

《正丁烷法顺丁烯二酸酐装置单位产品 能源消耗标准》团体标准编制说明

标准起草小组编制

二〇二四年三月

一、目的和意义

节能标准是国家节能制度的基础，也是提升经济质量效益、推动绿色低碳循环发展、建设生态文明建设的重要手段。

2021 年以来，国家发展改革委、市场监管总局等积极推动强制性能耗限额标准更新升级，多次召开相关标准推进工作会。全国能标委秘书处中国标准化研究院资环分院将加大工作力度，推进强制性能耗限额标准的制修订工作，以领跑水平为对标对象，加快制定科学、先进的系列能耗限额标准，助力节能降碳目标的实现。2021 年 3 月，《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》发布，文件明确提出：“加快发展方式绿色转型，全面提高资源利用效率，加快能耗限额、产品设备能效强制性国家标准制修订”。2021 年 10 月，中共中央、国务院印发了《国家标准化发展纲要》，文件提出：“加快节能标准更新升级，抓紧修订一批能耗限额、产品设备能效强制性国家标准，提升重点产品能耗限额要求，扩大能耗限额标准覆盖范围，完善能源核算、检测认证、评估、审计等配套标准。”2023 年 3 月，《国家发展改革委 市场监管总局关于进一步加强节能标准更新升级和应用实施的通知》（发改环资规〔2023〕269 号）发布，文件明确指出：“将加快推进节能标准更新升级，加快制定修订一批重点领域节能标准，组织实施“十四五”百项节能降碳标准提升行动”。节能和提高能效是实现碳达峰碳中和的关键路径，也是经济社会发展全面绿色转型的内在要求。能耗限

额标准的制修订和实施，对于落实节能政策措施，激发市场竞争和技术创新的活力，实现经济效益和资源环境效益双赢都具有十分重要的意义。

当前广东省经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段，但能源控总量、调结构、提能效压力仍然较大；生态文明建设仍处于压力叠加、负重前行的关键期。规范重点行业能耗限额标准是经济高质量发展的重中之重，也是推进广东省实现“碳达峰”的重要抓手。顺酐是重要的有机化工原料和精细化工产品，是目前世界上次于苯酐和醋酐的第三大酸酐，广泛应用于工业中的增塑剂、造纸业中的纸张处理剂、合成树脂产业中的不饱和聚酯树脂、涂料业中的醇酸型涂料、农药生产中的马拉硫磷合成以及医药产业中磺胺药品的生产等领域。工业上应用最为广泛的顺酐生产工艺路线为苯氧化法和正丁烷氧化法，受顺酐生产工艺的新旧更替，且苯法工艺存在环保等因素的限制，正丁烷氧化法逐渐替代苯氧化法成为主要发展趋势。随着国内市场对高性能和环保的化学品的需求增加，以及政府对环保的重视，顺酐因其高性能和广泛用途以及上下游一体化“正丁烷-顺酐法-BDO”工艺路线具有明显成本优势，且技术成熟，使得正丁烷法制顺酐装置近年在广东省惠州、茂名、珠海等地陆续建设布局。但该装置生产过程涉及放热反应，原料正丁烷在生产过程既做原料生成顺酐，又发生副反应及原料正丁烷完全氧化反应生成二氧化碳和水，装置能耗计算具有一定复杂性。

天津市于 2008 年发布《顺酐产品单位产量综合能耗》（DB12/046.34-2008），2011 年对其进行修订。该标准规定了苯氧化法顺酐单位产量综合能耗计算方法及限额指标。现阶段苯氧化法制顺酐受环保及其原料价格影响，逐渐被先进新工艺正丁烷法制顺酐淘汰更替；且随着国家最新政策发布，原料用能不纳入能源消费总量控制，正确核算原料用能显得非常重要，而该地方标准用能计算未考虑顺酐装置原料用能情况，装置用能计算存在一定漏项。为此，制定《正丁烷法顺酐装置单位产品能源消耗标准》具有重要的现实意义和必要性。

