

当盐田遇见科学：解锁明代晒盐技术革新密码

刘昌敏 贾朝鑫 王彩霞

(天津外国语大学附属滨海外国语学校)

项目式学习案例简介：

想象你穿越回明朝嘉靖年间，成为长芦盐场的新任盐官！眼前是触目惊心的景象：煎盐一引，需柴数百斤，山木尽槁（《长芦盐法志》）。盐价飞涨，盐工苦不堪言。朝廷下令：三年内必须技术革新！

朝廷命你这位新任盐官，必须在三个月内带领“技改团队”设计一套全新的晒盐方案！你们将运用科学和工程智慧，解决四大核心难题：如何用风车替代人力引潮？如何防止盐田渗漏？如何科学布局盐池提升效率？

你将设计风力纳潮装置、优化盐田防渗漏工艺、规划高效多级盐田布局，亲身体验古代工程师的智慧，掌握“问题分析—技术设计—迭代优化”的工程思维，深刻理解科技创新如何守护绿水青山！

【案例名称】

巧借天工破盐困——设计并验证明代晒盐技术革新方案

【案例目标】

1. 分析煎盐困局根源：研读《长芦盐法志》等史料，绘制“森林—盐价”关联图，清晰阐述传统煎盐法在耗能、效率、人力、生态上的缺陷，理解技术革新的紧迫性（历史实证、系统思维）。

2. 设计并迭代风能纳潮方案：动手制作纳潮风车模型，通过齿轮组变速选择与故障排除，理解风能→机械能→势能的转化原理，实践“需求分析→原型迭代→功能测试”的工程设计流程（物质与能量转化、工程思维）。

3. 优化盐田防参与工具：开展土壤渗透对比实验，验证淤泥质海岸的工程优势；基于劳动强度痛点改良石碶为石辊并优化牵引工具，做出兼顾性能、成本与环境的工程决策（技术伦理、控制变量实验、基于证据决策）。

4. 规划高效盐田系统：通过分级蒸发实验和布局/坡度模型测试，论证多级盐田提升效率与盐质的机制，设计环状缓坡布局方案，掌握系统层级协同思想（系统与模型、多目标优化决策）。

5. 展示论证与迭代规划：作为“技改团队”，整合模型、数据和报告，清晰展示方案逻辑与价值，有效回应质询，并基于反馈提出具体优化方向（技术工程与社会、协作沟通、成果展示、迭代思维）。

【案例设计】

项目背景

明代嘉靖年间，长芦盐场因依赖“淋卤煎盐”法，消耗巨量木柴燃料，导致周边森林被砍伐殆尽（《长芦盐法志》载“煎盐一引，需柴数百斤，山木尽槁”）。森林枯竭推高了燃料获取成本，导致盐价暴涨，更使盐工劳作苦不堪言，民生困顿。朝廷诏令进行技术改革，“易煎为晒”（即用滩晒法替代煎煮法）成为破解生态—经济恶性循环的关键。本项目将带领我们回到这一历史现场，亲身体验这场旨在保护绿水青山、保障民生福祉的重大技术革新，启发我们思考科技创新如何服务于可持续发展和文化遗产保护。

开启项目

1. 驱动性问题：身为临危受命的芦台盐场新任盐官，肩负朝廷“技改”重任，你将如何设计并实施一套可持续的晒盐技术方案（“柴改晒”），解决煎盐法导致的植被锐减、燃料匮乏、盐工劳苦、盐质不稳等问题？

2. 角色与情境：此刻，你正面临资源枯竭、民怨沸腾、朝廷施压的真实历史困境。你需要领导“技改小组”，集结盐官、工匠的智慧进行技术攻关。

3. 目标：设计并验证一套包含风力纳潮、防渗盐田、高效布局的完整滩晒技术方案，显著降低能耗与人力成本，提高盐产质量。

项目策划

面对复杂的“柴改晒”任务，我们需要将其拆解为可操作的步骤。技改小组首先讨论了不同的拆解角度。

【交流研讨】技改方案如何拆解？

拆解角度	可行性分析	决策依据
目标功能	子目标：省柴、高效、环保。 问题：目标抽象，难以直接生成解决方案（如“如何省柴？”范围过大）。	功能目标需具象化落地路径
产品结构	子系统：引水装置（风车）+制盐场地（盐田）+生产流程（布局）。 问题：部件关联紧密（如盐田防渗影响布局），难以分立设计。	部件需协同优化，独立拆解易割裂系统性
过程阶段	阶段链：认知痛点→突破关键技术→优化整体系统。 优势：符合工程推进逻辑，阶段成果可独立验证（如先解决引水再防渗）。	选定此角度：阶段递进性强，可操作，契合“需求分析→原型迭代→功能测试”流程

决策依据：我们选择“过程阶段”进行拆解，因为它最符合解决复杂工程问题的逻辑顺序：先深入理解问题根源，再攻克关键技术瓶颈，最后进行系统集成优化。明代工程师正是遵循了类似的路径。

【资料卡片】《天工开物》三阶段技改证据

《作咸》卷五载：

1. 察弊（卷五）：煎盐费薪十之七，晒盐费工十之三→先分析传统工艺缺陷。
2. 利器（卷十）：凡取水，风车为上，牛力次之→再革新关键工具（风车）。
3. 筑场（卷五）：掘坑深二尺，取泥筑堤…隔分为池→后设计盐田系统（防渗+布局）。

最终，我们将项目规划为四个核心任务：

阶段	任务名称	核心问题	关键产出	工程逻辑锚点
察弊	任务1：分析煎盐技术缺陷	淋卤煎盐法为何不可持续？	《煎盐生态经济代价报告》	量化痛点，明确技改必要性
利器	任务2：设计风能纳潮系统	如何用风能替代人力纳潮？	风车功能模型+《传动测试日志》	优先攻克核心动力瓶颈
筑场	任务3：解决盐田防渗漏	如何防止卤水渗漏？	土壤渗透实验报告+夯具优化案	基础设施是晒盐前提
	任务4：优化盐田系统效能	如何提升晒盐效率与盐质？	环状盐田模型+《坡度效能对照表》	集成子系统实现最优输出

