

世界气象组织全球综合观测系统 (WIGOS) 空间部分2040年远景发展规划的解读

■ 张文建

由世界气象组织 (WMO) 基本系统委员会牵头制定的WMO全球综合观测系统 (WIGOS) 的2040年远景发展规划, 需要对两个方面开展预测, 即预测气象服务需求和预测科技发展进步。WMO期望该远景发展规划有助于各会员国提前预测气象部门应对未来气象服务需求所面临的挑战, 也期望全球航天机构及卫星操作国在考虑制定本国的气象卫星和相关对地观测卫星远景发展规划时, 充分考虑将WMO综合观测系统空间部分的远景发展规划作为需求牵引的指导。

1 引言

第17届世界气象大会 (2015年) 赞同由世界气象组织 (WMO) 基本系统委员会 (CBS) 牵头制定WMO全球综合观测系统 (WIGOS) 的2040年远景发展规划。这个新的远景发展规划应当作为WMO的纲领性指导文件, 充分地考虑到2040年可能出现或演进的新的气象服务需求 (包括多种新的应用领域, 例如气候服务、空气质量预报和监测、水圈和冰雪圈的监测服务需求等), 并对到2040年的全球观测系统格局和信息技术的发展进步进行预测。

WMO的第一个全球观测系统 (GOS) 2015年远景发展规划于2002年发布, 此后以此规划为指导于2005年制定并发布了全球观测系统演进发展实施计划 (EGOS-IP)。2009年, WMO发布了全球观测系统 (GOS) 2025年远景发展规划, 并于2012年更新发布了新的全球观测系统演进发展实施计划 (EGOS-IP 2025)。

本文主要阐述和解读新的全球综合观测系统2040年远景发展规划的空间观测系统 (以下简称远景发展规划)。推动制定2040年远景发展规划的三个主要因素如下。

1) 在WIGOS框架中设定规划目标。需要特别提出的是, 原来的2025年远景发展规划是针对全球天气监测计划 (World Weather Watch) 下的全球观测系统 (GOS) 的远景发展规划, 主要以满足天气监测为主, 兼顾其他计划。而2040年的远景发展规划是在WIGOS框架下。WIGOS包括了目前WMO的全部全球观测系统, 即世界天气监测计划下的全球观测系统、监测全球大气成分的全球大气监测计划 (GAW)、WMO水文观测系统和正在建立的全球冰冻圈监测

计划 (GCW) 等。全球空间天气监测也逐步成为WIGOS的一个重要组成部分。近年来WMO新发展的一些应用项目或计划, 其观测需求并没有包括在以前的2025年远景发展规划中, 例如2009年启动的全球气候服务框架 (GFCS), 2011年启动的全球冰冻圈监测计划 (GCW), 空气质量的预报监测, 全球空间天气服务需求等等。所以WIGOS框架下的2040年远景发展规划的范围大大拓展了, 其目的就是通过这个框架性的远景发展规划, 满足WMO全部计划的观测需求。

2) 在对2040年空间技术进步预测的框架下设定目标。新技术的发展是渐进性的, 包括新的遥感仪器、新的卫星轨道概念、卫星间的组网配合、星上数据处理和数据压缩、新的数据传输手段等等。在过去数十年间一些研发卫星计划, 例如全球热带降水测量计划 (TRMM)、全球降水测量计划 (GPM)、美国和欧洲相关国家的海洋观测计划等, 都非常及时地响应了WMO的观测系统远景发展规划, 所以WIGOS的2040年卫星系统远景发展规划, 有意将这些卫星系统纳入WMO空间计划的2040年业务系统协调之中。

3) 由于气象卫星的高效益和对于社会公益事业不可估量的贡献, 近年来已经有一些重要发展预示着全球气象卫星操作者进一步扩大的可能性。目前出现的气象卫星商业化发展的苗头, 既可望增强对全球气象卫星体系的贡献, 也带来了国际协调和数据政策上的复杂性。

将新的全球综合观测系统远景发展规划设定在2040年, 主要是因为气象卫星的发展越来越体现出长远发展战略指导的重要性, 所以远景发展规划应该

超前于目前世界主要空间大国已经基本确定的空间计划，并应包括新的卫星轨道的使用，可能的新兴卫星国家的加盟，以及业务卫星与科学技术先导卫星、商业卫星的有机结合等等，以便体现出超前性和指导性。同时，远景发展规划应该既体现出雄心勃勃的发展气势，但又需考虑到技术实现的可行性。

2 2040年气象业务服务需求预测

联合国关于2015年后可持续发展议程综合报告中提示的社会发展趋势，WMO最新的发展战略报告（2016—2019年）中提出的全球社会需求，以及联合国其他相关组织（如世界卫生组织，世界粮农组织等）的发展战略和相关报告，为展望和预测2040年气象业务和服务发展的需求提供了重要的参考依据。

1) 气象服务于减灾防灾。高影响天气、海洋天气、气候和水文事件（风暴、洪水、干旱等）可在全球范围造成灾难性后果，可导致大量人员伤亡、流离失所和社区遭到破坏，造成的社会和经济成本是巨大的，仅财政影响本身就十分可观。从WMO发展战略报告提供的1970—2009年期间每十年全球经济损失总值（图1），可以看出各类气象水文灾害造成的每十年经济损失有明显增加的趋势。在过去十年间全球每年因自然灾害带来的保险损失约100亿~500亿美元。进一步提升气象服务对于防灾减灾的贡献可以更好地体现气象服务的社会经济效应。按灾害类别划分，风暴和洪水分别占据灾害损失的第一和第二位，且明显高于其他灾害造成的损失。随着气候变暖造成极端天气气候事件频次进一步增加且强度增大的总体趋势，这两个方面的防灾减灾气象服务未来（到2040年）必定仍然是重中之重。

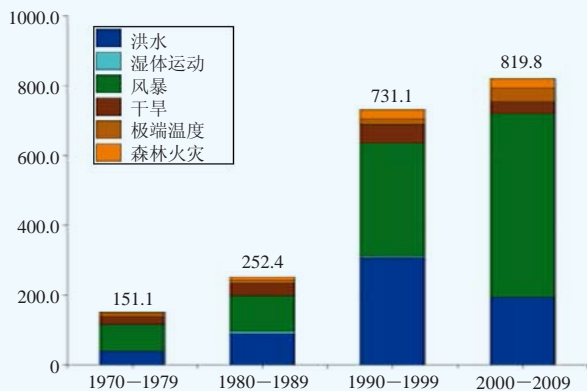


图1 1970—2009年按灾害类别划分的每十年全球经济损失总值，均调整到2011年的价值并以10亿美元为单位（出处：WMO和CRED，2013年）

2) 沿海和大城市气象服务。到2040年全球人口将达到接近90亿，其中估计有7亿人生活在极度贫困

中；目前全球有50%以上人口生活在城市地区，而到2040年居住和生活在城市中的人口将达到70%左右，且更多集中在沿海地区。这个趋势表明，精细化的城市和沿海地区气象服务将成为突出的气象服务需求。

