

DELMIA 系统在航空维修中的应用研究

Research on Application of DELMIA System in Aircraft Maintenance Simulation

西北工业大学航空学院 吴杰
中航工业第一飞机设计研究院上海分院 孙刚



吴杰

西北工业大学在读硕士研究生,研究方向为飞行器总体设计,主要从事航空维修性分析研究,将虚拟现实技术与实际维修工程及人机工效学相结合,研究航空维修的新发展与新应用。曾参加 973 项目关于某型号飞行器驾驶舱的人机功效设计。

维修性对于飞机整体效能而言至关重要,其品质的优良直接影响到飞机的全寿命周期。军用飞机上,维修性决定了飞机的出勤率,保持了战争的主动性;民用飞机上,维修性直接影响航空公司的效益。目前,

在基于桌面式虚拟现实的基础上,利用三维建模技术,对飞机维修过程中涉及到的维修对象、工具、设备、维修工人和维修厂房等建立模型之后,集成到虚拟的维修环境中,对飞机部件的维修过程在计算机上进行仿真,提前发现维修过程中的不合理操作,然后结合人机工效原理对维修过程进行修改和优化。DELMIA 系统作为数字化工厂的代表,其强大的 3D 设计功能保证了飞机虚拟维修的可行性和可靠性。

我国的飞机维修还处于基于物理样机和全尺寸模型的水平上。培训学习主要通过对维修指导手册的学习和经验指导来开展,这样就导致了较长的维修周期和较高的维修成本。此外,在飞机维修过程中,还存在维修操作不当、工作空间狭小、工人维修姿势不科学及作业强度大等诸多难以回避的问题。美国空军战斗司令部(ACC)事故调查显示^[1]:由航空维修差错造成的航空事故案例占 85%,世界上 20%~30% 的空中停车、80% 的坠机事故、80% 的偏离跑道事故、50% 的航班延误和 50% 的航班取消均与航空维修差错有关。其

中人为差错占了航空维修差错中的 80%。降低人为因素在航空维修中的影响,对进一步提高飞机的维修性有重要意义。

随着计算机图形学和运动仿真的迅速发展,虚拟现实技术得到了很大进步。在基于桌面式虚拟现实的基础上,利用三维建模技术,对飞机维修过程中涉及到的维修对象、工具、设备、维修工人和维修厂房等建立模型之后,集成到虚拟的维修环境中,对飞机部件的维修过程在计算机上进行仿真,提前发现维修过程中的不合理操作,然后结合人机工效原理对维修过程进行修改和优化。

DELMIA 系统作为数字化工厂的代表,其强大的 3D 设计功能保证了飞机虚拟维修的可行性和可靠性。本课题结合某型飞机起落架作动筒装置的检修过程,探讨 DELMIA 系统在飞机部件维修中的应用方法,总结开展飞机虚拟维修的优势和在后续工作需要进一步解决的问题。

DELMIA 系统简介

DELMIA(Digital Enterprise Lean Manufacturing Interactive Application, 数字企业精益制造交互式应用)是法国达索系统公司的产品。DELMIA 分为 3 个部分^[2]:分别为 DELMIA E5(DPE)、DELMIA V5(DPM)、DELMIA D5(QUEST)。这 3 个相对独立的部分可以通过 PPR(Process, Product, Resource)Hub 连接到一起,从设计到产品输出形成一套完整的流程,如图 1 所示。

飞机部件虚拟维修流程

以实际维修过程为基础,应用 DELMIA 系统对维修过程进行模拟,

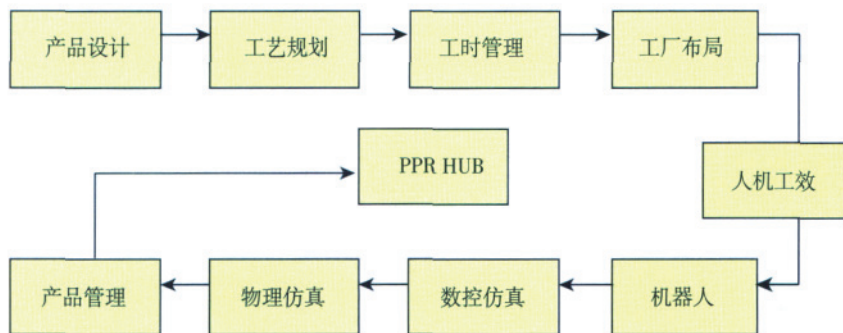


图1 DELMIA流程图

其流程如图 2 所示。

虚拟维修过程涉及到的主要技术包括虚拟建模技术、虚拟过程仿真技术和基于虚拟维修仿真的维修性分析评价技术。其中虚拟建模技术主要包括人体建模、各种设备及工具等的三维数字模型的建立,一般通过 CAD 软件实现。虚拟过程仿真技术包括产品拆卸仿真技术、产品故障模拟技术和检测仿真技术^[3]。分析评

