 DOI: https://doi.org/10.12349/mit.v3i1.10721

Research on Performance Evaluation of Local Ventilation and Dust Removal Protection Systems in Mine Underground Operations

Xiaojun Yang

Shanxi Zhongcheng Anxin Safety Technology Co., Ltd., Changzhi, Shanxi, 046000, China

Abstract

Significant amounts of dust are generated during underground mining operations, including tunneling, extraction, and material handling. Dust pollution exacerbates hazardous working conditions, severely compromises miners' occupational health, and poses a high risk of dust explosion incidents, posing serious threats to mine safety. Local ventilation and dust removal systems play a critical role in dust control, with their operational effectiveness directly impacting dust management outcomes and the quality of underground safety management. This study systematically summarizes the main types and applications of such systems in mine underground environments, identifies key challenges in their operation, maintenance, and applicability, and proposes targeted improvement measures to enhance efficiency. These efforts aim to optimize underground dust control systems and improve equipment performance, providing practical guidance for effective dust management, occupational health protection, and workplace safety in mining operations.

Keywords

underground mine; local ventilation; performance evaluation; dust control

矿山井下局部通风除尘防护设施效能评价研究

杨晓君

山西众诚安信安全科技有限公司，中国 · 山西 长治 046000

摘　要

在矿山井下掘进、采矿及转载等环节均会产生较多的粉尘。粉尘污染增加了井下作业环境的恶劣性，严重危害矿工的职业健康，并容易引发粉尘爆炸事故，严重威胁着矿山的安全生产。局部通风除尘防护设施对治理粉尘有着重要的作用，该设备运行效果直接影响着粉尘治理效果及井下安全管理的质量。本文基于矿山井下作业区域重点总结了局部通风除尘防护设施的主要类型及其应用意义，分析论述了目前该装置在运行、管理及适用性等方面存在的主要问题。针对这些问题提出了一系列提高效率的改善措施，以实现完善井下局部除尘防护体系和提升设备除尘效能的目的，为矿山井下粉尘治理、职业健康安全及安全生产提供实践指导。

关键词

矿山井下；局部通风；效能评价；粉尘治理

1 引言

粉尘污染在矿山井下极为严重，粉尘严重影响着矿工的身心健康，这给矿山的安全生产带来了巨大挑战。这种粉尘沉积速度快、沉积范围大、沉积时间长、不易处理等特点。通风系统在井下，这些局部通风除尘防护设施专为掘进工作面、巷道转载地点和临时作业点等粉尘聚集区服务，其作为粉尘处理与现场净化的关键辅助设备。基于矿井粉尘控制的紧急性，该研究致力于对局部通风除尘防护设施性能进行评估，以此来探明设施利用的不足，完善设施运行模式。这对改善矿山井下安全防护水平、满足职业健康防护要求具有重要的现实意义。

【作者简介】杨晓君（1983–），男，中国山西长治人，本科，工程师，从事职业病危害因素研究。

2 矿山井下局部通风除尘防护设施简介

2.1 核心设备的类型及其原理

局部通风除尘系统包括多种作用功能，即：局部通风，导风作用，隔绝粉尘、控制粉尘和净化除尘作用等，并针对井下条件，尤其是作业空间狭小及条件复杂多变进行综合设计。整个系统由三部分设施构成 [1]。协同工作共同完成局部粉尘治理。这个系统基本上是由排压入式通风机构成的。并采用柔性风筒及附壁风筒，调节巷道内气流，大大减少了作

业区中的粉尘浓度；控制粉尘在巷道内的广泛扩散，形成了基本设备。空气净化器它主要是干式与湿式除尘器，主要采用了过滤式、喷淋及吸附等方式，对含尘气体实现就地进行净化处理，将气体中微小粉尘及较粗大的颗粒物清除。使空气中的含量达到循环之要求的数值。辅助控尘设施，这一类别中包括有射流式风幕；隔离粉尘风筒及巷道挡尘设备。通过形成封闭性的风流屏蔽，将产生粉尘的作业场所同人和设备所在的巷道之间隔离。因此有效地抑制粉尘向外扩散，大大提高除尘效率。

