

# 倾转方案技术调研——RVDT（旋转可变差动变压器）

## 1. 概述：

- 本文档针对LVDT（直线位置传感器，也叫线性可变差动变压器）进行调研。

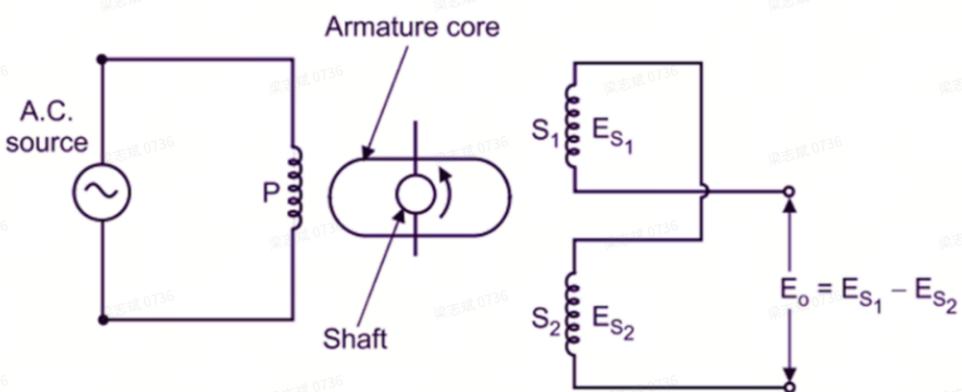
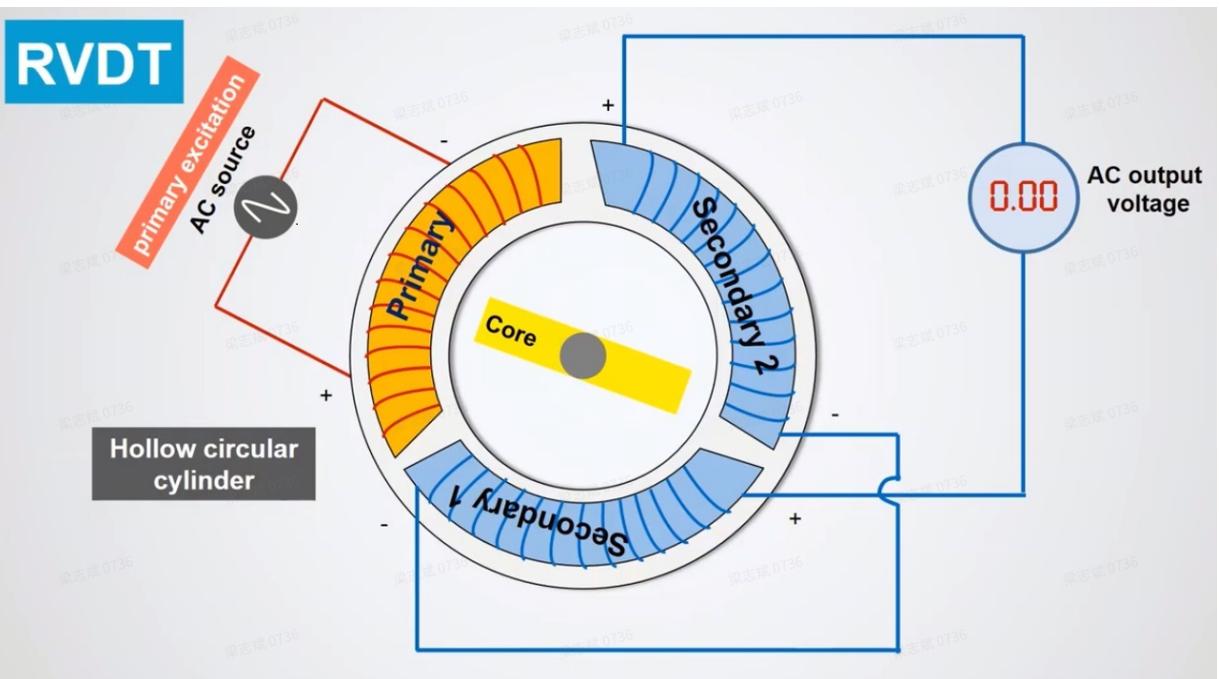
## 2. RVDT工作原理

