

电子实习指导书

杨云 编著

华东交通大学
电气与自动化学院
电子实习创新基地

目录

1. 电子实习介绍.....	1
1.1 课程考核.....	1
1.2 教学理念.....	1
1.3 学习方法.....	2
1.4 心理素质培养.....	2
1.5 实习任务介绍.....	2
1.5 实习教学日程安排表.....	3
1.6 制作策略.....	3
2. 安全知识.....	4
2.1 触电是从事电类工作时刻不能忘记的危险事件.....	4
2.2 接通电源前的检查.....	4
2.3 触电急救.....	4
2.4 烫伤处理.....	4
2.5 创伤处理.....	4
2.6 过敏处理.....	4
2.7 装焊操作安全规则.....	4
2.8 正确使用工具，养成良好的习惯.....	5
3. 基础知识.....	6
3.1 元器件识别.....	6
3.2 手工焊接工艺.....	8
4. 八路抢答器原理及制作.....	10
4.1 任务一：电源电路和秒脉冲产生电路.....	10
4.2 任务二：简易逻辑笔.....	11
4.3 任务三：减法计数器电路.....	13
4.4 任务四：抢答器基本电路.....	17
4.5 任务五：报警器电路.....	19
4.6 任务六：系统调试与检修.....	20
5. 整机装配实例.....	23
5.1 一款 753 型 FM / AM 收音机电路原理分析.....	23
5.2 收音机整机装配.....	24
5.3 收音机调试工艺.....	25
5.4 工艺文件要求.....	26
5.5 收音机装配常见问题.....	26
6. 印制电路板的设计与制作.....	29
6.1 印制电路板设计前的准备.....	29
6.2 印制电路板的排版设计.....	30
6.3 印刷电路板的制作工艺.....	34
7. 实习报告.....	39

7.1 写作大纲.....	39
7.2 写作要求.....	39
8. 实习后的延续工作.....	39
8.1 参考题目.....	39
8.2 设计制作步骤.....	39
8.3 设计调试手段.....	39
8.4 参考资料.....	39
8.5 联系方式.....	40
8.6 我的几点建议.....	40
9. 附录.....	41
9.1. 系统完整电路原理图	41
9.2. 系统参考布线图	42
9.3. 实习作品鉴赏	44
9.4. 蜂鸣器报警电路设计	45
9.5. 电子工艺文件实例	45

1. 电子实习介绍

电子实习是电气与电子类等相关专业重要的实践教学环节，使学生初步获得电子产品生产工艺的基本知识和基本操作技能，为技术基础课和专业课程的学习建立初步的感性认识并提高学生的工程实践能力。

电子工艺实习要求学生在工艺制作过程中严格执行工艺操作规范，能独立装配调试部件、整机及处理可能出现的简单故障；要求学生养成严谨的工作作风和创新意识；通过实习养成文明生产、遵守劳动纪律的习惯，增强学生的创新意识和知识运用能力。

在掌握生产操作的基本技能基础上，又能够站在工艺工程师和工艺管理人员的角度认识生产的全过程，充分了解工艺工作在电子产品制造过程中的重要地位。

1.1 课程考核

电子实习为必修课，时间一周，1个学分。

1.1.1 总评成绩

以五分制考核。缺课等于或多于 30%课程时间的，直接取消考核资格（无论报告或作品实现如何），实习成绩定为“不及格”。

表 1 课程目标达成途径及评价依据

课程目标	目标内容	达成途径	评价依据（目标分值/依据权重）					
			实验		平时表现		大作业	
目标 1	安全生产与元器件基础	课堂讲授、案例分析、实验	5	30%	5	70%		
目标 2	装配调试检修	课堂讲授、案例分析、实验、大作业	70	70%	70	10%	60	20%
目标 3	电路设计与线路板制作	课堂讲授、案例分析、实验、大作业	20	30%	20	10%	20	60%
目标 4	质量控制与工艺管理	课堂讲授、案例分析、实验、大作业	5	10%	5	10%	20	80%
课程总目标			100	65%	100	5%	100	30%

1.1.2 实习作品装配调试检修各部分分值

项目 (n)	装配、焊接工艺	秒信号电路	逻辑笔电路	计数器电路	时序控制电路	抢答器基本电路	报警器电路	整体调试	小计
分值 (x)	20	10	10	60	20	50	20	30	220

$$\text{实习作品成绩}_{(\text{百分制})} = \frac{\sum kX_n}{220} \times 100$$

其中：k 是完成情况，取值范围是 0~1，取值步长 = 0.1

1.1.3 总评成绩换算

实习总评成绩（百分制）	≥90	≥80	≥70	≥60	<60
实习总评成绩（五分制）	优	良	中	及格	不及格

1.2 教学理念

采用任务驱动法，通过制作一个实际的例子，熟练掌握电子系统的装配、焊接、制作方法，学习电路设计的基本知识，掌握电路系统的基本调试方法，达到一个对电子工艺、对动手能力、对电路设计方法的基本锻炼，为后续的学习实践起到一个入门的作用。

本次实习任务的安排，每一步都能得到一个阶段性的小成果，让你能体会其中的知识点和设计方法，逐步增强你的乐趣和成就感，以期能激发你的兴趣和求知欲望。

1.3 学习方法

从易到难，由简到繁，逐步深入；
在做中学，在学中做；边做边学，边学边做；理论和实践相结合。举一反三。

1.4 心理素质培养

- 1) 实习是了解自己的一种方法。
- 2) 态度决定一切，细节决定成败。
- 3) 电路系统是精确复杂的，每一步都需要小心谨慎对待。
- 4) 实习需要用“细心、耐心、恒心和爱心”四心来对待。
- 5) 制作过程中的疏漏和错误是难免的，切不可遇到挫折就轻言放弃。“不抛弃、不放弃”。
- 6) 冷静的情绪、仔细地检查、理解电路原理和必要判断逻辑及检修手段，是成功的必要条件。

1.5 实习任务介绍

1.5.1 选择制作八路抢答器的原因

- 1) 每一部分单独都能工作，能看到直观的实验效果；联合起来，又有更复杂的实验效果；
- 2) 数字电路工作原理容易理解，电路抗干扰能力强，制作较容易；低压电路非常安全。
- 3) 工作量适中；能充分实现电子实习的教学要求；可以迅速提高实践能力；
- 4) 是一个较完整的数字系统，包含了数字电路的组合逻辑，时序逻辑和振荡电路；

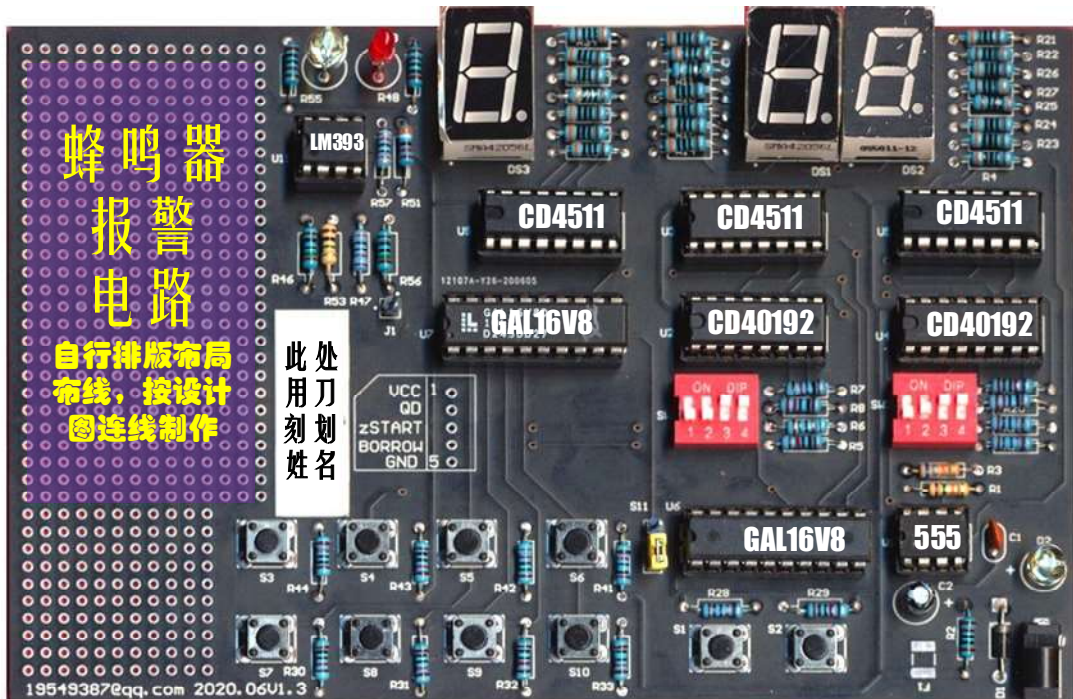


图 1 实习作品实物

1.5.2 系统组成

本系统由抢答基本电路、定时电路、控制电路和报警电路及电源电路组成。

1.5.3 系统框图

见图 2，图中每个矩形代表一个电路模块，各个模块之间的信号流程用带箭头的直线表示。

1.5.4 各部分功能及信号流程

(略) 请根据电路原理和实际工作功能提炼总结。

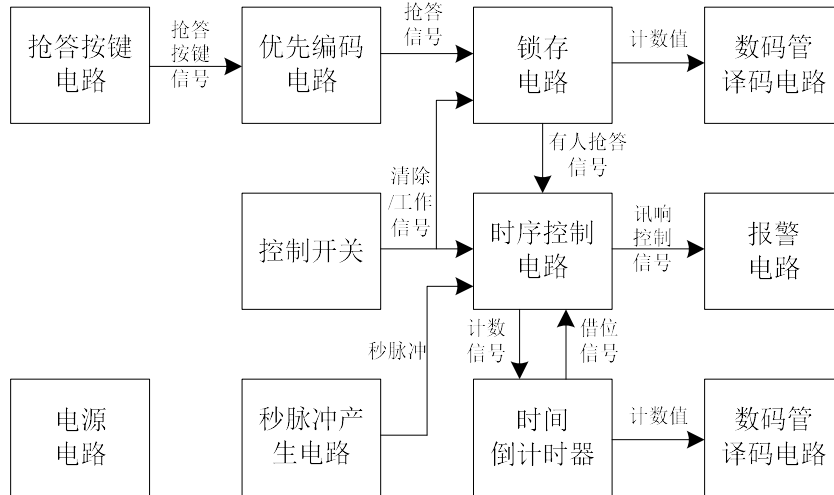


图 3 八路抢答器系统方框图

1.5 实习教学日程安排表

第 1 周	第 2 周	第 3 周	第 4 周	第 5 周	第 6 周	第 7 周	第 8 周	第 9 周	第 10 周
实习动员 安全教育 理论课	焊接练习	实习作品 装配 调试	实习作品 装配 调试	实习作品 装配 调试	实习作品 装配 调试； 实习作品 考核	线路板 设计； 实习作品 考核	线路板 设计； 实习作品 考核	编制质 量控制 与工艺 管理文 件； 实习作 品考核	编制质 量控制 与工艺 管理文 件； 实习作 品考核

注：*实习具体安排视学生完成作品情况做适当调整。

1.6 制作策略

1) 第一种策略。

稳扎稳打，步步为营，边做边调试，不仅能降低制作和调试的难度，还能仔细体会电路原理。这是一种逐步深入的方法，较容易成功，愉悦指数较高。

2) 第二种策略。

盲目整体推进，依样画葫芦，不去理解电路原理，待电路整体焊接完成，没有出现预期的结果时，再回过头来查找故障，谈何容易！这是一种冒进的方法，费时费力、还不容易成功，痛苦指数较高。制作过程中的各种各样的错误是难免的。接错线、漏接、甚至短路等问题，层出不穷。与其大海捞针，不如盆里捞针。

两种策略孰优孰劣，一目了然。

2. 安全知识

2.1 触电是从事电类工作时刻不能忘记的危险事件

触电对人体的伤害有电击、电伤两种。

电击是指电流通过人体内部，影响呼吸、心脏和神经系统，造成人体内部组织的损坏乃至死亡的触电事故；电伤是指电流对人体外部造成的局部伤害，如电弧烧伤。绝大部分触电事故是由电击造成的，通常所说的触电事故基本上是指电击。

没有人糊涂到用手去摸 220V 的电源插座或裸露电线。但实际上，由于存在各种不为人所注意的途径，还是有人触到了电源而产生电击。下面的几个例子就是在不引入注意的地方隐藏着危险。

- 1) **电源线破损。**经常使用的电器，如电烙铁、台灯等的塑料电源线，因无意中割伤或烙铁烫伤塑料绝缘而裸露金属导线，手碰该处就会引起触电。
- 2) **直接接触或用金属工具触碰实验台上空气开关压接导线端子。**
- 3) **电器设备的金属外壳如果带电**，操作者很容易触电，这种情况在电击事故中占很大比例。

2.2 接通电源前的检查

任何新的或搬运过的以及自己不了解的用电设备，不要冒失拿起插头就往电源上插，要记住“四查而后插”。四查为：

- 1) 一查电源线有无破损；
- 2) 二查插头有无外露金属或内部松动；
- 3) 三查电源线插头两极有无短路，同外壳(如果设备是金属外壳)有无通路；
- 4) 四查设备所需电压值是否与供电电压相符。

最简单的办法可用万用表测，用欧×1k 或欧 ×10k 档。在电源开关断开情况下，对于三芯插头，外壳只能同接地极连接。在电源开关断开情况下，其余两极之间及对外壳均不通。

2.3 触电急救

发生触电事故，千万不要惊慌失措，**必须用最快的速度使触电者脱离电源**。要记住：当触电者未脱离电源前本身就是带电体，同样会使抢救者触电。

- 1) 脱离电源最有效的措施是拉闸或拔出电源插头。在一时找不到或来不及找电源的情况下，可用绝缘物(如带绝缘柄的工具、木棒、塑料管等)移开或切断电源线。关键是一要快，二要不使自己触电，一两秒的迟缓都可能造成无可挽救的后果。
- 2) 脱离电源后如果病人呼吸、心跳尚存，应尽快送医院抢救；若心跳停止，应用人工心脏挤压法维持血液循环；若呼吸停止，应即刻施行口对口人工呼吸；若心跳、呼吸全停，则应同时采用上述二法，并向医院告急求救。

2.4 烫伤处理

发生烙铁烫伤，应立刻到卫生间用自来水持续流水过烫伤部位，待症状减轻后若有需要立刻去医院就医。

2.5 创伤处理

若被工具创伤，首先用布条胶带等或按压做止血处理，迅速去医院包扎，**若工具有锈蚀，需要主动告知医生，建议医生打破伤风针。**

2.6 过敏处理

有过敏史的同学，需要留意是否对松香等助焊剂或挥发性气体，或焊接材料等产生过敏现象，发生过敏，首先应脱离过敏源，服用脱敏药物，尽快就医。

2.7 装焊操作安全规则

- 1) 不要惊吓正在操作的人员，不要在车间打闹。
- 2) 烙铁头在没有确信脱离电源时，不能用手摸。
- 3) 烙铁头上多余的锡不要乱甩，特别是往身后甩危险很大。
- 4) 易燃品远离电烙铁。
- 5) 拆焊有弹性的元件时，不要离焊点太近，并使可能弹出焊锡的方向向外。
- 6) 插拔电烙铁等电器的电源插头时，要手拿插头，不要抓电源线。
- 7) 用螺丝刀拧

- 8) 紧螺钉时，另一只手不要握在螺丝刀刀口方向。
- 9) 用剪线钳剪断短小导线(例如印制板元件焊好后，去掉过长的引线)时，让导线飞出方向朝着工作台或空地，决不可向人或设备。
- 10) 工作间要讲究文明生产，文明工作，各种工具、设备摆放合理、整齐，不要乱摆、乱放，以免发生事故。

2.8 正确使用工具，养成良好的习惯

- 1) 烙铁在使用中或未冷却前，烙铁导线不缠绕、不覆盖、不经过烙铁头附近。
- 2) 结束工作前，提前拔下烙铁电源，待烙铁自然冷却后再收拾。禁止水冷，否则会发生触电、短路等事故。
- 3) 纯铜烙铁头发生氧化后会发黑，造成“不吃锡”现象，用锉刀打磨后，加热后在烙铁头上熔化少许焊锡可防止再次氧化。使用中擦拭松香、也可轻微擦拭钢丝清洁球清洁烙铁头。
- 4) 长寿烙铁头严禁用锉刀打磨。使用中擦拭松香、也可轻微擦拭钢丝清洁球清洁烙铁头。
- 5) 不敲打电烙铁。
- 6) 不用薄塑料袋装工具，容易发生破损丢失。

3. 基础知识

3.1 元器件识别

3.1.1 电阻

常见薄膜类，如碳膜，金属膜。线绕电阻，合成电阻，敏感电阻。

表 2 色环颜色和数字的对应关系

棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	黑	金	棕
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	±5%	±1%

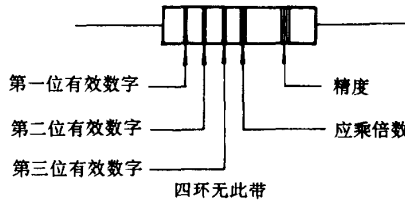


图 4 色环电阻识别方法

表 3 电阻标称值系列

E-6 (误差±20%)	1	-	1.5	-	2.2	-	3.3	-	4.7	-	6.8	-
E-12 (误差±10%)	1	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2
E-24 (误差±5%)	1	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.7	3
	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1
E-96 (误差±1%)	1	1.02	1.05	1.07	1.1	1.13	1.15	1.18	1.21	1.24	1.27	1.3
	1.33	1.37	1.4	1.43	1.47	1.5	1.54	1.58	1.62	1.65	1.69	1.74
	1.78	1.82	1.87	1.91	1.96	2	2.05	2.1	2.15	2.21	2.26	2.32
	2.37	2.43	2.49	2.55	2.61	2.67	2.74	2.8	2.87	2.94	3.01	3.09
	3.16	3.24	3.32	3.4	3.48	3.57	3.65	3.74	3.83	3.92	4.02	4.12
	4.22	4.32	4.42	4.53	4.64	4.75	4.87	4.99	5.11	5.23	5.36	5.49
	5.62	5.76	5.9	6.04	6.19	6.34	6.49	6.65	6.81	6.98	7.15	7.32
	7.5	7.68	7.87	8.06	8.25	8.45	8.66	8.87	9.09	9.31	9.53	9.76

3.1.2 电容

数码表示法较为常见。一般用三位数字来表示容量的大小，单位为 pF。前两位为有效数字，后一位表示位率。即乘以 10^i ， i 为第三位数字，若第三位为数字 9，则乘 10^{-1} 。如 223 代表 $22 \times 10^3 \text{pF} = 22000 \text{pF} = 0.22 \mu\text{F}$ ；又如 479 代表 $47 \times 10^{-1} \text{pF}$ 。

常见无机介质电容器可分为瓷介、云母、玻璃等。

常见有机介质电容器除传统的纸介、金属化纸介电容器外，涤纶、聚苯乙烯等均属此类。

常见电解电容有铝电解、钽电解、铌电解电容等。一般直接标识容值和电容器额定电压，如 $100 \mu\text{F}/16\text{V}$ 。

3.1.3 集成电路引脚顺序识别

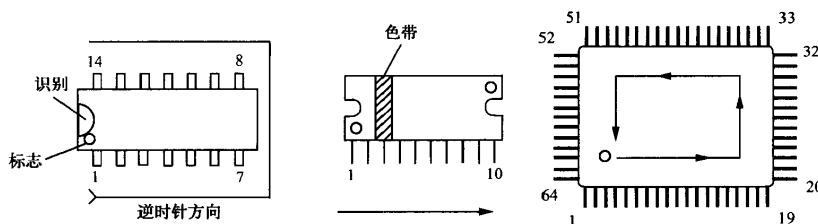


图 5 集成电路引脚顺序识别

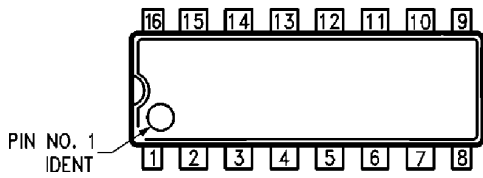


图 6 双列直插封装的集成电路引脚识别

引脚排列方式:

半圆形缺口边有小圆点处引脚为第一引脚, 引脚顺序按照逆时针方式排列;

数字集成电路电源端识别:

包括 74、54、4000 系列的数字芯片, 若为左图摆放, 左下角为 1 脚, 则左上角为电源正端, 右下角为电源负端。

注意: 在电路原理图中, 一般不再标注芯片的电源正、负端。焊接的时候, 不要遗忘了它! **一定要给芯片的电源端供电!**

3.1.4 元器件识别实例

<p style="text-align: center;">— — — — —</p> <p style="text-align: center;">碳膜电阻 (五环)</p>	<p style="text-align: center;">— — — —</p> <p style="text-align: center;">碳膜电阻 (四环)</p>	<p style="text-align: center;">— — — — —</p> <p style="text-align: center;">保险管 (0.5A)</p>
<p style="text-align: center;">— —</p> <p style="text-align: center;">瓷片电容 (无极性)</p>	<p style="text-align: center;">+ — — —</p> <p style="text-align: center;">铝电解电容 (有极性, 标志了负端)</p>	<p style="text-align: center;">— — — —</p> <p style="text-align: center;">蜂鸣器 (无源)</p>
<p style="text-align: center;">— — — —</p> <p style="text-align: center;">发光二极管 (有极性, 阳极长、阴极短)</p>	<p style="text-align: center;">— — — —</p> <p style="text-align: center;">普通二极管 (有极性, 有银环端是阴极)</p>	<p style="text-align: center;">数码管 (注意安装方向, 看小数点) 有共阳和共阴两种类型</p>
<p style="text-align: center;">集成电路 (注意型号及半圆形缺口)</p>	<p style="text-align: center;">集成电路 (注意型号及半圆形缺口)</p>	<p style="text-align: center;">集成电路插座 (注意半圆形缺口)</p>



3.2 手工焊接工艺

3.2.1 五步焊接法

3.2.1.1 准备施焊

准备好焊锡丝和烙铁。此时特别强调的施烙铁头部要保持干净，即可以沾上焊锡（俗称吃锡）。

3.2.1.2 加热焊件

将烙铁接触焊接点，注意首先要保持烙铁加热焊件各部分，例如印制板上引线和焊盘都使之受热，其次要注意让烙铁头的扁平部分（较大部分）接触热容量较大的焊件，烙铁头的侧面或边缘部分接触热容量较小的焊件，以保持焊件均匀受热。

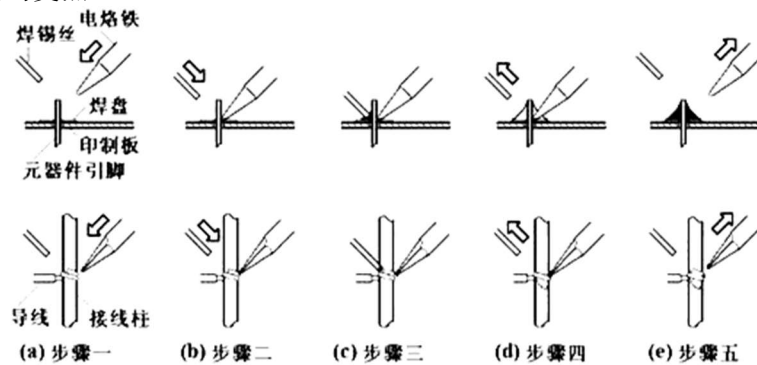


图 7 五步焊接法图示

3.2.1.3 熔化焊料

当焊件加热到能熔化焊料的温度后将焊丝置于焊点，焊料开始熔化并润湿焊点。

3.2.1.4 移开焊锡

当熔化一定量的焊锡后将焊锡丝移开。

3.2.1.5 移开烙铁

当焊锡完全润湿焊点后移开烙铁，注意移开烙铁的方向应该是大致 45° 的方向。

上述过程，对一般焊点而言大约二、三秒钟。对于热容量较小的焊点，例如印制电路板上的小焊盘，有时用三步法概括操作方法，即将上述步骤 2, 3 合为一步，4, 5 合为一步。实际上细微区分还是五步，所以五步法有普遍性，是掌握手工烙铁焊接的基本方法。特别是各步骤之间停留的时间，对保证焊接质量至关重要，只有通过实践才能逐步掌握。焊接时间不能过长，以免焊盘脱落。同时，烙铁温度要控制好，温度不够会造成松香焊或者虚焊，温度太高会造成焊点带尖。

3.2.2 焊点评价

所有的焊点都要有光泽，无毛刺，无拉尖，无空洞等。通常，物体和焊料之间有一个凹形弯月形的光滑外形。并且呈现出浸润的焊点，见图 10 中小于 45° 的图形。图 10 中大于 45° 的焊点均为不合格焊点。

图 12、图 13 都出现了搭接，均为不合格焊接。

3.2.3 焊接练习

在一块通用板上焊接 100 个电阻，其中 50 个卧式装配焊接，另 50 个立式。

电阻成型要求

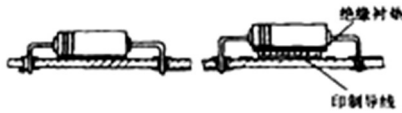


图 8 贴板安装

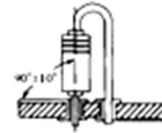


图 9 垂直安装

必须注意两点：

(1) 引线弯曲的最小半径不得小于引线直径的 2 倍，不能“打死弯”。

(2) 引线弯曲处距离元器件本体至少在 2mm 以上，绝对不能从引线的根部开始弯折。对于那些容易崩裂的玻璃封装的元器件，引线成型时尤其要注意这一点。

要求合格率大于 80%。合格的焊接技术是制作电路系统的基本功。焊接不合格，就失去了作品成功的基础。所以一定要苦练焊接技术。

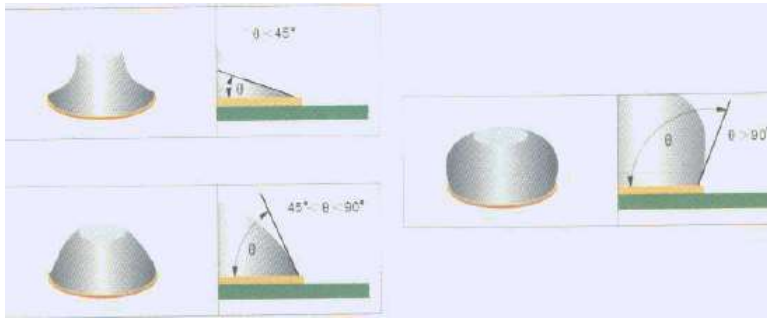


图 10 合格焊点（小于 45° ）和不合格焊点（大于 45° ）的浸润角



图 11 合格焊点照片



图 12 引脚与走线搭接（为不合格焊接）

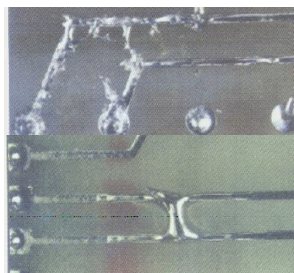


图 13 焊锡搭接（为不合格焊接）

图 14 焊点与焊盘搭接

3.2.4 多股导线镀锡处理（难点）

导线处理三个步骤：剥绝缘皮、绞合、镀锡。

1) 剥导线头的绝缘皮不要伤线

剥导线头的绝缘皮最好用剥皮钳，根据导线直径选择合适的槽口，防止导线在钳口处损伤或有少数导线断掉，要保持多股导线内所有铜线完好无损。用其它工具(剪刀、斜嘴钳、自制工具等)剥绝缘皮时，更应注意上述问题。

2) 多股导线一定要很好地绞合在一起

剥好的导线一定要将其绞合在一起，否则在镀锡时就会散乱，容易造成电气故障。为了保持导线清洁，及焊锡容易浸润，续合时，最好是手不要直接接触及导线。可捏紧已剥断而没有全剥落的绝缘皮进行绞合，绞合时旋转角一般约在 $30^\circ \sim 40^\circ$ 。旋转方向应与原线芯旋转方向一致。见图。绞合完成后，再将绝缘皮剥掉。

3) 涂焊剂镀锡要留有余地

通常镀锡前要将导线蘸松香水，有时也将导线放在有松香的木板上用烙铁给导线上一层焊剂，同时也镀上焊锡，要注意，不要让锡浸入到绝缘皮中，最好在绝缘皮前留 $1 \sim 3\text{mm}$ 间隔使之没有锡。如图所示。这样对穿套管是很有利的。同时也便于检查导线有无断股，以及保证绝缘皮端部整齐。

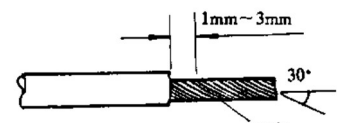


图 15 多股导线镀锡

4. 八路抢答器原理及制作

4.1 任务一：电源电路和秒脉冲产生电路

4.1.1 电路图中的一些基本常识

元器件标号：图中 D1、D2、R1、R2、U1 等均为元器件的标号。

元器件型号规格：图中 1N4001、555、15K 等均为元器件型号、规格。

网络标号：图中线上的 DP、Second、以及 VCC、GND 均为网络标号，凡是网络标号相同的，在电气上都是连接的。

4.1.2 电源电路

图 16 中二极管 D1 是为了防止电源极性接反造成电路损坏而设，保险管 F1 起短路保护，电阻 R2 和发光二极管 D2 组成电源指示电路。电路中 VCC 和 GND 供给整个电路工作电源。电压值为三节电池串联电压值。

4.1.3 秒脉冲产生电路

555 集成电路，接成多谐振荡器形式（图 16），电路通电即能产生振荡信号。图中电阻 R1、R3 和电解电容 C2 决定了电路振荡频率，按图中参数设计，振荡频率约为 1 秒。“秒脉冲”从 555 集成电路的 3 脚输出，并通过 R4 与数码管的小数点（实质也是发光二极管）串联后接地，组成“秒信号”显示电路，每秒钟闪烁一次。

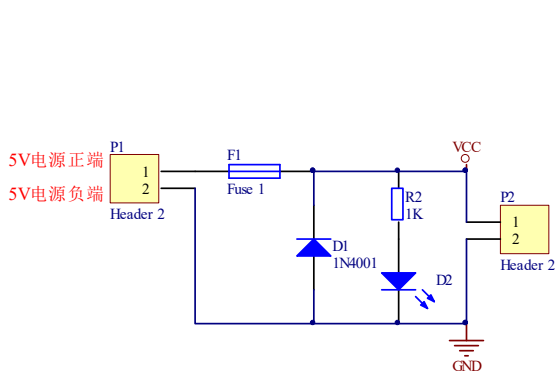


图 16 电源电路图

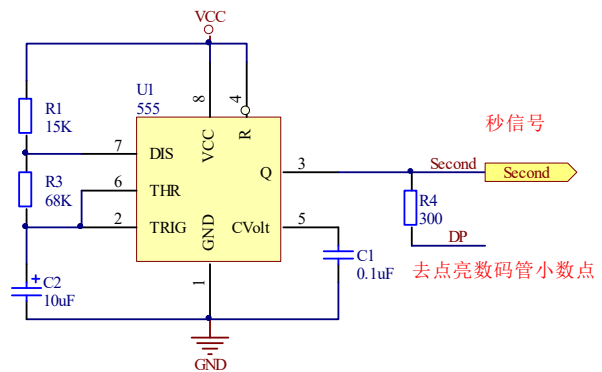


图 17 秒信号发生器电路图

4.1.4 555 集成电路组成的多谐振荡器原理

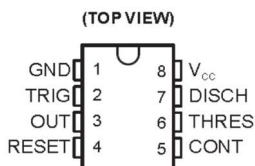


图 18 555 集成电路引脚排列

表 4 555 电路功能表

RESET	TRIGGER VOLTAGE ⁽¹⁾	THRESHOLD VOLTAGE ⁽¹⁾	OUTPUT	DISCHARGE SWITCH
Low	Irrelevant	Irrelevant	Low	On
High	<1/3 V _{CC}	Irrelevant	High	Off
High	>1/3 V _{CC}	>2/3 V _{CC}	Low	On
High	>1/3 V _{CC}	<2/3 V _{CC}	As previously established	

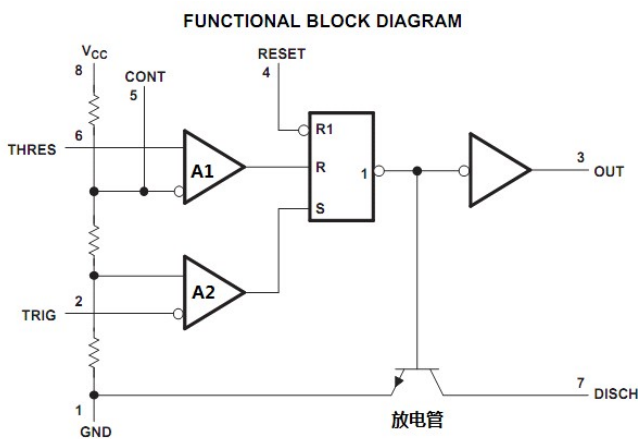


图 19 555 集成电路内部结构框图

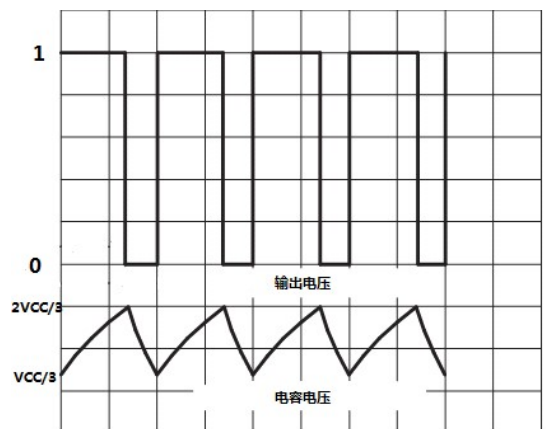


图 20 多谐振荡器产生振荡原理

电路产生振荡原理:

电路原理图(图 166), 芯片内部结构图 (图 19), 芯片功能 (表 4), 电容电压与芯片输出之间的关系 (图 20)。

- 1) 接通电源后, 电源电压 (V_{CC}) 经 R_1 、 R_3 给电容 C_2 充电。由于电容上电压 (V_C) 不能突变, 电源刚接通时 $V_C < V_{CC} / 3$, 所以 555 内部比较器 A1 输出低电平, A2 输出高电平, 即 $R=0$ 、 $S=1$, 基本 RS 触发器置位, 芯片输出端 Q 为高电平 ($=1$)。此时内部放电管基极 ($/Q$) 为低电平, 放电管截止 (7 脚与 1 脚近似开路)。
- 2) 当 V_C 上升到大于 $V_{CC} / 3$ 时, $R=0$ 、 $S=0$, 基本 RS 触发器状态不变, 即输出端 Q 仍为高电平, 当 V_C 上升到略大于 $2V_{CC} / 3$ 时, $R=1$ 、 $S=0$, 基本 RS 触发器复位, 芯片输出端 Q 为低电平。此时内部放电管基极 ($/Q$) 为高电平, 使内部放电管饱和导通 (7 脚与 1 脚近似短路)。于是电容 C_2 经 R_3 和内部放电管放电, V_C 按指数规律减小。
- 3) 当 V_C 下降略小于 $V_{CC} / 3$ 时, 内部比较器 A1 输出低电平, A2 输出高电平, 即 $R=0$, $S=1$, 基本 RS 触发器置位, 芯片输出端为高电平 ($Q=1$), 内部放电管截止。于是 C_2 结束放电并重新开始充电。如此循环不止, 输出端就得到一系列矩形脉冲。

4.1.5 电源电路和秒脉冲发生器电路制作

注意事项:

- 1) 集成电路方向和引脚顺序; 数码管方向 (小数点位置)。
- 2) 电解电容 (标有负号) 和发光二极管 (长引脚是阳极) 的极性不要搞错。

表 5 任务一的元器件清单

序号	标号	名称	参数	数量
1		电源插座		1
2	F1	保险管	0.5A	1
3	D1	普通二极管	1N4001	1
4	D2	发光二极管	$\phi 3\text{mm}$ 绿色	1
5	R1	电阻	15K Ω	1
6	R3	电阻	68K Ω	1
7	R4	电阻	300 Ω	1
8	R2	电阻	1K Ω	1
9	C2	铝电解电容	10 $\mu\text{F}/16\text{V}$	1
10	C1	瓷片电容	0.1 μF	1
11	U1	集成电路	NE555	1
12		集成电路插座	8 脚	1
13	DS2	数码管	共阴 1 位	1
14		万能板	10 \times 12	1

4.2 任务二: 简易逻辑笔

4.1.2 数字电路和逻辑电平

数字电路是以二进制逻辑代数为数学基础, 使用二进制数字信号, 既能进行算术运算又能方便地进行逻辑运算 (与、或、非、判断、比较、处理等), 因此极其适合于运算、比较、存储、传输、控制、决策等应用。

数字电路中研究的主要问题是输出信号的状态 (“0” 或 “1”) 和输入信号 (“0” 或 “1”) 之间的逻辑关系, 即电路的逻辑功能。在正逻辑下, “0” 是低电平, “1” 是高电平。

要了解逻辑电平的内容, 首先要知道以下几个概念的含义:

- 1) **输入高电平 (V_{IH}):** 保证逻辑门的输入为高电平时所允许的最小输入高电平, 当输入电平高于 V_{IH} 时, 则认为输入电平为高电平。
- 2) **输入低电平 (V_{IL}):** 保证逻辑门的输入为低电平时所允许的最大输入低电平, 当输入电平低于 V_{IL} 时, 则认为输入电平为低电平。
- 3) **输出高电平 (V_{OH}):** 保证逻辑门的输出为高电平时的输出电平的最小值, 逻辑门的输出为高电平时的电平值都必须大于此 V_{OH} 。
- 4) **输出低电平 (V_{OL}):** 保证逻辑门的输出为低电平时的输出电平的极大值, 逻辑门的输出为低电平时的电平值都必须小于此 V_{OL} 。
- 5) **阈值电平 (V_{TH}):** 数字电路芯片都存在一个阈值电平, 就是电路刚刚勉强能翻转动作时的电平。它是一个介于 V_{IL} 、 V_{IH} 之间的电压值, 对于 CMOS 电路的阈值电平, 基本上是二分之一的电源电压值, 但要保证稳定的输出, 则必须要求 **输入高电平 $> V_{IH}$, 输入低电平 $< V_{IL}$** 。

对于一般的逻辑电平，以上参数的关系如下： $V_{OH} > V_{IH} > V_{TH} > V_{IL} > V_{OL}$ 。

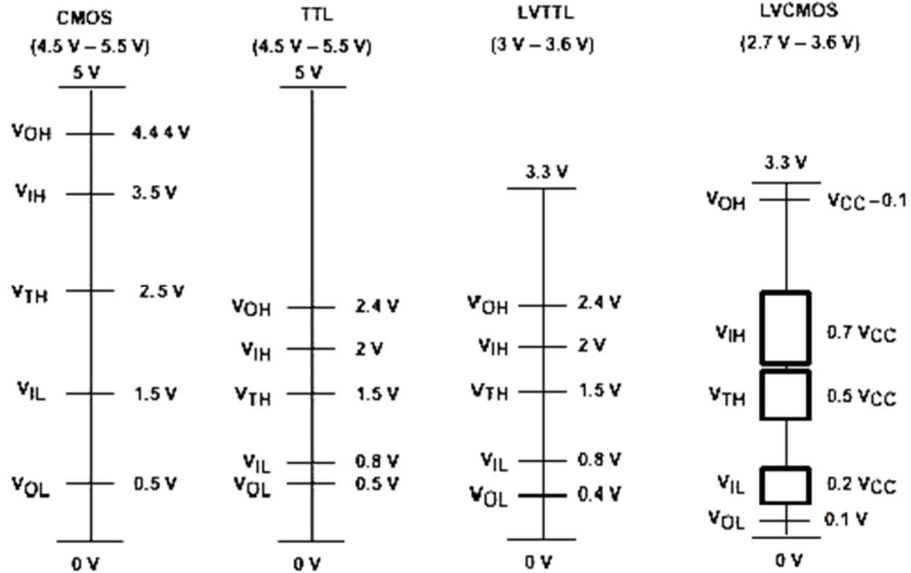


图 21 逻辑电平比较

4.1.2 简易逻辑笔功能

逻辑笔用来检测电路中各信号的逻辑电平。根据 CMOS 电平的特点，设计了图 23 的简易逻辑笔电路。它是整个实习期间最有用的检修工具。因此必须确保它可靠、正确。

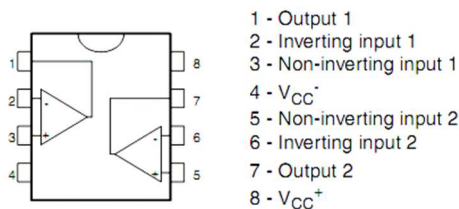


图 22 LM393 电压比较器引脚图

电压比较器的功能：

比较器的功能类似天平。比较器是将一个模拟电压信号与一个基准电压相比较的电路。比较器的两路输入为模拟信号，输出则为二进制信号。

比较两个电压的大小(用输出电压的高或低电平，表示两个输入电压的大小关系)：

- 1) 当“+”输入端电压高于“-”输入端时，电压比较器输出为高电平（VCC+）；
- 2) 当“+”输入端电压低于“-”输入端时，电压比较器输出为低电平（VCC-）；

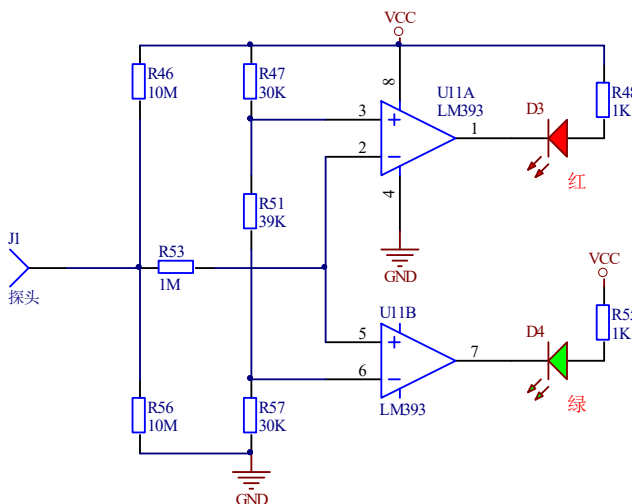


图 23 简易逻辑笔电路图

表 6 逻辑笔功能

输入	输出	
	D3	D4
J1	灭	亮
低电平 ($<$ 电源电压的 30%)	灭	亮
高电平 ($>$ 电源电压的 70%)	亮	灭
高阻	灭	灭

4.1.3 电路原理

电压比较器 LM393 含两个电压比较器，用其中一个电压比较器来检测高电平，另一个用来检测低电平。这两部分的输出直接驱动相应的发光二极管。比较器功能如上所述。

- 1) 电路原理图（图 23）。图中探头 J1 用来连接被测点进行逻辑电平测试。当 J1 悬空时，J1 处电平是由电阻 R46 和 R56 分压，经过限流电阻 R53 接到两个比较器的输入端（U11A 的“-”端和 U11B 的“+”端）；电阻 R47、R51、R57 组成串联分压电路，VCC 到 GND 两端的电压根据电阻大小分担到

三个电阻上。U11 的 3 脚电压约等于 70% 的电源电压，U11 的 6 脚电压约等于 30% 的电源电压。

- 2) 若 J1 悬空, $V_2=V_5=50\%V_{CC}$, $U_{11A}(+) > U_{11A}(-)$, 1 脚输出高电平, R48 和 D3 组成的指示电路截止, “高电平” 指示灯 D3 不亮; 同理, 7 脚输出高电平, R55 和 D4 组成的指示电路也截止, “低电平” 指示灯 D4 不亮。
- 3) 若 J1 测试点处电压值大于 $70\%V_{CC}$ 电压, $U_{11A}(+) < U_{11A}(-)$, U11A 的 1 脚输出低电平 (V_{CC-}), R48 和 D3 组成的指示电路导通, “高电平” 指示灯 D3 亮; 同时, $U_{11B}(+) > U_{11B}(-)$, 7 脚输出高电平, R55 和 D4 组成的指示电路截止, “低电平” 指示灯 D4 不亮。
- 4) 若 J1 测试点处电压值小于 $30\%V_{CC}$ 电压, 仿照以上分析方法, 可知高电平指示灯 D3 灭, 低电平指示灯 D4 亮。

总结以上分析, 简易逻辑笔的功能如表 6 所示。

在此电路基础上, 加一个单稳态触发器就可以组成检测脉冲信号的电路。这部分电路自行设计完成。

4.1.4 注意事项

- 1) 发光二极管极性 (长脚是阳极, 短脚是阴极);
- 2) **正确读取电阻阻值**, 可进一步用万用表欧姆档位测试电阻值;
- 3) J1 为一适当长度的多股导线, 一端焊接在 J1 处, 另一端焊接一个硬的引脚, 作为测试用的探针。
- 4) 注意在整块板上占用的位置。
- 5) 制作好之后目测连线是否正确, 通电, 用 J1 测试电源 VCC 和 GND, 看发光二极管点亮是否正常。

表 7 任务二的元器件清单

序号	标号*	名称	参数	数量
1		电阻	10MΩ	2
2		电阻	30KΩ	2
3		电阻	1KΩ	2
4		电阻	39KΩ	1
5		电阻	1MΩ	1
6		发光二极管	红色	1
7		发光二极管	绿色	1
8		集成电路	LM393	1
9		探头	10CM 导线	1
10		万能板	10×12	1
11		芯片插座	8 脚	1

*注: 读原理图, 在表中填写元器件标号。

4.3 任务三: 减法计数器电路

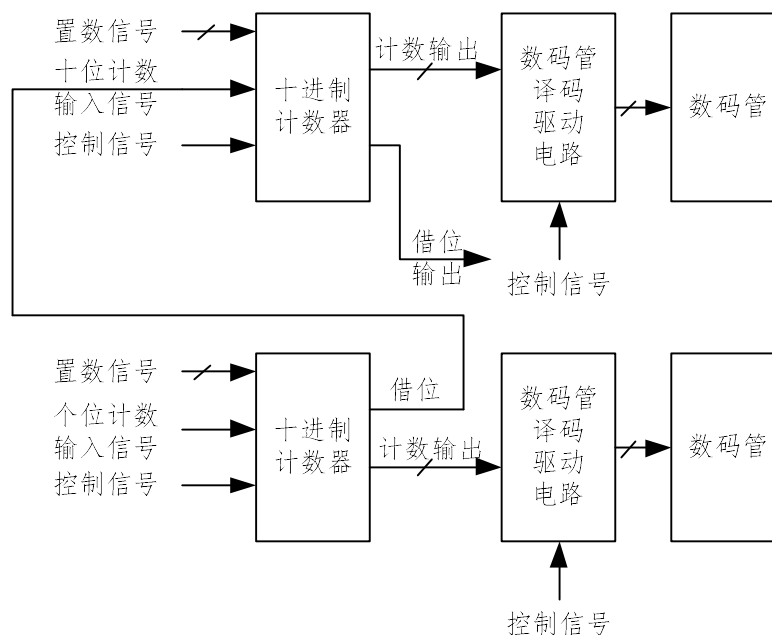


图 24 两位数的减法计数器原理框图

个位计数器对秒信号计数, 其产生的借位信号送到高位计数器的计数端计数, 计数值经数码管译码驱动电路点亮数码管。

控制信号控制计数器, 使其可以工作在设置预置数状态或正常计数状态; 控制数码管译码电路, 可以使

其锁定显示数值。

4.3.1 数码管显示原理

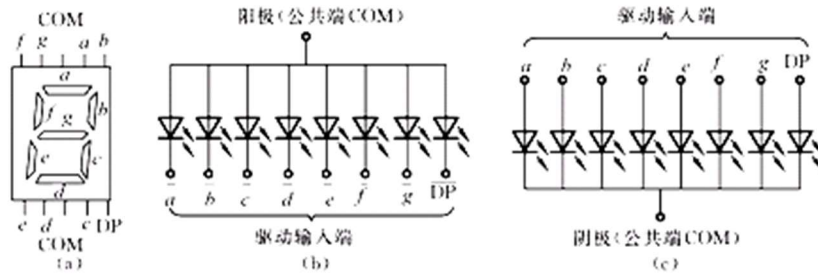


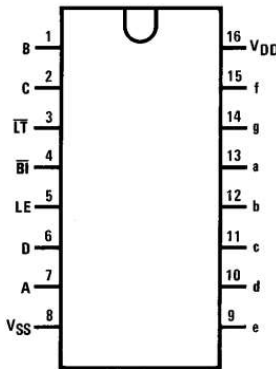
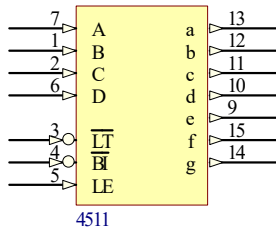
图 25 数码管结构及引脚排列顺序

4.3.2 CD4511 十进制数码管锁存、译码、驱动器

- 1) 真值表：采用一种表格来表示逻辑函数的运算关系，其中输入部分列出输入逻辑变量的所有可能组合，输出部分给出相应的输出逻辑变量值。
- 2) 二进制转化为十进制换算公式： $DCBA_{(2)} = D \times 2^3 + C \times 2^2 + B \times 2^1 + A \times 2^0$ ，如 $1001_{(2)} = 9_{(10)}$
- 3) CD 4511 真值表解读。

真值表（表 8）列出了芯片的完整功能，包括测试功能、消隐功能、正常译码、大于 9 的数不显示、锁存功能。其中当 LE 由 0 跳变到 1 以后，会把跳变时刻显示的数锁存起来，在数码管上的现象就是显示的数字不变了。LT 为 0，输出全 1，数码管每个笔画都点亮，显示 8；BI 是消隐功能端，当其为 0 时且 LT=1 时，即使 CD4511 的 DCBA 有输入信号，输出为全 0，数码管上不显示任何数字。

表 9 CD4511 真值表



Top View

图 26 CD4511 逻辑符号及引脚排列

Inputs				Outputs							Display			
LE	BI	LT	D	C	B	A	a	b	c	d		e	f	g
X	X	0	X	X	X	X	1	1	1	1	1	1	1	B
X	0	1	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1
0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1
0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	X	X	X	X				*				*

X = Don't Care

*Depends upon the BCD code applied during the 0 to 1 transition of LE.

4.3.3 CD40192 可预置数加减计数器

- 1) CD40192 时序图解读。时序图显示了芯片的完整功能，分别是清除功能，预置数功能，加法计数器功能，减法计数器功能。注意各个信号变化的时刻及对应关系。
- 2) 注意 Load, Count Down/Up, Borrow/Carry 等信号作用。
- 3) 理解加法计数、减法计数和装载预置数的各信号之间的时序配合。

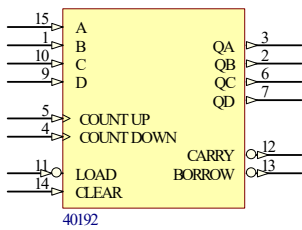


图 27 CD40192 逻辑符号

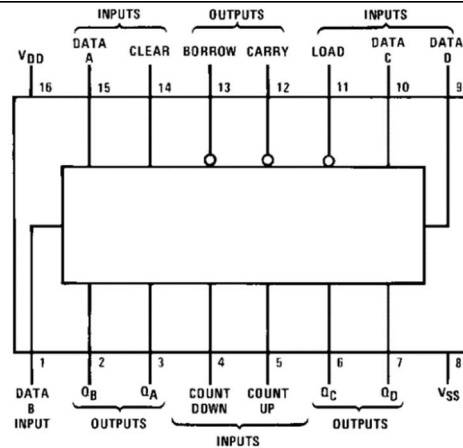
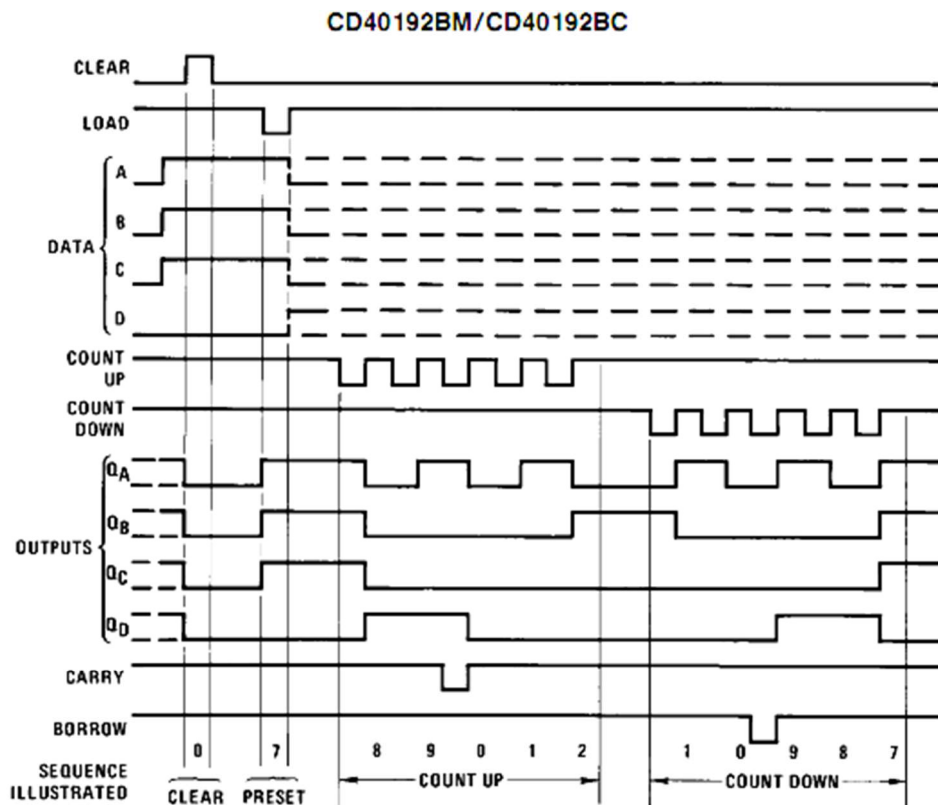


图 28 CD40192 引脚排列



Sequence:

1. Clear outputs to zero.
2. Load (preset) to BCD seven.
3. Count up to eight, nine, carry, zero, one and two.
4. Count down to one, zero, borrow, nine, eight and seven.

图 29 CD40192 时序图（请在图中标出信号变化时刻及信号值）

4.3.4 两位数的减法计数器（计数到“00”时可以锁定）电路原理

电路原理如图 30 所示。

1) 两位数计数原理:

CD40192 的 Load 端 (zStart 信号) = “1”, CountUp= “1”, Clear= “0”, 计数脉冲送到 CountDown 端, 此时计数器工作在减法计数状态, 每来一个脉冲, 输出值减 1, 其值从 0 到 9 变化之间, 个位数 Borrow 借位信号端输出一个低电平脉冲送到 U2 的 CountDown 计数脉冲端 (具体见图 29 时序图)。U4 每计十个数, 其 Borrow 借位端输出一个脉冲, 因此 U2 的计数权重十倍于 U4。所以 U2 是十位数计数, U4 是个位数计数。

2) 到“00”可以锁定的原理:

利用 CD4511 的“LE”引脚的锁定功能, 把高位计数器 (U2) 的“Borrow”输出信号 (U2 的 13 脚), 经过时序控制电路产生一个“0 到 1 跳变”的信号 (TimeUp 信号) 送到 CD4511 的“LE”端。LE 跳变时刻的显示值 (为 0) 即能保持不变了。在 DS1 和 DS2 两个数码管上的现象, 就是显示“00”并保持不变, 除非系统被主持人清除开关 (S1) “清除”了。清除信号 zStart 分别接到 U2 和 U4 的 11 脚 Load 端。当 zStart= “0”

时,CD40192可由SW1和SW2设置两位数的计数初值并经CD4511译码驱动后显示在数码管上。此时TimeUp信号在zStart=“0”的作用下,由时序电路产生TimeUp=“0”;CD40192的预置计数初值可以经CD4511译码后无记忆直接显示出来。

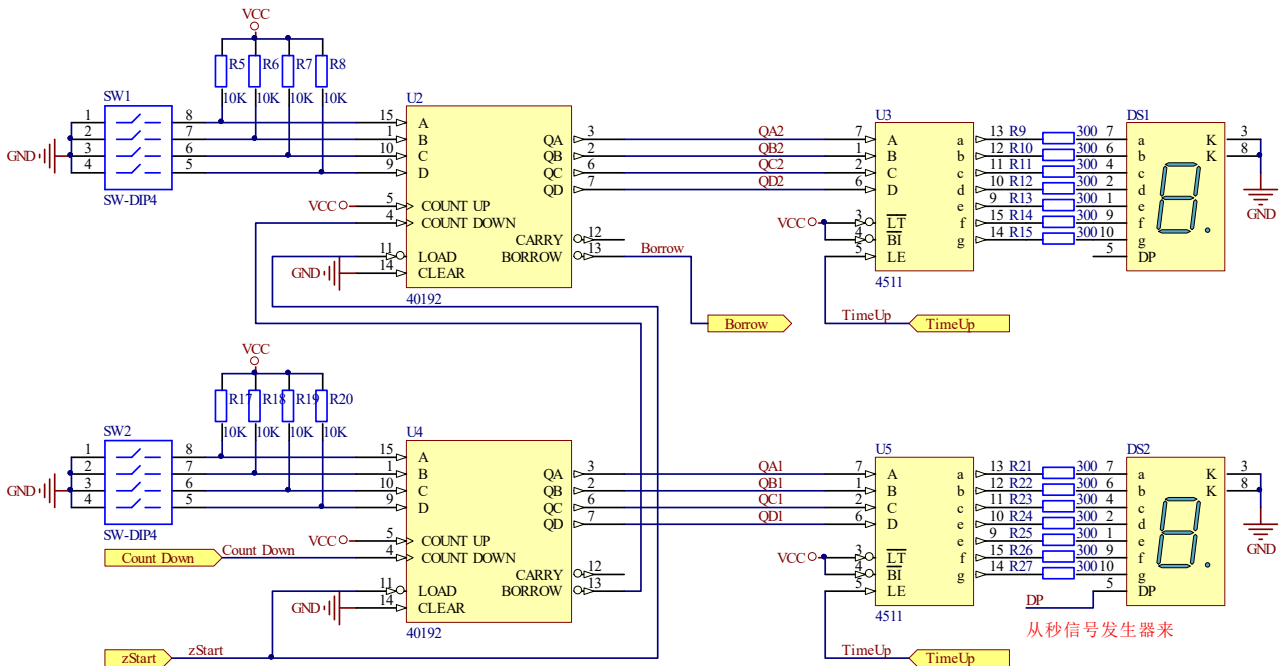


图 30 两位数的减法计数器电路原理图

4.3.5 时序控制电路原理

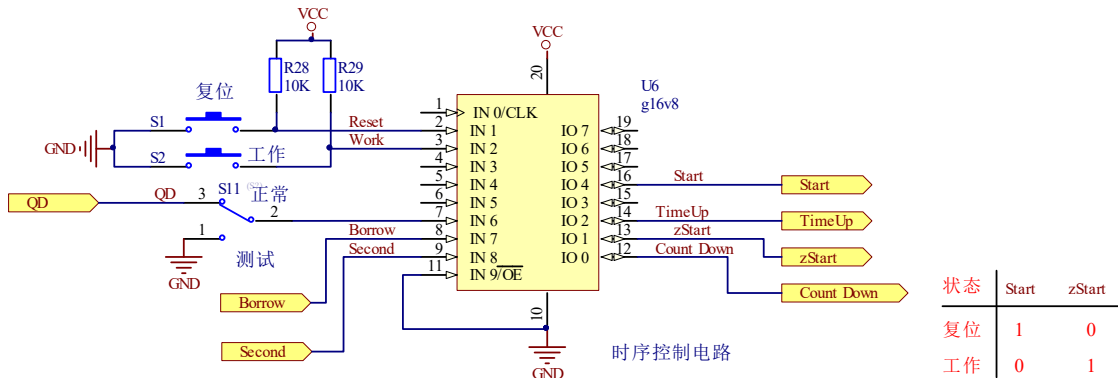


图 31 时序控制电路

错误!未找到引用源。中各个信号含义：“Borrow”为十位计数器CD40192的“借位”输出信号。“QD”为抢答器基本电路中是否有人抢答的信号，1表示有人抢答。“Second”为555电路产生的秒脉冲。“CountDown”是送到低位计数器的计数脉冲，是一个经过处理后的秒信号，受“QD、Borrow”等信号控制。“TimeUp和zTimeUp”表示倒计时到“00”的信号。“Start和zStart”信号，表示工作状态。

U6芯片为可编程逻辑器件（PLD），芯片型号为GAL16V8或ATF16V8，其芯片逻辑功能可由用户设计自定义。设计软件如ABLE软件，用ABLE-HDL汇编语句描述逻辑功能。软件编译后产生目标文件（JED文件），将JED文件通过编程器固化到GAL芯片上。

电路工作原理：

- 1) 当S1按下，“zStart”信号=“0”，“TimeUp”信号即复位成“0”、并锁定（即便“zStart”信号随后由低电平变成高电平）。
- 2) 当S2按下，减法计数器开始工作；当倒计时到“00”时，“Borrow”信号=“0”，“TimeUp”信号即置成“1”、并锁定在“1”（即便“Borrow”信号随后由低电平变成高电平）。
- 3) $Count\ Down = Second + QD + Start + TimeUp$ ，当有人抢答、或清除、或时间到“00”，这三种情况中的任何一个发生时，“QD、Start或TimeUp”信号相应的就为1，与“Second”信号进行“或运算”之后，送去计数器U4的计数脉冲“Count Down”信号即为“1”。只有当它们都为

“0”时，“Count Down”信号才相当于是“Second”（U1产生的秒脉冲）。

表 10 时序控制电路信号状态表

状态			输入信号			输出信号			
工作/清除?	倒计时到零?	有人抢答?	Second	Borrow	QD	Start	zStart	TimeUp	Count Down
S1 按下清除状态	X	X		1	0	1	0	0	1
S2 按下工作状态	否	否		1	0	0	1	0	
S2 按下工作状态	否	是		1		0	1	0	1
S2 按下工作状态	是	X			X	0	1		1

4.3.6 任务三的元器件清单

表 11 任务三元器件清单

序号	标号*	名称	参数	数量
1		电阻	10KΩ	10
2		电阻	300Ω	14
3		集成电路	CD4511	2
4		集成电路	CD40192	2
5		集成电路	GAL16V8	1
6		数码管	共阴 1 位	2
7		拨码开关	4 位	2
8		芯片插座	16 脚	4
9		芯片插座	20 脚	1
10		轻触按键	5×5	2

注：*根据电路图填写标号

4.4 任务四：抢答器基本电路

抢答器基本电路由抢答编码器和显示电路组成。

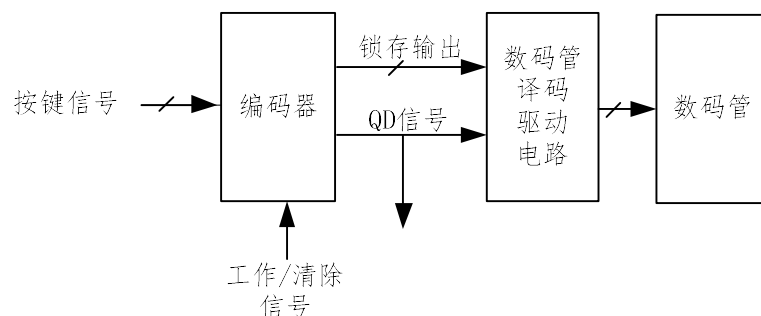


图 32 抢答器基本电路框图

4.4.1 抢答编码器功能

U7 芯片是可编程逻辑器件 (PLD)，芯片型号为 GAL16V8 或 ATF16V8，其芯片逻辑功能可由用户设计自定义。U7 芯片设计成编码器功能，见表 12。

表 12 编码器真值表

INPUT										OUTPUT					Note
Start	TimeUp	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	QD	Q3	Q2	Q1	Q0	
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	清除
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	工作中等待抢答
0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	1	0	0	0	0	时间到无抢答
0	0	0	x	x	x	x	x	x	x	1	1	0	0	0	8 号抢答
0	0	1	0	x	x	x	x	x	x	1	0	1	1	1	7 号抢答
0	0	1	1	0	x	x	x	x	x	1	0	1	1	0	6 号抢答
0	0	1	1	1	0	x	x	x	x	1	0	1	0	1	5 号抢答
0	0	1	1	1	1	0	x	x	x	1	0	1	0	0	4 号抢答
0	0	1	1	1	1	1	0	x	x	1	0	0	1	1	3 号抢答
0	0	1	1	1	1	1	1	0	x	1	0	0	1	0	2 号抢答
0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1 号抢答

注：X 表示 1 或 0 都可，不关心。

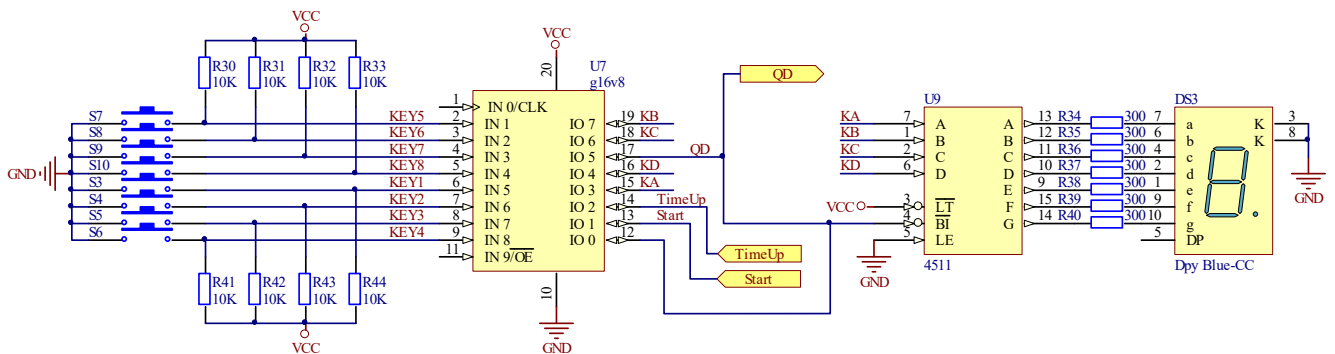


图 33 抢答器基本电路原理图

4.4.3 电路原理

电路如图 33 所示。S3~S10 和电阻 R30 等组成按键电路，U7 为编码器，U9 是数码管译码驱动器，DS3 是数码管。

- 1) 有人抢答时 S3~S10 中有键按下，U7 (GAL16V8) 17 脚 QD 输出“1”，U9 (CD4511) 4 脚为“1”，数码管点亮；U7 的 Q0~Q3 有编码输出，U9 将输入信号译码驱动后使数码管显示相应的数字。
- 2) 规定时间内无人抢答，TimeUp 信号变“1”，U7 输出二进制数字“0000”，经过 CD4511 译码后使数码管显示“0”。
- 3) Start = “1”，U7 输出被清除，QD = “0”，U9 的 4 脚为低电平，U9 工作在消隐状态，数码管上不显示任何信息。

