

法国遥感卫星的发展 ——从 SPOT 到 Pleiades

冯钟葵^①, 石丹^{①,②}, 陈文熙^{①,②}, 骆艾荣^③

(① 中国科学院中国遥感卫星地面站重点实验室, 北京 100086;

② 中国科学院研究生院, 北京 100039; ③ 国务院扶贫办信息中心, 北京 100026)

摘要:自 1986 年 2 月 22 日以来, 法国共发射了 5 颗 SPOT 卫星, 目前, 在轨运行的 SPOT 系列卫星是 2、4 和 5 号。继 SPOT 系列卫星后, 法国着手其下一代光学遥感卫星的研制, 即 Pleiades 卫星计划, 以应对国际卫星遥感数据市场的发展, 满足民用及国防对卫星对地观测的需求。计划中的 2 颗 Pleiades 卫星将分别于 2009 年和 2010 年发射。本文在回顾了 SPOT 系列卫星的特征和发展历程的基础上, 着重介绍 Pleiades 卫星的技术特点, 为今后使用 Pleiades 卫星数据做好技术准备。

关键词: 遥感; 卫星; SPOT; Pleiades

中图分类号: P237.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3177(2007)92-0087-06

1 引言

自 1986 年 2 月 22 日第一颗 SPOT 卫星发射以来, 至今已经 20 年了。由于卫星系统的优异性能, 20 年来 SPOT 系列卫星成功地为各种相关应用提供遥感数据。

20 年来, SPOT 系列卫星已经发射了 5 颗, 其中 SPOT 3 卫星于 1996 年 11 月失效, SPOT 1 卫星也在 2003 年 9 月被关闭。目前, SPOT 系列卫星在轨运行的是 2、4 和 5 号卫星。

在第一颗 SPOT 发射 15 年后, 鉴于空间对地观测技术的发展和国际遥感数据市场的需求及变

化, 法国和欧盟其他国家开始研制其下一代高分辨率光学遥感卫星, 即 Pleiades 卫星计划。法国和意大利于 2001 年签署的空间对地观测卫星系统发展规划中, 由法国国家空间技术研究中心负责研制 Pleiades 卫星, 并把它作为 SPOT 系列卫星的后续计划, 以满足民用及国防对空间对地观测的需要^[1]。2006 年, 法国国家空间技术研究中心再次明确了 Pleiades 卫星的任务和研制计划, 并将计划中前 2 颗卫星分别命名为 Pleiades HR 1A 和 Pleiades HR 1B, 第一颗 Pleiades 卫星将于 2009 年初发射, 15 个月后发射第二颗。表 1 是 SPOT 系列卫星及其后续的 Pleiades 卫星的发展时间表^[2-3]。

表 1 SPOT 系列卫星及 Pleiades 卫星发展时间表

时间	1986	1988	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2009	2010
卫星型号	SPOT 1 ▲		SPOT 2 ▲	SPOT 3 ▲			SPOT 4 ▲		SPOT 5 ▲			PLeiades HR-1A ▲	PLeiades HB-1B ▲
发射时间	1986. 2. 22		1990. 1. 22	1993. 9. 26			1998. 4. 24		2002. 5. 4				

SPOT 系列卫星和 Pleiades 卫星, 在技术特征、观测能力、数据特点等方面有着许多相似之处和密切的联系, 应用领域互有重叠。同时, Pleiades 卫星在数据获取、观测模式和重访能力等方面与 SPOT 系列卫星又有显著的差别。本文将在简要回顾 SPOT 系列卫星技术特点的基础上, 着重介绍 Pleiades 卫星的数据特征和数据获取与观测模式, 为今

后使用 Pleiades 卫星数据作好技术准备。

2 SPOT 系列卫星的发展和特点

表 2 是 SPOT 系列卫星的主要性能参数。回顾 20 年的发展, 可以看到 SPOT 系列卫星及其数据有以下几个方面的特点^[4-10]:

(1) 轨道特征的一致性

收稿日期: 2006-12-25 修订日期: 2007-01-17

作者简介: 冯钟葵(1960~)。1984年毕业于北京大学无线电系, 1991年在北京大学遥感所获硕士学位, 现为中国科学院中国遥感卫星地面站研究员, 从事遥感数据处理和研究, 发表论文 20 余篇。 E-mail: zkfeng@mail.rsgs.ac.cn

