

全球水循环关键要素卫星观测计划

(Water Cycle Observation Mission, WCOM)

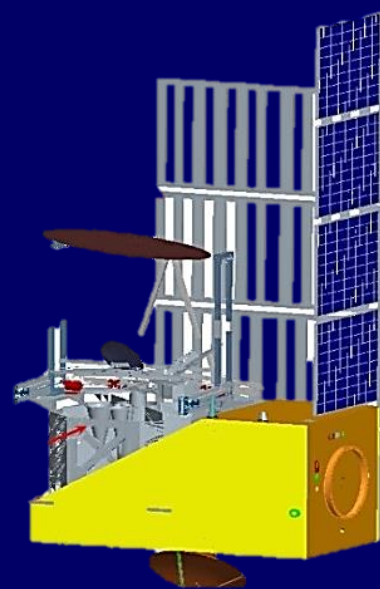
中国科学院空间科学战略性先导科技专项
空间科学背景型号项目

《科学目标与载荷遴选论证》

报告人：施建成

建议单位：

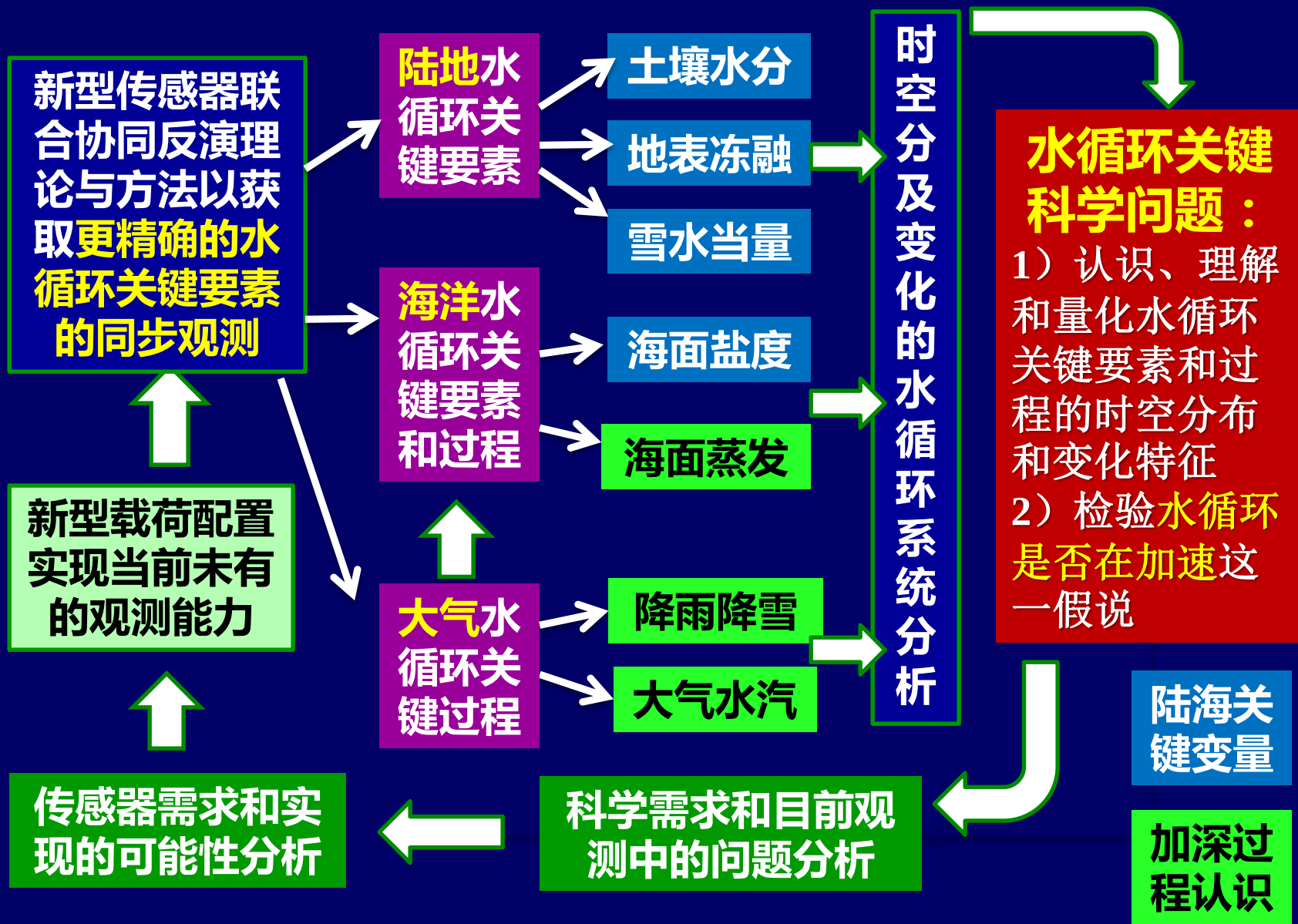
中国科学院遥感与数字地球研究所
中国科学院空间科学与应用研究中心



WCOM

项目总体概况

全球水循环关键要素观测卫星



项目预期目标



预期科学目标

- 1) 提高对水循环关键要素和过程的时空分布和变化特征认识
- 2) 加深理解在变化环境下全球和区域水循环的变化及响应特征，以检验气候变化导致水循环加速的假说

预期技术目标

- 1) 国际首颗水循环关键要素综合观测卫星，形成比当前国际卫星更高精度并能满足科学分析的全球水循环关键要素的系统观测能力
- 2) 新型宽波段、全极化、高精度、高分辨、主被动微波传感器
- 3) 先进的多参数协同定量反演理论与技术

报告提纲

1. 水循环研究的科学意义及必要性
2. 水循环研究现状及关键要素的卫星遥感面临问题
3. 项目总体科学目标
4. 载荷初步方案
5. 研究内容与拟解决的关键技术
6. 创新点
7. 研究队伍的组织、国际合作、预算等

水循环及其关键要素

水循环 是太阳辐射和重力作用下，水的物理状态变化和运动，包括了地球系统中大气、海洋、陆地中所有与水有关的储存、相变（固、液和气态）和传输过程。

水循环 又分全球大循环和内陆、海洋小循环

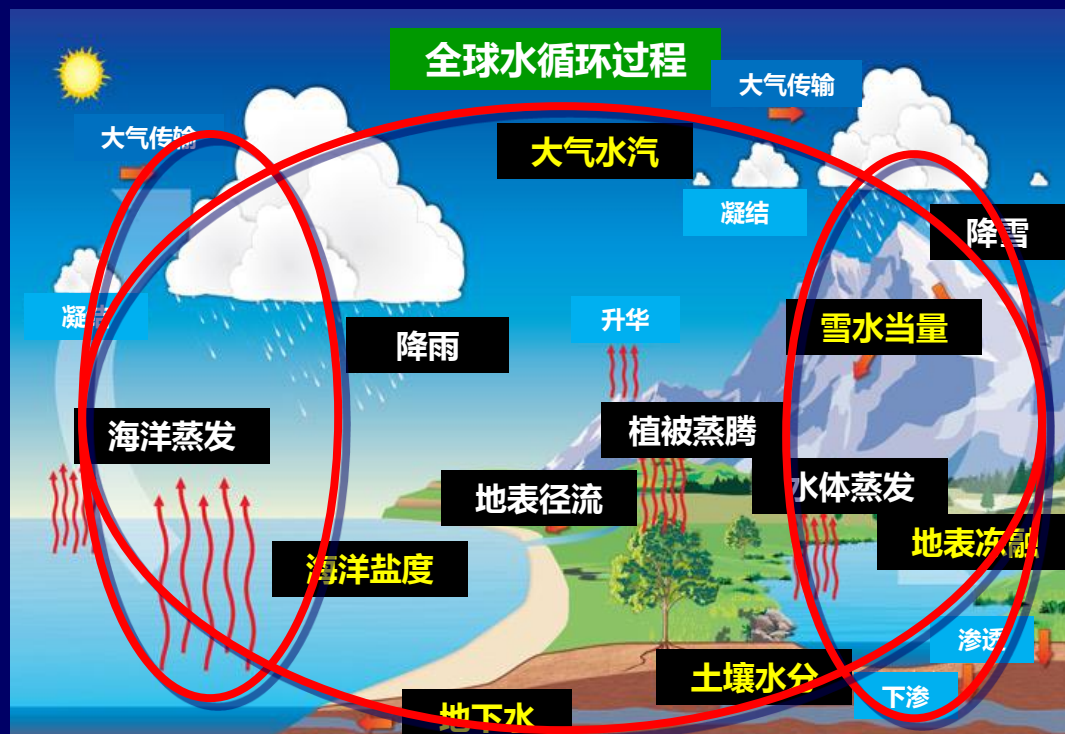
水循环关键要素：

状态变量

- 土壤水分
- 地表冻融
- 雪水当量
- 极地冰盖
- 海洋盐度

过程/通量

- 大气水汽
- 降水
- 蒸、散发
- 地表径流
- 地下水运动



水循环研究的科学意义-气候变化

气候变化对水循环影响的基本假说

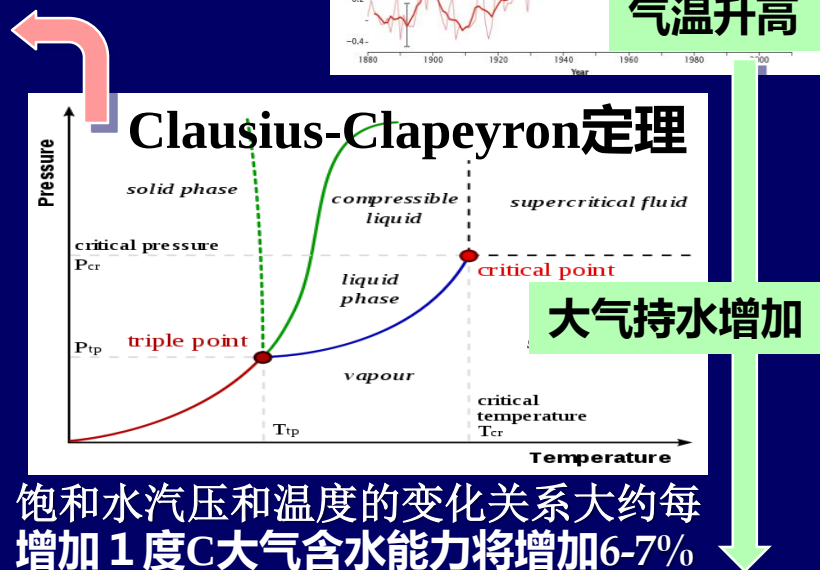
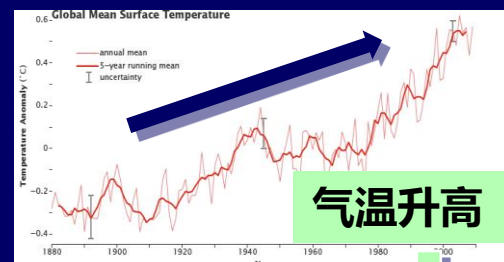
期待影响: 加快水循环过程的速度!

1. 降雨量增加: 小雨减少, 大暴雨 (频率和强度) 增加, 降雪减少;
2. 蒸散发增加;
3. 径流的强度和特征的变化。

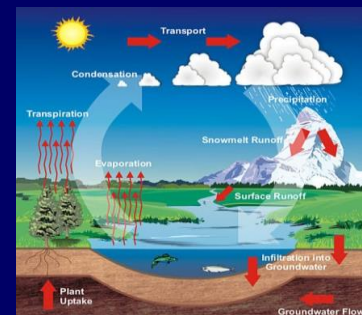
将导致: 1) 干的地方变得更干、湿的地方更湿, 2) 水文极端事件 (干旱和洪涝) 的强度和频率都会增加。

关键科学问题: 温度升高是否会导致全球水循环加速?

1. 目前的气候模型模拟已基本反映了这样趋势。
2. 但在观测中还未得到证实。

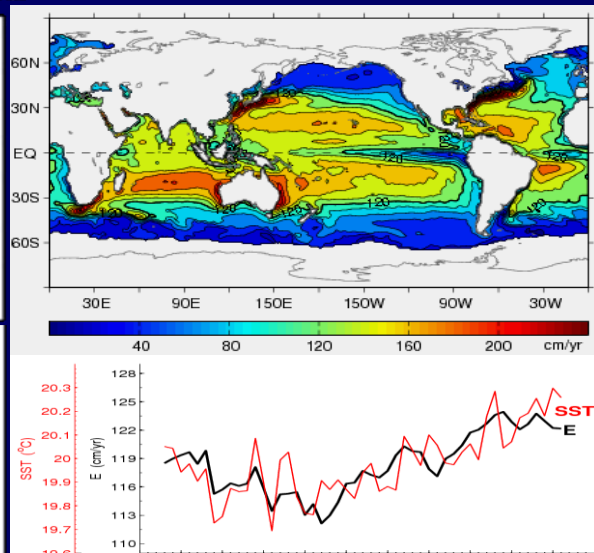
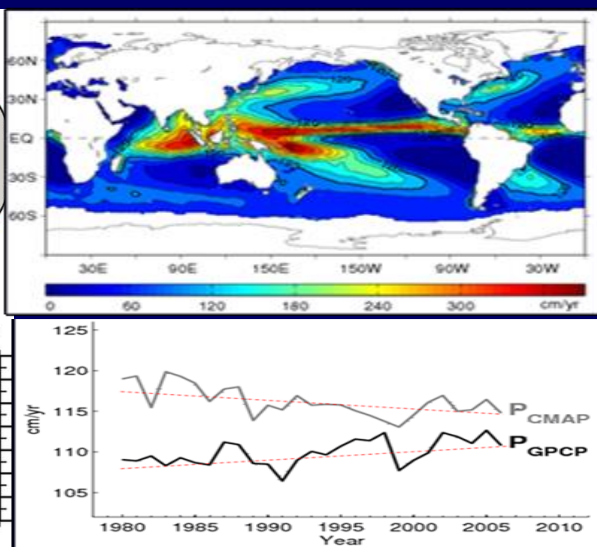
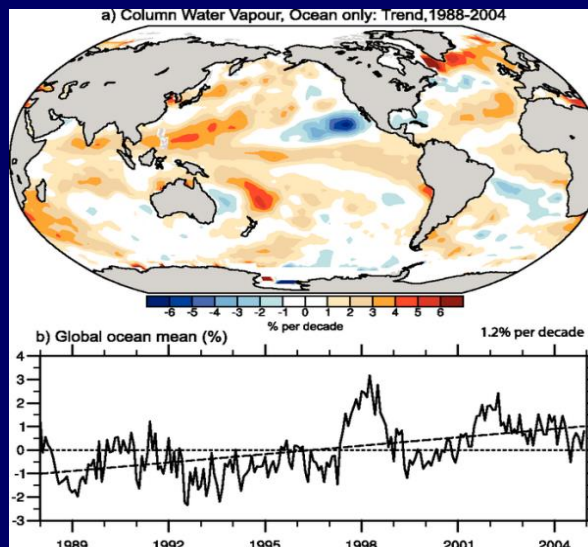


水循环加速



气候变化-水循环的基本关系（海洋）？

CMAP (Xie and Arkin)
NOAA CPC Merged Analysis of Precipitation



SSM/I观测显示海洋上空
水汽有增加趋势

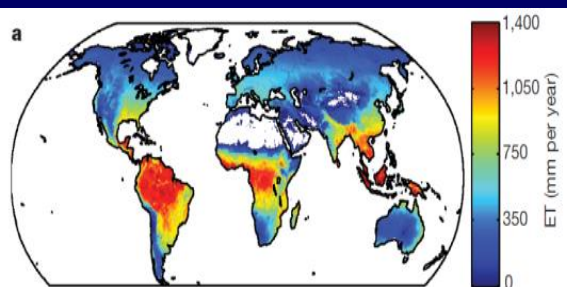
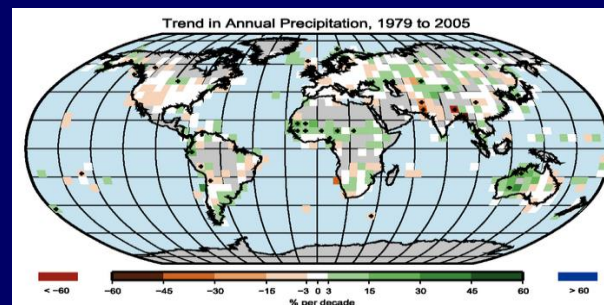
无法充分证实海洋水
循环的加速迹象！

1980年来的降雨变化，不同数据集表现出截然相反的趋势，主要不确定性在于热带地区。

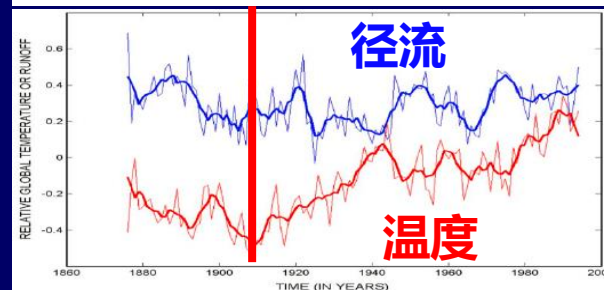
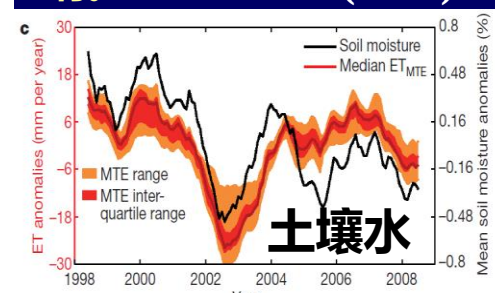
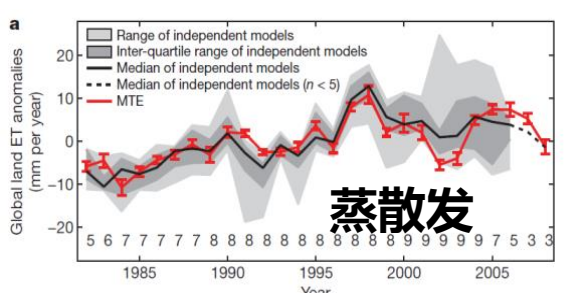
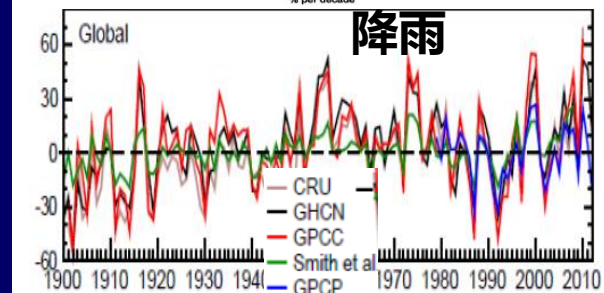
自1980年来不同数据表现出海面蒸发随温度上升稳步增长