项目成果

完成本项目后，我们将收获两类核心成果，并在“明代盐场技改成果展”上进行展示和评价。

成果类型	成果	公开方式	评价方向
问题解决成果	1. 风能纳潮系统模型 —含变速齿轮组、履带提水装置 —需通过2级风测试	实物演示+功能解说	结构合理性（传动稳定性） 功能实现度（提水高度/效率） 历史契合度
	2. 盐田系统优化方案包 —防渗夯具改良图 —环状分级盐田布局图	方案图纸+模型展示	工程科学性（坡度参数/防渗验证） 系统协同性（风车-盐田匹配度） 生态效益（省柴/减碳估算）

个人成长成果	1. 《盐官技改日志》 —关键决策回溯 —故障迭代记录	日志记录展览	实证深度（数据支撑决策） 元认知能力（迭代归因） 技术伦理观（民生/生态权衡）
--------	-----------------------------------	--------	-----------------------------------------------

	-跨学科反思		
	2. 技改终审答辩 —汇报（痛点—方案—证据） —实时回应评委质询	现场汇报 答辩	逻辑严谨性（史料—实验—模型） 技术沟通力（术语准确/演示清晰） 应答能力
	3. 迭代优化计划书	改进方案	反思深度 创新性与可行性

【任务1】体验痛点·调研煎盐困局

任务目标：通过史料分析与数据可视化，深刻理解传统煎盐法的技术缺陷及其引发的生态社会危机，明确技术革新的必要性与紧迫性。

任务意图：通过史料分析，具象化煎盐技术困境；全面总结当前制盐技术面临的困境，为任务二技术升级埋下伏笔。

活动1.1 了解淋卤煎盐术

【教师引导】作为新任盐官，你收到直隶总督急报：“芦台场薪刍告罄，盐价腾贵！”（展示奏折仿件）。请通过史料与数据，完成《煎盐困局诊断书》。

【阅读分析】揭秘淋卤煎盐术

研读《煮海歌》《熬波图》描述及史料记载（见资料卡片），梳理淋卤煎盐的关键步骤（刮泥→堆墩→淋洗→煎煮），体会盐工“担泥挑水，汗流浹背”“灶膛之火昼夜不息”的艰辛。

【资料卡片】滨海地区长期受海水浸渍的滩涂土壤，因海水蒸发后盐分留存于地表或浅层土层中，形成高盐土壤，土壤中含有氯化钠（食盐主要成分）及其他可溶性盐类（如硫酸钠、氯化镁等），通过淋洗可得到高浓度卤水。“淋卤煎盐”，先刮取滨海滩涂的表层盐土，堆积成“盐墩”，再用海水淋洗，收集滤出的卤水。经过加热蒸发，使盐结晶（详见《穿越汉代·破解盐场煎盐技术密码》）。

北宋柳永在《煮海歌》中写道“年年春夏潮盈浦，潮退刮泥成岛屿。风干日晒咸味加，始灌潮波溜成卤”，形象地描述了盐民在春夏季节，趁潮退刮取海边咸泥，经风干日晒后再用海水浇灌成卤的艰辛过程。此外，“一担卤水须挑原料咸泥四、五担，又须挑三四十担海水灌溜而成”。

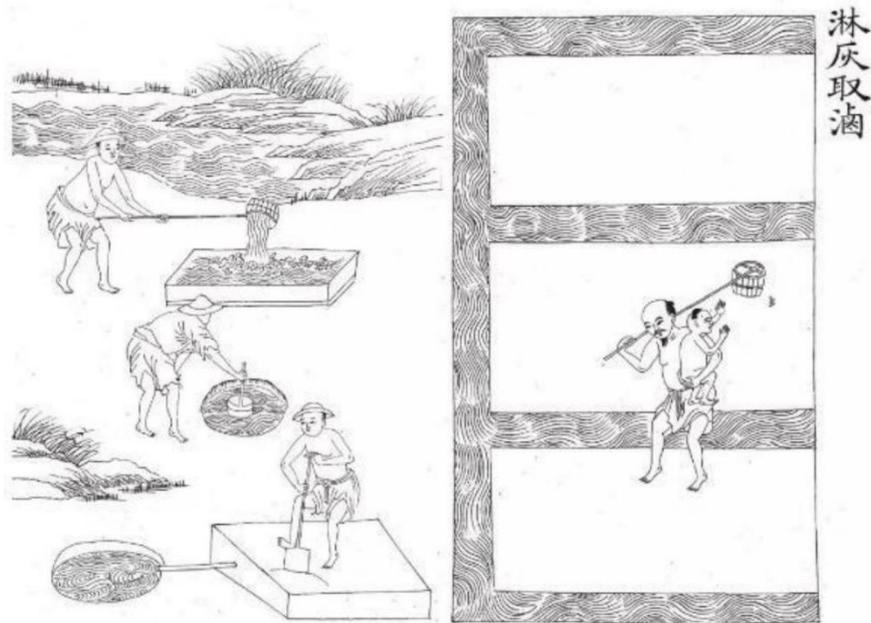


图3《熬波图》淋灰取卤

《两浙盐法志》对盐工淋卤煎盐有诸多记载。在淋卤环节，盐工需“每日往返于海涂与盐灶之间，担泥挑水，其步履沉重，汗流浹背，遇风雨则泥水满身”。煎盐时，“灶膛之火昼夜不息，盐工守于灶旁，忍受高温炙烤，且需不断添柴加火，以维持卤水沸腾，其劳作之苦，难以言表”。

