

爱上科学

Science

[美] Dr.Travis A.Rector, Kimberly Arcand, and Megan Watzke 著 / 叶楠 邢晓明 译 / 魏晓凡 审

宇宙的色彩 深空摄影与 天文图像处理全解析

AN INSIDER'S LOOK AT MAKING SPECTACULAR IMAGES OF SPACE
COLORING THE UNIVERSE



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

爱上科学

Science

COLORING THE UNIVERSE

AN INSIDER'S LOOK AT MAKING
SPECTACULAR IMAGES OF SPACE



宇宙的色彩

深空摄影与天文图像处理全解析

[美] Dr. Travis A. Rector, Kimberly Arcand, and Megan Watzke 著

叶楠 邢晓明 译 / 魏晓凡 审

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

宇宙的色彩：深空摄影与天文图像处理全解析 /
(美) 特拉维斯·A. 雷克托 (Dr. Travis A. Rector),
(美) 金伯利·科沃尔·阿坎德 (Kimberly Arcand),
(美) 梅甘·瓦茨克 (Megan Watzke) 著；叶楠，邢晓明
译. — 北京：人民邮电出版社，2017. 7
(爱上科学)
ISBN 978-7-115-45339-6

I. ①宇… II. ①特… ②金… ③梅… ④叶… ⑤邢
… III. ①天文摄影—普及读物 IV. ①P123.1-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第103365号

版权声明

COLORING THE UNIVERSE: AN INSIDER'S LOOK AT MAKING SPECTACULAR IMAGES OF SPACE By TRAVIS RECTOR, PHD, KIMBERLY ARCAND, AND MEGAN WATZKE

Copyright: ©2015 University of Alaska Press

This edition arranged with JEAN V. NAGGAR LITERARY AGENCY, INC
through BIG APPLE AGENCY, INC., LABUAN, MALAYSIA.

Simplified Chinese edition copyright: 2017 POSTS & TELECOM PRESS. All rights reserved.

本书简体中文版由 BIG APPLE AGENCY 代理 JEAN V. NAGGAR LITERARY AGENCY, INC 授予人民邮电出版社在中国境内出版发行。未经出版者书面许可，不得以任何方式复制或节录本书中的任何部分。

版权所有，侵权必究。

-
- ◆ 著 [美] Dr.Travis A.Rector Kimberly Arcand Megan Watzke
译 叶楠 邢晓明
审 魏晓凡
责任编辑 周璇
责任印制 周昇亮
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京东方宝隆印刷有限公司印刷
- ◆ 开本：889×1194 1/20
印张：13 2017年7月第1版
字数：419千字 2017年7月北京第1次印刷

著作权合同登记号 图字：01-2016-5346 号

定价：99.00 元

读者服务热线：(010)81055339 印装质量热线：(010)81055316

反盗版热线：(010)81055315

广告经营许可证：京东工商广登字 20170147 号

内容简介

随着经济及技术水平的发展，各种天体的照片越来越多地出现在社会生活的各个角落。它们不仅能作为各种天文新发现的介绍配图，也常常充当许多图像广告及视频节目的绚丽背景。天文照片不再是自然科学领域的专属，也开始融入社会，成为一幅幅精美的艺术作品。关于这些作品背后的故事，不仅是关于天体本身，更重要的是这些天文照片的获取、处理及传播。身负科研重任的各大专业天文台，甚至运行于空间中的哈勃、钱德拉等太空望远镜为何要耗费宝贵的时间去拍摄这些颇具艺术气息的作品？为什么无心之作“创生之柱”能得到无数公众的惊叹目光？为什么即使是对天文并不熟悉的普通人也能从照片中切身体会到宇宙之美？在本书中，3位专业天文工作者会逐一为你娓娓道来。这不只是一本单纯的深空摄影与天文图像处理全解析书，更是一本大气磅礴的宇宙艺术画册，让我们伴随着作者的故事一起体会宇宙与星空的波澜壮阔。本书适合天文爱好者及天文专业人士阅读。

