

行业标准《板式换热器用锆板》

编制说明（送审稿）

1. 工作简况

1.1 任务来源及计划要求

根据工业和信息化部办公厅关于印发《2024 年第一批行业标准制修订计划的通知》（工信厅科〔2024〕18 号），由国核宝钛锆业股份公司（以下简称“国核锆业”）负责制定板式换热器用锆板行业标准，项目计划编号 2024-0068T-YS，计划完成年限 2026 年。

1.2 本标准涉及的产品简介

随着国内生态环保任务的逐步放大，化工行业高端装备对耐强腐蚀性、高温高压换热器的需求也是逐渐提高，传统不锈钢、钛材、镍基合金等难以满足极端工况，锆由于具有优异的综合力学性能、良好的加工成型性能、耐腐蚀性能而被广泛运用于化工行业的设备装置制造。

锆材板式换热器在醋酸领域具有传热效率高、结构紧凑、耐腐蚀性强等核心优势，是强腐蚀介质换热器发展的必然趋势，尤其是在含有溴离子、高温强腐蚀的工况下，与哈氏合金、钛材相比，锆材具有不可替代的极致耐蚀性和长期经济性。以设备生命周期的成本为例，锆材板式换热器的仅为钛材的 1/5，哈氏合金的 1/3，不锈钢的 1/7，锆材生命周期成本最低，设备利用率提升 30%以上。

醋酸生产过程中的换热需求主要集中在以下几个关键环节：反应器温度控制、产品冷凝冷却、热能回收利用以及辅助系统冷却。以上工序对设备提出了多方面要求，首先，醋酸及其衍生物具有较强的腐蚀性，要求换热材料能够耐受酸性介质；其次，生产工艺要求精确的温度控制，换热设备需要具备快速响应能力；再者，从经济效益考虑，设备应具备高效率、低能耗特点；最后，考虑到醋酸生产的连续性，换热设备必须运行稳定，维护简便。

与锆材管壳式换热器相比，锆材板式换热器通过设计独特波纹的板片结构，产生高度湍流的流体运动，大幅提升传热系数。在相同工况条件下，板式换热器的传热系数可达传统管壳式换热器的 2-3 倍。锆材板式换热器体积小结构紧凑，为企业大幅度节省空间和降低能耗，相同换热能力下锆材板式换热器体积仅为列管式换热器的 1/3-1/5、重量也大幅减轻、且易于扩展和维护。对于醋酸生产企业的扩建或改造项目，锆材板

式换热器体积小特点使其更容易在现有空间内安装，大幅降低了工程难度和成本。以某醋酸项目酯化反应器中的应用为例，锆材板式换热器热交换元件每组仅重 3000KG，而传统列型管束换热器重量则达 15000KG，设备重量减轻了 80%。这种紧凑设计不仅节省了安装空间，还降低了支撑结构的要求，减少了土建投资。

锆材板式换热器还具有滞留量低、热响应快的特点，能够在负荷波动期间实现精确的工艺控制，特别适合醋酸生产这类对温度敏感的工艺过程。传统管壳式换热器由于内部容积大、流体停留时间长，对工艺参数变化的响应相对滞后。而板式换热器的流道设计使流体以薄层形式快速通过，结合较小的内部容积，能够迅速响应温度、流量等参数变化。这一特性对于醋酸生产中的反应器温度控制、产品冷却等关键环节尤为重要，可有效避免温度波动导致的副反应增加或产品质量下降等问题。

锆材板式换热器相比管壳式换热器的清洗方便，停机时间短，维护成本低。板式换热器的模块化设计还允许用户根据生产需求变化灵活增减板片数量，调整换热能力，这种可扩展性延长了设备的技术生命周期，提高了投资回报率。

