



1955年创刊

www.radio.com.cn

2012年 合订本

《无线电》编辑部 编

下



本书附赠光盘

精选电子套件演示视频

单片机源程序、印制电路板图等丰富资料

2012年第7期~第12期

特别策划

创意制作

实用电路

玩转单片机

音频应用

我的实验室

广播爱好者

初学者园地

维修帮手

TECSUN

中国驰名商标

享受广播 欣赏音乐

www.tecsun.com.cn

德生数码音频播放器



A6



A3



A8



A1

德生淘宝店: <http://best-radio.taobao.com>



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

无线电

2012 年合订本（下）

《无线电》编辑部 编

人民邮电出版社

北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

《无线电》2012年合订本. 下 / 《无线电》编辑部
编. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2013. 2
ISBN 978-7-115-30494-0

I. ①无… II. ①无… III. ①无线电技术—2012—丛
刊 IV. ①TN014-55

中国版本图书馆CIP数据核字 (2012) 第311884号

内 容 提 要

《无线电》2012年合订本(下)囊括了《无线电》杂志2012年第7~12期所有栏目的全部内容,并经过了再次加工整理,按期号、栏目、专题等重新分类编排,以方便读者阅读。

随书附赠的光盘中收录了精选的电子制作项目演示视频,还收录了与文章相关的单片机源程序、印制电路板等资料。

本书内容信息量大,涉及电子技术广泛,文章精炼,技巧经验丰富,实用性强,适合广大电子爱好者、电子技术人员及相关专业师生阅读。

《无线电》2012年合订本(下)

-
- ◆ 编 《无线电》编辑部
责任编辑 房桦 周明
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京新华印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 34.75
字数: 1 077 千字 2013年2月第1版
印数: 1-10 000 册 2013年2月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-30494-0

定价: 52.00元(附光盘)

读者服务热线: (010)67132837 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第0021号

2012年合订本(下)

目 录

特别策划

- 镜观宇宙四百年 ◇薛加民 001
- 直流电机入门解读 ☆ ◇温正伟 008
- 热烈欢迎机器人军团! 013
- Spazzi: 电磁舞蹈机器人 ◇马雷克·米查罗斯基 014
- 教学: 旧玩具新花样 ◇DJ.舒尔斯 018
- 低成本激光投影键盘自制攻略(上)
- ◇陈士凯 RoboPeak团队 023
- 低成本激光投影键盘自制攻略(下)
- ◇陈士凯 RoboPeak团队 029
- 那些年我们一起读过的《无线电》 034
- 无线电技术发展的展望(总第1期) ◇卢宗澄 035
- 读《无线电技术发展的展望》有感 ◇陈平(BA1HAM) 037
- 矿石收音机怎样接收广播(总第1期) ◇林葆浏 038
- 怎样测试检验扬声器(总第100期) ◇张启海 040
- “电子讲解员”(总第100期) ◇陈闾琪 043
- 激光光纤通信(总第200期) ◇黄定国 045
- 新颖的触摸式电子互锁开关(总第300期) ◇孙伟 048
- 多媒体技术的应用与发展(总第400期) ◇秦崎 050
- 一款简洁优秀晶体管功放的设计制作(总第500期)
- ◇范志庆 何银平 052
- 我的实验室
- 仪器发烧友与仪器的简易校准 ◇杨法(BA4AAF) 054

爱上制作

精彩创意

玩转伺服跟踪2

- 可以锁定目标的2自由度光电跟踪头 ◇臧海波 060
- 利用无线路由器将普通摄像头改造成无线摄像头☆
- ◇蒋瑞挺 064
- 让你的静态船模动起来! ◇冯奕 066
- 线控变色龙机器人 ◇pvcbot 070
- Wi-Fi视频小车DIY手记——“闪开”小车的成名之路
- ◇程晨 076
- 现实版铁甲钢拳来了!☆ ◇程晨 079
- Arduino与LEGO结合的创意作品
- 温控风扇和光感应晾衣架☆ ◇宜昌城老张 084
- 一起用面包板自制Arduino吧! ◇郝弘毅 088
- 制作CUBE4彩色光立方 ◇杜洋 090
- 现实版铁甲钢拳来了!威力加强版☆ ◇程晨 096
- 静态军用车辆模型遥控化改造详解 ◇方震宇 099
- 用PVC材料自制经典的风力小车 ◇pvcbot 104
- 用Arduino重建机器龟 ◇臧海波 108
- 6足机器人制作全攻略 ◇臧海波 113
- 创新DB1☆ ◇杜洋 119
- 当辉光管成为开源硬件☆ ◇严泽远 官微宏 123
- 用Arduino驱动触摸屏☆ ◇毛小明 128
- 基于DB1的彩色立方灯和电子骰子☆ ◇杜洋 130
- Arduino全电控乐高机械手小车☆ ◇宜昌城老张 134
- 让铁甲钢拳随你而动臂带式体感交互控制器DIY☆
- ◇程晨 138

会打BB弹、带激光瞄准的简易遥控履带火炮 ◇方震宇 141

通过Android手机控制Arduino互动机器人(上)

