

龙凤山区域大气本底台站 反应性气体观测质量控制

林伟立¹ 徐晓斌¹ 于大江² 代鑫²
张忠华² 孟昭阳¹ 王瑛¹

(1. 中国气象科学研究院大气成分观测与服务中心, 中国气象局大气化学
重点开放实验室, 北京 100081; 2. 龙凤山区域大气本底污染观测站)

提 要: 实现对大气反应性气体的业务化观测是中国气象局大气成分观测的重要目标内容之一。为了满足大气本底观测业务的目标要求, 在龙凤山区域大气本底观测站反应性气体观测系统2年来的业务试运行的实践经验的基础上, 着重分析了涉及质量控制技术中零/跨检查和多点校准的执行情况, 确定了执行零/跨检查、多点校准和零/跨调整的指导性频率, 提出了基于校准信息的数据订正方法, 简要阐述标准量值传递方案和仪器测试、检验和维护中所应注意的内容。

关键词: 反应性气体 质量控制 区域本底站

Quality Control for Reactive Gases Observation at Longfengshan Regional Atmospheric Background Monitoring Station

Lin Weili¹ Xu Xiaobin¹ Yu Dajiang² Dai Xin²
Zhang Zhonghua² Meng Zhaoyang¹ Wang Ying¹

(1. Key Laboratory for Atmospheric Chemistry, Center for Atmosphere Watch and Services of CMA,
Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081;
2. Longfengshan Regional Background Air Pollution Monitoring Station, Heilongjiang Province)

Abstract: The implementation of operational monitoring atmospheric reactive gases is one of the important goals of atmospheric composition observations sponsored by the China Meteorological Administration. Quality control to meet the requirements of reactive gas monitoring at regional atmospheric background stations are studied based on the two-year practical

资助项目: 中国气象局多轨道业务建设项目“大气成分监测评估系统-反应性气体监测评估子系统”的经费支持, 国家重点基础研究发展计划(973 计划)课题(2005CB422202)和国家科技基础性工作专项资金项目(2005DKA31700-04)

收稿日期: 2008年1月3日; 修定稿日期: 2009年8月6日

experience at Longfengshan Station. Historical zero/span checks and multi-point calibrations are analyzed and the guide of their operating frequencies including zero/span adjustment is provided. The process of data correction based on the quality control information, standard traceability process and instrument equipment testing, inspection, and maintenance are also provided. The experience and problem related to the quality of monitoring in the operation are summarized. The necessity and measures for quality control during routine operation and data correction are discussed. Suggestions, especially the needs to strengthen the capability of the information analysis provided by quality control for people on duty, are given for further improvement of the quality of observation.

Key Words: reactive gas quality control regional background station

引 言

人类的活动影响了大气中痕量成分的变化,一方面造成空气质量下降,另一方面引起诸如全球气候变暖、平流层臭氧破坏以及酸沉降等环境问题。为了掌握大气中的一些关键成分的长期变化趋势,WMO 建立了全球大气观测网(Global Atmosphere Watch, GAW),在具有全球和区域代表性的站点对与气候变化和空气质量相关的大气化学成分和相关物理特性进行可靠、全面和准确的观测^[1],此外,大气成分的卫星观测也得到迅速发展^[2],为科学界提供预测将来大气状态和评估环境政策所需的数据。

反应性气体是大气中一类重要的痕量成分,与大气光化学、二次气溶胶、温室效应、酸沉降、大气氧化能力等重要的大气环境问题紧密关联^[3]。中国气象局从 2004 年起先后开始在上甸子、临安、龙凤山、香格里拉区域大气本底站开展了近地面 O_3 、 SO_2 、 NO_x 和 CO 的长期观测,这些气体是 WMO 全球大气观测计划所推荐的优先观测的气体。

当前,对大气中 O_3 、 SO_2 、 NO_x 和 CO 的观测技术十分成熟^[4],有成熟的商品化仪器,它们通常与标定设备、数据采集和信号控制单元组合在一起,组成一套观测系统。针对环境空气质量监测的要求,中国、美国以及其

