 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i11.8110

Design of Testing Platform for Motors and Generators of Point-the-Bit Rotary Steering System

Dongsheng Bao Weihong Zhu Runqi Zhou Haizhong Fu

China Oilfield Services Limited, Sanhe, Hebei, 065201, China

Abstract

To simulate the actual underground working environment to the maximum extent and accurately evaluate the reliability and durability of the driving motor and turbine generator of point-the-bit rotary steering system, a testing platform is proposed in this paper. Through hardware system design and software system development, automated reliability testing and life information acquisition for individual drive motors and turbine generators have been achieved. The results indicate that the testing platform meets the requirements of verification of components, promotes the underground failure verification of driving motors and turbine generators of point-the-bit rotary steering system, and has high industrial application value.

Keywords

Rotary steering; Pointing-the-bit; Motor; Turbine generator; Testing

面向指向式旋转导向电动机及发电机应用的综合测试平台设计

鲍东升 朱伟红 周润奇 付海中

中海油田服务股份有限公司，中国 · 河北 三河 065201

摘 要

为了最大程度模拟实际井下工况环境，准确评价指向式旋转导向系统的驱动电动机和涡轮发电机的可靠性和耐久性，研制了一种针对指向式旋转导向系统的驱动电动机和涡轮发电机的综合测试平台。通过硬件系统搭建和软件系统开发，实现了驱动电动机和涡轮发电机单品可靠性自动化测试及使用寿命信息获取。结果表明，该测试平台满足部件真实模拟验证能力，推进了指向式旋转导向驱动电动机和涡轮发电机井下工况失效验证工作，具备较高的产业化应用价值。

关键词

旋转导向；指向式；电动机；发电机；测试

1 引言

指向式旋转导向系统，相对于传统的推靠式旋转导向技术，其具有钻井效率高、井眼质量好、地层适应性强等优点，是国内目前主流油田服务公司在大力推广的技术，在定向井、水平井导向钻井领域发挥了重要作用[1, 2]。

指向式旋转导向工具的动力驱动主要包含偏置轴、偏置机构、偏心驱动机构和电控机构组成[3, 4]。其中，偏心驱动机有两大核心部件，电机和为电机提供电能的涡轮发电机。为了能够模拟和评估井下实际工况对电机和涡轮发电机的使用寿命影响，本文构建了面向指向式旋转导向系统的驱动电机和涡轮发电机应用的跟随式综合测试平台，以对电机和涡轮发电机可靠性和耐久性进行摸底测试。

【作者简介】鲍东升（1984–），男.，中国河北隆化人，硕士，从事石油测井仪器研发制造研究。

2 平台总体设计

综合测试平台的总体设计如图 1 所示，主要包括温控系统、驱动电动机测试系统和涡轮发电机测试系统。

其中，温控系统主要由加热主油箱、过滤器、油泵、循环油浴仓、冷却加热转换阀门、风冷却器组成。其功能主要是提供稳定的油浴温度环境，温度控制在 25℃（室温）~175℃，温控精度为 ±2℃，加温速度模拟井下工况，升温速度在 2 小时内达到设定值，以模拟被测设备带载情况。为了能够准确监测平台温度，系统分别在主油箱油温、循环油浴仓油温、拖动电动机温度、磁粉制动器温度设置了 4 个测温点。

驱动电动机测试系统主要由直流电源、变频器、驱动电路接口、动态扭矩传感器、磁粉制动器和磁粉制动控制器组成。其功能主要是在模拟井下环境下，测试电动机的输出曲线，以及对电动机进行阻抗测试和绝缘测试。

涡轮发电机测试系统主要由变频器、拖动电动机、电力表、整流电路、直流电子负载组成。其功能主要是模拟监测绕组变化和温度的关系，及发电机输出的线电压，对发电机进行阻抗测试和绝缘测试。

