

KONGJIAN TAISHI KESHIHUA YU FENXI JISHU

空间态势可视化 与分析技术

汪荣峰 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

空间态势可视化与分析技术

汪荣峰 著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书共七章。第一章介绍相关概念;第二章在分析航天器轨道可视化需求,设计航天器轨道和星下线绘制算法;第三章研究空间实体可视化技术,剖析空间实体模型的结构及其解析、绘制方法,探讨基于军标的空间实体可视化方法;第四章研究空间态势虚拟对象的可视化技术;第五章研究全球海量地形的实时绘制方法,包括两个绘制算法和相关的大量数据组织、高分辨率输出等技术;第六章研究空间态势二维可视化技术;第七章研究空间态势分析技术,包括时间窗口分析方法、卫星区域覆盖分析方法,并对防御航天侦察综合分析进行探讨。

本书可作为从事空间态势可视化、空间态势分析等方面研究工作的专业人员的参考书,也可供战场可视化、地理信息系统、作战仿真等领域研究人员借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

空间态势可视化与分析技术/汪荣峰著. —北京:国防工业出版社, 2017. 4
ISBN 978-7-118-11245-0

I. ①空… II. ①汪… III. ①地理信息系统—研究 IV. ①P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 080987 号

※
国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)
腾飞印务有限公司印刷
新华书店经售



*
开本 710 × 1000 1/16 印张 25½ 字数 469 千字
2017 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 89.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

前 言

近年来,作者在空间态势可视化与分析相关领域编写了十几万行代码,开发了多个应用系统,并基于其中部分成果发表了20余篇论文。对研究工作的进一步梳理和总结,就形成了本书。作者的研究与开发主要基于C++、OpenGL而非STK、OSG等二次开发平台,因此书中内容侧重于算法研究与技术实现。正因本书内容紧贴作者的研究与开发,因此实践性较强,书中所讨论的方法与技术都是经过验证行之有效的,同时本书也对实现中的技术细节做了详细的阐述。

态势是敌对双方部署和行为所形成的状态和形势。态势与可视化密不可分,没有可视化手段支持,态势就无从谈起,使用者更无法了解态势、分析态势、掌握态势。以美军共用作战图为代表的态势系统,服务于指挥决策、战术指控和火力协同打击等不同层次的作战应用,发挥着越来越重要的作用。随着技术的不断进步,使用者对态势系统的应用需求已不仅仅是观察态势,更需要各种态势相关的计算、分析与辅助决策支持。

与其他态势相比,空间态势具有诸多新特点,如航天器高速运动产生的时变特性、天体运动规律带来的可预测特性、航天任务要求的时空精确性等。这些特点决定了空间态势可视化与分析的实现技术与其他态势的同类技术既有共性、又有区别。可视化方面共性多、区别少,都可视作计算机图形技术的具体应用,如都需要地形可视化技术、层次细节技术等,都需要以各种算法和技术优化速度以获得实时性;空间态势可视化方面也有一些显著区别于其他同类技术的方面,如天球坐标系下的绘制方法、卫星覆盖的表现手段等,但这些问题最终仍需依赖计算机图形技术解决。态势分析方面区别多、共性少,其他态势亦如此,除了在整个态势的估计技术方面有共通之处外,在具体的态势相关计算和分析上,每类态势都有自己的独特之处。

本书的第一章为绪论,在梳理相关概念基础上,研究了空间态势图的特点和分类,对其中不同分类的内涵做了阐述,尤其是设计了航天器时空地图的表现形式并进行了初步研究;提出了空间态势可视化与分析的关键技术体系,并对涉及的各种技术进行了简要分析,后续章节围绕这些技术展开。

空间态势有别于其他态势的最主要特征是航天器遵循的天体运行规律,在

态势中的表现主要是绘制的航天器轨道、星下线以及天球坐标系下的地球自转现象等,因此本书首先在第二章探讨航天器轨道的绘制技术。航天器轨道绘制需要计算模型的支持,涉及时间系统、空间坐标系、二体模型、SGP4 模型等内容,本书从适于非航天专业理解和面向工程实现的角度对上述知识进行阐述。在分析航天器轨道可视化需求的基础上,设计了航天器轨道绘制算法、星下线绘制算法,并给出了相关优化技术、实现细节和组件设计。