表 13 不同工作状态下的抢答器电路各个信号

序号	工作状态	Start	TimeUp	QD (BI)	DS3
1	清除	1	0	0	消隐
2	倒计时中，无人抢答	0	0	0	消隐
3	无人抢答，倒计时到 00	0	1	1	显示 0
4	倒计时中，有人抢答	0	0	1	显示相应的抢答按键数字

4.4.4 任务四的元器件清单

表 14 任务四元器件清单

序号	标号	名称	参数	数量
1		电阻	10K Ω	8
2		电阻	300 Ω	6
3		集成电路	GAL16V8	1

4		集成电路	CD4511	1
5		数码管	共阴一位	1
6		轻触按键	5×5	8
7		芯片插座	16脚	1
8		芯片插座	20脚	1

4.5 任务五：报警器电路

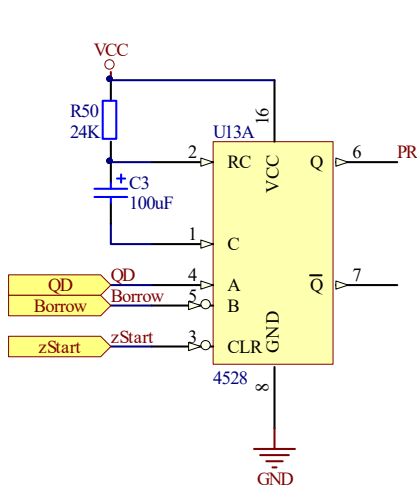


图 34 单稳态触发器电路

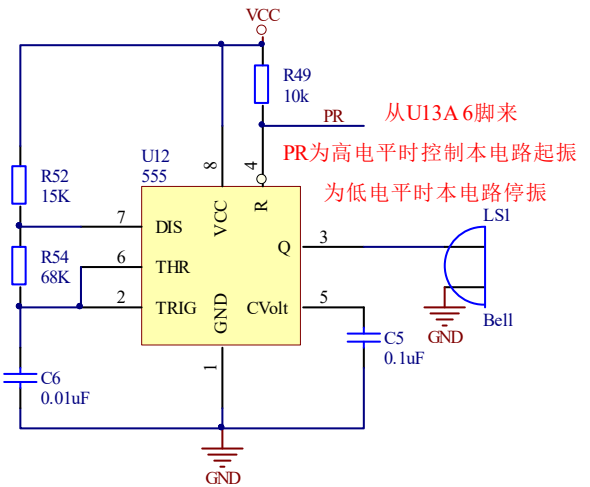


图 35 NE555 多谐振荡器

4.5.1 电路原理

其中 555 构成多谐振荡器，原理和秒信号发生电路相同。PR 为控制信号，当 PR 为高电平时，多谐振荡器工作；当 PR 为低电平的时候，电路停振。

集成单稳态触发器 CD4528 用于控制报警电路及发声的时间。单稳态触发器 CD4528 通过信号“QD、Borrow、zStart”控制报警与否和报警时间，555 时钟电路产生脉冲时钟。有人抢答后，报警电路中 QD 输出高电平。计数器减到“00”后，借位输出信号 Borrow 输出“0”。工作时 zStart 为“1”，清除时 zStart 为“0”。

工作时，zStart 为“1”，在规定的时间内有人抢答时，QD 由“0”跳变到“1”，Q 输出暂态高电平，蜂鸣器连续发声报警表示有人抢答，持续时间为 ≈ 2.15 秒；如果在规定时间内无人抢答，Borrow 由“1”跳变到“0”，Q 输出暂态高电平，蜂鸣器连续发声报警提示时间到，本轮抢答结束。

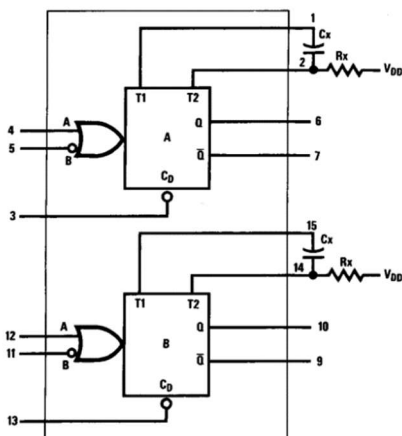


图 36 CD4528 单稳态触发器逻辑符号

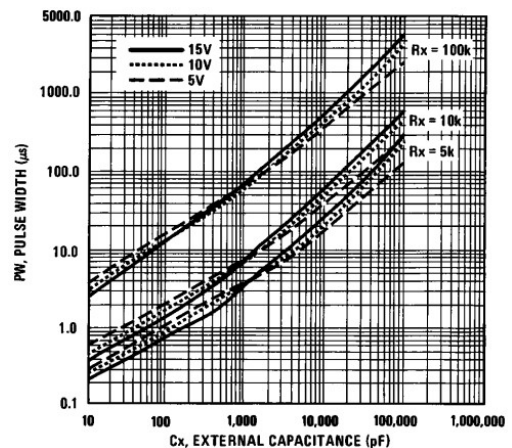


图 37 单稳态脉冲宽度与 Rx、Cx 的关系

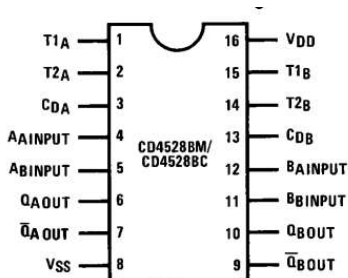


图 38 CD4528 引脚图

表 15 CD4528 真值表

Clear	Inputs		Outputs	
	A	B	Q	Q
L	X	X	L	H
X	H	X	L	H
X	X	L	L	H
H	L	↓	⌊	⌋
H	↑	H	⌊	⌋

H = High Level
 L = Low Level
 ↑ = Transition from Low to High
 ↓ = Transition from High to Low
 ⌊ = One High Level Pulse
 ⌋ = One Low Level Pulse
 X = Irrelevant

4.5.2 制作步骤

设计出抢答器和报警器的印刷线路图，排错；

在一块万能焊接板上，装配焊接出上述定时电路，首先需要设计出布局布线图。可以手工设计、也可采用 CAD 软件进行。按照一定的原则，合理排布元器件，尝试走线，然后不断修改调整，可以得到一个布局布线图。然后按照它分模块逐步安装调试。按图连线，分模块、分步骤调试，最后联调；可以遵循的一些原则：

- 1) 人机接口的原则——要符合人的观察和使用习惯；
- 2) 符合信号流；
- 3) 疏密得当；
- 4) 线尽量短；
- 5) 次要元件围绕主要元件布局；
- 6) 抗干扰；
- 7) 不交叉；

4.6 任务六：系统调试与检修

在各个模块部分功能正常的前提下，逐步接入，重点是各个模块之间的接口信号需要连接正确，对本系统而言，时序控制电路的各个信号需要仔细核实是否连接正确。对信号所起的作用能理解的话，会便于分析，有助于更快地找到问题的原因。

功能测试，排查故障，直至系统工作正常。遇到故障，有时需要返回到分模块的状态测试，以判断模块是否损坏？还是接入其他模块引起的故障？

4.6.1 系统模块及接口信号

理解各个模块功能，信号的含义，信号流走向及各个信号之间的关联性，有助于高效进行系统调试和故障排查。

4.6.1.1 时序控制电路

本系统中重要时序控制均有由 U6 芯片完成，本电路能否正常工作对系统能否正确工作至关重要。因此 U6 芯片各个输入信号是否正确、芯片本身工作是否正常以及各个输出信号能否正确输送到各个被控模块，这三点内容是调试和故障排查重点。

- 1) 复位和工作按键直接产生计数控制信号 zStart 和抢答控制信号 Start。
- 2) 抢答输出信号 QD，十位借位输出 Borrow 和秒脉冲信号 Second，共同产生个数计数输入信号 CountDown。
- 3) 由十位借位输出信号 Borrow 产生锁存控制信号 TimeUp。

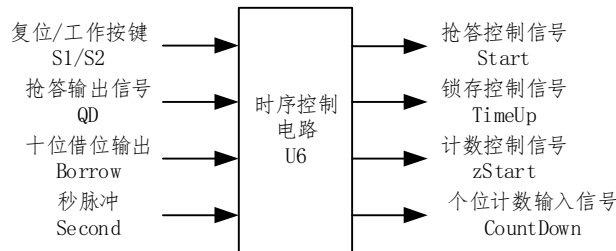


图 39 时序控制电路框图

表 16 系统重要信号逻辑状态

状态			信号						
工作?	倒计时到零?	有人抢答?	Start	zStart	Borrow	QD	TimeUp	CountDown	PR
否	X	X	1	0	1	0	0	1	0
是	否	否	0	1	1	0	0		0
是	否	是	0	1	1		0	1	
是	是	X	0	1		X		1	

4.6.1.2 计数电路

计数电路由十进制计数器 U2、U4 和数码管译码驱动电路 U3、U5 等完成。U4 和 U5 组成计数器的个位数计数电路，U2 和 U3 组成个位数计数电路。

- 1) 计数控制信号 zStart 控制计数器 U2 和 U4 是处于预置数状态还是计数状态。
- 2) 锁存控制信号 TimeUp 控制数码管译码驱动电路 U3 和 U5，TimeUp 信号由 0 跳变到 1 的时刻，可使数字锁存。
- 3) 个位数的计数脉冲是 CountDown 信号，十位数的计数脉冲由个位计数器的借位信号 Borrow0 产生，个位数每次从 0 减到 9 的时候产生一个 Borrow0 脉冲。

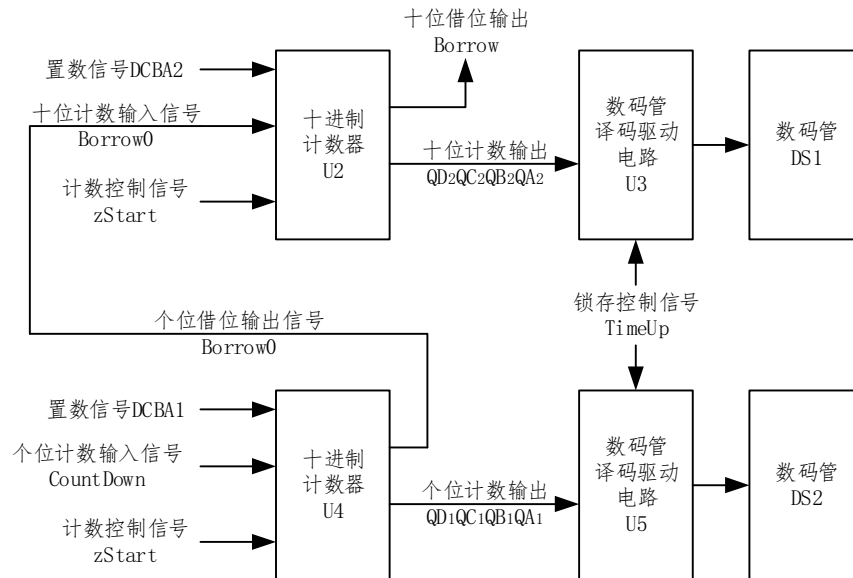


图 40 计数器电路框图

4.6.1.3 抢答器电路

抢答器电路由编码锁存电路 U7 和数码管译码驱动电路 U9 等组成。

- 1) 抢答控制信号 Start 可使编码锁存电路复位或工作。
- 2) 锁存控制信号 TimeUp 可使编码锁存电路在规定时间内无抢答情况下可使抢答信号输出 1 并使数码管显示 0。

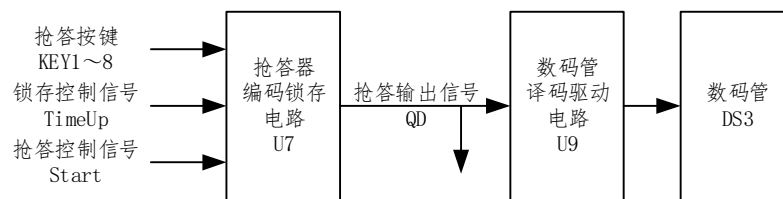


图 41 抢答器电路框图

4.6.2 检修方法

- 1) 目测法：用来检查焊接及装配情况，是否搭接短路？是否漏焊元件、引脚、导线等？元器件是否装错位置？
- 2) 拨动拉扯法：用来检查连线焊接质量是否可靠？是否有搭接短路？
- 3) 电阻法：用来测量线路连接情况，测试元器件参数等，短路？开路？等
- 4) 电压法：通电测试，注意观察有无异味、芯片是否发烫等。测试各个重要节点的电压等。
- 5) 替换法：用来判断故障范围，测试元器件是否损坏。
- 6) 仪器测试：例如用逻辑笔测试信号状态，用示波器观察波形，测试信号频率等
- 7) 加减法：用来判断故障范围，查找故障点。
- 8) 对比法：对比电路连线，对比电压，对比波形等。

4.6.3 怎样使用简易逻辑笔检修电路？

需要理解电路原理，搞懂在特定工作状态下的被测信号应该是什么样（高电平？低电平？脉冲？跳变？），用逻辑笔测试电路上被测信号，符合还是不符合？若符合，下一步查哪里？若不符合，下一步检查哪里？再

下一步又怎样查？逐渐缩小故障范围，直到找到故障原因，最后解决问题。

理解电路原理，保证逻辑笔功能正常，运用检修手段，加上锲而不舍的攻坚意志，这就是成功的秘诀。

4.6.4 万用表使用方法

表 17 万用表使用简介

功能	面板	功能描述
选择万用表功能按键区		<ol style="list-style-type: none"> 1) 功能按键 DCV、ACV、Ω 2W、Cont 等，直接按下按键，就能进入相应功能； 2) DCI，ACI，电容、二极管等第二功能，先按下 SHIFT 键，再按相应按键，即可进入第二功能； 3) DCV 测直流电压，Ω 2W 测电阻，Cont 测线路通断和测试发光二极管。
测电阻		<ol style="list-style-type: none"> 1) 逗号为测量值的小数点，数字后为读数单位，图中读数为 0.981 千欧姆
测直流电压		<ol style="list-style-type: none"> 1) 逗号为测量值的小数点，数字后为读数单位，图中单位为伏（直流）
测线路通断和发光二极管		<ol style="list-style-type: none"> 1) 伴有蜂鸣器响声指示被测端线路连通，并能指示阻值。 2) 可以测试发光二极管或数码管好坏，可以点亮时，红表棒端为二极管阳极。

5. 整机装配实例

5.1 一款 753 型 FM / AM 收音机电路原理分析

5.1.1 CXA1019 集成电路介绍

CXA1019 是日本索尼公司生产的 AM/FM 收音机专用大规模集成电路。CXA1019 将 AM 部分的高放、本振、混频、中放、检波、AGC, FM 部分的高放、本振、混频、中放、鉴频、AFC 以及调谐指示、音频功放、稳压电路等全部集成在一片 IC 中, 用它组装的收音机具有外接元件少, 电压范围宽(2~7.5V), 输出功率大 ($V_{cc}=6V$, 负载为 8Ω 时, 输出功率可达 500mW), 电流消耗少($V_{cc}=3V$ 时, AM: $I_D=3.4mA$; FM: $I_D=5.3mA$)等优点。

CXA1019 集成电路引脚及内部电路框图如图 5-1-1 所示。后来生产的 CXA1191 集成电路内部增加了静音电路, 性能指标也有所提高, 但引脚功能完全相同, 可以互换使用。仅需将第 1 脚悬空。

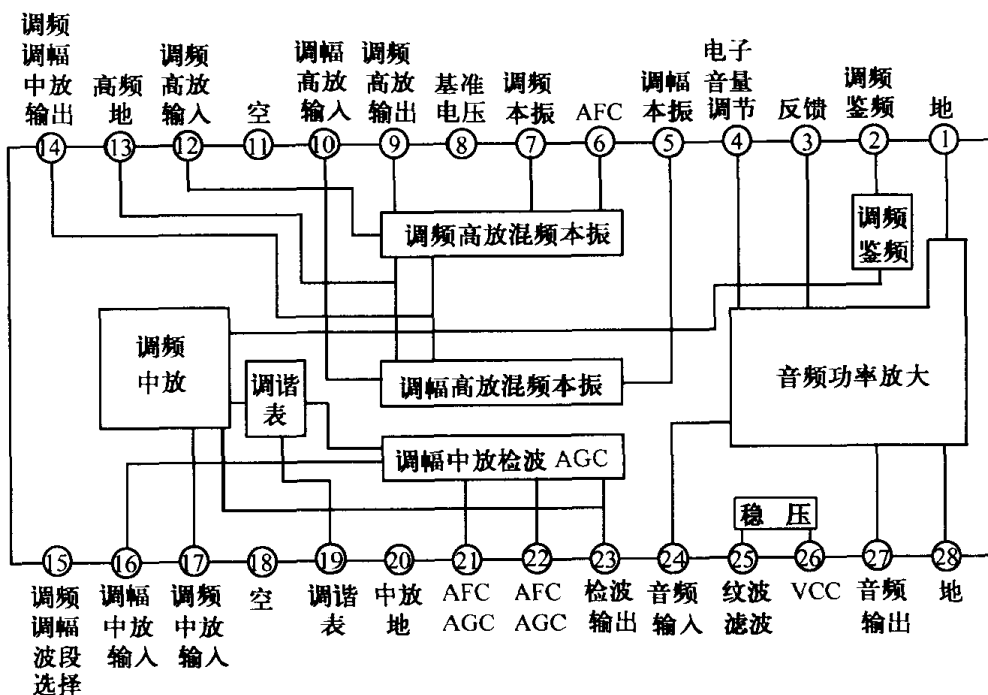


图 5-1-1 CXA1019 集成电路引脚及内部电路框图

5.1.2 本机电原理分析

图 5-1-2 中所示为本机电原理图。

5.1.2.1 调幅 (AM) 部分

中波调幅广播信号由磁棒天线线圈初级和可变电容 C03、微调电容组成的调谐回路选择, 经耦合至次级送入 IC 第 10 脚。本振信号由振荡线圈 T1 和可变电容 C04、C12、微调电容及与 IC 第 5 脚相连的内部电路组成的本机振荡器产生, 并与由 IC 第 10 脚送入的中波调幅广播信号在 IC 内部进行混频, 混频后产生的多种频率的合成信号。经过中频变压器 T2(包含内部的谐振电容)组成的中频选频网络及 465kHz 陶瓷滤波器 Z1 双重选频, 得到的 465kHz 中频调幅信号经耦合到 IC 第 16 脚进行中频放大, 放大后的中频信号在 IC 内部的检波器中进行检波, 检出的音频信号由 IC 的第 23 脚输出, 经音量电位器 RP1 进入 IC 第 24 脚进行功率放大, 放大后的音频信号由 IC 第 27 脚输出, 推动扬声器发声。

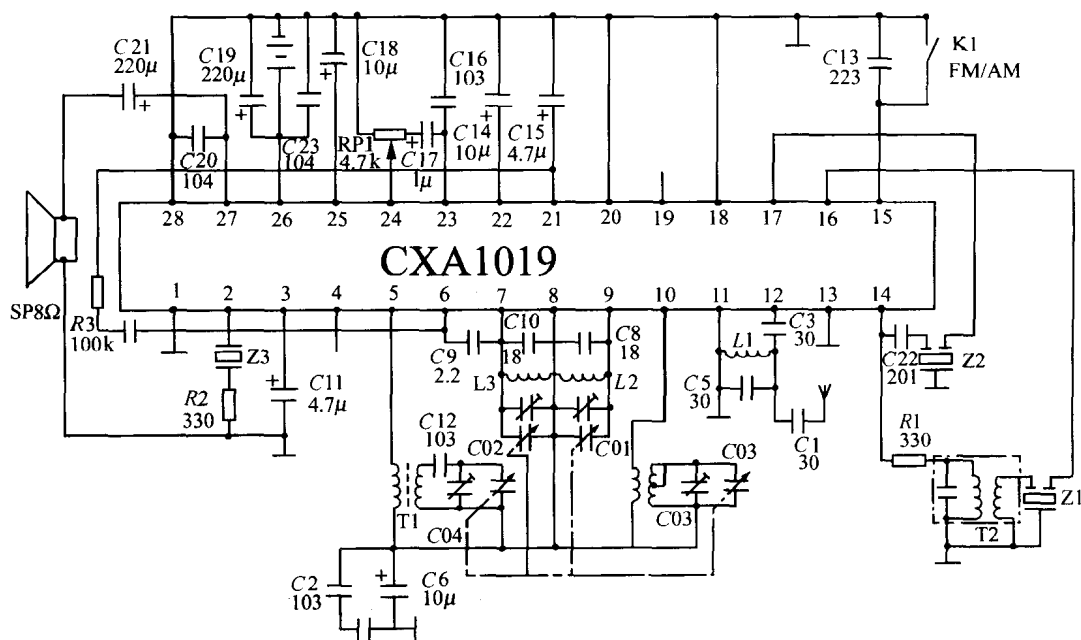


图 5-1-2 整机电路图

5.1.2.2 调频(FM)部分

由拉杆天线接收到的调频广播信号,经 C1、C5、L1 及 C3 组成的带通滤波器,抑制掉调频波段以外的信号,使调频波段以内的信号顺利通过并到 IC 的第 12 脚进行高频放大,放大后的高频信号被送到 IC 的第 9 脚,接 IC 第 9 脚的 L2 和可变电容 C01、微调电容、C8 组成调谐回路,对高频信号进行选择后在 IC 内部混频。本振信号由振荡线圈 L3 和可变电容 C02、微调电容、C10 及与 IC 第 7 脚相连的内部电路组成的本机振荡器产生,在 IC 内部与高频信号混频后得到多种频率的合成信号由 IC 的第 14 脚输出,经 C22 耦合至 10.7MHz 陶瓷滤波器 Z2,得到的 10.7MHz 的中频调频信号经耦合进入 IC 第 17 脚 FM 中频放大器,经放大后的中频调频信号在 IC 内部进入 FM 鉴频器,IC 的第 2 脚外接 10.7MHz 鉴频滤波器。鉴频后得到的音频信号由 IC 第 23 脚输出,经音量电位器 RPI 进入 IC 第 24 脚进行放大,放大后的音频信号由 IC 第 27 脚输出,推动扬声器发声。

5.1.2.3 AM/FM 波段转换电路

由图可以看出当 IC 第 15 脚接地时,IC 处于 AM 工作状态;当 IC 第 15 脚与地之间串接 C13 时,IC 处于 FM 工作状态。波段开关控制电路非常简单,只需用一只 1×1 的开关,便可方便地进行波段转换控制。

5.1.2.4 AGC 和 AFC 控制电路

CXA1019 的 AGC(自动增益控制)电路由 IC 内部电路和接于第 21 脚、第 22 脚的电容 C14、C15 组成,控制范围可达 45dB 以上。AFC(自动频率微调控制)电路由 IC 的第 21 脚、第 22 脚所连内部电路和 C14、C15、R3 及 IC 第 6 脚所连电路组成,它能使 FM 波段接收频率稳定。

5.2 收音机整机装配

5.2.1 元器件检验

为了提高整机产品的质量和可靠性,工厂企业在整机装配前,所有的元器件都必须经过检验。检验的内容包括静态检验和动态检验两项。

5.2.1.1 静态检验

静态检验就是外观检验,检验元器件表面有无损伤、变形,几何尺寸是否符合要求,型号规格是否与工艺文件要求相符。

5.2.1.2 动态检验

通过测量仪器仪表检查元器件本身电气性能是否符合规定的技术条件,有无次、残废品混入,对有特殊要求的元器件还要进行老化筛选。

按本实例配套的 753FAM/FM 收音机材料中的元器件可能没有按照企业生产规定那么严格,因此更需要认真的检验。除外观要求可稍降低外,对电气性能质量不能马虎,以免留下隐患,产生不良后果。一般可用万用电表检验元器件的方法进行检验,有条件的可再用仪器复测,这样既可保证元器件的质量,又有利

于熟练使用仪器仪表。对集成电路和陶瓷滤波器可制作专用工具夹具，接人电路直接检验其功能是否良好。

元器件和印制电路板的可焊性是电子产品装配中的关键问题，可对元器件引线进行搪锡处理，印制电路板用液态助焊剂涂刷1~2次，待干燥后方可使用。

5.2.2 执行工艺文件，完成整机装配

为本实例编制的全套装配工艺文件包括：元器件预加工、导线加工、组件加工、印制电路板装插焊接工艺、印制电路板装配工艺、外壳加工、整机装配等电子产品装配的全过程。并提出了明确的工艺要求。工厂企业有一句话：“工艺就是法律”。因此要求每个生产工人像执行法律一样来执行工艺文件，才能保证产品的质量，保证产品品质的一致性。

753F AM/FM 收音机装配工艺文件附后。在实际教学中，要求每个学生也要像生产工人一样，严格执行工艺文件，以培养自己独立工作的能力。

5.3 收音机调试工艺

本节就本实例的调试过程作一简述。

5.3.1 调试用设备

1、AM/FM 高频信号发生器	1 台
2、电子毫伏表	1 台
3、直流稳压电源	1 台
4、万用电表	1 台
5、环形天线	1 只
6、无感起子	1 把

5.3.2 调试项目及方法

5.3.2.1、中频频率调整

(1)AM 中频调整

AM 的中频频率为 465kHz。由于本机使用 Z1 465kHz 陶瓷滤波器，只需调整 T2 中频变压器即可。先将 AM 振荡桥连短路，可变电容调到最低端，高频信号发生器调至 465kHz，调制信号用 400Hz，调制度为 30%，由环形天线发射被本机接收，用无感起子微调 T2 磁帽，使接在输出端的毫伏表指示最大，喇叭声音最响，AM 中频频率即为调好。

(2)FM 中频调整

FM 的中频频率为 10.7MHz。由于本机使用了 Z2、Z3 二只 10.7MHz 陶瓷滤波器在 FM 中放中，使 FM 波段中频频率不需调整便能准确校准于 10.7MHz，并使 FM 的通频带和选择性都能得到保证。

5.3.2.2、频率覆盖调整

频率覆盖调整也称刻度校正。AM 中波的频率范围应为 535~1605kHz，FM 广播的频率范围为 88~108MHz，在生产中为了满足规定的频率覆盖范围，在设计和调试时，比规定的要求都应略有余量。

(1)AM 频率覆盖调整

将高频信号发生器调至 515kHz，收音机波段置于 A M 位置，可变电容旋至容量最大位置(刻度最低端)，用无感起子调整振荡线圈 T1 磁帽，使收音机输出最大。再将高频信号发生器调至 1625kHz，可变电容调至容量最小位置(刻度最高端)，调整与 AM 振荡连 C04 并连的微调电容，使收音机输出最大。这样反复进行两次，AM 频率覆盖就已调整好。

(2)FM 频率覆盖调整

将高频信号发生器调至 86.5MHz，收音机波段置于 FM 位置。可变电容旋至容量最大位置(刻度最低端)，用无感起子拨动 FM 振荡线圈 L3 的圈距，使收音机输出最大。再将高频信号发生器调至 108.5MHz 位置，可变电容调至容量最小处(刻度最高端)，调整与 FM 振荡连 C02 并连的微调电容，使收音机输出最大。反复进行两次。

5.3.2.3、统调

统调也称调灵敏度、调外差跟踪、调补偿。目的是使接收灵敏度、整机灵敏度的均匀性以及选择性达到最好的程度。在 AM 中波段，通常取 600kHz、1000kHz、1500kHz 三个统调点，所以有时也称三点统调。调整时，改变调谐回路电感来达到低频端的跟踪，改变调谐回路的微调电容来达到高频端的跟踪，那么中间频

率的跟踪基本上也就达到了。由于我国 AM 中波段电台分布的实际情况，现在不少生产收音机的企业将统调点选择在 600kHz 与 1000kHz，以达到更符合实际的较好统调效果。

(1)AM 统调

将高频信号发生器调到 600kHz，指针调到 600kHz 位置，移动中波天线线圈在磁棒上的位置，使输出最大。再将高频信号发生器调到 1000kHz，指针调到 1000kHz 位置，用无感起子调整与 C03 并连的微调电容容量，使输出最大。反复两次即可调整好。

(2)FM 统调

将高频信号发生器调到 88MHz，指针调到 88MHz 位置，用无感起子轻轻拨动 L2 的圈距，使输出最大。再将高频信号发生器调到 108MHz，指针调到 108 MHz 位置，用无感起子调整与 C01 并连的微调电容的容量，使输出最大。反复两次即可调整好。

整机调试结束后，应用高频蜡将天线线圈及 L2、L3 封固，以保持调试后的良好状态。

5.4 工艺文件要求

工艺文件中的图表及标号等前后必须一致；工艺文件必须与实际情况一致。

表中序号的编排只是为了在此表示方便而已，每个文件在你的工艺文件中的顺序还需精心安排。

序号	工艺文件名称		内容
1	工艺文件目录		根据 5~14 的图表，编排工艺文件目录
2	工艺路线表		根据 5~14 的图表，合理安排工艺路线
3	工艺流程图		根据 5~14 的图表，合理安排工艺流程
4	元件工艺表		按实际情况列出所用元件，要注意元件的名称、型号、规格在工艺文件中的写法，参考教材中有关元器件介绍
5	导线及线扎加工表		按实际情况列出所用导线，要注意导线的长度是实际应用的长度，板上的飞线应尽可能地短。每根线的用途要明确，即要标明导线两端各自的去处。线的编号和用途与其他图表上的应一致
6	装配 工艺 过程 卡	正负极片	焊接安装正负极片所需装入件及辅助材料、工序内容及要求
7		天线焊片	焊接安装天线所需装入件及辅助材料、工序内容及要求
8		基板插件焊接工艺	焊接基板上所需装入件及辅助材料、工序内容及要求
9		基板装配工艺	基板上所需装入件及辅助材料，每个元器件、组件的工序内容及要求
10		基板装配工艺图	磁棒、线圈等在基板上的安装图
11		外壳加工	前后外壳内、外加工所需装入件及辅助材料，工序内容及要求和图
12		整机装配	整机装配的所需装入件及辅助材料，工序内容及要求
13	工 艺 说 明 及 简 图	基板插件工艺图	基板上的元器件、导线等的安装焊接的位置等。包括顶层图和底层图
14		调试工艺	调试所需设备、工具和调试工艺

5.5 收音机装配常见问题

5.5.1 学习内容

收音机的装配是一个把所学知识运用于实践的过程。在这个过程中要学会以下技能：

了解收音机的基本原理——了解调频和调幅的基本原理，了解调频和调幅收音机的接收原理。

学会看图、识物——看懂原理图并把元器件的符号和实物对应起来、把原理图和印制图对应起来、把印制图和印制电路板对应起来。

学会读参数、判好坏——读出元器件的参数，判别极性，利用万用表或其他仪器测出参数并判别元器件的好坏。

学会装配和焊接——按照装配和焊接工艺，焊接出合格的焊点，要高度重视焊接前的准备工作中镀锡的重要性。

学会编写工艺文件并按照工艺文件组装收音机。在实习的时，也可以先组装收音机，然后根据实践经验和心得体会编写工艺文件。

学会基本的检修方法——为了避免故障装配后出现故障，可参照以上几点，在装配时应按工艺文件和工艺要求装配焊接，“磨刀不误砍柴工”。还要细心，比如集成电路，反复强调不要把方向装反了，还是有个别同学把方向装反了。出现故障时首先应该从焊接和装配方面去检查，然后再检查元器件是否损坏。这个时候不要太相信自己的装配是完全正确的。也不要因为一时间检查不出原因而气馁。要细心并具有必胜的信心。

走一点弯路也许对你有帮助，你对工艺文件和工艺要求会有更深的体会，对你的产品会更珍惜。

学会基本的调试方法——收音机装响了，也能收台，恭喜你，离成功只差一步了。这时应该进行调试了。调试方法见教材。特别要注意中周的调节，要用无感起子，调节幅度不能太大，否则一旦调乱了很难再调回来。调好以后用蜡封住。

5.5.2 收音机装配常见问题和解决办法

中夏牌调频调幅收音机采用集成电路，电路相对简单，性能好，可靠性较高，只要按照工艺要求焊接装配好就能响、能收台。因此出现故障时首先应该从焊接和装配方面去检查。

(1)、检查印制电路板。检查是否有这些情况及相应的解决办法：还没有腐蚀干净的铜箔，会造成短路，应用刀割断；没有打通的过孔，用钻钻通；印制板裂开、破损，铜箔翘起、脱落等，最好更换印制板；印制板和图纸上的不一致，则更改图纸。

(2)、检查元器件有没有装错了位置。有极性的元器件要注意极性；集成电路是不是装错了方向，其引脚和焊盘有没有错位；四联电容请注意分辨哪一边是 Ca、Cb，哪一边是 Cc、Cd。

(3)、集成电路的焊接。集成电路的焊接和拆焊请参照教材上的 QFP 器件手工焊接和拆焊技术。

集成电路是 SONY 公司的 CXA1019，有 28 引脚，SOP 封装，表面安装元件。如图所示。

由于标志元器件位置和方向的丝网印刷层印制在元件面——印制电路板的顶层之上，它所标志的位置和方向是从顶层向底层俯视的；收音机套件中所附的印刷线路图，它所标志的元器件的位置和方向也是从顶层向底层俯视的。而集成电路是焊装在印制电路板的印制导线面——印制电路板的底层。所以，不要焊装错了集成电路的方向。