二、任务来源

本标准的制订由广东省能源局提出，2023 年 7 月 21 日，广东省石油和化学工业协会发布了《关于批准广东省石油和化学工业协会团体标准制定计划项目(第五批)的通知》(粤石化协(2023)14 号)，批准该团体标准的立项。

发起单位：广东省能源局。

归口单位：广东省石油和化学工业协会。

牵头单位：广东信怡工程咨询有限公司。

起草单位：广东信怡工程咨询有限公司、惠州宇新新材料有限公司、广东省节能中心、广东省能源研究会、惠州市节能中心、中山大学广东省石化过程节能工程技术研究中心、珠海中冠石油化工有限公司。

起草人：略。

三、相关标准及引用文件

（一）相关标准

截至标准工作开展前，国家未制定顺酐装置的能耗标准，地方中仅天津市于 2008 年发布《顺酐产品单位产量综合能耗》（DB12/046.34-2008），2011 年对其进行修订。该标准规定了苯氧化法顺酐单位产量综合能耗计算方法及限额指标。

广东省尚未制定该项地方标准，根据顺酐装置主流生产工艺正丁烷法制顺酐及国家对原料用能核算的重视，本标准的制定具有重要的现实意义和必要性。

（二）引用文件

1、指导性文件

（1）《关于进一步做好原料用能不纳入能源消费总量控制有关工作的通知》（发改环资〔2022〕803 号）

（2）《能源统计报表制度》

（3）《关于进一步加强全省高质量发展用能保障的通知》（粤发改能源函〔2023〕491 号）

（4）《广东省石油和化工行业原料用能计算技术规范》（T/GPCIA 0009—2024）

2、规范性文件

（1）GB/T 2589 综合能耗计算通则

（2）GB/T 3676 工业用顺丁烯二酸酐

（3）GB/T 12723 单位产品能源消耗限额编制通则

（4）GB/T 12497 三相异步电动机经济运行

(5) GB 17167 用能单位能源计量器具配备和管理通则

(6) GB/T 13462 电力变压器经济运行

(7) GB/T 13466 交流电气传动风机（泵类空气压缩机）
系统经济运行通则

(8) GB/T 20901 石油石化行业能源计量器具配备和管理
要求

(9) GB/T 23331 能源管理体系 要求及使用指南

四、工作过程

在广东省能源局下达标准编制任务后，标准起草小组马上制定工作计划，按计划开展标准制订工作。

2023 年 6 月 27 日，发布团体标准参编邀请函，并于 2023 年 7 月 10 日完成参编单位邀请，一共 7 家单位参编本标准。

2023 年 7 月，调研了惠州宇新新材料有限公司参编用能单位。

2023 年 8 月 4 日，组织召开标准开题会，广东省能源局及省统计局代表和所有参编单位代表均出席开题会，会上就工作背景、工作重点、疑难问题等进行了交流。

2023 年 8 月至 2024 年 1 月，一是通过梳理现有政策文件、标准规范、统计报告和研究文献等，收集正丁烷法顺酐装置反应原理、工艺流程、主要用能影响因素、相关节能措施等资料，分析顺酐生产企业现状，分析其存在问题和未来发展趋势，为明确标准范围和内容框架提供参考基础。二是继续调研广东省新建、

在建顺酐装置企业，主要调研了珠海中冠石油化工有限公司、惠州博科环保新材料有限公司、广东伊斯科新材料科技发展有限公司、广东和标能源科技有限公司，汇总分析各企业的用能工艺、用能结构、能源消耗、能效水平等参数，为标准的制定提供充分的支撑依据；三是与惠州宇新新材料有限公司、广东省节能中心、广东省能源研究会、惠州市节能中心、中山大学广东省石化过程节能工程技术研究中心、珠海中冠石油化工有限公司等参编单位进行深入交流，进一步获取相关的信息和资料。

