

长期气候记录从常规气象观测网向自动气象观测网过渡中的挑战

2017年版

水
气候
天气



世界气象组织

WMO-No. 1202

长期气候记录从常规气象观测网向自动气象观测网过渡中的挑战

2017年版



世界气象组织

WMO-No. 1202

编辑说明

《气象术语》是WMO术语数据库，可登录以下网址查询：<https://public.wmo.int/zh-hans/meteoterm>。

请通过选择文本中的超级链接进行复制的读者注意，紧跟：<http://>、<https://>、<ftp://>、<mailto:>后以及斜杠 (/)、破折号 (-)、句号 (。)和连贯字符序列（字母和数字）后会有额外空格。这些空格应从所粘贴的URL中删除。当光标悬停在链接上或点击链接时会显示正确的URL，然后再将其从浏览器复制。

WMO-No. 1202

© 世界气象组织, 2017

WMO对印刷、电子和任何其他格式的出版物，以及用各种语言出版的出版物拥有版权。短幅选摘WMO出版物无须授权，但须清晰完整地注明出处。涉及编辑及要求出版、重印或翻译本出版物全文或部分者，须联系：

Chair, Publications Board

World Meteorological Organization (WMO)

7 bis, avenue de la Paix

P.O. Box 2300

CH-1211 Geneva 2, Switzerland

电话: +41 (0) 22 730 84 03

传真: +41 (0) 22 730 81 17

电邮: publications@wmo.int

ISBN 978-92-63-51202-4

注：

WMO出版物中所用的称号和本出版物中的材料表示方式并不代表WMO秘书处对各国、领土、城市或地区、或其当局的法律地位、或对其边界划分的观点立场。

WMO出版物中的观点是作者的观点并不代表WMO。提及的具体商号或产品与未予提及或未刊登广告的同类相比并不表示前者得到了WMO的赞许或推荐。

目录

	页码
鸣谢.....	vii
1. 引言.....	1
2. 从常规测量向自动测量过渡的一般方面和特定要素方面	2
2.1 一般方面.....	2
2.1.1 数据完整性.....	2
2.1.2 常规和自动测量之间误差模式的差异.....	2
2.1.3 常规系统和自动系统之间做法的一致性.....	3
2.1.4 维护、校准和公差检查	4
2.1.5 尖峰过滤、时间采样和其他算法	4
2.2 特定的气象要素.....	5
2.2.1 温度.....	5
2.2.2 降水.....	8
2.2.3 大气湿度(湿度、露点和蒸汽压)	10
2.2.4 其他要素.....	11
3. 由于从常规观测过渡到自动观测而产生记录不均匀的例子.....	12
3.1 引言.....	12
3.2 温度.....	12
3.3 降水.....	13
3.4 其他要素.....	13
4. 从常规测量过渡到自动测量的管理指南.....	14
4.1 常规和自动系统之间的并行测量.....	14
4.2 在部署业务自动气象站之前进行测试.....	14
4.3 并行观测期的代表性.....	15
4.4 如果没有有用的并行观测期会怎样?	16
4.5 从常规观测到自动观测过渡期间的数据管理.....	17
5. 参考文献.....	18

鸣谢

感谢澳大利亚气象局的 Blair Trewin 先生对本出版物做出的杰出贡献。

1. 引言

注： 本指南讨论了长期气候记录从常规气象观测网络向自动气象观测网络过渡过程中的同质性，并提供了相关实例和指导。

自动气象站 (AWS) 在发达国家和发展中国家的气象观测网络中发挥的作用越来越大，其在气象应用中具有许多优势，可以实时接收高时间分辨率的观测数据，而且在最初投入基建安装成本之后，其经常性费用相对较低。许多以前每天仅有几次观测的地点，现在每分钟都有连续的数据输入。这些 AWS 还能在无常住人口的地区和人类观测员不易到达的地方 (如机场中心) 进行观测。另一方面，与人工系统相比，AWS 通常需要更频繁和更专业的维护，这在一些地方，特别是资源有限的国家，会给网络管理带来很大的负担。它们还给气候观测计划带来了挑战，因为与从常规测量到自动测量过渡有关的问题，也因为自动测量的一些特点，如仪器故障率不同。

一些国家已经将其天气站网完全转型到了 AWS，或者已宣布有意为之 (例如，德国计划在 2020 年之前转到全自动网络; Clausnitzer 等人, 2015)，而一些发展中国家已借助引入 AWS 来支持大幅扩大以前稀疏的网络。

“自动气象站”可以包括多种类型的站点。就入门级而言，测量范围相对较窄、精度有限但可达到有用精度的气象站，可以通过正常的商业渠道以几百美元的价格购买，并被许多国家的私人 and 小型组织广泛使用。对于高端而言，符合 WMO 性能标准的专业站可能要花费数万美元；除了温度、湿度、风速和风向、气压和降水等基本变量之外，它们还可以装备测量能见度、云量和云类型以及当前天气等参数的传感器。在有些国家，国家气象水文部门 (NMHS) 只使用 NMHS 拥有的 AWS 数据，而在其他国家，NMHS 也将其他组织或个人拥有的 AWS 数据纳入其产品和分析。在本指南中，AWS 不包括那些连续记录、但需要人工干预才能从图表或类似格式中读取信息的自动记录仪器，如气压计或风速计；不过，AWS 要包括可生成数字输出的设备，而这种输出需要人工干预将其传送到更大的通信网络。

WMO 已经发布了管理气候观测计划变化的指导原则，其中有一套可以管理这种变化的建议做法 (WMO, 2007)。本指南将侧重于那些可能构成长期气候记录一部分的 AWS。这些 AWS 通常由 NMHS 或相关机构所有，或有时由第三方 (如航空、农业或公路运输机构) 根据 NMHS 认可的标准拥有。经验表明，私人 AWS 对某些气候目的是有用的 (如提供个别局地尺度的极端事件信息)，但很少能达到所需的记录长度、准确性或敞度标准，或场地和仪器的长期稳定性，不可能对十年或更长的时间尺度的监测有很大价值。

观测网的自动化有许多优点，但也给长期气候监测带来了挑战。观测系统的任何变化都可能给气候记录带来不均匀性，需要对其进行评估并在必要时进行调整。如第 4 章所述，如果在短时间内大量的站点 (可能是基准站) 发生类似的变化，那么评估站点的不均匀性尤其具有挑战性。在很多情况下，部署 AWS 还会伴随着站点迁移。此外，引入 AWS 可能会导致那些难以自动测量的变量 (或自动测量与人工观测不能直接比较) 的观测值 (如云量、雪深或蒸发皿蒸发量) 丢失。一旦 AWS 在网络中普遍存在，仍可能因一些国家的竞争性招标或采购政策而难以保持仪器类型的一致。

本指南应与 WMO 其他出版物 (包括仪器和观测方法委员会 (CIMO) 的《气象仪器和观测方法指南》(WMO, 2014; 以下简称 CIMO 2014)) 一并阅读。CIMO 2014 特别提供了关于 AWS 使用的详细指导 (第二部分, 第 1 章)。本说明将侧重于 AWS 与长期气候测量有关的方面；

读者可参阅 CIMO 2014, 了解 AWS 的一般性详细信息。《气候规范指南》(WMO, 2011) 在第 2 章 (气候观测、台站和网络) 中讨论了 AWS 的各个方面, 并提到了 WMO 全球气候观测系统制定的总体气候监测原则。《气候元数据和同质化指导原则》(WMO, 2003) 讨论并提供了关于同质性测试方法和同质化的指导 (撰写本说明时预计会有更新)。

2. 从常规测量向自动测量过渡的一般方面和特定要素方面

2.1 一般方面

2.1.1 数据完整性

在最佳运行状态下, AWS 能够提供具有连续性和时间分辨率的数据流。其数量即使是最勤奋的观测人员也无法做到。它们可以提供分辨率为 1 分钟或更低的数据, 夜间和周末的运行与标准工作周的运行一样有效。

常规观测和自动观测都会出现数据中断的情况, 但中断的方式可能不同。在常规观测中, 最常见的缺失原因是观测人员的缺席, 无论是计划内的 (比如周末没有观测) 还是计划外的 (比如生病)。如果观测人员离开岗位 (例如辞职、生病或死亡), 而又不能迅速招募到替代者, 也可能出现长时间的数据缺失, 甚至完全停止观测, 这在当地人口较少的偏远地区是一个特别大的风险。仪器故障或失效偶尔会导致常规观测的数据缺失, 但通信故障很少会导致数据丢失, 因为数据通常可以保留下来供以后传输。

