

“蛟龙”号载人潜水器运行与保障信息管理系统设计与应用

高翔¹, 孙超², 丁忠军¹, 宋宏², 赵晟娅¹, 祝普强²

(1. 国家深海基地管理中心 青岛 266237; 2. 中国科学院沈阳自动化研究所 沈阳 110016)

摘要:2017 年我国“蛟龙”号载人潜水器完成了为期 5 年的试验性应用,期间累计下潜 100 余次,形成和建立了科学完善的应用保障体系和专业的应用人才队伍。以“蛟龙”号试验性应用中运行与保障的实践经验为基础,针对其中设备与备品备件管理、运行作业管理、拆检总装管理、数据资料查询与利用等方面的重要需求,设计开发了一套“蛟龙”号载人潜水器运行与保障信息管理系统,通过信息化平台实现设备资源、作业成果以及经验积累传承之间的高效衔接与复用,最大限度地降低装备运行成本、提高作业效率、保障海上作业安全。文章提出的载人潜水器运维体系能够为我国其他行业或部门的载人潜水器、远程缆控机器人(ROV)、水下自治机器人(AUV)等重大海洋装备的运行与保障提供有益参考借鉴。

关键词:载人潜水器;设备管理;运行作业;拆检维修;信息管理系统

中图分类号:TP392;P7

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2018)11-0019-08

Design and Application of Operation and Maintenance Information Management System for JIAOLONG Manned Submersible

GAO Xiang¹, SUN Chao², DING Zhongjun¹, SONG Hong², ZHAO Shengya¹, ZHU Puqiang²

(1. National Deep Sea Center, Qingdao 266061, China;

2. Shenyang Institute of Automation, China Science Academy, Shenyang 110016, China)

Abstract: The Chinese manned submersible JIAOLONG has completed its five-year testing application during the year 2013 to 2017, with more than 100 dives in total, and has formed and established a comprehensive maintenance system and a professional supporting team for application. Based on the practical experience of the operation and maintenance of the submersible in its testing application, an operation and maintenance information management system for manned submersible has been designed and developed, to meet the important needs of the equipment and spare parts management, running and operating management, overhauling and assembling management, data and information querying and utilization and so on in practice. The proposed system

收稿日期:2018-04-12;修订日期:2018-09-30

基金项目:国际海域资源调查与开发“十三五”项目(DY135ZBJL01);国家自然科学基金青年基金(61703118);山东省泰山学者攀登计划工程(TSPD20161007)。

作者简介:高翔,高级工程师,博士,研究方向为载人潜水器信号处理与模式识别

could efficiently utilize the equipment resources and maintain achievements, accumulating and sharing the precious operating experience, with the information technology platform. This system can minimize the maintenance costs, improve the operating efficiency and ensure the operation safety on the sea. The manned submersible operation and maintenance system proposed in this paper can provide useful reference for the operation and maintenance of major marine equipment such as manned submersible, remote operated vehicle (ROV) and autonomous underwater vehicle (AUV) in other industries or departments.

Key words: Manned submersible, Equipment management, Running and operation, Disassembling and repair, Information management system

0 引言

2012 年,我国自主设计集成的“蛟龙”号载人潜水器成功完成 7 000 m 海试,我国成为继美国、法国、俄罗斯、日本之后世界上第五个掌握大深度载人深潜技术的国家^[1]。2013—2017 年,“蛟龙”号完成了为期 5 年的试验性应用,先后在中国南海、东北太平洋、西北太平洋、西南印度洋和西北印度洋等海域开展了 4 个航次、11 个航段近 500 天的下潜作业,累计完成下潜作业任务 101 次,成功搭载近 70 人次的科学家到深海现场进行作业,获得了大量海底样品和资料,在海洋地质、海洋生物等领域取得了令世界瞩目的科学考察成果^[2]。随着“蛟龙”号由试验转向应用,科学完善的应用保障体系和专业的应用人才队伍正在逐步建立与完善。

