

**基于气象雷达等多源资料预报预警
业务系统建设（三期）**

采购需求书

一、项目建设目标

基于气象雷达等多源资料预报预警业务系统建设（三期）项目是基于一期、二期工程的基础上，建设和推广支持国家级和国省协作的新一代短临预报预警系统（SWAN3.0），强化对易发灾害地区双偏及大城市区 X 波段雷达资料的预警技术落地，实现覆盖全国区域、短临时效的智能报警、智能检验功能，开展国省协作短临预报业务试验，支持短临算法对接天擎系统，促进 SWAN3.0 发布版的业务试用，进一步提升我国短时临近天气预报预警业务能力。

二、需求一览表

序号	设备名称	规格	数量	交货期	交货地点
1	大城市短临监测预警系统		1	合同签订后18个月内交货	国家气象中心
2	短临网格监测预报产品显示评估系统		1	合同签订后18个月内交货	国家气象中心
3	智能监视预警平台升级		1	合同签订后18个月内交货	国家气象中心
4	基于天擎的短临算法加工系统及客户端升级		1	合同签订后18个月内交货	国家气象中心

三、建设内容和规模

3.1 大城市短临监测预警系统

在小区域内，发展以大城市精细化监测预警为特色的短临预报系统，补充 SWAN 系统中缺乏的双偏雷达龙卷 TDS 特征监测产品，引入多雷达风场反演技术，加强 AI 深度学习回波外推产品升级，改善 3 小时外推效果，重点开发建设针对大小波段融合例如北京等大城市短临监测预警系统。该系统由基于多波段雷达的大城市短临监测预警系统、基于单站的大城市精细化短临监测预警算法改造系统、复杂地形下天气雷达回波衰减订正和降水估测系统等分系统建设组成。通过引进、集成双偏振以及 X 波段等精细化雷达监测监测及预报产品，增强大城市地区的强对流短临时段的监测预警能力。在此基础上，开展新旧 SWAN 算法的小区域改造升级工作，适应小区域精细化的快速响应计算。具体功能需求见下表：

序号	主要分系统	规格要求
1	TDS 龙卷、冰雹与中气旋监测分系统	单部雷达输入质控后的基数据运行时间小于 1min
2	多雷达区域风场反演分系统	200*200*15 格点区域输入质控后的 CAPPI 格点数据反演时间小于 2min
3	X 波段与 S 波段雷达融合分系统	单雷达运行时间<1min, 实现 S 波段雷达为参考的系统偏差分系统衰减订正；实现 S 波段雷达为约束的 X 波段相态识别、降水估计；实现 X 波段雷达观测量及反演产品的组网。实时业务运行时间<1min
4	大城市新旧 swan 算法快速响应改造升级分系统	单站雷达 swan 算法运行时间不多于 6 分钟

3.2 短临网格监测预报产品显示评估系统

开发建设短临网格监测预报产品显示评估系统。该系统主要由强对流实况格点产品、强对流短临预报产品、基于智能格点预报产品对比分析、格点临近预报产品实时检验评估和显示检验评估和显示等模块组成。通过建设短临网格监测预报产品显示评估体系，建设快速更新的分类强对流智能网格监测和预报产品，实现强对流短临预报对下指导并给出主客观评估。具体功能需求见下表：

序号	主要分系统	规格要求
1	智能网格产品对比分析系统	网格产品包括多中尺度模式、网格化强对流实况、强对流历史格点库及网格预报产品的综合快速调阅，多分屏功能，单点预报融合提取技术。
2	网格产品检验评估分系统	实现中尺度模式以及短临预报产品的实时评分并交互显示

3.3 智能监视预警平台升级

升级建设智能监视预警平台。该系统主要由国省协作、区域精细化多源资料显示、地理信息增强显示、短临数据环境提升、强对流历史格点库、基于对象的智能报警区域算法、智能网格产品单点预报融合提取技术、强天气个例等 8 类 32 个模块组成。基于大数据云平台、SWAN 短临数据环境，升级建设智能监视预警平台，继续完善实况数据的获取效率和质量控制，实现 SWAN3 新产品检验、预警落区识别和追踪等功能，并与省级短时临近天气预报业务系统有效衔接，为上下级业务同步联动、产品实时共享、预警发布一致性提供支撑。具体见下表：

序号	主要分系统	规格要求
1	国省协作	实现国省协作消息的显示
2	区域精细化多源资料显示	x 波段组网产品以及小区域 swan 产品的综合显示，响应时间小于 3s
3	地理信息增强显示	精细化地理信息、三维雷达拼图调阅显示
4	短临数据环境提升	对接科研等试验短临算法，具备示范应用功能
5	强对流历史格点库	通过调阅历史库，显示强对流指数。实况等异常值
6	智能报警区域算法	实现未来短时时效的强对流自动报警
7	智能网格产品单点预报融合提取技术	实现单点实况及预报调阅，响应时间小于 5s

3.4 基于天擎的短临算法加工系统及客户端升级

升级建设基于天擎的短临算法加工系统及客户端。该系统由基于天擎的短临算法调度管理系统、SWAN3.0 客户端系统升级、基于多源资料的短临产品加工系统等 3 个分系统建设组成。该系统全面对接天擎系统,基于气象大数据云平台加工流水线开展 SWAN3 系统升级,开展基于 MICAPS4 的强对流天气短时预报交互分析制作平台升级,兼容双偏振和 X 波段雷达的交互调用,实现多源资料的诊断分析及国省两级短时预报的制作、发布、共享、互通等功能。

序号	主要分系统	规格要求
1	基于天擎的短临算法调度管理系统	实现 SWAN 相关算法对接天擎,数据来源大数据云平台、算法进入加工流水线;以众创接口形式融入自动站查询、报警查询、分钟预报和模式实时裁剪接口
2	深度学习回波外推分系统	1.输出雷达回波 0-3 小时预报产品 2.0-2 小时内比现有的主流模型(如 MotionRNN)在高回波强度(>45dbz)上邻域法 CSI 评分提升 10%
3	国省协同功能分系统	运用 kafka 消息中间件架构,实现国省消