CXA1019 相邻引脚较密，间距为 1.27mm。焊接时应特别细心，既要保证焊接良好又要防止桥接。常见的缺陷有：

虚焊。元件引脚上可以见到有焊锡，但焊盘上甚至没有焊料。可以观察焊点形状，也可用细针拨动。

桥接。焊料过多或拉尖造成相邻引脚焊点相连。可用吸锡器或吸锡材料（可用浸了松香的、绞合过的多股裸露铜线代替）除去多余焊料。方法见教材。

对于初学者，为了防止以上缺陷，在焊装集成电路时，可先在集成电路的每个焊盘上镀一层焊锡（要求平薄、光滑），当然引脚也要按照焊接要求镀锡。然后，对准每一个引脚在焊盘上的位置后用胶带固定集成电路。接着进行焊接。先焊集成电路对角上的一对引脚以固定集成电路，焊好这两点后检查引脚在焊盘上的位置有无移动，若有移动，拆焊后重新焊接直到定位好集成电路。接着再焊接其余引脚。若有桥接，除去多余焊料。

焊接时最好使用尖烙铁头，应同时加热焊盘和引脚，用少量焊料（注意：不要把焊锡丝送到烙铁头上！应从侧面送到焊盘和引脚上）或不用焊料（引脚和焊盘上在镀锡时已有焊料），待焊料流动并充满焊盘后即可撤离工具。

(4)、注塑元件。加热时间不宜过长，不宜施加压力。

(5)、磁棒线圈。磁棒线圈用漆包线绕制，表面有一层绝缘漆。

首先，要判别线圈的 a、b、c、d 点。在套件中，为了防止线圈散开，磁棒线圈的四根引出线是绞合在一起的，为了方便判别，可以解开。在解开的时候要细心，动作要轻，以免弄断或者弄散开。

然后按照镀锡方法在引线头上镀锡，镀锡部分长度小于 5mm，焊接时要焊接这镀上锡的部分，剪去多余引线。假如不镀锡或不在镀锡部分焊接，会造成收音机有声音但收不到台的故障。

把线圈套在磁棒上以后，匝数多的部分要比匝数少的部分更靠近磁棒的中心。

假如线圈断了，要把它接上。方法是在断线部分先在欲结合的部位镀锡，要求同上，再绞合，最后焊接。假如线圈散了，按照匝数要求，细心地重新绕上，用胶带纸封好。

(6)、多股导线。多股导线拨去绝缘皮后，先绞合再镀锡。裸露部分尽量少，焊接后将多余线头剪去。否则会碰到其他焊点造成短路。

(7)、耳机插座没有正确装配或在焊接时损坏会造成无声的故障。正确接线图如图 A 所示。处理办法：

①若装配不正确。如图 A 正确装配好。

②若耳机插座损坏。假如怀疑耳机插座损坏，先将耳机插座的 a、b、c 端上的连接导线断开，用万用表 Ω 档测量耳机插座各引脚，正常情况下（没有插耳机插头时），a 点和 b 点相连，c 点和 a、b 点均不相连，否则，表示耳机插座损坏。将耳机插座拆下，更换后重新安装焊接。或者，作为应急办法，将耳机插座拆下，扬声器直接接至电路板的③和⑤焊点，如图 B。

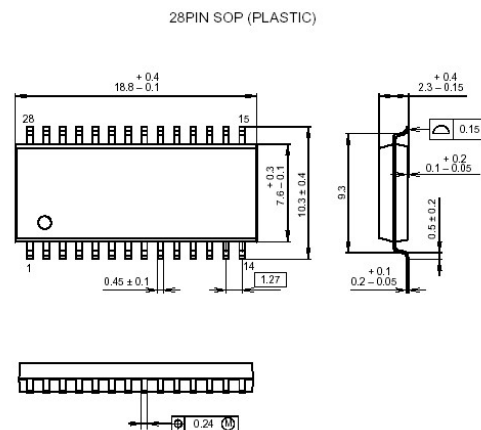
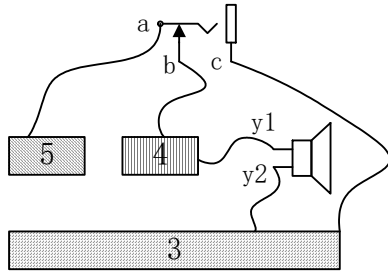
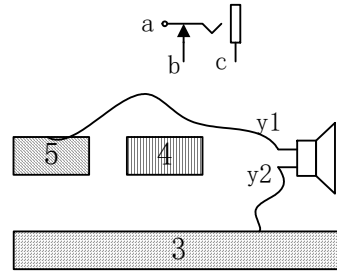


图 28 PIN SOP 封装



图A 扬声器、耳机插座和电路板
的正确连接图



图B 耳机插座损坏后又没有好的插座
及时更换时的应急办法,把扬声器直接
和电路板连接的正确连接图

(8)、检查其他元器件是否损坏。(以上问题均解决后,再进行本项检查)

可用电压法检查集成电路各引脚的电压,和图纸上标明的或另一个同型号好收音机实测的电压值进行对比。若某引脚电压不正常,再检查其周围元器件,若其周围元器件未发现损坏则可怀疑集成电路损坏。在判断集成电路周围元器件时,可以在线测量(万用表电阻档测电阻值),开路或短路的情况较容易判断。在线测量不能判断好坏时也可以拆焊某个被怀疑元器件,用万用表电阻档或电容档判别好坏。其它检修方法有注入信号法,波形测试法,电流法,替换法等等不再详述,请参考有关书籍。

6. 印制电路板的设计与制作

印制线路板也叫做印刷电路板,可简称印制板。印制线路板由绝缘底板、连接导线和装配焊接电子元器件的焊盘组成。印制板是电子工业重要的电子部件之一,在电子设备中有如下功能:

(1) 提供分离元件、集成电路等各种元器件固定、装配的机械支撑。

(2) 实现分离元件、集成电路等各种元器件之间的布线和电气连接或电绝缘,提供所要求的电气特性及特性阻抗等。

(3) 为自动锡焊提供阻焊图形,为元器件插装、检查、维修提供识别字符和图形。

印制板设计,是根据设计人员的意图,将电路原理图转换成印制板图、选择材料和确定加工技术要求的过程。它包括选择印制版材质、确定整机结构;考虑电气、机械元器件的安装方式、位置和尺寸;决定印制导线的宽度、间距和焊盘的直径、孔径;设计印制插头或连接器的结构;根据电路要求设计布线草图;准备印制生产所必需的全部资料和数据。

印制电路板的设计通常有两种方式:一种是人工设计,另一种是计算机辅助设计。无论哪种方式,都必须符合原理图的电气连接和产品电气性能、机械性能的要求,并考虑印制板的加工工艺和电子装配工艺的基本要求。

印制电路的设计是现代电子设备、电子仪器的电子计算机设计中不可缺少的部分。印制板设计质量不仅关系到元器件在焊接装配、调试中是否方便,而且直接影响整机的技术性能。

印制电路的设计具有很大的灵活性和离散性,同一张原理图,不同的设计者会有不同的设计方案。尽管有众多的方案可以达到同样的电气指标,然而总能够从中选出更美观、更可靠、更容易装配的最佳设计。例如,评价印制电路板的设计质量,通常考虑一下因素:

(1) 线路的设计是否给整机带来干扰?

(2) 电路的装配与维修是否方便?

(3) 制版材料的性能价格比是否最佳

(4) 电路板的对外引线是够可靠?

(5) 元器件的排列是否均匀、整齐?

(6) 版面布局是否合理、美观?

显然,不同的设计方案可能给整机带来不同的技术效果。这说明即使没有固定的方案模式,也存在着一定的规范和原则。

大体上印制板的种类可以分为单面板、双面板、多层板和挠性板。目前单面板和双面板的应用最为广泛。

6.1 印制电路板设计前的准备

印制电路设计的主要内容是排版设计,但排版设计之前必须考虑敷铜板板材、规格、尺寸、形状、对外连接方式等内容,以上工作即称为排版设计前的准备工作。

一、板材的准备

1、板材的确定

所谓敷铜板就是把一定厚度的铜箔通过粘接剂热压在一定厚度的绝缘基板上。铜箔敷在基板一面的称单面板,敷在基板两面的称双面板。敷铜板板材通常按增强材料、粘合剂或板材特性分类。若以增强材料来区分,可分为有机纤维材料的纸质和无机纤维材料的玻璃布、玻璃毡等类;若以粘合剂来区分,可分为酚醛、环氧、聚四氟乙烯、聚酰亚胺等类;若以板材特性来区分,可分为刚性和挠性两类。铜箔的厚度系列为 18、25、35、50、70、105。单位: μm , 误差不大于 $5\mu\text{m}$, 一般最常用的为 $35\mu\text{m}$ 、 $50\mu\text{m}$ 。

不同的电子设备,对敷铜板的板材要求也不同,否则,会影响电子设备的质量。下面介绍几种国内常用的几种敷铜板,供设计时选用。

(1) **覆铜箔酚醛纸层压板** 用于一般无线电及电子设备中。价格低廉、易吸水,但在恶劣环境下不宜使用。

(2) **覆铜箔酚醛玻璃布层压板** 用于温度、频率较高的电子及电器设备中。价格适中,可达到满意的电性能和机械性能要求。

(3) **覆铜箔环氧玻璃布层压板** 是孔金属化印制板常用的材料。具有较好的冲剪、钻孔性能,且基板透明度高,是电器性能和机械性能较好的材料,但价格较高。

(4) **覆铜箔聚四氟乙烯层压板** 具有良好的抗热性和电性能,用于耐高温、耐高压的电子设备中。

2、印制板形状、尺寸、板厚的确定

印制板形状、尺寸通常与整机外形、整机的内部结构及印制板上元器件的数量及尺寸等因素有关。板上

元器件的排列要考虑机械结构上的间距，还要考虑电气性能的要求。在确定板的净面积后，还应向外扩出5mm~10mm(单边)，以便印制板在机内的固定安装。同时，还要考虑成本，工艺方面的其他要求。

印制板的标称厚度有0.2mm、0.3mm、0.5mm、0.7mm、0.8mm、1.5mm、1.6mm、2.4mm、3.2mm、6.4mm等多种。在考虑板厚时，要考虑下列因素：当印制板对外连接采用直接式插座连接，则必须考虑插座间隙，板厚一般选1.5mm，过厚则插不进，过薄会引起接触不良；对非插入式的印制板，要考虑安装在板上元器件的体积与重量等因素，以避免因挠度而引起电气方面的影响；多层板的场合可选用厚度为0.2mm、0.3mm、0.5mm等的敷铜板。

二、印制板对外连接方式的选择

通常，印制板只是整机的一个组成部分，因此，存在印制板的对外连接问题，如印制板之间，印制板与板外元器件、印制板与面板之间等都需要相互连接。选择连接方式要根据整机的结构考虑，总的原则是连接可靠，安装、调试、维修方便。选择时，可根据不同特点灵活掌握。

1、导线焊接方式

这是一种最简单、廉价而且可靠的连接方式，不需要任何接插件，只需将导线与印制板上对应的对外连接点与板外元器件或其他部件直接焊牢即可。如收音机中的喇叭、电池盒，电子设备中的旋钮电位器、开关等。这种方式优点是成本低，可靠性高，可避免因接触不良造成的故障，缺点是维修不够方便。本方式一般只适用于对外导线连接较少的场合，如收录机、电视机、小型电子设备中。

采用导线焊接方式应注意以下几点。

(1) 印制板的对外焊点尽可能引在板的边缘，并按一定尺寸排列，以利于焊接维修，避免因整机内部乱线而导致整机可靠性降低，如图6-1-1所示。

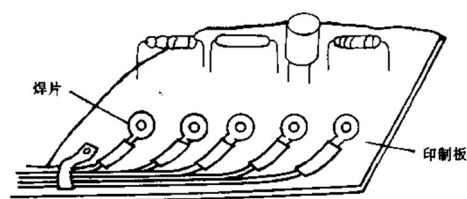


图 6-1-1 焊接式对外引线

(2) 为提高导线与板上焊点的机械强度，引线应通过印制板上的穿线孔，再从线路板元件面穿过，焊在焊盘上，以免将焊盘或印制导线拽掉，如图6-1-2所示。

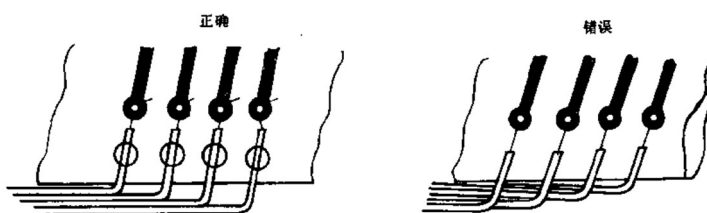


图 6-1-2 线路板对外引线焊接方式

(3) 将导线排列或捆扎整齐，通过线卡或其他紧固件将线与板固定，避免导线固移动而折断，方法如图6-1-3所示。

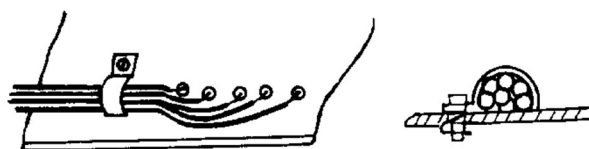


图 6-1-3 引线固定

(4) 同一电气性质的导线最好用同一颜色的导线，以便于维修。如电源导线采用红色，地线导线采用黑色等。

2、插接件连接

在较复杂的仪器设备中，经常采用接插件的连接方式。如电子计算机扩展槽与功能板的连接，大型电子设备中各功能模块与插槽的连接等。这种连接方式对复杂产品的批量生产提供了质量保证，并提供了极为方便的调试、维修条件，但因触点多，所以，可靠性差。在一台大型设备中，常用十几块甚至几十块印制板，在设备出现故障时，维修人员不必去寻找线路上损坏的元件立即进行更换，而只需判断出出现故障的印制板，将其备用件替换掉，从而缩短排除故障时间，提高设备的利用效率，是十分有效的。印制板上插座接触部分的外形尺寸、印制导线宽度，应符合插座的尺寸规定，要保证插头与插座完全匹配接触。典型的印制板插头如图所示。图6-1-4中的几个主要尺寸与公差，可根据所选的插座尺寸与公差来确定。

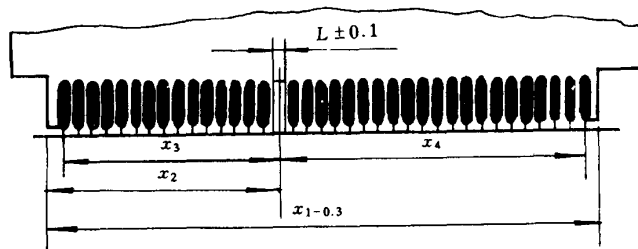


图 6-1-4 典型的印制板插头

6.2 印制电路板的排版设计

印制电路板的排版设计，是电子设备设计过程中一个非常重要的组成部分，排版设计得当与否，将直接影响着电子设备的质量。

在印制电路板的排版设计中，我们要考虑诸多影响印制电路板质量的因素，如印制板上的干扰，元器件

的安装与布局方式以及焊点和印制导线的类型等。

在印制电路板的排版设计的方法上，人们用简单的电路通过手工设计和复杂的电路经过计算机辅助设计等加以实现。

6.2.1 印制电路板中的干扰及抑制

干扰现象在整机调试和工作中经常出现，其原因是多方面的，除外界因素造成干扰外，印制板布线不合理，元器件安装位置不当等都可能造成干扰。这些干扰，在排版设计中应事先重视，则完全可以避免，否则，严重的会引起设计失败。今对印制板上常见的几种干扰及其抑制办法作简单的介绍。

1、地线的共阻抗干扰及抑制

几乎所有电路都存在一个自身的接地点，电路中接地点在电位中表示零电位，其他电位均相对于这一点而言。在印制板上的地线并不能保证是绝对零电位，而往往存在一定值，虽然电位可能很小，但由于电路的放大作用、可能产生较大的干扰。

如图 6-2-1 所示，电路 I 与电路 II 共用地线 AB 段，在原理图中，A 点与 B 点为同电位零，但在实际电路中，如果 A 点与 B 点之间有导线存在，就必然存在一定的阻抗。此阻抗当流经较大电流时或流经回路的电流频率较高时，都会造成不可忽视的干扰。由此可见，造成这类干扰的主要原因在于两个或两个以上的回路共用一段地线所造成的。

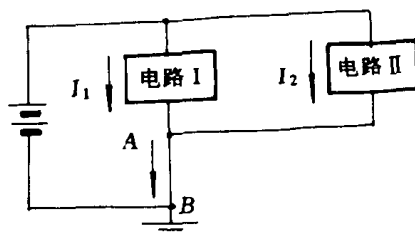
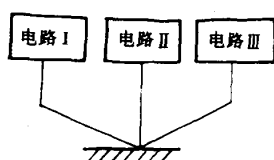


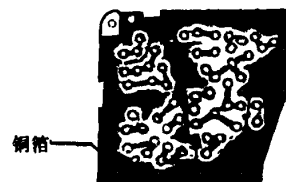
图 6-2-1 地线产生干扰

为克服地线共阻抗干扰，应尽量避免不同回路电流同时流经某一段共用地线，特别是高频和大电流回路中。

在印制电路的地线布设中，首先考虑各级的内部接地，同级电路的几个接地点要尽量集中，称为一点接地，避免其他回路的交流信号窜入本级或本级中的交流信号窜入其他回路。同级电路中的接地处理好后，要布好整个印制板上的地线，防止各级之间的干扰，下面介绍几种接地方式。



(a) 并联分路式接地



(b) 大面积覆盖接地

图 6-2-2 各种接地形式

(1) **并联分路式** 将印制板上几部分地线分别通过各自地线汇总到线路的总接地点，如图 6-2-2(a) 所示，这是理论上的接法。在实际设计中，印制电路的公共地线一般设在印制板的边缘，并较一般导线宽，各级电路就近并连接地。但如周围有强磁场，公共地线不能构成封闭回路，以免引起电磁感应。

(2) **大面积覆盖接地** 在高频电路中，可采用扩大印制板的地线面积来减少地线中的感抗，同时，可对电场干扰起屏蔽作用。如图 6-2-2 (b) 所示为一高频信号的印制板。

(3) **地线的分线** 在一块印制板上，如布设模拟地线和数字地线，则两种地线要分开，供电也要分开，以抑制相互干扰。

2、电源干扰抑制

电子仪器的供电绝大多数是由于交流市电通过降压，整流，稳压后获得。电源的质量好坏直接影响整机的技术指标。而电源的质量除原理本身外，工艺布线和印制板设计不合理，都会产生干扰，特别是交流电源的干扰。如图 6-2-3 所示就是布线不合理，致使交直流回路彼此相连，造成交流信号对直流信号产生干扰，使电源质量下降的例子。

直流电源的布线不合理，也会引起干扰。布线时，电流线不要走平行大环形线；电源线与信号线不要太近，并避免平行。

3、磁场干扰及对策

印制板的特点是元器件安装紧凑，连接密集，但如设计不当，会给整机带来分布参数造成干扰，元器件相互之间的磁场干扰等。

分布参数造成干扰主要由于印制导线间的寄生耦合而产生相互耦合等效电感和电容。布设时，对不同回路的信号线尽量避免平行，双面板上的两面印制线尽量做到不平行布设。在必要的场合下，可通过采用屏蔽的办法来减少干扰。

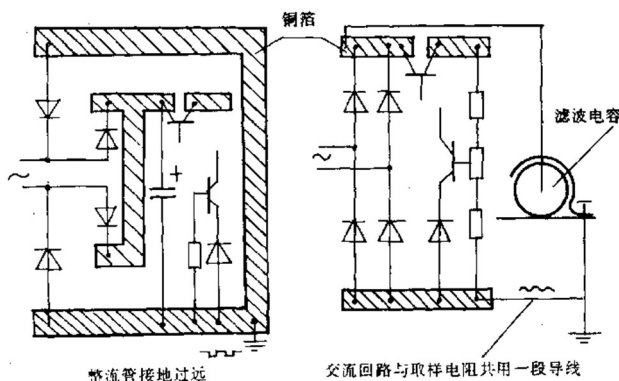


图 6-2-3 电源布线不合理引起的干扰

元器件间的磁场干扰主要是由于扬声器、电磁铁、水磁式仪表、变压器、继电器等产生的恒磁场和交变磁场，对周围元件，印制导线产生干扰。布设时，尽量减少磁力线对印制导线的切割，两磁性元件相互垂直以减少相互耦合，对干扰源进行屏蔽。

4、热干扰及抑制

由于发热元件的影响而造成温度敏感器件的工作特性变化以致整个电路电性能发生变化而产生的干扰。布设时，要找出发热元件与温度敏感元件，使热源处于较好的散热状态，使热源尽量不安装在印制板上。在必须安排在印制板上时，要配制足够的散热片，防止温升过高对周围元器件产生热传导或辐射。

6.2.2 元器件的安装与布局

1、安装方式

元器件在印制板上的固定方式分为卧式和立式两种。

(1) **立式固定** 占用面积小，适合于要求排列紧凑密集的产品。采用立式固定的元器件体积，要求小型、轻巧，过大、过重会由于机械强度差，易倒伏，造成元器件间的碰撞，而降低整机可靠性。

(2) **卧式固定** 与立式相比，具有机械稳定性好、排列整齐等特点，但占用面积较大。立式和卧式在印制板设计中，可根据实际情况，灵活选用，但总的原则是抗震性好、安装维修方便、排列疏密均匀、充分利用印制导线的布设。

(3) **大型元器件的固定** 体积大、质量重的大型元器件一般最好不要安装在印制板上，因这些元器件不仅占据了印制板的大量面积和空间，而且在固定这些元器件时，往往使印制板变形而造成一些不良影响。对必须安装在板上的大型元件，装焊时应采取固定措施，如图 4-2-4 所示，否则长期震动引线极易折断。

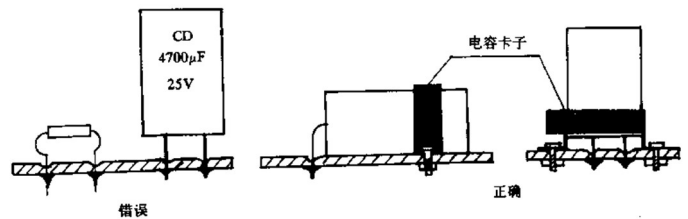


图 6-2-4 大型元件安装

2、元器件排列格式

元器件在印制板上的排列格式可分为不规则和规则两种。选用时可根据电路实际情况灵活掌握。

(1) **不规则排列** 如图 6-2-5 所示，元件轴线方向彼此不一致，在板上的排列顺序也无一定规则。这种排列方式一般元件以立式固定为主，此种方式，看起来杂乱无章，但印制导线布设方便，印制导线短而少，可减少线路板的分布参数，抑制干扰，特别对高频干扰极为有利。

(2) **规则排列** 元器件轴线方向一致，并与板的四边垂直或平行，如图 6-2-5 所示，一般元件卧式固定以规则排列为主要，这种方式排列规范，整齐美观，便于安装、调试、维修，但布线时受方向、位置的限制而变得复杂些。这种排列方式常用于板面宽松，元器件种类少、数量多的低频电路中。

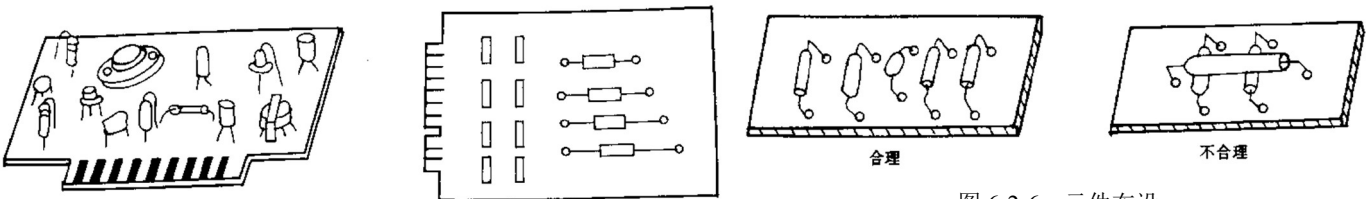


图 6-2-5 不规则排列

规则排列

图 6-2-6 元件布设

3、元器件布设原则

元器件布设决定了板面的整齐美观程度和印制导线的长度，也在一定程度上影响着整机的可靠性，布设中应遵循以下原则：

- (1) 元器件在整个板面疏密一致，布设均匀。
- (2) 元器件不要占满板面，四周留边，便于安装固定。
- (3) 元器件布设在板的一面，每个引脚单独占用一个焊盘。

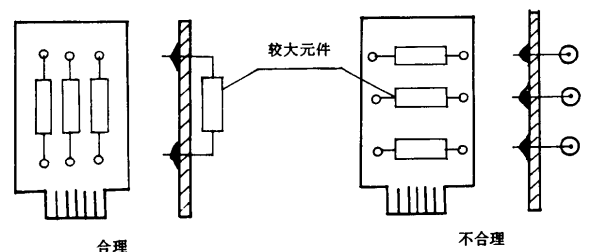


图 6-2-7 元件布设方向

(4) 元器件的布设不可上下交叉，如图 6-2-6 所示，相邻元器件间保持一定间距，并留出安全电压间隙 200V/mm。

(5) 元件安装高度尽量矮，以提高稳定性和防止相邻元件碰撞。

(6) 根据在整机中安装状态确定元器件轴向位置，为提高元件在板上稳定性，使元件轴向在整机中处于竖立状态，如图 4-2-7 所示。

(7) 元件两端跨距应稍大于元件轴向尺寸，弯脚对应留出距离，防止齐跟弯曲损坏元件。

6.2.3、焊盘及印制导线

1、焊盘的尺寸

焊盘的尺寸与钻孔孔径、最小孔环宽度等因素有关。为保证焊盘上基板连接的可靠性，应尽量增大焊盘尺寸，但同时还要考虑布线密度。一般对于双列直插式集成电路的焊盘尺寸为 $\phi 1.5\text{mm} \sim \phi 1.6\text{mm}$ ，相邻的焊盘之间可穿过 $0.3\text{mm} \sim 0.4\text{mm}$ 宽的印制导线。一般焊盘的环宽不小于 0.3mm ，焊盘的尺寸不小于 $\phi 0.3\text{mm}$ 。实际焊盘的大小一般以表6—1的推荐来选用。

表 6-2-8 钻孔直径与最小连接盘直径

钻孔直径/mm		0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1.0	1.3	1.6	2.0
最小连接盘	I级①	1.2	1.2	1.3	1.5	1.5	2.0	2.5	2.5	3.0
直径/mm	II级②	1.3	1.3	1.5	2.0	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0

① I级：允许偏差 $\pm 0.05 \sim \pm 0.10$ ，在数控钻床上钻孔。

② II级：允许偏差 $\pm 0.10 \sim \pm 0.15$ ，手工钻孔。

2、焊盘的形状

焊盘的种类有圆形、方形、椭圆形、长方形、卵圆形、切割圆形、岛形等，如图所示。

对下面常用焊盘作简单介绍：

圆形焊盘 该焊盘与穿线孔为一同心圆。外径一般为2~3倍孔径。孔径大于引线 $0.2\text{mm} \sim 0.3\text{mm}$ 。设计时，如板尺寸允许，焊盘尽量大；以免焊盘在焊接过程中脱落。而且，同一块板上，一般焊盘尺寸取一致，不仅美观，而且加工工艺方便，除非某些特殊场合。圆形焊盘使用最多，尤其在规则排列和双面板设计中。

岛形焊盘 各岛形焊盘之间的连线合为一体，尤如水上小岛，故称岛形焊盘，常用在元件不规则排列中，可在一定程度上起抑制干扰的作用，并能提高焊盘与印制导线的抗剥强度。

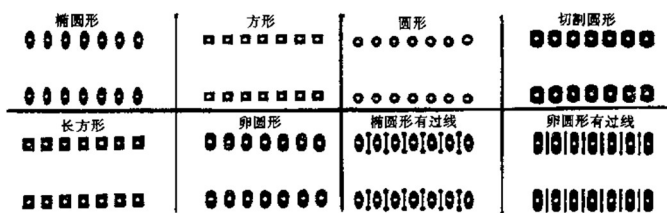


图 6-2-9 双列直插式集成电路焊盘图形

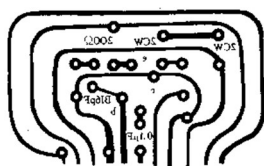


图 6-2-10 圆形焊盘

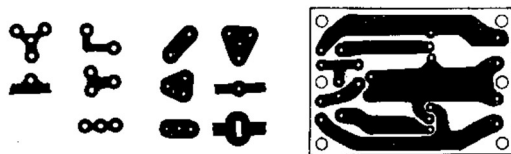


图 6-2-11 岛形焊盘

椭圆形、卵圆形、切割圆形焊盘都是为了使印制导线容易从相邻焊盘间经过而从圆形焊盘变形经拉长或拉长切割而成的，同时，在焊盘设计时可根据实际情况作些灵活的修改。

3、焊盘孔位和孔径的确定

焊盘孔位一般必须在印制电路网络线的交点位置上。

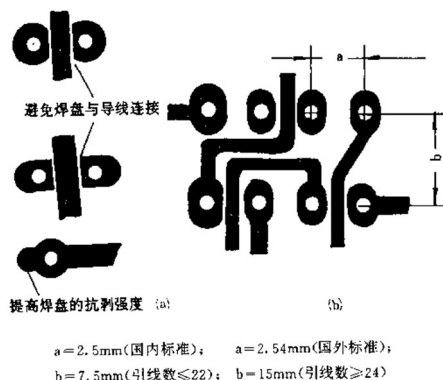
焊盘孔径由元器件引线截面尺寸所决定。孔径与元器件引线间的间隙，非金属化孔可小些，孔径大于引线 0.15mm 左右，金属化孔径间隙还要考虑孔壁的平均厚度因素，一般取 0.2mm 左右。

4、印制导线

印制导线由于本身可能承受附加的机械应力，以及局部高电压引起的放电作用，因此，尽可能避免出现尖角或锐角拐弯，一般优先选用和避免采用的印制导线形状，如图6-2-13所示。

印制导线的宽度要考虑承受电流、蚀刻过程中的侧蚀、板上的抗剥强度、以及与焊盘的协调等因素，一般导线宽度在 $0.3\text{mm} \sim 1.5\text{mm}$ 之间。对于电源线和接地线，由于载流量大的缘故，一般取 $1.5\text{mm} \sim 2\text{mm}$ 。在一些对电路要求高的场合，导线宽度还作适当的调整。

印制导线间的距离考虑安全间隙电压为 $200\text{V}/\text{mm}$ ，最小间隙不要小于 0.3mm ，否则可能引起相邻导线间的电压击穿或飞弧。在板面允许的情况下，印制导线宽度与间隙一般不小于 1mm 。



a = 2.5mm(国内标准); a = 2.54mm(国外标准);
b = 7.5mm(引线数≤22); b = 15mm(引线数≥24)

图 6-2-12 灵活设计焊盘

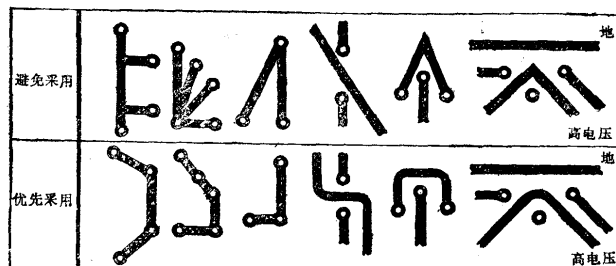


图 6-2-13 印制导线的形状

6.2.4、照相底图的绘制

排版设计不是单纯地按照原理图联接起来，而是采取一定的抗干扰措施，遵循一定原则，合理的布局，达到整机安装方便，维修容易。因此，无论是手工排版还是利用计算机布线，都要经过草图设计这一步骤。

1、分析原理图

分析原理图的目的，是为了在设计过程中掌握更大的主动性，且要达到如下目的。

(1) 理解原理图的功能原理，找出可能引起干扰的干扰源，并作出采取抑制的措施。

(2) 熟悉原理图中的每个元器件，掌握每个元器件的外形尺寸、封装形式、引线方式、排列顺序、各管脚功能，确定发热元件所安装散热片的面积，以及确定哪些元件在板上，哪些在板外。

(3) 确定印制板参数，根据线路的复杂程度来确定印制板到底应采取单面还是双面，根据元件尺寸、元件在板上安装方式、排列方式和印制板在整机内的安装方式综合确定印制板的尺寸以及厚度等参数。

(4) 确定对外连线方式，根据布置在面板、底板、侧板上的元器件的位置来具体确定。

2、单面板的排版设计

排版设计是个具有十分灵活性的工作，但在实际排版中，一般遵循以下原则：

(1) 根据与面板、底板、侧板等的联接方式，

确定与之有关的元器件在印制板上的具体位置，

然后决定其他一般元件的布局，布局要均匀，有时为了排列美观相减少空间，将具有相同性质的元件布设在一起，由此可能会增加印制导线长度。

(2) 元器件在纸上位置被安放后，开始布设印制导线，布设导线时，要尽量使走线短、少、疏。在此基础上，关键还要解决原理图中存在的交叉现象，如图 6-2-14 所示。在十分复杂的电路中，由于解决交叉现象而导致印制导线变得很长的情况而可能产生干扰时，可用“飞线”来解决。“飞线”即在印制导线的交叉处切断一根，从板的元件面用一短接线连接。但“飞线”过多，会影响印制板的质量，应尽量少用。

