分类号 密级

华中农业大学液压传动课程论文

液压系统故障诊断技术的现状与发展趋势

**The status and development trend of hydraulic system fault diagnosis technology**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **姓名** | **:** | **王文凯** |
| **学号** | **:** | **2015307200406** |
| **专业班级** | **:** | **机制1605** |
|  |  |  |
| **学科** | **:** | **液压传动** |
| **指导教师** | **:** | **梁方** |

**华中农业大学工学院**

**中国·武汉**

目录

[摘要 i](#_Toc42431109)

[Abstract ii](#_Toc42431110)

[引言 一](#_Toc42431111)

[1.1 国外研究现状 I](#_Toc42431112)

[1.2 国内研究现状 I](#_Toc42431113)

[2 液压系统常见分析故障 I](#_Toc42431114)

[3 液压系统的故障机理 II](#_Toc42431115)

[3.1 设计原因 II](#_Toc42431116)

[3.2 使用原因 II](#_Toc42431117)

[4 液压系统故障诊断方法现状 III](#_Toc42431118)

[4.1 主观诊断法 III](#_Toc42431119)

[4.2 基于模型诊断法 III](#_Toc42431120)

[4.3 智能诊断技术 III](#_Toc42431121)

[4.3.1 基于专家系统的智能诊断技术 IV](#_Toc42431122)

[4.3.2 基于神经网络的智能诊断技术 IV](#_Toc42431123)

[5 液压系统故障诊断发展趋势 IV](#_Toc42431124)

[5.1 多种诊断知识相结合 IV](#_Toc42431125)

[5.2 经验理论和大数据相结合 V](#_Toc42431126)

[5.3 虚拟现实技术将得到重视和应用 V](#_Toc42431127)

[6 结论 V](#_Toc42431128)

[参考文献 VI](#_Toc42431129)

摘要

随着科技水平的不断提高，我国机械的制造能力不断加强。市场对于机械产品的需求量提高。无论是重型机械还是一些轻型加工机械乃至小型工具的驱动都离不开液压系统。由于其稳定高效的传动特点，被广泛应用于各种场景。液压系统的发展必将带动液压系统故障检测技术逐渐走向成熟。发展液压系统故障检测技术有利于液压系统故障快速高效的被检测，可以使人们通过科学的方法对存在的故障做出精确的识别，并采取相应的措施。从而为液压系统的安全稳定以及可靠运转提供保障。液压系统的故障诊断技术在人类生产生活中密切相关。本文主要对液压系统故障诊断技术研究现状以及发展趋势做出探讨。

关键词：液压系统；故障诊断技术；研究现状；发展趋势

Abstract

With the continuous improvement of the level of science and technology, my country's machinery manufacturing capacity has been continuously strengthened. The market demand for mechanical products has increased. Whether it is heavy machinery or some light processing machinery or even small tools, the drive is inseparable from the hydraulic system. Due to its stable and efficient transmission characteristics, it is widely used in various scenarios. The development of hydraulic system will surely drive the failure detection technology of hydraulic system to gradually mature. The development of hydraulic system fault detection technology is conducive to the rapid and efficient detection of hydraulic system faults, which enables people to make accurate identification of existing faults through scientific methods and take corresponding measures. So as to provide a guarantee for the safety and stability of the hydraulic system and reliable operation. The fault diagnosis technology of hydraulic system is closely related in human production and life. This article mainly discusses the research status and development trend of hydraulic system fault diagnosis technology.

Keywords: hydraulic system; fault diagnosis technology; research status; development trend

引言

随着液压技术与电子技术、计算机控制技术、传感器技术等不断发展。液压系统也逐渐向着精密化和复杂化发展，而且用途越来越广泛。保证液压系统安全稳定工作是一项艰巨而又重要的工作。因此，开展液压系统故障诊断方面的研究尤为重要。本文就液压系统的故障诊断技术的现状、发展、方法、未来趋势进行研究。对液压系统故障诊断的现状发表自己的观点。

