

机械组梯队·入门第一课

来源：2026赛季梯队分享会

重庆大学千里战队

□ 汪沛宇

第一期 初来乍到：路在何方

重庆大学千里战队

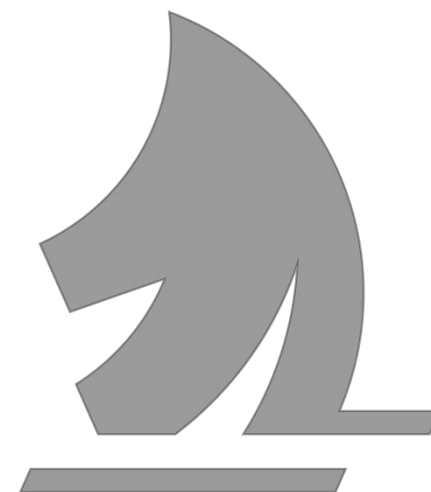
2025年11月30日

主讲人：汪沛宇

嘉宾：Aouk

答疑的角度：破除未知感，获得相对的确定感

1. 我在哪儿（这个组织如何运作，有哪些资源可以利用，工作流如何展开...）
2. 我的当前定位和未来的画像（成长道路长什么样，我们的培训机制背后的逻辑）
3. 我需要做些什么，应该怎么学习和进步（学习和应用的方法论）



三个身份，三次造访

2021: Allspark - 断代后重启元年

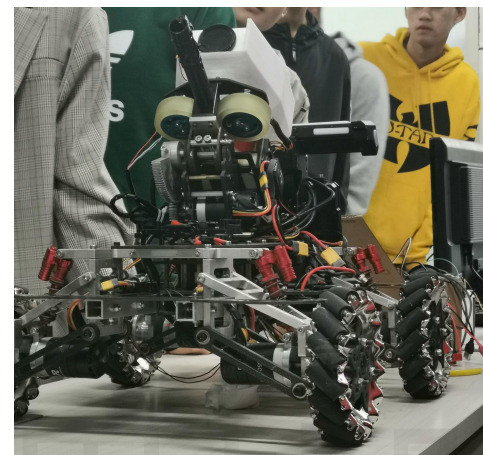
- 个人身份: 0基础小白, 机械组组长, 步兵负责人
- 机械组: 几乎0基础, 技术积累完全断代, 没有范式参考, 黑暗中摸索
- 战队: 危机频发, 面临解散, 人员大幅流失, 断代风险继续

2022: MechaX - 新篇章

- 个人身份: 机械组组长, 步兵负责人
- 机械组: 基础薄弱, 传承仅依赖口口相传
- 战队: 人员严重紧缺, 资金有限, 各方面都在起步尝试阶段, 疫情, 对抗赛

2023: 离队 - 休整 观察 沉淀

- 个人身份: 观众/粉丝; 联盟赛裁判
- 机械组: 仍然基础薄弱, 依靠极少数人走开拓路线, 方案新颖复杂但稳定性无法通过测试迭代得到保障。其他工作依旧停留在继承甚至负优化的层面。由于更多新生力量没有得到良好的理论培训, 虽然在大量重复的底层工作中积累了工具层面的经验, 但依旧不具备自顶向下进行统筹设计的能力, 仅限于移植。
- 战队: 人员获得一定程度上的扩充, 硬件资源条件转好。断代后第一次获得参加超级对抗赛的资格, 但是场上表现甚至无法达到完整形态水准。队员普遍存在认知偏差, 低估达到理想目标需要付出的努力。技术开始有一定的积累, 但在RM圈内依然属于起步水平



三个身份，三次造访

2024: 归来

- **个人身份: 机械组组长**
- **机械组:** 在人员上获得了充分的新鲜血液, 实验室硬件设施条件得以大幅改善, 第一次拥有了很多从0到1的突破, 飞镖/无人机/轮腿/吊射英雄都开始有了最初的模样
- **战队:** 拥有比较多的有效力量, 但是在研发经验上依旧有很大的提升空间。战队取得了西南站联盟赛的冠军, 也在对抗赛的赛场上取得了2场胜利。但最后面临复活赛, 问题依旧暴露显现。在开源时代, 所有队伍的技术实力突飞猛进, 追上以前的自己, 达到及格线是良好开端, 但想摆脱炮灰的身份, 在强者的世界里拥有一席之地, 恐怕我们做的还远远不够

2025: 延续传承的最后一舞

- **个人身份: 项目管理**
- **机械组:** 突飞猛进, 获得了更多的资源加持, 也在上交没有完全开源的情况下做出了出了串联腿步兵挑战新赛季地形。全向轮步兵和哨兵也发挥了比上赛季更好的性能。固然有十足的进步, 但是面临依旧存在的传承危机。
- **战队:** 拥有比较多的有效力量, 但各组传承危机依旧存在。

2026: 重逢, 亦或从未离开

- **个人身份: 已退役, 顾问**



我自己的视角：这个角色的魅力在哪里？

1. 在造物作品中凝结心血的情感联结
2. 挑战用更高效/优雅/巧妙解决方案实现相同目标的成就感
3. 精准发现定位病灶，并且经过合理分析和测试验证猜想，对症下药
4. 看得见摸得着的触手可及——与机器血肉的直接交互
5. 自由灵活解决日常生活问题的创造力



机械组的特点

- 接力第一棒 + 战至终章

机械组的有效工作需要跨越一整个赛季的完整过程，一些项目的周期甚至跨越赛季进行，需要分步满足阶段性目标。在规则发布之后，机械组需要抓紧时间迅速在寒假前堆出第一版样机，cover掉从设计加工到装配及测试的完整流程。不仅是给电控和视觉创造充分的时间窗口，也给在测试中发现问题解决问题留出充分的容错空间。而后漫长的联调以及迭代过程会伴随整个赛季后半程。机械组的组员全年备赛，全程参与，工作量更大、覆盖面广的同时，也意味着更多的有效人数要求。

- 学习曲线平滑，但实践要求频繁 —— 脚踏实地就能做到

事实上一个动手实践和经验主义导向的工作不会让你在创造之前无计可施。机械组内各项工作和事务拥有丰富的难度梯度可以让你在一开始就能顺利上手。不幸的是，可能每一个人都需要花大量的实践动手，包括花时间画图以及反反复复拆装设计好的模块结构，这个过程是繁杂的。但同时幸运的是，这个过程对智力几乎没有太多门槛要求，以至于只要你踏实肯干，就能顺利取得进步。至于理论学习，必然也要在实践的过程中才能加以内化和丰盈。

- 较长的培养周期/成长周期 —— 考验耐心

机械组需要产出实物，花销占整个赛季全部研发成本相当大一部分。和实物相关联，这也就意味着更多的实际成本，无成本迭代的情况几乎少之又少，因此我们必须谨慎。同时，一个完整的开发流程需要涵盖各个方面，耗费大量的时间，踩过无数的坑。我们在真正拥有高效产出能力以前，需要充分的耐心和毅力。

- 与机械类培养方案高度重合，跨越理论实践鸿沟，同时符合短期收益和长期收益



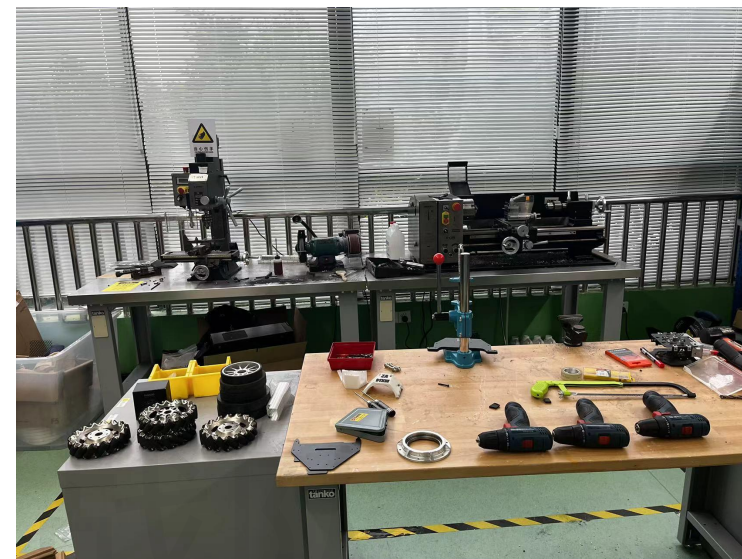
【硬件】

- 良好的工作环境和调试空间
- 全面的设备配置
- 过往的机器人实物结构

- ▶ 【26赛季】项目文档
- ▶ 【26赛季】机械组培训
- ▶ 【25赛季】项目文档
- ▶ 【26赛季】梯队笔记本
- ▶ 【25赛季】梯队笔记本
- ▶ 【资源清单】RM机械组
- ▶ 【专题技术文档】RM机械组
- ▶ 圆桌会议合辑
- ▶ 【CheetSheet】快速查询
- ▶ 【前沿拓展】机器人结构
- ▶ 【个人学习记录|个人日志】

【软件】

- 开源论坛
- 知识库和培训材料
- 较为丰富的项目需求
- 老队员的人力资源：答疑/经验交流/图纸审核



【RM2025-NW构型减速器结构开源】南京理工大学-Alliance战队

关键词：NW构型、减速器 一、开源内容 (1) 三维模型，包含23-25三年三款NW构型减速器，总装文件分别为“2023M3508P13减速箱”、“2024M3508P13减速箱”、“2025...”

机械/步兵 机械/哨兵 机械/工程 机械/其他 机械/英雄 机械/实用工具

被引用数：0

Stronati

66 引用 1797 31 8 2025-08-25



【RM2025-英雄机器人机械结构开源】华南理工大学 华南虎战队

一、百度网盘链接 链接: <https://pan.baidu.com/s/1iobpPCbrLmSCQeDeLoTzsg?pwd=scut> 提取码: scut 二、项目内容简介 1.本开源资料分四个文件夹:说明文档,演示视...