活动1.2总结淋卤煎盐之困

【数据分析】森林消亡与盐价飞涨

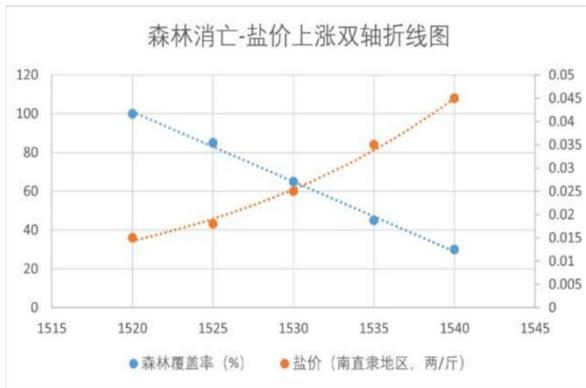
分析1520-1540年长芦盐场周边森林覆盖率与盐价统计数据表。

1520-1540年天津长芦盐场周边森林覆盖率和盐价统计表			
年份	森林覆盖率	盐价（两/斤）	关键历史事件与影响
1520	100	0.015	嘉靖初年，煎盐法普及，柴薪消耗初显规模，盐价处于低位。
1525	85	0.018	盐场扩张，煎盐量增；柴薪需求激增，伐木范围扩大。
1530	65	0.025	1529年盐课折银全面推行，灶户逃亡，燃料短缺致盐产量下降。
1535	45	0.035	盐场周边“山木尽槁”，需远距离伐木，运输成本推高盐价。
1540	30	0.045	长芦盐场“有场无灶”，森林枯竭与盐价暴涨形成恶性循环。

【教师引导】1530年森林覆盖率暴跌至65%，为何盐价涨幅反而超过前十年？（引导关注“燃料短缺→产量锐减”的非线性关系）

【交流研讨】

1. 数据可视化：利用Excel数据绘制“森林消亡—盐价上涨”双轴折线图。



结论：1540年森林覆盖率与盐价呈剪刀差，证明生态经济恶性循环。

2. 结合史料和数据，从耗能多、产盐少、劳动强度大三个维度总结煎盐法的核心缺陷，填写分析表。

痛点维度	依据
耗能多	“煎盐一引，需柴数百斤”（《长芦盐法志》）
产盐少	1535年远距运柴致成本占比超60%
劳动强度大	“遇风雨则泥水满身…昼夜不息”（《两浙盐法志》）

【教师点拨】

1. 可视化深度：是否标注1530年政策拐点（盐课折银导致灶户逃亡）？
2. 归因严谨性：耗能痛点是否区分直接耗能（煎煮）与间接耗能（运输）？
3. 示范有效的痛点诊断需：①数据锚定（如森林—盐价剪刀差）。②史料互证（技术描述+民生记载）。③归因分层（核心痛点→衍生影响）。

【活动探究】

1. 补充折线图注释：1529年盐课折银→灶户逃离→煎盐量减→盐价跳涨。
2. 在“劳动强”维度增加子类：环境性劳损（风雨泥水）、生理性劳损（高温炙烤）。

【教师引导】请用相同诊断方法，分析以下新情境：

福建漳浦盐场1545年推行“淋沙法”（以沙代土取卤），史料载“沙淋之盐，

其色青白，然费工倍之”。试从能耗、效率、人力三维度预判其可持续性。

【小组研讨】

维度	预判	依据
能耗	低（无需柴烧）	晒盐法本质
效率	中低（费工倍之）	人力成本飙升
人力	高负担（工序复杂+工时延长）	费工倍之
结论：此法虽省柴，但人力成本不可持续，需优化工序。		

【教师引导】请独立思考：如何用史料与数据互证的方法，诊断煎盐法的核心痛点？1分
钟后，两人一组进行AB演讲。

A：阐述你的诊断方法，并解释《森林-盐价折线图》如何支撑此方法。

B：阐述你的诊断方法，并说明盐工劳动记载如何印证此方法。

互相倾听后，共同提炼一条诊断规律。

【AB演讲】

角色	演讲内容
A	我的方法是数据锚定痛点法：先量化关键指标变化（如盐价20年涨300%），再追溯根源（森林覆盖率下降70%）。折线图中1540年“剪刀差”证明生态崩溃直接推高民生成本——这就是耗能痛点的铁证。
B	我的方法是史料场景还原法：从文献提取劳动场景（如“担泥挑水”“昼夜不息”），计算劳动密度。据《两浙盐法志》载，盐工每日挑水50担，单次负重30kg——劳动强度超现代安全标准3倍。
共同提炼	无数据不归因，无场景不结论。耗能痛点需数据量化（A法），劳动痛点需场景还原（B法）

【任务一】总结反思

【知识归纳】

1. 淋卤煎盐流程：刮泥→堆墩→淋洗→煎煮。
2. 煎盐法核心缺陷：高耗能、低效率、劳动强度大、生态破坏（森林砍伐）。
3. 生态经济关联：森林资源枯竭→燃料成本剧增→盐价飞涨→民生困苦。【能力发展】

1. 史料分析能力：从文献中提取关键信息，理解历史背景。
2. 数据可视化能力：运用图表清晰展示变量关系，支撑论点。

3. 批判性思维：基于证据识别传统技术的局限性。

【检查进度】

1. 成果确认：完成“森林消亡—盐价上涨”折线图和煎盐痛点总结表。

2. 反思提炼（课后）：在《盐官技改日志》中记录：哪个痛点让你最震惊？为什么“柴改晒”势在必行？

3. 衔接准备：思考自然中有哪些力量（风？太阳？）可以用来替代人力和柴薪？为任务二做准备。

【任务2】技术升级·风力机械的奥秘

任务内容：盐官团队需攻克人力纳潮低效难题。我们将设计制作风力纳潮装置，通过模型迭代验证风能转化原理，为盐田提供可持续动力。

任务意图：通过制作—测试—答辩闭环，实践机械传动原理与协作创新；以故障排除引导迭代设计，渗透工程思维；解决纳潮动力问题，为任务三的多级盐田晒盐方案提供技术支持。

1活动2.1设计纳潮风车

【教师引导】为了完成柴改晒技术改造，盐官广开言路，苦思冥想，受到帆船和水车的启发，创造性地萌生将风帆和水车相结合，制作纳潮水车，让风帆利用自然风作动力带动水车，将海水搅入盐池的金点子。于是他马上召集盐工代表，成立技改小组着手设计纳潮风车。



