

CNIC-01414
CAEP-0038

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY REPORT

大纵横比玻璃微球分步增压
充气氘工艺研究

THE TECHNOLOGY OF FILLING D-T GAS IN GLASS
MICROSPHERES WITH LARGE ASPECT RADIOS
(In Chinese)



中国核情报中心
原子能出版社

China Nuclear Information Centre
Atomic Energy Press

图书在版编目 (CIP) 数据

中国核科技报告 CNIC-01414, CAEP-0038: 大纵横比
玻璃微球分步增压充氙氙工艺研究/姚书久等著. —北
京: 原子能出版社, 1999. 12

ISBN 7-5022-2105-0

I. 中... II. 姚... III. 核技术-研究报告-中国 IV. TL-2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 54001 号

原子能出版社出版 发行

责任编辑: 武 洁

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

中国核科技报告编辑部排版

核科学技术情报研究所印刷

开本 787×1092 mm 1/16 印张 1/2 字数 17 千字

1999年 12 月北京第一版 1999年 12 月北京第一次印刷

印数: 1—150

定价: 5.00 元



姚书久：中国工程物理研究院副研究员，1965年毕业于南京大学化学系。

YAO Shujiu: Associate researcher of the Institute of Chinese Academy of Engineering Physics. Graduated from Chemistry Department of Nanjing University in 1965.

大纵横比玻璃微球分步增压 充气氙工艺研究

姚书久 彭述明 张小安 李立匣 赵鹏骥 张传飞
(中国工程物理研究院, 成都, 610003)

摘 要

对大纵横比玻璃微球充气氙气体, 采用了分步增压法。为了充气, 建立了一套防氢及其同位素腐蚀的高压系统, 该系统在 15 MPa 下的漏率为 $3.7 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{L/s}$ 。用铀床和 LaNi_5 床组合起来, 作为充气的气源。在不同的温度下, 可获得不同压力的氙气体, 满足了充气要求。还进行了大纵横比玻璃微球的性能研究, 在室温和 250 °C 时, 该微球均能承受 1.0 MPa 的压力, 微球的内外压之比约 0.51。大纵横比玻璃微球分步增压充气工艺是: 在 250 °C 时, 每隔 0.5 h, 增加 0.1 MPa, 压力增加到 1.0 MPa 时, 平衡 4 h, 停止加热, 冷却到室温, 用氙气清洗系统, 取出微球进行测量, 微球内的氙气体压力为 0.51~0.54 MPa, 满足了物理实验的要求。

The Technology of Filling D-T Gas in Glass Micro-spheres with Large Aspect Radios

(In Chinese)

YAO Shujiu PENG Shuming ZHANG Xiaolan LI Lixia
ZHAO Pengji ZHANG Chuanfei

(China Academy of Engineering and Physics, Chengdu, 610003)

ABSTRACT

Step by step method of pressurizing D-H into glass microspheres with large aspect radios was applied. The whole metal system could bear high pressure and prevent erosion from hydrogen and its isotope. The leakage of this system was 3.7×10^{-4} Pa · L/s under 15 MPa. Combination of U and LaNi₅ serve as a good gas-resource, which could apply different pressure at different temperature, satisfied the requirement of filling. The properties of glass microspheres with aspect radios were also studied. The micro-spheres could bear pressure of 1.0 MPa at 250 °C as well as at the room temperature and the ratio of inside to outside pressure was about 0.51. The process of filling gas in glass micro-spheres was as follows: at 250 °C, increased 0.1 MPa at 0.5 h interval, when the pressure add up to 1.0 MPa, retaining 4 h. The heating was ceased and the system was cooled down, then D₂ was used to clean up. The microspheres were taken out for determination. The pressure of D-H in shells was 0.51~0.54 MPa which could satisfy the requirement of physical experiment.

