

团 体 标 准

T/CNIDA XXXXX—XXXX

压水堆核电厂屏蔽主泵水润滑轴承石墨瓦
材料

Graphite Material for Water Lubrication Bearings of Canned Motor Pump in
Pressurized Water Reactor Nuclear Power Plants

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国核工业勘察设计协会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 功能要求	1
5 材料要求	3
6 小样件检验要求	4
7 试验要求及试验后验收准则	5
8 交货状态、保管和移交要求	5
9 标记、清洁、包装和运输要求	5
10 质量保证要求	6
参考文献	7

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国核工业勘察设计协会提出并归口。

本文件起草单位：上海核工程研究设计院股份有限公司、哈尔滨电碳厂有限责任公司、哈尔滨电气动力装备有限公司。

本文件主要起草人：周文霞、钟云、刘文丰、张龙源、邱健、索文旭、夏迪、吕向平、刘晓强、王伟光、杨永华、殷景峰、王雨晨。

压水堆核电厂屏蔽主泵水润滑轴承石墨瓦材料

1 范围

本文件规定了石墨材料的制造、检验和验收等要求。
本文件适用于屏蔽主泵水润滑轴承摩擦副的推力瓦。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 3074.2-2008 石墨电极弹性模量测定方法
- GB/T 22588-2008 闪光法测量热扩散系数或导热系数
- JB/T 8133.3-2013 电炭制品物理化学性能试验方法 第3部分：洛氏硬度
- JB/T 8133.4-2013 电炭制品物理化学性能试验方法 第4部分：肖氏硬度
- JB/T 8133.7-2013 电炭制品物理化学性能试验方法 第7部分：抗折强度
- JB/T 8133.8-2013 电炭制品物理化学性能试验方法 第8部分：抗压强度
- JB/T 8133.14-2013 电炭制品物理化学性能试验方法 第14部分：体积密度
- JB/T 8133.15-2013 电炭制品物理化学性能试验方法 第15部分：气孔率
- JB/T 8133.18-2013 电炭制品物理化学性能试验方法 第18部分：线膨胀系数
- ASME NQA-1 核设施质量保证要求

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

4 功能要求

石墨材料需承受主泵推力载荷，正常运行期间处于水润滑状态，启停过程存在干摩擦、边界润滑和混合润滑过程。

4.1 部件分级

部件分级见下表 1。

表 1 屏蔽电机主泵推力瓦部件分级

零部件	核安全级别	抗震类别	安全分级	ASME B&PVC分级
石墨推力瓦	SC-3	I	C	不适用

4.2 工况和瞬态

正常运行工况条件见表 2，在机组的寿期内，石墨材料应能经受 3000 次启动-停车循环。

表 2 正常运行工况

运行压力 (MPa)	15.5
运行温度 (°C)	≤120
运行比压 (MP) (a)	≤0.5

4.3 环境条件

水化学条件见表 3，辐照剂量见下表 4。

表 3 水化学条件

参数	正常功率运行时预计值	边界值 (正常功率运行、停机、重新启动)
pH _r	6.9~7.4	4~10.5 (25°C)
电导率 (μS/cm)	0~40 (25°C)	
H ₃ BO ₃ (ppm B)	0 ~ 2150	0 ~ 2700
LiOH ⁽⁶⁾ (ppm Li)	0~3.5	0~6
溶解氢 ⁽²⁾ (cc H ₂ (STP) /kg H ₂ O)	25~50	0~80
溶解氧 ⁽⁵⁾ (ppb)	≤100 (在121°C时)	无限制
联氨 ⁽⁵⁾ (ppm)	可忽略	0~10 (仅在重新启动)
H ₂ O ₂ (ppm)	可忽略	0~15 (最大值在停机时, 温度小于82°C)
Si (ppm SiO ₂)	≤1	≤5
Al (ppb)	≤50	≤1000 (限值适用于所有铝、钙和镁的总和)
Ca+Mg含量 (ppb)	≤50	
Mg (ppb)	≤25	
Cl (ppb)	≤150 (在>121°C时)	
F (ppb)	≤150 (在>121°C时)	
S (ppb)	≤150 (在>121°C时)	
溶解金属含量 (Ni、Fe、Zn)	总量≤50ppb (锌含量≤40ppb)	≤10ppm (仅在停机时)
悬浮固体 ⁽³⁾	≤50ppb	≤2ppm
含气量 (氧除外)	不适用	无限制 (仅在停机时)
N ^{(2) (4)} (cc/kg (STP))	11.05	
注1: 该表仅用于材料选择, 并非运行建议。		
注2: STP定义为0°C和101.3kPa (a)。		
注3: 大部分颗粒尺寸< 1μm, 但曾经观测到47μm长的颗粒。		
注4: 不希望含有大量溶解氮下运行。在电厂启动以前冷却剂中溶解的氮不会有意地清除, 但决不会添氮。		
注5: 在电厂运行温度超过 93 °C之前, 采用联氨净化的反应堆冷却剂中氧浓度必须控制到小于0.1ppm。在功率运行期间,		