价技术的目的是对产品就维修问题进行全方位的分析、评价、预测之后形成反馈,对维修过程进行再优化处理,使维修过程科学、人性化。

1 构建虚拟环境

根据虚拟现实系统中用户参与虚拟现实的沉浸程度不同,一般分为沉浸式虚拟环境和非沉浸式虚拟环境^[3,4]。沉浸式虚拟环境是把参与者的视觉、听觉和其他感觉封闭起来,以提供一个全新的、虚拟的感觉空间。非沉浸式虚拟环境一般由维修

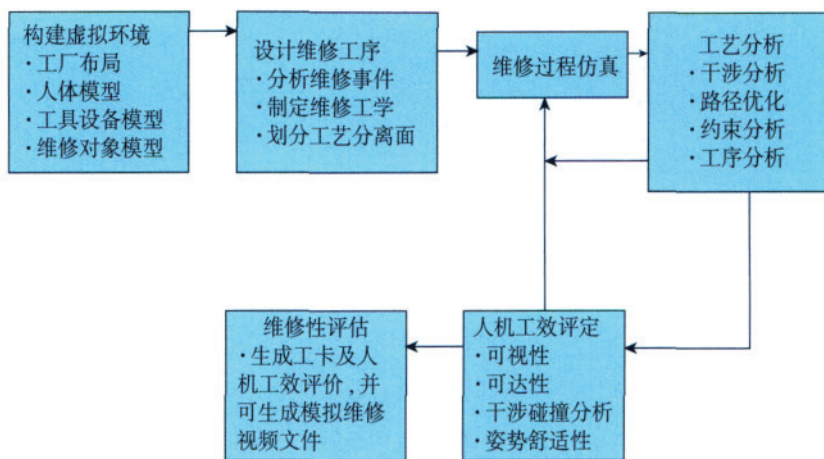


图2 飞机维修过程仿真流程

不同比例人群的身体特征,工厂模型则需合理地反映工厂的布局。在 DELMIA 里,使用机械设计子模块建立飞机部件及整机、工具设备的模型;通过人机工程模块建立维修工人模型,根据需要选择分别适合 5%、50% 和 95% 比例的人体模型;通过工厂布局模块建立工厂车间的模型。在完成建模后,将所有维修作业涉及到的对象装配到一个集成的虚拟维修环境中。

2 设计维修工序

在集成虚拟维修环境后,对维修事件进行分析,以便制定维修工序,确定工艺分离面。任何一个维修事件都是由若干维修单元构成,每个维修单元则是由若干维修操作动作合成^[5],将操作动作进一步分解后,即得到运动的最基本的单元——动素。任何动作单元都可以由不同的动素进行合成,如图 3 所示。

根据维修单元的不同划分工艺面,即不同的维修单元。维修单元可以根据实际情况分别进行并行维修和传统的流线式维修。不同维修单元的维修操作及标准不同,因此需要对各维修单元进行规范化设计,使维修过程标准化。在 DELMIA 系统里对维修事件的分析主要表现为对维修操作进行工艺规划。

