



## 全球应急专网通信频谱研究概述

刘晓勇<sup>1</sup>, 范希茜<sup>1</sup>, 朱林<sup>2</sup>, 姚远昕<sup>3</sup>

(1. 国家无线电监测中心检测中心, 北京 100041; 2. 国家无线电监测中心, 北京 100037;  
3. 中国信息通信研究院西部分院, 重庆 401336)

**摘要:** 建设应急专网是为了满足重特大灾害事故救援、应急处突、重大活动保障等统一指挥调度通信的需要, 是维护社会公共安全的重要通信手段。随着无线电技术的快速发展, 传统的窄带应急通信技术体制难以满足新形势下多媒体数据通信、互联互通、安全抗干扰等需求, 数字化、宽带化、泛在化成为应急专网发展的必然趋势。首先, 概述了应急专网通信的技术体制及发展趋势, 介绍了全球应急专网通信研究框架, 重点分析了美国、欧洲、亚太等国家和地区应急专网频谱规划及使用现状, 最后结合我国应急专网频谱规划情况, 从技术趋势、产业发展、频段选择、建设模式等方面提出了我国应急专网建设的建议。

**关键词:** PPDR; 频谱; 应急专网; 宽带

**中图分类号:** TN929.5

**文献标志码:** A

**doi:** 10.11959/j.issn.1000-0801.2022167

## Review on the research of the global emergency communication spectrum

LIU Xiaoyong<sup>1</sup>, FAN Xixi<sup>1</sup>, ZHU Lin<sup>2</sup>, YAO Yuanxin<sup>3</sup>

1. The State Radio Monitoring Center Testing Center, Beijing 100041, China

2. The State Radio Monitoring Center, Beijing 100037, China

3. West Institute of CAICT, Chongqing 401336, China

**Abstract:** The construction of an emergency private network is the necessity of unified command and dispatch communications in rescue of disasters, emergency response, and major activity safeguard. It is an important communication means of public safety protection. With the rapid development of radio technology, the traditional narrowband emergency communication system is difficult to meet the needs of multimedia data, interconnection, anti-interference and other needs under the new situation. Digitization, broadband and ubiquity have become the inevitable trend of the development of emergency private networks. First of all, the technical system and development trend of emergency communication were summarized, the global emergency communication research framework were introduced, the frequency planning and current use status of the emergency private network in the United States, Europe, Asia-Pacific and other countries and regions were analyzed. Finally, combine with the current frequency planning, suggestions for the construction of China's emergency private network from the aspects of technology trends, industrial development, frequency band selection, and construction mode were presented.

**Key words:** PPDR, frequency spectrum, emergency private network, broadband

## 0 引言

5G 时代的到来使得公众移动通信网络（以下简称公网）以前所未有的态势飞速发展，相较于各基础电信运营商积极投资建设运营的公网而言，专用通信网络（以下简称专网）领域在技术演进、网络规模、终端形态方面相对滞后，但由于专网通信的高可靠低时延高安全性的需求，很强的行业应用特点，在政务、公安、消防、交通和应急等公共保护和救灾（public protection and disaster relief, PPDR）领域有巨大的使用需求。全球对专网业务的需求量逐年递增，市场规模逐年攀升。2009—2018 年，我国专网通信行业在不断扩大发展，2018 年，我国专网通信市场规模达 208.7 亿元，约占全球专网通信市场规模的 16.4%<sup>[1]</sup>。其中，我国专网通信市场设备规模从 2009 年的 27.8 亿元增长至 2018 年的 140.4 亿元。预计到 2025 年，我国专网通信市场规模将达到 621 亿元<sup>[2]</sup>。

随着行业需求的驱动和专网技术的演进，专网通信技术制式经历了模拟对讲、模拟集群、数字集群以及宽带集群的多个发展阶段<sup>[3]</sup>，其承载的业务逐渐由单纯的语音对讲向视频监控、视频会议、数据传输、定位业务等多媒体业务演进，不断向移动化、宽带化、物联化及多业务融合的方向发展<sup>[4]</sup>。应急专网通信是专网建设的重点领域。面对应急专网需求的不断提升，作为移动通信发展的关键核心资源，频谱的作用愈发凸显，世界主要国家及相关企业纷纷加大专网通信技术的研发投入及频谱需求的研究，致力于专网需求、关键技术、标准及频谱研究等方面。美国、日本、欧盟、澳大利亚等国家或组织已将部分频谱用于公共保护和救灾，纷纷发布关于 PPDR 专网的频谱规划。同时，国际电信联盟（International Telecommunications Union, ITU）将 PPDR 领域的频谱需求、技术体制等内容作为研究议题，旨在

鼓励各国在频率划分时考虑支持与 PPDR 有关的技术和系统，满足紧急和救灾时的频率使用需求。建立更加安全稳定、反应快速的公共安全通信专网，最重要的两种途径是利用新的技术手段提高频谱利用效率，开拓新的频谱资源。在技术手段方面，推动宽带专网在应急专用通信中的发展<sup>[5]</sup>，探索宽窄融合、公专互补等多种技术实现方式，实现更为灵活可靠的应急专网系统，将会极大提升专网系统频谱效率<sup>[6]</sup>。在频谱规划方面，应根据专网系统的应用特点，拓展更多、更合适的频谱资源<sup>[7]</sup>。

本文将从专网通信技术体制及频率规划情况出发，归纳 PPDR 频谱总体框架，重点概述全球规划愿景及国内外 PPDR 频谱规划研究进展，通过分析主要国家和地区 PPDR 频谱规划和网络建设情况，提出适用于我国规划应急专用通信网络的建议。

## 1 专网通信技术体制

随着专网通信技术的发展、应用场景和技术能力需求的增加，专网通信技术经历了从对讲到集群、模拟到数字、窄带到宽带的演进<sup>[6]</sup>。近年来，应急救援与管理、指挥调度和对现场事态的感知与信息共享等需求不断增加，应急专网通信技术的体制逐渐从窄带技术向宽带技术发展。在国际上，各国主导的技术体制也不尽相同。

