|  |  |
| --- | --- |
| 编号 | QKZQ-436A\_CS\_DC\_V2.00 |
| 密级 | 非密 |
| 阶段标记 | S |

|  |  |
| --- | --- |
| 档号 |  |
| 保管期限 |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **名称** | Q/KZQ-436A供输油泵控制器 |
|  | 软件配置项测试说明 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 单位 | 控制工程部 | |
| 编写 | | 杨朝江20230428 |
| 校对 | | 唐春茂20230428 |
| 审核 | | 刘政华20230428 |
| 批准 | | 郑自伟20230428 |

|  |
| --- |
| 会签 |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |
|  |

|  |  |
| --- | --- |
| **贵州航天林泉电机有限公司** | |
|  | |
| **名称** |  |
|  | |
| **名称** |  |
|  | |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 内容摘要：  本说明适用于Q/KZQ-436A供输油泵控制器软件开发过程中软件实现、软件测试、软件产品评价等，检验对设计说明的符合情况，用于指导该软件项目的测试工作。 | | | | |
| 主  题  词 | 软件测试说明 | | | |
| 更  改  栏 | 更改单号 | 更改日期 | 更改人 | 更改办法 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

目录

[1 范围 4](#_Toc71379152)

[1.1 标识 4](#_Toc71379153)

[1.2 系统概述 4](#_Toc71379154)

[1.3 文档概述 5](#_Toc71379155)

[2 引用文档 5](#_Toc71379156)

[3 测试准备 5](#_Toc71379157)

[3.1 硬件准备 5](#_Toc71379158)

[3.2 软件准备 5](#_Toc71379159)

[3.3 其他测试前的准备 6](#_Toc71379160)

[3.4 测试计划 6](#_Toc71379161)

[4 测试说明 6](#_Toc71379162)

[4.1 功能配置项测试说明 6](#_Toc71379163)

[4.1.1 DM\_IN\_0001 上电初始化 6](#_Toc71379164)

[4.1.2 DM\_IN\_0002 上电自检 7](#_Toc71379165)

[4.1.2 DM\_IN\_0002 11路模拟模拟信号采集 7](#_Toc71379166)

[4.1.4 DM\_IN\_0004 霍尔信号采集 8](#_Toc71379167)

[4.1.5 DM\_IN\_0005 闭环调速 8](#_Toc71379168)

[4.1.6 DM\_IN\_0006 周期自检 8](#_Toc71379169)

[4.1.7 DM\_IN\_0007 自保护停机 9](#_Toc71379170)

[4.1.8 DM\_IN\_0008 RS422通讯 9](#_Toc71379171)

[4.1.9 DM\_IN\_009故障数据存储单元 9](#_Toc71379172)

[5 需求的可追踪性 10](#_Toc71379173)

[5.1 软件设计说明-软件配置项测试说明 10](#_Toc71379174)

[5.2 软件配置项测试说明-软件设计说明 10](#_Toc71379175)

[6 注释 10](#_Toc71379176)

# 范围

## 标识

供输油泵控制器软件是针对供输油泵控制器控制功能单元开发的功能软件，对文档标识号、文档标题、术语和缩略语等定义如下：

文档标识号：QKZQ-436A\_CS\_DC\_V2.00；

文档标题：Q/KZQ-436A供输油泵控制器软件配置项测试说明。

本文档中的术语和缩略语：

软件：供输油泵控制器软件

适用系统：供输油泵控制器控制系统

## 系统概述

Q/KZQ-436A供输油泵控制器是X4项目供输油泵电机的驱动部件，控制器驱动电机带动泵体高速旋转，为供输油泵提供动力。Q/KZQ-436A供输油泵控制器软件嵌在控制器DSP中，接收RIU下发的控制器指令，驱动电机按指令运行，并向RIU实时上传电机的运行参数。控制器采用单DSP控制，未考虑余度设计。



图1 供输油泵控制器系统原理框图

软件属于嵌入式实时系统软件，实现供输油泵的控制功能：1）软件执行上电自检功能，对系统运行的初始状态进行判断；2）采集各路模拟量，一方面用于闭环调速算法的数据输入，另一方面用于自保护功能的数据输入；3）具备自保护停机功能；4）接收RIU控制指令，实时上传电机的运行参数及BIT故障检测信息；5）具备数据存储功能。

