

学校编码: 10384

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_

学号: X2009222023

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

工 程 硕 士 学 位 论 文

马达控制器测试工装的设计与实现

Motor ECU Test Equipment Design and Implementation

周伟江

指导教师姓名: 林聪仁 副教

肖艳义 高工

专业名称: 电子与通信工程

论文提交日期: 2015 年 月

论文答辩时间: 2015 年 月

学位授予日期: 2015 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2015 年 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》

另外，该学位论文为( )课题(组)的研究成果，获得( )课题(组)经费或实验室的资助，在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。)

声明人（签名）：

年 月 日

# 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1. 保密 ( )，在年解密后适用本授权书。
2. 不保密 ( )

(请在以上相应括号内打“√”)

作者签名：                    日期：        年        月        日

导师签名：                    日期：        年        月        日

## 摘 要

随着电子信息技术的飞速发展，特别是单片机技术的广泛应用，工业生产线开始转向自动化、智能化的生产模式。生产线的自动化、智能化转型必须先解决测试设备的自动化、智能化，才能使测试人员从复杂、繁琐的纯人工测试中解放出来，极大地提高测试效率和生产效率。

本论文着重设计完成一款客户产品马达控制器的测试工装。所谓测试工装是为了检测产品的合格性而特定进行设计制作的相应配套设备，测试工装用于辅助检测人员判断产品电气性能及功能的合格性。本文设计的测试工装按客户检测要求，输入各种信号，测试相应的输出，判断产品性能是否合格，实现半自动化测试的功能，并对测试数据按产品序列号进行记录，达到对产品可追溯的目的。

本文详细阐述了本测试工装各模块的设计方法，包括：单片机系统模块设计、单片机 IO 口外扩、AD 模块采集及滤波、液晶模块的接口与控制、正弦波产生原理与方法、按键经 IO 扩展锁存后的检测方法等。设计制作本工装的价值主要有以下两点：

一、用此工装检测产品可节约大量人工工时，提高检测的准确率，同时对产品的序列号及测试参数进行记录，提升产品品质。

二、此工装的设计制作方法也是生产线上所有工装常用的方法，所以此工装各模块也可用于各类工装的开发，为后续其它产品的工装开发积累经验。

**关键词：** 马达控制器； 半自动； 测试工装； 单片机系统

## ABSTRACT

With the rapid development of electronic information technology, especially the extensive application of SoC technology, automation and intelligence of industrial production line is more and more expensively applied. Firstly automation and intelligence of production line must solve its test equipment, which can make the test worker higher productivity and easy lightening complex and cumbersome manual test.

This paper focuses on designing the test equipment of motor controller. The test equipment is a tool for checking if the quality of product is ok, which is also a auxiliary tool as to get product electrical performance and function parameter. The test equipment designed in this paper process input signals of product and tester, output corresponding quality parameters, as well as check whether the tested product is ok or not, according to the testing requirements of the customers, as it can realize semi-automatization and the traceability of product by making test records with the product serial number.

This paper expounds design methods of each module of the test equipment, which include single chip microcomputer system module, microcontroller IO expansion, AD collecting and filtering module, LCD module, the interface and control of the sine wave generation principle and method, key latch detection method after IO extension, etc. This test equipment designed in this paper has the following two benefits:

Firstly, it can save labor costs, improve the detection accuracy, as well as keep a record of the serial number of the product and test parameters to enhance the quality of products.

Secondly, it is a universal design method of this test equipment described in this paper for all semi-automatization of production line. Therefore it will be helpful for the future semi-automatization test of the production.