2024 年 3 月，根据前期调研与研究成果，完成标准（征求意见稿）初稿的编制，并公开征集参编单位对标准（征求意见稿）初稿的修改意见和建议。

2024 年 3 月，形成正式的征求意见稿和编制说明。

2024 年 4 月初，正式对外公开征求意见，广泛征求相关主管部门和企业等利益主体的意见。

五、标准编制原则和主要内容

（一）标准编制原则

1、协调性原则

本文件作为单位产品能耗控制标准，其内容应符合国家现行的方针、政策、法律、法规，另外还应与行业发展技术水平相协调，以促进技术进步和行业技术升级。

2、适用性原则

技术要求指标的确定，不仅要考虑科学、先进，还要考虑经

济、适用，即标准指标要科学先进，还要经济合理、实施便利，满足使用要求，确保可操作性。

3、规范性原则

本文件在编制过程中严格按照 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》和 GB/T 12723-2013《单位产品能源消耗限额编制通则》的规定的的基本原则和要求进行编写和表述。

（二）标准主要内容

1、标准适用范围

本标准规定了广东省顺丁烯二酸酐（以下简称顺酐）单位产品能源消耗（以下简称能耗）标准的术语和定义、能耗标准等级、技术要求、统计范围和计算方法、节能管理与措施。适用于广东省正丁烷氧化法顺酐生产企业单位产品能耗的计算、考核，以及对新建或改扩建项目的能耗控制。

2、能效标准指标的确定

正丁烷氧化法顺酐装置涉及能源品种主要为混合丁烷（含有正丁烷、异丁烷等烷烃）、天然气/燃料气、电力、蒸汽、柴油。主要用能系统为原料预处理单元、顺酐反应单元、吸收单元、解吸单元、精制单元及成品包装单元等，以及辅助生产系统及附属生产系统。其中，原料预处理单元主要是对原料混合丁烷进行预处理，提出正丁烷进入顺酐反应器反应生产顺酐。目前，原料混合丁烷预处理提出正丁烷有两种工艺，一是采用精馏分离工艺：

混合丁烷原料通过高温精馏分离出异丁烷、丙烷等烷烃和异丁烯等烯烃；二是采用加氢-异丁烷正构工艺：混合丁烷原料中含有的异丁烯、正丁烯等烯烃加氢为饱和烷烃，而后正构化异丁烷为正丁烷。经各企业能耗数据分析及相关参考文献分析，两种预处理工艺的顺酐装置，其能耗相差较大，导致顺酐单位产品综合能耗相差大。同时，按照《广东省石油和化工行业原料用能计算技术规范》（T/GPCIA 0009—2024），正丁烷氧化法顺酐装置的原料用能仅与装置规模相关，与其他生产因素无关。因此本标准确定顺酐单位产品综合能耗（不含原料用能）为本标准推荐性能效标准指标，同时区分开两种不同原料预处理工艺的能效标准指标值。

3、能效标准指标值的计算方法

本章节规定了正丁烷法顺酐装置综合能耗统计范围、统计范围的基本工艺流程、统计方法以及装置综合能耗和单位产品综合能耗的计算方法。生产企业实际计算综合能耗时，应按产品的实际能耗折算成标准煤后再计算。

