

基于空间定轴齿轮结构与链传动的健身娱乐康复器械机构设计

何其臻, 杨金林*, 赵跃鹏, 张佳恒, 刘贺贺, 吴顺凯, 徐云

浙江理工大学, 浙江 杭州

Email: 1548224606@qq.com, jinlinyang@126.com, 321392830@qq.com, 571066405@qq.com,
1097970918@qq.com, 1652469376@qq.com, 463759860@qq.com

收稿日期: 2020年8月21日; 录用日期: 2020年9月4日; 发布日期: 2020年9月11日

摘要

本文为解决在社会老龄化加剧以及医疗产业快速发展的背景下健身娱乐康复器械匮乏的问题, 提出一种供老年人健身娱乐以及病人康复膝关节的运动器械的设计思路。本文基于空间定轴齿轮系与链传动, 对该运动器械的娱乐机构的传动原理以及装配过程进行详细介绍, 并对链轮的齿数、中心距等相关参数进行设计与计算分析, 并利用Solidworks建立整体的三维模型。最后经力学分析与虚拟示波器采集的数据验证该健身器械在实际工作中的稳定性与结构合理性。经验证该运动器械完全符合老年人健身娱乐以及病人康复膝关节的要求。

关键词

空间定轴齿轮机构, 链传动, 机构设计

Mechanism Design of Bodybuilding and Entertainment Rehabilitation Equipment Based on the Spatial Fixed Axis Gear Structure and Chain Drive

Qizhen He, Jinlin Yang*, Yuepeng Zhao, Jiaheng Zhang, Hehe Liu, Shunkai Wu, Yun Xu

Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou Zhejiang

Email: 1548224606@qq.com, jinlinyang@126.com, 321392830@qq.com, 571066405@qq.com,
1097970918@qq.com, 1652469376@qq.com, 463759860@qq.com

Received: Aug. 21st, 2020; accepted: Sep. 4th, 2020; published: Sep. 11th, 2020

*通讯作者。

文章引用: 何其臻, 杨金林, 赵跃鹏, 张佳恒, 刘贺贺, 吴顺凯, 徐云. 基于空间定轴齿轮结构与链传动的健身娱乐康复器械机构设计[J]. 机械工程与技术, 2020, 9(5): 384-391. DOI: 10.12677/met.2020.95041

Abstract

In this paper, in order to solve the problem of the lack of fitness and entertainment rehabilitation equipment under the background of the rapid development of the social aging and the rapid development of the medical industry, this paper puts forward a design idea of sports equipment for the elderly fitness and entertainment and the rehabilitation of patients' knee joint. In this paper, based on the spatial fixed axis gear train and chain drive, the transmission principle and assembly process of the entertainment mechanism of the sports equipment are introduced in detail, and the related parameters such as the number of teeth and center distance of the sprocket are designed and calculated, and the overall three-dimensional model is established by using Solid Works. Finally, through the mechanical analysis and the data collected by virtual oscilloscope, the stability and structural rationality of the fitness equipment in practical work are verified. It has been verified that the equipment fully meets the requirements of fitness and entertainment for the elderly and rehabilitation of knee joint of patients.

Keywords

Spatial Fixed Shaft Gear Mechanism, Guide Slide, Mechanism Design

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 研究背景

伴随着城市生活节奏的加快,我国一直以来的家庭养老能力正在逐渐弱化,在可预见的未来,中国的老龄化情况将会日趋严峻,而社会上为老年人服务的基础设施却严重不足。研究表明老年人参加健身运动是积极、有益身心健康,能有效缓解老龄化社会问题[1]。但是针对老年人群体的健身器材市场仍存在着大片空白,其对于新兴科技和产品的需求量则不断提高。

与此同时康复医疗在我国的发展水平低,市场人均范围小、病院数目小、医师提供缺口大。据调查显示,我国康复医疗市场仅两百多亿(人均约 15 元人民币);与美国相比,美国则具有两千亿美元的市场(人均约 800 美元)。相比较于发达国家在康复医疗领域的市场,我国康复医疗领域无论从医疗还是辅助的医疗器械产品,都处于亟待开发的状态[2]。

