

# GNSS 测量原理与应用

李丽华

中国地质大学（北京）测量与导航工程系

lihuali@cugb.edu.cn

2020 春



# 第三章 卫星运动理论及星历

3.1 卫星轨道概述

3.2 卫星的无摄运动

3.3 卫星的受摄运动

3.4 卫星轨道确定

3.5 卫星星历



# 第三章 卫星运动理论及星历

3.1 卫星轨道概述  
3.2 卫星的无摄运动——开普勒参数（主点）

3.3 卫星的受摄运动

3.4 卫星轨道确定

3.5 卫星星历



# 第三章 卫星运动理论及星历

1. 卫星轨道概述  
2. 卫星运动的基本方程

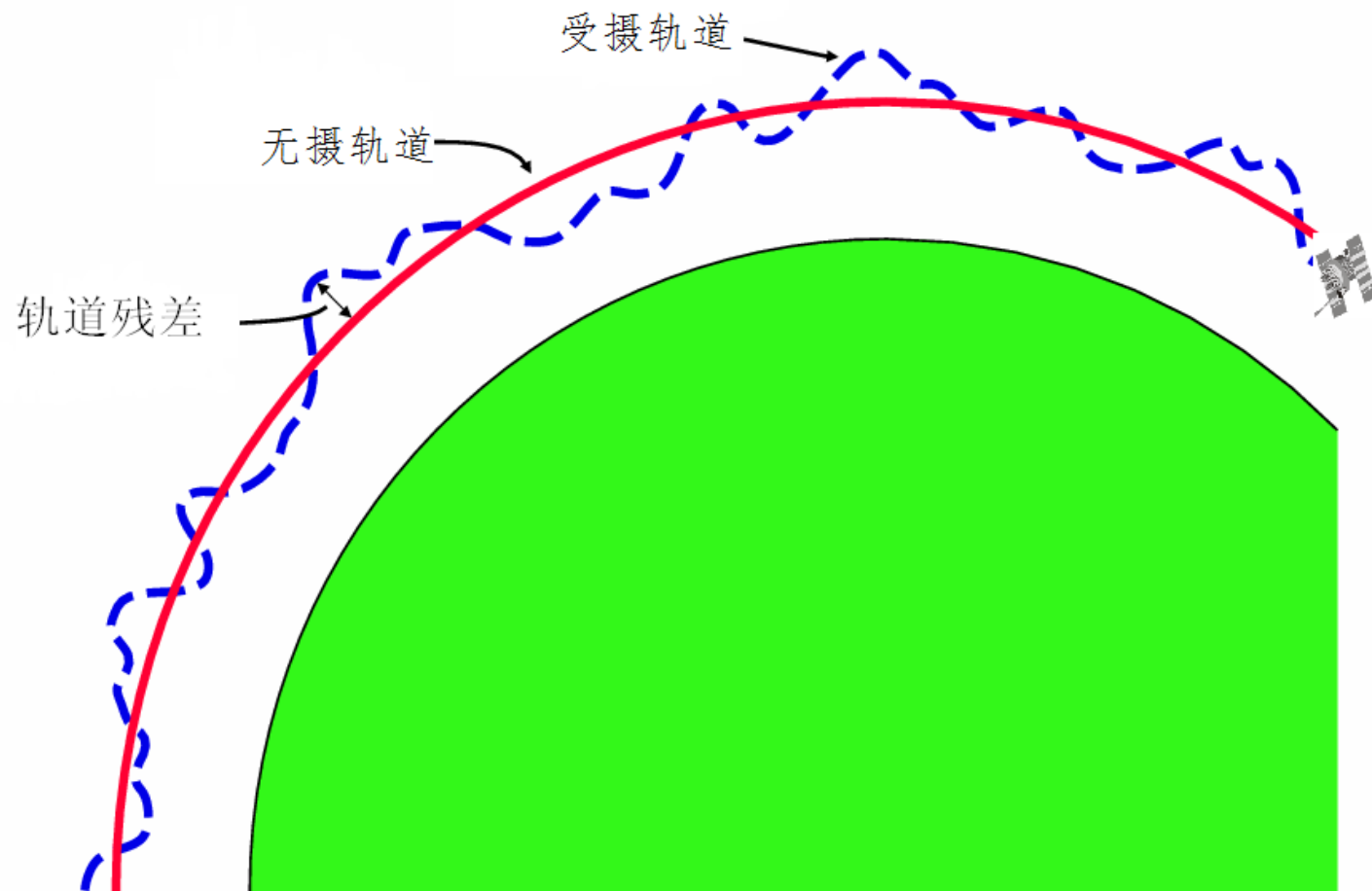
3. 卫星的受摄运动

4. 卫星轨道确定

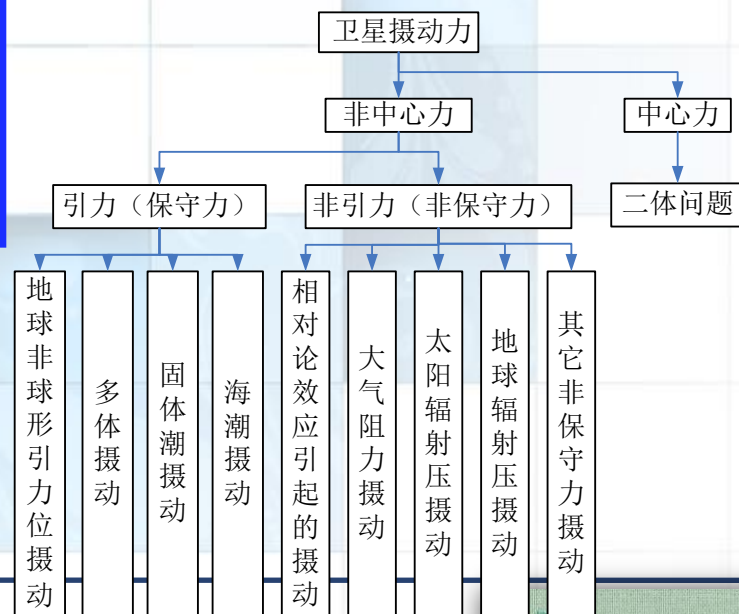
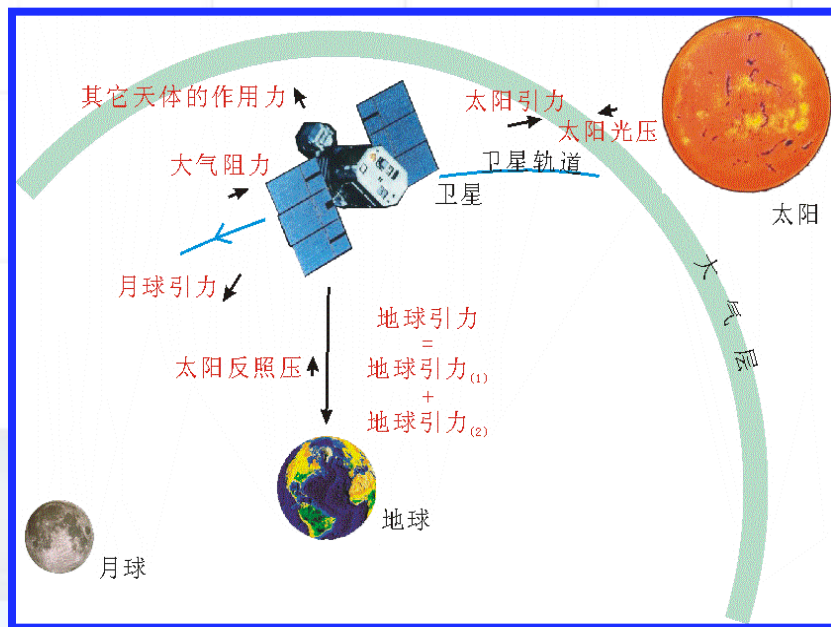
5. 卫星星历