图4《武备志》郑和航海图（局部）

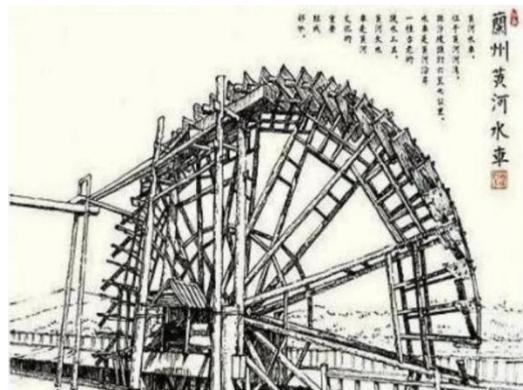


图5兰州黄河水车

【动手实践】制作纳潮风车模型

【小组研讨】考虑设计纳潮风车需要注意的问题，并商讨解决方案。

问题清单	解决方案
1. 风帆如何借力：风车设计几个叶片合适，叶片倾斜角如何定位，考虑到海边常有大风的因素，风车主轴水平还是竖直，哪个方式更适合海边的工作环境？	初期设置6个叶片，倾角暂定30。后期视运行情况调整。 考虑海边工作环境常有大风，风车主轴水平（卧式风车）更有利于稳定。
2. 风帆如何传动水车：怎么把风帆获得的动力传递到水车？	将风帆固定在一个水平圆盘上，水平圆盘和水车之间通过垂直齿轮和传动轴传动。
3. 水车如何提水：水车转动时，怎么提取海水运输到盐田？	将传统圆形水车改制为柔性履带式形状，履带外侧设置多个盛水小格子。
4. 如何让风车的转速和水车的转速相适配：当风车快速转动时，使用什么结构可以使风车在慢速状态下稳定运行？	利用不同直径的齿轮可以实现变速传动，调节齿轮大小比例实现增速或者增力传动。

1活动2. 2制作微型纳潮风车

为将风能替代人力纳潮的技术设想落地实践，接下来我们开展“制作微型纳潮风车”活动，通过亲手打造模型，探索风力机械在纳潮中的奥秘。

【动手实践】

1. 材料清单：木棒（支架）、纸板（帆）、齿轮套装、轴杆、履带、热熔胶。

2. 组装：

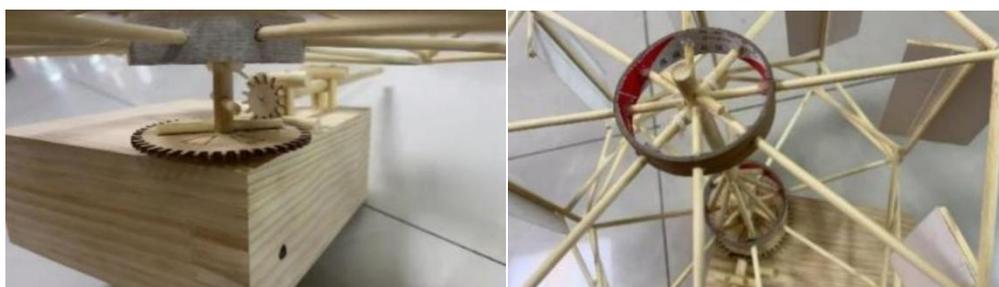


图6组装过程照片

3. 故障排除指南：

问题现象	可能原因	解决方案
齿轮卡死	轴杆弯曲	更换竹签加强支撑
传动时滑齿	齿距不匹配	垫纸片调整间隙

4. 技改小组进行风洞挑战：

测试标准：风扇距离50cm（模拟2级风）；提水高度20cm（模拟盐池堤坝）。

效能指标：启动风速：（风扇几档风速）；1分钟提水量（ml）：【交流分享】每组展示模型进行答辩

设置问题	答辩情况
①制作过程遇到哪些困扰，如何解决的？	
②齿轮组设计中的增力和增速如何取舍？	
③是否有优化创新的地方？	

【教师引导】请将风车传动原理迁移至新场景：某梯田需将河水提升10米灌溉。请调整本组风车设计，并说明如何克服新挑战（如风速不稳/高扬程）。

【小组研讨】

调整点	科学依据	解决的新挑战
叶片增至8片	增大低风速捕风面积	应对内陆风速不稳
改用三级增速齿轮	扬程 \propto 转速 ² ，需动能转势能	满足10米高扬程需求
结论：通过齿轮增速与叶片改良，使灌溉风车适应性提升。		

【教师引导】请概括风车传动系统如何实现“风能→机械能→势能”转化？1分钟后，两人一组进行AB演讲。

A：解释齿轮组设计原理（如为何选增力齿轮）。

B：解释提水装置设计原理（如为何用履带式水车）。

互相倾听后，共同总结传动系统核心设计准则。

【AB演讲】

角色	演讲内容
A	我组选择增力齿轮，牺牲转速换扭矩提升。任务一显示盐工劳力主要耗于提水，故优先保障低风速提水稳定性，而非追求速度。
B	我组设计履带式水车，因传统水车在涨落潮时易空转。履带外侧加格子容器，使单次提水量达120ml，较筒车提升50%！依据《武备志》帆船索具原理，用麻绳牵引防滑脱。
共同总结	效能服务于核心痛点，结构适配于环境约束。