3) 空气质量预报和监测服务。世界卫生组织2014年报告指出，2012年有700万人由于空气污染过早死亡，其中在东南亚的中等和低收入国家和西太平洋地区尤其严重，而死于室内空气污染和室外空气污染的人数分别为330万和260万人。随着人们对于未来提高生活质量的追求，未来空气质量的预报和监测必将成为气象服务的重要需求之一。

4) 气象服务于经济社会可持续发展。联合国秘书长报告预测，2050年将有7.8亿人口无法获得清洁水；将有13亿人缺乏电力供应等等。全球气候服务框架确定的五个重点领域（农业、减灾防灾、水资源、健康和能源）基本涵盖了国家可持续发展相关的气候服务需求，明确了增强和全面改进气候服务信息的重要性。随着未来气象服务的质量进一步提高和范围的进一步拓展，必将为更多的国家经济社会支柱产业（航空、交通、旅游、农业、商业、保险等）提供更好的增值服务。

3 2040年主要气象服务领域发展预测及对气象卫星观测的需求

3.1 用户需求增长的总体趋势

目前WMO每个计划对观测系统发展需求的总体趋势都是：更高，更快，更准。更高：希望观测得到更高的空间分辨率和更高的光谱分辨率；更快：进一步加快观测频次和更快地获取卫星观测；更准：即首先需要进一步提高观测精准度（高精度，高信噪比）以满足气候和痕量及污染气体的观测需求。

应用于气候监测和再分析，观测精准性、连续性、长期稳定性和完整性需求进一步提高，以确保长期基本气候变量的观测、变量产品的生成和基本气候数据记录长期连续性。需要在所有在轨卫星上都设置测量参考标准，以支持业务辐射测量的校准，进而通过卫星间的传感器互定标系统达到整个星座测量的准确性和高度一致性。需要建立全球定标基准卫星，并要求参考标准的精度仪器应覆盖空间对地观测所使用的全部光谱波段。

3.2 天气领域

3.2.1 数值天气预报

1) 服务需求及发展前景预测

先进的全球数值天气预报（NWP）模式可输出长

达15d的中期天气预报,水平分辨率达到15~50km,垂直分辨率在地球表面附近达10~30m,在平流层为500~1000m左右。目前利用NWP的输出预测极端天气和气候事件的成功率在逐步提高。基于集合预报的统计方法也越来越多地用于较长期的天气预报。这种集合预报需要对NWP中所有输入资料的不确定性有很好的了解。

参考美国国家航空航天局(NASA)地球科学展望报告和其他相关报告,预测2040年的NWP的一些需求指标如下:

- 7~10d的预报准确率达到90%以上;
- 可以常规发布7d的降水预报;
- 常规发布7d的区域强局地风暴预报,具有中等到较高的准确度;
- 提前4d预报洪水;
- 3d台风(飓风)路径预报精度达到75海里,2d台风(飓风)强度预报精度(以风速为指标)达到9节(海里/小时);
- 可以开展7/10d的空气质量预报。

为满足精细化气象服务需求(大城市、沿海地区等),到2040年左右,全球NWP单模式的分辨率需要达到1km,集合预报模式分辨率需要达到5km,200个层次和100个诊断变量,非静力和完全耦合模式、区域模式的分辨率甚至可以达到100m。

2) 对于卫星观测的需求

NWP的准确度很大程度上取决于如何准确完整地估计大气的初始状态,为实现上述2040年需求指标,期望2040年气象卫星可以为全球NWP提供的关键大气变量是(按重要性排序):

- 卫星观测的三维大气风场(从近地面层到平流层所有层面)和二维的地表气压场;
- 具有足够垂直分辨率的三维大气温度和湿度分布(在对流层低层和多云的地区更重要);
- 基于卫星的降水估计和云参数;
- 海洋上层(0~500m)温度和土壤湿度(对中期预报的后沿,即10~15d的预报更加重要);
- 海冰和雪水当量;
- 气溶胶和痕量气体。

现代数据同化系统能够有效地利用全球地面常规同步观测和非同步(任意时间)观测这两种数据。常规观测水平分辨率和覆盖范围有很大限制,但却具有高精度度和高垂直分辨率的优势,由于是直接测量所需的模型变量(温度、湿度、风等),所以观测容易直接使用;卫星探测数据是遥感观测,提供了非常良

好的水平分辨率和全球覆盖范围,但是垂直分辨率不高,观测的是非模式直接变量,需要一种较为复杂的正演模式将其转化为模式变量。四维变分同化使得我们可以从观测的时间序列和高频次观测中(例如每小时观测)获得更多的大气动态信息。

3.2.2 临近预报和短期天气预报

1) 服务需求及发展前景预测

一些与天气有关的决策需要具有较高的空间和时间分辨率(高达1km,几分钟)的准确预报。临近预报通常指未来0~2h,而超短期预报指2~12h。尽管人们追求“无缝隙”预报系统,但是应该指出的是,这些不同时间段的预报对观测资料的需求有很大不同。传统上,临近预报技术主要是根据观测数据采用观测外推法,现在正在发展的高分辨率区域数值天气预报模式,且越来越有效地指导超短期预报。2040年临近和短期天气预报的服务需求指标预测如下:

- 提前6~12h有效地预报雷暴的发生区域(对流扰动);
- 实时地监测台风和强对流系统的强度和路径变化;
- 提前60分钟预报龙卷风;
- 对局地灾害性事件(森林火灾、火山爆发、局地暴风雪、空气污染、化学或放射性事故等)进行实时监测和发展趋势预测。

主要发达国家依赖其成熟完善的天气雷达网和高分辨率数值预报模式的结合建成具有先进水平的临近预报和超短期天气预报系统。在没有成熟雷达网络的发展中国家和不发达国家,预报系统发展的条件受限。所以WMO鼓励发展中国家发展基于卫星资料和数值预报的“低成本”临近预报系统。

2) 对于卫星观测的需求

以观测外推技术为主的临近预报和超短期天气预报,除了和NWP需求相同的气象变量观测(例如云和降水、三维风场、三维湿度和温度场等)以外,还需要多一些关键大气变量(如台风和强对流系统的结构及环境场)和地表变量(如气压、风、能见度和污染天气状况、短波辐射、雷电、沙尘暴和火山爆发监测)。指导临近预报和超短期天气预报用的高分辨率区域模式则需要更高空间分辨率的卫星观测和更高的观测频次,以满足高分辨率模式快速更新循环同化的需要。

