

CNIC-01400

SIP-0118

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY REPORT

FEB 实验混合堆偏滤器工程结构与热工分析

ENGINEERING STRUCTURE AND THERMAL-
TECHNICAL ANALYSIS OF FUSION EXPERIMENTAL
BREEDER FEB DIVERTOR

(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-01400, SIP-0118: FEB 实验混合堆偏滤器工程结构与热工分析/冯开明等著. —北京: 原子能出版社, 1999. 10

ISBN 7-5022-2081-X

I. 中... II. 冯... 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48609号

©原子能出版社, 1999

原子能出版社出版发行

责任编辑: 李曼莉

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 字数18千字

1999 年10月北京第一版 1999 年10月北京第一次印刷

印数: 1—200

定价: 5.00 元



冯开明：研究员，核工业西南物理研究院聚变堆研究室副主任。1977年毕业于上海交通大学核反应堆工程专业。

FENG Kaiming: Research professor, deputy director of Fusion Reactor Division, Southwestern Institute of Physics, CNNC. Graduated from Shanghai Jiaotong University in 1977, majoring in nuclear reactor engineering.

CNIC-01400
SIP-0118

FEB 实验混合堆偏滤器 工程结构与热工分析*

冯开明 黄锦华 朱毓坤 邓培智 周小兵 王 岷 霍铁军
(核工业西南物理研究院, 成都, 610041)

摘 要

在 FEB 偏滤器物理研究的基础上, 描述 FEB 偏滤器的结构设计与热工分析。在工程概要设计 (FEB-E) 阶段, 偏滤器的结构从开式固板靶优化为闭式气室靶, 以改善偏滤器的杂质控制和增强原子损失过程。偏滤器运行在喷气和注杂组合下的脱靶等离子体或部分脱靶等离子体模式 (Partial Detached Plasma Mode)。应用改进了的 NEWT1D 编码模拟了喷气和注杂状态下删削层/偏滤器中等离子体及杂质的输运。着眼于杂质居留和杂质辐射, 优化了喷气口的位置。偏滤器主体结构由 48 个气室模件环绕组成。应用 COSMOS/M-HSTAR 编码对偏滤器靶板进行了热工计算, 结果表明以 4 MPa 压力的氦气对靶板进行径向循环冷却是可行的。

* 自然科学基金 (编号: 19685007) 和国家 863 高技术课题 (863-614-03-02) 资助项目

Engineering Structure and Thermal-technical Analysis of Fusion Experimental Breeder FEB Divertor*

(In Chinese)

FENG Kaiming HUANG Jinhua ZHU Yukun DENG Peizhi
ZHOU Xiaobing WANG Min HUO Tiejun

(Southwestern Institute of Physics, Chengdu, 610041)

ABSTRACT

On the basis of the physical study of FEB divertor, the engineering structure and thermal-technical analysis of FEB divertor is presented. In order to improve the impurity control and to increase ion-neutral interactions in the divertor, the configuration of the divertor is optimized to be the close type in the engineering design activity compared with the open type in the early conceptual activity. The operation mode of the divertor is designed to be partial detached plasma mode under conditions of combination gas-puffing with impurity injection. The position of gas-puffing is optimized at the torus mid-plane with NEWT1D code from the view point of impurity retention and radiation in the scrape-off layer/divertor region. The divertor structure is consisted of 48 rounded cassette modules. The thermal-technical calculations are carried out with COSMOS/M-HSTAR code for target plates. The result showed that the He-cooled target with 4 MPa coolant pressure and radial flowing is feasible.

* Work supported by China State High Scientific and Technological Task(863-614-03-02) and Chinese National Natural Science Fund (No.19685007) .

引言

在FEB混合堆的工程概要设计(FEB-E)阶段, FEB偏滤器的结构从开式固板靶优化为闭式气室靶, 以改善偏滤器的杂质控制和增强原子损失过程。偏滤器运行在喷气和注杂组合下的脱靶等离子体或部分脱靶等离子体模式。本文在概述FEB混合堆偏滤器物理研究结果的基础上, 描述偏滤器的工程设计和热工分析。

