

液体钾、钠及其合金 NaK 的密度

刘 春 賢

(西北大学物理系)

提 要

我们用膨胀计方法,在温度 0—300℃ 的范围内,测定了液体金属钠、钾以及它们的合金 NaK 三种样品的密度.所用金属的纯度约在三个九以上.结果表明,所测液体金属及其合金的密度可作为温度的线性函数来表示,但 NaK 合金的 (d, t) 直线在接近冰点地方偏离直线上翘.

一、引 言

液体金属或合金的密度测定,在了解液体结构上以及在工业应用上,都有一定的意义.近年来由于某些反应堆采用 NaK 合金作为载热剂,以致人们对液体钾、钠以及它们的合金的密度测定,发生了较大兴趣,感到迫切需要.同时,这种测定在理论上以及在其它性质的研究上,例如它们的粘滞性研究,都是十分需要的.

测定液体钾、钠的密度最早的人是 Hagen,其后也有数人从事这一工作.但是,由于碱金属的处理麻烦,彼此所得结果分歧颇大.通常采用是 Hagen 的数据,它和近来 Novikov^[1] 的测定符合还好.至于合金 NaK 的密度,只有 Ewing^[2] 和 Jackson 曾在十多年前进行过测定.他们发现,若钾、钠的密度采用 Hagen 数据,则合金的密度可由下式算出:

$$V = M_{\text{Na}}V_{\text{Na}} + M_{\text{K}}V_{\text{K}}, \quad (1)$$

式中 V , V_{K} , V_{Na} , 分别代表合金 NaK, 钾、钠的比容,而 M_{K} , M_{Na} 代表钾和钠在合金中的摩尔比.

鉴于钾、钠密度测量上的分歧,以及该合金测量上的某些不足,所以我们用膨胀“温度计”方法,特别注意金属的纯净并在比较可靠的条件下,测定了液体钾、钠以及三种 NaK 合金的密度,其温度范围在它们的熔点附近到 300℃ 左右.

二、测 量

碱金属的化学性质极为活泼,不便用一般方法来测量它们的密度.所以我们制作了若干类似水银温度计的膨胀计,于真空中分别装入一定质量的待测样品.使用时,直接读出不同温度下的体积,其对应的密度便可得出.

我们的膨胀计是用硬玻璃吹制的,毛细管直径约在 1.5mm 左右,球泡体积约 8cc. 在正式测量之前,有两项工作要做.(1) 我们用蒸馏纯净的水银灌入膨胀计,在几个不同温度下测出水银的视膨胀,再由已知的水银膨胀系数算出玻璃的膨胀系数,其平均值为 $\bar{\alpha}_g = 1.80 \times 10^{-5} \text{度}^{-1}$. (2) 为了检验这种方法的可靠程度,我们用所做的膨胀计测量水

* 1965 年 12 月 22 日收到.

的密度。我们从室温测到 50 多度, 得到八、九个数据, 来同水的标准值相比较。我们发现, 每根膨胀计的结果表明, 最大的偏差不超过 0.03%, 一般在 0.01% 上下。这一结果可说是相当满意的。

其次是温度的控制与测量。依照测量所涉及的温度范围, 我们用水恒温器、蒸汽发生器和管状电炉来获得稳定的温度。用水恒温器可以得到从室温到 65℃ 的恒定温度; 在蒸汽发生器中装入水或乙二醇或甘油等, 在适当的压力下沸腾, 能获得 65℃ 至 250℃ 之间的一些比较恒定的温度; 调节电炉的电压, 不难得到高于 250℃ 以上比较稳定的温度。低于冰点或室温的温度是分别用冰盐混合物或由稍高于零度的水的温度缓慢升高而实现的。由于水浴温度升高速度很慢, 可以用插值法估计样品的温度。