机械/英雄

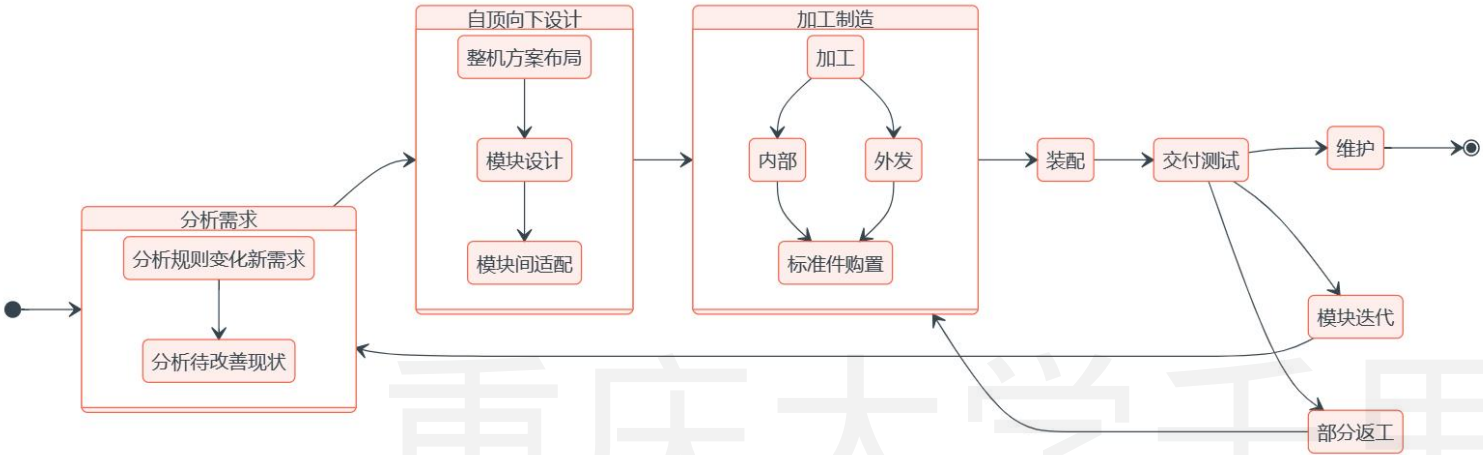
被引用数：0

廖本望

66 引用 3366 20 0 2025-08-25



机械组的工作流程



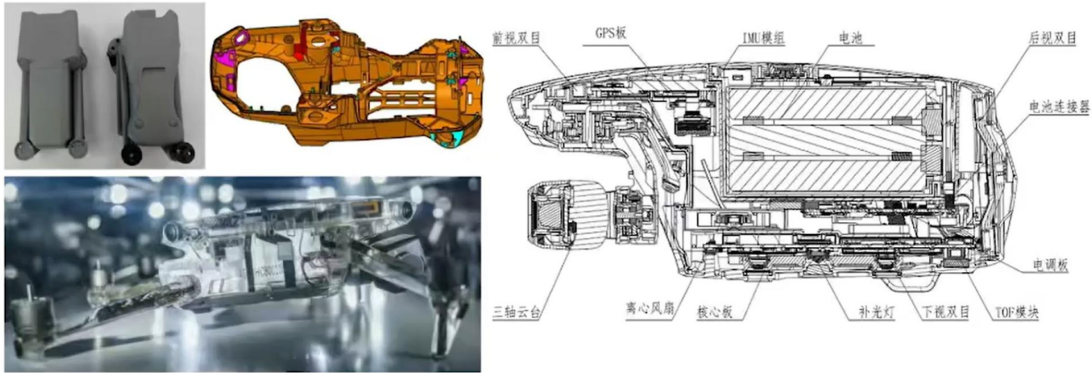
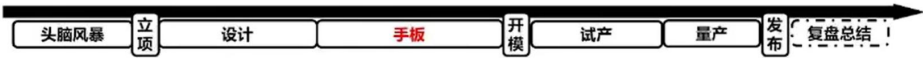
以上为一个简化版本的工作流。实际上包括更复杂的：

- 图纸审核
- 前置验证demo测试
- 正式样机的分阶段测试和分阶段迭代...

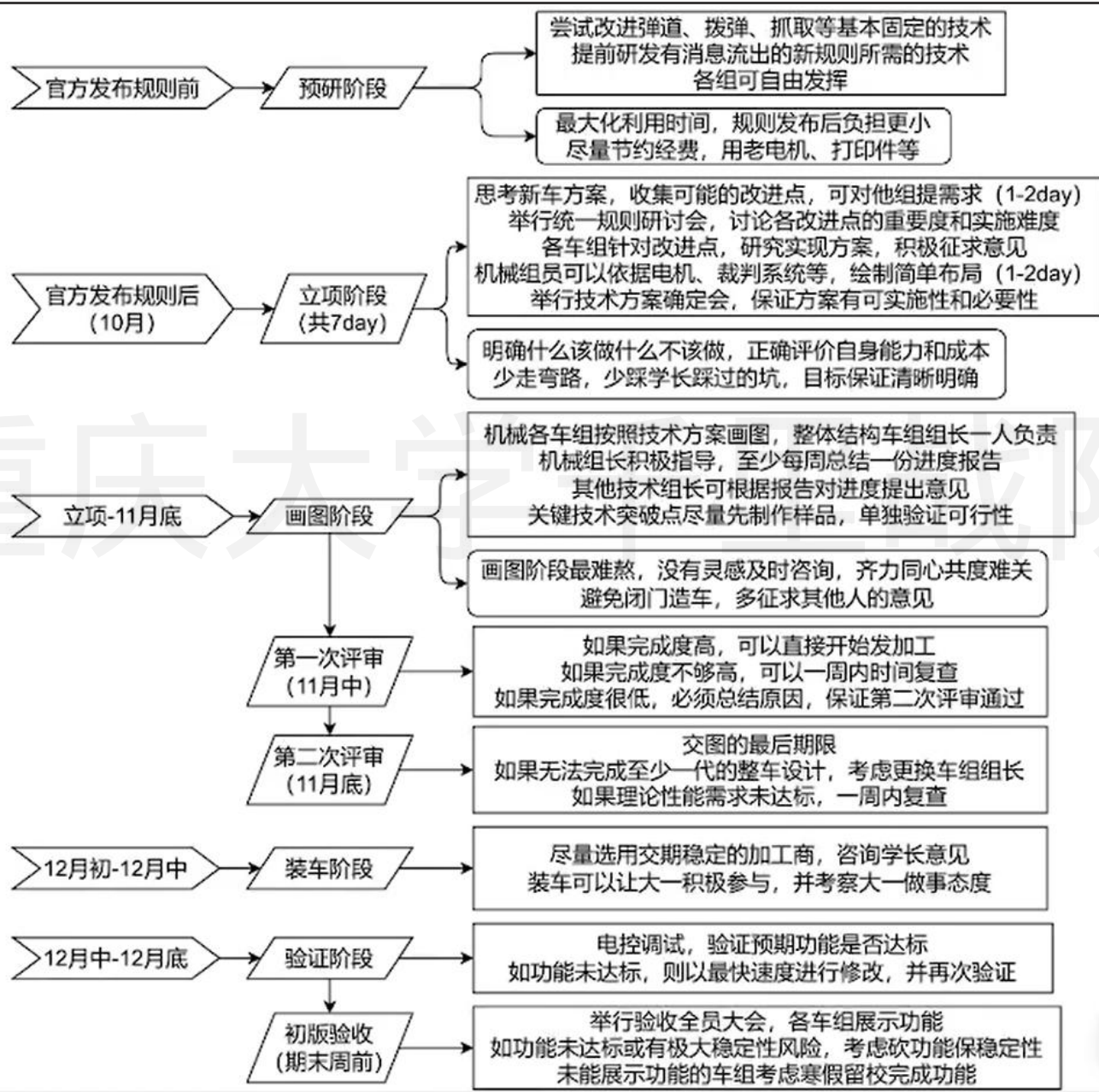
可能测试会占据更大的时间比例 —— 暴力测试的逻辑

开发流程

我们是怎样参与创造的



机械组的赛季时间线参考



我们的标准从何而来？

- 从培养人才出发，就业导向，企业的要求

行业标准：行业需要由什么样的**职业工程师**主导技术的落地实现（和发展未来做比较）—— 能力要求 + 核心素养

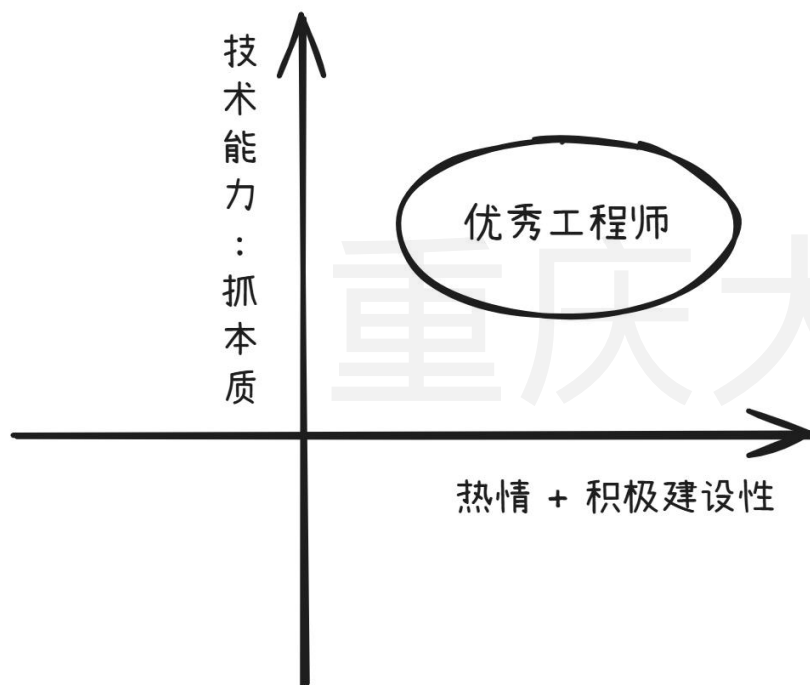
- 从打比赛和团队运营出发，团队竞技导向，队伍的要求

RM队伍的普遍标准：竞技比赛需要由什么样的**技术实践者**去创造团队竞争力（和其他队伍的要求做比较）—— 技术能力向

队伍的历史经验：队伍需要由什么样的**中坚建设力量**去团结协作、传承延续（和队伍的去过去做比较）—— 技术传承和团队向



DJI定义的人才画像 —— 行业看重什么？



- **抓本质：**抓事情的本质而不是盲从表象经验主义

在起步阶段，我们应当遵循的经验主义，应是在开局利用有充分参考价值结果、减少试错成本从而能顺利着手开展工程的经验主义。

但是在测试阶段，面对需要精准诊断定位未知故障的关键节点，我们最好不要停留在**过分依赖、盲从表象经验主义**的温室当中，不是仅仅说“解决了就没事了”，依然要刨根问底，追求知其所以然。通过合理设计的实验测试去论证对问题背后机制的猜想，才是抓本质的经验主义方法。

虽然很多时候我们无法上升到理论公式层面，对问题机制的建模也许也不够全面和精确，但是**尝试去做出一个相对可信的机制阐释**，就已经在抓本质这条路上前进了很远的距离。