要注意，一个令人满意的排版设计常常经多次调整元件位置和方向，多次调整印制导线的布线情况而得到的。

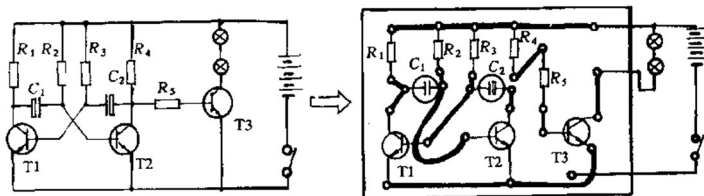


图 6-2-14 原理图与单线不交叉草图

3、双面板排版设计与绘制

除与上述单面板设计绘制过程相同外，还应考虑以下几点。

(1) 元器件布在一面，主要印制导线布在另一面，两面印制导线尽量避免平行布设，力求相互垂直，以减少干扰。

(2) 绘制元件面导线时，注意避让元件外壳、屏蔽罩等。

6.2.5、照相底图的绘制

制作一块标准印制板，一般需要绘制三种照相底图：导电图形底图，印制板表面阻焊层底图，标识印制板上所装所连元器件的位置及名称的文字符号的底图。如果用计算机设计印制板，可以把绘制文件交给厂家，由厂家直接制作照相胶片。

6.2.6、底图的计算机绘制

借计算机对印制电路进行辅助设计，这是目前印制电路板底图设计的主要工具，利用计算机绘制底图，不仅可以使底图更整洁、标准，而且能够解决手工布线印制导线不能过于细和较窄的间隙不易布线等问题，同时可彻底解决双面焊盘严格的一一对应问题，并且通过绘图仪很方便地将黑白图绘制出来，还可通过磁盘对印制底图作永久性的保存。

对印制底图的计算机辅助设计，目前较为流行 Protel、ORCAD、PADS 等。

6.3 印刷电路板的制作工艺

6.3.1、制作过程中的基本环节

印制板的制造工艺随印制板的类型和要求而不同，但在不同的工艺流程中，下面的七个基本环节是必需的。

1、绘制照相底图

照相底图的绘制方法已在上节介绍过了，作为厂家第一道工序即为设计者送来的底图进行检查，修改，以保证加工质量。现在由于计算机绘制底图的应用，常将画好的底图拷贝在软盘上，告诉厂家底图的文件名，让厂家通过绘图仪将底图绘出。

2、照相制版

用绘好的底图照相制版，版面尺寸通过调整相机焦距准确达到印制板尺寸，相版要求反差大，无砂眼。制版过程与普通照相大体相同。相版干燥后需修版，对相版上砂眼修补，对不要的用小刀刮掉。做双面板的照相版应保证正反面次照相的焦距一致，确保两面图形尺寸的吻合。

3、图形转移

把照相版上的印制电路图形转移到覆铜板上，称为图形转移。方法有：丝网转移，光化学法等。

(1) **丝网漏印** 如图 6-3-1 所示，虽是一种古老的工艺，但由于具有操作简单、生产效率高、质量稳定和成本低廉等优点，所以，广泛用于印制板制造，现由于该法在工艺、材料、设备上都有突破，能制出 0.2mm 的导线。缺点是精度比光化学法差，要求工人具有熟练操作技术。丝网漏印技术包括丝网的准备，丝网图形的制作和漏印三部分。

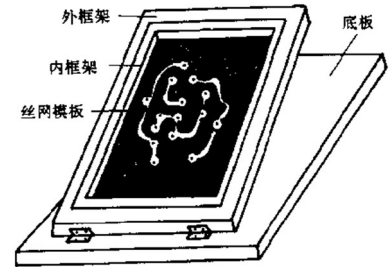


图 6-3-1 丝网漏印

(2) **直接感光法** (光化学法之一) 包括覆铜板表面处理、上胶、曝光、显影、固膜和修版的顺序过程。这里指出的上胶过程中指的覆铜板表面均匀涂上一层感光胶。曝光的目的使光线透过的地方感光胶发生化学反应，而显影的结果使未感光胶溶解，脱落，留下感光部分。固膜是为了使感光胶牢固地粘连在印制板上并烘干。

(3) **光敏干膜法** (光化学法之二) 它与直接感光法的主要区别是来自感光材料。它的感光材料是一种薄膜类物质，由聚酯薄膜、感光胶膜、聚乙烯薄膜三层材料组成，感光胶膜夹在中间。

贴膜前，将聚乙烯保护膜揭掉，使感光胶膜贴于覆铜板上，曝光后，将聚酯薄膜揭掉后再进行显影，其余过程与直接感光法类同。

4、蚀刻

蚀刻也称烂板，是制造印制电路板的必不可少的重要工艺步骤。它利用化学方法去除板上不需要的铜箔，留下焊盘、印制导线及符号等。常用的蚀刻溶液有三氯化铁、酸性氯化铜、碱性氯化铜、硫酸—过氧化氢等。

三氯化铁蚀刻液适用于丝网漏印油墨抗蚀剂和液体感光胶抗油层印制板的蚀刻。用它蚀刻的特点是工艺稳定，操作方便，价格便宜。但是，由于它再生困难，污染严重，废水处理困难而正在被淘汰，只适于在实验室中少量加工较为方便。影响三氯化铁蚀刻时间的因素有浓度和温度、溶铜量(铜在蚀刻液中溶入的量)、盐酸的加入量以及适当的搅拌方式。

酸性氯化铜近年来正代替三氯化铁蚀刻液，它具有回收的再生方法简单、减少污染、操作方便等特点。酸性氯化铜蚀刻液的配方一般除氯化铜外还有提供氯离子的成份：氯化钠、盐酸和氯化铵。影响氯化铜蚀刻时间的因素有氯离子浓度、溶液中铜含量以及溶液温度等。

碱性氯化铜适用于金、镍、铅—锡合金等电镀层作抗蚀涂层的印制板蚀刻。它的特点是蚀刻速度快也容易控制，维护方便(通过补充氨水或氨气维持 pH 值)，以及成本低等。它的蚀刻度也受铜离子浓度、氨水浓度、氯化铵浓度以及温度的影响。

硫酸—过氧化氢是一种新的蚀刻液，它的蚀刻特点是蚀刻速度快，溶销量大，铜的回收方便，勿须废水处理等。影响蚀刻的因素有过氧化氢的浓度、硫酸和铜离子的浓度、稳定剂(使溶液稳定、蚀刻速率均匀一致)、催化剂(Ag^+ 、 Hg^+ 、 Pd^{2+} 等)和温度等。

蚀刻的方式主要由浸入式、泡沫式、泼溅式和喷淋式等，分别选用于不同的蚀刻液蚀刻，目前，工业生产中用的最多的是喷淋式蚀刻。

5、金属化孔

孔金属化是双面板和多层板的孔与孔间、孔与导线间导通的最可靠方法，是印制板质量好坏的关键，它采用将铜沉积在贯通两面导线或焊盘的孔壁上，使原来非金属的孔壁金属化。

孔金属化过程中需经过的环节有钻孔、孔壁处理、化学沉铜和电镀铜加厚。孔壁处理的目的是使孔壁上沉淀一层作为化学沉铜的结晶核心的催化剂金属。化学沉铜的目的使印制板表面和孔壁产生一薄层附着力差的导电铜层。最后的电镀铜使孔壁加厚并附着牢固。

6、金属涂敷

为提高印制电路的导电性、可焊性、耐磨性、装饰性，延长印制板的使用寿命，提高电气可靠性，可在印制板的铜箔上涂敷一层金属。金属镀层的材料可分为：金、银、锡、铅锡合金等。

涂敷的方法分电镀和化学镀两种。

电镀法使镀层致密、牢固、厚度均匀可控，但设备复杂，成本高，一般用于要求高的印制板和镀层，如插头部分镀金等。

化学镀设备简单、操作方便、成本低，但镀层厚度有限，牢固性差，一般只适用于改善可焊性的表面涂敷。

目前大部分采用浸锡和镀铅锡合金的方法来改善可焊性，它具有可焊性好、抗腐蚀能力强，长时间放置不变色等优点。

7、涂助焊剂与阻焊剂

印制板经表面金属涂敷后，根据不同的需要可进行助焊和阻焊处理。

涂助焊剂的目的，既可起保护镀层不氧化的作用，又可提高可焊性。

为了保护版面，确保焊接的正确性，在一定的要求下在板面上加阻焊剂，但必须使焊盘裸露。

印制板加工除上述七个基本环节外，还有其他加工工艺，可根据实际情况添加，如为了装焊方便，而在元件层印有文字标记、元件序号等。

6.3.2、印制板的生产工艺

印制板的生产过程都需上述七环节，但不同的印制板具有不同的工艺流程。

1、单面板生产流程

生产流程为：敷铜板下料→表面去油处理→上胶→暴光→显影→固膜→修版→蚀刻→去保护膜→钻孔→成形→表面涂敷→助焊剂→检验。

单面板工艺简单，质量易于保证，但在焊接之前，还要进行检验。

2、双面板生产流程 双面板与单面板生产的主要区别是增加了孔金属化工艺。由于孔金属化工艺的多样性，导致双面板制作工艺的多样性，但总的概括分为先电镀后腐蚀和先腐蚀后电镀两类。先电镀的有板面电镀法、图形电镀法、反镀漆膜法；先腐蚀的有堵孔法和漆膜法。这里只简单介绍常用的较为先进的图形电镀法工艺流程。

生产流程：下料→钻孔→化学沉铜→电镀铜加厚(不到预定厚度)→贴干膜→图形转移(暴光、显影)→二次电镀加厚→镀铅锡合金→去保护膜→腐蚀→镀金(插头部分)→成型热烙→印制阻焊剂及文字符号→检验。

3、多层板的生产流程

随着微电子技术的发展，大规模集成电路日趋广泛应用，为适应一些特殊应用场合，如导弹、遥测系统、航天、航空、通信设备、高速计算机、微小型化计算机等产品对印制电路不断提出新的要求，多层印制电路在近几年得到了推广。多层印制板也称为多层板，它有三层以上相互连接的导电图形层，层间用绝缘材料相隔、经粘合后形成的印制电路板。

多层印制板的生产过程比较复杂，各层精度要求高。其步骤如下：

设计→相板→制作内层导线图形及去膜→化学处理内层图形→层压→钻孔→孔金属化→印制外层抗蚀图形(贴膜)→外层图形电镀铅锡合金→去抗蚀膜蚀刻外层图形→插头退铅锡合金并镀金→热熔铅锡合金→外形加工→测试→印阻焊剂与文字符号→成品。

6.3.3、手工自制印制板

在样机尚未定型的试制阶段或在课程设计中，经常需手工制作印刷板，因此，掌握手工自制印制板方法很有必要。手工制作有漆图法、贴图法、铜箔粘贴法和感光法等。下面介绍常用的漆图法和感光法。

1、漆图法制作过程如下：

工序：下料→表面处理→拓图→打孔→描漆图→腐蚀→去漆膜→清洁→涂助焊剂。

(1)下料

按实际设计尺寸剪裁敷铜板，去四周毛刺。

(2)表面处理

由于加工、储存等原因，在敷铜板的表面会形成一层氧化层，氧化层将影响底图的复印，为此在复印底图前应将敷铜板表面清洗干净。具体方法是：用水砂纸蘸水打磨，用去污粉擦洗（或用牙膏），直至将板面擦亮为止。然后用水冲洗，用布擦净后即可使用。这里切忌用粗砂纸打磨，否则会使铜箔变薄，且表面不光滑，影响描绘底图。

(3)拓图

用复写纸将已设计的印制板布线草图拓在干净的敷铜板的铜箔面上。复印时最好把复印纸、印制电路板图用胶布固定在敷铜板上。

注意草图拓图时的正反面。印制导线用单线表示，焊盘用小圆点表示。拓双面板时，板与草图至少有 3 个以上的定位孔（孔间距要大），以保证两面焊盘孔的吻合适度。

复印完毕后，要认真复查是否有错误和漏掉的线条，复查后再把印制电路板图复写纸取下。

(4) 打孔

在用钻床前先在焊盘中心打样冲眼确定焊盘孔位，即用小冲头对准要钻孔的部位冲一个一个的小凹痕，便于以后打孔时不至于偏移位置。钻床应取高速钻，钻头要刀刃锋利，进刀不宜过快，以免将铜箔挤出毛刺。清除孔的毛刺时不要用砂纸。

对于集成电路，为了打孔方便，可预先在一块有机玻璃板上按不同引脚打出不同的孔，制成“定位板”，以后再打孔时，可用这块“定位板”做模具进行打孔。

(5) 描漆图

描图之前应先把所用的漆调配好。通常可用稀料调配调和漆，也可用酒精泡虫胶漆片，可以将 1 份漆片溶于 3 份酒精中，完全溶解后再加入少量的甲基橙或甲基紫作为色剂使描图颜色清晰。要注意漆的稀稠适宜，以免描不上或是流淌。

描图用的笔，可用小号毛笔，也可用鸭嘴笔，另外还可将描图液灌在废旧的注射器中进行描制，这种方法既灵活又方便，特别适宜描制较细的线条。实际使用时，注射器针尖的斜口部分要先用钢丝钳剪去，再用挫刀挫光滑即可。描完后的印制电路板应平放，让描图液自然干透，同时检查线条是否有麻点、缺口或断线，如果有，应及时填补、修复，再用快口尖刀将线条图形整理一下，使线条光滑，焊盘圆滑。

也可用记号笔描图。记号笔的笔油既不溶于水，也不溶于三氯化铁溶液，因此，在制作电路板时十分方便。由于涂层较薄，描好后待到笔油干了后应再多描一两遍。

(6) 腐蚀

腐蚀液一般用三氯化铁水溶液，浓度为 28%~42%，温度适当（溶液太浓会使铜箔板上需要保存的铜箔从侧面被三氯化铁腐蚀；温度不要超过 60℃，温度太高会使漆层隆起脱落）以加快腐蚀速度，并用排笔轻轻刷扫，以防止腐蚀下的铜层覆盖未腐蚀层而降低反应速度。待完全腐蚀后，用清水清洗。

(7) 去漆膜

若描图时用的是调合漆，可用棉花蘸香蕉水擦洗；如果是漆片溶液，可采用酒精擦洗；如果缺少这些溶剂，也可用细砂纸（最好是水磨砂纸）轻轻磨去覆盖的漆层。

(8) 清洁

用碎布蘸着去污粉（或用牙膏）擦拭印制导线和焊盘，露出铜的光亮本色。擦拭后用清水冲洗、晾干。

(9) 涂助焊剂

用已配好的松香酒精溶液涂在洗净晾干的印制电路板上，使板面得到保护，并提高可焊性。

2、感光法制作过程如下：

(1) 材料

预涂布感光覆铜板是用高压高温离子覆膜技术在普通的覆铜板上喷涂上一层高分子光敏材料而成。这种覆铜板的特点是：

- 高分子光敏材料涂层具有强度高，对光的单色性强，可以在较明亮的光线下操作；
- 光敏时效性好，曝光时间在 6~20 分钟内都能得到很好效果；
- 只要将其放在 6~15℃ 的温度中保存，6 个月内都能使用。
- 经曝光后，保留下的涂层抗剥离强度高，耐腐蚀，在高达 80℃ 的三氯化铁溶液中 2 小时无腐蚀发生。
- 非常适合在业余条件下制作印刷电路板，即便是从未制作过印刷电路板的人，只要按说明书操作均可做出满意的电路板。

(2) 具体操作方法如下：

- 将需制作的印制电路图以阴图（白字黑底）的形式用激光打印机打印在硫酸纸上或胶片上，打印阴图的方法详见提供的说明书。
- 用一只 20W 的制版曝光用紫外线灯管，将灯管装进一合适的箱中，在箱中灯管上方 12cm 处装一块玻璃。
- 用冷开水将显影剂（随同配给）溶解到 1~2% 浓度成为显影液。
- 将打印有线路图的硫酸纸放在玻璃上（注意正反面），再将感光覆铜板的覆铜面压放在图纸上，再在覆

铜板上压上重物，使其紧粘图纸。

e. 盖上箱盖，通电曝光 10~15 分钟。

f. 将显影液倒在覆铜板已曝光面上将其浸泡，同时用棉花轻擦覆铜面，经 3 分钟左右，待线路图全部显影清晰，用水冲洗干净，吹干后即可进行腐蚀，钻孔。

7. 实习报告大作业

7.1 写作大纲

第一部分 八路抢答器

- 一、系统功能
 - 1.1 八路抢答器的功能及用途
 - 1.2 系统组成框图
 - 1.3 系统各部分功能
- 二、各部分电路原理
 - 2.1 秒脉冲产生电路
 - 2.2 简易逻辑笔电路
 - 2.3 可预置数的倒计时电路
 - 2.4 抢答器基本电路
 - 2.5 报警电路
 - 2.6 时序控制电路
- 三、装配调试
 - 3.1 报警电路调试故障分析及解决方法
 - 3.2 简易逻辑笔在调试检修中的应用
- 四、技术小结

第二部分 蜂鸣器报警电路设计

- 一、设计原则
- 二、元器件布局图
- 三、印刷线路板图

第三部分 八路抢答器装配工艺文件

参考教学内容的收音机装配工艺文件实例《红灯牌 753F 调频调幅小台式收音机》工艺文件，结合课件设计内容，编撰一个带机壳的《花椒小台式八路抢答器》的装配工艺文件。

第四部分 安全生产和环境保护

- 4.1 安全生产
- 4.2 电子产品生产中的环境保护

第五部分 心得体会

7.2 写作要求

手写手绘，条理清晰，书写、画图规范，图文并茂，详略得当，分析到位。

8. 实习后的延续工作

电子实习对于培养实践设计动手能力只是入门。成功了不骄傲，失败了不气馁。以此作为起点，只要肯攀登，一定可以看到高处精彩的风光。

实践能力，或者说是发现问题、解决问题的能力，需要在不断的学习和实践中总结经验教训，不断地深入研究，才能逐步提高，不可能通过一次培训学习就能一蹴而就的。请同学们积极参加电子创新基地开放实验室和电子协会举办的各类活动。积极参加校双基电子竞赛、智能车竞赛、挑战杯等学术竞赛。

8.1 参考题目

- | | |
|--------------------|-------------|
| 1) 篮球 24 秒倒计时器 | 10) 数字调谐收音机 |
| 2) 精确到 0.01 秒的数字秒表 | 11) 自动行驶小车 |
| 3) 显示时分秒的数字钟 | 12) 功放 |
| 4) 计步器 | 13) 公交报站器 |
| 5) 自行车里程表 | 14) LED 显示屏 |
| 6) 彩色 LED 霓虹灯 | 15) 电子密码锁 |
| 7) 无线八路抢答器 | 16) 温度计 |
| 8) 显示金额的硬币储钱罐 | 17) 交通灯 |
| 9) 电骰子 | |

8.2 设计制作步骤

- 1) 查找并阅读资料，
- 2) 比较并确定方案，
- 3) 设计并调试各部分电路，
- 4) 联调修改电路并制作成品，
- 5) 总结提高。

8.3 设计调试手段

- 1) 计算机软件仿真：用仿真软件构建电路调试，有 Multisim、Proteus、OrCAD 等电路仿真软件；
- 2) 实物调试：用元器件在面包板或万能板上搭建电路调试；

8.4 参考资料

- 1) 数字电路设计与制作，(日) 汤山俊夫著，科学出版社；
- 2) 模拟电路设计与制作，(日) 青木英颜著，科学出版社；

3) 晶体管电路设计(上)(下), (日) 铃木雅臣著, 科学出版社;

8.5 联系方式

19549387@qq.com 158 0700 9282

8.6 我的几点建议

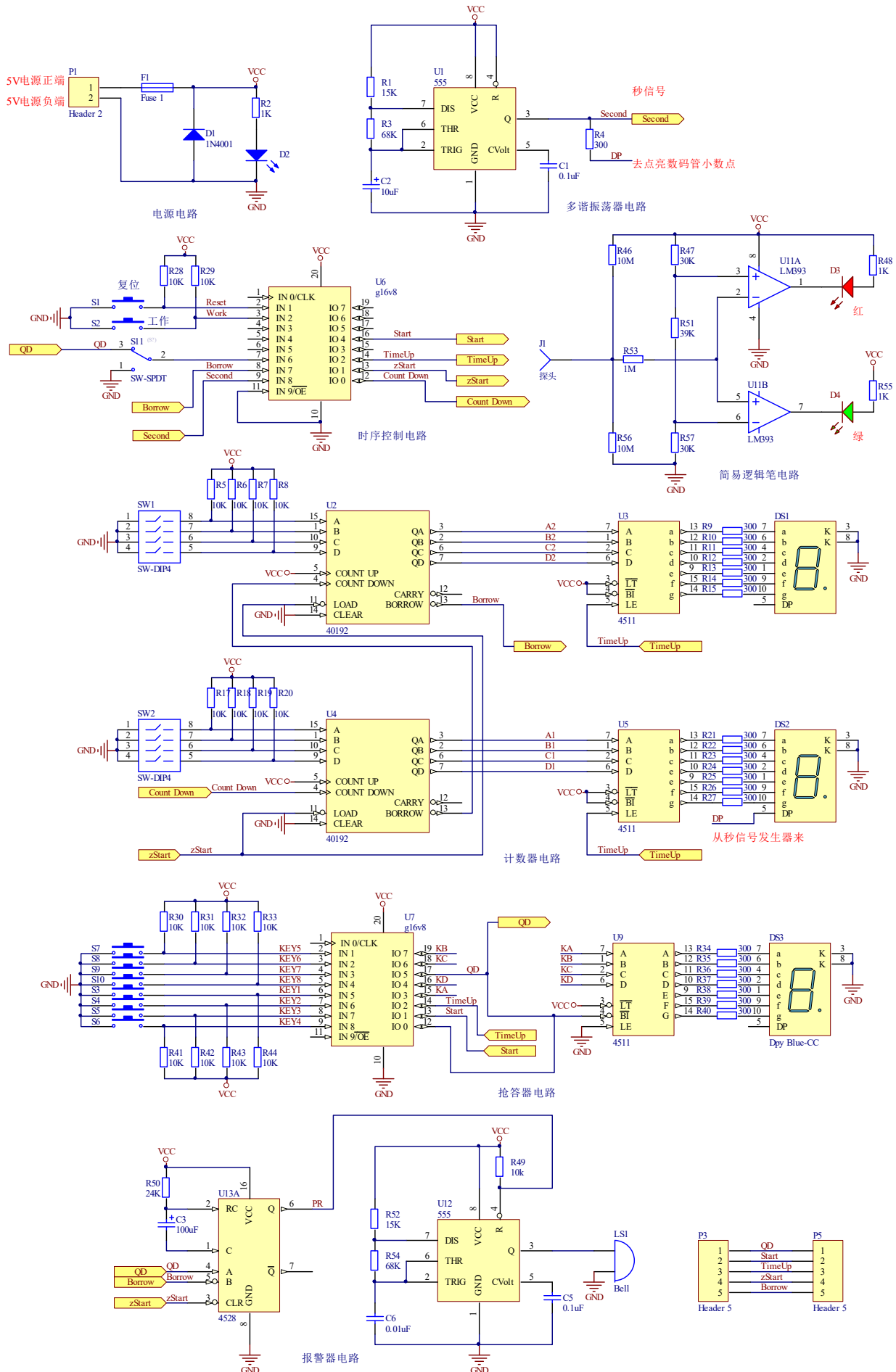
找几个志同道合的同伴, 做以下的事情:

- 1) 学好基础理论知识;
- 2) 参加课外科技活动, 参加电子协会或电子创新基地举办的讲座和制作活动;
- 3) 每个学期制作一个代表作;
- 4) 每个学期参加一个学术竞赛;
- 5) 本科期间参与至少一项老师科研课题;
- 6) 申报专利;
- 7) 发表论文;
- 8) 利用好每个寒暑假。