第三章研究空间实体的可视化技术。在所有的态势系统中,实体都是必不可少的要素,空间态势也不例外。本章阐述了实体绘制相关的图形学技术,包括实体表示方法、空间数据结构和层次细节技术等,剖析了 STK 实体模型的结构,研究了解析、绘制方法,设计了空间实体绘制组件,并探讨了基于军标的空间实体可视化方法。

虚拟对象是空间态势中不能为人眼所看到,但却实际存在(如空间链路)或反映某种关键信息(如航天器轨道)的要素。空间态势中的虚拟对象包括航天器轨道、传感器作用、空间链路、指挥关系和卫星星座等。航天器轨道和卫星星座的绘制技术分别在第二章和绪论进行了探讨。本书第四章深入研究了传感器作用的绘制算法,包括二维、三维态势中传感器瞬时作用范围和持续时段作用范围的绘制算法和相关模型;提出了面向对抗的空间链路绘制方法;定义了航天指挥关系的图形表示方法,研究了动态航天指挥关系图系统实现的关键技术。

第五章研究全球海量地形的实时绘制方法。地形绘制是一个相对成熟的研究领域,研究成果相当丰硕,在开源软件或商业系统中已经得到推广应用的算法也很多。本书在阐述数字高程模型、梳理地形绘制方法的基础上,围绕作者提出的基于屏幕分割的平面地形绘制算法和基于视锥扩展的球面地形绘制算法进行探讨,包括相关的海量数据组织与快速访问方法、基于多数据集的地形纹理构建方法等,此外还研究了三维场景的高分辨率输出技术、基于海量数字高程模型数据的量测技术等。

尽管三维态势技术不断发展,但二维态势仍有着广泛的应用需求,具有不可替代的作用。第六章研究空间态势二维可视化技术,阐述了地图、地图符号、作战标图、数据模型等二维可视化基本问题;研究了点、线、面符号的绘制方法,重点是作者提出的 GPU 友好的线状符号绘制算法和适于面状符号绘制的多边形求交算法;结合实现的符号库系统,分析相关数据结构、数学模型及关键技术;阐述了基于数据分块的二维态势系统,其关键技术包括海量空间矢量自动拼接与基于多路归并的入库算法、分块矢量数据的符号化算法等。

第七章研究空间态势分析技术。空间态势分析与可视化并不互相割裂,而是相辅相成、有机结合,态势分析结果可嵌入态势,态势分析结果也需各种可视

化技术加以表现。空间态势分析的两个核心问题是时间和空间。在时间窗口分析方面,本书提出了二次扫描的时间窗口快速计算算法,并研究了涉及的各计算模型及时间窗口表现形式;在空间分布分析方面,卫星区域覆盖分析可作为其他空间分布分析的基础,研究了基于多边形布尔运算的分析方法和基于覆盖带的网格法,以及结合二维态势的分析结果可视化方法;为解决单纯依赖卫星过境预报进行防御航天侦察的不足,对防御航天侦察的综合分析进行了初步探讨,并深入研究了安全窗口规划算法的实现技术。

由于本书主要是作者研究开发成果的总结,因此并不追求体系的完备,对于大量可归属于空间态势可视化与分析范畴、但作者未进行深入研究或属于其他学者研究成果的内容,本书甚少涉及。

