

飞行航线上的五维可视化气象信息

吕环宇^{1,2}, 王洪庆¹, 王少林²

(1. 北京大学物理学院大气科学系,北京 100871;2. 民航大连空中交通管理中心,大连 116033)

摘要:利用气象资料制订飞机航行计划,是航空气象服务的主要内容之一,对飞机的安全航行具有十分重要的意义。本文利用常规气象资料和 NCEP 预报场资料,建立的二维和五维天气可视化系统,从不同剖面展示了飞机航路上风场、温度场及重要天气区域,从而提供了丰富的航路气象信息。同时根据航路上的气象条件,评估了飞机的燃油消耗,讨论了气象信息在飞行计划中的应用价值,探索安全条件下的气象经济飞行。

关键词:航空气象;五维可视化;经济飞行;航路评估

1 引言

航空气象服务面对的主要群体为各航空公司的飞行机组、飞行签派人员、空中交通管制人员、机场地面运行人员以及上级各主管决策部门等等。从航空气象服务客体的角度出发,提供方便和易于理解的可视航线气象信息显得尤为重要。

上世纪 90 年代,美国和一些欧洲国家均致力于为民用航空提供多维气象信息,并取得了初步的成果。美国在 90 年代中期开发了三维可视化气象信息系统,以了解机场起飞、下降空间区域内的对流强度、雷雨、降水、风场、颠簸等,并提供给管制人员用于管制指挥的服务。

就我国而言,目前提供给航空气象服务客体的气象资料主要为平面图形资料和文字资料,而对于航路气象信息的可视化应用方面还研究很少。虽然这种二维图形对气象人员易于理解,但对于航空气象服务的客体,则很难形成概念模型,从而导致航空气象的广泛应用受到局限,也很难有效合理地利用气象资料制订飞行计划。

本文利用常规气象资料和 NCEP 预报场资料,通过诊断、物理量分析等方法,建立了飞行航线上气象信息五维图形可视化系统。通过对五维数据集

[时间(Times)、物理变量(Vars)和三维空间(X-Y-Z)^[1]] 的分析来描述物理过程的多个物理变量的空间分布和时间变化。即对航路上的风场、温度场、重要天气区域等进行水平、垂直高度上的各个剖面显示,也可五维图形可视化航线区域上的气象信息,从实时和预报两个方面多维显示气象信息,从而建立较完整的航路天气预报与分析体系。同时对航路上气象条件进行燃油消耗的评估,讨论其在飞行计划中的应用价值,探索安全条件下的气象经济飞行。

2 系统概况

2.1 技术实现

飞行气象信息五维图形可视化系统是一个嵌入式的系统。系统内部嵌入有气象部门广泛应用的 MICAPS 系统和一个客观分析诊断图形系统。通过利用气象常规资料以及 NCEP 预报场等资料对气象资料的进行插值,诊断分析等^[2,3],一方面可以提供进行天气预报和气象服务的二维图形,完成航路高空风、高空温度等对燃油消耗的评估;另一方面,通过五维图形显示系统,可以对实时场、预报场进行三维动态显示,水平、垂直剖面显示以及航线的剖面、轨迹等显示。

2.2 资料

民用航空飞行航线上的五维可视化气象信息系统所采用的资料包括:常规气象资料和 NECP 预报场资料。常规资料包括有海平面气压、本站气压、温度、风、露点、6 小时降水、24 小时降水、云状、能见度、位势高度、温度、风、露点等,在对流层中主要有 11 个基本等压面。气象五维图形可视化系统主要用于五维矩形网格数据的分析^[1]。

3 系统的组成

系统由 MICAPS 系统和网络数据库、客观分析诊断图形系统、飞行气象信息五维图形可视化系统等组成,完成系统所提供的各种功能,如图 1。

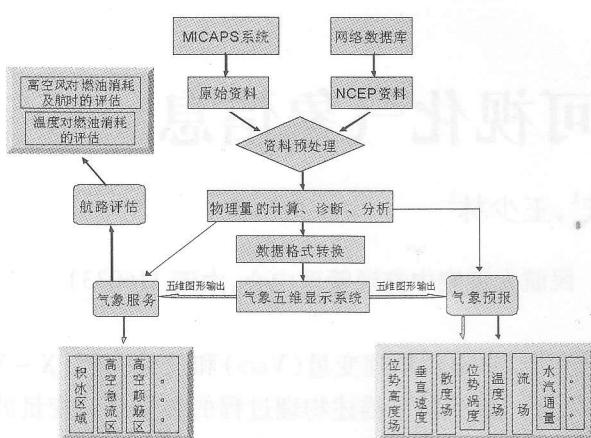


图 1 系统流程图

4 系统的应用

4.1 航线燃油消耗评估、飞行时间估算

飞行气象信息五维图形可视化系统嵌入的客观分析诊断图形系统提供了对物理量的数学计算支持,通过该系统可以进行航线燃油消耗和飞行时间的估算。

在巡航时,作用在飞机上的重力 G 和升力 Y 保持平衡,飞机按界定的巡航高度段沿等压面飞行^[4],由起始飞机重量和标准大气等压面气压、气温和标准大气条件下小时燃料消耗量计算千米燃料消耗量(C_{km}):

$$C_{km} = \frac{C_{hs}}{\sqrt{\frac{2GR_d}{C_{yn} \cdot S}}} \cdot \sqrt{\frac{P_s}{T_s}} \quad (4.1)$$

