

金屬-陶瓷管译文集

金屬-陶瓷管译丛編輯組編譯



國防工業出版社

72 68

金屬-陶瓷管譯文集

金屬-陶瓷管譯丛編輯組編譯



75. 2840

DL30/01

金屬-陶瓷管譯文集

金屬-陶瓷管譯丛編輯組編譯

*

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第074號

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

國防工業出版社印刷厂印裝

*

850×1168 $1/32$ 印張 $9\frac{3}{16}$ 236 千字

1965年11月第一版 1965年11月第一次印刷 印数：0,001—1,140册

統一書号：15034·1046 定价：(科六) 1.40元

目 录

陶瓷.....	5
用作金属-陶瓷管的陶瓷材料.....	58
金属-陶瓷的真空气密封接.....	80
金属-陶瓷封接.....	96
一种改进的镍钛金属-陶瓷封接.....	128
真空中金属-陶瓷电铸封接.....	134
陶瓷与钛的封接工艺.....	142
金属-陶瓷高温封接.....	154
金属-陶瓷粘附机理(钼与氧化铝陶瓷的粘附机理).....	184
新型甚高频金属-陶瓷三极管.....	207
超高频金属-陶瓷四极管.....	219
超高频金属-陶瓷平板四极管.....	226
超小型金属-陶瓷抗震管及其应用.....	237
一种新型、可靠、低噪声超高频金属-陶瓷笔形三极管.....	243
超小型金属-陶瓷抗震管的制造.....	252
纯净气体放电管的制造过程.....	269
通用电气公司是怎样制造 7077 电子管的.....	278
用金刚砂研磨的陶瓷板封接小电子管.....	290

72 68

金屬-陶瓷管譯文集

金屬-陶瓷管譯丛編輯組編譯



科學出版社
1965

5.2840

DL30/01

金屬-陶瓷管譯文集

金屬-陶瓷管譯丛編輯組編譯

*

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第074號

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

國防工業出版社印刷厂印裝

*

850×1168 $1/32$ 印張 $9^{3/16}$ 236 千字

1965年11月第一版 1965年11月第一次印刷 印数：0,001—1,140册

統一書号：15034·1046 定价：(科六) 1.40 元

前 言

金屬-陶瓷管是一种新型电真空器件，它不論在軍事上还是在国民經济中都具有很大的使用价值。

为了介紹国外在这方面的研制、发展和应用等情况，我們根据国外的文献編譯了本譯文集。

本譯文集共搜集了 18 篇文章，內容包括：制造金屬-陶瓷管所用的各种陶瓷材料，金屬-陶瓷的封接方法和原理，还介紹了几种金屬-陶瓷管的結構、制造工艺及其应用。

在編譯本譯文集时，我們得到了各方面的帮助，但由于水平所限，故在选材和編譯质量方面，都可能有許多不当之处。我們热忱地希望讀者批評指正。

有关对本譯文集的各种批評和意見，請函寄北京国防工业出版社轉金屬-陶瓷管譯丛編輯組。

金屬-陶瓷管譯丛編輯組

1965年 6 月

目 录

陶瓷.....	5
用作金属-陶瓷管的陶瓷材料.....	58
金属-陶瓷的真空气密封接.....	80
金属-陶瓷封接.....	96
一种改进的镍钛金属-陶瓷封接.....	128
真空中金属-陶瓷电铸封接.....	134
陶瓷与钛的封接工艺.....	142
金属-陶瓷高温封接.....	154
金属-陶瓷粘附机理(钼与氧化铝陶瓷的粘附机理).....	184
新型甚高频金属-陶瓷三极管.....	207
超高频金属-陶瓷四极管.....	219
超高频金属-陶瓷平板四极管.....	226
超小型金属-陶瓷抗震管及其应用.....	237
一种新型、可靠、低噪声超高频金属-陶瓷笔形三极管.....	243
超小型金属-陶瓷抗震管的制造.....	252
纯净气体放电管的制造过程.....	269
通用电气公司是怎样制造 7077 电子管的.....	278
用金刚砂研磨的陶瓷板封接小电子管.....	290

