

# 数字摄影测量学

陈时雨

# 数字摄影测量学：参考资料

## 教材

王佩军，徐亚明 编著，《摄影测量学》第三版，武汉大学出版社

## 参考书

- 1、李德仁 等编，《基础摄影测量学》，测绘出版社
- 2、李德仁 等编，《摄影测量与遥感概论》，测绘出版社
- 3、李德仁，郑肇葆 编著，《解析摄影测量学》，测绘出版社
- 4、袁修孝 著，《GPS辅助空中三角测量原理及应用》，测绘出版社
- 5、李德仁，袁修孝 著，《误差处理与可靠性理论》，武汉大学出版社

# 数字摄影测量学：与其他课程关系

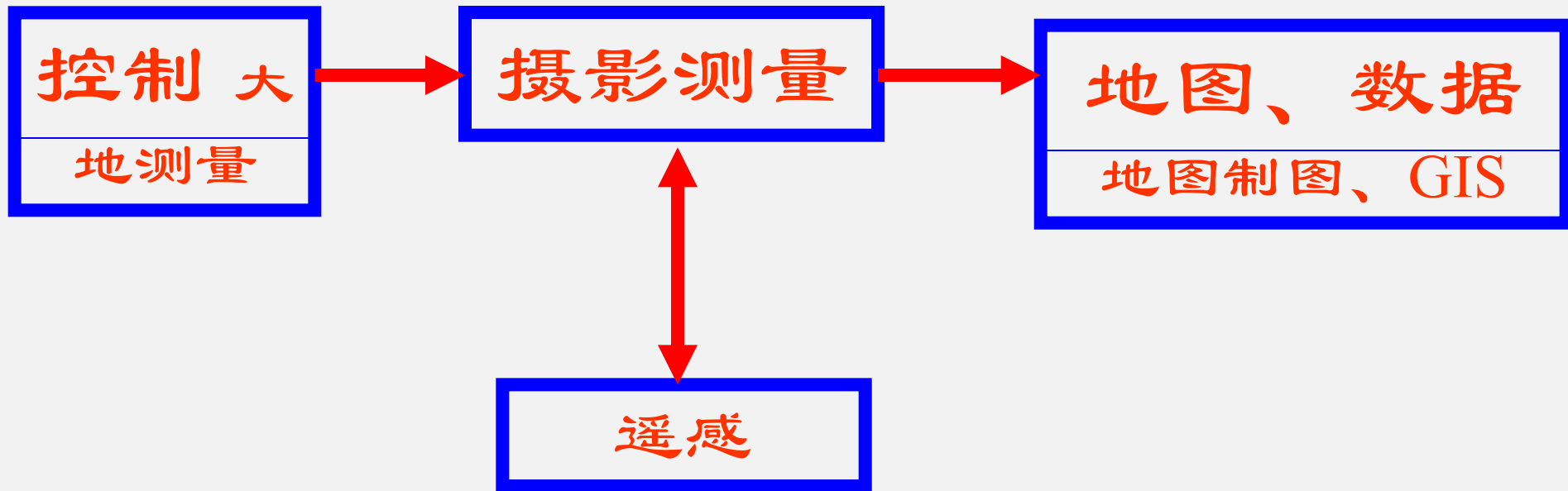
## 先修课程

- 1、摄影与空中摄影学
- 2、测量学
- 3、高等数学
- 4、线性代数
- 5、航空和航天摄影技术

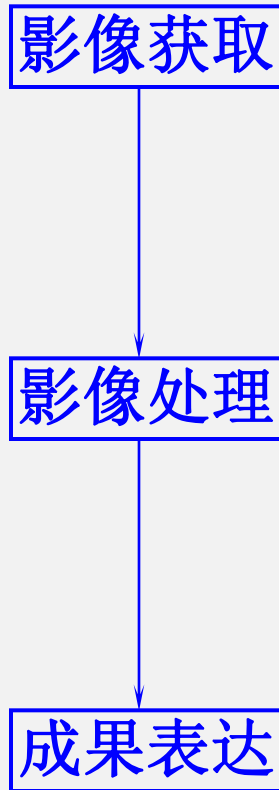
## 后续课程

- 1、近景摄影测量
- 2、遥感原理与方法

# 数字摄影测量学：与其他课程关系



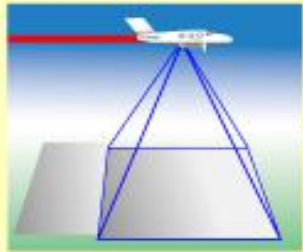
# 数字摄影测量学：教学内容



- 第一章 绪论
- 第二章 影像获取
- 第三章 摄影测量基本知识
- 第四章 双像立体测图原理与立体测图
- 第五章 摄影测量解析基础
- 第六章 空中三角测量
- 第七章 数字地面模型的建立及其应用
- 第八章 数字摄影测量基础
- 第九章 相片纠正与正射影像图
- 第十章 摄影测量的外业工作

# 摄影测量作业流程

## Film based workflow RC30



Film

Film processing in darkroom



B&W

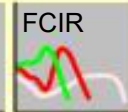


Color



FCIR

Stereo plotter



Films used alternatively

DSW500 scanner

DEM

Orthophotos

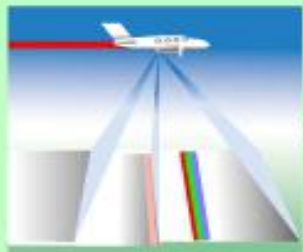
Mapping

Revision



GIS

## Direct digital workflow ADS40



Mass Memory

Ground processing

Archive system

Digital workstation

Printer

Visualization

Image analysis

Classification



All spectral channels simultaneously



# 摄影测量：基本关系式

## ◆ 表达像点与地面点之间关系

影像中的  
几何信息

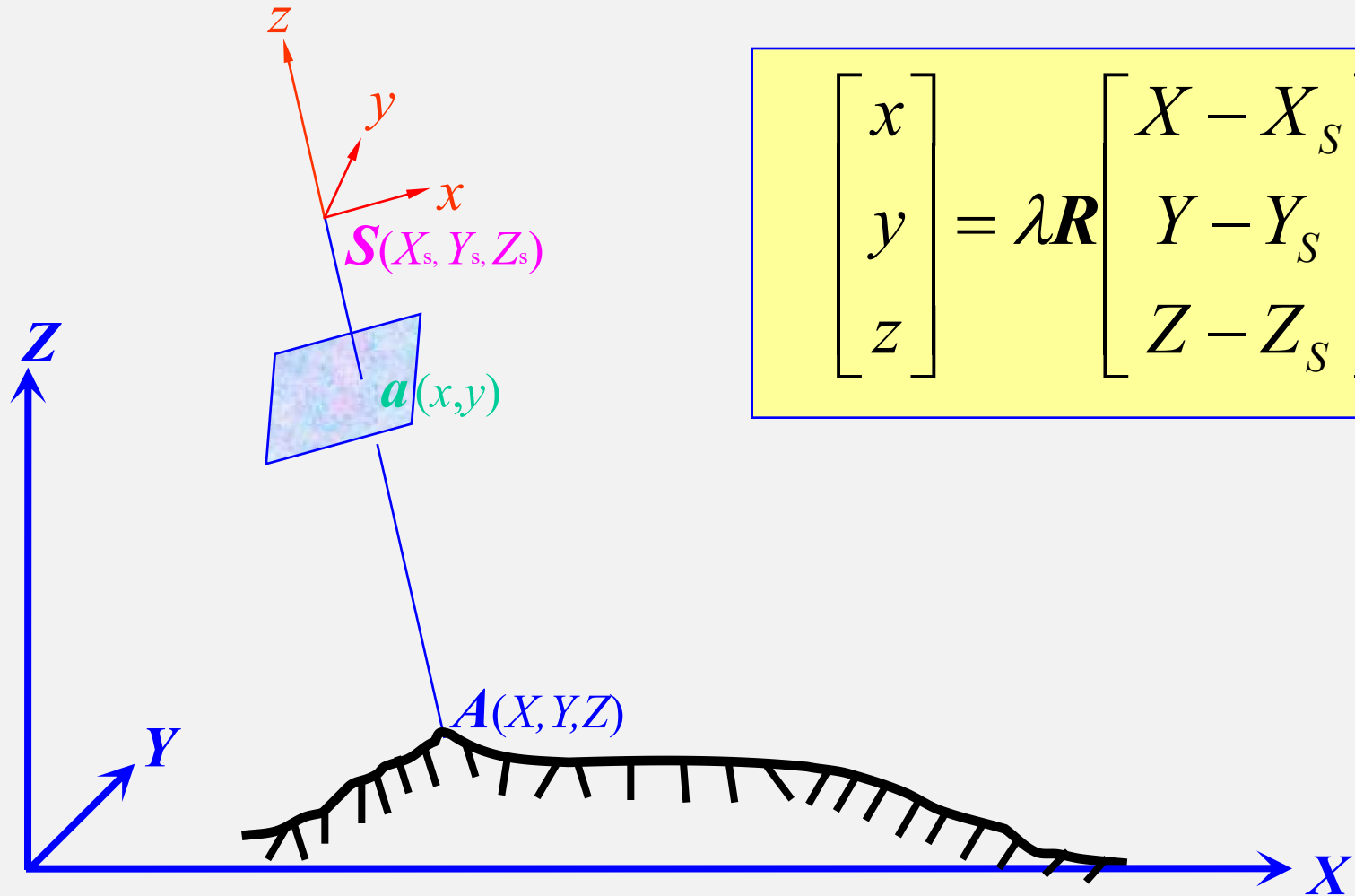
模型重建  
几何量测

地物几何位置

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

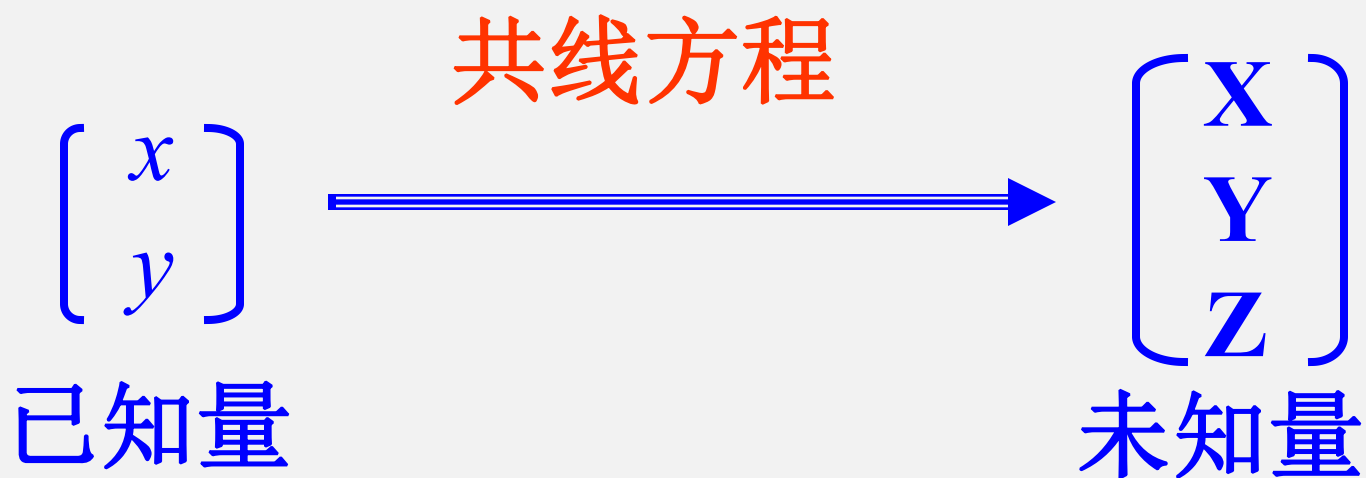
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

# 共线条件

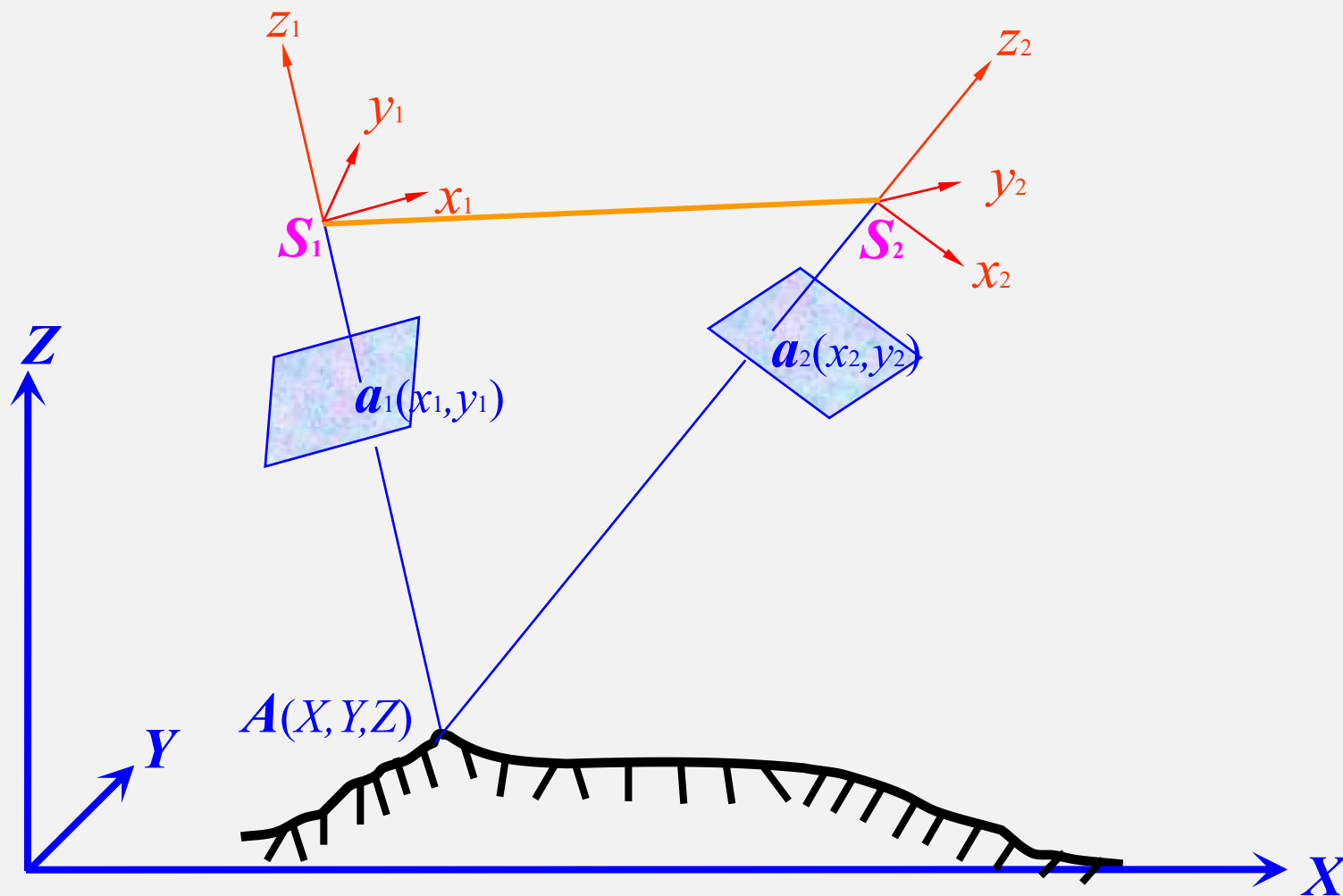




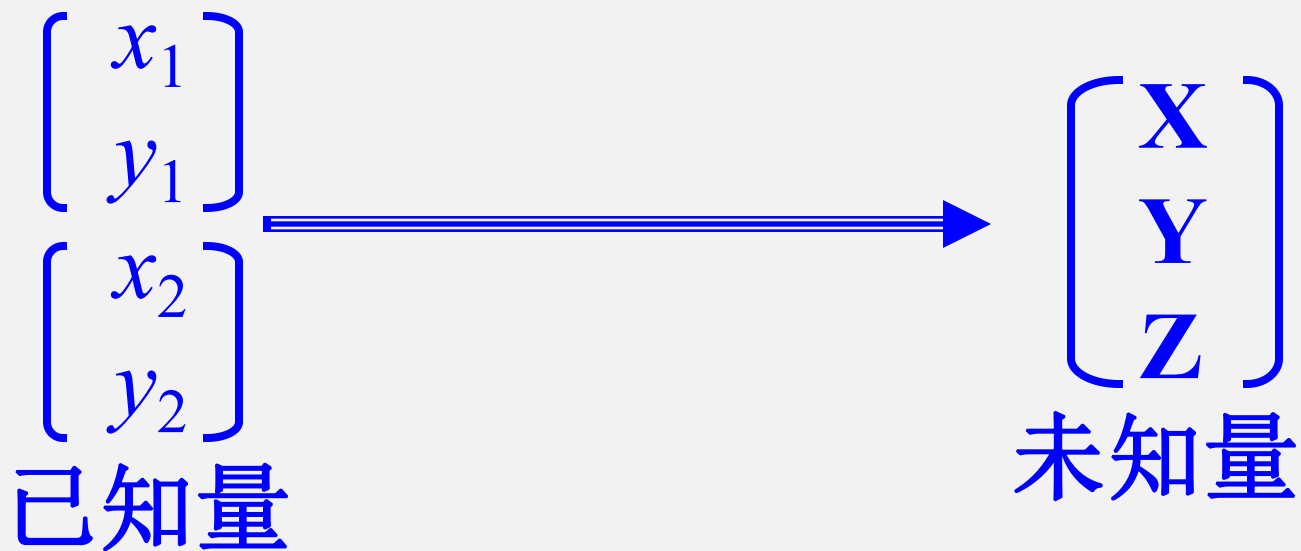
# 单像摄影测量：理论基础



# 共面条件



# 立体摄影测量：目的



# 《数字摄影测量学》第一章

## 绪论

陈时雨

# 主要内容

- 一、摄影测量学的定义与任务
- 二、摄影测量学的发展历程
- 三、本课程的主要内容

# § 1.1 摄影测量学的定义与任务

- ◆ 定义
- ◆ 分类
- ◆ 平台
- ◆ 特点
- ◆ 任务

# 概述—什么是摄影测量

随着网络、信息时代的到来，地理空间信息正被人们熟悉，地球上所有的一切，离不开他的空间位置。

摄影测量，是“通过影像获取地理空间信息”的学科

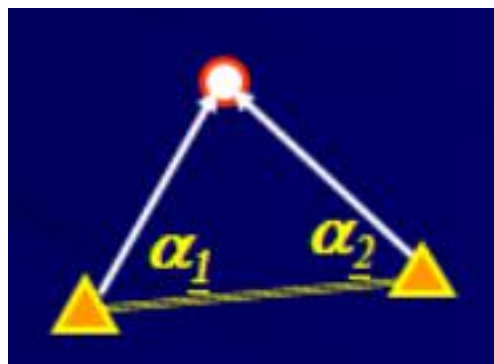
通俗说：摄影测量就是通过**摄影**进行**测量**

**摄影测量是**

**由二维的影像——→三维空间的科学与技术**

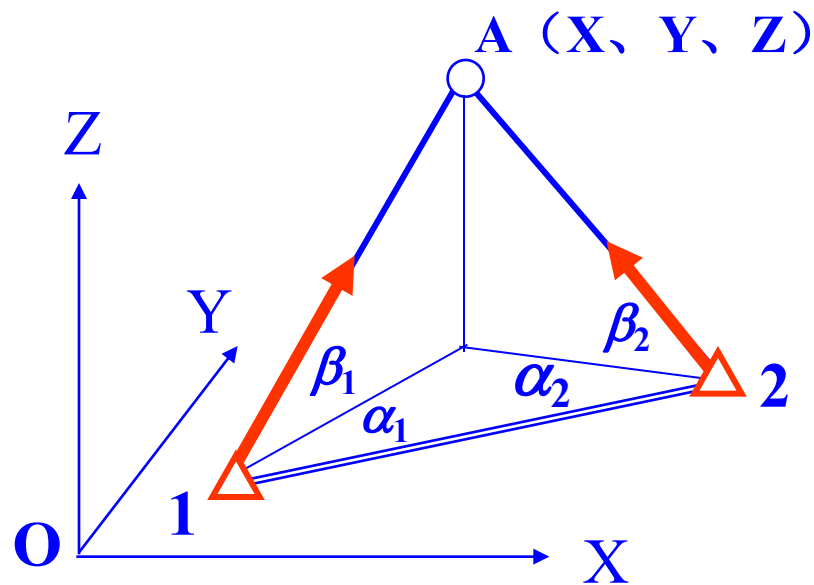
它来源于测量中的前方交会

平面三角中的  
两角夹一边  
就是前方交会





由测绘的**前方交会**，看摄影测量  
在地面上两个已知点1、2上，安置经纬仪，对  
未知点A测定水平角、垂直角，就能测得未知点  
的坐标A (X、Y、Z)。