表2 SPOT 系列卫星的主要性能参数(引自 SPOT Image 公司网站及会议资料)

	SPOT 5	SPOT 4	SPOT 1, 2, 3
发射时间	2002 年 5 月 4 日	1998 年 4 月 24 日	1: 1986 年 2 月 22 日 2: 1990 年 1 月 22 日 3: 1993 年 9 月 26 日
轨道	太阳同步	太阳同步	太阳同步
降交点时间	10: 30 am	10: 30 am	10: 30 am
轨道高度(km, 赤道)	822	822	822
轨道倾角(°)	98.7	98.7	98.7
姿态控制	指向地球和偏航轴控制 (用以补偿地球自转的影响)	指向地球	指向地球
轨道周期(分钟/圈)	101.4	101.4	101.4
轨道重复周期(天)	26	26	26
波段范围(μm)	PA: 0.48~0.71 B1: 0.50~0.59 B2: 0.61~0.68 B3: 0.78~0.89 SWIR: 1.58~1.75	M: 0.61~0.68 B1: 0.50~0.59 B2: 0.61~0.68 B3: 0.78~0.89 SWIR: 1.58~1.75	PA: 0.50~0.73 B1: 0.50~0.59 B2: 0.61~0.68 B3: 0.78~0.89
空间分辨率 (m, 星下点)	PA: 2.5 或 5 B1, B2, B3: 10 SWIR: 20	M: 10 B1, B2, B3: 20 SWIR: 20	PA: 10 B1, B2, B3: 20
侧视角度(°)	± 27	± 27	± 27
成像幅宽(km, 星下点)	60	60	60
总重量(kg)	3,000	2,760	1,800
尺寸(m)	$3.1 \times 3.1 \times 5.7$	$2 \times 2 \times 5.6$	$2 \times 2 \times 4.5$
太阳能电池板功率(W)	2,400	2,100	1,100
星上存储容量	90Gbit 固体存储器(约存放 210 景影像, 影像文件的平均大小为 114MB)	两个 120 Gbit 的记录仪以及一个 9 Gbit 的固态存储器(每个记录仪可以存放 560 景影像, 固态存储器可以存放 40 景影像, 影像数据文件的平均大小为 36MB)	两个 60Gbit 的记录仪(每个记录仪可以存放 280 景影像, 影像数据文件的平均大小为 36MB)
星载数据处理能力	可同时获取 5 景影像, 其中 2 景可以实时向地面站传输, 另 3 景采用 2.6 倍的压缩比率(DCT)进行压缩后在星上存储。	可同时获取两景影像, 然后向地面站传输或者采用 1.3 倍的压缩比率(DPCM)进行压缩后在星上存储。	可同时获取两景影像, 然后向地面站传输或者采用 1.3 倍的压缩比率(DPCM, 只对全色影像)进行压缩后在星上存储。
数据传输率(Mbps)	2×50	50	50

多颗 SPOT 卫星在同一轨道上运行, 形成卫星星座, 是 SPOT 系列卫星的一个突出的特点, 结合 SPOT 系列卫星的侧视能力, 可以提供高性能的对地观测能力, 例如, 在一颗 SPOT 卫星运行时, 平均 3 天可以重复观测到同一地区, 而在目前采用的 SPOT 2、4 和 5 号卫星星座中, 可实现每天对同一地区的重复观测。

(2) 空间及光谱分辨能力强

早期的 SPOT 1、2 和 3 号卫星, 其 HRV 传感器全色波段(PA)的空间分辨率为 10m, 多光谱有 3

个波段(B1、B2 和 B3), 分别对应绿、红和近红外波段, 空间分辨率为 20m。SPOT 4 卫星的 HRV IR 传感器保留了前三颗卫星的波段设置, 另外增加了一个短波红外波段(SWIR), 并将其第 2 个波段用作单色模式(M), 空间分辨率仍为 10m, 多光谱波段(包括短波红外波段)的空间分辨率仍为 20m, 以保持与前三颗卫星的数据连续性。SPOT 5 卫星的 HRG 传感器又恢复使用全色波段, 同时在空间分辨能力方面做了较大的改进, 其全色波段的分辨率提高到 5m, 并可通过地面系统的特殊处理生成