**Key Words:** Motor Controller; Semiautomatic; Test Equipment; SoC

## 目 录

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	III
Contents.....	VII
<b>第一章 绪论.....</b>	<b>1</b>
1.1 课题背景.....	1
1.2 课题目标.....	2
1.3 本人任务及论文结构安排.....	3
<b>第二章 系统功能要求及分析.....</b>	<b>4</b>
2.1 测试工装的定义.....	4
2.2 客户产品介绍.....	4
2.2.1 产品概述.....	4
2.2.2 M101-M/M102-M 产品的结构.....	5
2.2.3 M101-M/M102-M 的接口.....	5
2.3 客户测试要求.....	12
2.4 系统实现方案.....	14
2.4.1 系统需求分析.....	14
2.4.2 系统资源设计分析.....	15
2.4.3 单片机型号选择.....	18
2.4.4 电源模块.....	19
2.4.5 硬件复位模块.....	20
2.4.6 I/O 扩展锁存模块.....	21
2.4.7 液晶模块接口.....	24
2.4.8 按键模块, 输入信号模块接口.....	26
2.4.9 AD 采集模块.....	26
<b>第三章 测试原理.....</b>	<b>27</b>
3.1 阻抗测试.....	27
3.2 开机电流测试.....	27
3.3 继电器逻辑测试.....	28
3.4 三相电压测试.....	29
3.5 零序电流(漏电流)测试.....	30
3.6 输入输出 I/O 口测试.....	32
3.7 PTC 测试.....	34
3.8 下发出厂默认参数校验测试.....	35
3.9 成品三相电流测试.....	36
3.10 存储器记忆测试.....	36
3.11 成品三相线电压测试.....	36
3.12 清除参数设置.....	36

3.13 读取 SN 建立数据库.....	36
<b>第四章 软件架构的设计与实现.....</b>	<b>37</b>
4.1 软件工具介绍.....	37
4.2 系统资源设置.....	38
4.3 主程序框架.....	39
4.4 AD 采集实现.....	40
4.5 锁存器及译码器操作实现.....	45
4.6 按键采集实现.....	46
4.7 串口通讯的实现.....	49
4.8 液晶屏幕的控制方法.....	53
4.9 界面选择实现.....	57
4.10 单步测试与连续测试.....	63
4.11 上位机界面及原理.....	64
<b>第五章 测试与结论.....</b>	<b>67</b>
5.1 工装组装效果实现及组件说明.....	67
5.2 各单步功能的实现.....	69
5.3 连续测试实现.....	74
5.4 保存到上位机数据库实现.....	74
5.5 关于工装本身检验.....	75
<b>第六章 总结与展望.....</b>	<b>76</b>
6.1 总结.....	76
6.2 展望.....	76
<b>[参考文献].....</b>	<b>78</b>
<b>致谢.....</b>	<b>79</b>

Contents

<b>ABSTRACT.....</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>III</b>
<b>Contents... ..</b>	<b>VII</b>
<b>Chapter I Preface .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Research BackGround .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Research Goal.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Research Target And Structure Arrangment of Paper .....</b>	<b>3</b>
<b>Chapter II System Function Requirements And Analysis .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 The Definition of Test Equipment.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 The Customer Product Introduction .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.1 Product overview.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.2 The structure of M101-M/M102-M .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.3 The interface of M101-M/M102-M.....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 The Customer Test Requirements.....</b>	<b>12</b>
<b>2.4 System Implementation Scheme .....</b>	<b>14</b>
<b>2.4.1 System Requirements Analysis .....</b>	<b>14</b>
<b>2.4.2 Design And Analysis System Resources .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4.3 SoC Model Selection .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4.4 Power Supply Module.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.5 Hardware Reset Module.....</b>	<b>20</b>
<b>2.4.6 I/O Extension Latch Modules .....</b>	<b>21</b>
<b>2.4.7 The LCD Module Interface.....</b>	<b>24</b>
<b>2.4.8 The Key Module Input Module Interface.....</b>	<b>25</b>
<b>2.4.9 The AD Collection Module.....</b>	<b>26</b>
<b>Chapter III Hardware Design .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 The Power And Ground Impedance Test .....</b>	<b>27</b>
<b>3.2 Power On Current Test .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3 Relay Logic Test.....</b>	<b>28</b>
<b>3.4 Three-Phase Voltage Test (220VAC) .....</b>	<b>29</b>
<b>3.5 Leakage Current test.....</b>	<b>30</b>
<b>3.6 Input/Output test.....</b>	<b>32</b>
<b>3.7 PTC test.....</b>	<b>34</b>
<b>3.8 Factory Default Parameters Test .....</b>	<b>35</b>
<b>3.9 Three-Phase Current Test.....</b>	<b>36</b>
<b>3.10 EEPROM Test.....</b>	<b>36</b>
<b>3.11 Three-Phase Voltage Test (690VAC) .....</b>	<b>36</b>