随着“蛟龙”号载人潜水器海上作业次数的增加和作业年限增长,系统各设备和部件在应用过程中的老化现象日益明显,因设备和部件寿命原因产生的故障逐年增加,潜水器本体及其水面支持系统各部件的维护保养以及备品备件的管理成为“蛟龙”号“用得好”的基础性条件。同时,随着“蛟龙”号科学考察任务多样性的增加以及海底作业环境更加复杂,“蛟龙”号的驾驶操作与技术保障团队积累了大量的潜水器运行、保障记录与经验,如何在团队发展建设中对实践形成的宝贵的技术经验进行高效传承和充分利用,并为后续载人潜水器的应用打下坚实的基础,是“蛟龙”号技术团队面临的重要问题。此外,“蛟龙”号载人潜水器由多家单位共同研发完成,其本体及其水面支持系统每次出航前的拆检维修维护与总装集成也是一个需要总体规

划和多方协调的重大任务,如何形成一套有效的技术管理与协调方法,有效降低“蛟龙”号及其水面支持系统的航前技术准备成本,提高备航效率,也是“蛟龙”号技术团队从潜水器试验性应用转向业务化运行面临的重要问题。

在计算机技术的发展与应用过程中,规范化的设备管理及其信息系统一直是计算机领域与管理领域交叉研究的热点问题之一^[3-5]。随着装备大型化和复杂化趋势的深入,装备维护、维修、大修(Maintenance, Repair, Operation and Overhaul, MRO)等一体化综合运维管理技术成为装备运行与管理的主流方向^[6-8]。近年来,我国在载人潜水器(HOV)、远程缆控机器人(ROV)、水下自治机器人(AUV)等一系列重大海洋装备领域以及研发与应用领域取得了跨越式发展。在重大海洋装备的应用过程中,如何有效地通过信息化平台支撑实现设备资源、作业成果、经验积累与传承之间的高效衔接与复用,以及形成一整套重大海洋装备的管理与运维技术体系,从而最大限度地降低装备运行成本、提高作业效率、确保海上作业安全,成为相关各方高度关注的热点。2016 年 7 月,国际海域资源调查与开发“十三五”项目“蛟龙号载人潜水器设备管理系统研发”由中国大洋矿产资源研究开发协会批准立项,本研究介绍了该系统设计与应用的成果,能够为我国重大海洋装备的运行与保障提供有益参考借鉴。

1 系统总体组成

“蛟龙”号载人潜水器运行与保障信息管理系统(以下简称“蛟龙”号运维系统)主要包含设备管

理、运行作业、拆检总装、统计汇总和基础配置五大功能模块(表 1)。各模块主要功能如下:①设备管理模块,进行载人潜水器及其水面支持系统的全部设备、部件、备品备件的资料、档案、库存及使用进行从系统级到零件级的全寿命管理;②运行作业模块,在载人潜水器下潜作业、海上航渡、港池演练和水池试验中,对载人潜水器各设备与部件的检查、维护、维修及备品备件更换与管理进行电子化记录;③拆检总装模块,在载人潜水器应用航次之前(或之后),对载人潜水器进行分系统及部件分拆、检查、维护、维修与重新组装的全过程进行信息化管理与过程控制;④统计汇总模块,进行载人潜水器设备及备品备件、4 类作业种类(下潜作业、海上航渡、水池试验、港池演练)、3 类运维任务(检查、维护、维修)以及故障信息的多功能检索、汇总与显示;⑤基础配置模块,对整个系统的页面、用户、角色与角色组等进行配置,为系统提供基础框架与数据。

表 1 系统总体功能模块

模块	功能
设备管理	设备树管理
	设备树资料库管理
	备品备件档案管理
	备品备件采购信息管理
	备品备件入出库管理
运行作业	航次航段信息管理
	运行作业类型管理
	作业表格与数据管理
	运维任务管理
	故障管理
拆检总装	任务池管理
	工程建立与任务下达
	拆检总装过程管理
	计划外任务管理
	工程报告生成
统计汇总	在役设备信息汇总与 3D 演示
	备品备件报告与预警
	潜水器运行作业统计
	运维任务汇总与 3D 演示
	故障汇总与 3D 演示
	拆检总装工作量统计与汇总

