

冶金企业安全生产管理研究

周云忠

云南文山铝业有限公司 云南 文山 663099

摘要：铝冶炼生产存在原材料处理、工艺、设备运行等多重安全风险。安全管理关键措施包括风险预防与控制、工艺及设备安全管理；加强人员培训与安全文化建设，提升操作技能与安全意识；还应借助智能化监控、信息化管理等手段，实现实时监测、数据整合与风险预警，保障铝冶炼安全生产。

关键词：粉尘涉爆；电解槽；高温作业；设备老化；智能化监控

引言：铝冶炼生产过程复杂，涉及原材料处理、工艺操作及设备运行等多个环节，存在煤气泄漏、电解槽短路、深井铸造结晶异常、粉尘爆炸、高温泄漏、设备老化等诸多安全风险。这些风险相互交织，严重威胁人员安全与生产稳定。为有效应对，需从风险防控、工艺与设备管理、人员培训及技术手段应用等多方面发力，构建全方位安全生产管理体系。

1 铝冶炼生产过程中的安全风险分析

1.1 原材料处理环节风险

在铝冶炼过程中，原材料处理环节存在多重风险。煤粉尘本身具有爆炸性，极易引发燃烧和爆炸。高温高压溶出，可能导致料浆泄漏，引发烫伤或设备爆炸。煤气炉、焙烧炉煤气泄漏，造成人员中毒或引发爆炸。熔融金属溢出容器，接触潮湿地面或积水，剧烈汽化反应导致金属液滴喷溅，形成类似“火山喷发”的高温射流。滚烫液滴可穿透常规防护装备，造成深度灼伤，甚至引发二次烫伤风险。若高温金属流入电缆沟等密闭区域，会直接熔化绝缘材料，导致电气系统短路并产生电火花，进而点燃周边易燃物质，形成复合型火灾事故。冷却凝固后的金属硬块可能堵塞通道或设备缝隙，不仅阻碍应急救援通道，还会在后续生产中因机械应力导致设备卡阻或断裂^[1]。这些风险相互交织，需通过全流程管控与防护措施加以应对。

1.2 生产工艺风险

电解槽运行中的电气安全问题尤为突出。母线接头松动导致接触电阻过大，局部过热引发母线烧断，熔融电解质（氟化盐）泄漏引发火灾。高电压、强电流长期作用下，电解槽母线与电极表面绝缘层加速老化，出现龟裂、剥落现象。潮湿的作业环境进一步降低绝缘性能，即使是轻微漏电也可能在地面形成跨步电压区域。操作人员若未穿戴合格绝缘装备，不慎接触带电部位，强大电流会瞬间破坏人体神经系统与心脏机能。当发生

触电事故时，缺乏专业救援知识的人员徒手施救，极易导致自身触电。铝液运输与铸造环节暗藏高温泄漏危机。运输抬包焊接处若存在砂眼、未熔合缺陷，在颠簸震动中会逐渐扩大，高温铝液如同熔岩般缓慢渗出。铸造过程中，浇铸设备液压系统故障、模具密封胶条老化，都会导致铝液喷涌而出。结晶器冷却系统故障致铝液冷却不均，引发铸棒开裂或铝液飞溅。铸造井内铝液泄漏，遇水引发蒸汽爆炸。高温铝液灼伤皮肤后，可能造成深部组织坏死。

1.3 设备运行风险

电解槽长期处于极端工况，老化问题持续累积。电解质中的氟化物、高温铝液不断侵蚀内衬耐火材料，使其厚度逐年减薄。当内衬被穿透，高温电解质接触槽底钢结构，瞬间形成短路回路，强大电流使钢结构熔断、迸射火花。日常巡检若未发现内衬变薄早期迹象，小范围侵蚀会迅速扩大，最终导致整槽停槽。停槽抢修时，残留的高温电解质与蒸汽弥漫作业空间，作业人员需在高温、强腐蚀性环境下拆卸部件，稍有不慎便会被灼伤或吸入有害气体。焙烧炉、加热炉等高温设备散发的热辐射持续威胁生产安全。操作人员长期暴露其中，体温调节系统超负荷运转，出现头晕、中暑等症状，反应速度与判断能力显著下降。热辐射加速设备表面涂层老化，使密封垫片硬化、开裂，导致高温气体或腐蚀性介质泄漏。设备金属材料在热胀冷缩循环中产生疲劳裂纹，应力集中部位的裂纹会随着运行时间增长而扩展。起重设备（吊运铝液包）若制动失灵，可能导致铝液倾覆引发火灾。压力容器安全阀校验失效，超压时无法卸压导致爆炸。起重机械钢丝绳磨损未及时更换，吊运时断裂引发重物坠落。压力管道因腐蚀或振动出现裂缝，导致介质泄漏。

