引文格式:李爽.美军锁眼卫星计划分析与应用[J].武汉大学学报(信息科学版),2025,50(4):746-754.DOI:10.13203/j.whugis20230128

Citation: LI Shuang. Analysis and Application of the USA Military's KeyHole Satellite Program[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2025, 50(4):746-754.DOI:10.13203/j.whugis20230128

美军锁眼卫星计划分析与应用

李 爽[1]

1 复旦大学历史地理研究中心,上海,200433

摘 要:美国曾于20世纪50年代开始,发射锁眼(KeyHole,KH)卫星计划系列卫星并记录了全球范围的地表、军事情况,这批资料于20世纪90年代正式解密,用于全球变化等多领域研究。KH卫星影像这一拍摄时间更为早期、成像质量极高的遥感数据集是令研究者感到兴奋的,但相较于陆地卫星(Landsat)等现代商业卫星的广泛研究与应用,无论是在遥感等现代科学中,还是在历史相关学科中,KH卫星影像的相关研究还远不够深入。从遥感与历史的双重视角出发,对美军KH卫星计划进行系统梳理,阐述其产生背景,分析其数据特性,介绍其解密、下载过程,并以1965年中国上海区域为例,探讨了历史影像的处理、图像分类方法。积极开展KH卫星影像研究,将进一步丰富历史时期航拍影像的研究内容,为遥感前时代尤其是前Landsat时期的研究、与Landsat等数据构成更长时间序列等研究的开展提供坚实的历史依据与数据基础。

关键词:KH卫星;军事卫星;历史影像;上海;太空竞赛

中图分类号:P237 **文献标识码**:A **收稿日期**:2023-07-07

DOI:10.13203/j.whugis20230128 **文章编号**:1671-8860(2025)04-0746-09

Analysis and Application of the USA Military's KeyHole Satellite Program

LI Shuang[1]

1 Research Center of Historical Geography, Fudan University, Shanghai 200433, China

Abstract: **Objectives**: The USA military launched the KeyHole (KH) satellite program in the 1950s and recorded the surface and military conditions around the world. This batch of data was officially declassified in the 1990s and used for research on global changes and realted fields. KH satellite imagery, a remote sensing dataset with earlier shooting time and extremely high image quality, is exciting for researchers. However, compared to the extensive research and application of modern commercial satellites such as Landsat, the study of KH satellite imagery is far from in-deep, both in modern science like remote sensing and in history disciplines. **Methods**: Starting from the dual perspectives of remote sensing and history, we systematically sorted out the KH satellite program of the USA military, and expounded the background of its interpretation. And we analyzed its data characteristics, and introduced its decryption and downloading process. **Results**: Taking the Shanghai area, China in 1965 as an example, the processing and image classification methods of historical images were discussed. **Conclusions**: We will further enrich the research content of aerial images in the historical period, and provide a solid historical basis and data basis for the development of research in the pre-remote sensing era, especially the pre-Landsat period, and the research of forming a longer time series with Landsat and other data.

Key words: KH satellite; military satellite; historical imagery; Shanghai; space race

现代遥感研究多起源于美国国家航空航天局与美国国家地质勘探局(United States Geological Survey,USGS)联合开展的对地探测计划——陆地卫星(Landsat)。这一卫星系列最早发射于1972年,其观测数据的时间连续、全球覆盖、中分辨率等特性使Landsat迅速成为全球及局部尺度

基金项目:国家自然科学基金(42471250)。

第一作者:李爽,博士,副研究员,主要研究领域为历史GIS、空间网格。li_shuang@fudna.edu.cn

地表变化研究以及农业、林业、规划、教育等多领域的重要资源[1-2]。事实上,人类对认知、表述、分享地表环境的实践可上溯至更早,如国内外均存有不少古地图,因此当要开展更长时段的研究时,可进一步结合古旧地图、历史航空影像等这些时间上更为早期的空间资料,构建更长尺度的时间序列[3-5]。

关于历史航空影像,在Landsat影像出现之前,碍于资金、技术等多方面原因,中国只对很小一部分国土进行过航空普查。但在这一时期,美国的中央情报局曾先后通过U-2侦察机以及锁眼(KeyHole,KH)卫星计划系列侦察卫星拍摄了大量航片,这批资料将地表变化的记录从1972年开始运行的Landsat计划再在时间轴上往前推进十余年,目前已应用到地质灾害、城市聚落、考古、水系等不同研究领域[6-7]。国内外来自多学科背景的学者也针对历史航拍数据开展了处理方法及相关应用研究,例如文献[8]提出了二维卷积神经网络以及随机森林的历史地表分类方法;文献[9]提出了面向对象的历史地表分类方法;文献[10]探讨了生成历史时期高分辨率数字高程模型(digital elevation model, DEM)的方法;文献[11]开展了系统的、专家主导的考古分析;文献[12]探索了数据在城市考古中的应用;文献[13]分析了数据在活动断层研究中的应用;文献[14]则提取了历史地震的同震位移;文献[15]提取了豫东平原古城淮阳城湖湿地的历史景观;文献[16]重建了西溪湿地历史景观格局;文献[17]在遗产安全和可持续发展视野下讨论了数据如何利用。

