

全球常规气象观测资料质量控制研究进展与展望

廖捷 周自江

(国家气象信息中心, 北京 100081)

摘要: 质量控制是气象观测资料质量管理的重要技术手段, 是保障正确可信的气象观测资料进入天气预报等应用系统的前提。重点回顾欧美发达国家常规气象资料质量控制技术的发展历程, 以及我国同类技术的发展动态。归纳来看: 1) 国际上成熟的气象资料质量控制系统严格考虑了质量控制算法的科学性, 以及总体或单个检查步骤的误判和漏判情况, 并给出其影响评估, 从而有针对性地设计出补充检查步骤, 确保观测数据质量控制判别过程的高可信度; 2) 由于各类观测系统输出资料的属性及其误差水平不同, 导致对大气状态“真值”的描述存在争议, 也正因如此, 成熟的气象资料质量控制系统充分利用多来源观测资料或多种观测要素, 在遵循统一的大气运动物理规律前提下进行相互校验, 形成了综合质量控制; 3) 随着数值预报的发展, 欧美各国均在同化系统中对常规资料进行变分质量控制, 例如ECMWF于2014年完成变分质量控制算法升级, 提高了极端天气事件的分析和预报能力; 4) 我国资料处理业务系统已实现了从传统的“非实时质控+人工审核”向“实时资料质量控制、评估和反馈”转变。随着常规资料质量控制业务的日趋成熟, 未来发展应聚焦构建多源资料交互验证的综合质量控制与评估平台, 集成应用国际上先进的质量控制算法, 实现资料同化前的统计质控与同化阶段变分质控有机对接。

关键词: 常规资料, 观测误差, 质量控制, 资料同化

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2018.01.006

Quality Control of the Global Conventional Meteorological Observations: Progresses and Prospects

Liao Jie, Zhou Zijiang

(National Meteorological Information Centre, Beijing 100081)

Abstract: Quality control is an important technique approach of meteorological observation data quality management, and is prerequisite to assure credible observation data entering weather forecast and other operation systems. This paper reviews the progress of quality control technique in Euro-American developed countries and the development trends of similar technique in China. Inductive analysis reveals that: (1) the mature quality control techniques systematically and strictly consider the scientific of qualified control algorithms, and the condition of erroneous judgment and omission in the whole algorithms or single check step. The impact assessment of erroneous judgment and omission ensures high credibility of the quality control process. (2) Due to the difference of property and error levels in different types of observation data, the description about the truth-value of atmosphere observation is remained in controversy. So, the mature quality control systems of meteorological observation data use the complex quality control, which take full advantage of observation data and from multiple observation systems. The cross-checking of observation is based upon the premise that atmospheric motion should obey the physical laws. (3) ECMWF, NCEP and other numerical weather predicont centers use variational quality control (VarQC) in data assimilation process. ECMWF updated VarQC in 2014, they use a Huber norm distribution to describe most innovation statistics after discarding systematically erroneous observations and deserve the credit for improved analyses and forecasts of extreme events. (4) The quality control operation in China has changed from the traditional not-real time quality control and manual review into the real-time quality control, evaluation and feedback. As quality control operational system matures, the emphasis of future technique development should focus on developing a quality control and evaluation operation platform for cross-checking of multiple-sources data, and should integrate applications of international advanced technology to realize ultimately the combination of statistically quality controls before data assimilation and variational quality control in the phase of assimilation.

Keywords: conventional observations, observation error, quality control, data assimilation

收稿日期: 2017年7月28日; 修回日期: 2017年12月13日

第一作者: 廖捷(1981—), Email: liaoj@cma.gov.cn

0 引言

常规气象观测资料通常包括地面站点观测、辐射站点观测、农业气象站点观测、海洋船舶和浮标观

测、探空气球、下投式探空仪和飞机观测、风廓线等观测获得的资料。这些资料是天气预报、全球或地区气候监测和气候变化研究、全球或区域大气再分析的数据基础。欧洲中期天气预报中心（ECMWF）最新再分析系统的评估结果^[1]表明，1979—1990年，常规观测占总观测的比例约35%，对分析的影响权重高达75%；随着卫星观测的快速增加，至2015年，常规观测占总观测的比例约10%，对再分析的影响权重约20%，对大气再分析依然起到不可忽视的约束作用。高密度地面观测资料在网格化、融合产品制作和中尺度天气数值预报和模式检验、水文监测预报具有重要作用^[2]；垂直高分辨率探空资料已广泛应用于大气边界层、平流层重力波特特性分析、晴空湍流等研究^[3-5]。

长期以来，各类资料的质量控制技术主要由欧美科研或业务机构推动，相关研究成果成为天气、气候业务中常规资料应用的基石。面向不同应用，观测资料的质量控制可分成三个层次（图1）。第一个层次针对短临预报应用，在观测资料进入天气图绘制和预报分析时，通过质量控制剔除错误资料，同时进入数据库或形成包含质量控制信息的基础数据集供用户下载使用。第二层次为面向数值模式和同化应用的质量控制。第三层次为面向长时间序列气候观测数据集的质量控制，除了剔除明显不合理的观测数据，还涉及数据插补、偏差订正、均一化和不确定性分析技术等。原美国国家气候数据中心（National Climatic Data Center, NCDC）很早就确定了资料均一化作为质量保障和质量控制的最高级别。世界气象组织气候资料管理指南^[6]亦要求气候数据产品研发应保证长时间观测序列的连续性、均一性和产品质量。

