

C 波段天气雷达巡检报告自动生成系统的设计与实现

熊峰¹ 潘雪² 刘颖¹ 孙哲¹ 隋丹¹ 侯飙¹

(1 黑龙江省气象数据中心, 哈尔滨 150030; 2 黑龙江省生态气象中心, 哈尔滨 150030)

摘要 每年汛期开始前, 新一代天气雷达需要进行技术指标的测试标校和部件的维修保养, 最终形成雷达巡检报告。大修前的 C 波段天气雷达巡检有 3 方面不足, 首先是部分测试数据需经人工计算才能得出技术指标, 自动化程度不够高, 其次是无项目完成与否和指标合格与否的提示, 容易遗漏还未完成的项目及还未标校好的指标, 最后是没有在线帮助文档, 技术人员凭经验巡检, 容易出现不规范的操作。针对上述情况, 设计并实现 C 波段天气雷达巡检报告自动生成系统, 自动处理测试数据获得指标结果, 展示各项目完成情况和各指标合格情况, 提供巡检测试帮助文档, 将会提高雷达巡检的效率和智能化水平。

关键词 C 波段天气雷达; 巡检报告; 自动生成系统

中图分类号: P409 **DOI:** 10.19517/j.1671-6345.20200097 **文献标识码:** A

引言

为了确保新一代天气雷达稳定可靠的运行, 发挥其天气监测预警及气象防灾减灾的能力, 每年汛期开始前, 都会开展天气雷达的年巡检工作, 对天线转动部件进行维护保养, 对各项性能指标进行测试标校, 以及处理雷达存在的故障和隐患^[1-5]。雷达年巡检过程中, 技术人员记录雷达检查维护结果、测试数据及技术指标值等, 最终形成一份完整的巡检报告, 以供存档^[6]。

目前, 大修前的 C 波段天气雷达巡检有以下三方面不足: ①部分技术指标需要人工计算得到, 容易出错且耗费时间; ②由于巡检项目较多, 巡检时没有测试项目完成与否的提示, 容易遗漏还未完成的项目, 并且巡检项目完成后, 没有技术指标是否合格的提示, 也容易遗漏还未标校好的项目技术指标; ③没有协助巡检人员测试的在线帮助文档。针对上述情况, 设计并实现 C 波段天气雷达巡检报告自动生成系统, 解决好 C 波段天气雷达巡检工作中的不足, 提升巡检工作的智能化水平, 提高巡检工作的效率, 将会给雷达巡检工作带来很大帮助。

C 波段天气雷达巡检报告是具有固定格式的

Word 文档, 在制作好的巡检报告模板的基础上, 巡检时只需要更新模板中的检查结果、改造情况、维护记录、测试数据、技术指标等信息, 即可生成新的雷达巡检报告。由于 Word 提供了可编程操作接口, 可以通过编写程序对巡检报告模板进行编辑^[7-11]。考虑到巡检数据录入需要交互, 技术指标展示需要可视化, 因此选用善于桌面应用程序开发的 C# 编程语言进行设计与实现^[12], 将非常适合。

1 系统总体设计

C 波段天气雷达巡检报告自动生成系统, 是在 Microsoft Visual Studio 2010 集成开发环境下, 进行设计和实现的 Windows 窗体应用程序, 程序编译后可部署在 Windows 系统上运行。

1.1 系统功能组成

C 波段天气雷达巡检报告自动生成系统, 是基于 CINRAD/CA、CINRAD/CB、CINRAD/CC、CINRAD/CD(以下分别简称为 CA、CB、CC、CD) 4 种型号的雷达进行设计的, 由于各型号雷达的巡检项目不尽相同, 4 种型号的雷达巡检项目模块独立设计。系统具备以下主要功能:

(1) 具备 CA、CB、CC、CD 4 种型号雷达所有巡

检项目检查结果,改造情况,维护记录,测试数据的录入功能,数据录入过程简便,软件界面美观大方;

