

# 文化遗产的遥感技术监测方法

## ——大遗址及其相关建筑遗产的卫星影像对比监测实践

### THE FEATURED APPROACH OF MONITORING CULTURAL HERITAGE BY REMOTE SENSING TECHNIQUE: A PRACTICE OF MONITORING 'THE SIGNIFICANT ARCHAEOLOGICAL SITES' AND RELATED BUILT HERITAGE WITH METHODS OF COMPARISON ANALYSIS OF SATELLITE IMAGES

王喆 WANG Zhe<sup>1</sup>, 冯铁宏 FENG Tiehong<sup>2</sup>, 赵云 ZHAO Yun<sup>3</sup>

1 中国文化遗产研究院 文物保护与工程规划所 Chinese Academy of Cultural Heritage, Institute of Conservation Projects and Planning of Cultural Heritage; 北京市朝阳区北四环东路高原街2号 100029, 2 Gaoyuan Street, North 4<sup>th</sup> Ring East Road, 100029 P.R.China; [wangzhe.cach@gmail.com](mailto:wangzhe.cach@gmail.com)

2 中国文化遗产研究院 文物保护与工程规划所 Chinese Academy of Cultural Heritage, Institute of Conservation Projects and Planning of Cultural Heritage; 北京市朝阳区北四环东路高原街2号 100029, 2 Gaoyuan Street, North 4<sup>th</sup> Ring East Road, 100029 P.R.China; [tiehong.feng@gmail.com](mailto:tiehong.feng@gmail.com)

3 中国文化遗产研究院 文物保护与工程规划所 Chinese Academy of Cultural Heritage, Institute of Conservation Projects and Planning of Cultural Heritage; 北京市朝阳区北四环东路高原街2号 100029, 2 Gaoyuan Street, North 4<sup>th</sup> Ring East Road, 100029 P.R.China; [15077268@qq.com](mailto:15077268@qq.com)

#### **关键词 Keywords**

监测 monitoring, 大遗址 significant archaeological sites, 遥感技术 remote sensing

#### **摘要 ABSTRACT**

大遗址与相关建筑遗产的监测实践工作, 采用了对比不同时向卫星影像的方法, 以揭示在大遗址保护范围和建控地带内相关地物、建构筑物的变化情况。通过对这些变化情况进行分类, 继而对不同类型的变化进行解读, 并对照大遗址保护规划与相关区划和法规, 大遗址的保护、管理和利用情况可以得到充分的评估。

与日常监测与定期监测相比, 遥感技术监测可以为遗产保护管理者提供不同的视

角，以获得前两者之外的成果。由于采用了遥感技术和对比分析的方法，遥感技术监测具有独特的工作程序，其中包括确定监测对象、制定监测工具与方法、分析汇总成果提供反馈等。

通过分析此次遥感技术监测实践的成果，并将其与其他监测方法进行对比，可明确遥感技术监测所具有的特点，包括其特有的运行模式、适用的范围、突出的针对性等方面。

Through the practice of monitoring ‘the significant archaeological sites’ and related built heritage, the methods of comparison analysis of satellite images taken at different time are adopted to discover the changes of land covering, constructions, and buildings during the successive periods. By classifying the changes and analyzing the meaning of different categories in according with the zoning and regulations of the conservation planning, the process of conservation, management, and utilization of cultural heritage could be reviewed.

As the additional tools of the daily monitoring or periodical monitoring, the practice of monitoring with remote sensing technique adopt different monitoring methods and could provide a different perspective which could achieve different aspects than normal monitoring. It also requires the different process of monitoring, owing directly to the method of remote sensing technique and comparison analysis. The featured processes include identifying the attributes and factors for monitoring, defining the practical tools and methods, and analysis and synthesis for feedback and outcomes.

By analysis the achievement of the practice of the monitoring and comparing it to other monitoring methods, the difference of the featured processes could be clarified, and the characteristics of the remote sensing monitoring could be summarized. The remote sensing monitoring is mostly focused on certain types of heritage and attributes and more efficient at achieving certain types of outcomes.

