

**硕士学位论文**

|  |
| --- |
| **航天器低频电缆自动测试准备系统**  **的设计与实现** |
| The Design and Implementation of the automatic test preparation system of the spacecraft low frequency  cable |

|  |  |
| --- | --- |
| 论 文 作 者 ： | 杨浩澜 |
| 学 位 类 别 ： | 工程硕士 |
| 领 域 名 称 ： | 电子与通信工程 |
| 校内指导教师： | 王晓 教授 |
| 校外指导教师： | 杨猛 研究员 |
|  | 徐新宇 工程师 |

二〇一四年六月六日

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 中图分类号： | TP271.5 | 密级： | 公开 |
| UDC： | 629.7 | 学号： | 20120209 |

**北华航天工业学院硕士学位论文**

|  |
| --- |
| **航天器低频电缆自动测试准备系统**  **的设计与实现** |
| The Design and Implementation of the automatic test preparation system of the spacecraft low frequency  cable |

|  |  |
| --- | --- |
| 论 文 作 者 ： | 杨浩澜 |
| 学 位 类 别 ： | 工程硕士 |
| 领 域 名 称 ： | 电子与通信工程 |
| 校内指导教师： | 王晓 教授 |
| 校外指导教师： | 杨猛 研究员 |
|  | 徐新宇 工程师 |

二〇一四年六月六日

**学位论文原创性声明**

本人所提交的学位论文《航天器低频电缆自动测试准备系统的设计与实现》，是在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的原创性成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中标明。

本声明的法律后果由本人承担。

论文作者（签名）：指导教师确认（签名）：年 月 日 年 月 日

**学位论文版权使用授权书**

本学位论文作者完全了解北华航天工业学院有权保留并向国家有关部门或机构送交学位论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权北华航天工业学院可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其它复制手段保存、汇编学位论文。

（保密的学位论文在解密后适用本授权书）

论文作者（签名）： 指导教师（签名）： 年 月 日 年 月 日

摘 要

航天器低频电缆网是实现航天器各分系统仪器设备或地面设备之间的电力输送、指令传输、信息交换等功能的重要设备，是星、船系统中的“血管”和“神经网络”，航天器低频电缆网质量的优劣对于航天器的综合性能至关重要，决定着飞行任务的成败，特别是对载人任务，关系着航天员的生命。所以必须做好测试工作。

现在，国际上已有成熟的技术应用于航天器电缆的自动测试。国内某些航天院所也已经引进了外来先进测试系统，但是由于我国航天器电缆特殊的特点，使这些系统并不能很好地投入到应用当中。因此必须开发出一套能与我国航天器低频电缆特点相适用的

“测试准备系统”，才能使测试工作实现工程应用。测试准备系统将主要完成测试前大量繁琐复杂的准备工作，打通通用型自动测试设备在航天器低频电缆测试领域的应用的瓶颈，使通用型测试设备能够实现真正的工程应用。该系统将要实现的主要功能有：测试方案准备，测试数据准备，测试程序自动生成，指导转接工装存取和插接等。

本文对系统的总体设计、详细设计、用到的相关技术都做了详细的介绍，并对软硬件各功能模块的实现做了重点说明。然后阐述了系统的应用实例，分析了测试结果。最后对论文的内容进行了总结，并且提出了未来的改进建议。

关键词：自动测试准备系统； 航天器； 电缆

I

Abstract

The low frequency cable network of spacecraft is an important device between each subsystem equipments or ground equipments. It can realize some function such as electricity transmission, instruction transmission, and information exchange and so on. So it likes the" blood vessels" and" neural network" in the system of satellite and spacecraft. Thus the quality of the network is critical to the craft's comprehensive performance, and determines the success of failure of the mission. Especially for the manned missions, it has a great relationship with the life of astronauts. So it is more significant to test well.

Nowadays, the technology applied in the automatic test of spacecraft cable is more and more mature. Some native institutes of CASIC have already imported foreign advanced testing system, but the system is not apply to the craft cable in China for its special characteristics. Therefore, we must develop a" test preparation system", which can fulfill the preparations before the test and make the universal test equipment can be used in the real engineering application. The main functions of the system: test solution preparation, test data preparation, the automatic generation of test program, guiding the access control and plug of the transfer tool, etc.

In this paper introduced the overall design, detailed design and the relevant technology of the system, and the realization of the function modules of the hardware and software. Then elaborated the system application examples, analyses the test results. Finally, it summarized the content of the thesis, and put forward some suggestions and improvement.

Key Words: Automatic test preparation system; Spacecraft; Cable

II

目 录

[摘 要](#_Toc686521377) 3

[Abstract](#_Toc686521378) 4

[第1章 绪 论](#_Toc686521379) 6

[1.1 研究背景](#_Toc686521380) 6

[1.2 研究现状和存在问题](#_Toc686521381) 6

[1.3 国内航天器电缆特点](#_Toc686521382) 7

[1.4 主要研究内容和特色](#_Toc686521383) 8

[1.5 相关技术概述](#_Toc686521384) 8

**[1.5.3](#_Toc686521385)** [用户界面开发技术](#_Toc686521385) 9

**[1.5.4](#_Toc686521386)** [组件对象模型技术](#_Toc686521386) 9

**[1.5.5](#_Toc686521387)** [生成测试程序](#_Toc686521387) 10

[1.6 论文结构安排](#_Toc686521388) 10

[第2章 自动测试准备系统的总体设计](#_Toc686521389) 11

[2.1 需求分析](#_Toc686521390) 11

**[2.1.1](#_Toc686521391)** [系统目标](#_Toc686521391) 11

**[2.1.2](#_Toc686521392)** [系统关键问题](#_Toc686521392) 11

**[2.1.3](#_Toc686521393)** [功能性需求](#_Toc686521393) 11

**[2.1.4](#_Toc686521394)** [非功能性需求](#_Toc686521394) 12

**[2.1.5](#_Toc686521395)** [用户界面需求](#_Toc686521395) 14

[2.2 系统构成](#_Toc686521396) 15

**[2.2.1](#_Toc686521397)** [自动测试系统简介](#_Toc686521397) 15

**[2.2.1](#_Toc686521398)** [自动测试准备系统构成](#_Toc686521398) 15

[2.3 总体设计](#_Toc686521399) 16

**[2.3.1](#_Toc686521400)** [设计原则](#_Toc686521400) 16

**[2.3.2](#_Toc686521401)** [功能设计](#_Toc686521401) 16

[第3章 软硬件设计](#_Toc686521402) 17

[3.1 硬件设计](#_Toc686521403) 17

[3.2 软件设计](#_Toc686521404) 25

**[3.2.1](#_Toc686521405)** [界面的布局](#_Toc686521405) 25

**[3.2.4](#_Toc686521406)** [接点表转换设计](#_Toc686521406) 28

[第4章 系统应用实例](#_Toc686521407) 35

[4.1 测试结果的异常情况分析](#_Toc686521408) 35

[4.2 测试结果图的分析](#_Toc686521409) 36

[结论](#_Toc686521410) 37

[参考文献](#_Toc686521411) 37

[附录](#_Toc686521412) 39

[攻读学位期间取得的科研成果清单](#_Toc686521413) 48

IV

# 第1章 绪 论

航天器低频电缆产品是航天器中的关键部件，决定了航天器飞行任务的成败，其质量至关重要。随着设备自动化水平的提高，电缆在卫星、航天器、飞机、舰船等大型设备中使用的越来越多，电缆本身的质量问题和使用时的可靠性受到越来越多的关注。所以，做好电缆的测试工作至关重要。

## 1.1 研究背景

航天器上有几百台仪器、上千根电缆，每台仪器如同一个神经单元，汇聚着上百条的电缆，仪器之间的电缆网如同神经网络一样是星罗密布、纵横交错[1]。在这成千上百

种的逻辑关系中，如何精准无误地描述出各种仪器之间的连接状态，即电缆网的导通与绝缘状态，关系着航天任务的成败。比如，2007年，俄罗斯“质子”火箭因一根控制电缆损坏导致发射升空后坠毁。因此，做好电缆测试工作至关重要[ 2] 。

目前，大多数军工、航空航天单位在进行电缆网的导通和绝缘可靠性检验时，仍然采用万用表、蜂鸣器等工具进行逐点测试，暴露出测试效率低、准确性和可靠性差的缺

点[3]。例如，2009年我国在XX星的有效载荷进行首次加电测试时就发现因检验人员对个别节点漏检而导致的仪器不正常工作，严重影响了卫星的研制工作。随着航天任务的日益增多，这种传统的手工方法已无法很好地适用于航天器电缆测试的工作。因此，研

究航天器低频电缆自动测试的方法已势在必行[ 4] 。

## 1.2 研究现状和存在问题

一些国际上航空、航天业较为发达、技术先进的国家，如美国、德国和法国等广泛使用线束分析仪对电缆线束进行开路、短路、绝缘性能检测，这些线束设备已经达到了

模块化、小型化并且智能化的程度[5] 。

上述国家在电缆测试方面已有多年的成功应用经验，技术比较成熟。如波音飞机公司等国际大公司所采用的DITMCO9500系列仪器，可提供3万点以上，基于总线技术、可扩展的全机测试。波音和空客公司采用自动测试设备，配合电缆数据管理系统进行全机电缆完整性测试仅需2-3天。

1

另外，很多研究机构还致力于航天电缆故障与缺陷的早期预防和监测的研究。美国联邦航天局制定并资助了针对电缆测试技术的相关研究，他们结合先进的传感技术、人工智能技术和控制技术，开展关于航天电缆布线系统的自动测试研究，以实现卫星起飞前和飞行中都能进行电缆故障的检测和诊断，目前他们的研究在理论方面取得了很大的

成功，把检测设备嵌入到航天电缆布线系统，实时取得航天电缆的健康状况[6] 。

国内方面，目前航空、军工、汽车、等行业普遍采用成熟的自动测试设备完成低频电缆产品的测试工作。但在航天系统内，虽经过多次努力，却鲜有成熟方案或成功实施和应用的案例。究其原因，主要是因为现有设备和方案难以满足航天器电缆网产品的特点和测试要求。市场上的测试设备和测试方法一般仅适用于大批量、小规模、结构简单、连接关系简单的情况，而难以适应航天产品和研制任务的特点。

目前北京卫星制造厂已经引用了一款进口通用测试设备，如图1.1所示：

该设备已在国内外航空航天、军工和机车等行业广泛应用；设备从结构上分为测试主机和多个体积较小的测试单元，每个测试单元包括1024个测试点，通过总线互相连

接，总测试规模超过20000点。测试单元既可串联叠放在一起，又可分布独立部署，移动方便，可以满足不同测试情况的要求；为了兼顾成本、利用率及维护工作，定制了J24S型方便插拔的国产电连接器接口；通过在转接电缆中安装智能芯片实现转接电缆的盲插和智能识别，大大减少了操作者的工作量，提高了实施的可行性。

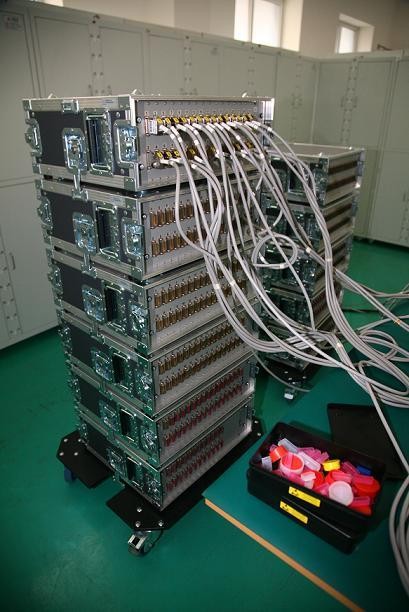


图 1.1 测试设备与测试单元

2

## 1.3 国内航天器电缆特点

航天器电缆一般由电连接器和导线束组成，其产品结构示意图如图1.2所示（由 4

个电连接器和导线束组成）：

导线束

电连接器

电连接器

电连接器

电连接器

电缆照片如图1.3所示：

图 1.2 电缆结构示意图



图 1.3 产品照片

经过分析，航天器电缆网产品主要有下面几个特点[7] ：

#### 1. 航天器电缆规模大

航天器电缆通常具有较大规模，电缆数量在几十至数百不等；电连接器的数量可多达到几百至上千，而总芯数则可达数千至几万点。因此测试设备必须具备一定规模，当规模不足时，则难以满足航天器电缆网产品测试工作的要求。

