

# GPS信噪比特性及其用于积雪厚度监测研究



张双成 张京江

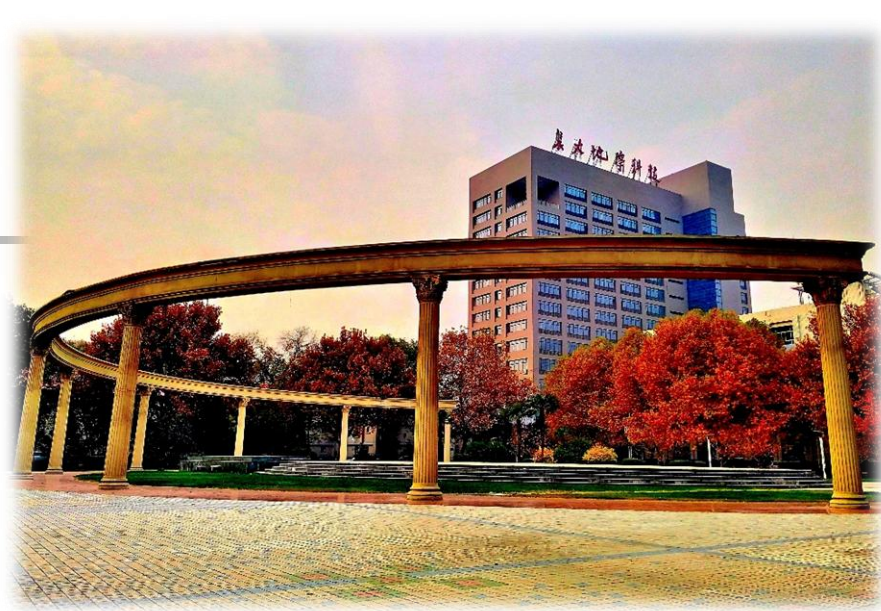
长安大学 地测学院

北京城市气象研究所



南京，江苏，2017.4.27

2017年全国气象卫星遥感应用技术交流会



**长安大学是教育部、交通运输部、国土资源部、住房和城乡建设部和陕西省政府共建的国家“211工程”重点建设大学，是国家“985工程”优势学科创新平台建设高校。**



# 报告内容

---

**1. 研究背景**

**2. 基本理论**

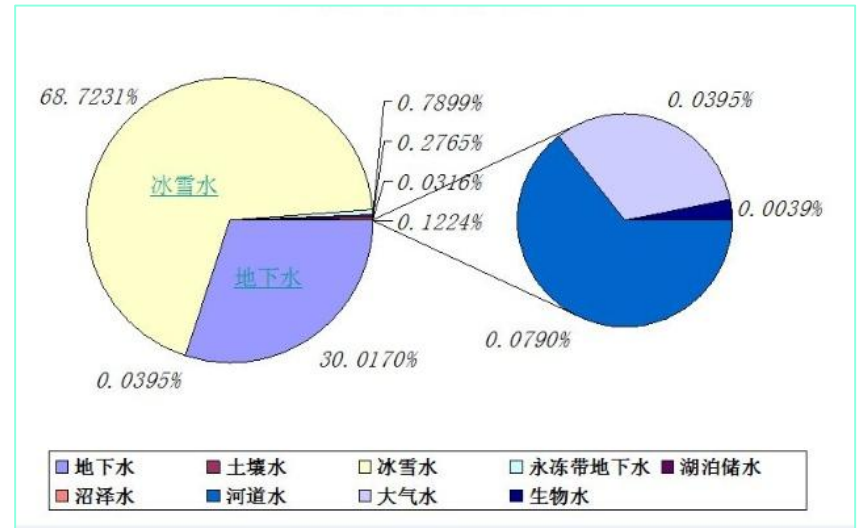
**3. 算例分析**

**4. 结论展望**

# 研究背景

## 积雪监测的重要性：

- 重要的淡水资源储备，占全球可饮用水约68%；
- 是影响全球气候的重要因素之一；
- 对积雪的监测可以提高雪灾多发区的积雪监控能力；
- .....



# 研究背景

## 现有降雪厚度监测方法

### 传统人工监测：

- 监测精度高
- 监测站点离散、工作量大
- 精度受站点分布影响较大



### 自动雪深探测传感器：

- 提高了工作效率
- 测站分布不均、数量有限
- 时空分辨率较低

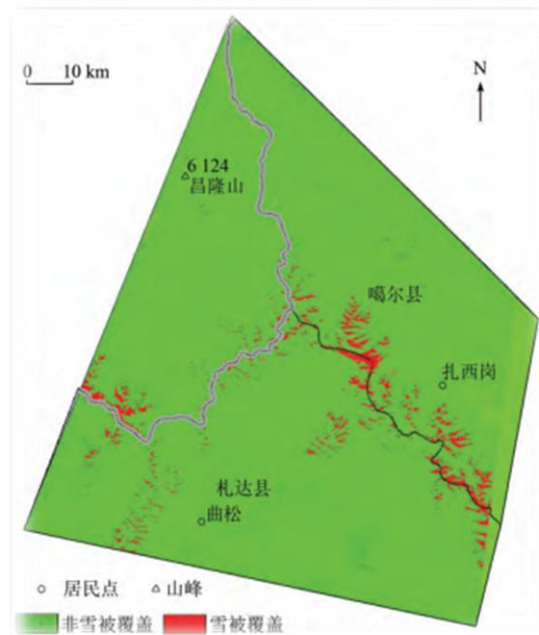
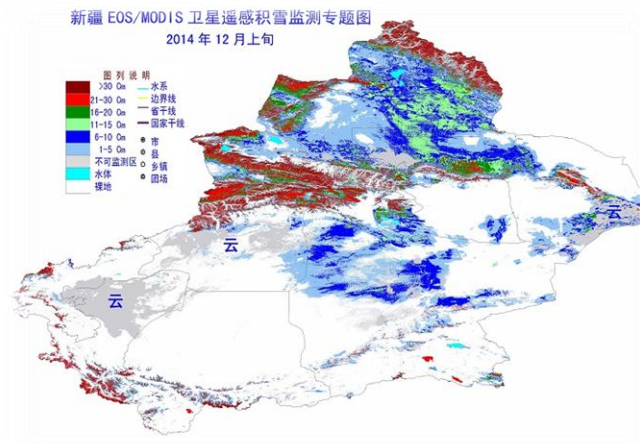
# 研究背景