1 FEB偏滤器的物理研究结果

在FEB混合堆偏滤器的物理研究^[1]中, 应用改进了的NEWTID编码模拟了喷气和注杂状态下删削层/偏滤器中等离子体及杂质的输运。根据杂质滞留区域、杂质辐射功率、以及靶板功率负载的降低等, 喷气位置被优选在装置中平面的删削层外侧处。这是因为中平面处喷气增强了流向偏滤器靶板的粒子流, 降低了偏滤器等离子体温度, 粒子流摩擦力增强了杂质, 滞留于靶板前。为增强杂质在靶板上沉积的有利校应^[2], 将注杂位置和喷气位置分开而固定在靶板处。

在辐射偏滤器概念下, 应用两点输运编码和杂质辐射模型估算了等离子体压力。要获得脱靶等离子体需要喷气(D_2)和注杂(Ne, Ar 或 B)相结合, 即合理地提高 n_s (驻点密度) 和 f_{rad} (辐射份额)。根据文献[1], FEB-E 删削层 n_s 运行点可选在 $5 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ 处, 运行区间为 2×10^{19} 至 $8 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$; 辐射份额 f_{rad} 运行点则可选在 0.5 处, 运行区间为 0.2~0.8 之间。

FEB 混合堆物理设计参数见表 1^[3]。

表1 FEB物理参数

大半径 R	4.0 m	平均温度 T	10 keV
小半径 a	1.0 m	杂质有效电荷数 Z_{eff}	1.5
拉长度 k	1.7	聚变功率 P_f	143 MW
轴心磁场 B	5.2 T	能量约束时间 τ	0.8 s
等离子体电流 I_p	5.7 MA	辅助加热功率 P_{aux}	50 MW
安全因子 q_2 (95%)	3.0	偏滤器位形	单零
平均电子密度 $\langle n_e \rangle$	$1.1 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$	联接长度	77.2 m

2 FEB-E 偏滤器结构

2.1 FEB-E 偏滤器结构设计

FEB-E 偏滤器结构设计必须满足以下条件:

- 满足物理上的要求, 主要是等离子体位形及屏蔽、中子学等方面的要求。
- 结构应该尽量简单, 容易制造、安装和维护。

- 必须满足在反应堆中的尺寸要求。

原 FEB 设计的偏滤器采用开式偏滤器。为了控制靶板前的等离子体温度,采用喷气和杂质注入联合运行的方法。采用这种方法的优点是偏滤器的结构非常简单,制造和维护也很容易。但采用这种方法也有严重的缺陷。单纯采用喷气的方法来控制等离子体温度效果有限,因此必须与注入杂质的方法相结合。但如果杂质注入过多,会对中心等离子体造成很严重的污染。特别是开式偏滤器由于靶板和中心等离子体之间缺少屏障,等离子体打击到靶板上后容易溅射出杂质,返回到等离子体芯体。而 ITER 采用闭式偏滤器^[4],有效地避免了上述缺点。为了降低偏滤器上的平均功率密度,ITER 采用了带有许多叶栅的结构,虽然增大了受热面积,降低了偏滤器上的平均功率密度,但它的结构异常复杂,给制造和维护都带来了很大的困难。

考虑到上述两种结构的优缺点,和 FEB-E 的设计基础^[3],我们设计了一个偏滤器的初步方案,如图 1。

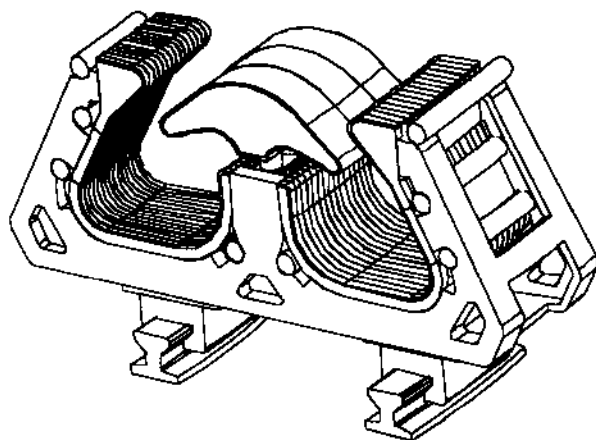


图 1 FEB-E 偏滤器模件

考虑到 FEB 偏滤器的中功率密度较小,因此未采用类似 ITER 的叶栅结构,而直接由带有冷却管的管板来吸收热量。

FEB 偏滤器是由 48 个模件构成的,这 48 个模件环绕在一起就构成了一个完整的环。同时,偏滤器和包层共同形成一个封闭的空间。偏滤器在堆中的安装情况见图 2。

