

自超滑空心杯电机 产品手册

长寿命 | 高功率密度 | 精度控制



Friction X 清力



Friction X 清力

——自超滑微特电机传动控制解决方案供应商——

公司简介 ABOUT US

Friction X • 深圳清力技术有限公司

• 国家级高新技术企业 • 国家级科技型中小企业 • 省级专精特新中小企业

清力公司电机团队深耕高端微型驱动及传动控制领域，核心技术为自主研发的自超滑技术。团队现有 200 余人，覆盖研发、工艺、生产、品控全流程。有刷空心杯电机额定工况寿命已突破 8000h，批量产品 2000h 寿命合格率超 99%。公司以 14 款 6-28mm 有刷 / 无刷电机为基础，接受各类定制项目，适配人形机器人灵巧手及关节驱动、高端医疗器械与手术设备、工业自动化与精密检测装置。同时在微型无人机、航天航空、石油勘探等领域的高端精密器械中也发挥关键作用。产线配套多台全自动绕线机及精密检测设备，年产能 50 万台，支持定制化打样及批量供货。期待与各行业伙伴深度合作。

20余年

科研团队潜心研究

45%

发表论文占国际相关
顶刊文献

218+

申请国内外专利

15+

博士人才



2024年
质量管理体系认证证书



2024年
深圳市专精特新中小企业认证



2024年
深圳市超滑技术重点实验室



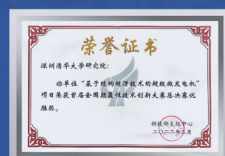
2024年
深圳市微纳制造产业促进会
副会长单位



2023年
高新技术企业证书



2024年
第四届BEYOND国际科技创新博览会
Beyond Awards消费科技创新大奖



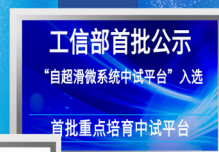
2022年
首届全国超滑技术
创新大赛
总决赛最高奖项



2017年
国家自然科学基金二等奖



2025年
2025第二十四届
"IOTE金奖"创新产品



2025年
自超滑微系统中试平台
入选国家级首批重点
培育中试平台



2026年
中国合格评定国家认可委员会
认可决定书

CONTENTS 目录

- 01 自超滑技术介绍 01**
 - 核心技术——自超滑根技术应用 01
 - 自超滑空心杯电机驱动创新 02
 - 自超滑空心杯电机一站式定制 03
- 02 自超滑空心杯电机 04**
 - Φ6mm 型号空心杯电机 05
 - Φ8mm 型号空心杯电机 07
 - Φ10mm 型号空心杯电机 09
 - Φ12mm 型号空心杯电机 11
 - Φ16mm 型号空心杯电机 13
 - Φ22mm 型号空心杯电机 15
 - Φ28mm 型号空心杯电机 17
 - Φ6-28mm 型号行星减速箱 19
- 03 不同类型编码器 & 控制器与电机搭配方案 · 26**
 - 不同方案对比 27
 - 编码器与空心杯有刷电机搭配方案 29
 - 磁性增量式编码器推荐 31
 - 磁性绝对式编码器推荐 32
 - 有感 / 无感 FOC 控制器系列 33
- 04 合作模式介绍与所需信息 34**

核心技术——自超滑根技术应用

自超滑根技术

- 为微尺度的摩擦磨损问题带来革命性解决方案



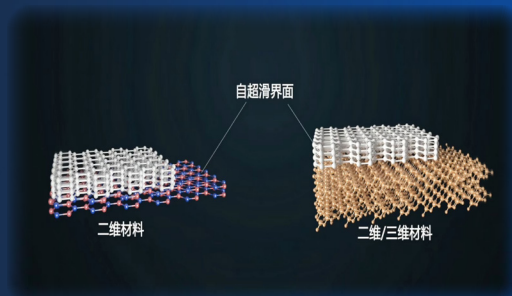
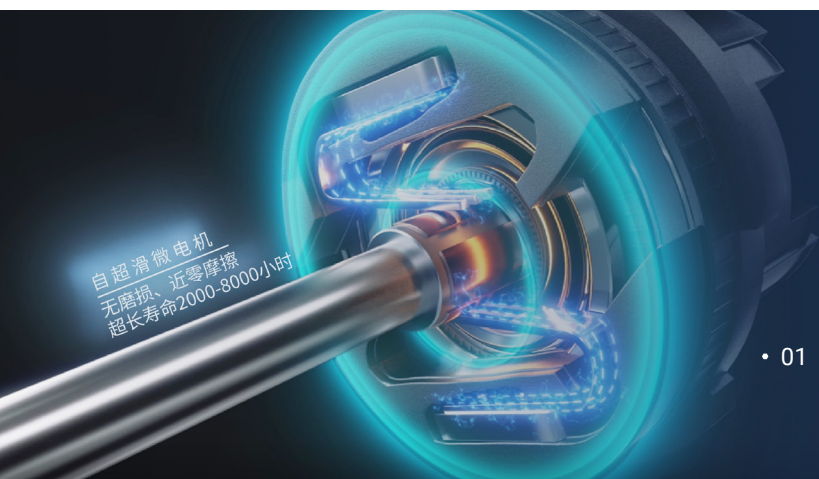
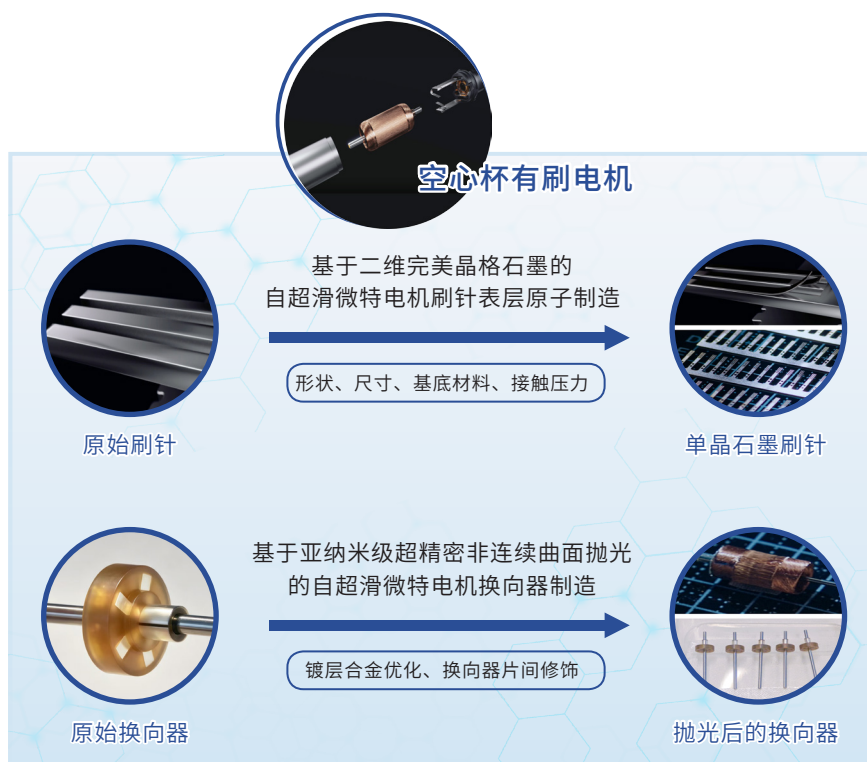
已成功研发世界上最大尺度自超滑材料

技术定义

自超滑技术是指在无润滑剂条件下两个固体表面接触滑动时，磨损接近为零、静摩擦接近为零、摩擦系数近乎为零的物理状态，同时具有超高导电与导热等特性。

技术价值

有望从底层原理上突破微纳尺度的摩擦磨损、能量损耗与热管理等限制，成为支撑下一代产业革命的根技术。



➤ 自超滑空心杯电机驱动创新

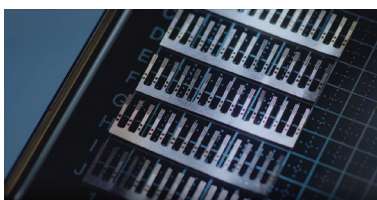
“重新定义”有刷电机运行寿命

• 传统空心杯有刷电机：

广泛用于微小、精密的控制器件中，但是由于换向器和刷针长期接触存在磨损严重、噪音大、效率低、部分产品轴承磨损的问题，产业应用逐渐被成本更高的无刷电机替代。

• 自超滑空心杯电机：

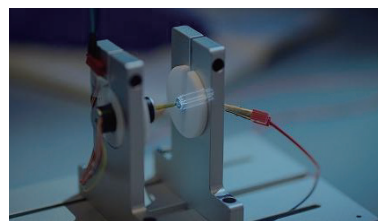
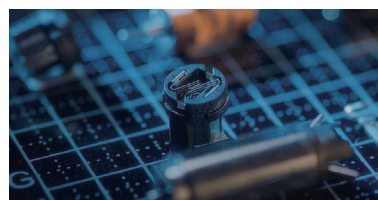
基于自超滑技术的应用，实现了换向器与刷针低磨损、低接触电阻、低噪音的特点，具有稳定的全接触状态，有着优良的电接触，可实现接近无磨损、近零摩擦、超长寿命，解决传统有刷微电机的电刷磨损和机械磨损痛点，可将寿命提升至数千小时，可大幅降低电机的量产成本。



