

颠倒温度表制做和检定工作中的几个问题^{* **}

任 允 武

(中国科学院海洋研究所)

一、前 言

颠倒温度表自1874年为英人 Negrutti 与 Zambra 发明以来,一直是海洋调查中最好的一种测温仪器,其优点准确可靠并能用以测量很深的深层水温。1958年,上海科学化工厂的技工陈振邦、周福成等与有关海洋科学工作者紧密配合,在我国首次试制成功了这种仪器。其后,又逐步改进,不断提高质量,至1961年,不但可以自给,而且还能供其他国家的需要。

在试制过程中,由于没有工艺资料,工作只得根据对各国表的解剖分析资料,在边研究边试制的情况下进行。1960年4、5月间,为进一步提高质量,作者与王培德同志曾经到工厂与生产工人共同研究,作了一批实验表。这批实验表的鉴定结果表明,我国对颠倒温度表的制做技术可以说已经获得基本解决^[1]。本文拟介绍几个关键问题的解决过程,供有关同志参考。

颠倒温度表的检定是了解温度表的性能与保证水温观测资料质量的重要措施。我国颠倒温度表的检定工作是1955年在赫崇本教授指导下开始的,但当时只能作标度检定,而且检定设备的工作效率较低^[2]。1956—1957年间,刘凤树、陈开耀、杨天鸿等曾设计了大型标度检定设备,但在工作过程中发现这一设备存在着不少缺点^[3]。1958年全国海洋普查开始以后,在新的工作需要推动下,全国海洋普查办公室技术研究小组逐步建立了完善的全套检定设备和方法,并制定了“颠倒温度表检定暂行规范”,作为检定全国所用的颠倒温度表之用。本文除简要地介绍全部检定过程的一般情况外,拟着重叙述新的标度检定仪的结构原理、主要优点和性能试验。

二、颠倒温度表的制造

1. 关于盲枝的作法问题

颠倒温度表毛细管中间的盲枝是决定测温准确度的主要关键。怎样在内径只有0.5毫米左右的玻璃毛细管中做上一个盲枝则是我们首先遇到的难题。

最初,制做者曾采用钨丝来刺制盲枝,但始终未获满意结果。1959年4、5月间在青岛举行的座谈会上,着重地研究了这个问题。大家认为,盲枝除了应绝对保证清洁外,它的理想形式应如图1所示。因为盲枝之所以能起断点作用,是由于其附近各部分水银分

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第207号。

** 本文承赫崇本教授审阅指正,特此致谢。

子吸力的顯著差異所致。在顛倒過程中，盲枝內的水銀因壓力減消先集聚於盲枝上部，然後由於這裡水銀的分子吸力比在主枝口處水銀的分子吸力大得很多，而主枝口處水銀的分子吸力又比其下部的為小，所以，這樣就可以保證水銀在主枝口處斷裂。我們觀察到的一些比較好的日本表與西德表的盲枝，都非常接近這種形狀，這樣的盲枝看來不象是刺制的。

在會議的启发下，不久，陳振邦等同志創造了另一種制做盲枝的新技術，使表的質量突然提高了一步。但是，這種情況在較長的時間內未能再獲改進；為了進一步提高表的質量，我們下廠做了一批實驗表。

實驗表的盲枝與原來的不同之處在於：盲枝口較主枝口為寬，主枝口之下有一個不大的擴大部分，形狀如圖 1 所示的理想盲枝相近。

做成這樣形狀的盲枝主要是為獲得最小的斷點誤差，而檢定結果也恰好証實了這種推斷。在 104 支實驗表中，除了有 10 支是因為其它原因不合格外，其餘 94 支，誤差為 0.01°C 和 0.02°C 的各占 36% 和 40%，誤差為 0.03°C 和 0.04°C 的各占 16% 與 7%，誤差在 0.05°C 及以上的一支都沒有。由於我們檢定的最大可能誤差為 0.02°C ，而這批實驗表的斷點誤差在 0.02°C 以內的竟達到 76%，由此可見，絕大部分實驗表的斷點誤差已經縮減到很小的限度。如果在制成盲枝之後再在顯微鏡下加以嚴格挑選，可以斷言，斷點誤差能夠基本消除。

