

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.01.003

# FFC 软线的技术应用及发展

李 革,王益君

(浙江理工大学 机械与自动控制学院,浙江 杭州 310018)

**摘要:**针对柔性扁平电缆线(FFC)的生产技术,介绍了 FFC 技术的发展过程,分析了 FFC 的技术特点及其产品在不同行业中的应用,研究了 FFC 的生产工艺流程,并对成型机、导体压延机、自动检测装置和打折机等关键 FFC 制造设备的工作原理和技术特点进行了分析研究。对我国 FFC 生产中存在的问题进行了归纳总结,并提出了解决方法,根据未来电子产品的发展潮流及需求,从技术、市场等方面综述了 FFC 技术的未来发展趋势。研究结果表明,FFC 的技术特点及优越性决定了其未来在电子领域将会有更加广泛的应用,电子技术的不断发展对 FFC 技术也提出了更高的要求,中国 FFC 生产企业必须增强自身的创新能力,加大 FFC 原材料国产化或者寻找新型材料的研究,提高技术水平、生产效率及产品质量。

**关键词:**柔性扁平电缆线;发展;应用;趋势

中图分类号:TH39

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2015)01-0021-06

## Technology application and development of FFC flexible wire

LI Ge, WANG Yi-jun

(School Of Mechanical Engineering And Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Aiming at the production technology of flexible flat cable (FFC), the development process of FFC was introduced, the technical characteristics and application in different industries of FFC were analysed, the production process of FFC was studied, the working principle and technical characteristics of FFC manufacturing equipment such as molding machine, conductor calender, automatic detection device and fold machine were analysed and researched. The existing problem in the production of FFC in China was generalized and the solution was put forward, according to the developing trend and requirements of future electronic products, the future development trend of FFC technology was reviewed from the aspects of technology and market. The results indicate that the technical characteristics and superiority of FFC determine that it will be more widely used in electronics field, the continuous development of electronic technology put forward higher requirements to FFC technology, FFC enterprises in China must strengthen their ability of innovation, increase the localization of FFC raw material or look for the new material, improve the technical level, production efficiency and product quality.

**Key words:** flexible flat cable (FFC); development; application; trend

## 0 引 言

柔性扁平电缆线(FFC)是指用于各种电子器件内部信号连接的新型扁平数据线缆。FFC 最早应用于汽车中,20 世纪 80 年代日本汽车制造厂为找到一种更加轻薄、节能的线材来取代 AVS 组合电束线用于轿车中,在日本三菱电线工业的协助之下,历经 8 年的设计

研究,最终成功研制出这种新型电缆,并命名为 FFC<sup>[1]</sup>。

1993 年,我国从日本引进 FFC 以及相关技术作为录像机国产化开发项目。在成功应用之后,政府加大投入,各企业纷纷从国外引进 FFC 生产线,历经 20 余年的自主研发和技术改进,使得 FFC 制造业蒸蒸日上,产品性能不断提高。目前,国内 FFC 产业发展主

收稿日期:2014-09-22

作者简介:李 革(1958-),男,博士,教授,硕士生导师,主要从事机械动力学、机电一体化产品方面的研究. E-mail:13082817645@163.com

要聚集于广东、浙江和香港一带,中国的 FFC 生产规模可以满足市场需求,并大量出口。

近年来,FFC 软线在全球电子产品中的需求量一直呈现增长趋势,其市场前景相当可观,而当代电子设备采用了尖端技术,使得在狭小的空间里难以安装连接电缆,FFC 以其自身特点迎合产品需求而被广泛应用。FFC 对应的市场要求一直是一个高科技市场,它将带动技术研究的不断改革与创新。FFC 软线的技术对促进我国电子产业的发展具有十分重要的意义。