未来卫星观测支持临近预报和超短期天气预报的观测重点的发展方向为:1)静止轨道卫星的多通道成像快速区域扫描观测,需要的快速成像频次在分钟的量级上,空间分辨率在百米的量级上,通道应该

在20个以上，这种能力的提高可以有效识别各种天气和地表灾害现象（洪涝、火灾、滑坡泥石流等）。随着全球下一代静止气象卫星在未来5年相继投入业务运行，其观测能力已经比较接近上述目标，但是完全实现其目标可能需要期待更下一代静止卫星的发展。

2) 雷电观测。过去的一些低地球轨道试验卫星已经证实了卫星载荷监测地面雷电现象的有效性。但是到目前为止，尚未实现地球静止轨道卫星对于雷电现象的观测。目前一些空间大国即将发射的气象卫星（例如中国风云四号卫星，美国GOES-R卫星和欧洲的第三代静止气象卫星MTG）都载有闪电成像仪器，空间观测雷电的时代马上就要到来。但是其探测精度和准确度、覆盖范围、时效和应用有效性需要经过实际应用得到证实，仪器也需要经过进一步改进和优化才能满足实际应用需求。

3) 攻克对台风强度和强对流降水系统的直接观测和预报的挑战。目前对台风强度的直接观测和预报进展缓慢，主要原因是目前从静止气象卫星轨道上只能进行红外大气探测和红外可见光成像观测，因而只能观测云顶信息，并不能透过云顶实现对降水系统内部结构和强对流过程的观测。极轨气象卫星虽然具有微波垂直探测和成像观测能力，但是无论是覆盖范围和观测频次都不能满足直接监测的需求。

由于台风强度和强对流降水造成的巨大经济损失和社会影响，对台风强度的监测和提供预测所需重要数据仍是未来卫星观测系统发展的首要任务。未来可能的解决方案包括：1) 实现极轨小卫星群的微波组网观测。如果最低要求达到每小时一次观测的话，则需要均匀分布在极地太阳同步轨道平面上有12颗卫星。如果和未来业务化的低倾角降水测量卫星星座结

合，则可以大大提高观测频次，但是需要充分协调和加强国际合作才能完成。

2) 开展静止气象卫星轨道微波探测试验和业务运行。由于静止气象卫星的轨道高度是极轨（或低地球轨道）卫星的约40倍，如果期望达到接近极轨的观测需求和技术性能的话，其技术难度具有很大挑战性。WMO大力鼓励在静止气象卫星轨道高度上开展高频微波的重点区域探测，其技术前景可行，应用潜力巨大。更长远预期也可能是两种体系的结合，取长补短，与目前静止/极轨卫星上的可见光红外成像和垂直探测体系互补的方式相类似。

3.3 气候领域

3.3.1 短期气候预测和气候服务

1) 服务需求及发展前景预测

季节和年际气候预测的物理基础在于气候的缓慢变化，例如海洋和陆地表面（包括冰冻圈部分）。其中利用大气和海洋的耦合模式开展的ENSO和北大西洋涛动（NAO）的周期预测是目前最具有可预测性的季节性时间尺度相关的现象。

WMO发起的第三次世界气候大会（2009年8月31日—9月4日）呼吁制定全球气候服务框架（GFCS），2012年WMO特别届会通过了GFCS的实施计划方案。方案包括了观测监测、模式发展、气候信息系统和气候服务界面等分系统。最终使气候服务在许多社会经济和气候敏感部门应用产生服务效益。目前，全球气候服务框架提出了五个重点服务领域，包括气候为农业和粮食安全服务、减灾防灾、水资源、健康和能源，并提出了两年、六年和十年的预期目标。可以预期，到2040年GFCS的业务化运行必将成为WMO的全球业务协调的重点之一（表1）。

表1 国际文献提出的2040年短期气候预测目标

主要领域	目前状况	2040年期望目标
常规短期气候预测	短期气候预测初步成功	可以以较高精度预报从数周到数月的短期气候
短期气候预测为极端天气事件、农业、减灾和健康服务	短期气候预测可以发现与异常天气事件、洪水、农作物和疾病之间的关联	短期气候预测可以有足够的精度来预测这些事件用于决策参考依据
厄尔尼诺事件预测	可以模拟重现过去的厄尔尼诺事件	可以常规预报15-20个月的厄尔尼诺事件
气候降水预测	基于气候预测，可以提供有用的区域尺度年降水预测	基于气候预测，可以提供有用的区域尺度年降水预测
十年气候展望	基本理解十年气候变率的诱发因子	常规发布具有有用精度的十年气候预测

2) 对于卫星观测的需求

对于气候模式的观测需求来说，海洋和大气海洋耦合模式的初始化使用了包括大气和海洋的观测数据。在气候模式初始场数据的同化方法上，各业务中心采用的方法有很大差别。有些简单的模式仅仅同化大气风场的信息，而更复杂的模式则同化了地球下表面（土壤温度）的信息和从卫星观测反演出的地形地

貌和地球表面温度的数据。对不同涛动的预测所需的主要观测变量也可能是不同的。如何进一步发展耦合模式的同化技术，以便能够最佳地使用观测来改进模式的初始化场仍然是耦合模式发展的重大挑战。

GFCS所确定的五个重点领域对于观测的需求尚在论证的初步阶段。尽管全球气候观测系统（GCOS）所确定的大部分基本气候变量（ECV）和

用于短期气候预测的观测都可以用于气候监测和服务，但是针对GFCS上述五个重点服务领域的业务服务，还应该明确提出有针对性的观测需求，并且在监测和预测产品的精度及时效要求方面提出明确的要求。短期气候预测模式仍然是各类气候服务的基础业务平台。目前季节预报模式初始化主要使用的是大气和海洋表面温度的观测。对于先进的耦合模式的数据同化系统发展，下列数据是重要的：

- 海洋参数：海洋表面和下表面温度，海洋盐度，海冰（包括海冰覆盖面积和海冰厚度）；
- 地表参数：土壤湿度，雪覆盖面积和雪水当量等；
- 大气和太阳：平流层状态，太阳光谱辐照度。

而对于十年期的气候预测模式初始化来说，海洋和大气的再分析场是模式初始化的主要信息源，且用于后期验证。十年气候预测的关键观测需求为：上层海洋温度和盐度（从表面到海洋表面下500m），海流，平流层状态，海冰厚度，太阳光谱辐照度，土壤湿度和雪盖等。

目前尚不能从卫星上直接观测的变量为：

- 海洋表面以下的温度，盐度和海洋洋流（目前主要依靠海洋浮标等就地观测，空间分辨率和全球覆盖不能满足要求）；
- 海冰厚度和积雪厚度；
- 土壤湿度（尽管已经有了很大进展，土壤湿度仍处在试验观测阶段）；