### 1.1 窄带技术体制

应急专网通信的窄带技术体制发展相对成熟，且各国主导了不同的技术体制。美国应急专网覆盖全国，包括城市应急联动 911 系统、紧急警报系统、无线警报系统以及各州基于 Project 25（简称 P25）标准建设的公共安全窄带集群网<sup>[5]</sup>。P25 作为美国主导的技术，由美国公共安全通信官员协会（Association of Public Safety Communications Officials, APCO）、国家电信管理者协会（National Association of State Telecommunications Directors, NASTD）和联邦政府用户与电信工业



协会 (Telecommunication Industry Association, TIA) 合作制定推行, 是 ITU 全球开放的数字通信标准之一。P25 从 2000 年左右开始商用, 目前在网终端数量已超过 300 万部, 在美国、加拿大、澳大利亚等国家应用广泛。

欧洲电信标准组织 (European Telecommunication Standard Institute, ETSI) 在 1996 年推出陆地集群无线电 (terrestrial trunked radio, TETRA), (原名称为泛欧集群无线电 (trans European trunked radio), 后来改为陆地集群无线电) 系列标准, 是国际上 10 余个窄带数字集群通信技术体制中功能丰富、技术成熟、使用广泛的国际标准。欧盟拥有全球最大的 TETRA 网络, 从 1997 年开始商用, 2001—2011 年大规模建设, 迄今在全球已部署超过 1 200 个 TETRA 网络, 使用终端设备超过 300 万部。2016 年, 欧盟启动了 BroadMap 项目, 研究欧盟国家宽带演进策略, 明确采用长期、逐步演进的方式过渡到至少是基于 3GPP Release15 (Rel-15) 建设的带宽网络; 英国建有覆盖全国的 TETRA 窄带集群网络, 服务于全国应急工作。DMR 系列标准是欧洲电信标准组织在 2006 年推出的, 目前有终端用户数约 200 万。作为欧洲主导的技术体制, TETRA 和 ETSI 为移动无线电用户制定的数字移动无线电标准 (digital mobile radio, DMR) 技术广泛应用于欧洲、亚太与中东地区, 在国内轨道交通和公安等行业也有较多应用<sup>[7]</sup>。

警用数字集群 (police digital trunking, PDT) 是中国自主研发的技术标准, 从 2010 年开始商用, 主要面向我国公安机关, 目前已基本建成覆盖全国大部分城镇的 PDT 网络<sup>[8]</sup>。

## 1.2 宽带技术体制

近年来, 随着数据通信和多媒体业务的广泛应用, 窄带专网有限的数据能力难以满足实际需求。随着 4G 技术的成熟和全球化部署, PPDR 通信普遍转向 LTE 技术体制, 宽带集群通信

(broadband trunking communication, B-TrunC) 技术为 4G 宽带集群的代表; 2020 年, ITU 完成了 5G 标准制定, 5G 垂直行业的应用将给应急专网通信技术带来新的应用场景和研究趋势。

在宽带数字集群阶段共有两个标准体系: 一个是 3GPP 推动的关键任务一键通 (mission critical push to talk, MCPTT), 一个是我国提出的 B-TrunC 标准, 两者都是基于宽带移动通信技术的专业集群通信标准, 都是基于 LTE 的体制<sup>[9]</sup>。此外, 随着 5G 技术的兴起, 应急通信标准也在向 5G 演进。2015 年 9 月, ITU 发布了 ITU-R M.2083 建议书《IMT 愿景-2020 年及之后 IMT 未来发展的框架和总体目标》, 并对 5G 的宏观需求进行描述, 包括增强型移动宽带 (enhanced mobile broadband, eMBB)、大连接物联网 (massive machine type communication, mMTC)、超可靠低时延通信 (ultra-reliable and low-latency communication, URLLC) 三大 5G 典型应用场景。5G 初期业务以 eMBB 视频为主要特征, 5G 中后期通过 URLLC 与 mMTC 两大特性应用于垂直行业。5G 标准中引入了端到端的网络切片技术的定义, 可以为行业客户提供一定的业务独立性, 但是 5G 技术能否直接应用于 PPDR 标准中还有待研究探索。

3GPP 的 MCPTT 标准主要由国际标准组织 3GPP 组织发起, 由海外和国内的多家公司参与制定, 共经过了 3GPP Rel-13~Rel-16 共 4 个版本的标准化工作。2022 年 3 月, 3GPP 完成了 Rel-17 的功能性冻结, 标志着 5G 技术完成了第一阶段的演进, 将推动 5G 系统用于 PPDR 等关键任务 (mission critical, MC) 场景。

B-TrunC 标准由工业和信息化部牵头, 从 2013 年起至今已经建立起了完整的宽带专网标准系统。2014 年, B-TrunC 被 ITU 接纳, 成为 ITU-R 推荐的 PPDR 国际标准, 并在国内正式写入了中国城市轨道交通协会制定的 LTE-M 标准, 实现了标准在垂直行业领域的转化。2019 年 3 月, 国家

市场监督管理总局、国家标准化管理委员会批准发布了 B-TrunC 系统总体技术要求和接口技术要求等4项国家标准, B-TrunC 正式成为国家标准<sup>[7]</sup>。随着在国内外政务、交通、电力等行业的应用逐渐成熟, B-TrunC 在保持安全和可靠的基础上, 正在研究向 5G 标准化演进。

## 2 全球应急专网通信频谱规划现状及愿景

### 2.1 国际电信联盟相关研究

自 1998 年以来, ITU 启动关于应急保护与救灾有关事宜的研究, 主要国家、标准化组织、企业也加速推动了 PPDR 的研究工作, 形成了以 ITU 为导向的全球研究框架。

2015 年世界无线电通信大会 (2015 World Radiocommunication Conference, WRC-15) 修订并更新了第 646 号决议<sup>[10]</sup>, 被 WRC-15 采纳为宽带 PPDR 的全球协调一致的频率使用范围, 该决议介绍了 PPDR 业务的定义及频率使用特点, 并鼓励使用统一频谱作为 PPDR 的解决方案。决议指出, 虽然窄带和较大带宽的系统会继续用于满足 PPDR 的要求, 但对宽带应用的需求在不断增长, 需要国家层面提供适当的频谱, 以满足这些日益增长的需求; 决议鼓励各国主管部门在进行 PPDR 应用时, 特别是对宽带 PPDR 进行频率规划