3 维修过程仿真

虚拟维修仿真是实际维修过程

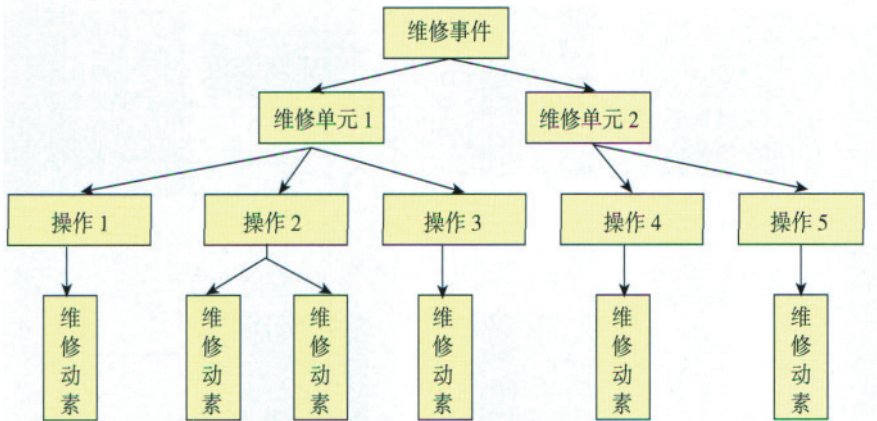


图3 维修事件分解

在虚拟环境下的再现或预演,真实地反映和描述产品、维修人员以及维修工具所发生的各种行为和经历的各种状态。维修过程实质上是用户与虚拟环境进行交流的过程^[6]。对维修过程的仿真,主要是对仿真场景中的虚拟人的运动、操作动作以及虚拟人与虚拟样机之间的交互运动的仿真。桌面式虚拟维修过程的仿真主要是在数字化平台上动态直观地显示维修过程,实时发现维修过程中工人、维修对象、工具设备和环境元素间的空间干涉和碰撞,以便及时调整维修过程中的不合理维修操作。使用 DELMIA 系统进行虚拟维修仿真的一般过程如下:

- (1)初始化虚拟维修环境;
- (2)在维修事件分析的基础上,关联人体模型和对应的维修任务;
- (3)建立模拟维修过程,实时监测干涉和碰撞现象。

4 工艺分析

飞机维修工艺是开展飞机维修的重要工艺,主要任务是采用合理的工艺方法确定飞机部件的维修流程。工艺的好坏将直接影响维修的效果和进程,在工艺设计中需要考虑维修中任务的协调性、作业空间的宽敞性和维修动作的可达性及可视性。因为在前期的维修事件分析中,已经完成了工序的规划等,因此, DELMIA 系统中,在工艺分析阶段仅要求在详细了解维修任务的基础上,对维修过

程进行整体的优化,删除无效维修动作、降低运输工作量等,最后生成工卡,形成指导性的三维维修手册。

5 人机工效评估

人机工效评估主要分析环境、维修对象和人之间的相互关联、相互协调,以达到维修过程的流畅性。目前飞机维修作业仍属于重体力作业,很容易引起作业疲劳。设备、环境、作业等因素都会对人体的心理、生理产

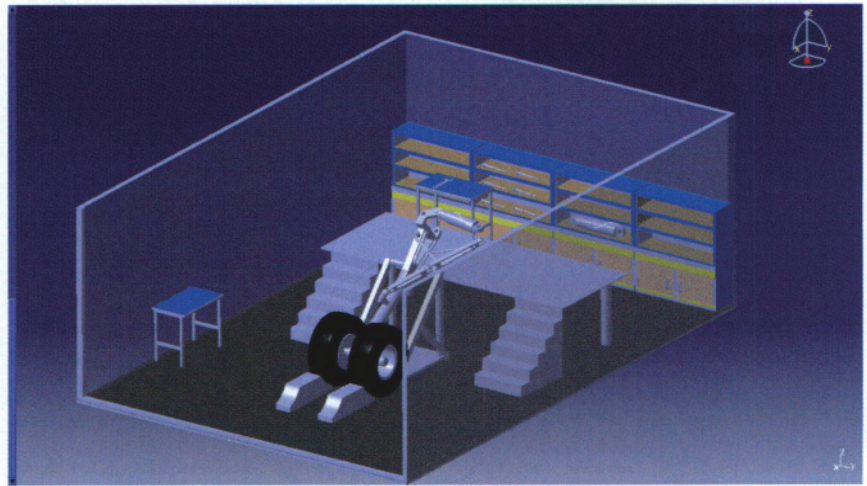


图4 虚拟工作车间

生直接或者间接的影响,从而影响维修过程。维修过程中的可视性、可达性和干涉碰撞现象,也常影响工人的维修操作。常见的人机工效分析指标有以下5种^[7,8]。

(1) 基于体能消耗的指标。

单位时间内人体承受的体力活动工作量即体力工作负荷必须处在一定的范围之内。负荷过小,不利

于劳动者工作潜能的发挥和作业效率的提高,造成人力的浪费;负荷过大,超过人的生理负荷能力和供应能力的限度,又会损害劳动者的健康,导致不安全事故的发生。一般情况下,人体的最佳工作负荷是在正常环境中,个体工作8h不产生过度疲劳的最大工作负荷值,最大工作负荷值通常以能量消耗界限、心率界限以及最大摄氧量的百分数来表示的。一般采用下列公式进行作业过程中的能量代谢量的计算:

$$\text{能量代谢量} = RMR \times \text{基础代谢量} + 1.2 \times \text{基础代谢量} = (RMR + 1.2) \times \text{基础代谢量}$$