自动系统不需要观测人员在场。然而, 电子系统往往比常规系统更容易发生故障 (特别是那些没有任何移动部件的常规系统, 如温度计和雨量计), 并可能受到诸如雷击 (风速计特别容易受到雷击, 因为它们是安在高高的桅杆上) 或电源故障 (无论是主电源、电池还是太阳能) 的影响。自动观测也可能受到通信系统故障的影响。这些故障可能发生在观测站, 也可能发生在录入数据库的地方, 或者发生在两者之间的电信系统。受影响的数据可恢复的程度取决于一些因素, 如用于数据传输的方法和数据是否在现场记录 (如果是, 记录多长时间)。仪器或通信系统的故障往往需要专业的技术知识来修复, 而如果是一个温度计坏了, 可以在现场用备用温度计来替换, 或者几天内寄到站点。如果当地没有这种专业技术, 特别是在偏远地区, 这可能导致长时间的停测。自采用 AWS 以来, 澳大利亚的数据经验表明, 常规站和自动站的总体数据缺失比例相似, 但自动站的平均停测时间更长。澳大利亚和西班牙的数据表明, 在较长时期内重复出现的间歇性短时中断是 AWS 可能出现的另一种故障模式。这可能会影响每天的观测结果, 从而影响较长时期的总量和平均数。

2.1.2 常规和自动测量之间误差模式的差异

常规观测方法容易受到各种人为错误的影响, 而这些错误在自动系统中已被消除了。其中的例子包括:

- (a) 仪器误读错误 (例如, 读错温度计指数的一端或误读 5° 或 10° 的数值);
- (b) 转录和数据输入错误 (例如, 当纸质表格中的信息被输入数据库时, 发生数据输入错误);

- (c) 计算错误 (例如, 将站位压力转换为平均海平面压力, 这是由人工或通过查询表完成的, 这在历史数据中很常见)。

对于一些气象要素, 常规观测也将不可避免地取决于观测人员的判断, 而这种判断可能因观测人员的技能、经验和勤奋程度而有所不同。一个明显的例子是云量、云型和云高, 这主要取决于观测人员的判断, 而观测人员的变化是数据不均匀性的常见来源 (Jovanovic 等, 2010)。其他例子包括能见度估计, 以及根据蒲福风级估计得出的风力观测。

虽然上面提到的误差源对于 AWS 来说基本上或完全被消除了, 但 AWS 也会因为其他原因产生错误的数​​据, 包括电子或机械故障。AWS 的一个特别常见的错误模式涉及观测到的变量 (“尖峰”) 非常快速地变化到一个往往完全不现实的值 (图 1)。这通常是由于电源浪涌或系统中某个点的电气干扰引起的。在复杂的 AWS 网络中, 由于采用了过滤虚假数据的算法, 这个问题变得不那么严重了 (见下文), 但对于早期或较低级别的 AWS 来说, 这仍然是一个重大问题, 有时在发展中国家, 或在较发达的国家使用 AWS 的早期, 就会出现这个问题。误差也可能发生在 AWS 内部系统中, 例如用于将仪器的信号转换为气象变量值的算法。如果 AWS 软件是由制造商提供的 “黑匣子”, 而 NMHS 不能直接访问, 那么这些错误的检测和纠正就会特别具有挑战性。

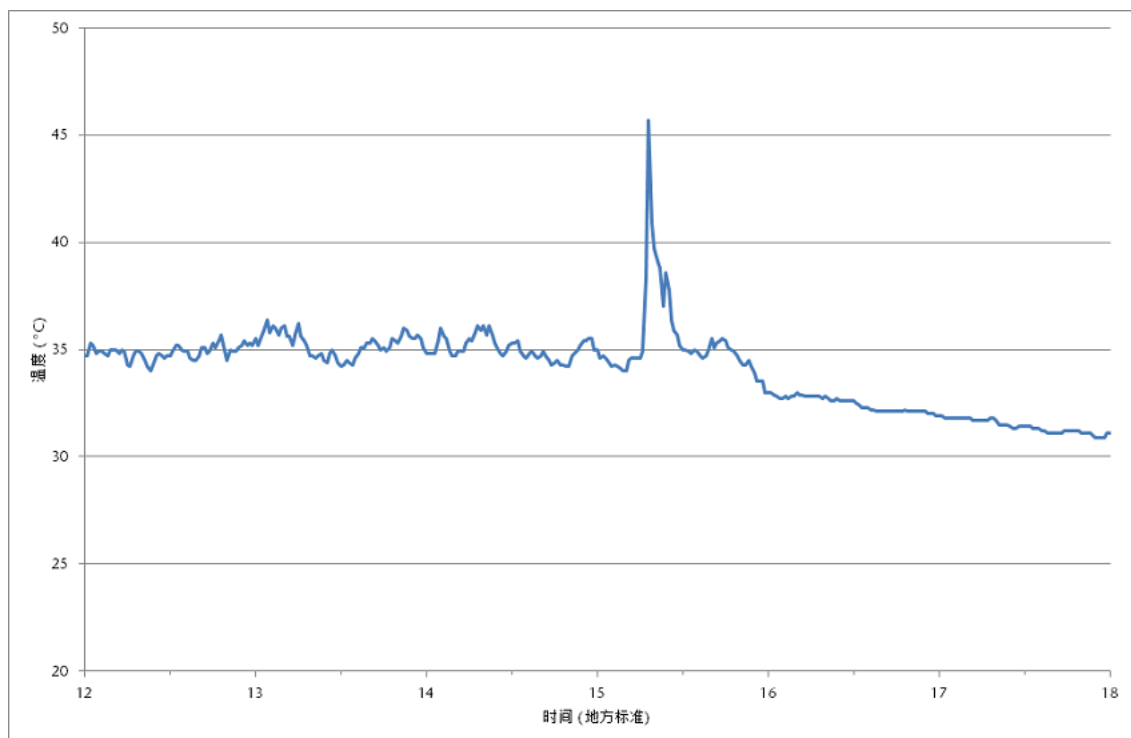


图 1. 数据峰值示例: 2016 年 5 月 5 日澳大利亚布尔曼的干球温度

2.1.3 常规系统和自动系统之间做法的一致性

一般来说, 对用自动站测得的气候变量进行定义, 最好是与常规站测得的同等变量尽可能接近。这对于在一天内定义的变量尤其必要。因此, 利用 AWS 数据流 (通常分辨率为 1 分钟或更短) 计算每日变量的方式很重要。

自动站时间分辨率更高，而且其可在一天中所有时间运行，因而可以带来常规站不存在的测量可能性。以下是两个例子：

- (a) 对于自动站来说，很容易将一个气候日确定在午夜结束，而对于常规站来说，往往很难找到在午夜进行观测的人员，因此往往选择其他的观测时间（例如 0900）；
- (b) 自动站的日平均值（例如平均海平面气压）可以在所有观测值中连续计算，而在常规站，只能使用少量的观测值（例如 4 个每 6 小时一次的观测值）。

在这些情况下，虽然利用 AWS 的其他可能性似乎是一种“改进”，但这样做会给气候记录带来潜在的不均匀性。如果不同的观测站在不同的时间报告，整个观测网络也可能存在不一致的情况。尽可能地将 AWS 的变量定义与常规站点的定义相匹配是最好的。

2.1.4 维护、校准和公差检查

WMO 建议，应至少每两年检查一次所有陆地天气站和主要气候站（CIMO 2014，第一部分，1.3.5 节）。此外，WMO 的指导原则指出，应该根据制造商的建议对自动仪器进行检查（因仪器而异）。自动传感器，特别是那些电力传感器，在野外会发生漂移，定期的偏差检查¹是确保观测的长期稳定性和同质性的重要部分。时常对传感器进行更严格的校准也有好处。如果不进行校准，就会出现仪器漂移在数据中产生虚假趋势的风险，如果这些趋势随着时间的推移逐渐发展，则可能很难发现。缺乏公差检查或校准也会降低数据的可追溯性。

除了定期检查和实地维护外，AWS 不可避免地会出现一些意外的中断。可以通过一些措施来降低这种风险，如安有一些冗余传感器（在单个传感器发生故障的情况下），或者具备大量的站内数据记录能力，以便在发生通信故障时进行数据恢复（这需要充足的电力供应）。解决许多故障不需要观测网络供应商的直接干预，有些可以由当地人员解决；但是，有些则需要专业技术人员的干预。

一个常见的情况是，AWS 网络已经安装完毕，但用于安装的资金来源可用于持续维护（定期或不定期）的较为有限或根本没有。其他挑战可能包括缺乏合格的技术人员，以及技术人员难以迅速到达地点（例如，这些地点离 NMHS 总部很远，或者在难以到达的地方，如高山上或近海岛屿上）。

因此，在维护支持有限或不存在的国家，一些 AWS 很容易出现长时间停测或其他维护问题（Page 等人，2004）。这个问题在一些发展中国家尤为突出，因为这些国家的资金（有时由援助机构或类似机构提供）范围有限，技术专长也很有限。在最糟糕的情况下，AWS 网络在安装后的几年内就几乎无法使用了。

2.1.5 尖峰过滤、时间采样和其他算法

如上所述，AWS 的一个常见数据质量问题是尖峰的出现。在数据处理中使用算法的情况越来越多，以从数据流中过滤掉这种尖峰。尽管如此，在气候分析中仍然需要使用数据质量控制方法来检测和标记错误的数值，特别是对于历史数据。这是因为不能假设适用于目前数