续表	
模块	功能
基础配置	页面配置
	用户配置
	角色与角色配置

本系统采用客户端—服务器(Client-Server, CS)结构实现:在服务器端利用 SQL Server Management Studio 软件建立数据库,存储系统的全部数据资源,利用 Microsoft Visual Studio 软件开发客户端界面,并通过 HTTP 服务提供客户端界面的安装部署服务。客户端通过高速以太网与服务器端连接,通过客户端界面对服务器端的数据库进行在线新增、修改、查询、删除、导出操作。

在软件架构方面,本系统采用数据存储层、应用服务层、客户端表示层的 3 层结构完成系统实现(图 1)。①数据存储层使用 SQL Server 数据库作为关系数据库,为上层应用提供稳定的数据支撑。关系数据库通过数据约束、外键关联等保障数据的完整性,通过索引等技术保障数据查询速度。数据库业务表针对系统的主要功能定义各类数据库表,实现系统各项信息的记录。②应用服务层主要用于实现业务逻辑,作为后台运行,为网络上的各客户端提供服务,是整个系统的核心。考虑系统的可靠性及可扩展性,系统的应用服务层基于实体映射框架、面向服务的架构(Service-Oriented Architecture, SOA)、Windows 通信开发平台(Windows Communication Foundation, WCF)框架进行构建。③客户端表示层采用 Visual Studio 软件编写,完成人一机交互的界面功能;采用 .NET WPF 的 MVVM(Model-View-ViewModel)设计模式进行系统设计和开发,通过 ViewModel 来定义 UI 特定的接口和属性,并且由一个 ViewModel 的视图绑定属性,进而实现了将视图(View)和模型(Model)进行分离,充分利用 WPF 的数据绑定技术,实现了 View 和 Model 之间的低耦合效果,提高了 View-Model 的可重用性,也有利于协同开发。

2 设备管理

设备管理是载人潜水器运维的重要方面之一,

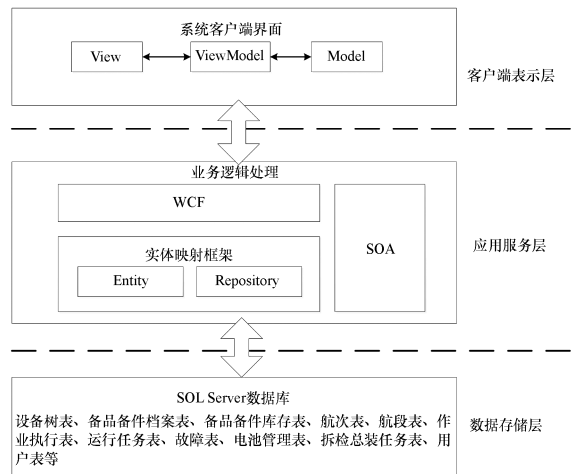


图 1 系统软件架构示意图

开展全面系统的设备管理能够有效地提高载人潜水器维护保障作业效率,降低人员与资金使用成本,提高运维作业效率。

2.1 设备树管理

载人潜水器设备树是指根据载人潜水器各系统和部件的总分关系和隶属关系,形成的一种由设备或部件节点及其之间的层次关系所组成的树状逻辑结构。设备树为整个“蛟龙”号运维系统的建立与运行提供基础性框架。“蛟龙”号技术团队根据“蛟龙”号试验性应用经验,将“蛟龙”号载人潜水器及其水面支持系统分为 2 个对象共 15 个分系统,每个分系统包括 2~5 层子节点,将每个子节点下开展维修维护作业的基本单元作为设备树的终端节点,则形成的设备树节点共计 1 600 余个(图 2)。

