

绳索攀爬机器人设计

模型+图纸：联系 QQ：2962291813

摘要

随着现代旅游业的快速发展，越来越多的旅游景区开始利用缆车来提高游客的观光体验，尤其是在那些拥有广阔而复杂地形的区域。缆车不仅能够提供独特的视角，还能方便游客快速穿越难以步行的区域。然而，缆车的运行安全极其重要，其维护和检修工作尤为关键。考虑到缆车绳索通常横跨于险峻的山谷或其他难以到达的区域，其检修工作充满挑战。

为了解决这一问题，本文提出了一种爬绳机器人的设计方案。这款机器人设计巧妙，仅通过一套驱动系统即可实现沿绳索的爬行移动。它的核心由一对机械滚轮组成，每组包括一个驱动轮和一个稳定轮。稳定轮上的弹簧预紧力经过精确调节，确保机器人能够牢固地抓住绳索。动力来源于一个电动机，该电动机连接减速器，再将动力传递给驱动轮。借助于驱动轮与绳索之间的摩擦力，机器人便能够顺畅地沿绳索行进。这种机器人的设计简化了机构，提高了运动效率，且维护方便，体现了机械设计和自动控制结合的优势。

该爬绳机器人的灵活性体现在通过更换不同的滚轮，可以适应不同直径的绳索，甚至能够应对直径连续变化的绳索，这得益于弹簧的缓冲作用。这种机器人的应用场景非常广泛，不仅限于旅游景点的缆车检修，还可用于其他需要高空作业的场所，如桥梁检查、高塔维护等，具有重要的实际应用价值。

关键词： 爬绳机器人；夹紧；爬行；变直径绳

Abstract

With the rapid development of modern tourism, more and more tourist attractions are using cable cars to enhance the tourist experience, especially in areas with vast and complex terrain. The cable car not only provides a unique perspective, but also facilitates tourists to quickly traverse difficult to walk areas. However, the operational safety of cable cars is extremely important, and their maintenance and repair work is particularly crucial. Considering that cable car ropes often span steep valleys or other difficult to reach areas, their maintenance work is full of challenges.

To address this issue, this article proposes a design scheme for a rope climbing robot. This robot uses two sets of mechanical rollers, each consisting of a stabilizing wheel and a driving wheel, equipped with an electric motor, reducer, and microcontroller system. By adjusting the pre tension force of the springs on the two stabilizing wheels, the robot is able to grip the rope tightly. Then, the electric motor transfers power to the driving wheels through the reducer, and uses friction to make the robot crawl along the rope. The advantage of this design is that it only requires one driving source to achieve the movement of the entire robot, with a simple and efficient structure.

The flexibility of this rope climbing robot is reflected in its ability to adapt to ropes of different diameters and even cope with ropes with continuous diameter changes by replacing different rollers, thanks to the buffering effect of springs. This type of robot has a wide range of application scenarios, not only limited to cable car maintenance in tourist attractions, but also can be used in other situations that require high-altitude operations, such as bridge inspections, tower maintenance, etc., and has important practical application value.

Keywords climbing rope robot clamp climbing variable diameter rope

目 录

摘要.....	I
Abstract.....	II
1 绪论.....	1
1.1 研究目的.....	1
1.2 国内外研究现状.....	1
1.3 研究内容.....	3
1.4 设计要求.....	3
2 小车整体设计方案.....	4
2.1 机械系统设计方案选择.....	4
2.2 控制系统设计方案.....	5
2.3 总体设计.....	6
3 机械结构设计.....	7
3.1 爬绳机器人总体方案设计.....	7
3.2 减速机构设计.....	7
3.2.1 传动部件的选择.....	7
3.2.2 蜗杆传动的设计.....	12
3.3 主动轴的设计.....	15
3.4 夹紧机构的设计.....	17
3.5 机器人机体的设计.....	19
4 控制系统设计.....	21
4.1 元件的选择.....	21
4.1.1 单片机选型.....	21
4.1.2 电机驱动选择.....	21
4.2 硬件电路的设计.....	24
4.2.1 单片机最小系统.....	24
4.2.2 电机驱动模块设计.....	25
4.2.3 遥控器与带解码的接收模块.....	27
4.2.4 USB 下载与供电模块.....	28
结论.....	30
致谢.....	31
参考文献.....	32

1 绪论

1.1 研究目的

在中国，随着经济的快速增长和社会的进步，国民的生活质量有了显著的提高。旅游作为一种休闲娱乐方式，日益成为人们享受生活、放松身心的热门选择。许多旅游景点不仅提供了独特的自然和文化景观，还设有缆车路线，使游客能够从高处鸟瞰整个景区，并轻松欣赏各处风景。然而，长期暴露在户外的缆车缆绳等设施，由于天气侵蚀、酸性物质腐蚀等因素，易于损坏且不易及时发现，这不仅缩短了它们的使用寿命，也给景区的安全管理带来了挑战。

