

DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20140150

远程控制行星齿轮减速器驱动阀门的系统设计

邢鸿雁, 高敏, 隋相鹏
(天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

摘要: 从节省能源以及控制方便等角度出发,设计了一种采用行星齿轮减速器驱动、且可远程控制的阀门系统. 阀门驱动系统采用三级行星齿轮减速机构,控制系统采用基于 GSM 通信技术的手机终端进行远程控制,电力供应采用太阳能电池板并联蓄电池供电. 系统具有 1.5 s 的快速响应时间,以太阳能为能源供电,节能环保.

关键词: 远程控制; 驱动阀门; 行星齿轮减速器; 系统设计

中图分类号: TH122 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6510(2015)05-0058-04

Design of Planetary Gear Reducer Drive Valve Controlled by Wireless

XING Hongyan, GAO Min, SUI Xiangpeng

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: The drive valve of the planetary gear reducer based on remote control was designed for saving energy and convenient control. Three-level planetary gear retarding mechanism was used in the drive valve system, and the GSM international communication base station technology was applied to the remote control system. Both solar panels and silicate battery were used as power to maintain the normal running of the system. The mechanism has the characteristics of energy efficiency, environmental protection and short response time of 1.5 s only.

Key words: remote control; drive valve; planetary gears reducer; system design

在目前普遍使用的管路喷灌系统中,控制模块都是采用电网电压驱动的机械或电磁阀实现的. 有些地方由于环境或人力等限制,人工操作已逐渐成为大面积发展节水滴灌的阻力. 并且,随着社会经济的发展,从节省能源、人力的角度出发,采用超低电压控制驱动的远程阀门系统是今后发展的趋势. 低电压驱动减速机构设计是关键,实现超低电压电动机动力的合理转化,应用太阳能供电、远程控制的电路设计也是系统的关键所在^[1-3].

国内的减速器多为齿轮传动、蜗杆传动,普遍存在功率与质量比小,或者传动比大而机械效率过低的问题. 国外与国内相比,减速器在使用寿命、工作效率等方面都更具优势,德国、丹麦和日本的技术相对领先,减速器的工作可靠性高,使用寿命长,但其体积和质量问题仍未得到较好解决^[4-5].

本设计采用传动效率高、结构紧凑体积小的行星

齿轮控制的阀门机构,配以低压直流电机、太阳能电池以及无线控制系统,可实现自动灌溉、定时灌溉、周期灌溉、手动灌溉等多种模式,可广泛应用于节水灌溉领域.

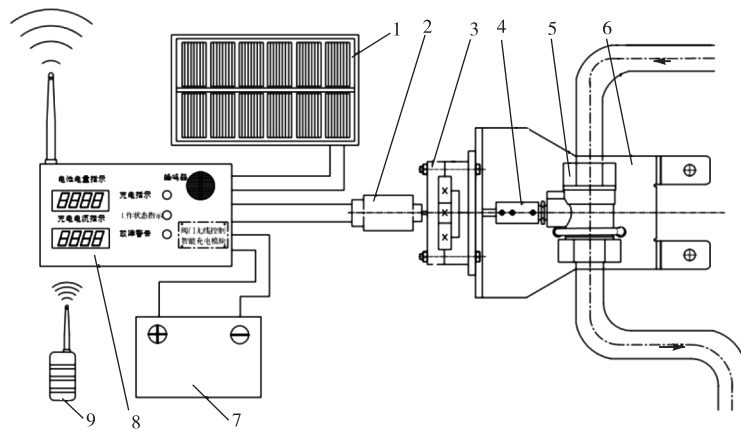
1 系统整体结构设计

系统结构如图 1 所示,包括远程控制终端、阀门无线控制及智能供电模块、太阳能电池板、行星齿轮组、阀门、微型伺服电动机及硅酸蓄电池,作为主电源的太阳能电池板并联蓄电池向阀门无线控制及智能供电模块供电,阀门无线控制及智能供电模块接收远程控制终端的指令,控制微型伺服电动机的动作,阀门及行星齿轮组共同固装在支座上,电动机的输出轴连接行星齿轮组,通过联轴器控制阀门的实时开度.

收稿日期: 2014-11-21; 修回日期: 2015-05-11

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划项目(201310057001)

作者简介: 邢鸿雁(1969—),女,天津人,副教授,hyxing@tust.edu.cn.



1. 太阳能电池板; 2. 微型伺服电动机; 3. 行星齿轮组; 4. 联轴器; 5. 阀门; 6. 支架; 7. 硅酸蓄电池; 8. 阀门无线控制及智能供电模块; 9. 远程控制终端

图 1 系统整体结构示意图

Fig. 1 Schema of the whole structure

2 阀门驱动系统设计

2.1 结构设计

阀门驱动系统采用微型伺服电动机作为动力源, 采用三级 NGW 型行星齿轮减速机构减速至工作需要转速^[6-8].

