

# 某型舰载雷达气象通道检测系统设计

张波, 陈岩申, 张坚, 王新洲

(海军青岛雷达声纳修理厂, 山东 青岛 266100)

**摘要:** 针对某型舰用多功能相控阵雷达气象通道维修难度大的问题, 设计并研制出一套检测系统, 包括主控计算机、测试软件以及配套的转接电缆, 可用于气象处理机柜和气象显示终端之间气象基数据流的检测和模拟, 实现通道故障分析、隔离以及用于装备技术状态检查; 检测系统硬件以通用便携式计算机为核心, 基于 UDP 协议, 用以太网通信接口完成数据传输功能, 配套专用适配连接电缆; 软件主要包括气象数据模拟检测软件和气象数据格式检测软件两部分, 分别用来检测气象终端的技术状态、气象处理机柜的技术状态及进行故障定位; 在某型舰用雷达的应用实验表明, 该检测系统可作为有效的辅助维修手段, 可推广应用于基地级修理单位、基层部队, 具有重要的军事和经济效益。

**关键词:** 舰载雷达; 气象通道; 检测系统

## Development of Test System for Meteorological Channel of Shipborne Radar

Zhang Bo, Chen Yanshen, Zhang Jian, Wang Xinzhou

(Naval Qingdao Radar and Sonar Mending Factory, Qingdao 266100, China)

**Abstract:** Aim at the difficulty of maintaining the meteorological channel of shipborne radar, a set of test equipment is designed and developed, including a main control computer, testing software, and some supporting cables. The equipment can test and simulate the meteorological data flow between processing cabinets and display terminal, the result can achieve channel fault analysis, failure isolation and equipment technical status check. The hardware of the test system uses portable computer as the core. Based on the UDP agreement, the test system uses Ethernet communication interface to achieve data transmission with some supporting cables. The software of the test system includes meteorological data simulation software and meteorological data format test software. The software is used to test the technical conditions of the display terminal and processing cabinets, and achieve fault location. The application of the test system in the shipborne radar demonstrates that the test system can be used as an effective auxiliary maintenance method and applied to depot repair units and army units with important military economic benefits.

**Keywords:** shipborne radar; meteorological channel; test system

### 0 引言

某型舰用雷达是某型舰的主战装备, 该型雷达除了完成对空对海搜索警戒、目标指示、多目标跟踪等任务外, 还针对需求, 新增了气象通道部分, 兼顾气象探测, 并可以在综合显控台设置气象探测方式完成气象探测功能。舰载雷达作为气象信息获取的新型装备, 因其作用距离远、探测精度高、信息元素多而逐渐成为舰船气象探测的主要装备<sup>[1-2]</sup>。

气象探测功能作为该型雷达的主要功能之一, 在装备使用过程中, 常常要连续十几个小时开机录取气象数据; 同时, 对于制导武器, 云、雨、雾和风等都会对制导精度产生影响, 从而影响武器系统的打击精度<sup>[3]</sup>, 这些都对气象通道的可靠性、维修性和测试性提出了较高的要求。目前, 装备保障部门以及装备承制单位没有专用的检测系统, 维修人员大多凭借经验通过更换备件的手段对该雷达气象通道故障进行修理, 在日常维护或定期检修时无法对气象

通道展开专门的测试和维修, 因此急需研制一套检测系统以保障预防性检修或临抢修工作。

### 1 气象通道系统结构及原理

某型舰载雷达气象通道系统结构图见图 1。

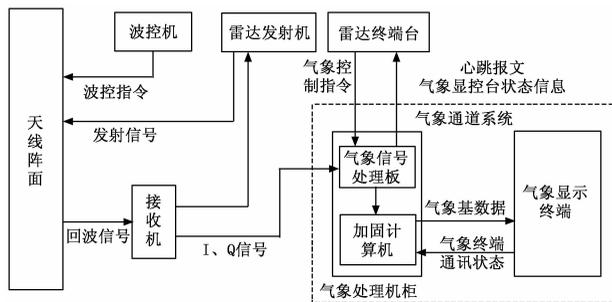


图 1 气象通道系统结构图

如图 1 所示, 气象通道系统由气象处理机柜和气象显示终端两个机柜组成。雷达在气象探测模式下, 发射时,

收稿日期: 2020-05-16; 修回日期: 2020-07-02。

作者简介: 张波(1974-), 男, 山东安丘人, 硕士, 高级工程师, 主要从事海军舰船信息装备测试维修方向的研究。

引用格式: 张波, 陈岩申, 张坚, 等. 某型舰载雷达气象通道检测系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(1): 130-134.