以上这些短期气候预测所需要的重要变量，有待于2040年前新的遥感技术的出现，并在2040年前后达到可以实用的观测效果。

3.3.2 气候系统观测与监测

1) 服务需求及发展前景预测

气候系统由大气、海洋、陆地表面、冰雪覆盖层和生物圈等五个部分组成，以各种方式影响着地球上的人类活动，包括水的供应、粮食生产、大气空气质量、生态系统和人类健康，甚至人类迁徙。随着2040年预计人口达到90个亿，对于地球资源（水、粮食和能源等）的需求相应增加，全球变暖也不断改变着地球气候系统之间的联系，使得对于地球气候和环境的预测的不确定性增加，地球系统的准确预测变得越来越重要。在到2040年的未来二十多年中，我们必须超越目前的主要着眼于对地球系统的各个组成部分进行研究的基本立足点，把视点提升到将地球气候作为一个整体系统（结合大气、海洋、生物圈和固体地球）开展综合观测和模拟，以便达到能够准确和定量地预测地球气候系统的能力。这些预测能力将实现知情决

策水平，进而提高生活质量、经济的可持续发展以及全球社会稳定。对于WIGOS的2040年发展的远景规划来说，观测整个地球气候系统是关键发展方向和难点。总体目标如下：

- 观测整个地球气候系统，以能够从气候各个组成部分的变化追踪到对整个气候系统的影响；
- 模拟整个地球气候系统及其所有分系统（组成部分），使得气候系统的任何分系统的变化可以预测；
- 不断地改进对于整个地球气候系统行为及其动态演变的描述，使其能够更好地符合对于地球气候系统的观测；
- 实现对地球气候系统的有效预测（包括对于预测的不确定描述），对经济社会各有关方面的决策提供有实际应用价值的支持和服务。

2) 对于卫星观测的需求

为响应第十六次世界气象大会关于“建立从空间监测气候架构”的决议，由WMO、地球观测卫星委员会（CEOS）和气象卫星协调组织（CGMS）组成的特别工作组编写了一个关于“建立从空间气候监测架构战略”的报告，指出从卫星观测和监测气候系统存在巨大挑战，目前观测的主要不足如下：

- 目前的许多用于监测气候系统的卫星观测仪器本来并不是针对监测气候所设计的，其观测精度和稳定性和同样仪器在不同卫星上的接续性和一致性都难以达到气候系统监测的要求；

- 目前大部分气象卫星序列没有计划确保连续稳定运行达到气候监测所需要的时间序列，也没有在某个重要气候变量观测仪器失效情况下的专门针对气候监测目的卫星应急计划（即卫星系统之间的相互备份支持计划）；

- 数据共享政策尽管最近已经取得很大的进步，但是和天气观测数据相比，对于气候数据共享的重要性认识，和实现气候数据交换的业务化尚未实现，需要更大努力；

- 气候监测需要加强建立包括终端到终端的气候信息系统，从数据采集、数据质量控制、数据存归档、处理发掘，到再加工和气候数据记录生产准入等管理工作所需的系统建设。

远景规划提出了一个从空间监测气候的一个逻辑架构，即需要一个由业务和研发卫星加上特殊任务卫星相结合的星座，该星座应该在观测气候系统能力，观测精度和持续性方面明显超出目前的观测能力，要承诺执行长期和持续的气候观测，并保持广泛的和开放的数据共享政策和应急计划。进一步的计划是，在

全面评估观测需求的基础上, 结合各国卫星长远发展规划, 制定和设计一个“从空间监测气候架构”的物理体系结构并制定出清晰的发展路线图, 作为远景发展规划的一个重要组成部分, 以便WMO协调和帮助卫星拥有国和有关单位实施和运行。

3.4 大气成分和空气质量观测

3.4.1 服务需求和发展前景预测

第十七届世界气象大会通过了第46号决议案, 要求WMO的所有会员国支持建立全球综合温室气体信息系统(IG3IS)实施计划, 主要内容包括: 1) 支持进一步改进和发展全球温室气体(二氧化碳、甲烷等)、气溶胶、臭氧和氧化亚氮监测网络; 2) 按照全球大气监测(GAW)计划的质量保证原则, 开展温室气体的观测; 3) 在规定的时间内确保及时提交观测数据以及元数据到WMO的专用数据和信息中心, 元数据应该纳入统一WMO全球综合观测系统数据库。目前IG3IS实施计划正在编写中, 但是计划的实施需要更多年的努力。

刚刚通过的联合国气候变化框架公约巴黎大会(2015年)协议, 显示了世界各国政府更主动地参与努力限制和减少大气中温室气体排放的决心。但如何客观定量地监测全球二氧化碳在不同地区的排放仍是一个悬而未决的事情。期望全球综合温室气体信息系统作为一个独立的基于科学观测和分析的重要观测与信息系统, 用于独立量化自然和人为的温室气体源和汇, 提供可操作的信息, 以帮助会员在增强的时空尺度上了解和管理温室气体收支, 并可为会员提供相关政策方面可付诸于行动的信息。全球气候服务框架的“健康”主题包括了对于空气质量服务的需求。

3.4.2 对于卫星观测的需求

目前全球大气成分和空气质量观测的主要不足如下:

- 实地观测站网的密度(包括陆地, 海洋和自由大气中)远远不足, 从卫星平台上观测温室和污染气体尚处在探索和初步发展阶段;
- 不同尺度的观测(如全球和区域观测)和在不同介质中的观测(如在大气中观测与二氧化碳分压观察室中观测)之间的不兼容性;
- 在全球/区域和局地尺度的传输模型中, 模式的复杂性和性能都不足。

以上的主要不足, 使得无法充分地观测到二氧化碳和甲烷的空间和时间分布, 仅仅利用目前有限的几个地面观测站的观测导致了全球分析的很大不确定性, 严重地制约了对于全球碳循环的认知能力和对未来的气候监测预测能力。卫星将是测量全球二氧化碳

和甲烷的时空分布的最有希望的技术手段之一, 有望改善对于这些气体的源和汇估计的准确度。

卫星观测温室和污染气体尚在初步发展阶段。在过去的二十年间, 试验了两种探测温室气体(CO₂和CH₄)的卫星仪器。第一种是热红外(TIR)高光谱探测仪, 利用温室气体对于红外通道辐射的吸收原理来探测温室气体的浓度分布, 其代表仪器是装载于美国地球观测系统(EOS)上的大气红外探测器(AIRS), AIRS采用尖端的红外分光光谱仪技术, 有2378光谱通道, 比以往的红外探测器的光谱分辨率高100倍以上, 可以测量温室气体和其他一些气体(如臭氧、一氧化碳、二氧化碳、甲烷和二氧化硫等)。第一颗卫星于2002年5月发射成功, 生成了月平均的全球一氧化碳、二氧化碳和甲烷分布图。发现的主要问题是, 该仪器对于二氧化碳和甲烷吸收灵敏度的峰值在中对流层(400hPa水平)。因此, 所观测到的气体浓度的全球平均值分布与地面气体排放的位置无法对应。