通过上述研究可以看到,KH卫星影像这一拍摄时间更为早期、后续陆续解密、拍摄质量高的遥感数据集是令研究者感到兴奋的,但相较于Landsat等现代商业卫星的广泛研究与应用,在历史、考古等学科或遥感等现代科学中,KH卫星影像的产生背景、数据特性、使用方法、应用分析等相关研究还不够深入,学者们甚至对KH卫星以及前Landsat时期的空间资料了解甚少。文献[18]简要介绍了美国照相侦察卫星以及长曲棍球卫星的发展过程、遥感器性能及成像能力;文献[13]在文献[18]的基础上,对KH-1~KH-6卫星相机的性能参数进行总结,并给出了数据处理的实例;文献[7]对美国国家档案馆馆藏的KH以及U-2底片的基本情况、获取渠道做了简要介绍[7]。

基于上述分析,笔者从历史与遥感双重视角出发,对KH卫星影像的产生背景、数据特性、处理方法展开分析,以期丰富历史时期航拍影像的研究,为前Landsat时期研究的开展提供历史依据与数据基础。

1　KH卫星及数据特点

1.1　KH卫星

1957年,苏联发射了第一颗人造地球卫星斯普特尼克1号,引发了美国等国家对于苏联卫星技术的担忧,要在太空竞赛中加快步伐[19]。时任美国总统德怀特·艾森豪威尔在此情形下直接授权了科罗娜(Corona)计划(KH系列的前身),该计划由美国空军和中央情报局联合管理,对地表进行探测,特别是提供苏联导弹能力等信息。Corona计划在1959年进行试射,最终在1960年8月18日于太平洋成功回收了胶片桶[20]。1960年5月1日一架U-2间谍机在苏联上空被击落后,Corona计划迅速推进。Corona计划的成功发射对于美国情报收集工作起到了关键性作用,首次回收的胶卷中对苏联的覆盖范围比之前所有U-2飞行还多,令美方清楚地了解了苏联的核能力。由于卫星寿命及技术更迭等原因,Corona计划后续还研发了新的任务,分别被命名为KH-1、KH-2、KH-3、KH-4、KH-4A、KH-4B。军事、情报领域通常使用KH作为代号来描述这一侦察卫星系列,并按照任务进行编号,作为资料组织与索引的重要方式[21]。

目前根据发射时间、技术性能等指标,KH共分为以下3代:

第1代照相侦察卫星为KH-1~KH-6(1960—1972年),包括Corona、Argon(KH-5)和Lanyard(KH-6)3个系统[22]。上述系统均属于胶片返回式照相侦察卫星,通过使用望远镜相机系统获取照片,并将曝光的胶片装入回收舱。当太空舱通过跳伞返回地球时,回收舱会从其原本的轨道上脱离,再由飞机回收(图1)。其中,早期系统(KH-1、KH-2、KH-3和KH-6)携带一个全景相机或单帧相机(KH-5),KH-4、KH-4A、KH-4B则携带了两个全景相机,分别向前后倾斜15°,用于立体成像。上述卫星系统的寿命较短,寿命一般为几十天,地面最佳分辨率可达到1.83 m。目前,美国第1代侦察卫星在1960—1972年间收集了超过860 000张地球表面图像。

第2代照相侦察卫星为KH-7~KH-10(1963



(a) Discoverer 14(KH-1的一个间谍卫星)数据返回



(b) 苏联的SS-7导弹基地(1962年)[23]

图1 KH卫星数据的返回与军事基地拍摄

Fig. 1 Recovery of the KH Satellite Imagery and Missile Base Image

至1980年),与第1代卫星同样属于胶片返回式照相侦察卫星,装备了全景相机、红外扫描仪和多光谱扫描仪,工作寿命从几天到几百天不等,但地面分辨率有了显著提高[24]。其中,Gambit(KH-7)是一种高分辨率成像系统,相机模块由单条幅照相机、恒星相机和索引相机3部分组成,首次采用反射镜望远镜聚光,最终共提供了大约18 000张黑白图像和230张彩色图像。KH-7数据的主要特点是更大的覆盖范围和更高的地面分辨率,其中69.4%的图像分辨率低于0.91 m。KH-8即Gambit-3卫星数据的地面分辨率可达到0.1 m,达到了分辨率的物理极限,还能记录轨道上的物体。KH-9旨在支持军方的测绘需求和地理点的精确定位,通过使用图像重叠进行立体覆盖,并使用带有网格的相机系统来校正图像失真。KH-9框幅式照相机以6.096~9.144 m的分辨率生成0.23 m×0.46 m的图像,卫星主摄像头的最高地面分辨率为0.61 m,最终获取了大约29 000张地图图像。KH-10是美国空军载人航天计划的一部分,设计思路是将载人空间站作为侦察卫星,后因故而被取消。

