

为变化中的世界分配频谱

——从 WRC-15 看当前无线电频谱资源开发利用的趋势

国际电联 2015 年世界无线电通信大会（WRC-15）已渐渐远去，会议结果将对未来一个时期全球无线电技术、业务和无线电产业发展产生重要的影响。

当前，随着各种无线电技术、业务的加速普及，无线电频率和卫星轨道资源的供需矛盾日益突出。WRC-15 以“为变化中的世界分配频谱”为主题，一方面凸显了当今世界无线电技术、业务快速发展变化的新态势，另一方面体现了国际电联在推进频谱资源的有效利用和保障各项无线电业务持续发展方面所肩负的使命和为此付出的努力。

本届大会共设有 40 多个议题，内容涉及国际移动通信（IMT）、卫星频率和轨道资源开发利用、航空业安全运营和航空器制造、空间研究、智能交通和水上交通通信、应急救灾通信等方面，同时也涉及对相关规则的修订。大会所涉及的各项议题，反映了全球无线电技术、业务发展的现状，体现了无线电频谱资源开发利用的新趋势。

一、当前，在 IMT 持续演进发展的进程中，移动数据业务呈现爆炸性增长的态势，对频率资源的需求日益增长。如何满足当前 4G 和未来 5G 发展对频率资源的需求，是一个十分艰巨的任务。

在 WRC-15 上，在 6GHz 以下为 IMT 新增全球统一的频率划分是参会各国关注的热点议题，各国代表为此展开了激烈的争论。由于存在的分歧较大，最终只有 L 频段的 1427-1518MHz 被标注为 IMT 新增的全球统一频率，部分国家以脚注的方式将 470-698MHz、3400-3600MHz 频段及其上下邻频标注用于 IMT。在一定程度上暂时缓解了当前全球移动通信系统的发展压力。

近年来，全球移动通信持续快速发展，全球手机用户已达 70 亿，几乎与全球人口数量相当。当前，全球 4G 商用的步伐正在不断加快，移动数据业务加速增长，用户渴望更高的传输速率、更优的网络性能

和更好的移动宽带体验，而这些都迫切需要更多的频谱资源提供保障。在全球 4G 商用方兴未艾之时，IMT-2020 (5G) 研究已开始提速。预计将于 2020 年商用的 5G 将具有光纤般的接入速率、接近零时延的使用体验和千亿设备的连接能力，并支持机器类通信。在万物互联的 5G 时代，移动数据业务的爆炸性增长和通信终端数量的持续增加必然带来更大的频率需求。

根据 ITU 的预测，到 2020 年，全球 IMT 总频谱需求将达到 1340-1960MHz。而我国到 2020 年 IMT 总频谱需求达到 1490-1810MHz。为满足 2020 年前 IMT 发展对频谱资源的需求，WRC-15 的一项重要任务就是在 6GHz 以下为 IMT 寻求新的全球统一频率划分。

在 WRC-15 研究周期，ITU-R 专门成立了联合工作组负责这个议题的研究工作，来自移动通信和其他行业的专家共同在联合工作组框架下，对 IMT 的候选频段与卫星、广播、导航等相关业务的兼容和共存进行了深入研究；在此基础上，联合工作组汇总来自世界各国的观点，提出了从 400MHz 至 6GHz 范围内的 19 个可用于 IMT 的候选频段，以便由 WRC-15 确定新增的 IMT 频段。WRC-15 期间，各国围绕 IMT 的频段的选择展开了长时间的磋商和激烈的争论。但由于各国的分歧较大，会议在 IMT 的新增频率划分方面并未取得让业界满意的成果。

面对频率紧缺的状况，近几届 WRC 一直在为 IMT 寻找新的频率划分，但现实情况是，在 6GHz 以下频段为 IMT 寻找整段的全球统一频率划分的难度越来越大。这是因为，6GHz 频段以下密集分布着卫星、广播、无线电定位、科学等不同的业务，每一项新的频率划分都意味着要减少这些频段的现有业务未来可用的频率资源，或者增加这些现有业务受到干扰的风险，进而引起一系列的连锁反应，可谓“牵一发而动全身”。此外，由于各国 IMT 及相关产业发展的战略存在差异，且对 IMT 新增频率的需求各不相同，这使得各国很难就同一频段达成完全一致的意见。

