

以可视化视觉识别工具规范表面处理外观

Specification Surface Handling Appearance with Visual Identification Tool

孙中尧 孙境尧 刘星岑 张胜宝 / 中国航发东安

通过可视化视觉识别工具，建立产品表面处理标准作业，形成外观色度参考标准实物样本，可以提高识别外观标准判定的准确性和清晰度，实现表面处理外观标准判定的可视化，提升航空产品外观质量。

外观是用户对产品的第一印象，也是产品整体质量的直观体现。表面处理是在基体材料表面上人工形成一层与基体不同的表层，满足产品的耐蚀性、耐磨性、装饰或其他特种功能要求的工艺方法。表面处理由于受到特种工艺过程控制的影响，加之航空产品种类繁多、生产批次多，不同产品不同批次零件经表面处理之后均存在不同程度的色差，在零件装配成组件后能看到明显的颜色差异，给人以产品质量不稳定的印象。创新团队以中国航发运营管理体系

(AEOS) 价值流为依托，结合可视化视觉识别工具，建立产品表面处理标准作业流程，形成外观色度参考标准实物样本，提高了识别外观标准判定的准确性和清晰度，以有效控制、提升航空产品外观质量。

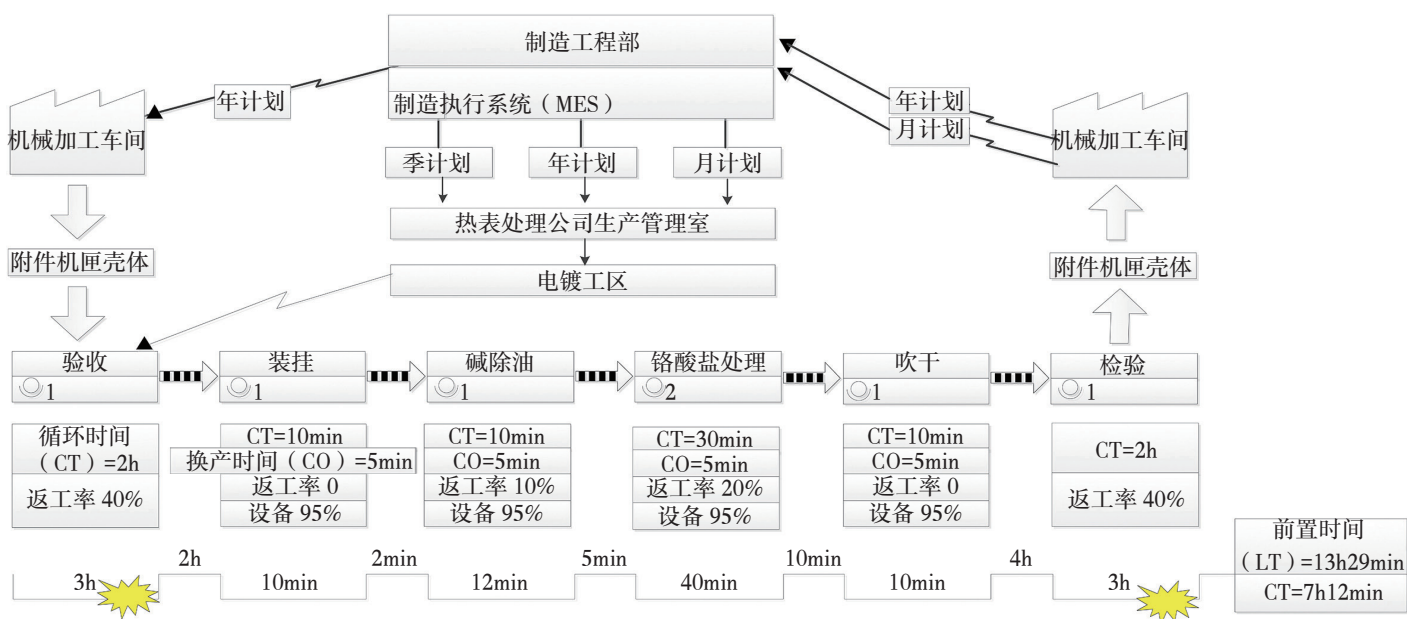
存在明显的物料停顿及等待，且重复工步检验过程较高，属于典型的瓶颈工序，影响零件交付。

外观质量提升思路

对瓶颈工序的进一步分析发现，当前产品外观质量难以量化，导致受控指标难以提升，外观色度范围通常以文字描述方式进行阐述，例如，零件经氟化填充处理后的颜色为金黄褐色至青铜浅黄褐色，色度外观判断主观性较强，难以拟定具体指标。创新团队拟建立一种数据化、量化、视觉标准化的实物样本，