引言

为满足激光惯性约束聚变(ICF)的物理实验要求,需在大纵横比玻璃微球内充入0.5 MPa的氖氟气体,供物理实验之用,为此进行了大纵横比玻璃微球分步增压充气工艺的研究。

玻璃微球充氖氟工艺的研究,国外始于60年代初,随着研究工作的进展,要求越来越高。美、日、俄等国投入大量的人力、财力进行了研究,不但可以在玻璃微球内充入约100 MPa的氖氟气体,而且还能制备冷冻靶,同时也能制备含氖氟气体的塑料靶,我国也能够提供符合物理实验要求的含氖氟气体的玻璃微球靶。

以前虽然进行了玻璃微球充氖氟工艺的研究,但对大纵横比玻璃微球分步增压充氖氟气体还是首次。大纵横比玻璃微球分步增压充气工艺是在以前充气工艺的基础上改进而成,利用改进后的工艺,对大纵横比玻璃微球分步增压充氖氟气体,获得了符合物理实验要求的玻璃微球靶。

1 玻璃微球充氖氟的原理

玻璃微球中的氖氟气体,是气体在高温时通过微球壁渗透进去的,渗入微球的气体量与压力、温度、时间及微球性能有关。渗入微球内的压力与微球外的压力平衡后,迅速冷却,氖氟气体将留在微球内。渗透率公式为^[1]:

$$K = K_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (1)$$

式中: K ——渗透率, $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$

K_0 ——渗透率的指前系数, $\text{mol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

T ——绝对温度, K

E_k ——渗透活化能, $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$

R ——气体常数, $8.314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

2 玻璃微球充氖氟的方法^[2]

玻璃微球的充气方法有渐增法和分步法两种。在通常情况下,渐增法适用于微球内压力较高和壁厚的微球,分步法适用于微球内压力较低和壁薄的微球。在该次充气中选用了分步法充气。

用分步法充气,球内压力上升的公式为:

$$p_1 = p_0 + \Delta p \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (2)$$

式中: p_0 ——玻璃微球内的初始压力;

Δp ——所加的压力差;

τ ——时间常数。

$$\tau = L \frac{r_i^2}{3R \cdot K \cdot T \cdot r_o} \quad (3)$$

式中: R ——气体常数 ($8.314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$);

r_o, r_i ——分别是微球的外直径和内直径, $L = r_o - r_i$;

K ——玻璃微球壳材料的渗透率;

T ——绝对温度 (K)。

3 建立充氦气气体的系统

3.1 系统要求

建立系统所用的材料必须防氢及其同位素的腐蚀, 系统漏率小, 体积小, 能承受高压 (50 MPa), 多点充气, 结构简单, 便于操作, 安全可靠。

3.2 阀门

阀门的好坏, 基本上决定了系统的性能。对阀门的要求是: 漏率 $< 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{L/s}$; 力矩 $< 0.9 \text{ kg} \cdot \text{m}$; 寿命长 (> 1000 次); 用于制造阀门的材料能防氢的腐蚀和氦的辐射损伤。选用全金属高压阀门, 并对性能进行了测试, 其性能满足了上述要求。

3.3 系统零部件的检漏

系统的零部件有: 管道组、样品小室、 LaNi_5 床、增压铀床、回收铀床、标准体积瓶、失败罐、高压表、真空表等。

检漏方法采用压力法, 其原理和氦罩法基本相同^[1], 被检件放在一个外罩容器内, 外罩容器与氦检漏仪相连。将外罩抽空, 每隔一定的时间, 开通向检漏仪的阀门, 进行检漏。其检漏系统结构示意图示于图 1。

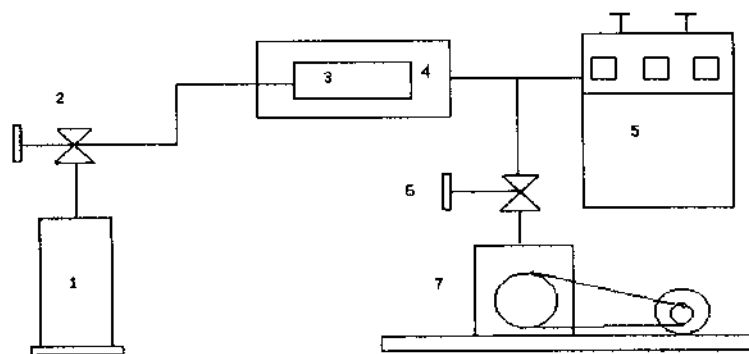


图 1 部件检漏示意图

1——氦气源; 2、6——阀门; 3——被检件; 4——外罩容器;
5——UL-100型氦质谱检漏仪; 7——2x-4旋片式真空泵。

用该检漏系统对系统中的各部件进行检漏, 漏率均小于 $10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{L/s}$ 。

