

文章编号: 1671-4742(2015)01-0042-06

多种探空仪数据处理显示软件设计

胡旭东, 余 勇, 姚振东

(成都信息工程学院 中国气象局大气探测重点开放实验室 四川 成都 610225)

摘要: 探空业务可获取30 km高度范围内的温湿压风等气象要素。气象科学研究和高空大气实验中使用的探空仪及探空系统有多种,其数据格式也各不相同,为便于使用和分析数据,需要一套通用的处理显示软件。系统采用可视化编程工具 Visual C++ 进行软件系统的设计,实现多种探空仪数据的统一格式转换,它基于 MFC 单文档视图结构,利用绘图函数实现探空气象要素的垂直廓线显示,并建立了基于 SQL Server 2008 的数据库,通过编程实现了对探空数据的存储和查询等功能。

关键词: 信号与信息处理; 大气探测信息处理; 气象探空资料; 垂直廓线; 数据库; 可视化编程

中图分类号: TP319

文献标志码: A

0 引言

气象探空资料是天气预报的重要依据。常规高空气象探测过程是从地面释放探空气球,探空气球携带探空仪升空,采集不同高度的温、压、湿气象要素数据,编码调制后由发射机以无线电信号的形式发送回地面,由地面接收设备接收、解调、解码,还原探空资料,通过终端软件,完成探空信息的处理与上报。

L 波段探空测风雷达探空系统由雷达跟踪定位来测量风的气象要素,而 GNSS 探空系统由采用全球导航卫星系统(GNSS)测风的探空仪直接测得风的气象要素。二者的最大差距就是地面设备,前者为复杂的雷达,后者为简单的通信接收机。

气象探空采集的气象要素可包括气压、温度、相对湿度、露点温度、风速、风向等数据^[1],不同需求和不同厂家生产的探空仪的数据格式略有不同,如探测气象要素的多寡、排列顺序、时间分辨率、数据精度等。为便于对不同探空系统及多种探空仪的资料数据分析,需要一套能适应不同业务中各种类型探空仪的数据格式处理显示软件。这套软件将有助于基准探空仪的研制和比对试验。针对数据处理、显示的软件设计与实现过程,描述了数据通信及处理模块、气象要素曲线显示模块、以及数据库交互功能模块等。

1 系统软件设计

软件系统采用了基于 MFC 框架的单文档视图设

计方法,通过接收下位机发送的多种探空仪的数据,其中包括 Vaisala 探空仪、CFH (Cryogenic Frostpoint Hygrometer) 型探空仪、国内现行业务中使用的某型探空仪以及目前研制的基准探空仪样机。系统软件主要由 3 部分构成:数据通信及处理部分、探空数据及曲线显示部分、数据库人机交互部分。

1.1 系统软件功能介绍

软件系统功能模块如图 1 所示。

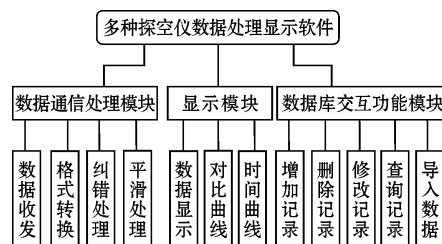


图 1 系统软件功能框图

多种探空仪数据处理显示软件是研究和对比各个型号探空仪数据的专业软件,主要由 3 大模块构成。数据通信模块利用串口类设计了探空数据收发部分,并对不同探空数据进行了统一的格式转换,完成数据纠错后将数据存入 SQL Server 2008 数据库。数据库交互功能模块可以对探空数据执行增、删、查、改等功能,实现了对探空数据的管理与维护。数据显示可以实现四路探空仪数据的实时显示。曲线显示功能可以实现各要素的时间曲线显示,在完成数据的平滑处理后,还可以实现平滑前后的对比曲线显示;对比分析功能可以实现多种探空仪要素的对比曲线显示。软件界面友好,功能模块设计合理,运行良好,能够服务于多种探空仪的对比分析试验。

收稿日期: 2015-03-02

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项资助项目(GYHY201306072)

1.2 探空仪数据格式及统一格式转换

Vaisala 探空仪的数据格式是芬兰的标准 ,数据格式为: 分钟 (min) 、秒 (s) 、位势高度 (gpm) 、气压 (hPa) 、温度(℃) 、相对湿度(%) 、露点温度(℃) 、风速 (m/s) 、风向(°) 。

