

# 钢棒保温改善石墨化阴极电解槽能量平衡的实践

海博洋

青铜峡铝业股份有限公司青铜峡分公司 宁夏 吴忠 751600

**摘要:** 本文探讨了石墨化阴极电解槽在电解铝行业中的应用及其能量平衡问题,并针对电解槽能量不匹配的现象,提出了钢棒保温措施。通过对实施前后的温度、效应系数及电压差值进行对比分析,验证了钢棒保温在改善电解槽能量平衡方面的有效性,为电解铝行业的节能降耗提供了新思路。

**关键词:** 石墨化阴极; 电解槽; 能量平衡; 钢棒保温; 电解铝

引言:近年来,石墨化阴极炭块凭借其优异的导电性、耐高温性和抗腐蚀性,在电解铝行业中得到了广泛应用。然而,部分企业仅将阴极及其他部分内衬材质做了改变,而磁场及母线配置并未调整,导致电解槽能量平衡不匹配,出现电解槽偏冷、伸腿肥大等问题,严重影响了电解槽的正常生产和铝的产量与质量。为此本文提出了对全石墨阴极电解槽进行钢棒保温的措施,以期改善电解槽的能量平衡。

## 1 石墨化阴极电解槽在电解铝行业中的应用及其重要性

### 1.1 石墨化阴极电解槽的应用背景

电解铝行业作为现代工业的重要组成部分,其生产效率与成本效益直接关系到企业的市场竞争力。在这一背景下,石墨化阴极电解槽以其独特的性能优势,逐渐成为了电解铝行业的主流选择。石墨化阴极,作为一种高性能的电解槽材料,通过其出色的导电性、耐高温性和抗腐蚀性,为电解铝行业带来了革命性的变革。

### 1.2 石墨化阴极降低电阻,提高电解效率

石墨化阴极的首要优势在于其优异的导电性能。相比传统的阴极材料,石墨化阴极的电阻更低,这意味着在电解过程中,电能损失更少,能量转换效率更高<sup>[1]</sup>。这不仅有助于降低电解槽的能耗,还能显著提升电解效率,从而提高铝的产量和质量。此外,石墨化阴极的稳定导电性还确保了电解过程的平稳进行,减少了因电阻波动而导致的生产不稳定现象。

### 1.3 石墨化阴极的高温稳定性与物理化学性质

在电解铝过程中,电解槽需要承受高温和强腐蚀性电解液的侵蚀。石墨化阴极凭借其出色的高温稳定性和物理化学性质,能够在这种恶劣环境下保持稳定的性能。它不仅不易变形或损坏,还能有效抵御电解液中各种离子的侵蚀,从而延长电解槽的使用寿命。这种稳定性对于维持电解槽的长期高效运行至关重要,也是石墨

化阴极在电解铝行业中得以广泛应用的重要原因之一。

### 1.4 石墨化阴极的抗腐蚀性能与经济效益

石墨化阴极的抗腐蚀性能是其另一大亮点。在电解铝过程中,电解液中的氟离子等腐蚀性物质会对阴极材料造成严重的侵蚀。然而,石墨化阴极凭借其卓越的抗腐蚀性能,能够有效抵御这些腐蚀性物质的侵蚀,从而延长电解槽的使用寿命。这不仅减少了因更换阴极材料而产生的成本,还提高了电解槽的整体运行效率。此外,石墨化阴极的稳定性和高效性还为企业创造了更大的经济效益,提升了企业的市场竞争力。

## 2 石墨化阴极电解槽能量平衡的理论基础

在铝电解这一复杂而精细的工业过程中,电解槽的能量平衡占据着举足轻重的地位。它不仅是确保电解过程平稳、高效运行的关键,也是影响铝产量与质量的重要因素。特别是在采用石墨化阴极的电解槽中,能量平衡的理论基础更加显得尤为关键。

### 2.1 电解槽能量平衡的基本概念

在铝电解过程中,电解槽的能量平衡主要指的是输入电解槽体系的能量( $W$ )与电解槽内部发生的电化学反应所需要的能量( $E_p$ )以及电解槽体系向周围环境的热损失( $QL$ )之间的平衡关系。这一平衡关系可以用数学表达式 $W-E_p-QL=0$ 来概括。其中, $W$ 代表输入电解槽体系的总能量,主要来源于电能; $E_p$ 代表电化学反应过程所需要的能量,它是铝电解过程的核心;而 $QL$ 则代表电解槽体系向周围环境的热损失,这是电解过程中不可避免的能量耗散。

### 2.2 石墨化阴极在能量平衡中的作用

石墨化阴极以其优异的导电性、耐高温性和抗腐蚀性,在铝电解过程中发挥着至关重要的作用。在能量平衡方面,石墨化阴极主要通过以下几个方面影响电解槽的性能:(1)降低电阻,提高电能利用率:石墨化阴极具有极低的电阻率,这使得电流在通过电解槽时能够减