## 卫星遥感监测：

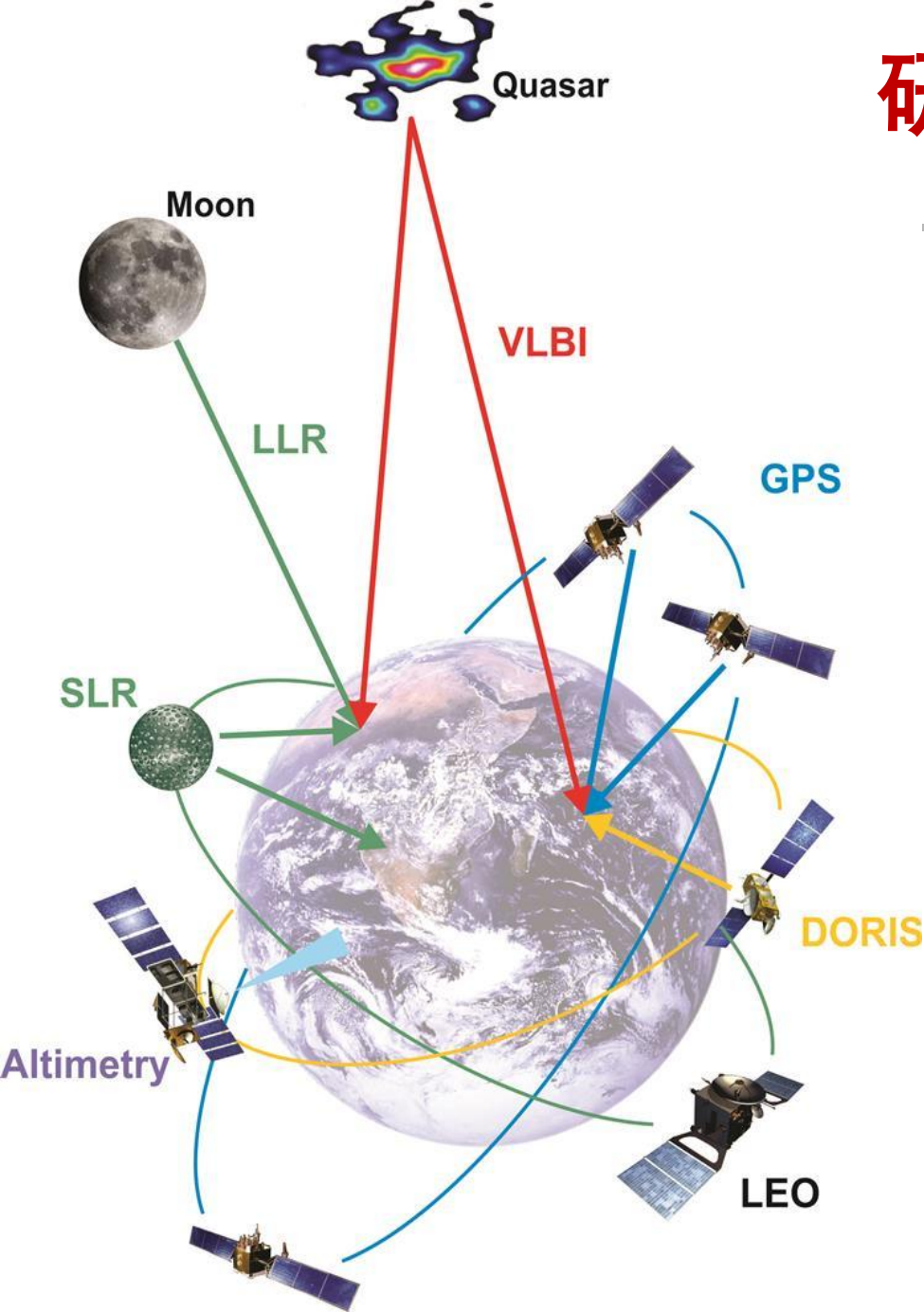
➤ 时空分辨率高

➤ 积雪信息提取受地形、云层和大气折光等因素影响较大。

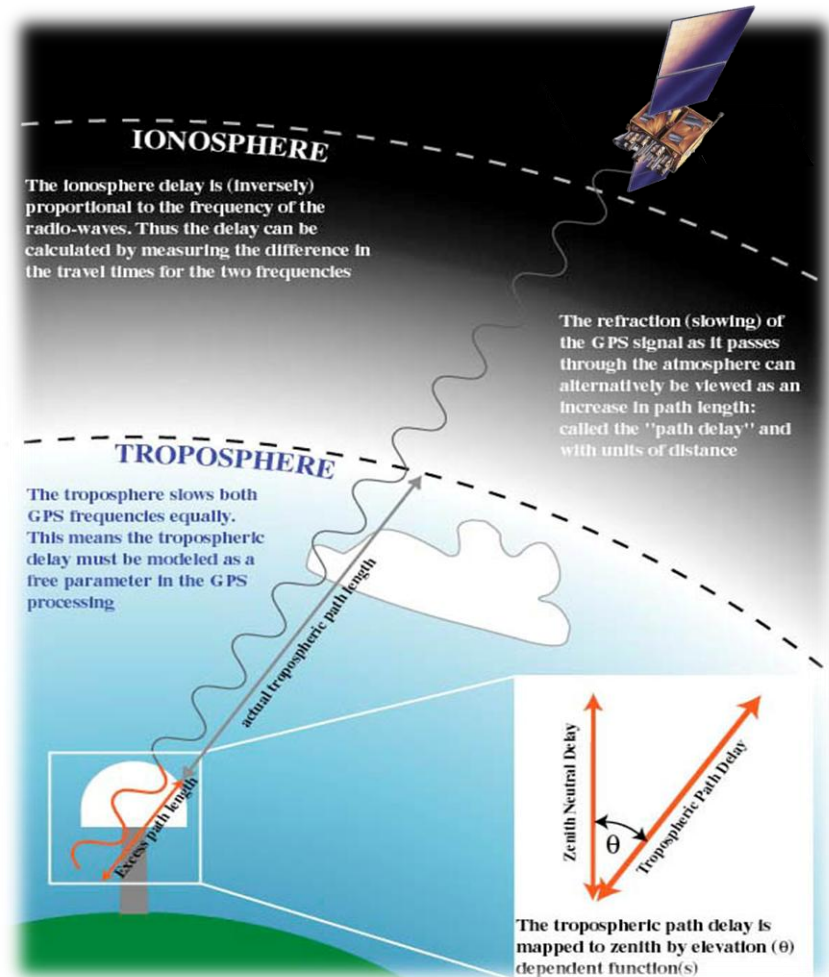
➤ 监测精度约为10-20cm。



# 研究背景



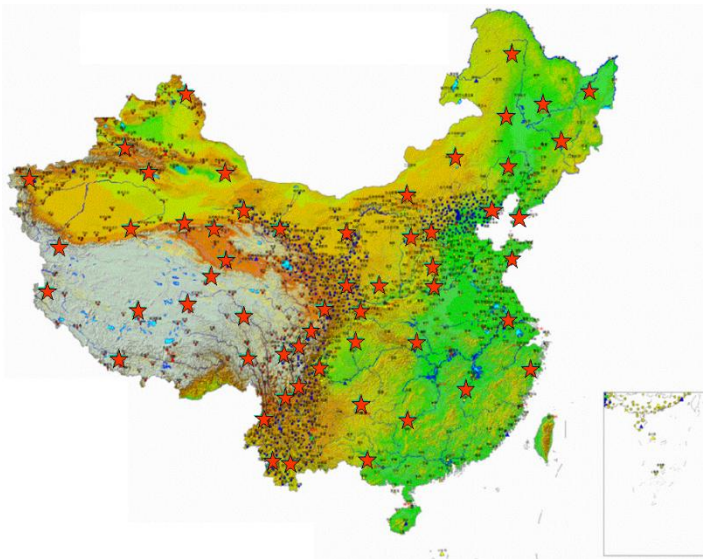
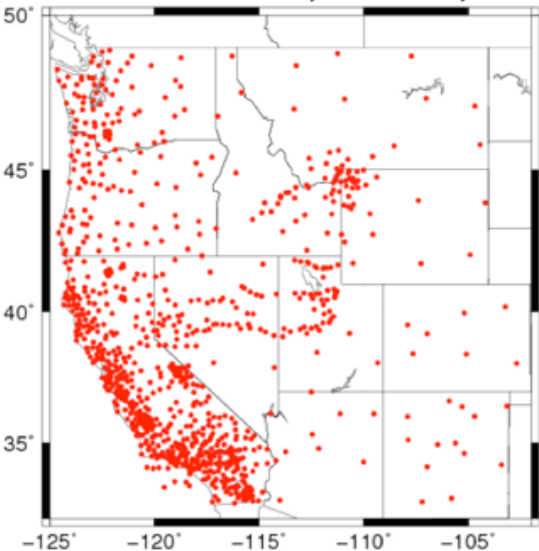
## GNSS气象学



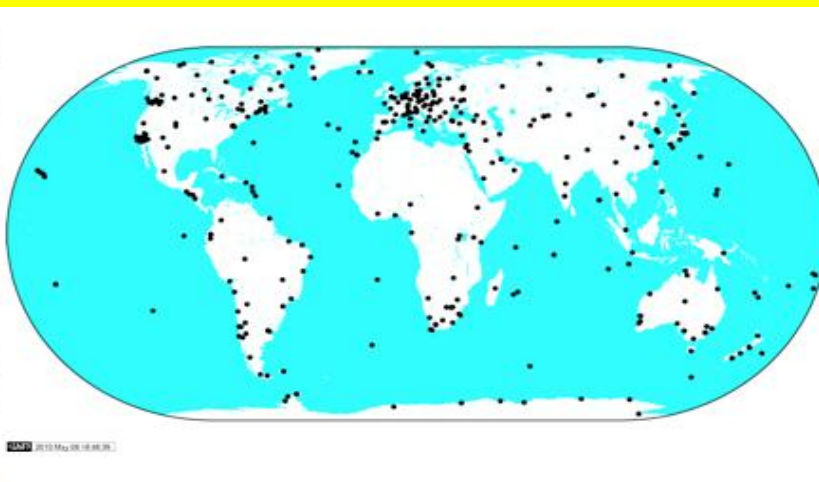
# 研究背景



The Plate Boundary Observatory



全球密集的GNSS跟踪站是否可用于遥感空间环境？





# 研究背景

Reflected signals give us information about the Earth's water cycle.

## Snow Depth

GPS provides remote **snow depth** measurements in hard-to-reach areas.



## Ice Height

Changing ice heights indicate **how much freshwater** is stored by or being lost from glaciers.



## Sea Level

As a **tide gauge**, GPS can measure local, regional, and global changes in sea level.



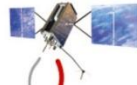
## Vegetation

GPS can measure the onset of **plant growth**, plant aging, maximum vegetation growth, and the length of the growing season.