3.4 系统的组装

将检漏合格的零部件按一定的方法及程序组装，系统中所使用的密封圈用无氧铜加工而成，选择合适的组装工具、用合适的力度进行组装。组装后的系统示意图示于图 2。

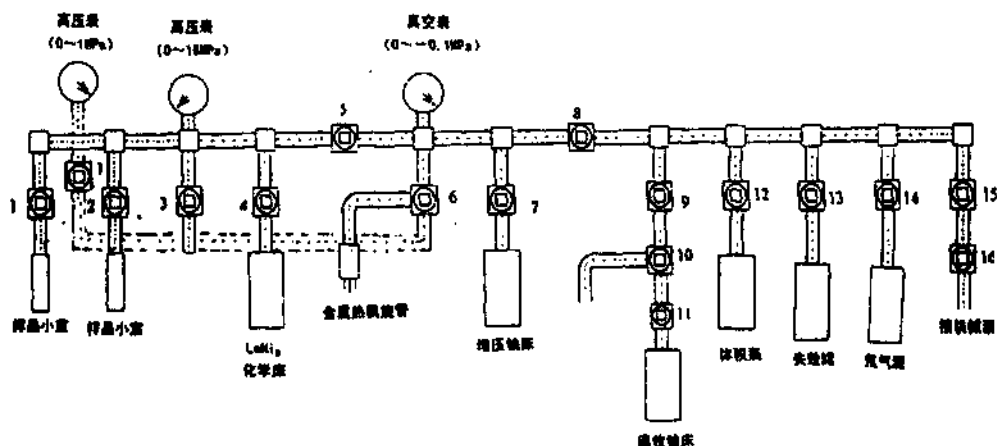


图 2 系统示意图

3.4.1 减少系统体积的方法

系统的体积大，用气量就多，给防护增加了难度。由于机械加工工艺方面的原因，组装后的系统体积约在几十毫升左右。为了减少系统的体积，在系统管道中加入了不锈钢丝，既减少了系统的体积，又节约了用气量。

3.4.2 防止粉尘的污染

在系统中使用了 LaNi_5 合金和铀屑，活化后，它们变成很细的粉尘（约几个微米），随着气流一起流动，进入管道，造成污染。为了避免粉尘的污染，在 LaNi_5 床和铀床与阀门（4, 7, 11）的连接处加装烧结不锈钢过滤器。

3.5 系统体积的标定

组装后的系统，充入一定压力的氢气，用气泡法检漏，在无气泡跑出的情况下进行系统体积的标定。

在一已知体积的容器内，充入一定压力的氩气，记下温度、压力。然后让其膨胀到被标定体积的容器及管道内，记下温度、压力。根据气体方程式 ($pV = nRT$)，即可算出被标定容器及管道的体积。

3.6 系统漏率的测定

3.6.1 系统的真空漏率

系统抽真空，真空度达一定数值后，停止抽真空，记录下真空度、温度、时间，以后每隔一定时间记录一组数据，共记录了五组数据。根据这些数据，即可算出系统的真空漏率为 $1.4 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{L/s}$ 。

3.6.2 系统的高压漏率

在系统中充入一定压力 (15 MPa) 的氢气, 记录下温度、压力、时间。以后每隔一定时间记录一组数据, 共记录了五组数据。根据这些数据, 即可计算出系统的高压漏率为: $3.7 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{L/s}$ 。

3.7 系统的测压装置

系统中的测压装置比较简单, 真空表 (0~0.1 MPa, 0.4), 压力表 (0~16 MPa, 0~1 MPa, 0.4) 及全金属热偶规管, 为了延长压力表和真空表的使用寿命, 在压力表、真空表与系统连接处用全金属高压阀门隔开, 使用后将气体回收, 使压力表恢复到原始状态, 然后将阀门关闭。

3.8 系统的测温装置

系统中的测温装置, 由镍铬热偶丝, ZWK-702 智能控温仪及井式电炉组成。

3.9 系统的试运行

组装后的系统在正式运行前, 必须试运行, 以便发现问题。

3.10 系统安全与可靠性分析

组装后的系统用于充气是否安全可靠, 用“事故树”的分析方法进行了分析, 该系统发生事故的几率在 $4.0 \times 10^{-5} \sim 4.0 \times 10^{-3}$ 的范围内。在发令人发令无误、操作人操作无误、监督人监督无误, 以及阀门、焊缝、样品小室、 LaNi_5 床均正常的情况下, 发生事故的几率为 4.0×10^{-5} 。系统发生故障, 而用于回收气体的失败罐由于某些原因未起到应有作用时, 发生事故的几率为 4.0×10^{-3} 。综上所述, 操作该系统是安全的。

