

基于 CAD 技术的网球自动发球机的机构设计
MECHANISM DESIGN OF TENNIS
AUTOMATIC SERVE MACHINE BASED ON
CAD TECHNOLOGY

摘要

本文通过对不同网球发球机具体发球原理进行对比,综合分析各种网球发球机的优点和不足,从而确定一种最合理可靠的网球发球原理,即双轮对转原理。通过对转的连个摩擦轮对网球进行摩擦,使其获得动能,从而发射出去,然后以此设计原理为机械结构的核心部分,对其他辅助结构进行了结构设计,以达到预先设置的网球发球机的各个参数指标的要求。在此过程中,对具体结构尺寸进行了确定,并且对其中比较关键的轴、键等承载零件进行了校核计算。最后通过校核计算得到的具体参数对网球发球机进行了三维模型的构建及运动仿真。通过以上设计校核计算及建模仿真,说明该网球发球机的设计方案是完全可行的。

网球发球机是将电子技术和机械技术结合起来的现代化体育设备,目前我国的体育事业正处于高速发展阶段,对各种体育设备的需求也会逐渐增大,因此,对网球发球机的研究有很大的现实意义和经济意义,也会极大的推动网球体育运动事业的发展。

关键词 网球发球机; 机构设计; CAD 技术; 对转双轮; 强度校核

Abstract

This paper analyzes the advantages and disadvantages of various tennis dispensers by comparing the specific serve principle of different tennis dispensers, and then determines the most reasonable and reliable principle of tennis serve, that is, the principle of double wheel turn. Through the rotation of a friction wheel on the tennis friction, to obtain kinetic energy, and thus fired, and then design principles for the mechanical structure of the core part of the other auxiliary structure of the structural design to achieve the pre-set tennis The requirements of the various parameters of the machine. In this process, the specific structure size was determined, and the more critical shaft, key and other bearing parts were checked and calculated. Finally, the 3D model of the tennis ball machine is constructed and the simulation of the motion is carried out by checking and calculating the specific parameters. Through the above design verification calculation and modeling and simulation, the design of the tennis ball machine is completely feasible.

Tennis ball machine is the combination of electronic technology and mechanical technology of modern sports equipment, the current sports industry in China is in a high-speed development stage, the demand for a variety of sports equipment will gradually increase, therefore, the tennis ball machine research Great practical significance and economic significance, will greatly promote the development of tennis sports career.

Keywords tennis dispenser institutional design computer aided design
steering wheel strength checking

目 录

摘要.....	I
Abstract.....	II
1 绪论.....	1
1.1 本课题的研究意义.....	1
1.2 网球发球机的发展.....	1
1.3 国内外网球发球机的研究现状.....	2
1.3.1 国外网球发球机的研究现状.....	2
1.3.2 国内网球发球机的研究现状.....	4
1.4 本文的主要内容.....	5
2 网球发球机总体方案的设计.....	6
2.1 网球发球机的工作原理.....	6
2.2 网球发球机的总体方案.....	7
3 网球发球机发球机构的设计.....	8
3.1 确定网球发球机的具体技术参数.....	8
3.2 网球发球机发球机构的设计.....	10
3.2.1 摩擦轮的设计.....	10
3.2.2 电机的选型.....	11
3.2.3 联轴器的设计校核.....	13
3.2.4 网球发球机的主轴设计.....	15
3.2.5 键连接的设计校核.....	22
3.2.6 箱体框架的设计.....	25
4 网球发球机送球机构的设计.....	27
4.1 旋转机构.....	27
4.2 输球管道.....	28
结论.....	29
致谢.....	30
参考文献.....	31

1 绪论

1.1 本课题的研究意义

网球发球机是将电子技术和机械技术结合起来的现代化体育设备,目前我国的体育事业正处于高速发展阶段,对各种体育设备的需求也会逐渐增大,因此,对网球发球机的研究有很大的现实意义和经济意义,也会极大的推动网球体育运动事业的发展。