2. 關於水銀提純和毛細管清潔問題

水銀和毛細管的純淨也是保證溫度表質量的重要條件。這批實驗表所用的水銀原有純度為 99.99%，在使用前應用電熱 (150°C) 抽氣蒸餾器進行了兩次蒸餾。在每次蒸餾前還應用不同濃度的化純硝酸、硫酸、鹽酸、燒鹼和蒸餾水進行沖洗。沖洗程序：

在第一次蒸餾前：棉花過濾 → 5% 燒鹼 (1 次) → 蒸餾水 (1 次) → 15% 硝酸 (4 次) → 蒸餾水 (1 次) → 40% 硫酸 (2 次) → 1% 燒鹼 (1 次) → 蒸餾水 (3 次) → 棉花過濾。

在第二次蒸餾前：通氣氧化 → 10% 硫酸 (2 次) → 10% 鹽酸 (1 次) → 15% 硝酸 (3 次) → 蒸餾水 (5 次)。

遺憾的是由於條件限制未能通過精密分析測定出處理後水銀的純度，但是，因為上述處理方法是參考蘇聯處理精密溫度表用水銀的方法擬定的，而且我們對全部處理容器又進行了嚴格的清洗，所以可以相信，經過處理後的水銀是相當純淨的。

使毛細管清潔採取了沖洗和加熱充氮處理兩個措施。沖洗時，先用化純的濃硝酸洗淨兩端，再使用大約 10 毫升的濃硝酸流過毛細管一次 (約需時 1—2 小時)，然後再用蒸餾水沖洗，最後用無水酒精沖洗並抽氣烘乾。抽氣烘乾使用了專用設備，使吸入空氣經過三次清洗，不致將空氣中的塵土吸入毛細管內。毛細管經過洗淨烘乾之後，再在顯微鏡下詳

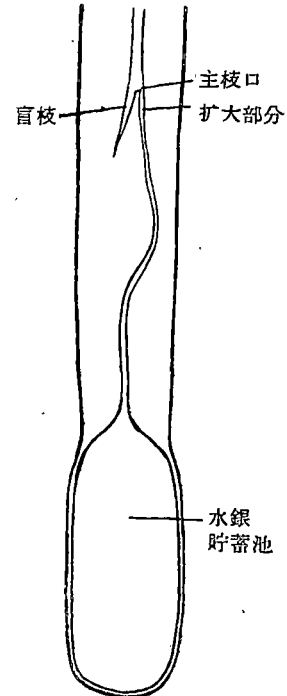


圖 1 理想盲枝形式示意圖
Рис 1. Схема идеального вида глухого отростка

細检查,挑出其中存留玻璃屑等大块污物的毛細管。这次实验共洗管 144 支,挑出不合格者 18 支。

为了驅除毛細管壁上殘留的氧气,在灌水銀和“陈化”以前經過两次加热充氮处理,在充氮以前先抽出其中的空气,电炉加热温度約为 300°C。

3. 关于水銀倒流現象的克服

我們从分析比較各国表的结构情况中发现,国产表盲枝以下抑止水銀倒流的毛細管部分太短,因此,在温度表顛倒后,往往稍經震动貯蓄泡內的水銀就会倒流下来。在这批实验表中,由于严格要求自盲枝頂至其下的小泡中心长度为 9 毫米(比原来加长 2—3 毫米),并限制这一段毛細管的最細部分直径应在 0.05—0.1 毫米之間,所以基本上克服了这一現象。在 121 支实验表中,只有 3 支发生倒流。