		息互通功能,并在国省短时协同试验的提供支持
4	客户端交互功能升级	采用 B/S、C/S 混合架构技术,实现对现有交互模块的升级,提升客户端响应效率和用户体验
5	X 波段雷达的业务对接模块	开发 X 波段雷达数据解码库,实现对 X 波段雷达高效渲染,支持对数据进行二维、三维剖面分析。
6	实时检验模块	开发强对流检验结果实时展示功能,支持用户选取任意时段、任意范围,快速生成检验结果并以图形、图片等可视化方式进行展示

四、详细功能要求

4.1 大城市短临监测预警系统

4.11 TDS 龙卷、冰雹与中气旋监测分系统

龙卷 TDS 监测:

自动识别算法是利用模糊逻辑算法,利用双偏振雷达参量对龙卷卷起的地面杂物进行自动识别的算法,该算法同传统仅使用径向速度识别相比,可以更准确地对龙卷进行识别。

(1) 预处理,主要是将雷达质控后的基数据转化为算法输入需要用到的参量,包括径向速度方位切变 AS、比差分相移标准值 SD(PHIDP)、反射率 Z、差分反射率 ZDR 和相关系数 CC 等。

(2) 模糊化,主要是将输入参量进行转换成具有相应隶属度的模糊集合,隶属函数采用不对称梯形函数表示。

(3) 规则推理,主要是根据输入的变量带入隶属函数,计算不同输入变量对应不同类型回波的隶属函数值。

(4) 合成,主要是对不同输入变量的隶属函数值进行加权,

计算得到不同类型回波的概率。

(5) 退模糊，主要将计算得到的概率转化为回波类型，概率最大的作为最终识别结果进行使用。

(6) 滤波，主要是采用模式滤波将识别结果进行滤波处理，减少噪音信号带来的识别不确定性。

冰雹监测：

基于风暴识别计算冰雹指数和概率，综合使用冰雹概率、VIL 及其密度、最大反射率因子分 2 个距离档进行冰雹识别。

(1) 使用 SCIT (Storm Cell Identification and Tracking) 算法识别风暴单体，但对其中的反射率因子阈值进行了调整，只使用了 6 个反射率因子阈值，分别为 60、55、50、45、40、35 dBZ，其目的是为了提**高**强风暴单体的识别率。

(2) 对于识别出来的风暴单体，如果其 VIL 值小于 5 kg m^{-2} 则被舍弃，余下的风暴单体用 VIL 值从大到小排序，用字母 A-Z 加数字 0-19 (比如 A0, B19) 标记识别出来的风暴单体。

(3) 基于移动路径最短原则对相邻体扫时次的风暴单体进行匹配，其中使用最大反射率因子、风暴单体底高、移动速度和方向作为约束，即相邻体扫时次的同一风暴单体的最大反射率因子的变化不能超过 12 dBZ，移动速度不能超过 120 km h^{-1} ，移动方向与前一体扫时次所有风暴单体的平均移动方向的偏差不能大于 60° ，底高变化不能超过 2 km。在匹配过程中，对风暴合并和分裂进行了处理。如果当前时次的 1 个风暴单体同时匹配上上一时次的 2

个风暴单体，即出现风暴合并，那么把最大反射率因子变化小的前一时次的风暴单体的标号赋给当前时次的合并单体，前一时次的另一个单体就被认为消散了；如果当前时次的 2 个风暴单体同时匹配上前一时次的同一个单体，即出现了风暴分裂，则把前一时次的风暴单体序号赋给当前时次最大反射率因子变化小的风暴单体，另一个单体当成新生单体，赋予新的标号。

(4) 基于大量个例统计分析结果，结合 Z_{max} 、VIL、VILD 和 POSH 四个量来识别冰雹，方法如下：对于距离雷达 15km 范围内的风暴，VILD 大于给定阈值（缺省值为 $6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ ），最大反射率因子大于给定阈值（60dBZ）时，被判定为有冰雹。对于距离雷达 15km 以外的风暴，当 Z_{max} 大于给定阈值（58dBZ）、VIL 大于给定阈值（缺省值为 $30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ ）且冰雹概率 POSH 大于给定阈值 1（缺省值为 50）或大冰雹概率大于给定阈值 2（缺省值为 60）被判定为有冰雹。

中气旋监测：

中气旋自动识别算法首先采用二维局地 LLSO 方法计算径向速度的方位涡度切变，然后使用类似 SCIT 的算法进行三维正方位涡度区的识别。通过识别正方位涡度区而不是沿方位的速度递增区域来确定中气旋，可以避免速度质量和速度自然脉动对识别的影响。使用多个阈值 10、20、30、40、50、 $60 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ，目的是为了准确找到强方位切变区。识别三维正方位涡度区后，使用尺寸、垂直伸展厚度判据确定识别的中气旋，最后使用基于反射率因子识别的

风暴位置对错误识别的中气旋进行消空处理。记录中气旋的诸多特征参量，如斜距、最大旋转速度、最大拟合计算和差分计算的方位切变（或方位涡度）及其所在高度、最低 2 个仰角的旋转速度和方位切变、最大和最小反射率因子等。

(1) 方位涡度切变的计算

(2) 中气旋识别算法

(3) 中气旋识别算法与 SCIT 算法类似，区别在于中气旋识别处理的是极坐标径向速度的三维方位涡度切变数据。中气旋识别算法也分 3 个部分进行，分别为一维正方位涡度段、二维正方位涡度分量和三维正方位涡度区的识别。

