

宁夏银川河东机场沙尘暴分析系统设计与实现

赵晔晖 彭维耿 唐建中

(中国民用航空西北地区空中交通管理局宁夏分局, 银川, 宁夏 750009)

摘要: 银川河东机场地处沙漠干旱地区, 降水稀少, 植被生存环境恶劣, 水土流失严重, 容易产生由大风引起的扬沙、沙尘暴、强沙尘暴等影响飞行安全的恶劣天气。鉴于此, 宁夏空管分局组织大量的科研人员对河东机场周边近十年的扬沙、沙尘暴天气进行研究跟踪, 设计和开发了民航局科技项目——河东机场沙尘暴分析系统, 本系统计划用三年时间实现对沙尘暴的准确预报, 目前本系统完成了对航危报预警子系统、三小时地面监测子系统、沙尘暴预警子系统以及历史数据查询子系统四个子系统的设计和开发。经过一年的测试, 系统运行可靠, 性能稳定。

关键词: 沙尘暴; 扬沙; 预警; 航危报

0 引言

目前, 如何提高复杂天气如大风、扬沙、沙尘暴等危险天气预报的准确率, 是大气科学[1,2]难点和热点, 也是预报员面临的一大难题。银川河东机场地处沙漠干旱且植被稀少的环境[3,4], 容易形成大风、扬沙以及沙尘暴, 而且这类天气的发生往往具有突发性[5,6], 难以准确预报, 是影响飞行安全的一大安全隐患。

基于上述考虑, 在民航局总局的大力支持下, 由民航宁夏空管分局气象台, 计划历时三年, 总结过去十年扬沙、沙尘暴等复杂天气发生的规律, 设计和开发了银川河东机场沙尘暴系统。

1 系统实现技术与开发平台

Delphi^[7,8]语言是 Bordland 公司设计和开发的一个高度集成的面向对象的集成开发环境, 其核心是 Pascal 语言, 并以图形用户界面为开发环境, 透过 IDE、VCL 等可视化工具与编译器^[9,10], 结合数据库的功能, 构成一个以面向对象思想为核心的应用程序开发工具, 具有实现简单、高效、功能强大的特点。

银川河东机场沙尘暴分析系统开发平台基于 windows 系统 (windows 2003 Sever/windows xp), 系统结合面向对象技术思想, 采用模块化程序设计思路, 以 delphi 环境为开发平台, 以 pascal 语言为编程语言。

2 银川河东机场沙尘暴分析系统设计与实现

银川河东机场沙尘暴分析系统主要从四个方面进行设计, 分为航危报预警子系统、三小时地面监测子系统、沙尘暴预警子系统以及历史数据查询子系统, 四个子系统相辅相成共同组成银川河东机场沙尘暴分析系统。

2.1 软件总体设计

银川河东机场沙尘暴分析系统共分为四个子系统, 分别从不同的角度, 对本场复杂天气进行预警预报, 各个子系统具体功能如下:

- (1) 航危报预警子系统, 本子系统主要功能是监测三小时内危险报, 系统从海量报文中查找危险报如强沙尘暴、扬沙等危险天气, 以警报的方式在界面上显示出来。

赵晔晖 (1982.11.17--), 男, 宁夏银川灵武, 助理工程师, 研究方向为民航气象数据库系统开发和优化、防火墙设计和优化。

- (2) 三小时地面监测子系统，本子系统主要功能，读取 micaps 地面资料，从中监测沙尘暴、扬沙、大风等天气；
- (3) 历史数据查询子系统，本子系统主要功能，查询历史上各种复杂天气的发生，历年灾情的发生。
- (4) 沙尘暴预警子系统，本子系统是沙尘暴分析系统的核心模块，本文根据银川河东机场沙尘天气情况，分析近十年来周边沙尘暴特点，将沙尘天气分成四个环流分析，提取沙尘量化指标，总结沙尘暴发生规律，测试并预报银川河东机场周边沙尘暴的发生；

