

某线缆测试仪转换软件的设计及应用

黄召明¹, 刘延迪², 张洪月¹, 苏建军²

(1. 中车青岛四方机车车辆股份有限公司, 山东 青岛 266000;

2. 北京航天测控技术有限公司, 北京 100041)

摘要: 为了解决国外某型线缆测试仪在动车组线缆测试工程化应用中存在的测试程序编写繁琐、测试结果无报表等问题, 设计一款自动转换软件, 该软件采用虚拟映射技术、多任务分发机制实现测试程序快速生成和测试报表管理功能; 通过与动车组实车测试, 测试结果表明, 该转换软件能够大大节约流程编辑时间, 减少编辑测试流程出错率; 同时, 转换软件生成的测试结果报表格式清晰, 可指导测试人员排查错误连接线缆, 大大提高现场检错效率。

关键词: 导通测试; 绝缘测试; 动车线缆测试

Design and Application of Conversion Software for a Cable Tester

Huang Zhaoming¹, Liu Yandi², Zhang Hongyue¹, Su Jianjun²

(1. CRRC Qingdao SiFang Locomotive & Rolling Stock Co., Ltd., Qingdao 266000, China;

2. Beijing Aerospace Measurement & Control Technology Co., Ltd., Beijing 100041, China)

Abstract: In order to solve the problems existing in the engineering application of a foreign cable tester in EMU cable test, such as the tedious writing of test program and the absence of report forms of test results, an automatic conversion software is designed. The software uses virtual mapping technology and multi-tasking distribution mechanism to realize rapid test program generation and test report management. Through the real vehicle test with the EMU, the test results show that the conversion software can greatly save the process editing time and reduce the error rate of the editing test process. At the same time, the test result report generated by the conversion software has a clear format, which can guide the tester to check the wrong connection cable, and greatly improve the efficiency of on-site error detection.

Keywords: conduction test; insulation test; EMU cable test

0 引言

在动车组生产、定期检修阶段, 整车电气线缆导通测试及绝缘测试是车辆线路试验的主要工序, 是对整车接线正确性、线缆连接可靠性的全面把关。传统的整车线缆测试采用手工检测方式, 存在着效率低、易漏查错查等问题。随着自动化测试的发展, 国外率先在线缆自动测试领域研制出线缆测试产品, 并广泛应用于航天、航空、铁路、汽车制造等行业。我国铁路行业(包括株洲、长客等公司)也相继引进国外电缆测试产品进行整车线缆自动导通绝缘测试^[1]。

本文涉及的国外某型线缆测试仪采用模块化设计, 主要由上位机、1个主控单元、多个测试单元和转接电缆等构成, 其中每个测试单元有500个测试点, 测试通道可扩展高达数十万点。

该线缆测试仪虽然能提供自动化线缆测试, 但在执行测试前, 测试人员需要手动完成三部分工作: 1) 建立连接器库: 根据被测线缆连接器数量, 手动编辑生成连接器库; 2) 地址分配文件制作: 手动创建被测线缆与测试设备通道

的映射关系文件; 3) 测试程序编辑: 测试人员需根据测试指令, 手动逐条编辑每一根线缆的测试程序^[2]。

针对不同车型, 测试软件需要重新定义配置文件并编辑测试程序, 给测试人员带来很大的困难, 无法满足多型车辆快捷、高效编程的需要。另外, 该线缆测试仪在执行测试后, 测试结果几乎无报表格式, 测试人员无法快速查找故障信息, 给现场线缆排查带来极大不便。

针对某型线缆测试仪在动车组线缆测试工程化应用中存在的问题, 本文从某型线缆测试仪转换软件设计出发, 先对测试软件进行分析, 然后提出转换软件设计思路及功能实现方法; 最后介绍转换软件在动车组线缆测试过程中的应用。

1 线缆测试仪软件设计

线缆测试仪转换软件基于某型线缆测试仪上位机软件开发具有统一 Excel 导通表导入、测试程序自动生成和统一数据报表管理功能。连接器库建立、地址分配文件制作、测试程序编辑等工作均由转换软件自动完成。

