

宝鸡钛普锐斯钛阳极科技有限公司
电化学研究院建设项目
大气环境影响专项评价

建设单位：宝鸡钛普锐斯钛阳极科技有限公司

环评单位：宝鸡漪清源环保咨询服务有限公司

二〇二六年九月

目 录

1	总则	3
1.1	项目由来	3
1.2	编制依据	3
1.3	评价因子及评价标准	4
1.3.1	评价因子	4
1.3.2	大气环境质量标准	4
1.3.3	大气污染物排放标准	5
1.4	评价等级及评价范围	5
1.4.1	评价等级	5
1.4.2	评价范围	8
1.5	大气环境保护目标	8
2	项目工程分析	9
2.1	项目概况	9
2.2	生产工艺及产污环节	9
2.3	运营期大气污染物源强核算	23
2.4	废气污染物排放汇总	36
2.5	非正常工况	37
3	大气环境现状调查与评价	39
4	运营期大气环境影响预测与评价	40
4.1	项目污染源排放参数	40
4.2	大气环境影响评价自查表	43
5	运营期大气污染防治措施	45
5.1	废气治理措施	45
5.2	达标排放分析	45
5.3	废气治理措施可行性分析	46
5.4	大气环境影响分析	48
6	排污口规范化设置与污染源监测计划	49
6.1	排污口规范化设置	49
6.2	自行监测要求	50
7	结论	51
7.1	达标区判定	51
7.2	大气环境影响及防治措施	51
7.3	总结论	51

1 总则

1.1 项目由来

宝鸡钛普锐斯钛阳极科技有限公司成立于 2018 年，位于“中国钛谷”陕西宝鸡，是专注于钛阳极产品研发、生产与销售的国家级专精特新“小巨人”企业、国家高新技术企业。公司主营钛基钎系、铌系、铂系、二氧化铅等 DSA 涂层钛阳极的加工制造，产品广泛应用于电解铜箔、电解水制氢、水处理、湿法冶金等领域。2021 年，公司与宝鸡文理学院共建了“应用电化学研究院”，致力于电解铜箔、有机电合成、水处理、湿法冶金等方向的钛阳极研发与应用。公司现有“钛基二氧化铅阳极生产线建设项目”及“钛镍电极生产线建设项目”均已履行环评手续并通过竣工环保验收。

随着新能源、环保等下游产业对高性能钛阳极产品需求的持续增长，以及公司自身业务向电解水制氢、高端电镀、有机废水处理等新领域拓展的战略需要，现有的研发检测能力已难以满足新材料、新工艺、新产品快速迭代的要求。为此，公司拟投资1500 万元，在现有厂区内建设“电化学研究院建设项目”。本项目依托公司与高校共建的应用电化学研究院平台，拟建设占地2000平方米的电化学研发实验室，重点围绕钛及钛合金金相检测与力学性能评价、钛阳极涂层制备与热处理工艺优化，以及Ti₄O₇新型电极与 PEM 电解槽/液流电池双极板涂层等前沿方向开展系统性实验研究。

项目实验过程中产生的废气污染物中氯气属于《有毒有害大气污染物名录》中的物质，且项目厂界外500米范围内存在大气环境敏感点（某单位，位于厂区西南侧约220m 处），特进行大气环境要素专项评价。

1.2 编制依据

- （1）《中华人民共和国生态环境法典》，2026.8.15；
- （2）《产业结构调整指导目录（2024 年本）》，2024.1.1；
- （3）《挥发性有机物（VOCs）污染防治技术政策》，2013.05.24；
- （4）《陕西省大气污染防治条例》，2023.11.30；
- （5）《陕西省大气污染治理专项行动方案（2023-2027 年）》（陕发〔2023〕4 号）；
- （6）《宝鸡市大气污染防治条例》，2020.03.01；
- （7）《宝鸡市大气污染治理专项行动方案（2023-2027 年）》（宝发〔2023〕8 号）；
- （8）宝鸡钛普锐斯钛阳极科技有限公司提供的其他有关技术资料。

1.3 评价因子及评价标准

1.3.2 大气环境质量标准

(1) 环境空气质量执行《环境空气质量标准》（GB3095-2026）二级标准。

表1-2 环境空气质量标准限值一览表

环境要素	标准名称及级（类）别	因子	单位	过渡阶段浓度限值	
				平均时间	二级
环境空气	《环境空气质量标准》 （GB3095-2026）二级标准	SO ₂	μg/m ³	年平均	≤60
				24小时平均	≤150
				1小时平均	≤500
		PM ₁₀	μg/m ³	年平均	≤60
				24小时平均	≤120
		NO ₂	μg/m ³	年平均	≤40
				24小时平均	≤80
				1小时平均	≤200
		PM _{2.5}	μg/m ³	年平均	≤30
				24小时平均	≤60
		CO	μg/m ³	24小时平均	≤4
				1小时平均	≤10
		O ₃	μg/m ³	8小时平均	≤160
				1小时平均	≤200
		氟化物	μg/m ³	1小时平均	≤20
				日平均	≤7
		氮氧化物	μg/m ³	日平均	≤70
				1小时平均	≤250
	《环境影响评价技术导则大 气环境》（HJ2.2-2018）附录 D	氯	μg/m ³	24小时平均	30
				1 小时平均	100
		氯化氢	μg/m ³	24小时平均	15
				1 小时平均	50
		硫酸雾	μg/m ³	24小时平均	300
	《大气污染物综合排放标准 详解》	NMHC	μg/m ³	1 小时平均	2000

1.3.1 评价因子

根据项目工程分析及周围环境特征分析，确定本项目评价因子如表1所示。

表 1-1 项目评价因子一览表

项目		评价因子
环境空气	现状调查	SO ₂ 、NO ₂ 、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、CO、O ₃
	影响预测	总悬浮颗粒物、非甲烷总烃、氯化氢、氯气、硫酸雾、氮氧化物、氟化物

1.3.3 大气污染物排放标准

项目运营过程中产生的酸性废气和有机废气执行《大气污染物综合排放标准》(B16297-1996)标准限值要求,厂区内无组织非甲烷总烃执行《挥发性有机物无组织排放控制标准》(GB 37822-2019)表 A.1 中特别排放限值。各污染物执行标准见下表:

表 1-3 大气污染物排放标准

执行标准	污染因子	标准值		
		类别		限值
	颗粒物	无组织	周界外浓度最高点	1.0mg/m ³
	非甲烷总烃	有组织	最高允许排放浓度	120mg/m ³
			25m排气筒排放速率(二级)	35kg/h
		无组织	周界外浓度最高点	4.0mg/m ³
	氮氧化物	有组织	最高允许排放浓度	240mg/m ³
			25m排气筒排放速率(二级)	2.85kg/h
		无组织	周界外浓度最高点	0.12mg/m ³
	氟化物	有组织	最高允许排放浓度	9.0mg/m ³
			25m排气筒排放速率(二级)	0.38kg/h
		无组织	周界外浓度最高点	0.02mg/m ³
	氯化氢	有组织	最高允许排放浓度	100mg/m ³
			25m排气筒排放速率(二级)	0.915kg/h
		无组织	周界外浓度最高点	0.20mg/m ³
	氯	有组织	最高允许排放浓度	65mg/m ³
			25m 排气筒排放速率(二级)	0.52kg/h
		无组织	周界外浓度最高点	0.40mg/m ³
	硫酸雾	有组织	25m 排气筒排放速率(二级)	5.7kg/h
			周界外浓度最高点	45mg/m ³
		无组织	周界外浓度最高点	1.2mg/m ³
《挥发性有机物无组织排放控制标准》 GB37822-2019)	非甲烷总烃	监控点处 1h 平均浓度值		6mg/m ³
		监控点处任意一次浓度值		20mg/m ³

1.4 评价等级及评价范围

1.4.1 评价等级

依据《环境影响评价技术导则-大气环境》（HJ2.2-2018）中5.3节工作等级的确定方法，结合项目工程分析结果，选择正常排放的主要污染物及排放参数，采用附录A推荐模型中的AERSCREEN模式计算项目污染源的最大环境影响，然后按评价工作分级判据进行分级。

(1) $P_{\max}$ 及 $D_{10\%}$ 的确定

依据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）中最大地面浓度占标率 P_i 定义如下：

$$P_i = \frac{C_i}{C_{0i}} \times 100\%$$

p_i ——第 i 个污染物的最大地面空气质量浓度占标率，%；

c_i ——采用估算模型计算出的第 i 个污染物的最大1h地面空气质量浓度， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

c_{0i} ——第 i 个污染物的环境空气质量标准， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

(2) 评价等级判别表

评价等级按下表的分级判据进行划分。

表 1-4 评价等级判别表

评价工作等级	评价工作分级判据
一级评价	$P_{\max} \geq 10\%$
二级评价	$1\% \leq P_{\max} < 10\%$
三级评价	$P_{\max} < 1\%$

(3) 污染物评价标准

污染物评价标准和来源见下表。

表 1-5 污染物评价标准

污染物名称	功能区	取值时间	标准值（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）	标准来源
总悬浮颗粒物	二类区	日均值 3倍	900	《环境空气质量标准》 （GB3095-2026）表2二级标准
PM_{10}	二类区	日均值 3倍	360	
氮氧化物	二类区	一小时	250	
氟化物	二类区	一小时	20	《环境空气质量标准》 （GB3095-2026）附录A
非甲烷总烃	二类区	一小时	2000	《大气污染物综合排放标准详解》
氯	二类区	一小时	100	《环境影响评价技术导则-大气环境》 （HJ 2.2-2018）附录 D
氯化氢	二类区	一小时	50	
硫酸	二类区	日均值3倍	900	

(4) 估算模型参数

估算模型所用参数见下表。

表1-6 估算模型参数表

参数		取值
城市农村/选项	城市/农村	城市
	人口数（城市人口数）	350000
最高环境温度		40.5 °C
最低环境温度		- 19.2 °C
土地利用类型		城市
区域湿度条件		中等湿度
是否考虑地形	考虑地形	否
	地形数据分辨率（m）	/
是否考虑海岸线熏烟	考虑海岸线熏烟	否
	海岸线距离/km	/
	海岸线方向/o	/

(5) 评级工作等级确定

本项目废气污染源正常工况下计算结果见下表。

表 1-7 项目主要大气污染物 Pmax和 D10%计算结果表

污染源名称	评价因子	评价标准 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cmax($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Pmax(%)	D10%(m)
DA001	NMHC	2000.0	8.3934	0.4197	/
	氯化氢	50.0	0.2251	0.4502	/
	氯	100.0	0.0003	0.0003	/
	F	20.0	0.0015	0.0076	/
	NOx	250.0	0.0240	0.0096	/
	硫酸	300.0	0.0144	0.0048	/
矩形面源	NMHC	2000.0	6.6471	0.3324	/
	氯化氢	50.0	0.0383	0.0767	/
	氯	100.0	0.0071	0.0357	/
	F	20.0	0.0071	0.0357	/
	NOx	250.0	2.0443	0.2271	/
	TSP	900.0	0.2747	0.0305	/
	硫酸	300.0	6.6471	0.3324	/
	NMHC	2000.0	0.0383	0.0767	/

经上述估算，本项目P_{max}最大值出现为氯化氢P_{max}值为0.4502%，C_{max}为0.2251μg/m³，根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）分级判据，确定本项目大气环境影响评价工作等级为三级。

1.4.2 评价范围

本项目空气环境要素评价等级为三级，根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ2.2-2018）5.4.3 三级评价项目不需设置大气环境影响评价范围。

1.5 大气环境保护目标

环境空气保护目标表

表1-8 大气环境保护目标一览表

名称	坐标/m		保护对象	保护内容	环境功能区	相对厂址方位	相对厂界距离/m
	X	Y					
	107.42154668	34.31853876					
			某单位	单位人员	二类区	SW	220m

2 项目工程分析

2.1 项目概况

项目总投资 1500 万元，在企业现有已租赁的标准化厂房内预留场地进行电化学研发实验室项目建设，主要试验内容围绕钛阳极材料及新型电化学电极开展系统性实验研究，具体研发内容有：

①材料基础性能检测平台：依托金相制样、力学测试及硬度检测设备，开展钛及钛合金的组织形貌分析、拉伸性能及硬度测试，为电极基材质量判定提供支撑；

②钛阳极涂层研发与工艺试验平台：开展钛基体前处理、贵金属涂液调配、静电喷涂及分段高温烧结试验，并通过电化学工作站及加速寿命测试系统进行极化、阻抗、强化寿命等性能评价；

③新型电极材料研发平台：开展 Ti_4O_7 导电陶瓷粉末制备及等离子喷涂涂层电极研究，以及 PEM 电解槽与钒液流电池用钛双极板导电防腐涂层研发，通过电化学测试和单电池测试验证电极性能。

2.2 生产工艺及产污环节

项目主要进行三条实验线路的研发，具体实验线路如下表：

表2-1 项目实验线路内容

序号	线路名称	具体实验	实验批次
实验线路一	钛阳极（传统DSA涂层电极） 生产线配套实验	①钛及钛合金金相制备及力学性能（拉伸、硬度）检测	300 批次/a
		②钛阳极制备及性能评价	220 批次/a
实验线路二	Ti_4O_7 （亚氧化钛）新型电极及粉末制备实验	Ti_4O_7 （亚氧化钛）新型电极及粉末制备实验	各路线不少于3批/a
实验线路三	PEM 电解槽与液流电池（新能源领域）钛双极板涂层实验	①钛基涂层双极板制备及性能评价实验	120批/年
		②ePTFE 增强 PFSA 质子交换膜制备试验	70批/年

（1）实验线路一：钛阳极（传统 DSA 涂层电极）生产线配套实验

①钛及钛合金金相制备及力学性能（拉伸、硬度）检测（300 批/年）

本实验通过对 TA1/TA2 纯钛及 TC4 钛合金进行金相试样制备与腐蚀观察，获取其晶粒形貌、晶界组织及缺陷分布等微观结构信息；同时通过硬度测试和室温拉伸试验，获取材料的硬度值、抗拉强度、屈服强度及断后伸长率等力学性能指标。

