

制定《精己二酸行业氧化亚氮减排技术指南》
国家标准编制说明
(草案)

编制单位：《精己二酸行业氧化亚氮减排技术指南》国家标准起草小组

编制日期：2025 年 6 月

制定《精己二酸行业氧化亚氮减排技术指南》国家标准编制说明

(草案)

一、工作简况

1 基本信息

1) 任务来源

根据国家标准化管理委员会《关于下达 2024 年第十批推荐性国家标准计划及相关标准外文版计划的通知》的要求（国标委发【2024】60 号），于 2026 年 6 月前完成《精己二酸行业氧化亚氮减排技术指南》国家标准的制定工作（计划编号 20243733-T-606）。本标准归口单位为中国石油和化学工业联合会，组织起草单位为中海油天津化工研究设计院有限公司，重庆华峰化工有限公司、中石油辽阳石化研究院、重庆同辉科发气体有限公司、河南神马尼龙化工有限责任公司、中海油（山西）贵金属有限公司、安徽昊源化工集团有限公司等单位共同参加了起草工作。

2) 制定标准的目的、意义

习近平主席在第七十五届联大上提出“中国将力争 2030 年前达到二氧化碳排放限值，努力争取 2060 年前实现碳中和”，是中国基于推动构建人类命运共同体的责任担当和实现可持续发展的内在要求做出的重大战略决策。在《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》中提出：要“制定 2030 年前碳排放达峰行动方案”“锚定努力争取 2060 年前实现碳中和，采取更加有力的政策和措施”。低碳发展纳入了《石油和化学工业“十四五”发展指南和二〇三五远景目标》、《石油和化学工业“十四五”绿色发展指南（2021~2025）》。

我国发布的《国家标准化发展纲要》、《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》、《2030 年前碳达峰行动方案》等文件均鼓励制定碳相关标准。本标准符合国家发展改革委等部门 2023 年发布的《关于尽快建立产品碳足迹管理体系的意见》（发改环资 1529 号）、国家市场监管总局 2024 年 3 月 14 日《关于征集 2024 年碳达峰碳中和国家标准专项计划的通知》的政策要求。对照《建立健全碳达峰碳中和标准计量体系实施方案》《碳达峰碳中和标准体系建设指南》。因此，本标准是属于国家政策急需的，标准的制定符合国家的政策要求。

碳达峰、碳中和事关中华民族的永续发展和推动构建人类命运共同体，既是我国实现高质量发展的倒逼机制，也是我们生态环境高水平保护的治本之策，并纳入生态文明建设的总体布局。

精己二酸俗称肥酸，是脂肪族二元酸中最有应用价值的二元酸，能够发生成盐反应、酯化反应、酰胺化反应等，并能与二元胺或二元醇缩聚成高分子聚合物等，是一种高附加值的化工产品。精己二酸主要用于生产尼龙 66、聚氨酯、增塑剂等，还可用于生产高级润滑油、食品添加剂、医药中间体、香精与香料控制剂、塑料发泡剂、涂料、粘合剂、杀虫剂以及染料等产品，用途十分广泛。目前世界上应用最广泛的精己二酸生产工艺主要有两种，分别为环己烷氧化法和环己烯水合法，这两种工艺都要用硝酸，所以简称硝酸氧化法。

精己二酸在生产过程中，环己醇（醇酮）与硝酸氧化生产过程中会生成含氧化亚氮的尾气。氧化亚氮又称笑气，它是《京都议定书》中界定的六种温室气体之一，其主要破坏臭氧层，并可输送到平流层，导致臭氧层破坏，引起臭氧空洞，对臭氧层的破坏作用比氟利昂更为严重，使人类和其它生物暴露在太阳紫外线的辐射下，对人体皮肤、眼睛、免疫系统造成损害，能在大气中存留 150

年~170 年，一旦形成不容易消失，加速全球的温室效应，其增温潜势指数约为二氧化碳的 298 倍，也就是排放 1T 氧化亚氮相当于排放了 298 吨的二氧化碳，参考《中国化工生产企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》和 GB/T 32151.10-2023《碳排放核算与报告要求 第 10 部分 化工企业》，每生产 1 吨精己二酸排放 300kg 氧化亚氮，相当于每生产一吨精己二酸将排放将近 89.4t 的二氧化碳。按照国内 2023 年精己二酸产量约 240 万吨估算，年排放二氧化碳约 2.1 亿吨。氧化亚氮造成的温室效应占总的温室效应的 6%，是一种危害极大的有害气体。因此，对精己二酸生产过程中的氧化亚氮的排放进行控制，采用先进技术对其进行减排、清除是进行非常重要，完全贴合国家碳达峰、碳中和相关政策的要求。

国内尚未出台精己二酸行业氧化亚氮排放要求的标准，所以目前国内大多数精己二酸企业对于氧化亚氮的排放大部分直接排放到大气中，只有少数企业采用相关工艺进行自主减排。目前我国正在积极实施“碳达峰”行动计划，化工行业的“碳达峰”“碳减排”工作任重道远，我国的精己二酸产能巨大，排放的氧化亚氮总量十分可观，所以，对精己二酸生产过程的氧化亚氮采取减排措施，有效控制氧化亚氮的排放，是化工行业实施碳减排的重要环节。推动氧化亚氮温室气体的减排，符合国家对于化工行业低碳发展的需要，并为国家实施的碳达峰、碳中和提供行业的推动力。

2 简要情况

全球精己二酸的消费量从 2011 年的 256.2 万吨逐步增长至 2023 年的约 396 万吨。中国是精己二酸消费大国，全球占比逐年提升，2023 年国内精己二酸消费量占全球的比例约为 61.86%。国外大企业如巴斯夫（产能 56 万吨）、奥升德（产能 46 万吨）、英威达（产能 36 万吨）、道默（产能 16 万吨）等等，总产能大概 210 万吨；国内总产能大概 386 万吨。国内正在规划或环评或建设阶段合计超过 300 万吨左右产能，将在未来 3~5 年内释放。目前单套产能最大的装置是 50 万吨/年，国内有 1 套。产能及产量连续多年居全球首位。2023 年出口量超过 40 万吨。