刷针示意图



结构示意图



样机测试

• 应用领域

人形机器人灵巧手及关节驱动、高端医疗器械与手术设备、工业自动化与精密检测装置。同时在微型无人机、航天航空、石油勘探等领域的高端精密器械中也发挥关键作用。



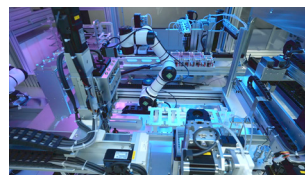
人形机器人灵巧手



智能医疗器械



卫星探测仪



工业自动化设备

➤ 自超滑空心杯电机一站式定制

• 清力技术产品服务

产品特点：以空心杯电机为核心，结合先进的传动及控制系统解决方案，适用于对动态响应与运动精度要求高，寿命要求高，追求极致成本和性价比的场景。

可提供服务：已规划直径 6~28mm 的产品矩阵，可提供电机 + 减速机 + 编码器的灵活搭配和定制化服务。

• “自超滑 +” 核心优势

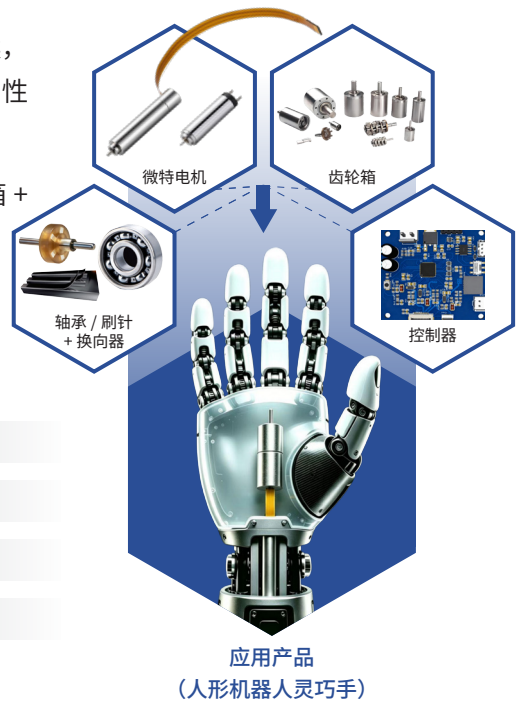
自超滑材料应用在传统电机的刷针和换向器界面处，可达到以下效果：

高功率密度：接触电阻小，电机效率和功率密度提高；

长寿命：电机寿命已突破 8000h, 达到国际领先水平（有刷电机）；

低噪音：摩擦减小，从物理层面降低运行噪音；

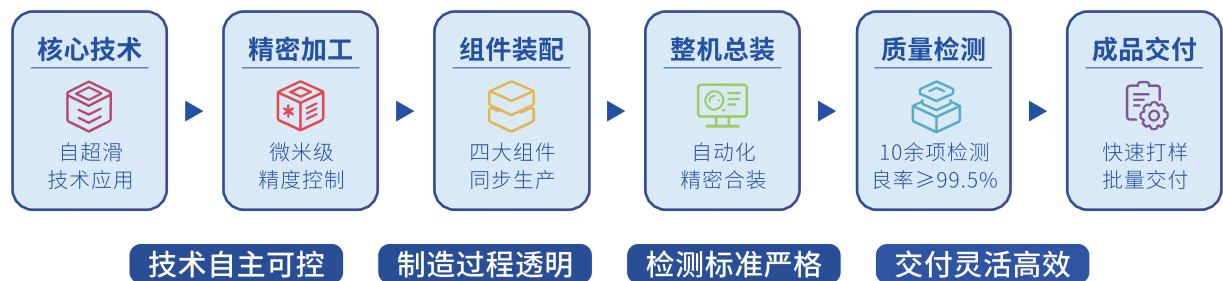
高精度控制：运行平稳，配合编码器可实现精准位置与速度控制。

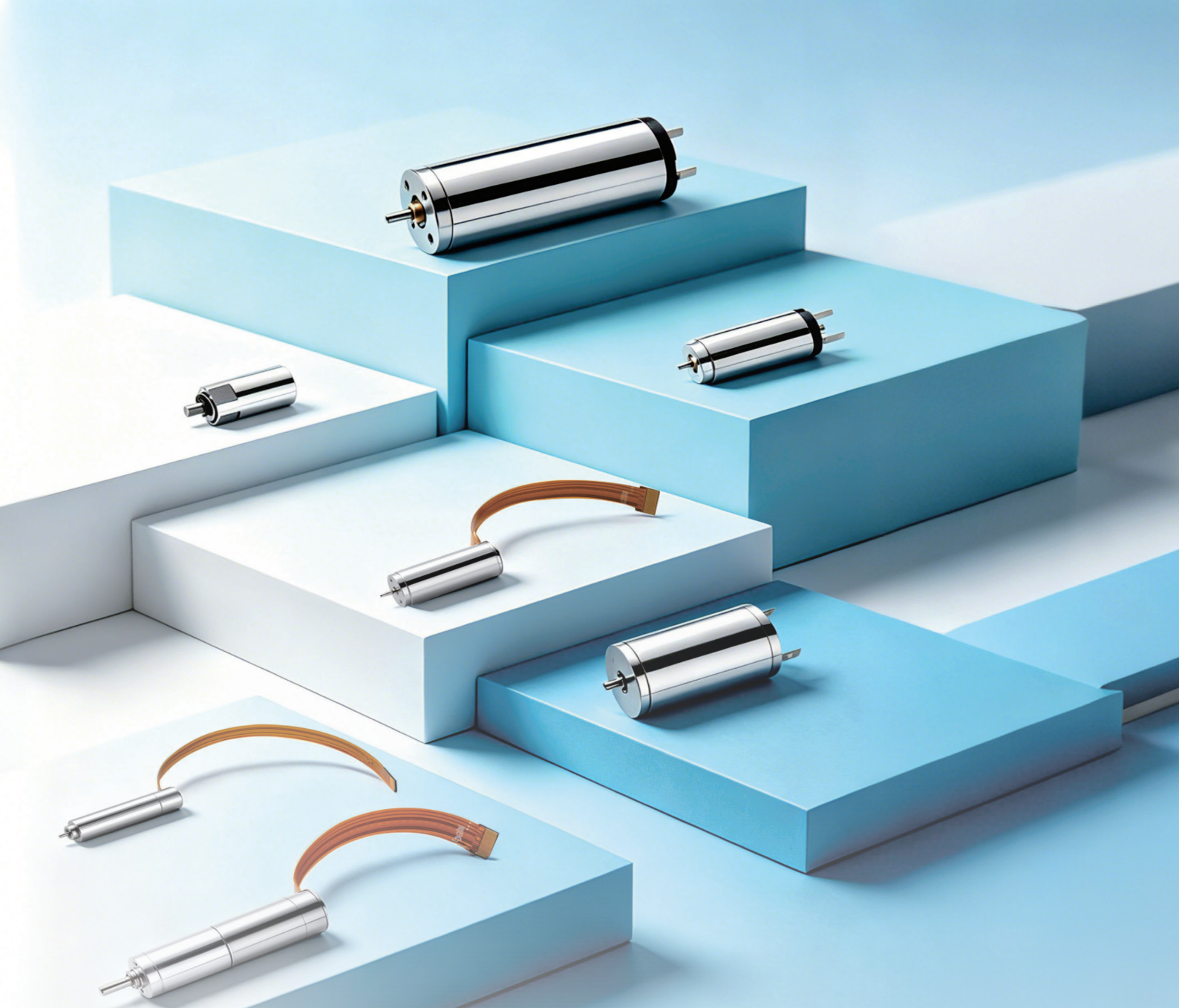


• 基本参数

指标	自超滑空心杯电机
功率密度	80W/Kg~150W/Kg
电压	3~48V，可定制
电机直径	6~28mm，可定制
额定转速	>5000rpm，可定制

从核心技术到成品交付的关键环节



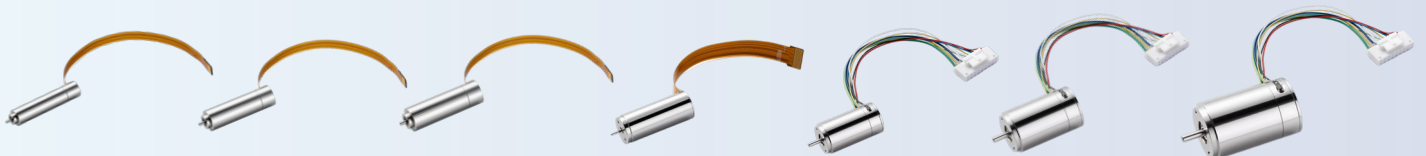


自超滑空心杯电机

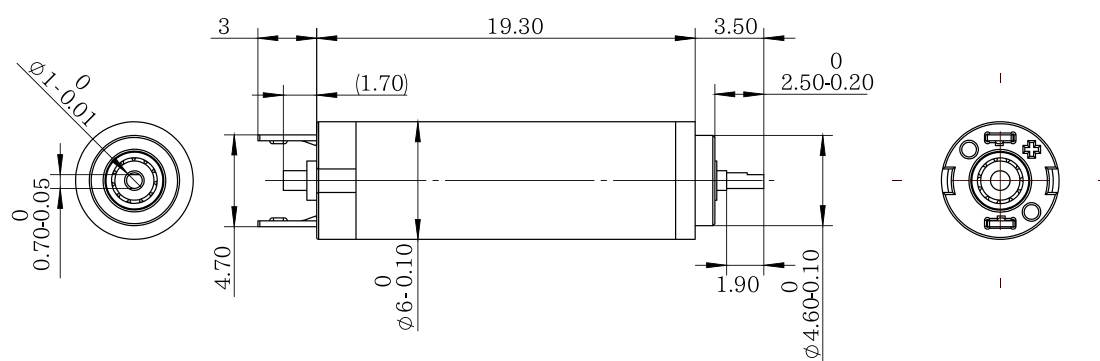
自超滑有刷空心杯电机系列



自超滑无刷空心杯电机系列



Φ6mm 有刷空心杯电机



电机参数

1	额定电压	V	6
2	空载转速	rpm	32000
3	空载电流	A	0.04
4	额定转速	rpm	24000
5	额定转矩	mNm	0.35
6	额定电流	A	0.26
7	额定功率	W	0.88
8	额定工况寿命	h	≥ 2000
9	堵转电流	A	0.80
10	堵转扭矩	mNm	1.5
11	最大效率	%	58

电机常数

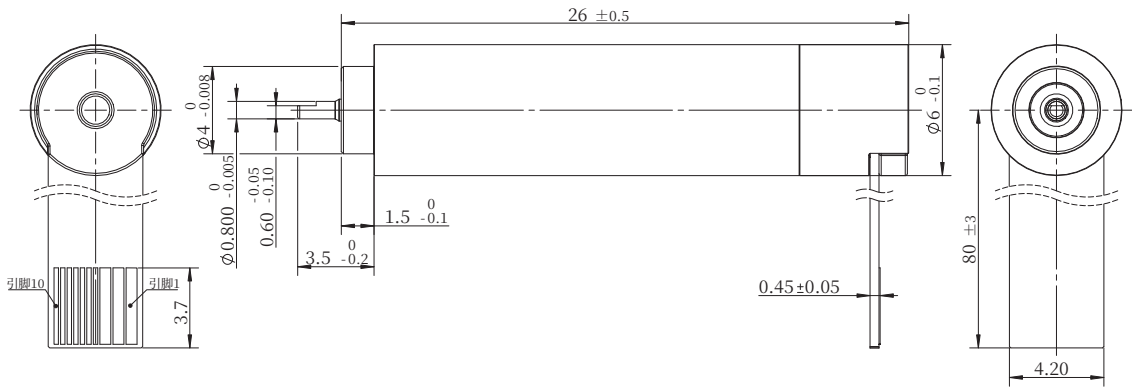
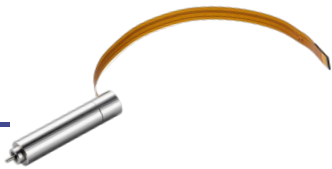
13	转矩常数	mNm/A	1.8
14	转速常数	rpm/V	5300
15	功率密度	W/g	0.35
16	质量	g	2.5
17	换向器片数	/	5
18	磁极对数	/	1
19	轴承	深沟滚珠	
20	磁体	烧结 NdFeB	
21	转轴	30Cr13	

配置

22	减速比	级数（1-4）可配置（详情见 P19）
23	编码器类型	磁性编码器
24	每圈脉冲数	1024/4096

SSLW0626S101

Φ6mm 无刷空心杯电机



电机参数

1	额定电压	V	12
2	空载转速	rpm	63400
3	空载电流	A	0.05
4	额定转速	rpm	46200
5	额定转矩	mNm	0.45
6	额定电流	A	0.4
7	额定功率	W	2.18
8	堵转扭矩	mNm	1.0
9	堵转电流	A	0.8
10	最大效率	%	50