少能量损失,提高电能的利用率<sup>[2]</sup>。这不仅有助于降低生产成本,还能提升电解效率。(2)稳定电解温度,减少热损失:石墨化阴极在高温环境下能够保持稳定的物理和化学性质,不易变形或损坏。这使得电解槽能够维持稳定的电解温度,减少因温度变化而导致的热损失。同时石墨化阴极的抗腐蚀性也能有效抵御电解液对电解槽内壁的侵蚀,进一步减少热损失。(3)优化电解槽设计,提高能量平衡精度:石墨化阴极的引入使得电解槽的设计更加灵活和高效。通过精确计算和优化设计,可以使得电解槽的能量输入与输出更加匹配,从而提高能量平衡的精度和稳定性。

### 2.3 能量平衡被破坏的影响

若电解槽的能量平衡被破坏,即 $W-E_p-QL \neq 0$ 时,电解槽将出现过热或过冷现象。过热会导致电解槽内部温度过高,使得电解质挥发加剧,槽帮结壳熔化,槽膛尺寸增大,严重时甚至会导致电解槽破损。而过冷则会导致电解槽内部温度过低,使得电解质粘稠度增加,电流效率下降,铝的产量和质量受到影响。此外,能量平衡被破坏还会引发一系列连锁反应,如槽电压波动、阳极效应频繁发生等,进一步影响电解槽的正常运行和企业的经济效益。

### 2.4 维持能量平衡的措施

为了维持电解槽的能量平衡,需要采取一系列措施。(1)需要精确计算并合理控制输入电解槽体系的能量 $W$ ,确保其与电化学反应所需要的能量 $E_p$ 相匹配。(2)需要加强电解槽的保温措施,减少热损失 $QL$ 。这可以通过采用高性能的保温材料、优化电解槽结构等方式实现。(3)还需要加强对电解槽的日常维护和监控,及时发现并解决能量平衡方面的问题。

## 3 钢棒保温措施的实施

在电解铝工业中,石墨化阴极电解槽因其高效、稳定的性能而备受青睐。然而即便是在这种先进的电解槽中,能量平衡问题依然是一个需要不断优化的关键领域。

### 3.1 钢棒保温措施的背景与原理

在铝电解过程中,电解槽内部发生的电化学反应会释放大量的热能。这些热能一部分用于维持电解槽的正常工作温度,另一部分则通过槽壁、槽底等部位散失到周围环境中。为了减少这种热损失,提高电解槽的能量效率,传统上采用了多种保温措施,如增加槽壁厚度、使用保温材料等。然而,这些措施往往存在成本高、施工难度大或保温效果有限等问题。钢棒保温措施则是一种更为灵活、高效的保温方式。其基本原理是,在电解槽的适当位置(如槽壁、槽底等)安装一定数量的钢

棒,并使用高性能保温材料(如硅酸铝纤维、岩棉等)对钢棒进行紧密包裹。这样,钢棒和保温材料就形成了一个连续的保温层,能够有效地阻止电解槽内部热量的散失。

### 3.2 钢棒保温措施的实施步骤

(1)位置选择与钢棒安装:首先需要根据电解槽的结构和尺寸,确定钢棒的安装位置和数量。一般来说,钢棒应安装在电解槽的侧壁和底部,这些部位是热量散失的主要通道。安装时,需要确保钢棒与电解槽壁之间保持一定的间隙,以便填充保温材料。(2)保温材料选择与包裹:选择合适的保温材料对于提高保温效果至关重要。硅酸铝纤维、岩棉等高性能保温材料因其良好的导热性能和耐高温性能而被广泛采用<sup>[3]</sup>。在包裹钢棒时,需要确保保温材料紧密贴合钢棒表面,不留空隙。同时还需要对保温材料进行适当的压缩和固定,以防止其在电解过程中松动或脱落。(3)保温层检查与修补:完成保温材料的包裹后,需要对整个保温层进行检查,确保没有遗漏或破损的部位。对于发现的任何问题,都需要及时进行修补和加固,以确保保温层的完整性和有效性。(4)运行监测与调整:在实施钢棒保温措施后,需要对电解槽的运行状态进行持续监测。通过观察电解槽的温度分布、电流效率等参数的变化,可以评估保温措施的效果,并根据需要进行相应的调整和优化。

### 3.3 钢棒保温措施的效果分析

钢棒保温措施的实施对于改善石墨化阴极电解槽的能量平衡具有显著的效果。第一,通过减少电解槽的热损失,提高了电解槽的保温性能,使得电解槽内部能够维持更为稳定的温度环境。这有助于降低电解过程中的能耗,提高电流效率,从而增加铝的产量和质量。第二,钢棒保温措施还具有一定的经济性和可操作性。与传统的保温方式相比,钢棒保温措施的施工成本更低,施工难度更小,且易于维护和更换。第三,由于钢棒和保温材料形成了一个连续的保温层,因此可以有效地防止电解槽内部热量的散失,减少了对外部环境的热污染。