- **积极建设性：**遇到难题，想解决方法，而不是说干不成

在开局阶段，我们不仅需要拥有足够的勇气去思考一些看似荒谬和不切实际的想法，也需要有足够的理性去判断可行性，分析收益，不盲目下手。一旦发现**有突破的价值，就要毫不犹豫地践行下去，而不是自我怀疑，或者说做不成。**

面对调试阶段频发的问题，不局限于能用就行和期望坏不了的侥幸，而是想方设法地挖掘根因，究其本质，从根源上入手修复问题，亦或者是找到更稳定的替代方案。这个过程中可能我们经常看不到曙光，但是我们绝对不能妥协。

DJI定义的人才画像 —— 行业看重什么？

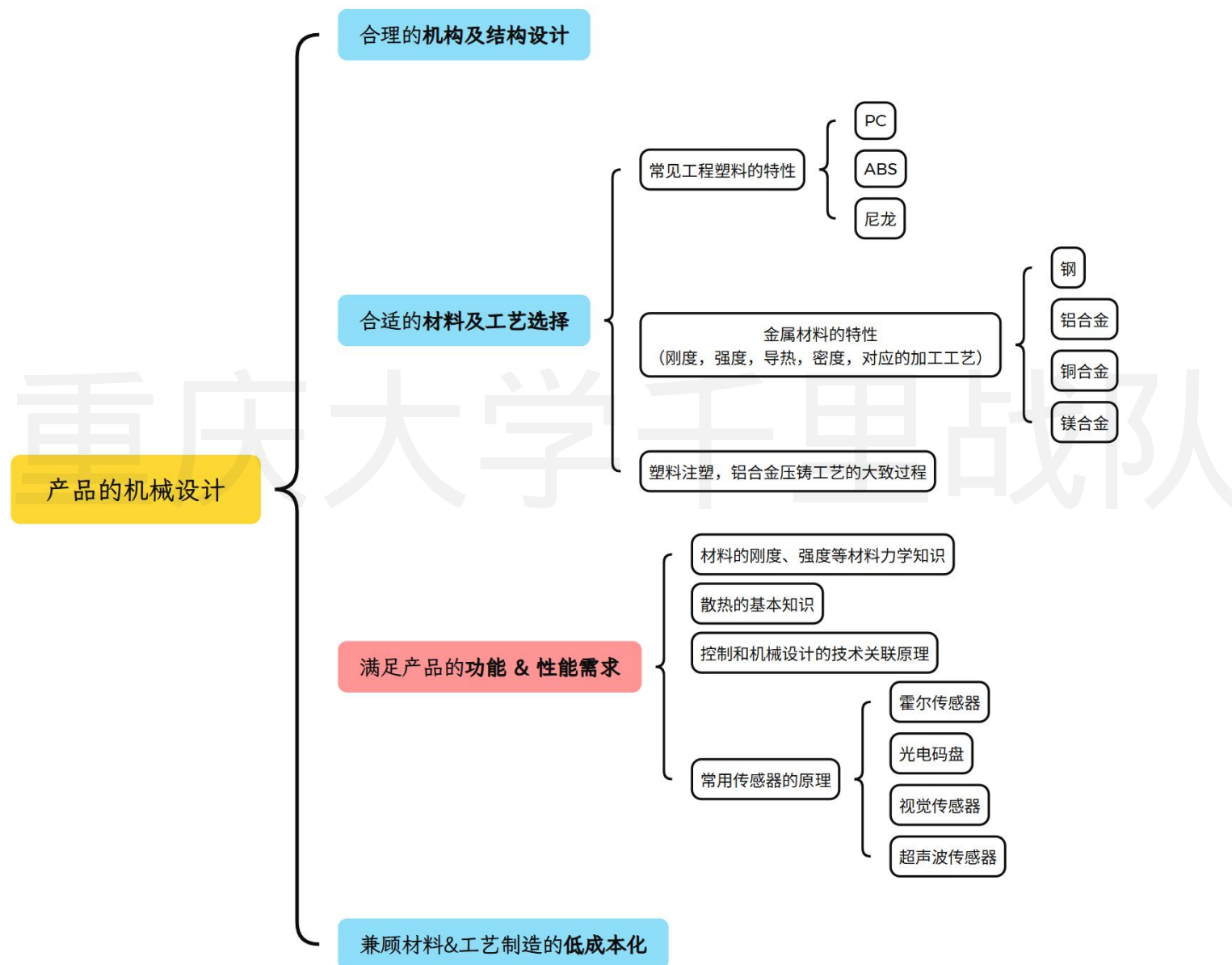
- **实干派：**自装自测，在一线业务中找到灵感

也许在各行各业，成为统筹和定义上层工作的角色之前，**从基层做起、体验完整底层工作流程**的是一个不可或缺的条件。在成为好的设计师/产品经理之前，我们需要经历从工匠开始的扎根和沉淀。也许只有拧够足够多的螺丝，体验过无数的拆装经历，排查过无数的隐患和故障之后，才能拥有**在设计阶段做好正向思考从而高效产出成果**的能力。

- **产品思维：**一个好的机械工程师至少是半个产品经理

进行换位思考、拥有用户的视角是做出合格产品的必要条件。满足用户刁钻严格的性能和可靠性要求总是令人头大的，但是挑战也是突破自我的机遇。**对技术的要求不应当只来源于上层统筹者提出的任务需求，可能负责技术实现的角色本身需要拥有统筹者的视角，自己对需求进行全局视角下的合理剖析。**





千里定义的人才画像 —— 队伍/机械组看重什么？

维度1：对技术的兴趣和热情

维度2：行为习惯

- 勤于思考本质
- 学习和实践的可持续性
- 良好的语言能力和沟通习惯
- 高执行力

维度3：团队向/品质和价值观

- 责任感和人文关怀
- 脚踏实地的谦逊
- 敢于冲锋的奉献精神

从梯队过渡到正式队员，不仅意味着技术能力的提高和上层工作量的增加，也意味着很多**非技术性的团队事务**的承担。这是我们所看重的团队性。

培养计划的逻辑：弹性化按部就班，理论实践循环进行

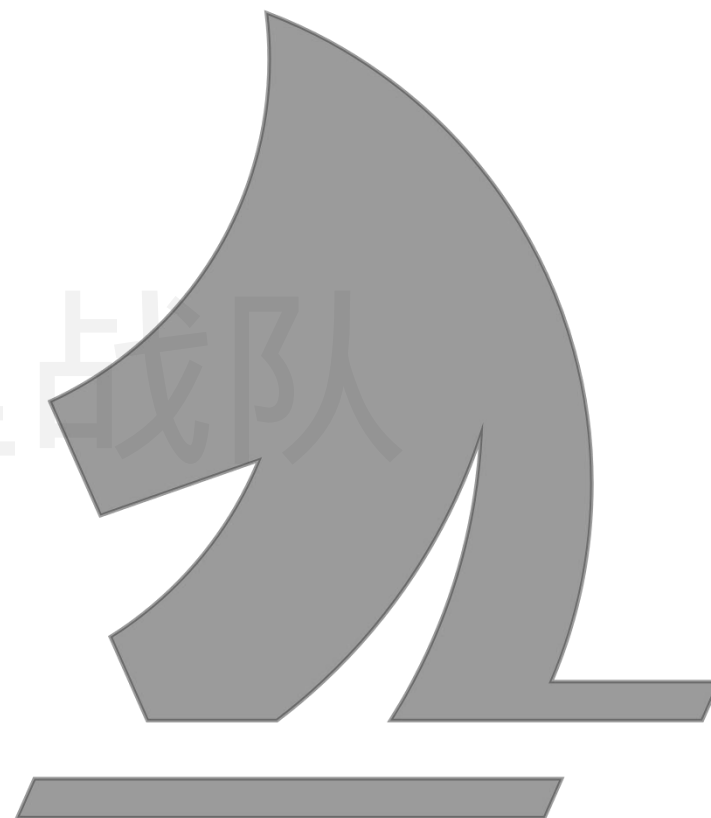
* 我们大概会有一个更详细的能力参考清单，这个清单会在后面进行版本更新

- 机械设计能力的阶梯式成长：从梯队到正式队员

- STEP1：可以看得明白开源文档，尝试在研究开源模型中积累经验公式，积淀基础理论知识，画图的时候养成好习惯，先学会修改现有结构和移植现有结构，训练工具的使用
- STEP2：走完完整的项目流程，对加工装配以及测试环节有一定的概念，反过来加深对理论知识与设计范式的理解。同时进行大量的开源案例学习，对比思考，尝试分析需求，迎合需求进行设计
- STEP3：尝试在约束跳进下自顶向下设计一个完整的模块，从对着现有图纸移植到根据脑子里的范式进行移植。过程中进一步完整体会整体的研发流程，加深对设计思维的理解
- STEP4：尝试结合所有需要考虑的因素进行多模块机电系统的统筹设计，从简单移植跨越到能够自由化用，关联很多看似表象不同但是本质相同的案例，能够创新性地组合合理方案并在设计中让他们浑然天成，考虑电气和控制的元素，拥有更全面的设计视角

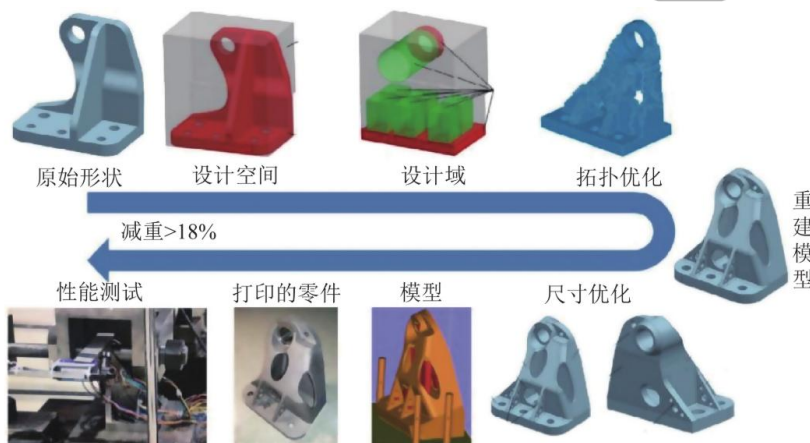
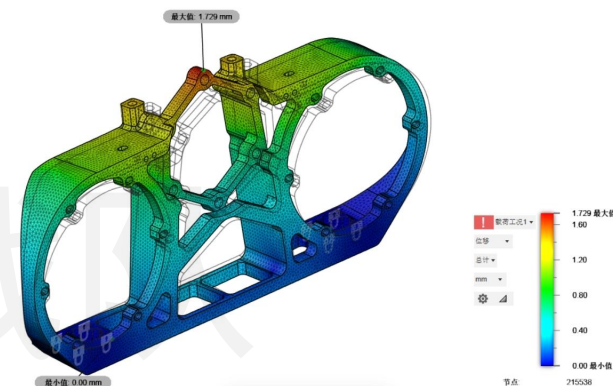
我应当怎么做？