式中带下标 s 为标准大气的相应量, P_s 为标准大气压, G 为作用在飞机上的重力, S 为机翼面积, C_{hs} 为标准大气下小时燃油消耗量, C_{yn} 为巡航时的升力系数, R_d 为干空气比气体常数(287.04J/kg·k), T, P 分别为环境大气的温度(K)、气压(hPa)。

由实际大气温度和确定的有利巡航高度及起始飞机重量,计算巡航速度^[5]:

$$V_n = \sqrt{\frac{2GR_d}{C_{yn} \cdot S}} \cdot \sqrt{\frac{T}{P_s}} \quad (4.2)$$

由航行速度三角形,对单位时间,如果小时燃料消耗量不变,以 100KM 为一距离单元,在航线距离单元上,按实际大气的风速易于计算出由风引起的航程变化量 δR 。

则实际航程 R 为:

$$R = 100 - \delta R \quad (4.3)$$

由(4.1),(4.3)式可计算出单位燃料的消耗量: $C_i = C_{km} \times R$

对下一航线距离单元,由于经过前一距离单元飞行,燃料的消耗引起飞机重量相应的减小: $G_{i+1} = G_i - C_i$

重新计算 C_{km}, V_n 和 R ,可以求出该距离单元燃料消耗量 C_{i+1} 。

依次迭代,求出各距离单元的燃料消耗量,然后按航线积分,求出燃料总消耗量 Q :

$$Q = \int_0^R CdR = \sum_{i=1}^m C_i$$

$$\text{同样求出总航时 } T: T = \int_0^R \frac{1}{V_n} \cdot dR = \sum_{i=1}^m \frac{100}{V_{ni}}$$

将燃油消耗量 Q 和总航时 T 的计算公式通过系统进行计算,可以对每次航程的燃油消耗和总航时进行评估^[6]。

航空公司在制订飞行前的飞行计划时,通过对航路、降落机场、备降机场天气信息的了解,进行航程燃油消耗及总航时的评估。在降落机场天气不稳定时,选择最佳备降机场,对飞机的燃油配给和配载进行很好的控制,可以节约成本。同时也对飞行时间的掌握、航班计划的调整具有很好的把握性。

4.2 提供优化的二维航路气象信息

飞行气象信息五维图形可视化系统,可以提供更为优化的二维航路图形文件,以提供更多的航空气象信息。图 2 给出了 2005 年 5 月 23 日 00 时中国区域 200hPa 高空风分布,利用颜色表示风速值的不同区域。

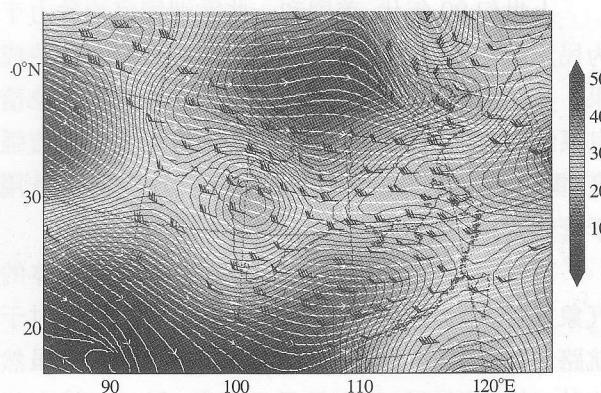


图 2 2005 年 5 月 23 日 00(UTC)时中国区域 200hPa 流场、风矢量场

4.3 提供更为直观的五维航路可视化气象信息

通过飞行气象信息五维图形可视化系统制作的五维航路气象图形图像文件,可以对飞行人员和管制指挥人员提供更为直接的立体气象信息。航空气象用户可以通过气象局域网,以“点菜”的方式,提出对航空气象个性化的需求和服务。

