

第3章 大气压的测量

3.1 概述

3.1.1 定义

在给定表面上的大气压是由其上的大气重量作用在该表面单位面积上的力。因此，大气压等于该表面视作水平面向上延伸到大气上界的垂直空气柱的重量。

3.1.2 单位和标尺

大气压测量的基本单位是帕斯卡 (Pa) (即牛顿每平方米)。气象上报告气压，实际采用在该单位加前缀“百”，成为百帕 (hPa)，等于 100 帕。这是气象上选择的术语，主要是因为 1 百帕 (hPa) 等于以前使用的单位 1 毫巴 (mbar)。

气象上使用的所有气压表的刻度均应以 hPa 分度。许多气压表以“标准状态下毫米汞柱或英寸汞柱”分度，分别记为 (mmHg)_n、(inHg)_n。当上下文清楚地含有标准状态的意思时，可采用简化术语“毫米汞柱”或“英寸汞柱”。在标准状态下，真实高度被定为 760(mmHg)_n 的水银柱所产生的压强等于 1013.25hPa。于是，有下列换算关系：

$$1\text{hPa}=0.750\ 062(\text{mmHg})_n$$

$$1(\text{mmHg})_n=1.333\ 224\text{hPa}$$

由于 1 英寸=25.4mm，所以可得出下列关系：

$$1\text{hPa}=0.029\ 530(\text{inHg})_n$$

$$1(\text{inHg})_n=33.863\ 9\text{hPa}$$

$$1(\text{mmHg})_n=0.039\ 730\ 08(\text{inHg})_n$$

气象用水银气压表的标尺分度应在整个仪器处于标准温度 0、标准重力为 9.806 65ms⁻² 条件下直接读出真实气压值。

气压表上可能不止刻有一个标尺，例如 hPa 和 mmHg，或 hPa 和 inHg 但气压表必须是在标准状态下正确地校准的。

气压资料最好用 hPa 作为单位。在本章以下部分，将只用单位 hPa。

3.1.3 气象要求

气压场分析是气象科学的基本需要。绝对必要把气压场看成是大气状态的所有预报产品的基础。在财政允许的条件下，气压测量应该达到技术上允许的高准确度，而且在全国范围内气压测量和校准必须具有一致性。

为满足各种气象应用的需要，WMO 的有关委员会已经规定了气压测量准确度水平的要求，并概述于指南的第 I 编第 1 章。这些要求是：

测量范围：920-1080hPa 适合于工作在海平面或海平面附近的仪器；对于在海拔较高地方使用的仪器、在其气压较低部分可以扩展相当的量程。

要求的目标准确度： 0.1hPa

报告分辨率： 0.1hPa

传感器时间常数： 20s

输出平均时间： 1 分钟

可以认为，在严格控制的环境中，比如正常装备的实验室，新的气压表是能够达到上述要求的。这些要求为气压表规定了在其安装在工作环境中之前必须符合的目标准确度。

对于安装在工作环境中的气压表，实际情况的限制使气象部门难以保持仪器的目标准确度。然而，业务站网用的气压表经过标准气压表的校准之后，其器差可知并容许其性能不低于下列标准：

在 1000hPa 点的最大允许误差： $\pm 0.3\text{hPa}$

在气压表测量范围内其他气压的最大允许误差：

(a) 测量范围不低于 800hPa 的部份： $\pm 0.5\text{hPa}$

(b) 测量范围扩展低于 800hPa 的部份： $\pm 0.8\text{hPa}$

间隔等于或小于 100hPa 的两个气压值的误差之差值： $\pm 0.3\text{hPa}$

用户对大气压信息的要求是不同的。正如 WMO (1990) 以及本指南第 2 章描述的那样，航空界要求 QNH 和/或 QFE 高度表拨定。对气压测量的总要求已概括在 WMO (1981) 和美国气象局 (1963) 的文献中。

3.1.4 测量方法和观测方法

气象上通常使用水银气压表、电子气压表或沸点气压表测量气压。沸点气压表是利用液体沸点与气压之间的关系制成的仪器，已很少应用，故本指南对此不作深入讨论。WMO (1992) 对数字气压表 (大部份是电子读出式仪器) 的性能进行了很有益的讨论。如果符合下列要求，气象用压强仪器 (即气压表) 可作为测量气压的业务用仪器。

(a) 仪器必须定期使用经批准的方法、用 (工作) 标准气压表校准。两次校准之间的周期必须足够短，以确保总的测量误差的绝对值符合本章定义的准确度要求；

(b) 准确度的任何变化 (长期或短期) 必须比 3.1.3 节概述的允差小。如果有些仪器在校准中发现有漂移变化，那么只有在校准周期足够短以确保在任何时候仪器能具有所要求的准确度，这些仪器才能适合业务使用；

(c) 仪器读数不应该受温度变化的影响。只有当满足下列条件时，仪器才是适用的：

(i) 读数的温度影响修正步骤能保证所要求的准确度；

(ii) 把气压传感器放置在温度稳定的环境中，就能保证所要求的准确度。为了补偿温度的影响，有些仪器需要测量气压传感器的温度。必需对温度补偿功能进行控制和校准，并作为整个校准工作的一部份；

(d) 必须把仪器置于外部影响不会引起测量误差的环境中。这些影响包括：风、辐射/温度、冲击和振动、电源的波动以及压力冲击。要非常仔细地选择仪器特别是水银气压表的安装场所。重要的是，每个气象观测员要充分了解这些影响，并能确定是否有哪些影响对使用中的气压表读数的准确度起作用；

(e) 仪器读数要快捷、方便。仪器必须设计成使其读数的标准偏差小于所述的绝对准确度的三分之一；

(f) 当仪器必须远离使用地点进行校准时，采取的运输方法一定不能影响到气压表的稳定性或准确度。能改变校准状态的影响有：机械冲击和振动，在飞机运输过程中可能遇到的垂直的大气压变化。

最新设计的大多数气压表采用了把敏感元件的响应转换成气压相关量的转换器。其信号随后由适当的集成电路或具有适当平滑算法的数据采集系统进行处理。对于大多数用于天气分析的气压表来说，合理的时间常数是 10 秒（一定不要大于 20 秒）。对于水银气压表来说时间常数不重要。

以下各节概要地介绍几种常用的测量大气压的方法。

历史上，最广泛采用的测量大气压的方法是使液柱重量与大气压力平衡。如果使用的液体是水银，那么有多种原因可以方便地获得所要求的准确度。一般认为，水银有好的长期稳定性和准确度，但现在人们正转向具有相同准确度和非常容易读数的电子气压表。

一个周边固定的弹性膜片，当加到膜片一面的压力比另一面的大时，膜片会变形。实际情况是用一个全部或部分抽真空的密封金属膜盒（为防止被外面的大气压压坏，膜盒内有一个强力金属弹簧）来获得这种形变，使用机械方法或电子方法测出膜盒内外压力差引起的形变。这就是众所周知的空盒气压表的原理。

现在，人们开发出了一种由其周围抽成真空的薄壁镍合金圆筒构成的气压传感器。这种传感器的固有谐振频率是筒内外压差（筒内为环境大气压，筒外保持真空）的函数。

使用石英晶体元件的绝对气压转换器正得到更加普遍的使用。通过柔性波纹管施加于晶体表面的压力对晶体引起一个压缩力，根据晶体的压阻特性，加压改变了灵敏的惠斯登电桥的平衡，电桥重新平衡就实现了压力的准确测量。这种气压转换器实际上是没有滞后效应的。

液体的沸点是沸腾液体所受气压的函数。当这种函数关系确立后，液体沸腾时的温度就可以用来测量大气压。

3.2 水银气压表

3.2.1 构造要求

水银柱的重量与大气压力相平衡是水银气压表的基本原理。有些水银气压表就采用称量水银柱重量的方法，但气象上常用的水银气压表都是用刻有气压单位的标尺来测量水银柱高度。

气象站使用的水银气压表有几种型式，其中以定槽式水银气压表和动槽式*水银气压表最为常用。水银柱高度，是指水银柱顶到槽部水银面之间的距离。当然，水银柱高度的变化同时就伴随着槽部水银面位置的变化。在动槽式水银气压表中，槽部水银面的位置可以调整，

* 原文为福丁式——译注

使之恰好与象牙针尖接触，这个象牙针尖就是气压表标尺的零位。而在定槽式气压表（常称为寇乌式气压表）中，其槽部水银面不需要调整，因为刻在气压表上的标尺已经考虑到槽内水银面的变化而加以缩小。

3.2.2 一般要求

良好的气象站用水银气压表的主要要求如下：

- (a) 仪器准确度应能长期保持不变，特别要保持小的滞后影响；
- (b) 读数迅速、方便；对读数应进行所有已知影响量的修正；进行这些修正的观测员必须了解每项修正的重要性，以确保所施加的修正是正确的，不会导致读数准确度变坏；
- (c) 应能移运而不会降低其准确度；
- (d) 气压表玻璃管的内径最好为 9mm，不应小于 7mm；
- (e) 内管的准备和灌注水银应在真空状态下进行。水银的纯度非常重要，要进行两次蒸馏、脱脂、反复清洗和过滤；
- (f) 应当在水银气压表上刻上标尺能给出正确读数（在标准重力下）的实际温度。标尺最好经过校准，使之能给出在 0 的正确读数；
- (g) 弯月面不应是平坦的，除非内管的内径很大（> 20mm）；
- (h) 对于船舶用水银气压表，任意点的误差不应超过 $\pm 0.5\text{hPa}$ 。

