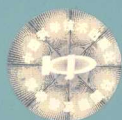


国务院学位委员会办公室 编
中国科协组织人事部



第五届博士生学术年会 论文集 〈上〉



中国科学技术出版社

第五届博士生 学术年会论文集

〈上〉

国务院学位委员会办公室
中国科协组织人事部 编

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

第五届博士生学术年会论文集(上下册)/国务院学位委员会办公室,
中国科协组织人事部编. —北京:中国科学技术出版社,2008.2
ISBN 978-7-5046-4850-1

I. 中... II. ①国...②中... III. 科学技术-文集 IV. N53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 015680 号

自 2006 年 4 月起本社图书封面均贴有防伪标志,未贴防伪标志的为盗版图书。

责任编辑 郑洪炜 陈 君
封面设计 金柏阳光 世纪佳想
责任校对 刘红岩
责任印制 王 沛

中国科学技术出版社出版
北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081
电话:010-62103210 传真:010-62183872
<http://www.kjpbooks.com.cn>
科学普及出版社发行部发行
北京国防印刷厂印刷

*

开本:889 毫米×1194 毫米 1/16 印张:68 字数:1860 千字
2008 年 6 月第 1 版 2008 年 6 月第 1 次印刷
印数:1—300 册 定价:180.00 元
ISBN 978-7-5046-4850-1/N·113

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

《第五届博士生学术年会论文集》

编辑委员会

顾 问 杨 乐
主 编 袁家军
副主编 冯长根 杨玉良
编 委 (按姓氏笔画为序)
王 俊 王伟中 邓中翰 石治平 杨 劼 吴 跃
张知彬 陈永川 屈冬玉 梁国雄 储富祥 薛勇彪

编务工作组

李 森 中国科协组织人事部部长
王守东 中国科协组织人事部副部长
李桐海 中国科协学会服务中心主任
解 欣 中国科协组织人事部专家联络处处长
魏 丹 中国科协学会服务中心科技人才服务处副处长
岳文彬 中国科协组织人事部专家联络处干部

目 录

机械与汽车工业

复杂机械产品交互式电子技术手册的实现·····	安 钊	郭红芬	徐宗昌(3)
基于触频特征量的低速重载轴承故障诊断研究·····	曹进华	郑海起	栾军英(8)
基于 WNN 的车辆费用估算模型及算法·····	陈永龙	徐宗昌	何国良(13)
柔性并联机器人动平台振动抑制·····	杜兆才	余跃庆	(19)
坦克装甲车辆效能指标体系分析·····	杜志岐	项昌乐	孙逢春(26)
基于 AR 模型的齿轮箱系统特性分析·····	高永生	孙 博	吴 莎(32)
保障设备数量需求模型研究·····	郭红芬	安 钊	徐宗昌(35)
基于模型修正的钻机井架承载力评定方法研究·····	韩东颖	李子丰	周国强(40)
双轨悬挂自行输送机动力学优化设计研究·····	黄大巍	高秀华	刘宏学等(46)
面向电子配件行业运用的制造执行系统·····	黄至辉	阙树林	任漪舟等(56)
基于多尺度有限元方法的非均质电渗流数值模拟·····	冀 封	左春桢	邹会旭(63)
加工中心故障模式影响及危害度分析·····	贾志成	胡仲翔	申桂香等(69)
耦合噪声源的自适应噪声抵消量化识别研究·····	江 涌	何 琳	(76)
履带车辆液压半主动悬挂系统联合仿真研究·····	孔令杰	王红岩	王良曦(82)
统计学习理论在滚动轴承故障模式识别中的应用·····	李 萌	马文星	陆 爽(89)
空速管位置误差的数值修正·····	李怡勇	沈怀荣	(94)
Kalman 滤波器在齿轮箱故障诊断中的应用研究·····	李毓辉	郑海起	卢如平(99)
履带式自行火炮行驶路面功率谱的测定和分级·····	李志强	马吉胜	(104)
基于压电执行器的镗削振动主动控制实验研究·····	刘 鹏	孔繁森	(108)
搭建公共服务平台:提升我国汽车零部件产业自主创新能力的途径·····	刘 岩	李 进	(114)
履带车辆路面反应谱虚拟测试·····	马伟标	王红岩	王良曦(119)
双传动履带车辆转向控制装置的研究·····	孙 勇	张红琼	付田志等(124)
基于 FCM 的舰载武器装备系统软件故障诊断模糊推理原理研究·····	王 军	徐宗昌	周福文(132)
基于 Petri 网的汽车维修业务流程建模与优化·····	王岩磊	陈春良	(138)
基于载荷—强度干涉模型的机械零件失效率研究·····	王 正	谢里阳	(144)
装甲车辆传动装置润滑系统仿真与优化技术研究·····	许 翔	毕小平	(149)
Hilbert-Huang 变换在故障诊断特征提取中的应用·····	杨 露	沈怀荣	(155)
履带车辆振动的模糊控制·····	于 杨	魏雪霞	张永发(162)
基于统计数据的产品使用阶段的可用性分析·····	张向波	梅国建	徐宗昌(167)
费用约束下的非马尔科夫系统备件优化配置研究·····	周 健	徐宗昌	(172)