* 1. 国外研究现状

液压系统故障诊断始于20世纪60年代[3]，以HUNT为首的英国Bath大学和ACOLLACOTT为首的英国及其保健和状态检测协会最先开始研究液压系统故障诊断技术，通过在液压能源上安装加速度传感器以及压力 传感器实现了 液压泵故障诊断，此时故障诊断的方法大多还处于直接参数测量和基于信号处理阶段。20世纪80年代初至20世纪90年代末，液压系统故障诊断技术特别是基于人工智能的诊断方法发展迅速。加拿大大学者TATGE和WINSTON研究了用于卫星跟踪天线驱动的液压系统故障诊断；WANG等开发了故障诊断专家系统以研究稳态液压伺服系统的故障监测以及诊断[4]；1991年英国Wales大学CARDIFF教授研究了液压系统基于多层感知机的神经网络故障诊断方法[5]；1999年CHR对动态专家系统进行研究，开发了相应的专家系统应用软件[5]；2003年，哥伦比亚学者LINARIC等采用神经网络非线性识别的方法 对电液伺服系统中的 故障进行建模，据此实现系统故障诊断。同年，加拿大学者AN等[10]采用广义卡尔曼滤波方法对液压系统状态进行了估计预算，实现液压系统电气环节的故障诊断。

* 1. 国内研究现状

在国内，液压系统故障诊断研究起步较晚，但是发展迅速。1986年浙江大学路甬祥、陈章位等对液压系统故障机理与诊断技术作了深入研究；1992年燕山大学赵永凯等、上海大学邱泽鳞和陆元章等利用振动信号进行了液压系统故障诊断研究；2000年燕山大学高英杰采用信号处理与人工智能诊断技术相结合的方法，实现对AGC(Automatic gauge conrol)液压系统的故障诊断；自1994年以来，北京航空航天大学自动化学院机械电子工程系开始从事液压系统故障诊断的研究，相继利用专家系统、神经网络、小波分析、鲁棒智能监测与诊断方法实现液压泵、液压舵机系统故障争端。王少萍在全面分析液压泵故障机理的基础上，采用神经网络、专家系统对液压泵故障全面深入研究，取得了良好的效果；1997年，董选民[4]对液压系统鲁棒性故障诊断做了有益研究，提出了基于神经网和模型观测器的鲁棒故障诊断策略。2003年杨光琴[5]对小波、小波包分析和多传感器信息融合技术在液压泵故障诊断中的应用作了大量研究；同年张若青[6]采用动态神经网络进行了液压余度舵机伺服系统故障诊断，并通过仿真和试验验证了多步预测神经网络对余度舵机进行故障诊断的有效性。

1. 液压系统常见分析故障

工程机械液压系统主要由液压泵、控制阀、变矩器、执行机构(液压马达和液压缸 )、变速器和动力换挡变速阀等组成, 其故障通常表现为行走和执行结构无力或迟缓、液压离合器接合不良、液压缸活塞的伸出和缩回不到位等。究其原因, 主要是由于系统或元件失效引起的, 这种失效通常表现为液压系统压力、流量和温度的变化。因此, 工程机械液压系统常见故障有[8]:

1. 液压系统表现无力和力不足。如执行机构不足以克服外界载荷, 系统建立不起压力, 执行机构无动作;需要同时联动的机构, 不能联动。执行机构这种推不动、举不起、拉不走的现象, 严重影响工程机械的工作效率。
2. 以液压为动力的运动机构不运动或运动不稳定, 或爬行。
3. 液压系统泄漏, 运动时的相对运动副, 管路联结, 液压元件固定联结等处漏汕或渗漏, 造成油液对环境的污染, 油液的浪费, 机械效率的降低, 严重时还将引起系统工作的不稳定和系统的破坏。
4. 液压系统温升过高, 油液变质变稀, 内泄加剧, 效率降低, 元件产生热变形, 破坏了配合件的配合精度与配合性质, 甚至造成元件的损坏。
5. 液压系统噪声强烈, 甚至产生啸叫, 引起系统剧烈振动, 不仅污染了工作环境, 而且可能使系统工作丧失其稳定性。
6. 系统堵塞, 元件损伤或断裂, 运动元件卡死或不能达到预定位置等都可能造成系统故障。
7. 液压系统的故障机理