电机常数

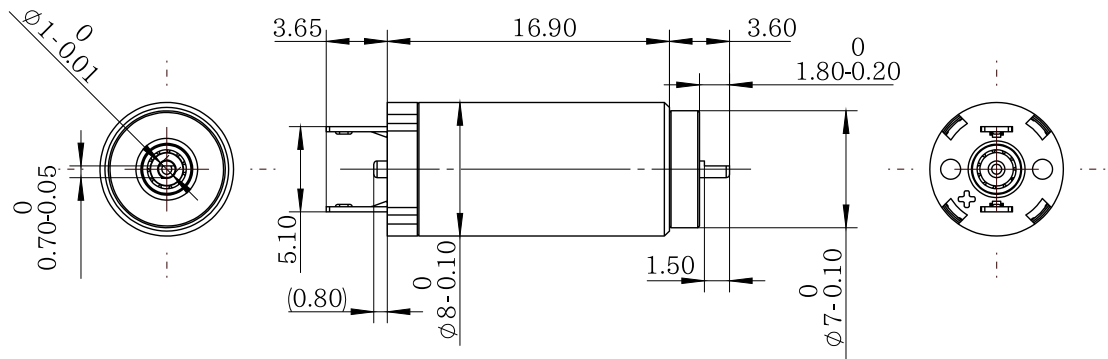
11	转矩常数	mNm/A	1.25
12	转速常数	rpm/V	5283
13	功率密度	W/g	0.73
14	电机磁极对数	mNm	1
15	质量	g	3
16	轴承	深沟滚珠	
17	磁体	烧结 NdFeB	
18	转轴	30Cr13	

配置

19	减速比	级数（1-4）可配置（详情见 P19）	
20	编码器类型	磁性编码器	
21	每圈脉冲数	1024/4096	

SSLB0816S101

Φ8mm 有刷空心杯电机



电机参数

1	额定电压	V	12
2	空载转速	rpm	13000
3	空载电流	A	0.005
4	额定转速	rpm	5500
5	额定转矩	mNm	0.60
6	额定电流	A	0.08
7	额定功率	W	0.35
8	额定工况寿命	h	≥ 2000
9	堵转电流	A	0.15
10	堵转扭矩	mNm	1
11	最大效率	%	65

电机常数

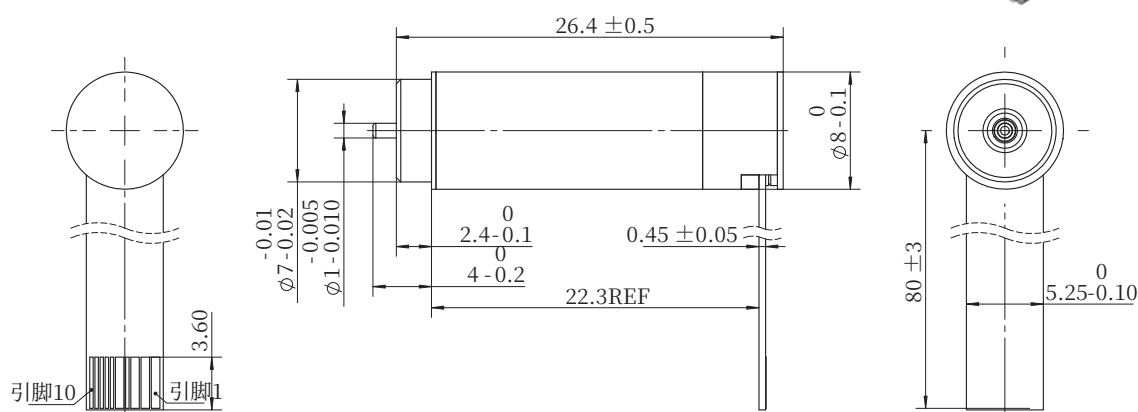
12	转矩常数	mNm/A	8.2
13	转速常数	rpm/V	1100
14	功率密度	W/g	0.08
15	质量	g	4.5
16	换向器片数	/	5
17	磁极对数	/	1
18	轴承	深沟滚珠	
19	磁体	烧结 NdFeB	
20	转轴	30Cr13	

配置

21	减速比	级数 (1-5) 可配置 (详情见 P20)	
22	编码器类型	磁性编码器	
23	每圈脉冲数	1024/4096	

SSLW0826S101

Φ8mm 无刷空心杯电机



电机参数

1	额定电压	V	12
2	空载转速	rpm	38500
3	空载电流	A	0.08
4	额定转速	rpm	25500
5	额定转矩	mNm	0.80
6	额定电流	A	0.50
7	额定功率	W	2.14
8	堵转扭矩	mNm	3.0
9	堵转电流	A	1.7
10	最大效率	%	56

电机常数

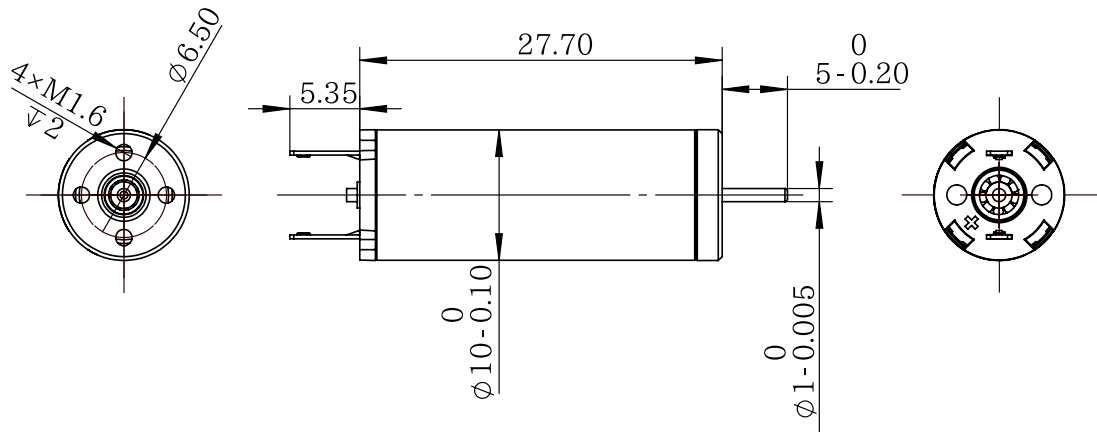
11	转矩常数	mNm/A	1.75
12	转速常数	rpm/V	3208
13	功率密度	W/g	0.31
14	电机磁极对数	mNm	1
15	质量	g	7
16	轴承	深沟滚珠	
17	磁体	烧结 NdFeB	
18	转轴	30Cr13	

配置

19	减速比	级数 (1-5) 可配置 (详情见 P20)	
20	编码器类型	磁性编码器	
21	每圈脉冲数	1024/4096	

SSLB1027S101

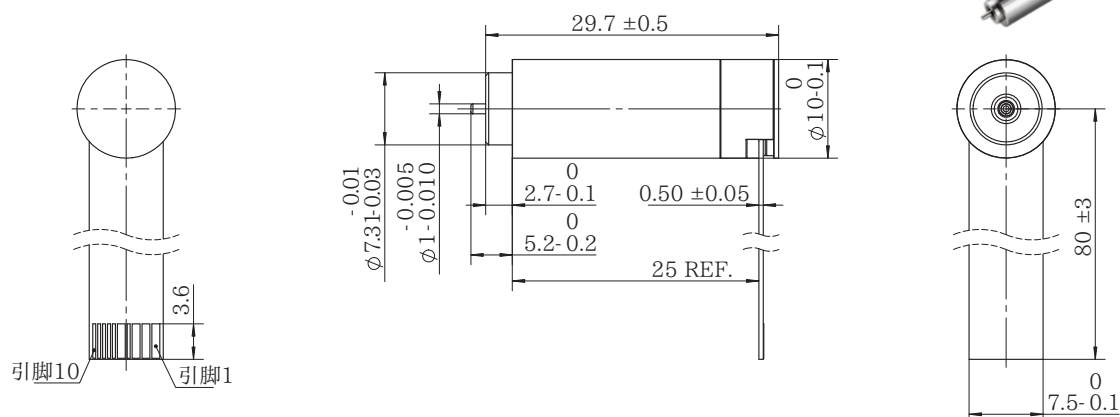
Φ10mm 有刷空心杯电机



电机参数			
1	额定电压	V	12
2	空载转速	rpm	11200
3	空载电流	A	0.01
4	额定转速	rpm	7000
5	额定转矩	mNm	1.60
6	额定电流	A	0.17
7	额定功率	W	1.2
8	额定工况寿命	h	≥ 2000
9	堵转电流	A	0.40
10	堵转扭矩	mNm	4.0
11	最大效率	%	87
电机常数			
12	转矩常数	mNm/A	10.0
13	转速常数	rpm/V	960
14	功率密度	W/g	0.11
15	质量	g	10.5
16	换向器片数	/	7
17	磁极对数	/	1
18	轴承	深沟滚珠	
19	磁体	烧结 NdFeB	
20	转轴	30Cr13	
配置			
21	减速比	级数（1-5）可配置（详情见 P21）	
22	编码器类型	磁性编码器	
23	每圈脉冲数	1024/4096	

SSLW1030S101

Φ10mm 无刷空心杯电机



电机参数

1	额定电压	V	12
2	空载转速	rpm	32500
3	空载电流	A	0.09
4	额定转速	rpm	26500
5	额定转矩	mNm	1.50
6	额定电流	A	0.7
7	额定功率	W	4.16
8	堵转扭矩	mNm	6.5
9	堵转电流	A	2.8
10	最大效率	%	68

电机常数

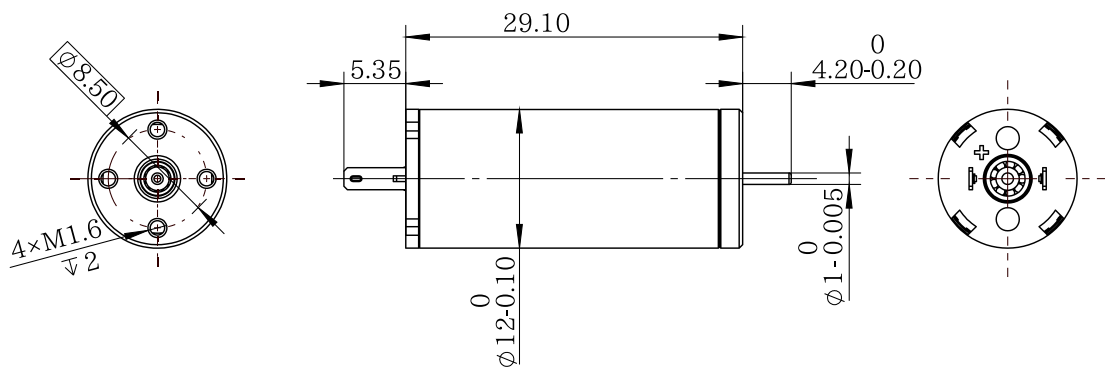
11	转矩常数	mNm/A	2.3
12	转速常数	rpm/V	2500
13	功率密度	W/g	0.35
14	电机磁极对数	mNm	2
15	质量	g	12
16	轴承	深沟滚珠	
17	磁体	烧结 NdFeB	
18	转轴	30Cr13	

