

# A Method of Keeping Water Temperature Constant in Bath Tub

Tianqi Gao, Xiaobin Chai, Yunfei Bai, Haishan Han

College of Mathematics, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao Inner Mongolia  
Email: hanhaishan@imun.edu.cn

Received: Feb. 3<sup>rd</sup>, 2017; accepted: Feb. 24<sup>th</sup>, 2017; published: Feb. 27<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

It is difficult to maintain the constant temperature of the water by the two heating of the common bath tub. This study established a dynamic programming model to energy conservation as a pre-condition to solve the whole bath water or as close as possible to maintain the initial temperature. In this paper, the main research is the oval bathtub. The heat transfer equation is used to calculate the heat energy in the inner wall of the bathtub and the heat energy in the air. The volumes of people have different parts of the body contact with the bath tub all affect the heat of water. By the text data can be calculated know that model shape and volume dependence on relatively large bathtub, while the person's body temperature, shape, motion dependence is relatively small. When the water in the bathtub send out quantity of heat is 10749.3 J/s, the quantity of heat of injected water is 7551.18 J/s, the water temperature is close to the initial temperature of bath crock is 37°C.

## Keywords

Energy Conservation, Dynamic Programming, Excel

---

# 浴缸保持水温恒定的一种方法

高添奇, 柴晓斌, 白云飞, 韩海山

内蒙古民族大学数学学院, 内蒙古 通辽  
Email: hanhaishan@imun.edu.cn

收稿日期: 2017年2月3日; 录用日期: 2017年2月24日; 发布日期: 2017年2月27日

---

## 摘要

普通浴缸在不通过二次加热的情况下很难保持水温的恒定, 本文通过建立能量守恒的动态模型, 使得整

个浴缸的水温在此模型下尽可能的保持水最初的温度。本文主要对椭圆形浴缸进行讨论，利用热传导方程计算浴缸内壁的产生的热能和在水在空气中散发出的热能。根据本文建立的模型，水的散热程度主要与浴缸的形状大小以及人的体积和空气流速有关。当浴缸中水散发热量为10749.3 J/s，注入水的热量为7551.18 J/s，浴缸的水温会接近初始温度37℃。

## 关键词

能量守恒，动态规划，Excel

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

浴缸是我们生活中用来洗浴和缓解压力的必备品，而长时间保持浴缸水温恒定是很困难的。在浴缸保持水温恒定的研究中，邓茜尹[1]在原恒温水浴缸改进与应用中对浴缸的外形做了改进，节约了生产成本并保证了水的恒温，但水浴缸需要加热才能保持水温恒定，所以该浴缸的改进存在着安全隐患。王强[2]的恒温浴缸加水机制研究中，建立了初级单目标优化模型，但该模型忽略了人为因素，不能方便的应用于生活。鉴于国内外没有关于普通浴缸不通过任何加热方式且考虑人为因素就使水温恒定的研究，本文将椭圆形浴缸(如下图1)为模型，重点介绍如何使整个浴缸的水保持或尽可能接近初始的温度，而不浪费太多的水，使人们能方便而安全的控制浴缸水的温度。该模型实用简单，洗浴过程中不需要加热，节省能源消耗，适用于我们日常洗浴。

## 2. 模型的建立

该模型对于所有浴缸均成立，本文主要介绍椭圆形浴缸的模型。根据能量守恒公式，加入水的能量 = 溢出水能量 + 空气散发水的能量 + 人体吸收水的能量 + 浴缸内壁散热的能量，即整个动态平衡过程分为四个阶段，分别为水通过浴缸壁散热，人体吸收水的能量，水表面散发的热量，溢水口损失的能量和水龙头加水增加的能量，对每部分进行研究和求解，从而得到使水温恒定的最优解。

在已知水的体积和温度的时候，我们可以根据热能公式：

$$E = 4.2 * 10^3 * t * m \quad (1)$$

其中  $E$  为热量，



Figure 1. Oval bathtub

图1. 椭圆形浴缸

$t$  为时间,  
 $m$  为质量,  
 求出水的初始热能。

### 2.1. 水通过浴缸壁散热

平壁导热是导热的典型问题之一,平壁导热量和壁两侧表面的温度差与平壁面积成反比,与壁厚成反比,与材料的导热性能有关。因此,通过平壁的导热量的计算是:

$$\Phi = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t A \quad (2)$$

浴缸中的水温度高于室内温度,所以浴缸中的水通过浴缸壁向室内散发热量和水平面的蒸发来散发热量。室内温度为  $27^\circ\text{C}$ ,则浴缸里外温度差  $\Delta t = 15^\circ\text{C}$ 。通过浴缸壁的导热公式为  $\Phi = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t A$ 。浴缸比例系数  $\lambda = 2$ 。

牛顿冷却公式:

$$q = h(t_w - t_f) = h\Delta t \quad (3)$$

面积  $A(\text{m}^2)$  上的热流量:

$$\Phi = h(t_w - t_f) A = h\Delta t A \quad (4)$$

其中  $t_w$  ——壁表面温度,

$t_f$  ——流体温度,

$h$  ——表面传热系数。

取  $t_f = 42^\circ\text{C}$ ,  $t_w = 37^\circ\text{C}$ ,

可得到  $h_1 = \frac{\Phi}{A_1(t_w - t_f)} = 240 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

