

基于 GML 的航空地理数据建模

刘 艳, 顾春艳

(北京航空工程技术研究中心, 北京 100076)

摘要: 航空情报资料是空中交通地理活动所必需或所产生的航空地理数据, 在信息化管理过程中面临着多源异构数据的集中管理、统一维护和分布使用等需求。GML 作为开放的空间数据模型标准, 为航空地理数据的交换和共享提供了要素编码方法和数据交换规范。针对航空信息化系统建设中对规范的航空地理数据的应用需求, 在研究航空地理数据特点的基础上, 通过分析航空地理数据与 GML 模型之间的映射关系, 以航线管理系统中基础航空情报数据库的建设为例, 基于 GML 规范设计了航空地理数据模型, 阐明了数据处理流程, 为建立标准化的航空信息数据仓库进行了有益的尝试。

关键词: 航空情报; GML; 映射; 航空地理数据模型

文章编号: 1000-0585(2012)01-0187-08

1 引言

机场、导航设施、空域、航路航线、终端区飞行程序、机场地形以及障碍物等是保障航空器在地球表面飞行所必需的空间地理信息, 航空界将这些信息称为航空情报资料, 提供航空情报资料的业务称之为航空情报服务。从地理学的角度上来说, 航空情报资料是空中交通地理活动所必需或所产生的航空地理数据。现阶段, 航空地理数据主要以纸质资料和电传文字等数据产品的方式发布, 通过航空地图、航行情报资料汇编 (AIP)、航行通告 (NOTAM) 等形式提供给航空运营和服务管理机构^[1], 数据的空间属性和非空间属性分离, 可视化程度低, 共享效率低, 不利于数据的直观表达和共享交换。

随着民航业的迅猛发展以及国际航线的增加, 空中交通管制服务、航空公司、机场运行、航空数据产品生产厂家对航空地理数据的依赖性愈来愈强; 对航空地理数据的及时性、准确性和完整性要求也越来越高; 航空地理数据的整合与共享, 更是最终用户所企盼的信息提供方式^[2]。航空界要求航空情报服务从以产品为中心向以数据为中心转变, 这种转变意味着所有应用航空地理数据的产品应由唯一的数据源提供标准化的信息, 数据的变化能够自动波及所有产品, 无需手工修改所涉及的每个产品, 各航空信息化系统共享统一的标准数据^[3,4]。将不同来源、不同尺度和不同精度的航空地理数据集成并融合在一起, 实现异构数据的交换和共享, 成为保障空中运输快速、安全、高效的重要因素。

伴随着网络化地理信息技术发展起来的地理信息标识语言 GML (Geography Markup Language), 作为空间地理数据编码、传输和存储的一种通用数据模型规范^[5], 为实现航空地理数据的标准化存储和互操作提供了技术支撑。欧洲航行安全组织与美国联邦航空局

收稿日期: 2011-07-15; 修订日期: 2011-10-03

基金项目: 国家空管科研项目 (GKG20070217)

作者简介: 刘艳 (1975-), 女, 山东临沂人, 工程师、硕士, 主要从事航行情报数据处理和空中交通管理技术研究。E-mail: yannyliu@163.com

在 GML 的基础上制定了航空数据交换模型 (AIXM), 并根据实际应用需求建立了标准化的中央航空情报数据库^[6], 为国际航空界实现航空地理数据的网络化共享提供了一种有效的技术途径。目前, 我国航空界已认识到应用一致的航空地理数据模型建立统一的数据库是提高航空信息化系统效率、能力和安全的基础, 并开展了有关航空地理数据模型的研究。现阶段主要着眼于对 AIXM 概念及模型的探讨, 孟爱农等在飞行程序设计系统中参照 AIXM 数据模型建立了核心数据库, 但是, 应用 GML 规范建立航空地理数据模型及其数据库的文献资料尚不多见^[7~9]。本文在研究航空地理数据特点的基础上, 分析了航空地理数据与 GML 模型之间的映射关系, 以航线管理系统中基础航空情报数据库的建设为例, 阐述了基于 GML 构建航空地理数据模型的设计思路, 描述了数据处理流程, 探索了航空地理数据网络化发布的技术途径, 为建立统一的航空情报数据仓库提供参考。

