



中华人民共和国国家标准

GB/T 43200—2023

机器人一体化关节性能及试验方法

Performance and related test methods of mechatronic joints for robots

2023-09-07 发布

2024-04-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 性能 3

5 试验方法 4

 5.1 试验环境 4

 5.2 试验设备 4

 5.3 试验装置 5

 5.4 机械性能试验 5

 5.5 电气性能试验 7

 5.6 控制性能试验 9

 5.7 其他性能试验 14

附录 A（资料性） 关节组成示例 16

参考文献 17

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国机器人标准化技术委员会(SAC/TC 591)归口。

本文件起草单位：之江实验室、北京机械工业自动化研究所有限公司、苏州绿的谐波传动科技股份有限公司、浙江大学、节卡机器人股份有限公司、深圳市越疆科技股份有限公司、清能德创电气技术(北京)有限公司、杭州云深处科技有限公司、美的集团股份有限公司、上海电器设备检测所有限公司、上海非夕机器人科技有限公司、遨博(北京)智能科技股份有限公司、深圳市零差云控科技有限公司、杭州申昊科技股份有限公司、江苏开璇智能科技有限公司、浙江省计量科学研究院、中国计量大学、首都师范大学、成都瑞迪智驱科技股份有限公司、上海尚工机器人技术有限公司、深圳市同川科技有限公司、浙江环动机器人关节科技有限公司、重庆凯瑞机器人技术有限公司、库卡机器人(广东)有限公司、浙江钱塘机器人及智能装备研究有限公司。

本文件主要起草人：朱世强、谢安桓、华强、储建华、黄晓艳、王健、许雄、刘培超、杨书评、李超、陈文杰、张磊、王世全、朱志昆、贾玺庆、孔令雨、吴海腾、李健、陈元杰、王斌锐、邵振洲、李星、赵勇、沈晓龙、邵威、吴文镜、周伟刚、乔波、尹瑞多、张靖、李本旺、李建韬、陈晓。

机器人一体化关节性能及试验方法

1 范围

本文件规定了机器人一体化关节(以下简称关节)的性能并描述了试验方法。
本文件适用于协作机器人及腿足式机器人关节,其他机器人关节参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 10069.1—2006 旋转电机噪声测定方法及限值 第1部分:旋转电机噪声测定方法
- GB/T 16439—2009 交流伺服系统通用技术条件
- GB/T 35089—2018 机器人用精密齿轮传动装置 试验方法
- GB/T 39266—2020 工业机器人机械环境可靠性要求和测试方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

一体化关节 mechatronic joint

由电机、减速器、编码器、驱动器等组成的具有独立功能的驱动模块。

[来源:GB/T 38560—2020, 3.2, 有修改]

3.2

反向启动转矩 backdriving torque

关节处于非制动和断电条件下,缓慢扭转关节输出端至关节内电机启动瞬间所需的转矩。

[来源:GB/T 35089—2018, 3.3, 有修改]

3.3

许用弯矩载荷 allowable moment load

关节正常工作时,输出端承受的径向载荷和偏心轴向载荷的转矩矢量和的最大值。

[来源:GB/T 37718—2019, 3.14, 有修改]

3.4

启停允许转矩 allowable torque during acceleration or deceleration

关节在正常启动或停止过程中,输出端被允许的最大负载转矩。

[来源:GB/T 36491—2018, 3.1, 有修改]

3.5

转动惯量 joint inertia

相对于转轴旋转中心的转子惯性矩。

注:包含关节内电机、减速器、编码器等旋转部分惯性矩。

[来源:GB/T 39633—2020, 3.12]

3.6

机械刚度 **mechanical stiffness**

关节处于制动条件下,负载转矩和输出端切向弹性变形转角之比。

[来源:GB/T 30819—2014, 3.6, 有修改]

3.7

伺服静刚度 **static servo stiffness**

关节处于非制动和位置伺服模式条件下,负载转矩和输出端切向弹性变形转角之比。

3.8

背隙 **backlash**

关节处于制动条件下,输出端在±3%额定转矩作用下输出端的转角值之差。

[来源:GB/T 35089—2018, 3.7, 有修改]

3.9

额定静制动转矩 **static rated braking torque**

关节处于制动条件下,输出端可以承载的最大静态转矩。

[来源:GB/T 34114—2017, 3.12, 有修改]

3.10

额定动制动转矩 **dynamic rated braking torque**

关节在额定转速下,输出端可以承载的有效制动转矩。

[来源:GB/T 34114—2017, 3.13, 有修改]

3.11

安全转矩关断 **safety torque off**

关节运行时,当安全转矩关断功能使能时,关节关断主回路信号,且不再输出转矩。

[来源:GB/T 39633—2020, 3.3, 有修改]

3.12

允许最高转速 **maximum permitted speed**

在保证电气绝缘介电强度和机械强度条件下,关节所允许的最高输出转速。

3.13

瞬时最大转矩 **instantaneous maximum torque**

关节允许短时输出的最大转矩。

3.14

转矩常数 **torque constant**

关节在额定转速和额定转矩下,其输出转矩与电机线电流之比。

[来源:GB/T 30549—2014, 3.9, 有修改]

3.15

转矩密度 **torque density**

关节的额定转矩与关节质量之比。

3.16

功率密度 **power density**

关节的额定功率与关节质量之比。

3.17

转矩控制精度 **torque control accuracy**

关节转矩实际值与转矩目标值的偏差占转矩目标值的百分比。

[来源:GB/T 18488.1—2015, 3.11, 有修改]

3.18

旋转角度范围 range of rotation angle

关节能够运行的角度上限值与下限值。

3.19

转速波动系数 speed ripple coefficient

关节稳态运行时,关节瞬时转速最大值与最小值的差与关节瞬时转速最大值与最小值的和之比。

[来源:GB/T 16439—2009, 3.11, 有修改]

3.20

转矩波动系数 torque ripple coefficient

关节在恒定负载下稳态运行时,关节瞬时转矩最大值与最小值的差与关节瞬时转矩最大值与最小值的和之比。

[来源:GB/T 16439—2009, 3.10, 有修改]

4 性能

关节的性能如下,性能应符合产品标准的规定。

a) 机械性能:

- 1) 反向启动转矩;
- 2) 许用弯矩载荷;
- 3) 启停允许转矩;
- 4) 转动惯量;
- 5) 机械刚度;
- 6) 背隙;
- 7) 伺服静刚度;
- 8) 额定静制动转矩;
- 9) 额定动制动转矩;
- 10) 安全转矩关断。

b) 电气性能:

- 1) 额定功率;
- 2) 额定转速;
- 3) 额定转矩;
- 4) 效率;
- 5) 允许最高转速;
- 6) 瞬时最大转矩;
- 7) 转矩常数;
- 8) 转矩密度;
- 9) 功率密度。

c) 控制性能:

- 1) 绝对定位精度;
- 2) 重复定位精度;
- 3) 转矩控制精度;
- 4) 正阶跃输入位置响应时间;