陶 瓷

W. H. Kohl

引 言

制管本身和制管用附屬設備都广泛地使用了各种陶瓷，这一事实清楚地指出制管工程师需要在陶瓷方面具有工作常識。当然，最好是能有熟练的陶瓷工作者在制管工程师身边，这样制管工程师便可以自陶瓷工作者处吸取經驗以用于其新管子的設計工作上。自然，对于一个熟练的陶瓷工作者來說，本章所述的各节他全知道，但是对于一个制管工程师來說，特别是这方面的新手，将从对陶瓷的一般介紹中获得某些益处，从而还可以进而閱讀更專門的書籍。为了了解一般情况，他應該閱讀托恩奥尔 (Thurnauer) 著的“电介质材料及其应用”⁽¹⁾一书中的陶瓷部分，然后再閱讀魯濱遜和布魯尔 (Robinson and Bloor)⁽²⁾合著的一篇評論文章和納維斯 (Navias)⁽³⁾的一篇关于陶瓷在电子管中应用的一篇文章，同时翻閱参考文献[4~5]，那里有很全面的参考資料目录。由美国电化学学会发起，而由巴特里紀念館 (Battelle Memorial Institute) 的堪柏尔 (I. E. Campbell)⁽⁶⁾主編的“高溫工艺学”一书是对于在高溫下使用的材料和它們的制造工艺及性能測量不可缺少的参考資料●。史丹佛研究院 (Stanford Research Institute) 为美国空軍部准备的一篇調查报告⁽⁸⁾包含了在500°C高溫环境下工作的各种电子管在制造上所會遇到的問題。讀者对这篇报告会有兴趣的。最近史丹佛研究院为美国空軍

● 美国陶瓷学会会刊第37卷第2期 (1954年二月出版) 第二部分关于陶瓷材料导热性能的文章，亦請參看参考文献[7]。

部准备的另一篇报告是关于“耐热非金屬結晶材料和金屬互化物的机械和物理性能”的。另外劳克西得飞机公司(Lockheed Aircraft Corporation)的布瑞德蕭和麦秀斯(Bradshaw and Matthews)⁽¹⁰⁾准备的一份参考资料很有价值也很全面。

本章只叙述对制造电子管有关的各种陶瓷的物理性质。

“陶瓷”(Ceramic)一詞来自希腊文的“Keramos”，此字之原意为“陶工”、“陶土”或“陶器”。“Keramos”与古印度文詞根“燒”有关⁽¹⁾。按现在的习惯，“陶瓷”系指有固定形状而坚硬的高温燒成的无机材料，包括磨料、水泥、搪瓷、玻璃、磚瓦、耐火材料、陶制品、瓷器等。“难熔金屬”虽不是陶瓷，但它們的成形方法常与陶瓷相同。当最后成品为金属件时，我們叫这种成形法为“粉末冶金”法。“陶瓷金屬”(Ceramets, Cermets或Ceramals)系指陶瓷与金屬混制品，系用金屬粉与金屬的氧化物粉利用粉末冶金方法制成的固体^(11,12)。这种材料在制造噴气引擎的渦輪叶片和其他耐高溫的器件方面用处很大。

原材料和坯料配方

典型瓷器的坯料成分是粘土、长石和石英，系根据所要求的最后成品的不同性质和按不同比例配制而成的。粘土具有可塑性，它提供坯料塑形的可能性；长石和石英沒有可塑性。石英在陶瓷中起骨架作用，在焙燒中保持塑造的形状；长石是碱金屬和鋁的硅酸盐，它在陶瓷焙燒的过程中首先熔化，然后溶解一部分石英和粘土，因此它在坯体中起溶剂作用，而粘土或高岭土可以看成石英骨架的中間填充物。这三种成分在焙燒时相互之間起反应而最后导致整个瓷体內部結晶結構的重新排列。表1为典型瓷器坯料的一般成分⁽¹³⁾。陶瓷工作者有一套本身的命名法⁽¹⁴⁾，他們所用的術語，制管工程師們并不熟悉，比如說，他們用“几号錐”，而不說华氏几度和摄氏几度。所以說学电子学的或者学物理的，要想全面了解陶瓷方面发表的著作，事先需要一些准备工作。