未来 5G 发展需要较大带宽的连续频谱作为支撑。鉴于 WRC-15 未能在 IMT 频率划分方面取得预期的成果，业界自然对几年后召开的 WRC-19 充满了期待。为了解决 IMT 日益增长的频率需求，WRC-19

将研究讨论在 6GHz 以上为 IMT 增加新的频率划分的问题。在未来 5G 时代，低频段主要用来解决网络覆盖的问题，能够有效满足用户对移动性的需求，也可满足移动互联网、物联网大部分的业务需求；而高频段可以满足用户对热点区域的高速数据业务的需求。低频段和高频段相互搭配，将为未来 5G 发展插上腾飞的翅膀。

二、近年来，新的技术和应用使得卫星通信日趋活跃，引发了对频率资源新的需求。与此同时，在全球新一轮科技革命和产业变革中，无线电技术在信息通信、工业制造和行业信息化领域的渗透步伐在不断加快，迫切需要更多的频率资源提供支撑。

除了 IMT 之外，WRC-15 所讨论的议题还涉及卫星业务、空间科学业务、航空业务、水上业务、无线电定位、公共保护和救灾业务、业余无线电等诸多领域，涉及研究确定未来大会议题等事项。值得关注的是，近年来，新的技术和应用使得卫星通信日趋活跃，引发了新的频率资源需求；与此同时，在全球新一轮科技革命和产业变革中，无线电技术应用在信息通信、工业制造和行业信息化领域扮演了越来越重要的角色，发挥了无法替代的重要作用。如今，包括无线电技术在内的新一代信息技术与飞机、船舶以及汽车制造等工业制造业的融合进程进一步加快，并在加速走向宽带化、智能化、数字化，迫切需要更多的频率资源提供支撑。

WRC-15 所涉及的**卫星业务**的议题较多，成为会议一大热点。近年来，诸如 VSAT 业务、宽带互联网、卫星新闻采集等业务方兴未艾，对频率资源的需求日益增长，为此本届大会为卫星固定业务（限于对地静止卫星）在 Ku 频段增加了主要业务划分或解除了其使用限制。为了满足卫星水上移动业务在全球范围内的频率新需求，大会将 7375-7750MHz 频段作为主要业务划分给卫星水上移动业务（空对地）使用，使得未来卫星水上移动业务能够提供宽带数据服务。为了促进“动中通”应用，大会为 19.7GHz-20.2GHz 和 29.5GHz-30.5GHz 频段的上端 500MHz 制订了相应的规则和技术条件，允许“动中通”地球站使用部分 Ka 频段，从而使得该频段的“动中通”业务合法化；在满足一定离岸隔离距离的条件下，允许 C 频段的“动中通”船载地球站使用更小的便于在小型船只上部署的 1.2 米天线。WRC-15 期间，

铱星、全球星以及 Space X 公司计划部署的高密度低轨非静止轨道卫星系统的相关计划受到业界的广泛关注，体现了卫星通信发展的新动向。

在**空间科学业务**领域，为了满足气象、环境保护、灾害预防等对地探测卫星对频率的需求，大会将 9200MHz~9300MHz 和 9900MHz~10400MHz 频段划分给卫星地球探测业务（有源），此项频率划分将使得对地探测卫星星载雷达的成像精度得到明显提升；为了满足地球探测卫星对测控频率的需求，大会在 X 频段的 7190MHz-7250MHz 频段增加了卫星地球探测业务（地对空）划分。大会还决定放宽空间飞行器与轨道载人航天器对接 5 公里通信距离的限制，有助于增强未来载人航天工程空间飞行器对接的安全性和灵活性。

