|  |  |
| --- | --- |
| 档 号  保管期限 |  |
|  |

|  |  |
| --- | --- |
| 编 号 |  |
| 密 级 | 非密 |
| 阶段标记 | C |

|  |  |
| --- | --- |
| 名 称 | **J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器** |
| **C转S研制总结报告** | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 单位 | 控制研发部/电机研发部 | |
| 编写 | |  |
| 校对 | |  |
| 审核 | |  |
| 会签 | |  |
| 标审 | |  |
| 批准 | |  |

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

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

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 内容摘要：  本报告对J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器的初样研制过程、地面试验情况、出现的技术问题及解决情况、产品达到的战术技术性能、尚存问题及解决措施等进行总结，在总结的基础上梳理产品的技术状态，并形成产品初样研制阶段的意见。 | | | | |
| 主 题 词 | 电机 控制器 研制总结 | | | |
| 更 改 栏 | 更改单号 | 更改日期 | 更改人 | 更改办法 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

目 录

[1研制任务来源及研制依据 6](#_Toc130381916)

[1.1 研制任务来源 6](#_Toc130381917)

[1.2 研制引用依据 6](#_Toc130381918)

[2 产品概述 9](#_Toc130381919)

[2.1 使命任务及作战使用要求 9](#_Toc130381920)

[2.2 产品组成、主要功能及技术指标 9](#_Toc130381921)

[2.2.1 产品组成 9](#_Toc130381922)

[2.2.2 产品主要功能 10](#_Toc130381923)

[2.2.3 主要技术指标 11](#_Toc130381924)

[3研制过程 13](#_Toc130381925)

[3.1工程研制阶段 13](#_Toc130381926)

[3.1.1 初样研制阶段 13](#_Toc130381927)

[3.5关键技术攻关情况 13](#_Toc130381928)

[3.5.1相电流波形畸变的攻关情况 13](#_Toc130381929)

[4 设计试验情况 15](#_Toc130381930)

[4.1 性能测试 15](#_Toc130381931)

[5 出现的技术问题及解决情况 15](#_Toc130381932)

[5.1 电机长时运转停机问题 15](#_Toc130381933)

[5.2 功能振动后电机不工作问题 16](#_Toc130381934)

[6 主要配套产品的定型（鉴定）情况及质量、供货保障情况 16](#_Toc130381935)

[7 产品可靠性、维修性、保障性、测试性、安全性情况 20](#_Toc130381936)

[7.1 可靠性设计情况 20](#_Toc130381937)

[7.1.1 可靠性要求 20](#_Toc130381938)

[7.1.2可靠性设计的开展情况 21](#_Toc130381939)

[7.1.3可靠性评价 21](#_Toc130381940)

[7.2 维修性设计情况 21](#_Toc130381941)

[7.2.1维修性要求 21](#_Toc130381942)

[表9 平均修复时间(MTTR) 22](#_Toc130381943)

[7.2.2维修性设计的开展情况 22](#_Toc130381944)

[7.2.3维修性评价 22](#_Toc130381945)

[7.3 保障性设计情况 23](#_Toc130381946)

[7.3.1保障性要求 23](#_Toc130381947)

[7.3.2保障性设计的开展情况 23](#_Toc130381948)

[7.3.3保障性评价 23](#_Toc130381949)

[7.4测试性设计情况 23](#_Toc130381950)

[7.4.1测试性要求 23](#_Toc130381951)

[表10 测试性指标表 23](#_Toc130381952)

[7.4.2测试性设计的开展情况 24](#_Toc130381953)

[7.4.3测试性评价 24](#_Toc130381954)

[7.5 安全性设计情况 24](#_Toc130381955)

[7.5.1安全性要求 24](#_Toc130381956)

[7.5.2安全性设计的开展情况 24](#_Toc130381957)

[7.5.3安全性评价 25](#_Toc130381958)

[8 贯彻产品标准化大纲情况 25](#_Toc130381959)

[8.1 标准的贯彻实施情况 25](#_Toc130381960)

[8.2 通用化、系列化、组合化情况 26](#_Toc130381961)

[8.2标准化程度评价 27](#_Toc130381962)

[9 产品质量、工艺性、经济性评价 27](#_Toc130381963)

[9.1 产品质量评价 27](#_Toc130381964)

[9.1.1采购质量控制 28](#_Toc130381965)

[9.1.2产品代料的质量控制 28](#_Toc130381966)

[9.1.3器材出库的质量控制 28](#_Toc130381967)

[9.1.4外协质量控制 28](#_Toc130381968)

[9.1.5生产过程质量控制 28](#_Toc130381969)

[9.1.6试验控制 29](#_Toc130381970)

[9.2 产品工艺性评价 29](#_Toc130381971)

[9.2.1 设计文件工艺性审查的情况 29](#_Toc130381972)

[9.2.2 主要工艺说明 29](#_Toc130381973)

[9.2.3 关键过程控制情况 30](#_Toc130381974)

[9.2.4 工艺效果分析 30](#_Toc130381975)

[9.3 产品经济性评价 30](#_Toc130381976)

[10 产品达到的战术技术性能 30](#_Toc130381977)

[11 产品尚存问题及解决措施 31](#_Toc130381978)

[12 结论 31](#_Toc130381979)

**J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器C转S研制总结报告**

# 1研制任务来源及研制依据

## 1.1 研制任务来源

J60TY1200永磁同步电机及Q/KZQ-411控制器（以下简称“电机及控制器”）项目是由航空工业新航103厂委托我厂进行研制生产，依据成品协议书开展相关研制设计工作。

该产品由电机本体（代号：J60TY1200）和控制器(代号：Q/KZQ-411)组成，电机本体和控制器在机上安装于泵体，通过电缆进行电气连接。控制器采用270V直流电源供电，通过接收RIU的RS422通讯指令、28V/开起停控制信号，驱动电机按设定的指令运行，具备自检、故障告警等功能。

## 1.2 研制引用依据

贯彻的标准和法规见表1，引用的规范见表2，引用文件见表3。

表1 贯彻的标准和法规

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 文件号 | 文件名称 |
|  | GB 9386-1988 | 计算机软件测试文件编制规范 |
|  | GJB/Z 141-2004 | 军用软件测试指南 |
|  | GJB 150A-2009 | 军用设备环境试验方法 |
|  | GJB 151A-1997 | 军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求 |
|  | GJB 152A-1997 | 军用设备和分系统电磁发射和敏感度测量 |
|  | GJB 181B-2012 | 飞机供电特性 |
|  | GJB 368B-2009 | 装备维修性工作通用要求 |
|  | GJB 438B-2009 | 军用软件开发文档通用要求 |
|  | GJB 439-1988 | 军用软件质量保证规范 |
|  | GJB 441-1988 | 机械电子设备机箱、安装架的安装形式和基本尺寸 |
|  | GJB 450A-2004 | 装备可靠性通用要求 |
|  | GJB/Z 457-2006 | 机载电子设备通用指南 |
|  | GJB 900-1990 | 系统安全性通用大纲 |
|  | GJB 1132-1991 | 飞机地面保障设备通用规范 |
|  | GJB 1268A-2004 | 军用软件验收要求 |
|  | GJB 1362-1992 | 军工产品定型程序和要求 |
|  | GJB 1364-1992 | 装备费用-效能分析 |
|  | GJB 1371-1992 | 装备保障性分析 |
|  | GJB 1387-1992 | 机载电子设备与系统的热性能鉴定通风要求 |
|  | GJB 2041-1994 | 军用软件接口设计要求 |
|  | GJB 2196-1994 | 飞机随机工具通用规范 |
|  | GJB 2882-1997 | 机载电子设备通风冷却系统通用规范 |
|  | GJB 2489-1995 | 航空机载设备履历本及产品合格证编制要求 |
|  | GJB 2490 | 飞机电气设备选择和安装通用要求 |
|  | GJB 2522-1995 | 机载电子对抗设备通用显示字符和显示格式 |
|  | GJB 2536-1995 | 机载惯性导航装置接口要求 |
|  | GJB 2547-1995 | 装备测试性大纲 |
|  | GJB 2786A-2009 | 军用软件开发通用要求 |
|  | GJB 2873-1997 | 军事装备和设施的人机工程设计准则 |
|  | GJB 2993-1997 | 武器装备研制项目管理 |
|  | GJB 3206-1998 | 技术状态管理 |
|  | GJB 3207-1998 | 军事装备和设施的人机工程要求 |
|  | GJB 3274-1998 | 飞机地面保障设备需求分析报告通用要求 |
|  | GJB 3872-1999 | 装备综合保障通用要求 |
|  | GJB 3968-2000 | 军用飞机用户技术资料通用要求 |
|  | GJB 4355-2002 | 备件供应规划要求 |
|  | GJB 5000A-2008 | 军用软件研制能力成熟度模型 |
|  | GJB 5098-2002 | 飞机非航空电子与航空电子系统接口控制通用要求 |
|  | GJB 5188-2003 | 飞机地面自动测试设备通用技术要求 |
|  | GJB 5235-2004 | 军用软件配置管理 |
|  | GJB 5576-2006 | 飞机保障设备使用维护手册编制要求 |
|  | GJB 6387-2008 | 武器装备研制项目专用规范编写规定 |
|  | GJB 6389-2008 | 军用软件评审 |
|  | GJB 6600-2008 | 装备交互式电子技术手册 |
|  | GJB 9001B-2009 | 质量管理体系要求 |
|  | GJB/Z 69-1994 | 军用标准的选用和剪裁导则 |
|  | GJB/Z 99-1997 | 系统安全工程手册 |
|  | GJB/Z 113-1998 | 标准化评审 |
|  | GJB/Z 114A-2005 | 产品标准化大纲编制指南 |
|  | HB 5870-1985 | 航空辅机产品运输包装通用技术条件 |
|  | 科工委[2004]176号 | 武器装备研制生产标准化工作规定 |
|  | 国务院、中央军委582号 | 武器装备质量管理条例 |
|  | 国发[2005]32号 | 军工产品定型工作规定 |
|  | 国防科研项目计价管理办法 | [1995]计字第 1765 号 |
|  | RTCA/DO-160G | 机载设备环境条件和试验方法（第 22 章，雷电部分章节） |