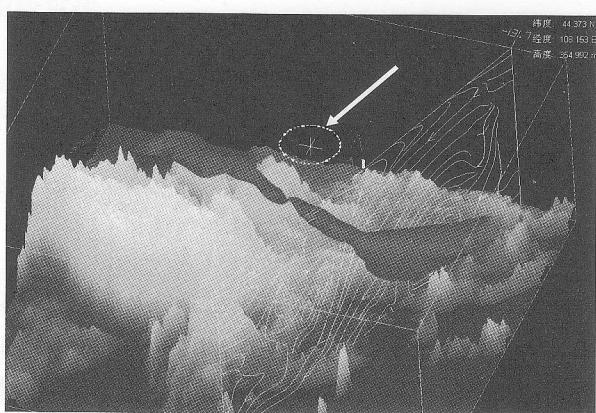


图 3 2006 年 1 月 12 日 06 时中国区域航路急流及大连~广州航线风场垂直剖面

如图 3 通过系统制作的 2006 年 1 月 12 日中国区域空中急流的立体分布图。图中给出大连~广州航线风场的垂直剖面,图中蓝色管状物代表自西向东高空风速大于 30m/s 急流轴的分布,风速自边缘向内部逐步加大,西部和东部两侧的急流比较深厚。图中箭头所指为系统提供的探针指示,系统提供了探针所到方向的经、纬度及高度指示;管制人员在指挥飞机飞行过程中,可以根据系统提供的资料作横向穿越和自东向西飞行时,掌握急流与航线交汇处的经、纬度方向,急流的底部及顶部高度,指挥飞机过程中有效的利用急流的分布调配高度和方向;自西向东飞行时,可以利用空中急流稳定的风场,缩短飞行时间。

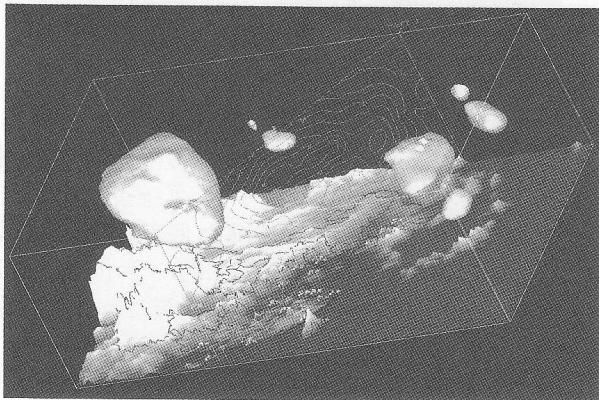


图 4 2006 年 3 月 25 日 06 时航线垂直风场及强对流天气区域分布

图 4 提供了 2006 年 3 月 25 日 06 时沿大连~广州航线的垂直风场及航线附近强对流天气的立体图像显示。图中黄色的部分代表强对流天气的区域,通过系统设定的温度、湿度、水汽通量、涡度、垂直速度等指标计算出结果,并以立体的方式显示。在黄色的区域中,强对流天气如降水、雷暴、风切变及空中颠簸等可能发生。

飞行机组在进行飞行前气象服务咨询时,气象服务室可以为机组提供图 3 和图 4 等资料,机组和管制人员可以通过系统定位的空中急流和强对流天气的经、纬度方位,在飞行过程中进行准确的把握。

此外,还可根据需要,制作高空立体的风场、温度场、相对湿度场、积冰区等区域图等。这些图形图像资料的结合使用,将对管制指挥人员和飞行人员构建很好的气象信息立体概念,极大提高气象信息的可利用性。

5 小结与讨论

随着民航事业的不断发展,航空气象用户对航空气象服务带来的对控制成本的影响越来越关注,对航空气象服务、航空气象产品也提出了更高的要求。本文利用常规气象资料和预报场资料、通过诊断分析等方法,建立了飞行航线上的五维可视化气象信息系统。系统的使用对航空签派人员在制订飞行前飞行计划、管制人员的空中指挥过程确定有利的巡航高度,选择最佳航线、避开飞行过程中危险天气区域等提供了有益的帮助。由于目前缺乏航空公司进行燃油消耗评估的资料,同时国内的航空公司出于安全考虑,往往对飞机配载飞往多个目的地的油量,所以,本文没有给出具体的燃油消耗对比评估。通过挖掘航空气象资料的潜力,提供个性化的服务,以减低运营成本,将会引起国内航空气象用户极大的关注。

可视化有形象直观的特点,但也会有一定程度上的失真(决定于投影),可能引起误解。在实际应用中,应将实况值与预报场数值结合使用,选择适于真实大气的最佳巡航高度,在此基础上尽量避开不利和危险天气区,以取得比较好的效果。

利用本文系统所制作的航路五维可视化气象信息图形图像,在航路上选择了直线,忽略了航路曲线的变化。为更精确的阐述航路上的气象条件,以后的研究方向将趋向于通过经、纬度定位航路拐点,沿曲线对航路进行剖面处理,以提供更为准确的航路气象信息。

参考文献:

- [1] 王洪庆,张焱,陶祖钰等. 五维大型复杂数据集计算机可视化. 自然科学进展,1998,8(6):742~747.
- [2] 郑永光,王洪庆,陶祖钰,陈敏等. WINDOWS 下二维气象绘图软件客观分析诊断图形系统. 气象, 2002, 42~45.
- [3] 陶祖钰, 谢安《天气过程诊断分析原理和实践》,北京:北京大学出版社,1989. 23~46.
- [4] 赵树海.《航空气象学》.北京:气象出版社,1994. 1~156.
- [5] 章澄昌. 飞行气象学. 北京:气象出版社,2000. 24~31.
- [6] 王少林、吕环宇. GRIB 数据的开发和应用. 气象, 1999. 15~28.