精己二酸生产过程中的氧化亚氮减排技术，主要有三种处理工艺，分别为热分解法、催化分解法、苯氧化法。其中热分解法和催化分解法工艺成熟、技术可靠，过程简单，但国内生产企业均采用催化分解法。苯氧化法可将氧化亚氮变成资源回收利用，但工业化应用尚不成熟。因此目前精己二酸生产中产生的氧化亚氮处理技术仍以催化分解减排为主。

国外 1993 年以后，发达国家的精己二酸生产商如 BASF、Invista、Asashi、Rhodia、Radici 已陆续开发出专有的氧化亚氮处理技术，并对其精己二酸工业生产所排放的氧化亚氮尾气进行削减，氧化亚氮的削减率达到 90% 以上，该技术处于国际垄断状态，氧化亚氮分解技术及使用的催化剂全部采用进口，费用高昂。动辄上亿元的整体投入，对企业运行压力巨大，且往往伴随其余的限制性条款不利于国内企业的发展。精己二酸生产因尾气排放问题而面临严峻考验，废气治理技术已经成为制约其生产的瓶颈，因此迫切需要开发精己二酸生产尾气净化技术，其关键是开发催化分解技术和提纯技术。

重庆华峰化工有限公司从 2014 年 9 月开始进行精己二酸生产尾气净化技术的工业化研究及应用，到 2022 年 6 月，已经建成投产两套装置。2023 年 4 月，重庆华峰等单位等开展联合攻关的项目“己二酸生产过程氧化亚氮低温催化分解消除技术及工业化应用”经中国石油和化学工业联合会鉴定，该成果是国内己二酸行业氧化亚氮减排自主技术的首次工业化应用，填补了国内精己二酸氧化亚氮减排自主技术的空白，技术整体达到国际领先水平。

重庆同辉科发气体有限公司以重庆华峰化工有限公司精己二酸尾气为原料，采用现代组合净化及分离工艺，通过“氮气膨胀制冷+低温精馏”工艺，将尾气中氧化亚氮提纯并液化，生产合格的电子级氧化亚氮产品。纯化塔再生气返回到精己二酸装置废碱焚烧系统进一步处理后排放，氧化亚氮回收率约 70%，2022 年产能突破 3 万吨/年电子级氧化亚氮产品的规模。第二套电子级氧化亚氮产品项目正在建设中，规划要达到 10 万吨/年电子级氧化亚氮产品的规模。该电子气广泛应用于半导体芯片、液晶显示器面板、薄膜太阳能制造、食品添加剂等领域。

以上两项技术分别是将氧化亚氮进行催化分解为氮气和氧气及将氧化亚氮废气资源化利用生产高品质的电子气，两项技术均已成功工业化运行，为助力国家实现“双碳”目标和非二氧化碳温室气体减排提供重要技术解决方案。

2 国内外标准资料

1) 国内外标准资料

国家标准 GB / T 32151.10-2023《碳排放核算与报告要求 第 10 部分：化工生产企业》对精己二酸排放核算方式进行了规定，但针对精己二酸行业减排技术并没有相关导则或标准。

精己二酸行业氧化亚氮减排技术规范，无相关行业标准、地方标准、团体标准和企业标准；未见国外有相关精己二酸氧化亚氮减排技术规范的国际、国外或地区标准的报道。

2) 采标情况

目前未收集到近十年的国外同类生产企业氧化亚氮减排的相关标准，本次制定无标可采。

二、 主要工作过程

1 起草阶段（2025. 1~2025. 3）

①起草工作组

2025 年 1 月全国化学标准化技术委员会无机化工分技术委员会同重庆华峰化工有限公司、国内精己二酸生产企业成立了国家标准制定起草工作组，各成员单位认真查阅了国内外标准及有关技术资料，并向生产、使用单位发函，进行调查并广泛征求对制标的意见，在此基础上编制了文献小结及工作组讨论稿。起草工作组由中海油天津化工研究设计院有限公司、重庆华峰化工有限公司、中石油辽阳石化研究院、重庆同辉科发气体有限公司、神马尼龙化工有限责任公司、中国石油和化学工业联合会等多家单位组成。

②分工情况

起草工作组组织单位（中海油天津化工研究设计院有限公司）主要负责标准制定工作总体协调，及资料收集、编写文献小结、组织召开标准工作会议、提出工作方案、收集相关统计数据、编写标准各阶段草案、编制说明及相关附件等工作。

重庆华峰化工有限公司及其他起草工作组成员单位主要负责对制定国家标准提出建议和意见，收集、统计各企业生产过程中实际的减排情况，商讨确定标准中的具体减排技术和装备等内容。

③调查研究过程

起草工作组根据下达的对《精己二酸行业氧化亚氮减排技术指南》国家标准的制定计划，首先查阅了国内外标准及有关技术资料，并向生产、使用单位发函，进行调查并广泛征求对标准制定工作的意见，在此基础上提出了文献小结。2025 年 3 月在天津召开了国家标准制定工作方案会，会上生产单位就各自的生产工艺、减排技术等情况进行了介绍。与会代表就此标准的主要内容进行了深

入、细致的讨论，提出了工作方案，并对各项工作任务及工作进度做了详细的安排。

本次标准制定的重点是标准适用范围，同时根据目前我国精己二酸生产企业氧化亚氮减排技术应用情况，提出相应的减排技术指南。由于受生产工艺所限，近年来生产过程中减排技术在各企业的推广应用水平各不相同。因此，通过本标准制定，提出一些切实可行技术，指导企业提升氧化亚氮的减排技术推广应用。

2、标准征求意见阶段（2025.5~2025.7）

1) 广泛征求意见

在起草阶段工作基础上，2025年6月，标准修订小组根据前期工作情况，由负责起草单位起草了标准的征求意见稿及编制说明。向无机化工分技术委员会的委员、生产、使用及检验机构等单位发送了电子文件征求意见稿及编制说明，并在网上（www.trici.com.cn）公开征求意见。

2) 意见的反馈与处理

发送征求意见稿的单位数 一个，收到征求意见稿后回函单位数 一个，收到征求意见稿后回函并有建议或意见的单位数 一个，没有回函的单位数 一个。对收到的意见全部进行处理，处理意见详见意见汇总处理表。