近些年，欧美发达国家在较为完善的气象资料质量控制业务体系上，逐步形成了质量控制算法的评估策略，并基于观测偏差分析和同化应用形成比较成熟的数据黑名单判别技术。同时，历史气候资料均一化

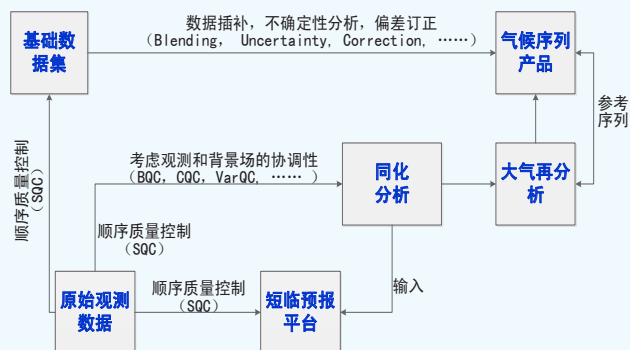


图1 面向不同应用的资料质量控制技术架构

Fig. 1 Quality control framework for different operational applications

已从年值（或月值）序列的检验，发展为基于逐日观测分布的订正，以及基于不同尺度天气气候波动分解的时频域检测等，产出了一系列气候基本变量的长序列、均一性产品。经过偏差订正的全球探空温度和地球表面气压等已成为卫星遥感数据同化分析的订正标尺。相对而言，我国气象部门已初步建立了常规观测资料质量控制业务，并围绕中国及周边地区常规观测资料的系统偏差问题开展了评估和订正技术探讨。

《全国气象现代化发展纲要（2015—2030年）》和《全国气象发展“十三五”规划》指出，到2020年基本建成具有世界先进水平的现代气象业务、中国特色的现代气象服务体系。面向全国气象现代化发展，以服务公共气象服务、气象预报预测、综合气象观测需求为导向的常规观测资料质量控制技术研究已成为未来我国气象科技发展的优先领域和重点任务。

1 国外现状及发展趋势

纵观全球，处于常规气象资料处理技术研究前沿的国际机构主要有：美国国家环境信息中心（National Centers for Environmental Information, NCEI；原NCDC）；美国国家环境预报中心（National Centers for Environmental Prediction, NCEP）；欧洲数值预报中心（European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF）；英国东英吉利大学气候研究中心（Climate Research Unit, CRU）；维也纳大学等。上述机构分别在质量控制技术的不同分支做出了卓有成效的研究成果。此外，质量控制技术趋向开放性，部分业务机构通过释放较为成熟、易于移植应用的质量控制软件，来推动观测资料的科研应用和质量控制技术的创新。如美国NCAR的大气探空数据处理软件（ASPEN）具备开放式的质量控制参数设置、格式转换和图形分析功能，已被不同类型用户应用到众多科学试验的气球探空资料、下投式探空资料的质量控制和数据处理分析中^[7-9]。

1.1 基本质量控制

最初的质量控制技术重点强调粗大错误的剔除，仅决策是否剔除或保留观测，但并不对观测进行订正。在数据处理机构的实时质量控制业务和数据集制作过程中，除对每个观测进行单独控制（如界限值检查），部分算法会考虑相邻站点、时间观测资料的关系，或者同一站点不同要素之间的物理约束，即空间、时间和内部一致性检查等。

结合观测资料时空分布等特征的变化，传统的质量控制方法在不断发展和完善。例如，在时间一致性检查方法方面，Jiménez等^[10]进行地面风场跳变异

常检查时，建立了阵风系数关系式，并采用线性回归方法通过大样本数据的统计分析得到阵风系数的合理范围；在空间一致性检查方面，空间回归检验（spatial regression test, SRT）已逐步取代传统的反距离权重插值（inverse distance weighting, IDW）、多项式插值等手段，并被广泛应用于中尺度气象站的每小时观测气温、降水等要素的质量控制^[11-12]、全球地面气候网数据集的日最高/最低气温质量控制^[13]，以及不同中国地面气象站的在不同历史时期的气温观测数据质量的不确定性的定量评估中^[14]。进一步地，Steinachker等^[15]针对高分辨率自动观测资料提出了VERA-QC（Vienna Enhanced Resolution Analysis Quality Control）方法，其基于观测资料高时空自相关性的错误资料甄别方法对一些复杂的站点分布条件下的观测资料具有较好的处理能力。针对垂直高分辨率（秒级）高空观测风场资料，Houchi等^[16]提出了基于概率密度分布获取不同厚度层U、V风场阈值的统计质量控制（Statistical Quality Control）算法。

美国针对全球常规地面、高空、海洋等资料已建立比较完善的质量控制技术体系，以此发布了ISD^[17]、IGRA^[18]、ICODAS^[19]和GHCH-3^[20]等多套全球观测数据集。质量控制方法判别的可信度是用户在使用经过质量控制的数据集时的一个关注焦点。为保证历史观测数据质量控制判别的高可信度，Durre等^[21]提出质量控制方案设计过程中应包含算法设计、单个检查步骤误判率（false-positive rate）和质控方案的总体误判、未检查出来错误类型的识别和影响评估、补充检查算法后的再次评估等多个步骤，并建立了一套比较成熟的质量保障系统评估策略。采用上述思路，NCEI完成了全球地面、高空历史资料的处理。对GHCN-Daily数据集的质量控制包含19个检查步骤，识别出最高/最低气温、降雨、降雪、雪深观测资料中0.24%的错误，其误判率维持在1%~2%的水平^[20]。NCEI对探空温度的质量控制包含了14个检查步骤，各步骤设计的参数均通过一定区间范围内的优选确定，误判率约为10%^[18]。

