

# 四维地籍的建立与分析

史云飞<sup>1</sup> 郭仁忠<sup>2</sup> 李霖<sup>3</sup> 张玲玲<sup>1</sup>

1 临沂大学资源环境学院, 山东 临沂, 276000  
2 深圳市规划和国土资源委员会, 广东 深圳, 518040  
3 武汉大学资源与环境科学学院, 湖北 武汉, 430079

**摘要:**分析了四维地籍的概念与需求,提出了时空宗地的概念,探讨了时空宗地的演化过程,给出了土地的恒等、类型、收缩与扩展 4 种权益变换和产生、消亡、边界调整、划入、划出与复合合并 6 种空间演化。基于 4 种空间拓扑关系与 13 种时间拓扑关系,建立了时空宗地的时空拓扑关系。在此基础上,结合地籍相关理论与技术发展,构建了四维地籍概念模型,并依据实现策略不同,提出了标签式、混合式与完全式 3 种解决方案。

**关键词:**时空宗地;时空演化;时空拓扑;权益转换;土地空间权

中图法分类号:P208;P273

文献标志码:A

近几十年来,城市空间不断向地下和地上延伸,导致某一宗地的地上或地下存在另一宗地产权。而现行的二维地籍无法满足人们对三维空间占有与利用的需求<sup>[1]</sup>。为此,许多学者开展了三维地籍<sup>[2-5]</sup>的研究,取得了大量研究成果。但是,二维、三维地籍表达的只是某一时间宗地或产权单元的静态快照,缺乏对地籍要素的第四维(时间)的描述,无法实现时态地籍管理。为此,许多学者开始研究四维(三维空间+时间)框架下的地籍。Van Oosterom<sup>[6]</sup>等探讨了建立四维地籍的意义与需求。Döner<sup>[7-8]</sup>等从技术、法律框架与制度等不同角度,分别对荷兰、土耳其和澳大利亚等国的四维地籍作了需求分析,并以荷兰的城市管线为例建立了一个简单的原型系统。本文从四维地籍的登记客体——时空宗地入手,分析其演化过程与时空拓扑关系,并探讨基于时空宗地的四维地籍概念模型。

## 1 四维地籍的概念

三维地籍是对三维空间连续剖分,形成没有重叠、裂缝的体宗地的空间覆盖,如图 1(a)所示,具有明确的三维边界。四维地籍延续了三维地籍的基础,即对三维空间与时间构成的四维空间进行连续剖分,形成时空宗地(spatio-temporal par-

cel)的连续覆盖(如图 1(b))。每一块时空宗地都是由权属边界分割,包括空间边界与时间边界。空间边界是空间上区分不同权属单元的边界,如宗地间的界址线或体宗地间的界址面<sup>[9]</sup>;时间边界是时间上区分不同权属单元的边界,如甲于 8 月 1 日将某体宗地的所有权转让给乙。现实世界中的某些动态对象往往具有混合时空边界,如作为边界移动的河流或海岸线<sup>[7]</sup>。时空边界将四维空间划分为时空宗地,四维地籍相关的土地(空间)权利都附属于时空宗地上,且每一块时空宗地上的权利同质。

