

深圳空管重要天气预警预报系统的功能应用和发展*

张成伟, 胡美, 李珅, 莫明豪, 蔡安安, 翟晓
(民航深圳空管站气象台, 广东 深圳 518128)

摘 要 本文介绍了深圳空管站研发的针对深圳宝安机场终端区和珠海进近管制区的强对流临近预报系统——重要天气预警预报系统第一期的功能应用。试运行以来, 该系统已逐渐成为气象和管制人员了解天气趋势的重要依据。本文同时探讨了第二期产品的未来发展思路: 结合数值模式产品实现各种重要影响天气的临近预报, 并以此为技术支撑, 研发决策工具, 最终实现气象信息与运行协同决策系统的高度融合, 参与管制运行、流量预测、排序规则和决策辅助全过程。

关键词: 重要天气; 临近预报; 功能应用; 协同决策

1 引言

珠三角地区的航空资源严重不足, 在方圆不足 200km 的珠三角狭长范围内, 汇集了香港、广州、深圳、澳门和珠海五大民用机场, 此外还有佛山、惠阳等军民合用和军事机场。更为紧张的是空域资源, 由于目前各个机场的管制空域基本上按行政区划设, 在机场密集的情况下, 各机场管辖空域狭小又要保留一定的安全保护区域, 所以导致了空域不能充分利用, 再加上众多航空交通流汇集于珠三角上空, 空域重叠、航班量大、起降频繁, 使得飞行空域异常紧张, 航班“塞机”现象严重^[1]。作为国内最繁忙的航空港之一, 深圳机场容量趋于饱和, 航班延误问题严重, 飞行安全和流量增长的矛盾日益突出。

天气已成为制约航空安全与效率的主要因素之一^[2]。根据中南地区管理局对影响广州、深圳机场正常率原因的统计分析, 因天气原因进行的流量控制占据第二的位置^[3]。影响深圳机场的主要是强对流引起的雷雨大风天气, 而大雾等其他重要影响天气发生频率较低。近年统计, 平均每年的雷暴日数为 50.4 天, 最多的年份有 64 天。4 月~9 月是深圳机场雷暴发生的主要月份, 占全年雷暴总日数的 95%以上^[4]。因此, 对深圳机场而言, 发展强对流天气临近预报系统显得尤为必要。

目前强对流天气临近预报技术主要包括雷暴识别跟踪和外推预报技术、以分析观测资料为主的概念模型预报技术等, 其中识别跟踪和外推技术主要以雷达资料为基础, 雷达是目前临近预报的主要工具之一^[5]。先进的外推预报方法同快速更新循环的高时空分辨率数值模式预报以及二者的融合是未来强对流天气短时临近预报的重要发展方向。目前美国、英国、加拿大、澳大利亚、法国、日本和韩国等国家都建立了自己的强对流天气短时临近预报系统和

* 作者简介: 张成伟, 1984 年 2 月生, 男, 工程师, 研究方向: 航空气象产品。

业务；中国气象局也建立了自己的强对流天气短时临近预报系统^[6]；香港天文台从上世纪 90 年代开始发展“小涡旋”临近预报系统^[7]，目前已融入数值模式结果形成第二代产品^[8-10]。国内民航气象人员也正开展这方面的研究，王刚等^[11]做了交叉相关外推试验和检验方法的研究，黄红兵等^[12]基于交叉相关实现了单站雷达的外推预报系统，不过目前尚无投入协同决策平台（即 CDM 系统）业务运行的强对流临近预报系统。

借助建设第二条跑道的契机，深圳空管站与香港天文台、南京大学、广东省气象局和深圳市气象局等单位合作，研发了针对深圳宝安机场终端区和珠海进近管制区的强对流天气临近预报系统。该系统从 2008 年开始筹备建设，2013 年 3 月底投入深圳空管协同决策平台试运行，已成为空管业务运行的重要支撑系统。本文详细介绍了该系统的功能以及目前的应用情况，探讨了第二期的发展思路，希望能为终端区机场新一代气象产品的开发积累经验。

