

一个经济实用的高温淬火炉

中国地质科学院地质研究所 李德兴 梁祥济 张仲明

在高温高压成岩成矿实验过程中所使用的炉子类型很多，构成炉子的保温材料亦不一样。但就电热元件来说，目前应用最广的一般在1000℃以下采用镍铬、镍铝丝绕在炉膛外壁斜槽内，而在1000℃以上则用铂丝作为加热体。要做岩石熔融实验通常用后一种。用铂丝制作的高温淬火炉，固然有其优点，但是关键的问题是造价昂贵，仅一个炉体，价值近万元（国产品），而且铂丝长期在高温下易挥发，并会产生结晶作用，使其性能下降。我们为了进行有关岩浆岩，火山岩和变质岩的熔融实验，在参观学习武汉地质学院北京研究生部工艺岩石和实验岩石学实验室等兄弟单位经验的基础上，试制了一个经济的高温淬火炉，通过调试，测定和实验，其结果是良好的。

一、炉子的结构构造^[1,2]

高温淬火炉可分炉体、支架体和淬火池三部分。

1. 炉体：由石英管、硅碳管、超轻质泡沫砖、陶瓷棉、炉壳、支撑管和导电夹组成（图1）。炉体外径为238mm，长375mm，炉膛内径为45mm，恒温区位于炉膛中部，长200mm。

炉体以硅碳管作电热元件，以耐高温的1Cr18Ni9Ti不锈钢作炉壳，两者之间用超轻质泡沫砖充填作隔热保温层。为了提高炉子的保温性能，在炉壳和泡沫砖之间，及泡沫砖的缝隙中充填塞实高温陶瓷棉。与炉体外缘连成一体的二个支撑管，设有手拧固定螺栓，把支撑管安在支架体的二根钢管上便于上下移动，调节合适的工作位置。导电夹子系耐高温的不锈钢制作，固定于硅碳管两端，以便连接电线，给炉子供电。

2. 支架体：由两根圆钢管固定在下部工作台上。工作台面面积为20000mm²，高400mm。支架即是支撑炉体直立安放，又是调节炉体上下移动的轨道。工作台可在实验时安放器皿和用具，其下部是一个能开门的小柜，可放工具和材料。支架圆钢柱上有安装热电偶的固偶架，可上下调节热电偶在炉膛中的位置。固偶架上设有吊样孔，坩埚等盛样器皿系吊此孔上安放于炉膛中部。支架体底板下部按装有四个小脚轮，底板上设有四个活动的固定螺丝，便于在使用过程中移动炉子到需要的位置，放下固定螺钉稳定。

3. 淬火池：淬火池位于炉膛中部正下方，穿过工作台面。淬火池平面为圆形，它在工作台面板上的直径为150mm。可用150mm外径的铝制小桶安放于其中，也可用铝制小盆代替。平时不用时，有一圆盖盖严。

炉子总体形式如图2所示。

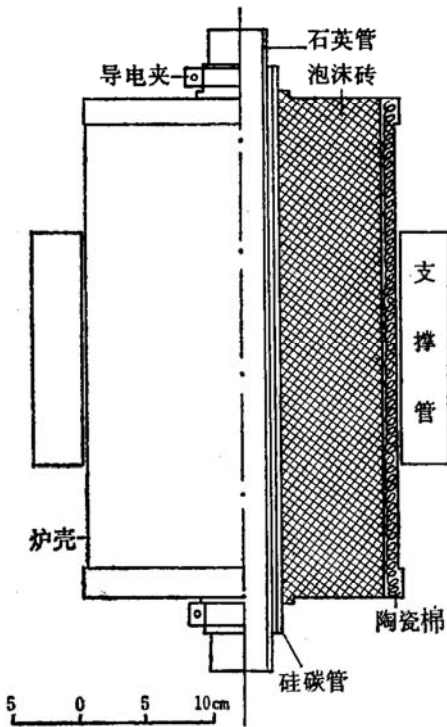


图1 高温淬火炉炉体结构剖面图

Fig. 1 The sectional diagram showing the texture of the quenching furnace body of high temperature