2.5m分辨率的数据。另外,除短波红外波段的空间分辨率仍保持在20m的水平,其余多光谱波段的空间分辨率则提高到10m,从而大大增强了对地面目标的识别能力。另外,随着短波红外波段的引入,SPOT卫星数据的光谱分辨能力也得到提高,并受到越来越多的关注。

(3) 具有立体成像观测能力

SPOT 1、2、3和4号卫星,都采取了侧视成像方式,以提高对地观测的灵活性,同时缩短重复观测的周期。在此模式下,可采用在不同轨道上对同一地区以不同的侧视角进行观测,从而形成立体像对,立体像对面积为 $60\text{km} \times 60\text{km}$ (星下点);而在SPOT 5卫星上,除保留上述能力外,特别增加了2台高分辨率立体成像仪HRS,分别沿轨道方向向前和向后观测,以形成沿轨道方向的立体成像,成像面积可达 $120\text{km} \times 600\text{km}$,极大地增强了立体观测能力。

(4) 星上数据存储和传输能力增强,卫星观测数据的获取率提高

SPOT系列卫星均采用2台相同的传感器配置,这样,每颗卫星能够同时对2个不同的地区进行观测,生成多种模式的数据。其中,SPOT 1、2、3和4号卫星各有4组数据、6种成像模式组合,SPOT 5卫星则有7组数据、21种成像模式组合。但是,SPOT系列卫星只有2个下行数据传输通道,即SPOT 1、2、3和4卫星的4组数据以及SPOT 5卫星的7组数据中,只有2组能够传回到地面。

为解决这个问题,SPOT系列卫星上都装配了星上记录仪,以保留部分数据。对SPOT 1、2和3号卫星,当卫星飞越法国上空时,可将星上记录仪中的数据传回SPOT公司接收站,对SPOT 4卫星,还可以通过中继卫星将数据传送到法国SPOT公司的接收站。对SPOT 5卫星,除保留上述功能外,还可在卫星下次飞越各国际接收站时,将星上保存的数据传回地面,这样,可更有效地利用卫星资源,获取更多的地面数据。

(5) 数据定位精度不断提高

SPOT系列卫星的星历和姿态数据来自于卫星上安装的DORIS系统,它是由法国国家空间技术研究中心等单位设计,用于精确测定卫星运动状态的系统。经过多年的研究和改进,SPOT 4卫星上的DORIS系统可给出精度优于5m的卫星轨道参数,由此可确定卫星图像数据的地面定位精度在350~500m。SPOT 5卫星除继续采用DORIS系统外,还增加了恒星定位装置,以实现对其运行状态的

精确测量。DORIS系统和恒星定位装置的共同作用,使SPOT 5卫星的轨道参数的精度达到0.5m,从而可以实现在无控制点的情况下,图像数据的地面定位精度在50m以内。同时,由于采用了恒星定位技术,使得由立体成像仪HRS获得的DEM数据定位精度控制在10m左右。

(6) 产品格式承前启后

SPOT系列卫星的数据产品格式经历了几个阶段,早期采用CRIS和SPIM格式进行标准产品的数据记录,这2种格式都参照了LGSOWG(Landsat Ground Station Operators Working Group)制定的磁带格式标准,该标准后来又被称作CEOS格式标准。1995年,SPOT Image公司开始制定新的数据产品格式,仍采用CEOS的格式标准,并将其命名为CAP(Centre d'Archivage et de Pretraitement)格式。同时,DIMAP(Digital Image Map)格式开始用作SPOT卫星数据增值产品的记录。

CAP格式重新规范和定义了SPOT系列卫星的数据产品,并兼顾了以磁带和光盘为介质时的数据组织形式。同时,CAP格式对不同尺寸产品(如子区产品等)的记录方式也做出了明确的规定。CAP格式于1997年11月正式推出,并于1998年SPOT 4卫星发射后全面用于SPOT系列前4颗卫星的数据产品记录。

2002年,随着SPOT 5卫星的发射,DIMAP格式正式成为SPOT系列卫星数据产品的记录格式,并作为后续卫星数据产品的标准格式。目前,DIMAP格式被用于全部SPOT系列卫星数据产品的记录,同时为了适应用户的使用习惯,继续使用CAP格式记录SPOT系列前4颗卫星的数据产品。