4. 关于解决水銀不回流現象的实验

当顛倒温度表复正时,水銀有时不能自动地流回来,这一現象虽不影响使用,但很不

方便,因此,在这批实验表中,有计划的对其产生原因作了实验。根据推断,毛細管粗度和接受泡形状可能是两个主要的导致原因,所以实验表所用的毛細管經過事先选择,并按照日本、西德和苏联三国的表分別作了不同形状在接受泡(见图 2)。结果表明:水銀不回流的原因与毛細管粗度确有关系,較細者容易发生;同时,也与接受泡的形状有关,以苏式的較好。

关于顛倒温度表的制作过程是相当复杂的,本文不拟詳細介紹,如果有人对此感到兴趣,請參閱“关于顛倒温度表制做技术的研究报告”一文^[1]。

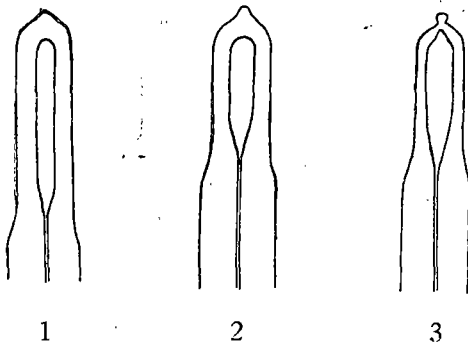


图 2 各国表接受泡的形状(1.日本,2.德国,3.苏联)
Рис 2. Виды верхних расширений термометров различных стран (1. японский, 2. немецкий, 3. советский)

三、顛倒温度表的检定

一套完整的检定应包括初步检查、0°点检定、标度检定、V₀检定、β检定、惰性检定和压力检定七項工作。我国目前除压力检定尚未开始外,其余各項已全部建立起来。

初步检查方法較簡單,不拟在此处贅述。0°点检定虽然也較簡單,但由于温度表的0°点經常要改变,使用单位需要每半年(至多一年)检定一次,同时欲获得准确的0°点温度也不是輕而易举的,因此本文拟在此介紹一点工作经验。

按物理学定义,气压和水的純度是影响 0°点的两个因素。但經前人实验証明,每改变 1 个大气压力,才使 0°点改变 0.0074°C (Müller-Puillet); 而含盐量 1‰ 就能影响 0°点下降 0.055°C (Krümmel)^[5]。因此在实际工作中,前者可以忽略,后者則必須充分注意。按理最好使用蒸餾水,但大批检定全部使用蒸餾水很不經濟,因此我們曾选用市售人造冰来代替蒸餾水冰。实验証明它是能滿足要求的。因为水在結冰时要放出其中的溶解盐,所以在选冰时注意选取最先凝結的外緣透明部分而剔除最后凝結的中央乳白部分即可。

为了防止误差产生,还应采用已知 0° 点误差的标准温度表进行校验。

0° 点检定的环境条件必须注意室温须在 0°C 以上。温度表埋于冰屑中应压实,勿使孔隙过大。在感温过程中(20—30分钟),须使冰屑处于融化状态,以防止过冷现象发生。

0° 点检定所用的设备只是一个可以颠倒的双层保温筒子,其形状如图3所示。

V_0 与 β 检定的设备和方法以及对国产表的检定情况已有另文发表^[4];惰性检定是测验温度表的感温时间,方法设备皆甚简单,本文均不再重述。这里只说明两点:第一,国产表的 β 值,经用两种方法测定,其结果皆接近 $1/6300$,而有一部分表其标出 β 为 $1/6100$ 是错误的,应当予以更正;第二,国产表的惰性检定结果一般在5到7分钟之间,使用时感温时间不应少于7分钟。