## 4 钢棒保温改善能量平衡的效果分析

在电解铝行业中,石墨化阴极电解槽的能量平衡对于提高生产效率、降低能耗以及确保铝的产量和质量至关重要。为了进一步优化电解槽的能量平衡,我们实施了钢棒保温措施,并对实施前后的电解槽进行了对比分析。

### 4.1 温度方面的效果分析

实施钢棒保温后,电解槽的温度分布发生了显著变化。具体而言电解槽内部的温度变得更加均匀,槽温波动范围明显减小。这一变化主要得益于钢棒保温措施有

效减少了电解槽的热损失,使得热量在电解槽内部得到了更好的保留和分布。在实施钢棒保温前,电解槽的温度分布往往存在较大的不均匀性。由于热量散失较快,电解槽的某些部位容易出现偏冷现象,而另一些部位则可能因热量积累而出现过热。这种温度不均匀性不仅会影响电解槽的正常运行,还可能导致铝的产量和质量下降。然而在实施钢棒保温后,电解槽的温度分布得到了显著改善。由于钢棒和保温材料形成了一个连续的保温层,有效地阻止了热量的散失,使得电解槽内部的温度能够保持稳定。同时钢棒的导热性能也促进了热量在电解槽内部的均匀分布,进一步提高了温度均匀性。这种温度均匀性的提高对于电解槽的正常运行具有重要意义。它不仅有助于减少槽温波动对电解过程的影响,还能提高电解槽的稳定性和可靠性,从而确保铝的产量和质量。

#### 4.2 效应系数方面的效果分析

效应系数是衡量电解槽运行稳定性的重要指标之一。它反映了电解槽在电解过程中出现的异常现象(如阳极效应等)的频率和程度<sup>[4]</sup>。实施钢棒保温后,电解槽的效应系数显著降低,表明电解槽的运行变得更加稳定。在实施钢棒保温前,由于电解槽的温度分布不均匀以及热量散失较快,电解过程中容易出现阳极效应等异常现象。这些异常现象不仅会导致电解槽的运行不稳定,还会增加能耗和降低铝的产量和质量。但在实施钢棒保温后,由于电解槽的温度分布变得更加均匀且稳定,电解过程中的异常现象显著减少。这使得电解槽的运行变得更加平稳和可控,从而降低了效应系数。这一变化不仅提高了电解槽的运行效率,还有助于减少能耗和提高铝的产量和质量。

#### 4.3 电压差值方面的效果分析

电压差值是反映电解槽能量平衡状况的重要指标之一。它表示电解槽在实际运行过程中与理想状态之间的电压差异。实施钢棒保温后,电解槽的电压差值也明显

减小,这进一步证明了钢棒保温在改善电解槽能量平衡方面的有效性。在实施钢棒保温前,由于电解槽的热损失较大以及温度分布不均匀,电解槽的电压差值往往较大。这表明电解槽在实际运行过程中与理想状态之间存在较大的差异,需要消耗更多的能量来维持电解过程的进行。然而在实施钢棒保温后,由于电解槽的温度分布变得更加均匀且稳定,热损失得到了有效控制,因此电解槽的电压差值也显著减小。这一变化不仅提高了电解槽的能量效率,还有助于降低能耗和增加铝的产量。

实施钢棒保温措施对于改善石墨化阴极电解槽的能量平衡具有显著效果。通过优化温度分布、降低效应系数以及减小电压差值等方面的改善,钢棒保温措施不仅提高了电解槽的运行稳定性和可靠性,还有助于降低能耗和提高铝的产量和质量。这一创新实践为电解铝行业的可持续发展提供了有力支持。

#### 结束语

综上所述,钢棒保温措施在改善石墨化阴极电解槽能量平衡方面取得了显著成效。通过减少电解槽的散热,提高电解槽的保温性能,钢棒保温不仅有效改善了电解槽的能量平衡,还为电解铝行业的节能降耗提供了新思路。未来,随着科技的不断进步和环保要求的日益严格,石墨化阴极电解槽及其优化措施有望在提高电解效率、降低能耗、减少环境污染等方面发挥更大的作用,推动电解铝行业的绿色可持续发展。

#### 参考文献

- [1]王志刚.电解槽结构优化设计在铝生产中的应用[J].金属工艺,2022,(1):12-18.
- [2]张明亮,李红霞.新型涂层技术在电解槽结构改进中的研究[J].材料科学与工程,2021,35(3):287-294.
- [3]陈宇,刘伟.自动化控制系统在电解铝生产中的应用与发展[J].工业自动化,2020,46(7):22-28.
- [4]张华,李明.电解槽设计优化及性能提升研究[J].化工进展,2020,39(10):24-30.