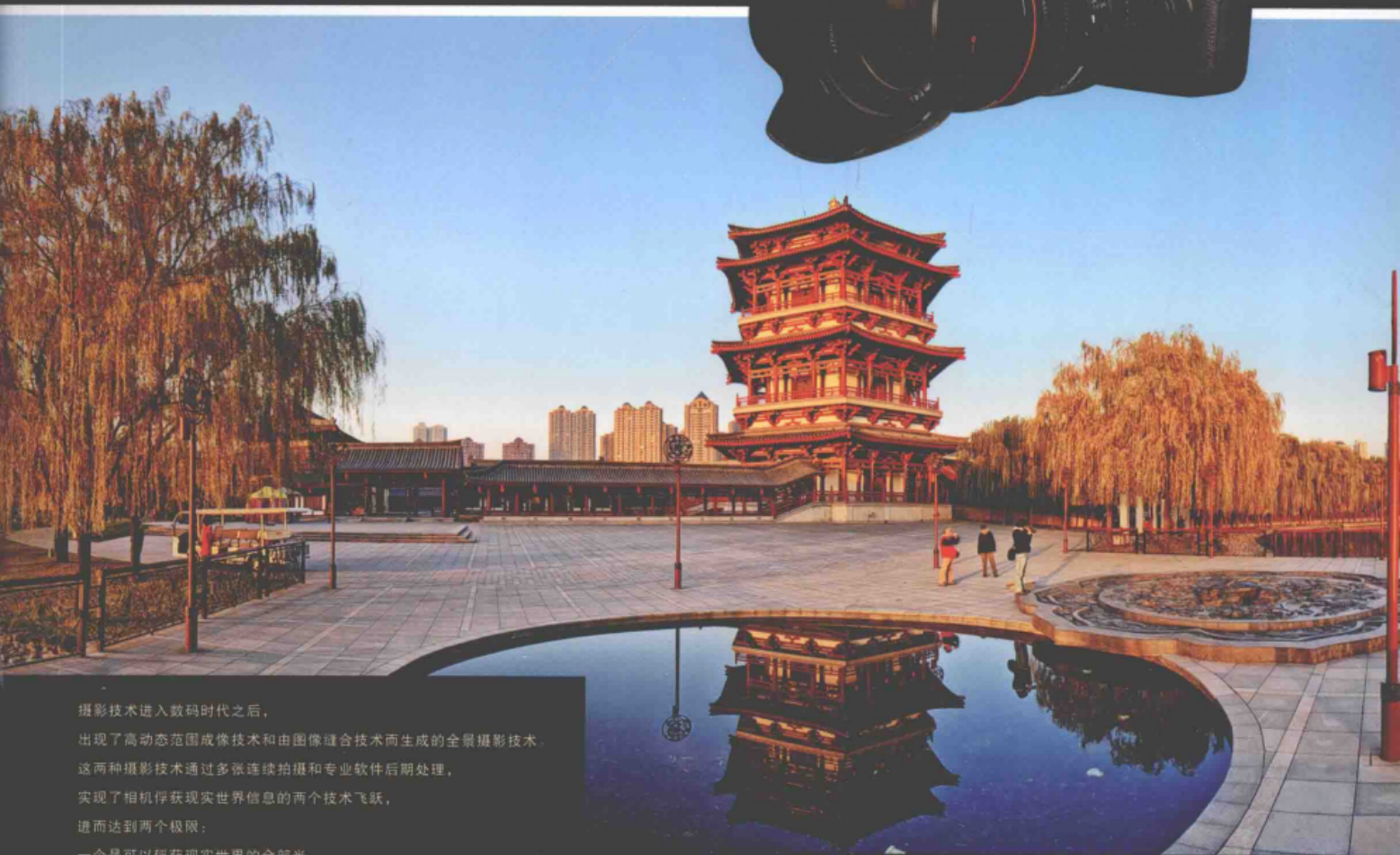


曲江新区荣誉出品

全景摄影 PTGui Pro详解

◎ 刘新文



摄影技术进入数码时代之后，
出现了高动态范围成像技术和由图像缝合技术而生成的全景摄影技术。
这两种摄影技术通过多张连续拍摄和专业软件后期处理，
实现了相机俘获现实世界信息的两个技术飞跃，
进而达到两个极限：
一个是可以俘获现实世界的全部光，
达到光俘获的极限；
另一个是可以俘获人眼目力所及、没有死角，
但又比人眼看得更清晰的360度球形场景，
达到了场景俘获的极限。
无疑，这两大飞跃，
是摄影技术进步的一个重要里程碑。