时, 考虑将 694~894 MHz 频段用于宽带 PPDR, 并应采用最新版 ITU-R M.2015 建议书中规定的频率范围; 同时决议还建议 1 区考虑使用 380~470 MHz 频段, 3 区考虑将 406.1~430 MHz、440~470 MHz 和 4 940~4 990 MHz 频段用于 PPDR 应用, 并鼓励各主管部门通过相互合作和磋商, 为在紧急情况使用无线电通信设备的跨境流通提供便利。

同时, 在其他与 PPDR 有关的 ITU-R 建议书中, 对与 PPDR 有关的定义、标准、频率使用等情况进行介绍, 以指导并推动各国 PPDR 的研究工作。具体包括: ITU-R M.1637 建议书提供了在应急和救灾情况促进无线电通信设备全球跨界流通的指导; ITU-R M.2009 建议书确定了适用于 PPDR 操作的无线电接口标准; ITU-R M.2015 建议书介绍了 PPDR 无线电通信系统的频率使用安排; ITU-R M.2291 提供了 IMT 技术支持宽带 PPDR 应用的详细信息; ITU-R M.2377 提供了 PPDR 应用于窄带、广带和宽带系统中的详细信息。

### 2.2 美国情况

美国在 VHF、220 MHz、UHF、700 MHz 窄带、700 MHz 宽带、800 MHz、4.9 GHz 和 5.9 GHz 频段部署了公共安全无线通信系统<sup>[11]</sup>, 美国公共安全频谱分配情况见表 1。

表 1 美国公共安全频谱分配情况

| 频段                                     | 公共安全占用带宽                        |
|----------------------------------------|---------------------------------|
| VHF 较低频段 (25~50 MHz)                   | 6.3 MHz                         |
| VHF 较高频段 (150~174 MHz)                 | 3.6 MHz (非连续)                   |
| 220~222 MHz 频段                         | 0.1 MHz                         |
| UHF 频段 (450~470 MHz)                   | 3.7 MHz (非连续)                   |
| 700 MHz 宽带频段 (758~769 MHz/788~799 MHz) | 22 MHz (2×11 MHz)               |
| 700 MHz 窄带频段 (768~775 MHz/798~805 MHz) | 14 MHz (2×7 MHz) (含 2 MHz 保护频段) |
| 800 MHz 频段 (国家公共安全规划咨询委员会频段)           | 6 MHz (2×3 MHz)                 |
| 800 MHz 频段 (809~815 MHz/854~860 MHz)   | 3.5 MHz (2×1.75 MHz) (非连续)      |
| 4.9 GHz 频段 (4 940~4 990 MHz)           | 50 MHz                          |
| 5.9 GHz 频段 (5 850~5 925 MHz)           | 75 MHz                          |



美国国会于 2012 年通过了《中产阶级税收减免和就业创造法案》(*The Middle Class Tax Relief and Job Creation Act of 2012*) (简称《频谱法案》(*“Public Safety Spectrum Act”* 或 *“Act”*)), 该法案创建了第一响应者网络管理局 (First Responder Network Authority, FirstNet), 从根本上改变了 700 MHz 频段的监管格局。FirstNet 是美国商务部内的一个独立机构, 唯一持有美国原有公共安全宽带频谱 (763~769 MHz/793~799 MHz) 和重新分配给公共安全的 D 区频谱 (758~763 MHz/788~793 MHz) 的许可证, 负责部署和运营全国范围的公共安全宽带网络, 通过立法获得明确资金支持, 并建立由美国国土资源部、总检察长和具有公共安全经验的成员组成的组织, 监督网络建设和运营维护<sup>[12]</sup>。700 MHz 频段内的通用窄带频率 (769~775 MHz/799~805 MHz 频段) 由美国区域规划委员会管理。在 700 MHz 频段内部署的全国性公共安全 LTE 网络是大型宽带 PPDR 数据网络的第一个示例, 用以补充美国 P25 窄带关键任务语音网络<sup>[13]</sup>, 引领了全球 PPDR 宽带网络的发展浪潮。

在 800 MHz 频段, 美国多个公共安全无线电系统 (例如警察、消防和紧急医疗技术人员使用的系统) 在 806~824 MHz 和 851~869 MHz 频段运行, 同时商业无线运营商和私人无线电系统也在该频段运行。美国联邦通信委员会 (Federal Communications Commission, FCC) 于 2004 年启动了 800 MHz 频段重新规划计划, 以减轻对 800 MHz 频段公共安全无线电系统的有害干扰, 通过将原用户大部分系统及其他基于蜂窝的系统

迁移到频段较高端, 将公共安全和其他高位非蜂窝系统迁移到该频段的较低端的方法整合了频谱资源, 释放更多频谱用于公共安全。其中, 有 6 MHz 窄带信道分配给公共安全业务, 专供各级公共安全机构使用, 并成立国家公共安全规划咨询委员会 (National Public Safety Planning Advisory Committee, NPSPAC) 制定使用规则, 由美国区域规划委员会管理。美国大部分地区的 800 MHz 频段重新配置示意图如图 2 所示。

另外, FCC 在 4.9 GHz 频段 (4 940~4 990 MHz) 中为固定和移动业务 (航空移动业务除外) 分配了 50 MHz 频谱, 并指定用于支持公共安全建设, 公用事业单位、商业机构以及联邦政府可以与传统公共安全机构共同安排该频段的使用, 以实现保护国土安全和生命财产安全的目的。5.9 GHz 为专用短距离通信业务频段, 5 850~5 925 MHz 频段部署的公共安全通信系统旨在保障无人驾驶安全<sup>[11]</sup>。

2017 年, 美国开始国家公共安全宽带网络建设, 采用了政府主导并与公网运营商全面合作的建设管理模式, 由美国 AT&T 运营商运维。运营商除代维代建外, 也被允许在确保公共安全单位使用优先级的前提下, 利用此频谱发展部分其他用户, 通过商业行为获得部分网络建设和运维的资金<sup>[13]</sup>。目前, 由 FirstNet 与 AT&T 共建的无线网络已覆盖 99% 的美国群众, 网络完全建成时将覆盖美国大陆和华盛顿哥伦比亚特区 76.2% 的面积。