4 高压氙气源

用于 ICF 物理实验的玻璃微球内的氙气压力, 随着物理实验的目的不同而有不同的要求, 一般从 0.1 MPa 到 100 MPa。用铀床作高压氙气源, 所提供的氙气压力不能完全满足玻璃微球充气的需要, 必须寻求新的高压气源, 通过对金属氢化物和金属合金氢化物的研究, 结果发现铀床和 LaNi_5 床组合使用, 是一种很好的高压氙气源。

4.1 铀吸、放氢的性能研究

4.1.1 铀的活化

将铀床套上电炉, 边加热边抽真空, 温度达 600 °C 并恒温 2 h 后, 停止加热, 也停止抽真空, 冷却到室温, 充入过量氢气, 使之充分吸收, 然后放掉未被吸收的氢气, 再加热抽真空, 反复三次, 铀即被活化。

4.1.2 铀的饱和吸氢容量和保留量

室温下, 用活化好的铀, 在足够量的氢气 (压力不大于 0.1 MPa) 下充分地吸收, 然后在不同的温度下充分放氢。结果示于表 1。

表 1 铀的饱和吸氢容量和保留量

序号	铀屑量/g	吸氢量/L	容量/L · g ⁻¹	放氢温度/°C	放氢量/L	保留量/L	百分数/%
1	20.10	2.512	0.125	300	2.434	0.078	3.1
2	20.50	2.460	0.120	500	2.389	0.071	2.9
3	20.20	2.585	0.128	600	2.507	0.078	3.0

由表 1 可知, 铈饱和吸氢容量为 0.124 L/g, 表观分子式为 $\text{UH}_{2.40}$ 。在 300~600 °C 之间, 均能定量地放氢气, 保留量约为 3.0%。据文献^[5, 6]报道, 铈的饱和吸氢容量分别为 0.100 L/g, 0.140 L/g, 表观分子式分别为 $\text{UH}_{2.12}$, UH_3 , 可见实验值与文献值基本相符。

4.1.3 铈氢化物的离解平衡压与温度的关系

铈氢化物在不同的温度下, 它的离解平衡压实验值和文献值示于表 2。

表 2 铈氢化物的离解平衡压与温度的关系

温度/°C		400	450	500	550	600	650
压力 (10 ⁵ Pa)	实验值	0.71	1.31	4.14	8.38	25.3	31.3
	文献值[6]		1.46	3.63	8.13	16.3	30.0
	文献值[7]	0.49	1.56	4.25	10.3	22.4	44.8

文献值[6]是四个研究者的数据平均值。

由表中数据得出压力 (p) 与温度 (T) 的表达式:

$$\ln p = -\frac{4863}{T} + 11.92 \quad (4)$$

显然, $\ln p$ 与 $1/T$ 呈线性关系。

4.2 LaNi₅ 吸、放氢的性能研究

4.2.1 LaNi₅ 的活化

将 LaNi₅ 床套上电炉, 边加热边抽真空, 温度达 350 °C 恒温 2 h 后, 停止加热, 也停止抽真空, 冷却到室温, 充入过量氢气, 使之充分吸收, 然后放掉未被吸收的氢气, 再加热抽真空, 反复三次, LaNi₅ 即被活化。

4.2.2 LaNi₅ 吸氢的饱和容量及保留量

在室温下和 0.5 MPa 的压力下, 有过量的氢供活化好的 LaNi₅ 吸收, 然后在不同的温度下, 充分放氢。结果示于表 3。

表 3 LaNi₅ 吸氢的饱和容量及保留量

序号	LaNi ₅ 量/g	吸氢量/L	容量/L·g ⁻¹	放氢温度/°C	放氢量/L	保留量/L	百分数/%
1	35.00	5.950	0.170	100	5.773	0.177	2.97
2	35.00	6.010	0.172	200	5.800	0.210	3.49
3	35.00	6.000	0.171	250	5.850	0.150	2.56
4	35.00	5.920	0.169	300	5.742	0.178	3.01
5	35.00	6.000	0.171	350	5.835	0.165	2.75

