

〔苏联〕H. B. 瓦尔加弗季克 主編

航空燃料液态及
气态下的热物理性能
(論 文 集)



国防工业出版社

航空燃料液态及 气态下的热物理性能 (论文集)

[苏联]H. B. 瓦尔加弗季克 主编

曾求凡译



国防工业出版社

1965

內 容 簡 介

本文集介紹有关液态及气态下航空燃料在宽广溫度范围內的比热、导热系数、密度、粘性、飽和蒸气的表面張力及彈性以及气化热方面的研究結果。书中也介紹了超高温下某些燃料蒸气和空气混合气的扩散問題的研究結果。

本书适合科学研究人員，航空和石油工业的設 計 部 門和企业的工作人員閱讀，同时对高等工业院、校的师生也有所裨益。

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА АВИАЦИОННЫЙ

ИНСТИТУТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ

ТРУДЫ ИНСТИТУТА ВЫП. 132

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ

АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВ В ЖИДКОМ И

ГАЗООБРАЗНОМ СОСТОЯНИИ

〔苏联〕 Н. Б. Варгафтик 主編

ОБОРОНГИЗ 1961

航空燃料液态及气态下的热物理性能

(論文集)

曾 求 凡 譯

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印装

850×1168¹/₃₂ 印張 5¹/₈ 131 千字

1965年5月第一版 1965年5月第一次印刷 印数：0,001—2,050 册

統一书号：15034·873 定价：(科七) 0.90 元

序 言

由于航空技术的发展，所以必須对目前应用最广泛的航空燃料进行詳尽地热物理性能的实验研究。

莫斯科航空学院物理研究室的全体人員曾对 B-70 汽油、T-1 煤油及 T-5 型燃料在液态和气态下的热物理性能进行了研究。这些研究是在相当寬的溫度范围内进行的。在前述溫度区内，燃料都具有热安定性。

液相的研究有：比热、粘度、导热系数、密度和表面張力。气相研究有：燃料的导热系数、比热和粘度以及“空气—T-5 燃料蒸气”系統的扩散等。同样，还测定了上述燃料的飽和蒸气压和气化潜热。气相的实验研究有着很大的困难，这是因为燃料都是多組份的。看来，测定它們各个組份的物理性能是合理的。这样便大大增加了实验工作的內容，但这对研究多組份液体的物理性能毕竟是有意义的。

本論文集中，除了教研室作的关于 B-70、T-1 和 T-5 燃料热物理性能試驗結果的論文之外，还有一篇关于介紹这些燃料和其他一些航空燃料性能的文章（見第一篇）。

目 录

序言	(3)
空气喷气发动机燃料	Л. П. 波波娃(5)
Б-70 汽油、Т-1 煤油及 Т-5 燃料等航 空燃料蒸气定压比热的实验测定	С. Н. 索科洛夫, Ю. В. 塔尔拉科夫(13)
液体燃料的比热在不同温度和 压力下的实验测定	С. Н. 皮亚季勃拉托夫(30)
Б-70 汽油、Т-1 煤油及 Т-5 燃料在高温下的 液态和气态粘度	Н. И. 科佩洛夫(44)
Б-70 汽油、Т-1 煤油及 Т-5 燃料在低温 下的粘度	Н. И. 科佩洛夫, Е. П. 西罗京娜(59)
Т-1 煤油、Б-70 汽油及 Т-5 燃料表面 张力的试验	Л. Л. 沃利亚克(64)
Б-70 汽油、Т-1 煤油、Т-5 燃料及 庚烷导热系数的实验测定	Л. С. 扎伊切娃(81)
Б-70 汽油、Т-1 煤油及 Т-5 燃料的液相 导热系数	А. В. 科兹尤科夫(96)
液体燃料导热系数的计算公式	С. А. 拉普什金(111)
液体航空燃料饱和和蒸气压力的实验研究和 蒸发潜热的计算	С. Н. 索科洛夫, Ю. В. 塔尔拉科夫(118)
Б-70 汽油和 Т-1 煤油的蒸气密度及 分子量的实验测定	Э. А. 巴拉穆托娃(125)
“Т-5 燃料蒸气-空气”系统扩散系数的 研究	Ю. Л. 瓦锡烈夫斯卡娅(147)

空气噴气发动机燃料

物理数学副博士 Л. П. 波波娃 (Попова)