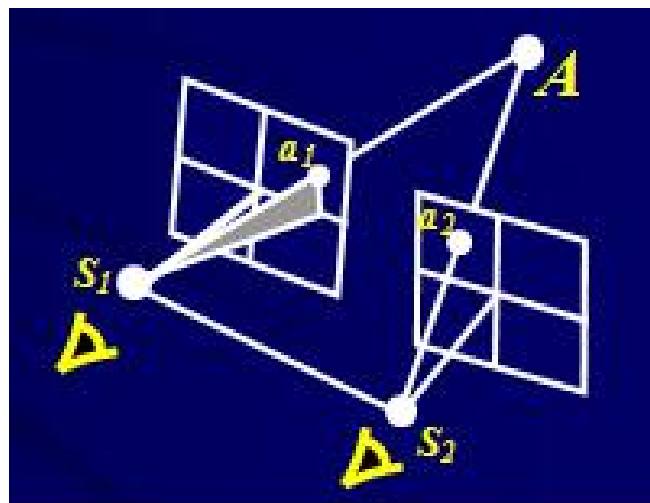
几何关系

摄影测量是首先在两个已知点上，摄取两张影像，然后在影像上，量测同名点的坐标

$a_1(x_1, y_1)$ 、 $a_2(x_2, y_2)$

进行前方交会就能求得空间对应点的坐标

$A(X, Y, Z)$ 。



## 摄影测量是模拟了人眼的功能



左手前 - 右手后



左手右 - 右手左

左眼



左手左 - 右手右

右眼

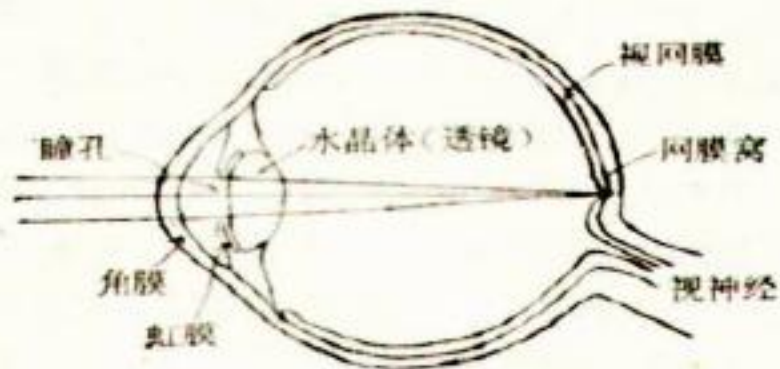


图 5-1

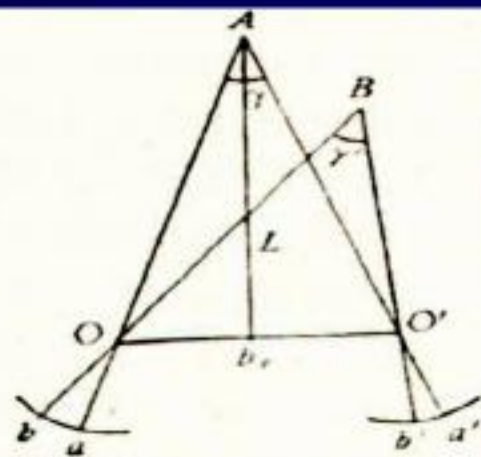


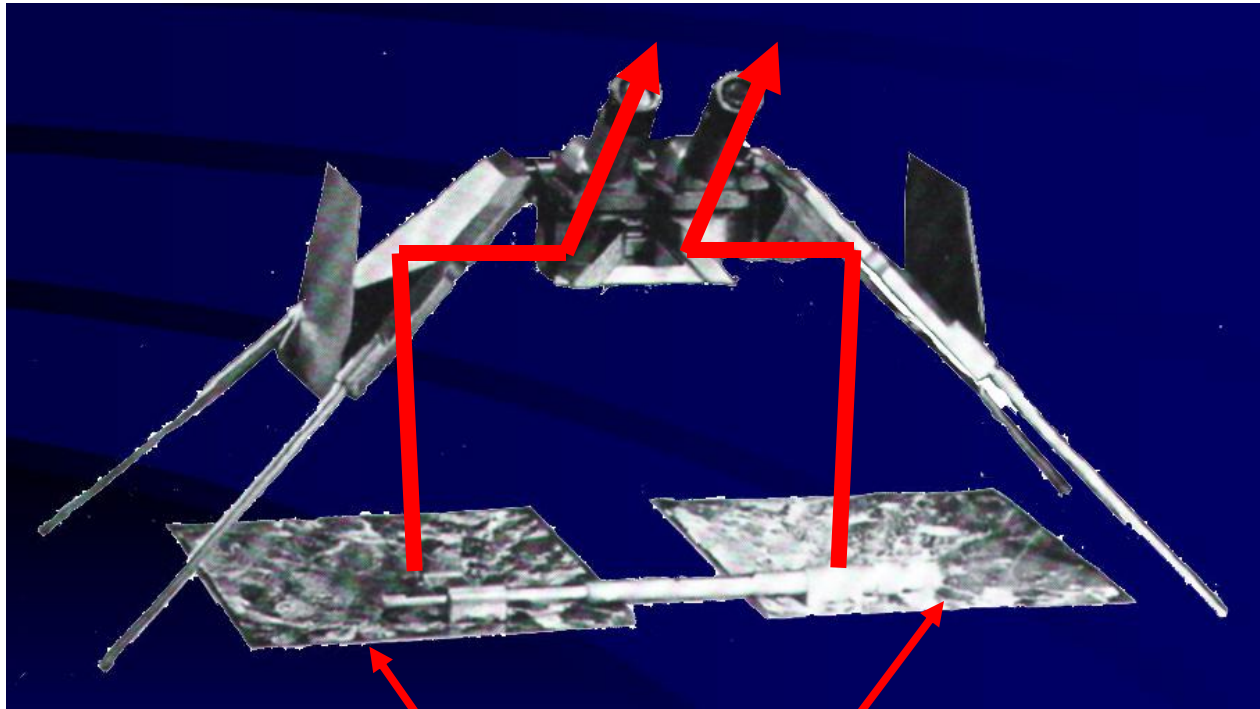
图 5-2

$$ba \neq b'a'$$



两眼中影像的差异  
摄影测量与计算机立体视觉的基础

# 最简单的摄影测量仪器—— 立体反光镜



影像 (像片)

这就是摄影测量的基本原理！

# 摄影测量的基本流程



数据获取

数据处理

构建三维实体模型

2  $\longrightarrow$  3



摄影测量是

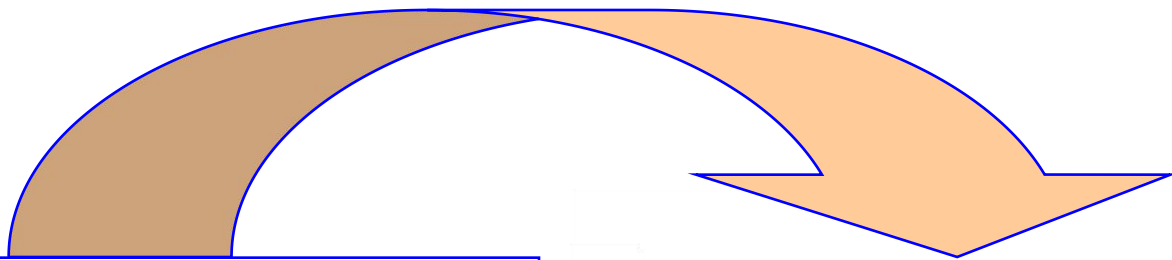
一门由“二维影像”——→“三维空间”的学科

摄影测量是

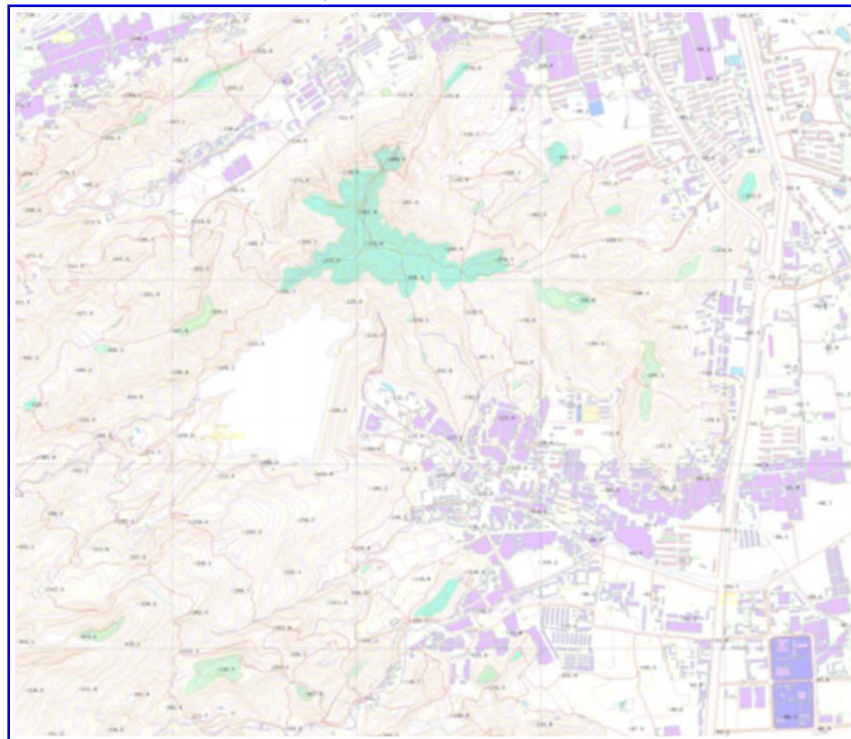
通过影像——→对物体进行测量

Photogrammetry is defined as “the science or art of obtaining reliable measurements by means of photographs.”

(Manual of Photogrammetry 1966)



影像



地形图



# 传统摄影测量学定义

摄影测量学是利用光学摄影机获取的像片，经过处理以获取被摄物体的形状、大小、位置、特性及其相互关系的一门学科

# 摄影测量与遥感定义

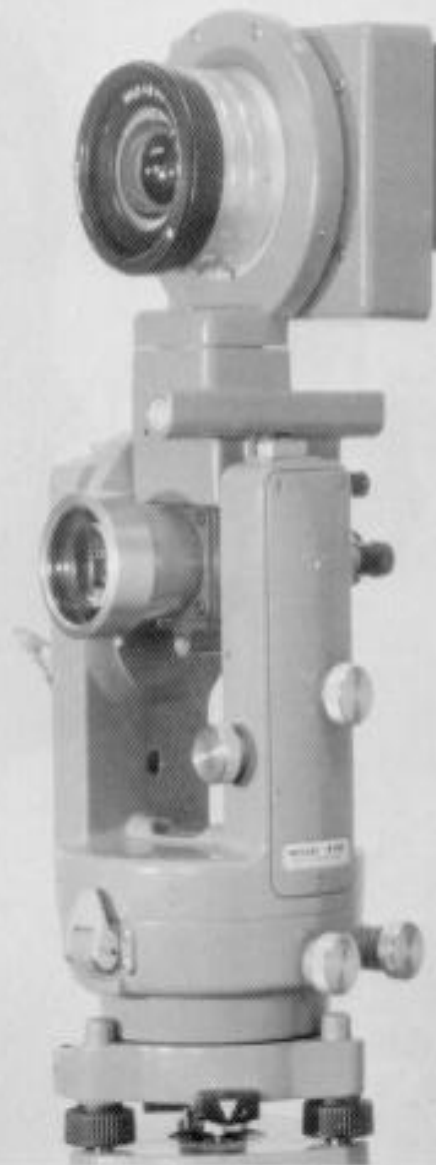
1988年国际摄影测量与遥感学会 (ISPRS) 在日本京都第16届大会上定义：**摄影测量与遥感**是对非接触传感器系统获得的影像及其数字表达进行记录、量测和解译，从而获得自然物体和环境的可靠信息的一门工艺、科学和技术

**ISPRS**(International Society of Photogrammetry and Remote Sensing): **Photogrammetry and Remote Sensing** is the art, science and technology of obtaining reliable information from noncontact imaging and other sensor about the Earth and its environment, and other physical objects and processes through recording, measuring, analyzing and representation.

# 摄影测量学：定义

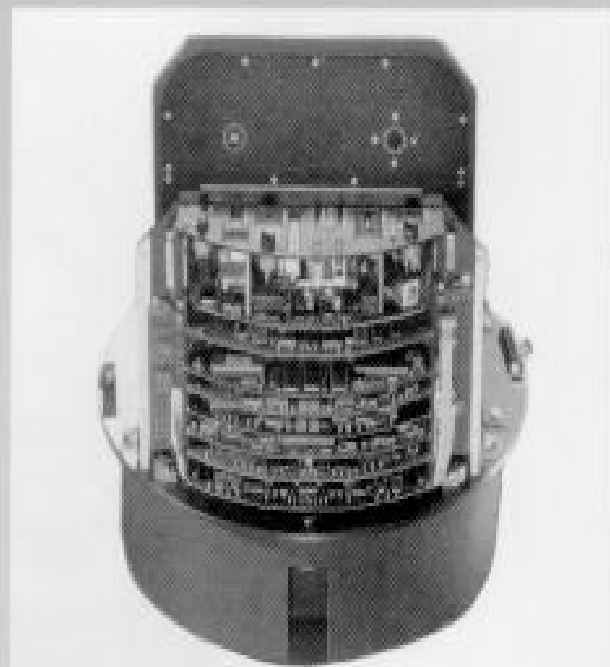
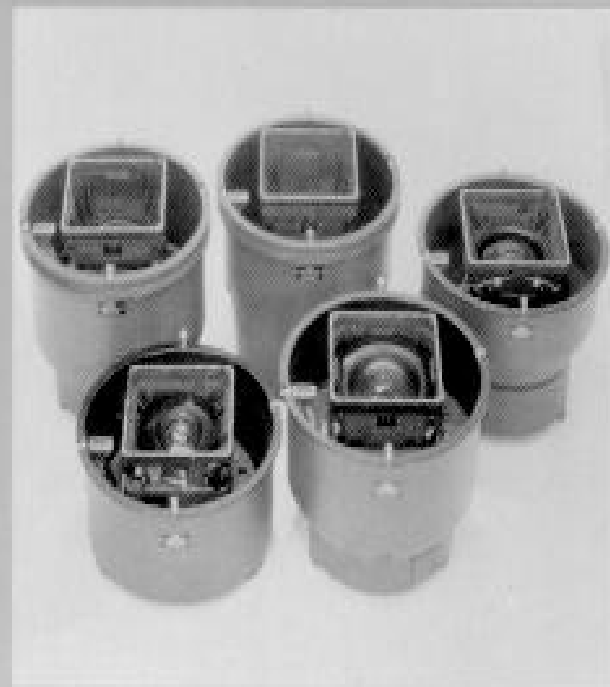


