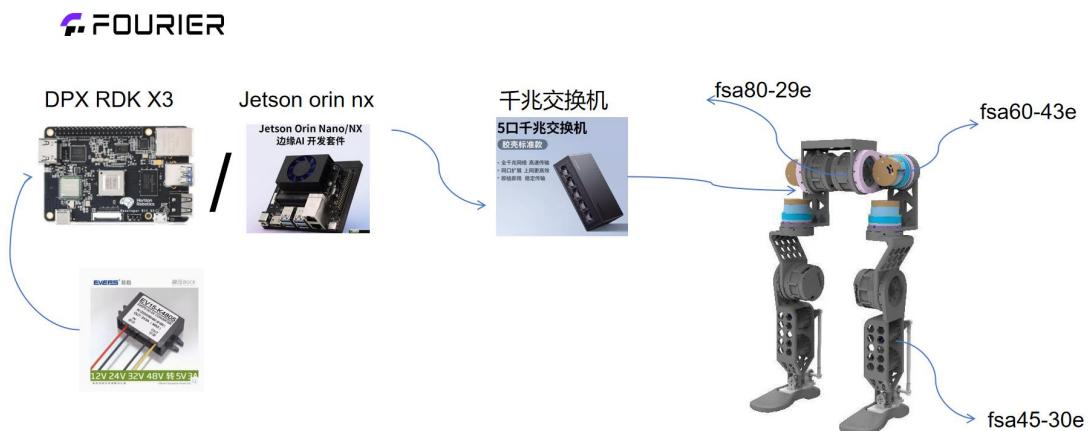


# fftai\_alexbot\_mini 说明文档

fftai\_alexbot\_mini 是一款拟打算全开源的双足机器人（包含机械，硬件，控制，算法），重点在于研究步态算法以及轻松部署步态降低 RealityGap 而设计的，整机 fftai\_alexbot\_mini 下半身长度 700mm，上半身长度 500mm，整体符合人体比例设计。

## 1.0 整体设计



fsa系列电机采用Ethernet协议通讯，所以只需要上位机接交换机级联电机即可，接线控制简单

## 1.1 机械设计

### (1) 双腿结构

fftai\_alexbot\_mini 双腿包含 12 个自由度全长 700mm, 预计重量<30kg, 符合全身人体结构比。本项目使用的电机为 fftai 一体化关节模组, 选用 FSA80-29E、FSA60-43E、FSA45-30E。其中 FSA80-29E 与 FSA60-43E 均采用双级行星减速器, 扭矩更大, 扭矩密度更高, 适合对重量和扭矩有要求的场景。FSA80-29E 额定扭矩 32NM, 峰值扭矩为 96NM, 额定转速 100RPM; FSA60-43E 额定扭矩 17NM, 峰值扭矩 51NM, 额定转速 59RPM; FSA45-30E 额定扭矩 9.7NM, 峰值扭矩 29.1NM, 额定转速 130RPM;

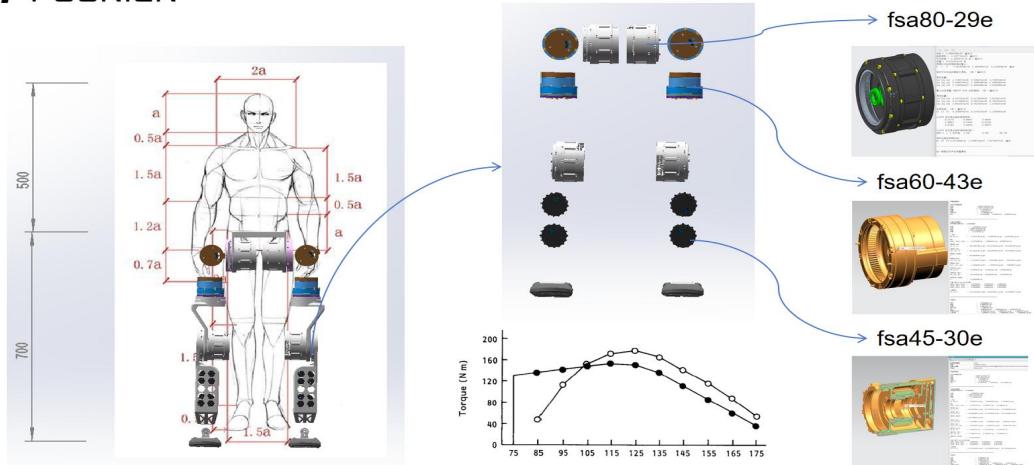


Figure 2. Mean torque angle curves of the knee extensors on: ○, the QD; and ●, the Cybex II at an angular velocity of  $90^\circ \text{ s}^{-1}$ .