### 3.3 受摄轨道



# 3. 受摄轨道





# 卫星轨道摄动力量级

摄动源	加速度 /(m s <sup>-2</sup> )	轨道摄动	
		3小时弧段/m	2日弧段/m
地球的非对称性			
(a) $\overline{C}_{20}$	$5 \times 10^{-6}$	$\approx 2\text{km}$	$\approx 14\text{km}$
(b) 其它调和项	$3 \times 10^{-7}$	5~80	100~1500
日月点质影响	$5 \times 10^{-6}$	5~150	1000~3000
地球潮汐位			
(a) 固体潮	$1 \times 10^{-9}$	—	0.5~1.0
(b) 海潮	$1 \times 10^{-9}$	—	0.0~2.0
太阳辐射压	$1 \times 10^{-7}$	5~10	100~800
反照压	$1 \times 10^{-8}$	—	1.0 ~1.5

# 第三章 卫星运动理论及星历

1. 卫星轨道概述

2. 卫星运动方程

3. 卫星的受力

3.4 卫星轨道确定

5. 卫星星历





# 卫星摄动轨道确定思路

$$\ddot{\mathbf{r}} = -GM_e \frac{\mathbf{r}}{|\mathbf{r}|^3} + f_1(t, \mathbf{r}, \dot{\mathbf{r}}, p) = f_0(t, \mathbf{r}) + f_1(t, \mathbf{r}, \dot{\mathbf{r}}, p) = f(t, \mathbf{r}, \dot{\mathbf{r}}, p)$$

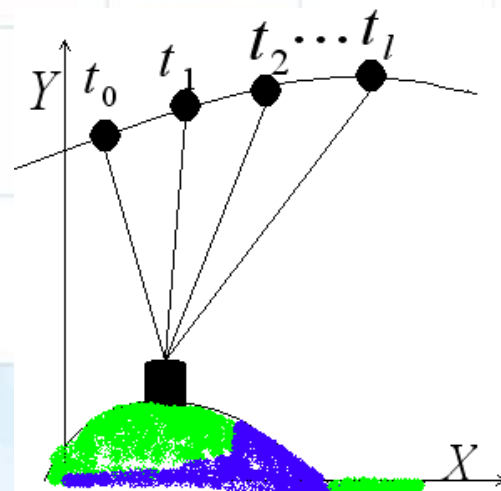
$$Y_1 = G(X_1, t_1) + \varepsilon_1 = G(X_1(t_1, t_0, X_0), t_1) + \varepsilon_1$$

$$Y_2 = G(X_2, t_2) + \varepsilon_2 = G(X_2(t_2, t_0, X_0), t_2) + \varepsilon_2$$