2 系统主要功能

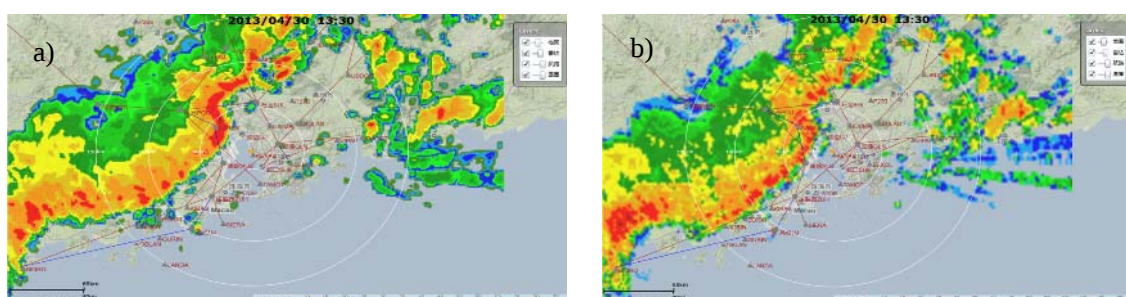
深圳空管重要天气预警预报系统是以雷达拼图外推^[7-9]为主要技术手段，结合强对流天气概念模型^[10]和卫星积云识别^[13]等技术的强对流天气临近预报系统，针对影响深圳机场和珠海进近管制区的强对流天气做出 0~2 小时临近预报。预报产品基于 GIS（地理信息系统）技术呈现，提供给用户直观易懂的服务产品。系统自动实时对外推结果进行客观评分检验，并通过月总簿分析自动实现强对流天气历史个例数据的保存。

2.1 雷达拼图外推

目前系统使用的雷达数据主要为广东省气象局 9 部 WSR-98D 多普勒雷达（广州、深圳、阳江、湛江、韶关、汕头、梅县、河源和汕尾）的 3km 高度 CAPPI 强度回波数据拼图产品，另外加入了香港天文台 1 部 S 波段雷达 3km 高度 CAPPI 产品，在重叠部分采用最大值法拼图，空间分辨率为 1km，时间分辨率为 6min/次。

交叉相关追踪算法相对成熟，开发也相对比较简单，是国内外许多临近预报系统的主要算法之一。重要天气预警预报系统结合香港天文台经验，采用的是多尺度变分算法，相当于交叉相关追踪算法考虑多尺度的版本，外推方面采用半拉格朗日差值后向检验方案^[9-10]。

图 1 以 2013 年 4 月 30 日 13:00 起报预报图（a、c）与实况图（b、d）对比，因篇幅所限，给出了 13:30 和 14:00 的对比图。



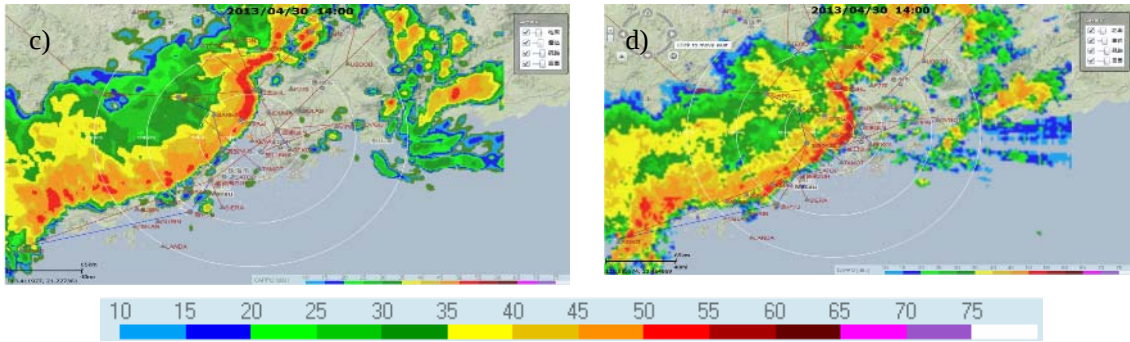


图 1 外推预报图 (a、c) 与实况图 (b、d) 对比

2.2 强对流天气概念模型

基于香港天文台 Linus Yeung 等^[10]提出的强对流天气的概念模型，重要天气预警预报系统提供各种强对流天气可能发展的趋势示意图（图略），包括雷暴、冰雹、下击暴流、强阵风等，产品以深圳机场为中心，覆盖半径 200km，预测时间 30 分钟。