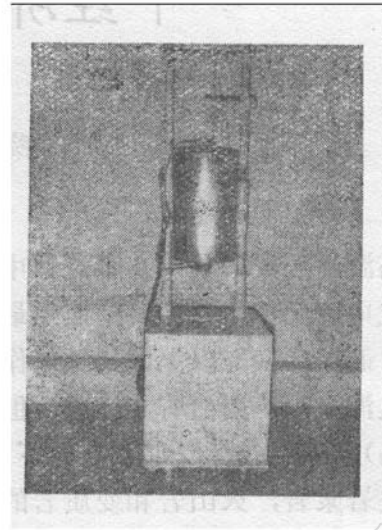


图2 高温淬火炉整体

Fig. 2 The photograph showing a complete set of the quenching furnace of high temperature

二、炉子的技术性能

据调试和检测，高温淬火炉使用最高温度可达1350℃，常用温度到1250℃。炉膛内恒温区长200mm，温差梯度小（ $\leq \pm 0.5^\circ\text{C}$ ），升温快，发热均匀。启动功率2kw，恒温时的功率 $\leq 1\text{kw}$ 。升温达到1200℃时，内壳温度 $< 70^\circ\text{C}$ ，保温性能较好。抗氧化，实验时可以不用附加保护气氛。高温淬火炉的这些技术特点是构成炉子各部件材料的物理化学性质所决定的。

1. 硅碳管：我们采用单螺纹外径55mm，内径45mm，加热部分长200mm，两头冷端长125mm的硅碳管作为电热元件，也是组成炉膛的主要部件。它以高纯度的硅碳为主要原料，经高温再结晶制成。估计使用最高温度为1600℃，正常使用温度为 $1400^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ 。它耐热冲击，抗急冷急热，在常压常温下不变形，在高温的空气中难以氧化。

2. 超轻质泡沫砖：主要成分为70—90%的 Al_2O_3 。它具有体积密度小（0.0004—0.0013 kg/m^3 ），膨胀系数小，导热系数小而耐压强度大，绝热性能好之特点。使用温度最高达1350℃，用它作炉衬和绝热层是较合适的。当然最理想的是高纯 Al_2O_3 的超轻质泡沫砖（ $\text{Al}_2\text{O}_3 > 90\%$ ），它的最高使用温度达1500℃。

3. 陶瓷棉^①：其化学成分中 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$ 占99%（其中 Al_2O_3 占60%）， Fe_2O_3 小于0.3%，容量130—220 $\pm 15\text{kg}/\text{m}^3$ ；渣球含量 $> 0.5\text{mm}$ 的小于15%；加热线性收缩，到1400℃时小于4%；含水率小于0.5%；最高使用温度为1400℃。用该陶瓷棉充填泡沫砖和炉壳之间和泡

① 引自河北省唐山市第十瓷厂有关资料（1978）。

沫砖缝隙之间,提高了炉子隔热保温的性能。

三、炉子的有关功率参数的测量和计算

高温淬火炉的使用功率取决于炉子的保温条件、几何尺寸和所需要的温度。

为了确定高温淬火炉的功率,电流强度和电阻的大小,我们对炉子进行调试和检测。同时系统测定了温度和电压关系值(表1),并且通过下列公式计算电的功率,电流强度和电阻值。

表1 实测高温淬火炉的温度和电压值

Table 1 The temperature and voltage values measured on the quenching furnace of high temperature

实测温度 (T℃)	340	450	550	650	770	880	980	1080	1190
实测电压 (V)	20	22	25	28	34	38	43	47	53

先计算硅碳管发热部单位面积所承受功率负荷(δ),其公式是:

$$\delta = 5 \left[\left(\frac{T_1}{1000} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{1000} \right)^4 \right] \text{w/cm}^2 \quad (1)$$