式中 RMR 为相对能量代谢率、活动代谢率与基础代谢率的比值。基础代谢率是指人在绝对安静的条件下维持生命所必需消耗的能量。在 DELMIA 里,可以进行人体能量消耗评估。NOISH 方程、RULA 及 SNOOK 方程,可以准确评估维修过

程的能量消耗指标。

(2) 可达性与可视性分析。

在维修过程中,可达性与可视性是最基本的需求。设计时必须遵循以下准则:维修人员在维修过程中具有良好的可达性,可以在指定维修点伸手触及相关的维修部件(即维修部件在人体模型的活动包线范围内);要求维修人员可以看见自己的

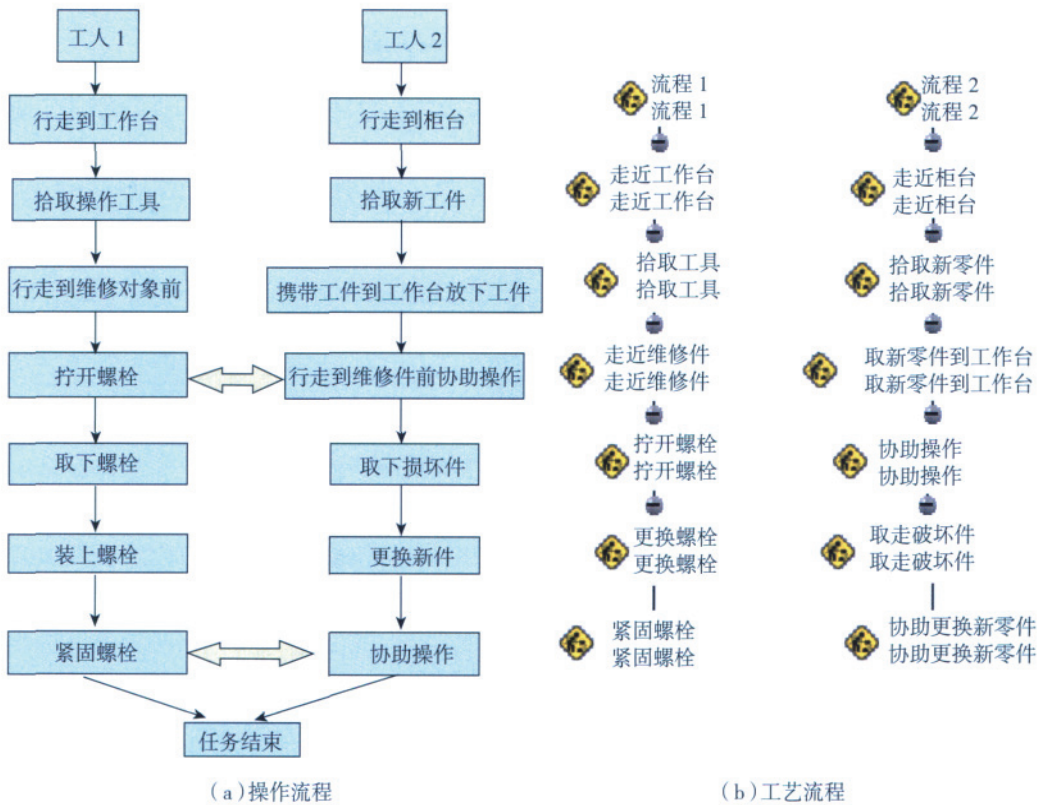


图5 作动筒维修

操作动作。

(3) 干涉与碰撞。

干涉与碰撞主要是为了检测在维修过程中人体模型与维修对象、工具设备及工作环境间是否发生干涉,对于与空间的干涉现象,可以通过人体各部位的运动包线确定维修的最小作业空间;对于与工具设备及维修对象间的干涉,可以通过调整人体姿态,维修对象的位置来进行优化。

(4) 工作姿态分析。

在航空维修作业中作业姿势是否正确常常被忽略。人机工效学研究表明,科学的作业姿势有助于提高工作效率以及航空机务人员的安全性。在所有操作工作中,应尽量使维修动作在肢体调节的舒适范围内。一般设计中,以吉尔布雷斯提出的动作经济原则为基础,通过对其的发展完善,巴恩斯原则成为目前首推的设