(2)根据项目技术指标的计算方法,对测试数据进行自动化处理得到技术指标值;

(3)具备测试数据的存储和读取功能;

(4)具备检查技术指标是否合格的功能和巡检项目是否完成的功能;

(5)具备将文字形式的测试数据写入 Word 巡检报告的功能;

(6)具备将图形曲线和图像形式的测试结果写入 Word 巡检报告的功能;

(7)设计在线帮助文档,帮助文档包含测试步骤、测试注意事项、测试视频等,并具备视频播放功能;

(8)具备巡检测试人员的增添和删减功能。

系统功能结构如图 1 所示。

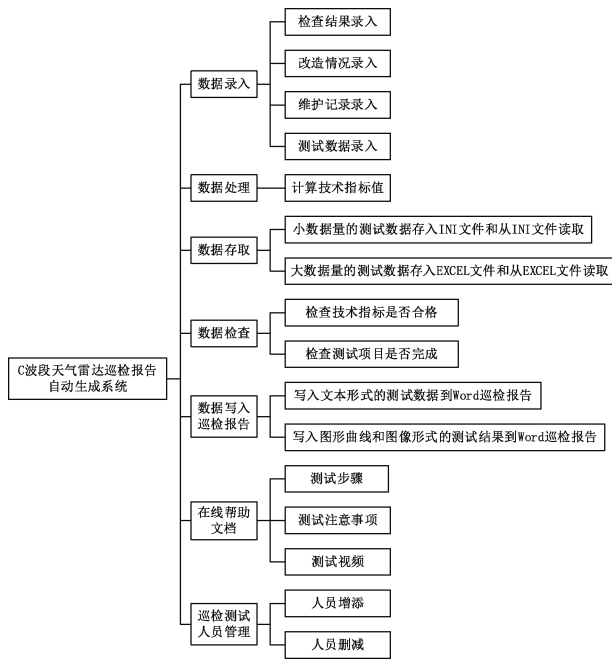


图 1 系统功能结构

1.2 系统软件工作流程

C 波段天气雷达巡检报告自动生成系统的软件工作流程如图 2 所示。

首先,巡检人员选定巡检雷达型号(CA/CB/CC/CD),系统就调取该型号雷达的 Word 巡检报告模板,然后,巡检人员选定雷达站、巡检日期、巡检人员等信息后,就正式开始雷达项目巡检。巡检的项目包括雷达硬件和雷达软件两部分,硬件巡检包括雷达各系统的检查、改造、维护及指标测试,并录入

结果,软件巡检包括雷达终端控制软件中的定标参数的检查和校对,雷达数据生成软件及雷达产品生成软件中的配置参数的检查和核对,以及雷达数据传输软件中的配置参数的检查和核对,最后录入软件检查结果。巡检过程中,如需要测试帮助,可查看在线帮助文档,获取测试步骤、测试注意事项、测试视频、定标参数范围、配置参数设置等技术支持。

测试数据录入后自动计算成技术指标,录入的数据和技术指标都将保存在指定的文件中,以供读取。

当完成所有巡检项目后,软件展示各个项目的测试技术指标,突出显示遗漏未完成的项目以及超标的技术指标。根据提示,可以跳转到遗漏项目和超标项目的界面,以完成遗漏的项目,以及对超标项目的技术参数进行调整或检修,直至符合指标要求。