西北大学出版社



全景摄影

PTGui Pro详解

刘新文

西北大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

全景摄影和PTGui Pro 详解 /刘新文编著. —西安:
西北大学出版社, 2013.9
ISBN 978-7-5604-3301-1

I. ①全… II. 刘… III. ①全景摄影—摄影技术②
②图像处理软件 IV. ①TB864 ②TP391.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第228382号

全景摄影和PTGui Pro详解

刘新文

西北大学出版社出版发行

(西北大学内 邮编:710069 电话:029-88302590 88303593)

新华书店经销 陕西天之缘真彩印务有限公司印刷

开本:889毫米×1194毫米 1/16 印张:19

2013年10月第1版 2013年10月第1次印刷

字数:186千字

ISBN 978-7-5604-3301-1

定价:75.00元

致 谢

这本书是笔者在多年来学习高动态全景摄影技术的笔记基础上编撰而成的。虽爱好照相多年，但都是瞎玩，图个乐。之前，从未有过写本儿摄影技法书的念头。两年前，用佳能 5D2 加 400mm 长焦，拍了一幅 646 张的西安大唐不夜城宽幅接片。拿给老兄和好友张伟、刘维隆吹牛，不料，被二位老兄好友当场逮住，要个拍摄技法的说法，并一而再、再而三逼迫，一定要写本书出来。多亏笔者有一点学习和实验的笔记，更是多亏他们持续不断地鞭策和敦促，这本书终于“出笼”。这里，借此书，对二位老兄好友表示衷心的感谢。

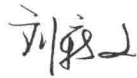
钱元凯先生是笔者系统学习数码摄影知识和技法的老师，王文治（网名：九如）先生则是我学习高动态全景摄影技术的老师。在这里，我不仅要感谢二位老师的指教，更要感谢他们严肃认真地审阅了全书，指出了书中的一些缺陷和疏漏，提出了重要的修改意见，并且为本书写了序言。我想，作为学生，这本书的出版，是对二位老师指教的最好回馈。

感谢陕西摄影家协会主席胡武功先生、陕西师范大学新闻与传播学院李泛先生、西安理工大学艺术与设计学院摄影系主任张辉先生提出的意见建议。

感谢陕西省政协的王乐宁先生，本书在撰写和出版过程中的事务性工作，大都是由他承担。

感谢西安曲江新区管委会和陕西华山管委会的帮助，在笔者拍摄本书所用有关图像时，他们提供了热情周到的服务。

最后，要特别感谢西北大学出版社的马来社长、张萍副总编辑、郭学功和王岚编辑，正是由于他们的高水平专业能力和仔细负责的态度，本书才得以最终出版。



2013 年 9 月 15 日

全景摄影人的良师益友

评《全景摄影和 PTGui Pro 详解》

随着数码摄影的普及，人们对影像的要求，尤其是在影像的清晰度与影像的动态范围方面，是越来越高了。为了追求纤毫毕现的细节，摄影人不断追求高分辨率的高档器材；为了还原景物中丰富的层次，设计师不断扩大芯片的动态范围，开发出各种增加动态范围的算法（如佳能的高光色调优先、亮度自动优化功能，尼康的 D-Lighting 功能，索尼的 D-R 功能，宾得的高亮/阴影校正功能，等等）。但是，现代最先进的数码相机仍然无法充分记录大千世界细致的纹理与眼睛所能辨识的丰富而微妙的层次。于是数码接片技术应运而生，使摄影人即使以便携数码相机都可以获得上亿像素的全景影像。凡是观赏过这种影像的人，无不为其高超的技术质量所震惊。

但是这种摄影又有其固有的规律，需要特殊的附件、特殊的拍摄方法、特殊的处理软件，甚至是特殊的观赏方法，它会使初次体验与尝试者无所适从。

刘新文先生的《全景摄影和 PTGui Pro 详解》一书，将成为探索全景摄影的摄影人的最佳指南。

本书的第一篇和第三篇，介绍了全景摄影的基本概念、发展过程、基本技术与当代达到的水平，用深入浅出的语言，讲述了涉及此类摄影必须掌握的理论知识，便于摄影人理解与接受。特别是条理分明地讲述了从事全景摄影所需要的特殊附件、器材，操作的流程，及拍摄和后处理的难点和特殊技巧，是作者多年从事高动态全景摄影经验的总结，便于摄影人实际操作演练。

而本书第二篇，详细讲解了全球使用最多的全景摄影专业软件之一 PTGui Pro，既涉及了软件全面的功能与使用，又列出了诸多选项的含义与选择的建议。繁简得当的行文中，凝聚了作者使用中的心得与体会，使读者能用最短的时间掌握软件的精髓，熟练运用。

