# 法兰对中测量装置设计

# Design of Flange Alignment Measuring Device

# 摘　　要

本文针对法兰连接对中要求的严格性，设计了一种能够实现自动测量的法兰对中测量装置。

首先，提出了法兰对中装置的设计方案。根据设计要求，该对中装置需要实现周向爬行、轴向伸缩以及端面和圆周面换向等四个自由度动作，文中详细介绍了这四个自由度的实现及其工作原理；并对测量装置的对中测量计算算法进行了分析，给出了对中调整参数。

其次，进行了法兰对中装置具体结构设计。本文将具体结构设计分解为以下三个部分来进行：其一是周向爬行机构，采用链传动实现整个测量装置的周向行走；其二是轴向伸缩机构，利用螺旋传动实现测量机构的轴向伸缩，满足两法兰由于轴向间距不同的测量需要；其三是换向装置，利用直齿圆柱齿轮传动实现换向，满足对待测法兰端面和圆周面的测量。

最后，根据实际需要设定了各工作参数，然后按照设计步骤完成了对电机、轴、齿轮、键等零件的选择与装配；并对装置中重要的受力零件进行了强度校核，验证了其工作的可靠性。

**关键词**：法兰连接；法兰对中；爬行机构；螺旋传动

# ABSTRACT

In this paper, a flange alignment measuring device which can realize automatic measurement is designed for the strict requirement of flange connection.

First, the design scheme of flange alignment device is put forward. According to the design requirements, the centering device needs to realize the four degrees of freedom movement, such as circumferential crawling, axial telescopic and end face and circumferential surface commutation. The realization of the four degrees of freedom and its working principle are introduced in detail. The alignment calculation algorithm of the device is analyzed, and the adjustment parameters are given.

Secondly, the flange structure of the specific structure of the design. In this paper, the specific structural design is divided into the following three parts: one is the cyclical crawling mechanism, the use of chain drive to achieve the entire measurement device in the circumferential direction; the other is the axial telescopic mechanism, the use of spiral drive to achieve the shaft, to the expansion of the two flange to meet the axial spacing of different measurement needs; the third is the commutation device, the use of spur gears to achieve commutation, to meet the flange and the circumferential surface of the measured measurement.

Finally, according to the actual needs of the set of the operating parameters, and then in accordance with the design steps to complete the motor, shaft, gear, key and other parts of the selection and assembly; and the installation of important parts of the strength of the strength check, verify the reliability of its work.

**Keywords:** flange connection; flange alignment; crawling mechanism; screw-driven

# 目　　录

第 1 章 绪论.....1
1.1 选题背景及意义.....1
1.2 法兰对中测量装置的国内外研究状况及成果.....2
1.2.1 法兰对中测量装置国内研究状况及成果.....2
1.2.2 法兰对中测量装置国外研究状况及成果.....4
1.3 可持续发展论证.....5
1.4 本论文的研究内容.....6
第 2 章 法兰对中测量装置总体方案设计和运动分析.....7
2.1 法兰对中测量装置的工作原理.....7
2.1.1 测量方法.....7
2.1.2 测量运动分析.....7
2.2 法兰对中测量装置的总体方案设计.....10
2.2.1 周向爬行方案设计.....10
2.2.2 伸缩机构方案设计.....11
2.2.3 换向机构方案设计.....12
2.3 本章小结.....13
第 3 章 法兰对中测量装置的结构设计.....15
3.1 总体结构设计.....15
3.2 链轮的选择.....15
3.2.1 主动链轮的选择.....17
3.2.2 从动链轮的选择.....17
3.3 螺旋机构的选择及校核.....17
3.3.1 伸缩机构中螺旋机构的选择及校核.....18
3.3.2 夹紧机构中螺旋机构的选择.....21
3.4 驱动装置设计.....22
3.4.1 主动电机的选择.....22
3.4.2 伸缩机构电机的选择.....23
3.4.3 换向机构电机的选择.....25

3.5 总体布局设计.....26
3.6 本章小结.....27
第 4 章 法兰对中测量装置零件强度校核.....29
4.1 周向爬行机构重要零件的设计与校核.....29
4.1.1 链条的选择及校核.....29
4.1.2 轴尺寸的确定及校核.....30
4.1.3 键的选择及校核.....35
4.2 换向机构重要零件的设计与校核.....36
4.2.1 直齿圆柱齿轮传动的选择及校核.....37
4.2.2 伸缩机构与支撑板螺栓连接的强度校核.....39
4.3 本章小结.....42
结　　论.....43
参考文献.....44
攻读学士学位期间发表的论文和取得的科研成果.....46
致　　谢.....47

# 第 1 章 绪论

## 1.1 选题背景及意义

在航天、船舶、石油化工和核能等工程环境中，法兰连接作为一种重要的连接方式被广泛应用在管道及相关设备的对接中。法兰连接结构简单、装拆方便，具有良好的传递性能，作为一种连接密封结构，其连接的可靠性和强度变得尤为重要。由于法兰连接的普遍性，许多国家在法兰连接装置的研究上力求争先，投入了大量的人力和物力，特别是当今时代海洋资源的开发力度加大，为了更好的开发深海资源，深海管道连接设备的研发迫在眉睫。法兰连接广泛应用于海底管道的铺设，因此，法兰连接机具的研发，对海洋资源的开发具有巨大的促进作用。我国在法兰连接机具的研究上，目前还处于起步阶段，在许多工程环境中，法兰连接设备只能依赖于进口。国外的法兰连接置机具技术相对比较成熟，已经被广泛的投入到实际应用中，其中，以美国 Sonsub 公司和挪威 Acergy 公司的深海管道法兰连接机具最具代表性。

在周围众多工程环境中，管道及法兰型设备的连接非常普遍，法兰连接不当发生的泄漏，导致经济损失、人身伤害的现象时有发生。特别是大型法兰连接，连接时对中难度大，由于对中不精确，导致管道弯折、连接不稳定及密封不好等现象时有发生，对工程环境的施工产生了极大的不便；由于连接故障、管道损坏等原因，在对法兰连接的两设备进行检修时，为了方便检修，通常需要拆卸法兰设备，拆卸后的法兰会发生中心线的位置偏移、角度偏转，导致再次装配时需要重新对中定位，而人力定位不仅精度不准，且费事费力，为了改善连接效率，研究法兰对中测量装置迫在眉睫。

法兰，是轴类结构、管道结构之间相互连接传递力和变形的主要机械形式，常应用于待连接结构的端面；法兰连接是由法兰、垫片及螺栓三者相互连接作为一组组合密封可拆式连接，其连接方式有螺栓连接（丝扣连接）法兰、焊接法兰和卡夹法兰[1,2]。

螺栓法兰连接或丝扣法兰连接主要由法兰、螺栓、螺母和垫片组成[3]，通过螺栓连接实现两法兰盘的连接与固定，垫片装在两个法兰中间，避免管道传递发生泄漏；螺栓连接将两法兰紧固在一起，实现初始密封，同时承受管道内液体或气体冲击流动产生的轴向力；螺栓法兰连接结构构造简单、可操作性好，广泛应用于航天器间的对接、石化设备中管道连接、发电机主轴轴向连接等工业结构中[4]。