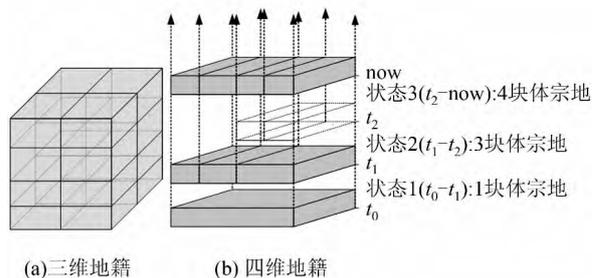


图 1 三维与四维地籍概念示例

Fig. 1 Examples of 3D and 4D Cadastral Conception

## 2 时空宗地的演化

### 2.1 时空宗地的权属属性演化

时空宗地权属属性及其变化所主导的变化,

收稿日期:2013-01-15

项目来源:国家自然科学基金资助项目(41201407);山东省自然科学基金资助项目(Y2008E22)。

第一作者:史云飞,博士,现从事三维地籍、三维 GIS 理论和应用研究。E-mail: shiyunfei\_001@163.com

通过演替对象版本或新对象的产生,共用相同的空间属性集,其事件语义主要是土地权益(所有权、使用权、收益权等)的转换。时空宗地权益间在权益内涵上具有一定覆盖关系。设  $O$  为空间所有权,  $U$  为使用权,  $F$  为收益权,其中  $O$  是土地权益的全集( $O \supset U, O \supset F$ ),  $U$  是  $O$  中不可分离的独立权利,  $F$  也是  $O$  中不可分离的独立权利。若用  $Q$  表示  $O$  中除去  $U$  和  $F$  的剩余权利,则存在:

$$O = U \cup F \cup Q$$

一般而言,这些权利具有偏序关系:收益权可以来自使用权,也可以直接来自所有权。设  $O_1 = O - U, O_2 = O - F, O_{12} = O - (U \cup F)$ ,根据内涵覆盖关系,可以将时空宗地权益间的转换  $TR$  分为 4 类( $TR_f, TR_\phi, TR_\mu, TR_\sigma$ )和一个性质:

内涵守恒-权益守恒(恒等变换)  $TR_f: A \rightarrow A$  当  $A \neq \emptyset$ ;

内涵缩小-权益减小(收缩变换)  $TR_\phi: A \rightarrow B$  当  $A \supset B$ ;

内涵扩大-权益扩大(扩展变换)  $TR_\mu: A \rightarrow B$  当  $A \subset B$ ;

内涵转换-权益转换(类型变换)  $TR_\sigma: A \rightarrow B$  当  $A \cap B = \emptyset$ 。

不动点性质(权益内核):  $O$  的真子集  $\tau \neq \emptyset$  称为  $O$  中内核(或称为不动点),当对任何收缩变换  $TR_\phi$ ,总有  $TR_\phi(\tau) = \tau$ 。

例如,根据我国现行的土地所有制政策,国有土地和集体土地权益中存在权益内核:若所有权  $O$  能独立分离的权益只有使用权和收益权,即  $O = U \cup F \cup Q$ ,则土地所有权在国家 and 集体权益人都存在权益内核(不动点)  $\tau \subset Q$ ,这是保障国家和集体拥有土地权益的数学表示。

### 2.2 时空宗地的空间演化

时空宗地与空间相关的时空演化相对复杂,对其变化本质的探讨是建立四维地籍的基础,也是建立四维地籍功能框架的前提。时空宗地的时空演化过程与类型如表 1 所示。

表 1 基于集合论的时空演变与类型<sup>[10]</sup>

Tab. 1 Spatio-temporal Evolution and Types Based on Set Theory

变化前	变化后		
	$[\emptyset]$	$[TP]=1$	$[TP]>1$
$[\emptyset]$	$\{\emptyset\} \rightarrow \{\emptyset\}$	$\{\emptyset\} \rightarrow \{TP'=1\}$	$\{\emptyset\} \rightarrow \{TP'>1\}$
$[TP]=1$	$\{TP=1\} \rightarrow \{\emptyset\}$	$\{TP'=1\} \rightarrow \{TP'=1\}$	$\{TP'=1\} \rightarrow \{TP'>1\}$
$[TP]>1$	$\{TP>1\} \rightarrow \{\emptyset\}$	$\{TP'>1\} \rightarrow \{TP'=1\}$	$\{TP'>1\} \rightarrow \{TP'>1\}$

针对表 1 中时空宗地间的演变,分析如下:

- 1)  $\{\emptyset\} \rightarrow \{\emptyset\}$ ,在现实中无实际意义。
- 2)  $\{\emptyset\} \rightarrow \{TP'=1\}$  与  $\{\emptyset\} \rightarrow \{TP'>1\}$ ,表示时空宗地的产生。
- 3)  $\{TP=1\} \rightarrow \{\emptyset\}$  与  $\{TP>1\} \rightarrow \{\emptyset\}$ ,表示时空宗地的消亡。
- 4)  $\{TP=1\} \rightarrow \{TP'=1\}$ ,表示一块时空宗地到另一块时空宗地的时空演变过程。存在两种情况:① 两者是不同的时空宗地;② 两者是同一时空宗地不同版本间的变化,如时空宗地边界调整(扩张、萎缩与变形)。
- 5)  $\{TP=1\} \rightarrow \{TP'>1\}$ ,表示单块时空宗地到多块时空宗地的分化过程。分为两种:① 时空宗地的分割;② 时空宗地的剥离(划出)。
- 6)  $\{TP>1\} \rightarrow \{TP'=1\}$ ,表示多块时空宗地到单块时空宗地的聚合过程。也分两种:① 时空宗地的合并;② 时空宗地的并入(划入)。
- 7)  $\{TP>1\} \rightarrow \{TP'>1\}$ ,表示多块时空宗地到多块时空宗地的演化过程,是时空宗地重分配的过程,即时空宗地的复合分并。

## 3 四维地籍概念模型

基于上述分析,构建了如图 2 所示的四维地籍概念模型。时空宗地由时空空间描述类与时态属性描述类聚合而成,二者又进一步由空间类、时间类与属性类聚合。根据实现的策略(标签式、混合式与完全式)不同,空间可分为二维面(面片-2D)与三维体(体-3D),分别用于表达不同模式下时空宗地的几何形体。为描述时空宗地间的空间拓扑关系,采用拓扑递进的方式组织面片-2D(或体-3D)及其更低维的拓扑基元。

### 3.1 四维地籍的时间表示

对于时间的表达,采用两种——事务时间与有效时间。在具体实现时,可采用双时间模式和单一时间模式。双时间模式是目前大多数信息系统采用的模式,它同时使用事务时间与有效时间来记录状态和事件(如图 3(a))。在该图中,“事务 1”和“事务 2”记录的是从申请、审查到登记各种事务处理的时间,它开始于申请,结束于登

