

---

## 机器人电机专家会议纪要

### 【核心内容】

**成本构造：**协助机器人中伺服电机占 25% 的成本，人形机器人中，集成伺服系统占 50% 的成本，伺服电机（含编码器）占成本的 35%，伺服电机占成本的 25%。

**价格：**人形机器人中，大电机（100~150 瓦）约占机器人用的电机总值的 25%，中大型电机（50~100 瓦）约占电机总值的 30%，中型电机（20~50 瓦）约占电机总值的 30%，小型电机（5~20 瓦）约占电机总值的 15%。  
大电机国产成本 7000 元/个，小电机国产成本 1000 元/个，进口电机价值乘以 3~5 倍。

### 【专家发言】

电机目前应用广泛，整个市场规模达到了千亿。从大类上面来分的话，分为两类，有刷电机和无刷电机。根据现在的一些应用，又分伺服电机、固定电机、空心杯电

---

机，还有其他的一些相关的组合，比如一些相关的集成，包括后面要讲的电缸这个部分。它的分类很多，其中伺服电机属于闭环控制，并且高精度，目前在工业应用中用途最广的。其他几类，像固定电机等，包括直流的、有刷或者无刷的主要应用在家用电器或者是智能装备，比如汽车的升降，包括门窗升降的、冰箱、3D 打印机这一类的，用途非常广。

### 【Q&A】

**Q:** 伺服电机组成是什么样？在机器人里面，主要是用在什么地方？

**A:**

1) 伺服电机分两大类，一个是交流伺服，一个是直流伺服。目前，比如十公斤左右或者是六公斤的机器人，大部分用的是交流伺服电机，交流伺服电机的特点，波形是正弦波，都是通过脉冲方式来控制的。直流伺服电机，是通过脉码，直波、方波的这种方式来控制。所以从控制精度，应用范围来说，各有各的好处。比如说人形



---

机器人或者小一点的机器人，都是用的是直流，而大的一些机器人的话，都是用的是交流。

2) 伺服电机控制上有位置环，有一个闭环的控制能够反馈回来。首先从控制端，发一个指令让动多少，之后单机要返回来一个数据量，判断它的精度是多少，所以电机里普遍包含有一个编码器。编码器一般机器人大概 17 位就够了，现在普遍用的话可能是 21 位。这是什么样的一个概念呢？就是每转一周的分辨率为  $2^{21}$  或者  $2^{17}$ ，所以说精度是非常高，最大的范围可以到  $1\mu$ 。人形机器人或者其他的小的机器人，用直流电机，它还多了一个多圈编码器，因为在转的过程中，要知道我的位置转了几圈，因为一般的单圈编码器，我是知道走的这一圈的位置，但多圈编码器的话，那要把转了多少圈，然后再乘以多圈的位数。

**Q:** 伺服电机每个部分价值量是多少？未来人形机器人中，其各自成本能够占多少？

---

**A:** 电机本身包括一个转子、定子还有一个编码器。再大一点来看，还有一个驱动器，无论是直流还是交流，都需要有驱动器来控制它。驱动器前端的话还有一个控制系统，这样就组成了一套伺服系统。上端的控制器可以用控制器，也可以用 PLC 去做。上端是弱电，到驱动器部分是强电，比如 380V，220V，也有小的协助机器人和人形机器人用直流母线的，电压有 12V、24V、48V。如果用 6 公斤的协作机器人来测算，伺服电机本体（伺服电机+本体）占 1/3，伺服电机单个占 1/4，驱动器及编码器占 1/3，控制器等其他占 1/3。整个 6 公斤协作机器人分市场价格，大概在 6 万块钱到 8 万块钱的之间。