我们所用的是一支铂温度计, 经过标定校正, 在 300℃ 时它同标准铂温度计比较, 相差不超过 0.1℃。

正式测量很简单, 其装置也不复杂。实际上, 只要固定膨胀计于恒温器中, 用测高计读出不同温度下液体在毛细管内的膨胀高度, 然后算出它的视体积, 修正为真体积, 就得到液体在各种温度下的密度。

不同温度范围的实验装置是大同小异的, 其共同特点是: 膨胀计铅直地固定在恒温器中; 膨胀计的球泡同温度计的铂线圈紧密靠近, 二者在同一高度, 如图 1 所示。膨胀计 A 与温度计 B 由两块挖空的铝块夹紧, 并通过吊杆 C 上的螺帽 D 而固定于顶盖 E 上。这一装置安放在恒温器中, 或蒸汽发生器的腔中, 或电炉的腔中, 顶盖 E 用三个螺丝水平地固定于恒温器的盖板上面。更动螺帽 D 的位置并抽动吊标 C 可以调整铝块到适当的高度, 让毛细管中液面恰好露出以便观察。由于铝块导热好而且轻便, 温度易于稳定, 而温度计所测温度可以深信就是液体的温度。膨胀计上刻有

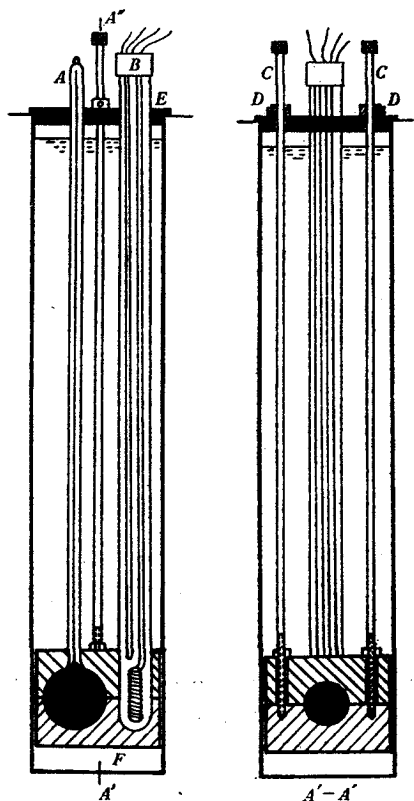


图 1

十条线纹, 间距约 2 厘米。所以观察时, 只需测出液面离最近刻线的距离就行了。毛细管中液柱上下难免有微小的温度差异, 但是由于毛细管整个体积仅占球泡体积的 5% 左右, 微小的温度梯度不会引起显著的影响, 可以不需考虑。

三、钾、钠的蒸馏, 合金的配制及其灌注¹⁾

1. 蒸馏

市场上出售的金属钾、钠虽则纯度不低, 约在三个九以上, 但因长时期浸于火油中, 受

1) 此项工作与平一梅、田荫堂共同进行。

到油污及其它感染。所以在蒸馏前, 必须进行除油和去皮。大体程序是: 用清洁干布擦去金属块表面油污, 投入苯内泡若干时, 取出去皮, 然后放在干燥器中抽气几小时, 让油同苯蒸发干净。蒸馏前第二预备工作是过滤, 其目的在除去金属表面的氧化物。我们的装置如图 2 所示。先抽空(约 10^{-3} mm Hg), 用喷灯加热玻璃管 L 的底部, 并预热毛细管。片刻之后, 熔化的金属经过玻璃珠、毛细管而流入容器 D 。此时 D 中的金属已很干净, 绝大部分的氧化物已经滤掉了。为了除掉可能有的残余油污, 我们对滤下的金属加热, 使它接近沸腾, 并同时加热安瓿 Q 。这样, 抽气一刻钟, 然后把液体倒入安瓿 Q 中, 在它上端烧结, 取下以备蒸馏之用。

