

鈹的化学工艺学和冶金学

〔苏联〕В.И. 斯皮欽院士 主編

Г.Ф. 西里娜 Ю.И. 尤林堡 Л.Э. 別尔琴娜 著

田 冰 譯 楊重愚 校

Под редакцией акад. В. И. Спичина
Г. Ф. Силина, Ю. И. Зарембо, Л. Э. Бертина

БЕРИЛЛИЙ ХИМИЧЕСКАЯ
ТЕХНОЛОГИЯ И МЕТАЛЛУРГИЯ
АТОМИЗДАТ

Москва 1960

* * *

铍的化学工艺学和冶金学

田 冰 译 楊重愚 校

*
中国科学院原子核科学委员会編委会編輯

中国工业出版社出版 (北京东黄城根路10号)

北京市书刊出版业营业登记证出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 · 各地新华书店經售

*
开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $4\frac{1}{4}$ · 字数 97,000
1965年6月北京第一版 · 1965年6月北京第一次印刷
印数 0001—1,980 · 定价 (科五) 0.55 元

*
統一书号: 15165 · 3911 (核委-41)

序 言

鈹及其化合物在工业上的重要性日趋明显。不仅是鈹的中間合金，就是純鈹（第二次世界大战以前，其应用范围还很有限）的产量也在不断地增加，便証明了这一点。

核技术的日益发展，要求有一整套制取高純度的鈹、氧化鈹和碳化鈹的新工艺。在这些高純度的金属及其化合物中，中子俘获截面大的元素的杂质，只允許有千万分之几和亿分之几。

近几年来，国际文献中所发表的有关鈹的化学、工艺和冶炼方面的资料，正在日益增多。

最近十年来，鈹的生产技术已經达到了相当高的水平，不过仍有很多問題还未解决，尚待繼續进行研究。还要进一步扩大鈹化学領域的研究工作；由于已經有了相当多的高純度的鈹化合物，因而有可能使研究水平比以前更提高一步。必須改进鈹的化学工艺和冶炼技术，寻求宜于处理低品位原料的新工艺过程，并改进設備。

編写本书的目的是帮助各研究院、企业的科学实驗室及高等院校教研室，进一步开展这方面的研究工作，并能批判地整理分散在大量文献中有关鈹的有价值資料。作者参考了近十五年来（包括1960年初）的图书、刊物和报告中的資料。介紹了在工艺上具有重要意义的鈹的物理化学性质、核性质、机械性能、腐蝕性能和化学性质；根据1958—1959年期间国内外文献資料，介紹了鈹化合物和純金属鈹的工业生产方法。

本书第一、二两章由Ю.И. 札林堡执笔，第三章由В.И. 斯皮欽、Г.Ф. 西里娜和Л.Э. 別尔琴娜执笔，第四章由Г.Ф. 西里娜执笔，第五章由Ю.И. 札林堡和Г.Ф. 西里娜执笔。

如蒙对本书內容提出批評和指正，作者将不胜感谢。

目 录

序 言

第一章 铍的生产和应用	1
参考文献	7
第二章 金属铍的性质	9
1. 铍的化学性质和物理性质	9
2. 铍的核性质	15
3. 铍的机械性能	15
4. 铍的腐蚀性能	22
参考文献	24
第三章 具有工艺价值的铍化合物的性质	26
参考文献	61
第四章 制取铍化合物的工业方法	68
1. 绿柱石的分解和工业氢氧化铍的制取	68
2. 核纯氢氧化铍的净化方法	79
3. 氟铍酸铍的制取	84
4. 氯化铍的制取	86
5. 碳化铍的制取	96
参考文献	97
第五章 制取金属铍的工业方法	101
1. 铍化合物还原过程的热力学基础	101
2. 氟化铍的镁热法还原过程	105
3. 热离解碘化铍制取铍	113
4. 电解熔盐制取铍	114
5. 真空蒸馏法精炼铍	125
参考文献	128