#### 2. 电缆结构复杂

整星、船电缆网产品通常由几十至上百根电缆组成，既包括一对一直通型电缆，也包括几十乃至上百个分支的树状电缆网，如图1.4所示。因此，如果测试系统体积庞大，结构固定，无法移动则难以满足复杂电缆网的测试要求。

3

1300

550

550

SY33-X3

550

550

SY33-X5 SY33-X6

650

750

350

850

4000

1050

900

750

500

2400

200

SY33-X4

UY04-X9

VY41-X8

950 800

SY32-X3

UY04-X3

650

700

BY540-X07

800

UY02-X4

SY32-X4

JY21A-X3

KY331-X10

KY661-X14

X2ZG(T)

450

450

图 1. 4 某载人飞行器电缆网分支结构

#### 3. 电连接器规格型号众多

经过初步统计，各型号电缆网产品所使用的电连接器规格型号已超过300种，既包括国产电连接器，也包括进口电连接器；另外还包括大量的插针、插孔、焊片，自由端，行程开关等非电连接器元器件，转接情况和插接过程复杂，必须仔细考虑转接方案。

另外，由于产品电连接器的接口众多，而测试设备往往使用单一接口，因此自动测试必须使用转接工装，而由于航天产品的特殊性，电缆产品的批量极小，制做专用工装则成本高，且无法满足多种产品的测试要求，而制作通用工装，则转接方案难以确定，转接工装数量巨大，难以管理，成本也难以控制。

#### 4. 航天器电缆批量极小

由于航天产品的特殊性，电缆网产品的批量极小，一般为1.2套。如果针对产品设计专用工装，则难以满足多型号、多平台产品的测试要求，也会造成巨大浪费，必须设计通用型柔性工装。

#### 5. 电气连接关系复杂

航天器电缆网的电气连接关系复杂，不仅存在大量短接，接壳，接屏蔽，双点双线等特殊情况，也存在多个电连接器间互相交叉的连接关系。依靠人工录入编制测试程序是不可接受的，因此如何将各型号不同格式的接点表数据转换成正确的测试程序是一个巨大的挑战。

要想使市场上成熟的电缆测试设备能够广泛应用于航天器电缆网产品的测试工作，必须针对上述航天器低频电缆产品的特点，进行科学规划、合理设计，有针对性的进行改造和定制开发，使之完全满足航天研制任务的要求。

4

## 1.4 主要研究内容和特色

适应航天事业的发展需要，开发一套符合我国现有航天器电缆特点的自动测试准备系统是航天院所的迫切需要。

本论文研究一种可扩展和操作简易的自动测试准备系统，方便操作人员使用，减少

人工操作的误差，节约测试人员的成本[8]。基于这些需要实现的功能，本论文的研究内容分为四部分：

#### 1. 测试前的准备

由于转接工装规格和数量、自由端等情况的限制，目前还难以做到对所有电缆网产品进行自动测试，还存在需要使用手工方式进行测试的情况。因此电缆网产品的测试工作分为手工测试和自动测试两种。在进行自动测试以前，要先通过软件根据转接工装的规格和数量计算和识别出哪些电缆可以进行自动测试，哪些只能进行人工测试。

#### 2. 航天器低频电缆通用接点表的形成

航天器型号众多，电缆的设计文件“接点表”有9种不同格式，直接将其转换成测试程序有较大困难，考虑首先将其转换成统一的航天器低频电缆标准格式接点表，并进行规范化处理，以降低工程实现的难度。此部分内容就是研究如何把这9种原始接点表转换为电脑可识别的航天器低频电缆通用格式接点表。

#### 3. 测试程序的生成

通用接点表转化完成后，还需将其转换成自动设备可以执行的测试程序，完成测试前的准备工作。本部分内容就是研究如何把航天器低频电缆标准格式接点表转换成设备可识别的测试程序。

#### 4. 转接工装数据库的设计

本部分将研究设计一个转接工装数据库，用来保存电连接器、对接关系、转接电缆等与测试密切相关的数据，使其服务于测试程序的生成和转接电缆的存取等工作。

论文的创新点如下所示：

（1）本系统是针对国内航天器低频电缆产品设计的，在技术和实现上，可以避免抄袭和仿造，保证系统的可靠性。

（2）根据对不同用户的需求分析结果，本系统的操作界面设计的十分简洁清晰，用户在使用本系统时只需掌握一些计算机基本操作知识即可独立完成测试工作。

（3）对国内航天器接点表进行分析改造，使之适应测试主体环境。

5

## 1.5 相关技术概述

**1.5.1****对象关系映射技术**

针对转接工装数据库的设计与实现，使用对象关系映射技术，具体需要采用基于

python的SQLAlchemy框架的-O/R mapping(Object Relationship Mapping,简称ORM) -技术[9]。ORM 是将数据库表映射为面向对象系统中的类，表中的每一条记录对应为该类

的一个具体对象的技术。通过这种技术，可以在软件开发过程中采用面向对象的方式来处理与数据库相关的部分，例如记录的增加、删除、修改、查询等。利用这个机制，就可以透明地进行对象与关系数据库之间的转换，而不用去关心数据库连接、并发性、事

务等问题[10] 。

SQLAlchemy提供先进、完善、高效的持久化数据解决方案，它使用一个对象.关系映射来实现对象模型到关系数据库模型的对应。SQLAlchemy数据持久化方案包括三个部分：持久化API、查询语言、对象/关系映射元数据。使用SQLAlchemy数据持久化方案可以简化对象的存储过程，而不必使用SQL语句，而更符合开发人员的思维习惯。使开发人员将注意力更加集中于要完成的业务逻辑和实现过程上，而不是一句SQL语言等技术细节。ORM工作路径如图1.5。



一个数据库记录对应

一个字典对象

字典



通用映

射对象

与数据库表列映射

的通用列对象

**1.5.2****文件对象模型技术**

图 1.5 ORM的工作路径



ORM

XML

数据库

航天器低频电缆标准接点表可使用可扩展标记语言XML来描述，实现不同接点表格式的统一。可扩展标记语言XML(Extensible Markup Language)目前正在成为各种数

6

据特别是文档的一种表示形式。使用XML来表示的数据或文档很容易进行交换和传输，因此XML是目前Internet上主要的数据表示和交换的标准之一。本论文中需要用到文件对象模型DOM(Document Object Model)技术对XML文件进行读写处理。它是一组基于树模型和独立于平台的应用程序编程接口API（Application Programming Interface）

[11][12]. 它能够描述如何访问和操纵存储在XML文档中的信息。

DOM将XML文档分析成一棵由很多节点构成的树，文档中的每个部分都是树上的一个节点（Node），对节点可以进行各种遍历、查询、增删、修改操作[13]。简单地说，

DOM可以以一种独立于平台和语言的方式访问和修改一个文档的内容和结构，如可以动态地显示或隐藏一个元素，改变他们的属性，增加一个元素等。

### **1.5.3** 用户界面开发技术

#### 1. Python语言

Python是一种面向对象、解释型、动态语义、语法优美的脚本型语言，也是开发具有工业强度的商业应用程序的优秀语言，尤其适合开发基于Internet和Web的、多层客户机、服务器的数据库密集型系统。Python是当前移植能力最强的程序语言之一，最初，它是在UNIX平台上实现的，后来扩展到许多其他的平台，包括Mac OS X、Linux、

MS. Windows、Solaris等，而且Python的源程序和二进制代码都可以免费获得[14] 。

#### 2. wxPython简介

用户界面的设计，用到的是. wxPython.技术。wxPython是Python语言的一个GUI

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | | wxPython库 |
|  |  | |
| wxPython扩展模块 | |
| wxWidgets工具包 | | |
|  | Platform GUI | |
| 操作系统 | | |

工具集，它可以使Python程序员简单而轻松的创建一个健壮的、具有高级功能的图形用户界面[15]。它的基本结构如图1.6所示：

代理类

图 1.6 wxPython体系结构

wxPython是基于C++版本的图形界面库wxWidget的Python封装版本。长期以来，图形界面的开发一直是C++应用开发中的短板，在Windows平台，可以使用MFC类库

7

或者VCL类库。但是无论从开发的简易性，方便性，还是发展前景来说，都不是最优的选择。wxWidget的出现改变了这一切，它是一个基于C++的跨平台GUI类库，提供了丰富的用户界面资源和相关功能，几乎能够满足开发中的一切需求。而wxPython则是利用了Python的可扩展性，对wxWidget稍加包装，即形成了能够为Python所使用的GUI类库，而且大大简化了图形界面开发的工作。用户界面示例图如图1.7所示：



### **1.5.4** 组件对象模型技术

图 1.7 用户界面

本论文所涉及到的设计输入文件都是Excel文件格式，因此要将这种格式的数据转换成航天器低频电缆标准格式接点表则涉及到对Office文件的处理。例如对Excel文件的处理就需要“组件对象模型”(COM: Component Object Model)技术。COM是微软公司为了计算机工业的软件生产更加符合人类的行为方式开发的一种新的软件开发技术

[16]. 应用软件通过支持COM接口，可让外部程序访问其内部的数据，调用内部的功能。利用此技术可实现对多个应用软件的外部控制以及各应用软件间的进程通信，达到多种应用软件协同作业的目的[17]。COM技术是一种说明如何建立可动态互变组件的规范，

此规范提供了为保证能够互操作，客户和组建应遵循的一些二进制和网络标准。本论文将通过pyWin32框架实现对office的COM服务器的调用，来实现office文件的读写。

8

### **1.5.5** 生成测试程序

要实现测试程序的生成，实际上就是将标准格式接点表按照设备测试程序的要求生成相应的测试程序的过程。如图1.8为标准接点表：



图 1.8 测试电缆标准接点表

对航天器低频电缆产品的电性能测试主要包括三方面内容：导通电阻测试（两个接点的连通性能），绝缘电阻测试[18][19]（两个没有连接关系接点间的绝缘性能），介质耐压测试（不相关接点间耐受高压的能力）。在实际进行测试时，需要施加不同的电压，电流和时间来执行对产品的测试，因此在测试程序中主要由三部分组成：

（1）测试参数，描述测试时所使用的电压，电流，时间，门限值等信息；

（2）连接关系表：描述每对有连接关系的接点；

（3）绝缘（耐压）表：描述所有没有连接关系的接点的列表。如图1.9为生成的测试程序：

9



图 1.9 测试程序示例

由上图可见，航天器低频电缆的测试程序结构复杂，数据量巨大，仅靠人工编制工作量巨大，且难以保证正确。所以必须借助相关技术进行自动生成。而且上图中仅是针对一种自动测试设备的测试程序，而不同的测试设备所使用的测试程序是不一样的，但基本结构相同，均包括上述三部分。本设计中的具体的转化步骤见第四章。

## 1.6 论文结构安排

本文有五个部分，各部分安排如下：

第1章，绪论。介绍了本论文的研究背景及意义，分析了航天器低频电缆自动测试系统的国内外现状以及存在的问题，说明了国内航天器电缆的特点，并主要介绍了在设计航天器低频电缆自动测试准备系统的过程中所应用到的技术。

第2章，自动测试准备系统的总体设计。对本论文进行了需求分析，并根据需求提

10

出了系统的总体设计方案。

第3章，软硬件设计。分别介绍了自动测试准备系统的硬件设计和软件设计，并针对各模块进行了详细的介绍。

第4章，系统应用实例。此部分重点介绍系统运行中的优化和验收过程。

最后一部分，结论。此部分是对本论文的一个总结和展望，对本论文的主要工作、论文的主要内容进行总结，同时分析了本系统尚未完善的功能，并对系统的进一步开发和研究进行了展望。

11

# 第2章 自动测试准备系统的总体设计

本章首先对航天器低频电缆自动测试准备系统的需求进行了分析，然后介绍了本系统的总体设计框架。

## 2.1 需求分析

### **2.1.1** 系统目标

航天器低频电缆自动测试准备系统的总的研究目标是：做出一套完整的“航天器低频电缆自动测试准备系统”，包括测试前的准备工作，不同格式接点表向标准接点表的转换工作，把标准格式接点表转换为可执行的测试程序，以及转接电缆的存取工作。实现该系统的自动化，操作者只需少量的计算机操作知识就能很快掌握。