气候变化-水循环的基本关系（陆地）？

不同数据所揭示的全球陆地降水、蒸散发、径流的变化趋势虽然存在空间差异并没有显著的变化趋势。



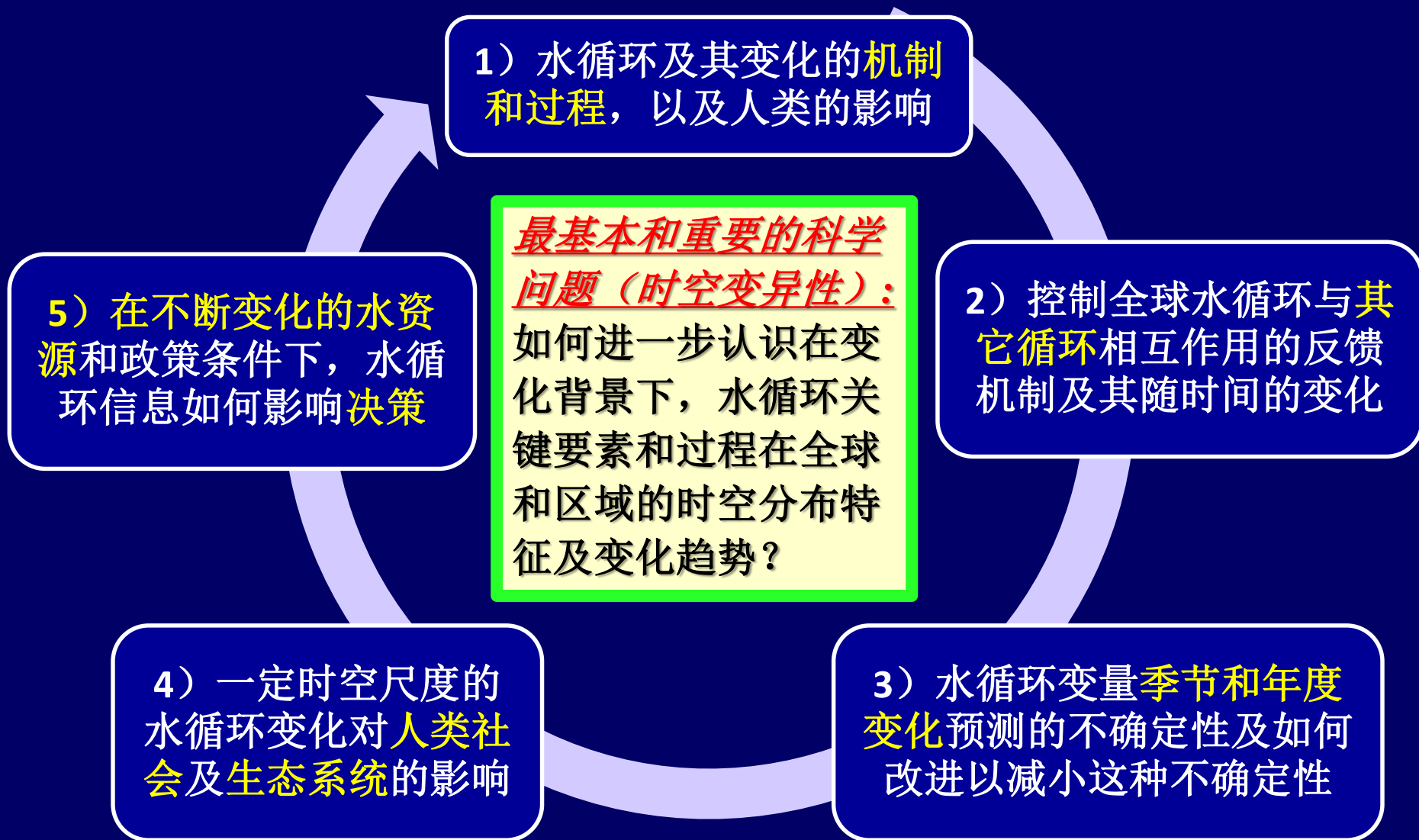
站点观测、气象和遥感数据的融合结果显示：**陆地蒸散在1998年以后开始出现下降趋势，主要原因是受到土壤水分胁迫的影响。** Nature 467 (2010)



- 1) 径流趋势无显著变化趋势，
- 2) 径流与温度的相关性：1875-1925年明显正相关，而1925-1994期间全球温度增加，而径流趋势较为复杂

无论是在海洋和陆地上，还无法回答气候变化是否会导致水循环加速这一基本假说！

全球变化与水循环有关的关键科学问题



(Strategic Plan for the U.S. Climate Change Science Program)

水循环研究的科学意义- 地球系统科学

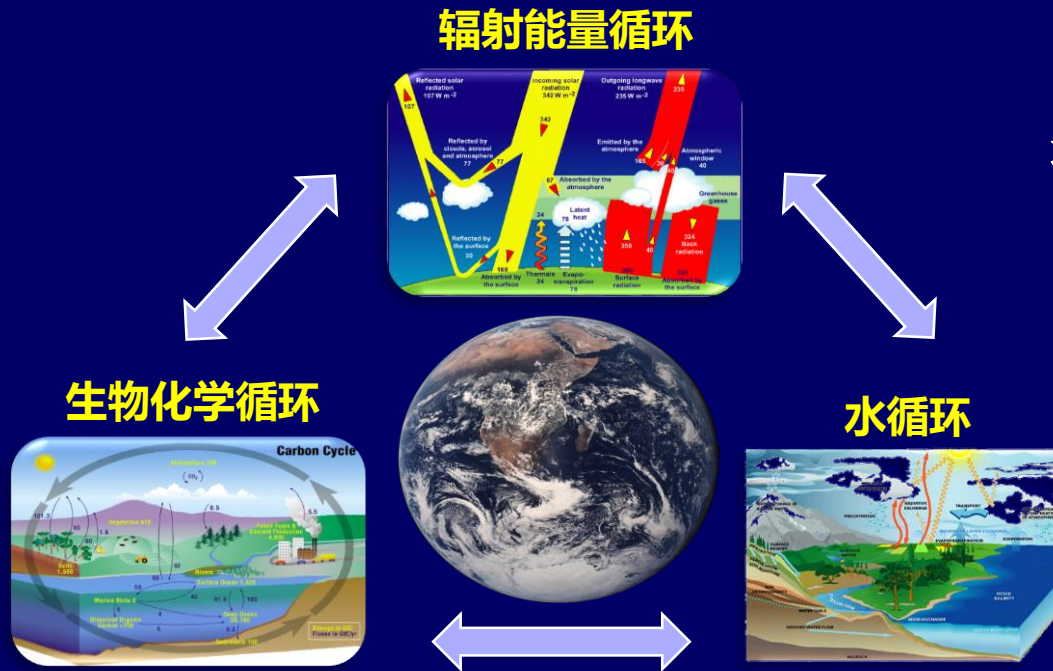
水在地球系统中的作用:

- 1) 相变过程伴随着大量的能量吸收和释放, 影响地球系统的**能量分布和转换**
- 2) 物质的**溶剂**、营养物的**介质**, 在生物作用和化学反应及循环中起着关键作用
- 3) 地表物质迁移的强大动力和主要载体

水循环的全球和区域时空分布特征及变化



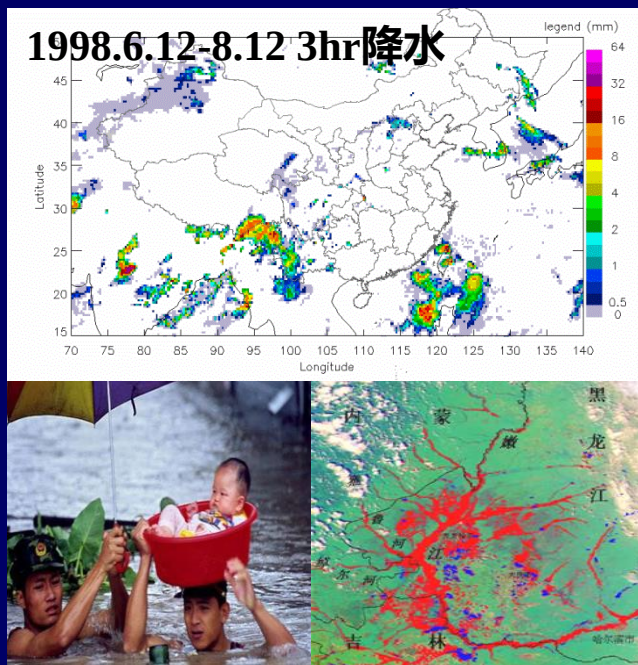
地表景观、不同生态系统和人类活动的格局及演变, 并影响地球内部变化



水循环研究重要性-极端水文事件

全球水循环特征 是研究导致重大水文灾害的科学基础

1998年洪水遥感监测



2010年西南干旱遥感分析图



受灾人口
超过**1亿人**，
受灾农作物
1000多
万公顷，
死亡**1800**
多人，倒塌
房屋**430**
多万间，
经济损失
1500多亿
元

受灾人口超
过**5000万**，
受灾农作物
近**500万公**
顷，其中**40万**
公顷良田颗
粒无收，**2000**
万同胞面临
无水可饮。
经济损失超
350亿元

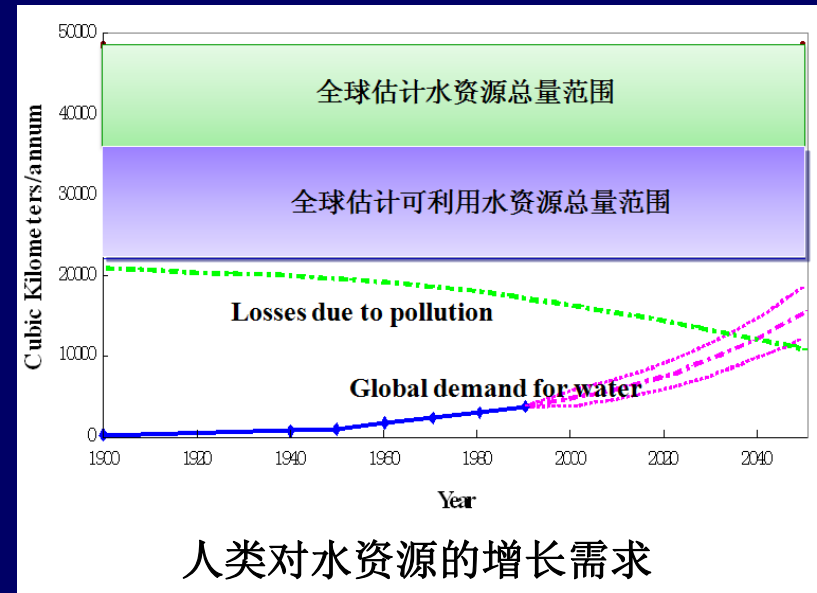
关键科学问题： 如何进一步认识产生重大水文灾害事件的机制
以及可预报性？

水循环研究重要性-水资源与粮食安全

水循环分布和变化 关系到水资源、粮食、经济、生态等

1. 水资源已成为我国三大战略资源之一，人口与水资源问题的巨大压力
2. 粮食安全与水循环特征密不可分

粮食安全

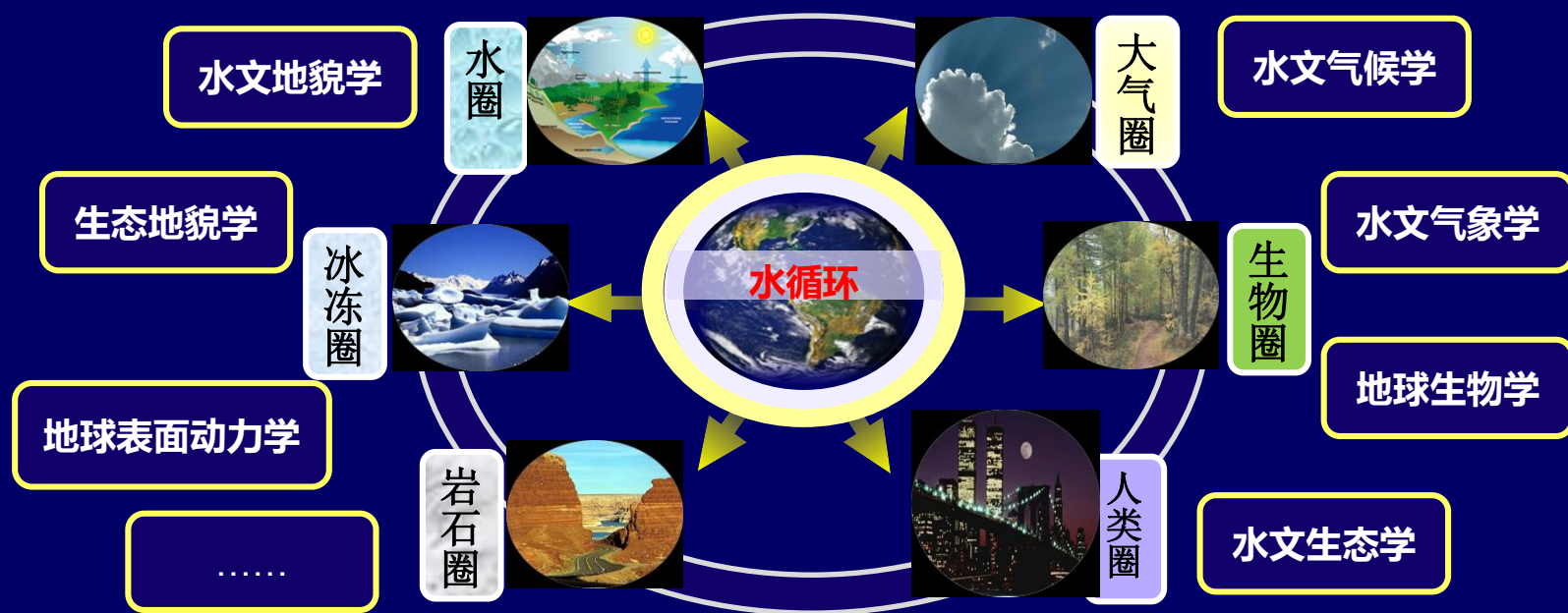


水循环 研究是关系到水资源可持续利用以及人类社会可持续发展的重大科学问题

水循环研究的科学意义-地球系统科学和全球变化

水循环是地球系统中的一个最活跃、最重要和非常复杂的动态变化的循环系统

认识水循环的科学规律和量化其时空分布及变化特征是带动整个地球系统学科发展和全球变化研究的至关重要的中心纽带和龙头问题



水循环研究是科学前沿问题《国家中长期科学与技术发展规划纲要（2006-2020年）》，是地球系统科学中的重大科学问题

报告提纲

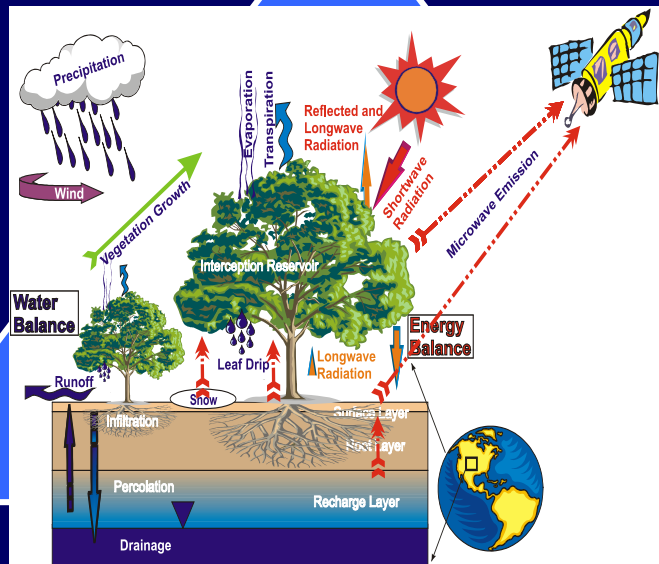
1. 水循环研究的科学意义及必要性
2. 水循环研究现状及关键要素的卫星遥感面临问题
3. 项目总体科学目标
4. 载荷初步方案
5. 研究内容与拟解决的关键技术
6. 创新点
7. 研究队伍的组织、国际合作、预算等