### 2.1 什么是RVDT？

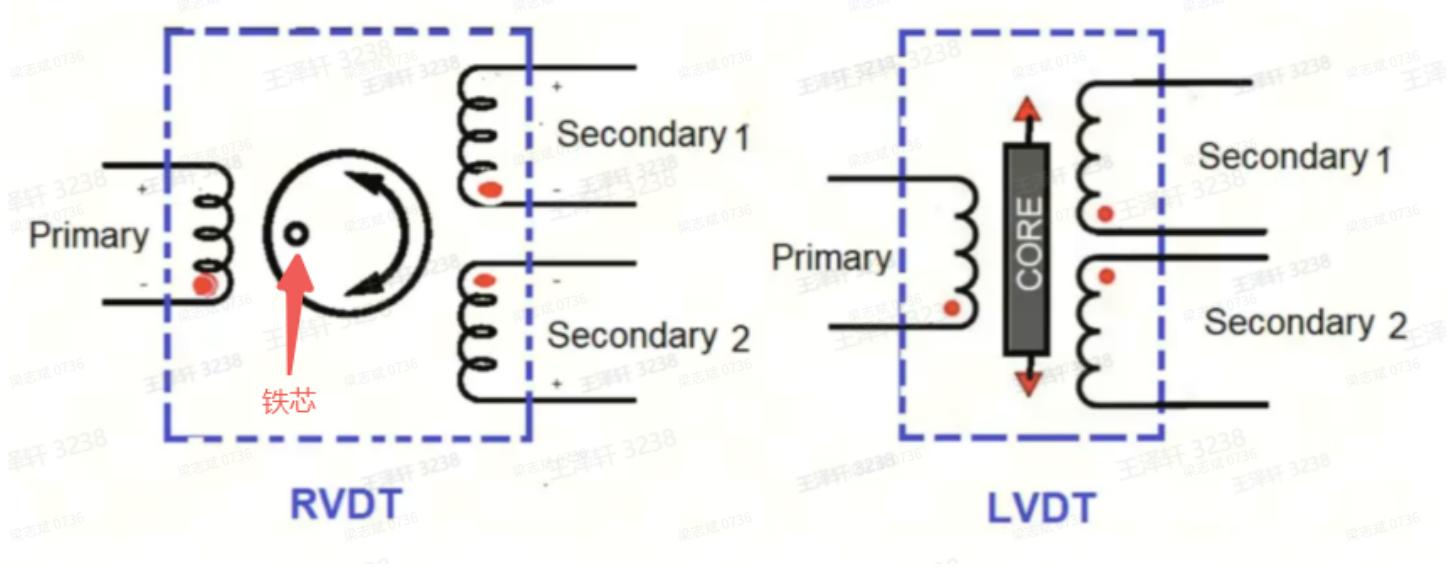
RVDT是旋转可变差动变压器（Rotary Variable Differential Transformer）的缩写，是一种用于测量旋转角度的电磁传感器。它的工作原理和结构与LVDT（线性可变差动变压器）类似，但针对旋转运动设计。



### 2.2 RVDT 是怎样工作的？



RVDT的原理与LVDT几乎完全相同。RVDT传感器实际上也是铁芯可动变压器，由一个初级线圈、两个次级线圈、铁芯、线圈骨架、外壳等部分组成。当铁芯处于线圈骨架的中间位置时，两个次级线圈输出的电动势V1和V2相等，输出电压为零。当铁芯偏离中间位置时，两个次级线圈的电动势V1和V2不相等，输出一定的电压。



## 2.3 RVDT的优缺点

因为结构与原理高度相似，RVDT的优点与LVDT一致，参考LVDT的优点。

RVDT的缺点是在连续旋转场景中，RVDT存在显著限制。主要原因如下：

1. 机械结构限制：RVDT的线圈绕组和铁芯设计基于有限旋转角度（通常 $\pm 30^\circ$ 至 $\pm 60^\circ$ ），无法实现 $360^\circ$ 连续旋转的电磁耦合连续性。当旋转超过标称范围时，次级线圈的感应电压会进入非线性区域，导致输出信号失真。
2. 信号周期性断点：即使理论上可通过特殊设计实现全周测量，但铁芯旋转超过 $180^\circ$ 时，电磁场分布会重复周期性特征，导致角度解析出现多值性问题，无法区分完整旋转圈数。

若强行用于连续旋转场景，将导致以下后果：

- 测量失效：超出线性范围后，输出信号与角度呈非线性关系，精度急剧下降（例如扩展至 $\pm 60^\circ$ 时非线性误差可达 $\pm 0.25\%$ 以上）；
- 系统误判：周期性信号特征可能被控制系统误读为反向旋转或零位跳变；
- 机械损伤风险：持续超限旋转可能加速铁芯与线圈骨架的磨损，降低传感器寿命。

