

# 梅山水庫水溫特性的研究

徐 漢 兴

我国幅員广大,水利資源极其丰富。随着社会主义建設事业的发展,全国各地已經建立了为数众多的中小型水庫和一定数量的大型水庫与水庫羣。因此,如何充分利用和发挥这些水庫在生产上的巨大作用与潜在力量,以及为設計其它水庫的部門、水电建設和科学研究等单位提供水溫規律及其应用方面資料等問題已越来越被引起注意和重視。

梅山水庫最大庫容量可达 22.75 亿立方米,是河道型深水山谷水庫的一个典型。因此,对它的水溫变化特性的研究,其結果将是很有意义的。作者首先根据 1959 年 2 月至 1960 年 5 月的水溫觀測資料(包括断面水溫和固定垂綫水溫的觀測資料),进行了一次比較全面而深入的分析研究。然后,又在水庫的五个断面上进行了連續八天的大規模的水溫觀測,以及在个别垂綫上展开了几次連續 24 小时的水溫与当地气温的同步觀測工作。通过这些一系列的补充觀測,获得了許多极有价值的資料,为本文的整个分析研究工作,提供了重要依据。

## 一、水溫觀測的基本經驗

梅山水庫在淮河南岸支流——史河的西源上游。当其水位涨至設計洪水位 139.6 米时,蓄水区長約 50 公里,水面平均寬为 1.66 公里,坝前最大水深达 70 米左右(見图 1)。

这个水庫,其影响水溫变化的因素是十分复杂的。因此,对取得水庫热学和热量平衡計算資料的基本手段之一——水溫的觀測工作來說,無論在設備上和方法上,都帶有一定的复杂性,特別是对其深水段的水溫觀測工作,困难就更大。然而,梅山水文站在这方面的工作中却取得了一些良好的結果。

### 1. 觀測設備

使用的儀器設備,主要有水溫表、过河浮动設備和定位設備。

梅山水文站使用的水溫表是用 95 型半导体点溫度計改装成功的

“半导体深水溫度表”。这种水溫表的特点是,感应灵敏,讀数方便精确(可以估讀至

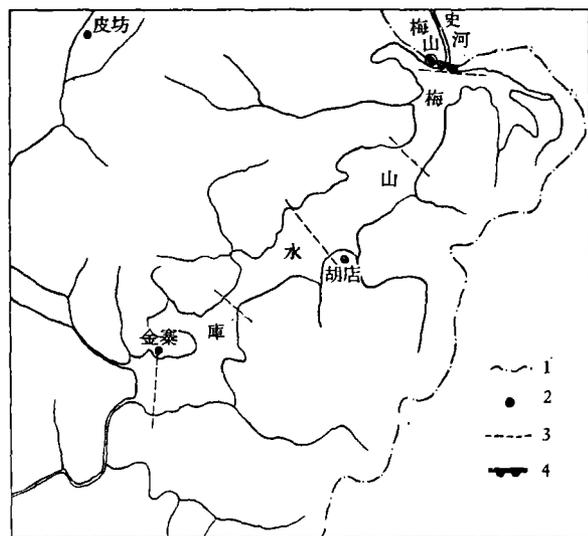


图1 梅山水庫概况图

1. 水庫流域界; 2. 水文站; 3. 水溫觀察断面綫; 4. 連拱坝位置。  
Fig. 1. Map of Meishan Reservoir  
1. boundary line of drainage basin; 2. cross-section of water temperature observation; 3. hydrological station; 4. dam site.

0.1°C), 把它的感应部分放到测温垂綫的任意深度上, 能够从指示器上直接讀取任一深度点上的水温, 这就完全避免了一般水温表(其中也包括颠倒温度表)必須提出水面才能讀数的共同缺点, 大大提高了水温观测工作的效率。但使用“半导体深水温度表”时, 必需事先进行校驗, 以減免仪器产生的誤差。

在过河浮动設備方面, 主要有木制测船和水面蒸发木筏两个部分。前者是用以載送人和仪器, 后者用作观测水面气象要素和固定垂綫水温的专门設備。测点位置主要用专门設置的过河纜索来标志, 或者用經緯仪視距法来測定。

### 2. 站点布設情况

所研究的水庫庫盆是一个条带形的河谷, 水深从上游至坝前, 逐漸增大。工作开始时只在梅山連拱坝前 150 米处設置了一个观测水温的断面, 并在該断面上——原来是史河河道的中泓处——設置了一条固定的观测水温的垂綫。为了取得整个水庫更具代表性的資料, 又在金寨到梅山沿庫的长軸約 30 公里以內, 利用其原有的水文站和水位站, 共設置了三个固定性的測量水温的断面及两个临时性水温断面。其断面的間距, 一般是 6 公里左右。而各断面上的垂綫間距, 一般是 80—100 米。各垂綫上的諸测点, 距离水面分別是 0.1, 0.4, 2, 5, 8, 10, 12 及 15 米, 再往下因水温的变化較小, 每隔 5 米测一点水温。

象这样的站点布置, 我們从水温資料的整編中知道, 已基本上可以滿足研究水庫水温空間变化規律的需要。

### 3. 观测時間

由于水温的变化是随時間和空間的不同而不断地变化着的, 因此, 如果要取得全面而可靠的資料, 不仅需要适当的地点設站来观测, 而且还要連續不断地进行常年的观测。但是, 这往往因为人力和条件的限制, 不能充分地做到。于是, 梅山水文站的观测時間, 基本上只規定在每个月的 5、15 和 25 日三天中来进行: 即每月进行三次水温观测, 其中两次在固定垂綫(在水面蒸发木筏处)上进行单垂綫水温观测; 一次在固定断面(在坝前 150 米处)上进行全断面水温观测。此外, 并結合进行了一些短期的、如連續几天和連續 24 小时的观测。这样进行观测的目的, 是为了根据具体情况和在各次的观测力量許可的条件下, 能够取得在不同时期的具有代表性的观测資料。

## 二、水温資料的整理方法

梅山水庫水文站所搜集的水温資料, 內容很丰富, 情况也很复杂。它不仅在時間上有連續 24 小时、連續几天和全年逐月每逢 5 日观测等資料, 而且在不同地点还有固定垂綫、固定断面、临时断面等, 并以不同的断面間距、不同的垂綫間距和各垂綫上不同的测点間距等方法观测所取得的資料。对这样一些資料要进行整理加工, 是不很容易的。同时, 加上我們过去对水温資料的整理方法, 所見很少, 遇到象这样复杂的情况, 就更感到困难。但是, 我們在具体工作中, 终于应用和建立了一些方法, 这些方法主要有: 关系曲綫法, 連过程綫法, 直綫插补法, 近似法, 垂綫放大法, 綜合过程綫法和热量平衡法等。这些方法, 在运算上是比較簡捷的, 对于整編的各种目的和要求, 亦能取得比較滿意的結果。茲簡述如下:

**1. 关系曲綫法** 这种方法主要用来推求不同因素(如水温, 气温等)之間的关系, 和

推求在不同时间和地点所测的同一因素之间的关系。例如, 我們曾用它推求了某一断面的平均水温与当地前一天的日平均气温之间的关系, 推求了断面平均水温同某一垂綫的平均水温之间的关系, 等等。此外, 我們根据整編上的要求和資料的性質, 利用各种因素变化的相应关系, 又进一步建立了多种型式的曲綫: 如单一直綫型, 单一曲綫型, 以某种因素作参数的多綫型, 以及能够按时序連成繩套的繩套型曲綫<sup>[8]</sup>等, 因此滿意地解决了許多問題, 特别是, 应用連时序繩套型曲綫来解决对水庫的月平均水温进行預报的問題, 取得了滿意的成果。

**2. 連过程綫法** 我們应用这一方法解决了梅山站逐月垂綫平均水温的推求問題。用纵軸标垂綫月平均水温, 横軸标月份, 以平緩的曲綫通过各实测点的平均位置, 繪制成光滑的曲綫, 在这光滑的过程綫上插补来求得缺測值。用这种方法求得的垂綫月平均水温, 以“因素相关法”来驗証, 两者的結果是十分接近的。