(4) 当一个仰角的最后一根径向被处理完后，基于空间邻近原则，正方位涡度段被合并为二维的正方位涡度分量。相邻段的合并需满足 2 个标准：一是 2 个段的方位差小于方位间隔阈值（缺省值为 1.5° ），二是 2 个段在径向上的重叠距离要大于段重叠阈值（缺省值为 0.45 km ）。一个二维正方位涡度分量包含的正方位涡度段的数量必须大于段数阈值（缺省值为 2），其面积要大于分量面积阈值（缺省值为 1 km^2 ）。为了提取最强正方位涡度区的信息，如果高阈值（比如 $40 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ）的正方位涡度分量的中心落在低阈值（比如 $30 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ）正方位涡度分量面积内，那么低阈值的正方位涡度分量被丢弃。

(5) 当完成所有仰角的二维正方位涡度分量识别后，对正方位涡度分量按质量（各库的正方位涡度值与对应库面积的乘积之和）

大小排序，之后进行垂直关联。每个被识别的三维正方位涡度区至少包含连续仰角的 2 个正方位涡度分量。垂直关联是从最低仰角开始的一个反复过程。首先垂直关联相邻仰角的分量中心距离小于 2.5 km 的正方位涡度分量，如果有多个分量可以关联，那么只选择质量最大的那个分量进行关联。如果第一次垂直关联结束后还有未被垂直关联的正方位涡度分量存在，那么把搜索半径增加到 5 km，对未被垂直关联的所有正方位涡度分量重复上面的步骤。如果第二次垂直关联结束后仍然有未被垂直关联的正方位涡度分量存在，那么把搜索半径增加到 7.5 km 后再次重复上面步骤进行第 3 次垂直关联。这个过程在所有相邻仰角执行后形成三维正方位涡度区。最后，把三维正方位涡度区按垂直积分正方位涡度大小排序。

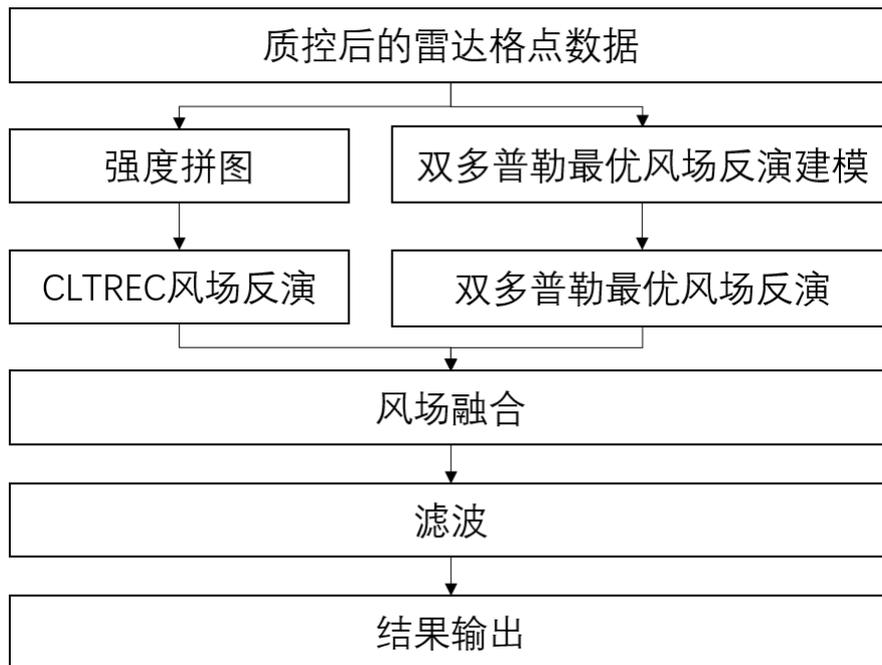
(6) 有时被识别出的三维正方位涡度区与强风暴无关联，而是因径向速度资料质量问题或其它原因导致的误判。为此，算法使用基于反射率因子数据识别的强风暴单体位置对误判的三维正方位涡度区进行消空处理，当以一个三维正方位涡度区的质心位置为中心的 5 km 半径范围内有强风暴存在时，该三维正方位涡度区才能被保存为中气旋。

(7) 对于每一个识别出来的中气旋，算法计算并保存了多个参量，其中包括位置（方位和斜距）、底高、顶高、最大方位涡度值及其所在高度、最大最小速度差（旋转速度）和距离（可用于计算差分方位切变）等。

4.12 多雷达区域风场反演分系统

区域组网风场反演利用强度拼图进行大范围的 CLTREC 风场反演，然后针对有多个雷达覆盖的区域，利用最优的两部雷达进行双多普勒风场反演，最后将二者进行融合，获取大范围的高精度组网风场反演结果。

具体流程如下：



(1) 强度拼图，主要是将多个雷达数据进行强度拼图，获取强度的三维格点拼图。

(2) CLTREC 风场反演，主要是基于强度拼图，采用 CLTREC 风场反演技术，获取大范围的水平风场。

(3) 双多普勒最优风场反演建模，主要是指通过参与雷达的空间分布，计算每个反演格点所选用的两部雷达。

(4) 双多普勒最优风场反演，主要是根据建模结果，选用对应两部雷达数据进行双多普勒风场反演。

(5) 风场融合，主要是将 CLTREC 风场反演结果和双多普勒

最优风场反演进行融合，获取大范围高精度组网风场反演结果。

(6) 滤波，主要是将反演结果中的异常值进行滤除，输出更平滑和连续的风场反演结果。

4.13 X 波段与 S 波段雷达融合分系统

(1) X 波段雷达数据质量控制模块。建立 S 和 X 波段 ZH 和 ZDR 的转化关系，在考虑 Mie 散射影响情况下，以 S 波段雷达回波强度为“标准”，建立基于 X 波段雷达组网 ZH、ZDR 雨区衰减订正方法和天线水膜影响订正方法；分析评估质量控制和偏差订正后的大小雷达网回波强度的差异。