由表 3 可得: LaNi₅ 的饱和吸氢容量为 0.171 L/g, 表观分子式为 LaNi₅H_{6.6}。在 100~350 °C 之间, 均能定量的放氢, 保留量约 3.0%。据文献[7]报道, LaNi₅ 的吸氢饱和容量分别为 0.170 L/g, 0.1735 L/g, 表观分子式分别为 LaNi₅H_{6.5}, LaNi₅H_{6.7}。可见, 实验值与文献值基本相符。

4.2.3 LaNi₅ 离解平衡压与温度关系

LaNi₅ 氢化物在不同温度下, 离解平衡压是不同的, 其实验值和文献值示于表 4。

表 4 LaNi₅ 离解平衡压与温度关系

温度/°C		25	100	150	200	300	600
压力(10 ⁵ Pa)	实验值	4.05	16.9	58.6	178		
	文献值	3.03			192	687	5510

由表 4 的实验值得到:

$$\ln p = -\frac{1533}{T} + 10.52 \quad (5)$$

5 微球性能、充气参数及玻璃微球充气

5.1 玻璃微球的机械强度试验

为防止玻璃微球在充气过程中被高压氖气气体压碎, 应进行承受压力的试验。为便于玻璃微球编号及避免微球相互之间的干扰, 设计加工了充气棒。充气棒是由紫铜圆环及不锈钢中心轴组成(在中心轴的顶部加工成螺纹, 用螺帽固定, 底部有一个固定的底座。在圆环周围打孔, 孔的大小依微球的大小而定)。用于试验的微球装入圆环孔内, 将圆环套在中心轴上, 用螺帽固定。充气棒装入样品小室, 接入系统即可进行试验, 充气棒及圆环的示意图示于图 3, 4 (单位: mm)。

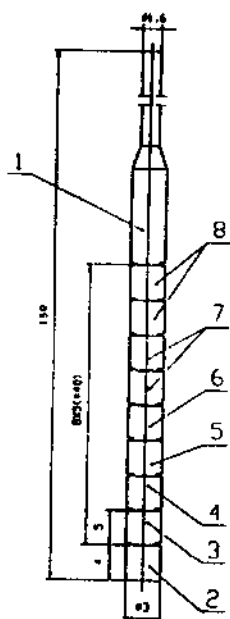


图 3 充气棒示意图

1——螺杆的螺帽; 2——螺杆的底座;
3~8——紫铜圆环。

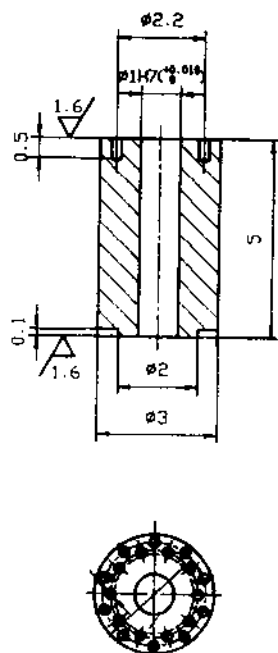


图 4 紫铜圆环示意图

5.1.1 室温下玻璃微球承受压力试验

将符合要求的玻璃微球装入充气棒中的圆环孔内, 再将充气棒装入样品小室中, 接入系统, 真空检漏。然后向样品小室内缓慢地注入 0.1 MPa 的氖气, 静置 0.5 h, 卸下样品小

室, 取出玻璃微球, 在显微镜下观察玻璃微球的状态。当玻璃微球完好时, 将玻璃微球重新装入充气棒中的圆环孔内, 再装入样品小室, 接入系统, 这样重复下去, 注入氙气的压力达 1 MPa 时, 玻璃微球无变化, 但压力增加到 1.1 MPa 时, 有的微球开始破碎或有缺陷, 因此, 该玻璃微球承受的压力为 1 MPa。

5.1.2 加热条件下玻璃微球承受压力的试验

将符合要求的玻璃微球装入充气棒中圆环孔内, 再将充气棒装入样品小室中, 真空检漏, 向样品小室内缓慢地注入 0.1 MPa 的氙气, 然后将样品小室加热到 250 °C, 维持 4 h, 停止加热, 冷却到室温, 卸下样品小室, 取出玻璃微球, 在显微镜下观察玻璃微球的状态, 玻璃微球完好时, 将玻璃微球重新装入充气棒中的圆环孔内, 再装入样品小室, 接入系统, 这样重复下去, 注入氙气的压力达 1 MPa 时, 玻璃微球无变化, 但压力增加到 1.1 MPa 时, 有的微球开始破碎或有缺陷, 因此, 该玻璃微球承受的压力为 1 MPa。

