

某结点的线位移及该结点处各截面沿该线位移方向的剪力均为未知时,则该结点的线位移为位移法的基本未知量.以上两条准则又可以统一表述为:当独立的结点位移(包括结构所有结点的角位移与线位移在内)及该结点位移方向上相应的内力(与角位移对应的是弯矩,与线位移对应的是剪力)均为未知时,该结点位移即为位移法的基本未知量.

以上给出的新准则,文字叙述严谨,定义明确,且实际应用方便.它包含了结构所有不同类型的结点在内,无一例外,给出的判别条件是充分且必要的.其中包括3个要点,即结点位移必须具备独立性,以及位移本身和相应结点位移方向上内力的未知性,才可作为位移法的基本未知量.从学生的角度来说,新准则便于掌握,可加深对位移法的理解.根据新的准则,可立即得到以下推论:固定支座处的线位移和角位移(为0或给定值)、铰支座处的线位移(为0或给定值)与角位移(弯矩为0),铰结点处的角位移(弯矩为0)、定向滑动处的线位移(剪力为0)、自由结点处的线位移和角位移(剪力和弯矩为已知)等均不是位移法的基本未知量.应用新准则,就不会将图1(a)、图1(b)中的A、B、C、D点的角位移忽略,不会错将图1(c)中E点的滑动线位移和图2中B点的角位移作为位移法的基本未知量.应用新准则,对于图4(a)所示较为复杂的结构,就会较易判别出位移法的基本未知量为5个,以及正确确定出相应的基本体

系,如图4(b)所示.

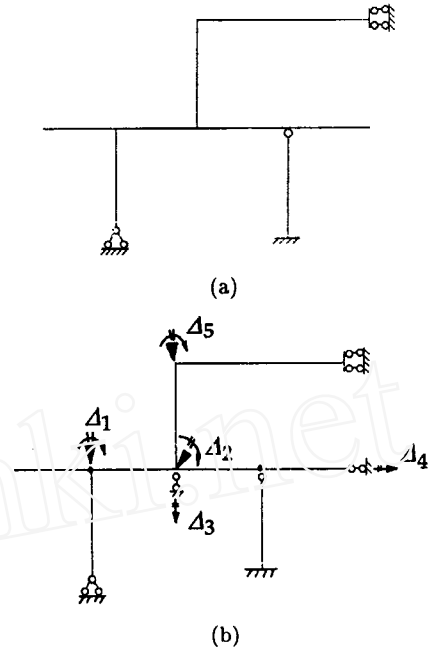


图4

### 参考文献

- 1 陈文平. 结点线位移数目不等于铰结体系的自由度. 力学与实践, 1996, 18(6)

## 一类热量可用能的热力学分析

胡超 赵兴华

(上海大学应用数学和力学研究所, 上海 200072)

**摘要** 基于热力学第二定律,对工程中一类热量的可用性进行了分析,给出了分析方法和确定等效温度的表达式.

**关键词** 热量,可用能,等效温度

### 1 问题的提出及分析

在热力学教程及工程实际中有如下问题<sup>[1]</sup>:在常压下,将质量为 $m$ 的水加热,使水的温度由 $T_1$ 升至 $T_2$ .设周围环境温度为 $T_0$ ,求所加热量中多少为可用能.

根据热力学第二定律,任何热机都不能将吸取的热量循环不断地全部转换成功.在一般的工程计算中,有人作如下计算:依工程热力学,任何热源当其温度为 $T$ 时所传出的热量 $q$ 中能转变为功的最大可用部分,即可用能为

$$w = q \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) \quad (1)$$

式中,对于本问题热量 $q = c_p m (T_2 - T_1)$ , $c_p$ 为定压比热容; $T$ 为等效高温热源温度, $T = \frac{1}{2}(T_1 + T_2)$ .

实际上,这样的“等效”分析是不正确的.尽管,其做法考虑了放热时热源温度是变化的事实,但如何

本文于1998-08-06收到.