配置

19	减速比	级数 (1-5) 可配置 (详情见 P21)	
20	编码器类型	磁性编码器	
21	每圈脉冲数	1024/4096	

SSLB1229S101

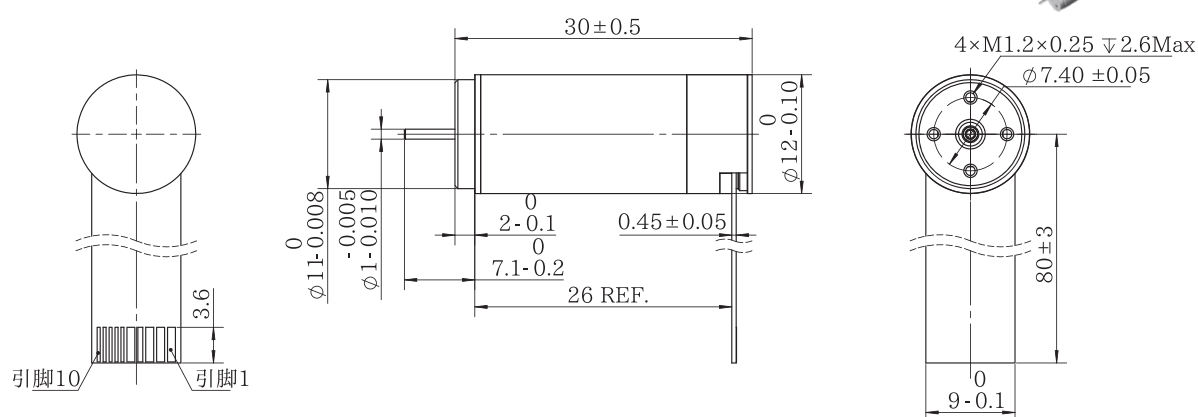
Φ12mm 有刷空心杯电机



电机参数			
1	额定电压	V	12
2	空载转速	rpm	9700
3	空载电流	A	0.01
4	额定转速	rpm	6000
5	额定转矩	mNm	3.00
6	额定电流	A	0.26
7	额定功率	W	1.9
8	额定工况寿命	h	≥ 2000
9	堵转电流	A	0.70
10	堵转扭矩	mNm	8
11	最大效率	%	81
电机常数			
12	转矩常数	mNm/A	12
13	转速常数	rpm/V	740
14	功率密度	W/g	0.12
15	质量	g	16.5
16	换向器片数	/	7
17	磁极对数	/	1
18	轴承	深沟滚珠	
19	磁体	烧结 NdFeB	
20	转轴	30Cr13	
配置			
21	减速比	级数（1-5）可配置（详情见 P22）	
22	编码器类型	磁性编码器	
23	每圈脉冲数	1024/4096	

SSLW1230S101

Φ12mm 无刷空心杯电机



电机参数

1	额定电压	V	12
2	空载转速	rpm	32800
3	空载电流	A	0.09
4	额定转速	rpm	28000
5	额定转矩	mNm	2.40
6	额定电流	A	0.80
7	额定功率	W	7.04
8	堵转扭矩	mNm	24
9	堵转电流	A	6.9
10	最大效率	%	70

电机常数

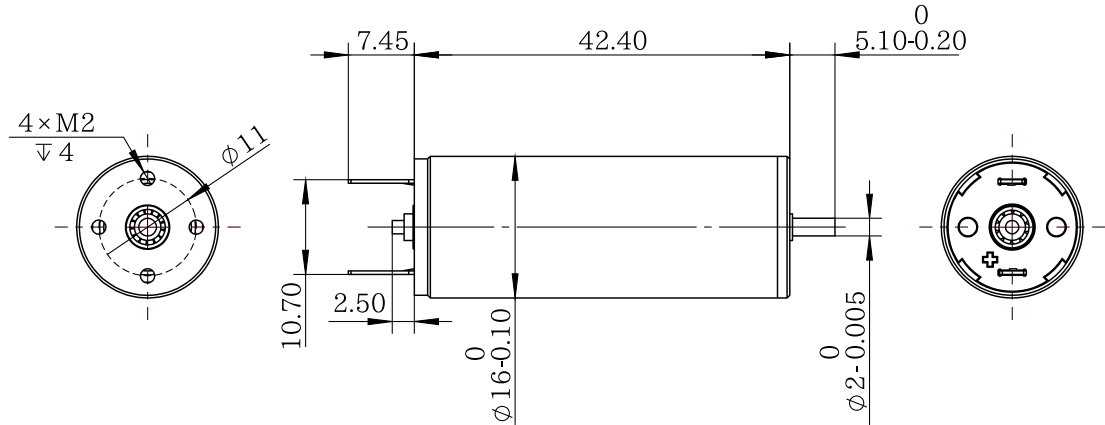
11	转矩常数	mNm/A	3.50
12	转速常数	rpm/V	2733
13	功率密度	W/g	0.39
14	电机磁极对数	mNm	1
15	质量	g	18
16	轴承	深沟滚珠	
17	磁体	烧结 NdFeB	
18	转轴	30Cr13	

配置

19	减速比	级数 (1-5) 可配置 (详情见 P22)	
20	编码器类型	磁性编码器	
21	每圈脉冲数	1024/4096	

SSLB1642S101

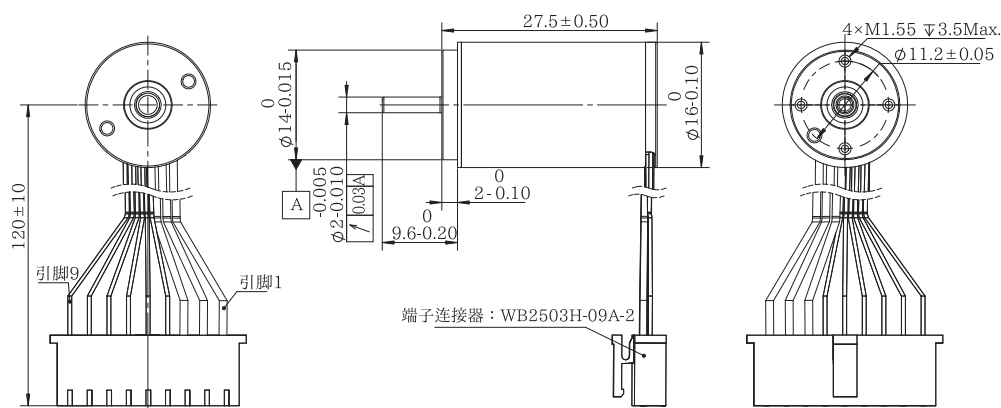
Φ16mm 有刷空心杯电机



电机参数			
1	额定电压	V	12
2	空载转速	rpm	6250
3	空载电流	A	0.015
4	额定转速	rpm	4350
5	额定转矩	mNm	10.80
6	额定电流	A	0.65
7	额定功率	W	4.9
8	额定工况寿命	h	≥ 2000
9	堵转电流	A	2.00
10	堵转扭矩	mNm	35.0
11	最大效率	%	77
电机常数			
12	转矩常数	mNm/A	17.0
13	转速常数	rpm/V	510
14	功率密度	W/g	0.10
15	质量	g	48
16	换向器片数	/	7
17	磁极对数	/	1
18	轴承	深沟滚珠	
19	磁体	烧结 NdFeB	
20	转轴	30Cr13	
配置			
21	减速比	级数（1-5）可配置（详情见 P23）	
22	编码器类型	磁性编码器	
23	每圈脉冲数	1024/4096	

SSLW1628S101

Φ16mm 无刷空心杯电机



电机参数

1	额定电压	V	12
2	空载转速	rpm	16500
3	空载电流	A	0.15
4	额定转速	rpm	14500
5	额定转矩	mNm	4.0
6	额定电流	A	0.80
7	额定功率	W	6.07
8	堵转扭矩	mNm	39.0
9	堵转电流	A	5.2
10	最大效率	%	71.5

电机常数

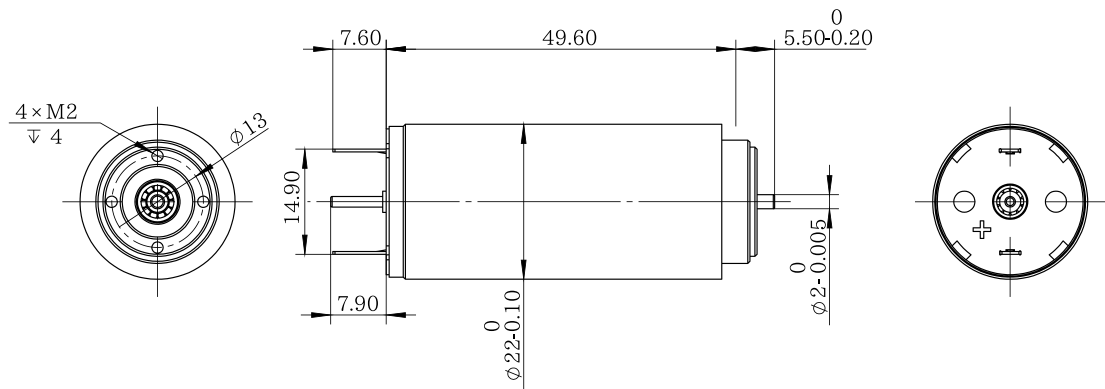
11	转矩常数	mNm/A	7.50
12	转速常数	rpm/V	1375
13	功率密度	W/g	0.15
14	电机磁极对数	mNm	2
15	质量	g	40
16	轴承	深沟滚珠	
17	磁体	烧结 NdFeB	
18	转轴	30Cr13	

配置

19	减速比	级数 (1-5) 可配置 (详情见 P23)	
20	编码器类型	磁性编码器	
21	每圈脉冲数	1024/4096	

SSLB2250S101

Φ22mm 有刷空心杯电机



电机参数

1	额定电压	V	12
2	空载转速	rpm	5600
3	空载电流	A	0.021
4	额定转速	rpm	4000
5	额定转矩	mNm	29.50
6	额定电流	A	1.4
7	额定功率	W	12.4
8	额定工况寿命	h	≥ 2000
9	堵转电流	A	5.20
10	堵转扭矩	mNm	110
11	最大效率	%	88

电机常数

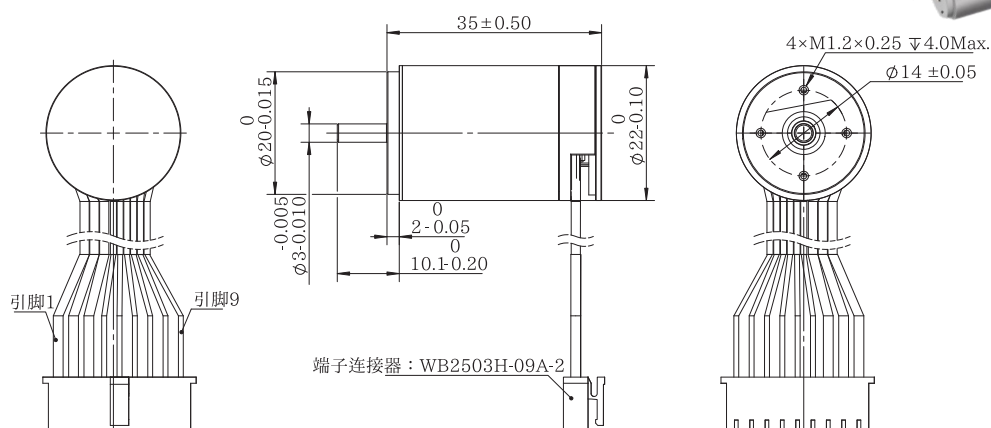
12	转矩常数	mNm/A	22.0
13	转速常数	rpm/V	470
14	功率密度	W/g	0.12
15	质量	g	103
16	换向器片数	/	9
17	磁极对数	/	1
18	轴承	深沟滚珠	
19	磁体	烧结 NdFeB	
20	转轴	30Cr13	