计准则。在 DELMIA 系统里,可利用人机工程模块中的姿态分析来进行作业姿态的分析和评价,以达到最优作业姿势,使人体不易疲劳。

(5) 维修性评估。

维修性评估是为了确定维修性措施和评定维修性设计目标的实现程度。利用虚拟现实技术,可以模拟维修过程,逼真地再现维修情景,记录模拟过程中的各种数据。利用 DELMIA 系统对维修过程进行分析,主要是确定工作的强度、维修时间及生成维修工卡等。

起落架维修仿真

通过对某型号飞机的起落架进行作动筒维修仿真,对疲劳累积破坏件,采取一般的更换。结合虚拟维修过程,分别建好维修对象、更换件、维修工具、工作车间及人体等模型,并集成到虚拟的环境中,构成桌面式虚拟维修环境,如图 4 所示。

在完成虚拟维修环境构建后,进行维修工序分析,本例确定为更换作动筒,工序相对简单。在 DELMIA 里则需要将工序定义为一个或者多个任务,因此需要将各道工序进行更细的划分。在建立工艺流程图时则必须对应操作流程图,对于飞机起落架作动筒更换的操作流程和工艺流程如图 5 所示。

完成工艺规划后,进行维修过程仿真及工艺分析。维修过程仿真主要是对已经规划好的工艺进行计算机模拟^[9],把未来实际维修中工人的维修动作展现出来,要求仿真

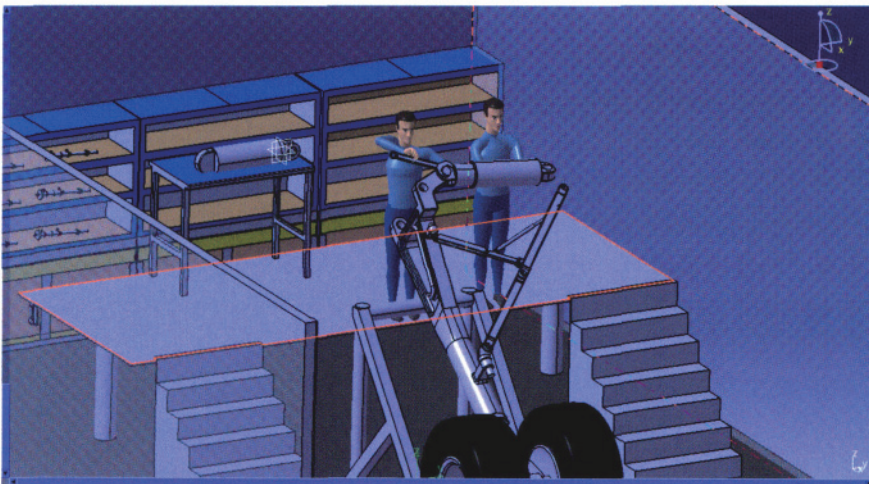


图6 维修仿真场景

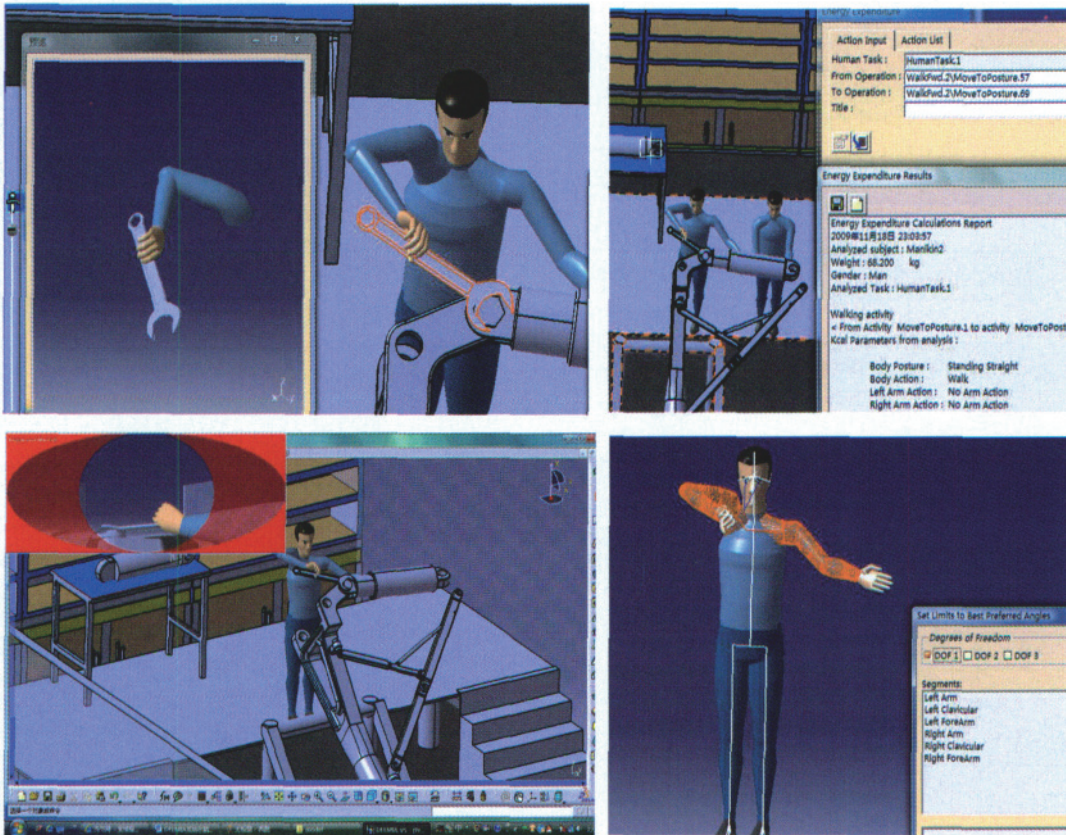


图7 人机功效分析

对维修过程中不合理的操作及姿态进行优化,使人体最大限度地处于舒适状态,减少作业疲劳,减轻人为因素对航空维修事故的影响。随着各种高新科技的广泛应用,航空部件的复杂程度越来越高,虚拟维修的前景会更加突出。本课题基于桌面式虚拟现实技术在工程上的实际应用,之后虚拟维修将趋于虚与实的深度交互,除了需要人机交互设备进一步

丰富、完善,人体模型的智能化作业将具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 郭定. 航空维修工效学. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [2] Dassault Systems Virtual Ergonomics Taking Human Factors into Account for Improved Product and Process, 2009.