**3. 直綫插补法** 水温無論在空間上或時間上的变化, 往往都是漸变的。利用这些特点, 我們以水温作纵坐标, 以測站間的距离或以時間为横坐标, 并就以直綫連接实测点, 求得了其缺測資料的插补值。

**4. 近似法** 这种方法的特点是用一种資料代替另一种資料, 或者把一种資料直接当作另一种資料来使用。例如, 我們曾用地点上临近的(或時間上临近都可以)一个水温垂綫分布的型式, 代替了另一个水温垂綫分布。这是个粗糙的方法, 除非不得已, 不宜多用。但如果选用得当, 也往往能得出較好的成果。

**5. 垂綫放大法** 例如, 适当选取一种水温垂綫分布, 乘以某比例放大系数  $K$ , 而求得符合于某一定要求的水温的垂綫分布。我們用这个方法, 解决了逐日水温垂綫分布和逐月平均水温的垂綫分布問題, 延长了系列。

**6. 綜合过程綫法** 此法是将各个因素(如水温, 气温等)的变化过程, 繪在同一张图上, 来比較和检查及插补其系列等。这一方法的效果很好。

**7. 热量平衡法** 有了水庫的儲热量( $Q$ )和同时的庫容量( $V$ ), 就可以按热平衡原理, 并取庫水的比热与密度均等于一, 求得这时庫水的平均温度( $T_{op}$ ), 其公式是,

$$T_{op} = \frac{Q}{V} \quad (1)$$

但是, 由于我們缺乏經驗, 在理論和实践方面都跟目前在水温研究工作中的要求相差很远, 因此, 对水温資料的整理, 还必須繼續努力提高。

### 三、庫水水温特性及几个特殊問題的研究

庫水的温度, 受当地气候条件、地理环境和人工調节(水力发电, 灌溉等用水)方面的影响, 不断地发生着种种变化。这些变化, 据有关資料表明, 一般都是很明显的。这些变化的特性与規律, 有的同一般水体相似, 有的則带有它自己的特点。例如: 在空間分布上, 因受特殊的庫盆形态的制約, 区域性較強; 在時間的周期性变化方面, 与气温的关系較密切, 相应性較好; 对几个專門性一些的問題的研究, 将更能看清楚在較大水深处它們的变化情况。所有这些变化, 由于資料关系, 也是为了說明方便起見, 把它分成为以下的两个問題来討論:

## I. 水温的空间分布及时间变化

水温的空间分布与时间变化是进行水温研究的两大基本问题。兹分述如下：

### (1) 空间分布

水温的垂直分布可以有正温成层、逆温成层和全同温状态等三种类型<sup>[1,3]</sup>。我们的观测结果,如图 2 所示。上述的三种类型,在梅山水库里已全部都出现了。不过,其主要为

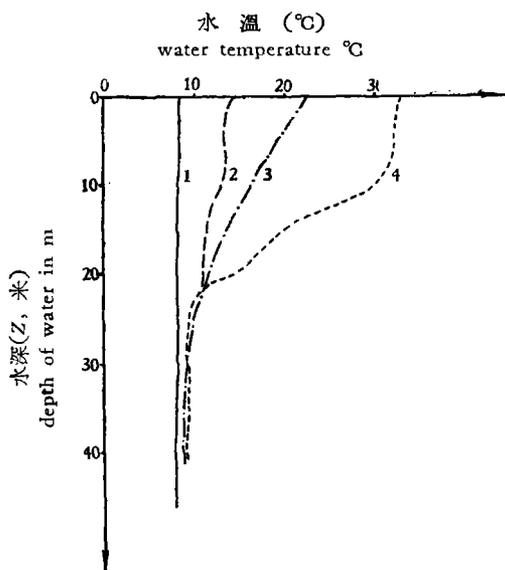


图 2 梅山水库各季水温垂直分布图

- 1——冬季(梅山站 1959 年 2 月 27 日实测);
- 2——秋季(梅山站 1959 年 11 月 14 日实测);
- 3——春季(梅山站 1960 年 5 月 23 日实测);
- 4——夏季(梅山站 1959 年 8 月 22 日实测)。

Fig. 2. Seasonal variation of vertical distribution of water temperature

1. winter (observed at Meishan station, 27th Feb. 1959); 2. autumn (observed at Meishan station, 14th Nov. 1959); 3. spring (observed at Meishan station, 23th May 1960); 4. summer (observed at Meishan station, 22th Aug. 1959).

正温成层,同温状态在冬季出现较多,而逆温成层,往往只是在天气特别转冷时才产生。当炎热无风的夏天,水库表面的水温甚至可以被晒热到 35°C 以上;同时,从图 2 中曲线 4 上可以看出:在水深 8 到 23 米之间的水层中所产生的连续几个温跃层的温差,竟可达 20°C 以上。这种连续产生好几个温跃层在一起出现的情况,往往是由于无风天气和刮风天气交替出现亦即风级交替而形成的梅山水库水温分布的另一个特点是:深水区域 20 米层的水温,年平均值约等于 9°C,并且变化极小,再往下变化更小,可以说几乎常年无甚变化。这在图 2 或图 9、10、11 中,都可以清楚地看到。

此外,水温的变化受地形及天气的影响很大。从纵断面图 3 及图 4 上可以看到,水温的沿程变化是十分明显的,以致依此我们可以把全水库沿库长相对地分成为三个热学区段(这在图 4 中最明显)。在这三个区内的水温变化的特性是:在金寨浅水段,水温受天气冷暖的影响最大,变化极为激烈;在梅山深水段,其变化最小;而在胡店这一段内,水温的变化则处于上述两者之间。

对比横断面图 5 和图 6,可知即使同一个断面上的水温在涨水前后,其变化也是非常剧烈的。这主要是因为当时那次暴雨产生了很大的水库入流,将大量的热量带进水库里来,使在该断面上的等温线分布遭到彻底破坏的结果;同时,也由于当时气温的普遍下降,以致加剧了从水库表面放热的过程。因此使其等温线的分布,在涨水的前后是根本不同的。

从这些图上还可以看出,在水库上游的金寨浅水段,当那次暴雨以后,它曾出现了一个明显的冷暖水的分层现象及异重流现象:在图 6 中,低温中心偏于断面的右岸附近,这也是水库入流的主流所经过的地方,它的温度只有 11°C 左右。在当时的岸边附近,则可能由于受到入流的影响较小和库底的放热作用的关系,而使它仍保持着较高的温度,但比起图 5 中的温度来,却已降低了不少。再从图 4 来看,其水库入流,一面把原来在库中的水

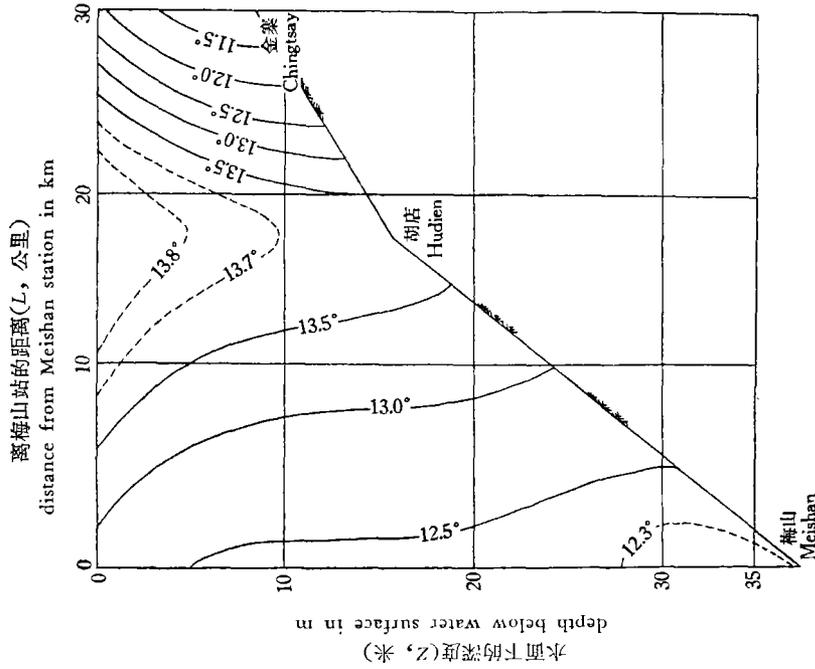


图3 梅山水庫漲水前水温縱断面分布图  
 (本图系根据1960年4月7日至10日各站連續四天观测平均值繪制)  
 Fig. 3. Longitudinal distribution of water temperature before flood  
 (according to average data at different stations observed from  
 7th to 10th April 1960)

