



INDUSTRI-TEKNIK Bengt Fridh AB
Företagsvägen 16 - 232 37 Arlöv - Sweden

现代化铝电池预热系统 用以延长阴极电池寿命

摘要

正确预热铝电解池对保证其寿命非常重要。阴极表面温度和缸体温度的均匀也有很大意义。瑞典的 *Industri-Teknik Bengt Fridh AB* 公司研发出了一套高级排程燃气或燃油系统，用以在启动电池前对其进行预热，从而使阴极表面和缸体的温度达到均匀。以往的经验表明，使用这一高级排程（APS）系统，电池的启动更加顺畅，预热程序更易控制，电池的寿命也得到延长。该系统的安装非常简单，在预热时实行全自动化运作，并能记录数据；还可以很轻松地拆卸、安装到下一个电池上进行预热。

1. 电池的预热

对电池进行预热是为了保证从冷阴极到初始工作条件的平稳过渡。理想状态是阴极表面温度尽可能接近电池的工作温度。这样，便可以在将熔融电解质加入到电池中时，将热冲击最小化。在预热阶段，以下两点非常重要：控制对阴极扎固装置的焙烤；保证平稳的加热率，从而防止阴极内部出现横向及纵向的热应力。预热还可以烘干耐热材料、扎固糊和阴极中的绝缘材料，在使用可铸耐火材料和砂浆时，这一作用尤为明显。如果电池预热正确，便可降低阴极中较冷材料局部冻结的风险，进而更为轻松地启动电池。启动时和启动后，阴极和阳极的电流分布会有所增加；而在启动时和产生启动阳极效应时，电压等级则会降低。

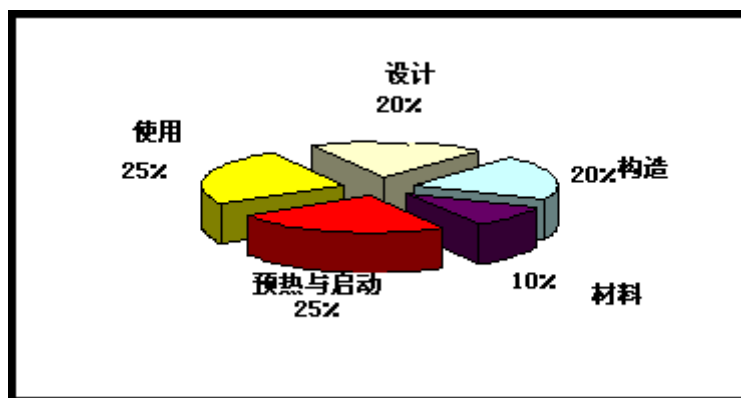


图 1 决定阴极寿命的各因素比例图

霍尔, W. 《延长铝业阴极的使用寿命》

2. 电池的预热与阴极寿命

阴极寿命由多个因素同时决定。根据多项调查和以往的经验，电池的预热和启动对阴极的寿命有 **25% 的决定作用**，意味着不需对电池进行维修和重新换线，便可能可以多使用 **1 至 2 年**。如图 1 所示，其他的决定因素还有阴极的使用、设计、构造以及材料。