【任务二】总结反思

【知识归纳】

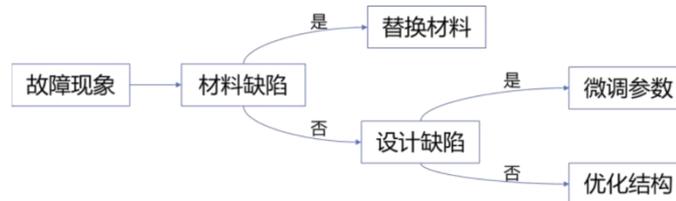
1. 机械传动原理：

风能→风车旋转动能→齿轮组变速（增力/增速）→履带提水势能2. 工程迭代逻辑：

故障类型	响应策略	案例
材料缺陷	替换强化（竹签→硬木轴）	轴杆抗弯强度提升
设计缺陷	参数微调（齿距+0.5mm）	齿轮滑齿率下降

【能力发展】

1. 缺陷分级响应能力：



2. 需求导向设计能力：方案优先级=痛点权重×技术可行性。（如因“省力”为盐工主要痛点，故选择增力齿轮放弃增速方案）。

【检查进度】

1. 成果验收：

- (1) 风车模型通过2级风测试。
- (2) 《故障迭代日志》完整率100%（含≥3次优化记录）

2. 课后反思任务：在《盐官技改日志》中分析：若将风车提水高度升至20米，需调整哪些参数？依据AB演讲总结的“效能—环境平衡律”，给出方案。

3. 衔接准备：据《熬波图》记载，明代盐场风车每日提水300担（≈15吨）可支撑1亩盐田（≈667m²）。若盐田渗漏率达20%（明代常见问题），每日损失卤水高达3吨。下一任务将直面此严峻挑战。

【任务3】生产实践·盐田防渗漏

任务内容：通过土壤渗透实验验证淤泥质土壤的防渗优势；设计夯具改良方案，用滚动压实替代传统夯击以降低劳动强度；优化牵引工具材料选择，解决麻绳易损问题，为高效盐田系统奠定基础。

任务意图：引导学生运用实验探究和工程设计思维，理解“因地制宜”（淤泥质海岸）与“以人为本”（降低劳动强度）的工程智慧，为构建高效盐田系统

奠定基础。

1活动3.1土壤防漏实验

【教师引导】“增盐课以实国库，于天津择滩设场，务求卤水不渗！”——面对朝廷严令，你需科学验证长芦滩涂的工程适用性。

【资料卡片】

海河流域水系发达，众多河流携带泥沙在渤海湾沿岸沉积，形成淤泥质海岸。



图8渤海湾淤泥质海滩

【实验探究】淤泥VS沙土渗透性对比

1. 实验材料：漏斗、量杯各3个（标有刻度），淤泥50g（取自长芦汉沽盐场），沙子50g，盐水（模拟卤水）600毫升，计时器以及实验记录表。

2. 实验步骤：

- ①把漏斗架在量杯上，漏斗中分别装入淤泥、沙土。
- ②同时向三个漏斗逐渐倒入200毫升盐水（倒完立刻按计时器）。
- ③每5分钟记录一次海水渗出量，共计20分钟。

3. 数据记录：

计时	淤泥渗水量 (ml)	沙土渗水量 (ml)
5分钟		
10分钟		
15分钟		
20分钟		



图9学生实验照片图



10实验结果

4. 实验结论：淤泥质土壤渗透率不足沙土的1/10，汉沽长芦盐场为淤泥质海岸，印证《长芦盐法志》“掘坑取泥筑堤”的工程合理性。

1活动3.2优化盐田夯实工具

【教师引导】盐工泣诉：“石碓百斤，日夯三千，肩部尽裂！”作为盐官，你需在保障防渗效果前提下降低人力负担。

【资料卡片】

石碓（wò）是中国古代一种人力夯土工具，主要用于压实土壤、加固地基，在盐田建设中用于夯实地底防止卤水渗漏。



图11石碓



图12石碓夯土

【小组研讨】盐官们分析夯实工具石碓的特点

分析维度	优点	缺点
造型	底面平整，多孔方便穿绳	工作时易反弹，有安全隐患
材质	花岗岩材质，坚固耐用	重量过大，搬运困难，人力耗费大
效率	/	人力密集、效率低下

【教师引导】基于石碓存在的问题，盐官们开始着手探索对其进行改良的可能性。

【对比实验】 夯击VS滚动效能分析

1. 实验材料：小型石碾（模拟石锬）、重量相当的石块（模拟石碓）。

2. 实验操作：在校园绿地分别使用石碾、石块采用夯击和滚动方式，对土壤进行压实，对比两者人力需求、压实效果。

测试项	石碓（夯击）	石碾（滚动）
劳动强度	较强	较小
压实效果	深坑与浮土并存	均匀下陷

实验结论：石碾降低了人力消耗，操作更为省力，适合连续高效的作业。



图13古代其他压实工具



图14长芦盐场石锬实物

活动3.3改良石碾牵引工具

【教师引导】滚动方案虽省力，但在拉动石碾进行盐田压实的实际测试中，盐工们很快报告了一个新问题：用于牵引石碾的麻绳磨损速度极快，频繁更换增加成本，更影响连续作业的效率。盐官意识到，要真正实现“省人力、增实效”的目标，必须对石碾的牵引方式进行改良优化。

【小组研讨】 牵引工具方案对比选择

方案	优点	缺点	决策依据	
麻绳	成本低廉、操作简易	易磨损，寿命短	不可持续	
铁质支架	减少牵引	结构坚固	易腐蚀，自重大，成本高	盐田环境不适用
木制支架	绳摩擦	耐盐蚀、自重轻、成本低	长期泡水会变形	桐油浸渍提升耐久性