银川河东机场沙尘暴分析系统设计流程如图 1：

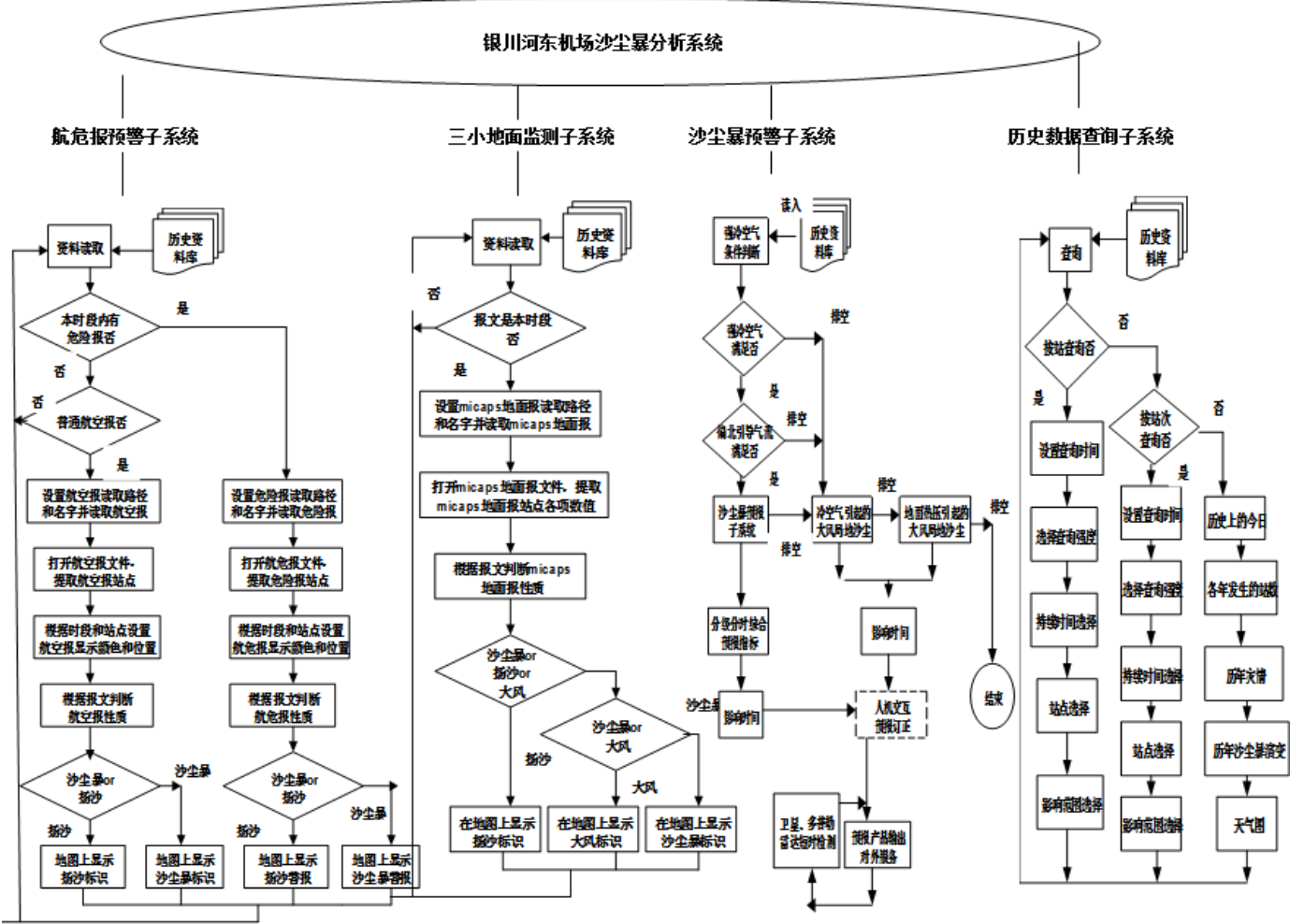


图 1 银川河东机场沙尘暴分析系统流程图

2.2 航危报预警子系统设计与实现

2.2.1 系统功能设计

航危报预警子系统共分为六个功能模块，每个模块负责相应的工作，六个模块共同完成本子系统的预警预报功能，各个模块主要功能如下：

- 模块 1：本时段内（三小时）危险报判断
- 模块 2：设置危险报读取路径
- 模块 3：提取危险报要素

- 模块 4：设置复杂天气显示颜色
- 模块 5：判断复杂天气类型
- 模块 6：显示复杂天气

2.2.2 系统执行流程

如图 2 所示，系统运行流程如下：

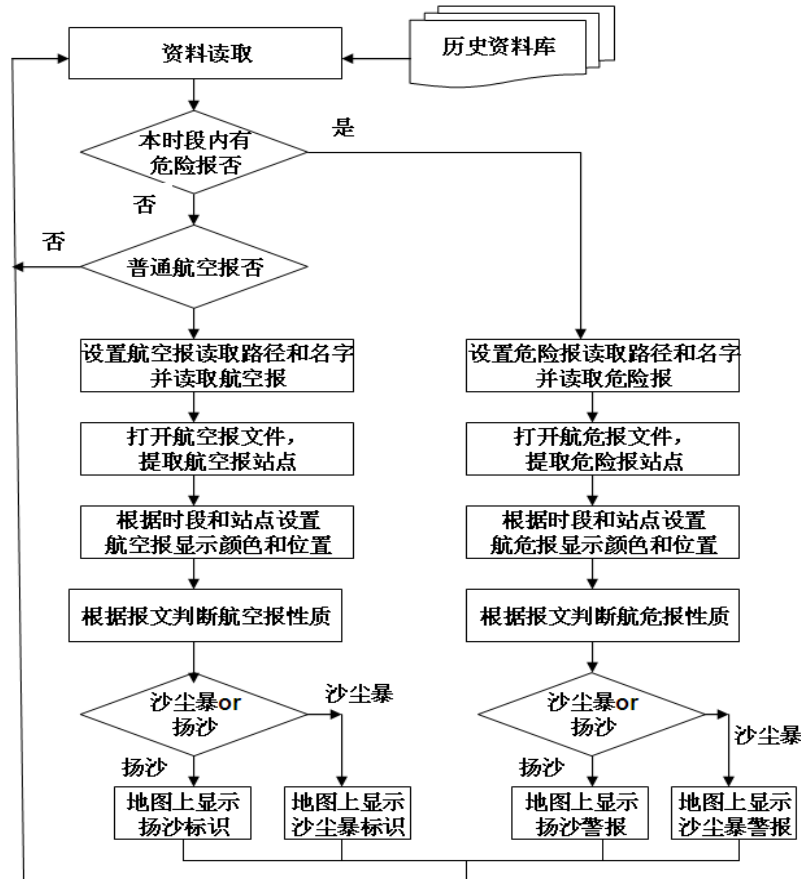


图 2 航危报预警子系统流程图

- (1) 首先从气象资料库中读取资料
- (2) 判断资料中是否存在危险报，若存在执行 (3)，否则执行 (5)
- (3) 设置危险报读取路径和名字
- (4) 判断危险报类型，执行 (1)，重新读取气象资料
- (5) 判断否是普通航空报，否则执行 (1)，是则执行 (6)
- (6) 打开航空报文件，判断航空报性质
- (7) 重新从气象资料库中读取资料，执行 (1)

2.3 三小时地面监测子系统设计与实现

2.3.1 系统功能设计

三小时地面监测子系统共分为五个模块，每个模块负责相应的工作，五个模块共同完成本子系统的地面监测预报功能，各个模块主要功能如下：