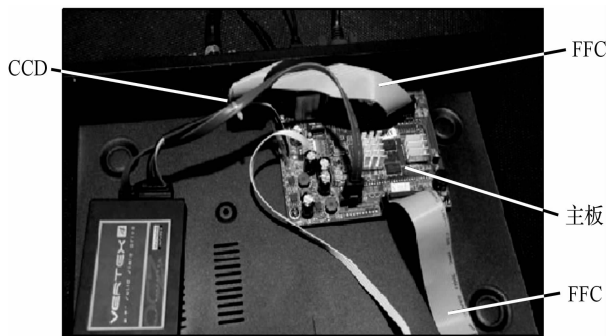
本研究介绍 FFC 技术的应用及发展过程。

### 1 FFC 的特点及应用

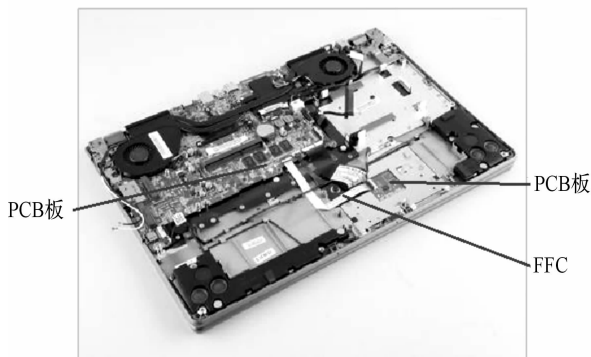
FFC 作为新型数据电缆线具有以下特点:①体积小、厚度薄。可充分利用产品内部空间,美化布局,减小产品整体体积,节省资源;②成本低廉,制作方便。FFC 用上、下 PET 胶膜与中间导体贴合成型,生产工艺简单,而与其相似的另一种导线连接元件 FPC 需要用化学蚀刻的方式形成线路,从成本考虑,更多企业会选择 FFC 的相关设计;③连接简单、易拆卸。插接型 FFC 的连接一般都采用连接器,将两头导体插入连接器后固定即可,拆后可二次利用;④耐弯曲性能好。产品内部信号连接往往不能直线相连或者连接元件需频繁运动,故要求线材可随意弯曲,FFC 外部由 PET 聚酯薄膜构成,韧性高,拥有优越的耐弯曲能力;⑤工作环境适应性较好。FFC 耐油、耐湿、耐腐蚀,在许多环境恶劣的情况下均能正常使用,寿命较高,且易解决电磁屏蔽等问题,故其应用范围十分宽广。

FFC 被广泛应用于各种体积微型、具有滑动部件、需要节省成本的高端设备中。FFC 在录像机及笔记本打印机的应用如图 1 所示。

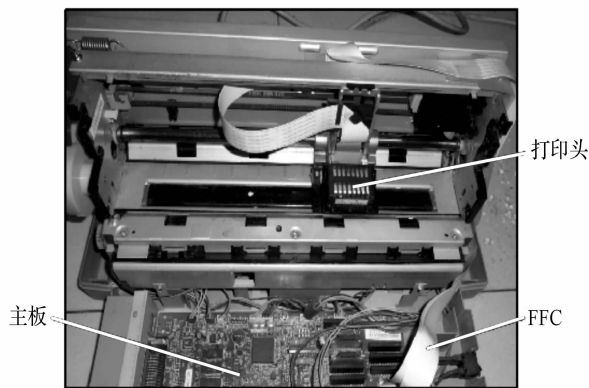
录像机中的 CCD 传感器将摄取的图像信息送至主板进行处理时需要用到 FFC 来实现信号连接,FFC 替代了原有的电束线缆,解决了安装布线困难等问题并减少整体体积。现代笔记本越做越薄、越做越轻,内部空间越来越有限,FFC 的使用让其在有限空间里实现了良好的信号传输并降低了成本,这是其他电缆无法做到的,FFC 在笔记本中应用于 PCB 板与 PCB 板(或 LCD 显示屏)之间的连接。早期 FFC 在打印机中使用的更多,主板控制打印头工作需要电缆连接,而电缆进行连接时需绕过两者中间的其他元件并且空间有限,再者打印头工作时需往复移动,这都要求电缆具备



(a) 录像机中的应用



(b) 笔记本中的应用



(c) 打印机中的应用

图 1 FFC 在录像机、笔记本及打印机中的应用

随意弯曲的能力以及足够的折弯强度,唯有 FFC 能担当此任并进一步节约成本。

FFC 在电子产品中的应用远远不止于此,本研究为节约篇幅只介绍了以上一些产品,对其在监视器、扫描仪、汽车 DVD、银行终端等其他领域的应用在许多相关文献中均有讲述。

