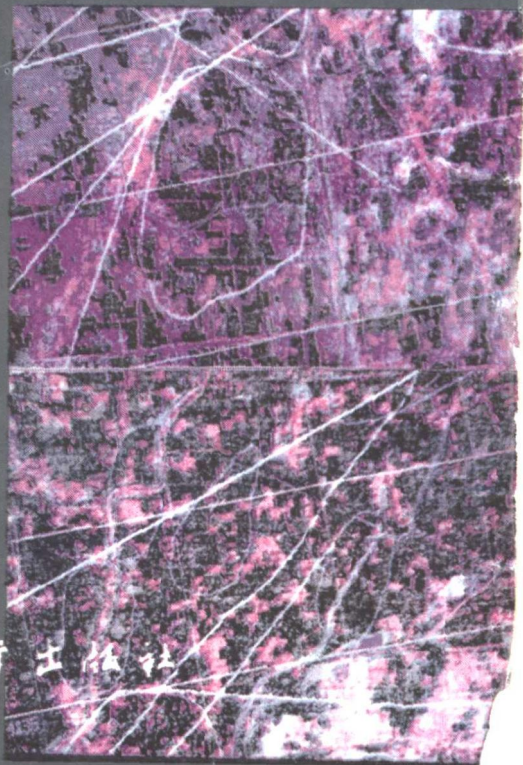


遥感数字图像处理

章孝灿
黄智才 编著
赵元洪



浙江大学出版社

遥感数字图像处理

章孝灿 黄智才 赵元洪 编著

浙江大学出版社

内 容 提 要

本书是编著者在多年教学和科研工作的基础上编写而成的。书中系统地介绍了遥感数字图像处理的基本理论和方法。全书共分十章,前两章是基础知识,介绍遥感图像的原理、特征;第三、四章介绍遥感图像的预处理;第五、六章介绍遥感图像的变换和增强;第七、八、九、十章介绍遥感图像的分析,其中着重介绍了遥感图像的分类、纹理分析以及图像分割和描述。

本书是为遥感地质专业的本科生和研究生编写的教材,但对于其它专业的学生,以及从事数字图像处理有关的工程技术人员,也是一本有用的参考书。

遥感数字图像处理

章孝灿 黄智才 赵元洪 编著

责任编辑 陈晓嘉

* * *

浙江大学出版社出版

(杭州玉古路20号 邮政编码310027)

浙江大学出版社电脑排版中心排版

德清第二印刷厂印刷

浙江省新华书店发行

* * *

850×1168 32开 9.75印张 插页1 261千字

1997年9月第1版 1997年9月第1次印刷

印数 0001—1000

ISBN 7-308-01954-3/TP·166 定价:10.00元

前 言

近年来遥感技术得到迅速发展并取得了巨大的经济效益,从而大大促进了遥感数字图像处理工作的深入开展。遥感数字图像处理是遥感专业研究生和本科生的必修课,一些大专院校有关专业的高年级本科生也选修这门课。但是,目前适于教学的有关遥感数字图像处理方面的系统性教材很少,为此,编著者在浙江大学地球科学系遥感地质专业已使用了多年的教材《遥感数字图像处理》的基础上,在总结多年教学、科研工作的基础上,并结合近年来编著者的教学、科研成果以及国内外研究成果编写了这本教材,以此来满足教学、科研的需要。

本书介绍了有关遥感数字图像处理的基本概念,并从实际应用的角度出发,阐明遥感数字图像处理的数学和物理基础、具体算法、应用条件以及效果等,以求为读者在这一领域中进行深入地学习和研究打下良好的基础。同时,本书的内容对于从事遥感技术应用以及数字图像处理的科研人员和工程技术人员来说,也具有一定的参考价值。