1.1 技术分析

通过对线缆测试仪上位机软件的操作流程分析, 完成测试主要包括以下步骤:

1) 利用 Component Library Manager 建立线束连接器数据库, 即建立元器件库扩展名为“.pl”的文件, 该文件

收稿日期: 2018-11-28; 修回日期: 2018-12-25。

作者简介: 黄召明(1978-), 男, 山东济南平阴人, 高级工程师, 主要从事轨道车辆电气工程方向的研究。

是二进制格式，无法使用写字板、记事本等常见的文本文件查看。元器件库 (.pl) 的建立功能使用频度不大，基本属于一次建立，多次使用，而且元器件库文件 (.pl) 并非测试程序执行必需的。

2) 利用 TestEdit 建立测点地址与线束插针地址对应表，建立的 ACT 文件扩展名为 “.UI” 的文件，该文件是二进制格式。尝试采用反向工程生成地址对应表 ACT 文件 (.UI)，反向成功后将提高软件易用性。

3) 测试程序编辑，依据 Test parameter (测试参数)、Test instruction (测试指令)、Directives (进阶控制指令) 等设计线缆的测试程序，最终形成扩展名为 “.RO” 文件，该文件是文本格式，内容包括指令、注释等，其格式遵循测试软件自定义的指令规范。使得反向工程具有较大的可行性。

4) 运行测试程序，TestExec 程序读取地址对应表 (.UD)、测试程序文件 (.RO)^[3-4] 等，控制硬件资源完成测试。

5) 测试结果文件 (.ER) 为文本格式。文件内容是不同的测试数据列表，测试结果可视性差，几乎无报表格式。可通过解析文件内容生成便于查看和管理的 Excel、Word 和 PFD 文件。

1.2 设计思路

通过对线缆测试软件的测试步骤和结果文件分析，形成转换软件设计思路。转换软件设计思路如图 1 所示。

转换软件的导通表导入程序负责读取并解析 Excel 导通表文件，再由 .RO 文件生成器按照 .RO 文件格式自动生成测试程序文件，.UI 文件生成器按照 .UI 文件格式自动生成地址分配文件，线缆测试仪上位机软件调用 .RO 文件和 .UT 文件，即可执行相应的测试。

线缆测试仪上位机软件执行完测试后，生成测试结果文件 (.ER) 由 .ER 文件解析器读取并解析，将解析的测试数据传入报表导出程序，生成统一格式的测试报告 (支持 Word、Excel、PDF 格式)，并统计被测线缆的故障点数、故障的位置等信息。

