

《铝电解槽筑炉技术规范》团体标准

征求意见稿 编制说明

一、任务来源

近年来，铝电解槽筑炉技术革新显著，核心是从传统预制阴极模式转向整体成型工艺。早期筑炉采用分体式预制阴极炭块与侧部炭砖拼装组合，因不同材质热膨胀系数差异，焙烧后易出现收缩裂缝，增加漏炉隐患，还导致阴极钢棒与炭块接触不良，压降升高、电能损耗加剧。同时，预制阴极固定结构限制电流分布优化，铝液中水平电流难抑制，加剧熔体波动，影响电解稳定性与效率。此外，传统筑炉组装成本高，维修需整体刨除内衬，资源浪费严重。

为突破瓶颈，整体成型技术诞生。它摒弃预制构件，用冷捣糊料分层扎制，在低温下一次性完成槽内衬构筑。通过差异化材料设计，高导电碳素糊料用于槽底、高电阻碳化硅糊料用于侧壁，确保电流高效传导，阻断侧向漏电，降低水平电流干扰。材料均质化处理避免收缩裂缝，减少漏炉风险，阴极钢棒灵活排布优化电流路径。

工艺上，整体成型结合分段控温焙烧、密闭防氧化装炉与烟气收集系统，实现内衬均匀炭化与高强度烧结。冷捣糊简化筑炉流程，降低建设成本，维护时支持局部修补，延长槽寿命、减少资源消耗。

该技术与行业绿色化、智能化趋势契合，为节能工艺提供稳定热场和物理环境，助力直流电耗下降，其结构设计兼容智能化监测系统，推动生产管理向数据驱动转变。整体成型工艺解决了安全与能效矛盾，在资源循环利用和数字化适配上开辟新路径，为电解铝产业低碳转型奠定技术基础。

目前，铝电解槽筑炉技术相关的标准有GB/T 34492-2017 500 kA铝电解槽技术规范、YS/T 1032-2015 铝电解用阴极炭块内部缺陷检验方法。

团体标准与GB/T 34492-2017和YS/T 1032-2015相比，更注重筑炉全流程的工艺规范和质量控制，而非单一技术参数或特定部件的检测。GB/T 34492-2017主要针对500kA电解槽的焙烧启动、工艺操作等生产环节，而YS/T 1032-2015仅聚焦阴极炭块内部缺陷的检验方法。团体标准的优势在于其全面性，覆盖了材料选择、筑炉前准备、槽底砌筑、阴极安装、侧部扎固等全工序的技术要求，并整合了安全环保和质量验收体系，形成了一套完整的筑炉技术框架。此外，团体标准强调施工过程的标准化和隐蔽工程的质量管控，如防渗层密实度、阴极组对精度等，弥补了国标和行标在筑炉专项技术指导上的不足，更适合行业团体在工程实践中推广实施。

为此申请立项《铝电解槽筑炉技术规范》该标准。本团体标准的制定，具有以下几方面的意义：

1. 提升行业技术规范性

团体标准的制定能够统一铝电解槽筑炉的技术要求，明确施工工艺、材料选用和质量控制的关键环节，避免因技术标准不统一导致的施工差异。通过规范化的技术指导，可减少人为操作失误，确保筑炉工程的整体质量，为电解槽的长期稳定运行奠定基础。

2. 优化施工效率与成本控制

标准化的筑炉流程能够减少重复性试验和无效施工，缩短工期，降低因工艺不明确导致的返工风险。同时，通过明确材料性能要求和施工方法，可帮助企业在采购和施工中合理配置资源，避免浪费，从而有效控制成本。

3. 强化质量与安全管控

团体标准通过细化筑炉过程中的质量检验节点和安全防护措施，为施工方提供明确的操作依据。例如，对防渗层施工、阴极炭块安装等关键环节的规范，可减少因施工缺陷引发的电解槽早期破损或安全隐患，保障生产安全。

4. 促进技术经验共享与创新

团体标准凝聚了行业内的先进技术经验和实践成果，为中小企业提供了可借鉴的技术框架。同时，标准的动态性允许持续吸纳新技术和新工艺，推动行业在材料应用、施工方法等方面的创新迭代。