全书图文并茂，精心设计的示意图，将抽象的内容形象化，降低了阅读的难度，增加了读者的兴趣。多幅高动态范围的全景图都是作者多年拍摄实践的佳作，辅以精美的印刷，令读者在汲取知识的同时，获得意外的精神享受。

摄影是技术与艺术结合的产物，数码摄影是更高级的技术与艺术结合的产物，全景摄影更是在高端的层次上集中体现了技术与艺术相结合的特点。也正是因此，与其他摄影门类比较，全景摄影的书籍、文章都很少。今天，刘新文先生为我们奉上此卷专著，从理论到实践、从硬件到软件、从技术到艺术，全面、生动、翔实地论述了全景摄影的理论、知识与经验，实属我国摄影书籍中难得的高档原创作品。

《全景摄影和 PTGui Pro 详解》作为在我国普及高动态全景摄影的教科书，必将成为广大影友的良师；《全景摄影和 PTGui Pro 详解》作为在广告、科研、测绘、军事、医疗等专业领域推广高动态全景摄影的重要参考文献，必将成为众多摄影师的益友。

钱元凯

2013 年 9 月 28 日

序

本书从理念、原理、方法、器材和实践，全面介绍和诠释了全景摄影和PTGui Pro专业软件的运用技巧与方法。编写缜密，将全景摄影的全过程做了很详细的介绍和说明。

当然，现在拼接片技术已经从照相机普及到了手机，这很值得庆幸。但是对于要求高品质影像质量的场合，还需要合适的器材和优秀的后期软件。人们还在讨论甚至争辩胶片的非线性感光特性，线性数码影像传感器的优劣，或对传统大画幅摄影的无限向往的时候，现代科技的先进手段已悄然来到了我们身边。

大画幅摄影的精髓就是成像倍率，也就是大底片（大成像面），数码摄影采用拼接片技术在通常条件下也能够实现很大的成像面而获取画质的细节，而数码摄影让人感到“扁平”的感觉则运用包围曝光的高动态摄影和相应的软件而实现画质的层次。简言之，“矩阵抓细节，包围出层次”。

在这本书里，还详细介绍了全视角球形全景的拍摄和后期制作。这对于现在的网络 and 多媒体时代无疑是一个贡献。这本独特的著作，通过大量的实例和简明的教程，将赋予你灵感，阅读完这本书后，你可能会决定到某个场景一试身手。总之，书中讲述的是一种用辅助器材和一些相当优秀的软件来完成的大画幅摄影和全视角全景摄影的技术，其也不失为一种低投入的方案。

无论你是摄影爱好者、技术工作者、艺术家，在目前国内外对全景摄影玩得风生水起的时候，这本书会都会给你提供专业的解释、方法和实战经验，以帮助让你掌握技术，主动享受；有利于你开始，并逐步深入探索这个领域。

最后，感谢作者的宝贵分享，也让我们向全景软件的奠基人德国物理和数学家 Helmut Dersch 致敬！向高动态范围影像文件格式奠基人 Gregory Ward 致敬！

王文治

2013年9月30



目 录

第一篇 全景摄影概述

第一章 概 述·····	6
第二章 装备与专业软件·····	36
第三章 工作流程和拍摄实战·····	56

第二篇 全景接片专业软件 PTGui Pro 详解

第四章 PTGui Pro 的主要功能、主界面和预设 ·····	84
第五章 方案助手与案例·····	110
第六章 源图像编辑·····	133
第七章 控制点编辑和优化·····	144
第八章 全景图编辑·····	157
第九章 高动态图像生成与色调映射、曝光融合 ·····	175
第十章 全景图输出·····	184

第三篇 难点与技巧

第十一章 球形全景图的补地·····	199
第十二章 多节点数码接片·····	222
第十三章 矫正拉直全景图·····	226
第十四章 对准到网格·····	236
第十五章 批处理和模板·····	244
第十六章 投影模式·····	261
附录:钱元凯老师关于镜头“节点”的论述 ·····	289



第一篇 全景摄影概述

人类，通过眼睛看世界；摄影，通过相机看世界。

人眼和相机在看世界的方式上是相同的，但在看世界的能力上，也就是在俘获现实世界信息的能力上，却有很大的差别。

所谓看世界，无非是，一看由光所表现出来的现实世界，二看现实世界的大小范围。从摄影技术的角度说，前者就是所谓光的动态范围，而后者就是所谓场景的大小和清晰度的高低。

摄影发明近 180 年来，技术创新和进步的两个重要方向，就是俘获更大的光的动态范围与更大的场景、更高的清晰度。

到目前为止，就单张拍摄而言，相机所能够俘获的光动态范围和场景大小、清晰度高低，在很多方面，比人眼还有很大的差距。

摄影技术进入数码时代之后，出现了高动态范围成像技术和由图像缝合技术而生的全景摄影技术。这两种摄影技术通过多张连续拍摄和专业软件后期处理，实现了相机俘获现实世界信息的两个技术飞跃，进而达到两个极限：一个是俘获现实世界的全部光，达到光俘获的极限；另一个是可以俘获人眼目力所及、没有死角，但又比人眼看得更清晰的 360 度球形场景，达到了场景俘获的极限。无疑，这两大飞跃，是摄影技术进步的一个重要里程碑。