1.2 考虑观测和模式背景场关系的质量控制

一些质量控制算法借助模式分析场或预报场进行观测资料的质量控制。这些算法或者在同化前实现，如NCEP的综合质量控制算法（Complex Quality Control, CQC）^[22]；或者部分或完全嵌入分析或预报的质量控制，如变分质量控制或动力质量控制。

NCEP的常规资料预处理系统（PREPBUFR）采用综合质量控制实现了对探空、飞机报、风廓线多类

观测资料实施综合质量控制。从规定等压面位势高度的综合质量控制开始，NCEP的探空资料综合质量控制逐渐发展形成一个包含了温湿特性层综合质量控制、多个余差分量的完美决策算法^[23]，可以可靠地决定或订正由人为因素导致的计算或传输错误。值得一提的是，CQC的目的不是简单的剔除与背景场存在显著差异的观测资料，而是剔除或订正那些错误的资料（即使这些数据和背景场的差异较小），最终目的是通过多个误差增量的综合判别来达到所使用观测资料错误特征的最小化。相关文献^[23]已对探空资料的综合质量控制效果进行了详细分析。借助ERA-Interim作为参考数据，对NCEP飞机报综合质量模块进行检验评估，结果表明，利用CQC进行质量控制后，全球飞机报的整体质量改善明显。如图2所示，质量控制前，全球AMDAR（Aircraft Meteorological Data Relay）报文相对于ERA-Interim的RMSE在2014年10月的部分时段异常偏高（甚至超过2℃）；质量控制后，各时次的全球温度RMSE均稳定在1.2℃附近。

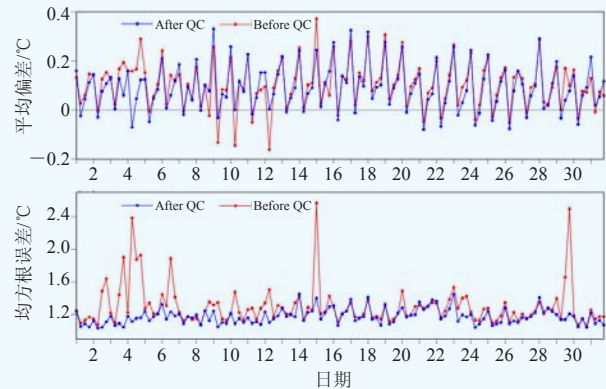


图2 2014年10月质量控制前后全球AMDAR报文温度相对于ERA-Interim再分析的逐6 h平均偏差和均方根误差
Fig. 2 Six-hourly Bias and RMSE of global AMDAR temperatures relative to ERA-Interim as before (red) and after (blue) the quality control for Oct. 2014

考虑到GTS交换的全球高空观测资料隐含了仪器换型、站点对原始资料处理方法等多种因素综合导致的系统偏差，美国从1964年开始采用辐射订正模块（Radiation Correction, RADCOR）对实时高空天气报的位势高度和温度进行调整。RADCOR早期的订正表假定探空温度系统偏差和太阳高度角相关，依据日间和夜间观测温度的差异确定，未考虑不同仪器之间的系统偏差。随着对比观测试验的开展以及数值天气预报精度和水平的提升，NCEP先后对RADCOR订正表进行了两次调整。作为PREPBUFR探空资料处理的一个子模块，MERRA、CFSR等多套美国大气再分析对全球探空资料的偏差订正均采用了NCEP RADCOR

订正表^[24]。

ECMWF对观测资料的变分质量控制一直在国际前沿,最早采用了变分质量控制(Variational Quality Control, VarQC)^[25]。VarQC定义观测误差的概率密度函数为“好”资料的高斯型概率密度函数分布与受非气象意义干扰的“坏”资料的概率密度函数分布的组合,后者通常采用均匀分布。这一处理使得分析场不易受到错误观测资料的影响,同时可以避免屏蔽掉一些关键的正确观测资料,特别是在有较强天气系统发生区域的观测资料。2014年,ECMWF完成VarQC的升级,其对观测误差概率密度函数采用Huber norm分布模型^[23]。相对于VarQC采用的“高斯+均匀”组合分布,Huber norm分布模型对背景场质量控制起到一个十分重要的松弛作用,特别适用于极端天气事件中观测资料的应用。该算法已被应用于ECMWF业务模式对气球探空、下投式探空、船舶、浮标、自动和人工观测地面、机场观测等多类观测的温度、风场和气压要素的质量控制,但未用到湿度观测的质量控制。这是由于比湿或相对湿度的观测偏差统计远离高斯分布或Huber分布,并且无法通过正态化处理解决。目前ECMWF已开始在业务系统中对探空温度、飞机观测温度实施变分偏差订正^[26-28],并取得较好的效果。

英国气象局数值天气预报的自动质量控制采用了基于贝叶斯理论的质量控制思路,其核心思想是在得知观测场、背景场及误差分布基础上基于贝叶斯理论给出观测值可能为错误的可能性^[29]。日本气象厅采用了动力质量控制,其基本理念为预报误差在扰动较大的地区相对更大,质量控制选取的观测和背景场偏差阈值与局地水平梯度及预报场3 h趋势有关^[30]。

1.3 气候资料均一性订正

所有气候数据集产品研发过程中需要经过两个步骤的质量控制:第一层次的质量控制的重点在于避免在质量控制环节将极端天气气候事件的正确观测资料剔除,第二层次的质量控制主要是对数据集中一些系统性偏差进行检查和控制,核心是气候资料的均一性问题。