经过多项研究与实践表明齿轮齿条机构具有结构简单,传动效率高等优点广泛应用于矿山机械、工程机械和汽车制造等行业[3]。而螺旋锥齿轮用于传递相交轴间的运动及动力,因传动效率高、传动比稳定、承载能力高等优点广泛用于各类机械设备传动[4]。于是本研究着眼于利用空间定轴齿轮结构传动改变运动轨迹的传动方式,进而达到使运动器械具有手部锻炼以及娱乐的目的,并且通过分析计算出合适的链轮,进而设计一款兼具娱乐性和锻炼以及康复功能的运动器材。

2. 健身娱乐康复器械的结构设计

工作原理介绍

使用者通过磁卡启动设备后,由 STM32 单片机控制与驱动相连接的电机工作。使用者双方就座后,用脚踩脚踏板通过链传动传递至编码器,此时编码器将会采集到相应信号并反馈给控制系统,控制系统

接收到相应的信号后,启动线性执行器使整个装置水平移动,水平移动速度根据实际情况提前设定完成。在使用者踩脚踏板的同时,双手握住握手来回旋转以控制人偶模型左右平移跨过障碍。此部分结构利用空间定轴齿轮系结构,巧妙地设计了锥齿轮和齿轮,使得竖直转轴传递为下一个水平转轴运动。由于人偶模型底部设计有磁铁,如果使用者不能及时旋转握手控制人偶模型移动躲避障碍,人偶模型就会碰到障碍被击落,落地一方的操作者就判定为输家。该健身娱乐康复器械的整体装配图见下图1所示。

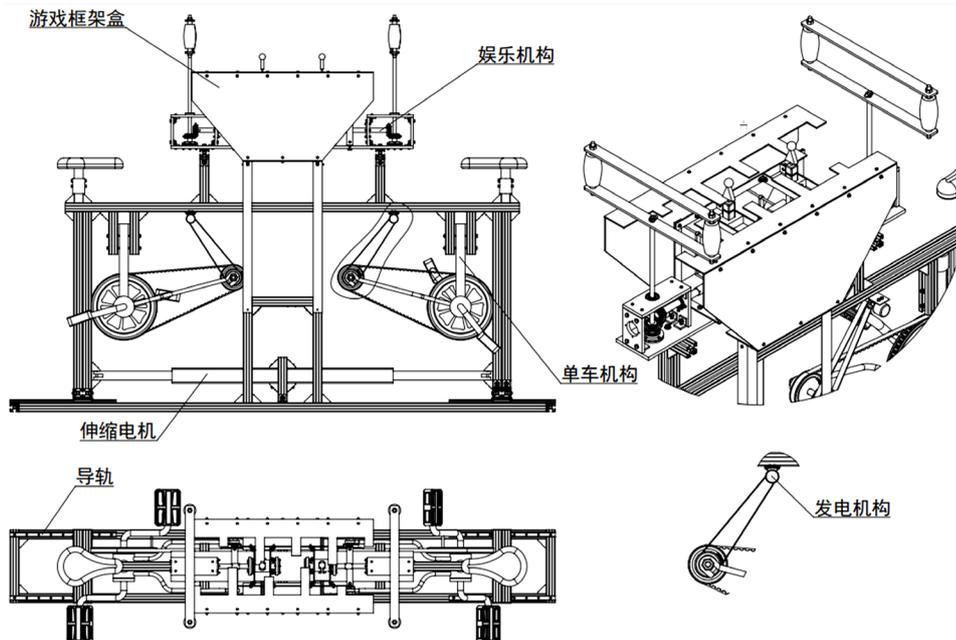


Figure 1. Assembly drawing of overall mechanism
图 1. 整体机构装配图

该健身娱乐康复器械主要功能是用于老年人健身、娱乐竞技,强健老年人身体丰富其生活,同时满足病人康复锻炼过程中锻炼其膝关节以及身体协调性的主动康复训练[5]。该器械的设计指标如下表 1 所示:

Table 1. Performance index
表 1. 性能指标

输入电压	整体大小	电动推杆往复速度	装置承重
12 V	高: 1300 mm; 长: 1800 mm; 宽: 300 mm;	20 mm/s	≤2000 N

3. 娱乐机构空间定轴齿轮机构设计

3.1. 齿轮与齿条参数

娱乐机构主要实现的目的是为将竖直锥齿轮轴旋转运动通过定轴齿轮系转化为人偶模型水平移动。通过对原有预估的人偶模型的 9.5 cm 行程进行计算得锥齿轮与锥齿轮以及直齿轮与齿条的传动比均 1 即可。为此选择两个模数为 2, 齿数为 20, 材料为 45 号钢, 表面淬火的锥齿轮, 其具体尺寸见下图 2 所示。齿轮采用模数为 2, 齿数为 35, 直径 74 mm, 材质为 45 号钢; 初定齿条的参数见下表 2 所示, 齿条选取模数为 2, 尺寸为 20 × 20 × 100, 齿距为 6.28 mm, 齿深为 4.5 mm, 其材质为表面淬火的 45 号钢。

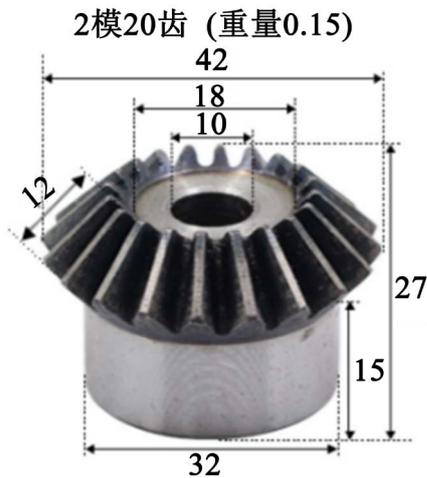


Figure 2. Dimension drawing of bevel gear
图 2. 锥齿轮尺寸图

Table 2. Rack parameter table
表 2. 齿条参数表

规格	模数	齿距	齿深	齿宽	齿高	长度
20 × 20 × 100	2 模	6.28 mm	4.5 mm	20 mm	20 mm	0.1 mm

3.2. 装配过程

娱乐机构的空间定轴齿轮系传动机构主要依赖于两对锥齿轮啮合、两对直齿轮与齿条啮合。其把手部分(1)与竖直方向锥齿轮轴(2)相连；竖直方向的锥齿轮(3)固定于竖直方向锥齿轮轴，水平方向锥齿轮(4)与直齿轮(5)分别固定于水平方向锥齿轮轴与直齿轮轴上，水平方向锥齿轮轴(6)和直齿轮轴(7)通过联轴器(8)组合而成。同时齿轮轴与竖直板以及底板之间安装有滚动轴承(9)，并以轴承垫片加螺丝螺母的形式加以固定。竖直方向锥齿轮与水平方向锥齿轮啮合，直齿轮与齿条(10)啮合，从而将竖直齿轮轴的转动转化为齿条的平移，进而带动人偶(11)人偶与齿条之间有相关连接固定件，并且人偶模型内置磁铁通过磁力与连接固定件吸附。娱乐机构局部装配图与整体装配图见下图 3、图 4 所示。

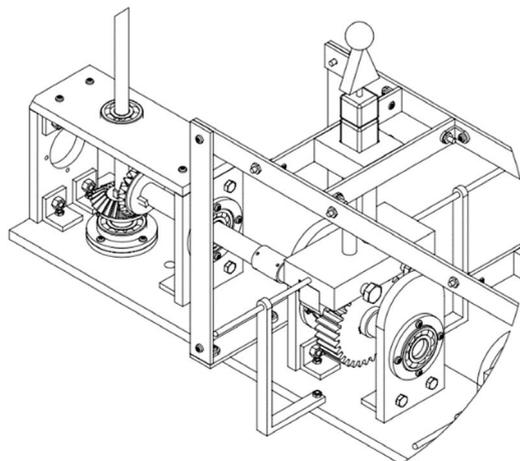
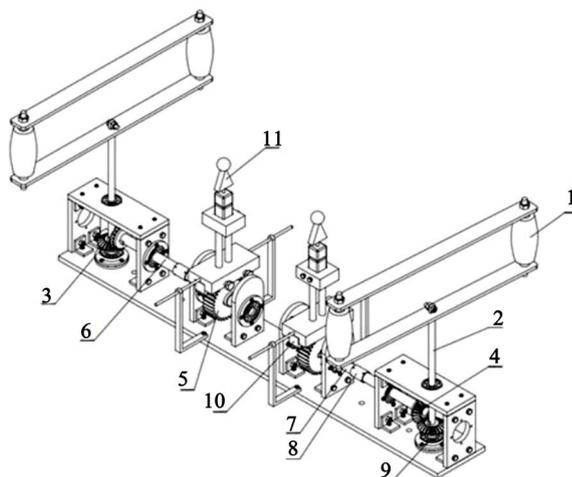