2 铝行业安全生产管理的关键措施

2.1 风险预防与控制

煤粉尘防爆需构建多重防线。选用全密闭式设备与管道系统，所有连接部位加装密封胶圈，防止粉尘泄漏。对设备进行专业防静电处理，金属外壳通过导线与接地网牢固相连，定期检测接地电阻，确保静电能迅速导入大地^[2]。在厂房墙体、屋顶等部位合理设置泄爆片与泄爆门窗，采用易破裂材质，当内部压力超标时迅速释放能量，减轻爆炸对厂房结构的破坏。高温作业防护与热辐射管理从多方面着手。为作业人员配发特制耐高温防护服，采用多层复合隔热材料，内层添加吸湿排汗纤维，外层涂覆反射涂层。在高温设备与作业区域间安装可移动隔热屏，选用陶瓷纤维等高效隔热材料，表面镀金属反射膜，有效阻挡热辐射。依据气温变化制定动态作业时间表，高温时段缩短单次作业时长，增加轮岗频次。溶出槽安装红外温度传感器（监测外壁温度）、压力变送器（实时传输压力值，超压自动开启安全阀），并通过内窥镜（插入槽内）监测衬里腐蚀状态。焙烧炉安装煤气泄漏传感器，并与系统联锁。电解槽部署热电偶（监测槽温）、电流传感器（监测母线电流分布）、氟化氢传感器（启动应急排风），通过槽温与电流关联分析预判内衬破损。深井铸造安装结晶器水温传感器、铝液液位传感器、安全监测预警系统。特种设备安装物联网标签，实时传输运行参数（如压力容器压力、起重机械起重量），关联定期检验数据（如安全阀校验记录）。

2.2 工艺安全管理

电解槽操作制定严格规范流程。作业前由专人对电解槽母线、电极等电气部件进行细致检查，使用绝缘电阻测试仪检测绝缘层阻值，确保接地系统连接可靠。操作过程中，正确佩戴绝缘手套、绝缘鞋，使用专用绝缘工具进行作业。建立电解槽运行参数实时监测平台，通过传感器采集电压、电流、温度等数据，利用算法分析参数变化趋势，一旦出现异常波动，立即触发预警，安排技术人员现场排查处理，避免因参数失衡引发短路、火灾等事故。铝液运输与铸造实施全程安全管控。运输铝液的抬包使用前，通过X射线探伤检测焊接部位，采用内窥镜检查内衬完整性，确保无裂纹、破损。规划专用运输路线，避开人员活动频繁区域，在路线沿途设置警示标识。运输车辆配备缓速装置，行驶过程保持匀速，严禁急加速、急刹车。铸造环节，浇铸前对模具密封性进行压力测试，检查冷却水管路是否畅通。浇铸过程中，利用液位传感器与流量控制阀，精准控制铝液流速，避免因流速过快导致铝液溢出或喷溅。

2.3 设备安全管理

电解槽定期检测与维护形成完整体系。建立电解槽

全生命周期管理档案，详细记录内衬侵蚀、钢结构腐蚀情况及历次维护数据。采用超声波测厚仪定期测量内衬厚度，结合工业CT扫描技术，全方位检测内衬完整性。发现内衬变薄、破损区域，及时进行修补或更换，对腐蚀的钢结构表面进行打磨处理，喷涂防腐涂层。制定电解槽维护周期表，按计划对电解槽进行深度检修，更换老化部件，确保设备长期稳定运行。关键设备运行监控采用多元技术手段。在焙烧炉、加热炉等高温设备上，安装高精度温度传感器与压力传感器，实时采集设备内部温度、压力数据。对大型机械设备的传动装置、承重结构，部署振动监测仪与应力监测贴片，通过分析振动频率、应力分布变化，预判部件磨损、结构变形情况。搭建设备运行监控中心，将所有监测数据集中展示，一旦数据超出正常范围，立即发出声光警报，同时推送信息至相关责任人手机，以便迅速安排检修，杜绝设备故障引发安全事故。

3 人员培训与安全文化建设

3.1 操作人员培训

特种作业安全培训针对铝行业特殊作业需求。对从事高处作业人员，开展高空作业安全规范培训，讲解脚手架搭建、安全带使用要点。模拟高空作业场景，让操作人员在专业防护下进行实际操作，熟悉作业流程与安全注意事项。对电气作业人员，培训电气安全基础知识，传授电气设备操作、检修安全规程。通过案例分析，讲解电气事故成因与防范措施。安排在模拟电气环境中进行实操训练，提升安全操作技能。对金属焊接与热切割作业人员，培训焊接设备安全使用方法，传授焊接工艺安全要点。组织在通风良好、防火措施完善的专用场地进行焊接实操训练，严格规范操作流程。应急处理能力提升通过多种方式强化。开展应急救援知识培训，讲解火灾、爆炸、触电等事故应急处置原则。组织在模拟事故现场进行器材操作演练，确保操作人员熟练掌握。定期组织综合应急演练，设定火灾、高温熔融金属泄漏等事故场景。演练中要求操作人员按照应急预案流程，进行报警、疏散、灭火、急救等操作。演练结束后进行复盘总结，针对演练中暴露的问题，制定改进措施并再次组织针对性演练。