### **2.1.2** 系统关键问题

经总结，系统的关键问题如下：

（1）如何设计转接工装数据库的结构实现转接电缆的科学管理

（2）如何在测试前制定测试方案

（3）如何实现各种不同格式接点表到标准接点表的转换

（4）如何快速生成满足航天电缆特点的全覆盖测试程序；

### **2.1.3** 功能性需求

系统的总体需求如图2.1所示：

航天器低频电缆自动测试准备系统能够实现可定制的电缆自动测试流程，该流程可定制，可维护，分层次，能够指导测试人员完成相关工作。

航天器低频电缆自动测试准备系统能够完成测试相关的准备工作，包括数据准备，测试准备，转接电缆管理以及对系统相关配置的管理。

同样，所有测试相关内容被分为三部分，分别为：测试数据准备，测试方案准备和转接电缆管理。需要在设计系统时分别设计这三部分内容，并将其中的信息相互关联，便于普通用户分别在库中查找和使用相关内容。

12

数据准备

测试准备

查看软件

系统管理员

转接电缆管理

系统配置

进行测试工作

普通用户

图 2.1 系统总体用例图

航天器低频电缆自动测试准备系统的用户主要有两种类型，一种是系统管理员，另外一种则是普通用户。系统管理员完成知识库的设计、内容的丰富和管理等相关工作。另外航天器低频电缆自动测试流程是一个可定制的流程，也需要系统管理人员根据新的情况和要求进行调整和更新；所集成的软件也需要管理员进行系统管理和维护，包括软件的相关属性和运行环境配置等，以确保系统的正常运行。

而普通用户指的则是最常使用系统的人员。这类人员并没有系统管理的功能，只能根据系统所提供的自动测试信息进行测试工作。

### **2.1.4** 非功能性需求

对系统的主要非功能性需求如表2.1所示：

表 2.1 非功能性需求

| 主要属性 | 详细要求 |
| --- | --- |
| 正确性 | 应确保系统处理数据和相关文档的正确性，包括数据和文档存储的正确性。 |
| 健壮性 | 系统应有足够的健壮性，对于外部输入的非法数据和异常数据能够进行检查和判断，不会造成系统瘫痪和停止工作。 |

13

表 2.1 非功能性需求（续）

| 主要属性 | 详细要求 |
| --- | --- |
| 可靠性 | 系统应保证每周工作日（5 天\*8 小时）正常运行，以满足自动测试工作的需要。 |
| 性能，效率 | 系统应提供较高的性能，各种操作应保持在合理的范围内，确保不影响电缆自动测试工作，系统响应时间应在 30 秒内。 |
| 易用性 | 对用户应提供操作的易用性，满足不同计算机水平的操作人员的要求。做到操作方便，简单直观。 |
| 清晰性 | 对于操作和说明应明确，无二义性。不会使用户发生误解和误操作。对于有可能发生错误的地方，要提醒用户注意。 |
| 安全性 | 应建立基本的安全机制，只对授权用户开放系统功能，同时对不同角色的用户实行不同的操作。 |
| 可扩展性 | 系统具有可扩展性，可以满足后续不同型号电缆测试标准和案例知识的扩展需求； |
| 兼容性 | 系统同时能够兼容其他的辅助工具的集成和处理，如 Excel, PDF 等。 |
| 可移植性 | 系统应当具有可移植性，能够在不同的系统平台上进行移植，如主要包括  Windows XP 与 Linux(CentOS 5.5) 。 |
| 通用性 | 知识库系统具有涵盖航天器和运载火箭的各种电缆型号标准和典型案例信息的能力。 |

### **2.1.5** 用户界面需求

对用户界面的需求描述如表2.2所示：

14

表 2.2 用户界面需求

| 需求标识&名称 | 详细要求 |
| --- | --- |
| 操作方式 | 采用独立客户端页面形式 |
| 操作状态过程提示 | 当系统进行长时间的操作时，有操作的阶段以及状态的提示，同时允许用户取消操作。 |
| 减少用户的记忆负担 | 系统应提供操作提示信息，减少用户记忆的负担。 |
| 缺省值 | 系统应提供一系列的缺省值，使用户在使用系统的时候，能够得到指导，简化用户的操作过程，降低操作难度。 |
| 界面布局合理 | 以合理的布局方式展示用户界面，符合一般人和真实世界的操作习惯。 |
| 保持用户界面一致 | 系统的不同部分应保持一致的界面风格，布局一致，操作一致，内容一致。具体来说，导航控制、菜单、图标和风格（颜色，形状和布局）的使用应该在整个系统中保持一致。 |
| 提供帮助信息 | 在操作界面中应提供帮助信息，以帮助用户理解当前操作界面的主要功能，限制条件以及操作方法等。 |
| 错误信息 | 当系统出现异常时，应提供明确的错误信息。 |
| 异常数据的检查 | 对用户输入的数据应有检查功能，当用户输入了非法或异常数据，系统应当能够进行检查，并提示用户正确的数据类型和范围等信息。 |
| 自治性 | 用户界面应该辅助用户在整个系统中的移动，但是应该坚持使用已经为应用建立起来的导航习惯，以这样的方式辅助用户对系统的使用。 |
| 提高工作效率 | 系统的界面设计应该能够优化用户的工作效率，而不是加重用户的负担。 |
| 灵活性 | 系统的用户接口应该足够灵活，能够使用户在不同的操作方式下完成工作，比如向导式和直接操作式。 |

15

## 2.2 系统构成

### **2.2.1** 自动测试系统简介

初步分析，航天器低频电缆自动测试系统应由三大部分组成，分别是：（1）测试设备主机和分布式测试单元；（2）转接工装库和智能存储管理系统；（3）测试准备系统和测试执行系统。这三部分有机结合，缺一不可，如图2.2所示。



图 2.2 测试系统的组成

“转接工装管理系统”和“自动测试准备系统”是整个系统中的核心技术和创新点。其主要解决的问题包括：（1）测试准备和测试方案如何制定（2）如何快速生成满足航天质量特点的全覆盖测试程序；（3）转接电缆如何管理和方便插接；（4）转接工装如何实现寿命的管理和批量自检。

首先，需要根据被测产品和转接工装库的情况生成“测试大纲”文件，该文件描述了特定产品自动测试的总体情况，对于不能自动测试的则给出原因，以便持续改进。

其次，系统将根据产品的设计文件自动生成全覆盖自动测试程序。该测试程序不仅要描述导通表，还需描述绝缘表以便完成完整测试，杜绝各种可能存在的漏接、错接、多接的质量问题。

生成测试程序后，系统可生成被测电连接器列表和转接电缆的对应关系，并点亮相应转接存储柜的LED灯，帮助操作人员拿取或放回转接电缆，同时指导工作人员正确连接转接电缆与被测电缆。将转接电缆与被测电缆和测试设备连接后，即可使用“测试执行系统”完成测试工作。

16

### **2.2.1** 自动测试准备系统构成

测试准备系统主要完成测试前大量繁琐复杂的准备工作，打通了通用型自动测试设备在航天器低频电缆测试领域的应用的瓶颈，使通用型测试设备能够实现真正的工程应用。该系统提供的主要功能有：测试方案准备，测试数据准备，测试程序自动生成，指导转接工装存取和插接等。

基于本论文的研究内容，按照软件工程的规范流程，对航天器低频电缆现有测试情况进行了调研，确定了系统的设计需求，据此初步设计了数据库及整个系统的模型。体系结构图如图2.3所示：

应 用 层 业务逻辑层

数据库运行环境操作系统

整个系统被划分为五层：操作系统层，运行环境层，数据库层，业务逻辑层和应用层。下面分别进行说明：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试方案准备 | | | 测试数据准备 | | | | 测试程序生成 | |
| 电连接器管理 | | | 对接关系管理 | | | | 转接电缆管理 | |
| 数据库/ O/R mapping | | | | | | | | |
| 虚拟  机 | XML文  件 | | | Office  文件 | | 多进  程 | | wxPython |
| Windows | | Linus | | | Unix | | | Solaris |

图 2.3 体系结构图

由于本论文所用的Python语言以及其相关技术都是可以跨平台运行的，所以本系统可以在Windows、Linux、Unix、Solaris等多个操作系统上实现。

本论文所涉及到的运行环境有虚拟机，XML文件，Office文件，wxPython以及多进程、多线程运行。

第三为数据库层，即数据库的访问层，主要实现业务数据到存储系统的存取过程。本层主要采用基于python的SQLAlchemy框架的ORM技术来实现。

业务逻辑层指的是本论文所要实现的管理功能，包括电连接器管理、对接关系管理、转接电缆管理。

应用层包括了本论文的主要研究内容，分别是测试方案准备，测试数据准备和测试程序生成。

17

## 2.3 总体设计

### **2.3.1** 设计原则

航天器低频电缆自动测试准备系统的设计应遵循以下原则：

扩展性：航天器低频电缆自动测试准备系统不仅能够满足现有电缆测试的需求，更要考虑到系统将随着技术的发展而不断增加新的功能，因此必须在系统架构设计上为以后的发展进行针对性的设计。

易用性：航天器低频电缆自动测试准备系统面对的是国内航天器电缆产品。系统在架构设计阶段就必须有所考虑，而不仅仅是在界面设计中增加说明文字。从表面上看，易用性是满足用户心理，但从实现角度看，是要最合理的实现用户的需求并在快捷和灵活、繁杂和详细中间寻求平衡。

符合航天系统习惯和规范：航天器低频电缆自动测试准备系统应该充分考虑到航天领域的特殊性，并在安全性、流程、界面等方面尽可能尊重航天系统的习惯和规范。

### **2.3.2** 功能设计



航天器低频电缆自动测试准备系统

测试数据准备子系统

测试方案准备子系统

转接电缆管理子系统

根据需求分析的结果，按照功能进行划分和整理，将系统设计成三个子系统，分别是：测试数据准备子系统，测试方案准备子系统，转接电缆管理子系统。这些系统的功能模块划分如以下各图所示：

图 2.4 系统功能模块划分

各个子系统又分别包括多个功能模块，分别描述如下：

测试数据准备子系统：主要包括生成测试配套，生成标准接点表，提取标准接点表，生成测试大纲，生成分组测试方案和判断并行测试等。



测试数据准备子系统

图 2.5 测试数据管理子系统功能模块

生成测试配套

生成标准接点表

提取标准接点表

生成测试大纲

生成分组测试方案

判断并行测试

18

测试方案准备子系统：主要包括测试参数设置，生成测试程序和转接电缆存取。如下图所示：



测试参数设置

生成测试程序

转接电缆存取

测试方案准备子系统

图 2.6 测试方案准备子系统功能模块

转接电缆管理子系统：主要包括电连接器管理，对接关系管理，转接电缆管理，转接电缆状态和转接电缆汇总。如下图所示：



转接电缆管理子系统

图 2.7 转接电缆管理子系统功能模块

电连接器管理

对接关系管理

转接电缆管理

转接电缆状态

转接电缆汇总

根据这些系统的关系即可以初步设计出本系统的框架，接下来介绍的是本论文的详细设计。

19

# 第3章 软硬件设计

航天器低频电缆自动测试准备系统需要完成四方面工作，分别为：测试方案准备，测试数据准备，测试程序自动生成，指导转接工装存取和插接。其中在指导转接工装存取和插接阶段需要硬件支持。其余部分则是以软件设计为主要内容。

## 3.1 硬件设计

经过对各型号电缆网产品电连接器规格和数量的统计，已制作了超过1000根柔性通用型转接电缆，已覆盖超过200种电连接器规格，既包括J36A，J14A，J7，Y27，

Y11P，YB，J599系列等国产电连接器，也包括MM，D型，SAC，PRC系列进口电连接器，可测试的电连接器规格已经超过300种，基本覆盖了航天器电缆网产品的电连接