模块 1：判断报文时段，确定报文是否在本时段内

- 模块 2：读取 micaps 地面资料
- 模块 3：提取 micaps 文件各个气象要素
- 模块 4：判断 micaps 地面报中各个站点天气类型
- 模块 5：在地图上将相应的天气类型标识填充到具体的站点。

2.3.2 系统执行流程

如图 3 所示，系统运行流程如下：

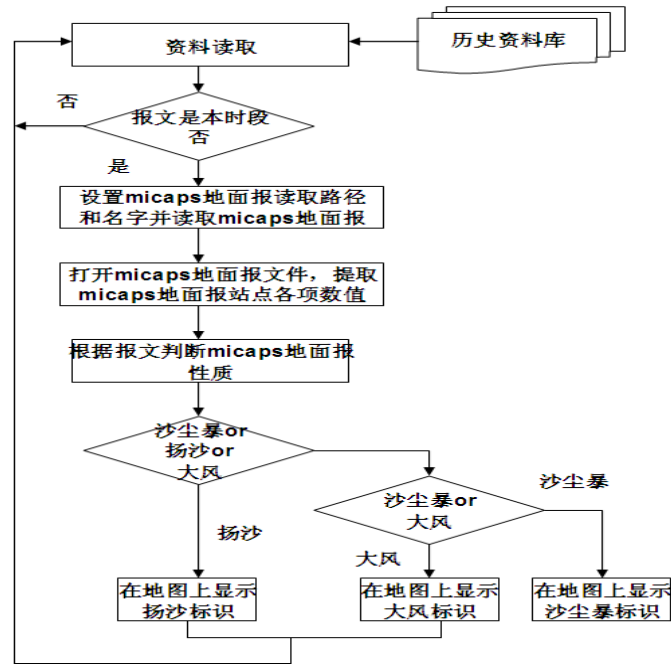


图 3 三小时地面报预警子系统流程图

- (1) 首先从气象资料库中读取资料
- (2) 判断 micaps 地面报是否在本时段内，若在执行 (3)，否则执行 (1)
- (3) 设置 micaps 地面报读取路径和名字
- (4) 打开 micaps 地面报
- (5) 判断 micaps 地面报天气类型
- (6) 将 micaps 各站点地面天气类型显示在地图上
- (7) 重新从气象资料库中读取资料，执行 (1)

2.4 历史数据查询子系统设计与实现

2.4.1 系统功能设计

历史数据查询子系统共分为六个模块，每个模块负责相应的工作，六个模块共同完成本子系统的各种重要历史数据的查询功能，各个模块主要功能如下：

- 模块 1：设置查询类型
- 模块 2：查询时间设置
- 模块 3：查询强度设置
- 模块 4：持续时间设置，负责设置复杂天气的持续时间
- 模块 5：站点设置，负责设置查询的历史数据的站点