◇朱广俊 尚春明 郭强 刘定杨 144

用Arduino自制鼠标 ◇程晨 149

火神——打造自己的数控焰火 ◇臧海波 152

通过手势控制的体感音响 ◇汤志强 157

实用电路

自制米字荧光屏时钟☆ ◇张锋 162

为普通开关增设延时关闭功能☆ ◇宋彦涛 168

巧妙的家用电器锁控开关 ◇车亚平 张爱迪 170

LED金字塔☆ ◇刘小平 李志远 172

自制50M采样率的USB接口示波器☆

◇孙红生 代锡泉 175

制作1.5英寸OLED真彩色指针式电子表☆ ◇张锋 178

手把手教你做开关电源 ◇任杰 184

红外激光“超级无敌掌门狗” ◇陈强 190

Arduino CP2102版本完美DIY☆ ◇丁丁 194

双通道电机控制器☆ ◇张彬杰 197

精密数控电源自制全攻略 ◇蒋政森 200

改进电路制作的点阵VFD屏时钟☆ ◇张锋 206

那些年我们一起装过的套件——Elecraft K2

◇荣新华(BD6CRV4) 212

自制功能全面的DSP收音机☆ ◇刘作新 216

LED小灯瓶 ◇张彬杰 221

用W3620制作高性能LED驱动电源 ◇任杰 224

自制板卡检测利器——四态逻辑测试笔 ◇孙洋 228

自制通用2002荧光字符显示模块 ◇张锋 230

四时段倒计时提示器 ◇周宝善 237

简便易用的1.5~30V可调电源 ◇张松峰 238

DIY一款笔记本电脑电源适配器 ◇任杰 240

1888时钟屏的制作 ◇曹延焕 244

第二代RDS数据寻址广播技术及应用 ◇唐亚军 249

玩转单片机

GSM短信收发控制系统的设计☆ ◇周兴华 250

基于51单片机的自行车轮LED图案显示☆ ◇张琦 256

开发板妙用——软硬一体的定时消息通知器☆ ◇李广 258

单片机开发实例及程序研究

反射式红外测速仪DIY☆ ◇周兴华 261

感应式收纳桶☆ ◇张彬杰 264

51单片机控制的骨牌时钟☆ ◇Chinked-out工作室 267

简易PLC DIY☆ ◇尚程程 270

单片机开发实例及程序研究

小型桌面式自动绕线机控制器的设计及制作☆

◇周兴华 272

利用单片机与CPLD设计的等精度频率计☆ ◇周兴华 275

快速追踪器——记录快件经历的风风雨雨☆ ◇成谏 278

基于STC89C52和nRF905模块的无线打分器☆

◇盘桥富 卞晓强 边晓明 281

单片机开发实例及程序研究

红外感应自动移门的设计☆ ◇周兴华 286

实战AVR机器人小车(上)☆ ◇席卫平 290

Relay 8 诞生记☆ ◇王斌 294

单片机开发实例及程序研究

RFID卡读写器的设计 ◇周兴华 299

实战AVR机器人小车(下) ◇席卫平 304

基于HMC5883L的电子罗盘 ◇蒋瑞挺 307

用Arduino扩展网络摄像头的I/O端口 ◇温正伟 310

音频工坊

别具韵味的音乐体验

——Performance A100功放制作随笔 ◇卢伟 320

三款分立元件设计的D类功放的制作比较 ◇任杰 312

适合初学者仿制的MOSFET单端甲类功放	◇HE121	318
电子管功放DIY——“鱼与熊掌兼得”☆	◇胡乃群	323
JLH1969 OTL耳放制作	◇易方 刘婷月	328
用实验板做USB多媒体放大器	◇吴岩	332
分体式“可变声道”功放的设计与制作☆	◇吴刚	337
FU-19推挽功放制作	◇江放 刘华栋	342
一款高品质大型三分频落地式音箱的设计制作	◇名琴	345
发现被埋没的靓管之旅	◇王永锋	348
低内阻三极管6C19功率放大器	◇江放	350
极致DIY——复刻经典纯后级	◇韩鑽 (BG5CJT)	354
NEO Jukebox 25 II 型硬盘式MP3播放器终极改造	◇林伟淦	358
热情难挡——记2012年广西柳州首界音响发烧友		
DIY作品交流联谊会	◇JR 黄文华	365
自制经典的1875功放	◇艺何	366
一款独特的“茶海”胆机制作	◇夏冰	368

创客与开源

2012年湾区Maker Faire参展记	◇叶琛	370
新车间Arduino图形化编程软件——ArduBlock	◇宜昌城老张	373
“盒仔”家里造☆	◇朱广俊 郭强 赵慰	376
Yeelink——开源硬件Arduino与物联网开放服务平台	◇姜兆宁	381
Raspberry Pi夏日之初体验	◇陈建皓	384
开源的光立方		
3D8S的设计理念与开发心得		
——基于Arduino的8×8×8光立方☆	◇官微宏	390
单片机版光立方的制作☆	◇刘小平 李志远	394
2012纽约Maker Faire新鲜作品随我看	◇孙德庆	400
记2012上海创客嘉年华	◇林尧 徐晓雯	402

我的实验室

示波器ABC		
基础操作很重要	◇杨法 (BD4AAF)	406
DIY电动吸锡烙铁	◇蒋政森	410
示波器ABC		
让频谱分析仪成为信号捕捉的高手	◇杨法 (BD4AAF)	412
RIGOL DS2202示波器试用体会	◇臧海波	416
示波器ABC		
频谱分析仪高级操作进阶	◇杨法 (BD4AAF)	420
2012年通用测量仪器市场大盘点	◇杨法 (BA4AAF)	424
自制智能型ICL7135四位半表头	◇康禹	430
RIGOL生产基地参观记	◇本刊记者	434
示波器族的小精灵	◇聆听	436

初学者园地

面包板入门电子制作 (5)		
电路中的“水龙头”——三极管	◇杜洋	439
安卓手机上的无线电应用	◇张峥 (BG8SF)	442
常用元器件的识别与使用 (32)		
牺牲自我的保险器件	◇张晓东	447
用好保险器件8要素	◇姜伟伊	450
全国“少年电子技师”认定活动专栏		
关于在全国深入开展“少年电子技师”认定活动的通知		453
全国“少年电子技师”认定活动认定单位的		
审核标准及申办办法 (试行)		454
全国“少年电子技师”认定活动导师资格的		
审核标准及申办办法 (试行)		455
电机解读系列之		
解读步进电机	◇温正伟	456
全国“少年电子技师”认定活动专栏		
2012年全国青少年电子制作锦标赛在广州顺利举行		
	◇本刊记者	461

国家级中职电子专业骨干教师“PVCBOT仿生机器人制作”

培训实践活动成功举办 ◇李衡延 462

全国“少年电子技师”认定活动专栏

有关全国“少年电子技师”认定活动问题的解答 463

南京三中业余无线电校本课程的开发与实践
◇王龙 (BA4RX) 464

常用元器件的识别与使用 (33)

历史悠久的电子管 ◇张晓东 466

电机解读系列之

舵机那点事儿 ◇温正伟 470

用好手中的电子管 ◇张晓东 474

能识别方向的迎宾器 ◇俞虹 478

三轮车 ◇pvcbot 480

认识DSP收音机 ◇刘作新 485

全国“少年电子技师”认定活动专栏

从电子百拼玩到“少年电子技师” ◇李娅君 488

基于DB1的人体感应灯开关 ◇杜洋 490

全国“少年电子技师”认定活动专栏

月牙湖畔的科技教育之星 ◇张元庆 493

关于举办2013年“全国少年电子技师”认定活动

导师培训班的通知 496

广播爱好者

收藏与鉴赏

熊猫301A三灯收音机史话 ◇陈汉燕 徐蜀 498

德生S2000收音机使用锂电池供电的方法 ◇张建雄 497

拯救有收藏价值的收音机

德律风根 (Kavalier) 交-直流电子管收音机维修全过程☆
◇赵春云 (BA3DX) 500

普及型超外差式电子管收音机在中国的精彩岁月 (上)
◇田浩 502

拯救有收藏价值的收音机

飞利浦电子管收音机维修全过程☆ ◇赵春云 (BA3DX) 506

图解牡丹648型半导体收音机复原全过程☆

◇赵春云 (BA3DX) 509

普及型超外差式电子管收音机在中国的精彩岁月 (中)
◇田浩 511

普及型超外差式电子管收音机在中国的精彩岁月 (下)
◇田浩 515

拯救有收藏价值的收音机

上海牌312型七晶体管四波段二级收音机的修复☆
◇赵春云 (BA3DX) 520

追忆熊猫B-802收音机 ◇陈金林 522

Telefunken Opus Royal Stereo型落地式收音电唱两用机详析
◇田浩 Jon Stonehouse Jr. (美) 524

来到武汉的“上海”——上海系列7灯收音机小史
◇田浩 527

德生收音机充电器DC-06改造记 ◇zhazha 530

维修帮手

红外遥控电源插座原理与检修 ◇余俊芳 532

吸尘器工作原理与常见故障检修 ◇王绍华 533

佳能A95相机维修手记 ◇刘福胜 王眈 534

全自动洗衣机报警保护维修一点通 ◇潘邦文 536

自己动手修理语音复读机 ◇金克华 537

笔记本硬盘复活记 ◇蒋政森 538

日立V-1565示波器维修手记 ◇潘志浪 539

铲牛屎, 换硬封, 修复VC9801 ◇康禹 542

自己动手更换卡片相机镜头 ◇刘福胜 544

问与答 545

注: 加☆的文章表示注文的相关资料或程序可在本刊网站www.radio.com.cn或本书配刊光盘中获取。

特别策划

镜观宇宙 四百年

◇薛加民 插画：某某银



17世纪初，望远镜刚刚被发明出来，大家用这个新鲜玩意儿可以观看到远处的花鸟人物，颇为有趣。新发明的消息传到了意大利，伟大的物理学家伽利略先生对花鸟不是很感兴趣，但是他很快制作了一架自己的望远镜，对宇宙的好奇使他把望远镜对向茫茫苍穹。于是人类第一次看到了月球表面凹凸不平的环形山，看到了木星周围还有3颗小卫星……人类对于宇宙的探索从此开始了新的篇章。为纪念这一历史性的时刻，伽利略第一次望远镜天文观测后的第400年，也就是2009年，被联合国定为“国际天文年”，在全球范围内普及天文学知识。而天文学家的实验工具——望远镜也成了天文年的主角之一。