1.3 起草单位情况

国核锆业由国家核电技术公司（现国家电投集团）和宝钛集团有限公司于 2007 年 11 月共同出资组建，归口国家电力投资集团公司管理。注册资金 26 亿元人民币。

公司是集生产制造、科技研发和理化检测为一体的高科技领军企业，连续 10 年获得高新技术企业称号，拥有中国首条完整的锆材产业链，包括海绵锆生产、锆铸锭熔炼和锻造、坯料制备、管棒板材成品制造及返回料综合处理，年产量可满足 100 台百万千瓦级核电机组用核级锆材的需求及石油化工、醋酸及精细化工等行业对工业级锆材的需求。同时，公司顺利通过“检验检测机构资质认定证书（CMA）”和“中国合格评定国家认可委员会认证（CNAS）”，已成为国家认可的锆产品专业检测机构，是国家能源局首批 16 家国家能源研发（实验）中心之一，是国防科工局重点关注的 50 家重点项目生产企业之一。公司现已具备为全球不同反应堆核电站批量化提供各种产品的能力，并承担了国内醋酸化工行业技改和新建项目的锆材供货任务，市场占有率已达 40%以上。

1.4 主要工作过程

1.4.1 起草阶段

根据任务落实会议精神，国核锆业成立了《板式换热器用锆板》标准编制小组，依据板式换热器用锆板生产现状、质量检测水平、市场需求、应用状态等形成了本标

准草案。

1.4.2 征求意见阶段

2025年5月，标委会在山西运城召开了第一次标准工作会，来自宝鸡钛业股份有限公司、有研资源环境技术研究院（北京）有限公司、河南中源钛业有限公司、湖南湘投金天科技集团有限责任公司、兰州兰石换热设备有限责任公司、西部钛业有限责任公司等多家单位专家代表，会上对《板式换热器用锆板》（征求意见稿）及编制说明进行了讨论，与会专家积极提出了宝贵意见，会议结束后，标准编制小组根据讨论结果，对征求意见稿进行修改完善。

2025年8月，标委会在兰州召开了第二次标准工作会，来自宝鸡钛业股份有限公司、有研资源环境技术研究院（北京）有限公司、陕西航宇有色金属加工有限公司、湖南湘投金天科技集团有限责任公司、河南中源钛业有限公司、等多家单位专家代表，会上对《板式换热器用锆板》（预审稿）及编制说明进行了讨论，与会专家积极提出了宝贵意见，会议结束后，标准编制小组根据讨论结果，对预审稿进行修改完善。

2025年10月，主编单位在陕西宝鸡召开了标准讨论会，来自……

1.4.3 审定阶段

2025年11月，标委会在浙江杭州召开了标准审查会，来自……

2. 标准编制原则和确定标准主要内容的论据

2.1 标准编制原则

本标准是按照 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》的规定进行编写的。

本标准在编制过程中，主要通过对近年来板式换热器用锆板的研究、供货情况进行了分析和归纳，并结合当前国内制造水平和用户的技术协议，形成了该行业标准。

现阶段板式换热器用锆板没有相关标准，大部分参照 GB/T 21183 和用户补充协议签订加工合同。由于板材冲压成型过程具有强度增加、塑性下降及厚度略微减薄的特点，因此对厚度公差及拉伸性能、晶粒尺寸等性能提出了一些特殊要求。基于目前国内外均无板式换热器用锆板标准的现状，为利于行业产品的发展，将板式换热器用锆板的生产、采购与进一步成型相协调，以供货协议为基础，确保板换用锆板各项指标满足标准要求。

主要技术内容包括：1. 产品分类：包括材料的牌号、供应状态、规格及标记。2 技术要求：化学成分、外形尺寸及其允许偏差、拉伸性能、弯曲性能、晶粒度、维氏

硬度、外观质量。3. 试验方法 4. 检验规则 5. 标志、包装、运输、贮存和随行文件等。

2.2 主要技术内容的论据

2.2.1 适用范围及牌号、规格

鉴于目前使用的板式换热器用锆板的主要品种和规格，拟定该标准主要使用材料为 Zr-3，规格为 $\delta (0.5\sim 1.5) \times W (300\sim 1500) \times L (500\sim 5000) \text{ mm}$ 。