具体工艺流程图如下：

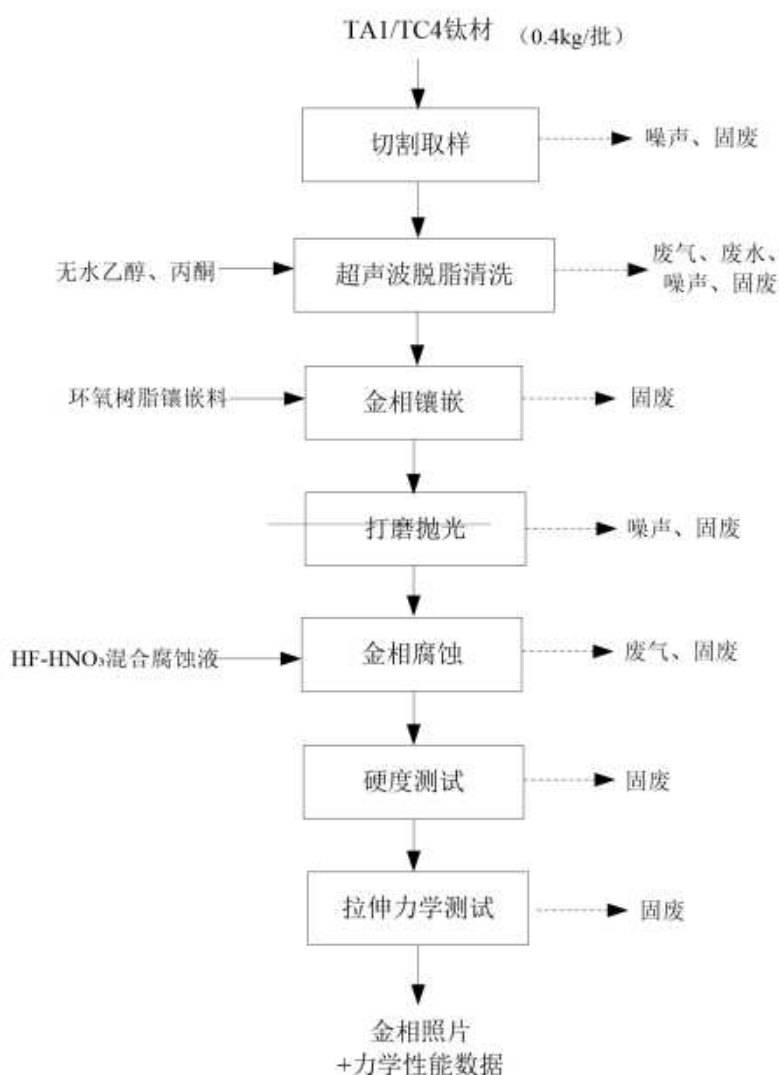


图2-1 钛材金相与力学性能检测流程图

①试样切割取样

外购 TA1/TA2 纯钛板材及 TC4 钛合金棒材，单批次 0.4kg、全年 300 批次，先经砂轮机粗切割去除表面氧化皮及明显缺陷，再采用线切割机（乳化液冷却润滑）精准切割至金相试样及拉伸试样尺寸。

②超声波脱脂清洗

切割后的钛试样置于超声波清洗机中，加入无水乙醇、丙酮各 200mL/批作为清洗介质，常温超声清洗 15min，利用空化效应剥离表面油污及切削液残留，取出后纯水漂洗。

③金相镶嵌处理

清洗后的金相试样置于镶嵌模具中，加入环氧树脂镶嵌料 20g/批，室温静置 30min 固化，形成规则镶嵌块以便后续打磨。

④打磨、镜面抛光

固化后的镶嵌块依次在预磨机上经 180#~3000#各目数砂纸逐级打磨（40min/批，湿法打磨），每更换一道砂纸用纯水冲洗表面；后在自动抛光机上以金刚石抛光悬浮液 0.1L/批为研磨介质进行镜面精抛（20min/批）。

⑤金相腐蚀观察

抛光后的镜面试样在通风橱内用 HF-HNO₃混合腐蚀液（比例约 1:1，5mL/批）滴加腐蚀 5~20s，利用 HF 与钛的电化学反应（ $2\text{Ti}+6\text{HF}\rightarrow 2\text{TiF}_3+3\text{H}_2\uparrow$ ）优先腐蚀晶界，显现组织形貌；硝酸起氧化调节作用。腐蚀后大量纯水冲洗终止反应，热风吹干后置于倒置金相显微镜下观察拍照。

⑥硬度测试

腐蚀后的金相试样置于数显维氏硬度计载物台上，以 0.3~1kgf 试验力、保载 10~15s，每试样测 8 个点位取平均值，评估钛材表面硬度及加工硬化程度。

⑦拉伸力学测试

将切割好的拉伸试样（4 根/批）装夹于万能材料电子拉伸试验机上下夹具间，在室温（25°C±2°C）、拉伸速率 0.5mm/min 条件下加载至断裂，自动记录载荷一位移曲线并计算抗拉强度、屈服强度、断后伸长率。

本实验最后得到试样的金相照片及力学性能数据，该检测结果可用于判定钛材原材料质量是否满足钛阳极产品制造标准，并为后续钛基体前处理及涂层制备工艺提供质量控制依据。

②钛阳极制备及性能评价（全年 220 批次）

本工艺通过碱洗除油和草酸酸洗去除钛基体表面油污及致密氧化皮，构筑高粗糙度锚固界面；再通过贵金属涂液配制、静电喷涂及低温烘干，在钛基体表面形成均匀的贵金属氧化物前驱体涂层，形成 DSA 涂层后通过电化学检测（极化曲线、交流阻抗、强化寿命）评价成品阳极性能。

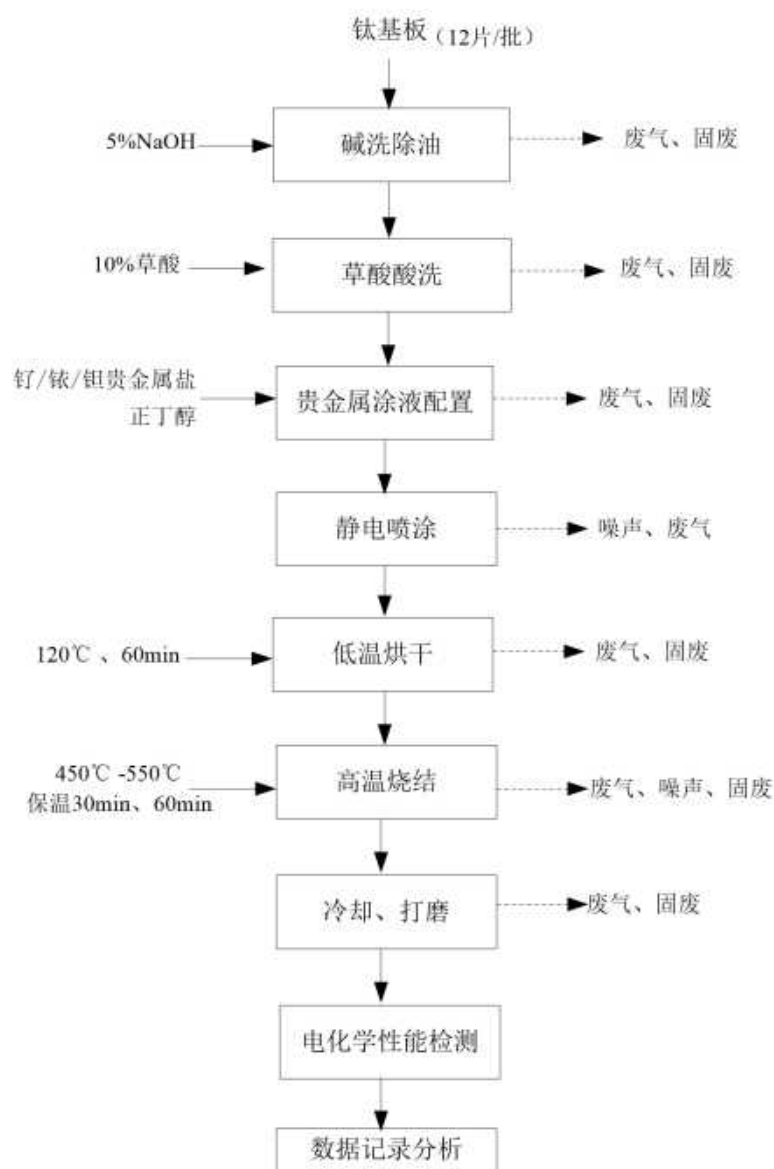


图2-2 钛阳极制备及性能评价流程图

①钛基板碱洗除油

将加工好的钛基板（每批 12 片）置于清洗槽中，加入 5% NaOH 碱液 3L/批，加热至 60℃浸泡 20min，利用碱液的皂化作用去除钛基体表面油污及有机物残留。碱洗后取出钛板，纯水冲洗去除残余碱液。

②草酸酸洗

碱洗后的钛基板置于酸洗槽中，加入 10%草酸溶液 2.5L/批，加热至 80℃恒温浸泡 40min，利用草酸的酸蚀作用去除钛基体表面致密的自然氧化皮（TiO₂），同时形成微观粗糙的锚固咬合界面，以增强后续涂层与基体的结合力。酸洗完成后取出钛板，纯水多次漂洗并烘干。

③贵金属涂液配制

在通风橱内，用电子天平精确称取钌/铑/钽贵金属盐合计 5g/批，加入正丁醇溶剂 200mL/批，置于烧杯中用磁力搅拌器常温搅拌溶解约 1h，使贵金属盐充分溶解形成均一前驱体溶液，随后避光静置熟化约 2h，使溶液内部发生缓慢的醇解和聚合反应，形成适宜喷涂的溶胶态涂液。

④静电喷涂上料

将调配好的贵金属涂液装入静电喷涂机中，在常温条件下对经前处理后的钛基板（一批 10 片）进行静电喷涂，利用高压静电场使雾化的涂液颗粒均匀吸附于钛基体表面，往复喷涂 3~5 层以确保涂层厚度均匀、覆盖完整，单块极板喷涂约 5min，一批次总时长约 1h。

⑤低温烘干

喷涂完成的钛极板置于鼓风干燥箱中，在 120℃（电加热）恒温条件下保温 60min，利用加热使涂液中残余的正丁醇等有机溶剂彻底挥发，同时贵金属盐在钛基体表面初步分解形成固着良好的前驱体涂层。烘干完成后自然冷却。

⑥分段高温烧结

将低温烘干后的涂层钛极板（一批 6 片）承载于刚玉坩埚/垫片上，置入程序升温管式烧结炉（电加热）中进行分段高温烧结。标准工艺为：室温→以 5℃/min 升温至 450℃，保温 30min；再以 3℃/min 升温至 550℃，保温 60min；随炉自然冷却。正交试验（100 批）阶段设置温度 480/520/580℃、保温 30/60/90min 等多变量对比。烧结过程中贵金属盐在高温下分解为钌/铑/钽氧化物，形成具有电催化活性的 DSA 涂层。

⑦冷却、打磨边角

烧结完成后随炉自然冷却至室温（约 2h），取出极板，轻微打磨边缘涂层毛刺，使极板边缘平整光滑。

⑧电化学性能检测

将制备完成的钛阳极极板置于电解槽中，分别以氯化钠电解液和稀硫酸为介质，在常温条件下进行恒电流电解测试，通过电化学工作站记录极化曲线、交流阻抗谱，并在加速寿命测试槽中进行强化寿命测试（以槽压急剧升高作为失效判据），综合评估阳极的电催化活性与服役寿命。

⑨数据记录分析

性能测试完成后，将实验数据进行记录并分析。

(2) 实验线路二：Ti₄O₇（亚氧化钛）新型电极及粉末制备实验

本实验工艺以高纯 TiO₂粉末为原料，经高温气氛还原制备 Ti₄O₇导电陶瓷粉末（主晶相含量≥85%），再通过破碎研磨、喷雾造粒获得 15~45μm 球形喷涂粉；同时钛基板经喷砂粗化和草酸刻蚀构筑锚固界面，采用大气等离子喷涂（APS）在钛基体表面沉积 Ti₄O₇涂层，制备得到 Ti/Ti₄O₇电极。

在此基础上，针对不同应用场景进行功能化改性：湿法冶金节能方向采用 Ce/La 掺杂和 Pt 前驱体改性；有机废水降解方向采用 Gd 掺杂或构建 Ti₄O₇/SnO₂异质结构；严苛氧化体系方向则通过恒流阳极氧化电沉积β-PbO₂表层，形成 Ti/Ti₄O₇/β-PbO₂梯度复合电极。最终通过物相表征（XRD/SEM/XPS/BET）、电化学测试（CV/LSV/EIS）及模拟工况验证（湿法冶金电积、有机废水降解、强化寿命测试），综合评价电极的物相组成、微观形貌、电化学活性及服役寿命。实验线路二流程如图 2-3。

工艺流程简述：

①Ti₄O₇粉末制备（含未掺杂基础路线及掺杂改性并行路线）

称取高纯金红石型 TiO₂粉末（每批次按实验规模称量），三条路线分别制备：基础路线为未掺杂纯 TiO₂粉末直接还原；掺杂路线通过溶胶凝胶法或稀土硝酸盐浸渍法，精准引入 La、Ce、Gd 等稀土元素或 Pt 等活性组分，制备出具备特定电催化功能的混合前驱体。

根据目标应用场景选择不同改性路径：Route 2-A：节能型电极，采用 Ce/La 掺杂和 Pt 前驱体改性，提升析氧催化活性和导电性，用于湿法冶金节能方向；Route 2-B：降解型电极，采用 Gd 掺杂或构建 Ti₄O₇/SnO₂异质结构，增强有机污染物降解能力用于有机废水降解方向。

将前驱体（或未掺杂 TiO₂粉末）置于高温气氛管式炉中，在 H₂或 H₂/Ar 混合气保护下于 1250~1350℃进行高温还原反应（单批实验含升温、保温、降温及后处理约 1~2d），使 TiO₂还原为 Ti₄O₇（掺杂路线中稀土离子同时实现晶格取代固溶）。反应完成后随炉冷却，将还原后的块体经破碎、研磨、筛分获得 Ti₄O₇细粉，检测主晶相含量确保不低于 85%。三条路线均通过相同的高温还原工艺完成，分批次进炉，共用一台高温气氛管式炉。

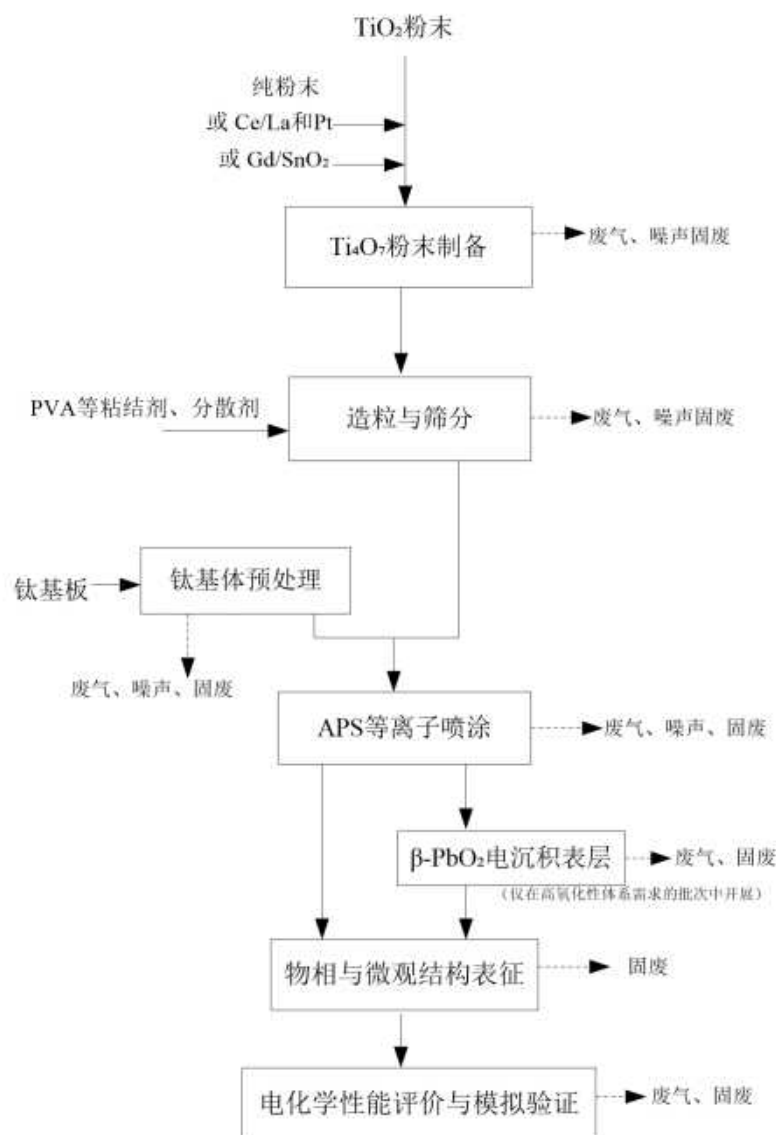


图2-3 Ti_4O_7 新型电极制备及性能评价流程图

②造粒与筛分

将各路线制得的 Ti_4O_7 细粉分别与 PVA 黏结剂、分散剂和去离子水混合制成浆料，经喷雾干燥造粒获得球形团聚粉末，再通过筛分装置筛选出 15~45 μm 粒径区间的喷涂粉末，干燥后密闭储存备用（单批约 0.5~1d）。