## Soil Moisture

Soil moisture measured over broad regions indicates **how much precipitation** evaporated back into the atmosphere.



GPS Satellites



DIRECT GPS SIGNALS

REFLECTED GPS SIGNALS

Radome + GPS Antenna (inside)



Data travels through an underground cable

GPS signals sense information about the atmosphere.

## Ionosphere

The GPS satellite signal is delayed by charged particles caused by solar storms; this layer can also be displaced by tsunamis, yielding information for **tsunami early warning**.



## Troposphere

The GPS satellite signal is delayed by water vapor that can turn into rain. This informs **forecasting of flash floods and hurricanes**.



## What's on the Box?

- Comms Antenna
- Meteorological Pack

## What's in the Box?

- Comms (e.g.: radios)
- GPS Receiver
- Batteries

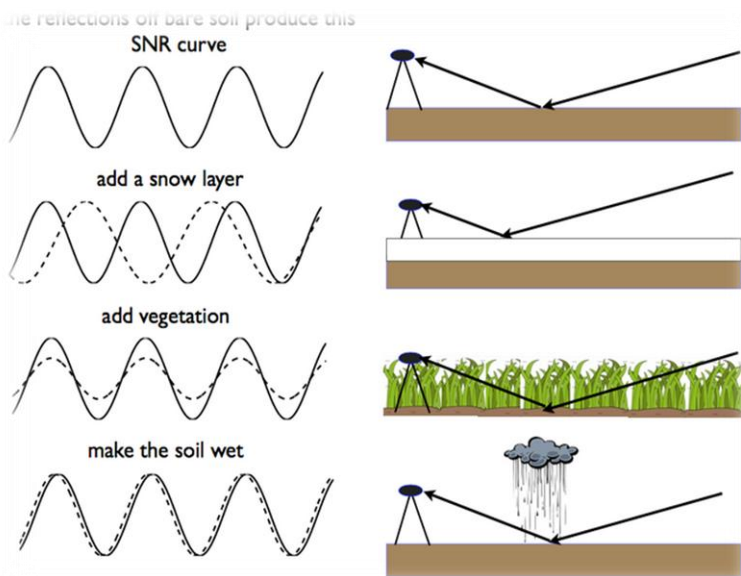
## Solar Panels

# GNSS气象学向GNSS遥感的拓展

# 研究背景

## GNSS-MR (GPS Multipath Reflectometry) 技术:

GNSS信号经不同地表介质（如土壤、雪层、植被、水面等）反射后，被反射的多路径信号承载反射面的特性信息，通过对GNSS反射信号中波形、极化特性、振幅、相位和频率等参数的分析，可以有效获取地表反射面的物理参数。



## GNSS-MR技术特点:

- 单站覆盖面积大、时空分辨率高;
- 全天候、实时自动化;
- 监测产品丰富（水汽含量、积雪厚度、雪密度、植被指数、土壤湿度等）
- 充分利用现有的GNSS网络（IGS、PBO、陆态网络、GNSS气象网）。