农业与林业

华北落叶松人工林直径分布规律及其动态的研究·····	白晋华	郭晋平	李双龙(179)
我国城镇化水平与县域经济发展相关性的实证研究·····	陈诗波	王亚静	(186)

- 农户技术采用行为对发展现代农业的影响分析及诱导..... 崔宁波 郭翔宇(195)
- 城市林业土壤可蚀性特征及影响因素..... 单奇华 俞元春 张金池(202)
- 草地植被和土壤对不同畜牧业生产利用方式的响应..... 丁 勇 牛建明 贾晋峰等(206)
- 传统乳制品来源的乳酸菌中 Nisin 启动子的克隆及功能验证..... 都立辉 刘 芳 霍贵成(214)
- 茶树不同器官氮同化关键酶活性测定及其比较..... 杜旭华 周贤军 彭方仁(220)
- 无菌条件下,矿质、有机氮营养对番茄生长和氮代谢的影响..... 葛体达 芦 波 唐东梅等(226)
- 银杏营养贮藏蛋白质的糖蛋白特性分析..... 郭红彦 谭鹏鹏 吴青霞等(233)
- 八达岭林场生态公益林经营类型划分的初步研究..... 豪树奇 亢新刚(238)
- 不同品种(类型)楸树嫩枝生根能力及扦插繁殖技术研究..... 郝明灼 彭方仁 王顺财 杜旭华(243)
- 京西百花山落叶阔叶林群落物种多样性研究..... 胡淑萍 余新晓 刘 彦(249)
- 喷施钛肥对水稻生长、产量及养分吸收运转的影响..... 胡艳燕 郝进杰 杨剑虹 谢德体(255)
- 基于 SSH 的 *Bursaphelenchus xylophilus* 和 *B. mucronatus* 基因差异表达分析
..... 黄 麟 叶建仁(261)
- 珍珠黄杨夏季扦插繁殖技术与生根机理研究..... 黄 焱 季孔庶 汤庚国 翟锦如(267)
- 基于地貌分类的植被盖度遥感估测..... 琚存勇 蔡体久(275)
- 粳稻谷粒粒形与垩白性状的相关性研究..... 黎毛毛 徐 磊 曹桂兰等(281)
- 秦淮河河岸带土壤理化性质空间异质性分析..... 李冬林 金雅琴(288)
- 秸秆中粗纤维结构层次的研究..... 李 华(295)
- 森林植被变化对溪流水化学特征的影响..... 李 华 蔡体久(299)
- 长期施肥条件下对紫色土磷吸附解吸的影响..... 李学平 石孝均(305)
- 南京市常见绿化树木净化大气功能的研究..... 梁淑英 胡海波(310)
- 抗变形链球菌的乳酸菌的筛选及其细菌素的分离纯化..... 刘 芳 都立辉 王玉堂等(317)
- 福建现代农业发展:难点与对策..... 刘飞翔 刘伟平(324)
- 修剪对 3 种地被竹生长发育的影响..... 刘国华 王福升(331)
- 日粮油脂对肉牛瘤胃液中 *A. lipolytica*, *F. succinogenes*, *R. flavefaciens*, *B. fibrisolven* 和
R. albus 数量的影响..... 刘仕军 王加启 卜登攀等(336)
- 狂犬病毒双 G 基因 HEP-Flury 株的拯救..... 刘晓慧 艾 军 郭霄峰等(346)
- 充分灌溉下苹果梨茎干液流变化规律的研究..... 刘晓志 康绍忠(351)
- 猪血凝性脑脊髓炎病毒 S1 蛋白受体的鉴定..... 陆慧君 贺文琦 宋德光等(356)
- 对野生植物资源定价研究..... 罗彦平 刘俊昌(361)
- 基于模态分析技术板材孔洞缺陷检测的初步研究..... 倪松远 王立海 徐华东(366)
- 黄河源头地区土壤暗色丝孢菌群落多样性(I)..... 潘好芹 于金凤 张天宇(370)
- 一个可区分甘蔗品种抗感黑穗病性的 SCAR 标记..... 阙友雄 陈天生 林剑伟等(375)
- 大规模白色杜洛克×二花脸资源家系中公猪睾丸发育和精液品质的分析
..... 任冬仁 幸宇云 林明解等(380)
- 我国森林资源质量的社会经济影响实证研究..... 石春娜 王立群(391)
- 农村信用社产权制度试点改革绩效评价的实证分析
——以山东省为例..... 宋 磊 王家传(396)
- 野生稻 DNA 导入水稻后代的性状分析及应用..... 孙希平 杨庆文 李润植(402)
- 区域农业可持续发展能力评价研究
——以吉林省为例..... 王晨野 汤 洁 李昭阳等(406)
- 饲料中克仑特罗免疫亲和色谱一气/质联用检测方法的研究..... 王 迪 杨曙明 张 波等(413)