表2 XX装备型号专用规范

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 文件号 | 文件名称 |
|  | XX-00-156 | XXX项目接口控制文件管理制度 |
|  | XX-00-491 | XXX项目质量保证大纲 |
|  | XX-00-729 | XXX项目成品、功能附件二维码管理规定 |
|  | XX-00-128 | XXX项目技术状态管理计划 |
|  | XX-01-57 | XXX项目环境工程工作计划 |
|  | XX-01-48 | XXX项目腐蚀防护与控制工作计划 |
|  | XX-01-7 | XXX项目成品、附件环境适应性分析程序与方法 |
|  | XX-01-266 | XXX项目环境试验验证要求 |
|  | XX-01-338 | XXX项目机载成品隐身管理规定 |
|  | XX-01-71 | XXX项目无人机机载成品重量管理规定 |
|  | XX-01-475 | XXX项目成品、附件环境适应性设计指南 |
|  | XX-09-1020 | XXX项目机载液冷设备与环控分系统热接口要求及管理办法 |
|  | XX-01-1024 | XXX项目内部外露颜色喷涂方案报告 |
|  | XX-14-28 | XXX项目电子电气设备电磁兼容性设计要求 |
|  | XX-14-6 | XXX项目电子电气设备电磁兼容性管理规定 |
|  | XX-14-1012 | XXX项目成品搭接电阻测试技术要求 |
|  | XX-16-67 | XXX项目系统、设备寿命设计程序和方法 |
|  | XX-16-33 | XXX项目系统、设备维修性设计程序与方法 |
|  | XX-16-2 | XXX项目系统、设备保障性设计程序与方法 |
|  | XX-16-31 | XXX项目系统、设备安全性设计程序与方法 |
|  | XX-16-30 | XXX项目系统、设备可靠性设计程序与方法 |
|  | XX-16-522 | XXX项目电子元器件ZZKK工作要求 |
|  | XX-16-523 | XXX项目电子元器件国产化应用验证程序和方法 |
|  | XX-16-36 | XXX项目系统、设备测试性设计程序与方法 |
|  | XX-16-519 | XXX项目油品油料选用要求 |
|  | XX-16-380 | XXX项目电子元器件优选目录 |
|  | XX-16-11 | XXX项目电子元器件破坏性物理分析工作管理要求 |
|  | XX-16-12 | XXX项目电子元器件降额设计与热设计要求 |
|  | XX-16-9 | XXX项目电子元器件二次筛选要求 |
|  | XX-16-21 | XXX项目电子元器件工作管理规定 |
|  | XX-16-22 | XXX项目电子元器件工作计划 |
|  | XX-16-49 | XXX项目测试性工作计划 |
|  | XX-16-170 | XXX项目安全性工作计划 |
|  | XX-16-148 | XXX项目可靠性工作计划 |
|  | XX-16-1 | XXX项目维修性工作计划 |
|  | XX-16-149 | XXX项目综合保障工作计划 |
|  | XX-17-1062 | XXX项目产品标准化工作管理要求 |
|  | XX-17-51 | XXX项目标准化大纲 |
|  | XX-17-973 | XXX项目机载材料和基础机电产品ZZKK工作要求 |
|  | XX-00-727 | XXX项目成品三维模型通用要求 |
|  | XX-19-73 | XXX项目成品管理要求 |
|  | XX-20-1009 | XXX项目成品用户技术资料通用要求 |
|  | XX-20-1010 | XXX项目成品履历本及产品合格证编制要求 |
|  | XX-20-1021 | XXX项目培训保障要求 |
|  | XX-26-238 | XXX项目软件需求管理规定 |
|  | XX-26-999 | XXX项目软件配置管理规定 |
|  | XX-26-1003 | XXX项目软件研制过程监控要求 |
|  | XX-26-1002 | XXX项目关键软硬件ZZKK工作要求 |
|  | XX-26-40 | XXX项目系统软件研制管理规范 |
|  | XX-26-843 | XXX项目可编程逻辑器件软件研制管理规范 |
|  | XX-26-1038 | XXX项目可编程逻辑器件软件需求规范 |
|  | XX-26-1039 | XXX项目可编程逻辑器件软件设计规范 |
|  | XX-26-1040 | XXX项目可编程逻辑器件软件编码规范 |
|  | XX-26-237 | XXX项目系统软件需求规范 |
|  | XX-26-242 | XXX项目系统软件设计规范 |
|  | XX-26-47 | XXX项目系统软件编码规范 |
|  | XX-27-740 | XXX项目光、电连接器选用细则 |
|  | XX-27-756 | XXX项目线束综合与隔离技术要求 |
|  | XX-27-746 | XXX项目成品线束技术要求 |
|  | XX-27-760 | XXX项目光、电线缆选用细则 |
|  | XX-01-781 | XXX项目限费设计技术要求 |
|  | XX-29-1000 | 机体表面成品外形精度控制要求 |
|  | XX-11-1047 | 装机设备热及流动特性模型开发和管理要求 |
|  | XX-00-156 | XXX项目接口控制文件管理制度 |

表3 引用文件

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 版本号 | 文件名称 |
|  | R2022-025 | 《永磁同步电动机/控制器任务书》 |
|  | J/CLB42-XY-202201 | 《电机及控制器成品技术协议书》 |

# 2 产品概述

## 2.1 使命任务及作战使用要求

该产品由电机本体（代号：J60TY1200）和控制器(代号：Q/KZQ-411)组成，为泵提供动力，电机本体和控制器安装于泵体，通过电缆进行电气连接。控制器采用270V直流电源供电，通过接收RIU的RS422通讯指令、28V/开起停控制信号，驱动电机按设定的指令运行，具备自检、故障告警等功能。系统内部结构示意图如图1所示。



