

进一步剖析“从太空看长城”的争论

戴昌达^{1,2,3}, 姜小光¹, 习晓环¹

1. 中国科学院光电研究院, 北京 100080
2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101
3. 中国科学院中国遥感卫星地面站, 北京 100086

[摘要] 针对至今国内外媒体对“从太空看长城”问题仍不断出现的各种似是而非的说法误导读者, 进一步阐述人眼从光觉、色觉, 发展到形觉的机理, 以及产生平面形觉、立体形觉受制于观察物体大小与距离的理论依据, 同时展示了笔者进行的卫星遥感试验的主要成果。在此基础上, 针对至今反映出来的 5 种主要看法一一进行剖析, 进一步确认肉眼不可能从太空轨道看到长城, 只有达到一定空间分辨率的卫星遥感才能获得长城影像的结论。

[关键词] 长城; 太空; 视觉原理; 卫星遥感

[中图分类号] Q189, V443

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)04-0072-05

An Analysis on the Issue of “Seeing the Great Wall from Space”

DAI Changda^{1,2,3}, JIANG Xiaoguang¹, XI Xiaohuan¹

1. Academy of Opto-Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China
2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China
3. China Remote Sensing Satellite Ground Station, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100086, China

Abstract: From the mechanism of optical sensing, color sensing and shape sensing of human eyes, this paper shows that the plane shape sensing and solid shape sensing depend on the size and the distance of the observed objects. With this point of view in mind and with the main research results of the Great Wall remote sensing image processing, various statements on this issue are analyzed and it is shown that human eyes can not see the Great Wall from space orbit, which can only be seen from the Great Wall image of high spatial resolution satellite sensing.

Key Words: Great Wall; space orbit; visual theory; satellite remote sensing

CLC Numbers: Q189, V443

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)04-0072-05

0 引言

2004 年 5 月 14 日, 欧洲空间局(ESA)网站以“从太空看长城”为题发布了一张完全判读错误的 PROBA 卫星图像(图 1), 并援引美国宇航员 Eugene German 的话^[1]“在高度为 160~320 km 的地球轨道上肉眼确实能看到长城”。第二天, NASA 网站转发了这份公告。两个国际公认的空间科技权威机构发布的信息立即引起了人们的广泛关注, “从太空看到长城并非神话”之类的字眼出现于国内多家媒体。但与此同时, 质疑 ESA 公告的准确性和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。在热烈的争论中, ESA 于同年 5 月 19 日发布纠错公告, 承认把一条小山溪错判为长城, 至于

有关大运河的错判和肉眼能否从太空看到长城等问题则未提及。当时中国科协正在大力推行科普教育活动, 笔者感到 ESA 两份公告及引发的争论, 涉及到如何正确认识人眼视觉原理和如何准确理解卫星遥感的应用潜力等科学问题, 因此一方面广泛查阅有关人眼结构与视觉辨识能力的著述, 另一方面开展卫星遥感实验并赴实地考察验证。通过分析研究, 笔者确信, 除非具有某种特异功能, 人眼决不可能在太空轨道上看到长城这类宽不到 10 m、蜿蜒曲折伸展在山岭之间的不规则线状物; 借助卫星遥感技术可以获得长城影像, 但也必须达到一定的空间分辨率才行。该研究结果在 2004 年中国科协学术年会上报告后获得广泛赞同。新华社

收稿日期: 2006-11-22

作者简介: 戴昌达, 男, 中国科学院中国遥感卫星地面站, 研究员, 主要从事遥感图像处理与应用研究; E-mail: cddai@aoe.ac.cn

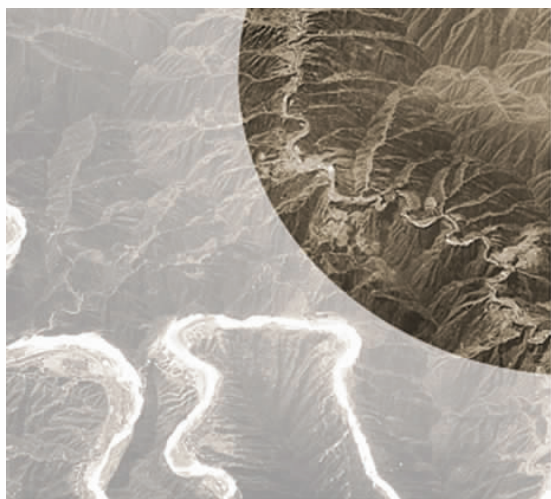


图 1 EAS 网站上发布的 PROBA 卫星图

原注:图右上方的蜿蜒细线是延伸 7 240 km 的长城,
左下方浅色亮线为长达 1 500 km 的大运河

Fig. 1 PROBA image published in EAS website
on May 14, 2004

Original note: The zigzag thin line in the upper right image is the Great Wall
extending to 7 240 kilometers, and the bright line in the lower
right image is a big canal with length of 1 500 kilometers