最终方案：盐官团队选用桐油浸渍木支架，兼顾性能与成本。

【分享展示】各组呈现石碾设计图及《夯击VS滚动效能对比表》。

【教师总结】石碾把垂直用力转化为水平滚动，物理上节省了70%劳力，大

幅提高生产效率。

【教师引导】请回顾防渗任务的全过程：从验证淤泥特性到革新夯具，再到优化牵引——这不仅是技术方案，更蕴含解决问题的深层逻辑。

现在，请两人一组进行AB演讲（限时1分钟）：

A：聚焦问题解决的核心思路（抽象策略）。

B：对应具体方案（具体措施），并说明二者如何互动。

同时，分析三类子任务之间的逻辑关系，用典型案例佐证。

【AB演讲】

A（抽象思路）：本任务核心思路是“分层破局，自然为本”：	
1. 资源诊断优先（验证土壤特性，利用自然禀赋）；	
2. 痛点响应迭代（针对劳动强度，迁移滚动原理）；	
3. 环境适配优化（依据腐蚀环境，选材桐油木架）。	
三者环环相扣：无诊断则方案无根，无迭代则效率难升，无适配则不可持续。	
B：具体方案与思路紧密互动：	
1. 诊断思路→催生土壤渗透实验（量化淤泥防渗优势）；	
2. 迭代思路→驱动石碓替代石碾（滚动摩擦降人力消耗）；	
3. 适配思路→诞生木支架方案（抗盐蚀材料匹配滩涂环境）。	
共同提炼（任务关系与案例）：任务共生共荣，缺一则主干倾倒。	
盐田渗漏 (根因)	资源评估类任务 → 土壤验证 → 淤泥vs沙土渗透实验
	技术革新类任务 → 工具迭代 → 夯击-滚动效能测试
	系统适配类任务 → 材料优化 → 三方案耐腐蚀对比

【任务三】总结反思

【知识归纳】

1. 材料科学：淤泥质土壤孔隙率低→天然防渗；木材浸桐油→提高耐腐蚀性。
2. 工程原理：采用滚动碾压工作方式可以显著提升机械效率，降低人力消耗。
3. 工程决策：方案选择=性能需求（耐蚀、强度）+成本约束+环境影响。

【能力发展】

1. 实验设计与数据分析能力：通过控制变量实验验证假设。
2. 技术迁移能力：将已知原理（滚动省力）应用于新场景（盐田夯具）。
3. 基于证据的决策能力：对比测试材料，选择最优解。

【检查进度】

1. 成果确认：完成《土壤渗透实验报告》《石礅改良设计图》《牵引工具选型说明》。
2. 课后反思（个人成长）：在《盐官技改日志》中回答：为何说“降低盐工劳动强度”是本任务最重要的成功标准？它体现了怎样的价值观？
3. 衔接准备（问题解决）：计算：若优化后盐田渗漏率从20%降至5%，同等风车工作量下，可支撑的盐田面积扩大多少倍？为任务四“高效布局”做铺垫。

【任务四】科学布局·设计多级盐田

任务内容：设计并验证多级盐池对提升晒盐效率和盐质的作用；优化盐田布局与坡度参数，实现卤水高效自流与杂质梯级过滤。

任务意图：通过系统建模与实验优化，培养学生工程规划能力与跨学科思维（化学沉淀分离+物理重力势能转化），深刻理解“层级协同”对可持续生产的关键价值。

活动4.1探究盐田分级蒸发效率

【教师引导】解决了引水（纳潮风车）和盐田防渗问题，如何科学布局盐田才能最大化利用阳光和风力，产出更多、更纯的盐？

【小组研讨】与同僚商讨设计晒盐池。

1. 整个盐场作为单一盐池，直接晒干海水制盐是否可行？可能面临哪些问题？
2. 简单将盐池分割为多个独立格子，引入海水晒干，这种设计有何不足？
3. 多级盐池方案（外围低浓度卤水→蒸发浓缩→流入下一级→最终结晶）相比前面两种方案是否更具优势？

【动手实践】对比单池晒盐和三级蒸发池的产盐效率。

1. 材料清单：塑料收纳盒，海水（或3.5%盐水），电子秤，量筒，标签贴纸。

2. 实验步骤:

①实验准备：单池放入1500ml海水；三级池各放入500ml卤水，其浓度分别是海水、暴晒一天的较浓海水、暴晒两天的浓海水；称重（盒+水）记录初始水位高度。

②暴晒操作：将两组装置置于阳光直射处，避免遮挡。记录每24小时水位变化、析出晶体质量，持续3天。

3. 记录数据:

日期	项目	剩余水量 (ml)	结晶盐质量 (g)	水体浑浊度
第一天	单池	1100	0	浑浊
	多级池一一级	350	0	浑浊
	多级池一二级	380	0	稍浑浊
	多级池一三级	420	2.8	稍浑浊（底部晶体）
第二天	单池	700	0	浑浊（杂质悬浮）
	多级池一一级	200	0	浑浊（沉淀形成）
	多级池一二级	260	1.5	更清澈（沉淀下沉）
	多级池一三级	290	5.2	清澈（晶体增多）
第三天	单池	300	0.9	浑浊（泥沙混合）
	多级池一一级	80	0	稍浑浊（钙镁沉淀）
	多级池一二级	120	3.1	清澈
	多级池一三级	150	8.5	清澈（晶体层覆盖）