2.3 卫星积云识别

因积云识别对强对流天气具有指示意义，利用各种云类在卫星不同通道中的分布不同来区分云类。尽管静止卫星的时空分辨率有限，但由于静止卫星可覆盖较大范围，可有效补充天气雷达在探测距离上的局限。

重要天气预警预报系统采用“单位特征空间归类法”^[13]，基于卫星多通道云图进行云的分类和识别。基本原理即根据各种云类在多通道内的分布位置不同（如图 2a 所示），从而进行各种云类的识别（结果如图 b 所示）。

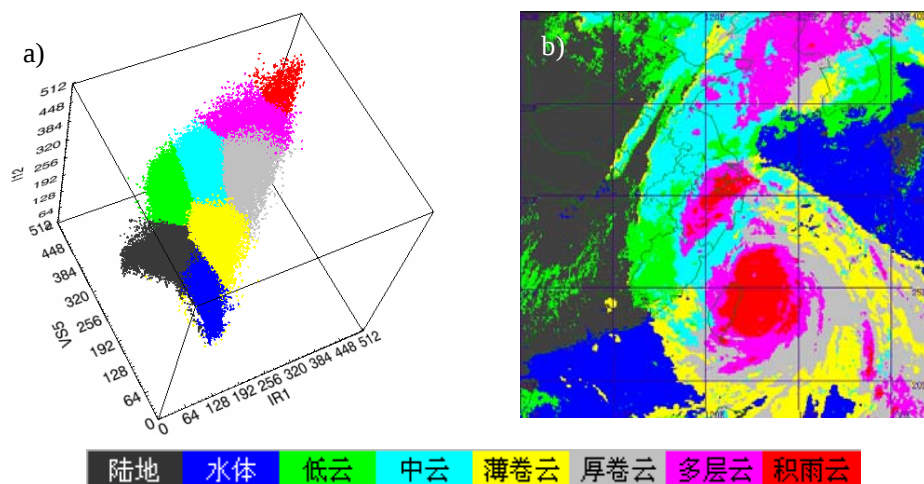


图 2 “单位特征空间归类法”原理示意图，引自文献[13]

2.4 GIS 交互展示

重要天气预警预报系统主要基于 GIS 技术，完成强对流天气临近预报结果的可视化交互展示。GIS 是一种重要的空间信息系统，它是在计算机硬、软件系统支持下，对整个或部分地球表层空间中的有关地理分布数据进行显示等用途的技术系统。

重要天气预警预报系统基于 GIS 技术进行可视化展示，主要是考虑空管站内网的工作环境，可在雷达外推图界面中实现离线地图功能，且地图自由缩放时过渡平滑顺畅，使得系统用户能方便快捷地识别判断雷达回波位置。另外，机场跑道、航路点、航线、珠海进近管制区等要素的绘制让气象产品和管制用户的需求较好地结合起来，最终提供给管制用户直观易懂的服务产品。如图 3 所示重要天气预警预报系统主要展示界面，上侧为时间动画控制等功能栏，左侧为航路点影响时间轴，右侧为基于地图的产品叠加展示。