P31  
摄影经纬仪





RC30 框幅式航摄仪



# ADS40 数字航摄仪



# 摄影测量学：定义

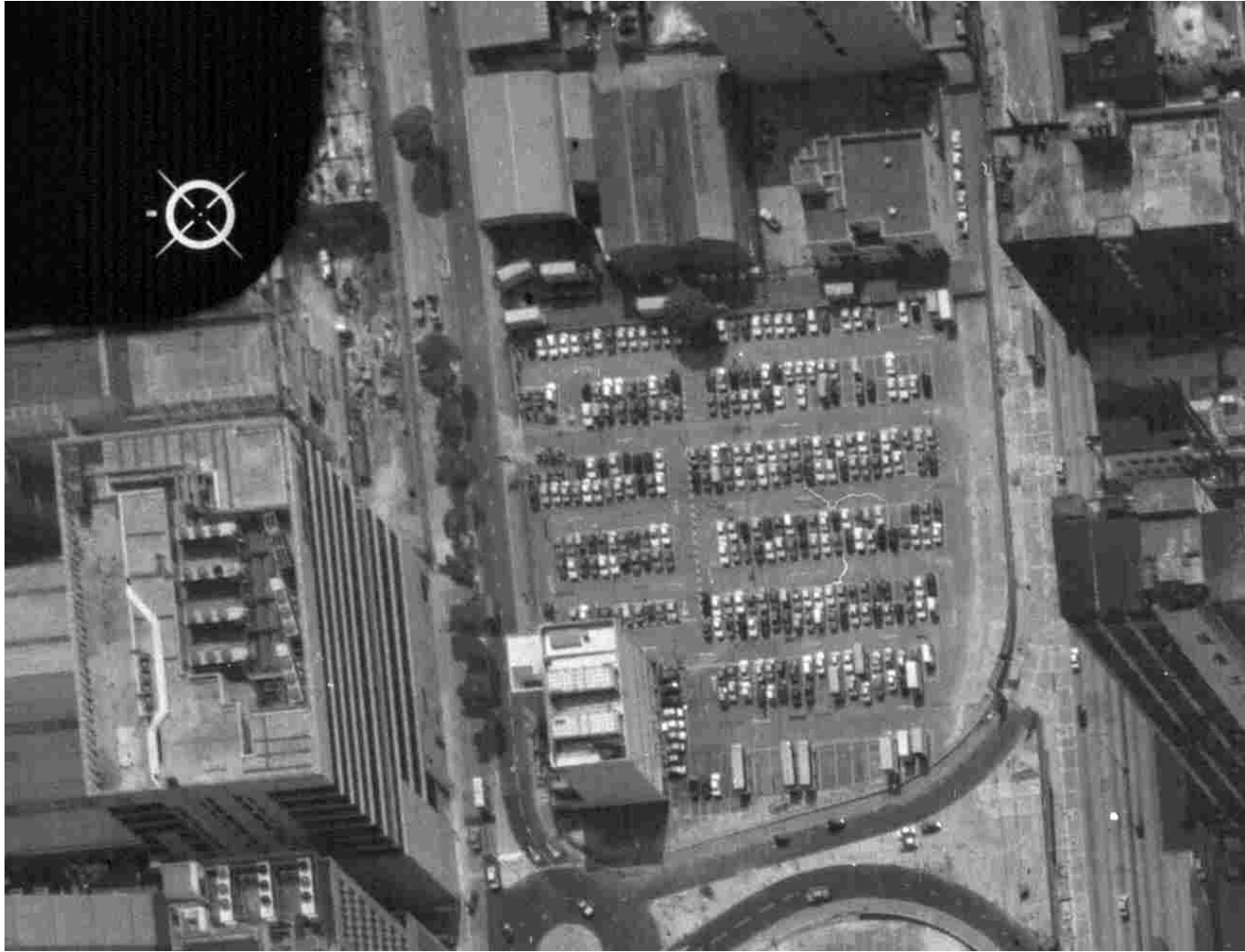


## P31摄影经纬仪近景影像





# 航空光学影像



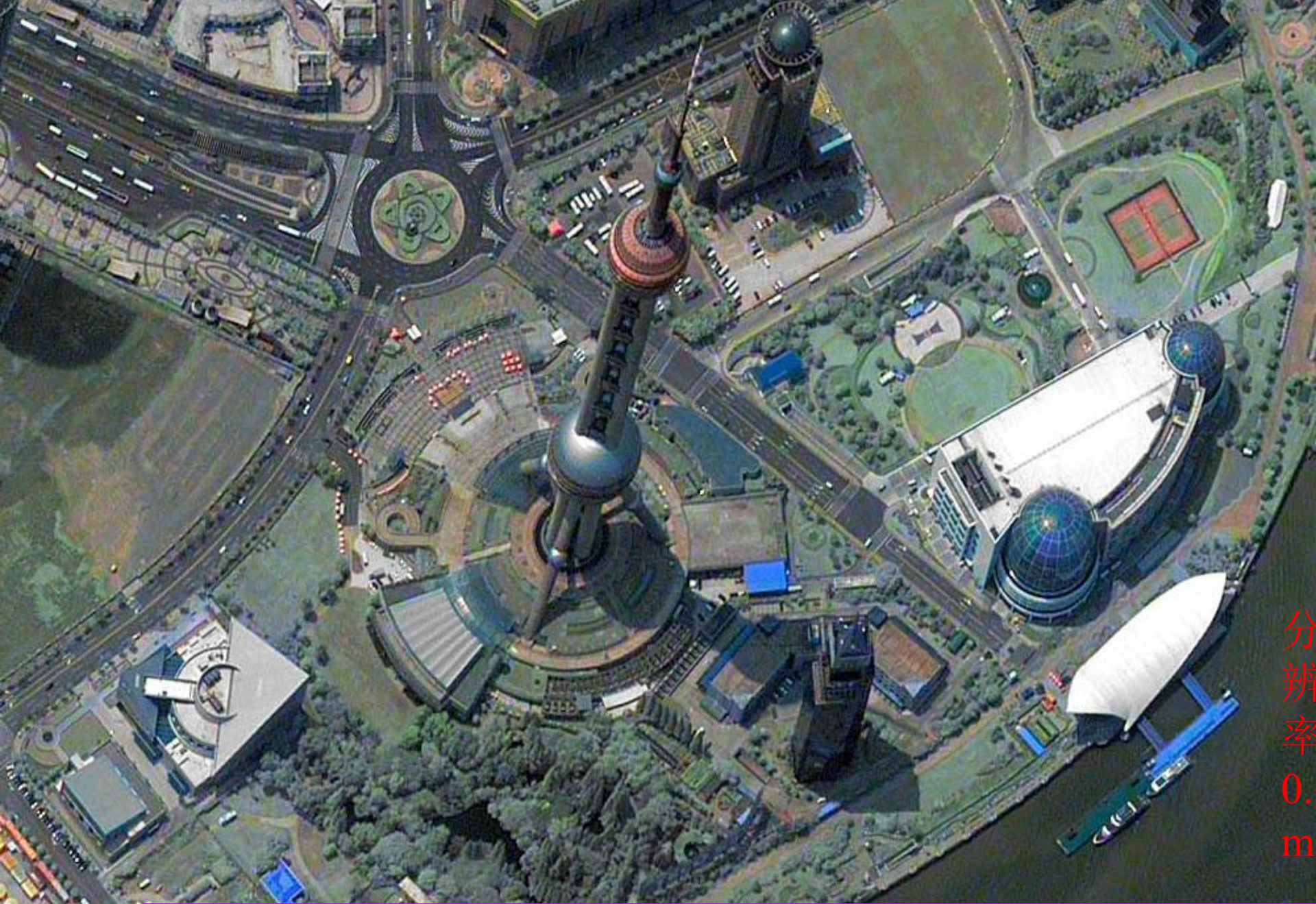
# ADS40数字航空影像





分辨率  
0.8  
m

从680公里高空观测地面——IKONOS

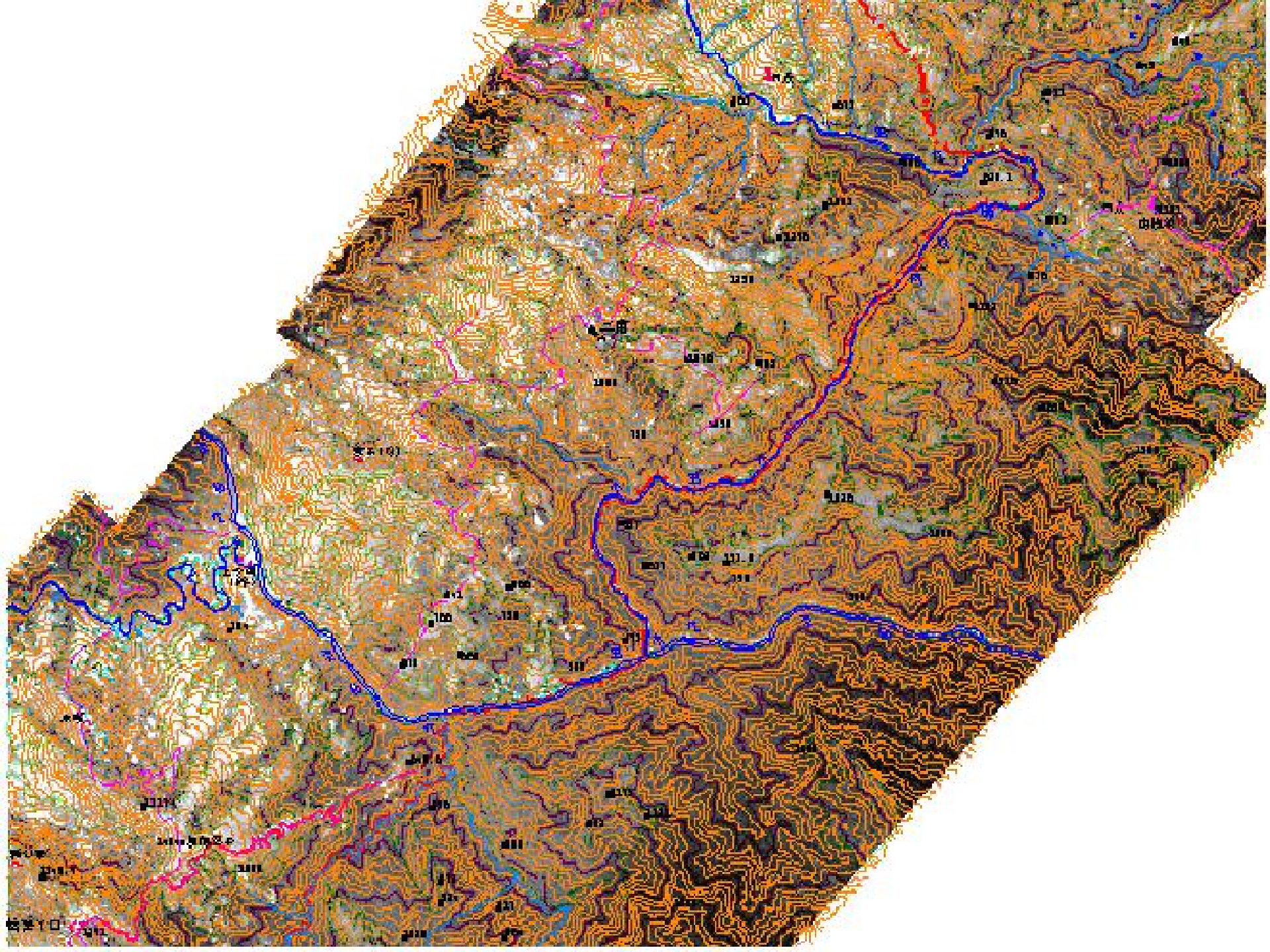


分辨率  
0.6  
m

上海东方明珠塔 (快鸟影像 — 450 km)

# 摄影测量学：定义





# 正射影像图



三峡正射影象图：三条航带、175张航空影像

# 三维景观图



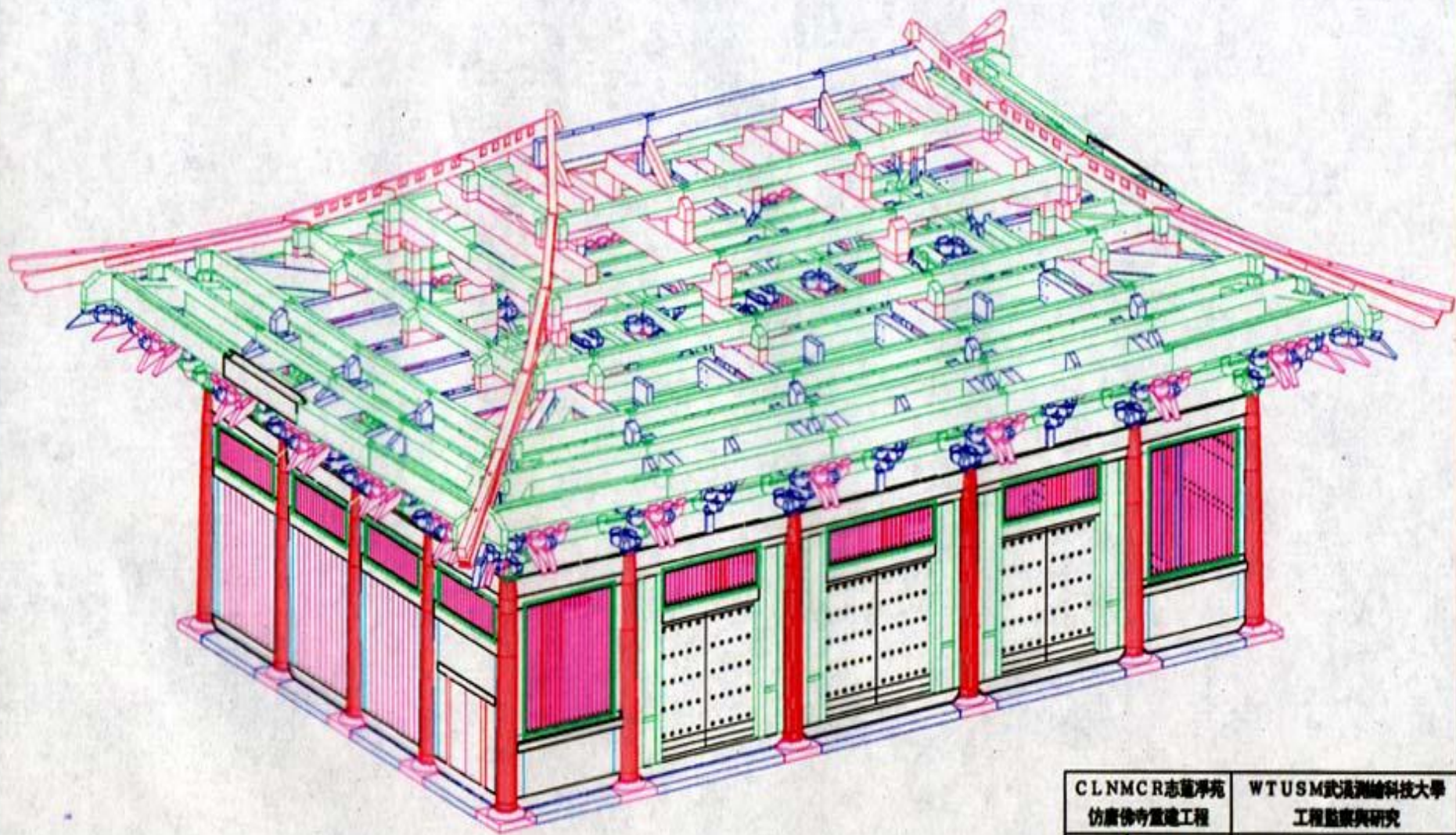
三峡景观图：三条航带、175张航空影像



# Beijing Asian Games Cluster



北京城市景观（亚运村）



CLNMC 志蓮淨苑 仿唐佛寺重建工程		WTUSM 武漢測繪科技大學 工程監製與研究	
TITLE	Wooden Str.	DWG NO	HK002
JOB	Main Hall	SCALE	1:150
DATE	05/26/98	FILE	\10AABCT.DWG

# 摄影测量：分类

按距离远近

航天摄影测量  
航空摄影测量  
地面摄影测量  
近景摄影测量  
显微摄影测量

按用途

地形摄影测量  
非地形摄影测量

按处理手段

模拟摄影测量  
解析摄影测量  
数字摄影测量

# 摄影测量与遥感：平台

遥感平台	高度	目的、用途	其它
航天飞机	240~350km	不定期地球观测、空间实验	
无线电探空仪	100m~100km	各种调查（气象等）	
超高度喷气机	10000~12000m	侦察、大范围调查	
中低高度飞机	500~8000m	各种调查、航空摄影测量	
飞艇	500~3000m	空中侦察、各种调查	
直升机	100~2000m	各种调查、航空摄影测量	
无线遥探飞机	500m以下	各种调查、航空摄影测量	飞机、直升机
牵引飞机	50~500m	各种调查、航空摄影测量	牵引滑翔机
系留气球	800m 以下	各种调查	
索道	10~40m	遗址调查	
吊车	5~50m	地面实况调查	
地面测量车	0~30m	地面实况调查	车载升降台

# 摄影测量：特点

- ❖ 无需接触物体本身获得被摄物体信息
- ❖ 由二维影象重建三维目标
- ❖ 同时提取物体的几何与属性信息

# 摄影测量：任务之一

## ■ 地形测量领域

—— 各种比例尺的地形图、专题图、  
—— 特种地图

正射影像地图、景观图

—— 建立各种数据库

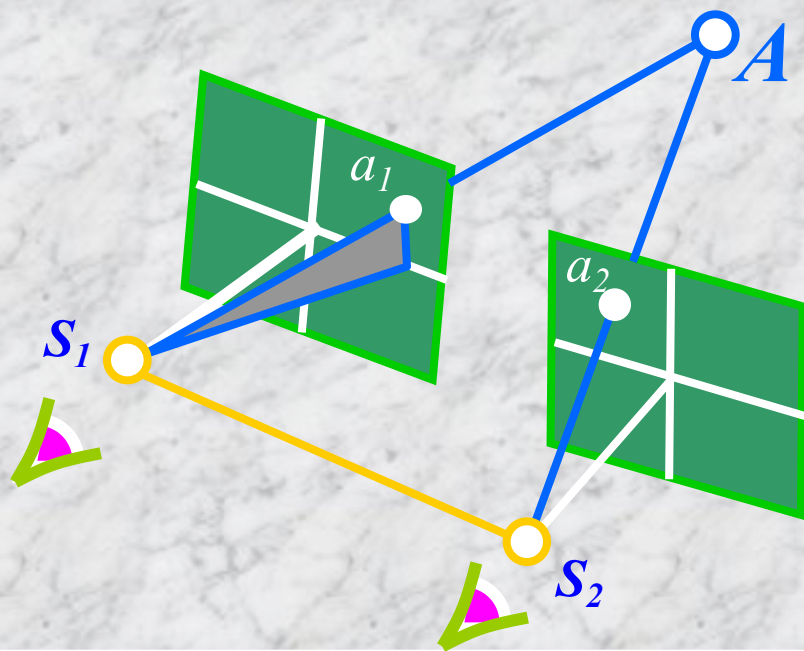
—— 提供地理信息系统和土地信息系  
—— 统所需要的基础数据

# 摄影测量：任务之二

- 非地形测量领域
  - 生物医学
  - 公安侦破
  - 古文物、古建筑
  - 建筑物变形监测

## § 1.2 摄影测量学的发展历程

准确恢复两张影像的位置关系  
快速确定两张影像上的同名点





# 摄影测量学的起源

- ❖ 1839年，法国人达盖尔发明摄影术为摄影测量提供了基本手段
- ❖ 1851年，法国陆军上校劳赛达特提出交会摄影测量并测绘了万森城堡图，标志着摄影测量的开始
- ❖ 1858年，法国摄影师纳达尔乘坐气球在巴黎郊外80m上空拍摄了世界上第一张航空影像
- ❖ 1860年，美国人布莱克利用湿板拍摄了波士顿的航空像片
- ❖ 1885年，法国人乘坐气球从2000英尺高空拍摄了巴黎的航空像片
- ❖ 1903年，莱特兄弟发明了飞机使航空摄影和航空摄影测量成为可能
- ❖ 1906年，美国人劳伦任用17只风筝吊着巨型相机拍摄了旧金山大火
- ❖ 第一次世界大战期间，首台航摄仪的问世、立体坐标量测仪和1318立体测图仪的使用，真正开始了摄影测量学

# 摄影测量学的三个发展阶段

- ◆ 模拟摄影测量 (1851-1970)
- ◆ 解析摄影测量 (1950-1980)
- ◆ 数字摄影测量 (1970-现在)