模块 6：历年沙尘暴演变，分析历年各个站点的沙尘暴发生规律

2.4.2 系统执行流程

如图所示，系统运行流程如图 4：

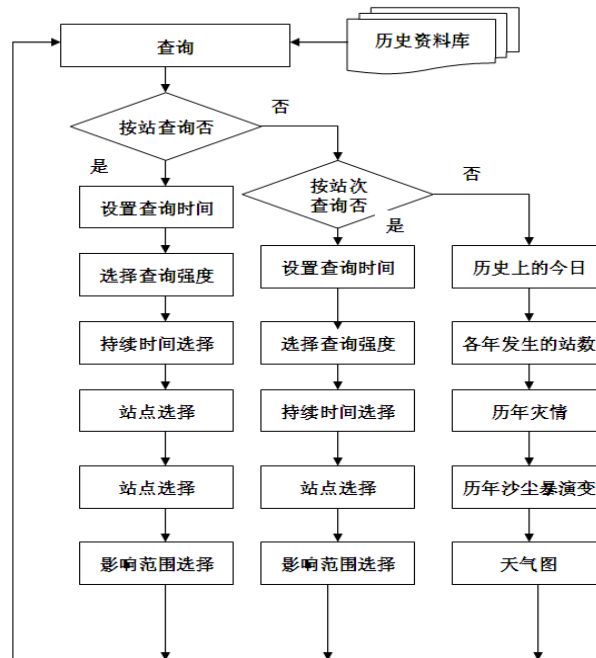


图 4 历史数据查询子系统

- (1) 首先从气象资料库中读取资料
- (2) 判断查询是站次查询、按次查询还是其他查询，若站次查询在执行 (3)，按次查询执行 (4)，其他查询执行 (5)
- (3) 设置查询时间、查询强度、持续时间查询以及站点选择
- (4) 设置影响范围，查询完毕执行 (1)，重新读取气象资料
- (5) 历史上今日查询、历年灾情查询、沙尘暴演变查询，天气图查询
- (6) 查询完毕，执行 (1)，重新读取气象资料

2.5 河东机场沙尘暴预警子系统设计与实现

2.5.1 河东机场沙尘暴预警子系统概念模型建立过程

1、通过研究沙尘天气建立基本概念模型

通过对大量实例的分析和研究，摸清了河东机场沙尘天气影响系统基本成员和各成员对河东机场扬沙天气爆发的作用原理。包括 200hPa 高空急流、500hPa 乌山高脊、蒙古至新疆冷槽、500-700hPa 附近中空急流、地面强冷高压、蒙古气旋、地面冷锋、河西东部至河套热倒槽。

总体来讲，乌山高脊发展前倾、北疆盆地到内蒙古中部 200hPa 高空急流和河西地区中低高空风速加强、新疆冷槽加深、蒙古气旋的发展、河套及河西东部底层辐合高层辐射配置是有利于河东机场沙尘天气爆发的动力条件，蒙古高压、东移冷锋和锋面气旋、河西热低压是造成沙尘天气的地面系统，河西东移冷锋前低层暖平流是影响沙尘天气强度的重要热力条件。河东机场沙尘暴预警子系统预报的关键区域是新疆北部、内蒙及蒙古中部、河西中西部。

2、沙尘天气环流分析及强度分析

结合银川河东机场沙尘天气航空气象服务保障的基本需求，参照中国气象局关于沙尘天气的分类，标准，本文将沙尘天气分为强沙尘暴（银川河东机场最低能见度标准小于等于 500 米），一般沙尘暴（银川河东机场最低能见度标准大于 500 米小于等于 1000 米），沙尘天气（银川河东机场最低能见度标准大于 1000 米小于 3000 米）。根据沙尘天气发生前 24 小时 500hPa 环流，将河东机场沙尘天气发生的主要环流类型为一脊一槽型、两槽一脊型、两脊一槽型和其它类型。

3、建立各环流类型下的量化指标提取

在沙尘天气环流分型和各型建立概念模型基础上，根据不同类型环流特征统计对其具有指导意义的关键区沙尘天气发生前期和同期高空和地面气象要素和物理量，运用动力统计及相关分型方法寻找对不同类型沙尘天气有关键指示意义的因子，在进行大量个例统计的基础上归纳总结出不同环流及冷空气路径下沙尘天气定量化预报综合指标，提取的量化指标如下：