笔者最近去参观了世界最大的光学望远镜制造基地，他们正在制作一个等效直径24m的大望远镜，从单纯的光学应用开始，光电技术的高效结合让我们探究宇宙的步伐更进了一步。本文中，让我们从光学天文望远镜的原理开始，初窥现代光学望远镜的制造，动手做一款简单的光学望远镜，了解一下与无线电紧密相关的射电望远镜。

光学天文望远镜从伽利略开始，历经400年的发展，已经变成了一个庞大的学科。但有趣的是，即使是如今最先进的光学望远镜，其原理和伽利略时代、牛顿时代所使用的望远镜的原理也是一样的。让我们首先来了解一下这两大类光学望远镜的基本原理。



光学望远镜是如何工作的

光学望远镜分为两大类：一类是折射式的，或称伽利略式；一类是反射式的，或称牛顿式。

折射式望远镜

伽利略当时制作的望远镜非常简单，只用了两块透镜。用一块凸透镜作为物镜，一块凹透镜作为目镜，放大倍数在10倍左右。这两块透镜是怎么实现放大的呢？这可以从图1中看出究竟来。

用望远镜观看遥远的星体时，我们看到的都是近似平行光。因为即使是最近的星体（比如月球）上的某一点发出的光，也是经过了几十万千米才到达地球。考虑到这一点，图1中选取了两束有代表性的平行光，假设他们是来自月球上下边缘的两点。这两束光经过凸透镜以后，汇聚到凸透镜的焦平面上，成为两点（见图1中虚线）。但是在它们汇聚成两点以前，我们用一块凹透镜把它们重新散开成平行光，就像直接用眼看到的那样，唯一的区别是，这两束光之间的夹角变大了。这样，透过望远镜，我们看到的月亮上下边缘的两点之间的夹角就比不用望远镜时要大，从而月亮就被放大了。放大倍数怎么计算呢？望远镜的放大倍数定义为对夹角的放大。它的计算可以借助图2的光路图。

图2中画出了与计算放大倍数有关的几条重要光路。凹透镜右边的那条竖线代表凹透镜的焦平面。伽利略望远镜的特点是凹透镜的焦平面与凸透镜的焦平面是重合的，凹透镜位于凸透镜的焦平面以内。图2中，蓝色的光束平行于望远镜的对称轴（或称主光轴），它经过凸透镜以后，汇聚到凹透镜的右侧主光轴上的焦点上，这样的光线经过凹透镜扩散成了平行于主光轴的平行光。而另一束与主光轴成 α 夹角的光束，经过凸透镜以后，汇聚到凹透镜的右侧焦平面上的另外一点。这样的光线经过凹透镜扩散，变成了与主光轴成 β 角的平行光束（注意，通过薄透镜中心的光线是不会改变方向的，这是薄透镜的重要性质之一，也是计算放大倍数的关键）。很容易得知， $\tan \beta / \tan \alpha = (f/2)/(h/f) = f/2$ 。而在一般望远镜的使用中， α 和 β 都是很小的角度，所以 $\tan \alpha$ 约等于 α ， $\tan \beta$ 约等于 β ，望远镜的放大倍数可以很容易得到为 $\beta/\alpha = f/2$ 。这是一个很容易记住也很重要的结论，即望远镜的放大倍数等于物镜和目镜的焦距之比。

与伽利略同时代的天文学家开普勒也独立地制作了自己的望远镜，与伽利略不同的是，他的目镜使用的是凸透镜而非凹透镜（见图3）。由图3可见，开普勒望远镜的特点是两个凸透镜的焦平面也是重

合的，但是目镜位于物镜的焦平面之外。从图中很容易计算出它的放大倍数 β/α 也等于 f_1/f_2 。同样放大倍数，同样物镜焦距（ f_1 ）的开普勒望远镜要比伽利略望远镜长两倍目镜焦距（ f_2 ）的长度。

仔细观察图2和图3，我们会发现，伽利略望远镜中， α 角是红色光路相对蓝色光路顺时针旋转， β 角也是如此。这样，通过望远镜看到的景物就不会上下颠倒。然而，开普勒望远镜中 β 角是红色光路相对蓝色光路逆时针旋转，所以，开普勒望远镜看到的景物是上下颠倒的（左右也是相反的）。开普勒先生在发明了这架望远镜以后，立刻意识到了这个问题。他觉得，这样一个颠倒世界的望远镜用处不大，于是就把它遗忘了。但是有趣的是，后来很多折射式天文望远镜都采用了开普勒的设计。因为星星们的位置颠倒一下没有什么大的问题，关键是开普勒式望远镜的视野比伽利略式要大，而且更明亮，这一点从图2和图3中也可以看出来。图2中，作为目镜的凹透镜使得各束平行光相对地都散开了，所以视野里的光强度就变弱了，而且要想看全物镜折射过来的景物，还需上、下、左、右移动眼睛。而图3中，作为目镜的凸透镜把各束平行光都相对汇聚了，视野明亮，而且因为从物镜里折射过来的景物的光都汇聚在一起，只