- 5) 负阶跃输入位置响应时间;
 - 6) 正阶跃输入转速响应时间;
 - 7) 负阶跃输入转速响应时间;
 - 8) 正阶跃输入转矩响应时间;
 - 9) 负阶跃输入转矩响应时间;
 - 10) 位置频带宽度;
 - 11) 转速频带宽度;
 - 12) 转矩频带宽度;
 - 13) 旋转角度范围;
 - 14) 转速波动系数;
 - 15) 转矩波动系数。
- d) 其他性能:
- 1) 振动;
 - 2) 冲击;
 - 3) 噪声。

5 试验方法

5.1 试验环境

除有特殊规定外,所有试验均在下述条件下进行:

- 温度:15℃~35℃;
- 相对湿度:25%~75%;
- 大气压:86 kPa~106 kPa。

5.2 试验设备

5.2.1 试验电源

直流试验电源的电压为关节产品标准规定的额定电压 $\pm 10\%$ 范围内,纹波电压应不大于 $\pm 1\%$;交流试验电源 $(220 \pm 11)\text{V}$,频率 $(50 \pm 1)\text{Hz}$ 。

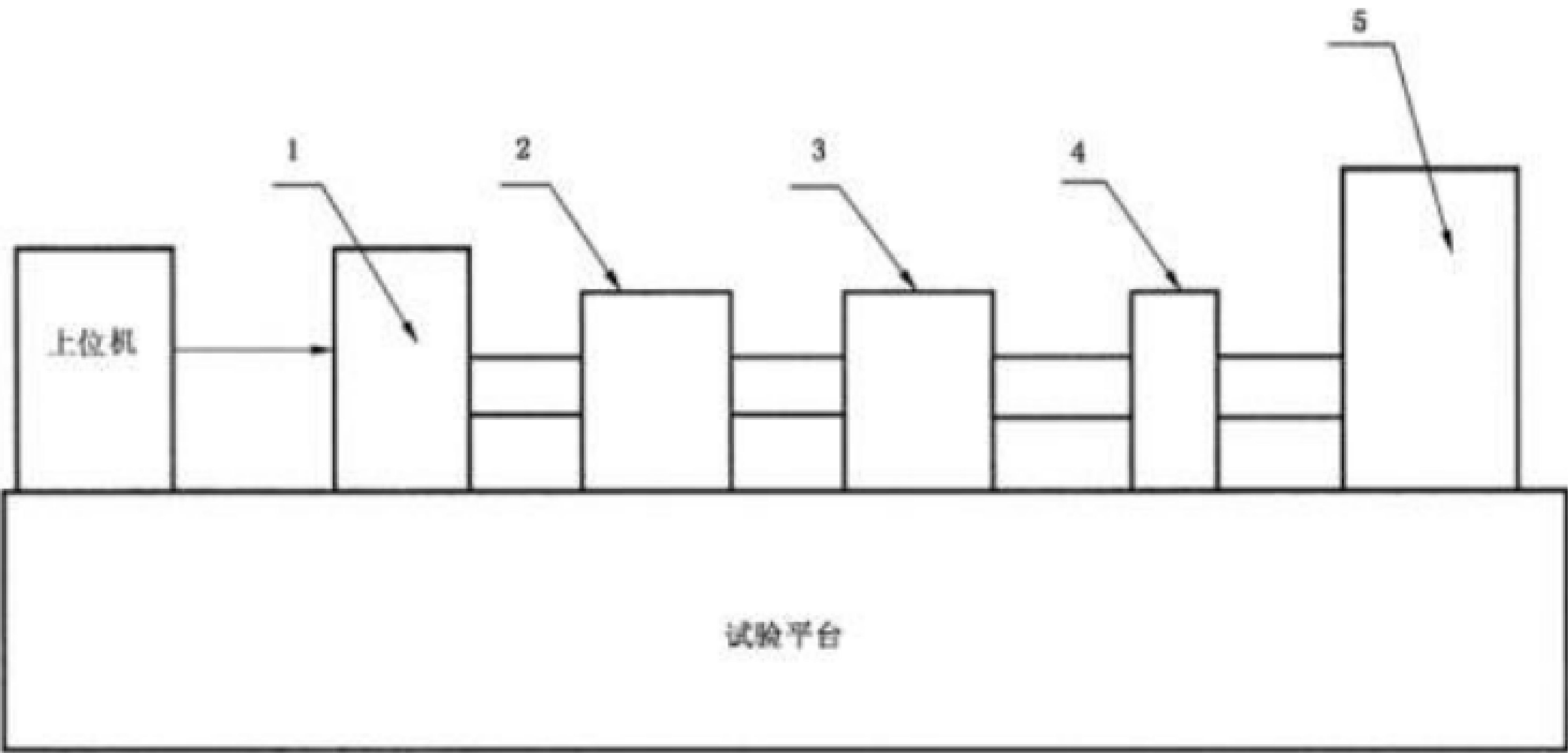
5.2.2 试验仪器

试验用仪器精度要求如下:

- 电压表,准确度不低于0.5级;
- 电流表,准确度不低于0.5级;
- 功率分析仪,准确度不低于0.5级;
- 角度传感器,准确度不低于 $\pm 2\text{ arcsec}$ (弧秒);
- 转速传感器,误差应小于转速量程的 $\pm 0.1\%$ 或小于1 r/min(转每分);
- 转矩传感器,准确度不低于0.5级;
- 温度测量仪,准确度不低于 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 测力计,准确度不低于1级;
- 砝码,准确度不低于M3等级;
- 电阻测量仪,准确度不低于0.2级;
- 声级计,准确度不低于 $\pm 1\text{ dB}$ 。