2.1.1 电动机的选择

实测球阀 DN40 通水开闭所需最大扭矩为 1.8 ~ 2.2 N·m, 鉴于阀门使用过程中可能存在的密封介质老化、杂质以及管道压力不均等因素引起的额外扭矩附加量, 加入扭矩扩大系数, 取测量扭矩的 2.0 ~ 2.5 倍为计算扭矩, 即 3.6 ~ 5.5 N·m. 对阀门开闭时间进行实验, 阀门球头旋转 90° 即完成一次打开或闭合动作的用时为 1.5 s, 计算可得对应阀门球头旋转速度为 10 r/min.

电动机由太阳能电池 6V 电压驱动, 转速 2 500 r/min, 功率 30 W, 减速器总传动比 374, 选用永磁直流无刷电动机 30ZW01.

2.1.2 多级行星齿轮传动比分配

多级行星齿轮传动的传动比分配原则是各级传动之间等强度, 并希望得到最小的外廓尺寸^[7]. 三级 NGW 型行星齿轮各级传动比计算公式为

$$\begin{cases} i_3 = 0.5\sqrt[3]{i} + (1.8 \sim 2.2) \\ i_2 = 0.8\sqrt[3]{i} + (1.2 \sim 1.6) \\ i = i_1 i_2 i_3 \end{cases}$$

式中: i_3 为低速级传动比; i_2 为中间级传动比; i_1 为高速级传动比; i 为总传动比. 计算得分级传动比 $i_1 = 9.1, i_2 = 7.3, i_3 = 5.7$.

2.1.3 配齿计算

设计行星传动, 齿数及行星轮的确定除满足安装条件、传动比条件外, 还需要满足其他一些附属条件, 如齿轮的齿面布氏硬度小于 350 HBS. 承载能力主要由轮齿的接触强度所决定, 本系统为低速、硬齿面的可逆传动, 承载能力取决于轮齿弯曲强度, 故选择较少的中心轮齿数^[7].

2.1.4 齿轮参数计算

中心轮和行星轮的材料均采用 20 CrMnTi, 渗碳淬火处理, 齿面洛氏硬度为 58 ~ 62 HRC, 中心轮 a 和行星轮 c 的加工精度为 7 级; 内齿轮 b 的材料采用 42 CrMo, 调质后布氏硬度为 217 ~ 259 HBS.

按完全强度的模数计算公式^[6]

$$m = K_m \sqrt[3]{\frac{T_1 K_A K_{F\sigma} K_{F\beta} Y_{Fa1}}{\phi_d z_1^2 \sigma_{Flim}}}$$

式中: K_m 为算式系数; K_A 为使用系数; $K_{F\sigma}$ 为综合系数; $K_{F\beta}$ 为行星轮间载荷分布不均匀系数; Y_{Fa1} 为齿形系数; T_1 为输出转矩; ϕ_d 为齿宽系数; z_1 为 I 级中心轮齿数; σ_{Flim} 为轮齿弯曲疲劳强度极限, N/mm².

根据强度计算结果与结构尺寸要求, 齿轮的模数取 0.5.

2.1.5 啮合参数计算

齿轮啮合关系原理如图 2 所示. 图 2 中 a 为中心轮, b 为内齿轮, c 为行星轮.

啮合齿轮的中心距为

$$a = \frac{1}{2} m (z_a + z_c)$$

计算可得 I、II、III 级的啮合中心距分别为 $a_1 = 11.25 \text{ mm}, a_2 = 12.75 \text{ mm}, a_3 = 14.25 \text{ mm}$.

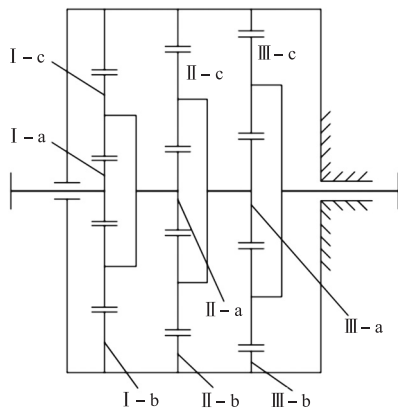


图2 减速器齿轮组传动关系图

Fig. 2 Transmission diagram of reducer engagement

减速器的各项参数见表1.