从开始动笔至今,不知不觉已经过近两年时间,完稿之际,油然而生轻松之感,更多则是感激之情,衷心感谢装备学院航天指挥系各位领导和同仁的支持与帮助。

限于时间,或有不达之辞,限于水平,难免无心之谬,限于篇幅,总有未尽之意,敬请批评指正。

作 者

2017 年 1 月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 空间态势可视化与分析基本概念及特点研究	1
1.1.1 空间态势可视化与分析基本概念	1
1.1.2 空间态势图特点研究	3
1.1.3 空间态势图的分类	5
1.2 空间态势可视化与分析关键技术体系	10
参考文献	21
第二章 航天器轨道可视化技术	25
2.1 航天器轨道计算	25
2.1.1 时间系统	25
2.1.2 空间坐标系及其转换	29
2.1.3 基于 SOFA 库的坐标系变换	36
2.1.4 航天器轨道计算的二体模型	43
2.1.5 航天器轨道计算的 SGP4 模型	48
2.1.6 航天器轨道计算若干细节问题	56
2.1.7 航天器轨道计算组件设计与实现	59
2.2 三维场景航天器轨道可视化方法	64
2.2.1 航天器轨道可视化需求分析	64
2.2.2 航天器轨道可视化算法	67
2.2.3 航天器轨道可视化组件设计与实现	75
2.3 星下点轨迹可视化	77
2.3.1 星下点计算模型	77
2.3.2 三维场景星下点轨迹可视化算法	78
2.3.3 二维环境星下点轨迹可视化算法	80
2.3.4 星下点轨迹可视化组件设计与实现	82

参考文献	84
第三章 空间实体可视化技术	86
3.1 实体可视化基础	86
3.1.1 实体的表示	86
3.1.2 图形绘制流水线	90
3.1.3 空间数据结构与层次细节技术	98
3.2 STK 实体模型剖析	101
3.2.1 STK 模型总体结构	101
3.2.2 STK 模型的图元	103
3.2.3 STK 模型的变换与参数	120
3.2.4 STK 模型的关节动作	125
3.3 空间实体可视化组件的设计与实现	127
3.3.1 基于命令与逆命令的绘制策略	127
3.3.2 STK 模型中组件与图元的处理	133
3.3.3 模型加载总体逻辑与处理	136
3.3.4 空间实体实例组件设计	138
3.4 基于军标的空间实体可视化方法	145
3.4.1 军标绘制的需求分析	145
3.4.2 三维场景中空间实体军标绘制方法	147
参考文献	150
第四章 空间态势虚拟对象可视化技术	151
4.1 传感器作用范围的可视化方法	151
4.1.1 传感器瞬时作用范围可视化算法	152
4.1.2 不同类型传感器瞬时作用范围模型	160
4.1.3 持续时段传感器覆盖范围的可视化方法	164
4.1.4 二维态势传感器作用表现	170
4.1.5 传感器作用范围可视化的扩展应用	175
4.2 空间链路的可视化方法	178
4.2.1 空间链路可视化需求与要素分析	178
4.2.2 几何可见性模型	179
4.2.3 基于直线的空间链路可视化方法	180
4.2.4 基于文字的空间链路可视化方法	182
4.3 航天指挥关系的可视化方法	186

4.3.1 动态航天指挥关系图定义	187
4.3.2 动态航天指挥关系图系统结构	188
4.3.3 航天指挥关系可视化与编辑关键技术	189
参考文献	193
第五章 全球海量地形实时可视化技术	195
5.1 数字高程模型	195
5.1.1 数字高程模型基本概念	195
5.1.2 数字高程模型表达方式	196
5.1.3 地形表达方式的转换	199
5.1.4 数字高程数据的模拟	202
5.2 地形绘制方法概述	205
5.2.1 传统地形可视化方法	205
5.2.2 地形可视化方法分类	206
5.2.3 基于规则格网的地形直接绘制	207
5.2.4 地形实时连续绘制方法概述	210
5.3 基于四叉树的全球海量空间数据存取	211
5.3.1 相关工作	211
5.3.2 逻辑结构	212
5.3.3 物理存储结构	214
5.4 基于屏幕分割的平面地形绘制算法	217
5.4.1 数据模型	218
5.4.2 数据加载与分割	218
5.4.3 数据拼接与简化	220
5.5 基于视锥扩展的球面地形绘制算法	224
5.5.1 地形多分辨率模型构建	224
5.5.2 基于形状的多数据集地形纹理拼接	230
5.5.3 其他关键技术	236
5.5.4 绘制效果与效率分析	239
5.6 量测与打印输出技术	242
5.6.1 基于海量 DEM 数据的量测	242
5.6.2 三维地形的高分辨率打印输出	249
参考文献	255
第六章 空间态势二维可视化技术	258
6.1 二维可视化概述	258

