

# 从太空探测万里长城\*

戴昌达<sup>1 2 †</sup> 刘亮<sup>2 3</sup> 姜小光<sup>2</sup>

(1 中国科学院地理科学与资源研究所 北京 100101)

(2 中国科学院中国遥感卫星地面站 北京 100086)

(3 中国科学院研究生院 北京 100049)

**摘要** 2004年5月11日,欧空局网站发布了题为“从太空看长城”的公告,引起广泛关注和热烈争论.争论焦点涉及如何正确认识人眼视觉原理,如何准确理解卫星遥感应用潜力等问题.文章从人眼结构、产生光觉、视觉和形觉的基本条件以及眼睛分辨率等基本概念入手,判定肉眼从太空不可能看到长城.同时通过理论分析与实验,揭示了空间分辨率达到米级的SPOT-5全色图像能够清楚地展现北京密云水库北面的各段野长城.在分辨率为10m和20m的多光谱图像上,无法辨别出长城.而在全色(2.5m,5m)与多光谱进行融合处理的图像上,各段野长城及其周围背景都能十分清晰地显示出来.

**关键词** 长城,人眼分辨率,卫星遥感,SPOT-5

## Detecting the Great Wall from space

DAI Chang-Da<sup>1 2 †</sup> LIU Liang<sup>2 3</sup> JIANG Xiao-Guang<sup>2</sup>

(1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

(2 China Remote Sensing Satellite Ground Station, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100086, China)

(3 Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** On May 11, 2004, European Space Agency (ESA) issued a bulletin titled Look at the Great Wall from Space, which brought great attention and dispute. The dispute focuses on how to correctly realize the visual principle of human eyes, and how to understand the application potential of satellite remote sensing and so on. This paper, on the basis of analyzing the structure of eyes, the resolving power of eyes and the basic condition creating sense of light, vision and pattern in eyes, proved that the bare eyes of human can't see the Great Wall from space. And also it can be known from our theoretical analysis and experiment that the segments of Great Wall to the north of Miyun reservoir display clearly in SPOT-5 panchromatic image with spacial resolution of 2.5m and 5m. The Great Wall can't be seen in SPOT-5 multi-spectral image with spacial resolution of 10m and 20m. But the fusion image of multi-spectral and panchromatic shows the Great Wall and the relief around it very clearly.

**Key words** the Great Wall, resolution of eye, satellite remote sensing, SPOT-5

## 1 引言

能否从太空探测到我国的万里长城是人类发展空间技术、实现了遨游太空梦想以来一直令人关注的话题.尽管有不少学者通过对人眼视觉能力的分析,判断肉眼不可能从太空看到长城.然而2004年

5月11日欧洲空间局(ESA,以下简称欧空局)网站首页<sup>[1]</sup>以“从太空看万里长城”为题,发布了一张PROBA卫星于2004年3月25日过境时获取的高分辨率卫星图像(图1).其文字说明指出:该图右上方一条蜿蜒曲折的细线条是延伸7240km的长城,

\* 2004-11-09收到

† 通讯联系人. Email: xgjia@ne.rsgs.ac.cn

图左下方一条色调很明亮的宽线状影像为长达1500km的大运河.与此同时,该公告还认为,如果天气、光照等条件合适,宇航员可以用肉眼看到长城,并引用了美国宇航员尤金·塞尔南2004年2月访问新加坡时说的话“在高度为160—320km的地球轨道上确实能用肉眼看到长城”.公告刊出后仅隔1天,美国宇航局(NASA)网站转发了这条信息.