第二类型卫星仪器是利用短波红外(SWIR)观测, 其原理是用来测量在0.76、1.6和2.0 μ m由二氧化碳和分子氧所反射的太阳光, 达到测量大气温室气体的目的。典型代表仪器是装载于欧洲环境卫星(ENVISAT)上的扫描成像吸收光谱大气绘图仪(SCIAMACHY)。与热红外观测温室气体技术相比, 短波红外观测到的温室气体的丰度敏感区位于地球表面附近。由于CO₂和CH₄的源和汇主要来源在地表附近, 所以短波红外比长波红外技术更适合用于温室气体的观测。但是SCIAMACHY观测和反演的精度(对于碳通量)不能达到精度(1%~2%)和准确度(-1.5%)的要求。

近期又有两个专门用于温室气体观测的卫星成功发射。一个是日本于2009年1月发射的温室气体观测卫星(GOSAT), 它配有两台仪器: 热红外和近红外传感器碳观测傅里叶变换光谱仪(TANSO-FTS)和云与气溶胶成像仪(TANSO-CAI)。TANSO-FTS执行从短波红外到热红外的高光谱分辨率的测量(0.758~14.3 μ m), 用于弥补仅仅长波红外观测的不足。另外一个美国研制的在轨二氧化碳观测台(OCO)。其中第一颗卫星2009年发射失败, 第二颗卫星于2012年7月16日发射成功。卫星设计寿命两年, 16天重复观测周期。尽管宣称这两颗卫星的载荷仪器都比第一代卫星仪器(AIRS和SCIAMACHY)有很大提高, 但是数据处理显示仪器噪声还是影响产品精度的主要原因。当然, 如何提高空间分辨率以避免

云和水汽的干扰，同时又不降低观测的精度要求，仍然是未来此类仪器发展的挑战。

从21世纪初开始，由于空气污染问题日益严重地影响人们的生活，为了满足实时监测污染气体的需求，一些航天机构开展了从卫星上监测大气污染和空气质量的试验计划，包括计划于2018年发射的美国对流层排放和大气污染监测（TEMPO），计划于2018年发射的韩国静止卫星平台地球环境监测成像光谱仪（GEMS）。计划搭载于欧洲第三代静止气象卫星上的欧洲哨兵4号（Sentinel-4）的紫外—可见光—近红外探测光谱仪。这些卫星仪器主要采用紫外和可见光近红外高光谱探测技术，空间分辨率可以达到7~8km，可以实现每小时一次对于固定区域的观测。相信到2040年此类技术和仪器可以完全达到业务化的要求。

4 2040年空间技术发展趋势及满足业务需求的可能性展望

4.1 2040年WIGOS空间系统远景发展规划的基本思路

综合上述不同领域的需求，WMO召开了2040年WIGOS空间系统发展研讨会，在WMO基本系统委员会卫星专家组提出的建议的基础上，提出了2040年WMO全球综合观测系统空间远景发展规划如下的4层体系结构。

4.1.1 布局明确的业务骨干卫星系统

这个骨干系统，具有确定的全球轨道布局和仪器配置，观测技术明确，被定义为最基本和最底线的业务卫星系统。它是建立在WMO会员国卫星操作者庄重承诺的基础上，也是当前CGMS每个成员国的目前业务卫星系统的不断补充完善和发展演进到2040年的主要格局，是WMO卫星计划所协调和规划的未来的骨干系统的集合。这个主干系统将得到各国政府的严格承诺和经费保证，以确保获取WMO成员国和计划所需要的“基本数据”，并确保此骨干卫星观测系统的长期稳定运行。到2040年此骨干卫星系统应该比目前的业务卫星系统有很大的改进和增强，主要应包括：

- 地球静止轨道圈：提供常规多光谱可见光/红外成像，红外超光谱大气垂直探测，紫外/可见/近红外垂直探测（大气成分和大气污染监测），闪电成像。

- 地球低轨道太阳同步轨道平面：在3个轨道平面（清晨/上午/下午）核心星座上携带高光谱红外垂直探测仪，可见光/红外成像仪（包括昼/夜微光成像），微波成像仪，微波垂直探测器，散射计等。在此基础上再增加空间和时间均匀配置的另外三个太阳同步轨道卫星，且这三颗卫星上特别强调要携带微波

成像仪和探测器（其他仪器配置可以有灵活性），和三个核心轨道星座形成最佳配置以实现全球降水、台风和强对流监测，同时提高整个极轨星座的可靠性和改进时间采样频次。

- 宽幅带雷达高度计：可以是专门卫星计划，也可以搭载在其他低地球轨道卫星上，实现海洋全覆盖的高精度海面高度观测。

- 全球降水测量雷达：由降水测量雷达、云雷达、微波探测仪和成像仪组成的倾斜轨道（地球低轨道）星座。

- 红外双视角成像仪：用于高精度海面温度观测。

- 低频微波成像：在6.7GHz的微波图像（用于全天候海面温度观测）和低频微波成像（主要用于土壤湿度和海洋盐度观测）。

- 微波跨轨道垂直探测：主要用于获取平流层和中间层大气温度廓线。

- 紫外/可见/近红外探测仪进行星下点和临边探测：主要用于大气成分观测。

- 绝对校准的宽带辐射计和太阳总辐照度（TSI）和太阳分光辐照度（SSI）辐射计：主要用于监测太阳辐照度变化和地球大气辐射收支测量。

- 无线电掩星探测：完全融入骨干星座，用于温度廓线、湿度廓线和电子密度廓线探测。

- 高分辨率的多光谱可见光/红外成像仪：主要用于海色、土地利用、植被和洪水监测。

- 合成孔径雷达图像：用于海况和海冰、土壤湿度观测等。

- 重力测量任务：主要观测地下水、海洋参数等。

- 空间天气观测：在拉格朗日点（L1）包括太阳日冕仪和无线电光谱仪，太阳风原位等离子体和高能粒子和磁场观测。

- 空间天气观测仪器包：搭载于静止卫星轨道（GEO）和地球低轨道（LEO）的测量等离子体、高能粒子和地球磁场的仪器。

- 在轨仪器定标标准：包括紫外、可见/近红外、热红外、微波绝对校准测量参考标准仪器，用于全球卫星定标和互定标标准。

4.1.2 开放包容的业务骨干卫星观测支撑系统

这个系统是布局明确的业务骨干卫星系统的重要支撑，也是为了提供必须的“基本数据”，但是却以一种更加开放的方式来定义和接纳它。包括并不预先确定采用什么观测技术和使用什么轨道配置，具有灵活性，有利于计划实施，以便及时地囊括最新技术使其融入到骨干系统中，达到进一步的系统优化，包括：