他国家的环保局都规定了此类气体观测的技术要求和技术规范^[5-6],WMO 也制定了在全球大气观测网中对此类气体观测的指导性文件^[1]。中国气象局大气成分观测网对反应性气体的观测参照了环境保护局和 WMO 的相关规范,并结合大气本底观测的特点,在实践中不断改进和完善观测的质量保障和质量控制。

龙凤山区域大气本底观测站($44.73^\circ N$, $127.6^\circ E$, 310m a. s. l.)是严格按照 WMO 标准建设的东亚中纬度地区的区域大气本底站之一,是 WMO 全球大气观测网的成员站,2005 年成为首批国家大气成分本底野外科学观测研究站点之一。建站以来,一些科研项目曾在此开展过反应性气体的观测^[7-10]。2005 年 7 月,该站装备了一套反应性气体观测系统,至今已连续运行 2 年多时间,期间实现了定期的零/跨检查、多点校准并逐渐形成了理论与经验相结合的 QA/QC 方案。本工作对这套系统的运行情况及其质量控制效果进行评估,探讨业务化观测所必需的规范的质量控制方案。

1 反应性气体观测系统

观测系统由澳大利亚 Ecotech 公司生产的二氧化硫(SO_2 , EC/ML9850T)、氮氧化物($NO-NO_2-NO_x$, EC/ML9841B)、一氧化碳

(CO, EC/ML9830B) 和地面臭氧 (O_3 , EC/ML9810B) 分析仪、零气发生设备 (8301LC)、气体动态校准仪 (GasCal1000), 以及 NO 、 SO_2 、CO 标准气 (环境保护部标准样品研究所)、进气管路、信号控制和数据采集系统等构成。

图 1 是整个系统的气路结构示意图。抽气泵将室外空气抽入进气总管 (内管为玻璃管, 带 Teflon 的接头, 内径 20mm, 总长度 3.0m, 进气口距屋顶高度是 1.8m, 抽气泵流

速 8~16L/min)。分析仪器进气口通过支管与进气管总连接。采用这种共线式进气管路可缩短样品空气在进气管路内的滞留时间, 减少各仪器采样滞后时间的差异; 标定时, 来自动态气体校准仪的零/跨气进入共线式进气管路 ($\geq 8L/min$; 此时, 抽气泵停止工作, 多余气体从采样总管进口排出), 与样气经过一样的管路进入分析仪, 尽可能减少管路损耗引起的系统误差。

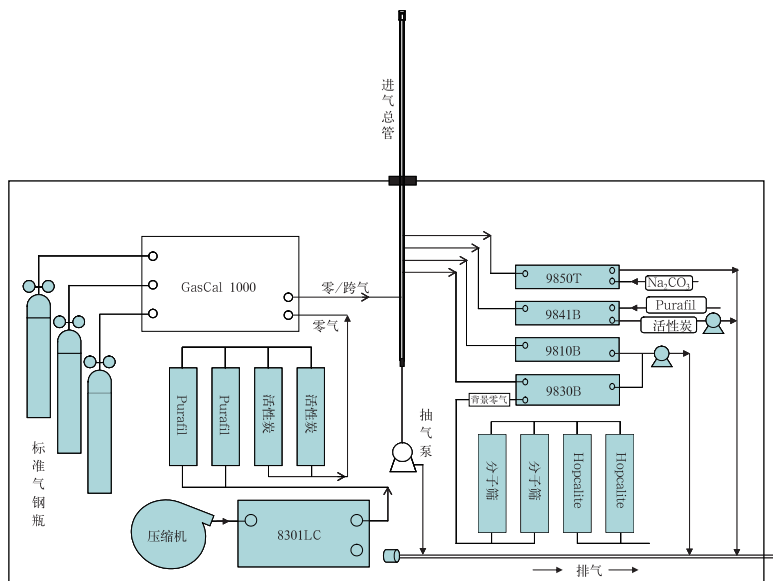


图 1 龙凤山站反应性气体测量系统的管路示意图

用于跨检查的标气通过气体动态校准仪 (GasCal1000) 内一个 0~50ml/min (标准混合气使用) 和一个 0~10L/min (零气使用) 的质量流量控制计的动态稀释配比来获得, 通过设定的零/跨检查时间程序自动对仪器进行检查。所用的零气由零气发生器 (8301LC) 产生干洁空气, 其目标气体和干扰气体的含量均低于仪器检测限。本系统还使用了辅助气系统, 用于仪器观测过程的背景气测量或自动零过程, 用以确定仪器的背景 (零) 信号。对 NO_x 分析仪, 供臭氧发生器用的空气额外增加一个 Purafil 去除器来减少 NO 对臭氧发生器的干扰。 SO_2 分析仪背景