2.2 设施主要功能指标

根据安全标准和井下作业环境，局部通风除尘防护装置在控制粉尘、消除粉尘、适应性、稳定等方面发挥了重要作用。这是评价局部防护性能指标。分析控制粉尘效果，本系统能够有效地将工作面粉尘在一定的区域进行控制，防止了无规则粉尘运动，保障作业者呼吸区空气的洁净；消除粉尘效果明显，在运行中能捕捉并沉淀工作中所产生的粉尘，有效降低了该区粉尘浓度；该装置具有很好的适应工况，它可适应掘进向前推进，设备移动，巷道变形等各种不同的作业条件，保证采掘工作的连续不断地进行；该装置具有良好的运行性和高效性，能够长时间稳定工作，故障率小，维修简便，并适用于潮湿、尘土飞扬、空间狭窄的地下复杂的作业场所。此装置整体防护性能全面又实用，各项指标均符合井下严苛的作业需求，它布局紧凑，不会占太多巷道空间，也不妨碍人员通行及器械操作，而且其操作模式简单易懂，一线人员可迅速掌握并投入使用，长时间运用之后，不但大幅优化井下作业环境，减轻粉尘造成的职业健康风险，还为井下安全生产构筑起牢固屏障。

3 矿山井下局部通风除尘防护设施使用中的主要问题

3.1 设备工况不适应，除尘效率低

在许多矿山的井下，除尘设备存在着“一刀切”现象，采用通用设备不能适应具体条件，造成严重的效果衰减。掘进中压入式风机通风系统的滥用，在一些作业中此设备可降低粉尘浓度却难以及时有效地清除高浓度粉尘堆积，并且粉尘容易在巷道内重复堆积并带来很大危险。对于临时小断面使用大功率设备造成了浪费，并且由于风流扰动太大使沉积尘易飞扬，污染加重 [2]。而风筒及风幕控尘设施以及通风参数未能根据巷道和掘进工作进程而改变，其固定的模式不适应动态工作场所的要求造成控尘效果差，并且粉尘扩散控制效果亦欠佳。

3.2 设备运维不当，低效运行。

在井下潮湿和多尘的环境下，除尘设施的磨损严重。而现场却普遍存在着只用不管的现象，对干式除尘器的过滤棉及滤网不进行清理、更换。造成粉尘淤塞，过滤系统不畅通，通风量和除尘效率大为降低。此时设备虽然工作着却不能有效除尘。湿式系统的喷淋管道及喷头经常被煤泥、积尘淤塞，缺乏维护和清理，造成喷淋分布不均匀、雾化效果不好，使细微呼吸性粉尘的捕获率降低。局部风机及风筒等经常发生破损、断口等问题。检查中仅重视其工作的状态，却忽视了诸如风量、风压以及风流的方向等性能指标，致使局部效果不好，粉尘稀释及排除能力持续下降。

3.3 设备配合不够，除尘系统不配套

井下除尘一般要通过风机通风和控尘以及净化装置的综合作用来实现。但是在实际操作中，往往是它们各自为政，其调控方式不能够形成有效的配合，很难构成一个除尘系统的回路。许多工作地点的通风、除尘设备在运行过程中，常常运行参数很不协调。风量过大，使形成的风幕控尘屏障被大风吹散，而造成含尘气流在巷道中的弥漫，风量过小，则降低了净化效率，且使含尘气体难以顺利地进入系统之中，造成除尘达不到理想的效果，在掘进及转载工作中，所产生的尘土与其设备运行之间步调不够一致，从而使设备经常处于运转状态，而在扬尘高峰期间又得不到应有的除尘强度，在低谷期则能源白耗，造成除尘精度不高、效果较差的情况。