# 摄影测量发展的三个阶段



模拟

解析

数字

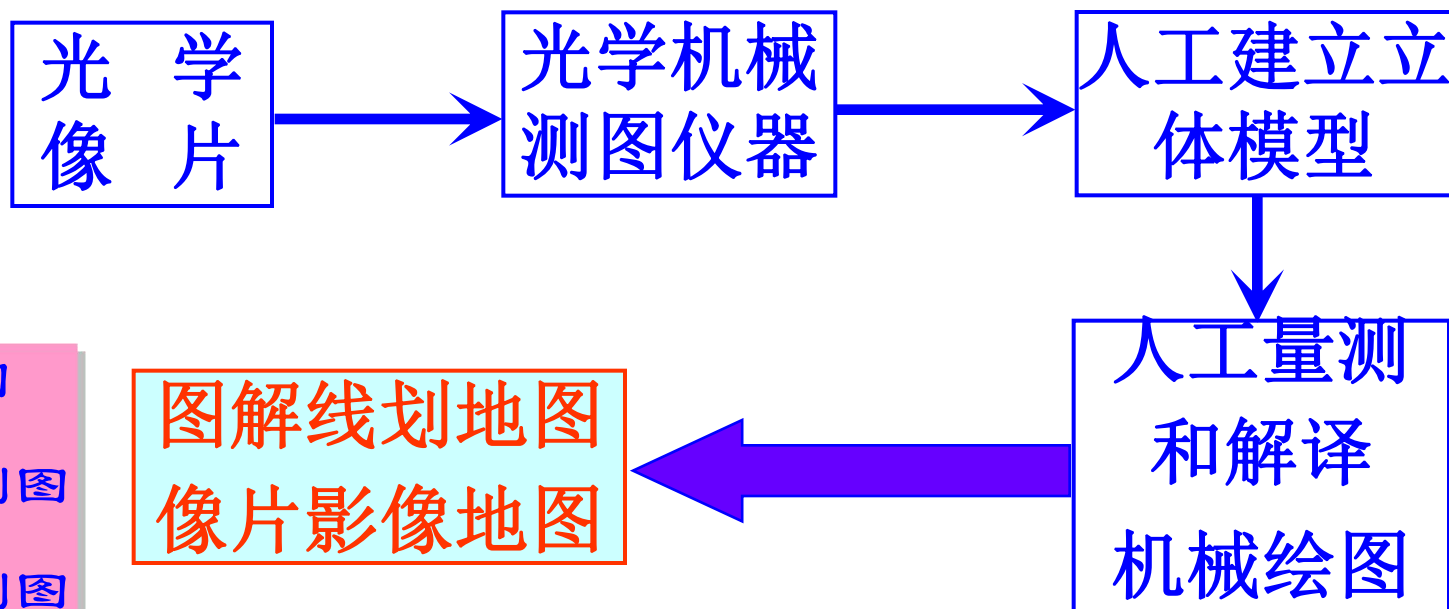
摄影测量

摄影测量

摄影测量

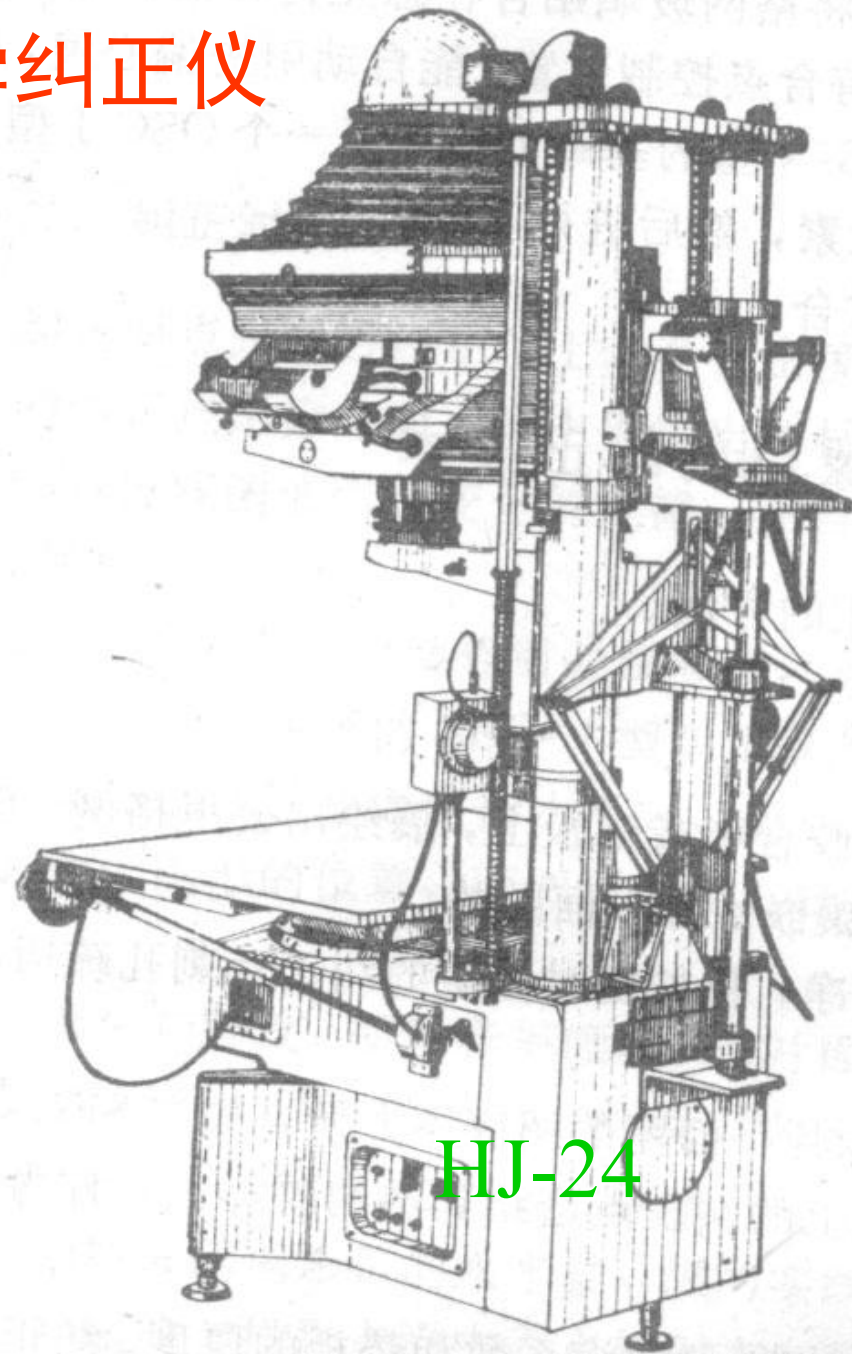
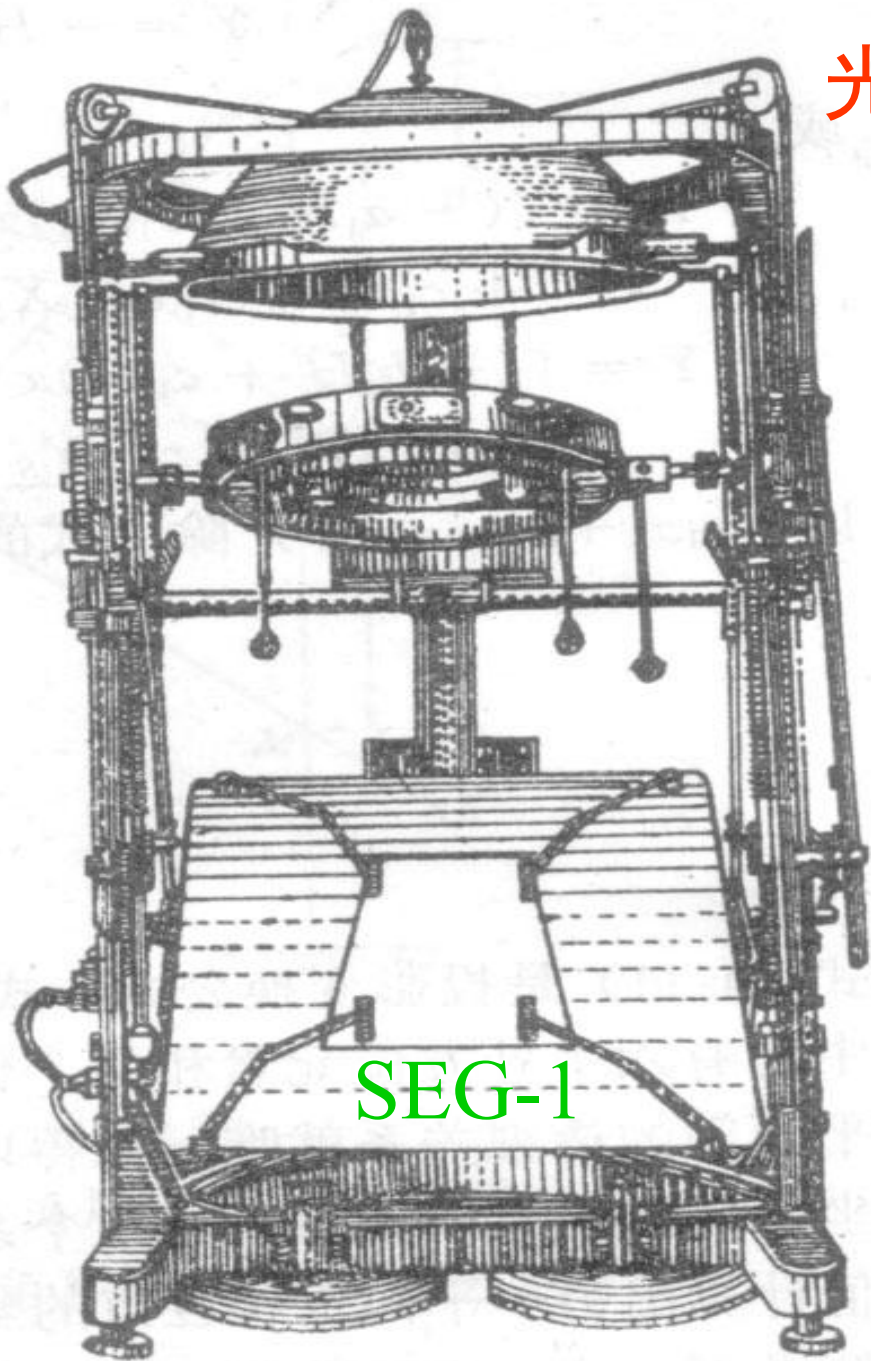
# 模拟摄影测量

利用光学/机械投影方法实现摄影过程的反转，用两个/多个投影器模拟摄影机摄影时的位置和姿态构成与实际地形表面成比例的几何模型，通过对该模型的量测得到地形图和各種专题图