图1 欧空局网站上发布的 PROBA 卫星图像

两家国际公认的空间科技权威机构发布的信息立刻引起广泛关注,类似“从太空看到长城并非神话”等肯定性报道,出现于国内多家媒体.但与此同时,质疑欧空局公告准确性,否定人眼能从太空看到长城的意见也纷纷见诸报端和网站.在热烈争论中,欧空局于5月19日发布纠错公告,承认5月11日公布的图像发生解释错误,把一条注入密云水库的河流误判为长城,至于那条被判为大运河的影像是否有错以及宇航员肉眼能否看到长城等问题则未提及.更有意思的是5月27日新华社报道,北京市测绘设计研究院的科技人员用航片、1:1万地形图与ESA公布的图像进行叠加分析后提出新的看法,长城、河流之说都不正确,是条山间公路.6月4日《科学时报》发表“杨利伟没有看到长城事出有因”,该文作者从杨利伟乘坐的神州5号飞船轨道分析入手,认为他在21个小时的太空飞行过程中没有在白天飞越长城上空,因此根本没有条件看到长城.该文还引用华裔美国航天员王赣骏的话“在离地面二三百千米的太空,航天员能辨认出河流、山川、城市,应该也能辨认出万里长城”.最近刚出版的《航空档案》介绍“访问中国的世界首位女宇航员”一文中说

“前苏联女宇航员捷列什科娃2004年5月访华期间曾透露她在1963年环地球48圈的过程中看到过长城”<sup>[2]</sup>如此等等.

鉴于ESA发布的公告已引起热烈争论,争论的核心涉及到如何正确认识人眼视觉能力和如何准确理解卫星遥感这门还在蓬勃发展的高科技等问题.目前中国科协正根据中央指示,制定和推行全民科学素质行动计划,举国重视弘扬科学精神,笔者在力所能及的条件下开展了一些分析研究,并写成此文与读者共同探讨.

## 2 人眼从太空看不到长城的理论分析

人眼视觉是个很复杂的物理、生理及心理过程.众多研究查明,人眼视网膜主要由杆状、锥状两类光敏细胞组成,前者达1亿个,后者约600万个.据测定,只要超过 $3 \times 10^{-7} \text{ cd/m}^2$  (cd为发光强度单位,中文译名为坎德拉)的亮度通过瞳孔进入视网膜,就可激活杆状细胞,使其光敏外层的视紫红质分解变白,刺激视神经,从而产生光觉效应.但杆状细胞只能感受光的强弱,不能分辨光的色彩,只有当亮度达到 $3 \times 10^{-3} \text{ cd/m}^2$ 时才能激活锥状细胞而产生色觉<sup>[3]</sup>.可是要看清物体的轮廓,识辨物体的形状,由光觉、色觉进而产生“形觉”,还涉及该物体的大小、距离、照度、反差、通视和大气状况等众多因素.表征形觉的定量标准为“视敏度”.测定视敏度的方法有多种,除医学视功能检查用的视力表以外,还有干涉条纹、对比敏感度测定等等<sup>[4]</sup>.

为了大致掌握常人在晴朗天气条件下识别细小物体的能力,从事生理光学研究的学者依据对比敏感度测定法原理,提出“眼睛分辨率”的概念,以刚好可以被眼睛分辨的两点或两线对瞳孔中心的张角来表征.据测定,一般人眼的张角约 $6'$ ,即 $0.1^\circ$ ,相当于圆周的 $1/3600$ ,也就是说,当一个物体进入眼瞳形成的张角正好以其距离为半径的圆周长度的 $1/3600$ 左右时,这个物体就表现为一个与背景有别的像点而被人眼看到.如果距离增大或物体缩小,这个物体的像点就融入背景中而不能被眼睛识别.还有人做过试验,站在天安门前的毛主席纪念堂前,刚好能看到400m之外直径为20cm的旗杆顶.站得再远些,旗杆顶就分辨不出了.国外有位训练有素的侦察员在良好的视通条件下可以识别出2km之外的一辆坦克上大小约32cm的炮塔和瞭望孔.按照这两个不严格实验结果换算出的眼睛分辨率分别相当

