

携带式多种笔刷自动清洁机设计研究

摘要 本项目研究并开发了一款自动清洗油画笔和水彩笔的设备，以解决艺术家、美术生及学校美术课在清洗画笔过程中的卫生和效率问题。通过创新的的机械结构、外观设计，达到了高效低残留的清洗效果，不仅提升艺术创作的效率和体验，更为科技服务生活这一理念作出鲜明且独特的表达。

Design of a Portable Automatic Brush Rinsing Device

Abstract This article focuses on the development of an portable automatic brush rinsing device for oil and watercolor paintbrushes to address hygiene and efficiency issues faced by artists, art students, and school art classes during the brush cleaning process. With innovative mechanical structure and industrial design that this device achieves efficient cleaning with minimal residue. It enhances the efficiency and experience of artistic creation, and embodies a unique expression of the concept of technology serving life.

目录

1 引言	3
1.1 项目简介	3
1.2 研究背景	3
1.3 研究目标	3
2 实现方式	4
2.1 原理	4
2.2 动力系统	4
2.3 溶剂分析	4
3 方案设计	5
3.1 结构组成	5
3.2 外观设计	6
3.3 方案迭代	6
4 效能分析	7
4.1 清洗时间与洁净程度	7
4.2 能耗	7
4.3 鲁棒性分析	7
5 总结和展望	8
5.1 产品创新性和优势	8
5.2 竞品分析	8
5.3 不足和改进措施	8

1 引言

1.1 项目简介

本项目旨在开发一款半自动清洗油画笔和水彩笔的设备，解决艺术家、美术生及学校美术课在清洗画笔过程中遇到的脏手、效率低等问题。通过创新的设计，用户可以在不脏手的情况下快速完成画笔清洗，提升艺术创作的效率和体验。

1.2 研究背景

目前，清洗油画笔和水彩笔的方法多种多样，但普遍存在效率低、操作繁琐、易脏手等问题。以下是传统的清洗方法及其局限性：

- (1) 松节油或洗笔液浸泡：用户需要将画笔浸泡在松节油或专用洗笔液中，用手揉搓笔毛，再用纸巾擦拭。这一过程通常需要 5 到 10 分钟。然而，手部直接接触化学溶剂容易脏手，且对皮肤有害。松节油的气味刺鼻，长期使用可能对健康造成影响。
- (2) 洗笔皂清洗：用户将画笔在洗笔皂上反复揉搓，直到颜料被清除，再用清水冲洗。这一过程耗时约 3 到 5 分钟。虽然洗笔皂能够有效去除颜料，但需要反复揉搓，手部容易沾染颜料和肥皂，清洗过程较为繁琐。
- (3) 纸巾擦拭法：用户用纸巾或布反复擦拭笔毛，直到颜料被清除。这一过程通常需要 2 到 4 分钟。然而，这种方法无法彻底清洗画笔，残留的颜料可能影响画笔的寿命，同时手部也容易弄脏。
- (4) 清水冲洗法：用户直接用清水冲洗笔毛，同时用手揉搓。这一过程耗时约 3 到 5 分钟。但由于油画颜料不溶于水，清洗效果较差，手部容易沾染颜料。
- (5) 水彩笔清洗方法：清水冲洗法是清洗水彩笔的常见方法。用户将笔毛放在清水中反复揉搓，直到颜料被清除。这一过程通常需要 1 到 2 分钟。然而，手部容易沾染颜料，清洗效果依赖手动操作。
- (6) 涫笔筒清洗法：用户将画笔放入湜笔筒中，通过按压或摇晃进行清洗。这一过程通常需要 1 到 2 分钟。然而，清洗效率较低，无法彻底清除颜料，手部仍需接触水。

通过以上分析可以看出，传统的清洗方法普遍存在以下问题：清洗过程耗时较长，影响创作效率。手部直接接触颜料和清洗液，难以保持清洁。长期接触化学溶剂可能对皮肤和呼吸系统造成伤害。

