

学术讨论园地

编者的话

本刊开辟“学术讨论园地”旨在创造一种学术民主的气氛,坚持友善、平等、公平原则,对学术问题进行讨论,质疑、答辩,以促进科技的发展。上海交通大学童钧耕同志来文参加讨论,编辑部特别欢迎。并希望广大科技界同仁对本刊所载文章内感兴趣的问题发表己见。本刊将及时予以发表。

关于“液压熵与回热加热系统的微循环”一文的质疑和讨论

童钧耕 (上海交通大学)

〔摘要〕 “液压熵与回热加热系统的微循环”(简称“液文”本刊1990, No1)的作者提出了“液压熵”的概念,并推导了计算公式。本文就这一推导中存在的问题提出质疑,并推导过冷水熵的简便计算式。

关键词 熵 近似计算

一、液压熵计算式的推导中所作假设是矛盾的

“液文”定义了液压熵“ S_0 为水泵出口处温度为 T , 压力为 P_0 时过冷水的熵”, 在作了工质流经水泵时水泵传给工质的热量 $q=0$ 后, 又假定工质温度不变, 故在 $T-S$ 图上以定温压缩过程 $3-3'$ 代替朗肯循环的绝热压缩 $3-3_R'$, 推导出 S_0 的计算式 $7(c)^*$ 。这样的假设不合理。

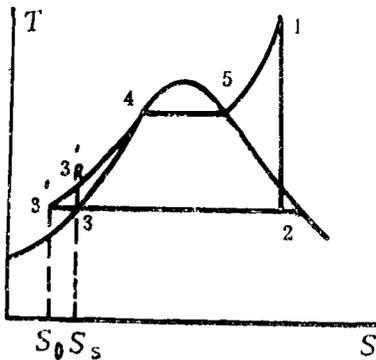


图 1

根据热力学第一定律, 取水泵为控制容积, 在稳定流动的条件下有

$$q = \Delta h - \frac{1}{2} \Delta c^2 + g \Delta z + w_i$$

式中, w_i 指内部功。若忽略工质动能变化及位能差, 则

$$q = \Delta h + w_i = (u_0 - u_s) + (p_0 v_0 - p_s v_s) + w_i \quad (A)$$

式中, w_i 为技术功; 下角 0 和 s 分别指水泵出口处过冷水和水泵入口处饱和水。

工质流经水泵前后比容变化不大, 压力显著升高, 故 $v_0 p_0 > v_s p_s$, 因此 $q=0$ 和等温可以兼容。但是一个过程能否进行还受第二定律的制约。据第二定律的数学表达式^[1]

$$ds \geq ctq/T \quad (B)$$

可知绝热过程的熵变总是大于等于零。因此, 假定水泵传给工质的热量为零, 必然有 $S_0 \geq S_s$; 若假定水泵对工质进行定温压缩, 则工

收稿日期: 1990-04-03 * 所讨论原文载于本刊1990年第1期

* 本文用数字及数字起首标注的式子均指“液文”中公式的号。原式本文不列出, 请参见原文。

质放热, $q < 0$, 必然 $S_0 < S_s$ 。过程 3-3' 必定排除其为绝热过程, 假设过程 3-3' 同时满足 $q = 0$ 和 $\Delta T = 0$ 违反热力学第二定律, 两个假设条件相互矛盾。

二、液压熵 S_0 计算式 7(c) 的推导中混淆了容积功和技术功

根据式 (A) 若过程绝热, 即 $q = 0$, 则 $w_t = -\Delta h$, 考虑到过程中比容及温度变化甚微, 可得

$$w_t \approx -(p_0 v_0 - p_s v_s) \quad (C)$$

因此, “液文”中式 (6) 的 w 应为 w_t , 而且该式仅在绝热过程时成立。“液文”根据热功当量原理, 令 $w = T\Delta s$, 将之代入式 6(a), 有两点不当之处:

首先, 众所周知, 热功当量原理说明了热能和机械能转换的当量关系, 并不说明任何条件下机械功总是可以用数值上与之相当的热量替代, 因为功和热均系过程量, 与工质经历的过程有关。著名的焦耳实验是向封闭体系输入轴功, 转变成热量, 使体系内工质温度升高, 从而得出热功当量关系, 从热功当量原理不可能导出 $w = T\Delta S$ 。

第二, 在体系经历一定温过程时, 体系与外界换热量 $q = T\Delta S$, 所以据热力学第一定律, 等温过程中 $\Delta u = +w = T\Delta S$ 。若假定内能仅是温度的函数, 则 $w = T\Delta S$ 。因此该式只适用于等温过程, 并且 w 是容积变化功。把 $w = T\Delta S$ 代入只适用于绝热过程的式

