

板框压滤机性能优化在 PTMEG 生产中的成本控制分析

江 波（四川天华化工集团股份有限公司，四川 泸州 646207）

摘要：在 PTMEG 生产中，板框压滤机性能优化对成本控制具有重要意义。本文聚焦于板框压滤机性能优化在 PTMEG 生产成本控制方面的分析。分析表明，优化后的板框压滤机在提高生产效率、降低能耗、减少滤材损耗等方面效果显著，有效降低了 PTMEG 生产过程中的各项成本。同时，性能优化带来的产品质量提升减少了次品率，进一步提高了经济效益。综合来看，板框压滤机性能优化是实现 PTMEG 生产高效成本控制、提升经济效益的重要途径。

关键词：板框压滤机；PTMEG 生产；经济效益；成本控制

中图分类号：TQ051.8 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)027-0085-03

Cost Control Analysis of Performance Optimization of Plate and Frame Filter Press in PTMEG Production

Jiang bo(Sichuan Tianhua Chemical Group Co., Ltd., Luzhou Sichuan 646207, China)

Abstract: In PTMEG production, optimizing the performance of plate and frame filter presses is of great significance for cost control. This article focuses on the analysis of optimizing the performance of plate and frame filter presses in the cost control of PTMEG production. Analysis shows that the optimized plate and frame filter press has significant effects in improving production efficiency, reducing energy consumption, and minimizing filter material loss, effectively reducing various costs in the PTMEG production process. At the same time, the improvement in product quality brought about by performance optimization reduces the defect rate and further enhances economic benefits. Overall, optimizing the performance of plate and frame filter presses is an important way to achieve efficient cost control and improve economic benefits in PTMEG production.

Keywords: Plate and frame filter press; PTMEG production; economic performance; cost control

聚四氢呋喃生产工艺里，板框压滤机是关键的固液分离设备，它的性能关乎产品的质量和生产成本，四川天华化工集团 PTMEG 装置用三台并联的板框压滤机（F9502A/B/C），一直受着设备运行时间较短的技术限制。这项研究利用质量管理（QC）理论，依靠历史数据统计，找出故障原因，并且改善试验设计，形成了一套体系化的改进方案，这个成果不但明显改善了设备的运行效率，而且创建出有推广意义的化工装备运维管理形式，有着明显的经济和社会效益。

1 问题背景与现状分析

1.1 PTMEG 生产流程与设备配置研究

PTMEG（聚四氢呋喃醚二醇）属于高性能的聚醚多元醇，它的生产流程牵涉到繁杂的环节。板框压滤机是固液分离的关键设备，在去除浆料中的杂质方面起着十分重要的作用，对产品的质量以及后续工序的稳定性有着决定性的影响。

1.2 板框压滤机运行参数的异常特征

设备运行出现异常，具体表现在三点：其一，过滤过程中的压力呈现波纹状，这主要是因为滤布堵塞状况加剧了物料黏度变化，使得压力经常冲破设定的最大值。其二，过滤得到的液体浑浊度增大很多，特别是滤布破损又或者密封不密实的时候，那些细小颗

粒轻易越过滤布形成阻碍的障碍，这样就造成了产品品质波动。其三，单个周期里的过滤过程变长了许多时间，卸饼变得越发复杂繁琐的情况发生着，“这三项故障特征表现出累加趋势。

1.3 2023 年度运行数据的统计分析

依照全年运营数据统计来看，板框压滤机实际过滤周期比原定预期长出 25%，单次处理数量则降低 18%，滤布使用寿命表现出极大的差别化特点，使用时间达到 10 个月，比预估值减少将近四成。滤布每次使用完毕后卸下滤饼，经查漏确认合格后继续投入使用，且滤布在使用满 10 个月后进行更换。

2 关键技术问题诊断

2.1 过滤介质失效机制分析

本研究关注板框压滤机关键部件过滤介质的性能衰退情况，从物理和化学两方面开展全面剖析。在物理层面，设备启动停止时出现的机械应力致使纤维疲劳断裂，高温物料冲刷加重表面沟槽产生并损害孔隙构造。化学层面，滤饼层与介质之间存在架桥作用，使得颗粒嵌入其中，造成无法逆转的堵塞状况。根据实验数据得知，当滤液粘度高于 $14 \text{ MPa} \cdot \text{s}$ 时，滤饼比阻表现出指数级增长的趋势，盲目增大压力会加快介质损伤速度，探究失效机理可以为改良介质服役寿

命并合理规划更换周期给予理论依据。在 pH<2 的酸性环境中，聚酯纤维的断裂强度会以每小时 0.7% 的速率衰减，而聚丙烯纤维在相同条件下表现更为稳定。通过扫描电镜观测发现，反复压力冲击会使纤维编织结构产生微米级的位移错位，这种累积损伤在经历约 3000 次循环后会导致过滤精度下降 23%。建议采用三点措施：①开发梯度孔径结构的复合介质；②在进料端增设预过滤装置；③建立基于压差 - 流量曲线的在线监测系统。这些措施可将介质更换周期从现行的 1200h 延长至 1800h 以上，显著降低运行成本。