水循环研究的科学手段

模型优化与数据同化

观测是提高对复杂地球系统过程（水循环）认识的关键手段

观测



模型代表了对复杂地球系统过程（水循环）是否可重现和预报的能力

模型

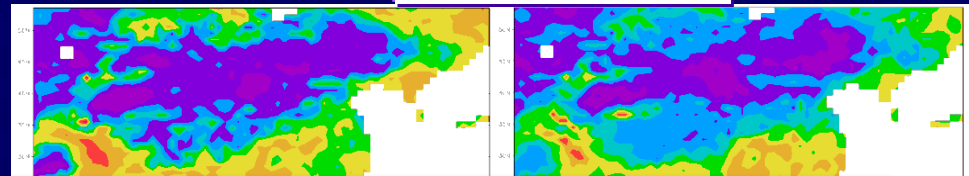
结合模型与观测的基本要求

各参数观测的可靠性（精度）和整体过程的系统性（尽可能的平衡）

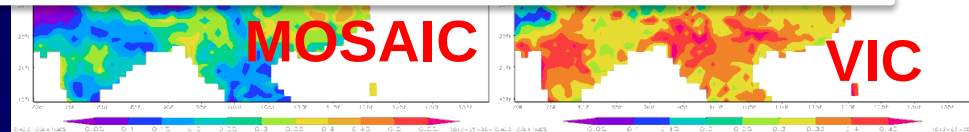
目前模式的模拟能力

模型预报的不确定性：（IPCC-AR4）
气候模式分区预报比较

在同一驱动数据下不同陆面模式的模拟
结果不同



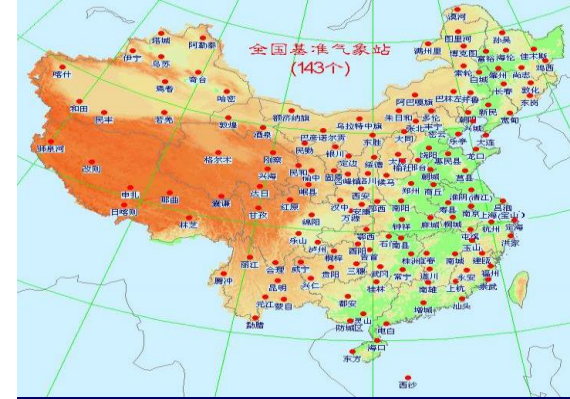
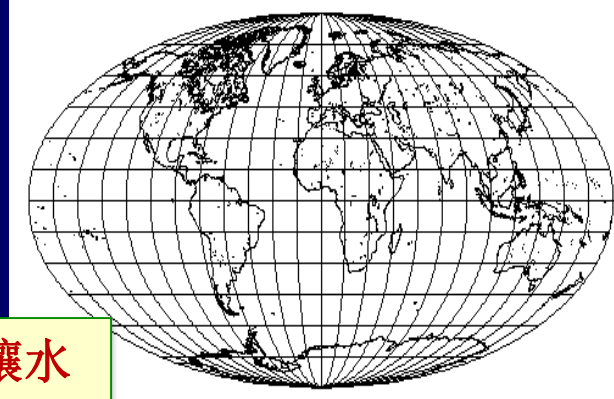
当前水循环模拟还具有很大的不确定性和误差！



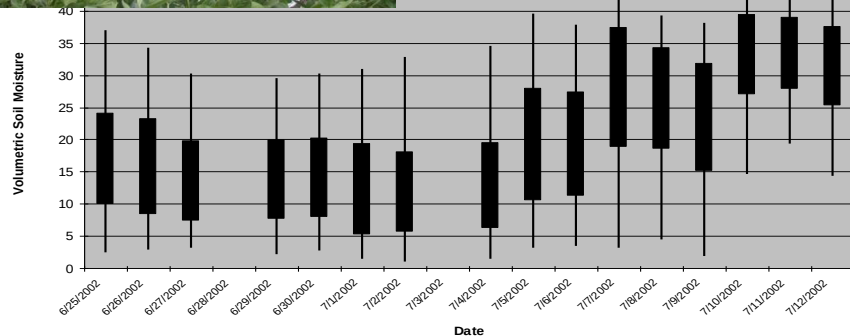
地表湿度与今天相比的相对变化有很大差异

模式需求与传统观测间的矛盾

1. 模型中的格点代表不同水循环过程...
2. 代表该尺度上的“平均”状况

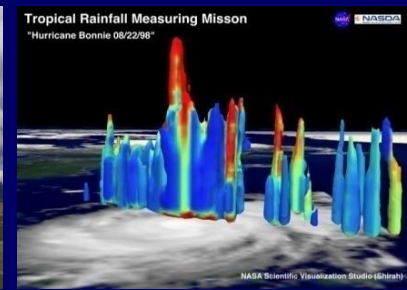
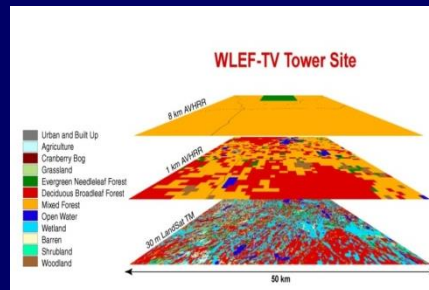


实例：土壤水分分布 at 25 km x 25 km



1. 地面的观测方法基于点位测量，地表参数的观测点分布稀少
2. 站点观测得到的数据与预测模式的尺度不一致给模型的参数化方案带来极大的不确定性
3. 需要时空分布信息 ← 卫星遥感

水循环过程（如降雨，水文特性）在很小区域范围内变化很大，造成模型与观测的不一致



目前可用于观测水循环关键要素的卫星

	传感器	工作频率 (GHz)	水汽	降雨	温度	土壤水分	地表冻融	雪水当量	海面盐度	海面风矢量
多波段综合卫星	AMSR-E	6.925; 10.65; 18.7; 23.8; 36.5; 89	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
	GCOM/AMSR2	6.9; 7.3; 10.65; 18.7; 23.8; 36.5; 89	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
	FY-3/MWRI	10.65; 18.7; 23.8; 36.5; 89	✓	✓	✓	✓		✓		
参数精度和系统性观测能力不能满足水循环模型需求！										
单波段专题卫星	SSMIS	19.35; 22.235; 37; 50-60; 91.655; 150; 183.31	✓	✓	✓			✓		✓
	ASCAT	5.255								✓
	ERS	5.3								✓
	QuikSCAT	13.4								✓
	Aquarius	1.413							✓	
	SMOS	1.41				✓			✓	
	SMAP	1.26; 1.41				✓	✓			

土壤水分在水循环研究中的科学重要性

关键科学问题：陆地蒸散发的强度是否在发生变化？其时空分布及变化特征？



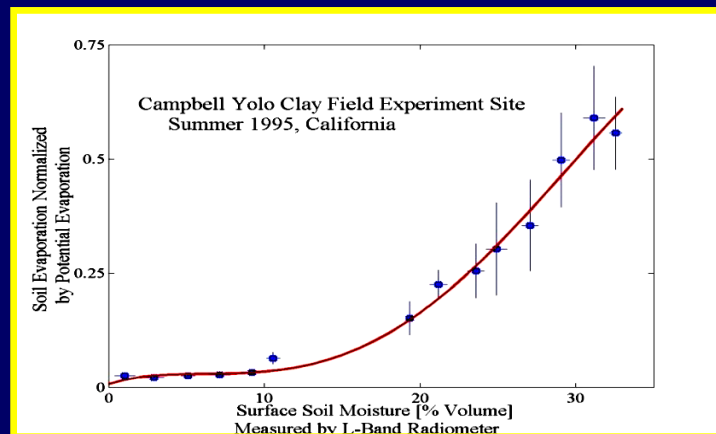
全球土壤水分的时空分布信息



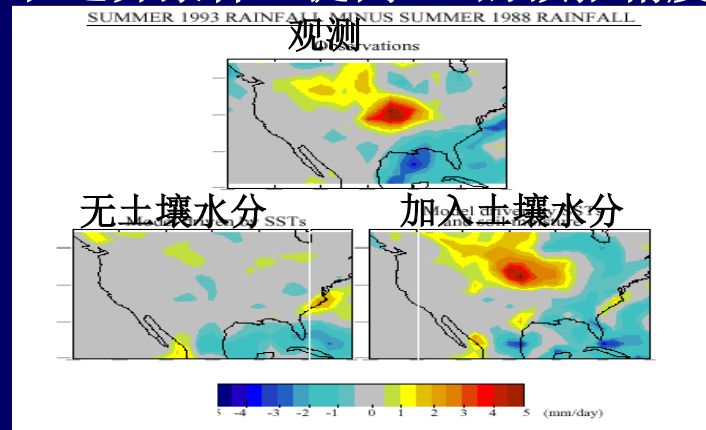
土壤水分控制着将入射辐射转化为显热通量和潜热通量，以及确定降雨和渗透，径流和蒸发。在气候时间尺度上，土壤水分作为边界条件控制着进入大气的通量。

。

①土壤水分对蒸散发的决定作用



②土壤水分通过提供地表初始状态和边界条件，提高NWP的预报精度



③土壤水分是水资源、干旱、洪涝、泥石流发生的重要因子

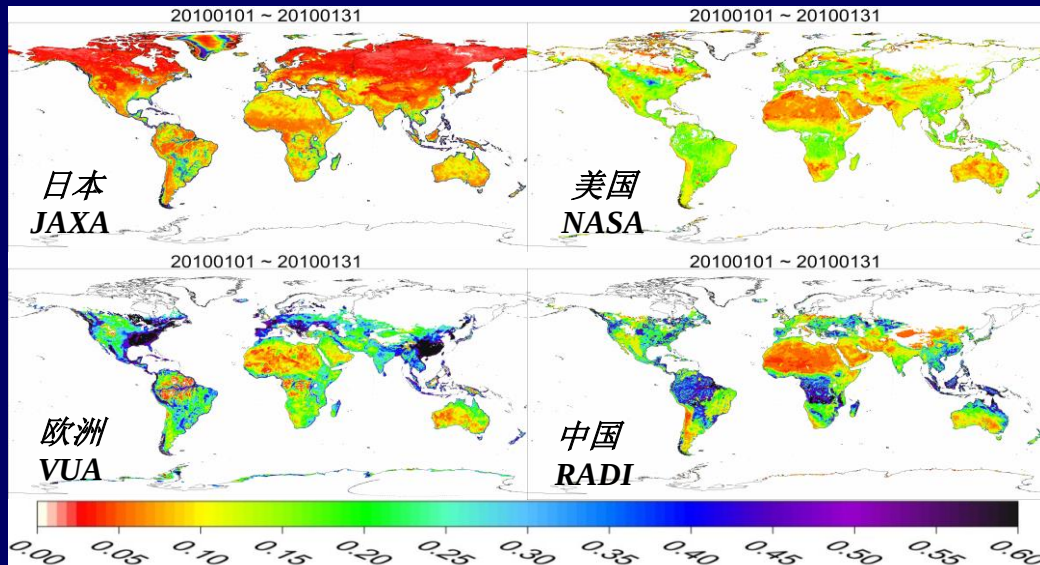
卫星反演土壤水分现状（综合多波段）

• C、X波段等高频微波传感器:

SSM/I (1978-)、TMI (1998-)、AMRS-E (2002-2011)、GCOM/AMSR2 (2012-)、WindSat (2003-)、和FY-3/MWRI (2008-)

$T_B = f(\text{土壤水分, 温度, 地表粗糙度, 植被, 大气参数})$

1、对植被等的穿透弱，对土壤水分敏感性较差

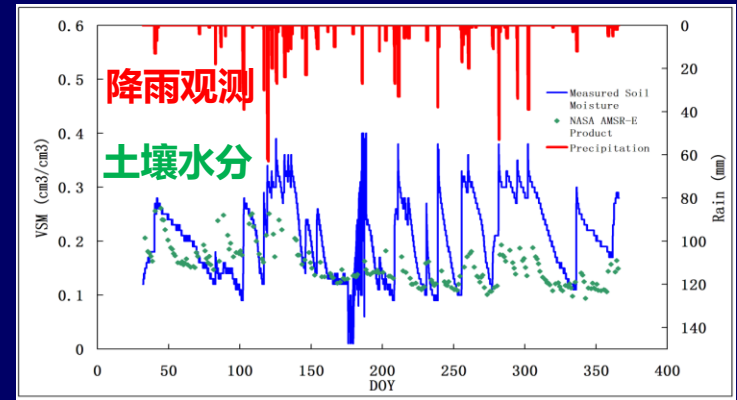


AMSR-E 土壤水分产品

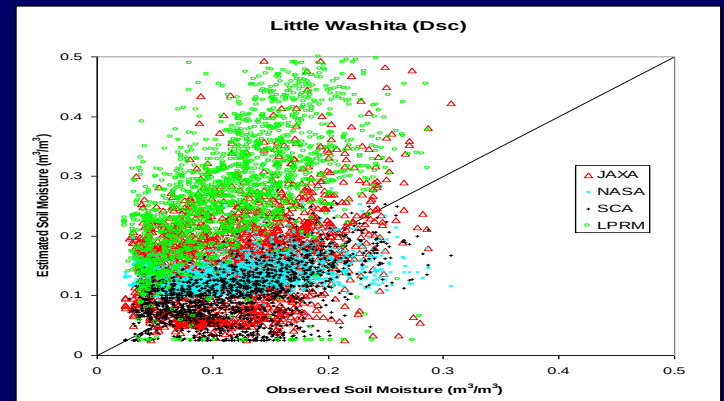
(日本JAXA、美国NASA、欧洲VUA、中国 RAD1)

存在问题:

2、观测时遇到降雨发生时，一般通过插值获得的结果相关性较差



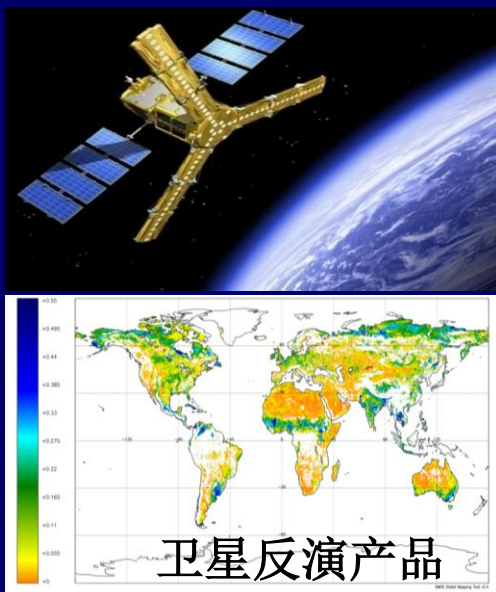
不是土壤水分观测的最佳波段



LW 站点验证 (7年数据, 4种算法)

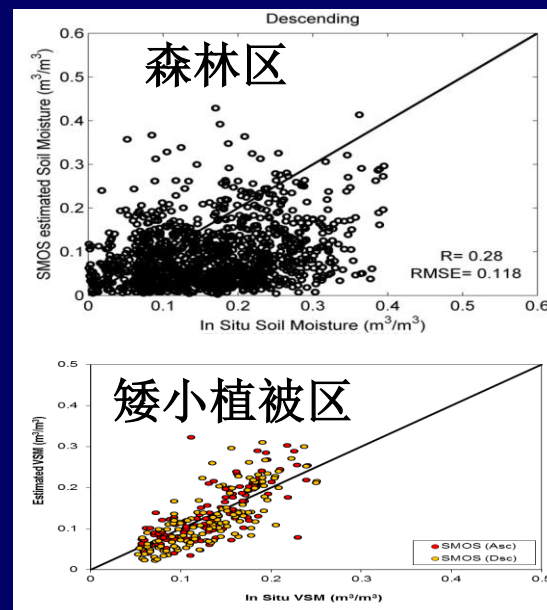
卫星反演土壤水分现状（专题单波段）

SMOS 卫星: 欧空局 (ESA), 2009年11月2日, 首个 L波段(1.4 GHz) 星载辐射计, 采用 2-D 干涉测量技术, 入射角度 $0 \sim 55^\circ$, 空间分辨率 $30 \sim 50\text{km}$, 重访周期 3天。



验证: 矮小植被区较好, 森林区反演极差

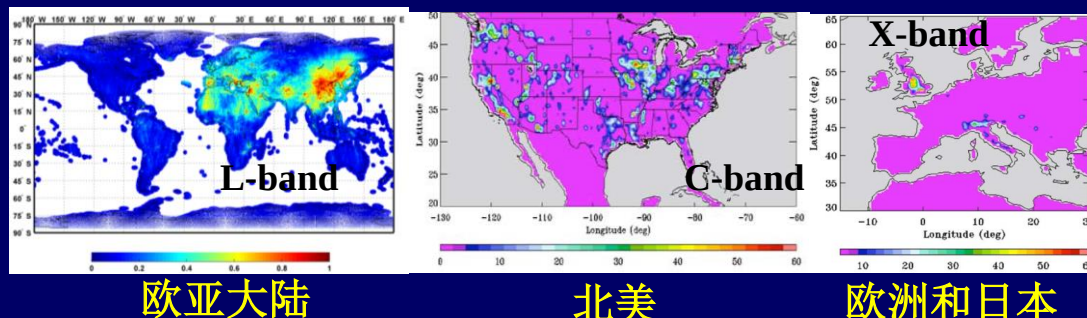
问题: 缺少对其它影响因素的观测, 如: 温度, 反演算法依赖于ECMWF等预报模式输出



RFI影响: 不同波段分布广泛的射频干扰 (RFI) 造成大量数据缺失

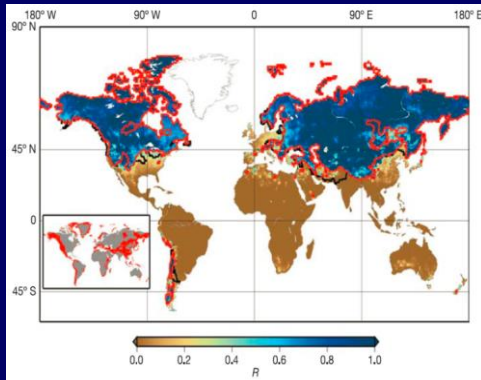
急需解决问题:

如何更精确的观测全球土壤水分的时空分布特征及变化?