6(a), 并且用 w 取代技术功 W_t , 得到 $T\Delta S = -(P_0 v_0 - P_s v_s)$ 是把不同过程——绝热过程和等温过程, 不同概念——容积变化功 (膨胀或压缩) 和技术功凑合在一起, 因此而得到的公式 7(c) 及随后的验证均无价值。

三、过冷水熵近似计算式

因熵是状态参数, 故温度为 T 压力为 P_0 的过冷水的熵只与其状态 T 和 P_0 有关, 与如何达到该状态的过程无关。现假定由温度为 T 的饱和水经定温升压到 P_0 。

考虑到水泵加压过程中水比容变化极小, 故

$$\begin{aligned} \Delta h &= \Delta u + \Delta(Pv) \\ &\approx P_0 v_0 - P_s v_s \end{aligned} \quad (D)$$

据定义

$$\begin{aligned} w_e &= - \int_s^1 v dp \\ &\approx - \frac{1}{2} (v_0 + v_s) (P_s - P_0) \end{aligned} \quad (E)$$

将式 (D) 和 (E) 代入式 (A), 并考虑到定温过程中 $q = T(S_0 - S_s)$, 整理后即可得得过冷水熵近似计算式:

$$S = S_s + \frac{1}{2T} (v_0 - v_s) (P_0 + P_s) \quad (F)$$

式中 S_s, v_s, P_s 分别为水泵进出口处饱和水的熵、比容及压力; S, v_0, P_0 分别为水泵出口处过冷水的熵、比容及压力。

下面以 100°C、160°C 和 300°C 三种温度列出由式 (F) 计算的过冷水熵, 以考察其精度。

过 冷 水 熵 计 算 例 表

	P_0 (MPa)	5	10	16	20	25	30	
$t = 100^\circ\text{C}$ 时的饱和参数	S_0' (kJ/kg·K)	1.3030	1.2992	1.2946	1.2916	1.2879	1.2843	
	$P_s = 0.101325$ MPa	S (kJ/kg·K)	1.30688	1.30683	1.30673	1.30663	1.30640	1.30630
	$v_s = 0.0010437$ m ³ /kg	$S_0' - S$ (kJ/kg·K)	-0.00388	-0.00763	-0.01213	-0.01503	-0.01850	-0.02200
	$S_s = 1.3069$ kJ/kg·K	$\frac{S_0' - S}{S_0'}$ (%)	0.30	0.59	0.94	1.16	1.44	1.71
$t = 160^\circ\text{C}$ 时的饱和参数	S_0' (kJ/kg·K)		1.9315	1.9247	1.9203	1.9148	1.9095	
	$P_s = 0.61804$ MPa	S (kJ/kg·K)		1.94242	1.94229	1.94218	1.94200	1.94179
	$S_s = 1.9425$ kJ/kg·K	$S_0' - S$ (kJ/kg·K)		-0.01092	-0.01759	-0.02188	-0.02720	-0.03229
	$v_s = 0.0011022$ m ³ /kg	$\frac{S_0' - S}{S_0'}$ (%)		0.57	0.91	1.14	1.14	1.69

续表

$t = 300^{\circ}\text{C}$ 时的饱和参数	S_0' (kJ/kg·K)			3.2245	3.2095	3.1992	3.01763
$P_s = 8.5917\text{MPa}$	S (kJ/kg·K)			3.25526	3.25481	3.52418	3.25346
$v_s = 0.0014041\text{m}^3/\text{kg}$	$S_0' - S$ (kJ/kg·K)			-0.03076	-0.04531	-0.05498	-0.07716
$S_s = 3.2559\text{kJ/kg}\cdot\text{k}$	$\frac{S_0' - S}{S_0'}$ (%)			0.95	1.41	1.72	2.43

注：表中 S_0' 为从文献[2]查出的过冷熵； S 为由式(F)计算之熵。

上计算列表说明：

1. 在相当大的范围内，由式(F)计算的过冷水熵与由物性表查得之精确值的相对误差小于2.5%。

2. 在不同温度时上述误差均随压力升高而增大。

3. 并不存在“液文”提出的“在临界

压下， $S_0' - S$ ”改变符号的问题。

参 考 文 献

[1] 沈维道等编. 工程热力学(第二版). 高等教育出版社, 1983年

[2] 庞麓鸣等编. 水和水蒸汽图和简表. 人民教育出版社, 1982年

Raising an Issue to Invite Further discussion Concerning the Paper “Hydraulic Entropy and Heat-Recovery Heating System Microcycle”

Tong Jungeng

(Shanghai Jiaotong University)

Abstract

The author of the paper “Hydraulic Entropy and Heat-Recovery heating System Microcycle” has introduced the concept of “Hydraulic Entropy” with a calculation formula being derived for it. This paper presents some doubts as regards the validity of the derivation process and comes up with a simplified equation for calculating the entropy of the subcooled water.

Key Words: *entropy, approximate calculation*