1.2 网球发球机的发展

近年来,随着科学技术的发展,人们生活水平不断的提高,人们对自己的身体素质也变得更加重视。为了对自己的身体素质进行培养和强化,体育运动便逐步发展起来。自体育运动产生以后,强健体魄和娱乐也成为它的主要作用。

作为一项充满竞技性而又优美的体育运动,网球运动越来越受到人们的热爱。网球的起源和发展可以概括为四句话:孕育于法国,诞生于英国,普及在美国并形成高潮,如今在世界上盛行,被誉为世界第二大球类运动。网球大约于十九世纪八十年代前后传入中国,随后逐渐在中国盛行开来,尤其受到年轻人的喜爱。现在的网球运动也已经成为人们进行运动时的主要项目之一,在各大高校体育场也都建设了与网球运动相匹配的运动场地,网球运动在我国大城市和发达地区已经逐渐的普遍化,城市中的人们也越来越热衷于网球这项现代体育运动。但是,对于网球的初学者,想要在短时间内快速提高网球技术,没有完善的配套练习设备是较难以实现的。目前,国内大部分网球练习设备仍存在一定的不完善,特别是网球练习中所使用的发球机,技术含量低、价格高、质量不好,这些问题都会影响人们的练习体验。因此,研制科技含量高、价格低廉、美观耐用的智能网球发球机具有很大的社会意义和经济意义。图 1-1 为常见的网球发球机。



图 1-1 网球发球机

网球发球机的发明专利是美国的 *Rose* 于 1998 年所申请的，后来，各个国家也投入网球发球机的研发工作。其中，美国和日本的研发工作一直处于领先地位。他们对发球机的研发主要集中在发球机构的设计，目的是能够使网球发球机实现上旋球、下旋球、侧旋球、直球、高吊球、网前球、后场球、底线球、短截击球及边线球等。我国对发球机的研发工作相对较晚，但是也出现了很多关于网球发球机的优秀厂家。但是，我国主要的网球发球机的制造厂家还是使用外国的网球发球机的设计方案。

本课题通过对网球发球现状的分析，从而确定了一种较为有效的发球方案，并对此方案的网球发球机的机构进行设计校核，对输球机构和发球机构进行了改善，最后得到了一种较为合理的网球发球机的设计方案。

1.3 国内外网球发球机的研究现状

目前，市面上的网球发球机主要都是利用双轮对转的原理进行网球的发射。网球通过专门设置的通道后，被送到两个相对运转的摩擦轮之间，通过两个摩擦轮对网球的摩擦力，使网球得到一定的动力，从而使网球发射出去。两个摩擦轮则是通过两个独立的电机进行驱动，这样可以使两个电机分别具有不同的速度，以便对网球的速度和旋向的控制。

1.3.1 国外网球发球机的研究现状

目前，国外研制网球发球机的厂家很多，而且他们对网球发球技术的研发比国内早很多。国外所研发的网球发球机可以用来发出上旋球，下旋球，网前球，后场球，底线球，短截击球及边线球等。这类网球发球机能够满足普通大众的练习需求，同时，也比较适合职业运动员的训练。在这些网球发球机的制造厂商中，制造技术处于领先地位的是美国 TUTOR 制造厂商和 LOBSTER 制造厂商。

美国的一些网球发球机的制造厂商所制造的网球发球机不仅在发球机构上较为先进，而且在控制方面十分先进。这些发球机大多数都可以使用计算机进行远程控制，操作十分方便。在发球机上安装上速度传感器后，还可以对网球的速度进行实时监测。