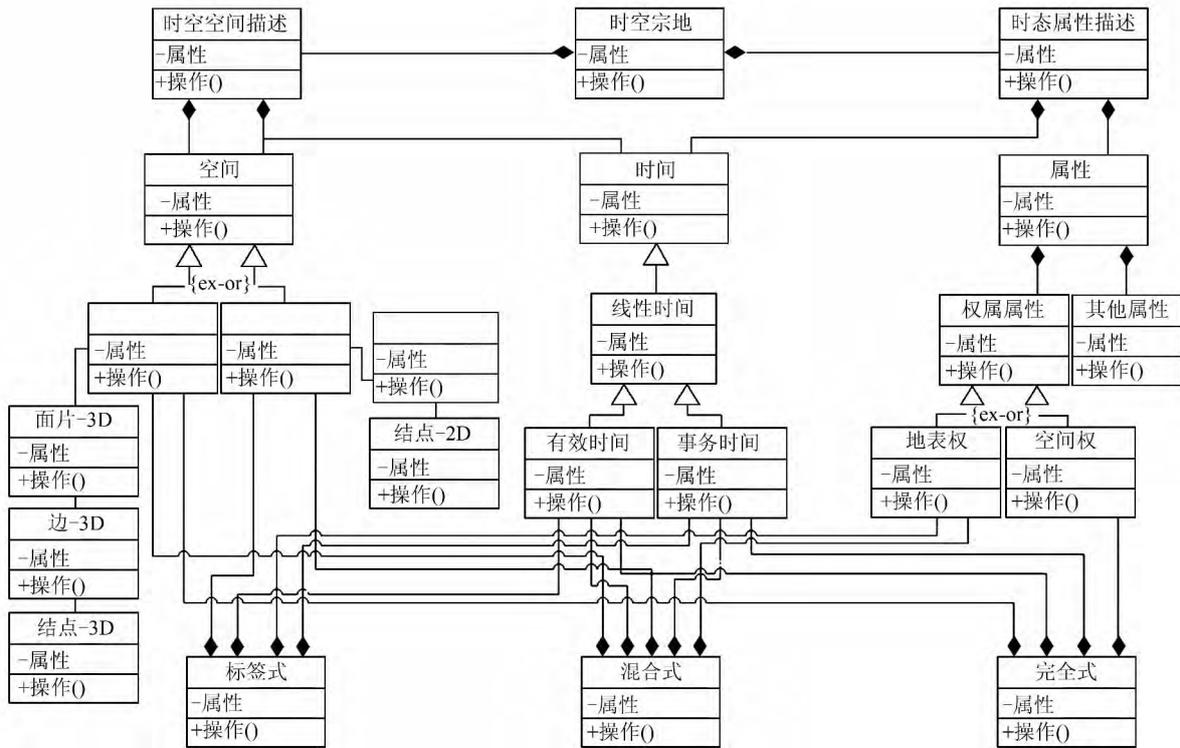


图2 四维地籍概念模型

Fig. 2 Conceptual Model of 4D Cadastre

记。因此,利用双时间模式可以清晰地将时空宗地状态变化过程的状态和事件表示出来。

单一时间模式是通过增加状态种类,将事务时间和有效时间合并表示。从状态转换的事件看,一旦某时空宗地被申请,进入登记程序,就需要经过一段时间,而不是一个时间点,因而,这种事件(状态转换)可以认为是时空宗地的一种状态,需要用时间段表示。为此,新增一种状态——转移期状态,并将时空宗地状态变化的过程分解成单一、相继的子过程,用单一时间模式来描述时空宗地状态的变化(如图3(b))。与3(a)中状态相比,新增一类状态——转移期状态(如“状态2'”、“状态4'”),事件也新增一类,如“事件2'”和“事件4'”,它们对应着3(a)中状态转移申请开始。两种时间模式下的状态具有不同的含义,例如对产权转移来说,“状态1'”与“状态2'”的权属没有变化,仍属同一权利人,对应着“状态1”;而“状态1”和“状态2”的权属发生变化,分属不同的权利人。但是,“状态1'”与“状态2'”尽管同属一人,申请事件“事件2'”发生后,其他申请事件却不能再发生,即在“状态1'”下任何时间都可以接受申请,在“状态2'”下不能接受申请,因此,它们显然具有不一样的状态。在“状态1”下,前一段时间可以接受申请,后一段时间(事务时间开始后)则不能接受申请,因此,“状态1”内的时间不

是同质,这与“状态1'”具有明显的不同。

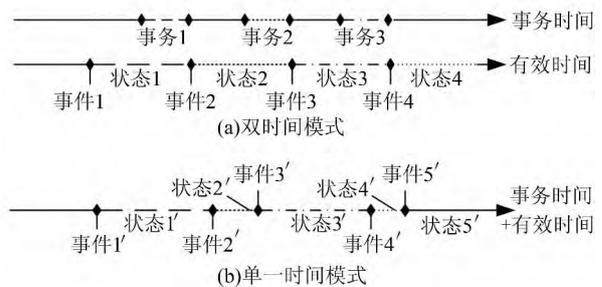


图3 时空宗地的时间表示

Fig. 3 Temporal Representation of Spatio-temporal Parcel

时空宗地的属性有两类:权属属性与其他属性。根据建立的基础不同,权属属性又可分为两类:①建立在地表土地上的权利,称为地表权;②建立在土地三维空间中的权利,称为空间权。前者是目前大多数国家地籍管理的法律基础,附着于地表宗地;后者是许多国家正在致力于研究的课题,附着于具有明确三维边界的空间。

### 3.2 四维地籍时空拓扑关系

四维地籍时空拓扑关系揭示时空宗地在时间和空间上的相关性。任意两个时空宗地之间的时空关系由空间维上的空间拓扑和时间维上的时间拓扑联合组成。因此,需要将时间拓扑和空间拓扑联合考虑。时空宗地是对四维空间的连续覆

盖,因此,时空宗地(体-体)之间不存在相交、包含、包含于、相等、覆盖与覆盖于等关系,只存在相离(disjoint)和相接(meet)关系。相接关系可分为 3 种:相接于点(meet(0))、相接于边(meet(1))与相接于面。相接于面又分为两种:完全相接(meet(21))与部分相接(meet(22))。