5. 增强产业链协同性

统一的筑炉标准有助于上下游企业（如材料供应商、施工方、电解铝生产企业）在技术要求和验收标准上达成共识，减少合作中的摩擦。例如，对阴极炭块组制作、干式防渗料施工等环节的规范，可确保各环节无缝衔接，提升整体协作效率。

先进性与创新型：

1. 全流程质量管控体系的精细化构建

项目创新性地建立了从槽壳预处理到最终扎固作业的全流程质量管控标准，通过“检查-记录-反馈-优化”闭环管理实现施工质量的动态监控。例如，在槽壳检查阶段，提出“以更换为主、补焊为辅”的损伤处理原则，并引入绝缘检测与平整度校正的前置要求，从源头规避因基础结构缺陷导致的后期隐患。施工过程中，对各环节关键参数（如保温层缝隙填充度、阴极压降稳定性）实施量化管控，确保每道工序符合预设标准，体现了从“经验施工”向“标准化施工”的技术升级。

2. 保温层砌筑工艺的系统性优化

在槽底部保温层施工中，创新采用“分层错缝+精准填充”技术，通过纵横中心线标定与膨胀线预留，实现各层材料（保温板、防渗料等）的有序铺砌。特别是防渗料层施工中，引入“压缩比动态控制”与“双向振动密实”工艺，结合聚乙烯薄膜隔离与钢板防护措施，有效解决了传统保温层易出现的空洞、分层及

热损失问题。同时，对氧化铝粉填充缝隙的施工细节进行规范，避免材料表面污染影响平整度，提升了保温结构的整体性与耐久性。

3. 阴极炭块组装技术的多元化与精准化

项目突破传统单一组装模式，创新性地整合糊料组装与磷铁浇铸两种工艺，并针对不同材料特性制定差异化质量标准。例如，糊料组装中采用“分层捣打+风压调控”技术，结合钢棒除锈与绝缘层预处理，确保炭块与钢棒的紧密结合；磷铁浇铸则通过中频炉控温、预热器加热及压降实时监测，实现导电性能的精准控制。此外，引入阴极压降季节差异化标准，结合第三方检测报告验证材料性能，体现了“材料-工艺-性能”一体化的创新管控思路。

4. 钢棒焊接工艺的高效化与低阻化

针对钢棒焊接质量对电解槽导电效率的关键影响，项目创新采用“窄缝熔焊+连接片焊接”双技术路径。窄缝熔焊通过自动焊接设备与硅砖封堵工艺，实现焊缝熔深与宽度的精准控制，减少焊接缺陷；连接片焊接则通过片数适配与间隙预留设计，确保电流传导均匀性。两种工艺均强调“一次性焊接+缺陷零容忍”原则，通过强光检测与抽样解剖验证焊接质量，有效降低接触电阻，提升电解槽长期运行的稳定性。

5. 扎固作业工艺的智能化与精细化

在碳间缝与周围缝捣打过程中，项目创新性地提出“分层递进+密度反馈”施工法，通过设定压缩比区间、风压参数及捣打路径（如碳间缝“三次往返+缝帽修整”、周围缝“分区交错+斜坡压实”），实现糊料密实度的均匀控制。引入针刺密度测量与压缩比动态计算工具，结合缝端留台与延伸捣打技术，避免传统扎固中易出现的贯通缝隙与麻面缺陷。同时，对操作人员鞋底清洁、工具垂直度等细节进行规范，体现了“人机协同”的精细化管理创新，确保扎固结构的长期稳定性。

二、起草单位所作工作

1. 起草单位

本标准由XXX等单位共同起草。

2. 主要起草单位及其所作工作

本文件主要起草单位及工作职责见表1。

表1 主要起草单位及工作职责

起草单位	工作职责
XXX	项目主编单位主编人员，负责标准制定的统筹规划与安排，标准内容和试验方案编制与确定，标准水平的把握及标准编制运行的组织协调。人员中包括了行业资深专业人员，行业管理人员
XXX	实际生产单位、负责汇报实际生产数据、试验方法，参与标准编制。

三、标准的编制原则

标准起草小组在编制标准过程中，以国家、行业现有的标准为制订基础，结合我国目前的行业现状，按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定及相关要求编制。