（1）一脊一槽型预报指标

一脊一槽型提取的判断指标如表 1 所示：

表 1 河东机场一脊一槽型量化指标

序号	河东机场一脊一槽型沙尘暴定量化指标	判断使用资料
1	500hPa 乌山高脊脊线位于 40°E-75°E，高脊南北跨度范围 (40-70°N)高脊北脊点达到 70°N；	站点填图和格点高度等值线结合
2	500hPa 新疆东部至蒙古冷槽槽线位于 80-105°E,35°N-55°N 区域；冷槽南北跨度最少 5 个纬度。	站点填图和格点高度等值线结合
3	500hPa 高空指标站 3 站风速≥20m.s ⁻¹ 或 1 站风速≥30m.s ⁻¹ ；	站点风速填图
4	200hPa 高空指标站最大风速大于等于 50m.s ⁻¹	站点风速填图(与 t213 比较)
5	700hPa 指标站 3 站西北风风速≥12m.s ⁻¹ 或 1 站风速≥16 m.s ⁻¹ .	站点填图(与 t213 比较)
6	500hPa 高空 65-100°E,45-70°N 区域内有横槽,跨度 3 个经度；	站点填图和格点高度等值线结合
7	500hPa 高空 70-100°E,35-60°N 或区域内等温线数量多于 5 根；	格点温度场(与 t213 比较)
8	700hPa 95-110°E，35-45°N 有暖舌	格点温度场(与 t213 比较)
9	700hPa 锋区位置：85-105°E,37.5-55°N,,或 90°E-115°E，40° N-60°N，强度 10 个经度范围内 6 根等温线。	格点温度场(与 t213 比较)
10	700hPa 高空指标站 1 站 24 小时变温≤-10℃.或者 3 站≤-8℃	站点填图
11	地面(区域 1+区域 3)指标站中 1 站三小时变压≥3hPa	站点填图
12	地面(区域 1+区域 3)指标站 1 站地面西北风速≥10m.s ⁻¹ ,或 3 站地面风速≥8m.s ⁻¹	站点填图
13	地面(区域 1+区域 3)各指标站 3 站出现扬沙天气或 1 站出现沙尘暴天气	站点填图

满足 1、2 条判断为一脊一槽型环流；3、4、5 中满足 2 条或以上；6、7、8、9 满足 3 条或以上；10、11、12 中满足 2 条或以上、13 条必须满足时,系统输出预报结果为“机场未来 24 小时出现能见度小于 1000m 的沙尘暴”

（二）两槽一脊型沙尘暴预报指标

项目基金：民航局空管局科技项目；“西北地区机场区域沙尘天气预报预警系统研究”资助

两槽一脊型提取的判断指标如表 2 所示：

表 2 河东机场两槽一脊型量化指标

编号	河东机场两槽一脊型沙尘暴定量化预报指标	判断使用资料
1	500hPa 高脊脊线位于 70°E-100°E。高脊南北跨度范围 (40-60°N)高脊北脊点达到 60°N；	站点填图和格点高度等值线结合
2	500hPa 槽线位置分别位于 40°E-65°E 和 80°E-120°E。至少 1 个冷槽南北跨度最少 5 个纬度。	站点填图和格点高度等值线结合
3	500hPa 高空指标站 3 站风速 $\geq 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 或 1 站风速 $\geq 30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	站点风速填图
4	200hPa 高空指标站最大风速 $\geq 50\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。	站点风速填图(与 t213 比较)
5	700hPa 高空指标站 3 站风速 $\geq 12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，或者 1 站风速 $\geq 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ；	站点填图(与 t213 比较)
6	500hPa 高空 70-100°E,42.5-60 °N 区域内有横槽,跨度至少 3 个经度；	站点填图和格点高度等值线结合
7	500hPa 等压面 80°E-100°E, 35°N-50°N 或 70°E-115°E, 40°N-50°N 区域内等温线数量多于 4 根。	格点温度场(与 t213 比较)
8	700hPa 90°E-110°E,35°N-45°N 有暖舌。	格点温度场(与 t213 比较)
9	700hPa 锋区位置: 80°E-100°E, 35°N-60°N, 或 90°E-115°E, 40°N-60°N, 10 个经度范围内至少 5 根等温线。	格点温度场(与 t213 比较)
10	700hPa 高空指标站 1 站 24 小时变温 $\leq -10^{\circ}\text{C}$.或者 3 站 $\leq -8^{\circ}\text{C}$ ；	站点填图
11	地面(区域 1+区域 3)指标站中 1 站三小时变压 $\geq 2.5\text{hPa}$ ，	站点填图
12	地面(区域 1+区域 3)指标站 1 站地面西北风速 $\geq 10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,或 3 站地面风速 $\geq 8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	站点填图
13	区域 1+区域 2 或区域 3+区域 2 指标站中有 1 站沙尘暴或 3 站扬沙天气。	站点填图

同时满足 1、2 条判断为两槽一脊型环流；3、4、5 中满足 2 条或以上；6、7、8、9 满足 3 条或以上；10、11、12 中满足 2 条或以上、13 条必须满足时,系统输出预报结果为“机场未来 24 小时出现能见度小于 1000m 的沙尘暴”