3.4 人工作业不规范，人为降低设施性能

错误操作，也是限制除尘设备不能充分发挥作用的重要人为障碍之一。有些工人为了工作的便利，任意改变通风管道，拆除降尘设施和改变通风方向，破坏了原有风场及降尘体系，造成局部除尘系统失衡。由于对新工人缺少系统的操作训练，他们对新型除尘设备在不同条件下开、停车时间、数值调节及运行配合都不熟练，只能凭经验操作，不善于根据产尘情况适时灵活控制设备运转状态。在部分单位的小范围短时作业中，存在侥幸思想，为偷懒而擅自关闭设备的现象，并由此造成作业面粉尘浓度严重超标问题，形成粉尘公害。

4 提高矿山井下局部通风除尘防护设施效率的优化对策

4.1 准确适应工况，优化设备选型及布局

根据井下工作面情况的千变万化，采用各类不同工况下的个性化配置，杜绝了设备配置上的千篇一律和随心所欲。针对长大隧道施工，首选压、抽混合型长距离通风结合双径向风幕降尘的技术组合，打造“防于前端”、“通于中途”以及“洁于终端”的全方位系统控制模式，成功地将粉尘源与作业人员工作区隔离开来。在转载巷道口、临时作业地点等设置可移动式小型单元化吸尘装备，配合局部射流风幕技术，精细化实施除尘现场作业，成功避免了因气流搅动而产生的二次扬灰问题。考虑巷道断面及掘进率等因素影响，对风筒布置点位置、出口参数、装备布局方位灵活变换，不断改善并调整风流状态，使尘源控制与现场变化相一致 [3]。

4.2 健全运维机制，保障设备长期运行

编制周密、详细的设备维修和维护体系制度，建立完

善的设备巡检、维修、更换操作程序及时间安排。提高了设施的运行效率。制作了设备的维护分档表，将主要设备（通风机、除尘器、风幕等）分别管理分类。每天检查设备运行情况及风筒的完好性，以及喷头的通顺状况，对除尘滤网每周清理一次，对喷淋管道每周清理一次。不断地对设备进行全面地检查和调整优化参数，对磨损和受损部件进行及时的更换，建立设备性能档案，记录设备的运行时间和设备故障以及设备除尘性能的变化过程。详细追踪设备性能下降的趋势，并且及时预见到危险并发出警报避免了设备的带病运行或无谓耗能，保障了设施的稳定除尘功效。

4.3 优化设备配合，构成协同除尘体系

破除单一机械作业的桎梏，创造集通风、除尘、净化等多种功能于一体的综合作业体系，使整体除尘效率得到成倍地提高。基于井下工作的特殊性和粉尘分散特点，精细调整操作设置，合理调节通风与除尘风量之比，做到气流稳定、控尘显著、净化完全。执行设备启动和终止的联动控制方式，将掘进机、转载机等生产设备与除尘风机相连接进行联合控制，并保证生产设备启动时，使除尘风机与其一起启动，而在尘土飞扬中终止运行的机械设备，延时启动其除尘设备并关闭，以达到和粉尘生产工作的节奏相符的目的。通过多台机器的相互配合调节，克服了由于风流波动和粉尘逸散，以及净化不完全等问题，形成了全方位、全天候的粉尘网络。

4.4 管控人员行为，控制现场作业

举办除尘设备操作技能培训班，规范操作程序，规定工况标准，警示违规操作，增强员工操作技术和强化安全意识。严禁任意挪动、拆卸、改变除尘通风防护装置设施，使除尘设备操作与维护纳入班组安全生产评价体系中，有效杜绝对除尘系统人为破坏行为的发生。针对各种不同的作业条件而制定的操作标准指导作业人员根据粉尘量大小和不同作业区域适时地进行调整，在保证作业的同时又达到科学地控制效果[3]。加大现场监督管理力度，及时纠正作业过程中的不妥行为，使操作者认真履行职责，在人的因素上保障除尘设备的有效运转。