6.1.1	地图与地图符号	258
6.1.2	地图的军事应用	260
6.1.3	作战标图	263
6.1.4	二维可视化数据模型	264
6.2	符号化方法	267
6.2.1	符号化方法概述	267
6.2.2	点状符号绘制方法	269
6.2.3	线状符号绘制方法	274
6.2.4	面状符号绘制方法	285
6.2.5	符号绘制的编程法	304
6.3	符号库系统	305
6.3.1	符号库与符号	305
6.3.2	图元及其模型	309
6.3.3	系统实现中其他关键技术	317
6.4	基于分块数据的二维态势系统	322
6.4.1	矢量数据分块与入库算法	322
6.4.2	基于分块矢量数据的二维可视化	326
6.4.3	基于 DOM 与 DEM 的二维可视化	333
	参考文献	335
第七章	空间态势量化分析技术	337
7.1	时间窗口分析方法	337
7.1.1	二次扫描的时间窗口快速计算方法	337
7.1.2	计算模型	342
7.1.3	时间窗口的表现方法	353
7.2	卫星区域覆盖分析方法	360
7.2.1	基于多边形布尔运算的卫星区域覆盖分析算法	361
7.2.2	基于覆盖带的卫星区域覆盖分析网格法	368
7.2.3	区域覆盖分析情况的二维可视化方法	374
7.3	防御航天侦察综合分析 with 辅助决策技术初探	377
7.3.1	防御航天侦察综合分析 with 辅助决策系统设计	377
7.3.2	防御航天侦察可视化分析功能设计	382
7.3.3	防御航天侦察安全窗口规划方法	392
	参考文献	397

第一章 绪 论

本章首先对空间态势可视化与分析相关概念做简单梳理,然后研究总结空间态势图的特点、探讨空间态势图的分类,最后提出并分析空间态势可视化与分析的关键技术体系。

1.1 空间态势可视化与分析基本概念及特点研究

1.1.1 空间态势可视化与分析基本概念

1. 态势与空间态势

“态势”一词对于大多数人耳熟能详,《中国人民解放军军语》将态势定义为:敌对双方部署和行为所形成的状态和形势。国内研究普遍认为战场态势是态势空间内敌我双方兵力和装备部署的当前状态及发展变化趋势,同时包括战场环境以及敌方态势意图等^[1]。

空间态势是对当前空间范围内空间实体部署、行动、空间环境等状态以及进程与趋势的综合描述,是对空间信息的形式化组织与表示^[2]。可以看出,以上概念是“态势”概念在“空间”的应用和扩展,本书继续沿用此概念。

2. 空间态势图

态势和可视化密不可分,甚至经常被等同起来。李素华^[3]把战场态势表现形式划分为5种:态势图;列表,包括动态信息、目标信息、专项查询等;树状分类,包括战场情况分类、关联信息查询等;文字报告,包括态势通报、专项叙述等;辅助文件,包括文档文件、图像文件、视频文件等。

态势图是战场态势最常用、最有效的表现形式,其他形式是态势图的补充。从最早的实物沙盘到现在蓬勃发展的各种计算机态势系统都是为了以可视化的方式将态势要素呈现给使用者,以便于指挥员观察态势、分析态势。虽然可认为态势为态势图提供数据基础和应用需求,态势图是态势的表现形式。但是,离开态势图支持,态势既无法观察、也不能分析,更别提掌控。因此在一定意义上可把二者等同起来,至少可明确可视化对于态势的极端重要性。

态势图方面首推美军的共用作战图(Common Operational Picture, COP)。美

军《联合军语》对 COP 的定义:“COP 是若干个指挥部共享的相关信息的唯一共同显示……,COP 有助于制定协同作战计划,辅助所有的部队进行战场态势感知。”美军《联合构想 2020》将 COP 的定义扩充为:“COP 是一个系统,它基于网络化和知识共享的环境,融合包括陆、海、空、天和信息域的整个战场空间的火力、ISR(情报、监视、侦察)、后勤和机动信息为一个单一实体,为有效的指挥和控制、实时兵力部署、辅助决策提供直观可视的信息平台。”^[4]从 1997 年美军提出 COP 以来,经过 20 多年发展,美军逐步建立和完善了互操作作战图族(Family of Interoperable Operational Pictures, FIOP),包括用于国家和战区层面的共用作战态势图 COP、战术层面的 CTP(Common Tactical Picture)和火力打击层面的 SIP(Single Integrated Picture,单一合成态势图),分别服务于指挥决策(作战决心/方案/计划)、战术指控和火力协同打击等不同层次的作战应用。COP、CTP 和 SIP 之间主要是应用层次和精细度上有所区别。