- 机械组普遍达成共识并坚持的**技术原则和习惯**
 - 技术习惯向
 - 团队原则向
 - 技术学习进步的思维方法论



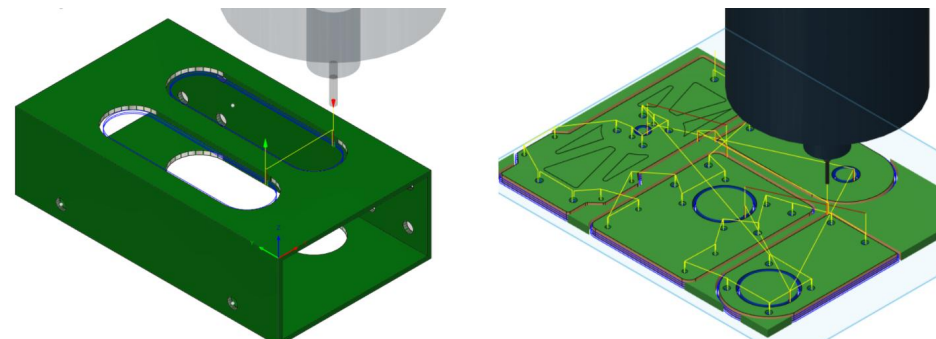
我们的设计指标 (1/2)

- 完整性（及格要求）：图纸和现实对应，不随意忽略特征，该有的东西要有，做好干涉检查
- 功能要求（及格要求）：它真的可以实现预期的功能吗，你的设计是否逻辑成立
- 强度（关键要求）
 - 合理的材料选择+外形设计：可以应付工况下的极限应力不至于变形/断裂破坏
 - 组合结构传力链条中不因为个别短板导致整体失效
- 刚度（关键要求）
 - 大形变会导致静态/动态干涉吗
 - 一个不好的刚度和模态会引起共振吗
- 轻量化（基本优化要求）
 - 相同的强度刚度性能，你能做得更轻吗？
 - 改善应力分布，提高利用材料效率，不随意冗余
 - 逼近性能极限，创造利好工况和正向循环
- 空间紧凑化（基本优化要求）
 - 有时候，体积小巧可以导向整体轻量
 - 从应付规则的尺寸限制到机电系统的小体积集成能力
 - 如果你不是为了装配空间友好，为什么要浪费空间呢



我们的设计指标 (2/2)

- 可加工性
 - 希望你的设计在材料和几何形状上都是符合加工方法的
- 成本 (进阶优化要求)
 - 不损失稳定性，使用更加经济实惠的方案
 - 对成本有大致估计，不过度节俭捡垃圾，也不随意堆料铺张浪费
- 复杂度和可靠性 (进阶优化要求)：需要结合测试进行迭代升级
- 机械装配友好 (进阶优化要求)：模块化/快速拆装/高互换性
- 电气调试友好 (进阶优化要求)：线路布置安全和可维护性

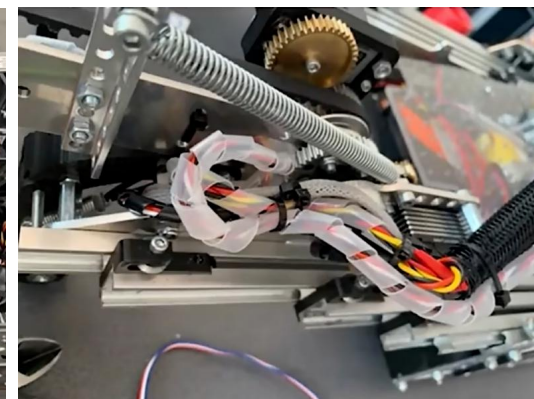


廖洽源

做看起来牛逼的机器人是最简单的，
做稳定的机器人才是难

指标之间的关系：trade off的艺术

- 指标之间有时候并不是同向的，而是相悖的
- 尽力而为取得一个都不赖的结果
- 如果无法达成，舍弃次要指标，全力保障优先级最高的指标
- 没有完美的设计，只有权衡之下最合适的设计



MVP(Minimum Viable Product) - 最小可行产品原则

先造出一个可实现功能的产品，然后再考虑后续优化！

- **摒弃完美主义对出发的绑架**

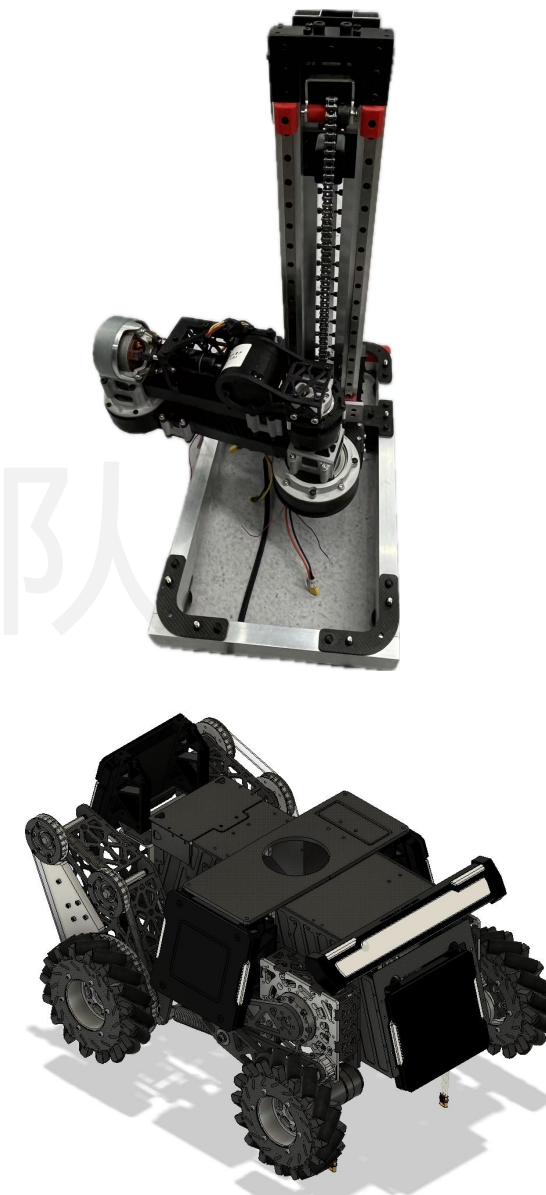
很多在初始阶段的犹豫踌躇/拖延都来自于完美主义的绑架：我会不会没有考虑所有的细节实现？我是不是能在第一个版本就能考虑到所有的边缘场景？现实往往是残酷的——初版就高效实现想法的能力需要依赖于大量的经验积累，但就算如此，很多经验丰富的工程师也无法做到在第一个版本就能够完美成功。

对初学者来说，先做减法是必要的，在一开始不应过分考虑次要指标。先做一个垃圾出来，再不断改进这个粗制滥造的东西。早点开始着手推进可以给后期迭代创造巨大的时间优势，这要远远好过期待一步登天但在开始阶段反复犹豫或推翻。

- **新东西 or 整花活 —— 即便是技术积累为目的的整活，也要有基本盘的保障**

先求稳，我们才有可操作的基本盘。队伍存活延续的基础是机器人可以达到完整形态要求并稳定上场，在此之前所有的创新性和探索性都需要短暂让步。越早创造基本盘，对技术创新的鼓励才有更大的空间。

禁忌：不要为了一小碟醋去包饺子，而是要针对饺子巧妙选用好醋



对【技术洁癖】的误解：

花时间规范习惯的技术洁癖 $\neq$ 不付诸行动的完美主义

技术洁癖意味着：

- 好的作图习惯：显示完全再加结构，完整的图纸，高效的时间轴，正确的约束；正确的层级结构
- 好的设计范式：迅速利用现有范式组合（落地实现时合理套用公式）
- 好的技术追求：拥有基本盘之后，追求用更高效的设计方案实现同等功能，**优雅即高效和最大限度的不冗余**
- 好的设计细节：充分考虑干涉 / 装配干涉，以及Design for Manufacturing
- 好的装配习惯：合理利用工具和工装，动手前思考后果，不无脑暴力拆装
- 好的交流沟通习惯：讨论技术细节时候，用合适的语言精确描述，确保交流效率
- 好的记录工作：文档记录，完整保存测试结果

两个故事

□ 早期桥梁工程的流派分歧：英伦经验主义 vs 法兰西理性主义

土木工程之父：Thomas Telford (1757-1834)

- 在原有成功桥型的基础上，进行渐进式的、小幅度的创新和放大
- 建造了大量坚固耐用的工程奇迹

结构分析创始人：Claude-Louis Navier(1785-1836)

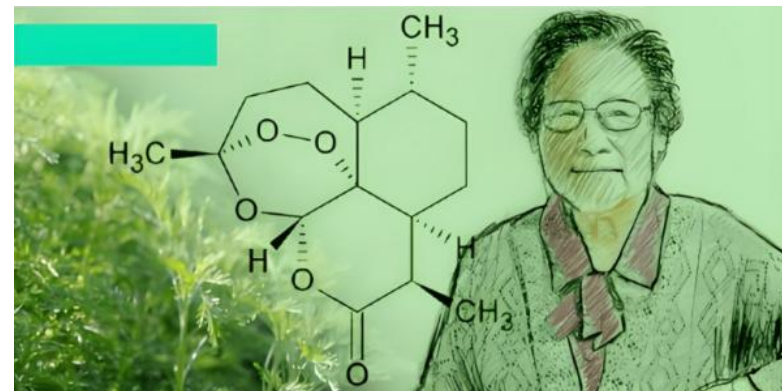
- 系统性地将微积分和材料力学应用于工程实践，为结构计算建立坚实的数学基础
- 流体力学中欧拉公式缺少粘性项的理论缺陷，造成了桥梁损坏