且冷却剂中维持规定的氧浓度，则残余氧浓度应不大于0.005ppm。

注6：当启动试验升温超过65°C以前，必须达到规定的锂浓度。在无硼酸溶液的冷态水压试验和热态功能试验期间，必须维持反应堆冷却剂的氢氧化锂限值，以抑制卤素引起的应力腐蚀裂纹。

表4 主泵电机绕组/轴承正常放射性剂量率和60年正常运行累计放射性剂量

γ 放射性剂量率 (Gy/h)	60年累计 γ 放射性剂量 (Gy空气)
2.28×10^{-1}	1.2×10^5

4.4 摩擦副

水润滑石墨瓦的摩擦副一般在基材（常用不锈钢）表面设置耐磨层材料，如镀铬、堆焊硬质合金、热等静压硬质合金等表面强化方法，镀铬等为表面镀层无熔池，堆焊硬质合金和热等静压硬质合金属于焊接有熔池，镀铬表面显微硬度建议值不小于HV550，堆焊硬质合金表面硬度建议值不小于HRC37，热等静压硬质合金表面硬度建议值不小于HRC41；耐磨层材料工作表面粗糙度一般不大于Ra0.4 μ m，石墨瓦工作表面粗糙度一般不大于Ra0.8 μ m。

4.5 寿命要求

本节主要作为材料筛选，适用于全液膜动压润滑轴承在非额定运行工况（如低于最小安全转速阶段等）的磨损。全尺寸推力轴承寿命评估按照7.2进行。

寿命期内石墨推力轴瓦总平均磨损量一般不大于1mm，在进行筛选材料时可开展启停试验，如无具体启停次数，可按照4.2启停次数执行，经历规定次数启停试验后，多个轴瓦材料可通过启停试验并结合工程情况进行优选。总平均磨损量 ≤ 0.1 mm为等级1，总平均磨损量 > 0.1 mm且 ≤ 0.5 mm为等级2，总平均磨损量 > 0.5 mm且 ≤ 1 mm为等级3，总平均磨损量 > 1 mm为等级4，见表5。

表5 石墨推力轴瓦总平均磨损量分级表

等级	总平均磨损量
1	≤ 0.1 mm
2	> 0.1 mm且 ≤ 0.5 mm
3	> 0.5 mm且 ≤ 1 mm
4	> 1 mm

注：采用等级4材料时，需要指出寿命期内主泵推力轴瓦能接受的最大磨损量限值。

5 材料要求

5.1 概述

订货合同中应注明本文件号、牌号和数量等。

采购方应提供订货图、尺寸及允许偏差。

订货合同应至少明确以下技术要求：

- 锻件的交货状态；
- 试样及试料的保管要求；
- 标志、清洁、包装和运输要求；

——其他特殊要求。

5.2 成分要求

可使用扫描电子显微镜测试 SEM 观测并确认样品表面、可使用能谱分析仪、电子探针分析 EPMA、红外光谱分析 FT-IR 分析评估样品成分分布。

用于与冷却剂接触的结构部件表面材料的钴含量，应不大于 0.05%（以整体平均重量%计）。

最终产品部件不应在运行介质中析出铝、铅、铁、铜、低熔点金属、硫、过多的卤族元素等。模拟运行介质条件下，石墨析出有害元素的量可通过浸泡试验进行分析。石墨中的氯含量应低于 5ppm。氯离子浸出浓度应低于 0.17ppm。硫含量应低于 100ppm，氟含量低于 50ppm。

可通过能谱分析仪、透射电子显微镜、电子背散射衍射 EBSD 等技术检测材料中有害元素及其分布情况、材料结构等。

5.3 性能要求

材料性能参数要求如表 6 所示。

表 6 材料性能参数要求

项目	要求值	适用标准
密度	$\geq 1.8 \text{ g/cm}^3$	JB/T 8133.14-2013
热胀系数	$\leq 6.0 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ (20-150 $^\circ\text{C}$)	JB/T 8133.18-2013
导热系数	$\geq 40 \text{ W/m}\cdot\text{K}$	GB/T 22588-2008
孔隙率	$\leq 2\%$	JB/T 8133.15-2013
洛氏硬度	85-125 (HR5/150)	JB/T 8133.3-2013
肖氏硬度	70-100 (HS)	JB/T 8133.4-2013
弹性模量	10-24 GPa	GB/T 3074.2-2008
抗压强度	$\geq 156 \text{ MPa}$	JB/T 8133.8-2013
抗弯强度	$\geq 52 \text{ MPa}$	JB/T 8133.7-2013
注 1: 石墨材料含金属氧化物等增强相时导热系数要求值不适用。		
注 2: 石墨材料硬度可选择洛氏硬度或肖氏硬度的一种方法测试。		

6 小样件检验要求

6.1 摩擦磨损试验

根据主泵实际工况载荷，材料开发阶段需开展小样块摩擦磨损试验，模拟启停 3000 次。

试验完成后，应形成专项的摩擦学论述报告，以证明开展的摩擦磨损试验可以真实地、更保守地代表合金在推力轴承产品中的真实工况，以确认真实的磨损情况能够满足主泵的使用要求。