5 结语

保证井下局部通风除尘系统的有效运行，对于矿山安全生产和职工身体健康有着十分重要的作用。现有除尘设备在井下的应用中存在着工况适配性差、运维管理力度弱、装置间协同性不足及操作流程不标准等问题，是导致粉尘治理效果不良的主要原因。为保持井下作业环境的持续改善和保障矿山安全生产工作的稳定推进，在设备选型、运维管理、系统协调以及人为等方面综合考虑，科学地调整装置布局和优化相关操作流程。提升和改进除尘防护工作中的薄弱环节，不断提高局部通风除尘系统的处理效能，有效防范粉尘灾害事故的发生，为实现矿山建设奠定安全根基。

参考文献

[1] 赖冀聪, 秦启凤, 樊芳, 李佳聪, 旷景莹, 杨波, 张达伟, 朱银莹. 某锡矿山井下环境放射性水平调查研究[J]. 工业卫生与职业病, 2026, 52 (03): 236-239.

[2] 赵新杰, 张涛, 闫魏锋, 冯向军, 张英, 孙斌, 绳先闯. 矿山井下矩形巷道电磁波传输特性研究[J]. 矿业研究与开发, 2026, 46 (03): 244-254.

[3] 柴润泰, 李标, 叶亮山. 简易截水槽在矿山井下巷道治水中的研究[J]. 西部探矿工程, 2026, 38 (03): 153-155.

Research on the Regulation of Active Sites of Methanol Synthesis Catalysts and Anti-Sintering Performance and Case Analysis

Zhiwen Wang　Xiangpei Zhang　Lei Zhang　Shenghe Su　Wentao Liu

Hebi Coal Chemical Co., Ltd., Hebi, Henan, 458000, China

Abstract

The main focus of this study is on the regulation of active sites in methanol synthesis catalysts and the enhancement of anti-sintering ability. A structural-activity analysis was conducted based on the oxidation state and coordination of copper. Regulatory strategies such as carrier modification and process condition optimization were proposed, and these were verified through in-situ characterization and theoretical simulation. Through processes such as high-temperature sintering, interface confinement, component doping, and structural confinement, a comprehensive evaluation method including aging tests, long-term experiments, and microscopic analysis was proposed to provide new ideas for improving catalyst activity and stability. The related work has been verified through the long-term operation of the methanol plant. The adopted optimization measures have effectively enhanced the stability and service life of the catalyst.

Keywords

methanol synthesis; catalyst; active sites; anti-sintering

甲醇合成催化剂活性位点调控与抗烧结性能研究及实例分析

王志文　张向沛　张磊　苏圣鹤　刘文涛

鹤壁煤化工有限公司，中国·河南 鹤壁 458000

摘　要

本文的研究重点是甲醇合成催化剂活性位点调控与抗烧结能力提升，从铜的价态和配位开展构效分析，提出了载体改性、工艺条件优化等调控策略，并借助于原位表征及理论模拟加以验证。通过高温烧结、界面限域、组分掺杂及结构限域等工艺，提出了包含老化试验、长周期实验以及微观分析的综合评价方法，为提高催化剂活性与稳定性提供了新思路。相关工作已通过甲醇装置的长周期运行获得验证，所采取的优化措施有效提升了催化剂的稳定性和使用寿命。

关键词

甲醇合成；催化剂；活性点位；抗烧结

1 引言

甲醇是重要的化工产品及新型燃料，开发高催化性能的 Cu 基催化剂对实现 CO 或 CO_2 加氢制备甲醇至关重要。目前，Cu 基催化剂由于具备良好的 CO/CO_2 加氢活性受到广泛关注，然而难以精确调控催化剂上活性位点的结构、在较高温度下容易发生 Cu 颗粒烧结导致失活等缺陷限制了该类催化剂的应用前景及其工业化过程中的使用寿命。目前的研究大多集中在单方面的性能提升，并未将催化剂活性与增强抗烧结性能结合起来研究。因此，深入研究铜基催化剂活性位点的构效关系，开发高效的抗烧结技术，建立科学的评价体系，对甲醇合成工艺提升具有重要的意义。