2 航空地理数据与 GML 模型的映射

2.1 航空地理数据的特点

航空器从起飞至降落的运行过程中, 所涉及的起降机场、运行线路、地面导航设施、地形地势及人工高大建筑等各种空间地理要素对组织和实施空中交通至关重要, 这些数据经过收集、分析、整理和格式化后成为保障空中交通运行所必需的航空情报资料^[10]。依据国际民航组织 (ICAO) 附件 15 的定义^[1], 航空情报资料涵盖的要素信息包括: 空域, 航空器运行的空气空间; 机场, 航空器起飞、降落的场面; 导航设施, 保障航空器在空中交通系统中运营的通信、导航、监视、着陆、灯光等地面基础设施; 航路航线 (包括使用限制), 航空器在空中运行的线路及飞行程序; 地形和人工障碍物, 航空器运行范围一定距离内的自然地形和人工高大建筑物; 组织和服务, 实施空中交通管理、提供空中交通服务的各类组织和机构等; 以及其它与空中交通相关的数据, 如气象资料等。在此, 统称为航空地理数据。

作为一类型空间地理信息, 航空地理数据具有空间、时间和特征三种属性信息。航空地理数据既有经纬度位置等空间属性, 又有描述其特征的非空间属性信息。同时, 气象剧变、火山爆发等自然因素, 以及导航设施频率变更、机场搬迁等人为因素都会对空中交通线路及设施造成影响, 使航空地理数据具有很强的时间属性。此外, 航空地理数据要素之间存在着关联关系, 某一要素的属性及关系与其它要素的变更或运行密切相关。时空处于动态, 航空地理数据在任何时刻都是全新的, 表现在航空情报服务上就是要定期更新描述正常运行状况的静态数据信息 (AIP 等), 随时更新某个时段内临时性变化的动态数据信息 (NOTAM 等)。

我国的航空情报服务侧重于专业分工, 机场、空域、运行线路、导航设施、障碍物、地形等航空地理数据分属不同的业务部门收集、管理。由于缺乏统一的航空地理数据定义和规范, 空中交通管理各部门根据其职责应用需求, 采用不同的计算机信息系统、参考不同的坐标系统、遵循不同的数据规则、依据不同的编码方式分别存储、管理、维护着大量的航空地理数据, 并依据各自的业务范畴以不同的质量标准、编码方式、更新周期对外提供数据产品 (传输介质为纸质资料或电子光盘)^[11]。这种数据服务方式使得航空信息化系统之间无法共享数据, 需人工将各类航空地理数据进行再次处理 (包括数据的手动录入、格式转换、图形化表达、综合化分析等), 既增加了数据维护成本, 又不利于信息整合和统一管理, 严重影响着航空信息化系统的整体运行效率和效益。

随着我国航空运输的快速发展和信息化技术的普及应用，航空地理数据的管理逐步向电子化、图形化和网络化方向发展，建立统一标准的航空情报数据库和网络化的信息发布系统是实现这一目标的基础，基于开放标准建立航空地理数据模型是其中的关键技术之一。

2.2 与 GML 模型的映射关系

开放式地理信息协会（OGC）将地理信息技术与网络技术相结合制定了 GML 规范，为实现空间地理信息的建模、传输、存储定义了语法和机制，可实现空间信息内容与表现形式的分离，摒弃了由于空间信息表现技术差异而导致的数据格式、存储方式的不同^[12]。GML 定义了基于对象一属性的简单语义模型，提供了预先定义的几何类型（如点、线和多边形等），但没有提供具体要素（例如铁路、公路、航线等）的定义，用户通过使用 GML 框架可在应用模式（GML Application Schema）中定义具体的空间地理要素^[13~15]。