1.3.1.1 Tutor 网球发球机

Tutor 网球发球机采用两个旋转方向相反轮子，而且两个轮子之间必须设置一定的距离，该距离必须小于网球的直径，当球从所设置的通道被送至两摩擦轮之间时，由于摩擦轮的高速运转而会对网球产生一定的摩擦力，从而使网球发射出去。这种网球发球机的出球口位于整个发球机的前部，通过出球口可以看到两个上下布置的摩擦轮，它们的中心轴相互平行。当网球通过时，通过快速旋转将球挤压射出。此情况与被打滑的车轮所挤出小石子情况类似，只不过一个是两个轮子共同摩擦起作用，另一个是只有一个轮子摩擦起作用。发球机中的两个旋转轮通过电机进行驱动，网球受到两个轮子的摩擦力，获得一定的动能，从而发射出去。通过调节两个电机的速度，使它们分别获得特定大小的速度，就可以控制发出的球的初速度和旋向。控制驱动电机的输入信号，对两个摩擦轮进行速度控制，使它们产生不同的速度时，即可发出上旋球或下旋球：当下面轮子的转速大于上面轮子的转速，此时，网球下边缘的速度大于上边缘，发出的球即为上旋球。当上面轮子的转速大于下面轮子的转速，此时，网球下边缘的速度小于上边缘，发出的球即为下旋球。当两轮的旋转速度一样时发出的球即为平击球。

这种方案简单高效，而且还能保证发球的稳定性，对网球的初速度，旋转方向控制也较为简单。这种网球发球机的设计方案所制造的发球机性能很好，所以，市场上大多数发球机都是使用的双轮对转的原理设计的。但是，这种网球发球机同时需要另一个控制电机对摩擦轮进行控制，因此，它的机构很可能会存在一定的缺陷，必须进行机构的强度校核才能安全使用。图 1-2 为 Tutor 网球发球机。



图 1-2 Tutor 网球发球机

1.3.1.2 Lobster 网球发球机

Lobster 制造厂商所制造的网球发球机采用的是空气压缩原理，因此必须使用空气压缩机来实现网球的发射。这种发球机前面带有长筒，其外形结构类似照相机。网球首先被输送到长筒的底部，长筒底部有一个直径小于网球直径的窄口，

这个窄口能将传送至窄口前网球挡住，等待空气压缩机压缩空气，对待发射的网球产生推力。空气压缩机启动后，使经过压缩的空气挤压处于窄口前的网球，当这个挤压力到达预定值时，网球就被发射出去。当需要旋球时，通过调节长筒的倾斜角度来控制网球的旋向，

当发射出来的网球的上部被发球机管道摩擦到的时候,所发出的球为下旋球,当发射出来的网球的下部被发球机管道摩擦到的时候,所发出的球为上旋球。这种网球发球机主要利用气体的压力能为动力,因此,需要非常多的机械构件,因此结构复杂,而且体积较大。它的主要缺点有三点:一是发球过程中,噪音大;二是由于网球经常与管壁进行摩擦,对网球表面的磨损很大,会使网球的使用寿命大大缩短;三是因为压缩空气所要消耗的功率很大,使用普通的蓄电池已经不能满足其功率要求,因此,一般采用 220V 交流电进行供电。它的优点是价格相对比较低。图 1-3 为 Lobster 网球发球机。



图 1-3 lobster 网球发球机

目前,市面上的大多数发球机采用的工作原理都是双轮对转原理。这是由以下几个原因造成的,一是采用对转双轮原理制造的网球发球机所提供的发球性能比空气压缩发球机所提供的性能更好。二是空气压缩发球机在运行时噪音非常大,影响使用者的使用体验。三是由于空气压缩机所消耗的功率很大,因此难以使用电池来供电,只能使用电源供电,使用灵活性较低。