3.12	The Finished Product To Clear Parameter Settings.....	36
3.13	Read The Serial Number .....	36
<b>Chapter IV</b>	<b>The Design And Implementation of Software Architecture.....</b>	<b>37</b>
4.1	Software tools to introduce .....	37
4.2	System Resource Settings.....	37
4.3	The Main Program Framework.....	39
4.4	AD Collection Implementation.....	40
4.5	Latch and Decoder Implementation .....	45
4.6	Key Collection Implementation.....	46
4.7	The Realization of Serial Port Communication.....	49
4.8	LCD Screen Control Method.....	53
4.9	Interface Implementation .....	57
4.10	One Step Test And Continuous Test.....	63
4.11	PC Interface And Implementation.....	64
<b>Chapter V</b>	<b>The Testing Process.....</b>	<b>67</b>
5.1	The Test Equipment Accessories .....	67
5.2	The Realization of The Function of Each Step .....	69
5.3	Continuous Testing Implementation.....	74
5.4	Saved To The PC Database Implementation.....	74
5.5	Check For The Test Equipment .....	74
<b>Chapter VI</b>	<b>Conclusion And Prospect .....</b>	<b>76</b>
6.1	Conclusion .....	76
6.2	Prospect .....	76
	Reference. ....	78
	Acknowledgments.....	79

## 第一章 绪论

### 1.1 课题背景

本公司的产品是为客户定制马达控制器，出厂前必须按客户要求对产品进行测试。原来采用纯人工测试方法，耗时非常大，测试一台产品需花费 7 分钟时间，而且容易出现疲劳，误测、漏测概率高，易导致不良产品出货，引起客户抱怨及退货。随着公司发展，马达控制器产品的产量逐步提升，人工测试的弊端更加显现，迫切要求采用自动化、智能化的测试方法。

目前人工测试使用的设备是万用表及各种仪表，按照产品检验标准共 13 个项目，一步步测试下来，测试已经成为生产线生产的瓶颈，同时也增加了不少人力成本。此产品年产量已经突破 6 万台，按每台需花费 7 分钟计算，测试一年就耗时 7000 小时。据销售部门测算明年此产品的销售量将会达到 10 万台。但是马达控制器产品每个月经常收到一到两例客户端的产品功能异常的投诉。客户的品保经理专程到我司讨论如何管控产品质量，同时提出产品测试质量的追溯问题。所以我司决定专门组织人员解决此问题，成品测试这一关则成为首要攻克的难题，制作一台自动或半自动测试工装也被提上了议程。

市场上无通用马达控制器测试仪器，都是靠定制开发，所以开发费用昂贵，同时花费时间较长，验收方式麻烦，并且存在售后维修实时性问题，会严重耽误产线生产。我司找过一家国内企业专业做马达控制器测试工装，开发全自动测试工装费用报价为 50 万人民币，并且每台设备报价 5 万，开发周期为半年。采购部门咨询过欧洲的一家企业，开发费用预计达到 20 万欧元之巨。

调查显示，国内绝大多数中小型马达控制器的生产厂家，无法承担全自动化测试工装的费用，只能采用半自动化工装。所谓半自动化工装是：采用外部辅助仪器产生相应信号作为输入，经多路几个通道自动切换输入，再传入到产品进行测试，用输出设备或显示设备读出或记录输出信号和数据，判定产品是否合格。这种半自动化工装可以大幅度地降低设计难度，减少开发费用缩短开发周期，我们决定采用此制作方案。

## 1.2 课题目标

为了立案制作此马达控制器设备工装，我司特别成立专案小组，对技术方案和技术目标进行设定评估。

1、测试效率目标：制作此工装的最大目的是为了解决生产效率低下的瓶颈问题，所以在测试效率上必须有大幅的提升。测试项目共有 13 个，每项预计 5 秒钟，总共应该是 65 秒钟。如果能将所有测试项目控制在每台 1 分钟左右，则可以测试时间为原来纯人工测试（7 分钟）的 15%，效率提高 7 倍。

2、自动化目标：原先的测试方法靠人工拿万用表一个个测试电阻、电压、电流等参数，严重增加测试人员的劳动强度，并且要求精神高度集中，判断各个参数是否在正常值内。现在要求测试步骤自动切换，自动选择输入各模块信号源，读取测试数据进行智能判断，对不易机器判断的项目允许部分人工辅助判断，达到半自动化目标。

