



- **1 建模的意义**
- **2 建模的主要内容**
- **3 可视化仿真模型建立**
- **4 仿真实例**



# 一 建模的意义

- 随着图像技术以及计算机图形的迅速发展，虚拟现实、计算机动画以及科学可视化已经成为计算机图形学的热门
- 建立对天体运行状态的三维实时仿真，同时结合空间卫星及空间碎片的资料，建立自然天体及人造天体的可视化分析平台，对于深空探测等也有相当大的实用意义





## 二 建模的主要内容

- 1、建立天体运动数学模型：采用星历表中天体基本数据为参数，以实时获取的系统时间为基准，根据基础天文学知识计算指定时刻天体在天球坐标系下的位置



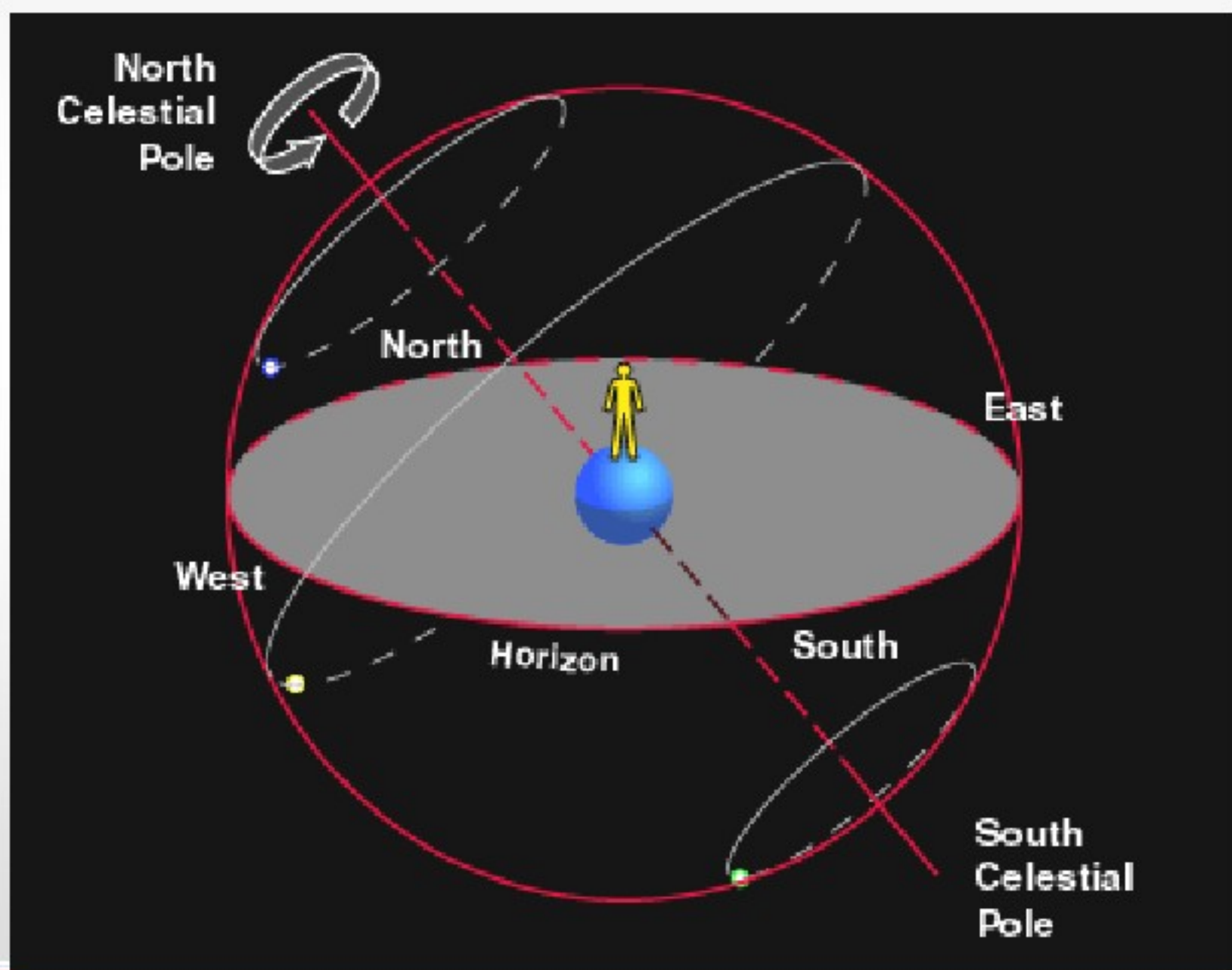
## 二 建模的主要内容

- 1、建立天体运动数学模型
  - (1) 星历表
  - (2) 星历表的获取方法
  - (3) 插值
  - (4) 岁差、章动等修正
  - (5) 时间转换