1.3.2 国内网球发球机的研究现状

国内的网球发球机虽然发展十分迅速,但是由于对发球机的研发起步较晚,制造厂商还很少,其中,处于领先地位的是斯波阿斯体育用品制造厂商。该厂商位于中国广州东莞市,利用对转双轮的原理,通过两个转轮和球之间的摩擦力来获取动能,从而将网球发射出去。它可以根据使用者的要求,调整不同的适合使用者的发球模式,还可以通过智能遥控对速度、频率、角度和旋向等参数进行设置。斯波阿斯牌的网球发球机的电源为大容量锂电池,一般可达到 5 到 6 小时的使用时长,不仅能够满足普通使用者的需求,即使是专业的网球运动员,也可以使用斯波阿斯发球机进行长时间的训练。该网球发球机的主要使用参数见表 1-1。

表 1-1 斯波阿斯网球发球机参数表

品牌	电源	功率 (w)	发球速度 (km/h)	发球频率 (秒/球)	装球容量 (个)
斯波阿斯	交直流两用 电源	150	90~140	1.8~8	160

它的主要优点是，速度快、便于携带、经济实惠，能够实用软件进行远程操作，而且可以设置不同速度、旋转及相应俯仰角度，实现独特的深浅高压球功能。



图 1-4 斯波阿斯网球发球机

1.4 本文的主要内容

(1) 对现有各种网球发球机的发球方案进行分析，对比各种网球发球方案的优点和缺点，对各个发球原理进行综合评价，得到最优的设计方案。

(2) 对设计方案中的各个部分进行机构设计，确定零件的型号参数。使其能够完成网球的发球工作。

(3) 对其中的关键零部件进行校核，保证整个发球机运行的可靠性，尽可能提高网球发球机的寿命。

(4) 对网球发球机进行三维模型的构建，更加直观地表示出各个零件的具体结构。

2 网球发球机总体方案的设计

2.1 网球发球机的工作原理

目前，对于市场上各种各样的网球发球机，它们的生产厂家不同，因此，其结构和工作原理也各不相同。下面，简要分析一下现有的各种网球发球机的工作原理，以确定最优的网球发球机的工作原理。

考虑到使用的经济性和便携性的原则，网球发球机需要采用锂电池进行供电，同时考虑到使用寿命，对以下几种方案进行对比。

压缩空气原理：采用这种工作原理进行发球，虽然价格较低，但是由于空气压缩机的噪音较大，功率消耗十分巨大，效率较低，而且采用空气压缩机后，不能采用锂电池供电，因此，使用较为不便。所以，一般不采用压缩空气的原理进行设计。

利用板簧，弹簧实现发球的原理：采用这种工作原理进行发球，首先要使用电机对板簧或者弹簧做功。使板簧或者弹簧储存一定的能量。然后撞击网球，使网球获得一定的动能，从而被弹射出去。这种发球方式会有很大的冲击和震动，使网球发球机各元件的使用寿命缩短，效率较低，而且很难对其发球速度和旋向进行控制。

利用双轮对转的原理：采用该原理的网球发球机，其性能较高，而且能较为方便的控制发球速度和旋向，可以使用锂电池进行供电，携带方便。

由于双轮对转网球发球机具有的众多优点，因此本文采用双轮对转的原理作为基本工作原理。当网球从管道中出来后，遇到两个高速旋转的轮子，通过轮子对网球的摩擦作用，使网球获得一定的动能。从而使网球发射出去。当需要上旋球时，调节轮子的转速，使下面轮子的转速大于上面轮子的转速，此时，网球下边缘的速度大于上边缘，发出的球即为上旋球。当需要下旋球时，调节轮子的转速，使上面轮子的转速大于下面轮子的转速即可。当需要发射平击球时，只需将两轮速度调节相同即可。图 2-1 为双轮对转原理图。

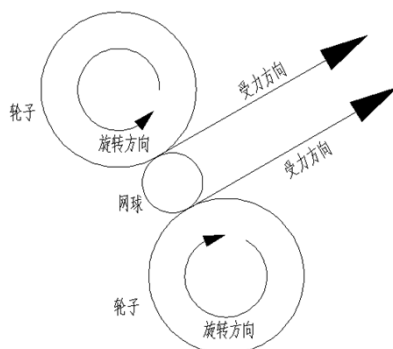


图 2-1 双轮对转原理图

通过双轮对转原理图可以清楚的看出，当电机带动两个轮子高速旋转时，从专用通道滑出的网球会受到轮子的摩擦，使网球获得一定的动能，网球便会高速发射出去。这种方案的优点很明显，它可以很容易的保证网球发射的初速度，而且十分稳定，它还能够改变发射的角度和速度，便于用户根据自身情况进行调整。