第3代数字侦察卫星为KH-11及之后,属于数字成像无线电传输卫星,可以通过更高轨道的通信中继卫星群进行路由,实现了数据实时传输功能,其工作寿命及地面分辨率均有大幅提升[25]。在具体设计中,KH-11被认为在大小和形状上与哈勃太空望远镜相似,因为它们是用类似的容器运输的,其星座由两颗主卫星和两颗副卫星组成(每个平面一颗主卫星和一颗副卫星)。KH-12是对KH-11的改进,而KH-13是一个非官方名称,可能指的是几个美国侦察卫星计划,但因高度机密,一些技术细节还不清楚,因而仅将名称罗列,供相关研究人员参考。

1.2 数据特点

该系列数据具有鲜明的历史特性,同时还具备以下数据特点。

1)空间覆盖范围广。该数据空间上虽更侧重苏联等国家,但仍具有全球覆盖特性(陆地部分):

2)空间分辨率高。该数据分辨率优于Landsat等早期卫星图像(Landsat 1~3卫星所搭载的多点传感器,其数据一般处理为80 m的空间分辨率)。

3)获取时间更为早期。拍摄时间比20世纪70年代的商业卫星影像要更早,因此更适合用于表达历史时期(特别是快速城镇化之前)的地表特征,还可通过与现有卫星影像进行比较来提取比以往任何时候都更长时间的地表变化情况。

4)时间分辨率高。数据时间可精确至天及更短时长,相较同时期传统地形图的测绘时间大幅缩短。

5)获取开放、简单。该数据可直接在USGS EarthExplorer网站在线搜索、下载或订购,因此获取途径相对开放、简单[26]。

2 数据解密与获取

2.1 数据解密

KH卫星系统的发射以及图像的获取因20世纪50年代开展太空竞赛而起,因此获取的图像最初目的是用于军事侦察,同时为美国的情报机构制作地图,尤其是苏联及联盟区域,因此无论是数据或是技术细节,均是高度机密的。直到1992年,一个环境工作组评估了早期卫星数据在环境研究中的应用,认为Corona、Argon和Lanyard数据不再对国家至关重要,而其特殊的历史价值以及高数据质量可能对全球变化研究具有重要价值,因此这些图像于1995年得以解密[27],要求有

表 1　KH 卫星计划技术概述

Table 1　Technical Overview of KH Satellite Program

侦察卫星	卫星系统	任务代号	数据时间	焦距/m	轨道高度/km	相机类型	最佳分辨率/m
第1代照相侦察卫星	Corona	KH-1	1960年8月	0.609 6	165～460	全景相机	12.192
		KH-2	1960年12月至1961年7月	0.609 6	165～460	全景相机	9.144
		KH-3	1961年8月至1961年12月	0.609 6	165～460	全景相机	7.62
		KH-4	1962年2月至1963年12月	0.609 6	165～460	全景相机	7.62
		KH-4A	1963年8月至1969年9月	0.609 6	185	全景相机	2.743 2
		KH-4B	1967年9月至1972年5月	0.609 6	150	全景相机	1.828 8
	Argon	KH-5	1962年5月至1964年8月	0.076 2	322	框幅式相机	140.208
	Lanyard	KH-6	1963年7月至1963年8月	1.676 4	172	全景相机	1.828 8
第2代照相侦察卫星	Gambit	KH-7	1963年7月至1967年6月	1.955 8	111～278	全景相机	0.609 6～1.219 2
	Gambit-3	KH-8	1966年7月至1984年4月	4.445	120～167	全景相机	优于0.304 8
	Hexagon/Big Bird	KH-9	1973年3月至1980年10月	1.524(全景),0.304 8(框幅)	148～685	全景相机 框幅式相机	0.609 6～1.219 2(全景),6.096～9.144(框幅)
	Dorian/Manned Orbiting Laboratory	KH-10	取消				
第3代数字侦察卫星	Kennan/Crystal	KH-11	1976年12月至今			框幅式相机 条带式相机	理论分辨率应达到0.15
	Advanced Kennan/Improved Crystal/Ikon	KH-12	KH-11后期				
		KH-13((非官方称谓))					