记者用了“争论打上句号”的字眼进行报道^[2],《物理》杂志作为“物理年专稿”^[3]刊出。

但是,实际上这场争论仍未结束,有种较普遍的看法认为,美国和俄罗斯都有宇航员说看到长城,而我国当时唯一一位宇航员杨利伟在天上的飞行时间太短,而且据分析,他乘坐的“神舟”五号根本没有在白天飞越长城上空,所以“他没有看到长城是事出有因”^[4]。2005 年 10 月,我国 2 位宇航员在 5 天绕地飞行过程中开展了对地观测实验并关注肉眼能否看到长城的问题。他们的亲身经历验证了笔者的分析研究结果,即没有看到长城。不过笔者注意到,中央电视台和香港凤凰卫视在北京组织的庆贺“神舟”六号成功实况转播节目中,有位嘉宾回答听众提问时说,“从太空看长城是很困难的,不过当太阳高度角很低,照射到长城会产生很长的投影,这时宇航员或许有可能看到长城”(大意)。概括他的说法,2 位宇航员没有看到长城仍是机遇不佳。笔者还记起 2005 年春,美籍华裔宇航员焦立中从太空站返回地面后处理分析他用数码相机拍摄的地球表面照片,其中有长城影像,有人据此就认为这是人眼从太空能够看到长城的新的证据。据他们的理解,“人眼看和相机拍照二者只有量的差异而没有质的区别”^[5]。诸如此类似是而非的论述颇有迷惑性,以致最近美国宇航博物馆的地理学家安德鲁·约翰斯顿策划组织“太空看地球图片展”时还说,“以前多数人一直认为,中国的长城是从太空中唯一肉眼可以看到的人类建筑,但从卫星传回的照片来看,埃及的大金字塔、旧金山市区、

卡特里娜飓风袭击时的新奥尔良,甚至汉堡港中的货船都清晰可见”^[6]。接着,美籍华裔宇航员卢杰于 2006 年 10 月 26 日下午在南京航空航天大学作报告时说,“在太空中见到了北京和长城”^[7]。为了尊重科学、弘扬科学精神,笔者感到有必要再次重申,应根据人眼视觉和卫星遥感的基本原理来审视“从太空看长城”问题的争论实质,这样才易于取得共识,为这场旷日持久、涉及对人眼视觉原理与卫星遥感正确理解的争论打上真正完满的句号。

1 人眼视觉原理概述

人眼视觉是个相当复杂的科学问题,涉及物理学、视觉生理学、视觉心理学、视觉医学等多个学科,不少问题有待进一步深入研究。但积累的大量科研成果已经查明人眼的基本结构,揭示了人眼视觉的基本原理。其中最重要的进展是,查明了人眼视网膜主要由杆状、锥状 2 类光敏细胞组成。杆状细胞数量很大,只要有达到 $3 \times 10^{-7} \text{ cd/m}^2$ 的亮度通过瞳孔进入视网膜,就可激活这类细胞,使其光敏外层的视紫红质分解变白,刺激视神经产生光觉效应而感到光亮,这是看到外界事物的基础。试想在一个完全漆黑的暗室中,人眼能看见什么呢?然而杆状细胞只能感受光的强弱却不能分辨光的颜色。只有当亮度增大到 $3 \times 10^{-3} \text{ cd/m}^2$ 时才能激活锥状细胞而产生色觉,分辨五彩缤纷的颜色。但是要分辨出外界物体的轮廓形状、大小,识别丰富多样的大千世界,还必须由光觉、色觉进而产生形觉才行^[8]。形觉又有平面形觉和立体形觉之分,立体形觉即 3 维形觉或称立体视觉,需双眼同时观察才能产生立体感,看到物体的立体形状,区分远近不同的物体。立体电影就是模拟双眼立体视觉原理而开发的技术。