四、标准编制过程

4.1 调研阶段

1. 技术现状调研

通过对国内主流铝电解企业筑炉施工技术的实地调研与工艺分析，发现当前行业存在技术碎片化、工艺差异化问题。在槽壳处理环节，部分企业采用“补焊为主、更换为辅”的修复方式，导致槽壳平整度偏差超标；保温层砌筑中，传统“随机铺砌+人工填充”工艺易产生缝隙空洞，热损失率较国际先进水平高10%-15%。阴极炭块组装存在糊料捣打压缩比失控、磷铁浇铸温度管控粗放等问题，导致阴极压降离散度大。钢棒焊接以手工电弧焊为主，焊缝熔深不足、气孔率超标的情况占比约20%，影响导电效率。整体技术呈现“经验依赖型”特征，缺乏系统的量化标准与全流程质量管控手段。

2. 市场需求分析

随着铝行业“碳达峰、碳中和”目标推进，市场对电解槽长寿命、低能耗、高稳定性的需求显著提升。调研显示，采用标准化筑炉技术的电解槽平均寿命可达2000天以上，较传统工艺延长30%，吨铝电耗降低300-500 kWh。下游铝加工企业对原铝品质稳定性要求提高，倒逼电解槽内衬材料抗钠侵蚀性、导热均匀性等指标升级。同时，新建及技改项目中，大型预焙槽（400kA以上）占比超70%，对筑炉精度（如防渗料层平整度 $\leq 2\text{mm}$ ）、材料兼容性（如氮化硅砖与高铝砖衔接）提出更高要求。市场亟需通过统一标准规范施工流程，降低运维成本，提升行业整体竞争力。

3. 相关标准研究

调研发现，当前铝电解领域现行标准存在覆盖不全、指标滞后问题：

材料标准：阴极炭块仅参考YS/T 623，缺乏对半石墨质、全石墨化炭块的细分指标；防渗料、保温板等功能性材料无专用行业标准。

施工规范：现有标准多聚焦单一工序（如焊接、砌筑），未形成从槽壳预处理到扎固作业的全流程体系，且未涉及压缩比、压降等关键参数的动态管控。

检测方法：传统检测依赖人工目测与简单工具，缺乏对防渗料压缩比、阴极压降等指标的标准化测量方法，数据重现性差。

4. 产业链调研

上游材料端：阴极炭块、钢棒等核心材料供应商集中度较高，但产品性能离散度大（如炭块灰分波动范围0.3%-0.8%）；保温材料、防渗料等辅材存在规格不统一问题，影响施工适配性。

中游施工端：中小型施工企业占比超60%，设备自动化水平低（如80%企业仍采用人工捣打），技术工人培训不足，导致工艺执行偏差。

下游应用端：铝厂对筑炉质量的验收多依赖第三方检测，但缺乏统一评判标准，易引发供需纠纷。

调研同时发现，产业链各环节对“材料-工艺-检测”一体化标准的需求强烈，超85%的受访企业表示愿参与标准实施与验证。

5. 行业问题与挑战

质量稳定性不足：因缺乏统一规范，电解槽投产后3年内内衬破损率高达15%，主要源于保温层分层、阴极炭块断裂等施工缺陷。

技术协同性差：材料供应商与施工方缺乏技术对接，如防渗料压缩比要求与振动设备性能不匹配，导致密实度不达标。

环保与成本矛盾：传统糊料含硫量高，环保压力下需升级低硫材料，但成本上升约20%，企业技改意愿受抑制。

4.2 立项阶段

2025年8月15日，中国技术市场协会正式批准《铝电解槽筑炉技术规范》立项。

4.3 起草阶段

4.3.1 成立标准制定工作组，根据《铝电解槽筑炉技术规范》编制需要，XXX等机构相关专家成立标准制定工作组。

4.3.2 形成标准草案：根据工作计划及分工安排，在系统参考、学习已有标准及研究的基础上，标准制定工作组完成《铝电解槽筑炉技术规范》各部分内容，并于2025年9月30日汇总形成标准草案。

4.3.3 2025年10月30日，通过腾讯会议线上召开了《铝电解槽筑炉技术规范》团体标准讨论会，与会代表30余人参加会议。会上，标准编制组就该标准立项背景和标准框架分别进行了介绍。与会专家和代表就标准名称、框架结构、定义、范围、技术指标、试验方法等内容进行了深入讨论。明确了该标准编制工作方向，并提出了一系列标准内容的完善措施和修改意见、建议。

