

# 稳固剂在阳极组装过程中的应用及效果分析

李成元, 谢玉彦\*, 张坤, 王攀, 练新强

云南神火铝业有限公司, 云南 文山 663400

DOI:10.61369/ERA.2025110037

**摘要 :** 阳极组装是电解铝生产过程中的关键环节, 其质量直接影响电解槽的运行效率和铝产品的质量。稳固剂作为一种重要的添加剂, 在阳极组装中发挥着至关重要的作用。本文综述了稳固剂在阳极组装中的应用, 探讨了其作用机理、种类及其对阳极性能的影响, 通过与未使用稳固剂浇铸阳极铁碳压降进行对比, 铁碳压降均值降低3.1毫伏, 全面推广使用后, 年产量90万吨公司可节约成本约1039.81万元, 具有较高的经济价值。

**关键词 :** 稳固剂; 阳极组装; 电解铝; 添加剂; 阳极性能

## Application and Effect Analysis of Stabilizer in the Anode Assembly Process

Li Chengyuan, Xie Yuyan\*, Zhang Kun, Wang Pan, Lian Xinqiang

Yunnan Shenghuo Aluminum Co., Ltd., Wenshan, Yunnan 663400

**Abstract :** Anode assembly is a crucial step in the production process of electrolytic aluminum, and its quality directly affects the operational efficiency of the electrolytic cell and the quality of aluminum products. As an important additive, the stabilizer plays a vital role in anode assembly. This paper reviews the application of stabilizers in anode assembly, explores their mechanism of action, types, and their impact on anode performance. By comparing the iron–carbon voltage drop of anodes cast with and without stabilizers, the mean iron–carbon voltage drop was reduced by 3.1 millivolts. After comprehensive promotion and application, a company with an annual output of 900,000 tons can save approximately 10.3981 million yuan, demonstrating significant economic value.

**Keywords :** stabilizer; anode assembly; electrolytic aluminum; additive; anode property

## 前言

铝及铝合金是当今使用范围最广、最经济实用的材料之一<sup>[1-2]</sup>, 铝在工业中的常见的制备方法为: 以纯净的Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>为溶质, 以冰晶石为溶剂, 碳素材料生产的阳极和阴极充当正极和负极, 通入强大的直流电, 在电解槽中发生电化学反应, 最终生成液体铝<sup>[3]</sup>。当前, 节能降耗是我国落实节约资源与保护环境两项基本国策的重要抓手, 也是我国能源发展战略的核心内容<sup>[4]</sup>。铝冶炼是铝产业链中高耗能高排放的冶炼环节, 作为电解槽“心脏”的铝用阳极组, 成为关注的重点。阳极组装的过程是通过将磷生铁注入, 使导杆钢爪与阳极炭块浇铸成为一体, 供电解槽使用<sup>[5]</sup>。铝用阳极组的质量直接影响着电解槽生产的稳定和经济技术指标的好坏。在阳极组装过程中, 稳固剂作为一种重要的添加剂, 能够显著改善阳极的性能, 提高电解铝的生产效率。本文将详细探讨稳固剂在阳极组装中的应用及其作用机理。

## 一、磷生铁中各元素的作用

磷生铁主要包括碳、硅、锰、磷、硫等元素。

碳元素用来调整磷生铁的熔化温度, 控制磷生铁浇铸的过热度, 从而直接影响磷生铁浇铸的流动性, 同时碳主要以石墨形态析出, 使铸铁凝固时产生石墨化膨胀, 抵消冷却时的体积收缩, 使钢爪和阳极紧密连接在一起, 消除了产生收缩裂纹的可能性。

硅元素与碳相同, 具有促进碳石墨化、增加铁素体量、减少渗碳体含量的作用; 在固相时其体积膨胀量大, 导致磷生铁液相转变固相时, 磷铁环收缩率低; 磷铁环电阻率随着含硅量增加而增大。

锰元素具有促进铸铁白口的作用, 促进珠光体形成, 从而增加铸铁的强度及其收缩率。

磷元素能降低铁水粘度, 增加铁水流动性; 增加磷生铁冷脆

作者简介: 李成元(1988—), 男, 黑龙江宁安人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事电解铝生产技术及管理工作。

通讯作者: 谢玉彦(1972—), 男, 河南永城人, 工程硕士, 高级工程师, 主要从事金属冶炼安全生产工艺管理和技术研究工作, 邮箱: 13837091368@163.com。

性，易于组装磷铁环压脱，同时磷元素容易在电解质中不断富积，直接影响铝电解槽电流效率，电解质中磷元素含量对电解槽效率的影响。

硫元素在铸铁中的溶解度很小，凝固后易在晶界偏析，与铁形成硫化物，使晶界的熔点降低，使铸铁具有热脆性，磷铁环强度降低；硫含量的增加会降低铁水流动性，恶化浇铸性能<sup>[6-8]</sup>