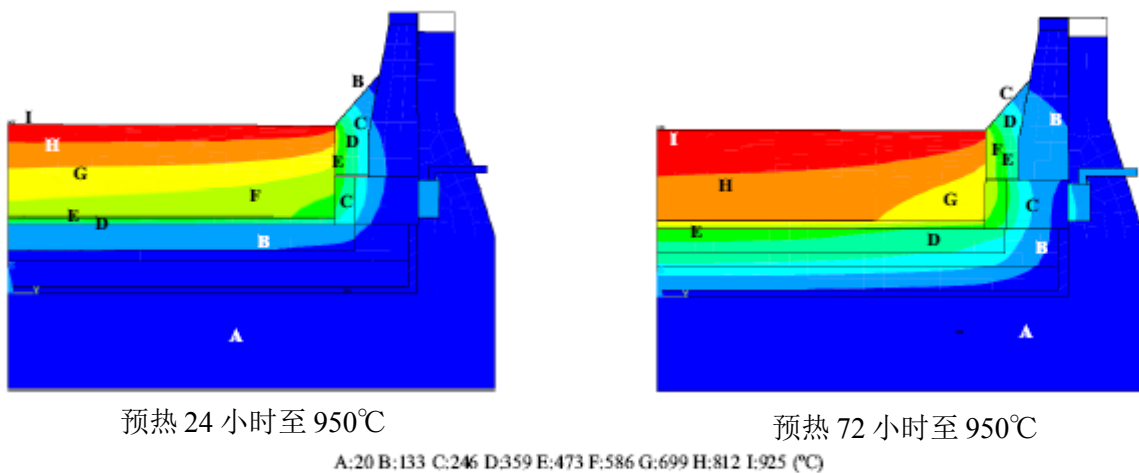
根据图 1 所示，预热和启动是决定阴极寿命的最重要因素之一，与阴极的使用、设计或构造有着同等的重要性。

就预热方式的质量而言，也有一些至关重要的参数需要考虑。

- a) 阴极的最终平均表面温度；
- b) 阴极的最终表面温度分布；
- c) 阴极内的温度垂直梯度；
- d) 预热时的加热率；
- e) 启动阳极效应；
- f) 阳极电流分布；
- g) 阴极电流分布。

a) 阴极的最终平均表面温度

使用本 APS 系统时，阴极的最终平均温度设定为 950°C，这是启动阶段将熔融电解质加入电池时的最理想温度。这样便可以将材料中的热冲击最小化，进而将阴极表面出现裂痕的风险最小化。



《对霍尔赫鲁特电池热焙烤的热力、化学、机械建模》 丹尼尔·理查德，帕特里斯·古力特、马克·迪普伊、马里奥·法德德

图 2 预热结束时的等温线图

b) 阴极的最终表面温度分布

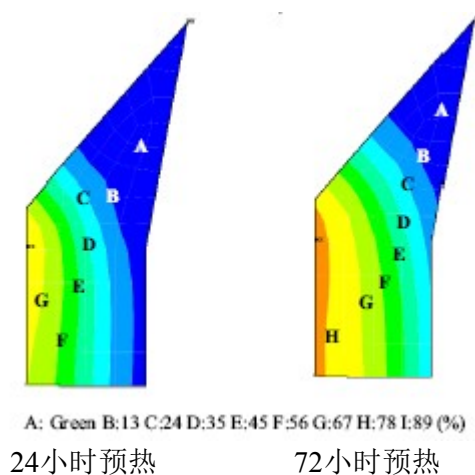
在预热时，保证将热量传送到阴极的所有部分非常重要。为此，本 APS 系统使用了两个燃烧器，放置在对角线的两个角上，在阴极内进行切线式燃烧，并使用脉冲控制系统，将涡流最大化。当两个燃烧器在脉冲序列中在高低燃烧度间相对应地进行转换时，热燃气流则在每次脉冲时改变流通的方向，从而保证良好的温度均匀度和分布情况。



c) 温度垂直梯度

通过在材料中传导温度，可以获得阴极中的垂直温度分布。它主要是一个与时间驱动现象同时出现的温度差。为了造成这一温度分布，必须向阴极表面增加能量，并保证材料拥有所需的足够时间进行传统。

使用本 APS 系统，燃烧产生的热气对流总能向阴极表面提供能量，较长的预热程序也能够给传导过程提供足够的时间将能量深入传导至阴极材料当中。



《对霍尔赫鲁特电池热焙烤的热力、化学、机械建模》 丹尼尔·理查德，帕特里斯·古力特、马克·迪普伊、马里奥·法法德

图3 预热结束时的扎固糊焙烤指数

d) 加热率

加热率是在良好的温度分布、正确的焙烤和加热时间之间折中的结果。为了使材料膨胀，预加热时的最大梯度一般是每小时 50°C。为了保证温度分布，并焙烤出高密度的扎固糊，则需要使用较小的梯度，5°C 每小时甚至更小。显然，梯度越小，加热时间越长。