方案制定 价值流分析

本项目利用价值流分析工具，对典型表面处理过程铬酸盐处理和阳极化进行全价值流程分析，发现“爆炸点”存在于验收和检验工序，



铬酸盐处理价值流分析图

形成可供参考的检验性规范并进行应用推广，使产品的外观逐步受到内控约束。

参照生活中家装地板色度及染发行业色度卡，通过形成表面处理色度控制实物样本建立外观标准，达到标准化应用的目的。

外观质量提升方案

依据以上思路，创新团队制定了产品外观质量提升方案。

第一，借助可视化工具，建立铝合金表面处理标准外观实物样册，形成直观、标准可视化的实物检验规范，作为零件发出的重要参考依据，大幅提升检验效率。

第二，利用信息化手段，开展工艺试验摸索铝合金表面处理色度范围参数，辅助色度仪校准辅助检测，实现外观色度数据化、色度范围可控化。

第三，推广应用镁合金、钢件表面处理及喷漆标准样件册，建立标准化流程，固化成果，大幅减少人为影响因素。充分发挥精益改善思想，梳理操作流程，提升生产效率。



局部铬酸盐处理标准作业流程

第四，形成表面处理外观检验规范，用于判定和识别不同材料、不同表面处理种类色度范围，提升现场外观内控的可操作性，提升检验标准的指导性，实现现场应用。

方案实施

局部修补标准作业的建立

航空产品尤其是机匣类零件在转运、装配、包装、局部修理过程中，

不可避免地会出现局部表面处理膜层破损的情况，因此，局部修补表面处理膜层广泛应用于航空产品生产过程中。

相较于常规的表面处理方式，局部修补面积较小，一般不超过零件总面积的5%，难以引起重视。由于修补位置及状态存在不确定性，各规范中对局部修补的要求无法实现细致化，修补过程依赖于操作者的经验，造成不同零件修补后存在较为明显的差异。局部修补质量是产品从合格到精品的一个重要因素，提升局部修补质量能够直观有效地提升产品表面外观质量。

创新团队通过进行局部修补相关工艺试验摸索和确定局部修补的防护方式选择、溶液存放、工具选择、步骤细化，最终确定了标准作业流程并进行流程效果工艺验证，制定了局部修补中的最常见的局部铬酸盐及液态阿洛丁标准化作业流程，一改以往粗犷的局部修补方式，对局部修补过程中的每一道工序都做出明确要求，用规范代替经验。



铬酸盐局部修补外观问题件



液态阿洛丁标准作业流程

铝合金试验方案

铝合金是航空产品中占比例最高的金属材料。为了提升铝合金零件的耐腐蚀性能，铝合金零件在机械加工后常采用表面阳极氧化及涂漆工序作为最终表面处理。铝合金零件的表面处理状态直接影响着产品最终交付的外观质量。