■ 需要首先说明的几个重要概念

接片

接片。即数码图像缝合。指的是使用普通相机，对同一场景连续拍摄多张相互部分重叠的源图像，然后运用专门软件，将这些源图像配准、对齐、融合，生成一张图像的技术。图像缝合的英文是 Image Stitching 或 Photo Stitching。Stitching 的主要词义是缝合。国外大部分的论文和软件都使用这个词，但国内却将此词翻译为拼接，大部分英汉词典也是如此翻译。不过，国内全景摄影圈的大多数人称此为接片。英文中还有一个词是 Mosaics，有拼接的意思，但是国外用这个词表达接片的不多。在 Photoshop 中，使用的是 Photomerge，意思是图像合并、合成和融合。本书按全景摄影圈内大多数人的叫法，主要用接片这个词。

数码全景图

国内外关于何谓数码全景图的说法很多。为叙述方便，本书将数码全景图定义为：由数码接片摄影技术生成的图像。

按照水平视角的大小，数码全景图可以分为四类：

第一类是平面全景图，即水平视角小于 100° 的接片图像。

第二类是宽幅全景图，即水平视角大于 100° 小于 360° 的接片图像。之所以将水平视角定为 100° ，是由于目前的主流镜头厂商所推出的超广角镜头，除了鱼眼镜头之外，水平视角大都在 100° 以下。

第三类是柱形全景图，即水平视角等于 360° ，但垂直视角小于 180° 的接片图像。

第四类是球形全景图，即水平视角等于 360° ，垂直视角等于 180° 的接片图像。

球形全景图

这种图像的叫法也有几种，如 360° 全景图、 $360^\circ \times 180^\circ$ 全景图、三维全景图、VR 全景图等等，见仁见智。球形全景图有多种投影模式，为叙述方便，本书把在任何方向的视角均为 360° 的图像称为球形全景图。球形全景图的完整图形，只能在计算机等电子设备的显示器上旋转欣赏。把在平面介质上再现的水平视角 360° 、垂直视角 180° 的球形全景图，即所谓球形全景展开图称为球形全景矩形图。把在平面介质上再现的球形全景图的纵向立体投影图，称为小星球或逆向小星球图。

视差和节点

视差指的是，在有二个以上前后有一定距离的垂直物体的场景中，如果观察位置位移，则所观察图像中的物体也会出现位移的现象。在透视学中，这个观察位置被称为视点，也叫眼点。由于摄影镜头都是复合镜头，这个视点在复合镜头的光轴上，有一个确定的点，只有围绕这个点旋转拍摄，才能避免视差。而这个点有多种不同的叫法，其中一个叫法是节点。但在镜头光学中，节点是前节点和后节点的统称，光线进入镜头后，在前节点和后节点之间的方向不变。过去，多数专家（包括《英国皇家艺术高等摄影教程》等权威教程的编者在内）认为，后节点就是视点，接片一定要以后节点为轴，旋转拍摄，才能避免视差。这几年来，有不少专家对这个说法持异议。他们认为，镜头的入射光瞳位置才是真正的视点。一些最新的全景摄影书籍已经采用了这一说法，包括维基百科的数据库也叫入射光瞳数据库。目前，国内全景摄影圈内的人，大都取节点的叫法。本书亦用此概念。但需说明，此节点虽然可能与镜头的前节点和后节点重合，但二者并不相同。钱元凯老师在审阅本书时，提供了关于“节点”的详细论述（见本书附录），有兴趣的读者可以研读。

VR 或虚拟现实

VR，即 Virtual Reality 的英文缩写，是一个来自于计算机图形技术的专业术语，大意是在计算机上生成一个交互性的三维空间，这个空间是一个虚拟的现实空间。Virtual Reality 中的 Virtual 还有“实际的”的意思，中文翻译为“虚拟现实”，并将这个概念引入摄影圈，令很多初学者难以理解。因为，摄影较之其他艺术形式最为真实，用虚拟一词实在与摄影不搭界。本书索性不用 VR 缩写和虚拟现实一词。国外对拍摄全景图的必备装备，如云台和快装组合等，通常称之为 VR 云台，而本书则称之为全景云台。