2.2 网球发球机的总体方案

由于选择了双轮对转进行发球机的工作原理，而且所用到的两个摩擦轮需要具有不同的速度，才能控制所发网球的具体速度，因此需要用到两个电机对两个摩擦轮进行控制。为了能够方便地控制网球的发球频率及网球的运行轨迹进行控制，还需要设计一个送球机构，本方案使用了旋转机构和输球管道作为送球机构，通过改变旋转机构的速度，从而来控制到达发球机构的网球的频率。根据以上 F 分析，得到的总的网球发球机的原理图如图 2-2 所示。

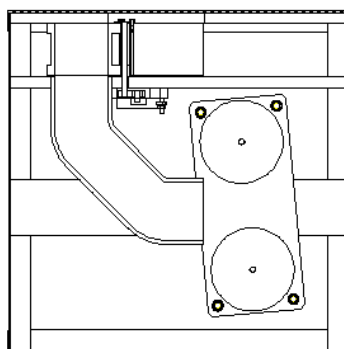


图 2-2 网球发球机结构示意图

根据结构示意图，可以将网球发球机分为发球机构和送球机构，下面分别对发球机构和送球机构进行设计。

3 网球发球机发球机构的设计

机械的设计质量是机械的总质量的主要影响因素，因此，机器的设计阶段是决定机器是否完善的重要步骤。再机器的设计阶段中最关键的是方案设计阶段。一般一部机器的设计方案有多个解，这时就要求设计者根据具体情况确定最优的设计方案，从而达到既能满足使用要求，又能满足经济要求。方案设计阶段也分为几个步骤，首先是机器的具体使用功能分析，就是要确定出能满足使用目的机器的最低要求及正常工作时所要达到的功能参数，作为下一步设计的根据。确定功能参数后，就可以确定出合适的设计方案。工作原理不同，最后成型的执行机构的具体结构也是不一样的。然后，再选出能够在技术上实现的方案，对这些方案从经济、环保等方面进行对比评价，最后进行决策，筛选出最优的设计方案。因此，必须重视对网球发球机机构的设计，这样才能保证发球机发球的可靠性。

为了能够清晰的表示出各个零部件之间的装配关系以及各个零件的具体结构，使用 *proe* 软件对各个零件进行了三维模型的构建。

3.1 确定网球发球机的具体技术参数

经过初步的方案设计，先将网球发球机的设计分两部分进行，即送球机构的设计和发球机构的设计。要想对这两方面进行完善的设计，首先必须了解清楚网球的网球场地的具体参数。

网球场是一个矩形，它长 $23.77m$ ，宽 $8.23m$ 。在球场中间悬挂有球网，球网顶端距地面的距离为 1.07 米。其悬挂在一条最大直径为 $8mm$ 出的绳索上。

网球的直径在 $65.41mm$ 和 $68.58mm$ 之间，重量在 $56.7g$ 和 $58.5g$ 之间。为此，必须使网球的初速度在一定的范围内，才能使网球既不会出界，又能落在特定的区域内。图 3-1 为标准网球。



图 3-1 标准网球

为了方便对网球发球机的设计，首先需要对网球的初速度进行分析。这里，忽略网球自身的旋转对运行轨迹的影响，则网球的轨迹可以看做是在二维空间里的斜抛运动。

根据所设定的技术参数，网球的发球距离为 $10-12\text{ m}$ ，发球高度为 2.5 m ，飞行过程受重力和摩擦力作用，这里，由于空气阻力对球速的影响极小，因此，为了方便计算，忽略空气阻力对网球飞行运动的影响。设水平方向为 x 方向，竖直方向为 y 方向，可以把网球的飞行轨迹看做在一个垂直面内的斜抛运动，能够得到理想情况下网球飞行轨迹的示意图。图 3-2 为理想情况下的网球飞行轨迹图。