液压系统工作中之所以发生故障，主要原因在于设计、制造、使用等诸方面存在故障根源，也即所谓原始故障:其次便是在正常使用条件下自然磨损、老化、变质而引起的故障，也即所谓自然故障。下面主要分析由于设计、创造、使用不当而产生的故障。

* 1. 设计原因

设计问题是关系到液压系统性能的根本问题，属先天性。比如，油液的污染会给液压系统带来一系列故障。在液压系统中，极易造成油液污染的地方是油箱。最常见的是“封闭性”设计不够合理，如在联接处接管处不加密封，导致污物渗入油箱。污染的油液进入液压系统中，加速液压元件的磨损、锈蚀、堵塞，最后导致故障的形成。近几年来国内外在液压油箱结构设计上对如何减少或杜绝污染物进入油箱问题上都做了不少有益的探索和实践。如德国力士乐公司的液压系统，全部采用了全封闭式油箱结构，由于油箱密闭，所以泵的进口处取消了吸汕口处的过滤装置，所有同油进入一个总回汕管路，在回油管口端加装一滤油装置，目的是过滤掉系统内由于元件磨损的残余物及从密封处进入系统的污物，以保持油箱内油液的清洁。这样的结构不仅避免了外界污物对油箱内油液的污染，而且由于吸油口去掉了过滤装置，使吸油阻力大大减少，从而可避免空穴现象，同时噪声和功率损失也相应减少。另外，悬浮在汕液中的空气，对系统工作是有害的。它降低油液的体积弹性模量，使系统失去刚性，产生气穴，增大功率损失，使系统产生噪声，元件遭受气蚀，降低元件使用性能与寿命，对油液产生氧化作用，使油液失去润滑性以及使油温升高等。悬浮于油液中的气泡，由于油液粘滞阻力的作用不易从油液中浮出液面，所以应当在油箱中增加滤除悬浮气泡的结构。

* 1. 使用原因

工程机械由于工作环境恶劣，其执行机构的活塞杆常裸露在外，被大气中污物所包围。杆在伸出缩进的往复运动中，不仅受到磨粒的磨损与大气，腐蚀性气体的锈蚀，而且还有可能从杆与导套的配合间隙中进入污物，污染油液可加速液压缸和组件的磨损。

1. 液压系统故障诊断方法现状
   1. 主观诊断法

主观诊断法主要是依靠简单的诊断仪器, 凭借个人的实践经验, 判别故障发生的部位及其原因。这种方法要求诊断人员掌握丰富的故障机理知识和诊断经验, 需利用系统或元件的结构、模型和功能等方面的知识, 综合分析才能了解。对典型的液压系统分析中, 常用的一些故障诊断方法有感官诊断法、故障树分析法、方框图分析法、液压系统图分析法等。主观诊断法具有方便、快捷、实用的特点, 在现阶段仍有一些液压设备用户在延用。但是它也存在着局限性, 由于人们的感觉不同, 判断能力和实践经验有差异, 因而对所掌握的客观情况的分析结果也就不同。采用这种方法来判断液压故障, 要求诊断人员必须具有较丰富的液压领域知识、经验知识及综合分析能力。此诊断方法是液压故障诊断发展的初级阶段, 只能对故障进行简单的定性分析, 做不到定量分析。

* 1. 基于模型诊断法

基于模型的诊断法是先运用一定的数学手段描述系统某些可测量特征量，这些特征量在幅值、相位、频率及相关性上与故障源之间存在着联系，然后通测量、分析、处理这些特征量信号，来判断故障源所在。这种方法实质上是以传感器技术和动态测试技术为手段，以信号处理和建模处理为基础的诊断技术。基于模型的诊断方法，虽然取得了显著的社会效益与经济效益，但它同样存在着一些局限，工业过程中的控制对象常常是复杂大系统，具有滞后、强耦合、参数时变等严重的非线性特征，且数学模型不存在或太复杂、噪声统计特性不理想，并存在过程不确定和外部干扰等因素，因而很难得到较准确的在线状态估计或参数估计，从而难以生成残差。基于信号处理和建模处理的故障诊断系统专用性强，一旦完成，诊断能力很大程度上也就确定了，其功能很难扩充或修改，并且人机接口的“柔性”很差。就此方法应用在液压系统而言，由于液压元件工作在封闭油路中，工作过程不像机械传动那样直观，也不像电气设备那样易于测量运行参数，影响液压系统特性的因素又多种多样，同时，液压系统存在伺服阀、执行器、管路和负载强烈的非线性时变环节，数学模型极其复杂，现有模型都是在各种假设和近似下得到的，因此，该方法在液压故障诊断的应用中受到了一定的限制。