### 2 FFC 的生产工艺

为进一步了解 FFC 的结构与性能,本节简要介绍其制作工艺。FFC 的生产工艺流程图如图 2 所示。

FFC 可以根据参数的设置生产出不同规格的线材,其主要参数为导体间距尺寸。FFC 的主要材料是 PET 绝缘胶膜、镀锡扁平导体。PET 的主要成分为聚

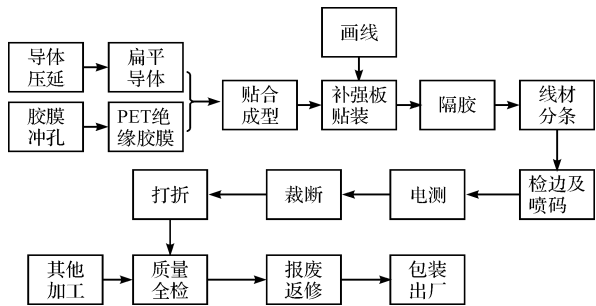


图2 FFC 生产工艺流程图

对苯二甲酸乙二醇酯,其具有耐温、耐油和耐弯折等优点,抗冲击强度是其他薄膜的3~5倍<sup>[2]</sup>,故其被选择应用于FFC的外层绝缘胶。导体镀锡的主要目的是防止氧化及磨损,但在一些焊接性FFC中,为避免导体在高温焊接过程中电镀层发黑氧化(或出于美观性的考虑),导体会改用镀金处理<sup>[3]</sup>。

FFC生产的第一道工序是导体压延与胶膜冲孔。由于圆形截面导体柔软性不好且不符合成型要求,需通过压延机将圆形截面导体压成指定规格的扁平导体,并通过自带的退火装置消除导体内应力;PET胶膜冲孔是在FFC成型机上完成的,胶膜按要求冲出方形槽孔便于成型后导体裸露。该部分工艺为FFC的成型加工做准备。

第二道工序是贴合成型。热压轮将涂有溶胶的上下PET胶膜以及中间导体通过轮子滚动粘结在一起,过程简单可靠。为了避免成型和贴合过程中灰尘杂质等进入FFC而导致线材开短路,该车间必须保证清洁度。

第三道工序是补强板贴装。因为成型后在PET胶膜冲孔处导体会裸露,裸露导体用于插入连接器进行电子元件之间的信号传输,但导体裸露使其机械强度降低,故本研究用补强板进行固定,在这之前,所用补强板会根据客户要求要求进行画线标记作为插入连接器的参照线。该工序根据各公司的生产过程差异,在贴装补强板前后均可进行。

第四道工序是隔胶及线材分条。隔胶是为去除PET胶膜冲孔处经过热压轮时留下的残余胶水,确保裸露导体清洁无胶;隔胶后的FFC经分条机构割成指定宽度的线材,至此FFC基本成型。

第五道工序是检边、喷码及电测。检边工序是检查FFC的导体间距尺寸误差是否在允许范围之内;喷码工序是在线材上标注生产日期及型号等信息;而电测工序是为测试FFC是否由于导体重叠接触或者其他原因导致开短路。FFC导体间距尺寸是

衡量产品是否合格的最重要标志之一,该尺寸在成型时由于多种因素容易发生变动,故检边工序必不可少。

第六道工序是外形加工。主要包括裁断与打折,裁断即确定线材长度,FFC整体很薄,所以切断时需限位以及采用专门的冲切模具;打折加工是按客户要求在线身上进行不同位置的折线以便于工作人员在电子产品内部安装布线。

第七道工序是产品质量全检。内容包括:线材是否损坏、外形尺寸精度、是否遗漏工序、裸露导体有无翘PIN现象等。工作人员发现不良产品需返修或者直接报废,不良率过高时则需停止出厂并进行各工序抽样调查,直至完全无问题以后便可以包装出厂。