## 2.3 欧洲情况

欧洲成员国的 PPDR 机构目前依靠数字专用

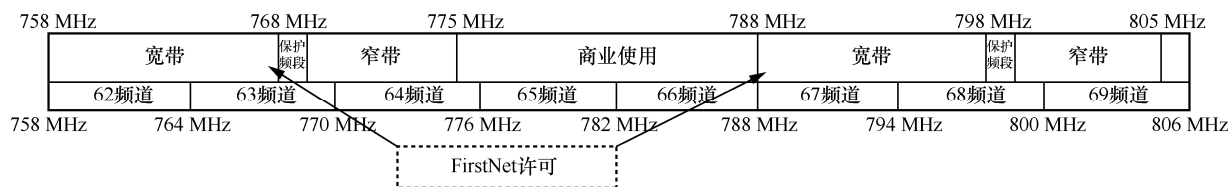


图 1 美国 700 MHz 频段分配给公共安全业务的频谱 (单位: MHz)

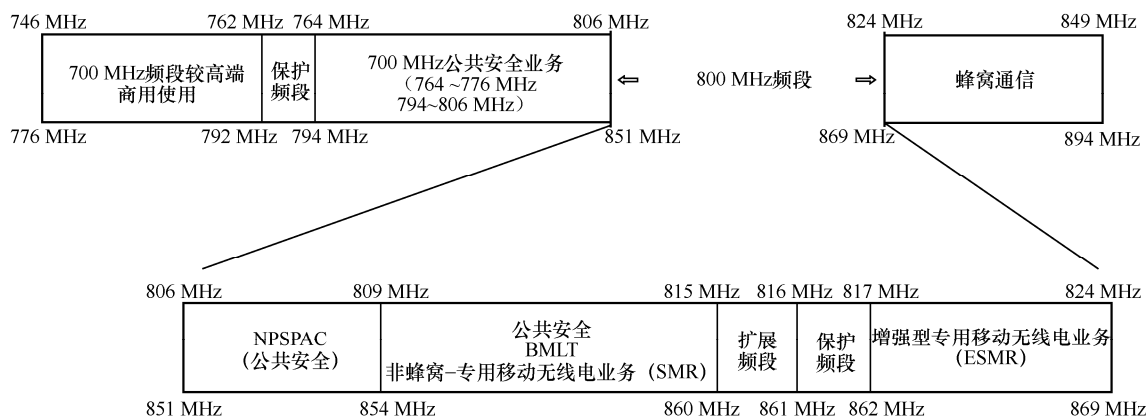


图2 美国大部分地区的 800 MHz 频段重新配置示意图 (单位: MHz)

移动无线电 (specialized mobile radio, PMR) 网络来执行关键任务, 使用欧洲的地面中继无线电 (TETRA 和 TETRAPOL) 标准, 其中, TETRA 技术支持的频率范围为 350 MHz、400 MHz 和 800 MHz。这些网络提供安全且具有弹性的移动语音服务以及基本数据服务。但在与 PPDR 机构的现代化要求相匹配时, 这些传统的 PMR 网络在广播通信、安全漫游以及新兴的安全保障应用中显示很大的局限性。此外, 在使用多种技术时, 存在重大互操作性限制 (如技术间的覆盖范围等), 这可能会导致无效的紧急事件管理或产生安全隐患<sup>[13]</sup>。因此, 欧盟委员会在制定 PPDR 解决方案时考虑了各成员国的国情和政策、对新技术的融合、对经济社会的促进等因素, 在公共安全和应急通信方面进行大量政策制定、技术实现、干扰协调、持续发展等研究, 旨在加强传统窄带网络互操作性, 发展宽带专用通信网络。

欧盟无线电频谱政策小组于 2013 年发布了部门频谱需求战略性报告<sup>[14]</sup>, 指出宽带 PPDR 业务的频谱需求依各成员国主管部门或公共运营商的相关作用以及确保公共安全的不同方法而各有所异。该报告还包括处理 PPDR 频谱请求的战略方法, 以及改善边境通信的建议。在欧盟制定的“无线电频谱政策计划 (Radio Spectrum Policy Programme)”中强调了 PPDR 设备市场发展的重要

性, 通过降低宽带 PPDR 商业设备的购买和运营成本, 以及通过 PPDR 系统的互操作性实现跨境协调操作, 有助于推动规模经济发展。在向 PPDR 部门提供建设和运维资金时, 以推动高速移动数据/宽带系统的 PPDR 发展和利用 PPDR 设备培育市场为投资目标。在 2014 年完成了利用商用移动网络建设 PPDR 系统的研究, 发现商用移动宽带网络在法律、法规和合约的框架下可用于关键任务通信, 欧盟一些成员国正在使用 5G 技术测试 PPDR 应用。

欧洲电子通信委员会 (Electronic Communications Committee, ECC) 将制定 PPDR 的频谱要求和协调需求政策纳入其 2015—2020 年战略计划。2015 年, ECC 发布 Report 218<sup>[15]</sup>, 预估宽带 PPDR 频率的容量需求是  $2 \times 10$  MHz, 并建议在 400 MHz (410~430 MHz 和 450~470 MHz) 和 700 MHz (694~790 MHz) 频率范围内制定 PPDR 方案。ECC 针对 PPDR 频率的使用成立了 FM49 项目组, 旨在促进有关未来 PPDR 系统 (尤其是宽带系统) 的信息收集, 讨论与 PPDR 和相关频段有关的关键问题, 最终通过研究为宽带 PPDR 发展创建了 ECC Decision (16) 02。ECC Decision (16) 02 涵盖了 ECC Report 218 中的灵活、协调的概念, 以及宽带 PPDR 在 700 MHz 和 400 MHz 频段范围内的专用频谱使用的技术条件。ECC Decision (16)



02 指出，不需要为宽带 PPDR 指定统一的频段，其互操作性将通过多频段宽带 PPDR 用户设备的多选择性，以及采用通用技术标准（即 LTE 及其演进）来实现。