地面气候数据集产品中,较为代表的为美国、加拿大、澳大利亚、欧洲多国研发的产品。例如,CRU重点开展全球陆地近地面气温变化检测和分析,建立了全球陆地地面气温格点数据集(Climatic Research Unit Temperature Database, CRUTEM),基于该数据集获得的过去100多年全球陆地地面气温长期变化的趋势结果是政府间气候变化专门委员会历次评估报

告的关键科学凭据,也为全球和区域尺度气候变化检测、预估和影响评估研究提供了基础观测数据。关于地面气候资料均一性订正研究成果及技术特色已有相关文献综述^[31-32],本文不再赘述。

维也纳大学长期致力全球高空均一性订正数据集研制。2007年发布的RAOBCORE(Radiosonde Observation Correction using Reanalysis)^[33]数据集是全球首套日定时均一性订正数据集。该数据集以ERA-40再分析背景场作为参考序列进行断点监测和均一性订正,包括了全球1184个探空站点的探空资料均一化温度资料,时间长度从1958年至今。随后,维也纳大学发布了RICH(Radiosonde Innovation Composite Homogenization)数据集^[34]。RICH包括两个版本,分别为RICH-obs和RICH- τ , RICH-obs和RICH- τ 均是基于RAOBCORE检测得到的断点借助临近站资料研制而成。不同之处在于,RICH-obs直接以临近站观测资料作为参考序列进行目标站温度的订正;RICH-obs基于临近站与背景场偏差构建参考序列,对目标站和背景场偏差订正后返回目标站,该方法部分保留了背景场对订正值的影响,同时可以降低插值误差。MERRA^[35]、JRA55^[36]、ERA-Interim^[37]等多套全球大气再分析对探空温度的偏差订正均应用了RAOBCORE的订正结果。

2 国内现状分析

我国学者在常规资料质量控制、评估和均一性检测订正方面取得了系列成果,为深入理解中国历史资料问题及成因、气候变化的原因和机理做出了贡献^[38-42]。通过近10年的努力,初步解决了我国基础资料历史遗留质量问题,中国地面、高空和辐射基础数据的可用率分别提高了2.72%、1.94%和1.41%;消化改造美国和加拿大先进的均一化方法,研制完成中国2400个地面气象站气温、相对湿度等要素均一化产品,以及中国高空气温、湿度月值均一性订正产品^[43-44]。我国气候资料均一性研究现状可参考文献[32]。

地面观测资料质量控制一直是我国质量控制业务的发展重点。目前已经自主研发了全球地面天气报质量控制方案,建成了比较完善的中国实时地面自动站质量控制三级质量控制系统^[38]和实时—历史资料一体化业务流程,实现了逐小时地面观测资料的实时质量控制^[39]。以此为基础,具体包括基于线性回归数据估计方法的质量检测算法^[45]、雷达估测降水对气象自动站降水的辅助质量控制^[46]等部分新研发的质量检测算法逐步应用于业务系统,并通过时间、空间和内部一

致性检查等多个质量检测步骤的综合应用，提升了地面自动站观测、气象塔梯度观测等资料的错误数据质量检测能力^[45, 47-48]。空间回归检验、基于自回归与反距离加权的AI方法、基因表达式编程等新技术已应用于历史资料质量控制和观测数据质量的不确定性定量评估研究中^[14, 49-50]。

我国对历史高空数据集和业务数值天气预报同化前的质量控制思路多沿用顺序质量控制思路，近年来对其中的一些具体算法进行了改进，如静力学检查判别算法改进^[42]和高空风垂直切变检查算法改进^[40]等。在改进的高空风垂直切变检查算法中，包含了两次风切变检查，并通过不同参数条件下算法误判率和漏判率的评估，确定了最优的检查参数^[40]（图3），其中，参数 f 是决定相邻层次风向、风速差异阈值的均方根误差倍数。NCEP、ECMWF多年对全球历史探空资料评估分析均指出中国历史探空资料中由于探空仪换型和台站辐射订正不当引起的中国探空温度长期偏高，并在同化前对中国历史探空温度进行了订正^[51-52]。考虑到通过GTS实时获取的中国地区元数据信息完整性和质量较差，国外机构统计确定的订正量的适用性亟待评估。针对该问题，国家气象中心近两年开展了面向GRAPES（Global/Regional Assimilation and Prediction System）同化应用的全球探空温度辐射偏差订正研究，并取得了较好进展。

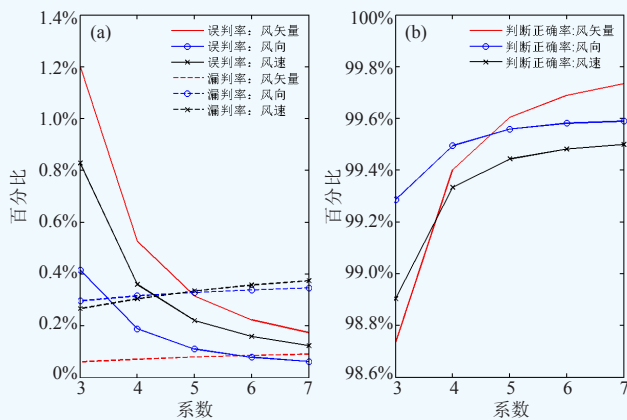


图3 风垂直切变检查敏感性试验得到的不同系数 f 对应的误判率、漏判率 (a) 和判断准确率 (b)^[40]

Fig. 3 Percentages of the wrong-rejected (solid line), lost-rejected (dash line) (a) and good-judged (b) data by using various values of f between 3 and 7 via the sensitivity experiments for the first vertical-wind-shear check