③钛基体预处理

钛板经切割至所需尺寸后，委外进行喷砂粗化，去除表面氧化皮并构筑高粗糙度锚固界面；再经微沸草酸溶液深度刻蚀，进一步清除残余氧化层，纯水漂洗后干燥备用。

④APS 等离子喷涂

将预处理后的钛基板固定于喷涂夹具上，将造粒好的喷涂粉末（未掺杂基础路线粉末或掺杂改性粉末）装入送粉器，采用大气等离子喷涂系统，以 Ar 为主气、H₂为辅气提供局部还原气氛保护，调节喷涂电流电压、送粉速率、喷涂距离 100~120mm 等参数，

将造粒粉末以半熔融状态连续沉积至钛基体表面，制备 50~100 μm Ti_4O_7 涂层；基板背面采用强制空气冷却确保温度 $<200^\circ\text{C}$ ，以保留 Ti_4O_7 亚稳态晶型与氧缺陷结构。

⑤ $\beta\text{-PbO}_2$ 电沉积表层（Route 3，选择性进行）

针对严苛强氧化体系应用需求，在 $\text{Ti}/\text{Ti}_4\text{O}_7$ 电极基础上，于 $60\sim70^\circ\text{C}$ 酸性 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 电解液中，以 $10\sim30\text{mA}/\text{cm}^2$ 恒流阳极氧化电沉积 $\beta\text{-PbO}_2$ 表层（厚度 $100\sim200\mu\text{m}$ ），形成 $\text{Ti}/\text{Ti}_4\text{O}_7/\beta\text{-PbO}_2$ 梯度复合电极。该工序仅在高氧化性体系需求的批次中开展。

⑥物相与微观结构表征

通过 XRD 分析物相组成及晶型演变，SEM/EDS 观察涂层微观形貌与元素分布，XPS 测定元素化学价态（ $\text{Ti}^{3+}/\text{Ti}^{4+}$ 比例及掺杂元素价态），BET 分析比表面积及孔隙结构。

⑦电化学性能评价与模拟验证

a.电化学性能评价：在 1 mol/L H_2SO_4 基础电解液（不含氯离子）中，采用循环伏安法（CV）、线性扫描伏安法（LSV）、交流阻抗谱（EIS）等电化学测试手段，分别评价电极的电化学活性面积（ECSA）、析氧/析氯选择性（即电极在含氯实际工况下抑制析氯副反应的能力指标），以及界面电荷转移阻抗。该测试过程仅为通电扫描，电解液不含氯元素，阳极反应为析氧反应（OER），不涉及氯气产生。

b.强化寿命测试（ALT）：在 1 mol/L H_2SO_4 溶液中，施加 $1000\text{ mA}/\text{cm}^2$ 的恒电流，进行电极加速老化试验，以槽电压超过 10V 作为失效判据。该过程阳极反应为析氧反应（ $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2\uparrow + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ ），阴极析氢（ $4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\uparrow$ ），全程无氯元素参与，不产生氯气。

c.模拟验证：搭建湿法冶金模拟电积槽和有机废水降解反应器，验证电极在实际工况下的节能降耗效果及对苯酚/COD/TOC 的去除率。

⑧批次与时序说明

项目 Ti_4O_7 新型电极研制各核心路线（未掺杂基础路线、Route 2-A、Route 2-B、Route 3）不少于 3 个独立批次（3 年累计），年均约 1~2 批次/路线。50cm $\times$ 50cm 级工程样板累计不少于 3 片。每批次制备后同步形成原料、工艺参数、检测结果、能耗和废物处置台账。

（3）实验线路三：PEM 电解槽与液流电池（新能源领域）钛双极板涂层实验

①钛基涂层双极板制备及性能评价实验（120 批/年）

本工艺以 TA1 纯钛薄板为基材，经裁切、喷砂粗化、多级超声脱脂清洗及混合酸蚀刻等前处理工序，构筑高粗糙度锚固界面；随后分两条并行涂层支线分别制备导电防腐涂层——

支线 A 采用磁控溅射 TiN/NbN 梯度底层+贵金属 $\text{IrO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5$ 表层涂覆，形成贵金属体系涂层极板；

支线 B 采用电泳沉积 TiN/SBR 无贵金属复合涂层，形成低成本涂层极板。

两条支线涂覆完成后汇合，经分段烘干及氩气氛高温烧结，再经硫酸活化及纯水漂洗，最终通过电化学三电极性能检测及单电池装配循环验证，综合判定涂层极板是否满足 PEM 电解槽及钒液流电池使用要求。

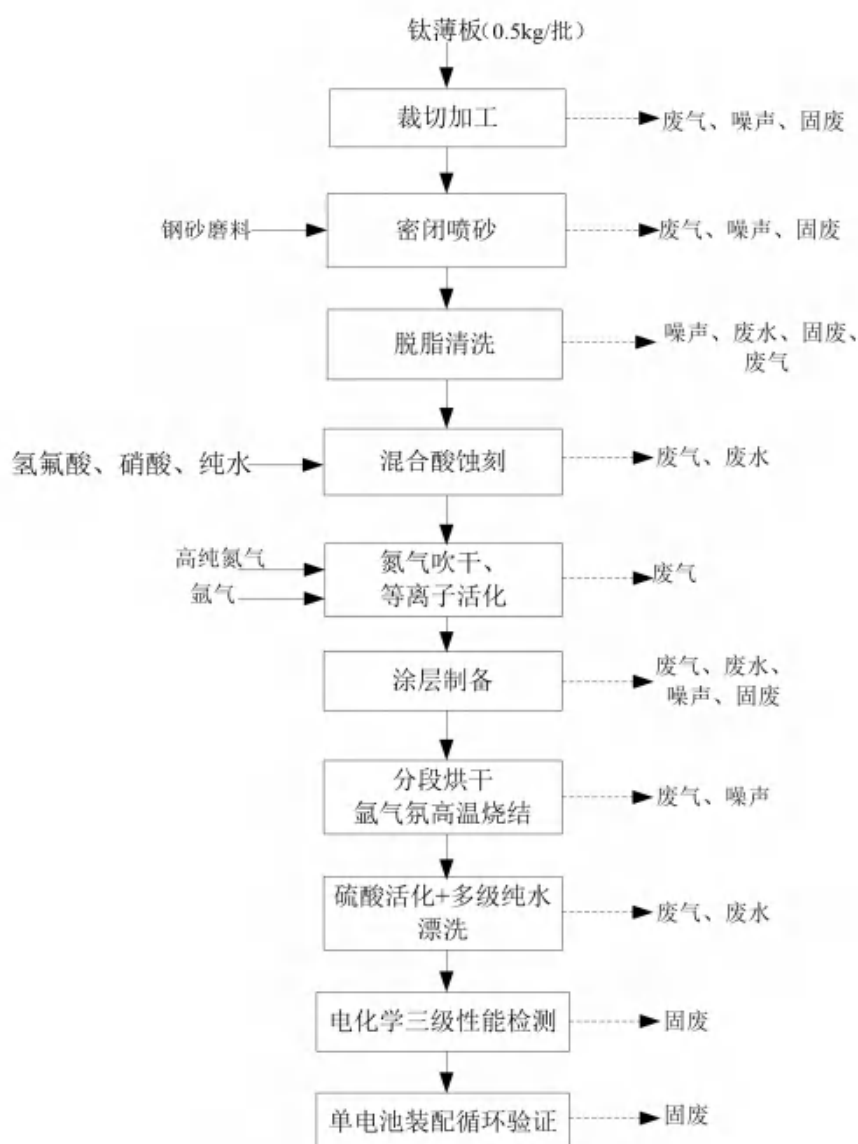


图2-4 钛基涂层双极板制备及性能评价流程图

工艺流程简述：

①钛基材裁切加工

将 TA1 纯钛薄板（单批 0.5kg）置于小型激光切割机中，常温常压条件下载切为 50×50mm 标准试样（50 片/批），收集裁切边角料分类存放。

②密闭喷砂粗化

将裁切好的钛试样在常温、喷砂气压 0.4MPa 条件下均匀喷砂，去除钛表面原生氧化皮，提升涂层结合力。该喷砂步骤企业拟外委进行。

③多级超声脱脂清洗

喷砂后的钛试样置于双槽超声波清洗机中，加入电子级无水乙醇（0.3L/批）超声清洗 15min，纯水冲洗 3 次，重复乙醇超声+纯水漂洗流程共 2 次（合计 1h），以彻底去除表面油污。

④混合酸蚀刻粗化（关键腐蚀工序）

将清洗后的钛试样浸入防腐 PP 酸洗反应槽（带通风橱负压）中，以混合酸洗液（体积配比 HF:HNO₃:H₂O=5:15:80，0.2L/批）常温浸泡 25s，利用氢氟酸和硝酸的强腐蚀性短时蚀刻钛表面，去除残留氧化层并构筑微观粗糙界面；蚀刻完成后大量超纯水（5L/批）反复漂洗至 pH 中性。

⑤氮气吹干+等离子基材活化

蚀刻后的钛试样经高纯氮气吹干后，置于等离子清洗机腔体中，抽真空至本底真空 <10Pa，通入高纯 Ar 气（0.2 标准立方/批，流量 30sccm），射频偏压-600V，处理时间 10min，利用等离子体轰击进一步清除表面残余氧化层，同时引入活性官能团以提高后续涂层附着力。

⑥涂层制备（分两条并行支线）

支线 A：磁控溅射 TiN/NbN 梯度底层+贵金属表层涂覆

将活化后的钛试样置于小型直流磁控溅射系统腔体中，抽真空至本底真空 5×10^{-4} Pa，以高纯 Ar 和 N₂混合气为工作气体，工作气压 0.4Pa，基片恒温 200℃，依次沉积 TiN 底层（80nm，10min）和 NbN 中间层（150nm，20min），形成导电防腐梯度过渡层。溅射完成后取出试样，在通风橱内以三氯化铱（0.0035kg/批）、五氯化钽（0.0025kg/批）、37%盐酸（0.05L/批）和异丙醇（0.1L/批）配制的贵金属涂液进行手动薄涂，重复 6 遍，每层自然风干 5min，形成 IrO₂-Ta₂O₅催化导电表层。

支线 B: 电泳 TiN/SBR 无贵金属复合涂层

将活化后的钛试样置于 PTFE 密封电沉积槽中，以 TiN 纳米粉（0.05kg/批）、SBR 乳液（0.1kg/批）和电子级 NMP（0.15L/批）配制的电泳浆料为沉积介质，在常温常压、恒压 30V、电极间距 15mm 条件下磁力搅拌（150r/min）保证浆料分散，电泳沉积 40min，取出后纯水冲洗。

⑦分段烘干+氩气氛高温烧结（两条支线汇合）

两条支线涂层制备完成后汇合，将涂层钛试样置于防爆真空干燥箱中，在真空度 -0.08MPa、120°C 条件下保温 1h，低温脱除全部有机溶剂；随后转入管式气氛炉中，通入高纯 Ar 保护气（0.5 标准立方/批，流量 50sccm），以 5°C/min 升温速率升至 500°C，恒温烧结 4h，使贵金属盐（支线 A）或 TiN/SBR 复合涂层（支线 B）在高温下固化成稳定的导电防腐涂层。

⑧硫酸活化+多级纯水漂洗

烧结后的涂层极板置于恒温水浴酸洗槽中，以 0.5mol/L 稀硫酸（0.3L/批）在 80°C 恒温条件下浸泡 2h，将涂层金属盐转型为质子传导活性氧化层；取出后用常温纯水（4L/批）反复漂洗至中性。

⑨电化学三电极性能检测

以涂层极板为工作电极，在模拟 PEM 电解液（0.5M H₂SO₄，0.2L/批）中，于恒温 80°C 条件下进行极化曲线、交流阻抗及腐蚀电流密度全套电化学测试，测定界面接触电阻、腐蚀电流密度、极限电流等关键指标。

⑩单电池装配循环验证

将电化学检测合格的涂层极板与自研 ePTFE 质子膜（1 张/批）、石墨毡电极、密封 PTFE 垫片装配为小型 PEM/钒液流单电池，置于单电池测试台上，在恒温 80°C 条件下进行恒流充放电循环测试（4h/批），模拟电堆实际工况，验证涂层极板与隔膜匹配后的整套部件协同性能。

批次与时序说明：

本项目主线 1 钛基涂层双极板制备试验全年 120 批/年，单批次产出 50 片 50×50mm 钛试样，单批次总连续操作时长 18h/批（支线 A 与支线 B 为并行路线，共用前处理后汇合，单批次 18h 以支线 A 全流程计，支线 B 因电泳沉积时间较短可在同一周期内穿插安排）。两条支线试验量根据研发需求分配，其中支线 A（磁控溅射+贵金属涂覆）为贵金属体系涂层开发主线，支线 B（电泳 TiN/SBR 无贵金属涂层）为低成本涂层工艺

对比路线。

②ePTFE 增强 PFSA 质子交换膜制备试验（70 批/年）

本工艺以多孔 ePTFE 骨架膜为增强基底，经 O₂等离子亲水改性后，以 EW850 PFSA 树脂为成膜聚合物，NMP/IPA/超纯水为溶剂体系，在密闭条件下配制 PFSA 铸膜液；通过水平刮刀刮涂使铸膜液完全填充 ePTFE 微孔结构，再经分段真空梯度干燥

（40℃→80℃→120℃）脱除全部有机溶剂，获得 ePTFE 增强 PFSA 复合膜；随后经平板热压复合增强、硫酸酸化质子转型，最终通过膜全套理化与电化学性能检测（厚度、拉伸强度、溶胀率、质子电导率、钒离子渗透率），判定复合质子膜是否满足 PEM 电解槽及液流电池使用要求。