¹ 现场的公差检查经常被称为“校准”，但严格来说，“校准”一词仅限于与正式参考标准的比较。

据的质量标准也一定适用于 AWS 使用初期的数据。数据尖峰是分析气候极值的一个特殊问题，因为就其性质而言，它们往往超出正常的观测范围，因此除非经过过滤，否则将显示为虚假的极值。

AWS 利用各种软件和硬件将仪器的信号（例如，温度探头的电阻或风速计每次旋转时产生的电信号）转换成气象变量的数值。这个过程还涉及选择对变量进行采样的时间窗口。在某些情况下，软件变化可能会在一个或多个气候变量中产生不均匀性。因此，将软件版本的变化和任何内部硬件（包括电子接口模块）的变化都包括在台站元数据中是非常重要的。另一个挑战是 AWS 软件通常是专有的，制造商实施的版本变更的效果可能不对网络运营商或数据用户公开。

2.2 特定的气象要素

2.2.1 温度

温度是经历了最大程度的同质性审查的变量。从历史上看，观测技术的重大变化，特别是用于保护仪器免受直接或间接太阳辐射的防护罩或遮蔽物的变化，导致温度测量有时会出现严重的不均匀性。举例来说，19 世纪末和 20 世纪初，许多国家引进了标准的仪器防护罩（史蒂文森百叶箱或类似的），导致年平均温度普遍出现 0.2°C 左右的变化（Parker, 1994 年），在一些个别站点的变化更大（例如，Brunet 等人，2011 年；Ashcroft 等人，2012 年）。

与温度的自动测量有关的具体问题包括：

- (a) 仪器的变化（从玻璃液体温度计到电子探针）；
- (b) 仪器防护罩的变化；
- (c) 数据处理算法的变化（例如，观测的时间频率和日平均值的定义）；
- (d) 观测时间或其他观测方法的变化；
- (e) 与引入 AWS 有关的场地变化。

仪器的实际变化有时被认为是引入 AWS 后发生的主要变化。然而，在运行良好的观测网络中，测量系统本身已经按照标准计量程序进行了很好的校准（从点读数与实验室标准一致的意义上来讲）（Bertiglia 等人，2015 年），与引入 AWS 相关的温度不均匀性主要来自其他来源，如下文所述。

(a) 仪器的变化

引入 AWS 几乎无一例外地会涉及到仪器的改变，通常从手动读取的玻璃液态温度计（水银或酒精）改为铂电阻温度计或类似仪器。

最佳做法是对仪器进行校准和测试（WMO, 2014）。在有这种做法的国家，在受控和稳定的实验室条件下，手动仪器和自动仪器的瞬时观测结果出现明显差异的情况并不多见。然而，

即使仪器产生相同的瞬时读数，它们也可能有不同的响应时间（对空气温度的瞬时变化作出响应的长度）。通常情况下，自动探针未经过滤的观测结果将比玻璃内液体温度计的响应时间更快。

在某些情况下，一旦到了野外，自动探头就会偏离标准，或者在运输过程中也会发生这种情况。发生偏移情况会给气候记录带来不均匀性。为了防止这种情况，需要定期检查现场（AWS 至少每 6 个月一次；WMO, 2011），并根据标准对仪器进行误差检查和校准。一些国家缺乏资源来进行经常性的检查，使得仪器偏移的风险加大。

(b) 仪器防护罩的变化

一些国家（如澳大利亚和加拿大）在引入 AWS 时保留了相同的百叶箱设计，其他国家（如大不列颠及北爱尔兰联合王国）保留了相同的百叶箱形状和尺寸，但使用的是塑料材料而不是木材。在英国的案例中，Perry 等人（2007）发现塑料和木质屏风之间的温度差异平均不到 0.1°C （而且塑料 / 木质的差异往往小于同位置的木质屏风之间的差异）。在可能的情况下，保留相同的百叶箱设计是首选方案，因为这样做可以消除潜在的不均匀性来源。

然而，许多国家已经引入了新的百叶箱设计，通常改变为小型塑料百叶箱，因为更便宜，更容易维护。其中一些新的百叶箱设计产生的结果与从常规木质史蒂文森百叶箱得到的结果相似（通常在 0.1°C 以内）（Brandsma 和 van der Meulen, 2008）。但在其他情况下，例如从美国的棉区防护罩(CRS) 过渡到其他各种百叶箱，对某些温度变量的影响约为零点几度。在某些情况下，已经发现一些新的百叶箱设计会随着时间的推移而明显退化，在五年内对平均最高温度的影响高达 0.5°C （Lopardo 等人，2014）。这种退化在发生时，很难从统计学上或通过现场检查发现。

在某些情况下（例如，美国的气候基准网络；Diamond 等人，2013 年），也引入了通风防护罩，但自然吸气式传感器仍然在大多数业务网络中使用。

相关比较的进一步细节在第 3.2 节中讨论。

(c) 数据处理算法的变化

如上文 (a) 所述，AWS 中使用的自动探头通常具有与玻璃液温度计不同的响应时间特征。最常见的是，探头的响应时间较快，这意味着它们更有能力对温度的短期波动进行采样，相比玻璃液温度计其得出的最高温度会更高，而最低温度会更低。这在昼夜温差范围中产生了正偏差。

在那些使用每日最高和最低温度来计算平均温度的国家，最高温度的增加和最低温度的减少在一定程度上可以抵消平均温度。然而，有一些地方（图 2），特别是在干旱地区，在非常短的时间尺度（小于 1 分钟）上，白天的温度波动比夜间强（由于边界层的不同结构，通常在夜间稳定，而在白天混合良好）。因此，在这种情况下，更快速的采样将导致最高温度的正移，大于最低温度的负移，从而产生平均温度的偏移。

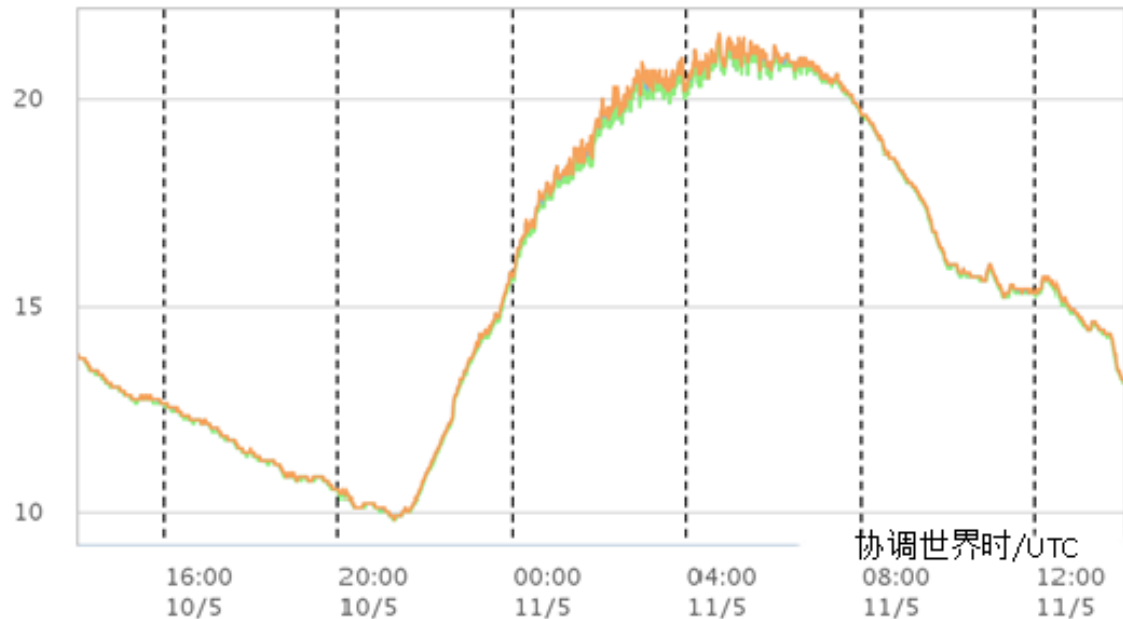


图 2. 2016 年 5 月 10 日 14 时至 2016 年 5 月 11 日 14 时 UTC (当地时间 2016 年 5 月 11 日 0 时至 24 时) 澳大利亚珀斯维尔的温度 (°C)，显示 2016 年 5 月 11 日 0 时至 7 时 UTC 左右 (当地时间 10 时和 17 时) 每分钟的最高 (橙色线) 和最低 (绿色) 温度之间有明显的逐分钟波动

来源：澳大利亚气象局

有可能在数据处理算法中使用过滤器，使自动探针的输出平滑到玻璃内液体仪器特有的响应时间。然而，不能假定这种过程能提供精确的匹配，而且可能并非在所有情况下都适用。在自动站与常规站的百叶箱设计不同的情况下，它们也不可能说明百叶箱的热属性变化状况。

