

春天计划——美国预报员和科研人员之间合作互动的范例

John S. Kain, Paul R. Janish, Steven J. Weiss,
Michael E. Baldwin, Russell S. Schneider, Harold E. Brooks
李 霞¹, 任宜勇² 译

(1. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 乌鲁木齐 830002; 2. 新疆气象局, 乌鲁木齐 830002)

引 言

在适当的氛围下, 预报员和研究人员之间就共同的兴趣志向可以形成富有成效的合作。

预报员和研究人员之间的合作可以通过深入理解大气过程和提高预测水平而推动气象学的发展, 然而二者之间却很少形成持久的合作。预报员几乎每天都在分析大气状况, 但他们对于天气过程和天气现象的理解却往往很浅显。而对于灾害性天气, 能够预测可能给人民生命和财产造成的灾害是最为至关重要的。其实, 很多预报员对天气都有敏锐的洞察力且有兴趣从事一些应用气象研究, 但他们往往没有充裕的时间, 缺少诊断工具及导师指导来从事研究项目 (Doswell 1986; Auciello 和 Lavoie 1993)。另一方面, 众多研究人员在日常研究工作中拥有大量的诊断工具、数值模式、理论知识和经验。尽管应用研究具有显而易见的社会效益 (Serafin 等 2002), 然而很多气象研究对天气预报的提高并没有直接的作用。由于研究人员和预报员之间缺乏持久和广泛的沟通合作, 很多迎刃而解的科学问题在解决过程中也困难重重 (Doswell 等 1981)。

创造物质环境条件则可以让二者之间易于相互交流, 促进二者之间进行有成效的合作。1997 年初, 美国 NWS (缩略语请见附录, 下同) 将 SPC 迁移到了俄克拉荷马州的诺曼, 使得 SPC 可以共享美国 NSSL 所拥有的科研环境设施。这次搬迁将 NSSL 和俄克拉荷马州大学 CIMMS 的科研人员与富有预报经验的 SPC 专家们融合在一起。为了从事和业务相关的研究及促进彼此之间及与更多气象组织的

合作、交流, 一组来自 NSSL 和 CIMMS 的应用研究人员与 SPC 业务人员一起工作。由于没有了 SPC 日常业务预报时间的限定, SPC 的业务预报研究在最近的 SSA 得以展现, 研究中模拟了预报环境场。天气图会商得以启动, 双方互补的兴趣开始吸引预报员和研究人员开展进一步的合作研究。

在 NSSL/SPC 机构中这种氛围孕育了一种富有成效的互动交流。众多的合作研究开始启动并且已经取得成果 (如 Evans 和 Doswell 2001; Craven 等 2002; Baldwin 等 2002; Schultz 等 2002; Stensrud 和 Weiss 2002; Thompson 等 2002; Kain 等 2000, 2003a, b), 还有一些正在进行中。大规模的合作也日趋成熟。近几年在强对流天气高发期, 每年的“春天计划”集中数周的攻关研究已经成为合作的奠基石。

设计这种计划即业务和研究机构共同参加研究就是为了双方互利。举例来说, 2001 年的春天计划突出加强对雷暴天气发生的预报能力, 从而围绕来自研究机构的实验性预报产品、创新应用及对数值模式的检验展开研究。

由于 SPC、CIMMS、NSSL 的管理者都认识到这种合作对各自的项目有着巨大的效益, 因此都给予了相当大的支持。预报员们学会了从更科学的角度攻克业务难关, 而研究人员则在探求业务实用性的项目方面也更为得心应手。回顾在 NSSL—CIMMS—SPC 间蓬勃开展的合作, 尤其是 2001 年春天计划, 其中揭示了一些成功合作的重要因素。

1 历史性回顾

收稿日期: 2005-04-21; 改回日期: 2005-07-06

基金项目: 中国气象局沙漠气象研究所基金项目“MM5v3 积云参数化方案在新疆降水中的模拟研究”资助

作者简介: 李霞 (1969-), 女, 安徽省霍山县人, 硕士, 副研究员, 主要从事气候和大气环境研究。

NSSL 的科研人员和 OWC 预报人员之间的协作兴趣可以追溯到上世纪 80 年代。1984~1985 年期间,在 WFO/OUN 进行合作的预报员和研究人員为 PRE-STORM 项目收集数据,制作 MCSs (Cunning1986) 天气预报。通过思想交流、业务领域的支持、实时实验数据的收集等方面获得的经验对今后开展合作是极为重要的(Doswell 等 1986)。1987 年在 DOPLIGHT'87 实验中,NSSL 和诺曼 WFO 人员参加了对多普勒雷达的实时业务测试和评估(Doswell 和 Flueck1989)。这次成功合作在于它对 NEXRAD 的 WSR-88D 全国布网做出了很大贡献。在此期间其他成功的合作还包括 MAP1988~1989(Jincai 等 1992)和 STORMTIPE (Brooks 等 1993; Wicker 等 1997),这些加强了预报员们对高分辨率中尺度或雷暴尺度的数值天气预报模式的理解。