关部门在18个月内解密第1代照相侦察卫星KH-1～KH-6,由美国国家档案馆保存,电子副本存于USGS,并向公众公布。在1995年首次发布机密卫星照片后,作为该行政命令的延续,美国军事情报卫星于2002年、2011年分别进行了第二次、第三次解密。

第一批解密的影像主要包括来自KH-1～KH-6的影像记录,数据覆盖时间为1960至1972年,共有超过86 000张图像。

第二批解密的影像主要包括来自KH-7和KH-9的军事情报照片集,数据覆盖时间为1963—1980年。KH-7共执行了38次飞行任务,提供了约18 000张黑白航片和230张彩色图像;KH-9执行了12个任务,获取了大约29 000张图像。

第三批解密的影像主要为KH-9,数据覆盖时间为1971—1984年。其中,14 000个解密卷(超过670 000个场景)已于2019年转移到USGS的地球资源观测和科学中心。目前,解密资料的

扫描和发布仍在持续进行中。

2.2 数据获取

KH的原始胶片和技术任务资料在美国国家档案馆的地图研究室保存,其中扫描并电子存档的底片在USGS地球资源观测和科学中心存有电子副本,可于USGS EarthExplorer在线免费下载。当用户需要未经扫描的原始底片时(网站中可查到元数据索引信息,但无法下载),可以通过电子邮件的方式向美国国家档案馆申请扫描馆藏底片(carto@nara.gov),订购副本[28]。档案馆采用高性能摄影测量胶片扫描仪来创建分辨率为7 μm或14 μm的扫描产品,定制价格为30.00 USD/幅[25]。

在USGS EarthExplorer下载数据时,与Landsat等影像的下载流程一致。(1)输入搜索范围时时可根据不同方式设定空间范围、时间范围、含云量等基础条件;(2)选择数据集时,需要选择解密数据,内含有Declass 1(1996)、Declass 2(2002)、Declass 3(2013)3个选项,分别对应§2.1中的3批解密影像;(3)可以设置另外的条件,如影像的ID、执行任务编号、分辨率、相机类别、影像尺寸、影像类别(黑白或彩色)、是否可下载、是否可预览等属性信息,便于更精确地缩小查询结果范围;(4)得到结果,可对影像进行预览、订购、下载等操作,也可以导出结果的元数据信息。通过分别导出不同批次的所有数据的元数据,可以得到USGS官网所存KH解密影像的全部数字化信息(表2),并以天地图影像作为电子底图,制作分批解密影像的覆盖范围及总数据量的网格化统计结果(图2),供相关研究人员参考。

需要注意的是,在USGS EarthExplorer下载得到的影像资料是没有经过地理配准的,而索引文件却有大致的覆盖范围,该范围是基于相机操作及卫星路径等数学计算得到的近似图像坐标,并非配准后的地理坐标。由于坐标的精度是根据推导得来的,精度十分有限,因此用户首先应初步在线预览图像,以验证其中是否包含真正感兴趣的区域,如该影像不包含,则需要在邻近的影像条带中进行查找。

表2 KH卫星影像的元数据信息

Table 2 Meta-Data of KH Satellite

ID	名称	类型
0	Entity ID	String
1	Acquisition	Date
2	Mission	String
3	Frame	Integer
4	Direction	String
5	Image Type	Integer
6	Camera Type	String
7	Camera Res	String
8	Film Type	String
9	Generation	Integer
10	Polarity	String
11	Down Load	Integer
12	Center Lat	String
13	Center Lon	String
14	NW Corner	String
15	NW Cone_1	String
16	NE Corner	String
17	NE Corne_1	String
18	SE Corner	String
19	SE Corne_1	String
20	SW Corner	String
21	SW Corne_1	String
22	Center L_1	String
23	Center L_2	String
24	NW Corner	String
25	NW Corne_2	String
26	NE Corner	String
27	NE Corne_2	String
28	SE Corne_2	String
29	SE Corne_3	String
30	SW Corne_2	String
31	SW Corne_3	String