在编写本书时,认为读者已具备了线性代数、概率论、统计分析、计算机技术基础以及算法语言等预备知识。

在编写过程中,浙江大学地球科学系朱建丽、郑美云、张有兵、刘学峰等同志为本书的初稿输入做了大量工作,同

时浙江大学图书馆沈慧杰同志为本书的编写提供了众多的资料和参考书；另外浙江大学外办留学生科唐立同志也给予了巨大的帮助。编著者在此对他们表示衷心的感谢。

由于编著者水平有限，加之遥感技术的迅猛发展，书中难免有缺点错误和疏漏，殷切希望读者给予批评指正。

编著者
1996年9月

目 录

第一章 遥感信息获取	1
第一节 电磁波谱与大气窗口	1
第二节 遥感成像过程和遥感传感器	7
第三节 遥感图像模型及函数表达	14
第四节 遥感成像系统	17
第二章 遥感图像及其特征	20
第一节 遥感图像的信息内容	20
第二节 遥感图像数字化	28
第三节 遥感图像的存储模式	34
第四节 遥感图像的统计特征	47
第三章 遥感图像的恢复	51
第一节 概述	51
第二节 遥感图像的辐射校正	52
第三节 遥感图像的几何校正	64
第四章 遥感图像的数字镶嵌	93
第一节 遥感图像数字镶嵌的一般工作程序和内容	93
第二节 遥感图像数字镶嵌技术	95
第五章 图像变换	107
第一节 傅立叶变换	107
第二节 K-L变换	115
第三节 定向变换	119
第四节 典型成分变换	123
第五节 缨帽变换	126

已抄

第六节	其它图像变换	130
第六章	图像增强	135
第一节	反差增强	136
第二节	空间域滤波	151
第三节	频率域滤波	156
第四节	代数运算增强	163
第五节	彩色增强	168
第七章	遥感图像非监督分类	185
第一节	遥感图像分类概述	187
第二节	特征空间图形识别	193
第三节	系统聚类	197
第四节	分裂法	198
第五节	集群分析和动态聚类	200
第八章	遥感图像监督分类	214
第一节	最小距离分类法	214
第二节	费歇尔线性判别分类	217
第三节	贝叶斯判别分类	222
第四节	模糊分类	232
第五节	半线性前馈神经网络分类	234
第六节	遥感图像分类的快速实现——查表法	242
第七节	遥感图像分类处理中的几个问题	248
第九章	图像的分割和描述	254
第一节	图像分割	254
第二节	区域描述	272
第十章	纹理分析	285
第一节	纹理特征	285
第二节	空间自相关函数法	287
第三节	傅立叶功率谱法	289
第四节	灰度联合概率矩阵法	291

第五节	灰度差分统计法·····	294
第六节	灰度行程长度统计法·····	295
第七节	其它几种方法·····	296
参考文献	·····	299

第一章 遥感信息获取

遥感(Remote Sensing)是通过某种传感器装置,在不直接接触研究对象的情况下测量、分析并判定目标性质的一门科学和技术,也有人将遥感称为“遥远的感知”,其具有视域广阔、信息丰富及可定时定位观测的特点。遥感产品分模拟和数字两种形式,模拟产品主要指经过加工处理的各种比例尺照片及底片,而数字产品通常是指经过预处理的计算机兼容磁带(Computer Compatible Tape,CCT)。遥感数字图像处理研究的对象主要为 CCT。

遥感图像数据反映的是成像区域内地物的电磁波辐射能,有明确的物理意义,而地物反射和发射电磁波能量的能力又直接与地物本身的属性和状态有关,因此遥感图像数据值的大小及其变化主要是由地物的类型及变化所引起的。遥感的基本原理就是通过对遥感图像数据的大小和变化规律的分析处理来有效地识别和研究地物类型。遥感数字图像处理作为遥感图像处理的一种重要手段,是利用计算机通过数字处理的方法来增强和提取遥感图像中的专业信息。因此,为了取得良好的处理效果,进行遥感数字图像处理时必须掌握遥感图像的形成原理与物理基础。

本章将介绍遥感图像的获取过程。

第一节 电磁波谱与大气窗口

一、电磁波谱

电磁波是在空间传播的交变电磁场,自然界的各种地物,如土地、河流、森林、道路、建筑物等等,在温度不等于绝对零度的情况下,都能反射、辐射和吸收电磁波。遥感信息就是通过远距离探测而记录的地球表面、大气层以及其它星球表面等地物在不同的电磁波段所反射或发射的电磁波信息。

无线电波、微波、红外线、可见光、紫外光、X射线、 γ 射线都是电磁波,不过它们产生的方式不同,波长也不同,其变化范围很大。将各种电磁波按其波长(或频率)的大小依次排列所构成的图谱(见图 1.1.1)叫电磁波谱。