梅奈海峡悬索桥（1818建成）

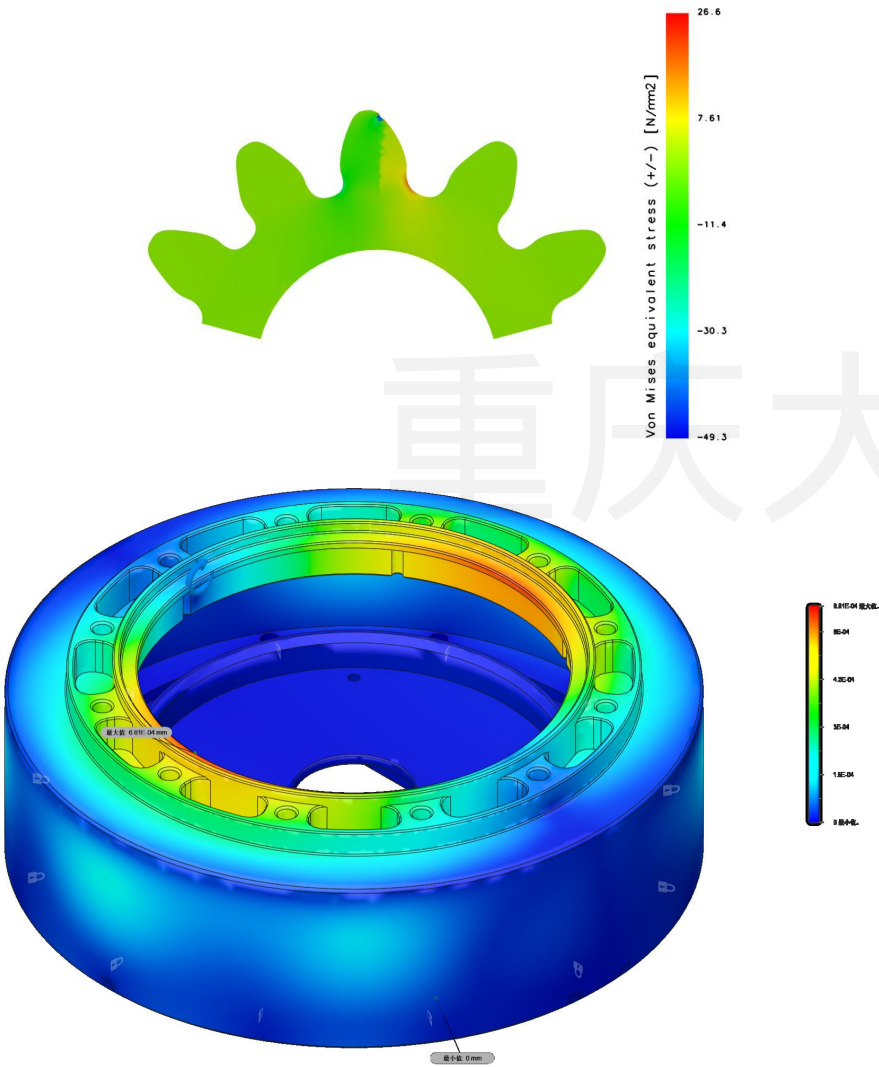
□ 中医药学的发展 & 青蒿素治疗功效的白箱化

- 张仲景《伤寒杂病论》：经验药方来自于数千年来在无数人身上进行的临床实验
- 葛洪《肘后备急方》：“青蒿一握，以水二升渍，绞取汁，尽服之”，得到经验主义的结论：输入（青蒿）和输出（抗疟疗效）有对应关系
- 改变提取方法：基于高温破坏有效成分的猜想，改用乙醚低温萃取法成功提取
- 通过现代药理学和化学分析：青蒿素及其衍生物的作用机制被阐明（主要在于其内含的“过氧桥”结构，在铁离子的催化下产生自由基，攻击疟原虫的膜结构等）
- 在明确化学结构的基础上，效果更好的衍生物被合成研发，如蒿甲醚、青蒿琥酯



屠呦呦和抗疟疾药物成分青蒿素

关于仿真模拟



②整车飞坡校验：

- 在后处理中可以读取碰撞冲击力，再此基础上继续进行悬挂压缩情况的仿真。对轮系施加冲击力，设置减震器的刚度系数与阻尼系数，选取接近实际情况的值，观察悬挂压缩的情况。
- 由曲线图3.2.13可以观察到在所设的悬挂参数下，竖直方向位移约为 44mm，实际考虑到各连杆轴处的阻尼和防撞导轮的添加，悬挂的压缩量可能更小，因此上文所述的瓦特连杆悬挂设计校核通过。

参考文献：

[1]谭继宇,沙金龙,张魏友.Adams接触参数对碰撞后速度影响研究[J].低碳世界,2017(18):283-284.DOI:10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2017.18.183.

[2]李高伟,吴卫国,朱学超.机器人脚底与沙土地面的接触参数的测试与确定[J].机械制造,2008(01):68-70.

[3]袁点 王刚.基于ADAMS的杓机碰撞力研究[J].机械工程与自动

ertz接触理论的法向接触刚度计算方法[J].西

多接触系统仿真效率提高方法的研究[D].广西

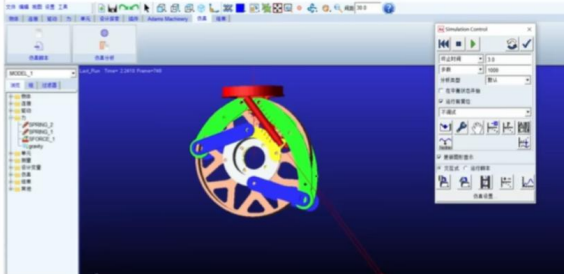


图3.2.12 Adams仿真悬挂系统受飞坡冲击力的压缩情况

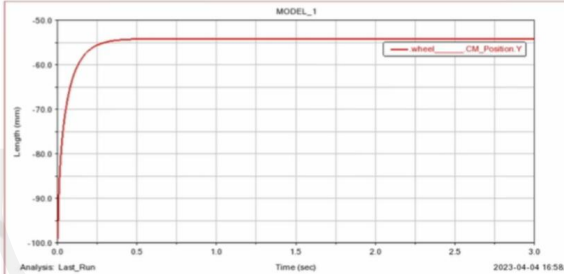


图 3.2.13 轮系悬挂压缩的竖直方向位移

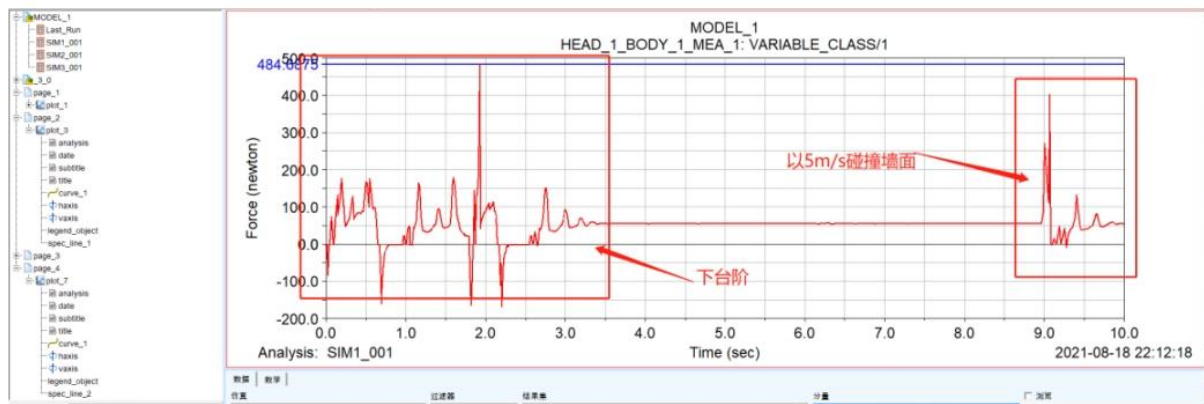


图 5 下台阶、碰撞时 yaw 轴轴向载荷

根据仿真结构可得：
 $Ca > ForceMax = 1734.1129 \text{ (N)}$
我们所选用的薄壁深沟球轴承 61816 符合设计要求。

	经验主义	理论计算	仿真模拟
好处	在设计开始阶段，套公式，直接复用一些结构范式甚至是参数，永远是正确高效的开始 在实验阶段，良好设计的实验去论证输入-输出结果是经验主义效用最好的体现	处理简化后的简单问题或者特定领域的问题非常方便。通常我们可以利用简化模型，应用所学习到的最基本的理论方法进行粗略的估算，辅助确定工况进而选定设计参数	节约成本，可以在前期校核验证阶段提供充分的参考，避免资金浪费的同时给予初始版本设计一个更合理的参数配置
弊端	需要基于大量的实验测试，如果没有经验性结论缩小验证范围，时间成本和金钱花销更多	有较高的前置数理知识要求 无法处理复杂情况和过高的计算量	有一定的学习成本要求 部分情况下难以取代实物验证 风险： - 模型的抽象简化造成关键现实条件流失 - 错误的边界条件设定 - 工况数值的粗略估计 可能会带来看似科学但是没有参考意义的结果
真实定位	【主导方法】 多数时候，我们的工程是经验主义导向的，基于经验化的范式推进正向设计，在定位和解决问题的阶段基于实验现象、假设和实验测试反过来验证对问题本质的建模和猜想。	【粗略的判断工具，辅助经验主义设计】 大多数情况下理论也是定性的运用居多，帮助我们判断大致的合理性。而定量工具大多数都为简化情况设计，要获得更好的计算结果需要依赖计算机就的数值仿真模拟。	【辅助验证手段】 很多时候难以用仿真获得准确数据结果，只能获得比较下更好的参数配置，提供优化方向的定性指导。运用正确的情况下，可以视为对实物实验的高效补充。

不加反思或无法实验复现确认的经验主义 ✖
没有把握/盲目简化后进行的理论计算或者仿真工具应用 ✖

- 不害怕犯错

每个人都要经历这个过程，很多时候进步需要在踩坑的基础上才能得以进行。不过我们要思考，这个错误是无意过失，还是无视前人经验重复踩坑，抑或是很愚蠢的低级错误。从错误中向前看是进步的来源，有时候犯错多可能恰恰证明你付出了更多的努力做更多的事情，只不过需要记住教训。