(2) S 波段雷达数据质量控制模块。S 波段雷达数据质量控制模块主要功能是雷达数据预处理、偏差订正等。

(3) 大小雷达三维回波强度融合模块。通过构建 X 和 S 波段三维反射率转换模型、S 波段三维雷达反射率场分钟级外推等方法，雷达数据的空间插值方法，建立大小雷达的高时空分辨率回波强度拼图方法，以减小大雷达网低空覆盖不足、时空分辨率粗和小雷达网衰减和强降水漏测等影响，发挥大小雷达的优势。

(4) S 和 X 波段双线偏振雷达降水粒子相态识别模块。X 波段双线偏振雷达降水粒子相态识别模块主要功能是利用模糊逻辑方法或者模糊逻辑方法识别降水粒子相态。

(5) 中气旋和 TVS 组网模块。用单部大小雷达 M 和 TVS 二次产品数据，研究组网方法，通过空间匹配，分析出虚假结果，最

终形成大小雷达网组网的 M 和 TVS 识别产品和相关的参数。

(6) 对流单体回波强度宏观特征参数提取模块。利用对流单体跟踪方法，计算对流单体的位置、空间范围、最大回波强度、最大回波强度高度、回波顶高、液体含水量等参数。

(7) 对流单体冰雹和霰宏观参数提取模块。相态识别产品，计算霰和冰雹体积、最大高度和最低高度等参数。

(8) 中气旋和 TVS 与对流单体匹配模块。根据对流单体与中气旋和 TVS 的位置关系，把每个中气旋和 TVS 与对流单体对应起来，并计算重要参数。

(9) 大风识别和预警模块。用组网的 M、TVS 和对流单体的宏观参数（如最大回波强度、回波顶高、液态含水量、ZDR 柱和 KDP 柱及其这些参数随时间的变化），建立对流大风识别预警方法。

(10) 产品发布模块。产品发布模块主要功能是快速制作强度流预报预警产品，并推送。

(11) 双偏振雷达数据接入模块。基于天擎数据接口，实现双偏振天气雷达数据的快速实时获取，格式转化以满足后续数量质量控制和产品生成的要求。

(12) 双偏振雷达数据质量控制模块。实时对双偏振雷达资料进行评估分析，获取雷达的数据质量控制参数，并在此基础上对雷达资料进行质量控制，包括非气象回波滤除、偏振参量系统偏差订正、衰减订正、低信噪比订正、速度退模糊等，为后续产品生成提供高可靠的雷达基数据。

(13) 灾害性大风识别产品生成模块。基于龙卷、下击暴流等灾害性大风天气的双偏振参量特征，以及 DVAD 技术获取的径向速度场特征，对龙卷、下击暴流等灾害性大风天气进行自动识别，支撑强对流大风天气监测分析和自动报警。

(14) 复杂地形遮挡对天气雷达反射率影响评估模块。基于历史雷达和自动雨量站观测，自动评估出复杂地形下地形对各仰角层的反射率的地形遮挡影响，区分出地形完全遮挡区域和地形部分遮挡存在反射率衰减区域。

(15) 双偏振雷达雨滴谱反演模块。结合地面雨滴谱观测数据，利用双矩排列平均处理(SATP)方法建立各区域基于约束 γ 分布的双偏振雷达雨滴谱反演方法，并建立复杂地形下的 KDP 与降水的偏振量降水估测关系、复杂地形下反射率因子与降水的 Z—R 关系。

(16) 复杂地形下的天气雷达垂直反射率因子廓线订正模块。针对受地形部分遮挡导致回波衰减区域进行反射率订正处理。该模块利用差分相位不受降水对电磁波能量衰减的影响这一特性进行衰减订正，通过质控对去除偏振量杂波信息；然后通过和雨区内降雨廓线和差分传播相位廓线比较，通过迭代求解出地形遮挡区域最优的衰减订正系数，进而实现受部分地形遮挡影响区域的反射率衰减订正。

(17) 基于区域垂直反射率因子廓线修正降水估测模块。针对地形部分遮挡区域，在垂直反射率因子廓线订正的基础上，通过全

局与区域最优拟合的垂直反射率因子廓线获取近地面最优反射率。针对地形完全遮挡区域,通过联合地面自动雨量站资料和区域平均垂直反射率因子廓线估测修正后的最优反射率。

(18) 复杂地形下的多源融合降水估测。将基于区域垂直反射率因子廓线修正降水估测结果和区域(无地形遮挡和部分地形遮挡区域)的 KDP 降水估测结果按最优权重系数进行融合,生成多源融合定量降水估计。这里,最优权重系数基于复杂地形下的历史强降水个例统计获得。

(19) 产品检验和评估模块。产品检验和评估模块主要功能是通过降雨估测格点产品和地面雨量站的均方差,偏差、相关系数等比较评估出反演结果的精度、合理性以及系统订正效果。

4.14 大城市新旧 SWAN 算法快速响应改造升级分系统

(1) 多源资料快速更新处理模块。开发基于雷达资料天擎引擎数据接口,接入 SWAN 算法调度服务器,实现雷达拼图、识别和外推预报的等数据产品的实时快速更新。

(2) 标准输入输出接口模块。构建统一的输入输出数据接口,简化算法的数据输入输出,提高公用代码的共享。

(3) 标准算法接入接口模块。为外接算法以及客户端提供标准的数据调用接口,基于线程安全设计,保证为其他算法提供独立的单部雷达原始基数据调用接口、单部雷达质控后数据调用接口、多部雷达拼图调用接口等,使得用户算法不需要直接针对雷达数据