表 1 某些瓷器坯体的一般成分⁽¹³⁾

7

原材料名称	化学瓷	一般瓷	电 瓷	半透明瓷	卫 生 瓷	細 陶 瓷
三角錐	12~14	12~14	11~13	10~11	9~11	8~9
燒成範圍 溫度範圍	2390~2534 °F	2390~2534 °F	2345~2462 °F	2000~2345 °F	2282~2345 °F	2237~2282 °F
长石或霞石 正 长 岩	20~25	20~28	28~38	10~18	30~36	10~16
碳 酸 鈣	0~1	0~1	0~3	0~1.5		
白 云 石				0~3.0		
粘 土	0~5		15~35	10~20	16~25	20~35
高 岭 土	50~58	40~50	20~35	20~30	20~30	20~35
石 英 粉 (200目)	10~15	22~35	15~25	30~38	20~30	32~36

表 2 矿物、难熔矿石、粘土和土

高岭石、高岭土、粘土	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
三水铝石、水铝石、水铝矿	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$; $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$
叶蜡石	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
硅线石、红柱石、蓝晶石、膨润土	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ①; $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
顽来石	$3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$
刚玉、蓝宝石	Al_2O_3
石英(鳞石英、方石英)	SiO_2
菱镁矿	MgCO_3
氧化镁	MgO
块滑石(滑石瓷)、斜顽辉石	$\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$
镁橄榄石	$2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$
生滑石	$3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
堇青石	$2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$
长石	$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$
锆英石	$\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$
氧化锆	ZrO_2
锂辉石	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$
硅灰石	CaSiO_3
尖晶石(矿物)	$\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
尖晶石型	$\text{R}'\text{O} \cdot \text{R}_2\text{O}_3$
磁铁矿	$\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$

① 原文漏掉。——譯者注

表 3 难熔纯氧

材 料 名 称	分子式	分子量	熔点°C	沸点°C	密 度 克/厘米 ³	莫氏硬度
氧 化 铝 (刚玉)	Al ₂ O ₃	101.92	2015	2980	3.97	9
氧 化 钡	BaO	153.37	1917	2200	5.72	3.3
氧 化 铍	BeO	25.02	2550	4260	3.03	9
氧 化 钙	CaO	56.08	2600	2850	3.32	4.5
氧 化 铈	CeO ₂	172.13	>2600	—	7.13	6
氧 化 铈	Cr ₂ O ₃	152.02	2265	>3000	5.21	—
氧 化 钴	CoO	74.94	1805	—	6.46	—
氧 化 镓	Ga ₂ O ₃	187.44	1740	—	5.88①	—
氧 化 铪	HfO ₂	210.6	2777	—	9.68①	—
氧 化 镧	La ₂ O ₃	325.84	2305	4200	6.51	—
氧 化 镁 (方镁石)	MgO	40.32	2800	2825	3.58	6
氧 化 锰	MnO	70.93	1780	4050	5.40	5~6
氧 化 镍	NiO	74.69	1950	—	6.8	5.5
氧 化 铌	Nb ₂ O ₃	233.82	1772	—	—	6.5
氧 化 硅 (方石英)	SiO ₂	60.06	1728	2950	2.32①	6~7
氧 化 锶	SrO	103.63	2415	3000	4.7	3.5
氧 化 钽	Ta ₂ O ₅	441.76	1890	—	8.02	—
氧 化 钍	ThO ₂	264.12	3300	4400	9.69	6.5
氧 化 锡 (锡石)	SnO ₂	150.70	>1900	1510	7.00	6~7
氧 化 钛 (金红石)	TiO ₂	79.90	1840	2227	4.24①	5.5~6
氧 化 铀	UO ₂	270.07	2280	4100	10.96	—
氧 化 钒	V ₂ O ₃	149.90	1977	3000	4.87	—
氧 化 钇	Y ₂ O ₃	225.84	2410	4300	4.84	—
氧 化 锌	ZnO	81.38	1975	1950	5.66	4~4.5
氧 化 锆	ZrO ₂	123.22	2677	4300	5.56①	6.5