供输油泵控制器软件的需方：航空工业新航103厂；

供输油泵控制器软件的开发方：贵州航天林泉电机有限公司；

供输油泵控制器软件的保障机构：贵州航天林泉电机有限公司质量管理部；

供输油泵控制器设备交联图如图2所示。



图2 供输油泵控制器设备交连图

## 文档概述

该文档主要对软件的配置项测试进行说明，以便于指导软件的配置项测试。

# 引用文档

引用文档见表1所示。

表1引用文档

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 文档编号、标识 | 文档标题 |
| 1 | QFv.G(33)06 | 项目管理程序 |
| 2 | QFv.G(33)18 | 不符合项、问题和缺陷处理规程 |
| 3 | QFv.G(33)10 | WBS分解指南 |
| 4 | QFv.G(33)08 | 风险管理规程 |
| 5 | QKZQ-436A\_XQ\_RW\_V2.00 | 供输油泵控制器软件任务书 |
| 6 | QKZQ-436A\_XQ\_XQ\_V2.00 | 供输油泵控制器软件需求规格说明 |

# 测试准备

## 硬件准备

CSCI运行的硬件环境：

计算机，Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU [E7500@2.93GHz](mailto:E7500@2.93GHz)CPU；

仿真器：SEED-XDS510PLUS；

Q/KZQ-436A供输油泵控制器硬件平台。

## 软件准备

CSCI运行的软件环境：

a) MICROSOFT WINDOWS XP PROFESSIONAL EDITION SERVICE PACK 2；

b) Code Composer Studio Versior 3.3 1.00；

c) 上位机通讯软件（以VC++为基础工厂自行开发）；

d) VC++6.0。

## 其他测试前的准备

由于软件测试中涉及相关通电检查，因此需准备270V直流电源（1台），28V电源，RS422差分转串口转接头。

## 测试计划

按照项目计划，源代码完成评审，入受控库之后，即2023年2月1日至2023年2月22日期间执行软件测试。软件系统测试完成后，若发现问题，软件负责人应及时与用户代表协调处理问题并达成一致意见。

# 测试说明

由于该软件为嵌入式软件，其功能运行脱离不了供输油泵控制器，并且其合格的判据与硬件参数有关，因此测试中结合硬件功能对软件的测试说明进行阐述。

## 配置项测试说明

通过对《供输油泵控制器软件任务书》以及对软件性能要求的解析，软件功能主要为：

* 上电初始化任务(M1)；
* 上电自检单元任务(M2)；
* 外部模拟量信号采集任务(M3)；
* 霍尔位置信号采集单元任务(M4)
* 闭环调速单元任务(M5)；
* 周期自检单元任务(M6)；
* 自保护停机单元任务(M7)；
* RS422通讯单元任务(M8)；
* 故障数据存储单元任务(M9)。

### 4.1.1DM\_GN\_0001上电初始化

该部分名称：上电初始化，标识：INITIAL。

DSP上电初始化执行的操作是初始化各变量参数、系统的时钟、中断向量表、SPI、SCI、ADC采样、EV事件管理器。该功能模块的测试是对DSP各寄存器赋初值，使其工作在一个稳定的状态。

表2 EV测试

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| PWM斩波频率 | 死区 | GPIOA15 | GPIOA8 | GPIOA7 |
| 10K | 2.4us | 高电平 | 高电平 | 高电平 |

该功能模块无法设定BIT检测方式，因此需手动方式检测：1）在控制器连接仿真

器状态下，读取寄存器的值；2）通过示波器测量输出信号。

测试说明：测试上电初始化后软件的状态是否满足配置要求。

### 4.1.2 DM\_GN\_0002 上电自检

该部分名称：上电自检，标识：POWER\_UP。

自检是控制器上电后，需对内部的关键功能单元电路（母线电流、霍尔位置信号、存储器、母线电压、温度）等状态进行判断，以得到控制器是否具备工作状态的条件。该部分是通过上位机上电自检故障位检测，读取上位机状态按钮，评判其功能的正确性。