器规格。还将根据后续新型号电缆网产品的情况，不断进行补充和更新，最终将达到1600

根转接电缆的规模，并实现分级管理。

每个转接工装中都包含智能芯片，写入数据后，即拥有唯一编号，配合测试设备的读取扫描功能，可实现测试仪端的盲插，大大减少操作者的工作量，具有较高的工程价值。

数量如此庞大的转接电缆必须进行科学的存储、管理和使用。于是设计了智能转接存储和管理系统。该系统包括十二组智能存储柜，如图3.1所示。每组存储柜可存放近

70根转接电缆。在存储柜的每个存储单元中均安装了高亮LED灯，并通过相关的电路进行控制，存储柜通过串口与计算机进行连接，根据需要控制存储柜指定LED灯的亮灭，提示操作者拿取或放回转接电缆，减少了操作者的工作量，提高了工作效率。



图 3.1 转接工装存储柜

所有的转接工装与存储柜均由一个“转接工装管理系统”进行数字化管理。该系统

20

不仅记录了所有转接工装与测试相关的工艺特性，连接关系、状态和使用寿命等信息，而且可以和智能存储柜及测试准备系统进行直接集成和数据共享，为测试准备及执行工作打下了坚实的数据基础。

在指导转接工装存取和插接时，需要设计一个控制电路来实现转接工装存储柜上指示灯的指示功能。控制电路板如图3.2所示：



图 3.2 指示灯功能控制电路板

操作命令共分三种，由三个字节组成，例如：01 01 81

灯全亮命令：02 00 00

灯全灭命令：03 00 00

对灯逐个操作命令：01 01××，第三个字节表3.1所示：

表 3.1 转接工装柜指示灯命令

| 编  号 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 大  灯 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第一  列 | 亮 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 8A | 8B | 8C | 8D | 8E | 8F | 90 | 91 | A8 |
| 灭 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 0A | 0B | 0C | 0D | 0E | 0F | 10 | 11 | 28 |
| 第  二列 | 亮 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 9A | 9B | 9C | 9D | 9E | 9F | A0 | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A8 |
| 灭 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 1A | 1B | 1C | 1D | 1E | 1F | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 28 |

21

表 3.1 转接工装柜指示灯命令（续）

| 编 号 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 大灯 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 第  一列 | 亮 | A9 | AA | AB | AC | AD | AE | AF | B0 | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 | B8 | B9 | D0 |
| 灭 | 29 | 2A | 2B | 2C | 2D | 2E | 2F | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 50 |
| 第  二列 | 亮 | BD | BE | BF | C0 | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 | CA | CB | CC | CD | D0 |
| 灭 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 3D | 3E | 3F | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 4A | 4B | 4C | 4D | 50 |

## 3.2 软件设计

### **3.2.1** 界面的布局

创建界面的方法有很多，使用wxPython可以很快捷的做出漂亮的界面，但设置了许许多多的文本框、按钮以后，怎样在窗口中固定它们的位置就成了首要问题。在本论文中用到的设计方案是在wx内使用尺寸器(sizer)，用到的工具是wx. BoxSizer。

尺寸管理器会管理组件的尺寸。只要将部件添加到尺寸器上，再加上一些布局参数，然后就可以让尺寸器自己去管理组件的尺寸了，此时使用的是相对坐标而非绝对坐标。

wx. BoxSizer的构造函数带有一个决定它是水平还是垂直的参数(wx. HORIZONTAL或者wx. VERTICAL)，默认为水平。代码如下：

Sizer = wx. BoxSizer (wx. HORIZONTAL)

添加组件时会用到Add方法，Add方法有几个参数，proportion参数表示在窗口改变大小时所分配的空间设置比例，可以设定为任何数。代码如下：

Sizer. Add (filename , proportion =1 , flag = wx. EXPAND )

其中flag参数类似与构造函数中的style参数，可以使用按位或运算符连接构造符号常量对其进行构造。wx. EXPAND 标记确保组件会扩展到所分配的空间中。而

wx. LEFT, wx. RIGHT, wx. TOP, wx. BOTTOM 和wx. ALL 标记决定边框参数应用于哪个边

[20]. 代码如下：

Sizer. Add (self. txt, flag=wx. ALL|wx. EXPAND )

本系统最终主界面如图3.3所示：

22



图 3.3 主界面图

**3.2.2****多窗口界面设计**

考虑到本系统需要同时完成多个准备内容与测试任务，为了便捷操作，本设计中采用了多窗口界面wx. aui. AuiMDIParentFrame控制。定义界面代码如下：

Class ParentFrame (wx. aui. AuiMDIParentFrame): def init (self):

wx. aui. AuiMDIParentFrame. init (self, None,.1, u"航天气低频电缆自动测

试准备系统“, style=wx. DEFAULT\_FRAME\_STYLE)

各窗口同时运行见图3.4：

23



图3.4（a）多窗口子界面图



图 3.4 (b)多窗口子界面图

24

数据准备

读取电缆连接关系表，生成大规模电缆的分组测试方案

判断并行测试

本论文中用到了一种叫做类的数据结构。可以用它来定义对象，后者把数据值和行为特性融合在一起。类是现实世界的抽象的实体以编程形式出现。实例是这些对象的具

体化[21]。在Python中，类声明与函数声明很相似，代码如下：

Class ClassName (object): class\_suite #类体

在设计界面过程中使用到的类图如图3.5所示：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | 测试准备 | | | |  | |
| 进行测试方案的准备 | | | |
|  | | | | |  | | | |
|  |  | | | |  | | |  |
| 测试参数设置 | |  | | 生成测试程序 | |  | 转接电缆存取 | |
| 对导通电阻门限值、导通时间、绝缘电阻门限值等进行设定。 | | 把标准接点表  （XML格式）转化为测试程序文件  （ted文件）输出 | | 显示目前需要取用的转接电缆的信息。 | |

图 3.5(a) 测试方案准备中各类关系

生成测试配套

提取标准接点表

生成分组测试方案

根据输入的完整标准接点表提取出部分标准接点表并输出。

根据电缆信息生成测试配 套，为后期测试做准备。

根据输入文件的信息生成标准格式的接点表。

根据输入输出文件以及订货数据等信息生成测试大纲。

图 3.5(b) 测试数据准备中各类关系

进行测试数据的准备。

在多根电缆一起进行测试 时，判断能否正常进行。

生成标准接点表

生成测试大纲

25

电连接器管理

对接关系管理

实现对电连接器的增删改查操作。

实现对对接关系的增删改查操作。

转接电缆

对转接电缆进行管理。

转接电缆管理

转接电缆状态

实现对转接电缆的增删改查操作。

显示转接电缆状态并实现对其增删改查操作。

转接电缆汇总

对不同型号转接电缆的数量进行汇总

**3.2.3****数据库访问设计**

图 3.5 (c)转接电缆准备中各类关系

SQLAlchemy的对象关系映射器可以把用户定义的类与数据库表格联系起来，放入映射集当中。它可以被看做一个系统，这个系统能够同步对象及其相关的行之间的所有

状态的变化，也能够执行查询并返回对象实例表，而不是结果集[22] 。对象实例也被联系

到一个叫做Session的对象，确保自动跟踪对象的改变，并可以使用flush立即保存结果。本设计中数据库的访问界面如图3.6所示：



图 3.6 数据库的访问界面

在完成对数据库的访问工作中，也用到了类，如转接电缆、连接关系、电连接器、转接电缆状态等，它们之间存在如下图所示的关系。其中，Connector 为电连接器相关

26

信息，Connection描述了产品端与转接端的对接关系，Cable描述了转接电缆的信息，

Status则描述了转接电缆的状态信息。其关系如图3.7所示：



图 3.7 数据库访问中的类关系图

下面举例说明这几个类的作用：

#### 1. 转接电缆状态(Status)

此类中存放了转接电缆的状态，分别是可用、已占用、已取出和不可用。用户在进行存取和管理转接电缆操作时，会根据软件显示的转接电缆的状态明确可否使用此转接电缆。

#### 2. 电连接器管理(Connector)

在Connector模型中，除了序号、名称等基本信息外，另外两个关键信息是电连接器的“芯数(pins)”和“芯排列(pinlist)”。由于使用到电连接器规格众多，且存在用自然数和字母排列描述芯号的两种方法，因此设定上述两个字段分别描述这两种情况。例如：使用自然数1至40描述芯号的，直接在pins中保存数值40；对于字母描述芯号的情况，则较为复杂，一般规律为，首先使用大写字母A-Z序列（不包括I，J，O，Q等容易混淆字母）描述芯排列，不足则继续使用小写字母a-z序列（不包括i，l，o等容易混淆字母），仍然不足则使用AABBCC等双字母排列。针对每种规格的电连接器，上述规则大体一致，但有细微差别，因此我们为每个字母芯排列的情况建立了独立的芯排列字符串，规则为：大写、小写字母依次排列，用半角逗号隔开双字母序列。这样经过程序处理，即可在生成测试程序时正确的生成每种电连接器的真实芯号序列，使测试软件和测试设备能够正确识别，并顺利完成测试。

27

### **3.2.4** 接点表转换设计

参与航天器设计的总体单位众多，由于缺乏统一的标准和规范，每个总体单位都拥有有自己所创建的一套电缆产品的设计文件（电缆导线接点表）格式和模板（经初步统计。并且航天器低频电缆的设计数据量巨大，例如，在Excel文件中通常为几千至上万行，而打印出来，则多达几百页，依靠人工录入编制测试程序是不可接受的。经过分析，与测试有关的主要内容和特点如表3.2所示：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **字段名** | **说明** | **内容** | **备注** |
| **电缆代号** | 描述电缆网中每根电缆的信息 | 一般为字母开头，后跟电缆序号，如：PAK01， TGWS1-1，SINW100 等 | 部分电缆代号中间包括“.”， 一般表示分支； |
| **电连接器代号** | 描述一根电缆上电连接器的代号 | 没有特定规律，基本为字母和数字的组合，如：X2Z(T)，  XPN1-1 | 在同一个电缆上不重复出现 |
| **电连接器规格** | 描述该电连接器的规格型号 | 一般为标准规格，如：  J36A-38TK，DBM25S 等 | 该型号规格一般有比较规范的写法，存在不规范的情况； |
| **接点信息** | 描述两个电连接器间的接点连接关系 | 一般为包括括号，逗号和数字或字母的组合 | 表示两个电连接器间的接点连接关系，在括号内的数据一般表示短接，也有用汉字描述短接的情况 |

表 3.2 接点表格式及内容

经过统计和整理，目前生产中使用的各种设计文件格式共有9种，分别是：东三/四格式，二代导航格式（2种），遥感卫星格式（2种），小卫星格式（2种），飞船格式，空间站格式。图3.8是几种比较典型的设计文件（接点表）的示例：



图 3.8 (a)接点表示例

28



图3.8（b）接点表示例



图 3.8 (c)接点表示例

针对此种情况，本论文中并没有采用直接将各种接点表数据转换成测试程序的方案，而是采用先将各种格式的设计文件转换成标准格式的接点表文件，并进一步根据标准设计文件生成测试程序，这样可以将软件按模块进行划分，并降低每个模块的复杂程度和模块间的耦合程度，利于工程实现。标准接点表如图1.7所示：

29

标准接点表使用“可扩展标记语言(XML)”描述数据结构和内容，该语言不仅可以描述结构复杂的数据内容，也便于被计算机进行处理，可以根据不同的需要形成不同的数据展示。在本接点表中，主要分为三层，第一层是电缆网，使用“root”标识，一般为型号代号；第二层是电缆信息，标识为“cable”描述电缆网中的一根电缆；第三层为电连接器层，描述了两个具有电气连接关系的电连接器信息，标识为“conn”，在其中还有多个属性，用以描述一对电连接器的属性，“begcode”和“begtype”描述了始端电连接器的代号和规格“endcode”和“endtype”描述了终端电连接器的代号和规格；最后一层“wire”，描述了两个电连接器间的接点连接关系，有两个属性（beg和end）描述始端和终端的接点，每个属性中既可以只有一个接点，也可以包括多个接点，多个接点用逗号分开，在括号外的数字表示始端和终端间用长线连接，而括号内的数字表示与括号外的数字短接。