（三）两脊一槽型沙尘暴预报指标

河东机场两脊一槽型提取指标如表 3：

表 3 河东机场两脊一槽型量化指标

↻	河东机场两脊一槽型沙尘暴定量化预报指标↻	判断使用资料↻
1↻	500hPa 脊线位置分别位于 45E-80E 和 100E-115E；至少 1 个高脊南北跨度范围 40-60N；↻	站点填图和格点高度等值线结合↻
2↻	500hPa 槽线位置位于 75E-105E。冷槽南北跨度最少 5 个纬度。↻	站点填图和格点高度等值线结合↻
3↻	500hPa 高空指标站 3 站风速 $\geq 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 或 1 站风速 $\geq 30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ↻	站点风速填图↻
4↻	200hPa 高空指标站最大风速 $\geq 50\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。↻	站点风速填图(与 t213 比较)↻
5↻	700hPa 高空指标站 3 站风速 $\geq 12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 或者 1 站风速 $\geq 16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ；↻	站点填图(与 t213 比较)↻
6↻	500hPa 高空 70-100E,42.5-60N 区域内有横槽；↻	站点填图和格点高度等值线结合↻
7↻	500hPa 等压面 80E-100E, 35N-50N 或 70E-115E, 40N-50N 区域内等温线数量多于 4 根。↻	格点温度场(与 t213 比较)↻
8↻	700hPa 90E-110E,35N-45N 有暖舌。↻	格点温度场(与 t213 比较)↻
9↻	700hPa 锋区位置：80E-100E, 35N-60N, 或 90E-115E, 40N-60N, 10 个经度范围内至少 5 根等温线。↻	格点温度场(与 t213 比较)↻
10↻	700hPa 高空指标站 1 站 24 小时变温 $\leq -10^{\circ}\text{C}$ 或者 3 站 $\leq -6^{\circ}\text{C}$ ；↻	站点填图↻
11↻	地面(区域 1+区域 3)指标站中 1 站三小时变压 $\geq 2.5\text{hPa}$ ，↻	站点填图↻
12↻	区域 1 或区域 3 指标站 1 站风速 $\geq 10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 或 3 站风速 $\geq 8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ↻	站点填图↻
13↻	区域 1+区域 2 或区域 3+区域 2 指标站中有 1 站沙尘暴或 3 站扬沙天气。↻	站点填图↻

同时满足 1、2 条判断为两脊一槽型环流；3、4、5 中满足 2 条或以上；6、7、8、9 满足 3 条或以上；10、11、12 中满足 2 条或以上、13 条必须满足时,系统输出预报结果为“机场未来 24 小时出现能见度小于 1000m 的沙尘暴”

（四）其它类型（不属于一脊一槽、两槽一脊、两脊一槽环流）沙尘暴预报指标：

当环流类型判断不属于一脊一槽、两槽一脊、两脊一槽型中任何一类时，判断一脊一槽中 3-13 个条件是否全部满足，若全部满足，判断未来 24 小时机场出现沙尘暴天气。

（五）河东机场地面指标站库

河东机场地面指标站库如表 4：

表 4 河东机场地面指标库站

新疆及河西西部地面指标站（区域1）↵									
51431↵	51133↵	51076↵	51463↵	51288↵	51656↵	51243↵	52203↵	51156↵	51087↵
51288↵	51379↵	51467↵	51542↵	51644↵	51771↵	51573↵	51495↵	52118↵	52323↵
52418↵	52436↵	51777↵	↵	↵	↵	↵	↵	↵	↵
河西中部地面指标站库（区域2）↵									
52418↵	52424↵	52323↵	52436↵	52533↵	52447↵	52446↵	52633↵	52652↵	52657↵
52661↵	52576↵	52681↵	52674↵	52787↵	52267↵	↵	↵	↵	↵
蒙古中西部及内蒙中部地面指标站（区域3）↵									
44212↵	44218↵	44272↵	44277↵	44282↵	44231↵	44288↵	44373↵	44341↵	44241↵
44354↵	53149↵	53231↵	53352↵	52495↵	↵	↵	↵	↵	↵

2. 5. 2 沙尘暴预警子系统模型设计思路

通过选取有明确天气学意义并对河东机场不同强度沙尘暴有实际预报能力的综合性指标和组合模型，在天气系统自动识别技术的支持下，应用多种集成预报方法，结合卫星云图、上下游联防协作等短时监测工具的订正，确定沙尘暴强度、影响时间等，并建立自动、客观化的沙尘暴天气监测预警系统。