于圆周的  $1/2000$  和  $1/6250$ , 一个大于和一个小于于生理光学专家测定的一般人眼视力数据. 现在我们就以这 3 个数据来推算肉眼能够看到长城的最远距离, 假设长城宽度达到  $10\text{m}$ , 则人眼可辨别长城的最远距离分别为  $20\text{km}$ 、 $36\text{km}$  和  $62.5\text{km}$ , 这些距离都远低于太空高度(至今太空高度尚无统一定义, 已发射的载人太空飞行器其最低高度为  $160\text{km}$ , 大多约  $300\text{—}400\text{km}$  甚至更高). 据此, 我们判定宇航员在太空仅用肉眼决不可能看到长城. 我们注意到有人认为只要太阳光的照射角度合适, 能大大提高长城亮度, 就有可能超越按人眼分辨率计算的视觉极限, 并以黑夜可以看到超远距离的明灯为例证明此观点. 我们承认当一个物体极其明亮, 且与背景反差极大时, 对眼睛的心理亮度肯定会大大提高, 有可能达到激活视细胞产生光觉、色觉和形觉的水平. 但我们现在讨论的观测对象是长城, 属砖土石结构, 不是发光体, 也不是强反射体, 随地形起伏而逶迤伸展于山脊、山坡, 与周围背景的反差也不会很大. 不管太阳照度发生多大变化, 都不可能产生黑夜看明灯的那种效应, 而且长城的宽度有限, 除敌楼、城台之外, 一般都不超过  $5\text{m}$ , 高度也有限, 不会产生太大的阴影与投影. 宇航员除非在升空或降落过程距离长城高度不大时有可能看到长城, 置身于太空绕地球运转时, 仅用肉眼绝不可能看到长城. 某些报道宇航员曾在太空看到过长城的说法不是误解就是误传, 首位登月宇航员就已明确表态澄清过.

### 3 借助卫星遥感高科技能够捕获长城信息

我们否定人眼从太空看到长城的可能性, 但深信随着卫星遥感这门高科技的发展, 完全能够不断延伸视觉器官功能, 使人们不受视力的限制可以看得更深更远, 甚至可以把肉眼看不到的地物目标或其所具有的某些特征信息变成可视图像而被感知<sup>[5]</sup>, 这正是遥感这门高科技的特点与优势, 也是发展这门高科技的奋斗目标.

当然, 遥感感知远距离地物目标的能力也会受到遥感器性能、运载工具高度、大气状况等众多因素制约. 其中最主要的制约因素是空间分辨率, 它是遥感器瞬时视场与运载工具高度的函数, 通常以像元大小或像元尺寸来表征. 据研究, 在光学遥感模拟图像上, 能显示的最小地物是该感光材料分辨率的  $2\sqrt{2}$  倍, 即近 3 倍左右. 数字图像可以在计算机上逐个像元显示, 甚至还可以通过数字插值放大和混合

像元分解等处理, 突破像元尺寸的限制. 不过这些都是不考虑具体情况的一般分析, 实际上地物目标的波谱特性与背景的差异程度对卫星图像, 特别是多光谱图像的可识别性影响很大. 我们在多个地区的应用实践表明, 只要处理得当, 分辨率仅为  $79\text{m}$  的 MSS 第 7 波段图像(响应范围  $0.8\text{—}1.1\mu\text{m}$ )能够显示出宽仅 20 余米的干渠、河流和面积一二千平方米的池塘, 在分辨率为  $30\text{m}$  的 TM 第 7 或第 5 波段图像上能清楚看到宽不过  $10\text{m}$  的沟渠小溪和二三百平方米的积水坑塘, 经适当增强、合成的 TM 彩色图像上, 铁路、公路的多数路段也能显示出来. 为了揭示这些超越分辨率概念的现象的产生机理, 我们曾经对南京长江大桥地区 MSS 4 个波段图像进行数值分析, 发现第 7 波段图像最有利于显示大桥, 在一片低灰度值(一般略低于 10)的背景上, 有 2 个近 20 ( $15\text{—}19$ )的高值像元并列连成一条斜线自左岸伸向右岸, 显然它是长江大桥的反映. 由于大桥走向与卫星航向不平行, 且大桥宽度不到一个像元, 所以这条斜线上并列的两个像元都是大桥和江水两个组分构成的混合像元, 其灰度值必介于纯江水( $7\text{—}9$ )和纯大桥(如引桥段, 约  $30\text{—}36$ )的灰度值之间. 由此可知, 当一个波谱特征很特殊的地物, 即使其大小不到一个像元, 但是它能够使该混合像元的灰度值与背景产生明显差异, 或通过图像处理使得本来不够明显的差异突现出来, 那么这个地物的影像就可被识别. 类似的实例在 TM、SPOT 等图像上分析水陆边界、水中船舶、林间迹地、农田中缺苗的盐碱斑等均可遇到, 这也是混合像元分解的依据.