图1 内部结构示意图

## 2.2 产品组成、主要功能及技术指标

2.2.1 产品组成

按照LRU功能划分，控制系统由电机及控制器两部分组成，即控制器，代号Q/KZQ-411；电机，代号：J60TY1200。

控制器从硬件功能分可以分成：辅助电源单元设计、主控电路单元、通信单元、存储单元、信号采集及处理单元、功率单元、滤波单元。

下面分别阐述其设计过程，从SRU的角度来分，可以分为控制板组件；驱动板组件；滤波组件。整个控制器的结构组成如图2。

J60TY1200电机主要由定子、转子、前后端盖、石墨轴承、密封圈和电连接器组成，其结构图如图3。

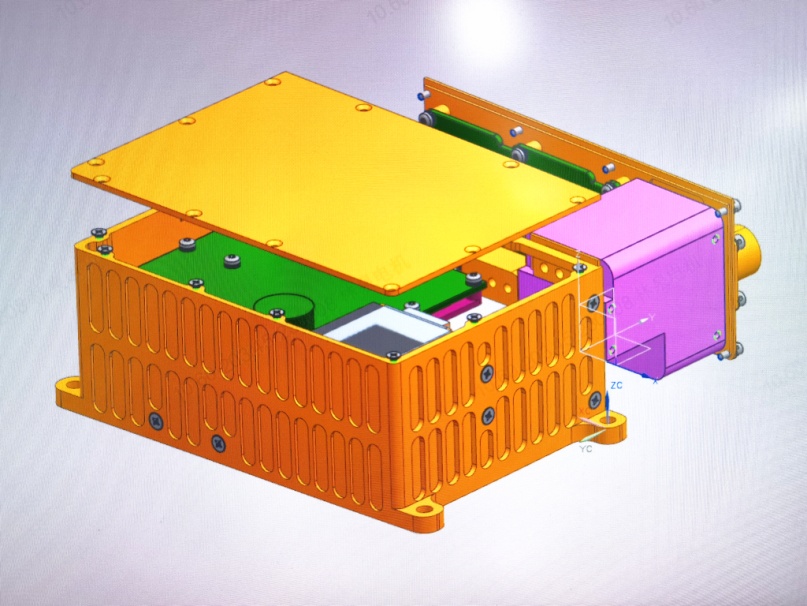


图2 控制器结构组成图



图3 J60TY1200电机结构图

2.2.2 产品主要功能

控制器对液冷泵中的电机转动进行控制，使电机带动泵体叶轮旋转，具备电机故障报警功能。

控制器主要包括以下5项功能：

a）用电输入及输出

将系统提供的28V直流电转化为15V、5V直流电，提供28V、15V、5V电源供电机、控制器本身、传感器使用；

b）信号采集及存储

1) 控制器具有存储信息的功能，并能够通过RS422通信的形式供维护计算机读取。

2) 采集压差传感器输出的信号，存储在控制器内部，并以RS422通信的形式上传RIU。

3) 采集位移传感器输出的信号，存储在控制器内部，并以RS422通信的形式上传RIU；

4) 采集电机电流、转速、电机温度信号，存储在控制器内部，并以RS422通信的形式上传RIU；

c）具有典型故障检测功能。

d）具有重新启动功能：28V不掉电，270V直流电断电后重新上电，电机能重新启动。

e）电机启停控制功能

控制器与RIU通过RS422及硬线方式交联；

RIU通过RS422及硬线控制电机的启动与停止；

RS422控制的优先级高于硬线方式，RS422控制详见接口控制文件，硬线方式如：

1）输出28V时，电机启动；

2）输出0V时，电机不启动。

2.2.3 主要技术指标

#### 2.2.3.1性能指标

该成品的主要性能如下：

a）电源电压：DC28V,DC270V；

b）电机转速：（12000±100）r/min；

c）电机旋向：从轴伸端向电机本体看为顺时针；

d）电机输入功率：≤1600W；

e）输出功率：≥1200W；

f）最大瞬态（电流尖峰值）启动（低温、常温启动）或工作（低温、常温工作）电流小于额定电流的5倍，尖峰持续时间小于100ms。

g）控制器带有启动BIT及周期BIT功能。

h）起动性能：常温启动时间不大于8s；建压时间不大于10s；

i）轴向窜动≤0.15mm，径向跳动≤0.05mm。

j）冷却方式：电机本体内部进冷却液冷却。

k）低温起动要求：当冷却液及环境介质温度为-55℃，电机起动扭矩不小于1.96N.m，启动时间不大于10s；

l）密封性：不允许外部泄露；

m）承压压力不小于1.5 MPa；

n）绝缘电阻不小于20MΩ。

o）连续工作时间：≥24h

#### 2.2.3.2电气接口要求

控制器具备与RIU通信功能，具体内容另行签署通讯协议；产品外部光、电连接器的选用应按XX-27-740《XXX项目光、电连接器选用细则》的要求执行；配对使用的光、电连接器插头、插座及其后附件从同一厂家订货；泵体外部接口两处柔性连接。

表4 光、电连接器对接情况

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 分级名称 | 型号 | 承制单位 |
| 1 | 控制器270VDC电源接口 | JY27496E11MB02PN（插座）  JY27467T11ME02SN（插头）  HE-ME10（直） | 158厂 |
| 2 | 控制器通讯接口 | JY27496E11MB35PN（插座）  JY27467T11ME35SN（插头）  HE-ME10（直） | 158厂 |
| 3 | 液冷泵电源接口 | JY27496E13MB13SN（插座）  JY27467T13ME13PN（插头）  HE-ME10（直） | 158厂 |
| 4 | 控制器传感器供电接口 | JY27496E11MB35SN（插座）  JY27467T11ME35PN（插头）  HE-ME10（直） | 158厂 |

#### 2.2.3.3机械接口要求

J60TY1200电机外廓尺寸不大于Φ70mm×117；控制器外廓尺寸不大于227mm×130mm×65mm（包含耳片），底板面积为216mm×130mm（包含耳片），通过底板上直径5.4mm的孔，用M5螺栓螺母连接在结构安装架上，具体大小以协调数模为准。

#### 2.2.3.4重量要求

控制器重量：1.25Kg；

液冷泵电机：1.15Kg；

成品研制过程中，重量设计与控制流程必须严格遵照XX-01-71《XX项目机载成品重量管理规定》执行。不满足重量指标或未完成重量指标协调的成品不允许开展转阶段工作。

#### 2.2.3.4软件研制要求

a) 软件配置项名称为：液冷泵控制器软件，重要度等级为：重要。

b) 功能要求

控制器自检测功能，版本显示功能，液冷泵起停、控制和保护功能，应用程序功能，硬件驱动功能，信号采集功能，原位升级功能。

c) 研制与管理要求

在产品研制全过程，承制单位应当进行软件质量保证策划，按照GJB438B-2009《jun用软件开发文档通用要求》、GJB439A-2013《jun用软件质量保证通用要求》、GJB9432-2018《jun用可编程逻辑器件软件开发通用要求》、XX-26-40《XXX项目系统软件研制管理规范》及XX-26-843《XXX项目可编程逻辑器件软件研制管理规范》的要求开展软件质量管理工作，对本单位软件产品的质量保证措施提出具体要求；设置相对独立的质量保证人员，对软件研制过程进行质量监督和过程审查；分别形成本单位承制软件产品的质量保证计划（主要包括软件质量策划机构和职责，遵循的法规、标准和规程，待审核的活动、产品和审核时机，不符合项的解决方法，实施的工具、技术和方法，记录的控制等），并邀请103厂及相关顾客代表机构参与评审。

# 3研制过程

电机及控制器的研制工作从2021年开始，至2023年2月，完成了初样阶段的研制工作。根据用户提出的技术协议，开展了电机及控制器的详细设计，并完成三套样机的研制工作。

## 3.1工程研制阶段

3.1.1 初样研制阶段

2022年2月至2023年2月为工程研制初样阶段，完成了三套工程样机的研制，样机的技术指标满足任务书要求，并与液冷泵进行了系统联试，在该研制阶段完成的主要工作：

1）完成了控制器的硬件设计；

2）完成了控制器的硬件单元仿真；

3）完成了控制器的结构设计；

4）完成了相关定制器件技术协议的签订。

5）完成了电机电磁的优化仿真；

6）完成了电机结构设计；

7）完成了产品结构的力学仿真，优化了产品的结构设计；

8）完成了产品的热仿真，优化产品的结构的布局；

9）开展了可靠性设计、维修性设计、测试性设计、保障性设计、安全性设计及适航性设计；

10）完成了软件任务书的清理；

11）完成了C阶段的详细设计评审；

12）开展了软件的工程化设计；

13）完成了3套工程样机的研制；

14）完成了产品与103厂、134厂系统试验，产品功能、性能满足协议书要求；

## 3.5关键技术攻关情况

本阶段主要的关键技术是解决产品的相电流波形畸变、高功率密度电机及控制器设计问题等问题。

3.5.1相电流波形畸变的攻关情况

永磁同步电机相电流波形畸变会导致电机输出的电磁转矩脉动，从而限制了永磁同步电机在调速范围宽、控精度高等场合的使用范围，影响了电机的性能。根据电机控制策略详细分析了导致相电流波形畸变的几种可能性，针对电流波形畸变，采取了以下措施：