2016 年, 欧盟委员会通过了关于实施 700 MHz 频段的决定<sup>[15]</sup>, 明确了协调 703~733 MHz 和 758~788 MHz 频段内地面无线宽带服务的技术条件, 只要 PPDR 系统可以利用这些技术条件并且具有与地面无线宽带网络相同的共存特征, 就可以部署宽带 PPDR 服务; 另外, 根据国家决策和选择, PPDR 网络也可以使用 700 MHz 频带的其他部分: 698~703 MHz、733~736 MHz、753~758 MHz 和 788~791 MHz, 700 MHz 频段宽带 PPDR 频率配置方案如图 3 所示。

## 2.4 亚太情况

亚太电信组织无线工作组（Asia-Pacific Telecommunity Wireless Group, AWG）正在考虑将 900 MHz 频段（806~824 MHz 和 851~869 MHz 频段）的一部分用于 3 区统一的 PPDR 无线电通信系统，韩国等一些 3 区的国家/地区已在此频段规划用于 PPDR 系统。在该频段，国际上当前使用的 PPDR 系统基于窄带技术，AWG 还考虑基于 3GPP 当前正在进行的工作，制定基于宽带技术的协调计划<sup>[13]</sup>。

2017 年亚太电信联盟 (Asia-Pacific Telecommunity, APT) 发布了关于协调无线 PPDR 在亚太地区使用的频率范围的报告<sup>[16]</sup>, 该报告根据 ITU-R 第 646 号决议 (WRC-15, 修订版) 提供了有关 3 区 PPDR 无线电通信频率使用的指南。在该报告中介绍了亚太地区国家的 PPDR 在 694~894 MHz、406.1~470 MHz、4 940~4 990 MHz 频段的频率使用和技术标准; 窄带 PPDR 应用在 138~174 MHz、351~370 MHz 和 380~400 MHz 频段内的部分国家频率使用, 宽带 PPDR 应用在 174~205 MHz 和 1 447~1 467 MHz 频段内的部分国家频率使用; 另外介绍了 3GPP 建议的适用于无线宽带 PPDR 的系统部署, 694~894 MHz 频段范围内 3GPP 频段的 PPDR 频率范围如图 4 所示。

亚太地区各国主管部门在规划其 PPDR 应用的国家计划时, 考虑将 694~894 MHz、406.1~430 MHz、440~470 MHz 以及 4 940~4 990 MHz 频段全部或部分频段用于 PPDR, 并建议使用以下频率范围时, 各国主管部门应考虑与邻国的协商与合作: 窄带 PPDR 包括 138~174 MHz、351~370 MHz、380~400 MHz 以及 400~406 MHz; 宽带 PPDR 包括 174~205 MHz、694~894 MHz、1 447~1 467 MHz 以及 4 940~4 990 MHz<sup>[16]</sup>。

PPDR在固定移动通信网络 (MFCN) 中的频谱协调 (ECC决议/ (15) 01)

|                  |         |                |                   |            |            |            |            |            |     |                |                   |            |            |           |            |
|------------------|---------|----------------|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----|----------------|-------------------|------------|------------|-----------|------------|
|                  |         | 694            | 703               |            |            | 733        | 738        |            |     | 758            |                   |            | 788        | 791       |            |
| MFCN计划频段         | 保护带     | MFCN上行         |                   |            |            | 间隔<br>(2)  | 下行辅助频段 (1) |            |     | MFCN上行         |                   |            | 间隔<br>(2)  |           |            |
|                  |         | 694            | 698               | 703        | 713        |            | 733        | 738        | 758 |                | 768               | 788        |            | 791       |            |
| 方案A              | 保护带     | PPDR<br>上行 (3) | MFCN上行 (3)        |            |            | 间隔<br>(2)  | 下行辅助频段 (1) |            |     | PPDR<br>下行 (3) | MFCN下行 (3)        |            |            | 间隔<br>(2) |            |
| PPDR专用频段:        |         |                |                   |            |            |            |            |            |     |                |                   |            |            |           |            |
|                  |         | 694            | 698               | 703        | 713        |            | 733        | 736        | 738 | 758            |                   | 788        |            |           | 791        |
| 方案C              | 保护<br>带 | PPDR<br>上行     | MFCN上行            |            |            | PPDR<br>上行 | 间隔         | 下行辅助频段 (1) |     |                | PPDR<br>下行        | MFCN下行     |            |           | PPDR<br>下行 |
|                  |         |                |                   |            |            |            |            |            |     |                |                   |            |            |           |            |
| 方案C              | 保护<br>带 | PPDR<br>上行     | MFCN上行            |            |            | 间隔 (2)     |            | 下行辅助频段 (1) |     |                | PPDR<br>下行        | MFCN下行     |            |           | 间隔<br>(2)  |
|                  |         |                |                   |            |            |            |            |            |     |                |                   |            |            |           |            |
| 方案D              | 保护带     | MFCN上行         |                   |            | PPDR<br>上行 | 间隔         | 下行辅助频段 (1) |            |     | MFCN下行         |                   |            | PPDR<br>下行 |           |            |
| PPDR及MFCN融合专用频段: |         |                |                   |            |            |            |            |            |     |                |                   |            |            |           |            |
|                  |         | 694            | 698               | 708        | 733        |            | 738        | 753        |     | 763            | 788               |            | 791        |           |            |
| 方案F              | 保护<br>带 | PPDR<br>上行 (4) | PPDR<br>上行 (3, 4) | MFCN上行 (3) |            |            | 间隔 (2)     | 下行辅助频段 (1) |     |                | PPDR<br>下行 (3, 4) | MFCN下行 (3) |            |           | 间隔<br>(2)  |

图3 700 MHz 频段宽带 PPDR 频率配置方案 (单位: MHz)