小样件试验中所用到的合金材料应与产品合金材料使用相同的加工工艺，并确认其加工工艺也适用于全尺寸产品试验所需的样件尺寸。

6.2 辐照试验

开展加速辐照试验，辐照累计剂量不低于 60 年累计 γ 放射性剂量。辐照前后的材料性能应满足 5.3 的要求值，且无明显变化。

6.3 腐蚀试验

在产品供货前，根据 4.3 规定的水化学条件，选取最保守的水质参数，开展腐蚀试验并提交评估报告。腐蚀试验的环境包括全浸没状态和浸没后移除但半干的状态，所涉及的试验包括缝隙腐蚀试验 (ASTM G48)、循环极化试验 (ASTM G61) 和含硼水浸没缝隙腐蚀试验。

6.4 残余应力消除和检验的要求

可采用一定的工艺措施（介质温度、压力变化等预处理）对石墨瓦的残余应力进行消除，以便确保石墨瓦研磨后的表面形貌及尺寸满足技术要求。

为了防止加工过程期间尺寸改变，应缩短配磨和加工冠面之间的时间，不应一次加工冠面和配磨完成，从配磨到加工冠面要求按顺序加工，一次最多加工两套（一套指一个石墨推力瓦和一个推力瓦基配对）。

7 试验要求及试验后验收准则

7.1 全尺寸样件试验

屏蔽泵推力瓦为扇形，单瓦扇形尺寸与全尺寸推力轴承保持一致，其典型尺寸为 16*290*390mm，全尺寸轴瓦研磨后的表面形貌及尺寸满足技术要求。

在顺利通过小样件试验基础上，制造全尺寸屏蔽主泵推力瓦，在全尺寸推力轴承试验台上进行试验，此试验主要是验证推力轴承的稳态运行性能。

材料开发阶段试验内容至少包括启停、高低速运转等，具体试验内容由相关方参考主泵规范书协商确定。试验过程中，应对轴承运行状态和水样情况进行监测。

7.2 整机轴承试验

在顺利通过全尺寸样件试验基础上，将采用本标准石墨材料的国产推力轴承安装到主泵样机中，进行整机轴承试验，在全尺寸主泵样机中进行验证，基于主泵样机全流量试验台架，此试验主要验证轴承的设计寿命。

材料开发阶段整机轴承试验内容应至少包括冷态运行、热态运行、惰转试验以及部分循环试验。具体试验内容由相关方参考主泵规范书协商确定。试验过程中，应对主泵运行状态和水样情况进行监测。

7.3 试验后的验收准则

推力瓦仍具备动压润滑的工作能力，推力瓦表面满足主泵试验前、后检查要求及验收标准。

8 交货状态、保管和移交要求

承制厂质检部门应按技术条件对石墨瓦材料进行测试试验。

每一个批次石墨瓦材料（符合半成品技术条件并用同一批树脂浸渍的石墨材料称为一个批次）按技术条件各项要求进行检验和验收。

进行验收试验时，如个别指标达不到要求时，允许承制厂重新浸树脂，而后再按技术条件进行验收。交货的石墨瓦应进行 X 射线或超声等无损检测并验收。

9 标记、清洁、包装和运输要求

全部加工过程期间必须保证的零件标识，轴瓦相关位置按图纸等要求进行手工划刻标识。

验收后的毛坯，在合格证上应注明：产品名称、系列号（SN）、型号、批号、规格、检验数据、无损检测报告及出厂时间，并盖有质检员章及质检合格证专用章。

合格的石墨瓦材料用防潮纸或布分别包好，装入木箱中。

装箱的石墨瓦材料每块之间用柔软的材料填满，做好防震措施，箱子中放有合格证，在木箱上应注明：承制厂厂名、产品名称、规格、数量及出厂日期。

运输时，应把箱体锁紧固定牢固，严防颠簸和碰撞。

10 质量保证要求

应满足 ASME NQA-1 和 HAF003 的相关质量保证要求。

从初次接收到加工完成期间，供方应保持对物项和材料的识别、控制和可追溯性等措施。

提供详细制造检查质量计划供审查批准，该计划应在制造活动放行和开始前获得批准，并应在整个制造过程中规定停工待检点或见证点。

参 考 文 献

- [1] GB/T 3074.4 石墨电极热膨胀系数(CTE)测定方法
 - [2] GB/T 10297 非金属固体材料导热系数的测定热线法
 - [3] HAF003 核电厂安全质量保证规定
 - [4] HB 5367.10 碳石墨密封材料摩擦性能试验方法
 - [5] JB/T 8133.1 电炭制品物理化学性能试验方法 第1部分：试样加工技术规定
 - [6] ASTM G48 使用氯化铁溶液测定不锈钢和相关合金抗针孔和隙缝腐蚀的标准试验方法
 - [7] ASTM G61 铁、镍或钴基金局部腐蚀敏感性的循环电位极化测量的标准试验方法
 - [8] ASTM C561 石墨样品中灰份测试方法
-