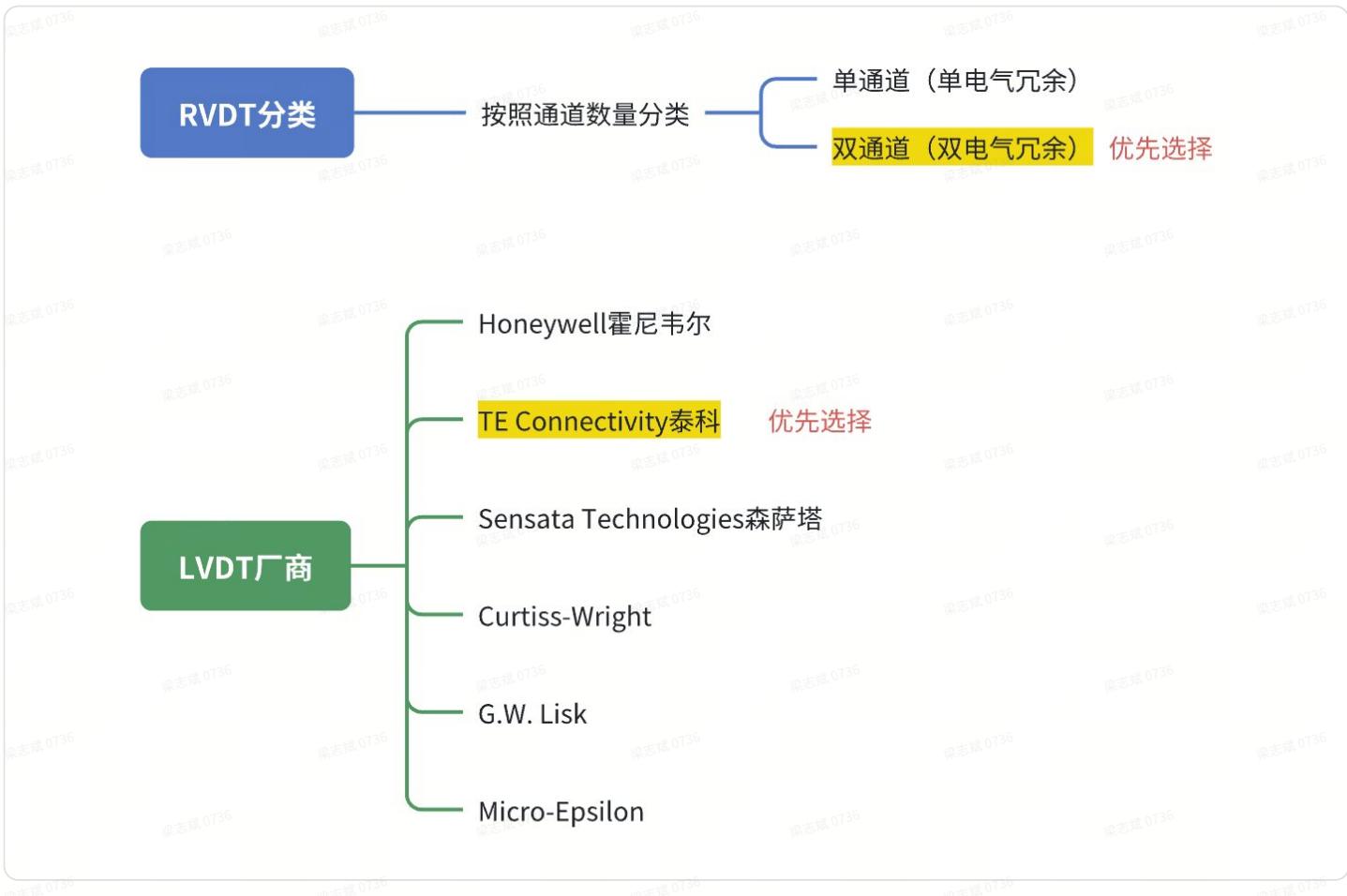
对于需要连续旋转的应用（如电机轴角监测），通常采用旋转变压器（Resolver）或光电编码器替代，前者基于类似原理但支持 $360^\circ$ 无间断测量，后者通过光栅细分实现高精度全周检测。

Typical Product Specifications	LVDTs	RVDTs
Range	0.010 to 20.0"	$\pm 80$ degrees
Linearity	$\pm 0.25\%$ F.S.	
Accuracy	$\pm 1.0\%$ F.S. (-65 to 450F)	$\pm 1.0\%$ F.S. (-65 to 250F)
MTBF	700,000 hours	500,000 hours
Temperature	-65 to 450F*	-65 to 350F
Redundancy		1 to 4 channels
Environmental		MIL-STD-810 or DO-160
Gear Ratios		Up to 4000:1

## 3. RVDT产品调研

### 3.1 调研结论

- 最优器件选型：市面上大部分型号RVDT可以满足需求输入，优先选择双通道RVDT。
- 最优供应商选择：优先选择TE Connectivity泰科电子，其在国内销售平台上信息较为齐全。
- 疑虑：RVDT的直径（通常为20mm以上）会不会影响机翼结构上的设计？多个RVDT的信号处理方案？



### 3.1 RVDT选型型号参考

#### RVDT选型关键物理特征

选型特征	特征描述		需求
直径	20~40mm		控制器整体结构小于 $120\text{mm}^3$
测量范围 (转角)	$\pm 30^\circ \sim \pm 90^\circ$		$-40^\circ \sim 80^\circ$
外壳材料	不锈钢、铝、阳极氧化铝、高碳钢等		
截面形状	圆柱形		
使用寿命	一般平均无故障工作时间 (MBTF) 大于100000h		大于 2000Fh, 大于6000h
通道数量	单通道	单机械与电气冗余, 适用于大部分场景	