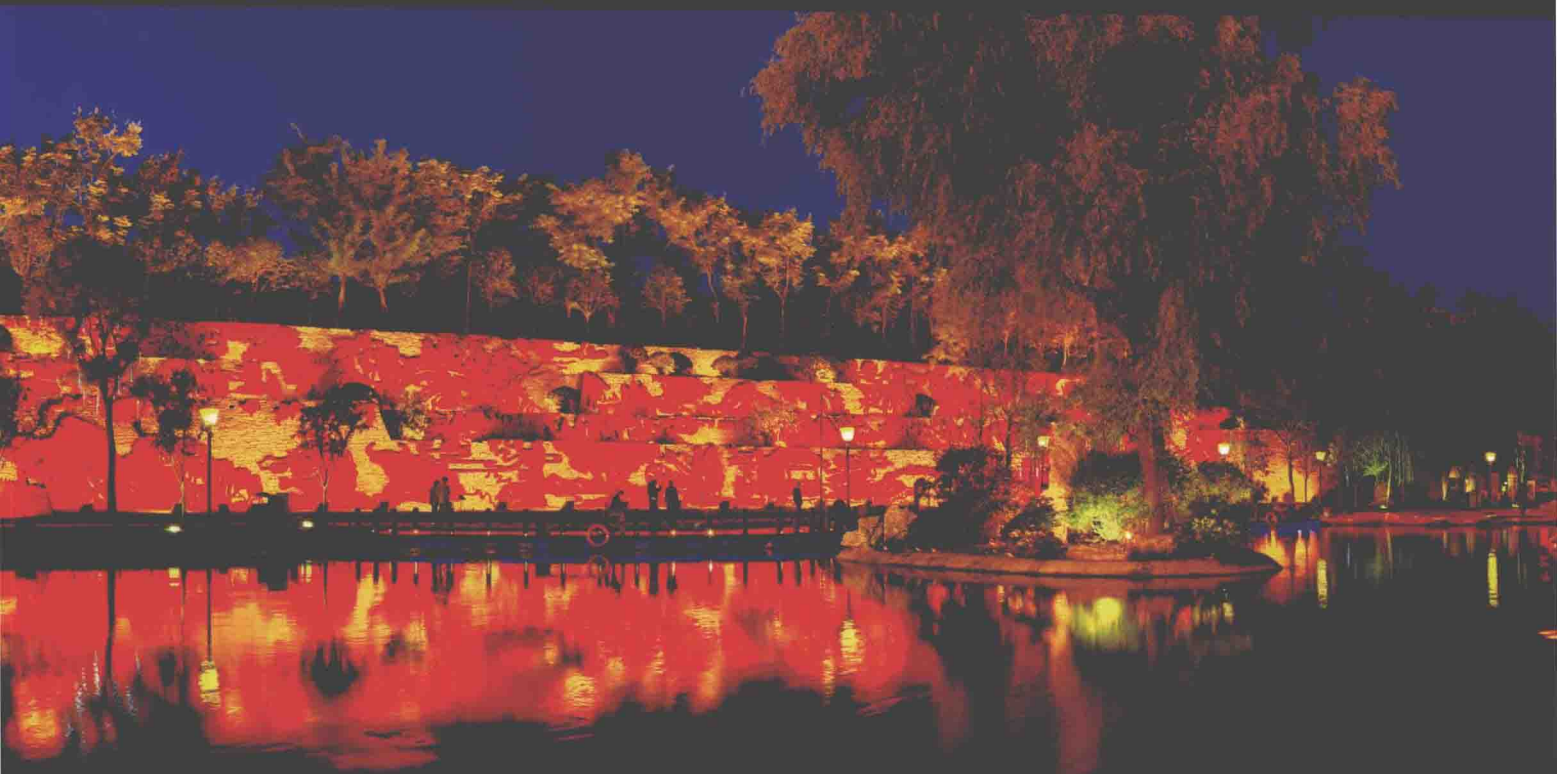
高动态范围

动态范围是从信息工程学引入到摄影中的一个概念，指可见光从最低亮度（最暗）到最高亮度的动态范围。动态范围的英文是 Dynamic Range，缩写是 DR；高动态范围的英文是 High Dynamic Range，缩写是 HDR；高动态范围成像的英文是 High Dynamic Range Image，缩写是 HDRI。有趣的是，在中文里，“动态”这个词本身就含有“范围”的意思。所以，在本书中，使用动态、高动态和低动态表达。



▲ 摄于 2011 年 10 月 13 日,使用佳能 5D2 相机,24-105mm 镜头 32mm 端,光圈 f/7,ISO200,7 组 3 张包围曝光,间隔 2EV,标准曝光 1/2 秒,共 21 张接片。

西安曲江寒窑 高动态全景图



第一章 概述

摄影技术发明近 180 年来,摄影人孜孜不倦追求的一个基本技术目标,就是俘获可以与人眼媲美的,甚至超过人眼的更高分辨率和更大场景的图像。那么,到目前为止,在分辨率和场景两个方面,摄影技术的发展水平与人眼到底还有哪些差别呢?