* 1. 智能诊断技术

液压系统故障智能诊断技术是人工智能技术在液压系统故障诊断领域中的应用，它是计算机技术和液压系统故障诊断技术相互结合与发展进步的结果。智能诊断的本质特点是模拟人脑的机能，又能比人脑更有效地获取、传递、处理、再生和利用故障信息，成功地识别和预测诊断对象的状态。因此，智能诊断技术是液压系统故障诊断的一个极具生命力的发展方向。目前的智能诊断研究主要从两个方面开展:基于专家系统的故障智能诊断技术和基于神经网络的液压系统故障智能诊断技术。

* + 1. 基于专家系统的智能诊断技术

故障诊断专家系统是研究最多、应用最广的一类智能诊断系统，主要用于那些没有精确数学模型或很难建立数学模型的复杂系统。大致经历了两个发展阶段:基于浅知识的第一代故障诊断专家系统和基于深知识的第二代故障诊断专家系统[7]。近期出现的混合结构的专家系统，是将上述两种方法结合使用，互补不足。由于在专家系统中，知识通常是系统性、理论性较强的知识，因此求解结果可靠性高，并且由于知识是显式的，使其具有很好的解释能力。然而，专家系统在发展的同时遇到了知识获取的“瓶颈”、“窄台阶”等困难，使其支持能力受到较大的限制。

* + 1. 基于神经网络的智能诊断技术

神经网络具有的超高维性、强非线性等动力学特性，使其具有原则上容错、结构拓扑鲁棒、联想、推测、记忆、自适应、自学习、并行和处理复杂模式等功能，带来了提供最佳诊断性能的潜在可能性，解决了传统方法在知识表示、获取和并行推理等问题上的“瓶颈”问题。具体应用方式有:从模式识别角度应用神经网络作为分类器进行故障诊断;从预测角度应用神经网络作为动态预测模型进行故障预测;利用神经网络极强的非线性动态跟踪能力进行基于结构映射的故障诊断;从知识处理角度建立基于神经网络的诊断专家系统等。神经网络在出现新故障时通过自学习不断调整权值、闽值，以提高故障正确检测率，降低漏报率和误报率。

1. 液压系统故障诊断发展趋势

液压系统故障智能诊断技术是液压系统故障诊断技术的发展趋势。随着知识工程的发展及数据库、虚拟现实、 神经网络等技术的日新月异, 必然引起智能 故障诊断技术在各个方面的不断发展。

* 1. 多种诊断知识相结合

第4章介绍了多种诊断方法，再人工智能普及的当下，人们已经开始利用多种诊断知识相结合的方法来解决问题。[Juying Dai](https://link.springer.com/article/10.1186/s10033-019-0388-9" \l "auth-1)[11]等（2019）使用人信号采集方法来为人工智能检测故障奠定基础。通过信号的处理和提取，再将提取后的信号进行时域和频域内的转换，通过神经网络来进行故障识别。近几年来, 在面向对象程序设计技术的基础上, 发展起来了一种称为面向对象的知识表示方法, 为这一问题提供了一条很有价值的途径。在面向对象的知识表示方法中, 传统的知识表示方法如规则、 框架、语义网络等可以被集中在统一的对象库中, 而且这种表示方法可以对诊断对象的结构模型进行比较好的描述, 在不强求知识分解成特定知识表示结构的前提下, 以对象作为知识分割实体, 明显要比按一定结构强求知识的分割来得自然、贴切。另外, 知识对象的封装特点, 为知识库的维护和修正提供了 极大的便利。随着面向对象程序设计技术的发展, 面向对象的知识表示方法一定会在故障智能诊断系统中 得到广泛的应用。