（1）统计范围

顺酐装置能耗统计界区包括生产系统能耗、辅助生产系统能耗和附属生产系统能耗。顺酐装置能耗统计界区示意图如下：

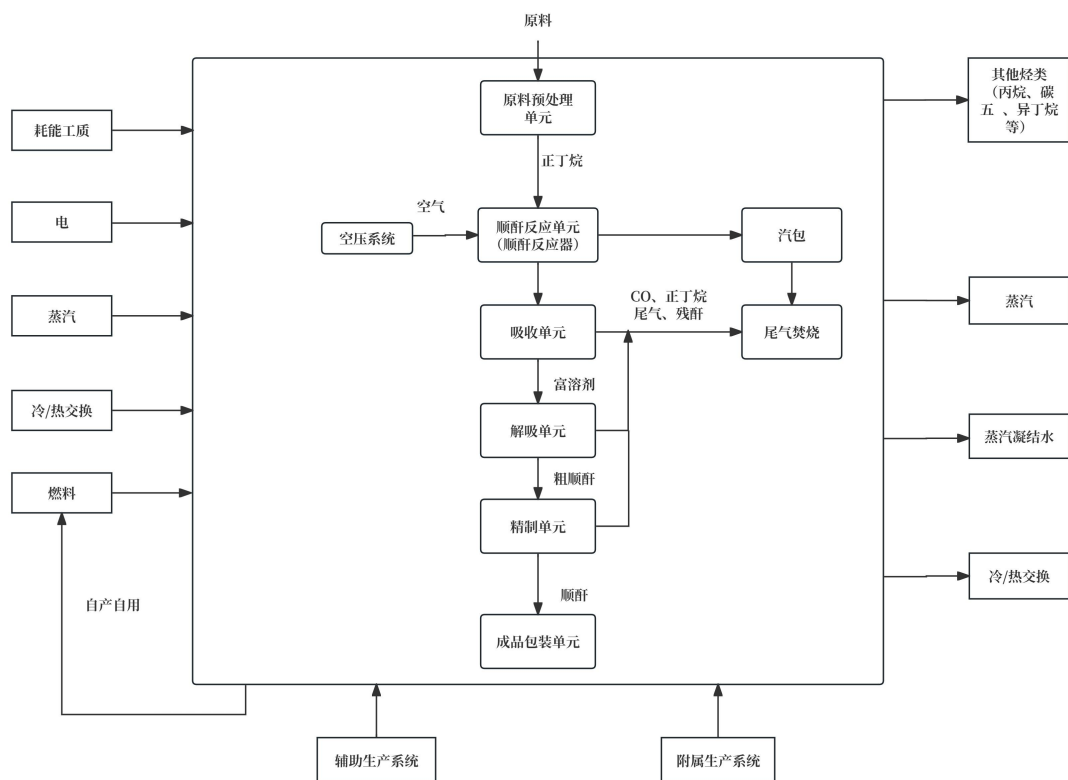


图 1 顺酐装置能耗统计界区示意图

a) 生产系统能耗

生产系统能耗从原料混合丁烷等经计量进入顺酐工艺装置，到成品进入仓库为止的整个生产过程中各种能耗（含原料用于燃料部分）。包括原料预处理单元、顺酐反应单元、吸收单元、解吸单元、精制单元及成品包装单元的能耗。

b) 辅助生产系统能耗

为生产系统服务的供电、机修、供水、供气、供热、制冷、仪修、照明、库房和厂内原材料场地以及安全、环保节能等装置及设施的能耗。

c) 附属生产系统能耗

为生产系统专门配置的调度室、办公室、操作室、控制室、

休息室、更衣室、澡堂、中控分析、产品检验、维修工段等设施的能耗。

(2) 统计方法

a) 能耗量的统计核算应包括各个生产环节和系统，既不应重复，也不应漏计。

b) 回收利用顺酐生产过程中产生的余热余能及化学反应热，不计入能耗中。如果该余热、余能及化学反应热等供本装置统计范围以外其他装置利用的，应按实际利用的能量从系统中扣除。

c) 向外输出的能源，输入和输出双方在统计计算中量值应保持一致，未被利用的输出能源不作为能源输出进行扣减。如蒸汽凝液，蒸汽凝液的热量未利用而直接作循环水补水，则蒸汽凝液不可作为能源输出扣减。

d) 顺酐产量应统计合格产品产量，产品应符合 GB/T 3676 《工业用顺丁烯二酸酐》标准要求。

(3) 计算方法

顺酐装置在正丁烷进入顺酐反应器后，部分正丁烷在 V205-P205 系催化剂作用下发生气相氧化反应生成顺酐，该部分正丁烷用作原材料，其消费量应计入原料用能；部分正丁烷直接氧化生成二氧化碳和水，放出大量热能，其消费量应计入燃动能耗。