ESA 公布的那张卫星图像看来没有经过精几何校正等应用处理, 存在地形起伏产生的投影差, 影像色调层次也不够细腻, 难于辨别长城影像, 有些灰白色小斑点也很难说是烽火台等长城机构或是岩石露头. 在拿不到该图像原始数据的情况下, 我们运用该地区的 SPOT-5 (包括分辨率为  $10/20\text{m}$  的多光谱和  $5\text{m}$  与  $2.5\text{m}$  的全色等)数据进行分析处理试验. 图像过境时间为 2004 年 4 月 16 日, 比 ESA 的图像晚 3 周.

处理之前首先选定试验区, 除覆盖 ESA 图像的主要部分外, 还向南延伸至白河入密云水库处, 以便定位. 然后对各种分辨率图像进行精几何校正与配准, 再开展图像数值分析. 由于试验区覆盖的像元数太大, 故参照 ESA 公布的图像选取北、中、南 3 个窗口, 其中北窗口与 ESA 图像范围一致, 分别打印出 3 个窗口不同分辨率图像的灰度值进行分析. 在掌握

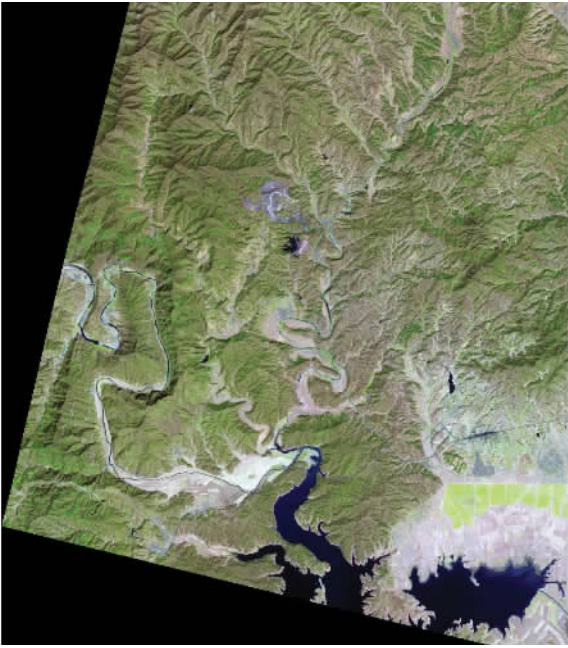


图2 实验区 SPOT-5 多光谱彩色合成图像

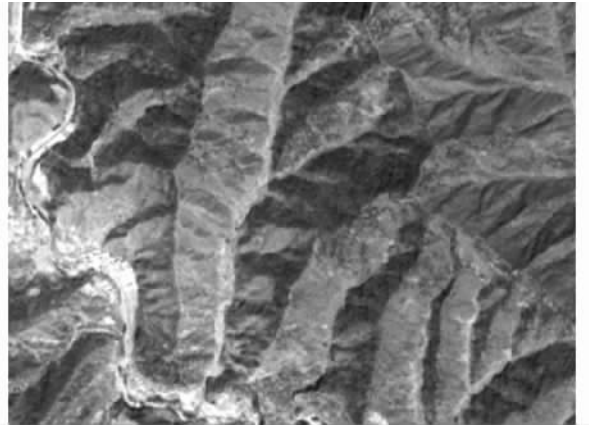


图4 SPOT-5 5m 黑白图像



图5 SPOT-5 黑白与多光谱融合图像

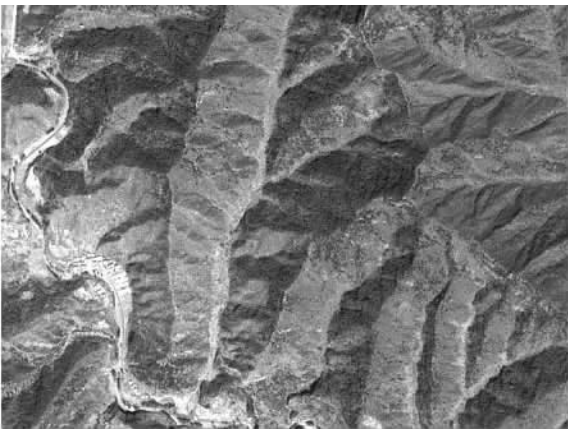


图3 SPOT-5 2.5m 黑白图像

了3个窗口内长城与各种背景(如植被、裸地、阴影等)灰度差异的基础上,优化图像增强和融合方案,最后输出全试验区的多光谱彩色合成图、窗口区的2.5m和5.0m黑白全色图像和全色与多光谱数据融合的彩色图供分析研究(见图2、图3、图4、图5)。