3、标准化操作达到提高品质的目标：人工手动测试为非标准化操作，存在太多人为因素，如仪器的档位选择，测试的点位，仪器数值读数习惯，测试步骤遗漏等等原因，都会造成不良品流出生产线，未能把控住在厂内进行返修。测试工装能够存储记录每台产品的测试数据。能够随时响应客户对产品的追溯问题，及时分析市场不良品，调出在公司内部生产过程中的记录。据品质部门统计我司一年内共出现 28 例产品在客户端首次上电功能不良，即不良率达到了 0.047%（按销售部门提供的总量 60000 计算），新工装投入使用后设定的目标值为 0.005%，即上一年度的 60000 产品中只允许出现 3 例异常。

4、开发工装投入成本目标：虽然设计制作一台测试工装可以提高测试效率，提高产品品质，但也不宜是个天价成本工装，例如寻找某企业设计费高达 50 万元则是无法接受的。希望此半自动化工装投入的成本应该低于一年的测试工时 7000 小时的成本。按财务提供的工时费用约每小时 20 元，即测试总投入一年工时费用为 14 万元，所以投入的人工及各项成本总和应小于 14 万元。

### 1.3 本人任务及论文结构安排

团队成员：经理章进武，工程师许桂秋、周伟江、林海龙

章进武经理主要负责项目立案及资源调配、外部门沟通。

许桂秋主要负责上位机数据存储程序编写。

本人主要负责工装的开发规划，设计方案选择，硬件原理设计及下位机软件编写，林海龙工程师主要协助我完成开发任务。

本文的主要结构安排如下：

首先，论文在第一章绪论中系统介绍了设计制作马达控制器工装的研究背景及制作意义和工装设计制作的各项目标。

论文在接下来的第二章中简要介绍测试的各项功能要求,并详细介绍了各测试项的设计方案选择，同时简述各功能模块的基本组成及工作原理。

第三章介绍各测试项目步骤的硬件原理。

第四章介绍软件架构的设计及各功能子模块的函数功能说明。

第五章介绍各测试步骤的测试方法及结果，讨论了对此工装的一般检查、校正方法。

第六章总结全文并提出下一步研究的方向。

## 第二章 系统功能要求及分析

### 2.1 测试工装的定义

测试设备一般分为通标与非标两类。通标是通用标准测试仪器，满足一定法规要求及行业标准要求，能达到测试广泛产品的某些参数。一般市场上很容易购买到，比如万用表，能够测量电压、电流、电阻等，并不受产品类型的限制，而且也有明确的标准。非标是非通用标准测试仪器，针对特定产品，经过特殊设计加工制作而成的测试仪器，只测试特定参数，同时也并无特定的法规要求及行业标准。市场上一般无法购买，只能定制或自己开发设计。

工装指的是用来保证某种产品生产的一些设施。测试工装是为了保证生产出来的产品满足功能与性能的指标而设计的。一般来说，测试工装都是某种产品专属的设备。本工装测试对象为客户的产品 M101-M/M102-M。此工装也就是上文所述的非标测试设备。

### 2.2 客户产品介绍

#### 2.2.1 产品概述

M101-M/M102-M 是一款马达电机控制器，它是基于嵌入式技术开发研制的监控马达电机起动与运行过程进行保护与控制的装置。由 16 位微处理器执行电机的保护与控制功能，对其启动时序进行监控，并完成对电机操作次数的记录、还具有自我诊断和先进的现场总线接口，可实现与电脑上位机的双向通讯等功能。

M101-M/M102-M 对马达电机运行过程进行监控，提供全面的保护，避免马达电机启动或运行过程中因过压、过载、堵转、过流、接地故障产生漏电、断相等可能的导致的马达电机毁坏并产生安全事故，最大程度地保护马达电机运行的安全性、有效性。

