

QRP 电台制作技术

荣新华

业余无线电制作是业余无线电活动的重要组成部分，其主要内容是自制电台收发信机和电台附属设备（如天线调谐器、驻波功率表、电源、高频信号源、陷波表、自动键、高频功率放大器等）。我们前面已经介绍了几个电台附属设备的制作（如 2002 年 6 月本刊《QRP 电台简易附属设备制作》），本文主要介绍 QRP 电台制作技术。

我们所谓的 QRP 电台制作，一般是指工作频率不超过 30MHz、输出功率不超过 5W 的小功率业余电台设备的制作。这种类型的电台制作对工艺的要求并不高，只要元件选择恰当，仔细一些，成功率还是比较高的。

制作方法与基本工艺

电路制作的传统方法是使用印刷电路板（PCB）。如果自己用 PROTEL 或 ORCAD 等软件设计后再送交电路板厂定做，至少每次要花费 30—50 元。目前市场上有一种感光电路板，少量做板比定做 PCB 便宜，精度也可满足一般高频电路的要求，值得推荐。

事实上除非做一个完整的机器，如果只是试验的话，完全可以在主要用于数字电路实验的通用电路板上进行。这种电路板一般只售 4—5 元一块，可以做几乎所有的 QRP 电路试验。作者曾经在这样的电路板上制作成功过一个 21MHz 1W 的电报发射机和一个 21MHz 的一次变频接收机。江西的爱好者 BD5IT 甚至制作了一个完整的双波段频率合成单边带收发信机，功率 15W/5W，并用这个机器通联了许多的电台。图 1 给出了该机器的频率合成、微处理器和单边带滤波器电路单元，更详细的内容可访问 <http://www.hellocq.net/forum/showthread.php?s=&threadid=15457>。当然，这种电路板的地线往往比较细长，因而不大适合做大功率或高频率的电路，另外，也必须注意这种电路板上导线之间的电容。元件布局和电路级间高频退耦都需要加以注意，否则高频自激是很容易发生的。