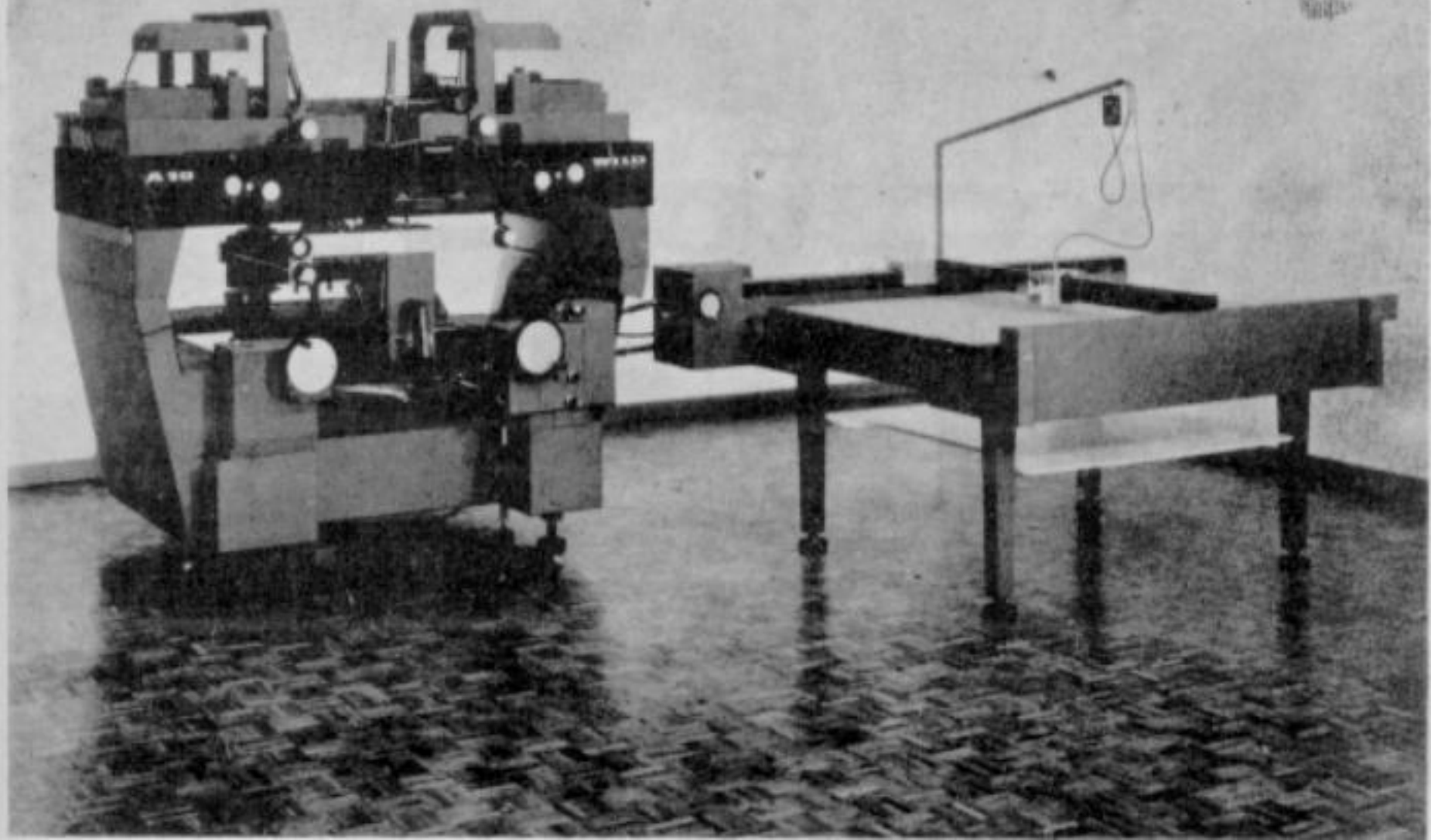


- 单片测图
- 分工法测图
- 综合法测图

# 光学纠正仪



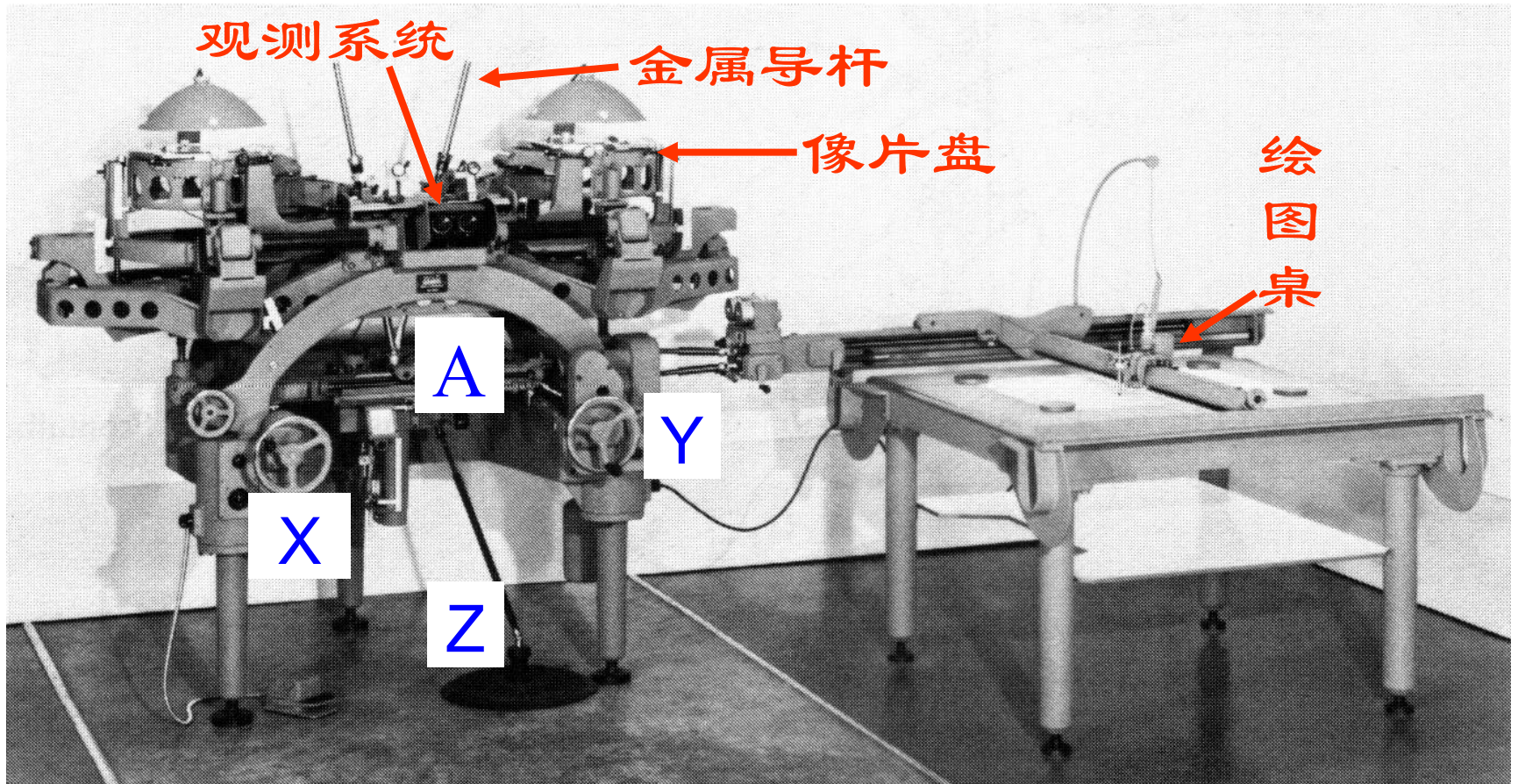
# Wild A10 模拟立体测图仪



# 模拟摄影测量时代——

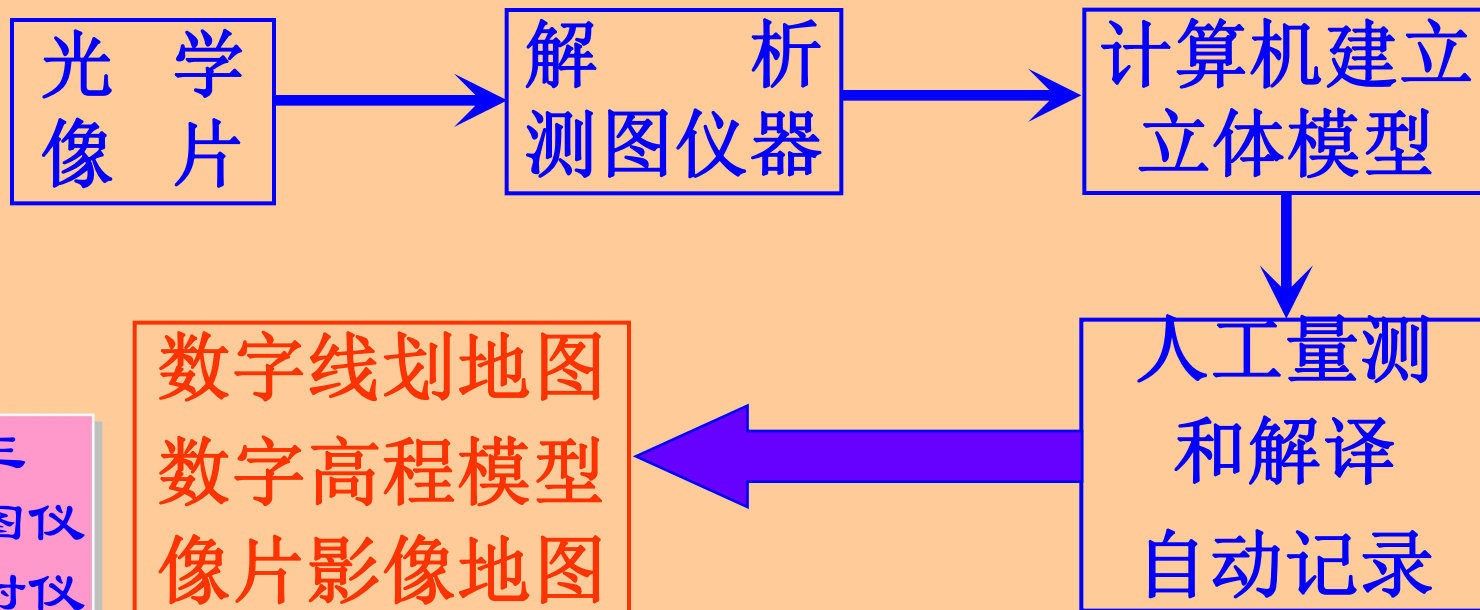
摄影测量完全依赖于

精密的光学-机械仪器



# 解析摄影测量

以电子计算机为主要手段，通过对摄影像片的量测和解析计算方法交会方式来研究和确定被摄物体的形状、大小、位置、性质及其相互关系，并提供各种摄影测量产品的一门科学



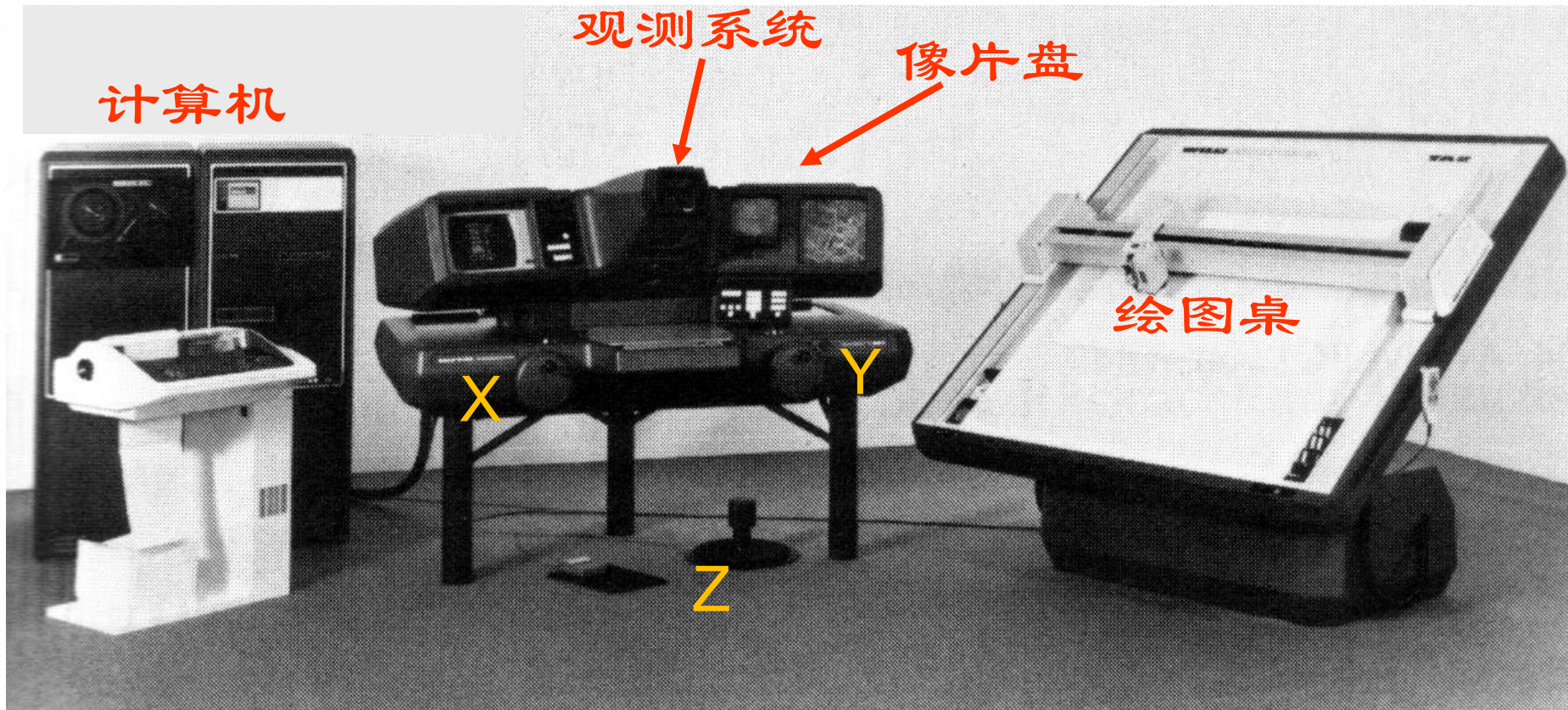
- 解析空三
- 解析测图仪
- 数控正射仪



# 解析摄影测量时代——

摄影测量依赖于

《精密的光学-机械仪器+计算机》

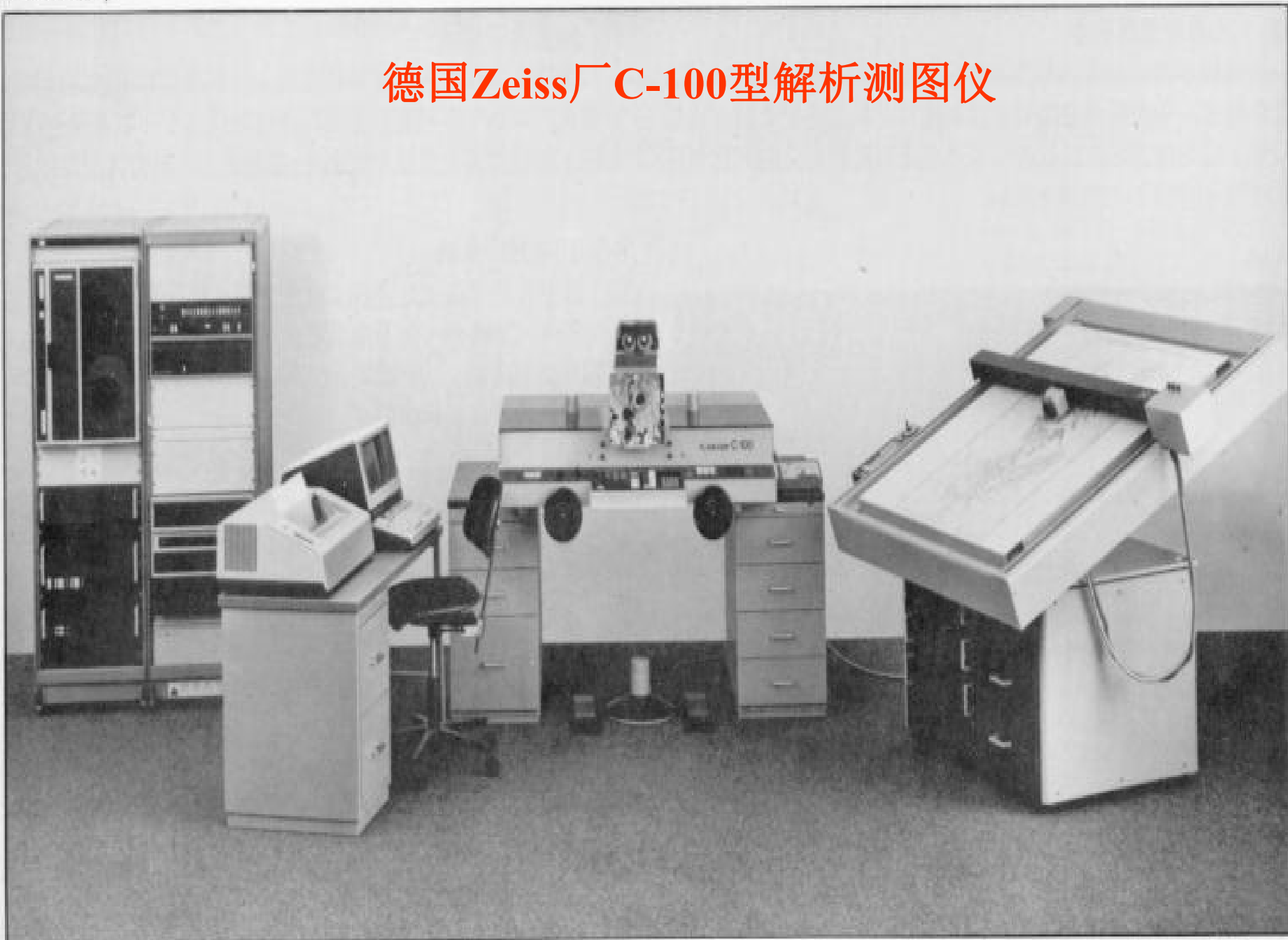


**WILD**  
HEERBRUGG

**BC2**



# 德国Zeiss厂C-100型解析测图仪





瑞士Kern厂DSR-1型解析测图仪



瑞士WILD厂OR-1型数控正射投影仪

# 德国Zeiss厂Z-2型数控正射投影仪





坐标量测仪

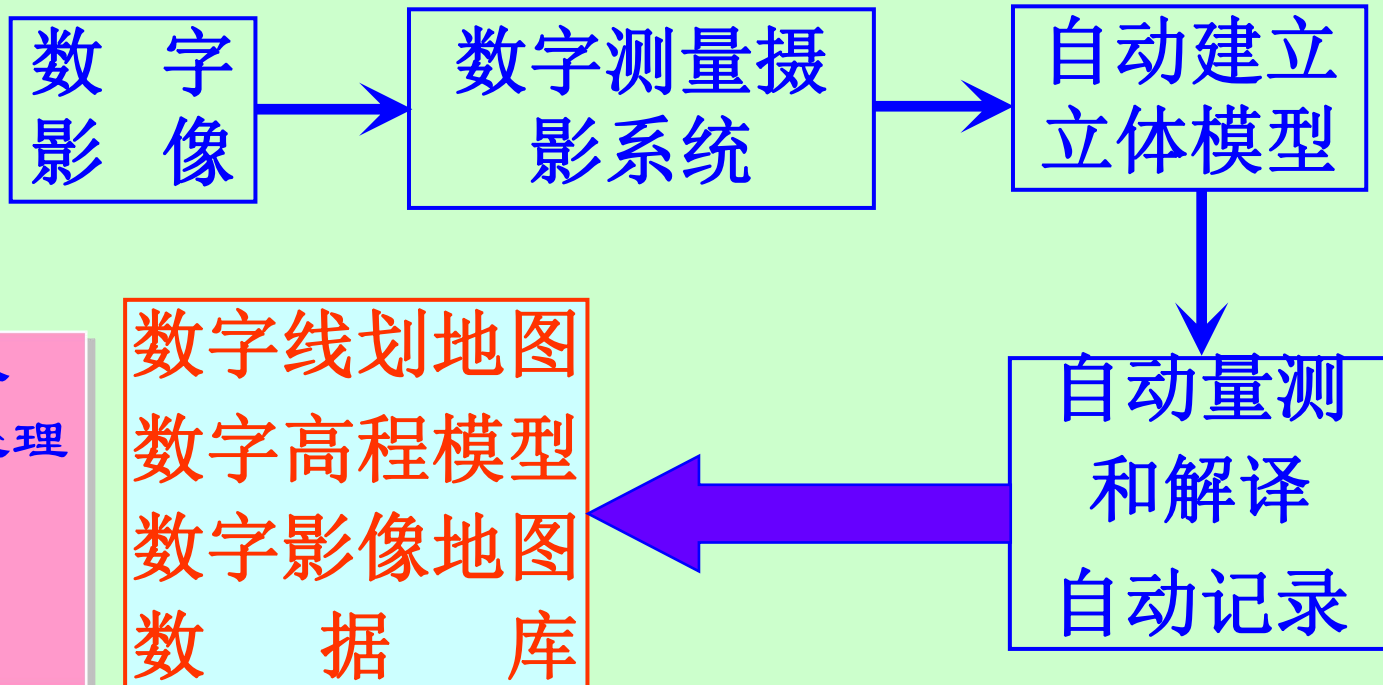
# 数字摄影测量

- ❖ 计算机硬、软件技术的飞速发展，使功能增强，成本降低，并为编制大型软件提供平台
- ❖ 20世纪70年代：数字摄影测量萌芽阶段
- ❖ 20世纪80年代：数字摄影测量原型研究阶段
- ❖ 20世纪90年代：真正推出可用于生产的数字摄影测量系统



# 数字摄影测量

基于摄影测量的基本原理，通过对所获取的数字/数字化影像进行处理，自动（半自动）提取被摄对象用数字方式表达的几何与物理信息，从而获得各种形式的数字产品和目视化产品



- 计算机技术
- 数字图像处理
- 影像匹配
- 模式识别
- DPW

# 数字摄影测量时代——

计算机完全替代原来的光机仪器



工作站 (DPW)

# VirtuoZo 数字摄影测量系统

Supresoft VirtuoZo NT

*Crystal eyes*

*3-D mouse*

*Virtual Photogrammetry now is available*



# JX-4A 数字摄影测量工作站



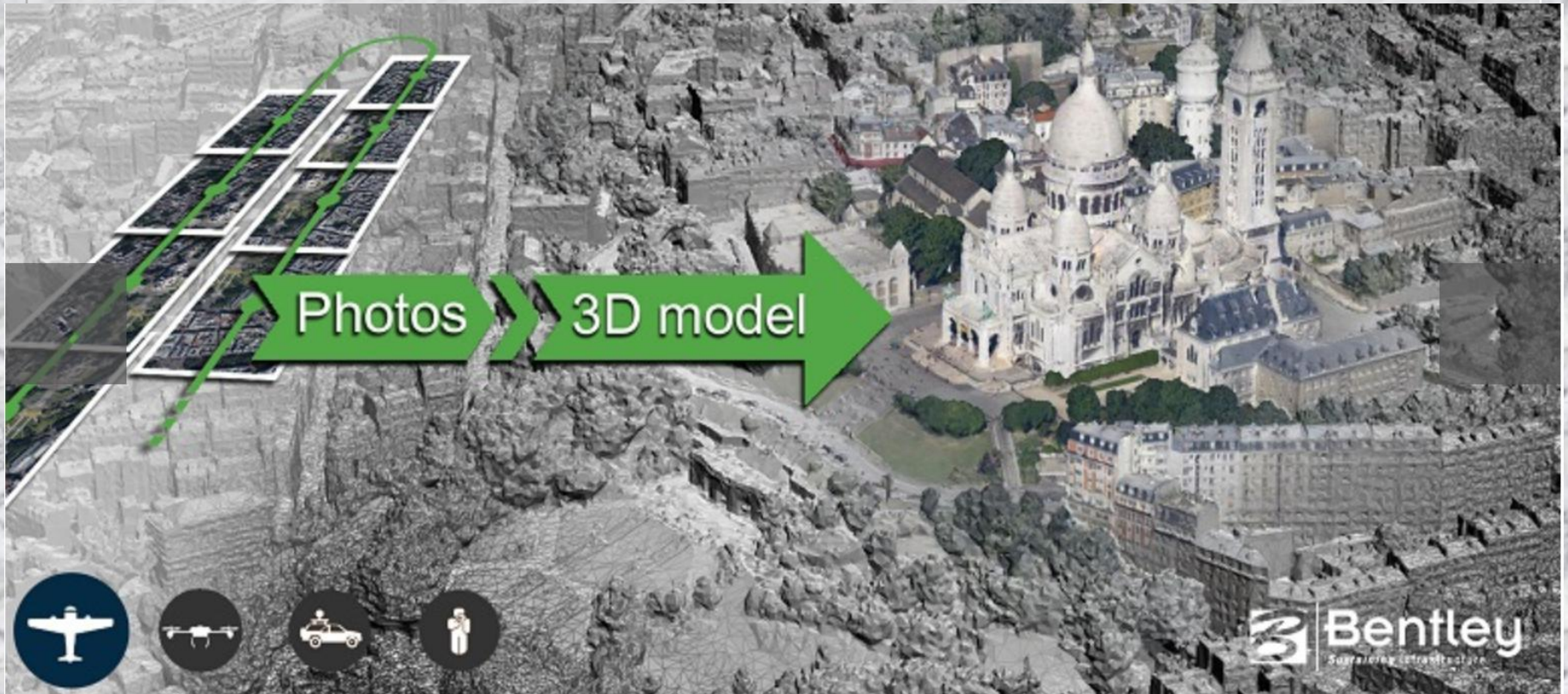
# 像素工厂

PIXEL FACTORY  
SERVICES

由于近200个遥感航天器已经在轨运行或正在筹划发射，有超过200个数码相机正在工作，同时随着无人机解决方案的大幅增加，每年数千TB的数据需要处理。对对地观测数据爆炸性的需求，迫切要求产业数据生成方法。



# Context Capture



# 摄影测量三个发展阶段的特点

发展阶段	原始资料	投影方式	仪器	操作方式	产品
模拟 摄影测量	像片	物理投影	模拟测图仪	手工操作	模拟产品
解析 摄影测量	像片	数字投影	解析测图仪	机助 作业员操作	模拟产品 数字产品
数字 摄影测量	数字化影像 数字影像	数字投影	计算机	自动化操作 +作业员干预	数字产品 模拟产品

# 摄影测量的未来

- 各类传感器的发展
- 理论与算法的发展
- 计算机与网络的发展

为摄影测量的未来提供了

“无限的遐想空间”



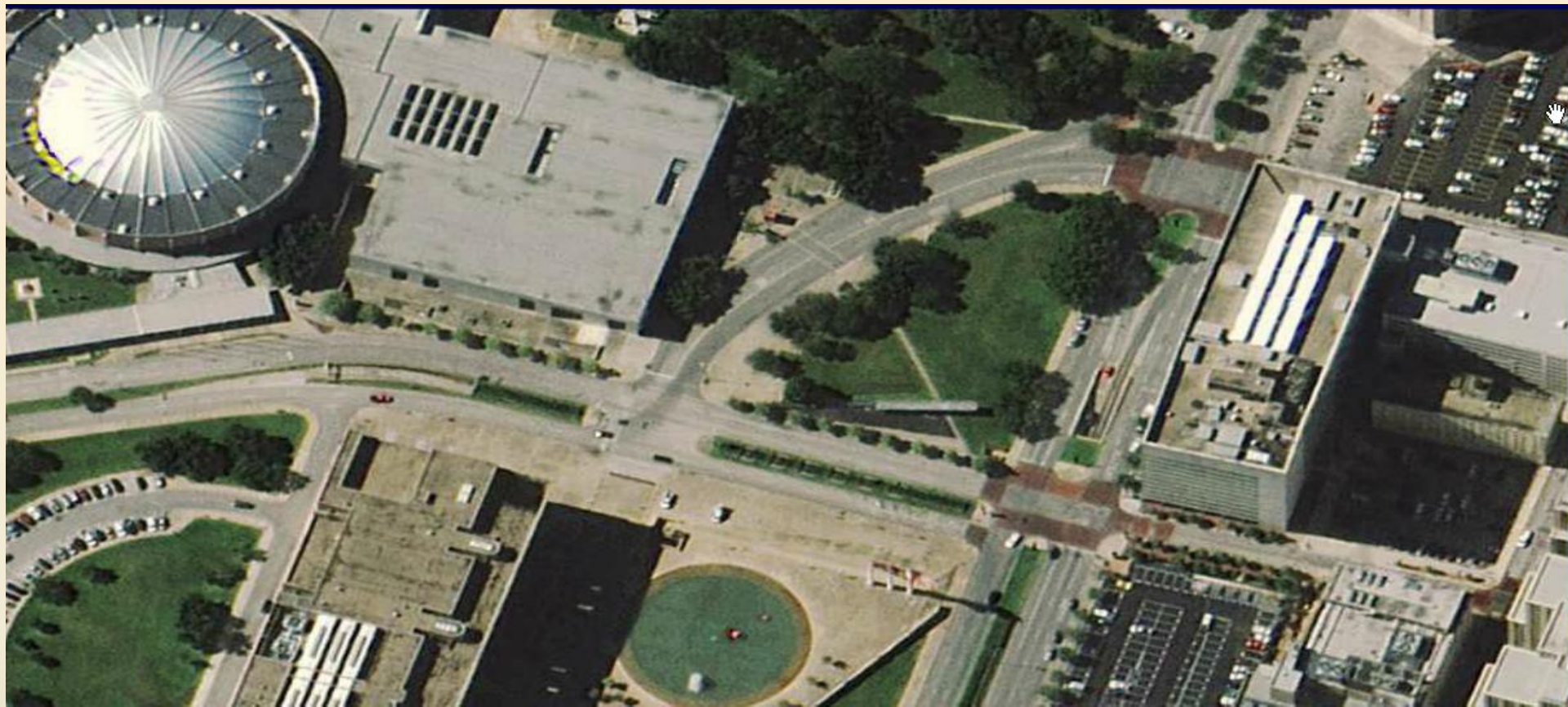
# 摄影测量发展与各类传感器的发展密切有关

- (1) 高分辨率遥感影像
- (2) 数码航空相机
- (3) POS系统
- (4) LiDAR
- (5) 干涉雷达

# (1) 高分辨率遥感卫星

## 美国商业化的高分遥感卫星

参数	ikonos	quickbird-2	worldview-1	geoeye-1	worldview-2
发射时间	1999. 9	2001. 10	2007. 9	2008. 9	2009. 10
轨道高度	681Km	450Km	450Km	684Km	770Km
所属公司	GOI	DGI	DGI	GOI	DGI
成像方式	推扫	推扫	推扫	推扫	推扫
焦距	10m	8. 9m	8m	13. 35m	13. 3m
分辨率全色波段(星下点)	0. 82m	0. 61m	0. 45m	0. 41m	0. 46m
光学系统结构	同轴 TMA	离轴 TMA	离轴 TMA	同轴 TMA	同轴 TMA
像元尺寸 $\mu\text{m}$	12	12	8	8	8
幅宽(星下点)	11. 3Km	16. 5Km	16Km	15. 2Km	16. 41Km
视场角( $^{\circ}$ )	0. 95	2. 1	2. 1	1. 27	1. 22
侧视能力( $^{\circ}$ )	40	25	40	60	40