焊接法兰连接与螺栓法兰连接稍微有一些不同，其主要不同点蚀焊接法兰连接会设置固定的焊点，为两个法兰提供参考固定点，之后还是通过螺栓连接完成两法兰的连接；焊接法兰连接使用方便，能够承受较大的压力，适用于高压管道连接中。

法兰分类较多，其连接形式也各不相同。其分类可按如下方式[5]：

（1）按接触面的宽窄划分为窄面法兰和宽面法兰；

（2）按法兰应用场合划分可分为容器法兰和管法兰。

（3）按法兰整体性程度划分为松式法兰、整体法兰和任意式法兰。

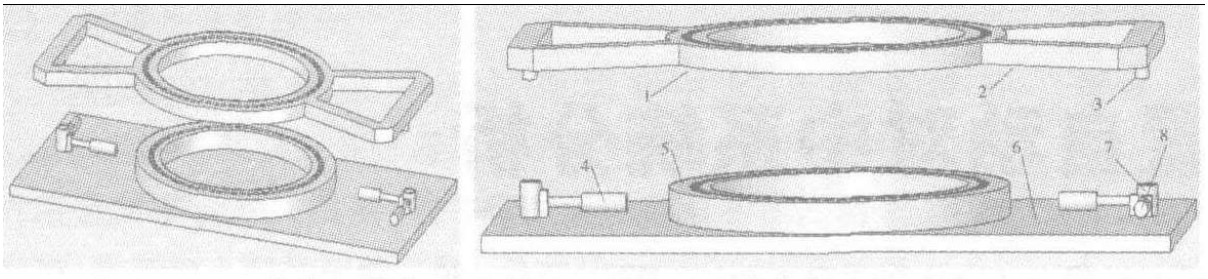
通过上述对法兰连接以及法兰结构的介绍，我们对法兰连接应用场合和法兰样式有了更多的了解，鉴于法兰连接在工业工程中应用如此广泛，而在两法兰连接过程中通常需要对被连接的设备进行对中测量，避免法兰连接过程产生弯折现象，同时保证其密封良好性，确保设备对接安装顺利进行，因此，研究法兰对中测量装置，有利于提高安装效率和质量。

## 1.2 法兰对中测量装置的国内外研究状况及成果

### 1.2.1 法兰对中测量装置国内研究状况及成果

我国在法兰连接方面的研究主要集中在法兰连接机具的研究，目前还没有系统的研究过法兰对中测量装置，对于法兰对中装置的研究基本还处于雏形。

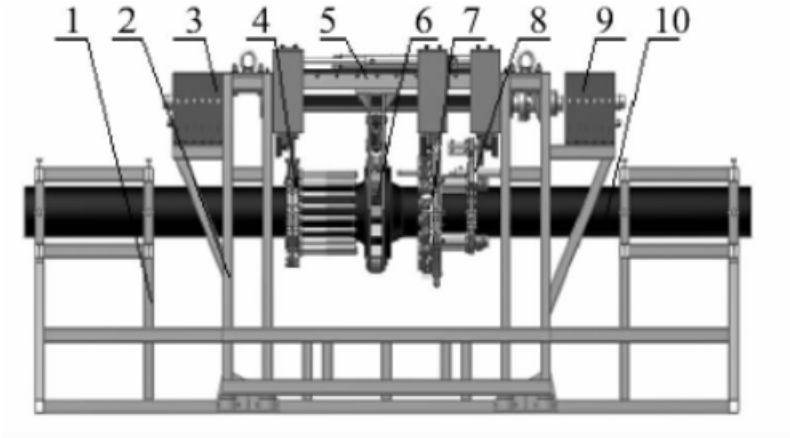
2006 年，同济大学乌建中教授发表《大型法兰位置自动对中系统分析》一文，介绍了海上风力发电机组上下塔筒法兰的对接所采用的对中系统，并介绍了这种对中系统的整体结构及工作原理，用控制算法设计了控制系统。该装置在安装平台左右相应位置各设置两个液压缸，其原理是通过起重装置实现上法兰的初步定位，最后通过液压装置带动销孔座自动对中，完成上、下法兰的精确定位（装置结构如图 1.1 所示）。这种系统适用于大型上下对接法兰对中，对于广泛普及的法兰连接有很大的局限性。




1-上法兰；2-挂臂；3-销轴；4-液压缸；5-下法兰；6-安装平台；7-销孔；8-液压缸

图 1.1 上下法兰及液压对中装备

2012 年，哈尔滨工程大学王立权教授在《深水管道法兰连接机具的设计与试验研究》一文中，提出了一种针对海底作业的自动法兰连接机构，并给出了总体设计方案，最终完成了样机的设计及陆上调试。该机构的工作流程如下：首先通过支撑装置完成管道就位，通过螺母库探针完成法兰螺栓孔的调整，螺栓库轴向移动完成螺栓插入，再通过螺母库完成螺母的引入拧紧，最后通过拉伸库两次拉伸螺栓完成连接[6]。该机构能够自动实现法兰对中调整，能有效的提高管道法兰连接及维修效率。其模型图如图 1.2 所示。




1-底架；2-外框架；3-左控制阀箱；4-螺栓库；5-内框架；6-卡爪；7-螺母库；8-拉伸器库；9-右控制阀箱；10-管道

图 1.2 法兰连接机具模型

哈尔滨工程大学李伟在其硕士论文中设计了一种深水法兰连接机具，用 CATIA 完成了该机具的三维模型设计，并对其重要零部件进行了强度刚度分析及运动学仿真，证明了该机构的可行性。

在工程应用中，法兰对中采用了一些简易的对中设备。比如安徽晋煤中能化工有限公司郭振设计了一种 C 形法兰对中找正装置，其原理简单，大大提高了法兰安装效率，目前已应用到该公司。

除了法兰连接机具对法兰对中测量有很大指导意义以外，其他装置的对中测量方法也具有很好的借鉴价值。法兰对中测量主要考虑的问题是其中心轴线的偏移，需要对其同轴度和端面跳动进行测量。而国内有很多文献对轴类零件的对中以及同轴度测量进行了研究。其中激光对中装置在对中测量方面应用最为广泛。

目前国内也有一些激光对中方面的研究，中国解放军第二炮兵工程学院技术开发中心研制了“一种新型激光对中仪”[7]，该激光仪采用双 LD 单 PSD 结构，由于工作时要求两束激光同时入射到同一个 PSD 中，所以实现比较困难。湛江师范学院信息科技学院刘娅等就“激光对中仪的测量原理与算法分析”

一文对德国普鲁夫 OPTALIAGN 激光仪进行详细研究，试图找出提高激光对中仪计算精度的方法，为国内激光对中仪的研究做铺垫[8]。沈阳理工大学孟海星等研制了一种基于双 LD 双 PSD 的对中测试仪，虽然建立了数学模型，但该模型要求测量时只能在几个固定的角度测量，其局限性很大[9]。