#### 4 结果分析与验证

图像数值分析结果表明,长城在2.5m和5.0m的全色图像上灰度值高出背景植被区6—10不等,高出稀疏植被或裸地仅1—5,宽度约占2个像元(像元尺寸都已归正为2.5m),据此推算长城宽度一般不超过5m。通过增强处理,蜿蜒延伸的细线状影像清晰可见,还可看到一些灰白色斑点,特别在长

城走向转折处,约占4—10个像元不等,这可能是城台(或烽火台)所在处。

在10m和20m分辨率的多光谱(不论哪个波段)图像上,长城却没有明显显示(图2),与全色图像套合后确定的长城所在像元,其灰度值与背景差异各波段很不一致,相当复杂,看来都是混合像元。这进一步表明这一带长城宽度很有限。用多光谱和全色数据融合处理得出的图像,集中了高分辨率与多光谱信息的优势,在整个试验区内尚保存的3段长城都清晰地显示出来,其背景区的植被长势、山势陡缓及山脊、沟壑情况等也都一目了然。仔细分析试验区内这3段未连起来的长城影像和各波段灰度值变化,不仅可体会到先人善于充分利用地形地势的智慧,而且可以大致了解该段长城保存现状,基质结构,是否长草、灌木等。

图像处理,专门去现场进行了考察,重点验证北段窗口试验区。没有发现有悖于室内分析形成的看法,但获得了这段长城宽度、高度的具体数据,都不足两三米,由岩块垒砌而成,内侧常见几十厘米至

一米余宽的岩屑土渣小径.有些长城段被草、灌木遮盖,走到近处才能看出.图5中箭头所指处是座城台,约6m×6m见方,高近10m,在约2m高的石基上砌城砖,台顶土质,长稀疏草灌.站到这座城台顶上,可看到向南北延伸共11座城台建筑,其中有些城台间可看出由长城相连,有些长城段被两侧生长的草灌遮挡,看不清晰.用数码相机拍摄的侧视照片与卫星图像的分析吻合.只是手持数码相机拍摄的照片因空间分辨率很高,能清晰显示城墙上的城垛和砖缝,而SPOT图像按目前能采用的处理技术,城垛也显示不出来.

