

林业应对气候变化
碳计量监测和碳交易

徐泽鸿 教授





全球气候变化已成国际社会新的道德制高点和经济发展战略制高点。





化石燃料燃烧和森林采伐

↓

温室气体浓度增加

↓

全球气温升高

↓

灾难频发

↓

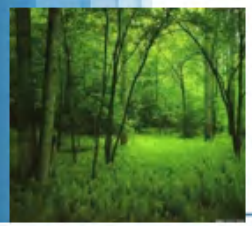
威胁人类生存

↓

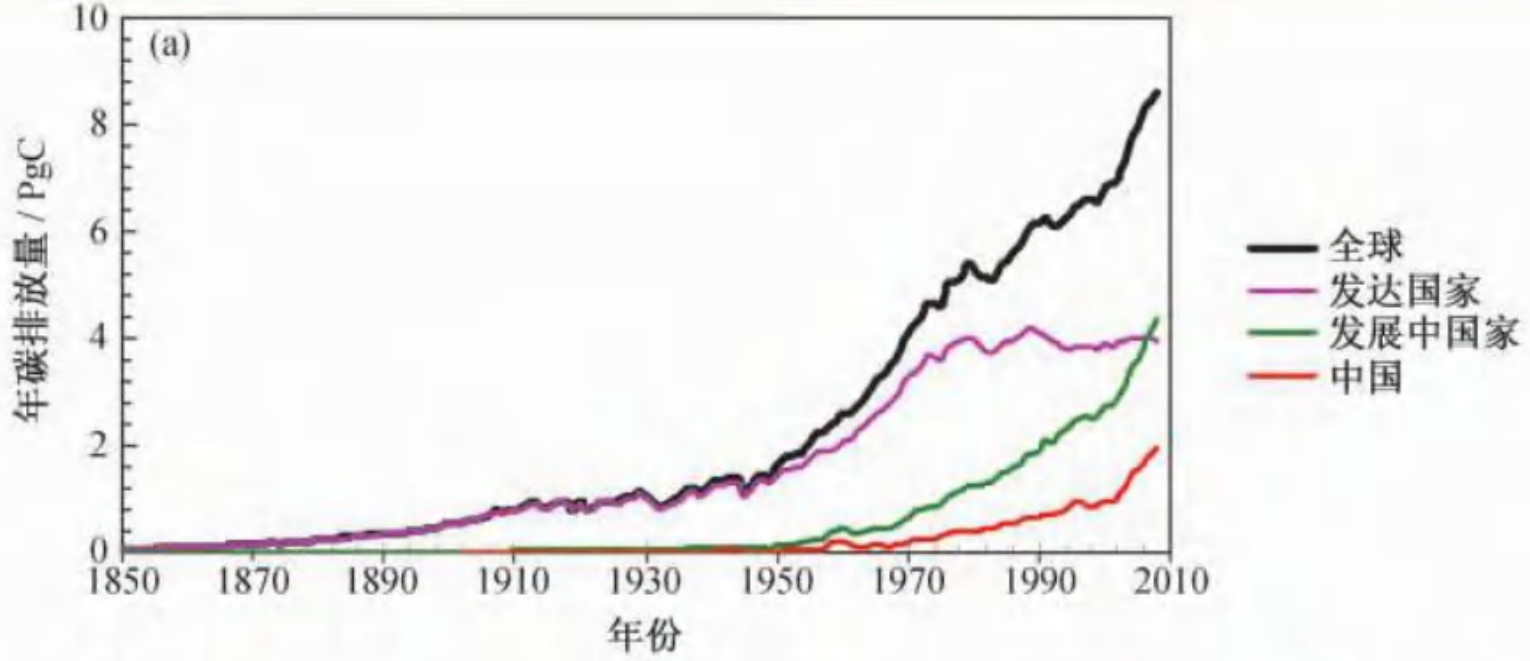
谈判分清责任达成协议

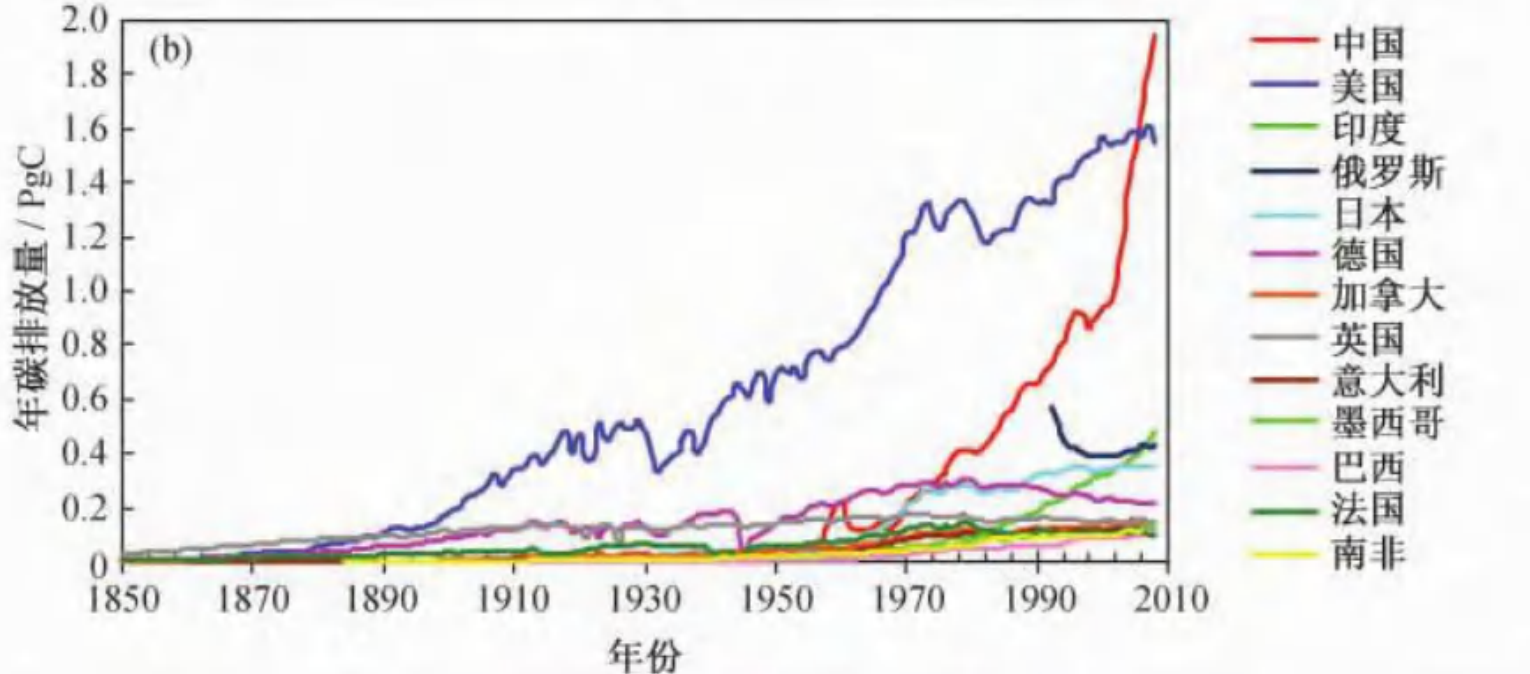
↓

减排行动



1850—2008 年碳排放历年变化

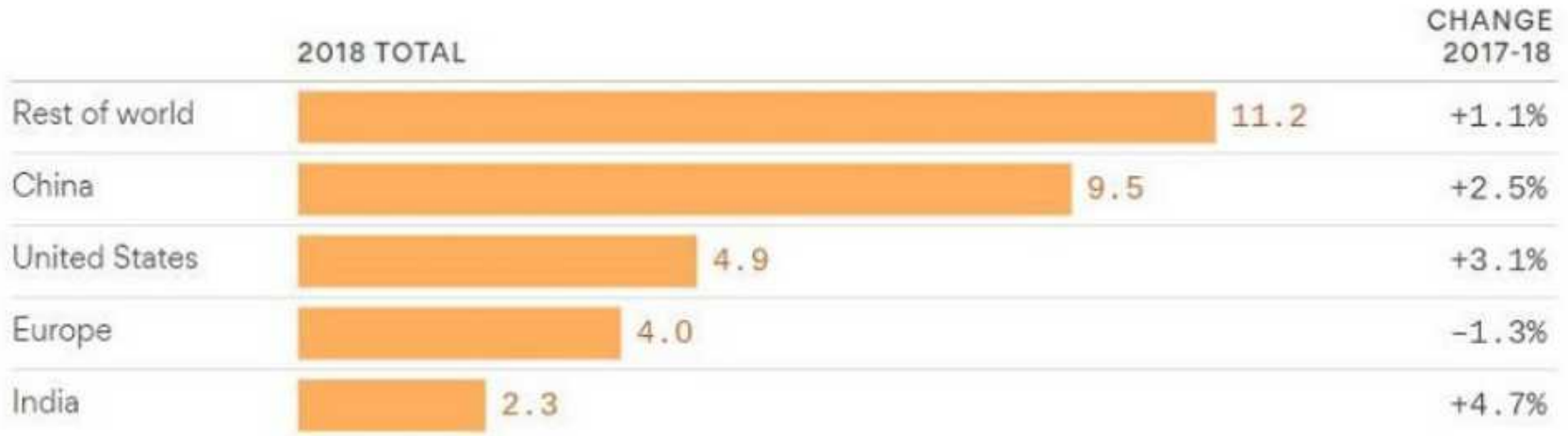











2018 TOTAL
CHANGE 2017-18
Rest of world
11.2
+1.1%
China
9.5
+2.5%
United States
4.9
+3.1%
Europe
4.0
-1.3%
India
2.3
+4.7%



1850—2008 年碳排放历年变化

表 1 全球、发达国家、发展中国家，以及主要国家 3 个时期的累计碳排放量和人均累计碳排放量

国家 /地区	1850—2008 年		1950—2008 年		1990—2008 年	
	累计排放量	人均累计排放量	累计排放量	人均累计排放量	累计排放量	人均累计排放量
	PgC	tC	PgC	tC	PgC	tC
全球	345	93	285	62	132	22
发达国家	250	257	193	169	75	58
发展中国家	87	23	85	22	54	11
美国	94	543	70	307	28	102
中国	31	29	31	28	21	16
德国	22	318	15	188	4	55
英国	19	434	9	167	3	49
日本	14	131	13	113	7	52
印度	9	12	9	10	6	6
法国	9	195	6	144	2	34
加拿大	7	373	6	241	3	86
意大利	5	101	5	89	2	40
南非	4	167	4	119	2	40
墨西哥	4	57	4	49	2	21
巴西	3	23	3	20	2	9





森林吸收CO2的功能确被认为是减缓全球气候变化成本最低、综合效益最大的主要途径。






汇 报 内 容

- 一、科学基础
- 二、技术与方法
- 三、碳交易





一、科学基础

(一) 气候变化重建

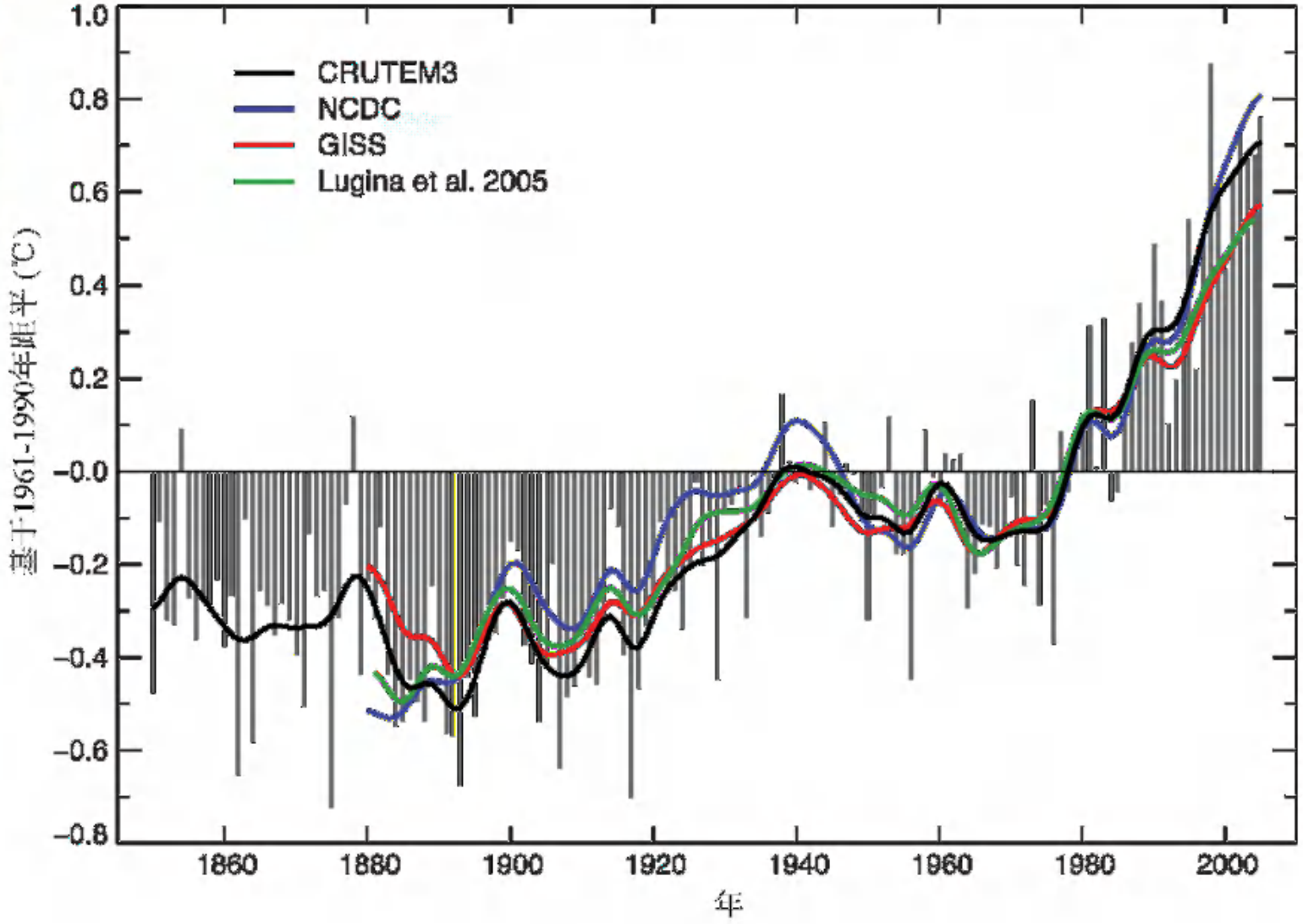
(二) 2°阈值

(三) 陆地生态系统碳循环

(四) 碳失汇



一、科学基础


CRUTEM3
NCDC
GISS
Lugina et al. 2005
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
-0.0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
基于1961-1990年距平（℃）
1860
1880
1900
1920
1940
1960
1980
2000
年



一、科学基础

（一）气候变化重建

对 20 世纪气候增暖的历史地位争议

Mann 等：20 世纪后期的升温在过去 1000 年中是空前的，1990s 是 过去 1000 年最暖的 10 年，1998 年是过去 1000 年最暖年份。

中高可信度（moderately high levels of confidence）





一、科学基础

（一）气候变化重建

对 20 世纪气候增暖的历史地位争议

Esper 等认为：20 世纪后期的温暖程度与中世纪暖期的最暖时段是相当的；

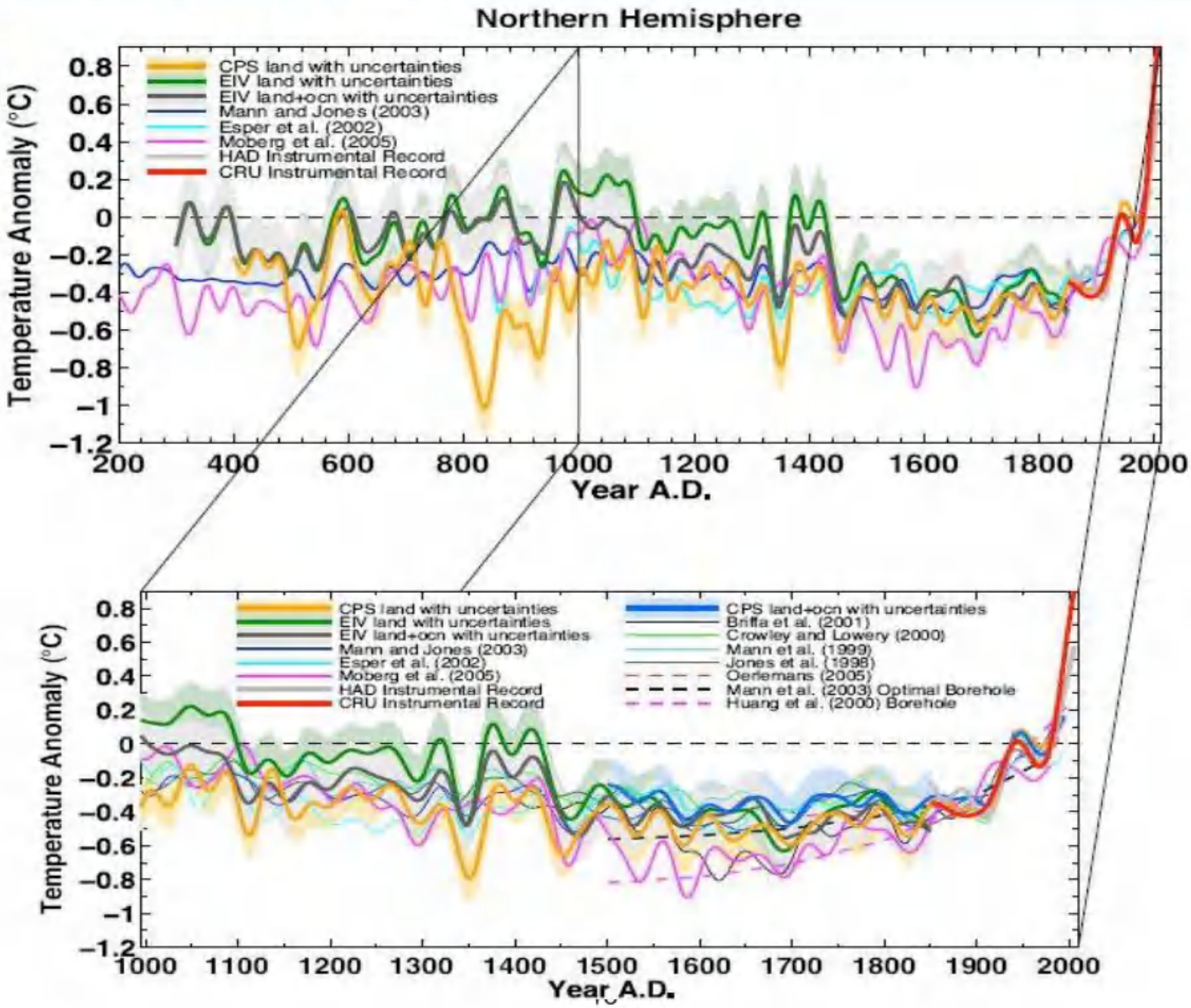
Moberg 等认为：20 世纪中所出现的温暖时段在 1000～1100 年也同样存在，且整个 20 世纪的温暖程度也只与 11 世纪的温暖程度相当。







一、科学基础


Northern Hemisphere
Temperature Anomaly (°C)
Year A.D.
CPS land with uncertainties
EIV land with uncertainties
EIV land+ocn with uncertainties
Mann and Jones (2003)
Esper et al. (2002)
Moberg et al. (2005)
HAD Instrumental Record
CRU Instrumental Record
CPS land+ocn with uncertainties
Briffa et al. (2001)
Crowley and Lowery (2000)
Mann et al. (1999)
Jones et al. (1998)
Oerlemans (2005)
Mann et al. (2003) Optimal Borehole
Huang et al. (2000) Borehole





一、科学基础

（一）气候变化重建

主要结论：

（1）美国科学院国家咨询委员会认为：

过去 25 年的平均温度要高于公元 900 年以来的任何时段，但重建结果的可信度很低。

20 世纪最后数十年的全球平均温度为过去 400 年来最高，的认识才具有高可信度。





一、科学基础

（一）气候变化重建

主要结论：

（2）IPCC第四次评估报告的主要结论：

气候系统变暖是毋庸置疑。

20 世纪后半叶北半球平均温度很可能比近 500 年中任何一个 50 年时段的平均温度都高，且可能至少在最近 1300 年中是最高的。



一、科学基础

（一）气候变化重建

IPCC第五次评估报告（AR5 WGI)提出：

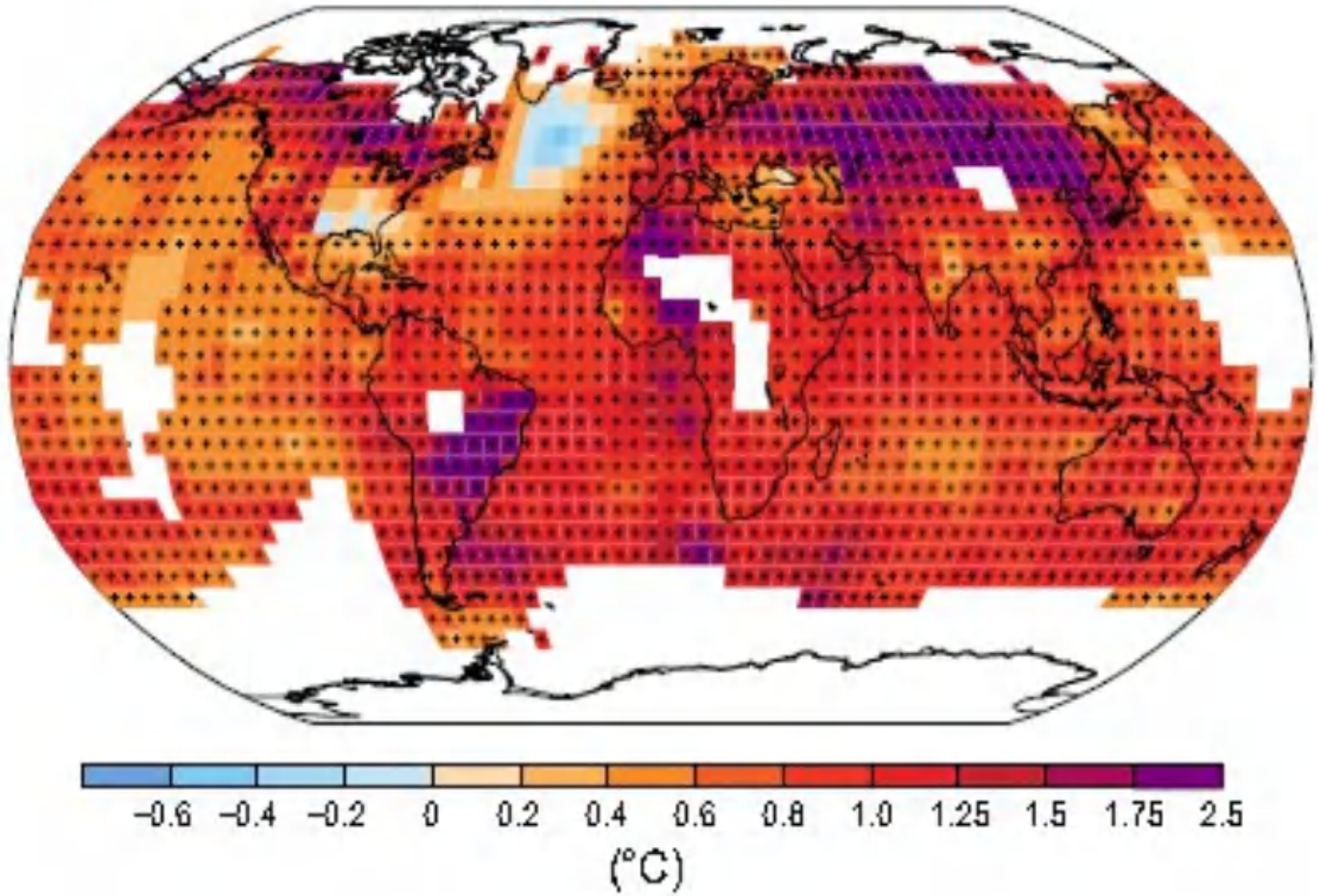
- 气候系统的变变暖是毋庸置疑的。自20世纪50年代以来，观测到的许多变化在几十年乃至上千年时间里都是前所未有的。大气和海洋已变暖，积雪和冰量减少，海平面上升，温室气体浓度已增加。





一、科学基础

观测到的地表温度变化（1901–2012年）

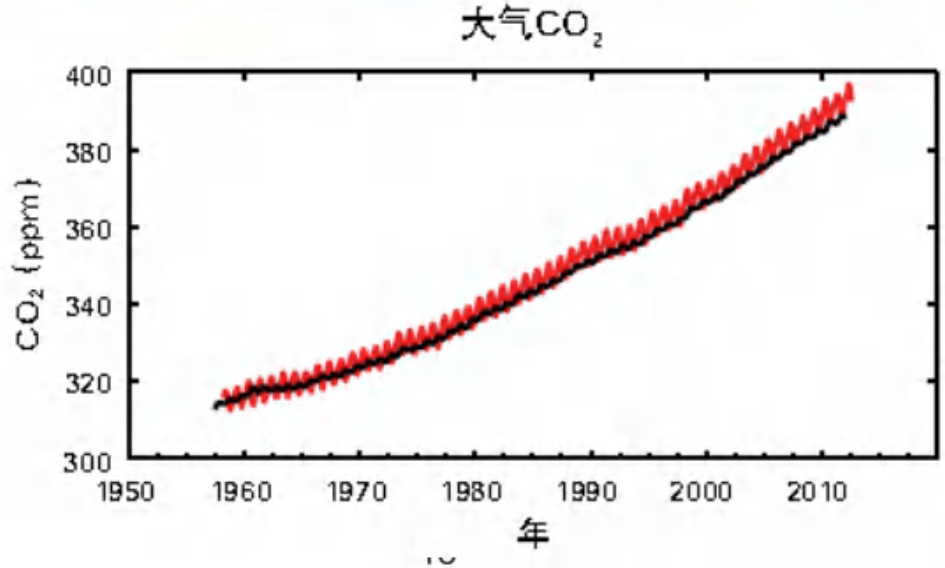




一、科学基础

（一）观测到的气候系统变化

二氧化碳、甲烷和氧化亚氮的大气浓度至少已上升到过去80万年以来前所未有的水平。自工业化以来，二氧化碳浓度已增加了40%，首先是由于化石燃料的排放，其次是由于土地利用变化导致的净排放。







一、科学基础

（二）气候变化域值

◆气候变化后果

- 冰川消融
- 极端气候
- 粮食减产
- 海平面上升
- 物种灭绝
- 空气污染





冰川消融

1984年8月



2002年夏季



1914年



2004年







极端气候








极端气候











202



粮食减产









海平面上升











物种灭绝



增温



图 气温增高引起物种组成发生变化







空气污染





一、科学基础

(一)气候变化重建

气候变化的检测与归因：

- 已经在大气和海洋的变暖、全球水循环的变化、积雪和冰的减少、全球平均海平面的上升以及一些极端气候事件的变化中检测到人为影响。自《第四次评估报告》以来，有关人为影响的证据有所增加。*极有可能的*是，人为影响是造成观测到的20世纪中叶以来变暖的主要原因。



