

航空摄影学

(原理与质量评价)

A.C.库奇科 著

测绘出版社

P231
KAC

航空摄影学

(原理与质量评价)

A.C.库奇科 著
蔡俊良 译
沈鸣岐

测绘出版社

内 容 简 介

本书主要叙述了从飞行器上摄取地面航空像片的摄影过程原理和质量评价的方法。共分为三大部分：第一部分，大气和地面的光学特性；第二部分，航空摄影的光学机械原理和光学影像的质量评价；第三部分，航空摄影的物理化学原理和航摄影像的质量评价，并介绍了彩色和光谱段航空摄影的技术。书中详细论述了采用现代航摄仪和感光材料构成光学影像和摄影影像的基本原理，分析了各种因素对摄影影像质量的影响，以及评定航空像片量测特性和构像特性的现代方法，列举了分析和测定计量参数的各种测试仪器的原理。

该书适用于从事航空摄影、遥感、航测以及应用航空像片来解决各种任务的专业人员。对研究、制造和使用航摄仪器、冲洗设备以及评价航摄过程和航摄影像的仪器和方法的科研、工程技术人员也具有一定的参考价值。也可作为从事航空摄影测量和航空摄影的大专院校师生的教学参考书。

航 空 摄 影 学

(原理与质量评价)

A.C.库奇科 著

蔡俊良 沈鸣岐 译

测绘出版社出版

山西新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 787×1092 1/32·印张 10 1/2·字数 237 千字

1982年9月第一版·1982年9月第一次印刷

印数 1—3,000册·定价 1.10元

统一书号：15039·新211

科技新书目(23—209)

前 言

为了顺利解决有关地形研究的任务，需要有地形图或像片图件。目前，在测绘地形图、编制像片图件和解决其它任务时，所使用的地表面原始信息，都是通过航空摄影取得的。借助航摄仪，利用对可见光或近红外光敏感的摄影材料，从飞机或其它飞行器（直升飞机、气球等）上拍摄地面影像取得的像片，叫做航空像片。

航空像片被广泛地应用来解决各种各样的任务。利用航空像片来建立高精度摄影测量网和进行大比例尺测图，确保航测方法的高度经济效率，这些都要求在几何精度和目标细部清晰度方面提高对航摄影像质量的要求。

获取航空像片的工艺过程，对像片的质量评定，以及必要时晒印复制片等，是航空摄影学这门课程的主要内容。这里，对航空摄影学的理解是：为从飞行器上摄取具有规定质量的影像，必须综合利用大气光学、光学机械学和摄影化学等数据。

航空摄影按其用途和实现条件，根本不同于其它各种摄影，这种区别基本上是由下述情况决定的。

航空摄影的对象——地球表面，一般说具有丰富的小反差细部，它们的光学特性依赖于许多因素，而且随着时间和空间的不同会发生很大变化。显然，在摄影时必须考虑这一点。

介于航摄仪和摄影对象之间的大气层，具有一定的光学特性，对于成像过程有着重要的影响。

对地面实施摄影的航摄仪，安装在飞行器上，在摄影材

料曝光瞬间，航摄仪可能出现各种位移和震动，这对影像质量不可能没有影响。由于航空摄影时的实际条件不同于事先估计的条件，比如飞行高度上的气压、气温不符合计算值，使得镜头固有的像差发生变化，从而产生散焦现象，这一点必须无条件地加以消除。

由此可见，为了获得优质航空像片，必须研究和全面评价航空摄影的大气光学条件、航摄仪的特性、摄影材料及其摄影化学处理过程的性质。如果能根据航空摄影的具体条件而正确使用航摄仪和摄影材料，那就可以获得高质量的航空像片。

到目前为止，综合论述航空摄影学的一本主要著作，就是B. Я. 米哈依洛夫教授著的《空中摄影学与摄影学原理》（1959年出版）。此后发表的许多专著和论文，都只是论述航空摄影学的个别问题。近年来，航空摄影生产部门增添了新的先进仪器，国内工业掌握了各种感光材料的生产。对航摄影像质量进行全面评价的方法，对航空摄影过程各道工序实施质量控制的方法，已得到了广泛发展。航空摄影法研究地形的应用范围扩大了，航天飞行器已经用来研究自然环境〔9，34，43，64〕。因此，撰写一本论述现代航空摄影学原理和质量评价的书，条件已经成熟。