【作者简介】王志文（1986–），男，中国河南平顶山人，工程师，从事煤制甲醇的生产运行、设备维护、催化剂性能优化与应用等研究。

2 甲醇合成催化剂活性位点的精准调控机制

2.1 催化剂活性位点的构效关系解析

在铜基催化剂中，Cu^0 和 Cu^+ 是甲醇合成的关键活性中心，Cu^{2+} 不仅活性弱而且会抑制反应。下面就三种粒子在催化过程中的作用和反应过程进行分析（见表 1）：

由此可见，优化还原工艺，降低 Cu^{2+} 的含量，是提高催化剂活性的关键。

通过微调电子结构，改变配位环境，从而增加吸附容量，提升催化性能，主要见表 2：

2.2 活性位点的定向调控方法研究

活性位点定向调控的关键途径是载体改性与合成工艺优化，可通过调节物化性质来提升铜的分散度和活性位点暴露量见表 3：

我们通过以下三种方法（表 4）将合成过程进行优化：

通过采用上述方法，改善催化剂载体的相互作用，从而改善催化剂活性位点的暴露频次，提升催化剂的催化效率和稳定性。

表 1 三种不同粒子的作用和过程

序号	粒子	作用	过程
1	Cu^0	通过解离吸附 CO 参与反应	生成中间体 CH_x 并将其转化为甲醇，最佳活性的尺寸范围是 2-10nm，太小的话则不容易通过量子效应聚集而导致失活
2	Cu^+	主要作用是活化 CO_2	通过 $HCOO^-$ 途径的甲醇加氢，以及与 Cu^0 协同使得 CO 与 CO_2 转化，从而提升催化反应的选择性和催化效率
3	Cu^{2+}	还原不完全而形成的残留	吸附能力很差，还会干扰电子的分布

表 2 配位环境提升催化性能

序号	方法	目的	结果
1	降低 Cu^0/Cu^+ 配位	提高其电子云密度	增加催化剂吸附容量
2	缩短 Cu–O 键长	促进载体相互作用	提高催化剂稳定性
3	增加 Cu-Cu 键角	促进多分子协同反应	提升催化剂效率
4	载体的制法和性质决定配位环境，ZrO_2 与 Cu^0/Cu^+ 的相互作用大于 Al_2O_3	ZrO_2 可以获得较多的活性位点和较高的吸附能力	提升对接的催化活性

表 3 配位环境提升催化性能

序号	方法	目的	结果
1	Al_2O_3 中掺杂 Mg^{+2}、La^{+3}	增大吸附能力并防止其聚集	在 La^{+3} 掺杂量为 2%-5% 时，Cu 分散度可增长 30% 以上
2	ZrO_2 中掺杂 Ce^{+4}	可形成固溶体，增大比表面积及氧空位浓度	增强相互作用，提高其热稳定性
3	掺杂 N 等非金属元素	可产生新活性位点	甲醇收率升高 25% 以上

表 4 合成方法、过程和目的

序号	方法	合成过程	目的
1	沉淀法	通过控制沉淀剂的量、温度和 pH 值的范围以及老化时间	制备出高度分散的催化剂颗粒
2	溶胶（凝胶）法	把金属醇盐水解、缩聚	制出铜催化剂的均匀分散体
3	低温等离子体法	高能电子改变铜的价态，产生缺陷位点	提高催化剂的催化效率

2.3 活性位点调控的表征与验证

构建活性位点模型，通过计算催化剂的吸附能、中间体形成能和反应能垒，确定反应的最佳途径。通过掺杂 ZrO_2 提高 Cu^0 的电子云密度，并降低了反应能垒。计算还可以预测优化结构的方向，最低反应能垒是配位数为 8 的 Cu^0 的活性位点，这为催化剂制备提供了过程调节依据。计算和表征结果两者还可以通过交叉验证，进一步证实结构和活性之间的潜在关系。