(d) 观测时间或其他观测方法的变化

观测时间的变化是温度记录不均匀性的一个公认来源 (Menne 等人, 2009; Vincent 等人, 2009)²。虽然网络的自动化不一定会导致观测时间的变化，但它确实有可能促进这种变化。例如，实际情况是不再需要人类观测人员，这使得测量一个日历日 (从午夜到午夜) 的最高和最低温度变得更加实际。如前所述，虽然在从常规台站转向自动台站时，最好避免改变日常变量的观测时间，但历史上曾发生过许多这样的变化。

AWS 的引入会导致数据精度的变化。一方面，人类观测员，即使被要求读取到最接近的 0.1°，也倾向于使用整数，通常使用以 .0 结尾的数值，以及在较小程度上以 .5 结尾的数值被过度使用 (Trewin, 2002)。自动站应该没有这种倾向，但在某些情况下，它们报告的数值被四舍五入到整数度数 (例如，由于数据传输代码的限制，特别是在早期的 AWS 中)，而这

² 虽然 Menne 等人 (2009) 讨论的案例只有一部分与 AWS 的引入相关，但它说明了一个网络中大部分观测时间的变化会使数值产生很大偏差，在这个案例中，许多站点的观测时间由下午改为上午，导致平均温度出现负偏差。

些国家的正常精度标准是 0.1°。假设任何四舍五入的趋势没有向上或向下的偏差，四舍五入对平均值的影响可以忽略不计，但对超过阈值的频率（例如，温度大于或等于 30°C 的天数）可能有明显的影响(Zhang 等人, 2009; Trewin, 2012)，并且还影响观测到的天气变率。

(e) 与引入 AWS 有关的场地变化

在许多情况下，自动观测的引入伴随着站点的改变。造成这种情况的原因有很多，但一个常见的情况是，位于城市地区的长期人工观测点（由于历史原因，或由于观测人员的可用性）被转移到一个建筑密度较低地区的新地点（通常是机场或类似地点）。新地点将更好地满足 CIMO 2014 中定义的标准观测规范，并可能适合观测在大多数城市环境中无法令人满意的风等变量。另一种常见的情况是，将一个站点移到人类观测者不易到达的地方，如机场中心，但对于所获得信息的关键用户群来说，这个地方更有代表性。

虽然每个地点的变化对温度和其他变量的确切影响都是独特的，但公认的是，城市地区通常比非城市地区更温暖（尤其是在夜间）。因此，在没有其他影响因素的情况下（如当地的地形或暴露在附近的海岸线上），将站点从城内迁至城外（这通常与 AWS 安装有关），将经常导致最低温度的人为下降。根据旧址和新址的确切性质，因迁出城镇而导致的最低温度出现 1°C 或更高的不均匀性并不罕见。对最高温度和日平均温度也可能有不太一致的影响。

2.2.2 降水

在从常规站点向 AWS 过渡的过程中，降水测量中最常见的转变是由人工读取、累积式测量仪（降水累积在一个容器中，读取后在设定的时间内清空）向自动测量仪的转变。最常见的自动雨量计是翻斗式雨量计（水通过进水口进入雨量计，并积聚在一个小桶中，水满时小桶就会翻转，然后产生信号进行传输），而另一种常见的自动雨量计是称重式雨量计。也存在测量容器中水位的测量仪，以及使用冲击测量、微波雷达和激光等工具的非捕捉式测量仪。非捕捉式测量仪更多地用于当前天气测量，而非累积降水长期记录 (Vuerich 等人, 2009)。

与温度一样，过渡到自动测量的影响可能包括仪器变化的影响和仪器的敞度或当地现场环境的变化。与任何仪器类型的改变一样，常规仪器和自动仪器之间可能存在系统性差异，其性质将取决于所涉及的具体仪器。

选址的主要影响发生在风力强大到足以导致降水不足的地方，因为风是一个公认的来源 (Sieck 等人, 2007)。在这些情况下，当地风环境的重大变化（即使是轻微的场地变化也会发生）会极大地影响捕捉不足的程度，从而导致测量的降水的不均匀性。这个问题在高度暴露的地方特别明显，如山顶或海岸线（例如灯塔）。在很大一部分降水以冰冻形式降落的地方，这个问题也特别明显。在风力不强的条件下，选址一般不那么重要。

2.2.2.1 中断对降水数据的影响

虽然气象网络的运行方努力将数据损失降到最低，但在任何观测网络中，某种程度的中断都是不可避免的。中断对附加元素来说是一个特殊的问题，其中降水是最突出的。这是因为一天观测数据的任何部分丢失都会导致该月（年）的月（年）度总量丢失，除非缺失时期的

数据被估计出来，例如通过使用周边站点。(相比之下，一个月失去一天的温度观测数据，通常只会给月平均值带来微不足道的不确定性) 这个问题对需要连续计数的翻斗式雨量计来说最为严重，而对称重式雨量计的影响则较小，这取决于数据摄取的配置方式。

自动站的降水数据缺失期可能导致受影响的日值被设置为缺失，或者被记录为一个(可能是虚假的) 0 值，这取决于数据库摄取的结构方式。在后一种情况下，这将在记录的降水中产生一个负偏差，其程度取决于中断的频率和发生的情况。(可以推测，中断可能更有可能发生在风暴期间，而风暴期间也可能是降水较多的时候，尽管这一主张还没有得到客观的检验)。

在常规观测中，如果错过了一天的观测，仍然可以(通常) 获得多日的总量，这可能会导致丢失日观测数据，但通常不会丢失月度和年度的数据。然而，在降水非常多的条件下，常规观测有时会受到水位计溢出的影响，导致极端高的降雨量被低估或完全丢失，这种故障模式对于自动仪器来说可能性要小得多。

2.2.2.2 记录较小的降水量

使用常规和自动仪器记录较小降水量时存在潜在的偏差。当从常规站过渡到自动站时，这就造成了这种较小量频率的潜在偏差。

人工观测点的经验表明，小雨量(小于 2 毫米，特别是小于 1 毫米) 不被报告是比较常见的，特别是在没有专业观测人员的观测点。对澳大利亚人工降雨数据的研究发现，整个网络中超过 50% 的小于 1 毫米的日降雨量没有被报告 (Trewin, 2001)。虽然这对月度和年度总量的影响很小(因为少量的雨量通常会留在测量仪中，并被添加到下一次更大量的降雨中)，但这种漏报的少量雨量会影响观测到的雨天数量，以及基于此的指数³。

相反，自动雨量计不能可靠地区分雨水和露水或霜冻，这可能导致较小降水量的天数被夸大，除非有人工干预将其去除。翻斗式雨量计也很容易受到因雨量计受到干扰、有异物进入雨量计⁴ 或类似情况而记录的尖端的虚假读数的影响。

众所周知，由于小量降水的湿润损失，手动测量仪会出现记录不足的问题(这也可能发生在一些自动系统上)。这个问题对于较小降水量次数很多的地方来说是最重要的，特别是当这些降水是以冰冻形式出现时。在加拿大，据估计，一些地方的总湿润损失可以达到 15-20% (Goodison 等人, 1998)。这种降水模式是非常寒冷气候的典型特征，微量的降水也会对总降水量有很大的贡献。

³ 这种现象部分地解释了为什么气候变化检测和指数专家组在其降水指数中使用 1 毫米的雨天阈值。

⁴ 2009 年，在澳大利亚北部的一个站点观测到一个虚假的 0.2 毫米读数，这一天几百公里内没有云。这是由路过的割草机飞出的碎片进入仪器进气口造成的。

2.2.2.3 冰冻降水

长期以来，冰冻降水的测量一直是一个特殊挑战。即使在微风的情况下，雪的捕获量不足也是一个问题，就像区分落雪和从地面抬起的吹雪一样。冰冻降水测量方法不同，产生的结果相差 2 倍或更多也很常见，在高风速下差异甚至更大 (Goodison 等人, 1998 年; Wolff 等人, 2014 年)。

1986 年至 1993 年间，WMO 进行了一项重要的比对研究，主要是基于常规观测 (Goodison 等人, 1998 年)。第二项比对研究，即 WMO 固态降水比对实验，在 2012 年至 2015 年间进行了观测。

测量冰冻降水的许多问题对于常规和自动仪器来说是共同的。风对冰冻降水测量的影响 (包括造成落雪捕捉不足和造成吹雪) 特别取决于测量仪入口的位置 (高度和敞度) 和大小，以及挡风的程度。冰冻降水进入仪器后如何测量不应成为影响因素。

翻斗式雨量计通常被设计用来测量液体。一个常见的仪器配置是加热雨量计的进气口，以融化进入雨量计的任何冰冻降水，这使得雨量计能够测量液体当量 (有较小的时间滞后)。这可能是测量冰冻降水的一种有效方法，但取决于加热系统的正常运作。因此，如果加热系统出现故障，它就会崩溃⁵，而且即使运行良好，它也可能有系统性偏差 (例如因测量器入口处的蒸发产生偏差)。在没有这种加热系统 (很可能是在冰冻降水相对较少的地方)，雪可能会积聚在测量仪中，直到融化后才会被测量到。这可能会导致在降水出现后很久才测量到降水，即使总量大致正确，并且没有受到例如测量器进气口完全被雪填满的影响。加热仪的蒸发损失可能很大，Goodison 等人 (1998 年) 建议，在温度长期低于 0°C 的地方，不要用加热仪来测量冰冻降水。