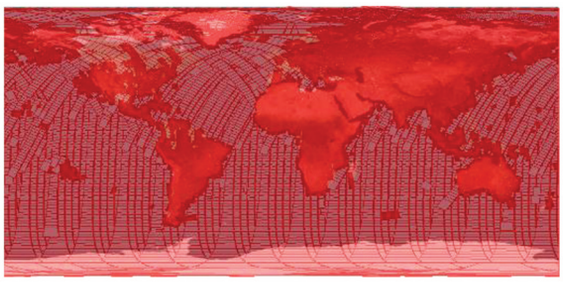
3 图像处理与分类

3.1 图像处理

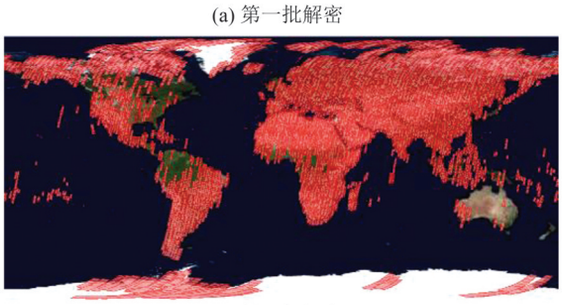
一幅KH卫星影像的地表覆盖通常是一个狭窄的条带,因此一个县市级或者更大范围的研究区会涉及多张影像,因此在数据下载之后,首先要进行预处理、配准、校正、拼接、裁切等工作。本文以上海区域(2020年行政区划范围)为例,对1965年的历史影像进行下载、处理,具体步骤如下所示。

1)数据下载。从USGS EarthExplorer下载1965年8月23日相关区域的条带数据(涉及多条数据,但官网下载的数据无配准,只有近似的条带范围,且偏差较大),其中每条数据经下载后均有4个文件,大小为800 MB至1 GB不等。

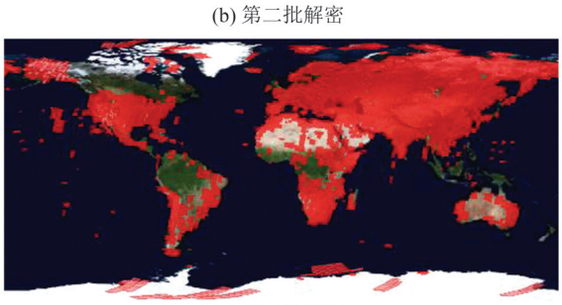
2)数据预处理。首先,原始图像是存在黑边的,因此需要在配准之前对黑边区域进行裁剪;同时,不同条带的数据其灰度、直方图会存在一定色差,可以开展图像层的信息增强预处理,如



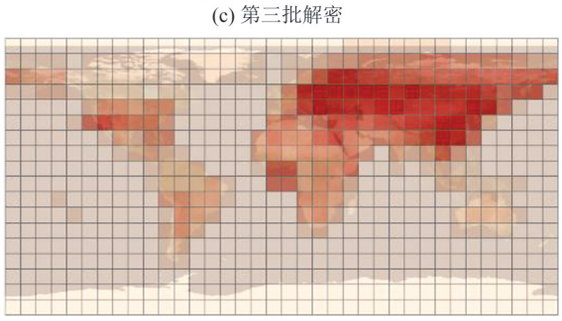
(a) 第一批解密



(b) 第二批解密



(c) 第三批解密



(d) 第四批解密

图 2　不同批次解密影像的覆盖范围及总数据量统计

Fig. 2　Coverage of Different Batches of Declassified Images and Total Data Volume Statistics

进行灰度拉伸、直方图匹配,将不同图像之间同一地物类别的像素值尽可能保持一致。

3)图像配准。获取上百个同名点分别进行配准(不断寻找地面控制点,控制与天地图影像底图之间的配准误差小于 0.2 m,并采用最近邻方法重采样,以避免产生新的像素值,干扰原始数据),具体配准过程可在 ArcMap 等相关软件中实现,选择控制点过程中应尽可能均匀分布,并充满整个区域。

4)正射校正。利用已有地理参考数据(影像、地形图和控制点等)和 DEM,对影像进行纠正,以消除或减弱地形起伏带来的变形。

5)图像拼接。利用影像不同条带之间的重复同名点,以及配准后的空间位置,再使用新栅格马赛克等工具进行像素级的图像拼接,从而形成覆盖范围更完全的历史影像。

6)图像裁切。因大量研究会涉及到研究区的行政区划范围,需要按照研究区范围进行裁切,得到真正所需的研究区历史影像。

考虑到图像较大,计算机性能受限,本文选择先进行配准,再开展拼接。如性能允许,也可以在 Photoshop 等图像处理软件中先使用 PhotoMerge 等功能开展拼接,再在 GIS 或遥感软件中实现配准、校正、裁剪等操作,最终达到图像处理的目的。