顺酐装置综合能耗（含原料用能）按式（1）计算：

$$E = \sum_{i=1}^n (M_i R_i) + \sum_{j=1}^m Q_j \quad (1)$$

式中：

E — 顺酐装置综合能耗（含原料用能），单位为千克标准煤（kgce）；

M_i — 统计报告期内输入的第 i 种能源的实物量，向统计界区内输入实物量计为正值，输出计为负值；

R_i — 统计报告期内输入的第 i 种能源的折标准煤系数；

Q_j — 统计报告期内顺酐装置与外界交换的第 j 种能源量，单位为千克标准煤（kgce），向顺酐装置输入的能源计为正值，从顺酐装置输出的能源计为负值。

顺酐装置综合能耗（不含原料用能）按式（2）计算：

$$E_N = E - E_M \quad (2)$$

式中：

E_N — 顺酐装置综合能耗（不含原料用能），单位为千克标准煤（kgce）；

E — 顺酐装置综合能耗（含原料用能），单位为千克标准煤（kgce）；

E_M — 顺酐装置原料用能，单位为千克标准煤（kgce）。

其中，顺酐装置原料用能按照《广东省石油和化工行业原料用能计算技术规范》（T/GPCIA 0009—2024）进行计算，原料用能为制取氧化产品的理论原料消耗量乘以对应氧化原料的折标准煤系数：

$$E_M = \frac{W_f}{W_p} \times Q_p \times K \quad (3)$$

式中：

E_M —— 原料用能；

W_f —— 氧化反应装置主产品对应原料的分子量；

W_p —— 氧化反应装置主产品的分子量；

Q_p —— 氧化反应装置对应原料的主产品产量；

K —— 氧化反应装置主产品对应原料的折标准煤系数。

顺酐单位产品综合能耗（不含原料用能）按式（4）计算：

$$e = \frac{E_N}{P} \quad (4)$$

式中：

e — 顺酐单位产品综合能耗（不含原料用能），单位为千克标准煤/吨（kgce/t）；

E_N — 统计报告期内顺酐装置综合能耗（不含原料用能），单位为千克标准煤（kgce）；

P — 统计报告期内顺酐合格产品（应符合 GB/T 3676 标准要求）的实物产量，单位为吨（t）。

4、能效标准指标值等级的选取

经对各企业顺酐装置工艺技术、工艺参数、能耗数据等进行分析，同时查阅相关参考文献，影响正丁烷法顺酐装置用能大小的因素主要有原料预处理工艺、反应热置换蒸汽的换热效率、高压蒸汽综合利用、尾气处理工艺。

（1）原料预处理工艺

目前，原料混合丁烷预处理提出正丁烷有两种工艺，一是采用精馏分离工艺：混合丁烷原料通过高温精馏分离出异丁烷、丙

烷等烷烃和异丁烯等烯烃；二是采用加氢-异丁烷正构工艺：混合丁烷原料中含有的异丁烯、正丁烯等烯烃加氢为饱和烷烃，而后正构化异丁烷为正丁烷。

根据对广东省顺酐生产企业的调研情况及相关参考文献分析，预处理工艺不同的顺酐装置主要区别为：一是每吨顺酐产品消耗正丁烷量也不同，采用精馏分离工艺的装置，其每吨顺酐产品消耗 0.99-1.02 吨正丁烷；采用加氢-异丁烷正构工艺，其每吨顺酐产品消耗 1.07-1.10 吨正丁烷。二是所配置的设备不同，其燃动用能（指电力、蒸汽等能源消耗）也不同，采用加氢-异丁烷正构工艺的原理预处理单元其燃动用能比采用精馏分离工艺的高 10%-20%。

由于正丁烷为能源，应计入能源消费量，且两种工艺的燃动用能相差 10%-20%，因此本标准顺酐单位产品能耗标准将区分两种原料预处理工艺。

（2）反应热置换蒸汽的换热效率

顺酐装置配有汽包和焚烧炉，汽包是将顺酐反应放出的热量通过热载体熔盐循环带出，与高温水换热产生高压饱和蒸汽；焚烧炉将反应副产的高压饱和蒸汽经过热段过热后生成高压过热蒸汽。通过热载体将反应热置换出饱和蒸汽的换热效率将影响装置的整体用热。根据对广东省顺酐生产企业的调研情况，换热效率位于 80%-92%之间，平均换热效率为 88.36%。换热效率高，则产生的高压饱和蒸汽多，有利于减少整体装置用能。