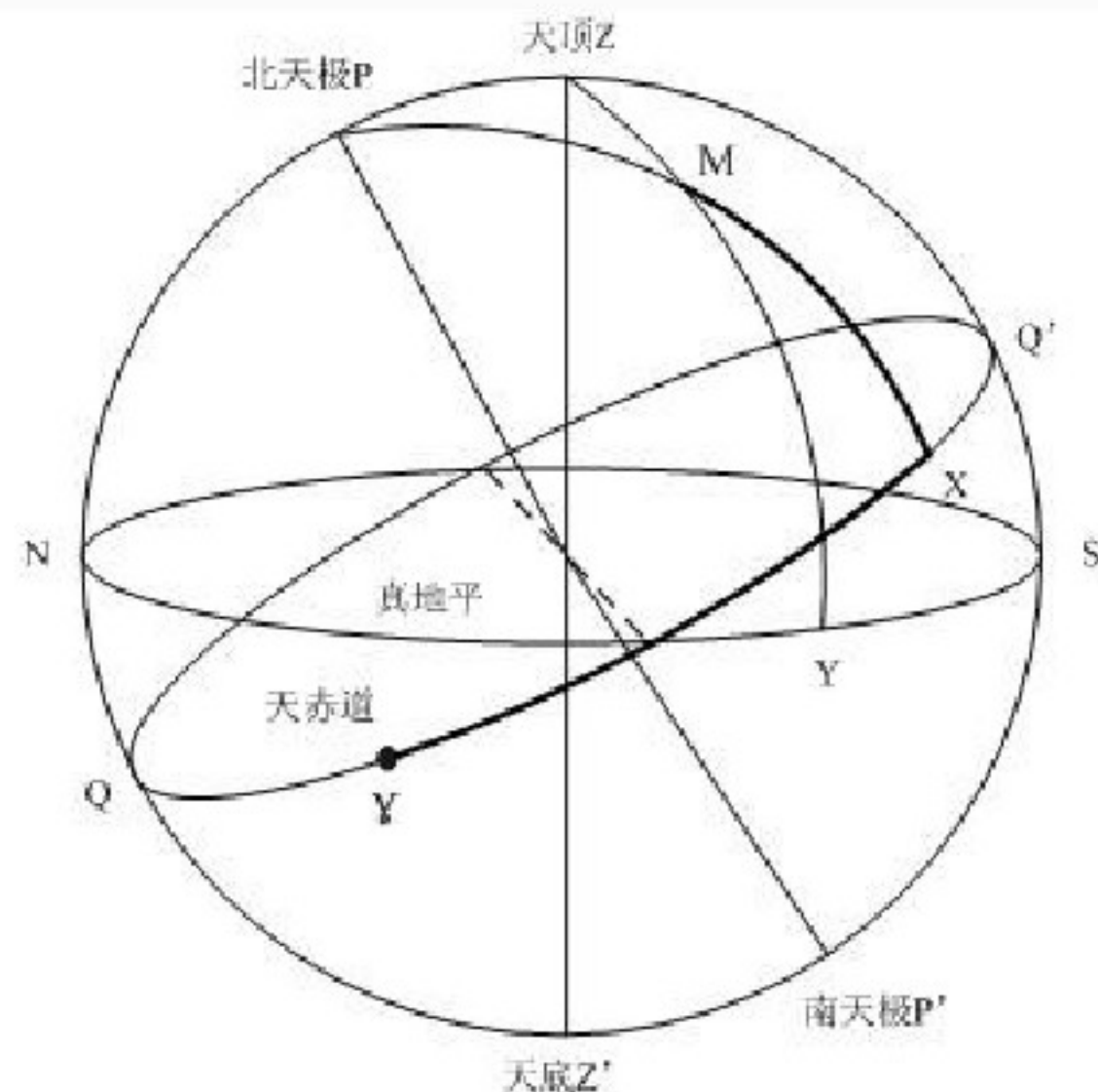
## 二 建模的主要内容

- 天球是以地心为球心，任意距离为半径的假想圆球
- 天体在天球上的位置



## 二 建模的主要内容

- 赤纬  $\delta$ : 由天赤道沿过天体的赤经圈向两极方向度量, 即  $0^\circ - \pm 90^\circ$
- 赤经  $\alpha$ : 由春分点沿天赤道逆时针方向量至天体所在赤经圈,  $0^h - 24^h$



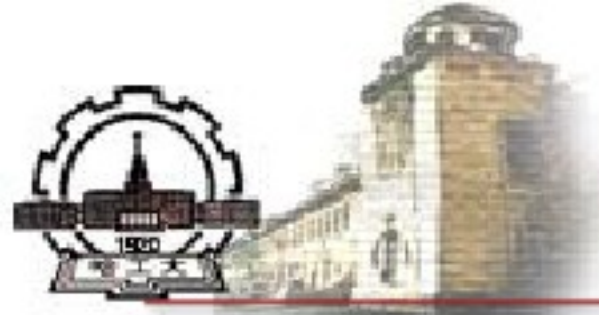




## 二 建模的主要内容

- **(1) 星历表：依次列出天体在不同时刻所在位置**的表，包括赤经、赤纬等
- **JPL试验室提供的星历表已经广泛应用于行星探测、太空导航计划、大部分天文精密观测的分析、归算以及各种引力定律的检验等。在行星、卫星、恒星的观测和归算方面JPL星历都有不可替代的作用**





## 二 建模的主要内容

### 星历表简介

星历表名称	是否包含章动	时间跨度	详细信息
DE403	包含章动但不包含天平动	1949.12.14~2050.01.02	ASCII格式, 大小4.1Mb, 跨度25年的文件 UNIX格式, 大小6.1Mb, 跨度50年的二进制文件
DE200	包含章动但不包含天平动	1599.12.09~2169.3.31	ASCII格式, 大小5.2Mb, 跨度20年的文件; UNIX格式, 大小3.8Mb, 跨度50年的二进制文件
DE405	包含章动和天平动	1949.12.14~2050.01.02	ASCII格式, 大小4.7Mb, 跨度25年的文件; UNIX格式, 大小6.4Mb, 跨度50年的二进制文件
DE410	最新JPL星历, 包含章动和天平动	1901~2019	ASCII格式, 大小6.0Mb, 跨度20年的文件
DE404	新JPL长星历, 不包含章动和天平动	-3000.12.23~3000.02.06	UNIX格式, 大小10Mb, 跨度6000年的二进制文件





## 二 建模的主要内容

- (2) 分析利用不同的方法获取星历表数据的计算精度和耗时，选用合适的方法调用星历表
- 方法一：直接读取星历表法，即程序需要从外界获取相应格式的星历表，当用户输入相应的时间和天体序号之后，程序获取相应的天体运行数据，然后进行插值或拟合操作，并将结果输出
- 方法二：严格降阶计算法，即将嵌入的星历表直接进行拟合当获取某一时刻值后直接将实时的参数值输出