① 不同结晶型不同密度: SiO₂(低 石 英)2.65 TiO₂(板钛矿)4.17
 (低鳞石英)2.26 (金红石)4.24
 (低方石英)2.32 (锐钛矿)3.84
 (玻 态)2.20

化物的性质^[6]

大約价格 每磅美元	主 要 限 制	地壳上該 金屬元素 所占%	其 他 氧 化 物
0.05	—	7	$\text{Al}_2\text{O}_3(2\text{Al}\cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3)$
0.10	吸水, 有毒	0.08	BaO_2
9.00	价昂, 有毒	0.47	BeO_2
0.01	吸水	3.47	CaO_3
0.82	价昂, 有还原性	—	Ce_2O_3
0.40	有还原性	0.062	$\text{CrO}, \text{CrO}_2, \text{CrO}_3$
2.00	价昂, 有还原性	0.001	$\text{Co}_3\text{O}_4, \text{Co}_2\text{O}_3$
—	价昂, 有还原性	10^{-9}	Ga_2O
25.00	价昂	0.002	—
14.00	价昂, 吸水	—	—
0.05	—	2.24	MgO_2
—	氧化	0.10	$\text{Mn}_3\text{O}_4, \text{Mn}_2\text{O}_3, \text{MnO}_2, \text{MnO}_3,$ Mn_2O_7
0.07	还原性	0.02	$\text{Ni}_3\text{O}_4, \text{Ni}_2\text{O}_3, \text{NiO}_2$
—	价昂, 氧化	0.002	$\text{NbO}(\text{Nb}_2\text{O}_2), \text{NbO}_2(\text{Nb}_2\text{O}_4),$ Nb_2O_5
0.01	—	25.80	SiO
0.50	吸水	0.02	SrO_2
15.00	价昂	0.001	$\text{TaO}_3(\text{Ta}_2\text{O}_4)$
7.00	价昂, 放射性	0.002	Th_2O_7
0.90	价昂, 还原性, 易挥发	10^{-5}	SnO
0.18	还原性	0.46	$\text{Ti}_2\text{O}_3, \text{Ti}_3\text{O}_5(\text{Ti}_2\text{O}_3\cdot \text{TiO}_2), \text{TiO}$
3.00	价昂, 氧化, 放射性	8×10^{-5}	$\text{U}_3\text{O}_8, \text{UO}_3$
—	价昂, 氧化	0.038	$\text{V}_2\text{O}_2(\text{VO}), \text{V}_2\text{O}_4(\text{VO}_2), \text{V}_2\text{O}_5$
12.50	价昂	—	—
0.15	易挥发	—	ZnO_2
0.90	价昂	0.017	ZrO_3

ZrO_2 (斜方形, 立方, 三角)	6.27	Ga_2O_3 (单斜, 斜方)	5.88
(四角)	6.10	(六角)	6.44
(单斜)	5.56	HfO_2 (单斜)	9.68
		(四角)	10.01

长石、粘土和石英只能看成是一个籠統的名詞，因为出自不同的产地，其中所含的不純物和夹杂物的变动是很大的，所以用某一地原料定的配方对另一同名原料不一定合适，这本书在这方面不可能叙述太多。制造陶瓷的詳細过程可參閱参考文献[15~23]。