杉木木材形成过程扩展蛋白(Expansin)基因的克隆与表达分析

- 王桂凤 高 燕 杨立伟等(418)
- 基于 VASSA 的流域仿真系统的体系结构研究..... 王 涛 信 勇 陈 曦等(426)
- 杨树 SSR 荧光标记反应体系及反应条件优化..... 王源秀 黄敏仁 王明麻(434)
- 木工带锯条的弦振动理论研究与应用..... 王 正 孙友富(443)
- 不同胸径胡杨树干液流特征比较研究..... 乌日汗 张秋良(452)
- 三种榆树幼苗对 NaCl 胁迫的生理反应与耐盐性应用评价..... 夏尚光 张金池 梁淑英(457)
- 酚醛树脂对杨木的浸渍性及影响因素的研究..... 夏 炎 卢晓宁(463)
- 荒漠灌木碳水平衡对降水改变的响应..... 许 皓 李 彦(468)
- 层次分析法在江西省森林资源管理制度创新中的应用研究..... 杨馥宁 郑小贤 王 威(477)
- 鲁西南地区苹果绵蚜及其天敌种群动态与群落结构特征..... 杨勤民 程二东 王希国等(485)
- 辽东栎种群格局的分形特征..... 伊力塔 韩海荣 王玉涛(493)
- 毛竹“韧皮部结”发育过程中 Ca^{2+} 的超微细胞化学定位..... 于 芬 丁雨龙(499)
- TNF- α 促进猪骨骼肌成肌细胞凋亡并抑制其增殖分化..... 于太永 吴江维 庞卫军等(505)
- 低压滴灌系统中毛管适宜管径确定方法..... 张 林 吴普特 范兴科(517)
- 农民福利视角下土地征收问题研究..... 张 鹏 张安录(522)
- 玉米不同基因型自交系抗旱性鉴定与综合评价..... 张卫星 赵 致 朱德峰等(530)
- 桉木蒸汽爆破及纤维素酶水解研究..... 张晓燕 赵广杰(537)
- 山东省樱桃谷病鸭圆环病毒感染情况的调查..... 张兴晓 姜世金 赵 钦等(543)
- 新型绿色糖单孢菌复合胞外酶对比商品木聚糖酶助漂杨木硫酸盐浆研究
..... 张 勇 蒲俊文 吴玉英等(549)
- 基于熵权的植烟土壤质量评价
- 以重庆市彭水县为例..... 张 贞 秦建成 魏朝富(557)
- 基于“虚拟水”理论的农业水资源利用效率研究
- 以陕西省宝鸡峡灌区为例..... 赵建民 李 靖(564)
- 阴山北麓退耕地不同植被群落的生态适应性评价..... 赵沛义 妥德宝 紫 檀等(570)
- 农业节水实现的经济学解析..... 赵文举 马孝义 康银红(575)
- 广州白云区与从化市农业发展条件分析与定位..... 周灿芳(580)
- 武夷山不同海拔梯度土壤水溶性有机碳的空间变异..... 周 焱 阮宏华 徐宪根等(586)
- 不同酸性催化剂对刨花板苯酚液化能力的影响..... 朱本城 赵广杰 商俊博等(593)

机械与汽车工业

复杂机械产品交互式电子技术手册的实现

安 钊¹ 郭红芬^{1,2} 徐宗昌¹

1. 装甲兵工程学院技术保障工程系,北京市,100072;

2. 总后勤部直属供应保障局,北京市,100069

摘 要 为编写复杂机械产品交互式电子技术手册,本文讨论了技术信息的分类、产品综合小组的构成和手册功能矩阵的选择。描述了在完成这些准备工作的条件下,编写交互式电子技术手册的过程,并且给出了编写时的质量控制方法。最后对编写时注意的问题进行了总结。

关键词 复杂机械产品 交互式电子技术手册 流程 质量控制

随着大量的液压、电子、复杂电路等装置的应用,机械产品呈现出复杂化和集成化的特点。虽然机械产品的性能得到了提高,但同时也使机械产品的操作步骤更为严格,维护保养内容更多,故障排除技术更加复杂。为保证机械产品的完好率,必然要进行大量的维修保障活动。这些活动就需要大量的技术信息数据做支撑。在过去,机械产品的使用与维修依赖于厚厚的纸质手册,使用或维修保障人员需要仔细查阅相关的信息,理解并进行操作或执行故障诊断的步骤。因机械产品复杂化和集成化带来的技术数据日益增多,纸质手册在使用的过程中产生了许多不便。借助于信息化技术,将纸质手册改造成数字化形式,以提升技术信息的使用效果和效率,是满足机械产品使用与维修保障活动中各项作业要求的必需。交互式电子技术手册就是解决这一问题的产物。