与船舶用水银气压表相比，与测量温度、湿度、风的仪器相比，陆地气象站使用的水银气压表的响应时间通常是很小的。

3.2.3 标准状态

由于水银气压表的水银柱高度除了取决于大气压外，还取决于其他因素，特别是温度和重力。因此，必须规定标准状态。在此标准状态下，气压表在理论上应取得真实的气压读数。在国际气压表会议上，制定了如下标准。

3.2.3.1 标准温度和标准水银密度

标准温度定为 0，水银气压表的读数都要换算到这个标准温度时的读数。这是为了去除由温度导致的水银密度变化引起的误差。

0 时水银标准密度值为 $1.359\ 51 \times 10^4 \text{kg m}^{-3}$ 。用流体静力学公式计算绝对气压时，水银柱中的水银可视为不可压缩的液体。

不纯净的水银密度与纯净的水银密度不同。使用不纯净的水银的气压表读数会发生误差，因为气压表示值与水银的密度是成比例的。

3.2.3.2 标准重力

水银气压表的读数，必须从当地重力换算到标准重力。标准重力值（ g_n ）是个约定常数， $g_n=9.806\ 65\text{ms}^{-2}$ 。

注：WMO（1973）解释了需要采纳一个指定的重力加速度值作为标准值。这个值与特定条件下（例如纬度 45° 海平面）实测的或理论的重力加速度值没有确切的关系，因为

这种数值会随着新的实验数据被采纳而改变。

3.2.4 水银气压表的读数

当用水银气压表进行观测时，必须先读附属温度表，而且要读得越快越好，因为温度表的温度会由于观测者的出现而上升。必须用手指在弯月面附近和靠近槽部两处轻叩几下，目的是使水银面保持稳定状态。如果所用的水银气压表不是定槽式水银气压表，那么就必須从下向上调整槽部水银面的位置，使之与象牙针尖恰好接触。最后调整标尺的游标，使之对准水银柱弯月面并读数。当游标的下缘与弯月面最高端相切时，就是游标正确地调整好的状态。如果用一个放大镜来观察，应当可以看到在游标下缘与水银面顶部之间有一条极窄的透光缝隙。决不允许游标下缘“切去”弯月面的顶部。观测时，应当使眼睛与游标前部的下缘和后部的下缘都在同一条视线上。

3.2.4.1 读数的准确度

读数必须取最靠近的 0.1hPa。通常，游标不可能读出更高的准确度了。

已经研制出光学装置和数字化装置以改进水银气压表的读数。然而这些装置虽然容易读数，但也引入新的误差源，除非这些装置是精心设计并经过校准的。

3.2.4.2 器差的变化

在气象站检查期间发现的器差的任何变化都值得重视。要进一步了解下列情况：

- (a) 气压表的历史状况；
- (b) 检察员在仪器比对工作方面的经验；
- (c) 被发现的器差变化的幅度；
- (d) 差值的标准偏差；
- (e) 气象站的备用气压表（已知修正值及其准确度）是否适用；
- (f) 移动式标准器在旅行中的情况；
- (g) 如果器差的变化可以接受，那么，在每日天气图上该站的气压读数与邻近站的气压是否能吻合；
- (h) 在比对之前，仪器是否清洗过。

引起气象站气压表器差变化（或称漂移）的原因有：

(a) 由于水银污染导致水银表面毛细压缩的变化。在工业地区的严重大气污染和水银污染会造成严重问题，需要频繁地清洁水银及其槽部；

(b) 有气泡逸入并通过水银柱上升到达了管顶的真空部分。

这些变化可能是不稳定的，也可能是持续的正的变化或负变化，取决于其成因。

器差的变化还可能是由于：

(a) 观测者的错误（在读数之前没有轻叩气压表），游标和象牙针尖的调整不正确；

(b) 气象站气压表或移运式标准器的温度未达到平衡；

(c) 气压迅速变化和不同时读数所致。

这种变化还有可能是由于偶然移动了可调标尺，或动槽表的象牙针尖松动了。

3.2.4.3 器差的允许变化量

对器差变化应作如下处理：

(a) 如果不是持久性的变化，当器差的变化在 $\pm 0.1\text{hPa}$ 之内，可忽略不计：

(b) 如果器差的变化超过 $\pm 0.1\text{hPa}$ ，但不超过 $\pm 0.3\text{hPa}$ 时，可以暂时接受，随后至少再作一次检查予以证实；

(c) 当器差的变化超过了 $\pm 0.3\text{hPa}$ ，只有在气压表已被清洗、而且又没有一支已知修正值的备用表的情况下，可以暂时接受。一旦有了经过正确校准的气压表，应立即将这支表换下来。

对上述 (b) (c) 两种器差已变化的气压表必须密切注意。要尽可能快地将它重新校准或更换。

上述规定同样适用于移运式标准器的器差的变化。器差变化小于 $\pm 0.1\text{hPa}$ 时可以忽略，除非是固定不变的。对于较大的器差变化，应该求得证实，只有在重复比对之后才可以接受。在旅行的“前”“后”，移运式标准器器差之间的差值不应大于 $\pm 0.1\text{hPa}$ 。所以，只有器差长期不变的气压表才可以作为移运式标准器使用。

3.2.5 气压表读数修正到标准状态

为了使不同时间、不同地点的水银气压表读数转换成可用的大气压值，应作下列修正：

(a) 器差修正

(b) 重力修正

(c) 温度修正

对大量气象业务应用来说，只需按照气压表生产者的说明书去做，就可以获得满意的测量结果。如果不够满意、或者要求有更高的准确性，就必须按照附录 3.A 所述的具体步骤对上述因素进行修正。

3.2.6 水银气压表的误差和缺陷

3.2.6.1 气压表温度的不确定度

附属温度表所指示的温度，通常不能代表水银、标尺和槽部的平均温度。如果仪器安装比较恰当、观测操作比较合理，那么这种温度误差就可减小。值得注意的是，室内经常会有较大的稳定的垂直温度梯度，使得水银气压表的上部和下部有较大的温度差。如果室内安装一个风扇，就可以消除这种温度差异。但是，风扇的运转又会使室内大气压产生波动。因此，在观测气压之前必须关掉风扇。在采取了上述各种措施之后，正常情况下温度修正值中的误差就不会超过 $\pm 0.1\text{hPa}$ 。

3.2.6.2 真空不良

当仪器校准时，通常假定其水银柱上部空间是完全真空，或只有可忽略的微量气体。但是，真空状态的任何变化都会使气压读数产生误差。比较简单的检查方法是，将水银气压

表倾斜并倾听水银柱撞击玻璃管顶时是否有“卡嗒”声音；或将水银气压表倾斜，检查玻璃管内顶部气泡的直径是否大于 1.5mm.，但是用这种方法不能测出存在的水汽，因为当空腔的容积缩小时水汽会凝结。根据波义耳（Boyle）定律，空腔内空气和不饱和水汽所造成的误差与水银柱上部空腔的容积成反比。唯一解决办法是将此水银气压表进行全刻度范围的再校准，如果误差太大则应将气压表内管重新灌装或更换。

3.2.6.3 水银面的毛细下降

对一定的内管，水银柱弯月面的高度和毛细下降可以随水银受污染的状况、气压倾向和水银在管中的位置而变化。因此在气压表初次校准期间，应尽可能测定其弯月面高度的平均值并记录在检定证书上。然而，当弯月面高度与原记载不同时，可以不进行任何修正，而这种资料只能作为衡量水银气压表是否需要大检修或再校准的一种指标。对于 8mm 的玻璃管，其弯月面高度变化 1mm（从 1.8mm 变为 0.8mm）会引起气压读数约 0.5hPa 的误差。

3.2.6.4 悬挂不垂直

一支正常长度（约 90cm）的具有对称性的气压表自由悬挂时，若其底部偏离垂直位置约 6mm，则气压示值将偏高 0.02hPa。这种气压表，通常能悬挂得更接近垂直。然而对于不对称的气压表，这项误差来源就严重得多。例如：如果槽内象牙针尖距中轴线约 12mm，槽部只偏离垂直位置 1mm，就会产生 0.02hPa 的误差。

3.2.6.5 气压表读数修正后的准确度

在一个普通气象站上，经过各种修正后的单次气压表读数的标准偏差应在 $\pm 0.1\text{hPa}$ 以内。这一误差，主要是由不可避免的仪器修正值的不确定度、仪器温度的不确定度以及水银液面受“抽吸”作用的误差等原因造成的。

3.2.7 水银使用的安全操作

水银气压表需要使用相当大量的水银，而水银是有毒的，必须非常小心地操作。在地球表面所经受的温度和气压范围内，水银元素是液体。只要有液体水银存在，空气中就有水银蒸汽。通过皮肤可以吸收液态或气态的水银，通过呼吸可以吸入水银蒸汽。Sax（1975）描述了水银的性质。在许多国家的关于危险物品操作管理的规定中都有水银的安全使用说明。

大剂量的水银会造成急性中毒；水银也可以在人体的硬组织和软组织中积累，所以长期处在即使是小剂量的环境中也会对器官造成长期毒害、甚至死亡。水银主要影响中枢神经系统、口腔和黏膜，引起的主要症状包括疼痛、牙齿松动、过敏、颤抖以及精神失常。