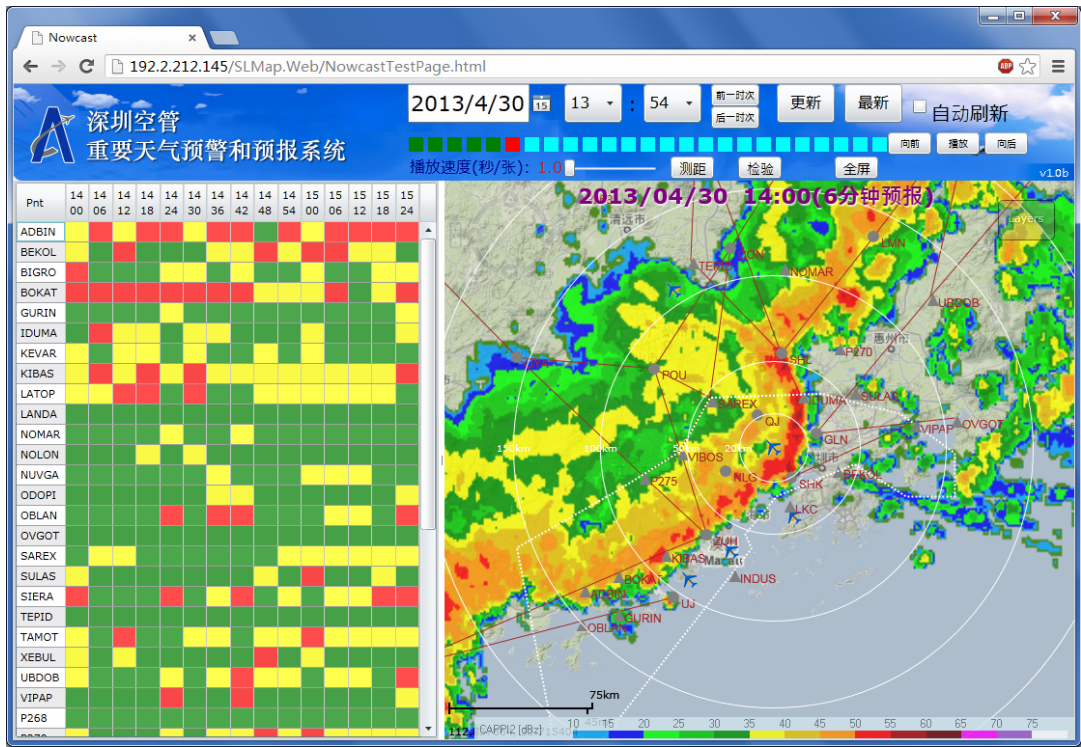


图 3 重要天气预警预报系统主要展示界面

2.5 客观评分检验

目前系统参考文献[12]，采用领域空间检验方法对雷达外推产品进行实时客观检验：将雷达回波分为 35dBz 以上和 10dBz 以上两类。在对预报结果检验时，某点的实况和预报结果由该点为中心半径 10km 区域内的雷达回波决定。如区域内 10%的点满足回波分类要求时，则认为命中。用探测概率 POD、虚假警报比 FAR 和临界成功指数 CSI 进行逐点计算：