根据研究,双眼立体视觉的形成严格受到观察距离(L)、双眼基距(b)和引起生理视差的双眼视轴交会角(r)大小的制约,三者关系可简要地表述为: $L \approx b/r$,其中 b 一般约为 6.5 cm,产生立体视觉的 r 最佳值为 $30''$ 。由此可以计算出一般人能够产生立体视觉、感受到物体立体形状的极限观察距离大约只有 450 m^[9],超出此距离就会失去立体感而不能识别物体的三维形态,也不能区分物体的远近。所以我们即使用双眼观察天空的繁星或高空的鸟群仍不能辨识其远近或高低。至于平面形觉的形成,无需双眼观察,也就不存在因双眼交会角不同引起的生理视差而导致的距离极限,但它仍会受到观测物体的距离、大小、照度、反差、通视条件、大气状况等众多因素的复杂影响。

为了揭示人眼产生平面形觉、识别细小物体的能力,从事生理光学、医学光学等研究的学者提出人眼视觉敏锐度,即视觉分辨率的概念,它以刚好可以被眼睛辨识的两点或两线对瞳孔中心的张角来表征。一些研究

者反复测定后一致认为,一般人眼睛瞳孔中心的张角约 $6'$,即 0.1 rad ,相当于圆周的 $1/3600^{[10]}$ 。也就是说,当一个物体进入眼瞳形成的张角正好相当于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其背景有别的像点而被人眼看到。如果观测距离增大或观察物体缩小,这个物体就不能形成有别于背景的像点,也就不能被眼睛看到而识别出来。据此计算,即使在通视条件极佳的情况下,常人能够看到 10 m 大小的物体,形成平面形觉的极限距离大约是 36 km ,远低于公认的太空高度,何况长城宽度基本上只有 2 m 左右,除大的关隘城楼外,一般城台(如烽火台)的宽度也只有 $5\sim 6 \text{ m}$ 。由此可以断定,宇航员是不可能从太空仅凭肉眼就看到长城的,某些美、俄宇航员的说法不是误看就是误传,不可轻信。

2 对主要几种似是而非论述的剖析

1) 有些人认为上述人眼分辨率的概念只适用于点状物,不能据此论证长城这类线状物。笔者不能同意这种看法。

从几何学的角度说,多点连成线,多线连成面。在制图和日常生活中,点线面三者是对二维平面形状的实用性描述,主要受尺度制约,没有绝对的划分指标。例如长城这类一般称之为线状的地物,截其一段在超大比例尺图上就表现为一个面,在小比例尺图上就表现为一条线,而在更小比例尺图上只能表现为一个点。为了揭示人眼“形觉”功能而发展出的分辨率概念,就是以刚好能为眼睛分辨的两点或两线对瞳孔中心点的张角来表征的,所以对点、线甚至面都应该适用。

2) 有人提出人眼看线状物可能存在“视觉扩散效应”,并举人眼能看到远方的电线为例。其实这是先看到电线杆,然后由先验知识联想产生的“假视觉”。如果把两头的电线杆事先遮住,还能看到电线吗?

有人又举超高空侦察机飞行员常参照河流、铁路、公路等线状物来确定飞行方位为例。笔者可以肯定,这些飞行员是在其眼睛分辨率所决定的极限距离内看到了铁路、公路或其某些段落,中间有些看不到的段落就可由先验知识联想出来。所以观察线状地物实际上不存在什么视觉扩散效应。但我们注意到,有些亮度很高的发光体或强反射体,与背景反差十分强烈且具有较规则的外形,观测这类物体确实存在有助于产生视觉的有利因素,不妨暂称之为“视觉扩散效应”。例如黑夜看海上灯塔和太空的星星等,确实可以超过人眼睛分辨率计算出的视觉极限。不过所见到的只是大小不同的亮点,根本看不清它的确切形状与内部结构。更应指出,长城既不是发光体也不是强反射体,与背景的反差也不是很大,而且是蜿蜒曲折地延伸于山岭之巅的不规则线状体,绝对不可能产生如黑夜看星星、看灯塔那

样的所谓视觉扩散效应。

3) 有种意见承认长城宽度不大,超过人眼观察极限。但他们认为早晚太阳高度角低,照射到长城会产生很长的投影,这时宇航员可以用肉眼看到长城。其实长城的高度很有限,早晚太阳光照射产生的投影不可能太长,特别是这种投影必然落在阴坡,投影与山坡阴影叠合,亮度很低,根本无助于“形觉”的增强,也无助于肉眼的观察与识别。所以笔者断定,早晨、傍晚宇航员同样用肉眼看不到长城。