3.2 安全文化建设

安全意识日常宣贯营造浓厚安全氛围。在厂区醒目位置设置安全宣传栏，定期更新安全知识、事故案例等内容。在车间、操作室张贴安全标语、警示标识，时刻提醒操作人员注意安全。利用班前会、班后会时间，开展安全知识小课堂，讲解当天作业安全注意事项。分

享近期行业安全事故案例，分析事故原因与防范措施。编印安全手册发放给每位操作人员，手册内容涵盖安全操作规程、应急处置流程等。组织开展安全知识竞赛活动，设置丰富奖品，激发操作人员学习安全知识积极性。安全责任制的落实明确各层级安全责任。制定详细的安全责任清单，明确从企业负责人到一线操作人员的安全职责。规定各级管理人员安全管理目标与考核标准。签订安全责任书，企业负责人与部门负责人、部门负责人与班组负责人、班组负责人与操作人员层层签订。责任书明确各自安全责任与奖惩措施。建立安全责任考核机制，定期对各级管理人员安全责任落实情况进行考核。考核结果与薪酬、晋升挂钩，对安全责任落实不到位的进行严肃问责。开展安全责任述职活动，各级管理人员定期向员工述职安全责任落实情况。接受员工监督与评价，促进安全责任有效落实。

4 技术手段在安全管理中的应用

4.1 智能化监控

电解槽温度与电流实时监测依靠精密传感设备实现。在电解槽关键部位埋设耐高温传感器，可精准捕捉槽内温度变化，从阴极、阳极到电解质区域，温度数据以毫秒级频率采集。电流监测装置则与母线紧密相连，实时获取电流强度、流向信息。这些传感器采集的数据通过无线传输模块，即时上传至中央控制系统。一旦温度超出设定阈值，或电流出现异常波动，系统立即发出声光警报，同时向管理人员终端推送预警信息，便于工作人员迅速排查故障，防止因温度过高引发内衬损毁，或电流失衡导致短路事故^[3]。铝液运输自动化系统提升运输安全系数。运输车辆配备自动导航装置，按照预设的安全路线行驶，避开人员密集区域与危险路段。车辆行驶过程中，通过激光雷达与摄像头实时感知周围环境，遇到障碍物自动减速、避让。车载称重系统持续监测铝液重量，一旦发生泄漏导致重量异常减少，系统立即锁定车辆位置，并启动紧急制动程序。铝液抬包内置传感器，可监测包体温度、内衬状态，数据同步传输至控制中心，若检测到内衬破损或温度异常升高，系统及时发出警报，提示更换抬包，避免运输途中发生铝液泄漏事故。

4.2 信息化管理

安全生产数据平台整合各类安全信息，打破“设备、

工艺、人员”的数据孤岛。将设备运行参数、人员操作记录、安全检查等数据统一录入平台。设备运行数据涵盖电解槽、焙烧炉等关键设备的温度、压力、转速等指标；人员操作记录包括特种作业人员上岗情况、操作规范程度等；安全检查情况记录每次检查发现的隐患与整改进度。平台通过大数据分析技术，挖掘数据背后的潜在风险，生成可视化图表，展示安全管理薄弱环节。管理人员可通过平台随时调取所需数据，全面掌握安全生产状况，为决策提供依据。风险预警系统基于算法模型提前预判危险。收集历史事故数据、设备故障案例，结合实时监测数据，构建风险评估模型。对电解槽泄漏、粉尘爆炸、高温熔融金属喷溅等风险进行动态评估。当监测数据触发模型中的风险条件时，系统迅速发出预警，并给出相应的防范建议。例如，当煤粉尘浓度接近爆炸极限，系统不仅发出警报，还会自动启动通风除尘设备，同时提示工作人员检查设备密封性，从源头上降低风险发生概率，实现从被动应对到主动防范的转变。

未来，冶金企业安全管理将向“三维可视化、全场景预判”升级：通过数字孪生模拟电解槽泄漏、煤气爆炸等风险的扩散路径，提前优化应急疏散路线；依托5G实现深井铸造、电解槽等场景的远程操控；通过AI自主决策系统，实现煤气泄漏、电气故障等风险的“秒级自动处置”。最终构建“预防为主、精准管控”的安全体系。

结束语

铝冶炼生产安全风险多样，涵盖原材料、工艺、设备等多方面。通过风险预防与控制、工艺及设备安全管理、人员培训与安全文化建设，以及智能化监控和信息化管理等手段，构建起全方位安全管理体系，能有效降低事故风险，保障铝行业安全生产稳定运行，推动行业可持续发展。

参考文献

- [1]张景瑜,柴翌,刘俊伟,等.冶金企业安全生产应急管理体系研究[J].现代职业安全,2024,(10):43-45.
- [2]丁叶.钢铁冶金企业安全生产管理创新策略[J].冶金与材料,2022,42(06):178-180+183.
- [3]吴阳.关于冶金企业安全生产风险管理体系建设研究[J].中国金属通报,2023(8):13-15.