称重式雨量计可以很容易地测量液体或冰冻降水，一般不依赖加热。比对研究表明，它们更适用于冰冻降水量较大的气候，但它们也会遇到数据质量问题 (Goodison 等人, 1998)。

CIMO 的一项调查 (WMO, 2010) 报告了九个国家的结果。调查结果发现，当时运行的自动站点中有 74% 使用加热型翻斗式雨量计来测量冰冻降水，23% 使用称重式雨量计。

2.2.3 大气湿度 (湿度、露点和蒸汽压)

对大气湿度的常规观测通常使用干球和湿球温度计。可以利用湿度测量法，通过这些读数得出当前蒸汽压和饱和蒸汽压；然后可以利用这些读数来计算露点温度和相对湿度。

自动站通常采用两种技术中的一种：湿球探头，在与常规湿球温度计类似的环境中操作；或相对湿度探头，可测量薄膜的电容变化，这一数量取决于相对湿度。

这两类仪器与常规仪器得出的测量结果有潜在的系统差异 (Lucas, 2010)。在使用湿球温度的方法中，用于从干湿球温度推导出蒸汽压的方程式涉及一个量 A，即湿度测量常数。A 的“真实”值是一些因素的函数，如仪器的通风、湿球仪的形状以及灯芯的长度和清洁度。在

⁵ 业务经验表明，仪表加热系统经常出现可靠性问题，而且对电力的需求很高。

实践中，业务上使用的 A 值通常是整个国家网络的常数，因此，影响 A 基本“真实”值的仪器类型如果发生变化，即使业务上使用的值不发生变化，也将产生蒸汽压和相关要素的不均匀性。

湿度探头最常被部署在没有固定观测人员的地方，或者温度经常降到冰点以下的地方。它们被设计为在特定的相对湿度范围内最有效地运行，但在该范围之外可能不太可靠。这可能导致在极端高或低的湿度下出现潜在的偏差。观测到的极端低湿度发生的变化对火灾天气等应用领域有影响，因为极低的大气湿度是一个重要的风险因素。极端高温度的观测对于识别雾气和薄雾很重要，这对航空和航运尤其重要。

湿球探头需要定期给相关的容器加水（与湿球温度计的方式相同）。如果容器干涸，湿球探头将开始表现为干球，导致虚假的高露点温度和湿度读数接近 100%。这种故障模式可能发生在常规或自动湿球温度计上。然而，在定期检查仪器的地点（如观测者进行观测时发生的情况），预计更有可能在容器干到影响观测之前注意到耗干情况。

饱和蒸汽压和温度之间的关系（以及观测到的蒸汽压和露点温度之间的关系）是高度非线性的。在露点温度低于 0°C 时，蒸汽压（或湿球温度）相对较小的绝对变化会对露点温度产生重大影响。例如，在露点温度为 20°C 时，降低 1hPa 的蒸汽压将使露点温度降低 0.7°C，在 0°C 时降低 2.4°C，在 -10°C 时降低 5.3°C。这样做的效果是，不同类型仪器之间的任何偏差通常都会对极端低湿度条件下的观测产生最大影响。以澳大利亚的阿德莱德为例，从 1978 年到 1995 年，使用常规湿球温度计时，当地时间 9 点的露点为 -5°C 或更低的年平均天数为 0.2 天，但从 1997 年到 2015 年，使用自动湿球探头时，每年为 1.5 天。同时，在附近的 Parafield 站点，从 1990 年开始使用湿度探头，平均频率为每年 0.5 次⁶。

2.2.4 其他要素

常规上，许多常规台站观测的元素：有的要么根本无法用自动仪器测量；有的要么是自动观测目前处于起步阶段的要素；有的要么可以用自动仪器以某种方式测量，但不能与常规观测兼容（甚至要进行同质性调整）；有的要么自动仪器的使用仍然主要是试验性的。这些要素包括：云量、云高和云型；蒸发皿蒸发量；现在天气状况；能见度和积雪深度。

从常规测量转为自动测量，通常会导致对这些要素的观测停止。在那些其网络中有相当一部分已经或正在实现自动化的国家，这可能导致对这些要素进行观测的网络减少，结果无法达到可行的国家分析所需的水平。（例如，由于贡献站不足，澳大利亚总云量数据集的更新在 2015 年底暂停；Jovanovic 等人，2010。）在某些情况下，可能会有常规数据的替代品。例如，通过将现代卫星数据与旧的基于台站的观测相结合，有可能进行长期云量分析，而在可用的情况下，太阳辐射数据可用作日照持续时间的度量。

自动观测的引入，通常会涉及到风力观测仪器类型的改变（或从观测员使用蒲福风级或类似的方法来估计风况，改为仪器测量）。仪器类型的任何变化都会在记录中引入潜在的不均匀性，其性质将取决于所涉及的具体仪器和用于将仪器输出（例如风速计杯的旋转速率）转换为相关测量的特定算法。

⁶ 关于澳大利亚露点测量从常规到自动过渡的详细讨论见 3.4 节。

风况观测的另一个重要问题是，引入自动观测也涉及到场地的搬迁。在许多情况下，这将是一个从城市地点搬迁到机场或类似设施。风况观测对观测点附近存在的气流障碍物非常敏感。(CIMO 2014 建议风向仪和障碍物之间的距离至少是障碍物高度的 10 倍)。因此，搬迁到一个更开阔的地方，即使仪器没有变化，也会导致观测到的风速增加。

3. 由于从常规观测过渡到自动观测而产生记录不均匀的例子

3.1 引言

许多国家现在都有从常规观测向自动观测过渡的经验。这些结果被广泛地记录下来，但不总是可以获取的(例如 NMHS 的许多实地试验结果只记录在内部报告中，外部用户往往难以获取，但这类材料越来越容易在线获取)。

本章的目的是提供一些例子，向用户说明一系列变量的常规观测和自动观测之间差异的大致性质和类型，而不是对关于非均质性的文献进行详尽的审查。

国际地表温度倡议的平行观测科学小组 (POST) (Venema 等人, 2016 年) 正在(撰写本说明时)对多个国家以常规和自动观测对温度和降水进行平行测量的案例研究进行评估。以下是 POST 工作的初步结果。

3.2 温度

十个国家的 POST (Aguilar 等人, 2015) 初步结果表明，在大多数研究中，从常规观测到自动观测导致的平均温度偏差是负的(即自动观测温度更低)。平均偏差不等，从秘鲁的 $+0.19^{\circ}\text{C}$ 到阿根廷的 -0.36°C ，但在一些个别站点出现了更大的数值。昼夜温差的偏差要大得多，因为一些国家的最高和最低温度的结果截然不同。例如，在西班牙和瑞典，发现最高温度有正偏差，最低温度有负偏差，而在美国(下文进一步讨论)，发现最高温度的平均偏差为 -0.50°C ，但最低温度的偏差接近零。应该注意的是，报告的结果并没有系统地将仪器的变化与相关的场地搬迁或仪器防护罩的变化分开；在有些国家，这些对它们自身产生了系统性影响(例如在澳大利亚，一些自动气象装置也与从城镇的地点转移到城镇以外的地点有关，预计会有冷偏差)。

美国对 1984 到 1988 年间从常规仪器到自动仪器的转变进行了深入研究，大约 60% 的合作站温度网络从常规仪器(在一个箱形木质百叶箱中)转变到了自动仪器(在一个多板百叶箱中)⁷。基于业务站比较的初步分析(Quayle 等人, 1991 年)发现这种转变的平均影响是最高温度 -0.4°C ，最低温度 $+0.3^{\circ}\text{C}$ 。在一个实验地点进行的专门实地比较(Wendland 和 Armstrong, 1993 年; Doesken, 2005 年)支持这个关于最高温度的结论，并且还发现在微风和强太阳辐射的条件下，差异最大。几乎没有发现最低温度有任何明显差异的证据，这表明 Quayle 等人(1991 年)观测到的最低温度差异可能是与过渡有关的站点变化的假

⁷ 这些系统被广泛称为 CRS 系统和最高最低温度系统(MMTS)。MMTS 不是全自动的，因为它将数字数据传输到终端(通常在观测者的场所内)，但需要人工干预，将数据传输到更广泛的通信网络。

象(例如,建立自动站点比它们取代的常规观测更靠近建筑物,以减少所需的电缆数量)。Hubbard 和 Lin (2006) 发现,虽然 Quayle 等人 (1991) 给出的整个美国网络受到的总体影响是合理的,但在个别地点的影响是针对具体站点的,这一发现支持了上述结论。