3.2　图像分类

目前,KH 卫星数据的自动分类相关研究仍较少,而经过预处理、空间校正过后的 KH 卫星数据,可以和其他遥感数据一样采用非监督、监督分类(最小距离、最大似然、随机森林、支持向量机)等若干方法进行图像分类,从而进一步提取地表信息。非监督分类方法相对于监督分类缺乏先验类别知识,而 KH 卫星数据与现代影像在图像分类的核心差异是来自专家的历史知识,因此监督分类更为适用。考虑到随机森林算法不易造成过度学习、稳定性强、运算速度快等特点,本文采用了随机森林分类算法,通过结合上海历史城市地理与地表覆盖的先验知识,对样本进行训练并预测,识别地物类别。样本收集是通过绘制手动解译的多边形来进行的,从而产生具有类标签的感兴趣区域的多个多边形。标记样本包括训练集与测试集,共 100 个,比例为 2∶8,分别标记了建设用地、水田、农田、水体 4 类地物(图 3)。

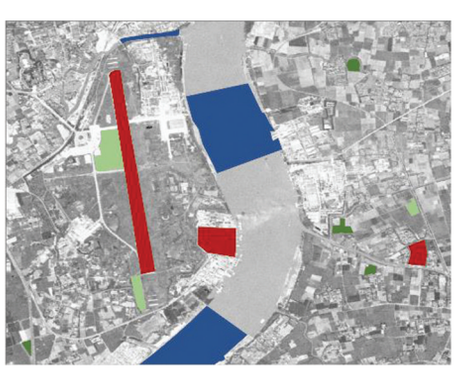


图 3　感兴趣区域特征标注(局部区域)

Fig. 3　Feature Labeling of Region of Interest (Local Aera)

具体算法流程则是利用 Python 中 Scikit-learn 工具包实现的。其中,用于区分类别的标准如下:

1)1960年代KH影像中的建成区在现在也是建成区,即历史影像的建设用地不会转化为农业/水体等类型[8],反之亦然。

2)水体通过光滑和黑暗的区域很容易识别,并且结合最新遥感影像进行确认。

采用上述方法,可重建20世纪60年代的土地利用覆被情况。本文以上海局部区域为例,进行了地表分类的实验,得到的结果如图4所示。

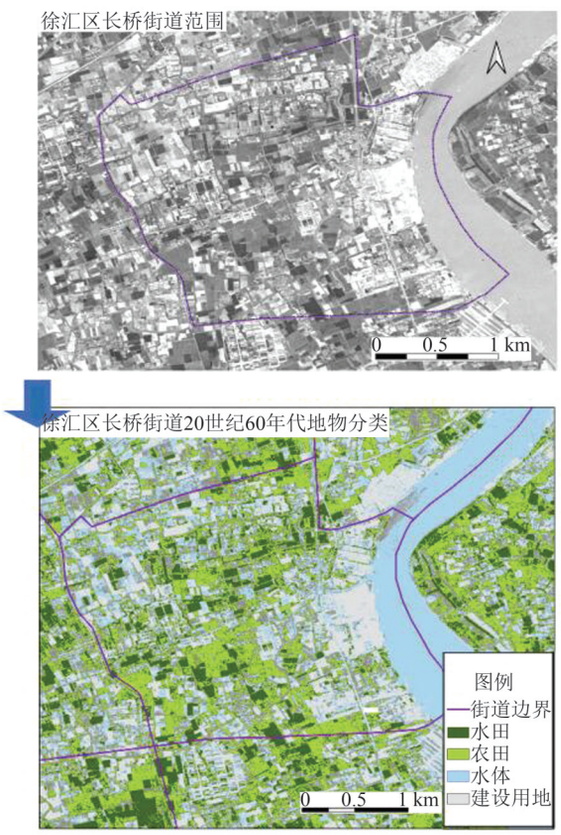


图4 上海局部区域20世纪60年代地表分类

Fig. 4 Land Surface Classification of Local Areas in Shanghai in the 1960s

4 结 语

考虑到历史是一个连续的过程,因此这批解密KH卫星影像不仅直接反映着当时的城市建设、土地利用情况,与此同时,也对当下的景观和生态系统产生了深远的影响,具有重要的研究意义。本文对美军KH卫星进行系统梳理,阐述其产生背景,分析其数据特性,介绍其解密、下载过程,并以1965年上海区域为例,探讨了历史影像的处理、图像分类方法,为遥感、历史等多学科领域拓展了研究内容。

一方面,针对遥感领域的研究,该数据可拓展其时间跨度,开展更长时序的地理过程模拟工作,以及相应的图像处理、提取、优化等算法研究,进一步拓展遥感学科的研究内容。另一方面,20世纪五六十年代中国国土面貌处于一个承上启下的阶段,大部分地区与1949年前地形地貌差别不大,同时也正处于快速城市化带来的巨大变化之前[7]。希望这批空间范围相对完整的资料可以在历史地理、城市史、建筑史、规划史、军事史、灾害史、地图史与遗址考古等方面的研究中发挥作用,并在处理后形成一批科学数据,为历史时期的地表覆盖分类、城市空间量化甚至碳排放的科学度量等提供历史依据。国内一些机构已开展相关工作,如江苏、浙江等省份的天地图陆续在其服务网站上线20世纪六七十年代的历史影像,并成为庆祝中华人民共和国成立70周年增加的专题模块“天地图·地图看发展”(http://xzgcl70.tianditu.gov.cn/)的重要组成部分,通过航拍/遥感影像这一视角来展示新中国成立以来国土面貌的巨大变化(图5)。未来,笔者也期望来自不同领域的机构、学者能关注到这批历史数据,开展更多跨学科、长时段、有历史温度的研究。