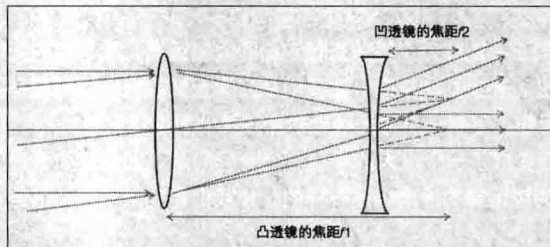


图1 伽利略望远镜的光路图

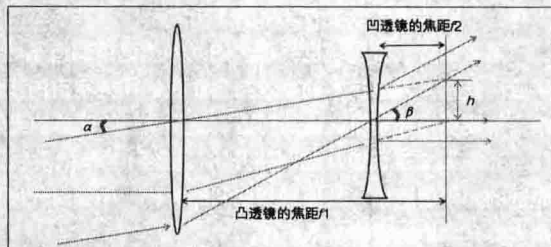


图2 计算望远镜放大倍数的光路图

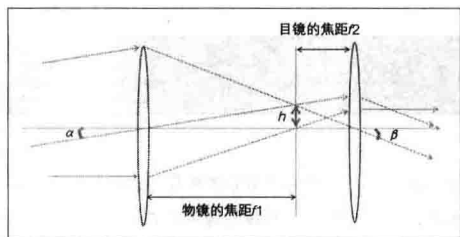


图3 开普勒望远镜原理

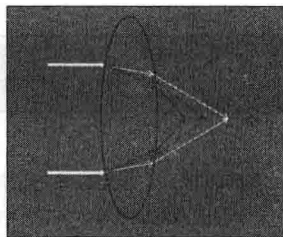


图4 厚透镜的色散（效果夸大了）。注意，不同颜色的光汇聚到不同的位置

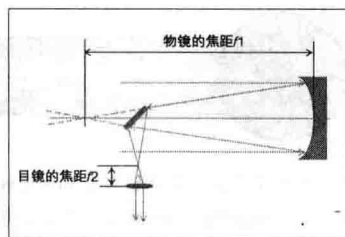


图5 牛顿反射式望远镜示意图

要把眼睛放在这些光线交汇的地方，就可以看到所有景物。

早期的折射式望远镜尺寸和放大倍数都很小，长度在1m左右，放大倍数在10倍到30倍之间。为了观看更加黯淡的星体和看清更多星体的细节，人们需要制造更大的望远镜，但是很快人们就意识到了折射式望远镜的前途渺茫。随着望远镜的增大，透镜需要相应地增大、变厚（主要是物镜，目镜大小基本不变）。我们知道，牛顿先生曾经用一块三棱镜把白光散开成彩虹，这就是玻璃的色散。而一块凸透镜或者凹透镜都可以近似地看成是两块对称的棱镜拼起来的，随着尺寸的增大，它们的色散越来越明显，图4描绘的正是这种现象。一束白光经过透镜后，紫色的光偏折角度最大，红色的光偏折角度最小（这是一个有趣且普遍的现象，即波长越短，折射越强。读者可以留意一下彩虹，它的颜色顺序也是与波长越短折射越强有关的）。如果有一束平行的白光入射到透镜上，它就不会被汇聚到一个焦点上，而是不同颜色的光汇聚在不同的焦点。所以透镜的焦距就不是一个固定值了，而变成

了与光的波长相关的一个量。这导致的后果是，一个发出白光的点状星体在望远镜中变成模糊不清、五彩斑斓的一个小圆斑，严重影响望远镜的性能。

人们曾想方设法减小透镜的色散。通过组合透镜等方式，可以有效地减少色散带来的问题，但同时也大大增加了制作的难度。这个问题被伟大的物理学家牛顿先生巧妙地解决了，并且奠定了现代光学望远镜的基础。这就是反射式望远镜。

反射式望远镜

为了解决大而厚的物镜带来的严重色散问题，牛顿先生使用反射镜作为物镜，其原理如图5所示。

一个抛物面的反射镜就像一块凸透镜一样，可以把平行光汇聚到一个焦点上。在这些汇聚的光线到达焦点之前，用一块小平面镜把它们反射到望远镜一侧的目镜上，以供观察。类比如图3我们知道，这架反射式望远镜的放大倍数就是 f_1/f_2 。由于厚重的物镜被一块反射镜代替，光线无需透过厚厚的玻璃，所以色散就被完全消除了（目镜由于尺寸小，再加上组合透镜，

也可以消除色散问题）。有读者可能会觉得那块小反射镜有点碍事，它不会挡住一些光呢？确实，它会挡住了一些入射光，但是由于色散问题消除，物镜可以做得非常大，反射镜带来的小小损失就微不足道了。

继承牛顿式望远镜的思想，人们脱离了大望远镜需要厚透镜的束缚，开始建造越来越强大的反射式望远镜。但是随着望远镜越来越高（有些高达10m），人们要专门建造一座活动的塔楼才能爬到目镜附近进行观测，不是非常方便。后来人们对牛顿式的望远镜加以改造，演化出各种形式的反射式望远镜，其中最具有代表性的是卡塞格林式（见图6）。它的物镜底部开有一个小洞，小反射镜将物镜反射过来的光线“折叠”回去，透过小洞进入目镜（图中没有画出）。这样的设计，使得观察者在使用巨大的望远镜时，只需要在望远镜底部，也就是地面上进行观测，而无需爬到几米高处使用侧面的目镜。注意，图5中的小反射镜是一块普通的平面镜，而图6中的小反射镜是一块凸出的反射镜（表面是双曲面）。这是因为我们要让光线汇聚到物镜的背后，如果使用平面镜，光线将汇聚在物镜的前面（图6中的红色圆点处），所以我们需要凸出的镜面。这样也带来了一个好处，那就是望远镜的等效物镜焦距变长了，因为从图6可以看出，平行的入射光经过了更远的距离才汇聚。根据我们开始推导的望远镜放大倍数公式，更长的物镜焦距对于同样的目镜而言，意味着更大的放大倍数。

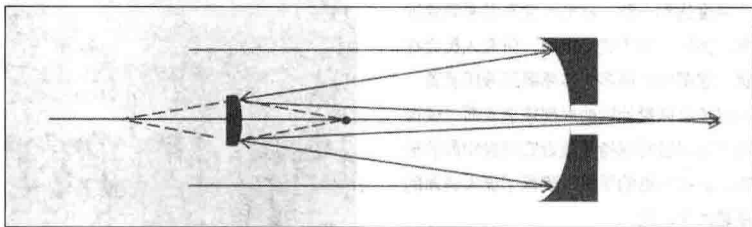


图6 卡塞格林式望远镜示意图



现代光学望远镜制造

现代光学天文望远镜大多采用反射式。目前最大的一架在建设中的光学望远镜是多国研究人员参与的大麦哲伦望远镜（Giant Magellan Telescope），预计于2020年左右完工。该望远镜建成后将如图7所示（注意望远镜前站立者与望远镜的相对尺寸）。它的主反射镜是由7面小的反射镜构成，每块小反射镜直径8.4m，所以建成后它们等效于一个直径24m的大反射镜。遥远的星光通过这些镜子的反射，被导向支架上的小反射镜，然后汇聚到中间那面反射镜的圆洞后面，在那里有其他的光学器件可以对汇聚过来的星光进行拍摄和光谱分析。这个过程正如图6所描述的那样。古老的反射式望远镜仍然是现代科学研究的有力工具。

虽然现代大望远镜的构造依然延续着先贤们的思想，要制造这么巨大的望远镜却要克服许多技术上的困难。大麦哲伦望远镜的主反射镜，每一块都由将近20吨重的优质低热胀系数玻璃铸造，而最后成型的镜面离完美的抛物面误差在25nm以内（ $1\text{m}=1\times 10^9\text{nm}$ ）。这绝非一件容易的事情。

我最近参观了负责铸造这些镜子的亚利桑那大学史都华天文台镜实验室（Steward Observatory Mirror Lab），了解了整个镜子制造的流程。图8所示就是一块已经铸造成型、正在打磨的大麦哲伦望远镜的一块反射镜。对比图8右下方的研究人员，我们就可以感受到这块玻璃的巨大了。它的表面已经过数次打磨，光滑可鉴。整个打磨的过程需要一年多。

20吨的一块玻璃看起来挺重，但是我们稍作计算就发现，对于这么大的镜子，它算是很轻了。以一块8.4m的镜子为例，它的平均厚度以0.5m计算（抛物面形的镜子边缘大概有1m厚，中间

要薄很多），所用玻璃的密度为 $2.3\text{g}/\text{cm}^3$ ，则所需玻璃为 $\pi(4.2)^2\times 0.5\times 2.3\approx 63.69$ (吨)。整整比实际使用的镜子重了40多吨！这是为什么呢？

这恰恰是史都华天文台镜实验室的新技术带来的进步。在该实验室成立之前，最大的望远镜尺寸只能做到2m左右，因为更大的望远镜体重增长迅速，铸造和使用都极为不便。实验室的研究人员研发出了空心镜子和转炉铸造，使得望远镜的尺寸飞跃到如今的8.4m。下面我们来看看这两项技术是怎么回事。