巡检人员填写完巡检意见和建议后,点击生成巡检报告按钮,即可“一键”自动生成雷达巡检报告。

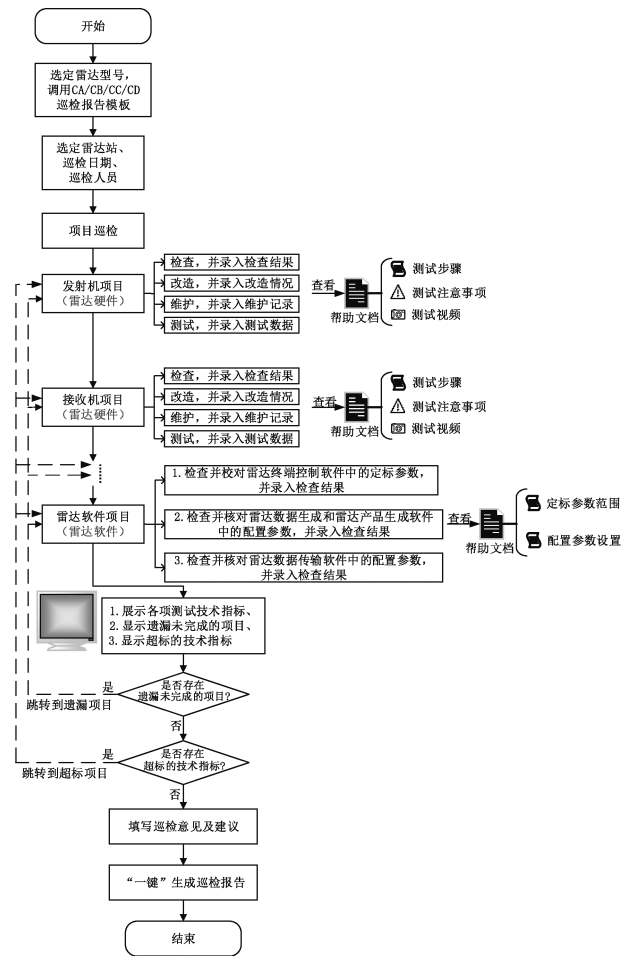


图 2 系统软件工作流程

2 关键技术设计与实现

2.1 制作巡检报告模板

在 Word 雷达巡检报告中需要更新巡检数据的位置处,插入名称唯一的书签名,然后保存为巡检报告模板。

2.2 插入文字和图像到巡检报告中

2.2.1 插入文字

```
public void InsertText(string bookmark, string text) //bookmark 是书签名, text 是插入的文字
{
    object oStart=bookmark;//bookmark 位置设为光标位置
    wordApp.ActiveDocument.Bookmarks.get_Item(ref oStart).Select();
    wordApp.Selection.TypeText(text); //插入文字
}
```

2.2.2 插入图像

```
public void InsertImage(string bookmark, string imagePath)//bookmark 是书签名, imagePath 是图像路径
{
    object oStart=bookmark;// bookmark 位置设为光标位置
    object linkToFile=false;
    object saveWithDocument=true;
    object range=wordDoc.Bookmarks.get_Item(ref oStart).Range;
    wordDoc.InlineShapes.AddPicture(imagePath, ref linkToFile, ref saveWithDocument, ref range); //插入图像
}
```

2.3 生成接收机动态特性曲线图

大修前的雷达接收机动态特性曲线图,需要对测试数据最小二乘法拟合,然后以图片形式展示。程序中引用 COM 组件中的 Microsoft.Office.Interop.Excel,编写代码生成 Chart 图片形式的动态特性曲线图,主要代码如下:

```
Chart.ChartType=Excel.XlChartType.xlLineMarkers;//设置 Chart 图片为数据点折线图
Chart.SetSourceData(sheet.get_Range(yStart, yEnd), Excel.XlRowCol.xlColumns); //设置 Y 轴数据取值范围, yStart 为 Y 轴数据取值的开始位置, yEnd 为 Y 轴数据取值的结束位置
Chart.SeriesCollection.XValues = sheet.get_Range(xStart, xEnd); //设置 X 轴数据取值范围, xStart 为 X 轴数据取值的开始位置, xEnd 为 X 轴数据取值的结束位置
```