不仅如此，市场上现有的洗笔工具多为简单的湜笔筒或手动按压式洗笔器，无法彻底解决脏手和效率低的问题。因此，开发一款高效、便捷且不脏手的洗笔设备具有巨大的市场需求。

1.3 研究目标

本项目旨在开发一款半自动洗笔设备，实现以下功能。在不脏手的情况下，1 分钟内完成油画笔清洗。在不脏手的情况下，20 秒内完成水彩笔清洗。目标客户群体包括艺术家、美术生以及学校美术课，解决他们在创作过程中频繁清洗画笔的痛点。

2 实现方式

2.1 原理

本装置采用直流电机驱动轴向固定的类百洁布高密度微孔结构纤维网状界面清洁基材，通过与刷毛摩擦及剪切作用使清洁剂溶液与颜料分子良好作用以实现高效清洁。

2.2 动力系统

本装置动力系统采用高能量密度锂聚合物电池组与直流电机驱动方案。其中，电池组由三节 500mAh 单体串联构成，输出电压 11.1V，峰值放电能力达 10A，为系统提供强劲性能；驱动电机选用 370 型直流电机，其额定转速可达 3000rpm，最大输出扭矩达 2.80N·cm，为清洁轮提供澎湃动力输出，确保高效清洁。

2.3 溶剂分析

油画颜料主要由非极性分子构成，易溶于非极性的溶剂。经调研，油画颜料成分如表 1^{*}所示^[1]。

材料	化学式或成分	质量分数 (%)
树脂	短油醇酸树脂	19
无机颜料	TiO ₂	2
滑石粉	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	15
邻苯二甲酸二丁酯	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	15
丁醇	C ₄ H ₉ OH	2
硝化纤维素	C ₆ H ₇ (NO ₂) ₃ O ₅	4
溶剂	稀释剂	15

Table 1 油画颜料成分及质量分数

水作为极性物质，难以与颜料有效地相互作用，因此清洗效果较差。在实验中，我们尝试了松节油、肥皂水、市面常见品牌清洁剂和乙均洗笔液（洗笔液）作为溶剂的清洗效果。经过研究，常见品牌清洁分子结构如图 1 所示。

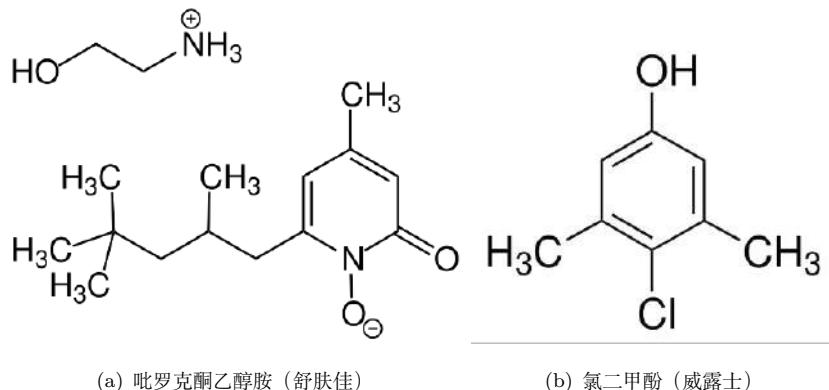


Fig. 1 常见品牌清洁剂分子结构

*翻译自 Hegazy et al., 2013

经测试，上述市面常见清洁剂洗笔效果均不能达到预期。我们最终决定采用乙均洗笔液，一种脱色脱味的精油类溶剂。相比于肥皂水，洗笔液的清洗效果更好，操作难度更低，不需要消费者自己调制。与松节油对比，洗笔液刺激性更弱，安全性、环保性更高，因为其中的挥发性物质已被精馏去除。

3 方案设计

3.1 结构组成

本清洁装置采用模块化设计理念，外观设计效果图如图 2(a) 所示，实物如图 2(b) 所示。外壳主体由环保可降解的 PLA 材料通过 3D 打印工艺一体成型，具有低成本、易加工、无毒环保等优势；清洗罐选用耐化学腐蚀性优异的 PP 材料，确保与洗笔溶液长期接触的稳定性和耐久性；瓶盖采用柔性硅胶膜密封设计，有效地兼容了不同直径的笔杆，并确保洗笔液不会溅出，提升用户体验。