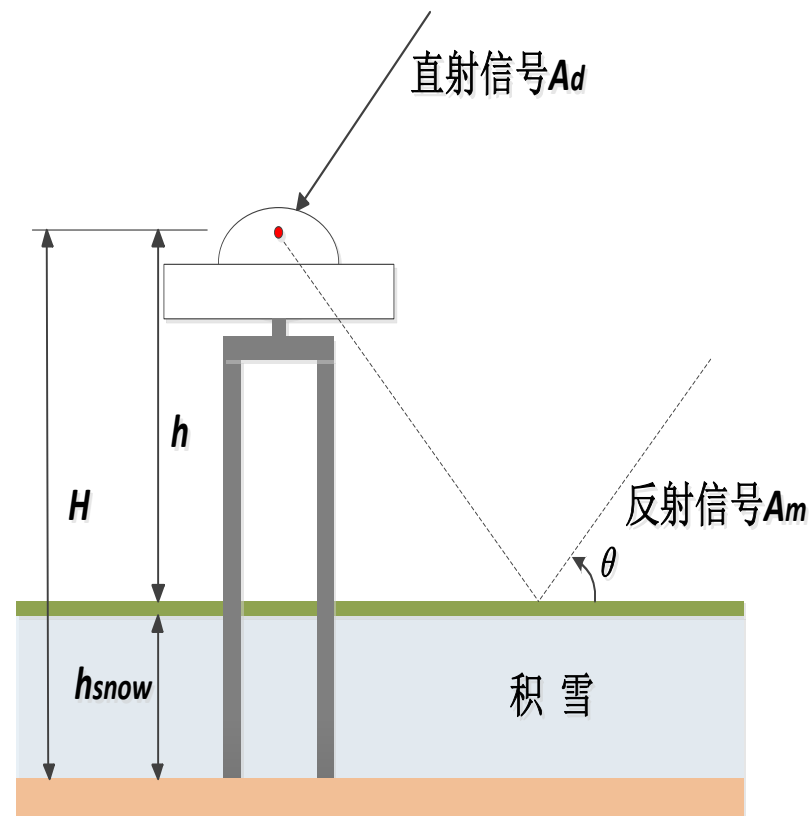


# 报告内容

---

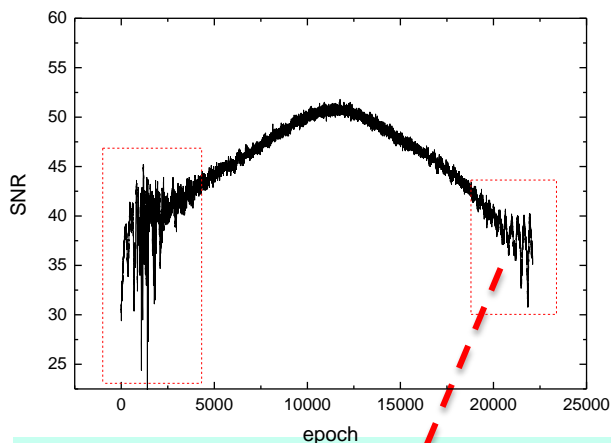
1. 研究背景
2. 基本理论
3. 算例分析
4. 结论展望

# 基本理论

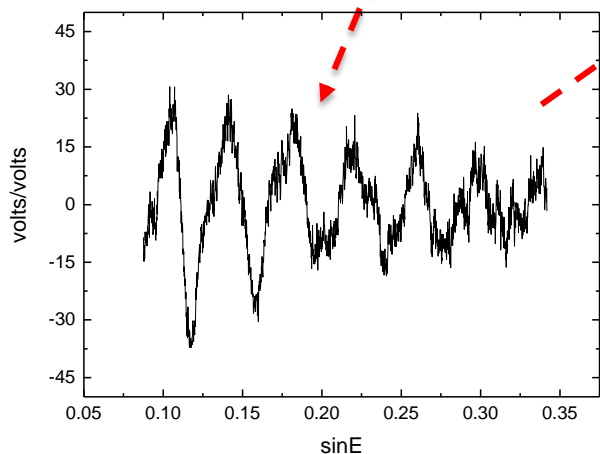


GPS-MR技术用于雪深探测示意图

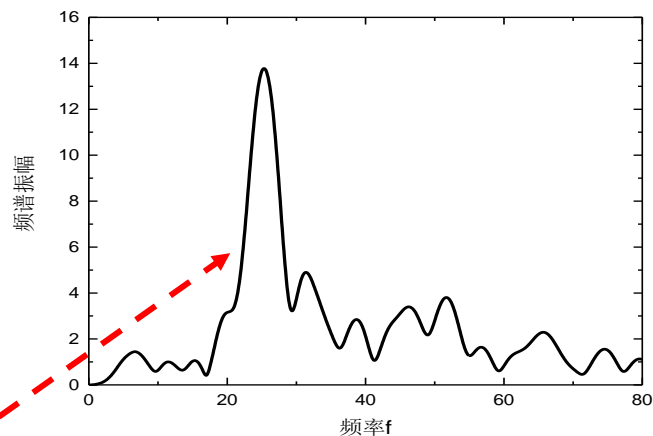
# 基本理论



GPS卫星信号信号的SNR变化图



去除趋势项的SNR残差序列



L-S谱分析结果

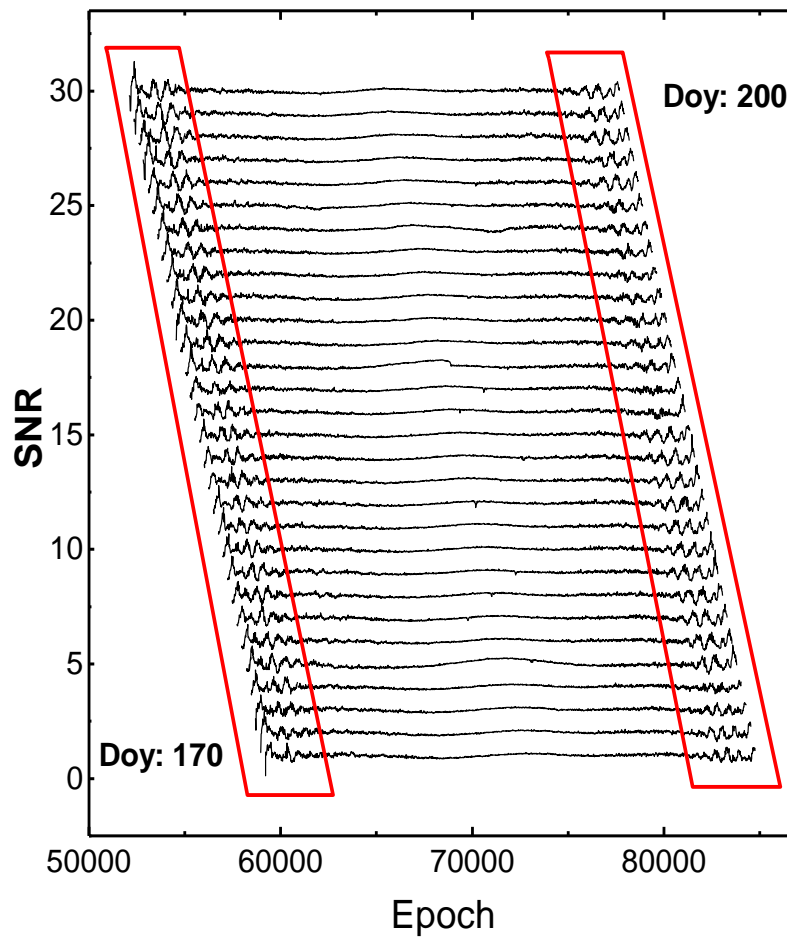
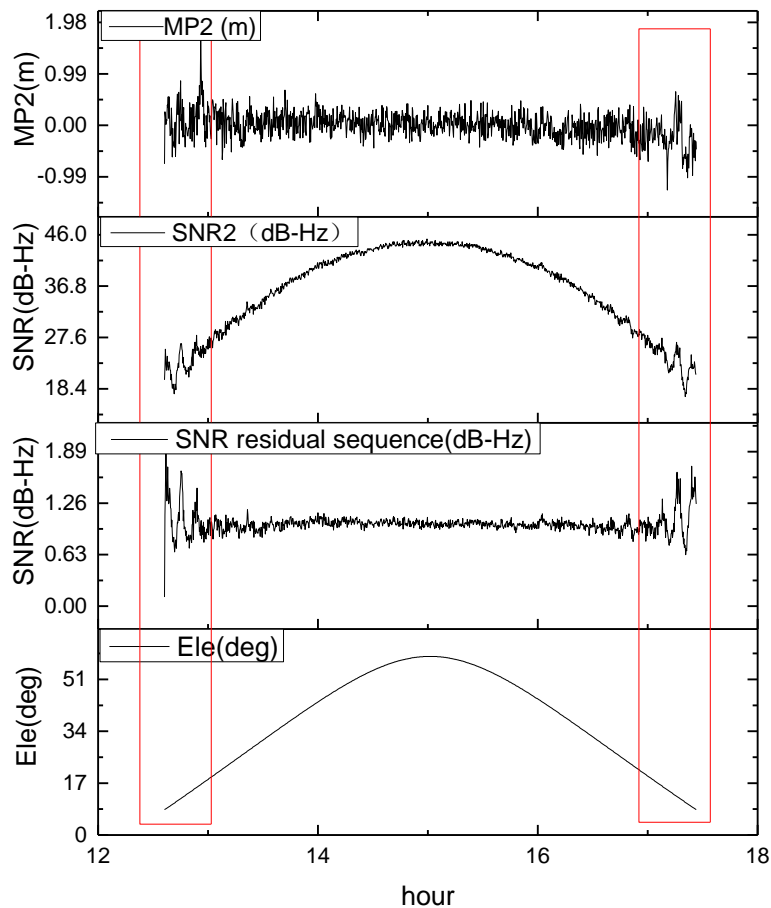
$$A_m = A \cos\left(\frac{4\pi h}{\lambda} \sin E + \phi\right) \quad (1)$$