配置

21	减速比	级数 (1-5) 可配置 (详情见 P24)	
22	编码器类型	磁性编码器	
23	每圈脉冲数	1024/4096	

SSLW2235S101

Φ22mm 无刷空心杯电机



电机参数

1	额定电压	V	12
2	空载转速	rpm	16400
3	空载电流	A	0.20
4	额定转速	rpm	12500
5	额定转矩	mNm	12.50
6	额定电流	A	2.00
7	额定功率	W	16.36
8	堵转扭矩	mNm	45
9	堵转电流	A	5.7
10	最大效率	%	73.5

电机常数

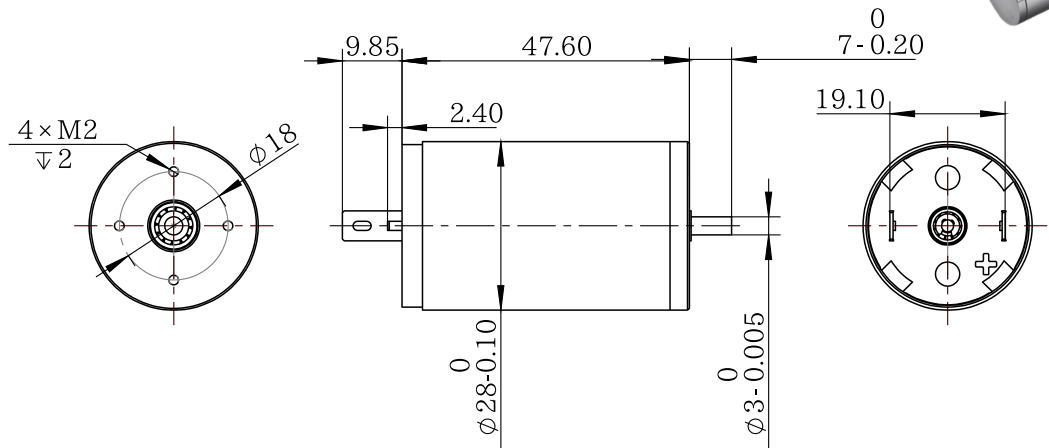
11	转矩常数	mNm/A	7.80
12	转速常数	rpm/V	1367
13	功率密度	W/g	0.24
14	电机磁极对数	mNm	2
15	质量	g	69
16	轴承	深沟滚珠	
17	磁体	烧结 NdFeB	
18	转轴	30Cr13	

配置

19	减速比	级数 (1-5) 可配置 (详情见 P24)	
20	编码器类型	磁性编码器	
21	每圈脉冲数	1024/4096	

SSLB2847S101

Φ28mm 有刷空心杯电机



电机参数

1	额定电压	V	12
2	空载转速	rpm	6500
3	空载电流	A	0.05
4	额定转速	rpm	4200
5	额定转矩	mNm	37.00
6	额定电流	A	2.2
7	额定功率	W	16.3
8	额定工况寿命	h	≥ 2000
9	堵转电流	A	6.60
10	堵转扭矩	mNm	110
11	最大效率	%	83

电机常数

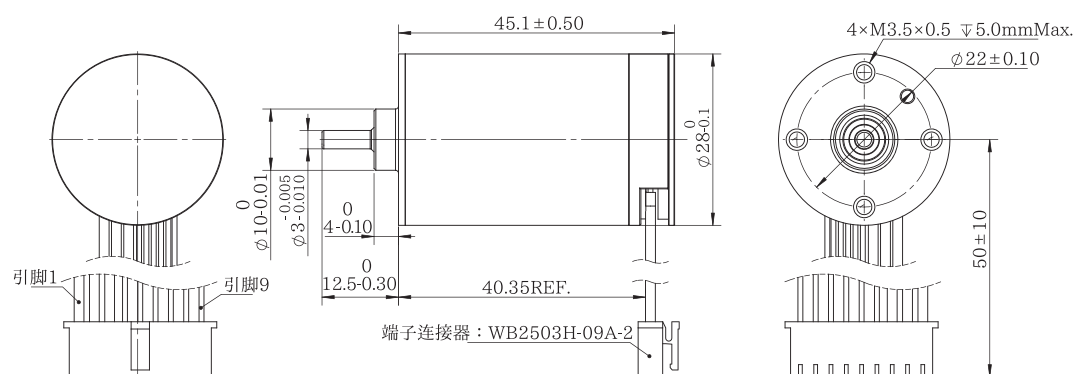
12	转矩常数	mNm/A	16.8
13	转速常数	rpm/V	542
14	功率密度	W/g	0.14
15	质量	g	120
16	换向器片数	/	11
17	磁极对数	/	1
18	轴承	深沟滚珠	
19	磁体	烧结 NdFeB	
20	转轴	30Cr13	

配置

21	减速比	级数（1-5）可配置（详情见 P25）	
22	编码器类型	磁性编码器	
23	每圈脉冲数	1024/4096	

SSLW2845S101

Φ28mm 无刷空心杯电机



电机参数

1	额定电压	V	12
2	空载转速	rpm	13700
3	空载电流	A	0.25
4	额定转速	rpm	12200
5	额定转矩	mNm	18.00
6	额定电流	A	2.50
7	额定功率	W	23
8	堵转扭矩	mNm	170.0
9	堵转电流	A	20.0
10	最大效率	%	75

电机常数

11	转矩常数	mNm/A	8.60
12	转速常数	rpm/V	1142
13	功率密度	W/g	0.27
14	电机磁极对数	mNm	2
15	质量	g	86
16	轴承	深沟滚珠	
17	磁体	烧结 NdFeB	
18	转轴	30Cr13	

配置

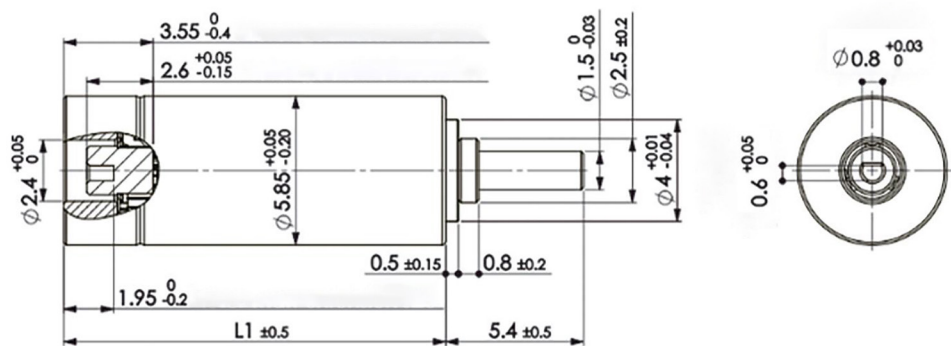
19	减速比	级数 (1-5) 可配置 (详情见 P25)	
20	编码器类型	磁性编码器	
21	每圈脉冲数	1024/4096	

GP06 Φ6mm 行星减速箱



PLANETARY GEAR HEAD 6mm		
1	外壳材料	金属
2	齿轮材料	金属
3	输出轴承型式	滚珠轴承
4	径向负载（10mm from flange）	≤ 0.4 Kg
5	轴向负载	≤ 0.1 Kg
6	径向间隙	≤ 0.15mm
7	轴向间隙	≤ 0.15mm
8	背隙（空载时）	≤ 1.5°
9	连续运行时最高允许输入转速	≤ 35000rpm
10	工作温度范围	-40~125℃

尺寸图



齿轮箱规格					
级数	L (mm)	减速比	额定允许负载	瞬间允许负载	效率
1	8.8	4	5mNm	7.5mNm	80%
2	10.85	16	10mNm	15mNm	64%
3	12.9	64	20mNm	30mNm	51%
4	14.95	256	20mNm	30mNm	40%

适配电机	
额定电压 (VDC)	3 ~ 6 VDC
直流电机	适配功率小于 2.5W 的直流电机，当电机不能满足减速器安装要求时，需另行商定

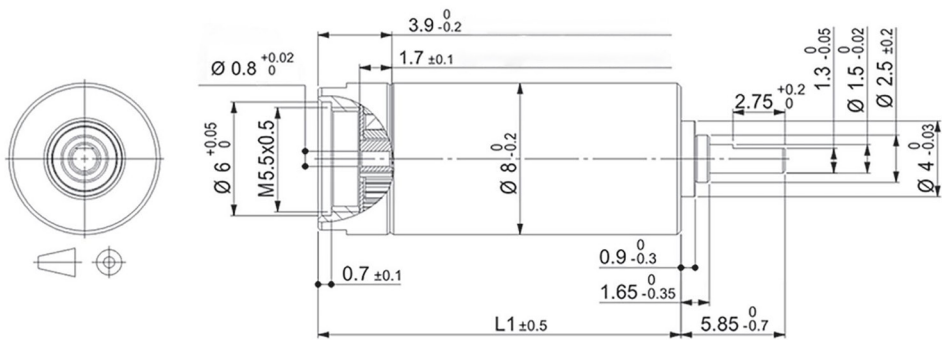
GP08 Φ8mm 行星减速箱



PLANETARY GEAR HEAD 8mm

1	外壳材料	金属
2	齿轮材料	金属
3	输出轴承型式	滚珠轴承
4	径向负载（10mm from flange）	≤ 8N
5	轴向负载	≤ 5N
6	径向间隙	≤ 0.08mm
7	轴向间隙	≤ 0.1mm
8	背隙（空载时）	≤ 1.5°
9	连续运行时最高允许输入转速	≤ 12000rpm
10	工作温度范围	-40~125℃

尺寸图



齿轮箱规格

级数	L (mm)	减速比	额定允许负载	瞬间允许负载	效率
1	9.2	4.64	10mNm	15mNm	80%
2	11.7	21.5	20mNm	30mNm	64%
3	14.2	99.6	60mNm	90mNm	51%
4	16.7	462	80mNm	120mNm	40%
5	19.2	2141	100mNm	150mNm	32%

适配电机

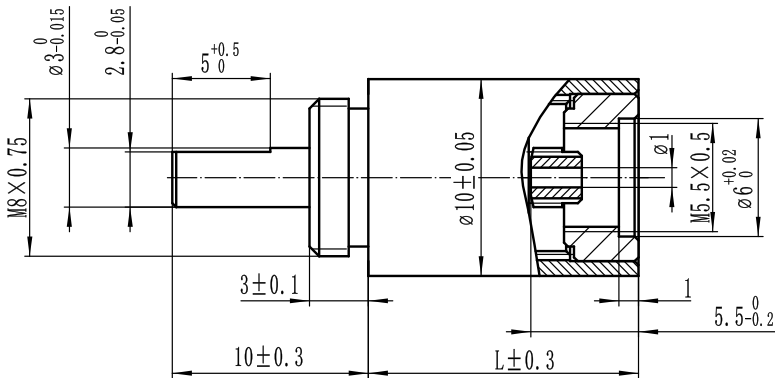
额定电压 (VDC)	3 ~ 36 VDC
直流电机	适配功率小于 2.5W 的直流电机，当电机不能满足减速器安装要求时，需另行商定