式中 T_1 ——硅碳管内表面温度K,

T_2 ——被加热物及管内环境温度K

当炉膛恒温区内被加热物和环境温度为1190℃时,则硅碳管内表面温度为1240℃(以最大差值计算)。故

$$\begin{aligned} \delta &= \left[\left(\frac{1240 + 273}{1000} \right)^4 - \left(\frac{1190 + 273}{1000} \right)^4 \right] \\ &= 5[5.24 - 4.58] = 3.30 \text{w/cm}^2 \end{aligned}$$

根据公式(2)计算炉子的功率

$$N = \delta \cdot \pi \cdot d \cdot l \text{(w)} \quad (2)$$

式中 δ ——硅碳管发热部单位面积所承受功率负荷

π ——圆周率

d ——硅碳管内径

l ——硅碳管发热部的长度

我们采用的硅碳管内径 $d=45\text{mm}$,发热部长度 $=200\text{mm}$,已计算管的 $\delta=3.30\text{w/cm}^2$,故

$$N = 3.30 \times 3.1416 \times 4.5 \times 20 = 933.04 \text{w}$$

采用公式(3)计算炉子不同温度时的电流强度

$$I = \frac{N}{U} \quad (3)$$

式中 I ——电流强度(安培)

N ——功率(瓦)

U——电压（伏特）

当炉子升高到1190℃并达到恒温时，测得炉管两端的电压为53v，炉子功率为933.04w即：

$$I = \frac{933.04}{53} = 17.60 \text{ A}$$

同样，用公式（4）计算不同温度时的炉子电阻（R）值。

$$R = \frac{U^2}{N} \quad (4)$$

例如炉子温度为1190℃时，其电阻

$$R = \frac{53^2}{933.04} = 3.01 \Omega$$

根据表1中所测的温度和电压值，用上述同样的方法计算，求出炉子在不同温度时的功率、电流强度和电阻值，列于表2。

表2 高温淬火炉在不同温度时的功率、电流强度和电阻值

Table 2 Values of power, electric current and resistance on the quenching furnace of high temperature at different temperatures

管内表面温度 (T℃)	390	500	600	700	820	930	1030	1130	1240
管内环境温度 (T℃)	340	450	550	650	770	880	980	1080	1190
单位面积的负荷 (W/cm ²)	0.25	0.45	0.60	0.80	1.25	1.60	2.10	2.60	3.30
功率 (W)	70.69	127.23	169.64	226.19	353.43	452.38	593.75	735.12	933.04
电压(V)/电流(A)	20/3.53	22/5.78	25/6.79	28/8.08	34/10.39	38/11.90	43/13.80	47/15.64	53/17.60
电阻 (Ω)	5.65	3.80	3.68	3.47	3.27	3.19	3.11	3.00	3.01

表3 按电热丝炉子经验公式计算的炉子功率

Table 3 Furnace power calculated with the experiential formula of electrocaloric wire furnace

温度 (T℃)	340	450	550	650	770	880	980	1080	1190
系数 (K)	45	52	60	70	77	85	95	120	150
功率(N.W)	209.69	242.3	279.58	326.18	358.8	396.07	442.67	559.17	698.96

表4 同样大小的硅碳管炉和电热丝炉的功率对比

Table 4 Comparison of the furnace power of silicon-carbide pipe with that of electrocaloric wire of the same size

温度 (T℃)	340	450	550	650	770	880	980	1080	1190
硅碳管炉的功率 (N.W)	70.69	127.23	169.64	226.19	353.43	452.38	593.75	735.12	933.04
电热丝炉的功率 (N.W)	209.69	242.30	279.58	328.18	358.80	396.07	442.67	559.17	698.96

从表2中可以看出，随着炉子的炉膛内温度逐渐升高，功率、电压和电流强度呈有规律地增大；反之，电阻呈有规律地变小。

为了与同样大小通用的电炉丝电炉的功率对比，将我们的炉子按经验公式（5）进行计

算

$$N = k\sqrt[3]{V^2} \text{①} \quad (5)$$

式中 N —— 炉子需要的功率 (KW)