3 Pleiades 卫星的特点

Pleiades是一种便捷、灵巧的高分辨率光学遥感卫星。为了适应对地观测的发展的需要,Pleiades对卫星进行全新的设计,对传感器也进行了较大的调整,一方面继续保持了SPOT系列卫星在波段设置、立体成像、星座运行等方面的特点,另一方面在空间分辨率、观测灵活性以及数据获取模式等方面进行重新设计,使Pleiades卫星成为未来5年内具有较高技术水准和较强竞争力的对地观测遥感卫星。与SPOT系列卫星相比,Pleiades卫星是灵巧型卫星,重量为1吨,太阳能帆板和锂离子电池(Lithium ion batteries)为卫星提供1500W的能量。在姿态控制和侧视能力方面,与SPOT系列卫

星采用改变传感器的观测方向来实现对不同地区成像的工作方式不同, Pleiades 卫星采取了使卫星整体绕滚动轴、俯仰轴大角度侧摆的方式, 灵活地实现对不同目标的观测。另外, Pleiades 卫星除具有侧视能力外, 还可以在很短的时间内调整观测角度, 对点状目标进行成像, 也可以沿飞行轨迹向前或向后成像, 生成近似同时的立体像对。

在卫星的下行数据通道设置方面, Pleiades 卫星有 3 个 X 波段的下行数据通道, 每个通道的传输率为 150Mbps, 总传输速率为 450Mbps。同时, 扩大了星上记录仪的容量, 达到 750Gb, 是 SPOT 5 卫星星上存储容量的 8 倍, 能够保存约 250 景图像数据。

表 3 是 Pleiades 卫星的主要参数。

表 3 Pleiades 卫星的主要参数

卫星重量(kg)	1000
轨道类型	太阳同步轨道
轨道高度(km)	694
轨道周期(分/圈)	98.64
每天飞行圈数	14 + 15/26
重复周期(天)	26
降交点时间	10:15 am
波段	B0: 蓝 B1: 绿 B2: 红 B3: 近红外 PA: 全色
空间分辨率 (m, 星下点)	PA: 0.7 B0, B1, B2, B3: 2.8
侧视角度(°)	±30
星上存储能力(Gb)	750(约保存 250 景)
成像幅宽(km)	20

Pleiades 卫星继承了 SPOT 系列卫星的许多优点, 同时, 与 SPOT 系列卫星相比, Pleiades 卫星具有以下几方面的特点:

(1) 高空间分辨率能力

与空间分辨率较高的 SPOT 5 相比, Pleiades 卫星的空间分辨率仍有大幅度的提高, 其中全色波段的空间分辨率为 0.7m, 多光谱波段空间分辨率为 2.8m。在传感器设计上, Pleiades 采用了 TDI (Time Delay and Integration) 单元以缩短探测器采样时间。另外, 卫星的轨道高度也降低到 694km。所有这些调整, 都是以获取较高分辨率的遥感影像为目的, 同时, Pleiades 卫星星下点的成像幅宽调整为 20km。

此外, 经过地面处理系统的处理, Pleiades 卫星数据可以实现全色波段 0.5m 和多光谱波段 2m 的

空间分辨能力。

鉴于 Pleiades 卫星的高分辨能力, Pleiades 卫星全色波段数据产品的文件将达到 1.8GB, 多光谱波段的数据产品文件也将有 500MB。

(2) 调整了传感器波段设计, 提高观测能力

Pleiades 卫星在波段设置上做了小的调整, 依然设置 5 个波段, 与 SPOT 5 卫星不同的是, 取消了短波红外波段而增加了蓝色波段, 以适应对环境变化的监测。其中, 全色波段采用 5 组 TDI 单元, 每组 6000 个探测器, 共同组成一条 30000 个像元的数据行, 采样时间为 103.5 μ s, 对应星下点 0.7m/像元; 多光谱波段采用 5 组 CCD 单元, 每组 1500 个探测器, 共同组成一条 7500 个像元的数据行, 星下点像元大小为 2.8m。