FEB 偏滤器主要由基座、靶板、耐热层、拱顶、抽气道、冷却管道及滑靴等组成,如图 3 所示。

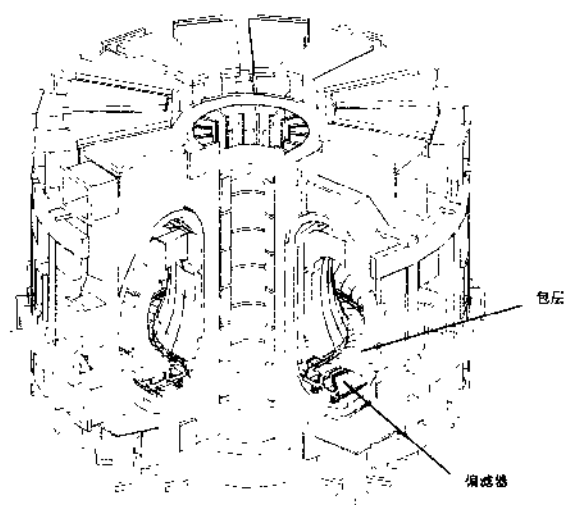


图2 FEB 总体结构示意图

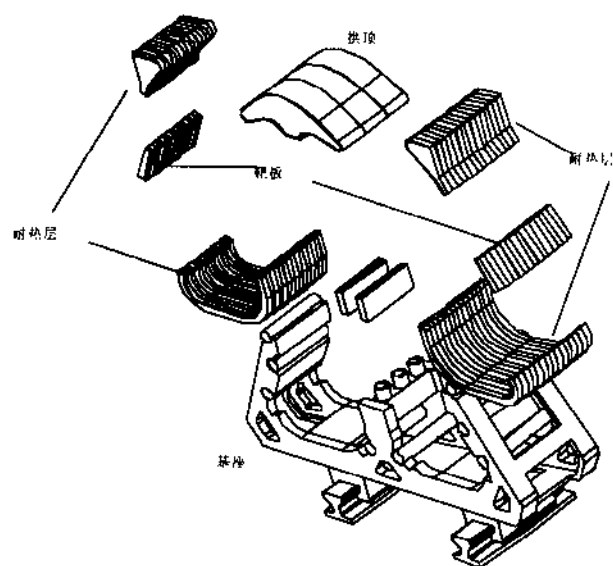


图3 偏滤器结构分解图

基座 为整个偏滤器模件提供支承和约束。因此具有结实的结构。基座由不锈钢制成。它的四面有一些孔，方便对其他部件的拆卸和维护。基座下面有两个滑靴，用以在轨道上移动。

靶板 偏滤器模件中功率密度最高的部件。它直接承受高能粒子的打击。我们选用铜合金作为靶板的基体，用铍作为表面的烧蚀材料。由于靶板的功率密度很高，带来较

高的热应力，我们将靶板设计成为一种条状的结构，每一根条内有一个冷却管道。这些条拼在一起就成了靶板。同时，在铜基体与铍之间采用了一层薄的电解铜作为连接材料，降低两种材料之间的热应力。

耐热层 其结构与靶板的结构比较类似。不过用钨代替铍作为表层材料。

拱顶 其截面为弧形，是铜制基体，同样，表面覆盖一层钨。拱顶由三根结实的管子与基座连接，同时，这三根管子也是拱顶冷却剂的通路。

抽气道 位于偏滤器的中央部位。作用是将反应后的氦灰和废气抽走。抽气管道的宽度为 5 cm，经过计算，其抽率可以满足需要。

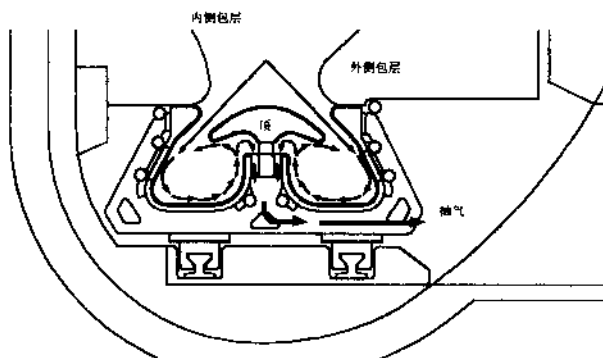


图 4 偏滤器的抽气通道

工作原理

等离子体沿分离面到达偏滤器后，将直接打击到两边的靶板上，然后，绝大部分将变成中性粒子。由于靶板与磁力线的夹角很小，几乎所有的粒子将向中心部位移动，由于拱顶形状的限制，这些粒子会运动到等离子体进入偏滤器的入口附近，与刚进入偏滤器的高能量离子相互作用，使打击到靶板上的离子能量降低。从总的情况来说，由于中性粒子主要从两边向中心部位运动，因而使中心部位的气体压力增大，以利于从抽气道抽走。由于偏滤器的等离子体入口较小，仅为 15 cm 左右，因此反应完成后的粒子很难返回到中心等离子体区域，避免对中心等离子体的污染。