文件进行读写，避免并行冲突。

(4) 本地新算法接入模块（短临）。基于本地天气、气候特征研发强对流监测预警算法，并按照标准算法接入接口标准接入系统。

(5) 本地新算法接入模块（识别）。基于本地天气、气候特征研发强对流监测预警算法，并按照标准算法接入接口标准接入系统。

(6) 本地新算法接入模块（短时）。基于本地天气、气候特征研发强对流监测预警算法，并按照标准算法接入接口标准接入系统。

(7) 算法依赖检测模块。确认外接新算法的上下文接入逻辑，给出新接入算法的流程编排接入语义接口，并实现算法的流程接入的可插拔设计。

(8) 算法本地优化模块（大风）。基于本地天气、气候特征，对已有算法进行本地化优化改造。

(9) 算法本地优化模块（冰雹）。基于本地天气、气候特征，对已有算法进行本地化优化改造。

(10) 算法本地优化模块（雷暴）。基于本地天气、气候特征，对已有算法进行本地化优化改造。

(11) 算法本地优化模块（强降水）。基于本地天气、气候特征，对已有算法进行本地化优化改造。

(12) 云平台接入模块（雷达算法）。针对核心算法改造并符合大数据云平台加工流水线要求，并最终融入云平台统一管理。

(13) 云平台接入模块（模式算法）。针对核心算法改造并符合大数据云平台加工流水线要求，并最终融入云平台统一管理。

(14) 算法流程控制模块。基于算法集成模块的算法调度队列，进行不同算法流程的编排，实现多算法产品的流程生成及产品集成。

(15) 算法集成调度模块。实现算法的后台管理调度，包括进程队列管理、数据轮询触发检测、系统日志监控、实时预警推送以及资源分配。其中队列管理保证算法队列的正常开始结束并维护队列资源，数据轮询触发检测根据系统数据更新情况进行定时、不定时轮询并检测触发算法队列，系统日志监控记录并监控系统的正常及非正常情况，实时预警推送将关键预警信息实现客户端的实时推送，资源分配保证系统资源的正确分配以便在规定的时间内完成任务队列算法任务。

(16) 外接算法管理模块。在不改变系统框架的基础上以外接扩展程序的方式，将新算法加入系统中，并符合系统的调度、流程编排、IO 接入规则。

(17) 服务配置管理模块。基于 B/S 对服务管理后台系统进行配置，包括各种参数设置，输入输出配置、元数据配置及元算法配置等。

(18) 服务监控模块。针对服务管理系统运行的监控管理，提供历史运行信息、消息响应等。

(19) C/S 架构调试及研发客户端。开发一款基于 C/S 架构的客户端平台，提供算法开发者调试及研发交互系统客户端。

(20) B/S 业务客户端。开发一款基于 B/S 架构的客户端平台，提供产品业务交互系统客户端。

(21) 历史产品生成模块。实现历史产品的批量生成功能，为后续的科研及详细分析提供历史数据集。

(22) 历史数据调阅查询模块。实现历史数据、历史产品的回溯、调阅和查询。

4.2 短临网格监测预报产品显示评估系统

开发建设短临网格监测预报产品显示评估系统。该系统主要由强对流实况格点产品、分类强对流识别产品、深度学习分类强对流短临预报产品、基于配料法的分类强对流短临预报产品、强对流融合短临预报产品、基于智能格点预报产品对比分析、格点临近预报产品实时检验评估和显示、格点临近预报产品实时检验评估和显示、格点短时预报产品实时检验评估和显示等 8 个模块组成。通过建设短临网格监测预报产品显示评估体系，建设快速更新的分类强对流智能网格监测和预报产品，实现强对流短临预报对下指导并给出主客观评估。

(1) 强对流实况格点产品模块。高时空分辨率的强对流实况分析和显示。

(2) 分类强对流识别产品模块。基于雷达的下击暴流、龙卷、冰雹等强对流天气识别产品。

(3) 深度学习分类强对流短临预报产品模块。基于深度学习的回波预报、降水预报、雷暴大风和冰雹短临预报产品。

(4) 基于配料法的分类强对流短临预报产品模块。基于中尺度模式的回波、降水、雷暴大风和冰雹的短临概率预报产品。

(5) 强对流融合短临预报产品模块。基于多成员的融合回波预报和降水预报的短临概率预报产品。

(6) 基于智能格点预报产品对比分析模块。提供格点产品的时序分析、统计模块、多家同类产品的四分屏、对比分析模块。

(7) 格点临近预报产品实时检验评估和显示模块。0-2h 分类强对流天气的实时定量评估和显示。

(8) 格点短时预报产品实时检验评估和显示模块。2-12h 分类强对流天气的实时定量评估和显示。

4.21 智能网格产品对比分析系统

(1) 数据实时处理和接入

从“气象大数据云平台”获取高时空分辨率的强对流实况数据，包括高空和地面数据，对数据进行解析并存储到 redis 内存数据库中，并提供 rest 数据请求接口服务。

(2) WEBGIS 地图服务

基于 WEBGIS 显示，地形地图、行政地图、卫星地图、行政点、行政边界、河流信息等。支持各气象数据叠加显示，支持地图缩放、移动等基本操作功能。

(3) 高空格点实况显示

高空格点实况显示，基于 WEBGIS 叠加显示格点实况各高度层气象要素，显示要素包括：气温、风、垂直速度、比湿、高度。风场显示方式支持填色、流线和风向杆，其他要素支持以填色图方式显示。

(4) 地面格点实况显示

地面格点实况显示，基于 WEBGIS 叠加显示地面气象要素，显示要素包括：一小时累计降水、2 米露点温度、2 米温度、站点气压、相对湿度、海平面气压、云顶高度、云底高度、对流有效位能和 10 米风。风场显示方式支持填色、流线和风向杆，其他要素支持以填色图方式显示。