（3）高压蒸汽综合利用

顺酐装置具有蒸汽综合利用优势。顺酐装置可副产大量高压蒸汽，主要用途有：一是小部分用于装置本身所需高压蒸汽用点，大部分高压蒸汽在装置所在园区可接纳时，直接外供至园区，而装置所需的中、低压蒸汽由园区供应；二是用于纯凝透平供反应风，减少装置配套的空气压缩机用电，做功后副产中压蒸汽自用后剩余的可外输；三是用于发电，其电量可自用可上网；四是直接减压后形成中压蒸汽进入中压管网，供中压用户使用，中压凝液经闪蒸后可产低压饱和蒸汽，中压管网蒸汽可减压成低压饱和蒸汽供低压用户使用。

根据对广东省顺酐生产企业的调研情况，大部分园区无法消纳大量的高压蒸汽，因此用途一可行性不高；而用途四，对高压蒸汽直接减压使用，其损耗大量热能，造成用能浪费，不利于节能。现阶段顺酐生产企业大部分采用发电和蒸汽驱动用电设备的方式来消纳顺酐装置产生的大量高压蒸汽。

（4）尾气处理工艺

正丁烷法生产顺酐的过程中，吸收塔尾气内含有未充分反应的正丁烷，并且还有一定量的CO，根据相关规范标准的规定要求，必须对这些有害物质进行处理，并在达标后，才能进行排放。

目前针对尾气的处理方法主要是焚烧法，主要工艺分为三种，一是采用直燃式焚烧炉（TO），顺酐生产中产生的废气会从吸收塔的顶部排出进入到焚烧炉的预热段进行加热，经预热后的废气

与燃料气在焚烧炉炉头直接燃烧。焚烧炉出来的烟气进入余热回收系统，烟气降温后至烟囱达标排放，烟气放出的热量一部分将废气预热，一部分副产蒸汽供装置使用。二是采用蓄热式热氧化器(RTO)方式将尾气中的污染物脱除干净，蓄热式热氧化器(RTO)是在热氧化装置中加入蓄热式热交换器，通过其装填的蓄热陶瓷填料，预热 VOC 尾气，再进行氧化反应，直燃式焚烧炉采用燃烧的方式，将尾气中的污染脱除。三是催化燃烧装置(CO)，催化燃烧装置借助催化剂的作用使废气在较低的起燃温度条件下发生催化燃烧，并将其氧化分解为无害的 CO_2 和 H_2O 同时放出大量的热能，从而达到去除废气中有害物质的目的。

根据对广东省顺酐生产企业的调研，目前仅惠州宇新新材料有限公司的年产 15 万吨顺酐装置已投产运行，其余均为在建项目。惠州宇新新材料有限公司的年产 15 万吨顺酐装置于 2022 年建成投产，该装置采用正丁烷氧化制顺酐工艺，原料预处理采用精馏分离工艺。根据顺酐单位产品综合能耗（不含原料用能）计算方法，该装置在 2022 年实际单位产品综合能耗为 88 千克标煤/吨。

根据已建成企业实际运行数据及在建项目相关设计资料，结合文献查阅及对顺酐装置用能影响因素分析，本标准采用假设法对各企业数据进行分析计算（见图 2 和图 3）。同时基于《单位产品能源消耗限额编制通则》（GB 12723-2013）6.3 的要求和《国家发展改革委 市场监管总局关于进一步加强节能标准更新