前言

从时间开始流淌，或者至少从人类能够感知这个世界的时候开始，夜空就一直是一个神奇而又神秘的地方。行星的运行和四季的变换，在 2000 多年以前就已经被人们所理解；关于恒星的奥秘，则直到 200 多年前望远镜第一次真正关注它们时才被解开。这些原始而又简单的工具能够让更多的光进入我们的眼睛，可以让目标显得更近，并且具有更多的细节。利用望远镜，我们可以看到月球上的环形山和太阳上的黑子，而行星在望远镜中看起来像一个发着光的圆盘，有些还能看到它的光环和卫星。这些早期发现很快就转变了人类对我们所生存的这个空间及宇宙的认识，同时促进着一种新的思维方式的发展，现在我们称这种思维方式为“科学”。

摄影，可以被称为一项革命性的技术，它诞生于 1839 年。过了 40 年之后，摄影第一次被正式应用在天文学上。摄影能够记录和存储那些我们肉眼无法感知的光线，进而也成了 X 射线和放射性物质得以被发现的基础。摄影还引发了天文学的快速变革，这主要体现在通过长时间曝光所得到的天文图像上，这些图像是我们仅凭肉眼无法看到的。最近一段时期，传统的摄影方法让位于数字摄影技术。相比于传统方法，数字摄影技术的感光能力更强，同时可以通过无线电波进行数字图像的传输，这使得我们可以接收位于空间轨道上的哈勃太空望远镜的照片，甚至接收像卡西尼这类深入太空的探测器所拍到的图像。

我们最终得到的是以照片形式呈现的宇宙图像，但这些照片都是先通过电子传感器进行信号的收集记录，之后又经过一系列的科学数据分析转换才得到的，这一切流程都

需要借助现代计算机处理才能实现。这种技术可以将数据进行多种方式的处理，而这在以前的摄影暗室里是无法做到的。当然，曾经在暗室里使用的一些技巧也在现代的处理软件中得到了继承和发展。

在这里一定不要误解“处理”这个词。我们需要将原始数据进行处理，才能使其显示出那些隐藏其中的科学信息。这也是为什么用于科学研究的数据往往需要各种复杂、昂贵的仪器设备进行处理。但同时，也有许多用于科学研究的数据能够以壮观的天文图像的形式来呈现，其中同样蕴藏着科学家和艺术家所感兴趣的内容。这种同时具有艺术性和科学性的天文图像要采用什么处理方式，正是本书的核心。

视觉是所有感觉里最丰富的，通过视觉我们可以感知这个世界无穷无尽的色彩及其各种各样的特征。但是，即使使用世界上最大的望远镜进行目视观测，本书中所呈现的大多数星云和星系也只是一片模糊而灰暗的景象。它们本身是有颜色的，但是我们的眼睛无法分辨。而通过电子传感器对这些遥远而又暗弱的天体进行感光，便可以看到它们真实的色彩。那么问题来了：如果我们的眼睛无法分辨那些颜色，又是如何知道它们看起来应该是什么样子的呢？这是一个很好很强大的问题，在本书中，作者会用很长的篇幅去解释。

正像“处理”这种词会带来很多的疑惑一样，天文图像处理中还会用到“假彩色”。“假彩色”可以在特定情况下用来替代那些我们肉眼所无法感知的波段，包括射电波段、X射线和红外线等。将看不到的波段叠加在一起得到的照片所包含的信息量是非常巨大的，为了显示这些信息，就要用人们能真实地看到的颜色进行替代。在一定意义上说，这种照片是“不真实”的，但是，我们并不能完全说它是假的。事实上，这类照片可以更好地展示我们所得到的信息，同时更吸引人们的眼球。

最后，再将可见光图像和更广波段的图像处理技术用于科学及其他目标方面，本书的几位作者都具有丰富的经验。很多时候，提取科学信息和获取天文图像二者在处理方法上有许多相似的地方，甚至是完全一致的，我期望这本书能够向读者展现这一部分自然世界的魅力。在本书中会出现许多的天文照片，而本书作者会以一种无论是专家还是爱好者都能理解的、“非专业”的方式对这些照片进行介绍。

大卫·马林博士 (Dr. David Malin)

序

8月一个晴朗的夜晚，我们相聚在阿拉斯加州安克雷奇北部的芒廷维尤，庆祝MTS画廊的盛大开业。来自美国各地的30余位艺术家在这里展示他们的作品。这个地方曾经是一家移动拖车用品商店，现在则摇身一变，成了一个充满艺术气息的场所。我并不是专业的艺术家，但还是被邀请加入这个聚会，并在这个巨大的空间里展示我的天文摄影作品。那是一个非常高大的房间，我需要用照片填满它的整个墙面。