2.2 偏滤器的拆卸和安装

安装偏滤器时，首先将偏滤器放入带有一段轨道的小车上，然后将小车推入真空室中。当小车到位时，小车上的轨道将和真空室中的轨道对接起来，这样，偏滤器模块就可以沿着轨道移动到正确的位置。然后小车退出真空室，装上下一个模块。如此直到最后一个模块进入真空室，然后小车将留在真空室中。拆卸时程序相反。

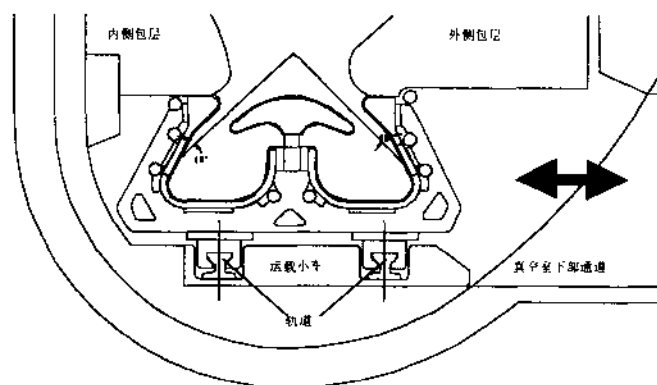


图5 偏滤器拆装运输示意图

3 FEB-E He 冷偏滤器靶板的温度计算

在 FEB-E 的包层设计中, 我们已论证了氦气作为冷却剂在满足热量传输条件下的循环可行性。对于 FEB-E 的偏滤器设计, 考虑到氦气的良好物理性能及化学性能, 从安全的角度出发, 我们仍然采用氦气作为偏滤器靶板的冷却剂。然而, 氦气的采用会导致采用复杂的管道结构, 需要大的冷却剂压力及循环功率。偏滤器靶板沉积的热量是下面将要讨论的问题。

3.1 偏滤器靶板结构及冷却方式

在第三次国际聚变核技术会议上, C. B. Baxi 等人作的关于“氦冷却模型的设计、制造和测试”的报告^[2], 提出了氦冷叶片式 (Fin) 管道结构的概念。ITER 偏滤器的设计模型中也验证氦冷叶片式管道结构的可行性。叶片式管道结构实际上是扩大了换热面积, 对于给定的流动和流道截面, 该结构便意味着提高有效对流换热系数 3~10 倍。由于 FEB 偏滤器靶板表面热负荷与 ITER 相当, 因此, 在初始计算时, 我们采用 Baxi 等人优化的管道尺寸和流体参数。设定偏滤器靶板冷却剂压力为 4 MPa, 质量流速为 25.5 g/s, 流道宽度为 2.5 cm, 长度为 24 cm。

由于偏滤器表面的热负荷较大, FEB 靶板的打击点处热流达到 4.5 MW/m^2 , 因此在打击点处不仅需要采用加强换热型冷却结构——叶片式管道结构外, 结构材料还需要采用高导热性材料。材料的选取及温度限制如下:

靶板结构材料: Cu-Cr-Zr 合金, 0.3 cm 厚, 导热系数 $k = 3.94 \text{ W/cm} \cdot \text{K}$;

温度限制: 低于 275°C 可排除辐照软化, 最高温度不能超过 320°C 。

靶板表面材料: Be 合金, 1 cm 厚, 导热系数 $k = 1.45 \text{ W/cm} \cdot \text{K}$;

温度限制: $200 \sim 700^\circ\text{C}$ 。温度低于 700°C 以降低中子辐照引起的肿胀, 高于 200°C 以保持好的延展性。

为了减小 Be 合金与 Cu 合金材料间的气隙, 加强热接触, 降低热应力, 在 Be 层与 Cu 层之间添加了一层依从薄层 (Compliant layer), 材料为纯铜, 0.5 mm 厚, 导热系数 $k = 3.90$

