

# 2012 RF连接器和电缆组件展望

## 2012 RF Connector and Cable Assembly Outlook

主编：David Vye Microwave Journal

**R**F/微波系统的同轴电缆组件、模块、子系统和大平台之间需要优异的电气连接。这对以最小的破坏和插入损耗让微波信号流过今天的通信、航空、EW、雷达、测量、医疗和工业高频系统中的模块化电子构建块是必要的。除了满足电气性能要求，连接器制造商还在为所有苛刻的操作环境和应用方式开发提供可靠和可重复机械连接的产品。

随着模块和系统技术的不断发展，互连技术也得到了发展。系统遵循的普遍趋势将朝着小型化和增值功能发展，对互连设计提出了新的要求。同时，廉价的海外劳动力的可用性结合降低成本的压力，正在改变制造业景观和全球供应链。成本、小型化和复杂性是不断变化的RF电缆和连接器市场的主导因素。在这份特别报告中，《微波杂志》考察了这些市场和技术发展趋势，以及制造商当中一些值得注意的发展趋势。

### RF连接器市场趋势

根据连接器/电缆行业分析师 Bishop 及 Associates, Inc. 的调查，今年全球RF连接器市场预计年销售额将达到近30亿美元。使得近10年每年市场的增长率大约为8~11%。RF连接器销售的70%来自于四个主要市场领域，即通信、军事、计算机和工业。这些市场代表高量产消费类产品，以及高性能；航空航天和

国防需要的低量产/高混合产品。传统上不属于RF的市场，如运输和医疗应用，随着无线监控和机器到机器(M2M)成为规范，预计将显示出显著的增长。

Fleck Research 估计，北美的连接器市场将价值13亿美元，而中国连接器市场为7.65亿美元，欧洲连接器市场为6.5亿美元。余下的10%分布在世界各地，图1显示新兴市场，如中国和印度是复合年增长率增长最反射测试/测量应用的市场，达到百分之十几。

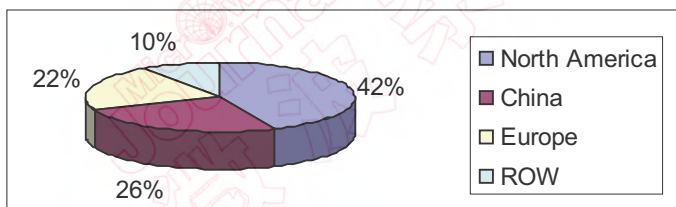


图1. 根据 Fleck Research 预测，2010 年全球 RF 连接器销售百分比。

每个市场都有其自身的驱动因素推动RF连接器走向小型化和增加带宽。更小的连接器对减小手持设备、平板电脑和下一代笔记本电脑的大小至关重要，如英特尔公司最近宣布的超薄本。小型化还有助于降低机载应用RF系统的整体重量，并降低功耗。节约燃料对于发射航天器和延长下一代无人机(UAV)的任务时间和范围非常重要，如较小的平台将取代今天的高耗能系统。

### 军用/航空航天

电缆组件的军事/航空航天市场代表所有电缆组件约11%的全球市场，2010年市场

价值为 127 亿美元（包括非 RF）。在这一年，中国最具成长率，为 21%，日本增长率最少，在 8%。军事和航空航天业是一个技术发展和就业的主要来源。与其他行业不同的是，国防业务取决于各国政府监管机构、客户和投资者。平均而言，在过去的五年中，世界各国政府的军事开支一直占其国内生产总值（GDP）的 2.7%。

根据 Bishop 及 Associates, Inc. 的研究，2010 年，北美销售到军事/航空航天领域的连接器占全球所有国防终端市场销售的 47%。北美航空航天/国防领域一贯表现出强大的连接器销售态势，为 2010 年第二大同比增长。根据同一份报告，中国在军事领域的整体连接器的销售排名落后于欧洲和日本，但显示出比上年最大的增长。

