

一、特斯拉Optimus的核心技術拆解

1. 迭代速度與技術優勢

- **快速迭代**：2021年8月立項 → 2022年9月原型機亮相 → 2023年12月發佈第二代（Gen2），重量減輕10kg，行走速度提升30%，手部增加觸覺感測器。
- **技術亮點**：
 - **運動能力**：單腿站立、深蹲、瑜伽動作；手部精細操作（抓取雞蛋、擰螺絲）。
 - **智能水平**：複用FSD自動駕駛演算法，實現純視覺環境感知與自主決策。
- **商業化目標**：2024年工廠實用性測試，目標售價 2萬美元/台（約14萬人民幣）。

2. 硬體方案拆解

- **執行器方案**：
 - **旋轉關節（14個）**：無框力矩電機 + 諧波減速器 + 雙編碼器 + 力矩感測器。
 - **線性關節（14個）**：無框力矩電機 + 行星滾柱絲杠 + 力感測器 + 單編碼器。
 - **靈巧手關節（12個）**：空心杯電機 + 行星減速器 + 蝸輪蝸桿 + 觸覺感測器。
- **感測器方案**：
 - **視覺**：3D多目純視覺方案（複用FSD佔用網絡模型）。
 - **力覺**：28個關節力矩感測器 + 12個觸覺感測器（手/腳） + 4個多維力感測器（腕/踝）。
- **軟件方案**：

- **環境感知**：佔用網絡模型（3D場景重建）+ NeRF優化。
 - **決策與控制**：端到端神經網絡（任務級規劃）+ 模仿學習（動作優化）。
-

二、高價值量細分領域分析

3. 硬體零部件價值量排序

- **核心高價值部件**：
 - **行星滾柱絲杠**（佔比40%）
 - **力/力矩感測器**（單維16%，多維15%）
 - **無框力矩電機**（8%）
 - **諧波減速器**（6%）
- **高單價部件**：六維力感測器（2.5萬元/個）、IMU（5000元/個）、3D非純視覺感測器（2500元/套）。

4. 增量與新增需求領域

- **增量需求**：諧波減速器、編碼器、力感測器（用量高於傳統工業機器人）。
- **新增需求**：行星減速器、行星滾柱絲杠、空心杯電機、3D視覺感測器、具身智能演算法。

5. 國產替代機會

- **行星滾柱絲杠**：加工難度高，短期依賴進口，國產廠商（如科峰智能）有望突破。
 - **六維力感測器**：海外壟斷（如ATI），國內企業（坤維科技）加速研發。
 - **空心杯電機**：鳴志電器、鼎智科技技術領先，適配靈巧手需求。
-

三、產業鏈圖譜與受益標的

6. 上游核心零部件

- **減速器**：諧波減速器（綠的諧波）、行星減速器（兆威機電）。

- **電機**：無框力矩電機（步科股份）、空心杯電機（鳴志電器）。
- **感測器**：六維力感測器（坤維科技）、編碼器（奧普光電）。
- **絲杠**：行星滾柱絲杠（秦川機床）。

7. 中游製造與集成

- **執行器**：三花智控、拓普集團。
- **本體**：優必選、智元機器人。

四、風險提示

- 8. **技術風險**：人形機器人複雜度高，感知與運動控制演算法落地難度大。
- 9. **成本風險**：行星滾柱絲杠、六維力感測器等部件短期難以降本。
- 10. **政策風險**：地方補貼力度不及預期，影響企業研發投入。
- 11. **倫理風險**：人機交互中的隱私與安全問題可能引發監管限制。

總結：特斯拉Optimus為當前人形機器人技術標桿，硬體（執行器、感測器）與軟件（FSD複用）創新顯著，行星滾柱絲杠、力感測器、空心杯電機等細分領域價值量高且國產替代空間大，但需關注技術突破與成本控制進度。