



# 新型电机及其驱动控制在工业机器人上的应用

华南理工大学电力学院  
杨向宇 yangxyu@scut.edu.cn



# 目录

## CONTENTS

- 1 当前电机及其驱动控制的发展
- 2 工业机器人的发展与性能分析
- 3 工业机器人用新型电机
- 4 高性能伺服驱动控制
- 5 结论



# 目录

## CONTENTS

- 1 当前电机及其驱动控制的发展
- 2 工业机器人的发展与性能分析
- 3 工业机器人用新型电机
- 4 高性能伺服驱动控制
- 5 结论



攻克机器人关键技术和核心零部件的国产化是中国发展机器人产业成败的关键。

- 关键技术：驱动技术，运动控制技术，建模与仿真方法，编程与控制软件平台，状态检测与预防性维护，多传感器融合，人机协同等；
- 核心零部件：控制器，伺服驱动器，电机，减速机，传感器等。



攻克机器人关键技术和核心零部件的国产化是中国发展机器人产业成败的关键。

- 关键技术：驱动技术，运动控制技术，建模与仿真方法，编程与控制软件平台，状态检测与预防性维护，多传感器融合，人机协同等；
- 核心零部件：**控制器，伺服驱动器，电机，减速机，传感器等。**



# 电机的发展趋势

电动机是把电能转换成机械能的设备。电动机行业是一个传统的行业，经过200多年的发展，它已经成为现代生产、生活中不可或缺的核心与基础，是国民经济中重要的一环。



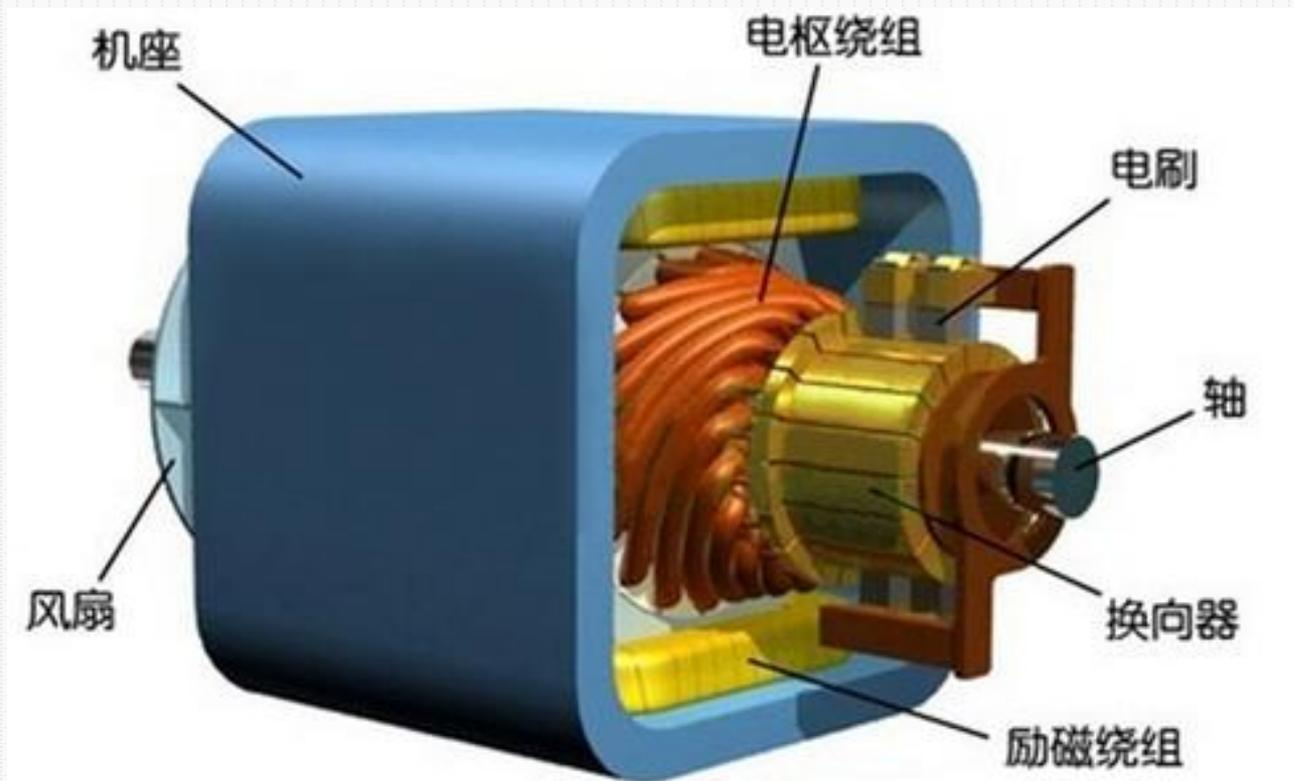
# 电机的发展趋势



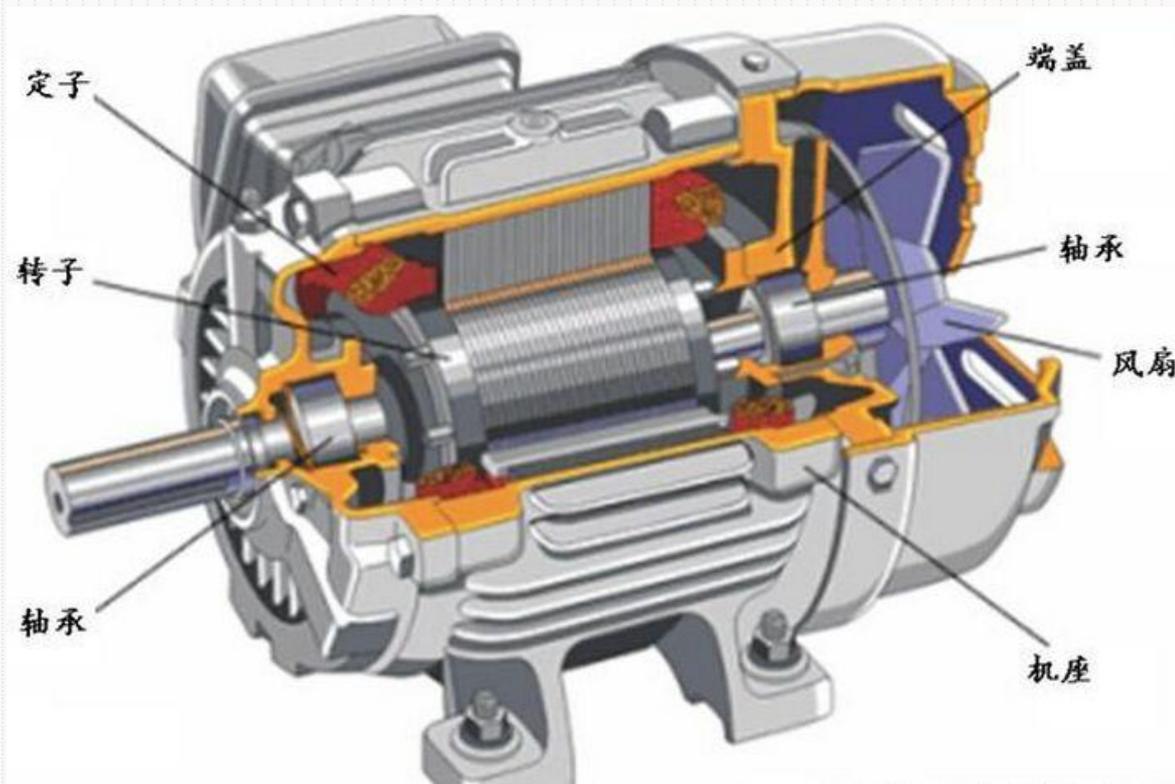


# 电机发展历程





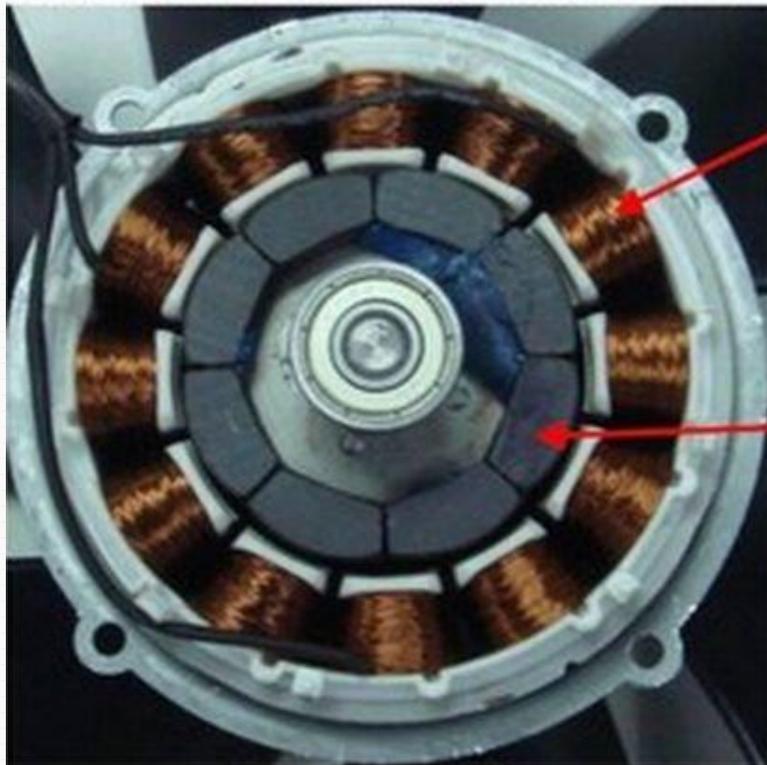
直流电机



交流异步电机



# 无刷直流电机与永磁同步电机



无刷直流电机



# 无刷直流电机与永磁同步电机



永磁同步电机



# 电机驱动方式

旋转+丝杆  
高速+减速装置  
多关节  
.....