三、标准编制原则及确定国家标准主要内容

（一）编制标准的原则和依据

1 标准编制原则

制定标准时尽可能地做到简化、统一、协调、优化；既要考虑其先进性，也要考虑其实用性、可行性；既要符合国内外发展的需要，也要结合国内目前产业的实际状况。

- 符合国家的政策，贯彻国家的法律法规；
- 充分考虑使用要求；
- 简化、择优和通用互换；
- 技术先进、经济合理；
- 从全局出发，考虑各方的综合效益。

2 编制标准的依据

本标准的制定是以相关标准为基础，按 GB/T1.1-2020《标准化工作导则第1部分：标准的结构和编写》。

GB/T 14600 电子工业用气体 氧化亚氮

GB 31571 石油化学工业污染物排放标准

GB/T 31587 蜂窝式烟气脱硝催化剂

GB/T 32151.10 碳排放核算与报告要求 第10部分：化工生产企业

GB/T 34060 蒸汽热量计算方法

HJ 75-2017 固定污染源烟气（SO₂、NO_x、颗粒物）排放连续监测技术规范

HJ 76 固定污染源烟气（SO₂、NO_x、颗粒物）排放连续监测系统技术要求及检测方法

ISO 21258 固定源排放 一氧化二氮（N₂O）的质量浓度的测定 参考方法：非色散红外法（Stationary source emissions—Determination of the mass concentration of dinitrogen monoxide（N₂O）—Reference method: Non-dispersive infrared method）

生产企业实际氧化亚氮减排技术应用情况。

（二）确定国家标准主要内容的论据

1. 己二酸生产工艺

己二酸是一种重要的有机二元酸，分子式 $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$ ，即 $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_4)$ ，易升华，微溶于水，可溶于丙酮，易溶于大多数醇、醚等有机溶剂。己二酸是工业上最有应用价值的脂肪族二元羧酸，主要应用于制备尼龙 66 盐和聚氨酯等产品。此外，己二酸还可用于生产润滑剂，食品添加剂，粘合剂等产品。

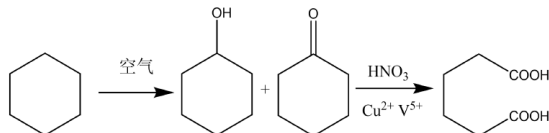
美国杜邦公司于1937年开始利用苯酚法工业化合己二酸，60年代，开发出以苯为原料的环己烷氧化法生产己二酸。80年代，日本旭化成公司对环己烷法进行了改进，又开发出一种新工艺：环己烯水合法生产己二酸。该工艺同环己烷法相比，只是在第一步制取环己醇/环己酮的工艺路线不同，但第二步都是通过硝酸氧化环己醇/酮制备己二酸。

1) 苯酚法

己二酸工业化生产最初采用的是煤焦油中的苯酚作为原料，苯酚加氢合成环己醇，再硝酸氧化制成己二酸。苯酚法制环己醇具有能耗低、选择性高等特点，产品纯度高，生产技术非常成熟，但是由于苯酚的资源有限，且价格比较高使己二酸的生产成本高。苯酚制环己醇逐渐被环己烷制环己醇路线所取代，苯酚法制己二酸工艺路线也被逐渐取代。

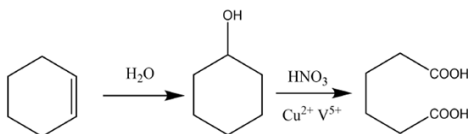
2) 环己烷氧化法（苯完全氢化KA油硝酸氧化法）

环己烷法是目前国内外生产己二酸所采用的主要方法，环己烷法以环己烷为原料，经过两步制取己二酸。第一步环己烷通过空气氧化合成环己醇和环己酮的混合物，再使用硝酸作氧化剂，使用含有铜和钒的催化剂，在 $60\sim 80^\circ\text{C}$ 、压力 $0.1\sim 0.9\text{MPa}$ 条件下，将环己醇/酮进一步氧化得到己二酸。该工艺技术成熟，应用广泛，但是该工艺具有硝酸腐蚀设备，工艺流程长等缺点。



3) 环己烯水和法（苯部分氢化环己醇硝酸氧化法）

环己烯法是继环己烷法后开发出的一种新工艺，该工艺技术于1990年实现工业化生产。工业上使用环己烯法制备己二酸同样分为两步，第一步环己烯与水发生水合反应生成环己醇，第二步是环己醇被硝酸氧化生成己二酸。该工艺产品质量好，产品纯度高，反应均在液相中进行，反应条件温和，但与环己烷法相比，第一步所使用的催化剂成本较高。



4) 丁二烯法

以上三种工艺在制备己二酸过程中均使用硝酸作为氧化剂，但反应过程中产生“三废”污染环境。因此，国外多家公司研发出用丁二烯为原料制备己二酸。丁二烯的优点是：原料易得，避免硝酸氧化，

不产生污染环境的废物，丁二烯法可经过如下工艺路线合成己二酸：丁二烯氢氰化法，丁二烯氢羰基化法。但目前两种工艺均处在研发阶段，不具备工业生产条件。

5) 生物法

目前工业制取己二酸所需的原料主要来源于石油，近年来，研究者发现，利用生物酶催化葡萄糖可以合成己二酸。该工艺的优点有：原料丰富，反应条件温和，制取过程中不产生污染物等，但目前该技术还不成熟。

环己烷法和环己烯路线是两种主流工艺，代表了当今世界己二酸生产的先进水平。在原料成本方面，环己烯工艺生产的己二酸比环己烷工艺生产具有一定的优势，是国内己二酸生产企业所采用的主要工艺。