1）考虑到电流波形会受到谐波的影响，利用永磁同步电机的谐波数学模型和一种采用欧拉-傅里叶公式实时提取三相电流的高次谐波分量的方法设计谐波抑制程序，抵消电机运行时电机定子电流中的谐波分量；

2）通过深入分析产品硬件电路，判断电流波形畸变与电流采样点时机估算不准确有一定关联，优化相关程序，使用当功率管开关稳定时的采样值参与计算；

通过改进，大幅度改善了相电流波形。

3.5.2高功率密度控制器设计攻关情况

航空用高功率密度无位置永磁同步电机控制器已成为新一代机型供油、输油和液冷泵的首选方案，控制器具有小尺寸、轻量化、高功率密度，同时包容多种功率等级电机的特征，轻量化话设计关键在于率全桥电路模块化是产品无线化轻量化设计的重要组成部分，模块化功率全桥电路的设计原则是便于拆装维护，轻量化，具有较高散热效率。如图4所示，功率全桥模块由散热板、功率管、功率盖板、绝缘导热垫片组成。

散热板用于安装固定功率管并提供功率管表面散热面，功率管焊接引脚向上伸出对接驱动印制板组件。

功率管数量为6只，形成三相全桥完整电路。

绝缘导热垫片和功率盖板配合安装，先在功率管地面安装绝缘导热垫片，再将功率盖板压装在绝缘导热垫片之上，为功率管底面散热提供低热阻通道。

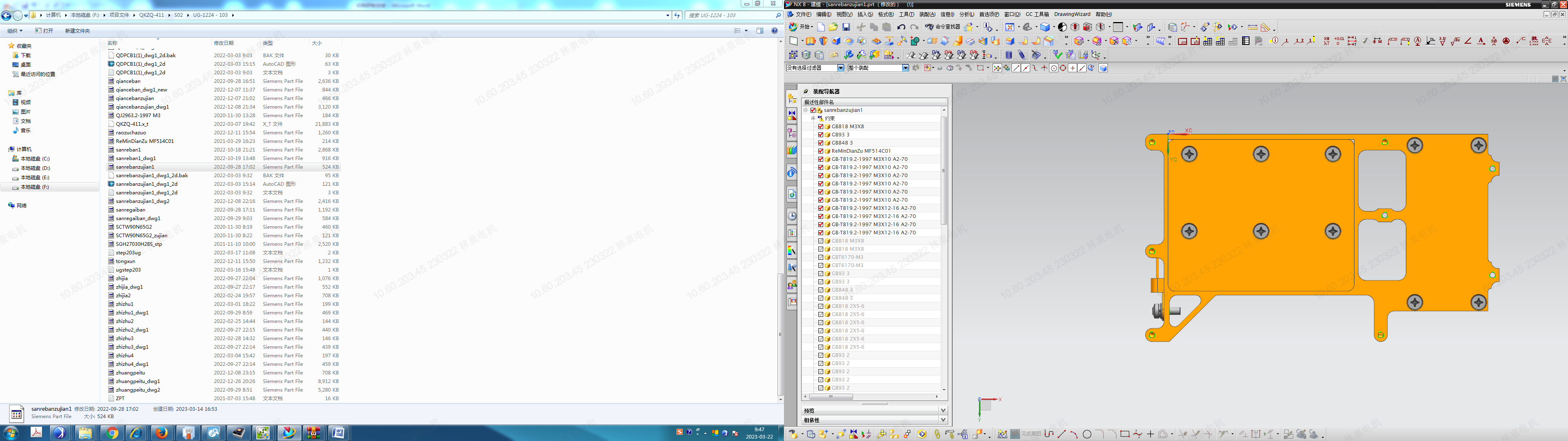


图4 功率全桥电路模块化设计

功率全桥模块为一个安装整体，具有散热效能好、体积小、重量轻，装配方便简洁特点，同时由于散热板从5个面紧固功率器件，抗振动性能优良。

经仿真验证与试验，功率全桥模块符合轻量化、高功率密度化设计特征。

# 4 设计试验情况

## 4.1 性能测试

电机及控制器C01批所有产品出厂前，均按照《J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器产品规范》进行相关试验，试验结果合格。产品的试验数据详见《交付验收报告》，产品的试验结果分析详见《出厂质量评审报告》。

电机及控制器的验收试验见表5。

表5 电机及控制器验收试验

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 试验项目 | 试验条件 | 试验情况 |
| 1 | 外形 | 《J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器产品规范》 | 合格 |
| 2 | 重量 | 《J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器产品规范》 | 合格 |
| 3 | 外观 | 《J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器产品规范》 | 合格 |
| 4 | 产品铭牌 | 《J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器产品规范》 | 合格 |
| 5 | 电气接口 | 《J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器产品规范》 | 合格 |
| 6 | 启动特性 | 《J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器产品规范》 | 合格 |
| 7 | 绝缘电阻 | 《J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器产品规范》 | 合格 |
| 8 | 电气控制要求 | 《J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器产品规范》 | 合格 |
| 10 | 筛选试验 | 《J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器产品规范》 | 合格 |

# 5 出现的技术问题及解决情况

## 5.1 电机长时运转停机问题

a) 故障描述

电机和控制器的C01批次产品在103厂进行试验过程中发现，在带额定负载情况下随电机温度升高，转速急剧波动，最终导致电机失步停机。

b) 原因分析

电机内部进液不充分，轴承得不到润滑，电机轴与轴承间摩擦力增大，负载力矩突变，导致电机失步停机。

c) 采取措施

103厂通过调整叶轮与电机前端面间隙，增加电机进液量。

d) 试验验证

按措施改进的系统，长时温度运行无异常，解决了带额定负载情况下，电机停机问题，完成了试验现场配试。

## 5.2 功能振动后电机不工作问题

a) 故障描述

编号为2201002-A的控制器的在134厂随泵进行三个轴向功能试验后，无法驱动电机运转。

b) 原因分析

控制器密封性较差，交付至103厂进行系统联调时，冷却液渗入控制器内部，在134厂进行功能振动时冷却液流进滤波器输出连接器内部，导致270V高压下正线与负线短路，导致滤波器正线上反接二极管烧毁，滤波器270电源正线输入与输出断路，控制器内部无电源供电，无法驱动电机运转。

c) 采取措施

对盖板与壳体接触面、前侧板与壳体接触面、滤波器与壳体接触面涂抹硅脂导电胶TP-00087。

d) 试验验证

措施贯改后控制器重新进行三个轴向功能振动试验，措施有效，试验后产品功能性能正常。

# 6 主要配套产品的定型（鉴定）情况及质量、供货保障情况

为了保证产品的质量，严格控制装机电子元器件的质量，J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器所用元器件的选用、采购直至检验均制定了相应的措施或标准，这些标准规定了元器件的选用标准、筛选要求、程序及方法。本阶段产品使用的所有元器件入厂均按《XX装备电子元器件二次筛选细则》进行筛选和控制。

J60TY1200电机所用材料见表6。Q/KZQ-411控制器所用材料见表7。Q/KZQ-411控制器所用元器件见表8。从表格数据分析情况看，所用的原材料皆满足型号规定的要求。