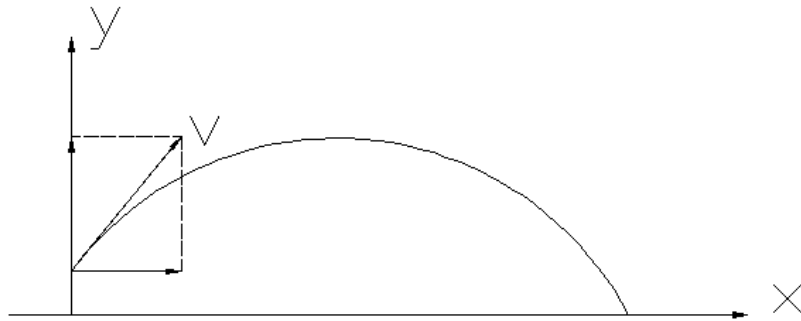


图 3-2 网球飞行轨迹示意图

则根据斜抛运动的物理学规律，可以得到，

$$\begin{cases} v_y = gt_1 \\ v_y^2 = 2g(h - h_0) \\ v_y'^2 = 2gh \\ v_y' = gt_2 \\ s \leq v_x(t_1 + t_2) \end{cases} \quad (3-1)$$

式中 v_y ——网球的初速度在 y 方向的分量， m ；

g ——重力加速度， m/s^2 ；

t_1 ——网球上升过程所使用的时间， s ；

t_2 ——网球下降过程所使用的时间， s ；

h ——网球到达最高点的高度， m ；

h_0 ——网球发射点距离地面的高度， m ；

v_y' ——网球落地时的速度在 y 方向的分量；

v_x ——网球速度在水平方向的分量；

s ——网球出发点和落地点在水平方向的距离。

将现有的已知条件整理：飞行高度 $h = 2.5\text{ m}$ ，飞行的水平距离 $s = 12\text{ m}$ ，重

力加速度 $9.8m/s^2$ ，由具体模型得到的网球发球口距离地面的距离为 $h_0 = 0.2m$ ，代入上式可得： $v_y = 6.714m/s$ ， $v_x \geq 8.578m/s$ 。网球发射初速度为

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (3-2)$$

式中 v ——网球的瞬时速度。

将 v_x^2 , v_y^2 带入可得: $v = 10.893m/s$ 。

结合使用要求和经济性要求,得到的网球发球机的具体技术参数如表 3-1 所示。

表 3-1 发球机具体参数表

外形尺寸 (mm)	整机重量 (kg)	发球速度 (km/h)	供求频率 (个/分)	储球数 (个)	发球距离 (m)	发球高度 (m)
500×320×500	20	80-120	30-240	200	10-12	2.5

3.2 网球发球机发球机构的设计

发球机构是整个发球机的主题部分,对网球的初速度以及旋向起着直接的控制作用,发球机的性能好坏,主要是看发球机构设计的是否完善。发球机构主要由电机,固定板,摩擦轮,联轴器,主轴等组成。双轮对转机构效果如图 3-3 所示。