### 2.2.2 M101-M/M102-M 产品的结构

M101-M/M102-M 由两部分组成，主机单元和电流互感器单元，整体外观如图 2-1 所示。

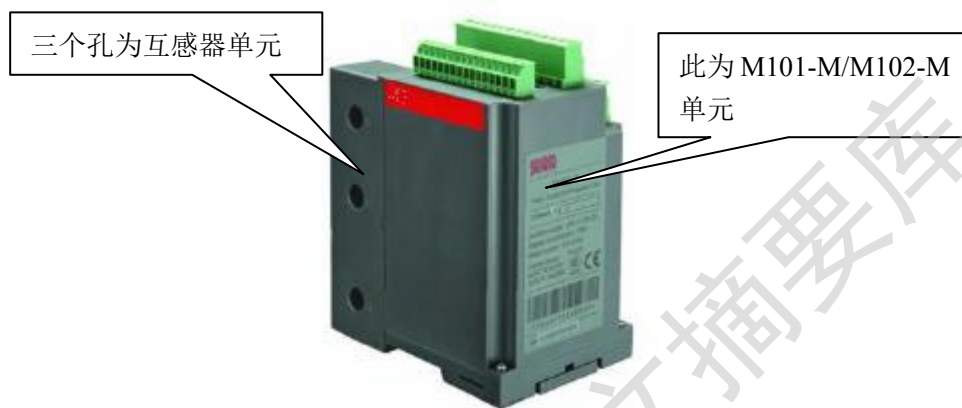


图 2-1 主机单元与电流互感器单元

M101-M/M102-M 附件主要是 MD2 操作面板，MD2 如图 2-2 所示。

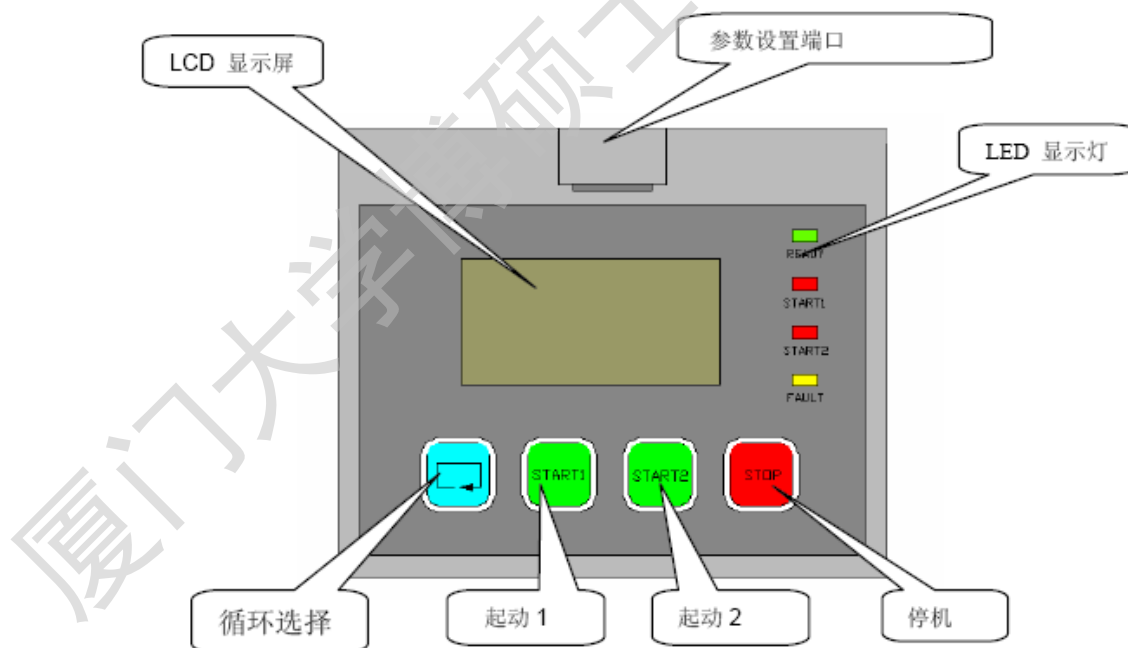


图 2-2 MD2 操作面板

### 2.2.3 M101-M/M102-M 的接口

产品的正上方有 3 排 I/O 端子口 (X1、X3、X4) 和一个面板接口 (X2)。

I/O 端子板安装在主机的上方，如图 2-3 所示，端子定义如表 2-1。

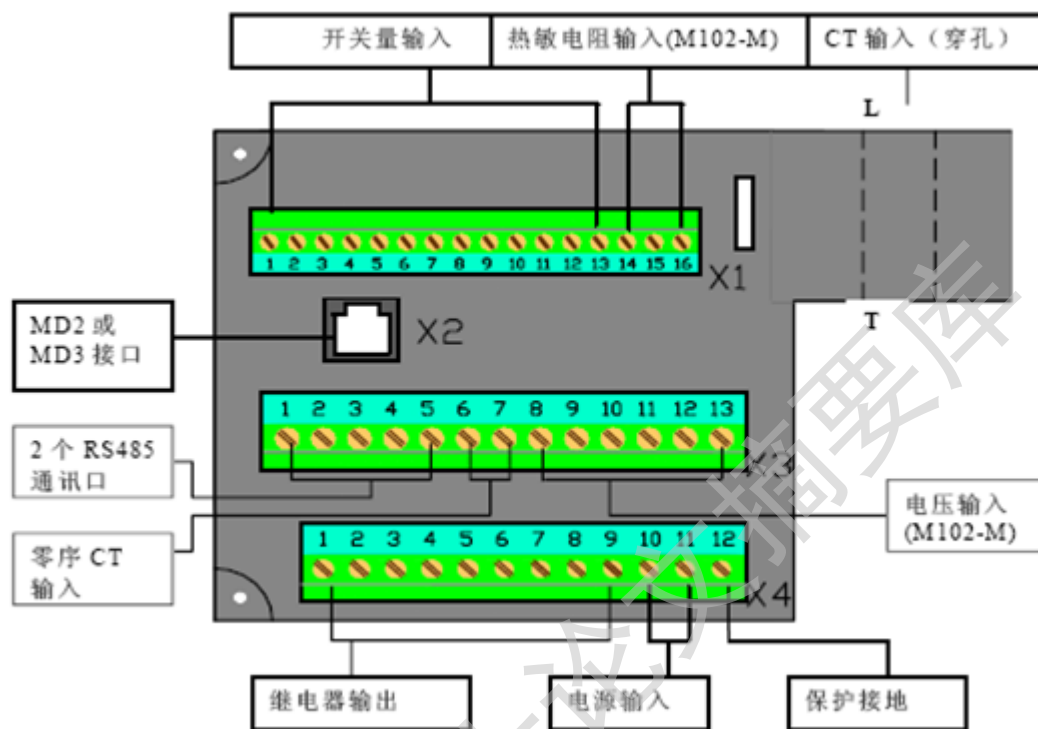


图 2-3 产品顶部端子示意图

表 2-1 装置端子

端子排	端子编号	定义
X1	X1: 1…X1: 13	开关量 I/O 输入
	X1: 14…X1: 16	热敏电阻输入 (M102-M)
X2	X2: 1…6	MD2 接口
X3	X3: 1…5	与外部的通讯接口
	X3: 6, 7	零序电流输入
	X3: 8…13	电压输入 (M102-M)
X4	X4: 1…9	继电器输出
	X4: 10, 11	24VDC 电源输入
	X4: 12	接地端子
L1-T1;L2-T2;L3-T3	穿孔	电流测量