## 二 建模的主要内容

- **(3) 插值：由于星历表提供的数据是天体位置信息的离散数据要获得实时的天体位置信息需要获得天体运动的连续的坐标函数**
- **拉格朗日插值法**
- **切比雪夫多项式拟合法**





## 二 建模的主要内容

- (4) 岁差、章动
- 太阳、月亮对地球赤道的引力作用
- 北天极会绕北黄极顺时针旋转
- 表征天体位置的坐标值也随之不断变化

• 修正矩阵:

$$P = R_z(-z)R_y(\theta)R_x(-\xi_0)$$

$$N = R_x(-\varepsilon)R_z(-\Delta\psi)R_x(\varepsilon_0)$$



## 二 建模的主要内容

- (4) 光行差
- 观测者具有一定的运动速度而引起天体方向的变化现象
- 修正矩阵:

$$\begin{cases} \alpha = \alpha_3 + C \cos \alpha_2 \sec \delta_3 + D \sin \alpha_3 \sec \delta_3 \\ \delta = \delta_3 + C(\tan \varepsilon \cos \delta_3 - \sin \alpha_3 \sin \delta_3) + D \cos \alpha_3 \sin \delta_3 \end{cases}$$





## 二 建模的主要内容

- (5) 时间转换
- 天文学中一般采用儒略日(TDB)来计算相应的赤经和赤纬，为利用星表计算天体视位置，将获取的系统时间UTC转化为TDB的计算如下：

$$JD = 367 \times y - INT(7 \times (y + INT((m + 9) / 12) / 4)) \\ + INT(275 \times m / 9) + d + 1721013.5 + t / 24$$



## 二 建模的主要内容

- 2、实时绘制天体运行视景：由数学模型计算得到的天体三维坐标，采用 OpenGL 底层函数实时绘制星空背景；启用天体运动计时器，实时计算天体视位置更新星空视景，实现太空虚拟场景的实时漫游





## 二 建模的主要内容

### 2、实时绘制天体运行视景

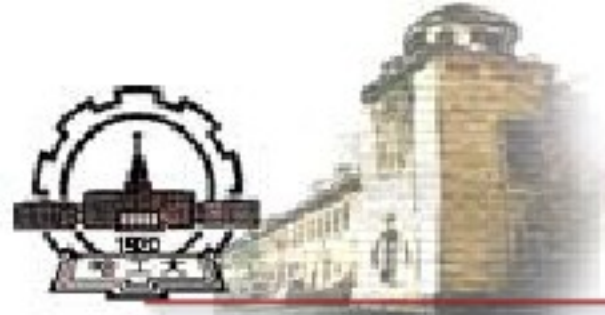
- 坐标变换：坐标原点
- 模型变换：移动、旋转物体
- 视图变换：改变观察点的位置、方向
- 投影变换：定义画面如何映射到计算机屏幕