双通道	双机械与电气冗余，适用于对可靠性要求高的场景
重量	主要受防护等级的影响，一般在10~300g 作动器小于2kg 控制器小于1kg

## RVDT选型关键电气特征

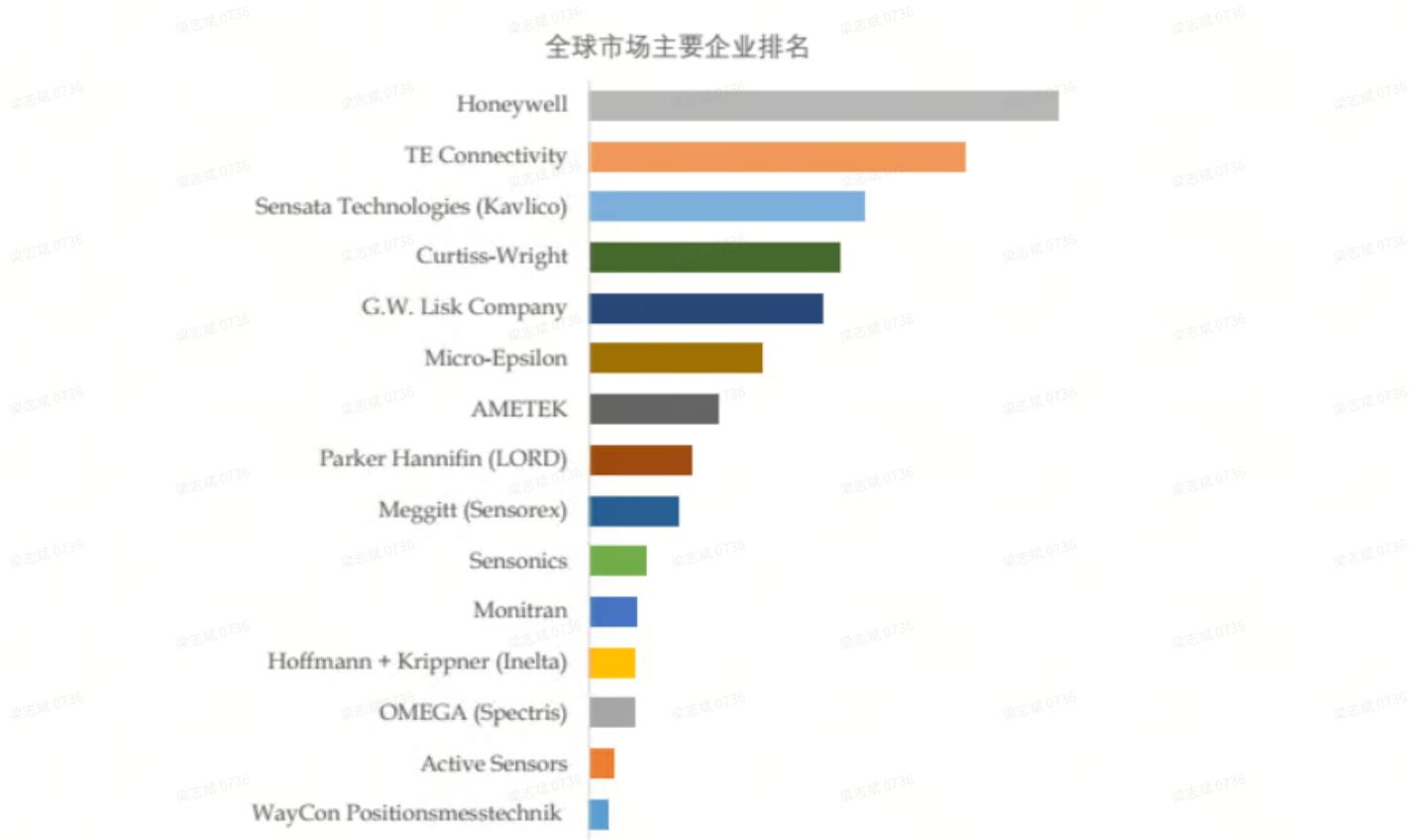
选型特征	特征描述	需求
全量程线性误差	±0.1%~±2%	作动器行程采集误差小于0.3°
灵敏度(Sensitivity)	通常单位为mV/V/degree，定义为每度引起的输出电压变化与激励电压的比值。	
输出信号类型	<ul style="list-style-type: none"> <li>交流电压输出：交流输出RVDT一般是直接输出未经处理的原始信号，需用RVDT信号调理电路对交流信号进行解调，一般输出范围为0.5V~10V</li> <li>直流电压输出：RVDT与信号调理电路集成在一起，能直接输出模拟直流信号。一般输出范围为0.5V~10V。</li> </ul>	
励磁频率	一般为0.1~20kHz	
工作环境范围	承压1000PSI、承压10000PSI、耐高温、耐辐射等	-40°~70°C
防护等级	IP61~IP68	防水防尘
输出端电气连接	<ul style="list-style-type: none"> <li>6针连接器</li> <li>DB-9连接器</li> <li>屏蔽电缆(Leads)</li> <li>引线(Shielded Cable)</li> <li>接线端子(Terminal Block)</li> </ul>	
标准	是否需要符合欧盟RoHS、ELV等标准	
电磁防护	RVDT一般使用不锈钢外壳，可提供电磁和静电干扰保护	