登过城台后,由西南坡下山至椴树梁村,这里就是被ESA误判为长城的小山沟,该沟两边坡陡林密,有泉水汇成的小山溪,坡度稍缓处散布着民房和小梯田.据访问,近年干旱,春夏季小溪常断流,仅靠泉水小坑维持人畜用水需要,好在已修成一条宽可错车的窄公路与外界相通,这些都在SPOT-5彩色融合图像上有较清晰的显示.

## 5 引发的思考

欧空局5.11公告发布受到读者质疑后,于5月19日发布了纠错公告,承认发生图像解译差错.这种迅速承认错误的精神无疑是可嘉的,遗憾的是这份公告纠正的错误和剖析发生错误的根源都不确切,无助于人们,包括欧空局自己从这次事件中应获取的教益.实际上5.11公告中误判为大运河的才是注入密云水库的白河,而误判为长城的则是条山沟,沟中有条间歇性的小溪,丰水期有水注入白河,再进水库,此外还有条可通行汽车的窄公路.

把一条明显是汇聚流水,宽度、走向多变的弯曲小山沟误判为一般修建在山岭脊部的长城,把一条曲流十分发育的自然河道误判为人工修建的大运河,这绝对不仅仅是粗心大意、未很好调查研究的问题,而是缺乏遥感图像解译知识,遥感图像分析水平太低导致的结果.还值得一提的是,ESA纠错公告出来之前,不少人根本不怀疑5.11公告的准确性,得知纠错公告后仍觉得不可思议,两个国际公认的空间对地观测权威机构怎么会犯如此低级的错误.其

实只要回顾一下近些年来遥感和空间技术蓬勃发展的历程,就可明显感受到一些关键部门把巨大的财力、物力、人力投放到研制、发射新的卫星,研发推出新的传感器,陶醉于源源不断获取海量遥感数据之中,似乎只要提高图像数据获取能力,遥感应用就可水到渠成了.当然,努力发展传感器和运载工具等遥感技术系统肯定是非常必要的.但如果不相应地重视发展遥感图像应用处理与分析技术,不大力培养高水平的遥感图像分析解译人才,这样发展下去,遥感真有可能变成遥猜.

我们还注意到,在争论中持“肉眼能从太空看到长城”的这一方,除依据少数宇航员曾看到过长城的说法外,提出的论点、看法大多没有准确基于人眼视觉原理和人眼分辨率的科学理念以及长城的实际情况.现在强调科学创新,确实不应该教条地受制于已有理论、观点的束缚.但是科学毕竟是有继承性的,对于那些已得到业界承认的科学理念,首先应该认真学习,准确领会.如果发现问题也应在一定的理论指导下开展实验研究,导出有根据的、经得起检验的看法,不能随意下结论.总之,我们认为,只有认真学习已有科学成果的基础上反对盲从,才能真正有助于创新.

致谢 本文写作过程中,作者和中国科学院物理研究所聂玉昕研究员进行了有益的讨论.在去长城考察过程中,得到了聂玉昕等人的协同和支持.此外,视宝公司以及中国遥感卫星地面站为本文免费提供了SPOT-5卫星数据,在此一并致谢.

## 参 考 文 献

- [ 1 ] [http://www.esa.int/SPECIALS/Proba\\_web\\_site/SEMTH-GHZTD\\_1.html](http://www.esa.int/SPECIALS/Proba_web_site/SEMTH-GHZTD_1.html)
- [ 2 ] 访问中国的首位女宇航员.航空档案 2004年第4期
- [ 3 ] 杰弗里·李.战场武器系统与技术(第3本).北京:中国军事科学出版社,1992.188—193
- [ 4 ] 张方华.视功能检查.中国大百科全书 现代医学卷.北京,上海:中国大百科全书出版社,1993
- [ 5 ] 戴昌达,姜小光,唐伶俐.遥感图像应用处理与分析.北京:清华大学出版社,2004

## 更 正

本刊2005年(34卷)第1期第2页《上海、爱因斯坦及其诺贝尔奖》一文是由国家自然科学基金(批准号:10175054)资助,特此补充说明,并向读者和作者致歉.

《物理》编辑部