受早期成功合作的鼓舞,NOAA 在俄克拉荷马的诺曼成立了一个协作型研究和预报实验室,名为 EFF(Howard 等 1986; Auciello 和 Lavoie1993)。这个实验室与诺曼 WFO 的预报业务部为上下楼,得到了 NSSL、WFO、WSR-88D 雷达业务中心(以前为业务维护科)的技术和人力支持。EFF 侧重于新的业务数据库的应用、数值模式指导产品的甄选、研究成果的业务转化(Janish 等 1995)。

1994~1995 年,SPC 预报员(在密苏里州的堪萨斯城)参与了 OWC 研究活动,为 EFF 和 NSSL 开展的 VORTEX~94/95 提供天气预报(Brooks 等 1996)。预报员们开发了新的数据分析软件,使用试验模式的输出产品制作天气预报,与首席科学家们以非同寻常的方式一起讨论日常的业务预报。第一流的预报经验对 SPC 的大多数预报员们来说是非常有益的。这种互动使研究和预报人员双方都受益,但是过去天气过程的分析数据都遗留在了研究人员手中。1997 年初,正是这种渴望参与更多的天气过程的科学分析促使 SPC 从堪萨斯搬迁到了诺曼。为了迎接 SPC 的到来,NSSL 成立了由 NSSL、CIMMS 人员参与的 MAG,其包含了一个交叉性的数值模式开发组、业务型天气预报专家组、中尺度气象专家组,所有人员都对业务性问题怀有浓厚的兴趣。MAG 的目标是在 20 世纪 80 年代和 90 年代初与诺曼 WFO 建立协作,使当地的研究人员和 SPC 的中尺度预报专家之间形成优势互补。

2 科学支持领域(SSA)

为顺应 SPC 的迁址,NSSL 的机构还进行了调

整。一个关键的创新举措就是建立 SSA。为了提供一个业务预报测试平台,SSA 的业务设施、数据传输、物理环境等都是双份的。每年春天计划都在 SSA 如期实施。

SSA 有很多便利条件去支持业务性研究、实验性产品/技术的检验以及其它的合作攻关。Ample 计算机网络、电话网、电力供给(包括备份发电机)确保了实时业务系统的正常运转。SSA 日常业务至少包含了由 5 个气象专家组成的工作组、由 15~20 人参加的天气图会商/决策。SSA 拥有 N-AWIPS Unix/Linux 工作站(类似于 SPC 运用的业务系统)及一个由 WFO 人员用于备份数据传输和显示的 AWIPS 工作站。除了试验数据以外,这些工作站还能够获取所有的气象业务数据。其他设备也基本一应俱全,如众多的 PC 机、NLDN 的数据、便于会商和总结的大屏幕及另外支持 NSSL 和 SPC 协作项目的检测设备。

春天项目成功合作的关键就是必须通晓 SSA 工作站的配置、数据流及 SPC 业务产品的调用。当地参与 SSA 研究活动的预报和研究人員能够熟练运用各种设备、熟悉各种预先分配的文档且受过简单培训,参观者也能够很快了解基本的技术流程。

3 在 SSA 建立工作伙伴关系

从 VORTEX 以后,对双方互惠性的一致性认同成为每一个合作项目的基础,显然这种共识促进了彼此间的尊重认可、激发了参与者的热情。1996~1997 年的冬季,由 NSSL-CIMMS-MAG 和 SPC 参与的第一个有组织的合作攻关是围绕 WIN-WEX 展开的。这次合作促使中尺度环境场的评估方法更加系统化、科学化,同时创立了多因子为契机的冬季天气预报方法(Janish 等 1996)。关于试验性预报产品,WFO 精选出的反馈意见在形成冬季中尺度天气会商结果时发挥了积极作用,1997 年这已经成为 SPC 的业务。上述活动推动了更多与冬季中尺度天气相关的业务性研究(Cortinas 2000; Kain 等 2000; Robbins 和 Cortinas 2002)。