使用水银气压表的主要风险发生在频繁倒出水银和灌装水银的实验室内。在气象站，也可能存在问题。例如若有大量水银从打破的水银气压表洒落在地上、未经清除，水银会不断地蒸发，进入密闭的人们工作的房间。

如果把水银妥善地装在容器内，如果在偶然事故之后立即进行清除，但危险仍然存在。在使用水银时必须考虑以下各点：

- (a) 盛水银的容器必须良好密封、不渗漏、不易破碎，必须定期检查；
- (b) 大量储存或使用水银的房间地面必须有密封的、无渗漏的、无裂缝的覆盖材料，例如 PVC。地面小的裂缝，比如地板砖之间的缝，会滞留细小的水银滴。最好把地板材料弯向墙壁、高出地面 10mm 左右，在地面与墙壁的连接处不应留有接缝；
- (c) 不能用金属容器盛水银，因为除铁以外，几乎所有金属都与水银起化学反应，还可能生成有毒的汞齐。水银也不能与其他金属物品接触；
- (d) 水银绝不能与其他的化学物质（特别是胺、氨水以及乙炔）储藏在一起；
- (e) 应在有良好通风的房间里储存和处理大量水银，应在高质量的熏蒸柜内处理原汞。
- (f) 绝不能将水银储存在靠近任何种类热源的地方。特别是因为水银的沸点较低（357），尤其是遇到火时会产生很浓的有毒蒸汽；
- (g) 使用水银的人员和工作室应定期体检和测试，以便确定是否达到了受水银危害的程度。

3.2.7.1 洒落和处理

有两种普通的清除洒落水银的方法：一种是采用合适的抽气收集系统（下面将概要介绍），另一种是使水银被吸附/汞齐化于粉末上。

洒落的水银应立即清除掉。操作员应戴上 PVC 手套或防护手套、防护镜，如果洒落的量很大，还应戴上有水银蒸汽滤芯的防毒面具。根据洒落汞滴的大小，大的可以用真空系统收集；然后用吸附工具除掉小的水银滴。用吸附工具是绝对必要的。因为在洒落过程中，有大量直径小于 0.02mm 的小水银滴粘在表面、不能用真空系统有效地去掉。

在抽气收集系统中，有一个长颈玻璃瓶，瓶里放约 3cm 深的水，用一根细塑料管插入玻璃瓶内、直插到水面下，水银就是通过这根管子吸掉的。另一直径较粗的塑料管一头插入瓶中水面的上方，另一头接真空吸尘器或真空泵。瓶中的水可以防止水银蒸汽或水银滴被吸入真空吸尘器或真空泵中。然后，将这些含水银的脏物装入一个贴有标签的塑料容器内待处理。

吸附材料有各种可用来吸附水银或使之汞齐化的化合物，其中包括锌粉、硫华以及活性炭。市场上可以买到清除洒落水银的配套工具。把粉撒在洒落的水银上，以便吸附水银或成为汞齐。把用过的粉扫起来，并放入贴有标签的塑料容器内，以待处理。

收集起来的水银可以清除掉或回收。如何处理水银的详细方法可以咨询当地管理部门或供应商。供应商还会提出回收和提纯方面的建议。

3.2.7.2 火灾

水银不能燃烧，但可产生大量有毒浓烟。着火后，水银蒸汽会凝结在最靠近的冷的物体表面上，污染大片区域，吸附到敞开的表面上，如炭化的木材。火灾发生时，要撤离污染区，待在烟雾的上风方向。要向当地消防部门报告并说明水银的数量。

3.2.7.3 运输

国际航空运输协会 (IATA) 对水银或含水银仪器的航空运输问题有规定。各国铁路和公路运输中对危险物品的管理一般也都有规定。

大体上, 金属汞必须包装在玻璃或塑料的、容量小于 2.5kg 的容器内。容器必须有有效防止破裂的软垫包装, 容器上应有清楚的标签。含有水银的仪器应包装在有很好的防震能力的盒子里, 盒子要防破裂和不会渗漏水银。

3.3 电子气压表

最新设计的大多数气压表都使用转换器, 转换器把敏感元件的响应转换为与压力相应的电气量, 用两种形式的模拟信号, 例如电压信号 (直流电压 DC、或频率与实际压力相关的交流电压 AC); 或数字信号, 例如脉冲频率; 或使用标准数据通信协议, 诸如 RS232、RS422 或 IEEE488。模拟信号可以用多种电子显示方式。如同在自动气象站中使用的那样, 监视器和数据采集器经常用于显示数字输出或经数模转换的模拟量输出。

流行的数字气压表采用了多层次的冗余技术, 以便改善测量的长期稳定性和准确度。有一种技术是在中央微处理器的控制下使用 3 个完全独立的工作传感器。甚至用 3 个完全独立的气压表, 把 3 套气压传感器和微处理器结合在一起, 能获得更高的稳定性和可靠性。每一种构型均有内装温度传感器进行自动温度补偿。3 重冗余技术, 即使是在最挑剔的应用中, 也能确保有非常好的长期稳定性和测量准确度。这些方法都可进行连续监视和单个传感器性能的检验。

数字气压表的应用, 特别是当它们用于自动气象站时, 提出了一些特殊的业务要求。为了保证有良好的实际效果, CIMO 提出了正式的建议 (见 CIMO 第 11 届会议简报的附件 VII, 1994)。

气象部门必须:

- (a) 在数字气压表到货后, 要核对或重新调整仪器的校准参数, 要定时地重复这样的操作;
- (b) 保证定时校准数字气压表, 为此目的要调查使用国家级校准设备的可能性;
- (c) 考虑把某种类型的数字气压表作为移运式标准器使用;
- (d) 考虑在选择具体型号的电子气压表时不仅要根据所述的技术规格, 还要考虑环境条件和维护设备。

制造者必须:

- (a) 改进数字气压表的温度不相关性和长期稳定性;
- (b) 采用标准化的通信接口和数据传输协议;
- (c) 数字气压表应能使用宽范围的直流电源电压 (例如 5 到 28VDC)。

3.3.1 空盒位移传感器

膜盒位移的非接触式测量考虑作为气象用的精密气压测量仪器, 是很有必要的。已在使用的这类转换器有很多种, 包括电容式位移探测器、电位器式探测器、安装在传感器关键

点上的应变片和能保持传感器的大小不随压力变化的力平衡伺服系统。

所有敏感组件都必须装在一个铸件盒子里，这个盒子必须用电子控制的加热器保持恒温。考虑必须完全防止水的凝结，有效的措施是在盒子里放除湿剂，比如硅胶，然后再用一根内径等于或小于 2mm 的细长塑料管（25m）连到盒子上，以防止水汽扩散到盒子里。

装气压敏感元件的盒子必须有气密性，只允许从外部连通到需要测量压力的分隔空间。

3.3.2 数字压阻气压表

利用压电（压阻）效应的大气压力测量已成为可能。通常的构型是在整块硅基板的柔性表面上形成 4 个电阻，互连成惠斯登电桥电路。

轴向负载的石英晶体元件用于数字压阻气压表，成为一种绝对气压转换器。选择石英晶体是由于它的压阻特性、稳定的频率特性、小的温度影响及精确的频率复现性。经柔性传压管加到输入口上的压力引起轴向力，形成施加在石英晶体元件上的压缩力。因为晶体元件本质上是一个刚性薄片，整个机械结构限制在很小的偏移量之内，从而切实地消除了机械滞后。

上述非常灵敏的惠斯登电桥或者是由半导体应变片，或者由压阻元件构成。应变片或者是贴在一个薄的圆形膜片上，膜片环绕在应变片的周围，或者是原子直接扩散到硅膜片上。在用扩散法制作的应变片元件中，硅集成片本身就是感应压力的膜片。所加的压力分散地作用在膜片上，进而，由膜片提供弯曲应力以及应变片产生的应变电阻。这种应力产生与所加压力成正比的应变电阻，应变电阻导致电桥失衡。于是电桥输出正比于加在膜片上的净压差。

这种工作模式的原理是，大气压作用在敏感元件所覆盖的抽空的小盒上，通过小盒使电阻受到压缩或拉伸应力的作用，由压电效应，电阻值的变化与大气压成正比。为了消除温度误差，这种传感器通常有内置恒温器。

从使用直流电的惠斯登电桥输出的信号，由适当的放大器把它变换成标准信号。通常用发光管或液晶显示器显示被测气压值。

在使用压转换器的新型气压转换器中，可以测出压电元件的两个共振频率。在校准后，通过计算可以获得这些频率与相应的一组变量的线性函数，由微处理器计算出气压，所得气压值不受传感器温度的影响。

3.3.3 振筒气压表

振筒气压表使用的传感元件是一个薄壁镍合金圆筒。这种传感器是电磁维持的环形振荡器。输入压力引起机械振荡系统自振频率的变化。圆筒壁的运动由拾振线圈感应，拾振线圈的信号经放大并反馈到激励线圈。所测空气压力进入圆筒内，圆筒外保持参考真空状态。振动的自然谐振频率精确地随施加于筒内外的压力差形成的应力而变化。压力增加，频率也增加。

薄壁筒具有能满足设计压力测量范围所要求的足够的刚性和质量，它安装在结实的基

座上。圆筒装在真空盒里，其进气口与自由大气连通适合气象应用。因为筒的谐振频率与压力之间有唯一的关系，所以大气压就可以从测得的频率计算出来。然而，在校准时确定的这种关系还会受到温度和气体密度的影响，所以需要温度补偿和推荐采用干空气。