测试说明：测试上电自检项目是否满足自检逻辑及故障上报要求。

### 4.1.3 DM\_GN\_0003 6路模拟量采集

该部分名称：模拟量采集，标识：ADCCAIY。

本系统由于考虑到BIT设计以及电机的驱动控制，共有6组外部采样采样周期100us。该6路模拟量信号输入至DSP的AD采集端口，经过滤波、平滑和量值变换，处理后的数据用作实时保护（上电自检、周期自检及自保护停机），并通过RS422串口发送给RIU。软件功能为：开辟DSP的A/D采样单元，将外部处理的信号转换成内部需要的处理数据。

测试说明：为了验证A/D的正确性，通过定点测试模拟电源电压实际值与软件采集值进行比较，验证采集精度是否满足要求。

表3 模拟采样参数列表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 采样参数 | 采样周期 | 采样处理 | 滤波处理 |
| 270V电源电压 | 100us | 直接读取ADC结果寄存器 | 一阶平滑滤波 |
| 270V电源电流 | 100us | 直接读取ADC结果寄存器 | 减去电流采样的零点，求32次平均，再进行一阶平滑滤波 |
| 控制器温度 | 100us | 直接读取ADC结果寄存器 | 求256次平均，再进行一阶平滑滤波 |
| 控制器温度 | 100us | 直接读取ADC结果寄存器 | 求256次平均，再进行一阶平滑滤波 |
| U相电流 | 100us | 直接读取ADC结果寄存器 | 在计算电流闭环时，减去电流采样的零点，再进行一阶平滑滤波 |
| V相电流 | 100us | 直接读取ADC结果寄存器 | 在计算电流闭环时，减去电流采样的零点，再进行一阶平滑滤波 |

### 4.1.4 DM\_GN\_0004电机转速闭环调节

该部分名称：闭环调速，标识：SPEED。

闭环调速单元是软件的核心控制单元，该单元需运行在上电自检通过后的待机状态，在该状态下，软件在接收到控制指令后，通过电流传感器检测的相电流，估算电机转子的位置并计算得到电机转速，再经过转速闭环计算得到PWM输出信号，驱动电机运转。

测试说明：测试电机输出的转速、功率、启动时间等是否满足要求。

### 4.1.5 DM\_GN\_0005周期自检

该部分名称：周期自检。

软件周期性的对270V电源母线电流、270V电源电压、控制器温度、转速等参数进行检测，并根据参数的特性设置连续故障判断的周期和阈值，在故障位被置位后，通过RS422串口将故障位，按通讯协议的上报要求发送到机上RIU。

测试说明：需测试参数故障连续判断周期和阈值的准确性。

### 4.1.6 DM\_GN\_0006自保护停机/降额运行

该部分名称：自保护停机/降额运行，标识：PROTECT。

控制器具备自保护停机功能，通过周期性采样电机运行各关键参数，及时有效的对控制器进行保护。

测试说明：该模块需测试停机保护阀值设置的准确性和合理性，以及恢复正常后，电机能否正确的执行相应的启动操作。

### 4.1.7 DM\_GN\_0007 RS422通讯

该部分名称：RS422通讯，标识：RS422。

RS422通讯接口用于软件与机上RIU进行通讯，软件一方面接收机上RIU下发的控制指令，另一方面以100ms周期上传电机关键参数及BIT故障信息等。数据发送以中断的方式进行，通讯和数据传递的格式遵循《Q/KZQ-436A供输油泵控制器串口通讯协议》的相关规定。

测试说明：需测试串口通讯中的帧头、数据位、校验位等数据。

### 4.1.8 DM\_GN\_0008 硬线启停控制

该部分名称：硬线启停控制，标识：HardLine。

硬线启停控制信号的优先级最低。当RS422通信1通道与RS422通信2通道通讯均出现通讯故障，软件切换至28V硬线控制信号，硬线控制信号高电平有效，控制档位如表7所示。当RS422任意一路通讯恢复时，从硬线控制方式切换回RS422控制。

测试说明：测试在串口故障下，硬线能否运行电机。

### 4.1.9DM\_GN\_0009故障数据存储单元

该部分名称：故障数据存储，标识：STORE。

上电初始化后，软件接收RS422串口下发的设备编号，通过SPI总线写入E2PROM中，该操作仅在上电后执行1次。若写入不成功，最多允许执行3次写入。

上电初始化后，若RS422通道1和通道2均报故，则软件通过SPI总线读取存储在E2PROM中的设备编号作为系统当前运行的设备编号。

测试说明：测试数据读、写的正确性。

## 接口测试

### 4.2.1 DM\_IN\_0001 6路模拟采样接口

6路内部模拟信号采集分别为控制器温度、270V电源电流、270V电源电压、电机温度等参数。采用定时器中断触发采样，采样周期100us。该接口采集的数据一方面参与到闭环调速控制，另一方面用作实时保护（自保护停机），并通过RS422串口发送给RIU。