在建设备树后,应对设备树上每个节点及其备品备件进行唯一的识别编码,以实现每个设备信息的建档、查询、读取、输出等。设备树编码的格式为 QB03-SXZM-HID * 001 * 001,编码共分为 3 部分:①设备树码段,与设备树层次关系相对应,根据工作习惯用字母和数字对其进行编码,用“-”来分隔设备树父节点和子节点;②厂家型号码段,两个“*”之间的码段,用于区分同一设备树节点下不同厂家、不同型号的设备;③流水码段,若同一设备树节点下相同厂家型号的设备具有多个,此码段用来区分不同设备个体。

2.2 设备树资料库管理

以载人潜水器设备树为基础,对其各分系统和



图 2 “蛟龙”号载人潜水器设备树示意

各层节点建立相应的设备树资料库,对各设备或部件的产品图纸、产品说明书、随机软件、操作与使用技术规程、检查/维护/维修技术规程等资料进行电子化存储与统一编码,并关联至设备树相应节点,实现载人潜水器各设备或部件相关资料的高效查询与利用。

2.3 备品备件管理

备品备件管理主要通过数据表对载人潜水器设备或部件备品备件的相关信息录入、存储、查询、汇总与导出,实现备品备件资料的高效传递与利用,主要包括以下功能及关键信息字段。

- (1)档案信息管理,包括:名称、厂家、型号、配件、主要技术参数、生产厂家、安全库存量、厂家有效期、经验有效期、图片、注意事项。
- (2)采购信息管理,包括:采购设备名称、对应设备树编码、采购时间、供应商名称、供应商联系方式、采购单价、采购数量、生产日期、采购合同。
- (3)库存信息管理,包括:库位配置、库存量、入库时间、入库数量、出库时间、出库数量、出库原因。
- (4)更换信息管理,包括:更换时间、更换数量、更换原因。

(5)报废信息管理,包括:报废时间、报废数量、报废原因。

3 运行管理

运行作业管理是指在载人潜水器水池(或港池)试验、海上航渡、下潜作业等阶段,载人潜水器能够作为一个整体系统完成特定功能或任务,在此期间对载人潜水器整体系统的使用以及对其各设备与部件运行状态的检查、维护、维修及其备品备件的更换与管理。

3.1 航次、航段信息管理

“蛟龙”号载人潜水器以某一航次的组织实施作为运行作业的大时间单元,每个航次按照任务、海区及工作量不同可分为若干航段,每个航段约 30~45 天,可开展 15~20 个潜次的下潜作业。本部分以“蛟龙”号作业模式为基础,通过以下信息的有序统计整理,为更加详细的数据资料提供框架:①航次名称;②航次实际开始时间;③航次实际结束时间;④航段编号;⑤作业海区;⑥航段始发地;⑦航段结束地;⑧航段实际开始时间;⑨航段实际结束时间。

3.2 运行作业类型管理

“蛟龙”号载人潜水器在执行某一特定航次任务中,通常包括以下 4 类运行作业任务:①水池试验:在潜水器完成总装复原后,在其试验水池开展的功能复核、设备测试、人员培训等试验性或培训性下潜;②港池演练:在潜水器出航前,在潜水器基地港池内的母船上开展的全流程布放回收及下潜演练,旨在使潜航员、水面支撑队伍等全体人员熟悉各自岗位操作,加强磨合,尽快转入海上作业状态;③海上航渡:潜水器跟随母船离港出发后,在海上航渡期间开展的外观检查、通电检查等测试作业,旨在了解和确保潜水器技术状态;④下潜作业:潜水器在抵达作业海区后,根据航次设计和下潜作业计划开展的下潜作业任务。

“蛟龙”号运维系统规定了上述 4 种运行作业的类型,通过数据表记录潜水器所需记录的关键信息,并实现汇总。以最全面的下潜作业为例,该类型的关键信息字段如表 2 所示。