表6 J60TY1200电机材料选用清单

| 序号 | 材料名称 | 牌号状态 | 技术条件/标准 | 生产厂家 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 不锈钢丝 | 1Cr18Ni9-R-11-0.5 | GB/T4240-93 | 大连钢丝厂 |
| 2 | 不锈钢 | C660 |  | 北京钢研 |
| 3 | 铝棒 | 2A12-T4 | GB/T3191-1998 | 重庆强鹰 |
| 4 | 圆钢 | 2Cr13 | GJB2294-95 | 抚顺特钢 |
| 5 | 圆钢 | 1Cr18Ni9Ti | GJB2294-95 | 抚顺特钢 |
| 6 | 硅钢片 | 20WTG1500 | Q/WG(GG)04-2004 | 武汉刚铁公司 |
| 7 | 磁钢 | XG28/20 |  | 成都航空磁材研究所 |
| 8 | 电连接器 | JY27467T13MB13PN | 21E/103.026.000JT | 158厂 |
| 9 | 尾附件 | J1784/62-12MWB | GJB1784 | 158厂 |
| 10 | 温度传感器 | SWF-PT1000Aφ3×10-两线 |  | 武汉海创 |
| 11 | 聚四氟乙烯管 | SFG-1、SFG-2 | QB/T3624-1999 | 武汉市工程塑料有限公司供应分公司 |
| 12 | 聚胺—酰亚胺层压玻璃布板 | 3253 | JB/T6218-1992 | 成都市永昶商贸有限公司 |
| 13 | 聚酰亚胺薄膜 | 6050 | JB/T2726-1996 | 哈尔滨绝缘材料厂 |
| 14 | 无碱玻璃纤维带 | ET100-20 | JC/T174-1994 | 南通市德美电机玻璃纤维有限公司 |
| 15 | 石墨轴承 | M152P | / | 东新电碳厂 |
| 16 | 漆包圆铜线 | QY-2/220 | GB/T6109.6-2008 | 西南电工 |
| 17 | 氟塑料绝缘电线 | AF-250 | HB6150-88 | 天津六0九电缆有限公司（609厂） |
| 18 | 银铜焊料 | AgCuZn26-4Y | Q/IPM27-1997 | 昆明贵金属研究所 |
| 19 | 锦丝线 | 13# | FZ66316-1995 | 成都海蓉特种纺织  品有限公司 |
| 20 | 有机硅浸渍漆 | 1054 | JB/T3078-1999 | 西安西电电工有限公司 |
| 21 | 乐泰胶 | 243、620、603 | / | 汉高技术 |
| 22 | 胶黏剂 | J-228 | CB-SH-0146-2006 | 黑龙江省科学院石油化学研究院 |
| 23 | 销 | 1.5m6×6-A1 | GB/T119.1-2000 | 贵阳高新泰丰航空航天科技有限公司 |
| 24 | 销 | 2m6×8-A1 | GB/T119.1-2000 | 贵阳高新泰丰航空航天科技有限公司 |
| 25 | 销 | 2.5m6×4-A1 | GB/T119.1-2000 | 贵阳高新泰丰航空航天科技有限公司 |
| 26 | 螺钉 | HB1-203F-M3×6 | HB1-203-2002 | 贵州航锐航空精密零部件制造有限公司 |
| 27 | 螺钉 | HB1-203F-M4×10 | HB1-203-2002 | 贵州航锐航空精密零部件制造有限公司 |
| 28 | 垫圈 | 3 A2 | GB/T848-2002 | 贵州航锐航空精密零部件制造有限公司 |
| 29 | 垫圈 | 4 A2 | GB/T848-2002 | 贵州航锐航空精密零部件制造有限公司 |

表7 Q/KZQ-411控制器所用材料清单

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 材料名称 | 材料牌号 | 执行标准 | 生产厂家 | 是否满足要求 | 备注 |
| 1 | 铝板 | 7075-T651 | GB/T29503-2013 |  | 是 |  |
| 2 | 绝缘导热胶垫 | T500 |  |  | 是 |  |
| 3 | 圆钢 | 2Cr13 | GJB2294-95 |  | 是 |  |
| 4 | 覆铜箔板 | CEPGC-31（四层） | GB/T4725-92 |  | 是 |  |
| 5 | 硅脂导电膏 | TP-00087 | Q/HDTPT006-2022 |  | 是 |  |

表8 Q/KZQ-411控制器所用元器件清单

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 器件型号 | 生产厂家 | 供货情况 | 备注 |
|  | CC41-0603-CG-50V-101J | 火炬 | 良好 |  |
|  | CC41-0805-CG-50V-101K | 火炬 | 良好 |  |
|  | CT41G-0603-X7R-50V-102K | 火炬 | 良好 |  |
|  | CT41G-0603-X7R-50V-103K | 火炬 | 良好 |  |
|  | CT41G-0603-X7R-50V-104K | 火炬 | 良好 |  |
|  | CT41G-0603-X7R-50V-222K | 火炬 | 良好 |  |
|  | CT41G-0805-X7R-100V-104K | 火炬 | 良好 |  |
|  | CT41G-0805-X7R-50V-104K | 火炬 | 良好 |  |
|  | CT41G-0805-X7R-50V-105K | 火炬 | 良好 |  |
|  | CT41G-1210-X7R-100V-225M | 火炬 | 良好 |  |
|  | CT41G-1210-X7R-25V-226M | 火炬 | 良好 |  |
|  | CT41G-1210-X7R-50V-106M | 火炬 | 良好 |  |
|  | CT48-1210-X7R-1000V-102K | 火炬 | 良好 |  |
|  | CT48-1210-X7R-1000V-472K | 火炬 | 良好 |  |
|  | CT48-1812-X7R-1000V-104K | 火炬 | 良好 |  |
|  | RMK1608KB622F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK1608KB682F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK1608KB752F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK1608MB101F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK1608MB102J | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK1608MB103F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK1608MB104F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK1608MB121F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK1608MB153J | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK1608MB202F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK1608MB222F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK1608MB2492F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK1608MB272F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK1608MB332F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK1608MB392F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK1608MB472J | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK1608MB511J | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK1608MB512F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK1608MB513F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK1608MB821F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK2012KB101J | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK2012KB102J | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK2012MB104F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK2012MB473F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK2012MB511F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK2012MB622F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK3216MB100F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK3216MB103J | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK3216MB472J | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK3225MB511F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK3263KB470F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK6332KB124F | 云科 | 良好 |  |
|  | RMK6332MB392F | 云科 | 良好 |  |
|  | GH181G | 北光电 | 良好 |  |
|  | BIK13-51046 | 成都必控 | 良好 |  |
|  | CWDZ010-G-1000B-300-OT | 武汉海创 | 良好 |  |
|  | C449A-450V-70μF | 成都宏明 | 良好 |  |
|  | HWD490MAA | 成都华微 | 良好 |  |
|  | HYW2130 | 环宇芯 | 良好 |  |
|  | XECSDFL2012L82NK | 顺络迅达 | 良好 |  |
|  | XECBSCF0605D-821S | 顺络迅达 | 良好 |  |
|  | 2.54\*2.54\*14P | 航天电器 | 良好 |  |
|  | J18E2T2HNP | 航天电器 | 良好 |  |
|  | J18E2T2HNS | 航天电器 | 良好 |  |
|  | J18MA3T3H01NS | 航天电器 | 良好 |  |
|  | J18MA3Z3H01WP | 航天电器 | 良好 |  |
|  | J56-10ZJ | 航天电器 | 良好 |  |
|  | J56-10ZK10 | 航天电器 | 良好 |  |
|  | J56B-2TJ1 | 航天电器 | 良好 |  |
|  | HYX823GF | 环宇芯 | 良好 |  |
|  | FX620FZ | 4433厂 | 良好 |  |
|  | LYNM130S | 济半所 | 良好 |  |
|  | AN4V30PB00 | 科峰航智 | 良好 |  |
|  | HJ393E | 航晶微电子 | 良好 |  |
|  | SM4245 | 国微电子 | 良好 |  |
|  | GPB3225-601/3A | 振华富 | 良好 |  |
|  | MLCB2B2012-102B | 振华富 | 良好 |  |
|  | MLCB2B3216-201B | 振华富 | 良好 |  |
|  | MLCB2B3216-202B | 振华富 | 良好 |  |
|  | CMC10-28S05SPM | 株洲宏达 | 良好 |  |
|  | CMR5-28D15SXM | 株洲宏达 | 良好 |  |
|  | CMR5-28S05SPM | 株洲宏达 | 良好 |  |
|  | THC1W-50V-6800uF | 株洲宏达 | 良好 |  |
|  | XCM767D3182M | 株洲宏达 | 良好 |  |
|  | SGH27030H28S-02 | 升华电源 | 良好 |  |
|  | ZA51-F-B-1-G-30M00000 | 武汉海创 | 良好 |  |
|  | SWF-PT1000Φ3X10-两线 | 武汉海创 | 良好 |  |
|  | JM71180 | 五十八所 | 良好 |  |
|  | CS320F2812 | 五十八所 | 良好 |  |
|  | JS1201 | 五十八所 | 良好 |  |
|  | J193 | 七七一所 | 良好 |  |
|  | MURS160 | 873厂 | 良好 |  |
|  | 1N4148H | 873厂 | 良好 |  |
|  | BWB4V3 | 873厂 | 良好 |  |
|  | HE-MB10 | 158厂 | 良好 |  |
|  | JY27467T11MB13PN | 158厂 | 良好 |  |
|  | JY27467T11ME02SN | 158厂 | 良好 |  |
|  | JY27467T11ME35PN | 158厂 | 良好 |  |
|  | JY27467T11ME35SN | 158厂 | 良好 |  |
|  | JY27496E11ME02PCN | 158厂 | 良好 |  |
|  | JY27496E11ME35PN | 158厂 | 良好 |  |
|  | JY27496E11ME35SN | 158厂 | 良好 |  |
|  | JY27496E13MB13SN | 158厂 | 良好 |  |
|  | TJ1784/62-12MWB | 158厂 | 良好 |  |
|  | CRM212-020-102-5500 | 158厂 | 良好 |  |
|  | CRM222-020-202-5500 | 158厂 | 良好 |  |
|  | CRM222-030-202-5500 | 158厂 | 良好 |  |
|  | CRM252-030-312-5500 | 158厂 | 良好 |  |