5.3 试验装置

除有规定外,试验装置见图 1。其中关节组成示例见附录 A,性能试验前应将关节组装并接线正常。



- 标引序号说明:
- 1——被测关节;
 - 2——角度传感器;
 - 3——转矩转速传感器;
 - 4——惯量盘;
 - 5——加载系统。

图 1 试验装置

5.4 机械性能试验

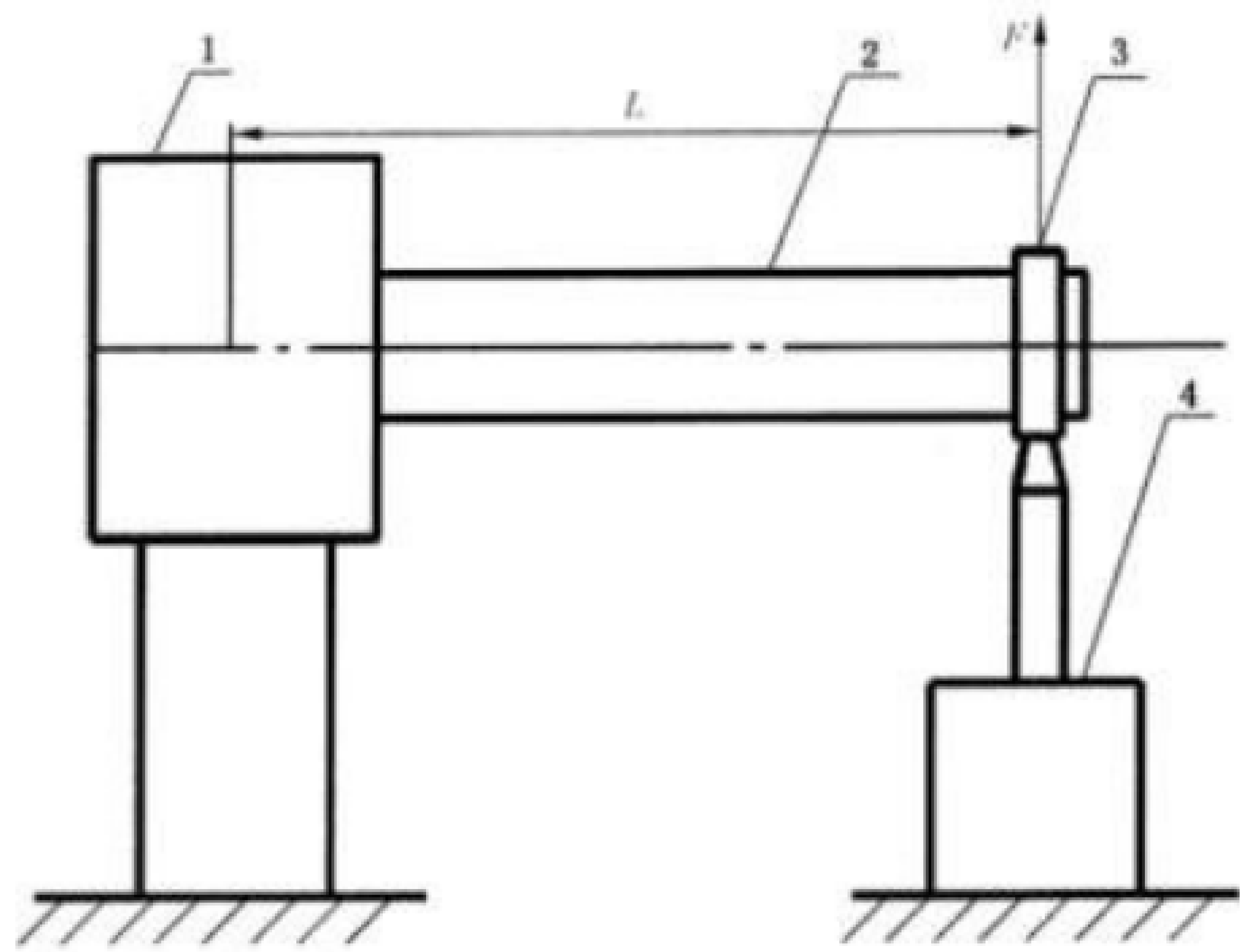
5.4.1 反向启动转矩

关节处于非制动及断电条件下,加载系统缓慢施加均匀增大的转矩,并实时采集输出端转矩值和关节内电机角度值,记录电机角度开始变化时对应的瞬时转矩值。在正反两个方向上间隔不同角度各进行 5 次试验,取 10 次试验中记录的最大值,即为反向启动转矩。

5.4.2 许用弯矩载荷

许用弯矩载荷试验装置见图 2,其中负载为梁柱,末端有加载装置。加载装置运行时能够加载/卸载,载荷稳定。

关节在空载、额定转速条件下运行,逐渐增加输出端弯矩至规定的许用弯矩载荷值,运行规定的时间后,检查关节是否运行正常。



- 标引说明：
- 1——关节；
 - 2——横梁；
 - 3——轴承；
 - 4——加载器；
 - L ——径向负载力臂；
 - F ——加载器提供的径向负载。

图2 许用弯矩载荷试验装置

5.4.3 启停允许转矩

关节在空载条件下运行至额定转速，逐渐施加输出端负载至规定的启停允许转矩值，持续运行 10 min，检查关节是否运行正常。

5.4.4 转动惯量

首先在空载条件下，控制关节运行至额定转速 n_N ，稳定后读取输出转矩值 T_{O1} 。然后控制关节停止，待关节静止后，对其按加速度 α （为提高精度， α 取最大值）进行恒定加速控制，至关节输出转速达到允许最高转速。读取加速过程中关节在转速 n_N 处对应的输出转矩 T_{O2} ，按公式(1)计算关节转子转动惯量：

$$J = (T_{O2} - T_{O1}) / \alpha \quad \dots\dots\dots (1)$$

- 式中：
- J ——关节转子转动惯量，单位为千克二次方米(kg·m²)；
 - T_{O1} ——额定转速下稳态转矩值，单位为牛米(N·m)；
 - T_{O2} ——额定转速下加速转矩值，单位为牛米(N·m)；
 - α ——加速度，单位为弧度每二次方秒(rad/s²)。
- 如需提高试验精度，应进行多次试验，并计算平均值。

5.4.5 机械刚度

按照 GB/T 35089—2018 中 8.1 的试验方法，关节处于制动条件下，输出端进行加载，首先负载从 0 开始沿一个方向缓慢加载到 T_N ，再反方向缓慢加载到 $-T_N$ ，再正方向缓慢加载到 T_N ，最后缓慢卸载，记录该过程中不同负载转矩对应的输出端转角变化值，绘制滞回曲线，见图 3。

滞回曲线中,负载转矩与相应弹性变形转角的比值,即图 3 中 b/a 为机械刚度,其中 b 为额定转矩的一半, a 为中线线上额定转矩对应的转角与 50%额定转矩对应的转角之差。