3.3.4 电子气压表的读数

电子气压表可测量周围空间的大气压，或通过一根管子可以测量任何空间的气压。通常，仪器的读数就是仪器所处高度的气压。然而，在船上或在海平面附近的陆地气象站，如果把本站气压与海平面气压之间的差值看作常数时，仪器就可以指示海平面气压。

电子气压表以数字形式给出准确的读数，通常以 hPa 作单位，如果需要也可以换用其他单位。仪器也可以做成数字记录的。如果仪器有微处理器控制，还能给出气压倾向。

电子气压表的准确度取决于校准准确度，气压表温度补偿的效果（残余气体法，温度测量和修正，使用恒温器等）以及气压表校准值的漂移。

在基本转换器之外还可附加电子线路，用以修正非线性和温度影响、并把输出转化成标准单位。新型气压表的标准型式由气压表传感器、微处理单元（含显示器），以及与任何数据记录器或自动气象站进行通信的接口电路组成。

具有一个以上传感器或敏感元件的电子气压表，通常是计算各个传感器输出的加权平均后得出具有 0.1hPa 分辨率的合成气压。在校准传感器时，可以用 0.01hPa 分辨率逐个校准传感器元件，但这不应使用户误以为传感器的准确度优于 0.1hPa(见 3.10.3.4 节)。

3.3.5 电子气压表的误差和缺陷

3.3.5.1 校准值漂移

校准值漂移是电子气压表的关键误差源之一。仪器在新的时候常常是漂移较大，随着时间的推移，漂移就减小。校准值也可能会发生步进式的跃变。

为了保持气压表的合适性能，必须以相对频繁的时间间隔检查电子气压表的修正值，以便及早发现和更换有缺陷的传感器。

需要频繁地检查电子气压表的校准值，这会给气象部门增加额外的负担，特别是加重了有广大气压观测站网的气象部门的负担。在制订用电子气压表代替水银气压表的计划时，必须考虑到校准所需的运行经费。

3.3.5.2 温度

如果要保持校准值不变，必须使电子气压表的温度保持恒定不变，而且最好是使其温度就稳定在校准温度附近。然而，多数商品电子气压表是没有温度控制的，因此有较大的误差。大多数仪器靠准确测量敏感元件的温度、然后在电路中对气压进行修正。这里假设气压表的敏感元件内部没有温度梯度。如果温度发生快速变化，温度梯度会导致所测气压的短时间滞后误差。

校准值的变化强烈地与仪器过去的温度状况有关，因此，如果仪器长时间置于不同于校准温度的温度下，能引起中期至长期的校准值的漂移。

如果气压表的电子电路与敏感元件不在相同的温度，电子电路也会引起误差。电子气压表常常使用于极端的气候条件，特别是自动气象站。在这种条件下，气压表遇到的温度会远远超出制造者的设计和校准技术的规定。

3.3.5.3 电干扰

如同所有灵敏的电子测量器件一样，电子气压表应该屏蔽并远离电磁场，如变压器、计算机、雷达等。电干扰不是经常遇到的问题，但它会引起噪声增加、并使器件的合成准确性降低。

3.3.5.4 运行方式

如果校准时的操作方法与业务使用时的操作方法不相同，也能引起电子气压表校准结果的明显变化。也就是说，经过预热的连续工作的气压表的读数与间隔几秒钟以脉冲方式读得的数是不一样的。

3.4 空盒气压表

3.4.1 构造要求

常规空盒气压表与水银气压表相比，最大的优点是体积小和便于携带，在海上和野外使用特别方便。空盒气压表的主要部分是一个密封的金属膜盒，其中的空气全部或部分抽空，再用一个强力弹簧支撑以防空盒被外部大气压压扁。在任何给定气压下，弹簧的弹力和外部的压力是平衡的。

空盒可用有弹性的材料（钢或铍青铜）制造，因此空盒本身也具备弹簧的功能。

需要有一种方法以测定和显示空盒形状与位置的变化。可以用杠杆系统放大空盒的形变量并驱动一个指针，使之沿着有刻度的标尺移动以指示气压值；或者利用在标尺上移动的光点，以指示气压；也可以不用机械模拟技术，而采用一个人工操作的测微表（千分表），它的计数器可以直接指示气压值并可到零点几 hPa，当发光指示器发出信号表示测微表恰好碰到空盒时可读数。这种空盒气压表既轻便又坚固耐用。

3.4.2 准确度要求

对一个好的空盒气压表的主要要求是：

(a) 必须有温度补偿，当仪器的温度变化 30K 时，读数的变化不会超过 0.3hPa；

(b) 任何一点的标尺误差不应超过 $\pm 0.3\text{hPa}$ ，而且在正常使用条件下，至少一年仍能保持在此允差以内；

(c) 滞后必须很小，以确保在气压变化 50hPa 之前的读数与气压回到原位后的读数之间的差异不超过 0.3hPa；

(d) 应能耐受一般的运输风险，不致产生超过上述规定的不准确度。

3.4.3 空盒气压表的读数

3.4.3.1 读数的准确度

空盒气压表在读数时的放置状态必须与校准时的放置状态（水平放置或垂直放置）一

致。在读数之前要先轻击仪器，读数要准确到 0.1hPa。光学读数装置或数字显示装置有利于改善读数的准确性，并可减少机械杠杆装置所产生的误差。

3.4.3.2 施加于空盒气压表的修正值

通常空盒气压表用于测量它所在高度的大气压值。然而，在船舶或海拔高度很低的气象站，空盒气压表的示值可设定为海平面气压，但以该站气压与海平面气压之间的差异视为常数。空盒气压表读数要施加器差修正，通常假定空盒气压表有完善的温度补偿，空盒气压表无需进行重力修正。

3.4.4 空盒气压表的误差和缺陷

3.4.4.1 温度补偿不完全

温度升高时，空盒气压表中的弹簧的弹性减弱，导致空盒气压表的示值偏高。这种温度影响的补偿可采用下述方法之一：

- (a) 杠杆系统中使用双金属片连杆系统；或
- (b) 在空盒腔内残存一定量的气体。

对于大多数普通空盒气压表，只能在某一特定气压点才能获得完全的温度补偿。而对于气象站使用的空盒气压表和气压计，最好是在整个气压量程内都有适当的温度补偿。在现代化的自动观测系统中，温度影响的完全补偿装置是作为系统的部件配备的。

3.4.4.2 弹性误差

空盒气压表可能会遭遇到急剧的气压变化，例如有强阵风时，气压表经受一个快速的气压增加，随后缓慢地返回到原来的气压值，由于滞后作用空盒气压表的示值与实际气压值有轻微差异；这种差异要达到可以忽略不计的程度需经相当一段时间。不过，在地面气象站的空盒气压表和空盒气压计很少遇到这种急剧的气压变化。因此由于滞后引起的误差不会很大。

空盒金属材料的缓慢变化会引起空盒气压表的长期误差，只要能定期地与标准气压表进行比对，这种影响就是允许的。一个好的空盒气压表在一个月或更长时间内，应当能保持 $\pm 0.2\text{hPa}$ 的准确度。为了测定单个空盒气压表能否保持其准确度，就必须采取定期检查的措施。

3.5 气压计

3.5.1 一般要求

在各种气压计中，这里只对空盒气压计作详细说明。用于天气学目的的空盒气压计的自记纸应当是：

- (a) 以 hPa 分度；
- (b) 可读至 0.1 hPa；
- (c) 标尺比例为自记纸上 1.5cm 相当于 10hPa；

此外，下列要求也适合空盒气压计：

- (a) 空盒气压计所用的空盒应当是一级品 (见 3.5.2 节);
- (b) 应当有温度补偿, 在温度变化量为 20K 时, 空盒气压计示值的变化量不超过 1hPa;
- (c) 在任何一点的标尺误差, 都不应超过 1.5hPa;
- (d) 滞后应当足够小, 以便确保仪器在经受 50hPa 的气压变化前的读数和气压回复原值后的读数之间的差不超过 1hPa;
- (e) 气压计上应当有一个作时间记号的装置, 并且不用打开仪器外罩就可以作记号;
- (f) 笔杆应支撑在笔杆座中, 笔杆轴应稍稍倾斜, 使笔杆由于重力作用而贴在自记纸上。应当有调整笔位的装置。

船舶用气压计另有特殊要求, 将要在第二编第 4 章中讨论。

3.5.2 气压计的构造

除了用记录笔代替指针外, 空盒气压计的原理与空盒气压表相似。还有空盒组设计不同, 通常意味着减小总的放大倍数和所用空盒的尺寸和数量的增加。

空盒气压计的“控制”可以表示为要求笔尖在标尺上移动一个单位标度 (1hPa) 所要求的力, 这等于气压变化 1hPa 时、为阻止笔移动所要求的力。这也就是对记录部分零件有摩擦力的一种量度。

当气压变化 1 hPa 时, 克服膜盒动作所需要的力是 $100 \cdot A$ 牛顿, 此处 A 是膜盒的有效截面积 (单位: 平方米)。如果放大倍数是 X , 那么, 阻止笔移动所需要的力就是 $100 \cdot A/X$ 牛顿, 即与量 A/X 成正比。对于给定型号的膜盒和给定的标度值, X 与 A 无关, 所以气压计笔的控制可以认为是与膜盒有效截面积成正比的。