- [3] 郝建平. 虚拟维修仿真理论与技术. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [4] 孙有朝, 邓华伟. 虚拟环境下民用飞机维修性评估与验证技术. 交通运输工程学报, 2006, 3.
- [5] 柳辉, 郝建平. 基于虚拟维修仿真的维修性分析系统设计与实现. 系统仿真学报, 2006, 2.
- [6] 蒋科艺, 郝建平. 沉浸式虚拟维修仿真及其应用. 计算工程与应用, 2005, 21: 208-214.
- [7] 郭伏, 钱省三. 人因工程学. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [8] 袁修干, 庄达民. 人机工程. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [9] 郑轶, 宁汝新, 刘检华, 等. 虚拟装配关键技术及其发展. 系统仿真学报, 2006, 18.

(责编 三丰)

具有较高的逼真效果和真实的可视性、可达性,并且可以监测人体与物件之间的干涉碰撞等,以便及时发现维修过程中存在的问题,提前解除维修障碍及在实际维修过程中可能遇到的问题,图6为工人维修仿真场景。对于在工艺上出现工序不合理的问题,可以通过对整体工序进行调整以达到改善不合理的工序的目的。

在维修仿真的基础上,进行人机功效评定。通过能耗评估来进行人体疲劳度的衡量,判断正常工人在完成任务时是否达到疲劳作业;通过干涉碰撞分析,可以避免工人在实际操作中与周围的物体发生碰撞,消除维修事故;通过可视性分析保证操作范围在工人的视野内,防止事故的发生;通过可达性分析,排除在操作过程中无法达到的维修件障碍;通过人体姿态优化,保证工人在较长时间处于某个工作姿态时的身体舒适性,推迟疲劳作

业。最后,根据生成的各类报告(能耗报告、干涉报告等),进行维修性评价,如图7所示,确定维修过程所需大致时间,是否属于重体力工作,生成三维维修手册和维修过程视频。

结束语

本课题提出了 DELMIA 系统在飞机维修上的应用过程,并以实例作了验证,证明通过数字化虚拟平台对实际维修过程进行仿真,可以优化维修过程,缩短维修工时。一改以往以物理样机为平台的维修模式,通过数字化平台,大量地节省了维修成本。此外,提供虚拟维修培训平台,突破了传统维修训练在范围、场地、时间上的限制,提高了训练人员的实际维修能力;变抽象学习为直观培训模式,维修人员通过直接观看维修过程仿真所生成演示视频文件,可大致了解维修过程,缩短了维修人员的培训周期;结合人机工程设计原理,