Fig. 2 外观结构

整机结构和内部元件基于计算机辅助设计（CAD）软件进行建模和优化，确保各部件尺寸精度和装配关系。如图 3(a) 所示，外壳采用上下分体式结构，通过底部四颗螺丝紧固连接，结构稳固可靠。如截面图 3(b) 所示，清晰展示了内部元件布局和装配关系，电机和电池组集成于右侧独立封闭腔室，有效隔绝水汽和灰尘；外壳顶部预留开关按钮安装孔位，符合人体工程学设计；左侧清洗瓶通过压迫环与外壳紧密固定，无需胶接，便于拆卸清洗和维护。

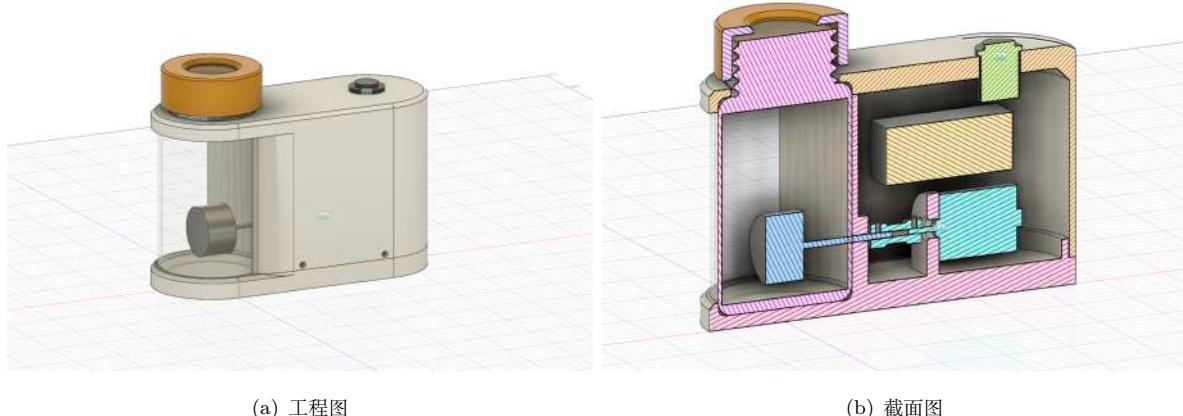


Fig. 3 内部结构

3.2 外观设计

洗笔器外壳采用未来感的双层结构设计，由两块 3D 打印面板构成主体框架，中间镶嵌弧形透明视窗。顶部面板有经过阳极氧化处理的航空铝合金开关，与整体设计语言相得益彰。旋盖内部中空，采用符合人体工学的流线型设计，内部采用中空结构并嵌入高弹性医用级硅胶膜，其精密设计的中心开孔可自适应不同直径画笔，便于插入画笔并防止洗笔液溅出。旋盖与主体采用螺纹连接，用户可轻松旋开旋盖，通过视窗观察洗笔液液面高度，并实时观察清洗过程，将功能性艺术美感有机融合。

3.3 方案迭代

- (1) 我们首先尝试了超声波清洗。对于不同温度、功率、溶剂种类，油画笔的清洗效果均不佳。同时，超声波仪器较为昂贵，不适合满足美术生的日常需求。
- (2) 第一代洗笔器，我们通过模拟人手在肥皂上摩擦的过程，设计了画笔左右摇摆的机器模型，如图 4 所示。但是，机器摆动的频率过慢，且无法清洗到笔刷的上半部分，导致颜料残留。
- (3) 第二代洗笔器，我们模仿擦皮鞋的机器设计了两个滚轮的清洗方案，如图 5 所示。在此模型中，画笔被夹在两个相邻、向内转动的滚轮毛刷之间。虽然初步清洗效果较为理想，但清洗摩擦力过大，易损伤笔毛。