成功属于有想法并付诸实际行动的同学。

9. 附录

9.1. 系统完整电路原理图



9.2. 系统参考布线图

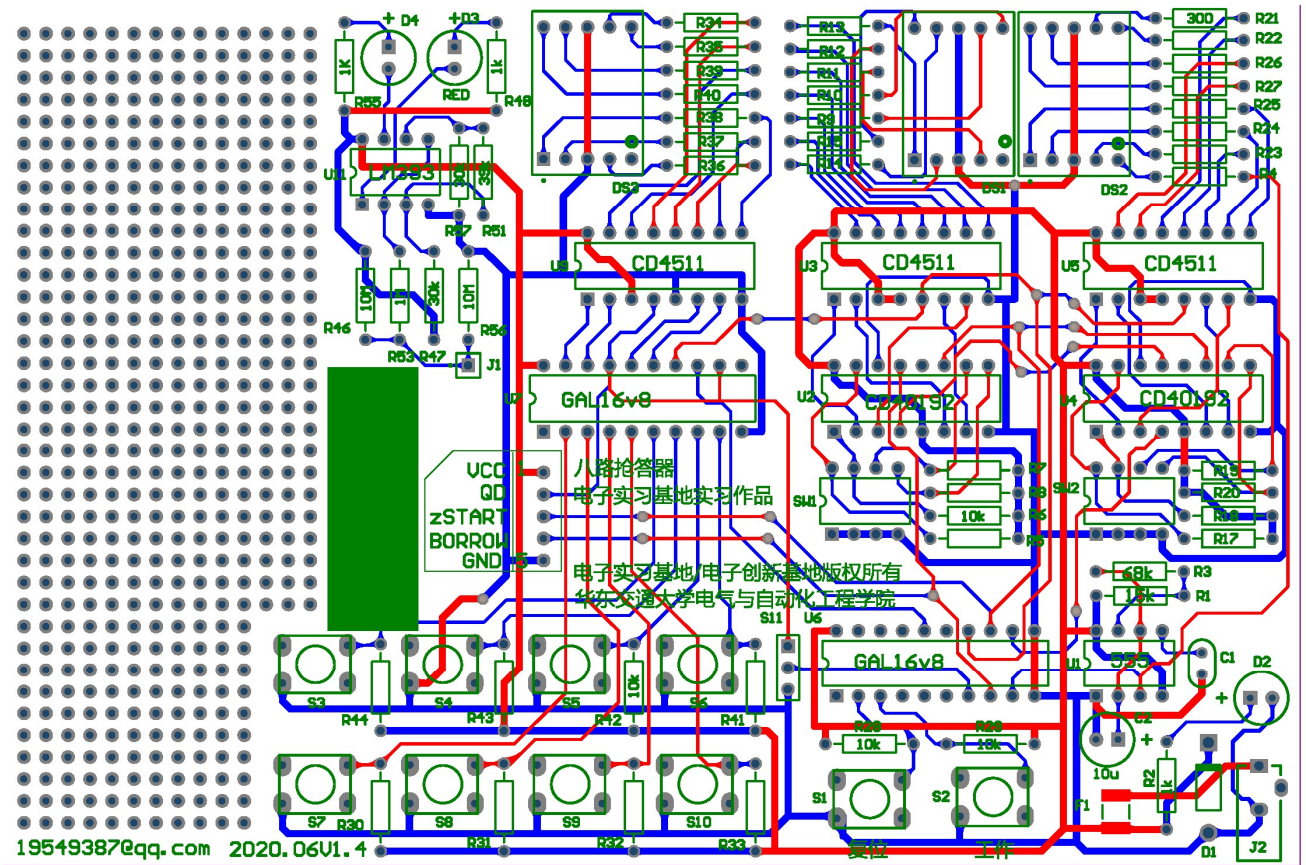


图 42 系统顶层、底层布局合成布线图（俯视）

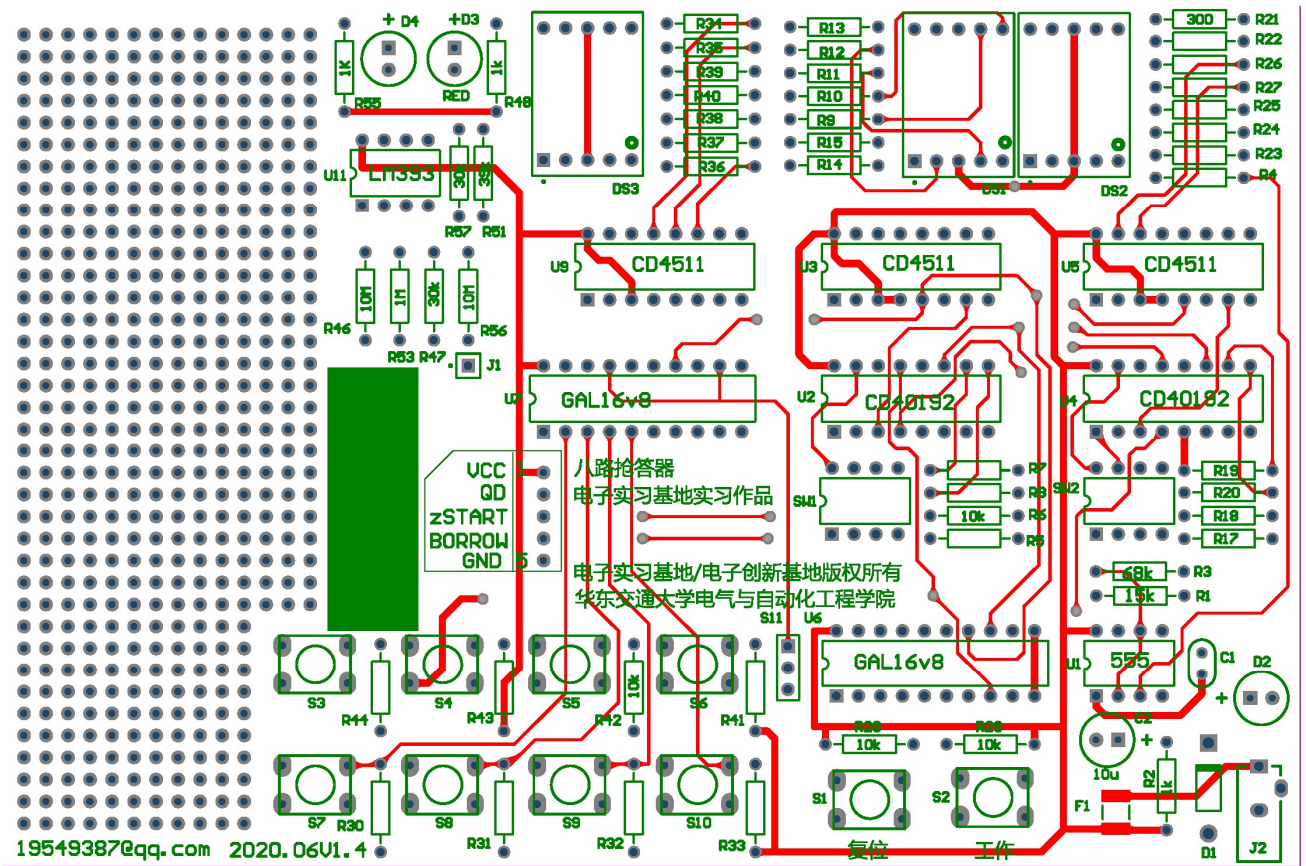


图 43 系统元器件位置布局和顶层布线图（俯视）

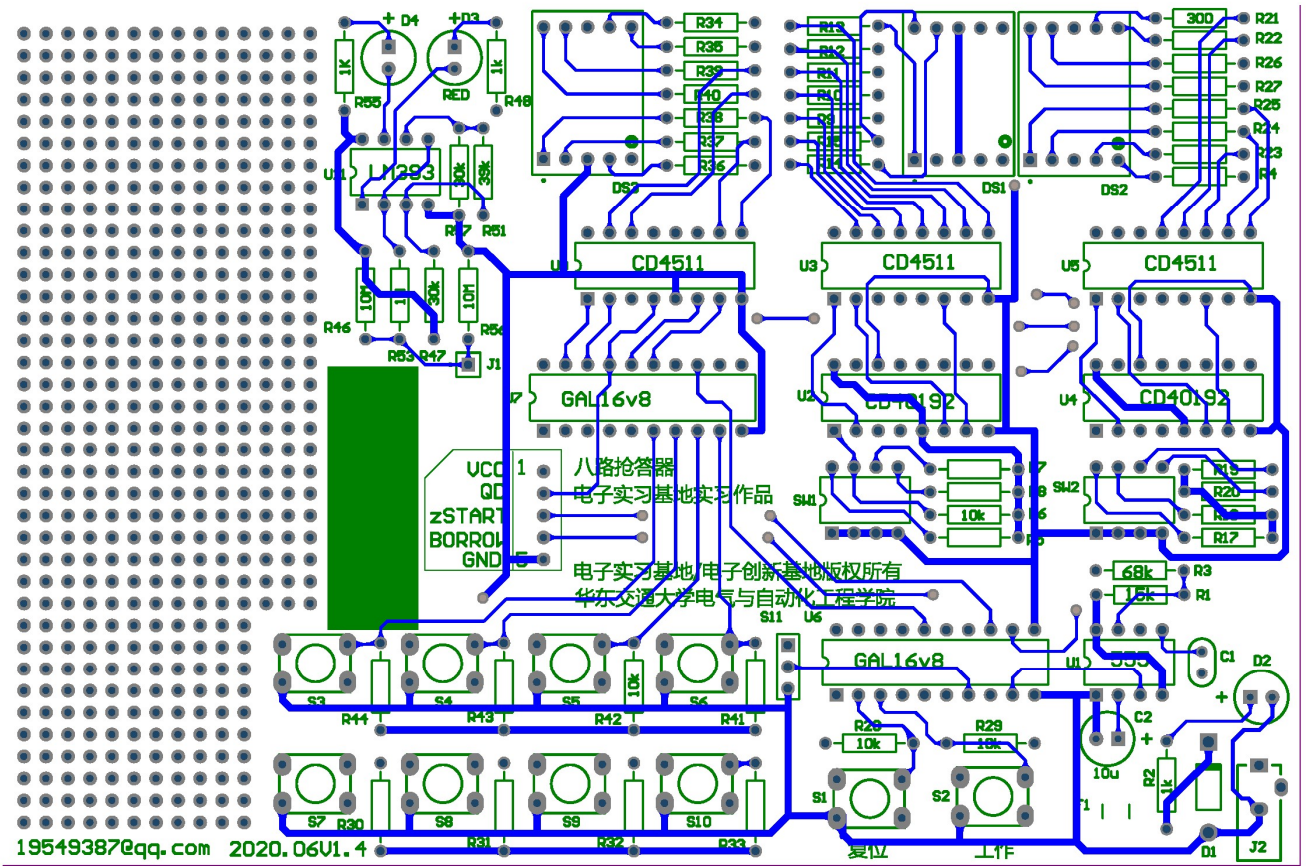
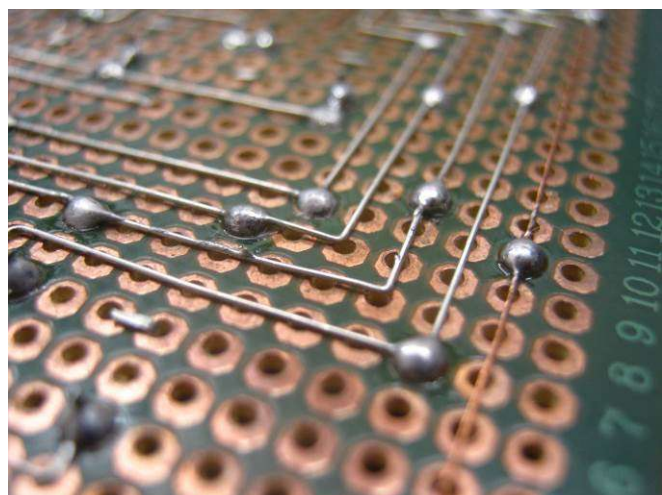
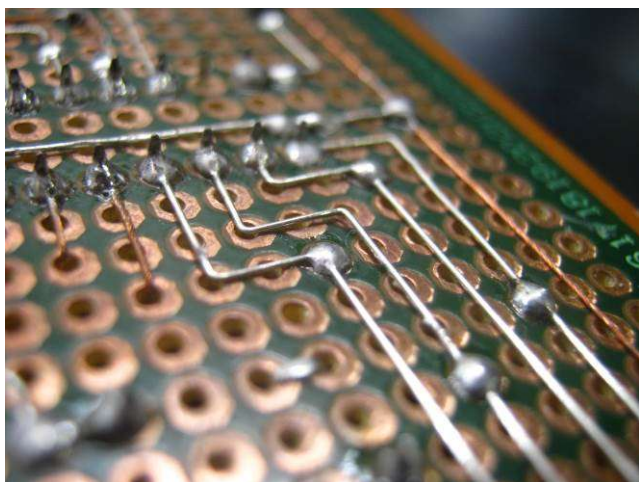
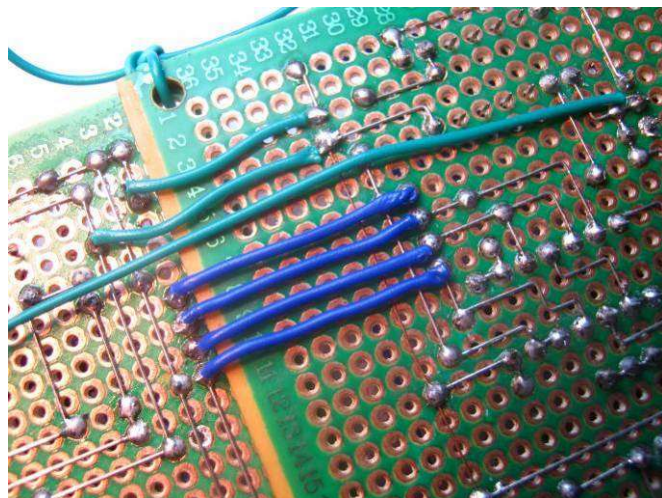
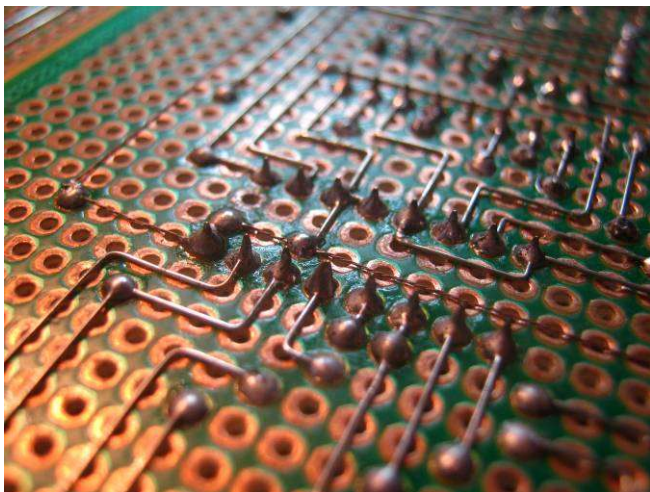


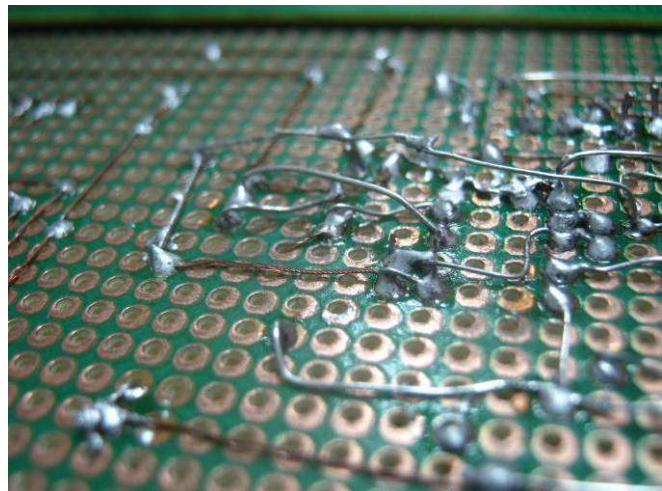
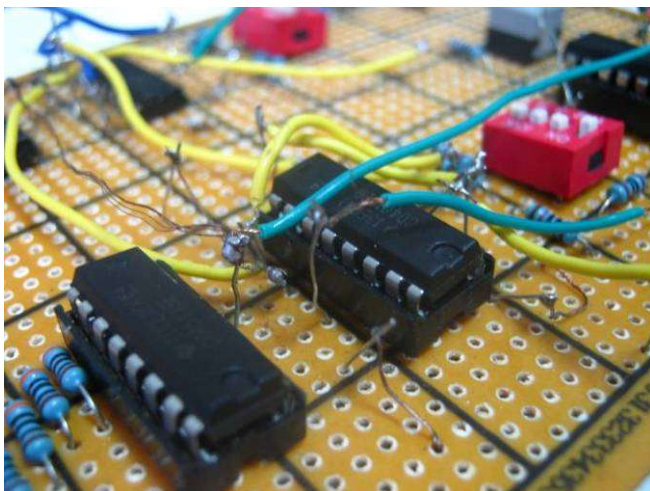
图 44 系统底层布线图 (俯视)

9.3. 实习作品鉴赏

优秀作品

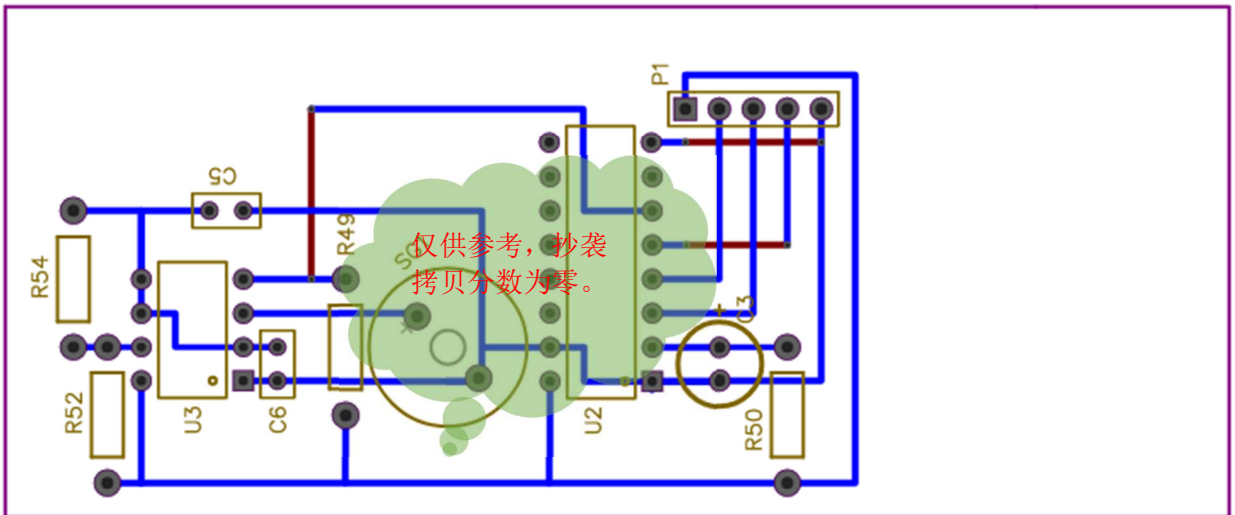
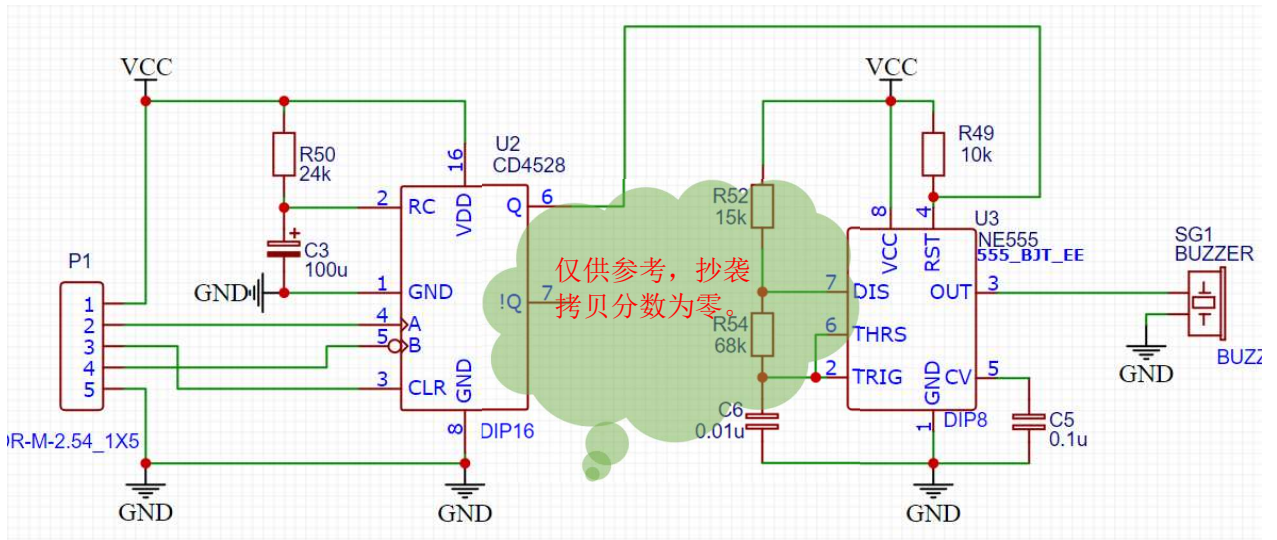


以下作品为不合格作品



9.4. 蜂鸣器报警电路设计

注意：以下设计仅供参考，抄袭拷贝分数为零。



9.5. 电子工艺文件实例

工 艺 文 件

共 1 册
第 1 册
共 25 页

型 号	753F 调频调幅
名 称	小台式收音机
图 号	
本册内容	元件工艺、导线加工、组件加工、 基板插件焊接装配、整机装配

批准

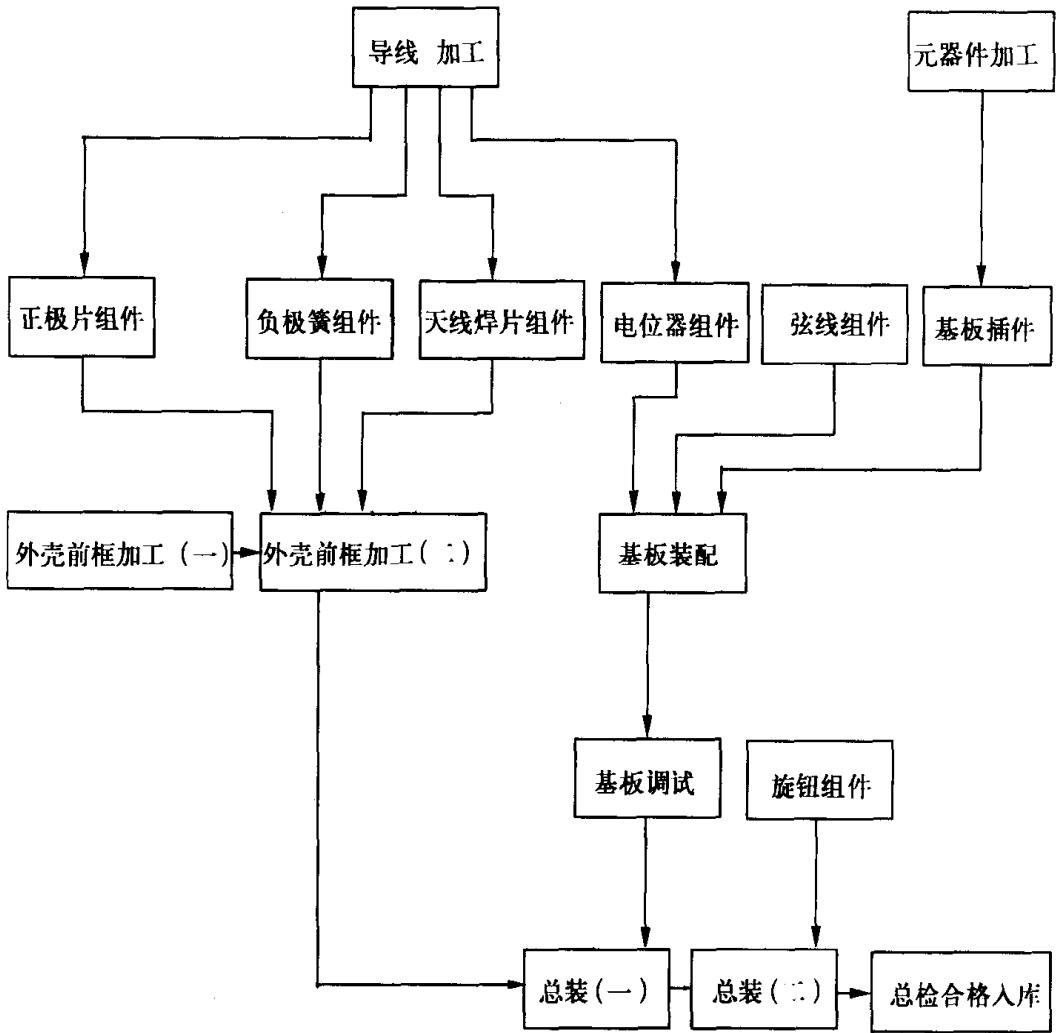
年 月 日

上海众达仪器仪表有限公司

		工艺文件目录			产品名称或型号			产品图号	
					753F 调频调幅收音机				
序号	文件代号	零、部、整件图号		零、部、整件图号		页数	备注		
1	G1			工艺文件封面		1			
2	G2			工艺文件目录		1			
3	G3			工艺路线表		1			
4	G4			工艺流程图		1			
5	G5			元件工艺表		1			
6	G6			导线及线扎加工表		1			
7	G8-1			电位器组件		1			
8	G8-1			弦线组件		1			
9	G8-1			正极片组件		1			
10	G8-1			负极簧组件		1			
11	G8-1			旋钮组件		1			
12	G8-1			天线焊片组件		1			
13	G8			基板插件焊接工艺		2			
14	G9			基板插件工艺图		2			
15	G8			基板装配工艺		2			
16	G9			基板装配工艺图		2			
17	G8-1			调试工艺		1			
18	G8-1			外壳前框加工		2			
使用性	19	G8-1			整机装配		2		
旧底图总号									
底图总号	更改标记	数量	文件号	签名	日期	签名	日期	第 2 页	共 25 页
						拟制			
日期	签名					审核		第 册	第 页
						标准化		上海众达仪器仪表有限公司	
								T:021-62494599	

		工艺路线表			产品名称或型号			产品图号	
					753F 调频调幅收音机				
序号	图号	名称	装入关系	部件用量	工件用量	工艺路线及内容			
			正极片组件		1				
		导线及线扎	}	负极簧组件	1				
		加工		天线焊片组件	1				
			电位器组件		1				
		元器件加工	基板插件焊接		1				
		弦线组件	}	基板装配	1				
		电位器组件							
		基板插件							
		基板装配	基板调试		1				
		外壳前框加工(一)	外壳前框加工(二)		1				
		外壳前框加工(二)	}	总装(一)	1				
		基板调试							
		总装(一)	}	总装(二)	1				
		旋钮组件							
			总检合格入库						
使用性									
旧底图总号									
底图总号	更改标记	数量	文件号	签名	日期	签名	日期	第 3 页	共 25 页
日期	签名					拟制		第 册	第 页
						审核		上海众达仪器仪表有限公司	
						标准化		T:021-62494599	

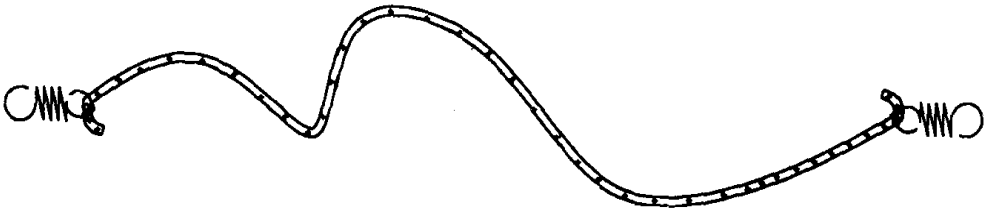
工艺说明及简图	名称	编号及图号
	工艺流程图	工序编号



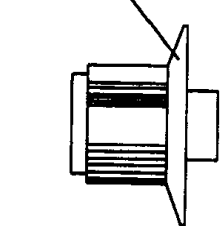
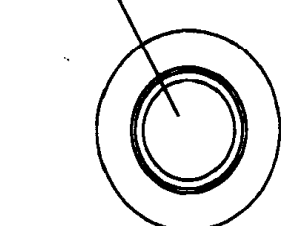
使用性									
旧底图总号									
底图总号	更改标记	数量	文件号	签名	日期	签名	日期	第 4 页	共 25 页
日期	签名					拟制		第 册	第 页
						审核		上海众达仪器仪表有限公司	
						标准化		T:021-62494599	

		元件工艺表		产品名称或型号				产品图号				
				753F 调频调幅收音机								
简图:												
序号	位号	名称、型号、规格	L/mm						数量	设备	工时 定额	备注
			A 端	B 端		正端	负端					
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	R1,R2	电阻 RT14-330Ω	10	10					2			
2	R3	电阻 RT14-100KΩ	15	15					1			
3	C9	电容器 CC1-2,2	10	10					1			
4	C8,C10	电容器 CC1-18	10	10					2			
5	C1,C3,C5	电容器 CC1-30	10	10					3			
6	C12,C22	电容器 CC1-201	10	10					2			
7	C2,C16	电容器 CC1-103	10	10					2			
8	C20,C23	电容器 CC1-104	10	10					2			
9	C13	电容器 CC1-223	10	10					1			
10	C17	电容器 CD11-1μ	8	8					1			
11	C11,C15	电容器 CD11-4.7μ	8	8					2			
12	C6,C14,C18	电容器 CD11-10μ	8	8					3			
13	C19,C21	电容器 CD11-220μ	8	8					2			
14	L1,L2	4.5 圈电感	8	8					2			
15	L3	3.5 圈电感	8	8					1			
16	Z1	465B 陶瓷滤波器	8	8					1			
17	Z2	L10.7A 陶瓷滤波器	8	8					1			
18	Z3	J10.7C 陶瓷滤波器	8	8					1			
使用性												
旧底图总号												
底图总号		更改标记	数量	文件号	签名	日期	签名	日期	第 5 页		共 25 页	
日期		签名					拟制		第 册		第 页	
							审核		上海众达仪器仪表有限公司			
							标准化		T:021-62494599			

		导线及线扎加工表			产品名称或型号						产品图号		
					753F 调频调幅收音机								
序号	编号	名称规格	颜色	数量	L/mm				去向、焊接处		设备	工时定额	备注
					L全长	A端	B端	A剥头	B剥头	A端			
1	1-1	塑料线 AVR1×12	白	1	50			5	5	电位器 F	印制板 D		
2	1-2	塑料线 AVR1×12	红	1	100			5	5	电位器 E	正极连片		
3	1-3	塑料线 AVR1×	绿	1	110			5	5	印制板 A	天级焊片		
4	1-4	塑料线 AVR1×12	黑	1	110			5	5	喇叭(+)	负极弹簧		
5	1-5	塑料线 AVR1×12	黑	1	180			5	5	喇叭(+)	印制板 C		
6	1-6	塑料线 AVR1×12	褐	1	180			5	5	喇叭(-)	印制板 B		
7	1-7	镀银铜丝 TR0.6		1	20					电位器	印制板		
8	1-8	镀银铜丝 TR0.6		1	20					电位器	印制板		
9	1-9	镀银铜丝 TR0.6		1	20					电位器	印制板		
10	J ₁ 、J ₂	镀银铜丝 TR0.6		2	20					印制板	印制板		
使用性													
旧底图总号													
底图总号	更改标记	数量	文件号	签名	日期	签名		日期	第 6 页		共 25 页		
日期	签名					拟制			第 册		第 页		
						审核			上海众达仪器仪表有限公司				
						标准化			T:021-62494599				

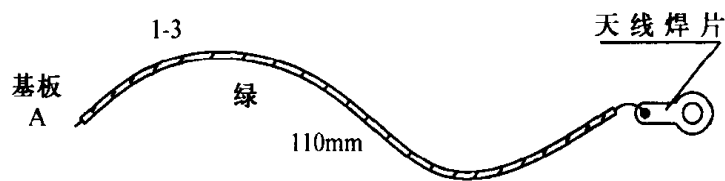
		装配工艺过程卡			装配件名称		装配件图号				
					弦件组件						
+		装入件及辅助材料			车间	工序号	工种	工序(步)内容及要求	设备及工装	工艺工时定额	
		序号	代号、名称、规格	数量							
+		1	拉线弹簧	2				弦线二端装上弹簧、打结	剪刀		
		2	弦线 440mm	1				打结后长度为 415mm	A 字钳		
									工艺要求:弦线结头不得 松开脱落;		
+		图示: 									
使用性											
旧底图总号											
底图总号	更改标记	数量	文件号	签名	日期	签名	日期	第 8 页	共 25 页		
日期	签名					拟制		第 册	第 页		
						审核		上海众达仪器仪表有限公司			
						标准化		T:021-62494599			

装配工艺过程卡						装配件名称		装配件图号		
						正极片组件				
装入件及辅助材料			车间	工序号	工种	工序(步)内容及要求	设备及工装	工艺工时定额		
序号	代号、名称、规格	数量								
1	正极电池夹	1				把连片 G、H 二端从正极电池夹孔插入至二平面接触后,如图(?)所示将 G、H 二端弯曲	电烙铁			
2	连片	1								
3	导线(红)100mm	1				把 100mm 红色导线焊在 H 端点				
4	松香芯焊锡丝					工艺要求:1. 焊点光亮应无毛刺,导线必须焊牢;2. 连片应与正极电池夹装配应牢固,不应脱落;				
<p>图示:</p>										
使用性										
旧底图总号										
底图总号		更改标记	数量	文件号	签名	日期	签名	日期	第 9 页	共 25 页
日期	签名						拟制		第 册	第 页
							审核		上海众达仪器仪表有限公司	
							标准化		T:021-62494599	

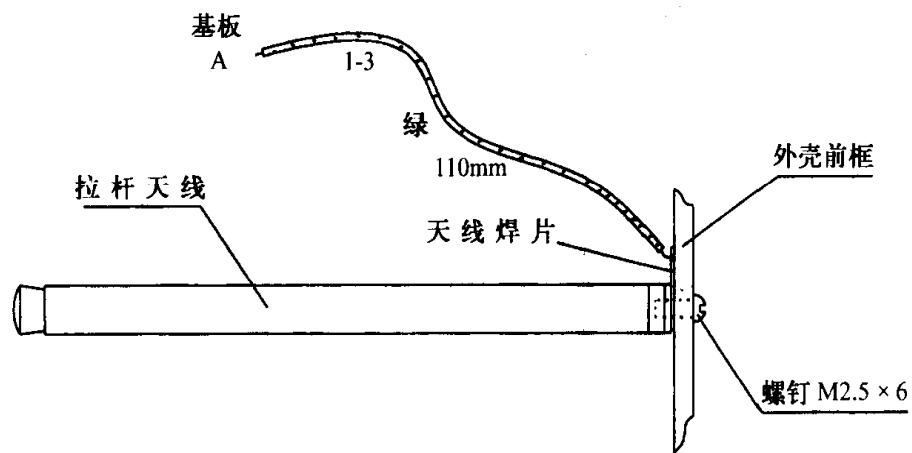
		装配工艺过程卡				装配件名称		装配件图号		
						旋钮组件				
装入件及辅助材料			车间	工序号	工种	工序(步)内容及要求	设备 及工装	工艺 工时 定额		
序号	代号、名称、规格	数量								
1	旋钮	2		1		把装饰片贴在旋钮顶端,必须贴平				
2	旋钮装装饰片	2		2		装装饰环并弯脚	小螺钉 旋具			
3	旋钮装装饰环	2				注:本组件单机用量×2				
						工艺要求:1. 装饰片必须贴牢、贴平;2. 装饰环必须压紧;				
图示: <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <p>装饰环</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>装饰片</p>  </div> </div>										
使用性										
旧底图总号										
底图总号		更改标记	数量	文件号	签名	日期	签名	日期	第 11 页	共 25 页
日期	签名						拟制		第 册	第 页
							审核		上海众达仪器仪表有限公司	
							标准化		T:021-62494599	

装配工艺过程卡				装配件名称			装配件图号	
				天线焊片组件				
装入件及辅助材料			车间	工序号	工种	工序(步)内容及要求	设备 及工装	工艺 工时 定额
序号	代号、名称、规格	数量						
1	天线焊片	1				按图示焊接天线焊片组件	电烙铁	
2	导线绿色 110mm	1						
3	松香芯焊锡丝							

图示:



图示 1: 天线焊片组件

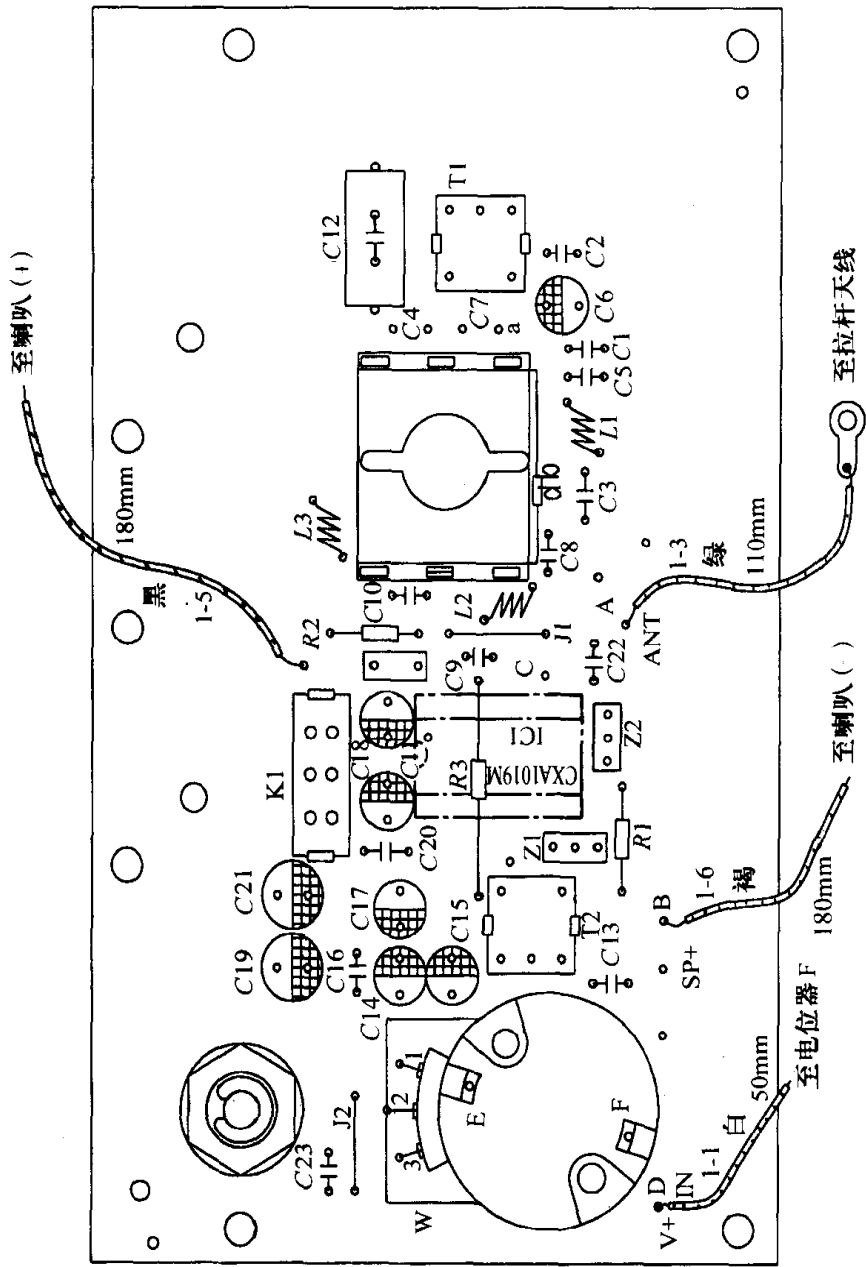


图示 2: 拉杆天线装配图

底图总号	更改标记	数量	文件号	签名	日期	签名	日期	第 12 页	共 25 页
日期	签名					拟制		第 册	第 页
						审核		上海众达仪器仪表有限公司	
						标准化		T:021-62494599	

		装配工艺过程卡				装配件名称		装配件图号		
						基板插件焊接工艺				
		装入件及辅助材料			车间	工序号	工种	工序(步)内容及要求	设备及工装	工艺工时定额
位号	代号、名称、规格		数量							
	753F 电路板									
J ₁ 、J ₂	镀银铜丝 TR0.6 20mm		2		1		插镀银铜丝(必须插平)焊锡、剪脚	电烙铁 剪刀		
R ₁ 、R ₂	电阻 RT14-330Ω		2		2		按图(一)位号所示插、焊电阻	A字钳		
R ₃	电阻 RT14-100K		1				剪脚			
L ₃	3.5 圈电感		1		3		按图(一)位号所示插、焊电感			
L ₁ 、L ₂	4.5 圈电感		2				剪脚			
C ₉	电容器 CC1 2.2		1		4		按图(一)位号所示插、焊电容器			
C ₈ 、C ₁₀	电容器 CC1 18		2				剪脚			
C ₁ 、C ₃ 、C ₅	电容器 CC1 30		3							
C ₂₂ 、C ₁₂	电容器 CC1 201		2							
C ₂ 、C ₁₆	电容器 CC1 103		2							
C ₁₃	电容器 CC1 223		1							
C ₂₀ 、C ₂₃	电容器 CC1 104		2							
C ₁₇	电容器 CD11 1μ		1							
C ₁₁ 、C ₁₅	电容器 CD11 4.7μ		2							
C ₆ 、C ₁₄ 、C ₁₈	电容器 CD11 10μ		3							
C ₁₉ 、C ₂₁	电容器 CD11 220μ		2							
Z ₁	陶瓷滤波器 465B		1		5		按图(一)位号所示插、焊陶瓷滤波器			
使用性	Z ₂	陶瓷滤波器 L10.7A		1						
	Z ₃	陶瓷滤波器 J10.7C		1						
	T ₁	ML10-7 黑		1	6		按图(一)位号所示插中振线圈			
旧底图总号	T ₂	TF-1C 中周(绿色)		1			中周、插平、焊锡			
底图总号	更改标记	数量	文件号	签名	日期	签名	日期	第 13 页	共 25 页	
日期	签名					拟制		第 册	第 页	
						审核		上海众达仪器仪表有限公司		
						标准化		T:021-62494599		