## 1 背景概述

大遗址卫星遥感监测是2010年进行的一次利用卫星遥感技术对11处大遗址进行监测的尝试<sup>1</sup>。监测采用了对比不同时向卫星影像的方法，结合实地调研核查，以揭示在大遗址本体与环境范围内相关地物、建构筑物的变化情况。通过对这些变化情况进行分类，继而对外不同类型的变化进行解读，并对照大遗址保护规划与相关区划和法规，大遗址的保护、管理和利用情况可以得到充分的评估。以下从遥感技术与大遗址保护两方面对本文中涉及的遥感技术监测实践与研究的背景做简要的介绍。

## 1.1 作为监测手段的遥感技术

在过去的二十年中，地面和空间遥感技术作为遗址保护和管理的手段，在文化遗产和考古领域中逐步得到了广泛的应用，对文化遗产的保护和管理产生了巨大的影响（Lasaponara，2008），在考古勘察、遗产管理、遗址展示、景观与遗址重建等方面发挥了重要的辅助性作用。例如，利用空间遥感技术与地理信息系统进行整合，以监测和管理欧洲大西洋生物地理区内的景观遗产。（Martinez，2010）

另一方面，作为监测手段的空间遥感影像对比方法，并不仅仅应用于遗产保护方面，在其他领域也有很多实践。其中包括利用大面积森林的遥感卫星图像对比分析地表覆盖变化，进行森林景观变化的分析（Redo，2009）；用湿地的光谱反射系数的统计学方法，对比前后不同阶段的遥感数据，自动探测湿地变化情况（Nielsen，2008）；以高分辨率遥感卫星影像为基础，提取水土保持生态建设信息的最小图斑参数值，对伊洛河下游黄土丘陵区的研究样区，开展基于高分辨率遥感影像的水土保持生态建设监测（吴卿，2009）等。

至今，空间遥感技术在考古、遗产保护等方面的应用主要集中在遗址的大尺度测绘、辅助地理信息系统进行遗产的管理等方面。

## 1.2 大遗址特点概述

大遗址是我国近 10 年来从遗产保护和管理工作角度提出的一个重要概念，用于专指中国文化遗产中规模特大、文物价值突出的大型考古文化遗址和古墓葬。大遗址是我国文化遗产中最重要的组成部分之一，是中华文明曾经高度发达并对世界文明与进步产生过巨大影响的历史见证。（陈同滨，2009）

中国大遗址占地面积规模广大，其面积有数十公顷甚至数十平方公里、上百平方公里或更大，因而大遗址的保护与利用与土地资源特性、与我国社会发展和人口、资源、环境问题紧密关联。随着我国工业化的进展，城市化进程明显加速，人口激增、土地紧缺、城镇建设、旅游开发等一系列问题的凸现，使我国的大遗址面临着前所未有的、广泛性的、大规模的破坏时期。（侯卫东，2009）

大遗址因其占地面积规模较大，保护与利用工作往往与遗址所在地的社会经

济发展具有直接的、显著的利益关系（国家文物局，2005），普遍涉及到地方城乡发展与建设以及农业生产生活等活动，城乡建设发展过程中如城市化、工业化和房地产开发；大中型基础性建设活动如公路、铁路以及其他基础性建设；农业生产和生活活动如乡镇企业发展、农业耕作、平整土地等等，都可能成为大遗址的破坏因素。

## 2 大遗址卫星遥感监测的实施方法和过程

参考世界遗产监测以“价值-真实性完整性”（OUV-AI）为核心的监测方法（Selfslagh, 2002），和“监测-评估-反馈”的管理框架（Hockings, 2002），同时考虑到卫星遥感技术具有高度的空间概括能力，结合大遗址规模广大、尺度宏大的特点，此次卫星遥感监测实践采取了兼具遥感技术和大遗址特点的“遗产价值--监测要素--监测方法（技术手段）--分析汇总--反馈保护”的监测方法。（监测具体操作流程详见“图示 1：大遗址卫星遥感技术动态监测技术路线图”）

### 2.1 分析遗产特征，结合监测技术，选取监测要素

虽然各个大遗址因其所属类型不同、所处地域不同、价值内涵不同而具有不同的遗址特征<sup>2</sup>，但大遗址在遗产本体类型、主要影响因素等方面仍具有较大的相似性和共同性。

大遗址大致包括旧石器与新时期时代遗址、古代城市遗址、大型建筑群遗址、大型（军事、水利等）工程遗址、大型手工业遗址遗迹、帝王陵寝与各类大型墓葬群等。其中大部分大遗址的本体类型以土遗址和地下埋藏为主。

大遗址本体保护的影响因素主要分两类，位于东部季风区的大遗址保存环境主要面临人为的城镇建设活动破坏<sup>3</sup>；位于西北干旱区的大遗址保存环境主要面临自然生态环境恶化的影响与破坏<sup>4</sup>。（国家文物局，2005）

其中人为因素的影响主要包括：耕作扰土、搬石建房、取土掏挖、房屋建设、挖坑掘池、过境交通、水利设施、村镇建设、城市建设、开山采矿、大型工企建设等（国家文物局，2005）。作为遗产保护的影响因素，这些建设活动的空间尺度通常大于 1 米，活动周期大多为几个月至几年不等。