人眼可以看到的场景及分辨率与相机的简单比较

1. 分辨率比较

人眼的分辨率就是我们通常所讲的视力,一般用兰道尔环测量。明亮光线的环境下,在 5 m 远处观看一个有开口的环形图,图直径为 7.5 mm,环粗和开口均为 1.5 mm,此时环开口形成 1' 的角度,如果人眼刚好可以分辨,则视力为 1.0。(图 1-1)这是大多数普通人的正常视力。在弱光环境下,随着场景亮度的减弱,人眼的视力会逐渐下降。当场景的亮度为 0.01 尼特时,人眼将无法分辨颜色。

与人眼的视力比较,现代数码摄影技术俘获图像的能力要厉害得多。在相同的距离下,使用中长焦镜头,可以俘获远远超过人眼视力分辨率的图像。使用高 ISO(高感光度)技术,可以在弱光环境下,俘获远远超过比人眼视觉更清晰的图像,甚至在人眼几乎没有视觉的黑暗环境中,也能俘获到图像。

2. 场景大小比较

人眼看到的场景一般用视角来表示,场景大小取决于人眼的视角,以及人眼随着头部和身体转动所形成的累加视角。在人的头部和身体固定不动时,人眼的视角有多大?说法不一。而且每个人也有差异。大体上讲,人眼的视角可以分为分辨视角、有效视角和诱导视角 3 个范围。在凝视时,



图 1-1

人眼的分辨视角约 15° ，看到的场景分辨率最高、细节最多、对比度最大、影调最丰富（为了行文方便，我们在下面用分辨率来概括细节、对比度和影调）；有效视角为 $15^\circ\sim 30^\circ$ ，分辨率降低，但可以看清物体的轮廓和动作；诱导视角为 $30^\circ\sim 100^\circ$ ，能够感觉到物体的存在和模糊的动作。如果头部不动，眼球扫描，我们能够以人眼的最高分辨率看清大约 100° 视角范围的物体。如果转动头部和身体，人眼的累加视角可以看清前、后、左、右、上方的全部场景，稍微移动身体，可以看清下方的场景。因而人眼可以看清水平和垂直均为 360° 视角的场景，没有死角。水平和垂直 360° 视角是场景的极限。

与人眼所能看到的场景比较，到现在为止，相机俘获单幅场景图像的视角还无法与人眼相比。

3. 景深比较

人眼所看到的场景，是通过眼球快速扫描并在大脑中的累加处理得到的，是一幅近景、中景和远景都清晰的图像，没有景深的问题。

而相机镜头中的场景则有景深问题，景深之外的图像相对于景深内是模糊的。

4. 视差比较

人眼是双眼观察场景的，这意味着人的双眼一次所看到的是两个场景，这两个场景之间存在着视差。这是人类长期进化的结果。正是视差，才使人类有了立体视觉，这对于人类的生存发展是必不可少的。在日常生活中，大脑可以在一定程度上自动消除视差。但是，在特殊情况下，比如射击瞄准，就需要闭上一只眼睛，以消除视差的影响。

与人眼比较，除了立体摄影之外的相机，拍摄单幅图像没有视差。不过，拍摄有部分重叠的若干幅以上的图像，如果相机镜头的无视差点发生了位移，就会产生视差。请注意，这一点对于拍摄全景图来说，非常重要。我们以后会专门讨论。

从上述简单比较可知，除了场景物体的分辨率之外，在俘获场景大小和景深方面，相机的能力比不上人眼。

相机和镜头中的场景及分辨率

以上是简单比较，由于相机和镜头的种类不同，其所俘获的场景也有很大的差别。我们需要进一步对相机和镜头中的场景及分辨率进行讨论。

决定相机和镜头中的场景和分辨率的因素有 4 个，分别是相机画幅，即胶片或

传感器面积尺寸;镜头焦距;
数码相机传感器的像素密
度;拍摄距离。

1. 相机画幅

在焦距、拍摄距离和传感器像素密度相同时,相机俘获的单幅场景的大小,由其胶片或传感器画幅的尺寸决定。胶片或传感器的尺寸越大,所俘获的场景也就越大。

相机画幅无论是对胶片摄影还是对数码摄影,都是一个重要的基本概念。相机和镜头及附件的绝大部分物理特性,都是由相机画幅所决定的。

摄影史上,产生过多种类型画幅的相机(图 1-2)。胶片时代,主要有 3 种画幅规格:35 mm 画幅、中画幅和大画幅相机。35 mm 画幅高宽的尺寸是 24 mm×36 mm,是最小的画幅(虽然历史上出现过比它还小的画幅,但没有普及)。大画幅的尺寸是 96mm×121 mm(4 英寸×5 英寸)及以上,普遍使用的最大尺寸是页片式胶片,203 mm×254 mm(8 英寸×10 英寸)。中画幅有一系列不同的规格,最常见的几种尺寸为 60 mm×45 mm,60 mm×60 mm,60 mm×70 mm 等,也可以使用页片。