从上述分析可以的出，国内法兰连接以及激光对中还只是处于起步阶段，应用范围很窄，目前这些还只是处于理论研究，尚未形成产业化成果。

### 1.2.2 法兰对中测量装置国外研究状况及成果

国外学者对法兰连接的研究开始于二十世纪初，其代表是 1929 年 Waters 和 Hallhavvlor 两位学者发表的“管法兰的强度”一文，而这项研究随即被应用到活套法兰和整体法兰上，这篇论文为早期的 ASME 锅炉及压力容器中法兰的设计制定了准则[10]。

1965 年,美国 ASME 螺栓法兰连接分会，开始了一个“重新评定法兰设计垫片系数”的新课题，1974 年进行了“典型垫片密封性能影响因素的研究”及“垫片试验Ⅱ”等研究[11]。这些研究揭示了对垫片性能的影响因素。

国外法兰连接对中技术相对比较成熟，其中美国的 Sonsub 公司和挪威的 Acergy 公司在深海法兰连接机具的研究处于世界领先地位，已成功的研制出深水法兰连接机具，并有实际的应用记录[12-13]。法兰连接机具作为一种自主实现法兰连接装置，其实现的功能不仅包括法兰连接，更扩展到法兰的对中和密封，而在目前所研究的连接机具中所采取的对中方式是通过螺栓库对孔实现法兰对中，通过使螺栓轴线对准法兰孔轴线，通过螺栓库的旋转以及装置的移动完成对中，最后螺栓插入法兰孔。

其他一些同轴度测量装置以及轴系对中装置也能被用于法兰对中测量的设备中。例如国外各种激光对中装置就被广泛应用于对中测量中。

其最早可追溯到上世纪 80 年代初。1983 年，德国的普鲁夫技术有限公司成功研制出世界上第一台激光对中仪。该激光对中仪结构由单 LD 双 PSD 组成，激光经过直角双面反射镜分别入射到两个 PSD 上，通过激光在 PSD 上的位移量计算出角度偏差和平行偏移，最后给出调整量[14]。近年来，又研制出 ROTALIGN Ultra 激光对中仪，该对中仪具备轴对中、孔对中测量技术，并且还能对直线度和平面度进行测量，具有精度高，测量距离长的优点。该公司研制的激光对中仪不仅精度高，而且轻便，易于移动和携带。此外，瑞士的达玛里尼公司、加拿大工业系统有限公司等也有比较成熟的激光对中仪产品[15]。由此可见，与国内相比，国外的激光对中技术的发展和应用已经比较完善，各种激光对中仪产品也得到了广泛应用。图 1.3 给出激光对中装置的测量图。

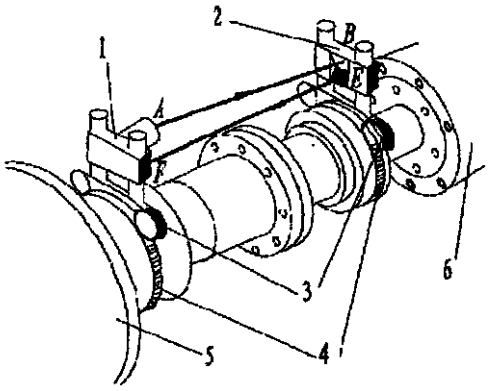



图 1.3 激光对中测量装置

## 1.3 可持续发展论证

通过对国内外相关机构的研究及课题背景的调研，了解到此类设计虽然功能相对比较完善，但是在材料选择以及工作中，缺少对经济及环保方面的考虑，在国家大力倡导可续持续发展的今天，研发机构对社会可持续发展的影响是相当重要的。

基于以上调研考虑，将本装置的轻便性和经济环保性作为一个重要考虑因素。作为对中测量装置，显然对精度要求比较高，但在本设计中，零件都比较简单、受力强度也不大、对材料处理要求不高，基本都选用 45 钢和 Q235 等较为常见且经济性比较好的零件，只是对配合表面加工精度比较高，加工方式也基本采用车、铣、钻等常见工艺，很多零件的选择直接选用标准件，大大降低了制造成本，并且能够完成设计要求；在机架设计上，满足支撑条件即可，尽可能的选用简便的结构，降低了装配难度和加工难度，同时又可以满足装配要求；其中比较显著的一个特点是，本次设计的法兰对中测量装置，很多部位在结构的选择上相同，这种方式既实现了装置的设计要求，又节省了加工工序，为批量生产创造了基础。

法兰连接广泛的应用于过程工业中，其装置连接的对中要求非常严格，而国内外对法兰连接的研究还局限于法兰连接机具及其他轴类、孔类对中，对专用法兰对中测量装置的研究还处于待研发状态，本次法兰对中测量装置的设计，能够填补国内外在法兰专用机具研究上的不足，并为后续的继续研究提供很好的借鉴作用。

本次设计对国内外对中装置结构设计的优缺点进行了全面比较，最后借鉴了其他对中结构的测量方法及部分结构原理的优点，设计了一种能够实现自动测量的法兰对中测量装置，本设计不仅能够应用于法兰连接的对中测量，也可以为其他轴类、孔类零件的测量提供借鉴作用。从结构设计的轻便性、经济性、环保性等方面践行了对社会可持续发展的倡导。

## 1.4 本论文的研究内容

为实现法兰连接对中精确性，本文设计了一种能够实现自动测量的法兰对中测量装置。通过查阅大量有关资料，对现有的法兰连接机具及其他专用对中装置有了一定了解。通过对现有对中测量方案的研究与借鉴，最终设计了法兰对中测量装置的总体方案，并对其测量方法和测量原理进行了分析，最后对各个部分的具体结构进行了详细设计，完成了电机、标准件的选型，同时，经过对结构优缺点的进行了比较，最终完成了各零部件的选择，并对重要受力结构进行了计算校核。主要研究内容如下：

1. 法兰对中测量装置的总体方案设计。

2. 法兰对中测量装置的结构设计和测量算法的计算。根据测量要求给出了计算调整参数，设计了法兰对中测量装置的总体结构，详细计算了各零件的参数，并校核重要零件的强度和使用寿命。

3. 法兰对中测量装置的三维建模。利用 Pro/E 建立三维模型。

4.绘制法兰对中测量装置的总体装配图及重要零部件图。

# 第 2 章 法兰对中测量装置总体方案设计和运动分析

## 2.1 法兰对中测量装置的工作原理

### 2.1.1 测量方法

本设计的设计目的是设计一种法兰对中测量装置，对象法兰直径为 600mm，测量装置能够测量两法兰的端面距离以及轴中心的偏移、空间位置相异等，测量装置的探针可以自动调节测量方向，即法兰的端面和圆面，测量装置可以在法兰周向移动，确保移动过程中定位的准确，减小测量误差。

法兰对中测量装置的测量机构主要由千分表、千分表支座和接收器组件等组成。其基本工作原理是：测量时，设定爬行机构爬到任意一个位置停止，根据两法兰间距要求，伸缩机构和换向机构控制千分表探针垂直于法兰的圆面（或端面）结触，使千分表调零，将此信号传递给计算机，换向装置换向，对法兰的端面（或圆面）进行测量，以此为起点，千分表调零，同时将此信号传递给计算机；接下来，控制系统控制电机运动，使爬行装置旋转一个固定角度，分别对端面和圆周面进行测量采样，并同步将测量数据传递给计算机；爬行机构以相同的固定角在法兰圆周上爬行，进行多点测量，实现在多个转角方位上的采样，最后计算机对收集到的各组采样数据进行计算，输出法兰两回转轴线的对中状态，通过控制系统控制法兰对中调整机器对法兰的偏差量进行调整。