自然生态的影响主要包括突发性自然灾害和日常性的自然侵蚀。其中以洪水、地震为代表的突发性自然灾害的影响尺度较大，在几百米至数公里不等。风蚀、水蚀等日常性的自然影响的作用尺度可包括从毫米级别到公里级别的巨大范围，影响周期相对较长。

以上各类影响因素均可作为此次监测的对象，但考虑到卫星遥感技术的限制<sup>5</sup>，监测要素以作用尺度在 1 米以上的影响因素为主，其中包括绝大多数的人为建设活动，以及土地沙漠化等较为明显的自然影响因素等。

## 2.2 确定监测方法，选取遥感影像数据，进行比对和数据提取

考虑到监测要素尺度最小为 1 米左右，在条件允许的情况下，尽可能的选取高分辨率的遥感影像数据。其中包括美国 IKONOS（1 米分辨率）、GeoEye（0.5 米分辨率）、QuickBird（0.6 米分辨率）等商业卫星影像数据源。

针对主要监测要素中人为因素的影响周期为几个月至几年不等，而土地沙漠化等自然因素的作用周期通常在 1 年以上的情况，选择遥感卫星影响的间隔通常在一年以上，作为对比基础数据，以明确显示影响因素作用前后的变化情况。

影像范围参照大遗址保护总体规划中规定的保护范围和建控地带，或世界遗产地的申报遗产区和缓冲区范围确定，并包括遗址附近具有重要影响的自然地貌，以及工矿企业、交通线等人工建构物。

此次监测运用了大遗址两期卫星影像对比分析，以地形图为纠正基础，结合 DEM 数据，制作高精度（最高达到 0.5 米分辨率）正射遥感影像图。在 GIS 系统支持下，将不同时相的卫星影像进行嵌套，采用计算机自动识别和人机交互相结合的方式提取各类变化信息，划定并解译变化图斑<sup>6</sup>。同时，辅以遗址现场勘查，对不确定要素以及在卫星影像中发现的重要变化信息进行现场核实，并补充遗漏信息。由此，监测范围内监测要素的变化情况可被准确的定位，例如图示 2：某处大遗址新建住宅小区的两期影像对比与实地照片<sup>7</sup>。

在确定了监测要素的变化情况（即“变化图斑”）的基础上，参考测绘、遥感等专业关于地物分类的研究成果，将监测范围内变化图斑的地物分为遗址本体、遗址地、其他文物、居民地、工矿、植被、水系、交通、管线设施等共 10

个大类，25 个小类，以便更加科学的对监测图斑进行定性分析。（详见“图示 3：变化图斑地物分类表”）

变化图斑内地物类型的变化情况直接反映了监测要素的变化情况，是分析研究遗产保护状况变化、监测影响因素的主要依据。地物变化情况与变化图斑的其他属性一起列入每处变化图斑的属性表，其中包括坐标、面积、变化前后的遥感影像信息、实地勘察时间等，并进行统一的编号，以便对遗址监测结果进行统计与分析。（例如“图示 4：某处大遗址比对结果中 3 处变化图斑的属性表”）

### 2.3 分析汇总、输出反馈

首先针对各大遗址监测要素的变化规模与变化性质分别进行分析。根据卫星影像比对产生的变化图斑情况，从变化产生的时间、变化前后的类型、变化所在的区域、变化的数量和面积等方面进行归纳分析，并对变化的影响进行初步的评估。

将**各处大遗址**卫星遥感影像图对比发现的变化图斑数量、面积、图斑面积占保护区划面积比例以及年均情况进行汇总、计算。对变化图斑总面积、变化图斑面积占保护区划面积百分比、年均变化图斑数量、年均变化图斑面积等属性进行横向排序，并与各大遗址所处的地理位置和区域环境进行交叉比对，发现此次开展监测的各处大遗址中，监测要素变化较为突出的大遗址均处于城市建成区或城乡结合部。（例如图示 5：各大遗址保护区划内变化图斑面积占保护区划总面积比例）

针对**各地物类别**的变化情况进行汇总分析，按照增加或减少的总面积与年均总面积进行排序。发现发生变化的地物类别中，面积增长最大的两项分别为“居民地构筑物”、“居民地施工区”；面积减少最大的两项分别为“耕地”、“荒地”；年均面积增长最大的两项分别为“居民地构筑物”、“工矿构筑物”；年均面积减少最大的两项分别为“耕地”、“荒地”。可见，总体上大遗址保护区划内，工业与居住用地的大量增加和耕地的减少是对遗产保护影响最大的变化因素。