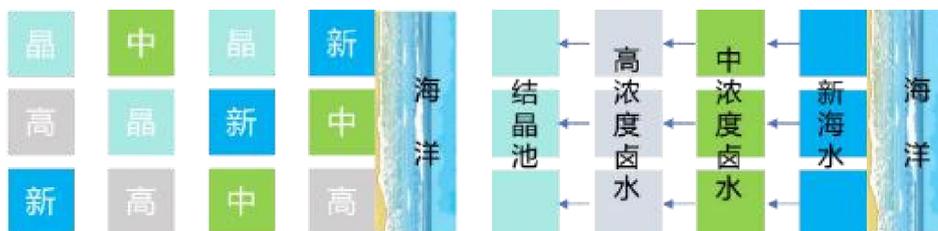
【交流分享】为何三级盐池产盐量高，晶体质量最好？

结论：分级设计使杂质沉淀阶段（1~2级）与纯盐结晶阶段（3级）分离。单级池因杂质混入抑制有效结晶，分级池通过前置沉淀区提升纯盐产出。

1活动3.2优化盐池布局与坡度

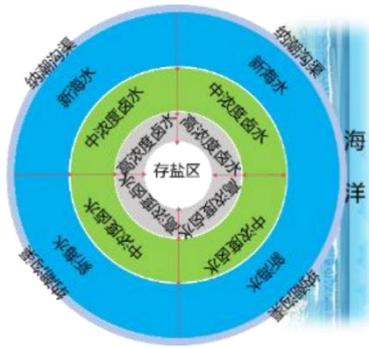
【教师引导】分级蒸发的优势已然明晰，那如何排布盐池可使卤水流转最迅捷？坡度几何方能让水流自行奔涌，却不携走沉淀之杂质？

【自主思考】盐官画出理想中的盐田布局草图（考虑晒盐效率与盐质纯净）



方案A：盐池无序分布

方案B：盐池并排分布



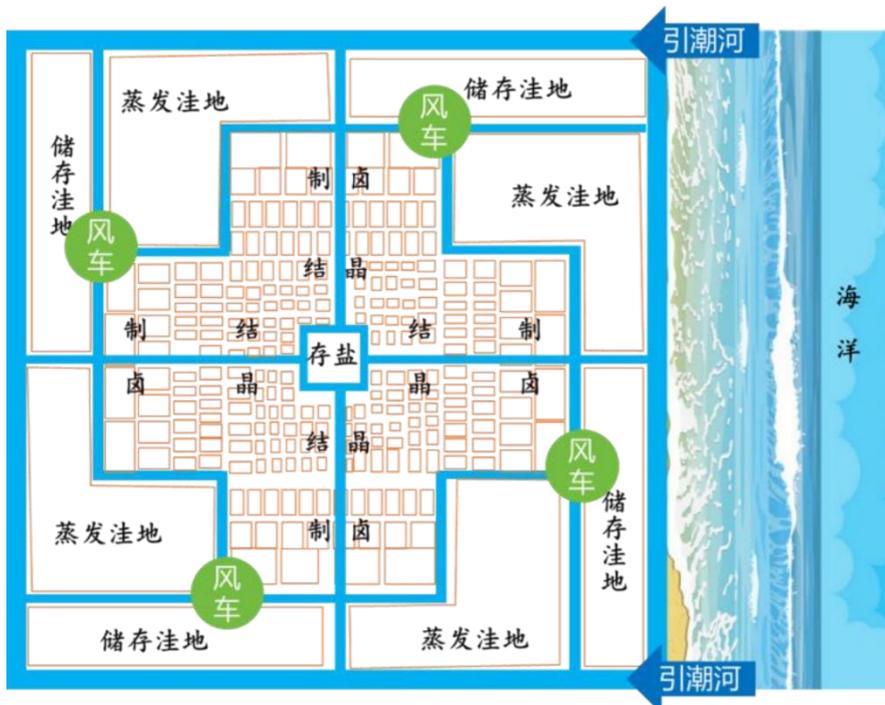
方案C: 盐池环状分布

【交流展示】盐官们结合各自方案的实验现象，沟通得出环状分布盐池布局的结晶池更合理、卤水最纯净。

盐田方案	特征
无序分布	卤水在盐池间转运不畅、结晶池杂质多。
并排分布	盐池按照浓度大小并排分布，卤水有序转运，结晶池杂质少。
环状分布	盐池按照浓度由低到高由外及内环状分布，制盐高效且杂质少。

结论：低浓度卤水流经外围蒸发池时，泥沙杂质被池底黏土层吸附沉淀。随着卤水向内部流动，中浓度卤水进一步拦截残留微粒。环状盐田布局卤水池使外围盐池成为“杂质过滤器”，确保高浓度卤水在结晶池纯净析盐。同时缩短收盐距离（核心区集中作业）。

【教师引导】确定环状多级盐田布局后，为进一步提升卤水流通效率与制盐质量，需深入探究盐池坡度对卤水自流的影响。



【动手实践】测试盐池三种坡度制卤效果：

1. 实验工具：环状多级盐田模型、海水、泥沙

2. 操作步骤：

①设置不同地势坡度的盐田模型，分别向一级盐池注入500mL卤水。

②打开阀门同时计时，记录不同地势坡度盐田末级池接收满250mL的时间。

3. 测量每级池残留水量并记录数据：

组别	坡度	观测指标			
		流通耗时	级间 残留水量	转液前后浓度 值	沉淀物冲刷程 度
A组	平底（0°）				
B组	缓坡（2°）				
C组	陡坡（10°）				

【汇报展示】陡坡流通快但浓度波动大（水流冲击导致沉淀物泛起），平底残留水量高（卤水滞留致浓度分层）。

结论：缓坡2° 卤水可自流，携带的杂质少，浓度波动稳定。



【教师总结】多级盐田设计是系统工程智慧的集中体现，现在请两人一组进行1分钟AB演讲：A角提炼问题解决的抽象思路；B角对应具体方案并说明互动关系；最后共同分析子任务间的逻辑结构，用典型案例佐证。