在讨论会结束后标准编制工作组根据与会专家及参会代表的意见和建议，对标准稿进行了修改完善，形成了标准征求意见稿和编制说明。

4.4 征求意见阶段

2025年10月31日，本标准由中国技术市场协会在全国团体标准信息平台面向社会进行公开征求意见，同时由编制工作组向相关单位进行定向征求意见，具体见《征求意见汇总表》。

五、标准主要内容

根据生产企业XXX等单位的产品数据得到以下主要技术内容：

1. 防渗料层压缩比与振实密度

防渗料层是铝电解槽底部保温体系的核心屏障，其压缩比与振实密度直接决定保温性能与防渗效果。压缩比指防渗料虚铺高度与振实后高度的比值，反映材料颗粒间的致密程度；振实密度则表征材料在振动作用下达到的单位体积质量。二者通过“分层振动+动态监测”工艺实现协同控制，确保防渗料层无空洞、分层现象，有效阻隔电解质渗透与热量散失。若压缩比不足或振实密度偏低，易导致槽底热损失增大、内衬腐蚀加速，缩短电解槽使用寿命。

2. 阴极炭块组装压降

阴极压降是衡量阴极炭块与钢棒组装质量的核心电学指标，定义为通过额定直流电时炭块工作面与钢棒端的电压差。该指标受炭块材质、糊料密实度及钢棒接触状态影响，直接关联电解槽能耗水平。标准要求根据炭块类型（石墨质、全石墨质等）及季节温差制定差异化压降限值，通过直流电焊机多点测量确保数值稳定。低且均匀的阴极压降可减少导电损耗，提升电解效率，是实现“低能耗运行”的关键参数。

3. 阴极炭块组安装标高差与碳间缝

阴极炭块组安装精度通过相邻炭块顶面标高差与碳间缝宽度双重控制。标高差反映炭块铺设的平整度，碳间缝则为热膨胀预留缓冲空间。二者通过“中心线标定+样板检测”工艺实现精准控制，确保炭块组表面平整、间隙均匀。若标高差超标，易导致电流分布不均、局部过热；碳间缝过大或过小则可能引发炭块挤压断裂或电解质渗漏，影响电解槽结构稳定性。

4. 钢棒焊接焊缝质量

钢棒焊接质量以焊缝完整性为核心指标，包括无气孔、未熔合、未焊透及焊瘤等缺陷。窄缝熔焊要求焊缝熔深达标、表面平整；连接片焊接则需保证片数适配、间隙合理。焊缝质量通过强光检测、测针探查及抽样解剖验证，直接影响导电效率与结构强度。劣质焊缝会导致接触电阻增大、钢棒断裂风险上升，甚至引发电解槽停槽事故。

5. 电解槽扎固压缩比与密度

扎固作业的压缩比（糊料虚铺高度与捣实后高度比值）与密度（通过针刺密度仪测量）是衡量糊料密实度的关键指标。压缩比通过分层捣打控制，密度则需满足斜坡区域与平面区域的双重要求。高压缩比与高密度可确保糊料与炭块、钢棒紧密结合，形成无间隙的导电整体，有效抵抗电解质侵蚀与热应力冲击。若密实度不足，易出现糊料脱落、钢棒腐蚀，导致电解槽寿命缩短。

六、主要试验（验证）的分析，技术经济论证，预期的经济效果

6.1 主要试验（验证）的分析

本项目的试验验证体系围绕铝电解槽筑炉全流程的关键工艺与材料性能展开，通过多维度测试确保技术方案的可靠性与稳定性。在材料层面，重点验证阴极炭块、防渗料、保温板等核心材料的理化性能，包括耐腐蚀性、绝缘性、热稳定性等指标，通过第三方检测与现场抽样相结合的方式，确保材料符合行业标准与设计要求。施工工艺验证涵盖槽底部保温层砌筑、阴极炭块组装、钢棒焊接等关键环节，例如通过模拟施工环境测试防渗料的压缩比与振实密度，采用无损检测技术（如压降测量、焊缝探伤）评估阴极炭块与钢棒的导电性能及焊接质量。结构完整性验证通过阴极炭块组安装后的标高差、缝隙控制及整体抗压强度测试，结合长期运行模拟（如钠渗透深度检测、电阻变化率模型）预测电解槽的使用寿命。此外，针对特殊工艺如磷生铁浇铸的温度场分布、窄缝熔焊的熔深控制等，通过工艺参数优化试验确定最佳操作区间，确保施工过程的可控性与结果的一致性。