一、科学基础

（二）气候变化阈值

- 气候变化阈值提出的原因
- 关键脆弱性的判据与阈值
- 主要结论



一、科学基础

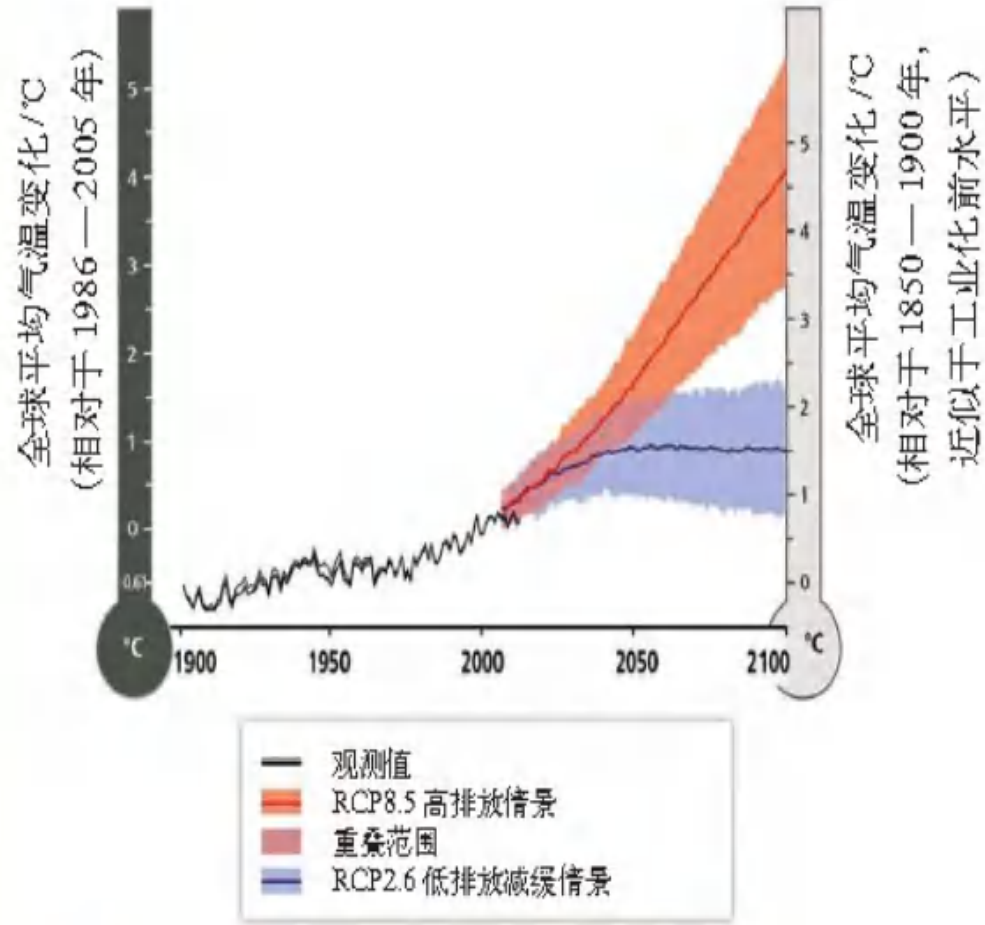
（二）气候变化域值--提出的原因

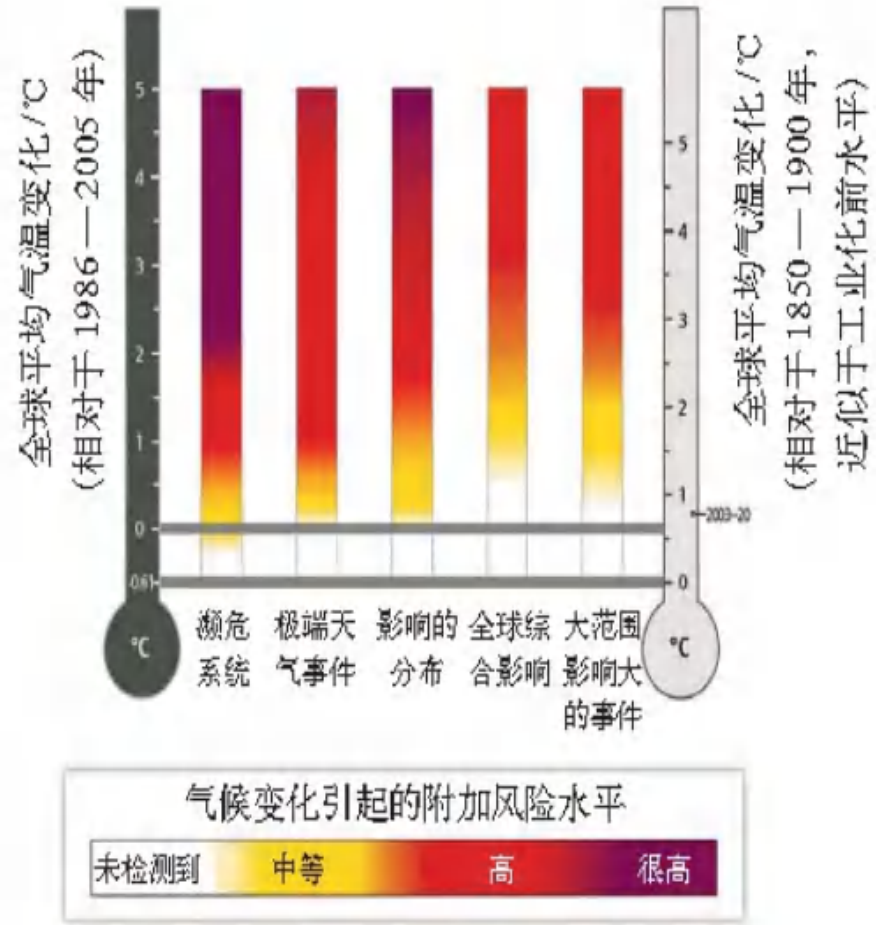
UNFCCC 中第二条指出： 公约以及任何相关的法律条文的最终目的是把大气中温室气体的浓度稳定在一定水平上，以防止对气候系统产生危险的人类干扰，使生态系统有足够的时间自然地适应气候变化，确保粮食生产不受威胁，和经济得到可持续发展。



一、科学基础







不同升温下气候变化对自然和人类系统产生的风险水平





一、科学基础

（二）气候变化域值—结论

AR5:

- 报告以全球2 ℃温控目标为线，强化了对浓度情景和非理想情景的评估，着重回答了2 ℃温控目标下的全球和区域排放空间、减排途径、成本、措施等问题。



一、科学基础

（三）无悔原则

科学不确定性不是采取气候行动的障碍



一、科学基础

（四）公约 -- 联合国气候变化框架公约

《联合国气候变化框架公约》（United Nations Framework Convention on Climate Change，简称《框架公约》，英文缩写UNFCCC) 是1992年5月9日联合国政府间谈判委员会就气候变化问题达成的公约，于1992年6月4日在巴西里约热内卢举行的联合国环发大会（地球首脑会议）上通过。1994年3月21日，该公约生效。《联合国气候变化框架公约》是世界上第一个为全面控制二氧化碳等温室气体排放，以应对全球气候变暖给人类经济和社会带来不利影响的国际公约，也是国际社会在对付全球气候变化问题上进行国际合作的一个基本框架。



一、科学基础

（四）公约 -- 联合国气候变化框架公约

公约确立了五个基本原则

- “共同而区别”的原则，要求发达国家应率先采取措施，应对气候变化。
- 要考虑发展中国家的具体需要和国情。
- 各缔约国方应当采取必要措施，预测、防止和减少引起气候变化的因素。
- 尊重各缔约方的可持续发展权。
- 加强国际合作，应对气候变化的措施不能成为国际贸易的壁垒。





一、科学基础

（四）公约--京都议定书

《京都议定书》（英文：Kyoto Protocol，又译《京都协议书》、京都议定书、《京都条约》；全称《联合国气候变化框架公约的京都议定书》是《联合国气候变化框架公约》的补充条款。是1997年12月通过，2005年2月16日开始强制生效。其目标是“将大气中的温室气体含量稳定在一个适当的水平，进而防止剧烈的气候改变对人类造成伤害”。





一、科学基础

（四）公约--京都议定书

议定书允许采取以下四种减排方式：

- 两个发达国家之间可以进行排放额度买卖的“排放权交易”。
- 以“净排放量”计算温室气体排放量。
- 可以采用绿色开发机制。
- 可以采用“集团方式”。



一、科学基础

（四）公约--巴黎协定

《巴黎协定》是2015年12月12日在巴黎气候变化大会上通过、，2016年4月22日在纽约签署的气候变化协定，2016年11月4日生效。

《巴黎协定》的最大贡献在于明确了全球共同追求的“硬指标”。协定指出，各方将加强对气候变化威胁的全球应对，**把全球平均气温较工业化前水平升高控制在2摄氏度之内，并为把升温控制在1.5摄氏度之内努力。**只有全球尽快实现温室气体排放达到峰值，本世纪下半叶实现温室气体净零排放，才能降低气候变化给地球带来的生态风险以及给人类带来的生存危机。



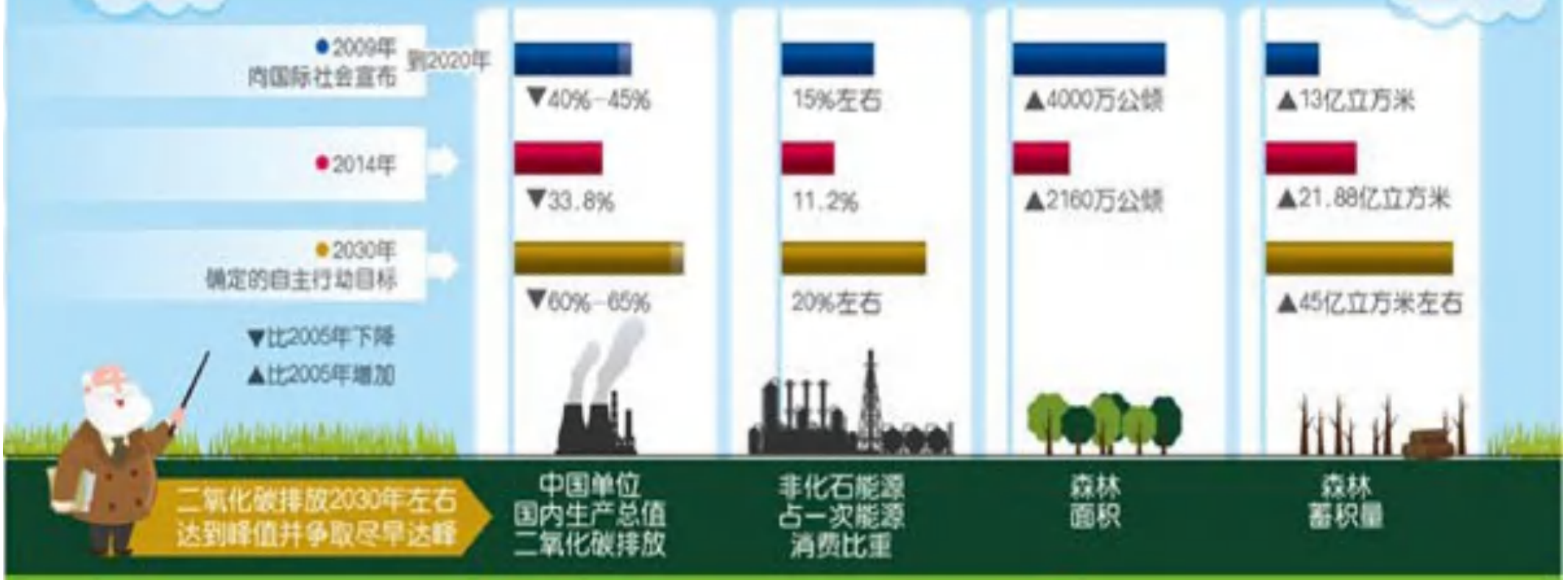


一、科学基础

国家应对气候变化主要立场

1、承认气候变化事实；
2、保护气候是我国的重大国家利益；
3、我国在下一阶段减排GHG义务谈判（至2020年）将不承诺量化的具有法律约束力的目标，但同意在发达国家提供资金和技术转让条件下承担具体的减排行动。
4、与2005年相比，到2020年、2030年目标，中国单位国内生产总值二氧化碳排放将分别下降40%-45%、60-65%；非化石能源占一次能源消费比重将分别达到15%、20%左右；森林面积增加4000万公顷，森林蓄积量分别增加13亿立方米和45亿立方米左右。
5、2016年9月 中国政府批准了《巴黎协定》。
6、中国将继续在全球生态文明建设中发挥重要参与者、贡献者、引领者作用——中国应对气候变化取得积极进展

中国强化应对气候变化行动目标



目前中国强化应对气候变化的行动

- 积极实施《中国应对气候变化国家方案》《“十二五”控制温室气体排放工作方案》《节能减排“十二五”规划》《2014-2015年节能减排低碳发展行动方案》《国家对气候变化规划（2014-2020年）》《国家适应气候变化战略》《中国应对气候变化科技专项行动》和《工业领域应对气候变化行动方案（2012-2020年）》
- 加快推进产业结构和能源结构调整，大力开展节能减碳和生态建设，在7个省（市）开展碳排放权交易试点，在42个省（市）开展低碳试点，探索符合中国国情的低碳发展新模式

新华社发（业务 大展制图）



一、科学基础

（三）陆地生态系统碳循环

1、1750年陆地生态系统碳循环

2、1990年陆地生态系统碳循环

3、碳的“遗失汇”

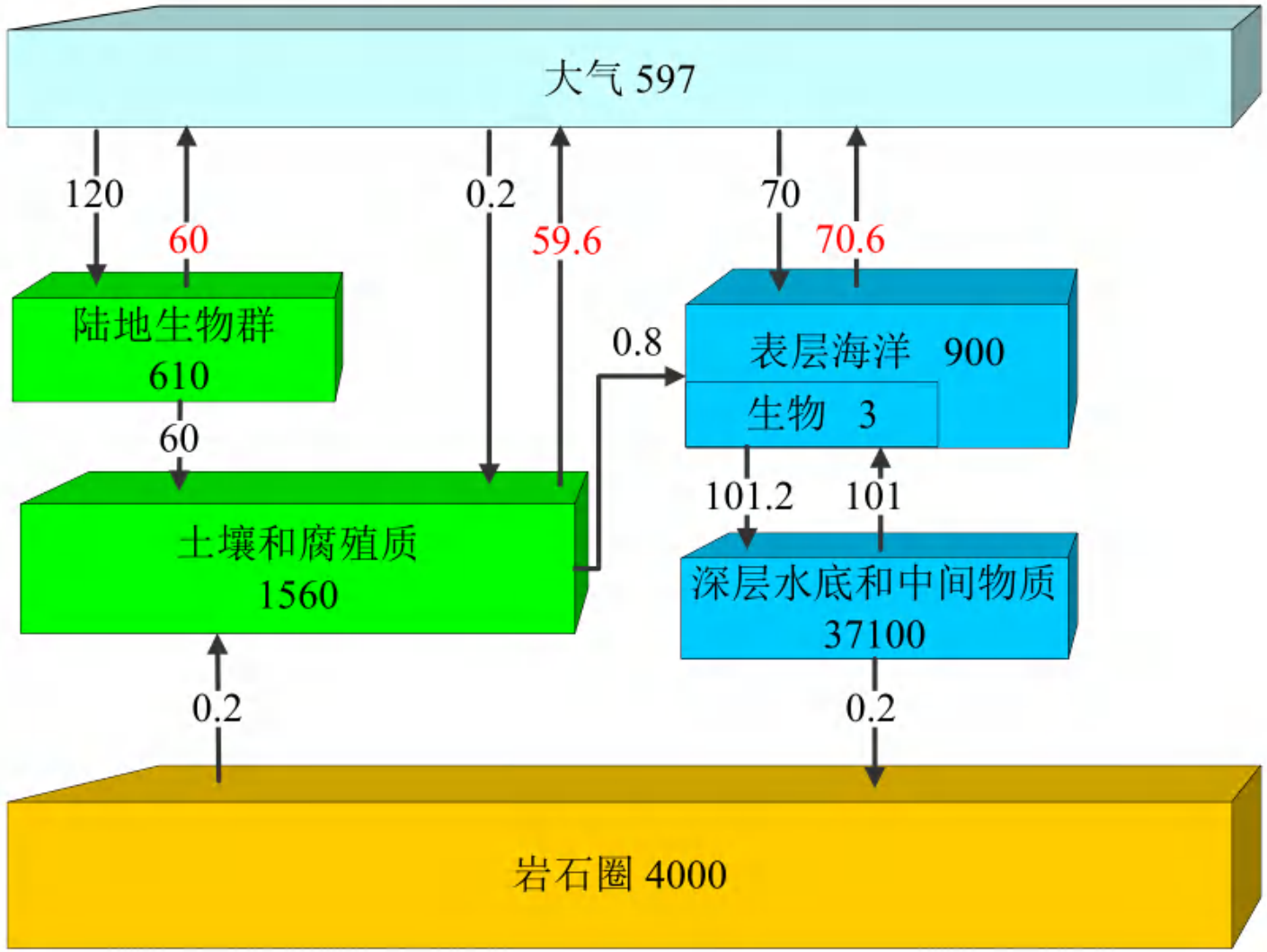
4、调查方法





（三）陆地生态系统碳循环

1、1750年前后的碳循环状态

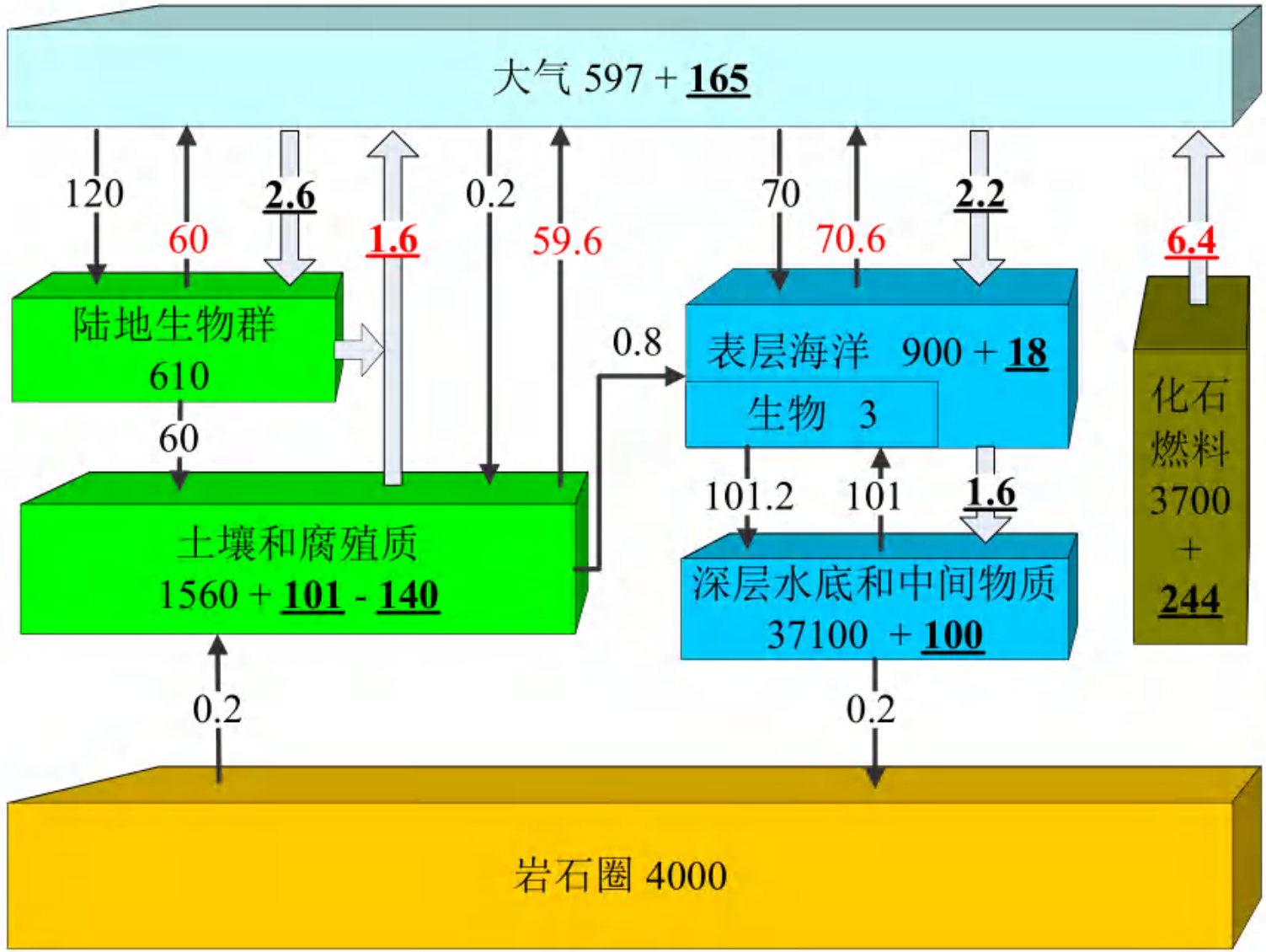






（三）陆地生态系统碳循环

2、 1990年陆地生态系统碳循环





一、科学基础

（三）陆地生态系统碳循环

3、碳的“遗失汇”

源(化石燃料+土地利用)=

汇(大气增加+以热带雨林为主的北方森林+海洋+？)





一、科学基础

（三）陆地生态系统碳循环

化石燃烧	土地利用变化	大气中积累	海洋吸收	漏失汇
3. 6		1. 8	0. 5—0.8	1, 0—1>3
5. 2	3. 3	2. 5	2	4
5	1. 3	2. 9	2. 4	1
5. 4	1. 6	3. 4	2	1. 6
5. 3	1. 8	3	1. 0—1.6	2-5—3. 1
5. 5 ±0.5	1. 6±0. 1	3_2±0, 2	2, 0 ±0.8	2. 1
4. 8—5.8	0. 4—1.6	2. 9	2, 5—1.8	0. 2—2,7
6	1. 5	3	2	2. 5
6	0. 9	5. 2	2	1. 7
5. 4±0. 5	0. 6—2.5	3. 2±0. 2	2, 0 ±0.6	1. 8 ± 1.3



一、科学基础

（三）陆地生态系统碳循环

碳的“遗失汇”——成因

- 气候变化
- 植物生长
- CO_2的施肥效应
- 氮沉降施肥
- 土地利用方式的变化





二、技术与方法





二、技术与方法

(一)几个重要概念

- ◆IPCC 联合国气候变化专门委员会
- ◆土地利用和土地利用变化
- ◆五大碳库





联合国政府间气候变化专门委员会

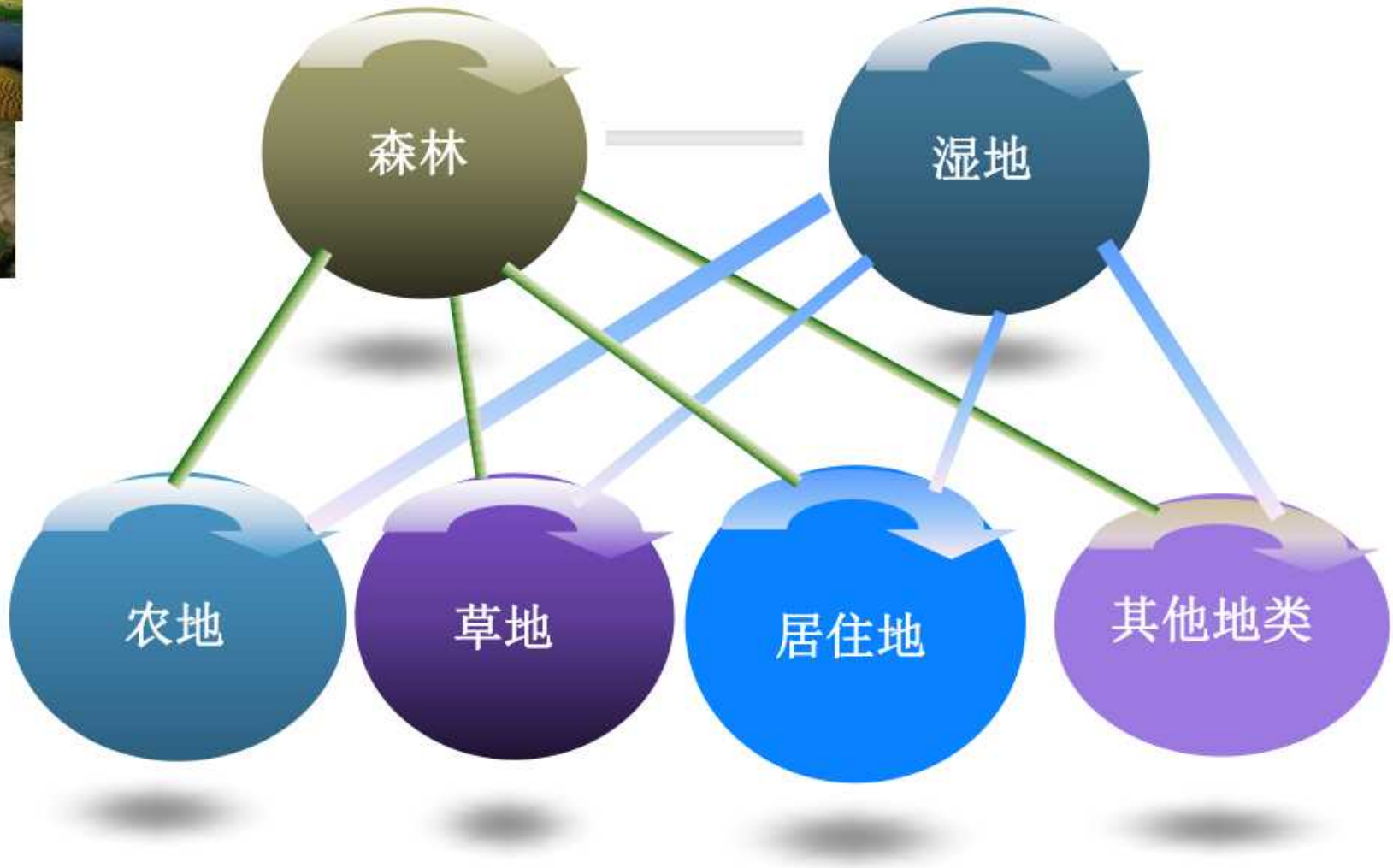
IPCC

联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC)是于1988年联合建立的政府间机构。其主要任务是对气候变化科学知识的现状，气候变化对社会、经济的潜在影响以及如何适应和减缓气候变化的可能对策进行评估。





土地利用和土地利用变化









土地利用类型

土地利用类型定义

根据联合国对温室气体变化监测的分类，将土地利用、土地利用变化与林业作为温室气体排放类型之一，并将此部分地类划分为林地、农地、草地、湿地、聚居地和其他地类共六类。







土地利用类型

林地：包括生长有木本植被与用于定义国家温室气体清单中林地的阈值（中国森林定义强调三个方面的阈值）相一致的所有土地，它还包括当前植被在林地类阈值以下的系统（如灌木林地）。被分成经营和非经营两类。





土地利用类型

农地：包括可耕地和耕地，以及植被在林地类阈值以下和国家定义相一致的农林系统。







土地利用类型

草地：包括牧场、不是农田的牧草地、植被在林地类别阈值以下的且没有人类干预不会超过林地类阈值的系统的土地、所有由荒地改造成的用于消遣的草地以及与国家定义一致的农业和森林牧场系统的土地。







土地利用类型

湿地：包括一年中全年或部分时间被水覆盖或充满水的土地，但不属于林地、农地（田）、草地或定居地等。可根据国家定义再分为经营和非经营两种，比如作为经营子类的水库和作为非经营子类的天然河流和湖泊。





土地利用类型

居住地：包括交通基础设施和任何规模的人类定居点，及所有开发的未被列入其它土地类别的土地，与国家定义的选择保持一致。





土地利用类型

其他土地：包括裸地、岩石、冰川和所有不属于其它五大类中任何一类的非经营土地面积。它允许经过认定的土地面积的总和与国家面积相一致。





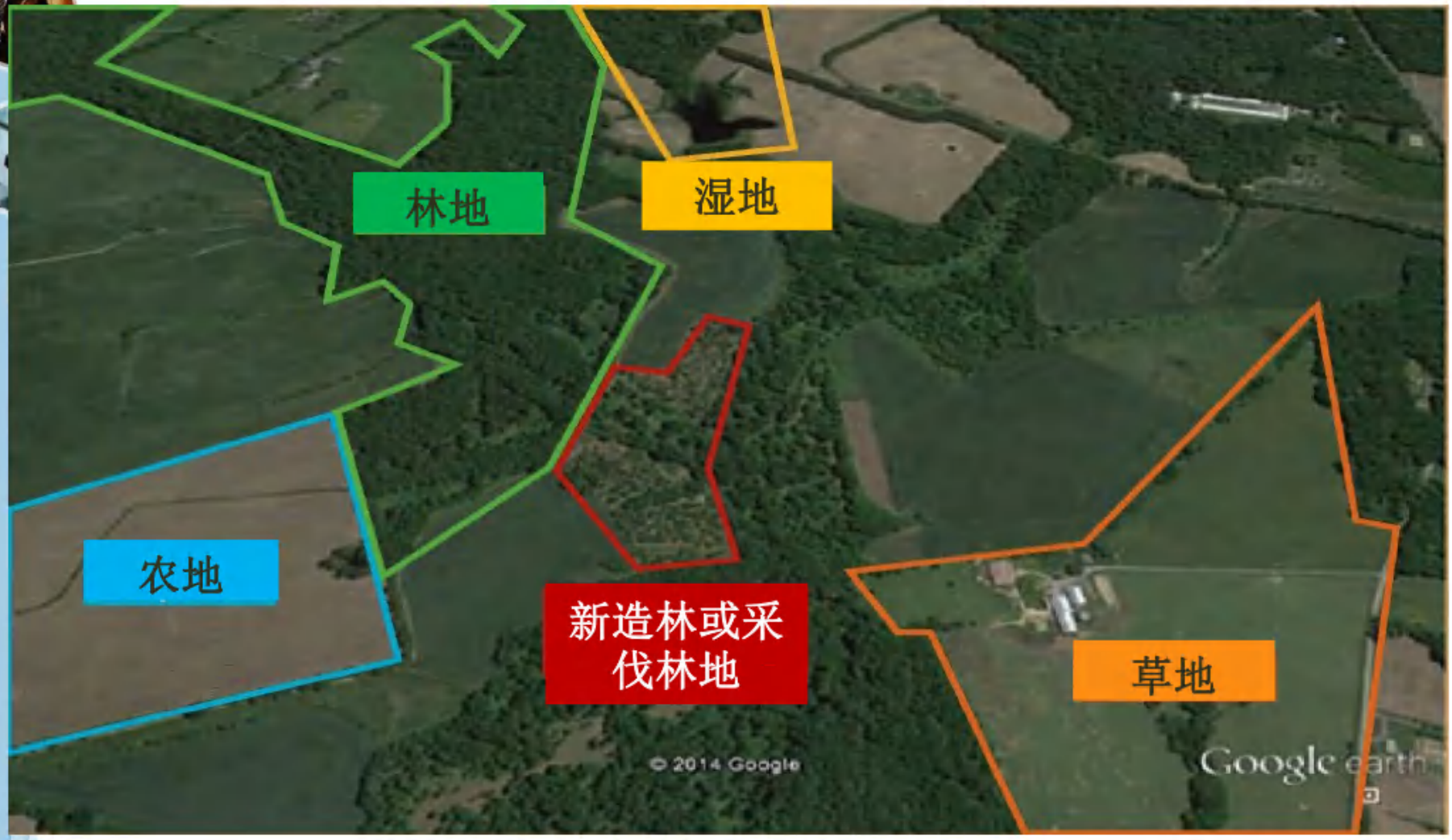


土地

表1 IPCC和LULUCF土地利用类别划分和代码表

IPCC划分的六大地类名称	IPCC划分的六大地类代码	LULUCF调查地类名称	LULUCF调查地类代码
林地	1	乔木林地	111
		竹林地	113
		疏林地	120
		灌木林地	130
		未成林造林地	141
		未成林封育地	142
		苗圃地	150
		迹地	160
农地	2	水田	211
		旱地	212
草地	3	天然牧草地	311
		人工牧草地	312
湿地	4	淤泥质海滩	410
		潮间盐水沼泽	411
		红树林	412
		三角洲/沙洲/沙岛	413
		季节性或间歇性河流	420
		洪泛平原湿地	421
		季节性咸水湖	430
		季节性淡水湖	431
		藨类沼泽	440
		草本沼泽	441
		灌丛沼泽	442
		内陆盐沼	443
		季节性咸水沼泽	444
		沼泽化草垫	445
		地热湿地	446
		淡水泉/绿洲湿地	447
		水库	450
		运河、输水河	451
		水产养殖场	452
		盐田	453
		其他湿地	460
聚居地	5	林业辅助生产用地	510
		居民地和建设用地	520
其它土地	6	未利用地	610
		宜林地	620
		其它土地	630

二、技术与方法



主要土地利用类型





二、技术与方法

土地利用变化



경주지방은 지반이 연약하여 산사태 발생빈도가 높고 솔잎혹파리 및 바람의 피해를 받아 산림이 황폐됨(감포 오류)
The frequency of occuring landslides were high in Gyeongju areas which had very weak ground, and damages from strong wind and pine leaf gall midge infection caused to devastated forests in Gyeongju areas at that times(Gampo Ohryu).