表 2 下潜作业的关键信息字段

关键字名称	类型	关键字名称	类型
总潜次	数字	开始下潜时间	时间
航次潜次	数字	抵达预定深度时间	时间
航段潜次	数字	抛载返航时间	时间
作业海区	字符串	抵达海面时间	时间
下潜类型	枚举	回收甲板时间	时间
主架驶	字符串	最大深度	数字
左舷人员	字符串	水中时长(分钟)	数字
右舷人员	字符串	海底作业时长(分钟)	数字
各就各位时间	时间	轻点经度(度)	数字
布放入水时间	时间	起点纬度(度)	数字

3.3 作业表格与数据管理

在“蛟龙”号下潜作业、海上航渡、港池演练、水池试验的工作实践中,“蛟龙”号技术团队的各专业系统和操作部门都形成了记录本系统检查与操作状态的规范化表格,“蛟龙”号运维系统以这些表格为基础,形成了一整套表格列表模板,通过统一的纸质表格扫描与电子文件自动匹配实现作业现场第一手资料的便捷存档。在此基础上,通过人工整理进一步提取各表格中具有关键意义的信息字段或数据,实现对潜水器技术团队检查与操作信息的全面数字化记录。图 3 为下潜作业的作业表格列表及其关键信息字段示例。



图 3 作业表格列表及关键信息字段示例

另一方面,“蛟龙”号载人潜水器控制系统在潜水器运行过程中也对潜水器各系统及传感器的数

据进行全过程记录,形成了数据包,该运维系统也可实现对该数据包的上传和读取,完整地掌握潜水器整个运行过程的技术状态,为后续进行潜水器下潜深度统计、下潜时长统计、电池电量统计、故障报警统计等数据分析及汇总打下基础。

3.4 运维任务管理

“蛟龙”号运维系统将“蛟龙”号载人潜水器运行与保障任务分为检查、维护、维修 3 类,考虑到三者在信息管理上的相似性,该系统进行统筹考虑,通过运维任务记录单实现相关信息的输入、汇总与输出等管理。

检查任务:指根据设备操作规程开展的有计划的测试性活动,旨在对系统功能或性能状态进行了解。检查记录单的关键信息字段包括:①检查任务名称;②检查对象;③开始时间;④结束时间;⑤检查地点;⑥检查背景与环境;⑦检查原因;⑧检查步骤与工艺;⑨检查结果;⑩总结与注意事项;⑪记录人;⑫参与人;⑬图片记录;⑭视频记录;⑮音频记录;⑯备注。

维护任务:指设备或部件在未出现异常情况下,根据设备操作规程开展的有计划的操作性活动,旨在维持系统原有功能或性能。维护记录单的关键信息字段包括:①维护任务名称;②维护对象;③开始时间;④结束时间;⑤维护地点;⑥维护背景与环境;⑦维护原因;⑧维护步骤与工艺;⑨维护结果;⑩总结与注意事项;⑪是否发生备件更换;⑫记录人;⑬参与人;⑭维护前图片记录;⑮维护后图片记录;⑯视频记录;⑰音频记录;⑱备注。

维修任务:指设备或部件出现异常情况之后,针对该异常进行的尝试恢复其原有功能或性能的操作性活动。维修记录单的关键信息字段包括:①维修任务名称;②维修对象;③开始时间;④结束时间;⑤维修地点;⑥维修背景与环境;⑦维修原因;⑧维修步骤与工艺;⑨维修结果;⑩总结与注意事项;⑪是否发生备件更换;⑫记录人;⑬参与人;⑭维修前图片记录;⑮维修后图片记录;⑯视频记录;⑰音频记录;⑱备注。

由于在实际作业中,上述 3 类任务相互之间可能存在因果联系,“蛟龙”号运维系统可通过链接实

现所有任务之间的因果关联,便于以后的技术分析与信息检索。

3.5 故障管理

故障管理也是“蛟龙”号载人潜水器运行与保障应用中极为重要的一个方面,是载人潜水器应用中技术知识积累与经验传承的重要环节。考虑到故障管理与检查、维护、维修在信息管理机制上的相似性,故障管理也采用记录单方式实现,并与检查、维护、维修记录单之间进行因果关联,实现信息链的有机结合。