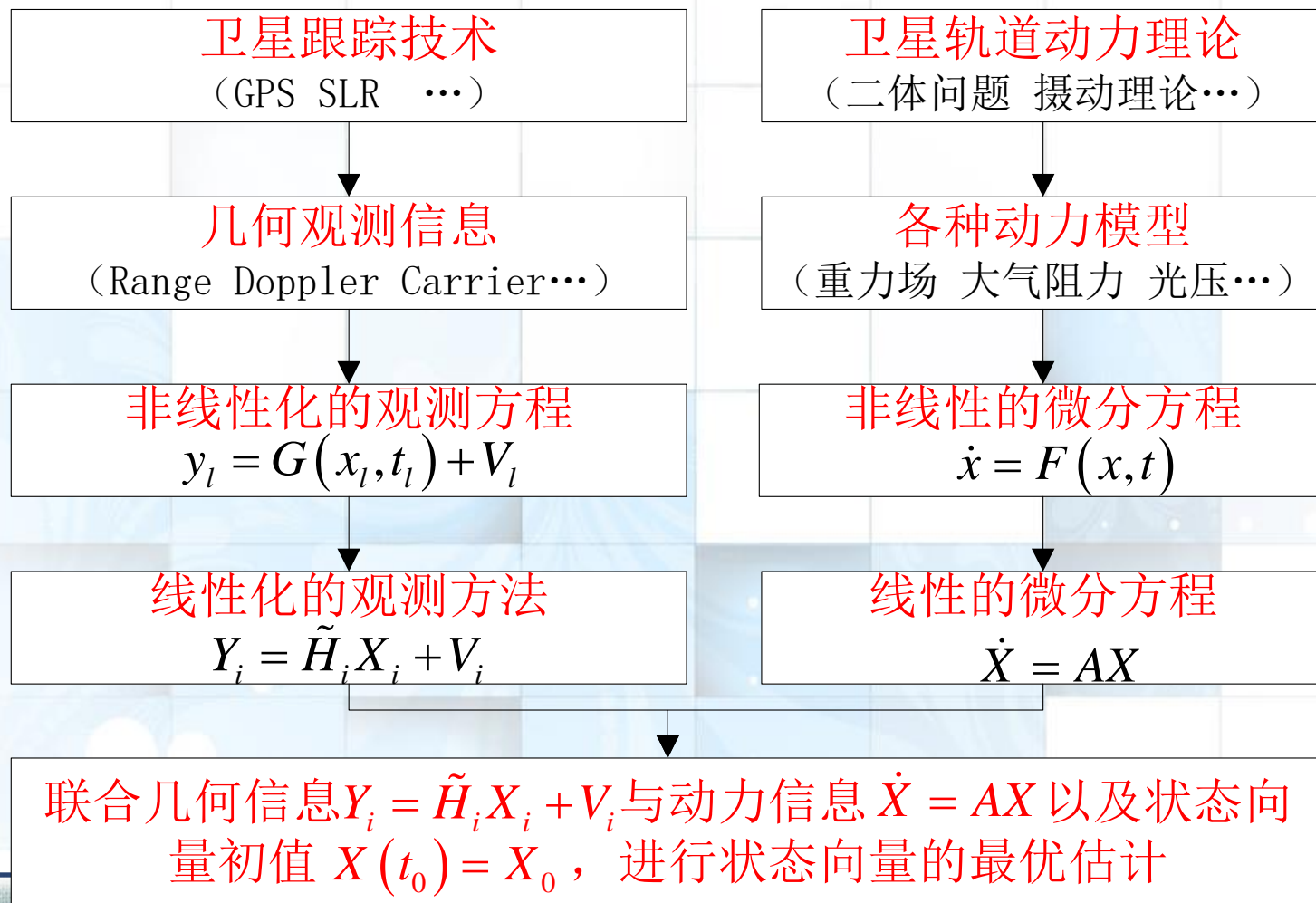
$$Y_3 = G(X_3, t_3) + \varepsilon_3 = G(X_3(t_3, t_0, X_0), t_3) + \varepsilon_3$$

$\vdots$

$$Y_l = G(X_l, t_l) + \varepsilon_l = G(X_l(t_l, t_0, X_0), t_l) + \varepsilon_l$$



# 卫星摄动轨道确定流程



# 卫星精密定轨主要研究内容

构造可靠的轨道  
摄动模型

$$\ddot{\mathbf{r}} = -GM_e \frac{\mathbf{r}}{|\mathbf{r}|^3} + \mathbf{f}_1(t, \mathbf{r}, \dot{\mathbf{r}}, p)$$

提出科学的  
定轨方法

$$\ddot{\mathbf{r}} = -GM_e \frac{\mathbf{r}}{|\mathbf{r}|^3} + \mathbf{f}_1(t, \mathbf{r}, \dot{\mathbf{r}}, p)$$
$$\mathbf{Y}_i = \mathbf{G}(\mathbf{X}_i, t_i) + \boldsymbol{\varepsilon}_i$$