(5) 基于智能格点预报产品对比分析

①数据实时处理和接入

从“气象大数据云平台”获取智能格点预报产品，对产品进行解析、入库处理，并提供数据请求接口服务。

②WEBGIS 地图服务

基于 WEBGIS 显示，地形地图、行政地图、卫星地图、行政点、行政边界、河流信息等。支持各气象数据叠加显示，支持地图缩放、移动等基本操作功能。

③任意点时效分析显示

加载的智能格点预报要素，用户点击选取任意点，后台接口获取智能网格数据，以时序图方式显示未来预报。温度等要素以折线图方式显示，降水量以柱状图方式显示。

④极值统计显示

极值统计显示，对加载的要素（气温、降水）进行极值统计，并以填色图方式进行显示。

⑤降水累加显示

降水累加显示，设置预报时间段内降水量进行累加计算，并以填色图方式进行显示。

⑥单时次多模式四分屏对比显示

对多模式同一预报时次，根据用户选择的预报模式，加载同一预报时次数据，基于 WEBGIS 进行四分屏填色显示。四分屏显示支持地图移动和缩放显示功能。

⑦多时次多模式六分屏对比显示

对多模式多预报时次，根据用户选择的预报模式，加载多时次 y 预报数据，基于 WEBGIS 进行六分屏填色显示。六分屏显示支持地图移动和缩放显示功能。

4.22 网格产品检验评估分系统

格点临近预报产品实时检验评估和显示

(1) 数据实时处理和接入

从“气象大数据云平台”获取智能格点预报产品和格点实况数据，对产品进行解析、入库处理，并提供数据请求接口服务。

(2) 格点临近预报产品实时检验

依据格点预报检验方法，实时对格点临近预报产品进行实时检验，并生成检验结果，提供检验结果查询统计接口。

(3) 格点临近预报检验结果显示

格点临近预报检验结果显示，支持表格显示和柱状图显示方式。检验要素包括：雷暴、短时强降水、雷暴大风和冰雹、强对流。检验

指标包括：TS 评分、空报率、漏报率。

格点短时预报产品实时检验评估和显示

(1) 数据实时处理和接入

从“气象大数据云平台”获取智能格点预报产品和格点实况数据，对产品进行解析、入库处理，并提供数据请求接口服务。

(2) 格点短时预报产品实时检验

依据格点预报检验方法，实时对格点短时预报产品进行实时检验，并生成检验结果，提供检验结果查询统计接口。

(3) 格点短时预报检验结果显示

格点短时预报检验结果显示，支持表格显示和柱状图显示方式。检验要素包括：雷暴、短时强降水、雷暴大风和冰雹、强对流。检验指标包括：TS 评分、空报率、漏报率。

4.3 智能监视预警平台升级

4.3.1 国省协作

(1) 基于 BS 的国省互动消息交互协议设计。实现互动通信内容的消息头、消息体、安全方面的设计。

(2) 可疑气象观测的国省互动。出现可疑观测时进行国省互动流程。

(3) 预警发布提醒的国省互动。出现预警信号发布不及时的国省互动。

(4) 短时预报产品的国省互动。短时预报产品发布过程中的国省互动。

(5) 国省互动全流程追踪。查看历史和当前的国省互动流程中的节点情况。

(6) 全国短临相关的预警信号的显示模块。获取当前有效预警信号，叠加显示，便于提高上下游预警信号的一致性。

4.32 区域精细化多源资料显示

(1) 新观测资料的显示和分析模块。本地 X 波段雷达、相控阵雷达、风廓线雷达等数据的对接显示。

(2) 对接基于单站雷达算法产品数据的显示。基于单站雷达的产品。

(3) 对接省级本地产品的显示。支持二次开发，接入省级产品。

4.33 地理信息增强显示

(1) 空间分析模块。提供预警落区、短时预报产品覆盖人口、经济等信息的分析。

(2) 制图模块。提供短临监测等制图功能。

4.34 短临数据环境提升

(1) 短临监测图片管理和发布。对制图模块产生的图片产品进行管理，支持检索、调阅、发布。

(2) 对接天擎。对接天擎大数据云平台，获取所需的实况、预警等数据。

(3) 完善降水、雷暴大风的质控模块。提高降水、雷暴大风的质控效率。

(4) 质控数据对接模块。将质控模块的可疑信息进入国省互动模块。

4.35 强对流历史格点库

(1) 基于 CRA 再分析资料的处理。基于 CRA 再分析资料的数据获取、解析。

(2) 基于 CRA 的探空物理量计算。基于 CRA 的探空数据分析模块。

(3) 单点物理量的的气候态计算。物理量的气候值分析。

(4) 基于强对流基本气候态数据的检索模块。提供任意位置的对流参数的的气候态数据查询和显示。

(5) 降水重现期智能报警模块。降水重现期计算、top 排序的报警。

(6) 大风的基于历史排位报警。top 排序报警。

(7) 根据物理量计算强天气落区。基于物理量参数的的气候极端性，计算关注落区。

4.36 基于对象的智能报警区域算法

(1) 优选预警目标对象功能模块。实现基于中尺度数值模式的目标对象提取、追踪。

(2) 实况落区识别模块。基于实况和智能网格预报进行落区识别。

(3) 人口、经济影响评估模块。对强天气落区所产生的人口、经济影响进行评估。

(4) 强降水地形影响模块。对地形造成的强降水落区所产生的面雨量、山洪影响进行评估。

4.37 智能网格产品单点预报融合提取技术

(1) 基于智能网格预报的插值模块。对接智能网格预报，提供多种插值方法，提取任意位置的气象信息。

(2) 插值结果显示模块。提供时序图、表格下载等多种分析方式。

4.4 基于天擎的短临算法加工系统及客户端升级

4.41 基于天擎的短临算法调度管理系统

(1) 基于“天擎”接口的算法改造模块。基于“天擎”接口实现现有 SWAN 算法的改造。使算法具备在天擎指定的 LINUX 操作系统中的运行能力，且可被“天擎”统一调度。完成雷达质控、拼图、运动矢量反演、外推、TITAN、冰雹识别、龙卷识别等算法。