在图9中，我们可以看到从一个大镜子上切下来的一部分。上表面就是反射镜表面（尚未打磨），我们注意到实际上它只有薄薄的一层，而镜面下就是空心的玻璃柱。这是因为在铸造玻璃的时候，研究人员首先排列好一些耐高温的六边形柱状物体，如图10所示。这些柱状物之间有精确计算好的缝隙。然后再把一块块的玻璃原材料均匀地撒在这些柱状物表面，高温加热以后，玻璃融化，覆盖整个柱状物表面，并且渗透到柱状物之间。冷却之后，研究人员再将柱状物取出，就形成了如图9所示的空心结构。空心结构的好处非常多，节省材料、减轻重量这是显而易见的。另外，如果是一大块实心玻璃，它的冷热很难均匀，这样将会造成随着温度变化镜面不同部分产生畸变，影响光学质量。但是空心的玻璃很容易就和周围空气的温度达到一致，从而不会有温差畸变现象。另外，由于镜子很薄，研究人员会在镜子底部加入很多个传感器和液压装置，可以随时微量地弯曲局部玻璃表面，使得镜子可以随时保持最接近完美抛物面的形态。这些先进的手段，确保了庞大镜面的卓越光学品质。

而开始提到的转炉铸造法，是另外一

个应用并不复杂的物理知识得到非凡成效的例子。传统的铸镜方法是在一块圆饼上挖出抛物面来，费时费料。而我们从牛顿定律得知，当旋转一个装有水的桶时，水

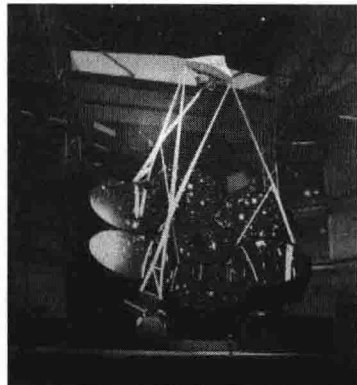


图7 艺术家绘制的大麦哲伦望远镜完成后的样子

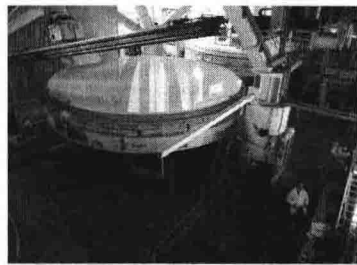


图8 正在打磨的大麦哲伦望远镜的反射镜之一

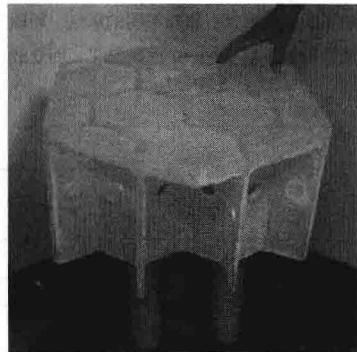


图9 空心大镜子的一部分



图10 研究人员把柱状支柱放入熔炉中



图11 基特峰望远镜群体（像照片中这样的阴天并不多见）



面会形成抛物面形。史都华天文台镜实验室利用旋转水桶的原理，在加热融化玻璃的过程中，旋转巨大的熔炉，使得玻璃表面自然形成抛物面。这样后期的打磨就只需要去掉非常薄薄的一层玻璃，以达到光学精度，大大地减少了材料的浪费和制作的时间。

大麦哲伦望远镜反射镜铸造完成后，将安装在智利阿塔卡玛（Atacama）沙漠中的某座山峰上。现代光学望远镜都安装在远离人烟的高山顶上，这样就可以避免城市的光污染。而且这些高山一般都处于干燥的地区，空气湿度小，而且非常宁静。如果空气扰动得厉害，就会像透过火

苗上方的空气看远处景物一样，飘忽不定，影响观测。图11所展示的光学望远镜群就是在美国西南茫茫戈壁中的基特峰（Kitt Peak）上，这里一年之中只有夏天的两个月下雨，其余时间大都干燥晴朗。天文研究人员每晚就在这远离人烟的地方，抬头瞻仰我们壮丽的宇宙。



自己动手做光学望远镜

了解了这么多的原理和技术，只有亲手一试才能更深刻地体会望远镜的奥妙。这一节里，我们将亲手制作简单的折射式和反射式望远镜。

简单的折射式望远镜

首先来制作折射式望远镜。按照前文提到的原理，我们可以制作一架放大10倍左右的开普勒望远镜。我选用了直径61mm、焦距345mm的凸透镜作为物镜，直径57mm、焦距31mm的凸透镜作为目镜（见图12）。

镜筒可以采用装挂历的纸筒加上PVC

水管等容易得到的材料。由于制作过程比较简单，读者可以自己设计喜欢的组装方法（网上各种天文论坛有详细的“水管望远镜”的制作过程）。其中的难点在于如何把透镜固定在镜筒中，以及如何使得物镜和目镜之间的距离可以调节（我们需要调节这个距离来使远近不同的星体清晰成像）。我使用的透镜固定方法很简单，就是在挂历筒的盖中心挖出一个比透镜直径略小的圆孔，然后用一个环状的纸板卡住，用胶带粘牢即可（如图13左图所示）。而透镜距离调节装置，则如图13右图所示。在一个比透镜筒稍大的圆筒上

安装两组螺丝钉。目镜（也可以是物镜）那一组螺丝钉拧紧些，使目镜筒不能移动。而物镜那一组螺丝钉稍微放松，则物镜筒可以相对目镜移动，从而达到调节透镜间距的效果。为了使成像清晰，要尽量使物镜和目镜的主光轴在同一条线上，这就要求所有螺丝钉露出圆筒的部分长度大致相同。

图14所示是我做好的望远镜。注意，我把它安装在了一个照相机的三角架上。望远镜的支撑是一个非常重要的部分，它的重要程度甚至不亚于望远镜本身。如果想认真观察某颗行星，或者即使是月球表

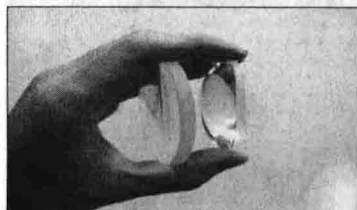


图12 物镜（左）和目镜（右）

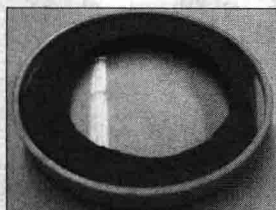
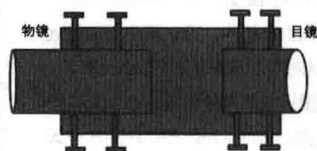


图13（左）固定透镜到纸筒盖上，（右）调节透镜距离的装置



特别策划



图14 我制作好的开普勒望远镜

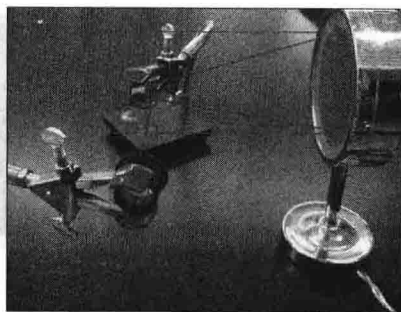


图15 简易版的反射式望远镜



图16 简易而有效的折射式望远镜

面的环形山，都必须要有稳定的支撑才能做到，仅靠手持是不可能完成的。用这架简易的开普勒望远镜，我也能像伽利略当年那样，看到木星周围漂浮的3颗小卫星。由于我采用的目镜直径较大而焦距很短，所以它比较厚，因而色散较强。读者可以尝试其他不同的物镜、目镜的配搭，并从中学习到许多重要的光学概念。