(零) 循环间隔设置为 24 小时。对于 CO 分析仪, 来自进气管的空气通过一个加热到 90℃ 的 Hopcalite 去除器, 把 CO 转化为 CO_2 , 产生背景 (零) 空气, 间隔 2 小时通入仪器一次 (持续 10min)。

仪器控制和数据采集系统使用 Ecotech 公司开发的 WinAQMS 软件。数据记录频率是 5 分钟的平均值, 并使用了 Kalman 滤波方式去除噪音。

2 反应性气体观测的质量控制

区域本底站对反应性气体业务观测的主

要目的是要取得所测反应性气体准确的变化趋势,要求数据可靠且具有可比性。因此,观测过程中执行严格有效的质量控制是至关重要的。质量控制(Quality Control, QC)是在质量保证(Quality Assurance, QA)体系下一个全面的、系统的、技术性的活动,是在限定的标准下使测量和观测过程满足特定的要求。QC是具有纠正性的和前瞻性的活动,用于防止不可靠数据的产生^[6]。与一般气象观测的质量控制不同^[11],这项观测要求有一整套的质量控制措施和信息。本系统的质量控制技术主要包括:(1)零/跨检查(自动);(2)多点校准(≥ 5 点,含零点);(3)标准的可溯源和标准量值传递;(4)仪器自我诊断,仪器人工测试、检查和维护;(5)基于校准信息的数据订正等。各部分是由自动的、人工的以及人机之间的互动过程来完成。

2.1 零/跨检查

零/跨检查用于检查仪器零和跨响应的变化情况,它是在仪器多点校准之间进行的

一种快捷的、方便的、用于检查仪器故障和响应漂移的方法。其结果用于指导仪器维修维护、零/跨调整、把握执行多点校准的时机,对数据的最终订正也具有参考作用。

图 2 为龙凤山站 O_3 、 SO_2 、CO 和 NO_x 分析仪的零/跨检查结果的时间系列变化。在 2006 年 11 月 9 日之前,零/跨检查频率(臭氧只有零检查)为每 2 周 1 次,之后为每周 1 次,同时增加了臭氧的跨检查。每个零或跨检查持续时间为 40 分钟。从 2005 年 8 月到 10 月,因防虫、防雷和停电的缘故,仪器处于停机状态。它们有以下几个特点:

(1) 在通常情况下,零/跨检查结果随时间会有所波动,波动幅度随仪器的不同而有所差异。

(2) 零/跨检查值会出现异常的值。通常是几种分析仪器都会同时出现,经分析主要是由于在观测前期的操作和调试过程导致检查设置参数出错和标定程序混乱所致。

(3) 对仪器响应有影响的维护操作会导致零/跨检查值的变化。如在 2006 年 6 月

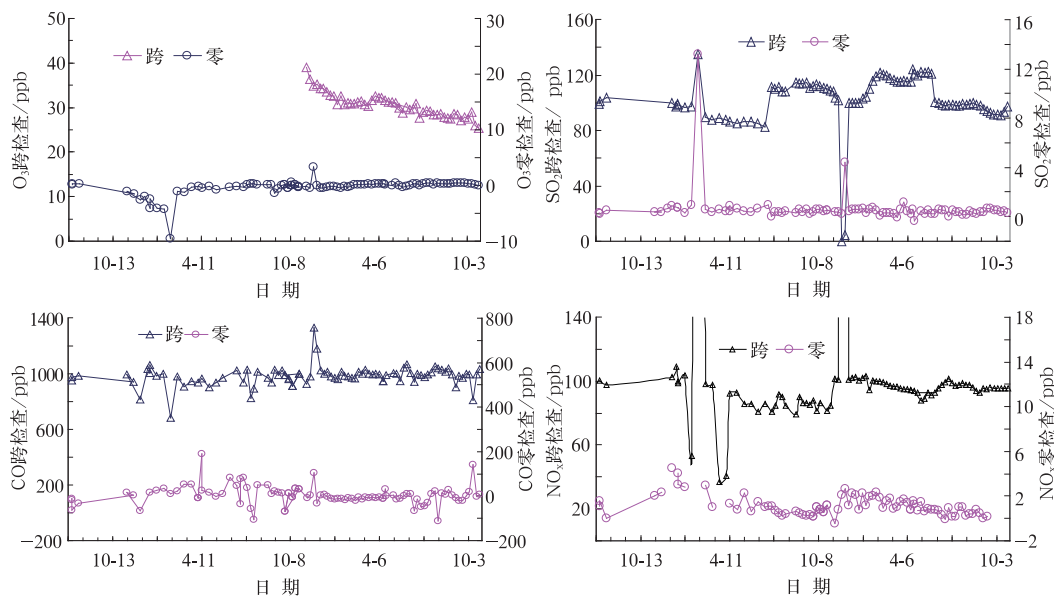


图 2 O_3 (a)、 SO_2 (b)、CO (c) 和 NO_x (d) 的零/跨检查的时间系列变化(2005—2007 年)
ppb 为 10^{-9}

27 日和 2007 年 4 月 16 日更换了 SO_2 的紫外灯,以及分别在 2006 年 11 月 9 日和 2007 年 5 月 29 日调整了 NO_x 和 SO_2 分析仪增益系数,都导致了跨测量值的显著变化。

(4) 零气测量值的变化相对稳定,都在可接受的范围内,表明零气发生装置基本稳定。

根据检查的情况来看,通常在 15 分钟之后每个检查点的测量值已基本稳定,40 分钟的零/跨检查循环周期是充足的。对 CO 和 O_3 而言,零/跨检查的频率从开始的每 2 周 1 次调整到每周 1 次是合适的,基本上及时反映出仪器响应的变化;对 SO_2 或 NO_x 而言,其跨的测量值变化波动较大,可设定更高的跨检查频率(如每日 1 次或每周 2~3 次)。

尽管仪器的响应会随时间发生漂移或波动,但并不需要根据每次的检查结果都对仪器的零/跨响应参数进行调整,只有当其与理论值发生较大偏移(如相邻二次跨偏差大于 15%或更大;跨值变化超过了理论跨值的 15%以上;零值变化大于满量程的 2%等)时,才对仪器进行零/跨调整。此外,零/跨调整还应在确认所发生的零/跨气是稳定的前提下进行。这种不经常进行人为干预的零/跨检查结果,可更好地指示仪器的响应随时间的变化,对利用有限的多点校准方程对数据进行最终的订正有着参考价值(参见 2.3 节)。

2.2 多点校准

大多数仪器的响应会随时间发生漂移,为了对仪器响应进行必要的调整以及对数据进行订正,需要确定漂移的程度。多点校准的目的是建立气体实际浓度和分析仪器响应之间的定量关系,从而确定仪器的漂移量。因此,高质量的多点校准对于保证数据质量至关重要。为了做好多点校准,仪器在校准之前必须充分预热,在校准过程中应保持与日常测量时一致的状态^[6]。多点校准的校准点数要求 ≥ 5 点,校准点之间的关系要进行

统计分析,不正常的点需要检查其原因并重复测量一次。多次校准曲线方程之间存在的关系反映出仪器响应随时间的变化情况。作为一项基本业务工作,校准过程要建立相应的校准文档,并成为每台仪器运行档案的内容之一。

表 1 列举了龙凤山站历次完成的多点校准方程。由此表 1 可见, O_3 和 CO 的线性斜率系数较为稳定(CO 分析仪 5 次多点校准方程斜率的平均值 $\pm 1\sigma$ 为 1.001 ± 0.014 ; O_3 分析仪的为 1.062 ± 0.008),而 SO_2 和 NO_x 的线性系数变化较大。