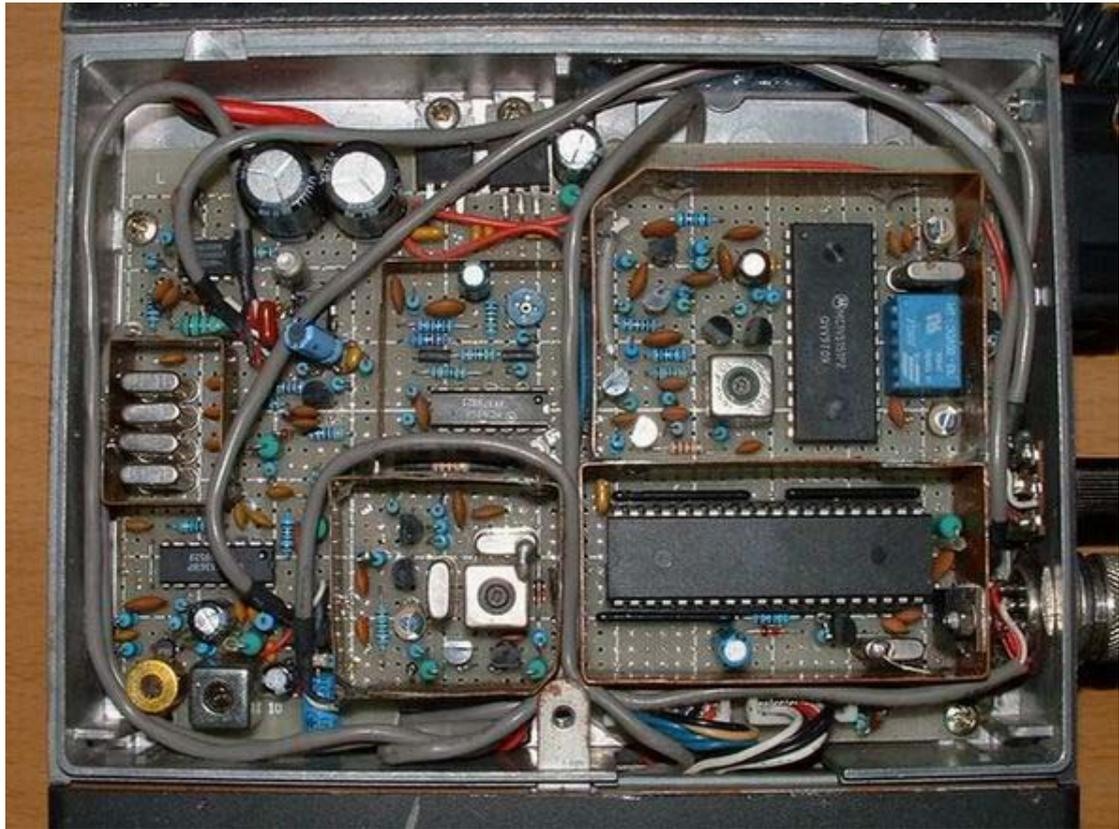


图 1 BD5IT 利用通用电路板搭焊的 SSB 收发机

另一类因地制宜的方法是利用单面或者双面敷铜板搭焊。这类方法虽然麻烦一些，但是由于可以利用整层铜箔作为地线，具有良好的高频性能。一种被称为“死虫”的制作方法最为简易，首先将敷铜板打光，涂上松香酒精溶液，晾干后备用。预先设计好元件的布局，尽可能模块化布局，模块之间最好成直线，避免信号通过空间耦合产生自激。然后以主要元件为中心进行焊接，一般三极管和集成电路等多脚的元件要首先引脚朝上（形如僵死的昆虫，故名）的粘于敷铜板上，所有接地的引脚可就近焊接于敷铜板上，其余引脚在空中搭焊，在必要的时候可以用热熔胶固定。每电路模块的电源可通过导线引入，电源入口处要做好高频退耦（比如，对地接 103 瓷片电容，或者电源线上串入高频扼流圈等），所有较长的信号线都用细的 50 欧姆同轴电缆（如 SYV-50-2 或者 RG-174）连接。为了加强机械强度，有人使用高阻值的电阻（比如，大于 3M 欧）作为支撑，将电阻一头焊于敷铜板上，另外一头作为电路连接点。由于高频电路中使用电阻的范围一般从 0—100K 欧，因此，这些高阻值的电阻不会对电路的偏置产生明显影响。另外有人采用贴“焊盘”的方法加强机械强度，这种方法在美国被称为“曼哈顿法”，非常流行。具体的方法是先将敷铜板打光，冲成或者割成许多毫米见方的圆形或者方形“焊盘”备用，用耐高温且不容易挥发的胶水粘于预先打光上好助焊剂的敷铜板上，作为电路连接点。这种方法中，集成电路最好用单面的通用电路板做个“子板”，将 IC 插座向外弯脚后表面焊接于子板上，然后将子板粘在敷铜板上。图 2 是美国著名 QRP 电台制作者 K7QO 亚当斯教授的作品，他运用“曼哈顿法”完成了整个 QRP 电台的制作。