交互式电子技术手册(Interactive Electronic Technical Manual, IETM)是由产品的制造者或使用者采用自动编辑系统创作的,以数字形式显示在屏幕上,为某一终端用户提供技术信息的电子显示系统,其本质是一种技术手册。IETM 能够带来很多的效益。根据美国 IETM 的使用部门统计:使用 IETM 可以节省 18%~44% 的维修时间及 43% 的培训时间,减少了 50% 的训练项目;用于编写技术文档的费用降低了 40%,出版费用降低了 60%,更改每页文档所需时间为原来的 1/9;故障定位的准确率提高了 35%。因此创作复杂机械产品的 IETM 很有意义。

一、建立 IETM 创作组织机构

复杂机械产品在使用与维修过程中,需要的技术信息是多方面的。如产品操作指南、故障诊断指南,以及测试的步骤、拆卸、更换、修复、零件的修复、零件的请领、维修管理系统、本层次维修的可达性说明等;组织与显示这些技术信息需要多方面的知识与技术。所以,复杂机械产品的 IETM 创作是一项系统的工程过程。为保证 IETM 能够准确和完整地包容这些知识,需要建立一个产品综合小组,其中的人员要包括 IETM 系统项目管理人、用户、技术出版物质量控制人员和机械产品制造商。同时,需要聘请一些在机械产品维修和保障领域内的资深专家。产品综合小组要对 IETM 的外部环境、IETM 的功能、技术信息的分类等内容进行研究,为 IETM 的实现打下理论基础。

二、IETM 创作的基础分析

机械产品在生产的过程中,有大量的图纸以及功能说明文档,这为创作 IETM 提供了丰富的技术信息资源。但仅仅将纸质手册转变为数字手册,只是解决了存储介质问题。由于电子屏幕的有限性与资源多样性的矛盾,使得按页的方式显示手册还不如纸质手册查阅方便,无法实现上面所述使用 IETM 所带来的效果。因此,需要在相应的创作 IETM 的条件约束下,根据 IETM 所实现的功能,对技术数据进行整理处理。

(一)IETM 的外部环境分析

IETM 的外部环境可包括 IETM 的创作费用与创作方案、用户的知识等。这些外部环境直接影响着 IETM 的创作条件或者创作结果。要分析的内容如下。

根据费用和方案的分析。根据费用的分析来选择和设计 IETM 的开发计划,计划必须包括检测的过程控制、范围评估、IETM 进度和指南。同时,要分析系统的综合。因为要反映系统集成性的特点,需要使 IETM 具备更多的功能特性,以利用用户的使用。这些系统包括测试系统、故障诊断、订货系统、历史数据、软件上传下载、基层数字通信系统、专家保障系统等。系统集成的多少取决于费用和方案。

根据 IETM 用户的分析。一是用户的背景知识,维修技能和计算机使用能力。这是决定 IETM 具备哪些附加功能的基础。在开发过程中,至少要考虑两到三类典型的用户,以确保 IETM 制作完成后,用户能够接受并且能够使用它。二是用户的认知基础,以减少用户的认知负担为条件来显示技术信息的范围和层次。同时,明确用户需要的是培训内容还是维修内容,根据需要调整 IETM 的显示框架。

(二)IETM 的功能分析

产品综合小组应分析技术手册的应用层次,决定创作 IETM 的级别。如果没有相关的纸质手册,需要对相关的文档进行整理,如工程制图、使用与维修分析数据、故障模式与危害度分析数据。

1. IETM 界面显示的分析

为赋予不同使用目的的 IETM 的有效功能,必须定义浏览的方式、交互的方式、数据的表现形式、功能以及显示平台、发布环境。显示要具备按页方式的显示,图文以键为纽带的并排或单独显示功能。

2. IETM 逻辑处理方式的分析

交互的功能包括单页内的智能索引,对其他页或者图形的超链接、关键词查询、在线索引,通过对话框进行交互。手册与检测或诊断设备的实时交互,与保障系统、维修数据库、训练系统等的交互。

3. IETM 数据格式的分析

数据格式的范围从字词的处理,句的格式,XML 标记的文件,页的标题、页眉、页脚,到 ASCII 文件,BMP 图形,其他交互的电子产品的输出格式,其他保障分析的输出数据格式,诊断软件的数据格式。对于外部的数据,要有提供相应的插件。