表 1 多点校准方程一览表

项目	多点校正线性方程	相关系数 R^2	完成日期
O_3	$y=1.0673x+0.1$	0.9999	2006-4-11
	$y=1.0544x+0.2$	0.9999	2006-11-8
	$y=1.0554x+0.7$	0.9999	2006-11-9
	$y=1.0712x-0.0$	1	2007-5-30
CO	$y=0.9949x+3$	0.9997	2005-7-20
	$y=0.9875x-16$	0.9990	2006-4-12
	$y=1.0115x+8$	0.9998	2006-11-7
	$y=1.0195x-14$	0.9996	2006-11-9
	$y=0.9929x-18$	0.9999	2007-5-29
SO_2	$y=1.0036x-0.5$	0.9998	2005-7-20
	$y=1.1367x-0.1$	0.9991	2006-4-11
	$y=0.861x+0.5$	1	2006-6-28
	$y=0.9299x-0.5$	0.9997	2006-11-7
	$y=0.9657x-0.1$	1	2006-11-9
	$y=0.7865x+1.1$	0.9994	2007-2-13
	$y=0.8180x-0.7$	0.9979	2007-4-24
	$y=0.8339x+0.1$	0.9996	2007-5-29
	$y=0.9974x+0.2$	0.9999	2007-5-30
	$y=1.0125x-0.8$	0.9999	2005-7-20
NO_x	$y=1.0726x-0.0$	0.9999	2006-4-12
	$y=1.1816x-0.6$	0.9999	2006-6-28
	$y=1.3316x-1.6$	0.9999	2006-11-7
	$y=0.9921x+0.0$	0.9999	2006-11-9
	$y=1.0325x-2.7$	0.9999	2007-2-13
	$y=1.0753x-1.2$	0.9987	2007-4-24
	$y=1.0973x-0.2$	0.9999	2007-5-29
	$y=1.0115x-0.4$	0.9999	2007-5-29

2.2.1 多点校准的频率

仪器的多点校准通常在:(1)仪器最初安

装时;(2)放置位置变更的情况下;(3)任何对仪器响应可能有影响的维护和维修前后;(4)观测中断多日之后重新观测时;(5)任何有显示仪器故障或调整仪器响应参数前后。此外,仪器需要定期进行校准,这就是多点校准的频率。具体需要多长时间进行需要具体的判断,这种判断是基于仪器在特定的环境下运行一段时间内的稳定性,同时还要综合考虑执行校准的成本和能力。若校准频率减少可能会增加实际分析仪响应与校准曲线之间的平均误差,会因不及时发现仪器故障或严重的响应变化而增加收集无效数据的风险。根据2年来的观测经验和跨检查结果,对于本测量系统,多点校准的频率应至少满足:

(1) NO_x 和 SO_2 分析仪在每1至3个月内至少完成一次;

(2) CO 和 O_3 在3至6个月内至少完成一次;

(3) 每个校准点的持续时间在20至40分钟为宜。

当多点校准方程的斜率系数超出1的5%~10%的变化范围时,就应当考虑调整仪器的响应参数;当线性较差的时候应首先检查校准系统是否准确可靠,而后视具体情况对仪器进行维护或维修。

2.3 基于校准信息的数据订正方法

多点校准方程通常用一元线性方程 $Y=aX+b$ 来描述,其中 Y 是理论值, X 是测量值, a 为斜率, b 为截距。斜率和截距(相当于零漂移)通常可分开来订正。

对于零漂移的扣除,(1)可采用多点校准方程中的 b 值,这个 b 值相对单一;(2)可对多次零检查的测量结果进行统计处理(如算术平均)来获得,它要求所获得的零检查值是准确的前提下,并对其做适当的剔除处理(如根据3倍标准差等判别方法);(3)由1或2得到的不同的时间区间内的 b 值可能是不同

的,视情况分时段订正。

对斜率处理有四种方法:

(1) 临近值调整法:采用最近的一次多点校准方程 $Y=aX+b$ 中的参数 a ,对斜率进行调整。通常是在特定时期内、因缺乏足够的多点校准方程或通常在短期观测的情况下使用此方法。

(2) 插值法:利用不同时期完成的多点校准方程中的斜率 a_1, a_2, a_3, \dots ,用斜率值和所对应的时间作图,并进行拟合,利用拟合出来的方程求得各个时期的斜率值,从而对数据进行斜率订正。拟合出的曲线方程(一次或多项式),根据其相关系数 R^2 来判断拟合的效果, $R^2 \sim 1$ 为佳。这种方法通常是仪器的响应在没有人为干预的情况下,假定仪器的响应随时间的变化存在某种内在的关系;斜率数越多,插值就越准确。