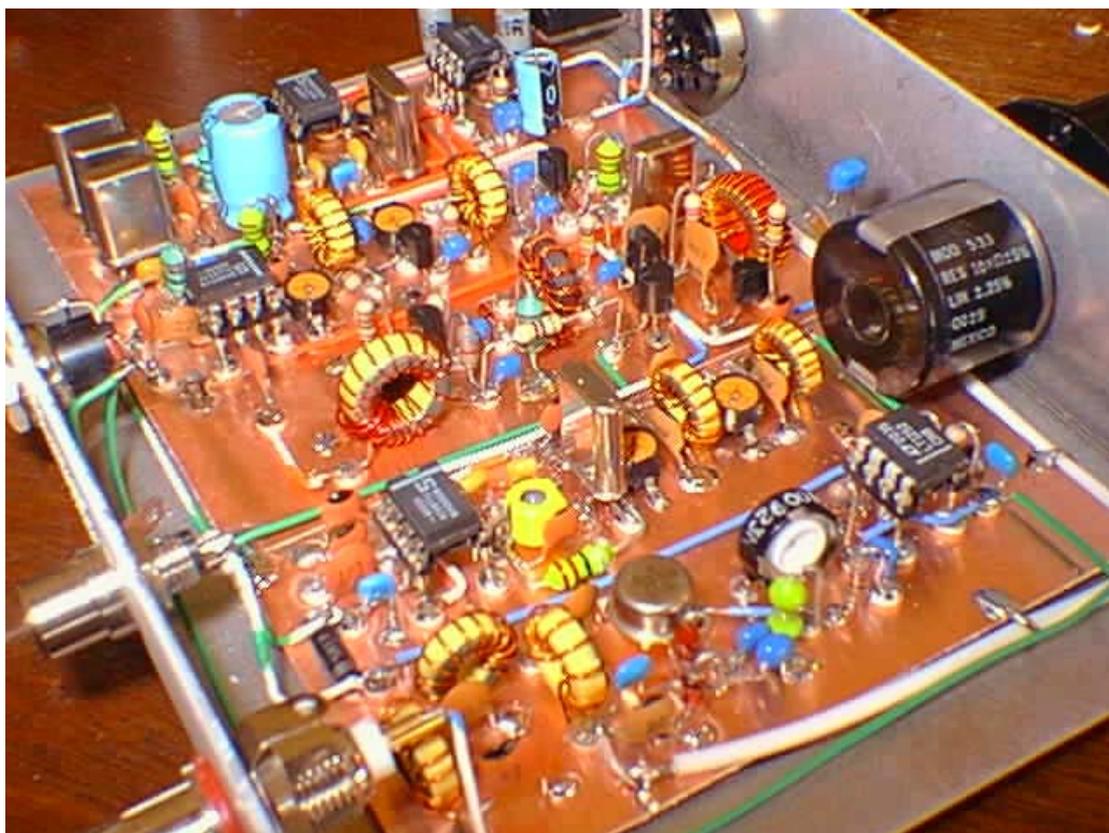


图 2 K7Q0 使用曼哈顿法制作的 10 米 QRP 机(Photo by K7Q0, Chuck Adams, Source: <http://www.qsl.net/k7qo/k7qo424.jpg>)

高频元件选择

对于小于 1000pF 的电容，一般来说应选择零温度系数的高频电容，如高频瓷片电容（CC）、云母电容（CY）、聚苯乙烯电容（CB）都是不错的选择。无引脚的片状电容或者贴片电容可减少引脚电感，更适合高频场合使用。

市场上的电阻状色环固定电感或泪珠状色点固定电感可作为小电流的高频扼流圈和不严格的谐振回路元件。在 QRP 制作中，100uH—470uH 的电感可作为大多数场合的小电流的高频扼流圈（只要不用在功率放大器末级都是可以接受的）。

选频线圈和中周如无现成的可用，推荐使用市场上的电视机 10K 型中周改制。只要保证电感量和匝数比，一般都能正常使用。

发射电路末级或推动级的高频扼流圈、宽带变压器等一般使用导磁率比较高的铁氧体磁环绕制。国外爱好者通常使用 FT 系列磁环，特别是-43 和-61 材料的，其导磁率分别是 850 和 125，一般可试用国产的 NX0-100 替代。传输线变压器对于磁环的要求不高，甚至使用开关电源里的低频磁环都可有很宽的频率使用范围。

发射输出的低通滤波器、本振的振荡线圈等可使用低导磁率的铁粉芯磁环绕制。国外爱好者通常使用 T 系列磁环，常用的-6 和-2 材料，其导磁率分别是 8 和 10，一般可用国产的 NX0-10 替代（严格说，NX0 系列磁芯材料并非铁粉芯，有的场合直接代换并不合适）。

高频用晶体管选择大概要考虑这么几条原则：1、选择至少两倍于电源电压的 V_{ce} 参数。2、晶体管在工作频率呈现的增益要恰当，过小的话，同样的输出功率需要较大的输入功率，过大的话容易自激。3、截止频率是晶体管的重要参数，应选择比工作频率高 5 到 10 倍的截

止频率。4、选择耗散功率比直流输入功率稍大的管子。经验表明，选择两倍的直流输入功率比较合适。

一般的电阻、退耦和耦合用的电容、电解电容等，实际使用值与标称值误差在正负 20% 都无问题。一般的小功率三极管，如 2N2222、2N3904、2N3906、2N4401、2SC1815 等，都可试用 901x 三极管替代。

CW 还是 SSB?

有的爱好者一开始就想做一台好用的多波段 SSB 收发信机，这是一个良好的愿望，但是未必容易实现。循序渐进的方法也许更好一点。从制作的难易程度上说，CW 机器要比 SSB 机器简单得多。从实用角度上说，CW 方式更适合于 QRP 电台通信。所以建议大家先做成 CW 机器，然后再考虑制作实用的 SSB 收发信机。

电路方案讨论

接收机电路方案可以是直接变频式、一次变频超外差式、两次或三次变频超外差式等。兼顾性能和可行性，一次变频电路方案是我们的推荐自制方案。

为了提高选择性，满足业余通信的要求，要在中频部分使用晶体滤波器或者类似特性的机械滤波器。成品的晶体滤波器性能良好，但是价格非常昂贵，其实使用 4—6 个廉价的二脚晶体，可如图 3 所示构成简易的滤波器（元件参数仅供参考）。晶体的参数很多，而且市场上出售的廉价的晶体参数不够一致，因此无法指望很容易制作一个指标很好的晶体滤波器，但是，经过精心的实际调试，可以做出可接受的效果。