涉及美国网络其他部分的研究(主要机场使用的自动地表观测系统 (ASOS) 和气候基准网络 (CRN),两者使用的百叶箱设计与 MMTS 不同)也发现,MMTS 与 ASOS 和 CRN 之间的差异为几十分之一度 (Hubbard 等人,2004; Sun 等人,2005)。然而, Guttman 和 Baker (1996) 发现,ASOS 和其他系统之间的差异是针对具体地点的,即使两个系统都安装在同一个机场的范围内,也是如此。Leeper 等人 (2015 年) 发现,与 MMTS 相比,CRN 中使用的吸气式百叶箱的最高温度(平均为 -0.48°C) 有所降低,而最低温度 ($+0.36^{\circ}\text{C}$) 有所升高。在评估从常规温度测量到自动温度测量的转变时,这些结果增加了区分各种影响的难度:传感器本身的影响、与百叶箱类型有关的影响以及与其他相关变化(如场地移动)有关的影响。

为了保持长期气候记录的连续性,对加拿大 22 个地点的常规和标准配置的坎贝尔新型科学自动站所作的重叠观测进行了检查。首先,在一些配对台站中,匹配了每日最高和最低温度的观测窗口。其次,计算偏差并将其用于调整自动站的时间序列。使用两年和五年的重叠期来分析偏差。发现了配对台站之间的平均绝对差,最高和最低温度的差异分别高达 0.7°C 和 1.4°C (Milewska 和 Vincent, 2016)。

3.3 降水

九个国家的 POST (Stepanek 等人,2015) 初步结果表明,在大多数研究中,自动观测记录的降水量低于常规观测。偏干偏差的平均幅度较小(在所研究的大多数国家中小于 5%),但不同站点之间的响应差异很大,有相当多的站点显示偏差大于 +20% 或小于 -20%。初步研究结果表明,冻结降水的偏差比液态降水的偏差大,早期的 AWS 偏差比最近开发的仪器的偏差大。至于温度,报告的结果也包含了相关站点迁移的影响,POST 结果中的大部分差异可能来自于这些站点的迁移,而不是仪器的变化(特别是对于冻结降水,考虑到风速对捕获不足的影响,以及风速对当地站点环境的敏感性)。

虽然常规测量不是比较的一部分,但已经有 WMO 比对项目涉及各种雨量计,包括实验室 (Lanza 等,2006; Sevruk 等,2009) 和野外 (Vuerich 等,2009) 比对。这些研究发现,相对于参照物,未经校正的翻斗式雨量计在非常高的降雨强度下通常有很大的负偏差(在降雨量为 300 毫米/小时通常为 15-20%),但在较低的强度下偏差要小得多(在降雨量为 50 毫米/小时或更低时通常小于 5%)。这些结果表明,在很大一部分年降水量出现在高强度事件中的气候条件下,未经校正的翻斗式雨量计可能会受到长期偏差的严重影响,这在热带和亚热带的许多地方很典型。Vuerich 等人 (2009 年) 的研究发现,根据降雨强度而采用自动校正因子的翻斗测量仪其结果普遍良好。固态降水不属于这种比对的范围。

3.4 其他要素

大多数已发表的关于从常规测量向自动测量过渡的研究都集中在温度和降水上,对其他变量的研究较少。

Lucas (2010) 和 Gorman (2003) 报告了澳大利亚常规和自动露点 / 湿度测量的比较结果 (Lucas 通过对网络中的常规和自动部分进行回归分析, Gorman 通过实地试验)。Lucas (2010) 发现, 相对于常规湿球仪器, 澳大利亚网络中的自动湿球探头的平均露点偏差为 -0.5°C , 而湿度探头的平均露点偏差为 -0.3°C (尽管在后一种情况下, 在一定程度上取决于站点情况)。Gorman(2003) 发现在低露点时, 由湿球和湿度探头得出的露点之间存在很大差异 (露点低于 -5°C 时通常为 3°C 或更多), 并将其归因于湿度测量系数 A 的不合适值 (见 2.2.3 节)。这些结果是针对澳大利亚使用的仪器和观测方法的, 不一定适用于其他仪器和网络。

4. 从常规测量过渡到自动测量的管理指南

4.1 常规和自动系统之间的并行测量

在气候方面, 从常规测量到自动测量所带来的最重要的挑战是数据的同质性, 涉及范围广泛的变量, 以及平均值和极端值。正如前面所讨论的, 对于第 2.2 节中的特定要素, AWS 的引入有可能给任何气候学时间序列带来不均匀性, 就像通常伴随着过渡而进行的站点搬迁一样。

从常规台站过渡到 AWS 的建议做法是在两个系统之间进行一段时间的并行观测。WMO 提供的关于并行观测的最佳时期的指导也并不完全一致。CIMO 2014 建议针对风速和风向的观测至少为 12 个月, 温度、湿度、日照和蒸发至少为 24 个月, 降水至少为 60 个月 (它还指出, “一个有用的折中办法是 24 个月的重叠期”)。《气候规范指南》(WMO, 2011) 建议至少有一年的重叠期, 最好是两年或以上。在实践中, 必要的时期可能取决于站点情况, 不一定能提前预测。24 个月的时间可能可以确定是否存在严重的不均匀性, 但可能不足以完全量化不均匀性 (包括对分布的极端值以及平均值的影响)。系统变化越大, 出现重大不均匀性的风险就越大; 如果引入 AWS 是在与常规观测相同的仪器防护罩中, 那么对许多变量来说, 出现大的不均匀性的风险就很低。然而, 如果还涉及到重大的场地迁移, 那么出现巨大不均匀性的风险就会增加。因此, 如果对最初的并行观测期的分析显示出实质性的差异, 则最好选择能延长并行观测期。

本章中的许多讨论与并行观测的使用有关, 并适用于从常规观测向自动观测过渡以外情况下的并行观测 (例如在仪器类型没有变化的情况下发生站点搬迁)。

关于检测和调整气候数据中的不均匀性的详细指导, 可查看《气候元数据和同质化指南》(WMO, 2003), 这方面内容不在本说明范围内。

4.2 在部署业务自动气象站之前进行测试

CIMO 2014 年的指南建议, 在 AWS 业务化部署新仪器前应进行测试。这包括在实验室环境下的环境测试和校准, 以及在野外的功能测试。此类测试将确定传感器与标准 (如果存在的话) 的匹配程度, 以及仪器对照基准在现场的性能。

现场测试通常是在一个或多个专门的实验地点进行。在进行现场测试以支持引入 AWS 时，应将用于常规观测的现有仪器纳入现场测试，以便在一致的当地环境中对这些仪器进行比较。现场测试计划应至少包括一个完整的年度周期，并应设法隔离变化的各个组成部分（例如，通过比较同一百叶箱内的常规和自动传感器）。

即使进行环境和现场测试，也需要在部署 AWS 以代替常规台站的个别地点进行并行观测，因为不均匀性可能因当地条件而异。然而，如果环境和现场测试都表明，在实验环境中两者之间的差异可以忽略不计，这就降低了在个别地点存在重大差异的风险（前提是不涉及重大的地点变化）。如果像通常的情况一样，AWS 在短时间内被部署到整个网络的大部分区域，那么自动系统和常规系统之间不存在系统性的差异也会降低整个网络出现偏差的风险（见 4.4.1 节）。

4.3 并行观测期的代表性

两个观测系统之间的并行观测期将是这些系统之间差异的可靠指示，当且仅限于并行观测期能代表之前和之后的那些时期（即并行观测期内的老站与并行观测期开始前的老站相一致，而并行期的新站能代表该期结束后的新站）。因此，在并行观测期间，或在并行观测前/后不久，测试各个站点的时间序列是否存在不均匀性是很重要的。确保正确进行并行观测也很重要；曾经出现过这样的情况：在比较过程中的“常规”观测实际上是从自动仪器中读出的，这样做比较的作用就较为有限。

并行观测期间出现不均匀性的原因有多种。一个常见的情况是，由于城市的发展，观测点的敞度变差，或即将面临危险，因此决定迁移观测站。如果这种情况发生在并行观测期间，很可能会使旧址不具有代表性，因此并行观测期也就不具有代表性了。

即使在没有任何长期不均匀性的情况下，并行观测点的气象变量之间的关系也可能受到年际变化的影响。例如，土壤湿度和附近植被的绿色程度更有可能影响农村站点的温度，而不是城市环境中的站点，因此，在降水异常多（或少）的年份，农村/城市的温度差异可能不代表正常情况。数年的并行观测期可以最大限度地减少该时期对异常气候阶段进行采样的风险，特别是在受厄尔尼诺南方涛动影响较大的气候或受年际变化影响较大的气候中。

如果并行观测的周期足够长，并行观测期间的不均匀性可以通过不使用缺乏代表并行观测期的比例来处理。图 3 中显示了一个例子。在这种情况下，从 1992 年到 2002 年，新旧站点之间有并行观测。然而，存在着不均匀性，1995 年新站点的不均匀性约为 -0.9°C （由于新版本的 AWS 改变了数据平滑算法），1999 年老站点的不均匀性约为 $+0.5^{\circ}\text{C}$ （由于该站点逐渐被新建筑包围）。因此，只用了 1995 年至 1998 年这段时间来评估两个地点之间的长期差异。根据并行观测的时间长度和任何不均匀性的发生时间，这种方法可能是不可能的。在这种情况下，如果忽略并行观测的时期，而通过其他方式评估潜在的不均匀性，例如在该地区的独立基准站（见下文），可能会得到更好的结果。