航空地理数据大多以地球表面位置为参照进行描述，具有明确的几何描述信息（有准确的地理经纬度）；有些航空地理数据不用经纬度描述，但具有长、宽属性（例如停止道），也是具有事实上的几何属性，通过换算可转变为相应的地理要素组合；此外，有些航空地理数据有上、下垂直限制，例如空域、导航台限制等，具有三维空间地理信息的特征。将航空地理数据的空间几何属性进行抽象，航空地理要素与 GML 定义的几何模型之间存在明确的映射关系（表 1），比如用边界表述的空域划设情况、用两个航路点描述的航线信息、以及用坐标定义的导航台位置等。

表 1 航空地理数据与 GML 抽象规范的映射
Tah 1 The mapping of aeronautical geographic data and GML

航空地理要素	对应的几何图形	GML 几何类型
机场和直升机场	具有经纬度的基准点	GML _Point
机场和直升机场面边界	由曲线段组合而成的多边形	GML _Surface
机场地面灯光	具有经纬度的点	GML _Curve
空域	由空域边界组合而形成的立体空间， 或者由空域边界形成的棱柱体	GML _Surface
空域边界	由曲线段组合而成的多边形	GML _Surface
空域边界顶点	具有经纬度的点	GML _Curve
空中走廊	由航线缓冲组合而成的多边形	GML _Surface
导航设施限制	由曲线段组合而成的多边形	GML _Surface
导航设施	具有经纬度的点	GML _Point
障碍物	具有经纬度的点	GML _Point
着陆保护区	由曲线段组合而成的曲线	GML _Surface
...

航空地理数据的时效性，可抽象地描述为：受时间影响的航空地理要素信息都具有生命周期；同时，航空地理要素的属性、或者与之相关联的目标会在其生命周期内发生改变。GML 定义的“时间片数据内容模型（GML-TimeSlice）”封装了动态要素的时间变化，包括动态特征、时间事件和时间周期，可满足航空地理数据的时间性变更需求。针对航空地理数据既有永久性的变化又有临时性变化的需求，可通过引入“版本”和“变更”的概念，支持 AIP 等永久性航空地理数据和 NOTAM 等临时性航空地理数据的时效性应用^[16]。

应用 GML 规范描述航空地理数据可有效保障信息在采集、处理和应用过程中的一致性,实现向全航空系统提供统一的航空情报资料,对提高空中交通管理的效率和效益具有重要意义。

2.3 航空数据交换模型 (AIXM)

欧美国家在航空信息化系统建设方面相对国内发展较为成熟,信息综合化程度较高,共享需求也更为迫切^[17]。基于 GML 规范,欧洲航行安全组织和美国联邦航空局制定了航空数据交换模型 (AIXM, 目前版本为 5.1), 作为航空地理数据存储、传输、交换的技术标准。AIXM 由两部分组成,一部分称之为航空信息概念模型 (AICM), 利用 GML 将各种航空地理数据描述成要素、属性和关系的集合; 另一部分称之为 XML 结构, 派生于 AICM, 描述如何为航空地理数据进行编码, 实现计算机系统间电子化的数据传递^[18]。AIXM 已在欧洲航空情报服务数据库 (EAD) 中获得应用, 实现了欧洲航行安全组织各成员国以电子形式自动向中央基准数据库传递航空情报的上行数据, 以及中央基准数据库向各数据源头和用户传递下行数据。

AIXM 关注了直接支持航空器空中及地面导航, 并且与飞行员、航空器和空中交通管制相关的航空地理数据, 在 GML 建立的空间几何要素基础上将具有高度等垂直信息的三维航空情报数据投影在二维框架中 (高度信息作为附加属性表示), 建立了一套二点五维的几何模型, 扩展了 GML 点、曲线、多边形等二维图形对垂直属性的支持, 并包含水平精确度属性, 据此支持航空地理数据的应用需求。虽然, 现行版本的 AIXM 涵盖了航空地理数据的大部分要素, 但还有一部分数据尚未在其定义范围之内, 主要是地形和障碍物数据, 以及机场运行、空中交通管理等与飞行相关的环境信息。随着空间地理信息规范的发展, AIXM 会不断修订和更新航空地理要素, 以适应航空信息化技术的发展。

