

团 体 标 准

T/CIECCPA XXX—20XX

高品质工业硅绿色节能关键技术要求

Key technical requirements for high-quality industrial silicon green and
energy-saving

（征求意见稿）

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国工业节能与清洁生产协会 发布

目 次

前 言 II

引 言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本原则 2

 4.1 系统性原则 2

 4.2 先进性原则 2

 4.3 全生命周期原则 2

 4.4 持续改进原则 2

5 工艺要求 2

 5.1 高品质工业硅化学指标 2

 5.2 高品质工业硅粒度指标 2

 5.3 工艺设备选择 2

 5.4 能耗要求 3

 5.5 污染排放要求 3

6 高品质工业硅绿色节能关键技术要求 3

 6.1 原料预处理与配料环节 3

 6.2 冶炼环节 3

 6.3 能源与资源综合利用环节 3

 6.4 环保与碳排放环节 4

 6.5 智能化管控环节 4

7 实施与信息管理的 4

附录 A 5

前 言

本文件按照 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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：云南永昌硅业股份有限公司、昆明理工大学等单位。

本文件主要起草人：文建华、卢国洪、陈正杰等。

引 言

工业硅是光伏新能源、半导体、有机硅等高技术产业的核心基础原材料，其生产过程是高耗能过程。为推动工业硅行业绿色低碳转型，提升能源资源利用效率，降低污染物和碳排放，引导行业技术进步，特制定本标准。

本标准聚焦工业硅生产全流程的绿色节能关键技术，旨在为行业企业提供技术升级改造的指引，为评价绿色工厂和绿色设计产品提供技术依据，促进工业硅产业链的可持续发展。

高品质工业硅绿色节能关键技术要求

1 范围

本标准规定了工业硅生产绿色节能的基本原则、关键技术要求（包括原料预处理与配料、冶炼、能源与资源综合利用、环保与碳排放、智能化管控等环节）以及实施与信息管理要求。

本文件适用于以硅石、碳质还原剂为主要原料，在矿热炉中通过碳热还原法冶炼工业硅产品的生产的建、改建、扩建项目以及现有生产过程的绿色节能技术应用与评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 2881-2023 工业硅
- GB 16297-1996 大气污染物综合排放标准
- GB/T 19923-2024 城市污水再生利用 工业用水水质
- GB 21347-2023 工业硅和镁单位产品能源消耗限额
- GB/T 37785-2019 烟气脱硫石膏
- YS/T 1185 工业硅安全生产规范
- T/CNIA 0123-2021 工业硅生产大气污染物排放标准
- GB 39726-2020 铸造工业大气污染物排放标准
- GB/T 36132 绿色工厂评价通则
- GB/T 19001 质量管理体系要求
- GB/T 23331 能源管理体系要求
- GB/T 24001 环境管理体系要求及使用指南

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

高品质工业硅 high quality industrial silicon

指化学质量指标高于 GB/T 2881-2023 《工业硅》规定的 Si4210 及以上牌号的有机硅用或多晶硅用硅。

[来源：GB/T2881-2023，5.1.1]

3.2

绿色节能关键技术 green and energy-saving key technologies

在工业硅生产全生命周期中，能够显著降低能源消耗、减少污染物和温室气体排放、提高资源综合利用效率的先进工艺、技术、装备及管理方法。

3.3

余热发电 waste heat power generation

利用工业硅冶炼生产过程中产生的余热进行发电。

3.4

污水处理 sewage treatment

对废水进行处理以去除其中的污染物质的过程。

3.5

无组织排放 fugitive emission

大气污染物不经过排气筒的无规则排放，包括开放式作业场所逸散，以及通过缝隙、通风口、敞开门窗和类似开口（孔）的排放等。

3.6

硅粉回收利用率 silicon fines recovery rate

在原料处理、冶炼及浇铸过程中回收的硅粉量占原料硅石投入总量的质量百分比。

3.7

碳足迹 carbon footprint

用量化工业硅产品在整个生命周期（从原材料获取、生产到废弃）过程中所直接和间接产生的温室气体排放总量的指标，以二氧化碳当量（CO₂ e）表示。

4 基本原则

工业硅绿色节能技术的应用应遵循以下原则：

4.1 系统性原则

从全局出发，统筹考虑原料、生产、能源、环境、产品等各个环节的协同优化。

4.2 先进性原则

应采用技术成熟、经济合理、效率领先的先进适用技术和装备。

4.3 全生命周期原则

应考虑从原材料获取到产品出厂的全过程，最大限度地降低能源资源消耗和环境负荷。

4.4 持续改进原则

应建立有效的能源管理和环境管理体系，实现绿色节能绩效的持续提升。

5 工艺要求

5.1 高品质工业硅化学指标

高品质工业硅为主要杂质元素达到 GB/T 2881-2023 工业硅中 Si1101、Si2202、Si3303、Si4110、Si4210 牌号的产品，同时微量元素达到 GB/T 2881-2023 工业硅中多晶硅、有机硅和冶金用硅的工业硅产品。