(2) 基于“天擎”的算法部署模块。基于“天擎”统一的硬件资源，实现算法的部署和迭代更新。

(3) 基于“天擎”的加工流水线适配模块。基于“天擎”的加工流水线基础设施，实现短临算法的编组调度，兼顾算法的数据流上下文和算法的运行效率。

(4) DI、EI 信息发送模块。改造算法的日志模块，实现算法的 DI、EI 信息实时发送，具备对接“天镜”的能力。

(5) 算法管理网站框架搭建模块。搭建 SWAN 算法管理网站，

实现网站框架开发、基本的 UI 设计等功能。

(6) DI、EI 信息对接模块。研发 DI、EI 对接模块，实现从“天镜”中拉取与 SWAN 有关的 DI、EI 信息。

(7) 算法管理网站信息监控模块。在算法管理网站中，基于 DI、EI 信息对接模块的拉取结果，显示算法的运行状态，运行日志和错误日志。

(8) 可视化算法配置模块。在算法管理网站中，研发算法的可视化配置模块，具备通过网页进行算法本地化配置的能力。

(9) 可视化算法管理模块。在算法管理网站中，研发基本的算法管理功能，具备算法的启动、停止、强制关闭的能力。

4.42 深度学习雷达回波外推模块

本系统是可满全国 200 余部单站雷达实时处理的短临产品加工流水线系统，雷达等多源数据环境由气象大数据云平台统一管理，部分核心功能包括：

(1) 分布式质控：将全国 200 余部雷达基数据均衡分发至分布式存储，同时利用分布化编程语言重写质控算法，并在集群中启动分布式计算。

(2) 多机 GPU/CPU 共享内存计算系统：雷达外推算法性能要求高，计算量大，即使 GPU 资源有可能也无法保证单节点的执行性能，因此采用多节点分布式计算势在必行，然而多节点的本地存储相互隔离，从而无法实现外推结果的合并与拼图类型数据生成，因此须开发基于共享存储的跨节点分布式计算框架。

(3) 本机多模型调用：机器学习模型通常为二进制文件，需要采用热启动以及专用的语言接口来调用，而前处理系统可能采用不同的语言设计，因此必须设计相应的本机通信机制使得组合反射率等数据准备结束立刻启动相应的计算流程。

(4) 分布式消息服务器：由于雷达数目众多，单节点恐怕无法满足时效性要求，而以 Map-Reduce, Spark 为代表的分布式计算框架又不具备原生的远程启动接口，因此需要采用消息服务器配合相应的流式计算框架和策略实现整套加工体系的运转。

(5) 数据流程中控平台消息监测：基于天镜系统，对产品再加工系统中的数据流传进行消息监控

(6) 数据流程中控平台日志管理：对产品再加工系统中的数据流进行日志管理

4.43 国省协同模块

消息中间件是基于队列与消息传递技术，在网络环境中为应用系统提供同步或异步、可靠的消息传输的支撑性软件系统，利用高效可靠的消息传递机制进行平台无关的数据交流，并基于数据通信来进行分布式系统的集成。通过提供消息传递和消息排队模型，它可以在分布式环境下扩展进程间的通信。

Kafka 是最初由 LinkedIn 公司开发，是一个分布式、分区的、多副本的、多订阅者，基于 zookeeper 协调的分布式日志系统（也可以当做 MQ 系统），常见可以用于 web/nginx 日志、访问日志，消息服务等等。

(1)消息中间件。在国省协同过程中,运用 kafka 消息中间件架构,实现消息的传递,国省产品下发、反馈等功能。

(2)面向省级用户的功能升级。针对省级用户业务场景需求,开发面向省级用户对市县级的指导产品制作发布和消息协同功能。

4.44 客户端交互功能升级

在现有 SWAN 客户端系统中对用户交互模块进行升级改造,制定便捷的数据访问策略,实现对多源数据的快速调阅。加强对历史数据的访问功能,通过时间轴交互,实现对任意时间数据的访问,支持选取时间段,对选取范围内的数据进行动画播放。

(1)数据检索模块。对现有数据检索菜单进行升级改造,面向短临预报预警业务场景需求,提供更加快捷、可定制的数据检索策略和交互方式。

(2)动画播放。基于时间轴开发对历史多源监测实况、核心客观预报等数据的调阅和动画播放功能,并通过改进数据查询和显示策略,提升产品调阅和动画制作功能效率。

(3)分钟预报。优化分钟预报模块,支持降水和反射率双坐标轴显示,叠加闪电、下击暴流、冰雹、龙卷产品。

X 波段雷达具有探测精度高、扫描模式灵活、发射功率小、可远程控制等特点。该雷达不仅能够实现 24 小时全天候观测,而且相比于 S 波段雷达, X 波段雷达具有更高的空间分辨率和更强的对气象目标物的灵敏探测能力。X 波段雷达能够准确捕捉到各类局地中小尺度天气系统的发生发展变化,特别是能够对暴雨、大风、冰雹、龙卷风

等各类灾害性天气开展精细化三维监测，有效揭示其内部结构。这对提升我国短临预报准确率具有十分重要的意义。此次建设将在现有雷达模块中开发 X 波段雷达解码库，对接现有渲染模块，实现对 X 波段雷达的快速解码和应用。

4.45 X 波段雷达的业务对接模块

X 波段雷达具有探测精度高、扫描模式灵活、发射功率小、可远程控制等特点。该雷达不仅能够实现 24 小时全天候观测，而且相比于 S 波段雷达，X 波段雷达具有更高的空间分辨率和更强的对气象目标物的灵敏探测能力。X 波段雷达能够准确捕捉到各类局地中小尺度天气系统的发生发展变化，特别是能够对暴雨、大风、冰雹、龙卷风等各类灾害性天气开展精细化三维监测，有效揭示其内部结构。这对提升我国短临预报准确率具有十分重要的意义。此次建设将在现有雷达模块中开发 X 波段雷达解码库，对接现有渲染模块，实现对 X 波段雷达的快速解码和应用。开发针对 X 波段雷达数据的解码和渲染显示功能，实现对 X 波段雷达的业务支持。