测试说明:A/D模拟采集接口传递的数据元素见表12。通过使用信号发生器注入表6信号，然后通过仿真器连接DSP读取模拟信号采集数值量进行验证。

表4 传递的数据元素

| 元素标识 | 描述 | 数据类型 | 参数范围 |
| --- | --- | --- | --- |
| ADCRESULT0 | 270V电源电压 | Int16 | -32767～32767 |
| ADCRESULT1 | 电机温度采集 | Int16 | -32767～32767 |
| ADCRESULT2 | 270V电源电流 | Int16 | -32767～32767 |
| ADCRESULT7 | 控制器温度采集 | Int16 | -32767～32767 |
| ADCRESULT14 | U相电流 | Int16 | -32767～32767 |
| ADCRESULT8 | W相电流 | Int16 | -32767～32767 |

### 4.2.2 DM\_IN\_0002 RS422串口1

发送：RS422通讯接口用于软件与RIU进行通讯，软件通过串口以100ms周期上传电机关键运行参数、BIT故障信息。

接收：RS422通讯\_接收接口用于软件接收RIU下发的控制指令。软件在接收到操作指令后，根据指令执行相应的操作。

测试说明：通过电脑USB口连接RS22通讯转接器，然后使用上位机读取通讯数据，解析反馈数据对应通讯协议。通过上位机察看电机运行参数。

### 4.2.3 DM\_IN\_0003 RS422串口2

发送：RS422通讯接口用于软件与RIU进行通讯，软件通过串口以100ms周期上传电机关键运行参数、BIT故障信息。

接收：RS422通讯\_接收接口用于软件接收RIU下发的控制指令。软件在接收到操作指令后，根据指令执行相应的操作。

测试说明：通过电脑USB口连接RS22通讯转接器，然后使用上位机读取通讯数据，解析反馈数据对应通讯协议。通过上位机察看电机运行参数。

### 4.2.4 DM\_IN\_0004 28V信号启停接口

软件接收28V启停信号，当28V信号有效时（输入开关信号为高电平），电机启动，28V信号无效时（输入开关信号为低电平），电机停转。连续判断1000次，剔除开关信号抖动影响。

测试说明：通过数值电源，给定高低电平，当给出启动信号时，电机工作，当给停止信号时，电机停止工作。

### 4.2.5 DM\_OUT\_0001 PWM信号输出接口

软件在接收到控制指令后，采集电机的霍尔位置信号，执行闭环调速后，输出6路PWM信号，输出的PWM信号频率为10K，该信号在经过驱动放大后，驱动电机运行。

测试说明:使用示波器测试输出PWM，通过示波器读取PWM周期，计算PWM频率，判断是否满足要求输出PWM。

### 4.2.6 DM\_OUT\_0002 E2PROM读写接口

上电初始化后，软件接收RS422串口下发的设备编号，通过SPI总线写入E2PROM中，该操作仅在上电后执行1次。若RS422通道1和通道2均报故，则软件通过SPI总线读取存储在E2PROM中的设备编号作为系统当前运行的设备编号。