2.4 存储测试数据

检查结果、维护记录、技术指标等小数据量数据保存在 INI 文件中,接收机动态测试数据等大数据量数据保存在 EXCEL 文件中。

2.4.1 数据存入 INI 文件

程序中引用 kernel32.dll 动态链接库中的 API 函数 WritePrivateProfileString 将数据存入 INI 文件中,函数定义如下:

```
WritePrivateProfileString(Section, Key, Value, FilePath)//Section 是 INI 文件中的段落, Key 是关键字, Value 是关键字的数据, FilePath 是 INI 文件路径
```

2.4.2 数据存入 EXCEL 文件

通过引用 Microsoft.Office.Interop.Excel,编写代码将数据存入 EXCEL 文件中。

```
public void WriteExcel(int A, int B, string Value, string FilePath) //A, B 分别是 Excel 单元格的行,列值, Value 是存入单元格的数据, FilePath 是 EXCEL 路径
{
    Excel.Application Excel=new Excel.Application();
    Excel.Workbook book=Excel.Workbooks.Open(FilePath, Type.Missing);
    sheet=(Worksheet)book.Sheets[1];
    sheet.Cells[A,B]=Value; //单元格[A,B]中存入数据
    book.Save(); //保存工作簿
    Excel.Quit(); //退出 EXCEL 操作,释放内存
}
```

2.5 展示遗漏未完成的项目和超标的技术指标值

新建一个“测试项目完成情况”的 INI 文件,所有巡检项目在该文件中默认标记值是“未完成”,巡检过程中,当完成了某项巡检项目,INI 文件标记该项目为“已完成”。通过读取“测试项目完成情况”INI 文件中各项目完成情况,即可将遗漏未完成项目展示出来。

各项目技术指标值存储在“技术指标”INI 文件中,通过读出 INI 文件中各项目的技术指标值,与巡检规定中要求的指标大小进行比较后,即可将超标的指标值找到并展示出来。

3 系统运行效果

使用 C 波段天气雷达巡检报告自动生成系统软件,对 CA、CB、CC、CD 4 种天气雷达进行巡检测试,软件运行稳定,各项功能达到了预定的设计要求。

首先,巡检人员选定要巡检的雷达型号(图 3),如选定 CC 雷达,然后跳转到填写巡检测试基本信息界面(图 4),在选定巡检雷达站,巡检起止日期,巡检测试人员(支持新增、删减巡检人员)后,就开始



图 3 选择雷达型号



图 4 填写巡检测试基本信息

对雷达各个项目进行巡检。

在进行项目巡检时,巡检人员将该项目的检查维护结果,测试数据等录入到项目界面中,如果录入的数据要转换成技术指标,软件将自动完成指标计算,软件同时也支持技术指标的检查,如指标超标,将予以提示。测试过程中如有测试疑问,可点击界面右上角的“测试指南”链接,获得在线帮助,帮助内容包括测试步骤、测试注意事项、测试视频等(图 5)。每项项目完成后,点击“下一步”按钮,这时巡检测试数据保存到文件中,并写入 Word 巡检报告,同时“测试项目完成情况”INI 文件标记该项目为“已完成”,项目界面左上角也会出现“已测试”的提示信息,如图 6 所示,紧接着跳转到下一项巡检项目界面。