(3) 算术平均法:根据多次多点校准方程之斜率 a_1, a_2, a_3, \dots ,取其平均值,并应用于数据的校正。通常适用于响应较为稳定的仪器,其斜率值的偏差在误差允许的范围内。根据表4, CO 和 O_3 分析仪这二者的仪器响应相对稳定,可采取算术平均法求得订正的斜率值。

(4) 区间区别法:对不同的时间区间,每个区间采用相应的多点校准方程,这些多点校准方程斜率可以是以上三种方法之一所得到的 a 值。适用区间可参考零/跨检查值随时间的变化来确定。通常在仪器因客观原因出现停机、重要的零部件损坏、进行了零/跨调整等导致仪器响应的不连续变化的情况下采用此法。

总之,以足够多的多点校准方程,而不是单个检查值来订正数据,这是一个重要的数据订正原则。合适的多点校准的频率,有利于数据的准确订正。在数据订正过程中,以上几种方法可配合使用,并在数据订正说明文档中详细描述,以供数据使用者和在数据

质量评估时参考。

2.4 标准量值传递

观测仪器除了必须定期进行多点校准之外,还需要进行标准量值传递,以保证同一站点不同时期数据的可比性以及不同站点之间数据的可比性。本底站使用的 NO 、 SO_2 、 CO 标准气具有国家质量认证的产品,可来自不同的厂家,它们之间的差别需要由一个标校中心来统一。 O_3 没有标准气体,通过臭氧标准仪器定期对臭氧分析仪进行标定来实现标准传递。

在观测中,臭氧传递标准溯源于 WMO 臭氧测量标准; SO_2 、 NO 、 CO 溯源于 NIST-traceable 标准。即利用 WMO 指定的臭氧测量标准仪器定期标定国家中心的地面臭氧测定仪 49CPS(或类似仪器),该测定仪定期与台站的臭氧分析仪进行比对。通过稳定、准确的配气系统,用 NIST-traceable 国际标准气标定国家级中心的相关仪器,再用经标定的仪器准确测量拟在台站使用的标准气,从而使国内标准气可溯源到国际标准气。台站在更换气瓶前后,分别用旧/新标气各完成一次多点校准。台站换下的旧标准气可送回中心再次比对检查,以确定标气浓度随使用时间的变化情况。

2.5 仪器测试、检验和维护

仪器测试、检验和维护是为了保证仪器的正常、稳定运行。它包括分析仪器及其辅助支持系统,以及预防性的维护措施。

本系统的分析仪器具有自我诊断的功能,具备供人工测试的基本功能环境。日常工作中应定时记录诊断信息并做好重要参量的趋势分析,对异常的诊断信息应及时报告并寻求合适的处理及维护方法,必要的时候可作相应的测试工作。

辅助仪器主要包括校准、数据采集和零

空气等系统。它们是观测系统不可缺少的一部分。校准标准传递必须可溯源于国家或国际标准。数据采集系统应精确可靠。零空气系统应能够稳定发生目标及干扰气体含量均小于规定浓度的干洁零空气。

预防性维护包括建立仪器日志、维护日志、进行日常巡检和例行维护作业。每个仪器设备配备一个记录本记录相应的维护、维修、测试和校准工作,该记录本应随仪器而动。根据技术规范和相关要求,明确日常巡检的内容和频率。对定期记录的参数应进行时间趋势分析,以利尽早发现问题和预先采取必要的措施。例行维护是根据技术规范所要求的内容进行,通常根据预定的时间表进行各项预防性维护措施,但这个时间表不是固定不变的,可根据实际的情况进行更新,而且对不同的仪器可有所不同。

3 小结和讨论

在当前的工作环境下,龙凤山站的反应性气体观测系统能够稳定运行,仪器的检测限适合于本地区大气中的气体浓度水平的观测;零/跨检查和标定系统设计合理,能够反映出仪器响应的变化。该系统也有一些细节需要完善,如解决 O_3 的自动跨检查问题;数据记录的频率调整为 1 分钟,以保存更多的信息;考虑增加 NO 和 SO_2 零/跨检查的频率等。根据 2 年来的多点校准和仪器响应变化情况看,例行的多点校准工作的执行频率应保证在: NO_x 和 SO_2 分析仪每 1 至 3 个月至少完成 1 次, CO 和 O_3 分析仪每 3 至 6 个月至少完成 1 次。