中国的军用连接器和电缆组件有许多是外面的世界看不到的，因为政府办工厂生产的产品，许多组件都没有在公开市场上购买。中国生产的内部消费和出口的 RF 连接器包括多种类型（在本文后面讨论），如 SMA、SSMA、SMB、SSMB、MMCX、SMP、SMZ、SMC、SA、BMA、BNC、TNC、N、K、F 和 SPC3.5。这些当中常见的有镀镍或

镀金触点。因为目标应用的小型化趋势，紧凑型变种 MMCX、SSMA、SSMB、1.9、1.85 和 1mm 单元也很受中国制造商的欢迎。

与此同时，美国军方将保持其国防系统以最新和最强大技术的更新，即频繁更换旧飞机的电子模块，其中可能有的已使用了三十年，而需要采用更小、更轻、更反射测试/测量应用，和更多的机载系统。因此，模块的连接必须支持定期更换。这种做法，推动了标准和定制连接器解决方案的需求。

最近来自 Fleck Research 的一份报告证实，军用连接器在未来几年的整体需求会减弱。美军的全球焦点和重点正处在政府预算削减时代的预期削减改变当中。因此，一些新的计划将被推迟或取消。航空航天和国防分析师 Rob Spingarn 认为，未来 10 年，因为美国国会与总统奥巴马政府之间今年夏天在债务上限方面的胶着，使得美国国防开支削减的项目可能是总额 2.4 万亿美元的约 1/3。Spingarn 认为，美国国防部的大多数削减有可能是在 2012 年和 2013 年财政年度开始在采购方面体现，具体方案在 2011 年 10 月上旬已经确定。

据 Richard Grimmett of Congressional Research Services 的向发展中国家的常规武器转让（2011 年 9 月）的报告，美国的军火出口总额达 1700.7 亿美元，其次是俄罗斯（810 亿美元），法国（374 亿美元），英国（298 亿美元），德国（228 亿美元）和中国（153 亿美元），见图 2。对中东等地区出售的先进军事硬件将有助于维持 2012 年的军事/航空产品的电缆组装市场。

国防部的削减没有影响无人机的开发和生产，据称范围从一个大型昆虫大小的平台到传统喷气式战斗机的平台。根据 Teal Group Corporation 去年 3 月的报告，到 2015 年期间，预计该市场将有 10% 的年复合增长率，2021 年全球市场超过 940 亿美元。无人机应用的 RF 连接器的增长可能会跟踪这一 10% 的年复合增长率。除了提供耐用性、性能和更小的尺寸/重量，针对无人机平台使用的 RF 连接器将需要承受高达 70000 英尺的高度，温度范围为 -60°C ~75°C，以及高达 40 GHz 的频率。

## 意想不到的市场

谁将从这种需求中获益？每个市场都有其自身的一套由多种因素决定的优先次序。定价肯定是驱动着许多购买决策的一部分因素，并迫使供应商竭尽所能地降低其制造成本。然而，使用特定供应商的连接器或电缆组件的真实成本还包括额外的考虑，如性能、质量、可靠性、目录（可用产品）、准时交货、制造能力和成功及时地执行自定义的工程的能力。