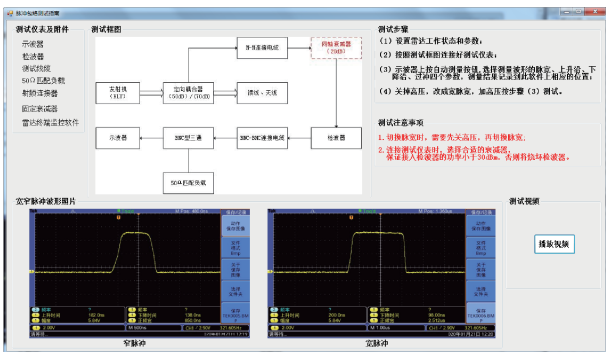


图 5 测试指南界面

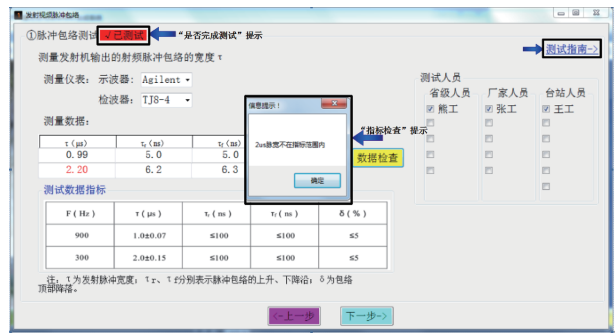


图 6 巡检项目界面

在完成最后一项巡检项目后,软件显示遗漏还未完成的项目,以及超标的技术指标,如图 7 所示,可以帮助巡检人员梳理整个雷达巡检情况。最后可通过单击软件上的“生成巡检报告”按钮,“一键”生成 Word 巡检报告,Word 巡检报告样例如图 8 所示,巡检报告中包括各项巡检项目的测试数据、检查结果、维护记录及参数指标汇总等,蓝色字体标识的是合格数据,红色字体标识的是超标数据。

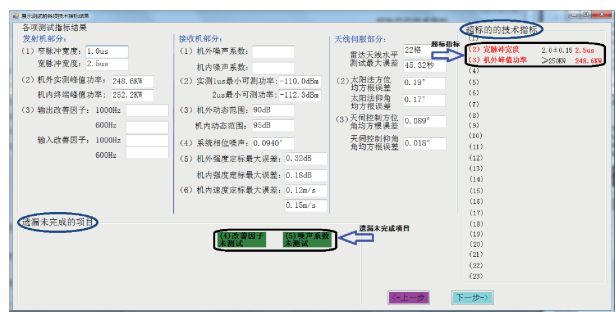


图 7 显示遗漏项目和超标指标界面

雷达主要技术指标巡检测试记录		雷达参数检测结果汇总		
检测项目	指标范围	检测记录	备注	
1. 发射机				
发射机所进行的测试项目有发射机脉冲宽度、发射机输入、输出功率、发射机输出功率、发射机效率等因子。				
1.1 发射机脉冲宽度				
测量发射机输出脉冲宽度(1-3dB), 示波器: Agilent DSOX2032A, 校准器: TTE-4				
测量数据:	t_r (μ s)	t_f (μ s)	t_r (m)	δ (%)
	1.0	5.0	5.0	6.7
	2.1	6.0	6.3	9.3
注: t_r 为发射脉冲上升沿, t_f 为发射脉冲下降沿, δ 为包络顶部峰谷。				
2. 雷达波束空间指向误差				
方位	$\leq 0.3^\circ$	0.24		
俯角	$\leq 0.3^\circ$	-0.08		
3. 发射机				
工作频率	5.5~5.9GHz	5.45		
脉冲速率	≥ 250 Hz	272.4		
脉冲宽度	$1.6 \sim 0.07 \mu$ s	1.6		
脉冲重复率	$2.5 \sim 1.5 \mu$ s	2.5		
脉冲重复率误差因子	$300 \sim 1300$ Hz	$260 \sim 1300$ Hz		
发射机输入/接收功率因子	优于 4dB	30.24		1000Hz
接收机输入/接收功率因子	优于 5dB	34.48		1000Hz
4. 接收机				
接收频率	6GHz	6.00Hz		
接收带宽	0.5/1.1MHz	0.5/1.1MHz		
接收系统动态范围	≥ 85 dB	88		合格
接收系统动态范围	≥ 85 dB	94		合格
接收机噪声系数	≤ 4 dB	1.888		合格
最小可测信噪比	≤ -107 dB	-108.60		1.0 μ s 探测
5. 线性度				
系统相位噪声	$\leq 0.3^\circ$	0.228		
6. 雷达精度校准				
校准精度	± 1 dB	-0.36		合格
速度校准精度	± 1 km/h	-0.50		合格