- 必要的谨慎：团队机制

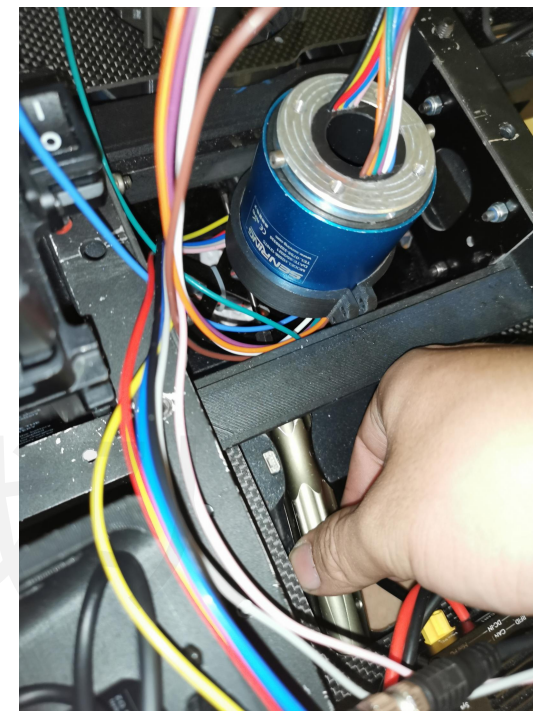
日常讨论+组会评估+审图流程可以从机制上大幅降低队员犯错的概率

- 在设计上遇到瓶颈

在完全从0到1的手搓设计受挫时，将策略转化为移植化用现有结构，先降低要求。此外，对于无法判读权衡的情况，及时求助是必要措施。

- 放轻松：你是真的遇到平台期了吗

厚积薄发，大器晚成依然是普遍现象。虽然机械组的上手曲线平滑，但是也要服从客观规律，从工具层面的熟练跨越到设计思维层面的成熟依然需要时间和经验堆积，从量变创造质变。我们需要保持平常心态，切勿急功近利。分析投入产出是否是真的存在效率问题，有问题再寻求帮助进行解决。

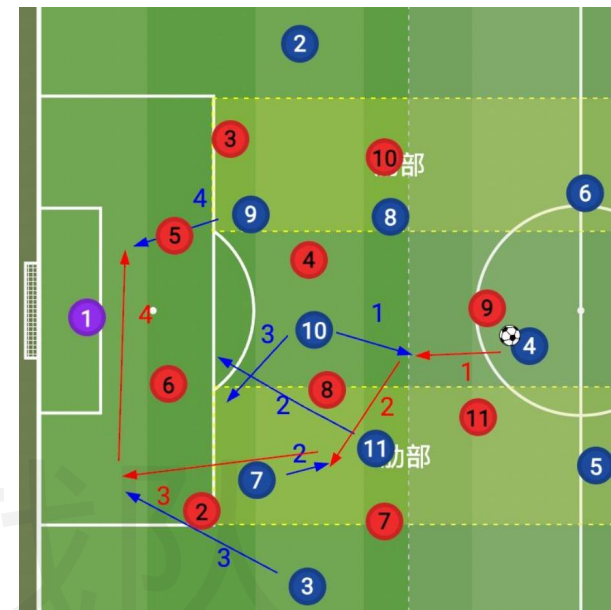


关于足球的角色、阵型和战术取向变化：Positionism vs Relationism

位置主义：所有可能的关系都是位置的函数

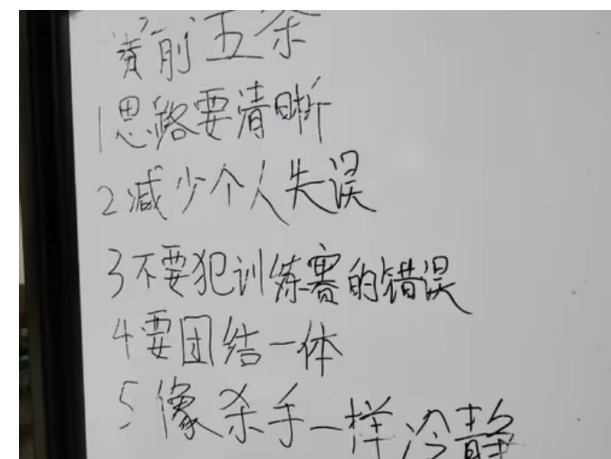
关系主义：所有可能的位置都是关系的函数

- 位置主义（团队游戏基本原则）：空间安插，各司其职
- 位置主义向关系主义的转化：补位，交叉换位，局部人数优势
- 关系主义的要求：具体情况具体分析，灵活调度，流动性阵型
- 现代足球：球员能力从强化单一维度优势到均衡化发展的要求



Overwatch：没有小地图，FPS+moa机制

- 如何拥有全局视角：开麦交流，信息互通
- 报集火目标：统一战线，从薄弱点逐个击破
- 明确开团技能释放时机，谁去管谁：明确职责，分走or抱团
- 在重生室的思考窗口：清晰的头脑，计算与权衡



日常团队工作中要注意什么

- 资源分享和开放透明：团队语音
 - 一个项目组能够协作的基本条件：每个人都知道彼此在做什么
 - 更多的头脑，多层次和高效的解决策略
 - 群聊问问题：降低培训者的消耗投入
- 协商调度工作：传球，补位
 - 在陷入多人包夹且突破不利的时候，及时传球出去给队友，不粘球
 - 在看到队友被包夹时，及时提供接应点
 - 踢皮球和责任转包：跟进过程，并且及时要回本身属于自己的球权
 - 安全球没穿好被前场断球：负全部责任



固守认知是人的本能，不仅在技术领域，是社会学心理学哲学上的普遍情况，就比如直到现在网上很多人抨击染发，汉服刚被人穿上街时被铺天盖地骂，其实本质上是在维护自己的认知。

固守认知的历史缘由是人们习惯于经过大众长期检验的行为模式，这样不容易出错。但因为某个事物超出认知就否认，容易带来不好的结果和限制。应该用理性分析。

比如调参数时电控十几二十的试某个参数，我说给两百，他不敢给，最后还是给了就调好了。如果理性分析一下，不敢给是怕给大了出事，给大了出事后果最坏也就是电机温度过高得盯着断电。

可以知道如果当时依然十几二十的试，得试到很久之后才会试到两百 这时时间已经花出去了。



- **输入和输出：应用输出才能证明输入被内化**

输入导向的学习和输出导向的学习

没有了考试，如何考验自己？最简单的输出方式：**费曼学习法**

更多的尝试：多设计小的局部模块 / 小组汇报讨论 / 写文档

- **反馈系统：如何高效收敛**

提高控制频率：同步，讨论检验

需要拥有准确全面的传感器进行评估：多来源，高置信度

- **非线性的学习过程：反反复复，螺旋上升，以赛代练？**

整合碎片化信息的能力，跳跃思维，关联类比的思考方法

学会梳理技术栈框架，评估能力的多维进度条

在游戏地图中开疆拓土，需要找到自己的位置才能做出下一步的行动

- **阶段化目标和均匀速率：可持续的才是最好的**

阶段性设立小目标，带来持续的成就感

- **没有绝对好的工作流程，找到适合自己的 workflow**

当然前期没有足够认知时，可参考别人 workflow



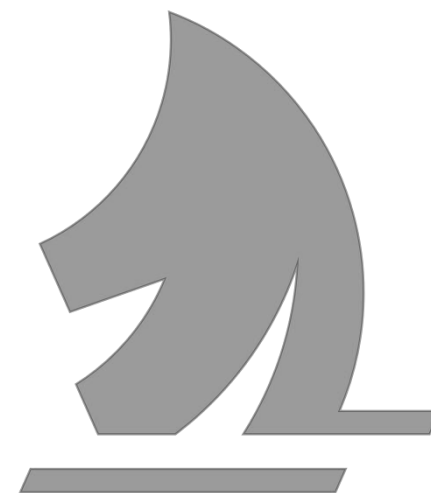
第二期 开源研讨与结构设计初探

重庆大学千里战队

2025年12月14日

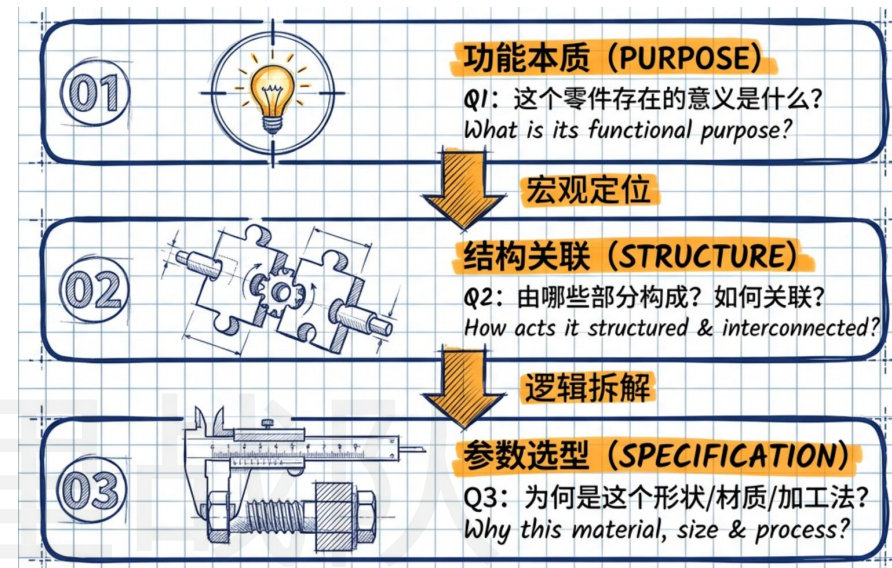
主讲人：PP

说明：鉴于目前打卡和开源阅读出现的问题比较多，目前梯队基础较为薄弱，为了处理燃眉之急，帮助大家理解底层原理，同时规避信息过载，之前预告的《结构》读书分享 + 生活中更广泛的机械设计专题延期到第三次分享会



第一次学习开源，应该怎么做？

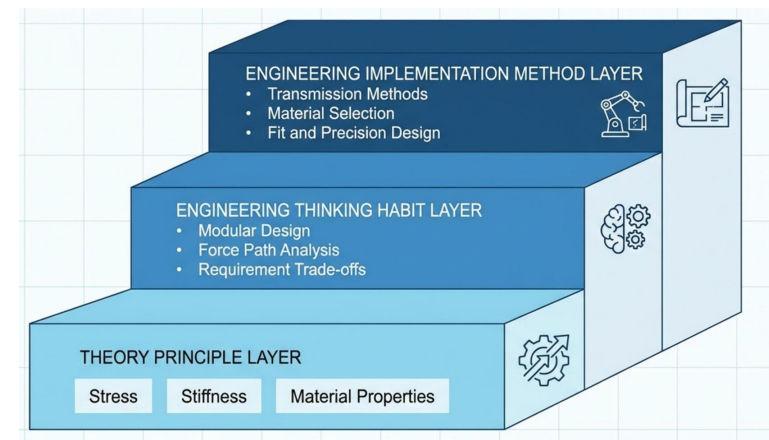
- 一个完整的机械结构开源包括：模型 + 文档，可能附有图片/演示视频/加工图纸
 - 从文档开始了解方案思路和原理
 - 带着问题去在模型中仔细观察文字描述对应的实现方式 + 寻找文档没有提及的细节
- 对新手来说，先按照模块拆分，以独立模块为最小单元进行学习
- 只需思考3个问题：
 - Q1：这个零件/局部存在的意义是什么？
 - Q2：他由哪些部分构成？这些零件如何产生关联？
 - Q3：这些东西为什么是这个形状 / 尺寸 / 材质 / 加工方法？