时间拓扑涉及事件-事件、事件-状态、状态-事件和状态-状态间的 BEFORE、STARTS、STARTS<sup>-1</sup>、DURING、FINISHES、FINISH<sup>-1</sup>、CONTAINS、AFTER、MEETS、OVERLAPS、OVERLAPS<sup>-1</sup>、MEET<sup>-1</sup>等关系<sup>[11]</sup>。鉴于 meet(0)较简单,对其没有考虑,使用 disjoint、meet(1)、meet(21)与 meet(22)4 种空间拓扑关系与时间维中状态-状态之间的 13 种时态拓扑关系,并基于最小边界盒(MBX, minimum bounding box)模型,构建如表 2 所示的时空拓扑关系表。表中横行表示两块时空宗地在空间中的相对关系,纵向表示两块时空宗地在当前位置可能的时间状态间的关系。

表 2 时空宗地的体-体间时空拓扑关系对照表  
Tab. 2 Spatio-temporal Topological Relationships Between Bodies of Spatio-temporal Parcel

时间	空间			
	disjoint	meet(1)	meet(21)	meet(22)
BEFORE				
MEETS				
OVERLAP				
FINISH <sup>-1</sup>				
CONTAIN				
STARTS				
EQUAL				
STARTS <sup>-1</sup>				
DURING				
FINISHES				
OVERLAP <sup>-1</sup>				
MEET <sup>-1</sup>				
AFTER				

图 4 为利用数据库存储时空拓扑关系来追踪时空宗地变化的示例。共发生了两次变化:第一次是 P<sub>1</sub> 与 P<sub>2</sub> 间的边界调整;第二次是 P<sub>1</sub> 并入 P<sub>2</sub>。通过在历史数据库中记录宗地间的时空拓扑关系,可以反演时空宗地的历史变化。

### 3.3 四维地籍的解决方案

在实现层次上,四维地籍有 3 种解决方案:标签式、混合式与完全式。标签式以现行地籍系统为基础,将建筑物第三维信息作为属性数据处理,并将其与相关法律文献以标签的形式与宗地链接。在图 2 中,标签式仍然采用二维拓扑基元(面片-2D、边-2D 与节点-2D)描述宗地的几何特征,所表达的权属仍是地表权。因此,标签式的实质是 2D 几何+地表权+时间的时态地籍。

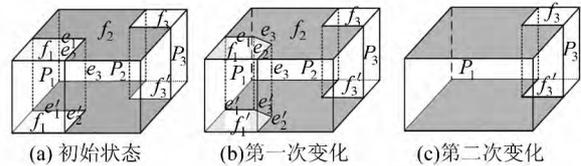


图 4 时空宗地演化追踪

Fig. 4 Evolution Track of Spatio-temporal Parcel

混合式是在现行的地籍法律框架下,将建筑物的物理几何形体的描述附加到二维地籍系统中。该模式所记录的三维几何数据是权利实体的物理形体,而非法定权利空间。因此,其登记客体仍然是权利实体所附着的二维宗地,三维数据仅用于查询、分析、可视化等功能,并不作为空间确权依据。在图 2 中,混合式同时采用二维与三维拓扑基元表达宗地与权利实体的几何特征。因此,混合式的实质是 2D 几何+3D 几何+地表权+时间的时态地籍。

完全式建立的前提是空间权的确立。在该模式下,登记客体不再是依附于地表的二维宗地,而是与地表无关的三维权利空间,所有的不动产权都将建立在一块闭合的三维空间上。在图 2 中,完全式采用三维拓扑基元表达时空宗地,并基于空间权的法律框架。因此,完全式的实质是 3D 几何+空间权+时间的时态地籍。

## 4 结 语

本文从技术角度,探讨了四维地籍的内涵,提出了时空宗地的概念,剖析了时空演化过程和时空拓扑关系,构建了四维地籍的概念模型。提出了四维地籍的 3 种解决方案:标签式、混合式与完全式,分别用于不同技术层面、法律框架下的具体实现。四维地籍是一个复杂的领域,本文仅对其技术体系下的几个关键问题进行了简单讨论与分析。在今后的工作中,将对其各个技术点展开详细研究,并建立原型系统进行验证。