시공후 / After construction.



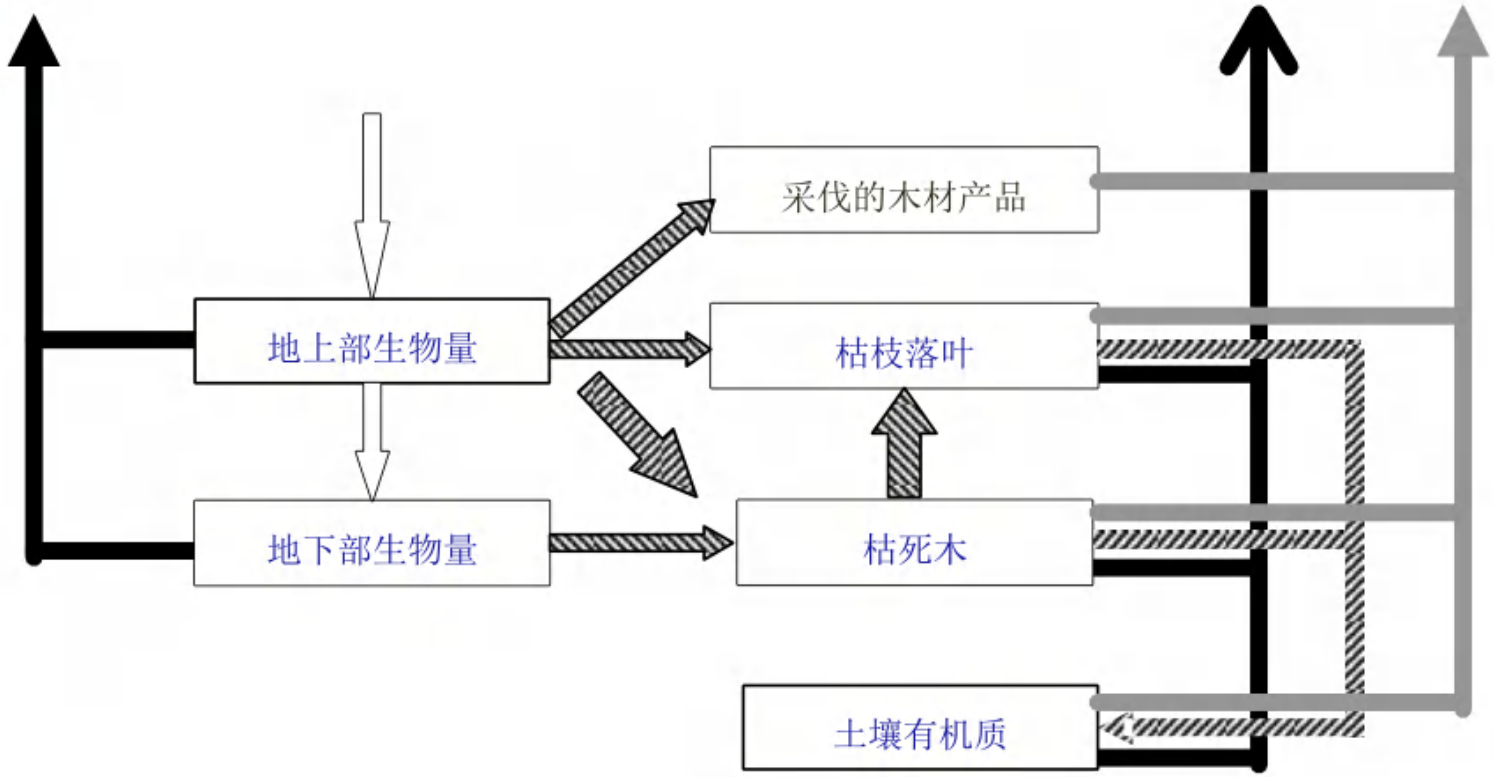
시공 5년후 완전 복구된 모습 / completely restored view after 5 years of construction.

Kim,2011





陆地生态系统五大碳库



：由于生长造成的碳库增加；

：库间的碳转移

：离散事件造成的碳流通，例如，来自于采伐的残余物和自然扰乱

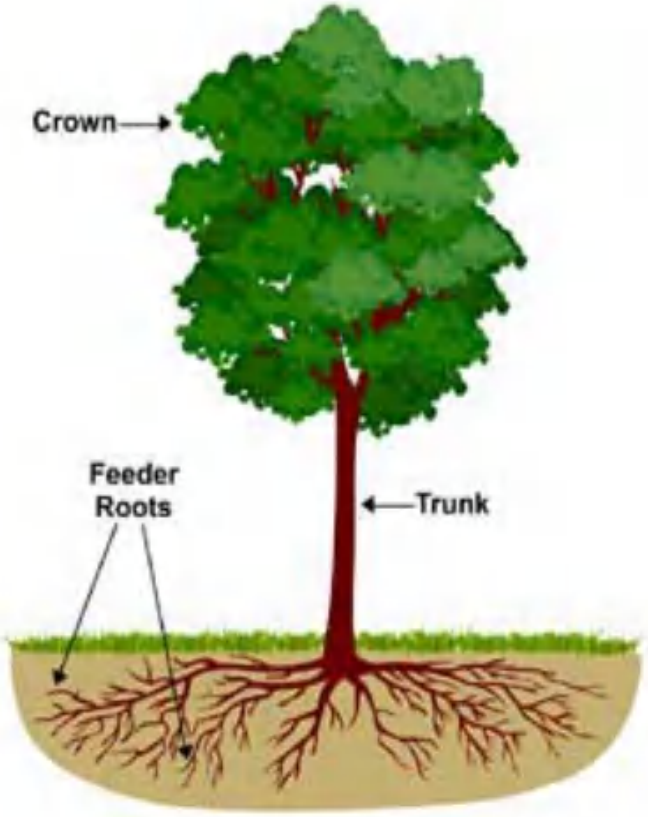
：由于连续过程造成的碳流通，如分解过程

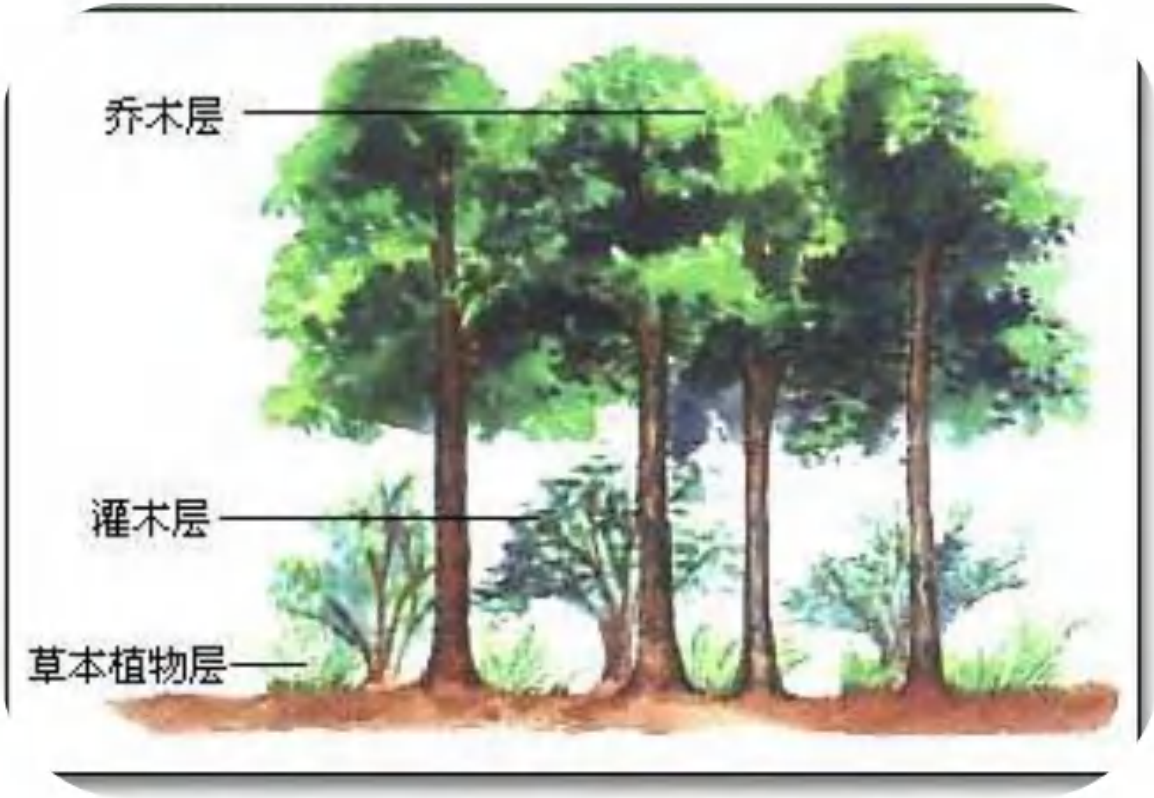




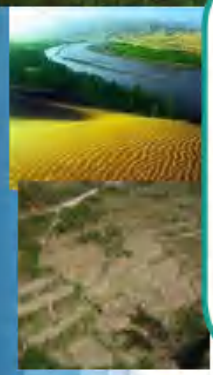
地上生物量

包括乔木层、灌木层、草本层三部分。分不同调查方法和模型计算，重点是乔木层。









地下生物量

包括直径大于2mm以上的根系生物量
主要是通过一定的模型关系计算。



















枯死木

直径大于10cm以上的枯立木和枯倒森林，通过样地清查数据中枯损量推算，或根据区域森林类型的单位量进行估算。











枯落物

土壤层以上，直径小于≤10cm、处于不同分解状态的所有死生物量。包括凋落物、腐殖质，以及难以从地下生物量中区分出来的细根。







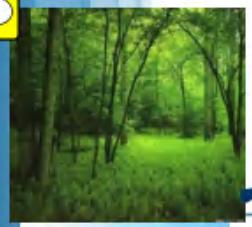


土壤有机碳

一定深度内（通常为1.0m）矿质土和有机土（包括泥炭土）中的有机质，包括难以从地下生物量中区分出来的细根



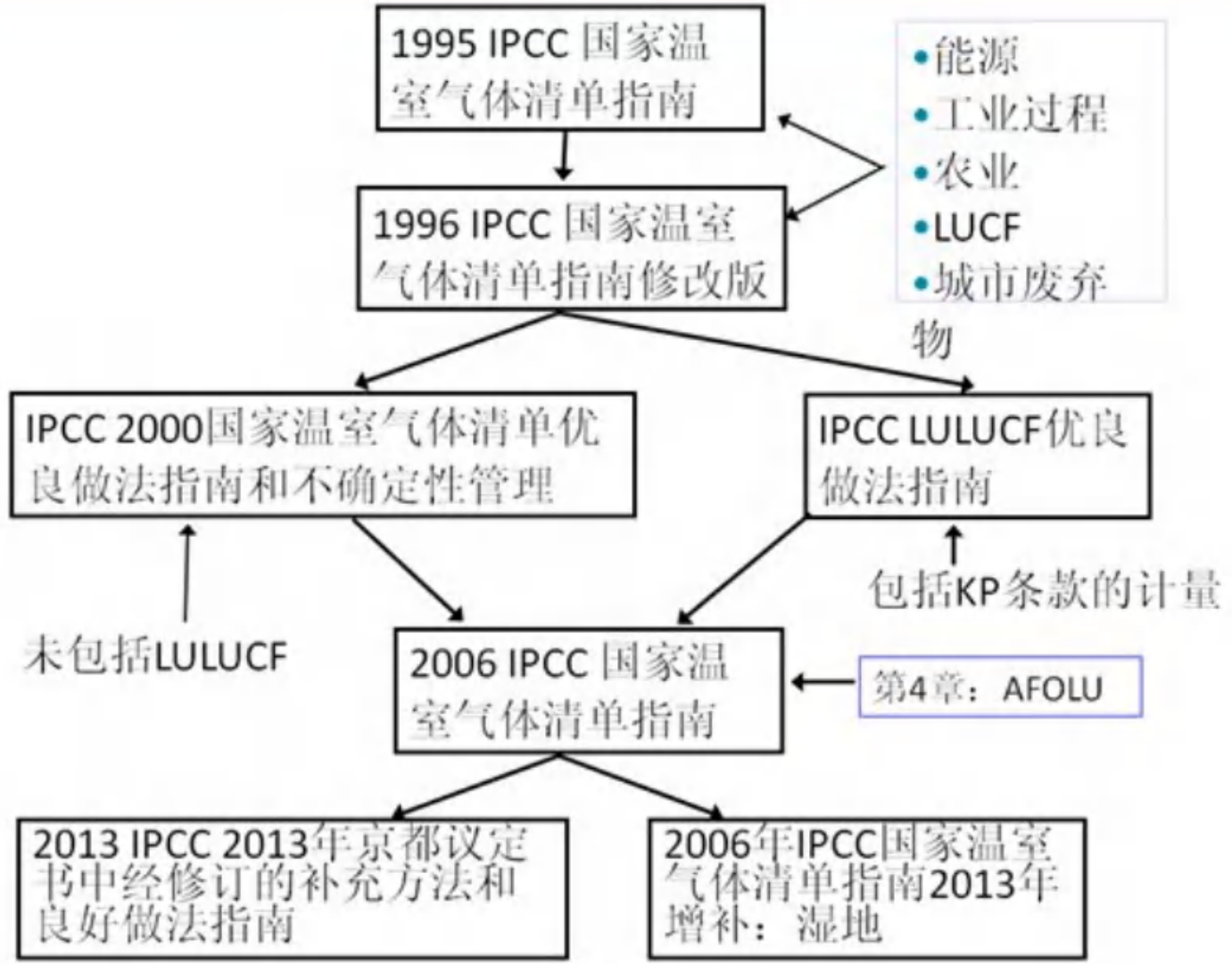






二、技术与方法

(二) IPCC指南





二、技术与方法



1）IPCC-1996-LUCF

该指南主要考虑5种人类活动引起的温室气体排放

1）森林和其它木质生物质碳贮量的变化；

2）森林和草地转化；

3）放弃地植被的自然恢复引起的生物质碳贮量变化；

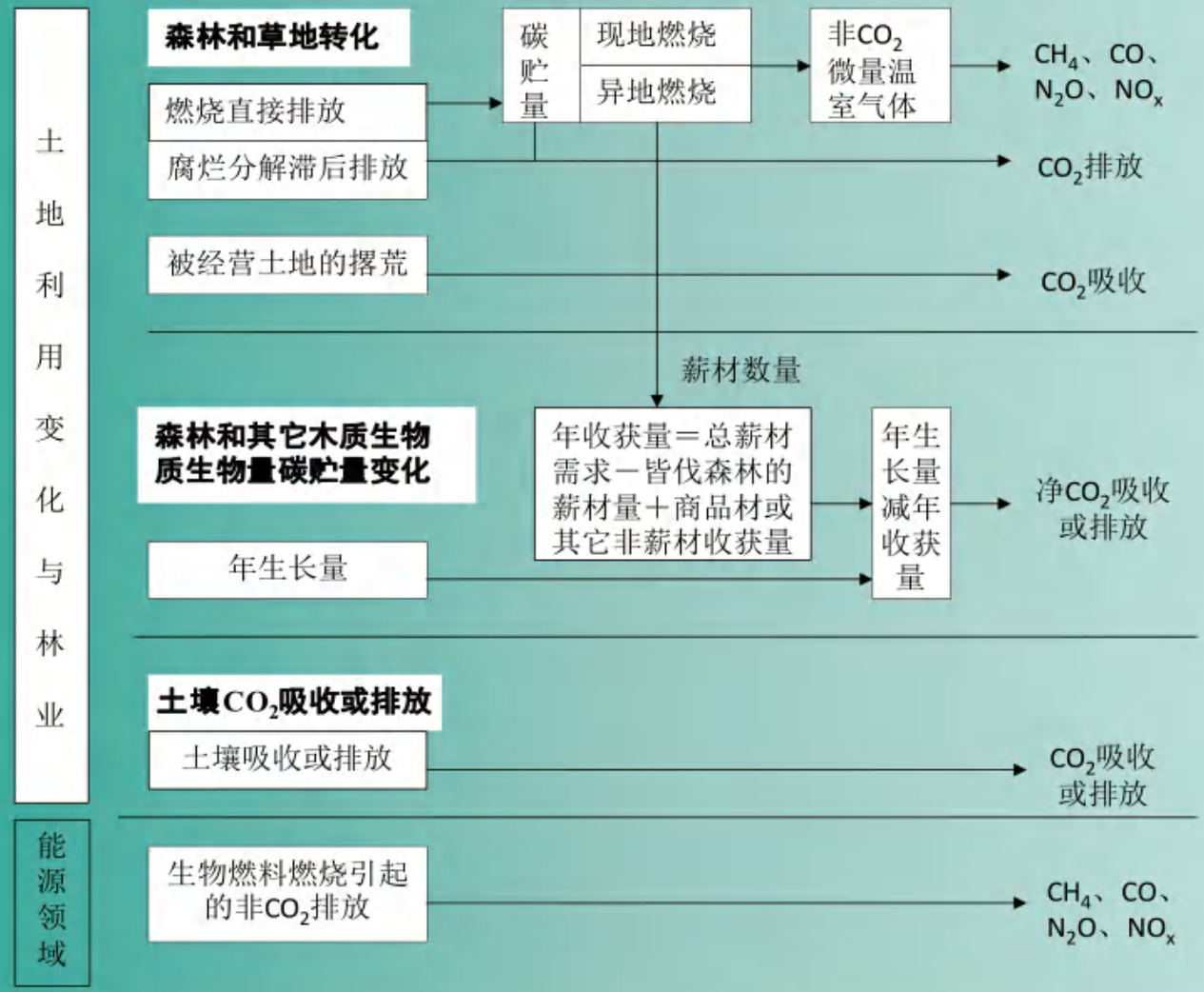
4）土壤碳变化；

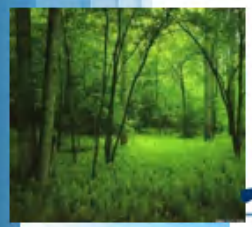
5）其他。

二、技术与方法

1）IPCC-1996-LUCF

该指南主要考虑5种人类活动引起的温室气体排放







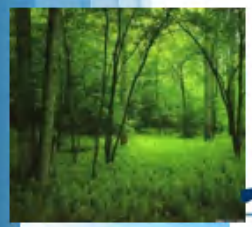
二、技术与方法

（二）IPCC指南

1） IPCC-1996-LUCF——存在的主要问题

1. 分类混乱
2.
3.
4.
5.

分类部分是基于碳库变化（5A和5D）的，部分是基于引起土地利用变化的活动（如5B和5C）





二、技术与方法

（二）IPCC指南

1） IPCC-1996-LUCF存在的主要问题

1 分类混乱

2 方法缺乏灵活性

3

4

5

没有提供可供各国（根据其数据和能力的不同）选择的备选方法



二、技术与方法

（二）IPCC指南

1） IPCC-1996-LUCF存在的主要问题

1. 分类混乱
2. 方法缺乏灵活性
3. 土地利用变化包含的计量的源汇不完整
4.
5.

缺少造林或再造林将非林地转化为有林地的计量；

缺少土地利用类型之间相互转化引起的温室气体源汇变化的计量。



二、技术与方法

（二）IPCC指南

1） IPCC-1996-LUCF存在的主要问题

1. 分类混乱
2. 方法缺乏灵活性
3. 土地利用变化包含的计量的源汇不完整
4. 缺乏统一明确的定义
5.

对土地利用类型缺乏统一明确的定义，使各国的清单缺乏可比性





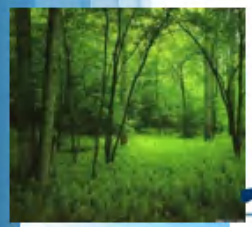
二、技术与方法

（二）IPCC指南

1） IPCC-1996-LUCF存在的主要问题

1. 分类混乱
2. 方法缺乏灵活性
3. 土地利用变化包含的计量的源汇不完整
4. 缺乏统一明确的定义
5. 无法满足京都议定书（KP）的要求

有关LULUCF条款的计量要求





二、技术与方法

（二）IPCC指南

2） IPCC-GPG-2000

该指南为1996年指南提供补充信息，提高了透明性、完整性和可比性。

该指南虽不包括林业，但森林计量监测可借鉴处理不确定、实施质量控制、确定关键排放源/汇的方法。



二、技术与方法

（二）IPCC指南

3）IPCC-GPG-LULUCF-指南实质性改进

1 土地利用分类一致

2

3

4

5

6

7

土地利用划分为6大类，有林地、农地、草地、湿地、居住用地和其它土地；

对各类土地利用给出了明确的定义；

考虑各地类内及其相互转化引起的温室气体源汇的变化。



二、技术与方法

（二）IPCC指南

3）IPCC-GPG-LULUCF-指南实质性改进

1 土地利用分类一致

2 与《京都议定书》关联

3

4

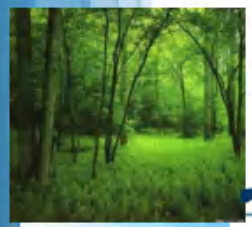
5

6

7

专门针对《京都议定书》关于造林、再造林和毁林（ARD）的3.3条款；

关于森林管理、植被恢复、农地管理和牧地管理的3.4条款、第6和12款有关。





二、技术与方法

（二）IPCC指南

3）IPCC-GPG-LULUCF-指南实质性改进

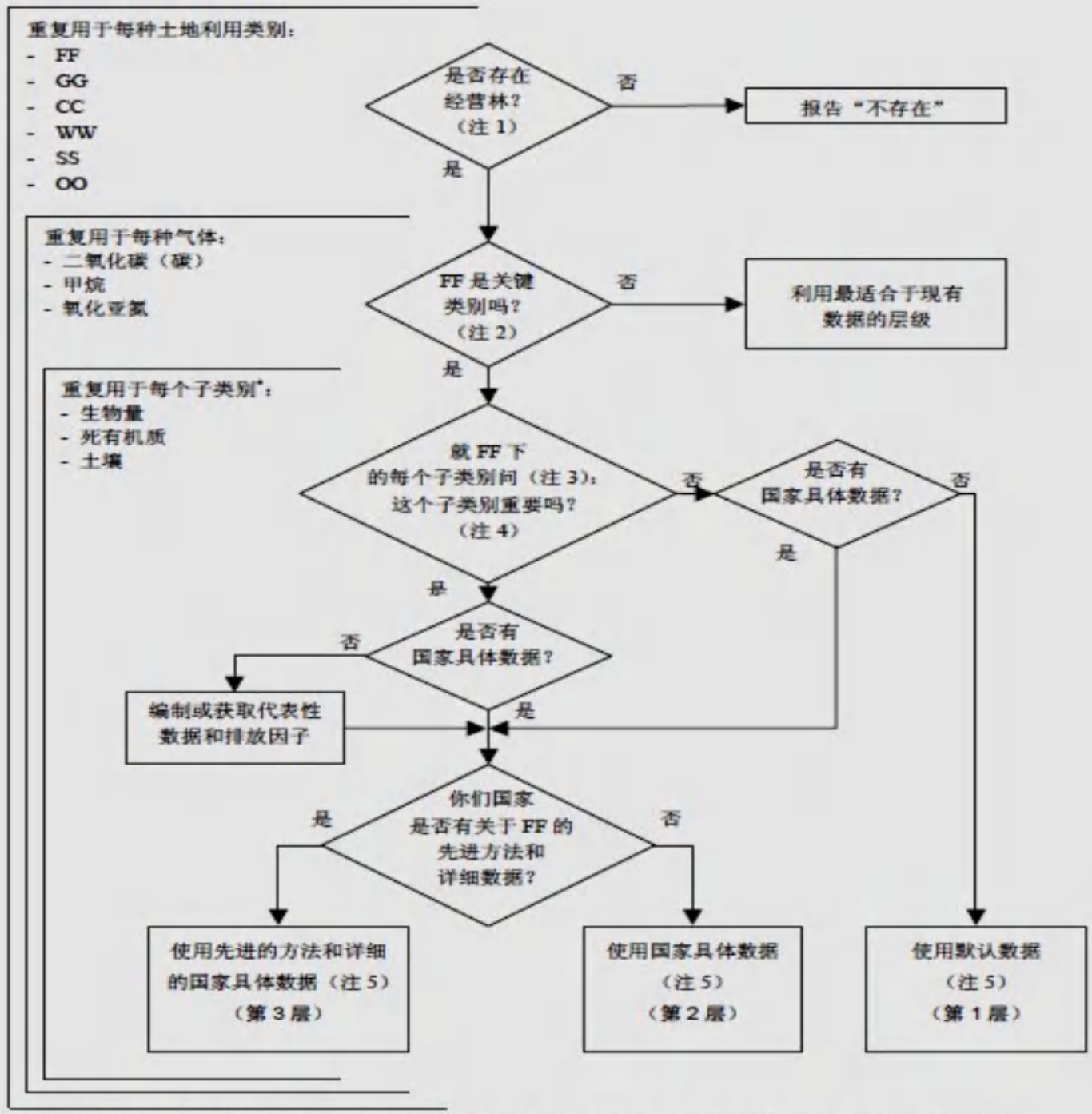
1. 土地利用分类一致
2. 与《京都议定书》关联
3. 计量方法灵活
4.
5.
6.
7.

提供了由简单到复杂3个层次的计量方法（示例如图3）









注 1：使用 20 年作为阈值，与《IPCC 指南》中所载默认值是一致的。各国可利用适合本国情况的不同时期。
注 2：第 5 章第 5.4 节（方法选择-*关键类别*的认定）解释了*关键类别*的概念。
注 3：关于子类别的特点说明见表 3.1.2。
注 4：如果一个子类别占到整个类别排放/清除量的 25%至 30%，该子类别是重要的。
注 5：关于层级定义见方框 3.1.1。

*如果一国将采伐木材产品（HWP）作为一个单独的库报告，应将其作为一个子类别处理。





二、技术与方法

（二）IPCC指南

3）IPCC-GPG-LULUCF-指南实质性改进

1. 土地利用分类一致
2. 与《京都议定书》关联
3. 计量方法灵活
4. 计量完整
5.
6.
7.

针对每一地类及其转化，分别计量碳贮量变化和非CO_2温室气体排放（表）；

对于碳贮量及其变化的计量，定义了5大碳库，分别对不同的碳库进行计量（如表）





二、技术与方法

3）IPCC-GPG-LULUCF-指南实质性改进

各地类内及其相互转化引起的温室气体源汇变化表

转化后LU / 原LU	有林地	农地	草地	湿地	居住地	其它用地
有林地	5.A.1 FF	5.B.2.1 FC	5.C.2.1 FG	5.D.2.1 GW	5.E.2.1 FS	5.F.2.1 FO
农地	5.A.2.1 CL	5.B.1 CC	5.C.2.2 CG	5.D.2.2 CW	5.D.2.2 CS	5.F.2.2 CO
草地	5.A.2.2 GL	5.B.2.2 GC	5.C.1 GG	5.D.2.3 GW	5.D.2.3 GS	5.F.2.3 GO
湿地	5.A.2.3 WL	5.B.2.3 WC	5.C.2.3 WG	5.D.1 WW	5.D.2.4 WS	5.F.2.4 WO
居住地	5.A.2.4 SL	5.B.2.4 SC	5.C.2.4 SG	5.D.2.4 SW	5.E.1 SS	5.F.2.5 SO
其它用地	5.A.2.5 OL	5.B.2.5 OC	5.C.2.5 OG	5.D.2.5 OW	5.D.2.5 OS	5.F.1 OO





二、技术与方法

（二）IPCC指南

3）IPCC-GPG-LULUCF-指南实质性改进

1. 土地利用分类一致
2. 与《京都议定书》关联
3. 计量方法灵活
4. 计量完整
5. 交叉问题
6.
7.

论证和提出了不确定性评估、关键排放源分析、时间序列的一致性处理和核查的方法以及质量控制程序



二、技术与方法

（二）IPCC指南

3）IPCC-GPG-LULUCF-指南实质性改进

1. 土地利用分类一致
2. 与《京都议定书》关联
3. 计量方法灵活
4. 计量完整
5. 交叉问题
6. 更新和提供大量参数
7.