GP10 Φ10mm 行星减速箱



PLANETARY GEAR HEAD 10mm		
1	外壳材料	金属
2	齿轮材料	金属
3	输出轴承型式	滚珠轴承
4	径向负载（10mm from flange）	≤ 8N
5	轴向负载	≤ 8N
6	径向间隙	≤ 0.04mm
7	轴向间隙	≤ 0.1mm
8	背隙（空载时）	≤ 1.5°
9	连续运行时最高允许输入转速	≤ 12000rpm
10	工作温度范围	-40~125℃

• 尺寸图



齿轮箱规格					
级数	L (mm)	减速比	额定允许负载	瞬间允许负载	效率
1	11.2	4	0.1NM	0.2NM	90%
2	13.8	16	0.2NM	0.3NM	81%
3	16.4	64	0.3NM	0.45NM	72%
4	19	256	0.3NM	0.45NM	65%
5	21.6	1064	0.3NM	0.45NM	59%
适配电机					
额定电压 (VDC)		3 ~ 36 VDC			
直流电机		适配功率小于 3W 的直流电机，当电机不能满足减速器安装要求时，需另行商定			

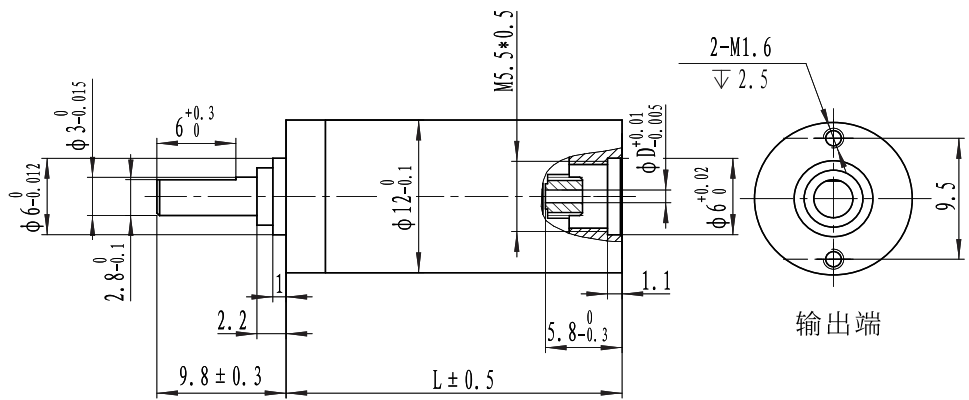
GP12 Φ12mm 行星减速箱



PLANETARY GEAR HEAD 12mm

1	外壳材料	不锈钢
2	齿轮材料	全钢、硬齿面
3	输出轴承型式	滚珠轴承
4	径向负载 (10mm from flange)	≤ 8N
5	轴向负载	≤ 8N
6	径向间隙	≤ 0.04mm
7	轴向间隙	≤ 0.1mm
8	背隙 (空载时)	≤ 1.5°
9	连续运行时最高允许输入转速	≤ 12000rpm
10	工作温度范围	-40~125℃

尺寸图



齿轮箱规格

级数	L (mm)	减速比	额定允许负载	瞬间允许负载	效率
1	14.3	3.50/4.00/4.75	0.2NM	0.3NM	90%
2	17.1	12.25/14.00/16.00/16.63/19.00/22.56	0.3NM	0.45NM	81%
3	19.9	42.88/49.00/56.00/64.00/76.00/78.97/90.25/107.17	0.3NM	0.45NM	72%
4	22.7	150.06/171.50/203.66/232.75/256.00/276.39/304.00/315.88/361.00/375.10/428.69/509.07	0.35NM	0.53NM	65%
5	25.5	525.22/600.25/686.00/712.80/814.63/931.00/1024.00/1105.56/1216.00/1312.86/1444.00/1500.41/1714.75/2036.27/2418.07	0.4NM	0.6NM	59%

适配电机

额定电压 (VDC)	3 ~ 36 VDC
直流电机	适配功率小于 4W 的直流电机，当电机不能满足减速器安装要求时，需另行商定

GP16

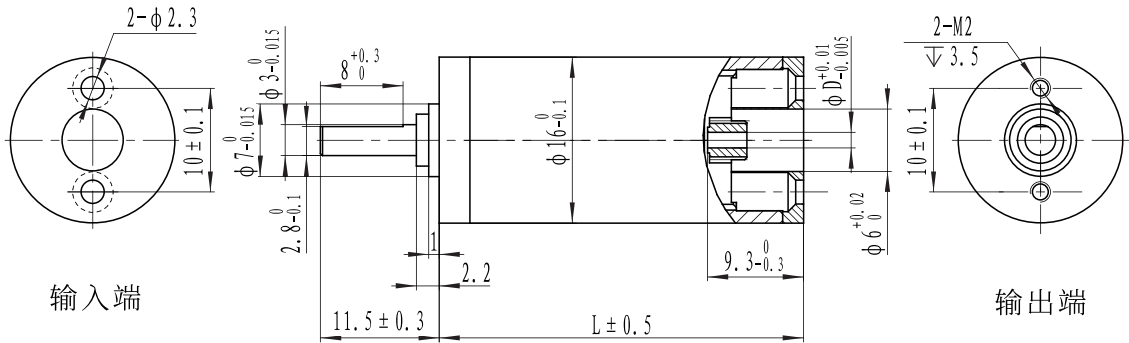
Φ16mm 行星减速箱



PLANETARY GEAR HEAD 16mm

1	外壳材料	金属
2	齿轮材料	金属
3	输出轴承型式	滚珠轴承
4	径向负载 (10mm from flange)	$\leq 8\text{N}$
5	轴向负载	$\leq 8\text{N}$
6	径向间隙	$\leq 0.04\text{mm}$
7	轴向间隙	$\leq 0.1\text{mm}$
8	背隙 (空载时)	$\leq 1.5^\circ$
9	连续运行时最高允许输入转速	$\leq 12000\text{rpm}$
10	工作温度范围	$-40\sim 125^\circ\text{C}$

• 尺寸图



齿轮箱规格

级数	L (mm)	减速比	额定允许负载	瞬间允许负载	效率
1	18.1	3.43/3.83/4.40/5.25	0.3NM	0.6NM	90%
2	21.9	11.76/13.14/14.69/15.09/16.87/19.36/20.13/23.10/27.56	0.4NM	0.8NM	81%
3	25.7	40.30/45.06/50.38/57.83/66.38/69.00/74.21/79.20/88.55/101.64/105.66	0.6NM	1.2NM	72%
4	29.5	138.18/154.50/172.73/193.13/221.68/254.45/271.54/292.06/348.48/389.62/415.80/554.70	0.6NM	1.2NM	65%
5	33.3	473.77/529.70/592.23/662.15/740.32/811.10/906.86/975.38/1040.91/1242.00/1388.63/1425.60/1593.90/1901.81/2182.95/3988.38	0.6NM	1.2NM	59%

适配电机

额定电压 (VDC)	3 ~ 36 VDC
直流电机	适配功率小于 10W 的直流电机, 当电机不能满足减速器安装要求时, 需另行商定

GP22

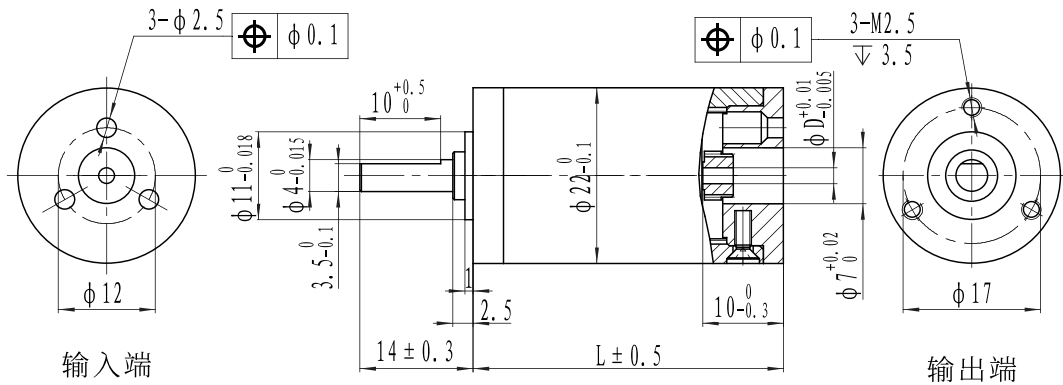
Φ22mm 行星减速箱



PLANETARY GEAR HEAD 22mm

1	外壳材料	金属
2	齿轮材料	金属
3	输出轴承型式	滚珠轴承
4	径向负载 (10mm from flange)	≤ 70N
5	轴向负载	≤ 100N
6	径向间隙	≤ 0.04mm
7	轴向间隙	≤ 0.1mm
8	背隙 (空载时)	≤ 1.5°
9	连续运行时最高允许输入转速	≤ 12000rpm
10	工作温度范围	-40~125°C

• 尺寸图



齿轮箱规格

级数	L (mm)	减速比	额定允许负载	瞬间允许负载	效率
1	21.4	3.5/4.0/4.6/5.5	0.8NM	1.5NM	90%
2	27	12.76/14.29/16.00/18.40/22.00/25.30	1.2NM	2NM	81%
3	30.8	45.55/51.02/64.00/73.60/88.00/97.34/ 116.38/121.00/139.15	1.5NM	3NM	72%
4	34.6	162.19/182.22/204.08/228.57/256.00/302.29/ 322.70/352.00/389.34/415.64/484.00/556.60/ 665.50/765.33	1.5NM	3NM	65%
5	38.4	581.05/650.77/748.39/838.19/938.78/1002.19/ 1079.59/1177.60/1241.53/1354.24/1557.38/ 1790.98/2059.63/2462.60/3061.30/4209.29/5032.84	1.5NM	3NM	59%

适配电机

额定电压 (VDC)	3 ~ 36 VDC
直流电机	适配功率小于 25W 的直流电机, 当电机不能满足减速器安装要求时, 需另行商定

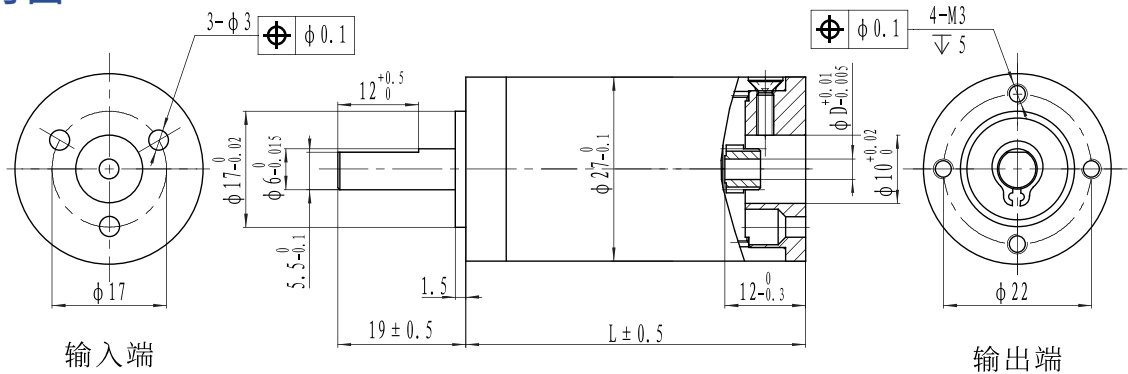
GP28 Φ28mm 行星减速箱



PLANETARY GEAR HEAD 28mm

1	外壳材料	金属
2	齿轮材料	金属
3	输出轴承型式	滚珠轴承
4	径向负载 (10mm from flange)	≤ 100N
5	轴向负载	≤ 100N
6	径向间隙	≤ 0.04mm
7	轴向间隙	≤ 0.1mm
8	背隙 (空载时)	≤ 1.5°
9	连续运行时最高允许输入转速	≤ 12000rpm
10	工作温度范围	-40~125°C