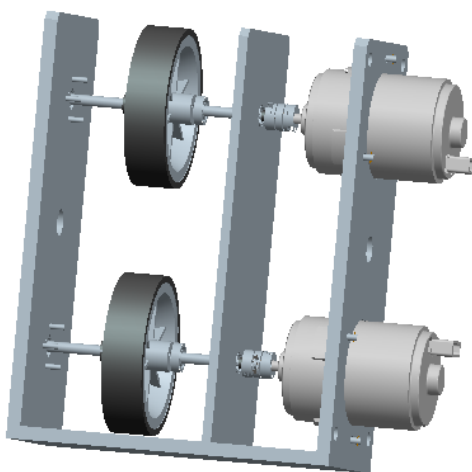


图 3-3 发球机构

3.2.1 摩擦轮的设计

摩擦轮的主要材料采用硬脂塑料,为了增强摩擦轮与网球表面的摩擦力,在其表面覆盖上一层 $1mm$

厚的硅胶。然后是摩擦轮直径的确定，摩擦轮的直径过大，会影响整机重量，还会影响各个零件的位置布置问题，导致整体结构不紧凑；摩擦轮直径过小，则由于摩擦轮的线速度 $v = \omega r$ ，为了能够给网球提供足够的动力，在摩擦轮直径很小的情况下，只能通过增大摩擦轮的转速，即提升电机的主轴转速来使摩擦轮达到所要求的线速度，这会设计高速电机的配置问题，增大网球发球机的总成本，还会影响网球发球机整体的稳定性。因此，综合各方面的影响因素，最终将摩擦轮设计成直径 120 mm 宽度 30 mm 的滚轮形状。

为了减轻整机重量、降低电机的启动转矩，应该将摩擦轮的重量尽可能的降低，因此，除了摩擦轮用来撑起硅胶的最外层圆周，用该尽量减低摩擦轮的厚度，但是厚度降低后，会使摩擦轮的强度大幅降低，这里，本方案只用了筋板来适当增大摩擦轮的整体强度，这样即降低了摩擦轮的重量，使整机重量得到了降低，也防止因为厚度过小而使摩擦轮的强度过低。

考虑到摩擦轮与主轴的周向连接采用键连接，因此，需要在摩擦轮内表面的圆周上制造出键槽来，该键槽的尺寸将在后面轴的设计轴进行分析设计，这里暂不计算。摩擦轮的整体结构如图 3-4 所示。

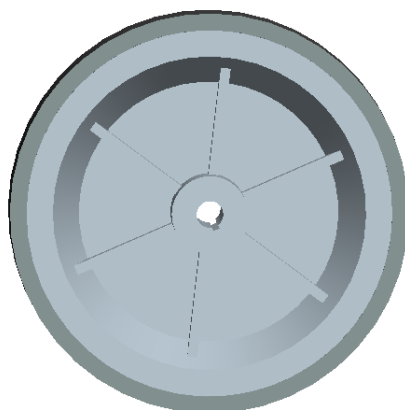


图 3-4 摩擦轮结构图

3.2.2 电机的选型

电动机可以把电能转化为机械能，是现代机械中常用的能源装置，它将线圈通电后，产生旋转磁场，转子在旋转磁场中受到旋转扭矩的作用，从而将电能转化为机械能。其使用可靠，价格低廉，结构紧凑，控制方便，越来越广泛地应用于各种及机器之中。

由于电机越来越常见于各种机械系统中，因此，电机的选型问题成为一个十分关键的问题。电机的选型需要考虑多方面的影响因素，其中主要考虑以下几个方面。首先需要考虑执行机构所需要的运动形式及执行机构所需要的功率，以此来确定出电机的主要类型，然后要考虑电机的效率、安装方式、价格和一些其他的机械特性。所选电机应该满足能够使执行机构安全、节能、高效的运行。在电机选择过程中最关键的问题是电机所需功率的确定，应该在能够满足执行机构正常运转的情况下，选择经济最优的电机类型。

按照电机所使用电源的种类来划分，电机可以分为直流电机和交流电机两大类。其中直流电机按照具体工作原理可以分为无刷直流电机和有刷直流电机两种。本文使用的电机需要对其具体输出速度进行精确控制，因此应该选择控制性能较好的直流电机。