雪水当量在水循环研究中的科学重要性

重要性



全球融雪径流主导地区的分布



能量和物质平衡计算

1) 雪水当量对于融雪径流预报、水资源管理以及洪水预报方面都具有重要的作用，特别是对全球许多地区，融雪水是影响水循环过程的重要因素，是重要的水资源来源

2) 雪盖面积和雪水当量是水文、气象和气候监测重要要素之一，是水循环模型中的辐射能量平衡和物质平衡（蒸散发过程）的关键状态变量

地表积雪的时空分布特征及变化信息



关键科学问题

1) 怎样影响全球和区域的能量、物质平衡及响应？

2) 全球变化背景下，大气降雪的时空分布及变化特征？

3) 怎样影响全球和区域的水资源？

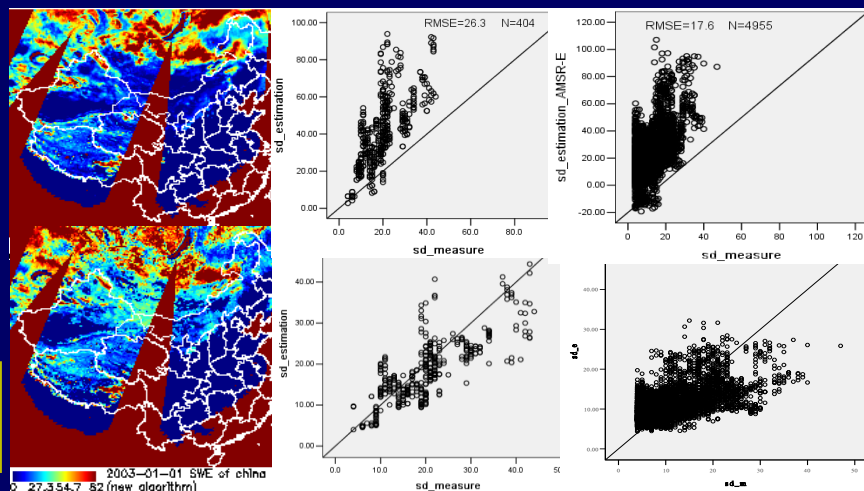
雪水当量反演存在问题

• 被动微波传感器（约25km）：

- SMMR
- SSM/I
- AMSR-E
- AMSR2
- FY-3

AMSR-E B04产品
算法结果图（无
混合象元分解）

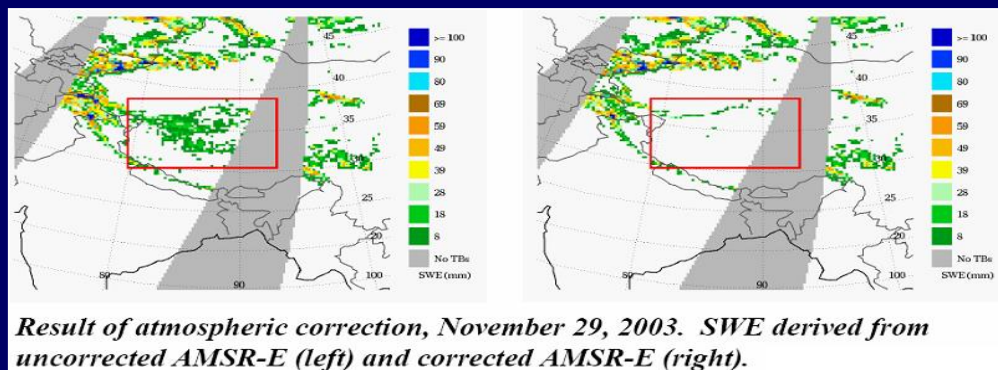
我们的算法结果图
（考虑混合象元分解）



$$SD(SWE) = a + b \cdot (T_{Bp}(18) - T_{Bp}(37))$$

1. 半经验反演算法：存在地区差异性，造成反演精度的全球不一致性
2. 垂直不均一性（雪分层），雪的自身特征变化
3. 大气对雪当量反演的影响

4. 空间分辨率不足，积雪水平不均一性（混合像元，影响反演）

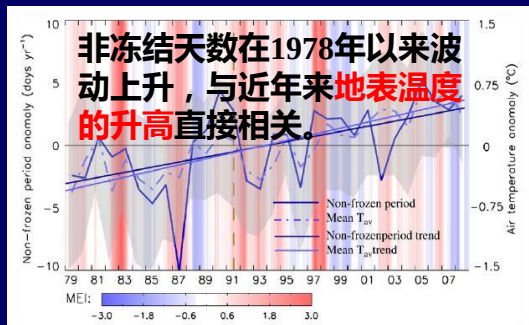


急需解决问题： 如何大力提升对雪当量的时空观测能力？

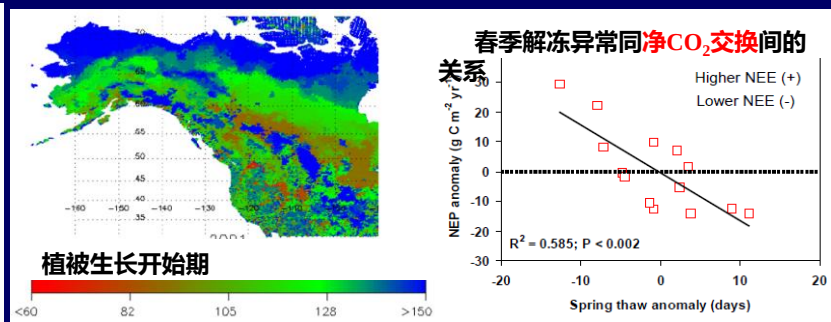
冻融在水循环研究中的科学重要性

冻融过程的周期变化是气候变化关键敏感因子；其相变过程伴随大量的潜热变化，影响着**地气间相互作用**（**蒸散发和碳释放的强度**）；同时土壤冻结，减少了水在土壤中的渗透和迁移，会**大幅增加降雨、融雪产生的径流**。

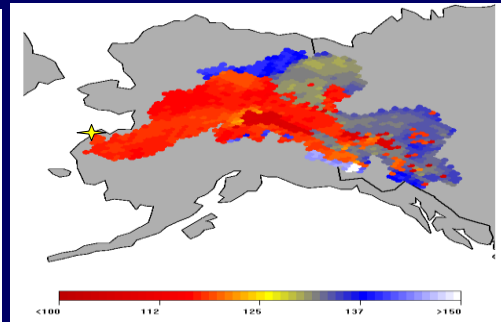
1. 气候变化研究



2. 碳循环研究，确定碳源碳汇

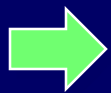


3. 水文预报与春季洪水监测



高纬度永冻土的冻融过程会对水分和温室气体的储存和释放产生决定性影响。

全球冻融过程的时空信息



关键科学问题:

- 1) 其时空分布及变化特征?
- 2) 怎样影响陆地蒸散发和径流的强度? 是否在发生变化?

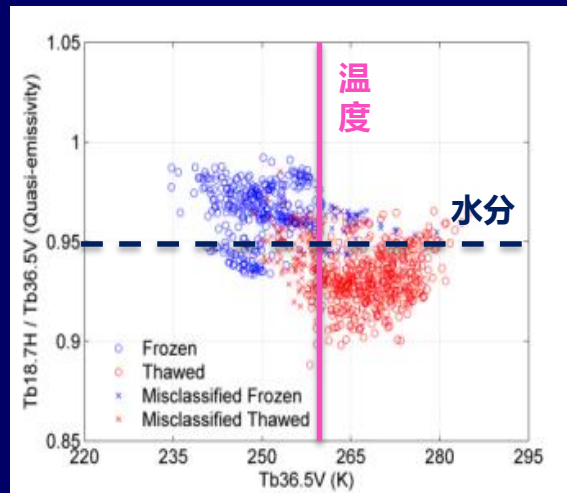
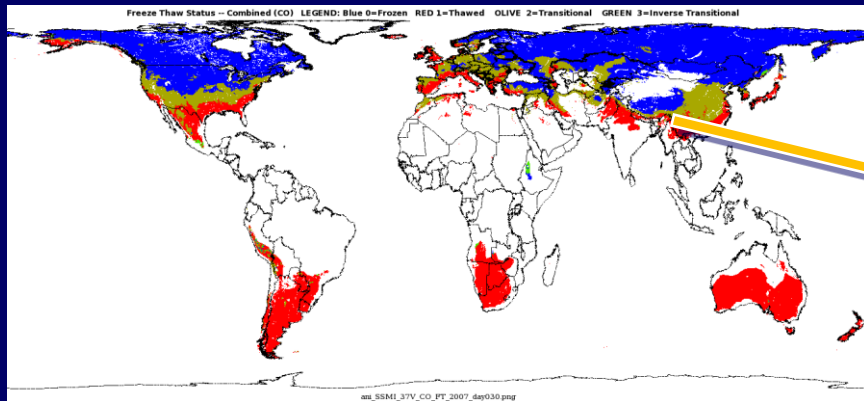
地表冻融监测存在问题

• Ka波段高频微波辐射计

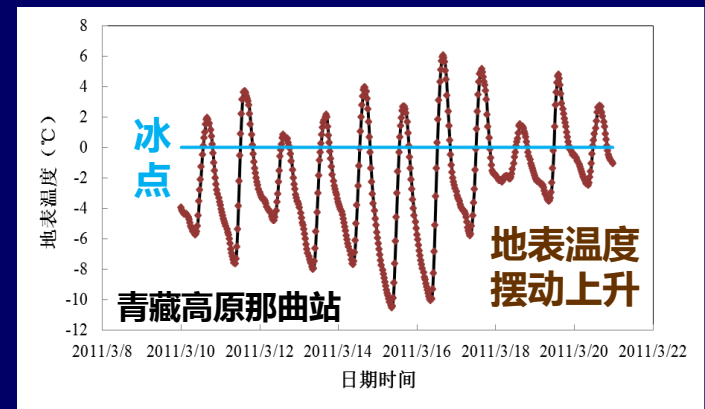
- SMMR (1978-)
- SSM/I (1987-)
- AMRS-E (2002-2011)
- AMSR2 (2012-)

每月冻融状态

SSM/I (37GHz, 25km Res.) 2007



1、主要依靠Ka波段指示温度变化，但对于水分相变的指示能力不足，需具有更高敏感性的L波段。



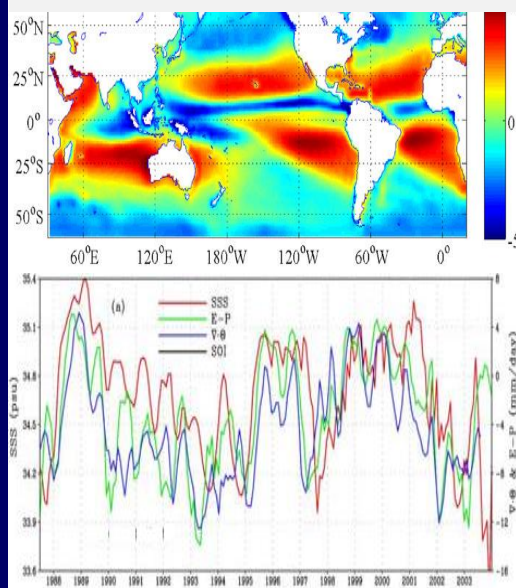
2、**分辨率问题**：在季节性冻土区，地表温度不均衡造成的冻融临界状态在被动微波大尺度下显得更为模糊，需要更高分辨率的探测能力。

急需解决问题： 如何大幅度提升对地表融冻状态的时空观测能力？

海洋盐度在水循环研究中的科学重要性

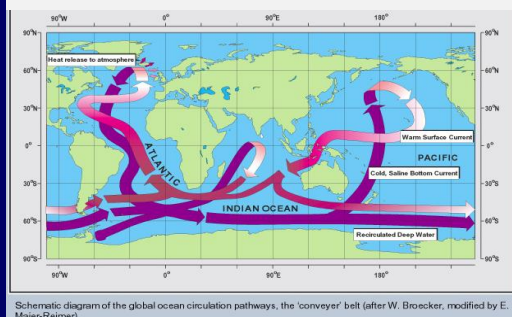
海洋盐度与E-P时间序列变化相关性

降雨蒸发 (P-E) 平衡



1) 海洋盐度变化是对海洋淡水通量 (E-P, 径流输入) 平衡和海洋对流和混合过程的一个指示。海面盐度同蒸发量与降水量之差存在密切相关性, 其时空分布特征及变化在很大程度上直接指示反应了全球变化对海洋水循环过程速度的影响。

海洋热盐环流



2) 海水盐度是洋流的动力因子之一, 盐度的分布和变化直接影响热盐环流变化。

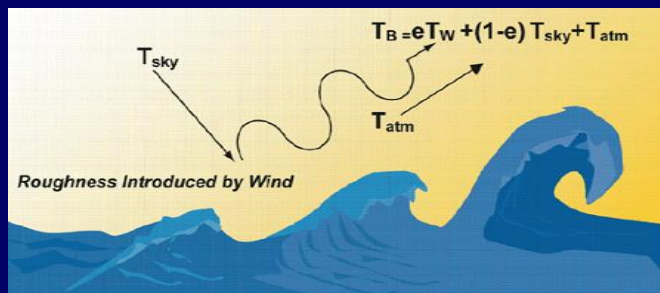
海洋盐度的时空分布特征及变化信息



关键科学问题

- 1) 海洋降雨、蒸发的时空分布及变化特征?
- 2) 海洋水循环的速率是否在发生变化?
- 3) 怎样影响海洋热盐环流的变化?

海面盐度反演存在问题



海洋动力环境有关卫星

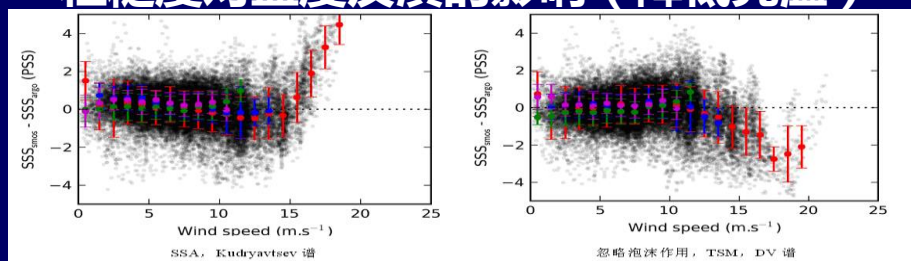
盐度 (Aquarius : 设计精度0.2psu ,

SMOS : 设计精度0.1-0.4psu)

风场 (WindSat , QuickScat , ENVISAT)

$T_b = f(\text{水介电常数} \rightarrow \text{海洋盐度, 温度, 粗糙度})$

粗糙度对盐度反演的影响 (降低亮温)

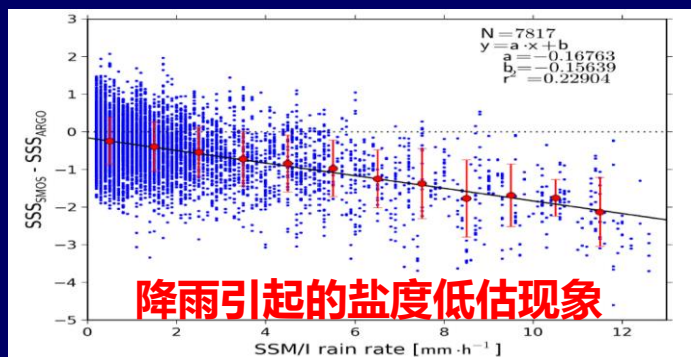


存在问题

观测能力方面: 缺失海面温度和大气参数的同步观测

反演能力方面: 海面粗糙度校正

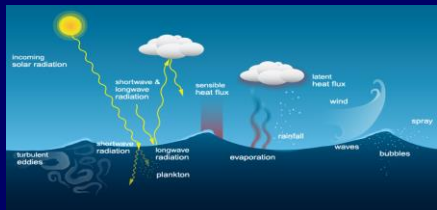
降雨对盐度反演的影响 (增加亮温)



面临的问题:

如何进一步提高对海洋盐度的时空观测能力?