简单的反射式望远镜

我们还可以用非常简单的材料来做一
个反射式望远镜。一般天文论坛上的DIY

爱好者们会自己手工研磨抛物面的反射镜（当然尺寸都在十多厘米左右，而不会是几米的庞然大物），但是手工磨镜是一件非常考验毅力的事情。为了体会到反射式望远镜的魅力而又不需要花费太多精力，我们可以偷个懒，使用市面上出售的放大化妆镜。这些镜子大多是焦距30cm左右的凹面镜，虽然从天文望远镜的角度衡量，品质很差，但我们只需要找一个小小的凸透镜和平面镜，就可以组装成一个简易的反射式望远镜了（如图15所示）。

根据图5所描述的反射式望远镜的

原理，通过调整小凸透镜和平面镜的位置，我们可以清晰地看到放大的景象，如图16所示。小凸透镜的焦距大约在5cm，所以我们得到了一个放大6倍左右的望远镜。图16中，远处墙壁上的插座和电线透过望远镜看得非常清楚（图中右上角红色框中为未经望远镜看到的景象）。而且我们可以注意到，与开普勒望远镜类似，它也把景物上、下、左、右颠倒了。如果用镜筒把这些光学器件固定好，装上三脚架，这就成了一个小小的反射式望远镜了。



射电天文望远镜

前面我们一直提到“光学”天文望远镜，是因为如今天文望远镜所涵盖的内容远远超过了使用透镜或反射镜来观察肉眼可见光波段的星空。除了光学天文望远镜，往长波方向，我们有红外望远镜、射电望远镜（观察无线电波），往短波方向，我们有X光望远镜，等等。不同波段包含了星空不同的物理信息，相应波段的望远镜构造也很不相同。而这其中射电望远镜是与“无线电”联系最为密切的一类。

射电望远镜听起来很高科技，其实很多人都见过。如图17所示的卫星信号天线（俗称的“锅”）就可以看作是一个小口径的射电望远镜。它们接受的是比红外



图17 常见的卫星信号天线

线波长更长的无线电波。不难发现，射电望远镜的构造与反射式望远镜是非常相似的。一个金属的抛物面将入射的平面无线电波汇聚到一个焦点上，那里有探测器从接受到的电波里选择出想要探测的频率进行放大，然后用传输线将信号送去做后续处理。这样我们就测量到了天空中一个点的某个频率的无线电信号强度，它通常包含了某种物理现象的信息。如果要拍摄天空中一个小区的无线电照片，天文学家就会转动射电望远镜，一个点一个点地记录电波强弱，然后绘制成图，就像我们在电视、电影里看到的雷达扫描一样。常见的卫星信号天线与射电望远镜不同的是，前者的方向总是固定指向地球同步轨道上的某一颗卫星，而后者则可以转动扫描天空。

既然是一个点一个点地扫描，那两个相邻点之间转动角度应该是多大呢？可不可以每次转动非常小的角度，从而得到一张解析度非常高的照片呢？现实情况并不是这样的。

射电望远镜是个严重的近视患者，如果两个点隔得太近，即使它们发射的无线电波强度不一样，在射电望远镜看来也是模糊的一团，不分彼此。这个现象是由于它所观测的电波波长造成的。如果忽略电波的波动性，一个抛物面的反射镜能把平面电波汇聚到一个无穷小的点上，这样射电望远镜就可以拍摄非常高分辨率的照

片。而实际上，任何波都有衍射现象，这使得我们无法把一束电波汇聚到一个点上。当电波通过一个比自己的波长大很多的障碍物时，衍射现象并不明显，但是当电波波长和障碍物的尺寸相当

时，衍射现象就非常明显了，图18展示了这一现象。

红色激光通过两块刀片的细缝时会发生衍射，使得原本一个很小的激光光斑变成了一个很大的光斑（中央光斑）。而且细缝越窄，这个光斑越大。射电望远镜的反射镜面对于入射的电波来说也是一个障碍物，所以汇聚后的电波也是一个有面积的斑，而不是一个无穷小的点。反射镜面越小（相当于细缝越窄），则汇聚后的斑点尺寸越大。另外一个决定光斑大小的因素是波长。波长越长则光斑越大。如图19所示，通过同样宽度的细缝，红色激光（波长约为635nm）的光斑就比绿色激光（波长约为532nm）的要大。总而言之，反射镜的尺寸和所观测电波的波长这两个因素决定了射电望远镜的分辨率。因为它所观测的无线电波波长可以从数厘米到数米，所以需要建造非常大的反射镜才能够尽量减少衍射所带来的分辨率低的问题。即使如此，庞大的射电望远镜还是近视得厉害，如直径100m射电望远镜Green Bank Telescope在观察21cm波段的无线电波时，即使用来赏月，也是模糊不清的，月亮上每一点发出的电波经过望远镜汇聚成像后，都成了很大一块光斑。

怎么办呢？建造更大的射电望远镜吗？不。聪明的物理学家们想出了更好的法子。那就是用很多个小型的射电望远镜组成一个阵列，来观察同一个目标，然后

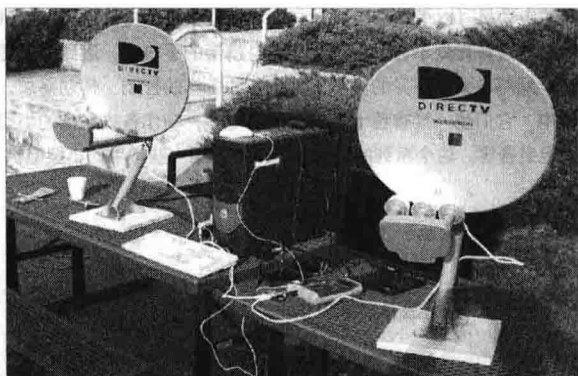


图20 美国Haystack天文台为大学生设计的一种超小型射电望远镜

把这些小望远镜的信号叠加在一起形成干涉。比如我们可以在相隔1000m的地方放置两架小射电望远镜，让它们观测同一个目标，并将观测得到的电波信号用传输线送到一起，叠加起来，最终得到的结果几乎等效于一个反射镜直径为1000m的射电望远镜的分辨率。通过这样的方式，射电望远镜的分辨率大大提高，我们就能够用无线电波看到更加清晰的宇宙图景了。

我们能否像DIY光学望远镜那样，DIY一个射电望远镜呢？看起来这是个不可能完成的任务，但实际上并非如此。世界上有许多业余的射电望远镜爱好者，利用废旧的电视卫星接收天线（小锅天线），组装自己的射电望远镜。感兴趣的读者可以参考下面这个网页（<http://www.haystack.mit.edu/edu/undergrad/VSRT/index.html>）。这是美国Haystack射电天文台为大学生设计的一种超小型射电望远镜（Very Small Radio Telescope，见图20），利用两个电视小锅天线组装成一个小射电望远镜干涉系统，可以进行太阳直径的测量等有趣的业余射电天文研究。读者如果亲手尝试必定获益匪浅。