间接驱动→直接驱动

直线电机  
低速大扭矩电机  
多自由度电机  
.....

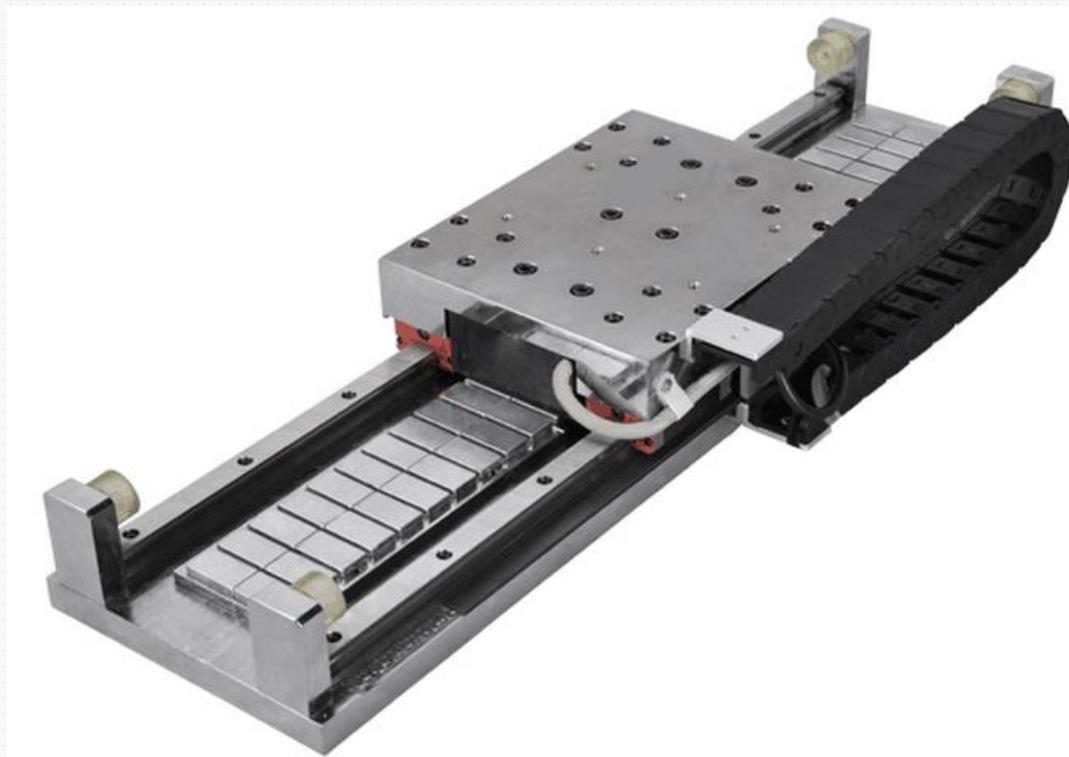


# 间接直线驱动与直接直线驱动



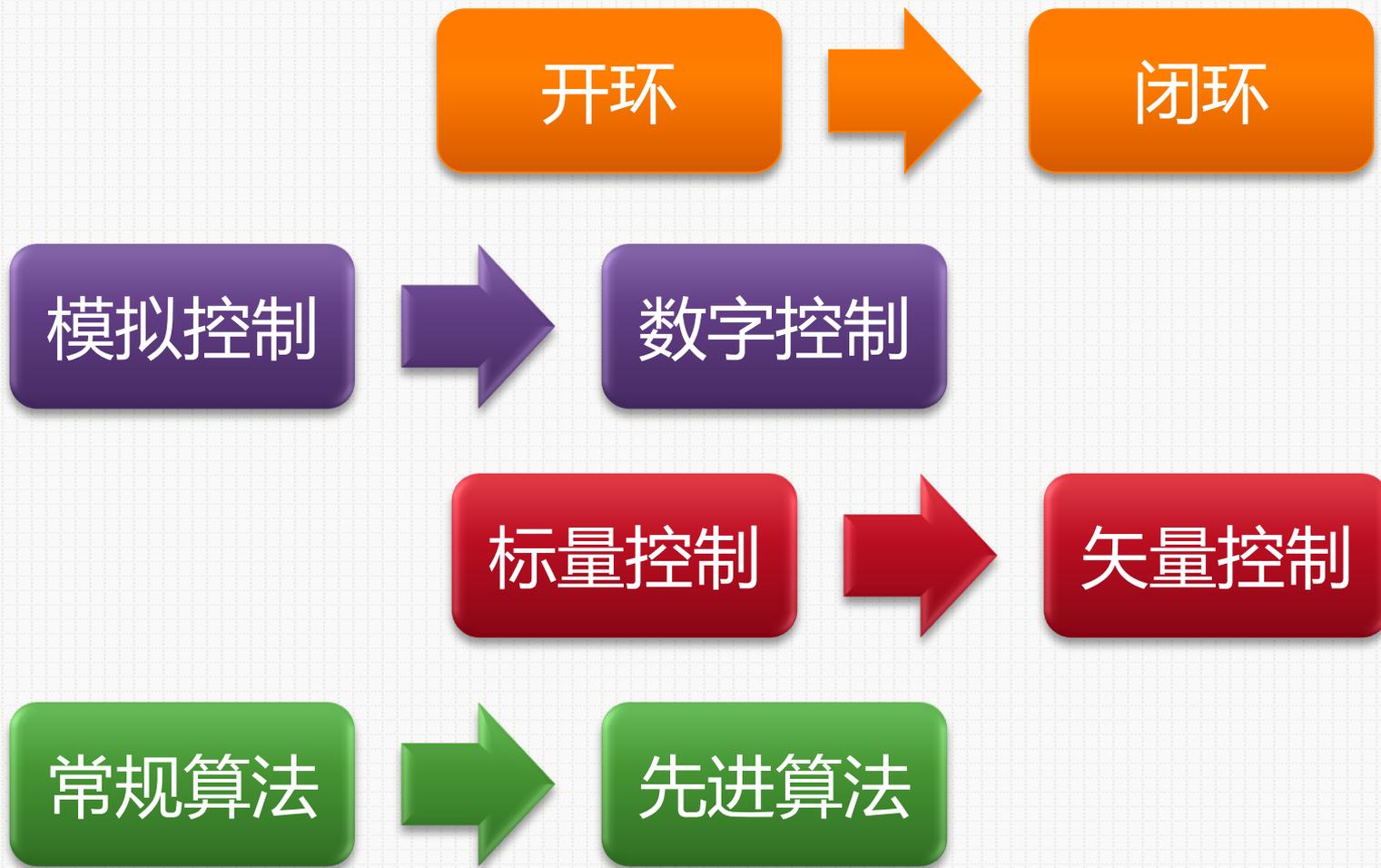


# 间接直线驱动与直接直线驱动



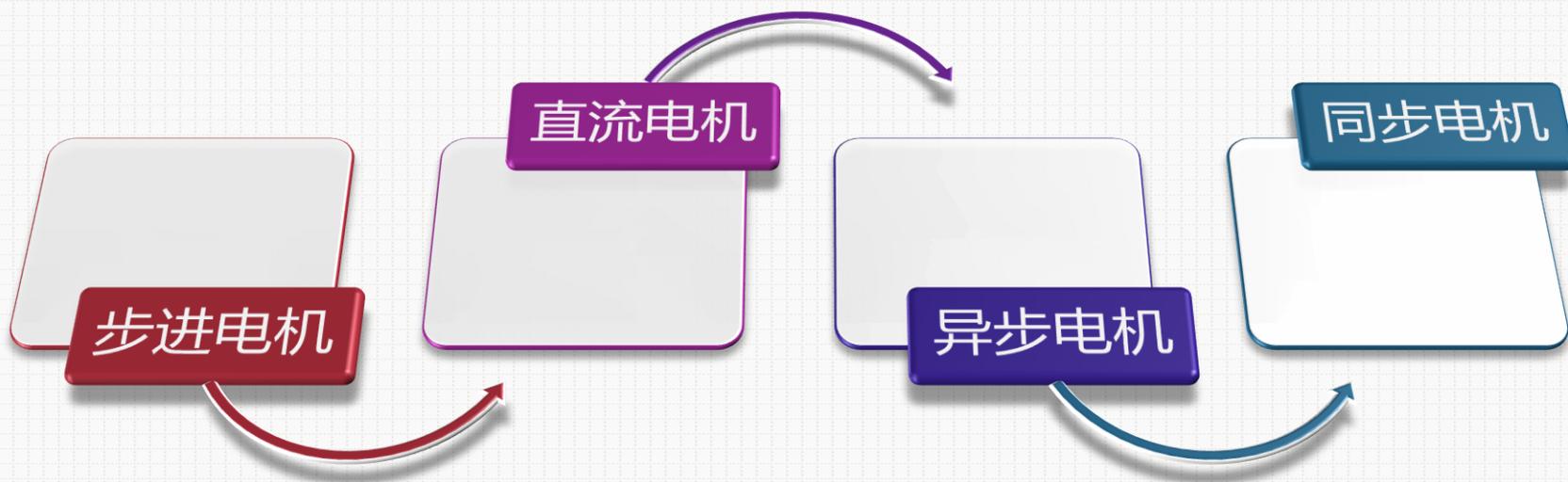


# 电机驱动控制的发展





# 伺服控制算法对比

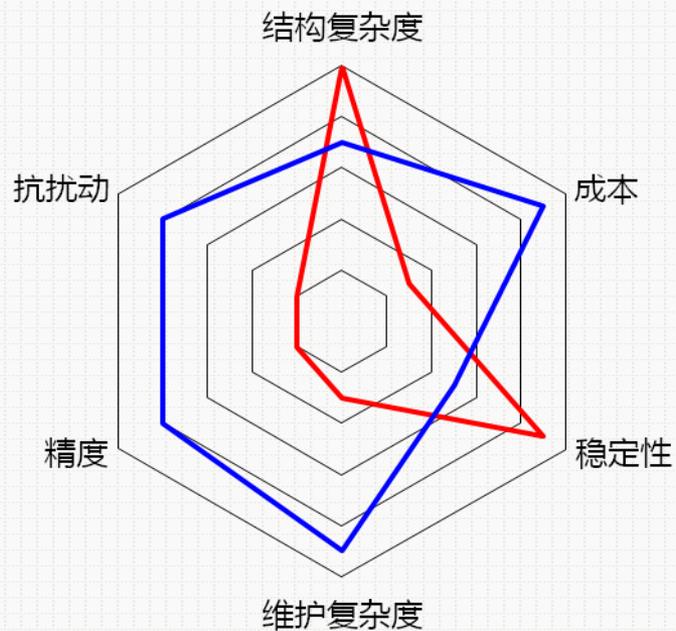




# 开环闭环对比

## 开环闭环对比

— 开环 — 闭环

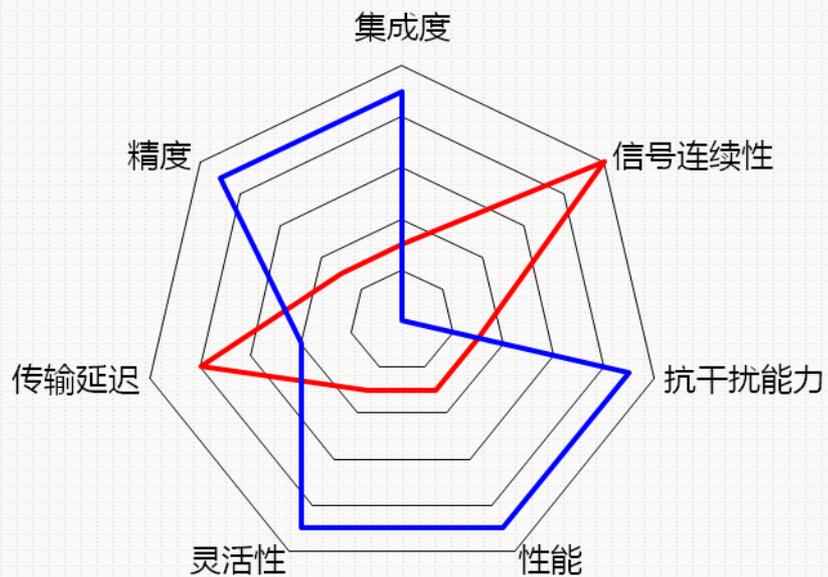




# 模拟数字对比

## 模拟数字对比

— 模拟 — 数字





# 标量矢量对比

标量

- 稳态模型
- 只控幅值
- 对动态过程控制有限

矢量

- 动态模型
- 可控制幅值和相位
- 可精确、实时控制



# 常规先进对比

先进：自适应、鲁棒、  
预测、反馈线性化、  
系统模型未知、变结  
构、神经网络、专家、  
学习控制

常规：极点  