电机的主要参数是其额定功率和额定转速，因此，电动机在选型时，主要确定其额定功率和额定转速。首先，确定其额定功率，这个额定功率必须与负载的功率相适应，依次保证满足负载的正常工作。考虑到摩擦轮的速度会直接影响网球的速度，因此，可以根据设计参数中的网球的初速度范围来求解出摩擦轮的速度范围。网球的发球速度为 80 km/h 到 120 km/h ，即为摩擦轮的线速度范围，因此，可以求解出轮子的角速度范围：

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{(80 \sim 120) \times 1000}{60 \times 0.06} = (2.22 \sim 3.33) \times 10^4 (\text{rad} / \text{min}) \quad (3-3)$$

式中 v ——摩擦轮的线速度， m/s ；

r ——摩擦轮的半径， mm ；

w ——摩擦轮的角速度， rad/min 。

从而，摩擦轮转速范围为

$$n = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{(2.22 \sim 3.33) \times 10^4}{2 \times 3.14} = (3538.57 \sim 5307.86) (r / \text{min}) \quad (3-4)$$

式中 n ——摩擦轮的线速度， r/min 。

因此，也即主轴的转速范围为 $(3538.57 \sim 5307.86)r/min$ 。

接着，进行网球所获得的能量的计算，取网球的质量为 57，即 0.057 kg ，则网球的所获得的动能的计算公式及数据带入计算如下式。

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = 0.5 \times 0.057 \times \left(\frac{(80 \sim 120) \times 1000}{3600} \right)^2 = 14.07\text{ j} \quad (3-5)$$

式中 E ——网球所获得的能量， J ；

m ——网球的质量， g 。

下面计算作用在摩擦轮上的力矩 T ，设 T_F 为网球作用在摩擦轮上产生的力矩，则其计算公式如下。

$$T_F = \mu K \Delta x R_g \quad (3-6)$$

式中 K ——网球刚度；
 Δx ——压缩距离；
 μ ——摩擦系数；
 R_g ——滚轮半径。

代入数据计算得到 $T_f = 0.2352 N \cdot m$ ，由于电机直接带动摩擦轮，因此，功率损失较小，只需选取额定功率较小的电动机即可。考虑在工作过程中会有其他因素影响电机，因此，最终确定的电机的具体参数如表 3-2 所示。

表 3-2 电机具体参数

产品规格	电压(V)	电流(A)	转速(r/min)
DC-90	24	5.5	6000

采用这种电机，与其相配合的电源则可以采用常见的锂电池供电，它具有轻巧、方便、环保等众多优点。

3.2.3 联轴器的设计校核

为了将电机的运动和转矩传递到主轴上，需要用到联轴器。联轴器的作用是用来把两轴连接在一起，以传递运动和转矩。

3.2.3.1 联轴器的分类

联轴器主要有刚性联轴器和挠性联轴器两大类，在被连接的两轴之间有相对位移时，刚性联轴器是不能对两轴之间的位移进行补偿的，但是挠性联轴器可以对相对位移进行补偿。其中，挠性联轴器还可以分为无弹性元件的联轴器和有弹性元件的联轴器。由于有弹性元件的联轴器上装配有弹性元件，因此，这种联轴器不仅可以补偿两轴间的相对位移，还能起到缓冲减震的作用。其弹性元件可以储蓄能量，储蓄的能量越多，则它的缓冲减震能力越强；其弹性元件的弹性滞后性能与弹性变形时零件间的摩擦功越大，则它的减震能力越好。

刚性联轴器主要有套筒式联轴器，夹壳式联轴器和凸缘式联轴器，这三种联轴器都不能补偿两轴间的相对位移。刚性联轴器具有其独特的优点，它构造简单，成本较低，能够传递较大的转矩，主要适用于转速低，无冲击，轴的刚性大，对中性较好的场合。其主要缺点是对相对位移没有补偿能力，不能缓冲减震。而且在两轴有相对位移时，还会在机件内产生附加载荷，不利于扭矩和运动的传递。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/968110062044007003>