第一章 鈹的生产和应用

化学元素鈹是沃克林 (L.N.Vauguelin) 于 1797 年发现的, 魏勒 (Wöhler) 于 1828 年用金属鉀还原氯化鈹而初次将鈹析出成为游离状态。Д.И.門捷列夫根据周期律詳細地闡述了鈹的物理性质和化学性质, 并証实了俄国研究者 И.В. 阿弗捷耶夫 (Авдеев) 关于鈹为二价, 并且属周期系的第 II 族的意見。

在分离出游离鈹之后經過了一百年的时间, 才进行鈹及其化合物的工业生产。德国的“西門子-哈尔斯柯”公司 (康采恩) 的工厂于 1929 年生产了鈹〔1〕; 苏联〔2〕和美国〔3〕于 1932 年开始生产鈹, 法国于 1933 年, 而英国則开始于 1956 年。

上面这些国家长时期以来主要都是生产用作鈹与重金属的合金或中間合金加成剂的工业鈹; 純鈹的生产量則很少, 因为純鈹只是用作 X 射綫管“窗”。

由于 X 射綫对鈹的穿透力很强, 用以制造此种“窗”时效果非常好, 从而可以得到研究金属、X 射綫疗法以及其他領域所需要的很强的 X 射綫。

战后由于开始广泛研究純鈹化合物和金属鈹本身在核技术方面的应用, 因而純鈹化合物和金属鈹的产量迅速增加。鈹所特有的物理性质使得它也被应用于电子学和通訊、飞机和火箭制造、电气和无綫电工业以及現代技术的其他部門。鈹由于原子量小, 热中子俘获截面小, 中子散射系数高, 对輻射和高溫作用稳定, 因而被用作慢中子的減速剂和反射层。

在高溫下, 鈹对于空气、二氧化碳、水及某些熔融金属十分稳定, 因而便有可能使用鈹来做释热元件 (ТВЭЛ) 的包壳。美国在建造潛水艇动力装置用的反应堆 (SIR) 和用輻照法試驗各种材料的反应堆 (MTR) 时〔4〕, 都采用鈹作为反射层。1957

年用鈹制成了实验原子反应堆所用的第一批工业元件〔5〕。在苏联对于鈹减速剂反应堆的物理性能也进行了研究。

对于在高温和不太大的压力下工作的液体燃料反应堆，可采用由 60% 氟化锂 LiF 和 40% 氟化鈹 BeF_2 所组成的熔融氟化物混合物；再生区为熔融混合物中的四氟化鈹悬浮体。反应堆在 815°C 下运行情况良好〔7、8〕。

鈹由于密度小，导热性和熔点都较高，因而可用作释热元件的组份。但由于鈹的可塑性较差且不好加工，因而难于采用。许多研究者认为其原因在于鈹中含有杂质；但即或是最纯的金属试样也不能避免这些缺点。

英国已设计出装有鈹包壳释热元件的高温气冷反应堆；此种元件包壳的最高温度为 600°C 〔9〕。瑞典也设计了装有鈹包壳的释热元件，此种包壳的表面温度可达 530°C 〔10〕。预定在汉特斯顿（Hunterston）原子能发电站采用鈹包壳的释热元件〔11〕。如果以二氧化鈹作芯、用二氧化碳气体冷却的释热元件采用的是管状鈹制包壳，可以使包壳的温度提高到 600°C 〔12〕。

氧化鈹既是耐火材料，同时也用作释热元件的结构材料和用作制造高温核反应堆的反射层或中子减速剂的结构材料。达尼埃里斯反应堆便是应用氧化鈹的典型例子；在游泳池式反应堆〔13〕以及其他类型的反应堆〔14〕中，都是用氧化鈹来作反射层的。为了防止氧化鈹腐蚀，都采用金属复层（例如钼）。

碳化鈹的中子俘获截面小，用它来作核反应堆的减速剂也是很值得注意的。碳化鈹是难溶性材料，可用于高温核反应。碳化鈹的缺点是：在室温下能与水和水蒸汽相互作用，在高温下能与氧和氮相互作用。在液态钠中只是在低于 500°C 的温度下才能使用 BeC_2 。