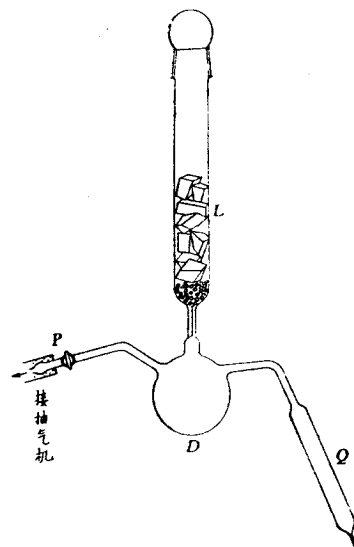


图 2

钾、钠蒸馏的装置如图 3 所示。首先将内装滤过的钾或钠的安瓿 Q 的毛细尖端打开, 插入管子 M 中, 随即抽空。因为毛细尖端内是凝固的金属, 打开时空气不能进入 Q , 而尖端上一点氧化物是微不足道的。用喷灯对 M 加热后, 熔化的金属流入蒸馏瓶 F 中。 F 之下有一个半球形电炉, 蒸馏温度维持在 300°C 左右, 而真空度约在 10^{-5} mm Hg 以下。在蒸馏过程中要不断地用喷灯加热接管, 以免被凝固的金属堵住。我们从蒸馏到安瓿 a, b, c, d 中的液体体积可以估计瓶中所获得的量, 达到所要求就把瓶子烧结取下。

2. 合金的配制

配制合金的系统也是用硬玻璃制成的, 整个装置由图 4 可

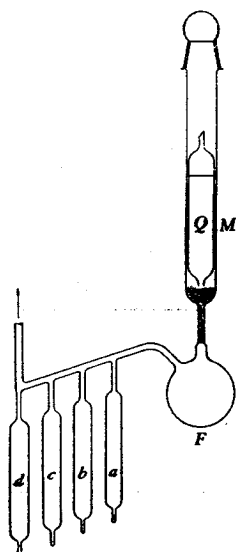


图 3

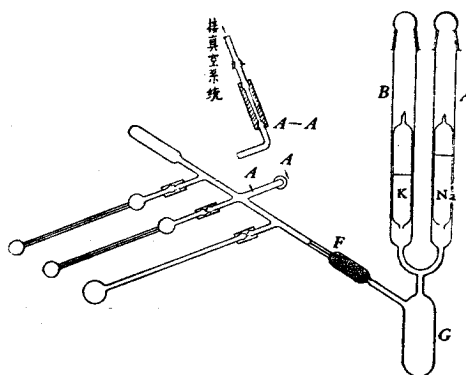


图 4

一目了然。先将两个盛有适当质量的蒸馏过的钾和钠的安瓿, 打去尖端, 分别插入 A, B 管中。抽气到 10^{-5} mmHg 以下后, 加热管子 A 和 B , 让熔化的钾和钠流入盛器 G 中而配成合金。然后将系统绕中心轴转动, 使合金倾入备用的各器皿中。

由于各个金属安瓿的总重量是准确知道的, 配制后, 减去空瓶同打去尖端的重量, 就能算出所配合金的重量百分比。我们一共配制了三种样品, 其中钾的百分比为 49.55,

51.18, 74.47.

要特别指出的是,为了确切知道流入膨胀计中的合金质量,我们不能把膨胀计直接同系统焊接。我们将秤过的膨胀计用真空橡皮管同系统接起来,特别留心让膨胀计的上端管子恰好套接着系统上的支管(见图4),使金属流过时不致碰到橡皮管。在灌注金属钾、钠时,由于它们在室温下是固体,我们不能采取上述方法,我们只能对每根膨胀计分开灌注并设法求出其中所含的金属质量。

每根膨胀计杆子上端都备有一个小球泡(见图4),用来调节膨胀计的容量,够多的金属可摔在上端泡内而烧结拉掉。我们对于每一样品都灌了两根膨胀计,一根装料较高,用于低温;一根装料较低,用于高温。