传统的检修作业大多依赖于人工完成，但由于工作环境的危险性，工人的安全难以得到充分保障，存在许多潜在的安全风险。虽然对于一些建筑如广告牌支柱等较粗结构，人们可以相对容易地进行攀爬作业，但在面对一些细长且承重能力较低的结构，如路灯杆时，人工攀爬就显得比较困难。虽然可以借助装有升降机械的工程车来完成这些任务，但这种方法成本较高，且在空间狭窄的环境中施工具有一定的局限性。

鉴于此，本文提出一种爬绳机器人的设计方案，旨在为高空和危险地区的检修工作提供一种安全、高效的解决方案。这种机器人能够自主沿着绳索或者细长的杆件爬行，通过机器人上的检测装置发现潜在的问题。这种设计利用了机器人的机械滚轮系统来紧抓绳索或杆件，借助电动机和减速器驱动机器人沿绳索或杆件移动。由于其结构简单且灵活，可以适应不同直径的绳索和杆件，即便是在狭窄或难以到达的区域也能进行检修作业。

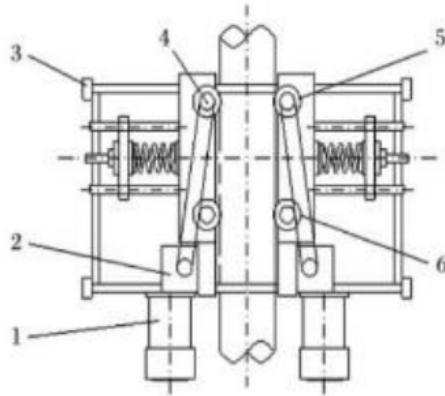
这种爬绳机器人的应用，不仅可以显著降低高空作业的安全风险，还能有效减少检修成本，提高检修效率。无论是旅游景区的缆车缆绳、城市的路灯杆，还是其他需要定期检修的高空设施，爬绳机器人都能发挥其独特的价值，为保障设施安全和延长使用寿命提供有力支持。

1.2 国内外研究现状

在探讨爬绳机器人的设计和功能时，重要的是要认识到它们主要的任务是沿着绳索或杆件进行爬行，并执行辅助功能，通常包括绳索或杆件的检修和评估。全球范围内，研发了众多管道爬行机器人，它们的工作机制主要分为三大类：利用自锁或静摩擦力的气动蠕动机构、依靠滚动摩擦的螺旋爬升机制，以及采用并联机构设计的并联式爬行机械。

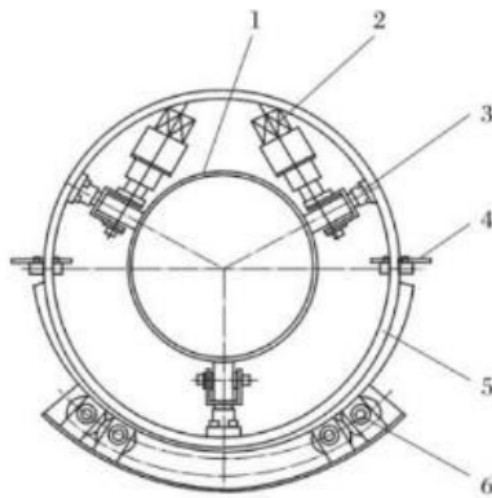
对于爬绳机器人而言，现有的设计主要集中在两种应用：一种是螺旋式爬杆机器人，另一种是用于自动喷涂的爬杆机器人。螺旋式爬杆机器人利用螺旋爬升机构沿着杆件螺旋上升，这种机制基于滚动摩擦原理，通过旋转的螺旋部件来实现稳定的上升或下降移动，适用于直径一致的杆件。而自动喷涂爬杆机器人则是专为执行特定辅助任务而设计，如对杆件表面进行喷涂保护，这种机器人通常配备有喷涂设备，能够在沿杆件爬行的过程中自动完成喷涂工作。

这两种机器人设计在功能和结构上各有侧重，但它们都展现了爬绳机器人技术的多样性和灵活性。螺旋式爬杆机器人强调了通过机械结构的巧妙设计实现稳定爬升的能力，而自动喷涂爬杆机器人则强调了执行特定辅助任务的能力。这些设计为未来爬绳机器人的开发提供了宝贵的参考，表明通过结合不同的工作原理和功能模块，可以创建出适应不同应用场景需求的爬绳机器人。



1. 驱动装置 2. 减速机构 3. 外环 4. 链轮 5. 前轮 6. 后轮

图 1-1 螺旋式爬绳机器人



1. 管道 2. 驱动装置 3. 爬行机构 4. 简易操作机构 5. 链轮 6. 圆周调节器

图 1-2 喷涂攀爬机器人

图 1-1 所示的螺旋式爬绳机器人设计巧妙，它依靠内部的电动机和导轮系统沿绳索或管道爬行。该机器人通过调节弹簧的压力来改变预紧力，这样可以根据不同的使用场景调整抓握力，确保机器人能够牢固地附着在工作面上。为了适应不同直径的绳索或管道，机器人的支撑架设计了多个连接孔，用户可以根据需要选择合适的孔位，以实现最佳的预紧力和稳定的爬行效果。