3 航空地理数据建模

GML 规范为航空地理数据的信息化处理提供了一个充分考虑运行概念和数据互换需求的数据模型。在航线管理信息化系统的建设中, 为实现航空地理数据资源的集中管理、集中维护和共享应用, 笔者参考 AIXM 模型基于 GML 规范设计了航空地理数据模型, 将航空地理数据的图形化表示和文本化描述相分离, 通过建立基础航空情报数据库, 为整个系统提供统一的标准数据信息。

航线管理系统是一套运行在网络环境下的空管业务应用平台 (图 1), 各级航线管理部门可在相同的数据基准上实现飞行路线的规划调整、信息发布, 某一空域范围内飞行线路的冲突探测、流量统计, 以及飞行航线调配方案的辅助决策等综合化空管业务应用。

3.1 航空地理数据模型

航线管理系统所使用的原始数据资料涵盖机场、航线、导航设施、空域、障碍物、地

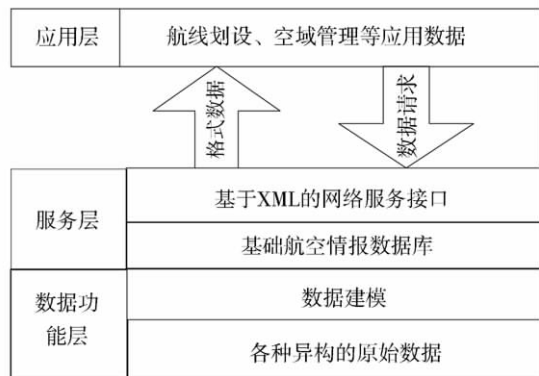


图 1 航线管理系统体系框架

Fig. 1 The framework of
airline management system

形 (1:100 万等高线和 DEM) 以及基础地理信息 (主要包括居民地、水系、道路) 等航空地理数据, 这些数据分别来自航空情报服务机构 (航路航线、空域、导航设施等)、机场空管部门 (机场、障碍物) 以及国家测绘部门 (地形、基础地理信息) 等, 数据提供介质为纸质资料 (航线划设文件、机场细则等) 和电子数据 (部分航空情报资料、地形、基础地理信息)。不同来源的数据对航空地理要素的定义差异较大, 例如来自航空情报服务机构的机场仅作为规划航线的航路点存在, 而来自机场空管部门的机场不仅包括机场标识、名称、参照点等信息, 还包括机场跑道的详细信息。同时, 原始数据格式差异较大, 有矢量数据、栅格数据以及文本数据等, 参考坐标包括极坐标、大地坐标系以及平面投影坐标系。此外, 这些航空地理数据的更新周期也不相同, 航路航线、导航设施等资料主要按 28 天定期更新, 机场、空域等资料根据变更不定期更新, 地形和基础地理信息在系统建设时应用最新发布的数据, 一般很少变更。

为准确定义这些航空地理数据, 在 GML 框架的应用模式下构建航空地理数据模型, 将独立、完整、具有地理意义的航空实体作为基本单位, 应用面向对象的技术来描述航空地理数据, 将用户感知到的航空地理数据融合成为一个整体。

根据实际应用需求,

机场、航线、导航设施、空域等航空情报数据参考 AIXM 的航空数据概念模型, 应用整体数据模型概念将现实航空地理实体抽象为具有属性、行为和规则的对象类, 每个对象不仅具有自己的几何信息、属性信息和时间信息, 而且与其它对象之间具有一定的关联关系^[19]。为处理航空情报资料的时空动态特征, 利用 GML “时间片” 对象实现时空过程的描述 (包括空间形态、物理属性和行为的描述), 在生成过程时记录相互关系以方便检索^[20]。此外, 在 AIXM