对我们来说，开源意味着什么

优秀的开源可以提供：

- 好的思考问题和解决问题的思维方式
- 好的公式化方法/设计范式以供移植/应用变式
- 好的素材灵感以激发更优秀的实现思路



注意事项/风险

- 很多队伍的开源**文档并不会详细记录图纸中所有的细节**，文档较为简洁，需要结合模型去看细节（上交为典型）
- 很多队伍**并不会在开源模型中完整还原真实版本的构建**，在开源启发其它战队同时，有效保护需要大量研发投入的机密细节，表现为：
 - 图纸的尺寸有时并非实际上场版本，尤其是涉及需要大量测试的发射 / 拨弹盘结构
 - 图纸的部分机构细节会被直接简化或者隐藏，表现为简单版本，例如上交最初的自适应悬挂被省略，以及部分开源的核心自研底层部件（如减速箱等）
 - 图纸的部分实现仅为终版前的某测试版本，并不能提供稳定性能，例如中南大学FYT17mm中心供弹拨盘，同济大学42mm中心供弹拨盘
- 开源论坛的开源质量参差不齐，**很多队伍的开源质量并不高，甚至存在纰漏**，需要保留批判性思考，不随意盲从

综上所述：移植开源需要保持谨慎和批判性，不能照单全收，有时候需要我们去**复现测试结果**才能给予肯定答案

20赛季步兵机器人（上供弹）

背景：下供弹尚未成熟和流行的RM2019赛季，有实体弹丸补给站，结构追求简洁高效

定位：高机动刺客，擅长飞坡，高频且精准地发射17mm小弹丸

贡献：上供弹时代极致简洁优雅的典范

- 首次定义了后续在RM种广泛使用的多种DIY标准件：3508/2006抱紧联轴器 & 6*6*40铝排
- 高稳定性与较高弹频的拨弹盘及17mm发射系统，成为多数队伍在无力投入拨盘/发射研发时复刻的第一选择
- 交叉滚子yaw轴、蚊香盘结构的成功尝试，自适应悬挂首次亮相RM赛场



21赛季英雄机器人（下供弹，Bad Boy）

定位：全能移动，下台阶/上坡无障碍，可中距离打击也可飞坡冲家

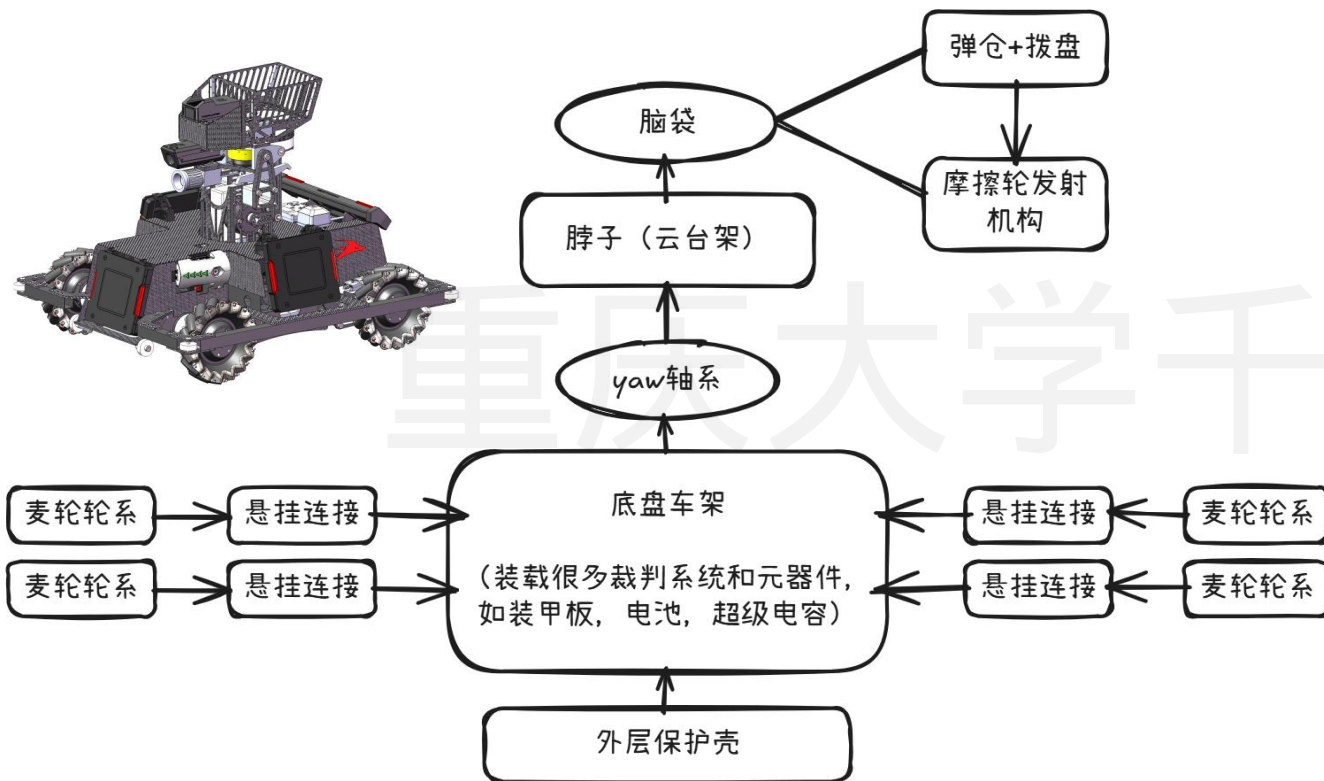
贡献：轻量化下供弹鹅颈云台英雄先河

- 首次定义了鹅颈构型的云台，从弹链本身出发直接衍生为云台架，大大减轻了云台质量
- 高稳定性的42mm切线供弹机构
- 开源的自适应悬挂结构成为今后大部分英雄机器人上坡自适应悬挂的重要参考



为什么以这两台车作为第一次研讨学习的案例？

模块拆分和结构拓扑

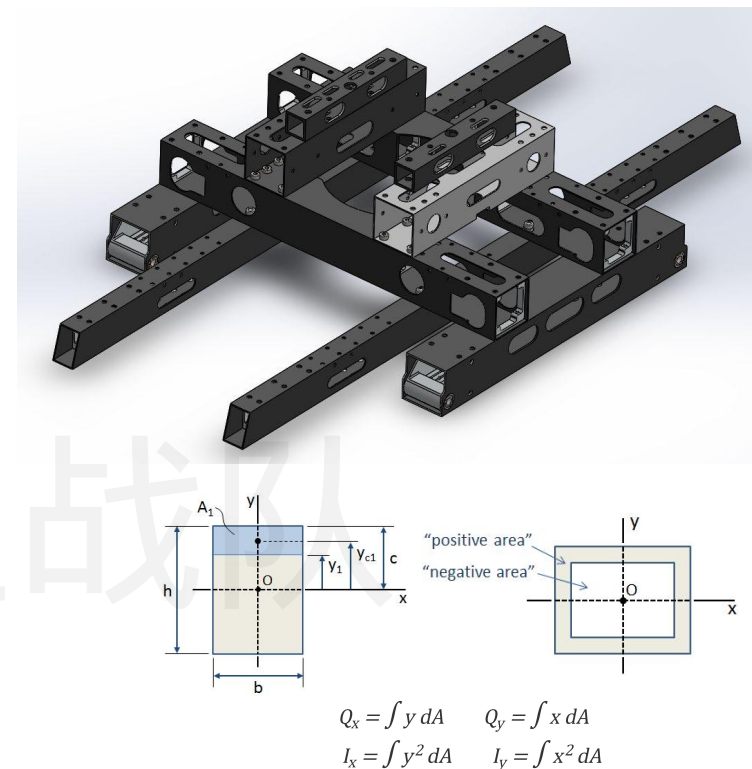


- 车架（静态框架）
- 轮组
- 悬挂系统
- 保护壳
- 云台机构（静态框架+轴系+驱动传动）
- 供弹机构
 - 弹仓
 - 拨盘
 - 链路
 - 发射末端



通用范式1：基于铝方管的井字形框架

- 为什么用空心管件（尤其是大截面薄壁管件）—— 材料效率最大化 + 截面性能优化
 - 关于截面的抗弯/抗扭性能：**惯性矩** (Task 7)：材料分布在远离中性轴的边缘
 - 2040铝方管为什么**纵置**而非横置？承重梁抗弯
 - 相同质量的**空心轴**和实心轴传递扭矩，谁的材料利用效率更高？
- 为什么我们会选择铝合金作为主要材料选择？—— 比强度&工艺性&成本的全能选手
 - 比强度**的概念：铝密度仅为钢1/3，但强度可达钢材的1/2，单位质量材料提供强度更高（碳纤维更甚）
 - 6系铝合金的良好工艺性：挤压成型 / 激光切割 / 铣削钻孔 / 焊接
- 铝方管 和 铝型材/碳管相比又如何？—— 轻量和安全
 - 型材适用场合？同规格更重，但是可以利用开槽和船型螺母/波珠螺母任意固定；适合随手搭建
铝方管有较宽的**孔位**定制面和**板件接触面**，可以激光雕刻镂空减重，适合我们的设计范式
 - 碳纤维圆管（缠绕成型）和板件固定大部分情况下只能依靠金属管夹，也会带来额外重量；而方管尺寸制造公差较大不够精准
碳管对孔洞更敏感，脆性+各向异性导致局部应力过大，裂纹扩散，这种断裂失效可能相比铝合金的塑性形变分散摊平应力更无法接受
- 什么是闭合框架？—— 应力传递路径的“完整性”与约束强化
 - 于截面而言，闭合可以显著提高抗扭性能
 - 全闭合框架相比开式框架更能把局部应力以更多路径分散给整体，类比双端简支对单端悬臂的刚度优化