**Q:** 人形机器人大概会用到多少电机，每个电机价格？

**A:** 人形机器人分为很多种，如果算大关节和指关节，因为指关节现在大多用到是三指、两指的，五指也有，大多用舵机来做，这样加起来的话超过 50 个电机。我们做的



---

军事上用的 45 个轴所用到电机价值在整个系统里面占的比重占的非常的大，差不多 50%左右，因为它的集成度很高的，包括减速器、编码器、驱动器还有一些传感器等。

**Q：**伺服系统中伺服电机、减速器、编码器等分别占人形机器人的多少成本呢？

**A：**以人形机器人举例，人形机器人还包括视觉系统、感知系统等，如果机器人功能越多，比如说手指越多的时候，它有些东西是通过拉线的方式，并不是说有五个手指，每个手指上三个关节，三五得十五个关节，其实是没有那么多的，一般的话它可以做到 5 到 6 个电机在里面，其他手指的这个关节，如那个小细指，它的转换的过程可以使用拉线的方式、联动的方式来做到的。加起来还是超过 50 个电机的。电机里面包含相关的传感器、编码器。电机是主要的一个部分，大概占 7 成。

**Q：**伺服系统中，电机、减速器、编码器的价格大概是多少？

---

A: 在人形机器人中，电机有大有小的。到了末端的时候，电机是最小的，可能是 30 瓦就够了，但是腰部或者腿部这个支撑的部分，可能要 100 瓦或者是 200 瓦才能支撑住。所以电机系统里面的话我们再拆分一下，就是伺服电机和减速器的价值比例是 1:1，编码器是放在电机里面的，占电机的 30% 的成本，大部分是依赖国外进口，如日本的编码器，国内也有，但没大批量的应用。然后其他的一些相关的一些辅助的成本占比较低，比如说一些外壳这部分的机加工件。在前期的成本里面，可能这部分成本可能相对会高一点。但是在批量时，通过一些模具，把这个成本给摊下来。

**Q: 电缸是怎么理解？**

A: 电缸集成度相对比较高，丝杠都可以集成进去，而且通过电机的高速运转，它可以做一些直线的高速往复运动。所以它的应用受这个特征所限制。相当于把有一部分原来所做的比较复杂的系统，可以尽可能做一些简化，但是因为它这个精密度可



---

能要求会比较高，而且早期的时候可能这个应用的时候，这个成本相对会高一点，所以目前没有大规模用。随着这个技术方面的一些成熟，目前来说的话，在这种往复的去把这个电机变成高速直线往复运动的这部分的用途目前非常的广泛。比如说打印机里面，它是往复运作的，比如说窗帘、3D 打印机，或者相关的直线应用的时候，大部分都可以用这种方式来实现。

**Q：**电缸能用在人形机器人的哪些地方，直驱的电缸可以在某些领域取代电机和齿轮箱的组合吗？

**A：**

1) 如果不是在力的要求下，或者这个力并不是很大的情况，伺服电缸是可以取代减速器，并且可以减轻它的一些重量，把它体积都可以变小。因为它可以做的比较小。同时也可以轻量化，而且有些精度方面，它还做的会更好。但是在人形机器人上，它有一定的限制。比如说固定的状态，那是可以的，在一定范围内，比如视觉在有

---

限的范围之内，并不是要把要转多圈的情况，这个是可以用的伺服电缸去取代，而且它的体积可以做的比较小。

2) 因为手指上用的电机用的最多，比如说摸的范围就有这么多，那么通过这样直线运动的话，把这个手指的握握直握弯曲或者是伸直的这种状态，或者是通过一些力去抓取一些物体，这样的话可以用在人形机器人里面，其他的大一点的，比如腰部和腿部的支撑，伺服电缸可能目前还不能胜任。

3) 应用场景跟直线相关、有一定的范围之内，这样都可以用伺服电缸去做。因为目前的人形机器人，大部分都是通过要通过关节去扭转。如果它是定型一些机器人，比如幅度并不是太大，做固定的位置，送餐机器人，只是把把盘子伸过去，或者是在某个地方去取物，它有一定范围，这也是可以用伺服电缸去取代它。如果要转比较大的角度，比如说 270 度或者是 360 度，要多圈的，这个转的时候伺服电缸是不合适的，用其他的如 RV 减速机是可以去实现