故障记录单的关键信息字段包括:①故障名称;②故障时间;③故障地点;④故障设备或部件;⑤故障背景与环境;⑥作业编号;⑦故障现象描述;⑧现场采取措施;⑨故障原因;⑩故障处理与维修;⑪记录人;⑫参与人;⑬故障数据;⑭图片记录;⑮视频记录;⑯音频记录;⑰备注。

4 拆检总装管理

“蛟龙”号载人潜水器在每次出航前会进行不同程度的分拆与检查,对其载人舱、结构框架、浮力材料、耐压罐、缆线等关键部件进行检查与测试,确保其技术状态良好,同时对上一航次中出现技术故障或技术隐患的部件进行测试与维修。在完成拆检作业后,将潜水器总装复原,为水池试验及出航做好准备。拆检总装是一个需要总体规划和多单位、多系统协调的大型工程,“蛟龙”号运维系统的拆检总装管理模块旨在通过信息化手段完成拆检总装工程的任务设计、时间规划、过程控制、运维任务记录和报告生成等工作。

4.1 任务池管理

“蛟龙”号历次拆检总装工程的工作任务有很大相似性,为此采用“任务池”这一概念将拆检总装中涉及的全部任务进行涵盖。拆检总装工程任务池包括了“蛟龙”号各分系统历次拆检大修中涉及的全部任务的分系统、任务名称、作业对象及其设备树编码、预计所需时长等要素,作为建立某个特定拆检总装任务的基础数据库。

“蛟龙”号技术总负责人通过工作日历管理功能对任务列表中任务之间可能存在的先后顺序错误、时间冲突及时间长度不准确等进行调整,完成

每项任务的时间节点确认。在工作日历管理中,自动列出了该拆检总装工程所含的全部工作日及休息日,便于“蛟龙”号技术总负责人确定任务列表中全部任务的作业时间区间,也便于统计工时。当确定全部任务的时间节点后,即可完成任务下达。

4.2 工程建立与任务下达

当拆检总装任务下达后,“蛟龙”号技术总负责人在运维系统中建立一个新的拆检总装工程,所涉及的关键信息字段包括:①航次名称;②拆检总装工程名称;③计划开始时间;④计划结束时间。在工程建立后,“蛟龙”号各分系统负责人从各分系统的任务池中选择与添加本次拆检总装所计划开展的任务,加入任务列表,添加时应注明每个任务预计从该拆检总装工程的总第几天开始,系统将根据任务池的预计时长自动确定每个任务的时间区间。

4.3 拆检总装过程管理

任务下达后,系统可自动生成本次拆检总装工程的计划甘特图,为各分系统实际作业的时间控制和过程控制提供参考。在各项任务实际执行过程中,该系统将计划情况和实际执行情况用两条不同的进度条进行对比显示,同时在实际执行进度条中显示×××等信息,实现整个拆检总装过程的图形化显示与管理。每项任务在执行完毕后,相关的分系统负责人均需填写 3.4 节所述的检查、维护、维修运维任务记录单,实现对整个过程的全面记录。同时,在拆检总装过程中也应对发现的故障情况进行记录,填写 3.5 节所述的故障记录单。

此外,当有计划外的任务需求时,也可在拆检总装工程中随时添加计划外任务,并填写相应的检查、维护、维修运维任务记录单,额外添加的任务也一并显示在实际执行的甘特图进度条中统一管理。

4.4 工程报告生成

在完成阶段性任务后,系统将各分系统的阶段性技术报告进行上传与归档,当完成整个拆检总装的全部任务后,自动生成本次工程的完工报告。完工报告的内容包括:①航次名称与拆检总装工程名称;②本次工程的任务列表;③各任务(包括计划内和计划外)的计划甘特图 and 实际甘特图;④按照分系统和时间先后汇总的检查、维护、维修运维任务

记录单及故障记录单;⑤按照分系统汇总的阶段性技术报告;⑥本次拆检总装工程的总体技术结论报告。

5 统计汇总

前述的设备管理、运行作业和拆检总装 3 部分模块均以“蛟龙”号运行与保障过程中的信息“输入”为设计目标,为整个“蛟龙”号运维数据库提供信息来源和数据支撑,而统计汇总模块旨在立足运维数据库全局,对“蛟龙”号的重要运维信息进行汇总和“输出”。