4. IETM 逻辑过程的分析

IETM 要包括的功能应当具备故障诊断的功能,通过一个智能的索引找到需要的显示页,通过放大、拖拽查看所要显示的图形。通过页上的热点来参考其他的页,通过引用来找到相关信息,通过滚动实现查看相关内容,通过用户对图形的选择或者通过热点来参考相关文字。基于对话的交互,基于逻辑的上下浏览的动作,IETM 具有交互式的维修指南,用户可选择相互参考和索引,多类型数据的同时显示;通过会话收集专家排除故障的知识,用户添加的标签和标注,由软件包所产生的故障报告,高级技术工人使用时的基础知识屏蔽等功能。

(三) IETM 的技术信息分类

为掌握技术手册中数据的规律,需要对技术手册中的信息进行深入认识。分类是认识事物的基础,是分析、总结事物特征的手段。分类的过程也是认识事物的过程。分类以某种主题为出发点,对事物进行描述。交互式电子技术手册的主要用途是指导维修人员进行维修保障活动。基于维修活动向量空间进行技术信息的分类是一种可以尝试的方法。

向量空间模型(Vector Space Model, VSM)中,将分类对象看作是由相互独立的元素($T_1, T_2, \dots, T_n$)构成,对于每一分类元属性 T_i ,都根据其在分类对象中的重要程度赋予一定的权值 W_i ,并将 $T_1, T_2, \dots, T_n$ 看成一个 n 维坐标中的坐标轴, $W_1, W_2, \dots, W_n$ 为对应的坐标值,这样由 $(T_1, T_2, \dots, T_n)$ 分解而得的正交元属性矢量就张成了一个向量空间,分类对象则映射成为空间中的一个点,对于所有元组和类都可映射到此分类向量空间。用元属性矢量 $(T_1, W_1; T_2, W_2; \dots; T_n, W_n)$ 来表示,则将对对象类的匹配问题转化为向量空间中的向量匹配问题。维修活动按时间顺序分为:功能的描述、操作方式、保养说明、检查、故障报告、分解、修复、组装、存储、其他几类向量。由于这些内容是在时间维上进行的,它们之间是正交的,而维修技术信息是对维修活动的描述,因此,二者向量的匹配应当是大致吻合。因此,技术信息可基于维修向量空间分类为下面几种类型:人员岗位信息、功能描述信息、故障诊断信息、零部件信息、预防性维修信息、紧急情况处理信息、线路图信息。

(四) IETM 的功能矩阵建立

根据技术信息的分类及要实现的功能,可以构建 IETM 功能矩阵,如表 1 所示。在创作 IETM 时,通过对功能矩阵内容的选择,列出 IETM 的功能需求清单。功能矩阵的元素可以根据工程项目进行剪裁。

表 1 IETM 的功能矩阵

IETM 功能	更新的提示	Web 浏览器
	用户操作模式	
IETM 描述的主题	更新	
	音频、动画、视频	
IETM 描述的主题	紧急事件程序	
	前言、警告	
IETM 描述的主题	特殊内容	
	特殊内容的打印	
IETM 描述的主题	打印屏幕	
	打印	
IETM 描述的主题	基于技术状态的过滤	
	基于技能和维修层次的过滤	
IETM 描述的主题	唯一标识码过滤	
	对话框驱动交互	
IETM 描述的主题	全文、关键词搜索	
	用户书签的创作	
IETM 描述的主题	按时间返回	
	链接的历史记录	
IETM 描述的主题	进入下一级菜单和返回上一级	
	导航和跟踪	
IETM 描述的主题	热点	
	表、图片的链接	
IETM 描述的主题	内、外部引用	
	链接	
IETM 描述的主题	装配和拆卸图、线路的走向	
	拖动、缩放、扩展、放大	
IETM 描述的主题	图表	
	维修活动的网络计划图	
IETM 描述的主题	故障报告	
	诊断和预测	
IETM 描述的主题	零件请领程序	
	用户输入数据	
IETM 描述的主题	外部程序	
	硬件发布、网络发布	
IETM 描述的主题	传输和发布	
	注册、退出	
IETM 描述的主题	访问	

三、IETM 创作的步骤

交互式电子技术手册也是一个不断发展的事物。从最初的第 1 级电子索引页面图像,到第 2 级电

子滚动文档、第3级线性结构,目前已由第4级分级结构的交互式电子技术手册向第5级集成数据库交互式电子技术手册方向发展。在转换费用和用户所需实现功能的约束下,通过一系列步骤的控制,实现质量符合要求的 IETM。

(一)技术数据的转换过程

IETM 技术数据的转换是在时间延续上的一个过程,通过对过程的控制可掌握 IETM 的创作进度和费用。以生成第4级 IETM 的技术数据转换为例来说明情况。转换过程如图1所示。