表1 减速器参数表

Tab. 1 Reducer parameter table

分级	齿轮编号	z	d/mm	d_a/mm	d_f/mm	i
I级	a	10	5.00	6.00	3.75	9.00
	b	80	40.00	39.00	41.25	
	c	35	17.50	18.50	16.25	
II级	a	14	7.00	8.00	5.75	7.29
	b	88	44.00	43.00	45.25	
	c	37	18.50	19.50	17.25	
III级	a	20	10.00	11.00	8.75	5.70
	b	94	47.00	46.00	48.25	
	c	37	18.50	19.50	17.50	

注: z 为齿数; d 为分度圆直径; d_a 为齿顶圆直径; d_f 为齿根圆直径; i 为传动比.

2.2 基于 Solidworks 的实体建模和仿真

2.2.1 实体建模

用 Solidworks 软件进行实体建模,以齿轮为例,首先通过草图,绘制出轮齿的小轮胚,画出齿根圆,再经过拉伸即可完成轮齿的建模.轮齿绘制的关键在于渐开线齿廓的生成,利用软件自带的曲线绘制功能生成精确的齿廓渐开线.

为生成精确的渐开线齿廓曲线,通过渐开线参数方程计算渐开线的坐标^[9],以其中一个外齿轮建模为例,渐开线的直角坐标方程为

$$\begin{cases} R_b = \left(\frac{mz}{2}\right) \cos 20^\circ \\ \theta = 45t \\ x = R_b \cos\left(\frac{\pi\theta}{180}\right) + R_b \left(\frac{\pi\theta}{180}\right) \sin\left(\frac{\pi\theta}{180}\right) \\ y = R_b \sin\left(\frac{\pi\theta}{180}\right) - R_b \left(\frac{\pi\theta}{180}\right) \cos\left(\frac{\pi\theta}{180}\right) \\ z = 0 \end{cases}$$

式中: R_b 为基圆半径; θ 为齿廓渐开线与圆周切线方

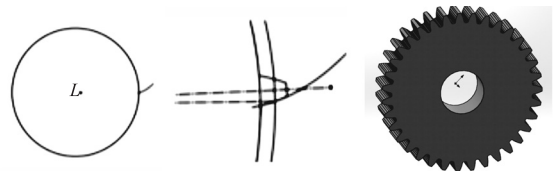
向夹角; t 为步进间隔, $0 \leq t \leq 1$,每次步进 0.05; x 、 y 、 z 为齿廓绘制描点坐标.利用 Excel 的函数计算功能计算出渐开线的坐标,部分数据见表2.

表2 渐开线坐标点部分数据($R_b = 8.2223 \text{ mm}$)

Tab. 2 Partial data of involute coordinating point ($R_b = 8.2223 \text{ mm}$)

序号	t	$\theta/(^\circ)$	x/mm	y/mm
1	0	0	8.2223	0
2	0.05	2.25	8.2286	0.000166
3	0.10	4.50	8.2476	0.001325
4	0.15	6.75	8.2791	0.004468
5	0.20	9.00	8.3230	0.010580
6	0.25	11.25	8.3791	0.020636
7	0.30	13.50	8.4472	0.035599
8	0.35	15.75	8.5268	0.056416
9	0.40	18.00	8.6177	0.084018
10	0.45	20.25	8.7194	0.119313

将计算得到的坐标通过 Solidworks 软件的曲线功能导入,即可自动完成渐开线齿廓草图的绘制,如图3(a)所示.然后根据中心线夹角齿顶圆等对渐开线做镜像、裁剪等操作即可得到完整的齿廓草图,如图3(b)所示.对其进行特征拉伸并按齿数进行圆周阵列,完成该齿轮的实体模型,如图3(c)所示.



(a) 生成渐开线 (b) 生成齿廓 (c) 齿轮模型

图3 齿轮建模过程

Fig. 3 Process of gear modeling

2.2.2 装配仿真

在 Solidworks 软件中进行虚拟装配时应遵照行星齿轮减速机构的实际装配步骤.应分级装配,在每级都应遵循行星齿轮的装配条件,即在导入中心轮之后先导入一个行星轮,使其轮齿与齿圈轮齿完全啮合,然后旋转 120° ,再安装下一个行星轮,并依次重复完成装配,该减速机构的装配效果如图4所示.利用 Solidworks 软件的 COSMOSMotion 插件功能进行装配体的虚拟运动仿真,模拟了行星齿轮的实际运行状况,并针对动态仿真过程中出现的问题进行结构调整优化,如增大齿圈轮齿齿顶间隙、减小小齿轮轮齿齿宽、对齿轮进行齿面形状优化,这些优化措施大大减少了齿轮啮合偏载对齿面造成的损伤,提高了接触疲劳寿命.