下面对设计文件（接点表）进行分析。在低频电缆产品的设计文件中则描述了每根电缆的每对电连接器中接点的连接关系，以图3.8（a）为例进行说明。

该电缆是一根一对一的直通型电缆，电缆的两端电连接器分别为，始端：GFN01a-X01（代号），YB3476L20-39SNII（规格）；终端：GFK12a. X03（代号），YB3476L16-26PNII-（T）（规格）。这根电缆中间的接点使用规格为0822-20的导线进行连接，所连接的接点分别为：始端的K接终端的J，始端的L接终端的K，始端的M接终端的L…，以此类推，如图3.9所示：



图 3.9 电缆连接关系示意图

在使用自动测试时，需根据设计文件编制连接关系表和绝缘表，而编制这两个表的工作量比较大，难度也比较大。首先将各种格式的接点表转换成统一和规范的标准格式接点表，以降低工程实现的难度和模块间的耦合性，并能够提供扩展性，再进一步将其转换成测试程序相关要求的文件，而生成测试程序的核心内容为连接表和绝缘表。

30

关于连接表，需根据设计文件的内容，按照测试程序的格式对照编制对应的连接关系。

但对于绝缘表，则难度较大，因为需要根据局部的连接关系表找出全局中所有没有连接关系的接点，并生成绝缘列表。这个关系是隐含的，手工编制难度巨大，且很难保证正确。

另外，对于航天产品，不仅需要测试设计文件中所描述的接点，还需对不在设计文件中描述的接点以及外壳进行绝缘测试，以杜绝多接，错接，多余物等情况。

通过反复研究和试验，最终得出结论，可利用图的遍历理论来实现绝缘表的生成。具体来说，根据接点表中的两点连接关系，可以创建出图中的很多节点（电连接器的芯）和边（连接关系），随着节点和边的不断加入，逐渐形成了一个局部互相连通的图。通过深度优先算法，可以得到该图中的各个网络表，再提取每个网络表中的首个接点，可以得到互相不联通的接点列表，再加上空点和接壳点列表就形成了完整的绝缘表。

生成测试程序的主要流程和方法如图3.10所示：



开始

读取电连接器列表

生成电连接器库文件

生成转接电缆库文件

生成测试程序

结束

图3.10 总流程

上图说明了生成完整测试程序的总流程，主要分为四步：读取电连接器列表，生成

31

电连接器库文件，生成转接电缆库文件，最后生成测试程序。生成的测试程序包括三部分内容：电连接器库（描述本次测试用到了哪些电连接器，以及这些电连接器的芯号排列），转接电缆库（描述本次测试使用到了哪些转接电缆，以及转接电缆和被测试电连接器的对应关系），测试程序（描述详细的测试参数，连接表，绝缘表）。下面依次进行分析。

#### 1. 读取电连接器列表，如图3.11所示：



开始

读取所有连接器对应的节点列表

获得始端和终端电连接器

是

循环

读取电连接器信息

代号规格是否为空

否 加入结果列表

否

是否读取完毕

是 返回结果列表

结束

图 3.11 读取电连接器列表

此图描述了生成读取文件，并生成电连接器列表的主要过程。具体来说包括：

（1）打开标准格式接点表，并读取其中所有的节点类型为“电连接器”的节点数据，形成一个列表；

32

（2）循环读取该列表中的所有元素，从中读取始端和终端电连接器信息；

（3）如果始端和终端电连接器的代号和规格都为空则进入下一个循环，否则将电连接器的代号和规格加入结果列表中。

（4）返回得到的电连接器列表数据，该结果列表是作为后续生成“电连接器库文件”，

“转接电缆库文件”以及“测试程序”文件的输入数据。

#### 2. 根据标准接点表和电连接器数据库生成电连接器库文件，如图3.12所示：

此图描述了生成电连接器库文件的主要过程。本步的输入数据为第一步生成的“电连接器列表”数据，通过处理后生成“电连接器库”文件。该文件是一个XML（Extensible Markup Language，可扩展标记语言，可以用来表示树状结构的复杂数据）文件，读写

XML文件则使用到了DOM（Document Object Model文件对象模型，可以对XML文件中的数据对象进行控制）技术。详细步骤包括以下几点：

（1）需按照XML文件的要求建立DOM树的根节点（ConnectorList）；

（2）循环读取电连接器列表中的数据（电连接器规格），并在根节点下建立电连接器

（Connector）节点，设置其相应的name属性为电连接器规格名称；

（3）以电连接器规格为参数调用远程服务获得数据库中该种规格电连接器的接点号列表信息（如: 1,2,3,4…或A, B, C, D…）；

（4）循环读取接点号列表中的每个接点号，在电连接器节点下建立接点号节点（Pin），并设置其属性“name”为接点号，在接点号节点下增加子属性，并设置相应值；

（5）在电连接器节点下增加“接壳点”的节点及相应属性；

（6）在根节点下添加转接端电连接器的节点及接点号信息；

（7）将生成完的DOM树写入输出文件中。

33



开始

创建DOM树根节点

ConnectorList设置属性

创建Connector节

点设置属性

循

环处理列表中的电连接器

获取电连接器的芯排列

创建Pin节点设置属性

处理接点号完毕

循环处

理列表中的接点号

否

是

否

处理电连接器完毕

是

创建壳地节点设置属性

创建转接端节点设置属性

将DOM树写入文件

结束

图 3.12 生成电连接器库文件

#### 3. 根据标准接点表和转接电缆数据库生成转接电缆库文件，如图3.13所示：

34



开始

建立DOM根节点ConvertorList

根据电连接器取得电缆代号

找还未用过的转接电缆

计算需要J24H电连接器的数量

保存待处理的转接电缆

循

环处理电连接器列表中的数据

创建其他固定内容节点

处理电连接器中的数据完毕

否

是

创建其他附加节点

将DOM树写入文件

更新转接电缆状态

结束

图 3.13 生成转接电缆库文件

35

此图描述了生成转接电缆库文件的主要过程。本步的输入数据也是第一步生成的电连接器列表数据，通过一系列处理生成输出文件“转接电缆库文件”。转接电缆库文件描述了本次测试使用到的所有转接电缆信息，该文件也是一个XML格式文件。详细步骤包括：

（1）需按照XML文件的要求建立DOM树的根节点（ConvertorList）；

（2）循环读取电连接器列表中的每个元素，创建转接电缆接点（Convertor），读取其中的电连接器代号和规格信息，用规格数据作为参数调用远程服务，查询该种规格电连接器所对应的转接电缆列表，并返回。从该列表中找出未被使用的转接电缆代号，写入

Convertor节点的相应属性中，同时按照文件格式的要求写入其他属性信息。

（3）以电连接器的规格数据为参数调用远程服务，查询该规格电连接器的芯数，并根据芯数计算所需要的J24S-38TJ电连接器的个数，依次写入Convertor的子节点的相关属性中。

（4）在根节点上创建文件格式要求的其他固定内容。

（5）将创建完成的DOM树写入输出文件中。

#### 4. 生成测试程序文件，如图3.14所示：

上图描述了生成测试程序的主要过程。该程序嵌套了三层循环处理，详细步骤包

括：

（1）打开输入文件（标准格式接点表）和输出文件（测试数据文件）。

（2）从输入文件中读取电缆代号列表

（3）循环处理每根电缆，在输出文件中写入测试参数数据和电缆代号等信息；

（4）获取当前电缆下的电连接器节点列表，获取其中的电连接器代号信息，并将其处理成符合文件格式要求的形式；

（5）读取当前电连接器节点下的所有连接关系节点列表。

（6）循环处理每个连接关系节点，首先处理始端和终端的短接关系，并添加到连接关系列表数据中；

（7）再处理始端和终端的连接关系，并添加到连接关系列表数据中

（8）根据上一步生成的连接关系列表，建立图，利用图的遍历方法获得绝缘表；

（9）按照文件格式的要求，将当前电缆的连接关系数据和绝缘表数据写入输出文件中。

36

开始

打开输入、输出文件

从输入文件中获取电缆列表

写测试参数

获取电连接器列表

循

环处理每根电缆

处理电连接器代号

处理始端终端短接

循

环处理接点

处理长线关系

循

环处理每个电连接器

否

处理接点完毕

是

处理电连接器完毕

否

是

否

处理电缆完毕

是 生成绝缘列表

将连接关系和绝缘关系写入文件

结束

图 3.14 生成测试程序

37

完整的测试程序包括三个文件，分别是：“电连接器库文件”描述了本次测试所要使用到的所有电连接器的规格信息以及芯排列信息；“转接电缆库文件”描述了本次测试所要使用到的所有转接电缆及与产品端的对应关系；“测试程序”描述了本次测试的测试参数以及待测试的导通表和绝缘表信息。要生成完整、正确的测试程序，需要按照上述流程完成相关工作，依次生成上述三个文件。

具体来说包括：

1.生成测试程序的前三步：生成电缆列表，生成电连接器库文件，生成转接电缆库文件（对应图3.11, 3.12, 3.13）的主要工作，在此简略说明：

读取电缆列表，生成电连接器库文件，以及生成转接电缆库文件的主要工作是需要对XML文件进行处理，在本论文中使用DOM技术完成对XML文件的读取或写入。这部分工作比较成熟，只需按照XML文件格式的要求读取或写入DOM节点即可。

在其中，当需要获取电连接器芯数和获取转接电缆列表时，需要调用远程服务器中数据库中的相关数据，在这里应用到了RESTful(Representational State Transfer)风格的

WebService技术（一种轻量级的Web服务，在客户端与服务器端交互的请求间不保存装态），通过该技术，本地应用程序可以很方便的通过HTTP（Hypertext Transfer Protocol超文本传输协议）协议访问远程Web服务器上提供的服务，将得到的数据通过JSON(JavaScript Object Notation，一种轻量化便于处理的数据格式)格式实现序列化，可在网络上无损传递，被客户端程序所使用，实现了数据库数据的充分共享和复用。

#### 2. 生成测试程序

生成测试程序的方法是本发明的核心，下面以一个实例说明生成测试程序的具体方法，如表3.3为接点表示例：

表 3.3 接点表示例

| 始 端 | 终 端 |  |  | 电缆代号: | W001 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| X01 | X02 |  |  | 用线要求 | 信号 |
| J36A.52TK | J36A.62TJ | 根数 | 方向 | 线型 |  |
| 14,(15) | 41 | 1 |  | 0812.24 |  |
| 16,(17) | 42 | 1 |  | 0812.24 |  |
| 18,(19) | 51 | 1 |  | 0812.24 |  |
| 20,(21) | 52 | 1 |  | 0812.24 |  |

38

表 3.3 接点表示例(续)

| 始 端 | 终 端 |  | 电缆代号: W001 |
| --- | --- | --- | --- |
| X01 | X02 | 用线要求 | 信号 |
| 22,(23) | 53 | 1 0812.24 |  |
| 24,(25) | 54 | 1 0812.24 |  |
| 11,12 | 47,48 | 2 0812.24 |  |
| 1 | 55 | 1 0812.26 |  |
| 2 | 56 | 1 0812.26 |  |
| 3 | 57 | 1 0812.26 |  |
| 4 | 58 | 1 0812.26 |  |
| 5 | 59 | 1 0812.26 |  |
| 6 | 60 | 1 0812.26 |  |

在该接点表中，描述了一根电缆W001的连接关系。其中共有两个电连接器，分别是X01和X02，他们的规格分别是J36A-52TK（矩形52芯的电连接器）和J36A-62TJ

（矩形62芯的电连接器）。接点表所描述了连接规则是：括号表示短接，始端括号外的接点与括号内的接点短接，同时始端括号外的接点与终端的接点一一对应，连接长线。根据该接点表，可将接点表中的连接关系转换成20组一一对应的连接关系表：

W001:

Link[1]:X01:14, X01:15 Link[2]:X01:14, X02:41 Link[3]:X01:16, X01:17 Link[4]:X01:16, X02:42 Link[5]:X01:18, X01:19 Link[6]:X01:18, X02:51 Link[7]:X01:20, X01:21 Link[8]:X01:20, X02:52 Link[9]:X01:22, X01:23 Link[10]:X01:22, X02:53 Link[11]:X01:24, X01:25 Link[12]:X01:24, X02:54

39

Link[13]:X01:11, X02:47 Link[14]:X01:12, X02:48 Link[15]:X01:1, X02:55 Link[16]:X01:2, X02:56 Link[17]:X01:3, X02:57 Link[18]:X01:4, X02:58 Link[19]:X01:5, X02:59 Link[20]:X01:6, X02:60