### 2.1.2 测量运动分析

在法兰连接中，两法兰可能出现中心轴线的偏移以及空间位置相异等情况，其相对位置有以下四种情况，如图 2.1 所示：① 两中心轴线既平行又同轴，此时法兰位置符合安装要求（$a_1 = a_3$、$b_1 = b_3$）；②两中心轴线虽平行但不同轴，此时两中心轴线间有径向位移（$a_1 \neq a_3$、$b_1 = b_3$），需要通过对中装置调整两中心轴线的距离来实现对中要求；③法兰端面同心，但中心轴线之间有一定角度（$a_1 = a_3$、$b_1 \neq b_3$），需要通过对中装置调整两中心轴线的角度来实现对中要求；④两法兰中心轴线既不平行又不同轴，此时处于现实生活中最常见的情况（$a_1 \neq a_3$、$b_1 \neq b_3$），此时既需要调整两中心线轴线之间距离又需要调整两中心轴线的角度。

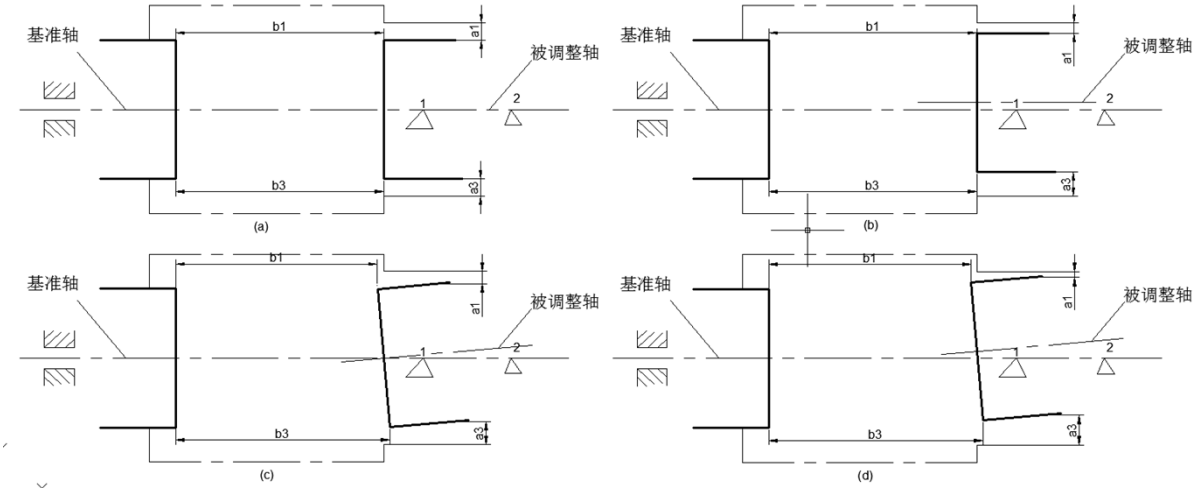



图 2.1 两连接法兰的四种相对位置

下面建立合适的坐标系并选择测量参数进行测量计算：

1、对中误差参数测量计算

（1）在左端法兰处安装测量装置，以 4 个定位孔设定平面坐标系，用于测量时的基准。建立正交直角坐标系，如图 2.2 所示。

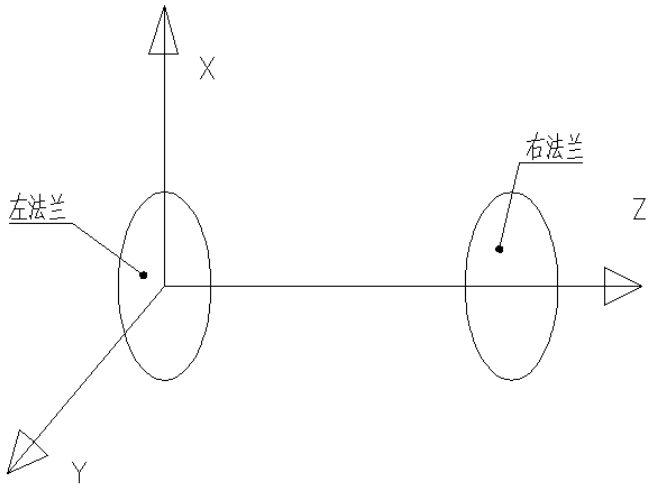



图 2.2 坐标系建立示意图

（2）以 XZ 平面的测距为例进行研究。在左端标定点处采用机械测量仪测量右端测量盘端面距离，如图 2.3 所示。

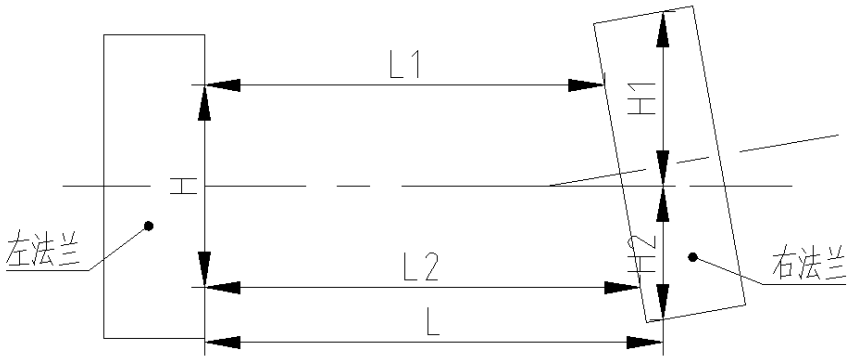



图 2.3 测距仪测量位置

（3）则弯曲转角为

$$\tan\alpha_x = \frac{L_2 - L_1}{H}$$

（4）L 处的偏移为

$$\Delta_x = \frac{H_1 - H_2}{2}$$

（5）同理可得 YZ 平面的间距和转角

（6）法兰弯曲变形最大值可由矢量分析得出，最大弯曲角度和曲率半径为：

最大弯曲角度

$$\alpha_{\max} = \sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2}$$

最大弯曲发生在 XY 平面内的某个方向上，与 X 轴成$\theta$角，如图 2.4 所示

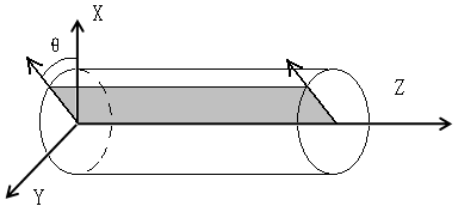



图 2.4 最大弯曲变形方向

则

$$\theta = \arctan\frac{\alpha_y}{\alpha_x}$$

2、测量数据的采集

为了保障测试精度，选择数显千分表。分别用于支座的调节和数据的直接测量。所采用的千分表含有输出接口，可直接与计算器或计算机相连。保证了数据的可靠传输及计算。

## 2.2 法兰对中测量装置的总体方案设计

由上文可知，本次设计的法兰对中测量装置所要实现的功能是完成两法兰的端面距离以及轴中心的偏移、空间位置相异等状态的测量，进而实现对法兰对中测量要求。根据工作要求，将法兰对中测量装置分为以下三个部分来进行设计：首先是实现测量装置在法兰周向的移动的问题，需要设计一种周向爬行装置，该爬行装置能够固定在法兰圆周上，并确保移动过程的准确定位；其次是为满足安装过程中由于两法兰间距的不同而导致的测量不便，需要设计一种针对轴向做伸缩运动的伸缩机构，满足对不同间距的两法兰进行对中测量；最后解决测量装置的探针自动调节测量方向的问题，设计一种换向机构，通过两个换向机构自动实现对法兰端面和圆面的换向测量。测量装置通过支座固定在换向机构末端。