CFH 型探空仪是美国现行的业务探空仪 ,其数据格式也是自己的一套标准 ,数据格式为: 秒 (s) 、气压 (hPa) 、温度(℃) 、相对湿度(%) 、位势米 (gpm) 、风向(°) 、风速(m/s) 。

国内现行业务探空仪的数据格式是气象行业标准^[2]如表 1 所示。

表 1 气象业务探空仪数据编码表				
序号	中文名	数据类型	字段名	单位
1	气压层次	NUMBER(10 4)	V07004	hPa
2	垂直探测意义	NUMBER(10 4)	V08001	标志
3	气压层次的位势	NUMBER(10 4)	V10003	m ² /s ²
4	气温	NUMBER(10 4)	V12001	℃
5	露点温度	NUMBER(10 4)	V12003	℃
6	风向	NUMBER(10 4)	V11001	度
7	风速	NUMBER(10 4)	V11002	m/s
8	实际探测时间与第一段中 YYGG 之差	NUMBER(10 4)	V04016	秒
9	相对纬度位移	NUMBER(10 4)	V05011	度
10	相对经度位移	NUMBER(10 4)	V06011	度
11	气压层次质量标志	CHAR(1)	F07004	标志
12	垂直探测意义可质量标志	CHAR(1)	F08001	标志
13	气压层次位势质量标志	CHAR(1)	F10003	标志
14	气温质量标志	CHAR(1)	F12001	标志
15	露点温度质量标志	CHAR(1)	F12003	标志
16	风向质量标志	CHAR(1)	F11001	标志
17	风速质量标志	CHAR(1)	F11002	标志

试验型基准探空仪样机的数据格式是自定义的格式标准 ,这种多种探空仪数据格式的不统一会造成数据处理和曲线显示的复杂性 ,为了消除数据处理中格式不统一 ,需要对采集到的多种探空仪的气象要素数据进行统一的格式转换^[3-6]。系统以 Vaisala 探空仪的数据格式作为统一的数据格式。在相同标准的数据格式下 ,利用软件的对比分析功能实现不同探空仪之间相同时间气象要素的对比分析 ,从而验证探测到数据的准确性。

1.3 SQL Server 2008 数据库模块

1.3.1 数据库建立

SQL Server 2008 是微软公司的一款关系型数据库 ,可以管理任何数据 ,能够将结构化、半结构化和非

结构化文档的数据直接存储到数据库中 ,能对数据进行查询、同步、搜索、报告和分析之类的操作 ,SQL Server 2008 允许使用 Visual Studio 开发的自定义应用程序中使用数据^[7]。

在 Visual Studio 开发环境中 ,提供了对数据库支持访问的多种方法如 ODBC、ADO、DAO 等 ,文中主要采用 MFC ODBC 方法访问数据库。ODBC 是一种接口 ,是通过相应的各个数据库的 ODBC 驱动来访问各种数据库中的数据 ,在运行访问数据库的前台软件之前 ,需要在控制面板上的 ODBC 数据源控制台中注册 ,建立 ODBC 数据源后 ,就对数据源进行连接 ,这些操作都封装到 CDatabase 类中 ,一旦 CDatabase 建立了对数据源的连接 ,用户就可以通过应用程序完成对数据的读取、修改、更新和处理^[8]。

设计利用 SQL Server 2008 数据库软件 ,建立了不同探空仪的数据表 ,实现对采集数据的存储。

1.3.2 数据库的交互功能设计

数据库的查询功能 ,该查询界面能实现多条件的查询 ,按照数据的日期、数据采集的分钟、数据采集的秒 3 个条件进行查询 ,数据库查询界面如图 2 所示。



图 2 数据库记录查询界面

关键代码如下:

```
pView -> m_pSet -> m_strFilter.Format( "数据日期 = '%s' and [分钟( min) ] = '%s' and [秒( s) ] = '%s'" , m_date , m_minute , m_second) ;
pView -> m_pSet -> Open( ) ; //将记录打开
m_list.DeleteAllItems( ) ;
int k = 0;
while( ! pView -> m_pSet -> IsEOF( ) )
{
    m_list.InsertItem( k , "" ) ; //插入第 K 行
    CString id;
    id.Format( "%d" , pView -> m_pSet -> mID_ ) ;
    m_list.SetItemText( k , 0 , id) ; //向 K 行第 0 列插入数据
    pView -> m_pSet -> MoveNext( ) ; //移到下一
```