$$t = \sin E, f = \frac{2h}{\lambda}$$

$$A_m = A \cos(2\pi f t + \phi) \quad (2)$$

$$h = f \cdot \lambda / 2, h_{snow} = H - h$$

# 基本理论

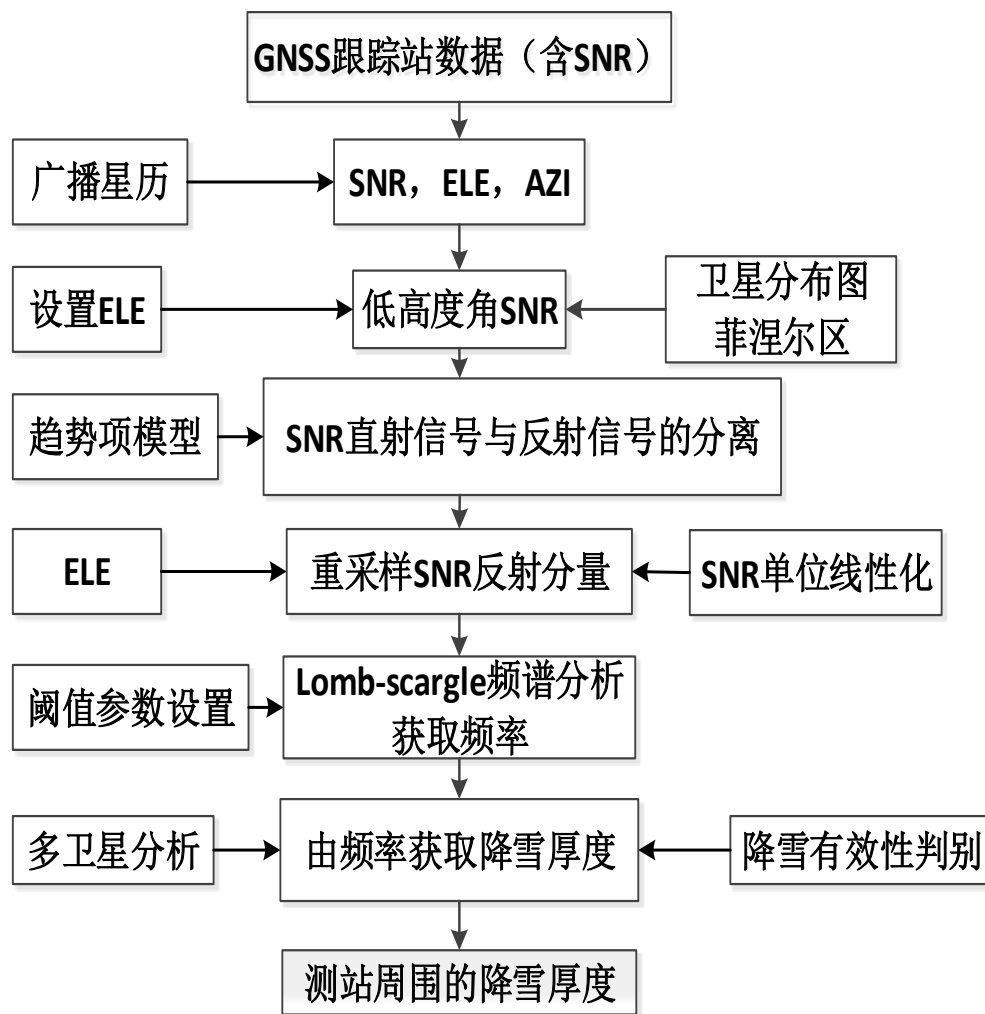
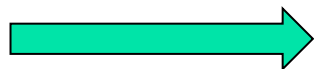


