

马利奥特 (Mariotte) 瓶装置的改进及应用

谢森传 沈言珮
(清华大学)

以法国物理学家 Mariotte 命名的马利奥特瓶装置, 是一种能控制水位又能自动连续补水的量测装置。它广泛应用于地下水均衡场的地中入渗蒸发仪和实验室的供水量测系统中。但目前许多地方用的马利奥特瓶装置 (图1), 存在控制水位不准, 反应不灵敏和补水量测量不准确等问题。本文从分析马氏瓶的工作原理入手, 说明原马氏瓶存在问题的原因, 并介绍一种改进装置及其应用。

一、马利奥特瓶工作原理

1. 原理 原马利奥特瓶装置, 如图1所示, 这是地下水均衡场地下室中的地中入渗蒸发仪。图2为改进后的马利奥特瓶装置。改进前后的马氏瓶, 其工作原理是相同的, 现以改进后的马氏瓶 (图2) 为例, 说明其工作原理。

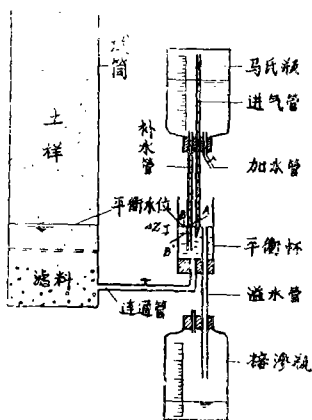


图1 原马利奥特瓶装置

在地中入渗蒸发仪中, 当土样处在蒸发过程, 则试筒中的水位下降, 引起平衡杯水位下降, 马氏瓶就通过补水管补水, 使平衡杯和试筒的水位恢复到平衡水位, 从马氏瓶刻度读出试筒土样的蒸发量。当土样处于入渗补给过程, 试筒水位升高, 引起平衡杯水位升高, 通过平衡杯的溢水管, 使平衡杯和试筒的水位恢复到平衡水位, 从接渗瓶读出试筒土样的入渗量。

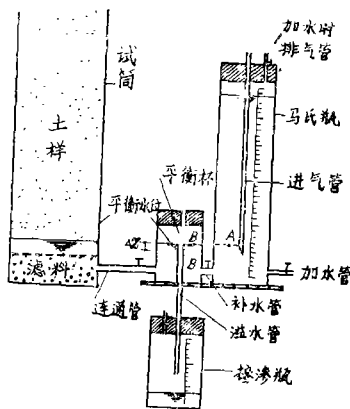


图2 改进后的马利奥特瓶装置

这种装置, 试筒土样的地下水位是保持一定的, 所以, 叫定水位地中入渗蒸发仪。那么, 为什么马氏瓶能自动补水, 以保持试筒水位不变呢? 其原理如下:

对于某一基准平面, 写出图2中平衡水位时 A、B 两点的能量方程:

$$Z_A + \frac{P_1}{\gamma} + h_1 = Z_B + \frac{P_a}{\gamma} \quad (1)$$

式中 P_1 为马氏瓶内的空气压力、小于大气压力 P_a , h_1 为瓶内刀口以上水柱高, γ 为水的容量, z 为位置水头。

因 A、B 处于同一水平水位上, 其位置水头 $Z_A = Z_B$, 则式 (1) 变为:

$$\frac{P_1}{\gamma} + h_1 = \frac{P_a}{\gamma} \quad (2)$$

处于平衡位置时, A、B 之间无水流动。当平衡杯内水位由于试筒水位下降而下降 ΔZ 时, B 点降至 B' , 这时 A 和 B' 之间在水头差 ΔZ 的作用下, 水就从 A 流向 B' , 与此同时, 马氏瓶内 h_1 减小, 随即 P_1 也减小, 这样 A 点压力便小于进气管刀口处的大气压力, 于是空气由进气管进入瓶内, 使瓶内气压增加, A 点始终接近于大气压的压力, 使得能不断补水给平衡杯。随着进气补水的延续, 直到试筒和平衡杯水位恢复到平衡位置, 补水和进气就停止, 马氏瓶达到新的平衡状态, 即

$$\frac{P_2}{\gamma} + h_2 = \frac{P_a}{\gamma} \quad (3)$$

式中的 P_2 为马氏瓶内新的气压, h_2 为瓶内新的水柱高 (图2中均未标出)。

2. 原马氏瓶的缺点和其原因

反应不灵敏是马氏瓶的主要缺点, 即平衡杯的水位已经下降, 但马氏瓶不能马上连续进气补水, 据观

测,平衡杯水位下降大于5毫米以后,马氏瓶才能进气补水,造成补水不均匀,这样,马氏瓶的读数不能及时连续地反映试筒土样的潜水蒸发。如果这时有降雨入渗补给,则有一部分入渗补给量就测不到。