在电磁波谱中,各个波段的划分是相对的,它们之间并没有明显的界限,实际上从宇宙射线到工业波谱,整个电磁波都是连续的。各波谱段的电磁波,由于其波长不同,性质就不同,探测记录它们的方法也不同。目前遥感技术应用的波谱段,其范围主要是从紫外线到微波。一般地,各波段波长范围的划分如下:

紫外波段	0.01 μm ~ 0.38 μm
可见光波段	0.38 μm ~ 0.76 μm
紫色光	0.38 μm ~ 0.43 μm
蓝色光	0.43 μm ~ 0.47 μm
青色光	0.47 μm ~ 0.50 μm
绿色光	0.50 μm ~ 0.56 μm
黄色光	0.56 μm ~ 0.59 μm
橙色光	0.59 μm ~ 0.62 μm
红色光	0.62 μm ~ 0.76 μm

红外波段	0.76 μm ~ 1000 μm
近红外波段	0.76 μm ~ 3.0 μm
中红外波段	3.0 μm ~ 6.0 μm
热红外波段	6.0 μm ~ 15.0 μm
远红外波段	15.0 μm ~ 1000 μm
微波波段	1mm ~ 1 m
毫米波	1 mm ~ 10 mm
厘米波	1 cm ~ 10 cm
分米波	0.1 m ~ 1 m

二、大气窗口

遥感信息的获取,不仅和各种地物反射、散射和发射电磁波的特性有关,而且还受到大气透射条件的限制,无论太阳辐射入射到地面,还是地面对太阳辐射的反射都需经过大气层才能到达遥感平台,被遥感传感器接收。事实上,电磁辐射在大气层的传输过程中,由于大气层的反射、散射和吸收作用,往往使得绝大部分的能量消失,而只剩下一小部分能量能够透射过大气层。通常我们把电磁辐射能够透过大气层而未被完全反射、散射和吸收的波谱范围,叫做“大气窗口”(见图 1.1.2),也就是说,电磁辐射与大气层相互作用产生的效应,使得能够穿透地球大气层的辐射,局限在某些波长范围内。

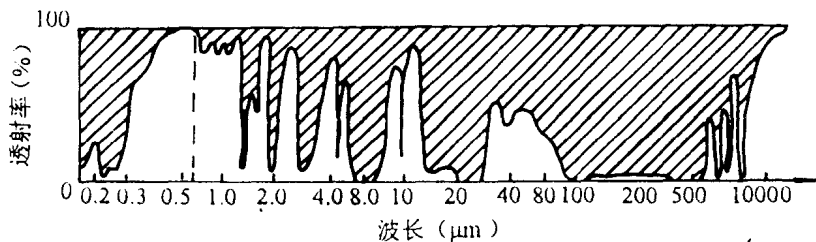


图 1.1.2 大气透射窗口示意图

电磁波谱中的遥感波段,应当选择在相应的大气窗口范围内。例如多光谱扫描仪(MISS, Multispectral Scanner)的四个波段,都选择在

常用的 $0.3\mu\text{m} \sim 1.3\mu\text{m}$ 的大气窗口之内。此外,还有 $2.0\mu\text{m} \sim 2.5\mu\text{m}$, $3.5\mu\text{m} \sim 5.5\mu\text{m}$, $8\mu\text{m} \sim 14\mu\text{m}$, 它们分别处于近红外、中红外和远红外波段。 $0.8\mu\text{m} \sim 25\text{cm}$ 的大气窗口属于发射光谱的范围。大气透射窗口不仅与光谱特性、工作波段有关,而且与应用条件、成像方式及选用的遥感传感器等因素有关,它们之间的相互关系如(表 1.1.1)。