2. 标准范围

根据目前国内主流的精己二酸生产工艺，我们确定标准中氧化亚氮减排所涉及的精己二酸生产工艺为环己烷和环己烯法，所以标准范围为：

本文件提供了精己二酸行业氧化亚氮减排的工艺及设备、监测设备及数据要求、检测方法、减排效果评估。

本文件适用于以环己烷法或环己烯法生产精己二酸产品的生产企业采用催化分解法对氧化亚氮尾气的减排治理，也同样适用于氧化亚氮气体生产企业对该尾气的资源化利用。

3. 术语定义

为更好的理解标准的内容，标准中引入了如下术语定义，分别是氧化亚氮、环己烷法、环己烯法、原料气、过程气、选择性催化还原反应器。

4. 氧化亚氮减排工艺

4.1 总则

标准中提出企业可根据减排技术要求、项目投资、工程占地、技术经济性等因素综合分析，并结合企业的实际情况选择减排工艺。遵循生产过程的全流程控制，在满足技术的经济性、安全的可靠性的前提下进行氧化亚氮的减排。企业可根据精己二酸生产工艺采取使用高效催化剂（如钒、铜催化剂等）、控制反应温度（70℃~90℃）、使用稀硝酸（50%~60%）、控制环己酮/环己醇与硝酸的摩尔比（4.6~4.8:1）、分阶段氧化等措施减少生产过程中 N₂O 的生成。标准中还提出减排技术不仅局限于本文件所述方法，企业可根据实际情况开发新技术、新方法。减排后的尾气排放应满足国家或地方的环保要求。

4.2 减排工艺介绍

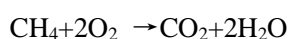
精己二酸生产过程中的氧化亚氮的处理工艺实现工业化的主要有两种，分解法和资源化利用。其中分解法又分为热分解法、催化分解法。资源化利用法是将尾气中的氧化亚氮作为资源生产氧化亚氮电子气，进行资源化利用。

A. 分解法

a) 热分解法

是将 N₂O 和燃料气(如甲烷)一起送入热分解反应炉中进行燃烧，在温度为 1200℃~1500℃条件下，N₂O 和 CH₄ 经过还原和分解反应生成 N₂、O₂ 和 NO。主要反应如下：

(1) 还原





(2) 分解

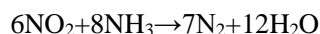
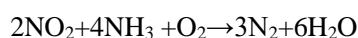
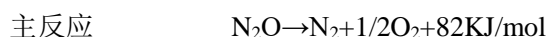


该方法的优点是可进一步通过对产生的 NO 进行氧化、水吸收回收一部分硝酸；可由燃烧反应炉发生蒸汽。缺点：消耗大量的煤炭燃料通过燃烧方式获得充足的热量，反应温度高，反应产生温室气体 CO₂，其仍为控制排放的温室气体。

b) 催化分解法

利用催化剂在固定床反应器中进行分解反应，反应温度一般在 400℃~800℃，在催化剂的作用下氧化亚氮分解为含有 N₂、O₂、NO、NO₂ 等高温混合气，高温混合气应经过换热降温、副产蒸汽等进行热量回收，进入 SCR 反应器，SCR 反应器中通入 NH₃ 可同尾气含有的 NO₂、NO 反应生成 N₂ 和 H₂O。

催化分解反应如下：



这方法的优点是反应温度相对较低，反应条件相对平和，流程简单，操作和维护简单、可靠；减排率高，减排效果好；不消耗燃料，不产生 CO₂ 等温室气体；占用场地小。这项技术的缺点是更换催化剂的时间间隔较短（一般为 1~2 年），催化剂贵，成本高。

综合比较，热分解法和催化分解法，催化分解技术工艺过程简单，工艺条件相对温和，技术可靠，装置运行周期长，可与现有精己二酸装置同步长周期运行，不会再生成温室气体，占地少，操作便利利于长周期运行，所以目前国内均采用催化分解法，所以本次制定标准将对催化分解法减排氧化亚氮进行推荐。

B. 资源化利用

因氧化亚氮化学性能非常稳定，可广泛应用在半导体芯片、液晶显示器面板、薄膜太阳能制造等领域。采用净化分离技术将 N₂O 废气再利用，生产电子级 N₂O 产品，不仅可为电子行业提供优良的、充足国产特种气体，还可为精己二酸行业的减排提供一条新路径。该方法是对精己二酸原料气进行预处理，除去气体中的酸水、水分等后，经压缩冷却进入净化系统，再经液化精馏提纯得到高纯的液化气体，该气体符合 GB/T 14600 《电子工业用气体 氧化亚氮》的要求。

该工艺的优势是可将废气中的 N₂O 回收利用，一方面减少 N₂O 的排放，降低了温室气体对环境的影响；另外回收的 N₂O 可作为电子气 N₂O 的原料，生产高值化、精细的电子气产品，工艺由于其成本较低、生产工艺更绿色环保，正在逐步占据氧化亚氮产品大部分市场，变废为宝，减少了资源的浪费，为企业创造新的额外收益，从成本上为减排技术的可行持续发展提供新路径。国内的

重庆华峰与重庆同辉、河南神马与金宏气体等己二酸企业和气体企业均开展了相关的合作，为资源化利用打下良好的基础。

综上所述，本次制定标准将采用催化分解法和资源化利用作为减排工艺技术进行描述。

4.3 减排工艺及设备

4.3.1 催化分解法

4.3.1.1 工艺描述

原料气与空气混合，形成氧化亚氮含量8%~15%的过程气。过程气经加热（开车时电加热，其他时候通过气气换热）达到催化剂活化温度后进入催化剂床层，在催化剂的作用下分解为 N_2 、 O_2 ，含有 N_2 、 O_2 、 NO 、 NO_2 等高温混合气经换热后与一定浓度的 NH_3 混合一同进入SCR脱硝反应器，在催化剂的作用下尾气中的 NO_2 、 NO 反应生成 N_2 和 H_2O ，高温气体宜进行热量回收，副产蒸汽或通过其他方式充分利用其热能，氮氧化物处理达标后高空排放。其工艺示意图见图1。