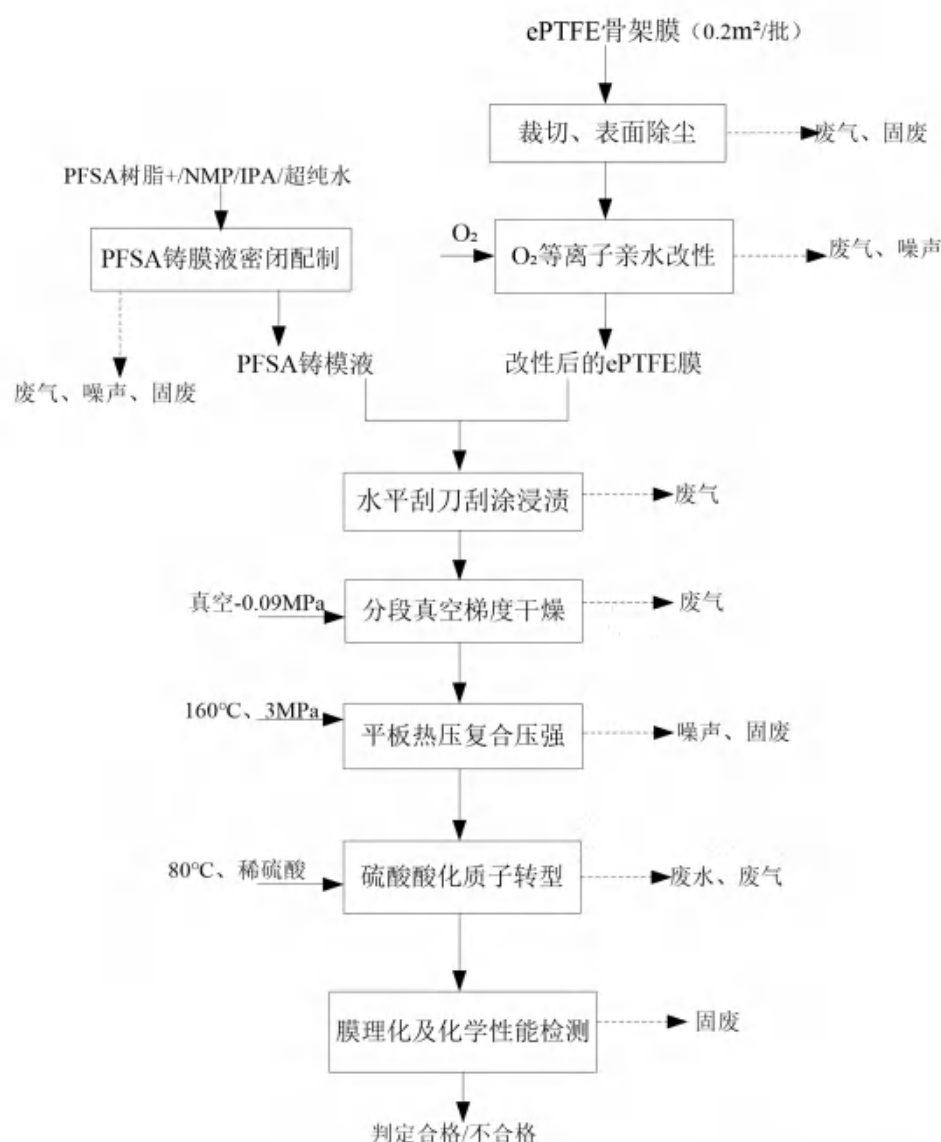


图2-5 ePTFE增强PFSA质子交换膜制备及性能评价流程图

工艺流程简述：

① ePTFE 膜裁切与表面除尘

将 15 μm 多孔 ePTFE 骨架膜（单批 0.2m²）置于不锈钢裁切台上，裁切至标准尺寸，用无尘擦拭纸轻拂去除表面浮尘。

② O₂等离子亲水改性（核心前置工序）

将裁切好的 ePTFE 膜置于等离子清洗机腔体中，抽真空至 25Pa，通入高纯 O₂（0.3 标准立方/批，流量 50sccm），在射频功率 50W 条件下等离子处理 3min，利用氧等离子体轰击 ePTFE 表面引入亲水基团，将水接触角降至 30°以下，确保后续铸膜液能够完全填充微孔。处理后须在 30min 内投入下一道工序，防止疏水回弹。

③ PFSA 铸膜液密闭配制

在 150mL 耐压密封反应瓶中，按比例加入 EW850 PFSA 树脂（12g/批）、电子级 NMP（60g/批）、IPA（36g/批）和超纯水（12g/批），置于磁力搅拌油浴锅中，油浴恒温 80°C、搅拌转速 600r/min，连续搅拌 5h 至树脂完全澄清溶解，再常温静置真空脱泡 2h；溶解完成后用 0.45 μm PTFE 滤膜过滤去除不溶颗粒。

④ 水平刮刀刮涂浸渍填充

将等离子处理后的 ePTFE 膜四角固定在 MS-AFA 自动涂布机恒温水平加热板（40°C）上，将配制完成的 PFSA 铸膜液均匀铺展于膜面，设定刮刀间隙 120 μm 、走刀速度 15mm/s 匀速刮涂，使铸膜液完全填充 ePTFE 微孔；刮涂完成后在 40°C 加热板上静置 30min 预挥发部分溶剂。

⑤ 分段真空梯度干燥（脱除溶剂核心工序）

将刮涂后的复合膜置于防爆真空烘箱中，在全程真空 -0.09MPa 条件下分段梯度干燥：40°C 保温 0.5h → 80°C 保温 2h → 120°C 保温 12h，通过逐步升温脱除膜内全部有机溶剂（NMP/IPA/水），使 PFSA 树脂在 ePTFE 微孔内部固化成型，形成致密的 ePTFE 增强 PFSA 复合膜。

⑥ 平板热压复合增强

将干燥后的复合膜夹于两张 PTFE 离型膜之间，置于平板热压机中，恒温 160°C、压力 3MPa 条件下预热 1min、保压 4min，利用热压消除膜内气泡、提升 ePTFE 骨架与 PFSA 树脂之间的界面结合强度；自然冷却至 60°C 后泄压取出。

⑦硫酸酸化质子转型

将热压后的复合膜置于 80℃恒温水浴槽中，以 0.5M 稀硫酸（0.4L/批）浸泡 2h，将膜内磺酸根（-SO₃Na⁺形式）全部转化为质子形态（-SO₃H⁺），提升质子传导效率；取出后用超纯水（6L/批）多次漂洗至冲洗液 pH≈7。

⑧ 膜理化及电化学性能检测

将酸化处理后的复合膜进行全套性能检测：用万能拉力机测试拉伸强度，Mitutoyo 膜厚仪测量厚度，80℃条件下测试溶胀率、质子电导率及钒离子渗透率（模拟钒电解液）。最后判定复合质子膜是否满足 PEM 电解槽及液流电池使用要求。

批次与时序说明

项目主线 2 ePTFE 增强 PFSA 质子交换膜制备试验全年 70 批/年，单批次产出 10 张 10×20cm 复合膜，单批次总连续操作时长 22h/批（其中工序 3 配制与工序 1/2 前处理可部分重叠安排，工序 5 真空梯度干燥耗时 12h 为全流程最长节点）。全年总操作时长 1540h。

根据本项目的生产工艺，产污环节见下表：

表2-2 本项目运营期废气产污汇总一览表

实验线路	产排污环节	污染物名称	污染因子
线路一工艺①	超声波清洗	无水乙醇、丙酮	非甲烷总烃
	金相腐蚀	酸蚀废气	氢氟酸
			氮氧化物
线路一工艺②	贵金属涂液配置、静电喷涂、烘干、烧结	配液、喷涂、烘干、烧结废气	非甲烷总烃
	烧结	烧结废气	氯气
			氯化氢
线路二	β- PbO ₂ 电沉积	沉积废气	氮氧化物
	电化学性能评价	废气	硫酸雾
	Ti ₄ O ₇ 粉末制备	研磨粉尘	颗粒物
	造粒与筛分	喷雾干燥粉尘	颗粒物
线路三工艺①	多级超声脱脂清洗	挥发废气	非甲烷总烃
	混合酸蚀刻粗化	蚀刻废气	氟化物
			氮氧化物
	贵金属表层涂覆	涂覆废气	非甲烷总烃
			盐酸雾
	分段烘干+氯气氛高温烧结	烘干、烧结废气	非甲烷总烃
			氯气、氯化氢

	硫酸活化+多级纯水漂洗	挥发废气	硫酸雾
线路三工艺②	ePTFE膜裁切与表面除尘	裁切粉尘	颗粒物
	等离子亲水改性	废气	氟化物
	水平刮刀刮涂浸渍填充	刮涂废气	非甲烷总烃
	真空干燥	干燥废气	非甲烷总烃
	电化学性能评价	酸雾	硫酸雾
	硫酸活化+多级纯水漂洗废气	挥发废气	硫酸雾
	硫酸酸化质子转型	挥发废气	硫酸雾

2.3 运营期大气污染物源强核算

2.3.1 实验线路一废气源强

(1) 钛及钛合金金相制备实验

①超声波清洗废气

项目线路一“钛及钛合金金相制备”工序中，采用超声波清洗机对切割后的钛试样进行脱脂清洗。清洗介质为无水乙醇和丙酮，单批次各200mL，全年300批次，合计各60L/a（各47.4kg/a）。超声波清洗为常温操作，单批清洗时间15min，年操作时长75h。

清洗过程产生非甲烷总烃废气。根据《空气污染物排放和控制手册 工业污染源调查与研究 第二辑》（美国环境保护局编），实验室有机废气产污系数按试剂使用量的10%计算。同时参照《“工业挥发性有机物污染控制对策研究”项目阶段汇报讨论会资料汇编》（中国环境科学学会），实验过程中有机溶剂挥发系数约为1%~10%。本次评价按最不利取上限10%。

则非甲烷总烃产生量为9.48 kg/a（无水乙醇4.74 kg/a、丙酮4.74 kg/a）。超声波清洗机槽体加盖，上方设集气罩进行局部排风收集，收集效率按90%计，有组织产生量8.532 kg/a，无组织产生量0.948 kg/a。经碱液吸收+除雾器+活性炭吸附装置处理（处理效率60%）后，通过DA001排气筒排放，有组织排放量3.413 kg/a，无组织排放量0.948 kg/a，年排放时间按75h计（300批×0.25h/批），DA001设计风量5000 m³/h。

②金相腐蚀-HF、NO_x

项目钛及钛合金制备实验中，金相腐蚀工序在通风橱内进行，采用HF-HNO₃混合腐蚀液（体积比约1:1），单批用量5mL，全年300批次，年腐蚀液总用量约1.5L/a。腐蚀过程产生少量HF酸雾及硝酸雾分解直接生成NO_x。

实验过程用滴加操作（5mL/批，腐蚀时间5~20s），液膜呈敞露静置状态，挥发过程以自然蒸发为主。本次评价参照《环境统计手册》（方品贤等著，四川科学技术出版社）中有害物质敞露存放散发量公式核算酸雾源强：

$$G_z = M \times (0.000352 + 0.000786V) \times P \times F$$

式中参数取值：M为酸分子量（HF取20，HNO₃取63）；

V为蒸发液体表面空气流速，取0.5 m/s；

P为相应于液体温度下的空气中的蒸汽分压力，本项目HF-HNO₃混合腐蚀液（体积比约1:1）中HF浓度约20%，查《环境统计手册》常温20℃条件下，20%氢氟酸水溶液HF蒸汽分压取2 mmHg，65%硝酸水溶液硝酸蒸汽分压取0.27 mmHg；

F为液体蒸发表面积，按滴加液膜覆盖试样表面积保守取0.005 m²。

考虑本项目单批次操作（含滴加、反应、冲洗）均在通风橱内进行，保守按单批次操作时长0.5h核算，年运行300批次，则年总挥发时间为150h/a。

经核算，HF产生速率约0.000149 kg/h，年产生量约0.02235 kg/a。硝酸雾产生速率约0.0000634 kg/h，年产生量约0.0095 kg/a。硝酸雾在空气中不稳定，按1mol硝酸生成1mol NO_x计算（折算系数0.73），挥发转化NO_x约0.0069 kg/a；鉴于本项目金相腐蚀工序单批次腐蚀时间仅5~20秒，硝酸与钛基体几乎来不及发生氧化还原反应即被后续纯水冲洗终止，故本次评价将“反应生成NO_x”忽略不计，仅核算硝酸雾挥发转化的NO_x。

废气经通风橱负压收集（收集效率90%）后进入碱液喷淋塔处理，其中氟化物去除率按90%计，NO_x去除率按50%计。则HF有组织排放量0.00201 kg/a，无组织排放量0.002235 kg/a；NO_x有组织排放量0.0031 kg/a，无组织排放量0.0007 kg/a。

（2）钛阳极制备及性能评价

①涂液配制、静电喷涂、烘干、烧结有机废气

项目线路一贵金属涂液配制、静电喷涂、低温烘干及高温烧结工序使用正丁醇为溶剂，年用量200L/a（折合162kg/a），在各工序中有机气体均会有一定程度的挥发。

项目VOCs挥发分配比例主要参照《污染源源强核算技术指南 汽车制造》

（HJ1097-2020）附录E中“溶剂型涂料喷涂-静电喷涂-零部件喷涂”的挥发占比数据（喷涂65%、流平15%、烘干20%），项目为实验室小试研发工艺，无独立流平工序，因此在该标准框架基础上，结合项目实际工况进行修正：涂液配制（5%）：参照实验室配

液操作经验，仅存在敞口搅拌、物料转移过程的少量自然挥发，挥发量较小，保守取5%；静电喷涂（25%）：HJ1097标准中喷涂挥发占比65%，对应的是汽车制造连续流水线喷涂房、大风量持续排风工况，项目为小型密闭静电喷涂柜开展试验，贵金属涂液静电喷涂涂料利用率可达45%，大量溶剂随涂液附着于钛基体工件表面，带入后续烘干工序，不在喷涂阶段挥发，因此喷涂环节挥发占比相应降低，取25%；低温烘干（65%）：为本项目与汽车涂装工况差异最大环节。本项目溶剂正丁醇沸点117.7℃，烘干控制温度120℃，高于正丁醇沸点；工件置于密闭鼓风干燥箱内保温60min，热风循环条件下工件表面及涂层内部残留溶剂充分脱附挥发，喷涂后附着于工件上的溶剂（含原标准流平阶段对应的溶剂）主要在该阶段挥发，因此烘干工序为VOCs主体挥发环节，占比取65%；高温烧结（5%）：工件经低温烘干后，涂层内绝大部分正丁醇已脱除，高温烧结阶段仅残留微量结合态溶剂进一步挥发，保守预留5%挥发量。综上，项目挥发比例取值（配制5%、喷涂25%、烘干65%、烧结5%），基于HJ1097-2020标准框架，结合本项目静电喷涂高涂料利用率、无单独流平工序、烘干温度高于溶剂沸点等实验室研发工况进行合理修正。

废气经排气管收集后（配液收集效率90%，喷涂作业需频繁开关柜门取放工件，存在微量无组织逸散风险，故收集效率保守按95%计，烘干及烧结工序在密闭设备（鼓风干燥箱、管式炉）内进行，设备排气管与风管直接连接，运行过程中设备腔体完全密闭，废气无其他逸散途径，收集效率按100%计），汇入碱液吸收+除雾器+活性炭吸附装置处理，通过DA001排气筒排放。

表2-3 配液、喷涂、烘干、烧结废气产生量一览表

工序	挥发比例	总产生量 (kg/a)	收集效率	有组织产生量 (kg/a)	无组织产生量 (kg/a)
配液	5%	8.10	90%	7.290	0.810
喷涂	25%	40.50	95%	38.475	2.025
烘干	65%	105.30	100%	105.300	0
烧结	5%	8.10	100%	8.100	0
合计	100%	162.00	——	159.165	2.835