转换软件采用模块化设计思想，能根据约定格式的测试需求文件自动生成测试软件可识别、可执行的 UT 文件

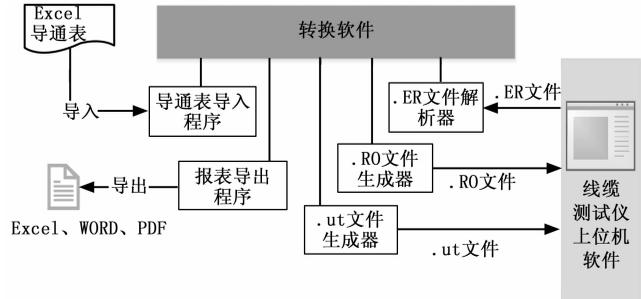


图 1 转换软件设计图

和 RO 文件，并能将测试生成的结果数据按类别导出生成测试报表。

1.3 功能实现

1.3.1 测试程序生成

测试流程生成功能实现将导通表文件 (.xls) 转换生成线缆测试仪上位机软件可读取、可执行的 .RO 文件和 .UT 文件。其实现流程图如图 2 所示。

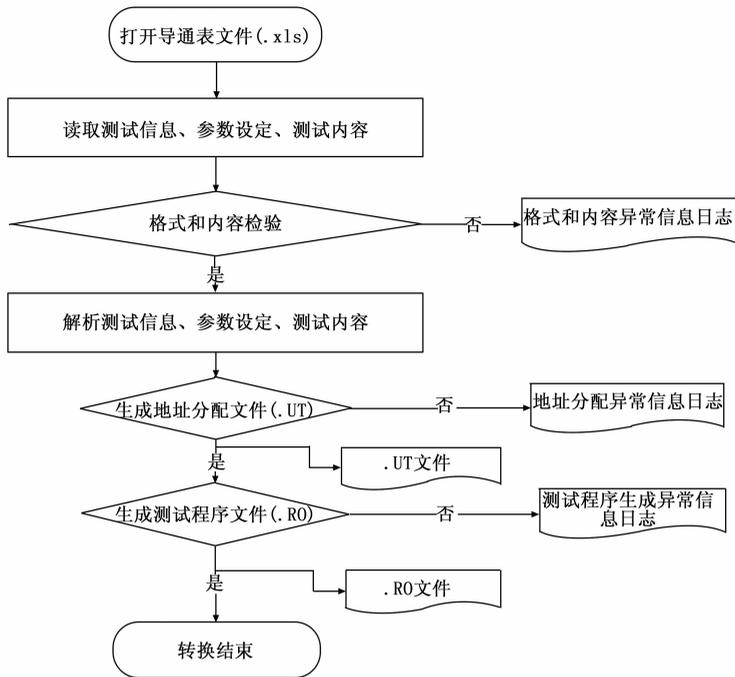


图 2 测试程序生成流程图

线缆导通表是依据车上被测电缆导通关系编写。导通表定义了三部分内容：测试信息、参数设定、测试内容。此三部分内容互为独立段落，且以标题为识别记号供转换软件识别提取。导通表测试信息约定格式如表 1 所示，参数设定约定格式如表 2 所示，测试内容约定格式如表 3 所示。

表 1 导通表测试信息约定格式

测试描述	某一导通绝缘测试
被测对象	某型动车组
测试单位	—
仪器编号	001
被测对象编号	T1

转换软件打开并读取编辑好的导通表文件，根据约定格式及规则对文件内容做必要的检验。如果获取到异常则显示异常日志信息，并根据异常级别给予不同颜色高亮显示。测试人员依据此日志内容可快速定位源文件错误位置并修正。

如果文件格式正确，转换软件进行测试内容的解析，采用虚拟映射技术，生成地址分配文件 (.UT)。解析提取起始端测试内容主要流程有：1) 获取测试内容；2) 遍历

表 2 导通表参数设定约定格式

测试参数	测试类型	激励	测试合格值	最短测试时间/秒	最长测试时间/秒
R2	导通测试	0.5A	<2.5R	0.05	0.1
HVL	绝缘测试	200V	>100M	0.05	0.1
HVF	空点测试	100V	>100M	0.15	0.25
NV	电介质测试	500V	2MA		1
D	二极管测试	10V	>10K,<100R		1

表 3 导通表测试内容约定格式

序号	起始端	起始端连接器	起始端物理地址	线号	终点端	终点端连接器	终点端物理地址	测试要求
1	EJCR	-R5	6328	152	BCU	CN1-7	2106	R2
2	EJCR	-L5	6225	152	BCU	CN1-7	2106	R2
3	EJCR	-F4	6102	39B	BCU	CN2-14	2213	HVL
4	EJCR	-V1	6427	150BP	BCU	CN3-19	2318	HVL