$$\text{POD} = \text{命中} / (\text{命中} + \text{漏报})$$

$$\text{FAR} = \text{空报} / (\text{命中} + \text{空报})$$

$$CSI = \text{命中} / (\text{命中} + \text{漏报} + \text{空报})$$

重要天气预警预报系统对所有个例进行自动评分检验，并实时展示在系统界面上（如图4所示为图1外推结果的评分），供用户参考。

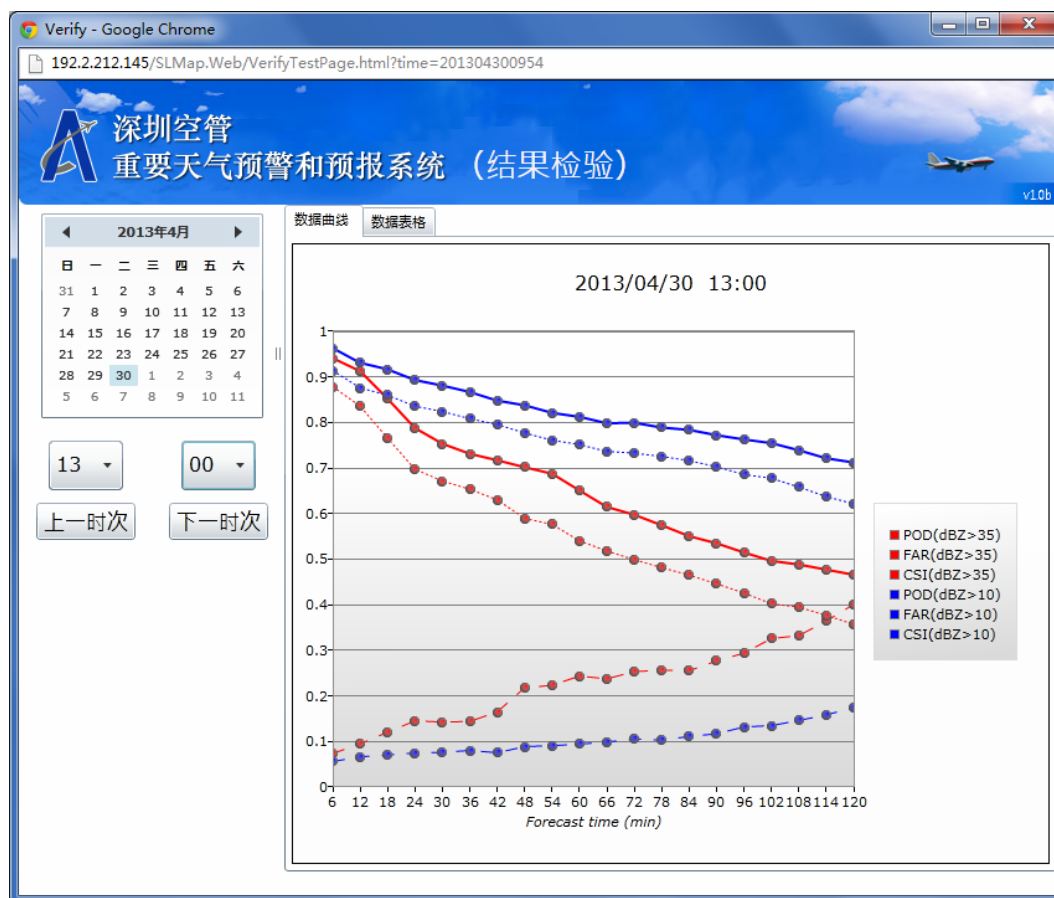


图4 重要天气预警预报外推结果检验

（其中红色为大于35dBz，蓝色大于10dBz。实线为POD，划线FAR，点线CSI）

2.6 历史个例保存

历史个例保存模块通过读取分析月总簿，获知强对流天气过程发生的起止变化时间，从而进一步实现了系统历史数据的自动保存。该功能每月运行一次，将上个月的所有过程设置的原始资料、外推结果和评分数据进行自动保存，便于后续统计和查看。

3 系统应用

试运行以来的用户反馈表明，重要天气预警预报系统可视化产品是业务运行人员了解强对流天气移动演变重要的决策参考依据，并逐渐成为气象与管制人员建立共同情景意识的纽带。

3.1 气象人员

气象观测员关注该系统提供的未来移动趋势，便于提早做好发布特选报的准备。对气象预报员而言，该系统提供的 0~2 小时临近预报，正是目前趋势报所关注的重点，也从客观上促进了趋势报准确率的提高。2013 年 4 月前深圳气象预报室的趋势报准确率徘徊在 15~22%，3 月底重要天气预警预报系统业务试运行，预报室也相应加强了趋势预报的发布管理，综合努力下使得 4 月趋势预报准确率达到 42.6%，排名跃居中南地区第 2，全国第 11 位。主要原因归功到底还是预报员的共同努力，不过重要天气预警预报提供的决策依据也起到了正面积极的作用。

另外值得一提的是，由于参与系统开发的全是气象台人员，而开发过程中又不断与管制人员沟通，以期符合双方人员的使用习惯，所以气象人员对管制需求理解得更加透彻，也更加领悟了不利天气对航班运行的影响。