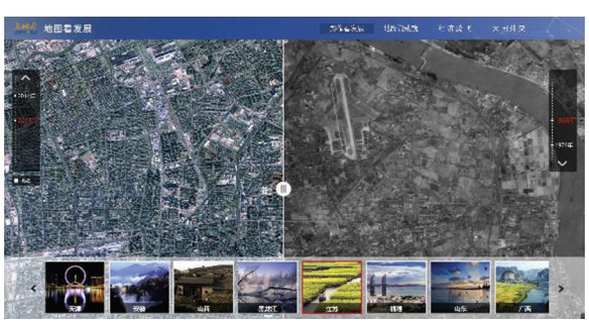


图5 天地图·地图看发展

Fig. 5 Tianditu·Map to See Development

参 考 文 献

[1] WULDER M A, ROY D P, RADELOFF V C, et al. Fifty Years of Landsat Science and Impacts[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2022, 280: 113195.

[2] HUANG Xin, LI Jiayi, YANG Jie, et al. 30 m Global Impervious Surface Area Dynamics and Urban Expansion Pattern Observed by Landsat Satellites: From 1972 to 2019[J]. *Science China Earth Sciences*, 2021, 64: 1922-1933.

[3] 梁启章, 齐清文, 姜莉莉, 等. 中国古地图遗产与文化价值[J]. 地理学报, 2016, 71(10): 1833-1848.
LIANG Qizhang, QI Qingwen, JIANG Lili, et al. A Primary Exploration of the Heritage and Cultural Values of Ancient Chinese Maps[J]. *Acta Geo-*

graphica Sinica, 2016, 71(10): 1833-1848.

[4] 齐清文. 中国古-近-现代地图的传承脉络探究[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(1): 2-13.
QI Qingwen. Research on the Heritage Sequence of Chinese Ancient, Near-Modern and Modern Cartography [J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2016, 18(1): 2-13.

[5] 满志敏. 小区域研究的信息化: 数据架构及模型[J]. 中国历史地理论丛, 2008, 23(2): 5-11.
MAN Zhimin. Spacial and Temporal Data Structure for Local Study [J]. *Journal of Chinese Historical Geography*, 2008, 23(2): 5-11.

[6] HAMMER E, UR J. Near Eastern Landscapes and Declassified U2 Aerial Imagery[J]. *Advances in Archaeological Practice*, 2019, 7(2): 107-126.

[7] 徐林. 美国国家档案馆藏中国二十世纪五六十年代航空照片简介[J]. 建筑史学刊, 2021, 2(3): 149-155.
XU Lin. Brief Introduction of Aerial Photos of China in 1950s and 1960s in the National Archives of the United States[J]. *Journal of Architecture History*, 2021, 2(3): 149-155.

[8] DESHPANDE P, BELWALKAR A, DIKSHIT O, et al. Historical Land Cover Classification from CORONA Imagery Using Convolutional Neural Networks and Geometric Moments [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2021, 42(13): 5144-5171.

[9] RIZAYEVA A, NITA M D, RADELOFF V C. Large-Area, 1964 Land Cover Classifications of Corona Spy Satellite Imagery for the Caucasus Mountains [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2023, 284: 113343.

[10] GALIATSATOS N, DONOGHUE D N M, PHILIP G. High Resolution Elevation Data Derived from Stereoscopic CORONA Imagery with Minimal Ground Control [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2008, 74(9): 1093-1106.

[11] CASANA J. Global-Scale Archaeological Prospection Using CORONA Satellite Imagery: Automated, Crowd-Sourced, and Expert-Led Approaches [J]. *Journal of Field Archaeology*, 2020, 45(sup1): S89-S100.

[12] 郝园林, 森谷一树. CORONA影像在城市考古中的应用[J]. 边疆考古研究, 2017(2): 313-323.
HAO Yuanlin, MORIYA K. The Application of CORONA Satellite Image in Urban Archaeology [J]. *Research of China's Frontier Archaeology*, 2017(2): 313-323.