鈹是轻金属，其弹性模数为铝的 4 倍，比钢大 40%；其强度与比重之比值也比航空钢材及钛基和铝基合金高得多（图 1）。此外，鈹易于切削加工，且加热至 $704-815^\circ\text{C}$ 时其强度不受影响。鈹的上述性质决定了它可以应用于航空工业〔15〕。布拉什鈹

公司已在試制飞机制造用的板材（寬 460 毫米）、块材、拉制无缝管材，并拟生产长 1500 毫米、寬 300—700 毫米、厚 0.5—1.016 和 1.5 毫米的板材〔5,16〕。

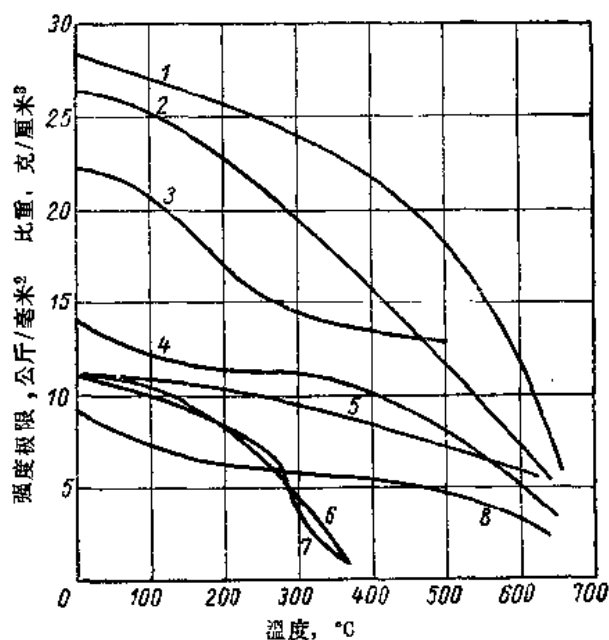


图 1 各种結構材料强度极限和比重之比与試驗溫度間的关系

1—工具鋼；2—热冲压鈹；3—鈦 (6Al—4V)；4—鋼 (16Cr—4Ni—3Mo)；
5—热挤压鈹；6—硬鋁；7—鎂；8—退火鋼 (0.3C—1Cr—0.5Mn)

鈹由于它特殊的热性能和重量輕，因而可用以制造飞机的制动器；因为这种金属能吸收大量的放出热。还拟用鈹来制造导弹的弹头和返回地球大气层的装置。这种弹头已經用粉末冶金法試制成功〔17〕。

目前正在研究用鈹作可控火箭的固体燃料〔5〕。

少量的鈹在 α 粒子照射下可以作为中子源使用。为此可采用鐳、鈾和鐳D；將它們的化合物或载体与鈹或氧化鈹的粉末加以混合；也可以使用鋼、鈷和放射性鈾。最近发现可以采用 PuBe_{13} 。

形态的铍合金作为中子源。由于铍的半衰期长，因而此种合金的中子产额稳定〔18〕。

铍也用作光激中子源。其中应用得最为普遍的是 Sb^{134} 与铍的混合物；也可以采用 Na^{24} 、 Ga^{72} 、 Y^{88} 、 In^{116} 和 La^{140} 作为辐射源。此种中子源是用普通的铍制成，周围为铍制盒，然后在铀反应堆中进行照射，便具有放射性。利用铍中子源，可以在钻进石油井时进行岩层定位，可以进行放射性分析、测定土壤中的水份，进行金属铍的射线照像和开动新的或修复后的铀反应堆〔19〕。铍由于反射光线、特别是紫外线的能力强，因而被用来制造摇动镜和固定镜。