从光学天文望远镜，到红外望远镜、射电望远镜（观察无线电波）、X光望远镜，它们为我们展示了不同波段所包含的星空的不同信息，描绘了一个更加绚丽多彩的宇宙。☼

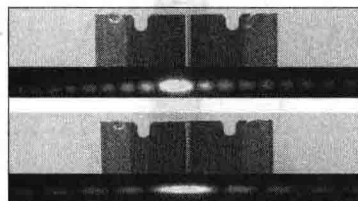


图18 障碍物越小，衍射越厉害

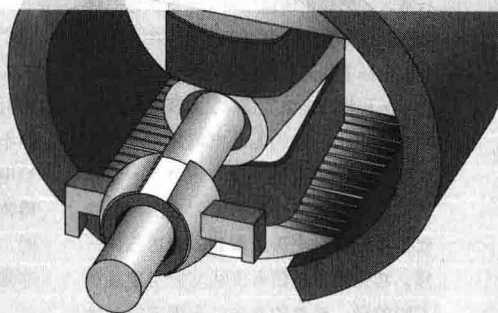


图19 波长越长，衍射越厉害

电动机(以下简称电机)在现代社会中是个再普通不过的机电类产品,电机技术的成熟运用,使得这种能把电能转换为机械能的设备无处不在,近到我们随身携带的手机里,远到探索星际的飞船上,都有它们的存在。它们有着多种多样的分类和用途,能制成大小各异的体积,满足各种各样的控制、传动需求,在机电一体化设备中有着不可取代的地位。即便是在电子爱好者中,它们也一样有着十足的用武之地——制作各式各样的小型机器人、遥控玩具车船、散热设备、电动工具,甚至是简易的发电装备等。这个系列的文章将简单地介绍一些常用的小型电机,方便大家了解和使用这些让我们着迷的小精灵。

◇温正伟 插画:刘少冉

常用小型电机系列之 直流电机入门解读



直流电机的基本原理

直流电机,英文Direct Current Machine,简称DC machine。在百科的词条中是这样定义的:将直流电能转换成机械能(直流电动机)或将机械能转换成直流电能(直流发电机)的旋转电机。在一些地方俗语中会称之为马达、摩打等,多为英文的音译。

从英国科学家迈克尔·法拉第(Michael Faraday)发明世界第一台电机(1821年)到现在已经有191年的历史,直流电机的制造及应用技术已经相当成熟了。

回头看看法拉第的第一台电机是怎么样的呢?他的实验是在一个碟子中倒入水银,碟中放有永久磁铁,在碟子上面悬挂一根导线,导线一端连接电池的正极,另一端则浸泡在水银中,水银则和电池负极相连,水银有导电性和流动性,在这里就充当了电刷的角色。电流通过导线,产生磁场,和放置在碟子中的磁铁产生相互作用力,使得导线翘起围着磁铁旋转。图1所示的就是原始的法拉第实验示意图。虽然这个实验中的装置并没有实用的价值,但从原理上符合了直流电机的定义,我们也可以这个实验原理仿制一些小的电动

机实验玩具。

图2所示就是一个利用这个原理制作的最简单的电机实验,制作用料很简单——电池、铜丝和圆柱形钕铁硼磁铁块。制作方法是先把铜丝做成直径比电池直径略大一点的铜丝圈,把圆柱形钕铁硼磁铁块吸在电池的负极,铜丝圈接口处的铜线放在正极上,相当于电机上的转轴,铜丝圈的另一端接触到电池负极下的磁铁块。钕铁硼磁铁块具有导电性,就相当于直流有刷电机中的电刷,放置好后,电流流过铜圈,产生磁场,并和钕铁硼磁铁块的磁场相互作用,线圈就转动了(注:图2中钕铁硼下面的普通磁铁块只起固定作用,可以不使用)。有兴趣的读者可以做来哄小朋友,简单而又具有教学作用。

然而法拉第并没有把这个实验实用化,直到1832年,电磁铁的发明者——英国的威廉·斯特格恩(William Sturgeon)才制作出第一台具有实用性的四芯电机,而且最重要的是,这个电机已使用了电刷来换相,是现代电机的原形。它的原理如图3所示。

到了1834年,美国人托马斯·达文波特(Thomas Davenport)制造出了第一

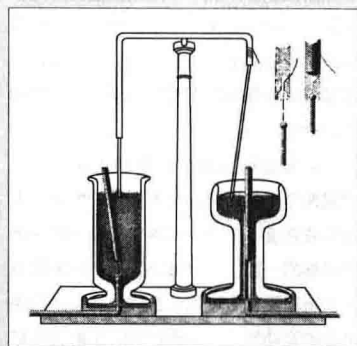


图1 原始的法拉第实验示意图

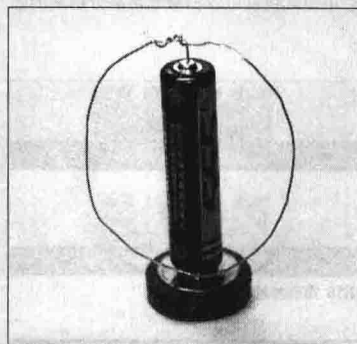


图2 简单的电机实验

演示的视频可以到下面地址观看: <http://www.cdle.net/thread-47258-1-1.html>

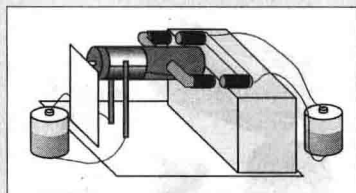


图3 威廉·斯特格恩四芯电机原理图

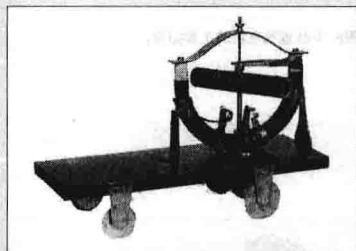


图4 世界上第一辆直流电机驱动的电动车模型



图5 左手定则示范洛伦兹力方向

辆直流电机驱动的电动车模型，如图4所示。虽然这辆直流电机驱动的电动车与现代的直流电机在性能及造型上相比有着天壤之别，但是其基本原理以及结构的组成要素都是一样的，只是实现的形式不同罢了。如今，在网络供电时代，电机的能源供给问题得到了解决，电机得以飞速发展，同时借助越来越先进的驱动控制技术，不单单是可以实现更大的动力输出，而且能实现更高速和准确的控制。

从以上这个小实验中，我们可以直观

地看到电流流过处在磁场中的导体时，会受到一种力的作用。电机正因为受到这种力的作用才会转动，由于是荷兰物理学家洛伦兹最先提出了这个观点，所以这种力被称为洛伦兹力。

洛伦兹力是指运动电荷在磁场中所受到的力，即磁场对运动电荷的作用力，力作用的方向与电流方向和磁场方向都保持垂直。

洛伦兹力的作用方向可以用左手定则来确定，那么具体如何使用左手定则来判定洛伦兹力的方向呢？还是用上面那个电机小实验来说明，如图5所示。首先我们要找出磁力线的方向，可以借助指南针（或手机上的电子指南针），指南针的南极（S极）会指向磁场的北极（N极），这样就可以得知磁力线的方向，从N极指向S极，电流方向是从电源正极指向负极。得知这两个方向后，伸出左手，拇指与其余四指呈90°，四指指向电流方向，拇指指向磁场方向，那么掌心所对的方向就是洛伦兹力的作用方向，所以这时铜圈就会做逆时针旋转。也可以参看图6来理解通电导体在磁场中受洛伦兹力作用的情况，你也可以试着伸出左手，在图6上试试左手定则。