苏联 1949 年以前所制造的空气噴气发动机是以 Б-70 航空汽油作为燃料而設計的〔該号汽油的最新国家标准 (ГОСТ) 見表 1〕。

由于飞行速度的增大, 对燃料提出了新的要求。因此, 自 1946 年就开始制造为噴气式飞机专门使用的燃料。

空气噴气发动机使用的第一种燃料是煤油的 T-1 型燃油, 它是从特种巴庫石油直餾出来的。T-1 燃油自 1949 年在发动机上試驗成功以后就被正式采用, 并訂国家标准 4138-49 (見表 2) 而标准化, 但是这种燃油并不能滿足各种类型噴气式发动机的使用要求, 因此又用苏联东部地区石油炼制出数种較輕的噴气燃料 (TC-1, T-2, 見表 3)。

T-1 燃油是用含环烷烴-芳香烴基石油炼制的, 其成分含环烷烴达 60%, 烷烴 22~25%, 芳香烴 17~19%。TC-1 燃油是用含硫石蜡基石油炼制的, 含烷烴达 60%, 含硫量有所增加。由于烴的族分組成不同, 所以 T-1 煤油的密度和粘度都比 TC-1 的大, 餾份也重。T-2 煤油的餾份組成比 TC-1 的要寬些, 但化学族分則同 TC-1 相近。

这些燃油长期使用的經驗指明, 对于为稍高于音速飞行而設計的空气噴气发动机而言, T-1 燃料是較好的。既有高的容积发热量, 化学成分就可保証在多数的实际使用条件下燃燒完全。

在美国, 空气噴气发动机使用的石油类燃料有 JP-1、JP-2、JP-3 和 JP-4。在密度和发热量方面, 这些燃料同苏联的噴气燃料 T-1 和 T-2 相差不大 (見表 4)。JP-1 最近似于 T-1, JP-3

則近似于 T-2, 同 T-2 一样, JP-3 也有較高的含硫量。这几种燃料中发热量最大的是 JP-2 和 JP-4。

为了研究制取燃料的可能性, 通过选择燃料的烴类組成和烴类结构的分析可以說明, 环烷烴和异构烷烴最能滿足对空气噴气发动机燃料所提出的要求。

沸点范围为 $+200 \sim +300^{\circ}\text{C}$ 的正构烷烴 (見表 5), 密度为 $0.748 \sim 0.780 \text{克/厘米}^3$, 低热值相当于 $10520 \sim 10460 \text{大卡/公斤}$ 。它的缺点是凝固点高, 而且是随其分子量的加大而增高。

沸点范围同上面相同的异构烷烴 (見表 6, 表 7), 其热值实际上同正构烷烴相同而密度則为 $0.77 \sim 0.88 \text{克/厘米}^3$ 。强分支

表 1 B-70 燃料的性能 (ГОСТ 1012-54)*

指 标 名 称	規 格	試 驗 方 法
馏份組成:		
1) 初馏点 $^{\circ}\text{C}$, 不低于	40	ГОСТ 2177-59
2) 10% 的馏出温度 $^{\circ}\text{C}$, 不高于	88	
3) 50% 的馏出温度 $^{\circ}\text{C}$, 不高于	105	
4) 90% 的馏出温度 $^{\circ}\text{C}$, 不高于	145	
5) 97.5% 的馏出温度 $^{\circ}\text{C}$, 不高于	180	
6) 残余及損失%, 不大于	2.5	ГОСТ 1756-52(仲裁法 或 ГОСТ 6668-53)
7) 残余%, 不大于	1.5	
飽和蒸气压, 毫米水銀柱, 不大于	360	ГОСТ 5066-56 第 1 法 (不脫水)
結晶开始温度 $^{\circ}\text{C}$, 不大于	-60	
低燃燒热, 大卡/公斤, 不小于	不規定	
芳香烴含量%, 不大于	20	ГОСТ 6994-54
实际胶质含量, 在 100 毫升汽油中的毫克数, 不大于	2	ГОСТ 1567-56
含硫量%, 不大于	0.05	ГОСТ 1771-48

* 燃燒 1 公斤 B-70 汽油所需的空气量, $L_0 = 14.78 \text{公斤}$ 。

结构的同分异构物的密度比分子量相同的直鏈烴要大得多。异构物的凝固点低, 但异构烷烴的粘度却随其分子量和支鏈的增加而剧烈地上升。沸点在 $+240^{\circ}\text{C}$ 以上的异构烷烴的粘度是非常大的,