4) 有媒体报道 2005 年春美籍华裔宇航员焦立中处理出一张他从太空用数码相机拍摄的长城照片,有人就认定这是“为从太空用肉眼看到长城增加了新依据”。他们说,“这些照片与肉眼观测所见二者只存在量的区别而没有质的不同”、“如果用相机可以拍摄到长城,那么用肉眼同样能够看到长城^[6]”。这种说法完全遗忘了“量变会导致质变”的科学哲理。笔者分析肉眼从太空看不到长城,而坚信借助高分辨率的卫星遥感技术能够获得长城影像,掌握长城分布信息,并通过试验表明,在分辨率达到 2.5 m (图 3)和 5 m (图 4)的 SPOT 卫星全色图像,特别是全色与多光谱融合的图像(图 5)上,长城都有较清晰的映现。而分辨率为 10 m 的 SPOT 卫星多光谱数据,即使经过增强处理出的彩色图像(图 2)也没有反映出长城影像。这就充分证明,分辨率高低这个数量问题,当其差别达到一定程度时就会转化为看得见与看不见之间的质的不同。顺便指出,目前市场出售的数码相机也可称之为 CCD 相机,与开展卫星遥感实验所使用的 SPOT CCD 扫描图像的成像机理基本

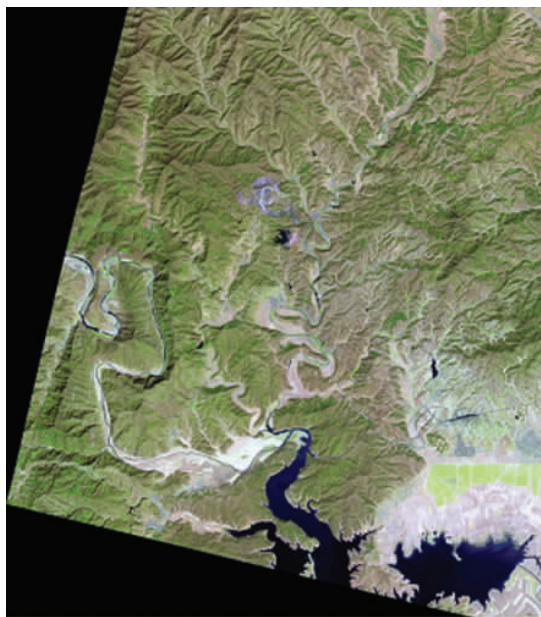


图 2 SPOT-5 10 m 分辨率多光谱彩色合成图

Fig. 2 Multi-spectral composite color image of SPOT-5 with 10 m spatial resolution

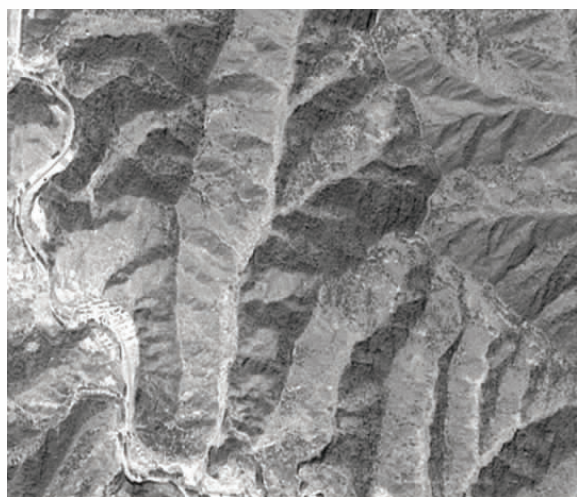


图3 SPOT-5 2.5 m 全色图像

Fig. 3 Panchromatic image of SPOT-5 with 2.5 m spatial resolution

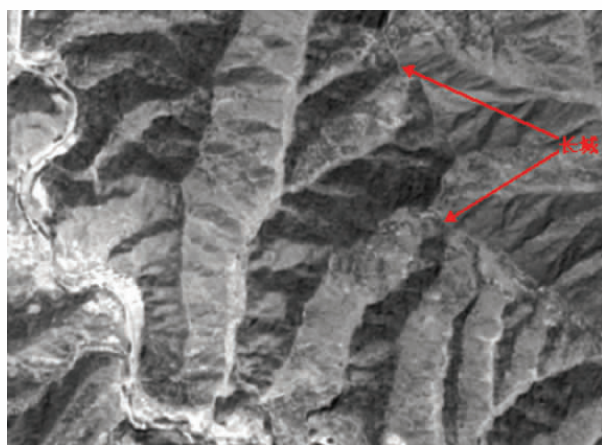


图4 SPOT-5 5 m 黑白图像

Fig. 4 Panchromatic image of SPOT-5 with 5 m spatial resolution

相同。根据所用相机的像素值和拍摄时太空站的实际高度可以计算焦立中那些照片的地面分辨率。可以推断,拍到长城清晰影像的照片,其分辨率肯定已达到米级。因此,这个事例不仅不是肉眼能看到长城的新依据,反而是卫星遥感实验结果的有力佐证。