3.2 管制人员

重要天气预警预报系统第一期考虑了强对流天气对机场进出航路点的影响，通过“红（较大影响）、黄（中等影响）、绿（基本无影响）”三色提供给管制用户直观的航路点影响趋势（如图 3 左侧列表栏所示，点击栏目条目可直接跳转到右侧地图相应区域）。结合外推动画展示，目前系统产品已成为深圳塔台了解天气趋势的重要手段。举例来说，在“3.28”、“4.30”、“7.1”几次强对流天气影响深圳机场事件中，深圳塔台及时通过 CDM 系统和重要天气预报预警系统及时了解天气态势，包括雷雨的位置、强度、动向和影响范围等。在此基础上，管制人员通过 CDM 系统传递各类流量控制，及时变更容量，启动大面积延误预案，提高了在大面积航班延误情况下的处置能力和机场放行航班流量。

对于珠海进近管制人员（因珠海进近无气象人员）来说，重要天气预警预报系统提供了极具价值的区域强对流天气发展趋势，已成为日常管制指挥业务不可或缺的支持系统。典型个例是北京时“5.26”晚上 9:30，开发人员接到了珠海进近管制员的询问电话，咨询系统是否工作正常（后查实是因网络问题珠海进近界面未能更新）。

管制用户对重要天气预警预报系统逐渐产生的业务依赖，一方面使开发人员增强了信心，另一方面有利于气象与管制人员建立共同情景意识，为逐步向决策工具的发展奠定基础。

4 系统第二期发展思路

航空用户对气象预报的需求已由单纯的气象产品向决策工具转变^[14]。CDM 系统若要实现高影响天气下较为准确的排序结果和协同决策，必然需要考虑气象因素导致的机场终端区容量变化，因而也必然要求参与协同决策的气象产品具备较为准确的临近预报能力，进一步还要求气象产品和气象服务具备机场容量影响评估能力^[15]。从这个需求出发，目前正在开

发的重要天气预警预报系统第二期主要考虑两个方面的内容：重要天气临近预报能力的提升和终端区容量评估能力的初步实现。

4.1 重要天气临近预报能力的提升

临近预报能力的提升，依赖于更多终端区气象探测资料的获得，如闪电定位、地面自动站资料等。

另一方面，要实现各种重要影响天气（如低云低能见度等）更长时效性的临近预报，须结合数值模式产品。第二期准备采用数值模式诊断分析技术，对天气现象和风进行逐小时的产品输出；对于雷达回波则采用外推与模式预报场融合技术^[8]。

4.2 终端区容量评估能力的初步实现

天气对航班运行的影响，主要通过降低机场终端区容量的方式表现出来，如图 5 所示。机场天气条件决定了机场跑道构形和降落程序，这两者的结合直接影响机场可用容量^[15]。第二期将基于更准确和时效性更长的临近预报结果，实现对重要影响天气较为准确的容量评估，并逐步参与 CDM 系统排序规则的建立。帮助管制人员预见性地作出科学的流量控制决策，合理安排起飞和落地间隔；系统能较为准确地进行航班排序，计算 CTOT（预测起飞时间），从而使得所有航班运行保障人员建立起恶劣天气下的协同决策情景意识，提高航班延误下的处置能力。

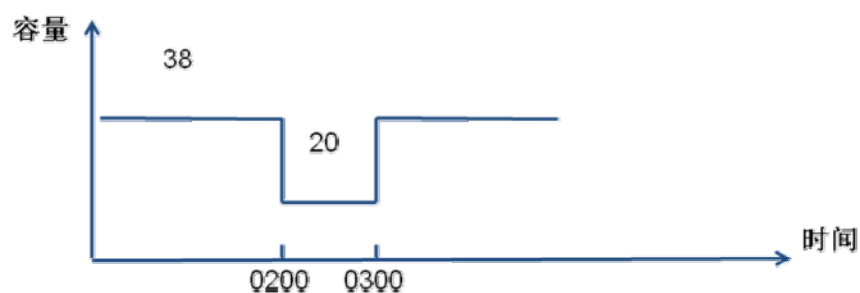


图 5 容量变化调整示意图

5 小结

2013 年 3 月底投入深圳空管协同决策平台试运行的重要天气预警预报系统第一期，具备雷达拼图外推、强对流天气概念模型、卫星积云识别、GIS 交互展示、客观评分检验和历史个例自动保存等功能模块，实现了强对流天气的 0~2 小时临近预报。试运行以来运作稳定，用户普遍给予较高评价，已成为深圳空管业务的重要支撑系统。