6.2 技术经济论证

本项目技术方案的可行性基于成熟工艺与创新优化的结合，具备明确的实施路径与保障措施。从技术成熟度看，槽壳检查、保温层砌筑、阴极组装等核心工序均参考行业内长期实践经验，采用标准化施工流程，如防渗料层铺设中通过“分层振捣+压缩比控制”确保密实度，钢棒焊接采用窄缝熔焊与连接片焊接互补技术，兼顾导电性能与结构稳定性。材料选择上，采用氮化硅结合碳化硅砖、高铝耐火砖等高性能材料，配合严格的进场检验机制，确保材料性能满足高温、强腐蚀环境下的长期使用需求。质量管控体系贯穿施工全流程，通过“过程检测+结果验收”双重机制，如保温板砌筑的平整度控制、阴极炭块压降测试等，可有效规避施工缺陷。此外，项目配备专业施工团队与专用设备（如自动熔焊设备、振动器），结合数字化检测工具（如强光手电探伤、压降测量仪），进一步保障了技术方案的可操作性与精准性，整体工艺符合铝电解行业大型设备筑炉的技术发展趋势。

本项目的经济合理性体现在短期成本控制与长期效益提升的平衡，通过优化资源配置与工艺设计实现综合效益最大化。在材料成本方面，采用“分级选材+精准用量”策略，如防渗料层按压缩比计算用量避免浪费，阴极炭块根据压降特性分组安装以降低能耗损失，同时通过严格的质量管控减少返工率，间接降低材料损耗与人工成本。施工效率提升方面，标准化流程（如分区扎固、同步焊接）与专业化设备（如自动振捣器、熔焊机器人）的应用缩短了工期，减少了交叉作业干扰，降低了管理成本。长期运营成本方面，高性能材料（如耐钠侵蚀阴极炭块、低导热保温层）的应用延长了电解槽使用寿命，减少了大修频率；优化的阴极结构与焊接工艺降低了电解过程中的电阻损耗，提升了电流效率，间接降低了能耗成本。此外，规范化的施工档案与质量追溯体系为后期维护提供数据支持，避免盲目检修导致的资源浪费，整体方案符合“提质降本增效”的行业发展需求。

6.3 预期的经济效果

本项目的实施将产生显著的直接与间接经济效益，推动铝电解生产的高效化与可持续化。直接经济效益体现在：通过优化保温层结构与防渗料性能，降低电解槽热损失，减少能源消耗；阴极炭块与钢棒的高质量组装降低了槽电压，提升电流效率，增加原铝产量；严格的施工质量控制减少了早期故障，延长电解槽服役周期，降低大修投资。间接经济效益包括：标准化施工流程缩短了新建或大修周期，提高了设备利用率；高性能内衬材料减少了电解质泄漏风险，降低了环保治理成本；精准的压降控制与结构稳定性提升，为后期智能化运维（如寿命预测、状态监测）奠定基础，进一步优化生产调度。从行业层面看，本技术规范推广可推动铝电解筑炉行业的标准化与集约化发展，提升整体产业竞争力，同时通过降低单位产品能耗与碳排放，符合国家“双碳”政策导向，为企业争取政策红利与市场优势创造条件。

七、标准水平分析

7.1 采用国际标准和国外先进标准的程度

经查，暂无相同类型的国际标准与国外标准，故没有相应的国际标准、国外标准可采用。

7.2 与国际标准及国外标准水平对比

本标准达到国内先进水平。

7.3 与现有标准及制定中的标准协调配套情况

本标准的制定与现有的标准及制定中的标准协调配套，无重复交叉现象。

7.4 设计国内外专利及处置情况

经查，本标准没有涉及国内外专利。

八、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准及相关标准协调配套情况

本标准的制定过程、技术要求的选定、试验方法的确定、检验项目设置等符合现行法律、法规和强制性国家标准的规定。

九、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

十、标准作为强制性或推荐性标准的建议

建议该标准作为推荐性团体标准。

十一、贯彻标准的要求和措施建议，包括（组织措施、技术措施、过渡办法）

由于本标准首次制定，没有特殊要求。

十二、废止现有有关标准的建议

无。

团体标准起草组

2025 年 10 月