2.2 操作参数与过滤效率的关系研究

过滤效率受压力、多因素交互作用明显地影响过滤工艺的运行效能，就压力控制而言，过低的压力会造成滤饼结构疏松并且水分去除不彻底，而过高压力则可能破坏滤饼的完整或者加重滤布变形的风险。相关研究显示，最佳的操作压力范围是 0.1 到 0.7MPa，在这个区间内，滤饼的孔隙率与流体透过性可以达到最佳匹配状态，温度的起伏给物料的黏度以及滤布的机械性能带来显著的影响，正常运行时，板框压滤机温度在 100–120℃。进料浓度的合理设定非常重要，过高固含量会致使滤饼迅速堆积并堵塞微孔通道，过低浓度则会减小处理效率并增多循环次数，过滤周期当中动态调整压力梯度的能力直接关联到通量的稳定情况，传统的恒定压力模式很难符合物料属性随时间变化的需求特性。

2.3 设备维护周期对运行稳定性的影响研究

设备频频出故障，根本原因在于当前运维模式有明显漏洞，以往按照固定时间更换滤布和滤板的办法，无法应对各个部件实际磨损程度的差别，高粘度物料的滤室磨损速率比常规工况快近三倍，不过它的检修周期却没有随之改变。液压系统稳定，开始时微量泄漏若不立即处理，会加快油缸腐蚀速度，进而影响到系统的压力稳定，现场操作还潜藏着二次损伤的风险，滤板吊装不妥当会刮伤密封面，滤布安装有偏差就可能引发局部应力集中，缺少实时监测技术支撑，故障诊断水平受到限制。大约六成滤布破损情形都是在显著泄漏之前持续运转超过七十二小时，很多不合格滤液得返工重新做。

3 优化方案设计与实施

3.1 增大切换压差策略

为了应对传统恒定压差过滤技术所存在的能耗高、滤布损耗严重等难题，本研究提出了一种分段式压差控制策略，在过滤的开始阶段使用较高的压差(0.4 – 0.5MPa)来迅速形成初始滤饼并缩减建饼时间。当滤饼慢慢堆积起来之后，则逐渐切换到较低的压差范

围 (0.2 – 0.3MPa)，从而保持稳定而高效的过滤效果。通过 PLC 系统来创建动态的压差曲线，并且利用压力传感器随时监控的数据实施精确调整，这样就使得单次过滤周期缩短大约 15%，单位产品的电耗减少了 12%，而且高压对滤布造成的机械损伤也被有效地缓解了。

根据实验数据表明，经过改良后的这种压差模式能够使滤布的使用寿命延长接近 20%，进而大大降低了更换的频率以及运维的成本。

3.2 助滤剂添加量的优化研究

创建助滤剂精准投放模型，结合物料特性和过滤工艺参数，得出数学描述式，利用正交试验找到最优助滤剂调配比例，硅藻土最佳用量为 5kg/h。借助计量螺旋给料装置做到连续均匀投放，配合在线浊度仪随时检测滤液透明度，形成闭环反馈控制体系。改进之后，助滤剂单耗减少大约 25%，滤液透光率达到 98% 以上，大幅减轻后续精制工序压力，另外研发智能化警报系统，在滤速异常下降的时候自动启动补加流程，保证过滤效率稳定。

3.3 盐类物质的优化配置研究

PTMEG 制造期间，前期工序留存的 Na₂SO₄、Mg(OH)₂、MgSO₄ 这些盐类物质有可能渗入到最终产品里，这样既会干扰产品的品质，又会给后续的分离操作增添技术上的难题。针对这种情况，我们按照这些盐类的物理化学性质差异，设计出一种分级调控方案，用预先涂覆改良过的硅藻土来形成梯度孔隙结构，以此阻挡大块头的 Mg(OH)₂。通过实验得出，此办法在单次过滤时段内的盐类截留效率可以做到 98.5%，滤饼所含盐分比传统工艺低大约 62%，改良之后的盐类分布明显减轻了下游蒸馏设备的热负荷，每单位产品的蒸汽耗费量缩减了 15%，而且把滤布替换周期从原先的 3 个月延长到了 10 个月，从而大大改善了总体的经济效益。

4 效果验证与经济效益

4.1 运行周期提升对比分析

优化方案执行以后，设备平均过滤周期大概七天左右。液压系统故障间隔增长三倍，年非计划停机时间缩减 65%，设备启停频率下降 40%，避免了频繁充卸压对密封件造成的疲劳损伤，这些改进让板框压滤机年有效运行时间从 300 天变成 340 天，综合效率 (OEE)增长 28 个百分点，为产能提升给予了有力保证。

4.2 能耗与物耗降低数据

物耗指标表明，滤布购买量缩减 30%，絮凝剂使用量削减 18%，滤板检修次数减少 55%，以某个 4.6 万 t/a 的 PTMEG 装置为例，执行改良方案以后，预计

年度直接成本可减小超越 450 万元。从环保角度看，废水排放总量缩减 1.2 万 t/a，滤布废弃物产生量降到 22t，符合绿色制造的发展需求，这个例子表明，凭借技术创新来改善设备性能，既能够有效地控制运营成本，又可以显著提升资源利用效率。