2. 5. 3 银川河东机场沙尘暴预警子系统运行流程

如图 5 所示，模型执行流程：

- （1）对造成银川河东机场沙尘暴天气的各种基本条件进行判断，当强冷空气条件不满足时，未来 24 小时内银川河东机场区域性沙尘暴天气排空，同时转入区域性大风和局地沙尘暴天气预报流程，若强冷空气条件满足，进入步骤 2
- （2）进行冷空气引导气流识别，偏北引导气流不满足时，进入区域性大风和局地沙尘暴天气预报推演。否则，若偏北引导气流满足时，进入步骤 3
- （3）沙尘暴预报子系统对附加条件进行识别和判断，并利用组合概念模型及定量化预报指标对宁夏强沙尘暴天气进行落区和影响时间外推。
- （4）沙尘暴预报子系统按主流程运行结束，并最终排空河东机场强沙尘暴、区域性大风和局地性沙尘天气后，系统最终进行动量下传型大风及局地性沙尘暴天气预报流程。

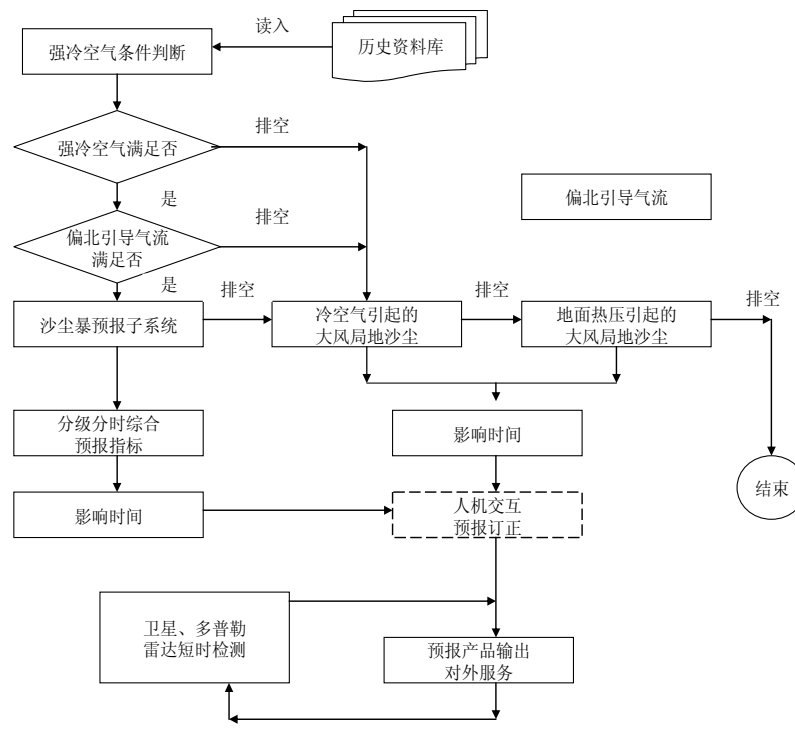


图 5 沙尘暴预警子系统流程图

2. 5. 4 银川河东机场沙尘暴预警子系统接口实现

银川河东机场沙尘暴预警子系统的实现以 Delphi 为开发平台，各个模块的具体函数接口如下：

- 1、环流冷空气条件识别 `procedure TFrmdqyb. FindColdPathClick (Sender: TObject);`
- 2、强度及落区预报 `procedure TFrmdqyb. ForecastClick(Sender: TObject);`
- 3、人机交互 `procedure TFrmdqyb. ManMachineInterClick(Sender: TObject);`

3. 系统界面与实验结果分析

实验过程在中的软件环境及硬件环境为：Windows XP 2003，2.0G 内存，以 Delphi 7.0 为开发平台，使用 Pascal 语言，实验目的是测试系统中各个子系统的运行稳定性和预报准确程度。