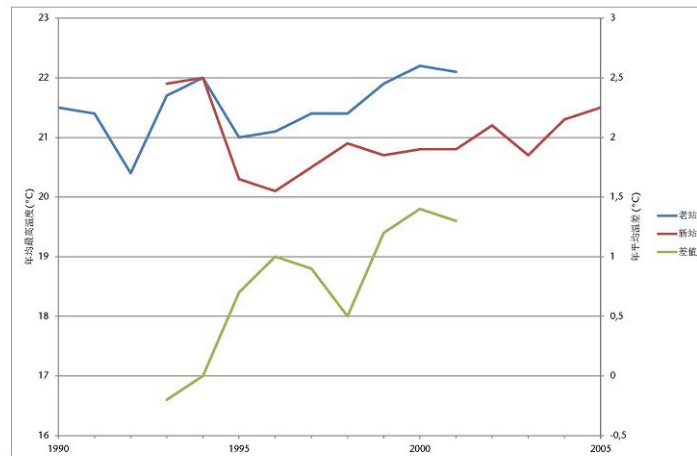


图 3. 澳大利亚林肯港的年平均最高温度，市中心的常规观测点（“老站”）和北部 14 公里处的机场自动观测点（“新站”）之间的并行观测期。

4.4 如果没有有用的并行观测期会怎样？

虽然从常规观测过渡到自动观测的计划应包括现场测试的开展，以及部署阶段的并行观测，但有许多情况下不存在有用的并行观测期。这方面的一些原因可能包括：

- (a) 过渡期发生在一段时间前，当时没有开展并行观测的政策；
- (b) 进行了并行观测，但只涵盖有限的变量范围；
- (c) 并行观测期没有用，因为在此期间或前后，常规站或自动站的记录都不均匀；
- (d) 计划中的并行观测期因旧址无法使用而提前终止（例如，如果因旧址的发展压力而发生站点搬迁，土地所有者可能不愿意继续租用观测所需的土地）。

在任何一种情况下，评估从常规测量到自动测量的影响就成为一个评估不均匀性大小的问题，并无数据支持（假设自动站的安装日期是已知的）。这个过程通常要利用附近的其他站点（基准站）。

处理大部分网络几乎同时改变的情况

当国家网络的很大一部分几乎同时发生变化时，气候数据的同质化就特别具有挑战性。这是因为最准确的数据依赖于基准站的数据（与候选站有很好的相关性，其不均匀性前后几年的数据可以用来检测不均匀性并评估其影响）。然而，如果网络的大部分受到影响，许多潜在的基准站也将受到影响，因此将不能提供不均匀性影响的真实指示。另一个问题是，影响全国网络大部分地区的不均匀性可能非常大，即使它在单个站点上是微不足道的，但在全国范围内非常显著。例如， 0.2°C 的温度不均匀性在单个站点可能无法检测到，但在全国范围内可能很重要（在每十年 0.1°C 左右的世纪尺度趋势下）。

当变化同时发生时，这个问题最为严重，例如，全国性的观测时间变化就可能发生。1961年，加拿大的观测时间从 0000UTC 结束改为到 0600UTC 结束，这导致加拿大东部许多站点的最低温度出现 -0.6°C 至 -0.8°C 的不均匀性 (Vincent 等人, 2002)。对于从常规网络过渡到自动网络来说，这种同时发生的变化比较少见，因为预计网络中的所有 AWS 不会在同一天投入使用⁸。然而，大量站点在几年内完成过渡是比较常见的情况，这一时间窗口虽比较短，但可以对同质化做法产生实质性影响。

如果没有合适的并行观测，处理这个问题的潜在策略包括：

- (a) 只用那些不受变化影响的台站作为基准站，在这种情况下，是指自始至终保留常规观测的台站，或者可能是在更广泛的全网变化之前几年安装的自动台站。
- (b) 如果没有这样的基准站 (例如，因为整个网络受到影响)，则使用与所关注变量有某种关系的独立数据集。就陆地表面温度而言，这可能包括邻国的观测、高空温度 (例如 850 hPa 温度) 或附近海洋的海面温度，而对于风的测量 (在中纬度和高纬度)，从压力数据中得出的地转风可能是一个有用的替代。这种数据集的相关性可能不够，无法产生对特定站点有用的结果，但对评估国家或区域范围内的影响可能有用。
- (c) 回顾性地开展一个现场试验 (或利用现有的现场试验结果)，将目前运行的自动站与以前使用的常规仪器的复制品进行比较，以确定和量化任何性能上的差异，然后可用于 / 推断出在其他地点使用的相同 AWS 类型。许多研究都采用了这种方法来评估 19 世纪及更早时期用于温度测量的仪器防护罩的特性 (Brunet 等人, 2006 年, 2011 年; Böhm 等人, 2010 年)。

如果已经发生这种全网络范围的变化，在试图在单个站点级别进行同质化之前，最好的做法是评估和调整这些变化的整体效果 (Milewska 和 Vincent, 2016; Vincent 等, 2017)。

4.5 从常规观测到自动观测过渡期间的数据管理

从常规观测到自动观测的过渡带来了一些数据管理方面的挑战。

建议当一个台站变成自动站时，给它分配一个新的标识符，以使这种变化对数据用户尽可能透明。(如果按照建议进行并行观测，无论如何都需要一个新的标识符，因为常规站和自动站将同时运行一段时间，除非气候数据库的结构能够接受同一地点的多个传感器的数据)。

众所周知，标识符的改变会给某些应用带来问题。例如，缺乏足够的平均周期，可能会妨碍计算某个具有新标识符的自动站的气候平均值，而为了获得长期记录，将有必要合并同一总体位置的两个或多个单独标识站点的数据。在这些情况下，最佳做法是为有关地点开发一个长期的同质化数据集。然而，如果发现常规站和自动站之间的差异很小，那么在某些应用中 (例如公共信息)，可能不需要调整就可以合并这些序列，但在与长期气候变化有关的应用中应始终使用完全同质化的数据。

⁸ 然而，也有 AWS 同时成为主要仪器的情况；例如，在那些既有常规观测又有自动观测的澳大利亚主要观测点，1996 年 11 月 1 日自动观测成为大多数变量的主要读数。

5. 参考文献

- Aguilar, E., P. Stepanek, V. Venema, R. Auchmann, F.D. dos Santos Silva, E. Engström, A. Gilabert, Z. Kretova, J.A. Lopez-Díaz, Y.L. Rico, C.O. Rojas, M. Prohom, D. Rasilla, M. Salvador, G. Vetacnik, Y. Yosefi and M. de los Milagros Skansi, 2015: *Biases Found in Temperature Records by the Transition from Conventional to Automatic Measurements in European and American Parallel datasets*. EUMETNET Data Management Workshop held at St. Gallen, Switzerland, 28–30 October 2015.
- Ashcroft, L., D. Karoly and J. Gergis, 2012: Temperature variations of south-eastern Australia, 1860–2011. *Australian Meteorological Oceanographic Journal*, 62:227–245.
- Bertiglia, F., G. Lopardo, A. Merlone, G. Roggero, D. Cat Berro, L. Mercalli, A. Gilabert and M. Brunet, 2015: Traceability of ground-based air-temperature measurements: a case study on the meteorological observatory of Moncalieri (Italy). *International Journal of Thermophysics*, 36:589–601, doi:10.1007/s10765-014-1806-y.
- Böhm, R., P.D. Jones, J. Hiebl, D. Frank, M. Brunetti and M. Maugeri, 2010: The early instrumental warm-bias: a solution for long central European temperature series 1760–2007. *Climatic Change*, 101:41–67.
- Brandsma, T. and J.P. van der Meulen, 2008: Thermometer screen intercomparison in De Bilt (the Netherlands) – Part II: description and modelling of mean temperature differences and extremes. *International Journal of Climatology*, 28:389–400.
- Brunet, M., J. Asin, J. Sigró, M. Bañón, F. García, E. Aguilar, J.E. Palenzuela, T.C. Peterson and P. Jones: 2011. The minimisation of the screen bias from ancient Western Mediterranean air temperature records: an exploratory statistical analysis. *International Journal of Climatology*, 31:1879–1895, doi:10.1002/joc.2192.
- Brunet, M., O. Saladié, P. Jones, J. Sigró, E. Aguilar, A. Moberg, D. Lister, A. Walther, D. Lopeza and C. Almarazae, 2006: The development of a new dataset of Spanish daily adjusted temperature series (SDATS) (1850–2003). *International Journal of Climatology*, 26:1777–1802.
- Claussnitzer, A., F. Maier and R. Spengler, 2015: *QualiMET2.0, the New Quality Control System of Deutscher Wetterdienst*. EUMETNET Data Management Workshop held at St. Gallen, Switzerland, 28–30 October 2015.
- Diamond, H.J., T.R. Karl, M.A. Palecki, C.B. Baker, J.E. Bell, R.D. Leeper, D.R. Easterling, J.H. Lawrimore, T.P. Meyers, M.R. Helfert, G. Goodge and P.W. Thorne, 2013: U.S. Climate Reference Network after one decade of operations: status and assessment. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94:424–448, doi:10.1175/BAMS-D-12-00170.1.
- Doesken, N.J., 2005: *The National Weather Service MMTS (Maximum-Minimum Temperature System) – 20 Years After*. Thirteenth Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation held at San Diego, 9–13 January 2005.
- Goodison, B.E., P.Y.T. Louie and D. Yang, 1998: *WMO Solid Precipitation Measurement Intercomparison* (WMO/TD-No. 872). Geneva, World Meteorological Organization.
- Gorman, J., 2003: *AWS Determination of Dew Point in the Field*. Technical Note 2003-0001. Melbourne, Bureau of Meteorology.