5) 还有一些人不完全否定肉眼看长城的可能性,但强调看到长城的几率非常低,提出了许多宇航员看到长城的不利因素。这种说法貌似严谨,可就是不从人眼产生形觉必受距离因素制约这个基本点出发,这不是完全的科学态度。另有些人肯定,“在正常情况下,肉眼从太空的确不可能看到长城”,“但不能彻底排除这种可能性”。他们举例,公元前我国天文专著“甘石星经”就有木星旁的卫星被观察到的记载,但以后近2000年中这颗卫星再没有别人看到过,直至1609年伽利略用天文望远镜才观测到。据此,他们认为可能有“眼尖”

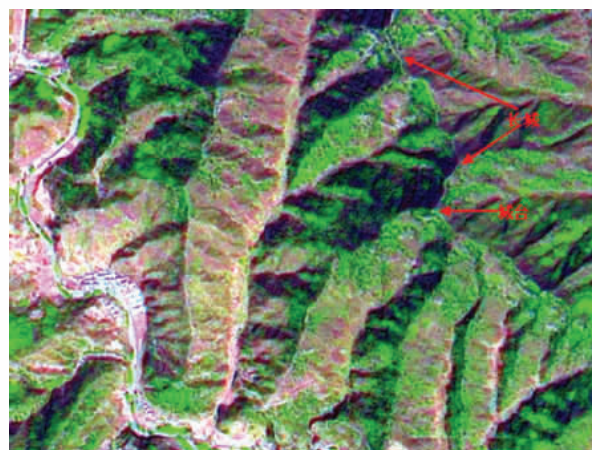


图5 SPOT-5 全色与多光谱融合图像

Fig. 5 Fusion image of panchromatic image with multi-spectral image of SPOT-5

的人或者持有特殊心态的观测者会比常人看得更细、更远。笔者承认人的眼力有差异,观测者的心态会在一定程度上影响观测的详度和深度,此谓“有心”、“无心”之别,但是差距是有限的,除非有所谓“特异功能”。还应指出,从太空看长城完全不同于从地面看星星,我国3位宇航员视力肯定不差,对长城的形状、分布比较熟悉,期望看到长城的用心也不容置疑,他们未能从太空用肉眼看到长城,理应符合客观实际。

3 结论

通过剖析笔者先前的研究报告公布之后引起继续争论反映出的几个主要不同见解,笔者进一步坚定了以下两点认识。

1) 人眼视觉从光觉、色觉进展到“形觉”的产生,从而看到某个客观事物,必受制于观察物体的大小与距离。以定量表征“形觉”的眼睛分辨率的概念为基础,断定人的肉眼从太空看不到长城的结论能经受各种检验和挑战。至今争论中提出的各种反对意见还没有真正站得住脚的。

2) 借助遥感等技术手段,将大大延伸人眼的视觉功能。美籍华裔宇航员焦立中从太空用数码相机拍到长城影像,以及最近美国宇航博物馆展出的“太空看地球图片”,根本不像某些人说“为肉眼看到长城增添了新证据”。恰恰相反,它从另一个侧面验证了卫星遥感探测长城试验研究结果的正确性,即空间分辨率达到一定程度的遥感图像才能够显示长城,或其他相应地物;分辨率达不到一定水平的遥感器无法捕获到长城这类地球上的细窄物体。

参考文献 (References)

- [1] http://www.esa.int/SPECIALS/Proba_web_site/SEMT-THGHZTD_1.html. 2004-05-11.