图 1-2 则描绘了一款自动喷涂爬绳机器人。

在这款机器人开始工作前，操作者需要先调整调节器的位置，将机器人放置于目标绳索或杆件上。一旦机器人被正确固定，它就可以开始沿着绳索或杆件爬行。在爬行过程中，机器人配备的喷涂枪会实时进行往复运动，从而实现对绳索或杆件的自动喷涂，有效地完成维护或保护任务。

这两种爬绳机器人各自采用了不同的机制和技术以适应特定的工作需求。螺旋式爬绳机器人侧重于通过机械设计实现稳定的爬行能力，而自动喷涂爬绳机器人则将重点放在执行特定的辅助任务——如喷涂——上。这些机器人的设计展示了爬绳机器人技术的灵活性和多功能性，不仅能够适应多变的工作环境，还能执行多样化的任务，为高空和难以接近区域的维护工作提供了有效的解决方案。

1.3 研究内容

本文研究了爬绳机器人如何在静态状态下利用摩擦力稳定地抓握绳索，并在电机的作用下实现沿绳索的爬行动作。这种机器人配备了两套轮机构，每套由一个静止轮和一个动力轮组成，并集成了电机、减速器、微控制器等关键组件。通过调节静止轮上的弹簧预紧力，机器人可以产生足够的摩擦力来克服由于重力引起的向下滑动，保持在绳索上的稳定。此外，固定轮和导轨的精心设计使机器人能够沿预定路径平滑爬行。在这一设计中，电机尤其重要，选择了步进电机作为动力源，因其可提供较高的扭矩。加入减速器不仅降低了电机的转速，还提升了爬行速度的适宜性和扭矩，从而提高了爬行效率。这种设计方案使得爬绳机器人能在保持稳定的同时，通过电机控制以精确的速度进行爬行，有效执行维修、检测等任务。

1.4 设计要求

本研究中的爬绳机器人被设计为能够适应直径在 20mm 至 40mm 范围内的不同直径绳索或杆，包括连续变直径的绳索和具有特定直径值的绳索。这种灵活性使其能够在多变的环境中有效工作。机器人本身的重量约为 4kg，在全负载条件下仍能保持大约 80mm/s 的运行速度，这一速度足以满足大多数检修和检测任务的需求。

关键的是，当爬绳机器人处于静止状态，即未受到任何驱动力作用时，它必须能够在任何角度的绳索上稳定平衡。这要求机器人具备一套高效的稳定机制，以确保在停止移动或等待命令时不会因重力作用而滑落。这种稳定性是通过精心设计的摩擦力系统和可能的锁定机制实现的，后者可以在机器人停止时增加附着力，确保其在各种环境条件下均能安全稳定地附着在绳索或杆上。这样的设计不仅提高了机器人的适用性和灵活性，还大大增强了其在复杂环境中的安全性和可靠性。

2 小车整体设计方案

2.1 机械系统设计方案选择

在方案一中，借鉴了人类爬树的基本原理来设计一款爬绳机器人。这种机器人模仿人们先用双手和双脚紧抱树干保持静止，然后交替使用双手和双脚向上移动的动作。具体来说，机器人首先通过一组夹紧机构（类似于人的双手）紧抱绳索，然后松开另一组夹紧机构（类似于人的双脚），通过爬行机构的作用向上移动一段距离。随后，这一组夹紧机构再次紧抱绳索，而先前紧抱的那组夹紧机构松开，通过爬行机构向上移动，如此交替进行，实现连续的爬行动作。

这款爬绳机器人的构造主要分为三大部件：驱动机制、爬行机制以及夹紧机制。其中，夹紧机制由两组机械手臂组成，其作用是紧紧抓住绳索，这模仿了人类双手和双腿的功能。爬行机构主要由凸轮和连杆组成，负责实现机器人的攀爬动作。至于驱动机构，则采用电动机，以其便捷性和可靠性为整个系统提供动力。