35 mm 画幅的相机所能够俘获的场景大小和分辨率高低,无法与大画幅和中画幅相机相比。但由于小巧而便于携带,自动化程度高而方便使用,价格低而大部分摄影人买得起,画质对大多数摄影人“够用”等因素,在胶片时代,它是最普及的相机,包括大多数职业摄影师也在使用。

大画幅的画质相对 35 mm 画幅相机画质,具有无与伦比的优势。它所俘获的场景相当于 35 mm 画幅相机的 15~60 倍,场景物体的分辨率取决于胶片颗粒的大小,一般要好于 35 mm 画幅相机。而且可以方便地移轴拍摄,对成像平面进行控制。现在,仍然有人在玩大画幅胶片相机,乐此不疲。但是,大画幅相机需要高超的技艺、充分的实践和对光学原理的真正理解;需要精心的准备,对被摄物体深入的研究;照相机和镜头都很昂贵,且照相机体积庞大,移动困难;图像的获取过程既繁杂又耗时,冲印复杂而麻烦。故绝大多数摄影人玩不起大画幅相机。

在数码时代,相机画幅的尺寸发生了巨大的变化,除了 35 mm 画幅(厂商们称之为 Full Frame,我们大多译为全画幅,以下使用全幅一词)之外,出现了一大批种类繁多的画幅尺寸(图 1-3)。常见的有,APS-C 画幅即(22~24) mm×(14~16) mm

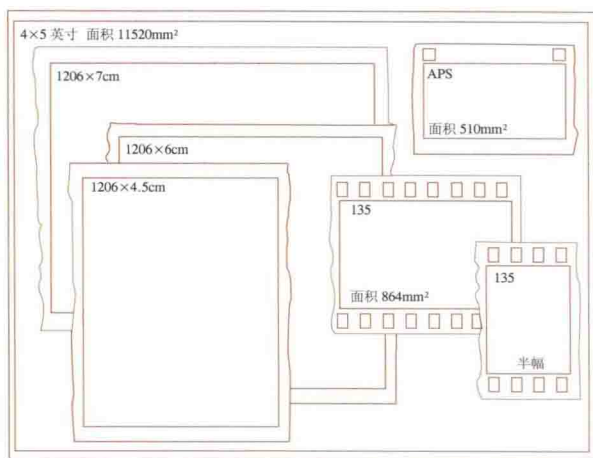


图 1-2 不同尺寸的胶片画幅的示意图

(对此类画幅的传感器,以下使用半幅一词),4/3画幅(18 mm×13.5 mm),以及更小尺寸画幅的便携机、手机传感器等。到目前为止,在数码相机上,类似于胶片大画幅的传感器,除了天文、军事等特定领域之外,还没有发现应用。类似于中画幅传感器的相机也很少,著名的品牌有哈苏、飞思、宾得、利图、塞茨等,其传感器的尺寸

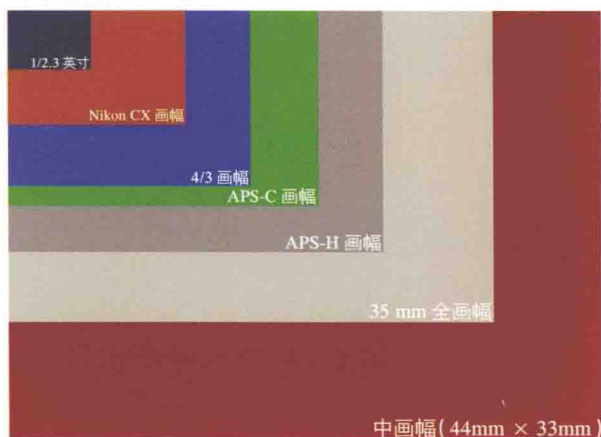


图 1-3 各种数码相机传感器画幅尺寸的比较图

大约在 50 mm×40mm,分辨率高的达到 8000 万像素。但是,它们比全幅数码相机笨重,价格昂贵,在智能化和一些重要技术指标上,如连拍速度等方面,也不如全幅相机。目前,这类相机的市场销售量很小。