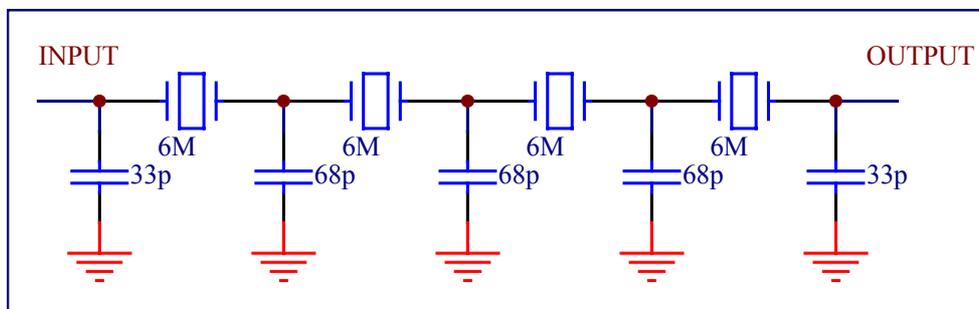


图 3 参考自制晶体滤波器电路

本振电路可以用可变晶体振荡器 (VXO)，电路简单，频率较稳定，可变频率范围从几 KHz 到几十 KHz。锁相环 (PLL) 频率合成是现代商品电台的技术，可以获得范围很宽，步进很小，频率很稳定的频率信号，但是电路比较复杂，造价也偏高，如果电路中使用单片机，处理不当还可能对接收电路产生干扰。现在还有一种称为 DDS 的频率合成芯片，比传统的 PLL 频率合成电路更简单，但是价格更昂贵，产生的频率信号的质量也不如 PLL 频率合成好。

接收前级高频放大电路的动态范围要大，否则很容易受临近的广播干扰。这种干扰信号往往是同频的，再好的中频滤波器也滤除不了。这种干扰信号一般是多阶互调产物，主要是三阶互调产物，产生于高频放大电路的非线性。大家知道，非线性的器件可以作混频、倍频等用途，假定我们接收的业余电台的频率是 7.050MHz，附近还有两个大功率的广播电台信号，频率分别是 7.150MHz 和 7.250MHz，高频放大器由于强信号的输入使其超出线性工作区，7.150 两倍频得到 14.300 的频率成分，然后又与 7.250 差频，得到 $14.300 - 7.250 = 7.050\text{MHz}$

的频率成分，这个频率成分就是干扰信号。为了改善前级动态，在商品的电台中，常常使用 I_{dss} 很大的场效应管作为高频放大管，例如常用的高放管 2SK125，其 I_{dss} 通常超过 100mA，而普通管子的 I_{dss} 在 10mA 左右。将天线输入信号适当衰减也可减轻这种干扰。

自动增益控制（AGC）功能是比较实用的，最直接的用途就是可以保护耳朵。AGC 功能说简单一点就是使强信号听起来不是那么响，使弱信号听起来不是那么轻。一般电路实现都是从低放或者中放部分取出一部分信号，转换成直流的控制信号，来控制高放和中放的增益。如果信号太强，就使增益减小一些，反之就增大一些。AGC 时间常数是指控制的反应速度，对于强信号来说，适合采用较长的时间常数，而对于弱信号适合较短的时间常数。

发射部分可以分为两个基本部分：发射信号产生部分和发射信号的放大部分。首先要把发射信号产生好。对于 CW 发射机，除了要使发射信号的频率稳定外，还要做好键控电路，如果做不好，发报时就会有开关声。如果电源滤波（包括低频和高频）没做好，还会产生交流声。对于 SSB 发射机，除了频率稳定，电源滤波良好外，特别要调好边带滤波器（一般和接收用的中频晶体滤波器复用），把不需要的一个边带很好抑制。用一个单边带收音机很容易检查边带滤波器的好坏，先听不需要的边带的抑制，把收音机切换边带，不改变接收频率，如果听起来无明显失真，而且强度较强，说明不需要的边带没有被很好抑制；然后听语音的音质，特别是有无音调普遍偏高或者偏低的问题，这两个问题都可调节差拍振荡器的频率解决。边带滤波器的带宽大小可通过晶体滤波器的对地电容调节，电容越大，带宽越小。一般的 SSB 滤波器带宽在 2.7-3kHz 为好。

对于一次变频的机器来说，发射信号需经混频获得，因此还要把不需要的混频产物滤除，一般需要用双调谐回路才能做好。

然后，要把产生的发射信号放大好。对于 CW 和 FM 等电路，放大器（包括缓冲、预放、推动、功放等）不用考虑失真问题，效率则是首要的，因此功放和推动电路经常使用丙类甚至丁类放大器。由这些非线性放大器产生的谐波可以通过输出低通滤波器滤除。对于 SSB 发射机，要注意每个放大器的线性，特别是推动和功放电路的工作状态，一般要工作在甲类或者甲乙类，丙类放大器的失真太大。

最后，输出滤波器很重要，它可以滤除谐波，使谐波抑制指标达到验机要求。输出滤波器一般都采用多级 π 形滤波器，在 QRP 发射机中，一般两级就基本够用，三级就能保证指标。