表2列出了一些在討論陶瓷坯料方面經常遇到的矿物和化合物。表3介紹了一些难熔純氧化物的性质。表4列出了一些难熔化合物的性质。表5介紹了难熔氧化物的热力学性能[●]。表6列出了擇自托恩奥尔一书的陶瓷电介质之标准物理性能。表7中介绍了最近发表的高温热膨胀系数值，系譯自怀特莫尔 (Whittemore) 和奥尔特 (Ault) 的报导^[24]。

表4 一些难熔化合物的性质^[6]

材 料 名 称	分 子 式	熔 点 °C	密 度 克/厘米 ³
硅酸鋁(謨来石)	$3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1830 [●]	3.16
鈦酸鋁	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$	1855	—
二鈦酸鋁	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{TiO}_2$	1895	—
鋁酸鋇	$\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	2000	3.99
鋁酸鋇	$\text{BaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$	1860	3.64
正硅酸鋇	$2\text{BaO} \cdot \text{SiO}_2$	>1755	5.2
鋇酸鋇	$\text{BaO} \cdot \text{ZrO}_2$	2700	6.26
鋇酸鋇(金綠宝石)	$\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1870	3.76
偏硅酸鋇	$\text{BeO} \cdot \text{SiO}_2$	>1755	2.35
正硅酸鋇(硅鋇石)	$2\text{BeO} \cdot \text{SiO}_2$	>1750 [●]	2.99
鈦酸鋇	$3\text{BeO} \cdot \text{TiO}_2$	1800	—
鋇酸鋇	$3\text{BeO} \cdot 2\text{ZrO}_2$	2535	—
鉻酸鈣	$\text{CaO} \cdot \text{CrO}_3$	2160	3.22
亚鉻酸鈣	$\text{CaO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$	2170	4.8
正磷酸鈣	$3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$	1730	3.14
硅酸鈣	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	1900 [●]	2.91
正硅酸鈣	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	2120	3.28
磷酸硅鈣	$5\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$	1760	3.01

● 表3、4、5和图6、10是选自I. E. Campbell著的“高温工艺学”^[6]。

(續)

材 料 名 称	分 子 式	熔 点 °C	密 度 克/厘米 ³
鈦酸鈣(鈣鈦矿)	$\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2$	1975	4.10
鈦酸鈣	$2\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2$	1800	—
鈦酸鈣	$3\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2$	2135	—
鋯酸鈣	$\text{CaO} \cdot \text{ZrO}_2$	2345	4.78
鋁酸鈷(鈷藍)	$\text{CoO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1955	4.37
鋁酸鎂(尖晶石)	$\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	2135	3.58
鉻酸鎂	$\text{MgO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$	2000	4.39
亞鈦酸鎂(鎂鉄矿)	$\text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	1760	4.48
釷酸鎂	$\text{MgO} \cdot \text{La}_2\text{O}_3$	2030	—
硅酸鎂(鎂橄欖石)	$2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	1885	3.22
正鈦酸鎂	$2\text{MgO} \cdot \text{TiO}_2$	1835	3.52
鋯酸鎂	$\text{MgO} \cdot \text{ZrO}_2$	2120	—
硅酸鋯鎂	$\text{MgO} \cdot \text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	1793	—
鋁酸鎳	$\text{NiO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	2015	4.45
硅酸鋁鉀(Kaliophilite)	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	1800	—
鋁酸鋇	$\text{SrO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	2010	—
正磷酸鋇	$3\text{SrO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$	1767	4.53
鋯酸鋇	$\text{SrO} \cdot \text{ZrO}_2$	>2700	5.48
鈳酸鈳	$\text{ThO}_2 \cdot \text{ZrO}_2$	>2800	—
鋁酸鋅(鋅尖晶石)	$\text{ZnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	1950	4.58
硅酸鋅鈳	$\text{ZnO} \cdot \text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	2078	—
硅酸鈳(鈳石)	$\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	2420①	4.6