将各处大遗址分别进行地物类别的监测对象的变化情况进行分析。其中：遗址地构筑物增加的变化主要发生在大明宫遗址、殷墟、隋唐洛阳城遗址。在遗址

公园的建设过程中，保护展示建筑将遗址本体遮盖起来，造成了这种变化趋势。

（见图示 6：各保护区划内遗址地构筑物图斑年均变化面积）保护区划内居民地构筑物增长较大的大遗址有：汉长安城、曲阜鲁国故城与隋唐洛阳城遗址。（见图示 7：各保护区划内居民地构筑物图斑变化面积占保护区划总面积比例）此外，此次进行监测的 11 处大遗址的耕地面积均有所减少。（见图示 8：各保护区划内耕地图斑变化面积占保护区划总面积比例）

从以上对各处大遗址变化图斑的分析可以看出，大遗址保护范围内环境的变化因遗址区位类型不同而呈现不同的特点，主要表现为：位于城市建成区、城乡结合部的大遗址年均变化比例均超过 1%，最大的甚至接近 30%，年均显著增加地物类型均属居民地和工矿类，面积一般均超过 1 公顷/年，年均显著减少地物类型一般均为耕地，面积均在 2 公顷/年以上；而位于乡村、非生产生活区/荒野的大遗址一般年均变化比例均低于 0.5%。从总体上讲，在大遗址保护区划范围内建设量增长是一个比较明显的特点<sup>8</sup>。

由于大遗址保护区划内建设量增长迅速，主要集中在工业与居住建筑方面，而现存的较为简单的大遗址保护管理模式效率不足。大遗址保护亟待建立高效的、半自动化的建设审批、监管流程，亟需加强监管工作力度、进行大遗址保护管理工作标准化、信息化建设。

此外，由于遗址区现状已发生一定变化，现有大遗址保护规划中的部分内容在当前的现状条件下恐难以顺利实施，应抓紧启动新一轮保护规划的编制工作，根据实际情况对保护管理工作进行一定调整，为今后该遗址的保护管理工作的科学有效开展提供依据。（中国文化遗产研究院，2010）

### 3 卫星遥感技术监测的特点总结

通过此次大遗址卫星遥感监测实践，作为监测手段的卫星遥感技术，在选择监测要素、确定监测方法的过程中，体现了遥感技术的特点。

卫星遥感监测具有宏观性，能在较大范围内，对大遗址保护区划范围内的遗产保护情况的变化做出较为全面的探查。同时，卫星遥感监测具有独特的视角，可探查从地面不易接近和发现的遗址变化情况。

由于卫星影像精度的限制，卫星遥感监测的监测要素尺度较大，适于对遗产环境的监测。对建设活动等人工影响比较敏感，但难以发现小尺度的自然因素对遗产本体的侵蚀等影响。此外，对横向的变化比较敏感，对发生在遗址侧面、建筑立面上的竖向变化难以发现。同时，卫星遥感监测对于遗址微环境的影响难以做出全面的评估，需结合其他辅助监测手段。例如，此次监测中发现某处大遗址保护范围内大面积增加人工水域，但仅凭卫星影像难以判断增加水域是否会对遗址本体的保存产生消极影响，应使用有关环境监测仪器在当地进行微观环境指标的监测，如土壤中水分含量的变化情况等，进一步深入确认对遗产保护的影响。

此外，卫星影像商业数据源的售价较高，商业卫星影像获取周期较长，经常进行卫星遥感技术监测的代价较大，通常难以及时发现短期的监测要素变化。

可见，卫星遥感技术监测在宏观的时空范围内，具有独特的技术优势，可对规模较大的遗址范围内的大量人工与自然影响产生的变化做出较为全面的探查与汇总，是文化遗产日常监测的有益补充。

---

<sup>1</sup> 此次监测为第一期“国家重要大遗址卫星遥感技术动态监测”。监测工作在国家文物局考古处的指导下进行，得到了北京世纪博丽信息技术有限公司的协助，以及各遗址地的管理单位相关工作人员的配合与支持。此次监测共完成 11 处国家重要大遗址（以下简称“大遗址”）的卫星遥感监测。这 11 处大遗址分别为：牛河梁遗址、殷墟、曲阜鲁国故城、鸿山墓群、汉长安城遗址、高昌故城、五女山山城、大明宫遗址、隋唐洛阳城遗址、渤海中京城遗址、元上都遗址。

<sup>2</sup> 这些特征包括遗址自然环境特征、遗址社会环境特征等内容。

<sup>3</sup> 城市化、工业化建设活动是大遗址保护最突出的问题：3/5~4/5 的国家重大遗址面临村镇建设、房屋建造、耕作扰土、过境交通等显著破坏因素而无有效保护措施，包括存在部分取土掏挖、挖坑掘池等破坏现象；特别值得注意的是 1/3 以上的国家重大遗址面临城市建设、大型工企和交通设施的严重破坏（国家文物局，2005）