配置、PID、  
最优控制、  
频域矫正



# 目录

## CONTENTS

1

当前电机及其驱动控制的发展



2

工业机器人的发展与性能分析

3

工业机器人用新型电机

4

高性能伺服驱动控制

5

结论



# 机器人发展标志性事件

1954年  
George Devol  
开发出第一台可  
编程机器人

1967年  
日本引入机  
器人

1975年  
美国机器人  
研究院成立

1980年  
工业机器人在日本普及

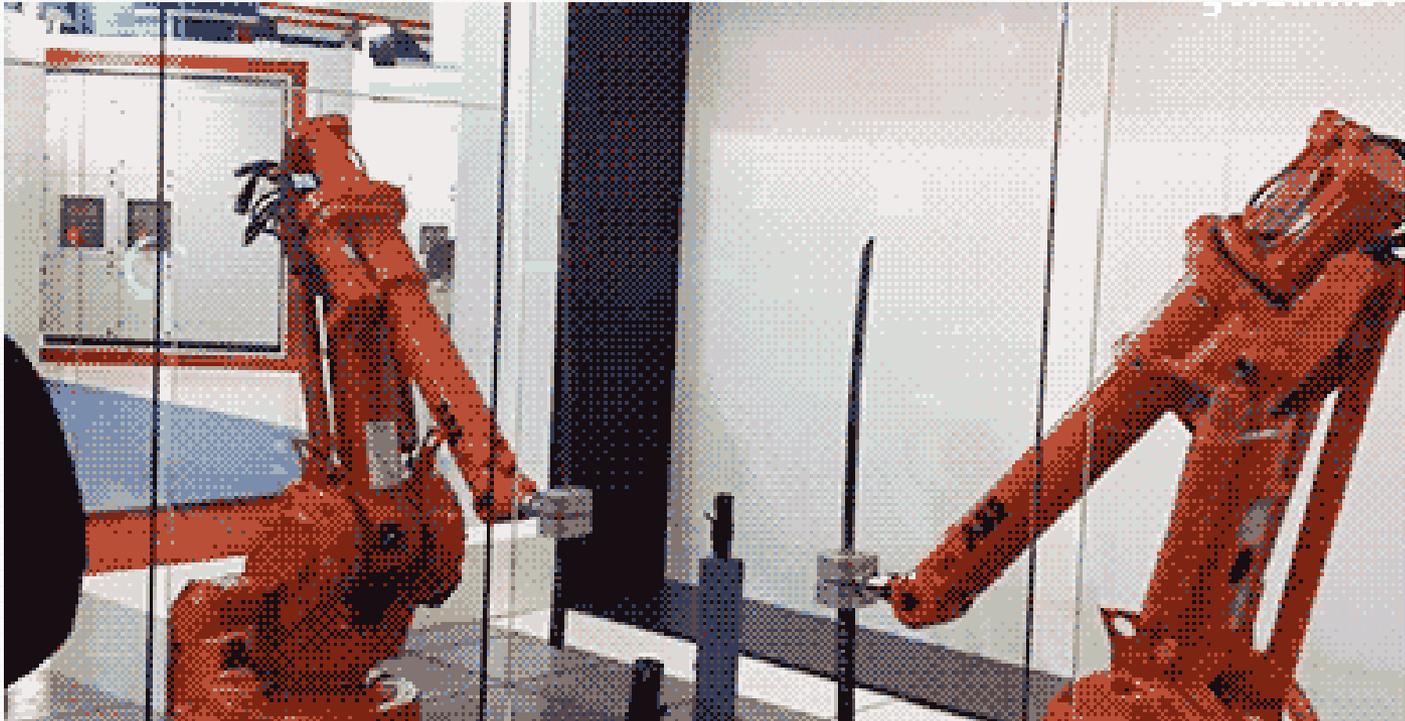
1983年  
机器人学引入教材

1990  
特种机器人  
开始进入市场

2006年  
微软公司  
机器人模块化、  
平台化



# 格斗机械臂

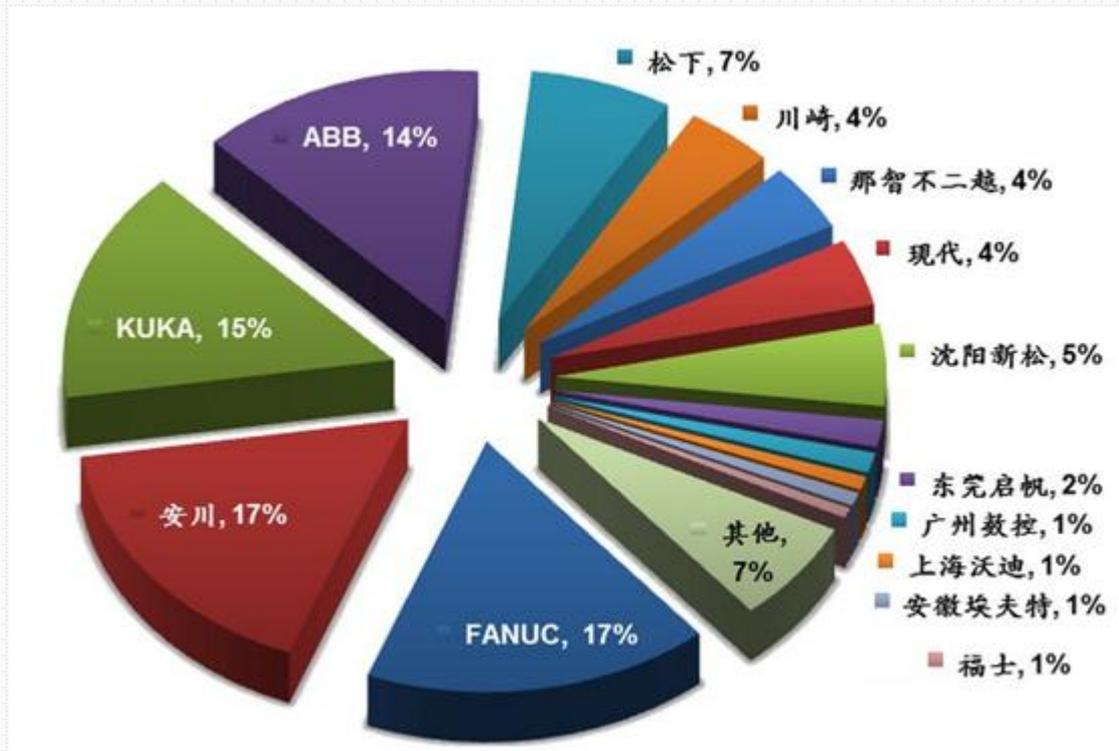




# 汽车制造工业机器人



中国机器人的数量呈指数上升，而当今各公司机器人市场占有率出现**四大多小**的境况：瑞典ABB，日本FANUC及安川，德国KUKA。我国机器人技术亟待发展。





# 我国工业机器人发展背景

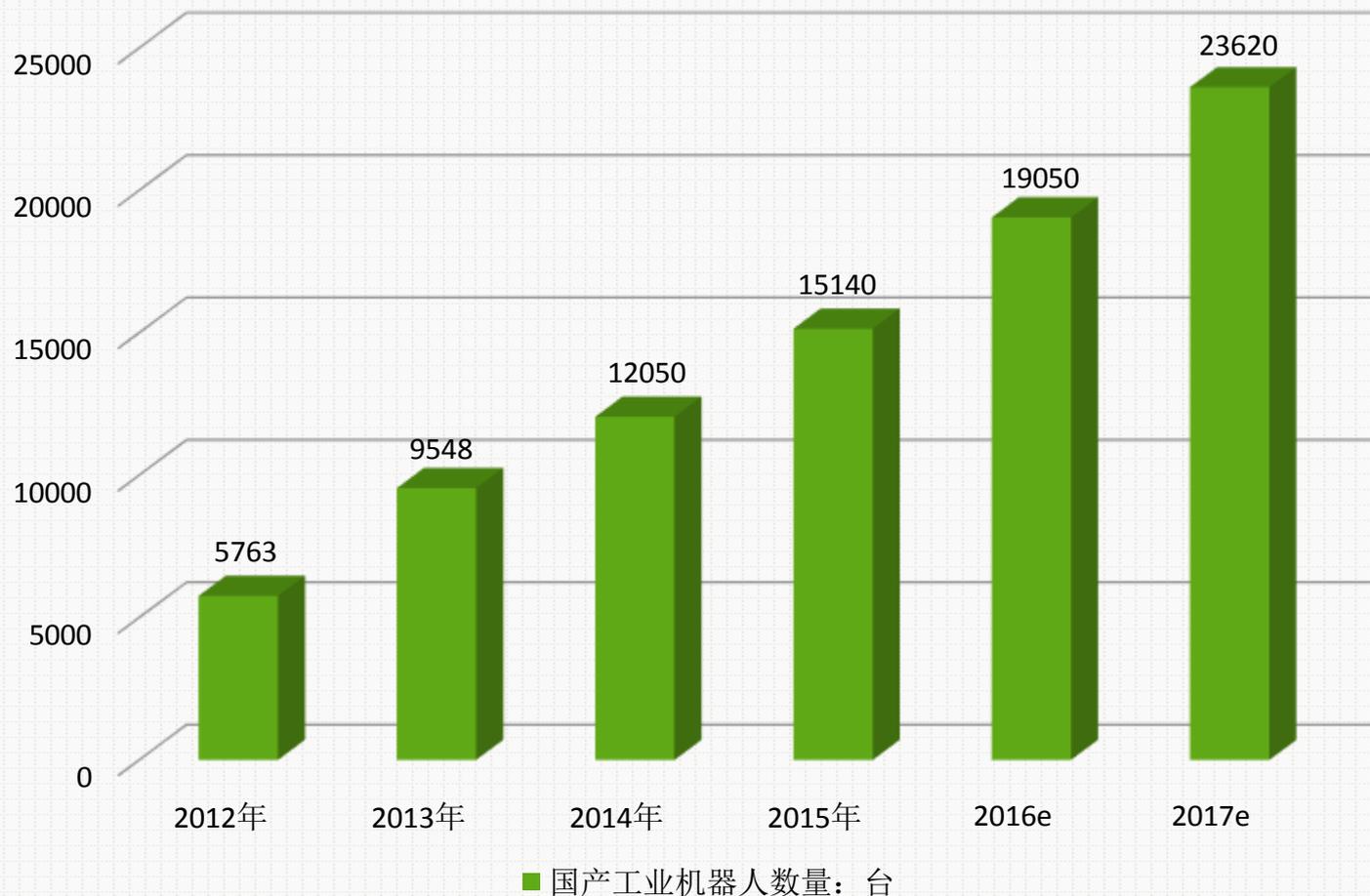
