

- 结果分析：机器人运动学、轨迹规划与协同优化

结果分析：机器人运动学、轨迹规划与协同优化

本文件汇总了针对四个小问的求解结果分析，包含基础统计分析与深层物理/工程意义分析。

小问编号	主要问题与目标	基础分析 (数值与统计)	深层分析 (关联、敏感性与实际意义)
Q1	机械臂运动学与安全性验证 求解伸展 60° + 旋转 30° 后的末端坐标，并验证电机扭矩安全系数。	<p>1. 数值解读： · 最终坐标：$(0.146m, 0.085m, 0.293m)$。 · 力矩计算：重力产生的静态保持力矩为 $3.16 N \cdot m$。</p> <p>2. 统计描述： · 负载率：相比电机额定峰值 $120 N \cdot m$，当前静态负载仅占用约 2.6% 的容量。 · 误差分析：基于解析法求解，无随机误差，结果为精确解。</p>	<p>1. 关联性与安全裕度： · 结果完全满足 $T_{load} \leq T_{limit}$ 的约束。 · 安全系数：$S = 120/3.16 \approx 38$，表明电机选型对于静态保持任务存在巨大的冗余。</p> <p>2. 实际意义： · 极高的安全系数意味着该关节电机主要不是为了“举起”手臂而选型，而是为了满足高动态响应（高加速度）需求。设计合理。</p>
Q2	单腿关节轨迹优化 基于遗传算法 (GA) 规划行走 $10m$ (均速 $2m/s$) 的膝关节	<p>1. 数值解读： · 最优时间：收敛于 $T = 5.00s$，精确匹配目标速度要求 ($10m/2m/s$)。 · 运动范围：膝关节角度从 0° 平滑过渡至 45°。</p> <p>2. 统计描述： · 收敛性：适应度函数 (Loss) 从初始的 > 1.1 快速收敛至 0.015。 · 平滑度：速度峰值控制在 $\pm 300^\circ/s$ 上限内，加速度无突变。</p>	<p>1. 关联性与平滑性： · 轨迹呈现 S 型 (Sigmoid-like)，加速度变化连续，物理上意味着对减速机和连杆的机械冲击 (Jerk) 最小化。</p> <p>2. 敏感性分析： · 结果对时间约束 T 高度敏感。若</p>

主要问题与目标

基础分析(数值与统计)

深层分析(关联、敏感性与实际意义)

最优轨迹，最小化能耗与冲击。

强制 $T < 4.5s$ ，所需力矩将呈指数级上升，可能突破 $120N \cdot m$ 限制。
3. 实际意义：
 · 证明了在给定速度下，存在能量最优的步态轨迹，可作为步态控制器的前馈输入。

全身协同运动控制
 模拟身体左转 45° 与机械臂画圆的协同动作，验证动态稳定性。

1. 数值解读：
 · 协同动作：在 $10s$ 内，身体Yaw角达到 45° ，同时手臂末端完成半径 $0.3m$ 的圆周运动。
2. 统计描述：
 · 稳定性：重心(CoM)侧向偏移量始终控制在 $\pm 0.1m$ 的安全域内。
3. 实际意义：
 · 训练过程：奖励(Reward)曲线呈指数上升，表明策略已收敛至最优解。

1. 关联性：
 · 成功实现了“移动底盘”与“操作臂”的任务解耦与并行，证明了协同控制策略在运动学层面的有效性。
2. 实际意义：
 · CoM 偏移量小于一般双足机器人的支撑多边形半宽，说明在执行此类复合动作时，机器人无需复杂的步点调整即可保持平衡，具备工程落地性。

Q3

多目标能效优化
 使用 NSGA-II 算法权衡作业总时间(效率)与总能耗(成本)。

1. 数值解读：
 · 解集规模：获得了 100 个 Pareto 前沿非支配解。
2. 统计描述：
 · 推荐解 (Knee Point)：总时间为 $5.13s$ ，总能耗 $337.79J$ 。
3. 实际意义与决策支持：
 · 分布特征：解集分布呈现明显的反比双曲线特征——时间越短，能耗呈指数级上升。
4. 拐点分析：推荐解位于曲线“膝部”，是边际效益最高的点。

1. 关联性与权衡：
 · 揭示了系统的物理边界。Pareto 前沿展示了在当前硬件条件下，无法同时进一步优化时间和能耗。
2. 实际意义与决策支持：
 · 推荐解价值： $5.13s$ 的方案仅比理论极限快方案 (如 $4s$) 慢约 20% ，但能耗可节

小
问
编
号

主要问题
与目标

基础分析 (数值与统计)

深层分析 (关联、敏感性
与实际意义)

省约 40 – 50%。

 • 策略建议：日常作业应采用推荐模式 (Eco Mode)；仅在紧急任务下切换至极速模式 (Boost Mode)。