NSSL 主持了 MEaPRS 项目后,1998 年他们将研究重点从冬季天气转移到对流性天气(Jorgensen 等 2000)。SSA、NSSL-CIMMS-MAG 及 SPC 的预报员们为 MEaPRS 承担所有的天气预报包括临近预报业务。预报组要提供中尺度对流系统发生发展的可能性预报,并预测在 MEaPRS 试验区域上空低空急流可能出现的位置。

4 春天计划 2000

1999 年没有实施有组织的计划,这年过后 NS-SL, CIMMS, SPC 的组织者决定发起一个行动计划,即春天计划 2000。这项计划并不是在额外的研究项目或新预报任务的驱动下实施的,而是考虑到双方科研方面和策略影响而开展的。计划的目的是评估业务和试验的数值预报模式以及 SPC 业务中运用的各种各样的诊断工具,例如客观分析程序、冰雹预报算法等。计划的每个部分都有一个“负责人”,一个科学家或一个预报人员负责开发或改进一种工具,辅助设计在项目中要应用的特殊评估程序。此计划的成功之处在于赋予每个参与者一个既定的、又有兴趣从事的任务。另外,来自 EMC 和 FSL 的数值模式研究人员参加且为数值模式评估方案的设计提供输入数据。

春天计划 2000 的显著效益是预报员和模式开发人员之间的互动,其直接的效果就是参加项目的预报员提高了他们释用模式输出产品的技能,而模式开发人员对于 SPC 运用模式的方法提出了一些新的观点看法。举例来说,预报员们开始了解模式对流参数化方案是如何对模式各层大气要素的输出值产生令人误解的改变(Baldwin 等 2002),而模式研发人员也对预报员要求输出非传统产品做出了回应。在参考了所有参加者的回馈意见及各机构战略目标的基础上,决定将春天计划 2001 的侧重点放在数值模式模拟和 SPC 特殊的预报问题上。

5 春天计划 2001

组织者利用春天计划 2000 获得的经验教训,凝练了春天计划 2001 集中攻关的研究课题。主要目标是调查了解在提高对流天气的发生、强度及演变等预报准确率方面,中尺度数值模式是否可以更加有效地发挥作用。传统上,SPC 预报员们对于短期对流性天气预报(如发布严重天气监测预警),主要依靠的是监测而不是数值指导产品。尽管模式有时能够提供非常准确的对流性天气发生、发展的预报,但预报员们事先并不知道该模式预报能力的可信度是多少。春天计划 2001 的一个工作假设是让一个模式研发专家参与天气预报的讨论制作过程,这将促进预报员们更加熟练判断模式的可信度和准确性,最终提高对对流性天气发生、发展的预报水平。该计划的目标是更好地理解预报员们是如何使用数值天气预报模式输出产品,同时为比较目前的客观检验标准收集一些对模式预报产品的主观看法。

两个基本的改变是从 2001 年开始的。第一,试验性的预报产品已经成为日常预报业务的一个重要

组成部分。对预报员来说这些产品的确有吸引力,尤其是在他们对强天气监测预警举棋不定时,这些产品能够帮助他们提前做出判断且确实带来了明显的效益。第二,设计模式评估方式为模式参数化的主观检验提供了量化信息(Kain 等 2003 b)。春天计划 2000 中这种类似的方式主要集中于描述性的回馈信息,这不利于进行统计分析。

春天计划 2001 是在 2001 年的 4 月 16 日至 6 月 6 日期间实施的,该计划的活动内容将在下文阐述。其它细节可以在网址 www.spc.noaa.gov/exper/spring_2001/ 上查阅。

5.1 人员、设备和数据

在春天计划中,要求全职人员整周(周一至周五)都从事这项研究工作。并且一周至少一次让一个新的“组”介绍各方面的经验、观点及长期参与此项目的感受等,这是很有必要的。另一方面,要求参与人员整周从事此项工作有几个重要理由。这能够确保参与者对他们的工作感到满意且充满自信,同时限定研究方向和训练期限,从而激发参与者持久的责任。