升级和应用实施的通知》（发改环资规〔2023〕269号）的相关规定：重点用能行业强制性能耗限额标准分为先进值、准入值和限定值。其中先进值对标国内或国际同行业能效领先水平，原则上其取值应代表行业前5%左右的能效水平；准入值是新建和改扩建项目等新增产能必须满足的能效水平，原则上其取值应代表行业前20%左右的能效水平；限定值是存量企业生产必须达到的能效水平，应以淘汰一定比例的现有高耗能落后产能为取值原则，在基于节能改造的基础上淘汰20%左右的落后产品和产能。本标准能效限额指标值等级的选取见表1。

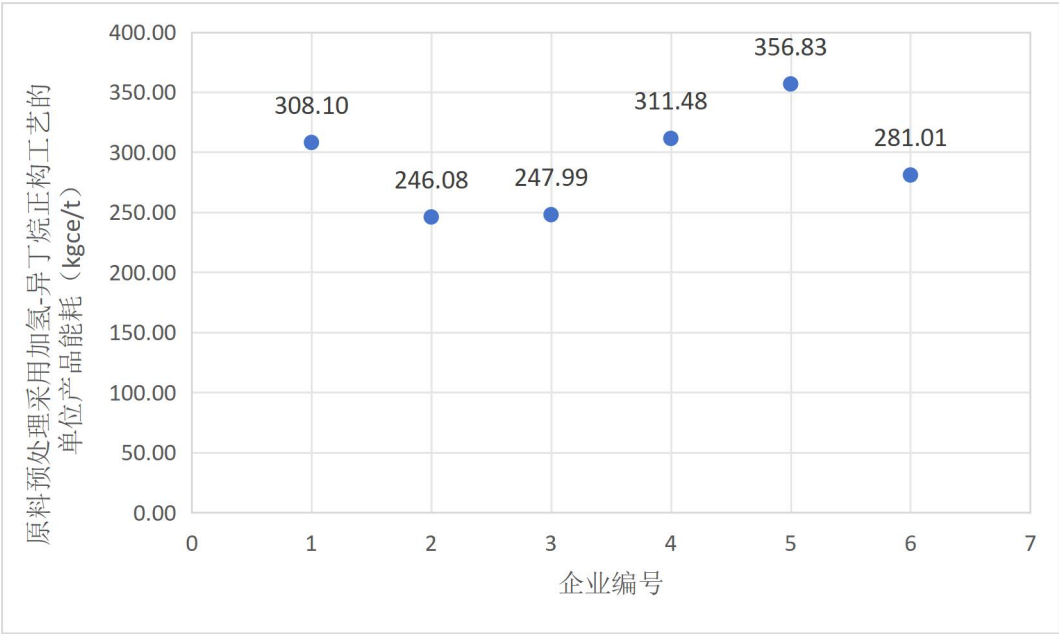


图2 原料预处理采用加氢-异丁烷正构工艺的单位产品能耗

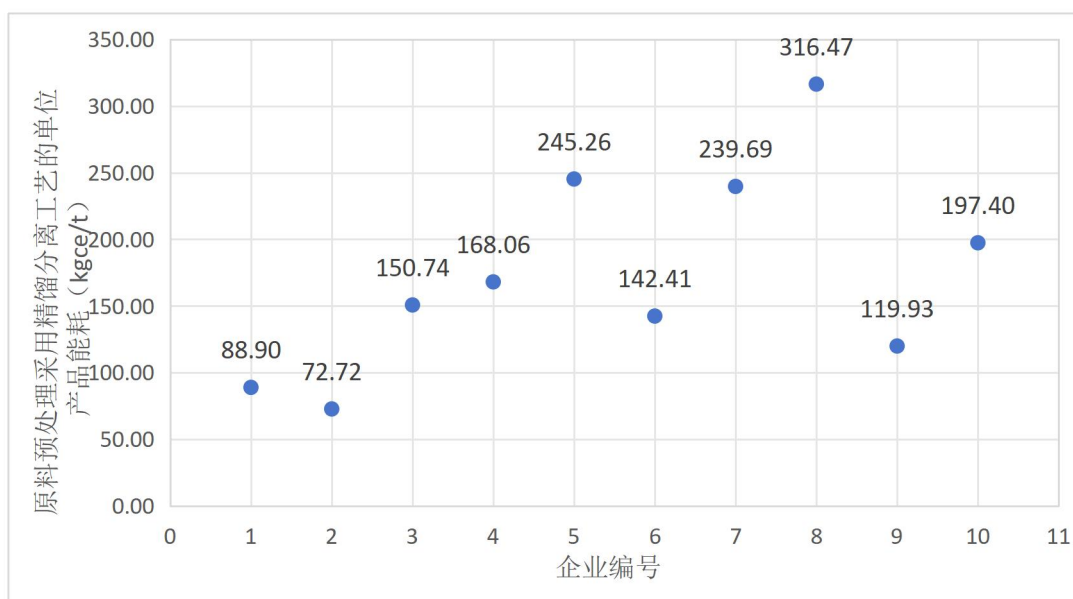


图 3 原料预处理采用精馏分离工艺的单位产品能耗

表 1 顺酐单位产品综合能耗（不含原料用能）标准等级

原料预处理工艺路线	指标单位	能耗标准等级		
		1 级	2 级	3 级
精馏分离工艺	kgce/t	≤80	≤120	≤235
加氢-异丁烷正构工艺	kgce/t	≤250	≤300	≤350

综上所述，生产顺酐产品的现有企业，其单位产品综合能耗（不含原料用能）限定值应满足表 1 中 3 级要求；生产顺酐产品的新建、改建和扩建企业，其单位产品综合能耗（不含原料用能）准入值应满足表 1 中 2 级要求。

5、节能管理与措施

（1）节能基础管理

企业应按照 GB/T 23331 的要求，设立专门的能源管理机构，

建立能源管理制度,落实管理职责,明确能源管理方针和定量指标体系。

企业应根据 GB 17167 的要求配备能源计量器具,建立和完善能源计量管理制度,确保能源基础数据的准确性和完整性。

企业应按要求建立能耗统计体系,建立能耗测试数据、能耗计算和考核结果的文件档案,并对文件进行受控管理。