信噪比与多路径相关性分析

GPS信噪比残差时间序列

# 基本理论

## 信噪比用于积雪监测流程图





# 报告内容

---

1. 研究背景
2. 基本理论
3. 算例分析
4. 结论展望



# 算例分析

## 实验数据来源:

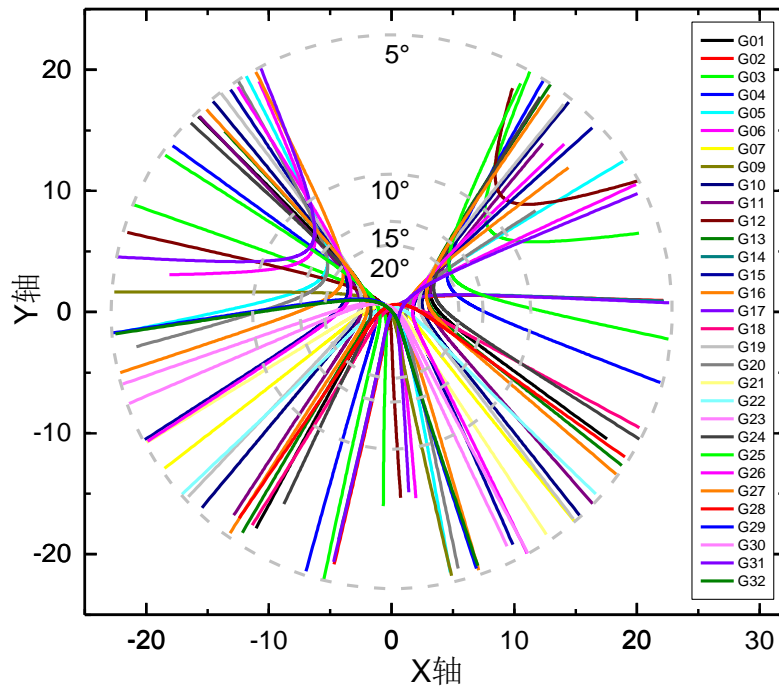


AB33测站观测环境  
(冬季常被积雪覆盖)

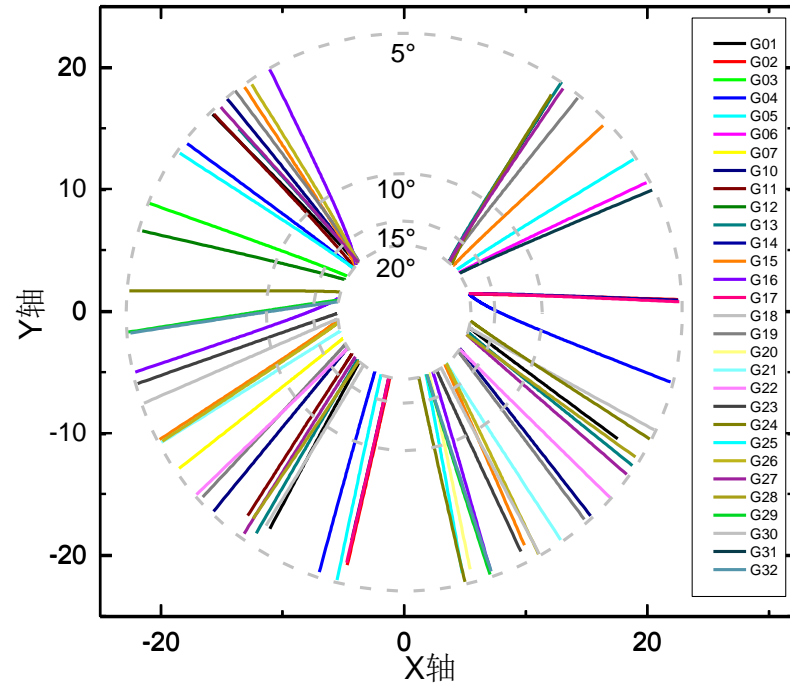
- 站点坐标: 北纬 $67.25^{\circ}$  西经 $150.17^{\circ}$  平均海拔335.0m
- 接收机类型: TRIMBLE NETRS
- 天线类型: TRIMBLE 29659.00 (整流罩类型为SCIT)
- GPS采样率: 15s
- 实验数据长度: 2011年到2014年
- 反演波段: L1
- 实测雪深: 自然资源保护服务组 (NRCS) SNOTEL站提供

# 算例分析

GNSS测站有效卫星数据选取：



全部弧段 (5° -90° )

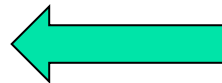
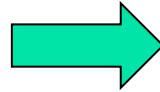


有效数据弧段 (5° -20° )