测试内容列; 3) 获取线号、起始端物理地址、起始端、起始端连接器; 4) 检测物理地址是否重复编排; 5) 加入起始点映射关系。其核心实现代码如下:

```

//获取测试内容
list<CSourceData> & lstData = pDataGroup->GetSourceData();
//遍历测试内容列
for (list<CSourceData>::iterator iter = lstData.begin(); iter != lstData.end(); ++iter)
{
    CString strLine, strAddress, strUUTInitial, strUUTJuncor, strTip;
    // 获取线号
    iter->FindItemValue(_T("线号"), strLine);
    //获取起始端物理地址
    if (iter->FindItemValue(_T("起始端物理地址"), strAddress) && ! strAddress.IsEmpty())
    { //获取起始端
        if (iter->FindItemValue(_T("起始端"), strUUTInitial) && ! strUUTInitial.IsEmpty())
        { //获取起始端连接器
            if (iter->FindItemValue(_T("起始端连接器"), strUUTJuncor) && ! strUUTJuncor.IsEmpty())
            {
                CStringA strUUTName = CreateUUTName(strUUTInitial, strUUTJuncor, strLine);
                // 检测物理地址是否重复编排
                map<unsigned long, CStringA>::iterator iterUUTSet = m_mapAllUUTSet.find(_ttoi(strAddress));
                if (iterUUTSet != m_mapAllUUTSet.end() && iterUUTSet->second != strUUTName)
                    strTip.Format(_T("起始端物理地址 %s 被重复设置为不同名称! 上次配置行: %s"), strAddress, iter->FormatToLine());
                else // 加入起点映射关系
                    m_mapAllUUTSet[_ttoi(strAddress)] = strUUTName;
            }
        }
    }
}

```

```

}
}
}
//获取终点端信息并生成终点映射关系
... ..
}

```

完成地址分配文件生成后, 转件软件依次进行测试信息、参数设定、测试内容的解析, 生成测试程序文件 (.RO)^[3-4]。测试程序文件作为线缆测试仪上位机软件执行的核心程序, 包括的三部分信息: 基本配置、参数设定、测试操作。该三部分信息分别由测试信息、参数设定、测试内容解析生成。

由于测试内容有数千条测试, 在执行转换过程中需要完成大量的数据计算、交换、传递, 因此转换软件采用多任务并发机制, 大大提高转换效率。

1.3.2 结果报表生成

线缆测试仪上位机软件完成测试后自动将测试结果以 .ER 格式存储在指定路径, 打开测试结果文件可以看到, 测试数据基本无报表格式, 测试人员难以快速查找故障线缆信息。测试结果文件内容格式如下所示:

测试结果文件内容格式

```

; C SMU 0.500A 2.500 00.100S 00.050T
; CC 06324 EJCR{-R1|151/151D2}
; 06627 PASS 1.779 OHM 组配下部{CN1-28|151/151D2}
; CC 06229 EJCR{-L9|172}
; XS 01906 右后柜{CN5-7|262B}
; 01124 WIRED 2.642 OHM Shielding
; 01407 WIRED 2.684 OHM Shielding
; 01408 WIRED 2.693 OHM Shielding
; XT 09611 总配盘{CN7-12|435A}
; ISOLATED >30.00M OHM 总配盘{CN7-12|435A}

```

结果报表生成的主要功能是读取、解析 .ER 文件内容并转换成统一格式数据报表。结果报表生成流程如图 3 所示。

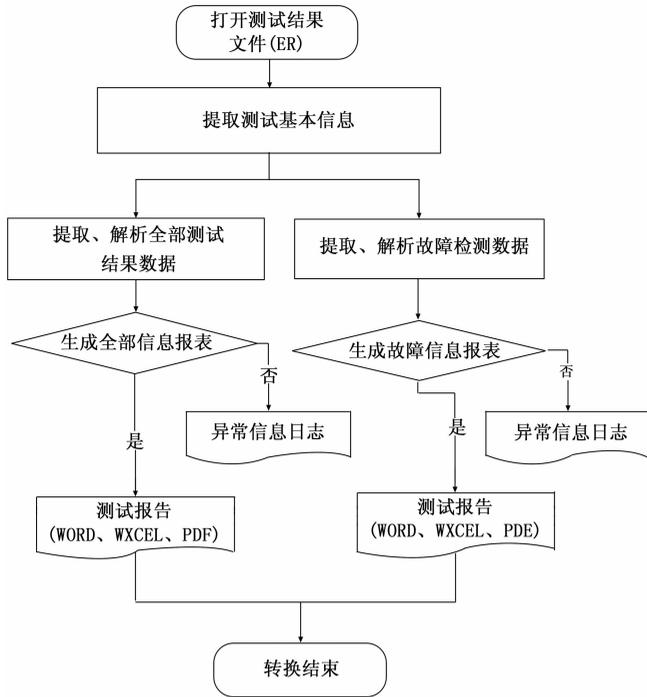


图 3 结果报表生成流程图

首先打开测试结果文件 (.ER)，转换软件自动提取测试基本信息。然后选定导出报表的类型及格式。报表类型包括生成全部信息报表和生成故障信息报表两种类型，报表格式支持 Word、Excel、PDF 三种格式^[5]。