# 7 产品可靠性、维修性、保障性、测试性、安全性情况

J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器根据技术协议要求，对产品可靠性、维修性、保障性、测试性、安全性等方面开展设计。

**7.1** 可靠性设计情况

依据“XX可靠性大纲或实施细则”的规定， J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器试样阶段开展了可靠性设计工作，对其进行了可靠性建模、可靠性预计、FMECA分析、FTA分析。

7.1.1 可靠性要求

优先选用经过考验、验证，技术成熟的设计方案和零、部、组件，充分考虑设备设计的继承性；设备简化设计，减少电子元器件、零部件等的规格、品种和数量，把设备的复杂程度减少到最低程度；同时，优先选用标准件，提高互换性和通用化程度，采用模块化设计等；对于电子、电气和机电元器件，根据GJB/Z35对不同类别的电子元器件按不同的应用情况进行降额设计；应进行热分析，以确定设备工作温度、关键热点，以保证设备和电子元器件在工作状态下处于允许的工作温度极限内；对关键部位、关键部件（设备）、关键功能等应采取余度设计或安全裕度设计；机内检测模块或电路的可靠性应比被测对象的可靠性高一个数量级以上。

a) Q/KZQ-411控制器

1) 基本可靠性要求：

平均故障间隔时间：

最低可接受值（工作小时）：48000；

规定值（工作小时）：60000；

2) 任务可靠性要求：

平均严重故障间隔时间

最低可接受值（工作小时）：192000；

规定值（工作小时）：240000；

b) J60TY1200电机

1) 基本可靠性要求：

平均故障间隔时间：

最低可接受值（工作小时）：224000；

规定值（工作小时）：280000；

2）任务可靠性要求：

平均严重故障间隔时间

最低可接受值（工作小时）：896000；

规定值（工作小时）：1120000；

7.1.2可靠性设计的开展情况

为了保证产品能可靠工作，在产品研制中开展需开展的可靠性工作如下：

a) 开展产品的可靠性预计；

b) 开展产品的FMECA分析，确定产品的关重件；

c) 开展产品的FAT分析，确定产品的故障模式，为健康管理提供依据；

d) 开展产品的热分析，为产品环境适应性分析，提供设计依据。

进行上述可靠性预计计算时，采用的数据均严格按照GJB/Z299C-98《电子设备可靠性预计手册》进行选取、计算，因此，预计结果具有一定的合理性。

7.1.3可靠性评价

在该产品的研制过程中，遵循型号的规定，在可靠性方面基本完成规定的要求，同时通过这些工作的开展，识别了产品故障发生的严酷程度及发生概率，指明了产品研制过程提升可靠性的目标。由于可靠性试验目前没开展，从设计上，能满足型号关于此产品的可靠性要求。

**7.2** 维修性设计情况

7.2.1维修性要求

表9 平均修复时间(MTTR)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分系统（或设备） | 部队级修复时间元素  （Ti）（min） | | 部队级平均修复时间 (MTTR)(min) |
| 电机、控制器 | 故障隔离时间T1 | - |  |
| 更换时间T4 | - |
| 调整检验时间T6 | - |

7.2.2维修性设计的开展情况

维修性设计的目的是实现规定的维修性定量和定性要求，特别是减少维修时间的要求，维修设计要符合维修方案的要求，并满足环境、人的因数等约束条件，本项目在维修性设计方面遵循如下原则：

①简化产品及维修操作；

②具有良好的可达性；

③提高标准化和互换性程度；

④具有完善的防差错措施及识别标识；

⑤检测诊断准确、迅速、简便；

⑥符合维修的人机环工程要求；

⑦考虑预防性维修、战场损伤抢修及不工作状态对维修性的影响；

⑧保证维修性的安全。

根据上述原则，产品采取的维修性措施如下：

将模块化、标准化的设计理念贯穿在成品功能单元电路的设计中；

设计中充分考虑了维修的可达性，将产品中容易失效的功能部分安置在最易维修的地方；

设计中尽量减少产品的零部件、器件种类，以便于提升其互换性；

开展BIT/健康管理设计，通过基本参数快速确定故障，减小返修时间；

设计中考虑成品维修的操作性；

对于成品的2个LRU，从设计保证其互换性；

定性、定量开展成品的维修性设计，从分析结果满足协议书要求。

7.2.3维修性评价

对于整个成品的LRU来说，是个独立功能的成品，相互之间采用皆是电缆连接，安装采用螺钉安装，维修方便，能满足产品交付部队后维修性的要求。作为成品SRU来说，由于体积小，虽然采用的模块化设计思路，但维修不便需一些专用工具配合执行。

**7.3** 保障性设计情况

7.3.1保障性要求

保障性是产品的一种质量特性，主要是指产品的设计特性和计划的保障资源满足平时战备和战时使用要求的能力。

7.3.2保障性设计的开展情况

保障性是产品的一种质量特性，主要是指产品的设计特性和计划的保障资源满足平时战备和战时使用要求的能力。该项目在保障性设计方面开展的内容为：

① 在产品设计中结合产品的可靠性、环境适应性和维修性的设计考虑，尽可能采用成熟的和减少产品发生故障的技术；做好产品通用化、系列化、组合化和简化的设计；在设计中考虑产品维修的方便性；

② 产品较为复杂时，尽可能采用自动测试和隔离故障功能的设计；

③要考虑降低对使用和维修人员及技术等级的需求，对检测、校准设备及工具的需求；

④ 设计时要充分考虑未来产品的使用环境，以及产品在包装、装卸、储存以及运

输等过程中可能遇到的技术问题；

⑤ 在提供用户的技术说明书中要明确产品保障所需条件：需要涉及到的人员及其能力的要求；需要某些设施、设备、仪器和工具的要求；需要的能源、备件以及易损件的要求；需要的技术资料及文件的要求；涉及到的产品包装、运输、贮存及其技术接口等。

⑥开展成品的保障性分析，降低外场保障人员能力的要求及保障设备特殊性要求。

7.3.3保障性评价

该产品从保障性角度，公司从人力、物力、产品自身保障性等方面皆能满足。

**7.4**测试性设计情况

7.4.1测试性要求

表10 测试性指标表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 指标 | 最低可接受值 | 规定值 |
| 故障检测率 | 65% | 70% |
| 故障隔离率 | 1个LRU/LRM：≥45.5% | 1个LRU/LRM：≥55.0% |
| 虚警率 | ≤8% | ≤4% |
| 严重故障（影响安全）检测率 | — | — |
| 严重故障（影响任务）检测率 | — | — |

7.4.2测试性设计的开展情况

按型号研制测试覆盖性的要求，开展产品“测试性”设计工作，尽量将产品“隐性”特性转化为可测试性的“显性”特性，增加产品试验充分性和测试覆盖性，减少和降低产品的质量隐患，提高产品的可靠性和安全性。