我国高空资料处理的另一个难点为湿度资料的质量控制和偏差订正问题。多个学者的研究均揭示我国探空系统完成L波段换型，由于仪器失灵等因素导致湿度数据经常出现持续为2%不变、或者300 hPa以上持续性的异常高湿等系统性错误^[53]。针对L波段探空

系统换型后湿度系统偏干导致的时间序列非均一，实现了温度露点差、相对湿度的均一性订正^[43, 54]。面向同化应用，郝民等^[55]开展了中国L波段探空湿度的偏差订正并取得较好的效果。面向全球大气再分析需求，如何和温度偏差订正工作结合，完成历史探空温湿度定时值观测资料的订正，仍有待进一步探讨研究。

我国同化系统对地面气压和高空气温、位势高度、风场等同化变量的变分质量控制处于起步阶段，目前在区域GRAPES的3DVAR同化系统中对地面、船舶、探空和飞机观测资料方面开展了变分质量控制试验^[56]，结果表明，变分质量控制在区域GRAPES同化系统中应用对提高数值预报模式的预报水平具有正面效果（图4）。

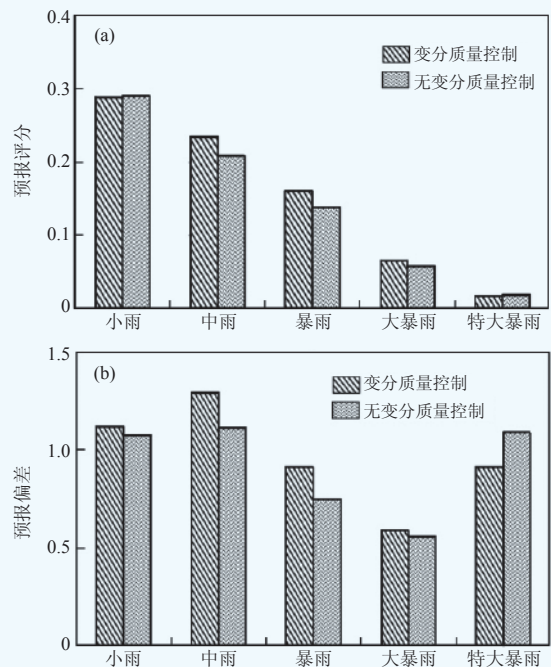


图4 2009年6—8月连续试验24h降水的ETS评分 (a) 与预报偏差B值 (b)^[56]

Fig. 4 Equitable threat score (a) and bias (b) of 24 h precipitation with and without variational quality controls via experiments in June – August 2009

3 机遇和挑战

气象业务、服务和科研工作不仅要求有充分的资料，而且要确保资料的高质量。预计到2020年，我国发展的全球数值天气预报模式水平分辨率达到10 km，区域数值天气预报模式水平分辨率达到1~3 km，气候预测模式水平分辨率达到30 km。模式的精细化要求所输入的观测探测资料具有很高的准确性，即资料能够真实反映大气运动的三维状态。这要求观测探测资料的质量控制工作需要重大改进和提高，

以确保提供到用户手中的资料都是质量可靠且可用。

和欧美机构相比,国内针对常规资料的质量控制主要局限于中国大陆地区资料,对整个亚洲地区特别是全球资料质量控制的深入研究还较少;均一性订正及产品研制工作集中在地面观测资料,缺乏自主发展的全球高空观测数据来支撑全球、区域大气再分析和全球高空气候变化。由于缺乏足够可信的元数据支持,同时受到数据源完整性制约,国外学者开展全球资料质量控制和偏差订正时,对中国地区资料的处理不确定性偏大。上述局限性不利于对全球气候变化时空规律监测信息的完整掌握,也降低了常规资料作为评估卫星资料质量(特别是中国地区)的基准数据的可信度。面向现代气象业务的资料应用需求,应从质量控制系统和完善、质量控制技术创新两方面推动常规气象资料质量控制工作的发展。

3.1 综合质量控制体系建设

首先,应梳理国家级各类气象资料质量控制系统、省级气象资料质控系统(MDOS)、数值预报系统中资料预处理系统,以及美国NCEP PrepBUFR资料预处理系统中的气象资料质量控制算法,制定气象资料质量控制算法清单,整合出面向各类气象业务不同时效应用需求的、全国普适(区域可选)的、模块化的、权威的质量控制业务方案。在此基础上,构建多源资料交互验证的综合质量控制与评估业务平台,逐步实现资料同化前的统计质控与同化阶段变分质控有机对接。在自主研发的基础上,不断集成国际上先进的质量控制算法,优先填补海洋、L波段秒级探空、飞机报、风廓线、近地面通量等观测资料实时质量控制业务的薄弱区。优化气象资料质量控制业务布局,健全“观测端—信息端—应用端”相互补充、动态反馈的质量控制业务,实现对各类观测资料从观测到应用全流程的实时质量监控,显著降低极端天气过程和关键天气过程中实时质量控制后“可疑”数据的比例。

在上述工作基础上,应开展深度质量分析评估,强化观测资料的误差分析。特别是面向数值预报和全球大气再分析需求,开展非正态分布要素的标准化处理或非线性变量变换,开展不同变量不同型号仪器的观测误差统计,开展不同历史时期全球探空温度的系统偏差分析和辐射误差订正。结合掩星、地基水汽产品等观测资料开展多源高空湿度观测资料对比评估和订正,解决我国现有探空湿度异常偏干问题。基于全球地面天气报、海洋船舶、浮标观测的表面气压与模式模拟场的差异,实现表面气压系统偏差的定量