<sup>4</sup> 以自然破坏力为主的大遗址大多地处偏远地区，远离人群的经济活动范围。如我国的西北和东北地区。破坏现象主要有两大类：一类是突发性的自然灾害（如洪水、地震、泥石流之类）；一类是日常性的自然力侵蚀（如风蚀、水蚀、风化、冻融、坍塌、裂隙、盐碱和水土流失等）。在西北干旱与半干旱地区，大规模的破坏力主要来自地貌的外营力——风化、物质移动、水力侵蚀和堆积、强大的风蚀、搬运和堆积作用（国家文物局，2005）

<sup>5</sup> 至今，商业卫星遥感影像数据的最高精确度约在 0.5 米分辨率左右，为此次监测项目可用的最优数据源。

<sup>6</sup> 变化图斑提取分为两个步骤：首先选用一种算法，使变化信息从背景影像中显现出来，发现变化信息；然后根据高分辨率影像的特点，采用计算机自动识别与目视解译提取发现的变化信息。

<sup>7</sup> 本文所有图示均引自《国家重要大遗址卫星遥感技术动态监测报告（2010）》中国文化遗产研究院

<sup>8</sup> 本文所有统计数据均引自《国家重要大遗址卫星遥感技术动态监测报告（2010）》中国文化遗产研究院

## 参考文献 REFERENCE

Selfslagh, B. 2002. *Monitoring World Heritage: A View from a World Heritage Committee Delegate*, World Heritage Papers 10 – Monitoring World Heritage, 2004, published by UNESCO World Heritage Centre and ICCROM

Hockings, M. 2002. *The WCPA Management Effectiveness Evaluation Framework – a basis for Developing Monitoring and Evaluation Programs to Assess Management of Protected Area*, World Heritage Papers 10 – Monitoring World Heritage, 2004, published by UNESCO World Heritage Centre and ICCROM

Nielsen, E. 2008. *Wetland change mapping for the U.S. mid-Atlantic region using an outlier detection technique*, Remote Sensing of Environment, 112 (2008) 4061-4074

Lasaponara, R. 2008. *Advances on Remote Sensing for Archaeology and Cultural Heritage Management*. Proceedings of the 1st International EARSeL Workshop, CNR, Rome, September 30 – October 4, 2008

Redo, D. 2009. *Forest dynamics and the importance of place in western Honduras*, Applied Geography 29 (2009) 91–110

Martinez, S. 2010. *Monitoring loss of biodiversity in cultural landscape: New methodology based on satellite data*, Landscape and Urban Planning 94 (2010) 127–140

国家文物局. 2005. 《国家“十一五”重要大遗址保护规划纲要》

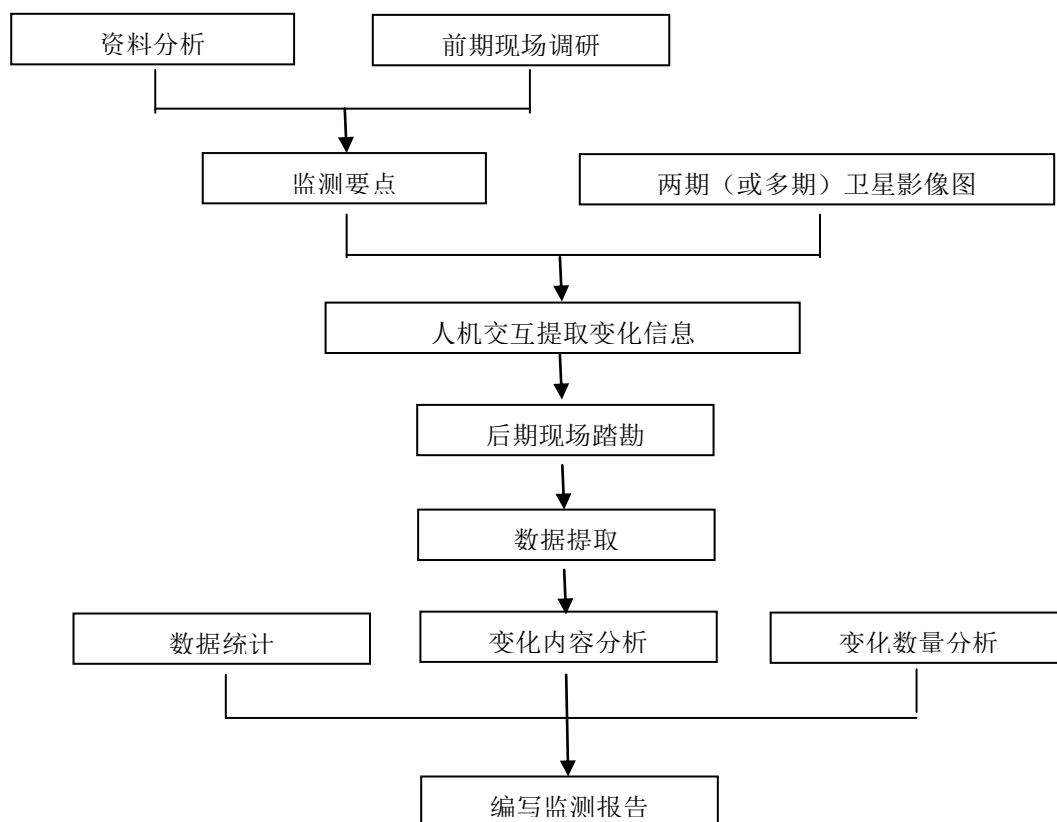
陈同滨, 王力军. 2009. 《大遗址保护与考古遗址公园设计》. 大遗址保护良渚论坛文集. 浙江古籍出版社, 2009年10月