每个 3 人小组在天气预报和数值模式诠释方面都很专业,他们至少包括一个 SPC 预报员,一个来自于 NSSL, CIMMS, EMC 或 FSL 的模式专家;第三个人可以是拥有相关领域技能的预报员或研究人员。此外,还有一些科学家兼职加入作为观察员(一般少于一周)。鼓励所有的观察员将他们感兴趣的问题汇总到项目的评估中,并且在专家讨论会上展示他们最新的研究活动。

在 SSA,项目全职参与人员可以无条件使用配置齐全的 N-AWIPS 工作站,包括 SPC 预报员使用的全部业务数据及日常业务中无法获取的多个试验性预报模式的输出产品。

5.1.1 春天计划中运用的模式

表 1 SBI 春天计划 2001 中得到验证的模式

模 式	运行时间	国内格点距 (km)	输出格点距 (km)
Eta	00:00,12:00	22	40
EtaKF*	00:00,12:00	22	20/40
Eta threats run*	12:00	10	10
RUC-2	12:00,15:00,18:00	40	40
RUC-20*	12:00,15:00	20	20
EMC mesoscale ensemble*	00:00	48	48
NSSL ensemble*	00:00,12:00 结合	多种	40
WRF*	00:00	34	34

注: * 代表试验的模式

表 1 中汇总了春天计划 2001 中检验过的模式。

这包括业务运转的 Eta(Black1994)预报、区域高分辨率 Eta threats 预报(现称为 HiRes Window; G., DiMego 2001, 私人交流)、RUC-2(Benjamin 等 1999)预报、Eta 配置在 NSSL 运行的 EtaKF(Kain 等 2003a)预报。在 SPC 可以从实时业务数据流中轻易获取这些模式的输出产品,其它模式也专门向该计划提供输出产品。RUC-20 是经修改、高分辨率的试用版,已经发展成为春天计划 2002 新业务化的 RUC(Benjamin 等 2001)。EMC 中尺度集成由 10 个系统组成,5 个来自 Eta,另外 5 个来自 EMC 区域谱模式(Du 和 Tractom2001)。NSSL 集成模式是由 NSSL 的 M. Baldwin 用多模式集成,该模式结合了所有能获得的中尺度模式(业务的和试验的模式)。另外还有 WRF 试用版。所有模式的输出产品都以通用的格式在 NAWIPS 工作站上显示,仅 WRF 预报在网上显示。

一个春天计划的数据文档包括地面和高空分析、局地雷暴报告、雷达、闪电报告、经过挑选的模式输出产品等,这些每日生成的数据文档为每日进行模式检验和天气过程的事后分析提供了支持。同时数据在网上保留供后续研究使用(见 www.spc.noaa.gov/exper/Spring_2001)。

5.2 日程表

全部的日常业务都在周一至周五的早晨 8:00 至下午 4:00(世界时 13:00~21:00)进行。每天 8 h 可以为前几天的模式指导产品和试验性预报的验证、近期模式数据的评估以及 2 个试验性预报的准备提供充分的时间保障。

5.3 预报产品

预报产品用于评价预报员提前 4 h 对强或非强对流性天气的预报技能。预报区域之所以限定在 $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ 范围内是为了让预报员有充沛的时间查看大量的数值天气预报指导产品。每日早些时候由双方商议决定预报区域的具体位置,即与值班的 SPC 首席预报员根据强对流天气的发展趋势来商讨决定的。

试验性预报每日发布 2 次。世界时 17:00 发布的预报时段为未来 18:00~21:00;而世界时 20:00 的预报在 21:00~00:00 期间有效。在指定的区域范围内,对于未来 3 h 可能发生强对流天气的地区,预报小组选取 3 条等值线去标定低、中、高 3 种可信度。对于强对流天气,这种可信度级别是监测对流天气、制定决策的一个关键依据。当监测能够提前

数倍的时间予以成功的发布时候,详尽地评估这些试验性产品将有助于判断天气形势。

例如 2001 年 5 月 10 日 20:00(世界时)发布的天气预报(图略),预报员认为大范围区域,即包括明尼苏达州、威斯康星州、伊利诺斯州、爱荷华州、内布拉斯加州、密苏里州的部分地区发生雷暴的可信度为中等级别。而上述区域范围内,雷暴将在爱荷华州东南部发展、对流天气在爱荷华州东南部和中南部趋于加强的可信度达到高级。这次会商对特别关注的问题提供了广泛的天气学看法。由于和 SPC 对流天气监测计划有关,所以天气系统的活动时间、特征、可能性发展等特殊信息都予以提供。另外,一个基于 Web 的表格综述了大尺度气流活动,并量化了该区域上空的动力强迫、对流有效位能、高空 0~6 km 的风切变。