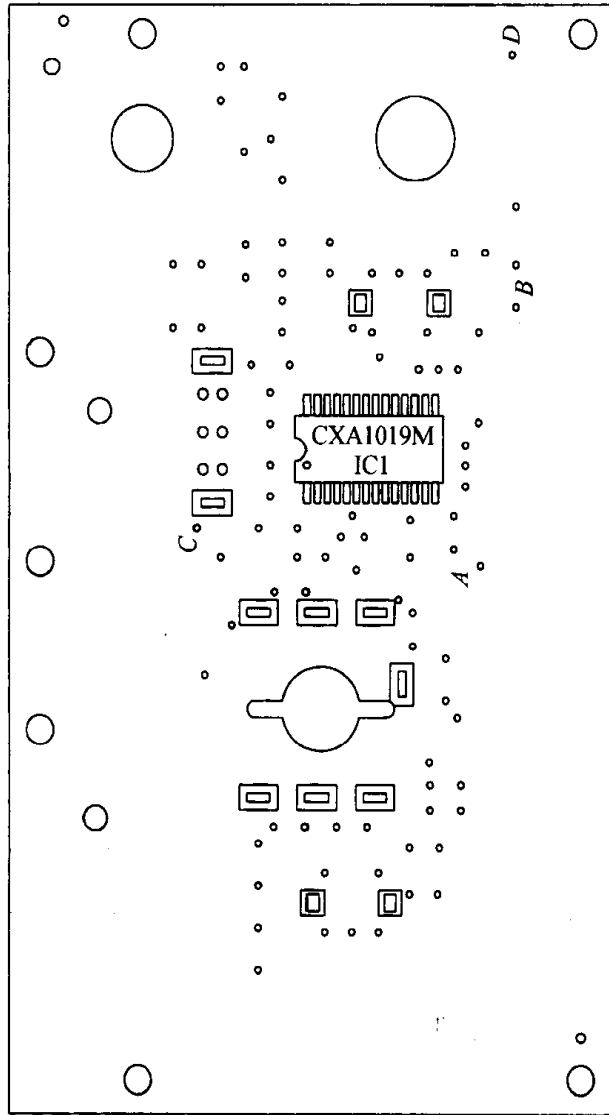
工艺说明及简图	名称	编号或图号
	753F 调频调幅收音机	
	工序名称	工序名称
	基板插件工艺图	



图一

使用性									
旧底图总号									
底图总号	更改标记	数量	文件号	签名	日期	签名	日期	第 15 页	共 25 页
日期	签名					拟制		第 册	第 页
						审核		上海众达仪器仪表有限公司	
						标准化		T:021-62494599	

工艺说明及简图	名称	编号或图号
	753F 调频调幅收音机	
	工序名称	工序名称
	基板插件工艺图	

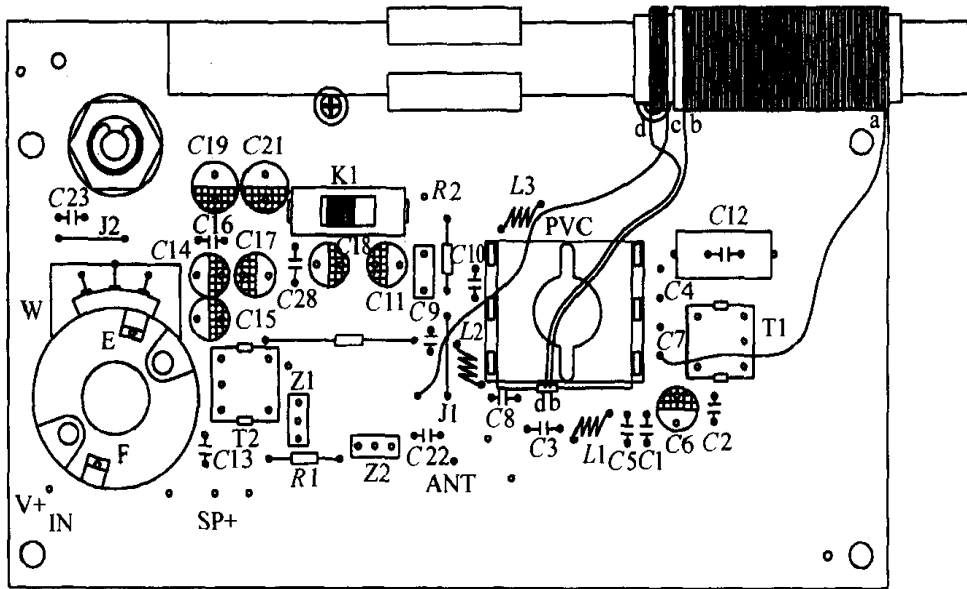


11
图

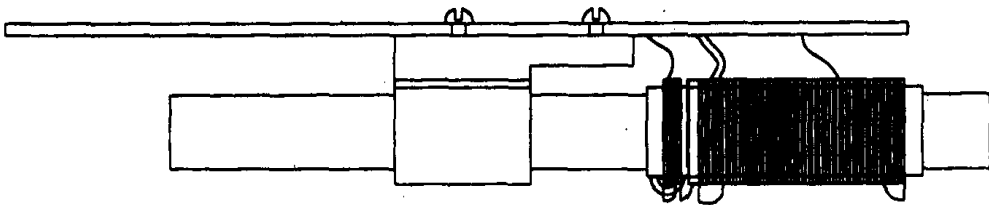
使用性									
旧底图总号									
底图总号	更改标记	数量	文件号	签名	日期	签名	日期	第 16 页	共 25 页
日期	签名					拟制		第 册	第 页
						审核		上海众达仪器仪表有限公司	
						标准化		T:021-62494599	

		装配工艺过程卡			装配件名称				装配件图号	
					基板装配工艺					
装入件及辅助材料				车 间	工 序 号	工 程	工序(步)内容及要求	设备 及工装	工 时 定 额	
序号	代号、名称、规格		数量							
1	四连		1	1		装四连(注意方向)	螺钉 旋具			
2	半园头螺钉 M2.5×4									
3	天线线圈		1	2		装磁棒架				
4	磁棒 M10×120		1			把天线线圈套在磁棒上				
5	磁棒支架					再把磁棒装在磁棒支架(见图三、四)				
6	自攻螺钉 3×6									
7	松香芯焊锡丝					天线线圈引线串孔后按图位号 进行焊接焊四连焊片六点	电烙铁 镊子钳			
8	调谐轴		1			装调谐轴用螺母紧固				
9	调谐轴套		1			然后装卡簧(见图一)				
10	轴套螺母		1							
11	卡簧		1							
12	电位器组件		1			用螺母垫片把电位器紧固在基板上, 同时使镀银铜丝穿孔焊锡(见图一)				
13	导线白色 50mm		1			白色导线从基板元件安装面的 D点穿至印制板面焊接				
14	天线焊片组片(导线绿色 100mm)		1			把三根导线穿孔后焊接在基板 印制面的				
15	导线褐色 180mm		1			A、B、C(见图一)				
16	导线黑色 180mm		1							
使用性										
17	刻度板支架组件		1			装刻度板支架(见图五)				
18	自攻螺钉 3×6		2			按图示方向(四连顺时针方向旋到底)				
19	拉线盘		1			按图五方向装拉线盘				
旧底图总号	20		半园头螺钉 M2.5×6		1	拉弦线步骤:				
底图总号										
更改标记		数量	文件号	签名	日期	签名	日期	第 17 页	共 25 页	
日期		签名				拟制		第 册	第 页	
						审核		上海众达仪器仪表有限公司		
						标准化		T:021-62494599		

工艺说明及简图	名称	753F 调频调幅收音机	编号或图号
	工序名称	基板装配工艺图	工序名称
	基板装配工艺图		



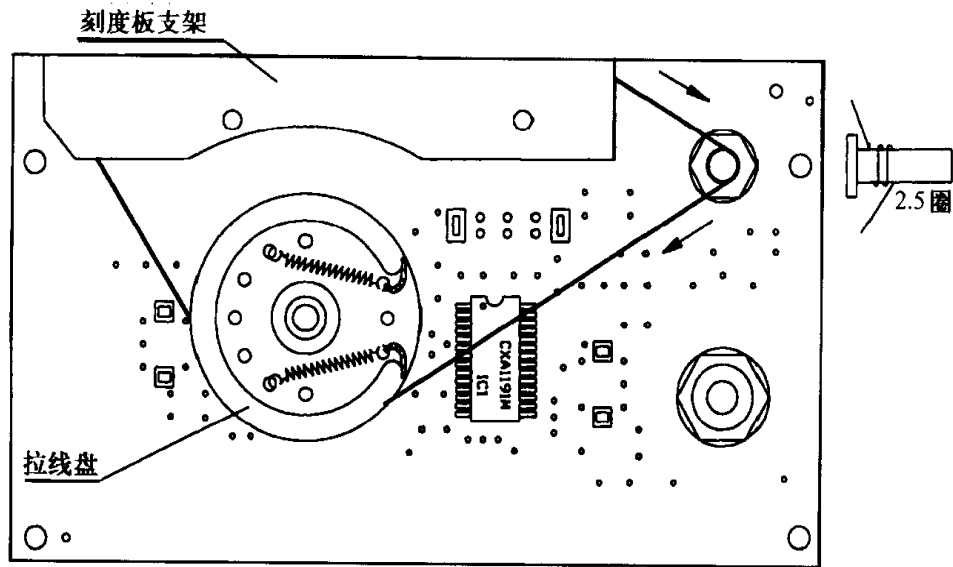
图三



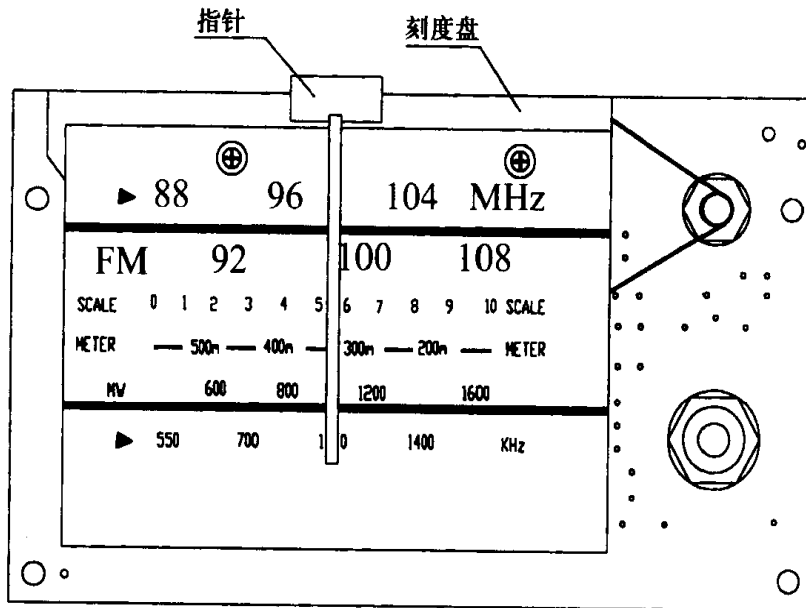
图四

使用性									
旧底图总号									
底图总号	更改标记	数量	文件号	签名	日期	签名	日期	第 19 页	共 25 页
日期	签名					拟制		第 册	第 页
						审核		上海众达仪器仪表有限公司	
						标准化		T:021-62494599	

工艺说明及简图	名称	编号或图号
	753F 调频调幅收音机	
	工序名称	工序名称
	基板装配工艺图	



图五



图六

使用性

旧底图总号

底图总号	更改标记	数量	文件号	签名	日期	签名	日期	第 20 页	共 25 页
						拟制			
日期	签名					审核		第 册	第 页
						标准化		上海众达仪器仪表有限公司	
								T:021-62494599	

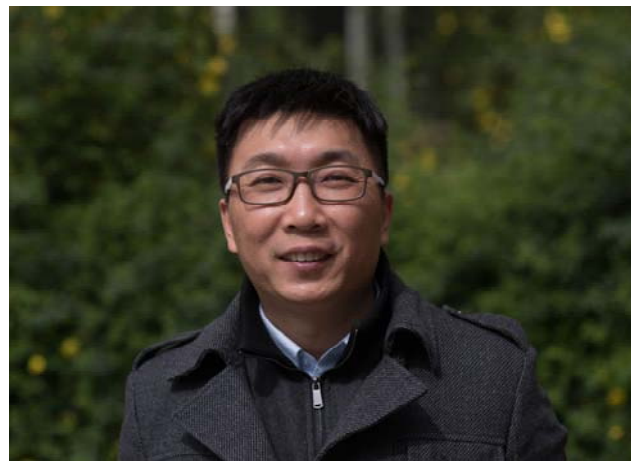
		工艺说明及简图		名称				编号或图号	
				753F 调频调幅收音机					
				工序名称				工序名称	
				调试工艺					
序号	设备名称			数量	型号规格			备注	
一	调试设备								
1	信号发生器			一台					
2	毫伏表			一台					
3	稳压电源			一台					
4	万用电表			一只					
5	信号环			一只					
二	调试工具								
1	无感螺钉旋具								
2	剪刀								
3	A字钳								
三	调试工序				调试常规工艺见教材第三节。				
1	调中频： AM465kHz, FM10.7MHz							按常规调试工艺 执行,调试结束,	
2	调频率范围： AM 515~1625kHz FM 86.5~108.5MHz							用高频蜡封固。	
3	调灵敏度 AM 600kHz,1000kHz FM 88MHz,108MHz								
使用性									
旧底图总号									
底图总号	更改标记	数量	文件号	签名	日期	签名	日期	第 21 页	共 25 页
日期	签名					拟制		第 册	第 页
						审核		上海众达仪器仪表有限公司	
						标准化		T:021-62494599	

		装配工艺过程卡			装配件名称				装配件图号	
					外壳前框加工(二)					
序号		装入件及辅助材料		车 间	工 序 号	工 程	工序(步)内容及要求		设备 及工装	工艺 工时 定额
代号、名称、规格		数量								
1	扬声器 Yb-80-1W-8Ω	1	1				装扬声器、扬声器压板		螺丝 刀具	
2	喇叭压板	3					方向按图示			
3	自攻螺钉 M3×6	3								
4	正极片组件	1	2				用二只 M3×5 螺钉如图 C 处			
5	螺钉 M3×5	2					将正极片组件固定			
							工艺要求： 扬声器、天线、正极片组件 必须牢固，不得松动			
6	负极簧组件	1	3				把负极簧组件嵌在 外壳前框的 D 处			
图示：										
<p>The diagram shows a front view of a rectangular frame assembly. On the left side, there is a vertical component labeled '正极片组件' (Positive plate assembly) with a '天线 焊片' (Antenna solder tab) extending from it. A vertical rod labeled 'A' is positioned at the top left. At the bottom left, there are two small protrusions labeled 'B' and 'C'. On the right side, there is a circular speaker component labeled '扬声器' (Speaker) with a '喇叭压板' (Speaker cover plate) on top. Below the speaker, there is a spring component labeled '负极簧组件' (Negative spring assembly) with a point 'D' marked on it. Two '自攻螺钉' (Self-tapping screws) are shown being used to secure the positive plate assembly to the frame.</p>										
使用性										
旧底图总号										
底图总号	更改标记	数量	文件号	签名	日期	签名	日期	第 23 页	共 25 页	
日期	签名					拟制		第 册	第 页	
						审核		上海众达仪器仪表有限公司		
						标准化		T:021-62494599		

		装配工艺过程卡			装配件名称				装配件图号	
					整机装配(一)					
		装入件及辅助材料			车 间	工 序 号	工 程	工序(步)内容及要求	设备 及工装	工艺 工时 定额
序号	代号、名称、规格		数量							
1	松香芯焊锡丝				1		将基板固定在外壳前框中	螺钉 旋具		
2	基板		1							
3	自攻螺钉 M3×8		3		2		将基板 B 处褐色导线另一端焊在			
4	正极片组件		1		2		喇叭的(-)焊片端有孔处			
5	后盖支柱		1		3		将基板 C 处黑色导线另一端 和负极簧上导线的另一端一起焊 在喇叭的(+)端焊片端有孔处			
					4		将基板 D 处白色导线另一端焊 在电位器 F 处			
					5		将正极片组件上红色导线的 另一端焊在电位器的 E 端			
6	拉杆天线		1		6		装拉杆天线			
7	天线焊片组件		1				如图所示把天线从中框 A 处孔			
8	螺钉		1		7		内插入,加一天线焊片组件如 图用 M2.5×6 螺钉紧固之;(见天 线焊片组件图)。装后盖支柱			
							工艺要求:			
							1. 紧固件必须紧固不得松动			
							2. 导线应焊牢,不假焊			
使用性										
旧底图总号										
底图总号	更改标记	数量	文件号	签名	日期	签名	日期	第 24 页	共 25 页	
						拟制				
日期	签名					审核		第 册	第 页	
						标准化		上海众达仪器仪表有限公司		
								T:021-62494599		

八路抢答器产品化再设计

杨云
电子实习基地



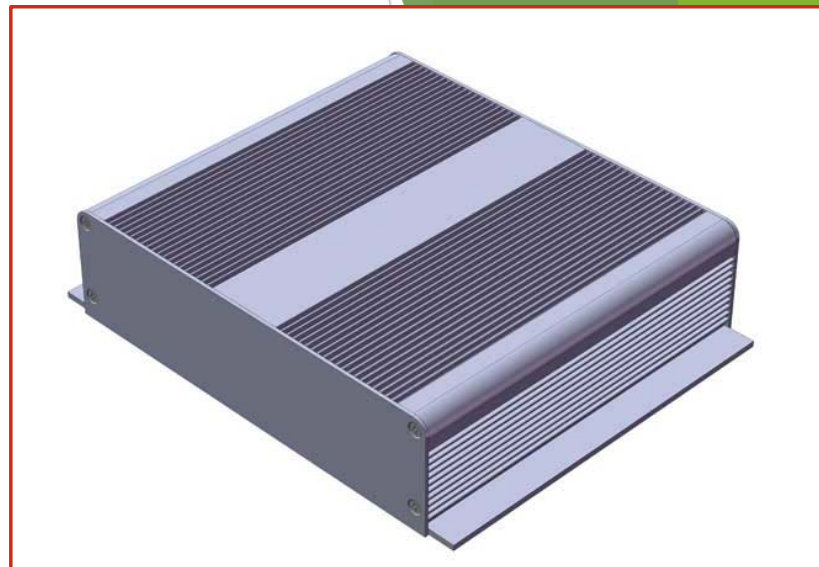
华东交通大学电气学院电子实习基地 内部交流，未公开版

选用什么样的机壳？

——通用铝合金型材机壳

- ▶ 铝合金材质，美观结实耐用
- ▶ 一种利用型材的通用小机壳，市场货源充足，容易采购，价格实惠
- ▶ 机壳所需深度只需截取型材的长度即可定制，尺寸灵活
- ▶ 铝合金型材，尺寸精度高，结构紧凑

华东交通大学电气学院电子实习基地 内部交流，未公开版

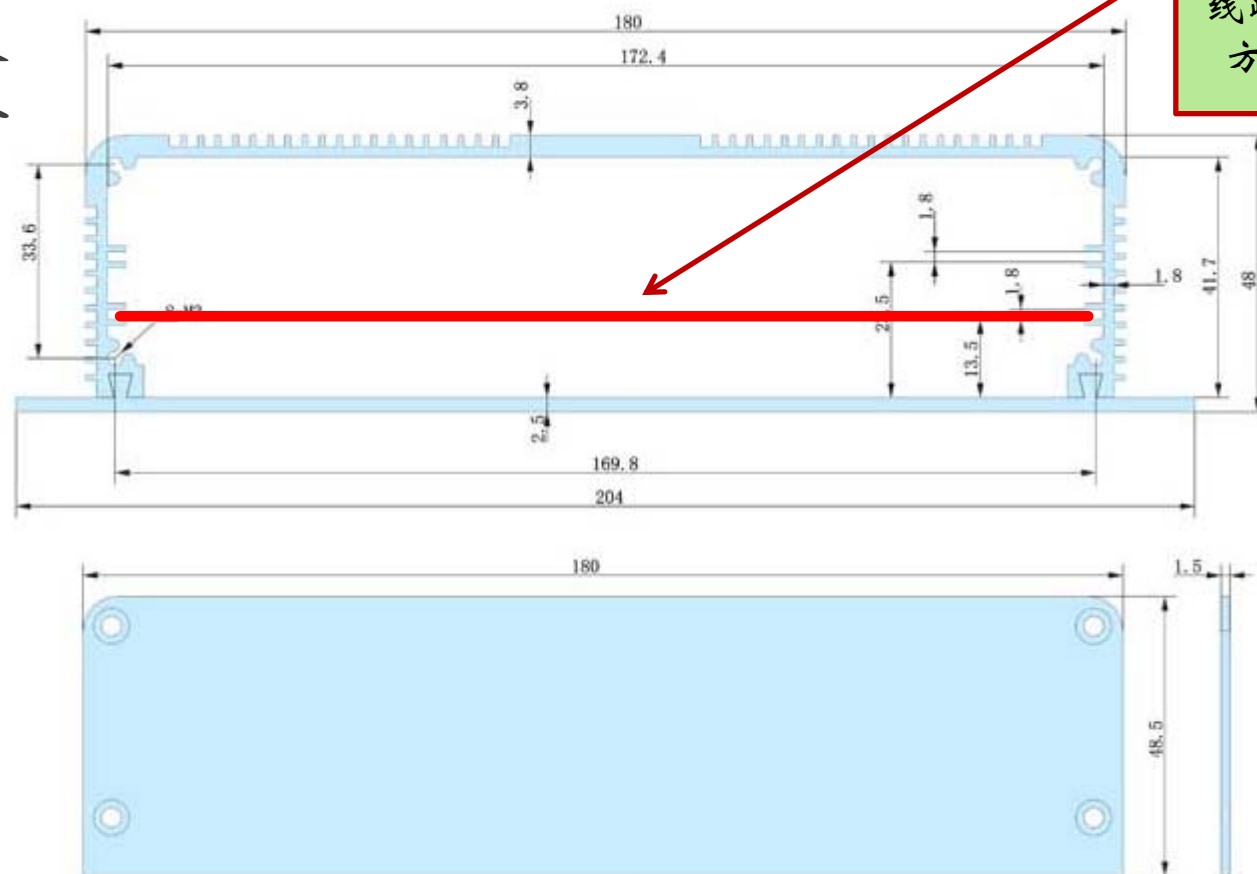


怎样把线路板装入机壳？

▶ 利用铝合金型材本身的凹槽，把线路板**插入凹槽**中

▶ 确定线路板尺寸

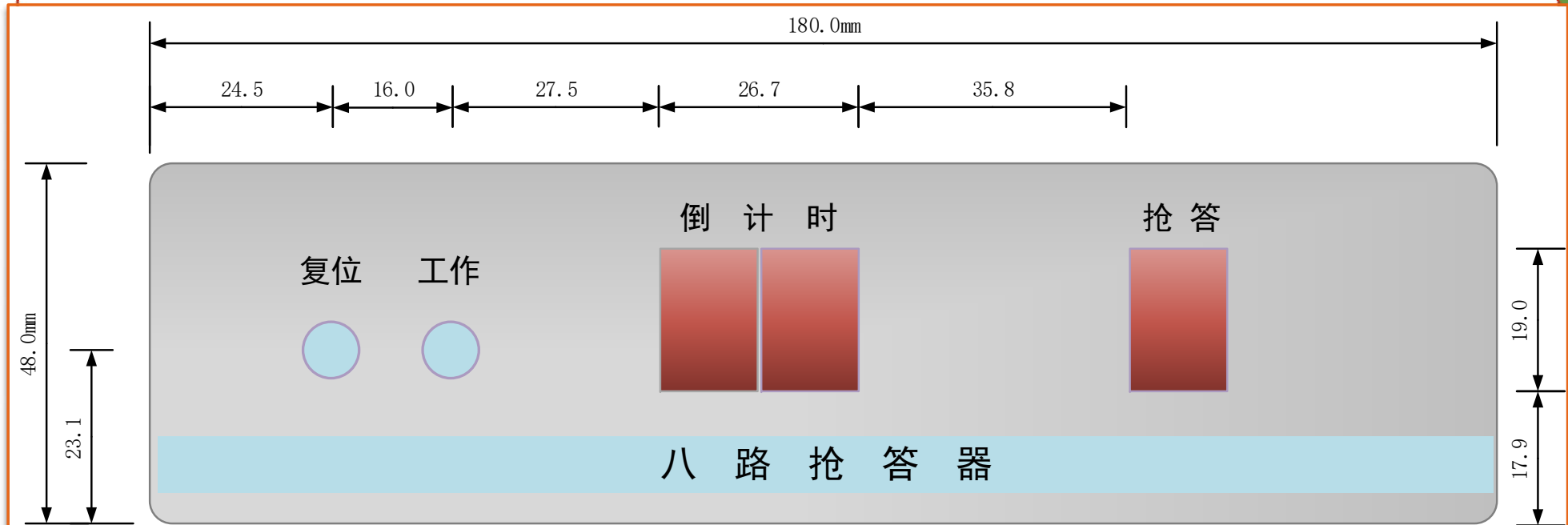
- 线路板的宽度=机壳的深度
- 宽：150mm
- 线路板的长度=机壳内部的凹槽处的长度
- 长：171mm ± 1mm
- 线路板厚度 < 凹槽缺口高度
- 厚：≤ 1.8mm



线路板安装的方式和位置

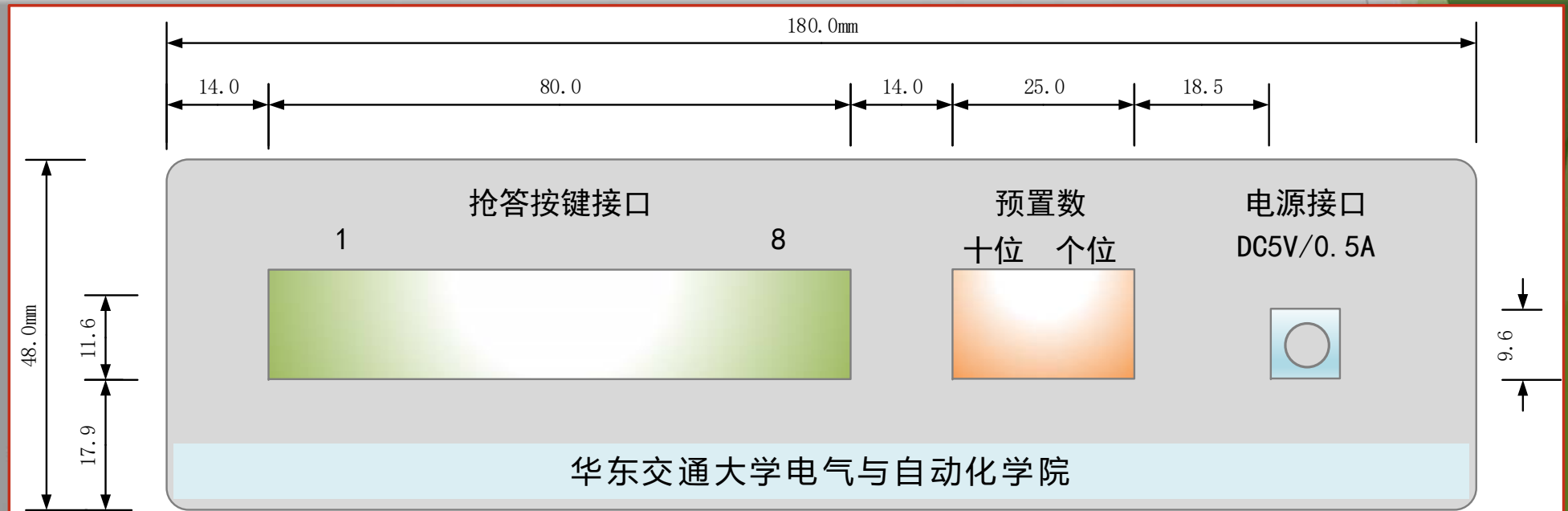
铝合金机壳前面板设计

- ▶ 拟将数码管和按键垂直安装。根据线路板在机壳内部的高度，加上线路板的厚度，确定了数码管窗口的下边沿尺寸=17.9mm，窗口高度=数码管高度19.0mm
- ▶ 按钮垂直安装，板子高度+手柄高度=按钮窗口中心高度=23.1mm
- ▶ 其它水平尺寸，根据便于操作和观察的原则，符合客户审美需求等因素综合考虑。



铝合金机壳后背板设计

- ▶ 八路抢答器按键，从机壳后背处的按键接口扩展出去，线路板上无抢答按键，用接线柱外接按钮。
- ▶ 预置数的拨码开关，在后背板上开窗操作。
- ▶ 最右侧是直流电源接口。
- ▶ 尺寸确定原则与前页类似，具体如图所示。

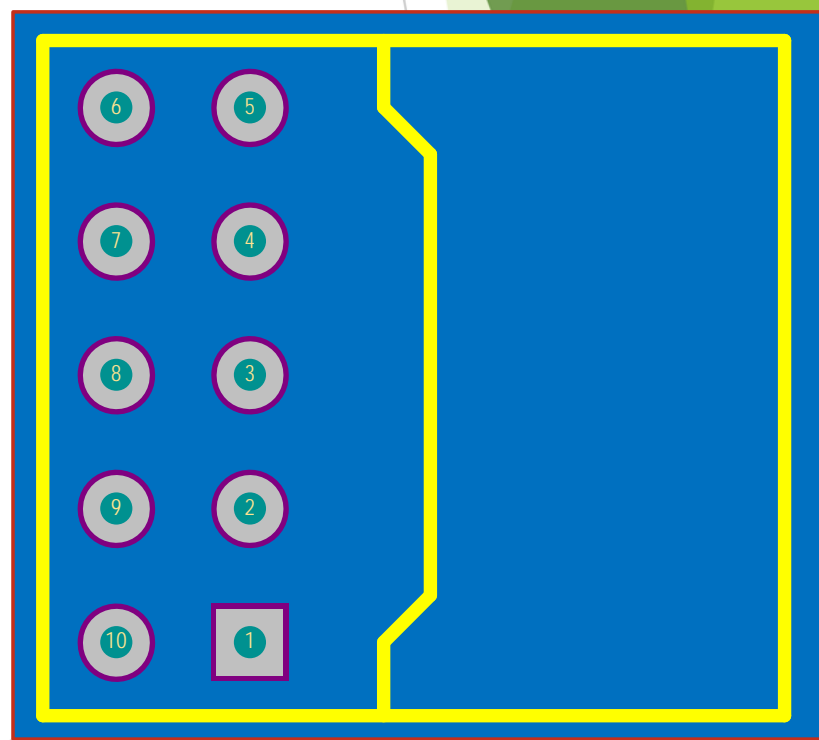
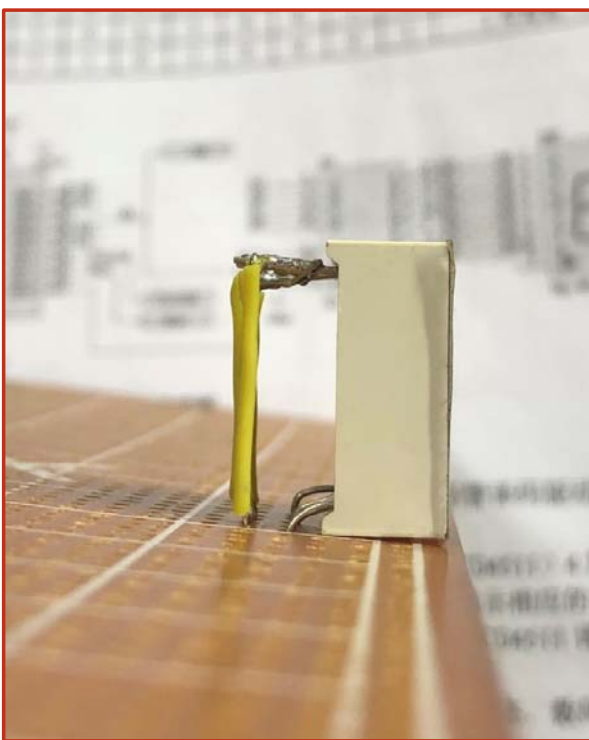
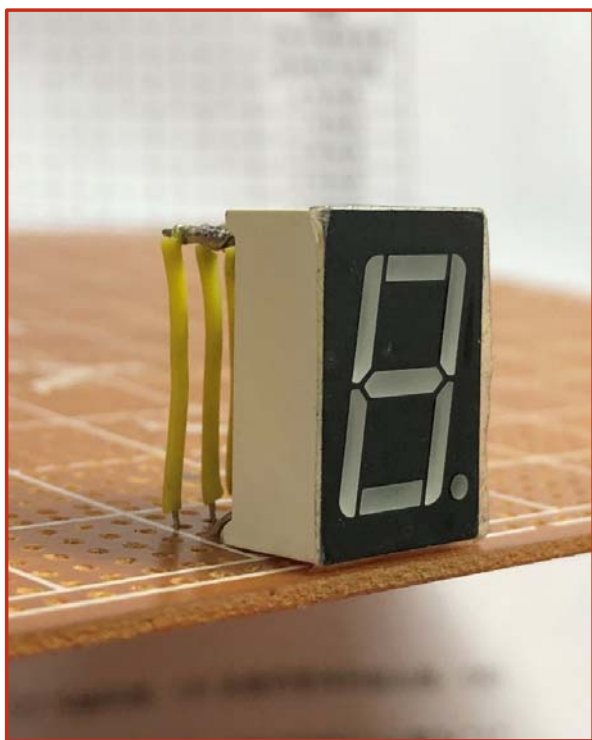


面板设计图样和尺寸发送工厂加工

- ▶ 设计好的尺寸和样式，以及铝合金面板，送面板厂加工开孔
- ▶ 面板上的文字和颜色，同样按照设计要求定制，可以直接在铝合金面板上蚀刻，也可定做PVC薄膜贴在面板上。