Dallas Worldview-2 高度：770km

## 国产光学卫星影像

### 我国光学卫星

2010.08.24.15:10: 天绘一号  
2011.12.22.11:26: 02C  
2012.01.09.11:17: ZY3  
2012.05.06.15:10: 天绘一号02星



ZY3: 正视: 2.08米, 前后视: 3.46米; 02C: 两台HR相机, 2.36米; 天绘: 两台HR相机: 2.0米

高分1号: 2013.4.26 分辨率2m全色, 8m多光谱

高分2号: 2014.8.19 分辨率1m全色, 4米多光谱

高分3号: 2016.8.10 SAR卫星, 分辨率1m

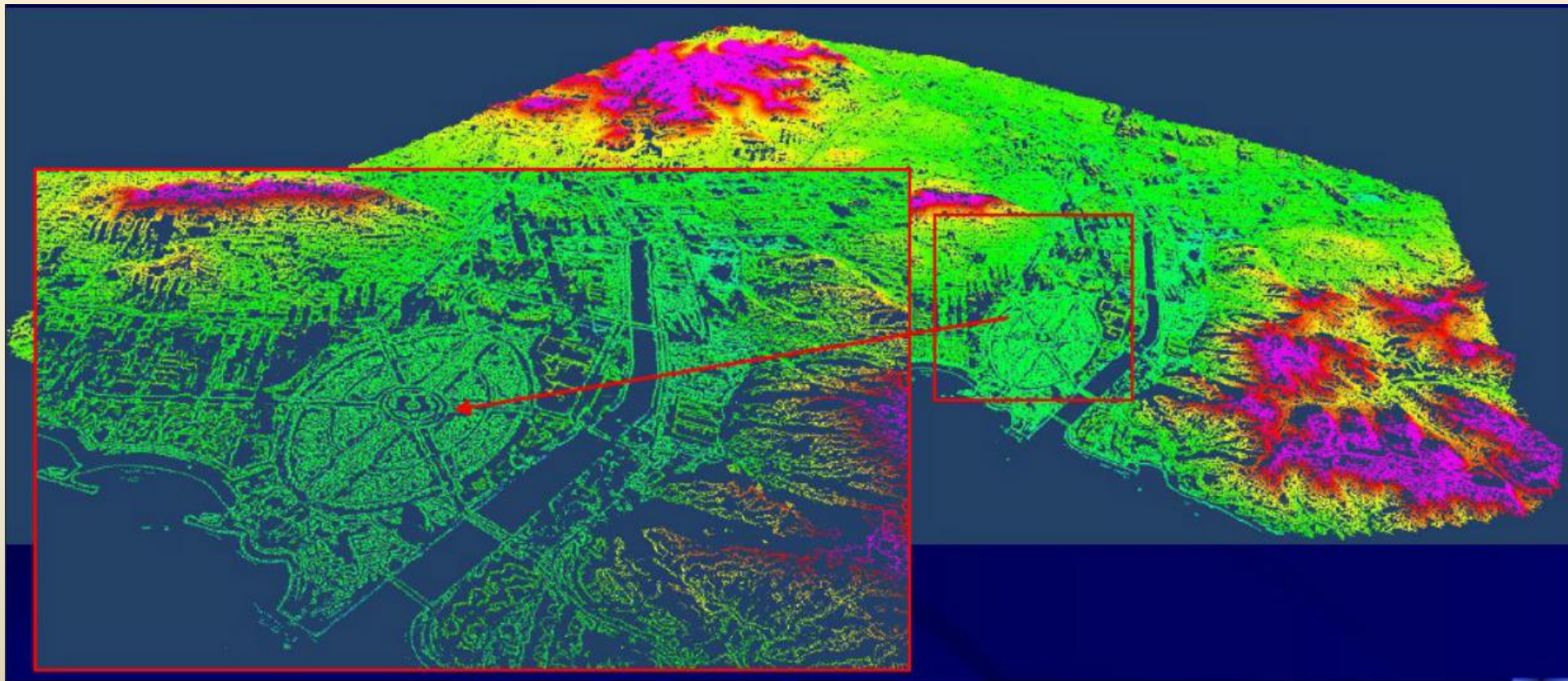
高分4号: 2015.12.29 36000公里 分辨率50m

资源三号一下视影像 (GSD=2.1m)

辽宁 - 大连港



# 大连港空间点云



## (2) POS——直接确定外方位元素

POS=GPS+IMU  
(Inertial system)



用于直接测定“外方位元素”，  
有车载、机载，  
用于直接确定影像的外方位元素。  
它也是激光扫面的基础。

# (3) 激光扫描与LiDAR系统——直接确定点云

经纬仪



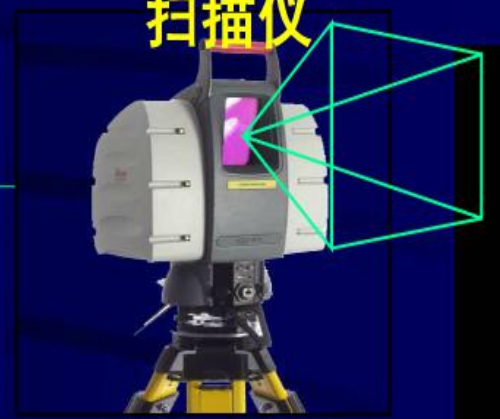
两个测站——  
点测量

全站仪



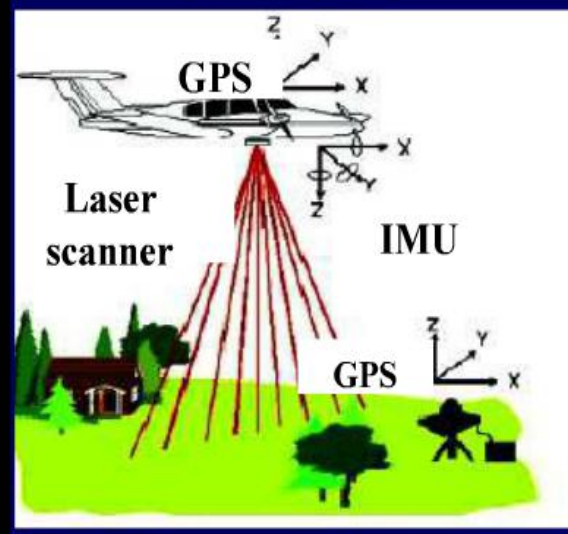
一个测站——  
点测量

扫描仪



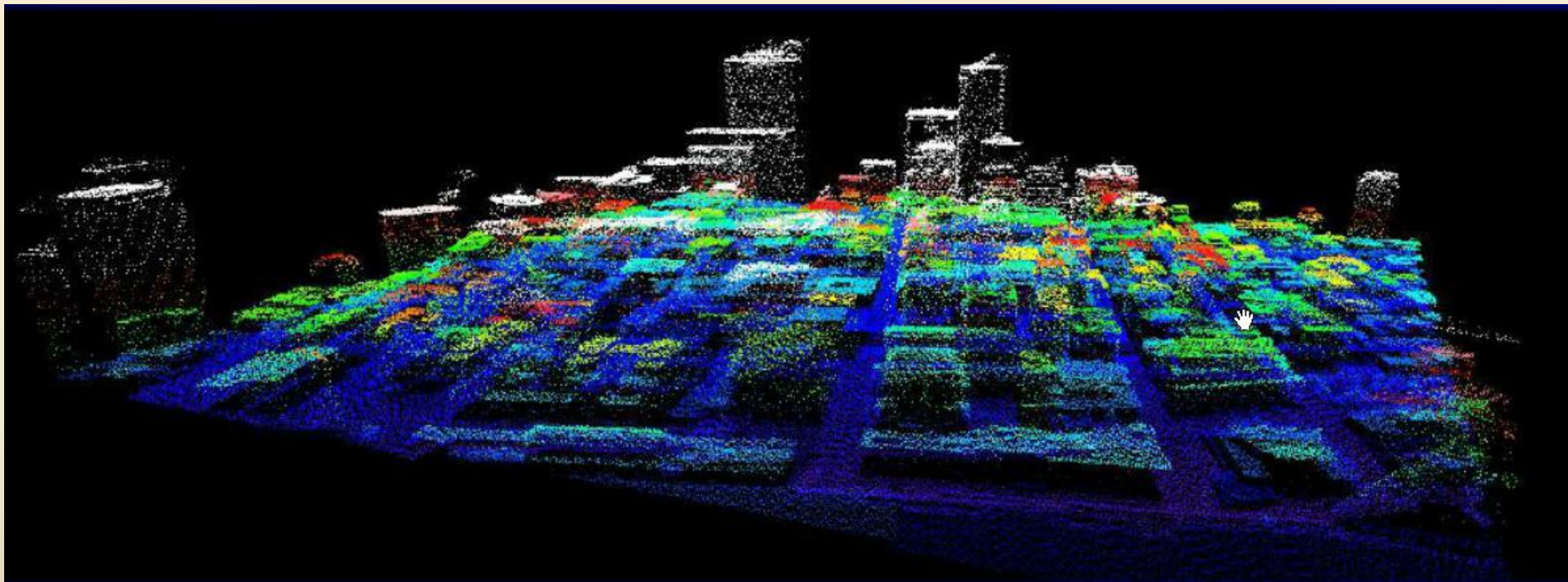
一个测站面测  
量

航空激光  
扫描系统





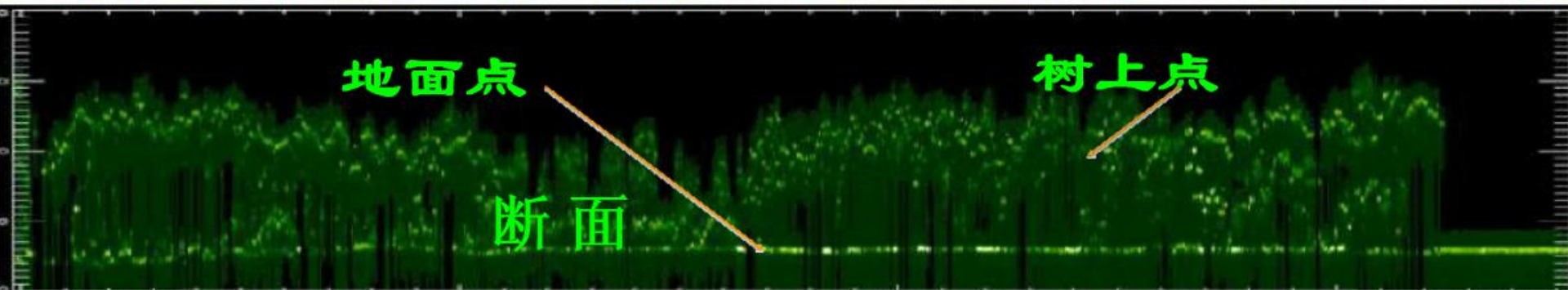
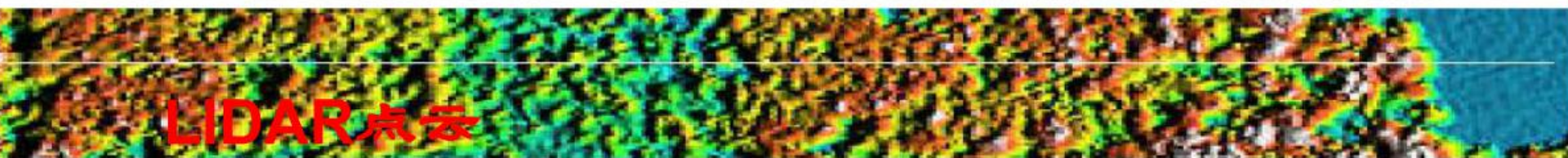
### (3) 航空激光扫描：LiDAR系统——直接产生“点云”