四、实验结果及讨论

我们在0—300℃的温度范围内,采用真空膨胀计方法,测定了液体钾和钠以及三种合金NaK样品的密度,所得实验数据和几种经验计算如表1—5所列。

表1 液体钾的密度

膨胀计 序号	质 量 m (g)	温 度 t (°C)	体 积 V (cm ³)	实 验 值 d_K (g/cm ³)	计算值 d'_K (g/cm ³)
10	6.6578	65.06	8.0233	0.8298	0.8272
		75.85	.0495	.8271	.8257
		99.14	.0993	.8220	.8205
		114.30	.1415	.8178	.8171
		124.50	.1643	.8155	.8148
		140.90	.2031	.8116	.8111
		177.20	.2875	.8033	.8030
11	6.1249	218.60	7.7349	0.7919	0.7037
		245.80	.7924	.7860	.7876
		280.60	.8727	.7780	.7798
		315.90	.9535	.7701	.7719

表2 液体钠的密度

膨胀计 序号	质 量 m (g)	温 度 t (°C)	体 积 V (cm ³)	实 验 值 d_{Na} (g/cm ³)	计算值 d'_{Na} (g/cm ³)
12	3.2741	99.18	3.5149	0.9315	0.9335
		122.80	.5353	.9261	.9275
		141.50	.5509	.9220	.9227
		164.50	.5786	.9149	.9169
		196.90	.6087	.9037	.9087
13	7.6471	231.60	8.4955	0.9001	0.8998
		251.60	.5272	.8968	.8947
		279.20	.5883	.8904	.8877
		302.80	.6479	.8843	.8817

表 3 合金 NaK 1 (K 49.55%) 的密度

序 号	质 量 m (g)	温 度 t (°C)	体 积 V (cm ³)	实验值 d (g/cm ³)	计算值 d_1 (g/cm ³)	计算值 d_2 (g/cm ³)	计算值 d_3 (g/cm ³)
4	8.7938	9.94	9.6961	0.9069	0.9103	0.8950	0.9045
		11.18	.7003	.9065	.9100	.8951	.9040
		12.74	.7062	.9060	.9096	.8947	.9035
		14.81	.7141	.9053	.9091	.8941	.9029
		22.12	.7396	.9029	.9074	.8930	.9017
		31.48	.7649	.8995	.9050	.8900	.8986
		41.61	.7929	.8980	.9026	.8875	.8960
		50.87	.8188	.8956	.9004	.8855	.8939
		60.04	.8431	.8934	.8982	.8834	.8916
		74.04	.8806	.8900	.8948	.8801	.8882
		86.19	.9000	.8883	.8918	.8771	.8850
		99.37	.9500	.8838	.8885	.8738	.8816
		128.70	10.0351	.8764	.8815	.8669	.8743
5	8.7946	162.30	10.1411	.8672	.8733	.8589	.8659
		189.90	.2223	.8604	.8665	.8520	.8587
		245.90	.3756	.8476	.8527	.8385	.8445
		287.90	.4982	.8377	.8429	.8289	.8344
		315.30	.5894	.8305	.8363	.8225	.8277

d_1 是由公式(1)算出的, d_2 是由公式(1)换用质量比率算出的, d_3 是按公式(4)算出的。

表 4 合金 NaK 2 (K 51.18%) 的密度

序 号	质 量 m (g)	温 度 t (°C)	体 积 V (cm ³)	实验值 d (g/cm ³)	计算值 d_1 (g/cm ³)	计算值 d_2 (g/cm ³)	计算值 d_3 (g/cm ³)
8	6.6313	9.94	7.3485	0.9024	0.9085	0.8933	0.9021
		11.18	.3506	.9021	.9082	.8929	.9017
		12.74	.3544	.9017	.9078	.8925	.9013
		14.96	.3588	.9011	.9072	.8920	.9008
		20.90	.3740	.8993	.9063	.8906	.8993
		29.97	.3933	.8969	.9037	.8885	.8970
		41.35	.4172	.8940	.9009	.8858	.8943
		50.04	.4328	.8922	.8988	.8837	.8921
		63.64	.4652	.8883	.8955	.8804	.8886
		73.63	.4832	.8862	.8931	.8781	.8862
		86.18	.5093	.8831	.8900	.8751	.8831
		99.29	.5365	.8799	.8868	.8720	.8798
		129.40	.6017	.8723	.8796	.8648	.8722
9	3.6547	164.00	4.2249	.8650	.8712	.8566	.8636
		193.30	.2651	.8569	.8641	.8496	.8562
		237.90	.3176	.8465	.8533	.8390	.8451
		265.80	.3588	.8385	.8467	.8324	.8382
		309.80	.4098	.8288	.8359	.8219	.8271