尽管已经接近晚上10点，阿拉斯加夏季夜晚的天空还没有完全变暗。参观者一旦踏进这个地方，第一眼就能看到墙面上的巨大照片，仿佛由此走进了外太空。当他们的眼睛逐渐适应房间内的黑暗之后，我就用声音引导着他们进入画廊并回答他们的问题。在这个过程中，我发现我的照片能够对观众产生影响，而他们还会提出各种发自内心的问题。对我来说，这也是一段非常难得的经历。

“这些真的存在吗？”

“它们看起来也和照片一样吗？”

“是不是我距离它更近一点，就能看到它了？”

大部分问题最终都是关于照片中所拍摄的天体，而且所有人的第一个问题都是关于照片的真实性的。在现代社会这样一个充斥着科幻特效魔力和数字图像处理技术的“超现实主义世界”里，人们有必要知道他们所看到的各种事物中哪些是真实的。当然，照片中这些貌似电影中宇宙战争发生地的奇妙场景是真实存在的。或许有那么一天，我们也能够抵达这些地方。

第一个问题的答案是肯定的：所有你在照片中看到的画面都是真实的。这些照片拍摄的都是宇宙中真实存在的天体，而不是艺术家想象出来的画作。但是回答后面两个问题似乎就没有那么容易了。天文望远镜“看到”的，与我们用眼睛看到的是完全不一样的。天文望远镜为我们提供了一种“超人类”的视觉。不夸张地说，很多时候它都能够让我们看到那些仅凭肉眼看不到的东西。

所有天文照片，包括本书中将呈现的照片，都是使用技术手段将通过望远镜得到的数据转变而成的、可供人眼识别的图像。这一步是如何做到的呢？最近几十年里，对天文学家和天文摄影师来说，实现这一步，一直是一项艰巨的任务。许多人，包括我的同事和我自己，都已经开发和改进了许多技术，用于处理专业天文望远镜得到的数据并将其转换成彩色照片。在这项工作中，我们还开发了计算机可视化语言，来更好地将天文照片中蕴含的信息传递给人们。

本书的合作者，金伯利·阿坎德（Kimberly Arcand）和梅甘·瓦茨克（Megan Watzke），已经在 NASA 数据中心从事天文学研究近 20 年时间，她们也对人们如何理解天文照片，以及人与天文照片之间的相互作用展开过研究。我将和她们一起，共同为你们呈现专业天文台的科学家、可视化专家、公众传媒工作者是如何制作和共享天文照片的。我们将会介绍他们在处理照片时要做哪些工作，以及更重要的是——他们不会对照片进行什么样的处理。这本书所分享的知识不仅仅是我们几位作者的经验总结，也是我们有幸与之共事的许多极具才能的专业工作者的成果。在本书中，我们会把一些词和短语用黑体表示：这些专业词汇你可能在别的地方（比如科学新闻报道）中见过，它们是值得你去学习、理解一下的。我们希望各位读者能够从本书中了解到专业天文台如何使用望远镜进行观测，以及如何向我们展示这个人类赖以生存的、真实的宇宙。

特拉维斯·A. 雷克托博士（Dr. Travis A. Rector）

致谢

首先，要感谢我们的代理人，珍·V. 纳加尔（Jean V. Naggar）文学代理公司的伊丽莎白·埃文斯（Elizabeth Evens）以及我们的出版商阿拉斯加大学出版社，在他们的共同努力下，本书才得以出版。我们同样要感谢所有允许我们使用他们作品的科学家、摄影师和艺术家们。如果抚养一个孩子的成长需要一个社区的力量，那么让人们了解这个宇宙的奇迹则需要整个社会的努力。如果没有那些默默坚持对宇宙进行研究探索的人们，以及那些孜孜不倦为公众传播知识的人们的工作，本书也不可能出现。