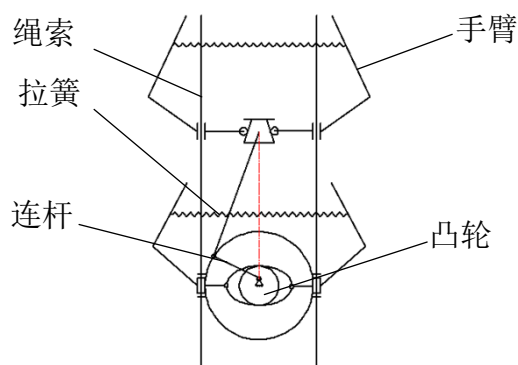


图 2-1 方案一机器人简图

方案二中的爬绳机器人采用了一套综合设计，包括夹紧机构、爬升机构、驱动机构、减速器、云台以及单片机控制系统等关键元件。该设计的夹紧机构由两组位于机器人顶部和底部的稳定轮组成，这些稳定轮通过拉簧相连。调节拉簧在稳定轮杆上的位置可以调整预紧力，以适应不同直径的绳索，保障爬升时的稳定性。在减速器设计上，采用了蜗轮蜗杆轴，主要作用是保持驱动轮转速的稳定并提供较大的扭矩，使得机器人能够在较低的速度下实现高扭矩的爬升，增强了爬升的稳定性和安全性。驱动机构设计中包含了两组电机和驱动轮，电机作为主要的动力来源，有效降低了机器人的总重量。还确保了其运动的灵活性和简洁性。云台部分可用于安装摄像头或其他检测设备，以便于在爬升过程中进行环境监测或进行特定的任务操作。单片机控制系统则是整个爬绳机器人的大脑，负责接收指令、处理数据并控制机器人的各个部分协同工作，以实现精确的操作和高效的执行。通过这样的设计，方案二中的爬绳机器人不仅能够适应不同直径的绳索，还能够在确保稳定性和安全性的前提下，灵活高效地完成爬升任务。

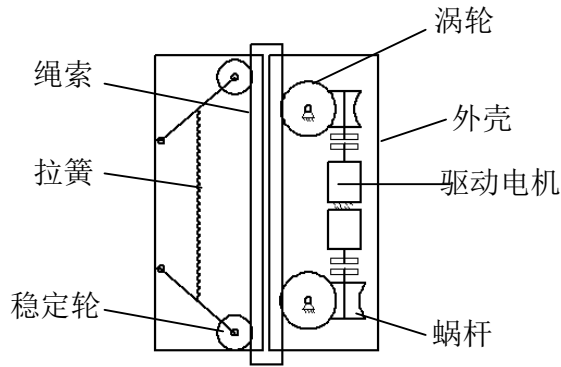


图 2-2 方案二小车简图

在对比分析方案一和方案二的爬绳机器人设计时，我们注意到方案一采用了较为复杂的机械结构，包括多个凸轮和连杆机构。这不仅增加了设计的复杂度，还可能导致运行中的稳定性问题。机器人在执行爬升动作时，较为复杂的机械动作难以保证高精度，且在复杂的环境条件下，其间歇性的周期运动可能会受到周围环境的不利影响。

相比之下，方案二的爬绳机器人拥有更为简洁的整体结构，其运动部件之间的连接更为平滑，这有助于确保运行过程的稳定性。特别是，方案二中的机器人采用连续滚动的方式在绳索上移动，与方案一的间歇性周期运动相比，这种连续性运动能够更好地适应绳索上的不同环境条件，同时也降低了运动过程中的振动和不稳定因素。

考虑到上述因素，方案二在稳定性、简洁性和可靠性方面表现更佳。特别是在需要机器人进行长时间稳定运行的应用场景中，方案二的设计更为合理。因此，选择方案二作为爬绳机器人的设计方案，既能满足对机器人运行精度和稳定性的要求，又能简化设计和制造过程，提高整体的可靠性和效率。

2.2 控制系统设计方案

在爬绳机器人的设计中，驱动系统的核心是两个电机，负责实现启动、前进、后退和停止这四种基本动作。为了精确控制这些动作，在这个设计中，STC89C52 单片机被选作控制系统的核心元件。通过编程，单片机能够向控制电机的输入/输出接口发送系列指令，实现对电机速度的调整，并通过改变电机接口电流的顺序来控制电机的转向。爬绳机器人的电机控制系统主要负责电机的加速、减速、正转和反转功能，同时也能对电机转速进行实时的调节，以实现电机的智能化控制。这一系统包括若干关键电路模块。