个记录

```
k++;
```

```
}
```

pView -> m_pSet -> m_strFilter = ""; //恢复到未设置过滤器之前的状态

pView -> m_pSet -> Requery(); //执行查询操作

数据库添加记录功能,该添加界面能实现记录编号、以及气象要素记录的手动添加,添加完成后,刷新列表框可查看记录添加完成,添加记录操作界面如图3所示。

图3 数据库记录添加界面

1.4 气象要素曲线显示模块

1.4.1 坐标区域的建立

软件能够实现气压、温度、相对湿度、露点温度、风速、风向随时间变化的曲线显示。同时,依据40 km范围内气象要素的变化规律,设计了以位势高度为0~40 km为参考基准,气压的变化范围为0~1200 hPa,温度的变化范围为-90℃~30℃,相对湿度的变化范围为0%~100%,露点温度的变化范围为-90℃~30℃,风速的变化范围0~70 m/s,风向的变化范围为0°~360°共6个气象要素坐标绘图区域,能够实现探空仪探测高度范围内不同气象数据曲线的准确显示。

1.4.2 探空曲线绘制

在Windows绘图工具中最常用的是画笔和画刷,画笔的功能是画直线和曲线,画刷用于指定区域的填充,画笔的操作包括画笔的创建,将画笔选入设备环境和删除画笔^[9]。

MFC中的绘图函数有很多,主要使用了两类函数进行曲线图的绘制,一类是设置画笔当前位置的函数MoveTo(),一类是从当前位置向指定坐标点画直线的函数LineTo()。利用CDatabase对象连接到数据库,利用m_pSet指针遍历数据库中的数据,对取出的数据进行数据的平滑处理后,绘制了各气象要素随时间变化的曲线。同时在对比功能区域中绘制了多种探

空仪不同要素的对比曲线图。

关键代码如下:

```
pView -> m_pSet -> m_strFilter.Format( "数据日期 = %s", sheet);
```

```
pView -> m_pSet -> Open(); //将记录打开
```

```
int m=0;
```

```
float n=0.0;
```

```
m=pView -> m_pSet -> m_gpm;
```

```
n=pView -> m_pSet -> m_column1;
```

```
pDC -> MoveTo( 650 + int( ( n - 10 ) * 6 ) , int( 380 - 0.008 * m ) );
```

```
while( ! pView -> m_pSet -> IsEOF( ) )
```

```
{
```

```
m=pView -> m_pSet -> m_gpm; //取出数据
```

赋值

```
n=pView -> m_pSet -> m_column1;
```

```
pView -> m_pSet -> MoveNext( ); //移到下一个记录
```

```
}
```

```
m_db.Close(); //关闭数据库操作
```

2 探空数据处理及曲线对比分析

利用软件能够很好的实现不同气象要素曲线的直观显示,对不同类型的探空数据曲线对比分析。下面是对Vaisala探空仪与CFH探空仪的探空数据做了平滑处理,并完成了气压、温度、相对湿度、露点温度、风速、风向的曲线对比显示。通过分析不同气象要素的曲线变化,可以为研究高空气象要素的变化规律提供可靠的资料。

2.1 探空数据平滑处理算法

由于大气要素本身在微小尺度上的波动及其探空仪测量元件的不稳定性或因污染所造成工作不正常,探空数据可能在某些时段有较大的波动。如果接收或处理设备工作不正常,也可能产生不正常的数据。这些数据都不能代表大气要素的实际变化,这就提出了对探空数据平滑的问题。尤其是在进行不同探空仪的比对试验时,只有采用同样的方式对双方的数据进行平滑处理才能得到正确的比对结果^[10]。

系统采用五点线性平滑法,核心是加权移动平均法,基本思路是:对5个数据算术平均时,其中心点的数据配上最大权重,偏离中心点数据其权重依次减少,实现的方法采用了最小二乘法,设自变量 x 是等距离变化的(否则不能做平滑处理),即

