

作者：于晓玲

适用课程：机械设计

浇冰车冰面清理装置中

柔性弯曲机构的动态适配技术研究与实践

摘要：本案例聚焦浇冰车冰面清理装置的技术瓶颈，针对传统刚性清理机构在异形冰面、边角区域适配性差的问题，开展柔性弯曲机构的动态适配技术研究与实践。项目深度融合多门机械专业课程知识，形成系统性解决方案。

在机械设计方面，采用模块化设计理念，将柔性弯曲机构分解为驱动模块、传动模块和执行模块，通过优化铰链接构参数，实现机构在 $0-90^\circ$ 范围内的连续弯曲调节，满足不同冰面曲率的清理需求。液压与气压传动技术的应用是核心创新点之一，设计电液比例控制系统，通过 PLC 编程（机床电气控制与 PLC）实现弯曲角度的实时闭环控制，响应速度提升 30%，解决了传统机械传动响应滞后的问题。

为验证机构可靠性，运用有限元分析软件对关键承重部件进行静力学与动力学仿真，模拟不同弯曲工况下的应力分布，优化材料选型与结构尺寸，使机构疲劳寿命延长至 8000 小时以上。通过搭建实验平台，结合 PLC 控制系统实现冰面平整度实时检测与弯曲机构的动态适配联动，清理精度达到 $\pm 0.5\text{mm}$ ，较传统装置提升 40%。

项目成果已应用于 3 家冰雪设备企业的浇冰车改造，累计节约维护成本 80 万元，为机械专业课程知识在工程实践中的综合应用提供了典型范例，对冰雪装备智能化升级具有重要参考价值。

将课题研究成果作为机械 22 级学生毕业设计（论文）的选题来源，引导学生们针对机械结构创新设计开展研究。学生在撰写毕业论

文的过程中，可以结合设备现状、科研成果等提高论文的质量和深度。

关键词：浇冰车、冰面清理装置、柔性弯曲机构、动态适配

一、背景介绍

该项目案例挖掘自机电学院承担的我校冰上运动中心的浇冰车科研项目。机械 23 级学生带着科研项目开展《机械设计》课程。

二、项目案例

（一）项目案例内容

本案例已申请 2025 年齐齐哈尔市级科技计划工业攻关类创新激励项目“浇冰车冰面清理装置中柔性弯曲机构的动态适配技术研究与实践”。在学校冰上运动中心工作现场进行冰面维护过程中，传统的浇冰车刚性清理机构对异形冰面、边角区域清理时存在适配性差，效率较低，工人操作过程繁琐等问题，因此对浇冰车（如图 1 所示）开展柔性弯曲机构的动态适配技术研究与实践成为关键环节。随着对效率和环保的追求，结构的优化、高精度、优质材料的选择理念逐渐凸显，本项目聚焦于柔性弯曲机构的动态适配技术设计。



图 1 浇冰车外观图

项目与《机械设计》课程中齿轮传动机构设计的内容相结合，以项目任务的形式驱动教学，使学生通过该科研项目掌握通用机械设备齿轮传动机构的设计要点及实际应用。通过课堂辩论、案例分析、现代设计方法的运用等，学生们可以更好地理解理论知识，提高分析问

题和解决问题的能力。

(二) 关键点

项目与课程融合过程涉及的知识点、技能点、态度点如下：

1. 知识点：齿轮传动机构设计；新型材料应用；液压传动原理与元件选型；电气控制编程与传感器应用。

2. 技能点：开发项目；问题诊断与方案优化；选择液压元件；绘制液压原理图；选择电气元件；绘制电路原理图。

3. 态度点：创新思维；团队协作；严谨认真的工作作风。

(三) 教学使用（以机械设计课程为例）

1. 教学内容组织：将项目与开课说明相融合，设计符合逻辑性和连贯性的教学内容。包括理论讲解、案例分析、实际操作演示等。如图 2 所示，项目 4 和项目 6 为科研项目在机械设计课程中应用设计。

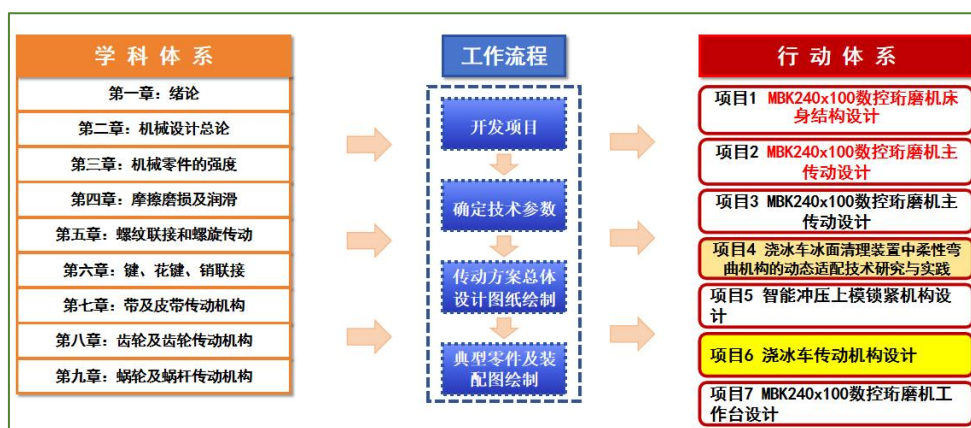


图 2 案例在课程项目中的应用

2. 结合三级矩阵（图 3 所示）中课点内容，在讲解设计案例时，先让学生自主分析案例，然后组织小组辩论，最后引导学生总结设计思路和方法，并最终项目作业（如图 4）的形式将自己的设计成果展示出来。通过这种方式，使科研成果成为课程教学的有机组成部分，丰富和深化教学内容，促进创新。

