

# 研发中的美国强天气（龙卷、大冰雹和局地强降水）预报系统FACETs

杜钧 薛明

美国强风暴实验室（NSSL）正在研发的FACETs系统预报对象包括龙卷、大冰雹和局地强降水，这套系统把预报信息同社会影响、人的心理行为和经济效益等学科相结合，把预报信息转化为同用户直接相关的问题。

目前，美国气象局的龙卷预警系统是基于观测的，即当雷达已经看到有强天气的早期迹象或已观测到强天气现象，才运用短临预报方法外推发布预警。但因龙卷等强天气变化快、生命期很短，所以这种基于观测的预警系统可用时效很短，如目前对龙卷的预警只能提前13 min左右，并且预报是确定性的，即只有出现或不出现龙卷的二分预报，而没有该预报的可信度度量。为了延长预报时效，目前正在研究试验的是“基于（数值）预报的预警（Warn on Forecast, WOF）”（图1）<sup>①</sup>，目标是争取能提前30~60 min预报出龙卷形成的地点、强度、移动方向和路径等，并且定量给出这一预报可信度（概率）的时空分布，以适用于更广泛的用户群，同时这一预报同最新的观测资料（包

括爱好龙卷的“追风者”实时从现场传回的信息）进行比较并订正，这样的预报会在数分钟后不断快速地更新。如图1所示，要实现这个目标的关键技术包括对流尺度的数值预报模式、雷达观测资料同化能力、模式运算快速更新的能力（如每间隔10 min积分一次）、快速更新风暴（雷暴）尺度集合预报系统和实时的精细观测技术（包括短临预报方法）。

以WOF为核心预报技术加上行为科学（考虑心理、社会和经济因素的决策），美国国家海洋和大气管理局（NOAA）下属的美国强风暴实验室（NSSL）正在研发下一代强天气预警系统“对环境潜在危险的全方位预报系统”（Forecasting a Continuum of Environmental Threats, FACETs, 图1）<sup>②</sup>，预报对象包括龙卷、大冰雹和局地强降水，并且这套系统把预报信息同社会影响、人的心理行为和经济效益等学科相结合，把预报信息转化为同用户直接相关的问题，如：这一风暴会影响我吗？风暴已造成多大损失？最坏会是什么结果？什么时间开始影响、什么时间结束？预报有多可信？我该做什么？所以预报员可以用它来发布面向用户的、能被用户所理解的预报信息。这个系统包括七大部分（图2）：危险天气预报概率的网格点资料、观测包括气候和指导预报、预报员意见、处理网格资料的强天气软件包工具、可供用户直接决策的预报信息输出、用户应该采取的有效行动指南、事后检验。

FACETs同美国国家气象局正在实施的总体计划“对紧急天气事件时刻有防范的社会”（Weather Ready Nation, WRN）<sup>③</sup>理念一致、互相匹配。FACETs的研发也紧密与实践相结合，它有一个非常有效的试验平台，即NOAA的“危险性天气试验基