在FFC制造工艺过程中还会根据客户要求进行一些额外加工,在图2中归纳为“其他加工”一栏,包括线材冲孔、贴装保护膜及双面胶、线身强度测试、耐高温测试等。

## 3 FFC制造设备的技术发展

### 3.1 FFC成型机

成型机是FFC生产工艺流程中最重要的设备,该机上包含了图2中的多道工序。FFC成型机组的工作原理图如图3所示。

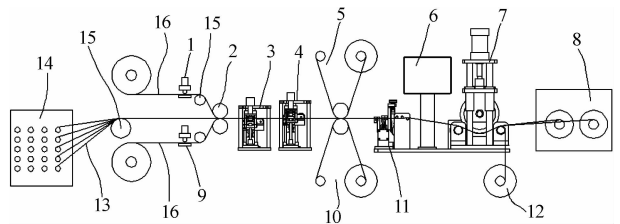


图3 FFC成型机组的工作原理图

1—上冲孔机构;2—高温热压轮;3—上补强板贴装;4—下补强板贴装;5—上隔胶;6—触摸屏;7—线材牵引机构;8—收卷机;9—下冲孔机构;10—下隔胶;11—分条装置;12—收废料机;13—导体;14—多头放线架;15—间距轮;16—PET胶膜

扁平电缆制作时,各导体13需根据组合之间的空间位置及具体插接位号、方向与要求进行平行排布,通过放线架14输出并安置于间距轮15进行固定,扁平电缆的导体数一般不低于15根<sup>[4]</sup>。上、下PET胶膜16经冲孔机构1、9加工出矩形槽孔。待上、下PET胶膜准备完毕后,中间夹带压延的导体进入贴合工序,通过热压轮2将其压成电缆,热压轮的主要作用是将PET胶膜上的热熔胶软化并与导体粘结成扁平线。贴

合后的 FFC 还需在成型机上按顺序完成补强板贴装、隔胶、分条 3 道工序,该 3 道工序的作用及目的在前一节已有说明,在此不再重述。机器上设有同步装置,冲孔和补强板贴装在同步带作用下进行连续、不间断地精准加工,FFC 线材由牵引机构匀速带动,系统运动由 PLC 及触摸屏智能控制。

FFC 成型机最早由日本研发,目前国内已有不少厂家研制出了成型机。其中比较著名的有欧特铁精密机械有限公司研制的 FCA-DLX3a, FCA-DLX4 系列成型机,能生产 0.25 mm ~ 2.54 mm 间距的扁平电缆线,牵引速度最高可达 6 m/min,热压轮最高温度可达近 200 °C,设备自带冷却装置、线材分条自动感应追踪系统、静电消除装置、检测装置等,可生产出高质量产品,提高生产效率及稳定性,并且节能环保。

成型机的技术发展趋势大体归纳为以下两点:

①缩短 FFC 导体间距尺寸,提高引脚导体密集度;②寻找更快速可靠的成型方法,提高生产效率和产品质量。

内部信号的稳定传输一直是微小型电子产品的重要技术问题,如以轻、薄为特色的手持式产品(智能手机、平板电脑等),为适应市场需要,FFC 在减小尺寸的同时必须提高引脚处的导体密集度,以保证高品质的信号传输,为此,要严格控制成型时的导体间距尺寸。而 FFC 成型机中大多采用间距轮(FFC 间距轮如图 4 所示)进行导体的限位来直接确保成型后间距尺寸,故间距轮制作精度是关键所在,间距轮上相邻槽孔距离越短,产出的线材导体间距越小,产品就越高密集成,当然,间距尺寸还与绝缘膜厚度、成型方法等因素密切相关,间距越小往往越难控制,任意两条导体接触就会导致产品报废。