本 APS 系统中，最初 11 个小时的加热率是 30°C 每小时，从 20°C 加热至 350°C。之后的 60 个小时，则是 10°C 每小时，从 350°C 加热至 950°C。在此之后，至少要留出 1 小时的时间——建议留出 5 小时，将温度控制在 950°C 用以稳定温度分布。

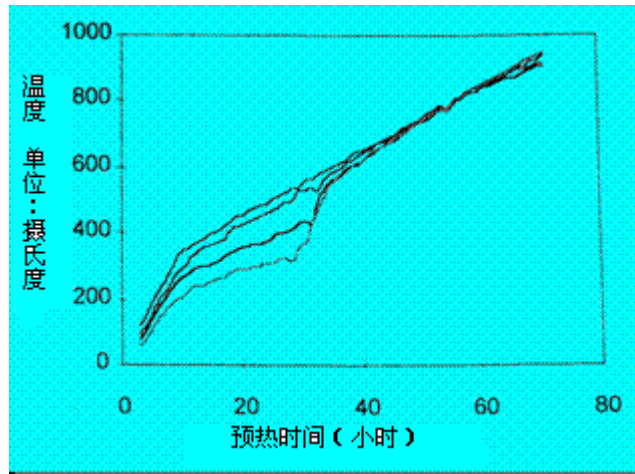


图4 电池预热时的温度分布

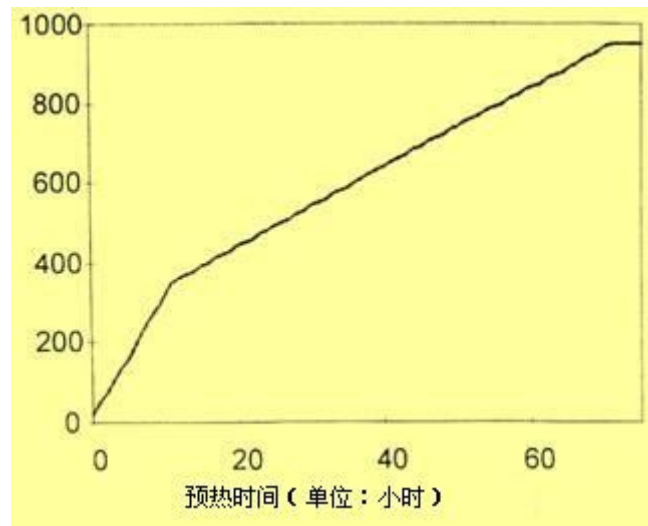


图5 电池预热时的温度变化率

e) 启动阳极效应

预热程序之后，一般需要输入额外的能量，以防止阴极表面形成固体电解质。避免出现阳极问题也很必要，尤其是阳极燃尽问题。启动阳极效应的实际电压和持续时间在很大程度上由阴极的表面温度及其分布情况决定。本 APS 系统的加热功能出众，能够控制过度的额外能量输入，见图 6。