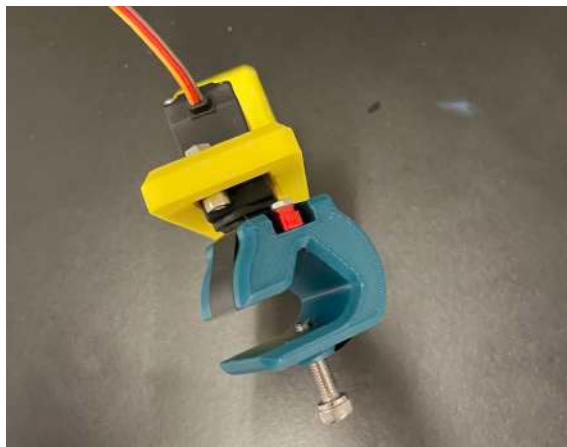


Fig. 4 第一代洗笔器

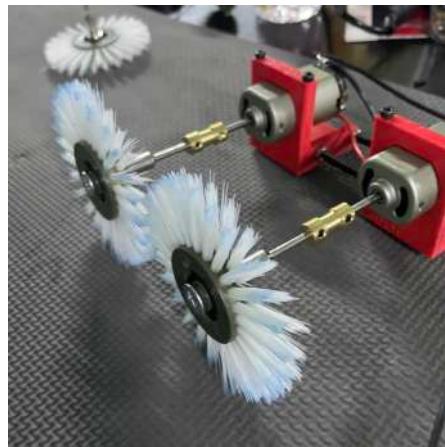


Fig. 5 第二代洗笔器

- (4) 第三代洗笔器，我们设计了由不同关节组成的连杆活动结构，如图 6 所示，能够协调和较高速地转动画笔，在肥皂盒中清洗。此方案存在连杆材料脆弱、易断裂的问题，无法稳定地有效清洗。



Fig. 6 第三代洗笔器

- (5) 我们的最终方案是在封闭容器内使用单个转动的滚轮。洗笔器坚固稳定轻便易操作，并能够高效地清洁画笔。

4 效能分析

4.1 清洗时间与洁净程度

通过多次实验，我们得出清洗时间越长，画笔的洁净程度越高，油画笔大约在 2 分钟的清洗后能达到完全洁净。这是因为在与滚轮摩擦和与溶剂接触、作用的时间更充分时，画笔上的颜料能够更加完全的脱落、溶解。我们推荐使用洗笔器清洗油画笔 1 分钟，以达到整体清洁、适合再次使用的标准。

4.2 能耗

本清洁机搭载高效能 370 型直流电机额定功率 1.38W，峰值功率 3.43W，在常规工况下，得益于高容量锂聚合物电池组 0.5Ah, 5.550Wh 容量，可实现连续作业 4 小时以上的超长续航。以日均使用 3 分钟计算，单次充电可持续使用长达 80 天，充分显示了其优异的能量利用效率和续航能力，有效满足用户长期使用需求。

4.3 鲁棒性分析

我们秉承人性化设计理念设计本产品，力求用户容易上手，易于维护保养。同时，我们针对极端使用条件和长期运行稳定性进行了优化，通过冗余设计、材料优化和制造工艺保障设备可靠运行。经测试验证，本设备在待机 30 天、累计工作数小时后，各项性能指标仍保持稳定，洗笔功能始终如一，能为用户提供持久稳定的清洁体验。

5 总结和展望

5.1 产品创新性和优势

通过封闭式设计和自动化清洗过程，用户无需直接接触画笔和清洗液，保持双手清洁。优化清洗流程，油画笔清洗时间缩短至 1 分钟，水彩笔清洗时间缩短至 20 秒，显著提升效率。设备支持使用洗笔液，有效防止有害气体扩散，保护用户健康。

5.2 竞品分析

竞品分析对象是淘宝上的“洗笔器水彩涮笔筒小马桶洗笔器”。其优点是价格低廉，操作简单，适合初级用户。然而，其缺点是清洗效率低，仍需手动操作，无法彻底避免脏手问题，且功能单一，无法适应不同画笔的清洗需求。相比之下，本项目产品在清洗效率、用户体验和功能性上具有明显优势。

5.3 不足和改进措施

当前设计需手动更换清洗液，未来可考虑增加自动换水功能，进一步提升用户体验。目前设备需要使用洗笔液清洗油画笔，未来可优化清洗系统，支持仅使用清水清洗，降低使用成本。

参 考 文 献

- [1] HEGAZY M, BADAWI A, ABD EL REHIM S, et al. Influence of copper nanoparticles capped by cationic surfactant as modifier for steel anti-corrosion paints[J]. Egyptian Journal of Petroleum, 2013, 22(4): 549-556.