根据人体的生物学结构以及生物力学知识, 正常行走时髋关节的动作平衡且有节奏, 耗能最低。双髋轮流负重, 重心左右来回移动约 4.0~4.5 cm。髋关节在步态周期过程中会有两个受力波峰, 分别在足后跟着地及趾尖离地时。缓慢行走时, 惯性力作用可不计, 视与静力学相同。但髋关节在快速运动时, 受加速和减速的作用, 受力会增加。合力等于体重加惯性力, 包括地面反冲力、重力、加速度、肌力等, 一般认为是体重的 3.9~6.0 倍。在走路时(速度为 1.5m/s), 髋关节最大受力约为 2.5 倍体重, 而当跑步时(速度为 3.5m/s), 关节最大受力约为 5~6 倍体重。

Stam 等 (见 REF) 研究了等速运动对膝伸肌力矩曲线的影响, 运用 CybexI 等速测力仪对 20 名受试者进行主动和被动测试。发现主动模式下, 关节角在 119°时产生的平均力矩值为 158Nm; 被动模式下, 关节角度在 123°时的平均力矩值为 179Nm, 因此两种模式下的平均力矩有较大的差异。

	<b>性别</b>	<b>发力方向</b>	<b>范围 (Nm)</b>
男	伸髋	157-409	
	屈髋	98-297	
女	伸髋	47-277	
	屈髋	35-187	

	<b>性别</b>	<b>发力方向</b>	<b>范围 (Nm)</b>
男	髋外展	81-254 ( )	
	髋内收	68-312	
女	髋外展	47-198	
	髋内收	39-194	

	<b>性别</b>	<b>发力方向</b>	<b>范围 (Nm)</b>
男	髋外旋	30-83	
	髋内旋	25-111	
女	髋外旋	15-58	
	髋内旋	11-72	

	<b>性别</b>	<b>发力方向</b>	<b>范围 (Nm)</b>
男	踝关节背伸	16-49	
	踝关节跖屈	53-184	
女	踝关节背伸	11-34	
	踝关节跖屈	15-127	

	<b>性别</b>	<b>发力方向</b>	<b>范围 (Nm)</b>
男	伸膝	98-309	
	屈膝	57-178	
女	伸膝	57-202	
	屈膝	31-113	

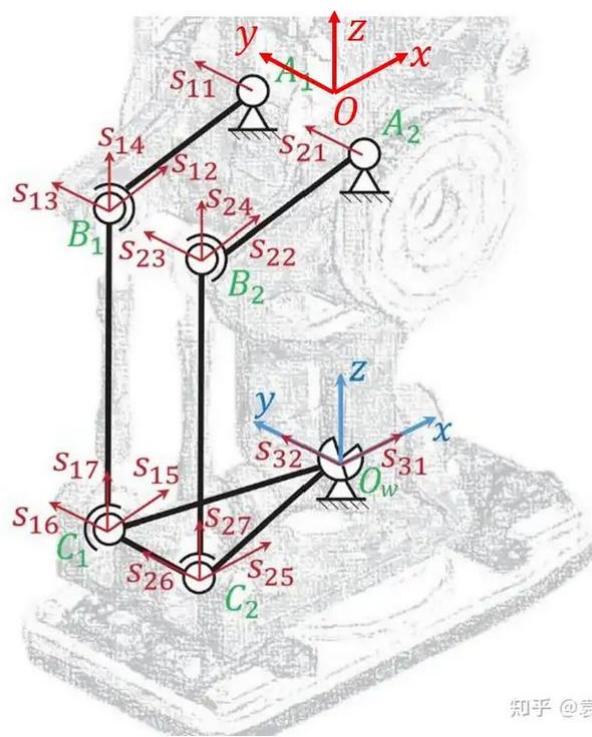
因此，对于本体重量约等于人类 1/2，身高约等于人类的 2/3 的小型双足机器人扭矩要求选用如下：对于扭矩要求最高的胯部和膝关节部分电机选用 FSA80-29E，对于大腿部分选用 FSA60-43E，对于小腿，为了惯量的设计选用 FSA45-30E 以及并联结构，采用双电机朝向后方，通过板簧连接至脚底结构。

同时关于电机的串并联的选择，在电机扭矩十分金贵的时候，机器人时常采用并联结构从而降低整体惯量从而降低对于电机的扭矩的要求，并链结构不仅能放大力矩输出，还能通过连杆机构将电机上置，减少驱动器末端负载。

但是机器人结构采用并联往往带来许多麻烦，首先机械上多了许多层级传动从而会增加机器人背隙，由于齿轮间隙或其他组件间隙造成的非预期运动或自由运动，过大的背隙会导致控制系统的精度下降，影响设备的性能和可靠性。

其次在机械导出 URDF 文件中会存在并联需要转移输出轴的做法，由于算法上位机解算的回传数据本质是位置环，所以会存在需要姿态逆解算的问题，而这样的并联机构一方面相比于单个平行四边形难以从几何学直接计算，另一方面其电机角度到空间欧拉角度的映射是非线性的，因此通常逆运动学比较好解（空间欧拉角到电机角度），而正运动学（电机角度到空间欧拉角）大多需要数值迭代求解。往往需要通过数值解去逼近。

处理方法：<https://zhuanlan.zhihu.com/p/702587845>



知乎 @袁炎炎

同时，对于电机的输出侧使用了模块化快拆结构，方便拆卸和组装机器人，采用输出盘的类似设计，使用销结构与螺钉实现快拆