在零下溫度時，供油系統中的油甚至不能用油泵驅動（粘度由 $+20^{\circ}\text{C}$ 時的 $10\sim 15$ 厘沩增大到 -40°C 時的 $1000\sim 1500$ 厘沩）。

烷族烴中的不飽和烴（表8），其熱值同飽和烴的熱值幾乎沒有差別，不飽和烴的密度比飽和烴的高些，但不飽和烴的氧化安定性最低。在空氣中氧的作用下，不飽和烴液相氧化的結果，在燃料中出現膠質沉淀。當受熱時，氧化加深，並進行一系列的複雜的氧化物重疊過程，析出固體顆粒，將供油系統堵塞。

在同一沸點之下，所有烴類中以芳香烴的密度最大而熱值最小（表9）。在沸點 $200\sim 350^{\circ}\text{C}$ 的沸點範圍內，它的密度變化在 0.85 到 1.20克/厘米^3 之間，而熱值則從 9800 到 8400 大卡/公斤。

芳香烴的生碳性強，此外又欠安定，特別是在受熱的情況下。芳香烴加氫時則變為環烷烴。

環烷烴的性質介乎烷烴和芳香烴之間（表10）。當沸點範圍為 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ 時，它的熱值在 $10390\sim 10340$ 大卡/公斤之間，密度在 $0.81\sim 0.87\text{克/厘米}^3$ 範圍之間。它的凝固點在 -60°C 以下。環烷烴的粘度低，氧化安定性良好。

表2 T-1燃料的性能(ГОСТ 4138-49)*石油直餾T-1燃料

指 標 名 稱	規 格	試 驗 方 法
密度 ρ_{20}° 的範圍	$0.800\sim 0.850$	ГОСТ 3900-47
餾份組成：		
1) 初餾點 $^{\circ}\text{C}$ ，不高于	150	} ГОСТ 2117-48
2) 10%的餾出溫度 $^{\circ}\text{C}$ ，不高于	175	
3) 50%的餾出溫度 $^{\circ}\text{C}$ ，不高于	225	
4) 90%的餾出溫度 $^{\circ}\text{C}$ ，不高于	270	
5) 98%的餾出溫度 $^{\circ}\text{C}$ ，不高于	280	
6) 殘余及損失%，不大于	2	
運動粘度，厘沩：		
1) 20°C 時，不小于	1.5	ГОСТ 33-53
2) 0°C 時，不大于	4	
3) -40° 時，不大于	16	
4) -50° 時，不大于	25	

指 标 名 称	規 格	試 驗 方 法
酸度, 100毫升油中的KOH毫克数, 不大于	1.0	ГОСТ 6041-51
结晶开始温度°C, 不高于	-60	ГОСТ 5066-52第一法, 不脱水
浊点°C, 不高于	-50	同 上
芳香烃含量的%, 不大于	25	ГОСТ 6994-54
实际胶质含量, 毫克/100毫升油, 在用油地, 不大于	11	ГОСТ 1567-56
总含硫量%, 不大于	0.1	ГОСТ 1771-48
低燃烧热, 大卡/公斤, 不小于	10250	ГОСТ 5080-55
机械杂质和水分	无	

* 按ГОСТ 2517-52 进行T-1燃料的取样。燃烧一公斤 T-1 煤油所需的空气量, $L_0=14.67$ 公斤。

表 3 商品航空燃料 TC-1(ГОСТ 7149-54) 和
T-2(ГОСТ 8410-57) 的性能

指 标 名 称	規 格		試 驗 方 法
	TC-1	T-2	
密度 ρ_{40}^0 , 不小于	0.775	0.755	ГОСТ 3900-47
馏份组成:			
1)初馏点°C, 不高于	150	60	
2)10%的馏出温度°C, 不高于	175	145	
3)50%的馏出温度°C, 不高于	195	195	ГОСТ 2177-48
4)90%的馏出温度°C, 不高于	230	250	
5)98%的馏出温度°C, 不高于	250	280	
6)残余及损失%, 不大于	2	2	
运动粘度, 厘沲:			
1)20°C时, 不小于	1.25	1.05	
2)0°C时, 不大于	2.5	—	ГОСТ 33-53
3)-40°C时, 不大于	8.0	6.0	
低燃烧, 大卡/公斤, 不小于	10250	10250	ГОСТ 5080-55
饱和蒸气压, 毫米水银柱, 不大于	—	100	ГОСТ 1756-52
结晶开始温度°C, 不高于	-60	-60	ГОСТ 5066-56 第一法
芳香烃含量%, 不大于	22	22	ГОСТ 6994-54
含硫量%, 不大于	0.25	0.25	ГОСТ 1771-48
实际胶质含量, 毫克/100毫升, 在用油地 点不大于	10	10	ГОСТ 1567-56