W/cm·K。为了比较偏滤器靶板氦冷却的环向流及径向流的循环可行性。我们建立了两种模型。模型 1 采用的是环向流动, 模型 2 采用的是径向流动。

3.2 FEB 堆偏滤器 He 冷靶板的热工计算

3.2.1 模型 1 的热工计算

模型 1 采用环向流动, 中心流道表面对应于靶板的打击点, 因此其热流分布密度最高, 而第一流道, 第二流道依次递减。靶板表面的热流分布服从指数分布, 其中中心流道对应的靶板表面最大热流为 4.5 MW/m², 特征长度 1.25 cm, 第一流道对应的靶板表面最大热流为 1.66 MW/m², 特征长度为 5 cm, 第二流道对应的靶板表面热流则基本持平, 稳定在 1 MW/m²。

a) 各流道流量的确定

我们采用各流道的出口氦温相等的原则进行氦流量的合理分配。

由 $Q = c_p \cdot v \cdot \Delta T$ 确定。其中 $c_p = 5.25 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$, v 为质量流 (kg/s)。

b) 其它热工计算相关参数的确定

设高压氦气冷却剂密度为 ρ (kg/m³), 则有

$$\rho = p[10^{-3}M/RT+B(T)] \quad (16)$$

其中 p 为氦冷却剂压力, M 为氦冷却剂克分子量, R 为气体普适常数, $B(T)$ 为与温度有关的拟合系数。

$$B(T) = AC_1 + AC_2/(1-AC_3T) + AC_4/(1+AC_5T) \quad (17)$$

$$AC_1 = 9.489433 \times 10^{-4};$$

$$AC_2 = 9.528079 \times 10^{-4};$$

$$AC_3 = 3.42068 \times 10^{-2};$$

$$AC_4 = 2.739470 \times 10^{-3};$$

$$AC_5 = 9.40912 \times 10^{-4}.$$

设粘度为 μ , 单位为 Pa·s。

$$\mu = 1.855 \times 10^{-5} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{0.68} \quad (18)$$

式中 T 为冷却剂的平均温度, T_0 为 273.15 K。

设雷诺数为 Re 。

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (19)$$

式中 d 为冷却剂管道的水力直径, 由 $d = 4A/X$ 确定。这里的 A 为流体的有效截面, X 为流体的湿周 (有效截面的周界长度)。

靶板的有关热工计算的相关参数见表 2 中。

表 2 模型 1 的热工计算参数

参数	中心流道	第一流道	第二流道
He 冷却剂进口压力/MPa		4	
进口温度/K		373	
出口温度/K		638	
平均温度/K		506	
平均密度 / kg·m ⁻³		3.8	
平均粘度/Pa·s		2.82×10^{-5}	
流道长度/cm		49.4	
流道截面/cm ²		1.94	
雷诺数	0.62×10^5	0.32×10^5	0.22×10^5
质量流速/g·s ⁻¹	25.5	13.1	8.96

c) 对流换热系数的确定

在偏滤器靶板上沉积的热量,主要是通过靶板的 Be 层及流道壁传给冷却剂。这种由流体和固体壁面直接接触相互间的换热过程,既包括由流体位移所产生的对流作用,同时也包括流体分子间的导热作用,统称之为对流换热。

设对流换热系数为 h ,

$$h = C_f \frac{k \cdot Nu}{D_c} \quad (20)$$

其中, C_f 为修正系数,当 $L/D_c > 50$, C_f 取为 1,而对于 $L/D_c < 50$ 的短管,则 $C_f > 1$ 。这是因为在管道的入口,由于流体与壁面突然接触,受到了流线收缩的干扰,要经历一段较长的距离才能达到流动定型区,在这未定型区内的换热系数要比达到流动定型区后的换热系数大。这里取 $C = 1.02$ 。