生成全部信息报表：转换软件读取 .ER 文件内全部测试结果数据，解析每一条数据的格式，根据测试类型代号为导通测试、绝缘测试和二极管测试。根据不同测试类型，解析提取起始端物理地址、终点端物理地址、起始端连接器、终点端连接器、线号、测试值及测试结果等信息，并按照全部信息报表格式写入报表文件。

生成故障信息报表：转换软件只提取故障线缆数据，通过解析数据格式得到线缆故障类型，并按照故障信息报表格式写入报表文件，故障报表为测试人员现场排查错误提供指导。

结果报表生成功能的核心实现代码如下：

```
// 将数据模糊分解
bool bResult = Split(lpszResultFile, pObserver);
// 更新导出类型, 导出类型分为生成全部信息报表和生成故障信息报表
CExportObject::SetAllOutMode(bAllOut);
// 解析每组数据, 提取有效信息
for (list<list<CString>>::iterator iter = m_lstDataGroupList.begin(); iter != m_lstDataGroupList.end(); ++iter)
{ // 每组头一个数据用来确认本组属性
  const LineDataType lineType = Analyze(iter->front());
  if (lineType != LDT_Ignorable)
  { // 继续分解
    if (! Extract(lineType, * iter))
```

```
{
  pObserver->OnNotifyInformation(_T("结果数据解析异常!"), 7);
}
}
// 导出数据到文件
switch (pObserver->GetExportFileType())
{
  case CEventObserver::ET_EXCEL : bResult = CMSOfficeOper::ExportToExcel(this);
    break;
  case CEventObserver::ET_WORD : bResult = CMSOfficeOper::ExportToWord(this);
    break;
  case CEventObserver::ET_PDF : bResult = CMSOfficeOper::ExportToPDF(this);
    break;
}
```

在生成过程中转换软件会实时更新工作信息日志，并将读取到的异常内容以警告的形式打印在界面上。

2 动车组线缆测试

为验证转换软件自动转换的便捷性、测试程序文件的可执行性和结果报表的正确性，以标准动车组检修车车为被测对象完成部分线缆的导通测试、绝缘测试。动车组线缆测试主要分以下几步骤：

2.1 地址分配

为电气设备的被测线缆分配物理地址，地址分配遵照电气设备位置先后及连接器芯数多少完成。头车被测设备部分地址分配如表 4 所示。

表 4 头车被测设备部分地址分配表

序号	机柜	位置	设备名称	连接器	物理地址	
1	3号 机柜	二位端 车下	EJCR	CN1	6000-6019	
2				CN2	6100-6149	
3				CN3	6200-6249	
4				CN4	6300-6349	
5				CN5	6400-6449	
6		二位端 车上	控制继 电器盘	CN1	7000-7049	
7				CN2	7100-7149	
8				CN3	7200-7249	
9				CN4	7300-7349	
10				CN5	7400-7449	
11				CN6	7500-7549	
12				CN11	7600-7649	
13				CN12	7700-7749	
14				组配上部	CN	6500-6549
15				组配下部	CN1	6600-6649
16					CN2	6700-6749
17					CN3	6800-6849
18			CN4		6900-6949	

2.2 导通表编辑

依据车上线缆导通关系及被测设备线缆地址分配表, 按照导通表约定格式, 完成线缆导通表的编辑。

2.3 测试程序自动转换

打开转化软件, 点击“选择源文件”按钮, 选择导通表文件 (.xls), 点击“生成测试 TP”按钮, 测试软件开始自动转化生成地址分配文件 (.UT) 和测试程序文件 (.RO)。测试程序生成运行界面如图 4 所示。