表 5 合金 NaK 3 (K 74.47%) 的密度

序 号	质 量 m (g)	温 度 t (°C)	体 积 V (cm ³)	实验值 d (g/cm ³)	计算值 d_1 (g/cm ³)	计算值 d_2 (g/cm ³)	计算值 d_3 (g/cm ³)
6	6.8166	-9.66	7.7396	0.8807	0.8843	0.8718	0.8816
		-8.62	.7451	.8801	.8840	.8715	.8803
		-7.10	.7500	.8796	.8837	.8712	.8800
		-5.32	.7557	.8789	.8833	.8708	.8796
		-3.56	.7603	.8784	.8828	.8704	.8791
		0	.7733	.8769	.8820	.8696	.8783
		3.97	.7803	.8761	.8811	.8686	.8773
		14.63	.8026	.8736	.8786	.8662	.8747
		19.22	.8172	.8720	.8775	.8651	.8736
		28.83	.8378	.8697	.8752	.8629	.8713
		41.14	.8658	.8666	.8724	.8601	.8683
		52.08	.8908	.8639	.8698	.8575	.8656
		67.54	.9253	.8601	.8663	.8540	.8619
		73.94	.9368	.8558	.8618	.8496	.8573
		99.37	.9950	.8526	.8587	.8466	.8541
		128.40	8.0638	.8453	.8519	.8399	.8470
7	9.1461	163.10	10.9329	.8366	.8438	.8319	.8386
		189.10	11.0120	.8306	.8377	.8259	.8323
		246.50	.1906	.8173	.8240	.8112	.8169
		280.10	.2701	.8115	.8163	.8048	.8101
		314.60	.4080	.8017	.8089	.7973	.8022

液体钾、钠的密度同温度的关系如图 5 所示。图中虚线代表我们的实验值,实线代表一般所采用的数值,二者最大的偏差对于钠为 0.5%,对于钾为 0.4%。同时,根据实验数据,我们算出钾、钠的密度分别可由以下两式来表示:

$$d_K = 0.8427 - 2.240 \times 10^{-4}t, \quad (2)$$

$$d_{Na} = 0.9587 - 2.544 \times 10^{-4}t \quad (2a)$$

(t 为摄氏温度)。用上两式计算的结果与实验值相比,其中最大的偏差为 0.3%。

我们关于钾、钠密度的结果,虽则同一般采用值有微小出入,但可能是比较可靠的,因

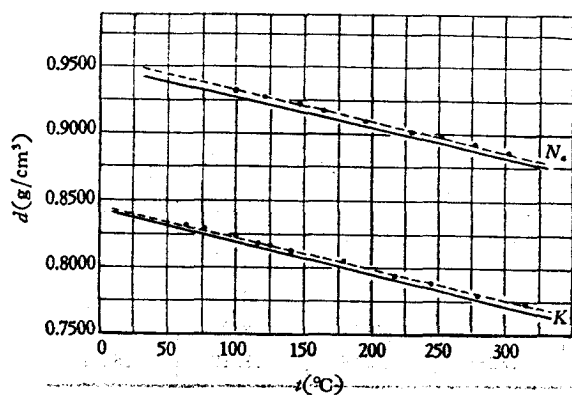


图 5

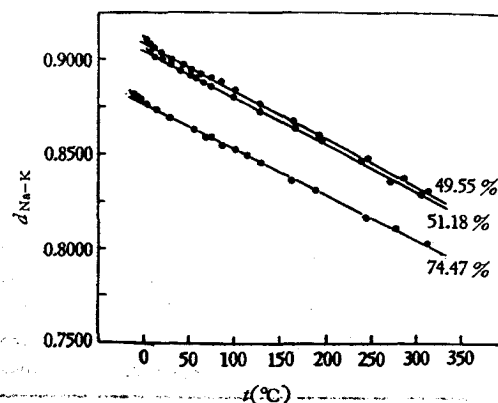


图 6

为所用方法容易得到较高精确度,所用样品的纯度也比较高,并且在用水作校正时所得结果也相当满意。

图 6 绘出了三种 NaK 合金的密度和温度的实验曲线。由图可以看出如下几点有趣的现象: 1) 所绘 (d, t) 曲线, 除接近合金冰点的部分外, 是很好的直线, 离冰点约十多度时, 各样品的密度直线就开始上翘, 达到百分之一以上的偏差; 2) 不同组分的合金的 (d, t) 线近似地互相平行; 3) 合金中 K 的含量愈高则它的 (d, t) 线愈靠下。从这些现象看来, 我们似乎可以说, 在冰点邻近, 纯金属的行为(例如钾或钠)同合金有所不同, 后者可能有异常的变化发生。

我们发现这三种合金样品的密度可分别由如下三个公式来表示:

$$\left. \begin{array}{ll} \text{K 49.55\%:} & d = 0.9081 - 2.437 \times 10^{-4}t, \\ \text{K 51.18\%:} & d = 0.9045 - 2.456 \times 10^{-4}t, \\ \text{K 74.47\%:} & d = 0.8770 - 2.413 \times 10^{-4}t. \end{array} \right\} \quad (3)$$

其次, 如果把实验值与由公式(1)的计算值 d_1 比较, 便会发现前者均比后者小, 其最大偏差不超过百分之一。这一结果与 Ewing 等人的结果完全一致。所以我们可以说, 以模尔比率计算合金密度的公式(1), 忽略了一个影响虽然不大, 但作用恒定的因素。公式(1)只是一个近似的经验公式。

另一方面, 我们也作了用质量比率计算合金密度的尝试。令由这样算出的密度为 d_2 。我们发现 d_2 也比实验值小些, 但它们的差值随温度的增高而减小。因此, 我们引进温度作参量而得到下式:

$$d_3 = d_2 + \frac{(d_2)'}{100} - 1.20 \times 10^{-5}t, \quad (4)$$

式中 $(d_2)'$ 是用质量比率所算出在 0°C 时的密度。这样算出的密度 d_3 同实验值符合要好一些, 其最大的偏差约为 0.3%。

最后, 我在此向敬爱的党对我的教育培养表示衷心的感谢。指导教师江仁寿教授在工作进行中热心帮助, 亦在此表示谢意。

参 考 文 献

- [1] Novekov 等, 原子能, 2(1957), 92—106.
- [2] Ewing *et al.*, NRL Rpt. C-3287; Jackson, Liquid Metals Handbook (1955), p. 26, 32.

THE DENSITIES OF LIQUID SODIUM, POTASium, AND THEIR ALLOY NaK

LIU C. S.

(Department of Physics, Northwestern University)

ABSTRACT

The densities of liquid sodium, potassium, and their alloy NaK have been measured, in the temperature range 0—300°C, by the dilatometer method, special attention being paid to temperature control and to the purification of the metals. It is found that the density of the liquid metals Na and K can all be adequately expressed as a linear relation with the temperature, though our values are slightly higher than those given by Hagen. In the case of the liquid alloy, the three samples (K: 49%, 51%, 74%) give also almost parallel straight lines, but with the exception that as the temperature approaches the melting point of the alloy, the density shows quite systematical deviations, probably indicating some structural change in the alloy even long before freezing.