(2) 节能技术管理

1) 经济运行

企业生产中使用的通用设备应达到经济运行状态,对电动机的经济运行管理应符合 GB/T 12497 的规定;对风机、泵类和空气压缩机的经济运行管理应符合 GB/T 13466 的规定;对电力变压器的经济运行管理应符合 GB/T 13462 的规定。对各种输送介质的管网,应符合相关标准和技术要求,并加强维护管理,防止跑、冒、滴、漏现象的发生。

2) 节能技术措施

鼓励采用节能技术措施,例如:

a) 优化原料结构与质量,采用先进控制优化装置操作;

b) 充分优化装置内的换热集成,使不同品位的热能尽可能得到充分利用,加强蒸汽梯级利用和蒸汽凝结水及其余热的回收利用;

c) 尾气处理系统应采用新技术,提高系统效率,降低燃料消耗;

d) 精馏塔宜采用具有先进技术的塔内件,通过提高整塔分离效率,降低操作压降等方式有效地降低蒸汽消耗量;

e) 加强设备、管道保温,减少热损,降低能耗。

3) 耗能设备管理

a) 企业应提高电机系统通用设备的能效,用高效节能设备更新淘汰高耗能设备;

b) 企业采用的离心泵、通风机、电力变压器、容积式空压机、照明、空调等通用耗能设备,应选用能效值达到相关能效标准中节能评价价值的产品。

6、附录

为更好理解顺酐装置工艺流程、用能单元及统计范围,本标准给出顺酐装置能耗统计界区示意图,见附录 A。

附录 B 给出了顺酐装置能源折算值,供顺酐装置综合能源消费量和单位产品综合能耗计算参考使用。

六、与现行法律、法规和强制性标准的关系

至标准编制完成征求意见稿之日尚未发现与计划编制标准相冲突的现行法律、法规和强制性国家标准。

七、贯彻标准的措施建议

为了贯彻好本标准,使其有效发挥作用,建议在标准发布后,在广东省顺酐生产企业进行宣传与贯彻,并组织有关部门进行学习和培训。