标度检定则是全部检定工作的主体。在以往工作经验的基础上,我们根据颠倒温度表的特点研究试制了下述新的检定装置(图4)。

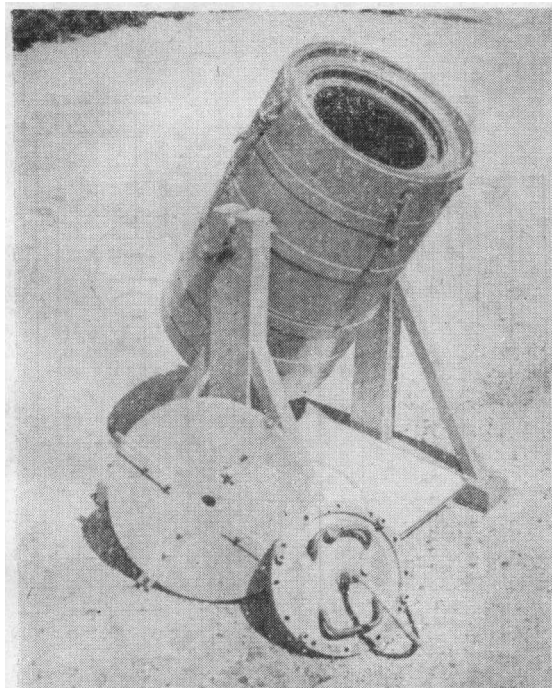


图3 颠倒温度表 0° 点检定器

Рис. 3. Сосуд для проверки места нуля опрокидывающихся термометров

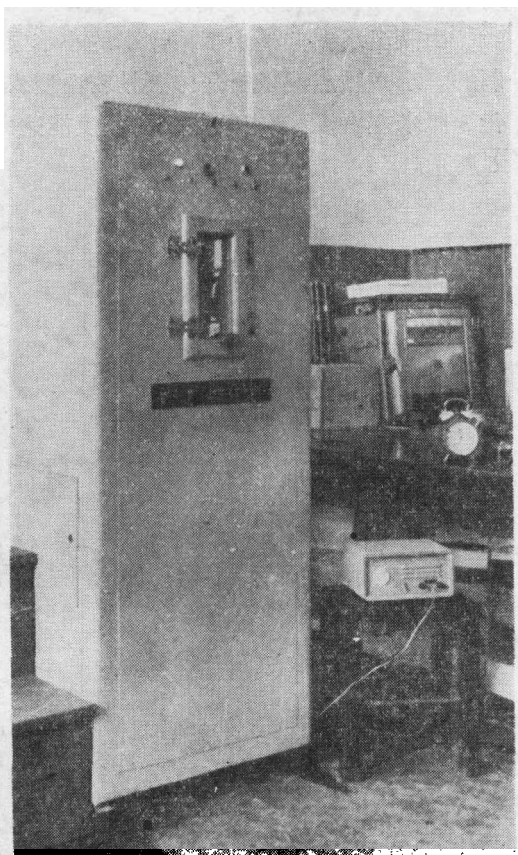


图4 颠倒温度表标度检定装置

Рис. 4. Общий вид установки для проверки всех шкал опрокидывающихся термометров.

这套新仪器在工作原理上是力求满足颠倒温度表的特性而设计的。

由于颠倒温度表在感温时间上有很大的“惰性”,而且每一支表的这种“惰性”也不是完全一致的,因此,在检定过程中,颠倒温度表和标准温度表在感温时间上必然存在着很大的差别。这样,颠倒温度表的检定就不可能象一般温度表一样可以采用升温或降温的检定方法,它必须采用恒温检定法。

颠倒温度表的准确度较高,在检定工作中一般要求达到 0.01°C ,因此检定仪的恒温

设备必须具有高度的准确性。实验证明：利用普通触点控温器控制直接装在槽内的冷、热源的恒温水槽是不能满足要求的，这一方面是由于控温器本身粗糙不准，同时冷热源对热量的吸收与放散又有一定的惰性，致使槽内水温发生波动式变化。为了得到高度准确的恒温，本检测仪的恒温水槽除了具有保温性能很高的绝热层之外，还采取了双重恒温控制装置，即在检定颠倒温度表的水槽（以下简称检定水槽）之外，另设一恒温准确度较差的水槽（以下简称调温水槽），其中蓄备了为调节检定水槽温度所需的定温水，利用一个小水泵把它输送到检定水槽中去以调节其中的恒温。这样设计的优点在于它没有惰性，当定温水被打进检定水槽时，立即就能产生调温作用，而输水一经中断，调温作用也就立刻停止。