图 8 巡检报告样例

4 结论

天气雷达年巡检是保障雷达全年稳定运行的一项重要工作,每年都要组织完成。针对目前大修前的C波段天气雷达巡检过程中的数据处理自动化程度不够高、无项目是否已完成和指标是否合格的提示、无在线测试帮助文档等问题,设计并实现了C波段天气雷达巡检报告自动生成系统,可用于所有C波段天气雷达巡检,能将测试数据自动处理转化成技术指标,能为巡检人员清晰明了地展示遗漏项目及超标指标,能提供在线测试帮助文档,能一键自动生成雷达巡检报告,这将会提升雷达巡检工作的智能化程度,提高巡检工作的效率,对雷达巡检工作具有重要的实用价值。

参考文献

- [1] 邵楠,潘新民,陈玉宝,等.利用太阳法提高新一代天气雷达探测精度[J].气象科技,2018,46(6):1065-1072.
- [2] 李力,陈宁,程昌玉,等.新型天气雷达发射脉冲包络检测集成系统设计及实现[J].气象科技,2017,45(6):1112-1115.
- [3] 蔡宏,程昌玉,秦建峰,等.便携式雷达现场测试和诊断移动平台设计及应用[J].气象科技,2017,45(5):938-943.
- [4] 周红根,高飞,蔡勤,等.CINRAD/SA雷达标定技术研究[J].气象科技,2016,44(1):7-13.
- [5] 王志武,卢兴来,陈昊.天气雷达测试维修数据库的设计及应用[J].气象科技,2016,44(6):896-901.
- [6] 李晔,苏杨,李珂,等.河南省新一代天气雷达年维护内容及分工[J].科技信息,2012(7):105+90.
- [7] 刘莹,解启瞻.基于LabVIEW的word校准报告自动生成研究[J].中国科技信息,2018(9):63-65.
- [8] 刘鹏,秦巍,周永辉,等.基于动态网页的Word报告自动生成方法[J].计算机工程,2012,38(5):279-280+284.
- [9] 叶明,张净.基于C#.NET的Word报告生成功能开发[J].计算机工程与应用,2008(9):104-106.
- [10] 鲁保玉,杨新芳.用Delphi生成Word报告及动态结构表格[J].计算机应用与软件,2007(3):180-183.
- [11] 葛芬,吴宁.基于多种技术的Word设计文档自动生成平台[J].电子科技大学学报,2007(2):263-266.
- [12] 耿建军.基于C#技术的气象资料分析与服务产品制作软件设计与实现[J].气象科技,2013,41(4):648-652.

Design and Implementation of Automatic Generation System for C-Band Weather Radar Inspection Reports

XIONG Feng¹ PAN Xue² LIU Ying¹ SUN Zhe¹ SUI Dan¹ HOU Biao¹

(1 Heilongjiang Meteorological Data Center, Harbin 150030;

2 Heilongjiang Ecological Meteorological Center, Harbin 150030)

Abstract: Every year, before the start of the flood season, the new generation weather radar needs to test and calibrate the radar technical indexes, repair and maintain the radar components, and at the end of the radar inspection, also needs to make an inspection report. The C-band weather radar inspection before overhaul has three shortcomings: when a part of test data transforms into technical indexes, manual calculating is needed, so the degree of automatic is not high enough; there are no prompts that show whether the radar inspection items are completed or not, and also there are no prompts that show whether the radar technical indexes are qualified or not, so it is easy to leave out unfinished inspection items and uncorrected technical indexes; there is no online help document, so technical staff conduct inspection items based on their experience; therefore, it is prone to irregular operations. In view of the above situation, to design and implement an automatic generation system for C-band weather radar inspection reports, automatically process test data to get the result of indexes, reveal the completion status of radar inspection items and the qualification status of technical indexes, and provide the help document for measurement, will improve the efficiency and intelligence level of radar inspection.

Keywords: C-band weather radar; inspection report; automatic generation system