原马氏瓶的工作原理与改进后的马氏瓶相同,反应不灵敏的主要原因是平衡状态下进气管中充满了水且进气路线方向有差别。当平衡杯内水位由于试筒水位下降 ΔZ 、从B点降至B'时,A点与B'之间由于水头差 ΔZ 的作用,水由A流到B',补水瓶补水。只要一补水,则 h_1 减小, P_1 亦降低(由于进气管中有水,不能随即补气),A点的水压力便低于大气压 P_a ,补水作用则减弱。只有当B点水位下降、进气管刀口露出水面,并且由于 P_1 的降低,进气管中的水全部被吸到补水瓶后,空气才能进入到补水瓶内,此时补水瓶与大气相通,则A点的压力大于大气压 P_a ,于是A、B'两点水头差远大于 ΔZ ,补水瓶补水作用剧烈,一直到平衡杯内水位上升淹没了进气管刀口(同时进气管被水充满),且补水瓶内的气压减小到为一定的负压值时才停止补水。

总之,改进后的马氏瓶A点处压力始终维持一个接近大气压的压力,其补水是连续的,反应灵敏。据观测,平衡杯水位下降0.5毫米时,补水瓶便立即补水,水位随之恢复。原马氏瓶在补水过程中,A点压力在开始阶段由于补水瓶没有补气而低于大气压,后期由于补水瓶与大气相通又大于大气压,因此,开始补水弱或不补水,后期补水强,甚至发生实际观测到的所谓“过量”补水现象。所以,原马氏瓶补水不均匀,反应不灵敏。

二、马利奥特瓶的应用

改进后的马氏瓶,控制水位准确,灵敏度高,比原来的提高10倍,水位下降0.5毫米都能反映,而且补水均匀连续,便于量测水量。因此,马氏瓶装置在实验室、试验场和野外试验中都有很多应用。在应用中可根据测量水量的大小来选择马氏瓶的直径,以提高测量精度。例如,需要测的水量很小,可选择小直径的马氏瓶。同时,马氏瓶控制的水位按需要可提供稳定的正压水头或负压水头。对于马氏瓶本身也可根据情况用有机玻璃管或普通玻璃管制成。下面简单介绍几种应用的情况。

1. 在水均衡场用于地中入渗蒸发仪中。其装置如图2所示。该装置经河南地矿局商邱、郑州均衡场使用一年多,运转情况良好。

2. 用于室内试验,提供稳定的正压水头或负压水头。

图3为测定瓦管的渗透系数的装置示意图,马氏瓶用来控制固定的水头 H ,且测量瓦管的渗透水量。

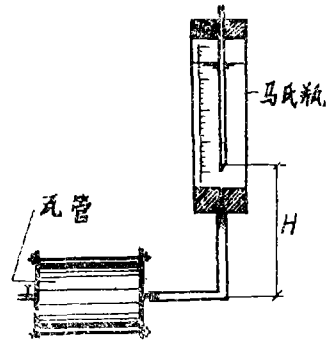


图3 提供固定正压水头的马氏瓶装置

图4为控制负压水头用于测定非饱和土壤水导水率的装置。

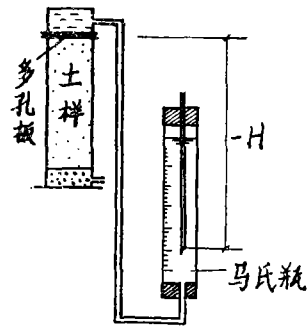


图4 提供固定负压水头的马氏瓶装置

3. 用于野外试验

图5为野外同心环入渗试验中用马氏瓶控制水位和测量入渗水量的情况。

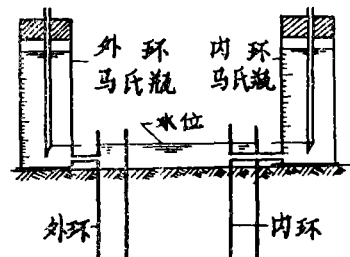


图5 用于同心环入渗试验的马利奥特瓶装置