来越高,因此在区划过程中更加重视人口、资源、环境和发展问题,这对区划研究工作提出了更高要求。

1.1.2 区划原理

现代区划理论与方法主要源于自然地理区划。区域分异规律是自然地理区划的理论基础,等级单位系统则是分异规律的具体体现(景贵和,1962)。自然地理区划既是区域划分的结果,也是区域划分的方法与过程,同时还是认识地理特

征和发现地理规律的一种科学方法（郑度等，2008）。从上述观点可以看出地理学家对于自然地理区划的科学认知。

自然地理区划是一种地域系统研究法，即按照区域的内部差异，把自然特征不相似的部分划为不同的自然区，并确定其界限，进而对各自然区的特征及其发生、发展和分布规律进行研究，按其区域从属关系，建立一定的等级系统。所以，自然区划本质上是一种方法论（郑度等，2008）。

自然地理区划的原则建立于自然地理地域分异规律。区划原则既是进行区划的指导思想，又是选取区划指标、建立等级系统、确定区划方法的科学准绳。因此，区划原则是自然区划中的重要问题，主要包括发生统一性原则、相对一致性原则、主导因素原则、综合性原则、区域共轭性原则。

（1）发生统一性原则

任何区域单位都是在历史发展过程中形成的，因此，进行区划时必须探讨区域分异产生的原因与过程，以形成该区域单位整体特性的发展史为区划依据。

（2）相对一致性原则

在划分区域单位时，必须注意其内部特征的一致性。这种一致性是相对的一致性（所以也称为相似性），而且不同等级的区域单位各有其标准。

（3）主导因素原则

特征及其影响因素是区域属性的重要内容。开展区划时必须在形成不同区域特征的诸要素中找出起主导作用的因素，作为分区的重要依据。

（4）综合性原则

进行区划时必须综合分析地带性和非地带性因素之间的相互作用及其表现程度和结果，任何自然区域都是由各个自然地理要素组成的整体。

（5）区域共轭性原则

区域共轭性产生于区域单位空间不可重复的客观事实。自然区划所划分出来的必须

是具有个体性的、区域上完整的自然区域,这称为区域共轭性原则,即空间连续性原则。

上述各项区划原则,彼此间具有顺承性,并且互为补充,是区域区划的一般性原则。在行业或专题区划中,还可以根据区划的目标和意义补充制定应用性原则,而类型区划(有些专家认为类型区划应称为类型化)则不太重视空间的连续性,更侧重管理者的针对性需求,即突出目标性原则。

1.1.3 区划分类

依据所用区划方法的差异,区划可分为区域区划和类型区划。

区域区划是根据一定目的和要求,将相似的地理信息单元合并,将差异较大的信息单元分开,从而将整个区域划分成不同子区。例如,中国生态区划是一种比较典型的区域区划,即根据分异原则将生态区域划分为一级区,再根据等级性原则对一级子区逐级细化为二级区、三级区。另一种区划与此不同,它是先划分区域内具有相同特征的类型,再对每种类型进行定性描述和指标确定,从而聚类形成不同的类型,即类型化,这种区划也称为类型区划。例如,全国生态功能区划就是在生态区划三级区的基础上进行生态服务功能分区,再逐级进行属性提取与归纳,最后形成了具有不同生态功能的类型。

许多学者从区划单元的空间分布特征出发,阐明区域区划与类型区划的差别和联系。黄秉维(1958)认为:区域区划中的每一单位在地域上是相邻的,具有空间不可重复性;类型区划的每一单位允许相互隔离,空间上可以重复。区域区划便于辨异和表达区域单元的独特性,能严格地划出一致的地域;类型区划则便于求同和比较,可较准确地定出分类指标。因此,区域区划划出的是自然过程中相互依存的个体,而类型区划则划分出自然历史过程形成的具有共同特征的种类(黄秉维,1965)。因此,区域区划和类型区划都是认识自然的方法,是可以相互转化的概念(陈述彭,1990),虽然这种转换是有条件的。

在环境领域，比较成功的类型区划是《全国生态功能区划》。它是在中国生态三级区划的基础上（中国生态区划方案将我国分为 3 个生态大区、13 个生态地区和 57 个生态区），将全国划分为 216 个生态功能三级区，按重要性对具有相同生态功能的单元进行归纳、聚类，在全国水平上归为 9 类（67 个），再根据主导性原则进一步归类为 3 类（31 个），最后汇总成为全国生态功能区划。因此，科学地理解类型区划与区域区划的关系，制定合理的工作程序与技术规范，对类型区划具有重要意义。本书将采用集合论的表述方法，阐述区域区划与类型区划的逻辑关系，提出可供参考的操作规则和数学表达。

1.2 区域区划与数学描述

1.2.1 基本概念

区域区划的方法就是根据区域分异特征与规律，对区划本体进行划分。具体过程如图 1-1 所示。首先根据区划的一级指标，将其划分为 R_1 、 R_2 、 R_3 三个区划单元，单元间具有差异性，并且单元内具有相似性，这称为一级区划。但若进一步研究每个单元，如 R_1 ，会发现其内部还可能有细微差异。以此为基础，可将 R_1 划分为 R_{11} 、 R_{12} 、 R_{13} 三个单元，这就是二级区划。同理，若可继续分区，可区划为 R_{111} 、 R_{112} 、 R_{121} 、 R_{122} 、……。