Figure 3. Partial view of entertainment organization
图 3. 娱乐机构局部视图



1.把手 2.竖直锥齿轮轴 3.竖直锥齿轮 4.水平锥齿轮 5.直齿轮
6.水平锥齿轮轴 7.直齿轮轴 8.联轴器 9.滚动轴承
10.齿条 11.人偶

Figure 4. Entertainment organization assembly drawing
图 4. 娱乐机构装配图

3.3. 传动过程

基于定轴齿轮传动均具有结构简单、体积小、装配方便、传动效率高等优点[6]，设计了此套传动方案。该娱乐机构的传动原理图如下图 5 所示。把手旋转范围在 $-90^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 之间，竖直方向锥齿轮 A 的旋转与把手同步，锥齿轮 A 带动锥齿轮 B 旋转，直齿轮 D 与锥齿轮 B 同轴连接，由于传动比均为 1:1，进而旋转范围也在 $-90^{\circ}\sim 90^{\circ}$ ，直齿轮 D 与齿条 C 啮合传动，有效行程为 9.5 cm。

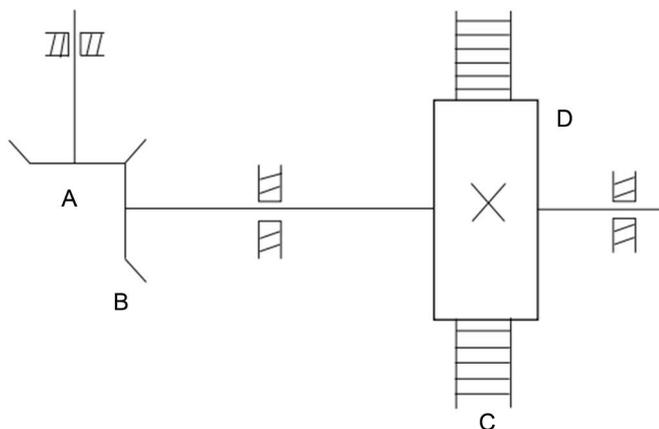


Figure 5. Transmission schematic diagram
图 5. 传动原理图

4. 下肢锻炼链传动设计

链轮设计借鉴了动感单车，动感单车是一项全身性运动，运动时全身各个部位大、小肌群都参与运动[7]。根据正常成年人自行车踩踏速度的平均值，选取 $n_1 = 360 \text{ r/min}$ ； $n_2 = 120 \text{ r/min}$ 。

(1) 选择链轮齿数 z_1 、 z_2

传动比：

$$i = n_1/n_2 = 6/2 = 3$$

估算链速:

$$v = 0.6 \text{ m/s} \sim 3 \text{ m/s}$$

根据小链轮齿数表选取小链轮齿数 $z_1 = 25$ 则大链轮齿数 $z_2 = i * z_1 = 75$ 。

(2) 确定链结数:

初定中心距 $a_0 = 40p$, p 为链节距。

$$L_p = \frac{2a_0}{p} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{p(z_2 - z_1)^2}{39.5a_0} = \frac{2 * 40p}{p} + \frac{25 + 75}{2} + \frac{p * (75 - 25)^2}{39.5 * 40p} = 131.6$$

取 $L_p = 132$ 。

(3) 根据额定功率曲线确定链型号

根据表工作情况系数 K_A 查得 $K_A = 1.00$; 根据表小链轮齿数系数 K_Z 查得 $K_Z = 1.35$; 根据表传动比系数 K_i 查得 $K_i = 1.00$; 根据表中心距系数 K_a 查得 $K_a = 1.00$; 采用单排链由表多排链系数 K_{pt} 查得 $K_{pt} = 1.00$ [8]。