全球有数以千计的公司制造 RF 连接器和电缆组件。领先供应商根据他们在这些领域竞争的态势，以及一个给定的市场的属性做好各种连接器/

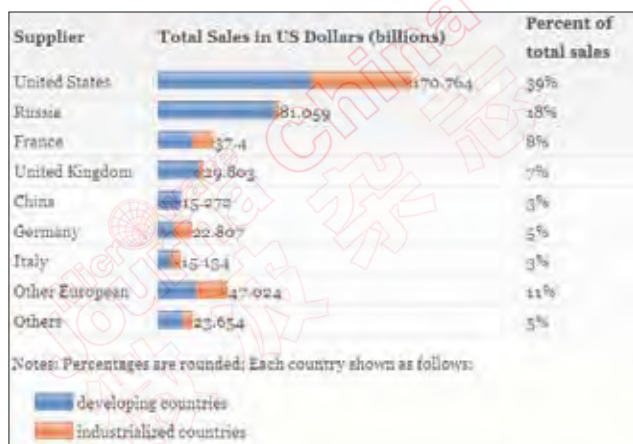


图 2. 2010 年全球军火出口总量。

## 无人机的好消息

虽然美国的国防预算比去年同期可能持平或略有下降，美国的武器出口市场依然强劲。美国占据了 2010 年全年全球武器销售的近 40%，是迄今为止最大的武器出口国。根





图3. 中国的电缆组装生产线, Wellshow Technology Co. 提供。

电缆组件市场。声誉和现有的客户关系, 以及对改善性能、尺寸和制造方面研发的持续投资, 应该有助于这些公司的生存和发展。

致力于自主专业知识有助于行业领导者在不断增长的利基市场扩大他们的份额。例如, 侧重于军事和航空航天市场的公司能够用优质定价安排发展长期客户关系。行业专业化使企业更具接管其他公司的吸引力, 因为专业化有助于新的母公司增加他们接触到的具体的终端客户市场。这些收购往往更容易地整合到现有的基于客户的整体组织结构中。因此, 如果他们开发出了一个针对医疗、军事、航空航天和 / 或工业市场明确的专业化技术, 估值溢价经常会将其附加到任何一家合并或收购的公司。

尽管如此, 制造业供应方已经历了过去几年的一些有趣的变化。首先, 组件越来越多地在劳动力成本比美国少的地方制造。一些领先制造商已经开发出境外的制造能力, 以实现显著的成本节约, 特别是高量产的生产运行。尽管许多公司外包这些活动, 许多领导厂商拥有并经营生产设施, 保留了更大的质量和生产进度控制能力, 见图3。

因此, 尽管最近增加了工资, 电子产品制造业继续在2011年迁移到中国。最近的一项报告指出, 到2015年中国工人的平均工资将增加

一倍。因此, 现在许多美国公司进入中国市场诱因的重点是接近增长的市场, 而不是低成本的制造。

连接器制造将有利于公司在基础领域的实力, 包括主工具和模具制造、精密金属加工、装配以及高量产的生产, 特别是对小型化、高容量的系统。这种趋势不可能在短时间内改变, 这将有利于在新兴市场中找到较低的劳动力成本。在短期内, 依靠复杂工程和自动化实现的高性能和制造水平将有利于更先进制造商的生产能力。政府的支持, 如有利的货币政策和宽松的环保法规给了在中国的许多连接器制造商竞争的优势。

### 电缆组件制造

大多数系统集成商已经找到了其成本效益, 将其电缆组件设计转移到建立了面向解决方案设计、质量和制造技术的专门供应商。给定应用将决定互连是否将暴露在恶劣的户外条件下, 需要特定的性能特性, 如低无源互调和采用哪种电缆类型, 即需要手工成型、半刚性或柔性。电缆装配厂也可投资于必要的专用设备, 生产高耐受性、可靠的组件, 见图4。

一个典型同轴电缆装配厂将通过自己专有的统计过程控制程序, 进行一些关键组件尺寸的测量和控制。采用耐压和连续性测试, 以及目测和压



图4. CMC 半自动剥皮器可保证质量与精确和稳定的剥离公差控制, 满足从0.8mm~10mm不等的电缆组件的标准和客户的特殊要求外形尺寸。

力表测量以确保过程控制。典型内部测试包括特定应用要求的驻波比、插入损耗、相位、时延测量, 以及大多数标准机械和环境试验(温度范围、湿度、振动冲击和磨损)等标准。

电缆类型和连接器已变得相当专业, 可满足如何以及在何处使用的确切要求。例如, 测试电缆专门用于众多联接 / 插拔次数的精度、灵活性和可靠性。制造商解决磨损、高连接次数的方法之一是通过连接器的表面镀层来改善。虽然金、银、镍仍然被广泛使用, 许多制造商已经开发出结合这些材料的专有镀层, 以及增加额外的材料, 以提供更好的镀层选项。