3 甲醇合成催化剂抗烧结性能的强化策略

3.1 催化剂烧结失活机制分析

甲醇铜基合成催化剂容易在高温下因烧结而失去活性，微观表现为 Cu 颗粒过大和活性位点过少，这严重制约催化剂的稳定性和寿命。烧结失活的原因是奥斯瓦熟化与反应气氛诱导，致使 Cu 颗粒迁移团聚，尤其是在两者协同作用下，加速了 Cu 颗粒聚集，从而加剧了催化剂的活性衰减 [2]。

OSWA 熟化高温烧结过程如下：在高温下，小尺寸铜颗粒表面能比较高，高温溶解后扩散，并沉积在大颗粒表面，导致颗粒增大。该过程的速度控制步骤，是 Cu 原子的扩散，依据 LSW 理论，温度升高会加快其扩散和成熟。实践证明，温度从 250℃变为 300℃时，Cu 原子扩散速度将增加 2-3 倍，颗粒生长率增加 1.5 倍。

另外，载体的性质对熟化过程也具有重要的调节作用：载体与 Cu 颗粒的相互作用越多，熟化过程越慢。实践证明，相对于 Al_2O_3 的 ZrO_2，在载体具有多孔结构的高比表面积时，将会抑制 Cu 原子的扩散，从而延迟烧结和熟化过程。

反应气氛对烧结影响显著，我们将三种不同气氛下的不同条件逐一分析：

表 5 反应气氛对烧结的影响

序号	气氛	条件	结果	烧结影响
1	H_2	通过还原表面氧化物生成高能 Cu^0	促进颗粒迁移与扩散	分压升高会加剧烧结
2	CO	低温低分压下	表面稳定	可稳定吸附
		高温高分压下	易形成挥发性 $Cu(CO)_n$	导致 Cu 流失并加速烧结
3	CO_2	在表面形成碳酸盐或碳酸氢盐	覆盖活性位点从而降低表面能	引入体积分数为 5%–10% 的 CO_2 即可显著提升抗烧结性能
		同时与 H_2 反应生成 H_2O	阻碍原子扩散	

由此可见，奥斯瓦熟化与反应气氛诱导机制的调节对于开发高稳定性催化剂至关重要。

3.2 抗烧结性能的强化技术研究

针对铜基催化剂的烧结失活问题，目前有三类强化技术：界面限域、第二组分掺杂和结构限域设计，旨在通过稳定 Cu 颗粒、抑制其扩散与团聚来提升抗烧结性能。

界面限域的核心是构建载体与铜之间的强相互作用，如电子转移与形成化学键，以此锚定 Cu 微粒并抑制其迁移。选用 ZrO_2、TiO_2、CeO_2 等强相互作用载体是关键，例如 ZrO_2 能与 Cu 形成稳定的 Cu–O–Zr 键，显著减缓高温下的颗粒生长。通过对载体进行改性，如在 Al_2O_3 中掺杂 Zr^{4+}/Ti^{4+} 形成固溶体，或表面嫁接官能团，可进一步增强这种相互作用。此外，采用溶胶 - 凝胶法制备工艺有助于实现铜微粒的均匀分散，为强相互作用的形成创造有利条件。

第二组分掺杂则是通过引入如 Zr、Mn、La 等助剂构建物理与化学屏障，Zr 助剂可与 Cu 形成固溶体，并与载体生成稳定复合物如 ZrO_2–Al_2O_3，如在添加质量分数为 3%–8% 时，可使催化剂在 1000h 高温老化后，颗粒尺寸增长 ≤20%。Mn 助剂能形成热稳定的 Cu–Mn–O 复合氧化物，而 La、Ce 等稀土助剂则可形成致密的包覆层，其特有的储氧释氧能力还能优化反应微环境，共同抑制烧结。

结构限域设计的原理是利用载体的空间约束效应，限制 Cu 颗粒迁移，如 SBA-15、MCM-41 等孔径为 2–50 纳米的介孔载体，实现 Cu 颗粒的均匀分散，并将其限制在 5 纳米尺寸以内；虽然孔径在 2 纳米以内沸石、活性炭等的微孔载体的限域效应更强，但考虑到到传质的阻力过大，效果不如 5 纳米好。两者兼顾，将介孔与微孔结构复合（如介孔 Al_2O_3- 微孔沸石），可以协同提升催化剂的活性与抗烧结稳定性。