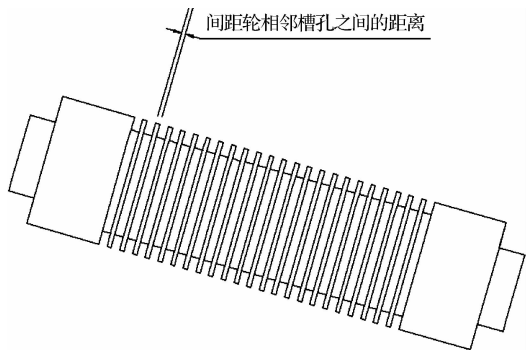


图 4 FFC 间距轮

柔性扁平电缆成型法按原理不同大致可分为 4 种方法:直接挤出法、薄膜层压法、粘结法、结合两种成型法的方法。根据目前大多数 FFC 成型法的特点,可将

其归纳为粘结法,即在上、下绝缘胶膜上涂有粘结溶剂,高温加热将溶剂软化,绝缘膜相互粘结成型,该方法的优点是成本低、工艺简单,缺点是粘结后需隔胶、间距尺寸控制难度稍大、生产速度不太高。直接挤出法是将原材料通过专用模具直接挤出成型,该成型工艺生产效率很高,但模具结构复杂、不易制作,导体断线需停机重新穿线,故不被普及使用;薄膜层压法是将上、下粘性薄膜与中间导体通过包胶辊受压后,薄膜结合面的粘性流体发生错位后成型,该法穿线简单、成本较低,但薄膜要达到粘结温度需进行加热软化,该过程耗费时间,所以生产速度较低<sup>[5]</sup>,未来 FFC 成型法的发展趋势应该是介于两种成型法之间,即上述提到的第 4 种方法,如挤出法和层压法的结合、挤出法与粘结法的结合等,这样可以取长补短,大幅度提高机器工作效率并保证产品性能。

### 3.2 其他 FFC 制造设备

一条完整的 FFC 生产线还应具有其他一些必不可少的设备,国内 FFC 生产线设备大致相同,除了 FFC 成型机外,还包括:导体压延机、自动检测及画线喷码机、电测装置、线材自动裁切机、自动切断打折机、自动贴双面胶机等,其他的主要 FFC 制造设备如下:

(1)FFC 导体压延机。主要功能是将镀锡铜线经可调辊筒压成指定宽度的扁平导体。机器主要由辊筒、辊距调节装置、辊温调节装置、检测装置、自动收线机构、退火装置及控制系统等组成<sup>[6]</sup>。工作原理为:导体整卷置于放线架之上,通过中间轮送入高温辊筒进行压延,辊筒温度和间距均可通过电脑时刻调整,压平的导体需经过退火装置消除内应力、稳定尺寸,导体由收线机构自动收线,其间距位置由电脑控制并在线调整。

苏州和德机电设备公司研制的 HD/HDC-A3 型导体压延机,压延轮采用进口合金制造,外径 106 mm,持久耐用,压延速度最高可达 250 m/min,压延精度最高为  $\pm 0.05$  mm;导体可双头自动换卷;采用日本泷川激光测径仪测定,宽度可自动调整,并恒电压恒电流退火,所生产的导体质量优于大部分日本进口产品。

(2)FFC 自动检测及喷码画线机。研究者将导体间距尺寸检测、补强板画线、喷码 3 道工序在同一台机器上完成,由于 FFC 设备大多是非标设备,且各公司工艺过程不尽相同,有不少公司会将这 3 道工序放在两台或 3 台不同机器上进行。导体间距尺寸检测即

FFC 生产过程中的检边工序,一般通过 CCD 镜头获取图像进行分析判断;画线与喷码工序在 FFC 的生产工艺中也有讲述。

苏州市金松精密电子公司发明的 FFC 排线尺寸自动检测及画线喷码装置包括了输送单元、检测单元、喷码画线单元及计算机控制单元,工作时,FFC 排线置于放线架上,穿过固定可调轨道输送,当排线上的裸露导体被传感器感应时,伺服电机控制滚轮带动排线送到指定位置,此时在照明光源的作用下,CCD 摄像头获取 FFC 图像数据并送入主机进行分析得出结果,并将结果与预设值进行比较,如不合格会触发警报提醒工作人员进行排查,若合格则会输出另一个信号传至自动喷码装置中,然后进行精准喷码及画线<sup>[7]</sup>。

(3)打折机。打折机完成 FFC 生产工艺中外形加工的一部分,线身的打折主要为了便于安装以及减少线材与其他元件之间的接触,现代电子器件内部结构复杂多变,FFC 的折后安装在很多情况下已必不可少。在此介绍东莞市锐升电线电缆有限公司研发的 FFC 自动打折机。