第一步:确认 IETM 创作过程中所用软件和图像处理软件的使用权。

第二步:分析将要进行 XML 标记的技术数据内容,确定技术数据的结构,建立相应的 DTD。

第三步:处理数据源,依前所述的技术信息分类中挑选 DTD 需要的数据。创建这些数据之间的逻辑关系。对于复杂或精确度要求高的图片,使用光栅编辑会比较困难,因此,尽量将其转换成可使用矢量图形软件编辑的矢量格式。

第四步:对这些数据类型进行命名以使创作者能够对不同的主题内容进行确定。根据命名过的数据类型创建和修改符合主题要求的显示框架(浏览软件包)。

第五步:确定用户使用 IETM 进行信息访问时的链接。内部链接可使用户选择所需的数据项,并可在 IETM 数据中进行查询,然后将结果显示给用户。这些链接实例有:故障区域的图示;影响安全或经济效益的部件名称或操作步骤的警告说明;表格、图形和图片的文字性说明。此外,还要定义一些所需的外部链接,如 IETM 中某些部分链接到诸如音频、视频、专家系统或专有设备等。

第六步:对 IETM 进行基于元数据的标记,以确保各个 IETM 之间的区别,保证 IETM 的前后一致性。

第七步:将 IETM 中所有相关文件通过相关媒介进行发布。

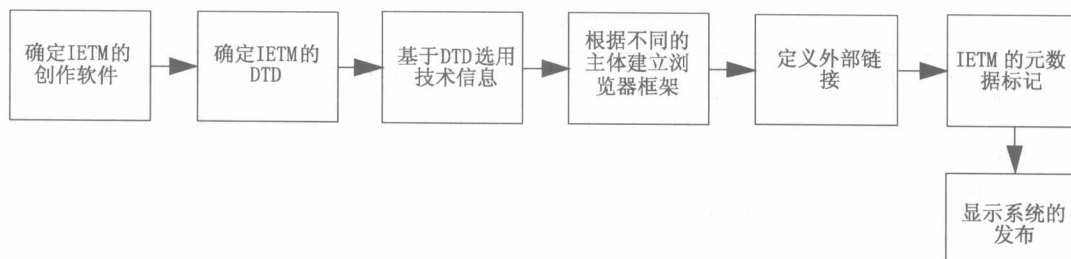


图1 第四级 IETM 转换过程

(二)IETM 质量控制过程

质量控制是创作有效且能够满足用户使用要求的 IETM 的有效手段。在创作 IETM 时至少应有下列步骤的质保流程(图2)。

第一步:对初步拟定的 IETM 功能进行检查。产品综合小组进行桌面论证保证 IETM 达到要求。

第二步:核实质量保证程序和通过桌面认证来决定技术手册的适用性和创作阶段技术数据的完备性。

第三步:对初步数据模块进行评论,并进行实际的操作,记录和报告产品生产过程和服役阶段提出的问题。进一步完善技术信息。

第四步:通过 IETM 的版本信息跟踪这些活动,并保证这些活动的实行。

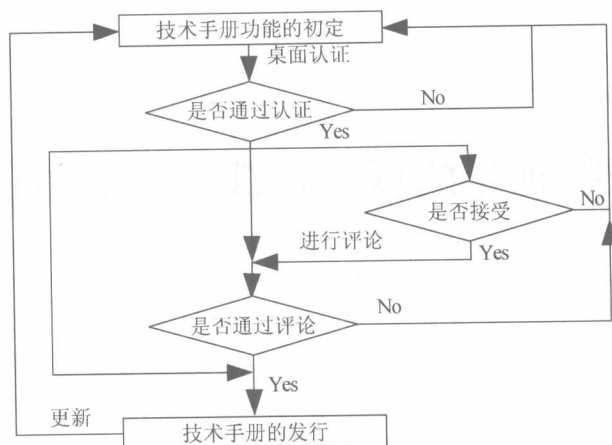


图2 IETM 质量保证流程简图

四、结论

虽然机械产品的生产有记录技术信息的得天独厚的优势,但将这些记录的技术转化为 IETM 也是一个十分复杂的过程。在创作 IETM 的过程中,首先,需要建立一个产品综合小组,组员除了相关人员外,还应包括技术专家和用户,这是必须的和最有效的。其次,产品综合小组必须尽可能去获取需要的一切数据,并且对目标用户要求的 IETM 的功能做一个明确的鉴定,以保证技术信息内容的完整性。第三,产品综合必须完整地研究 IETM 的创作工具/技术的使用。第四,产品综合小组必须首先考虑 IETM 系统集成的可能性,并设计符合 IETM 要求的功能结构,即 DTD 的描述,这里对原有技术手册结构的相似法值得极力推荐。通过相似的采用可加快 IETM 的创作速度。最后,采用创作与测试并行的原则来测试、检验和确认 IETM 的创作质量,以避免一些重大的失误和创作延迟。