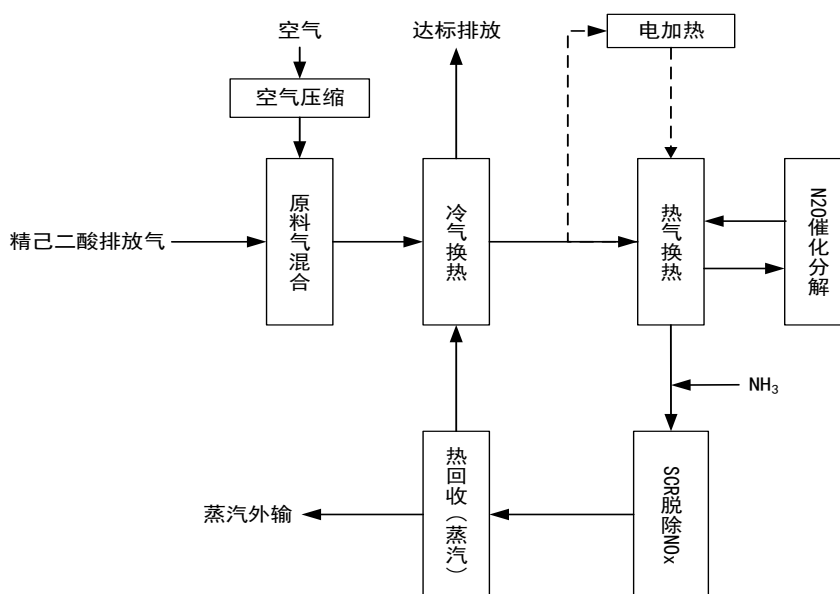


图1 催化分解法减排氧化亚氮工艺简图

4.3.1.2 过程控制

进入反应器的原料气中 N_2O 浓度是催化分解反应重要的控制条件。进气浓度应控制在一定的范围内，不宜过大也不宜过小，工艺中一般采用稀释后的空气与原料气混合后形成一定浓度的过程气，过程气中 N_2O 含量根据催化剂性能调整。标准中给出了原料气中氧化亚氮的浓度宜控制在 25 %~55 %。原料气经空气稀释后形成过程气，推荐控制在 8 %~15 %。

过程气在初始开车前需由加热器升温至催化剂的活化温度，正常运行后，过程气加热所需热量可由反应热进行换热升温。标准中给出了进入分解反应器温度可控制在 350 °C~550 °C，出分解反应器温度可控制在 600 °C~1000 °C。

气体换热达到 SCR 反应器脱硝催化剂的反应温度后，与氨气一同进入 SCR 反应器，将 NO_x 分解成 N_2 和 H_2O ，使处理后的 NO_x 排放浓度符合 GB 31571 标准的要求或严于该国标的地方标准的要求。目前国家尚未对尾气的排放温度有强制要求，从节能角度考虑，标准推荐经过热量回收，尾气的排放温度宜控制在 60 °C 以下再进行排放。

4.3.1.3 催化剂

- a) N_2O 的分解率是催化剂活性的重要表征指标，是使用催化剂性能好坏的关键，标准中对于采用催化分解工艺，氧化亚氮分解率给出了推荐，即分解率推荐达到 90% 以上。
- b) 催化剂强度是催化剂的重要指标，标准中要求催化剂强度不低于 60N/cm；
- c) 催化剂的磨耗率是催化剂的另一重要指标，标准中要求催化剂磨耗率小于 5%；
- d) 催化剂压降是气体通过催化剂床层后的压力损失，此压降越小越好，否则会影响整个生产工艺的压力要求，标准中要求催化剂压降应不超过 80kPa。

4.3.1.4 设备

催化分解工艺涉及的主要设备为电加热器、催化分解反应器、SCR 反应器，是标准中给出了这三个设备的主要作用和相关的要求。

4.3.2 资源化利用

4.3.2.1 工艺描述

精己二酸生产尾气经水洗除去酸水、 NO 、 NO_2 后，经脱盐水洗涤得到过程气，原料气经压缩机加压分离器除去水分后进入净化系统，经脱碳吸附塔用 N-甲基二乙醇胺溶液（MDEA 溶液）除去大部分 CO_2 ，然后 MDEA 溶液进入再生塔加热再生循环使用。过程气经洗涤塔除去剩余的 CO_2 ，然后进入装有多级分子筛的干燥塔脱去气体中的水分，进入液化精馏提纯工序，采用多级精馏除去液体中的轻组分和重组分，最后在精馏塔出口得到高纯液化的成品气进入成品储罐。流程简图见下图：