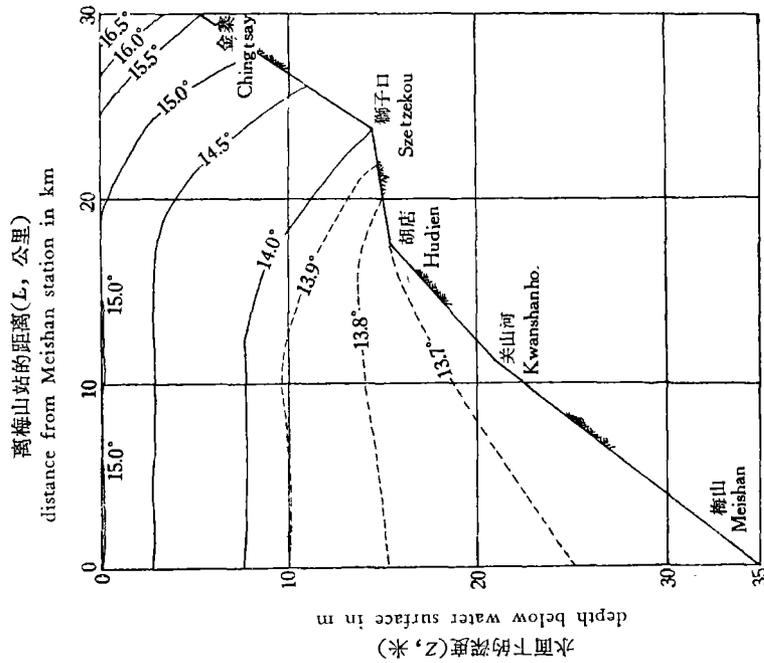


图4 梅山水庫漲水后水温縱断面分布图  
 (根据1960年4月11日至14日連續四天观测平均值繪制)  
 Fig. 4. Longitudinal distribution of water temperature after flood  
 (according to average data at different station observed from  
 11th to 14th April 1960)

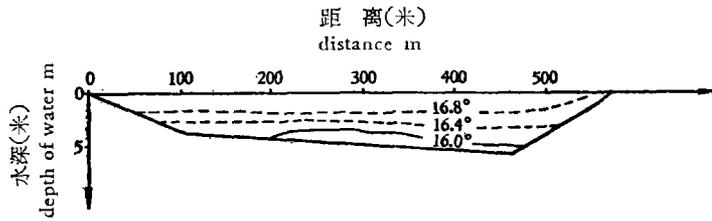


图 5 金寨涨水前水温横断面分布图

(按 1960 年 4 月 9 日实测资料)

Fig. 5. Cross-sectional distribution of water temperature before flood at Chingsay (according to data observed on 9th April 1960)

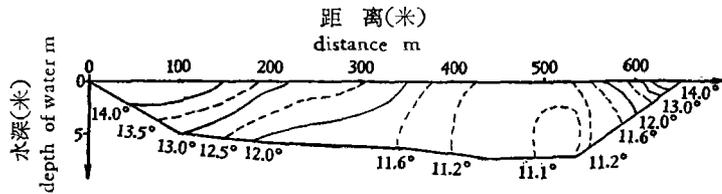


图 6 金寨涨水期水温横断面分布图

(按 1960 年 4 月 11 日实测资料)

Fig. 6. Cross-sectional distribution of water temperature during flood at Chingsay (according to data observed on 11th April 1960)

体不断向前排挤和向上抬升,同时由于它本身的温度显著偏低,密度较大,因而基本上只能在暖水底下沿库底向前推进。这样,使异重流“冷水楔”的前锋,竟一直伸展到胡店附近。

总之,水温的变化,一方面受地形影响,即地形可使库水产生明显的热学分区现象;同时,又受天气变化的影响,强大的暴雨径流及气温的急剧下降,使库水引起巨大的热量交换,从而可以使水库中库水温度的空间分布大大改变。而库水的运动(包括宏观的水流运动及微观的水质点的空间运动)对于影响水温变化的各个因素及其变换过程来说,则更起着调节和促进的作用。因此说,影响水温空间分布的因素是错综复杂的,同时它们之间都不是孤立的,而是相互联系、相互制约着,关系是很密切的。水温的空间分布,正是这种种变化因素的共同作用及其综合平衡的一个瞬时的结果,因此,我们往往只是用某一瞬时或某一时段的平均水温来代表其空间分布。

## (2) 时间变化

从上述水温空间分布知道,在水库里,也存在着水内温度场和温度性质不同的各种水体,并且它们在不断地运动和变化着。因此,我们可以同对气温的研究一样,从水温的周期性变化,水温的“日际变率”,以及它们同气温的这两种变化之间关系等,来对水温的时间变化问题进行一些研究。

在下面的一些成果图中,完全可以看出:在水温的逐日变化过程和年变化过程之间与气温的逐日变化和年变化过程之间,一般都有很好的相应关系。对逐日变化来说(见图 7),水深在 10 米以内的变化过程,水温与气温十分相应(当气温的日振幅达  $5.6^{\circ}\text{C}$  时,相应的水面水温的日振幅达  $3.0^{\circ}\text{C}$ ;它的相位变化是水温稍迟后于气温);又从图 8 知道,其表

面水温的峯值一般是落后于气温的相应峯值大約 2 小时。

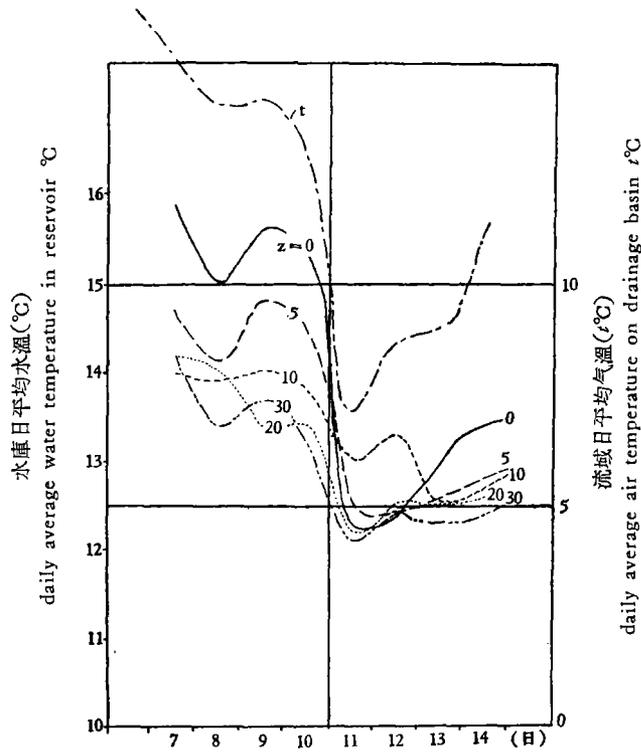


图 7 梅山水庫水温日变化过程綫图

(按 1960 年 4 月 7 日至 14 日全庫五个断面上的实测资料平均值繪制)

1. 水深(Z), 以米計; depth of water (Z) in m.
2. Z=0 表示水面温度逐日变化过程; 5, 10, ... 为各該深度处的变化过程。

Fig. 7. Daily water temperature in Meishan Reservoir

(according to average data observed at five cross sections from 4th to 14th April 1960)

1. depth of water Z in meter; 2. Z=0, daily temperature at water surface; Z=5, 10...daily temperature at various depth of water.