3.5.3 误差来源和准确度

除了已提到的空盒的误差来源 (见 3.3.4 节) 之外, 气压计的笔尖与自记纸之间的摩擦是一个重要的误差来源。对笔杆的控制很大程度上取决于空盒的有效截面积。对于一个制作良好的空盒气压计, 其笔尖处的摩擦显然要大于仪器所有轴枢和轴承的总摩擦。因此, 要特别注意减少这一原因引起的误差, 也就是需要使用足够大的空盒。

一级气压计的读数经修正后的准确度应为 ± 0.2 hPa, 并在一、两个月之内仍能保持不变。用这种气压计测量的气压变化, 也应具有同样的准确度。

3.5.4 近期的发展

适合于自动读数的气压表可以连接到计算机上, 典型的是与微处理器连接, 这样, 能提供采集到的资料, 又能将这些资料用图形表示, 类似于气压计的记录图。有的记录器还可以直接打印出标度, 从而可以消除了一种误差源。

3.5.5 气压计的读数

读数时, 不能碰触气压计。作时间记号和打开外罩检查仪器等, 都应该在完成读数之后进行。

3.5.5.1 读数准确度

自记纸上的读数要准确到 0.1 hPa。气压变化量也应达到同样的分辨率水平。

3.5.5.2 气压计读数的修正

在使用之前,应逐个测定气压计的温度补偿,同时还应在抽真空箱中测试和调整放大倍数。如果气压计只用于测量气压的变化量,其读数一般无需修正。而且,仪器笔位的精确调整并不重要。当需要用气压计测量气压绝对值时,其记录应与水银气压表或好的空盒气压表的修正后读数比对,至少每 24 小时比对一次,并用内插法求出所需要的数值。

3.6 巴塘管气压表

巴塘管气压表通常由敏感元件和转换器组成。敏感元件,像空盒那样,在气压变化的影响下其形状发生变化;转换器把形状变化转变为观测员可以直接使用的形式,也可以把信号传输到远处显示。

3.7 测量气压变化

有两种方法,可供至少每隔 3 小时做一次观测的气象站使用:

(a) 变化可从气压计读出;

(b) 变化可从修正到气象站高度的水银气压表读数得到。如果要从普通水银气压表和一级微气压计之间作出选择,则选择后者。其理由如下:

只要水银气压表是完好的,它的单次读数误差主要是随机的,因此当两次读数相减以求取气压变量时,其随机误差可能会迭加起来。然而气压计的误差一部分是系统性质的,因此在相对短的 3 小时之内误差很可能同号。所以在两次读数相减时,此系统误差会消除。

使用气压计的另一个理由是不必将读数修正到气象站高度,这样比较便利。总之,必须使用气压计以确定气压变化的特征。

有数字显示的气压表也很适合于确定气压变化的幅度和特征。

3.8 安装的一般要求

慎重选择气象站气压表的位置很重要。对安装场所的主要要求是:温度均匀、采光良好、避免通风,有一个坚固的垂直安装架,还要防止粗心的操作。因此气压表最好悬挂或安置在室内,室内温度应当稳定或变化缓慢,不能有温度梯度。水银气压表任何时候都应当防止阳光直射,也不应靠近热源或通风风道。

3.8.1 风的影响

应当认识到,风的作用对各种类型的气压表都有影响,有关风影响的更多的信息,可参阅文献 Liu 和 Darkow (1989)。

如果受到阵风的影响,气压表就给不出真实的静压值。气压表的读数会随风速和风向而波动,波动的幅度和符号取决于窗门的状态以及窗门相对于风向的位置。在海上,由于船舶在航行,就会有误差。如果气压表装在有空调的房子里,也会有类似的问题。

风常常引起气压室内气压的动力变化。这类波动总会迭加在静压上,强风或阵风能产生 2-3hPa 的波动。这种波动的影响是无法修正的,因为水银液面所受到的“抽吸”作用,

既取决于风向又取决于风力，并且与气压表所在的环境状况有关。所以即使是多次测量的平均值也不能代表真实的静压值。不同建筑物内的两支气压表进行比较时，应当考虑到由于风的影响引起读数差异的可能性。

如果使用静压头，就有可能非常明显地减少这种影响。关于静压头的工作原理的详细内容可以参考下述出版物（Miksad，1976；美国气象局，1963）。对于水银气压表来说，其槽部除了有一个特制的可暴露于大气中的通气嘴外，应当是气密的。通气嘴的设计应能保证其中的气压是真正的静压。空盒气压表和电子气压表与静压头的连接比较简单。静压头的设计要非常仔细。

3.8.2 空调的影响

空调可能会产生室内外的压差。所以，如果气压表安装在有空调的房间里，建议气压表应使用静压头。

3.9 气压表的安装

3.9.1 水银气压表的安装

水银气压表安装的一般要求已经在前面概要说明。除此之外，水银气压表安装还有附加的要求。水银气压表最好总是悬挂在房间内的墙上。为了保证非常准确的测量，最好的场所是没有暖气、没有窗户的地下室，并用一个小的电风扇以消除温度梯度。

为了使气压表读数时的照明条件一致，读数时最好采用人工照明。为此目的，可采用某些能给水银柱弯月面提供白色微亮背景的照明器，必要时，在象牙针尖部分也可以采用类似的照明和背景。若不使用照明，可以用乳白玻璃片、白色塑料片或一张白纸作为弯月面和象牙针尖的背景。在对气压表标尺和附温进行读数时，也可采用人工照明，但必须注意避免人工照明使气压表受热增温。

悬挂水银气压表的地方不能有震动，最好是悬挂在坚固的墙上。必须使气压表的水银柱保持垂直。不对称的水银气压表由于悬挂不垂直而引起的误差更为严重，这种气压表悬挂时，应使其长轴线保持垂直，即使气压表的外表呈现倾斜，但只要水银面对准象牙针尖，则其水银柱高度就是正确的。

为了防止气压表受到粗心的操作、尘土和室内气流的影响，最好将气压表放在有门的木橱内。木橱内可以安装通风器，以防止橱内空气温度梯度的形成。

运输水银气压表要十分小心。最安全的运输方法是将气压表倒过来并装入有提手的木盒里。如果没有专人运送，则应将气压表倒过来（槽部向上）装在一个有减震弹簧的板条箱里运输。翻转水银气压表时，动作不能太快太猛，应当慢慢地翻转。有几种型式的气压表在翻转之前就必须特别小心。

3.9.2 电子气压表的安装

电子气压表要求清洁干燥的无腐蚀性物质的大气环境。电子气压表还应保持恒温（见3.3.5.2节）。仪器安装处应避免机械冲击和震动。还应远离电磁源，如果不能，则应将电线

和机壳加以屏蔽。

有数字读出装置的仪器，应当安装在有良好的普通照明的地方，但不能面对窗户或强光源。

3.9.3 空盒气压表的安装

因为空盒气压表不可能有完全的温度补偿，所以空盒气压表的安装要求与水银气压表的要求相似（见 3.9.1 节）。空盒气压表应安装在整天温度很均匀的地方，这样的地方应当不会受到太阳光的直射，也不能有会引起仪器温度急剧显著变化的热源或冷源。

在陆地气象站，空盒气压表安装在水银气压表的邻近，便于相互检查和标准化工作（见 3.10 节）。

3.9.4 气压计的安装

安装气压计的地方应当防止温度突变、震动和灰尘，不能受到阳光直射。气压计应安置在能防止无关人员随意触摸仪器的地方，把气压计放在泡沫塑料垫子上是个简便的减振方法。所选的地方应干燥、清洁，空气中不应含有能使仪器腐蚀和脏臭的物质。

为了使视差的影响减到最小，重要的一点是，仪器放置时要使仪器正面的高度合适，以便在正常操作情况下便于用眼睛读数。仪器的安装还应考虑到，如果需要人工照明时，应使仪器有均匀的照明。

如果气压计必须航空运输，应使笔杆的连接全部松开，要采取预防措施，保证仪器的机构能经受得住由于气压超出正常工作范围而引起的过重负担。

3.10 比对、校准的维护

3.10.1 气压表比对的一般要求

鉴于准确的气压观测的重要性，特别是对航空和天气目的尤其重要，也鉴于水银气压表有各种可能误差，因此所有气象站的水银气压表都应当定期地由检查员进行检查。检查需用的设备、检查的频繁程度以及其它事项，在以下几节将给出指导意见。

用作气象站气压表的精密空盒气压表，应经常用水银气压表作比对检查（至少每周一次）。所有检查记录应长期保存（记录在卡片或专用记事簿上）。

或者，若该空盒气压表每天都与站上保持的第二台空盒气压表比对并与邻站的气压分析进行比较，则无须用水银气压表比对。但是，每 6 个月要用移运式标准气压表对此空盒气压表进行检查。

下列符号可用来表示国家气象部门的各类气压表：

A：一级标准或二级标准气压表，能独立地测定气压值，准确度不低于 $\pm 0.05\text{hPa}$ ；

B：工作级标准气压表，适用于日常的气压表比对，经与一级标准或二级标准气压表比对并已知其误差；

C：参考标准气压表，用于对国家气象部门检查气象站时在站上用于对移运式标准气压表和气象站气压表的比对；

- S：设置在常规气象站上的气压表（水银气压表，空盒气压表以及电子气压表）；
- P：质量好和准确度好的水银气压表，可从一个站带到另一个站而能保持其校准值；
- N：质量为一级的便携式精密空盒气压表；
- Q：质量为一级的便携式精密数字气压表，可用作移运式标准器（Q代表质量）；
- M：质量好和准确度好的便携式微气压计。