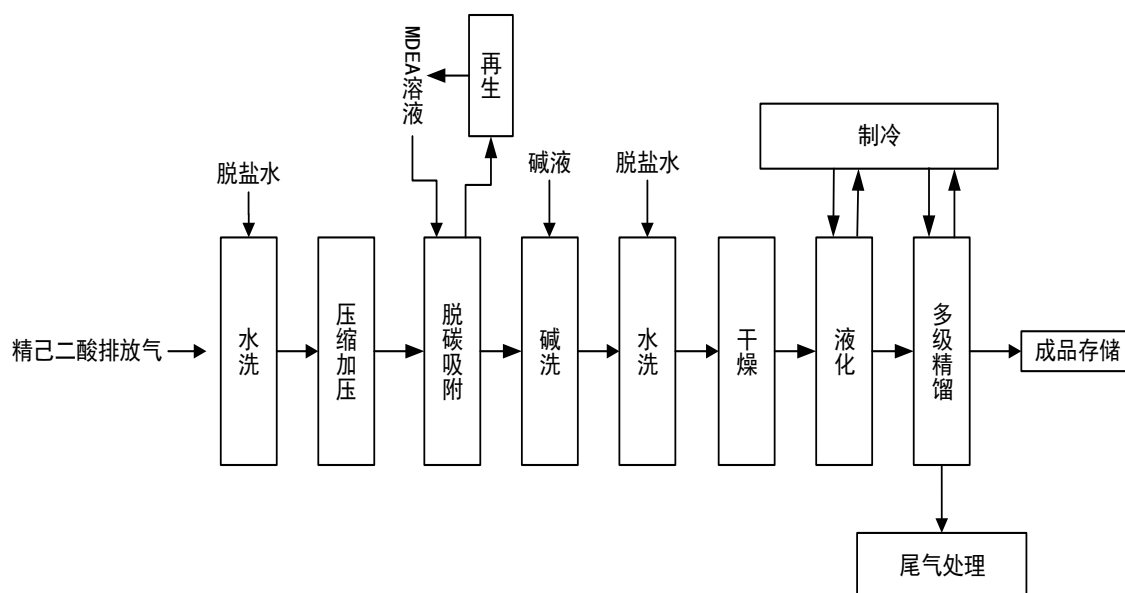


图 2 资源化利用工艺简图

4.3.2.2 过程控制

- 1) 己二酸生产过程中产生的尾气主要含 N_2O 、 CO 、 NO_x 、 H_2O 及少量的有机物等，水洗塔的作用是用脱盐水洗涤除去气体中的酸水。

- 2) 原料气经过无油压缩机逐级加压，压力提高到 1.8 MPa~2.3 MPa，压缩加压是生产电子气的一个重要的步骤，通过压缩加压，可以提高尾气中 N_2O 的分压，使其在后续的冷凝、精馏等分离过程中更容易被分离和回收，从而提高 N_2O 的回收效率。
- 3) 压缩过程中，气体温度会显著升高。水冷可以降低气体温度，减少腐蚀性气体的活性，从而降低设备腐蚀的风险。
- 4) 脱碳吸附塔采用 MDEA 溶液进行 CO_2 的吸收，溶液的浓度宜控制在不小于 40%，采用该溶液的优势是：脱碳效率高、化学性质稳定、腐蚀性低、再生能耗低。
- 5) MDEA 溶液再生温度不低于 80°C ，可确保碳酸氢盐充分分解，避免残留 CO_2 影响脱碳效率，减少热稳定性盐积累和设备腐蚀风险。
- 6) 过程气干燥后水分的控制直接影响后续尾气的资源化利用效果，干燥后的尾气中水分体积分数需控制在 1ppm 以下，以满足笑气提纯的要求。
- 7) N_2O 的沸点为 -88.5°C ，在标准大气压下，需将温度降至 -88.5°C 以下才能液化，而其他杂质气体（如 CO_2 、 O_2 、 N_2 ）仍保持气态，便于通过精馏塔分离。
- 8) 精馏塔塔顶温度控制（ $-50^\circ\text{C}\sim-70^\circ\text{C}$ ） N_2O 的沸点为 -88.5°C ，通过加压（1.6~2.2 MPa）可降低其液化温度至 $-50^\circ\text{C}\sim-70^\circ\text{C}$ 范围，实现高效冷凝。塔釜温度设置在 $50^\circ\text{C}\sim 100^\circ\text{C}$ ，可有效蒸发这些重组分，避免其积累在塔内影响分离效率。压力控制（1.6 MPa~2.2 MPa），加压可显著降低 N_2O 的液化温度（如 2 MPa 下液化温度为 -55°C ），减少冷凝能耗，同时提高塔顶冷凝效率。底部温度控制（ $-40^\circ\text{C}\sim-65^\circ\text{C}$ ），确保回流液过冷，减少不凝气携带。

4.3.2.3 设备

水洗塔的主要作用是通过喷淋洗涤水去除废气中的颗粒物、酸性气体（如 NO_2 ）及其他易溶于水的杂质，由于水洗塔长期处于潮湿环境，且可能接触腐蚀性介质，因此要求水洗塔采用耐腐蚀材质（如 PP、FRP 或 316L 不锈钢等）。

碱洗塔主要用于处理酸性气体（如 CO_2 ）通过喷淋碱液中和酸性气体达到净化废气的目的，所以碱洗塔应能抗碱液腐蚀，采用如 PP、胶碳钢、聚四氟乙烯等材质。

洗涤塔内部应设置合理的填料层或塔板，以增加气液接触面积和接触时间，提高洗涤效果。碱液塔设置除雾器防止碱液雾沫夹带，还需设置碱液循环系统，定期排放废液避免结晶堵塞。

精馏塔用于分离混合物，通过精馏过程将混合物中的不同组分分离，精馏塔的材质选择耐高压和耐腐蚀材质，应采用耐低温性能好、强度高的材料（如 304、316 不锈钢）。

5. 监测设备及数据要求

为保证氧化亚氮减排效果的真实、准确体现，标准中对监测设备提出了基本要求、配制要求和安装要求。标准中给出了催化分解和资源化利用监测设备的安装位置示意图。河南神马对于监测仪表测定原料气和过程气不同对于分解率的差异进行了对比，从数据汇总情况看，监测设备监测原料气或过程气中 N_2O 的浓度，对于后续计算中的分解率的结果不会产生很大的影响，具体数据见下表。标准中给出了对于监测、监测数据的质量要求，并给出了数据的报表模板。

表 2 监测仪表安装位置对减排率影响的试验数据

序号	进料浓度 N ₂ O(%)	进料稀释浓度 N ₂ O(%)	放空浓度 N ₂ O(ppm)	用稀释前计算 减排率 (%)	用稀释后计算 减排率 (%)
1	37.49	8.52	1063	99.92	99.98
2	38.31	8.87	952	99.93	99.98
3	37.26	8.12	1005	99.92	99.97
4	35.28	8.7	894	99.94	99.99
5	41	7.67	815	99.93	99.97
6	42.36	9.62	964	99.86	99.92
7	41.96	9.14	657	99.91	99.97
8	37.92	8.36	1206	99.93	99.98
9	38.23	8.34	58	99.94	99.99
10	37.59	9.01	603	99.95	99.99
11	38.64	8.56	714	99.82	99.9
12	38.81	6.43	992	99.86	99.95
13	41.79	7.93	134	99.9	99.88
14	36.73	9.17	1173	99.91	99.97
15	42.72	8.05	1104	99.93	99.97
16	31.85	5.64	952	99.91	99.94
18	41.28	7.88	870	99.92	99.97
19	35.13	6.97	763	99.88	99.92
20	35.13	6.97	763	99.87	99.91

6. 检测方法

目前国内尚未出台固定污染源中氧化亚氮含量的测定方法的国家标准和行业标准，目前国际标准有 ISO 21258《固定源排放 一氧化二氮 (N₂O) 的质量浓度的测定 参照法：非色散红外法》，标准中规定采用 ISO 的方法进行测定。另因目前国内外氧化亚氮的监测技术发展方兴未艾，如应用广泛的非分散红外光谱法 (NDIR)、傅里叶变换红外 (FTIR)、气相色谱法 (GC)、化学发光法 (CLD)、光腔衰荡光谱 (CRDS)、量子级联激光技术 (QCL) 等等，所以考虑到检测技术的进步和发展，标准中提出也可采用其他合适的方法。