$$\chi_{i+1} - \chi_i \equiv \lambda \tag{1}$$

对以 i 点为中心点的 5 个点做自变量变换

$$t = \frac{\chi - \chi_i}{\lambda} \tag{2}$$

此时 y_{i+t} 与 t 的对应关系如表 2 所示。

表 2 5 点法对应关系表

t	-2	-1	0	1	2
y_{i+t}	Y_{i-2}	Y_{i-1}	Y_i	Y_{i+1}	Y_{i+2}

此 5 个数据点可以通过一次多项式做平滑 ,线性平滑公式为

$$y'_{i+t} = A_0 + A_1 t \tag{3}$$

其参数 A_0, A_1 依据最小二乘法法则确定 ,即

$$\varphi(A_0, A_1) = \sum_{t=-2}^2 (y_{i+t} - \sum_{j=0}^1 A_j t^j)^2 \tag{4}$$

取最小值

$$\frac{\partial \varphi}{\partial A_k} = 0 \quad (k=0, 1) \tag{5}$$

求偏导数后展开式如下

$$\begin{cases} \sum_{t=-2}^2 (y_{i+t} - A_0 - A_1 t) = 0 \\ \sum_{t=-2}^2 (y_{i+t} - A_0 - A_1 t)t = 0 \end{cases} \tag{6}$$

最后计算得到五点线性平滑算法的计算表达式

$$\begin{cases} y'_{-2} = \frac{1}{5}(3y_{-2} + 2y_{-1} + y_0 - y_2) \\ y'_{-1} = \frac{1}{10}(4y_{-2} + 3y_{-1} + 2y_0 + y_1) \\ y'_0 = \frac{1}{5}(y_{-2} + y_{-1} + y_0 + y_1 + y_2) \\ y'_1 = \frac{1}{10}(y_{-1} + 2y_0 + 3y_1 + 4y_2) \\ y'_2 = \frac{1}{5}(-y_{-2} + y_0 + 2y_1 + 3y_2) \end{cases} \tag{7}$$

运用五点线性平滑算法 ,对气压、温度、湿度、露点温度数据随时间的变化做平滑处理 ,能够达到很好的平滑效果 ,温度数据平滑前后对比曲线如图 4 所示。

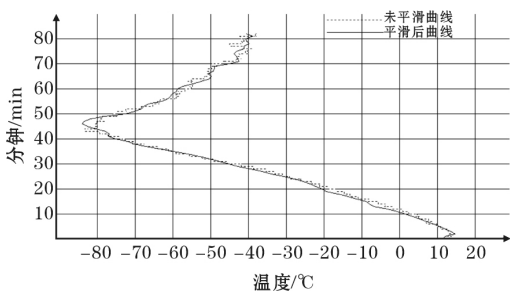


图 4 一次观测温度数据平滑前后对比曲线

由图 4 可知 ,在对流层顶以上温度变化剧烈的情 况下 ,未平滑的数据有较多的突变 ,平滑后的数据消 除了大的波动 ,而保留了温度变化的趋势。通常的数 据平滑方法 ,在对变化幅度进行衰减的同时会出现相 位滞后现象 ,但图 4 显示的情况是 ,平滑后的温度变化 曲线没有明显的相位滞后现象。

2.2 温湿压、露点温度对比曲线

对气压、温度、相对湿度、露点温度进行观测 ,利 用本软件绘制出来的曲线如图 5 所示。

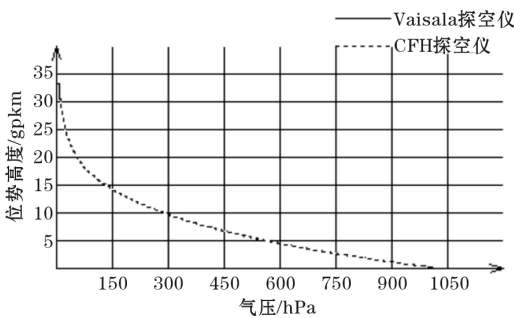


图 5 气压对比曲线

由图 5 可知 ,两种探空仪的气压曲线变化一致 ,气 压随着高度的增加 ,呈指数递减的规律 ,符合大气压 随高度变化的基本规律 ,即在对流层中单位体积中的 气体分子数越多 ,因此对流层气压高 ,而平流层中单 位体积中的气体分子数少 ,故平流层的气压就低 ,气 压随高度呈指数递减。

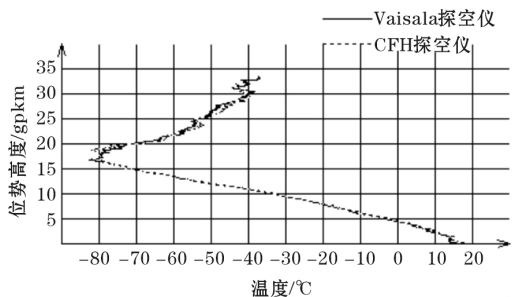


图 6 温度对比曲线

由对比曲线图 6 可知 ,大气的温度在一定高度范围 内是随着高度递减的 ,超过某一特定的高度后 ,大气温度 随着高度的增加而升高 ,根据大气科学理论 ,这就是大气 物理的中所描述的逆温层 ,在对流层 ,大气温度随着高度 是递减的 ,而平流层就是一种逆温层。