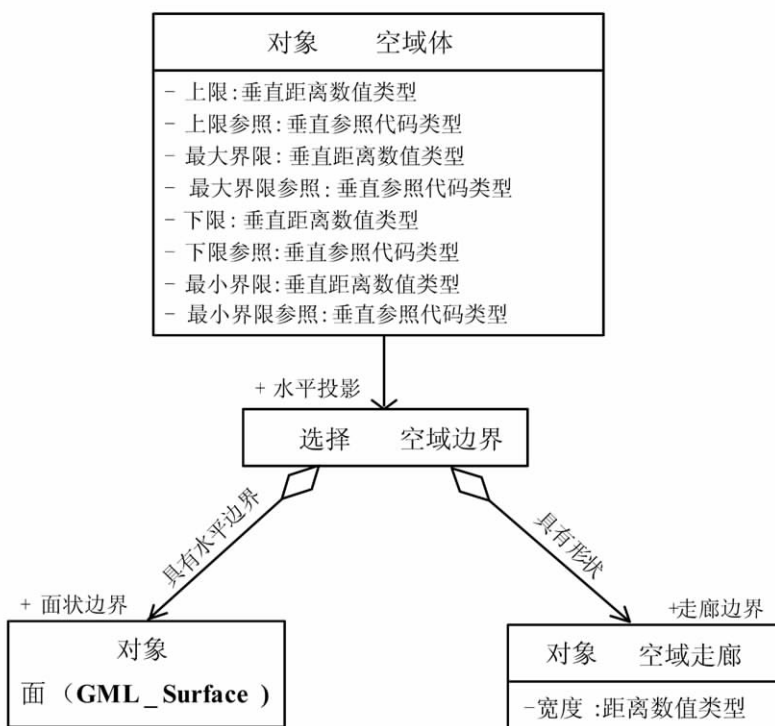


图 2 空域数据模型

Fig. 2 Airspace data model

关于航空数据定义的基础上, 还增加了一些属性字段, 例如在航路航线中增加航线是否对外开放、限制应用类型等与我国空管运行机制相适应的属性。以空域要素为例 (图 2), 空间属性利用 GML 几何模型描述, 非空间属性以对象特征进行描述, 同时在数据入库仓储过程中记录时间信息, 实现时空数据的重组、查询、检索等功能。

关于障碍物数据的定义, 目前尚没有统一的技术规范, AIXM 也没有涵盖这类数据。

从收集到的航空障碍物信息来看,这类数据主要是以机场作为参照点用极坐标描述的、具有高度信息的点状空间地理实体,因此可作为一类特殊的“点”处理。数据经过坐标转换后,作为“障碍物点”对象用 GML `Point` 表示空间信息,并具有高程、类型等属性信息。地形和基础地理信息数据来自国家测绘部门,数据格式为通用 GIS 交换格式,应用基础地理信息处理平台(例如 SuperMap Deskpro2008)可直接将其转换为 Open GML 格式。

3.2 数据处理流程

基于 GML 规范建立的航空地理数据模型将实现基础航空情报数据库信息格式的统一,不仅包含 AIXM 模型定义的航空情报资料,还包括 AIXM 尚未定义的地形和障碍物等数据。该模型的建立为原始数据的处理提供了数据组织方法和技术途径,数据处理流程如图 3 所示。