5.4 模式评估

当 SPC 预报员准备试验预报产品时,组里的其他成员则对此试验模式进行常规的评估。他们记录下预报员对每一个模式的印象,如每个模式方案是如何利于预报强天气演变、预报员对不同模式方案的信赖程度及预报员对不同模式总体功能的印象。

5.5 预报检验

参加者利用 NLDN 云—地闪电数据对雷暴的试验预报结果进行检验(不考虑严重程度),同时根据 LSR 对强对流天气进行核实。此外,雷达、卫星数据资料则用于确认 NLDN 和 LSR 数据并提供对流天气发生发展的时间、特征等额外信息。对天气发生时间上的误差、覆盖面积的误差、位置转移的预报误差都分别予以评估。图 1(图略)显示了 5 月 10 日 LSR(上文提到过),表明这天的预报结果相当好。几乎 LSR 中点到的所有地区都包含在“中等可信度”区域,多数都含在“高级可信度”范围内。尽管实况雷暴中心位置有些偏北,但雷暴覆盖面积和高级可信度区域吻合得很好。

5.6 模式检验

在制作预报期间,对模式输出产品进行主观评价的预报组还要在次日早晨负责对前一天的输出产品进行主观检验。将模式评估与后期模式输出的统计检验进行比较后表明,经过多次预报过程之后,预报组一般都更加相信检验效果好的模式。然而,可信度和检验结果却和每个模式及预报时段的相关性很差。没有一个模式能够持久地提供“最好”的预报,对预报组来说当日提前挑选要采用的模式只有

丁点技巧或几乎无能为力。Kain 的论文对此项计划中的模式评估及检验结果都有详细的论述(Kain 等 2003b)。

5.7 SPC/NSSL 春天计划 2003

2003 年,SPC 和 NSSL 主持了另外一类春天计划,即针对强对流天气预报数值模式,研究 2 种颇具前景的应用。

- (1)SREF;
- (2)高分辨率确定性模式。

在前些年,预报/研究小组几乎都是由 SPC 的预报员和 NSSL—CIMMS 的研究人员组成,而工作多以来自众多研究机构的访问科学家为核心开展。上述研究机构包括 EMC、FSL、诺曼、俄克拉荷马、White Lake、密西根、WFOs;亚利桑那州立大学、俄克拉荷马州立大学、华盛顿大学、爱荷华州立大学、马萨诸塞科技大学;英国国家气象局、加拿大国家气象局。另外,来自 COMET 和 USWRF 的部分科学家以观察员的身份参加了该计划的工作。

春天计划中应用的 SREF 系统包括 2 个相互独立的集合,一个来自 EMC,另一个来自 NSSL。EMC 集合系统是春天计划 2001 应用基础上的更新版(Du 和 Tracton 2001),其由 5 个 EtaKF 组件并入到最初的 10 个 Eta 和 RSM 组件里。它使用一个自动的“区域生成”方法来为不同模式运行产生初始条件。系统依靠预报员输入信息来确定区域和气象敏感参数,并将其作为初始环境场的扰动值。

第二部分的重心是参加者对对流参数化方案的中尺度模式预报与 WRF 云解析法方案的预报(如没有对流参数化)进行比较。目的是经过和当前的业务性和试验性的预报模式(包括 WRF、Eta、EtaKF、RUC、EMC 的非流体静力学中尺度模式)对比,对高分辨率的模式预报给出初步的评价。这个计划从 2003 年 4 月 14 日至 6 月 6 日进行了数周(更多信息可在网址 www.spc.noaa.gov/exper/Spring_2003/ 上查看)。

6 未来计划

我们打算每年都开展有组织合作项目。在某些年度,这项计划将与一些更大的项目形成联动,如观测领域项目。那些大项目的实施在某种程度上有助于春天计划目标的实现。例如 2002 年,春天计划就和 IHOP(Weckwerth 和 Parsons 2002)开展了合

作。合作中的一些重要成果转化为预报产品支持了 IHOP 的实验。即使如此,春天计划的组织者依然千方百计将数值指导产品和试验中的 IHOP 预报的检验融入到他们 2002 年的日常业务中。我们期望春天计划在融入大项目的合作过程中兼顾自身的目标,在其他的年度中局地的应用研究可优先应用春天计划的成果。