四个子系统的运行界面分别如图 6、图 7 所示：

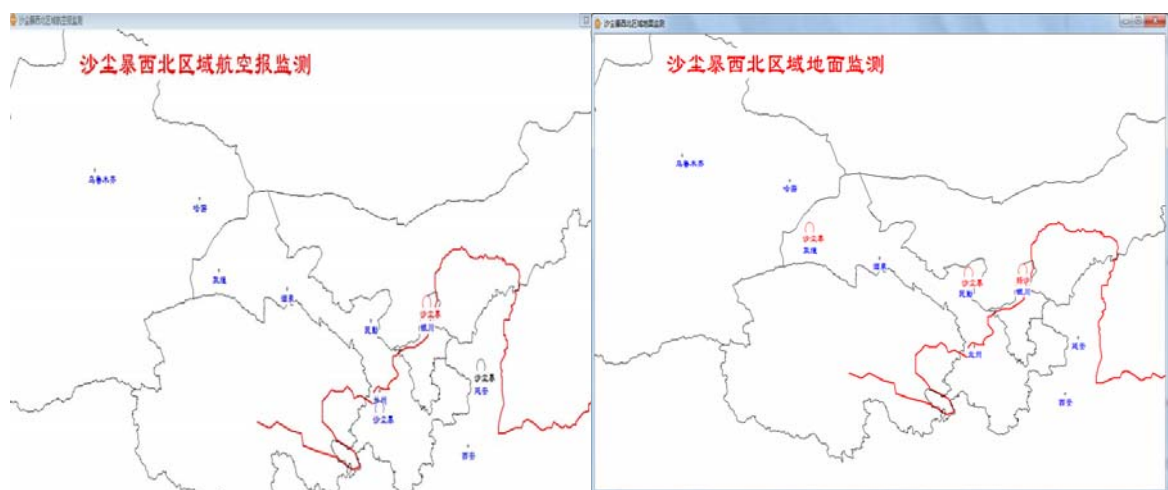


图 6 航危险报预警子系统、三小时地面监测预警子系统

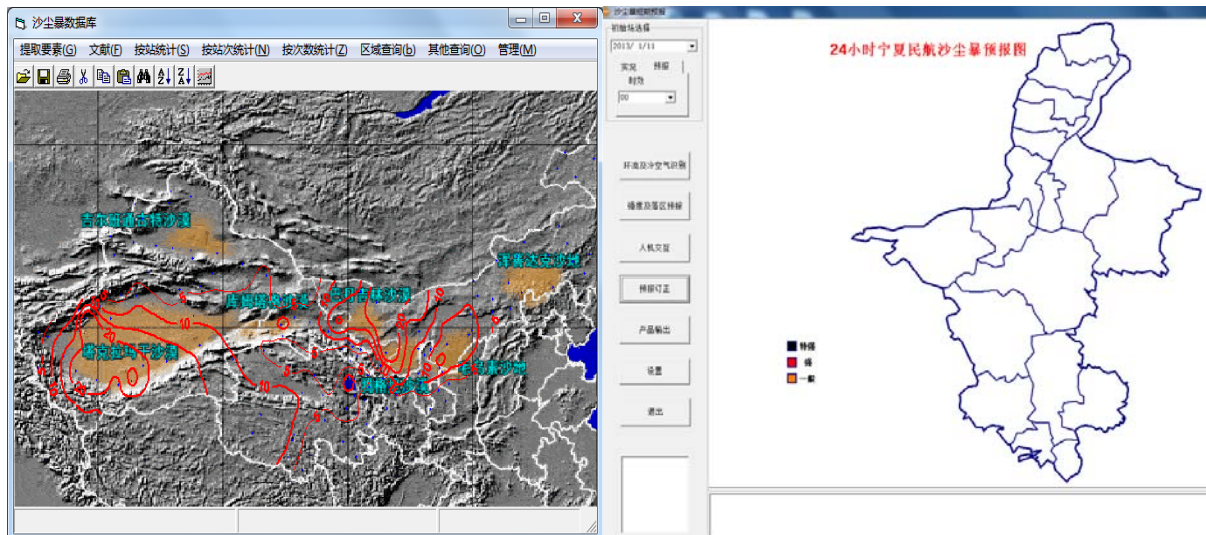


图 7 历史数据查询子系统、沙尘暴预警子系统

目前为止宁夏空管分局已完成四个子系统的设计和开发，本系统准确实现了航报的预警、地面miacaps报的监测以及沙尘暴和沙尘天气的预报预警。为进一步完善该系统，宁夏空管分局气象台组织了大量的人员对系统进行长时间的测试和完善，经过近一年的测试、实验和完善，目前四个子系统运行稳定可靠，运行速度快，运行结果准确率高，达到了软件设计的目标。

4. 结束语

本系统设计基于民航局重点科研项目宁夏银川河东机场沙尘暴分析系统，该项目周期为三年，目前为第三年，本系统的实现的航危报预警子系统、三小时地面报监测子系统、沙尘暴预警子系统以及历史数据查询子系统是宁夏空管分局两年来的阶段性成果。银川河东机场下一步的工作展望和计划是，研究气候及环境因子对沙尘天气的影响，利用历史资料进一步对沙尘暴预警子系统的效果进行检验和测试，同时进行沙尘天气短时临近精细化预报子系统的设计和实现。

参考文献

- [1]黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法[M]. 北京: 气象出版社, 2004: 1-28
- [2]魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 20009: 1-290
- [3]索渺清,丁一汇. 冬半年副热带南支西风槽结构和演变特征研究[J]. 大气科学,2009,33(3):425-445
- [4]范广州,华维. 青藏高原植被变化对区域气候影响研究进展[J]. 高原山地气象研究,2008,28(1):72-80
- [5]伍志方,张春良. 一次强对流天气的多普勒特征分析[J]. 高原气象,2001,20:202-207
- [6]姚祖庆,黄炎. 上海地区对流短时预报工作流程及其应用[J]. 气象,2000,26:15-18
- [7]宁正元.Delphi 开发技术大全[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006
- [8]张立科,梁水. Delphi 程序设计[M]. 北京: 邮电大学出版社, 2009
- [9]黄文玉. Delphi7 程序设计经典解析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2011
- [10]梁水. Delphi 开发典型模块大全[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011