在这本著作里，笔者力图完成摆在自己面前的任务：填补航空摄影学专业文献中的上述空白。本书内容的叙述服从于航空摄影过程的工艺程序：对航空摄影中必须考虑的大气和地面光学特性进行评价；阐述航空摄影的光学机械原理和物理化学原理；分析黑白和彩色航摄材料的性能，它们的曝光条件和摄影化学处理条件；论述用航空底片制作优质复制片的方法。考虑到对航摄影像质量的要求日益提高，笔者很

注意阐述作为信息传输通道的航空摄影系统的性能。要把航空摄影系统看成是有一定顺序的、互相联系的装置（或部件）的综合体，这些装置可以保障光学影像和摄影影像的构成，显示出外界因素对航摄影像质量的影响。影像位移和大气光学因素就属于这种外界因素。进入航摄仪光学系统的输入信号（即摄影物体的照度受外界因素影响调制后的空间频率分布），先转变成光学影像（即航摄仪承片面上影像亮度的空间频率分布），然后又转变成摄影影像——输出信号（即作用于乳剂层上亮度的空间频率分布）。

考虑到航空摄影过程的特殊性，本书在叙述中，对于航空摄影学的质量评定范围要比一般摄影规定得宽一些〔88的183~184页，94〕。

航空摄影学的质量评定法，包括从理论和实践两方面研究解决能客观表征下列各项值的测定方法和仪器，这些项目为：

- （1）输出信号，光学机械系统的性能，所摄地面光学影像的质量；
- （2）航空摄影材料的特性；
- （3）航空摄影系统（即“航摄镜头——航空软片——影像位移——大气光学因素”）的质量；
- （4）曝光和显影对影像质量的影响；
- （5）航空底片及其复制片的质量。

目 录

前 言

第一部分 大气和地面的光学特性

第一章 大气的结构和光学特性…………… (1)

§ 1. 大气的结构和均质大气的模式…………… (1)

§ 2. 大气的光学特性…………… (5)

§ 3. 大气的透明度…………… (18)

§ 4. 大气平均标准辐射模式和单层二参数
模式…………… (24)

§ 5. 大气的光学非均质性和不稳性…………… (25)

第二章 地面和反射的亮度特性…………… (29)

§ 6. 地面的自然照度…………… (29)

§ 7. 自然物体的亮度和亮度系数…………… (33)

§ 8. 物体的反差、亮度细部和层次…………… (43)

§ 9. 大气对自然物体反射的影响
和大气烟雾…………… (46)

§ 10. 大气烟雾度系数的确定…………… (51)

第二部分 航空摄影的光学机械原理 和光学影像的质量评价

第三章 航摄仪的主要部件…………… (55)

§ 11. 航摄仪的基本结构…………… (55)

§ 12. 航摄仪快门…………… (59)

§ 13. 航摄仪暗盒…………… (64)

§ 14. 航摄仪座架	(69)
§ 15. 航摄仪的控制器和摄影舱	(71)
第四章 航摄仪的光学系统和光学影像的质量	
评价	(73)
§ 16. 航摄仪镜头的光学特性	(73)
§ 17. 航摄仪镜头的景深和超焦距	(84)
§ 18. 航摄仪镜头的动力特性	(86)
§ 19. 航摄仪镜头的构像特性	(94)
§ 20. 航摄仪镜头的无畸变性	(105)
§ 21. 航摄仪的压平玻璃及其 对影像质量的影响	(117)
§ 22. 保护玻璃 (摄影窗) 及其 对影像质量的影响	(123)
§ 23. 航摄仪滤光片	(124)
第五章 航空软片不平面度和摄影时镜箱移动	
对影像质量的影响	(129)
§ 24. 航空软片不平面度的影响	(129)
§ 25. 航空摄影时影像的位移及其对影像 质量的影响	(131)
§ 26. 卷帘缝隙快门对影像无畸变性的 影响	(139)
第六章 航摄仪的主要类型	(143)
§ 27. 航摄仪的分类	(143)
§ 28. 几种主要的地形测量航摄仪的特点	(145)
§ 29. 几种主要的非地形测量 航摄仪的特点	(147)