### 2.2.1 周向爬行方案设计

本设计设计了一种法兰周向爬行机构（如图 2.6 所示），实现整个测量装置在法兰周向的爬行。该爬行机构由一个主动链轮、两个公转链轮、一条链条及两个爬行轮组成，

为适应不同宽度的法兰盘，将爬行轮设置成宽度可调的轮毂，爬行轮左轮毂通过爬行轴固定在爬行轮支架上，左右轮毂通过内外螺纹连接，通过旋转右轮毂可调节两轮之间的宽度，当调好适宜宽度后通过锁紧螺母锁紧，使法兰两端面刚好被两轮毂夹住，爬行轮主要起支撑和导向的作用；该爬行机构工作原理如下：首先将断开的链条绕在基准法兰盘上，连成如图 2.6 所示结构，用销子将断开的链轮连接上，完成对中测量装置的预安装；转动手轮调节两爬行轮间的距离，其工作原理是通过调节手轮和丝杠 1 所组成的螺旋机构使滑块 1 在滑槽上滑动，带动爬行架相向或者背向移动来改变两轮之间的距离（其中丝杠 1 两端的螺纹反向），使其更好的适合在法兰表面行走；最后通过转动手轮 2 和丝杠 2 所组成的螺旋机构改变两从动链轮之间的距离，其中从动链轮 2 装在一端固定于滑块 2 的输出轴上，螺旋机构使滑块 2 在滑槽上滑动，进而调节链条的张紧度，使链条紧箍在法兰盘圆周上。

爬行过程如下：由电机驱动主动链轮旋转，周向爬行机构通过链条和法兰表面的摩擦力的作用使爬行机构在运动的过程中链条不发生滑动，使得链轮以链条为固定轨道并在上面滚动，从而带动整个测量装置在法兰周向行走。

此爬行机构能够在法兰表面行走的核心问题是保持爬行过程链条的张紧度，从而链条与法兰圆周表面的摩擦力始终能维持链条不动，同时，链条的张紧力需要能保持整个测量装置在法兰表面行走的过程中不会打滑或者掉落；在此，我通过螺旋机构的自锁性锁定从动张紧链轮的位置进而保证张紧度，从而保证整个测量装置在法兰周向稳定的行走。

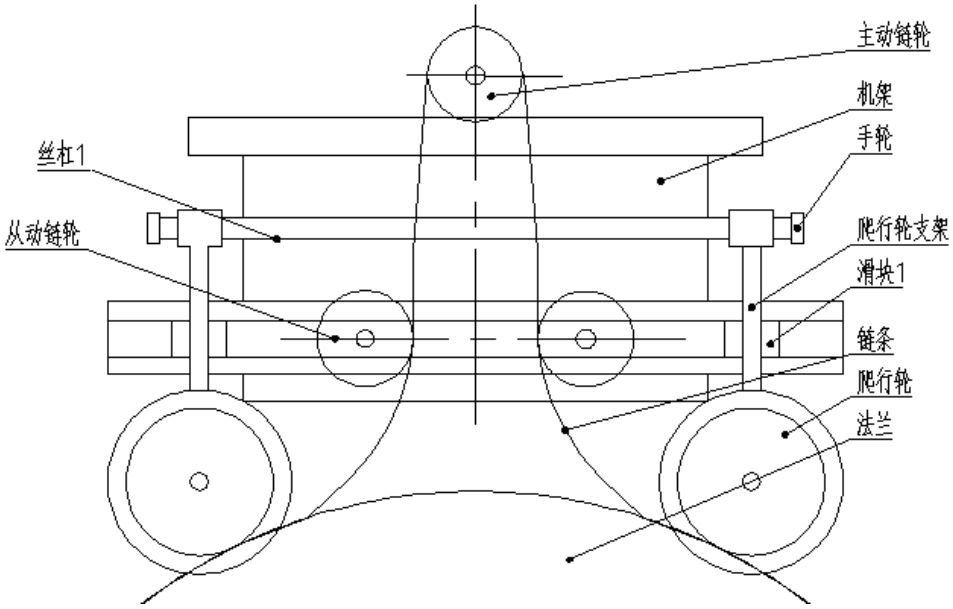



图 2.6 周向爬行机构

### 2.2.2 伸缩机构方案设计

伸缩机构最终实现的功能是将电机的旋转运动经中间机械元件连接传递转变为测量装置的直线往复运动。该伸缩机构由缸体、螺杆、直流电机、螺母、输出轴、滑套、齿轮一级减速装置及缸体两端的端盖组成；其工作原理如下：电机通过膜片联轴器与齿轮轴连接，当电机旋转运动时，首先通过直齿圆柱齿轮一级减速，通过大齿轮将电机的旋转传递给螺杆，螺杆轴向固定，在旋转的过程中带动螺母作直线运动，螺母与滑套通过螺钉连接固定，输出轴与滑套配合，通过紧定螺钉固定，从而由将螺母的直线运动传递给输出轴，最终实现将电机的旋转运动转变成轴的直线运动。

作为一种将旋转运动转变为直线运动的机构，在螺旋传动机构中，预防螺母转动时核心问题，通常可采用将螺母做成非圆型式即可解决这个问题，这种做法虽然能有效防止螺母转动，但是由于螺母与缸体接触面积过大，从而导致机构间产生高磨损、高噪声、低效率的后果，影响伸缩机构的传动精度。本机构通过在缸体的内缘壁圆周以 120 度间隔设置三个外圆弧槽，同时在滑套大中空端面外圆周设置与缸体相对应的三个内圆弧槽，并在两零件配合形成的圆周槽内嵌入滚柱，以此防止滑套发生转动。由于螺母与滑套是固结在一起的，因此此项设置能间接实现防止螺母转动的目的。由于滚柱的表面粗糙度好且受载均匀，并且可在滑槽内置放润滑油，增强滑套作直线运动的润滑作用，因此滚柱在缸体内滑动时，摩擦小，噪声低，进而实现伸缩机构的高效传动。