## RVDT主要生产商参考

LVDT & RVDT Market Report: Projected to Reach USD 3.02 billion by 2029

主要生产商有：Honeywell、TE Connectivity、Sensata Technologies、G.W. Lisk、Ametek等等

因为RVDT有多种传感器替代，如霍尔效应旋转传感器与RVIT等，品类相对较少。



如上图表/数据，摘自 QYResearch 最新报告“全球 LVDT & RVDT 传感器市场研究报告 2023-2029 中的 2021 年数据。

全球范围内 LVDT & RVDT 传感器生产商主要包括 Honeywell、TE Connectivity、Sensata Technologies (Kavlico)、Curtiss-Wright、G.W. Lisk Company、Micro-Epsilon、AMETEK、Parker Hannifin (LORD)、Meggitt (Sensorex)、Sensonics 等。2020 年，全球前五大厂商占有大约 45.0% 的市场份额。

### 3.1.1 各厂商不同型号RVDT参考

参数	产品系列				
	TE R30	TE MACRO RSE	TE R36AS	Sensata (定制)	G.W.LISK (定制)
行程 (°)	±60°	0°~120°	±60°	±80°	±80°
直径 (mm)	25.4	38.1	38.1	定制	定制
输出方式	交流	直流	交流	直流/交流	
线性误差 (全量程)	2%	0.1%	3%	0.25%	0.4%
工作温度	-55 - 150 °C	-40 - 85 °C	-55 - 150 °C	定制	-55 - 200°C
IP等级	IP60	IP66	IP65		定制

外壳材料	阳极氧化铝	阳极氧化铝	不锈钢	
通道数量	单通道	单通道	单通道	
重量 (g)	36	99	255	
参考价格	¥ 5000/件 (来源: digikey)	暂无	¥ 7000/件 (来源: digikey)	

### 3.1.2 参考资料

TE connectivity泰科电子

RVDT 位移传感器

R30系列 (量程±60°)



ENG\_DS\_R30A\_A2.pdf

162.19KB



product-CAT-RVDT0002.datasheet.pdf

117.63KB



RSE系列 (量程0°~120°)



ENG\_DS\_RSE\_A2.pdf

152.71KB



product-CAT-RVDT0001.datasheet.pdf

97.24KB



R36AS系列 (量程±60°)