在**航空业务**领域，大会决定在 4200-4400MHz 以航空移动（航路）业务进行频率划分，以满足航空机载内部无线通信（WAIC）对频率的需求，能有效提升航空器飞行的安全性和可靠性。为了提升无人机的超视距远程控制和通信能力，大会为无人机超视距测控链路确定了频率划分，允许无人机系统超视距控制和通信链路使用 Ku 和 Ka 频段卫星固定业务频率资源，这对推动全球无人机产业的发展将产生重要影响。着眼于保障航空飞行安全，因应国际社会在马航 MH370 失踪后对民用航班安全的呼声，大会决定在 1087.7-1092.3MHz 增加航空移动业务划分，以便能通过低轨卫星系统实现对民航航班在全球范围内的监控和跟踪。

在**水上业务**领域，为了增强水上无线电通信能力，保障船舶航行安全，大会为水上移动业务引入了甚高频数据交换系统（VDES）并对相关信道的配置进行了调整，将有效提升现有船舶自动识别系统（AIS）的数据通信能力；大会还决定为现有的船载 450MHz 频段特高频通信系统引入不同的信道间隔及相关数字技术，这将使得特高频频段的船载通信能力得到显著提高，有效减少无线电干扰。

在**无线电定位业务**领域，出于保障交通安全的需要，大会将 77.5-78.0GHz 频段划分给无线电定位业务，以支持短距离高分辨率车载雷达的发展，这对推进智能交通的发展和保障道路交通安全具有十分重要的意义。

为了促进**公共保护和救灾业务**（PPDR）的宽带化，有效应对全球范围内的各种应急突发事件和自然灾害，大会鼓励各国使用的宽带

PPDR 频率范围 (694-894MHz)，以便各国在实施跨国、跨区域的应急救援时能够采取协调一致的行动。着眼于保障全球卫星搜救系统 (Cospas-Sarsat) 的用频安全，大会通过决议强调了对搜救卫星上行传输信号的保护，以避免可能出现的干扰。

此外，WRC-15 还讨论确定了 **WRC-19 和 WRC-23 新议题**，涉及为 IMT 以及铁路无线电通信、智能交通、水上通信、卫星通信、高空平台通信 (HAPS)、无线局域网等增加新的频率划分或制订相应的使用规则等，反映了未来一个时期全球无线电技术应用和频率资源开发利用的最新趋势。

三、在无线电频谱资源日益稀缺的情况下，要保障各类无线电业务持续发展对频谱资源的需求，就必须最大限度地追求业务的共存和频谱资源的共用，不断提高频谱资源的利用率。

由于频谱资源是有限的资源，追求频谱资源的共用一直是国际电联《无线电规则》的一项根本原则。通过本届 WRC-15 可以看出，为了满足各种无线电业务持续发展对频谱资源的需求，国际电联在最大限度地推进不同业务的共存和频谱的共用；一些业务之所以能获得新的频率划分，实际上就是成功实现频谱共用的结果。

在无线电技术发展的早期，由于无线电业务种类有限，频谱资源相对较为宽裕。然而最近几十年来，随着无线电技术应用的加速普及，频谱资源的供需矛盾日益突出。在此情况下，充分利用频率资源所具有的时间、空间、能量、码域等多维度属性，让不同的无线电业务实现频谱的共用，便成为解决供需矛盾的一个有效途径。比如，短距离、免执照的 2.4G 频段就由 WLAN、蓝牙、Zigbee、RFID、数字无绳电话等多个无线电业务以及工科医等非无线设备一起共享，该频段已成为全球利用率最高的频段之一。而在其他频段，不同无线电业务实现业务共存和频谱共用的案例更是不胜枚举。

不同业务的共存和频谱的共用必须依据相应的规则、程序、技术或操作要求，否则业务间的干扰将难以避免，频谱共用将难以实现。为了让不同的无线电业务能在同一频段和谐共处，国际电联《无线电规则》规定频谱共用必须依据次要业务让主要业务、后用让先用等基