我们三位作者还要感谢杰弗里·班尼特（Jeffrey Bennett）、安德鲁·弗拉克诺伊（Andrew Fraknoi）和大卫·马林（David Malin），他们将初期手稿进行了录入。特拉维斯还要对图像方面的合作者表达谢意，特别是海蒂·史魏克（Heidi Schweiker）、彼得·米肖德（Peter Michaud）、柯克·布优豪－帕米尔（Kirk Pu’uohau-Pummill）、佐尔特·李维（Zolt Levay）、丽莎·弗拉泰尔（Lisa Frattare）、杰安妮·英格利什（Jayanne English）、皮特·曼伦菲尔德（Pete Marenfeld）、马克·汉娜（Mark Hanna）、蒂姆·阿伯特（Tim Abbott）、妮可·范·德·布里克（Nicole van der Bliek）。当然，这些照片如果没有得到以下天文台的望远镜和其他设备的支持也是无法获取的：双子天文台、美国国家光学天文台（包括基特峰国家天文台和托洛洛山美洲天文台）以及美国国家射电天文台（以上都隶属于美国国家科学基金会）。我们还要感谢 NASA、哈勃太空望远镜、钱德拉 X 射线空间天文台以及斯皮策空间望远镜为我们带来了许多精彩纷呈的照片。当然，如果没有科学家、工程师以及这些望远镜的设

计、建造、维护人员的工作，我们也不可能得到这些照片。这些照片都是在美国国家科学基金会授权项目 DUE-1523583 的支持下获取的。本书关于这些照片发表的任何意见、发现、结论或建议都只代表作者的观点，与美国国家科学基金会无关。

金伯利和梅甘不会忘记感谢钱德拉 X 射线天文台中心的同事们的支持。金伯利还要感谢美学与天文学 (A&A) 组织的成员们：丽莎 (Lisa)、杰夫里·史密斯 (Jeffrey Smith)、兰德尔·史密斯 (Randall Smith) 和杰伊·布克宾得 (Jay Bookbinder)，同时，A&A 也对她在天文图像领域的工作给予了支持。

就个人来说，如果缺少家人的支持，金伯利不会写出本书中的任何章节。她的丈夫约翰 (John) 给予了她最多的支持，她的孩子们杰克逊 (Jackson)、克莱拉 (Clara) 是她不知疲倦的啦啦队，她的父母是她最大的粉丝，还有所有为她提供过帮助的朋友们。梅根会永远感谢克里斯汀 (Kristin)、安德斯 (Anders)、乔治 (Jorja)、艾弗 (Iver) 和斯特拉 (Stella)，是他们帮助她在这个宇宙中指明方向，也感谢所有来自朋友和家庭的爱与鼓励。特拉维斯说：你所看到的每一颗星星都是我在想你。

目录

第一章 人与天文望远镜——望远镜与眼睛的对比	2
眼见为实	2
天文望远镜所做的三件事	4
第二章 这不是自拍照——望远镜和相机是如何工作的	10
光学天文望远镜是如何运行的	10
星光，相机，行动吧！	18
相机的校准	20
第三章 色彩宇宙——宽带摄影与颜色应用	24
看到真实的颜色	24
如何得到彩色照片	26
天文照片中的色彩	28
宽带滤光片	31
第四章 色彩即知识——科学家能从宽带滤光片的颜色中发现什么？	34
不同颜色的恒星	34
钻石和尘埃	40
星系的颜色	40

第五章 天文图像简史——天文图像的拍摄方法及意义	50
照相底片时代	52
天文台的发展	54
数字相机的崛起	55
在 1994 年	58
不断向前的未来	60
直到现在	63
第六章 氢的奇迹——如何观测这最重要的元素？	68
元素周期表第一位	68
恒星的诞生	71
新诞生恒星的喷流	80
颜色的选取	86
第七章 感知红色——如何识别及利用颜色？	88
眼睛是如何感知色彩的	88
颜色的解释	91
温度的意义	91
近与远	94
并不是数字绘画	97
第八章 窄带成像——由减而加	106
音符之间的空白	108
氧	110
恒星生命殆尽时	114
50 种不同的红色	119
不只是“哈勃色”	119
大质量恒星的爆发	129
第九章 值得铭记一生的夜晚——使用全世界最大的望远镜进行观测	134
这些都是专业级	136
需要预约？	138