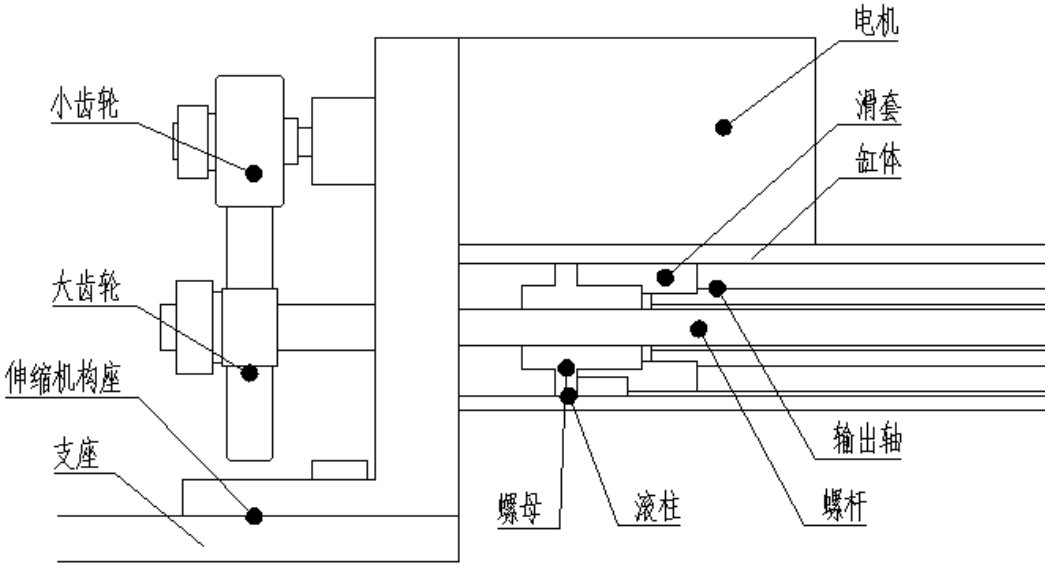



图 2.7 伸缩机构结构示意图

### 2.2.3 换向机构方案设计

为了实现测量装置的探针自动调节测量方向，本设计设计了一种换向装置，如图 2.8 所示，换向装置具有两个关节，能够沿着关节轴双向旋转。该换向装置由步进电机驱动，通过后续控制系统，达到如图 2.8 所示功能，实现测量目的。对换向装置的具体设计如下：换向装置由步进电机、小齿轮、大齿轮、支架、输出轴、传动轴组成，构成两个俯仰机构；第一个俯仰机构以伸缩机构输出轴为基准，将大齿轮支撑轴通过螺栓连接固定在伸缩机构输出轴上，再将支座固定于大齿轮轴上，其中大齿轮轴与轴承内圈配合，支座与轴承外圈配合，外端通过孔肩与轴承外圈定位，内端通过孔用弹性挡圈定位，最终完成支架的固定问题；大齿轮通过普通平键固定在轴上，用螺栓连接实现定位；电

机和小齿轮通过普通平键传递扭矩，并通过套筒实现端面定位，自由端通过螺钉定位。其工作原理如下：步进电机旋转传递给小齿轮，大齿轮固定不动，通过小齿轮以大齿轮为中心轮自转，实现俯仰，通过控制系统实现如图 2.9 所示的两种情况，完成测量探针的自动换向功能。

为了更好的保证测量精度，本设计采用齿轮传动，保障测量装置能够更好地保证测量精度，相较于直接用电机实现换向有明显的优点，而蜗轮蜗杆的传动效率太低，且精度也明显不如齿轮传动。

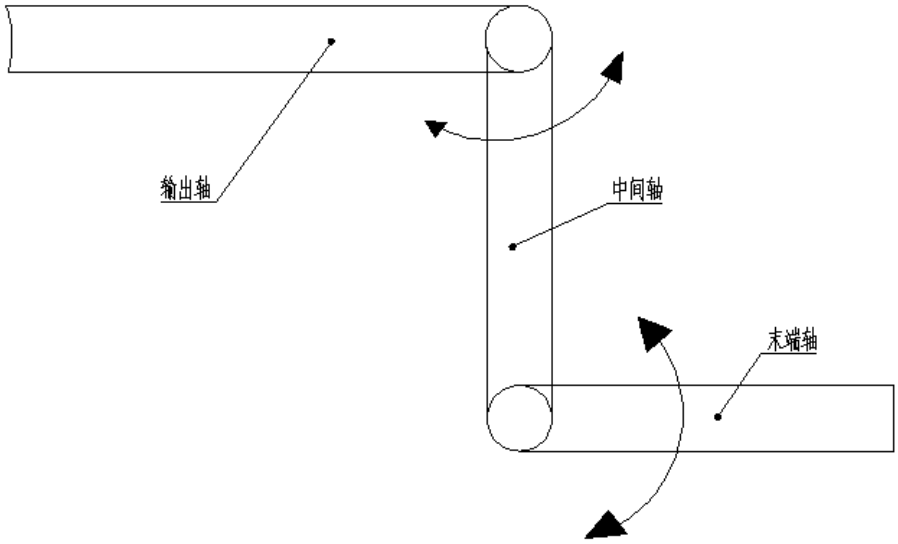



图 2.8 换向机构示意图

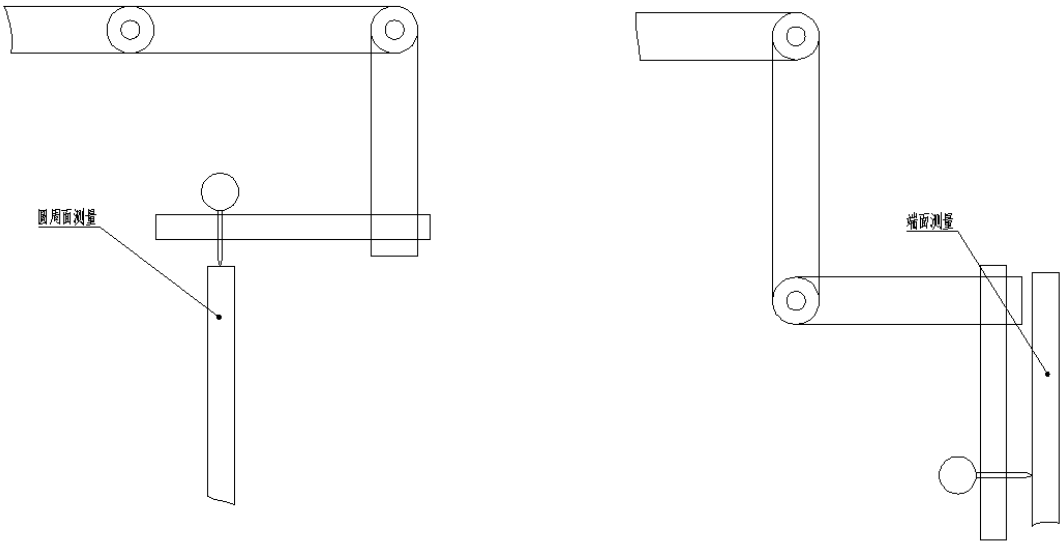



图 2.9 换向机构测量状态图

## 2.3 本章小结

根据工作目的，查阅了大量国内外相关资料，

由于法兰对中测量装置在国内外尚没有具体研究，但是在法兰连接机具以及对中测量装置的研究方面，国内外已经比较成熟，且集中在深海管道法兰连接以及激光对中测量装置研究方面，深海管道法兰连接的方法主要通过螺栓插入张紧机具、螺母库上安装ROV接口模块及后续控制系统等组成，激光对中装置主要由激光发射器及接收组件等组成，广泛用于轴类及管道等的对中测量，测量一般有两种方式，被测件转动实现对整个圆周面及端面的测量、测量装置在轴或管道周向行走实现测量，通过对其连接原理的分析以及其中对中连接方法的探究，确定了本装置的初步方案，由于法兰件及其连接装置不会转动，因此本次设计的装置需要设置一个在法兰周向行走的爬行机构。由于法兰连接的广泛使用，测量装置在投入使用后，使用会非常频繁，因此测量装置的轻便性是一大目标。