最小系统模块：主要由 8051 单片机及其辅助的电容、晶振等元件构成，为整个控制系统提供基础的计算和控制能力。

输入模块：主要负责接收遥控信号，将用户的控制指令传输给单片机进行处理。

控制电路模块：以 8051 单片机为核心，负责解析输入模块的信号，并根据程序逻辑生成控制电机的指令。

电机控制实现模块：包括电机及其驱动模块，负责根据单片机的指令执行相应的驱动动作。

通过这种设计，爬绳机器人能够实现灵活的运动控制和高效的执行任务，满足各种复杂环境中的爬绳需求。

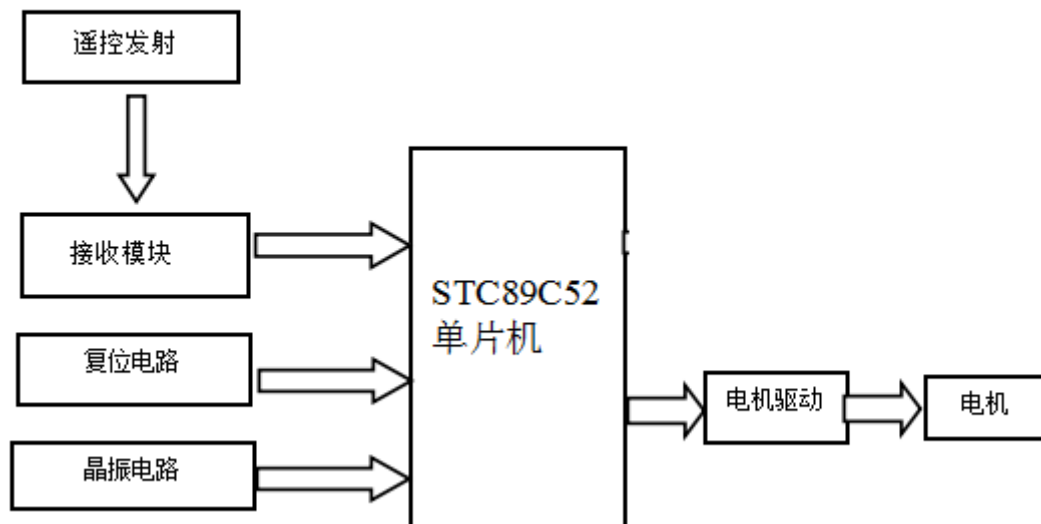


图 2-3 控制系统框图

2.3 总体设计

基于爬绳机器人的设计，其机械结构和控制系统使得机器人能够在绳索或杆上进行前进、后退的爬行动作，并且能够根据需要进行加速或减速。通过遥控器，操作者能够向与单片机相连的接收模块发送指令信号。单片机收到这些信号后，依据预设的程序来操纵电机，从而引导机器人执行特定的动作。在爬绳机器人的爬升系统中，配备了两个电动机和一个蜗轮蜗杆传动系统。该传动系统通过调控电动机生成的速度和扭矩，来驱动安装在传动轴上的驱动轮旋转。为了确保机器人紧紧地抓住绳索，稳定轮与驱动轮配合使用，其中稳定轮通过拉簧的预紧力固定在绳索的下方，驱动轮位于上方，这样的布局确保了机器人在绳索上的平稳爬行。这种设计不仅提高了爬绳机器人的适应性，使其能够在不同环境中有效工作，而且还增强了操作的灵活性和机器人的实用性。

3 机械结构设计

3.1 爬绳机器人总体方案设计

在这个爬绳机器人设计方案中，它主要构成由驱动机构、减速器、夹紧机构和爬升机构四个核心部分组成。每个部分承担着不同的功能和责任：

驱动机构：这一部分主要是由电动机和联轴器组成，电动机的具体型号和选择依据将在控制系统部分进行详细讨论。

减速器：由减速齿轮或蜗轮蜗杆减速机构构成，其关键作用在于根据爬行过程中机器人所需的最大扭矩来决定减速器的型号和尺寸设计。

夹紧机构：该机构包括弹簧、轮架和轮子等元件，设计的核心在于通过轴的强度承载能力来计算合适的轴径。

爬升机构：涵盖了驱动轮、传动轴、轴承和套筒等部件，设计的重点在于传动轴的结构设计。

设计这些结构组件完成后，它们会被集成到机器人的机身框架中，并对框架结构进行设计，确保所有组件能够协同作用，实现机器人在绳索或柱体上有效且稳定的爬升功能。

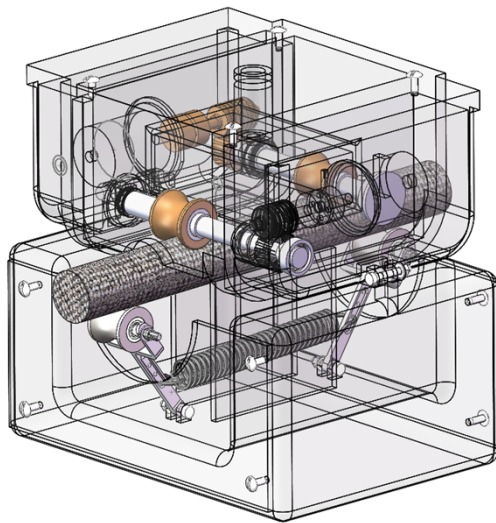


图 3-1 爬绳机器人总体图

3.2 减速机构设计

3.2.1 传动部件的选择

针对设计的爬绳机器人，其目标爬行速度设定为 80mm/s ，结合驱动轮的接触直径为 25mm ，计算得到驱动轮旋转一周所覆盖的路径为 157mm 。为了达到所需的爬行速度，驱动轮需要以大约 30转/分钟 (r/min) 的速度旋转。因此，考虑到机器人内部空间和重量限制，以及在绳索上静止

时对减速器的简易性和自锁能力的需求，选择蜗轮蜗杆作为减速机构是理想的选择。

根据设计要求，蜗轮蜗杆减速器的传动比被设定为 10:1，这意味着为了达到 30 转/分钟的输出速度，电动机的输出转速需要为 300 转/分钟。在这一设定下，电动机的输出功率需求被计算为大约 9.8 瓦特，基于工作载荷稳定且存在轻微振动的条件，该蜗轮蜗杆减速器设计要求其寿命达到 12000 小时。

综上，该爬绳机器人的蜗轮蜗杆减速器需满足以下设计条件：蜗杆转速为 300 转/分钟，输入功率为 9.8 瓦特，传动比为 10:1，要求在稳定的工作负载下运行，且设计寿命达到 12000 小时。这样的设计考虑到了机器人的效率、可靠性和实用性，使其能够在各种条件下有效地执行爬绳任务。