① 部分熔化同时析出固相 (Incongruent melting)。

表 6 所列的材料分为两大类, 即“玻化制品”和“半玻化与耐热制品”。对电子管来说, 致密的玻化制品是用来作管壳, 而管内采用的陶瓷零件则不太致密, 含有气孔, 这样便于排气。究竟选用哪一种瓷, 必须根据陶瓷零件应用在何处的具体情况和它的物理性质作审慎的考虑。在用于高频的情况下, 条件应特别严格, 因为在高频下一个瓷件的介质损耗因数 (参看原文 62 页) 的大小就决定着它能不能用。美国武装部对于低损耗, 低介电常数的陶瓷材料定出了一套规范, 这规范对于抗弯强度、介电强度、孔隙

表 5 难熔氧化

名 称	分 子 式	ΔH_{298}	ΔF_{298}	ΔS_{298}
		千卡/克分子	千卡/克分子	卡/克分子·°C
氧化铝(α -刚玉)	Al_2O_3	-399.09	-376.77	12.186
氧化钡	BaO	-133.4	-126.3	16.8
氧化铍	BeO	-146.0	-139.0	3.37
氧化钙	CaO	-151.9	-144.4	9.5
氧化铈	CeO_2	-233	-232	28.8②
氧化铬	Cr_2O_3	-269.7	-250.2	19.4
氧化钴	CoO	-57.2	-51.0	10.5
氧化镓	Ga_2O_3	-258	—	—
氧化铪	HfO_2	-271.5	-259	29.7②
氧化镧	La_2O_3	-458	-435	39.9②
氧化镁	MgO	-143.84	-136.13	6.4
氧化锰	MnO	-92.0	-86.8	14.4
氧化镍	NiO	-58.4	-51.7	9.22
氧化铌	Nb_2O_3	—	—	—
氧化硅: α -方英石	SiO_2	-205.0	-192.1	10.19
β -方英石	SiO_2	0.2③	—	—
α -石英	SiO_2	-205.4	-192.4	10.00
β -石英	SiO_2	0.29③	—	—
α -鳞石英	SiO_2	-204.8	-191.9	10.36
β -鳞石英	SiO_2	0.04③	—	—
玻璃态石英	SiO_2	-202.5	-190.9	11.2
氧化锶	SrO	-141.1	-133.8	13.0
氧化钽	Ta_2O_5	-499.9	-470.6	34.2
氧化钨	ThO_2	-292	-296	19.6②

① $C_p = a + b \times 10^{-3}T - c \times 10^5 T^{-2}$

$$H_T - H_{298} = aT + \frac{b}{2} \times 10^{-3}T^2 + c \times 10^5 T^{-1} - d.$$

物的热力学性能^⑥

C_{p298} 卡/克分子·°C	热容 ^①				
	温度范围°K	a	b	c	d
18.88	298~1800	27.43	3.06	8.47	11,155
11.34	298~1000	9.79	5.21	—	—
6.07	298~1200	8.45	4.00	3.17	3,760
10.23	298~1800	11.67	1.08	1.56	4,051
15.1	273~373	15.1	—	—	—
28.38	298~1800	28.53	2.20	3.74	9,759
—	—	—	—	—	—
20	298~923	11.77	25.2	—	—
—	298~1800	17.39	2.08	3.48	6,445
24.2	273~2273	22.6	5.44	—	—
8.94	298~2100	10.18	1.74	1.48	3,609
10.27	298~1800	11.11	1.94	0.88	3,694
10.60	298~1400	8.80	6.00	—	—
—	—	—	—	—	—
10.56	298~523	4.28	21.06	—	2,212
—	523~2000	14.40	2.04	—	4,696
10.62	298~848	11.22	8.20	2.70	4,615
—	848~2000	14.41	1.94	—	4,455
10.66	298~390	3.27	24.80	—	2,077
—	390~2000	13.64	2.64	—	4,395
10.60	298~2000	13.38	3.68	3.45	5,310
10.76	298~2000	8.70	0.16	0.74	2,849
32.30	—	—	—	—	—
20.38	298~1800	15.84	2.88	1.60	5,388

② 据Rossini et al和Brewer资料计算。

③ 在转换温度下的转换热。