对水温的年变化来說, 它的特点是: 最低值一般在 1 月或 2 月出現, 最高值則在 7 月或 8 月出現。极值出現的日期, 通常是水温落后于气温約一个月左右。关于这些极值的特点, 都可从图 9、10 和 11 中很清楚地看到。至于水温变化的幅度問題, 由图 9 可知, 在夏季其水面下 5 米水深以内的水温变化的最大振幅可达 26°C 以上; 而当水深大于 15 米时, 其变化的振幅, 就将显著地减小(見图 9)。再从图 10 来看, 水温的垂直梯度的变化, 也是很显著的: 以夏季上下温差极大、等温綫最为密集的 8 月份为最大, 而以冬季从水面直到庫底温差极小、几乎没有什么等温綫可繪的 1—2 月为最小, 这时的水温的垂直梯度甚至可小得接近于零。

图 11 是一张具有六个水温因子的綜合年变化过程綫图, 从这张图上, 不仅可以清楚地看到水温与气温相应变化的过程, 無論从其极值、位相、振幅等特点上, 或是从其曲綫的

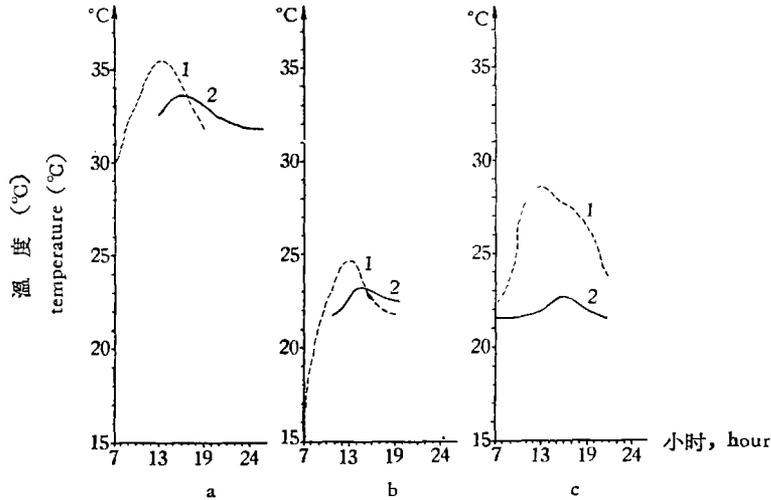


图 8 梅山站日水温及气温综合过程线图

1——气温； 2——水面水温。

Fig. 8. Daily water and air temperature at Meishan station  
1. air temperature; 2. water temperature at water surface.

a. 按 1959 年 7 月 10 日测； b. 按 1960 年 5 月 25 日测；  
c. 按 1960 年 5 月 27 日测。

a. observed on 10th July 1959; b. observed on 25th May 1960;  
c. observed on 27th May 1960.

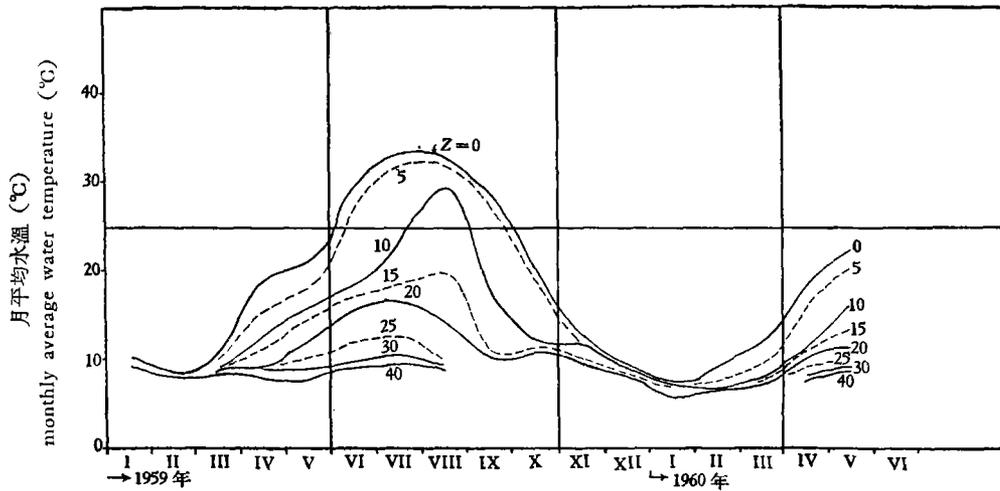


图 9 梅山水库水温年变化过程线图(一)

按梅山站 1959 至 1960 年实测资料绘制；水深(Z)，以米计。

Fig. 9. Monthly average water temperature from 1959 to 1960 in Meishan Reservoir (I)

1. according to data observed at Meishan station from 1959 to 1960;  
2. depth of water (Z) in meter.

形态上来看,关系都是十分密切的,而且在这里还可以看到与其它各个因子之间,也存在着许多明显的相应变化的特点。关于其中有些因子,将在以后还要进行专门的讨论。

最后,我们还根据梅山站 1960 年 5 月份的水温及气温的同步观测资料,来对水温及

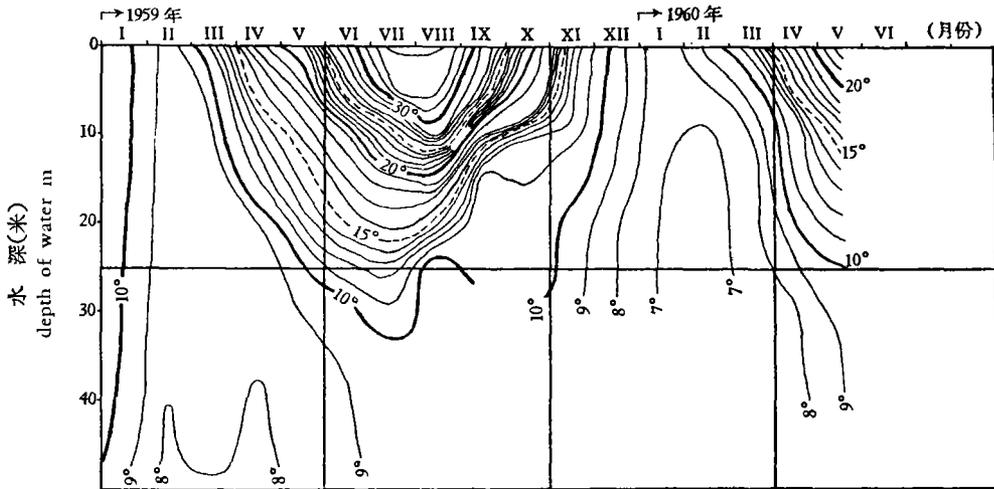


图10 梅山水庫水温年变过程图(二)  
(本图根据梅山站1959—1960年实测资料繪制)

Fig. 10. Monthly water temperature at various depth from 1959 to 1960 in Meishan Reservoir (II)  
(according to data observed at Meishan station from 1959 to 1960.)