铍可用作熔炼各种合金（青铜、轻合金）时的脱氧剂，往合金中掺加铍的数量为 0.01 到 0.02%，并且在制取金属和合金时可被用作添加剂。此时，在某些情况下合金将具有特殊的物理化学性质，或者只是它们的工艺性质改变而已。熔炼铝基合金时，掺加 0.005% 的铍加成剂可以保护熔体不致氧化，并且有助于细晶化。往镁合金中掺加同样数量的铍，可以提高合金的抗蚀性。已知的还有镍铍合金，铍与铁、铂、金、银、钛、锆、钼等其他一些金属的合金〔20〕。

到目前为止，铍的工业应用的最重要领域还是弥散硬化合金，特别是铜基合金“铍青铜”的生产。铍主要是（1953年——85%）被用来制造这些合金。铜铍合金的优点是抗疲劳性、硬度、抗拉强度都特别高、导电率和导热率高、蠕变性低、放火花性低以及非磁性；此外，耐蚀性、加热稳定性和耐磨性同样都是铜铍合金所具有的优点。铜铍合金广泛应用于汽车制造和飞机制造工业中，以及电气仪表零件、无线电装置、精密装置、轴承、自动传动和化学设备的制造方面。

铍合金也应用于外科器械、金刚石钻阴模、钟表机件和导电弹簧的制造方面〔21〕。

氧化铍是一种化学上稳定的耐火材料。导热率高与电阻大相结合，并加上良好的热稳定性，使得氧化铍被广泛地应用于制造

供熔炼純金属和合金用的坩埚。应用氧化鋇陶瓷制造噴气式发动机是很有希望的〔22,23〕。

用氧化鋇来作电热器的耐热支架、石墨坩埚周围的輻射防护装置、无芯感应炉的衬料和白熾灯的陶瓷覆盖层是有成效的；氧化鋇还可用作特种玻璃的組份和以鋇酸鋇形式作为电子管的除气剂〔24〕。

将氧化鋇作为加入剂（約 2%）掺加到特殊皂石材料中，以提高这种材料的介电性质是值得注意的〔23〕。

已知有采用氟鋇酸钠作制造紫外綫透过率高的玻璃添加剂。鋇及其化合物的应用范围远不止于上面所列举的一些例子。

鋇产品的名目繁多：有各种不同尺寸的鋇珠（卵石）、鋇片、鋇铸件、鋇块、鋇棒、鋇板、薄鋇板、鋇管和鋇圓片；氧化鋇、氢氧化鋇、碳化鋇、氮化鋇、硫酸鋇、氟化鋇、硝酸鋇、氯化鋇和氟鋇酸鋇；鋇銅合金、鋇鎳合金、鋇鋁合金、鋇鋅合金，以及以鋇为合金剂的合金鋼。

目前由于鋇在反应堆制造中的应用，以及由于有可能用鋇来作制造飞机和火箭的結構材料，因而在苏联和其他国家对于鋇更加重視。

在美国純鋇及其化合物的生产已具有一定的規模，美国以前一些生产銅鋇中間合金的公司，也都扩大了純鋇及其化合物的生产。資本主义国家有关鋇产量的資料并不公开发表，不过已知美国有两家主要公司，于 1957 年与美国原子能委员会（AEC）签订了一项合同，規定自 1958 年起在五年內供应 450 吨鋇。这两家公司并于同年改建了它們的工厂，使其生产能力几乎增加了一倍〔25〕。“布拉什鋇业公司”建于埃尔摩城（俄亥俄州）的工厂，已于 1957 年投入生产。該厂每年可生产氢氧化鋇 109 吨，金属鋇 54 吨〔26〕。鋇业公司（Beryllium Cooperation）所属的一个工厂，鋇的年产量已提高到 45 吨〔27〕。位于哈柴頓市（宾夕法尼亚州）的炼鋇工厂也投入了生产〔28〕。

英国的帝国化学股份有限公司（Imperial Chemical Limited）

預定在 1959 年底使年产量达 7 吨的鉍試驗工厂投入生产。印度正在計划建設年产量約 15 吨的核純氧化鉍的大型試驗工厂〔29〕。

根据初步資料，1957 年单是 美国就輸入了 7000 吨以上的綠柱石，并开采了約 575 吨，这便超过了 1957 年 5000 吨的綠柱石需求量（1956 年为 4400 吨）。自其他国家 运入美国的綠柱石供应量的資料如表 1 所示〔5〕。