表 4 美国空气喷气发动机燃料的性能

指 标	燃 料 品 种			
	JP-1	JP-2	JP-3	JP-4
密度, 15.5°C时	0.814	0.764	0.792	0.764
蒸气压力, 38°C时, 毫米水银柱	—	315	368	134~160
馏份组成:				
1) 10%的馏出温度°C, 不高于	174	73	66	84~102
2) 50%的馏出温度°C, 不高于	192	156	173	142~147
3) 90%的馏出温度°C, 不高于	225	224	240	209~227
低燃烧热, 大卡/公斤	10300	10390	10270	10400
实际胶质含量, 毫克/100毫升, 在 204°C空气流中	1.4	1.7	1.2	1.7
含硫量%, 不大于	0.079	0.085	0.35	0.074~0.12
运动粘度, -40°C时, 厘沲	2.29	2.91	3.36	2.51
芳香烃含量%	14.3	11.8	25	10~12
冰点°C, 不高于	-60	-60	-60	-60

表 5 正构烷烃的物理化学性能

烃类名称	分子式	沸点°C	密度 ρ_{40}^{20}	20°C 的粘度, 厘沲	冰点°C	低热值(重量) 大卡/公斤
正十二烷	$C_{12}H_{26}$	216	0.7487	1.99	-9.6	10520
正十三烷	$C_{13}H_{28}$	235	0.7562	2.47	-6	10510
正十四烷	$C_{14}H_{30}$	254	0.7626	3.04	+5.5	10500
正十五烷	$C_{15}H_{32}$	271	0.7683	3.73	9.8	10490
正十六烷	$C_{16}H_{34}$	287	0.7751	4.53	16.9	10490
正十七烷	$C_{17}H_{36}$	302.7	0.7779	—	21.72	10460
正十八烷	$C_{18}H_{38}$	317.5	0.7823(固) 0.7768(液)	1.4(100°C时)	28.1	10440
正十九烷	$C_{19}H_{40}$	331.5	0.7774 (32°C时)	—	32	—
正二十烷	$C_{20}H_{42}$	345	0.774 (36°C时)	—	36	—

表 6 弱分枝异构烷烃的物理化学性能

烃 类 名 称	分子式	沸点°C	密度 ρ_{40}^{20}	20°C时粘度, 厘帕	冰点°C	低热值 (重量) 大卡/公斤
3,3-二乙基辛烷	$C_{12}H_{26}$	205	0.7710	—	—	10500
4-丙基癸烷	$C_{13}H_{28}$	215	0.7705	—	-65	10490
3,3-二乙基壬烷	$C_{13}H_{28}$	222	0.7758	—	—	10490
4,5-二丙基辛烷	$C_{14}H_{30}$	220	0.7770	—	-80	10470
6-甲基-7-乙基十二烷	$C_{15}H_{32}$	243	0.7783	—	—	10470
6,8-二甲基十三烷	$C_{15}H_{32}$	243	0.7728	—	—	10470
7,8-二甲基十四烷	$C_{16}H_{34}$	269	0.7880	—	-70	10470
2,7-二甲基-3,6-二异丙基辛烷	$C_{16}H_{34}$	244	0.7968	4.65	—	10470
7-丁基十三烷	$C_{17}H_{36}$	286	0.7779	—	-70	10460
3,1,2-二乙基十四烷	$C_{18}H_{38}$	300	0.7924	5.90	-30	10460

表 7 强分枝异构烷烃的物理化学性能

烃 类 名 称	分子式	沸点°C	密度 ρ_{40}^{20}	低热值(重量) 大卡/公斤
2,2,3,4,5,5-六甲基己烷	$C_{12}H_{26}$	205	0.7925	10500
2,4,4-三甲基癸烷	$C_{13}H_{28}$	206	0.8349	10490
2,2,3,4,4-五甲基-3-异丙基戊烷	$C_{13}H_{28}$	206	0.842	10490
四甲基烯基异丙基戊烷	$C_{14}H_{30}$	~230	0.8574	10470
3,3,4,4,6,7,7-环庚烷基壬烷	$C_{16}H_{34}$	—	0.8374	10470
2,2,4,4-四甲基-3-异丙基-3-叔丁基戊烷	$C_{16}H_{34}$	~250	0.871	10470
4,4,6-三丙基-5-乙基壬烷	$C_{20}H_{42}$	~340	0.8515	10420