5.2 玻璃微球内外压比值的测定

为测定玻璃微球的内外压之比值, 进行了以下的实验, 将合格的玻璃微球装入充气棒中的圆环孔内, 再将充气棒装入样品小室内, 接入系统检漏, 加热真空除气, 冷却到室温, 向样品小室中分别注入 0.3 MPa, 0.6 MPa 的氙气, 然后将样品小室加热到 250 °C, 恒温 4 h, 冷却到室温, 放出多余的氙气, 卸下样品小室, 取出玻璃微球进行测量, 其结果示于表 5。

表 5 玻璃微球内外压之比值测定

序号	玻璃微球 直径/ μm , 壁厚/ μm		温度/ $^{\circ}\text{C}$	时间/h	微球外压/MPa	微球内压/MPa	内压/外压比值
1	475	0.8	250	4	0.3	0.152	0.506
2	478	0.8	250	4	0.3	0.154	0.513
3	491	0.8	250	4	0.6	0.312	0.520
4	481	0.8	250	4	0.6	0.310	0.516

5.3 玻璃微球充气条件的确定

充气的压力、温度、时间即为玻璃微球的充气条件, 它主要取决于 ICF 物理实验的要求和玻璃微球的性能。

如 ICF 物理实验要求微球内的压力为 0.5 MPa, 氙氙比为 1。根据研究结果, 充气条件可确定为: 在 250 °C, 每隔 0.5 h 增加 0.1 MPa, 当压力增至为 1 MPa 时, 平衡 4 h。将微球取出测量, 基本符合物理实验的要求。

5.4 除氙-3 问题^[4]

从氙氙气体中除氙-3 是复杂的问题。在特定条件下采用了室温和高温相结合的方法, 有效地除去氙氙气体中的绝大部分氙-3, 残留在氙氙气体中的氙-3 对增压铀床和 LaNi_5 床吸收氙氙气体的速度毫无影响。

5.5 氙氙同位素效应问题

氙氙同位素效应与解吸温度、气体释放量有关。它的大致规律是: 解吸温度高, 同位素效应降低; 气体释放量大, 同位素效应降低。因此, 采用高温和气体完全释放的方法, 可将同位素效应降低到忽略不计的程度。

5.6 正式充氙氙前的充气试验

为验证充气系统、高压气源、玻璃微球的性能和充氖氙方案，进行了充气试验。玻璃微球加热真空除气。在足够量（压力小于 0.1 MPa）的氖气下，用增压铀床充分地吸收，然后将增压铀床加热到 550 °C，放出的气体达 0.5 MPa 以上时，用 LaNi₅ 床吸收。将样品小室加热到 250 °C，维持这个温度，然后将 LaNi₅ 床加热（升温速率：2 °C/min，温度至 120 °C），每隔 0.5 h，增加 0.1 MPa，当压力增至 1 MPa 时，平衡 4 h 后，停止加热。冷却到室温，放出多余的气体，卸下样品小室，取出微球进行测量，结果示于表 6。

表 6 玻璃微球充氖的测量结果

样品号	玻璃微球		微球内氖量/MPa
	直径/ μm	壁厚/ μm	
1	>450	~0.8	0.52
2	>450	~0.8	0.53
3	>450	~0.8	0.51
4	>450	~0.8	0.54

5.7 玻璃微球充氖

5.7.1 玻璃微球加热真空除气

将合格的玻璃微球装入充气棒中的圆环内，再将充气棒装入样品小室中，接入系统，真空和压力检漏，抽真空，加热至 250 °C，恒温 2 h，停止加热，停止抽真空，室温冷却。

5.7.2 氙化铀床中的氖转移到系统中的增压铀床里

用铀床吸收除去氩-3 后的氖，这个铀床称为氙化铀床。将它接入系统，真空检漏。将氙化铀床加热，放出一定量的氖，用增压铀床吸收，直到氖量满足充气要求为止。

5.7.3 配制氖氙混合气体

从系统中的氖气源里，放出一定量的氖，供增压铀床吸收，直到完全吸收，使增压铀床中的氖氙比为 1:1.25。

5.7.4 将增压铀床中的氖氙气体转移到 LaNi₅ 床里

增压铀床加热到 550 °C，放出的气体压力大于 0.5 MPa，用 LaNi₅ 床吸收，使氖氙混合气体从增压床中完全转移到 LaNi₅ 床中。

5.7.5 玻璃微球充氖

样品小室加热到 250 °C，维持这个温度，然后将 LaNi₅ 床加热（升温速率：2 °C/min，温度至 120 °C），每隔 0.5 h，增加 0.1 MPa，当压力增至 1 MPa 时，平衡 4 h，停止加热，冷却到室温。