7. 减排效果评价

7.1 催化分解

因精己二酸的减排装置是处于精己二酸生产装置的排放尾端单独建立，所以其减排效果的评价可以通过实测的方式进行计算，而且通过实地测量，可以获得催化分解装置进出口处 N_2O 的浓度，直接计算出实际的分解率和减排量，数据准确且具有说服力，所以本次制定标准在减排效果评价中以实测的数据为依据计算减排效果。排放量基准线为进入减排装置前的精己二酸排放气中氧化亚氮的碳排放量，减排装置的碳排放量为出减排装置的排放尾气中的氧化亚氮的排放量加上减排装置运行所消耗的电力产生的碳排放量再扣除减排装置运行副产的蒸汽外输所对应的碳排放量，标准中均给出了具体的计算方法。

7.2 资源化利用

氧化亚氮资源化利用的减排效果以资源化利用率来衡量，标准中规定资源化利用率宜不低于 90 %。标准中给出了资源化利用率的计算方法。

四、 主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果

N_2O 温室效应为 CO_2 的 273 倍，且在大气中存留 150 年，华峰单套 18 万吨己二酸装置年处理 N_2O 4.82 万吨，相当于减排 1315 万吨 CO_2 ，若中国 50% 己二酸产能（2030 年预计 600 万吨）应用该技术，年减排 N_2O 为 80 万吨，相当于减少 2.19 亿吨 CO_2 ，显著减少了温室气体的排放。高纯 N_2O 资源化利用可将尾气中的 N_2O 提纯至电子级，用于半导体制造、光伏面板、火箭推进剂等高附加值领域。同辉科发采用净化分离技术将 N_2O 废气再利用，目前已达到 3 万吨/年电子级 N_2O 的生产规模，该技术不仅可为电子行业提供优良的、充足国产特种气体，还可为精己二酸行业的减排提供一条新路径。

己二酸 N_2O 的减排技术将环保压力转化为发展动能，实现了“负能耗、正收益”的创新模式，催化分解减排过程释放的热能可副产蒸汽用于外输。例如华峰集团的 N_2O 低温催化分解技术，单套装置每小时产蒸汽 5.7 吨，年收益超 300 万元；通过资源化利用（生产电子级气体）重庆同辉科发的电子级氧化亚氮国内占有率 60% 以上，产量第一，显著提升企业竞争力；这两种工艺均大幅削减温室气体的排放，助力国家“双碳”目标的实现。

另外将遏制国外企业“卡脖子”条款，中国精己二酸在全球市场占有率超过 65%，年出口量超 40 万吨，欧美企业在采购我国精己二酸的同时，捆绑推广其减排技术和催化剂，虽非强制性的，但不利于国产减排技术和催化剂的发展和工业化进程。本标准的制定，将推动国产减排技术和催化剂的工业化应用和推广，打破国外企业在减排技术的垄断和催化剂产品的捆绑销售。

五、 采用国际标准和国外先进标准的程度，以及与国际、国外同类标准水平的对比情况

（一）采用国际标准和国外先进标准的程度

2023 年全球精己二酸产能约 596 万吨，中国产能约 386 万吨，占比 65%，中国是精己二酸生产和消费大国，尚未检索到针对精己二酸行业减排技术方面的国外标准。因此，本次制定标准无国际、国外标准可以采纳。

（二）与国际、国外同类标准水平的对比情况

尚未检索到同类的国际、国外标准。

（三）水平分析

通过本标准的制定，氧化亚氮减排技术的推广应用将引领精己二酸行业的发展，使企业遵循绿色发展理念，在淘汰落后产能，促进行业结构优化和转型升级，也是贯彻我国实施科学发展观、能源再生利用、保护环境、构筑和谐社会的一项重要工作。

综合分析，本标准中提出的相关碳减排措施及技术的有效性和实用性在相关企业已得到了印证和应用，并取得了相对显著的节能降碳效果，为今后行业节能降碳技术措施的提升、改造奠定基础。标准总体水平达到国内先进水平。

六、与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

与现行相关法律、法规、规章及相关标准无冲突。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

无重大分歧。

八、国家标准作为强制性国家标准或推荐性国家标准的建议

建议作为推荐性国家标准。

九、贯彻国家标准的要求和措施建议

建议尽快发布实施本标准。建议标准实施后组织标准宣贯，使相关单位了解标准内容，促进标准顺利实施。

十、废止现行有关标准的建议

无。

十一、公平竞争审查说明

标准制定过程没有限制或者变相限制市场准入和退出、没有限制或者变相限制商品要素自由流动，没有影响经营者生产经营成本、没有影响经营者生产经营行为。本标准经审查不存在违反《公平竞争审查条例》规定的内容。

十二、其他应予说明的事项

无。

附件 1

重庆华峰氧化亚氮催化分解数据记录表

日期	时间	原料气中 N ₂ O 浓度 %	进入分解装置 原料气流量 m ³ /h	进入分解装置 N ₂ O 浓度 %	进入分解装置 过程气流量 m ³ /h	出分解装置的 N ₂ O 浓度 %	出分解装置的 NO _x 浓度 mg/m ³	出分解装置尾 气流量 m ³ /h	氧化亚氮分解 率%
2025.5.6	9:00	35.53	11887	9.49	34336	0.48	4.5066	10432	98.748
2025.5.7	9:00	33.22	11965	9.03	34200	0.56	7.8603	10444	98.421
2025.5.8	9:00	34.32	12576	9.63	34041	0.51	6.2093	11150	98.593
2025.5.9	9:00	33.75	12754	9.58	34000	0.52	5.7911	11252	98.555
2025.5.10	9:00	34.37	12603	9.58	34443	0.51	10.629	11254	98.565
2025.5.11	9:00	34.70	12365	9.50	34709	0.53	6.376	11007	98.55
2025.5.12	9:00	35.59	12248	9.74	34294	0.51	6.6064	10959	98.6
2025.5.13	9:00	34.89	12291	9.65	34018	0.53	7.6116	10999	98.511
2025.5.14	9:00	34.79	12645	9.77	34290	0.54	6.0488	11249	98.486
2025.5.15	9:00	35.24	12406	9.74	34420	0.55	5.9656	11111	98.466
2025.5.16	9:00	35.39	12362	9.79	34250	0.55	6.3681	10992	98.489
2025.5.17	9:00	35.44	12321	9.78	34290	0.56	6.8689	11018	98.453
2025.5.18	9:00	35.93	12100	9.79	34319	0.58	7.4672	10701	98.498
2025.5.19	9:00	36.51	11913	9.81	34440	0.57	6.3379	10406	98.521
2025.5.20	9:00	36.79	11786	9.86	34126	0.55	7.1068	10536	98.55