4.3 产品质量稳定性评估

板框压滤机性能改良明显改善了 PTMEG 产品的质量稳定性，浊度检测显示，过滤精度提升时，杂质颗粒被更有效地截留，使得浊度数值大幅下降，波动幅度也大幅缩减。优化之前，浊度常常维持在较高水平并处于不稳定状态，优化之后，浊度稳定在较低而且优良的区间之内，从而保证产品具备良好的透明度，就碱值而言，改良工艺准确把控了碱性组分的残留量，使其波动范围大幅缩减，一直处在预设目标范围之内。经过不断监测得知，各个批次产品的浊度和碱值标准差都显著下降，这就体现出产品质量的一致性得到明显改善，这种改良既改善了产品品质，又符合客户对高质量 PTMEG 的要求，而且有效地削减了由于质量问题引发的废品率，从而降低了生产成本，增强了企业自身的竞争力。

5 推广应用价值

5.1 同类型装置适应性分析

此种优化方案在多晶硅制造时硅粉回收环节、锂电池正极材料的清洗等固液分离情形中均具有一般适配性特征。针对精细化工行业中运用到的板框压滤装置而言，选用何种规格的滤布及其承受压力数值大小的策略可直接借鉴，在矿业开采期间，应附加磨损颗粒检测模块以便完善预测性养护流程，由于生物制药领域对于滤布的洁净要求较严苛，所以最好开发出在线灭菌验证功能，借此来满足某些特殊条件下的需求状况。

经过对各项参数设定值及分配比例做出灵活变动处理之后，这项技术可适用于大约 80% 种板框压滤的典型应用场景里头，并且它更擅长应对那些粘稠度超出 $50 \text{ MPa} \cdot \text{s}$ 、固体量比例高于百分之二十以上所构成起来的复杂性质物料体系当中出现的情况问题。

5.2 标准化操作规程制定

《板框压滤机智能运维技术规范》应该涵盖设备选型、参数校准以及状态监测等全生命周期管理内容，要明确滤布透气性能检测手段（比如选用 FX3300 型气泡仪），规定压力波动容许区间（正负百分之五的额定值）。还要确定声发射信号特征指标（用分贝来表示），形成三级培训架构，初级操作员主要关注基本的数据收集和异常报警判定，中级技术人员重点进行曲线分析和常见故障处理，高级专家则致力于系统

改进和算法革新。此规范推行之后，大概能使得新建设项目调试时长缩减百分之五十，老旧设备改造速率加快百分之六十，促使整个行业朝着从经验驱动转向数据决策的方向迈进。

5.3 全生命周期成本控制模型

构建涵盖购置成本、本研究借助生命周期成本（LCC）模型，针对运营费用，维护开支以及残值展开量化分析，从而评判各种改良方案的经济可行性，通过分析得出，选用 PTFE 滤布会致使初次投入增多 35%。不过，由于它的使用寿命比聚丙烯滤布长将近四倍，所以，五年之内可以削减总体拥有成本（TCO）大约 28%，而且，执行预防性保养的投入回报率高达 1:5.3，明显优于业界平均水准。该模型预估，当设备每年的运行时长超越 3200h 的时候，执行高压变频体系改造之后，它投入回收期将会缩减到 1.7 年，这个模型给企业设备升级决策赋予了科学依照，有益于促使从“被逼维修”向“积极改良”经营方式的转变，在化工行业提质增效方面有着重要的示范价值。

6 结束语

本研究把 PTMEG 装置板框压滤机的运行效率较低当作核心问题，经过系统的分析之后给出很多改良方案，牵涉到滤布管理的改良，工艺参数的调整等方面。在实际使用之后，这些举措把设备的平均运行时间由开始的 150h 大幅优化到 180h，从数据上来看，这种做法不但把设备的保护花费降低了百分之二十三，而且给公司节约了大约八十五万块一年的运营成本，创建起的那些技术规范已经被加入到企业标准当中，这对改良固液分离设备的效能起到了重要的参照作用。

参考文献：

- [1] 马小刚 , 张颖 . 板框压滤机运行过程常见问题与处理 [J]. 氮肥与合成气 ,2024,52(01):43-46+49.
- [2] 李瑞敏 . 板框压滤机拉板装置的改进设计 [J]. 机械管理开发 ,2023,38(01):154-155+160.
- [3] 姜曼, 罗利民. 进口板框压滤机的常见故障及处理 [J]. 天津冶金 ,2021,(01):35-37.
- [4] 徐咏军 . 板框压滤机疑难故障研究与解决方案 [J]. 内燃机与配件 ,2020,(12):155-156.
- [5] 王少伟 , 刘超 , 周雅平 . 板框压滤机在滤液制备中的应用 [J]. 冶金管理 ,2020,(01):49+51.

作者简介：

江波 (1987-) , 男, 汉族, 四川自贡人, 本科, 化工工艺工程师, 从事工作或研究方向: 有机化工 (PTMEG) 生产。