• 地面风和海况观测：例如通过全球导航卫星系统反射任务、被动微波、合成孔径雷达；

• 通过紫外—可见光—近红外（UV-VIS-NIR）和微波的平流层/中间层临边探测器；

• 激光雷达观测风和气溶胶廓线（利用多普勒和双/三频后向散射效应）；

• 激光雷达（DIAL）探测大气水汽廓线；

• 激光雷达测量海冰厚度；

• 亚毫米成像探测云相位；

• 近红外成像观测二氧化碳和甲烷等；

• 多角度、多极化辐射计探测气溶胶和辐射收支；

• 高空间分辨率陆地或海洋观测（多极化合成孔径雷达、高光谱可见光图像）；

• 高时间频次微波探测（地球静止轨道或低地球轨道星座）；

• 近红外光谱仪测量表面气压；

• 大椭圆轨道连续可见光和红外成像观测（主要覆盖和连续观测北极和南极地区）；

• 太阳磁场，太阳超紫外/X射线成像仪和X射线辐射计，包括在地球与太阳线连线上（如L1点）和地球与太阳连线外（如L5、L4点上）；

• 太阳风等离子体、高能粒子和磁场观测，太阳日冕与日光层成像观测，磁层的高能粒子探测等。

4.1.3 业务开拓者和技术或科学的示范系统

这个系统旨在主要为2040年以后的业务骨干卫星系统的发展演进开拓道路，例如：

• 增强大气/电离层探测的掩星星座的新的卫星加盟；

• 用于观测植被的雷达和激光雷达；

• 高光谱分辨率的微波传感器；

• 超越L1点外的日冕磁场成像仪和太阳风观测；

• 电离层/热层光谱成像仪，电离层电子和主要离子密度探测器。

本层次的计划任务可以依托多元化平台，例如使用小卫星验证和示范有关科学仪器或完成特定的科学任务，也可以作为卫星应急计划补充某个卫星仪器失效产生的空白，甚至可以利用国际空间站验证和演示某些科学仪器或观测方法。

4.1.4 其他补充观测系统

这个系统将鼓励和充分吸纳由WMO其他会员国和第三方贡献的卫星，包括政府机构、学术团体或商业机构的贡献。这个系统可能增强骨干系统的观测，以提供更多的“基本数据”或“附加数据”。WMO会对此类观测系统的贡献方推荐有关标准和最佳实践以便贡献者考虑遵守，以促进此类卫星系统对WMO

会员国提供有价值的的数据，并对骨干系统进行补充和增强。

4.2 远景发展规划应关注的几个重要趋势

4.2.1 气象卫星操作者从目前少数几个国家为主，向更多操作者国家加入转变

气象卫星操作者从20世纪60年代初的美国和前苏联两个国家，逐步拓展到目前的包括中国、日本、印度、韩国和欧洲气象卫星组织在内的七个主要业务卫星运行组织。已经可喜地看到：目前这些卫星操作者的能力在逐步增强，基本上都已经从前期论证研发阶段，发展到了成熟的业务制造和运行阶段，卫星系统的可靠性和系统性都在增强，不断提升WMO的空间观测骨干系统。例如中国已经承诺承担凌晨极轨气象卫星的轨道业务系统；欧洲气象卫星组织会员国联盟的成员在逐年增加，其极轨气象卫星在同一轨道上已经实现接力飞行（即在同一轨道平面上两颗卫星间距10~20分钟飞行观测，既实现了在轨备份也增加了观测频次）。

展望2040年，期望并相信全球有更多的国家和航天组织加入气象/环境卫星操作者。根据前期的预研究并根据发展趋势，预测可能性和潜力比较大的国家和项目如下：

• 加拿大极区通信和天气卫星（PCW）项目：加拿大航天局（CSA）与加拿大环境部（EC）、国防部（DND）和其他政府部门合作，于2008年9月完成了该项目的需求和概念阶段论证研究（阶段0），2001年接续完成了项目任务定义阶段（阶段1）的论证。这项研究论证的结果证明，可以运行两颗高椭圆轨道（HEO）卫星系统，这两颗卫星都携带三个主要载荷（Ka和X波段的通信转发器，21通道成像光谱仪和一个空间天气监测仪器包）。对于极区来说，这种轨道其功能类似位于赤道的静止卫星，它可以提供北极地区连续24h宽带通信服务，提供覆盖全部北极地区的多光谱图像用于高时间频次（每15分钟一次）和空间分辨率（1.5~3km）地监测极区的高寒天气和气候变化，对于北极地区的空间天气监测将为航空航天安全提供很有价值的服务。这个项目的成功将大大弥补静止气象卫星在纬度60°以上的地方空间分辨率迅速下降、纬度70°以上基本无法应用的空白，对于高纬度地区的天气预报和气候监测业务和研究都会产生不可估量的贡献。通信和空间天气监测功能也弥补了极地区气象数据收集和空间天气监测的空白。

• 非洲气象卫星计划：在非洲第二次气象部长峰会（AMCOMET-2，津巴布韦，2012年10月15—19

日)上,通过了探索建立非洲气象卫星计划的倡议。其后,这个倡议在2013年1月的非洲联盟首脑会议上得到了大多数非洲国家元首和政府首脑的赞同,并进一步决定成立一个联合工作组对此计划开展可行性研究。

• 巴西的空间计划基本涵盖了全部空间技术和应用范围。巴西航天局是拉丁美洲最大的空间组织,其2010年的预算就达到了2.1亿美元。目前巴西拥有十颗以上卫星,其中一半以上是由巴西国家空间研究院(INPE)设计并和工业部门签署合同制造的。在地球观测领域,从1984年开始,巴西与中国开始空间技术合作,并于1999年成功发射了第一颗中巴地球资源卫星,目前已经成功地发射了四颗,对气象防灾减灾作出了贡献。巴西已经发射的一些卫星上载有空间环境(天气)探测仪器。巴西也是一个气象灾害频发的国家,INPE是地球观测委员会(CEOS)的正式成员,和巴西气象局共同开展了许多气象卫星数据在防灾减灾领域的应用。目前美国的静止气象卫星对于南美半球的观测频次不能满足南美国家的需求,即使即将发射的美国新一代静止气象卫星(GOES-R),除了正常观测模式以外,其针对于灾害性天气事件的加密观测模式仅仅适用于美国国内,没有执行美国国土以外的针对灾害性天气气候事件的加密观测机制。期望巴西和其他南美航天国家根据国家需求进一步拓展地球观测使命并加入WMO空间计划的协调。