从黄昏到黎明	139
远程观测	139
第十章 彩虹之外——电磁波与不同类型的光	146
电磁波谱	146
射电，射电	151
微波：不止是微波炉	151
红外：你感觉到热吗？	153
可见光：你能看到的那一小部分	156
紫外：照亮前路	156
X 射线：不止在牙医诊所里	158
伽马射线：光的极限	162
见到不可见	162
第十一章 后期处理——天文学家做什么？不做什么？	168
从数据到图像	170
进入 Photoshop	171
清洁图像	173
哪些是不能做的？	175
第十二章 天体物理中的美学——宇宙的构图	180
照片的清晰度	180
色彩对比度	183
图像构图	189
结构和细节	199
自然的与超自然的	209
图像解剖：创生之柱	217
科学与艺术	219
后记 看到上帝之眼（和手）——想象力与照片中的形象	220
注释	240
资源	244

宇宙的色彩

第一章

人与天文望远镜

——望远镜与眼睛的对比

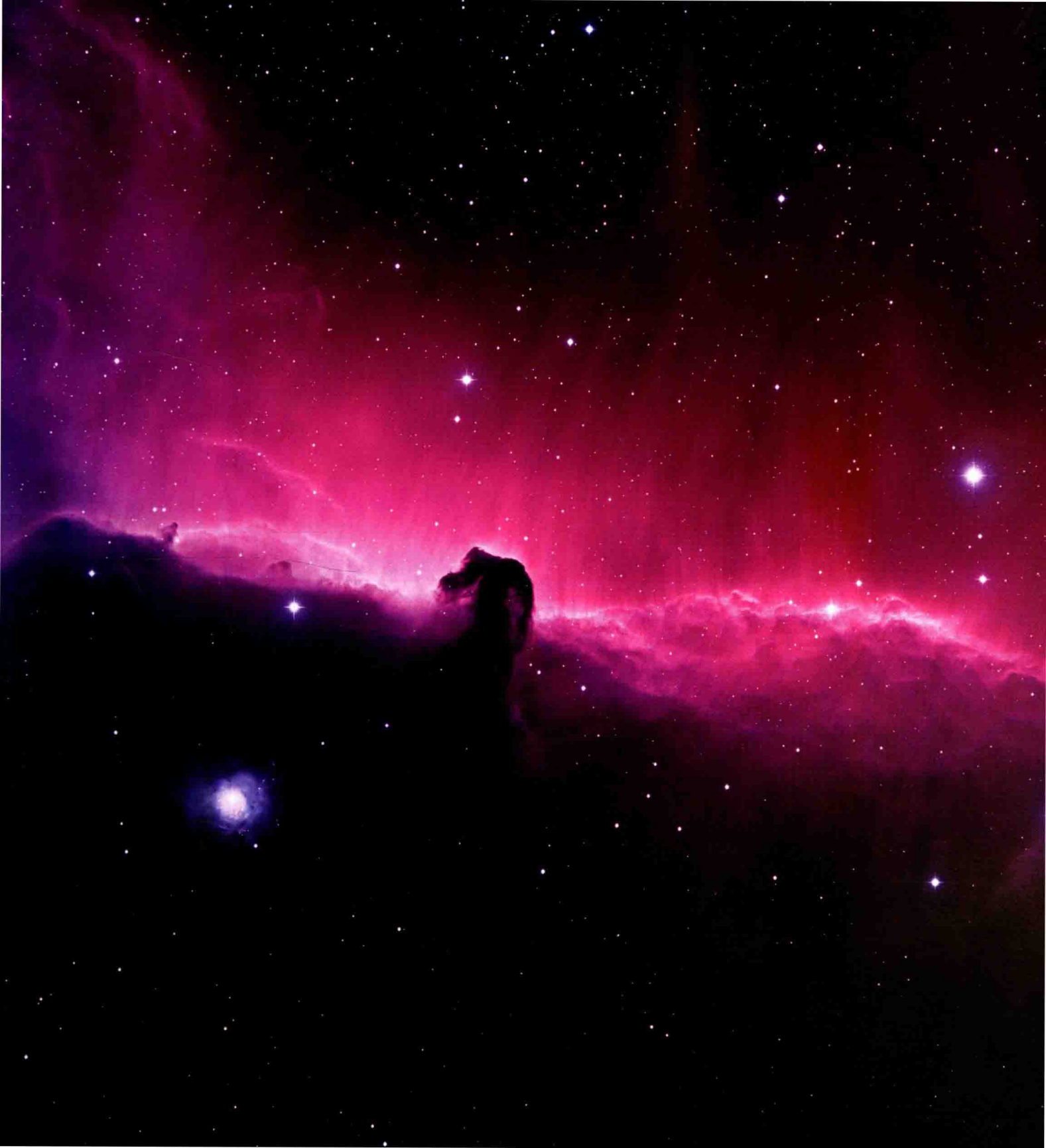
眼见为实

天文照片能够激发人们对星空的好奇与敬畏。但是，对于生活在城市中心以及城郊地区的人们来说，大部分星光都被人造光源所掩盖，这些人造光也被称为光污染。这使得很多靠近城市的天文台都失去了原有的作用，我们只能借助位于更遥远的山上或荒漠中的望远镜才能进行观测和摄影。

天文照片的应用很广。我们经常可以在电脑和手机上看到天文照片，也可以在广告牌、专辑封面、衣服上等各种地方看到星空的踪迹。实际上，天文照片已经渗透到我们的生活之中，许多人都深深被其吸引。但是，很多时候人们并不知道哪些照片是真实的。当我们在博客上展示一张天文照片时，会得到许多表示怀疑的评论：“真的吗？不是从图片商店买的吗？太厉害了！”甚至还有一段西班牙语的评论，大概意思是：你不是在开玩笑吧？我不相信这没有 PS 过。我们甚至可以看到许多言辞更为激烈的评论。

正确回答这些怀疑甚至批判对我们来说非常重要。那么，是哪些地方容易引起混淆和争议呢？

- ▶ 标志性的马头星云是位于 IC 434 恒星形成区前面的致密气体云的一部分。版权：T.A. Rector (NOAO/AURA/NSF) and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA/NASA)。