## 1、电源要求

产品供电电源为 24V 直流电源，功耗小于 5W。电源端口位于第四排 10、11 脚，允许外接线径最大为 2.5 平方毫米，端口如表 2-2 所示。

表 2-2 电源端子

端子编号	名称	描述
X4: 11	24V	电源输入 24VDC +
X4: 10	GND	电源输入 24VDC -

## 2、开关量输入

M101-M 和 M102-M 分别提供两组开关量输入点，一组为 6 个，二组为 13 个，触点额定容量为 5mA/24VDC。其中一组端口具有三个可编程的输入点，可以按用户要求定义连接方法。二组 13 个口为普通的 IO 输入口。产品主机对输入点采用轮循检测，如果主机检测到输入电流超过 2.5mA，就认为是闭合触点输入，如果主机检测到的电流低于 0.8mA，则认为是断开触点输入。

M101-M 开关量输入端子如表 2-3 所示，M102-M 开关量输入端子如表 2-4 所示。

表 2-3 M101-M 开关量输入端子

端子编号	名称	描述
X1: 1	IN_COM	开关量输入公共端(DC24V-)
X1: 2	NC	空
X1: 3	LOC/R	本地/远程 选择开关输入
X1: 4	NC	空
X1: 5	F_Ca	触点 A 反馈
X1: 6	NC	空
X1: 7	F_Cb	触点 B 反馈
X1: 8	NC	空
X1: 9	PROG_IN0	可编程开关量输入 0



Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.