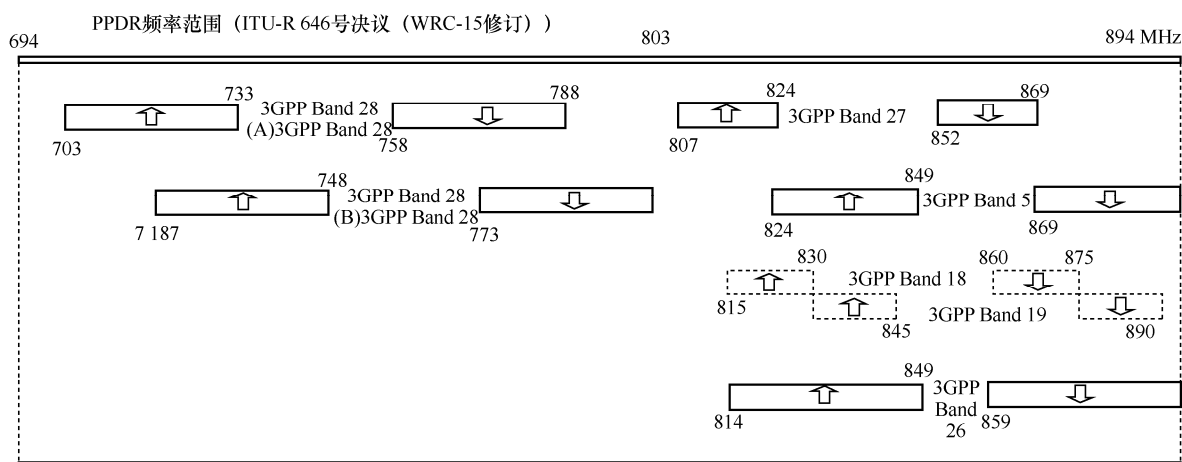


图4 694~894 MHz 频段范围内 3GPP 频段的 PPDR 频率范围 (单位: MHz)

其中, 澳大利亚的应急服务组织 (Emergency Service Organisation, ESO) 将 400 MHz 频段的频谱用于窄带语音通信, 但因为每个频谱分配的带宽太小, 无法传输照片、视频和地图之类的大文件, 不能有效地用于数据无线电通信, 澳大利亚通信和媒体管理局 (Australian Communications and Media Authority, ACMA) 表示, ESO 亟须推进窄带语音通信的互操作性<sup>[13]</sup>。不断演进的科学技术 (如自动车牌识别、现场指纹识别等) 对数据的需求不断增加, ESO 对专用宽带频谱的需求不断提高, 2015 年澳大利亚政府针对应急、警察、消防、救护等业务制定的国家公共安全移动宽带 (public safety mobile broadband, PSMB) 计划<sup>[17]</sup>, 保障公共安全、促进紧急服务事件响应以及各部门协调沟通。澳大利亚所有相关部门均表示同意 PSMB 计划的战略路线图, 并将共同努力为宽带 PPDR 无线通信分配专用频谱。但 700 MHz、800 MHz 和 900 MHz 频段中, 哪些适合且可以分配给 PPDR, 澳大利亚相关部门针对频段特性、频率协调、技术差异、设备可用性和相关成本等方面进行了大量研究。

2020 年 5 月, 澳大利亚政府发布 850 MHz 和 900 MHz 频段的政策目标, 目标之一是支持 PSMB 建设<sup>[18]</sup>。ACMA 将在 850 MHz 扩展频段划分中预留 2 个 5 MHz 频段用于 PSMB 计划<sup>[19]</sup>。

## 2.5 应急专网研究总结

应急专网是国家公共安全部门内部通信专用网络, 使用国家为 PPDR 通信专门分配的频谱, 由政府专门的组织或机构控制。应急专网为非营利网络, 即使在运营过程中收取用户费用, 也是为了支撑网络的正常运转和维护。随着无线电技术的发展, 专用通信频率逐步由短波 (3~30 MHz 频段) 向超短波 (30~3 000 MHz 频段) 转移。随着移动通信技术迅猛发展, 特别是 4G、5G 技术逐步向垂直行业渗透拓展, 应急专用通信系统呈现出数据宽带化、业务多样化、终端多模化趋势。

全球应急专网通信行业的市场规模呈现不断上升趋势, 据全球移动供应商协会 (Global mobile Suppliers Association, GSA) 统计, 全球范围内 263 个机构/组织已完成了宽带专网通信系统的试点或商业部署。其中, 65% 的机构所部署的宽带专网通信系统使用 LTE 技术, 28% 机构所部署的系统使用 5G 技术, 剩余 7% 的机构所部署系统的技术体制为 LTE 与 5G 技术的结合<sup>[20]</sup>。此外, 据不完全统计, 大约 70 个国家或地区已分配或拟分配宽带专网频率用于全国公共安全与应急保障, 以 1 GHz 以下的 400 MHz、700 MHz 和 800 MHz 频率为主, 1 GHz 以上的 1.4 GHz、1.8 GHz、2.3 GHz 和 2.6 GHz 也有部分国家或地区已完成分配或已规划分配。





各国在规划建设 PPDR 网络时,除了依据各国频谱资源的实际使用情况分配了不同频段的频率外,还采用了不同的建设模式。建设模式主要分为两类:一是由使用单位自建自用;二是由多个部门共建共享网络。PPDR 网络建设情况梳理见表 2。

自建自用模式可以由一个主要用户主导建设,允许其他用户接入,也可以单个用户独建独用。采用这种模式,用户持有自主可控的管理权,更利于用户制定整体规划,可高度匹配用户特有的需求,但总体提高了频率需求和网络建设投资成本。

共建共享模式多由运营商建设和运营网络,多用户共享频率和网络基础设施资源。这种模式的优势在于可充分利用运营商在网络建设、运维方面的优势,提高频率利用率,减少建设成本;但是用户由于担心网络的安全可靠性、费用、网络与自身业务匹配度等问题,申请使用的积极性会大打折扣。

### 3 我国专网通信频谱规划分析

#### 3.1 我国专网通信频率规划情况

我国专网通信技术经历了由窄带到宽带的发展趋势。窄带系统中,350 MHz 规划用于警用集群系统,800 MHz 规划用于政府、机场、石油、轨道交通等行业,230 MHz 规划用于数传系统,150 MHz、400 MHz 规划用于对讲机系统等<sup>[21]</sup>;在宽带频率规划上,我国目前主要规划的频段为 230 MHz、800 MHz、1.4 GHz、1.8 GHz。其中,1.4 GHz 主要用于政务、公共安全、社会管理、应

