



中华人民共和国国家标准

GB/T 25449—2010

重水堆核电厂燃料棒束技术条件

Specification for fuel bundles of PHWR plant

2010-11-10 发布

2011-05-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

前 言

本标准的附录 A 是规范性附录。

本标准由中国核工业集团公司提出。

本标准由全国核能标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：中核北方核燃料元件有限公司。

本标准主要起草人：冯素贞、郭吉龙、迟新国、白日明、王军。

重水堆核电厂燃料棒束技术条件

1 范围

本标准规定了重水堆核电厂燃料棒束的技术要求、检验方法、检验规则与包装、标志、贮存、运输等要求。

本标准适用于重水堆核电厂燃料棒束。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB 11806 放射性物质安全运输规定

GB/T 25448 重水堆核电厂燃料棒束氦质谱泄漏检测

GB/T 25450 重水堆核电厂燃料元件端塞焊缝涡流检测

GB/T 25451 重水堆核电厂燃料元件涂层厚度测量 β 射线背散射法

GB/T 25452 重水堆核电厂燃料元件用烧结天然二氧化铀芯块技术条件

EJ/T 564 核电厂物项包装、运输、装卸、接收、储存和维护要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

燃料棒束 fuel bundle

作为一个整体装入和卸出堆芯的燃料元件组。

4 技术要求

4.1 燃料棒束

4.1.1 结构及尺寸

燃料棒束结构及尺寸应满足图纸的要求。

4.1.2 表面质量

棒束表面应:

- a) 无油污、锈迹、手印及各种碎屑;
- b) 包壳上凹痕、划伤、印记深度应小于最小壁厚的10%,其他部件上凹痕、划伤、印记深度不大于0.25 mm,端塞的表面不能有深度超过0.25 mm的电弧坑;
- c) 燃料棒束表面放射性沾污不大于 2.8×10^{-8} gU/cm²。

4.1.3 强度要求

端板和燃料元件之间的焊接扭矩强度要求为:外环不小于6.8 N·m,非外环不小于4.5 N·m。

4.1.4 腐蚀性

燃料棒束高压腐蚀性试验后应具有一层黑色的光亮表面,无肉眼可见白色或褐色腐蚀物。

4.2 烧结天然二氧化铀芯块

烧结天然二氧化铀芯块,应满足GB/T 25452的要求。

4.3 包壳管内壁石墨涂层

4.3.1 石墨涂层厚度为 $2.5\ \mu\text{m}$ ~ $20\ \mu\text{m}$,平均厚度为 $5\ \mu\text{m}$ ~ $15\ \mu\text{m}$;涂层应附着均匀、完整(涂覆面积不小于内壁总面积的 98%)。

4.3.2 每根包壳管内壁石墨涂层中氢含量不大于 $500\ \mu\text{g}$ 。

4.4 支承垫、隔离块铍涂层

4.4.1 铍涂层应均匀、完整,不允许有污迹。

4.4.2 铍涂层厚度应符合表 1 的规定。

表 1 铍涂层的厚度要求

单位为微米

项 目	薄隔离块	厚隔离块	支承垫
平均值	14.50~16.50	12.50~15.00	11.50~14.00
单个最小值	13.75	11.50	10.75
最大值与最小值之差	5.00	7.50	6.00

4.5 结构件

4.5.1 结构件材料

结构件(包壳管、薄隔离块、厚隔离块、支承垫、端塞和端板)材料均为锆-4 合金,其化学成分、力学性能应满足附录 A 的要求。

4.5.2 包壳管

包壳管应满足:

- a) 包壳管表面要求洁净,不允许有可见的黄色或蓝色氧化物;
- b) 表面划伤或凹坑等缺陷深度应小于最小壁厚的 10%。

4.5.3 支承垫和隔离块

支承垫和隔离块应满足:

- a) 表面应无毛刺、裂纹、撕裂、擦伤、砂眼等缺陷,表面粗糙度 R_a 不大于 $1.6\ \mu\text{m}$ 。
- b) 表面上凹点数量不能超过 3 个,直径不能超过 $1.5\ \text{mm}$,最大深度不能超过 $0.13\ \text{mm}$ 。

4.5.4 端塞

表面应洁净,无油污、毛刺、划伤,表面粗糙度 R_a 不大于 $1.6\ \mu\text{m}$ 。

4.5.5 端板

端板应满足:

- a) 端板表面无大于 $0.05\ \text{mm}$ 的毛刺,表面粗糙度 R_a 不大于 $1.6\ \mu\text{m}$ 。
- b) 端板表面划痕、凹坑的深度应不大于 $0.15\ \text{mm}$ (焊接区不大于 $0.08\ \text{mm}$,且小于 $0.08\ \text{mm}$ 的上述缺陷不超过 2 个)。
- c) 端板打号深度不超过 $0.15\ \text{mm}$,打号区域不允许有划痕和凹坑。

4.5.6 燃料元件

燃料元件应满足以下要求:

- a) 表面质量应满足:
 - 钎焊面不允许有肉眼可见的未焊透或未焊接的支承垫和隔离块存在;
 - 焊瘤去除后的元件端头表面不允许咬边;
 - 端塞焊后电弧不能延伸到焊缝;
 - 包壳表面的划痕、凹坑等缺陷的深度应小于最小壁厚的 10%。
- b) 焊缝要求应满足:
 - 端塞与包壳管的整个环焊缝内任一垂直截面上,合格焊缝在包壳管壁厚上的投影长度应大于包壳管最小壁厚的 90%;

——端塞与包壳间的焊缝,其拉伸强度、爆破强度及剥离强度应大于与其相连的包壳材料的强度,内部焊缝微相应被包容在端塞凹槽内。焊缝剥离实验不允许有大于 0.25 mm 的缺陷;

——端塞焊缝去除焊瘤后经涡流检查焊缝内部不允许有大于 0.20 mm 的缺陷;

——应在端塞焊接完成后 48 h 之内对燃料元件或燃料棒束进行氦质谱泄漏检测。

c) 内部气体应满足:

——成品燃料元件内部气体绝对压强应为 (100 ± 30) kPa;

——每支成品燃料元件中氦气含量最少 80%;

——每支成品燃料元件中空气含量最多 20%;

——每支成品燃料元件中氢的最大含量为 1.0 mg。

5 检验方法

5.1 包壳管内石墨涂层中氢含量分析用惰性熔融热导法分析。

5.2 包壳管内石墨涂层附着性采用专用塞规通过时带出的石墨不大于 2 mg 的方法进行检验。

5.3 支承垫和隔离块附着性采用专用划痕试验针划试后涂层不能有层状脱落现象的方法进行检验。

5.4 石墨涂层厚度、铍涂层厚度按 GB/T 25451 进行测量。

5.5 元件内气体化学成分、气体含量用气相色谱法分析。

5.6 外观和表面质量采用目测检查。

5.7 燃料棒束表面放射性沾污用擦拭法测量。

5.8 尺寸检查采用相应量具或专用测量设备检查。

5.9 端塞焊缝检测采用金相分析法和 GB/T 25450 方法检测。

5.10 棒束密封性采用 GB/T 25448 进行检测。

5.11 结构件材料的化学成分、力学性能检测按供需双方商定的方法进行。

5.12 高压腐蚀实验后的棒束用目测法进行检查。

6 检验规则

6.1 抽样方案

6.1.1 对于下列要求,每生产 15 只棒束抽取 1 只样品,当连续 10 只样品检验合格之后,可放宽抽样量为每 45 只棒束抽取 1 只样品:

- a) 棒束长度;
- b) 棒束端面垂直度;
- c) 棒束端部尺寸(不包括端塞的角度和端塞到端板的轴向距离);
- d) 外环元件到半壳的间隙;
- e) 支承垫的位置和平行度;
- f) 隔离块的位置;
- g) 元件之间的间隙。

6.1.2 对于下列要求,每生产 90 只棒束抽取 1 只样品:

- a) 元件长度偏差;
- b) 端板的平面度;
- c) 端塞角度;
- d) 端塞到端板的轴向距离。

6.1.3 每月抽取 1 只燃料棒束进行高压腐蚀性试验。

6.1.4 以上项目或其他检验项目抽样量按供需双方商定执行。

6.2 检查与验收

6.2.1 产品应成批提交验收,一般每批为 20 箱,每箱为 36 只棒束。

6.2.2 产品提交前,由供方进行出厂检验,需方监督和见证。

6.2.3 需方可对收到的燃料棒束进行外观、外形尺寸、表面状态等进行检查。若发现与本标准不符时,由供需双方协商解决或请第三方仲裁。

7 包装、标志、贮存、运输

7.1 包装

包装方式由供需双方商定,包装箱内应附有装箱单和产品合格证。

7.2 标志

7.2.1 对每只棒束应记录如下内容:

- a) 棒束标识号及型号;
- b) 棒束质量,以 kg 为单位,精确到 10 g;
- c) 二氧化铀质量,以 kg 为单位,精确到 10 g;
- d) 铀的质量,以 kg 为单位,精确到 10 g;
- e) 锆合金的质量,以 kg 为单位;
- f) 包壳、端塞和端板材料批号及二氧化铀的检验批标识;
- g) 棒束组装完成的日期。

7.2.2 产品包装箱上应注明:

- a) 制造厂名称;
- b) 产品名称;
- c) 放射性标志;
- d) 包装箱编号;
- e) 棒束数量;
- f) 毛重、皮重和净重;
- g) 目的地;
- h) 发货方;
- i) 收货方;
- j) 发货地;
- k) 外形尺寸;
- l) 注明“防潮”、“防震”和“小心轻放”等字样。

7.3 贮存

本产品应存放在清洁、干燥和无腐蚀性物质的环境中,禁止露天存放。

7.4 运输

本产品运输应符合 GB 11806 和 EJ/T 564。

8 质量证明文件

供方向需方提交符合本标准质量检验报告、质量证明书以及供需双方商定的其他文件。

附 录 A
(规范性附录)

锆-4 合金化学成分、杂质元素、力学性能要求

锆-4 合金化学成分、杂质元素、力学性能要求见表 A.1～表 A.5。

表 A.1 锆-4 合金包壳管元素化学成分

序 号	元 素	范 围
1	Sn	1.20%～1.70%
2	Fe	0.18%～0.24%
3	Cr	0.07%～0.13%
4	Fe+Cr	0.28%～0.37%
5	C	0.008%～0.03%
6	O	0.09%～0.15%
7	Si	0.005%～0.03%

表 A.2 锆-4 合金包壳管杂质元素最大含量

序号	元素	最大含量/(μg/g)	序号	元素	最大含量/(μg/g)
1	Al	75	11	Mo	50
2	B	0.5	12	Ni	70
3	Cd	0.5	13	Nb	100
4	Co	20	14	N	65
5	Cu	50	15	Ta	200
6	Hf	100	16	Ti	50
7	H	25	17	W	100
8	Pb	130	18	U	3.5
9	Mg	20	19	V	50
10	Mn	50	20	Cl	20

表 A.3 锆-4 合金棒、线材、板材元素化学成分

序 号	元 素	含量/(μg/g)
1	Sn	1.20～1.70
2	Fe	0.18～0.24
3	Cr	0.07～0.13
4	Fe+Cr	0.28～0.37
5	O	0.09～0.16

表 A.4 锆-4 合金棒、线材、板材杂质元素最大含量

序号	元素	最大含量/($\mu\text{g/g}$)	序号	元素	最大含量/($\mu\text{g/g}$)
1	Al	75	12	Mo	50
2	B	0.5	13	Ni	70
3	Cd	0.5	14	Nb	100
4	C	400	15	N	80
5	Co	20	16	Si	120
6	Cu	50	17	Ta	200
7	Hf	100	18	Ti	50
8	H	25	19	W	100
9	Pb	130	20	U	3.5
10	Mg	20	21	V	50
11	Mn	50	22	Cl	20
注：氯含量为推荐值。					

表 A.5 锆-4 合金室温下拉伸和爆破试验

材料名称	试验类型	特 性	最小值或要求
包壳管	拉伸试验	抗拉强度 0.2%屈服强度 50 mm 内的延伸率	450 MPa 385 MPa 21%
	爆破试验	最大周向应力	585 MPa
		周向总延伸率 $n=4-9, (\bar{x}-2.0s)$ $n=10-29, (\bar{x}-1.8s)$ $n\geq 30, (\bar{x}-1.7s)$ 其中： $\bar{x}$ 为平均值； s 为标准偏差； n 为试验样品数量	10%
棒材	拉伸试验	抗拉强度 0.2%屈服强度 50 mm 内的延伸率	410 MPa 240 MPa 14%
板材		抗拉强度 0.2%屈服强度 50 mm 内的延伸率	515 MPa 450 MPa 15%
线材	弯曲试验	在直径为 $3T$ (对于圆形线材 T 为线材直径, 对于矩形线材 T 为线材宽度或厚度中数值较小的那个尺寸) 的心轴上缠绕至少 180°	不产生裂纹