第三部分 航空摄影的物理化学原理 和航摄影像的质量评价

第七章 黑白航空感光材料和潜影的形成	(151)
§ 30. 感光材料的构造和乳剂层的结构	(151)
§ 31. 潜影的形成	(154)
第八章 黑白航空感光材料特性的评定	(160)
§ 32. 航空软片的尺寸不稳定性 (变形)	(160)
§ 33. 航空软片的感光测定特性	(162)
§ 34. 航空软片的颗粒特性	(181)
§ 35. 航空软片的清晰度特性	(184)
§ 36. 航空软片的分辨率测定特性	(188)
第九章 航空软片的曝光	(200)
§ 37. 航空摄影曝光测定原理	(200)
§ 38. 航空摄影曝光时间的确定 和曝光量的控制	(205)
§ 39. 根据不同地面景观选择航空软片、滤光 片和航摄时间	(211)
第十章 黑白航空软片的摄影化学处理 和航摄影像的质量评价	(216)
§ 40. 黑白航空软片的显影	(216)
§ 41. 航空软片的定影	(227)
§ 42. 航空软片的水洗和干燥	(229)
§ 43. 航空摄影感光材料的快速化学处理	(231)
§ 44. 航空底片的减薄和加厚	(236)
§ 45. 显影特性的评价	(238)
§ 46. 航摄影像的质量评价	(243)

第十一章 航空摄影正片的制作	
和航空像片的晒印	(254)
§ 47. 由航空底片晒印复制片的方法	(254)
§ 48. 由航空底片晒印复制片的感光	
材料——航空相纸	(255)
§ 49. 正像特性的评价	(261)
§ 50. 提高航空底片复制片质量的方法	
和匀光晒印法	(268)
§ 51. 相纸摄影化学处理的特点	(279)
第十二章 彩色和光谱段航空摄影	(281)
§ 52. 获取彩色影像的方法	(281)
§ 53. 彩色感光材料的主要感光	
特性的测定	(286)
§ 54. 彩色感光材料的正确曝光条件	(293)
§ 55. 彩色感光材料摄影化学处理的特点	(294)
§ 56. 彩色航空像片的晒印	(297)
§ 57. 光谱段彩色航空摄影	(303)
结束语	(313)
参考文献	(322)

第一部分

大气和地面的光学特性

第一章 大气的结构和光学特性

§ 1. 大气的结构和均质大气的模式

1. 大气的结构

大气的结构是指空气温度、压力和密度的垂直分布，以及水气、悬浮微粒和其它大气粒子的垂直分布状况。

组成大气的主要成份有：氮，占整个体积的78.09%；氧，占20.95%；氩，占0.93%。此外，还有少量二氧化碳、臭氧、氢、氟、氦、氖和氙气等同上述主要气体混合在一起。大气中还含有水气和其它杂质，即所谓悬浮微粒——微小的固态和液态悬浮微粒。

某一时刻大气的物理状态由气象要素来表征。基本的气象要素是空气的温度和湿度、大气的压力及其它。

根据气象要素的多年观测的年平均值，算出了标准大气（苏联国家标准ГОСТ4401-64）的各个数据，以应用于解决大量实际问题。

将气压 $P_B = 101325$ 帕^{*}，气温 $T_B = 288\text{K}$ ，质量密度 $\gamma_B = 1.125$ 公斤/米³，湿度 $e_B = 10^3$ 帕的海水面规定为标准大气的零点。

* 1 帕 = 1 牛顿/米² ——译者

压力随高度的变化通过气压测高公式来描述, 温度随高度的变化则用温度梯度加以描述。

温度梯度 $t_g r$ 如下:

在对流层 $t_g r = -6.5^\circ \text{公里}^{-1}$,

11~46公里高空 $t_g r = -2.5^\circ \text{公里}^{-1}$,

46~54公里高空 $t_g r = 0$,

54~60公里高空 $t_g r = +3.5^\circ \text{公里}^{-1}$,

60~95公里高空 $t_g r = 0$,

95~120公里高空 $t_g r_{\text{平均}} = -0.65^\circ \text{公里}^{-1}$, 等等

湿度梯度在对流层为 $e_g r = -330 \text{帕/公里}$, 在对流层以上认为没有湿度。高度在95公里以下时, 空气分子量 $\mu_B = 28.966 \text{克/摩尔}$; 高度为95~120公里时, $\mu_B = 28.934 \text{克/摩尔}$; 在150公里高空, $\mu_B = 28.107 \text{克/摩尔}$; 等等。

水汽在大气柱中的总量以厘米为单位, 并以符号 w_B ——沉淀水柱的高度表示。沉淀水柱是指在给定截面的大气柱中, 含有的水汽全部变成水以后得到的水柱高度。在数值上, w_B 值等于压力 (克/厘米²) 乘以水层的厚度 (w_B , 厘米)。

高度超过12~15公里的空气层, 对于大气总含水量的影响不大。在温带纬度上, w_B 平均值为1.6~1.7厘米, 但是在具体条件下, 这个数值变化很大。在光学计算中, 取 $w_B = 2.1 \text{厘米}$, 即相应于夏季正午的情形。

大气悬浮微粒, 也就是悬浮在空气中的固态或液态物质微粒, 实际上存在于一切高度上。大陆悬浮微粒的直径介于0.01~40微米之间, 其中, 大于1微米的微粒仅见于地面附近。

悬浮微粒是具有最大光学活性的大气成分, 然而也是研究得最不充分的成分。对航空摄影过程起作用的, 主要是直

径大于0.4微米的悬浮微粒。直径小于0.2微米的微粒，其光学活性小，基本上只对低层大气的电性能有影响。

悬浮微粒的高度分布可用以下数据来说明〔1, 11, 34, 35, 64, 91〕：

(1) 悬浮微粒的浓度随高度增加而下降，但是在20、50和80~90公里高度附近，总是出现浓度升高的现象（在20公里高度附近，悬浮微粒减弱的体积系数为 0.02公里^{-1} ）；

(2) 在高度为9~11公里的对流层顶部上方，白天可以观测到一个悬浮微粒层；

(3) 个别情况下，在6公里左右高度上会形成悬浮微粒层。

到目前为止，还没有彻底搞清楚悬浮微粒垂直分布的规律，还没有建立起公认的悬浮微粒模式。

大气中二氧化碳的含量很少变化，一般认为，占大气总体积0.03%左右。对应于这个浓度的二氧化碳层的厚度，归算到标准压力和温度之后就是2.4米。

大气中臭氧的含量很不均匀。在高度不超过20~25公里的近地大气层里，臭氧浓度不高（ $10^{-5}\sim 10^{-6}\%$ ），化算成厚度不过几个毫米。大约在25~30公里高度上，观测到臭氧的浓度最大（1.6厘米/公里）。在5公里和35公里两处，臭氧浓度为其最大值的10%，而达到50~60公里高度上浓度实际上等于零。据认为大气中臭氧的总含量为0.33~0.35厘米。

2. 均质大气的模式

均质大气就是理想大气，它不含有水气和气溶胶，具有一致的密度和相当于海平面上的压力；在它的范围内分布着大气的全部质量，等于 5.3×10^{18} 公斤。

在温度 $t = 0^\circ\text{C}$ 和标准压力条件下，与大气全部质量等

效的空气柱垂直高度，称为归化高度 H_n ，目前规定均质大气的高度为7995.8米（8000米）〔72的第71页〕。

归化高度 H_n 和实际高度 H （均以公里为单位）的关系，由白塞耳公式确定：

$$H_n = 8.0[1 - \exp(-0.13H)] \quad (1)$$

根据不同的实际高度 H ，得出的相应归化高度 H_n 数值如下：

H (公里) 1.0 2.0 4.0 8.0 16.0 32 >32

H_n (公里) 1.0 1.8 3.2 5.3 7.0 7.8 8.0

当太阳天顶距 $Z_\odot \leq 60^\circ$ ，并且假定大气层是平行平面层时，辐射通量在其中通过的那层大气的质量，按 $\sec Z_\odot$ 的规律增加（图1），其中 $\overline{ob} = \overline{oa} \sec Z_\odot$ ，即