2.2.2 化学成分的规定

本标准的所使用锆材化学成分以 GB/T 26314 标准中的 Zr-3 为基准，由于板式换热器用锆板最终冲压成型要求不开裂，需具有一定的强度和塑性。化学成分中氧元素对板材冲制成型性影响较大，氧元素在 $\alpha\text{-Zr}$ 中形成间隙式固溶体，有强化作用。氧含量低有利于锆材的塑性但其强度也会降低，冲制时抵抗变形开裂的能力较小，超过抗拉强度从而开裂，因此在 GB/T 26314 标准基础上，对 Zr-3 牌号氧含量的上下限有特殊要求，且要求具体见表 1。

表 1 化学成分 质量分数 (%)

元素	元素含量	
	GB/T 26314	本标准
O	≤ 0.16	0.09~0.15

2.2.3 外形尺寸及其允许偏差

2.2.3.1 厚度允许偏差

本标准中厚度允许偏差与 GB/T 21183 标准相比有差异，板材冲压时成型位置的厚度会存在减薄现象，且厚度均匀性对冲压性能有显著影响，若厚度偏差过大，可能存在冲压位置开裂风险，根据我公司锆板轧制厚度控制经验及厚度均匀性对板材冲制的影响，给出了板式换热器用锆板的厚度允许偏差，具体见表 2。

表 2 厚度及允许偏差 单位为毫米

规定厚度	厚度允许偏差 (不大于)	
	GB/T 21183	本标准
0.5~0.65	± 0.08	± 0.04
$> 0.65\sim 0.90$	± 0.08	± 0.05
$> 0.90\sim 1.0$	± 0.12	± 0.05
$> 1.0\sim 1.5$	± 0.12	± 0.07

2.2.3.2 宽度及宽度允许偏差、长度及长度允许偏差的规定

本标准中对板式换热器用铝板宽度、长度公差提出了具体要求，因按照固定模具直接冲制，板材长宽的一致性会影响冲制效果。结合板换冲制设备要求，规定了用于板换用铝板的宽度公差、长度公差，具体见表 3。

表 3 厚度及宽度允许偏差 单位为毫米

规定厚度	宽度允许偏差		长度允许偏差		
	300~<1200	1200~≤1500	500~<1500	1500~<3000	3000~≤5000
0.5~0.65	+3 0	+5 0	+9 0	+13 0	+16 0
>0.65~1.0					
>1.0~1.5					

2.2.3.3 侧边弯曲度的规定

本标准中对板式换热器用铝板弯曲度提出了特殊要求，由于铝板最终在固定模具中冲压，冲制后板材边部需进行焊接，侧边弯曲度较大时会影响冲制及焊接质量，结合后续板式换热器设备要求及目前板材剪切后的弯曲度结果，规定了用于板式换热器用铝板弯曲度应不大于 1mm/m。

2.2.4 性能

2.2.4.1 室温拉伸性能

本标准对板式换热器用铝板提出了较高纵向室温拉伸性能要求，板式换热器用铝板一般经过冲压成型，冲制的波纹在换热器中具有紊流的作用，对冲制波纹尺寸精度要求严，且冲压后不允许产生开裂，这就需要使铝板具备较低的屈强比，较高的延伸率同时满足一定的强度，但屈服强度过低，在冲压过程中容易起皱或折叠，影响产品质量，经过我公司前期板材的生产经验及后续使用需求，提出了不同的性能要求，具体见表 3。

表 4 室温拉伸性能

	抗拉强度 R_m /MPa	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ /MPa	屈强比 $R_{p0.2}/R_m$	断后伸长率 $A_{50mm}/\%$
本标准	≥395	≥220	≤0.72	≥28
GB/T 21183	≥380	≥205	/	≥16

2.2.4.2 弯曲性能

鉴于铝具有低弹性模量，高回弹指数及室温下密排六方组织滑移系少的特性造成其变形困难，容易产生开裂问题，为进一步确保板材成型性，本标准中对弯曲方法及指标提出了相应要求，再结晶退火态板材应进行正反两面冷弯性能检验，具体见表 5。

表 5 弯曲性能

弯芯半径 mm	弯曲角度 °	试验方法
5T	105	GB/T 232

注：T为板材的名义厚度。

2.2.4.3 晶粒度

晶粒度可以体现板材的再结晶程度，有利于直观判断板材塑性的优劣，晶粒组织越细一般材料的塑性越优。本标准中要求板式换热器用锆板平均晶粒度 G 不低于 GB/T 6394 中的 9 级。