## 二、稳固剂的作用机理、分类和使用方法

由于磷生铁配比要能补充生铁中烧损的元素量，并调整磷铁的成分和性能，使之达到使用要求——即在主要使用回炉铁和新生铁以外，还要按要求增加原料硅、锰、磷铁的使用量。磷生铁稳固剂是一种化学物质，主要成分包括碳粉、氧化钙、碳酸钠、硅酸钠、氧化铁、偏铝酸钠、氧化锌和镁粉等。这些成分按照一定的重量份数配比，形状为黑色粉末，在磷生铁熔炼过程使用一般粒度不大于80目。

主要作用：使磷生铁成分保持稳定，调节磷生铁成分，增碳脱硫，保证铁水良好的流动性，同时有利于降低铁碳压降；另外添加稳固剂操作安全、简单，可减去所有辅材添加，工人劳动强度大幅降低，可避免配比物料的人员因劳动强度大或责任心不强，配料不标准，导致铁水成分较大偏差。下面对稳固剂的作用机理和分类进行介绍。

### (一) 稳固剂的作用机理

稳固剂在阳极组装中的作用主要体现在以下几个方面：

第一：提高阳极的机械强度：稳固剂能够增强阳极的机械强度，使其在高温和强腐蚀环境下保持稳定，减少阳极的破损和脱落。

第二：改善阳极的导电性能：稳固剂能够优化阳极的导电性能，降低电阻，提高电流效率，从而减少能耗。

第三：增强阳极的抗腐蚀性：稳固剂能够形成保护膜，防止阳极在电解过程中被腐蚀，延长阳极的使用寿命。

### (二) 稳固剂的分类

根据化学成分和作用机理的不同，稳固剂可以分为以下几类：

无机稳固剂：如氟化盐、氯化盐等，主要通过形成稳定的化合物来提高阳极的机械强度和抗腐蚀性。

有机稳固剂：如酚醛树脂、环氧树脂等，主要通过高分子材料的粘结作用来增强阳极的机械强度和导电性能。

复合稳固剂：由无机和有机稳固剂复合而成，兼具两者的优点，能够显著提高阳极的综合性能。

### (三) 稳固剂的使用

稳固剂使用方法：每次出铁后，空炉添加少许磷铁环后再添加稳固剂，一吨铁水添加一袋稳固剂，空炉的时候添加3袋稳固剂（共75kg，每袋25kg），按照每炉铁水加75公斤稳固剂，将稳固剂加入中频炉底部，之后添加磷铁环至满炉进行熔炼作业，无需加入其它物料，除渣后即可出铁水用于浇铸作业。

## 三、稳固剂使用优势及经济效益

### (一) 稳固剂使用优势

将使用稳固剂浇铸的阳极组与未使用稳固剂的阳极组进行对比发现，前者在上槽后的电压以及中频炉的元素控制等方面都具有相对明显的优势，具体情况如下。

#### 1. 阳极组电压降上的优势

通过测量未使用稳固剂浇铸的阳极上槽后铁碳压降与使用稳固剂的阳极组铁碳压降各20组，对比两者之间的差距具体情况如表1。

表1 使用稳固剂与未使用稳固剂浇铸阳极上槽后压降对比情况表 单位：mv

槽号	极号	使用稳固剂浇铸阳极组		未使用稳固剂浇铸阳极组			
		运行时间(天)	压降数值	槽号	极号	运行时间(天)	压降数值
3129	A1	10	82	4078	B15	10	68
	A2	10	56		B17	4	86
	A5	2	96		B25	17	54
	A6	2	55		A24	8	79
	A19	4	60		A9	11	69
	A20	4	97		B16	10	72
	B27	5	72		B18	4	100
	B28	5	57		B26	17	59
	B13	3	64		A23	8	73
	B14	3	55		A10	11	62
3129	B5	9	89		A3	4	89
	B6	9	86		B21	5	68
	B19	7	50		A15	7	76
	B20	7	47		B7	9	62
	A25	6	70		B5	11	66
	A26	6	76		A4	4	97
	A24	10	73		B22	5	64
	A23	10	65		A16	7	69
	A12	2	68		B8	9	74
	A11	2	65		B6	11	59
均值		69.2	均值	72.3			

从上表可以看出使用稳固剂浇铸的阳极上槽后铁碳电压均值为69.2毫伏，较未使用稳固剂浇铸的阳极组电阻72.3毫伏低3.1毫伏，效果较为显著。

#### 2. 在控制磷生铁各元素方面的优势

据使用稳固剂前后磷生铁成分化验数据进行对比，具体情况如表2。

	C	Si	Mn	P	S
稳固剂使用前各元素情况	1.57	1.93	0.17	1.68	0.385
稳固剂使用7个周期后各元素情况	2.73	2.88	0.71	1.8	0.15