5.7.6 回收氖氙气体

用增压铀床吸收系统中的剩余氖氙气体。

5.7.7 清洗系统

慢开氖气源的阀门，放出一定量的氖气到系统中，静置 1 h，使吸附在管壁上的氖与氖气充分地交换，用回收铀床吸收。这样反复 5 次。

5.7.8 测量玻璃微球内的氖氙气体

在系统中充入 0.2 MPa 压力的气体，卸下样品小室，取出微球进行测量，其结果示于表 7。

表 7 玻璃微球内氦氖量的测量结果

样品号	玻 璃 微 球		微球内氦量/MPa
	直径/ μm	壁厚/ μm	
1	>450	~ 0.8	0.52
2	>450	~ 0.8	0.54
3	>450	~ 0.8	0.53
4	>450	~ 0.8	0.51

5.8 氦的监测

在充氦过程中, 对手套、实验室及周围环境中的氦量进行了监测, 漏到手套箱中的氦为 $1.11 \times 10^9 \text{ Bq}$; 实验室比本底略高; 烟囱中排放的氦为 $1.11 \times 10^{10} \text{ Bq}$ 。操作人员个人剂量约为 0.15 mSv , 周围居民所受剂量忽略不计。

6 结论

(1) 系统的高压 (15 MPa) 漏率为 $3.7 \times 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{L/s}$, 用该系统在 1.0 MPa 下操作 $3.15 \times 10^{14} \text{ Bq}$ 氦, 漏出的氦量很少。操作该系统是非常安全的。系统的设计、制造、组装工艺是成功的。

(2) 铀和 LaNi_5 易活化, 饱和吸氢和非饱和吸氢后均能定量地放出氢, 压力的自然对数 ($\ln p$) 与温度 ($1/T$) 呈线性关系, 由铀床提供 $0.5 \sim 0.8 \text{ MPa}$ 气体供 LaNi_5 床吸收, 吸收完毕后, 加热 LaNi_5 床, 在不同的温度下, 可得到所需压力的气体。因此, 铀床和 LaNi_5 床组合使用是一种理想的高压气源。

(3) 充进玻璃微球内的氦氖气体量约为 0.5 MPa , 满足了 ICF 物理实验的要求。因此玻璃微球充气工艺是成功的。

参考文献

- 1 Shelby J E A comprehensive review of gas permeation diffusion and solubility in inorganic glasses SIL-73-0259 1973 8
- 2 Woerner R L Working strengths and D-T fill procedures for glass microsphere laser fusion targets UCRL-82728
- 3 《真空设计手册》编写组编著. 真空设计手册 (下册). 132~199
- 4 Elliott M J W Extraction of Tritium Present in Helium-3. The review of scientific instruments. 1960, 31 1218~1222
- 5 Libowitz G G, Thonar R P, Gibb J R. High pressure dissociation studies of the uranium hydrogen System. The Journal of Physical Chemistry. 1957. 61(6), 793~795
- 6 Penzhorn R D, Devillers M, Sirch M. Evaluation of ZrCo and other getters for tritium handling and storage. Journal of Nuclear Materials, 1990, 170(3), 217~231
- 7 Carstems D H W Tritium, handling and the Preparation of DT-containing micro-targets for laser fusion experiments. Laser Interaction and Related Plasma Phenomena. 1980, 4A, 317~331

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

This report is subject to copyright. All rights are reserved. Submission of a report for publication implies the transfer of the exclusive publication right from the author(s) to the publisher. No part of this publication, except abstract, may be reproduced, stored in data banks or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher, China Nuclear Information Centre, and/or Atomic Energy Press. Violations fall under the prosecution act of the Copyright Law of China. The China Nuclear Information Centre and Atomic Energy Press do not accept any responsibility for loss or damage arising from the use of information contained in any of its reports or in any communication about its test or investigations.

ISBN 7-5022-2105-0



9 787502 221058 >