社会老龄化加重，劳动力的结构性短缺以及劳动力成本的急剧上升。

国家工信部、发展改革委、财政部联合印发了《机器人产业发展规划》。

计算机技术、控制理论、电机学、电力电子技术等高速发展。



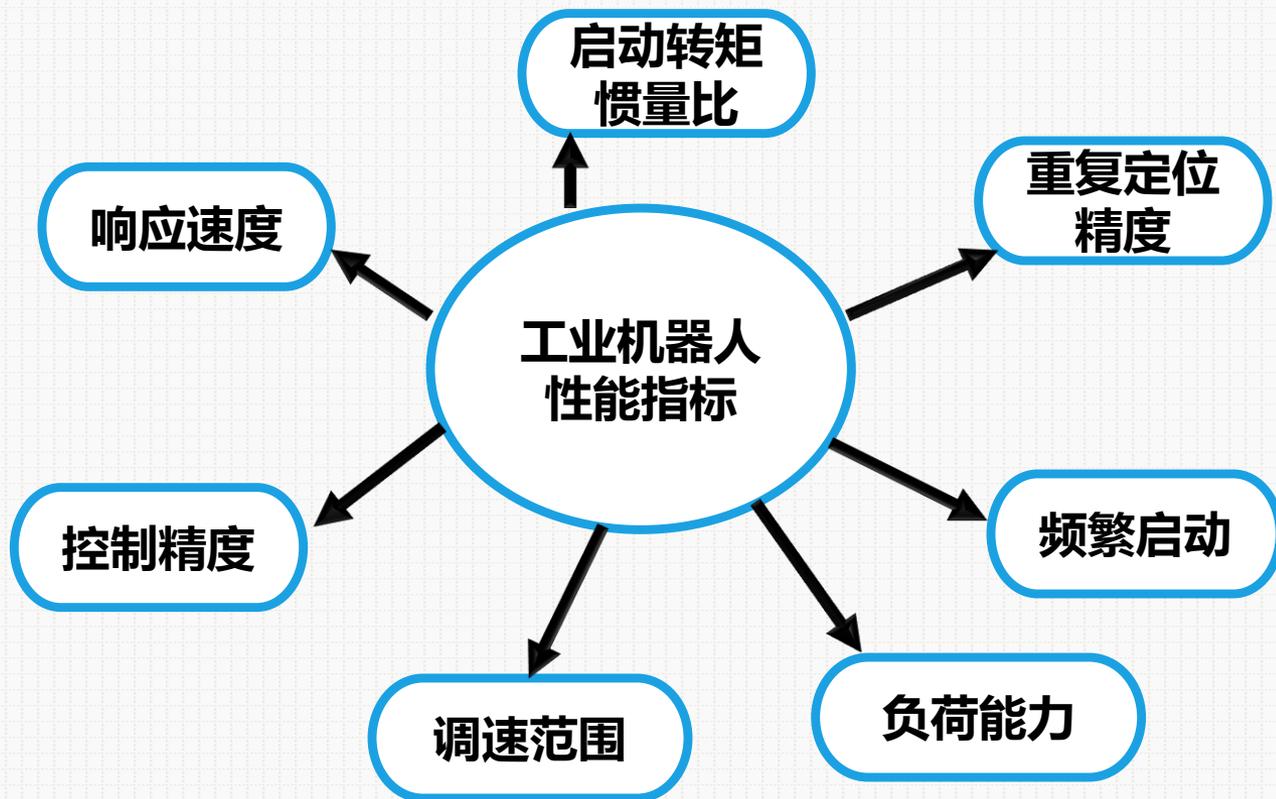
# 国产工业机器人发展形势





# 工业机器人性能指标

在工业机器人迅速发展的同时，作为机器人运动动力源的电机，它的**本体结构**及其**驱动控制器**也显得越来越重要。





- **快速性** 电动机从获得指令信号到完成指令所要求的工作状态的时间应短。一般是以伺服电动机的机电时间常数的大小来说明伺服电动机快速响应的性能
- **起动转矩惯量大** 在驱动负载的情况下，要求机器人的伺服电动机的**起动转矩大，转动惯量小**
- **控制特性的连续性和直线性** 随着控制信号的变化，电动机的转速能连续变化，有时还需转速与控制信号成正比或近似成正比
- **调速范围宽** 能使用于1：1000 ~ 10000的调速范围。
- **体积小、质量小、轴向尺寸短**
- **能经受得起苛刻的运行条件**，可进行十分频繁的正反向和加减速运行，并能在短时间内承受过载