NG\_DS\_R36AS\_A1-1134851.pdf

154.96KB



product-CAT-RVDT0003.datasheet.pdf

125.69KB



G.W.LISK

定制

RVDT



Sensata森萨塔科技

定制

多通道 RVDT 传感器 | Sensata Technologies



阿贝克传感器（国产）

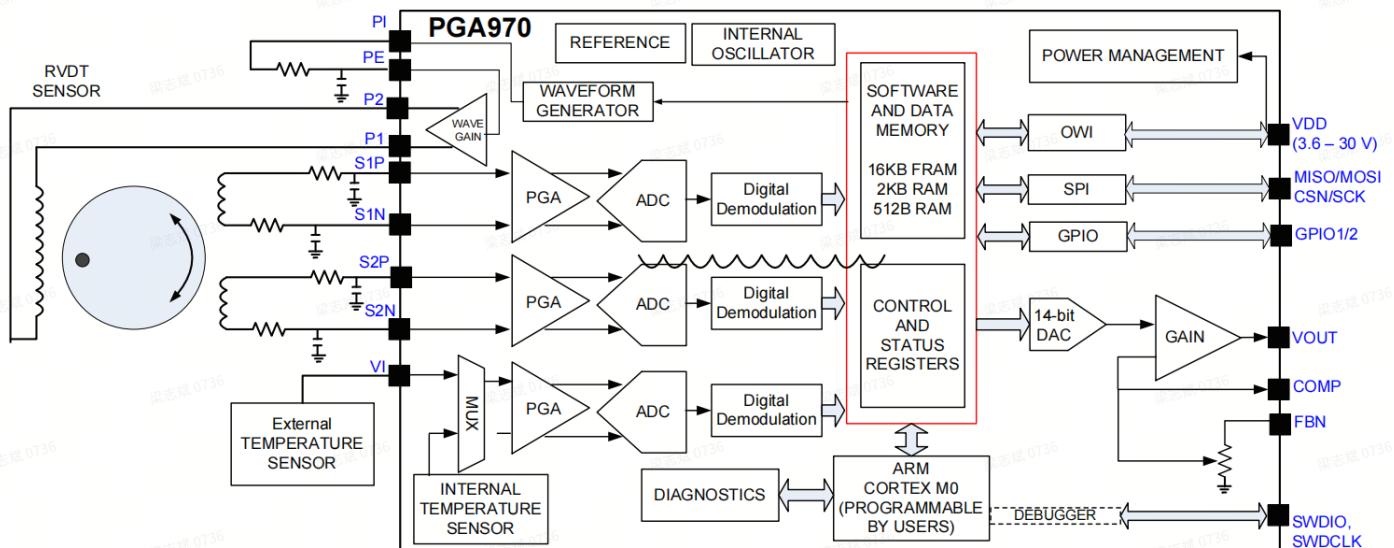
R-22系列双余度RVDT

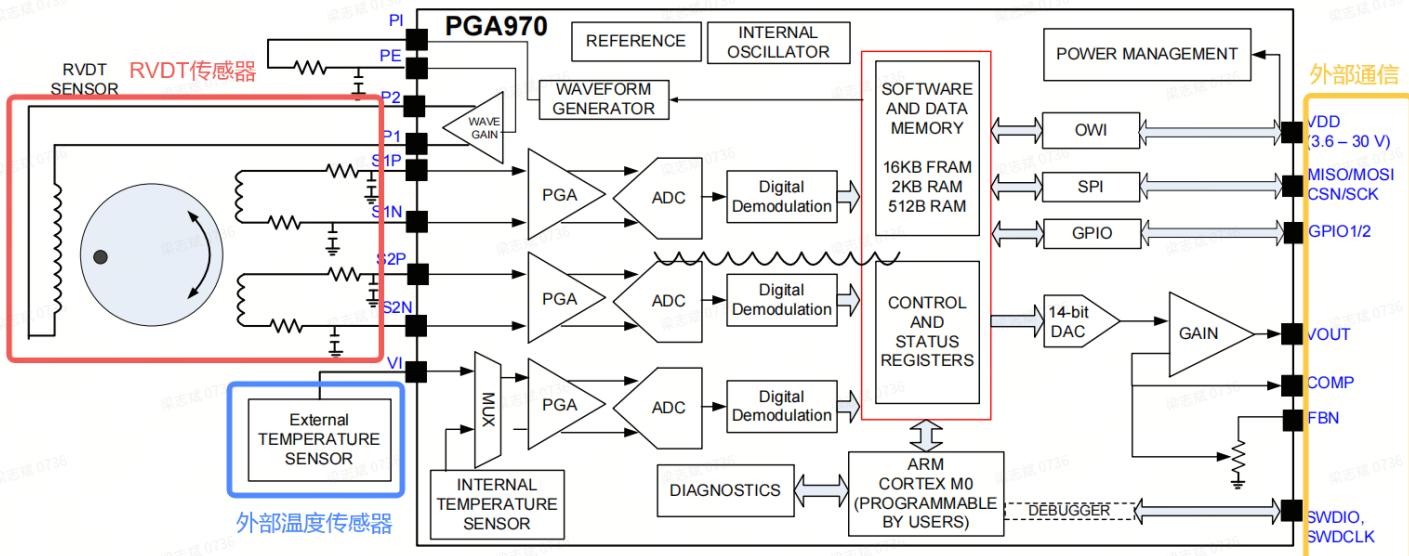
<http://abeksensors.com/index.php?id=174>