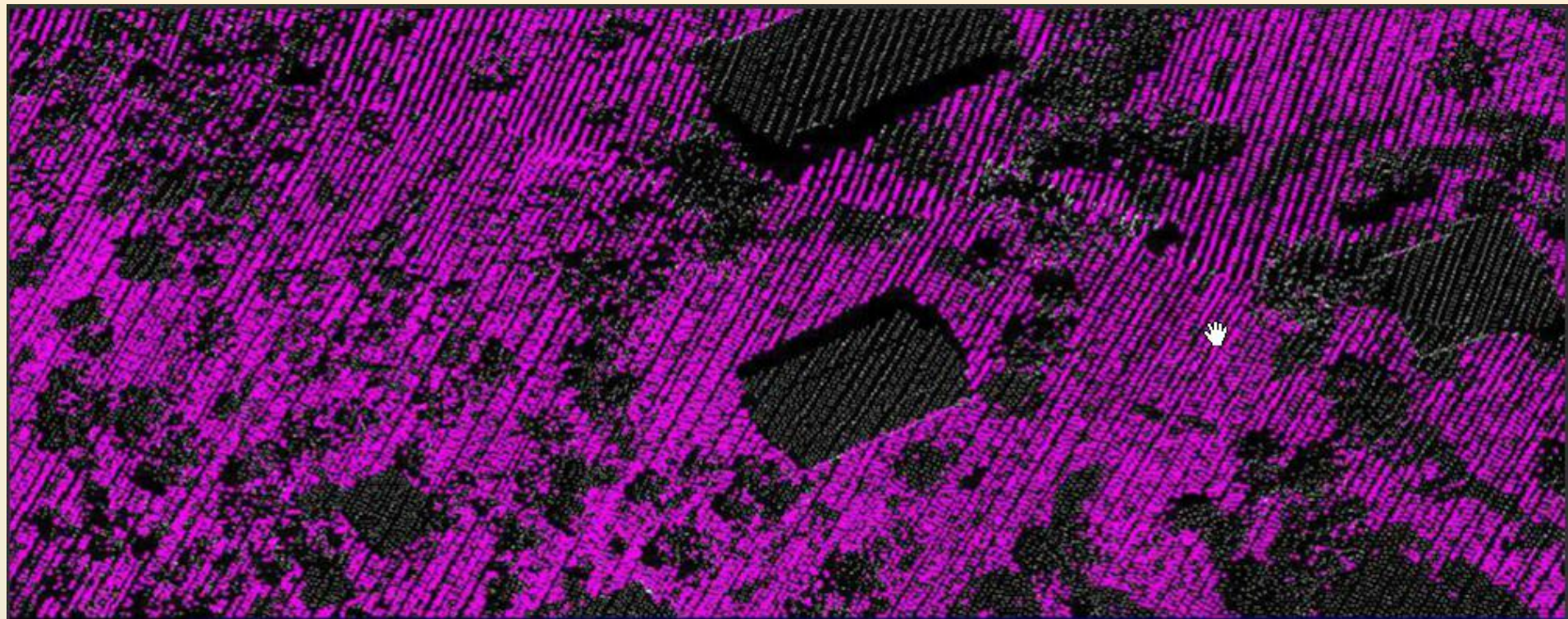


加拿大.多伦多

# 多次回波

多次回波——这是激光特有的优势





面

树林

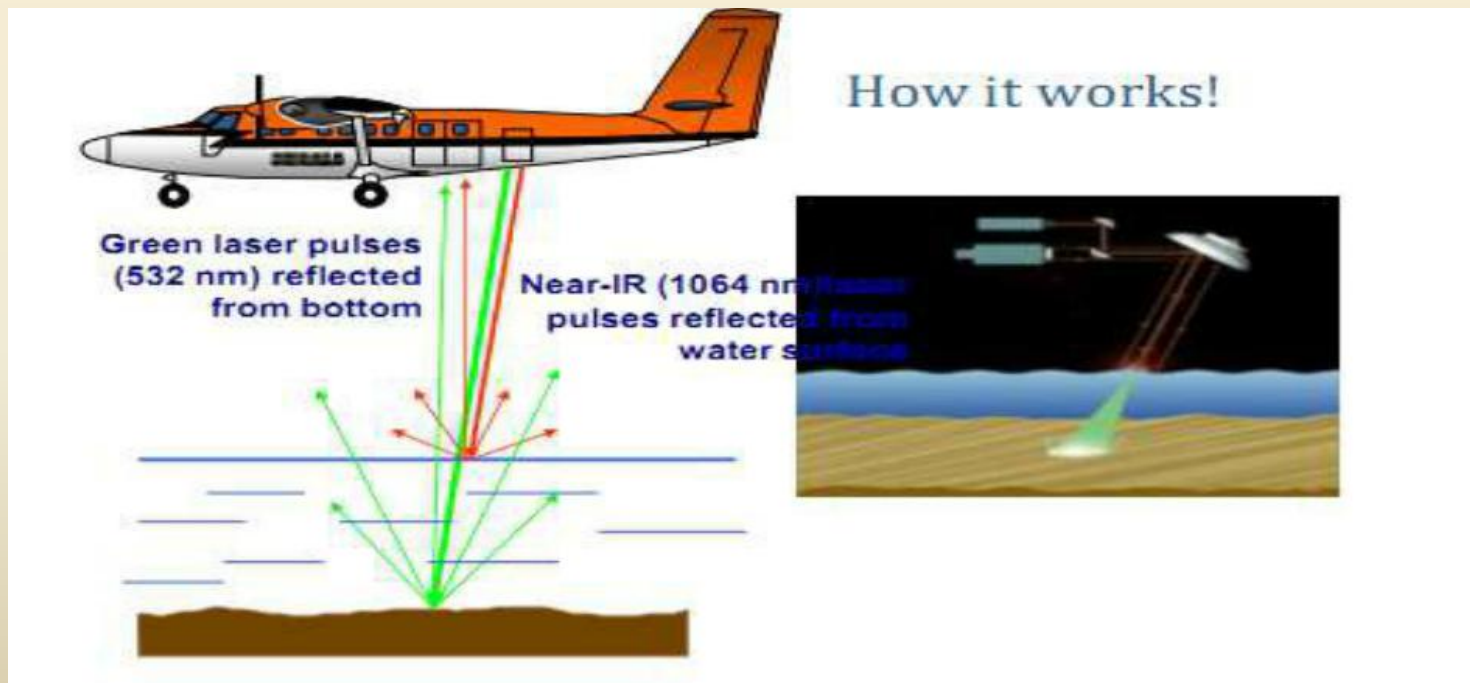
屋顶

地面



# LiDAR穿透海水

LiDAR系统向海面发射波长为1064nm的红外激光和倍频后波长为532nm的蓝绿激光，由于蓝绿激光较易直接穿透海水而红外激光不易穿透海水。



LiDAR浅海测绘原理

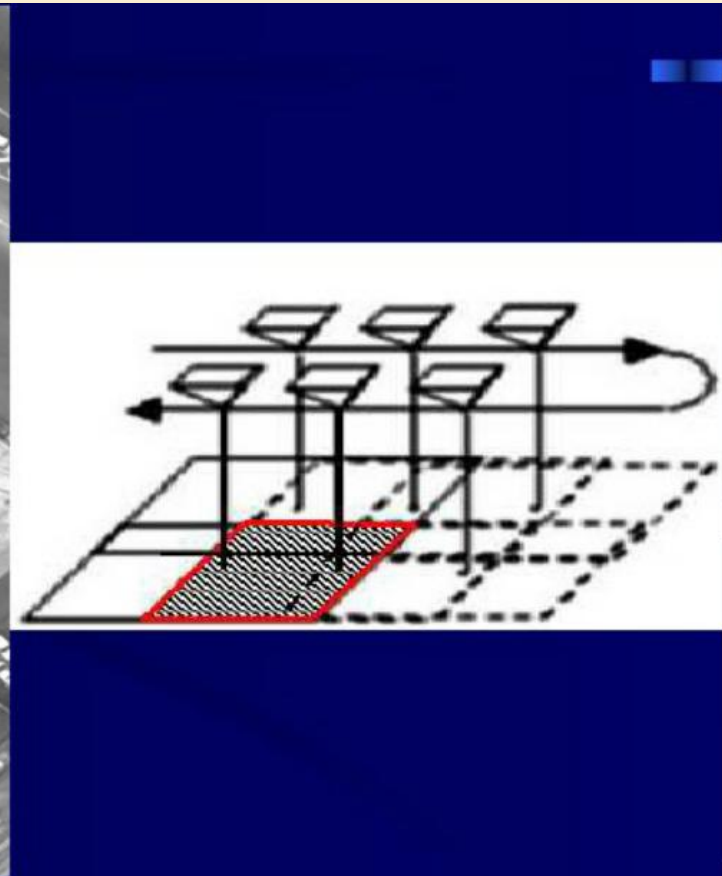
## (4) 数码相机

进入数码相机，摄影测量发生了深刻的变化

无需冲洗、无需扫描；——应急响应

无压平误差；无颗粒噪声——高精度

# 数码相机为多视觉摄影提供了实际的可能

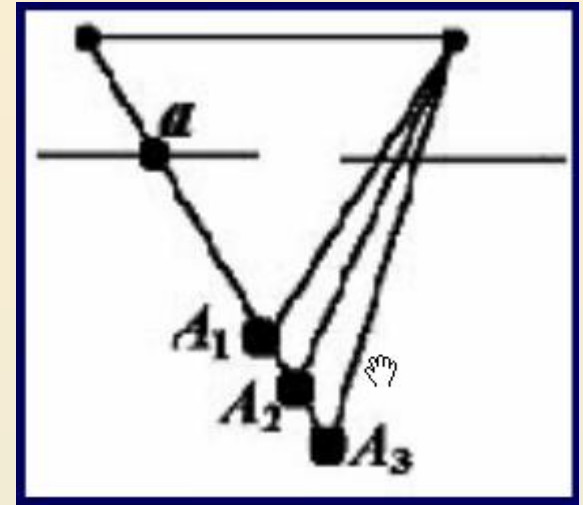


# 多视匹配——增加匹配的可靠性

## Twin view match

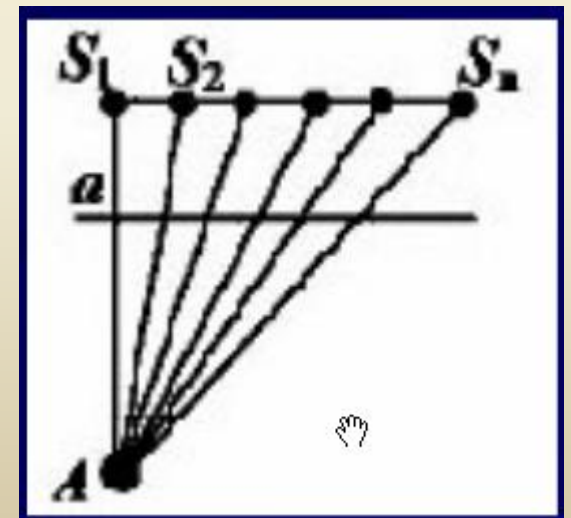
Is an ill-posed problem, there is no redundancy in each observation

(双视图匹配是一个病态的问题，在每个观察没有多余观测值)



## Multi view match

随着数字相机的应用，大重叠航空摄影已成为密集点云匹配的发展方向



## 大重叠度

重叠度 $p$ 与影像数 $n$  (同一地物出现的影像数)

$$n = \frac{1.0}{1.0 - p}$$

例如：航向80%重叠，

同一地物同时出现在5张影像上



左

左中

中

右中

右



旁向重疊为70%

上 中 下

3条不同航帶





总数达到3\*5

共计15张影像

## (5) 摄影测量与智慧城市

摄影测量为智慧城市提供基础地理空间信息



## ⑥ 三维景观图



立体  
像对



数字地面模型、正射影像图





建设中的长江三峡——三维景观图

## ⑦ 城市的三维建模



规划

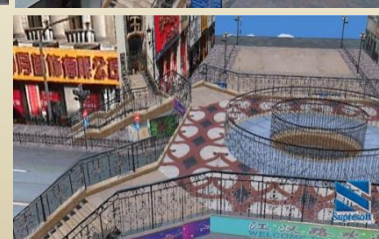
建立数码城市  
的方法很多

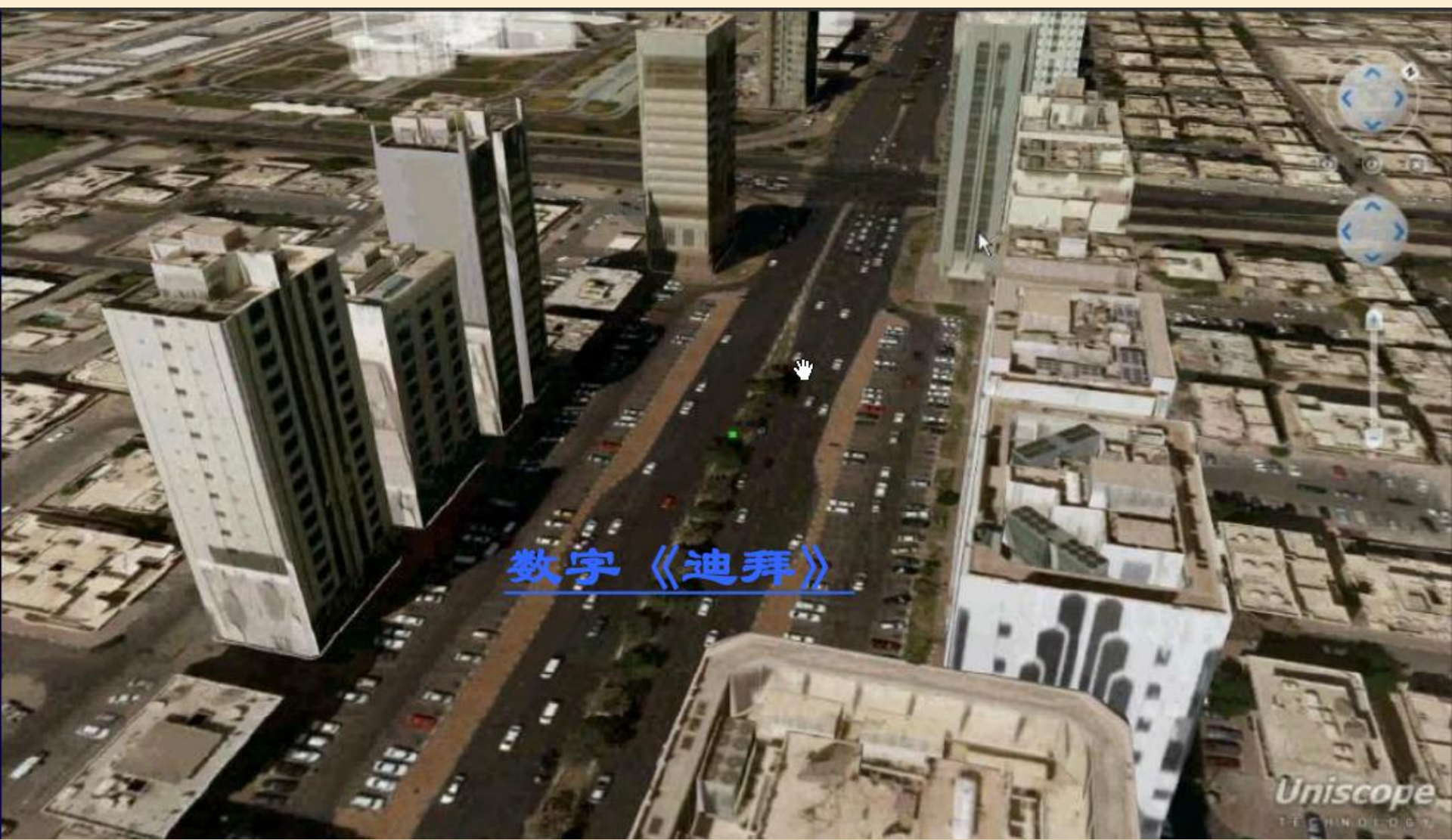


计算机界



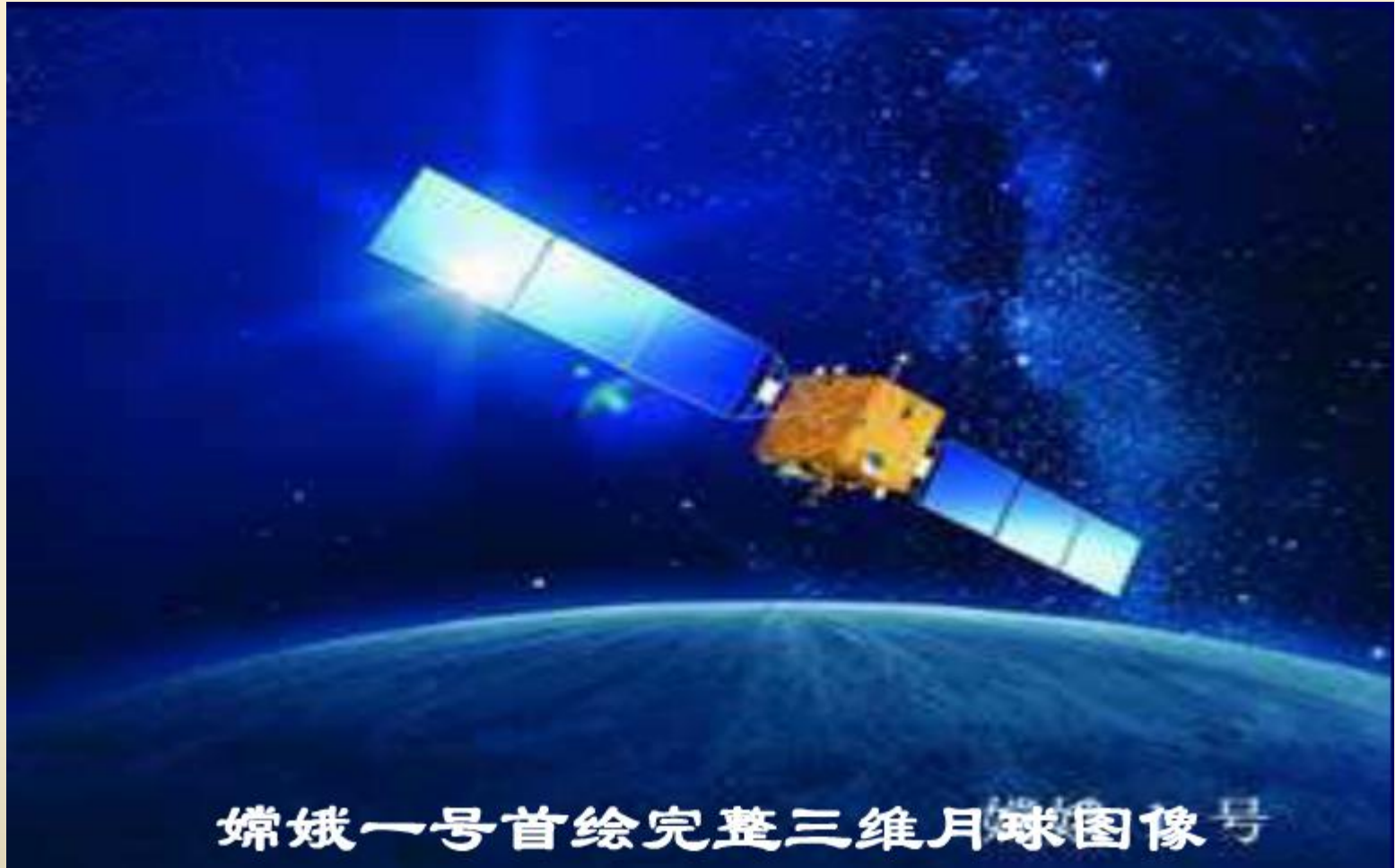
摄影测量界





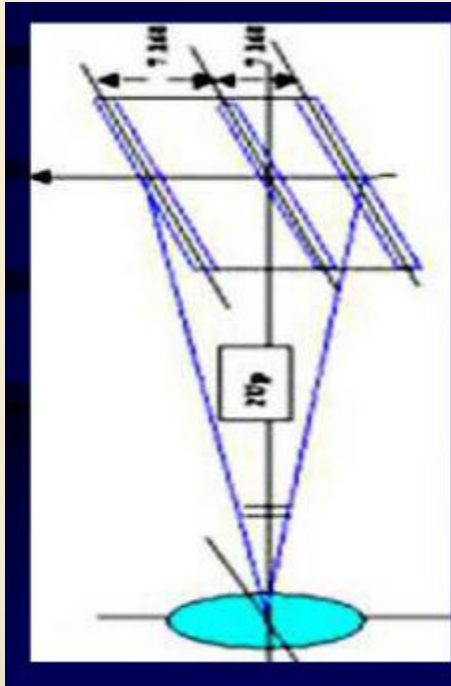
数字《迪拜》

## (8) 摄影测量与嫦娥工程

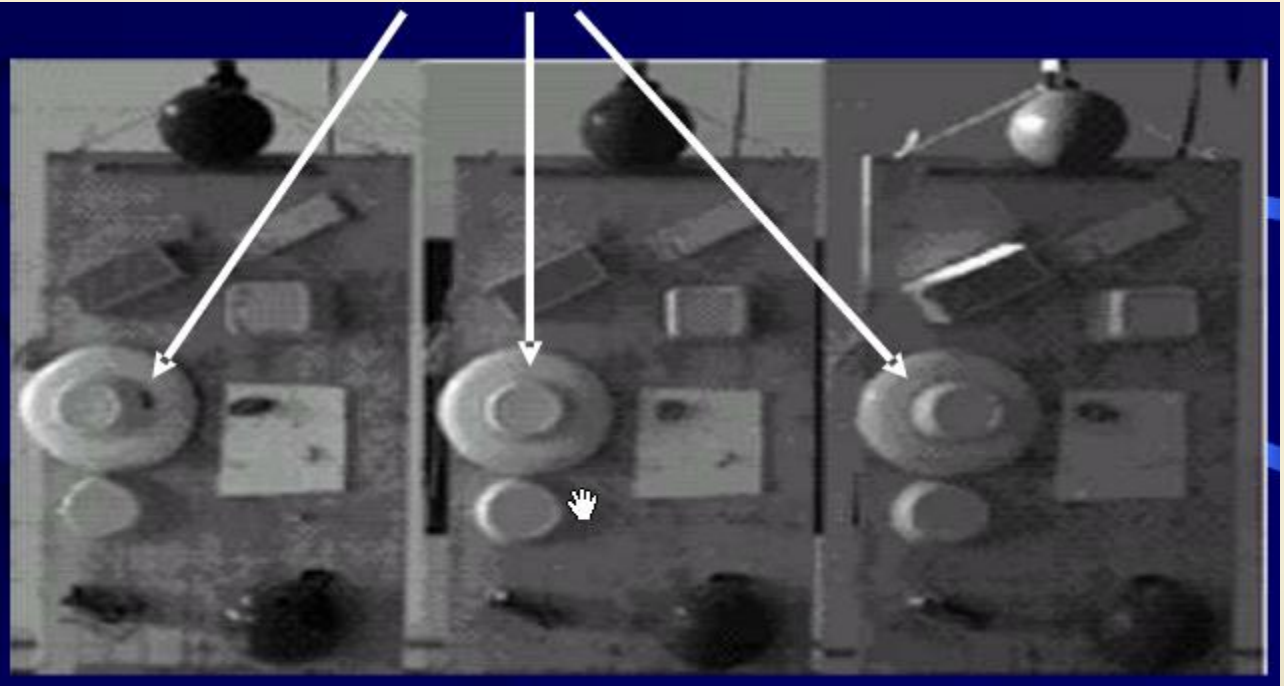




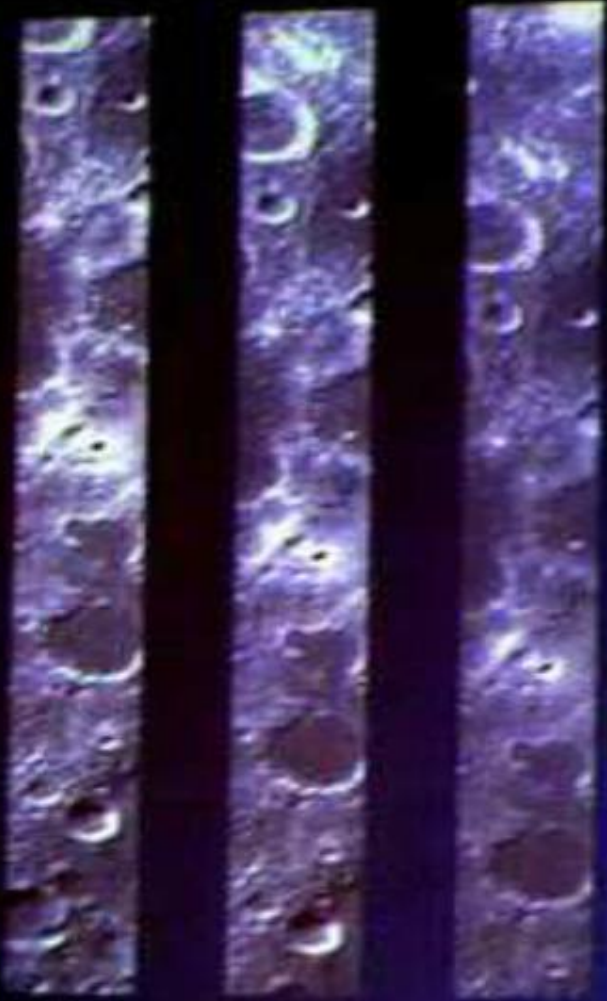
# 为获得三维月球图像在“嫦娥一号”上安装一台三线阵相机



三线阵相机



三线阵相机的影像

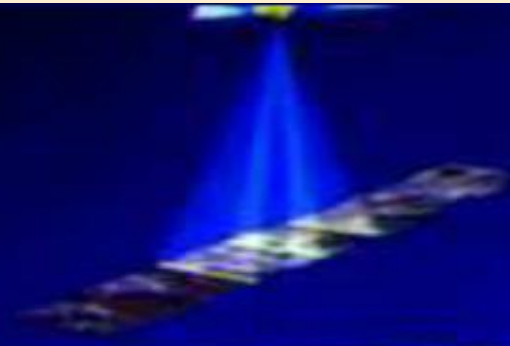


01

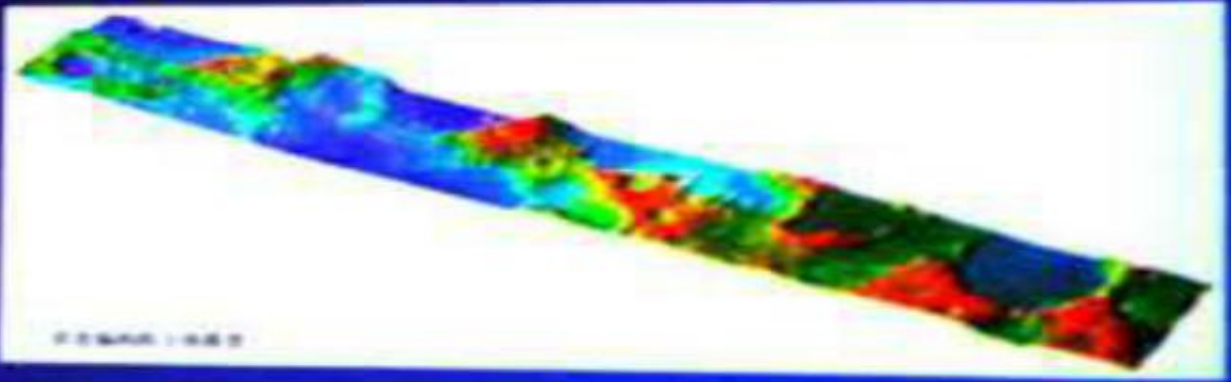
02

03

第一组月球影像 (01-03)