表 1.1.1 常用大气透射窗口与遥感仪器

大气透射窗口	光谱特性	常用工作波段	应用条件	成像方式	遥感仪器	成果资料	用途
$0.3\mu\text{m} \sim 1.3\mu\text{m}$	反射光谱	可见光~近红外波段: $0.4\mu\text{m} \sim 1.1\mu\text{m}$	只能白天成像,要求日照条件良好	摄影或扫描	航空摄影机,多光谱摄影机,多光谱扫描仪	黑白、彩色照片,红外光谱扫描片等	地质填图,构造分析
$2.0\mu\text{m} \sim 2.5\mu\text{m}$		近红外波段: $2.0\mu\text{m} \sim 2.5\mu\text{m}$	只能白天成像,要求日照条件良好	扫描	多光谱扫描仪,扫描外仪,红外辐射计	多光谱扫描片,红外扫描曲线	岩性识别,寻找古河道,识别热液蚀变带
$3.5\mu\text{m} \sim 5.5\mu\text{m}$	混合光谱	红外波段: $3.5\mu\text{m} \sim 4.2\mu\text{m}$ $4.5\mu\text{m} \sim 5.5\mu\text{m}$	可昼夜成像	扫描	红外扫描仪	红外扫描像片	预报火山喷发或火山研究
$8\mu\text{m} \sim 14\mu\text{m}$	发射光谱	远红外波段: $8\mu\text{m} \sim 14\mu\text{m}$	可昼夜成像,尤以夜间成像为好	扫描	红外扫描仪,红外辐射计	红外扫描像片,红外辐射测温曲线	构造填图,地热调查,地下水勘测,地温识别,岩性识别
$0.8\text{cm} \sim 25\text{cm}$		微波波段: 0.8cm , 3cm , 5cm , 10cm , 25cm	全天候工作	扫描	侧视雷达,微波辐射计	雷达像片,亮度温度曲线	构造分析,终年云雾弥漫地区地貌填图和岩性识别

表中的光谱特性是指:自然界中的任何物体经受太阳光辐射之后,都能对与其本身吸收波长一致的入射光具有吸收作用,而对与其本身反射波长一致的入射光具有反射作用。不同的地物,由于其结构

和成分的千差万别,其波长与反射率之间的关系不同,这种关系称为物体的光谱特性(波谱特征)。如反射率大的物体反射入射光的能力强,记录的图像亮度值高,影像的色调浅;相反,反射率小的物体,反射入射光的能力弱,记录的亮度低,影像的色调深。

水、岩石、土壤、植被等几种常见地物的反射光谱特性分别如图 1.1.3(a),(b),(c),(d)所示。图中横坐标为反射光谱,纵坐标为反射率的百分比。

地物光谱特性的测定是发展遥感技术的一项基础性工作。地物光谱特性数据是利用专用的光谱仪,经过野外或室内的测定分析而获取的。不同的地物都有它特定的光谱特性,以水体光谱特性来说,因为不同的江、河、湖、海的组成成分及所含杂质情况不同,它们的光谱特征是不同的。只有充分掌握遥感对象的光谱特性,才能一方面为传感器设计提供最佳波段选择。所谓最佳波段,就是最能识别(或区分)所感兴趣地物的波长范围;同时,能为遥感图像解译和计算机自动识别分类提供依据。

地物光谱特性的测定并不是一劳永逸的工作,它将随周围环境条件的变化而变化,主要表现在时间和空间上的波动,即时间效应和空间效应。

时间效应是指同一地点的相同地物,其光谱特征会随时间而产生一定的变化,这种由于时间推移而导致的地物电磁波谱特征的变化,称为地物波谱的时间效应。例如:植被在不同季节,其光谱特征是不同的,如图 1.1.4 所示(光谱特征曲线①,②,③,④分别表示植物从生长到衰老的过程)。实际上,由于各种因素的影响,几乎所有地面上的物体都会产生时间效应。

空间效应是指在同一时刻,同一类地物由于其所处的地理位置不同,其光谱特征可能存在一定的差异,这种由于空间位置不同而导致同类地物之间波谱特征的变化,叫做地物光谱特征的空间效应。例如生长在不同地点的同一植物,由于生长条件不同,长势也不同,其波谱特征也就不同;即使同一种岩石(如碳酸盐岩),由于在不同气候