海洋蒸发的科学重要性和观测中的问题



海洋蒸发量约占大气水汽总量的80%，其通过向大气层同时释放**潜热能量**和**水分**，联系着全球的能量循环和水循环过程。在全球气候变化占有重要作用。

海面蒸发受大气湿度、海面温度、粗糙度、和风速的影响，随时间变化较快。

存在问题：

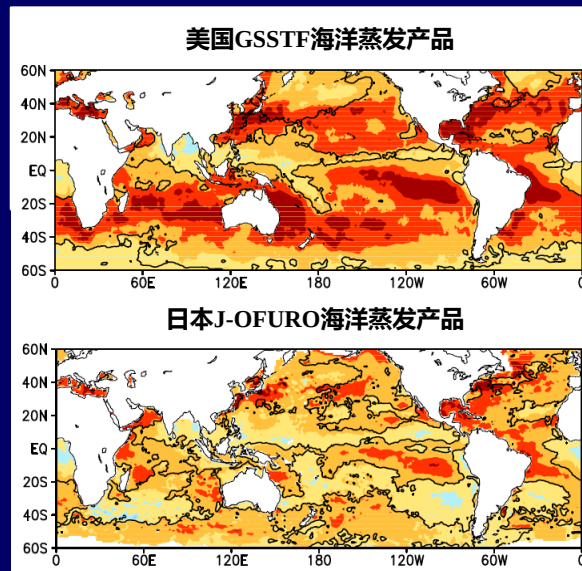
1) 当前的海洋蒸发遥感估计通常**需要结合不同传感器的观测才能计算**。由于观测时间和相应精度的差异，估算结果存在很大的不确定性。

2) 由于海洋蒸发随时间变化较快，一颗卫星的观测仅反映**过境时刻**的情况。

关键科学问题：

- 1) 温度和大气水汽的增加是如何影响海洋蒸发的时空分布及变化特征？
- 2) 海洋水循环的速率是否在发生变化？
- 3) 如何提高对**海洋蒸发的时空观测能力**？

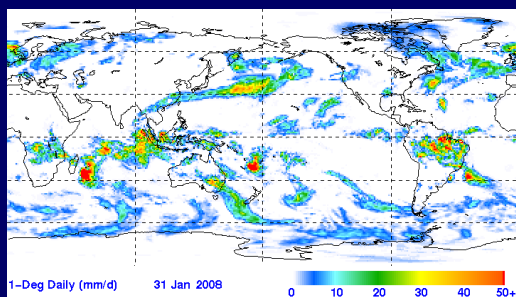
不同海洋蒸发数据的对比



大气降水的科学重要性及存在问题

降水随时间变化较快，其强度和频率是影响地表水文的重要部分，直接关系到水循环速率、以及各类水循环过程包括地表径流、下渗和地下水转化等。

如TRMM 3B42 0.25度3hr产品：雷达、被动微波和静止卫星红外三种观测资料

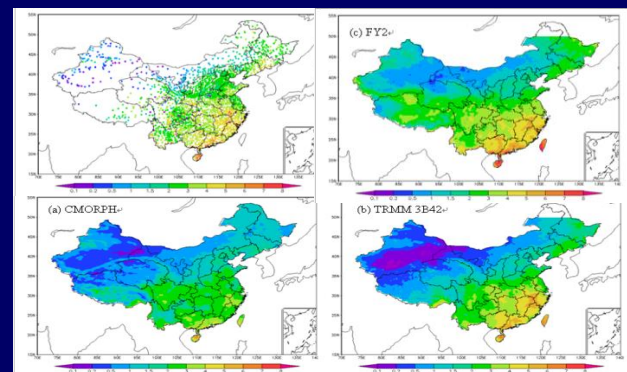
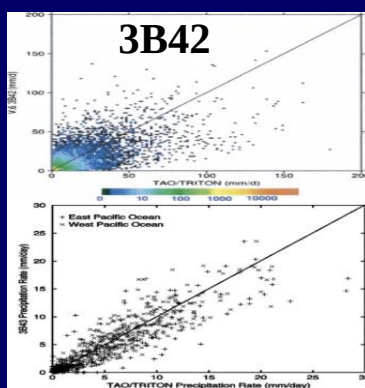


TRMM (3B42)

日平均降雨

月平均数据

卫星与地面观测数据散点图



四种资料的四年平均日降水量

面临的主要问题:

1) **微波**：精度相对高一时空分辨率低；**红外**：**精度低**一时空分辨率高；精度有限：大时空尺度上较好，小时空尺度上则差；2) 反演缺少信息：缺乏云的类型（降水过程的差异）、垂直结构、云高度、微物理信息（冰、水云、滴谱分布等）；3) 目前无法识别**降雨和降雪**

关键科学问题:

1) 大气降水的强度和频率的时空分布特征是否在发生变化？2) 降雨/雪的比率是否在发生变化？3) 如何提高对降水的**时空观测能力**？

水循环遥感监测面临的问题总结

1、水循环参数受到多种地表环境因素的影响，造成遥感获取精度差异，当前现有传感器**缺乏对其它环境影响参数的协同探测能力**

2、水循环参数具有明显的时空变化特征，当前现有卫星只针对水循环中的个别要素进行观测，**缺乏系统性的综合观测能力**

水循环参数	观测能力问题	反演方法问题
土壤水分	高频穿透弱、低频缺少温度观测并受RFI影响	缺少植被、粗糙度有效校正手段、受大气影响
雪水当量	被动微波空间分辨率低	模型参数存在地域差异、未考虑雪自身变化、受大气影响
冻融状态	空间分辨率低、相变敏感性低	判别阈值存在地域差异、受积雪覆盖影响
海面盐度	缺失温度和大气的同步观测	缺少粗糙度有效校正手段
海面蒸发	缺失海面和大气同步观测	各参数反演中的不确定性
降水/雪	云的三维物理特征	无法判断到达地面的降雨（雪）

水循环系统各要素的时空变异特征

水文气候研究需要50–100km，水文气象研究需要4–15km的空间分辨率

时间变异性大:

- 降水/水汽（大气运动）
- 海洋蒸发（风速引起的粗糙度变化）

空间异质性强:

- 地表冻融
- 雪水当量
- 土壤水分

时空变化较小:

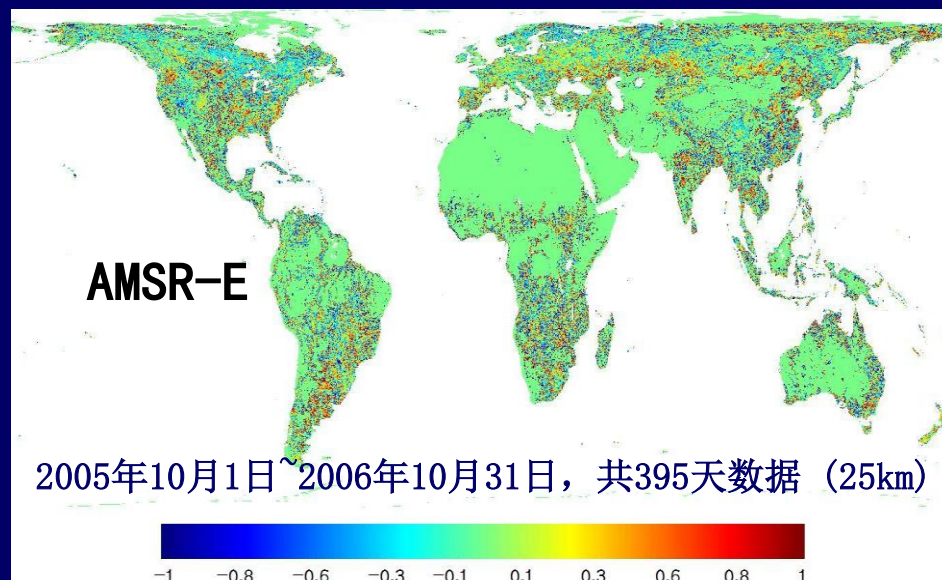
- 海面盐度
- 极区冰盖冰架与物质平衡

水循环系统/参数	时间分辨率	理想空间分辨率	最低分辨率需求	观测误差
降水/水汽	1-2小时	1km	25km	1 mm hr-1
海洋蒸发	1-2小时	10km	25km	15 W m-2
土壤水分	2-3天	100m-1km	50km	0.04 m ³ /m ³
海面盐度	10-30天	10km	100km	0.1-0.2 psu
地表冻融	2-3天	100m-1km	50km	10-20 %
雪水当量	2-3天	100m-1km	50km	10 %
极区冰盖冰架	10-15天	10km	100km	~
水体（光学）	3-7天	30m	1km	1000 m2
地下水（重力）	1月	50km	300km	~
陆地蒸散发	1-2小时	30m-1km	5km	30 W m-2
地表径流	1-2小时	~	~	~

遥感研究方式的问题

1. 单一传感器及单一参数的研究方式
2. 反演各参数中相互独立的研究方式
3. 许多卫星观测的结果产出，未考虑到模型的需求

这类数据只能提供概念上的统计分析结果，但很难用于定量的水循环研究和改进水文-大气模型的模拟能力

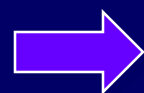


NASA降雨与土壤水分产品的相关系数图

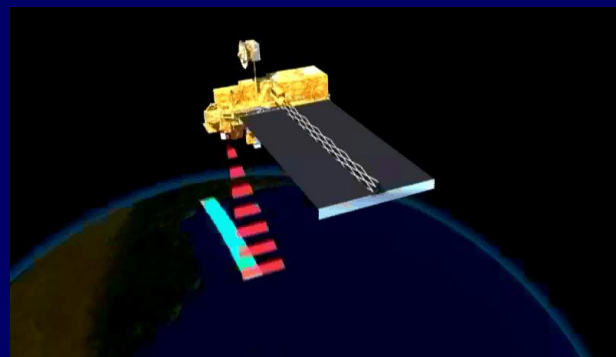
水文-大气的过程模型是在水和能量的系统平衡状态下进行！
必须考虑系统平衡！

水循环研究的需求

大力改进水循环的系统
观测的能力与精度



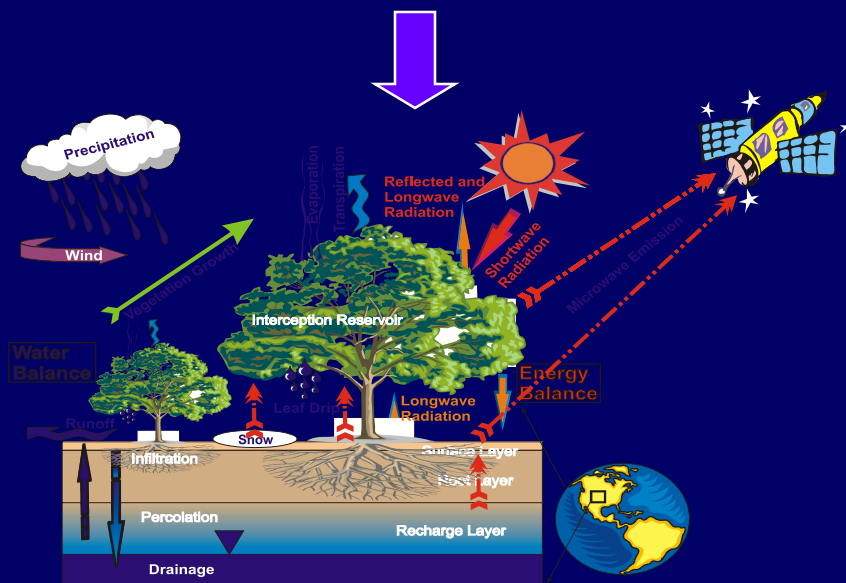
满足水循环研究需求



有效发展水循环模拟研究



获得对水循环过程新的理解
，提高预测能力

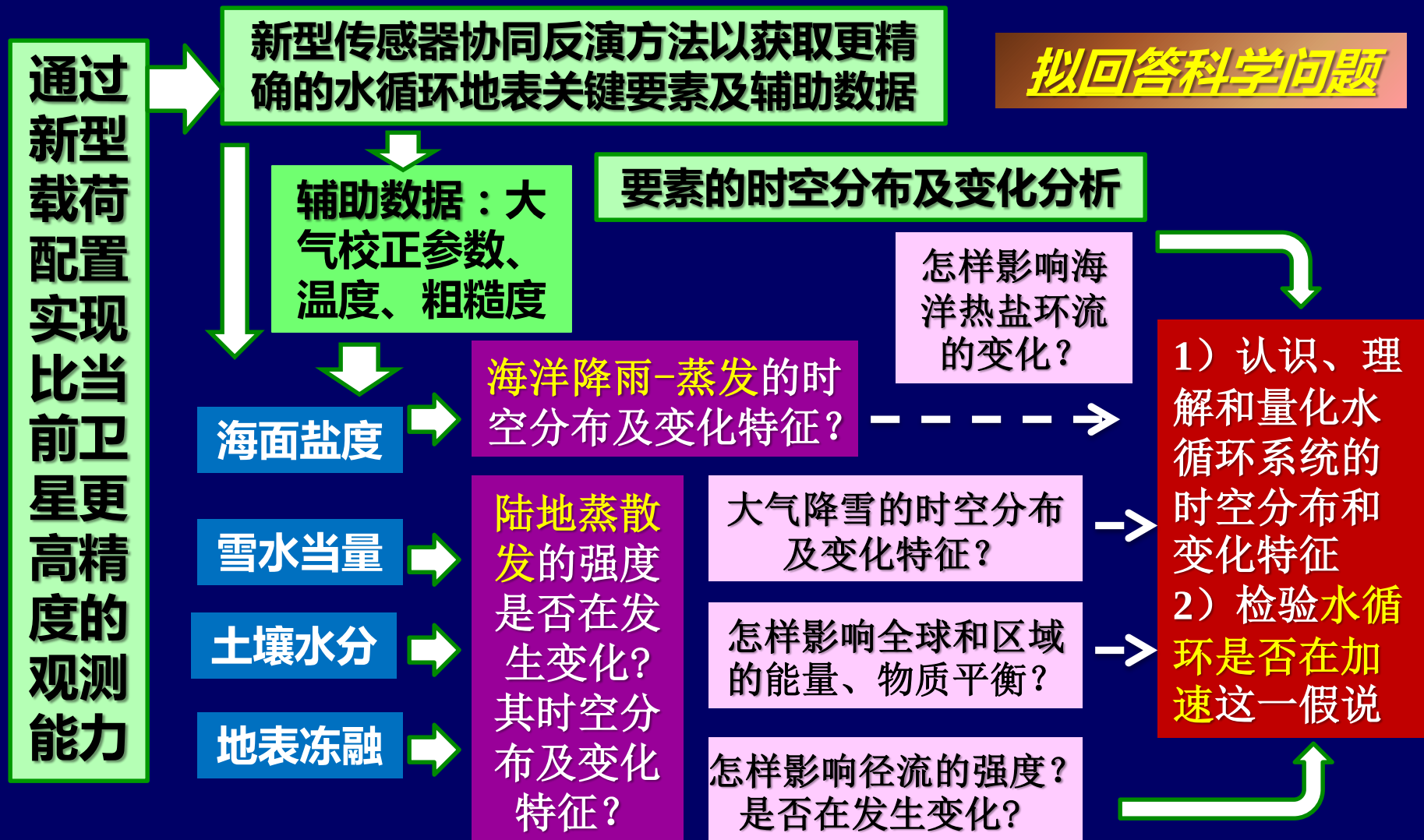


报告提纲

1. 水循环研究的科学意义及必要性
2. 水循环研究现状及关键要素的卫星遥感面临问题
- 3. 项目总体科学目标**
4. 载荷初步方案
5. 研究内容与拟解决的关键技术
6. 创新点
7. 研究队伍的组织、国际合作、预算等

全球水循环关键要素观测卫星-总体设计思路

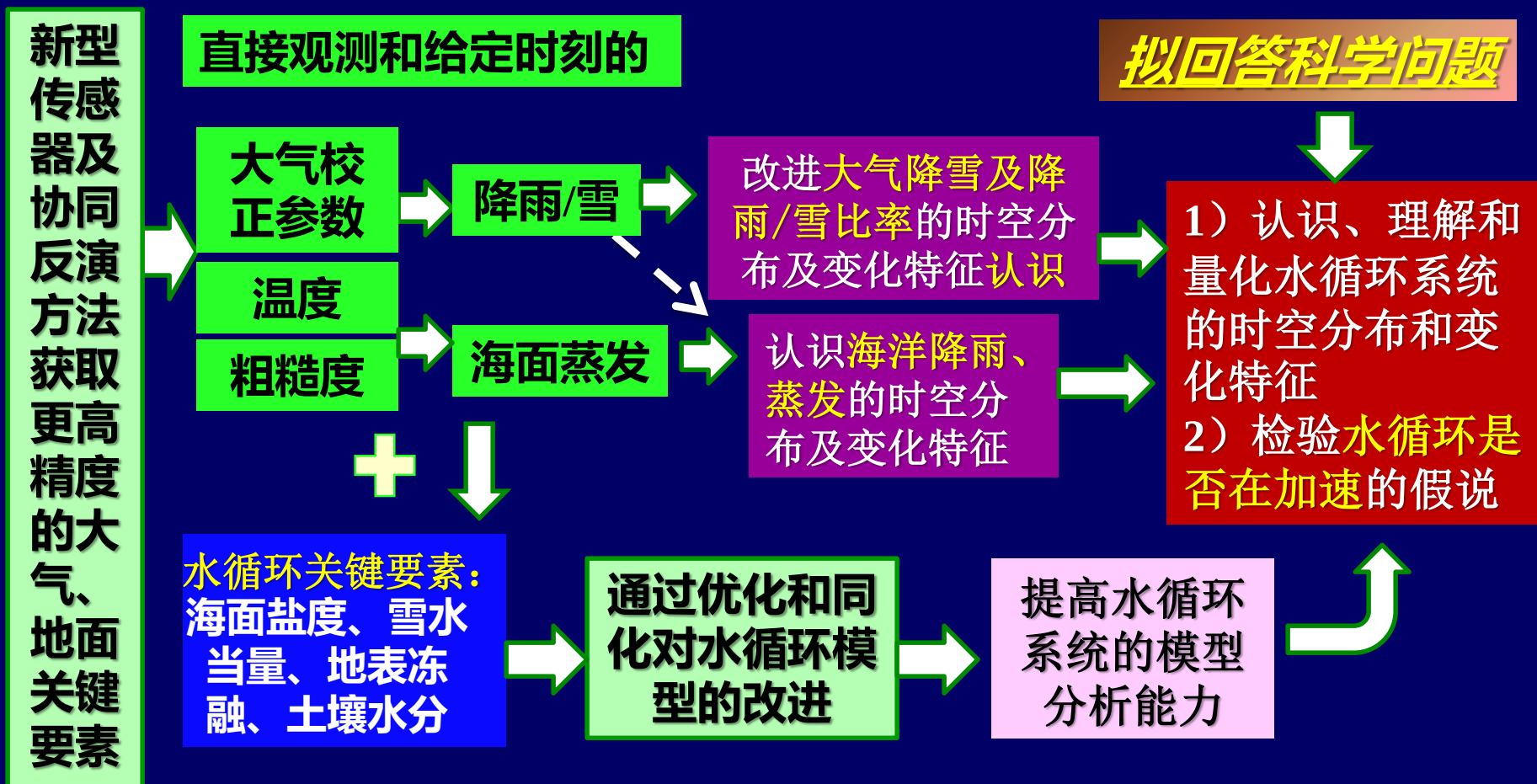
项目主体-水循环关键要素观测



全球水循环关键要素观测卫星-总体设计思路

如何进一步改进水循环模型的模拟预报能力？

- 1) 辅助数据和关键要素一起提供了更完整的水循环系统观测；
- 2) 海、陆、大气多要素的水循环系统观测为模型改进提供新的可能。



水循环关键要素卫星计划的总体目标

总体目标: 通过研发多波段同步、主被动联合、多变量系统观测的新型有效载荷和卫星以及多参数高精度协同反演的理论和方法，形成比当前任何卫星对水循环系统关键变量更高精度的综合观测能力，减小水循环关键变量卫星遥感观测的不确定度；

科学目标: 通过对水循环关键变量时空一致的系统观测，研究水循环过程及关键变量相互耦合和作用的机制，提升对项目的两大科学问题的理解，进一步认识在全球变化背景下水循环的科学规律。