* 1. 经验理论和大数据相结合

现代故障诊断多依赖于专家诊断系统和诊断理论，在大数据发展迅速的当下，我们可以将以往遇到的故障通过专家系统诊断后，建立故障数据库，再由电脑实现对每个数据库构成一个推理机。当我们遇到故障识，直接让电脑利用以往经验数据库进行自动推理识别，这样比起人工诊断效率要高出很多。同时，建立故障诊断数据库有利于诊断体系的不断完善，各种液压系统故障在将来都有可能被数据库覆盖。对于故障诊断系统来说, 知识库一般比较庞大, 因此可以借鉴数据库关于信息存储、共享、并发控制和故障恢复技术, 改善诊断系统性能。

* 1. 虚拟现实技术将得到重视和应用

虚拟现实技术是继多媒体技术以后另一个在计算机界引起广泛关注的研究热点, 它有四个重要的特征, 即多感知性、对存在感、交互性和自主性。从表面上看, 它与多媒体技术有许多相似之处, 如它们都是声、文、图并茂, 容易被人们所接受, 但是虚拟现实技术是人们通过计算机对复杂数据进行可视化操作以及交互的一种全新的方式, 与传统的人机界面如键盘 、鼠标、图形用户界面等相比, 它在技术思想上有了质的飞跃。可以预言, 随着虚拟现实技术的进一步发展和其在故障智能诊断系统中的广泛应用, 它将给故障智能诊断系统带来一次技术性的革命。

1. 结论

液压系统具有非常显著的现实作用，无论是重型机械还是生活中，液压系统已经是人类科技发展中不可或缺的一部分。液压系统属于自动化设备中的核心装置，其安全可靠运转会确保系统整体的安全运转。液压系统出现故障造成的损失是无法弥补的，对于企业对于个人来说，可能都是毁灭性的。所以对于液压系统就应该考虑优化、增强故障的识别技术，并结合所确定的信息来建立相应的处理方法，对系统故障做出高效防控，减缓企业财力上的损耗，从而为液压系统安全运转 和企业的持续稳定发展提供保障。

在人工智能以及大数据网络普及的当下，各行各业都在利用人工智能为人类谋福利，对于液压系统故障检测亦是如此，对于传统的信号分析方法费时费力，现如今人们可以利用人工智能对故障信号进行识别，而且比起传统的经验识别，人工智能检测的结果更具有科学意义，理论上比起人工检测更加精准。当所有的故障被数据库录入的时候，故障检测将变得像查字典一样轻松。并且在虚拟现实的基础上，人可以在电脑上模拟出整个故障产生的原因，复现故障变得简单。

液压系统故障诊断是人类必不可少的一项工作，也是在未来无法摆脱的一项艰巨任务。强化和发展诊断技术，是科技发展的必然趋势。

参考文献

1. 陈斌，王占林，裘丽华，机载液压系统的主要发展趋势[J].航空学报，1999，19(7):S1-S6.
2. 嵇国光，液压系统故障诊断与排除[M].北京：海洋出版社，1994.
3. 姜万录，基于混沌性质和多分辨分析的故障诊断理论及实验研究[D].秦皇岛：燕山大学，2001.
4. 董选民，鲁棒故障诊断及其在液压系统中的应用研究[D].北京：北京航空航天大学，1997.
5. 杨光琴，多传感器航空液压系统信息融合故障诊断研究[D].北京：北京航空航天大学，2003.
6. 张若青，基于动态神经网络的液压余度舵机系统故障诊断[D].北京：北京航空航天大学，2003.
7. 陈家焱, 陈章位, 液压系统故障诊断技术的现状与发展趋势[A]. 浙江:2008.
8. 王世明, 工程机械液压系统故障监测诊断技术的现状和发展趋势[A].上海：2009.
9. 周汝胜，焦宗夏，王少萍，液压系统故障诊断技术的现状与发展趋势.北京：2006.
10. AN L，SEPEHRI N. Hydraulic actuator circuit fault detection using extended kalman filter[C] Proceedings of the American Control Conference,Denver,Colorado,2003:4 261-4 266.
11. Juying Dai, Jian Tang, Shuzhan Huang ,Yangyang Wang, Signal-Based Intelligent Hydraulic Fault Diagnosis Methods: Review and Prospects. Chinese Journal of Mechanical Engineering volume 32, Article number: 75 (2019).