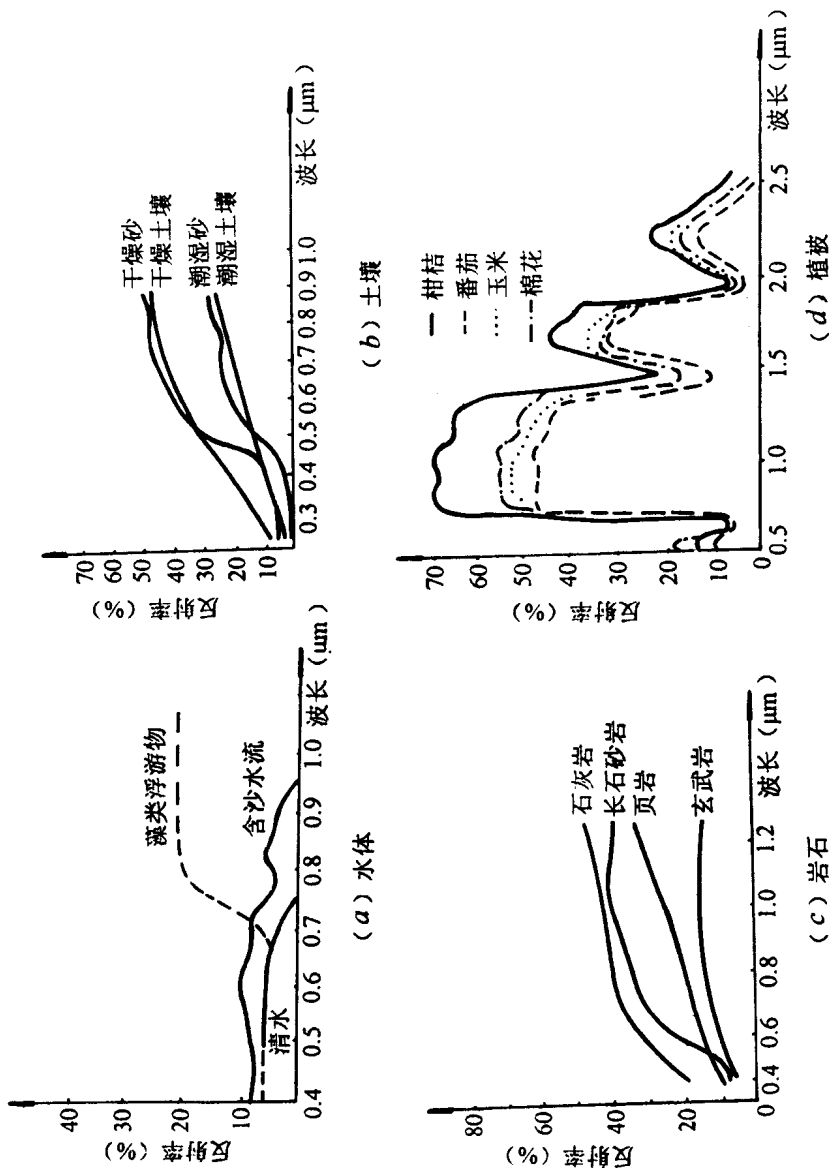


图 1.1.3 几类常见地物的光谱特征曲线

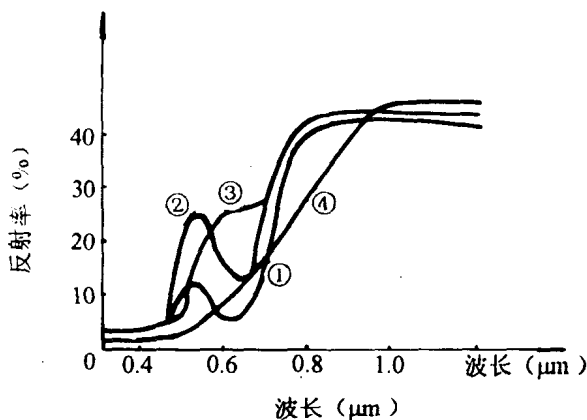


图 1.1.4 不同季节对植被光谱特性的影响

下其风化特征、风化类型不同,其相应的波谱特征也会有一定差别。

第二节 遥感成像过程和遥感传感器

一、成像过程

遥感技术实际上包含两个方面的内容:一是对目标地物的观测记录过程即图像的成像过程;二是对遥感信息的处理、分析及解译过程即图像处理与解译过程。遥感图像处理的方法、步骤、方案的选择以及程序设计都要从遥感图像的特征和处理目的出发,而遥感图像的特征又很大程度上取决于成像系统的性能和成像过程。所以有必要介绍一下遥感成像过程。

从把遥感平台送到远离观测对象的位置(例如用火箭把卫星送到预定轨道)开始,到由专用处理系统生产出遥感产品(包括数字产品、模拟产品)的全过程和全部设备称为遥感系统。我们所取得和使用的遥感图像数据或像片是地物的电磁辐射信息经过遥感系统的记录、传送、加工及转化后的产品,图 1.2.1 是卫星遥感系统的工作示