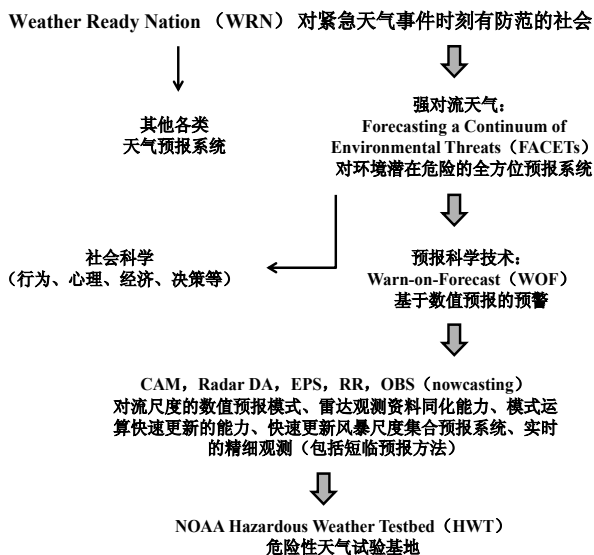


图1 研发中的基于WOF为核心预报技术的美国强天气（龙卷、大冰雹和局地强降水）预报系统FACETs以及与其他项目的关系示意图

① <https://www.nssl.noaa.gov/projects/wof/>。

② <https://www.nssl.noaa.gov/projects/facets/>。

③ <https://www.weather.gov/wrn/>。

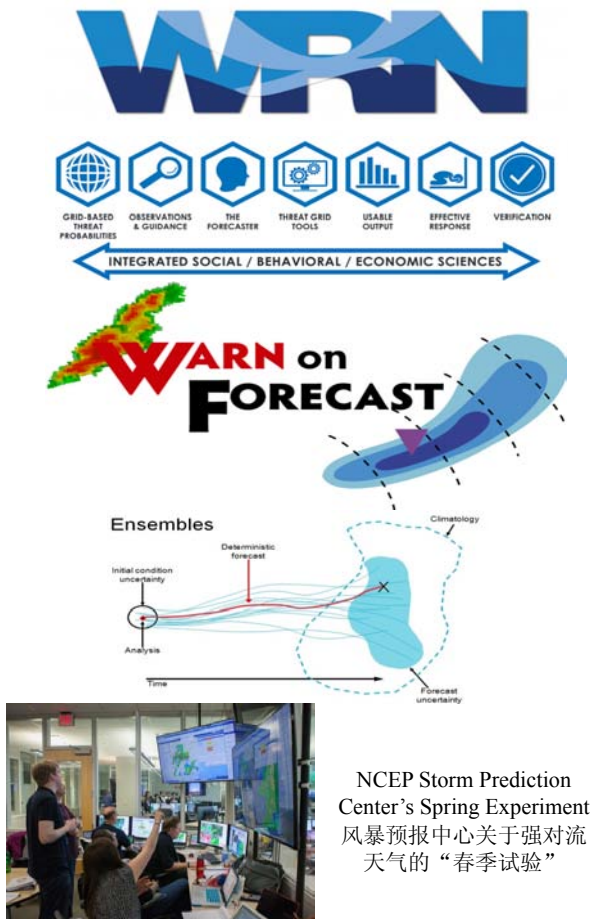


图2 同FACETs有关的各种项目标识图徽  
(来源: www.nssl.noaa.gov)

地” (Hazardous Weather Testbed, HWT)<sup>①</sup>, 帮助它在实时业务环境中边研发边应用, 这样可以不断检验效果、根据预报员的反馈意见进行改进。每年春季(4—5月), 美国国家环境预报中心(NCEP)的风暴预报中心(Storm Prediction Center)会进行关于强对流天气预报的“春季试验”<sup>②</sup>来测试和FACETs有关的技术和产品, 如近几年主要集中在对流尺度模式(convection-allowing model, CAM)和雷暴尺度集合预报(storm-scale ensemble)的应用和检验。参加人员除了业务预报员外, 还有预报系统开发人员、

研究所和大学的研究员和教授, 以及其他国家数值预报研发专家等。图1~2大致勾画出了这一关系。除了对流天气, NOAA的HWT还在NCEP的天气预报中心(Weather Prediction Center)进行冬季天气试验(1—2月)、局地强降水试验(6—7月)<sup>③</sup>和在航空天气预报中心(Aviation Prediction Center)进行航空天气预报的夏季试验(8月)<sup>④</sup>, 所有这现行的四个试验都以集合预报系统和产品为中心, 可见美国预报员已经把如何对待天气预报中的不确定性作为改进天气预报服务的重心。如何在决策中正确考虑天气预报的不确定性也是WRN建设的关键。

对流尺度数值模式对龙卷的模拟能力近年也有长足的进步。图3是美国俄克拉荷马大学薛明教授领导的团队用水平分辨率为 $25\text{ m} \times 25\text{ m}$ 的ARPS (Advanced Regional Prediction System) 模式所模拟的凝结云的三维图像, 云底的超级龙卷清晰可见。



图3 水平分辨率为 $25\text{ m} \times 25\text{ m}$ 的ARPS模式所模拟的凝结云三维图像(图由Pittsburgh超算中心的Greg Foss先生提供)

致谢: 本文图2、图3, 及本期封面素材分别由NOAA及Pittsburgh超算中心的Greg Foss先生提供, 特此感谢!

(作者单位: 杜钧, 美国国家海洋和大气管理局国家环境预报中心; 薛明, 俄克拉荷马大学气象学院和风暴预报分析中心)

① <https://hwt.nssl.noaa.gov/>。

② [https://hwt.nssl.noaa.gov/spring\\_experiment/](https://hwt.nssl.noaa.gov/spring_experiment/)。

③ <http://www.wpc.ncep.noaa.gov/hmt/experimentsummaries.shtml>。

④ <https://testbed.aviationweather.gov/>。