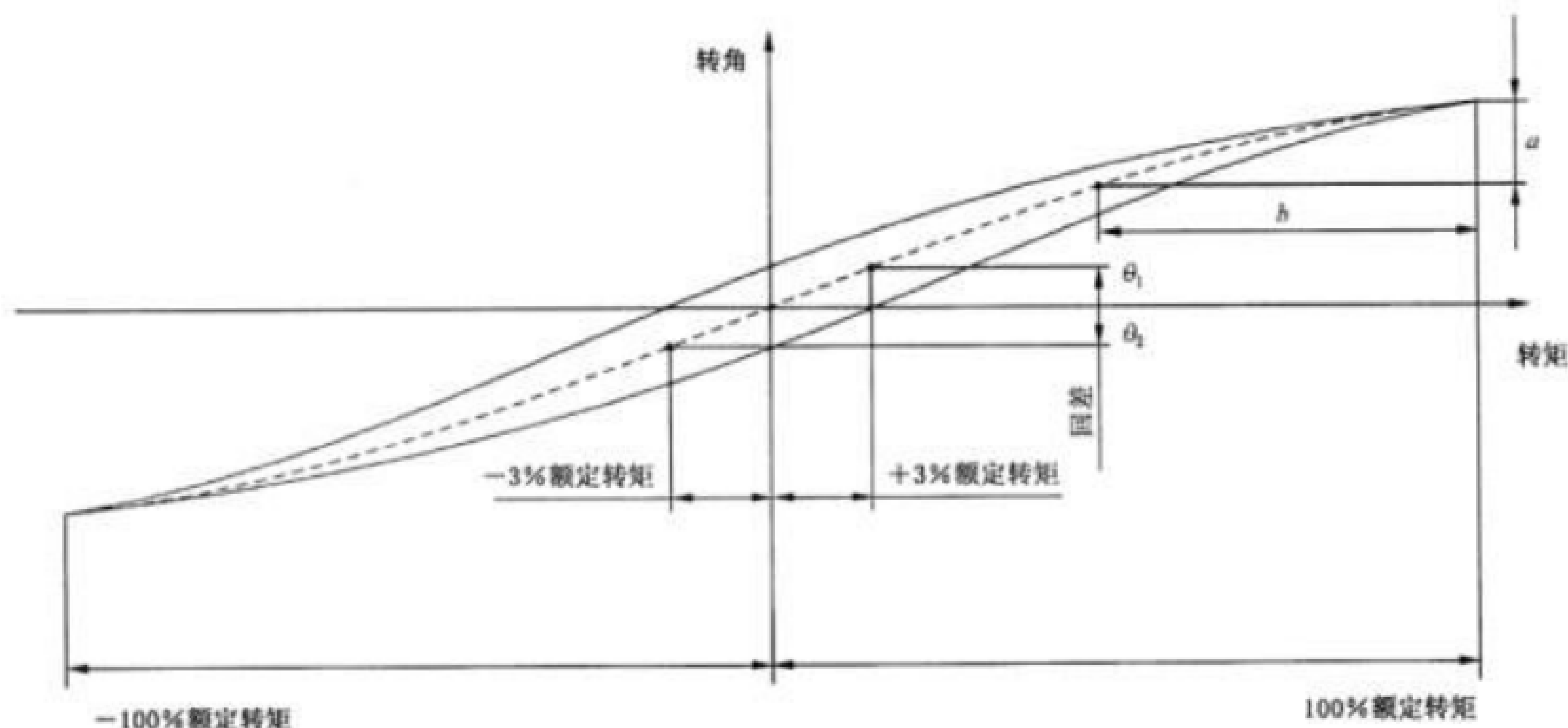


图 3 滞回曲线

5.4.6 背隙

关节背隙的试验方法与 5.4.5 的操作步骤相同。在图 3 中分别得出 +3% 额定转矩和 -3% 额定转矩下的转角中值 θ_1 和 θ_2 , θ_1 和 θ_2 的差值即为关节背隙。

5.4.7 伺服静刚度

关节工作在位置控制模式下,如有制动器应将制动器处于非制动条件,输出端进行加载,首先从 0 开始沿一个方向缓慢加载到 T_N ,再反方向缓慢加载到 $-T_N$,再正方向缓慢加载到 T_N ,最后缓慢卸载,记录该过程中不同负载转矩对应的输出端转角变化值,绘制滞回曲线,见图 3。

滞回曲线中,负载转矩与相应弹性变形转角的比值,即图 3 中 b/a 为伺服静刚度,其中 b 为额定转矩的一半, a 为中线线上额定转矩对应的转角与 50% 额定转矩对应的转角之差。

5.4.8 额定静制动转矩

关节处于制动条件下,缓慢均匀增大施加于关节输出端的转矩至规定的额定静制动转矩值,检测关节输出端角位移是否超过 $\pm 1^\circ$ 。

5.4.9 额定动制动转矩

关节在空载、额定转速下运行,逐步增加关节输出端的转矩至规定的额定动制动转矩值。待关节转速稳定后,内部制动器使能开启,观察关节是否能正常制动并停止转动。

5.4.10 安全转矩关断

关节正常运行时,使能安全转矩关断信号,判断关节是否停止,且输出轴进入自由状态。

5.5 电气性能试验

5.5.1 额定功率

在额定电压、空载条件下,关节运行至额定转速,在关节输出端逐渐增加负载至额定转矩,待关节运

行稳定后,按公式(2)计算关节额定功率:

$$P_N = T_N \cdot \left(\frac{2\pi}{60} \cdot n_N \right) \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- P_N ——额定功率,单位为瓦特(W);
- n_N ——额定转速,单位为转每分(r/min);
- T_N ——额定转矩,单位为牛米(N·m)。

5.5.2 额定转速

在额定电压、空载条件下,关节运行至额定转速,在关节输出端逐渐增加负载至额定转矩,待关节运行稳定后,记录对应的转速为额定转速。

5.5.3 额定转矩

在额定电压、空载条件下,关节运行至额定转速,在关节输出端逐渐增加负载至额定转矩,待关节运行稳定后,记录对应的转矩为额定转矩。

5.5.4 效率

在额定电压、空载条件下,关节运行至额定转速,在关节输出端逐渐增加负载至额定转矩,待关节温度平衡后,读取关节输入电压 U 和输入电流 I ,按公式(3)计算关节效率:

$$\eta = \frac{2\pi \cdot n_N \cdot T_N}{60 \cdot U \cdot I} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- η ——效率;
- n_N ——额定转速,单位为转每分(r/min);
- T_N ——额定转矩,单位为牛米(N·m);
- U ——输入电压,单位为伏特(V);
- I ——输入电流,单位为安培(A)。

5.5.5 允许最高转速

关节在额定电压、空载条件下,按照被测关节设计的允许最高转速运行 2 min;对于有旋转角度范围的关节,应在旋转角度范围内按照允许最高转速正反转 2 min。试验后检查零件是否有损坏,再次启动时是否能正常运行。

5.5.6 瞬时最大转矩

将关节输出端固定使其静止,关节电机输入规定的峰值电流,读取转矩传感器的转矩值即为瞬时最大转矩。

5.5.7 转矩常数

在额定电压、空载条件下,关节运行至额定转速,在关节输出端逐渐增加负载至额定转矩,待关节运行稳定后,测量电机线电流,按公式(4)计算转矩常数:

$$K_T = \frac{T_N}{I_m} \dots\dots\dots (4)$$

式中：
 K_T —— 转矩常数，单位为牛米每安培(N·m/A)；
 T_N —— 额定转矩，单位为牛米(N·m)；
 I_m —— 线电流，单位为安培(A)。

5.5.8 转矩密度

测量关节质量 m ，按公式(5)计算关节转矩密度：

$$K_D = \frac{T_N}{m} \dots\dots\dots (5)$$

式中：
 K_D —— 转矩密度，单位为牛米每千克(N·m/kg)；
 T_N —— 额定转矩，单位为牛米(N·m)；
 m —— 关节质量，单位为千克(kg)。