本章根据法兰对中测量装置的工作要求，确定了法兰对中装置的运动方法和测量原理，并设计各个部分的具体结构，绘制了结构方案图，同时对其工作原理进行了相关的介绍；最后明确了测量装置的读数调零方法和数据采样方式，并对测量参数计算给出了理论研究依据。

# 第 3 章 法兰对中测量装置的结构设计

## 3.1 总体结构设计

通过上文介绍，本次设计的法兰对中测量装置由三个部分构成，接下来论文将对每一个部分的具体结构进行设计。首先爬行机构采用链传动，但与传统链传动不同的是，本设计中的链条起支撑和充当爬行轨道的作用；为实现链条的张紧，采用螺旋机构，通过调节从动链轮轴的位置调节链条的张紧度；为了更好的实现在法兰圆周面的爬行，设置了两个爬行轮，爬行轮两端设置有与法兰宽度相同的槽，防止爬行过程中发生轴向窜动，且爬行轮宽度可调，满足不同宽度法兰的要求，同时通过螺旋机构调整爬行轮与法兰圆周面的高度，是爬行过程更为平稳，最后完成整个爬行机构的安装，经过上述对爬行机构方案的设计，考虑到结构尽可能简便的因素，设计了其装配的支架；伸缩机构是将电机的旋转运动转变为输出轴的直线运动，伸缩机构螺杆采用螺杆固定，螺母作直线运动的方式，将螺母与输出轴通过滑套连接，间接实现输出轴的轴向直线运动，伸缩机构整体放置在设置的机架上，通过在爬行机构支架上外接支撑板，实现伸缩机构的定位，为了更好的满足定位要求，爬行机构支架上设置滑槽，与伸缩机构支撑板配合，实现定位；换向机构通过中间轴与伸缩机构输出轴连接实现换向机构的固定，在两轴的末端开设通孔，用螺栓连接实现其固定装配，而轴上直接打孔会导致结构的不稳定，因此在轴端设置凸台，保证轴的强度，换向机构采用齿轮传动，但与传统齿轮传动所不同的是，此处采用的齿轮传动，大齿轮固定，小齿轮以大齿轮为中心自转，实现俯仰运动，装置采用两处换向，其换向原理相同。

法兰对中测量装置作为法兰连接定位的一种测量装置，其结构的精度要求应该尽可能的高，由于法兰连接在工程环境中使用非常广泛，法兰连接装置的轻便性非常重要。完成总结结构设计后，接下来将对法兰对中测量装置的具体结构进行设计，其主要内容为：链轮的选择；螺旋机构的选择及校核；各个轴的选择；齿轮参数的选择；电机的选型。

## 3.2 链轮的选择

通过相关资料的查阅，了解到了几种可用于法兰圆周的爬行机构，这几种装置都有一个共同点，即爬行机构在法兰圆周爬行时需要保证在任何时候该机构都不能脱离法兰面，同时该机构始终沿着法兰切向行走，保持整个装置平稳的工作，不会发生脱离现象。对于本次设计所设计的测量装置，为了保证测量的准确性，除满足以上条件外，还必须保证爬行机构在法兰圆周行走时不会发生轴向窜动，保证端面跳动误差测量的准确性。在经过这些分析后，首先考虑了用绳子固定整个装置的方式，这种工作方式的运动必须保证绳子与法兰圆周面的摩擦力，同时要减少绳子与其他接触结构之间的摩擦力，但在工作中，绳子始终与张紧轮配合，且有较大的接触面积，为了降低绳子与张紧轮之间的摩擦力，则必须保证张紧轮滑槽的表面粗糙度，但这使得加工比较困难，不利于设计的经济性，同时由于绳轮爬行机构其工作原理是从一个方向张紧绳子，另一个方向放松绳子，致使其只能向一个方向运动，大大的降低测量装置的普适性；进而考虑了链轮爬行机构，这种机构也需要保证链条与法兰圆周间的摩擦力，通过研究相关资料发现通过调节张紧轮这一目的较易实现，同时链传动链条与张紧轮之间是滚动摩擦，远远小于链条与法兰圆周表面的滚动摩擦，故而最终选用链轮爬行机构[16]。

爬行机构中需要用到一个主动链轮和两个张紧链轮，运动原理是通过电机驱动主动链轮在以链条为轨道的路径上爬行，从而带动整个测量装置在法兰圆周行走。其三维示意如图 3.1 所示。