一家领先供应商提供了一个专有的三金属镀层溶液, 含有铜、锡、锌, 作为镍 / 金镀层的改进替代。非过敏性、无镍连接器提供低接触电阻、超过1000次插拔、合理的耐腐蚀性。它也是非磁性的, 所以其PIM特性可与银媲美。有薄金镀层的为更耐磨、耐腐蚀、非磁性的镍磷基材也已推出。该产品为许多组件提供了基于标准镀金两倍的联接次数, 以及低而稳定的接触电阻, 增加了防止氧化和腐蚀性能。

RF 组件越来越多地用于远程无线监控系统, 从油田和工厂车间到医院的医疗设备。无论是在一般的和一次性应用, 你都会发现医疗领域中的RF 组件。不断增加和无处不在的无线系统及其RF 互连导致了对环境影响的关注。关于生命结束产品回收和额外安全要求的立法对电缆制造商有一种影响。行业标准RG 型PTFE/FEP 电缆极耐分解。法规开始强制在其使用寿命结束时由制造商回收产品, 最终将抵消继续使用PTFE 电缆节省成本的好处。PTFE 电缆还含有卤素, 点燃时会有剧毒和腐蚀性气体, 带来

了重大安全问题。为了响应这方面的要求,某些厂家开始提供无卤素和可回收塑料,不像 PTFE 那样抗分解。

## 连接器类型

根据尺寸、频率、耦合方法和形式,RF 连接器的类型分为主系列和子系列。所有连接器的频率范围都被限制在同轴结构的第一圆波导传播模式内。外导体直径的减少将导致最高可用频率的增加。支持内导体的电介质材料填充空域会降低最高可用频率,同时也增加了插入损耗。

各种连接类型都采用一系列联接技术。联接过程通常要改变接合面的几何形状和这些接口的阻抗和损耗,以及导致和阻抗和损耗的几何变化变化。这是一个高精密度连接器和电缆组件的设计人员关注的地方。根据其内部结构,大多数连接器都被指定为公端和母端。许多母端连接器类型采用开槽手指设计,

以容纳联接公端内导体的公差变化。这样的设计功能可以减少重复性,引入了一个小电感,最终可能会在无数次的重新连接之后磨损。

板对板连接器通常用于所有主要市场,并代表了连接器系列增长最快的反射测试/测量应用的品种。一个例子是笔记本电脑内置无线网卡和多个天线。个人电脑制造商需要通过可更换屏幕和系统板设计使他们的产品可以进行现场维修。板对板连接器可让这些组件相互分离。采用更薄的系统封装和宽幅屏幕,空间正在成为连接器供应商一个真正的挑战。此外,工作在更高频率的 802.11x 设备正在推动对非常小的、性能良好的互连的需求,以及市场上提供的多端口同轴解决方案数量的提升。

由于变异的低生产成本和广泛使用的无线设备,包括基站、远程无线电头 (RRH) 和 GPS 设备,许

多制造商正在把目光投向板对板连接器。一些外国公司纷纷推出了 MCX、MMBX、IMP 和 SMP 系列。最后只有两个连接器放在两个印刷电路板或模块和适配器上。在未来三到五年内,预计这三个部分将合并,这将有助于降低支出和提高精度水平。因此,本地制造商预计,RF 连接器将逐渐取代板对板应用中的同轴电缆组件。然而,后者将继续是通信、军事和工业设备用外部连接的主要选择。

## 标准类

N 型连接器是最初在 40 年代为低于 5 GHz 的军事系统设计的。"N"型连接器大多数源属性来自贝尔实验室名叫 Paul Neil 的 RF 工程师。其设计的后续改进把模式自由性能推至高达 18 GHz。卡口同轴电缆连接器 (Bayonet Neil-Concelman) 俗称 BNC,最初是为军事用途而设计的,

表:不同行业的系列分类,一些公认的分组和连接器类型包括:

### 标准同轴电缆

- N 型、HN (高电压 N 型)——螺钉固定,高达 11 GHz
- SHV、BNC HT、MQ HT、THT-20——高电压
- C/SC 型、卡口接头,高功率,高达 11 GHz
- 7/16 DIN——螺钉固定,高功率,低 PIM,高达 8 GHz