更新和提供了大量的默认参数或排放/清除因子；

对于缺少参数的发展中国家十分有用。



二、技术与方法

（二）IPCC指南

3）IPCC-GPG-LULUCF-指南实质性改进

1. 土地利用分类一致
2. 与《京都议定书》关联
3. 计量方法灵活
4. 计量完整
5. 交叉问题
6. 更新和提供大量参数
7. 采伐的木材产品估算

该指南还包括了与采伐的木材产品有关的碳库变化的估计方法





二、技术与方法

（二）IPCC指南

3）IPCC-GPG-LULUCF-指南实质性改进

LULUCF的清单报告主要问题是涉及农地、草地及其与其它地类的转换，容易出现重复或遗漏。

排放类型	CO_2	非CO_2	N_2O
农地	LULUCF部门	农业部门	
林地和湿地排水			LULUCF部门
农地和草地排水	LULUCF		农业部门
其它地类转化为农地	LULUCF部门	LULUCF部门	
热带稀树草原燃烧		农业部门	
其它地区草地燃烧		LULUCF	





二、技术与方法

（二）IPCC指南

4） 2006年IPCC指南

该指南整合了**IPCC-GPG-2000**中的第四章（农业）和**IPCC-GPG-LULUCF**，使整个土地利用变化和林业成为一个整体，旨在提高温室气体报告的一致性和完整性。

目前发达国家正在试用，**2015**年发达国家全面使用。





二、技术与方法

（二）IPCC指南

4） 2006年IPCC指南

管理土地定义明确

过去人类活动引起的温室气体源排放和汇清除，

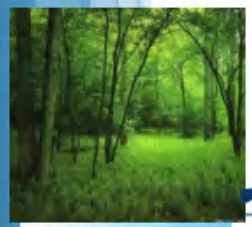
明确定义为发生于被管理土地上的温室气体排放和汇清除。

火烧引起排放

- 过去根据火烧的原因来识别是否纳入温室气体清单的计量；
- IPCC-2006-AFOLU根据发生在**被管理或受人为干扰**的土地上的火烧将纳入清单计量，而不论火烧是人为的还是自然的。

补充或改进计量方法

- 选择性计量的居住地给出了计量方法学指南；
- 被管理湿地给出计量方法学指南、湿地CH_4排放计量方法作为附件提供；
- 改进木质林产品碳计量方法学，纳入正式的方法学；





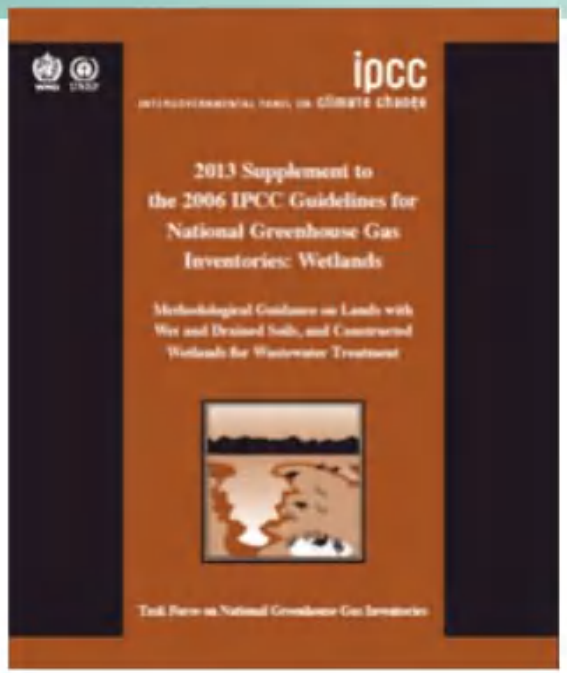
二、技术与方法

（二）IPCC指南

5）2013修订增补指南

2011年12月德班会议提出，2012年6月，IPCC第35次全会决定，由IPCC国家温室气体清单专题组负责，编写《2013修订补充方法》。2014年6月已通过IPCC全会。








二、技术与方法

（二）IPCC指南



◆森林管理温室气体源汇计量作为缔约方报告的强制内容。

◆木材产品的产品分类、碳贮量变化测算方法上进行改进。

◆关于自然干扰的处理方法。在报告中提供如何识别受自然干扰土地的方法、年份、类型、排放量的估算方法等内容。

◆由于森林采伐、人工林转化为非林地引起的人为排放量列入缔约方报告的范畴。

◆湿地排干和还湿作为新可选的纳入LULUCF活动。

◆天然林转换为人工林的所有排放量将作为森林管理活动的一部分列入今后缔约方报告和说明的内容。





二、技术与方法

(四)陆地生态系统碳调查方法

- ◆森林普查资料
- ◆样地调查
- ◆遥感调查
- ◆通量观测
- ◆模型体系建设





样地抽样与设置

- 典型抽样
- 系统抽样
- 分层抽样
- 样地设置





典型抽样

- 数据源选择
- 划分类型方法
- 调查底图制作
- 确定样地数
- 样地布设





系统抽样

- 确定抽样调查总体和调查底图
- 确定样地数

$$n = \frac{t^2 C^2}{E^2} = \frac{t^2 \dfrac{S^2}{\bar{y}^2}}{\dfrac{\Delta^2}{\bar{y}^2}} = \frac{t^2 S^2}{\Delta^2}$$

- 样地布设

$$D = \sqrt{\frac{A}{n}}$$





分层抽样

- **分层抽样应具备的条件**

（1）各层总体单元数应该确知，或者各层的层权重是已知的；

（2）总体划分后，各层间任何总体单元不允许有重叠和遗漏；

（3）在各层中的抽样应该保持独立、随机。

- **确定抽样调查总体和调查底图**
- **总体划分**

分层方案制定，分层因子确定、分层小班勾绘和各层面积权重 。

- **样地数确定及分配**
- **样地布设**



样地设置



- 样地定位



A、GPS 定位

B、罗盘仪定位

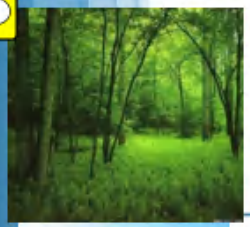
- 样地和样方设置

A、乔木层样地设置

B、灌木层样方设置

C、草本层样方设置

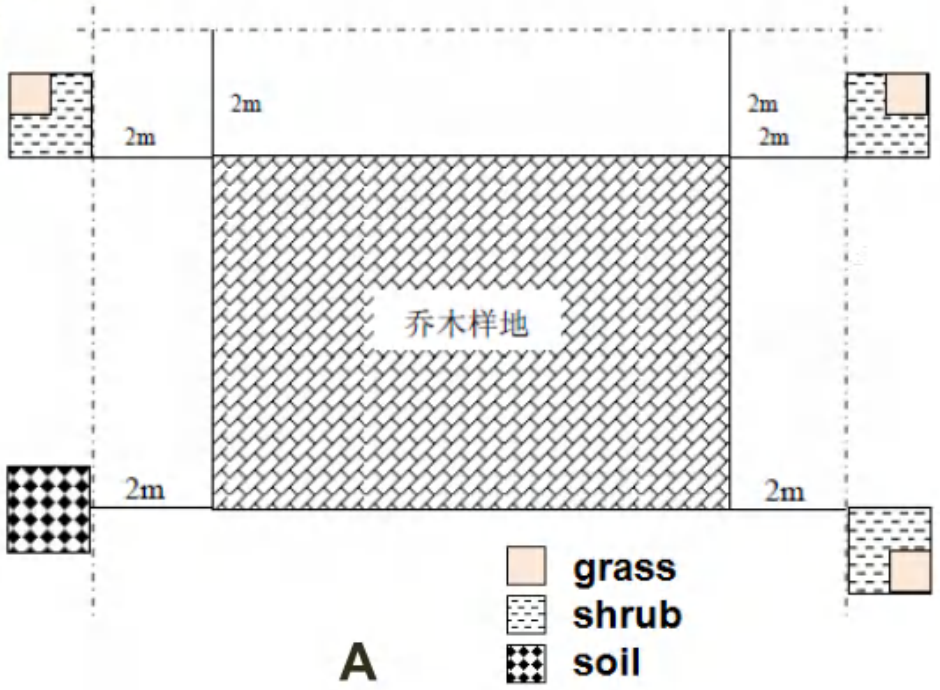
D、枯落物样方设置







样地调查



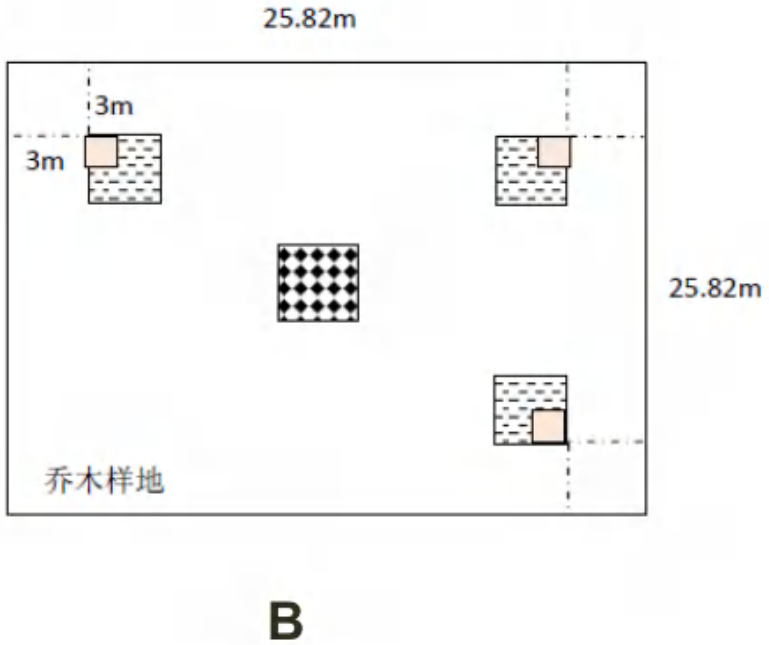
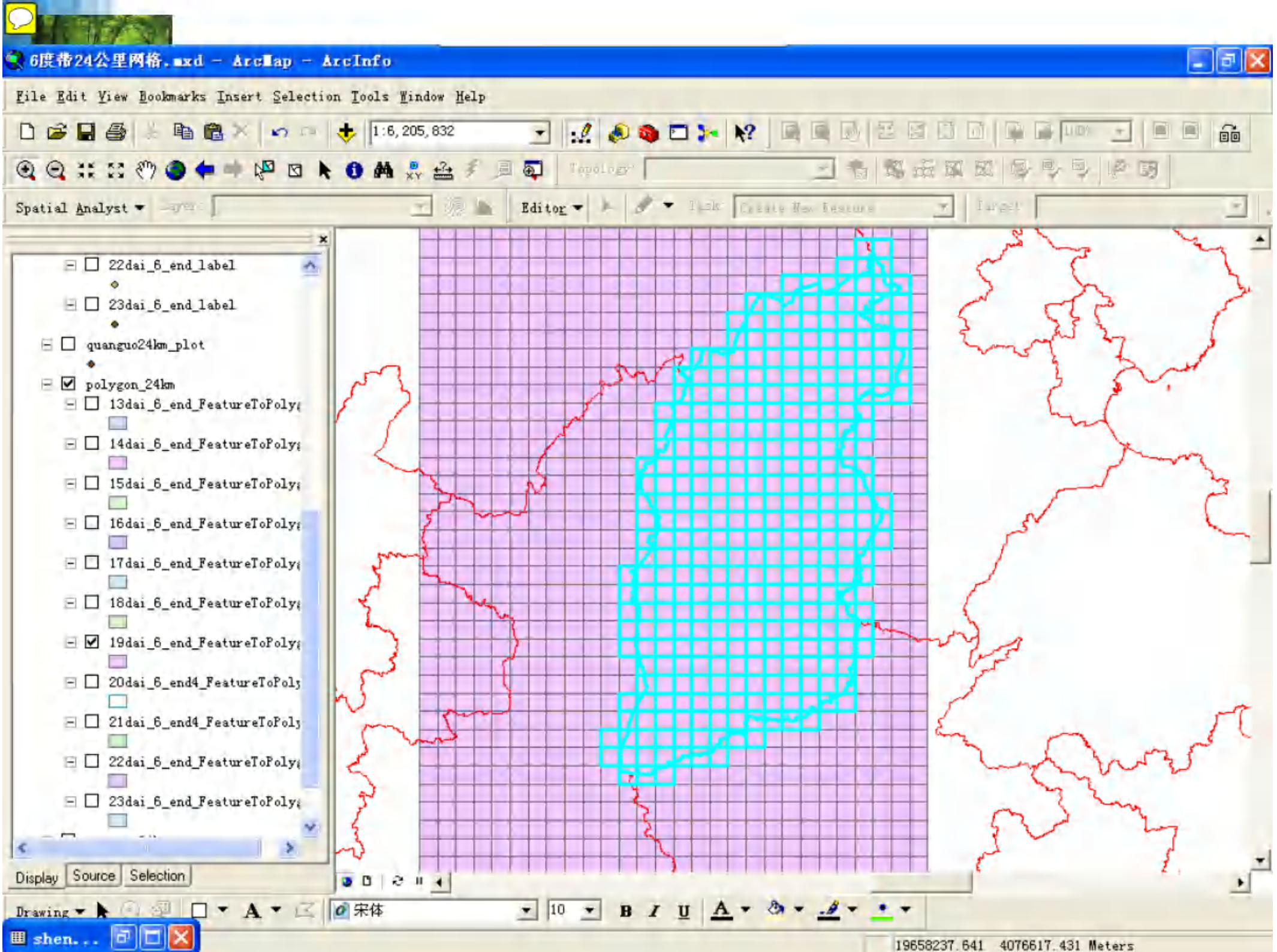
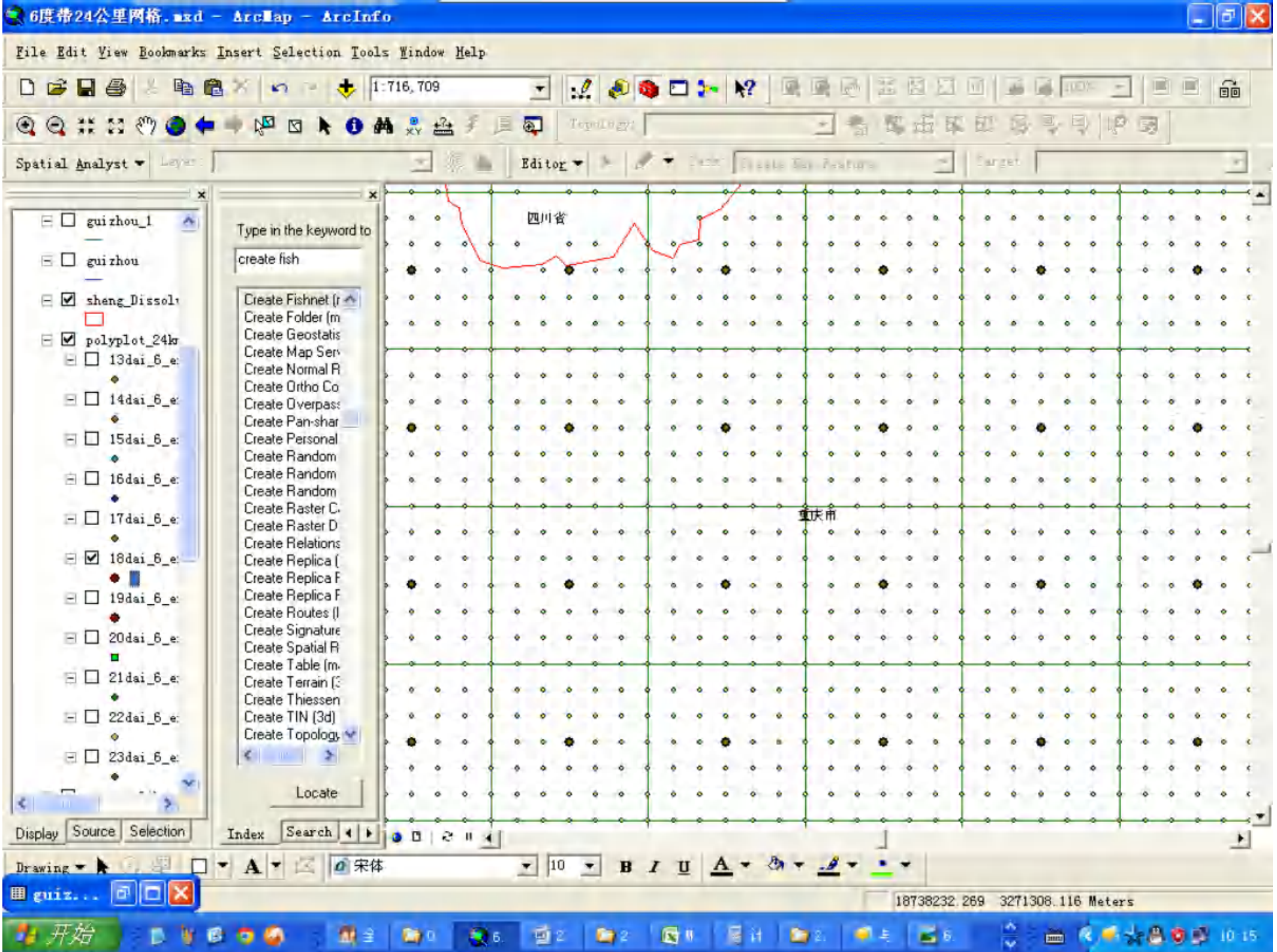


图　森林碳储量调查样地. 永久样地(A), 临时样地(B)


6度带24公里网格.mxd - ArcMap - ArcInfo
File Edit View Bookmarks Insert Selection Tools Window Help
1:6,205,832
Spatial Analyst
Editor
22dai_6_end_label
23dai_6_end_label
quanguo24km_plot
polygon_24km
13dai_6_end_FeatureToPoly
14dai_6_end_FeatureToPoly
15dai_6_end_FeatureToPoly
16dai_6_end_FeatureToPoly
17dai_6_end_FeatureToPoly
18dai_6_end_FeatureToPoly
19dai_6_end_FeatureToPoly
20dai_6_end4_FeatureToPoly
21dai_6_end4_FeatureToPoly
22dai_6_end_FeatureToPoly
23dai_6_end_FeatureToPoly
Display
Source
Selection
Drawing
宋体
10
19658237.641 4076617.431 Meters


6度带24公里网格.mxd - ArcMap - ArcInfo
File Edit View Bookmarks Insert Selection Tools Window Help
1:716,709
Spatial Analyst
Editor
guizhou_1
guizhou
sheng_Dissol
polyplot_24k
13dai_6_e
14dai_6_e
15dai_6_e
16dai_6_e
17dai_6_e
18dai_6_e
19dai_6_e
20dai_6_e
21dai_6_e
22dai_6_e
23dai_6_e
Type in the keyword to
create fish
Create Fishnet (
Create Folder (m
Create Geostatis
Create Map Ser
Create Normal R
Create Ortho Co
Create Overpass
Create Pan-shar
Create Personal
Create Random
Create Random
Create Random
Create Raster C
Create Raster D
Create Relations
Create Replica (
Create Replica F
Create Replica F
Create Routes (I
Create Signature
Create Spatial R
Create Table (m
Create Terrain (3
Create Thiessen
Create TIN (3d)
Create Topology
Locate
Display Source Selection
Index Search
四川省
重庆市
Drawing
宋体
10
18738232.269 3271308.116 Meters
guiz...
开始





调查和采样

碳专项调查因子

调查内容	调查因子
样地因子（7项）	气候带、坐标（经纬度）、地貌、地形、海拔、森林干扰、森林经营措施
林分调查（18项）	活立木（13项）：森林类型、起源、胸径、树高、林龄（龄组）、树种组成、林分密度、立地条件；枯立木（3项）：胸径、实际高度、分解状态； 枯倒木（2项）：区分段直径和长度；
灌木（12项）	优势种，平均高，盖度，株数，标准木地上干、枝、叶的鲜重和地下根系鲜重，样品地上干、枝、叶的鲜重和地下根系鲜重；
枯落物（3项）	厚度、样方鲜重、样品鲜重
土壤调查（5项）	土壤类型、土壤厚度、剖面挖掘和土钻采集剖面、分层环刀土样鲜重、土壤样品鲜重（用于测定土壤有机碳）
室内测定（8项）	灌木样品：样品地上干、枝、叶的鲜重和地下根系干重； 枯落物样品：干重 土壤样品：分层环刀土样干重、容重（环刀土样干重）、土壤有机质





乔木调查

每木调查（含枯死木调查）胸径，并在样地内选择3~5株处于平均胸径的林木测定其树高，作为样地的平均树高。乔木层起测胸径为5.0cm。

- **枯立木**，测定胸径和实际高度，记录其枯立木分解状态。
- **枯倒木**，测定其区分段直径和长度，按1m区分进行材积计算。



乔木调查





样木选取：选择的标准样木，准确量测其胸径、冠幅、枝下高等因子。

树干鲜重测定：伐倒选取的标准木，准确量测树干长度，将树干均匀分为十个区分段，测定各个区分段（0、1/10、2/10、3/10……9/10）的直径（分带皮直径和去皮直径），并在1/10、3/10、7/10处截取圆盘（3-5cm厚），测定每个圆盘和各区分段的鲜重。

枝、叶（含花和果）鲜重测定：将树冠分上、中、下3层，按顺序测定每个带叶枝条的鲜重，计算每层的平均带叶枝鲜重。

树根鲜重测定：以树干基部为中心，将全部树根挖出，分别根茎、粗根（直径为0.3cm以上）、细根（直径为0.3cm以下）称其鲜重。





样地调查

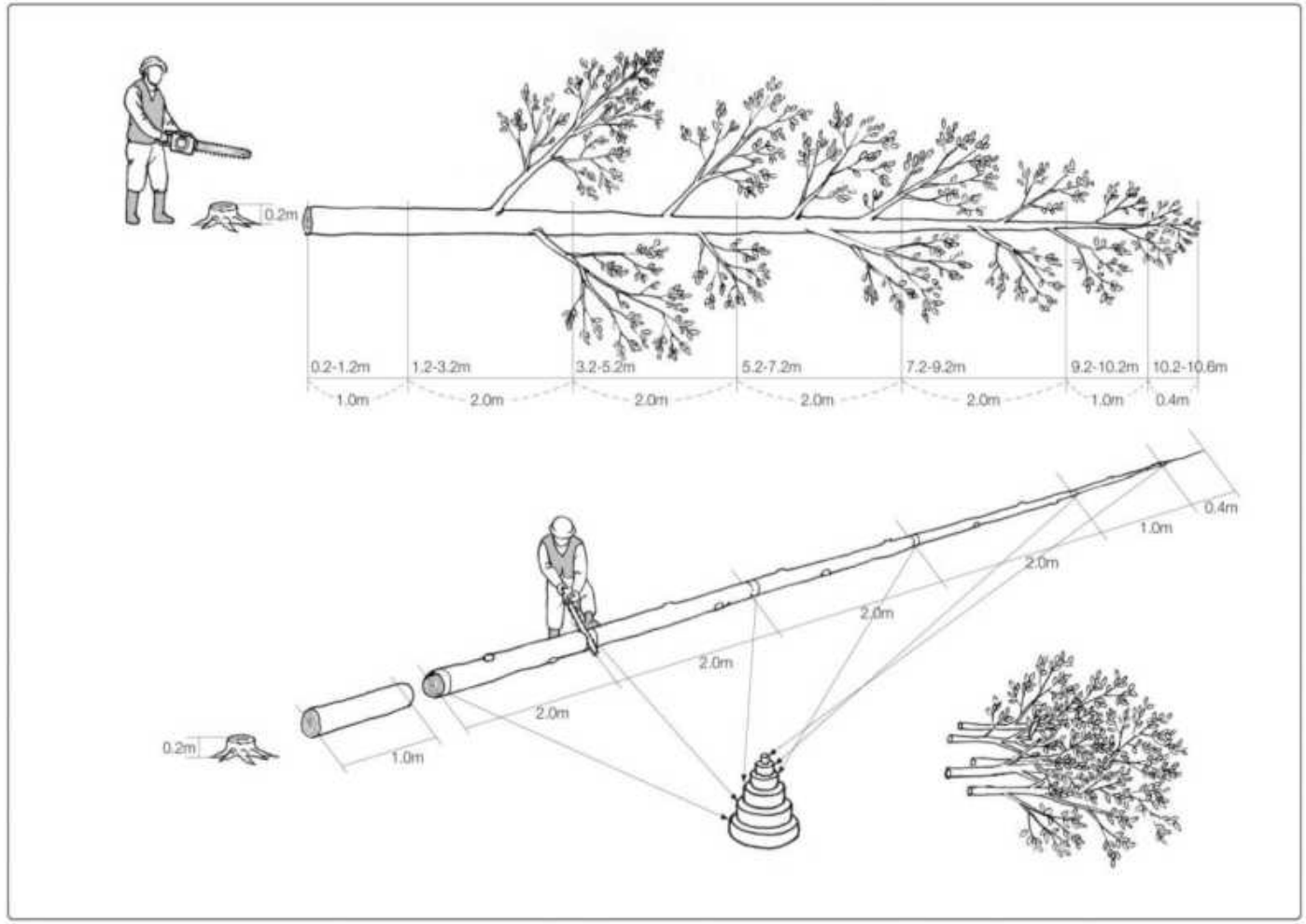
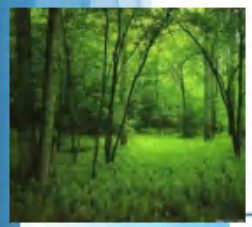


图 乔木地上生物量测定







样地调查



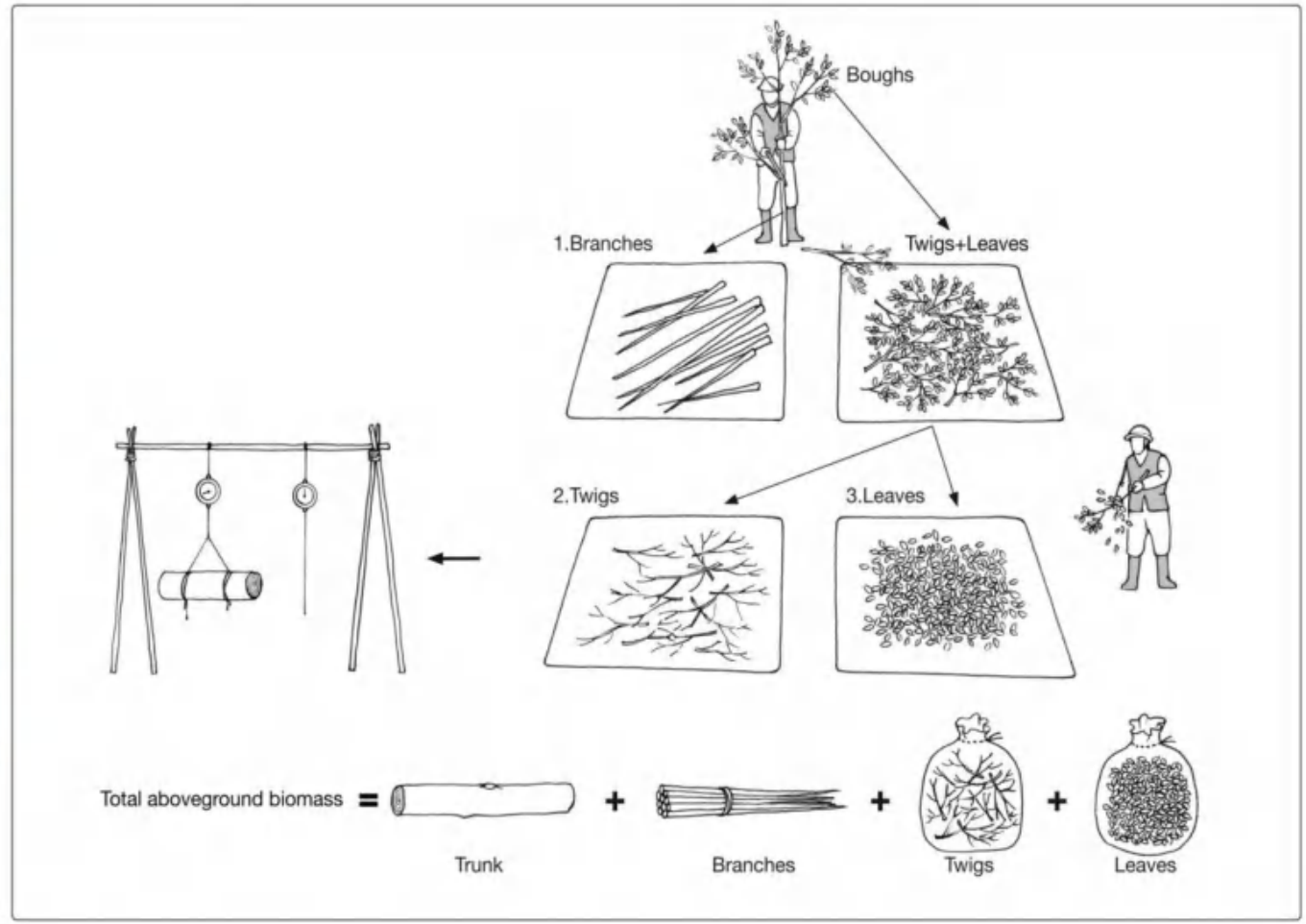


图 乔木地上生物量测定



样地调查









图　地下生物量测定（左）和凋落物取样（右）





灌木调查

调查灌木层植物种名（包括未达起测直径D<5.0cm的幼树）、盖度（冠幅）、株数、平均高。每个样方中，选取3株平均大小(根径与高度处于平均水平)的灌木作为平均灌木，记录选取的3株标准灌木种名、高度、地径、冠幅，采用全株收获法分别测定3株标准木地上干、枝、叶和地下根系的鲜重，称量精度保留到称量仪器的最小刻度(10g)。





灌木调查

样品采集方法：分别按每个样方，选取3株(1-2丛)标准灌木，每个样方分别各取三株标准灌木干、枝、叶和根的一部分进行混合，取混合后的干、枝、叶和根样品200-500g，称其鲜重。





草本调查

采用完全收获法调查草本层生物量。调查记录样方内的草本植物（不包括苔藓、地衣等）的种名、盖度、平均高，然后收集样方内所有草本植物地上部分和地下部分（根径小于2mm排除外），直接称其总鲜重。草本样品采样时，当采集的草本比较多，样品可采集一部分草本植物的混合样品（200g左右），称重精确到10g。