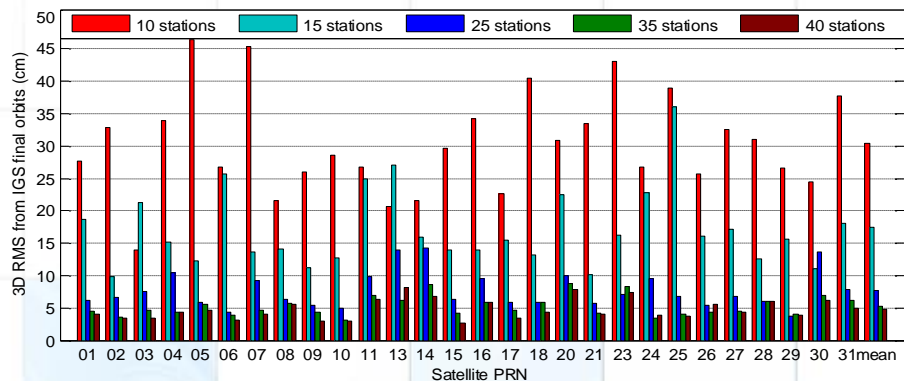
发展精密的卫星  
跟踪技术

$$\mathbf{Y}_i = \mathbf{G}(\mathbf{X}_i, t_i) + \boldsymbol{\varepsilon}_i$$

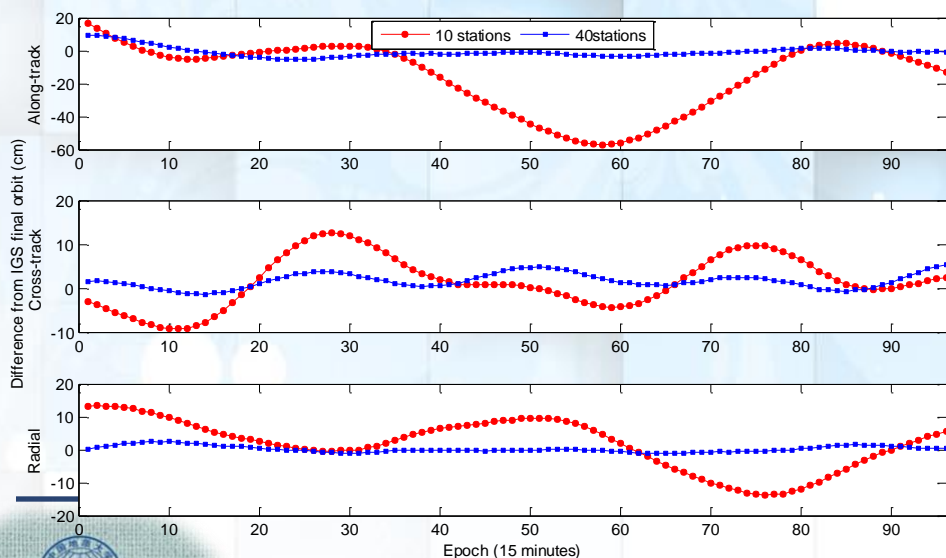
研发高精度的定轨软件



# 影响GPS卫星定轨精度的因素分析



不同数量的IGS站对GPS定轨的影响

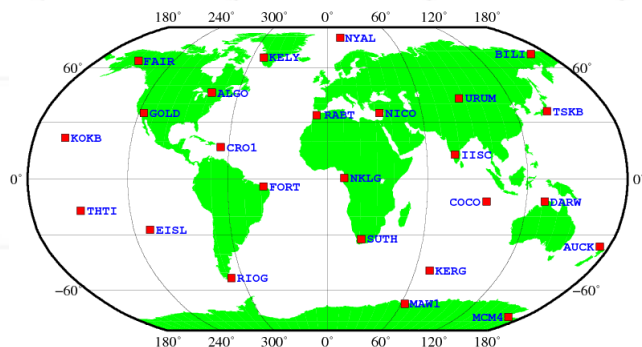


不同数量测站确定的GPS(PRN01)卫星轨道残差

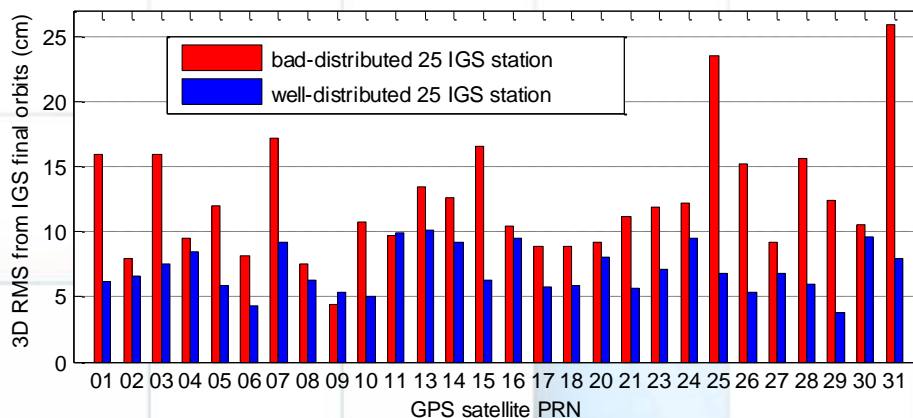
在测站均匀分布的情况下，随着测站数量的增加，定轨的精度也随着得到提高，但提高的趋势逐渐减慢。当用10个测站的时候，卫星的轨道平均精度为30.4cm，而用15个测站的时候，卫星轨道精度能提高到17.5cm。