5.5.9 功率密度

测量关节质量 m ，按公式(6)计算关节功率密度：

$$K_P = \frac{P_N}{m} \dots\dots\dots (6)$$

式中：
 K_P —— 功率密度，单位为瓦特每千克(W/kg)；
 P_N —— 额定功率，单位为瓦特(W)；
 m —— 关节质量，单位为千克(kg)。

5.6 控制性能试验

5.6.1 绝对定位精度

绝对定位精度试验条件见表 1，其中 $P_1 \sim P_{20}$ 是均匀分布在被测关节运行范围内的位置。

表 1 绝对定位精度试验条件

负载	转速	位置	循环次数
额定负载	100%额定转速	$P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow \dots \rightarrow P_{19} \rightarrow P_{20}$	5
	50%额定转速		
	10%额定转速		

关节工作在位置控制模式下，对关节输出端施加额定负载，分别在 100%、50%、10% 额定转速的条件下，从 P_1 点开始，按照 $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow \dots \rightarrow P_{19} \rightarrow P_{20}$ 的顺序给定位置指令。单个循环结束后控制关节回到 P_1 点，再开始下一循环，重复循环 5 次，记录各个位置指令下关节的实到位置值。按公式(7)计算每个位置点的绝对定位精度，取最大值作为被测关节的绝对定位精度。

$$AP = \left| \theta - \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i}{n} \right| \dots\dots\dots (7)$$

式中：
 AP —— 绝对定位精度，单位为度(°)；
 θ —— 位置指令，单位为度(°)；

θ_i ——第 i 次循环实到位置值,单位为度($^{\circ}$);
 n ——循环次数。

5.6.2 重复定位精度

重复定位精度试验条件见表 2,其中 $P_1 \sim P_5$ 为均匀分布在被测关节最大工作范围内的位置。

表 2 重复位置精度试验条件

负载	转速	位置	循环次数
额定负载	100%额定转速	$P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow P_4 \rightarrow P_5$	30
	50%额定转速		
	10%额定转速		

关节工作在位置控制模式下,对关节输出端施加额定负载,分别在 100%、50%、10%额定转速的条件下,从 P_1 点开始,按照 $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow P_4 \rightarrow P_5$ 的顺序给定位指令。单个循环结束后控制关节回到 P_1 点,再开始下一循环,重复循环 30 次,记录各个位置指令下关节的实到位置值。按公式(8)计算每个位置点的重复定位精度,取最大值作为被测关节的重复定位精度。

$$RP = \pm 3 \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\theta_i - \frac{\sum_{j=1}^n \theta_j}{n} \right)^2} \dots\dots\dots (8)$$

式中:
RP ——重复定位精度,单位为度($^{\circ}$);
 θ_i ——第 i 次循环实到位置值,单位为度($^{\circ}$);
 θ_j ——第 j 次循环实到位置值,单位为度($^{\circ}$);
 n ——循环次数。

5.6.3 转矩控制精度

转矩控制精度试验条件见表 3,其中 $T_1 \sim T_{10}$ 为 10%~100%额定转矩范围内均匀取的 10 个不同转矩点。

表 3 转矩控制精度试验条件

转速	转矩	循环次数
额定转速	$T_1 \rightarrow T_2 \rightarrow T_3 \rightarrow \dots \rightarrow T_9 \rightarrow T_{10}$	3

关节工作在转矩控制模式下,加载系统带动关节转动至额定转速,按照 $T_1 \rightarrow T_2 \rightarrow T_3 \rightarrow \dots \rightarrow T_9 \rightarrow T_{10}$ 给定转矩指令,重复循环 3 次,记录各个转矩指令下关节的实际转矩值。按公式(9)计算各个转矩指令下的转矩控制精度,取最大值作为关节的转矩控制精度。

$$TR = \left| T - \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} \right| / T \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

式中:
TR ——转矩控制精度;
 T ——转矩指令,单位为牛米($N \cdot m$);
 T_i ——第 i 次实际转矩输出值,单位为牛米($N \cdot m$);

n ——循环次数。

5.6.4 正阶跃输入位置响应时间

关节工作在位置控制模式下,空载条件下或按照试验要求加载某一恒定负载。首先将关节控制到位置 0,待关节稳定后输入由 0 到 θ_N (除有特殊规定外, θ_N 取 360°)的正阶跃信号,并同步记录关节位置响应曲线。正阶跃输入位置响应曲线见图 4,读取从阶跃信号发出至关节位置达到 $0.9\theta_N$ 的时间,重复上述试验 5 次,取平均值即为关节的正阶跃输入位置响应时间。