4.46 实时检验模块

在现有强对流检验业务框架基础上，开发检验结果展示模块，以可视化的形式展示自定义区域的实时检验结果。

五、技术性能指标

5.1 稳定性要求

本系统是一个重要的业务运行系统，在软硬件的设计实现上要考

考虑系统长期运行的稳定性和可靠性。软件在运行期间，针对任何一个重要操作，都必须具有判断错误的能力，必要时可以进行恢复性操作，否则要发出报警消息，以便于人工干预。

系统可用性不低于 99.95%，单次故障处理时间应不超过 30 分钟。系统服务器端平均无故障时间 2000 小时以上。

5.2 标准化要求

在操作方式、运行环境、与其他软件的接口以及开发计划等发生变化时，应具有相应的适应能力。

系统遵循开放的标准和技术、标准的软件接口开发，采用集群技术提供高可用性，支持异构平台。

5.3 兼容性要求

系统软件及平台建设应基本保持与前期版本兼容，保留主要的界面布局和操作方式，简化现有模块向新版本框架移植，基础算法以 C/C++/Fortran 实现，便于在气象大数据云平台上的快速移植；用户界面及交互操作使用 C#实现，便于利用客户端框架进行功能实现。

5.4 可维护性要求

系统软件架构设计应便于软件升级，在不对软件进行大幅调整的情况下可以进行在线升级；离线状态下提供补丁包的方式进行升级；系统各模块之间应保持松耦合，便于各部分独立维护和升级。

5.5 集约化要求

系统所有数据存储、系统软件及平台开发过程中，应尽量考虑数据、系统软件及平台的集约化，充分利用现有资源并进行相应整合和

后续开发：系统使用气象大数据云平台数据环境作为整体数据源，基于基础设施云平台作为平台基础框架，后续所有的应用产品加工及交互操作模块均基于以上环境建设。

六、技术团队要求

根据本项目特点，需完成大城市短临监测预警系统、短临网格监测预报产品显示评估系统的建设开发，智能监视预警平台、基于天擎的短临算法加工系统及客户端升级的升级以及基于气象雷达等多源资料的短临预报属地化应用系统升级，项目规模较大，专业性和技术性强，供应商应具有一定的专业技术资质资格和业绩条件，有能力完成项目的建设并保证后续的运行维护和系统升级服务。

由于本项目建设内容复杂且建设周期相对较长，需要有一定实力的团队驻场服务并在建设期专职负责本项目建设，因此需要一定的技术团队实力，项目经理和团队人员都需要具有一定的经验和资技术能力。

七、项目实施进度要求

本项目要求完全按软件工程的方法和过程实施，其研制过程主要包括需求分析、设计与开发、集成联调测试、试运行、系统验收五个阶段，研制周期为 18 个月，下表为各阶段的进度要求：

项目开发进度表

软件研发过程	进度要求 (月)	基本要求
需求分析	2	完成任务书中所有软件功能的分析,提交软件需求阶段应提交的各类文档,通过甲方组织的评审
设计与开发	8	完成任务书中所有软件功能的设计,提交设计阶段应提交的各类文档,提供客户端原型设计,通过甲方组织的评审,进行系统开发
集成联调测试	1	完成各系统在基础设施资源池中的部署及集成对接和联调测试,开展省级部署及集成对接和联调测试,完成合同初步验收
试运行	6	全面投入试运行并进行系统优化改进
系统终验	1	完成业务验收测试及项目验收材料的编制,完成项目验收和合同终验,系统正式上线运行

八、软件交付物要求

(1) 产品交付物

序号	产品名称
1	应用软件安装包
2	源代码、工程文件及程序说明

(2) 文档交付物

工作内容	技术文档	管理文档
需求分析	软件需求规格说明书	
设计和开发	概要设计说明书	

	详细设计说明书	
测试	软件系统自测报告	软件系统测试计划
	软件系统测试报告	
初验	用户手册	初验申请 初验计划 初验报告（含工作报告和技术报告）
	操作手册	
	运行维护手册	
	系统安装及配置说明书	
	软件程序及模块清单	
试运行		试运行评估报告
培训	培训教程	培训计划
		培训记录
终验		终验申请
		终验计划
		终验报告
		软件开发总结报告
其他		项目周报
		会议纪要

九、培训要求

1) 培训方式应包括现场集中培训、个别培训和远程培训，并应在进行培训之前向甲方提交一份详细的培训计划。组织成立有经验的授课讲师团队，精心准备培训教材及相关技术手册和用户使用说明，并负责培训工作的组织实施。

2) 投标人应以培训目标的实现为目的组织培训，采取理论讲解、现场演示、实践操作和交流研讨相结合的方式，确保每一位系统使用人员能够独立、熟练地完成操作，保证系统用户能够独立处理软件系统故障和进行简单的功能调整。

3) 集中培训地点由甲方根据本项目实际情况确定，确保培训次数不少于 3 次，具体培训时间由甲方与投标人根据项目进展情况协商确定。

4) 投标人负责为培训搭建所需的环境，并提供培训教材等相关用品。

5) 投标人承担培训产生的食宿、场地、教师等一切费用。

十、安全保密要求

实施方必须对项目技术文件以及由甲方提供的所有内部材料、技术文档和信息予以保密。实施方必须遵守与甲方签订的保密协议，未经甲方书面许可，投标人不得以任何形式向第三方透露本目标书以及本项目的任何内容。

十一、 售后服务要求

本次招标要求投标人能够提供从系统终验之日起 3 年免费现场技术支持及系统升级服务。

系统发生异常情况，在接到招标人的通知后，中标人技术人员应提供 7*24 小时的服务响应，随时进行电话应答；30 分钟内完成远程登录诊断；在 1 小时内到达国家局现场解决疑难。

质量保证期后，中标人仍应根据合同要求向招标人提供技术服务，以合理价格提供软件功能改进技术服务。

质量保证期间的维护服务不收取任何额外费用，质量保证期后按合同约定进行维护。