FFC 由上、下包胶滚轮压紧后带动前进;由于 FFC 的柔软性,机器上设有可调的限位机构保证其平稳准确地前进;线身的打折通过上、下冲压模具配合完成,冲压模具由气缸驱动;下冲压模具的底面根据 FFC 材料所需设定的折痕数量及方向来设置若干上冲压模具<sup>[8]</sup>。其工作原理:首先传感器感应到 FFC 的裸露导体后输出信号给牵引机构,滚轮带动线材前进并定位,接着上冲压模具在气缸带动下对 FFC 材料加工出折痕,最后气缸迅速复位以等待下一次折线。机器后侧可连接一裁切装置,形成对 FFC 完整的裁折工艺。该机器可以轻松实现对 FFC 的打折,且不会对 FFC 中的导体造成不良影响,保证产品质量,同时大幅度提高了 FFC 的外形加工效率。

## 4 FFC 生产存在的问题

FFC 在未来市场将会有很大的发展,它是一个朝阳行业,前景诱人。但是,在我国的发展还面临着一些问题:

(1)原材料价格上涨幅度大。近几年,材料成本的上漲已经较大地影响到 FFC 连接器行业的利润率,增加了企业的生产成本,加大了仓库存管难度。而 FFC 原材料在国内的生产技术并不理想,如绝缘胶膜,很多企业想要生产高端 FFC 的话,大多数原料需要进口,这让控制材料成本难度变得更大。而提高销售价

格又会使企业在市场竞争中难以生存,一些企业冒着牺牲产品质量为代价来保证销量,这会对 FFC 行业带来不利影响。我国生产 FFC 的企业只有通过提高生产效率、加强成本管理、加大 FFC 原材料国产化或者寻找新型材料等手段才能避免原材料依赖进口所造成的价格波动大的风险。

(2)技术研发不足。我国的 FFC 生产企业严重缺乏先进的生产技术,技术创新投入明显不够,FFC 行业中技术含量低的企业将面临发展危机。FFC 生产技术的最大难点就是压合成型,它限制了机器的生产速度,而高端产品对于成型技术的要求更苛刻。目前国内 FFC 成型技术所能达到的速度不超过 7 m/min,最小引脚导体间距在 0.25 mm 左右(且不是大批量生产),落后的生产技术还导致产品的废品率高。我国生产 FFC 的企业应该抓紧时间寻求新的生产技术突破,加大产学研的合作力度,提高产品的技术水平。

(3)FFC 生产设备的自动化程度低。目前的 FFC 生产设备是由不同功能的单机组成,单机之间基本上依靠人工搬运物料,有些工艺还需要大量的人工操作,如打折、包装、划线等工艺,劳动强度大,生产难以管理,严重影响生产效率和产品质量的稳定性。FFC 生产企业在提高单机设备技术的基础上,应该加紧生产设备的自动化流水线的研发,一些关键地方通过机器人实现生产流水线的自动化,把以人工操作为主的密集型工艺由机器完成,提高生产效率,稳定产品质量。

(4)FFC 的功能过于单一。目前,在电子产品中 FFC 仅有连接作用,功能过于单一,不像 FPC 那样可以在上面布置元器件,并实现多层设计,这会给 FFC 行业拓展市场带来阻碍,影响 FFC 的进一步应用。FFC 具有许多优点,研究者要在此基础上拓宽其应用范围、增加功能。

## 5 FFC 的未来发展趋势

(1)体积更小、质量更轻。为适应未来电子产品薄、轻、微小的特点,FFC 将需要 30  $\mu\text{m}$  以下更薄的胶膜及导体,以大大减轻产品质量。美国 Molex 公司曾在 2012 年的 Premo-Flex FFC 扁平柔性电缆系列中推出超薄、超灵活的 0.12 mm 电缆,其导体厚度做到了 0.03 mm 以下<sup>[9]</sup>。