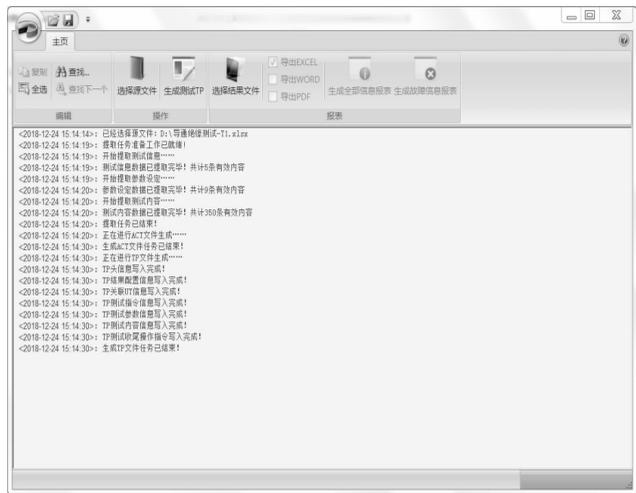


图 4 测试程序生成运行界面

2.4 测试设备与被测线缆连接

1) 将测试设备分别放在三个机柜内, 1 号机柜内放 4 个开关箱和主控箱、2 号机柜内放 4 个开关箱、3 号机柜内放 4 个开关箱, 组成测试通道为 6000 路的测试系统。1 号机柜位于二位侧车门, 2 号机柜位于一位车门, 3 号机柜位于二位端。

2) 连接好上位机与测试设备主机的控制线及数据线。连接转接工装, 实现测试设备与被测电气设备的连通。

3) 按照开关单元的连接先后顺序, 开关单元前面板的拨码开关依次置为 00~12。

2.5 测试设备自检

打开测试设备主机电源开关, 在测试设备空载时, 打开测试设备上位机软件, 选择自检选项, 在弹出的界面上设定相应参数, 通过给模块测试点之间施加 DC500V 电压完成绝缘测试, 检验测试设备跑合是否正常。

2.6 执行测试

点击“运行测试”按钮, 在弹出的列表中选择转换完成的测试程序文件, 测试仪执行测试。完成测试后自动将测试结果以 .ER 格式存储在指定路径。

2.7 报表生成

打开转换软件, 点击“选择结果文件”按钮, 选择测试结果文件 (.ER), 勾选“导出 EXCEL”项, 点击“生成全部信息报表”或“生成故障信息报表”按钮, 转换软件自动生成 Excel 报表文件。结果报表生成运行界面如图 5 所示。

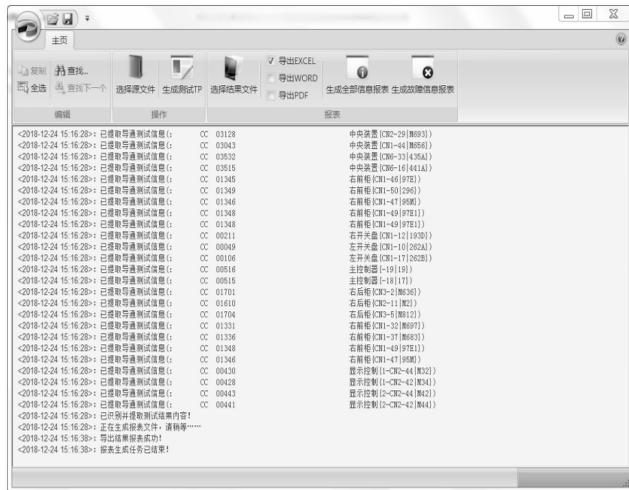
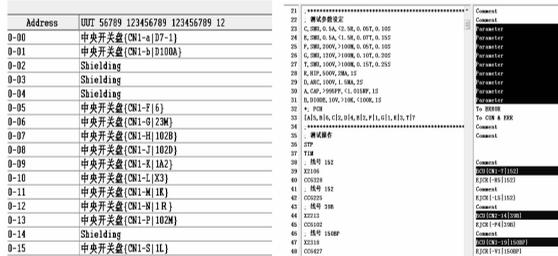