考虑值得商榷。

本文分析如下：设工质在任意温度  $T$  时的加热量为  $\Delta q$ ，对应的温度变化为  $\Delta T = \frac{1}{c_p m} \Delta q$ ，那么整个加热过程的可用能应为各“微元”可用能的累加。

$$W = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=0}^n c_p m \frac{T_2 - T_1}{n} \left[ 1 - \frac{T_0}{T_1 + \frac{k}{n}(T_2 - T_1)} \right] =$$

$$c_p m \int_{T_1}^{T_2} \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) dT =$$

$$c_p m \left[ (T_2 - T_1) - T_0 \ln \frac{T_2}{T_1} \right] =$$

$$c_p m (T_2 - T_1) \left( 1 - \frac{T_0}{T_e} \right) \quad (2)$$

式中， $T_e$  为等效高温热源温度， $T_e = \frac{T_2 - T_1}{\ln(T_2/T_1)}$ 。

可见，本问题的等效高温热源温度并不是  $T_e = \frac{1}{2}(T_1 + T_2)$ （见公式 (1)），而是  $T_e = \frac{T_2 - T_1}{\ln(T_2/T_1)}$ 。本问题的关键是如何考虑高温热源的温度是随着热量（能）的变化而变化，并不能做简单的算术平均。就象在空中航行的飞机，此时空气具有一定的风速，求其往返

的总时间时，并不能简单地往往返速度平均，导致往返时间与风速无关的结论。只是有关飞机的问题，在我们生活的特征尺度内，计算结果表现得非常明显。而与热机有关的热量可用能问题，在我们生活的特征尺度内（现实的常用参数范围内），计算结果误差表现得不很明显。相对论力学中质点动能公式也是如此，静止质量为  $m_0$ 、运动速度为  $u$  的物体动能计算公式为

$$K = m_0 c^2 \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{u}{c} \right)^2 + \frac{3}{8} \left( \frac{u}{c} \right)^3 + \dots - 1 \right] =$$

$$\frac{1}{2} m_0 u^2$$

在人类生活的时间尺度内（运动速度远低于光速），觉察不到这种误差。

查阅有关资料表明，大气环境温度一般为  $20^\circ\text{C}$  ( $293.15\text{K}$ )，而汽轮机工质的温度一般也不超过  $600^\circ\text{C}$  ( $873.15\text{K}$ )。

取周围环境温度  $T_0 = 293.15\text{K}$ ，取不同的温度  $T_1$  和  $T_2$ ，比较按工程近似公式的计算结果与按精确计算公式的计算结果，见表 1。

表 1 不同温度下可用能的计算结果比较

$T_1$	300 K	300 K	300 K	350 K	350 K	350 K
$T_2$	400 K	600 K	900 K	400 K	600 K	900 K
$T_e'$	350.0000 K	450.0000 K	600.0000 K	375.0000 K	475.0000 K	625.0000 K
$T_e$	347.6059 K	432.8085 K	546.1435 K	374.4438 K	463.8249 K	582.3424 K
$W'/c_p m(T_2 - T_1)$	0.1624	0.3486	0.5114	0.2183	0.3828	0.5310
$W/c_p m(T_2 - T_1)$	0.1567	0.3267	0.4632	0.2171	0.3680	0.4966
$W'/W$	1.0366	1.0669	1.1041	1.0054	1.0403	1.0692

由表 1 计算结果可以看出：当温度  $T_1$  和  $T_2$  比较接近时，热量可用能的精确计算公式与工程近似计算公式相差较少。随着升温幅度的增加，工程近似计算结果误差变大。当温度变化幅度比较大时，计算公式最大误差可超过 10%，已超出工程允许误差。特别是随着发电机组热力参数及容量的增加，精确计算工质热能的可用性尤为重要。

## 2 结 语

本文基于热力学第二定律，对一类热能可用性问题进行了分析研究。提出了热量可用能的正确计算公式，给出了确定等效高温热源温度的公式。等效高温

热源温度应采用对数平均温度  $T_e = \frac{T_2 - T_1}{\ln(T_2/T_1)}$ ，而不是算术平均温度  $T_e = \frac{1}{2}(T_1 + T_2)$ 。本文分析计算公式对工程及教学中正确计算工质的可用能具有理论与实际意义。

## 参 考 文 献

- 1 庞麓鸣，汪孟乐，冯海仙. 工程热力学. 北京：人民教育出版社，1980
- 2 柯朗 R，约翰 F. 微积分与数学分析引论. 北京：科学出版社，1979
- 3 胡超，马兴瑞. 一类特殊四阶波动方程的分析解. 力学与实践，1998,20(1): 42~43