急通信等,1.8 GHz 主要用于交通、电力、石油等行业专网。

为满足社会对数字集群通信的需求,促进数字集群通信产业发展,提高频率利用率,国家无线电主管部门于 2001 年调整了 336~399 MHz 频段频率用于武警、公安等系统,优化 800 MHz 集群频率使用管理,2007 年发布 800 MHz 数字集群通信频率台(站)管理规定。

2015 年规划 1 447~1 467 MHz 用于宽带数字集群专网系统并于 2018 年优化 1 447~1 467 MHz 和 1 785~1 805 MHz 频段无线电频率使用管理,明确除必须预留部分用于公共安全等业务使用外,优先采用招标、拍卖等方式开展频率使用许可,并鼓励专网尽量采用公网模式以提升频谱使用效率。在频率使用的管理上,我国对于 800 MHz、1.4 GHz、1.8 GHz 等频率的频率使用许可由地方无线电管理机构进行许可。

2018 年,调整 223~235 MHz 频段无线数据传输系统频率使用,并将 230 MHz 频段分配用于电力、水利、人防、燃气等行业,“频谱效率”纳入射频技术指标要求中,是频谱资源合理精细化管理的新手段。

2019 年,对我国 800 MHz 频段(806~821 MHz/851~866 MHz)数字集群通信系统频率使用规划进行调整,明确了 800 MHz 频段新增用于 PDT 技术体制,不再用于 iDEN、GoTa 以及 GT800 技术体制。

#### 3.2 对我国应急专网规划建设的建议

应急专网通信在突发公共事件应急处置中起

表 2 PPDR 网络建设情况梳理

| 模式   | 自建自用    |       | 共建共享                |          |
|------|---------|-------|---------------------|----------|
| 网络建设 | 用户自建网络  |       | 政府/用户建设部分网络,其余运营商代建 |          |
| 使用频率 | 专用      | 专用    | 专用                  | 专用+公有    |
| 基站建设 | 自建      | 运营商资源 | 运营商资源               | 自建+运营商资源 |
| 网络管理 | 用户自管    | 用户自管  | 运营商代管               | 运营商代管    |
| 代表国家 | 塞尔维亚、巴西 | 泰国    | 韩国、肯尼亚              | 美国       |

着关键性的作用, 各国 PPDR 机构均已意识到建设宽带化公共安全和应急专网的重要性, 并已加紧开展相关技术研究, ITU 也发布了多项建议书推进 PPDR 建设。综合分析全球主要国家应急专网频率规划及系统建设情况, 我国需要加紧推动建设符合我国产业发展和应用需求的应急专网, 选取合适的频率资源, 借鉴各国应急专网建设运维模式的经验, 立足我国国情, 统筹满足不同用户在共享和专用、窄带和宽带、当前和未来、共性和个性、便捷和安全等方面的差异化需求, 在技术路线、运营模式等方面做好我国应急专网规划的顶层设计。

(1) 加快我国应急专网建设, 推动技术标准化全球化

PPDR 用户历来属于多个机构并且在不同的管辖范围内运营, 各国政府在建立宽带 PPDR 通信网络进程中大多面临各种挑战。当前已有多个国家成立了专门的组织或部门负责端到端业务, 颁布了相应法律法规指导和规范建设、管理公共安全网络, 并已建设实施了专用的宽带 PPDR 网络。我国也亟须开展宽带 PPDR 网络建设规划, 加快应急通信技术标准研究, 做好与相邻频段的干扰协调工作, 发展应急通信领域产业链供应链, 推动宽带应急专网频率使用和技术标准全球范围内协调统一, 增强跨界协调和设备流通, 实现国际合作和规模经济高质量建设。

(2) 选择最优频段, 释放数字红利

随着技术发展和新兴业务不断涌现, 可用、好用的频谱资源日益紧张, 6 GHz 以下的“黄金频段”需求旺盛, 但使用碎片化严重, 很难调整规划得到连续带宽的频谱资源。我国在选择专网通信系统的可用频率时, 建议参考 WRC-15 修订的第 646 号决议中 PPDR 最常用的 700 MHz 和 800 MHz 频段。同时, 考虑公网专网融合建设发展, 专网的建设 and 已有公网相辅相成, 既可以降低建设成本, 又可以提高频率使用效率。综合评

估现有业务的频率利用率和经济社会综合效益, 以及频率调整可行性, 优先考虑规划 1 GHz 以下的频段, 发挥其损耗低、覆盖广、穿透力强等特点, 最大限度释放数字红利, 建设广泛覆盖、安全稳定、反应快速的公共安全通信专用网络。

(3) 宽带化是发展需求, 宽窄融合是必然趋势

当前, 大多数 PPDR 无线电通信网络都基于窄带陆地移动无线技术, 这些窄带网络是为执行关键任务语音通信而构建的, 支持即时按键通话和设备到设备的通信。随着技术的发展, 用户数据流量呈爆炸式增长, 需要重点考虑社交媒体和实时移动视频对宽带数据的需求, 特别是来自灾难现场或其他重大事件的高分辨率视频对于实时态势感知和情报驱动决策的迫切性。另一方面, 由于专网系统的特殊性和行业性, 对大范围覆盖、统一响应、及时通信、频率可用等要求极高, 窄带专网系统在特定行业、特定情况也有必然的使用需求, 因此多个频段的公用网络虽然已完成数字化、宽带化转变, 但仍保留宽窄共存的运营模式。建议我国建设应急专网时统筹考虑建设成本、覆盖范围、技术成熟度等因素, 借鉴公网较为成熟的频率开发利用技术手段和应用模式, 设计宽带和窄带专网系统长期共存的方案, 推动建设进程。

(4) 综合考虑多要素, 选择符合我国国情的建设模式

综合各国公共安全通信网络建设模式, 频率、资金、安全要素、归属权、主管部门、网络运维等因素大大影响了 PPDR 的规划与建设。目前, 已建设和运行的应急专网都是由政府主导、投资建设、划分专用频率以及管理核心用户, 这代表着政府对公共安全通信网络的控制力和安全保障。不同点在于, 有的采用政府与运营商共建共用共管模式(如美国、英国), 有的采用政府专建专用专管模式(如巴西、泰国)。建议我国在规划建设应急通信专网时, 应根据我国的实际发展情况, 综合考虑频率协调问题, 包括主管部门、管