估计、信度分析和偏差订正。基于质量控制、评估结果,发布资料质量黑名单,并滚动更新,保障各类观测资料准确可靠和定量应用。

3.2 质量控制技术创新

应面向世界科技前沿,依托国家气象科技体系和创新工程的实施,联合海内外科技力量,引进消化改造与自主研发相结合。具体地,应引入多种技术手段,开展常规观测资料处理核心技术攻关。在已有的气象资料质量控制业务基础上,针对不同应用需求,研究构建不同的质量控制方案。

首先,细化质量控制算法,完善质量控制步骤。例如,“时间一致性检查”:结合区域天气气候特征,研究细化观测要素微变检查和跳变检查的阈值;飞机、船舶等移动观测采用与现场观测环境相关的可变阈值。“内部一致性检查”:研究极端天气背景下观测要素间的物理约束条件,避免将极端天气气候事件的正确观测资料剔除。“空间一致性检查”:考虑中国东西部站点密度非均一等情况,研究适用于中小尺度小时观测气温、降水等要素的空间回归检验方法,利用观测资料的高时空自相关性增强对错误资料甄别能力。“高空观测资料的垂直一致性检查”:重点研究对垂直高分辨率(秒级)观测资料采用低通滤波检查,剔除异常观测值。

其次,紧跟国际发展趋势,不断发展和应用三维变分质量控制、贝叶斯质量控制和综合质量控制等技术,提升各类资料的质量控制能力和应用水平。

第三,优化和集成多种气候资料均一化方法,如:标准正态检验、二项回归技术、多元线性回归、序列均一性多元分析等,发展更长时间尺度的时间均一性检查算法,引入效果较好的空间回归检查,着力解决历史观测资料存在的一些持续性系统错误和仪器漂移问题;开展观测资料的系统偏差订正方法研究及偏差订正工作,利用经过偏差订正后的观测资料,开展不确定性分析,确定合理的误差概率分布模型及参数,提升资料应用水平。

第四,开展质量控制方法判断能力的评估检验,促使质量控制判别能力保证在一个较高的可信度水平,即让应用系统了解被判为错误的数据中正确数据的比例(第一类错误),以及多少错误的的数据被视为正确而保留在数据集中(第二类错误)。

4 结语

综上所述,国际上成熟的气象资料质量控制体系严格考虑了质量控制算法的科学性,以及总体或单个检查步骤的误判和漏判情况,并给出其影响评估,

从而有针对性地设计出补充检查步骤, 确保观测数据质量控制判别过程的高可信度。大气运动过程有其自身复杂性和易变性, 现有的地基、天基和空基观测因观测原理、观测视角不同, 造成各观测系统输出资料的误差也不同, 导致对大气状态“真值”的描述非常困难, 也正因如此, 成熟的气象资料质量控制系统充分利用多来源观测资料或多种观测要素, 在遵循统一的大气运动物理规律前提下进行相互校验, 形成了综合质量控制。随着数值预报的发展, 欧美各国均在同化系统中对常规资料进行变分质量控制。目前我国气象资料质量控制业务处在完善阶段, 已自主研发了一批常规气象观测资料质量控制技术方案, 建立了实时—历史气象资料一体化业务流程, 实现了从传统的“非实时质控+人工审核”向“实时资料质量控制、评估和反馈”转变。在此基础上, 未来发展应聚焦构建多源资料交互验证的综合质量控制与评估平台, 集成应用国际上先进的质量控制算法, 实现资料同化前的统计质控与同化阶段变分质控有机对接。