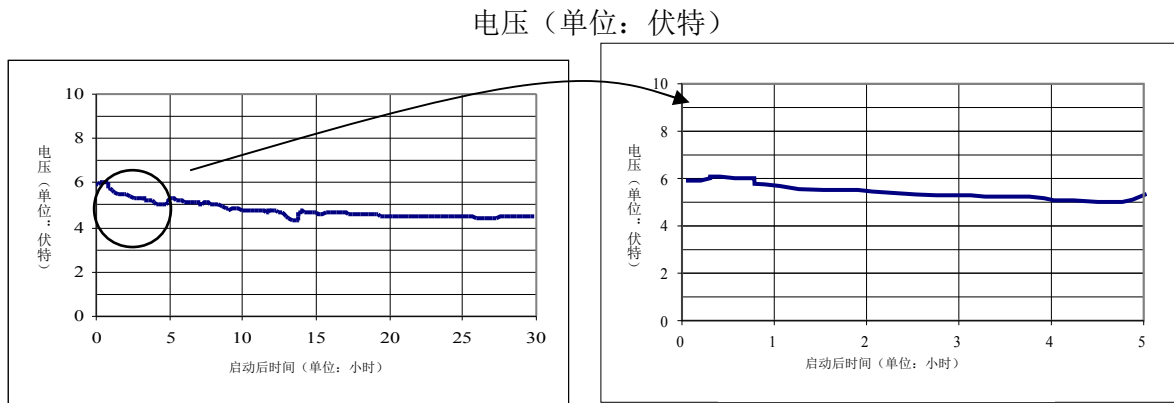


图6 使用 APS 系统预热的电池启动后的电池初始电压

Voltage (V) 电压（单位：伏特）

Time since start-up (hours) 启动后时间（单位：小时）

洛伦森, O-A, 莱, K. A. 《用于预焙电池和索德伯格 (Söderberg) 电池的新型艾尔肯铝制气体预热系统》

f) 阳极电流分布

启动时和启动之后，阳极电流分布会有所提升；启动时和出现启动阳极效应时，电压等级则会下降。

g) 阴极电流分布.

阴极电流分布也会在启动时和启动后有所提升；电压等级则仍旧在启动时和出现启动阳极效应时下降。

火焰预热结论:

“使用燃烧器对电池进行预热，能够保证可得的最佳阴极温度分布，并且最容易进行控制。”

《铝电解》（德国）铝业出版社, 1994. 第 88 页

作者：莫腾·索雷利博士（Morten Sorelie）、哈拉尔德·A·奥耶博士（Harald A Oye）

3. APS 铝电池预热系统

经过仔细的研究、与冶炼厂经营者进行讨论和大量的测试，Industri-Teknik Bengt Fridh AB 公司研制出了适用于铝电池、特别是铝电池阴极的预热系统，即本 APS 系统。经过精心设计，本系统易于操作、耗油量低、且购置成本低。

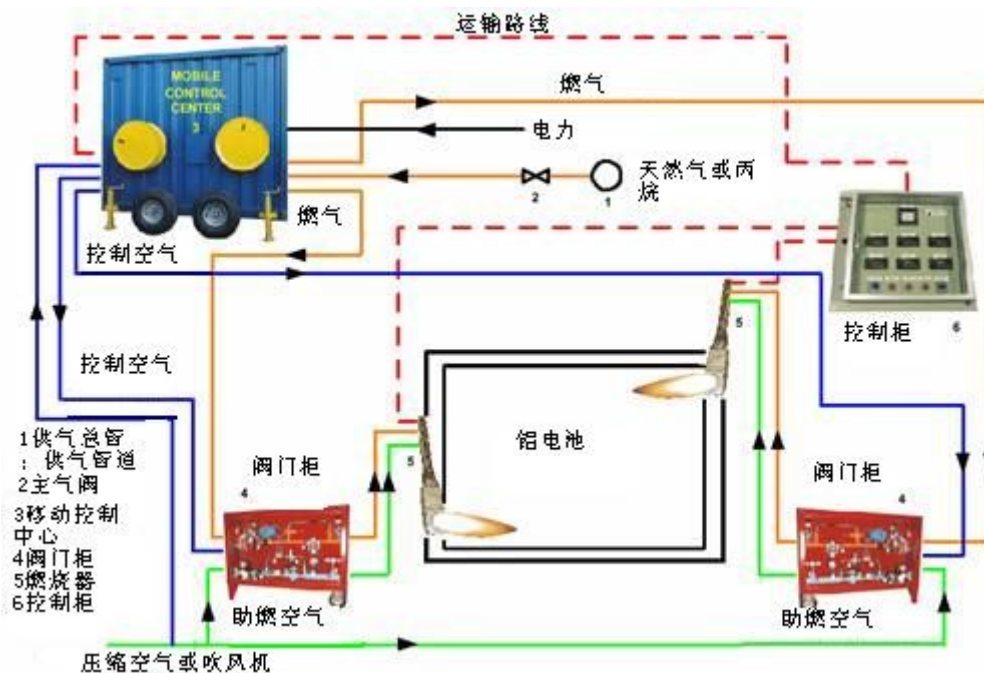


图 7 APS 电池预热系统示意图

以下是本 APS 电池预热系统的主要元件：

- 移动控制中心
- 两个或两个以上的燃烧器
- 两个或两个以上的阀盘，每个燃烧器一个
- 一个局部控制板
- 一个带控制设备的配电板
- 一个计算机化燃烧器管理系统