为了统一铝合金表面处理外观质量，创新团队利用可视化工具，制定了常用铝合金材料表面处理工艺上、下限过程试验方案，并对其

外观状态进行了整理归类，形成了铝合金表面处理标准化实物样册，建立了铝合金表面处理可视化标准，作为零件发出前直观对比的参考依据。

按工艺方案得到的外观样册可显示该材料的标准色度范围，实现并用于指导铝合金表面处理外观合格与否的依据，实现了外观可视化、标准化的判定指导。

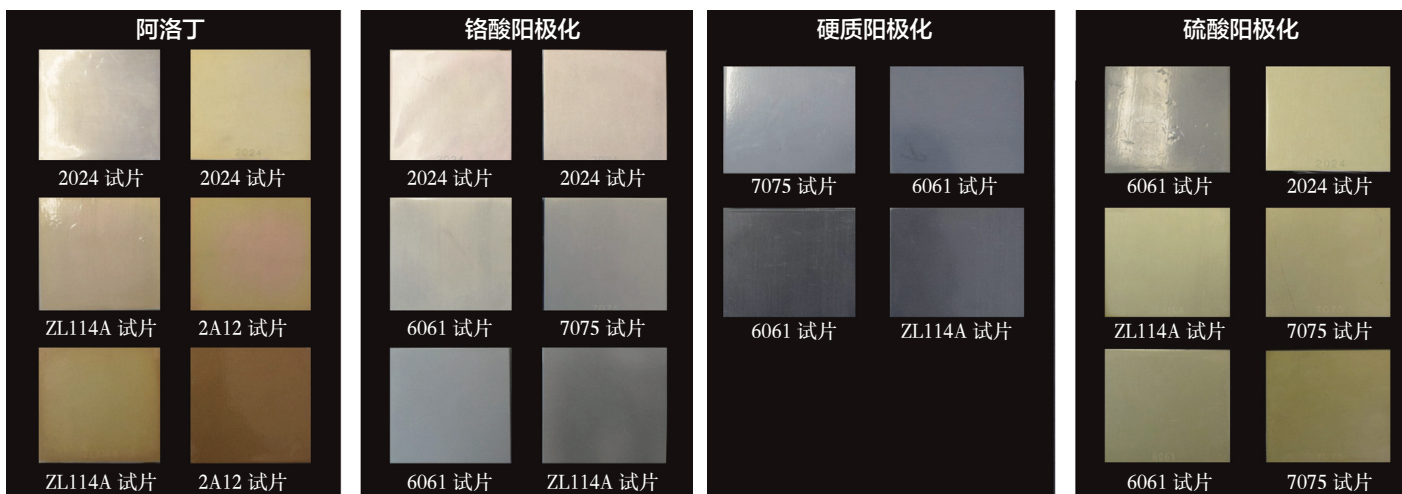
外观标准参数化辅助监控外观质量

一直以来，表面处理外观颜色

一般只能靠语言描述的方式去界定，这种方式实际上存在着主观的不确定性。建立标准样册是通过间接对比的方式将这种不确定性减小，使颜色范围在一定程度上实现可控。

在信息化工具中，对颜色有着明确的参数化定义。如常见的RGB颜色定义方式，通过定义红色、蓝色、绿色的数值就能够确定一种唯一的颜色。也可以通过色调、亮度、饱和度的方式去判定两种颜色之间的色差范围。利用信息化手段和色度仪辅助检测，开展色度参数试验，有效消除语言描述的不确定性，将颜色范围在真正意义上实现参数化。通过对6061、2024、2A12等常见铝合金材料表面处理后的色度参数的测量监控，对比铬酸阳极化、硫酸阳极化后的标准实物试片色度参数，得到色差数据。经过反复试验，积累有效数据，计算零件外观合格情况下的 ΔE 值，最终得到不同材料铬酸阳极化及硫酸阳极化色差可控范围，如表1所示。

大量试验数据为铝合金阳极化后的外观检测参数提供了有力的试验数据基础，得到了检测 ΔE 值的



整理后的铝合金试片册

表1 不同材料外观色差范围

材料牌号	硫酸阳极化	铬酸阳极化
2024	$\Delta E \leq 30$	$\Delta E \leq 30$
6061	$\Delta E \leq 40$	$\Delta E \leq 20$
7075	$\Delta E \leq 30$	$\Delta E \leq 30$
ZL114A	$\Delta E \leq 20$	$\Delta E \leq 20$

范围，可辅助外观实物色度试片，最终实现外观数据监测。

推广与应用

铝合金标准样册的建立以及外观颜色参数化试验，有效地将主观判定颜色方式标准化并得到了良好的应用，通过铝合金表面处理样册的成功实践，本项目持续在镁合金的铬酸盐处理、氟化处理，钛合金

的阳极化处理，钢铁零件的氧化处理等外观中推广标准化实物样册，并推广至喷漆实物样件。

此外，继续开展色度试验，推广到铬酸盐处理、氟化、氧化等工序，计算 ΔE 值色差范围。将色度仪辅助检测方式应用到更多表面处理工序的外观检测中。

多类型标准化外观实物样册可

作为可视化颜色对比的直观判据，并结合色差值 ΔE 数据进行辅助判断，减少人为因素，有效提升产品外观质量。

与此同时，受电镀标准化外观实物样册的启发，创新团队开展了喷漆标准化外观判定相关工作，由于喷漆工序外观受工艺参数波动比较小，建立试片册的方式适用性不强，故采用建立样件照片的方式，作为零件发出参考。

通过收集铝合金阳极化、镁合金铬酸盐处理等7个镀种共计30种材料的色差范围 ΔE 值，作为零件外观颜色数据化的有效判据。同时，制作表面处理外观颜色色卡样册用以识别工序标准中规定范围内不同材质膜层外观颜色。以实物试片形式直观、清晰地呈现零件表面处理后的外观颜色波动范围，覆盖了铝合金、钛合金、镁合金钢铁材料的10个表面处理工种共42种材料，最大限度地还原了实际生产的零件外观颜色。操作者及检验人员可以通过零件与样册对比，有效地避免了不同批次零件外观颜色差异明显的问题。

结束语

本项目实现了表面处理外观可视化、标准化的判定，最大限度地避免了主观因素导致的外观不确定性。此外，通过采用信息化手段结合大量工艺试验，形成表面处理外观状态数据库，使外观状态以数据形式进行量化，形成了表面外观辅助判定依据，对表面处理外观标准的量化和数据化提供借鉴和参考。

航空动力

(孙中尧，中国航发东安，工程师，主要从事航空产品表面处理技术研究)



典型喷漆样件