本规则，并通过具体的技术、操作要求等实现业务或应用的共存。实际上，为了解决频谱共用的问题，在每一个 WRC 研究周期，国际电联和各国无线电主管部门都要耗费大量的精力，就某一项频率划分进行大量的不同业务间的电磁兼容和业务共存研究，以确保对原有业务以或主要业务实现保护。国际电联无线电通信部门及各国都在进行基于认知无线电等技术的频谱共用研究，探索建立空天地一体化的动态的频谱分配和共享机制，不断提高频谱资源的使用效率。面向未来，在新的无线电技术和管理模式的支撑下，结合大数据、云计算及宽带网络的普及，未来的业务共存和频谱共用之路会越走越宽实际上，WRC-15 涉及到无线电业务调整或引入新应用的所有议题，均涉及不同业务的共存和频率共用问题，实现共存的规则条款往往是各国间相互妥协的结果，中国代表团在涉及我国的议题上，有力的维护及拓展了我国的权益，。比如，为满足 X 频段地球探测卫星对测控频率的需求，本届大会讨论决定在 7190MHz-7250MHz 频段增加卫星地球探测业务（地 对空）划分。近年来我国探月工程不断取得新进展，从 2013 年发射嫦娥三号开始，我国测控通信的主用频段已改用 X 频段，而拟新增的卫星地球探测（地对空）业务频率范围覆盖了我国月球探测测控通信上行主用频段。为了确保新的频率划分不对现有的空间研究业务带来不利影响，我国经过积极斡旋和协调，最终使得大会在为卫星地球探测业务在 X 频段增加主要业务划分的同时，明确规定了新增划分“只限于遥控操作使用，用于地球静止轨道卫星时不能对现在和将来空间研究业务提出干扰保护要求”的附加条件，保证了我国现有空间业务不受干扰的优先地位；而在大会为卫星固定业务在 Ku 频段增加主要业务划分的讨论中，其中拟划分的 13.4GHz~13.65GHz 频段（下行）涉及与我国计划发射的气象风云三号降水测量卫星搭载的降水测量雷达拟使用频率的共用问题。为确保我国未来的降水测量雷达系统不受干扰，我国在支持在该频段新增频率划分的同时，明确提出了对我国未来降水测量雷达进行充分保护的相关条件并被大会采纳，成功实现了对我国未来气象雷达系统的保护。

尽管国际电联在最大限度地推进不同业务的共存和频谱的共用，但现实情况是，由于一些频段的无线电业务已十分密集，再加上一些国家出于对原有业务或相关产业的保护，使得不同业务实现频谱共用的难度越来越大。比如，近年来 IMT 与卫星业务对在 C 频段频率资

源的争夺十分激烈,两者在这一频段基本上难以实现共用。这是因为,C 频段卫星通信的波束覆盖范围十分广阔,而 IMT 需要在陆地上实现大范围的网络覆盖,两者之间难以避免互相间的干扰,缺乏必要的共用条件。在 WRC-15 上,IMT 的新增频率划分之所以未能取得预期的成果,一个重要原因是相关候选频段难以与卫星、广播、空间等业务实现兼容和共存。此外,由于难以实现与相关业务的兼容和共存,诸如在 22-26GHz 为卫星移动业务增加频率划分、在 7150-7250MHz (空对地)和 8400-8500MHz (地对空)频段为卫星固定业务增加新的频率划分等议题,最终由于多数国家的反对而流产。

四、随着无线电技术应用的加速普及,低频段的各类无线电业务已十分密集。为此,地面和空间业务都不得不面向高频段寻找可用的频率资源,频谱资源的开发利用从低频段向高频段拓展的步伐在不断加快。

近年来,随着各种无线电技术应用的加速普及,电磁传播性能好、设备研发成本低的低频段几乎被各类无线电业务“瓜分殆尽”,频率资源的开发利用从低频段向高频段拓展的趋势日益明显。从 WRC-15 可以看出,由于低频段的频率资源日益紧缺,地面和空间业务向高频段拓展的步伐正在不断加快。

回顾历史,在无线电技术发明之初,由于无线电业务的种类较少,且囿于无线电设备的研发能力,低频段的频率资源最先得到了开发利用。最近几十年来,随着科技的日益进步,各种新的无线电技术和业务不断涌现,无线电频率的划分和使用范围在不断向上拓展。目前,无线电频率划分表的实际划分范围已扩展至 275GHz;而 275GHz 至 1000GHz 范围的少数频段已被标注用于射电天文和空间研究等无源业务,拥有很大的开发利用空间。