经核算，全流程VOCs总产生量为162kg/a，其中有组织产生量159.165kg/a，无组织产生量2.835kg/a。有组织废气汇入“碱液吸收+除雾器+活性炭吸附”装置处理（处理效率60%）后，通过DA001排气筒（风量5000m³/h）排放。

碱液吸收单元对低浓度间歇醇类VOC去除效果微弱，VOCs去除仅考虑活性炭吸附单元，吸附效率取60%。经核算，全流程VOCs有组织排放量约63.666kg/a，单批次综合运行时长约13.2h（配制3h、喷涂1h、烘干1.2h、烧结8h），全年有效排放时间保守按220批核算，约2904h/a。因此，有组织排放速率约0.0219kg/h。

②高温烧结——氯气、氯化氢

线路一高温烧结工序对烘干后的涂层钛极板高温烧结，此过程会有氯气和氯化氢废气产生，因前面工艺用三种含氯贵金属涂液对试样进行喷涂。三种贵金属盐合计年用量1.2kg/a，其中三氯化铱约0.84kg/a、五氯化钽约0.30kg/a、氯铂酸约0.06kg/a。该配比参考了DSA析氧阳极行业通用的 $\text{IrO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5$ （7:3摩尔比）配方体。

a.氯铂酸（ $\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ）

氯铂酸在360℃以上即开始分解，生成 PtCl_4 并释放HCl；更高温度下 PtCl_4 继续分解为Pt和 Cl_2 。本项目标准工艺最高550℃、正交试验最高580℃，均远超其分解温度，氯元素完全释放。

根据总反应方程式（简化）： $\text{H}_2\text{PtCl}_6 \rightarrow \text{Pt} + 2\text{Cl}_2\uparrow + 2\text{HCl}\uparrow$ ，氯元素按67%转化为 Cl_2 、33%转化为HCl；则计算得： Cl_2 为0.01655 kg/a、HCl为0.00838 kg/a。

b.三氯化铱（ IrCl_3 ）

热分解温度：763℃以上才分解（ $2\text{IrCl}_3 \rightarrow 2\text{IrCl}_2 + \text{Cl}_2\uparrow$ ）

本项目最高烧结温度580℃，远低于763℃分解阈值。在氧化性气氛下，三氯化铱在580℃时部分氧化形成 IrO_2 ，氯元素以稳定形式存在于涂层中或随废坩埚进入固废，不会释放氯气或氯化氢。空气气氛虽存在微量水汽氧化水解产生HCl可能性，但试样经过充分低温烘干，残余水分极低，水解产生HCl量很小，本次源强不予计取；

含氯废气产生量：0 kg/a

c.五氯化钽（ TaCl_5 ）

五氯化钽在600℃以上氢气流中热分解产生HCl。本项目最高580℃，略低于该阈值，正常情况下不会发生热分解。但五氯化钽极易水解，若涂液或烧结气氛中存在微量水分，可能发生水解反应产生HCl，保守取盐中总氯的5% 转化为HCl，不生成氯气。

遇水水解： $\text{TaCl}_5 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_5\text{TaO}_5 + 5\text{HCl}\uparrow$

氢气还原（600℃以上）： $2\text{TaCl}_5 + 5\text{H}_2 \rightarrow 2\text{Ta} + 10\text{HCl}\uparrow$

保守按氯元素总量的5% 转化为HCl估算：HCl产生量= $0.1484 \text{ kg/a} \times 5\% \times 1.03 = 0.00764 \text{ kg/a}$ 。

Cl₂产生量：0.01655 kg/a、HCl产生量：0.00838+0.00764=0.01602kg/a。

该工序由升温到保温约为3.56h/批，每年220批次，因此年有效产污小时783h。管式烧结炉为密闭设备，废气通过排气管100%收集，经碱液喷淋吸收处理（氯气去除率90%，氯化氢去除率90%，风量5000m³/h，25m排气筒）后排放。氯气有组织排放量约0.0017kg/a；氯化氢有组织排放量约0.0016kg/a。

③草酸酸雾

实验线路一中的工序二中用草酸对预处理的工件进行酸洗，其酸洗温度80℃，槽内为草酸水溶液，草酸主要以离子形式存在，游离草酸分子蒸气压极低。草酸溶液常压下沸点为150℃，本项目酸洗温度80℃，远未达到草酸的升华或显著挥发条件。因此本工序不再核算草酸废气源强。

2.3.2 实验线路二废气源强

（1）β-PbO₂电沉积工序-NO_x

实验线路二β-PbO₂电沉积工序电沉积主反应：



硝酸根本身不是主反应消耗物质；副反应：阳极/阴极发生硝酸根电化学还原，生成NO、NO₂（统称NO_x），同时60-70℃温度条件下，酸性电解液中少量硝酸根热分解逸出NO_x。《污染源强核算技术指南 电镀》（HJ984-2018）中稀硝酸盐电镀体系无直接对应产污系数，浓硝酸退镀系数不适用本场景，只能采用副反应转化率类比取值。

本项目β-PbO₂电沉积在酸性硝酸铅电解液中进行，电解液中游离HNO₃质量百分浓度约1%~2%。根据《污染源强核算技术指南 电镀》（HJ984-2018）附录B，在质量百分浓度≤3%的稀硝酸溶液中，氮氧化物产污系数可忽略。

鉴于本项目电沉积温度（60~70℃）高于常温，且存在阴极硝酸根还原的副反应，出于保守原则，本次评价不将NO_x产生量直接按‘可忽略’处理，而是参照HJ984-2018附录B中最低档产污系数（10.8 g/(m²·h)，对应10%~15%硝酸浓度）的约1/10进行估算，取Gs=1.0 g/(m²·h)。”NO_x产生量 = Gs × A × t = 1.0 g/(m²·h) × 0.01 m² × 20 h/a = 0.2 g/a =

0.0002 kg/a。单批次含样板与小试样电沉积操作时间约6 h，年总操作时间保守取值20 h/a，因此氮氧化物产生速率为0.00001kg/h。

电沉积槽置于通风橱内，废气负压收集（收集效率90%），经碱液喷淋塔处理，因NO_x来自阳极副反应，以NO、NO₂混合形式存在，其中NO占比较高，一氧化氮不直接与碱液反应，因此NO_x去除率按25%计，因此，有组织NO_x排放量为0.000135 kg/a，无组织排放量为0.00002 kg/a。

（2）电化学性能评价与模拟验证工序-酸雾

电化学性能评价（CV/LSV/EIS）及强化寿命测试（ALT）均在80℃、1mol/L H₂SO₄（≈98g/L）条件下进行。参照《污染源源强核算技术指南 电镀》（HJ 984-2018）附录B，硫酸浓度略低于100g/L阈值，但属于“稀而热的硫酸”，保守参照产污系数25.2 g/(m²·h)进行核算。

电化学性能评价年操作时长240h，液面面积0.005m²，硫酸雾产生量约0.03kg/a；强化寿命测试年操作时长480h，液面面积0.02m²，硫酸雾产生量约0.24kg/a。合计硫酸雾产生量约0.27kg/a。

测试过程均在通风橱内进行，废气经负压收集（收集效率90%）后进入DA001碱液喷淋塔处理（处理效率90%），硫酸雾有组织排放量约0.0243kg/a。

电化学性能评价工序年操作240h，有组织排放量约0.0027 kg/a，排放速率为 1.125×10^{-5} kg/h；强化寿命测试工序年操作480h，有组织排放量约0.0216 kg/a，排放速率为 4.5×10^{-5} kg/h。

湿法冶金模拟电积及有机废水降解为常温操作，硫酸雾产生量可忽略，仅做定性分析。

（3）破碎研磨粉尘

粉末制备过程中，本项目Ti₄O₇块体研磨采用“先干磨（破碎）后湿磨（细化）”工艺。其中，干磨（破碎）阶段为物理破碎，产生含Ti₄O₇的颗粒物（粉尘）；湿磨（细化）阶段加水作业，无粉尘产生，仅产生含粉废水（纳入废水章节核算）。

参考《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》（2021年第24号）中“非金属矿物制品制造行业系数手册”破碎工艺，颗粒物产污系数取1.13 kg/t-原料。本项目Ti₄O₇颗粒物年产量按30kg/a计，则干磨阶段粉尘产生量 = 0.03 t/a × 1.13 kg/t = 0.0339 kg/a。

该设备为小型实验室研磨设备，单次处理量极小，产生粉尘量极少（0.034kg/a），无组织排放。

（4）喷雾干燥粉尘

造粒与筛分工序中，TiO₂细粉与PVA黏结剂配成浆料进行喷雾造粒，干燥过程中PVA分解及细粉飞扬产生颗粒物。粉料量30kg/a，产尘系数类比喷雾造粒取0.5%，则粉尘产生量为0.15 kg/a。

喷雾干燥造粒机自带旋风分离器，用于回收废气中的细粉，回收效率≥96%。经旋风分离器处理后，尾气中残余粉尘量极少，在实验室内无组织排放。喷雾干燥尾气排放量0.006 kg/a。

2.3.3 实验线路三废气源强

（1）钛基涂层双极板制备及性能评价实验

①超声脱脂清洗废气

实验线路三第一个主线实验工序中需使用电子级无水乙醇（0.3L/批，年用量28.4kg/a）对喷砂后的钛试样进行超声脱脂清洗，去除表面油污。乙醇在超声清洗过程中部分挥发产生VOCs废气。

根据《空气污染物排放和控制手册 工业污染源调查与研究 第二辑》（美国环境保护局编），实验室有机废气产污系数按试剂使用量的10%计算；同时参照中国环境科学学会《“工业挥发性有机物污染控制对策研究”项目阶段汇报讨论会资料汇编》，实验过程中有机溶剂挥发系数约为1%~10%。本次评价按最不利情况取上限10%，核算得VOCs产生量约 2.84kg/a。超声波清洗机槽体加盖并设集气罩负压收集（收集效率90%），有组织产生量2.556 kg/a，无组织排放量0.284 kg/a。

废气经碱液喷淋塔+除雾器+活性炭吸附装置（按吸附效率60%计）处理后通过25m高DA001排气筒排放，有组织排放量约 1.022kg/a，年排放时间按约60h/a计（120批×0.5h/批），风量5000m³/h计，则排放速率0.017kg/h。

②密闭喷砂粗化粉尘（颗粒物）

本工序在厂内密闭喷砂机中进行，使用40#钢砂磨料，年运行120批次。喷砂过程产生含钛氧化皮及金属粉尘的颗粒物，单批次粉尘产生量约0.01kg，年产生量为 0.0012 t/a。设备自带滤筒除尘器（除尘效率99%），粉尘经处理后无组织排放。排放量为0.012 kg/a，排放速率0.0002 kg/h。

③混合酸蚀刻粗化-氟化物、NO_x

线路三混合酸蚀刻粗化工序采用HF-HNO₃混合酸常温短时浸泡，使用恒温酸洗反应槽（槽体尺寸250×200mm，有效容积5L），单批酸液用量0.2L（体积配比HF:HNO₃:H₂O=5:15:80），年操作120批，浸泡25s，单批次总操作时长0.5h，年总操作时间60h/a。

本工序酸液用量小、反应时间短，参照《环境统计手册》（方品贤等著，四川科学技术出版社）中有害物质敞露存放散发量公式核算酸雾源强：

$$G_z = M \times (0.000352 + 0.000786V) \times P \times F$$

式中：M为酸的分子量；

V为蒸发液体表面空气流速，取0.5m/s（通风橱内控制风速）；

P为相应于液体温度下的空气中的蒸汽分压力，查《环境统计手册》取值：P为相应于液体温度下的空气中的蒸汽分压力，本项目混合酸配比为HF:HNO₃:H₂O=5:15:80，混合后HF浓度约2%，查《环境统计手册》取值：2%氢氟酸HF蒸汽分压保守取0.1 mmHg，65%硝酸蒸汽分压取0.27 mmHg；

F为液体蒸发表面积，按酸洗槽体面积取0.05 m²

经计算得，HF产生速率0.0000745 kg/h，年产生量0.00447 kg/a；NO_x产生速率0.000462 kg/h，年产生量0.0277 kg/a。废气经通风橱负压收集（收集效率90%），进入DA001碱液喷淋塔处理（HF去除率90%，NO_x去除率50%）。则HF有组织排放量0.000402 kg/a，NO_x有组织排放量0.0125 kg/a；无组织排放量HF0.000447 kg/a，NO_x 0.0028 kg/a。

④贵金属涂覆废气（HCl、非甲烷总烃）

以三氯化铌、五氯化钽、37%盐酸（0.05L/批）和异丙醇（0.1L/批）配制的贵金属涂液进行手工薄涂。涂覆过程产生盐酸雾和非甲烷总烃。

盐酸雾：37%盐酸年用量6L/a，折合HCl质量7.08kg/a。参照美国国家环保局编写的《工业污染源调查与研究》等资料，实验室所用试剂挥发量基本在使用量的1%~4%之间，同时参考HJ984-2018《污染源源强核算技术指南 电镀》酸雾挥发规律，含金属离子的盐酸混合溶液中金属盐会抑制HCl活度，挥发能力低于纯浓盐酸体系。本项目为通风橱内手工薄涂钛基材，无加热、无搅拌工况，按最不利取4%估算。HCl产生量0.283kg/a，

经通风橱负压收集（收集效率90%）后进入DA001碱液喷淋塔处理（HCl去除效率90%），有组织排放量0.0255kg/a，无组织排放量0.0283kg/a。

非甲烷总烃：异丙醇年用量12L/a（折合9.48kg/a）。参照《广东省工业源挥发性有机物减排量核算方法（2023年修订版）》配套文件中电子元件行业机械涂布常温自然工况下，溶剂挥发参考区间 15%~25%，考虑本项目为实验室手工薄涂，需要自然风干6遍，溶剂暴露面积、风干时长均大于工业化机器涂布工况，源强核算保守放大取30%。涂覆风干工序异丙醇挥发量2.844kg/a，经通风橱负压收集（收集效率90%）后进入DA001活性炭吸附装置处理（VOCs去除效率60%），有组织排放量1.024kg/a，无组织排放量0.284kg/a。剩余70%异丙醇（6.636kg/a）在后续分段烘干、氩气高温烧结工序中挥发，单独核算。

年排放时间按240h/a计（120批×2h/批，含涂刷及风干时间）。25m高DA001排气筒（风量5000m³/h）则盐酸雾排放速率 1.06×10^{-4} kg/h、非甲烷总烃排放速率0.00427kg/h。

⑤分段烘干+氩气氛高温烧结废气

A.有机废气

本工序为实验线路三第一条线（钛基涂层双极板制备）两条支线汇合后的共用步骤，包括真空烘干（120℃，-0.08MPa，1h）和氩气氛烧结（500℃，Ar保护，4h）两个阶段。

烘干及烧结阶段脱除前道工序（工序⑥涂层制备）残留在涂层中的有机溶剂。具体来源如下：

支线A（贵金属涂覆）：异丙醇年总用量12L/a（折合9.48kg/a）。涂覆风干工序已挥发30%（2.844kg/a），剩余70%（6.636kg/a）随试样带入本工序，在真空烘干及高温烧结阶段全部挥发。