技术目标:

1. 具有更精确观测能力的国际首颗综合水循环关键要素的系统观测卫星
2. 新型宽波段、全极化、高精度、高分辨、主被动微波传感器
3. 先进的多参数协同定量反演理论与技术

报告提纲

1. 水循环研究的科学意义及必要性
2. 水循环研究现状及关键要素的卫星遥感面临问题
3. 项目总体科学目标
4. 载荷初步方案
5. 研究内容与拟解决的关键技术
6. 创新点
7. 研究队伍的组织、国际合作、预算等

有效载荷选取原则

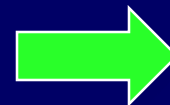
1. 满足水循环研究的科学需求方面

- 对辐射分辨率、时空分辨率、和关键要素的同步观测科学要求
- 通过不同传感器的优势互补，可大力提升对各水循环参数的观测能力（反演精度或缺失的观测信息），以满足水循环参数反演对多种观测要素同步测量的观测要求



2. 传感器选择方面

- 先进性：利用先进技术，提高性能指标
- 成熟性：技术基础好，技术成熟度较高
- 适用性：综合考虑卫星规模与经费需求

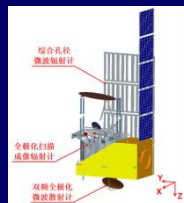


优于当前各卫星的观测能力，满足水循环科学研究的新型有效载荷的总体设计方案

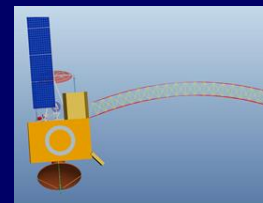
选用有效载荷及其主要指标

1. 全极化综合孔径微波辐射计 (FPIR , Full Polarized Interferometric Radiometer)

L、S双频



或 L、S、C
三频

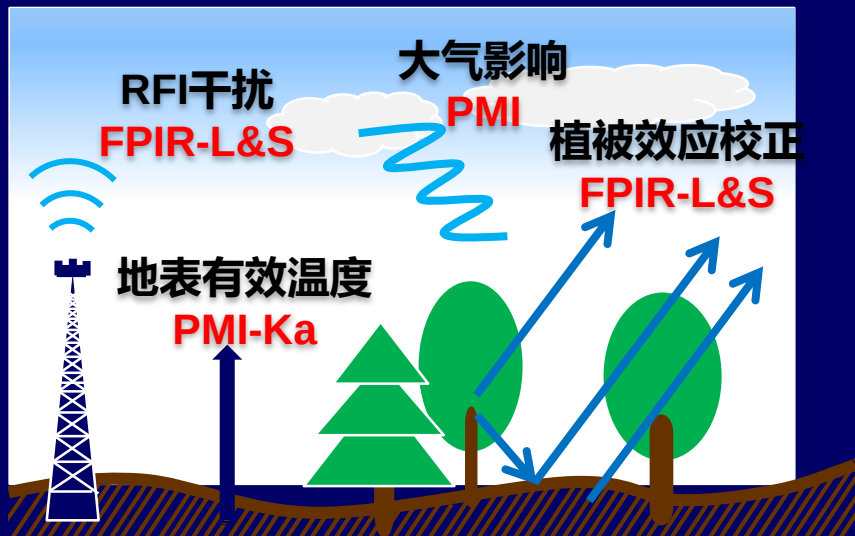


2. 宽波段极化微波扫描成像仪 (PMI, Polarimetric Microwave Imager , 6.8 ~ 150GHz)

3. 双频高分辨率全极化微波散射计 (DFPSCAT, Dual Frequency Polarized Scatterometer)

有效载荷/指标	FPIR	PMI	DFPSCAT
频率 (GHz) (初步指标)	L, S ,C 波段 (1.4,2.4,6.8)	C~W 波段 (6.8,10.65,18.7,23.8,37, 89,150)	X, Ku 波段 (9.6,14/17)
分辨率 (km)	L: 50, S: 30, C:15	4~50 (频率由高到低)	2~5 (后处理)
刈幅宽度 (km)	>1000	>1000	>1000
极化方式	全极化	部分频率全极化	全极化
灵敏度	0.1~0.2K	0.3 ~ 0.5K	0.5dB
时间分辨率 (天)	2~3	2~3	2~3

设计方案针对土壤水分反演的优势



• FPIR

- 1) L/S波段配合有效解决植被校正中不同极化效应的问题
- 2) RFI在同一地区同一频率下同时发生的概率极小，L/S波段相互切换使用规避RFI

• PMI

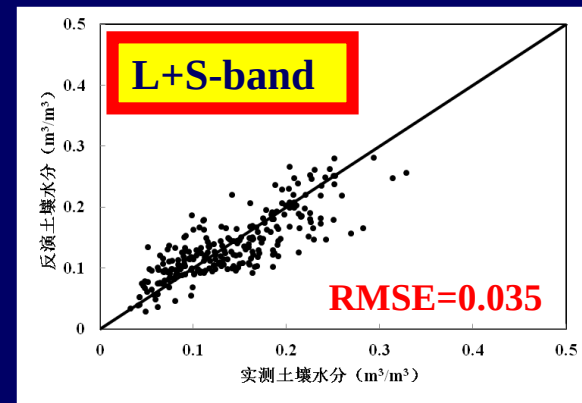
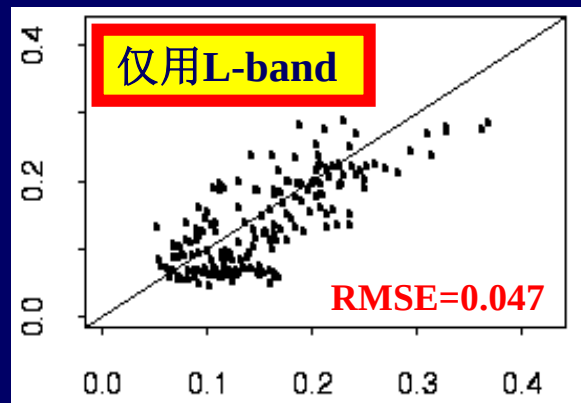
获取地表有效温度

• DFPSCA

高分辨率的植被信息



各种植被类型



设计方案针对雪水当量反演的优势

• DFPSCAT

双频双极化配置：X和Ku波段两个频率对积雪体散射的不同敏感性；同极化、交叉极化后向散射对体散射、面散射分量的不同敏感性

高空间分辨率：减少空间异质性影响

高时间分辨率：短重访周期，满足监测积雪变化的需求

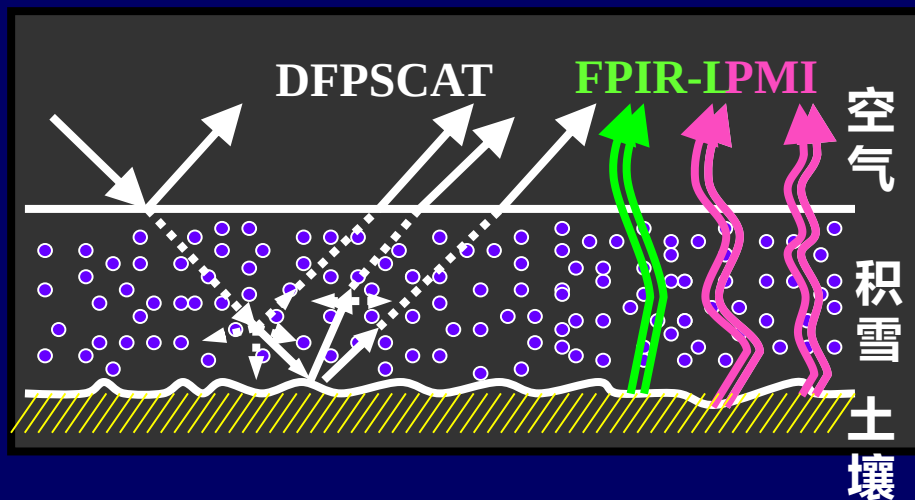
• FPIR

低频亮温提供积雪下土壤表面信息

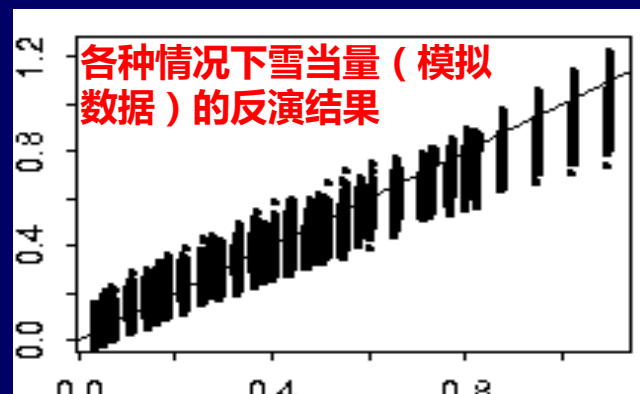
• PMI

1) 基于多频率极化亮温的低分辨率积雪水当量反演；

2) 联合DFPSCAT散射计数据进行主被动联合积雪参数反演

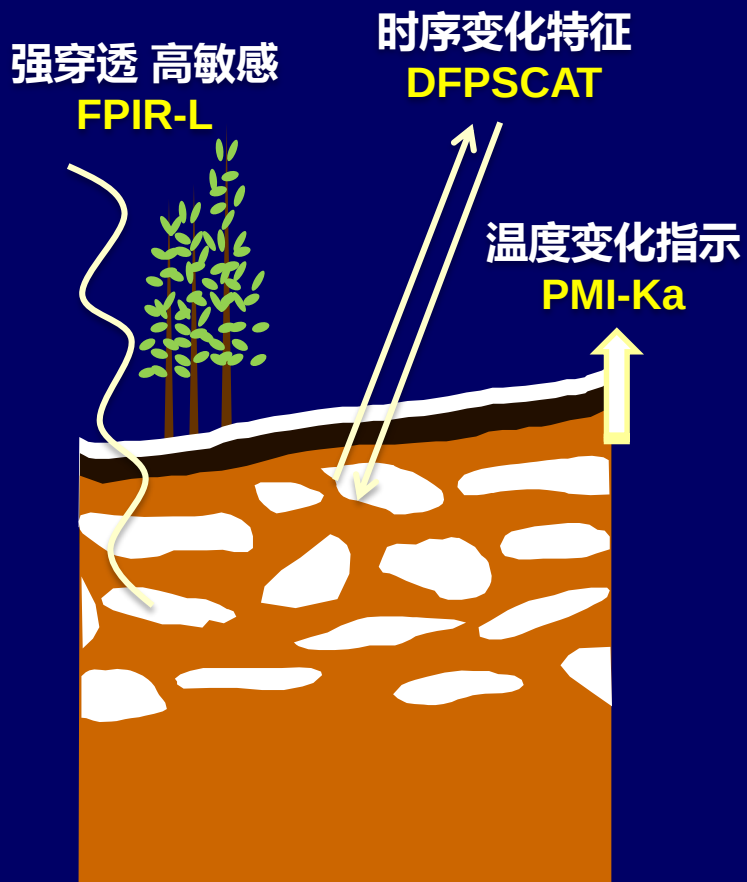


提出了针对雪当量设计的传感器参数以及定量反演算法



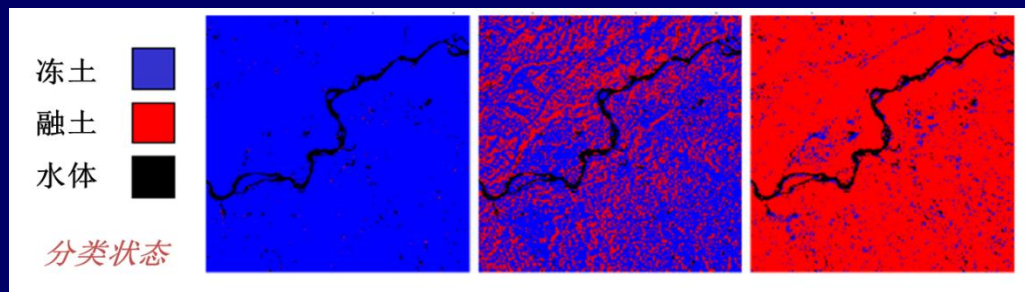
目前尚无针对雪当量的卫星

设计方案针对地表冻融状态监测的优势



• DFPSCAT

主动微波观测具有**较高的空间分辨率**，能够避免空间异质性引起的地表冻融状态估计偏差问题，通过时间序列分析技术建立判别阈值，能够更为精确地提供高分辨率的地表冻融信息



L波段SAR地表冻融分类结果显示空间变异很大

• PMI

大气校正和多频微波辐射计包含了对于温度变化较为敏感的Ka波段，能够指示冻融土变化过程中的**温度变化信息**

• FPIR

对于地表水分相变更敏感的亮温观测，改善了当前卫星传感器对于水分相变指示能力不足的问题，同时**穿透能力**能够透过**植被和积雪**并反映季节性冻土的**冻融深度**信息

设计方案针对海洋盐度及蒸发的优势

- **FPIR**

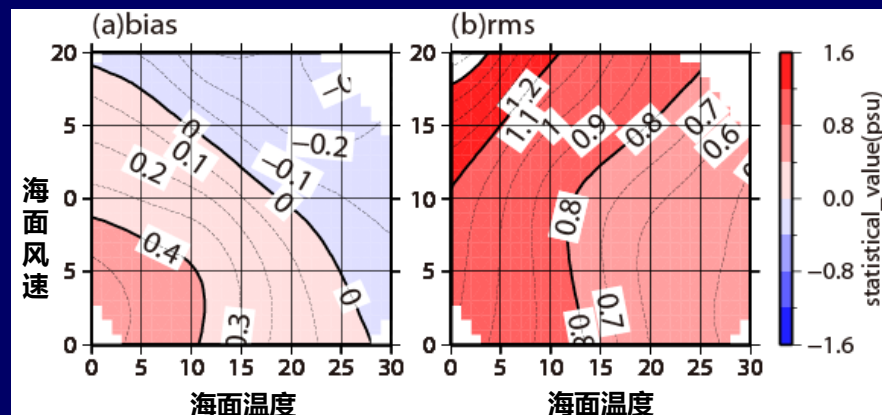
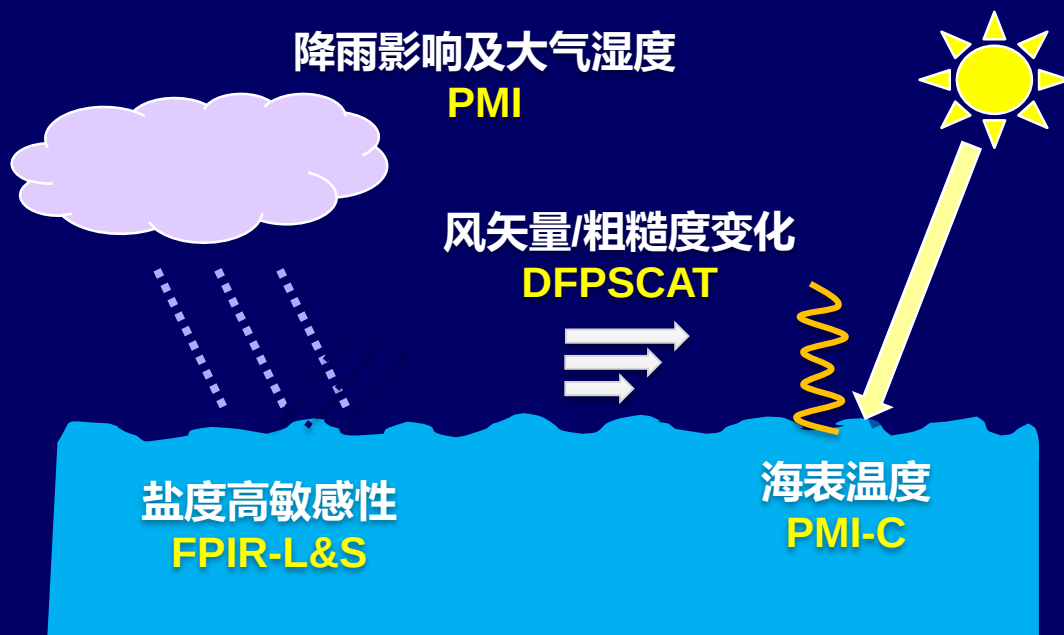
提供对盐度变化高敏感性的观测，
具有电离层校正能力

- **DFPSCAT**

能够获取海面风场并计算海面粗糙度对盐度反演的影响

- **PMI**

- 1) PMI的多种亮温观测，有助于降低温度变化对于盐度反演的影响
- 2) 保证了有效的大气校正手段，减少降雨引起盐度反演误差
- 3) 反演海面温度，风速以及大气湿度，是计算海洋蒸发的必要变量