表 8 不饱和烃的物理化学性能

烃 类 名 称	分子式	沸点°C	密度 ρ_{40}^{20}	冰点°C
3,3-二甲基-2-叔丁基己烯-1	$C_{12}H_{24}$	213	0.8016	
3,3,4-三甲基-2-叔丁基戊烯-1	$C_{12}H_{24}$	195—199	0.811	
3,3-二甲基-2-叔戊基戊烯-1	$C_{12}H_{24}$	195—200	0.8176	
十七烯-1	$C_{17}H_{34}$	200—204	0.7854	+11
十七烯-8	$C_{17}H_{34}$	285	0.802	-50

表9 芳香烃的物理化学性能

烃 类 名 称	分子式	沸点°C	密度 ρ_{40}^{20}	20°C时粘度, 厘沲	冰点°C
1-甲基-2-叔丁基苯	$C_{11}H_{16}$	200	0.8898	1.39	-50
1,3-二丙基苯	$C_{12}H_{18}$	221	0.91	1.5	—
2,2,-二甲基-5-苯庚烷	$C_{13}H_{20}$	265	0.944	—	—
1,2,3,4-四乙苯	$C_{14}H_{22}$	252	0.8875	2.93	低于-50

表10 环烷烃的物理化学性能

烃 类 名 称	分子式	沸点°C	密度 ρ_{40}^{20}	热 值	
				重量, 大卡/公斤	体积, 大卡/公斤
戊基环己烷	$C_{11}H_{22}$	201	0.8026	10366	8319
六甲基环己烷	$C_{12}H_{24}$	212	0.8405		
己基环己烷	$C_{12}H_{24}$	220	0.8239	10360	8560
1-环戊基庚烷	$C_{12}H_{24}$	223	0.8002	10390	8310
4-环戊基庚烷	$C_{12}H_{24}$	207	0.8124		
1,2-二甲基-3,6-二乙基环己烷	$C_{12}H_{24}$	230	0.8536		
1-环己基庚烷	$C_{13}H_{26}$	232	0.8124	10370	8430
4-环己基庚烷	$C_{13}H_{26}$	228	0.8420		
1-环己基辛烷	$C_{14}H_{28}$	246	0.8150	10360	8450
3-乙基-3-环己基己烷	$C_{14}H_{28}$	232	0.8540		
3,6-二甲基-3-环己基庚烷	$C_{15}H_{30}$	254	0.8711		
1-环己基癸烷	$C_{16}H_{32}$	294	0.8167	10360	8470
2,4,6-三甲基-4-环己基庚烷	$C_{16}H_{32}$	268	0.8390		

表11 T-5燃料的性能 (ГОСТ 9145-59)*

指 标 名 称	規 格	試驗方法
密度 ρ_{40}^{20} , 不小于	0.845	ГОСТ 3900-47
馏份組成:		
1) 初馏点°C, 不低于	195	
2) 至200°C馏出的%, 不大于	2	
3) 15%的馏出温度°C, 不高干	225	ГОСТ 2177-59

* 燃烧 1 公斤 T-5 燃料所需的空气量, $L_0 = 14.55$ 公斤。

指 标 名 称	規 格	試驗方法
4) 98%的馏出温度°C, 不大于	315	
5) 残余及损失%, 不大于	2.0	
运动粘度, 厘沱:		
1) 20°C时, 不大于	5.0	ГОСТ 33-53
2) -40°C时, 不大于	60.0	
燃烧热, 大卡/公斤, 不小于	10250	ГОСТ 5080-55
酸度, KOH毫克/100毫升油, 不大于	1.0	ГОСТ 6041-51
结晶开始温度°C, 不大于	-60	ГОСТ 5066-56
		第一法, 不脱水
芳香烃含量%, 不大于	22	ГОСТ 6994-54
热安定性	无规定, 必须确定	ГОСТ 9144-59
含硫量%, 不大于	0.1	ГОСТ 1771-48

环烷烃的性能同分子中的环数、侧链数和结构有关。双环环烷烃的密度和粘度比单环环烷烃的密度和粘性都要大。

从表中所列材料清楚见到, 除热值外, 环烷烃在其所有质量指标上来看, 做燃料使用是很好的。

由于在石油工业和航空工业中进行了许多工作, 且又制成了一种新的 T-5 航空燃料 (表11), 它的初馏点高, 热安定性良好。

参 考 文 献

1. Нефтепродукты и продукты переработки твердых топлив, СССР, Государственные стандарты, Технические условия, Москва, 1959.
2. Оббленцев Р. Д., Физические константы углеводородов, жидких топлив и масел, Госоптехиздат, 1953.