由相对湿度对比曲线图 7 可知 ,两种探空仪的变 化一致 ,空气中的相对湿度随着高度的增加整体是呈 下降趋势的 ,但也有部分高度层 ,相对湿度有增加的 变化。总体来说 ,越到高空相对湿度越小 ,空气中水 汽含量越低 ,气体越干燥。

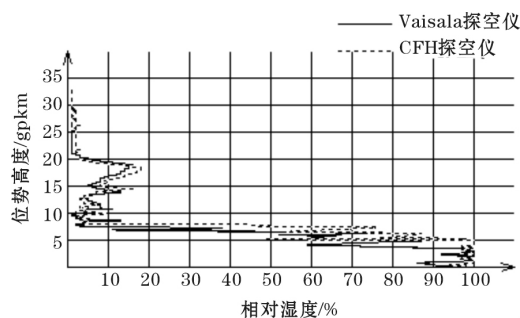


图7 相对湿度对比曲线

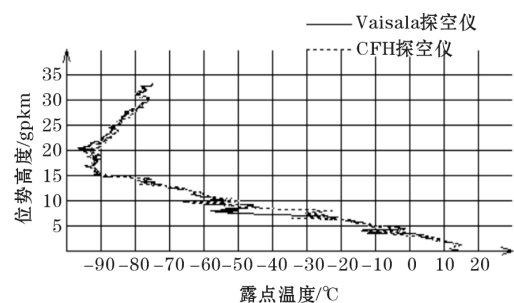


图8 露点温度对比曲线

由图8可知,露点温度与温度变化规律不同,从对流层到平流层,在一定高度范围内,露点温度整体是呈减小趋势变化的,到达某一高度后,露点温度随着高度的增加而增加,这种现象就是平流层逆温。

但在部分观测曲线中,在对流层高度范围内,露点温度也有随着高度的升高而增加的变化,这种现象就是大气理论中所谓的对流层逆温,逆温层是非常稳定的层次,因此对流活动将受到抑制^[11-13]。

对流层是大气运动最活跃的一个层,基本上大部分的天气现象都发生在对流层,而对流层逆温的存在,会使大气能量积累,一旦遇到冷空气,就会破坏逆温层,从而使积累的能量释放出来,形成很剧烈的天气,甚至产生风暴^[14]。分析实时露点温度数据曲线变化规律可以很好的观测逆温层的变化规律,为天气预报提供理论资料。

2.3 风速、风向对比曲线

是风速、风向观测结果,利用软件绘制的曲线图如图9所示。

由图9可知,两种探空仪的风速变化基本一致,在对流层高度范围内,风速随高度升高而增加,在对流层顶到平流层,以及平流层的范围内,风速随着高度的升高而呈整体递减的趋势。

由图10可知,两种探空仪的变化规律基本一致,在对流层的一定高度范围内,风向逐渐变大,即与正北方向的夹角增大,到达最大后,又开始呈逐渐减小的趋势。从图中还可以分析到,在平流层范围内,发