数值上等于当流体与壁面温度相差  $1 \text{ K}$  时、每单位壁面面积上、单位时间内所传递的热量。则单位时间通过浴缸传递出去的热量  $E_1 = h_1 \cdot A_1 \cdot \Delta t = 10710.36 \text{ J/s}$ 。

### 2.2. 人体吸收水的能量

首先相关资料显示人体密度和一般情况下人的体积[3]如表 1:

男性的人体密度  $\rho_1 = 1.0913 - 0.0016 * (10.8 - 15.8) = 1.0487 * 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$

女性的人体密度  $\rho_2 = 1.0897 - 0.00133 * (17.5 + 17.5) = 1.0431 * 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$

人体的表面传热系数为[4]:

$$h_c = \sqrt[3]{270V_1^2 + 23} \quad (0.1 \leq V_1 \leq 0.3) \quad (5)$$

故人体吸收的热量  $h_2 = \sqrt[3]{270V_1^2 + 23} = 6.65 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , 则  $E_2 = 23.94 \text{ J/s}$ 。

### 2.3. 水表面散发的能量

浴缸表面的水要通过蒸发散发热量,运用公式(2)及空气比例系数  $\lambda = 0.0243$ ,  $t_w = 27^\circ\text{C}$ , 可得到  $h_2 = 1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , 则水表面散发的热量为  $E_3 = 15 \text{ J/s}$ 。

### 2.4. 溢出口的损失能量和水龙头加水增加的能量

设水龙头口径  $2 \text{ cm}$ , 其出水速度  $20 \text{ m/s}$ , 则每秒出水体积  $0.00628 \text{ m}^3$ 。因为水面在溢水口处, 加

入多少水就会在溢水口流出多少水。由于水温的扩散需要一定的时间，所以假设通过出水口出去的水温度为  $37^{\circ}\text{C}$ ，而水龙头出水在进入浴缸前已经消耗  $E_4 = 28.888 \text{ J/s}$ ，故通过加热水加入的热量减去流出的水带走的热量和过程中消耗的热量得出实际增加热量为：

$$E_z = 4200 \times 13 \times 6.28 - 28.888 \approx 342859.1 \text{ J/s}。$$

设加热水的时间为  $T$ ，则有：

$$Q + ET = E_z T \quad (6)$$

空气中消耗的热量加上浴缸散热的总能量等于实际增加的热量。

如果人进入浴缸水平面达到溢水口处，那么可以得到浴缸内水的体积[5]（人刚进入浴缸 90% 的身体会进入水中）。

$$A_2 = a_3 * b_3 + 2 \left( \frac{a_2 + a_3}{2} \right) H_3 + \frac{1}{2} * \frac{4}{3} \pi \left( \frac{b_2 H_3}{2} + \frac{b_2 \sqrt{H_3^2 - \left(\frac{b_2}{2}\right)^2}}{2} + \frac{H_3 \sqrt{H_3^2 - \left(\frac{b_2}{2}\right)^2}}{2} \right) \quad (7)$$

其中  $A_2$  双面椭圆长方形浴缸内壁溢水口一下表面积，

$a_2$  为上底面长，

$a_3$  为下底面长，

$b_2$  为上底面宽，

$b_3$  为下底面宽，

$H_3$  为底面到溢水口的高。

通过求解，得  $E_4 = 23.94 \text{ J/s}$ 。那么浴缸中水在单位时间散发热量  $E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 = 10749.3 \text{ J/s}$ 。

当水温降低  $5^{\circ}\text{C}$  时加热水。则水已经散发的总热量 ( $Q_1$  表示男性的， $Q_2$  表示女性的) 如下表 2。

把得出的数据代入相对应的公式中，可得出人在放松清洗时  $G$  分钟开始加水和加多长时间的水  $T$  如表 3 和表 4 所示。

可以求出 I EMBED Equation. DSMT4 I E

$$E = \begin{cases} 7603.38 \text{ J/s} & V = 0.2 \text{ L/s} \\ 7624.26 \text{ J/s} & V = 0.3 \text{ L/s} \end{cases}$$

即每秒 0.2 L 时，放松清洗散发热量为 7603.38 J，每秒 0.3 L 时，放松清洗散发热量为 7624.26 J。

**Table 1.** Volume of man

**表 1.** 人的体积

体重/kg	50	55	60	65	70	80	90
男性体积(m <sup>3</sup> )	0.0477	0.0524	0.0572	0.0620	0.0667	0.0763	0.0858
女性体积(m <sup>3</sup> )	0.0479	0.0527	0.0575	0.0623	0.0671	0.0767	0.0863

**Table 2.** Total heat of water has been distributed

**表 2.** 水已经散发的总热量

体重/kg	50	55	60	65	70	80	90
$Q_1$ (J)	3,298,884	3,208,773	3,118,661	3,028,550	2,938,438	2,758,215	2,577,992
$Q_2$ (J)	3,294,047	3,203,451	3,112,856	3,022,261	2,931,665	2,750,475	2,569,284