从上表可以明显看出，经过7个周期的使用后，系统中硫元素有了明显的降低，碳含量有了明显的升高，可得出稳固剂可显著降低杂质元素硫的含量；同时提升磷生铁水的含碳量，从而提升磷生铁水的流动性、浇铸性能，磷生铁环的导电性能，从而达到

节能降耗之目的。

## (二) 稳固剂使用经济效益

将每炉使用稳固剂的成本与未使用稳固剂每炉的成本进行分析，查看两者之间的成本差异，具体情况如表3和表4。

表3 使用磷生铁添加生铁及铁合金的成本分析（未使用稳固剂）

添加物资	每炉添加重量 (kg)	单价(元/ kg)	成本 (元)	材料单价
生铁	200	3.1	620	3188元/吨
硅铁	23	6.5	149.5	6554元/吨
磷铁	8	1.6	12.8	1595元/吨
锰铁	4	6.6	26.4	6637元/吨
除渣剂	5	1.3	6.5	1300元/吨
合计：			814.5	

未使用稳固剂时每炉（3吨）需要添加生铁、硅铁、磷铁、锰铁和除渣剂等材料，总成本约为814.5元。

表4 使用磷生铁稳固剂成本分析

添加物资	每炉添加重量 (kg)	单价(元/ kg)	成本(元)	材料单价
稳固剂	25	4.9	122.5	4823元/吨
除渣剂	10	1.3	13	1300元/吨
合计：			135.5	

使用稳固剂后，添加的材料主要有稳固剂和除渣剂，每炉（3吨）的材料成本约为380.5元。

通过以上数据对比，使用稳固剂每炉（3吨）成本135.5元，磷生铁添加生铁及铁合金每炉（容量3吨）成本814.5元。90万吨满产是，每月浇铸阳极32000组，每炉浇铸43组计算，需要配炉745炉左右，每月可节约生产成本约50.59万元。全年可以节约成本607.08万元。

铁碳压降均值降低3.1毫伏，如全面推广使用稳固剂，全年产量按90万吨计算，全年可节约交流电约 $90 \times 3.3 \times 3.1 = 920.7$ 万度，可节约电费约 $920.7 \times 0.47 = 432.73$ 万元。

全年综合可节约成本约 $607.08 + 432.73 = 1039.81$ 万元。

## 四、结论

本文详细探讨了稳固剂在阳极组装中的应用及其作用机理，通过对比发现稳固剂在阳极组装应用6个周期后，磷生铁中的碳含量有显著提高同时降低了硫含量，增加了导电性能，每组阳极约降低电压降3.1毫伏，按照全年每年90万吨产量计算全年可节约费用432.73万元。对比分析每炉使用稳固剂和未使用稳固剂的成本发现，每炉约可节约成本679元，按照全年每年90万吨产量计算全年可节约费用约607.08万元，全年约节约成本1039万元，经济效益显著。为同行业节能降耗，提质增效供了参考。

## 参考文献

- [1] Adabifiroozjaei E, Koshy P, Sorrell CC. Assessment of Non-Wetting Materials for Use in Refractories for Aluminum Melting Furnaces[J]. Journal of The Australian Ceramic Society Volume, 2015, 51(1):139–145.
- [2] Schneller M. Aluminum production process control: USA, US8052859[P]. 2011.
- [3] 李成元, 于议超, 李文超, 等. 智能打壳系统在电解车间的应用 [J]. 山东冶金, 2023, 45(06):62–64. DOI: 10.16727/j.cnki.issn1004-4620.2023.06.013.
- [4] 张阳, 巨建龙, 胡红武, 等. 石墨化阴极浇铸技术在200 kA 铝电解槽的应用实践 [J]. 轻金属, 2023, (07):33–36. DOI: 10.13662/j.cnki.qjs.2023.07.007.
- [5] 张建华. 降低阳极组装过程中铁炭压降实践 [J]. 冶金与材料, 2019, 39(06):44+46.
- [6] 李贺松, 孙盛林, 朱晓伟. 铝电解中阳极涂层与磷生铁改性剂的综合优化实验 [J]. 资源信息与工程, 2021, 36(02):127–130+135. DOI: 10.19534/j.cnki.zyxxygc.2021.02.038.
- [7] 黄河荣, 黄国宏, 虞青, 等. 磷生铁含量超出控制范围的原因分析及控制 [J]. 云南冶金, 2022, 51(02):145–149.
- [8] 肖述兵. 铝用预焙阳极组浇铸高碳无磷生铁配方研究与试验 [J]. 世界有色金属, 2023, (08):11–13.