# 目录

## CONTENTS

1

当前电机及其驱动控制的发展

2

工业机器人的发展与性能分析

3

工业机器人用新型电机

4

高性能伺服驱动控制

5

结论



# 工业机器人用电机主要发展方向

综合比较各控制电机，交流永磁同步伺服电机将是工业机器人应用上性能最好的电机。而永磁同步电机也有了很大的发展。





# 各类电机性能比较

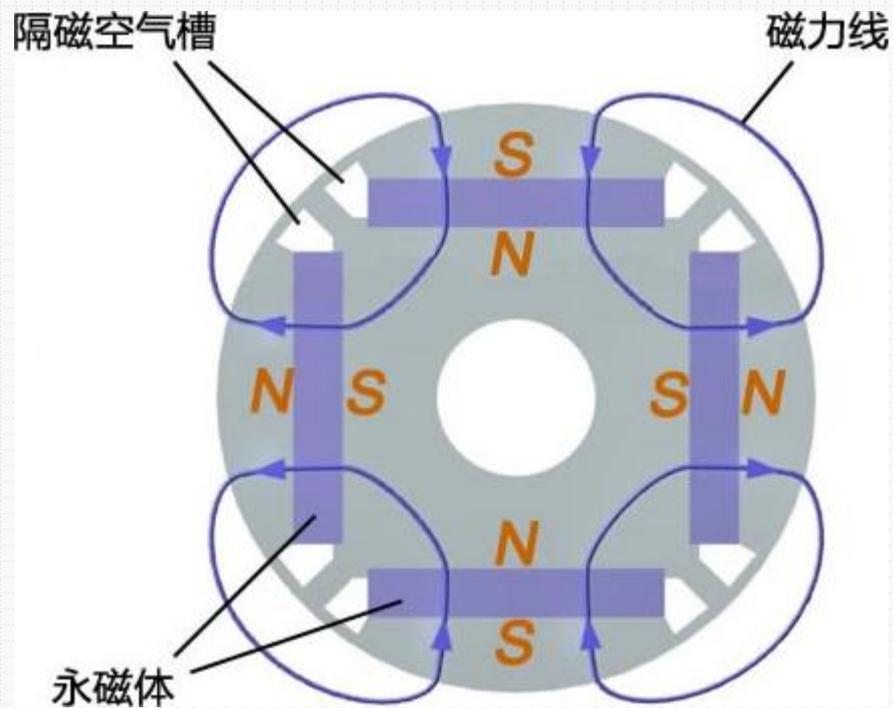
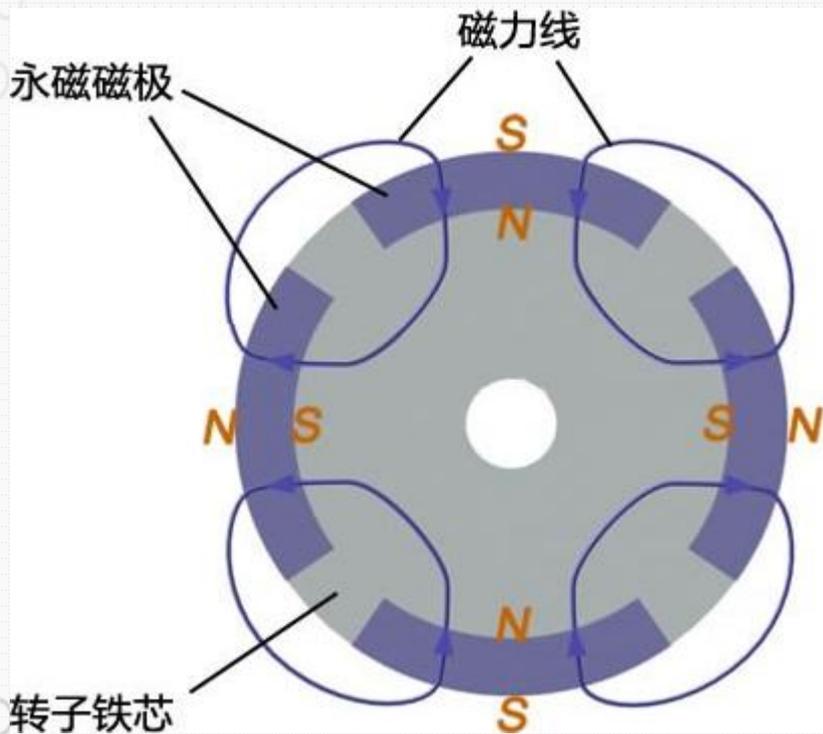
性能 类型	控制方式	电刷	转动惯量	输出转矩	功率密度	效率	主要缺点
步进电机	开环	无	较大	较大	较小	较高	控制精度不高
直流电机	闭环	有	较大	较大	较小	较高	机械结构复杂，维护工作量大，不适于恶劣环境
异步电机	闭环	无	小	大	较小	较低	控制复杂，参数受转子温升影响，容量小时效率低
无刷直流	闭环	无	较小	较大	较大	高	转矩脉动大
永磁同步	闭环	无	小	大	大	高	弱磁控制难



# 永磁材料性能比较

永磁体取代传统的电励磁磁极简化了结构；消除了转子的滑环、电刷，实现了无刷结构；缩小了转子体积；同时由于省去了励磁直流电源，也消除了励磁损耗和发热。永磁材料的发展也极大地推动了永磁同步电机的开发应用。

永磁材料	剩磁(T)	矫顽力(kA/m)	内禀矫顽力(kA/m)	最大磁能积(kJ/m <sup>3</sup> )	剩磁可逆温度系数(%/°C)	居里温度(°C)
中等水平钕铁硼	1.26	967	955	310	-0.12	350
较高水平钕钴	1.00	746	766	210	-0.03	850
最高水平铝镍钴	1.08	120	800	85	-0.02	850
最高水平铁氧体	0.41	300	325	32	-0.18	450



科尔摩根CKM系列同步伺服电机

**KOLLMORGEN**



**特点**

- 中低惯量设计
- 4种法兰尺寸：40、60、
- 额定转速：2000RPM/30
- 额定转矩：0.32~14.33N
- 额定功率：0.1~3KW
- 供电条件：0.1~3KW支持
- 反馈选项：2500ppr换相
- 防护等级：IP54

电机型号	符号	单位	CKM							
			220V供电				380V供电			
			10B	15B	20B	30B	10C	15C	20C	30C
额定功率	$P_R$	KW	1	1.5	2	3	1	1.5	2	3
额定转矩	$T_R$	Nm	4.77	7.16	9.55	14.32	4.782	7.164	9.545	14.327
峰值扭矩	$T_{max}$	Nm	14.31	21.48	28.65	42.96	14.327	21.492	28.645	42.693
额定速度	$N_R$	rpm	2000							
最大速度	$N_{max}$	rpm	2800		2500		2800		2500	
额定电流	$I_R$	A	5.16	7.3	9	13.7	2.58	4.36	5.78	8.9
峰值电流	$I_{max}$	A	15.3	21.9	27	41.1	7.74	13.08	17.34	26.7

科尔摩根AKM系列无刷电机

**KOLLMORGEN**



### 特点

- 8种框架规格，28种框架/叠片组合
- 转速高达8000 RPM
- 75 VDC, 120, 240, 480 VAC 绕组
- 各种反馈设备、安装配件、密封
- 直接安装到大多数科尔摩根伺服驱动器
- 环境温度为40°C时，额定绕组温度达到100°C，同时使用155°C (F类) 绝缘材料
- cURus、CE认证、UL认证