在爬绳机器人设计的机械阶段中，考虑到爬行速度需要达到一定的标准，因此电机的转速是决定内部减速机构设计和减速比的关键。同时，电机的选择也直接影响到主动轴所需承受的转矩大小，使得挑选合适的电机变得极为重要。基于绳索的最大直径，我们计算得到所需的转矩 T 为 $0.8N \cdot m$ 。

直流电机的工作原理是内部的转子在通电后受到永磁体产生的磁场的作用下产生力，进而驱动转子旋转。这个旋转动作得以持续进行，依赖于转子的惯性和电刷及换向器的相互作用。直流电机通常具备较高的转速和较低的转矩，非常适合于对高速旋转有需求的应用。在本设计中，我们特别关注了永磁直流电机的机械性能，以确保爬绳机器人可以在不同直径的绳索上实现稳定的爬行。

对于直流电机的机械特性，即电机转速 n 与转矩 T 之间的关系，表示为 $n=f(T)$ ，详见下图 3-2。图中展示了电机转速的变化伴随着扭矩的变化情况。

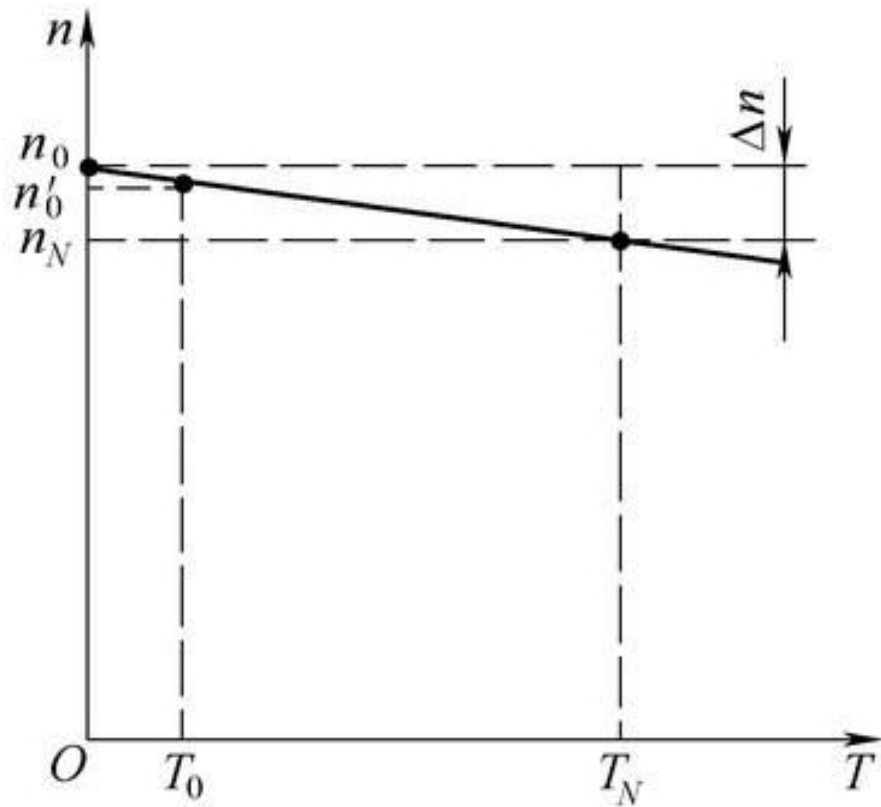


图 3-2 直流电机的机械特性图

步进电机是一种通过电子电路把直流电信号转换成多相序列控制电流的电感式电机。这些控制电流依次作用于电机的各个相位，推动电机转动。它将电脉冲信号转化为角位移或线位移，是数字控制系统中的关键执行元件，广泛用于许多领域。电机的旋转速度和最终停止位置完全取决于输入的脉冲频率和脉冲总数，与负载的变化无关，从而保证了无超载情况下的高精度控制。步进电机接收到一个脉冲信号后，就会转动一个固定的步距角，实现分步操作。通过控制脉冲信号的数量，可以精确地控制电机转动的角度，达到精确定位的目的；调节脉冲频率，可以控制电机的运行速度和加速度，满足不同的速度需求。