## 参 考 文 献

- [1] Kalantari M, Rajabifard A, Wallace J, et al. Spatially Referenced Legal Property Objects[J]. *Land Use Policy*, 2008(25):173-181
- [2] Lin Henggui, Guo Renzhong. Design of 3D Cadastre Conceptual Model[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2006, 31(7):643-645 (林亨贵, 郭仁忠. 三维地籍概念模型的设计研究[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2006, 31(7):643-645)
- [3] Wen Xiaoyue, Wang Zhenxing, Zhou Wenbin, et al. Review on 3D Cadastre Data Model and Visualization[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2010, 35(12):1 500-1 503 (文小岳, 王振兴, 周文斌, 等. 三维地籍数据模型及可视化研究进展[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2010, 35(12):1 500-1 503)
- [4] Stoter J E, Van Oosterom P. Technological Aspects of a Full 3D Cadastral Registration[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2005, 19(6):669-696
- [5] Van der Molen P. Institutional Aspects of 3D Cadastres[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2003(27):383-394
- [6] Van Oosterom P, Ploeger H, Stoter J, et al. Aspects of a 4D Cadastre: A First Exploration[C]. XXIII FIG Congress, Munich, 2006
- [7] Döner F, Thompson R, Stoter J, et al. 4D Cadastres: First Analysis of Legal, Organizational and Technical Impact—with a Case Study on Utility Networks[J]. *Land Use Policy*, 2010(27):1 068-1 081
- [8] Döner F, Thompson R, Stoter J, et al. Solutions for 4D Cadastre—with a Case Study on Utility Networks[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2011, 25(7):1 173-1 189
- [9] Shi Yunfei. Research on Three Dimensional Cadastral Spatial Data Model and the Related Key Technology[D]. Wuhan: Wuhan University, 2009 (史云飞. 三维地籍空间数据模型及其关键技术研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2009)
- [10] Wei Haiping. Research and Application of Spatio-temporal GIS Modeling[D]. Zhengzhou: Information Engineering University, 2007 (魏海平. 时空GIS建模研究与实践[D]. 郑州: 信息工程大学, 2007)
- [11] Allen J F. Maintaining Knowledge about Temporal Intervals[J]. *Communications of the ACM*, 1983, 26(11):832-834

## Establishment and Analysis of 4D Cadastre

SHI Yunfei<sup>1</sup> GUO Renzhong<sup>2</sup> LI Lin<sup>3</sup> ZHANG Lingling<sup>1</sup><sup>1</sup> School of Resources & Environment, Linyi University, Linyi 276000, China<sup>2</sup> Shenzhen Municipal Committee of Urban Planning, Land Resource and Real Estate, Shenzhen 518040, China<sup>3</sup> School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China

**Abstract:** The paper analyses the concept and requirements for 4D cadastre and proposes the spatio-temporal parcel concept. The evolutionary process of a spatio-temporal parcel is discussed and four rights and interests transformations; identically equal, type, contraction and expansion and six spatial evolutions transformations; appearance, disappearance, boundary adjustment, union, split and re-allocation are proposed. Based on four spatial topological relationships and thirteen temporal topological relationships, the spatio-temporal topological relationships of spatio-temporal parcel are established. Combining cadastral correlation theories and technical development, this paper describes a 4D cadastre conceptual model which includes three solutions; tag pattern, hybrid pattern and the completely pattern. This research provides a theoretical reference and technical support for the establishment of 4D cadastre.

**Key words:** spatio-temporal parcel; spatio-temporal evolution; spatio-temporal topology; rights and interests transformations; land space right

**First author:** SHI Yunfei, PhD, specializes in 3D cadastre and 3D GIS. E-mail: shiyunfei\_001@163.com

**Foundation support:** The National Natural Science Foundation of China (NSFC), No. 41201407; the Natural Science Foundation of Shandong Province, China, No. Y2008E22.