侯卫东. 2009. 《遗址公园——历史与现代的对话》. 大遗址保护良渚论坛文集. 浙江古籍出版社, 2009年10月

吴卿. 2009. 《基于高分辨率遥感影像的水土保持生态建设监测方法研究》. 黄河水利出版社, 2009年4月

中国文化遗产研究院. 2010. 《国家重要大遗址卫星遥感技术动态监测报告(2010)》

## 图示 FIGURES



图示 1：大遗址卫星遥感技术动态监测技术路线图



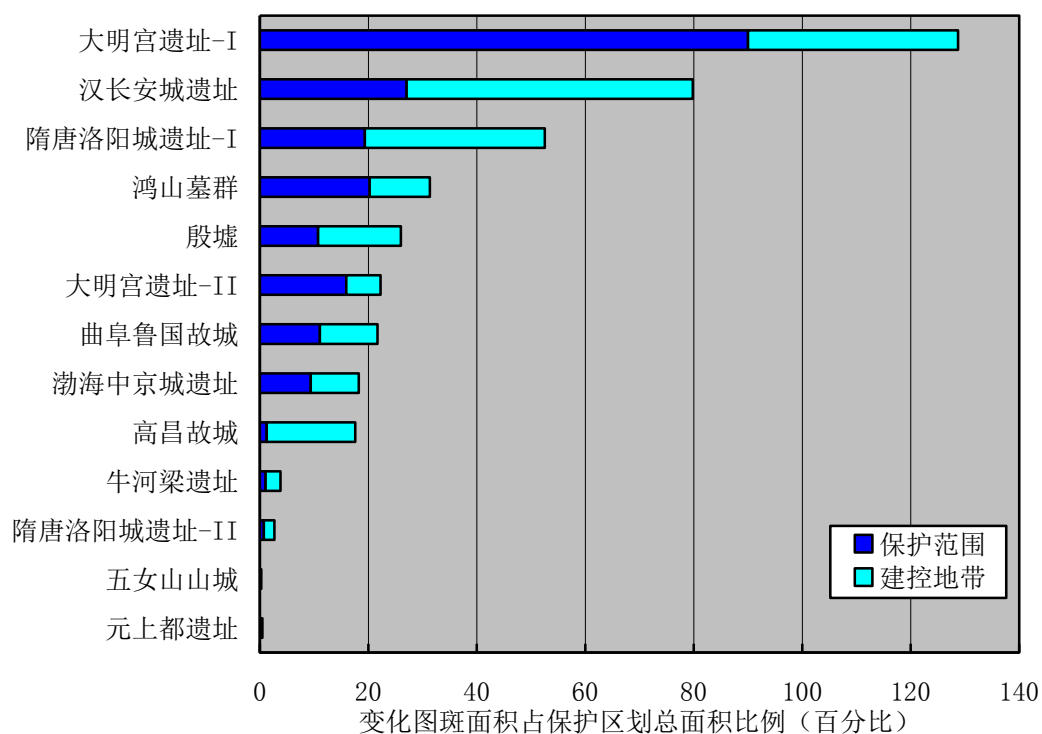
图示 2：某处大遗址新建住宅小区的两期影像对比与实地照片

一级分类	二级分类	说明	举例
1. 遗址本体	1.遗址本体	在卫星遥感影像图上可见到的遗址本体	高昌城墙、佛塔、考古发掘现场
2. 遗址地	2.1 遗址地表	无人工设施的遗址区域内的地表	高昌故城城内地面
	2.2 遗址地构筑物	遗址区域内的人工设施（建/构筑物等）	定鼎门保护工程、木栈道、高昌铺砖道路等仅限电瓶车等通行的道路（机动车通行道路归在“交通”中）
3. 其他文物	3.其他文物	不属于该大遗址内容的其他各类文物	
4. 居民地	4.1 居民地构筑物		
	4.2 居民地空地		
	4.3 居民地施工区		
	4.4 居民地公园与广场		街头广场、公共绿地
	4.5 垣栅		围栏、栅栏、围墙
5. 工矿	5.1 工矿构筑物		
	5.2 工矿施工区		