---

的。

**Q:** 能否计算一下一台人形机器人里面伺服电机的价值是多少？

**A:**

1) 整个人形机器人里面的电机系统，占了整个成本的一半，里面的集成了电机、编码器和相关的减速机，包括还有其他的一些传感器。我们一般的支撑人体的这个重量，受力最大的在脚部和腰部，在这一块里面的话，可能要需要 100 瓦到 150 瓦左右的主电机来控制。从腿部上面来看的话，一些大关节部分，可能要用到的大的电机，我们可能用到 6 个左右。其他电机，我们可能依次往后面去减，比如说 75 瓦或者 50 瓦，或者是更低一点的，或者是 10 瓦、20 瓦的，包括手指这一部分。那么这样算起来，100 瓦的部分，是 6 个，70 瓦或者 50 瓦的可能在 10 个左右，50 瓦的可能就是 20 个，这样子往下去算。到了后端的话，可能最有可能是 5 瓦或者是 10 瓦的。从整个架构上面来看，我们大概在 100 瓦左右的这种电机或者更低一点。刚才说的是一

---

只 1.7 米高的左右，重量 100 公斤左右的这种机器人，相对会比较大一点的。如果是做了一个小型的话，那么可依次叠减。

2) 整个比例的话，大电机这可能占了 25% 左右，因为它功率比较大，而且数量相对会比较少。接下来第二阶梯 50 瓦可能占了 30% 左右，因为它的数量比较多。后面剩下来可能再往下一个层次，比如说 20 瓦左右的，可能也在 30%，最后剩下的话可能 15% 就是我们刚刚说的那个小电机这一部分，或者是用舵机来来做的那些手指关节这一部分。

**Q: 各种功率电机价格?**

**A:** 刚才 100 瓦这种算方式来算，大概在 7000 元一个，然后小一点的电机，5 到 10 瓦的话，可能在 1000 元左右。进口的话可能是要乘以 3，3 到 5 倍。

**Q: 150 瓦 7000 块，是整套伺服电机系统，还是单指一个电机这种价格？有没有把控制器，减速机这种东西算进去？**



---

A: 控制器没包含在里面，已经包含有驱动器、减速器、电机、编码器、刹车，当然大部分的话也没有刹车，但是腿部的话这部分是要有刹车。

Q: 未来如果有比较重的这种人形机器人，它会不会用到 RV 呢？

A: 一般的话都不会去用 RV，因为 RV 的话重量会重很多，而且 100 公斤对于我的机器人上面来说的话，还是算是比较轻的了。举个例子，焊接机器人，六个关节的，他们的一個整体大概是 300 到 350 公斤，所以 100 公斤的话，对于整个工业机器人上面里面来说的话还是算轻的了。现在的这种电机单一输出的功率都做的比较大了，比如说已经做了 2.8 扭米或者是到了 3.5 扭米的智能电机，这种模块内的电机已经算很厉害了，如果再加一层减速比，那就是 100-200 扭米，那就是很厉害，支撑这个人形机器人肯定是没问题。而且 RV 减速机很大，重量和体积可能导致 RV 不一定放得下去，还有一点的话就是 RV 的它的刚性