表 1 美国的綠柱石采购量，短吨

产 地	1955年	1956年	1957年 ^①
阿根廷	441	2330	1544
刚果（利）	128	992	222
巴西	1735	2607	2165
东非洲	84	264	56
馬尔加什	28	212	43
印度	845	3360	1258
莫三鼻給	620	1110	965
葡萄牙	283	242	33
罗得西亚、新西兰	861	559	266
南非	994	602	670
美国	500	460	575
巴基斯坦、尼日利亚、摩洛哥、索馬里等	18	93	69
总 計	6537	12831	7864

① 初步資料。

历年的世界綠柱石开采量（不包括苏联）为（短吨）〔21,25〕：

1936年	480
1943年	6000
1950年	7300
1951年	7200
1955年	8700
1956年	14000

参 考 文 献

[1] Бериллий и его сплавы. Сборник переводов под ред. Бочвара А.М. и Трапезникова А.К.М., ГНТИ, 1931.

[2] Спицын Вият. И. «Редкие металлы», № 5, 12 (1933).

[3] The Metal Beryllium. ASFM, Cleveland, Ohio, 1955.

[4] Pahler R.E. Metal Progr., 65(4), 86 (1954).

[5] Mining World, 20, № 5, 71(1958).

[6] Красин А.К. и др. В кн.: «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1958. Доклады советских ученых. Т. III—Ядерное горючее и реакторные металлы». М., Атомиздат, 1959.

[7] Доклад № 448, представленный США на Вторую международную конференцию по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1958.

[8] Мак-Ферсон Х. и др. В кн.: «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1958. Избранные доклады иностранных ученых. Т. IV—Ядерные реакторы и ядерная энергетика». М., Атомиздат, 1959.

[9] Мур Р. и др. Там же.

[10] Доклад № 2419, представленный Швецией на Вторую международную конференцию по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1958.

[11] Доклад № 1523, представленный Великобританией на Вторую международную конференцию по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1958.

[12] Доклад № 318, представленный Великобританией на Вторую международную конференцию по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1958.

[13] Лоял Р.Е., Шофилд Х.З. Окись бериллия. В кн.: «Ядерные реакторы. Т. 3—Материалы для ядерных реакто-

ров». М., Изд-во иностр. лит., 1956.

[14] Доклад № 1945, представленный Индией на Вторую международную конференцию по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1958.

[15] Mining J., **251**, 6420, **253** (1958).

[16] Iron Age, **181**, № 3, 44 (1958).

[17] Metal Progr., **74**, № 4, 96 (1958).

[18] Доклад № 700, представленный США на Вторую международную конференцию по мирному использованию атомной энергии. Женева, 1958.

[19] Bull. № 51, Atomic Energy of Canada (1958).

[20] Richards J.J. Metals, **3** (5), 379 (1951).

[21] Clemmons B., Browning J.S.J. Metals, **5**, 11 (1953).

[22] Norton F.J. Amer. Ceram. Soc., 30(8), 242 (1945).

[23] Am. Pat. 2154131, 1937.

[24] Engng and Mining J., **158**, № 2, 102 (1957).

[25] Chem. Engng News, **35**, № 48, 24 (1957).

[26] Iron Age, **180**, № 6, 45 (1957).

[27] Mod. Metals, **14**, № 7, 76 (1958).

[28] Chem. Age, **81**, № 2068 (1959).

[29] British Chem. Engng, **3**, № 8, 452 (1958).