在地面业务领域,以 IMT 为例,鉴于在 6GHz 以下已很难为 IMT 找到大块的、连续的可用频段,WRC-15 确定未来的 WRC-19 将讨论在 6GHz 以上为 IMT 寻找新的频率的问题。为此,WRC-15 已在 6-100GHz 范围内为 IMT 大致确定了需要重点研究的频段范围,以便

WRC-19 就最终的频段作出决定。从目前的 6GHz 以下到未来的 6GHz 以上，向高频段扩展已成为未来 IMT 发展的必由之路。

在空间业务领域，卫星业务用频向高频段扩展的趋势也十分明显。当前卫星通信广泛使用的频段包括 L、S、C、X、Ku、K、Ka 等频段。其中，L、S 频段处于低端，用于实现以窄带语音通信为主的卫星移动业务。C、Ku 频段相对较高，传输容量较大。但这两个频段的频率已被充分使用，轨道位置也趋于饱和。相对于传统的 C、Ku 频段，Ka 频段可用频率资源最为丰富，可为卫星通信的宽带化提供必要的频率资源保障。从全球来看，近年来迅猛发展的视频发布、宽带互联网、卫星新闻采集等业务触发了卫星通信对 Ka 以及以上 Q (40GHz 上下)、V (50GHz 上下) 的频率需求。

如今，美国 One Web 和 Spece X 公司正计划构建覆盖全球的高密度 NGSO 网络，这些卫星系统将由上百颗星甚至上千颗星组成，旨在为全球特别是一些边远地区提供宽带互联网接入等服务。在 WRC-15 上，经一些欧美国家提议，WRC-19 已设立了在 37.5-52.4 GHz 频段引入非静止轨道卫星 (NGSO) 的相关规则的议题，用以解决未来低轨道、高密度非静止轨道卫星 (NGSO) 对频率资源的需求问题，促进 NGSO 的发展。而未来的 WRC-23 将讨论在 37.5-39.5GHz 频段为卫星固定业务新增频率划分的议题。

在“动中通”业务方面，WRC-15 通过制订相应的规则，允许“动中通”地球站使用部分 Ka 频段，这使得“动中通”的使用频段从 C、Ku 迈向了更高的 Ka 频段。而 WRC-19 将解决整个 Ka 频段“动中通”业务使用的合法化问题。

为了满足卫星移动业务对宽带应用的频率需求，WRC-15 原本设立了考虑在 Ka 频段 22-26GHz 范围内为卫星移动业务增加新的频率的议题。虽然此项频率划分未能获得通过，但也体现了卫星移动业务用频从原来的 L、S 频段向更高频段拓展的趋势。

值得关注的是，为了在未来的市场竞争中抢占先机，在无线电业务应用和产业领域领先的一些国家已将目光转向了 275GHz 以上的频段。经日本等国的提议，WRC-15 已确定 WRC-19 将讨论在 275-450GHz 频段（太赫兹）为陆地移动和固定业务增加频率划分的新议题。太赫兹频段位于电磁波与光波之间，兼具电磁波的穿透性和

光波的高带宽，试验数据传输速率可达 100Gbit/s，在未来近距离无线通信以及感应技术、成像技术等领域拥有广阔的应用前景。目前，许多国家已经开始进行太赫兹频段的物理特性以及相关技术试验。可以预见，面向未来，随着世界各国对太赫兹频段研究进程的推进，275GHz 以上频段开发利用的步伐将不断加快。

近年来，随着无线电技术的快速发展和电子器件制造水平的不断提升，通信制造业对高频段设备的研发能力得到不断增强，这使得人类对高频段频谱资源的开发利用成为可能。而高频段频率资源的不断拓展，将为各类无线电业务的持续繁荣发展开辟更加广阔的空间。