4.2.2 卫星星座从以业务气象环境卫星为主,向业务卫星加先进的研发卫星系统相结合的多星座体系转变

气象卫星发展的初期(20世纪60—80年代),是以研发卫星为先导,然后将其成熟技术逐步转移到业务气象卫星的发展模式。随着天气观测卫星技术和业务系统的成熟,加上地球气候、海洋和环境观测需求的驱使和航天先进技术发展的需要,在过去的20多年间,许多国家的航天机构(如NASA,欧空局,中国国家航天局,日本空间局等)相继发射了一系列的先进的地球观测卫星(业界称之为研发卫星),是对业务气象卫星的重大补充,也对WMO的许多计划(特别是全球气候观测计划,全球大气监测计划,全球气候研究计划等)和成员国的业务和科技发展作出了很大贡献。期望到2040年,一些目前已经验证成功地研发卫星加入业务卫星序列,而一些更加先进的研发卫星计划出台,形成新的业务加研发卫星共同运行的格局并能够得到更加充分的国际协调并和谐发展。期待如下的成功研发卫星星座转入2040年业务体系:

• 全球降水观测星座:从1997发射成功的热带降水测量使命(TRMM)和其后续的2014年2月发射成

功的全球降水测量计划(GPM),通过一颗核心观测卫星(装载有一个主动探测雷达和一个被动微波辐射计及其他辅助测量仪器)和数颗载有微波探测器的极地轨道业务卫星,以及其他地球轨道的试验卫星,目前已经开始试验运行。但是TRMM一开始就被定义为试验卫星任务,其主要科学目标就是加强对热带的降水气候和降水变率的认识,加上没有业务应用的安排,加上主动探测雷达观测范围限制(200km扫描宽度),严重影响了实时业务应用效益的发挥。而GPM计划接受了TRMM计划的经验和教训,从一开始就定义其为业务前期试验计划,兼顾了科研和业务应用两个方面,期望达到预期效果。NOAA已经表示了很强的兴趣,在GPM成功后接手开展其业务模式概念的规划。如何兼顾降水气候研究/业务和灾害性对流性天气(包括热带气旋、台风、陆地强降水等)监测预测的要求也是很大挑战。中国风云气象卫星规划中也有降水测量卫星的序列。所以在2040年前全球降水卫星星座加入全球气象卫星业务星座具有非常高的可能性和可行性。

• 全球大气成分和空气质量监测星座:前节给出了2018—2019年间即将发射的几颗监测大气污染的卫星系统。这些卫星虽然分别分布于欧洲、美洲和亚洲,但是均处于试验阶段,覆盖范围仅仅局限于这些发射卫星国家国土及其周边地区。期望到2040年这些仪器技术完全成熟,卫星观测范围实现全球覆盖,卫星形成完整的星座并在WMO的协调下纳入全球骨干业务卫星体系。

• 美国、欧洲和亚洲的先进地球观测卫星:21世纪初开始,美国、欧洲和亚洲(以中国、日本和韩国为主)航天大国相继发射了许多先进的地球观测卫星。以美国为例,NASA为开展地球科学研究(其中绝大部分是气候科学研究),从21世纪初开始平均每年投入约20亿美元发射了一系列先进的地球观测卫星。其中著名的发射成功的和即将发射的卫星包括:轨道碳观测卫星-2号(OCO-2),土壤湿度主动和被动观测卫星(SMAP),冰雪观测卫星1号和2号(ICESat-1, ICESat-2),气候绝对辐照度和折射率观测卫星(CLARREO-1,以及下一个CLARREO-2,计划2020发射),重力恢复和气候实验卫星及其后继卫星(GRACE, GRACE-FO),平流层气溶胶和气体试验卫星(SAGE III),形变、生态系统结构和冰动力学卫星(DES DynI)等。这些卫星及其遥感仪器技术的成功及其后续计划的持续发展,定会对未来2040年远景发展规划的技术实现做出巨大贡献。

4.2.3 卫星轨道从传统的地球同步（静止）轨道和近极地太阳同步轨道，向多种轨道平面转变

典型的有望加入2040年骨干卫星系统的新的轨道类型，包括如上所述的全球降水测量星座主卫星使用的是地球低倾角轨道（非太阳同步轨道，飞行高度407km，轨道与赤道平面夹角为65°）。加拿大极区通信和天气卫星（PCW）项目使用的是绕地球两极飞行的大椭圆和大偏心率轨道。全球组网分布的GPS掩星座轨道，以及观测太阳和空间天气的拉格朗日点轨道等等。多轨道的好处是增加了整个星座的轨道多样化，提高了整个卫星体系的可靠性和互补性，同时也增加了观测的频次（特别是低倾角卫星增加了热带和低纬度地区的观测频次），而大偏心率轨道增加了极地地区的观测的频次和全覆盖观测。

4.2.4 卫星遥感仪器从以被动遥感为主，向被动与主动遥感相结合转变；从传统的可见光红外和微波光谱段观测，向全光谱覆盖和高光谱分辨率观测转变

从上述第一层的骨干卫星系统和第二层的骨干卫星支撑系统所提出的观测仪器系统，可以明显看出一些主动遥感仪器，例如卫星高度计、降水测量雷达、激光雷达、合成孔径雷达等主动遥感仪器将进入骨干卫星系统，将大大拓展各类气象和环境应用。从光谱方面，到2040年骨干卫星系统的遥感仪器将光谱覆盖增加到从紫外到长波红外，高频微波（亚毫米波）到低频微波（分米波）的全部波段。高光谱分辨率仪器将从目前的仅限于红外波段仪器，拓展到在全光谱频段上均能够开展高光谱分辨率观测（包括高光谱分辨率紫外、可见光、近红外乃至微波仪器），这将大大拓展和丰富所获取的遥感信息。例如，紫外和可见光短波红外波段的高光谱分辨率仪器将成为大气温室气体和污染气体监测的主要和重要频段。低频微波和亚毫米波是目前业务使用的微波波段向微波频率两端的拓展，微波低频段穿透性更好，应用于土壤湿度遥感、全天候海面温度和盐度观测等，而亚毫米波对于云粒子敏感，可以探测云的相态信息，也可以用于静止轨道的大气垂直探测。工作在激光波段的各类激光雷达仪器将成为2040年气象卫星观测载荷系统中的新的重要成员，有望获取全球风场、大气成分、气溶胶和污染气体监测等。多角度、多极化观测仪器将提供附加信息，更加有利于高附加值产品的生产和多领域的应用。