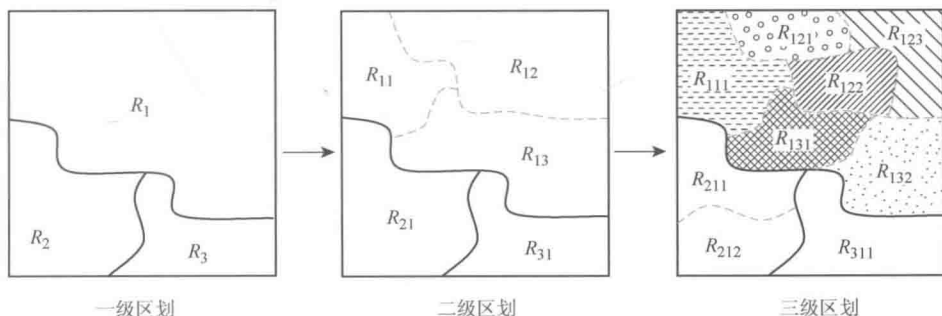


图 1-1 区划示意图

1.2.2 关系树

区域划分的关系树（图 1-2）可说明区域区划的过程与结果。

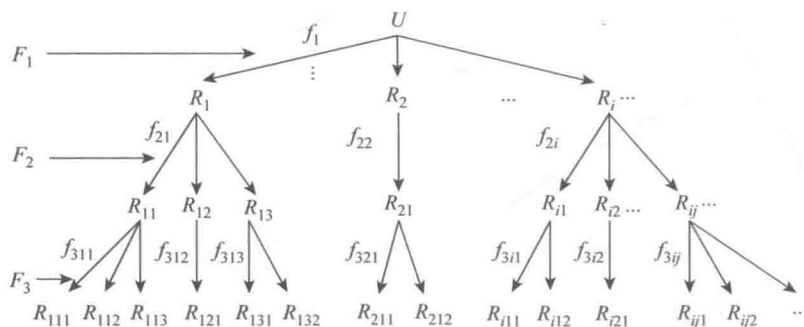


图 1-2 区域区划形成的不同级别与单元之间的关系树

其中，区域区划的单元定义为 R (region, 简称为 R)， U 是被区划的整体区域， F_k ($k=1, 2, 3$) 是各级区划的基本原则， f 为具体划分条件， F 与 f 的关系如下： $F_1=\{f_1\}$ ， $F_2=\{f_{21}, \dots, f_{2i}\}$ ， $F_3=\{f_{311}, \dots, f_{3ij}\}$ 。

$R_{ij1}, R_{ij2}, \dots, R_{ijk}$ 之间存在共轭关系，即： $R_{ij}=\{R_{ij1}, R_{ij2}, \dots, R_{ijk}\}$ ，且 $R_{ijk} \cap (\sim R_{ijk}) = \emptyset$ 。 $\emptyset$ 为空集（以下其他各章节出现的 R 、 U 、 F_k 、 $\emptyset$ 均与此同义）。

1.2.3 集合表达

若对上述过程采用数学方法进行描述，可采用集合的表述形式。

1) 按区划指标 F_1 ，进行一级分区，区划结果表示为 $\{R_i\}$ 。

$$U=\{R_i | F_1\}; R_i \cap (\sim R_i) = \emptyset \quad i=1, 2, 3, \dots$$

例如， $U=\{R_1, R_2, \dots, R_i, \dots\}$ 。

区划的结果必须满足区划的基本原则，如发生统一性、相对一致性、主导性因素、综合性分析等，并且在结果验证中应满足区域共轭性。

以下表述同理。

2) 按区划指标 F_2 , 对 R_i 进行二级分区, 区划结果可表示为 $\{R_{ij}\}$ 。

$$R_i = \{R_{ij} | F_2\}; R_{ij} \cap (R_i - R_{ij}) = \emptyset \quad i=1, 2, 3, \dots; j=1, 2, 3, \dots$$

3) 按区划指标 F_3 , 对 R_{ij} 继续三级分区, 区划结果可表示为 $\{R_{ijk}\}$ 。

$$R_{ij} = \{R_{ijk} | F_3\}; R_{ijk} \cap (R_{ij} - R_{ijk}) = \emptyset$$

$$i=1, 2, 3, \dots; j=1, 2, 3, \dots; k=1, 2, 3, \dots$$

通式可写成:

$$U = \{R_{ij\dots m} | F_1 \wedge F_2 \wedge \dots \wedge F_n\} \quad i, j, \dots, m = 1, 2, 3, \dots (n \text{ 级区划})$$

1.2.4 从属关系

各级区划在空间上的从属关系可表示为

$$R_i \subseteq U; R_{ij} \subseteq R_i; \dots; R_{ijk} \subseteq R_{ij}$$

或通式

$$R_{\underbrace{ij\dots(n-1)}_{n+1}} \subseteq R_{\underbrace{ij\dots(n-1)}_n}$$

通过上述分析可知, 在区划本体, 根据一定目的和要求, 将相似性的地理信息单元合并, 将差异性较大的信息单元分开, 从而将整个区域划分为不同的子区, 这样的区划称为区域区划。

1.3 类型区划与数学描述

1.3.1 基本概念

与区域区划不同, 类型区划侧重于对区域内的不同单元进行定性描述和指标确定, 然后通过归纳形成不同的类型。类型区划和区域区划的结果都以地理空间单元为基础, 通过地理空间信息单元可将类型单元和区划单元联系起来。类型区