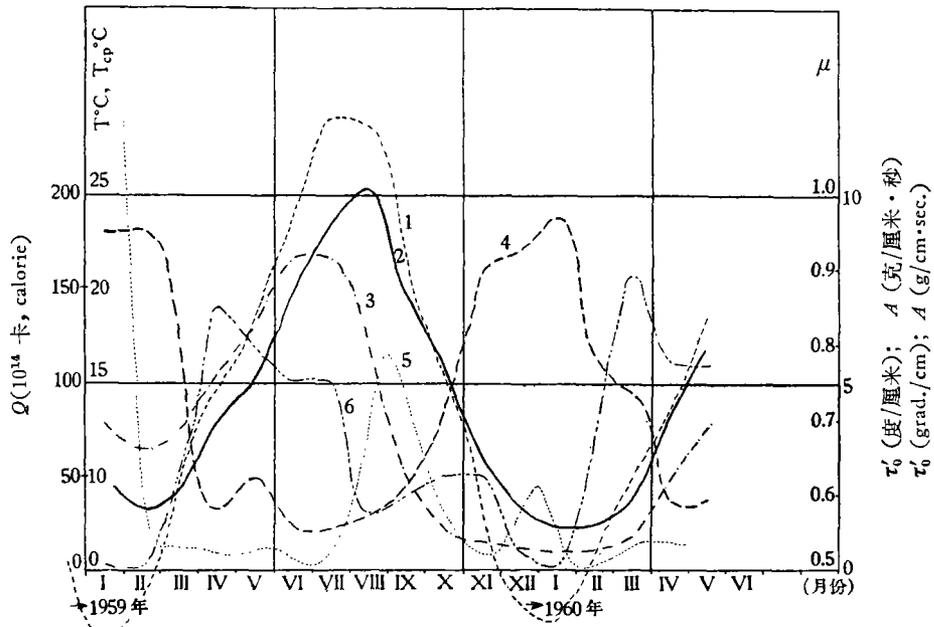


图11 梅山水庫  $T, T_{op}, Q, \mu, A, \tau'_0$  年变过程綫(本图按梅山站1959—1960年实测资料繪制。)  
1——流域平均气温( $T$ ); 2——庫水的平均溫度( $T_{op}$ ); 3——水庫儲热量( $Q$ ); 4——水温变换系数( $\mu$ ); 5——混合系数( $A$ ); 6——水面水温垂直增減率( $\tau'_0$ )。

Fig. 11. Monthly variation of  $T, T_{op}, Q, \mu, A, \tau'_0$  from 1959 to 1960 in Meishan Reservoir (I). 1. average air temperature on drainage area  $T$ ; 2. average water temperature in reservoir  $T_{op}$ ; 3. thermal storage capacity in reservoir  $Q$ ; 4. coefficient of variation of water temperature  $\mu$ ; 5. mixing coefficient  $A$ ; 6. rate of increasing or decreasing of water temperature at water surface  $\tau'_0$ .

(II). according to data observed at Meishan station from 1959 to 1960.

气温分别进行了“日际变率”的计算,其计算的公式<sup>[5]</sup>是,

$$|\overline{\Delta t}| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |t_i - t_{i+1}| \quad (2)$$

式中:  $t$ ——气温(或水温)的日平均温度;  $n$ ——1个月的天数,通过计算后,结果得出:气温的日际变率月平均值是  $2.65^{\circ}\text{C}$ ,而水温的是  $0.74^{\circ}\text{C}$ ,由此可知,水温的日际变率要比气温的日际变率为小,而在这里是小  $1.91^{\circ}\text{C}$ 。

### (3) 影响因素

从上述一些结果和情况看来,可以使我們得到如下的一些认识:

水库中水温变化的因素是很复杂的,其主要有天气情况(象晴天、阴天,气温的急剧上升或下降,风、雨,……)、库盆形态和水文动态(象水库入流、人工调节,水位高低变化,以及水库内各种水体交替运动……)等这三个方面,同时,所有因素对水温变化的作用,主要是通过库水的运动来联系的。

库水的运动,一般是有对流及涡动等形式,而对梅山这样一个河道型水库来说,还存在着大块水体的定向迁移的平流运动<sup>[6]</sup>。这种河水式的水流,我们认为它也是库水运动的一种重要形式。

对水温的变化起着重要作用的天气因素,我们认为可以用气温来作为指标。例如,我们把金寨站的前一日平均气温,跟金寨站的断面平均水温进行相关,其结果说明了这两者之间存在着很密切的关系,它们的相关系数竟达

$$\gamma = 0.93 \pm 0.16,$$

而再用梅山站的固定垂线的垂线平均水温同梅山的固定断面的断面平均水温进行相关时,又得出其相关系数为,

$$\gamma = 0.98 \pm 0.03,$$

也就是说,其间的关系比前者更为密切。从这些例子来看,这都充分说明:水温同气温之间及水温同其它某些因素之间的关系,无论在时间和空间上,有时竟可达到如此密切相关的程度。

## II. 几个特殊问题的研究

### (1) 水库储热量(Q)的变化

根据我们对水库储热量计算<sup>[1]</sup>的结果,  $Q$  的逐日变化,在一般正常天气(晴天)情况下,是与库水的平均温度( $t_{op}$ )的逐日变化相应的;而在非正常天气(象雨天)时,  $Q$  的变化除了受气温下降而使水库很快放热的影响外,同时,水位的升高,即降雨所引起的水库入流和它给水库带来的大量的热量,也会使储热量的变化受到极大影响。在一次降雨前后,这样失热和得热的总和,往往是使梅山水库里的热量增加,而不是减少。在  $Q$  的年变化过程中(见图 11),我們得到其最高值是出现在 7 月,最低值在 2 月,其决定性因素也是水温的年变化过程和水位的年变化过程两者的结合。如图 12,是梅山水库储热量的垂直分配图。它的垂直分配,无论是逐日的或者是各季的,都是随深度的增加而减小的。但是在夏季,水温的垂直分布因为有温跃层的关系,即当温度的作用比水位变化对  $Q$  的影响大时,储热量  $Q$  的垂直分配将出现反常现象,即储热量有随深度的增加而出现逐渐增大的现象。

(2) 混合系数(A)

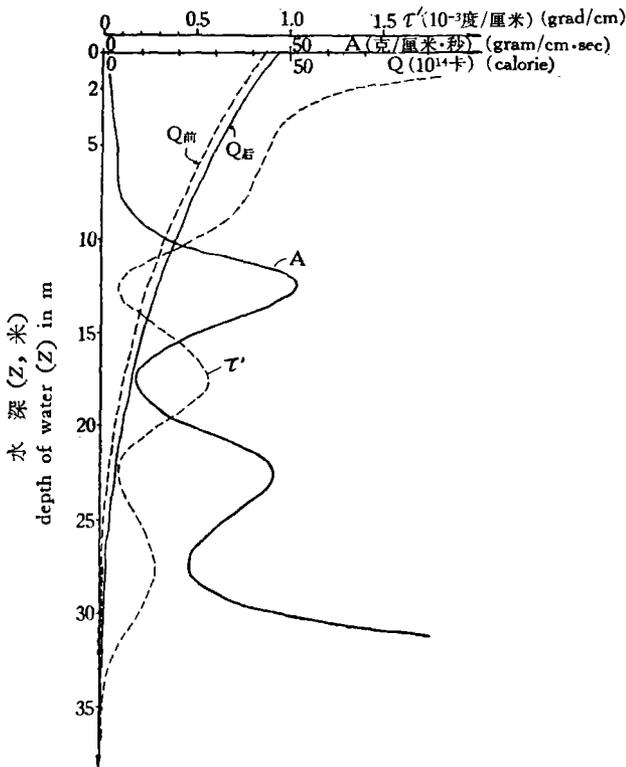


图 12 梅山水庫 A,  $\tau'$ , Q 垂直分布图

(按梅山水庫 1960 年 4 月 10 至 14 日四天实测資料平均)

1. 混合系数(A);
2. 水温垂直增減率;
3. 涨水前水庫儲热量;
4. 涨水后水庫儲热量。

Fig. 12. Vertical distribution of A,  $\tau'$ , Q, in Meishan Reservoir (according to observed at Meishan station from 10th to 14th April 1960)

1. mixing coefficient;
2. rate of increasing or decreasing of water temperature;
3. thermal storage capacity before flood;
4. thermal storage capacity after flood.