国内研究方面,更多针对某类具体态势图,如李苏军等^[5]提出了海战场态势表现系统框架,讨论了三维态势表现中的关键技术;薛本新^[6]提出了利用战场环境可视化技术,表现战场环境当前状态,并分析预测将来一段时间内战场环境变化趋势,构成通用战场环境态势图。

综合以上分析,空间态势图应具备以下内涵:①空间态势图不是一张图,而是一个系统,可输出电子形式和纸质形式的图;②空间态势图必须表现所有的空间态势要素;③空间态势图本身应定位于 CTP 或 SIP 层面,但也可用于 COP 层面;④空间态势图可用于战略决策、指挥控制和任务规划等;⑤空间态势图的核心是可视化和分析。

3. 空间态势分析

随着技术的进步和需求的发展,态势图逐渐超越单纯可视化,而融入更多的计算分析功能。

美国三军实验室理事联席会议(Joint Directions of Laboratories, JDL)对战场态势估计概念的描述是:态势估计是建立在关于作战活动、事件、时间、位置和兵力要素组织形式上的一张视图。该视图将所获得的所有战场力量的部署、活动和战场周围环境、作战意图及机动性有机结合起来,分析并确定发生的事件,估计敌方的兵力结构、使用特点,最终形成战场综合态势图。该描述给出了态势估计的概念和内涵,特别强调了态势估计最终目的是建立作战视图^[7]。

态势估计是在决策级上进行的一种推理行为,它接受一级融合的结果,并从中抽取对当前军事态势尽可能准确、完整的感知以逐步对敌方意图和作战计划加以辨别,为指挥员决策提供直接的支持^[8]。研究者采用多级模糊综合评判法^[9]、集对分析法^[10]、基于模糊概念层次分解的战场态势综合评估方法^[11]等来

解决态势整体评估或具体的战役战术评估问题。陈志刚等^[12]综合运用各种技术构造态势评估系统;机载、舰载态势威胁估计采用基于知识的系统;贝叶斯网络用于军事单元的识别;使用模糊逻辑技术实现战场事件检测和行动路线预测,以推断敌人的企图和作战目标;遗传算法用于对行动路线进行择优。

在空间态势估计方面,祁先锋等^[13]分析了空间态势评估的主要任务和特点,对空间态势评估的过程进行了初步探讨,建立了空间态势评估的功能模型,简述了实现空间态势评估系统的关键技术;苏宪程等^[14]以集对分析的同异反联系度为基础,结合武器与人员因素分析战场态势,从全局的角度出发,对空间战场整体态势进行研究,构建空间战场态势分析模型,计算分析空间战场态势优劣。

在上述研究中,态势估计、态势评估和态势分析3个术语代表基本相同的含义。而本书中的空间态势分析,并不是评估态势的优劣,而是根据空间态势的特点和需求,针对一些具体的确定性问题进行计算和分析,如覆盖分析、时间窗口计算、安全窗口规划等。在这方面,一些著作^[15-17]阐述了必需的轨道计算、覆盖分析等模型,奠定了计算和分析的基础;秦大国等^[2]建立了空间态势计算模型,为空间态势可视化提供支持。

此外,李启元等^[18]提出了战场态势可视化分析的概念:战场态势可视化分析技术运用数据可视化、计算机图形学以及虚拟现实技术,在战场信息数据融合的基础上,显示数据的多维属性,分析发现其中的关联和走势,使指挥员快速、准确地获得有效的战场信息,从而激发指挥员的作战“灵感”。即态势分析结果也需可视化手段的支持,态势分析与可视化有机结合在一起,本书中探讨的空间态势分析技术也以分析结果的可视化表现方法作为重要的研究内容。