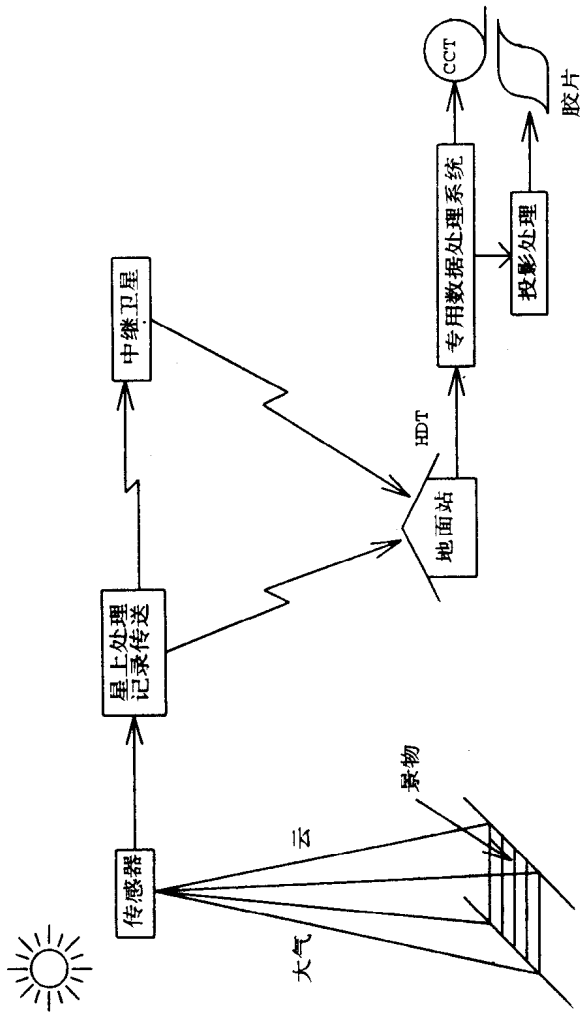


图 1.2.1 卫星遥感系统示意图

意图。

遥感系统主要由遥感平台、遥感传感器以及遥感地面站组成。携带遥感传感器(遥感器)的运载工具称之为遥感平台,按高度可分为地面、航空和航天平台。在不同高度进行多平台遥感,可获得不同比例尺、分辨率和地面覆盖面积的遥感图像,常用的航天遥感平台有陆地卫星、SPOT 卫星和 NOAA 卫星等;而监控卫星运行、接收遥感和遥测数据,以及对信息进行数据处理和存储的地面设施称之为遥感地面接收站。远距离感测地物环境辐射或反射电磁波的仪器称为遥感传感器。决定遥感图像的信息内容和质量的最主要因素是所用电磁波段及相应的传感器的性能,另外轨道高度和瞬时视场(或地面分辨率)的大小也直接影响图像内容的详细程度和精度。

由于各种遥感传感器的设计应用于各种不同的目的,其波段的选择、传感器的设计有其各自的特点,因而由传感器所接收到的图像信号在卫星上记录、处理和传输的方式也就不同。例如:陆地卫星的 MSS(Multispectral Scanner)和 TM(Thematic Mapper)信号在由传感器输出时就进行了数字化,然后以数字形式向地面传送;而 RBV(Return Beam Vidicon)图像则是以模拟信号传送到地面站后再进行数字化。再如原来的 Landsat-1, Landsat-2, Landsat-3, 在地面站能接受的区域范围之外摄影时要先把图像数据在卫星上记录保存下来,等卫星通过地面站时再发送;而 Landsat-4 和 Landsat-5 则使用中继卫星进行实时传送。

由卫星将图像数据传送到地面站后,首先在专用的图像处理设备中把数据整理为一个个像幅,若原来是以压缩方式传送来的,则还要进行解压,然后根据成像时的卫星姿态、天气情况、太阳高度角等一系列参数进行辐射校正和一定程度的几何校正,再记录在高密度数字磁带(High-Density Digital Tape, HDT)上。高密度数字磁带上的图像数据,一般再经过专用的数据处理系统,一方面按不同规格生产出 CCT(目前也有用光盘来存贮图像数据的);另一方面则经过常规的增强处理后用胶片扫描记录设备产生第一代的像片负片。记录图