Nu 为努谢尔特数,由公式 (21) 得:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (21)$$

Pr 为普朗特数,它是由比热 c_p , 粘度 μ 和导热系数 k 组合成一个无因次数,综合地表示热物性对换热系数的影响。由公式 (22) 得:

$$Pr = \frac{c_p \cdot \mu \cdot g}{k} \quad (22)$$

其中 g 为重力加速度。

计算得到的对流换热系数如下:

$$h_0 = 2.27 \times 10^3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}; \quad h_1 = 1.33 \times 10^3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K};$$

$$h_2 = 1.0 \times 10^3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}.$$

中心流道采用了叶片式管道结构,如图 6。

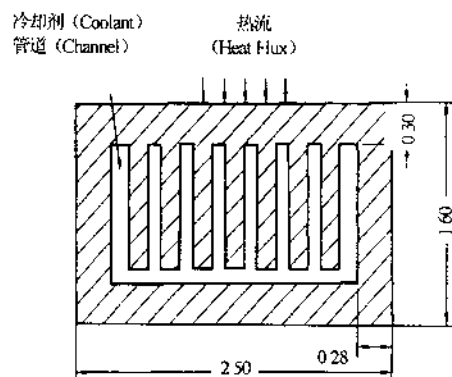


图6 靶板中心流道截面图

矩形叶片对流换热效率由公式得:

$$\eta_{fin} = \frac{\tanh \left[l \sqrt{2h/(k \cdot t)} \right]}{l \sqrt{2h/(k \cdot t)}} \quad (23)$$

式中: l ——叶片高度, 0.9 mm;

t ——叶片宽度, 0.15 mm;

s ——叶片间距, 0.1 mm。

$$h = 2.27 \times 10^3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}; \quad k = 3.94 \text{ W/cm} \cdot \text{K}$$

$$\frac{A_{eff}}{A} = \frac{2(s+l) + 2l\eta_{fin}}{2(s+l)} \quad (24)$$

$h_0' = h_0 \cdot A_{eff}/A$ 得到

$$h_0' = 9.08 \times 10^3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}。$$

运用 COSMOS / M 中的 HSTAR 计算, 结果见表 3。

表3 FEB 偏滤器靶板 He 环向循环冷却的热工计算结果

	外侧靶板	温度限值
靶板表面 (Be) 最高温度/℃	887	< 700
靶板 Be 的最低温度/℃	617	> 200
结构材料 Cu 合金的最高温度/℃	819	< 320

3.2.2 模型 2 的计算

模型 2 中, 冷却剂沿靶板作径向流动, 因此其热流分布与环向的各管道热流分布不同, 其每个管的热流分布均服从 $\varphi(x) = 450 e^{-x/3}$ 的指数分布。根据其结构尺寸及有关公式, 得到相关的热工计算参数见表 4。由此相关参数运行 COSMO/ M-HSTAR 编码得到的 Be 层 $T_{max} = 947 \text{ K}$, Cu 层 $T_{max} > 700 \text{ K}$, 超过了材料需限制的温度范围, 且 Be 层温度分布不均匀, 产生了很大的热应力, 因此为了降低材料的温度, 同时使材料的温度分布尽可能均匀, 我们同样在打击点附近, 即从入口 6 cm 开始采用长为 12 cm 的叶片式管道结构。

由此得到的有效对流换热系数为 $1.06 \times 10^4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 。

表 4 模型 2 的热工计算参数

He 冷却剂进口压力 / MPa	4
进口温度 / K	373
出口温度 / K	423
平均温度 / K	398
平均密度 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	48
平均粘度 / $\text{Pa} \cdot \text{s}$	282×10^{-5}
流道长度 / cm	24
流道截面 / cm^2	194
雷诺数 Re	0.72×10^3
质量流速 / $\text{g} \cdot \text{s}^{-1}$	25.5
对流换热系数 / $\text{W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^{-1}$	1.06×10^4

运行 COSMOS/M-HSTAR 计算结果见图 7 和表 5。

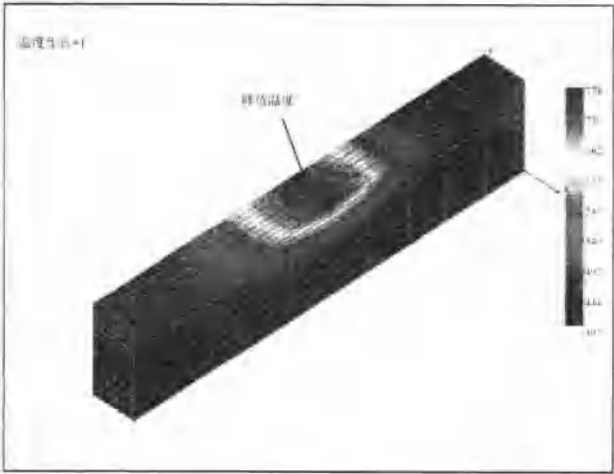


图 7 FEB-E 偏滤器靶板 He 径向循环冷却的计算结果

表 5 FEB-E 偏滤器靶板 He 径向循环冷却的热工计算结果

	外侧靶板	温度限值
靶板表面 (Be) 最高温度/℃	452	<700
靶板 Be 的最低温度/℃	254	>200
结构材料 Cu 合金的最高温度/℃	317	<320