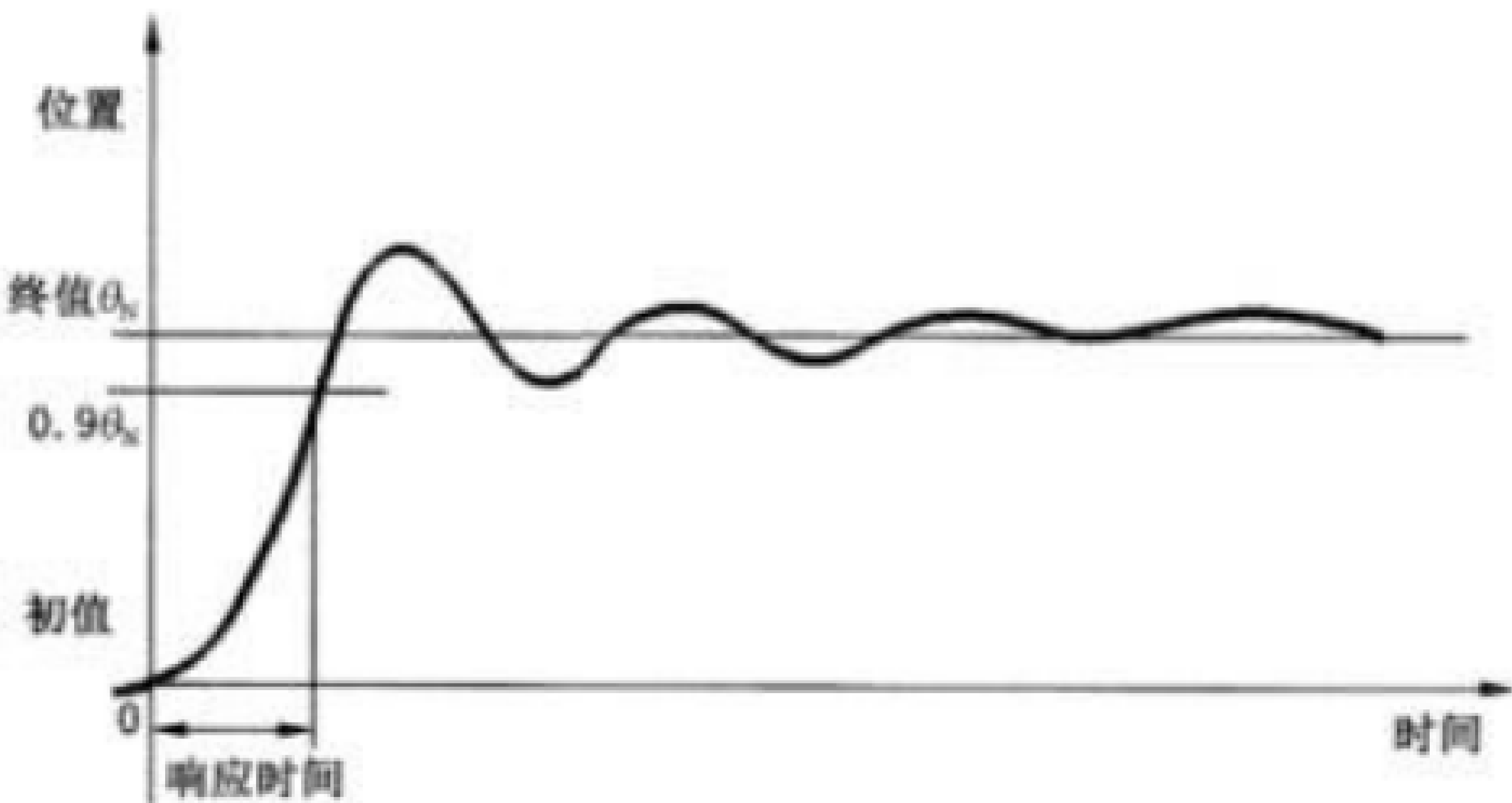


图 4 正阶跃输入位置响应曲线

5.6.5 负阶跃输入位置响应时间

关节工作在位置控制模式下,空载条件下或按照试验要求加载某一恒定负载。首先将关节控制到位置 θ_N (除有特殊规定外, θ_N 取 360°),待关节稳定后输入 θ_N 到 0 的负阶跃信号,并同步记录关节位置响应曲线。负阶跃输入位置响应曲线见图 5,读取从阶跃信号发出至关节位置达到 $0.1\theta_N$ 的时间,重复上述试验 5 次,取平均值即为关节的负阶跃输入位置响应时间。



图 5 负阶跃输入位置响应曲线

5.6.6 正阶跃输入转速响应时间

关节工作在转速控制模式下,空载条件下或按照试验要求加载某一恒定负载。关节从静止状态开始,输入 0 到额定转速 n_N 的正阶跃转速信号,并同步记录关节转速响应曲线。正阶跃输入转速响应曲线见图 6,读取从阶跃信号发出至关节转速达到 $0.9n_N$ 的时间,重复上述试验 5 次,取平均值即为关节的正阶跃输入转速响应时间。

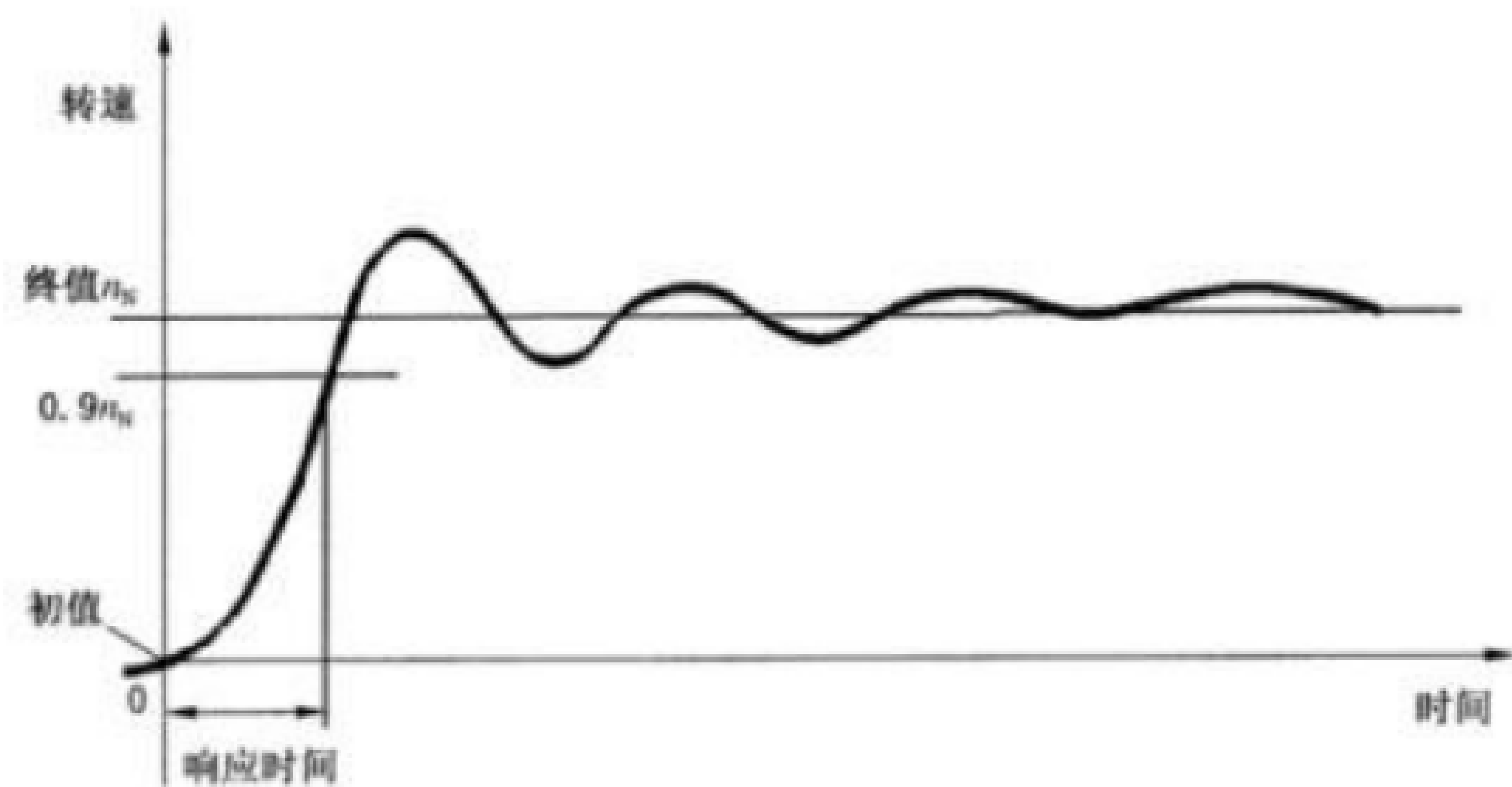


图6 正阶跃输入转速响应曲线

5.6.7 负阶跃输入转速响应时间

关节工作在转速控制模式下,空载条件下或按照试验要求加载某一恒定负载。首先将关节转速控制到 n_N ,待关节稳定后,输入 n_N 到 0 的负阶跃信号,并同步记录关节转速响应曲线。负阶跃输入转速响应曲线见图 7,读取从阶跃信号发出至关节转速达到 $0.1n_N$ 的时间,重复上述试验 5 次,取平均值即为关节的负阶跃输入转速响应时间。