进而，可根据上述连接关系表生成图，并通过图的遍历算法生成测试网络表，该网

络表将一一对应的连接关系生成14个网络表，将互相有关联的接点放在同一个网络表中，如下所示（括号中的数字是网络表中的节点数）：

W001:

Net[1](2):X01:1, X02:55

Net[2](2):X01:11, X02:47

Net[3](2):X01:12, X02:48

Net[4](3):X01:14, X01:15, X02:41

Net[5](3):X01:16, X01:17, X02:42

Net[6](3):X01:18, X01:19, X02:51

Net[7](2):X01:2, X02:56

Net[8](3):X01:20, X01:21, X02:52

Net[9](3):X01:22, X01:23, X02:53

Net[10](3):X01:24, X01:25, X02:54

Net[11](2):X01:3, X02:57

Net[12](2):X01:4, X02:58

Net[13](2):X01:5, X02:59

Net[14](2):X01:6, X02:60

其中网络1,2,3,7,11,12,13,14只有两个接点，而剩下的网络各有三个接点。

根据该网络表中可以知道，每个网络表内部的各节点都有连接关系，而各网络表之间则没有连接关系。要生成绝缘表，则需根据网络表，提取各网络表中的任意一个节点

（为方便处理，取每个网络表的第一个节点），即可生成第一部分绝缘表，生成完成的第一部分绝缘表应如下列数据所示：

X01:1, X01:11, X01:12, X01:14, X01:16, X01:18 X01:2, X01:20, X01:22, X01:24, X01:3, X01:4, X01:5, X01:6

40

而只有这部分绝缘表是不够的，因为电连接器中还有大量的空点没有被使用到，也应该进行完整的测试，以确保没有多接的错误，另外为了检查多余物的情况，还应该对接壳点进行测试。因此再根据数据库中电连接器的规格，可以得到上述连接器X01 和

X02的芯数分别是52芯和62芯。对照上述连接表的数据和第一部分绝缘表的数据，可以得到空点和接壳点的列表（KD表示接壳点）。如下所示：

X01:7, X01:8, X01:9, X01:10, X01:13, X01:26, X01:27, X01:28, X01:29, X01:30, X01:31, X01:32, X01:33, X01:34, X01:35, X01:36, X01:37, X01:38, X01:39, X01:40, X01:41, X01:42, X01:43, X01:44, X01:45, X01:46, X01:47, X01:48, X01:49, X01:50, X01:51, X01:52, X02:1, X02:2, X02:3, X02:4, X02:5, X02:6, X02:7, X02:8, X02:9, X02:10, X02:11, X02:12, X02:13, X02:14, X02:15, X02:16, X02:17, X02:18, X02:19, X02:20, X02:21, X02:22, X02:23, X02:24, X02:25, X02:26, X02:27, X02:28, X02:29, X02:30, X02:31, X02:32, X02:33, X02:34, X02:35, X02:36, X02:37, X02:38, X02:39, X02:40,

X02:43, X02:44, X02:45, X02:46, X02:49, X02:50, X02:61, X02:62, X01: KD, X02: KD

最后将第一部分绝缘表和第二部分绝缘表合在一起，就形成了完整的绝缘表，使用该绝缘表可以确保对电缆产品进行完整的测试，杜绝质量漏洞和死角。

最后生成的测试程序见附录。

41

# 第4章 系统应用实例

系统建设完成后，已经对工艺电缆和各型号的产品电缆进行了大量的测试实验，检验了系统各环节在实际生产环境中的运转情况，发现问题，逐步改进。目前系统已经正式交付质检人员，应用于包括载人飞行器在内的近30颗整星（船），共1800根/次低频

电缆产品的测试工作中。根据汇总统计，产品的平均自动测试覆盖率（以根数记）为80

－90%之间。单台设备平均每工作日可测试40－50根电缆，相对与手动测试方式使用的“人海战术”，不仅大大减轻了相关工作人员的工作量，同时测试质量有了质的提高，系统实施效果显著。

## 4.1 测试结果的异常情况分析

经过多次试验，本系统已实现与测试系统的对接。下面展示一下在实验过程中遇到过的电缆异常情况。

#### 1. 开路

当测试过程中在屏幕上显示“Open Circuit”（如图4.1）字样时，表示出现开路错误。



图 4.1 开路错误

处理方法有以下几点：

（1）重新插接产品端与转接端电连接器；

（2）重新插接转接端与测试仪端接电连接器；

（3）核对接点表（如果是产品错误，则返修产品；如果是接点表错误，则修改接点表）

#### 2. 短路

当测试过程中在屏幕上显示“Short Circuit”（如图4.2）字样时，表示出现短路错误。



图 4.2 短路错误

处理方法有以下几点：

（1）核对接点表是否与错误信息一致；

42

（2）检查电连接器是否分开放置；

#### 3. 绝缘低

当测试过程中在屏幕上显示“Insulation Fault”（如图4.3）字样时，表示出现绝缘低错误。



图 4.3 绝缘低错误

处理方法有以下几点：

（1）核对环境湿度，将其控制在60%以下；

（2）对产品吹热风；

（3）检查产品，如有多余物，需返修产品；

#### 4. 转接电缆错误

当测试过程中在屏幕上显示“Sense Error”（如图4.4）字样时，表示出现转接电缆错误。



图 4.4 转接电缆错误

处理方法有以下几点：

（1）重新插接产品端与转接端电连接器；

（2）检查转接电缆，如有断线情况则应返修；

#### 5. 漏电流偏高异常

当测试过程中在屏幕上显示“HV: Unidentifiable Breakdown”或“Breakdown”（如图4.5）字样时，表示出现漏电流偏高异常。

43



图4.5（a）漏电流偏高异常



图4.5（b）漏电流偏高异常

处理方法有以下几点：

（1）重新插接产品端与转接端电连接器；

（2）部分连接器镀层影响，例如GX14K4PJ连接器；

#### 6. 连续大量开路错误

当测试过程中出现连续大量开路错误时，需检查出现错误的电连接器的对接关系，并重新插接。

## 4.2 测试结果图的分析

测试完成后系统会自动生成测试结果图，如图4.6是一个有短路错误的某电缆的测试结果，在测试结果处会显示Short Circuit字样：



图 4.6 测试结果图

对于那些无错误的电缆，其测试结果如图4.7所示，在测试结果处会显示GOOD字样：

44



图4.7(a)测试结果图



图4.7（b）测试结果图

45

结论

本文根据国内航天器低频电缆的特点，从硬件支持和软件设计两个方面进行了开发设计，实现了一套符合国内航天器电缆需求的自动测试准备系统。而且系统操作界面简单明朗，操作人员只需要学习一些基本的计算机操作知识，便可以使用本系统。

本论文主要完成的工作可以总结为以下几点：

（1）对国内航天器低频电缆的特点进行了详细的分析，并针对这些特点，提出了系统总体的设计方案，本系统安全可靠、操作简单、可以满足未来的发展需求。

（2）结合北京卫星制造厂已有的硬件设施，对本系统中所用到的电路板进行了焊接与测试，现已投入应用。

（3）根据需求设计了软件的总体功能，主要包括以下四点：测试方案准备，测试数据准备，测试程序自动生成，指导转接工装存取和插接。

（4）完成了系统调试工作，目前，本系统已经通过了校准和验收，正式用于产品的测试工作。

由于时间和作者本人水平的限制，本系统的研究还有一些不尽人意的地方。在今后的测试工作中，还可以在以下几个方面进行改善：

（1）目前，本系统只在单设备上运行使用，可以在未来进行大规模使用的同时，实现

多设备联网运行。

（2）在多设备联网运行的基础上，还可以研究多项目、多设备调度和并行测试方法，使系统更智能。

（3）在测试结果数据的判读工作中，还可以更精细的对结果数据进行处理和分析，使测试系统的应用达到更高的水平，充分发挥自动化设备和信息技术的威力，为航天事业的发展做出更大的贡献。

46

参考文献

[1] 袁亚飞, 柏向春, 冯荣尉. 航天器电缆网测试方法探究[J]. 宇航计测技术. 2011, 8.

[2] CKT1175B技术说明书. 北京友信科技有限公司. 2006, 4.

[3] Subrata Mukherjee. Essential Tests for Structured Cables[J]. EC&M. June, 2009.

[4] P. Tsai, Y. Chung, C. Lo, and C. Furse. Mixed signal reflectometer hardware implementation forwire fault location[J]. IEEE Sensors J., VOL.5, NO.6, PP. 1479-1482, Dec. 2005.

[5] 李健. 智能型电缆测试系统的设计与实现. 现代电子技术. 2010: 23.

[6] 蔡军, 张婵. 基于工控机的航空电缆通用测试系统[J]. 工业控制计算机. 2007, 20(5): 46-47.

[7] 张勇. 基于虚拟仪器技术的注入敏感度自动测试系统的设计与实现[D]. 上海交通大学. 2006.

[8] 徐梦琦. 二次电源自动测试系统的设计与实现[D]. 南京航空航天大学, 2012.

[9] 郭丹. 基于ORM的数据整合技术研究[J]. 价值工程. 2012, 31(28).

[10] 况磊, 杨路明. 对象映射关系型数据库技术研究[J]. 电脑与信息技术. 2007, 2(15). [11] HTML DOM Tutorial[EB/OL]. http. //[www. w3schools. com/htmldom/default. asp.](http://www.w3schools.com/htmldom/default.asp) [12] HTML DOM 访问节点[EB/OL]. http://www. w3school. com. cn/htmldom/dom\_nodes\_access. asp.

[13] 李京. 利用XML DOM创建强大的XML应用[J]. 计算机应用研究, 2002.

[14] Magnus Lie Hetland著.司维, 曾军葳译. Python基础教程(第2版)[M]. 人民邮电出版社. 2012.

[15] 王世华, 沈卫超. 用Python和wxPython开发主机安全监控系统[C]. 第20次全国计算机安全学术交流会论文集. 2005, 7.

[16] 牟丹. ASP技术和COM组件技术. 科学信息(学术版). 2006, 11: 389.

[17] 万志刚, 林超峰. 基于COM技术的软件在测绘工作中的应用探讨[J]. 城市勘测. 2011.12, 6.

[18] 顾晓鸣, 陕华平, 肖凳明. 智能数字式绝缘电阻测试仪的研制[J]. 电工技术. 2006(4): 90-93.47

[19] 刘华毅, 李健. 绝缘电阻测试仪的设计[J]. 仪器仪表用户. 2006, 13(6): 48-50. [20] Magnus Lie Hetland著.司维, 曾军葳译. Python基础教程(第2版)[M]. 人民邮电出版社. 2012.

[21] Wesley J. Chun. Core Python Programming Python(2nd ed. )[M]. 2008.

[22] 黄丽娟, 郑雪峰, 罗涛. 对象映射关系型数据库技术研究[J]. 计算机工程与设计. 2004, 25(11).

[23] 张振天, 郭旭等. 某新型航空发动机电缆自动测试系统研究[J]. 中国技术新产品. 2012, No.14.

[24] Wang Wenbin, Li Jangyuan, Wu Qijun. The Design of a Chemical Virtual Instrument Based on LabVIEW for Determining Temperatures and Pressures[J]. Automated Methods and Management in Chemistry. 2007.

[25] 杨奋为. 航天电连接器组件的常见故障检验[J]. 机电元件. 2005, 25 (3).

[26] Cupo P, Woods K. Sustainment of automatic test systems. what 30 years of system integration has taught us[J]. Autotestcon, 2005.

[27] Rohde＆Schwarz. Test and Measuerment Products Catalog[M]. 2006.

[28] Silicon Laboratories, C8051F02x Datashee[t. http: //www. silabs. com.](http://www.silabs.com/) 2002.

[29] Philips Corp.. PDIUSBD12 Product Data. http: //[www.](http://www/) semiconductors. philips. com. 2011.

[30] 张莉莉, 杨京礼, 孙超. 分布式飞机电缆通用测试系统设计[J]. 仪器仪表学报. 2007. 04. P388-390.

[31] RogerS. Pressman. SoftwareEngineering—Engineeringpractitionerresearch methods(6nd ed. )[M]. 2006.