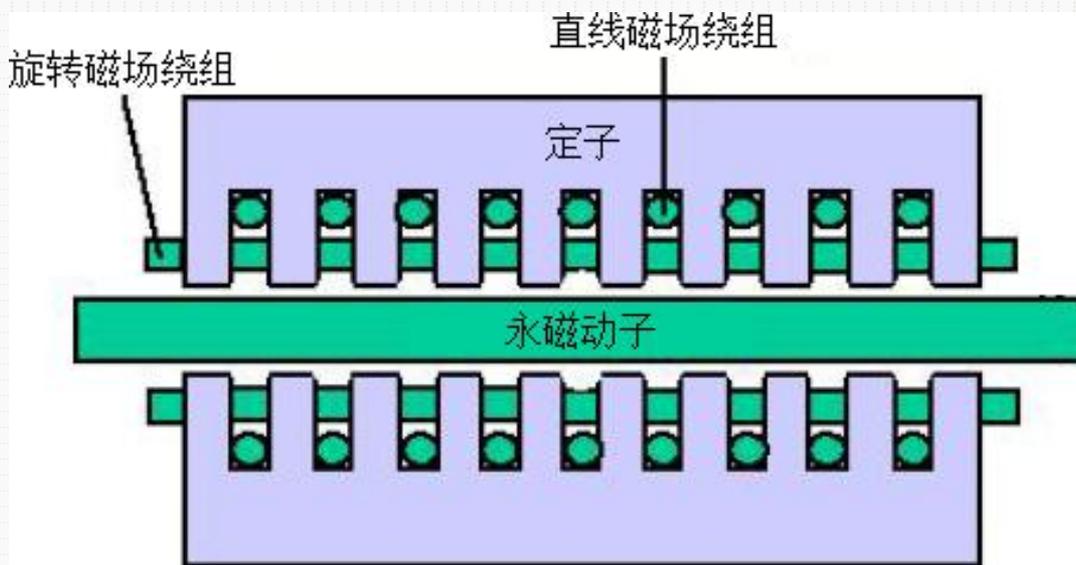
机架尺寸	AKM1	AKM2	AKM3	AKM4	AKM5	AKM6	AKM7	AKM8
叠片段长度	1,2,3	1,2,3,4	1,2,3	1,2,3,4	1,2,3,4	2,3,4,5	2,3,4	2,3,4
绕组	B,C,D,E	C,D,E F,G	C,D,E,H	C,E,G H,J,K	E,G,K L,M,N	G,K,L M,N,P	K,L,M,P	T
最大额定直流母线电压	320	640	640	640	640	640	640	640
最大连续转矩 (失速)	0.409 (3.62)	1.4 (12.6)	2.88 (25.5)	6.0 (53.1)	14.1 (125)	25.0 (221)	53.0 (469)	140 (1239)
最大峰值转矩	1.46 (12.9)	4.82 (42.7)	10.22 (90.5)	20.4 (181)	38.4 (340)	65.2 (577)	143 (1269)	668 (5912)
最大额定速度	8000	8000	7000	6000	6000	6000	3500	3000
最大额定功率@ Max BUS kW (Hp)	.30 (.41)	.54 (.72)	1.19 (1.59)	1.73 (2.32)	3.87 (5.19)	6.16 (8.25)	7.71 (10.34)	19.5 (26.1)



直驱，顾名思义就是电动机与其所驱动的负载直接耦合在一起，中间不存在传动机构。本质上是一种大力矩的直驱电机。直接驱动系统为设计者和使用者带来了许多好处。

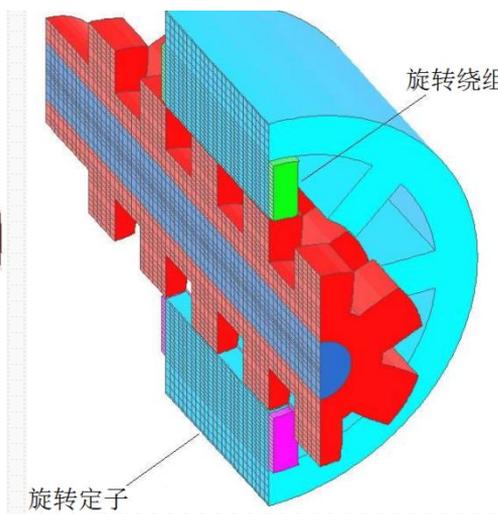
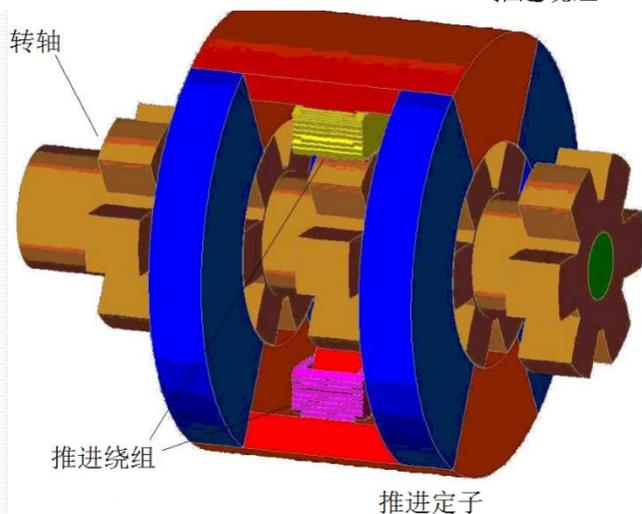
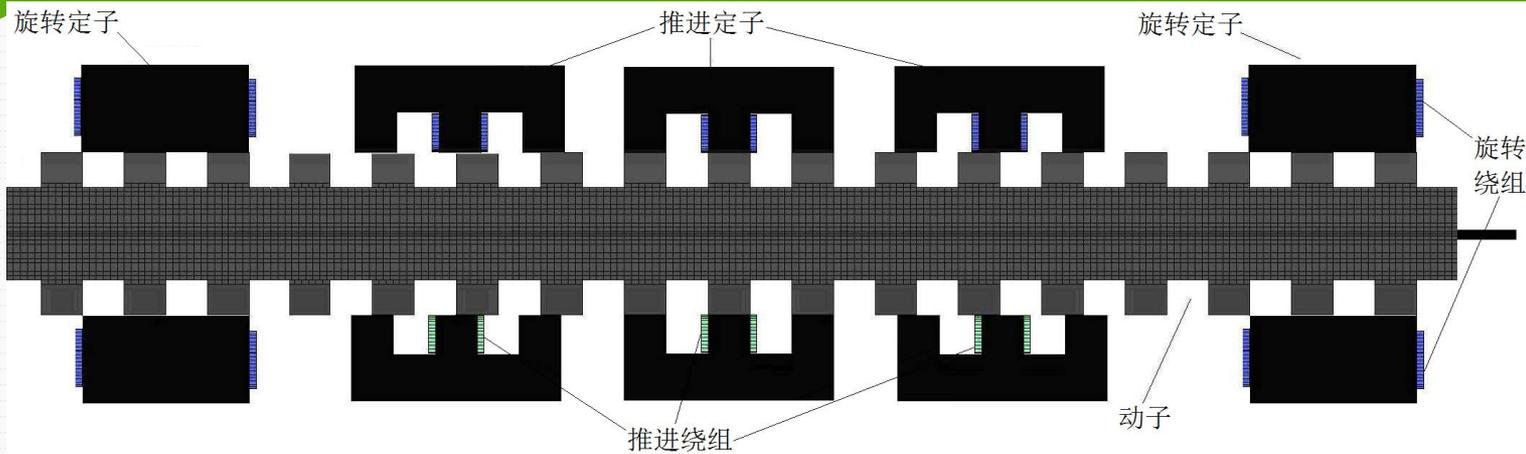
- 直接驱动旋转电机技术从根本上提高了机器的可靠性，减少了维护时间和开销
- 直接驱动设计避免了对电机和负载进行惯性匹配的麻烦
- 定位和速度精度可以**提高 50 倍**
- 直接驱动电机**听觉噪声降低高达 20 分贝**

两自由度直驱电机是一种无中间传动机构的新型电机，这种电机可以分别做直线运动、旋转运动以及两者合成的螺旋运动。它具有机械集成度高，电机结构材料和驱动控制系统元件利用率高等优点，是典型的机电一体化产品。



两自由度直驱电机—双绕组永磁电机

# 多自由度直驱电机



两自由度直驱电机——双绕组永磁电机

与传统驱动电机相比，低速大扭矩电机具有以下技术优势：

- ✓ 大力矩 - 重量比
- ✓ 运转平稳, 噪声小
- ✓ 结构紧凑、体积小、重量轻
- ✓ 可靠性高
- ✓ 高效节能
- ✓ 控制精度高

KOLLMORGEN





智能电机控制架构可将带通信功能的综合控制技术应用于电机控制设备，提升系统性能并提高操作效率。

- 先进的诊断功能，提升系统性能。
- 体积小巧，紧凑，节省空间。
- 丰富的功能增强了系统的灵活性。
- 增强了对电机绕组，设备和原材料的保护，缩短了停机时间。
- 采用了先进的技术，提高了系统操作的准确性。
- 易于购买，安装，调试和维护。