無論用短期的观测資料或者用各季的資料,对 A 值进行計算的結果<sup>[7]</sup>都表明: A 值随着水庫的深度变化而有很大的变化。而且一般地都是从水面往深处摆动地增大着。它与  $\tau'$  值的垂直变化,正相对应地有着明显的反比关系。到水深 25 米以下时,由于  $\tau'$  很小,因而使 A 值就变得很大(见图 12)。

但是,在一年中,从我們对水庫表面的一层水体的 A 值計算的結果(见图 11)又表明,它的变化除了在夏季和冬季各出現过一次峯值(极大值)之外,其它各季的 A 值都是很小的,都在 1.0 克/厘米·秒以下。这是因为在夏季水庫上层的水体中儲热量特别大,而在冬季其表层水体的儲热量虽然較小,但是其  $\tau'$  值相对地讲却更小。所以,在我們看来,这就是为什么 A 值的变化在这两季里都会出現高峯和极大值的主要原因。

(3) 变换系数( $\mu$ )

系数  $\mu$  是热量平衡法計算水庫水面温度时的一个重要比例变换因子<sup>[2]</sup>。但是,要确

我們所采用的 A 值計算公式<sup>[1]</sup>为,

$$A = \frac{Q_1 - Q_2}{\bar{P}_z \cdot \bar{\tau}' \cdot T} \text{ 克/厘米} \cdot \text{秒。} \quad (3)$$

式中:  $Q_1$ 、 $Q_2$  是分别表示对应于时刻  $T_1$ 、 $T_2$  时,在水庫的等深面  $P_{z_1}$ 、 $P_{z_2}$  下面的水体中的儲热量, Q 以卡計,  $\tau'$  为水温的垂直增減率,以度/厘米計,  $\bar{P}_z$  或  $\bar{\tau}'_z$  为其相应值在該时段始末的平均值,即平均等深面面积为:  $\bar{P}_z = \frac{1}{2} (P_{z_1} + P_{z_2})$  厘米<sup>2</sup>, 水温的平均垂直增減率为:  $\bar{\tau}'_z = \frac{1}{2} (\tau'_{z_1} + \tau'_{z_2})$ ; 而時間 (T) 为起始計算时刻 ( $T_1$ ) 和終了計算时刻 ( $T_2$ ) 之差,即,  $T = T_2 - T_1$  以秒計。

q (卡/厘米<sup>3</sup>)

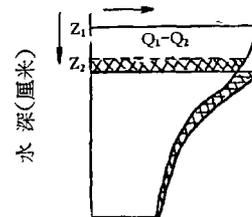


图 12a

定深水水庫的 $\mu$ 值及其变化,却往往是很复杂的。它的计算公式<sup>[2]</sup>是,

$$\mu = \frac{t_{ep}}{t_{noB}} \quad (4)$$

式中:  $t_{noB}$  为水体水面的温度;  $t_{ep}$  为水体的垂直平均温度。如图 13a 为水温的垂线分布图, 如果要求得水深为  $\Delta z_1$  这一层内水体的垂直平均温度  $t_{ep_1}$  时, 那末它就等于影形面积 1、2、3、4 除以水层厚度  $\Delta z_1$ ; 同理, 将面积 1、5、6、4 除  $\Delta z_2$  时, 便得  $t_{ep_2}$ ... 余类推。根据这样的  $t_{ep_1}$ ,  $t_{ep_2}$ ... 代入公式 (4) 所求得的比值  $\mu_1$ ,  $\mu_2$ ... 就可以绘制  $\mu$  的垂直分布  $\mu = f(z)$  关系图和各深度上  $\mu$  值的年变化过程图(如图 13 及图 14)等等。

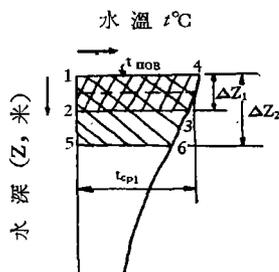


图 13a

梅山水庫 $\mu$ 值变化的特点, 从其成果图 13 及图 14 上可以清楚地看到, 它的分布及变化同水温的分布变化是相应的。在一般季节正温成层时 $\mu$ 值的垂直分布从水面往下递减, 其值一般都小于 1。在夏季, $\mu$ 值的上下差别为最大, 这时水面约为 1.0 而到 45 米

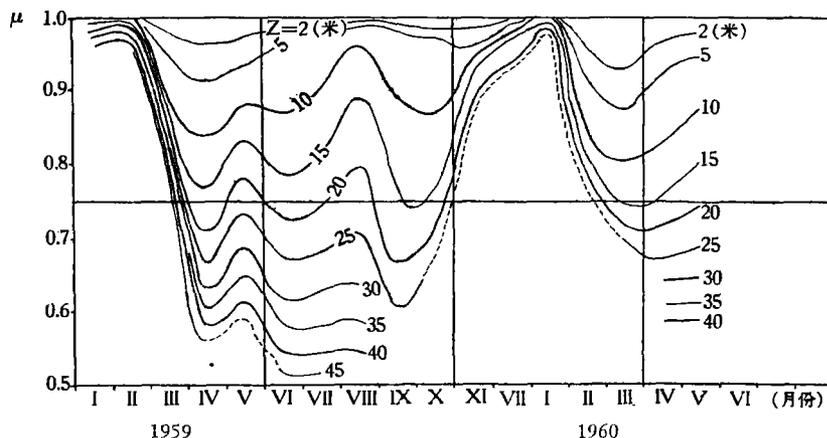


图 13 梅山水庫 水温变换系数( $\mu$ )随水深( $Z$ )的年变化过程线图  
(按梅山站 1959 至 1960 年实测资料绘制)

Fig. 13. Monthly proportional coefficient of variation of water temperature  $\mu$  at various depth from 1959 to 1960

(according to data observed at Meishan station from 1959 to 1960)

深处,已减至 0.5 左右。在冬季因为水温的垂直分布一般都近于全同温状态,这时的 $\mu$ 值从水面到水底基本上都是相同的,即 $\mu \doteq 1.0$ ,但是如图 13 所示,在冬季只有当个别天气特别转冷时,即当水温出现逆温成层时, $\mu$ 值才会大于 1。在一般情况下,每当天气有的特殊变化能影响到水温的垂直分布时, $\mu$ 值将随之变化。如图 14 所示,这是偶然一次暴雨使水庫 $\mu$ 值的垂直分布产生绝然变化的一个特例:它在涨水前从水面到水底是随深度而逐渐减小,即相当于一般季节正温成层时的情况;而在涨水以后,却相当于同温状态时的分布,从水面到水底几乎一致, $\mu$ 值基本上都等于 1。

#### (4) 水庫中水的稳定度( $S$ )

庫水的稳定度,在这里是个新问题。但是,由于它同湖泊水体有一定相似性,因此我

們觉得可以用关于湖泊水团的稳定度的概念和方法来进行研究。

“湖水对于混合作用的抵抗程度”，这就是关于湖泊水团的稳定度的概念。它是由 V. Шмидт 提出并經 С. Д. Муравейский 加以發揮的。它的图解計算法的公式是，

$$S = -\eta_z(1 - \rho) \tag{5}$$

式中： $S$  为稳定度，以克-厘米計； $\rho$  为水的密度，以克/厘米<sup>3</sup>計； $-\eta_z = S_0 V_z - \int_V z dV$ ，以厘米<sup>4</sup>計； $V_z$  为在水深  $0-z$  之間的水体积，以厘米<sup>3</sup>計； $z$  为水深，以厘米計； $S_0$  为水团的密度相同时其重心的位置，以厘米計。

$-\eta$  的数值在水面为零，往下逐漸增大，到重心 ( $S_0$ ) 的深度时达到最大值，再往下又逐漸减小，到水底又轉为零。

如以  $\sigma$  表示密度相同时重心 ( $S_0$ ) 和密度不同时的重心 ( $S'$ ) 之間的距离，以厘米計。以

$M$  表示水团的质量，則根据稳定度 ( $S$ ) 的定义可得，

$$S = M \cdot \sigma, \tag{5a}$$

而 (5) 式就是由 (5a) 式导来的，其推导<sup>[1]</sup> 从略。

图解計算的方法很簡捷：以纵軸表  $-\eta_z$ ，横軸表各深度  $z_1, z_2 \dots$  的  $(1-\rho)$  的数值，这时围绕在曲线和坐标軸之間的面積便是所作的功，即稳定度 ( $S$ ) 的大小。