[32] 罗云林, 吴林. 航空多芯电缆检测系统设计[J]. 控制工程. 2009(5): 342-345.

[33] Wang Pinglian, Yuan Sumin. Automated Measurement System for Wireless Transmitters. ICEMI 8th Electronic Measurement and InstrumentsInternational Conference[J]. 2007.

[34] Wu Bingsheng, Cai Chaozhi. Remote data acquisitionand signal processing system based on LabVIEW[J]. ICMTMA. 2009.

[35] 于洋, 陈亮. 测试系统网络化技术及应用[M]. 机械工业出版社. 2009, 7.

[36] 路辉. 自动测试系统测试描述语言[M]. 机械工业出版社. 2011, 7.

[37] 郑军奇. EMC电磁兼容设计与测试案例分析[M]. 电子工业出版社. 2010, 1.48

[38] 朱启林, 李仁义. 电力电缆故障测试方法与案例分析[M]. 机械工业出版社. 2008, 1.

[39] 李金伴, 林丛. 常用电线电缆选用手册[M]. 化学工业出版社. 2011, 3.

[40] 孟宪敬, 付华. 煤矿供电系统试验测试新技术[M]. 煤炭工业出版社. 2013, 7. [41] Zhang W J, Li D, Ye F. Automatic Optical Defect Inspection and Dimension Measurement of Drill Bit[J]. Mechatronics and Automation. 2006, 95-100.

[42] 刘思久, 张礼勇. 自动测试系统与虚拟仪器原理·开发·应用[M]. 电子工业出版社. 2009, 8.

49

附录

1.生成的测试程序：

#PARAMETER" W001"" W001"

:TEST\_TYPE

KELVIN SHORT\_LOW HIGH\_VOLTAGE

@CURRENT\_KELVIN 500

@TIME\_KELVIN 500.0

@RESISTANCE\_KELVIN 1

@RESISTANCE\_LOW 100.000000

@RESISTANCE\_INSULATION 20000.000000

@VOLTAGE\_LOW 10.000000

@TIME\_LOW\_VOLTAGE 50

@VOLTAGE\_HIGH\_VOLTAGE 250

@RESISTANCE\_HIGH\_VOLTAGE 200000000

@RISE\_TIME\_HIGH\_VOLTAGE 500.0

@TIME\_HIGH\_VOLTAGE 500.0

@MODE\_HIGH\_VOLTAGE ISO

@SEQ\_GROUP OFF

!

# LINK" W001"" W001"

@" Link 1"" X01-14"" X01-15" 0.000.00 ?

@" Link 2"" X01-14"" X02-41" 0.000.00 ?

@" Link 3"" X01-16"" X01-17" 0.000.00 ?

@" Link 4"" X01-16"" X02-42" 0.000.00 ?

@" Link 5"" X01-18"" X01-19" 0.000.00 ?

@" Link 6"" X01-18"" X02-51" 0.000.00 ?

50

@" Link 7"" X01-20"" X01-21" 0.000.00 ?

@" Link 8"" X01-20"" X02-52" 0.000.00 ?

@" Link 9"" X01-22"" X01-23" 0.000.00 ?

@" Link 10"" X01-22"" X02-53" 0.000.00 ?

@" Link 11"" X01-24"" X01-25" 0.000.00 ?

@" Link 12"" X01-24"" X02-54" 0.000.00 ?

@" Link 13"" X01-11"" X02-47" 0.000.00 ?

@" Link 14"" X01-12"" X02-48" 0.000.00 ?

@" Link 15"" X01-1"" X02-55" 0.000.00 ?

@" Link 16"" X01-2"" X02-56" 0.000.00 ?

@" Link 17"" X01-3"" X02-57" 0.000.00 ?

@" Link 18"" X01-4"" X02-58" 0.000.00 ?

@" Link 19"" X01-5"" X02-59" 0.000.00 ?

@" Link 20"" X01-6"" X02-60" 0.000.00 ?

!

#PRIM" W001"" W001"

@-" Grp 1"

"X01-1"" X01-10"" X01-11"" X01-12"" X01-13"

"X01-14"" X01-16"" X01-18"" X01-2"" X01-20"

"X01-22"" X01-24"" X01-26"" X01-27"" X01-28"

"X01-29"" X01-3"" X01-30"" X01-31"" X01-32"

"X01-33"" X01-34"" X01-35"" X01-36"" X01-37"

"X01-38"" X01-39"" X01-4"" X01-40"" X01-41"

"X01-42"" X01-43"" X01-44"" X01-45"" X01-46"

"X01-47"" X01-48"" X01-49"" X01-5"" X01-50"

"X01-51"" X01-52"" X01-6"" X01-7"" X01-8"

"X01-9"" X01-KD"" X02-1"" X02-10"" X02-11"

"X02-12"" X02-13"" X02-14"" X02-15"" X02-16"

"X02-17"" X02-18"" X02-19"" X02-2"" X02-20"

51

"X02-21"" X02-22"" X02-23"" X02-24"" X02-25"

"X02-26"" X02-27"" X02-28"" X02-29"" X02-3"

"X02-30"" X02-31"" X02-32"" X02-33"" X02-34"

"X02-35"" X02-36"" X02-37"" X02-38"" X02-39"

"X02-4"" X02-40"" X02-43"" X02-44"" X02-45"

"X02-46"" X02-49"" X02-5"" X02-50"" X02-6"

"X02-61"" X02-62"" X02-7"" X02-8"" X02-9"" X02-KD"

!

2.主界面部分程序示例：

Class FlatMenuDemo(wx. aui. AuiMDIParentFrame): def init (self):

Wx. aui. AuiMDIParentFrame. init (self, None, -1, '', size=(800,650), style=wx. DEFAULT\_FRAME\_STYLE)

Self. SetIcon(images. Mondrian. GetIcon()) wx. SystemOptions\_SetOption(" msw. remap"," 0")

self. SetTitle(u“航天器低频电缆自动测试准备系统”)

If \_hasAUI:

self.\_mgr = AuiManager() self.\_mgr.SetManagedWindow(self)

self.\_popUpMenu = None

mainSizer = wx.BoxSizer(wx.VERTICAL)

# Create a main panel and place some controls on it mainPanel = wx.Panel(self, wx.ID\_ANY)

panelSizer = wx.BoxSizer(wx.VERTICAL) mainPanel.SetSizer(panelSizer)

statusbar = self.CreateStatusBar(2, wx.ST\_SIZEGRIP) statusbar.SetStatusWidths([-2, -1])

# statusbar fields

52

2013"),

statusbar\_fields = [(u"航天器低频电缆自动测试准备系统, YHL @ 20 Dec

(u"欢迎使用！“)] for i in range(len(statusbar\_fields)):

Statusbar. SetStatusText(statusbar\_fields[i], i) self. CreateMenu()

Self. ConnectEvents() mainSizer. Add(self. \_mb, 0, wx. EXPAND)

MainSizer. Add(mainPanel, 1, wx. EXPAND) self. SetSizer(mainSizer)

MainSizer. Layout() if \_hasAUI:

# AUI support

Self. \_mgr. AddPane(mainPanel, AuiPaneInfo(). Name(" main\_panel").

CenterPane()) self. \_mb. PositionAUI(self. \_mgr) self. \_mgr. Update()

ArtManager. Get(). SetMBVerticalGradient(True) ArtManager. Get(). SetRaiseToolbar(False) self. \_mb. Refresh()

self. CenterOnScreen()

3.电连接器管理窗口部分程序示例：

Class FrmConnectorMng(wx. aui. AuiMDIChildFrame):

"管理电连接器的主窗口”def init (self, parent):

Wx. aui. AuiMDIChildFrame. init (self, parent, -1,

Title=msgs. title\_connector\_mng) sizer = wx. BoxSizer(wx. VERTICAL)

#查询功能

53

sizerTop = wx.BoxSizer(wx.HORIZONTAL) lbl = wx.StaticText(self,-1, msgs.lbl\_name)

sizerTop.Add(lbl,0,wx.ALL|wx.ALIGN\_RIGHT|wx.ALIGN\_CENTER\_VERTICAL,10) self.txtSpec = wx.TextCtrl(self,-1,"",size=(180,-1)) sizerTop.Add(self.txtSpec,1,wx.ALL|wx.EXPAND,10)

self.btnQuery = wx.Button(self,wx.ID\_ANY,msgs.btn\_query) self.Bind(wx.EVT\_BUTTON,self.OnBtnQueryClick,self.btnQuery) sizerTop.Add(self.btnQuery,0,wx.ALL,10)

sizer.Add(sizerTop)

#数据列表

self.grid = wx.grid.Grid(self) self.grid.CreateGrid(1,len(GRID\_COL\_LABELS)) self.grid.EnableEditing(False) self.grid.SetSelectionMode(1)

self.Bind(wx.grid.EVT\_GRID\_SELECT\_CELL,self.OnGridRowSelect,self.grid)

# set the header of the columns

for col in range(len(GRID\_COL\_LABELS)): self.grid.SetColLabelValue(col, GRID\_COL\_LABELS[col])

sizer.Add(self.grid,1,wx.ALL|wx.EXPAND,10)

#底部按钮

btnSizer = wx.BoxSizer(wx.HORIZONTAL) btnSizer.Add((20,20), 1)

self.btnNew = wx.Button(self,wx.ID\_ANY,msgs.btn\_new) btnSizer.Add(self.btnNew,0,wx.ALL,5) self.Bind(wx.EVT\_BUTTON,self.OnButtonNewClick,self.btnNew) btnSizer.Add((20,20), 1)

self.btnModify = wx.Button(self,wx.ID\_ANY,msgs.btn\_modify)

54

BtnSizer. Add(self. btnModify,0, wx. ALL,5) self. Bind(wx. EVT\_BUTTON, self. OnButtonModifyClick, self. btnModify) btnSizer. Add((20,20), 1)

Self. btnDelete = wx. Button(self, wx. ID\_ANY, msgs. btn\_delete) btnSizer. Add(self. btnDelete,0, wx. ALL,5) self. Bind(wx. EVT\_BUTTON, self. OnButtonDeleteClick, self. btnDelete) btnSizer. Add((20,20), 1)

Self. btnImport = wx. Button(self, wx. ID\_ANY, msgs. btn\_import) btnSizer. Add(self. btnImport,0, wx. ALL,5) self. Bind(wx. EVT\_BUTTON, self. OnButtonImportClick, self. btnImport) btnSizer. Add((20,20), 1)

Self. btnExport = wx. Button(self, wx. ID\_ANY, msgs. btn\_export) btnSizer. Add(self. btnExport,0, wx. ALL,5) self. Bind(wx. EVT\_BUTTON, self. OnButtonExportClick, self. btnExport) btnSizer. Add((20,20), 1)

Sizer. Add(btnSizer,0, wx. EXPAND,10) self. SetSizer(sizer) wx. CallAfter(self. Layout)

4.生成分组测试方案窗口部分程序示例：

Class GroupFrame(wx. aui. AuiMDIChildFrame):

"生成分组测试方案的主窗口”def init (self, parent):

wx.aui.AuiMDIChildFrame. init (self, parent, -1,

title=msgs.title\_group\_mng)

sizer=wx.BoxSizer(wx.HORIZONTAL)

#功能按钮sizerLeft=wx.GridBagSizer(hgap=25,vgap=25)

#1

a=wx.StaticText(self,-1,msgs.gen\_in)

55

sizerLeft.Add(a,pos=(0,0),flag=wx.ALL|wx.ALIGN\_RIGHT| wx.ALIGN\_CENTER\_VERTICAL)

b=wx.TextCtrl(self,-1,"",size=(180,-1)) sizerLeft.Add(b,pos=(0,1),flag=wx.ALL|wx.EXPAND) c=wx.Button(self,wx.ID\_ANY,msgs.gen\_open) sizerLeft.Add(c,pos=(0,2),flag=wx.ALL) self.Bind(wx.EVT\_BUTTON,self.OnButtonOpenClick,c)

#2

a=wx.StaticText(self,-1,msgs.gen\_num) sizerLeft.Add(a,pos=(1,0),flag=wx.ALL|wx.ALIGN\_RIGHT|

wx.ALIGN\_CENTER\_VERTICAL)

b=wx.TextCtrl(self,-1,"",size=(180,-1)) sizerLeft.Add(b,pos=(1,1),flag=wx.ALL|wx.EXPAND)