如图 8 所示，移动控制中心（或称“移动控制车”）由两个隔间组成，中间由一道气密式墙体阻隔。

其中一个隔间中装有用于操作整个系统的带控制设备的配电板、燃烧器管理系统、脉冲点火系统和一台用于控制和监控加热过程的计算机。

另一个隔间中则是用于将系统其余部分气压降至可用等级的燃油车或燃气车。

本系统可使用石油、丙烷（带汽化机）或天然气为燃料进行运输。冶炼厂需提供所需的储存罐，最小体积为 5 立方米。

如图 9 所示，阀盘可当作手推车进行运输，运送方便，每个燃烧器配备一个。阀门由置于控制中心配电板中的燃烧器脉冲控制器控制。燃料和助燃空气的引导和控制设备便安装在这里。



图8 预热系统的移动控制中心

该货车也可用于整个设备的装运，但在装运过程中需卸下车轮。
尺寸：2×2×2 米

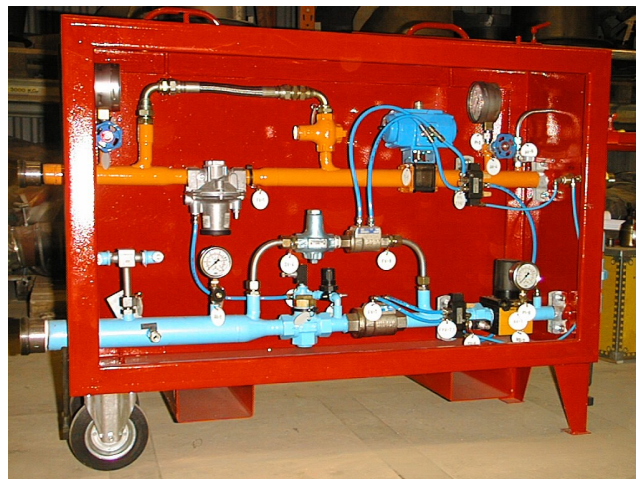


图9 手推车，装载燃气和空气阀门

燃烧器及其设计经过了仔细的检测，以求达到最大能力。配合使用脉冲点火系统时，便有可能保证电池的安全加热和流通。喷火口内的瓷砖有 90°的出口角。助燃空气既可以由压缩空气提供——此时不需要吹风机，又可以由吹风机提供。当然，燃烧器的尺寸和能力能够符合每一项工程的要求。每个燃烧器的常用功率为 350 或 600 千瓦，具体数值根据电池的大小决定。