枯落物调查

通过在森林内设置样方，调查枯落物厚度，用耙子收集样方内全部枯落物，包括各种枯枝、叶、果、枯草、半分解部分等枯死混合物，剔除其中石砾、土块等非有机物质，称量其鲜重，精确到50g（1两）或称重仪器的最小估读刻度(10g)，每个样方混合采集枯落物样品200g左右，称重精确到10g，装入样品袋中，贴上标签，写明样地号、样方号、采集地点、样品类型、采集人和采样日期，带回实验室测定其干鲜比(含水率)。





土壤调查

土壤碳库调查方法常采用剖面法和土钻法调查。

土壤碳库调查内容包括：土壤类型、土层厚度、土壤容重和有机质含量。剖面挖掘和土钻采集剖面后，每个剖面采样层次按0~10cm、10cm~30cm、30cm~100cm划分土层；土层厚度不足100cm，按实际厚度分层取样，超过100cm按100cm分层取样。

样地调查











图 样地法测量森林碳储量



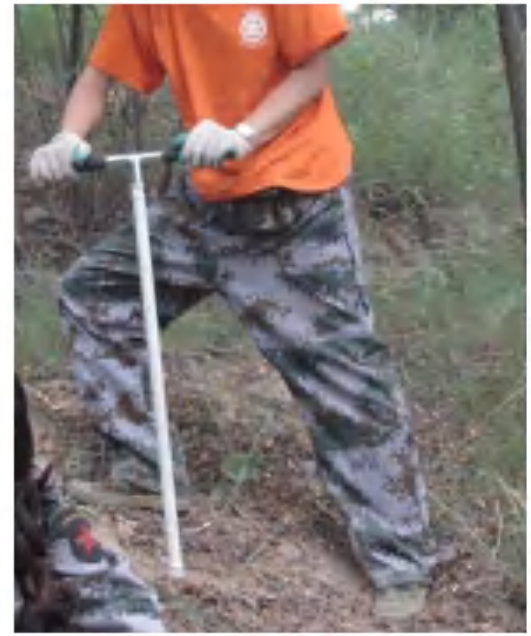
样地调查-土壤调查





土壤调查采用机械分层采样（0-10,10-30,30-100）

土壤取样土钻法



土壤剖面取容重样品（环刀法）









（刘迎春等，2010;Kim 2011）





二、技术与方法

(四)陆地生态系统碳调查方法

- 土地利用和土地利用变化
- 样地调查
- 遥感调查
- 通量观测



主要业务方向





1. 技术更新
2. 缩短森林调查周期
3. 提高全球观测能力



卫星资源不断丰富

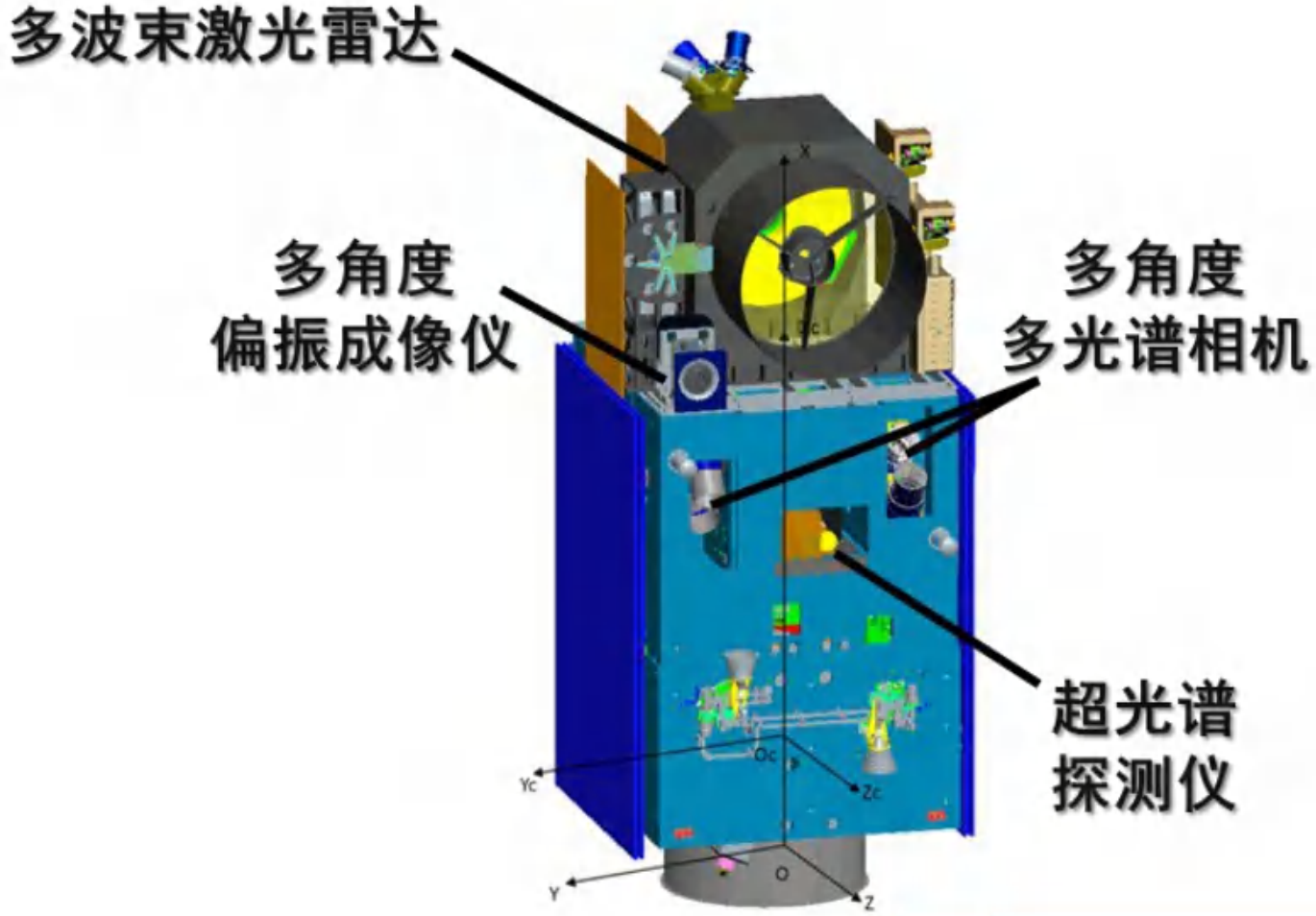




1. 分辨率大幅提高
2. 各类服务于林业的载荷增多
3. 中国卫星生产水平提高

二. 陆地碳卫星及森林调查应用验证

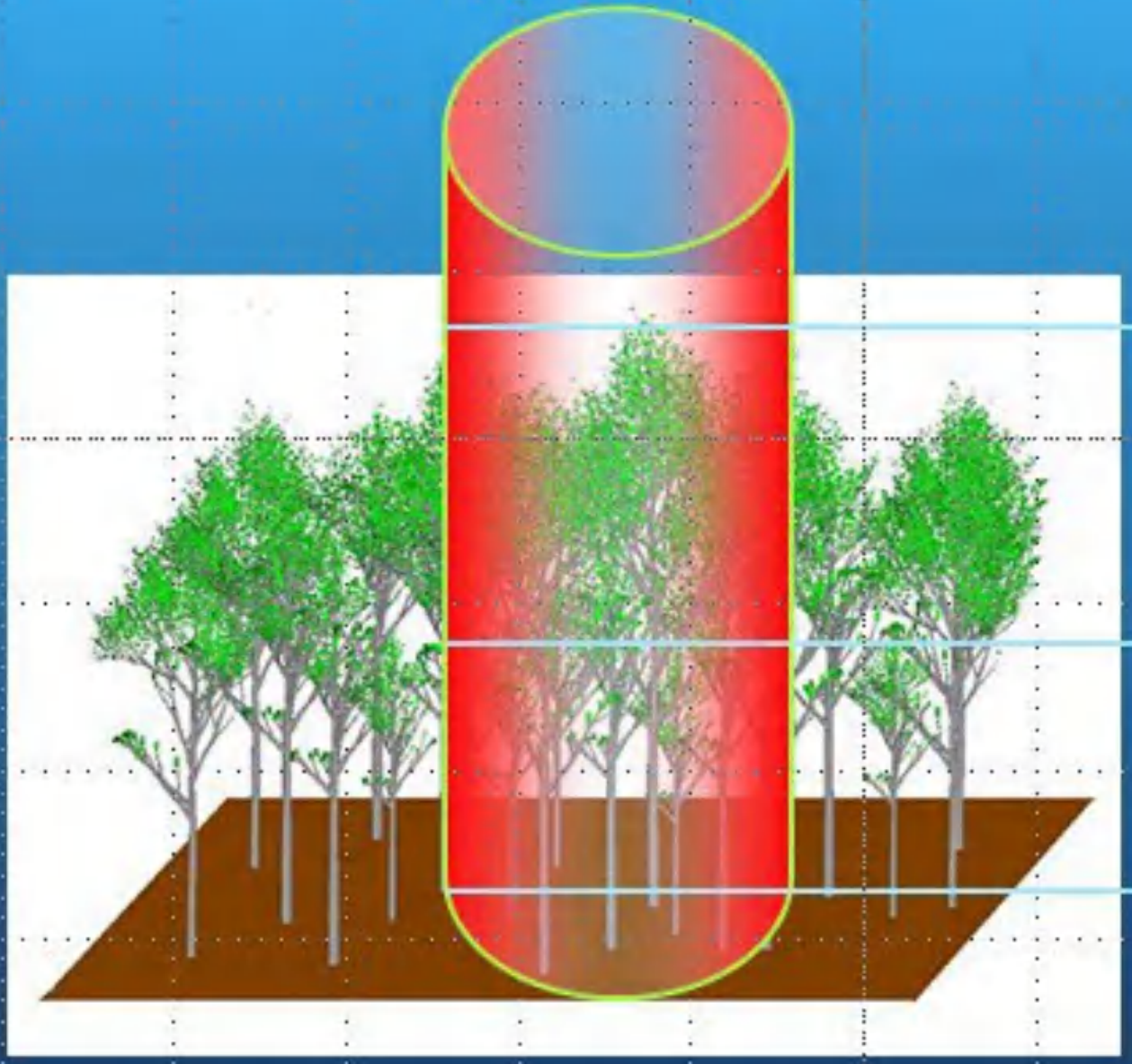
1. 陆地生态系统碳监测卫星

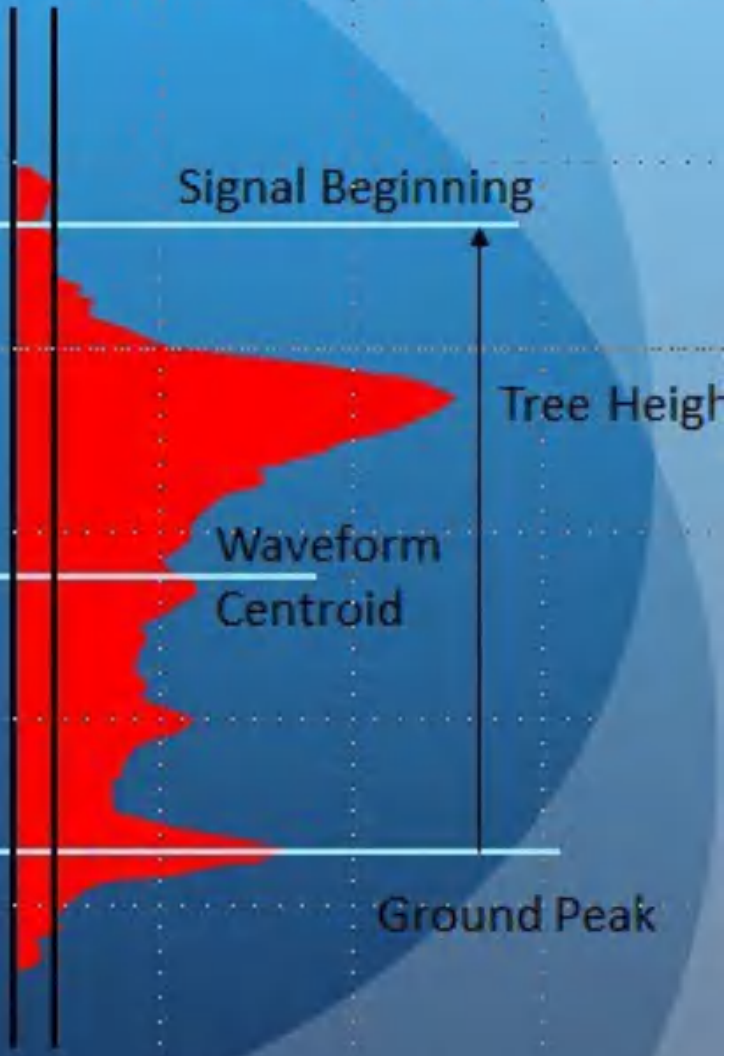


大脚印激光雷达

激光波束

雷达波形

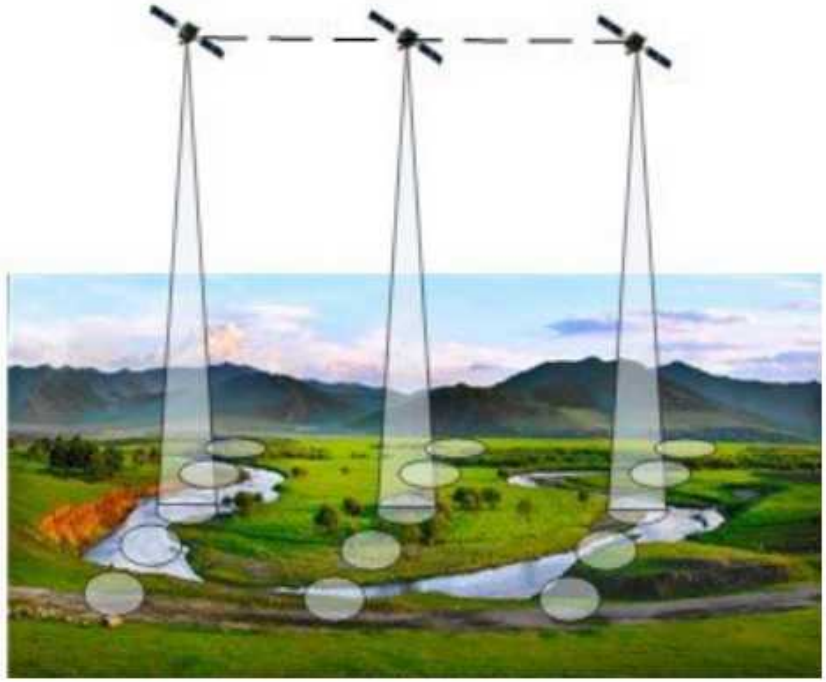




卫星平台	型号	ZY1000B卫星平台
	轨道类型	太阳同步回归轨道
	轨道高度	506km
	降交点地方时	10:30
	观测范围	全球南北纬80°之间
	姿态指向精度	≤0.02°（三轴，3σ）
	姿态稳定度	≤5×10-4°/s（三轴，3σ）
	星敏惯性空间姿态测量精度	≤0.003°（三轴，3σ）
	GPS定轨的空间实时位置精度	≤10m（三轴，1σ）
多波束激光雷达载荷	激光波束	**5波束**
	激光波长	**1064nm**
	脉冲能量	70mJ
	脉冲宽度	8ns
	脉冲重复频率	35Hz
	激光有效测距范围	506±20km
	激光回波采样间隔	1ns
	测距精度	**0.3m**
	测距激光地面足印	**50~60μrad（25~30m）**
	垂轨方向相邻激光地面光斑间距	4km
	激光回波采样间隔	1ns
足印对地观测相机载荷	足印相机分辨率	2m
	光谱谱段	B1谱段：630nm~690nm
		B2谱段：770nm~890nm
		B3谱段：690nm~730nm
	幅宽	20km
	量化位数	12bit
	激光光束指向与足印相机测量误差	≤3个像元

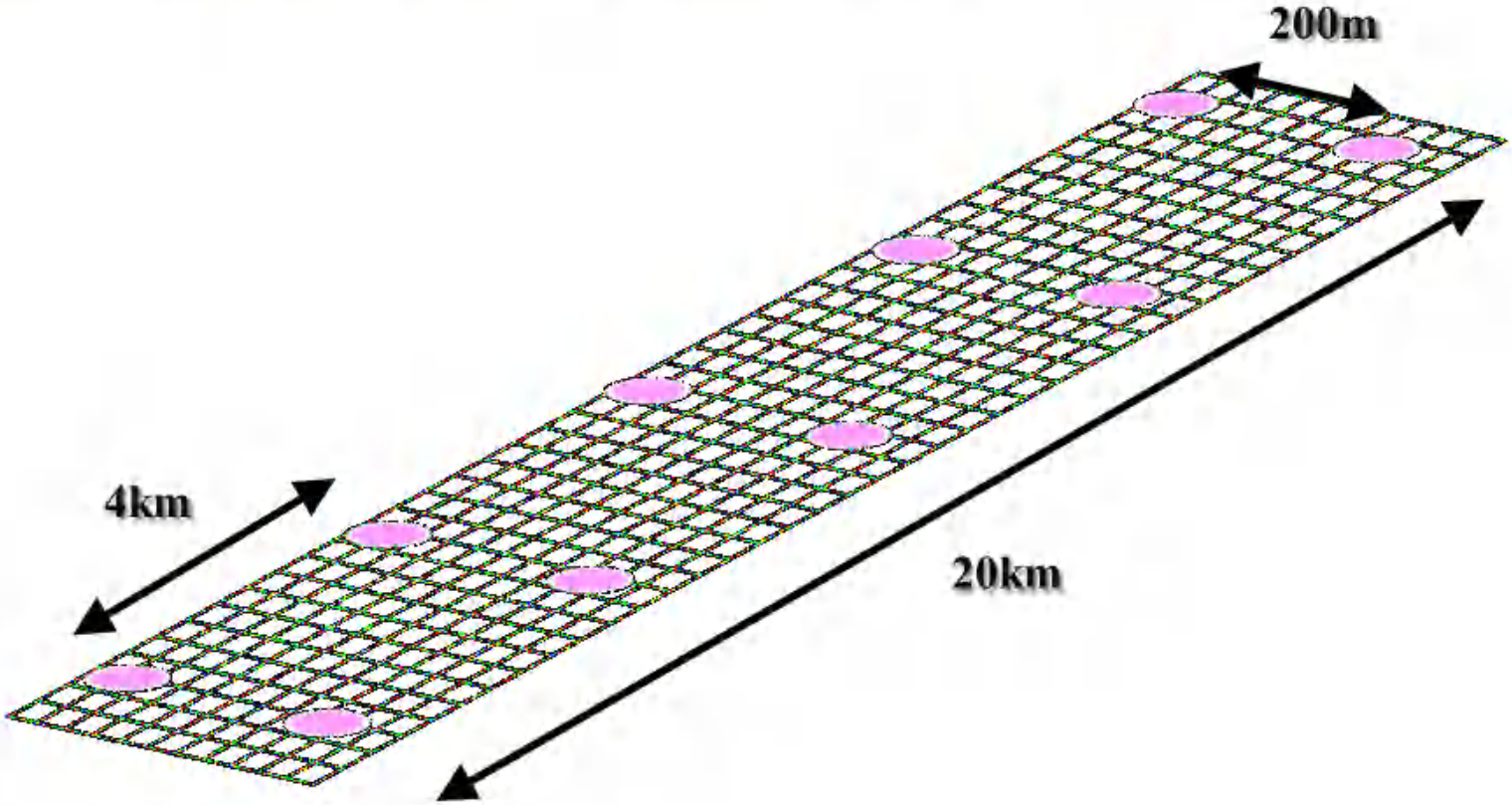
二. 陆地碳卫星及森林调查应用验证

1. 陆地生态系统碳监测卫星



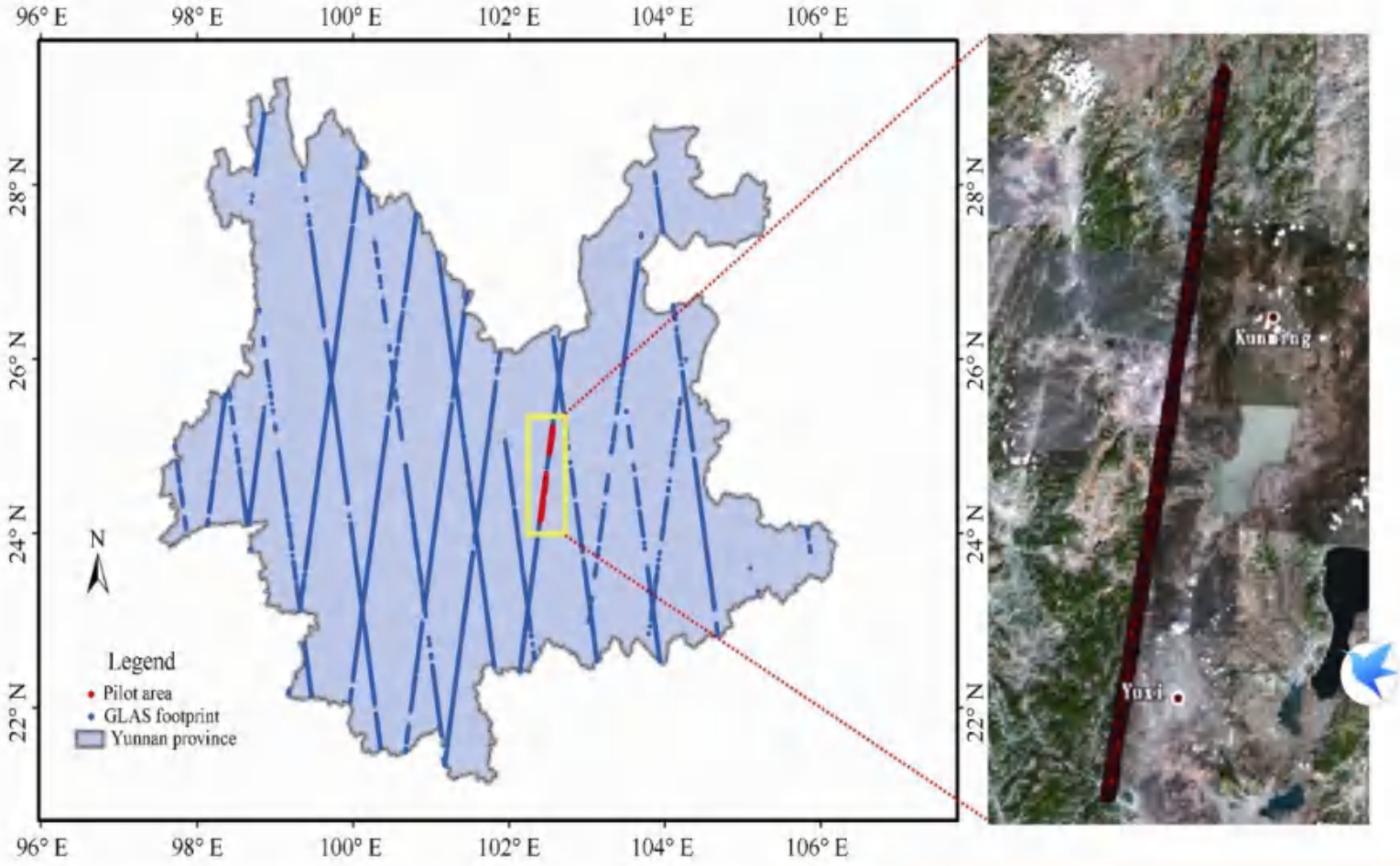
一. 陆地碳卫星及森林调查应用验证

1. 陆地生态系统碳监测卫星



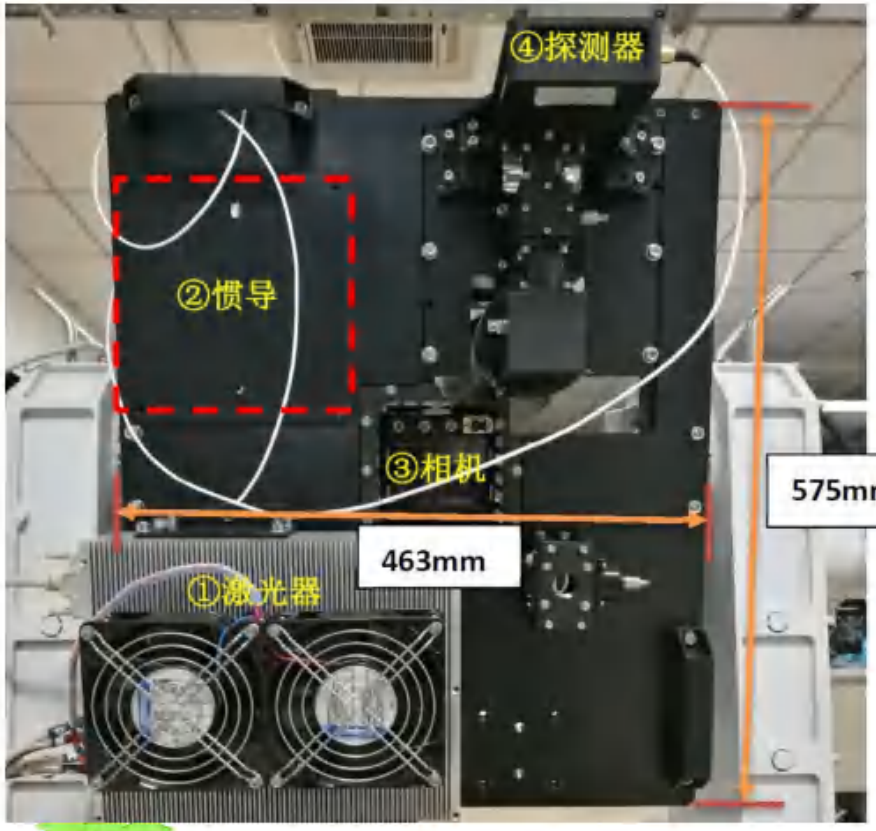
二. 陆地碳卫星及森林调查应用验证

1. 应用验证 -- 云南省森林地上生物量制图（GLAS）



二. 陆地碳卫星及森林调查应用验证

1. 应用验证 -- 河北栾城大光斑激光雷达机载系统有人机校飞试验



飞思phaseone iXU-R180技术指标

指标名称	设计值
传感器分辨率	
动态范围	
像元尺寸	
成像传感器大小	
画幅宽高比	
感光度范围（ISO）	
快门速度	
相机镜头焦距	
相机镜头视场角	
数据接口	
最小拍照间隔	
数据存储	

二. 陆地碳卫星及森林调查应用验证

大光斑激光雷达机载系统航线设计：检校区为“井”字形共4条航线，分500m和1000m两个相对航高；测区4条红色航线（40km）、2条黄色航线（15km），相对航高3.5km。