图 5 结果报表生成运行界面

3 转换结果与分析

3.1 测试程序文件

转换软件自动生成的地址分配文件 (.UT) 和测试程序文件 (.RO) 用线缆测试仪上位机软件可以正常打开、查看、编辑和保存, 在执行测试过程中, 线缆测试仪上位机软件加载测试程序文件正确, 测试仪运行正常, 表明生成的地址分配文件和测试程序文件格式完全正确、可执行。转换生成的可执行文件如图 6 所示。



(a) 地址分配文件 (.UT) (b) 测试程序文件 (.RO)

图 6 转换生成的可执行文件

相比手工逐条编辑地址分配文件和测试程序文件, 自动转换软件只需要测试人员完成导通表文件的编辑, 其余工作由转换软件自动完成, 大大节约流程编辑时间, 减少编辑测试流程出错率。

3.2 结果报表文件

自动转换软件生成的全部信息报表如图 7 所示, 生成的故障信息报表如图 8 所示。

相比测试结果文件 (.ER), 全部信息报表清晰的显示每条被测线缆的起始端和终点端信息, 同时给出实测值和测试结论, 测试人员可以方便快捷的查看、打印测试数据。

故障信息报表显示测试不合格线缆的详细信息, 包括错误连接点地址, 错误连接点车上信息, 检测值和错误连接关系。如图 8 所示的故障信息报表, 左开关盘 CN1-16 (物理地址 00105) 与右后柜 CN5-7 (物理地址 01906) 的导通电阻实测值大于 30.00 MΩ, 测试结果不合格。故障信息报表显示故障点 (物理地址 01906) 与左后柜 CN2-25

线号	起始端	起始端连接器	起始端屋里地址	总点端	终点端连接器	终端端物理地址	实测值	测试结论
M434	APU	CN-6	02405	监控终端	CN3-6	08205	2.125 OHM	通过
M149	APU	CN1-21	02412	监控终端	CN3-42	08241	1.912 OHM	通过
6M	APU	CN1-4	02403	监控终端	CN3-25	08524	1.974 OHM	通过
M135	APU	CN1-16	02411	监控终端	CN3-23	08322	2.031 OHM	通过
M435	APU	CN1-15	02410	监控终端	CN3-11	08410	1.886 OHM	通过
M100	APU	CN1-22	02413	监控终端	CN3-33	08232	1.948 OHM	通过
M100	APU	CN1-10	02409	监控终端	CN3-30	08029	>30.00M OHM	未通过
101X	APU	CN1-5	02418	控制继电器盘	CN3-42	07041	2.013 OHM	通过
151	BCU	CN1-6	02105	组配下部	CN3-27	066026	1.976 OHM	通过
149	BCU	CN1-12	02111	组配下部	CN3-25	06624	2.025 OHM	通过

图 7 全部信息报表

线号	起始端	起始端连接器	起始端物理地址	总点端	终点端连接器	终端端物理地址	实测值	测试结论
262 B	左开光盘	CN1-16	00105	右后柜	CN5-7	01906	>30.00M OHM	未通过
	错误扫描结果	故障点地址	错误连接点地址	检测值	错误连接关系			
		1906	1124	左后柜/CN2-25	2.642 OHM	WIRED		
		1906	1407	右前柜/CN2-8	2.684 OHM	WIRED		

图 8 故障信息报表

(物理地址 1124) 存在短接关系, 与右前柜 CN2-8 (物理地址 1407) 存在短接关系。测试人员可以根据该信息快速定位线缆的故障位置, 从而进行现场故障排查。

4 结语

通过与实车对接测试, 验证了某线缆测试仪转换软件测试流程生成和结果报表生成功能的可行性。该转换软件能自动生成测试程序, 省去了手动编写测试程序文件、制作地址分配文件等繁琐流程, 大大节约了流程编辑时间, 减少了编辑测试流程出错率。同时, 转换软件可生成全部信息报表和故障信息报表, 极大方便测试人员查找、打印测试结果, 为现场排查故障线缆提供指导, 提高现场检错效率。