气象产品要发挥最大效用应与 CDM 系统进行紧密的结合，未来发展思路即是实现重要影响天气更长时效更高准确率客观临近预报，并以此为技术支撑，探索开发满足 CDM 需

求的容量评估产品,从而参与流量预测和排序规则的变化,真正实现临近预报产品和服务无缝融入运行协同决策过程,使航班运行更加安全、顺畅、高效。

参 考 文 献

- [1] 王仁春. 珠三角地区雷雨天气下的进近管制[J]. 空中交通,2012,11(增刊):17-18.
- [2] 中国民用航空局. 关于加强民航气象科技工作的若干意见[EB/OL]. [2012-1-5]. http://sqgk.caac.gov.cn/pub/root24/000014170/201204/t20120405_11154.htm.
- [3] 王兆晖. 动态管理空域 满足宝安双跑道运行需求[J]. 空中交通,2012,11(增刊):30-34.
- [4] 李斌,张成伟. 深圳宝安机场雷暴气候的统计特征[J]. 中国民用航空学报,2011,3(5):20-23.
- [5] 陈明轩,俞小鼎,谭晓光,等. 对流天气临近预报技术的发展与研究进展[J]. 应用气象学报,2004,15(6):755-765.
- [6] 郑永光,张小玲,周庆亮,等. 强对流天气短时临近预报业务技术进展与挑战[J]. 气象,2010,36(7):33-42.
- [7] Li, P.W. and E.S.T. Lai, 2004b: Applications of Radar-based Nowcasting Techniques for Mesoscale Weather Forecasting in Hong Kong. Meteor. Appl. 11, 253-264.
- [8] Wong, Wai-kin, Linus H.Y. Yeung, Ying-chun Wang & Min Chen, 2009: Towards the Blending of NWP with Nowcast — Operation Experience in B08FDP, WMO Symposium on Nowcasting, 30 Aug-4 Sep 2009, Whistler, B.C., Canada.
- [9] Yeung, Linus HY, WK Wong, Philip KY Chan & Edwin ST Lai, 2009: Applications of the Hong Kong Observatory nowcasting system SWIRLS-2 in support of the 2008 Beijing Olympic Games. WMO Symposium on Nowcasting, 30 Aug-4 Sep 2009, Whistler, B.C., Canada.
- [10] Linus H.Y. Yeung, Edwin S.T. Lai and Philip K.Y. Chan, 2008: Thunderstorm Downburst and Radar-based Nowcasting of Squalls. Fifth European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology, 30 June - 4 July 2008, Helsinki, Finland.
- [11] 王刚,黄奕铭,曹正,等. 机场终端区对流天气临近预报的初步研究[J]. 空中交通,2012,12(增刊):44-49.
- [12] 黄红兵,钟伟,赵凯. 哈尔滨机场基于雷达回波的强对流临近预报[J]. 空中交通,2012,12(增刊):11-14.
- [13] Zhang, C.W., F. Yu, C.X. Wang, and J.Y. Yang, 2011: Three-dimensional extension of the unit-feature spatial classification method for cloud type. Adv. Atmos. Sci., 28(3), 601-611.
- [14] 胡家美,李萍. 国际航空气象预报的发展趋势[J]. 广东气象,2009,31(4):11-13.
- [15] 张成伟,李晓春,张伟航,等. 深圳航班运行协同决策新模式中气象产品的现状和发展[J]. 空中交通,2012,12(增刊):58-61.