V —— 炉膛的容积 (M³)

K —— 不同温度时的系数即：炉子工作温度为1200℃时，K=100—150；炉子工作温度为1000℃时，K=75—100；炉子工作温度为700℃时，K=50—75；炉子工作温度为400℃时，K=35—50；以我们实测的1190℃为例，K值取为150，则

$$N = 150 \times \sqrt[3]{(0.0225^2 \times 3.1416 \times 0.2)^2} = 698.96(w)$$

其它温度计算结果如表3。

现将硅碳管的与按电热丝炉子计算的高温淬火炉的功率列表4，进行对比。

从表4可以看出硅碳管的功率在880℃以上较之电热丝炉的功率大，耗电量多，而在770℃以下，则功率较后者小，显然耗电量也少得多。

四、炉子的用途

在高温高压成岩成矿实验过程中，高温淬火炉是常用的炉子之一。它既可以做岩石和矿岩熔融实验，也可进行矿物合成等。我们试制该炉子的主要目的在于进行岩石初融等实验工作。配上自己组装的控温仪和一等铂铑 (Pt90%，Rh10%)—铂 (Pt100%) 热电偶，能满足一般岩石熔融实验的要求。

众所周知，岩石熔融的温度以10℃/10⁸Pa的递增率增加，干体系比有H₂O参与的熔融温度高得多。如果在常压下略有H₂O参加的熔融实验那么所得到的岩石初熔的温度显然要低得多。

我们试制的高温淬火炉最高使用温度为1350℃，常用温度到1250℃。炉膛中恒温区长，温差梯度小，升温快，发热均匀，保温性能较好，耗电量低，并且能抗氧化、一般不用附加保护气氛，使用方便。整套炉子仅花了700元，与铂丝制作的高温淬火炉相比，造价十分低廉，而且能满足一般岩石在常压高温下熔融等实验的要求。这种炉子是经济和实用的。由于我们首次试制高温淬火炉，经验少，可能有许多不足之处，待今后在实践中不断改正和完善。希望有关专家和同行给予指正。

在试制高温淬火炉的过程中，得到武汉地质学院北京研究生部吴国忠老师的指导和帮助，我所后勤处大力支持，中国地质科学院情报研究所车间董晋增等师傅给予热情援助。文中插图由我所八室王清新清绘完成。在此一并表示衷心地感谢。

考 参 文 献

[1] Jr. Yoler., Experimental mineralogy: achievements and prospects (1). Bull. mineral. 1980. p5—26.

[2] В. К. Булотов, Солевая ячейка для проведения экспериментальных исследований на установке порисенб-цилиндр. Геохимия, 1984, 1. Стр. 142—144.

① 引自柏志平有关资料，1981。

An economic and practical quenching furnace of high temperature

Li Dexing, Liang Xiangji, Zhang Zhongming

Abstract

We have designed and produced a quenching furnace of high temperature in order to do the experiment of melting rocks. The furnace is composed of three parts: furnace body, support body and quenching pool. This furnace is mainly made of silico-carbonic tube, overlight foam bricks and refractory ceramic cotton. By adjusting and testing, the temperature of the furnace sustains 1350°C and generally 1250°C. The constant temperature region of the furnace tube is large, and the temperature gradient is very low. It heats up fast and homogeneously. The heat preservation of the furnace is better. The power consumption is less. It can resist oxidation and generally need not be protected with any attached gas. There are tracks for elevating and subsiding the furnace body, a work table and four bottom wheels in the support body. Therefore, it is easy to operate. We only spent ¥ 700 yuan to produce this furnace. So it is quite cheap in comparison with the quenching furnace of high temperature made of platinum wire. Besides, the furnace will satisfy the melting experiments of ordinary igneous and metamorphic rocks at an atmospheric pressure and high temperature, thus, is economical and practical.