此外，综合测试平台还具有拖动发电机旋转和发电机带负载功能，以及驱动电动机旋转和电动机带负载功能。

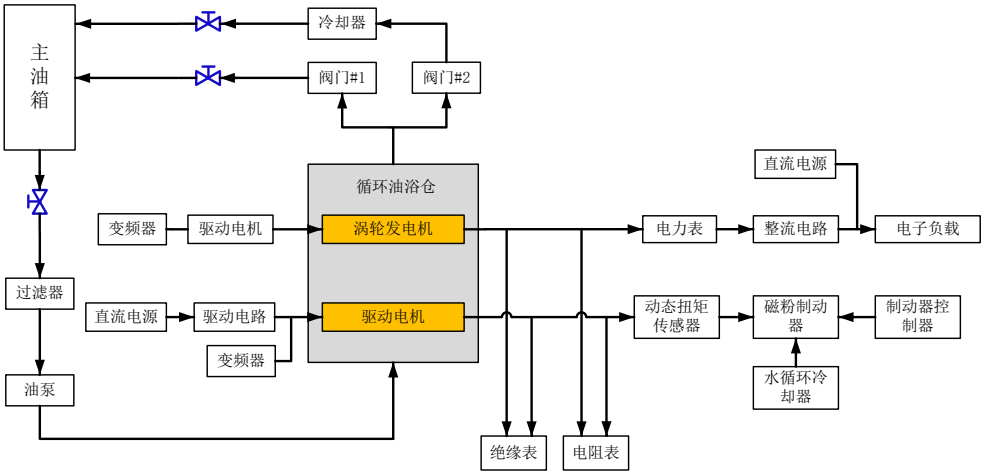


图 1 系统总体功能框图

3 系统硬件设计

温度控制系统硬件主要由油仓、传动装置、制动器、油泵、主油箱、冷却器和油路切换阀门等部件组成。各部件参数如下：

油仓最大液位≥ 300mm、支持最高温度≥ 145℃、加热功率≥ 15kW；冷却器的最大冷切功率≥ 0.3kW；主油箱最大液位≥ 300mm，支持温度≥ 145℃；油泵转速支持 1350R/min、转矩≥ 80%、功率≥ 1.5kW、电流≥ 1.25A。

发电机测试系统硬件主要由拖动电动机、电子负载、直流电阻表、绝缘表、电力表和整流板等电气部件组成。其主要部件参数如下：拖动电动机最大转速≥ 1350R/min、最大转矩≥ 80%、最大功率≥ 1.5kW、电流≥ 1.25A；涡轮发电机转速≥ 6500R/min、支持温度≥ 150℃；电力表支持最大电压≥ 45V、最大电流≥ 1.25A、频率≥ 250Hz；电子负载功率≥ 45W、测量电压≥ 45V，测量电流≥ 1.25A。

电动机测试系统硬件主要由发电机、直流电源、变频器、控制箱、驱动电动机、扭矩传感器和制动器等电气部件组成。其主要部件参数如下：直流电源最大输出电压≥ 90V、最大输出电流≥ 2A、最大输出功率≥ 350W；控制箱最大转速 1250R/min，最大转矩≥ 80%、最大输出功率≥ 1.5kW、最大电流≥ 1.25A；变频器最大转速 1250R/min，最大转矩≥ 80%、最大输出功率≥ 1.5kW、最大电流≥ 1.25A；电动机最大转速≥ 200R/min、支持最大温度≥ 150℃；扭矩传感器支持扭矩量程≥ 400N． m、动态响应时间＜ 4ms；磁粉制动器支持扭矩量程≥ 400N． m、最大转速≥ 800R/min。

4 系统软件设计

平台自动测试系统软件提供了良好的人机交互可视化界面，并能进行数据分析处理。自动测试软件系统包括人机交互界面、自检功能和数据库管理等三个部分组成。

4.1 系统软件工作流程

系统软件的工作流程如图 2 所示。系统软件开始工作，首先进行系统自检（依次为发电机控制系统自检、电动机控制系统自检、温度控制系统自检和阻抗测试系统自检），自检通过后，根据实际测试需求选择操作和测试项，操作和测试项包括温度控制、发电机阻抗测试、发电机绝缘测试、发电机带载测试、电动机阻抗测试、电动机绝缘测试、电动机带载测试等，可以选择部分或者全部测试操作项进行顺序测试。软件系统实时显示测试结果，可根据设置的测试阈值进行判断，当测试结果未通过，则测试流程停止，并提供出错信息形成报告。当全部测试项目完成并通过后，系统生成测试报告以便于用户保存下载。

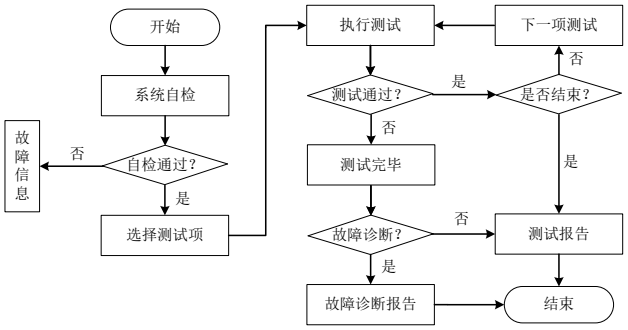


图 2 软件工作流程框图

4.2 系统温度控制流程

系统温度控制首先检查加温的油仓是否正常，若正常则系统根据设置的目标温度进行升温，升温期间可以根据需要更改目标温度、发电机目标转速、电动机转速、电子负载参数和制动器参数，也可以进行停止升温操作和升温再启动操作。当温控时间到达后，停止温度控制。当测试完成后，