1.1.2 空间态势图特点研究

美军通用作战图的主要特点为^[19]:①多级多层态势体系,有火力打击、战术/战役、战略三级态势图体系,在每个级别内,态势图又按作战空间进行分类;②信息涵盖越大越广,从态势感知领域扩展到作战领域,随着信息范围扩大,网络化程度也逐步提高,随着COP功能向下延伸,信息处理速度越来越快;③共用作战图的数据具有多样性,数据来源多样性、数据格式多样性、数据专业多样性;④角色多重性,用户多样性;⑤系统分布性,包括态势生成分布性、数据表达对象分布性、数据来源分布性、服务对象分布性;⑥系统的开放性,一是作战集团、作战部队和作战单元数量的变化,二是数据容量和数据交换频度的变化。

上述特点大多也适于空间态势图,此外,空间态势图还具有如下特点:

1. 航天器高速运动产生的时变特性

与地面、水面和空中的装备不同,卫星时刻处于高速运动中,每秒可达几千米,这对空间态势图造成显著影响。

传统上,描述部队部署,可采用在二维地图或三维场景中对应位置绘制军标、实体模型、集结区域等方法。由于在一段时间内部队位置基本固定,这种表达方法可以明确地反映态势情况。但对于航天器而言,由于其位置时刻变化,传统表达方式既不符合实际,又难以表达趋势。

传统上,描述行动计划,可根据行动目的位置和计划路线,在二维地图或三维场景中绘制箭头加以表现。由于传统装备在一定时间内行动距离有限,即使飞机等高速运动物体,只要选择涵盖其作战距离的地图,这种方式也足以表达其行动计划。这种传统方式在空间态势中显然也失去用武之地。

2. 天体运动规律带来的可预测特性

地面部队、飞机、舰船根据计划采用各种行动,而卫星必须沿轨道绕地球旋转,轨道机动代价巨大,即使进行轨道机动,在机动过程中和机动之后仍遵循天体运动规律。遵循天体运动规律的特点,使得卫星的位置、速度可预测。这种可预测性在一定意义上是空间态势的一种“趋势”,在空间态势图中可采用三维空间轨道、二维地图星下线等方式表现。更重要的是,这种可预测性是空间态势分析的重要基础和前提。

3. 航天任务要求的时空精确性

空间态势图服务于指挥决策、行动计划等航天任务,而不仅仅起到示意图的作用。航天任务与航天指挥中涉及的装备、设备,如测控站、测量船等,都是高技术装备,执行任务时对时间和位置的精度要求很高,需要精确的时间窗口、空间位置和规划分析结果,因此空间态势可视化和分析必须满足这种精确性要求。

4. 层次划分的模糊性

作战态势图可根据应用层次划分为战略、战役、战术等,不同层次态势图的关注点、显示内容甚至表现形式都有所侧重。但空间态势图很难进行明显的层次区分,而是应与各层次的共用作战图有机结合。

5. 图中要素的相对简洁性

陆、海、空作战中,参战人员、武器装备数量诸多,态势图内容复杂、要素繁杂。空间态势图往往针对单个对象或装备执行任务,设备、人员均围绕任务主体展开,态势图中要素相对简洁。

6. 空间尺度大范围变化特性

空间态势图中,卫星运行需要在二维全球地图和三维全球场景的尺度下进行观察、把握,高轨卫星则需要更大的尺度。具体的航天任务则往往作用于某一

区域,在一个范围有限的地理范围开展。因此,要想完整、全面地反映空间态势中力量部署、行动计划,空间态势图需要支持空间尺度的大范围变化,这对具体实现技术提出更高要求,如在单精度 GPU 上同时绘制全球大尺度场景和小尺寸的空间实体,会产生实体“抖动”的现象。

7. 表现手段的创新性

态势图的传统形式可概括为底图+军标,随着计算机技术的发展,又加入了动画、三维实体等形式。空间态势中的军队标号尚不够成熟,在描述空间部署和行动计划时有所欠缺。空间态势的新特点,对表现手段提出新需求,需要空间态势图的表现手段乃至思想、概念上有所创新。

1.1.3 空间态势图的分类

空间态势图可按不同标准进行分类,不同的分类方式代表从不同的视角对空间态势图体系进行观察的结果,不同的分类既有联系,又有区别,互为补充。

1. 按底图与表现形式

空间态势图本质上是在一定形式的底图上,用军队标号、文字、动画、附表等各种手段标绘空间态势要素。其中底图的类型很大程度上决定了表现形式,因此这是一种非常重要的分类标准(图 1-1)。