二. 陆地碳卫星及森林调查应用验证

1. 应用验证 -- 小光斑激光雷达



有人机飞行小光斑激光雷达



机载激光点云徕卡ALS80-HP设备图

二. 陆地碳卫星及森林调查应用验证

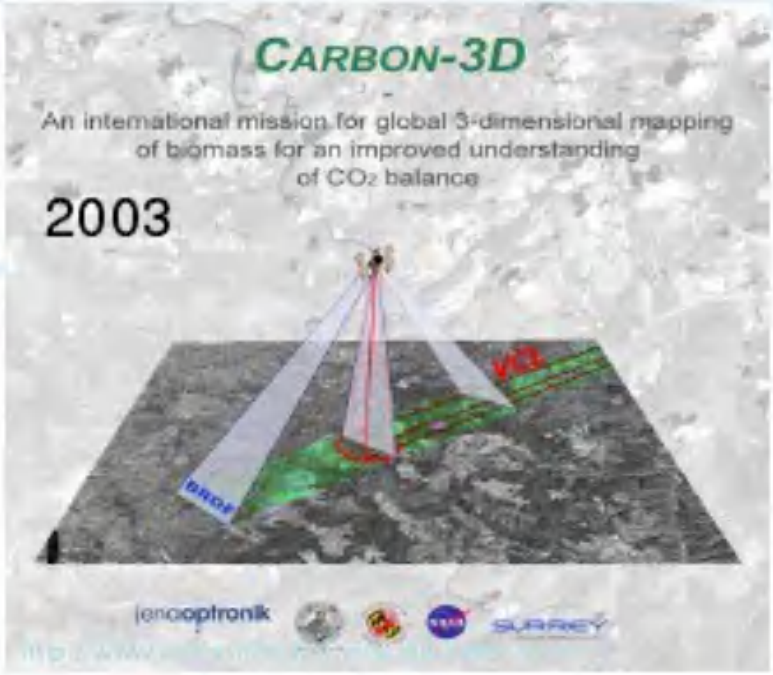
1. 应用验证 -- 小光斑激光雷达

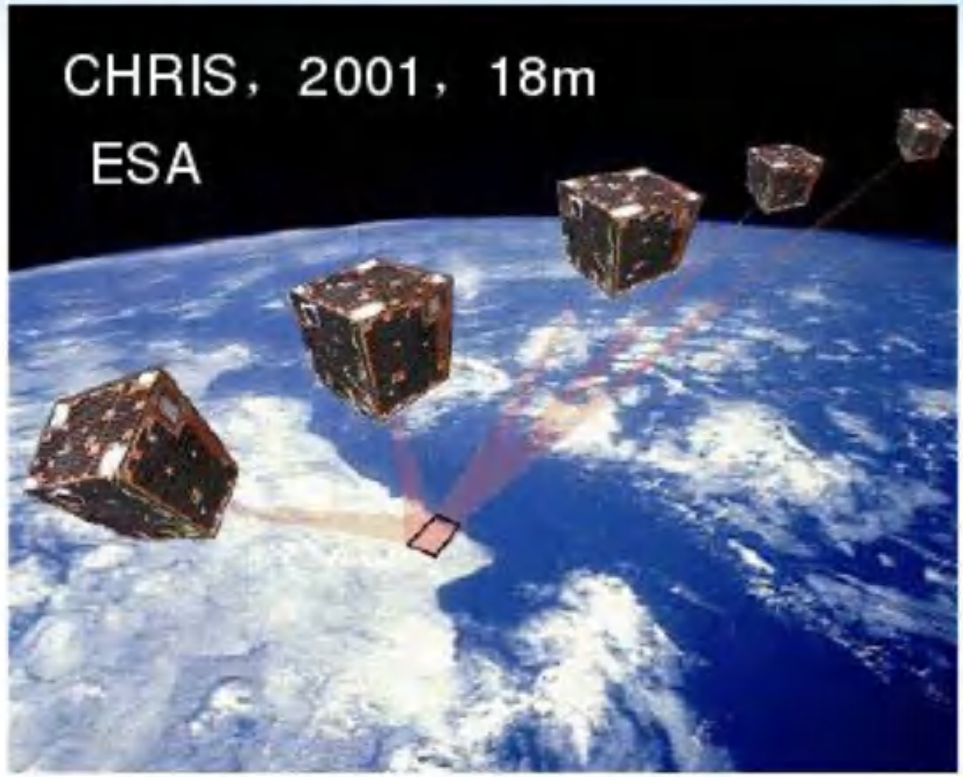
湖南LIDAR航线布设示意图

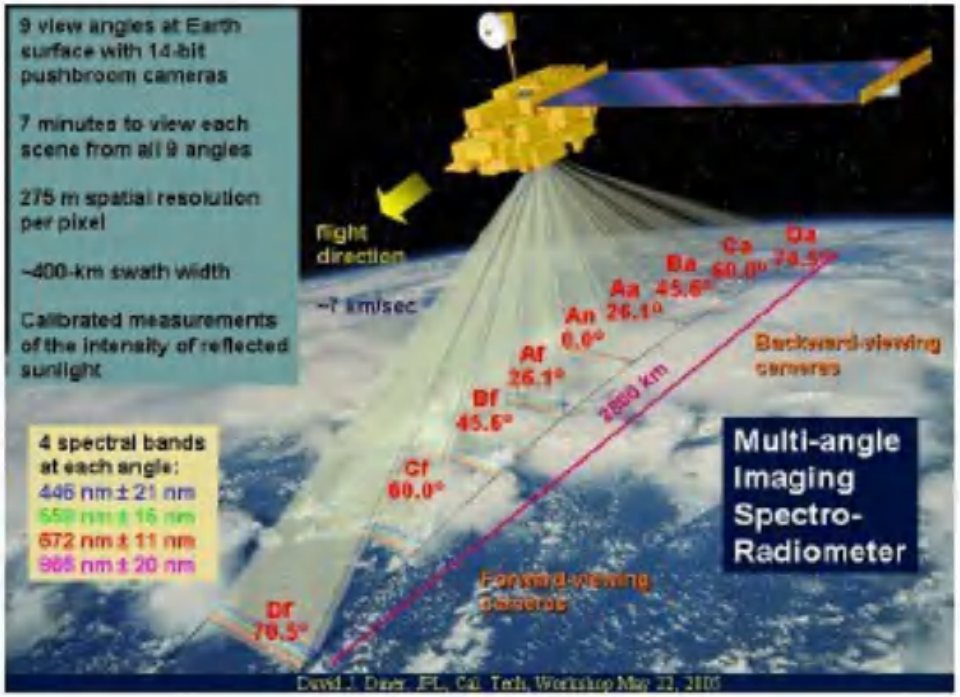


飞行高度：1区：2950米　2区：2800米　3区2650米

欧美的多角度传感器


CARBON-3D
An international mission for global 3-dimensional mapping of biomass for an improved understanding of CO_2 balance
2003
jenoptronik
SURREY

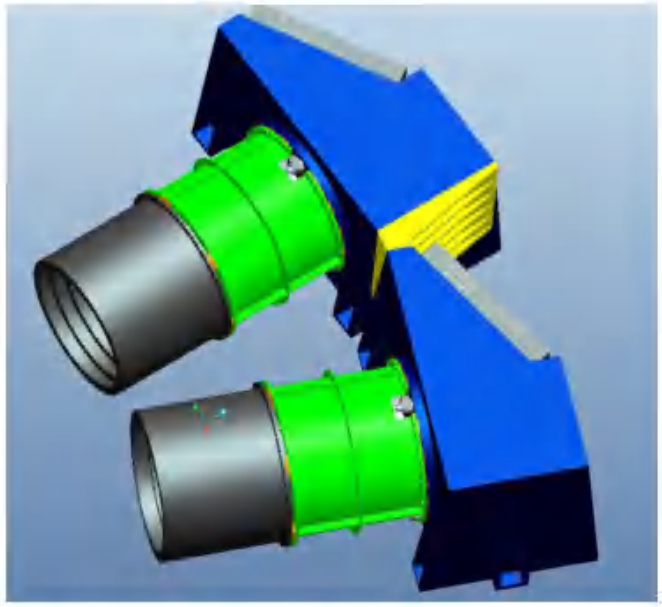

CHRIS，2001，18m
ESA


9 view angles at Earth surface with 14-bit pushbroom cameras
7 minutes to view each scene from all 9 angles
275 m spatial resolution per pixel
~400-km swath width
Calibrated measurements of the intensity of reflected sunlight
4 spectral bands at each angle:
446 nm ± 21 nm
672 nm ± 11 nm
865 nm ± 20 nm
flight direction
~7 km/sec
Df 70.5°
Cf 60.0°
Bf 45.6°
Af 26.1°
An 0.0°
Aa 26.1°
Ba 45.6°
Ca 60.0°
Da 70.5°
Backward-viewing cameras
Forward-viewing cameras
2600 km
Multi-angle Imaging Spectro-Radiometer

多光谱多角度载荷及其应用验证

多角度多光谱相机

- 主体结构设计
  - 光机主体分成完全一致的两个组合体，分别完成前视+28°/+50°和后视-28°/-50°的成像任务。



多角度多光谱相机主体（以后视为例）结构和安装状态示意

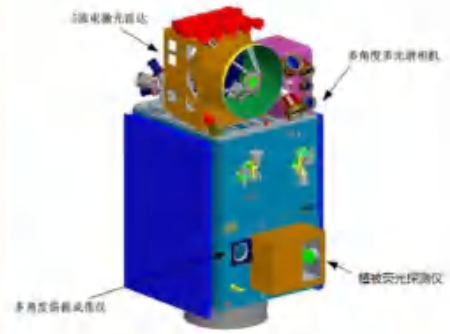
- 光学系统设计
  - 单个相机采用相同的光学系统设计，使用三反同轴光学系统方案。

单台相机光学系统示意图

多光谱多角度载荷及其应用验证

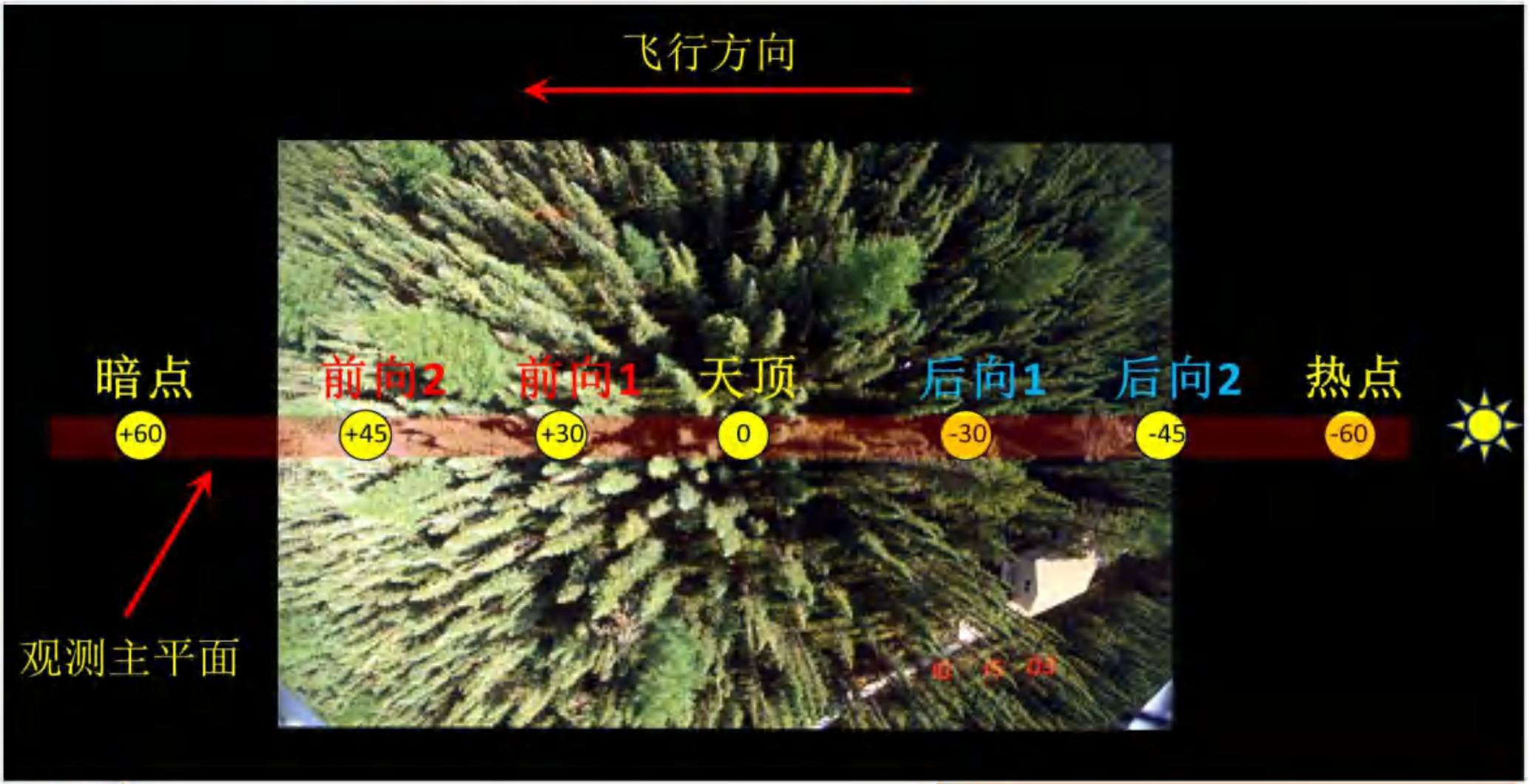
多角度多光谱相机

角度	0° 相机	±28° 相机	±50° 相机
谱段	B1谱段：630nm~690nm； B2谱段：770nm~890nm； B3谱段：690nm~730nm	B1谱段：450~520nm； B2谱段：520~590nm； B3谱段：630~690nm； B4谱段：770~890nm； B5谱段：全色（500~760nm）	
地面像元分辨率（垂轨方向）	优于2m	多光谱优于8m、全色优于4m	多光谱优于8m、全色优于6m
静态MTF	B3谱段≥0.18；其他≥0.2	B5谱段≥0.18；其他≥0.2	
信噪比	≥48dB（太阳高度角70°，地面反射率0.65） ≥23dB（太阳高度角20°，地面反射率0.05）		
幅宽	≥20km		
量化位数	12bit		



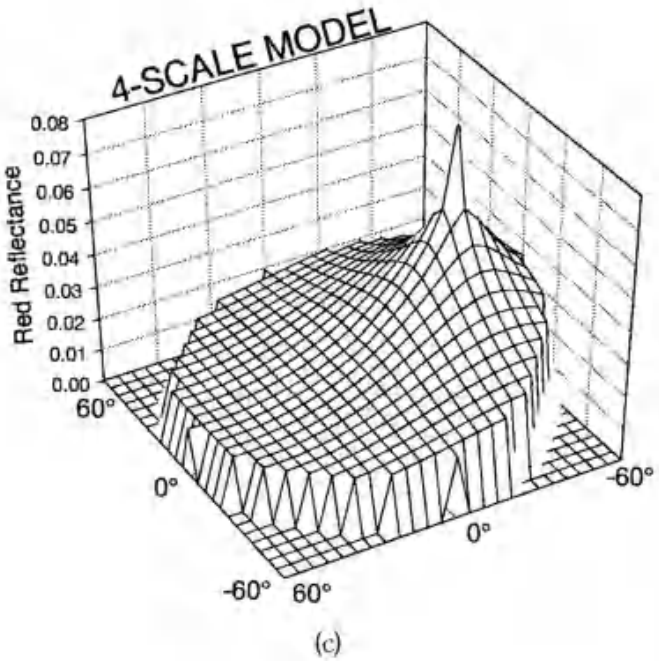
多光谱多角度载荷及其应用验证

森林生态调查（多角度多光谱应用验证）

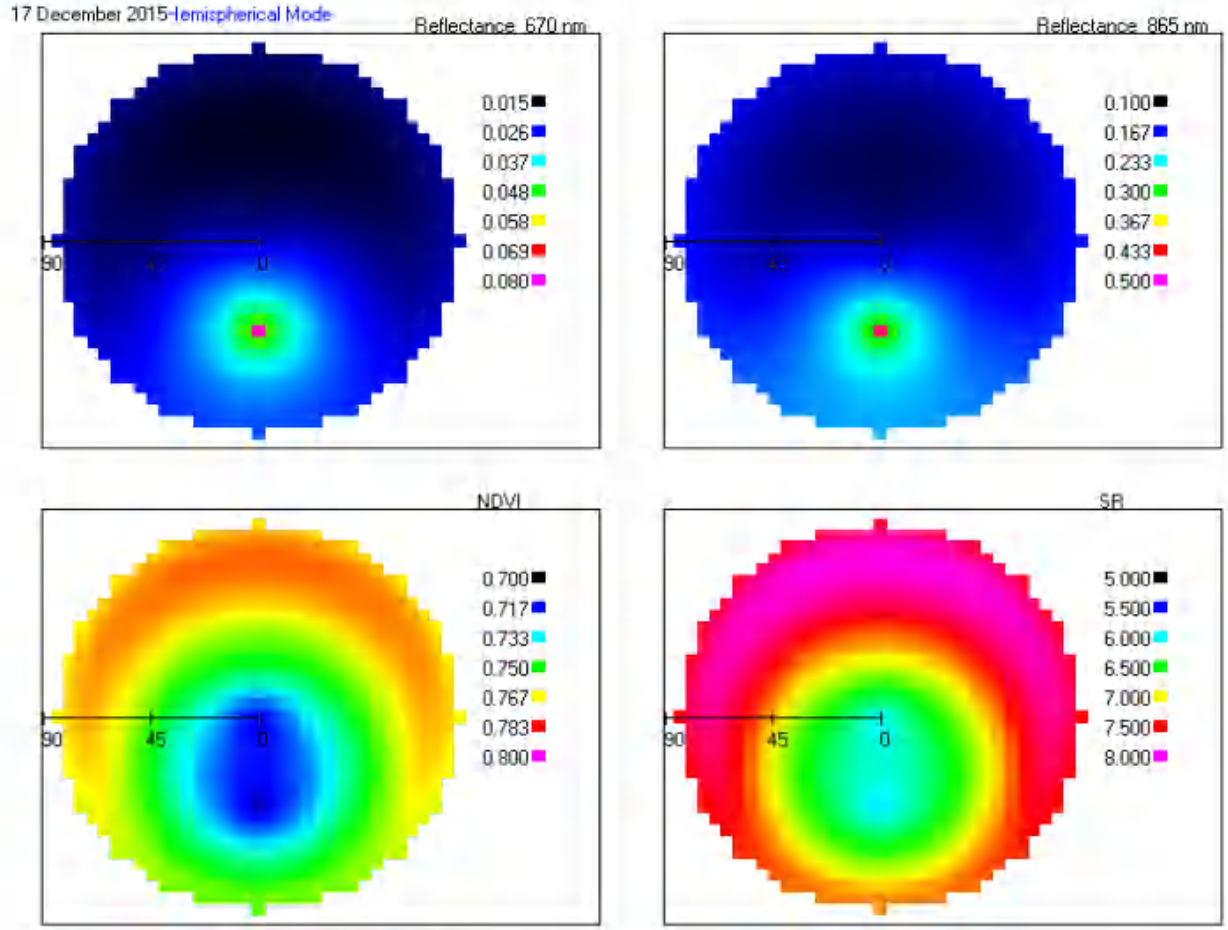


4. 多光谱多角度载荷及其应用验证

森林生态调查（多角度多光谱应用验证）

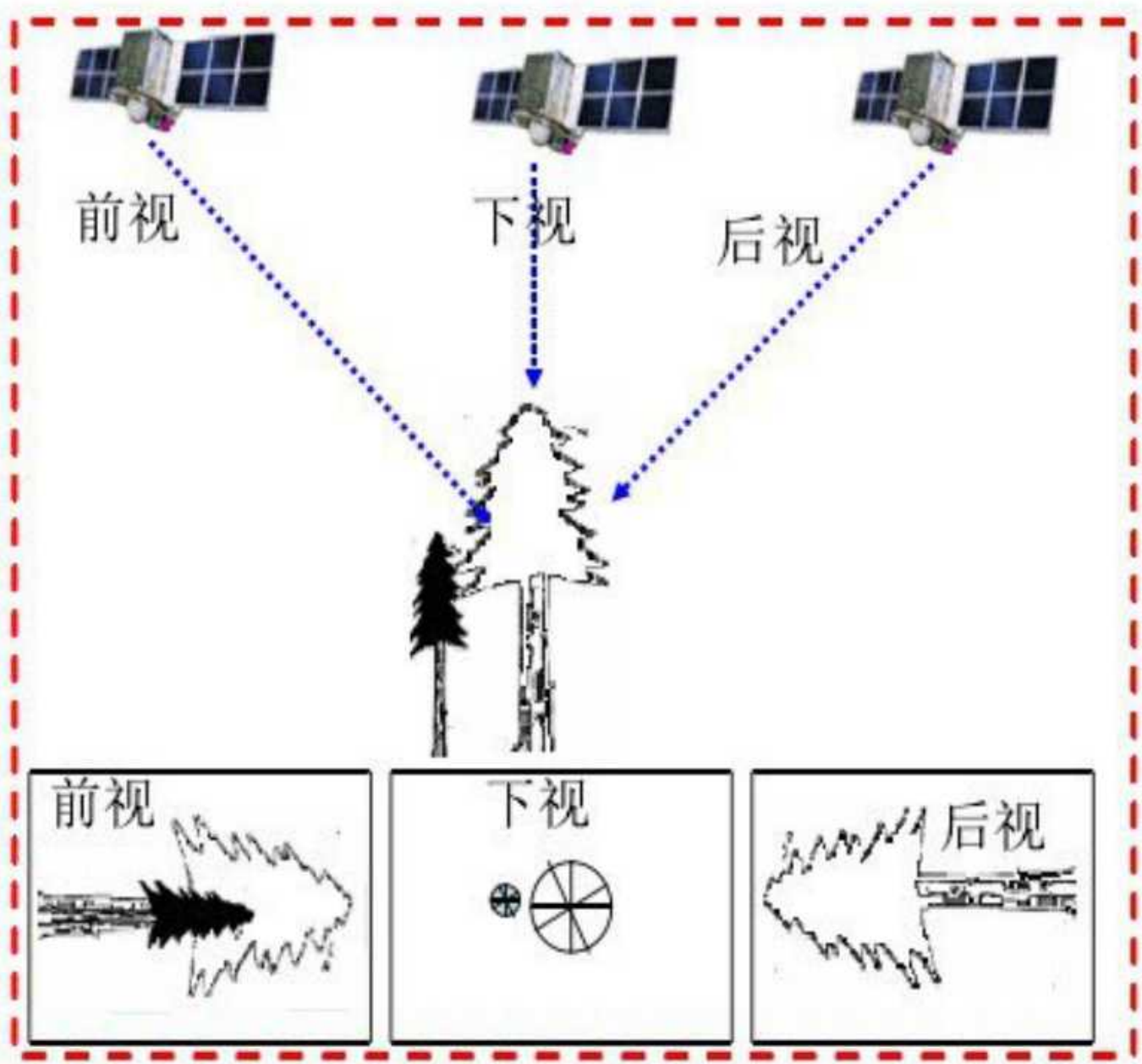


(c)



森林冠层上方的反射率分布具有较强的方向性分布，存在“热点”和“暗点”反射率。 在观测方位角由“热点” 到“暗点”过渡的过程中，反射率值逐渐变化。

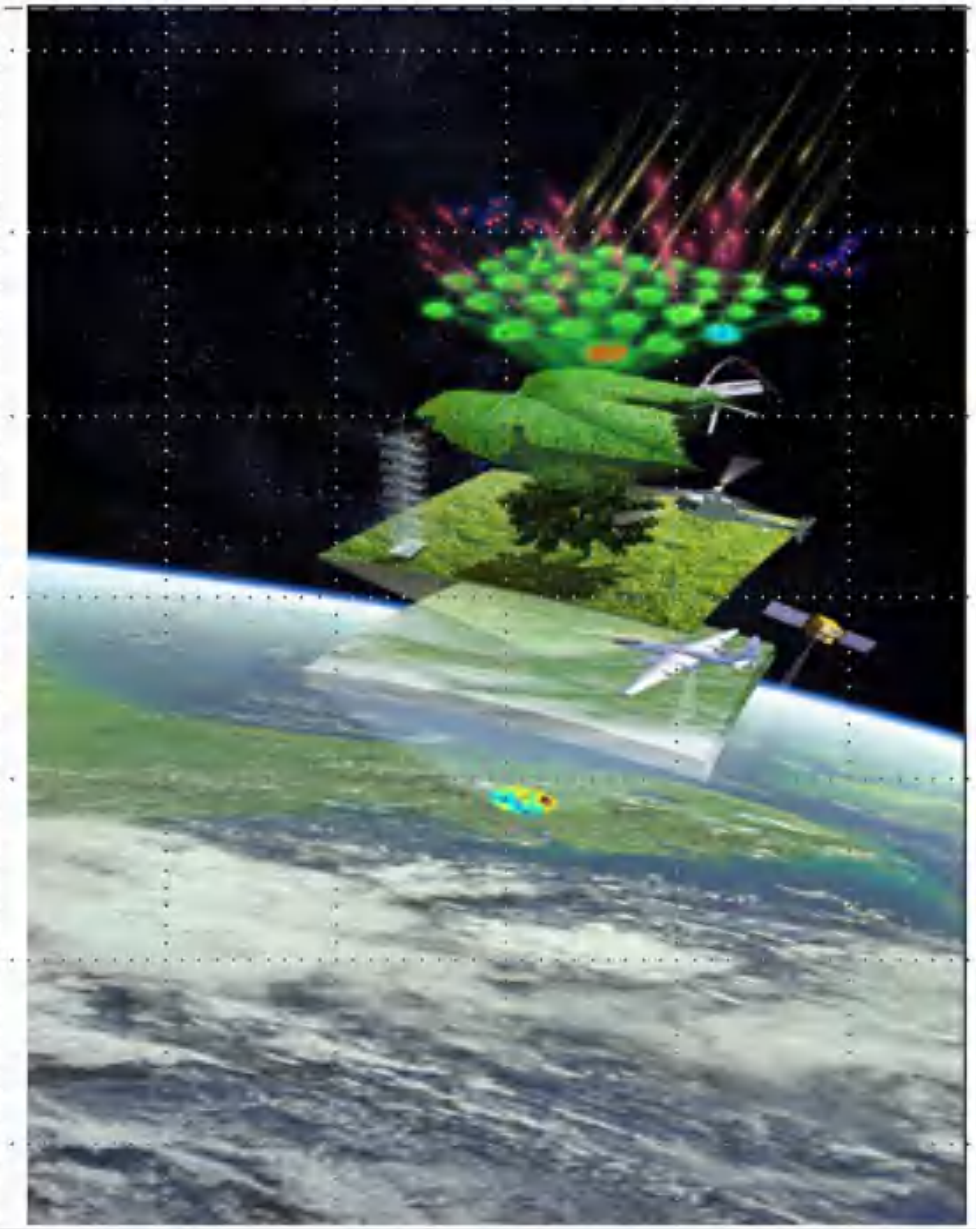
●多角度摄影测量数据融合



多角度摄影测量成像示意图

叶绿素荧光估算植被生产力

原理—荧光与GPP的关系



$$GPP = LUE \times APAR_{chl}$$

$$SIF \simeq \varepsilon_F \times APAR_F$$

- 若假设：叶绿素吸收光合有效辐射等于用于激发荧光的吸收光合有效辐射

$$APAR_{chl} \simeq APAR_F$$

- 则植被总初级生产力为：

$$GPP = \frac{LUE}{\varepsilon_F} \times F$$

超光谱载荷及其应用验证

超光谱探测仪

- 主要技术指标
  - 谱段：670~780nm；
  - 光谱分辨率：≤0.3nm；
  - 信噪比：≥200；
  - 地面像元分辨率：≤2km（暂定）；
  - 幅宽：≥20km；
  - 量化位数：14bit；
  - 光谱定标精度：≤1/2的光谱分辨率；
  - 绝对辐射定标精度≤5%，相对辐射定标精度≤3%。

3. 超光谱载荷及其应用验证

荧光直接指示光合作用，表征全球植被生产力分布

PNAS

Global and time-resolved monitoring of crop photosynthesis with chlorophyll fluorescence

Luis Guanter[a,1,2], Yongguang Zhang[a,1], Martin Jung[b], Joanna Joiner[c], Maximilian Voigt[a], Joseph A. Berry[d], Christian Frankenberg[e], Alfredo R. Huete[f], Pablo Zarco-Tejada[g], Jung-Eun Lee[h], M. Susan Moran[i], Guillermo Ponce-Campos[j], Christian Beer[j], Gustavo Camps-Valls[k], Nina Buchmann[l], Damiano Gianelle[m], Katja Klumpp[n], Alessandro Cescatti[o], John M. Baker[p], and Timothy J. Griffis[q]

叶绿素荧光（SIF）与总初级生产力（GPP）具有高度时空一致性，可直接反映植被光合作用的季节变化和空间分布。(Guanter *et al.* 2014. PNAS)

Photosynthesis is the process by which plants harvest sunlight to produce sugars from carbon dioxide and water. It is the primary source of energy for all life on Earth; hence it is important to understand how this process responds to climate change and human impact. However, model-based estimates of gross primary production (GPP, output from photosynthesis) are highly uncertain, in particular over heavily managed agricultural areas. Recent advances in spectroscopy enable the space-based monitoring of sun-induced chlorophyll fluorescence (SIF) from terrestrial plants. Here we demonstrate that spaceborne SIF retrievals provide a direct measure of the GPP of cropland and grassland ecosystems. Such a strong link with crop photosynthesis is not evident for traditional remotely sensed vegetation indices, nor for more complex carbon cycle models. We use SIF observations to provide a global perspective on agricultural productivity. Our SIF-based crop GPP estimates are 50–75% higher than results from state-of-the-art carbon cycle models over, for example, the US Corn Belt and the Indo-Gangetic Plain, implying that current models severely underestimate the role of management. Our results indicate that SIF data can help us improve our global models for more accurate projections of agricultural productivity and climate impact on crop yields. Extension of our approach to other ecosystems, along with increased observational capabilities for SIF in the near future, holds the prospect of reducing uncertainties in the modeling of the current and future carbon cycle.

crop productivity | carbon fluxes | Earth observation | carbon modeling | spaceborne spectroscopy

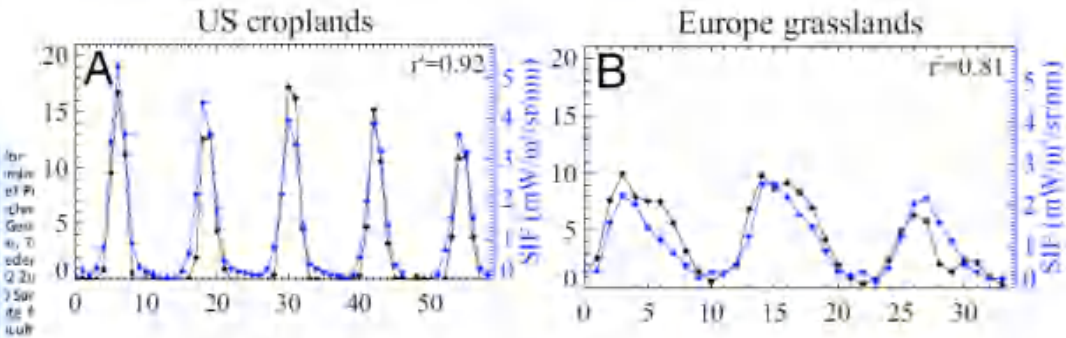
The rapidly growing demand for food and biofuels constitutes one of the greatest challenges for humanity in coming decades (1). It is estimated that we must double world food production by

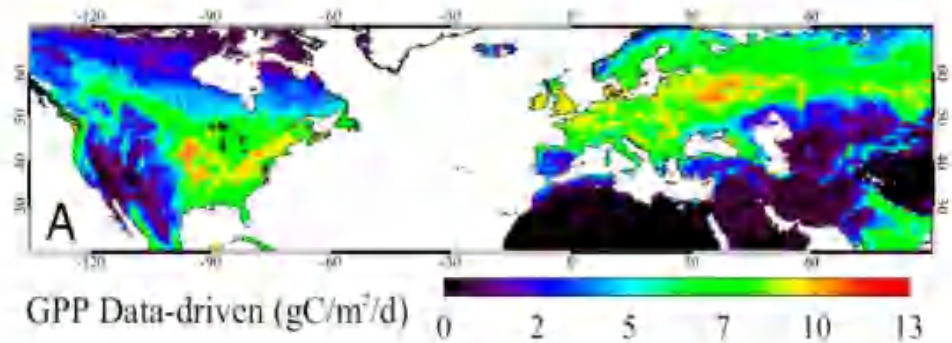
or semiempirical data-driven approaches, have been understand the controls and variations of global gross production (GPP, equivalent to ecosystem gross photosy (9) and to investigate the climate impact on crop yiel However, uncertainty associated with inaccurate input d much simplified process descriptions based on the pla tional type concept severely challenge the application models to agricultural systems. Recent model intercom conducted as part of the North American Carbon Proje that GPP estimates for crop areas varied by a factor of The best available estimates of GPP of crop systems a direct measurement of carbon dioxide exchange by so-ca towers over agricultural fields (12). However, these g sample small areas (<1 km²) and are concentrated i America and Europe.