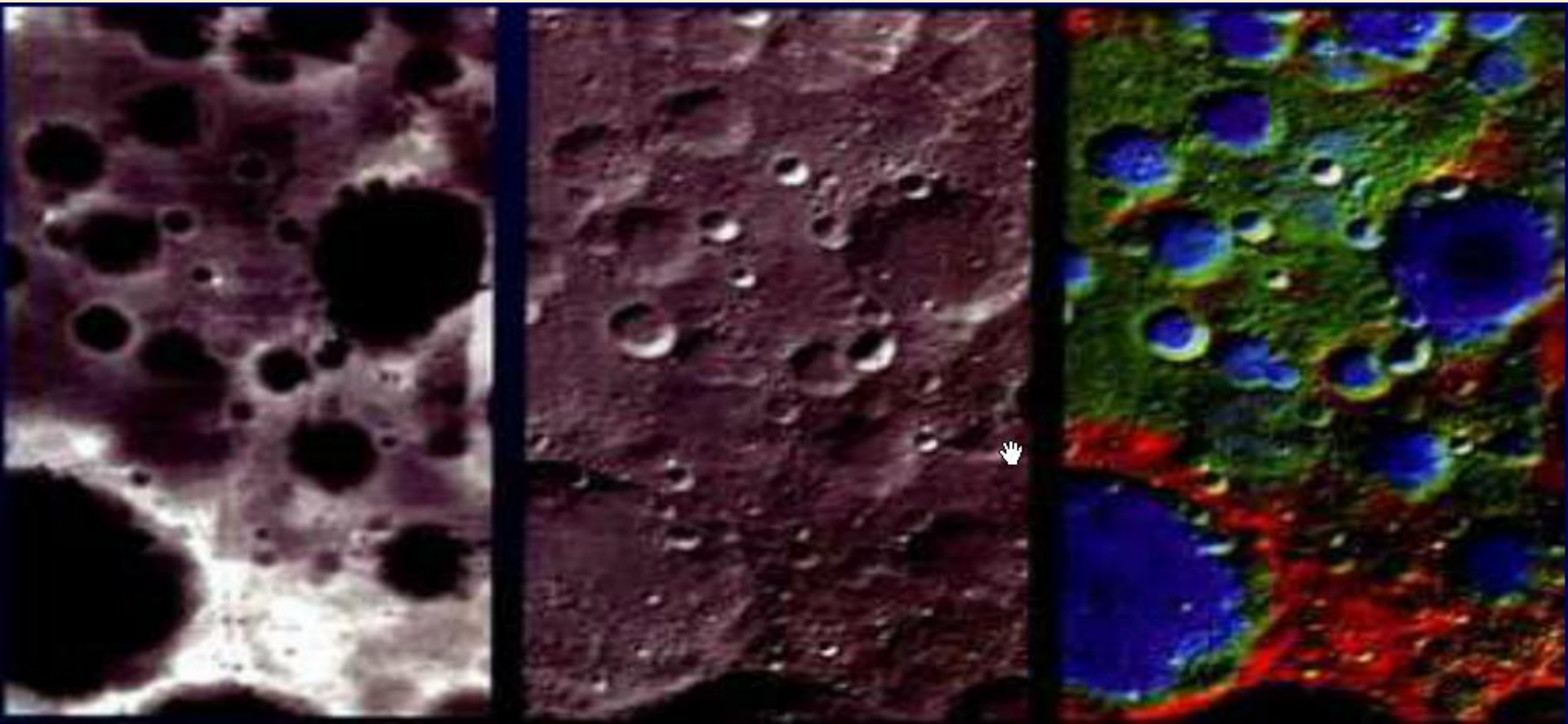
1. 地形图



2. 温度场图 (1. 地形图)



# 第一幅月面图像局部区域的假彩色地形图



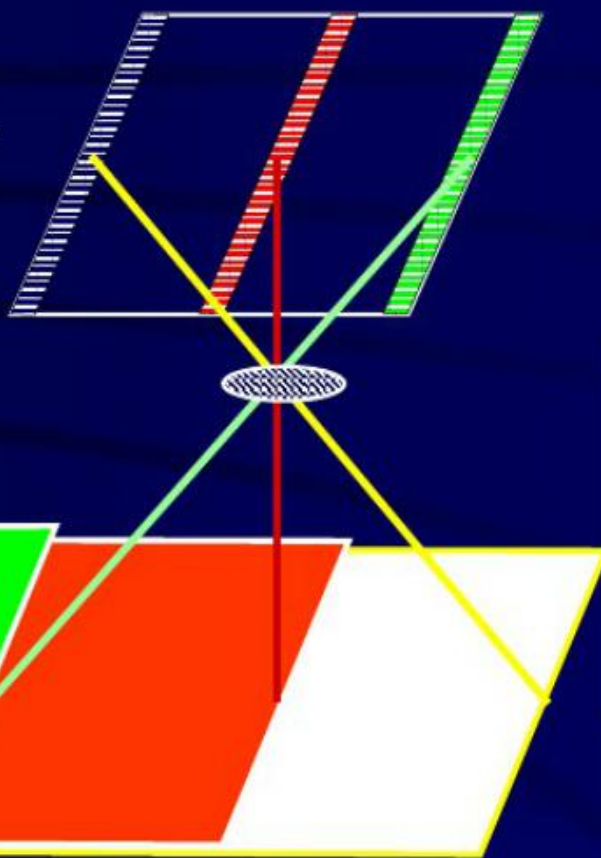
三个视角影像处理形成的数字高程模型

正规影像与数字高程模型处理形成的正射影像图

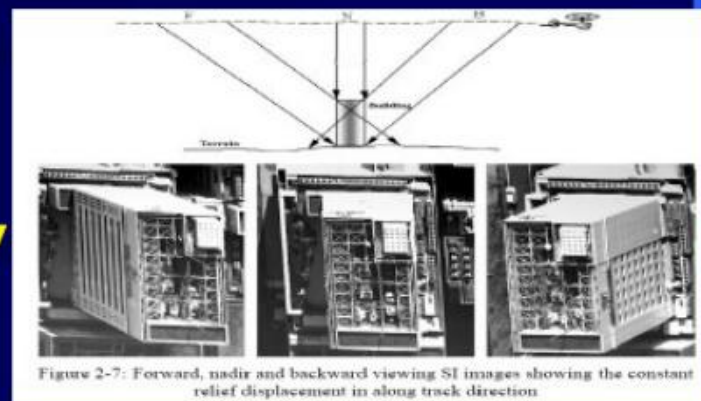
正规影像与数字高程模型处理形成的数字高程色彩编码地形图

# 航空三线阵相机——工作原理

三条线——三个眼睛的“视网膜”



从不同的视点  
观察物体



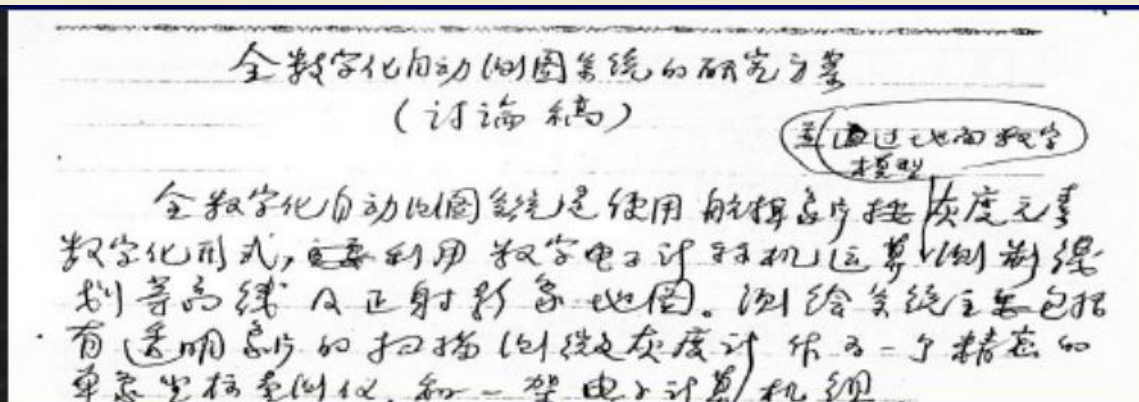
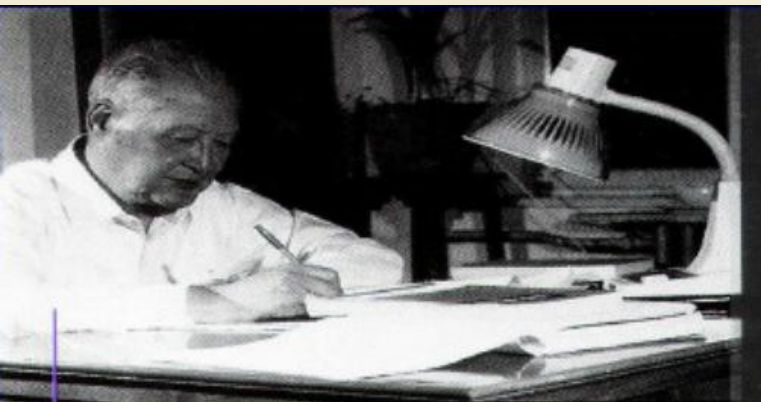
# (9) 计算机的发展

计算机的发展为摄影测量开辟了

难以预料的空间

当年，1978 王之卓先生提出

《全数字化自动测图系统》



当时，使用的TQ16——晶体管计算机

20世纪

80年代

NOVA3/12

64 K 内存

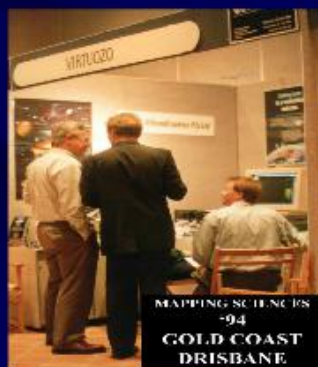
10余万美金

20世纪90年代

SGI工作站

64 M 内存

4万美金



21世纪初

PC机

4 G 内存

<1万人民币

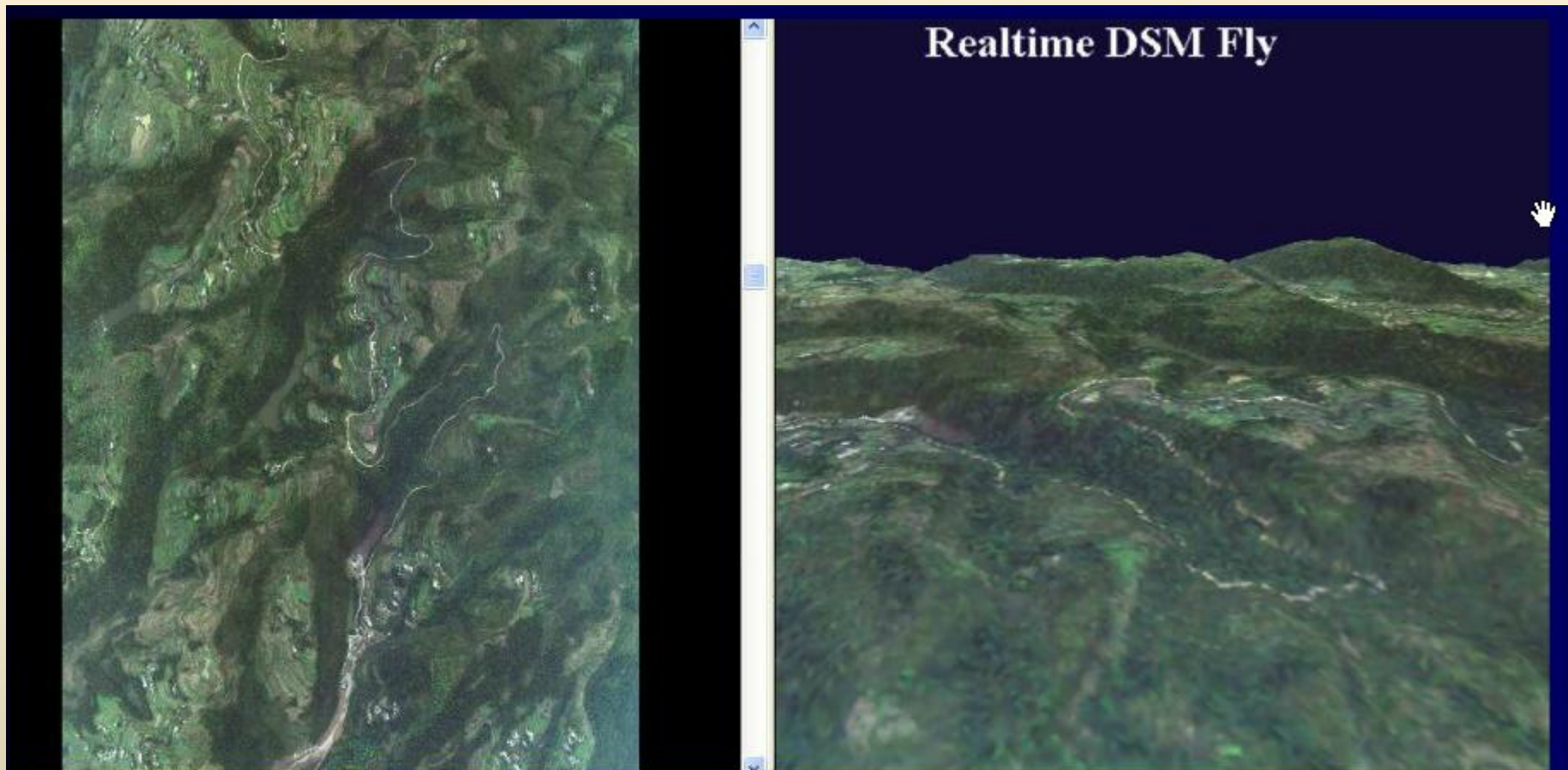


计算机网络、集群处理、特别是GPU的发展与应用必将开创当代摄影测量新的旅程



武汉大学遥感信息工程学院图像处理中心效果图

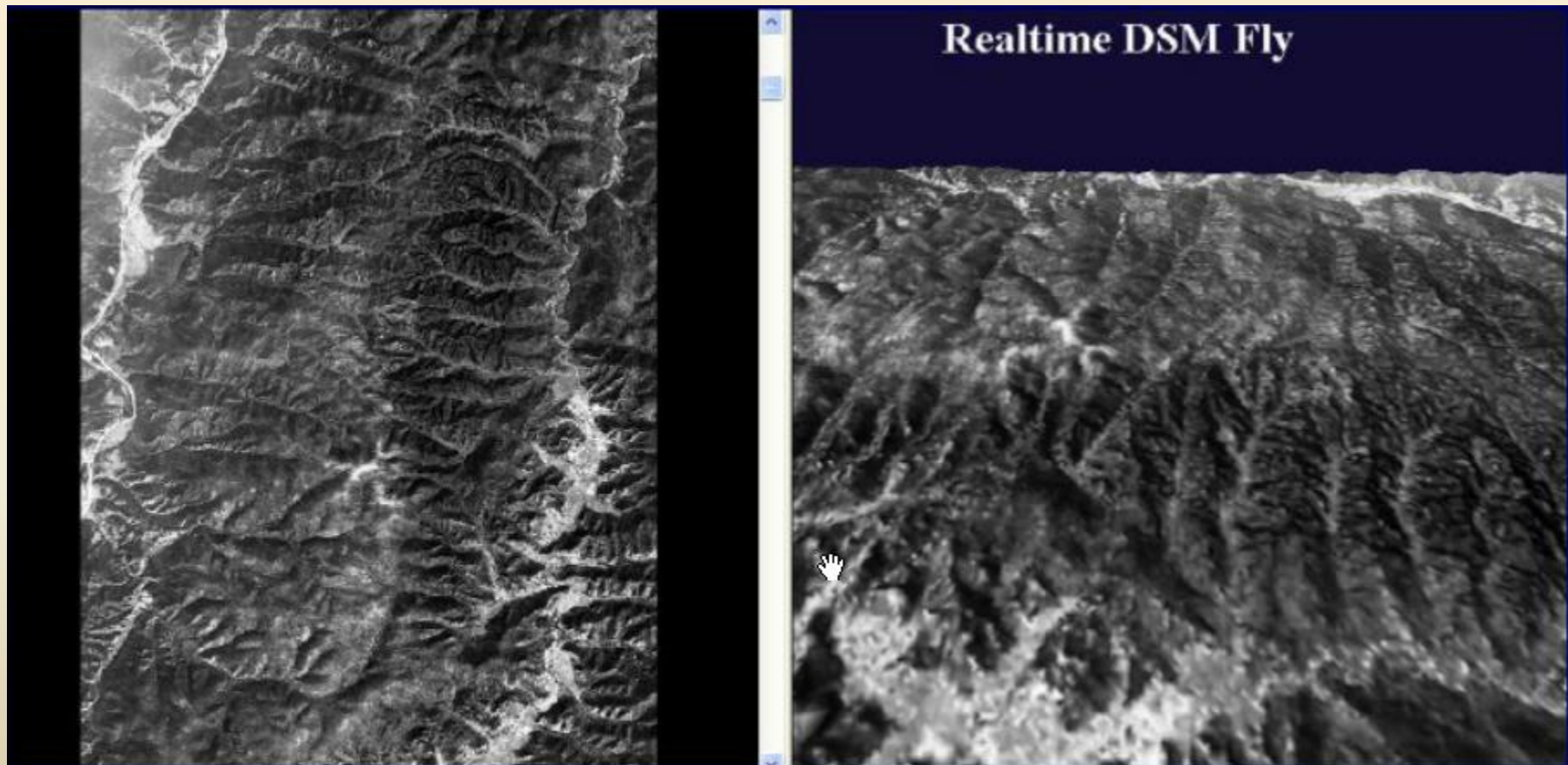
# 计算机的发展为摄影测量实时开辟了大门



航空三线阵相机 ADS 80



# 计算机的发展为摄影测量实时开辟了大门



卫星 (ZY3) 三线阵相机

# 3. 小结

1. 摄影测量是通过“影像”，对“实物”进行测量；
2. 其核心是通过二维影像构建三维实体模型，而后对模型进行测量；
3. 由于影像信息丰富，是其他任何传感器无法比拟的，因此它的应用范围必将越来越宽广；
4. 由于当代各种传感器、计算机、网络和通信的发展，为摄影测量开辟了广阔的前景；
5. 摄影测量虽然发展很快，但是其根本原理不变，欲学好摄影测量，学好基础最重要！