由调温水槽向检定水槽输水的小水泵是利用水银触点控温器和电子管继电器自动控制的。水银触点控温器是仿照精密温度表特制的（图5），温度每变化 1°C 其水银柱可变化3厘米左右，因此它的控制准确度能达到 0.01°C 以上。电子管继电器的工作原理如图6所示。

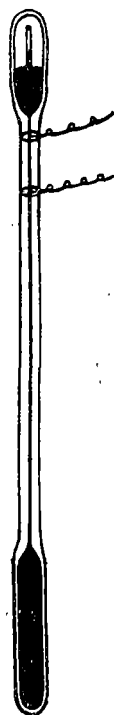


图5 水银触点控温器示意图

Рис. 5. Схема ртутного термостата

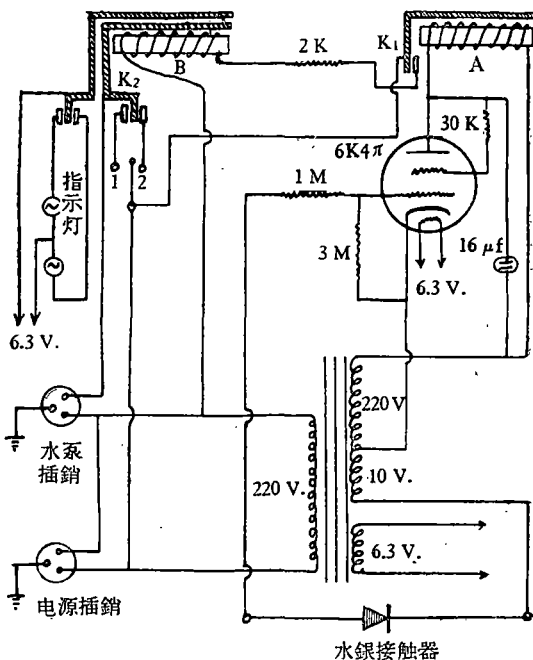


图6 电子管继电器示意图

Рис. 6. Электрическая схема лампы реле

检定水槽内的充分搅拌也是获得高度恒温的重要条件之一。为了达到这一目的，在检定水槽的底部中央位置上安装了强有力的电动搅拌器，使槽内的水不断的上下混合，以保持水温的均匀。

槽底伸入搅拌器转轴通孔的水密方法，是一个不好解决的问题。本仪器几经实验改进，最后采用的水银密封法获得了良好的效果，它不但可以保证不漏水，而且摩擦阻力也

很小。這種方法的原理很簡單，參看圖 10 即可了解。

考慮到顛倒溫度表的顛倒情況不同可能對測量結果有所影響，因此本儀器為了盡量與海上使用時的顛倒情況一致，曾作了突然顛倒的設計。此外，為了操作方便，關於顛倒溫度表在槽內旋轉和復正等工作，都採取電動裝置自箱外操縱。這些部件的工作原理如圖 7 和圖 8 所示。