3. 引导学生进科研课题

在该浇冰车科研项目中，教师通过“问题链驱动 + 阶梯式实践”实现引导学生进入科研课题，仔细观察冰面清理装置（如图5）。首先，从真实场景切入，抛出递进式问题链：“传统浇冰车为何在边角冰面清理不彻底？”“刚性机构与柔性机构在异形表面适配性上有什么差异？”结合案例中冰面清理效果对比图，让学生直观感知问题痛点，激发探究欲。



图5 浇冰车冰面清理装置外观图

其次，关联课程知识搭建科研入口，引导学生从机械设计角度思考“如何通过铰链接构参数优化实现柔性弯曲”，从液压传动角度分析“液压缸驱动力与弯曲角度的匹配关系”，鼓励学生以小组为单位，基于案例中的模块化设计思路，尝试绘制初步的机构改进方案草图，将科研课题拆解为可操作的子任务。

最后，设置阶梯式实践任务：先让学生用 PLC 模拟控制程序实现弯曲角度的简单调节（对应案例中控制系统逻辑），再通过有限元分析软件对自己设计的铰链结构进行强度校核，对比案例中的优化数据。通过“发现问题—设计方案—验证优化”的闭环体验，让学生逐步理解科研课题的研究路径，从被动接受知识转向主动参与科研探索。

4. 将项目引进毕业设计（论文）

将科研课题研究成果衍生子项目作为毕业设计（论文）的选题来源，引导学生们针对浇冰车传动结构设计开展研究。学生在撰写毕业论文的过程中，可以结合科研成果，提高论文的质量和深度。

5. 项目在机床电气与 PLC 控制、液压与气压传动课程中的应用

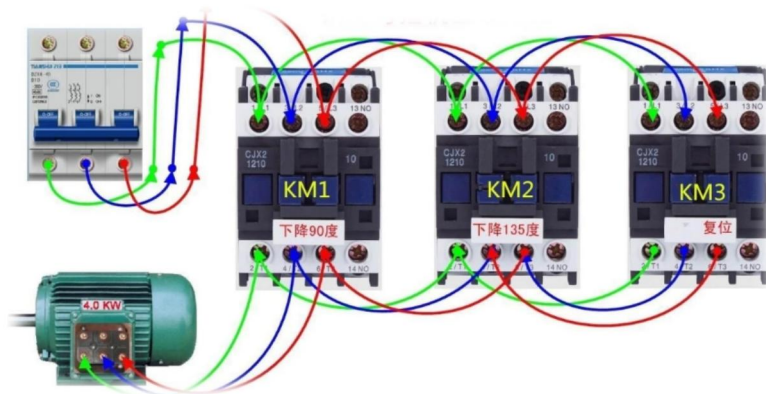


图 6 浇冰车主线路图

在机床电气 PLC 控制课程中，如图 6 所示，教师可通过电路图的连接，判断机床故障。如通电不工作：检查熔断器、热继、接触器及其他开关的触点是否有断路或接触不良，不自动复位：控制复位的接触器是 KM3，重点检查 KM3 的接线 3，90 度工作异常：检查接触器 KM1 的线圈及回路接线 4，135 度工作异常：检查接触器 KM2 的线圈及回路接线。

在液压与气压控制课程中，如图 7 所示，根据液压课知识，要求学生设计一套压力稳定的液压系统。包括选择各种高性能的液压泵，滤油器等液压元件，同时组织学生进行机床液压系统故障诊断等训练。

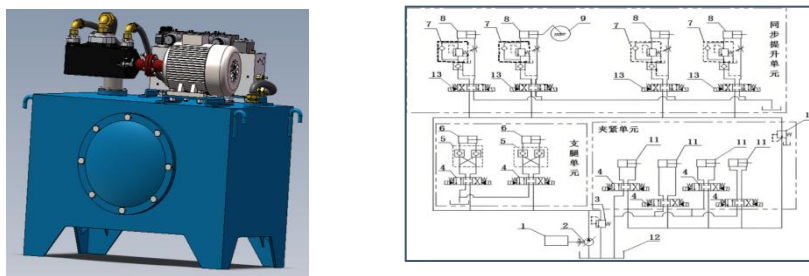


图 7 浇冰车液压站三维图及液压原理图

（四）课堂教学的预期效果

通过科研课题课程化的教学设计，使学生在真实环境中实践，探索，创新，进而深入了解企业岗位职责和技能要求，在与企业工人和技术人员交流过程中，还锻炼了他们的沟通能力、观察和学习能力，这种灵活的教学方式激发他们的学习热情和主动性。学生的综合能力和专业技能将得到提升，使他们能够更好地适应社会发展，满足企业岗位需求，培养成为既有专业技能又有敬业精神的高素质应用型人才。

多学科协同，丰富完善教学资源，教学与科研并进，产学研结合极大地促进行业的飞速发展。在真实环境中锻炼学生理实结合能力，通过科研创新及工程实践，提升学生专业技能，使学生能够适应社会发展，满足企业岗位需求的高素质应用型人才。