(上接第 190 页)

手动输入重建距离且重建距离获取困难的问题, 本文提出基于二代小波算法的数字全息显微成像自动对焦方法, 用全息图自动寻找最佳重建点, 自动对焦准确率为 90% 以上, 解决了传统重建算法难以获取重建距离的问题。

参考文献:

[1] 邓丽军. 数字全息显微术及若干应用技术研究 [D]. 天津: 南开大学, 2014.

[2] Wang Y, Wang D, Yang Y, et al. Application and analysis in the biomedicine field using digital holographic technology [J]. Chinese Journal of Lasers, 2014, 41 (2): 0209002.

[3] Thiesing B P, Mann C J, Dryepondt S. High temperature measurements of martensitic transformations using digital holography. [J]. Appl Opt, 2013, 52 (19): 4426 - 4432.

[4] Jia Q, Li Z, Liu X. Study on Method of Measuring Particle Size of Atmosphere Based on Digital Holography [A]. International Conference on Biomedical Engineering and Biotechnology [C]. IEEE, 2012; 1730 - 1733.

[5] Daubechies I, Sweldens W. Factoring wavelet transforms into lifting steps, Wavelets in the Geosciences [M]. Springer Berlin Heidelberg, 2000: 131 - 157.

[6] Jericho S K, Garcia - Sucerquia J, Xu W, et al. Submersible digital in-line holographic microscope [J]. Review of Scientific Instruments, 2006, 77 (4): 503 - 1998.

参考文献:

[1] 方彬浩, 范存孝. 带有自学习能力的新型智能线序测试仪开发 [J/OL]. 机电工程技术, 2018 (S1): 168 - 170.

[2] 陈晨, 郑焯, 王志臻, 等. 面向文件存储的虚拟网络映射算法 [J]. 信息技术与网络安全, 2018, 37 (7): 42 - 45, 49.

[3] 黄召明, 张洪月, 魏薇, 等. 动车组自动导通测试系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (11): 4 - 8.

[4] 苏建军, 郑永丰, 于功敬, 等. 便携式电缆测试仪的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2006 (11): 1585 - 1588.

[5] 张犀, 杨欣, 邵军. 高速动车组制动性能测试系统 [J]. 铁道机车车辆, 2011, 31 (5).

[7] 罗鹏, 吕晓旭, 钟丽云. 数字全息技术研究进展及应用 [J]. 激光杂志, 2006, 27 (6): 8 - 10.

[8] Wang Z, et al. Modern image quality assessment [J]. Synthesis Lectures on Image Video & Multimedia Processing, 2006, 2 (1): 156.

[9] Sweldens W. The lifting scheme: a construction of second generation wavelets [J]. SIAM J. Math. Anal, 1998, 29 (2): 511 - 546.

[10] 纪君峰. 基于 QT/E 的嵌入式系统研究及应用 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2008.

[11] Schnars U, Jüptner W P O. Digital recording and numerical reconstruction of holograms [J]. Measurement Science & Technology, 2002, 13 (9): 85 - 101.

[12] Zhang F, Pedrini G, Osten W. Reconstruction algorithm for high- numerical-aperture holograms with diffraction-limited resolution [J]. Optics Letters, 2006, 31 (11): 1633 - 1635.

[13] 赵益乐. 基于无透镜数字全息的微颗粒成像系统设计 [D]. 大连: 大连海事大学, 2017.

[14] 陈云鹏. 无透镜数字全息显微成像研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2015.

[15] Sweldens W. The lifting scheme: a construction of second generation wavelets [J]. SIAM J. Math. Anal, 1998, 29 (2): 511 - 546.

[16] 王昕, 刘畅. 基于提升小波变换的图像清晰度评价算法 [J]. 东北师大学报 (自然科学), 2009, 41 (4): 52 - 57.