方位按一定角度间隔, 仰角按雷达指定的仰角发射信号。接收时, 从雷达接收机输出的和路 I、Q 各 16 位数字中频信号送至气象处理机柜的气象信号处理板, 由气象信号处理板和加固计算机进行处理后, 生成气象基数据 (强度、速度、谱宽), 通过以太网发送到气象显示终端进行数据处理, 生成最终的气象基本数据产品、物理量产品和风场产品<sup>[4-7]</sup>。

气象处理机柜实时接收雷达内网转发的时统、导航信息及雷达相关参数, 经以太网送给气象显示终端, 并接收雷达终端台发送的气象控制指令。气象处理机柜同时要向雷达终端台转发气象显控台通讯状态信息, 向终端台发送心跳报文。

气象显示终端的任务是接收气象处理机柜送来的气象原始基数据流, 利用专业气象算法, 气象显示终端软件完成气象一次、二次产品的生成与显示; 另一个任务是把处理好的气象产品数据转换成综合水文系统所需要的数据格式, 并通过网络传输给指定的服务器中。

## 2 检测系统硬件设计

某型舰载雷达气象通道检测系统主要由主控计算机、测试软件以及配套的转接电缆构成, 可用于气象处理机柜和气象显示终端之间气象基数据流的检测和模拟, 实现通道故障分析、隔离以及用于装备技术状态检查。检测系统能够接收气象处理机柜发出的气象基数据, 或者发送已知的气象基数据给气象显示终端, 通过分析气象基数据的格式、内容, 判断其有效性。在气象处理机柜和气象显示终端之间气象基数据传输、气象产品生成和显示出现异常时, 通过使用检测系统可以快速有效的引导技术人员对信号处理机柜和气象显示终端的工作状态做出判断, 可以方便快捷的隔离故障。

### 2.1 硬件总体结构设计

气象处理机柜中的计算机板、网络板和气象显示终端的加固计算机均为标准的 CPCI 计算机设备, 从雷达使用来看, 雷达在正常加电过程中可以从显示画面观察到计算机设备是否正常工作, 而接收机、气象处理机柜的气象处理板和接口板的检测可通过舰载雷达机内自检实现。

气象显示终端的外网通信包括基于 UDP 协议的与雷达信号处理器的数据传输, 鉴于 UDP 是一种无连接的、不可靠的传输层协议, 以及作战网络的复杂性, 检测系统需要进行网络通信状态的测试, 快速隔离网络通信、数据传输故障<sup>[8-9]</sup>。检测系统硬件总体结构示意图如图 2。

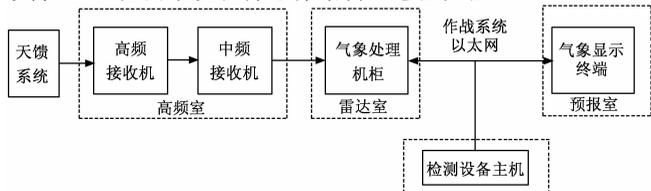


图 2 检测系统硬件总体结构示意图

### 2.2 硬件技术方案

在硬件选型方面, 检测系统选用便携式加固计算机作为主控计算机, 计算机具备 10 M/100 M 自适应以太网接口, 符合 IEEE802.3 通讯协议。以通用计算机平台为核心, 用以太网通信接口完成数据传输功能, 配套专用适配连接电缆, 构成了本项目硬件系统的技术方案。在 主控计算机中分别安装气象数据模拟器软件和基数据格式检测软件。

运行气象数据模拟器软件时, 检测系统模拟雷达信号处理机柜的工作方式, 通过以太网以 UDP 协议向气象显示终端发送雷达径向气象基数据流, 气象显示终端接收数据流并完成产品生成与显示, 由于模拟器发送是标准的数据格式, 可以用来检测气象显示终端的技术状态, 硬件连接关系见图 3。