### 微型同轴电缆

- BNC、mini-BNC、TNC,卡口接头,军用,RF 和视频应用,高达 4 GHz
- UHF、微型 UHF、M 型——螺钉固定,高达 1 GHz
- Dezifix (罗德与施瓦茨)
- GR874 (一般射频)
- LC

### 亚微型同轴电缆

- SMB——咬合式,高达 4 GHz
- SMC——#10-32 螺钉固定,高达 10 GHz
- FME——螺钉固定,容易连接,高达 3 GHz
- SMA 包括变种:
  - 3.5 和 2.92 mm 连接器,与 SMA 交叉连接,和
  - 2.4, 1.85 和 1.0 mm 连接器,无法与 SMA 交叉连接
- FAKRA——弹簧锁,汽车 RF,高达 4 GHz
- SMZ 连接器——System 43 (BT43 和高密度 HD43),用于 DDF
- 未列出 MHV/SHV (P-975-08.pdf)

### 微型

- OSMT/SSMT——表面贴装,3mm 高度,高达 6 GHz
- MCX、OCX——咬合式,高达 6 GHz

- MMCX——微型迷你咬合式,板到板或电缆,高达 6 GHz
- QSL——低高度,坚固耐用的无线、多端口,高达 6 GHz
- OSMM——小于 SSMA,较高模变超过 450 GHz
- SMP/SMPM——推进式,性能高达 40 GHz
- SSMA——较小版本的 SMA,高达 40 GHz

### 超微型同轴电缆

- IMP——压入式,低成本,板对板
- MMT——咬合式,低高度 SMT,高达 8 GHz
- MMS——咬合式,低高度 SMT, WLAN 和 GPD 手持设备,高达 6 GHz
- UMP——压入式,安全,至外设,高达 6 GHz
- U.FL/IPX/IPAX/MPH/AMC——WIFI 天线至 Mini-PCI 板,高达 6 GHz

### 精度类型

- APC-7——7 mm 无性,低反射测试/测量应用,高达 18 GHz
- 尺寸 1.0mm 的更高频率版本 (110 GHz), 2.4mm (50 GHz), 2.9mm (40 GHz), 3.5 mm (26.5 GHz)

### 速锁紧连接器

- QMA、Mini-QMA——旨在取代 SMA (18 GHz)
- QN (QL-N)、SnapN、HPQN——旨在取代低功耗 N 型 (11 GHz)
- WQMA——防水版本的 QMA

### 盲插

- GPO、GPPO (Gilbert)
- OS-50P、OSMT、BMA、OSP、OSMP、OSSP (M/A-Com)
- SMP、SSMP



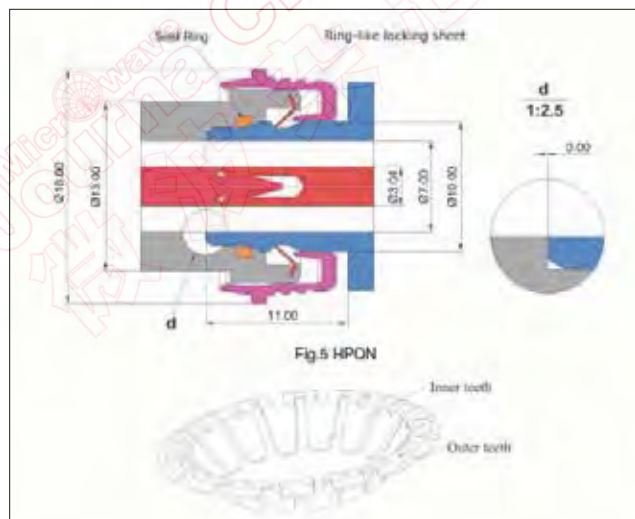


图5. HPQN型反射测试/测量应用, 速锁紧RF连接器机械设计和锁紧环的断面。

但在视频和 2 GHz RF 应用中已获得广泛接受。有助于解决连接器的泄漏和几何稳定性问题的众所周知的单线版本 TNC 使 TNC 可用于高达 12 GHz 的场合。7/16 DIN 是一个高功率 50  $\Omega$  连接器, 最初是由 Spinner 公司开发的。这个相对较新的连接器越来越受欢迎, 尤其是在包括蜂窝塔的无线应用中。这种连接器镀有上金或银, 执行能力高达 7.5 GHz。