# 算例分析

空间分辨率对比：

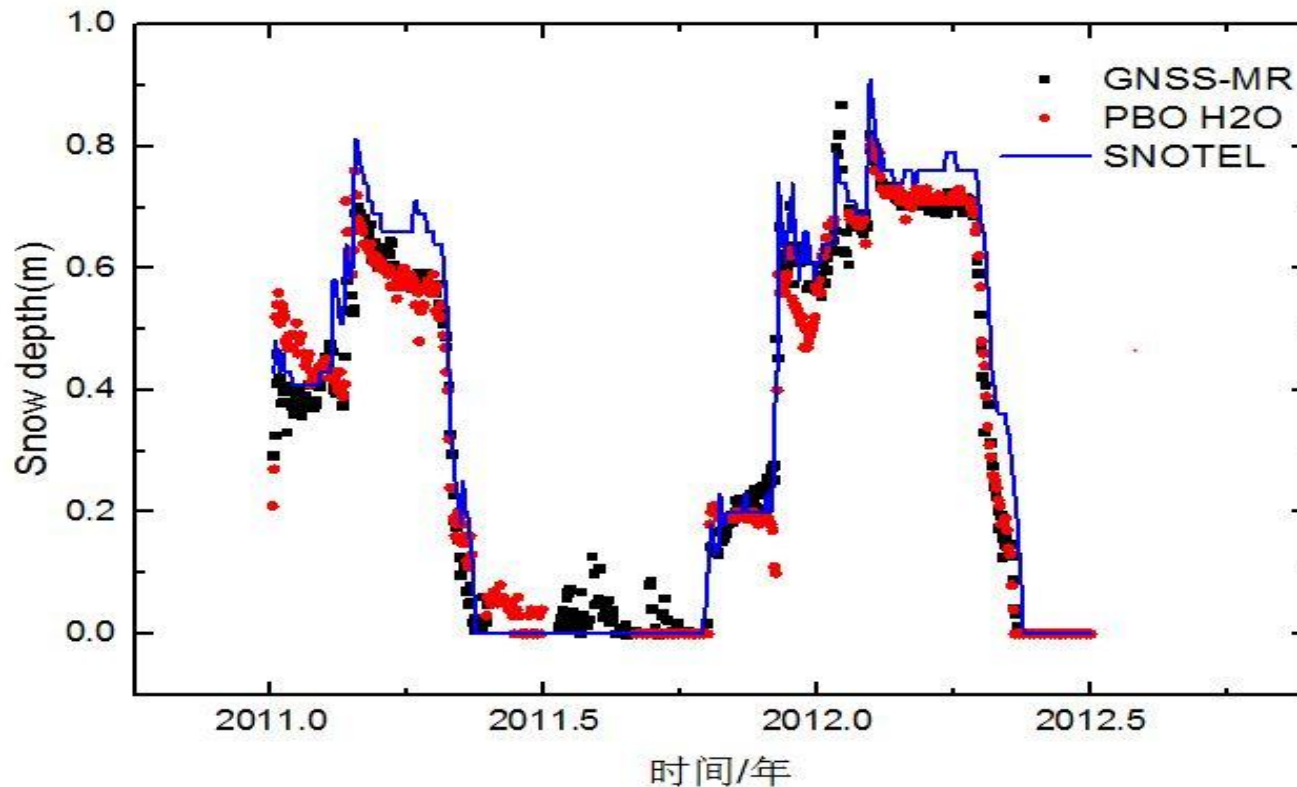
**10 m<sup>2</sup>  
SNOTEL**



**1000 m<sup>2</sup>  
GPS**

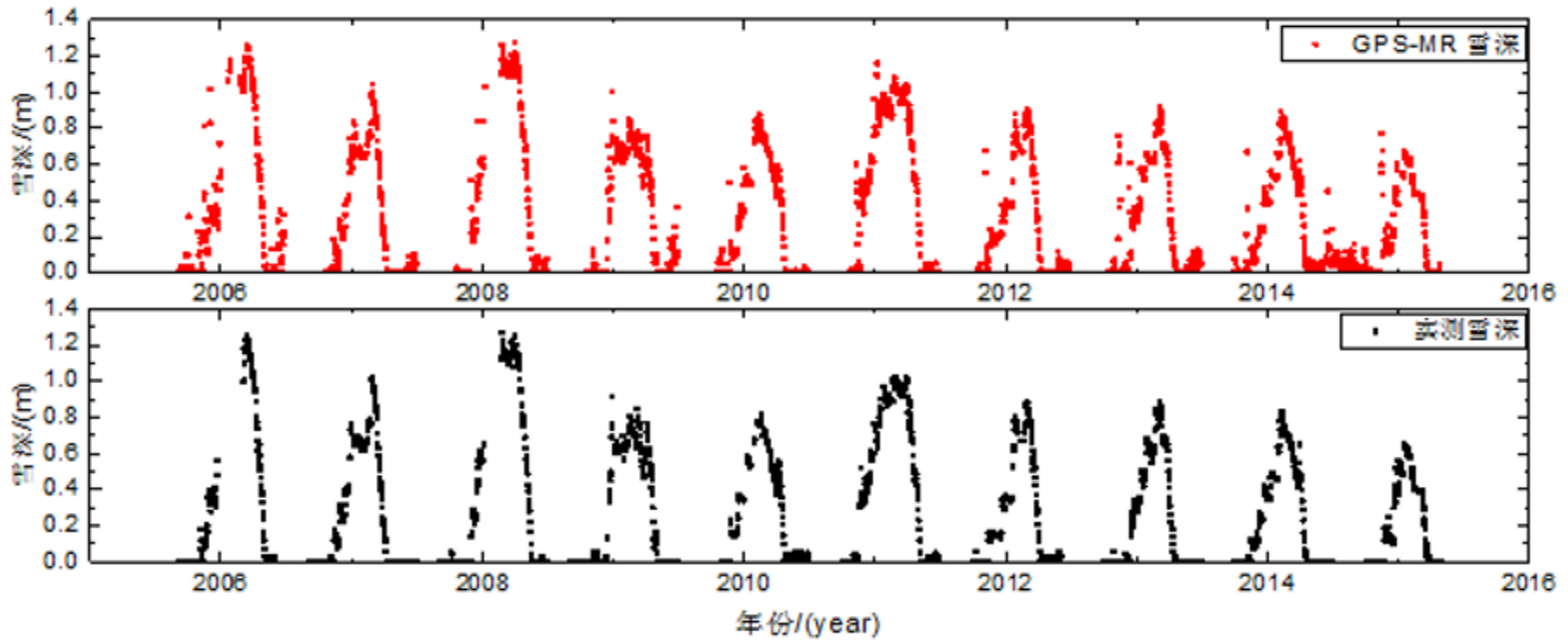
# 算例分析

GPS信噪比反演雪深与实测雪深对比：



GPS-MR与SNOTEL的较差均值为0.07m，相关系数为0.98.

# 算例分析



**P360站雪深时间序列**





# 报告内容

---

1. 研究背景
2. 基本理论
3. 算例分析
4. 结论展望



# 结论展望

- 基于SNR的GPS-MR算法简单，可有效地获得积雪厚度。
- GPS-MR探测积雪厚度与SNOTEL较差均值优于0.07m，实际精度可进一步提高（AB33站与SNOTEL站距离较远）。
- GNSS-MR可以高时间分辨率提供积雪产品（积雪厚度、积雪密度等），该技术可作为积雪监测手段的一种有效补充。
- GNSS-MR技术可充分发挥地基GNSS气象网的探测领域。



敬请各位代表批评指正，谢谢！



邮箱：[shuangcheng369@chd.edu.cn](mailto:shuangcheng369@chd.edu.cn)

电话：18802955412