关于步进电机的矩频特性曲线，可以参考下图 3-3。从图中可以看出，在某个转速区间内，电机的转矩基本保持不变。

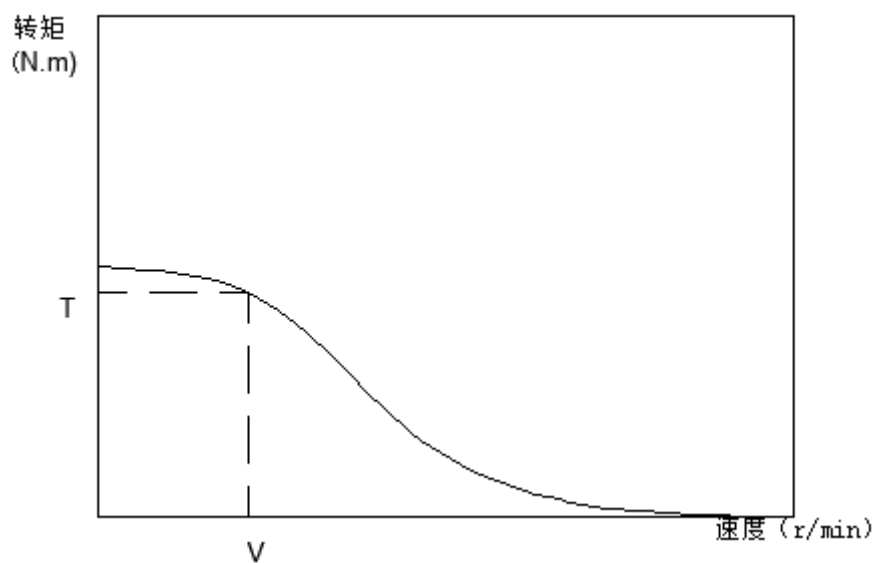


图 3-3 步进电机的矩频特性

考虑到机器人对高扭矩和实时速度调节的需求，我们选择了远控公司生产的 57 型两相步进电机。这款电机使用铝合金作为机壳材料，内部设计紧凑，具备良好的密封和润滑特性。电机作为机器人的主要动力源，其外部尺寸直接影响到整体设计布局，因此在选择电机时，其尺寸成为了一个关键的考虑因素。详细信息见图 3-4 和图 3-5。