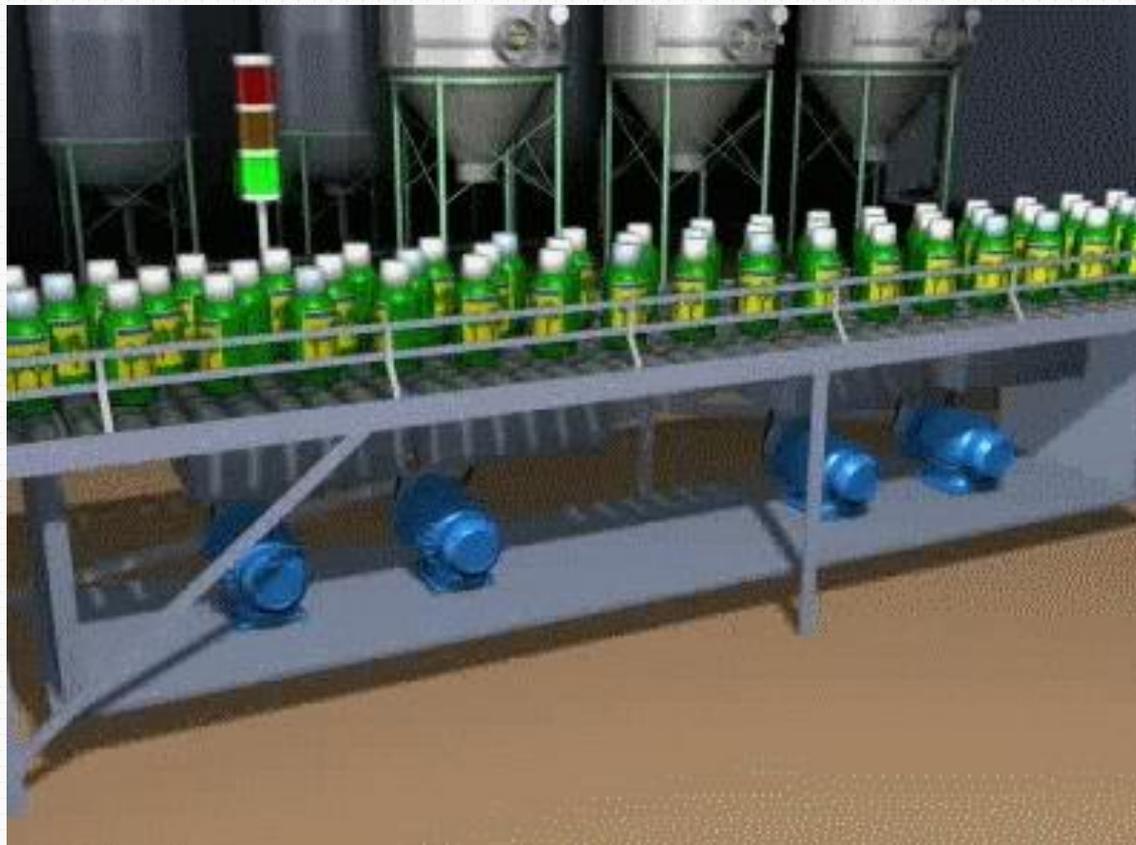
资料来源



[http://www.rockwellautomation.com/zh\\_CN/support/catalog/IMC-BR002B-ZH-P.page](http://www.rockwellautomation.com/zh_CN/support/catalog/IMC-BR002B-ZH-P.page)  
[http://www.rockwellautomation.com/zh\\_CN/products-technologies/intelligent-motor-control/overview.page?](http://www.rockwellautomation.com/zh_CN/products-technologies/intelligent-motor-control/overview.page?)



# 电机过载保护



资料来源

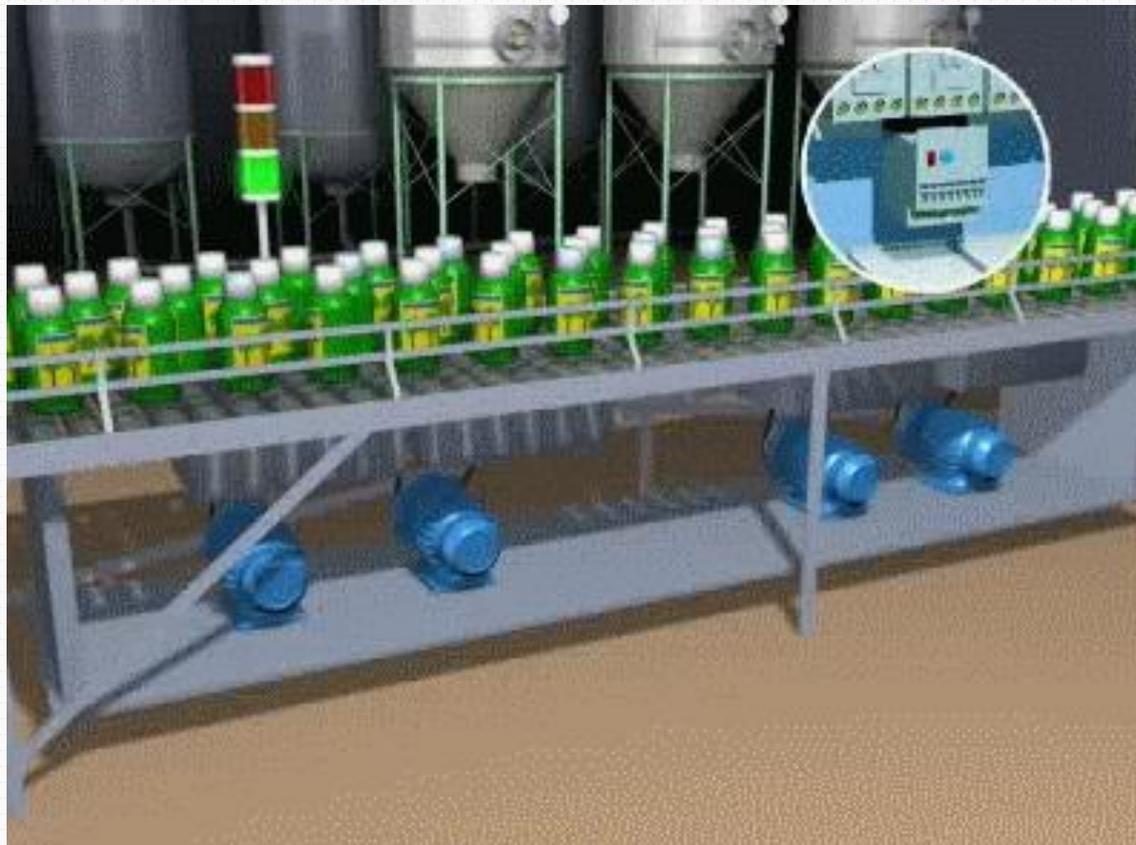
传统解决方案



[http://www.rockwellautomation.com/zh\\_CN/products-technologies/intelligent-motor-control/intelligent-motor-control-videos.page?](http://www.rockwellautomation.com/zh_CN/products-technologies/intelligent-motor-control/intelligent-motor-control-videos.page?)