测试性开展工作如下：

① 建立测试性机构；

② 进行初步测试性分析；

③ 进行初步测试性评审；

④ 进行测试规范编制（技术条件）；

⑤ 进行测试性验证。

7.4.3测试性评价

通过对J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器的测试性工作计划，电机及控制器的计划合理可行，可以指导后续工作的开展。单从测试性的开展来说，产品预留一定的设计硬件、软件空间，并能识别目前所知的基本故障，从测试性设计上看，能满足型号的测试要求，但测试性的验证目前未开展，真实的评价需测试验证完成后才能给出正确的评价。

**7.5** 安全性设计情况

7.5.1安全性要求

定性要求：

1. 设备应采用余度、隔离、降级、或故障自动保护等设计技术；
2. 设备上关系到人、机使用和维修安全的相应位置，应有醒目的标记、符号、说明和防护、保险措施；
3. 对影响安全的功能尽可能采取故障、工作-故障/安全的设计策略，对影响任务的功能应考虑完全备份或降级备份；对影响安全的冷备份功能应采取自动转换方案；
4. 应采取危险源分析及设计手段，采用物理分离等措施将危险降低到最低水平，并控制危险的影响；

7.5.2安全性设计的开展情况

由于产品使用的电压已经超过人体安全电压，在操作不当情况下，可能会对试验人员的人身安全造成危害，同时若产品出现故障（如短路），可能对上级系统造成损坏，因此在产品设计中对安全性设计遵循如下原则：

① 当各种可行的安全性设计措施未能消除危险，或把相关风险降低至可接受的水平时，设计应提供安全性报警装置，在适当的部位标出醒目的标志，以确保人员和产品的安全；

② 应通过设计（包括器材选择和代用）消除已判定的危险或减小有关风险；

③ 在设计中对有害物质、危险零部件和危险作业采取隔离措施；

④ 应尽量减少由恶劣环境条件（如温度、压力、噪声、毒性、加速度、冲击、振

动等）所导致的危险；

⑤ 应尽量减少系统在使用和保障中因可能的人为差错所导致的危险；

⑥ 采用机械隔离或屏蔽的方法保护冗余系统的电源、控制装置和关键零部件；

⑦ 应采取安全性设计措施，如连锁、冗余、故障、安全设计、系统防护，使不能消除的危险所导致的风险降低到可接受的水平；

⑧ 安全设计应使可能发生的意外事故造成人员伤害、产品损坏或设备损坏的严重程度降低到最低水平；

根据上述原则，产品设计中采取了如下安全性措施：

① 产品控制电接口采用电连接器方式，设计进行防插错设计；

② 成品高压连接器有标识，便于提醒；

③ 成品的设计对材料进行了研究，考虑了材料是否对人体安全性；

④ 产品内部布线尤其是电源线，线的间距遵循国家安全规范；

⑤ 在母线上设计放电回路，当电机停机、断电后在2s范围内，使电压回到安全电压范围内；

⑥ 强、弱电物理隔离，避免在调试中带来安全隐患；

⑦ 采取绝缘等级高的材料开展设计，提升系统的绝缘等级；

⑧ 在母线中设计短路保护电路，即当成品出现短路时，在一定时间范围内，短路保护器开路断开母线。

7.5.3安全性评价

产品的研制按照安全性的顶层文件开展了安全设计工作，产品中涉及到安全的皆有解决措施，从协议书规定内容看，满足相关要求。

# 8 贯彻产品标准化大纲情况

**8.1** 标准的贯彻实施情况

依据CGJB/Z 114A—2005 《产品标准化大纲编制指南》以及相关国家军用标准、企业Q/FV（ZG）0730-69-2011《产品标准化工作规范》，编制产品的标准化大纲《J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器产品标准化大纲》。

电机及控制器在研制过程中，具体标准实施情况如下：

a）产品设计时涉及的相关标准包括《电子元器件优选目录》、《元器件降额准则》 GJB/Z35-93、《印制板电路设计规范》QJ 3103-99、《电子设备可靠性预计手册》GJB/Z299C-2006等。

b) 设计文件的编制是按照QJ 1714.1B～1714.12B《航天产品设计文件管理制度》的规定进行的，所编制设计文件的格式、标识、编号符合标准的规定，并按照QJ 1714.6B-2011《设计文件的完整性》的规定编写了产品定型阶段所需的各种设计文件。设计文件的编制正确，各相关设计文件做到了协调统一，设计文件的签署完整、正确，符合QJ 1714.9B-2011《设计文件的签署规定》。对图样的格式、填写要求、编号、签署、更改、完整性要求、管理按照QJ 1714B系列标准执行。图样贯彻了国家标准机械制图GB/T 14689～14691-1993、GB/T4457.4～4457.5-2002、GB/T 4458.1～4458.5-2002、GB/T 11675.1～11675.2-2012和电气制图GB/T 4728.3-2005、GB/T 6988.2～6988.3-2008的标准，电子、电气文字符号的使用与编制符合GB/T 7159-1987的要求。

c) 产品工艺文件编制执行文件包括有《航天产品工艺文件管理制度》QJ903.1B-～QJ903.30B-2011、《元器件通孔安装技术要求》QJ3012-98、《电镀和化学处理典型工艺》Q/FvZ57-2012、《常用有色金属材料热处理规范》Q/FvZ59.2-2008和《[航天电子电气产品安装通用技术要求](http://10.58.104.7:77/Download.aspx?Bookid=57595)》QJ165A-96等。

d) 针对产品器件筛选、调试和试验，编写了《XX装备电子元器件二次筛选细则》、和《J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器产品规范》规定了各种元器件的筛选、产品调试及试验的方法和步骤。

e) 材料、标准件等的选用及在设计文件上的标注符合厂标Q/Fv 59.1-2010《非金属材料选用范围》、Q/Fv 59.2-2010《金属材料选用范围》、Q/Fv 62-2010《紧固件选用范围》的规定。

**8.2** 通用化、系列化、组合化情况

1）通用化设计

电机的初始角度位置进行机械调零，控制器和电机可以实现任意互换。选用的元器件尽量从常用元器件中选取，减小及合并元器件的种类和规格。零件材料选用厂内常用原材料规格，工艺加工方法采用成熟的加工工艺。

2）系列化设计

由于产品采用高压供电体制，输出功率大，电机及控制器的设计在抗干扰设计等方面具有借鉴意义。其硬件设计架构、软件架构、结构设计均可以作为一个范例，指导后续其它高压大功率产品的设计。

3）组合化（模块）设计

控制器的硬件按电路功能单元进行划分，可分为辅助电源单元设计、主控电路单元、通信单元、存储单元、信号采集及处理单元、功率单元、滤波单元。每个功能单元均实现模块化设计，这些模块单元电路在其他产品的设计中可以借鉴。

软件按逻辑功能单元划分，可分为上电初始化、上电自检、外部模拟量信号采集、闭环调速单元、运行报警、自保护停机、数据存储等功能单元，所有功能单元均封装成函数，可以任意调用。

8.2标准化程度评价

经分析，产品的标准化件数系数和标准化种类系数达到了产品标准化大纲规定的指标，标准化工作取得了良好的效果，具体表现在：

1）设计文件的编制正确，各相关设计文件做到了协调统一，设计文件的签署完整、正确，符合QJ 1714.9B-2011《设计文件的签署规定》，设计文件中采用的标准都是现行有效的标准；

2）在产品的设计上贯彻互换性基础标准，保证了产品（电机、控制器及电缆）之间的互换性，提高了产品的维修性；

3）在产品设计中开展“三化”设计，保障了产品的使用和维护性；

4）设计时尽量选用通用化的元器件及原材料，这些器件或原材料有大量成功应用的先例，可以提高产品设计的可靠性。

# 9 产品质量、工艺性、经济性评价

9.1 产品质量评价

从产品投产合同信息开始即纳入了公司建立的军工产品质量管理体系进行管理，产品研制流程清晰，加工工艺成熟，原材料采购、入厂检验、生产过程、试验及交付过程质量受控。产品设计、工艺资料完整、准确、协调、规范，现行有效，符合标准化的要求，原材料质量可靠，供货渠道稳定。