仅增加5个测站，轨道精度就得到12.9cm的提高。接着测站再增加到25个，卫星轨道平均精度变为7.7cm，10个测站再次获得了5.2cm的精度提高。当测站增至35个，轨道的平均精度为5.3，精度较25测站提高了2.4cm。最后采用40测站，卫星轨道平均精度为4.9cm，精度较35测站仅得到4mm的改善。值得指出的是，当采用40个测站时，几乎所有GPS卫星能获得5cm以内定轨精度。



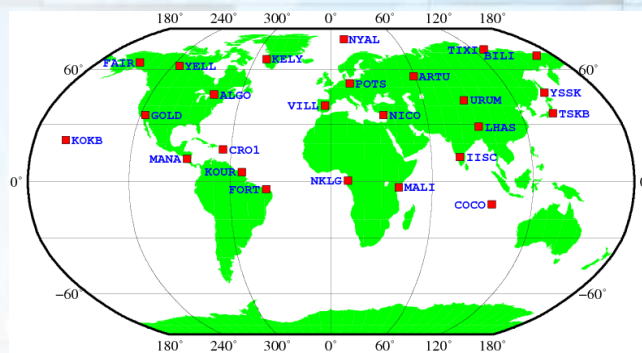
均匀分布测站的定轨精度较不均匀分布测站的精度均有明显的提高



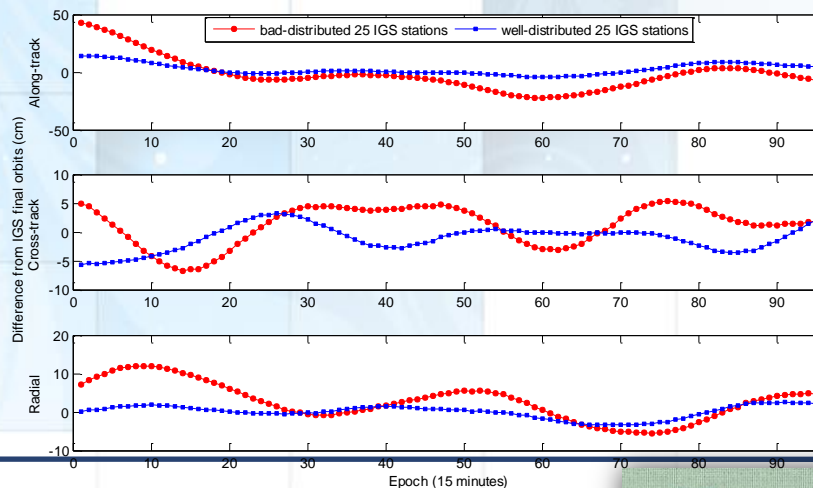
均匀分布的25个IGS测站分布图



不同测站分布情况对GPS轨道精度的影响



不均匀分布的25个IGS测站分布图



不同测站分布确定的GPS(PRN01)卫星轨道残差