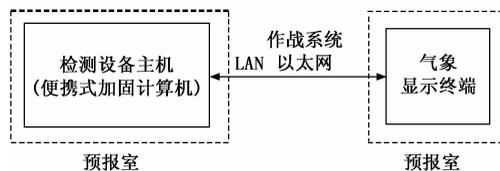


图 3 基数据模拟检测的硬件连接关系

运行气象数据格式检测软件时, 通过对数据包对应的数据位进行逐一识别, 依据数据格式要求, 判断报文的有效性, 给出软件运行日志及检测报告, 检测雷达信号处理机柜的工作状态及进行故障定位, 硬件连接关系见图 4。

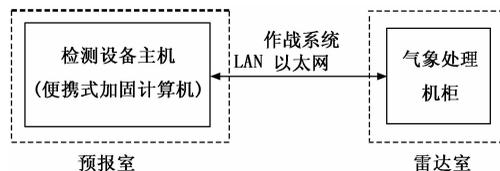


图 4 气象数据格式检测的硬件连接关系

## 3 检测系统软件设计

### 3.1 软件系统总体设计

#### 3.1.1 操作系统的选择

操作系统选择是软件设计的重要组成部分。为便于检测系统的功能扩展和保证可移植性, 本项目操作系统采用 Windows XP 操作系统开发软件。

#### 3.1.2 开发环境的构建

选择了 Windows XP 作为本设备的操作系统后, 就需要建立相应的软件开发环境。软件设计使用 VC2010 开发环境, 软件采用 C/C++ 语言开发进行开发, 按照不同用处划分进行功能模块化。各个模块做成插件, 并能够在框架中集成重构。软件的网络编程使用 Windows 标准的 Socket 网络通信方式。根据网络数据传输需要, 安装了必要的网络数据抓包, 网络测试等工具。

#### 3.1.3 检测软件的开发

检测软件设计采用结构化分析方法, 自顶向下逐层分解。经过多次逐层分解, 每个底层的问题变得简单, 容易

解决。例如，气象基数据模拟检测，就是把雷达体扫数据，按照体扫数据结构、仰角层数据结构、径向数据结构、距离库数据结构逐层分解<sup>[10]</sup>；数据格式检测就是对每个底层距离库数据进行逐一数据结构检测。

### 3.1.4 人机接口程序开发

人机接口程序主要为系统使用人员、系统管理人员、系统评估人员、其它交互设备及系统等用户提供可视化的交互使用界面。

## 3.2 软件技术方案

检测系统软件主要包括气象数据模拟检测软件和气象数据格式检测软件两部分。

### 3.2.1 气象数据模拟检测软件技术方案

气象数据模拟检测软件具备把雷达实际工作中采集到的天气过程数据，按照雷达信号处理器实际工作方式，以基数据流的形式进行回放，用于检测气象终端数据接收和处理能力，网络状态以及装备运行状态，同时可以进行模拟实战训练，培训教学、历史数据分析等。气象数据模拟检测软件主要包括以下 5 个功能模块。

- 1) 插件管理功能模块：管理各模块插件动态库，模块接口转换处理；
- 2) 网络通信功能模块：负责 UDP 网络通信；
- 3) 数据选择设置功能模块：选择回放数据，设置回放参数；
- 4) 数据回放功能模块：回放所选择体扫数据；
- 5) LOG 记录功能模块：存储、显示软件运行记录。

气象数据模拟检测软件功能框图如图 5 所示。

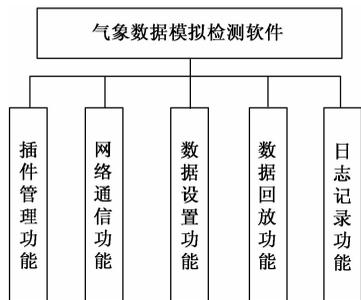


图 5 气象数据模拟检测软件功能框图

### 3.2.2 气象数据格式检测软件技术方案

在系统运行异常时，气象数据格式检测软件用于解析雷达基数据格式，判断数据格式的正确性以及数据的有效性，给出相应的说明。同时具备基数据分析、诊断功能，实现检测报告自动管理。气象数据格式检测软件主要包括以下 6 个功能模块。