尽管在质量控制方面做了不少工作,但仍存在以经验性为主导和不规范的现象,因此,在质量控制的内容上要进一步细化,强化执行过程的规范化,并尽快实现自上而下的制度化。特别应做到规范记录和完整记录,

及时向 QA/QC 小组传递质量控制信息,加强技术支持和技术保障工作(包括中心实验室建设、备件库和备机建设)等。应加强对质量控制和数据质量的定期评估,以利改善观测质量。此外还应完善标准量值传递的软硬件设施,进一步规范标准量值传递工作,使各方面工作真正达到业务化运行的要求。

尽管观测的质量控制在一定程度上实现了自动化,但应当强调观测及分析人员的主观能动性,加强人机之间的互动,及时识别和判断出现或即将可能出现的故障,并对 QC 信息识别出来的错误或故障及时进行排除并做出正确的响应。当前,值班人员能够严格地按照规定进行值班,但对所记录的参数数据的分析工作有待加强。需要加强培训,增强台站工作人员对标准操作程序的理解,培养质量控制意识和提高工作技能。

与相对成熟和规范的传统气象观测项目发展历程类似,质量控制措施需要在实践过程中不断地完善^[12]。在初期应允许从实践(包括错误)中积累经验,而不急于完全以常规气象观测规范的要求来衡量这项工作及相关业务人员。应着重培养业务人员学习的动力,用科学的态度来面对这项新型的业务工作。应强调经常性培训的重要性,对观测人员宣传岗位职责,传授业务技能、相关科学知识、工作经验。工作人员除了熟悉标准操作程序并能够进行常规的维护操作之外,更重要的是应学会识别质量控制过程中的错误和故障,并能采取有效应对措施。这是获取可靠和可比的科学数据所必需的,也是建立科研型业务单位的客观要求。

参考文献

- [1] WMO. Global atmosphere watch measurements guide(R), WMO TD No. 1073, 2001.
- [2] 张兴赢,张鹏,方宗义,等. 应用卫星遥感技术监测大气痕量气体的研究进展[J]. 气象, 2007, 33(7): 3-14.
- [3] 唐孝炎. 大气环境化学[M]. 北京:高等教育出版社, 1990, 343.
- [4] Roscoe H K, Clemitshaw K C. Measurement techniques in gas-phase tropospheric chemistry: A selective view of the past, present, and future[J]. Science, 1997, 276: 1065-1072.
- [5] 中国国家环保总局. 中华人民共和国环境保护行业标准(HJ/T193-2005)-环境空气质量自动监测技术规范, 北京:中国环境科学出版社, 2006, 33.
- [6] Usepa. Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems[R]. Volume II: Part 1 Ambient Air Quality Monitoring Program Quality System Development, Office of Air Quality Planning and Standards Research Triangle Park, NC 27711, EPA-454/R-98-004, 1998.
- [7] 徐晓斌,丁国安,李兴生,等. 龙凤山大气近地层 O₃ 浓度变化及与其它因素的关系[J]. 气象学报, 1998, 56(5): 560-572.
- [8] 徐晓斌,丁国安,李兴生,等. 中国东北区域本底大气中酸性气体的研究[J]. 中国环境科学, 1997, 17(4): 345-348.
- [9] Ding Guoan, Xu Xiaobin, Luo Chao, et al. Surface ozone characteristics at three stations in GAW of WMO in China [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2001, 15(1): 21-28.
- [10] 颜鹏,李兴生,罗超,等. 我国地面 O₃、NO_x、SO₂ 背景值的观测研究[J]. 应用气象学报, 1997, 8(1): 53-61.
- [11] 王新华,罗四维,刘小宁,等. 国家级地面自动站 A 文件质量控制方法及软件开发[J]. 气象, 2006, 32(3): 107-112.
- [12] 窦以文,屈玉贵,陶士伟,等. 北京自动气象站实时数据质量控制应用[J]. 气象, 2008, 34(8): 77-81.