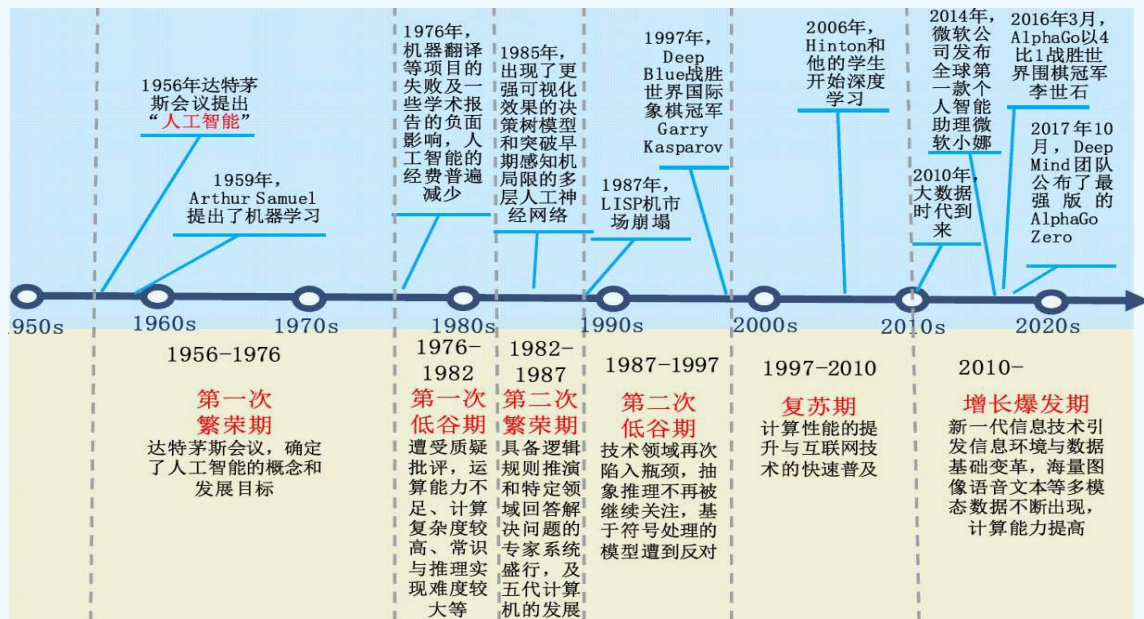
参考文献

- [1] András H, Berrisford P, Biavati G, et al. The impact of observations in the latest ECMWF reanalysis system. 6th Workshop on the Impact of Various Observing Systems on NWP. Shanghai, China. May 2016.
- [2] 潘昶, 沈艳, 字婧婧, 等. 基于贝叶斯融合方法的高分辨率地面—卫星—雷达三源降水融合试验. 气象学报, 2015, 73(1): 177-186.
- [3] 卞建春, 陈洪滨, 吕达仁. 用垂直高分辨率探空资料分析北京上空下平流层重力波的统计特性. 中国科学D 辑地球科学, 2004, 24(8): 748-756.
- [4] Basha G, Ratnam M V. Identification of atmospheric boundary layer height over a tropical station using high-resolution radiosonde refractivity profiles: Comparison with GPS radio occultation measurements. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2009, 114(11): 713-721.
- [5] Clayson C A, Kantha L. On Turbulence and Mixing in the Free Atmosphere Inferred from High-Resolution Soundings. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2008, 25(6): 833-852.
- [6] WMO. Guidelines on climate data management. 2007, WMO-TD No. 1376.
- [7] Wang J, Bian J, Brown W O, et al. Vertical Air Motion from T-REX Radiosonde and Dropsonde Data. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2009, 26(5): 928-942.
- [8] Ciesielski P E, Haertel P T, Johnson R H, et al. Developing High-Quality Field Program Sounding Datasets. Bull Amer Meteor Soc, 2012, 93(3): 325-336.
- [9] Wang J, Young K, Hock T, et al. A long-term, high-quality, high-vertical-resolution GPS Dropsonde dataset for hurricane and other studies. Bulletin of the American Meteorological Society, 2015, 96: 961-973.
- [10] Jiménez P A, González-Rouco J F, Navarro J, et al. Quality assurance of surface wind observations from automated weather stations. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2010, 27(7): 1101-1122.
- [11] You J, Hubbard K G. Quality Control of Weather Data during Extreme Events. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2006, 23: 184-197.
- [12] Fiebrich C A, Morgan C R, McCombs A G, et al. Quality Assurance Procedures for Mesoscale Meteorological Data. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2010, 27(10): 1565-1582.
- [13] Durre I, Menne M J, Gleason B E, et al. Comprehensive automated quality assurance of daily surface observations. J Appl Meteor Climatol, 2010, 49(8): 1615-1633.
- [14] Xu C D, Wang J F, Hu M G, et al. Estimation of uncertainty in temperature observations made at meteorological stations using a probabilistic spatiotemporal approach. J Appl Meteor Climatol, 2014, 53(6): 1538-1546.
- [15] Steinacker R, Mayer D, Steiner A. Data quality control based on self-consistency. Monthly Weather Review, 2011, 139(12): 3974-3991.
- [16] Houchi K, Stoffelen A, Marseille G J, et al. Statistical quality control of high-resolution winds of different radiosonde types for climatology analysis. J Atmos Oceanic Technol, 2015, 32(10): 1796-1812.
- [17] Lott J N. The quality control of the integrated surface hourly database. 84th AMS Annual Meeting, January 10-13, 2004, Seattle, WA.
- [18] Durre I, Vose R S, Wuertz D B. Overview of the integrated global radiosonde archive. J Climate, 2006, 19(1): 53-68.
- [19] Woodruff S, Worley S, Lubker S, et al. ICOADS release 2.5: extensions and enhancements to the surface marine meteorological archive. Int J Climatol, 2010, doi:10.1002/joc.2103.
- [20] Lawrimore J H, Menne M J, Gleason B E, et al. An overview of the global historical climatology network monthly mean temperature data set, version 3. J Geophys Res, 2011, 116, doi: 10.1029/2011jd016187.
- [21] Durre I, Menne M J, Vose R S. Strategies for evaluating quality assurance procedures. J Atmos Oceanic Technol, 2008, 47(6): 1785-1791.
- [22] Gandin L S. Complex quality control of meteorological observations. Mon Wea Rev, 1988, 116(5): 1137-1156.
- [23] Collins W G. The operational complex quality control of radiosonde heights and temperatures at the National Centers for Environmental Prediction. Part I: Description of the method. J Appl Meteor, 2001, 40: 137-151.
- [24] Collins W. Determination of new adjustment tables in order to bring radiosonde temperature and height measurements from different sonde types into relative agreement. EMC/NCEP/NOAA, 1999.
- [25] Andersson E, Järvinen H. Variational quality control. Q J R Meteorol Soc, 1999, 125: 697-722.
- [26] Tavolato C, Isaksen L. On the use of a Huber norm for observation quality control in the ECMWF 4D-Var. Q J R Meteorol Soc, 2014, DOI: 10.1002/qj.2440.
- [27] Milan M, Haimberger L. Predictors and grouping for variational bias correction of radiosonde. ECMWF ERA Report Series, 2015, No. 2.
- [28] Isaksen L, Vasiljevic D, Dee D, et al. Bias correction of aircraft data implemented in November 2011. ECMWF Newsletter, 2012, 131: 6.
- [29] Lorenc A C, Hammon O. Objective quality control of observations using Bayesian methods. Theory, and a practical implementation. Q J R Meteorol Soc, 1988, 114: 515-543.
- [30] Onogi K. A data quality control method using forecasted horizontal gradient and tendency in a NWP system: dynamic QC. J Meteor Soc. Japan, 1998, 76: 497-516.
- [31] 任国玉, 任玉玉, 李庆祥, 等. 全球陆地表面气温变化研究现状、问题和展望. 地球科学进展, 2014, 29(8): 934-946.
- [32] 李庆祥. 我国气候资料均一性研究现状与展望. 气象科技进展, 2016, 5(1): 67-74.
- [33] Haimberger L. Homogenization of radiosonde temperature time series using innovation Statistics. J Climate, 2007, 20(7): 1377-1403.
- [34] Haimberger L, Tavolato C, Sperka S. Homogenization of the global radiosonde temperature dataset through combined comon with reanalysis background series and neighboring stations. J Climate, 2012, 25(23): 8108-8131.
- [35] Rienecker M M, Suarez M J, Gelaro R, et al. MERRA: NASA's Modern-Era retrospective analysis for research and applications. J