1) 二维空间态势图

二维空间态势图以各类二维底图作为载体,根据所用底图的不同,二维空间态势图可进行细分。

(1) 二维地形图空间态势图。地形图是尽可能详细标识基本地理要素的地图,对应的空间态势图称为二维地形图空间态势图。根据比例尺的不同又可分为:大比例尺二维空间态势图,以 1:10 万及更大比例尺的地形图作为底图;中比例尺二维空间态势图,以 1:10 万~1:100 万的地形图作为底图,通常包括 1:20 万、1:25 万、1:50 万比例尺的地形图;小比例尺二维空间态势图,以 1:100 万比例尺地形图作为底图。

(2) 二维普通地理图空间态势图。普通地理图是较概略地表示普通地理要素的地图,以此为底图的空间态势图称为二维普通地理图空间态势图。在内容、应用、要素种类乃至具体实现技术上,本类空间态势图与二维地形图空间态势图并无本质区别。

(3) 二维正射影像空间态势图。以遥感影像作为态势图的底图是随着遥感技术的发展而产生的一种新的态势图描述手段,具有美观、直观、现势性强等优点,且可实现与矢量底图的叠合。其缺点是数据量大、对投影方式缺乏支持。但是对于空间态势而言,这仍是一种有效的表现形式,尤其是全球态势。