为了使各国气象部门的气压表修正工作在相同的基础上进行，最好在下述各方面采取一致的习惯作法：所用装备的质量、比对的频率、要遵循的步骤、器差修正的容许变化量和补救措施的规定。

3.10.2 用于气压表比对的设备

3.10.2.1 一级标准气压表

对最好的一级标准气压表有不同的见解。下面概述两种：

一种可能作为大气压测量的一级标准器是由精密砝码组成的活塞式压力计，它可以产生只与所用精密砝码和当地重力加速度场有关的已经校准的压力。这种气压表相对比较简单，没有像水银气压表那样的因环境污染而引起的严重漂移问题。

一级标准气压表可以是专门作为标准器而设计的高质量的水银气压表。它必须有高的真空度，水银非常纯净并已知其在定常温度下的密度，且置于可防止污染影响的环境里。气压表还必须有一个校准好的标尺和一个光学读数装置。这种气压表能以很高的绝对准确度测量绝对压力，而活塞式压力计则是一种表压力测量仪器。

3.10.2.2 工作标准气压表

用于比对气压表的工作标准器、参考标准器以及移运式标准器应有良好的长期稳定性。这些标准器也许是水银气压表，也许是电子气压表。如果是水银气压表，其玻璃管的内径至少是12mm。最好是这种表的真空度是能够检查的。应该对它们的所有已知误差进行完全的和仔细的修正，而这些修正值应当是在最近与较高等级的气压表经过了两次或两次以上比对而确定的。

3.10.2.3 移运式标准气压表

一个可靠的移运式标准气压表在移运过程中必须使其器差修正值的变化量不超过0.1hPa。这种标准气压表在每次旅行前后都应当与工作标准气压表或参考标准气压表进行比对并达到标准。一旦符合标准，直至回到出发站进行最后的比对之前不可打开或调整任何部分。为了在移运过程中保护好仪器，仪器应装在高质量的、有减震垫子的旅行匣子里。

出发前必须仔细检查移运式标准水银气压表，确认管中和槽内的水银是清洁的，并确认水银柱内没有气泡，水银柱上方的真空度是好的。在搬动、包装以及运输过程中都必须十分小心。使器差修正值发生变化的可能性减到最小。颠簸和猛烈的动作能引起气泡从槽内管口进入管内，必需避免。移运式标准水银气压表应当用有合适减震垫的皮匣或金属匣子移运，在运输中要使槽部末端总是高于内管。

3.10.2.4 便携式水银气压表(P)的技术要求

用作 P 级气压表的水银气压表应该设计成：真空度是可以检查的，或者可以用真空泵将管子顶部抽成高真空。这主要是要有一个可以使内管密封的检查阀。气压表还应有很好的长期稳定性，内管的内径至少 12mm。最好还能有另一种优点，能检查定槽内的水银量，原来灌装的水银是否还保持不变。

制作精良的动槽式水银气压表（内径至少 9mm，最好是 12mm），也可以作为移运式标准器。对移运式标准器所要求的准确度（即重复性）大约是 0.1hPa。P 级气压表应当在一个宽的能覆盖所有可能遇到的气压和温度范围内校准。

3.10.2.5 便携式电子气压表(P)的技术要求

便携式电子气压表现在所达到的开发水平和它的可靠性已经使之可以作为 P 级气压表。这种气压表必须具有低漂移修正值的可靠性历史。这种历史是与标准气压表在预期电子气压表会运行的最大气压范围内并在一年以上的时间内进行多次的比对而确定的。

由微处理器独立控制的多个气压传感器构成的电子气压表最为可取。这种气压表的温度补偿机构必须是精确的。气压传感器的测量方式必须是非接触式的，气压表本身要很坚固，能经受得住在运输过程中可能受到的冲击。

3.10.3 气压表比对

3.10.3.1 气压表国际比对

国际间进行气压表比对十分重要。WMO 自动数字气压表的比对自 1989 年到 1991 年在荷兰的 De Bilt 进行。只有通过这样的比对才能保证气压测量仪器的各个国家标准器的一致性，才能避免相邻各个国家间气压资料的不连续性。3.10.4 节中推荐了进行这种比对的程序。

比对的项目包括：

(a) 国家工作标准器 B 与一级标准气压表或二级标准气压表 A 的比对，至少每 2 年一次。如果 A、B 同处一地，则不需要移运式标准器；

(b) 参考标准器 C 与国家工作标准器 B 的比对，要使用移运式标准器，至少每 2 年一次；

(c) 气象站气压表 S 与参考标准器 C 的比对，如果使用移运式标准器，至少每年一次；如果使用工作标准器 B，每 1 至 2 年进行一次，采用哪一种办法，取决于使用中的气压表的已知特征；在气象站还是在中心校准实验室进行比对也是个重要问题。对于后一种情况，就不需要移运式标准器了；

应当懂得，在比对链中的任何一段的端点上的每一个气压表的误差都是相对于一级标准气压表或二级标准气压表 A 而确定的，所以每一级修正后的气压表读数的结果是以绝对误差为基础的。

3.10.3.2 气象站气压表的巡检

为了巡检气象站气压表，采用内径 9mm 的动槽式水银气压表是合适的。如果精密空盒气压表和电子气压表具有必需的稳定性和准确度，也可以用作移运式标准器，建议同时用 3 个或更多个这样的仪器，以便能及时发现其中任何一个仪器的任何变化。用作这种目的的空盒气压表不应有滞后效应，其温度系数也应小至可以忽略。这些特性只有用特殊材料和专门设计才能获得。合适的气压表的一个基本特性是膜盒不能负载指示机构。具有数字读出装置的气压表，只要它们的稳定性足够好，作为移运式标准器是非常合适的。

3.10.3.3 水银气压表的比对程序

前面几节中提到的规则通常都应该遵从。在调节和读水银气压表时，所有规定的措施都必须非常细心地做到。调查表明，在水银气压表的比对中，如果采取了合适的措施，读数平均值在 0.05hPa 以内通常可以达到。

水银气压表的比对读数应记在相应的表格内。所有的检查内容作为永久保存的记录并附在仪器上，这些记录包括检查的日期、比对时的温度和气压以及得出的修正值。

气压表的比对结果应该报告给国家气象部门，以评估其误差、计算和发布其修正值以及确定是否需要维修的措施。每个气象站气压表比对数据的连续记录应保存下来，以用于研究仪器在若干年时间内的性能和发现其缺陷。在气压表的质量控制过程中表格的或图形的记录都是一种直观的有用的工具。

3.10.3.4 检查电子气压表

从当前的发展状态来说，频繁的检查电子气压表的准确度很重要。标准的程序是，电子气压表在即将发送至气象观测站之前要在校准实验室进行校准。在气象站，电子气压表要与移运式标准器在数天内进行大量的比对读数。读数时，所有的气压表要处在同一高度，风速要小于 $1-2\text{ms}^{-1}$ ，气压应稳定或变化应小于 1hPa/h 。与移运式标准器之间的平均差值超过 0.25hPa 的所有电子气压表都不可使用，而应送回校准实验室重新校准。

如果可能的话，建议在一个气象站装 2 台独立的电子气压表，其中一台最好是有低漂移特性的历史。这个气压表是由校准实验室的人员根据它的校准历史记录确定为低漂移的气压表。气象站上每到一台新的气压表，都要如上所述地做一组比对，确定低漂移表与新表之间的平均差值。一旦完成，就可以对两台仪器进行日常读数，并计算出连续 25 个差值的总和。如果新表与低漂移表的漂移率不同，那么 25 个差值的和就会发生变化。如果气象站上有一支水银气压表和一台电子气压表，正常情况下水银气压表应当是低漂移表。水银气压表的低漂移特性，仍应用定期校准检查的方法来求证。

上述检查并不代表巡检，也不代表对电子气压表的一次新的校准。每个气象部门都应当用上述方法作为实际的指导，为电子气压表建立详细的检查和校准的程序。

3.10.4 不同地点的气压表比对的一般程序

气压表的比对是必不可少的，而且应当用下列方式进行：

(a) 如果设在两地的气压表“1”和气压表“2”要进行比较，那就应当由一位有资格

的人员携带 3 台或更多的移运式标准器（最好是 P 级表），先从气压表“1”到气压表“2”，然后返回到气压表“1”，形成闭合回路。这个程序既适合两国之间的比对，也适合在一个国家内的比对。气压表“1”通常保存在国家标准机构的中心实验室内，或保存在国家气象部门的实验室内。气压表“2”，则设置在其他地点。携带 N 级表和 M 级表是任选的，如果两地都有优质的微气压计，则可不带 M 级表；

(b) 为标准化目的，移运式标准器应当安装在与之比对的气压表的近旁，所有仪器均应在正式比对读数之前（至少 24 小时）以相同方式安置好。用电风扇向仪器吹风，使所有仪器的温度达到均衡。室内温度，应尽可能保持均匀一致；