3.3 计算结果分析

从表 3 给出的结果来看，氦气作环向循环冷却时靶板表面的温度及管道 Cu 合金的

温度已远远超过温度限值,而表 5 给出的结果则论证了 He 冷径向循环在给定的参数条件下的循环可行性。对比两个模型,造成温度差异的主要原因是靶板的结构尺寸及冷却剂的流向。以模型 1 的中心流道及模型 2 的管道为例,模型 1 采用环向循环冷却,流道长度为 494 cm,其中心流道对应的表面热沉积平均为 0.035 MW,模型 11 采用径向循环冷却,流道长度为 24 cm,其管道对应的表面热沉积平均为 0.007 MW,由此而产生的冷却剂温差便有了较大的差异:模型 1 的进出口温差为 265 °C,而模型 2 的进出口温差仅为 50 °C,且其它计算参数也相应不同,从而导致结果的差异。

通过应用 COSMOS/M-HSTAR 进行热工计算,以进口温度为 100 °C,压力为 4 MPa 的氦气对靶板进行径向循环冷却是可行的。当然,这里只是就热工方面的问题进行了论证,其水力问题如:氦的循环压降、循环功率(Pumping Power)的计算,将在以后的工作中进行论证。

4 总 结

FEB 实验混合堆在工程概要设计(FEB-E)阶段,偏滤器的结构从开式固板靶优化为闭式气室靶,以改善偏滤器的杂质控制和增强原子损失过程。偏滤器运行在喷气和注杂组合下的脱靶等离子体或部分脱靶等离子体模式。硼被选为注入杂质。应用改进了的 NEWTID 编码模拟了喷气和注杂状态下删削层/偏滤器等等离子体及杂质的运输。着眼于杂质滞留和杂质辐射,优化了的喷气口位置位于真空室的中平面处,杂质注入位置可在偏滤器中靠近靶板处。在辐射偏滤器概念下,应用两点输运编码和杂质辐射模型估算了等离子体压力。计算表明:偏滤器靶前等离子体压降系数 f_p 不仅和辐射份额 f_{rad} 有关,而且和删削层驻点密度 n_s 更加密切相关。要获得脱靶等离子体需要喷气(D_2)和注杂(Ne, Ar 或 B)相结合,即合适地提高 n_s 和 f_{rad} 相配合。根据文献[1], FEB-E 删削层驻点密度 n_s 运行点可选在 $5 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ 处,运行区间为 2×10^{19} 至 $8 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$;辐射份额 f_{rad} 运行点则可选在 0.5 处,运行区间为 0.2~0.8 之间。

偏滤器主体结构由 48 个气室模件环绕组成。每个气室模件由基座、靶板、耐热层、拱顶、抽气道、冷却管道及滑靴等部件组成。应用 COSMOS/M-HSTAR 编码对偏滤器靶板进行了热工计算,结果表明以进口温度为 100 °C,压力为 4 MPa 的氦气对靶板进行径向循环冷却是可行的。

参 考 文 献

- 1 朱毓坤,周小兵,黄锦华,冯开明,邓培智,霍铁军 FEB 混合堆偏滤器的物理研究. 中国核科技报告-CNIC-01386, 1999
- 2 周小兵,盛光照,冯开明,朱毓坤等 腐蚀与沉积对偏滤器靶板寿命的影响 核聚变和等离子体物理, 1998, 18(4) 15
- 3 核工业西南物理研究院和中科院等离子体物理研究所 中国实验混合堆详细概念设计(1991-1995), (内部报告), 1996, 4
- 4 Dietz K J, Chiocchio S, Anupenkov A, et al. Engineering and Design Aspects Related to the Development of the ITER Divertor Fusion Engineering and Design 1995 (27) : 96~108
- 5 Baxi C B Design, Fabrication and Testing of a Helium-cooled Model Fusion Engineering and Design, 1995 (28) 22

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 7-5022-2081-X



9 787502 220815 >