5.2 高品质工业硅粒度指标

工业硅产品粒度范围 10~100mm，其中上层筛筛上物和下层筛筛下物占比符合 GB/T 2881-2023 要求。

5.3 工艺设备选择

工业硅生产企业应使用符合国家现行标准要求，不使用“限制类”“强制淘汰”的生产工艺装备。

5.4 能耗要求

高品质工业硅生产企业单位能耗指标应达到 GB 31338 的相关要求。

5.5 污染排放要求

生产过程中产生的污染物（废气、废液、固废）必须经过处理，达到国家排放、处理标准。

5.5.1 烟气污染物排放控制要求

矿热炉冶炼烟气污染物排放控制参照 T/CNIA 0123-2021，二氧化硫 $<100\text{mg}/\text{m}^3$ 、氮氧化物 $<240\text{mg}/\text{m}^3$ 、颗粒物 $<50\text{mg}/\text{m}^3$ 。

5.5.3 工业污水治理回用水质要求

工业污水治理回用水质参考 GB/T 19923-2024。

5.5.4 脱硫装置副产物石膏要求

脱硫装置副产物石膏应满足 GB/T 37785-2019 的要求。

6 高品质工业硅绿色节能关键技术要求

6.1 原料预处理与配料环节

6.1.1 采用大型、节能的破碎、筛分、水洗、烘干等预处理设备，提高硅石原料的纯度与均匀度，降低冶炼电耗。

6.1.2 使用低灰分、高反应活性的优质还原剂（如洗精煤、石油焦、木炭、生物质炭等），鼓励使用可再生碳源。

6.1.3 应采用自动化、密闭化的精准配料与输送系统，实现原料配比的精确稳定控制，减少粉尘无组织排放。

6.2 冶炼环节

6.2.1 矿热炉装备

a) 新建或改建项目采用大容量、高阻抗、 $\geq 25\text{ MVA}$ 的封闭式矿热炉，提升热效率和能源利用效率。

b) 采用直流炉、密闭炉等先进设备，降低能耗、提高电能和资源利用率。

c) 炉体采用先进的隔热耐火材料，减少炉体散热损失。

6.2.2 冶炼工艺

a) 优化炉料配比和电炉控制参数（如合适的炉膛深度、电流电压比等），维持熔池稳定，提高硅回收率。

b) 研发应用智能精炼控制技术，提高产品质量稳定性；采用智能冶炼控制技术，提高电炉运行稳定性和效率。

6.3 能源与资源综合利用环节

6.3.1 余热回收利用

a) 对矿热炉高温烟气 ($\geq 500^{\circ}\text{C}$) 进行强制回收, 建设余热锅炉发电或供热系统, 余热回收利用率大于 70%。

b) 对炉体表面辐射热、硅锭余热、高温硅熔体热等进行回收利用。

6.3.2 硅粉、微硅粉、硅渣回收

c) 在高温硅熔体精炼、浇铸、产品破碎等环节设置高效除尘和硅粉回收装置。

d) 回收的硅粉应返回冶炼流程或妥善外售利用, 硅粉回收利用率大于 90%。

e) 对冶炼烟气中的微硅粉进行高效收集, 微硅粉收集率不低于 99%, 并实现高值化利用。

f) 利用重选、电选、先选或 AI 人工识别自动分选等先进技术对硅渣中的金属硅进行高值化回收利用, 硅渣利用率大于 90%

6.3.3 水资源循环利用

建立冷却水循环水系统, 生产和生活污水处理系统, 水循环利用率大于 95%。

6.4 环保与碳排放环节

6.4.1 大气污染防治

a) 冶炼烟气应经集气罩 (封闭炉) 或全封闭烟罩 (半封闭炉) 100% 收集后, 采用高效布袋除尘器等措施净化处理, 颗粒物排放浓度低于 10 mg/m^3 。

b) 冶炼烟气中的二氧化硫、氮氧化物采用脱硫脱硝技术进行深度净化。

c) 无组织排放控制: 对原料场、配料站、矿热炉炉门口、出硅口、硅熔体浇铸等粉尘产生点采取密闭、抑尘措施。

6.4.2 碳排放管理

d) 应建立碳排放监测、报告与核查 (MRV) 体系, 准确核算单位产品碳排放量。

e) 鼓励企业使用绿电 (光伏、风电等), 研究和应用碳捕集、利用与封存 (CCUS) 等技术。

6.5 智能化管控环节

6.5.1 建立覆盖能源计量、生产执行 (MES)、设备管理等功能的集中控制系统。

6.5.2 应用大数据、人工智能 (AI) 等技术, 建立炉况智能诊断与优化系统, 实现原料配比、电力参数、电极控制的智能化闭环优化, 稳定生产, 降低电耗。

6.5.3 能源计量器具配备与管理应符合 GB 17167 的要求。

7 实施与信息管理

7.1 企业建立并有效运行质量管理体系 (GB/T 19001)、环境管理体系 (GB/T 24001) 和能源管理体系 (GB/T 23331)。

7.2 企业应定期对绿色节能关键技术的运行效果进行监测、统计和分析, 包括单位产品综合能耗、硅回收率、余热利用率、污染物排放达标率等关键指标。

7.3 企业应建立绿色节能技术档案, 记录技术方案、运行参数、改造成效和维护记录, 并鼓励向社会披露绿色低碳发展报告。

附录 A

工业硅冶炼单位产品能耗限额先进值示例：

本标准为引导行业节能降耗，提供以下单位产品电耗和综合能耗先进值作为参考目标。

产品规格	单位产品冶炼电耗 (kWh/t · Si)	单位产品综合能耗 (tce/t · Si)
工业硅 Si≥99.3%	≤11800	2.90