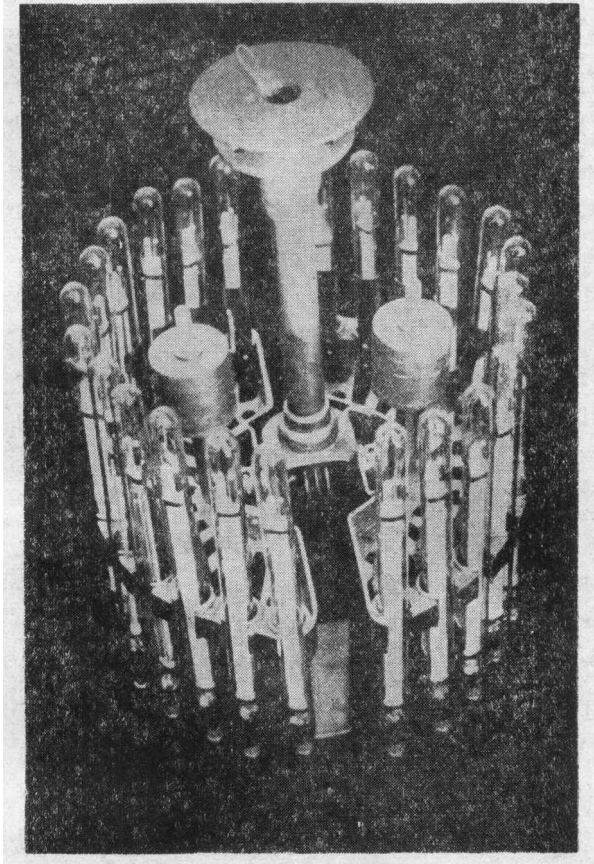


圖 7 顛倒溫度表架

Рис. 7. Рамка для установки опрокидывающихся термометров.

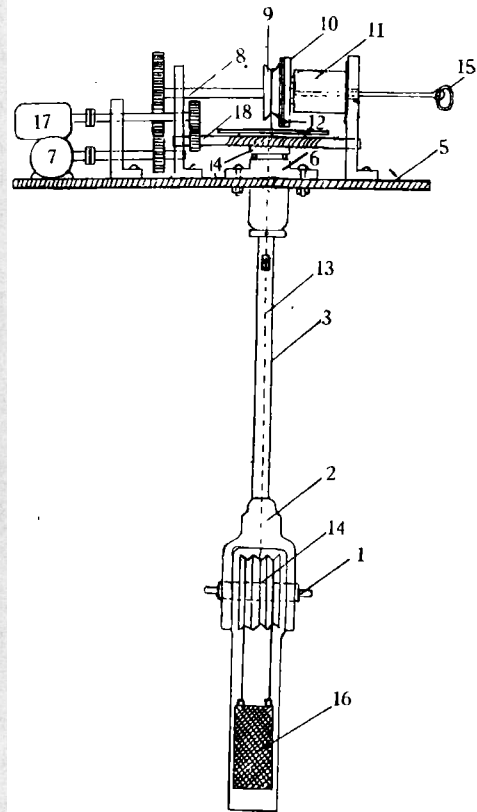


圖 8 顛倒與旋轉裝置示意圖

Рис. 8. Схема опрокидывающейся и вращающейся установки

由圖 7 可以看出，顛倒溫度表是用彈簧片卡在兩個半圓形的支架上。支架中部向一面伸出的立柱上裝有鉛砣，用以調節由於顛倒溫度表兩端重量不等而產生的不平衡現象，使支架便於顛倒。

兩個半圓形支架分別用螺帽鑲在中間轉軸(1)的兩端(參看圖 8)，此軸則鑲在一個“D”形軸承(2)上，而“D”形軸承又與一根長管(3)的一端相接，管的另一端固定連接著一個圓形托盤(4)，此盤壓在固定於橫梁(5)的底座(6)上，兩者之間墊有滾珠，以減少轉動摩擦。

顛倒裝置的動力是電機(7)，它經過減速之後傳動主軸(8)。在主軸上按裝了捲綫輪(9)和圓鐵盤(10)，它們對主軸的關係，前者只能轉動不能滑動，後者適與其反。圓鐵

盘的后面装有弹簧盒(11),其中的強力弹簧平时推逼圓鉄盘紧贴在捲綫輪上,使圓鉄盘上的屑釘(12)嵌入捲綫輪的洞孔內。这样,当馬达轉动时,捲綫輪因受圓鉄盘的控制而随主