### 次微型类

SMA (次微型 A) 连接器是 Bendix Scintilla 公司和 Omni-Spectra 公司作为 OSM 连接器设计的, 是最常用的 RF/微波连接器之一。这种连接器通常很少用于连接半刚性电缆。相比之下, 次微型 B (SMB) 单元式连接器的额定电流可达 4 GHz, 但需要方便、快捷的连接/断开操作的应用程序使用, 最高到 10 GHz。其机械设计导致电气性能差, 尤其是低噪声应用。SMC 是螺纹式连接器, 是尺寸限制应用的理想选择, 适用于单线解决方案的情况。

### 微型类

较小版本的 SMA 包括 Sub-SMA 或 SSMA 和 OSSM 类型。这些连接器的尺寸为 SMA 的 70% 左右, 通常额定功率高达 26 GHz, 但特殊的高性能版本可以提供高达 40 GHz 的自由模式性能。其他咬合式 (咬合式) 类型包括 MCX 系列 (MCX 和 MMCX), 额定功率可达 6 GHz。这些连接器分别是 SMB 连接器尺寸的 70% 和 50%。可靠重新连接的次数大致相同 (约 500 次)。

### 精密级

这一类连接器是测试环境中最常用的准确和可重复测量需求。一个众所周知的类型是无性 APC-7, 最初是由 Amphenol 设计的。Amphenol 的 APC 是第一个仪器级同轴连接器系列, 用最小 26 dB 的回波损耗实现了从 DC - 50 GHz 的可重复  $TE_{11}$  模式谐振信号传输。这些 50W 连接器主要是为测试和测量设备的使用而设计的, 其关键要求是性能可靠, 可以反复连接/断开。“精密 SMA”连接器是另一家测试和测量制造商 Wiltron (现安立公司) 设计的。两个基本几何形状是 3.5mm/Wiltron WSMA, 以及 2.92mm/Wiltron K。

### 反射测试/测量应用, 速锁紧

这种连接器系列是由反射测试/测量应用, 速锁紧公式联盟 (QFL) 开发的, 其中包括领先的连接器制造商。自 2003 年推出以来, 这些反射测试/测量应用, 速连接的 RF 连接器已可以取代目前广泛使用的 SMA 连接器和 N 型连接器, 避免了连接/断开操作需要通过消除扭矩扳手, 操作更反射测试/测量应用, 更容易。在 QMA 情况下, 其基本结构参数和电子性能都非常接近, 这种设计向后兼容原来的 SMA 连接器。

QLN 型连接器包括 NQ、SnapN 和 HPQN 都在变化。在 2002 年和 2004 年之间 QN 的最初设计淘汰了有咬合式保持力的螺纹连接和集成的密封圈。不幸的是, 外导体的接触面之间的间隙导致了不稳定和潜在的不连续特性阻抗。由于这方面的不足, SnapN 设计在插头外导体的后部放了一个弹簧, 而不是在连接器的两个外导体的接触面之间。虽然提高了性能, 但弹簧的弹性使连接器的性能容易受到外部力的影响, 如严重的电缆摆动。2007 年设计的 HPQN 改进了这种设计, 使用了一个环形锁紧垫圈固定在插头中, 锁紧了插孔的联接坡度, 见图 5。

### 总结

HPQN 连接器代表了不断努力开发新设计和制造工艺的一个例子, 为的是针对要求越来越专业化的高频互连技术提供更高的性能、更低的成本、易用性和多种其他特定属性。过去十年整体市场稳定在每年约 8-10% 的增长, 跟随的是计算机、通信、航空航天/国防和工业等领先市场的增长。随着市场竞争不断推动设计改进, 连接器、电缆和电缆组件制造商将努力创新, 不断开发新产品。这些公司在帮助实现无线连接的世界。■