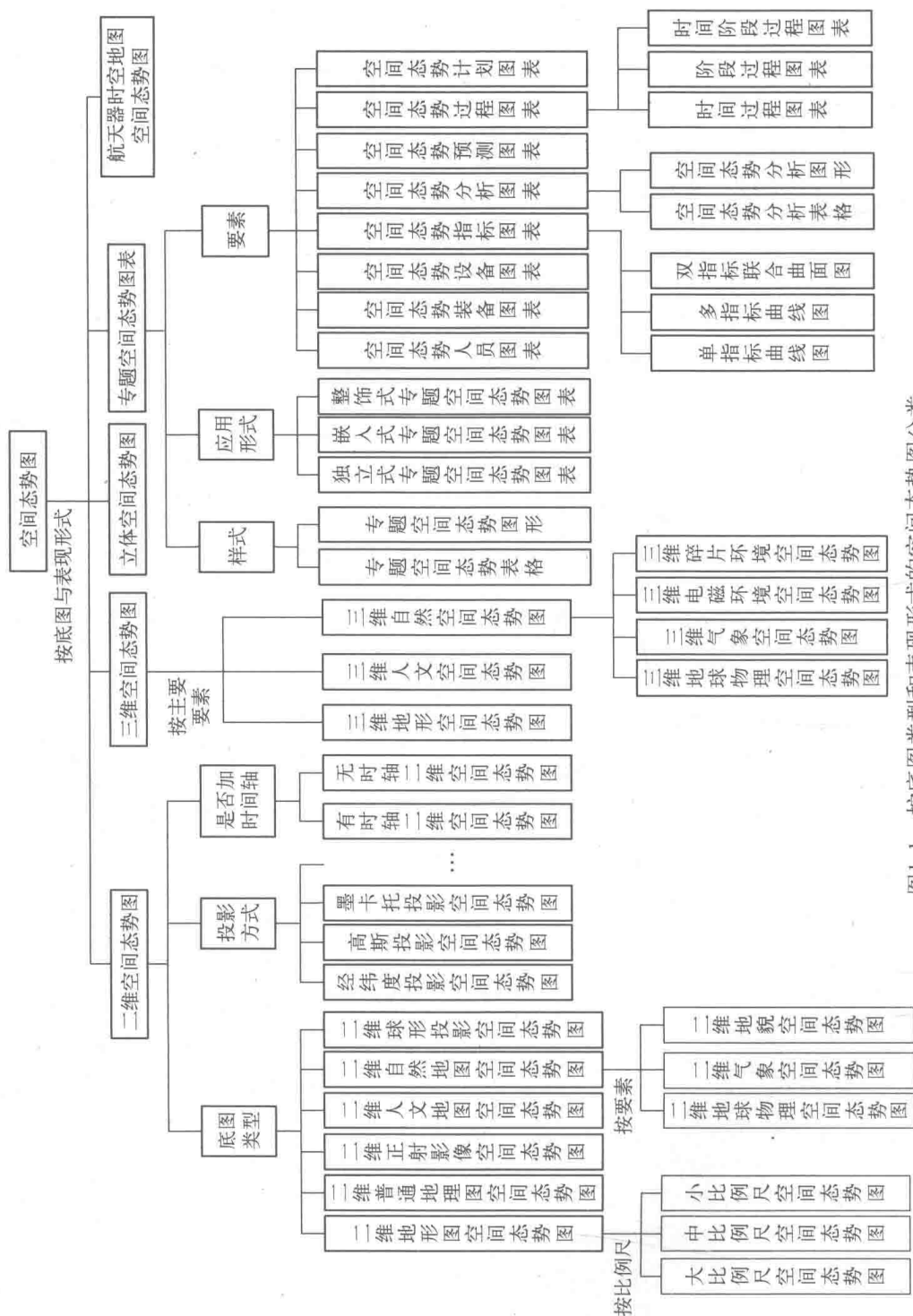


图 1-1 按底图类型和表现形式的空间态势图分类

(4) 二维人文地图空间态势图。在地图学中,专题地图是突出反映一种或几种主题要素的地图。地图的主题要素根据专门用途的需要确定,它们应表达得很详细,其他的地理要素则根据表达主题的需要作为地理基础选绘。作为主题的专题内容,可以是普通地图上固有的要素,如作为行政区划图主题的境界线和行政中心,作为地势图主题的地貌等;但更多的是普通地图上没有、专业部门需要的内容。地图学中的专题地图分为人文地图和自然地图。人文地图是表示制图区域内各种人文现象的地图,又分为行政区地图、人口地图、经济地图、文化地图、历史地图等。以人文地图为底图表现空间态势,即为二维人文地图空间态势图,主要包括行政区划、交通、城市等人文要素。

(5) 二维自然地图空间态势图。以自然现象的专题地图为底图表现空间态势,称为二维专题地图空间态势图。自然地图包括地质图、地球物理图、地势图、地貌图、气象图、水文图、土壤图、植被图、动物地理图、综合自然地理图等。根据空间态势实际,二维专题地图空间态势图主要包括:二维地球物理空间态势图,底图主要包括地磁、重力等地球物理要素;二维气象空间态势图,底图主要包括各种气象要素;二维地貌空间态势图,底图主要包括地表外部特征、类型、区划、形成、发展以及地理分布等要素。

(6) 投影方式对空间态势图的影响。由于地球曲面转化成二维平面,总会存在一定变形,因此产生各种投影方式。据统计,全世界地图投影种类现有 200 余种,主要有 UTM 投影(横轴墨卡托投影)、Lambert 投影(正轴等角割圆锥投影)、高斯投影等。因此可根据投影方式划分为经纬度投影二维空间态势图、高斯投影二维空间态势图、墨卡托投影二维空间态势图等。表示全球范围时一般采用经纬度投影,表示局部小范围可选择变形较小的高斯投影方式。

(7) 地图上叠加时间轴。传统地图难于表现空间态势的时变特性,因此可选择在地图的下方、右侧等加一个或多个时间轴,每个轴表示卫星一个周期的轨道所对应的时间范围。需注意以下 3 点:①由于卫星运动的特点,时间轴不能均匀,需在上面加时间刻度,且各时间轴独立标注;②时间轴的方向性,由卫星的运动方向决定,既可由左向右,也可由右向左;③每个时间轴可用不同颜色区分。

2) 三维空间态势图

以三维全球地理要素作为场景来表现空间态势,得到三维空间态势图。为了更好地显示效果和在天球中相对位置的确定,往往也显示星空和星座的信息。

(1) 三维地形空间态势图。三维地形空间态势图是最常用的三维空间态势图,建立全球海量地形模型,叠加正射影像作为纹理。

(2) 三维人文空间态势图。主要是在图中加入城市、行政区划、交通路线等各种人文信息。