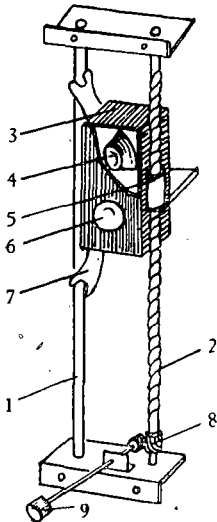


图9 閱讀装置示意图

Рис. 9. Схема установки для отчета

軸旋轉,遂將尼龙綫(13)捲起,从而带动了中間轉軸上的三槽滑輪(14),而使表架轉上。如果需要溫度表顛倒时,只要拉動把手(15)使圓盘的屑釘和捲綫輪脫离,則由于鉛砣(16)的重力作用,就能够自动的使之顛倒过来。

馬达(17)則是旋轉裝置的动力。它經過減速之后傳动了蝸杆(18),而此蝸杆是卡在顛倒溫度表架頂端圓形托盤(4)的斜齒輪上,因此在馬达開动时即可帶动表架旋轉,使每支顛倒溫度表順次通过玻璃窗口,以便讀数。

图9是閱讀裝置的示意图。它的主要部件是放大鏡(6)和照明灯(4)。放大鏡与照明灯共同装在一个遮光盒(3)上,照明灯位于上方,它所集聚的平行光束稍微向下傾斜,恰好照在与放大鏡同一水平面的溫度表刻度上。放大鏡的前方装有一根照准发絲,它与通过放大鏡中心的水平划綫位于同一个水平面上,用以校正讀数时的眼高。由于溫度表各个标度的位置不同,所以放大鏡和照明灯必須能够上下調节才能适用。为此,附有放大鏡和照明灯的遮光盒是以固定在其上的弹簧片(7)与母螺絲(5)装在正对閱讀窗口的两根支柱上,右边与母螺絲相接的支柱是一根蝸杆(2),它的下端鑲有轉向蝸輪(8)并有紐把(9)通至窗外。当轉动紐把时,蝸杆即随之轉动,从而带动了母螺絲和与其相联的遮光盒上下移动。这样也就达到了可以自由調节閱讀高度的目的。

在介紹了这套儀器的設計原理之后,我們再利用图10来看看它的結構情况。

图10是沿儀器前后方向的剖視图,如图所示,檢定水槽(1)位于上部,調溫水槽(2)位于器底,它們的四周都用厚約10厘米的玻璃絲层絕热,联通管路和閱讀裝置(6)装于玻璃絲层之內。

在檢定水槽与調溫水槽之間的空間,安装了檢定水槽的攪拌設備(3)和調溫水槽的循环水泵(4)。攪拌設備的螺旋浆轉軸穿过槽底的玻璃絲层通入檢定水槽之中,仅將电动机装在槽外。

顛倒溫度表架(5)由橫樑支持装在檢定水槽之內,顛倒与旋轉裝置的全部机件皆装于橫樑之上,但使两个馬达位于儀器背面的絕热层中,仅將轉軸伸入器內,絕热壁的外側开一通风窗,以利电机散热。

这套儀器經中国科学院海洋研究所附属工厂两次試制才

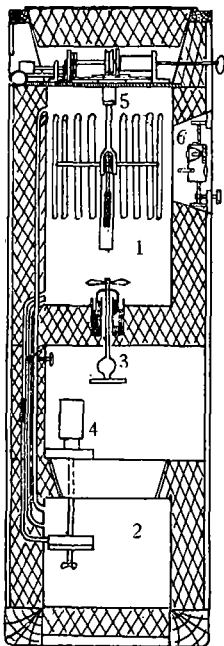


图10 顛倒溫度表标度檢定儀裝配示意图

Рис. 10. Схема расположения и установки для проверки всех шкал опрокидывающихся термометров

初步定型投入使用。從使用情況看來, 儘管有些地方因設計考慮不周或加工不夠精細還存在着缺點, 但和以前我國所有的標度檢定裝置比較起來, 工作效率和檢定精度都有很大的提高。實驗證明, 良好的控溫設備一般已能夠將檢定水槽中的水溫穩定在 0.02°C 以內。如果再減小調溫水槽與檢定水槽中水溫的差別(現在規定 3°C), 或者將來再改進水銀觸點控溫器的設計, 使其感溫惰性盡量減小, 則檢定水槽的恆溫度還能提高, 預計達到 0.01°C 以內是不成問題的。這與蘇聯國立海洋研究所列寧格勒分所最近製成的標度檢定儀^[6]相比較, 也有一定的優點。他們直接用電熱控制檢定水槽的溫度, 從我們的經驗看來是有問題的。