从目前的传感器技术水平来看,通过增加传感器画幅面积尺寸来扩大相机视角,涉及相机机身大小、配套镜头、成本控制等一系列复杂的因素,十分困难。要达到人眼的 360°无死角全景的能力,似乎没有可能。

2. 传感器的像素密度

绝大部分胶片的结构是相同的,只要画幅相同,与俘获场景大小的关系如上述。但传感器则比较复杂,同样画幅的传感器像素密度,可以有很大的差别。如果不考虑噪点、杂色和动态范围等因素,使用同样画幅传感器相机,在拍摄同样大小的场景时,像素密度越大,则场景物体的分辨率就越高。这意味着,在传感器画幅相同时,俘获相同分辨率的图像,高像素相机可以用相对较短焦距的镜头得到更大的场景。

以尼康 D700 和索尼 NEX-7 为例比较。尼康 D700 的传感器面积为 36 mm×23.9 mm,即 860.4 mm²,有效像素 1210 万。索尼 NEX-7 的传感器面积为 23.5 mm×15.6 mm,即 366.6 mm²,而有效像素达到 2430 万。这意味着,在拍摄距离相等、焦距相同时,尼康 D700 所俘获的场景图像尺寸比索尼 NEX-7 大 1 倍多,但图像物体的分辨率却要低得多;而在拍摄距离相等、焦距不同时,俘获同样大小的场景图像,二者之间的图像分辨率是大致相同的,甚至后者更好一些。图 1-4 是这两个相机拍摄相同大小场景的截图,索尼 NEX-7 的焦距为 54mm,尼康 D700 为 81mm。可以看出,尽管索尼 NEX-7 传感器小,但由于像素密度高,在 54mm 焦段时的分辨率和对比度,都好于尼康 D700 相机 81mm 焦段。

在讨论焦距、视角和场景的关系时,我们应当把传感器的像素密度作为一个重



▲ 索尼 NEX-7

▲ 尼康 D700

图 1-4

要参数。

近几年来，提高传感器像素密度上的技术进步很快。2012 年尼康出品的 D800 相机的有效像素高达 3630 万，画质直追胶片中画幅相机，进一步提高像素密度的潜力也很大。以佳能自己的产品为例，佳能 G1X 的传感器面积为 18.7 mm×14.0 mm，

有效像素为 1430 万，画质堪比全幅相机。这表明，佳能已经具备了如此高密度像素传感器的技术能力。按此计算，全幅传感器的像素密度可以提高到近 5000 万。如果再按照佳能 G15 传感器的像素密度推测，全幅传感器的像素密度上亿也有可能。当然，这里涉及镜头、算法、计算机芯片性能、存储速度等一系列其他技术问题。但可以看出，提高传感器像素密度的潜力仍然很大。不过，受制于各种因素，全幅传感器的像素密度总是有一个极限。

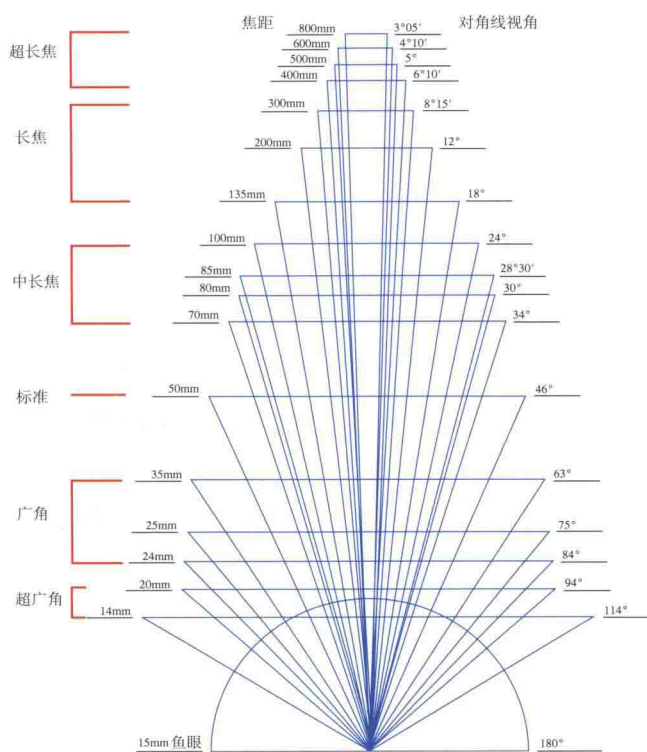


图 1-5

3. 镜头焦距

在拍摄距离相等、相机画幅相同、传感器像素密度相同时，相机俘获场景的大小，取决于镜头的视角，而镜头的视角决定于镜头的焦距。镜头厂商按照不同的焦