注：比对之前应关掉风扇。

(c) 当 M 级表显示出大气压急剧波动时，比对读数就不应进行。比对读数应选择在水压计指示平缓（即气压平稳或变化缓慢）的一段时间内进行；

(d) 各次比对读数的时间间隔应当一致，间隔时间不少于 15 分钟；

(e) 经验指出，为了标准化，对于普通气象站上的 S 级气压表，比对读数至少要进行 5 次；对于 A 级、B 级、C 级气压表，比对读数至少进行 10 次；

(f) 如果气象条件允许，对于 A 级、B 级、C 级气压表的比较读数，应当在包括低压和高压的不同气压条件下进行；

(g) 比较记录包括：附温表读数，移运式标准器与所比较气压表的读数，风速、风向及风的阵性，重力修正值，温度修正值和仪器误差，气压表零位的实际海拔高度、纬度、经度、站名、观测的日期和时间；

(h) 如果使用 N 级表读数时，应当包括 2 个或多个精密空盒气压表的读数，如果它们与标准仪器 A 级表或 B 级表的比对结果不同于这些空盒气压表的校准数据，则按它们共同的参考标准予以修正。空盒气压表的读数经修正后必须在允许误差的范围内，否则比对将视为无效；

(i) 关于气压表“1”与移运式标准器的比对，气压表“1”必须是出发地的最高级别的标准气压表，最好是 A 级、B 级或 Br 级（见 3.10.5.1 节），最低可以接受 C 级。移运式标准器与表“1”要进行 2 组比对，即

(i) 在移运式标准器用手提方式从表“1”所在地出发到表“2”所在地的旅行之前；和

(ii) 在移运式标准器移运到表“2”所在地后从表“2”所在地回到原出发地之后。必须检查“出发前”与“回来后”两次比对相互之间的情况，如果检查结果表明，移运式标准器与表“1”的一致性在令人满意的允差范围内，那么，如果在全部比对过程中每个阶段都是小心谨慎的，即可认为移运式标准器与表“2”的比对结果同样是在所要求的允差范围内。反之，如果前后两次的比对结果有明显的不一致，或者已经知道发生了影响仪器的事故，或

者因某种原因而使比对的有效性受到怀疑，那么应当认为比对无效，整个过程必须重做；

(j) 按照实际，所有差异最后都应以相对于 A 级表的第一次比对读数或第二次比对读数来表示，这样可以保证所有比对具有共同的基础。每次比对报告都应注明所用的标准气压表；

注：如果采用了包含消除残留的气压表的误差的方案，就需要有一个依照单一标准器的气压表观测数据的均一系统，因而可以消除，当存在水平气压梯度时由于仪器原因引起的误差。

(k) 在实验室内或在气象站内改变了气压表的安装位置的前后，或者在清洗水银前后，该气压表必须进行比对，以便及早发现其缺陷。

3.10.5 区域气压表比对

3.10.5.1 术语和符号

Ar：A 级气压表，由区域协议选作该区域气压表的参考标准器；

Br：B 级气压表，在本区域内没有 A 级气压表时，由该区域内的各国气象部门协议作为该区域的标准气压表。

附录 3.B 是区域标准气压表一览表。

3.10.5.2 区域间比对的体制

当计划开展区域间的比对时，必须考虑以下的措施：

(a) 每个区域的会员国，指定一支一级标准气压表或二级标准气压表 A 作为该区域的标准气压表 Ar。如果该区域内没有一级标准气压表或二级标准气压表，可以共同指定一个 B 级气压表作为该区域的标准气压表 Br。一个区域也可以指定一个以上的标准气压表，但这要取决于费用；

(b) 由一位能胜任工作的人员携带移运式标准器从装备了 Ar 的区域中心站到装备了至少是 B 或 Br 的邻近区域，然后，必须按照 3.10.3 节给出的方法进行气压表的比对。

为了验证和互相对比，有时最好是把比对过的 Br 再与其他区域的 Ar 进行比对；

(c) 比对记录要复印分发给每一个装备有 A 的区域中心站和参加比对的 B 或 Br 的所在站。比对结果的总结要分发给区域内所有会员国的气象部门（也就是 B 或 Br 的所在地）。

3.10.5.3 区域内国际比对的体制

当计划开展区域内国家之间的比对时，必须考虑以下的措施：

(a) 假如本区域内有 A 级表，区域内每个成员国的气象部门的 B 级表要与本区域的 A 级表比对，方法同 3.10.4 节。若有可能，最好选择 A 级表作为该区域的标准表；

(b) 如果本区域内没有 A 级表，则区域内各气象部门的 B 级表就与本区域的 Br 比对，方法同 3.10.4 节；

(c) 负责执行 B 与 Br 比对的人员在往返 Br 所在地的途中，增加 B 级表及 C 级表的

比对，这是合乎需要的；

(d) 制备好比对记录及比对总结的副本，如 3.10.5.2(c)所述分发给关注此事的机构。

3.11 将气压表读数换算到其他海拔高度

为了使不同海拔高度的气象站所作的气压表读数能进行比较，必须把这些读数变换到相同的高度。虽然有多种实现这种变换的方法，但除了适用于低海拔高度站的方法以外，WMO 还没有推荐实用的方法。

WMO (1964；1968) 描述了这些方法。WMO (1973) 列出了包括可用于气压计算的一整套综合性的计算式。

3.11.1 标准层

所有气象站都应当能够以合理的准确度把观测到的气压值修正到平均海平面。不能进行此项修正的气象站，应当按照区域协议，或者报告协议规定的“等压层”的位势高度，或者报告修正到协议规定的标准层的气压。各站所选定的层次，应报告给世界气象组织秘书处予以公布。

3.11.2 低高度气象站

在海拔高度低的气象站，气压读数必须修正到平均海平面，其方法是：在本站气压加一个由下列公式给出的修正常数 C 。这个公式是由本指南第四版给出并经过改进的，以便能适用于更大的条件范围。

$$C = p \cdot H_p / 29.27T_v$$

式中， p 为观测的本站气压 (hPa)， H_p 为该站海拔高度 (m)， T_v 为该站虚温年平均值 (K)。

注：湿空气的虚温等于在相同气压下，干空气在具有与湿空气同样密度时的温度。WMO (1973) 文件中列有在不同气压和温度条件下，饱和湿空气的虚温增值。

这个方法只应用于这样的低海拔高度站，即虚温的极值绝对值代入式中的 T_v 后，由于式中其他项用近似值 (用高度代替标准位势高度和 C 远小于 p) 而引起的结果的偏差，可以忽略不计。

参考文献

- Liu, H. and Darkow , G., 1989: Wind effect on measured atmospheric pressure. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Volume 6, Number 1, February 1989.
- Miksad, R.,1976:An omni-directional static pressure probe. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Volume 15, November 1976.
- Sax, I. N., 1975: *Dangerous Properties of Industrial Materials*.Fourth edition, Van Nostrand Reinhold Co., New York.
- United States Weather Bureau, 1963: *Manual of Barometry (WBAN)*. Volume, 1, First edition, US Government Printing Office Washington, D.C.
- World Meteorological Organization, 1964: Note on the Standardization of Pressure Reduction Methods in the International Network of Synoptic Stations. WMO Technical Note No. 61, WMO-No. 154.T. P. 74,Geneva.
- World Meteorological Organization, 1968: *Methods in Use for The Reduction of Atmospheric Pressure*. WMO Technical Note No. 91, WMO-No. 226. T.P. 120, Geneva.
- World Meteorological Organization, 1973: *International Meteorological Tables (S. Letestu)*. WMO-No. 188, Geneva.
- World Meteorological Organization, 1981: *Manual on the Global Observing System*. Volumes I and II, WMO-No. 544, Geneva.
- World Meteorological Organiaztion, 1990: *Guide on Meteorological Observation and Information Distribution Systems at Aerodromes*. WMO-No. 731, Geneva.
- World Meteorological Organization, 1992: *The WMO Automatic Digital Barometer Intercomparison (J. P. Van Der Meulen)*. *Instrument and Observing Methods Report No. 46*, WMO/TD-No. 474, Geneva.

附录 3.A 气压表读数修正到标准状态

器差修正

水银气压表标尺刻度的残余误差,应采用与标准器比对的方法来确定。器差包括以下因素:标尺的定位不正确或刻度不正确、毛细压缩影响和真空度不良的影响等。在校准证书上必须标明器差修正值所适用的刻度段,整个气压表标尺至少应分成四段(每 50hPa 为一段)。一支好的水银气压表的器差修正值不应超过零点几 hPa。

重力修正

在给定的气压和温度下,水银气压表的读数取决于重力值,而重力值是随着纬度和海拔高度而变化的。气象用气压表的校准就是要给出在标准重力加速度为 9.80665m s^{-2} 的条件下的真实气压读数,而在其他重力值下的气压表读数都必须加以修正。为了使气压表的读数修正到标准重力条件,推荐以下方法:

设 B 为水银气压表的观测读数:

B_t 为经过标准温度修正、器差修正,但未经过标准重力修正的水银气压表读数;

B_n 为经过标准温度修正、器差修正和标准重力修正的水银气压表读数;

B_{ca} 为本站 B_t 的气候平均值;

$g_{\phi,H}$ 为纬度 ϕ 和海拔高度 H 的当地重力加速度(单位 m s^{-2});

g_n 为标准重力加速度 ($=9.80665\text{ms}^{-2}$)