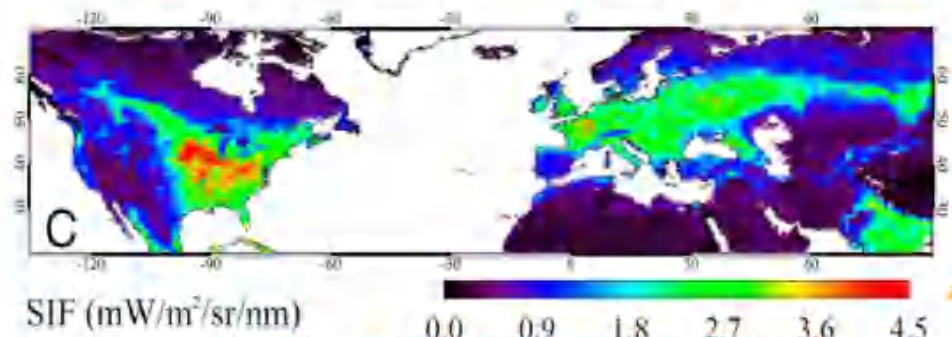
Remote sensing of reflectance-based vegetation par has been used in the last decades to monitor agri

Significance

Global food and biofuel production and their vulnerab a changing climate are of paramount societal impac However, current global model predictions of crop pho thesis are highly uncertain. Here we demonstrate tha space-based observations of chlorophyll fluorescence in tion, intrinsically linked to plant biochemistry, enable an ac global and time-resolved measurement of crop photosyn which is not possible from any other remote vegetation sessment. Our results show that chlorophyll fluorescen can be used as a mean benchmark to improve our models, thus providing more reliable projections of agric productivity and climate impact on crop yields. The ...







国家林业局调查规划设计院

3. 超光谱载荷及其应用验证

利用荧光进行农作物精确估产

Global Change Biology

Global Change Biology (2016) 22, 716–726, doi: 10.1111/gcb.12136

Improving the monitoring of crop productivity using spaceborne solar-induced fluorescence

KAIYU GUAN[1,2], JOSEPH A. BERRY[3], YONGGUANG ZHANG[4,5], JOANNA JOINER[6], LUIS GUANTER[5], GRAYSON BADGLEY[1,3] and DAVID B. LOBELL[1,2]

[1]Department of Earth System Science, Stanford University, Stanford, CA 94305, USA, [2]Center on Food Security and the

叶绿素荧光直接反应光合固碳量，与作物产量密切相关，加入估产模型可提高农作物估产可靠性。(Guan *et al.* 2016, Global Change Biology)

Large-scale monitoring of crop growth and yield has important value for forecasting food production and prices and ensuring regional food security. A newly emerging satellite retrieval, solar-induced fluorescence (SIF) of chlorophyll, provides for the first time a direct measurement related to plant photosynthetic activity (i.e. electron transport rate). Here, we provide a framework to link SIF retrievals and crop yield, accounting for stoichiometry, photosynthetic pathways, and respiration losses. We apply this framework to estimate United States crop productivity for 2007–2012, where we use the spaceborne SIF retrievals from the Global Ozone Monitoring Experiment-2 satellite, benchmarked with county-level crop yield statistics, and compare it with various traditional crop monitoring approaches. We find that a SIF-based approach accounting for photosynthetic pathways (i.e. C_3 and C_4 crops) provides the best measure of crop productivity among these approaches, despite the fact that SIF sensors are not yet optimized for terrestrial applications. We further show that SIF provides the ability to infer the impacts of environmental stresses on autotrophic respiration and carbon-use-efficiency, with a substantial sensitivity of both to high temperatures. These results indicate new opportunities for improved mechanistic understanding of crop yield responses to climate variability and change.

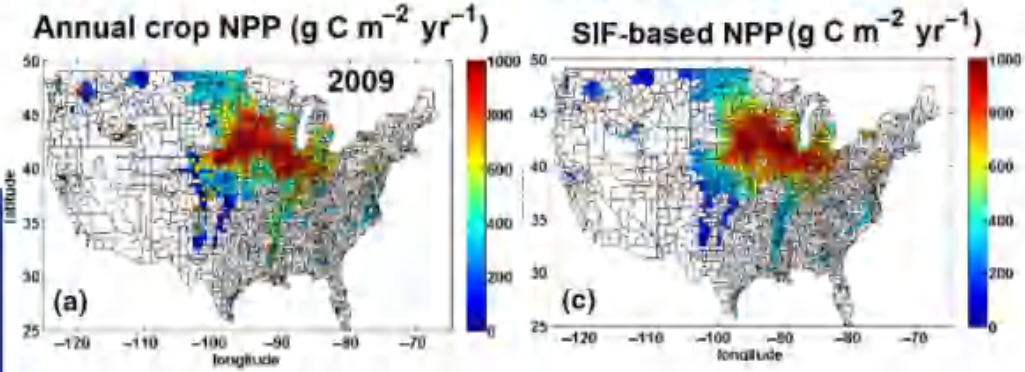
Keywords: carbon use efficiency, crop monitoring, fluorescence, gross primary production, net primary production, respiration

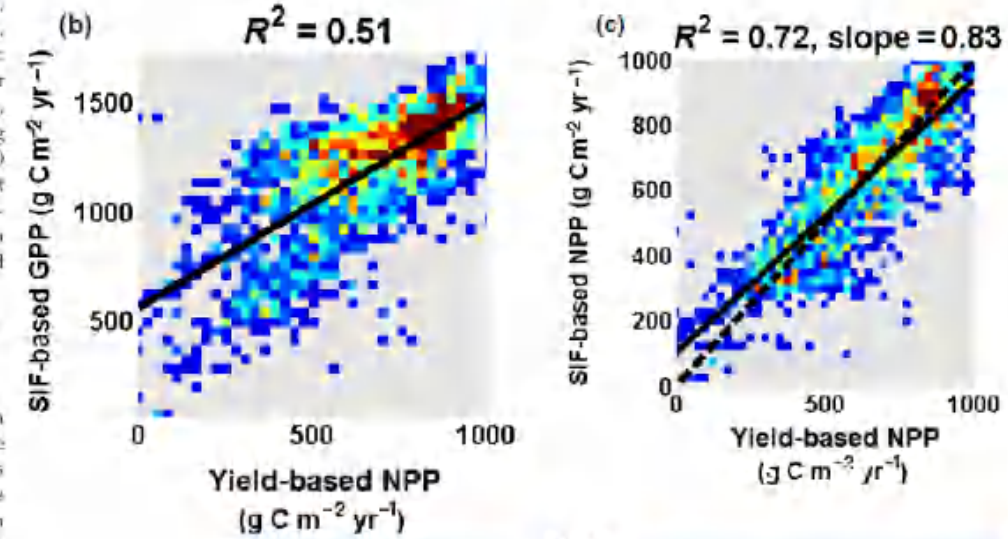
Received 28 July 2015; revised version received 29 September 2015 and accepted 4 October 2015

Introduction

Large-scale crop monitoring benefits both societal and research needs. Successful monitoring not only provides harvest forecasts, useful for a wide range of public and private sector applications, but it also can be used to better understand the responses of crops to environmental changes and thereby inform research, management and assessments of the impact of climate et al., 2012). These approaches have largely relied on correlations between the reflectance or structure of the crop (which is sensed) and the function (which is inferred). The primary productive process of crops is photosynthesis, and its contribution to the production of crop yield is inferred from measurements of the standing biomass or reflectance, or from models that use meteorological inputs and remotely sensed information of canopy spectral characteristics and structure

真实作物产量分布图　荧光估产分布图





国家林业局调查规划设计院



遥感应用



1. 在哪里？
2. 是什么？
3. 有多少？







2、蓄积量估算

二元材积表V = F（D，H）

树高(m)	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
胸径(cm)	6.9	8.9	10.6	12.1	13.3	14.4	15.4	16.3	17.1	17.8	18.5	19.2	19.8	20.3	20.9	21.4	21.8
材积(m3)	0.0054	0.0103	0.0174	0.0256	0.0346	0.0445	0.0552	0.0667	0.0789	0.0916	0.1050	0.1189	0.1335	0.1492	0.1635	0.1792	0.1954

一元材积表 V = F（D）

2、蓄积量估算

$$V = F(D)$$

$$V = F(H)$$

$$V = F(H,Cw)$$

$$v = aH^bCw^c$$

树种组	模型	参数估计值				统计指标		
		a	b	c	e	R^2	R	MPE
云杉	一元（3）	0.147_00	2.786_7			0.77	0.88	5.55
	二元（7）	0.191_81	2.077_1	1.1226		0.81	0.9	5.07
	三元（10）	0.228_59	1.739_4	0.9833	0.4053	0.84	0.92	4.71
冷杉	一元（3）	0.095_16	2.983_1			0.74	0.86	6.02
	二元（7）	0.134_14	2.441_1	0.7728		0.80	0.89	5.30
	三元（10）	0.170_09	2.105_4	0.7474	0.3093	0.80	0.89	5.31
栎树	一元（3）	0.075_71	3.084_8			0.67	0.79	6.40
	二元（7）	0.137_19	2.164_3	1.0630		0.76	0.87	5.42
	三元（10）	0.143_75	2.056_7	1.0458	0.1219	0.76	0.87	5.40
桦树	一元（3）	0.048_26	3.197_9			0.52	0.72	7.62
	二元（7）	0.095_14	2.235_6	1.1270		0.77	0.88	5.30
	三元（10）	0.08651	2.449_6	1.1541	-0.2361	0.77	0.88	5.30





二、技术与方法

(四)陆地生态系统碳调查方法

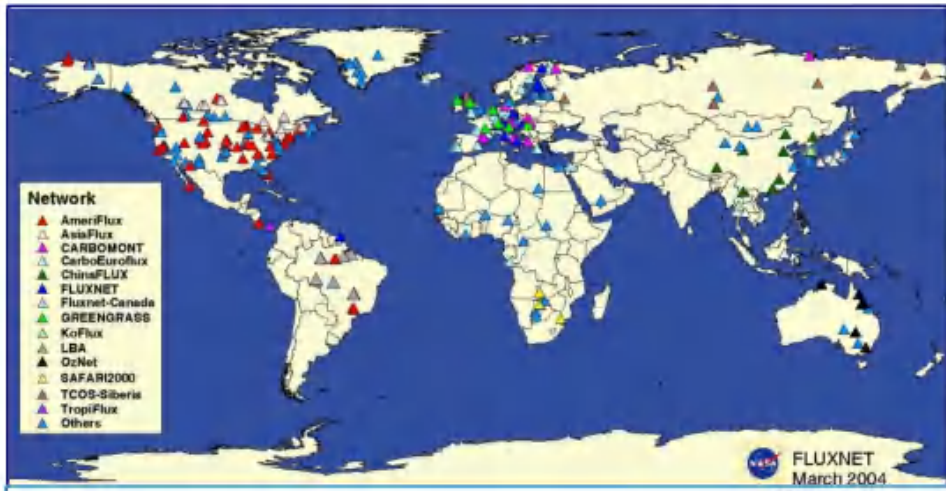
- ◆土地利用和土地利用变化
- ◆样地调查
- ◆遥感调查
- ◆通量观测

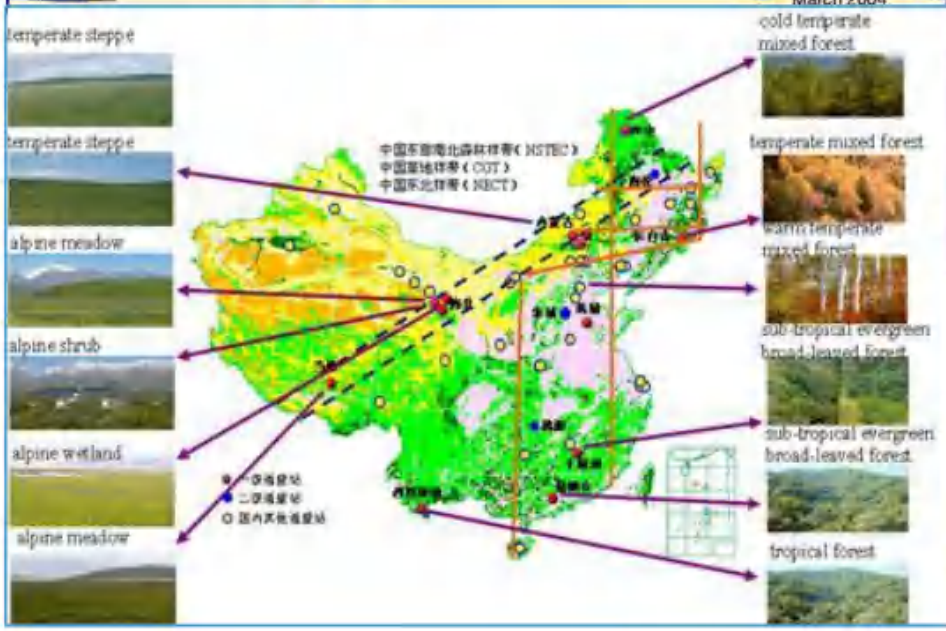




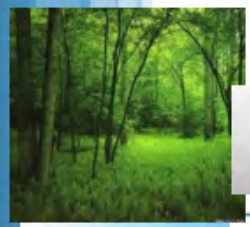


通量观测


Network
AmeriFlux
AsiaFlux
CARBOMONT
CarboEuroflux
ChinaFLUX
FLUXNET
Fluxnet-Canada
GREENGRASS
KoFlux
LBA
OzNet
SAFARI2000
TCOS-Siberia
TropiFlux
Others
FLUXNET
March 2004

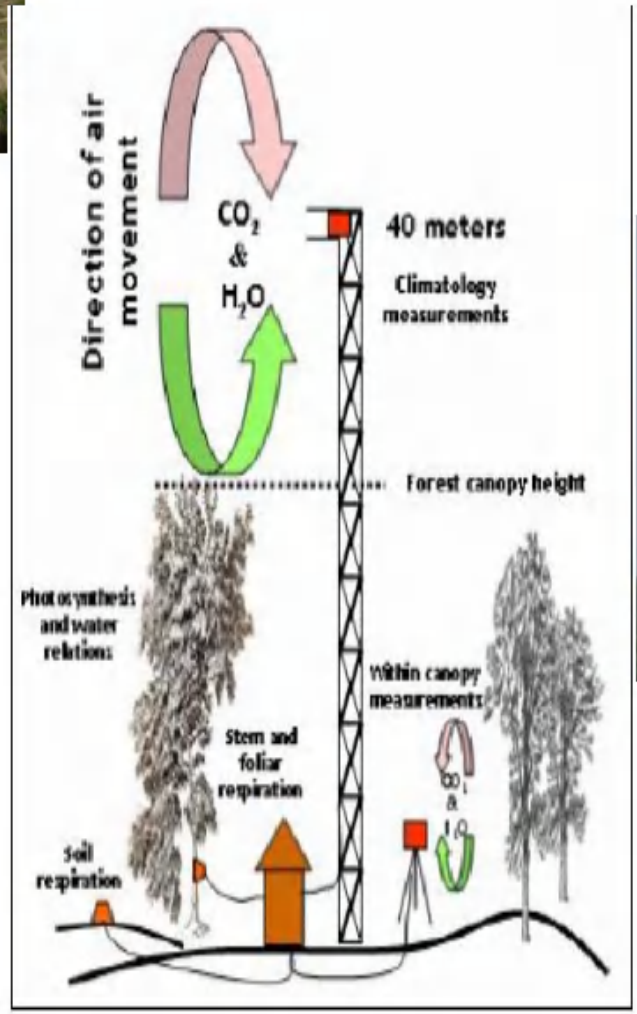

temperate steppe
temperate steppe
alpine meadow
alpine shrub
alpine wetland
alpine meadow
cold temperate mixed forest
temperate mixed forest
warm temperate mixed forest
sub-tropical evergreen broad-leaved forest
sub-tropical evergreen broad-leaved forest
tropical forest







通量观测


Direction of air movement
CO_2 & H_2O
40 meters
Climatology measurements
Forest canopy height
Photosynthesis and water relations
Within canopy measurements
Stem and foliar respiration
Soil respiration









建立森林碳库计量模型参数

- 生态系统碳收支（循环）综合模型
- 森林生态系统碳库计算模型参数技术思路
  - 活生物量
    - 地上生物量
      - 乔木层
        - 地面调查法
          - 异速生长方程
          - 平均生物量扩展因子
          - 连续生物量扩展因子
        - 遥感方法
          - 遥感信息参数与生物量统计模型
          - 遥感数据与过程模型
          - 基准样地法
          - 人工神经网络模型
          - 微波遥感模型
          - 激光遥感模型
      - 灌、草层
        - 乔木层关系模型参数
        - 类型单位面积均值参数
    - 地下生物量
      - 乔木层
        - 异速生长方程
        - 根茎比（R）
      - 灌、草层
        - 灌木异速生长方程
        - 根径比（R）
        - 类型单位面积均值参数
    - 活生物量碳含率
  - 死生物量
    - 枯死木
      - 枯立木
        - 与活立木关系模型
        - 类型单位面积均值参数
      - 枯倒木
        - 活立木生物量关系参数
        - 类型单位面积均值参数
    - 枯落物
    - 死生物量碳含率
  - 土壤有机碳
    - 碳储量计算参数
    - 碳通量参数







建立森林碳库计量模型参数

森林生物量和碳储量是评估森林碳汇能力的主要指标，单木生物量模型和参数、生物量扩展因子（BEF）和生物量转换因子（IPCC隐含值）、区域平均生物量扩展因子、根茎比函数及含碳系数是森林生物量和碳储量以及碳汇变化计量的基础。收集整理建立森林生物量碳库计量模型和参数；在碳汇专项调查数据基础上，初步建立了72个森林灌木层类型、72个枯落物类型、6个气候区灌木林、37个土壤类型等多项生物量和碳储量参数成果，以及部分森林类型的枯死木生物量计算参数。







乔木树种地上生物量及其碳储量估算

根据乔木树种地上部分主要调查因子，如胸径（d）、树高（h）、材积（V），计算出乔木树种地上生物量及其碳储量。常用的方程有基于胸径、胸径和树高的异速生长方程和基于蓄积量的材积源生物量方程，材积源生物量方法包括有生物量平均扩展因子和生物量连续扩展因子法。





异速生长方程

描述个体大小和生理属性关系的规律叫做异速生长，生物的异速生长通常以幂函数的形式表示。异速生长模型建立在植物相对生长关系的基础上，相对生长关系为植株结构和功能特征指标（如材积，生物量等）与易于测量的植株形态学变量（如胸径，树高等）间数量关系的统称。

$$M = aD^b \qquad M = a\left(D^2H\right)^b$$





异速生长方程

选用相应的树木异速生长方程来进行估算，流程为：
单株树的胸径（和树高）→单株树地上生物量→单株树地上碳储量→样地乔木层地上碳储量→乔木层碳储量总量。





生物量平均扩展因子

基于森林资源样地统计数据进行乔木层碳储量估算。可以选用材积生物量扩展系数（BEF）或生物量转扩因子（BCEF）估算乔木层地上生物量。

其计算公式如下：

$C=(V\cdot D\cdot BEF)\cdot(1+R)\cdot CF$ 或 $C=(V\cdot BCEF)\cdot(1+R)\cdot CF$

乔木层生物量：单位面积优势树种（组）碳储量乘以相应的面积得到各种优势树种（组）森林类型的乔木层碳储量，将样地乔木层碳储量按其森林类型、树种分级计算，统计汇总得到总体乔木层的总碳储量。





生物量连续转换扩展因子

连续生物量扩展因子，是基于单位面积乔木林生物量与单位面积蓄积量的连续函数关系方程，其函数表达式可表示为：

$$BEF = f(V)$$



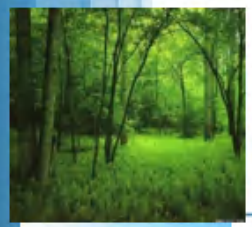
生物量连续转换扩展因子





流程是：

平均单位面积优势树种（组）蓄积→单位面积优势树种（组）生物量→平均单位面积优势树种（组）碳储量→乔木层碳储量总量。





建立森林碳库计量模型参数

（一）乔木主要树种（组）生物量模型和参数
（二）乔木林灌木层生物量参数
（三）乔木林草本生物量参数
（四）乔木林枯落物量参数
（五）乔木林枯死木蓄积量参数
（六）灌木林生物量参数
（七）疏林、散生木、四旁树、经济林、竹林生物量参数
（八）土壤碳密度参数







建立森林碳库计量模型参数

我国森林生物量异速生长方程

树种（组）	器官	方程形式	参数值			R^2	适用范围		样本数	采样地点	参考文献
			a	b	c，d		胸径（cm）	树高（m）			
冷杉	地上	$B=a(D^2H)^b$	0.0387	0.9293		0.984	6.2~29.1	7.7~15.8	13	四川峨边彝族自治县	宿以明，2000
	地下	$B=a(D^2H)^b$	0.1530	0.5208		0.978					
	全株	$B=a(D^2H)^b$	3.5125	0.5650		0.984	5.0~70.0		7	西藏林芝县	方江平，2008
云杉	全株	$B=a(D^2H)^b$	0.0369	0.9501		0.987	5.5~45.7	6.0~20.5	57	甘肃天水市	程堂仁，2007
油杉	全株	$B=a(D^2H)^b$	0.2029	0.8024		0.929				贵州贵阳市花溪区	李久林，1997
落叶松	全株	$B=aD^b$	0.0959	2.4419		0.994	6.3~31.5	5.0~20.0	80	甘肃天水市	程堂仁，2007
	全株	$B=aD^b$	0.1050	2.4740		0.971	13.7~41.4		10	黑龙江帽儿山	Wang，2006
红松	全株	$B=a(D^2H)^b$	0.0950	0.8500		0.969	8.0~44.0		22	吉林安图县	陈传国，1984
樟子松	地上	$B=a(D^2H)^b$	0.1528	0.7424		0.892	9.0~29.2	6.7~20.4	40	黑龙江佳木斯市	贾炜玮，2008
赤松	地上	$B=a(D^2H)^{b+e^{c(D^2H)}}$	2.8267	0.2980	0.0001	0.977			7	吉林	李英诛，1996
黑松	全株	$B=aD^b$	0.1279	2.3599		0.975	6.0~20.0		8	安徽蚌埠市	张旭东，1994
油松	全株	$B=a(D^2H)^b$	0.0295	0.9655		0.982	2.3~40.0	3.8~19.4	121	甘肃天水市	程堂仁，2007
华山松	全株	$B=a(D^2H)^b$	0.0543	0.9302		0.996	4.7~22.4	4.1~17.8	102	甘肃天水市	程堂仁，2007
马尾松	全株	$B=a(D^2H)^b$	0.0095	1.1387		0.992	4.2~32.5	1.9~23.2	28	福建南平市光泽县	夏鑫，2008