4.2.5 卫星地面系统从卫星运行接收为主，向牵头发展应用网络和作为业主代表验证卫星投资效益转变

地球观测卫星系统工程是高科技、高投入、高风险

和高效益的系统工程。首先，空间系统的复杂性必将导致地面系统的复杂性的增加，先进的空间系统必然需要先进的地面系统来支撑（包括数据量的急剧增加、数据传输、预处理、产品生成和大数据管理的压力等）。最终的投资效益体现在应用的效果上。全球地球观测卫星系统工程都要扭转“重天轻地”的传统投资理念，从卫星规划开始就将相关应用纳入整体规划体系。地面应用系统牵头单位要主动协调全国乃至全球卫星应用网络的建设和发展，并通过应用不断累积和统计，体现卫星投资效益的应用领域的成果。通过应用及时反馈对于卫星系统（包括轨道、仪器、数据获取等）进一步改进的建议和举措，是促进整体卫星系统工程的健康和可持续发展的重要环节。

5 远景发展规划中值得关注的几个问题

1) 数据获取的及时性和数据管理

首先对于许多实时业务应用，数据获取的及时性非常重要。对于用于临近及短时天气预报的静止气象卫星来说，实时获取观测是最基本要求。对于数值天气预报模式提供重要数据输入的极轨气象卫星来说，数据越是接近实时，效果越好，其目标是在全球任何地区得到观测后30分钟内数据进入模式。目前许多全球数值预报中心已经从WMO协调的极轨气象卫星的“区域先进探测再传输服务”（RARS）及时获得极轨卫星探测数据而获益（已经接近30分钟的目标）。但是先进卫星仪器系统随着空间分辨率增高和仪器通道增多，加上观测频次提高，在过去的30年间，卫星的数据量呈指数级增长，必将对未来数据通信（星—地间数据传输）和用户端数据获取带来新的挑战 and 压力。例如，目前通过日本葵花8号卫星的广播分发系统（HIMAWARICast）获取的卫星数据延迟达数十分钟以上，而通过地面网络获取数据受限于网路带宽。期望到2040年信息技术和云技术的进一步发展，并采用卫星上数据处理和压缩技术等解决数据获取的瓶颈。气候业务和研究需要管理全部卫星数据序列和定期再处理对地面系统的数据管理提出了挑战。此外，未来的气象卫星观测数据的时效性要求是否需要卫星数据中继等，都需要根据未来发展确定。

2) 卫星观测与地面观测的协调

目前的WIGOS 2040年远景规划的研讨工作主要集中在空间系统，主要是空间系统需要更长时间的远瞻性和计划性。但是地面系统的远景发展规划是不可或缺的。即使从卫星系统发展的角度，特定的卫星计划都需要考虑如何充分利用地面的观测来补足，包括地面系统作为真值验证的观测等，地面定标验证系统

等。最终的2040年远景规划应该充分地体现如何最佳地布局全球地面和空间观测网络实现最佳的全球观测系统的投资效益。

3) 无线电频率的保护

随着商业通信和地球观测系统的发展，对于观测频率的争夺日益激烈，观测频段的保护已经成为WMO和全部成员国的一项重大任务。特别在微波波段，由于和通信系统所使用的频段重叠，造成微波探测频段保护的巨大困难。应该大力扩大被动微波频段对于地球观测的重要性的宣传。没有频率就没有卫星上的地球观测，为整个人类谋福祉的事业，其重要性远远高于商业利益。

4) 商业化气象卫星的补充作用

传统上，航天公司都是作为政府的合同方承担卫星研制和发射任务，由气象部门作为业务代表组织卫星规划，接收并运行管理卫星和组织卫星应用等。未来一些国家的气象卫星发展模式可能会发生改变，并导致部分气象卫星的商业化，一些商业卫星公司认为新的卫星数据政策可能诱发潜在的巨大经济效益。NOAA日前发布了商业化空间政策，一些美国公司已经公布了他们的商业化气象卫星发展计划，并宣称将提供更加有应用实效且价格非常具有竞争力的卫星数据和产品等。正面的看法是，商业行为引入竞争机制可能导致商业空间系统得到新的发展，进而增强全球空间观测系统。但是目前尚没有这样用商业模式支撑全球公益事业发展成功的范例。我们应当预见其相关风险，并在以下几个方面问题需谨慎处理：

- 商业化模式必将导致数据交换的限制，从而在整体上降低了数据的可用性（降低了应用效益）

- 处于商业机密保护的需要，用户和国际协调机构可能无法获取卫星和仪器系统的详细的技术规范，导致无法确保获取仪器的可追溯性和可靠性信息

- 由于私营企业都有自己的市场目标，无法像政府机构那样遵守国际承诺和约束，也无法参与WMO主持下的全球协调

- 商业计划的短期行为可能产生一定的政治吸引力，但是却对以满足国家、区域或全球需求国家或区域组织（例如欧洲气象卫星组织）卫星长期计划规划所必须的长期的筹资机制和决策过程产生负面影响

在这些机会和挑战面前，很重要的是要确认这种

商业活动健康并成功演进发展的先决条件和如何合理地纳入国际体系。从WMO的角度，目前基本的估计是：政府主导的气象环境卫星在可以预见的未来仍是骨干系统，应该重申WMO会员国代表其政府机构对运行骨干卫星系统的政治承诺。即由政府机构或其他政府指定的代理机构，继续承担不断发展和优化骨干卫星系统的责任，包括对应用需求的滚动评估和对卫星应急计划的响应，遵守国际免费数据交换原则。而商业化的小卫星系统可能提供一些补充或支撑观测。

WMO第40号决议（CG-12）提供了一个有用的概念框架，从中可以找出公共机构和私人企业提供如何能相互补充数据：为了确保提供“基本数据”的自由，成员必须有一个WMO协调的，由政府控制骨干观测系统，而商业运营商可以提供“额外的数据”以增强观测系统。公共/私营伙伴关系可以结合这两个方面，例如政府主导的卫星项目提供免费共享的“基本数据”，以满足由政府制定的公共服务目标；商业航天机构可以针对特定商业运营客户群体提供和销售“附加数据”服务。

6 结束语

需要强调指出的是，提前25年做远景发展规划是非常具有挑战性的。首先需要准确把握对于到2040年经济社会发展对于气象服务的需求的预测，其次还要从气象服务需求的预测中准确确定对于观测的需求（包括气象卫星和地面观测系统），最后也可能是最具有挑战性的是对于观测技术发展的预测，即在多大程度上观测技术的进步能够满足气象服务对于观测的需求。

远景发展规划目前尚在初期发展阶段，须经多方咨询和反复论证，最终目标是提交第18届世界气象大会（2019年）批准实施。期望本远景发展规划有助于WMO各会员国提前预测气象部门响应未来气象服务需求的挑战，并考虑到航天发展的长期计划特性，尽早提出和明确对未来空间观测的需求。也期望全球航天机构及卫星操作国在考虑制定本国的气象卫星和相关对地观测卫星远景发展规划时，确保充分考虑到WMO综合观测系统空间部分的远景发展规划需求牵引的指导。

（作者单位：世界气象组织）