## 二 建模的主要内容

- 3、实现星空视景模拟，将天体的坐标信息存入显示列表后实时显示，为天体贴图和增加渲染效果，使天体的运动和三维显示都更加逼真

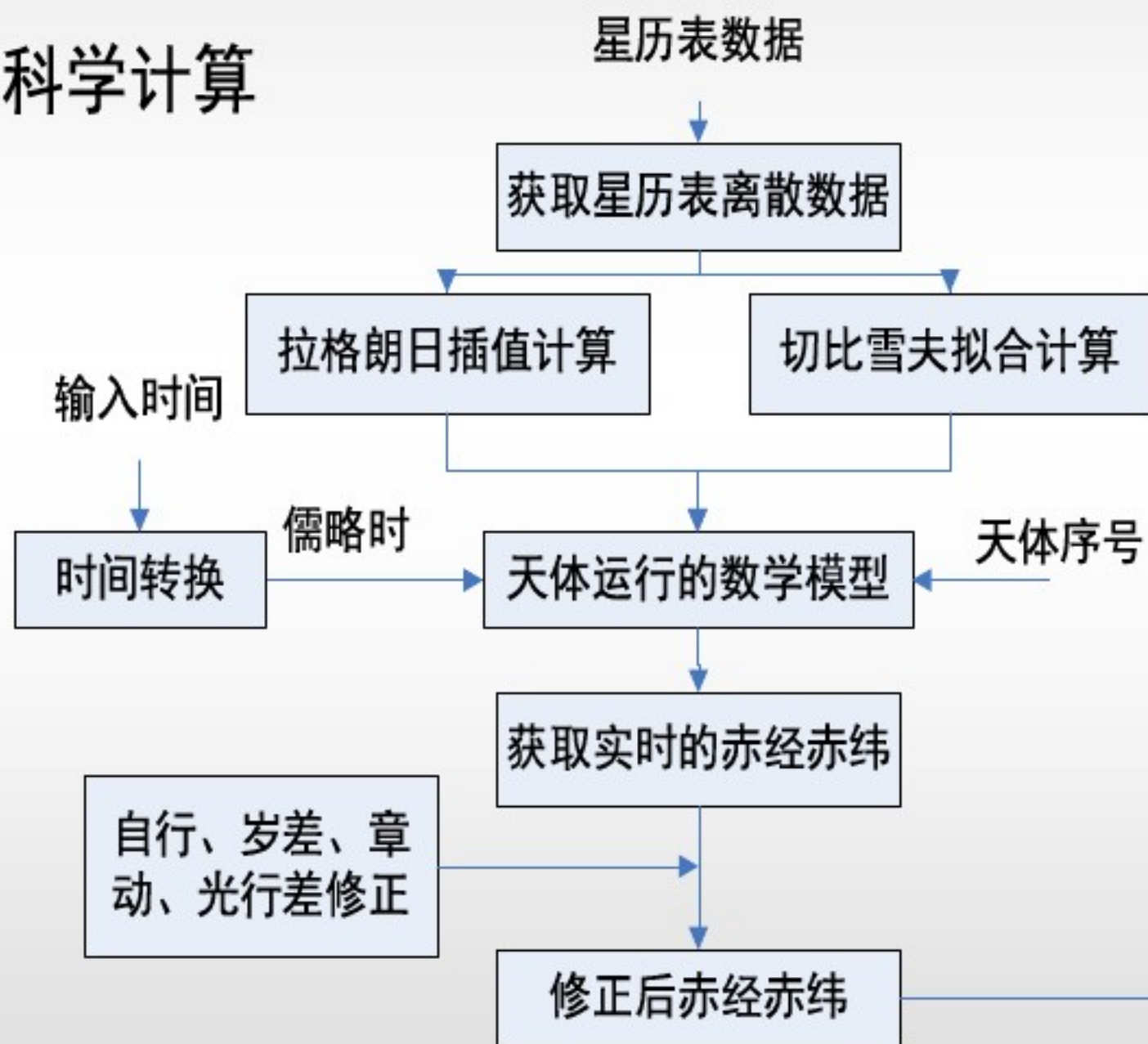




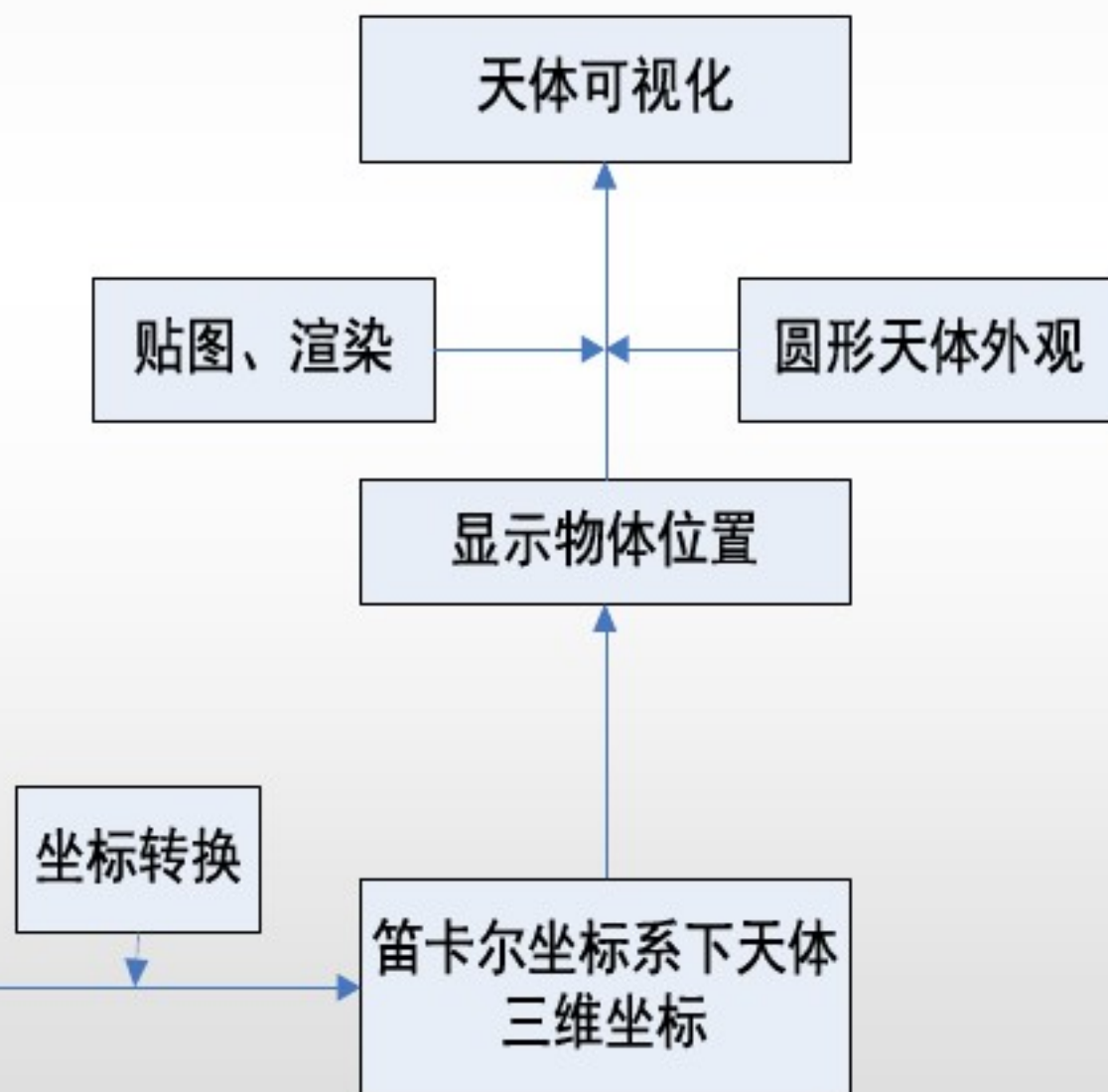


## 三 可视化仿真模型建立

### 科学计算



### 可视化仿真



## 四 仿真实例

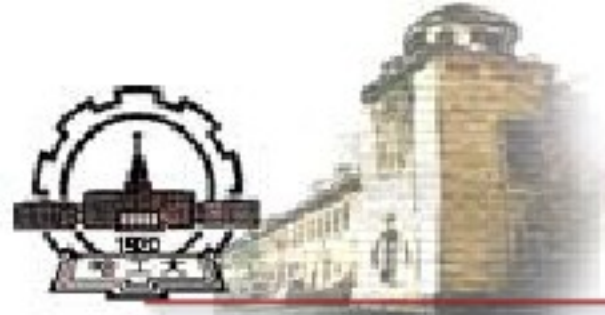






## 四 仿真实例

- **打破传统的科学计算和可视化结果分离的模式**
- **体现了虚拟现实的耗时短、计算快的特点**
- **将天体位置实时显示，为探月轨道的规划和深空探测可视化提供了极大的方便**



哈爾濱工業大學

HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

**The End**

**Thank you**