---

会比较好，对人形机器人来说的话，它可能讲究的快捷柔性，谐波减速它有很好的的一些表现，而且它的体积会比较小，重量比较轻。

**Q：**如果按照谐波来算，像大电机配的谐波价格是多少？

**A：**谐波减速器应该是在 2000 块钱左右。  
纯电机大概就 5000 多一点。

**Q：**现在国内包括汇川、鸣志电器及江苏雷利等这些公司，您怎样评价。

**A：**汇川在自动化领域里面，目前是做的比较好的，江苏雷利产品比较偏集成化，它有很多的一些相关的应用，而且很大的一个市场在消费类市场，所以这个体量会做的比较大。鸣志电器，他们产品做的比较齐，通用性可能会比较好一点。

**Q：**怎么评价这个鸣志电器伺服电机的水平，江苏雷利能够帮我们展望一下吗？

**A：**



---

1) 鸣志电器能够去往伺服电机这方面，表示技术水平和方向都是没有问题的。未来自动化肯定是要往精细化方向去发展的。所以说包括雷利能够把这个产品能够做的很细致，知道客户的一些刚性上的需求，比如说电缸这一部分，在这一块的话，他会首先在这个里面的话先进行去导入，再利用他自己的原来的这些平台和一些客户方面的积累，在未来还是有很大的发展。

2) 鸣志原来是做步进电机，积累了很多客户，在步进电机，它也有一些局限。因为在使用的过程中，除非是用闭环的方式，否则步进电机 99% 的厂家它都会丢步，有可能会造成一些累积的误差。在这些自动化这方面领域里，它是不允许这样误差存在的。所以他们之前也做了一个闭环的步进电机控制器，然后再慢慢导入到整个伺服系统。我们也看到他的新产品，包括总线型的控制器等。

**Q:** 雷利的产品布局做的很细，您觉得它能够应用在机器人的哪些地方？

---

A: 直流无刷电机可以嵌进到人形机器人里面，尤其是小电机（电缸），电缸本质上就是电机配一个丝杠，是一个集成，大部分都是直流电机。电缸的难度在于体积小、输出力要大，丝杠和电机配合中产生较大力但体积要小。

Q: 人型机器人的平衡是怎么实现的？

A: 人工机器人里面，躯体里面它有一个 IMU（惯性测量单元），IMU 的话它是保持一个平衡的。当他一个偏向的时候，他对这个机器人这个角度有很快的一个响应。比如说一个我们说的 IMU。第二个的话它还会做一个辅助的。辅助的部分的话目前的话是有两种，一种是我的视觉，另外一种就是激光。当我的位置发生偏移的时候，然后他通过这种闭环的控制，把整个系统的偏移量，发送到我的这个 cpu 里面去。然后再由我的 cpu 做出一些算法。做虚线平衡的算法，比如说我要比如说我已经向左倒了，那我就可以通过另外一种方式进行去扭转。在另外一个角然后进行去。配重，



---

然后再来使用它了。然后具体的话在室外的时候，它还有更精确的一些位置的一些传感器，位置的信息通过一些其他的一些平台，包括一些云平台之类的东西，能够传到我的总控室。因为从总控的中心再转到了我的这个机器人，所以它的这个响应速度会相对会比较快。而它主要的平衡的算法还是靠我的躯干里面的 IMU 来控制。

**Q：人型机器人实现会比工业机器人更难实现吗？**

**A：**从集成度上面来说，人形机器人的集成度比工业机器人更复杂。还有人形机器人选择性相对来说会低一些，因为他要做这么高的集成度，安装的空间就没那么大。工业机器人，我们大部分都是说六个臂或者八个臂，他们的算法目前来说的话可能是基本都是能够成型的，而人形机器人我们目前看到的话还是比较少，尤其是量产的。我们看到的话，只能做特定的用途，而不可能做泛用的，所以说他的难度主要在后面的这些算法。

---

**Q: 空心杯电机的适用范围和适用场景包含哪些？**

**A: 平常的电机包含定子、转子，空心杯电机把定子或转子取消掉了，应用主要在冰箱、洗衣机等家用电器的小的部件作为辅助电机，好处在于启动时响应速度快，体积小、便携性比较好，转速比较好，最高25000 转速。**

**Q: 特斯拉人形机器人以后会用空心杯电机吗？**

**A: 有可能会用在人形机器人，要看响应速度，比如跟随音乐跳舞、空翻，响应要及时。因为它本身的这个上面的一些要求的话，并不是要大功率的。**