四、結 語

在全國近海調查的帶動下, 我國自立更生成功地發展了顛倒溫度表的製造事業。從目前情況看來, 製做技術已基本上獲得解決。我國表的主要優點是盲枝製做技術精巧, 在形狀上做到了理想盲枝的要求, 如果今後再能在顯微鏡下選擇使用, 預計可以完全消除斷點誤差。但是我國表也還存在着不足的地方, 例如接受泡的“陳化”由於技術上存在問題未能進行, 想來這對 0° 點的穩定將產生一定的影響。此外, 我們以按耶拿 16^{III} 配方自制的玻璃, 從 β 值的初步測定結果看來, 與原型號存在一定的差別, 推想也可能對表的質量有一定的影響, 這都是今後需要繼續研究解決的問題。

伴隨着顛倒溫度表的試制成功和逐步提高質量的同時, 我國相應地建立了一套比較完善的檢定設備和方法, 為保證我國今後海洋調查的測溫質量建立了良好基礎。但是, 這套方法和設備也還存在着一些缺點, 需要今後繼續改進, 特別是壓力檢定設備迄今尚未建立, 以致影響了對國產表耐壓性能的測定, 同時也使已經製成的開端顛倒溫度表的壓力系數無法實驗, 這也是一項急待解決的工作。

參 考 文 獻

- [1] 任允武、王培德, 1960. 關於顛倒溫度表製做技術的報告。(未刊稿)
- [2] 任允武, 1956. 1955年顛倒溫度表檢定工作總結。(未刊稿)
- [3] 汪園祥、王培德, 1959. 關於顛倒溫度表校正工作的幾點意見(內部刊物)。
- [4] 任允武、王培德, 1960. 國產顛倒溫度表 V_0 和 β 的檢定(內部刊物)。
- [5] 日高孝次, 1932. 顛倒式深海寒暖計的冰點示度檢定報告, 海洋時報3(2): 410—429。
- [6] ГОИН Ленинградское Отделение, 1959. Руководство по Тарированию и Поверке Морских Гидрологических Приборов, стр. 119—125.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ О ИЗГОТОВЛЕНИИ И ПРОВЕРКЕ ОПРОКИДЫВАЮЩЕГОСЯ ТЕРМОМЕТРА

Жэнь Юнь-у

(Институт Океанологии АН КНР)

Опрокидывающийся термометр с тех пор, как он был изобретен (в 1874 г), считался одним из наилучших приборов для измерения температуры морской воды. С 1958 г. в нашей стране началось пробное изготовление этого прибора. Настоящая статья резюмирует главные вопросы, появившиеся в процессе его изготовления и проверки, и методы их разрешения.

Вследствие отсутствия технологической документации в процессе пробного изготовления встреченные нами трудности заключаются в том, что как решить следующие вопросы: вопросы о технике постройки глухого отростка, очищении ртути, чистке капилляры, избежании падения ртути при опрокидывании и т.д.

Постройка глухого отростка является ключевым вопросом для повышения точности определения температуры. На нём и настоящая статья останавливается подробно.

Кроме того, в этой статье с большими страницами изложены принцип работы и характеристики конструированной нами установки для проверки всех шкал опрокидывающихся термометров, также и кратко описаны вся система этой установки и методика проверки.

В настоящее время в нашей стране уже можно изготовлено большое количество опрокидывающихся термометров. На опыте показано, что их качество вообще достигает импортного. Создан уже комплект установки для проверки и составлены "Временно действующее наставление по проверке опрокидывающегося термометра". Это создало хорошее условие для обеспечения точности наблюдений над температурой морской воды, производящих в нашей стране.