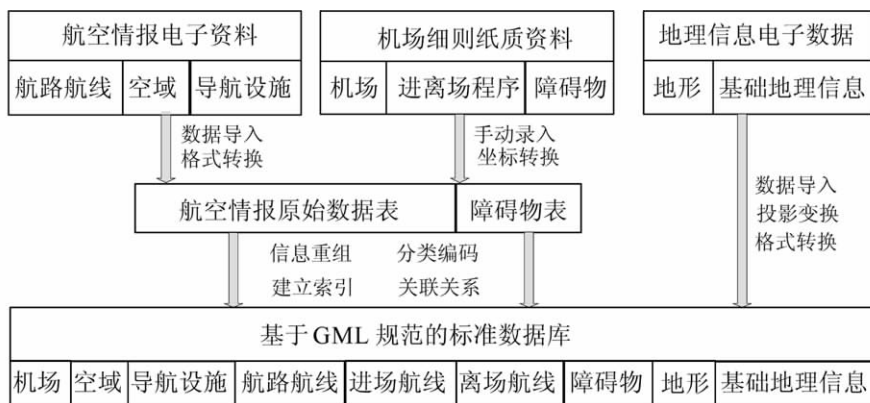


图 3 航空地理数据处理流程

Fig. 3 The processing program of aeronautical geographic data

首先,制定统一的数据定义规范,将不同来源的航空地理数据进行融合处理,形成完整的数据定义。由于原始数据来自于不同途径,会出现数据参照系不一致,数据格式、精度不同等现象,通过坐标转换、格式变换使所有信息采用统一的参考坐标系、统一的数据格式和数据精度,将数据项的内容补充完整。

然后,建立航空地理数据逻辑模型,实现基础航空情报数据库的构建。按照信息的类型与从属关系构造具有继承、扩展特征的对象类(有层次级别的排列顺序),同级别类之间形成并列关系,不能相互交叉重叠,建立数据分类编码规范。在此基础上,定义基础航空情报数据库所包括的数据表以及数据表结构(字段名、字段类型和字段内容,以及通过特征、属性和关系定义的字段组合)等,形成航空地理数据库体系框架。

通过定义相应的航空地理数据应用概要文件(Application Schema),基础航空情报数据库以 XML 格式为上层应用提供所需的数据,通过网络发布空管业务基础数据,实现集中管理、统一维护和分布使用航空地理数据。

4 结论与讨论

GML 是建立在 XML 技术上的空间地理数据规范,基于 GML 建立的航空地理数据模

型可实现各类航空数据信息的通用化定义,屏蔽了应用环境和数据结构的差异性,所建立的基础航空情报数据库涵盖了航空情报、障碍物、地形和基础地理信息等要素,为航线规划、空域管理、辅助决策等空管信息化系统提供一致的航空地理数据,实现了数据的集中化管理、分布式应用。当然,限于项目的应用需求,构建的航空地理数据模型主要考虑了航线管理的业务需求,要满足其他应用有些数据项定义需进行相应的扩展(例如对气象数据的支持),有关数据共享权限界定、数据质量保障等问题尚未考虑,以后的研究应主要集中在这些内容上。

航空信息化系统的发展趋势就是要创建一个集成的数据仓库,保证航空情报资料的有效性、及时性和按需支付性,基于统一的标准化数据库提供一致的数据产品。为满足未来的发展需求,国际民航界积极推动 AIXM 数据规范的改进和完善。我国也亟需类似的航空地理数据处理和应用技术标准,通过研究 GML 等通用信息技术规范在航空领域的应用,基于国家空管系统信息化建设需求,推动我国航空地理数据规范的发展。

参考文献:

- [1] 国际民用航空组织. 航行情报服务(第12版)—国际民用航空公约附件十五. 北京:中国民航出版社,2000. 1~58.
- [2] 杨京. 剖析 AIXM 的目标、需求与设计. 空中交通管理,2006,74(12):22~23.
- [3] 王丹阳. 浅析向航空情报管理(AIM)发展. 民航管理,2010,236(6):64~68.
- [4] ICAO. Roadmap for the transition from AIS to AIM, First Edition. <http://www2.icao.int/en/anb/aim/Pages/RoadmapfromAIStoAIM.aspx>,2009-11-23.
- [5] Open GIS Consortium Inc. Geography Markup Language (GML) v3.0 Implementation Specification. http://www.opengeospatial.org/standards/gml/?artifact_id=7174, 2002-12-18.
- [6] Bo Redeborn. Global AIM Congress 2010 Conclusion. http://www.urocontrol.int/aim/gallery/content/public/events/congress_2010/day3/Redeborn_Close.pdf, 2010-06-23.
- [7] 孟爱农. 航空信息管理(AIM)介绍. 空中交通管理,2007,82(8):40~41.
- [8] 程健,洪鼎松,程季程. 以数据为中心的 AIM 基础—AIXM5. 中国民航飞行学院学报,2010,21(5):26~28.
- [9] 李旭,何运成. 基于 AIXM 的 PBN 飞行程序系统的设计. 中国民用航空,2011,124(4):68~70.
- [10] 陈肯,何光勤. 航行情报服务. 成都:西南交通大学出版社,2003. 1~25.
- [11] 系统保障组. 空管系统航行情报保障技术研究. 2010 年空管总体技术专家组研究成果汇编. 南京:中国电子科技集团公司第二十八所,2010. 33~48.
- [12] ISO 19107. Geographic Information-Spatial Schema. <http://www.opengis.net/def/geometryType/ISO-19107>, 2008-09-17.
- [13] 梁汝鹏,李宏伟,李文娟,等. 基于 GML3.2 的对象化空间数据组织与关系表达研究. 测绘科学,2010,35(2):102~105.
- [14] 王雅琴,陶华学,高华,等. 基于 GML 的多源异构数据交换模式研究. 测绘科学,2006,31(2):88~89.
- [15] 于雪芹,李建松,钱自红,等. 基于 GML 的空间数据转换方法研究. 地理空间信息,2005,3(5):23~25.
- [16] EUROCONTROL,FAA. AIXM Temporality Model V5.1. http://www.aixm.aero/public/standard_page, 2010-01-02.
- [17] 陈亚青,韩云祥. 国内外空管信息管理对比分析. 中国民航飞行学院学报,2009,20(4):6~8.
- [18] Brett Brunk. Introduction to AIXM. https://www.eurocontrol.int/aim/gallery/content/public/events/congress_2010/workshops/2-AIXM%20Master%20Class.pdf, 2010-06-21.
- [19] 肖乐斌,钟耳顺,刘纪远,等. 面向对象整体 GIS 数据模型的设计与实现. 地理研究,2002,21(1):34~44.
- [20] 苏奋振,周成虎. 过程地理信息系统框架基础与原型构建. 地理研究,2006,25(3):477~483.

Aeronautical geographic data modeling based on GML

LIU Yan, GU Chun-yan

(Beijing Aeronautical Technology Research Center, Beijing 100076, China)

Abstract: Aeronautical information is an important type of geospatial data to ensure the safety and efficiency for air traffic. Currently, aeronautical information service (AIS) provide these data to users by the medium of aeronautical chart, aeronautical information public (AIP), notice to airman (NOTA M), and so on. We are in the age of the Internet, satellite navigation and computer networks, yet our approach to aeronautical geospatial data distribution is still based on paper charts, paper documentation and telex-based text messages. Systems exist in isolation. Many of the data is entered more than twice in different computers using a keyboard rather than via file transfer or database transactions.

To satisfy new requirements for the Global Air Traffic Management Operational Concept, aeronautical information services should be transferred to support a digital, real-time, accredited and secure aeronautical information environment. As an open geospatial data standard, GML gives aeronautical information feature coding method and interchanging format. Much has been done in air traffic community, and the technology has become more mature and is widely used. EUROCONTROL and FAA have developed AIXM (Aeronautical Information Exchange Model) based on GML. In Europe, the European AIS Database (EAD) provide unique reference database of aeronautical information on behalf of AIXM.

In Chinese air traffic community, unique aeronautical geospatial data model has been considered as the key to ensure quality, integrity and interoperation of the aeronautical information. But there is little material progress on the data modeling. Based on studies on the characteristic of aeronautical information, the paper analyzed the mapping aeronautical data between and GML. Taking the basic aeronautical information database in Airline Management System as an example, an aeronautical geographic data model has been brought forward in this paper. Studies have shown that obstacle data, as special geographic points, can be described by GML model. Terrain data and basic geographic data can be converted in Open GML format. Based on GML, the aeronautical geospatial data model can not only be applied to aeronautic information, but also to obstacle data and terrain data.

Based on the data model, aeronautic geospatial data can be progressed regularly, maintained centrally, and used in network. This work explores the approach of information technology on developing the future central aeronautical information database.

Key words: aeronautical information; GML; mapping; aeronautical geographic data model