3.3 抗烧结性能评价方法

为了对催化剂抗烧结性能进行评价，特建立以快速筛选为基础、模拟工况考察为手段、结合微观定量化表征为目标的综合评价体系。从以下几方面评价催化剂的抗烧结性能[3]。

高温加速度老化试验用于快速筛选和初步评价，通常在高于实际反应温度 50 ~ 100℃进行，以加速烧结过程。如对于一般反应温度 250 ~ 300℃ 的情况下，老化温度可以选为 350 ~ 400℃，老化时间为 24h 或至 100h，通过比较老化前后比表面积、铜分散度和甲醇时空产率等指标的变化，可对其抗烧结性能进行定量评估。典型的高性能催化剂在 350° C 的空气气氛中老化 48 小时后，可以将表面积减少保持在 15% 以内，将铜分散度保持在 60% 以上，并且通常表现出不超过 10% 的甲醇时空收率损失。

微观结构表征用于确定烧结机理和定量评估烧结。TEM 和 HRTEM 主要用于表征催化剂上 Cu 颗粒的尺寸、形态和晶格结构。通过观察不同视场中 Cu 颗粒的尺寸（每个图像至少 100 个颗粒），比较烧结前后颗粒尺寸的变化。直接量化颗粒的抗烧结性，探索晶格条纹中颗粒生长和界面演化的机制。

4 甲醇合成催化剂在应用中的实例分析

鹤壁煤化工采用丹麦托普索（Topso）公司的甲醇合成工艺，使用专有催化剂体系。多年来长期稳定运行，通过数据对比可得：在合成塔体积有限、催化剂量小、空速高的前提下，Topso 催化剂综合性能非常好，具体表现如下：一是在全生命周期内，活性衰减平缓，单位催化剂产甲醇的量高；二是在催化剂寿命的末期，副产物乙产量较低。证实了 Topso 催化剂的稳定性与工艺匹配度，明显优于公司用过的国内外其他同类催化剂。

自投产以来，催化剂共更换了 8 次，2 次是德国 Klein，6 次用的是 Topso 催化剂。目前使用的是 Topso MK-121 催化剂。截止更换前，该炉催化剂已稳定使用近 600 天，累计生产粗甲醇 130 多万吨，使用寿命和甲醇产量又一次创历史新高。

在生产过程中，为延长催化剂寿命，公司采取了如下防护措施：

表 4 采取措施和目的

序号	措施	目的
1	将脱铁剂装填在甲醇合成塔催化剂的绝热层上方	脱铁剂可形成前置的保护层，预先吸附合成气中的杂质铁
2	将硫保护器装填方式，由单一脱硫剂，改为脱铁剂与脱硫剂相间分层装填	同理可预先吸附工艺气中的硫杂质

采取的这些措施，能在从源头上拦截并脱除铁和硫等杂质组分，减少硫铁杂质对催化剂的危害，延迟失活速度，延长使用寿命。

5 结语

本文系统研究了铜原子与一价铜离子之间的比例及配位环境的最佳控制范围，通过建立精确的技术途径控制，优化合成过程，完成载体的化学改性，从而实现催化剂的催化性能提升。本文还通过现场表征法和理论计算法，研究了从反应机理分析到产品性能验证的完整链条。在此基础上开发了界面锚定、异质掺杂和结构约束三种增强策略，构建多层次评价体系，准确区分催化剂的抗烧结性能。并在甲醇合成装置的长周期运行中，验证了其可行性和有效性。

参考文献

[1] 许超琴. 高性能铜基催化剂的设计、制备及甲醇合成反应性能研究[D]太原理工大学，2023.

[2] 胥会. 甲醇合成铜基催化剂制备工艺的研究[J]材料导报，2015，29：296-299.

[3] 陈海波. 热处理对铜基甲醇合成催化剂性能的影响[J]能源化工，2021，42（04）：1-6.