2.2.4.4 维氏硬度

维氏硬度体现板材抵抗塑性变形的能力，可以评估板材微观组织的均匀性、材料的耐磨性，本标准中要求板式换热器的维氏硬度 HV0.2 应不大于 205。

2.2.5 外观质量

本标准中对板式换热器用锆板表面光洁度及表面质量提出了特殊要求，由于换热器用锆板最终应用环境为醋酸溶液，表面光洁度和表面质量较差会影响冲压质量、腐蚀性能。因此本标准对表面光洁度和表面质量提出要求，具体要求如下：

- 1) 板材表面应呈金属光泽，光洁、平滑，表面粗糙度 Ra 值应不大于 0.8 μ m。
- 2) 板材表面不允许有过酸碱洗的痕迹。
- 3) 板材表面不允许有裂纹、针孔、起皮、折叠、金属与非金属夹杂物等缺陷，允许通过局部修磨清除表面缺陷，清除后板材厚度不得小于最小允许厚度。
- 4) 板材边部应平齐、无裂口、分层。
- 5) 板材表面禁用硬印标记。

3. 主要实验（或验证）情况分析

针对板式换热器用锆板产品，按本标准规定的方法，对 Zr-3 板材主要技术指标进行了验证，数据结果见表 6~表 9。

表 6 纵向室温拉伸性能

厚度规格 mm	批次	R _m /MPa	R _{p0.2} /MPa	A _{50mm} /%	屈强比
0.8	1	466	332	37	0.71
		467	333	34	0.71
1.0	1	445	310	33.5	0.70
		444	302	33.5	0.68
	2	439	283	33	0.64

		436	280	34	0.64
	3	437	279	33.5	0.64
		436	278	32	0.64
	4	435	270	34.5	0.62
		433	278	35	0.64
	5	433	269	33	0.62
		426	272	33.5	0.64
	6	459	302	34	0.66
		458	299	34.5	0.65
	7	450	302	33.5	0.67
		445	297	33	0.67
	8	448	275	34	0.61
		446	273	33.5	0.61
	9	435	263	35.5	0.60
		433	261	36	0.60
	10	436	282	38	0.65
		435	283	38.5	0.65
	11	435	283	39.5	0.65
		436	283	39	0.65
	12	454	309	31	0.68
		444	305	28	0.69
	13	430	276	37.5	0.64
		429	274	37.5	0.64
	14	463	327	31.0	0.71
		462	327	32.0	0.71
	15	444	320	30.5	0.72
		443	319	30.5	0.72

表 7 晶粒度

厚度规格mm	批次	晶粒度 (G)
0.8	1	11.5级
1.0	1	11.5级
	2	10级
	3	9.5级
	4	10.0级
	5	10.0级
	6	10.0级

	7	10.0级
	8	10.0级
	9	10.0级
	10	10.0级
	11	9.5级
	12	9.5级
	13	9.5级
	14	9.5级
	15	9.5级

表 8 维氏硬度

厚度规格mm	批次	维氏硬度 (HV0.2)
0.8	1	172; 170; 170
1.0	1	172; 171; 170
		168; 169; 168
		172; 171; 171
	2	195; 186; 189
		197; 188; 198
		186; 190; 180
	3	185; 193; 188
		184; 183; 184
		175; 179; 178
	4	170; 174; 173
		173; 174; 170
		171; 171; 172
	5	168; 175; 168
		167; 168; 170
		175; 181; 180
	6	168; 173; 167
		171; 178; 171
		165; 164; 165
	7	161; 167; 161
		173; 174; 169
		170; 169; 178

	8	170; 175; 169
		168; 169; 170
		165; 173; 171
	9	167; 169; 160
		169; 163; 165
		178; 170; 180
	10	174; 170; 173
		183; 185; 186
		183; 194; 179
	11	180; 173; 175
		182; 187; 181
		188; 173; 183
	12	183; 182; 183
		175; 176; 169
		174; 179; 168
	13	171; 175; 173
		171; 168; 170
		168; 169; 172
	14	177; 183; 175
		184; 186; 183
		184; 187; 185
15	168; 175; 168	
	167; 168; 170	
	175; 181; 180	