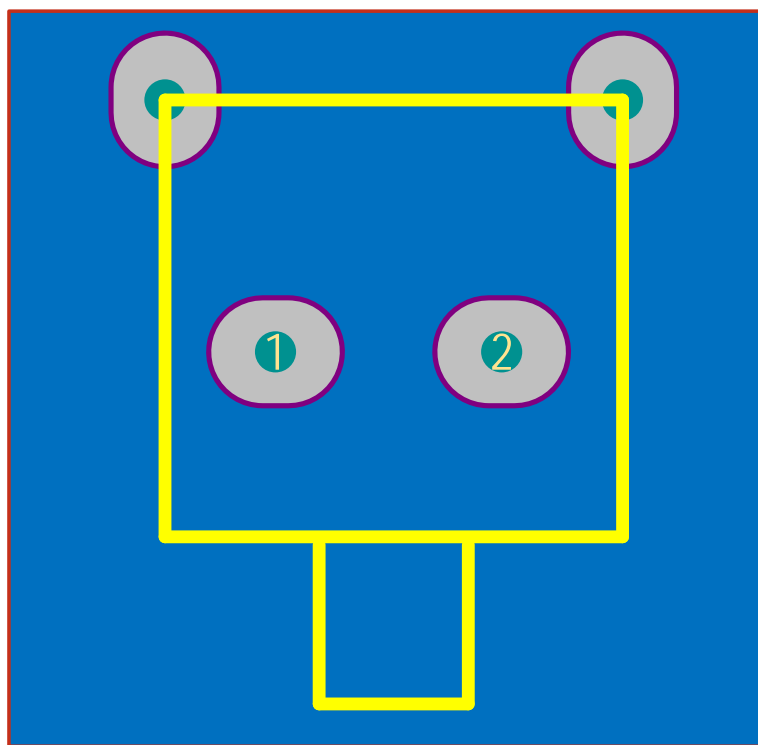
带来的线路板上的变化：1. 数码管封装变更

- ▶ 数码管由卧式安装，变成了立式安装，需要做五个引脚延长到电路板上
- ▶ PCB封装也发生变化，重新设计如图所示

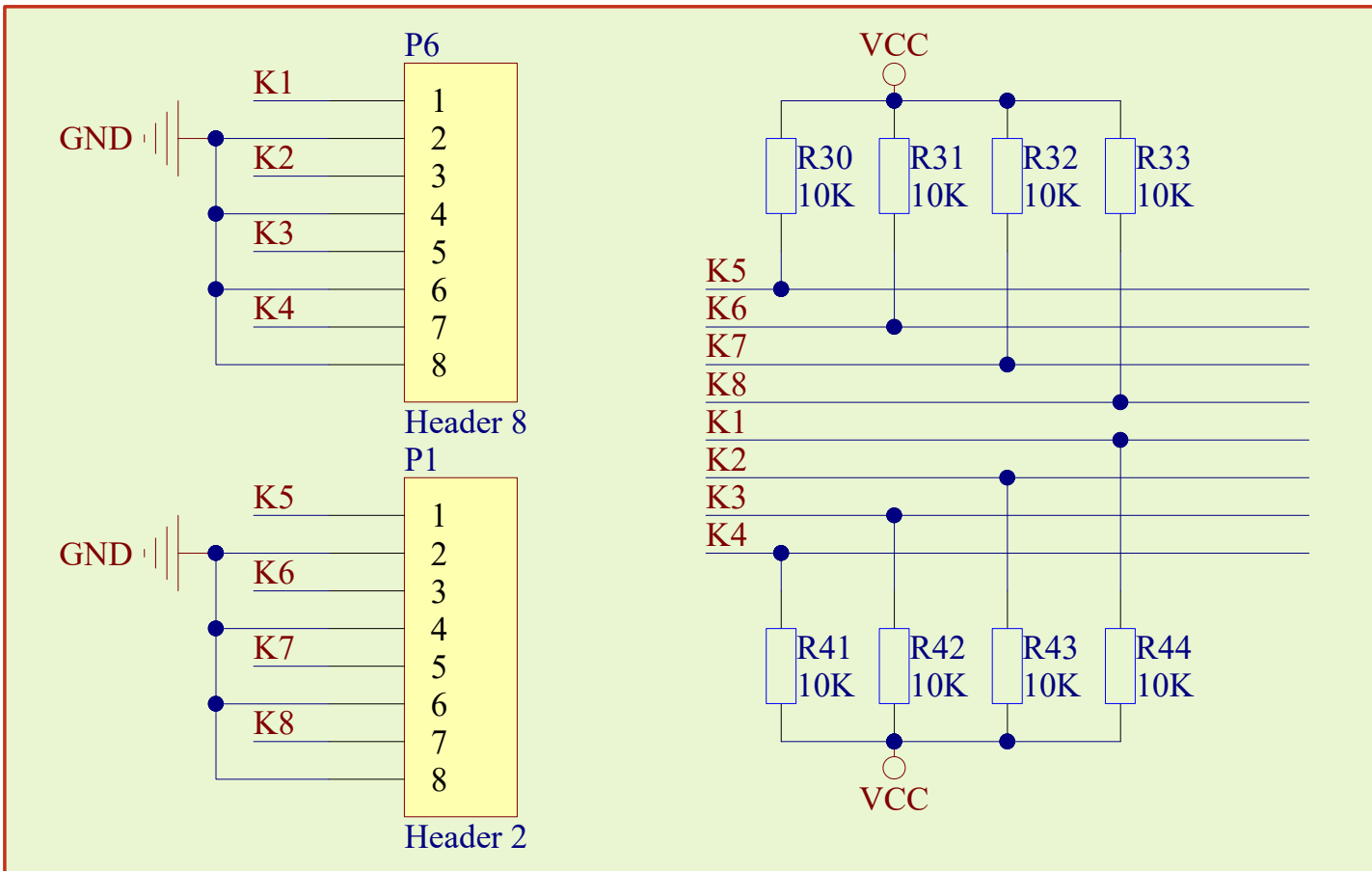


带来的线路板上的变化：2. 按键封装变更

- ▶ 采用立式轻触按键
- ▶ PCB封装也发生变化，重新设计如图所示

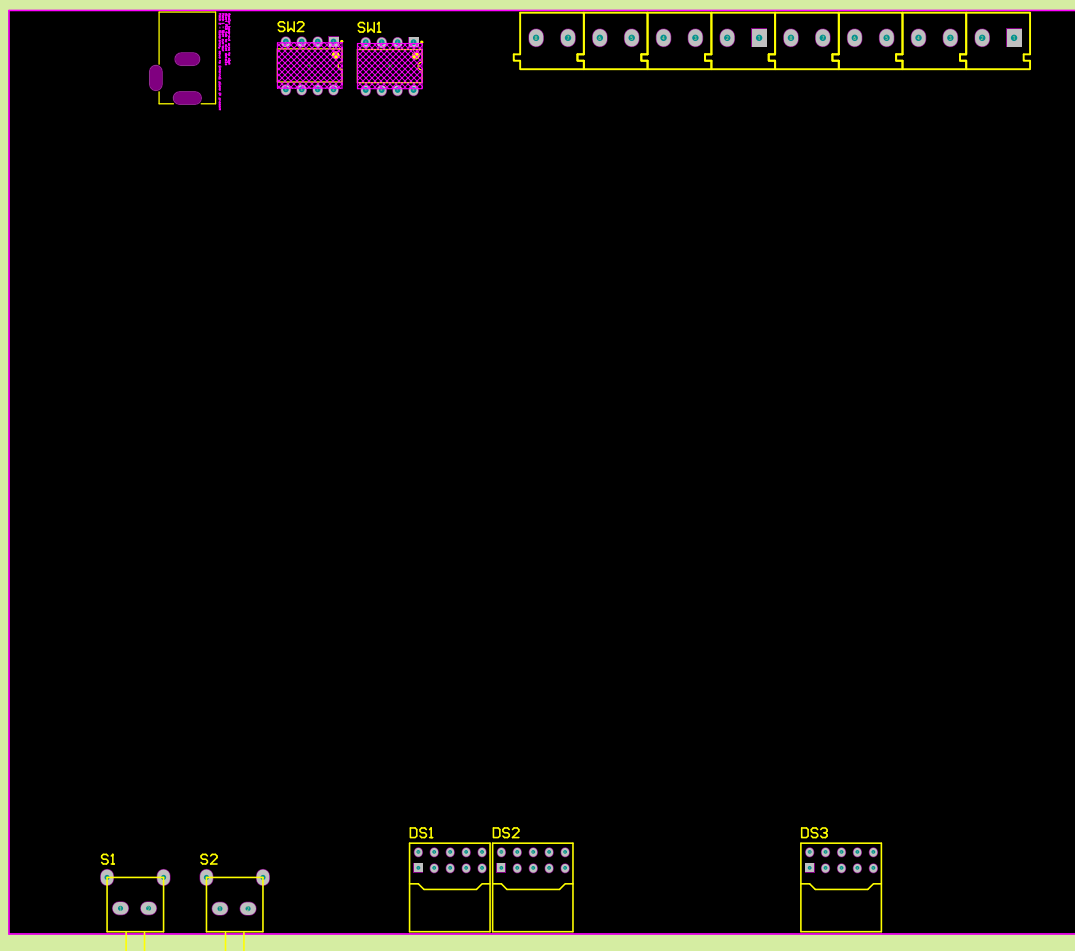


带来的线路板上的变化：3. 电路原理图设计变更



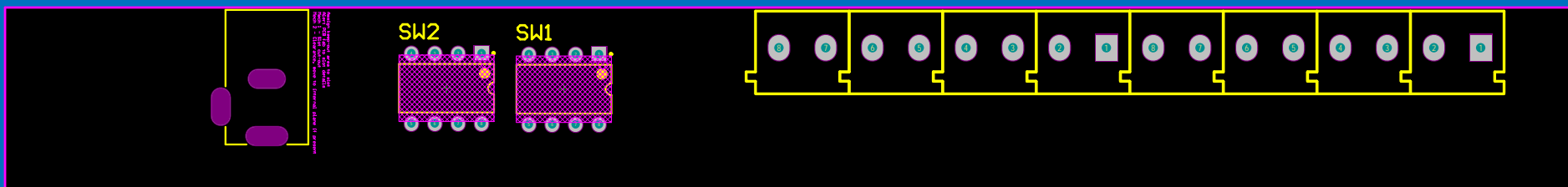
- ▶ 八路抢答按键外接
- ▶ P1、P6是接线柱
- ▶ 去除简易逻辑笔电路

带来的线路板上的变化：4. 电路前后面板接口元器件布局发生变化

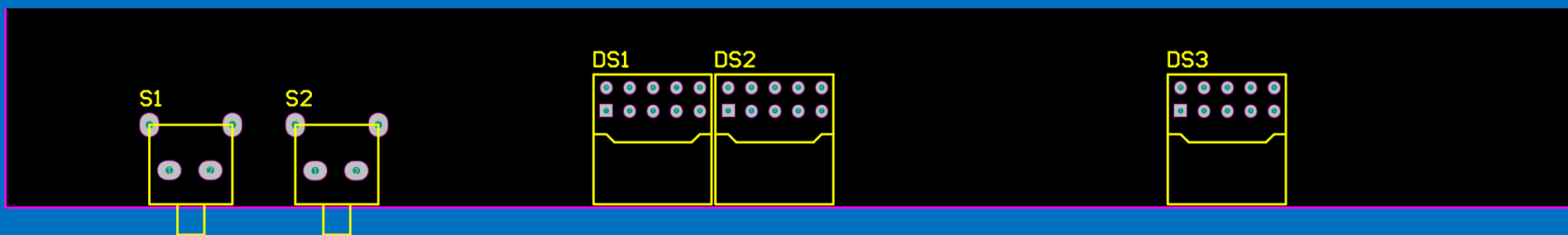


- ▶ 注意前后面板布局的元器件方向
- ▶ 符合面板设计要求
- ▶ 元器件定位，根据面板尺寸定
 - 用元件位置坐标定位
 - 画辅助线定位
- ▶ 提供给大家的PCB文件，前后面板相关的元器件均已定位，且已锁定。
- ▶ 板尺寸：171mm×147mm

电路板与机壳前后面板接口的元器件布局 (局部图)

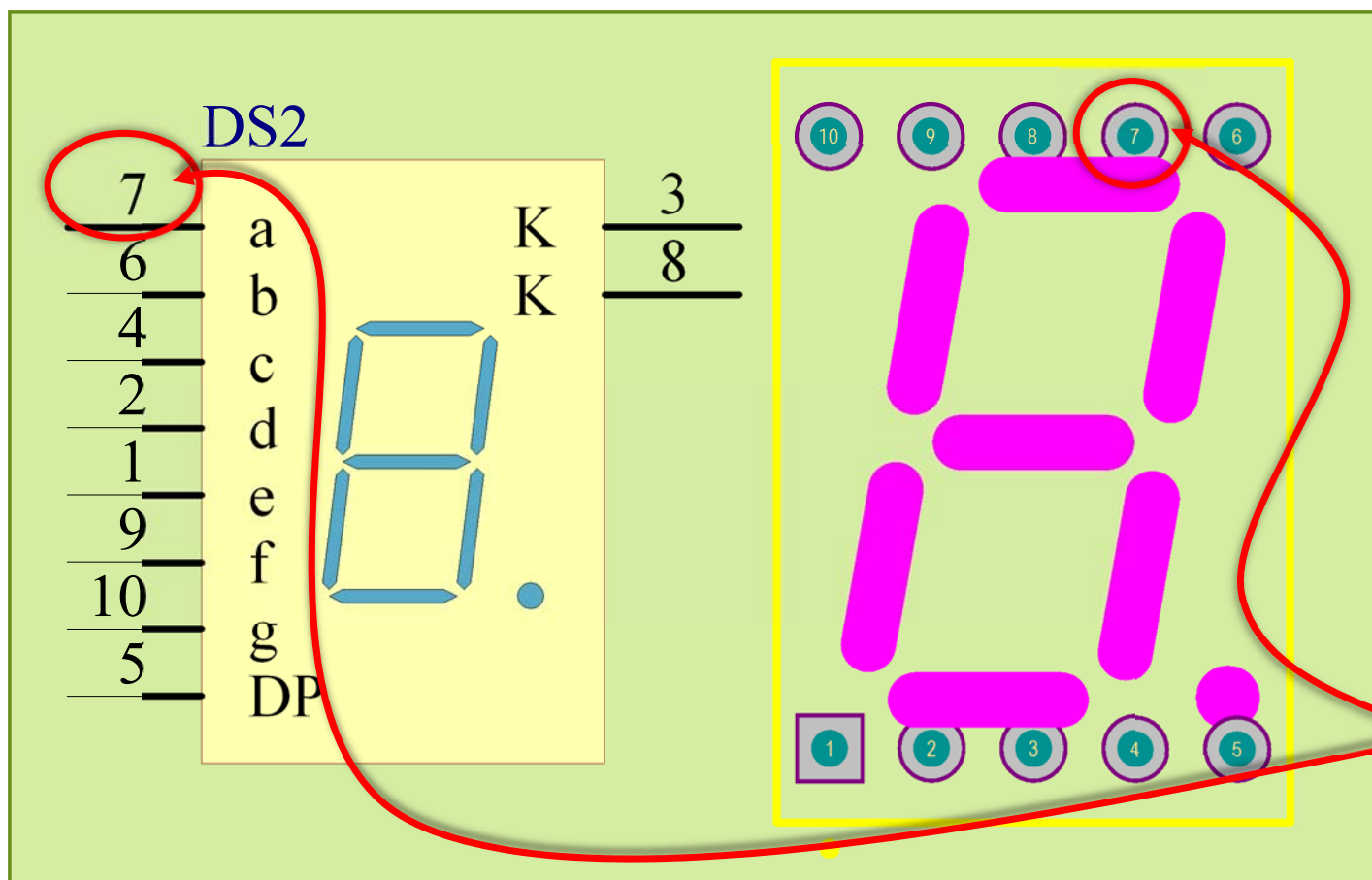


与后背板接口的元器件布局



与前面板接口的元器件布局 (注意按键手柄突出板子边缘)

画PCB需要特别注意：原理图中元器件符号与元件本身的PCB库中封装引脚的关系



▶ 作用不同

前者是用于电路原理图，要方便理解电路原理；后者是描述器件实际尺寸和引脚排列位置

▶ 引脚的对应关系

- 封装中，引脚焊盘的属性标志，必须与原理图中元件符号的**引脚号**对应
- 比如，符号中**a笔画是7号管脚**，在**封装中**，同样用**7号**来命名点亮a笔画的那个**焊盘名**。

期末大作业之一—编撰工艺文件

- ▶ 根据本节内容，编撰产品的工艺文件
- ▶ 参考教学内容的收音机装配工艺文件实例
《红灯牌753F调频调幅小台式收音机》工艺文件，结合本节设计内容，编撰一个带机壳的《花椒HJ8小台式八路抢答器》的装配工艺文件。

立创EDA介绍 及设计任务目标

杨云
电子实习基地



华东交通大学电气学院电子实习基地 内部交流，未公开版

任务：设计“蜂鸣器报警电路”的 布局布线图，并按图制作调试

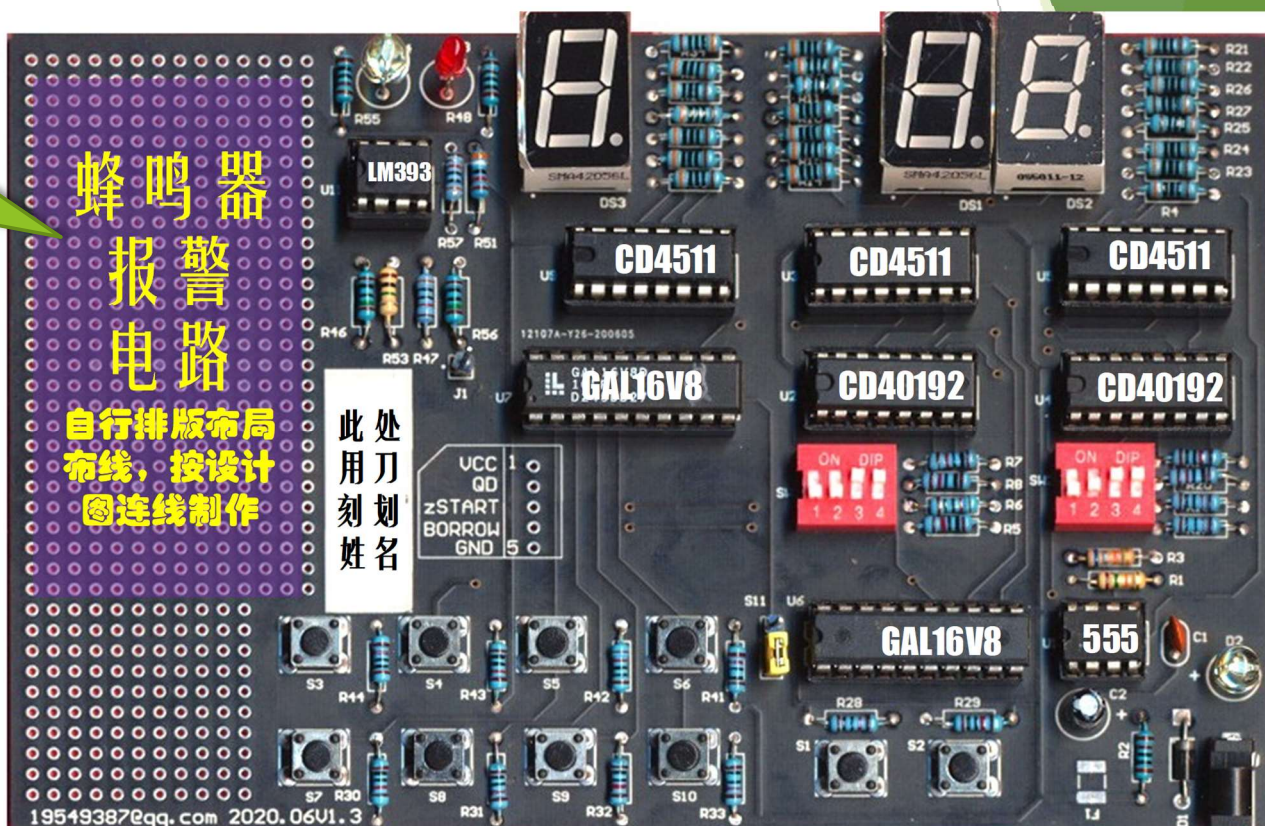
任务在这里，
你能搞定它！

蜂鸣器 报警 电路

自行排版布局
布线，按设计
图连线制作

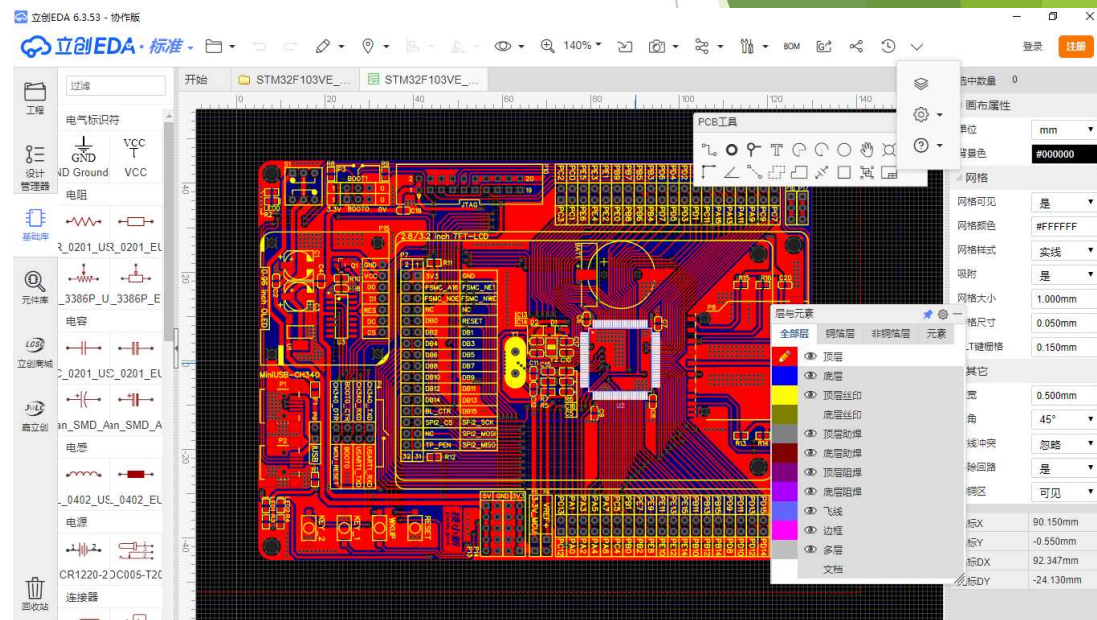
此处
用刀
刻划
姓名

- ▶ 利用计算机辅助工具
- ▶ 手工排版布局布线（仅当不具备电脑条件时采用）



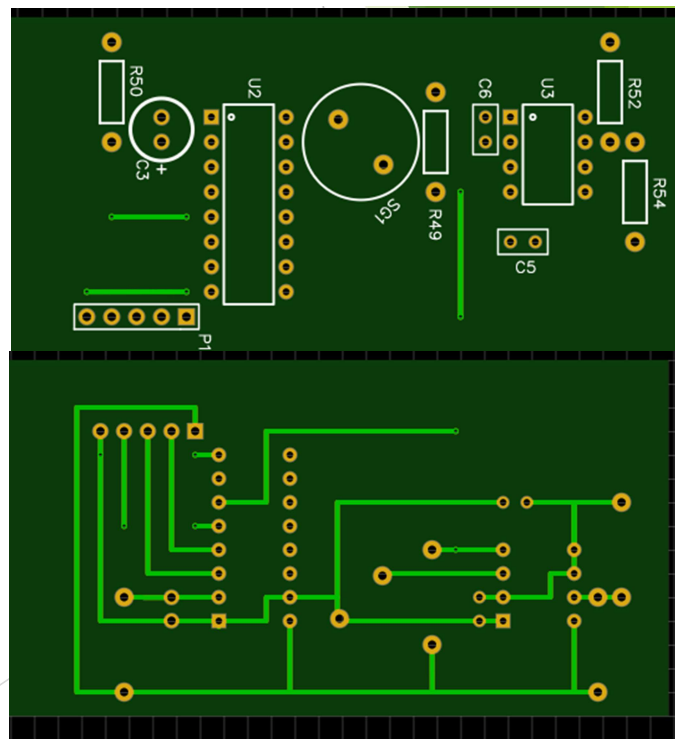
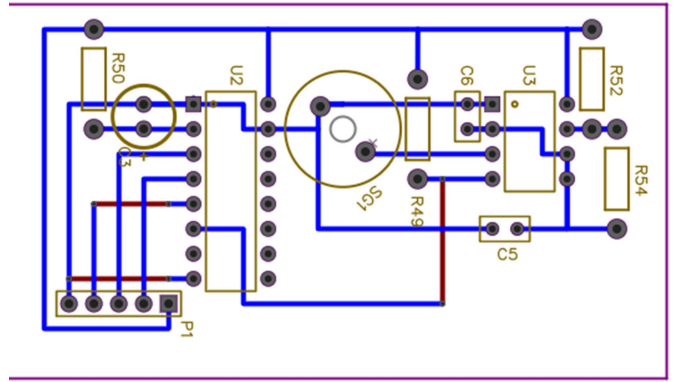
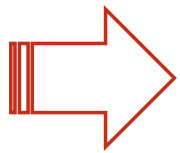
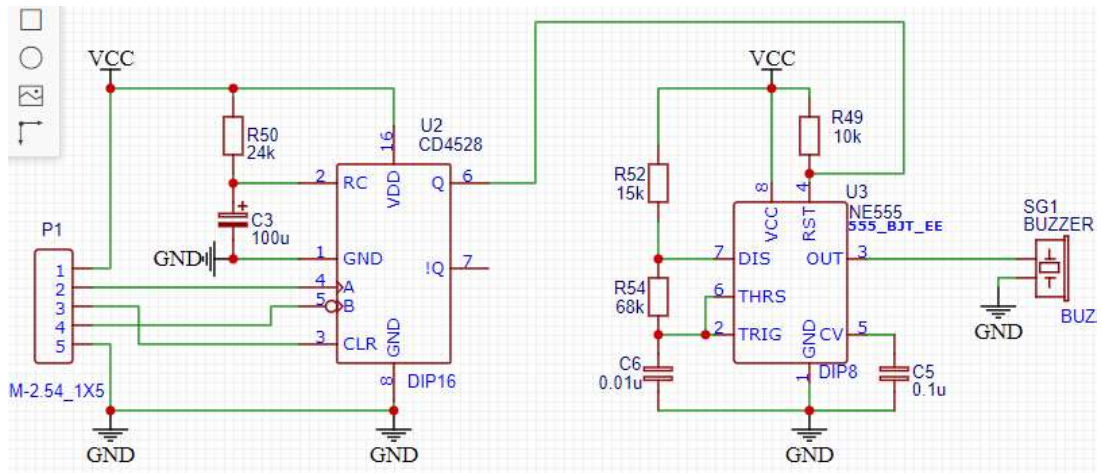
简介

- ▶ 立创EDA是一款**基于浏览器的**，**友好易用的**，**强大的EDA工具**，(Electronics Design Automation: 电子设计自动化) 起于2010年，**完全由中国人独立开发**，**拥有独立自主知识产权**。
- ▶ 优先使用最新版Chrome和FireFox浏览器打开立创EDA
- ▶ **跨平台**，国内个人用户**永久免费**
- ▶ 致力于中小原理图、电路图绘制，仿真，PCB设计与提供制造便利性

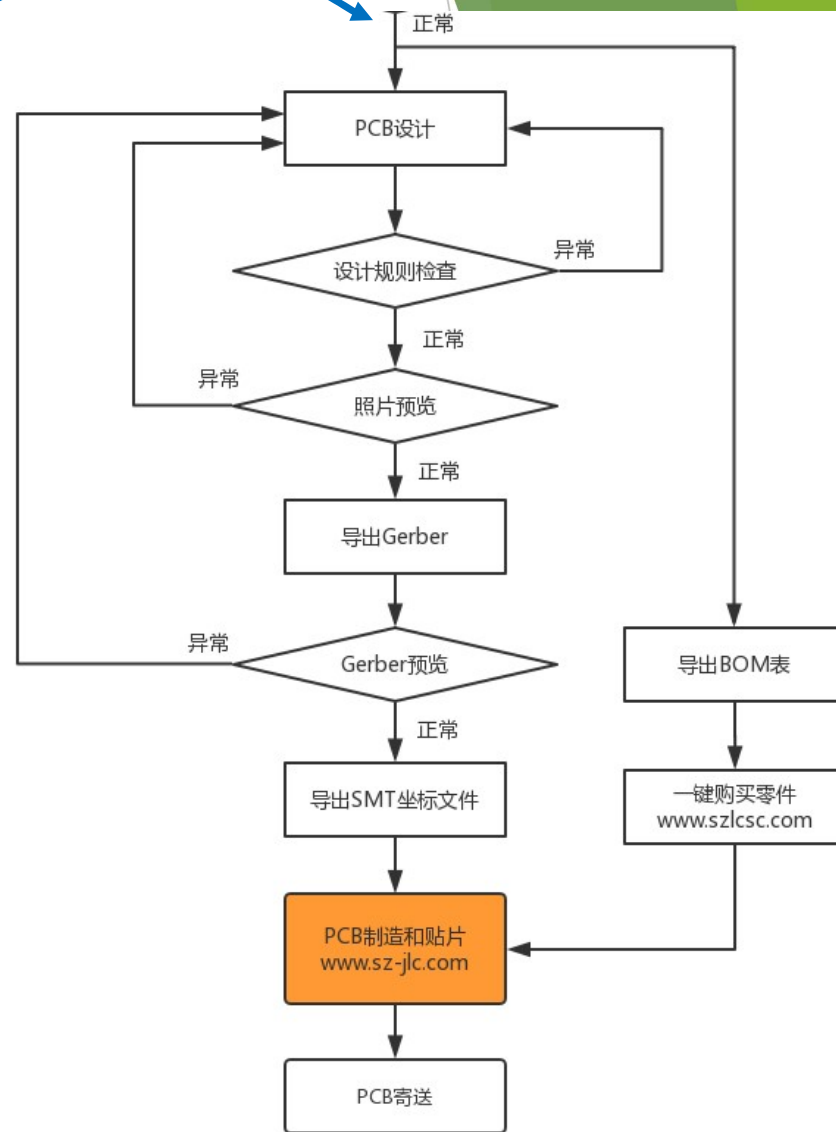
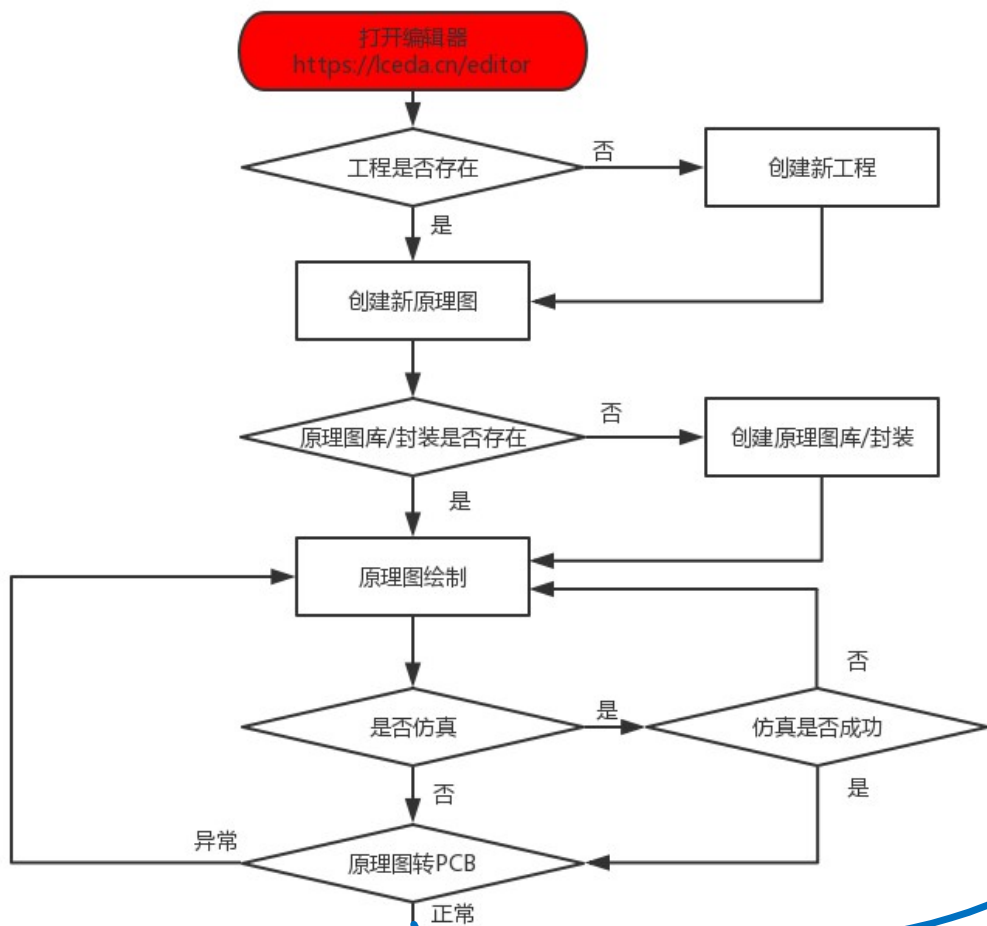


更简单，更强大的国产在线PCB设计软件

我们用它干什么？ ——从原理图到PCB图



设计流程



开始工作吧！

▶ 软件入口

<https://lceda.cn/editor>

▶ 视频教程

<https://space.bilibili.com/430536057>

▶ 文档教程

<https://docs.lceda.cn/cn/Introduction/Introduction-to-EasyEDA/index.html>