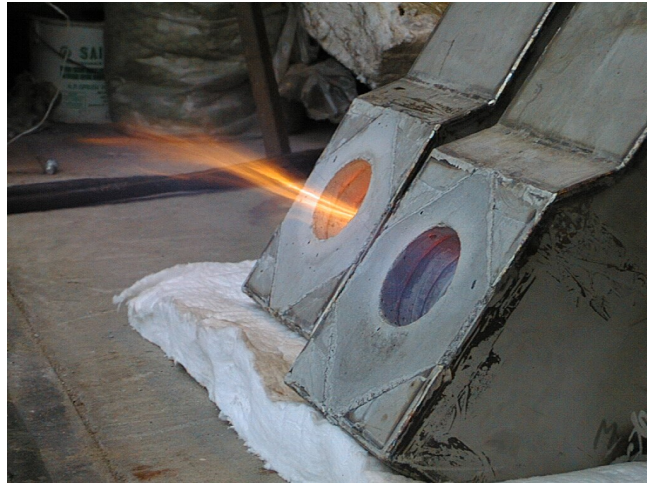


图 10 燃烧口砖，带 90°出口角



图 11 带燃烧口砖的燃烧器

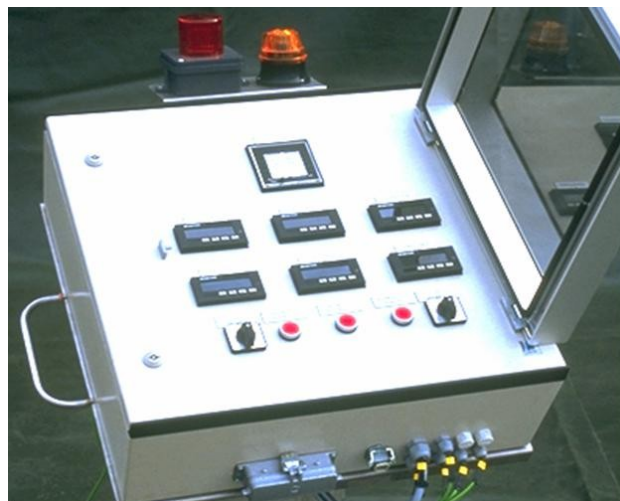




图 12 局部控制板

通过小心控制燃烧器的空气与燃料比，或用钢板和倾斜冰晶石作为阴极底部和外围粘合缝的保护装置，能够消除阴极表面的烧焦损伤。

如图 12 所示，局部操作板的位置应该尽可能靠近电池。该控制板上装有警报器和燃烧器控制器的指示面板，面板上有 6 个指示灯，每个灯代表一个测量点。这些测点的数值会通过（RS-485）电缆传输至计算机，计算机会对最高值进行比较，并将其传输至程序控制器。

两台控制器和相应的软管、操作板将使用叉式装卸车、用一个特殊的运输货板储存和运输，见图 13。



图 13 用于装运燃烧器、软管和操作板的运输货板

本系统的核心部分是计算机和燃烧器自动/脉冲控制器。它们被一起安装在移动控制中心内，以方便对系统的使用和监督。通过显示屏上的一系列图片，操作员可以根据提示监督和改变加热程序。

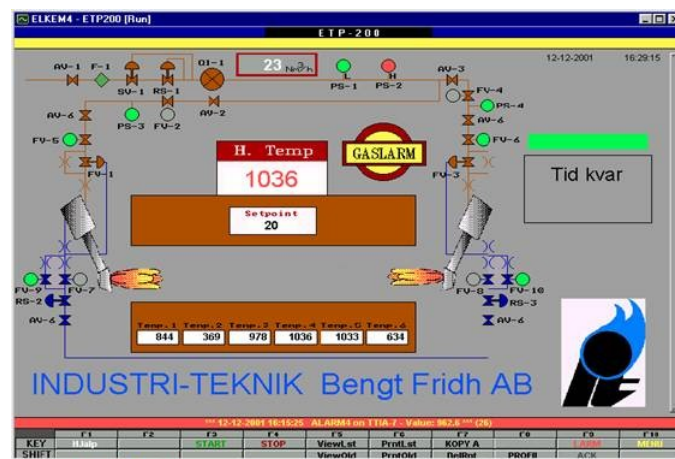


图 14 燃烧器管理系统的计算机程序图



图 14 的“程序图”中，显示了所有的实时温度、最高温度、设定值、警报器、打开的阀门及燃烧器的脉冲阶段。这一程序可以记录并创建报表，以便之后用作各种不同用途。本程序也会记录加热过程当中所有的**最终停止和延迟**；如果您已经选择预设加热的终止时间，系统会自动补偿加热后期所有的**最终停止**。

4. 参考装置

人们对 Industri-Teknik 公司的电池预热系统的兴趣很大，该系统已经被安装在欧洲许多的炼铝厂，令用户极为满意：

埃尔肯公司、海德鲁铝业公司、（挪威）SÖRAL 公司、加拿大铝业公司、美国铝公司、（瑞典）KUBAL 公司

如需进一步交流，请联系我们：

Michael Johansson
技术销售

Per-Olof Fridh
总裁

电话：+46 40 437986

+46 40 431220

传真：+46 40 432243

+46 40 432243

电邮：mj@industri-teknikbf.se

per-olof.fridh@industri-teknikbf.se