安徽昊源化工集团有限公司氧化亚氮催化分解数据记录表

日期	时间	原料气中 N ₂ O 浓度 ppm	进入分解装置 原料气流量 m ³ /h	进入分解装置 N ₂ O 浓度 ppm	进入分解装置 过程气流量 (kg/h)	出分解装置的 N ₂ O 浓度 ppm	出分解装置的 NO _x 浓度 mg/m ³	出分解装置 尾气流量 (kg/h)	氧化亚氮 分解率 %
6 月 17 日	12:00	423580	6756.5	103240	41878	1930.5	40.480	42222	97.968
6 月 18 日	12:00	424460	6366.5	98570	44121	4230	28.29	42855	96.23
6 月 19 日	12:00	423850	6748.5	98270	42690	4479	39.580	43974	95.651
6 月 20 日	12:00	415830	6441	101910	41628	2330	27.67	42882	97.452

中国石油辽阳石化公司氧化亚氮催化分解数据记录表

日期	时间	原料气中 N ₂ O 浓度 %	进入分解装置 原料气流量 Nm ³ /h	进入分解装置 N ₂ O 浓度 %	进入分解装置 过程气流量 Nm ³ /h	出分解装置的 N ₂ O 浓度 ppm	出分解装置的 NO _x 浓度 mg/m ³	出分解装置尾 气流量 Nm ³ /h	氧化亚氮分解 率%
2024 年 6 月 16 日	10:00	47.37	2826	12.18	8873	4880	10.2	13143	95.21
2024 年 6 月 17 日	10:00	47.11	2802	11.79	8855	5922	10.2	13360	94.01
2024 年 6 月 18 日	10:00	48.82	2696	12.03	8974	3216	10.2	13295	96.75
2024 年 6 月 19 日	10:00	46.00	2728	11.57	8884	3574	10.2	13252	96.23
2024 年 6 月 20 日	10:00	46.81	2764	11.78	9082	3339	10.2	13492	96.52
2024 年 6 月 21 日	10:00	47.25	2740	12.02	8615	3748	10.2	13011	96.23
2024 年 6 月 22 日	10:00	47.46	2761	11.84	9037	5474	10.2	13778	94.24
2024 年 6 月 23 日	10:00	47.42	2793	12.21	9141	9299	10.2	13662	90.41

河南神马尼龙化工有限责任公司氧化亚氮催化分解数据记录表

日期	时间	原料气中 N ₂ O 浓度 mg/m ³	进入分解装置 原料气流量 m ³ /h	进入分解装 置 N ₂ O 浓度 mg/m ³	进入分解装置 过程气流量 m ³ /h	出分解装置的 N ₂ O 浓度 ppm	出分解装置的 NO _x 浓度 mg/m ³	出分解装置尾 气流量 m ³ /h	氧化亚氮分解 率%
2024.06	平均值	7599.82	6732.5	1851.73	26145	958.52	30.7	26238	98.983
2024.07	平均值	7921.96	7000.5	2292.32	24378	1656.6	26.5	27683	98.725
2024.08	平均值	7811.96	6506.0	1976.07	24034	1270.7	39.5	24892	98.811
2024.09	平均值	7057.68	6235.3	1809.11	24890	716.9	41.8	24375	99.262
2024.10	平均值	7719.64	6982.1	1830.71	25642	1332.4	42.2	26891	99.018
2024.11	平均值	7967.14	7008.2	1820.89	26315	975.6	30.6	27369	99.324
2024.12	平均值	7560.54	6328.4	1834.64	25024	733.9	29.5	26128	99.607
2025.01	平均值	7776.61	6823.5	1934.82	26412	1063.6	36.7	27023	99.269
2025.02	平均值	7872.86	6876.5	1913.21	26038	1270.6	30.5	27089	98.413
2025.03	平均值	7837.50	6834.2	1858.21	25860	1032.5	38.3	27102	98.946
2025.04	平均值	7753.04	6785.5	1968.21	25697	1699.2	48.6	27004	98.322
2025.05	平均值	7880.71	6793.4	1942.68	26022	1356.2	46.3	27056	98.761

附件 2

重庆同辉科发气体有限公司资源化利用数据记录表

日期	时间	进入资源化装置 N ₂ O 浓度 ppm	进入资源化装置原 料气流量 m ³ /h	资源化装置产品 N ₂ O 浓度 ppm	资源化装置产品 N ₂ O 气体流量 m ³ /h	出资源化装置尾气中 N ₂ O 浓度 ppm	氧化亚氮利用率 %
2025.01.12	23:00	423700	4996.12	999995	2015.46	34018	95.21
2025.01.13	23:00	406800	5203.78	999995	2042.17	23636	96.47
2025.01.14	23:00	411200	5148.25	999995	2020.00	30994	95.42
2025.01.15	23:00	429300	4931.02	999995	1960.03	52798	92.59
2025.01.16	23:00	415900	5089.94	999995	1923.21	61166	90.85
2025.01.17	23:00	402700	5256.99	999995	1962.87	46785	92.72
2025.01.18	23:00	421100	5027.18	999995	1917.32	64192	90.57
2025.01.19	23:00	408800	5178.41	999995	1952.02	51113	92.21
2025.01.20	23:00	417500	5070.43	999995	2023.34	30707	95.58
2025.01.21	23:00	426400	4964.62	999995	2028.85	29997	95.84
2025.01.22	23:00	413900	5114.60	999995	1954.78	51318	92.34
2025.01.23	23:00	405400	5222.09	999995	1991.92	38734	94.09
2025.01.24	23:00	420500	5034.19	999995	2021.40	31689	95.49
2025.01.25	23:00	419800	5042.50	999995	2033.44	27717	96.06
2025.01.26	23:00	401300	5275.00	999995	1974.18	43224	93.26

《精己二酸行业氧化亚氮减排技术指南》

国家标准起草小组 编制日期：2025.6