启动温仓恢复室温控制。温度控制系统可以根据指令打开和关闭油仓盖，可对油仓发出排油指令。

4.3 发电机的阻抗测试和绝缘测试流程

发电机阻抗测试的测试内容有 AB 线阻抗、AC 线阻抗和 BC 线阻抗，发电机绝缘测试的测试内容包括 A 对外壳的绝缘性、B 对外壳的绝缘性和 C 对外壳的绝缘性。在发电机阻抗测试 / 绝缘测试中，需要等待拖动电动机停止后，才启动测试流程。在测试过程中，先切断负载继电器，闭合相关继电器，设置电阻表 / 绝缘表量程，开始发电机阻抗测试 / 绝缘测试。在发电机电阻 / 绝缘测试的时候，各项测试值均连续读取 8 次，再取平均值，完成后保存数据，断开相关的继电器。

5 测试验证

为了验证该综合测试平台的功能，采用该平台进行了发电机的阻抗、绝缘和带载测试，以及电动机的的阻抗、绝缘和带载测试。图 3 为温度控制测试曲线，设定的温度目标值为 88℃，从曲线可以看出，温度控制系统能够准确将测试系统温度控制在目标温度值。

表 1 为涡轮发电机的阻抗测试和绝缘测试结果，表 2 为驱动电动机的阻抗测试和绝缘测试结果，与被测设备参数基本吻合。

图 4 和图 5 分别为发电机和电动机的带载测试曲线，其有功功率能稳定到特定功率值。

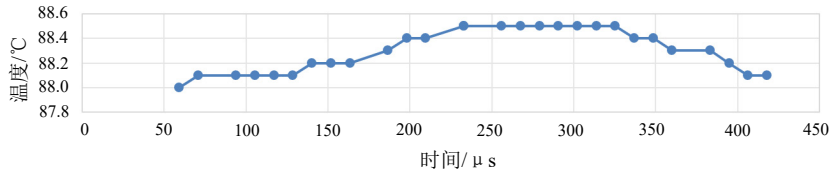


图 3 温控测试曲线

表 1 发电机阻抗测试和绝缘测试结果

阻抗测试（温度 88℃，液位 200mm）		绝缘测试（温度 88℃，液位 200mm）	
相线	实测值（Ω）	相线	实测值（MΩ）
A-B	3.447	A- 外壳	10
A-C	3.446	B- 外壳	10
B-C	3.447	C- 外壳	10

表 2 电动机阻抗测试和绝缘测试结果

阻抗测试（温度 88℃，液位 200mm）		绝缘测试（温度 88℃，液位 200mm）	
相线	实测值（Ω）	相线	实测值（MΩ）
U-V	5.368	U- 外壳	2000
U-W	5.355	V- 外壳	2000
V-W	5.356	W- 外壳	2000

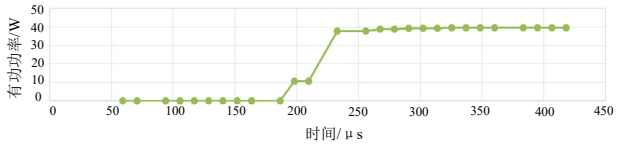


图 4 发电机带载测试曲线



图 5 电动机带载测试曲线

6 结语

本文设计的面向指向式旋转导向电动机及发电机应用的综合测试平台，通过硬件测试系统构建和系统测试软件开发，实现了系统温度控制、涡轮发电机的阻抗测试、绝缘测试和带载测试，以及驱动电动机的阻抗测试、绝缘测试和带载测试。测试结果表明，该测试平台能够在模拟井下工况环境下，实现驱动电机和涡轮发电机的可靠性和耐久性测试评估，有效提高了指向式旋转导向关键部件的失效验证效率。

参考文献

[1] 苏义脑, 窦修荣, 高文凯等. 油气井随钻测量技术发展思考与展望. 石油科学通报[J]. 2023, 8(5): 535-554.

[2] 苏义脑, 窦修荣, 高文凯等. 旋转导向系统研究现状与发展趋势. 钻采工艺[J]. 2024, 47(03) : 1-8.

[3] 冯定, 王鹏, 张红等. 旋转导向工具研究现状及发展趋势. 石油机械[J]. 2021, 49(07): 8-14

[4] 吴鑫鑫. 国外商业化旋转导向钻井工具发展现状. 内蒙古石油化工[J]. 2021, 47(11): 39-41.