5.1 “蛟龙”号数字化三维模型

利用 Solidworks 软件建立“蛟龙”号数字化三维模型,实现“蛟龙”号载人潜水器全系统的直观展示。

5.2 在役设备信息汇总与 3D 演示

根据设备树数据库汇总“蛟龙”号的在役设备清单,并通过列表显示当前各在役设备的档案、使用年限、寿命期查询、维护历史、维修历史及故障情况。该列表的部件也可投射至“蛟龙”号数字化三维模型进行直观演示。

5.3 备品备件报告与预警

自动生成备品备件库存报告,对各个备品备件的使用年限、存放年限与寿命期进行统计,对即将到寿命期的备品备件进行预警提醒,对到达库存数量下限警戒值的备品备件进行预警提醒,确保各系统各部件的备品备件库存完整。

5.4 潜水器运行作业统计

按照航次、航段、作业海区、下潜人员等关键字段进行下潜作业、海上航渡、港池演练、水池试验等运行作业的数据进行查询与汇总,生成统计报表。

5.5 检查、维修、维护、故障汇总与三维演示

对全部检查、维修、维护任务记录卡和故障记录卡按照分系统、设备树节点名称、设备树编码、航次、记录时间、关键字、记录人、等关键字段进行查询、汇总、分类与导出,绘制各分系统或特定设备部件的运维任务统计表和故障统计表,并将设备部件的历史运维情况和故障情况在“蛟龙”号数字化三维模型上进行显示。

5.6 拆检总装工作量统计与汇总

对历次拆检总装工程的数据资料进行统一检

索查询与汇总,对任务池中的各类任务进行实际作业时时长统计,针对某一拆检总装工程统计各分系统、技术人员的工作量。

6 基础配置

基础配置部分可对该系统的页面名称、导航目录的层次关系及显示顺序进行统一调整。同时,此部分也包含对该系统每个用户的用户名、密码、提醒 Email 地址等的管理功能;每个用户名可分配若干“角色”,每个“角色”规定了一种对系统不同页面和分系统数据的访问与修改权限;将各种“角色”组成不同的“角色组”,通过定义不同的“角色组”权限实现某个特定用户名的复杂权限交叉。

7 结语

本研究所介绍的“蛟龙”号载人潜水器运行与保障信息管理系统能够为载人潜水器应用中的设备与备品备件管理、运行作业管理、拆检总装管理、数据统计汇总等重要方面提供高效的信息化平台支撑,对于降低载人潜水器、ROV、AUV 等重大深

海装备的运行成本、提高作业效率、保障海上作业安全具有重要参考与借鉴意义。

参考文献

[1] 刘峰,李向阳.中国载人深潜蛟龙号研发历程[M].北京:海洋出版社,2016.

[2] 王晶.蛟龙号载人潜水器试验性应用五年成果综述[EB/OL]. (2017-06-27)[2018-09-27]. http://www.soa.gov.cn/xw/hyyw_90/201706/t20170627_56703.html,2017.

[3] 徐保强,李葆文,张孝桐,等.规范化的设备备件管理[M].北京:机械工业出版社,2008.

[4] 金博.设备管理流程设计及其系统开发[D].西安:西安理工大学,2008.

[5] 李琦.基于 SOA 的社会保障信息系统架构研究[D].南京:南京大学,2011.

[6] 刘增明.物联网环境下的复杂装备闭环 MRO 服务研究与应用[D].杭州:浙江大学,2017.

[7] 任佳妮,周立秋,杨阳,等.大型装备 MRO 知识管理系统研究[J].现代情报,2013,33(5):56-59.

[8] 李浩,纪杨建,祁国宁.面向全生命周期的复杂装备 MRO 集成模型[J].计算机集成制造系统,2010,16(10):2064-2072.