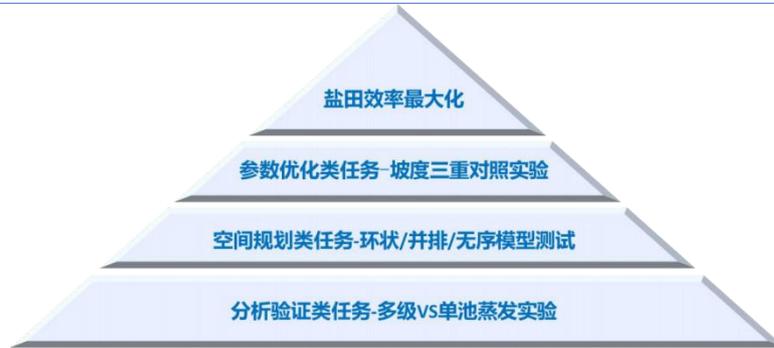
【AB演讲】

A角（抽象思路）：核心思路是“层级解耦，自然驱动”，三者递进支撑。

1. 功能分离策略（杂质沉淀与纯盐结晶分区处理）。
2. 路径最小化原则（缩短卤水流径提升效率）。
3. 参数平衡决策（坡度调校流速与沉淀的黄金平衡点）。

B角（具象方案与互动）：方案与思路深度互动。

1. 分离策略→诞生三级蒸发池设计（1~2级沉淀，3级结晶）；
2. 路径原则→催生环状布局（浓度梯度外→内，流径最短）；
3. 平衡决策→产出2° 坡度参数（实验验证流速 v 与沉淀时间 t 的平衡）。



子任务形成“金字塔结构”，下层为上层提供支撑。

总结反思

【知识归纳】

1. 化学原理：不同物质溶解度差异→卤水梯度浓缩→杂质在低中级池优先沉淀→高浓度卤水池析出较纯NaCl。

2. 物理原理：重力势能→动能（流速 V ）；坡度 θ 影响 V ；环状布局→最小化流动距离 S 。

3. 工程思想：系统层级划分、多目标参数优化（效率、质量、可持续）。【能力发展】

1. 系统规划与建模能力：设计并验证复杂的盐田系统。

2. 控制变量实验能力：精准测试布局、坡度等单因子影响。

3. 权衡决策能力：在效率（流速）、质量（沉淀）、成本（工程量）间寻找平衡点。

【检查进度】

1. 成果确认：完成《分级蒸发效能报告》《环状盐田最优布局与坡度设计方案》（含示意图或模型照片）。

2. 课后反思（个人成长）：在《盐官技改日志》中反思：在“追求最高效率（陡坡快流）”和“保障最佳盐质（缓坡稳流）”出现矛盾时，你的决策依据是

什么？这体现了怎样的工程价值观？

3成果衔接：整合前序任务成果（风车引水、防渗盐田、高效布局），着手准备最终的《明代长芦盐场“柴改晒”技改完整方案》及展示材料。

【成果展示】

1项目整合与成果梳理

在成果展示课前，我们将指导“技改团队”完成以下整合工作：

1. 整合核心成果：将四大任务的核心产出（风车模型及报告、防渗实验报告与方案、石辊模型/图、环状盐田模型/图及数据）系统整合为一份完整的《明代长芦盐场“柴改晒”技改完整方案包》。

2. 梳理方案逻辑链：清晰呈现从问题根源（煎盐耗柴）→技术突破（风能纳潮）→基础保障（盐田防渗）→效率核心（多级布局）的完整解决路径。

3. 准备展示材料：优化模型确保演示效果，凝练整合报告重点，制作答辩PPT或展板，突出技术亮点、数据支撑和历史逻辑。

交流展示与反思评价【交流展示】技改方案发布会

1. 展示：每组进行10分钟展示，演示模型核心功能（风车提水、盐田卤水自流），清晰讲解方案的技术创新点、关键实验数据支撑以及历史依据。

2. 倾听：认真记录评委/师生对方案细节（如防渗可靠性、风车抗风性、布局合理性）的提问与质疑。

3. 论证：展示小组需运用实验数据（如渗透率、分级结晶效率、坡度测试结果）和工程/科学原理（齿轮传动、重力自流、沉淀分离）对质询进行有理有据的回应。

【反思评价】三维度量表互评（师生、生生互评）

评价维度	评价要点	等级（1—5★）
技术实现	模型功能完整性、结构合理性、历史契合度	
历史逻辑 实验探究	史料运用恰当性、实验设计严谨性、数据分析深度与结论可靠性	
系统思维 协作创新	方案系统性、问题拆解与集成能力、创新性、团队协作表现、展示沟通清晰度	

【反思改进】迭代计划

基于展示/答辩和评价反馈，每组在课后提出具体的迭代优化计划，将迭代计划补充到《滩晒技改完整方案》中。

1. 为提升风车抗风性，计划增加可收放帆布装置。
2. 为防止木支架长期泡水变形，计划采用桐油浸渍工艺。
3. 为实时监控卤水浓度，计划增设简易浮标式盐度计。

【项目成效】

学生成功构建功能性的纳潮风车和多级盐田模型，实验数据有力支撑设计选择；深刻理解了技术迭代过程（风车/石碾多次优化）和工程权衡（增速VS增力）；跨学科知识融合应用能力显著提升；团队协作解决复杂问题的信心增强；亲身体会科技对可持续发展的推动作用。

【项目反思】

1. 成功经验：真实历史情境和角色扮演极大激发责任感；动手建模和实验使系统、能量转化等抽象概念具象化；盐场实地资源增强真实感；三维评价量表有效引导深度反思。

2. 待改进：精密齿轮制作耗时，需优化材料包；盐池坡度实验受微环境影响（风、光照不均），需更精确控制环境变量；部分小组跨学科知识整合深度可加强；成果迭代环节时间可更充裕。