五、随着“动中通”等一些“跨界”业务的出现，固定业务与移动业务融合的趋势日益明显，一些无线电业务的界限变得日益模糊，迫切要求对现有的相关业务规则适时进行调整。

每届 WRC 不仅涉及新的频率划分，而且涉及对相关规则的修订和调整。本届 WRC-15 成功地给 Ka 频段“动中通”业务制订了相应的规则，使得该频段的“动中通”业务合法化，顺应了固定业务与移动业务融合的趋势，成为大会的一大亮点。

上世纪 90 年代以来，一种被称之为“动中通”的新型卫星业务应运而生。所谓“动中通”，是指将原来在地面部署的处于固定状态的卫星地球站搭载到车辆、轮船、飞机等移动载体上，通过地球同步卫星，在移动中为用户提供语音、视频等多媒体服务的新型卫星业务。对于没有构建起卫星移动通信系统的国家而言，或在通信网络难以实现有效覆盖的区域，“动中通”业务成为满足用户对卫星多媒体通信需求的有效手段。

自 WRC-03 之后，随着国际电联对船载地球站等“动中通”业务相关使用规则的放松，C 和 Ku 频段“动中通”业务在全球范围内获得了长足发展。为适应 Ka 频段“动中通”业务发展的需要，WRC-15 为 19.7GHz~20.2GHz 和 29.5GHz~30.5GHz 频段的上端 500MHz 制订了相应的规则和技术条件，拓展了“动中通”的频段范围，为 Ka 频段“动中通”业务发展开启了绿灯。

“动中通”是卫星通信业务创新取得的重要突破，但其应用和发展对现有的无线电规则及相关业务定义提出了挑战。这是因为，在国际电联《无线电规则》中，卫星固定业务和卫星移动业务使用的频段各不相同，适用的规则也有很大差异。传统的卫星地球站属于卫星固定业务的范畴，而“动中通”使得固定的卫星地球站走向了移动化，这种业务的“跨界”改变了卫星地球站原来的固定业务属性，使得“动中通”业务无法简单地归属于卫星固定业务或卫星移动业务之下，从而引发了近几届 WRC 对相关规则和业务定义的争论。

在 WRC-15 上，“动中通”对 Ka 频段的使用问题就引起了有关国家的激烈争论。一些国家认为，应该严格遵守《无线电规则》对固定业务和移动业务的定义，限制“动中通”业务的发展；而更多的国家则认为无线电规则应该根据技术进步的要求，应该顺应移动业务与固定业务融合的趋势适时进行调整，因而支持对“动中通”放宽使用限制。

WRC 大会所涉及的固定业务和移动业务的融合问题可谓“地动山摇”，因为对有关业务的定义和业务属性的改变实际上触及到了《无线电规则》的基础。实际上，自 WRC-03 以来，每届 WRC 都涉及到固定业务和移动业务的融合问题。在此背景下，WRC-12 及 WRC-15 专门设有一个议题，旨在讨论是否对固定业务、固定台站和移动台站的定义进行修订，以及修订可能对《无线电规则》的相关程序和频率划分带来的影响。虽然连续两届大会没有支持对相关定义的修订，但该议题的设立本身体现了固定业务与移动融合所引发的业界对相关无线电业务定义和属性的不同认识。

除了“动中通”之外，有关无人机的议题也涉及到业务“跨界”和规则的修订问题。本届 WRC-15 虽然通过了允许无人机系统超视距控制和通信链路使用 Ku 和 Ka 频段卫星固定业务频率资源的决议，但在该议题的讨论中，有关各方对无人机的业务属性仍存在争议。这是因为无人机作为移动平台，并不符合卫星固定业务的属性。如果将卫星固定业务频率用于移动平台，将改变现有卫星固定业务网络的协调机制和协调关系，必然要涉及到对相关规则的修订和调整。

而未来 WRC-19 所涉及的亚轨道飞行器的议题也是如此。比如，亚轨道飞行器飞出大气层属于空间业务，返回大气层之后则属于地面业务；显然，这些“跨界”业务的出现对现有的业务定义和相关规则

带来了挑战，需要国际电联和世界各国无线电主管部门积极应对。