于是有下列关系:

$$B_n = B_t (g_{\phi,H} / g_n) \quad (3.A.1)$$

或者

$$B_n = B_t + B_t [(g_{\phi,H} / g_n) - 1] \quad (3.A.2)$$

下面给出的近似式(3.A.3)可以应用,只要它与(3.A.2)得出的结果相差不到 0.1hPa:

$$B_n = B_t + B_{ca} [(g_{\phi,H} / g_n) - 1] \quad (3.A.3)$$

当地重力加速度 $g_{\phi,H}$ 必须用下一节介绍的方法确定。用这种方法计算的重力加速度值归类于国际重力标准化网(IGSN) 71。

计算当地重力加速度

根据大地参考系统(Geodetic Reference System 1980),在地理纬度 ϕ 平均海平面的重力加速度理论值用式(3.A.4)计算:

$$g_{\phi 0} = 9.80620(1 - 0.0026642 \cos 2\phi + 0.0000058 \cos^2 2\phi) \quad (3.A.4)$$

在陆地站地表面上的给定点的当地重力加速度值用式(3.A.5)计算:

$$g = g_{\phi_0} - 0.000003086H + 0.000001118(H - H') \quad (3.A.5)$$

式中, g 是给定地点计算的当地重力加速度值, 单位为 ms^{-2} ; g_{ϕ_0} 是用式 3.A.4 计算的地理纬度 平均海平面的重力加速度理论值, 单位为 ms^{-2} ; H 为给定地点的实际海拔高度, 单位为 m , H' 是以给定地点为圆心, 半径为 150km 范围内实际地形表面的平均海拔高度, 单位为 m 。

给定地点位于海水表面之上且海拔高度 H 不超过 10 km 时, 其当地重力加速度用式 (3.A.6) 计算:

$$g = g_{\phi_0} - 0.000003086H - 0.00000688(D - D') \quad (3.A.6)$$

式中, D 是给定地点以下的水深, 单位为 m , D' 是以给定地点为圆心、半径为 150km 范围内的平均水深, 单位为 m 。

如果气象站或给定地点位于 (或靠近) 海岸, 则当地重力加速度必须依照实际情况用式 (3.A.5) 和式 (3.A.6) 按比例计算。即根据规定圆内的陆地相对面积对式 (3.A.5) 的末项加权, 并根据规定圆内的海洋相对面积对式 (3.A.6) 的末项加权, 然后求其代数和得到一个修正值并加到这两个式子的右边的最后项, 如式 (3.A.7) 所示:

$$g = g_{\phi_0} - 0.000003086H + 0.000001118a(H - H') - 0.00000688(1 - a)(D - D') \quad (3.A.7)$$

式中, a 是在规定面积范围内陆地面积所占的份数。

确定当地重力加速度

为使所得的某站点当地重力加速度值的准确度比用前面介绍的方法更高, 应使用下述两种方法之一。第一种方法是使用重力仪 (一种测量两点重力加速度值之差的仪器); 第二种方法, 使用布格 (Bouguer) 异常图。最好选用重力仪法。

重力仪的使用

假设 g_1 表示某点 O (通常为大地测量组织建立的一个重力基本站, 而 g_1 就在国际重力标准化网 IGSN-71 上的已知的当地重力加速度; 又假设 g 表示另一点 X 的待求的未知的气象重力制的当地重力值。 Δ_g 是用重力仪测得的两点之间的重力差, 即 Δ_g 是在同一量制条件下用 X 点的值减去 O 点的值, 于是 g 值可用式 (3.A.8) 求得:

$$g = g_1 + \Delta_g \quad (3.A.8)$$

布格异常图的使用

如果没有重力仪, 可采用内插布格异常 (A_B) 的方法获得给定地点的重力值 g 。但是必须有来自大地测量组织或来自重力站网的重力异常的等值线图。重力站网在给定地点附近的分布密度, 至少每 10000km^2 一个站 (即各站相距不能大于 100km)。

一个大地测量组织认为,即使重力站网的密度较上述规定稍稀疏些,也可以预期这种方法能获得比用重力仪更加可靠的结果。

布格异常 (A_B) 的定义可由式 (3.A.9) 得出:

$$g_s = (g_{\phi,0})_s - C \cdot H + A_B \quad (3.A.9)$$

式中, $(g_{\phi,0})_s$ 是地理纬度 海平面处的重力加速度理论值,在实际计算布格异常时,该理论值由公式给出,该公式在某些量制中表示成纬度的函数形式。H 是需要测量 g_s 的气象站的海拔高度,(单位 m); g_s 是重力加速度观测值,(单位 ms^{-2}), A_B 是布格异常值(单位 ms^{-2}), C 是用于计算布格异常的海拔高度修正因子,(例如,当地壳比重为 2.67 时,此因子等于 $0.000001968\text{ms}^{-2}$)。

当 g 是给定站所求的未经测量的值时, g_s 值应由式 (3.A.9) 计算,条件是该站所在地的 A_B 值应当由前面提到的布格异常等值线图内插求得,或者由重力站网提供的布格异常数据内插求得。

温度修正

水银气压表的读数必须修正到水银和标尺的温度都处于各自的标准温度状态时应有的读数。水银气压表的标准温度是 0°C 。关于标尺,有的气压表的标尺是在这个相同温度下(0°C) 读数是准确的,而有的气压表的标尺是在 20°C 时的读数才是准确的。

尽管引起温度修正的主要原因是相同的,即水银的体胀系数和标尺的线胀系数不同,但动槽式水银气压表的温度修正与定槽式气压表是不同的。因此,两类气压表都各需要一个确定的修正项。

定槽式水银气压表需要一项附加修正,其原因是当仪器温度升高时,同时会引起水银体积和水银槽部(铁)及玻璃管的截面积的增加。由于这些截面积的增加,因此由温度升高引起的水银上升就会小于截面积保持恒定时所能上升的量。这是因为气压表的一部分水银充填了由于槽体和玻璃管膨胀所增加的容积。

因多种原因,要求定槽式水银气压表的标尺必须经过可调节槽式一级标准水银气压表的校准检查。有的制造商减少一定量的水银,以使试验表的读数在 20°C 时能与标准表一致,可以根据一级标准气压表的读数为定槽式水银气压表建立一个修正值表。因为当 20°C 作为标准温度时,一级标准水银气压表的标尺就是准确的。

对于水银气压表的温度修正问题,研究人员进行了彻底的研究,其结果概括于下表中。

水银气压表的温度修正

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1. (a) 标尺在 0 时正确和 | $C_t = -B(\alpha - \beta) \cdot t$ |
| (b) 水银容积在 0 时正确 | $C_{t,v} = -B(\alpha - \beta) \cdot t - (\alpha - 3\eta) \cdot t \cdot 4V / 3A$ |
| 2. 标尺在 0 时正确和 | |
| 水银容积在 20 时正确 | $C_{t,v} = -B(\alpha - \beta) \cdot t - (\alpha - 3\eta) \cdot (t - 20) \cdot (4V / 3A)$ |
| 3. (a) 标尺在 20 时正确和 | $C_t = -B[\alpha \cdot t - \beta \cdot (t - 20)]$ |
| (b) 水银容积在 0 时正确 | $C_{t,v} = -B[\alpha \cdot t - \beta \cdot (t - 20)] - (\alpha - 3\eta) \cdot t \cdot (4V / 3A)$ |
| (c) 水银容积减少相当于
0.36hPa 的量 | $C_{t,v} = -B(\alpha - \beta) \cdot t - (\alpha - 3\eta) \cdot t \cdot (4V / 3A)$ |
| 4. 标尺在 20 时正确和 | |
| (a) 水银容积在 20 时正确 | $C_{t,v} = -B[\alpha \cdot t - \beta \cdot (t - 20)] - (\alpha - 3\eta) \cdot (t - 20) \cdot (4V / 3A)$ |
| (b) 水银容积减少相当于
0.36hPa 的量 | $C_{t,v} = -B(\alpha - \beta) \cdot t - (\alpha - 3\eta) \cdot (t - 20) \cdot (4V / 3A)$ |

式中：

C_t =温度修正值

$C_{t,v}$ =定槽式水银气压表的温度修正值（有附加项）

B =气压表的观测读数

V =定槽式水银气压表的水银总容积

A =槽部的有效截面积

t =温度

 =水银的体胀系数

 =标尺的线胀系数

 =槽体的线胀系数

附录 3.B 区域标准气压表

区域	标准气压表所在地	标准表类型
	开罗 (埃及)	A _r
	卡萨布兰卡 (摩洛哥)	A _r
	达卡尔 (塞内加尔)	A _r
	杜阿拉 (喀麦隆)	A _r
	金沙萨/宾扎 (扎伊尔)	A _r
	内罗毕 (肯尼亚)	A _r
	奥兰 (阿尔及利亚)	A _r
	加尔各答 (印度)	B _r
	里约热内卢 (巴西)	A _r
	布宜诺斯艾利斯 (阿根廷)	B _r
	马拉凯 (委内瑞拉)	B _r
	华盛顿 (美国, 马里兰州, 盖瑟斯堡)	A _r
	多伦多 (加拿大) (副区域标准)	A _r
	圣胡安 (波多黎各) (副区域标准)	A _r
	迈阿密 (美国佛罗里达州) (副区域标准)	A _r
	墨尔本 (澳大利亚)	A _r
	伦敦 (英国)	A _r
	圣彼得堡 (俄罗斯)	A _r
	特阿佩斯 (法国)	A _r
	汉堡 (德国)	A _r