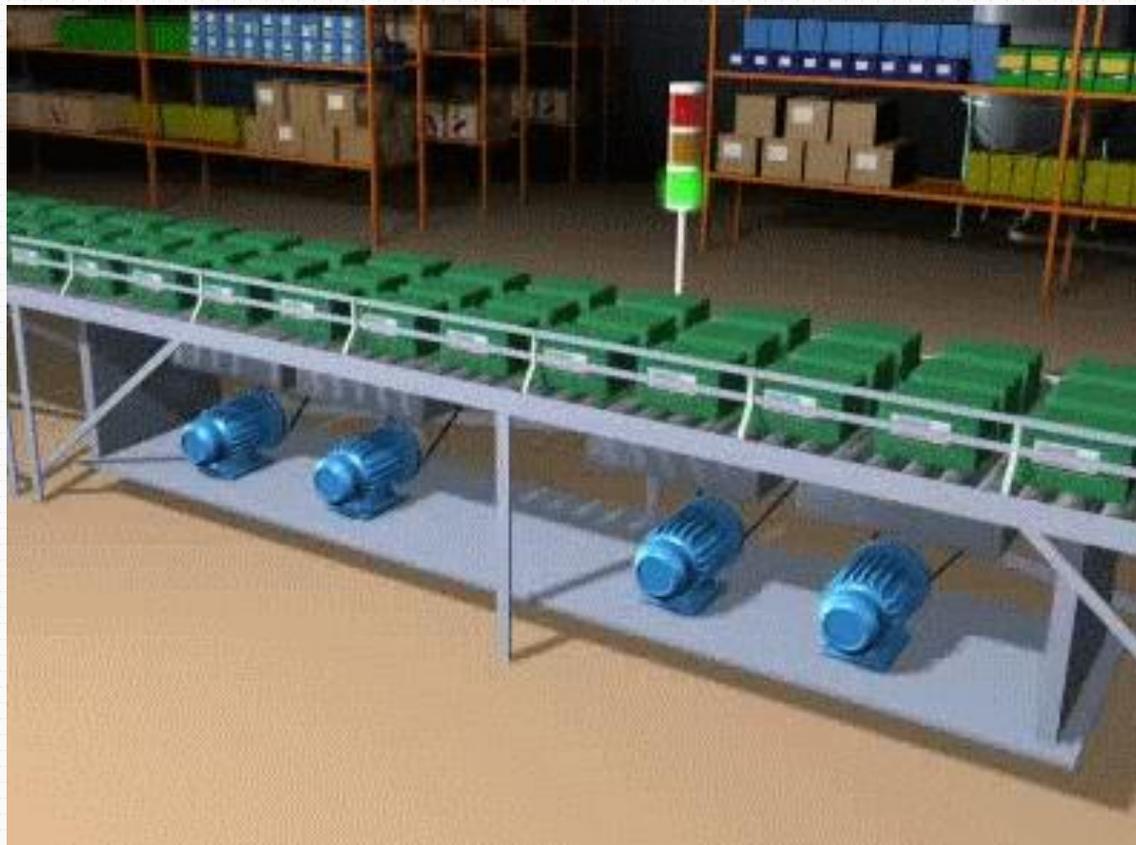
# 电机过载保护



智能解决方案



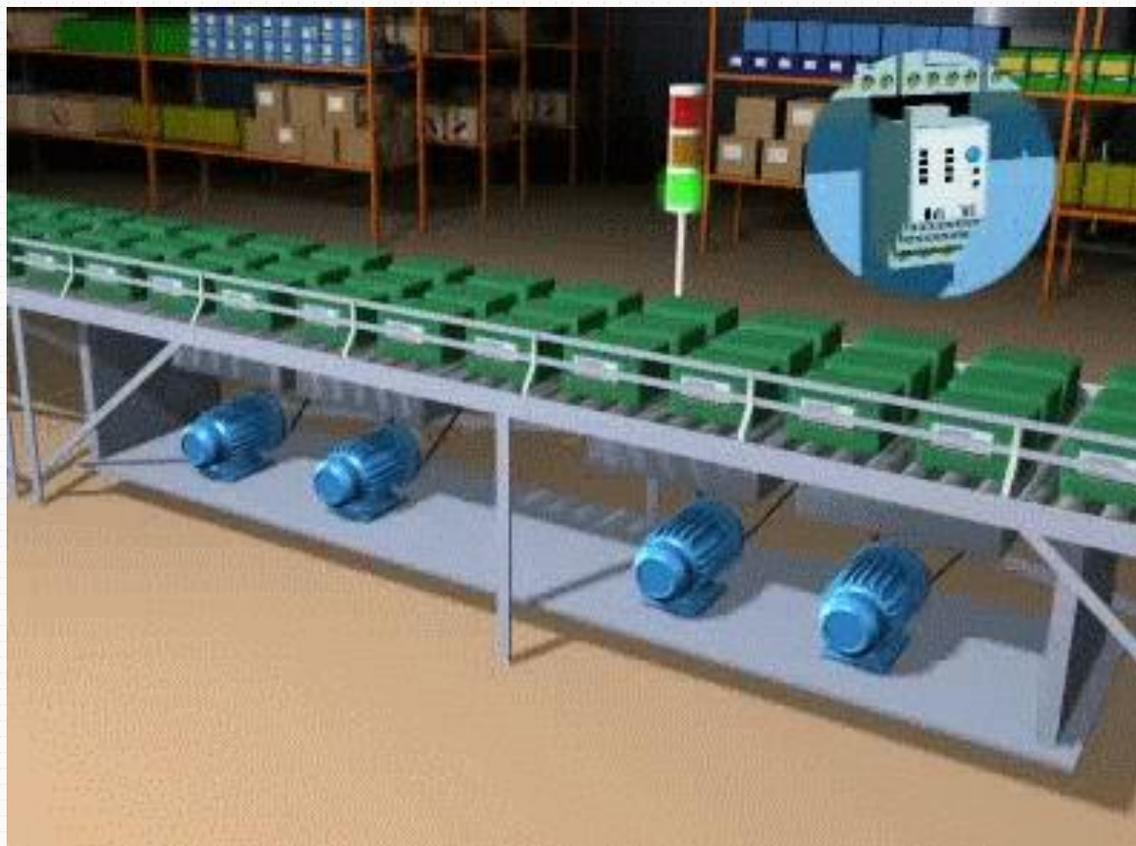
# 电机欠载保护



传统解决方案



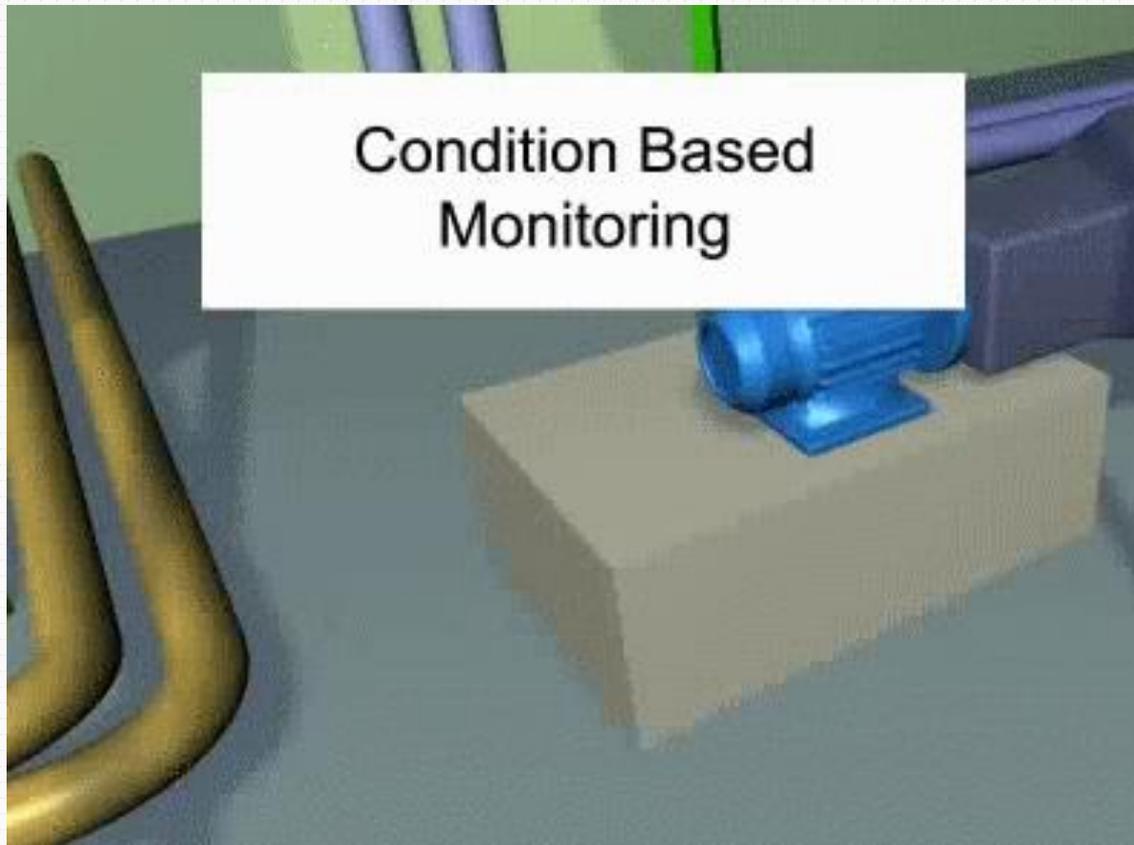
# 电机欠载保护



智能解决方案



传统解决方案



智能解决方案



# 目录

## CONTENTS

1

当前电机及其驱动控制的发展

2

工业机器人的发展与性能分析

3

工业机器人用新型电机

4

高性能伺服驱动控制

5

结论



# 高性能伺服驱动主要需求分析

50

随着工业机器人性能要求的不断提高以及新型电机的迅速发展，高性能伺服驱动控制的要求也越来越高，主要可以归纳为以下几个方面：

- 驱动器与电机的匹配关系
- 伺服系统的响应速度和控制精度
- 伺服系统的鲁棒性
- 进一步改善系统性能的需求
- 多关节联动系统的控制

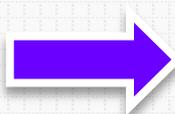


# 高性能伺服驱动主要发展方向

## 伺服驱动发展需求

## 伺服驱动发展方向

提高驱动器的适用性



参数自整定

提高伺服系统的响应速度  
和控制精度



快速响应  
高精度

提高伺服系统的鲁棒性



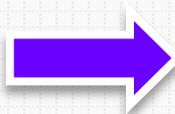
振动抑制  
扰动补偿

提高伺服系统的性能

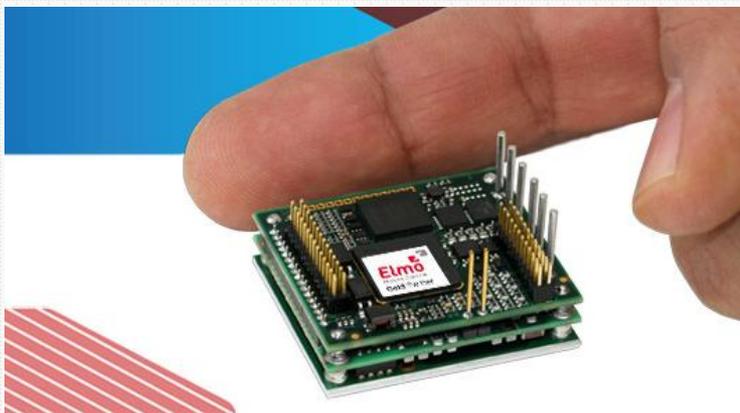


先进控制算法

解决多关节联动系统



高速通信  
多轴控制



## 产品主要特点

- ✓ 参数自整定技术
- ✓ 响应速度快（电流环带宽4kHz）
- ✓ 矢量控制
- ✓ 陷波滤波器与振动抑制
- ✓ 通信接口丰富
- ✓ 体积紧凑

Elmo伺服驱动器



## 产品主要特点

- ✓ 智能参数自整定技术
- ✓ 两自由度控制与快速响应
- ✓ 自适应滤波器与振动抑制控制
- ✓ 位置、速度、转矩全闭环控制
- ✓ 多轴控制

松下伺服驱动器



# 目录

## CONTENTS

1

当前电机及其驱动控制的发展

2

工业机器人用新型电机

3

驱动控制

4

案例分析

5

结论





# 结论

综上所述，工业机器人用电机的发展趋势可以简单概括为以下三个方面：

- 永磁电机
- 直驱电机
- 智能电机



高性能伺服驱动控制的发展趋势可以归纳如下：

- 智能化参数自整定技术
- 快速响应和高精度控制
- 振动抑制和扰动补偿
- 先进控制算法的应用
- 高速通讯
- 多轴同步控制



South China University of Technology

School of Electric Power

谢谢!