参考文献

- [1] 徐宗昌. 保障性工程. 北京: 兵器工业出版社, 2002: 476-483.
- [2] MIL-PRF-87269A. DOD. 1995.
- [3] 陈信钦, 等. 交互式电子技术手册应用与发展展望. 现代防御技术, 2003, 31(1).
- [4] 彭雅. 文本分类算法及其应用研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2004.
- [5] S1000//欧洲航空和国防工业协会与美国航空工业协会 V2. 3. 2007.
- [6] 朱家元, 等. 交互式电子技术手册的研究与发展. 航空维修与工程, 2004, 4.
- [7] LI PI SU, etc. application of new information technology to DOD legacy paper technical manuals IEEE. 1997.

作者简介 安钊, 装甲兵工程学院在读博士生, 研究方向为保障性工程。电话: 010-66719453; E-mail: azaz_624@163.com。

基于触频特征量的低速重载轴承故障诊断研究

曹进华 郑海起 栾军英

中国人民解放军军械工程学院,河北省石家庄市,050003

摘 要 通过分析低速重载轴承的内在结构和运动规律,提出了一种基于触频特征量的低速重载轴承故障诊断新方法,并用此方法对某型轴承进行了故障诊断,证明了该方法的可行性和有效性。

关键词 轴承 重载轴承 触频 触频特征量

低速重载轴承一般安装在一些大型关键设备上,承受较大的负荷,在其运行过程中轴承使用到损坏时,机器损伤的部位不仅限于轴承本身,其他零件,如主轴的损伤、变形和破损。因此与常规轴承不同的是,这类轴承一旦发生故障,就会引起较大的经济损失,而对其进行检修往往也要花费大量的时间和费用。另外,低速重载轴承由于结构和工作条件特殊,故障机理复杂,传统的频域分析法无法解决此类问题。长期以来,一直没有有效的方法对低速重载轴承故障进行诊断。本文从低速重载轴承的内在结构和运动规律出发,首次提出了基于触频的低速重载轴承故障诊断方法,经过实测信号验证,该方法能很好地解决低速重载轴承故障诊断问题,有较大的实际意义。

一、低速重载轴承的工作特点

从工作特点和故障的特性上分析,低速重载轴承主要有以下特点。

1. 轴承转速低

通常低速重载轴承计算出来的轴承故障频率一般在零点几赫兹到几赫兹,如炼钢厂转炉工作时的频率只有 0.75~1.5Hz,而回转平台正常工作时,频率甚至只有 0.006Hz 左右。由于故障频率比较接近,尤其多个故障点时更难判断,故判别方法不能使用常用的频率分析法。

2. 承受载荷大

由于负载较大,而且轴承的转速低,因此每次故障冲击的间隔较长,加之不同的故障形式又有进入承载区和不在承载区之分,故障机理复杂。因此使用冲击法很难准确地检测到故障信号,无法对故障进行全面的分析。

从上述故障特点来看,基于特征频率的轴承故障诊断方法不适用于低速重载轴承的性能检测与故障诊断,因此低速重载轴承的性能检测方法还需要根据实际情况从时域信息和幅域信息进行研究。

二、低速重载轴承故障诊断原理研究

在研究过程中,笔者发现尽管在旋转过程中回转平台的旋转速度是非稳态的,也就是说,时域上受主、客观因素的影响,轴承的振动信号没有规律;但是在角度域上轴承转动一周过程中,各零部件接触(如滚动体与外圈、滚动体与内圈的接触)次数是固定不变的,与轴承的转动速度无关。正是根据这一规

律笔者提出了触频的概念。

触频是指当轴承一个套圈旋转一周过程中,外圈、内圈、保持架或滚子上某一点与其他构件接触的次数。单位:1/r。

触频与滚动接触次数的概念是有所区别的,滚动接触次数仅仅是描述内外套圈与滚动体的运动关系,触频则更加广泛地描述轴承内部各个构件之间的运动关系。

这样我们还可以导出零件接触角的概念:零件接触角是指轴承零件特定点在旋转工作过程中与其他零件发生接触的最小轴承转角。

(一)触频的计算

假设轴承套圈在旋转过程中,轴承滚子与内外圈之间作纯滚动,所用符号意义如下:

n_i —— 内圈转速(r/min), n_o —— 外圈转速(r/min)。

n_m —— 滚动体围绕轴承轴线的转速,也称为滚动体公转转速。因为保持架是由滚动体带支旋转的,所以也是保持架的转速(r/min)。

n_g —— 滚动体围绕其身中心轴线的转速称为自转转速(r/min)。

n_{mi} —— 保持架相对于内圈的转速(r/min); n_{em} —— 外圈相对于保持架的转速(r/min)。

ω_i —— 内圈转动角速度(rad/s); ω_e —— 外圈转动角速度(rad/s)。

ω_m —— 滚动体公转角速度,也是保持架的转动角速度(rad/s)。

D_i —— 内圈滚道接触点的直径(mm); D_e —— 外圈滚道接触点的直径(mm); D_m —— 滚动体中心圆直径,即轴承平均直径(mm)。

D_g —— 滚动体直径(mm)。

α —— 接触角(rad)或($^\circ$)。

在实际应用中,很少有内外套圈同时转动的,一般是一个套圈旋转,一个套圈静止。如假定内圈旋转,外圈静止,轴的转速为 n 时,则 $n_i = n, n_e = 0$ 。

可得:

$$n_m = \frac{1}{2}n(1-\gamma) \quad (1)$$

$$n_{mi} = -\frac{1}{2}n(1+\gamma) \quad (2)$$

$$n_{em} = -\frac{1}{2}n(1-\gamma) \quad (3)$$

$$n_g = -\frac{D_m}{2D_g}n(1+\gamma)(1-\gamma) \quad (4)$$

当假定外圈旋转时,内圈静止,轴的转速为 n 时,则 $n_e = n, n_i = 0$ 。

可得:

$$n_m = \frac{1}{2}n(1+\gamma) \quad (5)$$

$$n_{mi} = \frac{1}{2}n(1+\gamma) \quad (6)$$

$$n_{em} = \frac{1}{2}n(1-\gamma) \quad (7)$$

$$n_g = \frac{D_m}{2D_g}n(1+\gamma)(1-\gamma) \quad (8)$$

以上各式中 $\gamma = \frac{D_g \cos \alpha}{D_m}$ 。

在一般转速下,与上述的公式的计算值符合,在高速轴承中,还应考虑惯性力矩和摩擦力矩对轴承各元件运动的影响。

根据触频的定义,可知当外圈旋转一周内圈不动时,内圈、外圈、保持架以及滚动体的运动时间相等,所耗时间为:

$$t = \frac{2\pi}{\omega_e} \quad (9)$$

保持架转过的角度为:

$$\beta_m = \omega_m t = \frac{2\pi\omega_m}{\omega_e} = \pi(1+\gamma) \quad (10)$$

外圈相对保持架转过的角度为:

$$\beta_{em} = 2\pi - \beta_m = \pi(1-\gamma) \quad (11)$$

保持架相对内圈转过的角度为:

$$\beta_{mi} = \beta_m \quad (12)$$

则外圈触频为:

$$u_e = \beta_{em} \cdot \frac{Z}{2\pi} = \frac{Z}{2} (1-\gamma) \quad (13)$$

内圈触频:

$$u_i = \beta_{mi} \cdot \frac{Z}{2\pi} = \frac{Z}{2} (1+\gamma) \quad (14)$$

滚动体触频:

$$u_g = 4 \cdot \frac{\beta_{em} \cdot D_e / 2}{\pi \cdot D_g} = 2 \cdot (1-\gamma) \cdot \frac{D_e}{D_g} \quad (15)$$

接下来,可以计算出各零件接触角:

外圈接触角为:

$$\alpha_e = \frac{2\pi}{u_e} = \frac{4\pi}{Z(1-\gamma) \cdot b} \quad (16)$$

内圈接触角为:

$$\alpha_i = \frac{2\pi}{u_i} = \frac{4\pi}{Z(1+\gamma) \cdot b} \quad (17)$$

滚动体接触角为:

$$\alpha_g = \frac{2\pi}{u_g} = \frac{\pi D_g}{(1+\gamma) \cdot D_i} \quad (18)$$

要说明的是,在实际计算滚动体触频时,考虑到滚动体与保持架之间相互作用力较小,即使故障部位与保持架发生接触,所产生的振动冲击信号幅值也较小,因此,滚动体与保持架之间的接触可忽略不计。

轴承零件特征参量计算公式详见表 1。

表 1 轴承零件特征参量计算公式

零件 特征参量	零件		滚动体	
	外 圈	内 圈	$n_e = n, n_i = 0$	$n_i = n, n_e = 0$
触 频	$\frac{Z}{2} (1-\gamma) \cdot b$	$\frac{Z}{2} (1+\gamma) \cdot b$	$2(1-\gamma) \cdot \frac{D_e}{D_g}$	$2(1+\gamma) \cdot \frac{D_i}{D_g}$
零件接触角(°)	$\frac{4\pi}{Z(1-\gamma) \cdot b}$	$\frac{4\pi}{Z(1+\gamma) \cdot b}$	$\frac{\pi D_g}{(1-\gamma) \cdot D_e}$	$\frac{\pi D_g}{(1+\gamma) \cdot D_i}$