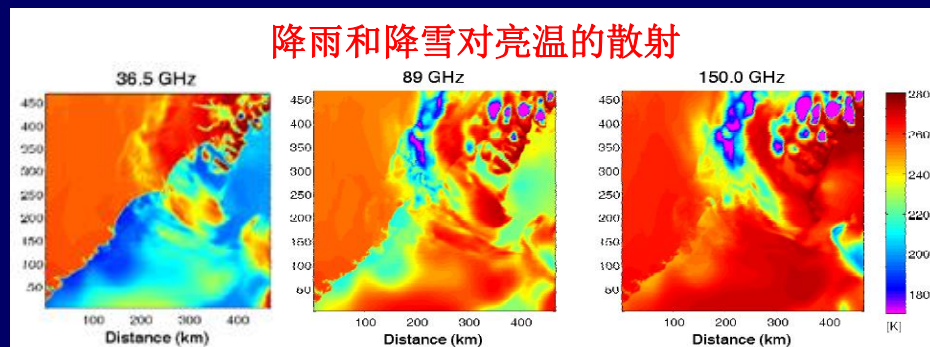
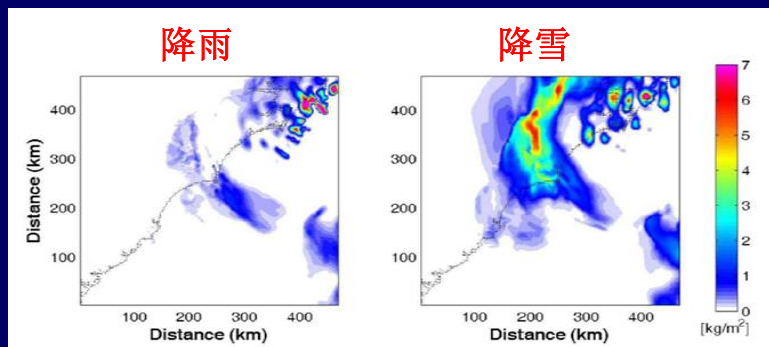
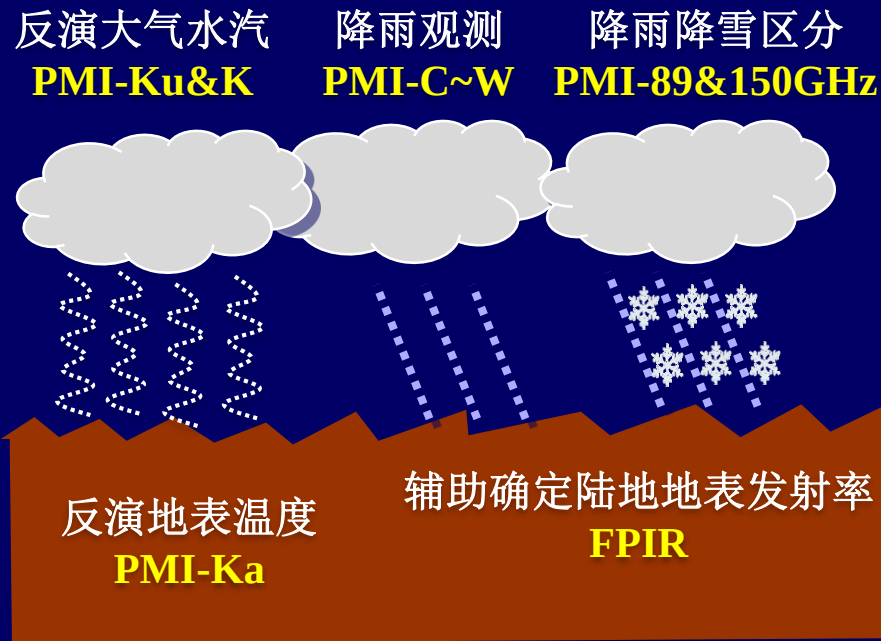
设计方案针对大气水汽和降雨的优势

• PMI

- 1) 利用Ku及K波段在全天候条件下反演大气水汽
- 2) C~W波段用于反演降雨
- 3) 利用89和150GHz区别降雨和降雪提高反演精度
- 4) 全极化波段反映云粒子或雨滴形状信息

• FPIR-L/S

辅助确定地表发射率，提高大气参数反演精度



低频数据对降雨更为敏感，表现出海面亮温升高，陆面亮温降低的现象。
89和150GHz对云顶冰晶和降雪的散射非常敏感（150GHz更强）。

设计载荷对水循环各要素观测能力总结

	FPIR	PMI	DFPSCAT
土壤水分	1) 大穿透深度更高敏感性的亮温 2) 消除植被覆盖的影响 3) 减少RFI干扰对反演影响	1) 提供地表温度变化敏感的亮温 2) 反映大尺度下的地表粗糙度特征	1) 地表粗糙度和植被变化信息 2) 降尺度提高土壤水分产品分辨率
海面盐度	1) 提供对海面盐度更为敏感的亮温 2) S波段提供电离层有效校正手段	1) 大气校正的有效手段 2) 对海面温度变化敏感的亮温	高分辨率观测提供海面风场信息
海洋蒸发	反映大海况下表面粗糙度情况	对温度变化敏感的亮温	高分辨率观测提供海面风场信息
地表冻融	反映次表层信息	反映冻融过程中的温度变化	1) 高分辨率观测的时间序列反映冻融过程 2) 降尺度算法提高地表冻融产品分辨率
雪水当量	反映积雪下覆地表信息	通过积雪衰减特性差异获取雪水当量	1) 体散射特征差异获取积雪深度和密度特征 2) 减少积雪异质性产生的反演精度影响
极区 冰盖冰架	穿透雪层数十米	冰盖不同层次的温度变化信息	提供浅层冰雪的密度分布
大气水汽 与降水	辅助确定地表发射率信息	1) 获取大气水汽含量 2) 反演降水率 3) 区分降雨和降雪	提供高分辨率的降雨观测

有效载荷的总体初步设计方案满足：1) 各要素的最佳观测波段，2) 具有对其它影响因子的观测校正能力，3) 实现同步观测，以实现项目的科学目标。

关键

主要

辅助

报告提纲

1. 水循环研究的科学意义及必要性
2. 水循环研究现状及关键要素的卫星遥感面临问题
3. 项目总体科学目标
4. 载荷初步方案
5. 研究内容与拟解决的关键技术
6. 创新点
7. 研究队伍的组织、国际合作、预算等

主要研究内容

- (1) 新型传感器与卫星系统设计与研发;
- (2) 水循环系统关键变量的综合观测与高精度协同反演;
- (3) 地球系统各圈层中水的变化和传输、关键水循环关键变量和过程的相互耦合及作用的机制研究。

关键技术-1：水循环要素的高精度反演

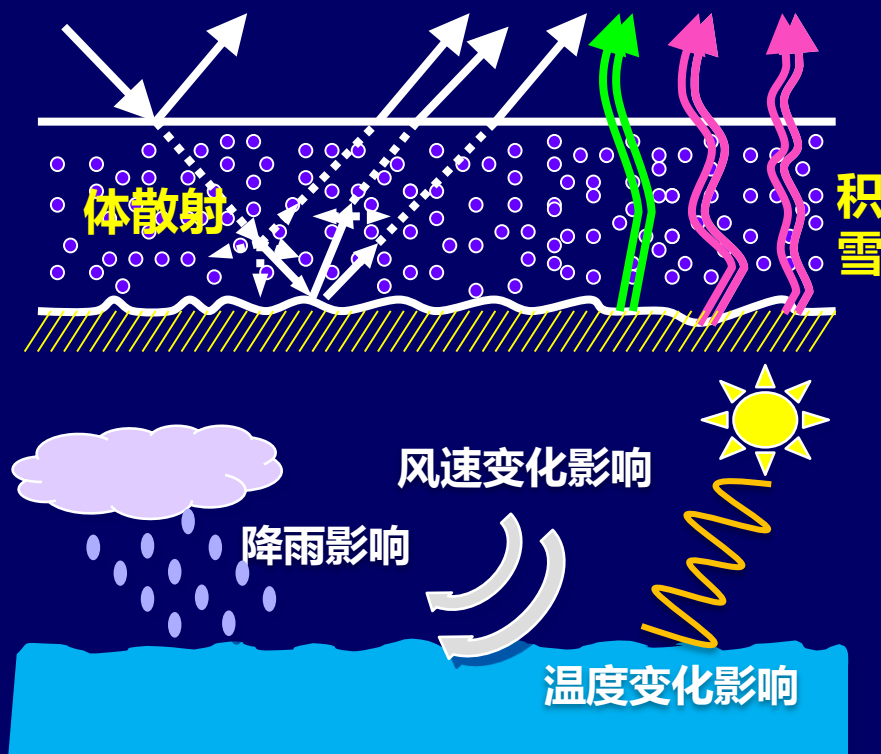
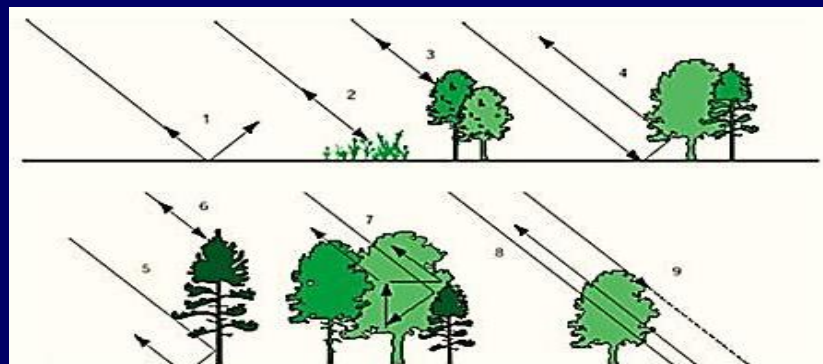
多源传感器综合观测条件下的 新型反演技术



(1) 如何通过双频微波辐射参数化提高复杂植被校正精度以增强土壤水分反演可靠性；

(2) 如何结合主被动联合观测提高复杂地表条件下的冻融判别与雪水当量反演精度；

(3) 如何综合利用多种传感器观测的环境变量以提高复杂海况下的海面盐度反演。



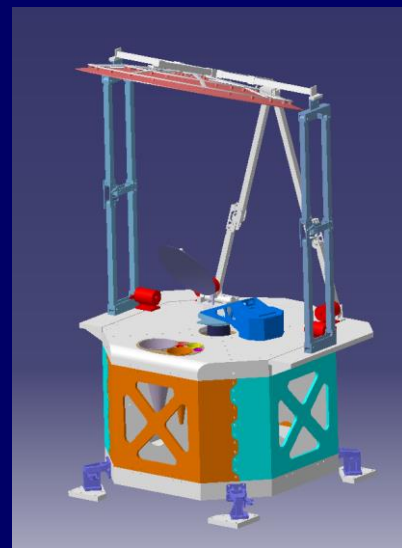
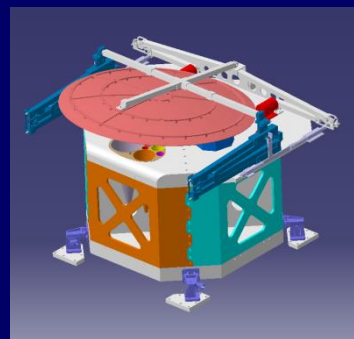
关键技术-2：大口径天线及其展开技术

• FPIR

- 天线尺寸：6m
 - 保证分辨率要求
- 发射段：折叠，保证包络
- 入轨后：展开，保证口径
- 稀疏阵列天线方案
 - 单元天线的电连续性
- 稀疏阵列馈源反射面天线方案
 - 6m×6m口面展开
(HJ-1C：6m×2.8m)

• PMI

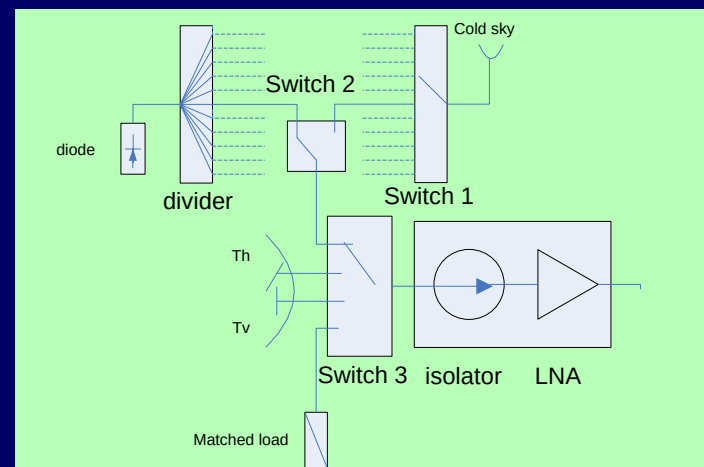
- 天线高度：3.4m
 - 极化纯度：焦径比大
 - 观测视场：天线高度大
- 发射段：折叠，保证包络
- 入轨后：展开，保证口径



关键技术-3：高稳定全极化定标技术

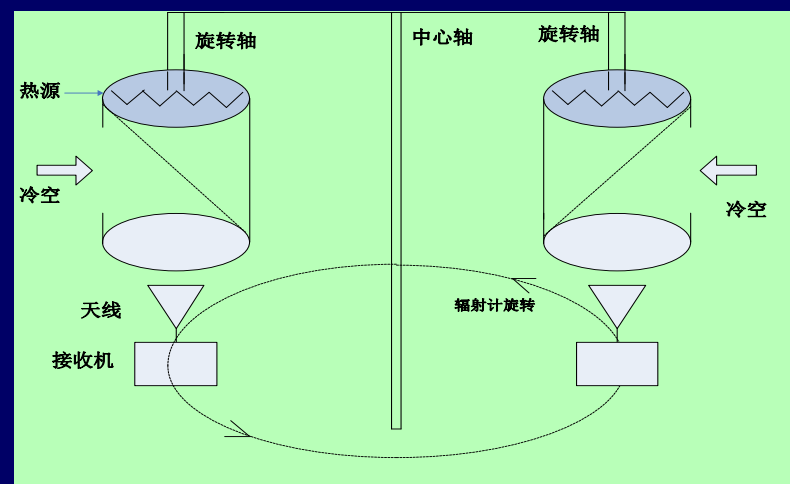
• FPIR

- 全系统定标复杂
- 分段定标，噪声注入
- 前端高精度温控（稳定性要求）
- 在轨定标参数验证与修正（姿态机动）
- 地面参考定标
- SMOS, Aquarius基础



• PMI

- 在轨全极化定标源
- 在轨定标信号产生与处理
- Windsat经验（但体制不同）



关键技术-4: DFPSCAT的高分辨率在轨数据处理

• DFPSCAT

- 真实孔径雷达原始分辨率

- 俯仰方向（脉冲压缩）：
50m==》2~5km（非相干累积）
- 方位方向（波束限制）
9~15km==》2~5km（超分辨）

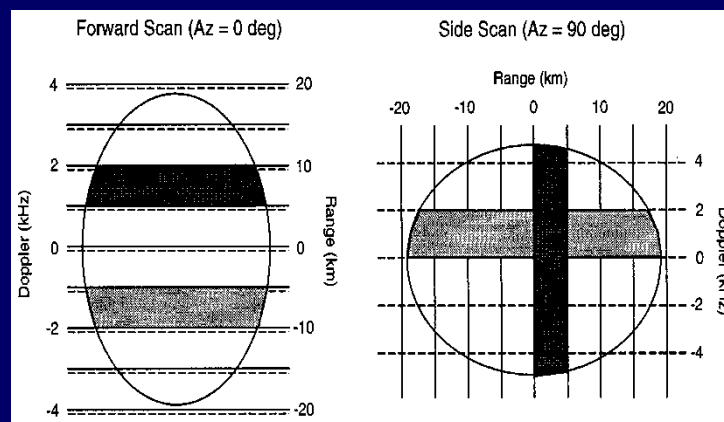
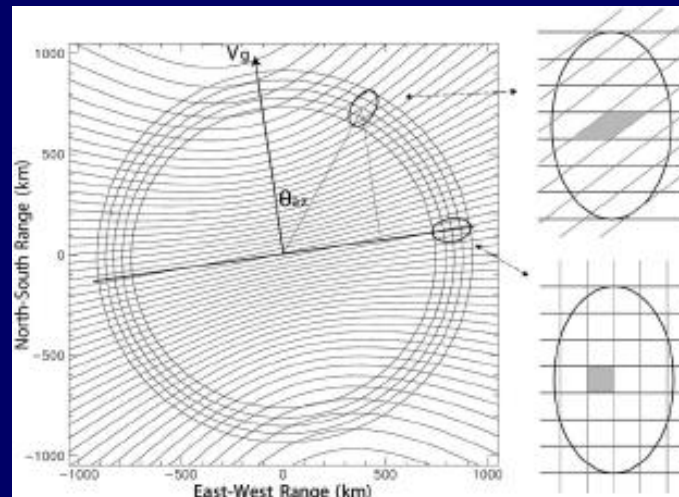
• 高分辨率处理

- 解决途径

- Doppler波束锐化（SAR）
适用于刈幅两侧
- 超分辨重建
适用于刈幅中央

- 关键问题:

- 信噪比影响与实时实现



报告提纲

1. 水循环研究的科学意义及必要性
2. 水循环研究现状及关键要素的卫星遥感面临问题
3. 项目总体科学目标
4. 载荷初步方案
5. 研究内容与拟解决的关键技术
- 6. 创新点**
7. 研究队伍的组织、国际合作、预算等

项目创新点和意义

国际上首次提出当前最全面的、基于主被动联合观测的水循环系统多要素同步测量的新型遥感卫星，也是我国第一颗以科学目标为驱动的对地观测卫星。

前所未有的
观测能力

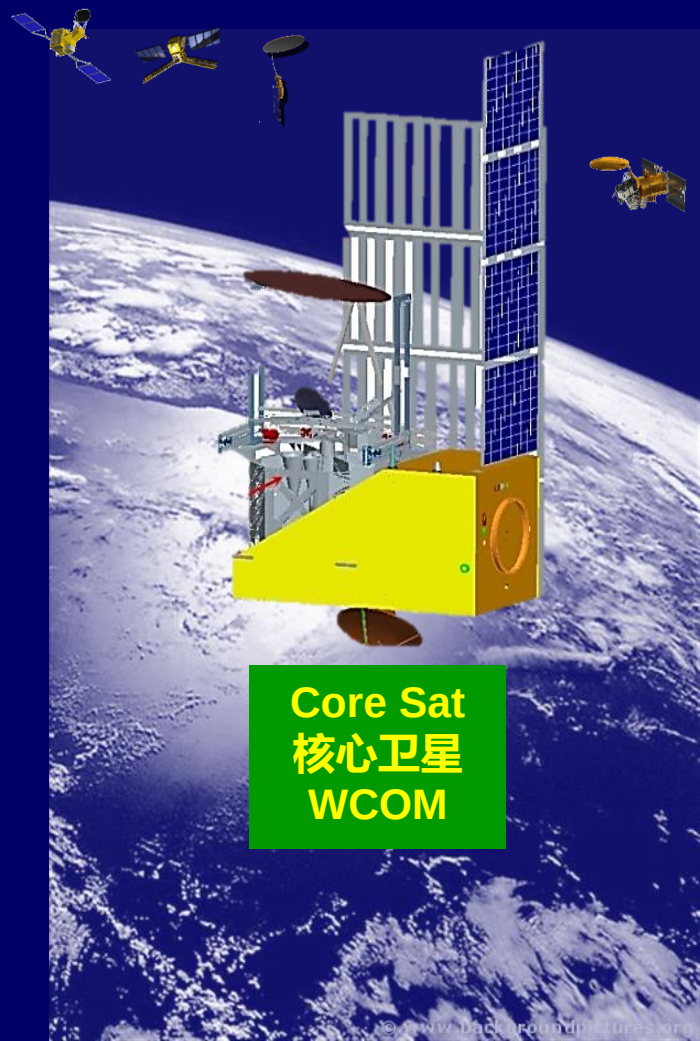
1. 先进传感器：新型宽刈幅、多波段、全极化、高分辨、高精度的有效载荷；
2. 高精度反演：通过各传感器的组合，不但具备各关键变量的主要敏感波段而且具有对其它环境变量的观测校正能力；
3. 系统性观测：满足水循环科学研究对关键变量的精确和时空一致性要求。