从而得出人在轻微清洗和剧烈清洗时的数据。如下表 5~表 8 所示:

当人剧烈清洗时在  $M$  分钟时加热水, 如表 6。

当人轻微清洗时加热水  $T$  秒, 人体散热程度如下表 7。

当人剧烈清洗时加热水  $T$  秒, 人体散热程度如下表 8。

根据图中的数据, 代入公式(5)中解出  $A_2 = 2.0880 \text{ m}^2$

当人在浴缸放松时, 可得  $E = 7551.18 \text{ J/s}$ 。

**Table 3.**  $G$  minutes to relax when cleaning to add water

**表 3.** 放松清洗时  $G$  分钟开始加水

体重/kg	50	55	60	65	70	80	90
$G_1$ (min)	7.2812	7.0823	6.8834	6.6845	6.4856	6.0878	5.6900
$G_2$ (min)	7.2705	7.0705	6.8706	6.6706	6.4707	6.0707	5.6708

**Table 4.** Relax the time to wash with water

**表 4.** 放松清洗时加水的时间

体重/kg	50	55	60	65	70	80	90
$T_1$ (s)	9.8384	9.5696	9.3009	9.0321	8.7634	8.2259	7.6884
$T_2$ (s)	9.8239	9.5538	9.2836	9.0134	8.7432	8.2028	7.6625

**Table 5.** Heat the water in  $I$  seconds while cleaning

**表 5.** 轻微清洗时在  $I$  秒时加热水

体重/kg	50	55	60	65	70	80	90
$I_1$ (s)	7.2312	7.0337	6.8361	6.6386	6.4411	6.0460	5.6510
$I_2$ (s)	7.2206	7.0220	6.8234	6.6248	6.4262	6.0291	5.6319

**Table 6.** Heat the water in  $M$  minutes at a time of intense cleaning

**表 6.** 剧烈清洗时在  $M$  分钟时加热水

体重/kg	50	55	60	65	70	80	90
$M_1$ (min)	7.2114	7.0144	6.8174	6.6204	6.4234	6.0295	5.6355
$M_2$ (min)	7.2008	7.0028	6.8047	6.6067	6.4086	6.0125	5.6165

**Table 7.**  $T$  seconds of heated water for minor cleaning

**表 7.** 轻微清洗时加热水  $T$  秒

体重/kg	50	55	60	65	70	80	90
$T_3$ (s)	9.8399	9.5711	9.3023	9.0336	8.7648	8.2272	7.6896
$T_4$ (s)	9.8255	9.5552	9.2850	9.0148	8.7446	8.2041	7.6637

**Table 8.** Heated water  $T$  seconds when intense cleaning

**表 8.** 剧烈清洗时加热水  $T$  秒

体重/kg	50	55	60	65	70	80	90
$T_5$ (s)	9.8450	9.5717	9.3029	9.0341	8.7653	8.2277	7.6901
$T_5$ (s)	9.8261	9.5558	9.2856	9.0154	8.7451	8.2046	7.6641

综上所述, 在人体重为 50 kg 的情况下, 放松清洗 7.2812 min, 加入水 9.8384 s 时, 轻微清洗 7.2312 min, 加入水 9.8399 s, 剧烈清洗 7.2114 min, 加入热水 9.8450 s 时注入水的热量最大。所以浴缸中水散发热量为 10749.3 J/s, 注入水的热量为 7551.18 J/s, 浴缸的水温会接近初始温度 37℃。

本模型是针对所有类型的浴缸来考虑的, 本文以椭圆形浴缸为例展开讨论。浴缸在一定室温下处于能量守恒的状态, 初始温度要接近人的体温 37℃, 随后随时间变化, 水温逐渐降低, 同时注入水使得水温接近 37℃, 这需要清洗前提前准备好一定温度的水温, 此水温一定高于 37℃。此方法比较简单, 不需要任何加热仪器就可使温度保持平衡, 节约材料和能量。该浴缸模型主要特点是不会浪费很多的水, 且使用安全可靠, 方法简洁方便, 节约能源消耗, 适用于人们的生活中。

### 参考文献 (References)

- [1] 邓茜尹. 原油恒温水浴缸改进与应用[J]. 实践·经验, 2012, 2(28): 295.
- [2] 王强. 恒温浴缸加水机制研究[J]. 时代农机, 2016, 43(3): 69.
- [3] 邢琦, 陈志强, 赵钟晖. 大学男生人体密度计算模型的优选研究[J]. 丽水学院学报, 2009, 31(5): 52-55.
- [4] 持田彻, 申彪, 储兆福. 人体表面的对流及辐射传热系数[J]. 建筑技术科研情报, 1978, 3(2): 94.
- [5] Zhang, X.M., Ren, Z.P. and Ming, F.M. (2010) Heat Transmission Science. *Fiber Optic Communications*, 2, 88.

#### 期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [mos@hanspub.org](mailto:mos@hanspub.org)