• 尺寸图

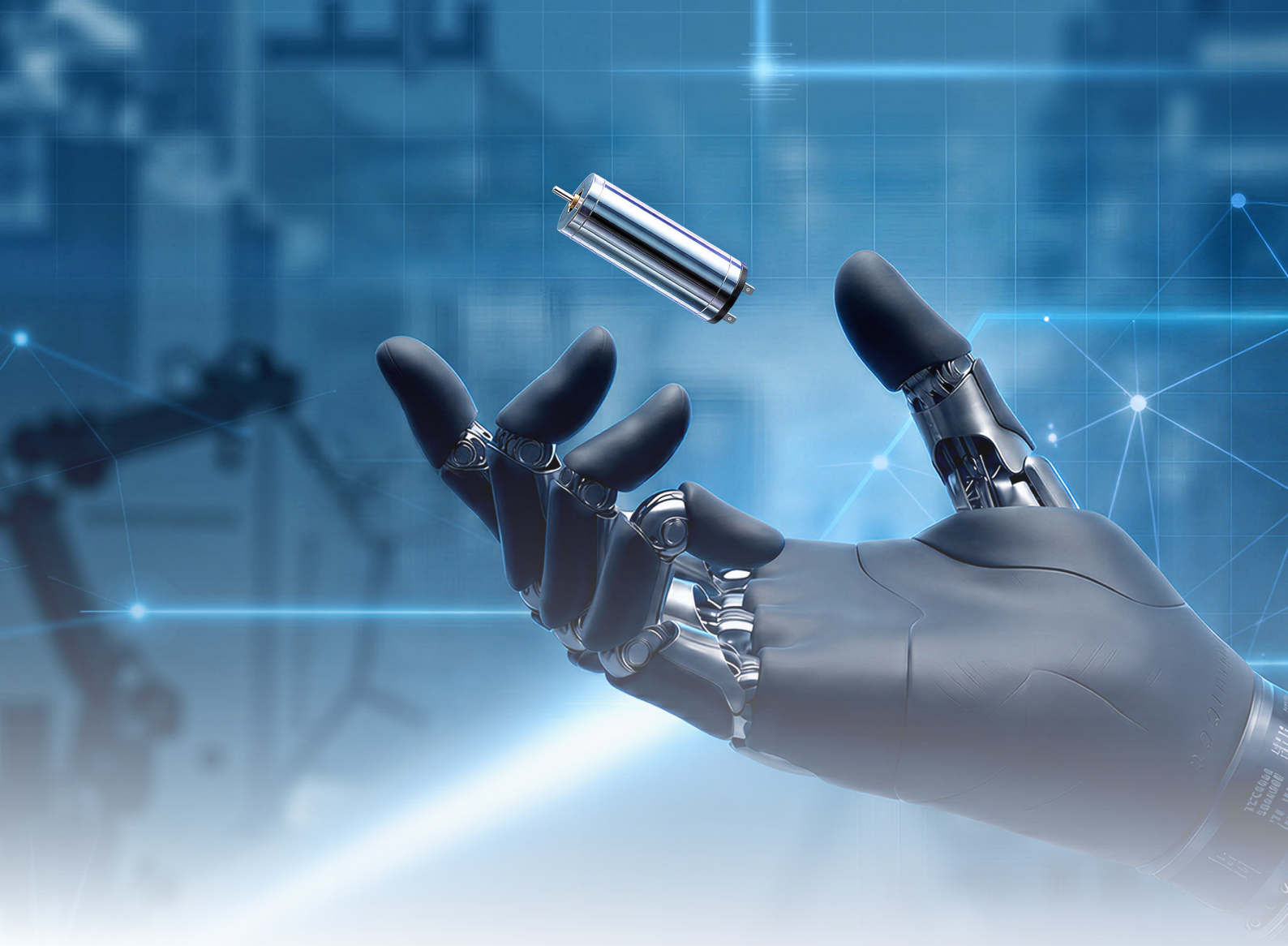


齿轮箱规格

级数	L (mm)	减速比	额定允许负载	瞬间允许负载	效率
1	26.8	3.57/4.00/4.60/5.50	1.2NM	2.4NM	90%
2	34.6	12.76/16.00/18.40/22.00/25.30/30.25	1.8NM	2.5NM	81%
3	39.9	45.55/51.02/57.14/64.00/73.60/84.64/88.00/90.36	2NM	3NM	72%
4	45.2	162.69/182.22/204.08/228.57/262.86/280.61/302.29/322.70/361.43/415.64/496.96/665.50	2.5NM	3NM	65%
5	50.5	581.05/650.77/728.86/838.19/938.78/1002.19/1122.45/1241.53/1354.24/1445.71/1662.57/1987.86/2376.79/3061.30/4209.29/5032.84	2.5NM	4NM	59%

适配电机

额定电压 (VDC)	3 ~ 36 VDC
直流电机	适配功率小于 25W 的直流电机, 当电机不能满足减速器安装要求时, 需另行商定



不同类型编码器 & 控制器 与电机搭配方案

➤ 不同方案对比

对比维度	长寿命有刷空心杯电机	无刷空心杯电机	普通无刷电机
核心优势	1. 综合成本低（电机本体低，控制器成本低）； 2. 结构简单，组装便捷，惯量小、响应快（10ms）； 3. 驱动要求低（仅需 PWM）	1. 寿命长（≥ 10000 小时），免维护； 2. 调速精度高、响应极快（5-10ms）； 3. 运行噪音低、效率高； 4. 适配高负荷 / 高频次场景	1. 寿命长（≥ 10000 小时），免维护； 2. 调速精度高、响应中等（10-20ms）； 3. 运行噪音低、效率高； 4. 适配高负荷 / 高频次场景
限制因素	1. 功率较低，适用于低功率长寿命需求； 2. 控制精度有限（可搭配编码器弥补精度不足）	1. 成本高（物料 + 控制器）； 2. 结构复杂，装配要求高； 3. 需配套 FOC 控制系统，操控复杂； 4. 控制器维修成本高	成本较高；有涡流损耗，转动惯量大，启动速度中等，存在齿槽效应，有一定的转矩波动
驱动与控制	简单 PWM 驱动，无需复杂控制器，易操作	主要采用 FOC 控制系统，需专业调试，操作门槛高	支持 6 步方波驱动（低成本），正弦波无感控制（中成本），或 FOC 磁场定向控制（高精度）
适用场景	对寿命和成本有要求的场景，如微型泵、自动化实验设备、中高端消费电子、手持工具类等	高端消费电子、工业自动化设备、高频次运行装置、对寿命 / 精度要求高的精密设备等	高端消费电子、工业自动化设备、高频次运行装置、对寿命 / 精度要求高的精密设备等
成本水平	低	高	中高

有刷空心杯电机 + 增量式编码器的核心作用

- 1. **精准测速与调速闭环：**实时反馈电机转速 / 脉冲信号，配合 PWM 驱动形成闭环控制，解决有刷电机开环调速精度不足的问题，适配机器人关节、小型执行器等需稳定转速的场景。
- 2. **位置定位与行程控制：**通过脉冲计数实现短距离位移计量（如夹爪开合幅度、机器人小臂转动角度），满足低精度定位需求，无需额外加装位置传感器。
- 3. **故障监测与保护：**实时监测电机运行状态，异常脉冲信号可触发过载、堵转保护，降低刷针磨损导致的运行风险，延长电机使用寿命。
- 4. **成本优化适配：**相比无刷电机 + 编码器方案，有刷电机 + 增量式编码器的总成本更低，在预算有限但需一定精度的场景（如灵巧手、教学机器人）中实现“性价比 + 精度”平衡。

对比维度	有刷电机（无编码器）	有刷电机 + 增量式编码器	有刷电机 + 绝对式编码器
位置控制	无定位能力，仅能启停和粗略调速	通过脉冲计数实现短距离定位，存在累计误差	输出唯一编码对应绝对位置，无累计误差，定位精度达 $\pm 0.1^{\circ}$
断电重启表现	无位置记忆，重启后需重新调试	需执行回零操作，否则无法确定当前位置	无需回零，断电后仍保存位置信息，重启可直接读取并恢复工作
调速性能	开环 PWM 调速，易受负载影响，精度低	闭环调速，转速误差 $\leq \pm 2\%$ ，稳定性中等	高精度闭环调速，配合编码信号实时调整，转速波动更小
故障与安全保障	仅依赖外部电路保护，响应滞后	可监测过载、堵转，保护响应较快	除监测过载等故障，还能精准反馈异常位置，避免设备复位错位
适配场景	玩具、简易执行器等低精度场景	入门级机器人关节、小型夹爪等基础精度场景	小型数控机床、医用小型执行器、入门级协作机器人等需精密定位的场景

>> 编码器与空心杯有刷电机搭配方案

搭配方案（硬件 + 软件）

1. 硬件连接逻辑（核心：通过主控组成闭环系统）

• 空心杯有刷电机连接

电机 → 电机驱动板（如 TB6612、L298N） → 主控；
主控输出 PWM 信号到驱动板，控制电机转速和转向；
电机与灵巧手关节机械连接，直接驱动关节转动（需匹配电机扭矩与关节负载）。

• 增量式编码器连接（多数为 AB 两相，部分带 Z 相）

编码器引脚	功能	接线说明
棕色	电源正极	接 5V 电源（与主控、IMU 共电源，保证电压稳定）
蓝色	接地	与系统共地
A 相	信号 1	接主控定时器编码器接口（如 STM32 的 PA0、PA1），用于采集转动角度 / 圈数
B 相	信号 2	接主控定时器另一编码器接口，与 A 相结合实现方向判断和倍频（提升分辨率）
Z 相 (可选)	零点信号	接主控普通 GPIO，用于校准关节初始位置（非必需，简易场景可省略）

• 六轴 IMU 连接

物理安装：贴装在灵巧手手指关节或手掌基座（靠近电机尾部，与编码器相对位置固定）；
电路连接：按上述“IMU 接线方式”接主控 I2C 接口，实时采集关节角速度、加速度数据。

2. 软件协同与数据融合（核心：互补短板，提升精度）

• 三者分工

空心杯电机：执行机构，接收主控 PWM 信号，驱动灵巧手关节运动；

增量式编码器：提供低漂移的关节位置 / 转速数据（静态稳定，但动态响应慢）；

六轴 IMU：提供高频角速度 / 加速度数据（动态响应快，可捕捉快速动作，但长时间积分易漂移）。

• 数据融合算法（简易落地版）

优先用“互补滤波算法”（适合入门场景，易实现）：

融合公式：融合角度 = $\alpha \times (\text{IMU 积分角度}) + (1 - \alpha) \times (\text{编码器角度})$