[13] 王鑫, 张景发, 姜文亮, 等. 美国锁眼侦查卫星遥感数据在活动断层研究中的应用: 以郯庐断裂带江苏段为例[J]. 遥感学报, 2018, 22(S1): 233-246.
WANG Xin, ZHANG Jingfa, JIANG Wenliang, et al. Application of Remote Sensing Data of American Keyhole Reconnaissance Satellite in the Study of Active Faults: Taking Jiangsu Section of Tanlu Fault Zone as an Example [J]. *National Remote Sensing Bulletin*, 2018, 22(S1): 233-246.

[14] 卢乐浚, 周宇. 利用锁眼卫星影像提取历史地震同震位移: 以1976年土耳其Chaldiran地震为例[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2021, 46(2): 289-295.
LU Lejun, ZHOU Yu. Extracting Surface Displacements of Historical Earthquakes Using KH-9 Satellite Images: A Case Example of 1976 Chaldiran Earthquake, Turkey [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2021, 46(2): 289-295.

[15] 张蕾, 何捷. 豫东平原古城淮阳城湖湿地历史景观探析: 兼论科罗纳(CORONA)影像资料的解读与运用[J]. 中国历史地理论丛, 2020, 35(2): 14-29.
ZHANG Lei, HE Jie. Historical Lakes and Ponds Landscape of Cities in the North China Plain: A Case Study of Huaiyang and the Interpretation Methodology of CORONA Satellite Images [J]. *Journal of Chinese Historical Geography*, 2020, 35(2): 14-29.

[16] 徐遥辰, 刘贲, 卢奂, 等. 基于CORONA KH-4B影像的湿地景观格局重建: 以杭州西溪湿地为例[J]. 浙江大学学报(工学版), 2018, 52(11): 2233-2242.
XU Yaochen, LIU Ben, LU Huan, et al. Reconstruction of Landscape Pattern Based on CORONA KH-4B Image: A Case Study in Xixi Wetland, Hangzhou[J]. *Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*, 2018, 52(11): 2233-2242.

[17] 霍晓卫, 骆文. 遗产安全和可持续发展视野下"锁眼"卫星图的利用[J]. 中国名城, 2021, 35(7): 75-82.
HUO Xiaowei, LUO Wen. Utilization of Key Hole Satellite Imagery in the Aspects of Heritage Safety and Sustainable Development [J]. *China Ancient City*, 2021, 35(7): 75-82.

[18] 赵秋艳. 美国成像侦察卫星的发展[J]. 航天返回与遥感, 1999, 20(3): 31-39.
ZHAO Qiuyan. Development of American Imaging Intelligence Satellites[J]. *Spacecraft Recovery & Remote Sensing*, 1999, 20(3): 31-39.

[19] National Air and Space Museum. Sputnik Launched [EB/OL]. (2009-11-24) [2023-04-01]. https://

www.history.com/this-day-in-history/sputnik-launched.

[20] Wikipedia. CORONA (satellite)[EB/OL]. (2003-03-03)[2023-03-22]. https://en.wikipedia.org/wiki/CORONA_(satellite).

[21] USA Geological Survey. CORONA Satellite Photographs from the U.S. Geological Survey [EB/OL]. (2021-02-02)[2023-03-22]. https://cmr.earthdata.nasa.gov/search/concepts/C1220566377-USGS_LTA.html.

[22] National Geophysical Data Center. Declassified Satellite Imagery-1 [EB/OL]. (2018-07-13)[2023-04-02]. https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-declassified-data-declassified-satellite-imagery-1.

[23] National Reconaissance Office . Corona Reconnaissance Satellite Images [EB/OL]. (2023-12-10)[2024-12-19]. https://www.britannica.com/technology/spy-satellite#/media/1/1309372/73048.

[24] National Geophysical Data Center. Declassified Satellite Imagery - 2 [EB/OL]. (2018-07-13)[2023-04-02]. https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-declassified-data-declassified-satellite-imagery-2.

[25] National Geophysical Data Center. Declassified Satellite Imagery - 3 [EB/OL]. (2018-07-13)[2023-04-02]. https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-declassified-data-declassified-satellite-imagery-3.

[26] USA Geological Survey. EarthExplorer [EB/OL]. (2022-08-31)[2023-04-08]. https://earthexplorer.usgs.gov/.

[27] Federation of American Scientists. Release of Imagery Acquired by Space-Based National Intelligence Reconnaissance Systems, February 22, 1995 [EB/OL]. (2019-01-03)[2023-04-05]. https://sgp.fas.org/clinton/eo12951.html.

[28] National Archives and Records Administration. Visit the Cartographic Research Room in College Park, Maryland [EB/OL]. (2019-08-29)[2023-04-08]. https://www.archives.gov/research/cartographic/visit.