图7 负阶跃输入转速响应曲线

5.6.8 正阶跃输入转矩响应时间

关节工作在转矩控制模式下,加载系统带动关节转动至额定转速下。关节输入由 0 到 T_N 的正阶跃信号,并同步记录关节转矩响应曲线。正阶跃输入转矩响应曲线见图 8,读取从阶跃信号发出至关节转矩达到 $0.9T_N$ 的时间,重复上述试验 5 次,取平均值即为关节的正阶跃输入转矩响应时间。

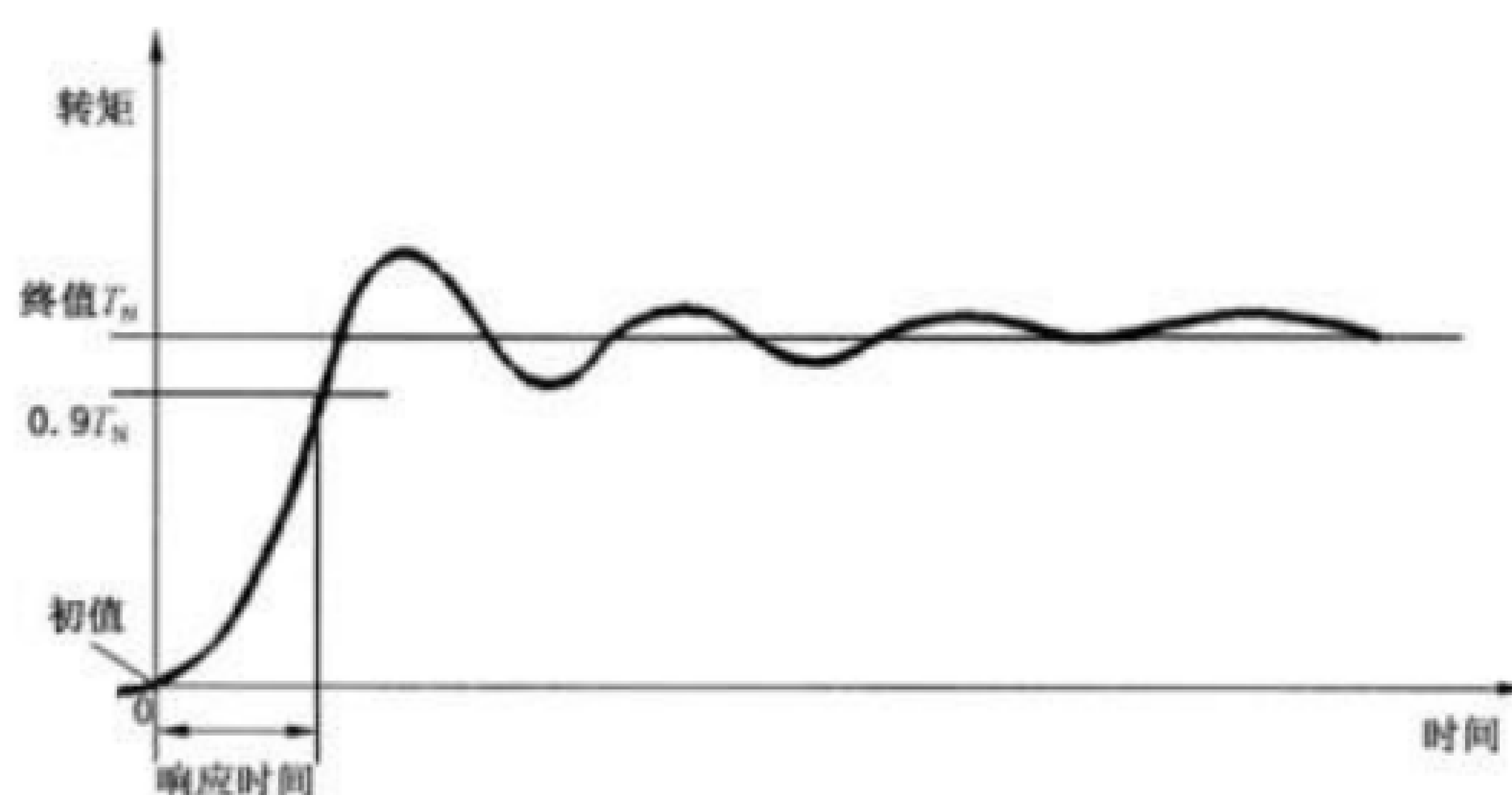


图8 正阶跃输入转矩响应曲线

5.6.9 负阶跃输入转矩响应时间

关节工作在转矩控制模式下,加载系统带动关节转动至额定转速下。首先将关节转矩控制到 T_N ,待关节稳定后,输入由 T_N 到 0 的负阶跃信号,并同步记录关节转矩响应曲线。负阶跃输入转矩响应曲线见图 9,读取从阶跃信号发出至关节转矩达到 $0.1T_N$ 的时间,重复上述试验 5 次,取平均值即为关节的负阶跃输入转矩响应时间。



图9 负阶跃输入转矩响应曲线

5.6.10 位置频带宽度

关节工作在位置控制模式下,空载条件下或按照试验要求加载某一恒定负载。首先将关节控制到位置 0,输入不同频率的正弦波位置指令,幅值为 θ_N (若无特殊情况, θ_N 取 360°),频率由低逐渐升高,并同步记录关节位置曲线。随着指令正弦波频率的提高,关节位置曲线相对指令正弦波曲线的相位滞后逐渐增大,而幅值逐渐减小。相位滞后增大至 90° 时的频率作为关节 90° 相移的位置频带宽度,幅值减小至 $1/\sqrt{2}$ 的频率作为关节的 -3 dB 位置频带宽度。

5.6.11 转速频带宽度

关节工作在转速控制模式下,空载条件下或按照试验要求加载某一恒定负载。关节输入不同频率的正弦波转速指令,幅值为额定转速,频率由低逐渐升高,并同步记录关节转速曲线。随着指令正弦波频率的提高,关节转速曲线相对指令正弦波曲线的相位滞后逐渐增大,而幅值逐渐减小。相位滞后增大

至 90°时的频率作为关节 90°相移的转速频带宽度,幅值减小至 $1/\sqrt{2}$ 的频率作为关节的-3 dB 转速频带宽度。

5.6.12 转矩频带宽度

关节工作在转矩控制模式下,加载系统带动关节转动至额定转速。关节输入不同频率的正弦波转矩指令,幅值为额定转矩,频率由低逐渐升高,并同步记录关节转矩曲线。随着指令正弦波频率的提高,关节转矩曲线相对指令正弦波曲线的相位滞后逐渐增大,而幅值逐渐减小。相位滞后增大至 90°时的频率作为关节 90°相移的转矩频带宽度,幅值减小至 $1/\sqrt{2}$ 的频率作为关节的-3 dB 转矩频带宽度。