由相关公式计算特定条件下链传递功率:

$$P_0 \geq \frac{K_A P}{K_Z K_i K_a K_{pt}} = \frac{1 * 150}{1.35 * 1 * 1 * 1} \text{ W} = 111.1 \text{ W}$$

由额定功率曲线图选取链号为08A, 节距为12.7 mm。

润滑方式为人工定期润滑。

(4) 验算链速:

$$V = \frac{z_1 p n_1}{60 * 1000} = 25 * 12.7 * 360 \div (60 * 1000) \text{ m/s} = 1.9 \text{ m/s}$$

V 值在0.6 m/s~3 m/s范围内, 与估计相符。

(5) 计算实际中心距:

$$\begin{aligned} a &= \frac{p}{4} \left[\left(L_p - \frac{z_1 + z_2}{2} \right) + \sqrt{\left(L_p - \frac{z_1 + z_2}{2} \right)^2 + 8 \left(\frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2} \right] \\ &= 12.7 \div 4 \times \left[(132 - 50) + \sqrt{(132 - 50)^2 + \left(\frac{200}{\pi} \right)^2} \right] \\ &= 590 \text{ mm} \end{aligned}$$

若设计成可调整中心距形式, 则不必精确计算中心距, 可取

$$a \approx a_0 = 40p = 40 * 12.7 = 508 \text{ mm}$$

(6) 确定润滑方式, 查图[9]荐润滑方式应选用滴油润滑

(7) 计算对链轮轴得压力 F'

$$F' = 1.25F = 1.25 * \frac{1000P}{v} = 1.25 * \frac{1000 * 0.15}{1.9} = 98.7 \text{ N}$$

(8) 查得低碳钢与铝合金之间的摩擦因数为0.3 [10]。

5. 健身娱乐康复器械设计结果

5.1. 健身娱乐康复器械三维模型建立

根据以上结论使用 Solidworks 建立娱乐机构模型并与整体机构进行安装, 最后的整体三维模型渲染图如下图 6 所示。

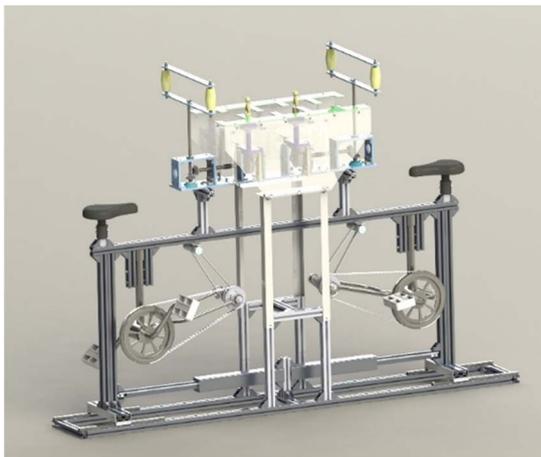


Figure 6. Overall 3D model rendering
图 6. 整体三维模型渲染图

5.2. 健身娱乐康复器械实物样机

对结构优化后加工制作出的健身娱乐康复器械实物样机图如图 7 所示。

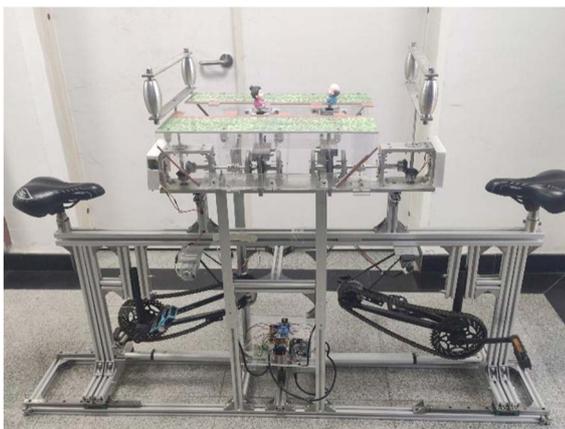


Figure 7. Physical prototype of fitness and entertainment rehabilitation equipment
图 7. 健身娱乐康复器械实物样机图