细心的读者可以看出，上文中提到的那个铜圈在电路中最多只算是两段通电的导体，两者电流方向是一致的，但由于所处位置不同，受到的磁场作用也有所不同，受力后导体位置不断改变，所处磁场位置也在变化，受力不平衡，所以会旋转起来。然而我们使用的电机在原理上并不可能用这样的结构，实际上，常见的直流

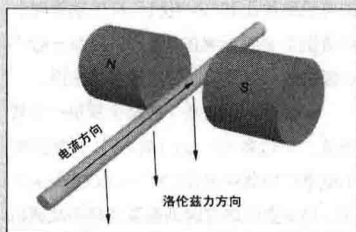


图6 洛伦兹力示意图

电机用于产生磁场的导体是做成环状的线圈，电源连接在线圈的两端，其原理结构如图7所示。我们同样可以使用左手定则来分析环形线圈在磁场中的受力情况。

从图7中可以看到，环形线圈中，电流的走向可以分为A、B两段，这两段电流的方向正好相反，使用左手定则分开来分析得出，A段受到向上的力，而B段受到向下的力，当线圈平面没有处于铅垂位置时，两股力会形成力矩，使得线圈沿顺时针方向转动，当到达铅垂位置时，A段向上的力与B段向下的力在同一垂直线上，不产生力矩，这时达到平衡，停止转动。为了继续旋转，必须改变一下电源的极性，极性改变后，A段受向下的力，B段受向上的力，受力状态在极性改变的瞬间间被打断，绕圈继续沿顺时针方向转动，直到再次到达铅垂位置，再次平衡。由此可知，只要在铅垂位置上进行电源极性转换，线圈就会一直转动下去，这种方式也已被广泛用于大多数的直流电机中，这种交替改变线圈中电流方向的过程称为换向。常见的永磁直流电机中实现转向功能的装置是换向器和电刷。

我们可以通过拆解小型直流电机来了解一下常用小型直流电机的主要组成部分，如图8所示。直流电机主要由以下几个部分组成：

► **转子**：转子是在电机中心轴上固定着的单匝或多匝线圈，线圈通过电刷连接到换向器，获取交替变化的电流，使其在磁场洛伦兹力的作用下，产生旋转的转矩，并通过中心轴输出。图8中间所示的就是转子，电机轴上面固定了3匝线

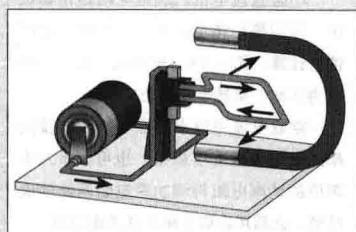


图7 直流电机线圈通电分析示意图

圈, 组成一组绕组, 线圈引线连接在电刷上。实际使用的直流电机中线圈至少为3匝或以上, 多线圈组成绕组目的在于增强洛伦兹力强度, 并减少绕组转动过程中力矩波动导致的转动不均匀, 同时也提高了能量的转换效率。

► **定子:** 定子是围绕安置在转子周围, 用于在电机中产生磁场的装置。一般小型直流电机的定子多是使用永磁体制

作, 在大功率的直流电机中, 定子是使用线圈制作的电磁铁。图8左边所示的就是定子, 由一块环形圆柱形永磁铁组成。

► **换向器:** 换向器的结构是两块分开的金属弹片, 用于接触电刷来给线圈提供交替变化的电流。换向器是固定的, 电机轴在旋转时, 电刷会随着旋转的角度变化, 交替地与换向器两极接触, 变换线圈的电源极性。



图8 小型直流电机的主要组成

直流电机选购要点

在制作机电结合的DIY作品时, 我们通常要用到小型的直流电机, 我们如何选购所需要的电机呢? 如今, 我们不但可以在电子市场上买到所需元器件, 更可以足不出户在网络上购买到心仪的元器件, 但无论从哪一种渠道购买电机, 我们都应该在第一时间向供应商索要或询问电机的技术参数, 最好是厂商提供的技术文档, 当然也可以在网络上根据电机型号来查找相

关的资料。从这些文档中我们可以详尽地得知该型号电机的技术资料, 如外形、安装尺寸、力矩、电压、轴长等。有了这些资料, 我们可以在制作项目中更精准地进行设计。然而实际上, 用户在购买时往往不会索要这些文档, 特别是小厂商生产的产品或是二手货物, 更没法保证能获取全部的技术资料, 好在有些电机在电机的铭牌上有标示电压、功率、转速等参数。笔者根据平时的选购经验觉得, 爱好者在选购时应关注以下几个基本指标, 来看电机是否满足自己的要求。

► **输入电压、电流:** 无论到哪里购买电机, 商家首先都会问“需要多少伏电压的电机?”常见的小型直流电机的额定输入电压有3V、6V、12V、24V和36V。选用时可以根据控制电路所能提供的电压值去选取合适的电机, 尽量不要选用需要电路额外提供电源的电压值。当然同时也要考虑电机的输出, 同样功率的电机, 输入电压不一样时, 需求的电流是不同的。6V的电机要输出和12V电机一样的功率时, 电流则需要是后者的2倍。供应商一般不会提供输入电流值, 但比较容易求得。

► **转速:** 供应商一般都会提供一个转速值, 单位多为r/min (转/分), 常见的小型电机空载转速在5000~20000r/min之间。需要更低转速时则需要选择带减速机构的电机或使用调速电路进行调速。图9



图9 小型金属齿轮减速电机

所示是小型金属齿轮减速电机。

► **转矩:** 转矩就是距轴心一定半径距离上所输出的切向力。转矩的单位为牛·米 (N·m)。如果一个电机的输出转矩为1N·m, 也就相当于在轴心上安装一个1m的大圆盘, 而电机带着圆盘的边缘挂着重0.1kg重物顺利旋转。如果需要精确要求转矩, 在购买时一定要参考详细的电机技术文档。通常是通过对电机增加减速机构来实现增大力矩, 但同时会把终端输出的转速降低。

► **尺寸:** 小型直流电机种类繁多, 大小不一, 所以在购买时务必要注意其体积大小、定位孔、轴直径、轴长等关键尺寸, 以确保电机能正确安装到设备中去。

除了询问以上基本技术参数外, 如有条件, 在购买时可以试着加电或手动使电机转动, 听听电机有没有异响, 感觉一下转子是不是转动顺畅。特别是在跳蚤市场上选择二手电机时, 如果转动不顺畅或有异响, 那可能是电刷、换向

TIPS

当我们手上有一个直流电机时, 我们只知道它的额定输入电压, 那么我们可以用如下的方法求得堵转电流和空载电流。

当电机在运转时无法带动负载转动, 转子停止转动, 形成堵转, 这里所通过的电流也称之为堵转电流。因转子不转, 此时绕组线圈就可以简单地看成是一个电阻, 所以其电流值可以简单地用欧姆定律求得: 电流=电压/电阻。

小型直流电机的绕组电阻通常都很小, 所以要用精度高的万用表测其电阻值来计算。如一个6Ω的电机, 在供电电压为6V时, 堵转电流就为1A。

空载电流可以直接在电机和电源间串入电流表来直接测得, 也可以串入小阻值的功率电阻再测功率电阻两端的电压值, 之后用串联电路公式求得电流。