- Guttman, N.B. and C.B. Baker, 1996: Exploratory analysis of the difference between temperature observations recorded by ASOS and conventional methods. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77:2865–2873.
- Hubbard, K.G. and X. Lin, 2006: Re-examination of instrument change effects in the U.S. Historical Climatology Network. *Geophysical Research Letters*, 33:L15710, doi:10.1029/2006GL027069.
- Hubbard, K.G., X. Lin, C.B. Baker and B. Sun, 2004: Air temperature comparison between the MMTS and the USCRN temperature systems. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 21:1590–1597.
- Jovanovic, B., D. Collins, K. Braganza, D. Jakob and D.A. Jones, 2010: A high-quality monthly total cloud amount dataset for Australia. *Climatic Change*, 108:485–517.
- Lanza, L., M. Leroy, C. Alexandropoulos, L. Stagi and W. Wauben, 2006: *WMO Laboratory Intercomparison of Rainfall Intensity Gauges* (WMO/TD-No. 1304). Geneva, World Meteorological Organization.
- Leeper, R.D., J. Rennie and M.A. Palecki, 2015: Observational perspectives from U.S. Climate Reference Network (USCRN) and Cooperative Observer Program (COOP) Network: temperature and precipitation comparison. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 32:703–721, doi:10.1175/JTECH-D-14-00172.1.
- Lopardo, G., F. Bertiglia, S. Curci, G. Roggero and A. Merlone, 2014: Comparative analysis of the influence of solar radiation screen ageing on temperature measurements by means of weather stations. *International Journal of Climatology*, 34:1297–1310, doi:10.1002/joc.3765.
- Lucas, C., 2010: *A High-quality Historical Humidity Database for Australia*. CAWCR Technical Report 24. Melbourne, Centre for Australian Weather and Climate Research.
- Menne, M.J., C.N. Williams and R.S. Vose, 2009: The U.S. Historical Climatology Network monthly temperature data, version 2. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90:993–1007.
- Milewska, E.J. and L.A. Vincent, 2016: Preserving continuity of long-term daily maximum and minimum temperature observations with automation of reference climate stations using overlapping data and meteorological conditions. *Atmosphere-Ocean*, 54(1):32–47, doi:10.1080/07055900.2015.1135784.
- Page, C.M., N. Nicholls, N. Plummer, B. Trewin, M. Manton, L. Alexander, L.E. Chambers, Y. Choi, D.A. Collins, A. Gosai, P. Della-Marta, M.R. Haylock, K. Inape, V. Laurent, L. Maitrepierre, E.E.P. Makmur, H. Nakamigawa, N. Ouprasitwong, S. Mcgree, J. Pahalad, M.J. Salinger, L. Tibig, T.D. Tran, K. Vediapan and P. Zhai, 2004: Data rescue in the southeast Asia and south Pacific region: challenges and opportunities. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85:1483–1489.
- Parker, D.E., 1994: Effects of changing exposure of thermometers at land stations. *International Journal of Climatology*, 14:1–31, doi:10.1002/joc.3370140102.
- Perry, M.C., M.J. Prior and D.E. Parker, 2007: An assessment of the suitability of a plastic thermometer screen for climatic data collection. *International Journal of Climatology*, 27:267–276.
- Quayle, R.G., D.R. Easterling, T.R. Karl and P.Y. Hughes, 1991: Effects of recent thermometer changes in the cooperative station network. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 72:1718–1723.

- Sevruk, B., M. Ondras and B. Chvila, 2009: The WMO precipitation measurement intercomparisons. *Atmospheric Research*, 92:376–380.
- Sieck, L.C., S.J. Burges and M. Steiner, 2007. Challenges in obtaining reliable measurements of point rainfall. *Water Resources Research*, 43:W01420.
- Stepanek, P., E. Aguilar, V. Venema, R. Auchmann, F.D. dos Santos Silva, E. Engström, A. Gilabert, Z. Kretova, J.A. Lopez-Díaz, Y.L. Rico, C.O. Rojas, M. Prohom, D. Rasilla, M. Salvador, G. Vetacnik, Y. Yosefi and M. de los Milagros Skansi, 2015: *Biases in Precipitation Records Found in Parallel Measurements*. EUMETNET Data Management Workshop held at St. Gallen, Switzerland, 28–30 October 2015.
- Sun, B., C.B. Baker, T.R. Karl and M.D. Gifford, 2005: A comparative study of ASOS and USCRN temperature measurements. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 22:679–686.
- Trewin, B.C., 2001: *The Under-reporting of Small Daily Rainfall Amounts*. Australia-New Zealand Climate Forum held at Darwin, Australia, 18–21 September 2001.
- Trewin, B.C., 2002: Extreme temperature events in Australia. PhD Thesis, *School of Earth Sciences, University of Melbourne, Australia*.
- Trewin, B.C., 2012: *Techniques Involved in Developing the Australian Climate Observations Network – Surface Air Temperature (ACORN-SAT) Dataset*. CAWCR Technical Report 49. Melbourne, Centre for Australian Weather and Climate Research.
- Venema, V., R. Auchmann, E. Aguilar, I. Auer, C. Azorin-Molina, T. Brandsma, M. Brunetti, M. Dienst, P. Domonkos, A. Gilabert, J. Lindén, E. Milewska, O. Nordli, M. Prohom, J. Rennie, P. Stepanek, B. Trewin, L. Vincent, K. Willett and M. Wolff, 2016. *A Global Database with Parallel Measurements to Study Non-climatic Changes*. European Geosciences Union General Assembly held at Vienna, Austria, 17–22 April 2016.
- Vincent, L.A., E.J. Milewska, R. Hopkinson and L. Malone, 2009: Bias in minimum temperature introduced by a redefinition of the climatological day at the Canadian synoptic stations. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48:2160–2168, doi:10.1175/2009JAMC2191.1.
- Vincent, L.A., E.J. Milewska, X.L. Wang and M.M. Hartwell, 2017: Uncertainty in homogenized daily temperatures and derived indices of extremes illustrated using parallel observations in Canada. *International Journal of Climatology*, doi:10.1002/joc.5203.
- Vincent, L.A., X. Zhang, B.R. Bonsal and W.D. Hogg, 2002: Homogenization of daily temperatures over Canada. *Journal of Climate*, 15:1322–1334.
- Vuerich, E., C. Monesi, L.G. Lanza, L. Stagi and E. Lanzinger, 2009: *WMO Field Intercomparison of Rainfall Intensity Gauges* (WMO/TD-No. 1504). Geneva, World Meteorological Organization.
- Wendland, W.M. and W. Armstrong, 1993: Comparison of maximum-minimum resistance and liquid-in-glass thermometer records. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 10:233–237.
- Wolff, M.A., K. Iskasen, K. Ødemark, R. Brækken and A. Petersen-Øverleir, 2014: *How Much Snow is not being Measured?* WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation held at St. Petersburg, Russian Federation, 7–9 July 2014.
- World Meteorological Organization, 2003: *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization* (WMO/TD-No. 1186). Geneva.

- , 2007: *Guidelines for Managing Changes in Climate Observation Programmes* (WMO/TD-No. 1378). Geneva.
- , 2010. *CIMO Survey on National Summaries of Methods and Instruments for Solid Precipitation Measurement at Automatic Weather Stations* (WMO/TD-No. 1544). Geneva.
- , 2011: *Guide to Climatological Practices* (WMO-No. 100). Geneva.
- , 2014. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation* (WMO-No. 8). Geneva.
- Zhang, X., F.W. Zwiers and G. Hegerl, 2009: The influences of data precision on the calculation of temperature percentile indices. *International Journal of Climatology*, 29:321–327.
-

欲了解更多信息，请联系：

世界气象组织

7 bis, avenue de la Paix – P.O. Box 2300 – CH 1211 Geneva 2 – Switzerland

战略传播办公室

电话: +41 (0) 22 730 87 40/83 14 – 传真: +41 (0) 22 730 80 27

电邮: communications@wmo.int

public.wmo.int