6. 实物验证

为了验证健身娱乐康复器械实物样机的综合性能参数是否满足预估条件, 对其机械性能与电气性能进行多次实验与数据测量并与项目初期的功能参数方案进行对照, 发现健身娱乐康复器械实物样机在承重, 传动稳定性, 输出转速等方面均满足预期目标值。其中为测试其输出转速采用串口发送的方式于 PC 端读取编码器捕获信号数值, 并结合下述公式:

$$n_{\text{链轮}} = \frac{1}{i_{\text{链}}} \times n_{\text{同步带轮}} = \frac{1}{i_{\text{链}} \times i_{\text{同步带}}} \times n_{\text{编码器}} = \frac{1}{6} n_{\text{编码器}}$$

多次计算出链轮转动的速度，并与预期方案表进行对照。健身娱乐康复器械实物样机的预期参数表于实验测得的数据表分别见下表3与表4。

Table 3. Expected parameter table

表 3. 预期参数表

工作电压	整体尺寸	载荷	推杆速度	推杆行程	链轮转速	人偶模型行程
12 V	高: 1300 mm; 长: 1800 mm; 宽: 300 mm;	≤2000 N	20 mm/s	200 mm	0~480 r/min	95 mm

Table 4. Experimental test data

表 4. 实验测试数据

实验次数	工作电压	整体尺寸	载荷	推杆速度	推杆行程	链轮转速	人偶行程
1	12.1 V	高: 1295 mm;	1000 N 满足	19.8 mm/s	200 mm	212 r/min 满足	94.9 mm
2	11.8 V	长: 1800 mm;	1240 N 满足	20.0 mm/s	200 mm	358 r/min 满足	94.8 mm
3	12.0 V	宽: 300 mm	1510 N 满足	19.8 mm/s	200 mm	474 r/min 满足	95.0 mm

7. 结论

本文基于空间定轴齿轮系与链传动设计了一种健身娱乐康复器械，该运动器械满足老年人健身与娱乐以及患者进行下肢康复锻炼的需求。本文根据空间定轴齿轮系对娱乐机构传动原理与过程进行分析，并基于链传动对健身单元所采用的链轮以及链条进行设计与计算，通过上述娱乐机构及健身单元可实现运动娱乐一体化操作。最后经力学分析与虚拟示波器采集的数据验证该健身器械在实际工作中的稳定性与结构合理性均符合老年人健身娱乐以及病人康复膝关节的要求。

基金项目

浙理工高等教育科学研究课题(Xgz1803)、浙理工实践教学类教改课题(XKJS1801)和浙理工机械工程优势特色学科(2018)项目资助。

参考文献

- [1] 吴学文. 老年人运动处方的研究[J]. 体育世界(学术版), 2018(6): 12.
- [2] 廖晓霞. 医疗器械康复领域的发展前景[J]. 中国医疗器械信息, 2017(12): 57.
- [3] 张松青, 赵晓运. 齿轮齿条传动机构参数的优化研究[J]. 煤矿机械, 2007(12): 45.
- [4] 汪中厚, 王杰, 王巧玲, 李刚. 基于有限元法的螺旋锥齿轮传动误差研究[J]. 振动与冲击, 2014(14): 29.
- [5] 朱志强, 白睿, 熊艳红. 一种娱乐健身康复车下肢被动和主动康复训练装置[P]. 中国专利: CN207745315U, 2018.
- [6] 孙伟, 张东生, 梁杨. 定轴齿轮与微型行星齿轮串联设计分析[J]. 陕西理工学院学报(自然科学版), 2017(2): 18.
- [7] 王维. 动感单车课程的运动强度及减脂效果研究[J]. 运动, 2013(19): G872.3.
- [8] 姜培刚, 盖玉先. 机电一体化系统设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 67.
- [9] 成大先, 王德夫. 机械设计手册[M]. 第五版. 北京: 化学工业出版社, 2007: 345.
- [10] 孙恒, 陈作模, 葛文杰. 机械原理[M]. 第八版. 北京: 高等教育出版社, 2004: 75.