- Climate, 2011, DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00015.1.
- [36] Kobayashi S, OTA Y, Harada Y, et al. The JRA-55 Reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J Meteor Soc Japan*, 2015, 93(1): 5-48.
- [37] Dee D P, Uppala S M, Simmons A J, et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q J R Meteorol Soc*, 2011, 137(656): 553-597.
- [38] 任芝花, 张志富, 孙超, 等. 全国自动气象站实时观测资料三级质量控制系统设计. *气象*, 2015, 41(10): 1268-1277.
- [39] 王海军, 闫莽莽, 向芬, 等. 逐时气温质量控制中界限值检查算法的设计. *高原气象*, 2014, 33(6): 1722-1729.
- [40] Liao J, Wang B, Li Q-X. A new method for quality control of Chinese rawinsonde wind observations. *Adv Atmos Sci*, 2014, 31(6): 1293-1304.
- [41] 阮新, 熊安元, 胡开喜, 等. 中国历史探空资料部分等压面位势高度错误订正. *应用气象学报*, 2015, 26(3): 257-267.
- [42] 熊安元. 中国地面和高空气候变化数据产品研发技术. 北京: 气象出版社, 2015.
- [43] 陈哲, 杨溯, 刘靛珂. 1979-2012中国探空相对湿度资料的非均一性检验与订正. *气象*, 2015, 41(11): 1374-1382.
- [44] 陈哲, 杨溯. 1979-2012中国探空湿度资料中非均一性问题的检验与分析. *气象学报*, 2014, 72(4): 794-804.
- [45] 王海军, 刘莹. 综合一致性质量控制方法及其在气温中的应用. *应用气象学报*, 2012, 23(1): 69-76.
- [46] 张志强, 孙超. 自动气象站质量控制系统中覆盖软件的涉及与实现. *计算机应用*, 2013, 33(4): 1169-1172.
- [47] 金莉莉, 何清, 李振杰, 等. 乌鲁木齐市气象塔梯度观测资料质量控制与处理. *气象*, 2016, 42(6): 732-742.
- [48] 徐枝芳, 陈小菊, 王轶. 新建地面气象自动站资料质量控制方法设计. *气象科学*, 2013, 33(1): 26-36.
- [49] 叶小岭, 周建华, 熊雄. 一种基于GEP的地面气温观测资料的质量控制方法. *热带气象学报*, 2014, 30(6): 1196-1200.
- [50] 叶小岭, 施林红, 熊雄, 等. AI方法在地面气温观测资料质量控制中的应用. *气候与环境研究*, 2016, 21(1): 1-7.
- [51] Kistler R, Kalnay E, Collins W, et al. The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation. *Bull Amer Meteor Soc*, 2001, 82: 247-268.
- [52] Uppala S M, KÅllberg P W, Simmons A J, et al. The ERA-40 reanalysis. *Q J R Meteorol Soc*, 2005, 131: 2961-3012.
- [53] 王英, 熊安元. L波段探空仪器换型对高空湿度资料的影响. *应用气象学报*, 2015, 26(1): 76-86.
- [54] Zhao T, Dai A, Wang J. Trends in tropospheric humidity from 1970 to 2008 over china from a homogenized radiosonde dataset. *J Climate*, 2012, 25(13): 4549-4567.
- [55] 郝民, 龚建东, 王瑞文, 等. 中国L波段探空湿度观测的质量评估及偏差订正. *气象学报*, 2015, 73(1): 187-199.
- [56] 郝民, 张华, 陶士伟, 等. 变分质量控制在区域GRAPES-3DVAR中的应用研究. *高原气象*, 2013, 32(1): 122-132.

人工智能的起源与历史

人工智能始于20世纪50年代,至今大致分为三个发展阶段:第一阶段(20世纪50年代—80年代)。这一阶段人工智能刚诞生,基于抽象数学推理的可编程数字计算机已经出现,符号主义(Symbolism)快速发展,但由于很多事物不能形式化表达,建立的模型存在一定的局限性。此外,随着计算任务的复杂性不断加大,人工智能发展一度遇到瓶颈。第二阶段(20世纪80年代—90年代末)。在这一阶段,专家系统得到快速发展,数学模型有重大突破,但由于专家系统在知识获取、推理能力等方面的不足,以及开发成本高等原因,人工智能的发展又一次进入低谷期。第三阶段(21世纪初—至今)。随着大数据的积聚、理论算法的革新、计算能力的提升,人工智能在很多应用领域取得了突破性进展,迎来了又一个繁荣时期。



——摘自《人工智能标准化白皮书(2018年版)》,2018年1月