(3) 灵活的观测模式

Pleiades 卫星上装有 4 组陀螺驱动装置, 可以在 7 秒钟内将卫星姿态调整 5°, 或在 25 秒内调整 60°。Pleiades 卫星的姿态调整, 可以在沿卫星飞行方向和垂直飞行方向上进行, 有效的侧视成像角为 ±30°。由于采取了整体转动的卫星姿态控制方式, 通过卫星的编程控制, 可以使 Pleiades 卫星在一个轨道内, 对 1000km × 1000km 区域内的 20 个直径为 20km 的点状目标进行瞬时观测(参见图 1), 也可以通过编程将这 20 个目标设定在 100km × 200km 范围内, 以实现对危机地区和事件的随时观测。此外, 通过反复调整俯仰角度并结合地面处理, Pleiades 卫星具有在一个轨道内实现将多个数据条带拼接成一个完整观测区域图像的能力。在侧摆 30° 时, 最大观测区域为 60km(垂直轨道方向, 3 个数据条带) × 315km(沿轨道方向)、或 140km(垂直轨道方向, 7 个数据条带) × 85km(沿轨道方向)(参见图 2)。

(4) 数据获取与快速重访能力

鉴于 Pleiades 卫星在数据的分辨能力和观测模式上的特点, 卫星在数据获取能力方面也有其突出的表现。

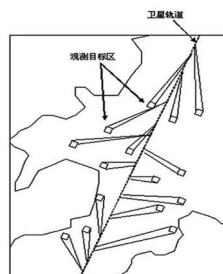


图 1 Pleiades 卫星的点目标瞬时观测 (引自 SPOT Image 公司会议资料)

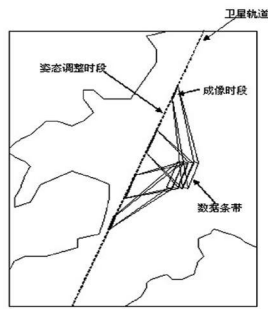


图2 Pleiades 卫星的灵活观测能力
(引自 SPOT Image 公司会议资料)

首先, Pleiades 卫星在每一轨道内有 13 分钟的成像时间, 每天能够获取 450 景图像数据, 覆盖面积 $180000 \sim 250000 \text{ km}^2$; 其次, Pleiades 卫星在立体成像方面, 除可以实现传统的两视角立体成像外, 还可以通过调整卫星的姿态实现三视角的立体成像 (tristere), 并且可通过编程调整立体成像的基高比以获取不同长度的立体像对数据条带, 参见表 4; 另外, 由于采取星座式运行, 以及卫星可以大角度调整飞行姿态, Pleiades 卫星的重访能力得到了加强, 可以在 48 小时内对任意感兴趣地区进行重复观测, 参见表 5。

表 4 Pleiades 卫星立体成像能力

基高比	数据条带长度 (km)	
	两视角立体成像	三视角立体成像
0.15	20	-
0.2	60	-
0.3	120	20
0.4	175	60
0.5	225	90
0.6	280	120
0.7	340	145
0.8	350	175
0.9	350	205
1	-	225

(5) 数据质量好

在图像数据质量方面, Pleiades 卫星也有良好的表现。与 SPOT 5 卫星类似, Pleiades 卫星装配了恒星跟踪设备并采用了先进的卫星姿态控制系统, 可以在没有地面控制点的情况下将数据产品的几何定位精度控制在 10m 以内。另一方面, Pleiades 卫星的传感器采用 12 bits 编码, 图像数据对地物信息的分辨能力得到了很大提高。同时, 采用专用的处理算法, 使 Pleiades 卫星图像数据的内部及

绝对辐射定标精度分别大于 90% 和 80%、MTF 值优于 0.2。

表 5 Pleiades 卫星重访能力

纬度 (°)	侧视角度 (°)	重访周期 (天)	
		一颗星	两颗星
0	5	26	13
	20	7	5
	30	7	5
	43	3	1
	47	2	< 1
45	5	16	8.5
	20	4	2
	30	2.4	1.2

(6) 产品格式具有连续性

Pleiades 卫星的数据产品, 沿用了 SPOT 系列卫星数据产品采用的 DIMAP 格式, 以保持数据记录的连续性, 希望借此保持与 SPOT 系列卫星数据的平稳接轨和数据市场的持续发展。

与此同时, SPOT Image 公司对 DIMAP 格式进行了适应性调整, 增加了 JPEG 2000 的图像数据格式和 GML (Geographic Mask Layer) 的矢量层, 扩大了数据格式的包容性。