图 15 是我們由图解法来計算梅山水庫各季中水的稳定度 ( $S$ ) 大小的一个图式，从图中示有冬、春、夏、秋各季的曲线同坐标軸所围的面積，求得了各相应季的

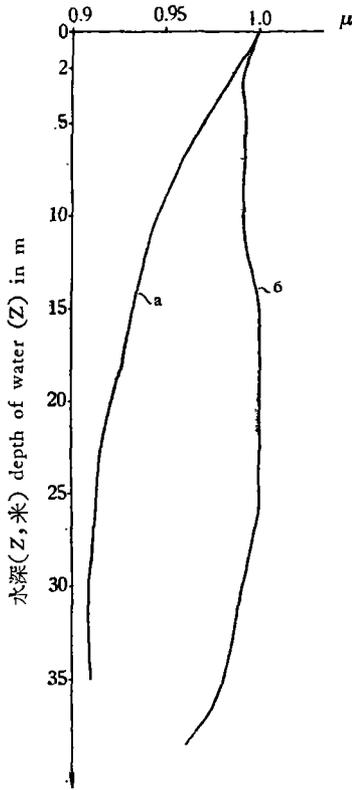


图 14 梅山水庫  $\mu=f(Z)$  关系曲线  
(按梅山水庫各站 1960 年 4 月实测資料繪制)  
a—漲水前 (4 月 7 至 10 日 4 天平均);  
b—漲水期 (4 月 11 至 14 日 4 天平均)。

Fig. 14. Relation curve of  $\mu=f(Z)$  in Meishan Reservoir  
a—before flood (average from 7th to 10th April);  
b—after flood (average from 11th to 14th April)

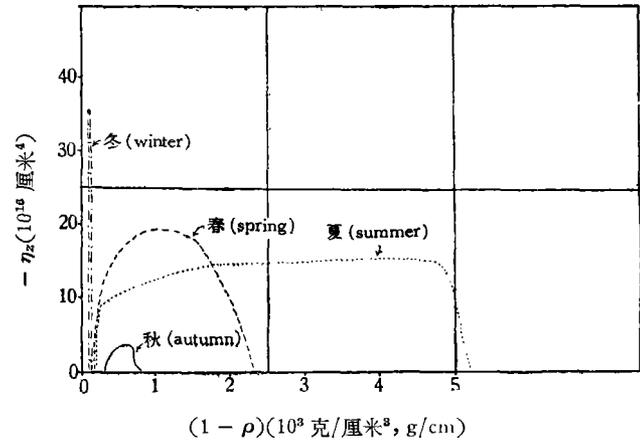


图 15 梅山水庫各季庫水稳定度 ( $S$ ) 計算图  
 $S = -\eta_z(1 - \rho)$  (克-厘米);  $S = -\eta_z(1 - \rho)$  gram-cm;  
按梅山站 1959—1960 年实测資料。 according to data  
observed at Meishan station from 1959 to 1960.

Fig. 15. Computed steadiness ( $S$ ) in different seasons in Meishan Reservoir

稳定度。其数值分别等于 1.80, 3.25, 68.5 及 1.25, 单位为  $10^{13}$  克-厘米，由此可知，夏季

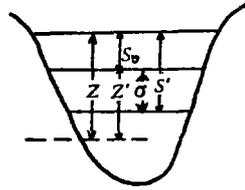


图 15a

最大,春季次之,冬季较小,而秋季最小。推其原因:可能是因为夏季水位高,水量大,水面温度远大于水底,表面水的密度远比水底的小,所以使它形成了一个最稳定的系统,当要破坏这个系统时,就必须对它作大量的功,因此稳定度大。在秋、冬季,是水库的枯水期,情况刚好跟夏季的相反,即水位低,水量少(梅山水库在1959年秋比较缺水及由于天旱、人工调节的关系,因此当时的水量比1960年春季还少,这可能是形成这一次秋季稳定度最小的一个原因),上下层的温差又小。因此在这个时期的库水,就会象浅水湖接近全同温状态时的湖水那样,很容易因风力而混合,因此稳定度较小。但是在1960年春季库水的情况是:无论水位,水量和温度分布等,是介乎上述两个情况之间,并且偏近于后者,因此使它的稳定度也远比夏季的小,而基本上跟秋冬两季的较为接近。

在这里我们还看到,水库中水的稳定度 $S$ ,是同水库各水层和各深度的体积有关的,也就是说,它是随着库盆的形状和大小而不同的。

综上所述,水库中水的稳定度,不仅随库盆的形状和大小而变,而且即使在同一个人水库里,亦将因季节的不同而不同。所以,库水的混合作用,将随库盆的形态与大小的不同和随季节的变迁,而以不同的方式进行着。

#### 四、水温的预报

如上所述,我们研究了梅山水库的水温资料,从而得出了若干重要的成果。这些成果中如水温变化与气温变化的相应性关系,水温分布的地段性和它在空间及时间上的渐变性以及热量平衡原理等,它们都是进行梅山水库水温预报的基础,也就是说,我们在其一般性和特殊性规律相结合的原则下,制作了一些经验公式和相关图。并根据这些公式和图表,而制成了梅山水库的水温预报方案。现将这些方案简述如下:

根据因素相关和热量平衡原理,并参考了有关文献<sup>[4,7]</sup>,我们先考虑其预报水温的一般关系式为:

$$t_w = f(t_{w_1}, \Delta t_a, H) \quad (6)$$

式中, $t_w$ 为水温的预报值, $t_{w_1}$ 为编制预报(即开始预报时)时的水温, $\Delta t_a$ 为预报期的气温改变量(即在 $t_{w_1}$ 时的气温与预报气温之间的差值), $H$ 为水库水位,是用以代表水库中储热量的变化( $\Delta Q$ )的。

若不考虑 $H$ 时,则上式可改写为:

$$t_w = at_{w_1} + b\Delta t_a + c \quad (7)$$

$$\text{或 } t_w - at_{w_1} = b\Delta t_a + c \quad (7a)$$

$$\text{或 } \Delta t_w = f(\Delta t_a)$$

当直接考虑利用水库中储热量的变化与水库中水温变化的关系时,其关系式可写为:

$$\Delta t_w = f(\Delta Q) \quad (8)$$

式中的 $\Delta t_w$ 为预报期水温的改变量。

以上这些方案,就是我们所考虑的预报梅山水库水温的基本方案。然后,我们再根据具体资料进行了一些有关的计算,并把一些计算结果,写成了经验公式,或者制成了相关

图。例如,我們得出的关于金寨站的水温与气温的关系式<sup>[7]</sup>为:

$$T_1 = 0.73T_2 + 5.3 \quad (9)$$

式中,  $T_1$  为金寨站的断面平均水温,  $T_2$  为金寨站前一日之日平均气温。也就是說, 其预报期为一天, 相关系数( $\gamma$ )可达到  $\gamma = -0.93 \pm 0.16$ , 由此可見, 这两个因素之間的关系是十分密切的。再从其相关图来看, 如图 16  $\Delta T_{ep} = f(\Delta Q)$  中的点据大部分可算是相当集中的。只有个别点子散离較远。这可能是由于那些原来都是处于水温过程綫或者儲热量过程綫上的峯、谷位置的点子<sup>[7]</sup>的关系。这些点子, 一般都带有偶然性誤差。为了消除这些点子的誤差, 以及考虑到儲热量变化与水温变化的連續性等等, 因此, 我們又提出了用累計变量的形式, 其形式为:

$$\Sigma \Delta T_{ep} = f(\Sigma \Delta Q). \quad (10)$$

式中:  $\Sigma \Delta T_{ep}$  为庫水平均温度逐月改变量的累計值;  $\Sigma \Delta Q$  为相应的儲热量逐月改变量的累計值。图 17 就是根据梅山水庫 1959—1960 年的資料分析結果制成的累計变量形式的关系图。从这张图来看, 它的規律是很清楚的, 显然比图 16 的关系, 情况要好得多, 特别是它的时序性規律, 这是前者所不能显示的。但是, 这种时序性將給预报值提供更高准确度的可能。根据同样的方法及原理, 我們又进一步提出了如下的几种关系, 其形式为:

图 16  $\Delta T_{ep} = f(\Delta Q)$  关系曲綫  
 ○——1959 年点据; ●——1960 年点据。  
 Fig. 16. Curve showing relation between  $\Delta T_{ep}$  and  $\Delta Q$   
 ○——1959; ●——1960.