(2)引脚间距更密集<sup>[10]</sup>、高度更小。为提高电缆的灵活性以及保证其在微型产品中的信号传输质量,

一些企业在研究更加高密集成的 FFC。国外的制造商已经能够加工导体间距尺寸低于 0.25 mm 的高难度 FFC,国内能做到的企业很少。

(3)提高 FFC 的阻抗控制。阻抗是电缆传输的重要参数之一<sup>[11]</sup>,材料选择以及加工技巧都对产品的阻抗起着关键作用,为减少信号反射及提高传输效率,必须控制阻抗,以达到阻抗匹配。

(4)FFC 材料的改进。FFC 一般工作温度在 105 ℃ 以下,未来 FFC 绝缘膜可能采用液晶聚合物等更耐高温的材质,使其可以在更恶劣的环境下使用。

(5)手机市场。手机市场如此之大,而目前智能手机已经普及,超薄的机身、清晰的触摸屏、高速稳定的信号连接都将让 FFC 进一步渗入手机领域,滑盖手机的频繁滑移要求耐折弯次数达 20 万次~40 万次,FFC 将能担当此任。

(6)LCD 应用产品。目前 FFC 在 LCD(液晶显示器)产品中已有不少应用,该类高端产品对技术要求很高,如产品的平整度,而 FFC 相比 wire hardness 等其他连接线,不仅大幅度降低了成本,而且使整体机构轻量化,信号传输稳定,符合 LCD 产品技术需求。相信未来 FFC 在该领域将会有举足轻重的地位。

(7)基于中国广阔的 FFC 市场,以及大批投资商在国内纷纷兴起,目前中国已成为 FFC 出口大国,美国惠普、泰国泰金宝、巴西伟创力、台湾富士康等多个国家地区均从中国进口 FFC,预测未来三年内:中国 FFC 产量将位于世界前三;技术接近世界先进水平;逐步成为世界数一数二的 FFC 出口型国家。

## 6 结束语

FFC 软线具有体积小、厚度薄、连接简单和柔软性好等特点,作为重要的连接电缆已经广泛应用于现代

电子产品中。随着电子技术的发展,人们对 FFC 软线提出了体积更小、引脚间距更密集、阻抗匹配、适应更恶劣环境以及多功能化等新要求。FFC 生产企业应该加大 FFC 原材料国产化,减少主要材料依赖进口的局面,加大产学研的研发力度,提高产品的技术水平,加紧生产设备的自动化流水线的研究,提高生产效率和产品质量。

## 参考文献(References):

- [1] 范蜀晋. FFC 的开发及其在汽车上的应用[J]. 汽车与配件,1996(18):18-21.
- [2] 高 枫. 国外 PET 聚酯技术现状与进展[J]. 国外塑料,2010,28(8):54-57.
- [3] 徐 英,赵锡钧. 扁平电缆装配工艺设计技术及应用[J]. 电子工艺技术,2008,29(5):276-277.
- [4] 陈 慧. 浅谈机柜布线设计及扁平电缆的制作[J]. 电子工艺技术,1993(6):12-16.
- [5] 赵炳坤. 扁平电缆成型法[J]. 光线与电缆及其应用技术,1990(4):16-20.
- [6] 龚德良. 导体压延机:中国,201220201783.6[P]. 2012-05-08.
- [7] 李 青,纪明昌. 一种 FFC 排线尺寸自动检测和喷码画线装置:中国,201210193696.5[P]. 2012-06-13.
- [8] 何盛峰. 一种对 FFC 材料进行折痕加工的方法及实施该方法的打折机:中国,201010610371.3[P]. 2010-12-23.
- [9] 佚 名. Premo-Flex:FFC 跳线[J]. 世界电子元器件,2012(7):38.
- [10] 丛秋波. Molex 谈连接器的挑战与发展及其中国策略[J]. 电子设计技术,2012(2):22-24.
- [11] 窦月梅. 射频同轴电缆阻抗及其测试方法研究应用[J]. 现代传输,2010(3):56-58.

[编辑:李 辉]

### 本文引用格式:

李 革,王益君. FFC 软线的技术应用及发展[J]. 机电工程,2015,32(1):21-26.

LI Ge, WANG Yi-jun. Technology application and development of FFC flexible wire[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015,32(1):21-26.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>