科学问题：

水循环过程与关键变量相互耦合和演化的机制，及其对全球变化的响应

推动地球系统科学及全球变化研究的发展

项目的意义-发起国际水循环观测星座系统



国际上首次提出当前最全面的、观测能力最强的、针对水循环系统多关键变量同步测量的新型卫星。

机遇： WCOM的成功将有助于我们吸引和联合国际相关卫星计划，引领发起形成全球水循环观测星座的国际计划。

全球降雨观测计划（GPM）就是一个很好的例子

报告提纲

1. 水循环研究的科学意义及必要性
2. 水循环研究现状及关键要素的卫星遥感面临问题
3. 项目总体科学目标
4. 载荷初步方案
5. 研究内容与拟解决的关键技术
6. 创新点
7. 研究队伍的组织、国际合作、预算等

研究队伍

施建成 研究员：国家千人计划入选者，遥感科学国家重点实验室主任

- IEEE GRSL 杂志 副主编，先后主持NASA、ESA、JAXA的20多项科研项目
- 当前SMAP、SMOS、CoReH2O卫星计划科学组委员，CoReH2O卫星科学模型的提出者
- 在主被动微波辐射传输机理建模、积雪、植被、和土壤水分反演、陆表水文模型开发及遥感数据同化等领域取得了许多成果，发表SCI和EI论文200余篇，SCI引用2400多次。

主要承担单位与分工

• 中科院遥感与数字地球研究所：

- 科学目标的论证；
- 科学团队的组织；
- 反演模型的发展；
- 科学研究的实施。

• 中科院空间科学与应用研究中心

- 在背景型号研究阶段，组织开展卫星和有效载荷方案设计论证和关键技术研究；
- 组织开展有效载荷研制和科学数据预处理。

• 科学团队：

- 北京师范大学、浙江大学、同济大学等
- 中科院地理所、大气所、海洋所、寒旱所等
- 国家卫星气象中心、卫星海洋应用中心、极地中心等。

• 平台与载荷团队

- 航天五院、八院、东方红等卫星及有效载荷研发单位
- 中科院电子所，中国电科55所、38所，兵器206所，航天科工23所，航空材料研究院等。

科学团队与任务分工

卫星遥感数据反演团队

- 土壤水分：中科院遥感地球所 施建成
- 地表冻融：中科院遥感地球所 施建成 赵天杰
- 雪水当量：北京师范大学 蒋玲梅
- 海面盐度：浙江大学 杜阳
- 海洋蒸发：中科院大气物理所 高志球
- 大气水汽与降雨：卫星气象中心 张鹏
- 极地冰盖与物质平衡：同济大学 李荣兴

水循环模型及同化团队

- 中科院地理科学与资源研究所 刘昌明
- 中国水利水电科学研究院水资源所 王浩
- 北京师范大学 段青云

国际合作

• 科学研究

- SMOS团队
- CoReH2O团队
- Aquarius与SMAP团队
- COSPAR水团队

• 技术研发

- ESA
- UPC (西班牙)

• 定标与真实性检验

- 瓦伦西亚大学 (西班牙)
- CEOS WGCV
- GSICS


Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère
UMR 5126 CNRS, CNRS,IRD, UPS

Toulouse, 3 March 2013
CESBIO/Y99/N° 103-13

Dr Yann H. KERR
SMOS PI
Director of the Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère,
(CNRS, CNRS,IRD,UTP)
18 Av. Edouard Belin
Toulouse, 31401 Cedex 09 France
Phone: (+33) 05 61 55 85 22 (assistant: 01)
Fax: (+33) 05 61 55 85 30
yann.kerr@cesbio.cnrs.fr

To whom it may concern

Subject: Letter of support for A Satellite Mission for Global Water Cycle Key Parameters

To whom it may concern

I wish to express my very strong support for the initiative for a satellite mission for global key water cycle parameter monitoring. A dual frequency instrument (L and S) will be very useful to monitor soil moisture and sea surface salinity. With the addition of a new classical radiometer (similar type to AMSR-E or AMSR-2) and a dual frequency scatterometer, this mission will allow accessing the main components of the water cycle both over land and oceans as well as issues associated with cold areas (frozen soils, snow and ice).

Considering the amount of information available from SMOS for many practical and scientific applications ranging from weather forecast to water resources management, extreme events alerts to climate evolution analysis, one can be sure that such a mission will prove crucial for many aspects.

Being very much involved in this topic and considering the potential interest of this new mission, we are of course very much looking forward to collaborating and interacting / discussing on this mission study.

I can thus only be very much supportive of such an initiative.

Yours faithfully,



Dr. Yann H. Kerr
Director of CESBIO
PI of the SMOS mission.


Institut für Meteorologie und
Geophysik Universität Innsbruck
Prof. Helmut Rott

Innsbruck, 06.03.2013

To whom it may concern

Letter of support for Satellite Mission for Global Water Cycle Key Parameters

This is to express my strong interest and support for the initiative and preparations on a satellite mission for observing global water cycle key parameters. The proposed satellite would deliver unique information on main parameters of the global water cycle. The observations delivered by this satellite will be of great value for climate research and for modelling and forecasting the impact of climate change on water resources.

The proposed satellite would include a unique combination of sensors, offering a very innovative assembly of instruments for observations of key parameters of the water cycle. I am chairing the Science Team for a satellite mission on observations of the global snow and ice masses with a dual-frequency synthetic aperture radar (SAR), operating at X- and Ku-band. This mission (CoReH2O) is presently under detailed technical and scientific feasibility studies at the European Space Agency (ESA). CoReH2O will deliver spatially detailed observations of global snow masses at 13 day repeat cycle. The dual frequency (X- and Ku-band) multi-polarization scatterometer of the water cycle mission, with 3 day repeat observation, would offer excellent synergy for observations of snow and freeze/thaw, thus combining high spatial resolution observations of CoReH2O with frequent repeat observations by the X- and Ku-band scatterometer. In addition, the proposed dual frequency radar (L and S) will be very useful to monitor soil moisture, another main parameter required for modelling and predicting the water cycle and water supply on land surfaces.

I want to confirm my strong interest in the proposed satellite mission on water cycle, and look forward to collaborating and contributing to scientific preparations for this mission.

Yours sincerely,



Prof. Dr. Helmut Rott



经费估算

- **总经费：10亿**
 - 平台：3.5亿
 - 载荷：4.5亿
 - 火箭：1.5亿
 - 其它：0.5亿
- **背景型号研究阶段2014-2015批准经费：850万**
 - 科学团队 350万
 - 平台与载荷团队 500万

总体进度和预研阶段进度安排

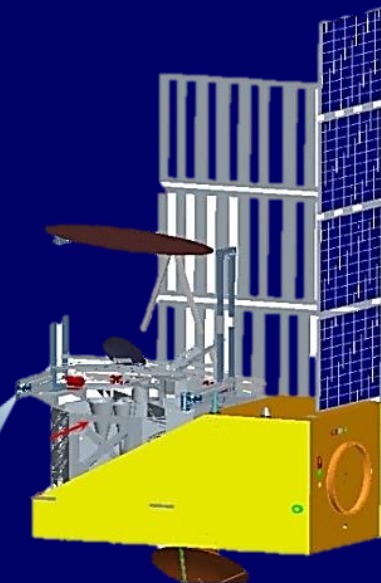
总体进度

- 2013-2015 背景型号预研
- 2016-2019 有效载荷与卫星研制
- 2019 发射

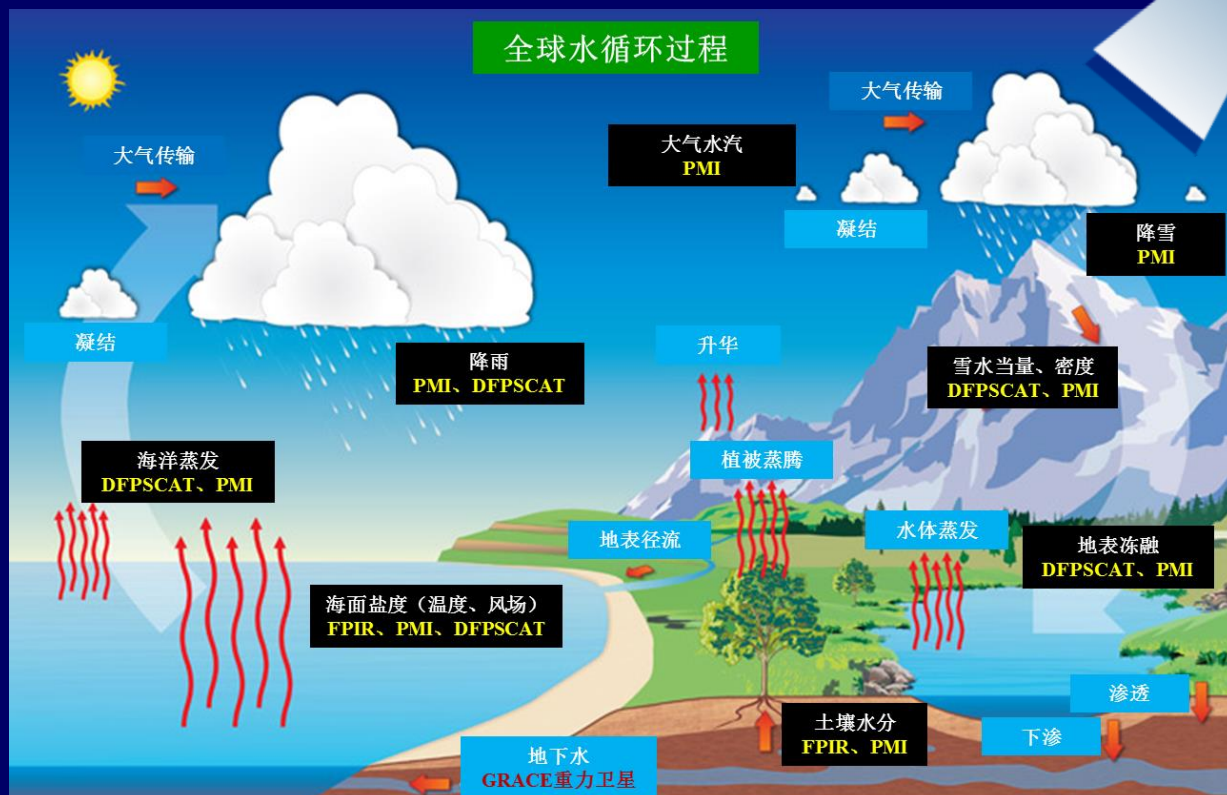
预研阶段进度

- 2013.06-2013.12：开展科学应用目标和有效载荷指标的深化论证，开展有效载荷方案和卫星平台方案的研究论证，组织科学团队并开展科学应用研究的方案研究；
- 2014.01-2014.12：开展有效载荷的详细设计和平台方案设计，开展载荷和平台关键技术攻关，开展数据预处理、处理和科学数据反演方法研究，开展全系统仿真研究；
- 2015.01-2015.06：开展有效载荷关键技术研究及单元或分系统样机集成与验证实验；开展科学数据反演方法的验证试验；
- 2015.07-2015.10：开展有效载荷、卫星方案的优化，完成有效载荷与卫星工程方案设计；
- 2015.11-2015.12：结题验收，转工程阶段准备。

谢谢!



WCOM



WCOM=Welcome
具有欢迎、开放的含义，
即以开放的姿态欢迎国际
相关机构和学者使用科学
数据，开展全球水循环研
究。

极地物质平衡的重要性及存在问题

- 重要性及科学意义：

在全球环境变化背景下，解决极地冰层浅层垂直质量分布不确定性这一全球海平面上升精密计算过程中的重大问题，更精确地确定极地质量平衡及其对全球海平面变化的贡献量。

- 当前观测能力：

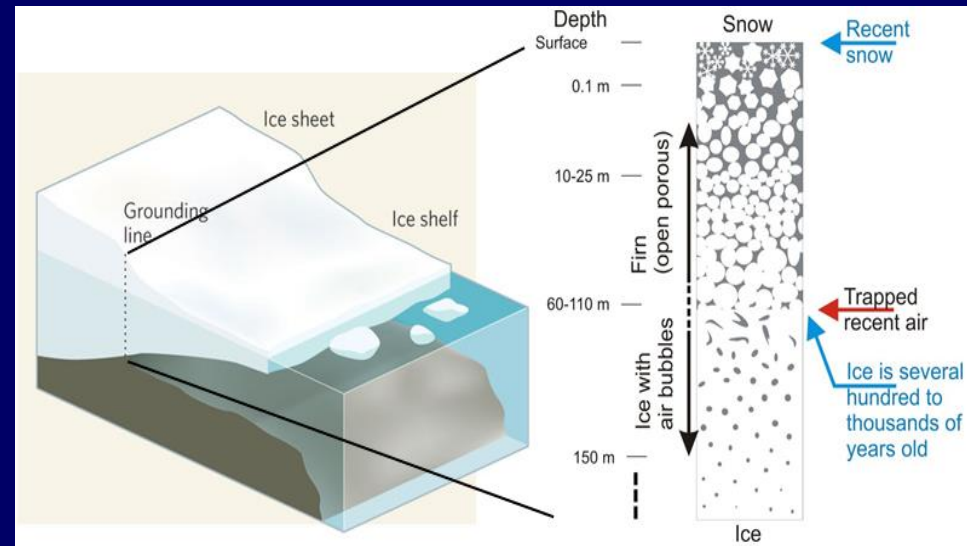
重力卫星GRACE等仅能探测极区的总体质量变化

高度计（CryoSat-2，ICESat等）仅能估算极区冰层的高度变化

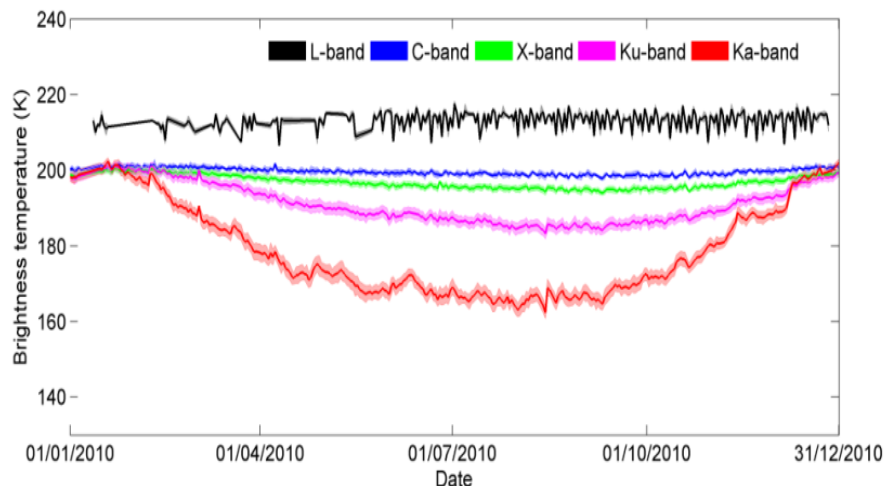
光学卫星（MODIS等）仅能探测极区冰层的表层温度和水平变化等

- 存在问题：

缺少冰雪密度的垂直分布信息以及当年的新雪累积量，无法准确将极地冰层体积变化转换成物质流失量，是造成海平面上升估计不确定性的主要原因之一。



设计方案针对极地物质平衡计算的优势



L、C、X、Ku、Ka波段亮温在南极冰层地区 (Dome-C) 随季节变化的敏感性

由于穿透深度不同，各个波段能够反演不同厚度的积雪温度、密度、粒径等信息，从而全面获取冰雪层的剖面特征。

- **PMI**

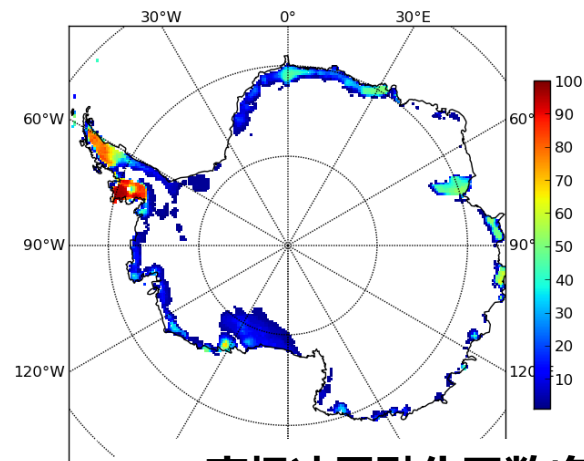
多波段亮温可以用于极区冰雪的冻融探测，以及周围海冰面积变化。

- **FPIR**

L波段穿透南极冰层若干米到几十米，反映冰层密度变化

- **DFPSCAT**

X/Ku波段探测冰层表面较新的雪的密度和厚度，进而估算新雪累积量



南极冰雪融化天数/年