- 1) 插件管理功能模块：管理各模块插件动态库，模块接口转换处理；
- 2) 网络通信模块：负责 UDP 网络通信，检查网络通信是否正常；

3) 数据接收功能模块：负责接收来自信号处理器的雷达数据；

4) 数据检查功能模块：检查信号处理器数据长度、各数据段是否处于正常范围；

5) 报表管理功能模块：完成测试报告生成、存储、查询等功能；

6) LOG 记录功能模块：存储、显示软件运行记录。

气象数据格式检测软件软件功能框图如图 6 所示。

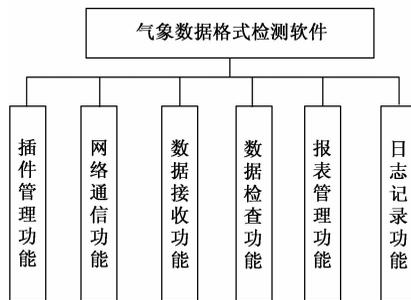


图 6 气象数据格式检测软件功能框图

## 3.3 软件技术内容

本项目以舰载雷达气象通道为具体检测目标，提出针对雷达气象信号处理机柜与气象显示终端之间的气象基数据进行检测的技术方案。在软件开发过程中涉及到的主要技术内容包括：

- 1) 舰载雷达气象体扫数据文件和气象基数据格式的分析；
- 2) 基数据模拟检测软件功能需求分析与实现；
- 3) 基数据格式检测软件功能需求分析与实现。

### 3.3.1 舰载雷达气象体扫数据文件和气象基数据格式的分析

气象通道的数据格式中，对报文有严格的规定，必须符合舰载雷达规定的接口协议。

报文类型有两种：扫描数据头和径向数据。舰载雷达气象处理机柜向气象显示终端传送一个完整的体扫数据文件，需要发送 1 446 个符合 UDP 规范的数据包，包括 6 个扫描数据包和 1 440 个径向数据包。

扫描数据头文件包括工作方式、天气模式以及扫描开始时间，格式中对该数据头报文都有具体的规定值，是基数据模拟检测软件对回放的起始标志。

径向数据包包括数据来源的方位、仰角、经纬度、横摇、纵摇、航向、航速，是数据的主要属性，其数据结构见表 1。

### 3.3.2 基数据模拟检测软件功能需求分析与实现

基数据模拟检测软件功能具备将舰载雷达获取的历史气象体扫数据，模拟雷达工作的实际运行方式，以径向数据流的形式生成模拟数据，按照雷达信号处理器输出约定格式回放历史数据，通过以太网，传输至气象显示终端。

表 1 径向数据包数据结构

名称	描述	数据项	数据项标识	数据项类型	数据长度	备注
typedef LineDataBlock	以极坐标方式 排列回波数据	PPI 序号	CutIndex;	unsigned long	4	用于传输匹配确认
		径向结束	lastRadial	unsigned char	2	1 是
		仰角	Elev	short	2	1%度
		方位	Az	unsigned short	2	1%度
		经度	Longitude	char	16	
		纬度	Latitude	char	16	
		纵摇	Vs	float	4	
		横摇	Hs	float	4	
		航向	Course	unsigned short	2	
		舰速	Nv	unsigned short	2	
		消杂波 dBZ 值	CorZ	unsigned char	1024	(CorZ-64)/2
		有杂波 dBZ 值	UnZ	unsigned char	1024	(UnZ-64)/2
		速度值	V	char	1024	最小-128
谱宽值	W	unsigned char	1024	最小 0		

模拟检测所用的数据采用来源于舰载雷达的历史天气数据, 模拟检测软件仅对其进行拆包, 而不采取完全人为“模拟”, 简化了模拟难度, 必要时可实时注入错误数据, 用于检测气象显示终端的数据处理功能和技术状态。

基础数据模拟检测软件主界面布局见图 7。

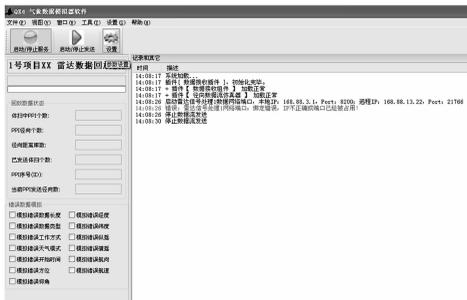


图 7 数据模拟检测软件的主界面布局

### 3.3.3 基础数据格式检测软件功能需求分析与实现

由于网络通信的复杂性和 UDP 传输的不可靠性, 可能会造成数据包的丢失, 因此, 需要对数据包的完整性、准确性进行检测, 判断数据包传输是否正常。

数据包传输的数据长度、工作模式、天气模式、时间格式、方位、俯仰、经度、纬度、纵摇、横摇、航向、航速等类型数据在数据组合过程中可能出现数据错误, 因此需要对数据的有效性进行检测。气象数据格式检测软件主要功能需求是实现数据包完整性和数据有效性检测。