碳交易



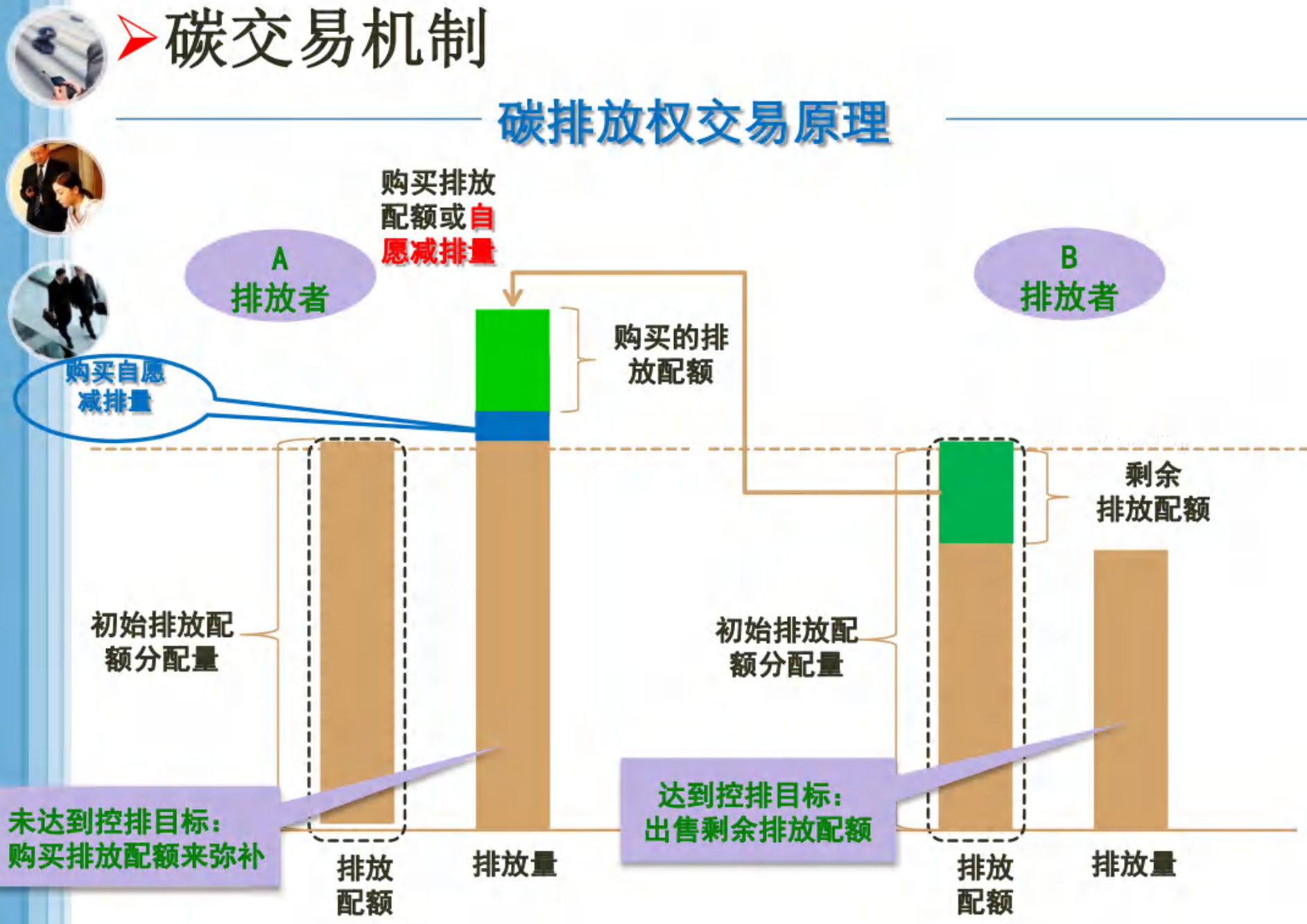


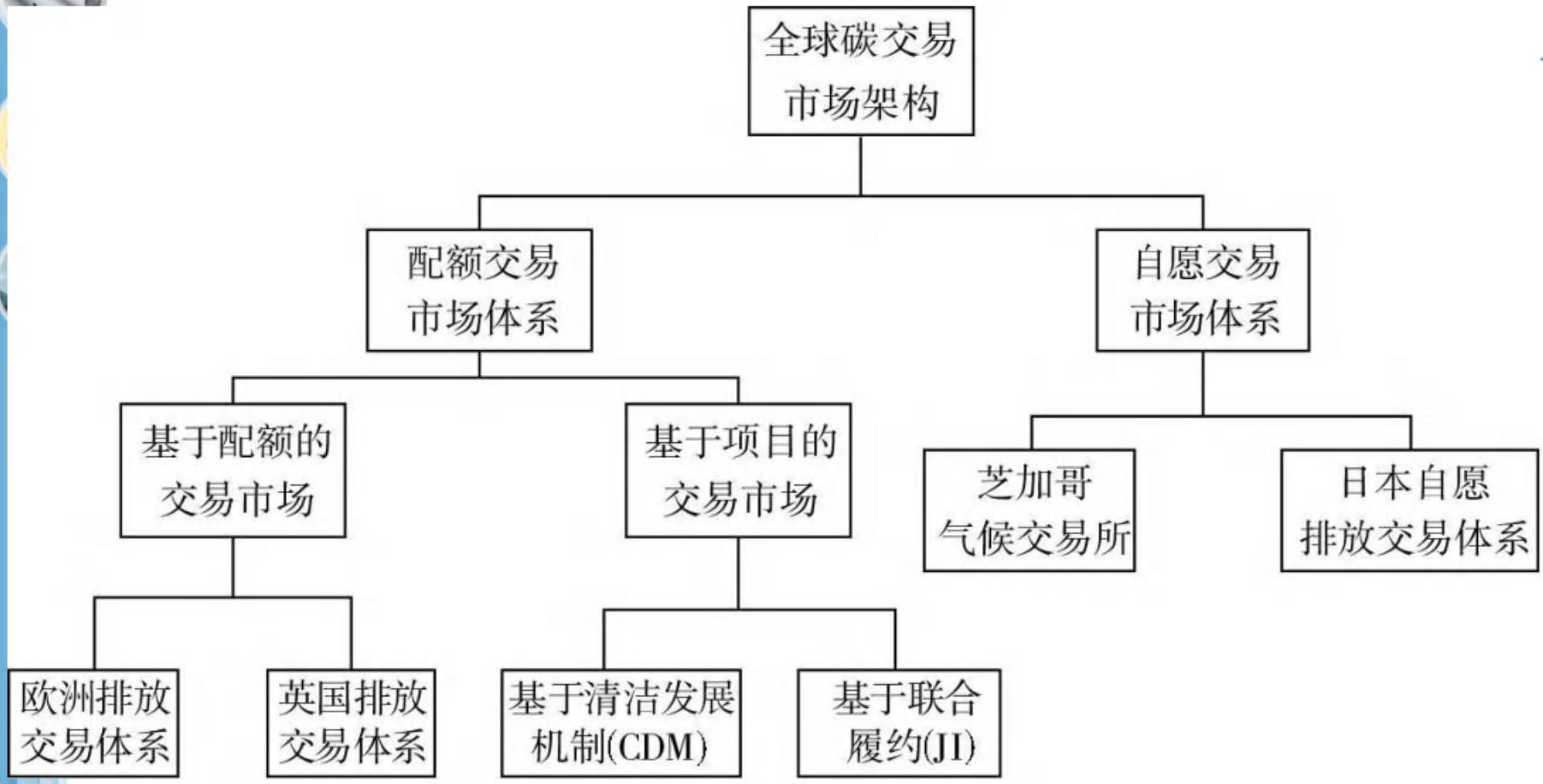
主要内容

- 碳交易机制
- 碳交易现状
- 碳交易发展趋势分析
- 中国碳交易市场发展现状

碳交易机制

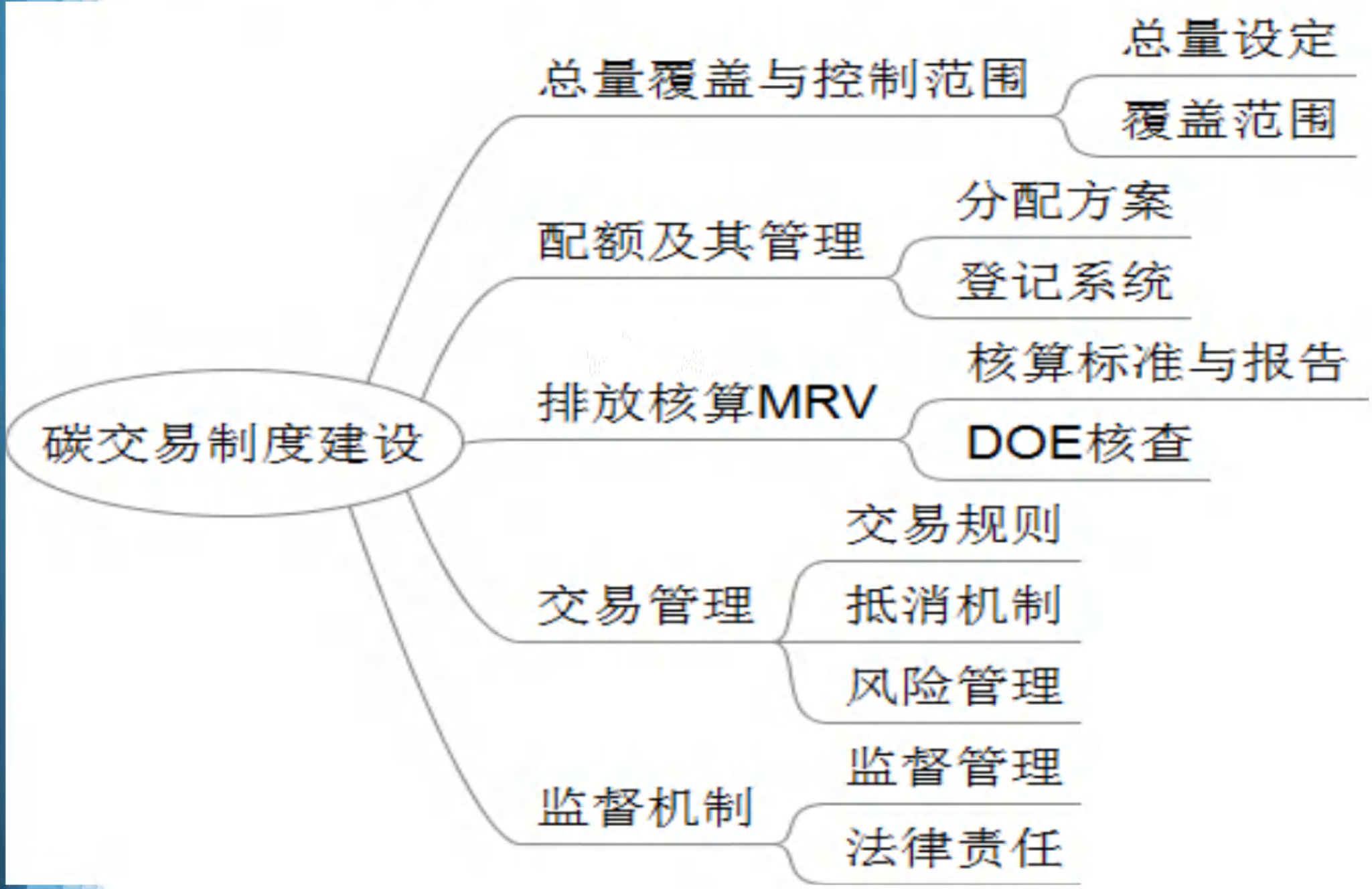
碳排放权交易原理





全球碳排放权交易市场架构

碳交易机制


碳交易制度建设
总量覆盖与控制范围
总量设定
覆盖范围
配额及其管理
分配方案
登记系统
排放核算MRV
核算标准与报告
DOE核查
交易管理
交易规则
抵消机制
风险管理
监督机制
监督管理
法律责任



碳交易发展现状





- 金融危机前迅猛发展，金融危机后在停滞中进入试探性复苏
- 全球统一碳市场仍未形成，欧盟、北美、亚洲等各地发展不均衡
- 碳金融产品创新迅速，发展中国家成为主要卖方市场





碳交易发展趋势分析

- 全球经济向低碳转型已是大势所趋。
- 全球碳市场发展的深度和广度将进一步加强。
- 近年来气候变化谈判取得重要进展，为推动全球碳市场发展奠定基础。
- 碳金融产品深受青睐，金融创新快速推进。



中国碳交易市场前景展望



- 第一阶段为前期准备阶段（2014-2016年）



- 第二阶段是全国碳交易市场的正式启动阶段（2017-2019年）
- 第三阶段（2020年之后），全国碳市场将进入“高速运转模式”。

◆开展碳排放权交易试点

中华人民共和国国家发展和改革委员会
National Development and Reform Commission



国家发展改革委办公厅关于开展碳排放权交易试点工作的通知

发改办气候[2011]2601 号

北京市、天津市、上海市、重庆市、广东省、湖北省、深圳市发展改革委：

根据党中央、国务院关于应对气候变化工作的总体部署，为落实“十二五”规划关于逐步建立国内碳排放交易市场的要求，推动运用市场机制以较低成本实现 2020 年我国控制温室气体排放行动目标，加快经济发展方式转变和产业结构升级，经综合考虑并结合有关地区申报情况和工作基础，我委同意北京市、天津市、上海市、重庆市、湖北省、广东省及深圳市开展碳排放权交易试点。

国家发展和改革委员会文件

发改气候规〔2017〕2191号

国家发展改革委关于印发《全国碳排放权交易市场建设方案（发电行业）》的通知

各省、自治区、直辖市及计划单列市人民政府，新疆生产建设兵团，外交部、教育部、科技部、工业和信息化部、民政部、财政部、国土资源部、环境保护部、住房城乡建设部、交通运输部、水利部、农业部、商务部、卫生计生委、国资委、税务总局、质检总局、统计局、林业局、国管局、法制办、中科院、气象局、海洋局、铁路局、民航局、人民银行、证监会、银监会、认监委：

为贯彻落实党中央、国务院关于建立全国碳排放权交易市场的决策部署，稳步推进全国碳排放权交易市场建设，经国务院同意，现将《全国碳排放权交易市场建设方案（发电行业）》印发你们，请按照执行。

附件：全国碳排放权交易市场建设方案（发电行业）

中华人民共和国国家发展和改革委员会

2017年12月18日

抄送：国家行政学院





项目开发流程

- **中国核证自愿减排**（CCER）项目的开发流程在很大程度上沿袭了清洁发展机制（CDM）项目的框架和思路，主要包括6个步骤。

①项目文件设计(PDD)

②项目审定

③项目备案

④项目实施与监测

⑤减排量核查与核证

⑥减排量签发





林业碳汇项目开发





主要内容

基线情景：在没有项目活动时，在项目所在地的技术条件、融资能力、资源条件和政策法规下，最能合理地代表项目边界内土地利用和管理的未来情景。





主要内容

额外性：在没有外来的项目支持下，存在诸如财务、技术、融资、风险和人才方面的竞争劣势和/或障碍因素，靠国内条件难以实现，因而该项目的减排量在没有该项目时就难以产生。





主要内容

方法学：方法学是指用于确定项目基准线、论证额外性、计算减排量、制定监测计划等的方法指南。



◆项目开发---政策依据和方法学条件



- 林业碳汇项目相关方法学：
  - ① 《碳汇造林项目方法学》（AR-CM-001-V01）
  - ② 《竹子造林碳汇项目方法学》（AR-CM-002-V01）
  - ③ 《森林经营碳汇项目方法学》（AR-CM-003-V01）
  - ④ 《竹子经营碳汇项目方法学》（AR-CM-005-V01）
  - ⑤ 《可持续草地管理温室气体减排计量与监测方法学》（AR-CM-004-V01）
  - ⑥ 《小规模非煤矿区生态修复项目方法学》(CM-099-V01)
  - ⑦ 《废弃农作物秸秆替代木材生产人造板项目减排方法学》（CM-100-V01）
- 有关林业管理规范和标准

（一）主要依据

《温室气体自愿减排交易管理暂行办法》（以下简称“《管理办法》”）规定，属于以下任一类别的2005年2月16日之后开工建设的项目可申请备案：

① 采用经国家主管部门备案的方法学开发的自愿减排项目；
② 获得国家发改委批准为清洁发展机制项目但未在联合国清洁发展机制执行理事会注册的项目；
③ 获得国家发改委批准为清洁发展机制项目且在联合国清洁发展机制执行理事会注册前产生减排量的项目；
④ 在联合国清洁发展机制执行理事会注册但减排量未获得签发的项目。

另外，《管理办法》规定，不同类型的项目业主申请自愿减排项目备案的途径不同：

（1）国资委管理的中央企业中直接涉及温室气体减排的企业（包括其下属企业、控股企业），直接向国家发改委申请自愿减排项目备案，名单由国家主管部门制定、调整和发布。此名单已在《管理办法》中以附件的形式注明；

（2）未列入名单的企业法人，通过项目所在省、自治区、直辖市发改部门提交自愿减排项目备案申请，省、自治区、直辖市发展改革部门就备案材料完整性和真实性提出意见后转报国家主管部门。



项目开发条件

- 国内温室气体自愿减排项目(CCER项目)开发过程中的主要参与方包括：**项目业主、咨询机构、第三方审定与核证机构、省级（国家）发改部门与国家主管机构**等，主要参与方与其职责如下表所示。

参与方	相关职责
项目业主	项目的实施与监测
咨询机构	协助业主编制项目设计文件及监测报告
审定与核证机构（第三方机构DOE）	实施项目的审定与核证
省级(国家)发改部门	初审备案申请材料的完整与真实性
国家主管机构	作为最高决策机构，制定实施细则，备案方法学、审定与核证机构、交易机构，批准项目备案及减排量签发。



（二）项目开发条件



项目开发条件	具体内容
1、项目业主的基本条件	● 中国境内注册企业 ● 法人资格－－企业法人（待修订后管理办法再明确） ● 项目业主的执照有效期应满足项目运行时间，即在项目计入期内有效。
2、备案的方法学	有经国家发改委备案适用于林业碳汇项目开发的方法学。
3、项目开始时间	管理办法确定的时间（2005.2.16或修订为2013.1.1）。
4、项目土地合格性	碳汇造林项目、森林经营碳汇项目等对项目土地条件要求。
5、额外性	具有额外性收益，克服障碍，非普遍性做法。







审定与核证机构

编号	批准批次	批准时间	审定与核证机构
1	1	2013.06.23	中国质量认证中心(CQC)
2			广州赛宝认证中心服务有限公司(CEPREI)
3	2	2013.09.02	中环联合(北京)认证中心有限公司(CEC)
4	3	2014.06.20	环境保护部环境保护对外合作中心(MEPFECO)
5			中国船级社质量认证公司(CCSC)
6			北京中创碳投科技有限公司
7	4	2014.08.19	中国农业科学院(CAAS)
8			深圳华测国际认证有限公司(CTI)
9			中国林业科学研究院林业科技信息研究所
10	5	2016.03.10	中国建材检验认证集团股份有限公司（CTC）

注：其中中国林业科学研究院林业科技信息研究所、中创碳投、CQC、CEPREI、CAAS等六家可以开展林业碳汇项目的审定与核证工作





二．项目审定备案程序





林业碳汇项目备案程序









（一）项目评估

- 合格性评估
- 额外性评估
- 成本效益分析
- 项目风险分析

（二）项目立项

- ◆ 项目减排与激励机制
- ◆ 项目类型、边界、环境分析
- ◆ 项目开始时间
- ◆ 项目选择的方法学
- ◆ 项目批准立项文件



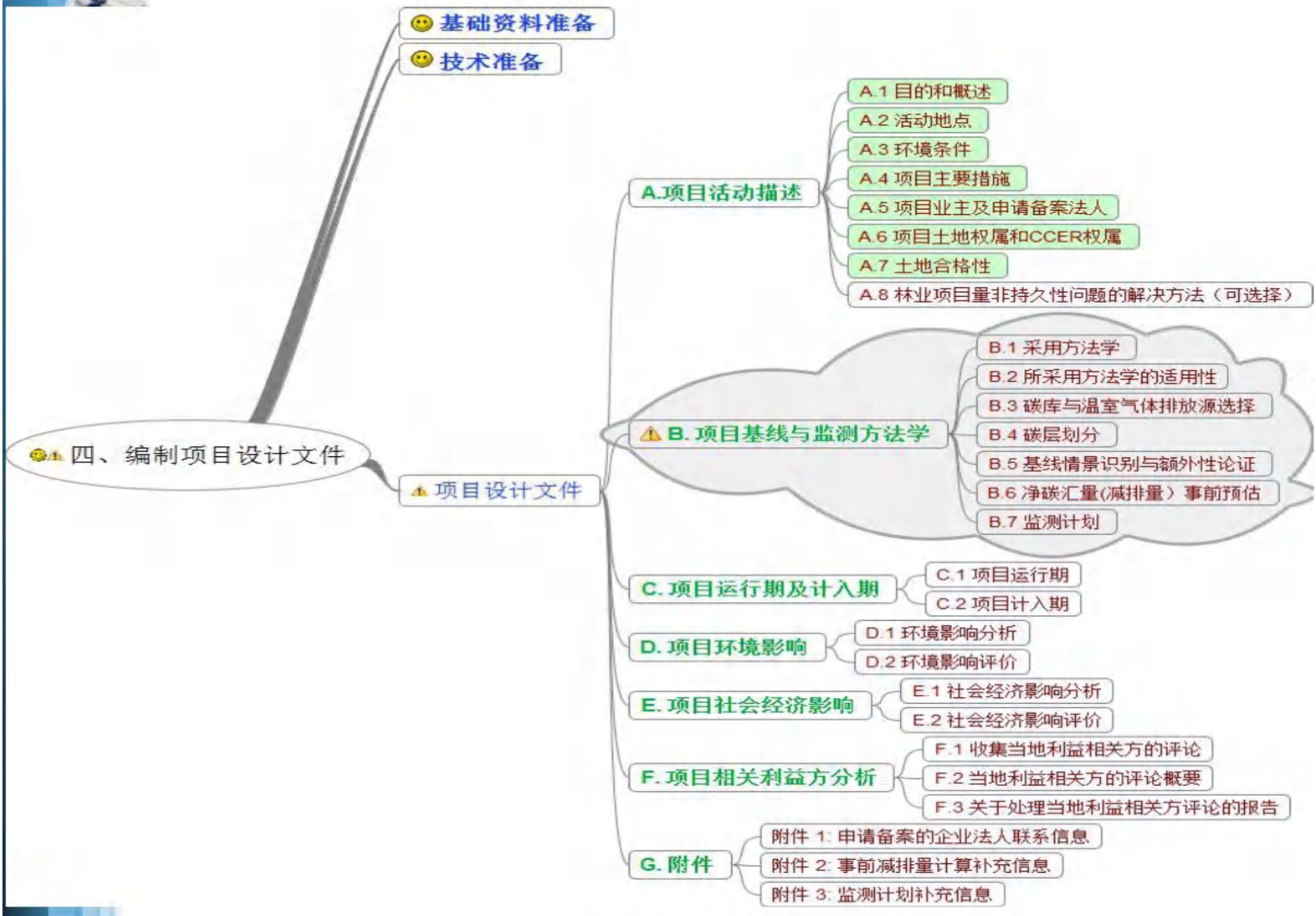
（三）项目施工设计（规划设计）---证明材料



准备以下三方面材料



- 项目施工设计的文件
- 项目建设批准文件（或批准设计文件的实施）
- 项目开工时间（项目开始计入期时间）


基础资料准备
技术准备
四、编制项目设计文件
项目设计文件
A.项目活动描述
A.1 目的和概述
A.2 活动地点
A.3 环境条件
A.4 项目主要措施
A.5 项目业主及申请备案法人
A.6 项目土地权属和CCER权属
A.7 土地合格性
A.8 林业项目量非持久性问题的解决方法（可选择）
B. 项目基线与监测方法学
B.1 采用方法学
B.2 所采用方法学的适用性
B.3 碳库与温室气体排放源选择
B.4 碳层划分
B.5 基线情景识别与额外性论证
B.6 净碳汇量(减排量）事前预估
B.7 监测计划
C. 项目运行期及计入期
C.1 项目运行期
C.2 项目计入期
D. 项目环境影响
D.1 环境影响分析
D.2 环境影响评价
E. 项目社会经济影响
E.1 社会经济影响分析
E.2 社会经济影响评价
F. 项目相关利益方分析
F.1 收集当地利益相关方的评论
F.2 当地利益相关方的评论概要
F.3 关于处理当地利益相关方评论的报告
G. 附件
附件 1: 申请备案的企业法人联系信息
附件 2: 事前减排量计算补充信息
附件 3: 监测计划补充信息





（五）项目审定

- 选择项目审定机构
- 项目公示
- 准备项目审定材料
- 项目审定内容和步骤
- 审定报告

备案的审定与核证机构（DOE）

- 中国林业科学研究院林业科技信息研究所
- 中国农业科学院（CAAS）
- 北京中创碳投科技有限公司
- 中国质量认证中心（CQC）
- 中环联合（北京）认证中心有限公司（CEC）
- 广州赛宝认证中心服务有限公司（CEPREI）







项目公示

- 项目审定机构（DOE）收到PDD文件后，在3个工作日内对项目设计文件的完整性和相关内容进行初步审查，确认项目设计文件符合完整性要求；
- 审定机构将通过国家发改委“中国自愿减排交易信息平台(http://cdm.ccchina.gov. cn/ccer.aspx)”专用网站对项目设计文件进行公示，公示时间14天；
- 公示期间收到的意见和质询，由审定机构在审定报告中予以答复或者解释不予答复的理由。



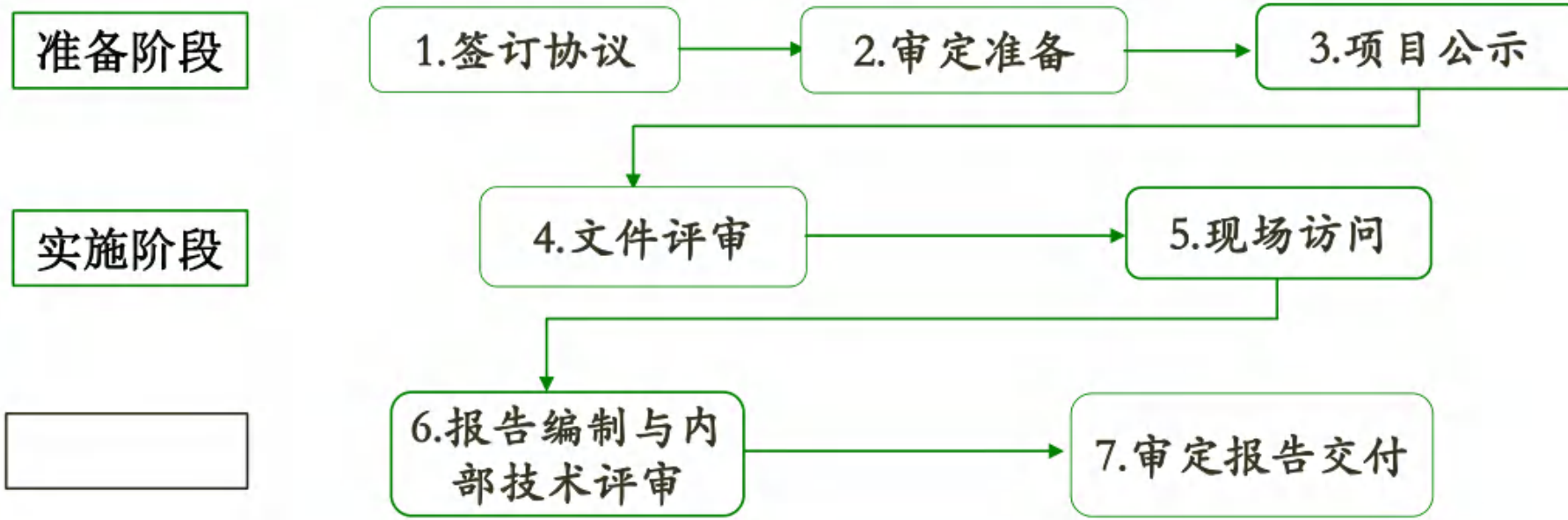




审定内容

- 项目资格条件
- 项目设计文件
- 项目描述
- 方法学选择
- 项目边界确定
- 基准线识别
- 额外性
- 减排量计算
- 监测计划

审定步骤







项目审定所需准备的主要文件清单

序号	材料名称	备注
1	项目业主营业执照（副本）	需要提供
2	项目核准/批复文件	主要材料
3	项目施工设计文件(造林或经营设计文件)	主要材料
4	环评文件或材料	主要材料（证明材料）
5	项目开工建设证明文件	需提供
6	施工合同	如有，则提供
7	银行贷款合同（或贷款承诺函）	如有，则提供
8	其他材料	根据项目开发情况
9	项目边界	卫片、航片、图纸（如有可提供给DOE）
10	项目设计文件(PDD)	主要材料



（七）项目备案申请





完成项目审定后，方可向国家发改委提交项目备案申请，根据《管理办法》：

- 国资委管理的中央企业中直接涉及温室气体减排的企业，直接向国家发展改革委申请自愿减排项目备案。
- 其他未列入央企的企业通过项目所在省、自治区、直辖市、新疆建设兵团发展改革部门提交自愿减排项目备案申请。
- 省、自治区、直辖市发展改革部门就备案申请材料的完整性和真实性提出意见后转报国家发改委。



（七）项目备案申请





备案申请需要须提交材料清单

1. 自愿减排项目备案申请函
2. 自愿减排项目申请表
3. 国家自愿减排交易登记簿开户申请表
4. 项目概况说明
5. 企业的营业执照（组织机构代码证）
6. 项目开工时间证明文件
7. 项目施工设计文件或相关证明材料
8. 环评证明材料
9. 项目设计文件（PDD）
10. 审定报告主要内容



（八）项目审定评估与备案





国家发改委将组织相关专家和部门对项目审定材料进行评估，确定是否备案，同意备案后，国家发改委会发布项目备案函并在网站上公布备案后项目设计文件和审定报告等相关信息。



塞罕坝机械林场造林碳汇项目

备案号	681
项目活动名称	塞罕坝机械林场造林碳汇项目（附项目文件）
项目业主	河北省塞罕坝机械林场总场大唤起林场
项目类别	（一）
项目类型	造林和再造林
方法学	AR-CM-001-V01
预计减排量	52,756吨二氧化碳当量（年减排量）
计入期	2005年6月30日-2035年6月29日
审定机构	中国质量认证中心
审定报告	附项目审定报告
备案时间	2016年04月11日
其他相关文件	



江西丰林碳汇造林项目

备案号	348
项目活动名称	江西丰林碳汇造林项目（附项目文件）
项目业主	江西丰林投资开发有限公司
项目类别	（一）
项目类型	造林
方法学	AR-CM-001-V01
预计减排量	242,523吨二氧化碳当量（年减排量）
计入期	2009年1月1日-2028年12月31日
审定机构	广州赛宝认证中心服务有限公司
审定报告	附项目审定报告
备案时间	2015年10月20日
其他相关文件	





三、林业碳汇项目减排量备案程序







林业碳汇项目减排量备案程序

项目实施

项目监测和报告编制

减排量核证程序

减排量核证与报告编制

项目减排量申请

项目减排量评审

减排量备案与签发



（一）项目实施



- 获得备案批准的林业碳汇项目应按照项目设计文件组织实施，项目实施主体应积极开展项目活动，确保实现项目的预期减排量（净碳汇量）及非碳效益等



（二）项目监测和报告编制

1、监测前基本情况和信息资料收集

2、项目监测部署

3、数据和参数

4、监测抽样方案及监测调查

5、碳汇量(温室气体减排量)计算

6、监测报告


监测报告
A.项目活动描述
A.1 项目活动的目的和一般性描述
A.2 项目活动的位置
A.3 所采用的方法学
A.4 项目活动计入期
B.项目活动的实施
B.1 备案项目活动实施情况描述
B.2 项目备案后的变更
B.2.1 监测计划或方法学的临时偏移
B.2.2 项目信息或参数的修正
B.2.3 监测计划或方法学永久性的变更
B.2.4 项目设计的变更
B.2.5 计入期开始时间的变更
B.2.5 碳汇项目的变更
C.对监测系统的描述（描述本次监测期内备案项目活动监测系统情况，包括可能的图表和流程图。）
D.数据和参数
D.1 事前或者更新计入期时确定的数据和参数
D.2 监测的数据和参数
D.3 抽样方案实施情况
E.温室气体人为净碳汇量的计算
E.1 基线净碳汇量的计算
E.2 项目实际净碳汇量的计算
E.3 泄漏的计算
E.4 净碳汇量的计算小结
E.5 实际净碳汇量与备案项目设计文件中预计值的比较
E.6 对实际净碳汇量与备案项目设计文件中预计值的差别的说明





（三）减排量核证程序

1、选择项目审定机构

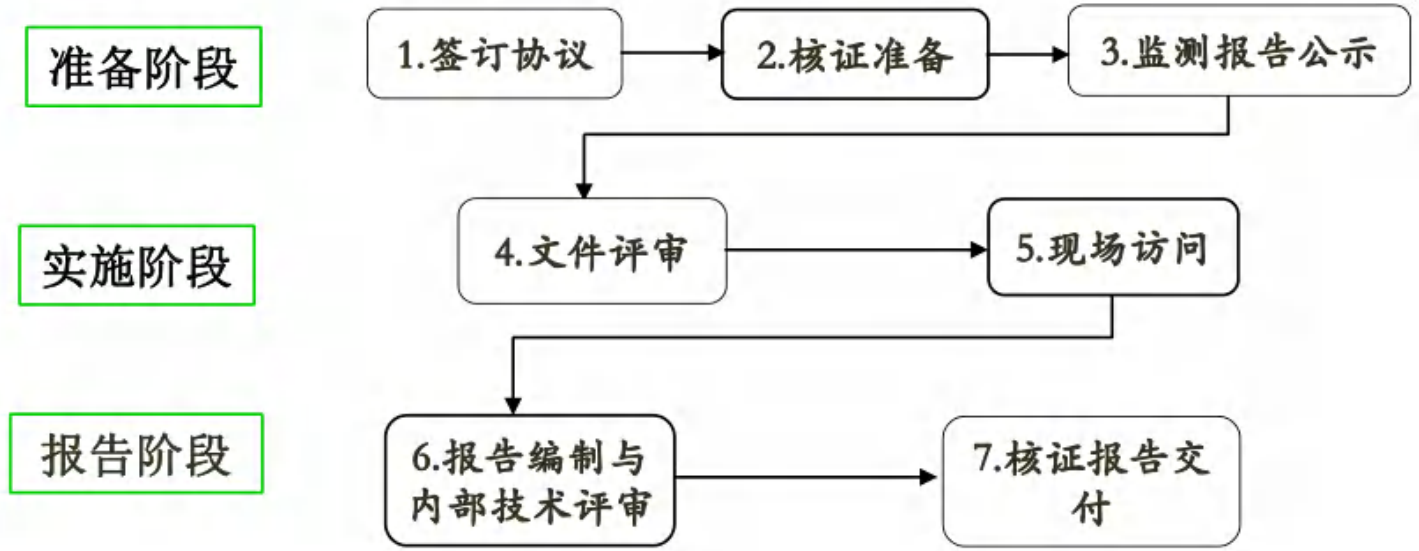
- ◆ 年减排量（净碳汇量）大于6万吨二氧化碳当量的项目，不能选择同一个审定核证机构做此项目的审定与核证工作）

2、监测报告公示

3、准备减排量核证材料

4、减排量核证主要内容和步骤

减排量核证工作流程图









（四）减排量核证报告编制

- 报告主要内容：减排量核证的程序和步骤；监测计划的执行情况；减排量核证的主要结论。

（五）林业碳汇项目减排量申请

申请文件材料：

（1）温室气体自愿减排项目减排量备案申请函；

（2）温室气体自愿减排项目减排量申请表；

（3）监测报告；

（4）核证报告。

（六）项目减排量评审

- 符合下列条件的减排量予以备案:①产生减排量的项目已经国家发改委备案；②减排量监测报告符合要求；③减排量核证报告符合要求。

（七）减排量备案（签发）

- 经备案的减排量称为“中国核证自愿减排量（CCER）”，单位以“吨二氧化碳当量（tCO_2-e）”计。
- 自愿减排项目减排量经备案后，在国家登记簿登记并在经备案的交易机构内交易


谢谢！