7 结 语

春天计划 2001 带来了很多切实的效益。举例来说,春天计划肯定了对流性天气的发生、发展预报方面,采用多种模式预报作为指导思想是比较合理的;提前挑选出最好的模式预报对预报组来说几乎是办不到的。计划还证实了系统性主观检验方案给预报员和模式开发者都提供了有价值的信息。模式预报能力的主观印象经常和客观评估出入较大。这些结论在 Kain 论文中都有详细讨论(Kain 等 2003b)。

春天计划也触动了那些和规定目标没有直接联系的研究项目。比如,在对 Eta 模式预报的高空数据进行检验、核查后,我们证实了与模式对流参数化方案相联系的高空大气要素结构的普遍无规律性。这些记录文档已经编辑成文,预报员可参考它解释 Eta 模式输出的高空要素(Baldwin 等 2002)。参数化的上升质量通量——一个源于 Kain—Fritsch 对流方案(KF, Kain 和 Fritsch, 1993)唯一预报对流天气强度的独特因子在此项目中赢得了预报员的信赖。这个输出参数已经作为日常的基础业务,详情见 Kain 论文(Kain 等 2003a)。此外,SPC 业务中高空要素分析项目已经调整为包含 Betts—Miller—Janjic(Janjic, 1994)和 KF 对流参数化的诊断版。这种软件的诞生是由于在春天计划和日常天气图会商过程中,介于 Eta 和 EtaKF 模式高空要素的重要差别已经得以证实。在诠释模式输出的高空要素和 2 种对流方案的表现结果时,这种方案的诊断版的确很有帮助。

春天计划还产生了很多无形的、难以估量的效益。模式开发者与他们产品的最终用户——预报员们并肩工作,深刻地理解了预报员们如何使用他们的产品,从而知道怎样改进才能更有效地满足预报员的需求。同时预报员们也获得了难得的机会,依照模拟的业务预报环境场,他们能够和模式开发者一起探讨对数值天气预报模式的各种解释和应用。

这样,参与的预报员们对于任何一种主要的预报指导工具都更加自信且训练有素(Bald 等 2002)。也许最重要的是这项计划的组织实施巩固了业务和研究单位之间牢固的相互依存关系,而这种关系成为未来几年扩大合作的基石。

译自于 Bulletin of the American Meteorological Society, 2003, 84(12): 1297—1806

附录:本文使用的缩略语(按字母顺序排列)

CIMMS(the Cooperative Institute for Meteorological Studies):气象合作研究所

COMET(the Cooperative Program for Meteorology, Education and Training):气象教育培训合作计划

DOPLIGHT'87 (the Doppler and Lighting Exercise of 1987):1987 多普勒和闪电试验

EFF(the Experimental Forecast Facility):试验预报研究室

EMC(Environmental Modeling Center):环境模拟中心

FSL(Forecast Systems Laboratory):预报系统试验室

IHOP(the International H₂O Project):国际水计划

LSR(Local Storm Report):局地暴雨报告

MAG(the Mesoscale Applications Group):中尺度应用组

MAP(the Mesoscale Applications Project):中尺度应用项目

MCSs (Mesoscale Convective Systems):中尺度对流系统

MEaPRS(MCS Electrification and Polarimetric Radar Study):中尺度对流系统起电和极化雷

达研究

NEXRAD(the Next Generation Weather Radar):下一代天气雷达

NLDN (National Lightning Detection Network):国家闪电探测网

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration):美国国家海洋和大气局

N—AWIPS (multiple National Center Advanced Weather Interactive Process System):多种国家中心先进的天气交互处理系统

NSSL(the National Severe Storms Laboratory):美国国家强风暴实验室

NWS (the National Weather Service):国家天气气象局

OWC(the Oklahoma Weather Center):俄克拉荷马天气中心

PRE—STORM(the Preliminary Regional Experiment for STORM—Central)雷暴中心初级区域试验

RUC—2(the Rapid Update Cycle, version 2):快速更新循环 2 版

SPC(the Storm Prediction Center):雷暴预测中心

SREF(Short—Range Ensemble Forecast):短期集合预报

SSA(Science Support Area):科学支持领域

USWRP (the U. S. Weather Research Program):美国天气研究计划

VORTEX—94/95(the 1994—95 Verification of the Origin of Rotation in Tornadoes Experiment):1994~1995 龙卷风试验——旋转起因的确定