生了风向的突然改变。由大气理论可知,这就是大气中的风切变现象^[15]。

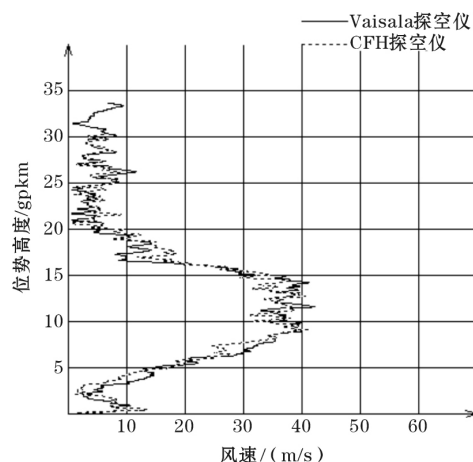


图9 风速对比廓线

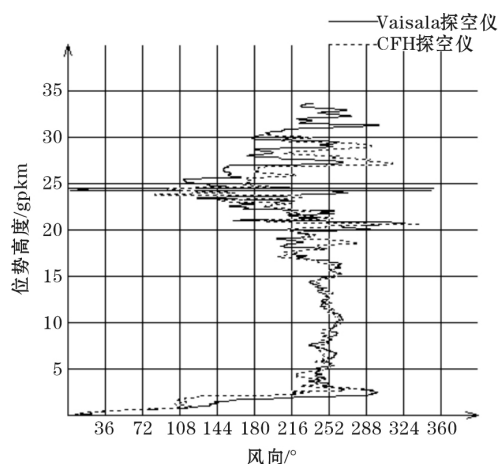


图10 风向对比廓线

3 结束语

在高空气象探测中,获取的气象要素数据是大量的,将这些有用的数据信息保存到PC机终端,需要通过设计上位机数据处理软件来直观的显示数据,完成数据变化规律的分析,完成数据信息的人机交互功能。本软件系统简单、可靠、稳定性好,采用成熟的MFC框架编程,设计了数据通信及处理、探空数据曲线显示、数据库人机交互功能3大模块,完成了对多种探空仪数据的解析处理与显示。同时,对探空数据做五点线性平滑处理,并对平滑前后做曲线对比分析。另外利用Vaisala探空仪与CFH探空仪各要素的对比曲线图,还分析了气压、温度、相对湿度、露点温度、风速以及风向随大气高度层的变化规律。

参考文献:

- [1] 盛裴轩,毛节泰,李建国,等. 大气物理学[M]. 北京:北京大学出版社 2008: 120-129.
- [2] 李伟,李柏,刘凤琴. 常规高空气象观测业务手册[M]. 北京:气象出版社 2012: 12-40.
- [3] 李伟,邢毅,马舒庆. 国产 GTS1 探空仪与 VAIS-ALA 公司 RS92 探空仪对比分析[J]. 气象 2009, 35(10): 97-102.
- [4] Luers J K. Estimating the temperature error of the radiosonde rodthermistor under different environments[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 1990, 7(6): 882-895.
- [5] Wohltjen H. Surface acoustic wave probe for chemical analysis[J]. Anal. Chem. 1979, 51: 1458-1475.
- [6] 颜晓露,郑向东,李蔚,等. 两种探空仪观测湿度垂直分布及其应用比较[J]. 应用气象学报, 2012, 23(4): 433-440.
- [7] Driven to meet the challenges in mobile weather ooservation proposal[J]. Weather station. 2005, 45: 68-108.
- [8] 李军. 新手学 SQL Server[M]. 北京: 北京希望电子出版社 2010: 123-160.
- [9] 张军. Visual C++ 实例精通[M]. 北京: 机械工业出版社 2009: 147-168.
- [10] Hart,Robert E,Forbes,et al. The use of hourly model-generated soundings to forecast mesoscale phenomena,Part I: Initial assessment in forecas-ting warn-season phenomena[J]. Wea,forecas-ting, 1998, 13(4): 1165-1185.
- [11] Ryszard S Jachowicz. Sensors and Actuators[Z]. 1992: 455-459.
- [12] Pragnell R F. Measurement and Control[J]. 1993 (26): 242-244.
- [13] McManus JB,Keabian PL,Zahniser MS. Astig-matic mirror multipass absorption cells for long-path-length spectroscopy[J]. Appl Opt, 1995, 34: 3336-3348.
- [14] 王强,王晓云,马舒庆. 综合气象观测[M]. 北京: 气象出版社 2014: 79-106.
- [15] Story PR. Galipeau DW, M [J]. Sensors Actua-tors B. 1995 (25): 681-658.

Data Processing and Display Software Design for Multi-kind Radiosondes

HU Xu-dong, SHE Yong, YAO Zhen-dong

(Chengdu University of Information Technology, CMA Key Laboratory of Atmospheric Sounding, Chengdu 610225, China)

Abstract: Atmospheric sounding can obtain the temperature, humidity, air pressure, wind and other meteorological elements within the height range of 30 km. There are many kinds of radiosondes and sounding systems in meteorological scientific research and the upper atmosphere experiments and their data format are different from each other. For the convenience of using and analyzing the data, a common software is needed for data processing and display. This system is designed by using the visual programming tool Visual C++ software, it realizes the uniform format of multi-kind radiosondes' data conversion. It's based on MFC single document view structure and uses the drawing function to realize the radiosonde meteorological elements by the display of vertical profile. And it also establishes a database based on SQL Server 2008, which realizes the function of the sounding data storage and query by program.

Key words: signal and information processing; information processing of atmospheric sounding; meteorological sounding data; vertical profile; database; visual programming