数据格式检测软件先检测网络是否满足要求, 再通过网络接收雷达信号处理发来的 UDP 报文, 通过对数据包对应的数据位进行逐一识别, 并依据数据结构和数值要求, 判别数据的有效性, 给出日志及检测报告, 出现数据异常时, 通过数据错误类型, 进行故障定位。数据格式检测软件主要用到了数据接收插件、任务机控制组件。

数据格式检测软件流程图如图 8 所示。

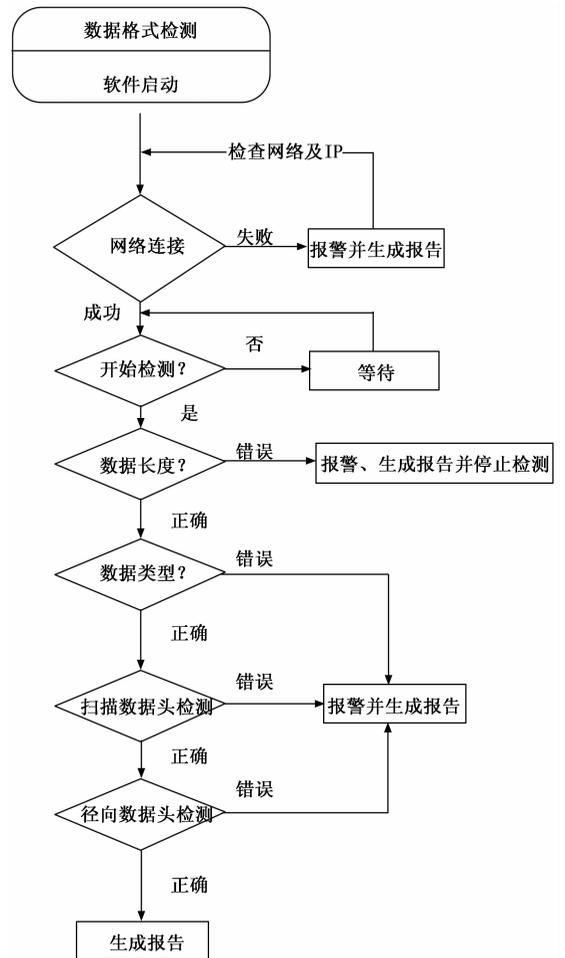


图 8 数据格式检测软件流程图

### 3.4 软件关键技术

舰载雷达气象通道检测系统软件开发的主要技术特点是: 模块化开发, 便于故障定位以及升级维护; 部分代码

使用原气象终端系统代码模块, 稳定可靠; 测试报告内容详细, 定位明确, 便于故障诊断。采用的关键技术如下。

### 3.4.1 网络报文监控技术

由于数据格式检测软件主要是通过网络接收气象通信号处理器发来的径向数据流, 因此基于底层数据格式的监控更有利于检测被测数据流。数据在接收时进入数据格式分析模块, 分辨数据长度、类型、数据有效性等关键信息, 形成日志及报文信息, 存储于文件中。

### 3.4.2 模拟数据生成与回放技术

把雷达探测到的历史体扫数据文件分割成一个个数据单元, 并按照数据存储顺序逐一回放, 并实时注入多种类型的故障信息, 是数据模拟检测软件解决的重点问题。

## 4 实验结果与分析

为了检验舰载雷达气象通道检测系统各功能及可靠性, 项目组在完成研制工作后分别进行了软件性能测试和硬件性能测试实验。软件性能测试包括单元测试、用户界面测试、系统集成测试、性能测试、回归测试, 测试结果表明, 该系统软件符合设计使用要求。检测系统的硬件主要是主控计算机和专用适配电缆, 经过使用验证表明, 该系统的硬件选型、电缆制作符合设计方案要求。

舰载雷达气象通道检测系统软件性能测试和硬件性能测试完成后, 项目组结合某型舰用雷达技术状态检查、平时装备保障和任务期间装备保障工作, 对该检测系统进行了应用实验, 实验结果如下:

1) 使用该检测系统能够快速定位气象处理机柜和气象显示终端故障, 适用于气象显示终端的测试和故障隔离。应用期间, 使用该设备隔离、定位气象显示终端网络通信故障 1 次, 对装备进行技术状态检查 4 次;

2) 该检测系统性能稳定, 工作可靠, 运行状态良好, 应用期间未发生任何故障。检测系统技术资料完整, 人机界面友好, 易于操作, 配备的接口连接电缆齐全;

3) 检测系统气象数据模拟检测软件能够按照雷达工作方式回放气象基数据, 可用于气象终端数据的接收、处理检测以及网络状态监测; 气象数据格式检测软件具备气象基数据格式解析功能, 可用于判断数据格式的正确性和有效性, 并给出测试结果, 为技术人员分析故障提供技术支持。

## 5 创新点

1) 采用实测气象基数据和故障信息随机注入融合的数据模拟方法, 保证了气象基数据的有效性和高度的真实性。把雷达探测的实际回波数据作为模拟数据源, 保证模拟的气象数据与气象通道实际工作模式匹配, 简化了模拟数据产生难度, 同时也充分保证了模拟数据的有效性。可以随机进行实时错误数据模拟, 在回放数据时, 模拟设置的错

误数据, 自动替换数据流中的对应数值, 而实际回波数据文件不被破坏, 从而实现故障信息模拟。回放注入故障信息的模拟数据可用于验证气象终端的应用软件对异常数据的响应能力, 实现对气象终端应用软件接收非正常数据时处理能力测试。

2) 采用逐位检测数据结构技术, 实现基数据快速扫描检测, 解决大数据量体扫气象数据实时解析难题。针对气象基数据体扫数据文件解析数据量大的问题, 通过全面分析径向数据结构的构成特点, 采用了逐位检测数据结构技术, 仅检测数据的有效性, 仅对异常数据进行识别, 达到快速扫描体扫数据文件和定位故障的目的。

## 6 结束语

项目组经过调研论证、方案设计、工程研制等阶段, 解决了基数据获取、分析, 网络报文监控, IP 地址绑定, 模拟数据生成和回放, 异常基数据诊断等技术问题, 成功研制了适用于某型舰的舰载雷达气象通道的检测系统。设备分别在气象雷达承制单位和某型舰船的雷达技术状态检查、平时装备保障和重大任务装备保障工作进行了应用, 应用结果表明, 该检测系统可作为有效的辅助维修手段, 可推广应用于基地级修理单位、基层部队, 具有重要的军事和经济效益。

### 参考文献:

- [1] 龚瑞卿. 海事气象信息保障系统建设方案研究 [J]. 中国水运, 2008, (12): 56-56.
- [2] 李庆伟, 马 恒. 综合气象保障系统研制 [J]. 气象水文海洋仪器, 2008, (3): 5-10.
- [3] 邱卫新. 海上雷达气象探测能力发展分析 [J]. 雷达与对抗, 2015, (4): 18-20.
- [4] 宋金泽. 航空气象雷达技术研究 [J]. 信息技术, 2017, (6): 12-13.
- [5] 付则鑫, 刘仲能, 蒋慕蓉, 等. 基于立方体网格插值算法的气象雷达数据的三维重建 [J]. 计算机科学与应用, 2009, 9 (8): 1536-1545.
- [6] 陈 伟. 频扫雷达气象探测回波强度的处理 [J]. 雷达与对抗, 2010 (2): 34-36.
- [7] 何玮琨, 高 丽, 王晓亮, 等. 基于改进 MAP 方法的气象雷达风电场杂波抑制 [J]. 系统工程与电子技术, 2018, 40 (5): 1018-1025.
- [8] 龙 恒. 一种基于 UDP 的可靠数据传输协议 [J]. 计算机时代, 2020 (4): 33-37.
- [9] 许 坤, 赵 亮. 基于 UDP 的可靠数据传输的实现 [J]. 科技创新导报, 2019 (17): 7-8.
- [10] 孙 京, 肖艳姣, 冷 亮. 基于多普勒天气雷达体扫资料的下击暴流预警方法研究 [J]. 自然灾害学报, 2019, 28 (2): 118-126.