$$m_z = m_0 \sec Z_\odot \quad (2)$$

式中 m_0 ——太阳天顶距 $Z_\odot = 0^\circ$ 时的大气质量；

m_z ——天顶距为 $Z_\odot$ 时的大气质量。

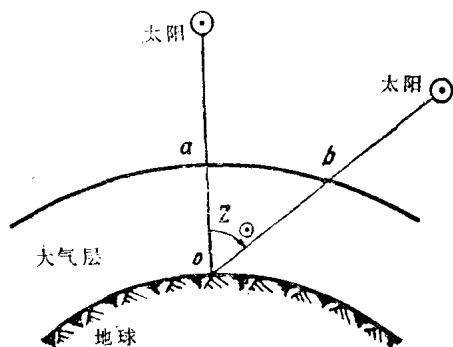


图 1

确定太阳天顶距 $Z_\odot$ 最简便的方法，就是根据某一物体（比如铅笔）的长度 l_n 及其影子的长度 l_s 之比来计算，即

$$\operatorname{tg} Z_{\odot} = \frac{l_1}{l_n} \quad (3)$$

在(2)式中取 $m_0 = 1$ ，则得到以太阳天顶距来表示大气质量 m_z 的公式：

$$m_z = \sec Z_{\odot} \quad (4)$$

m_z 值表明，倾斜方向上大气质量比垂直方向上大气质量增大的倍数，相当于光线沿这两种不同方向所走的光程之比。

如果必须考虑地球曲率，而可以忽略大气折射的话（当 $60^\circ < Z_{\odot} \leq 80^\circ$ ），则利用经验公式〔64的第119页〕：

$$m_z = \sec Z_{\odot} - 2.8(90^\circ - Z_{\odot})^{-2} \quad (5)$$

当 $Z_{\odot} > 80^\circ$ ，大气折射成为不可忽视时，应当按照比较严密的公式计算 m_z 值，这些公式本书不予引述。

当 $p_B = 10^5$ 帕， $t_B = 0^\circ \text{C}$ 时， m_z 的数值如下：

$Z_{\odot}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80
m_z	1.00	1.02	1.06	1.15	1.30	1.55	2.00	2.90	5.60
								85	89
								10.40	27.00

这些 m_z 值习惯上称为“大气光学质量”。

§ 2. 大气的光学特性

大家知道，为要完整描述一种辐射，必须知道它的三个参数：总（积分）辐射强度、辐射强度的频谱分布和空间分布。

1. 大气层顶部的太阳辐射强度和光谱成分

太阳直接辐射可以到达大气层顶部。所谓太阳直接辐射，就是直接来自太阳，并且在其成分中含有 $0.17 \sim 4.0$ 微米波长能量的那一段电磁辐射频谱。这段频谱可分为三部分：可见光（ $0.4 \text{ 微米} \leq \lambda \leq 0.7 \text{ 微米}$ ），不可见的紫外线

($\lambda < 0.4$ 微米)，不可见的红外线 ($\lambda > 0.7$ 微米)。

可见光的波长范围相应于全色感光材料的敏感度。红外波段又可以划分成近、中、远三个区域。近红外区在摄影中使用颇为频繁，其波长为 $0.7 \leq \lambda \leq 0.85$ (微米)，中红外区尚可采用普通感光材料，其波长为 $0.85 < \lambda \leq 1.3$ (微米)，远红外区的波长为 $\lambda > 1.3$ 微米，不能使用普通感光材料，而在特种摄影 (比如红外热像摄影) 中得到应用。

太阳直接辐射的积分光通量的强度，在大气层范围之外以太阳常数 S_0 这个量来估计，它一般以能量单位 (瓦特/厘米²) 表示，并且取 $S_0 = 0.132$ 瓦特/厘米²，相当于照度单位 135 千勒克司*。