支线B（电泳TiN/SBR）：NMP年用量18L/a（折合18.1kg/a），在120℃真空条件下彻底挥发；SBR残留单体约0.06kg/a。

VOCs源强采用物料衡算法核算。本工序有机溶剂总产生量： $6.636 + 18.1 + 0.06 = 24.796$ kg/a。

废气通过设备排气管100%收集（真空烘箱和管式炉密闭直连），进入DA001“碱液喷淋塔+除雾器+活性炭吸附装置”处理（处理效率60%），有组织排放量9.918 kg/a。年排放时间按600h/a计（120批×5h/批），DA001排气筒（风量5000m³/h）排放速率0.0165 kg/h。

B.酸性废气—氯气、氯化氢

线路三支线A贵金属涂覆试样带有三氯化铱、五氯化钽，在后续500℃氩气气氛烧结过程中，残留贵金属氯化盐发生挥发、水解反应，产生氯化氢（HCl）以及少量氯气（Cl₂）。

产生机理：沸点242℃，500℃下极易挥发；涂液中残留微量吸附水，会发生水解：
 $2\text{TaCl}_5 + 5\text{H}_2\text{O} = \text{Ta}_2\text{O}_5 + 10\text{HCl}$ ，主产物为HCl，几乎不生成Cl₂。

IrCl₃：氩气气氛下500℃低于其热分解温度（>763℃才明显分解出Cl₂），单纯热分解产生Cl₂很少；但涂覆层残留微量水，发生水解，释放HCl；500℃条件下IrCl₃以挥发+水解为主，Cl₂仅少量副产物。

参照铱钽系钛阳极涂层制备行业经验取值保守衡算：贵金属盐中的氯元素70%转化为氯化氢、5%转化为氯气，剩余25%固化进入IrO₂-Ta₂O₅氧化物涂层留存于试样基体，不进入气相。三氯化铱（0.0035 kg=3.5g/批，五氯化钽（0.0025 kg=2.5g/批），折算总氯为2.484g/批，单批烧结产污时长6 h，年最大120批次全部按支线A贵金属烧结工况核算，年有效产污时长720 h。

计算得氯化氢产生量0.215 kg/a，氯气产生量0.0149 kg/a；管式气氛炉密闭，废气收集率按100%计，废气全部收集接入废气处理装置，经碱喷淋处理（HCl去除效率90%，Cl₂去除效率90%），氯化氢有组织排放量 0.0215 kg/a，氯气有组织排放量 0.00149 kg/a

⑥硫酸活化废气

硫酸活化使用同款恒温酸洗反应槽（250×200×150mm），在80℃、0.5mol/L（约49g/L）稀硫酸条件下浸泡2h。参照《污染源源强核算技术指南 电镀》（HJ984-2018）附录B，该工况属于“稀而热的硫酸”，硫酸雾产污系数保守取25.2 g/(m²·h)。

液面面积按0.05 m²，年操作时间240h/a（120批×2h/批）。硫酸雾产生量0.3024 kg/a。经通风橱负压收集（收集效率90%），进入DA001碱液喷淋塔处理（去除率90%）。则硫酸雾有组织排放量0.0272 kg/a，排放速率1.13×10⁻⁴ kg/h；无组织排放量0.0302 kg/a。

（2）质子交换膜制备试验

①ePTFE膜裁切与表面除尘-颗粒物

将15μm多孔 ePTFE 骨架膜置于不锈钢裁切台上裁切至标准尺寸，采用无尘擦拭纸轻拂去除膜表面浮尘。工序为常温刀片物理裁切，无高速研磨破碎过程，仅裁切边缘产

生极微量ePTFE 膜碎屑浮尘；实验室小批量间歇操作，颗粒物产生水平极低。操作在通风橱内负压环境下进行。本次评价仅定性分析，不开展定量源强核算。

②等离子亲水改性-氟化物

实验线三等离子亲水改性工序中，ePTFE 膜受低功率（50W）、短时间（3min/批）氧等离子体轰击，仅膜表面纳米级薄层发生微量 C-F 键断裂，剥离的氟原子与腔体内微量水汽结合生成微量气态氟化物（HF），膜基材主体不发生分解，绝大部分氟保留在固体膜中，气态氟化物产生量极低。

由于本工序为温和表面改性而非深度刻蚀，断裂氟绝大部分保留在膜表面，气态氟化物产生量极低，且目前无对应行业产污系数可参考，参照《污染源源强核算技术指南 准则》（HJ884-2018）中对于微量污染物的核算原则，本次评价仅作定性分析，不进行定量核算。

③刮涂预挥发废气

水平刮刀刮涂浸渍填充工序中，ePTFE膜固定在40℃恒温水平加热板上，PFSA铸膜液均匀铺展后刮涂，刮涂完成后在40℃加热板上静置30min预挥发部分溶剂。刮涂及预挥发过程产生VOCs废气，源强采用物料衡算法核算。

参照美国环境保护局《空气污染物排放和控制手册 工业污染源调查与研究 第二辑》及中国环境科学学会《“工业挥发性有机物污染控制对策研究”项目阶段汇报讨论会资料汇编》，实验室有机废气产污系数按有机溶剂使用量的10%计。本项目结合NMP和IPA的沸点差异进行修正：NMP沸点202℃，40℃下挥发受显著抑制，保守取5%；IPA沸点82.6℃，40℃加热及刮涂过程挥发较快，取10%。

本项目PFSA铸膜液中NMP年用量4.2 kg/a（60g/批×70批），IPA年用量2.52 kg/a（36g/批×70批）。因此，NMP产生量为 0.21 kg/a，IPA产生量为 0.252 kg/a，VOCs合计产生量为0.462 kg/a。

废气经通风橱负压收集（收集效率90%）后进入碱液喷淋塔+除雾器+活性炭吸附装置处理（处理效率60%）后经DA001排放。因此，有组织产生量0.4158 kg/a，有组织排放量约0.1663 kg/a，无组织排放量约0.0462 kg/a。年排放时间按35h/a计（70批×0.5h/批），DA001排气筒（风量5000m³/h）排放速率为0.00475 kg/h。

④真空干燥废气

刮涂后的复合膜置于防爆真空烘箱中，在全程真空-0.09MPa条件下分段梯度干燥（40℃→80℃→120℃，总计14.5h）。该工序是脱除膜内全部有机溶剂的核心环节，产生VOCs废气，源强采用物料衡算法核算。

鉴于该工序真空泵抽出的废气中含有大量NMP（沸点202℃）和IPA（沸点82.6℃）蒸气，有机负荷极高，项目在真空烘箱排气口串联配套“低温冷凝回收系统”。高浓度溶剂蒸气经冷凝装置降温后，绝大部分液化为冷凝液，进入废液收集罐；少量未冷凝的废气再进入后续“活性炭吸附”装置。

挥发出来的溶剂蒸气经真空泵抽出后，大部分通过冷凝回收系统回收为液态危废，少量未被冷凝的以废气形式排放。冷凝回收率参照《N-甲基吡咯烷酮（NMP）废气回收及废液循环利用装置技术规范》（GB/T 46839-2025）中回收率≥99%的要求；类比江苏晟凯博新能源有限公司年产10亿安时锂电池项目环境影响报告表（宿迁市生态环境局公示），该项目NMP冷凝回收率明确取98%；本次评价保守取冷凝回收率98%，未冷凝进入废气的比例为2%。

进入真空干燥的NMP量为3.99 kg/a（4.2 - 0.21），IPA量为2.268 kg/a（2.52 - 0.252）。NMP废气产生量按3.99的2%，即 0.0798 kg/a，IPA废气产生量计算得0.0454 kg/a。真空干燥VOCs废气产生量合计0.1252 kg/a。真空烘箱为密闭设备，排气管与风管直连，收集效率按100%计算。经活性炭吸附装置处理（处理效率60%），有组织排放量 0.0501 kg/a，无组织排放量为0。年排放时间按1015h/a计（70批×14.5h/批），DA001排气筒（风量5000m³/h）排放速率为 4.93×10^{-5} kg/h。

冷凝回收的NMP/IPA混合液（约6.133 kg/a）作为危险废物（HW06）委托有资质单位处置。

⑤平板热压复合增强（VOCs）

前道真空干燥已将溶剂脱除殆尽，热压温度（160℃）远低于PFSA分解温度（300℃），仅有理论上的极微量残留。因此，本节仅作定性描述。

⑥硫酸酸化质子转型工序-硫酸雾

硫酸酸化质子转型工序在80℃恒温水浴槽中，以0.5M稀硫酸（0.4L/批）浸泡2h，属于“稀而热的硫酸”工况。参照《污染源源强核算技术指南 电镀》（HJ984-2018）附

录B，硫酸雾产污系数保守取25.2 g/(m²·h)。酸洗槽液面面积保守取0.01 m²，年操作时间140h/a（70批×2h/批），则硫酸雾产生量约0.0353 kg/a。

废气经通风橱负压收集(收集效率90%)，进入DA001碱液喷淋塔处理(去除率90%)，有组织排放量约0.0032 kg/a，排放速率约2.29×10⁻⁵ kg/h；无组织排放量约0.0035 kg/a。

表2-2 项目废气产排情况一览表

实验线路		工序	污染物	产生量(kg/a)	收集率	有组织产生量(kg/a)	有组织产生速率(kg/h)	无组织排放量(kg/a)	无组织排放速率(kg/h)	排放时间(h)
线路一	钛及钛合金相制备实验	超声波清洗	非甲烷总烃	9.48	90%	8.532	0.1138	0.948	0.0126	75
线路一		金相腐蚀	氟化物	0.02235	90%	0.02012	0.0001344	0.002235	0.0000149	150
			氮氧化物	0.0069	90%	0.0062	0.00004	0.0007	0.000005	150
线路一	钛阳极制备及性能评价	贵金属涂液配制+喷涂+烘干+烧结	非甲烷总烃	162	配制90%/喷涂95%，烘干/烧结100%	159.165	0.0548	2.835	0.00098	2904
线路一		高温烧结	氯化氢	0.01602	100%	0.01602	0.00002	0	0	783
			氯气	0.01655	100%	0.01655	0.00002	0	0	783
线路二 Ti4O7（亚氧化钛）新型电极及粉末制备实验		β-PbO ₂ 电沉积	氮氧化物	0.0002	90%	0.00018	0.000009	0.00002	0.000001	20
		电化学性能评价及寿命测试	硫酸雾	0.27	90%	0.243	0.0000625	0.027	0.0000375	720
		破碎研磨	颗粒物	0.0339	/	/	/	0.0339	0.00047	72
		喷雾干燥	颗粒物	0.15	旋风96%	/	/	0.006	0.000167	36
线路三	钛基涂层双极板制备性能评价实验	超声脱脂清洗	非甲烷总烃	2.84	90%	2.556	0.0426	0.284	0.00473	60
		密闭喷砂	粉尘	1.2	滤筒99%	/	/	0.02	0.012	60
		混合酸蚀刻粗化	氟化物	0.00447	90%	0.004023	0.00006704	0.000447	0.00000745	60
			氮氧化物	0.0277	90%	0.0249	0.00042	0.0028	0.00005	60
		贵金属涂覆	氯化氢	0.283	90%	0.2547	0.00106	0.0283	0.00012	240
			非甲烷总烃	2.844	90%	2.5596	0.0107	0.284	0.00118	240
		分段烘干+氩气氛高温烧结	非甲烷总烃	24.796	100%	24.796	0.0413	0	0	600
			氯化氢	0.215	100%	0.215	0.0003	0	0	720
			氯气	0.0149	100%	0.0149	0.00002	0	0	720
		硫酸活化	硫酸雾	0.3024	90%	0.2722	0.00113	0.0302	0.00013	240
	质子交换膜制备试验	ePTFE膜裁切与除尘	颗粒物	定性分析	/	/	/	/	/	/
		等离离子亲水改性	氟化物	定性分析	/	/	/	/	/	/
		刮涂预挥发	非甲烷总烃	0.462	90%	0.4158	0.0119	0.0462	0.00132	35
		真空干燥	非甲烷总烃	0.1252	100%	0.1252	0.00012	0	0	1015
		平板热压复合增强	非甲烷总烃	定性分析	/	/	/	/	/	/

实验线路	工序	污染物	产生量 (kg/a)	收集率	有组织产生量 (kg/a)	有组织产生速率 (kg/h)	无组织排放量 (kg/a)	无组织排放速率 (kg/h)	排放时间 (h)
	硫酸酸化 质子转型	硫酸雾	0.0353	90%	0.0318	0.00023	0.0035	0.000025	140

表2-3 DA001（25m排气筒）各污染物排放情况

污染物	有组织产生量 (kg/a)	有组织产生速率 (kg/h)	去除率	排放速率 (kg/h)	*速率标准 (kg/h)	排放浓度 (mg/m ³)	浓度标准 (mg/m ³)
非甲烷总烃	198.15	0.275	60%	0.110	35	22.0	120
氟化物	0.00241	0.0002	90%	0.00002	0.38	0.004	9.0
氮氧化物	0.0313	0.00045	30%*	0.000315	2.85	0.063	240
硫酸雾	0.5470	0.00189	90%	0.000189	5.7	0.038	45
氯气	0.03145	0.00004	90%	0.000004	1.885	0.0008	65
氯化氢	0.51402	0.00142	90%	0.000142	0.915	0.028	100

*速率标准为25m高排气筒对应速率标准，根据《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）进行内插法计算所得

*30%为各个工序氮氧化物综合去除率取值（混合后NO占比增加，低浓度下传质效率降低）。

由以上汇总表格可知，按最不利情况各工艺步骤同时进行，其废气污染物（有机废气+酸性废气）共同经通风橱+碱液吸收塔+除雾器+活性炭吸附装置处理后，经25m高排气筒（DA001）排放，各污染物排放浓度、排放速率均可达到《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）相应标准要求。

表2-4 粉尘产排情况汇总

产尘点	产尘量 (kg/a)	治理措施	处理效率	排放量 (kg/a)	排放去向
破碎研磨粉尘	0.0339	通风橱内操作	/	0.0339	无组织
喷雾干燥粉尘	0.15	设备自带旋风分离器	96%	0.006	无组织
密闭喷砂粉尘	1.2	滤筒除尘器	99%	0.012	无组织

表2-5 无组织排放情况

污染物	有组织排放量 (kg/a)	排放速率 (kg/h)
非甲烷总烃	4.3972	0.02081
氟化物	0.00268	0.00002235
氮氧化物	0.00352	0.000056
硫酸雾	0.0607	0.0001925
氯化氢	0.0283	0.00012
颗粒物	0.0519	0.0086

2.4 废气污染物排放汇总

项目废气污染物主要为有机废气、酸性废气及粉尘，项目大气污染物排放汇总情况详见下表。

表2-6 项目大气污染物排放情况汇总表

污染物	有组织		无组织		排放总量 (kg/a)	废气主要来源
	有组织排放量 (kg/a)	有组织排放速率 (kg/h)	无组织排放量 (kg/a)	无组织排放速率 (kg/h)		
非甲烷总烃	79.2594	0.1100	4.3972	0.02081	83.6566	线路一/三清洗、涂覆、烘干、烧结、刮涂
氟化物	0.00241	0.00002	0.00268	0.00002235	0.00509	线路一金相腐蚀、线路三