第二章 金属铍的性质

1. 铍的化学性质和物理性质

铍在元素周期系中属于第Ⅱ族（第2周期）的主族。镁、钙、锶、钡也属此族。铍原子的电子按两个能级分布。全族的特点是在价电子轨道上具有两个电子。随着原子半径由铍到钡的增加，本族元素的化学性质便呈现出它们所特有的变化。

铍在周期系中位于金属锂和非金属硼之间，它兼有金属性质和非金属性质。就化学性质而言，铍介于镁和铝二者之间的中间地位。

铍是最轻金属中的一种；致密金属呈淡灰色，粉末则呈暗灰色。经过抛光的铍，在室温下的空气中会稍为发暗；此时所生成的氧化物薄膜可以防止进一步反应。在赤热温度下，铍受空气中的氧气氧化的过程会加快。

纯铍在热水和冷水中都很稳定，不致腐蚀。氢与铍不直接发生反应，但是已经确定，由于水分解而析出的氢，有可能成为铍锭质量不良的因素 [1]。

在稍高于熔点的温度下，铍活泼地与碳相互作用而生成碳化铍 Be_2C 。已知有铍的乙炔化物 BeC_2 。铍也和硅、磷及砷发生反应而生成硅化物、磷化物及砷化物。铍与氮在 900°C 的温度下相互作用。粉末铍在 1000°C 下与氮的反应更加活泼，生成氮化铍 Be_3N_2 ；铍在 800°C 温度下与氰 $(\text{CN})_2$ 很快地相互作用，也生成氮化物。

铍易溶于冷的稀硝酸和热的浓硝酸中，不过由于在表面上形成氧化物薄膜，因而对冷的浓硝酸稳定。铍能溶解于任何浓度的盐酸和硫酸中，并可与浓碱液和热的稀碱液发生相互作用，但不

与氨的水溶液起反应。

用铍可将熔融碱还原为金属，并且反应一直进行到平衡为止。用铍可以还原氧化镁、氧化银、氧化铝，在同样条件下氧化钙则不还原。铍在轻度加热的情况下，便可以与卤素发生相互作用。

本章根据目前已有的可靠文献资料列出铍的一些最主要物理常数和化学常数。表2所列铍的物理常数。

表 2 铍的物理常数

原子序数	4
原子量	9.013±0.004
原子体积 (25°C时)	4.877厘米 ³ /克分子
密度 (根据X射线照相数据), 克/厘米 ³ , 25°C时	1.8477±0.0007
1000°C时	1.756
熔点	1283°C
沸点	2970°C
熔化热	2335卡/分子
汽化热	53490卡/分子
升华热 (900—1280°C)	76560卡/分子
蒸汽压力 (900—1280°C [2])	
$\lg P_{\text{大气压}} = 6.186 + 1.454 \times 10^{-4} T - \frac{16700}{T^{\circ}\text{K}}$	
同素异晶转变	在 1250°C 以下未发现 有转变迹象

比热 (20—200°C)

T, °C	卡/克·度
-200	0.02
0	0.42
200	0.57
400	0.64
600	0.69
800	0.74

导热系数 卡/秒·厘米·度

$T, ^\circ\text{C}$	真空浇铸挤压铍	挤压电解铍
0	0.36 ^①	0.355 ^①
200	0.32	0.305
400	0.28	0.26
600	0.24	0.21

① 根据外推法获得的数据。

熵 卡/克分子·度^[3]

冷凝铍, 25°C时	2.28±0.02
铍蒸气, 25°C时	32.56±0.01

热 函 ($H_t - H_0^\circ$)^[4]

$T, ^\circ\text{C}$	卡/克
94.0	42.66
298.3	158.32
497.8	286.38
699.7	426.06
896.4	572.22

热膨胀系数, 每 1°C (平均值)^[5]

$T, ^\circ\text{C}$	$\alpha \cdot 10^{-6}$
25—100	11.54
25—200	13.46
25—300	14.44
25—400	15.24
25—500	15.95
25—700	17.23
25—1000	18.77
凝固时的收缩 [1]	3.0%

电导率占退火铜标准数值的%

热压真空浇铸铍	38.1
挤压真空浇铸铍	42.3

比 电 阻^[6]