大气层顶部的太阳辐射称为大气外辐射，其光谱成分以图 2 的曲线 $m_z = 0$ 表示。为了用单一的数字来评价太阳辐射的光谱成分，就采用色温 T_u 这个量值。当色温 T_u 在 $300K \sim 30000K$ 范围内取不同数值时，绝对黑体辐射的相对能量分布 $\lg E$ ，如图 3 所示。

研究工作证明，太阳辐射的色温平均值在 $5744K$ 到 $6136K$ 之间变动。而且，整个太阳光盘所发射的光线，其颜色相当于 $T_u = 5986K$ 。太阳能量分布曲线，在波长 $\lambda_1 = 0.42$ 微米到 $\lambda_2 = 0.70$ 微米波段上相当于 $T_u = 6075K$ ；由 $\lambda_{\text{最大}} = 0.47$ 微米确定的能量最大值在光谱中的位置，相当于 $T_u = 6136K$ 。 $\lambda_{\text{最大}}$ 是指绝对黑体辐射率为最大时的波长，它和色温的关系由霍里津-维恩 (Горлицин-Вин) 公式表示：

* 在航空摄影中，如同其它形式的摄影一样，基本上采用照度单位。但是在许多情况下，采用以能量单位表示的、测定可靠的大气及地球表面辐射参数比较有利。根据这些数据计算出大气烟雾度系数 (见 § 9 ~ 10)。能量单位和照度单位的换算，可采用光度学中已知的公式 [51 的第 38 页]。

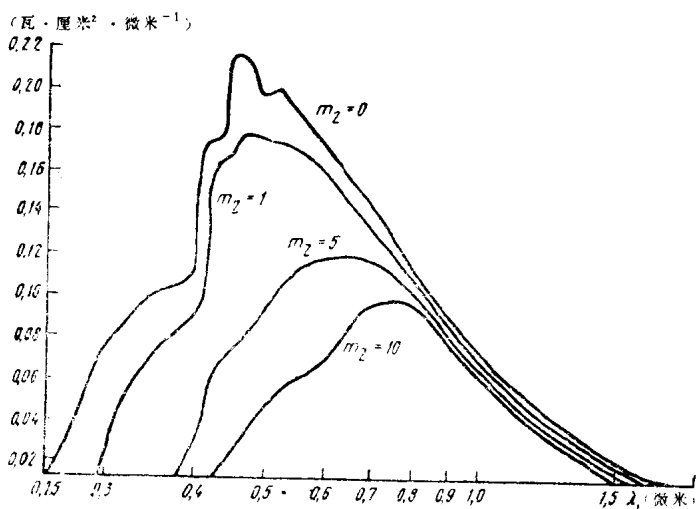


图 2

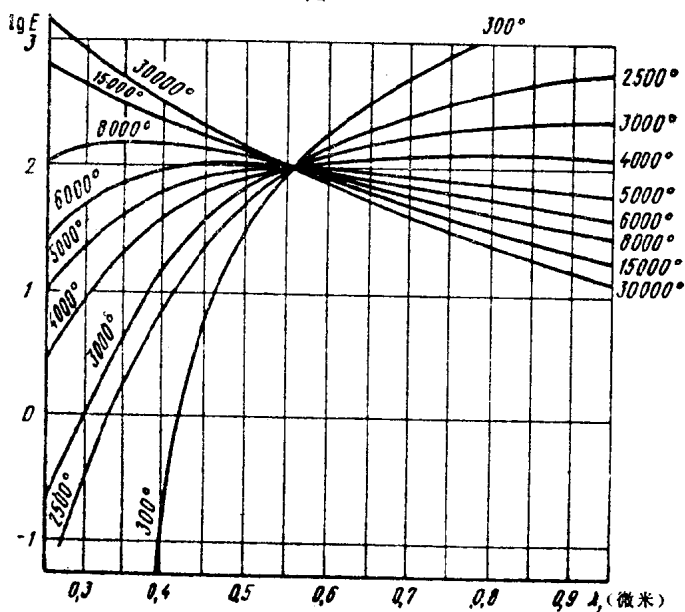


图 3