- [2] 李 斌, 吴晶晶, 卜云彤, 等. 太空中肉眼看不到长城[EB/OL]. 新华社, 2004-12-07. <http://news.tom.com/1002/20041208-1624849.html>.
LI Bin, WU Jingjing, BU Yuntong, *et al.* Human eyes can't see the Great Wall from space, Xinhua News Agency, 2004-12-07. <http://news.tom.com/1002/20041208-1624849.html>.
- [3] 戴昌达, 刘 亮, 姜小光. 从太空探测万里长城[J]. 物理, 2005, 34(2): 88-92.
DAI Chang-Da, LIU Liang, JIANG Xiao-Guang. Detecting the Great Wall from space[J]. Physics, 2005, 34(2): 88-92.
- [4] 陈天昌. 杨利伟没有看到长城事出有因[N]. 科学时报, 2004-06-04.
CHEN Tianchang. There may be some reasons which lead to Yang Liwei's not seeing the Great Wall [N]. Science Times, 2004-06-04.
- [5] 张 谨. 太空中肉眼能否看到长城: 宇航员发回照片[N]. 京华时报, 2005-04-20.
ZHANG Jin. Seeing the Great Wall by human eyes: Possible or not-Astronaut dispatched photos [N]. Beijing Times, 2005-04-20.
- [6] 王 鑫. 太空看地球图片展, 再现多彩美丽地球[N]. 北京晚报, 2006-11-10.
WANG Xin. Photograph exhibition on seeing the earth from space, re-displaying a colorful and beautiful earth [N]. Beijing Evening News. 2006-11-10.
- [7] 王石川. 太空看长城, 技术问题而已 [N]. 现代快报, 2006-10-27.
WANG Shichuan. Seeing the Great Wall from space is just a technical issue[N]. Modern Express. 2006-10-27.
- [8] 张方华. 视功能检查[M]//中国大百科全书(现代医学卷). 北京: 中国大百科全书出版社, 1993: 1197-1200.
ZHANG Fanghua. Visual function examination [M]//China Encyclopaedia (Modern Medical Volume). Beijing: China Encyclopaedia Press, 1993: 1197-1200.
- [9] 戴昌达, 等. 立体视觉原理 [M]//土壤航测普查. 北京: 农业出版社, 1986: 73-76.
DAI Changda, *et al.* Theory of stereo-vision [M]// Aerial Survey of Soil. Beijing: Agriculture Press, 1986: 73-76.
- [10] 杰弗里·李. 战场武器系统与技术 [M]. 北京: 中国军事科学出版社, 1992: 188-193.
LEE Jeffery. Battle field weapon system and technique [M]. Beijing: China Military Science Press, 1992: 188-193.

(责任编辑 黄永明)

·封面文字说明·

东亚最大通用型望远镜即将初光



目前, 东亚最大的通用型光学望远镜已安装完成, 正在进行最后的调试, 有望在2007年4月正式投入观测。该望远镜口径2.4 m, 位于我国云南省丽江市西南方的高美古, 海拔3 200 m。

高美古2.4 m望远镜的建设历时5年, 而选定台址则在1994年。中科院云南天文台的天文学家在选址的过程中, 首先通过观察卫星云图和地震记录, 选出晴天数多而地震少的区域, 然后再进行实地勘察。他们要考察山头是否够大, 更重要的是测试

当地的大气视宁度。在天文观测中, “视宁度”是一个非常关键的指标。如果大气抖动得厉害, 那么星点就会被发散成较大的图像, 严重影响观测的精确程度。高美古是一个有26户人家的小村子, 此处大气视宁度优良, 可与世界上的优秀天文台址相媲美。



图1 高美古2.4 m望远镜局部
Fig. 1 A partial view of the 2.4 m telescope at Gaomeigu

云南天文台的研究人员认为, 这是2.4 m望远镜最大的优势。

望远镜高8 m, 重40余t, 采用卡赛格林式系统(图1)。据估计, 该望远镜将能够观测到暗于21等亮度的天体, 投入使用后有能力进行大量星系观测。云南天文台台长李焱告诉《科技导报》记者, 望远镜每年收到的观测申请将至少达到300份, 申请观测时间是望远镜可提供观测时间的3~4倍。

天文学家把一架调校好的望远镜的第一次正式观测称为“初光”, 或是“开光”(first light)。2.4 m望远镜目前初光在即, 中国和英国的技术人员正在进行最后的调校。

在过去的17年里, 我国同时也是远东最大的通用型光学望远镜一直是位于河北兴隆的2.16 m望远镜。2.4 m望远镜的直径比2.16 m望远镜大了24 cm, 用于收集星光的面积就大出许多, 因而集光能力比2.16 m的提高了20%。再加之视宁度的优势, 李焱预计2.4 m望远镜的观测能力将比2.16 m镜强上数倍。

本期封面图片为高美古2.4 m望远镜圆顶实景照片, 由黄永明拍摄。

(本刊记者 黄永明)