						混合酸蚀刻
氮氧化物	0.0219	0.000315	0.00352	0.000056	0.02542	线路一金相腐蚀、线路二β-PbO ₂ 电沉积
硫酸雾	0.0547	0.000189	0.0607	0.00019	0.1154	线路二电化学性能评价、线路三硫酸活化及酸化
氯气	0.003145	0.000004	0	0	0.003145	线路一、线路三烧结
氯化氢	0.048572	0.000142	0.0283	0.00012	0.076872	线路一高温烧结、线路三贵金属涂覆及烧结
颗粒物	-	-	0.0519	0.0086	0.0519	线路二破碎研磨、喷雾干燥、线路三密闭喷砂

2.5 非正常工况

根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018），非正常排放指生产过程开停车、设备检修、工艺设备运转异常、污染控制设施达不到应有处理效率情况下的污染物排放。

本项目生产操作规程明确：装置开停车作业时，先启动废气治理设施，后启动生产设备；生产装置停机完成后，再关停废气治理设施；主体设备故障时立即停机检修，检修合格后方可复产。开停车、主体设备检修带来的非正常废气排放可通过生产管理流程予以规避，本次不将其作为事故非正常排放情景。

本次非正常工况仅考虑废气治理设施发生故障失效的事故情景：废气处理系统（颗粒物净化装置、碱液喷淋+除湿+二级活性炭吸附装置）风机故障、塔体堵塞、活性炭吸附饱和未及时更换、加药系统故障等，废气处理效率按0计，废气未经处理直接外排。以巡检发现故障、停机停产抢修的最不利时长1h 作为非正常排放持续时间，核算源强最大工况下的污染物排放情况。

表2-7 项目非正常情况下大气污染物排放情况表

产污环节	污染物种类	排放速率 (kg/h)	排放浓度 (mg/m ³)	持续时间
超声波清洗、贵金属涂覆、烘干+烧结、刮涂预挥发等	非甲烷总烃	0.275	55.0	1h
金相腐蚀、等离子亲水改性、混合酸蚀刻粗化	氟化物	0.0002	0.04	
金相腐蚀、β-PbO ₂ 电沉积、混合酸蚀刻粗化	氮氧化物	0.00045	0.09	
电化学性能评价、强化寿命测试	硫酸雾	0.00189	0.378	
高温烧结、烘干-氯气氮高温烧结	氯气	0.00004	0.008	
贵金属涂覆、高温烧结	氯化氢	0.00142	0.284	

注：非正常工况下，废气处理设施故障，处理效率按0%计，故表中排放速率为未经处理的产生速率。

非正常工况属于事故状态下短时排放。企业应加强废气处理设施运维管理，建立巡检台账，定期更换活性炭、检查喷淋塔填料、风机；设备设置故障报警联锁，故障状态下优先联锁停机，最大限度降低非正常排放发生概率。

3 大气环境现状调查与评价

项目位于宝鸡市高新区。根据大气功能区划，项目所在地为二类功能区，环境空气质量标准执行《环境空气质量标准》（GB3095-2026）二级标准要求。

根据陕西省生态环境厅办公室于2026年2月3日发布的《环保快报》（详版〔2026〕第1期）中“2025年12月及1—12月全省环境质量状况”中“附表4—2025年1—12月关中地区60个县（区）空气质量状况统计表”，项目所在区域—宝鸡市高新区2025年全年环境空气基本污染物监测数据详见表3-1。

表 3-1 区域空气质量现状评价表

污染物	年评价指标	现状浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	标准值/ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	占标率%	达标情况
PM _{2.5}	年均值	29.6	30	99	达标
PM ₁₀	年均值	49	60	86	达标
SO ₂	年均值	7	60	12	达标
NO ₂	年均值	19	40	48	达标
CO	24 小时平均浓度第 95 百分位浓度	700	4000	18	达标
O ₃	日最大 8 小时平均浓度第 90 百分位浓度	146	160	91	达标

由上述统计结果可知，宝鸡市高新区 PM₁₀、PM_{2.5}、NO₂、SO₂ 年平均值，CO₂₄ 小时平均浓度第 95 百分位数、O₃ 日最大 8 小时平均浓度第 90 百分位数均符合《环境空气质量标准》（GB 3095-2026）（过渡阶段）二级标准。

综上所述，项目所在区域属于环境空气质量达标区。

4 运营期大气环境影响预测与评价

4.1 项目污染源排放参数

(1) 有组织废气

由项目工程分析可知，项目生产过程中的有组织废气主要为实验过程挥发的废气，主要污染物为非甲烷总烃、氯化氢、氯气、氟化物、氮氧化物、硫酸雾，其经通风橱收集后，经“碱液喷淋+除雾器+活性炭吸附”处理后，通过25m排气筒（DA001）排放。

项目有组织废气排放情况见下表。

表4-1 项目有组织废气排放情况一览表

污染源名称	排气筒底部中心坐标		排气筒底部海拔（m）	排气筒参数				污染物名称	排放速率（kg/h）
	经度	纬度		高度（m）	内径（m）	温度（℃）	流速（m/s）		
DA001	107.42404275	34.32129848	533	25	0.4	25	11.06	非甲烷总烃	0.110
								氟化物	0.00002
								氮氧化物	0.000315
								硫酸雾	0.000189
								氯气	0.000004
								氯化氢	0.00142

(2) 无组织废气

由项目工程分析可知，本项目生产过程中的无组织废气主要为实验过程中产生的挥发酸雾、非甲烷总烃、粉尘等废气。

项目无组织废气排放情况见下表。

表4-2 项目无组织废气排放情况一览表

污染源名称	坐标		海拔（m）	矩形面源			污染物名称	污染物排放速率（kg/h）
	经度	纬度		长度（m）	宽度（m）	有效高度（m）		
生产车间	107.42453863	34.32085043	533	164.96	150.68	9	非甲烷总烃	0.02081
							氟化物	0.00002235
							氮氧化物	0.000056
							硫酸雾	0.00019
							氯化氢	0.00012
							颗粒物	0.00086

依据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018）中 5.3 节工作等级的确定方法，结合项目工程分析结果，选择正常排放的主要污染物及排放参数，采用附录 A

推荐模型中AERSCREEN 模型计算项目污染源的最大环境影响，按评价工作分级判据进行分级。

(3) 预测结果

项目大气有组织排放及面源排放影响预测结果表分别见表4-3、表4-4。

表4-3 大气环境影响预测结果一览表（DA001）

下方向距离 /m	DA001					
	NMHC浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NMHC占标率 (%)	氯化氢浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	氯化氢占标率 (%)	氯浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	氯占标率 (%)
50.0	3.4712	0.1736	0.0931	0.1862	0.0001	0.0001
100.0	8.3901	0.4195	0.2250	0.4500	0.0003	0.0003
200.0	5.8288	0.2914	0.1563	0.3126	0.0002	0.0002
300.0	4.2449	0.2122	0.1138	0.2277	0.0002	0.0002
400.0	3.6191	0.1810	0.0971	0.1941	0.0001	0.0001
500.0	3.6921	0.1846	0.0990	0.1980	0.0001	0.0001
1000.0	3.4713	0.1736	0.0931	0.1862	0.0001	0.0001
1600.0	2.4295	0.1215	0.0652	0.1303	0.0001	0.0001
2000.0	1.9558	0.0978	0.0525	0.1049	0.0001	0.0001
2500.0	1.5434	0.0772	0.0414	0.0828	0.0001	0.0001
下风向最大浓度	8.3934	0.4197	0.2251	0.4502	0.0003	0.0003
下风向最大浓度 出现距离	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0
D10%最远距离	/	/	/	/	/	/
	F浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	F占标率 (%)	NOx浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NOx占标率 (%)	硫酸浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	硫酸占标率 (%)
50.0	0.0032	0.0158	0.0210	0.0084	0.0178	0.0059
100.0	0.0076	0.0381	0.0507	0.0203	0.0429	0.0143
200.0	0.0053	0.0265	0.0352	0.0141	0.0298	0.0099
300.0	0.0039	0.0193	0.0257	0.0103	0.0217	0.0072
400.0	0.0033	0.0164	0.0219	0.0088	0.0185	0.0062
500.0	0.0034	0.0168	0.0223	0.0089	0.0189	0.0063
1000.0	0.0032	0.0158	0.0210	0.0084	0.0178	0.0059

1600.0	0.0022	0.0110	0.0147	0.0059	0.0124	0.0041
2000.0	0.0018	0.0089	0.0118	0.0047	0.0100	0.0033
2500.0	0.0014	0.0070	0.0093	0.0037	0.0079	0.0026
下风向最大浓度	0.0076	0.0381	0.0507	0.0203	0.0430	0.0143
下风向最大浓度 出现距离	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0	98.0
D10%最远距离	/	/	/	/	/	/

表4-4 大气环境影响预测结果一览表（面源）

下风向距离	矩形面源					
	NMHC浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NMHC占标率 (%)	氯化氢浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	氯化氢占标率 (%)	F浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	F占标率 (%)
50.0	4.0196	0.2010	0.0232	0.0464	0.0043	0.0216
100.0	5.7835	0.2892	0.0334	0.0667	0.0062	0.0311
200.0	6.4126	0.3206	0.0370	0.0740	0.0069	0.0344
300.0	5.6972	0.2849	0.0329	0.0657	0.0061	0.0306
400.0	5.1136	0.2557	0.0295	0.0590	0.0055	0.0275
500.0	4.5542	0.2277	0.0263	0.0525	0.0049	0.0245
1000.0	2.6714	0.1336	0.0154	0.0308	0.0029	0.0143
2000.0	1.3548	0.0677	0.0078	0.0156	0.0015	0.0073
2500.0	1.0539	0.0527	0.0061	0.0122	0.0011	0.0057
下风向最大浓度	6.6471	0.3324	0.0383	0.0767	0.0071	0.0357
下风向最大浓度 出现距离	157.0	157.0	157.0	157.0	157.0	157.0
D10%最远距离	/	/	/	/	/	/
	NO _x 浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO _x 占标率 (%)	TSP浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TSP占标率 (%)	硫酸浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	硫酸占标率 (%)
50.0	0.0108	0.0043	0.1661	0.0185	0.0367	0.0122
100.0	0.0156	0.0062	0.2390	0.0266	0.0528	0.0176
200.0	0.0173	0.0069	0.2650	0.0294	0.0585	0.0195
300.0	0.0153	0.0061	0.2354	0.0262	0.0520	0.0173

400.0	0.0138	0.0055	0.2113	0.0235	0.0467	0.0156
500.0	0.0123	0.0049	0.1882	0.0209	0.0416	0.0139
1000.0	0.0072	0.0029	0.1104	0.0123	0.0244	0.0081
2000.0	0.0036	0.0015	0.0560	0.0062	0.0124	0.0041
2500.0	0.0028	0.0011	0.0436	0.0048	0.0096	0.0032
下风向最大浓度	0.0179	0.0072	0.2747	0.0305	0.0607	0.0202
下风向最大浓度出现距离	157.0	157.0	157.0	157.0	157.0	157.0
D10%最远距离	/	/	/	/	/	/

本次评价直接以 AERSCREEN的估算结果作为预测结果。由上表预测结果可知，项目全厂P_{max}最大值出现在DA001排气筒有组织排放的氯化氢，其P_{max}值为0.4502%，对应C_{max}为0.2251μg/m³；面源排放的最大占标率为非甲烷总烃的0.3324%，对应C_{max}为6.6471μg/m³。项目排放的各污染物（非甲烷总烃、氯化氢、氟化物、氮氧化物、颗粒物、硫酸雾）下风向最大地面浓度均远低于相应环境质量标准限值，各污染物最大浓度占标率在 0.0003%~0.4502%之间，均小于1%，对周边大气环境影响较小。

DA001各污染物最大浓度出现在下风向在98m，面源污染物最大浓度出现在约157m处，该距离范围内主要为企业、道路及空地，无居民区、学校、医院等敏感目标分布。主要环境空气保护目标“某单位”位于项目西南侧220m处，距离最大浓度落点有一定距离，但各污染物在该处浓度贡献值远低于标准限值，对其影响可接受。

根据《环境影响评价技术导则 大气环境》（HJ 2.2-2018），三级评价项目不进行进一步预测与评价。

4.2 大气环境影响评价自查表

表4-5 大气环境影响评价自查表

工作内容		自查项目			
评价等级与范围	评价等级	一级□	二级□	三级☑	
	评价范围	边长=50km□	边长=5~50km□	边长=5km□	
评价因子	SO ₂ +NO _x 排放量	≥2000t/a□	500~2000t/a□	<500t/a□	
	评价因子	基本污染物（SO ₂ 、NO ₂ 、PM ₁₀ 、PM _{2.5} 、CO、O ₃ ）		包括二次PM _{2.5} □	
		其他污染物（颗粒物、非甲烷总烃、氯、氯化氢、氟化物、氮氧化物、硫酸雾）		不包括二次PM _{2.5} ☑	
评价标准	评价标准	国家标准☑	地方标准□	附录D☑	其他标准☑

现状评价	评价功能区	一类区 ☐			二类区 ☒	一类区和二类区 ☐		
	评价基准年	(2025) 年						
	环境空气质量现状调查数据来源	长期例行监测数据 ☐			主管部门发布的数据 ☒	现状补充检测 ☒		
	现状评价	达标区 ☒			不达标区 ☐			
污染源调查	调查内容	本项目正常排放源 ☒		拟替代的污染源 ☐	其他在建、拟建项目污染源 ☐	区域污染源 ☐		
		本项目非正常排放源 ☐						
		现有污染源 ☐						
大气环境影响评价与预测	预测模型	AERMOD ☐	ADMS ☐	AUSTAL2000 ☐	EDMS/AEDT ☐	CALPUFF ☐	网格模型 ☐	其他 ☐
	预测范围	边长 $\geq 50\text{km}$ ☐			边长 5~50km ☐		边长=5km	
	预测因子	预测因子(颗粒物、VOCs、氯化氢、氯气、氟化物、氮氧化物、硫酸雾)				包括二次PM _{2.5} ☐ 不包括二次PM _{2.5} ☒		
	正常排放短期浓度贡献值	C _{本项目} 最大占标率 $\leq 100\%$ ☐				C _{本项目} 最大占标率 $> 100\%$ ☐		
	正常排放年均浓度贡献值	一类区	C _{本项目} 最大占标率 $\leq 10\%$ ☐			C _{本项目} 最大占标率 $> 10\%$ ☐		
		二类区	C _{本项目} 最大占标率 $\leq 30\%$ ☐			C _{本项目} 最大占标率 $> 30\%$ ☐		
	非正常 1h 浓度贡献值	非正常持续时长		C _{非正常} 占标率 $\leq 100\%$ ☐			C _{非正常} 占标率 $> 100\%$ ☐	
		(1) h						
	保证率日平均浓度和年平均浓度叠加值	C _{叠加} 达标 ☐				C _{叠加} 不达标 ☐		
区域环境质量的整体变化情况	k $\leq -20\%$ ☐				k $> -20\%$ ☐			
环境监测计划	污染源监测	监测因子:(颗粒物、非甲烷总烃、氯、氯化氢、氟化物、氮氧化物)			有组织废气监测 ☒	无监测 ☐		
					无组织废气监测 ☒			
	环境质量监测	监测因子:(一)			监测点位数(一)	无监测 ☐		
评价结论	环境影响	可以接受 ☒ 不可以接受 ☐						
	大气环境防护距离	距()厂界最远()m, 无须设置						
	污染源年排放量	SO ₂ :(0)t/a		NO _x :(0.02542)kg/a	颗粒物:(0.0399)kg/a	VOCs:(83.6566)kg/a		