5.6.13 旋转角度范围

关节工作在位置控制模式下,输入规定的最大位置指令和最小位置指令,读取关节实际转动的角度范围。

5.6.14 转速波动系数

按照 GB/T 16439—2009 中 5.14 给出的试验方法,关节工作在转速控制模式,在额定转速、空载条件下,记录关节转速曲线,找出最大转速与最小转速,按公式(10)计算关节的转速波动系数:

$$K_{fn} = \frac{n_{\max} - n_{\min}}{n_{\max} + n_{\min}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(10)$$

式中:
 K_{fn} ——转速波动系数;
 n_{\max} ——最大转速,单位为转每分(r/min);
 n_{\min} ——最小转速,单位为转每分(r/min)。

5.6.15 转矩波动系数

按照 GB/T 16439—2009 中 5.13 给出的试验方法,关节工作在转速控制模式下,在额定转速、额定负载条件下,持续试验并记录 1 min 时间以上的关节输出转矩值,找出最大转矩和最小转矩,按公式(11)计算关节的转矩波动系数:

$$K_{fT} = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\max} + T_{\min}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中:
 K_{fT} ——转矩波动系数;
 T_{\max} ——最大转矩,单位为牛米(N·m);
 T_{\min} ——最小转矩,单位为牛米(N·m)。

5.7 其他性能试验

5.7.1 振动

按 GB/T 39266—2020 中 5.2 规定的方法进行试验。

5.7.2 冲击

按 GB/T 39266—2020 中 5.3 规定的方法进行试验。

5.7.3 噪声

在额定电压、空载条件下,关节运行至额定转速,在关节输出端逐渐增加负载至额定转矩,待关节运行稳定后,按 GB/T 10069.1—2006 规定进行噪声测试。噪声试验点取 5 个,分布在关节前、后、左、右、上距关节 1 m 处,其中前、后、左、右 4 个试验点的高度与关节等高。

附录 A
(资料性)
关节组成示例

关节主要由电机、减速器、编码器和驱动器等组成,其组成示例见图 A.1。其中减速器输入端与电机连接,编码器检测电机轴和关节输出轴的旋转位置,驱动器驱动电机运动。

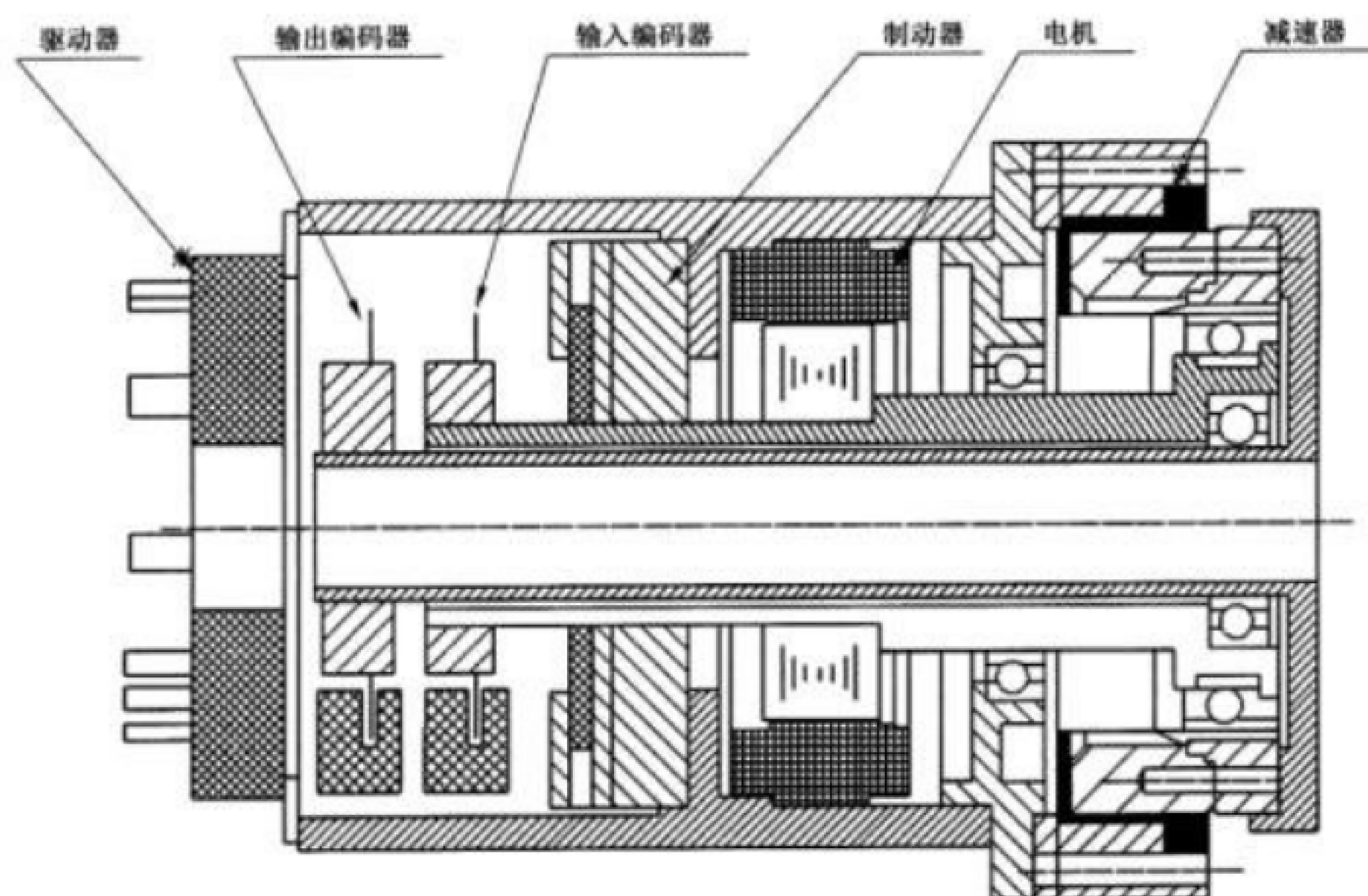


图 A.1 关节组成示例

参 考 文 献

- [1] GB/T 755—2019 旋转电机 定额和性能
 - [2] GB/T 5171.21—2016 小功率电动机 第21部分:通用试验方法
 - [3] GB/T 12642—2013 工业机器人 性能规范及其试验方法
 - [4] GB/T 18488.2—2015 电动汽车用驱动电机系统 第2部分:试验方法
 - [5] GB/T 21418—2008 永磁无刷电动机系统通用技术条件
 - [6] GB/T 30549—2014 永磁交流伺服电动机 通用技术条件
 - [7] GB/T 30819—2014 机器人用谐波齿轮减速器
 - [8] GB/T 34114—2017 电动机用电磁制动器通用技术条件
 - [9] GB/T 36491—2018 机器人用摆线针轮行星齿轮传动装置 通用技术条件
 - [10] GB/T 37165—2018 机器人用精密摆线针轮减速器
 - [11] GB/T 37718—2019 机器人用精密行星摆线减速器
 - [12] GB/T 38560—2020 工业机器人的通用驱动模块接口
 - [13] GB/T 39633—2020 协作机器人用一体式伺服电动机系统通用规范
-