6. 植被	6.1 草地和灌木		
	6.2 林地		
	6.3 耕地		
	6.4 温室大棚		
7. 水系	7.1 人工水域	人工开挖建设的水体	
	7.2 自然水域		
8. 交通	8.1 铁路		
	8.2 高速公路		
	8.3 公路		
	8.4 街道		
9. 管线设施	9.管线设施		高压电塔
10. 地貌和土质	10.1 冲沟		
	10.2 荒地		
	10.3 乱掘地		

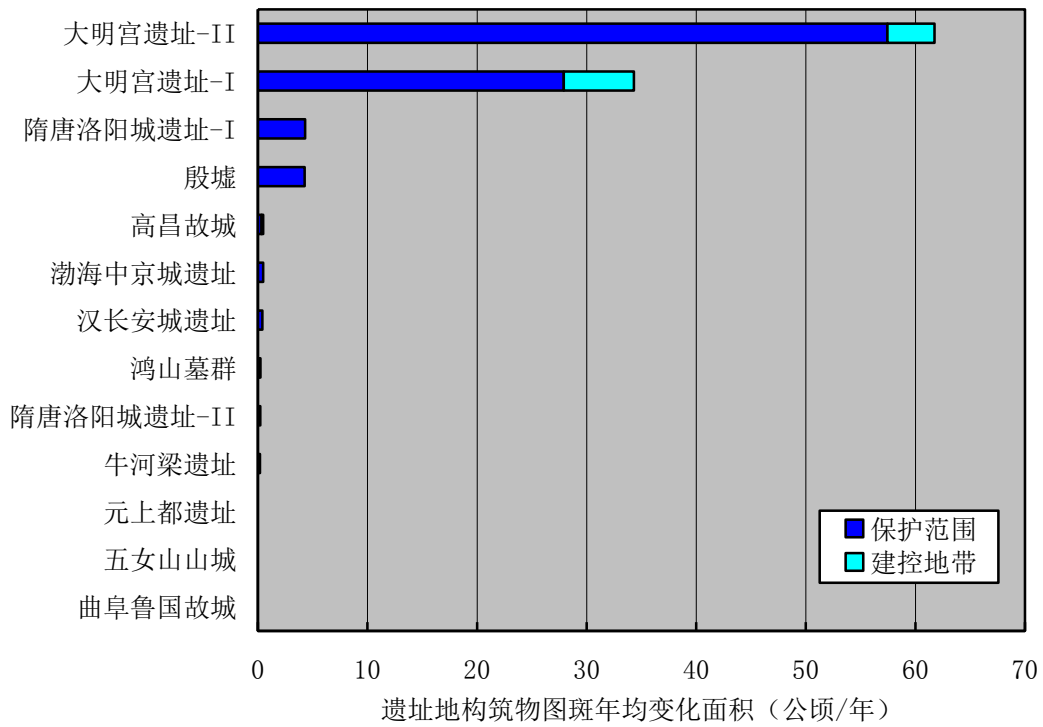
图示 3：变化图斑地物分类表

遗址名称	#####	#####	#####
变化图斑编号	GC-JK-10-003	GC-JK-10-179	GC-JK-10-121
零期地物类别	居民地构筑物	居民地构筑物	居民地构筑物
一期地物类别	居民地空地	草地和灌木	耕地
一期实地检核结果	居民地空地	校园绿地	耕地
一期实地检核时间	#####	#####	#####
一期基准影像	GeoEye, 2010年3月23日拍摄	GeoEye, 2010年3月23日拍摄	GeoEye, 2010年3月23日拍摄
零期对比影像	QuickBird, 2010年6月27日拍摄	QuickBird, 2010年6月27日拍摄	QuickBird, 2010年6月27日拍摄
变化图斑面积	93.219	1198.76	35.7456
变化图斑坐标			