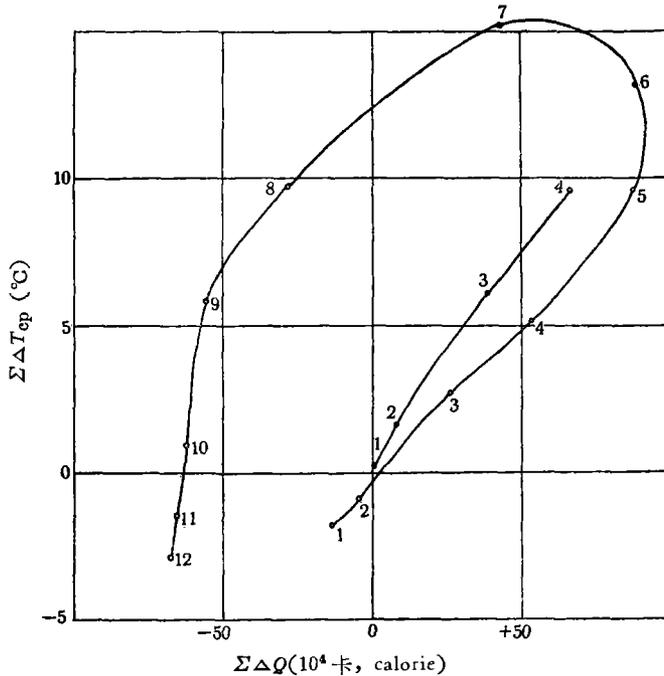
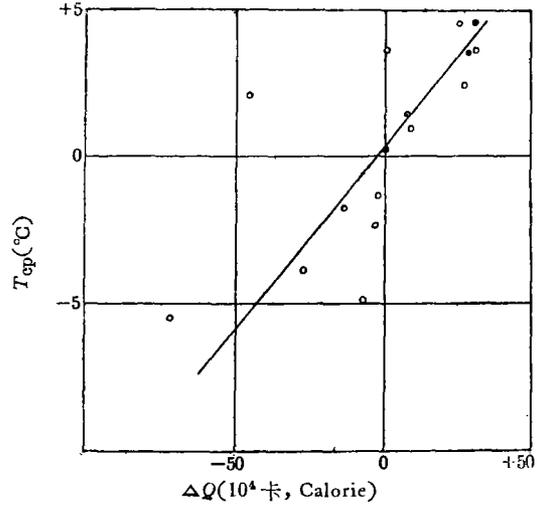


图 17  $\Sigma \Delta T_{ep} = f(\Sigma \Delta Q)$  关系曲綫  
 1. ○——1959 年点据; 2. ●——1960 年点据; 3. 点子旁注字系月份。  
 Fig. 17. Curves showing relation between  $\Sigma \Delta T_{ep}$  and  $\Sigma \Delta Q$   
 1. ○——1959; 2. ●——1960; 3. numbers on curves showing observed month.

式中的  $\Delta T_{梅}$  为梅山逐月气温的改变量,  $\Delta T_{\perp}$  为梅山逐月垂綫平均水温的改变量。所有这些关系图, 都是考虑从

$\Sigma \Delta T_{ep} = f(\Sigma \Delta T_{梅}), \quad (10a)$   
 $\Sigma \Delta T_{\perp} = f(\Sigma \Delta T_{梅}), \quad (10b)$   
 $\Sigma \Delta Q = f(\Delta T_{\perp}). \quad (10c)$

一年的气温由負值轉正值的月份(以一月份)为累計起点制成的。同时在应用这些关系图来預报平均水温  $T_{ep}$  时,也都應該先由气温預报求得其气温变量  $\Delta T_{\text{標}}$ , 或者用其它方法先求得預报期的  $\Delta Q$ ,  $\Delta T_{\perp}$  等等之后,才能够对庫水的平均水温  $T_{ep}$  作出預报。

### 結 語

梅山水文站改装成功的半导体深水溫度計, 有效地解决了目前工作中所存在的水温觀測問題, 特别是解决了深水的水温觀測中的困难問題。因而这种重要的水温觀測工具, 可以建議在我国广泛使用。根据不同情况, 在資料整理所采用的各种方法中, “关系曲綫法”仍是一个主要的方法, 而結合使用“連过程綫法”和“垂綫放大法”, 使我們克服了整編过程中的关键性困难——推求逐月平均水温的垂綫分布問題。但是关于所提出的水温預报方法, 乃是对初步分析成果的一个应用。由于成果所依据的資料尚缺乏全面性, 因此, 这些水温預报方法还有待于今后繼續的加以研究論証。

本报告承华东水利学院水文系施成熙、张书农教授, 安徽省水电厅刘芳岑工程师和李祖寿工程师給予指导, 均此志謝。

### 参 考 文 献

- [1] 波果斯洛夫斯基等著 (Б. Б. Богсловский, С. Д. Муравейский), 1958。湖沼学概論 (Очерки по озероведению), 何志輝譯, 科学出版社。
- [2] 勃拉斯拉夫斯基等著 (А. П. Браславский, З. А. Викулина), 1954。水庫表面蒸发标准 (Нормы испарения с поверхности водохранилищ), 电力工业部水力发电建設总局专家工作室譯, 水利电力出版社。
- [3] 高萊著 (Léon W. Collet), 1959。湖沼学 (Les Lacs), 葛以德譯, 科学出版社出版。
- [4] 庫德里亚娃著 (К. И. Кудрявая), 1959。海洋水文預报 (Морские гидрологические прогнозы), 赵知梅譯, 科学出版社。
- [5] 特維尔斯戈伊 (П. Н. Тверской) 等著, 1953。气象学教程 (Курс метеорологии), 仇永炎等譯, 商务印书館。
- [6] 茲維列夫著 (А. С. Зверев), 1960。天气学 (Синоптическая метеорология), 张杏珍等譯, 高等教育出版社。
- [7] 徐汉兴, 1960。梅山水庫水文研究, 华东水利学院水文系。
- [8] 水利电力部水文局, 1958。水文資料整編方法(泥沙部分), 水利电力出版社。

## ON THE VARIATION OF WATER TEMPERATURE IN MEISHAN RESERVOIR

SHU HAN-SHING

(ABSTRACT)

Special methods of observation (with semi-conductor thermometer) and ways of arrangement of data are described in this paper. After analysis and argumentation some features and relations of water temperature variation in reservoir with greater depth of water are obtained, including its temporal and spatial distribution, its thermal storage capacity, mixing coefficient and the steadiness of water in reservoir, and the proportional coefficient of variation of vertical average water temperature and water temperature at water surface. The data for the study are supplied by the hydrological station of Meishan Reservoir. The maximum depth of water amounts 70 m before the dam, therefore the data observed in this reservoir is not only valuable in our country, but also suitable material for the study of deep water lakes and reservoirs in other regions. The main results obtained are: relations between water and air temperature variation, local district distribution and gradual variations of water temperature in space and time. Suggested methods of forecasting with different durations from one day, one month up to one year enable us to predict the variation of water temperature in this reservoir, based on the local variation of air temperature or the variation of thermal storage capacity.