权重设置： $\alpha=0.9$ （动态场景，如手指快速抓取，侧重 IMU； $\alpha=0.3$ （静态场景，如保持握持，侧重编码器）；

进阶用“简化版 EKF 算法”（适合高精度场景，如精细抓取）：

定义状态变量（关节角度、角速度）→ 用 IMU 角速度预测姿态 → 用编码器角度修正预测误差 → 动态更新协方差矩阵。

• 闭环控制流程

主控按 100Hz 频率同步读取编码器位置数据和 IMU 姿态数据；

通过融合算法输出精准的关节姿态数据；

主控对比“目标姿态”与“实际融合姿态”，动态调整 PWM 信号输出；

驱动板接收信号后控制电机转速 / 转向，实现闭环校正（例：抓取时关节过快则降速，位置偏差则补位）。

入门级应用示例（低成本验证方案）

• 搭配清单

六轴 IMU：MPU6050（资料丰富，易上手）；

增量式编码器：512 线 AB 相增量编码器（适配微型空心杯电机）；

空心杯有刷电机：6mm/8mm 微型空心杯电机（扭矩适配灵巧手关节）；

主控：Arduino Nano/STM32F103（例程丰富）；

驱动板：TB6612（小型化，适配微型电机）。

• 核心优势

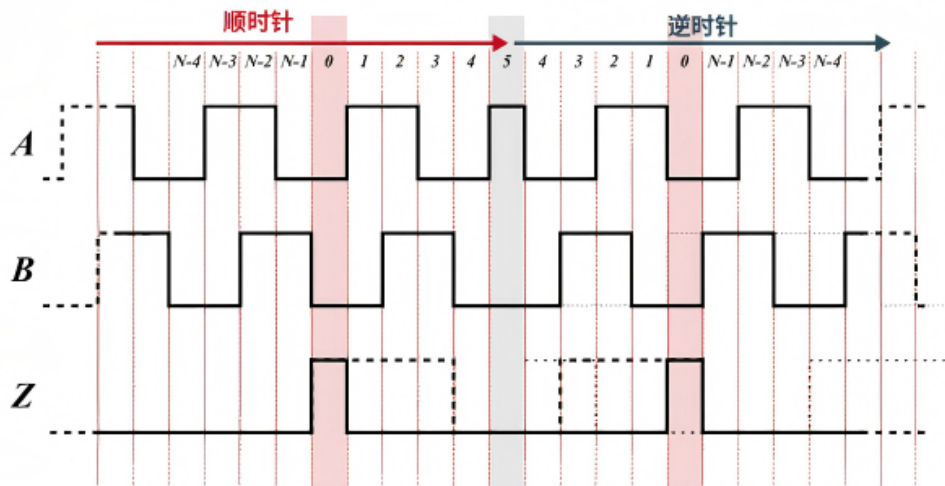
总成本较低，适合学生实验、3D 打印灵巧手原型验证；

接线简单（电机 5 根线 + 编码器 4-5 根线 + IMU 4 根线，无信号冲突）；

可实现基础抓取、姿态保持等动作，后续可升级传感器和算法。

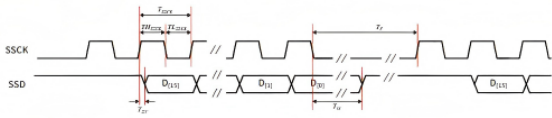
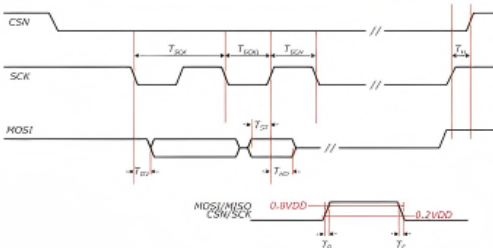
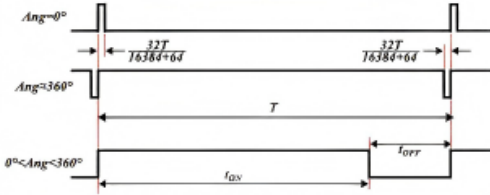
磁性增量式编码器推荐

磁性增量式编码器		
编码器参数		
分辨率		可选 1024/4096 脉冲 / 圈
磁体极对数		1
信号类型		正交 A/B 相 + 零点 Z 相
Z 信号宽度		可编程 (1/4, 1/2, 1, 2 个 AB 周期)
供电电压	V	5/3.3
工作电流	mA	13.6/11.6
最高响应频率	MHz	16
最大测量转速	rpm	120000
磁滞功能		支持, 提高抗干扰性
旋转方向检测		通过 A/B 相位差判断
线束长度	mm	按需评估定制
接线说明		
引脚		功能
1		电机供电 (+)
2		编码器供电 +
3		编码地
4		A 相
5		B 相
7		Z 相
6		电机供电 (-)
输出信号		

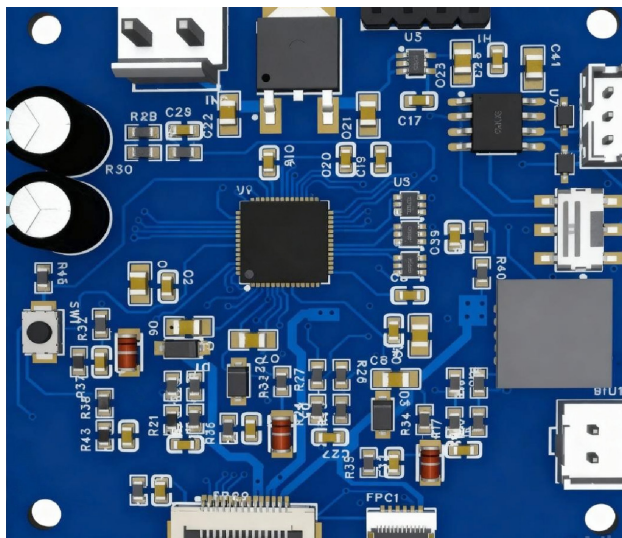


磁性绝对式编码器推荐

磁性绝对式编码器		
编码器参数		
分辨率		16bit (65536 步)
磁体极对数		1
精度		可选 $\pm 0.1^{\circ} / 0.35^{\circ}$
通讯协议		SPI/SSI/PWM
角度更新周期	μs	1
时钟频率范围 (SPI)	MHz	DC-10
时钟频率范围 (SSI)	MHz	DC-1.5
读取最大延时	μs	SPI (1.6) SSI (10.56)
PWM 输出		910Hz 固定频率, 14 位分辨率
启动时间	ms	1
供电电压	V	3.3/5
工作电流	mA	11.6/13.6

线束长度		
引脚	功能	输出信号
SSI (2 线制, 同步串行)		
1	编码器供电+	
2	编码器地	
3	SSI 时钟 (SSCK)	
4	SSI 数据 (SSD)	
5	电机供电+	
6	电机供电-	
SPI		输出信号
1	编码器供电+	
2	编码器地	
3	SCLK (SPI 时钟信号)	
4	CS (SPI 片选信号)	
5	MISO (数据输出)	
6	电机供电+	
7	电机供电-	
PWM		输出信号
1	编码器供电+	
2	编码器地	
3	PWM 脉宽调制信号	
4	电机供电+	
5	电机供电-	

有感 / 无感 FOC 控制器系列



特点

- 超高功率密度，适配空心杯电机极小电感特性（ μH 级）；
- 电流环带宽高，支持 60,000+ RPM 超高速运行；
- 支持有感 / 无感无缝切换（Seamless Switching）；
- 超低噪声与振动，适用于手持设备及精密仪器。

参数

输入电压范围	7 ~ 18V
持续输出电流	3A
峰值输出电流	11A
SVPWM 开关频率	20 ~ 40kHz
电流采样分辨率	12 bit
磁编码器（SPI）	支持 KTH7812、MA782、AS5048A 等
支持电机 FPC 接口	FPC-0.5-20P FPC-0.5-14P FPC-0.3-13P

算法

- FOC 三环控制：电流环（D-Q 轴解耦）+ 速度环 + 位置环；
- PWM 调制方式：五段式 SVPWM / 七段式 SVPWM（可配置）；
- 无感估算算法：滑模观测器（SMO）+ PLL 锁相环 / 扩展卡尔曼滤波（EKF）；
- MTPA 控制：最大转矩电流比；
- 弱磁控制：高速弱磁扩速算法。

高级功能

- 有感 / 无感无缝切换：达到设定转速后自动切换，切换过程无抖动；
- 零速悬停：位置环模式下零速保持力矩；
- 主动阻尼：抑制空心杯电机轻载振荡；
- 死区补偿：自适应死区时间补偿，降低低速转矩脉动。

合作模式介绍与所需信息

我司会根据客户的具体行业应用、项目信息和需求去制定针对性的解决方案并提供相应的图纸、打样、测试、产品试产和量产交付。

以下表格供收集项目信息和提供评估依据所用，具体涉及研发预算、样品费用、模具费用和产品量产价格会单独报价给客户。

扫码可下载
表格电子模板



项目信息收集表（以下信息请客户补充）

项目背景	包括使用场景	
	项目时间节点、计划	
	未来产品需求预测年用量	
	一个产品用几个电机	
	目标价	
	研发预算	
电机选型	交付周期 / 交付数量	
	有刷 / 无刷 / 步进	
	是否需要减速装置和编码器 / 控制器	
	是否要减速装置（减速比范围、效率要求）	
电机性能	编码器内置 / 外置	
	额定电压 (V)	
	额定电流 (mA)	
	空载转速 (rpm)	
	空载电流 (mA)	
	负载转速 (rpm) （请区分减速前和减速后）	
	负载转矩 (mNm) （请区分减速前和减速后）	
	堵转转矩 (mNm)	
	堵转电流 (mA)	
	转矩常数 Kt (mNm/A)	
	效率 (%)	
	机械时间常数 (ms)	
机构整体性能	接线方式（几根线、线长、线径、端子型号）	
	机构运行速度 (mm/s)	
机构尺寸信息	机构运行推力 (N)	
	安装固定方式	
	电机尺寸	
	减速箱尺寸	
	编码器尺寸	
以下测试要求如有，提供具体要求，如没有写否		
机构测试标准	重量要求	
	机构性能曲线	
	实际装机测试或模拟装机测试（定义实际使用的负载大小、连续式 / 间歇式 / 正反转 - 寿命时间计算）	
	温升测试	
	测试环境温湿度	
	电机振动	
	振动台架测试	
	电机噪音	
	盐雾测试	
	高低温测试（低温启动、高低温保温运行）	
	高温高湿测试	
	生物相容性 / 是否可消毒	
	是否有 EMC 测试要求	
	跌落测试	
	出厂测试（如通电测试、波形检测）	
	IP 防水防尘等级要求	

FrictionX

深圳清力技术有限公司

「自超滑微特电机传动控制
解决方案供应商」



扫码查看官网更多资讯
www.frictionx.com



扫码了解 1688 店铺最新产品
frictionx.1688.com



深圳市坪山区兰景中路 16 号坪山高新区产学研基地 A 栋 1 楼