#3

a=wx.StaticText(self,-1,msgs.gen\_range) sizerLeft.Add(a,pos=(2,0),flag=wx.ALL|wx.ALIGN\_RIGHT|

wx.ALIGN\_CENTER\_VERTICAL)

b=wx.TextCtrl(self,-1,"",size=(180,-1)) sizerLeft.Add(b,pos=(2,1),flag=wx.ALL|wx.EXPAND)

#4

a=wx.StaticText(self,-1,msgs.gen\_extra) sizerLeft.Add(a,pos=(3,0),flag=wx.ALL|wx.ALIGN\_RIGHT|

wx.ALIGN\_CENTER\_VERTICAL)

b=wx.TextCtrl(self,-1,"",size=(180,-1)) sizerLeft.Add(b,pos=(3,1),flag=wx.ALL|wx.EXPAND) a=wx.StaticText(self,-1,u"电连接器规格列表，用半角逗号隔开")

sizerLeft.Add(a,pos=(3,2),flag=wx.ALL)

#5

a=wx.StaticText(self,-1,msgs.gen\_upper)

56

sizerLeft.Add(a,pos=(4,0),flag=wx.ALL|wx.ALIGN\_RIGHT| wx.ALIGN\_CENTER\_VERTICAL)

b=wx.TextCtrl(self,-1,"30",size=(180,-1)) sizerLeft.Add(b,pos=(4,1),flag=wx.ALL|wx.EXPAND) a=wx.StaticText(self,-1,u"多分组中成员数的上限，默认为 30")

sizerLeft.Add(a,pos=(4,2),flag=wx.ALL)

#6

a=wx.StaticText(self,-1,msgs.gen\_out) sizerLeft.Add(a,pos=(5,0),flag=wx.ALL|wx.ALIGN\_RIGHT|

wx.ALIGN\_CENTER\_VERTICAL)

b=wx.TextCtrl(self,-1,"",size=(180,-1)) sizerLeft.Add(b,pos=(5,1),flag=wx.ALL|wx.EXPAND) c=wx.Button(self,wx.ID\_ANY,msgs.gen\_open) sizerLeft.Add(c,pos=(5,2),flag=wx.ALL) self.Bind(wx.EVT\_BUTTON,self.OnButtonOpenClick,c)

#7

c=wx.Button(self,wx.ID\_ANY,msgs.btn\_begin) sizerLeft.Add(c,pos=(6,1),flag=wx.ALL) sizer.Add(sizerLeft,1,flag=wx.EXPAND|wx.ALL,border=10)

#说明

b=wx.TextCtrl(self,-1,u"说明：\n"

u“使用本程序可以读取电缆连接关系表，”

u“生成大规模电缆的分组测试方案！\n\n”

u“操作步骤：\n”

u“1. 选择输入文件，数据页（下线表），数据行范围；\n”

u“2. 输入额外过滤项（需要排除掉的电连接器规格，用半

角逗号分隔）; \n“

u“3. 选择输出文件；\n”

u" 4.点击“开始”执行操作; \n", size=(200, -1),

57

Style=wx. TE\_MULTILINE|wx. TE\_READONLY) sizer. Add(b, flag=wx. ALL|wx. ALIGN\_RIGHT|wx. EXPAND)

Self. SetSizer(sizer) wx. CallAfter(self. Layout)

5.测试参数设计窗口部分程序示例：

Import wx import msgs

Class DlgFrame(wx. Dialog): def init (self):

wx.Dialog. init (self, None, -1,msgs.dlg\_set, size=(400, 400))

n\_l = wx.StaticText(self, -1,msgs.dlg\_R ) a\_l = wx.StaticText(self, -1,msgs.dlg\_Rthr) m\_l = wx.StaticText(self, -1,msgs.dlg\_time) n\_t = wx.TextCtrl(self,-1,size=(250,-1))

a\_t = wx.TextCtrl(self,-1,size=(250,-1)) m\_t = wx.TextCtrl(self,-1,size=(250,-1)) q\_l = wx.StaticText(self, -1, msgs.dlg\_V) w\_l = wx.StaticText(self, -1, msgs.dlg\_thr) r\_l = wx.StaticText(self, -1, msgs.dlg\_up)

t\_l = wx.StaticText(self, -1, msgs.dlg\_stand) q\_t = wx.TextCtrl(self,-1,size=(250,-1))

w\_t = wx.TextCtrl(self,-1,size=(250,-1)) r\_t = wx.TextCtrl(self,-1,size=(250,-1)) t\_t = wx.TextCtrl(self,-1,size=(250,-1))

sizer=wx.FlexGridSizer(cols=2,hgap=6,vgap=15) sizer.AddMany([n\_l,n\_t,a\_l,a\_t,m\_l,m\_t,q\_l,q\_t,w\_l,w\_t

,r\_l,r\_t,t\_l,t\_t])

58

self. SetSizer(sizer)

OkButton = wx. Button(self, wx. ID\_OK," OK", pos=(90, 300)) okButton. SetDefault()

CancelButton = wx. Button(self, wx. ID\_CANCEL," Cancel", pos=(250, 300))

6.生成标准接点表窗口部分程序示例：

Class StandardFrame(wx. aui. AuiMDIChildFrame):

"生成标准接点表的主窗口”def init (self, parent):

wx.aui.AuiMDIChildFrame. init (self, parent, -1,

title=msgs.title\_standard\_mng)

sizer=wx.BoxSizer(wx.HORIZONTAL)

#选择平台

sampleList = [u'东方红格式 1',u'东方红格式 2',u'天宫格式',

u'总体部格式 1',u'总体部格式 2',u'载人事业部格式',

u'通信事业部格式']

RadioBox=wx. RadioBox(self, -1, u"请选择平台

",wx.DefaultPosition,wx.DefaultSize,

sampleList, 1, wx.RA\_SPECIFY\_COLS) sizer.Add(RadioBox,flag=wx.EXPAND|wx.ALL,border=10)

#功能按钮

panelMid=wx.Panel(self,-1) sizerMid=wx.GridBagSizer(hgap=25,vgap=25)

#1

a=wx.StaticText(panelMid,-1,msgs.gen\_in) sizerMid.Add(a,pos=(0,0),flag=wx.ALL|wx.ALIGN\_RIGHT|

wx.ALIGN\_CENTER\_VERTICAL)

b=wx.TextCtrl(panelMid,-1,"",size=(180,-1))

59

sizerMid.Add(b,pos=(0,1),flag=wx.ALL|wx.EXPAND) c=wx.Button(panelMid,wx.ID\_ANY,msgs.gen\_open) sizerMid.Add(c,pos=(0,2),flag=wx.ALL) self.Bind(wx.EVT\_BUTTON,self.OnButtonOpenClick,c)

#2

a=wx.StaticText(panelMid,-1,msgs.gen\_num) sizerMid.Add(a,pos=(1,0),flag=wx.ALL|wx.ALIGN\_RIGHT|

wx.ALIGN\_CENTER\_VERTICAL)

b=wx.TextCtrl(panelMid,-1,"",size=(180,-1)) sizerMid.Add(b,pos=(1,1),flag=wx.ALL|wx.EXPAND)

#3

a=wx.StaticText(panelMid,-1,msgs.gen\_row) sizerMid.Add(a,pos=(2,0),flag=wx.ALL|wx.ALIGN\_RIGHT|

wx.ALIGN\_CENTER\_VERTICAL)

b=wx.TextCtrl(panelMid,-1,"",size=(180,-1)) sizerMid.Add(b,pos=(2,1),flag=wx.ALL|wx.EXPAND)

#4

a=wx.StaticText(panelMid,-1,msgs.gen\_end) sizerMid.Add(a,pos=(3,0),flag=wx.ALL|wx.ALIGN\_RIGHT|

wx.ALIGN\_CENTER\_VERTICAL)

b=wx.TextCtrl(panelMid,-1,"",size=(180,-1)) sizerMid.Add(b,pos=(3,1),flag=wx.ALL|wx.EXPAND)

#5

a=wx.StaticText(panelMid,-1,msgs.gen\_out) sizerMid.Add(a,pos=(4,0),flag=wx.ALL|wx.ALIGN\_RIGHT|

wx.ALIGN\_CENTER\_VERTICAL)

b=wx.TextCtrl(panelMid,-1,"",size=(180,-1)) sizerMid.Add(b,pos=(4,1),flag=wx.ALL|wx.EXPAND) c=wx.Button(panelMid,wx.ID\_ANY,msgs.gen\_open)

60

点表格式\n“

sizerMid.Add(c,pos=(4,2),flag=wx.ALL) self.Bind(wx.EVT\_BUTTON,self.OnButtonOpenClick,c)

#6

a=wx.StaticText(panelMid,-1,msgs.gen\_type) sizerMid.Add(a,pos=(5,0),flag=wx.ALL|wx.ALIGN\_RIGHT|

wx.ALIGN\_CENTER\_VERTICAL)

b=wx.TextCtrl(panelMid,-1,"",size=(180,-1)) sizerMid.Add(b,pos=(5,1),flag=wx.ALL|wx.EXPAND)

#7

c=wx.Button(panelMid,wx.ID\_ANY,msgs.btn\_begin) sizerMid.Add(c,pos=(6,1),flag=wx.ALL) panelMid.SetSizer(sizerMid) sizer.Add(panelMid,1,flag=wx.EXPAND|wx.ALL,border=10)

#说明

b=wx.TextCtrl(self,-1,u"说明：\n"

u“使用本程序可以生成标准格式接点表\n\n”

u“操作步骤：\n”

u" 1.选择平台; \n"

u“总体部格式1：电缆代号位于接点表中第9列\n”

u“总体部格式2：电缆代号位于接点表中第3列\n”

u“东方红格式2：目前仅限于HJ-1（C）型号所使用的接

u“东方红格式1：其他小卫星接点表格式\n”

u“导航卫星接点表目前采用”总体部格式1“\n”

u“2. 选择输入文件；\n”

u“3. 设置要处理的数据页，起始行（统一为有”始端“标记

的那一行，结束行）; \n“

u“4. 选择输出文件；\n”

u" 5.执行生成操作\n\n"

61

息;", size=(200, -1),

u"注意：\n"

u“1. 请确认要处理的数据页，起始行，结束行等信

style=wx.TE\_MULTILINE|wx.TE\_READONLY)

sizer.Add(b,flag=wx.ALL|wx.EXPAND,border=10)

self.SetSizer(sizer) wx.CallAfter(self.Layout)

62

致谢

两年的研究生生活马上就要结束了，在这段时间中得到了许多老师与同学的帮助，在此表示衷心的感谢。

首先要衷心的感谢我的校内导师——王晓教授，感谢他两年来对我的教诲、鼓励和帮助。还有我的校外导师——杨猛老师，在我的实习生活中给了我许多关心和照顾。还有我的第二导师——徐新宇老师，他不仅向我教授了许多专业的知识，更用自己的实际行动教育我要热爱生活，热爱工作。

其次要感谢我的家人，有你们的支持才使我能够安心的学习，顺利的完成学业，你们是我永远的最坚强地后盾，我爱你们。

感谢我们班的全体同学：刘旭明，郭晨光，赵海龙，段佳佳，王望，赵龙川，吴文龙，李瑞轩，严称灵。在我的研究生生活中，能够和你们一起学习，工作，我深感无比荣幸。

感谢我的车间的同事们，在这一年的实习工作中，你们教会了我许多技术方面的知识。

感谢我的室友许婕，感谢你们在学习之余给予我的关怀，和你们一起度过了很多美好的时光，那将是我一生的财富。

还有太多需要感谢的人，无法一一提及，在此我对你们表示最衷心的感谢。

最后，感谢各位在百忙之中抽空审阅本论文的专家、教授们，祝你们身体健康，工作顺利。致以我深深的谢意！

63

# 攻读学位期间取得的科研成果清单

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **文章名称** | **发表刊物（出版社）** | **刊发时间** | **刊物级别** | **署名**  **次序** |
| 航天器低频电缆自动测试系统的设计与实现 | 科技展望 | 2014 年 6 月 | 省级 | 1 |

64