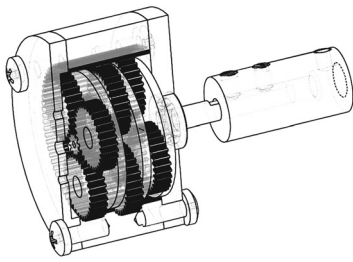


图4 减速机构装配图
Fig. 4 Reducer assembly

3 阀门控制系统设计

3.1 控制系统分析

系统以全球移动网络(global system of mobile communication, GSM)作为信息传输平台,以单片机芯片 89S52 作为微处理器,集成太阳能电池板、蓄电池、无线模块、手机终端远程控制阀门驱动电机转动的信号处理系统.系统采用控制器 \leftrightarrow 基站服务器 \leftrightarrow 手机终端的信号控制机制^[10].

首先,通过限位开关实时监控阀门的开闭状态,并通过信号发生器反馈给基站系统,然后基站通过中央处理器整合来自各个阀门的不同状态参数,打包后将实时数据上传至手机终端,管理人员进行实时监测管理.同时手机终端可以通过手机发送指令的方式向无线基站发送动作指令,基站解析后再对阀门进行控制,进而实现手机终端对阀门的实时开闭控制^[11].

3.2 控制系统设计

系统硬件由 GSM 模块、单片机、时钟、限位开关、继电器控制电路以及外围电路等构成,可以分为 4 个模块,包括主控端、接收端、受控端和驱动端.其中,主控端为用户手机,接收端为 GSM 信息处理模块,受控端为单片机控制模块,驱动端为单片机外围驱动电路和继电器控制电路.其结构示意图见图 5.

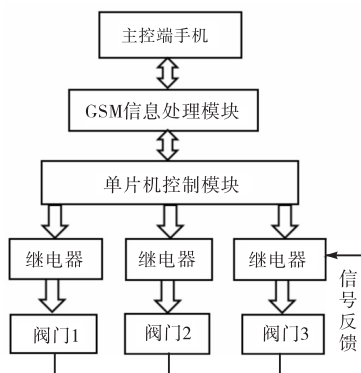


图5 控制系统结构
Fig. 5 Structure of the control system

系统采用电磁继电器作为各输出电路的控制开关,单片机输出的控制信号可以通过信号放大电路实现对继电器线圈通电与否的控制,从而实现对阀门电路的通断控制^[12].

4 结 语

本文设计了可以远程控制的无线控制阀门系统,主要包括驱动阀门的行星齿轮减速机构和控制模块,可实现中控室控制、手机短信及现场手动多种控制方式.由于采用了行星齿轮减速机构和太阳能电池供电,系统具有节约环保、机构紧凑小巧、安装方便等优点,可适用于各种环境条件的农林田灌溉领域.

参考文献:

- [1] 张伟,何勇,裘正军,等.基于无线传感网络与模糊控制的精细灌溉系统设计[J].农业工程学报,2009,25(增刊2):7-12.
- [2] 刘卉,汪懋华,王跃宣,等.基于无线传感器网络的农田土壤温湿度监测系统的设计与开发[J].吉林大学学报:工学版,2008,38(3):604-608.
- [3] 邢鸿雁,高敏,隋相鹏.基于行星齿轮减速器的全自动无线阀门控制系统.中国,201420545274.4[P].2014-09-23.
- [4] 洪雷,李学明,王进戈.多级 NGW 型行星齿轮传动的设计[J].机械传动,2011,35(6):52-55.
- [5] 王德俊,杨晓红,李艳红,等.圆柱齿轮减速器的优化设计[J].机械传动,2011,35(9):39-40.
- [6] 饶振刚.行星齿轮传动设计[M].北京:化学工业出版社,2003:1-155.
- [7] 曲彩云.机械设计手册[M].北京:机械工业出版社,2007.
- [8] 朱振荣,蒋立东,常山.渐开线行星齿轮传动技术的发展[J].热能动力工程,2007,22(4):351-356,464.
- [9] 蒋娟娜,夏季风,谢立松,等.基于 SolidWorks 的行星齿轮传动机构三维建模[J].机械设计与制造,2010(3):73-75.
- [10] 凌燕,葛万成.基于 GSM 短信的远程控制系统设计[J].微型电脑应用,2006,22(10):29-30,34.
- [11] 宣彩平,王皓,邹国良.利用 GSM 无线模块发送短消息[J].计算机应用,2004,24(5):148-150.
- [12] 叶建平,郑萍,李建平,等.基于多模式无线控制的 PLC 设计与研究[J].化工自动化及仪表,2011,38(8):978-981,1015.