

## 氢气引射器设计之绝热指数的确定

范卫军

在氢燃料电池中，氢气引射器承担着供氢和回收尾气中氢气的重任。氢气引射器以其卓越的性能，如无需电能消耗、回收氢气、无故障等，奠定了自己的优势地位。

氢气引射器的设计中，涉及到许多的物性参数。绝热指数就是其中之一。

高压氢气喷射的过程，可视为绝热过程，其许多状态参数的计算，都必须依赖于绝热指数的确定。对于多种气体的混合物，如循环尾气，同样需要根据实际组分来计算其绝热指数。

根据绝热指数的定义，理想气体的定压比热容与定容比热容之比，即为其绝热指数，也叫比热容比。即：

$$k = C_p/C_v$$

而理想气体的绝热状态方程则为：

$$\frac{P}{\rho^k} = \text{Constant}$$

结合理想气体通用状态方程，可以确定亚临界流速、临界流速和超临界流速下的密度、比容、温度、压力等参数了。

要确定绝热指数，我们还需要知道一个重要的公式----梅耶方程。

梅耶方程指明，在相同温度条件下，任何理想气体的定压比热必大于其定容比热，且两者的差值恒等于一常数。梅耶方程是研究理想气体热物理性质的重要公式之一，其表达式如下：

$$C_p - C_v = R$$

即，在一定温度下，理想气体的定压比热容与定容比热容之差为气体常数。

这样，已知某温度下气体的定压比热容，就可以计算出相应温度下的绝热指数了。

对于混合气体，则可以根据各组分的摩尔分率，计算出混合气体的摩尔定压比热容，然后就可以求得其绝热指数了。

氢燃料电池循环回收气是氢气、氮气和水蒸气等的混合气体，其绝热指数就可以按照上述方法来计算。

对于在常见温度范围绝热指数变化不大的，也可以按照查表值来使用。下表是常见气体的绝热指数。

对于实际气体的绝热指数，需遵循不同的方程，将另文进行介绍。

表 2-86 某些有机、无机物气体在  $1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$  (1atm) 下质量热容比  $c_p/c_v$  [2]

化学式	中文名	英文名	$t/^\circ\text{C}$	热容比 $k=c_p/c_v$	化学式	中文名	英文名	$t/^\circ\text{C}$	热容比 $k=c_p/c_v$
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	乙醛	acetaldehyde	30	1.14	HCN	氰化氢	hydrogen cyanide	65	1.31
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	乙酸	acetic acid	136	1.15				140	1.28
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	乙炔	acetylene	15	1.26				210	1.24
			-71	1.31	HI	碘化氢	-iodide	20~100	1.40
	空气	air	925	1.36	H <sub>2</sub> S	硫化氢	-sulfide	15	1.32
			17	1.403				-45	1.30
			-78	1.408				-57	1.29
			-118	1.415	I <sub>2</sub>	碘	Iodine	185	1.30
NH <sub>3</sub>	氨	ammonia	15	1.310	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	异丁烷	Isobutane	15	1.11
Ar	氩	argon	15	1.668	Kr	氪	krypton	19	1.68
			-180	1.76	Hg	汞	mercury	360	1.67
			0~100	1.67	CH <sub>4</sub>	甲烷	methane	600	1.113
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	苯	benzene	90	1.10				300	1.16
Br <sub>2</sub>	溴	bromine	20~350	1.32				15	1.31
CO <sub>2</sub>	二氧化碳	carbon dioxide	15	1.304				-80	1.34
			-75	1.37				-115	1.41
CS <sub>2</sub>	二硫化碳	disulfide	100	1.21	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> O <sub>2</sub>	乙酸甲酯	methyl acetate	-15	1.14
CO	一氧化碳	monoxide	15	1.404	CH <sub>4</sub> O	甲醇	alcohol	77	1.203
			-180	1.41	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	甲醚	ether	6~30	1.11
Cl <sub>2</sub>	氯	chlorine	15	1.355	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	二甲氧基甲烷(俗称甲缩醛)	methylal	13	1.06
CHCl <sub>3</sub>	氯仿	chloroform	100	1.15				40	1.09
(CN) <sub>2</sub>	氰	cyanogen	15	1.256	Ne	氖	neon	19	1.64
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	环己烷	cyclohexane	80	1.08	NO	氧化氮	nitric oxide	15	1.400
CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	二氯二氟甲烷	dichlorodifluoromethane	25	1.139				-45	1.39
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	乙烷	Ethane	100	1.19				-80	1.35
			15	1.22	N <sub>2</sub>	氮	nitrogen	15	1.404
			-82	1.28				-181	1.47
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	乙醇	ethyl alcohol	90	1.13	N <sub>2</sub> O	氧化亚氮	nitrous oxide	100	1.28
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	乙醚	ether	35	1.08				15	1.303
			80	1.086				-30	1.31
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	乙烯	ethylene	100	1.18				-70	1.34
			15	1.255	O <sub>2</sub>	氧	oxygen	15	1.401
			-91	1.35				-76	1.415
He	氦	helium	-180	1.660	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	戊烷	pentane (n-)	86	1.086
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	正己烷	hexane (n-)	80	1.08	P	磷	phosphorus	300	1.17
H <sub>2</sub>	氢	hydrogen	15	1.410	K	钾	potassium	850	1.77
			-76	1.453	Na	钠	sodium	750~920	1.68
			-181	1.597	SO <sub>2</sub>	二氧化硫	sulfur dioxide	15	1.29
HBr	溴化氢	hydrogen bromide	20	1.42	Xe	氙	xenon	19	1.66
HCl	氯化氢	hydrogen chloride	15	1.41					
			100	1.40					