测试说明：通过仿真器读取EEPROM数据察看数据是否与当前数据一致。

# 需求的可追踪性

### 5.1 软件设计说明-软件配置项测试说明

表5 软件设计说明与软件配置项测试说明的追踪

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 软件设计说明 | | 软件配置项测试说明 | |
| 章节 | 软件设计 | 章节 | 测试说明 |
| 4.1.1 | SM\_GN\_0001上电初始化 | 4.1.1 | DM\_IN\_0001 上电初始化 |
| 4.1.2 | SM\_GN\_0002 上电自检 | 4.1.2 | DM\_IN\_0002 上电自检 |
| 4.1.3 | SM\_GN\_0003 6路模拟量采集 | 4.1.3 | DM\_IN\_0003 6路模拟信号采集 |
| 4.1.4 | SM\_GN\_0004 闭环调速 | 4.1.4 | DM\_IN\_0004闭环调速 |
| 4.1.5 | SM\_GN\_0005周期自检 | 4.1.5 | DM\_IN\_0005 周期自检 |
| 4.1.6 | SM\_GN\_0006自保护停机 | 4.1.6 | DM\_IN\_0006自保护停机 |
| 4.1.7 | SM\_GN\_0007 RS422通讯 | 4.1.7 | DM\_IN\_0007 RS422通讯 |
| 4.1.8 | SM\_GN\_0008硬线启停控制 | 4.1.8 | DM\_IN\_0008硬线启停控制 |
| 4.1.9 | SM\_GN\_0009数据存储 | 4.1.9 | DM\_IN\_0009数据存储 |
| 4.2.1 | SM\_JK\_0001 A/D模拟采样接口 | 4.2.1 | DM\_IN\_0001 A/D模拟采样接口 |
| 4.2.2 | SM\_JK\_0002 RS422通讯接口1 | 4.2.2 | DM\_OUT\_0002 RS422通讯接口1 |
| 4.2.3 | SM\_JK\_0003 RS422通讯接口2 | 4.2.2 | DM\_OUT\_0003 RS422通讯接口2 |
| 4.2.4 | SM\_JK\_0004 硬线启停接口 | 4.2.4 | DM\_IN\_0004硬线启停接口 |
| 4.2.5 | SM\_JK\_0005 PWM信号输出接口 | 4.2.5 | DM\_OUT\_0005 PWM信号输出接口 |
| 4.2.6 | SM\_JK\_0006 E2PROM读写接口 | 4.2.6 | DM\_OUT\_00006 E2PROM读写接口 |

### 5.2 软件配置项测试说明-软件设计说明

表6 软件配置项测试说明与软件设计说明的追踪

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 软件配置项测试说明 | | 软件设计说明 | |
| 章节 | 测试说明 | 章节 | 软件设计 |
| 4.1.1 | DM\_IN\_0001 上电初始化 | 4.1.1 | SM\_GN\_0001上电初始化 |
| 4.1.2 | DM\_IN\_0002 上电自检 | 4.1.2 | SM\_GN\_0002 上电自检 |
| 4.1.3 | DM\_IN\_0003 6路模拟信号采集 | 4.1.3 | SM\_GN\_0003 6路模拟量采集 |
| 4.1.4 | DM\_IN\_0004闭环调速 | 4.1.4 | SM\_GN\_0004 闭环调速 |
| 4.1.5 | DM\_IN\_0005 周期自检 | 4.1.5 | SM\_GN\_0005周期自检 |
| 4.1.6 | DM\_IN\_0006自保护停机/降额运行 | 4.1.6 | SM\_GN\_0006自保护停机/降额运行 |
| 4.1.7 | DM\_IN\_0007 RS422通讯 | 4.1.7 | SM\_GN\_0007 RS422通讯 |
| 4.1.8 | DM\_IN\_0008硬线启停控制 | 4.1.8 | SM\_GN\_0008硬线启停控制 |
| 4.1.9 | DM\_IN\_0009数据存储 | 4.1.9 | SM\_GN\_0009数据存储 |
| 4.2.1 | DM\_IN\_0001 A/D模拟采样接口 | 4.2.1 | SM\_JK\_0001 A/D模拟采样接口 |
| 4.2.2 | DM\_OUT\_0002 RS422通讯接口1 | 4.2.2 | SM\_JK\_0002 RS422通讯接口1 |
| 4.2.3 | DM\_OUT\_0003 RS422通讯接口2 | 4.2.3 | SM\_JK\_0003 RS422通讯接口2 |
| 4.2.4 | DM\_IN\_0004硬线启停接口 | 4.2.4 | SM\_JK\_0004 硬线启停接口 |
| 4.2.5 | DM\_OUT\_0005 PWM信号输出接口 | 4.2.5 | SM\_JK\_0005 PWM信号输出接口 |
| 4.2.6 | DM\_OUT\_00006 E2PROM读写接口 | 4.2.6 | SM\_JK\_0006 E2PROM读写接口 |

# 注释

CSCI 计算机软件配置项；

r/min 转/分。