表 9 弯曲性能

厚度规格 mm	批次	5T/105°弯曲
0.8	1	无缺陷、橘皮
1.0	1	无缺陷、橘皮
	2	无缺陷、橘皮
	3	无缺陷、橘皮
	4	无缺陷、橘皮
	5	无缺陷、橘皮
	6	无缺陷、橘皮

	7	无缺陷、橘皮
	8	无缺陷、橘皮
	9	无缺陷、橘皮
	10	无缺陷、橘皮
	11	无缺陷、橘皮
	12	无缺陷、橘皮
	13	无缺陷、橘皮
	14	无缺陷、橘皮
	15	无缺陷、橘皮

4. 标准水平分析

4.1 采用国际标准和国外先进标准的程度

据查，国外暂无板式换热器用锆板的专用标准。

4.2 国家同类标准水平的对比分析

经查，国内暂无板式换热器用锆板的专用标准，和板式换热器用锆板接近的标准有 GB/T 21183《锆及锆合金板、带、箔材》，该标准为通用型标准，不适用于板式换热器。本标准与国标 GB/T 21183 具体差异见表 10。

表 10

项目	牌号	GB/T 21183				本标准			
化学成分	Zr-3	O/%				O/%			
		≤0.16				0.09~0.15			
厚度允许偏差/mm	Zr-3	0.50~0.90	>0.90~1.5		0.5~0.65	>0.65~1.0		>1.0~1.5	
		±0.08	±0.12		±0.04	±0.05		±0.07	
宽度允许偏差/mm	Zr-3	>300~1000		>1000~3000		300~<1200		1200~≤1500	
		+4	+5		+3		+5		
		0		0		0		0	
侧边弯曲度	Zr-3	不大于3mm/m				不大于1mm/m			
纵向室温拉伸性能	Zr-3	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A_{50mm} %	屈强比	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A_{50mm} %	屈强比
		≥380	≥205	≥16	无规定	≥395	≥220	≥28	≤0.72
弯曲	Zr-3	弯芯半径		弯曲角度 α		弯芯半径		弯曲角度 α	

性能		无规定	5T	105°
晶粒度	Zr-3	无规定	不低于GB/T 6394-2017中的9级	
维氏硬度	Zr-3	无规定	HV0.2≤205HV	
表面粗糙度	Zr-3	Ra≤1.25μm	Ra≤0.8μm	

本标准在编制同时增加晶粒度、弯曲性能、维氏硬度等检测要求，且本标准制定的产品标准指标更加先进、合理，使板式换热器用锆板的质量水平有所提高，能够满足国内需求使用，对促进我国板式换热器用锆板的发展产生重要的影响。

5. 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准关系

本标准的制定过程、技术指标的选定、检测项目的设置复合现行法律、法规和强制性国家标准的规定。

6. 重大分歧意见的处理经过和依据

无

7. 标准作为强制性或推荐性的建议

本标准规范了板式换热器用锆板的主要技术指标，在执行时，也可以根据设计或用户要求，对一些指标等方面做出进一步特殊要求，因此建议本标准作为推荐性行业标准发布实施。

8. 贯彻标准的要求和措施建议

建议标准发布后及时组织相关单位开展标准宣贯，并向设计和制造单位大力推广使用本标准，以便更好的推广板式换热器用锆板的国产化进程，促进行业的健康发展，进一步提高和完善我国板式换热器用锆板的生产、装备、技术水平。

9. 废止现有有关标准的建议

无

10. 其它应于说明的事项

无

11. 预期成果

本标准发布，将有利的推动国内板式换热器用锆板行业的发展，同时，本标准的发布实施，将推进醋酸化工行业的发展进程；为国内板式换热器用锆板选材、质量控制提供指导；同时可促进该行业的健康、可持续发展、进一步提高和完善我国板式换热器用锆板的生产、装备、技术水平。

板式换热器用铝板标准编制组

2025年8月