## 4. RVDT传感器信号反馈回路方案参考

参见 LVDT传感器信号反馈回路方案参考，电路完全通用。

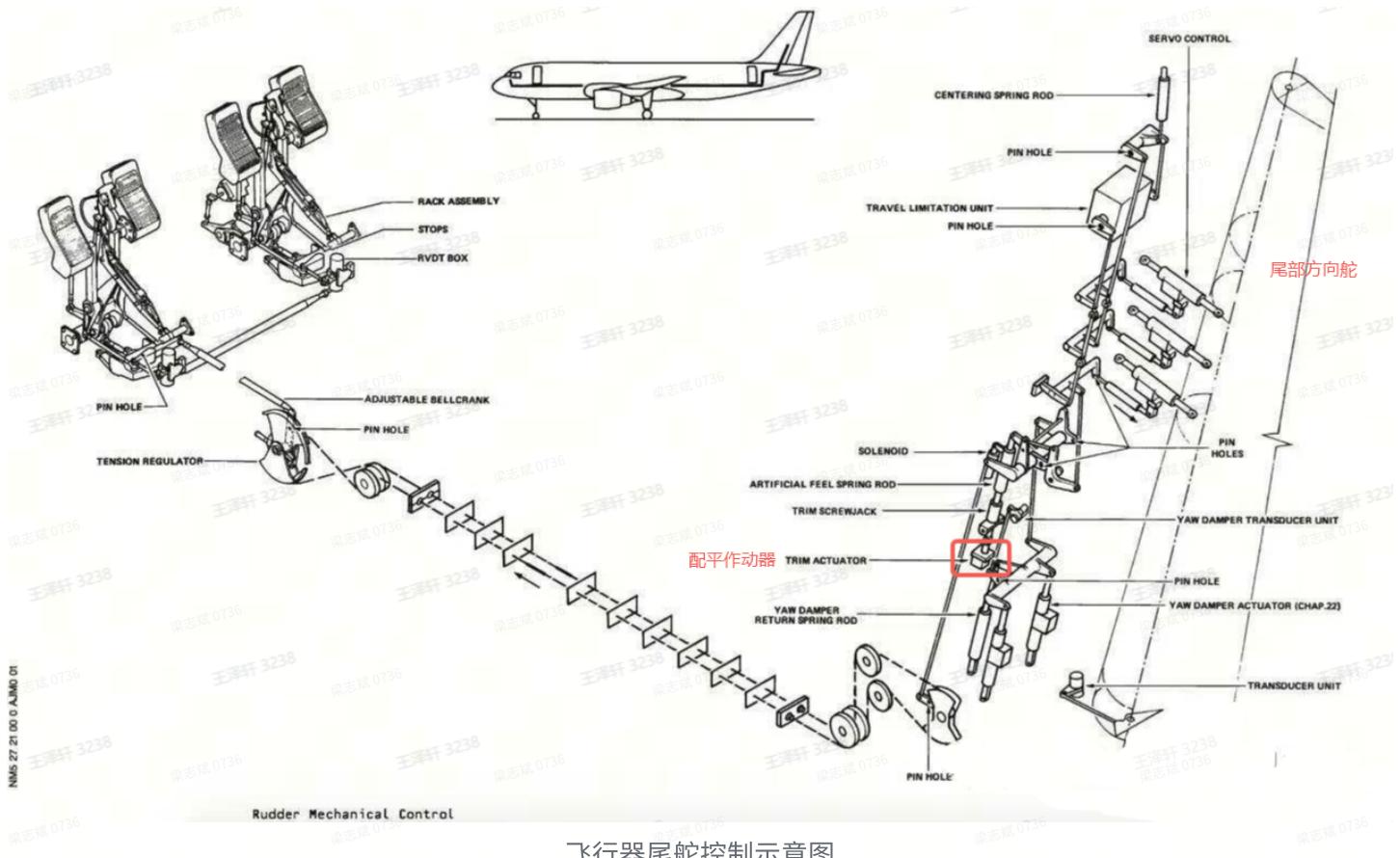
### 4.1 PGA970(TI) 信号调理芯片





## 5. RVDT整体应用方案参考

空客A320尾部方向舵配平动作 - 尾部方向舵配平作动器控制



## 什么是方向舵配平

简单来说就是飞机横滚时，尾舵协调工作，以保持飞行平稳

一般来讲方向舵配平是用来飞机协调转弯的，就是说飞机在转弯的时候副翼要偏转，以产生横滚力矩；但是飞机的横滚同时会带来飞机的航向轴力矩。这样就需要方向舵产生一个补偿力矩来抵消这个力和力矩。空客飞机都是如此设计的，FAC（飞行增稳计算机）会自动的和FMGC（飞行管理与引导计算机）配合，以产生这种配平效果。

## 什么是方向舵配平作动器

- 方向舵配平作动器安装在尾翼区域的方向舵系统上，是方向舵伺服控制的机械输入部件之一。
- 方向舵配平作动器可对驾驶员尾舵操纵系统和尾舵本身的**零位**进行调节。