5 运营期大气污染防治措施

5.1 废气治理措施

本项目共涉及三条实验线路（五条具体实验线），实验过程中产生的废气主要包括有机废气（非甲烷总烃）、酸性废气（氟化物、氮氧化物、氯化氢、氯气、硫酸雾）及颗粒物（粉尘）。

（1）有组织废气收集与治理措施

项目配液、酸洗、涂覆、清洗等开放式实验操作均在通风橱内进行，废气经通风橱负压收集；真空烘箱、管式炉、真空干燥箱等密闭设备排气管与废气总管直接连接；静电喷涂柜采用全密闭负压设计。各股废气最终统一汇入DA001（25m高排气筒）前端的处理系统。

处理系统采用“碱液喷淋+除雾器+活性炭吸附”组合工艺：

碱液喷淋塔：利用碱性吸收液中和废气中的酸性组分（氯化氢、氟化物、氯气、硫酸雾、氮氧化物），有效去除酸性污染物；

除雾器：去除废气中夹带的喷淋液滴，保护后端活性炭；

活性炭吸附装置：吸附废气中的非甲烷总烃等有机组分（去除率保守取60%）。

净化后的废气通过25m高排气筒（DA001）达标排放，各污染物排放浓度及速率均满足《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）表2二级标准要求。

（2）无组织废气控制措施

破碎研磨粉尘：设备置于通风橱内操作，含 Ti_4O_7 颗粒物废气经通风橱收集后无组织排放；

喷雾干燥粉尘：设备自带旋风分离器，回收废气中的细粉（回收效率 $\geq 96\%$ ），尾气中残余粉尘量极少，在实验室内无组织排放；

密闭喷砂粉尘：设备自带滤筒除尘器，去除效率 $\geq 99\%$ ，尾气中残余粉尘量极少，在实验室内无组织排放；

其他环节：ePTFE膜裁切、等离子亲水改性等产生量极微的环节，均置于通风橱或密闭设备内操作，严格控制无组织逸散。

（4）治理措施可行性结论

本项目废气治理措施针对性强，酸、碱、有机物、粉尘分类收集、分质处理，符合

《实验室废气污染控制技术规范》及现行环保要求。经AERSCREEN估算模式预测，项目P_{max}远小于1%，大气环境影响评价等级为三级，各项废气污染物均能实现达标排放，对周边大气环境影响较小。

5.2 达标排放分析

根据《环境影响评价技术导则·大气环境》（H2.2-2018）要求，三级评价不进行进一步预测与评价，不进行污染源排放量核算。

项目大气环境影响评价等级为三级，不设置大气环境评价范围。

项目有组织排气筒排放及达标情况如下：

表5-1 DA001（25m排气筒）各污染物排放情况

污染物	排放速率（kg/h）	*速率标准（kg/h）	排放浓度（mg/m ³ ）	浓度标准（mg/m ³ ）
非甲烷总烃	0.110	35	22.0	120
氟化物	0.00002	0.38	0.004	9.0
氮氧化物	0.000315	2.85	0.063	240
硫酸雾	0.000189	5.7	0.038	45
氯气	0.000004	1.885	0.0008	65
氯化氢	0.000142	0.915	0.028	100

*速率标准为25m高排气筒对应速率标准，根据《大气污染物综合排放标准》（GB 16297-1996）进行内插法计算所得。

表5-2 粉尘排放情况

污染源	污染物	年排放时间（h）	无组织排放量（kg/a）	排放速率（kg/h）
破碎研磨粉尘	颗粒物	72	0.0339	0.00047
喷雾干燥粉尘	颗粒物	36	0.006	0.00017
密闭喷砂粉尘	颗粒物	60	0.012	0.0002
合计	颗粒物	/	0.0519	0.0086

由表5-1可知，项目实验过程中挥发的废气非甲烷总烃及酸性废气处理措施为：碱液喷淋+除雾器+活性炭吸附处理后经1根25m排气筒排放。

非甲烷总烃排放浓度为22.0 mg/m³、排放速率为0.110 kg/h；氟化物排放浓度为0.004 mg/m³、排放速率为0.00002 kg/h；氮氧化物排放浓度为0.063 mg/m³、排放速率为0.000315 kg/h；硫酸雾排放浓度为0.038 mg/m³、排放速率为0.000189 kg/h；氯气排放浓度为0.0008 mg/m³、排放速率为0.000004 kg/h；氯化氢排放浓度为0.028 mg/m³、排放速率为0.000142 kg/h，均满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）二级标准中相应标准。

5.3 废气治理措施可行性分析

项目运营期产生的废气主要包括有机废气（以非甲烷总烃计）、酸性废气（氯化氢、氟化物、氮氧化物、氯气等）及颗粒物。

（1）有机废气治理措施可行性分析

本项目有机废气经通风橱或密闭设备收集后，采用“活性炭吸附”工艺进行处理。该措施符合《实验室废气污染控制技术规范》（DB32/T 4455-2023）中关于有机废气可采用吸附法处理的规定。同时，《实验室挥发性有机物污染防治技术指南》（T/ACEF 001-2020）也推荐实验室采用活性炭吸附技术净化VOCs。活性炭吸附装置的设计与运行将严格遵循《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》（HJ 2026-2013）的相关要求。该技术路线成熟可靠，属于《排污许可证申请与核发技术规范 总则》（HJ 942-2018）中推荐的可行技术。

活性炭吸附装置采用与碘值800毫克/克颗粒状、柱状等活性炭吸附效率相当的蜂窝状活性炭，设计挥发性有机物处理效率 $\geq 70\%$ ，工程按保守估计，废气处理效率按60%计。根据《现代涂装手册》（化学工业出版社，2010年），活性炭对有机废气的吸附量约为0.25g废气/g活性炭。为保证活性炭吸附装置废气处理效果，本次评价按照DA001排气筒挥发性有机物处理量（即去除量）计算活性炭的充装量。

项目非甲烷总烃有组织产生量为198.15 kg/a，去除率按60%计，则需吸附的有机废气量为118.89 kg/a。由此计算，活性炭年用量不低于475.56 kg/a（即0.48 t/a）。

废气处理装置的活性炭每半年更换一次，则每次更换的活性炭充装量不低于237.78 kg。废活性炭（HW49）年产生量约为594.45 kg/a（含吸附的有机废气），统一收集后委托有资质单位处置。

（2）酸性废气治理措施可行性分析

本项目酸性废气经收集后，采用“碱液喷淋”工艺进行处理。DB32/T 4455-2023明确无机废气可采用吸收法（如碱液喷淋）进行处理。参照HJ 942-2018，碱液吸收是治理酸性气体的可行技术之一。碱液喷淋法对氯化氢、氟化氢等水溶性酸性气体净化效率高，技术成熟，措施可行。

（3）混合废气治理措施可行性分析

对于同时含有机废气和酸性废气的混合废气，项目采用“碱液喷淋+除雾器+活性炭吸附”的串联组合工艺。该组合工艺已在多个同类实验室项目环评中得到应用和认可。酸性气体先经碱液喷淋中和去除，再经除雾器去除水分后，进入活性炭吸附装置处理有机废气，可确保各类污染物均得到有效去除。

（4）颗粒物治理措施可行性分析

本项目喷砂粉尘、APS喷涂粉尘等颗粒物，分别经设备自带的布袋除尘器或滤筒除尘器处理后排放。布袋除尘和滤筒除尘均为《排污许可证申请与核发技术规范 总则》（HJ 942-2018）中推荐的颗粒物治理可行技术，措施可行。

（5）排气筒设置合理性可行性分析

根据《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）第7.1条及7.4条规定，本项目DA001排气筒因涉及氯气排放，其高度不得低于25m，同时还应高出周围200m半径范围内建筑物5m以上。本项目DA001排气筒设计高度为25m，满足氯气排放的特殊高度要求。

经调查，项目周边200m半径范围内最高建筑物高度约12m，25m排气筒可满足高出该建筑物5m以上的要求。

综上所述，本项目所采用的废气治理措施均符合相关技术规范和标准要求，技术路线成熟，从技术经济角度分析是可行的。

5.4 大气环境影响分析

项目大气环境评价等级为三级，各污染物经处理后均能达标排放，对周边大气环境污染物排放贡献较小。因此，本项目大气环境影响较小，大气环境影响可以接受。

6 排污口规范化设置与污染源监测计划

6.1 排污口规范化设置

本项目废气需设置1个排气筒，具体信息见下表。

表6-1 项目有组织废气排放情况一览表

排放口名称	编号	高度 (m)	内径 (m)	温度 (°C)	类型	地理坐标	
						经度	纬度
实验室混合废气 排气筒	DA001	25	0.4	25.0	一般排 放口	107.42404275	34.32129848

项目设置 1 个排放筒（DA001），按照《排污口规范化整治要求》《固定源废气监测技术规范》（HJ/T397-2007）以及《排污单位污染物排放口监测点位设置技术规范》（HJ1405-2024），项目对采样口以及采样平台的设计要求如下所示：

1) 采样口设置要求

参考《排污单位污染物排放口监测点位设置技术规范》（HJ1405-2024）（2027 年 1 月 1 日起实施），应在废气排放口设置科学、规范、便于采样监测的监测点位，避开对测试人员操作有危险的场所，具体设置如下：

①在流场均匀稳定的监测断面规范开设监测孔，设置工作平台、梯架及相应安全防护设施等。监测断面应设置在规则的圆形、矩形排气筒/烟道上的竖直段或水平段，并避开拉筋等影响监测的内部结构件。监测断面宜设置在排气筒/烟道的负压段，相关标准有特殊要求的除外。

②自动监测断面和手工监测断面设置位置应满足，其按照气流方向的上游距离弯头、阀门、变径管 ≥ 4 倍烟道直径，其下游距离上述部件 ≥ 2 倍烟道直径。排气筒出口处视为变径。

③在手工监测断面处设置手工监测孔，其内径应满足相关污染物和排气参数的监测需要，一般应 $\geq 80\text{mm}$ 。

④对正压下输送高温或有毒有害气体的排气筒/烟道，应安装带有闸板阀的密封防喷监测孔，其他形式的手工监测孔外沿距离排气筒/烟道或保温层外壁距离应 $\leq 50\text{mm}$ 。

⑤在排气筒附近地面醒目处设置环境保护图形标志牌。

2) 采样平台设置要求

参考《排污单位污染物排放口监测点位设置技术规范》（HJ1405-2024），采用平台设置如下：

①监测断面距离坠落高度基准面 2m 以上时，应配套建设永久、安全、便于采样和测试的工作平台。

②除在水平烟道顶部开设监测孔外，工作平台宜设置在监测孔的正下方 1.2m~1.3m 处。

③工作平台长度应 $\geq 2\text{m}$ ，宽度应保证人员及采样探杆操作的空间。对于监测断面直径（圆形）或者在监测孔方向的长度（矩形） $>1\text{m}$ 的，工作平台宽度应 $\geq 2\text{m}$ ； $\leq 1\text{m}$ 的，工作平台宽度应 $\geq 1.5\text{m}$ 。

④单层工作平台及通道上方竖直方向净高应 $\geq 2\text{m}$ ，需设置多层工作平台的，每层净高应 $\geq 1.9\text{m}$ 。

⑤工作平台宜采用厚度 $\geq 4\text{mm}$ 的花纹钢板或经防滑处理的钢板铺装，相邻钢板不应搭接，上表面的高度差应 $\leq 4\text{mm}$ ，载荷满足 GB4053.3 要求。

⑥工作平台与竖直烟道/排气筒的间隙距离 $\leq 10\text{mm}$ 。

3) 防护要求

①距离坠落高度基准面 1.2m 以上的工作平台及通道的所有敞开边缘应设置防护栏杆，其中工作平台的防护栏杆应带踢脚板。

②防护栏杆的高度应 $\geq 1.2\text{m}$ ，扶手宜选用外径 30mm~50mm 钢管，扶手后应有不少于 75mm 净空间。

③防护栏杆的踢脚板宜采用不小于 100mm $\times$ 2mm 的钢板制作，其顶部在平台面之上高度应不小于 100mm，底部距平台面应不大于 10mm。

④扶手和踢脚板之间应至少设置一道中间栏杆，中间栏杆与上下方构件的空隙间距 $\leq 500\text{mm}$ ，其载荷、制造安装应满足 GB4053.3 要求。防护栏杆端部应设置立柱或确保与建筑物或其他固定结构牢固连接，立柱间距应不大于 1m。

6.2 自行监测要求

监测工作可由企业自身完成，企业如不具备工作条件，可安排资金委托有资质单位完成，依据《排污单位自行监测技术指南 总则》（HJ 819-2017），具体内容列表如下：

表6-2 项目废气污染源监测计划表

监测点位	监测因子	监测频次	执行标准
排气筒 DA001	非甲烷总烃、氯气、氯化氢、氟化物、氮氧化物、硫酸雾	1 次/年	《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）表 2 中排放限值
厂界	颗粒物、非甲烷总烃、氯化氢、氟化物、氮氧化物、硫酸雾	1 次/年	《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）表2中无组织排放监控浓度限值
厂区内	非甲烷总烃	1 次/年	《挥发性有机物无组织排放控制标准》（GB 37822-2019）附录A中厂区内VOCs无组织排放限值

7 结论

7.1 达标区判定

项目所在区域 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 NO_2 、 SO_2 年平均值， CO 24 小时平均浓度第 95 百分位数、 O_3 日最大 8 小时平均浓度第 90 百分位数均符合《环境空气质量标准》（GB 3095-2026）（过渡阶段）二级标准。因此，项目所在区域属于环境空气质量达标区。

7.2 大气环境影响及防治措施

项目运营期产生的废气主要包括有机废气（以非甲烷总烃计）、酸性废气（氯化氢、氟化物、氮氧化物、氯气、硫酸雾等）及颗粒物。

非甲烷总烃排放浓度为 22.0 mg/m^3 、排放速率为 0.110 kg/h ；氟化物排放浓度为 0.004 mg/m^3 、排放速率为 0.00002 kg/h ；氮氧化物排放浓度为 0.063 mg/m^3 、排放速率为 0.000315 kg/h ；硫酸雾排放浓度为 0.038 mg/m^3 、排放速率为 0.000189 kg/h ；氯气排放浓度为 0.0008 mg/m^3 、排放速率为 0.000004 kg/h ；氯化氢排放浓度为 0.028 mg/m^3 、排放速率为 0.000142 kg/h ，均满足《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）二级标准中相应标准。

因此各污染物经处理后均能达标排放，对周边大气环境影响较小。

7.3 总结论

项目废气在落实废气污染防治措施的前提下，可实现达标排放，对环境的影响较小，且废气污染防治措施技术可行、经济合理、满足长期稳定运行和达标排放要求。因此，从大气环境保护角度分析，本项目建设大气环境影响可行。