通用范式2：铝方管连接处的内嵌/填充件

- 为什么是铝合金内嵌件 —— 轻量化减重后是优选

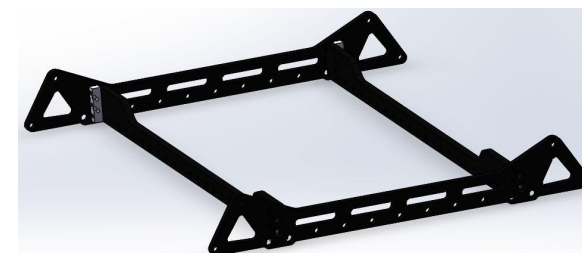
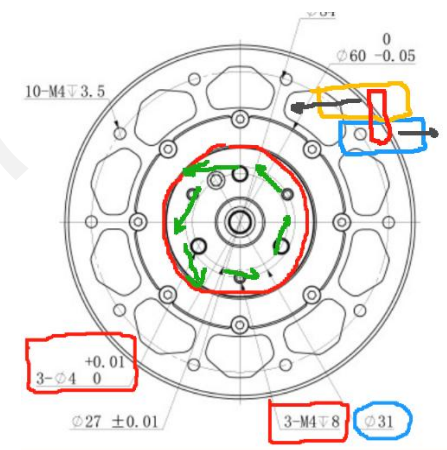
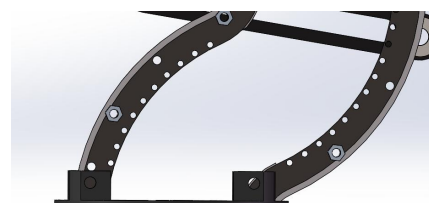
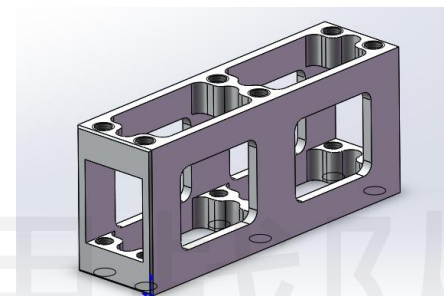
- 薄壁方管壁面孔洞在螺丝预紧时，螺母/螺丝头的压力集中在孔径周围极小区域，局部应力超过材料屈服强度后会产生塑性变形，产生压扁/凹陷
- 通孔对穿：实心内嵌件提供了抵抗受压形变的约束，实心相比空心截面更能承受局部压力
- 螺纹单面固定：铝合金内嵌件可以创造足够深度的螺纹（而非铝管壁厚的螺纹）

- 3D打印件的代替方案 —— 也可以好用

- 通孔对穿：抗压 > 抗拉
 - PLA、ABS等热塑性塑料分子链呈线性结构，拉伸时易发生链断裂或层间分离（结合强度：层间<层内）
 - 压缩时分子链紧密堆积，不易错位，抗压强度通常比抗拉高 20%-30%
- 如何在打印件上创造螺纹？（内嵌含螺纹六角铜柱 / 滚花螺母 / 螺纹套？）

- 关于螺纹分布 —— 空间足够，尽量拉大紧固件的分布，降低应力

- 最典型的例子：传扭法兰的螺纹分布圆如何降低应力
- 结构设计的关键所在：优化选材，优化形状以优化应力分布，提高材料利用率



通用范式3：防卡导轮：用转动自由度去释放力，滑动变滚动减小摩擦

- 轴承，线轨，滑车，滑动变滚动..... 其他例子：弹链与拨盘上的小轴承

通用范式4：利用拓扑优化/衍生式设计/轻设指南思路去镂空减重

- 究竟什么是轻量化？—— 提高材料的利用效率

- 去除应力低（不必要的冗余部分），保留/补强薄弱的部分

- 为什么衍生式设计时，算法常迭代生成树杈状结构，类似桁架结构？

- 从“应力分布”看材料利用效率的差别

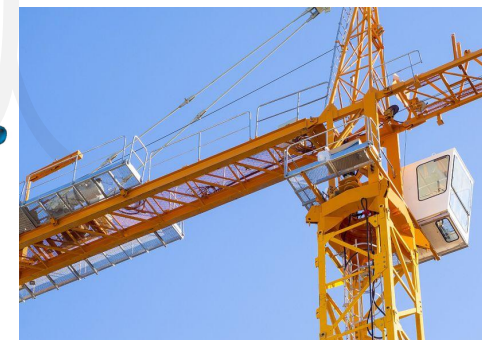
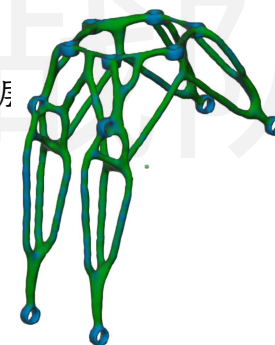
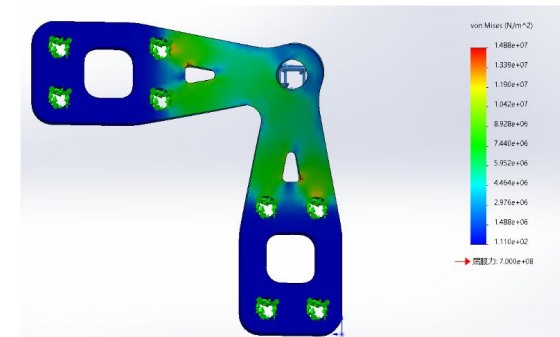
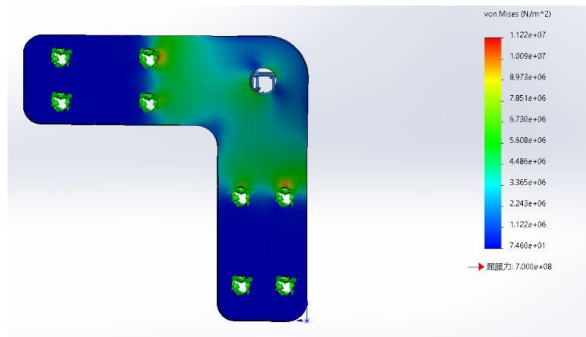
- 纯拉/压状态（二力杆）：当一个杆件只受轴向拉/压时（如桁架中的直杆），截面上的应力均匀分布（理想状态下），材料的每个纤维都在承受相同的力，没有偷懒的区域

- 弯曲/扭转状态：一根悬臂梁受重力弯曲时，截面上下边缘应力最大（受拉/受压），中性轴（中间层）应力为0，大部分材料在中间“摸鱼”

- “资源最优分配”与“系统均衡性”

- 从找危险截面到木桶效应 = 传力链条的“短板原理”，最均匀的桶才能围成最大的容积
 - 题外话：系统的“差异化资源倾斜”实现“系统寿命均衡”：大齿轮和小齿轮啮合，材料分配和变位系数分配

若仅让1-2名核心队员画全部图纸（局部应力集中），其他人闲置（零应力区），既会导致核心队员疲劳出错（断裂风险），又浪费人力。让每个人都在“高效受力区”（承担匹配能力的任务），就是团队版的“拓扑优化”



通用范式5：基于铝排的板件异面连接

外壳有什么用？防止异物侵入 / 防止关键部件受到击打

侧壁完全镂空单元面积 需要防止17mm弹丸侵入

上版面通常1mm板件不镂 / 承重厚板不镂空

故障案例

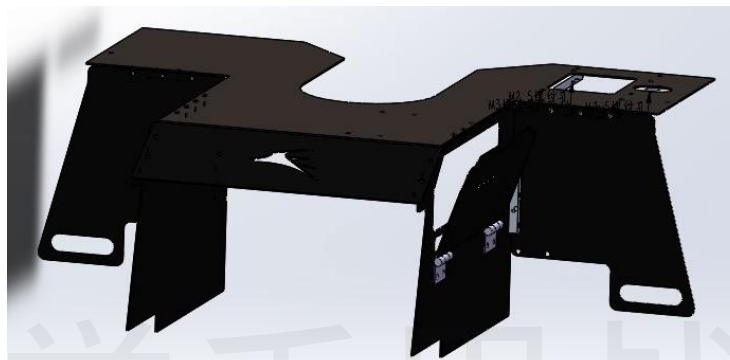
案例1：螺丝掉入导致PCB正负极短路烧毁

案例2：电池开关/线路被17mm弹丸击打松动

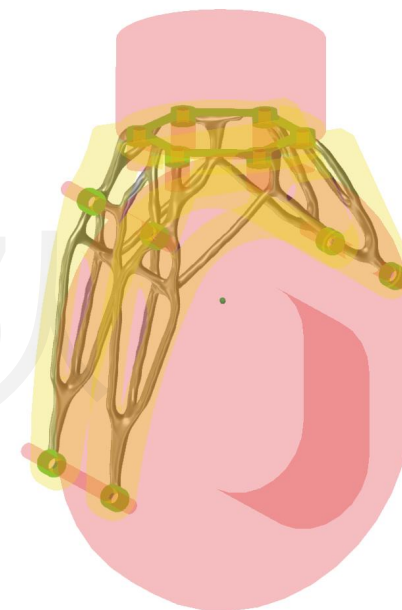
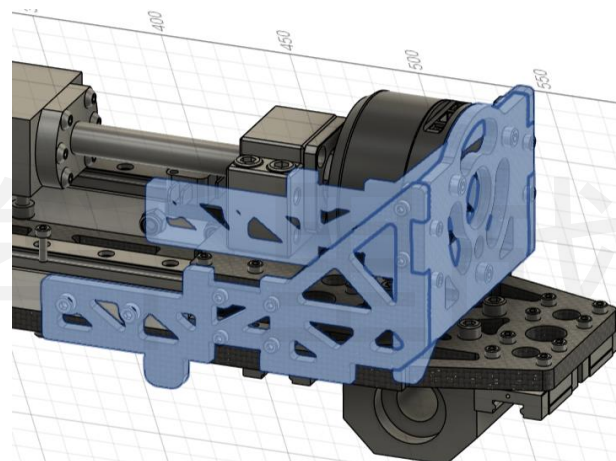
案例3：云台螺母掉入弹仓导致拨盘卡弹

广义的保护壳：花盆网 / 泡棉 / 胶带...

凡是可以通过封堵路径或占位的方式防止异物侵入，都是广义的保护壳



异面连接的方法



通用范式6：高抗倾覆/高刚度&精度场合下使用交叉滚子轴承

- 大倾覆载荷场景：YAW轴 / 舵轮的舵向轴系 / 串联腿的侧边轴系
- 相比对装角接触球轴承：更小的体积实现更大的承载性能
- 低载荷的平替版本：四点接触球 薄壁轴承（X型）（等截面薄壁轴承）

通用范式7：利用挠性部件（如蚊香盘结构）释放自由度避免过约束

- 挠度利用的场合：原来故意设计低刚度也有好处！
 - 蚊香盘传扭矩不穿传跳动
 - 挠性联轴器对角向误差的补偿
 - 柔顺机构：模拟带弹性元件的多刚体机构
 - 柔性隔振

通用范式8：通过传动合理配置驱动部件位置，降低重心/减轻惯量

- 重量分布靠近转轴，减小质心相对旋转中心的距离
- 更大的质量（驱动）向近端靠拢，通过执行部件传递到远端，减轻前级负担（机械臂的末三轴设计）