Б-70汽油、Т-1 煤油及 Т-5燃料等航空燃料

蒸气定压比热的实验测定

技术科学副博士 С. Н. 索科洛夫 (Соколов)

工程师 Ю. В. 塔尔拉科夫 (Тарлаков)

气体比热值可以根据理论计算，或从实验获得。

接近理想状态气体的比热可以用近代统计物理学和量子力学方法计算〔2〕。

这些计算要求知道分子中原子的振动频率和分子的转动惯量。此外，还须考虑到振动的非简谐性。计算所需的数据可以从分析被研究气体的光谱中获得。对于分子结构比较简单的气体（如单原子、双原子和三原子气体），它们的光谱不很复杂，用这种方法计算得到的 c_p 同实验数据能很好的重合。

多原子气体的光谱非常复杂，根据理论计算它们的比热 c_p 是有困难的；所以某些著者〔6, 11〕提出了一些用来计算多原子气体比热 c_p 的半经验公式。分析这些公式得知，它们只适用于 c_p 的近似计算，因为在一些情况下，误差可能达到 10~15%，例如用迈菲尔德 (Mayfield) 及史迪尔 (Still) 方程式〔11〕计算得到的结果就是这样的。

本论文的任务在于用实验方法来测定汽油、煤油及燃料 Т-5 的蒸气在不同温度下的比热 c_p 。

这些物质都是多种组份的，而且每一组份的分子又是多原子的，并有着复杂的结构。这些物质的光谱我们还研究得很不够，所以就选用实验方法来测定这些燃料蒸气的 c_p 。

1 蒸气比热测定法的选择

利用定容比热 c_v 或定压比热 c_p 可以完成热力学的计算。

利用实验法来测定密度稀的气体的 c_p 是极困难的。若干作者[7, 13]曾经提出了好多测定稀密度蒸气的 c_p 的方法, 但是都没有得到广泛应用。测定压缩气体和液体的 c_p 的方法现在才开始被应用[1]。

测定 c_p 的方法应用得较广。这些方法中最准确的是流动量热计法。该法的原理如下: 将被试的气体流过量热计的管道, 同时用加热器给气体一种动能, 使气体的温度升高。测量气体的消耗流量 G , 加附的动能 Q 和升温 Δt 后, 即可用下面的关系式

$$c_p = \frac{Q}{G\Delta t} \quad (1)$$

求出定压比热。

流动量热计法曾用来研究各种气体在不同温度和压力下的 c_p [4, 5, 8, 9, 10, 12, 14]。这个方法曾用于详尽的研究水蒸汽的比热。

许多作者[4, 5]所设计的装置主要是适用于高压 ($p \approx 500$ 大气压) 及高温 ($t \approx 600^\circ\text{C}$)。

本世纪 20 年代曾广泛应用声波法测量气体的 c_p 。测量气体中的声速, 可以求得绝热指数 κ , 然后利用 c_p 同 c_v 之间的关系即可算出 c_p 。这种方法不能说是非常准确的, 因而近来几乎不再使用了。

斯万 (Swann) [12] 曾用流动量热计法测定空气和 CO_2 的 c_p 。量热计中的大量漏热使作者不能很准确地测定这些气体的 c_p 。斯万法后来得到了改进; 在低压下测量 c_p 时, 试验的平均误差已降为 0.6% [10]。

1947 年, 威丁顿 (Waddington) 所提出的流动量热计的构造应该说是最完善的, 他曾用这种量热计测定一些物质的气体在

溫度達 $t \sim 200^\circ\text{C}$ 時的 c_p [14]。

1950 年雷諾 (Reynolds) 等人曾試圖設計一種流動量熱計，測定有限容積 (~ 25 厘米³) 物質蒸氣的 c_p [9]。

利用少量液體的方法是一個好的想法，但是在該裝置內，由於在氣體低流速下，氣流不均勻所引起的誤差是比較大的。

2 實驗裝置的概述

我們所造成的裝置可以用來研究蒸氣低於大氣壓力、溫度約達 $400 \sim 500^\circ\text{C}$ 時的 c_p 。這種裝置是用玻璃製成的。在更高的溫度下進行試驗，這種裝置就必需用石英製造。