理机构、协调组织在内的治理模式,前期建设和后期运维的资金来源,用户需求和市场发展方向,公网运营商参与建设和运维的程度,商业运行模式,兼具前瞻性和实用性的技术制式等因素,规划建设保安全、低成本、高效率、广应用的应急通信网络,保障公共安全和国家安全。

## 4 结束语

在紧急情况、重大事件中挽救生命和保护财产时,无线电通信至关重要,如果没有稳健和安全的无线通信的支持,应对此类紧急情况的公共安全机构将无法运作,协调频谱和基于标准的技术对于满足公共安全机构的无线电通信需求极其重要。

PPDR 频谱规划是应急通信未来发展的重要环节,宽带化是应急专网通信发展的必然趋势,需要及早谋划,深入研究。同时,PPDR 频谱工作需要 ITU 等国际标准化组织的大框架下开展,同时要充分考虑国内用频和产业发展现状,合理分配频谱资源,探寻适合的专网通信建设模式。

## 参考文献:

- [1] 智研咨询. 2019—2025 年中国专网通信行业市场全景调研及投资前景预测报告[R]. 2019.  
Intelligence Research. 2019-2025 China private network communication industry market panorama research and investment prospect forecast report[R]. 2019
- [2] 刘荣朵. 我国应急通信发展的需求分析[J]. 信息通信技术与政策, 2019(12): 63-66.  
LIU R D. Demand analysis of emergency communication development in China[J]. Information and Communications Technology and Policy, 2019(12): 63-66.
- [3] 刘佳. 应急无线专网通信发展与研究[J]. 信息通信技术与政策, 2019(11): 27-30.  
LIU J. Research on trends and development strategy of telecom operators' new FMC[J]. Information and Communications Technology and Policy, 2019(11): 27-30.
- [4] 李良, 谢梦楠, 杜忠岩. 运营商 5G 智能专网建设策略研究[J]. 邮电设计技术, 2020(2): 45-50.  
LI L, XIE M N, DU Z Y. Research on construction strategy of

- operators' 5G intelligent private network[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2020(2): 45-50.
- [5] 方箭, 李景春, 黄标, 等. 5G 频谱研究现状及展望[J]. 电信科学, 2015, 31(12): 111-118.  
FANG J, LI J C, HUANG B, et al. Review and prospect on the research of 5G spectrum[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(12): 111-118.
- [6] 前瞻产业研究院. 2021 年中国专网通信产业全景图谱[R]. 2020.  
FORWARD Industrial Academe. Panorama of China's private network communication industry in 2021[R]. 2020.
- [7] 陈思. 数字集群通信关键技术研究[J]. 电子世界, 2021(14): 5-6.  
CHEN S. Research on key technologies of digital trunking communication[J]. Electronics World, 2021(14): 5-6.
- [8] 王汉杰, 许伟, 吴鹏. 警用数字集群(PDT)通信系统发展新局面[J]. 警察技术, 2021(4): 7-10.  
WANG H J, XU W, WU P. New situation of police digital trunking(PDT) communication system[J]. Police Technology, 2021(4): 7-10.
- [9] 仇沛川, 冯岩. 我国宽带专网发展现状及展望[C]//2014 全国无线及移动通信学术大会论文集. 2014:150-153.  
KANG P C, FENG Y. The development status and prospect of Broadband Private Network in China[C]//Proceedings of the 2014 National Wireless and Mobile Communications Academic Conference. 2014:150-153.
- [10] ITU-R. Resolution 646 (REV.WRC 15) [R]. 2015.
- [11] FCC. Public safety spectrum[EB]. 2021.
- [12] 姚国章, 陈菲, 陈建明, 等. 美国公共安全无线宽带网 FirstNet 的建设与启示[J]. 中国应急管理, 2014(2): 48-53.  
YAO G Z, CHEN F, CHEN J M, et al. The construction and understanding of American public safety wireless broadband network FirstNet [J]. China Emergency Management, 2014(2): 48-53.
- [13] Parliamentary of Australia. The capacity of communication networks and emergency warning systems to deal with emergencies and natural disasters [R]. 2011.
- [14] The Radio Spectrum Policy Group. Report on strategic sectoral spectrum needs[R]. 2013
- [15] Electronic Communications Committee. Report 218 on harmonised conditions and spectrum bands for the implementation of future European Broadband Public Protection and Disaster Relief (BB-PPDR) systems[R]. 2015.
- [16] APT. APT report on harmonization of frequency ranges for use by wireless PPDR applications in Asia-Pacific region[R]. 2017.
- [17] Australian Government. Australian government held spectrum

report[R]. 2019.

[18] Australian Government. 850 and 900 MHz spectrum bands policy objectives[EB]. 2020.

[19] Australian Government. Reconfiguring the 900 MHz band - consultation 11/2019[EB]. 2019.

[20] GSA. Private mobile networks – member report – market status update[R]. 2021.

[21] 阚润田, 杜昊. 充分利用频谱资源, 推动专网通信发展[J]. 移动通信, 2019, 43(3): 24-27.

KAN R T, DU H. Make full use of spectrum resources, promote the development of private networks communications[J]. Mobile Communications, 2019, 43(3): 24-27.

#### [作者简介]



**刘晓勇** (1979–), 男, 国家无线电监测中心检测中心高级工程师、总工程师, 主要研究方向为无线频谱管理技术、无线电设备检测和电磁兼容等。



**范希茜** (1990–), 女, 国家无线电监测中心检测中心工程师, 主要研究方向为无线电频谱规划、无线电管理制度和国外无线电管理相关政策。



**朱林** (1964–), 男, 国家无线电监测中心设备检测处高级工程师、处长, 主要研究方向为无线电设备检测、专网通信和电磁兼容等。



**姚远昕** (1996–), 男, 中国信息通信研究院西部分院工程师, 主要研究方向为无线电频谱规划、国内外无线电管理相关政策。