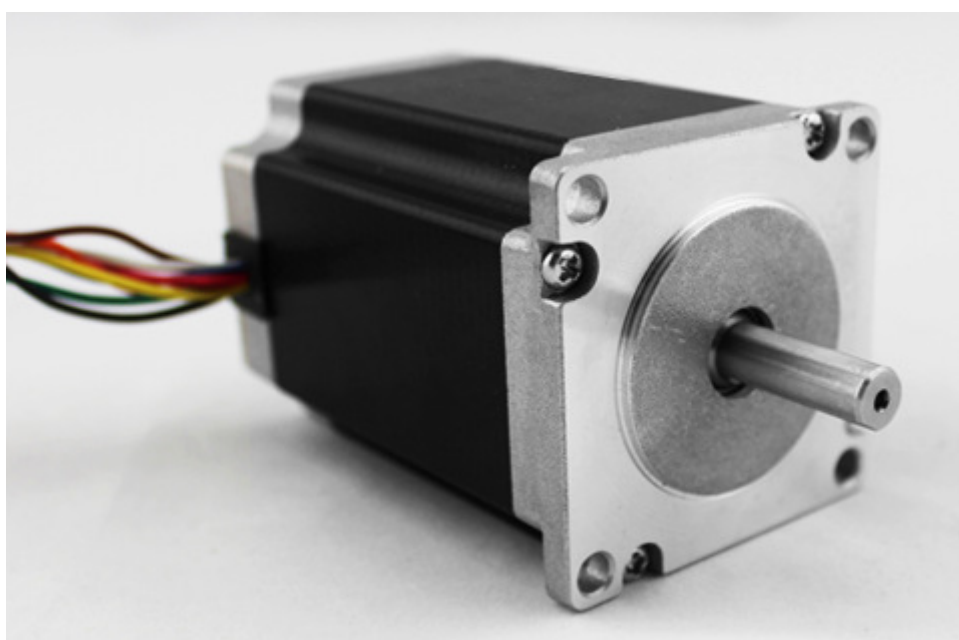


图 3-4 步进电机实物图

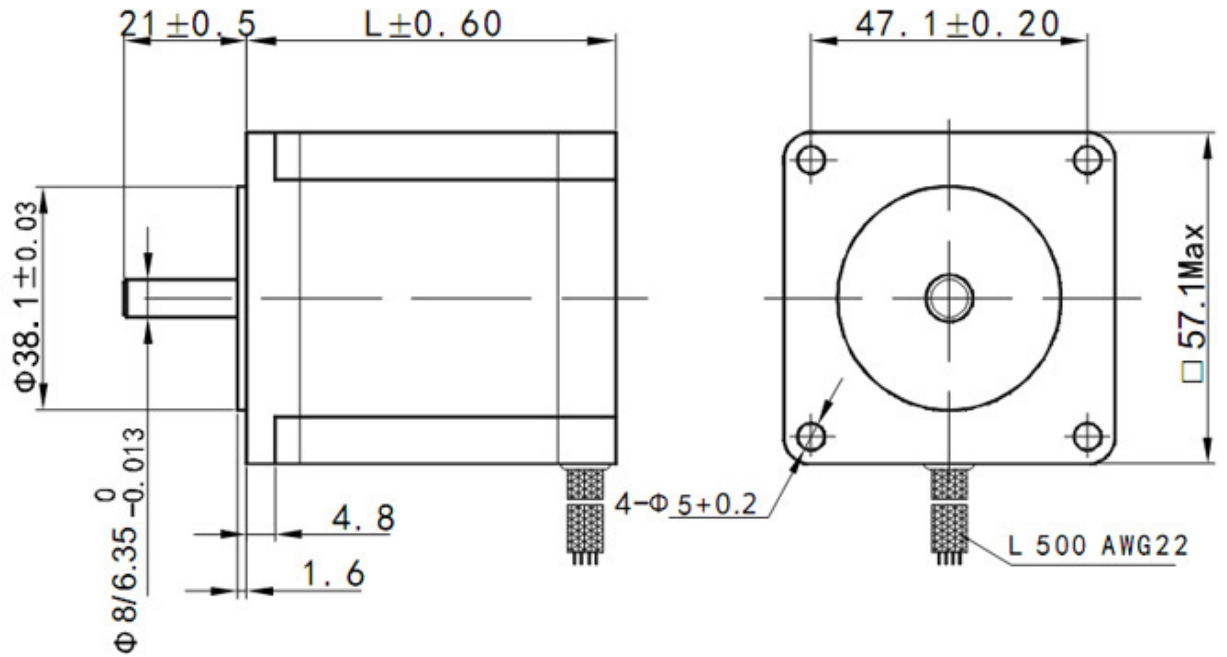


图 3-5 步进电机外形图

两相 57 步进电机的各种型号的参数如下表 3-1。

表 3-1 两相 57 步进电机参数

型号	机身長 L(mm)	额定电流 (A/phase)	转动惯量 (g. cm^2)	力矩 (N.m)	重量 (kg)
57HB41K-1 04	42.5	1.0	150	0.4	0.47
57HB45K-2 04	45.5	2.0	190	0.5	0.45
57HB51K-2 04	51.5	2.0	240	0.6	0.64
57HB56D6- 204	55.5	2.0	280	0.9	0.71
57HB56D8- 304	55.5	3.0	280	0.9	0.72
57HB56K-3 04	55.5	3.0	280	0.9	0.72
57HB64K-3 04	64.5	3.0	380	1.1	0.85
57HB76D6- 304	76.5	3.0	480	1.5	1.00
57HB76D8- 304	76.5	3.0	480	1.5	1.05

查表知，可选用的型号为 57HB41K-104，轴径选用 8mm 的规格的。该步进电机的矩频特性曲线如下图 3-6。由图知该步进电机转速在 300r/min，以下时，转矩可近似看成不变。

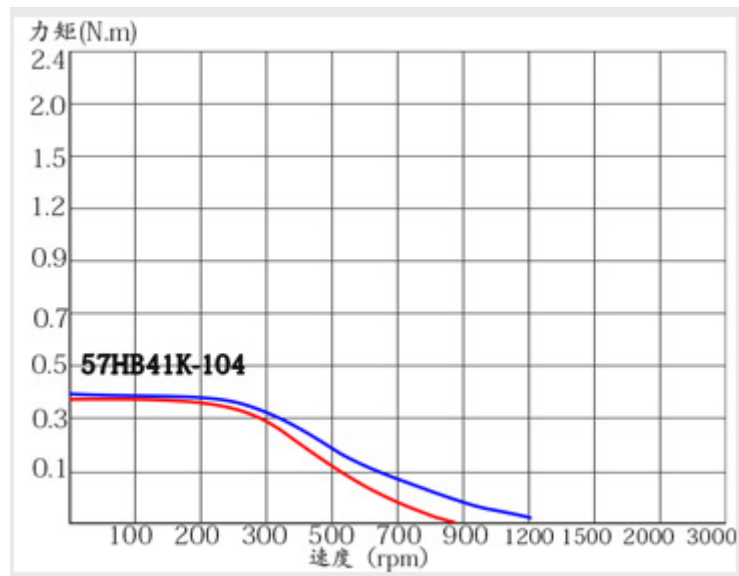


图 3-6 两相 57 步进电机的矩频特性（红色为 24V 驱动电压，蓝色为 36V 驱动电压）

3.2.2 蜗杆传动的设计

在设计蜗轮蜗杆传动系统时，遵循了 GB/T10085-1998 标准，选择了渐开线蜗杆（ZI）作为传动类型。考虑到系统所需动力较小且工作速度不高的特点，选择了 45 号钢作为蜗杆的主体材料。为了增强传动效率和耐磨性，蜗杆的螺旋齿面将经过淬火处理，以达到 45~55HRC 的齿面硬度。对于蜗轮，选用了铸锡磷青铜 ZCuSn10P1 作为材料，并采用金属膜铸造技术进行生产。为了降低成本，蜗轮的齿圈部分使用了青铜材质，其轮芯则采用了 HT100 灰铸铁。这些材料选择和制造方法旨在确保蜗杆传动系统的可靠性和性能，同时兼顾经济效益。

根据齿面接触疲劳强度设计

设计公式为：

$$m^2 d \geq K T_2 \left(\frac{480}{Z_2 [\sigma_H]} \right)^2 \quad (3-1)$$

式中 m ——表示蜗杆的模数；

d ——表示蜗杆的直径；

K ——表示载荷系数；

T_2 ——表示作用在蜗轮上的转矩；

Z_2 ——表示蜗轮齿数；

$[\sigma_H]$ ——表示许用接触应力。

(1) 蜗轮上的载荷 T_2

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/266231233151011004>