J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器的设计控制、工艺控制、原材料、外购件采购控制、加工过程控制、检验试验及设备、仪器、计量器具控制均满足公司质量体系文件和相关标准的要求，产品满足系统使用的要求，产品质量受控。

9.1.1采购质量控制

#### 9.1.1.1原材料、外购件质量控制

产品所用的原材料、外购件均按照公司质量体系文件Q/FV（QM）0602《采购的控制程序》及总体有关要求进行质量控制，公司对A、B类采购产品的分承制方的质量保证体系、检验系统进行了严格的考查，均在“合格器材供应单位名单”中选用，确保了入厂产品的质量。同时，在采购产品入厂后，严格按照公司标准Q/FV38《采购产品检验技术要求》进行入厂复验，合格后方可办理入库手续，并按产品要求进行分区保管。

#### 9.1.1.2元器件质量控制

产品中电子元器件的选用管理应严格按照GJB3404-1998《电子元器件选用管理要求》及XX-16-380《电子元器件优选目录》的要求执行。产品中电子元器件的使用和控制按照XX-16-22《电子元器件工作计划》、XX-16-22《电子元器件工作管理规定》等要求执行。

9.1.2产品代料的质量控制

采购产品的代料按照Q/FV（ZG）41《产品器材代用的控制办法》进行控制。

9.1.3器材出库的质量控制

采购产品在发放前均进行出库检验，保证不合格的采购产品不能流入生产现场。

9.1.4外协质量控制

成品内部零部件的外协遵循Q/FV(ZG)0740-52-2014《外协承制方管理制度》、Q/FV(ZG)0740-62-2014《外协质量管理制度》进行，对外协单位实行动态管理，随时监控其质量状况。

9.1.5生产过程质量控制

#### 9.1.5.1加工过程

零组件加工的工艺过程质量控制是通过严格工艺纪律、加强首件检验制度、巡回检验以及质量管理人员严格的现场监督检查来保证的。零组件加工严格按照设计图纸、工艺文件进行，加工者不得擅自改变加工方法。产品所用零组件由检验人员严格按图纸、工艺要求进行检验。对特种工序，如材料热处理、外表面喷漆等过程，加工者严格按照所制定的工艺规程进行加工、检验和参数记录。检验人员一方面按照工艺规定进行检验，另一方面加强巡检，确保过程质量受控。

设计、工艺均采取了有效措施，使产品在零件加工、装配过程不会产生多余物，同时从管理上采取了净化工作环境、定额发料等措施，确保产品不会产生多余物。

为了防止产品用元器件静电损伤，工厂在各环节配备了相应的设备、工具，使元器件在入厂、检验、周转、发放、装配、产品调试、试验各环节均得到有效控制。

#### 9.1.5.2不合格品控制

产品的生产过程中所出现的不合格品均严格按质量体系程序文件Q/FV（QM）0804《不合格品的控制程序》的要求进行审理，并办理了相关手续。

检验人员严格对不合格品进行标识和隔离，防止不合格品流入下道工序。

#### 9.1.5.3产品质量追溯性的控制

产品质量追溯性按照Q/FV（ZG）61《产品质量追溯性管理办法》要求进行控制，各工序人员均按要求对元器件装机情况、原材料使用等情况进行了记录，确保产品质量具有可追溯性。

9.1.6试验控制

产品出厂试验由质量部成品测试组严格按照《J80TY3200、J80TY4000-1、J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器技术条件》进行，试验过程的质量按照Q/FV（QM）0804《检验和试验的控制程序》的要求进行控制。保证试验数据真实、有效，以及原始记录清晰，试验充分。试验过程中使用的设备、仪器、计量器具均严格按有关规定进行周期检定，均在有效期内使用。试验人员均经过培训合格，持证上岗。

9.2 产品工艺性评价

9.2.1 设计文件工艺性审查的情况

J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器设计图纸进行了工艺审查，该成品设计文件的工艺性良好，利用工厂常规加工方法即可完成加工，无工艺难点。

9.2.2 主要工艺说明

该产品工艺文件按照QJ903.1B～QJ903.30B《航天产品工艺文件管理制度》的要求进行编制，以设计图纸为依据，做到完整、正确、统一、协调、清晰，采用先进、可行、经济合理的工艺方案，尽量采用同类产品上的成熟、典型工艺。工艺文件的标准化、通用化按航天工业总公司行业标准QJ903B《航天产品工艺文件管理制度》执行。

编制工艺文件的依据是产品的设计文件，并结合我厂的生产组织形式、设备状况，使工艺文件在指导生产的同时又有助于生产管理部门进行生产的组织和管理。工艺文件最大限度的符合设计图纸要求，做到一序一卡，每道工序的每个工步的内容都作出具体规定，并明确装夹方法、切削部位、顺序、检验要求、关键尺寸、手工操作环节的控制、记录等细节。工艺文件规定的检验项目覆盖了设计图纸中全部技术要求，调试按照设计调试细则进行，成品检验与试验则按照设计详细规范进行。

9.2.3 关键过程控制情况

电机产品中，工艺按设计要求将电枢工序环节设置为关键工序，具体的要求按《关键工序质量控制卡》予以控制。

对关键过程的控制按照Q/FV(ZG)0756-68-2011《关键过程管理制度》要求进行，包括技术文件的质量控制、器材的质量控制、设备、工艺装备、计量器具的质量控制、人员的要求、环境等各个方面，通过对试样阶段关键工序记录的复查及过程的监控，在关键过程中各个环节的控制均满足《关键过程管理制度》的各项要求。

9.2.4 工艺效果分析

从生产过程看，由于体积小、结构紧张，整个成品的装配较困难，尤其是控制器的装配花费时间较长，因此在后续阶段，为了保证其装配性，对局部困难的地方采取工装方式，降低整形的难度及装配难度。

9.3 产品经济性评价

成品由于选用高质量等级的器件，加之国产化率较高，高压直流母线上的电容及滤波器等器件均为定制协议器件，这导致成品的元器件费用较高。

# 10 产品达到的战术技术性能

技术指标达到情况见表11。

表11 技术指标达到情况表

| 序号 | 试验项目 | 技术要求 | C01批电机及控制器实测数据 | 备注 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 外观 | 电机及控制器表面应无锈蚀、碰伤或划痕；涂覆层不得起皱、龟裂和脱落；紧固件连接应牢固；厂标的字迹和内容应清楚无误。 | 合格 | 满足 |
| 2 | 外形及安装尺寸 | 满足外形图要求。 | 合格 | 满足 |
| 3 | 旋转方向 | 从轴伸端看，电机轴应为顺时针方向旋转。 | 顺时针旋转 | 满足 |
| 4 | 绝缘电阻 | 电机绕组与机壳间的绝缘电阻不小于1000MΩ（1000V兆欧表）；  控制器通信接口端、传感器接口端用100V兆欧表的绝缘电阻不小于100MΩ（100V兆欧表）、供电及绕组端口用500V兆欧表的绝缘电阻不小于500MΩ（500V兆欧表）。 | 合格 | 满足 |
| 5 | 性能测试 | a)电源电压：270VDC；  b)电机旋向：从轴伸端向电机看为逆时针方向；  c)额定转速：（12100±100） r/min；  d)额定输出功率：1200W；  e)额定电流：不大于5.92A； | 在270VDC供电下，：电机转速：12100/min  输出功率：1209W  额定电流：5.20A  旋转方向为顺时针 | 满足 |
| 7 | 起动时间 | 常温启动时间不大于8s； | 启动时间6 | 满足 |
| 8 | 产品工作模式 | 工作时间为长时间连续，产品连续工作时间不低于24h | 未测试 | / |
| 9 | 重量 | 控制器≤1.25kg  电机≤1.15kg | Q/KZQ-411控制器重量为1.109kg  J60TY1200重量为1.066-1.068kg | 满足 |

# 11 产品尚存问题及解决措施

无。

# 12 结论

J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器按照研制程序完成了初样研制阶段，按照《J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器产品规范》完成了相关试验，并在用户处完成了地面系统联试验。

试验结果表明： J60TY1200电机及Q/KZQ-411控制器的性能、功能满足成品技术协议书要求，已具备转入试样研制阶段的条件，建议转入试样研制阶段开展研制工作。