## 方向舵配平作动器的控制原理

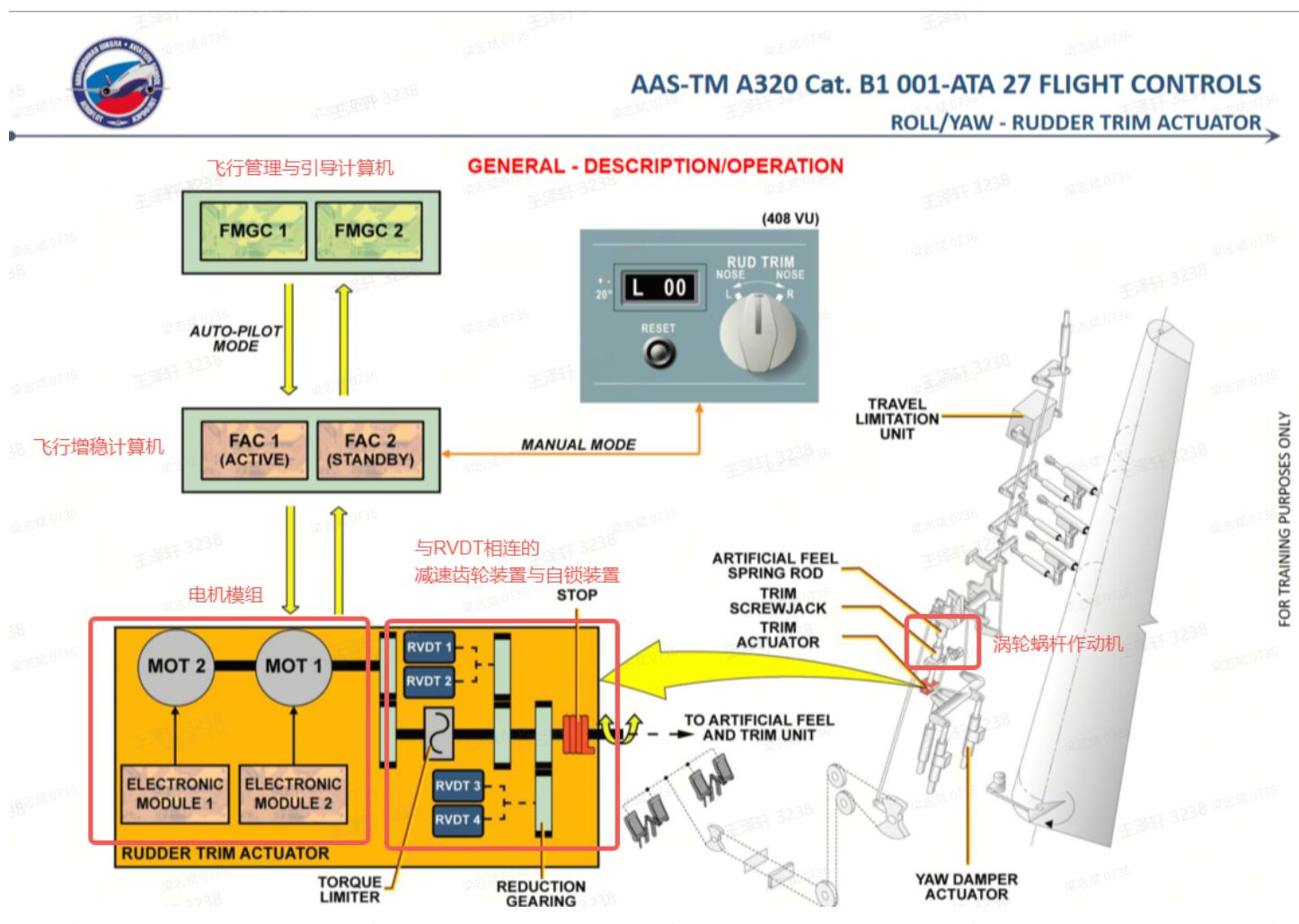
方向舵配平作动器可将FAC（飞行增稳计算机）输入的电信号转换为输出轴的转动。

### • 手动模式

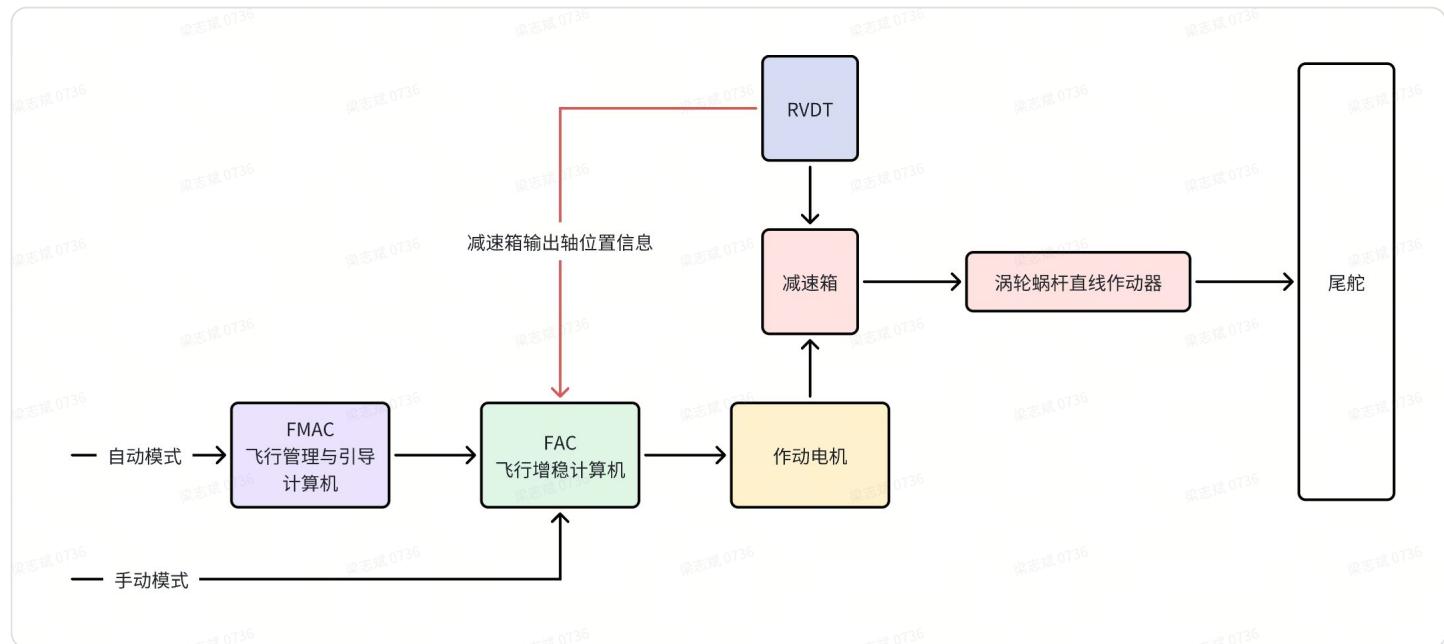
方向舵配平作动器既可以通过驾驶舱中央操纵台的方向舵配平控制开关进行手动控制，指令通过FAC（飞行增稳计算机）发送。

### • 自动模式

自动驾驶（AP）模式下方向舵配平作动器直接由FMGC（飞行管理与引导计算机）控制，指令也通过FAC（飞行增稳计算机）发送。



## 工作逻辑



方向舵配平作动器有两个直流电动机，安装在同一轴上。每个电动机由一个独立的电子模块控制，每次只有一个电动机通过飞行增稳计算机1或2运行。电动机永久连接到一个减速器，通过一个扭矩限制器驱动输出轴。然后，输出轴驱动四个旋转可变差动传感器（RVDT），将输出轴位置信号传输给飞行增稳计算机。