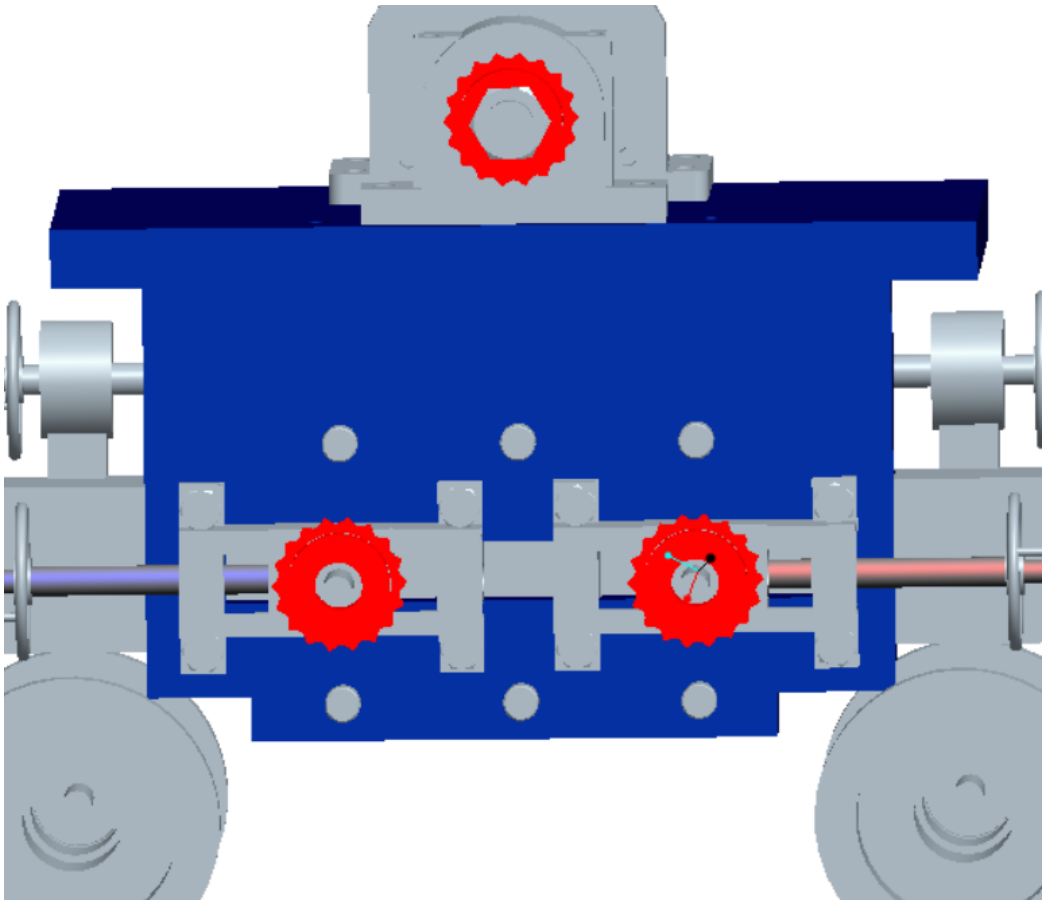


图 3.1 链轮安装三维图

### 3.2.1 主动链轮的选择

主动链轮的作用是带动整个机构在法兰圆周行走。链传动不会发生打滑现象，能保持比较精确的传动，其传动结构也比较简单，承载能力大；以链条为轨道，并将其作为整个装置的支撑充分发挥了链传动的优点。

整个测量装置的速度较低，考虑到安装和轻便性，选用整体式链轮，由于运动的频繁性，链轮轮齿的啮合次数比较多，所以选择小链轮，取齿数 $Z$ 为 19，运动过程没有冲击振动，材料选择 45 钢，硬度为 $40-50\mathrm{HRC}$，查表取链条节距 $P$ 为 $8.00\mathrm{mm}$，而主动电机转速 $n$ 为 $30\mathrm{r/min}$，则爬行机构行走的平均速度为

$$v=\frac{nZP}{60\times100}=12.7\mathrm{mm/s}$$

经过计算可得链轮的主要尺寸如下表 3.1 所示

表 3.1 主动链轮尺寸参数

| 齿数 $Z$ | 分度圆直径（$d$） | 齿顶圆直径（$d_a$） | 分度圆弧齿高（$h_a$） | 齿根圆直径（$d_f$） | 齿宽（$b_f$） | 轮毂长度（$l$） | 轮毂直径（$d_h$） | 轮毂厚度（$h$） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19 | 48.6 | 52.2 | 2.16 | 43.6 | 2.8 | 16 | 22 | 5.686 |

### 3.2.2 从动链轮的选择

从动链轮的作用是在整个装置爬行时跟随主动链轮一起滚动，同时作为张紧链轮用来调节链条的张紧度，只作为张紧轮和从动轮，不起链传动的变速作用，因而不需要经过传动比计算来选择该链轮，为了选材的简便性，从动链轮的加工处理方式和主动链轮一致，只是由于在支撑问题上使得两轮的孔径和轮毂厚度有所不同，其主要尺寸如下表 3.2 所示

表 3.2 从动链轮尺寸参数

| 齿数 $Z$ | 分度圆直径（$d$） | 齿顶圆直径（$d_a$） | 分度圆弧齿高（$h_a$） | 齿根圆直径（$d_f$） | 齿宽（$b_f$） | 轮毂长度（$l$） | 轮毂直径（$d_h$） | 轮毂厚度（$h$） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19 | 48.6 | 52.2 | 2.16 | 43.6 | 2.8 | 16 | 31 | 7 |

## 3.3 螺旋机构的选择及校核

螺旋机构的运动副是螺纹，螺纹既可以作为连接机构形成固定连接，如螺栓连接，也可以构成动连接，即螺旋副。螺栓连接作为紧固件起到对机构之间的连接作用，在机械结构中广泛使用，在本结构的设计中也多处用到了螺栓连接；为传动件使用，在传递运动的过程中对螺旋副的传动精度、传动效率以及磨损寿命有较高的要求。

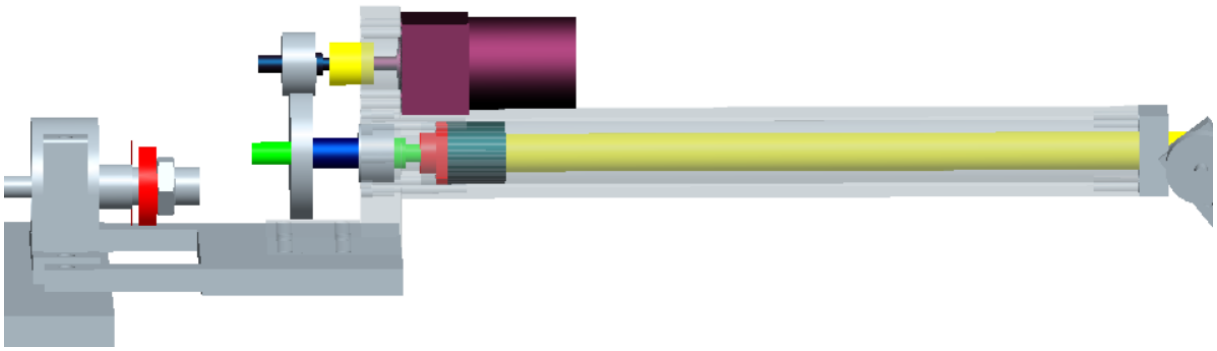
螺旋传动是将电机输出的旋转运动转变为螺杆的直线运动。在运动的过程中，根据螺杆和螺母的相对运动形式，将螺旋传动分成以下两种形式：第一种是螺母固定，螺杆移动，通常使用在螺旋压力机中；第二种是螺杆固定，螺母移动，通常使用在伸缩机构中[17]。

在本设计中我们采用第二种方式，即螺杆固定，螺母移动。目的是为了实现伸缩运动，并且在驱动电机的转矩较小时就能传递产生较大的轴向力，由于本装置中是测量装置，因而要求螺旋传动有较高的精度。本装置有三处用到螺旋传动，其中有两处其夹紧作用，一处用在伸缩机构中，用于运动的转换，三处都要求螺旋装置具有自锁性。夹紧机构和伸缩机构中螺杆共作都比较频繁，并且伸缩机构螺杆需要承载，因此要求螺杆的材料性能比较好。

通过查阅相关资料，对于夹紧机构的螺杆，夹紧调节时是低速环境，故材料不需要热处理，选用 Q235 作为螺杆材料；螺母材料要求耐磨性好，选用 ZCuAl9Fe4Ni4Mn2 。伸缩机构传动精度要求高，为了提高尺寸的稳定性，对材料进行热处理，采用 9Mn2V 作为螺杆材料；螺母材料也要求耐磨性好即可，选用 ZCuAl9Fe4Ni4Mn2 。

### 3.3.1 伸缩机构中螺旋机构的选择及校核

根据设计要求对伸缩机构进行了三维建模，对本设计的伸缩机构具体结构进行了设计。其三维示意图如图 3.2 所示。



3.2 伸缩机构螺旋传动三维图

从安装、传递运动的要求以及受载的情况考虑，初选螺杆直径 $d$ 为 8mm，螺杆长度 $L$ 为 300mm，螺距 $P$ 为 1.25mm。下面就所选参数对螺杆进行校核，校核过程如下：

1.耐磨性校核

**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/626010235230011101