$T, ^\circ\text{C}$	微欧·厘米
0	4.0
100	6.5
500	18.0
600	22.0
800	31.0
离子半径	$0.38 \text{ \AA}$
电化当量	0.04674毫克/库伦
电解溶解电位	(26.8克/安·时)
Re/Be ⁺⁺	-1.9伏
电子逸出功	3.92电子伏

热电势 (与铂连接)^[6]

$T, ^\circ\text{C}$	微伏/度
400	9.4
600	13.8
800	18.0

质量磁化系数, CGS 制电磁单位^[1, 7]

-180°C	-0.72
+ 20	-1.00
+300	-1.20
霍尔系数, CGS 制电磁单位 [1, 7]	0.6024 ± 0.0001
反射率 (8), %	
对于白色	52—55
对于紫外 (线) 颜色	55

辐 射 系 数^[9]

5500 μX 时 (固态)	0.61
6500 μX 时 (固态)	0.61
5500 μX 时 (2200°C以下液态)	0.81
6500 μX 时 (2200°C以下液态)	0.61
声波传播速度	12600米/秒
原子半径	$1.123 \text{ \AA}$
配位数	12

结晶组织 铍具有晶轴比非常小的密集六方晶格。为了测量铍的晶格周期,曾作了許多研究^[10-15]。根据研究資料^[11,13,14],铍的晶格常数最可靠的数值为:

$$a=2.2858\text{\AA}, c=3.5842\text{\AA} \text{ 和 } c/a=1.5680.$$

铍的晶格参数与温度之間的关系如图 2 所示^[16]。許多研究者^[10, 17]証实,在接近 750°C 温度下,铍能发生相变。不过根据考福曼 (Kaufmann) ^[14] 所作 X 射綫照相研究可得出如下結論,即在 1000°C 以下时,铍晶格并不发生任何变化;从 $800-680^{\circ}\text{C}$ 温度之間的冷却曲綫和金属的显微结构,可以使这些資料得到証实。

1950 年西德秋 (Sidchy S.) 和亨利 (Henry C.) ^[18] 曾报导,铍可能出现同素异晶轉化,不过謝伯特 (Seybolt A.)、魯凱什 (Lukesh J.) 和怀特 (White D.) ^[19] 則认为, X 射綫照片之所以出現 β 变种綫条,是由于存在氧化铍的緣故。

密度 根据上述晶格参数計算出来的铍的理論密度列于表 2。用不同方法所得的铍的密度介于 $1.79-1.86$ 之間^[7,12,20]。

熔点及沸点 由于研究者所掌握的铍純度各有不同,文献中所列金属铍的熔点的数值是在 $1280-1350^{\circ}\text{C}$ 之間变动^[1,21,22]。在以后的一些研究中,所得熔点的数值介于 $1280-1285^{\circ}\text{C}$ 之間,應該认为这是最精确的了^[7,23]。

直接測定沸点有許多的困难。鮑烏尔 (Bauer E.) 和布伦涅尔 (Brunner R.) ^[24] 推导出在任一温度下的蒸气压力的公式如

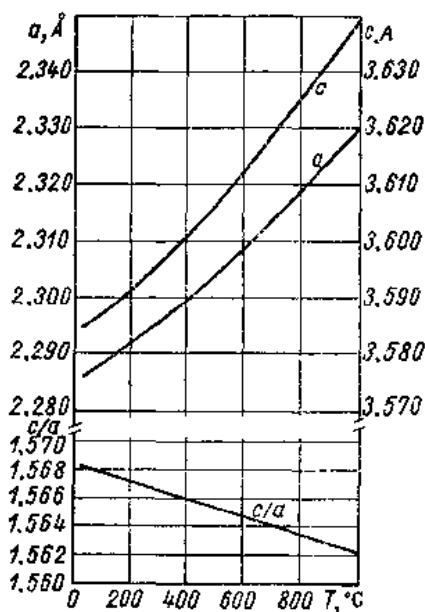


图 2 温度对铍晶格参数 (a 和 c) 的影响