我们来看一个例子。对于许多天文爱好者来说，上页这张照片非常经典。这张照片拍摄的天体是著名的马头星云，其名称源于照片中间的黑暗区域的形状。它位于猎户座方向，是一片巨大的气体尘埃云的一部分，在这里，数以百计的恒星正在诞生。

这张照片是使用基特峰国家天文台（KPNO）¹ 的先进数字相机和望远镜拍摄的，这个天文台位于美国亚利桑那州南部。这是我们从望远镜和相机里看到的样子。但是如果假设人类有能力驾驶宇宙飞船飞向那里的话——你将会看到什么？想要到达那里，你需要经历超过 1000 光年² 的旅程。相对于在地球上，你此时的距离已经近了 100 倍。但是透过飞船的窗户，你看到的将是下面这样一幅场景。

你会看到一些亮星，但是星云中的气体和尘埃，以及马头的形状却消失不见了，为什么呢？

天文望远镜所做的三件事

为了更好地理解天文照片是如何拍摄的，我们先介绍一下天文望远镜是如何工作的。如同一台双筒望远镜可以让体育场上方看台那些较远的座位看起来就像在身边一样，一台天文望远镜也可以使那些遥远的天体看起来更近。但是天文望远镜所能做的并不仅限于此。它不仅仅是放大天体，更重要的是它可以增强天体。天文望远镜可以让那些暗弱的天体看起来更亮。

许多人认为我们的眼睛看不到的东西，使用望远镜却能看到，是因为望远镜将那些太小以至于我们无法看到的東西放大了。在地球上这往往是对的。但是马头星云并不是因为小才让我们看不到。实际上，这两张照片的视场相当于两个满月所占据的天空大小。你看不到马头星云是因为它太暗了，而不是因为它太小了。

为什么你离得如此之近却还是看不到马头星云？对于这些看上去比点光源大的天体（如星系和星云，总之不是单颗恒星的天体）来说，它们看上去有多亮与距离它们有多远之间的关系并不大。距离它们更近只能够使它们看起来更大，而不是更亮。这似乎有违常识，但是你在家就可以做这样一个实验。向着一面墙走过去，在你靠近的过程中，你会注意到墙变大了，而不是变亮了。对于马头星云来说也是如此。如果在地球上你无法用双眼看到，即使乘坐宇宙飞船靠近也还是无法看到。

► 与第一张马头星云照片展示的同一片区域，但是这是你用裸眼看到的效果。版权：T.A. Rector (NOAO/AURA/NSF)。