4 小 结

从以上介绍看到, 经过 20 年的发展, SPOT 系列卫星以其较高的信息分辨能力、数据获取能力和灵活的观测模式, 已经成为遥感应应用重要的数据源。作为 SPOT 系列卫星的后续计划, Pleiades 卫星继承了 SPOT 系列卫星的固有优势, 同时继续保持高分辨能力、短周期重访、灵活观测等方面的领先地位, 将继续受到遥感用户的广泛关注, 成为民用遥感数据源中的重要组成部分。在发展 Pleiades HR 1A 和 HR 1B 卫星的同时, 法国国家空间技术研究中心也在考虑第 3 颗 Pleiades 卫星的研制计划, 并将根据遥感卫星技术的发展和国际遥感数据应用市场的需求进行调整。与前 2 颗 Pleiades 卫星不同, 第 3 颗 Pleiades 卫星的轨道高度较低, 只有 495km, 用以提供 0.5m 真实分辨率的遥感数据, 并且作为专门用于民用对地观测的数据源。由 3 颗 Pleiades 卫星组成的星座, 将具有优越的数据观测和获取能力, 同时也将提高 Pleiades 卫星星座的可靠性。

参考文献

- 1 冯钟葵. 国际上航天器研制与发射动态[J]. 遥感信息, 2001(2): 49.
- 2 PLEIADES: Very High Resolution Observation [M]. Presentation of SPOT IMAGE Direct Receiving Station Meeting, 2004.
- 3 Pleiades Programme Overview [M]. Presentation of SPOT IMAGE Direct Receiving Station Meeting, 2006.
- 4 冯钟葵, 厉银喜. SPOT 系列卫星及其数据产品的特征[J]. 遥感信息, 1999(3): 31~34.
- 5 燕琴. SPOT 星族成员介绍[J]. 测绘通报, 2000(11): 40~40.
- 6 徐丽萍. SPOT 5 卫星系统性能介绍[J]. 航天返回与遥感, 2002, 23(4): 9~13.
- 7 冯钟葵. SPOT 5 卫星的数据特点[J]. 中国遥感卫星地面站用户简讯, 2003(1): 6~7.
- 8 冯钟葵, 金明, 谢巍. SPOT 5 卫星数据产品[J]. 中国遥感卫星地面站用户简讯, 2003(1): 8~9.
- 9 刘宇光, 金明, 冯钟葵, 等. SPOT 数据反演地物辐射亮度和反射率的基础研究[J]. 地球信息科学, 2005, 7(2): 111~115.
- 10 www.spotimage.fr

The Progress of French Remote Sensing Satellite ——from SPOT Toward Pleiades

FENG Zhong kui^①, SHI Dan^{①,②}, CHEN Wen xi^{①,②}, LUO Ai rong^③

(① *China Remote Sensing Satellite Ground Station, Beijing 100086*;

② *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039*;

③ *The Information Center of the Poverty Alleviation Office of the State Council*)

Abstract France has launched five SPOT satellites since 1986. The SPOT 2, 4 and 5 are operating currently on orbit. Following SPOT satellite family, Pleiades program has been developed as next optical remote sensing satellite of France to satisfy the development of satellite data market. The first two satellites in Pleiades program will be launched in 2009 and 2010 respectively. Based on reviewing the technical specification and progress of SPOT satellite family, technical characteristics of Pleiades satellites are introduced in this paper. The purpose of this paper is to prepare for the application of Pleiades data in future.

Key words remote sensing; satellite; SPOT; Pleiades

(上接第 78 页)

- 4 黄慧, 边馥苓. 基于智能客户端的网络 GIS 解决方案初探[J]. 测绘通报, 2005(1): 16~20.
- 5 王继周, 李成名, 付俊娥, 林宗坚. 网络 GIS 技术发展探讨[J]. 遥感信息, 2003(2): 44~46.

Application of Smart Client Technology in Web GIS

CHEN Qiu cheng ZHANG Hai xia

(*China University of Mining and Technology School of Environment Science
and Spatial Informatics, Jiangsu Xuzhou 221008*)

Abstract Smart client is the concept that the Microsoft puts forward recently, which points out a kind of application that making use of the Web services for providing well information. Depend on the support of Web services carried by server, smart client realizes the powerful customer interface, the safe data access, convenient deployment and updating, and, in combination, can realize off-line operation in data. This paper mainly introduces some key technologies which related to Web GIS. Based on it we designed the structure of web GIS.

Key words smart client; Web service; Web GIS