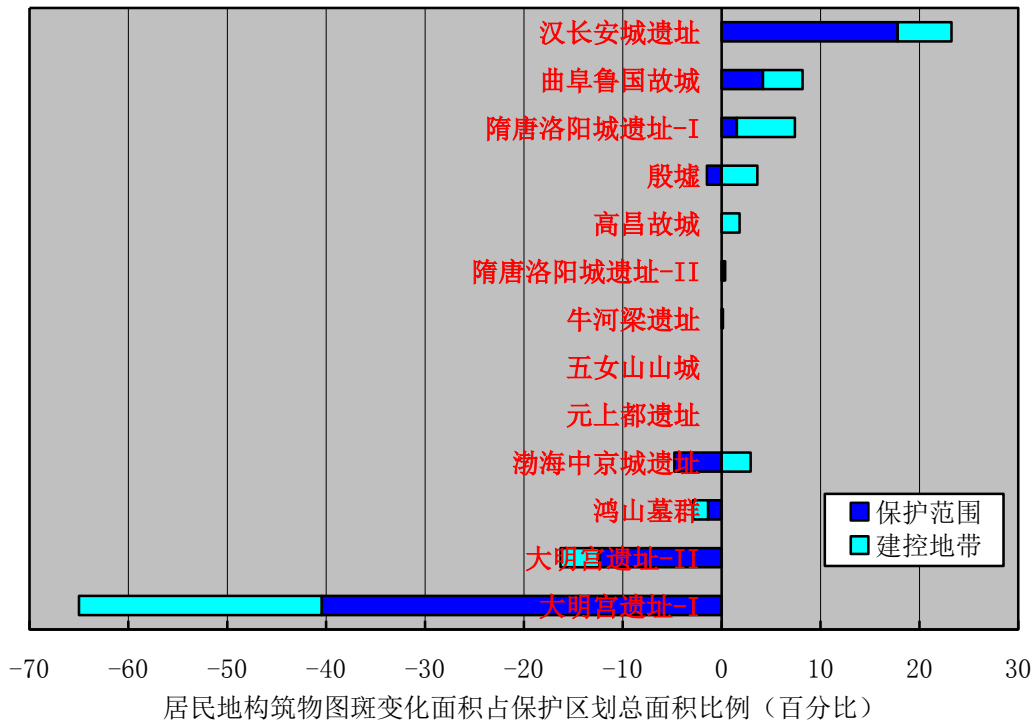
图示 4: 某处大遗址比对结果中 3 处变化图斑的属性表



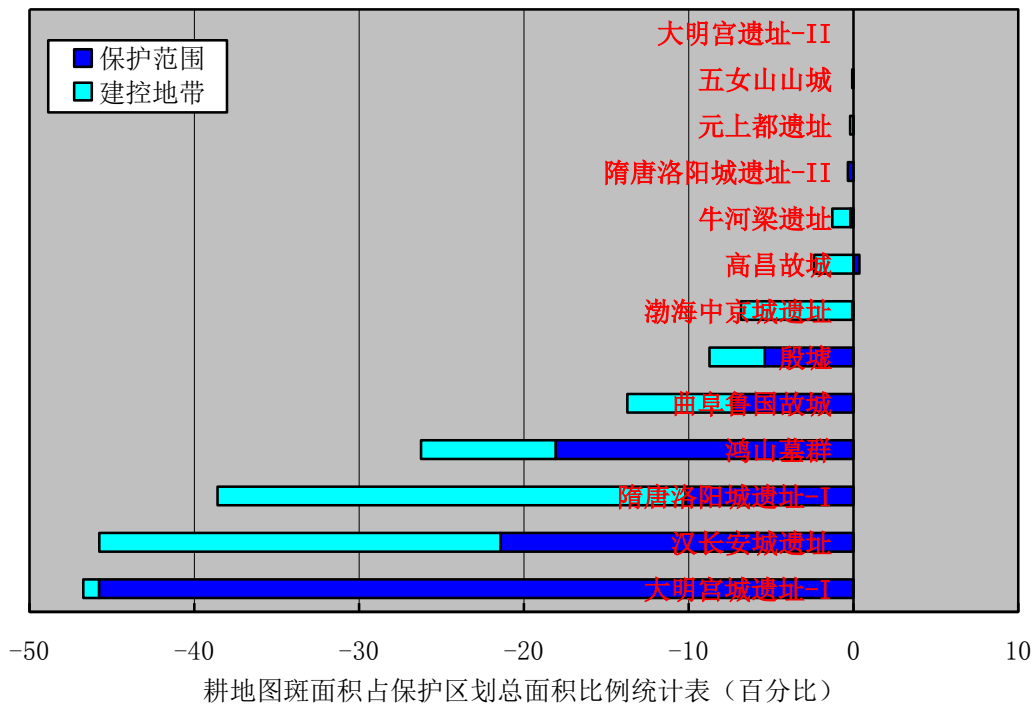
图示 5: 各大遗址保护区划内变化图斑面积占保护区划总面积比例



图示 6: 各保护区划内遗址地构筑物图斑年均变化面积



图示 7: 各保护区划内居民地构筑物图斑变化面积占保护区划总面积比例



图示 8: 各保护区划内耕地图斑变化面积占保护区划总面积比例