當採用流動量熱計方法時，要想取得足夠準確的實驗數據，必須：

- 1) 保證通過量熱計的蒸氣流量不變；
- 2) 使量熱計同外界介質的熱交換最小；
- 3) 保證蒸氣乾燥，因為濕的蒸氣會使 c_p 的測量結果嚴重的失真；
- 4) 消除加熱器對熱電偶的輻射影響。

裝置是按蒸氣自然循環的閉合系統工作的 (圖 1)。

直接放在液面上方的電熱器 1 使被試液體在蒸發器 2 中蒸發，因而在恆溫器 I 中形成一個恆定的蒸氣流。電熱器 1 由蓄電池供給電能。蒸氣由蒸發器 2 出來，沿保溫管 3，通過蛇形管 4 而進入絕熱量熱計 5，量熱計同蛇管一起放在恆溫器 II 中。蒸氣從量熱計出來沿保溫管 7 進入冷卻器 X_1 ，然後進入容積約等於 100 厘米³ 的量瓶 8 中。量瓶 8 用來測量流過量熱計的蒸氣流量。如果在不測定流量時，那麼，蒸氣凝液將通過管 10 和冷卻器 X_2 回到蒸發器 2 中。在進入量熱計之前，蒸氣的溫度同恆溫器 II 的溫度相同。在量熱計中，蒸氣被電加熱器 6 加熱。量熱計進口和出口的溫差用兩個銅-康銅溫差熱電偶 t_1 、 t_2 和 ППТН-1 型低電阻電位計來測量；量熱計外殼 5 的溫度用熱電偶 t_3 、 t_4 、 t_5 、 t_6 和

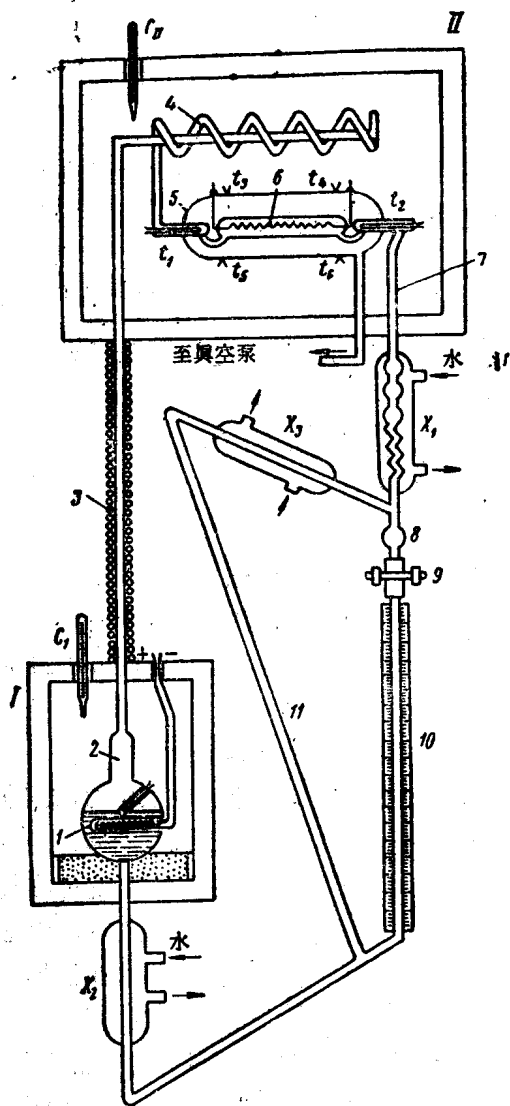


图1 测定航空燃料蒸气定压比热装置的原理图;

I—第一恒温器, II—第二恒温器。 C_1, C_2 —恒温器的温度计。 t_1-t_5 —热电偶; X_1, X_2, X_3 —冷却器。
1—电热器; 2—蒸发器; 3—保温管; 4—蛇形管;
5—量热计; 6—量热计的电加热器; 7—保温管; 8—量瓶; 9—旋塞; 10—压差管; 11—支管。