

数字化技术驱动下高效节能保温复合管工业化生产的关键成型工艺研究

王立国

简美新型建材宽城满族自治县有限公司，河北省承德，067600；

摘要：在数字化转型浪潮下，复合管工业化生产对高效节能保温的需求不断增长与传统“管中管”保温技术的使用矛盾日益凸显。本文首先从行业发展需求与技术革新驱动切入，进而分析了高效节能保温复合管关键成型工艺的考核指标设计，以表格形式展示技术指标、经济指标等多项指标数据，进而分析了技术创新以及社会效益。最后，用图的形式展现该工艺的研发路径并分析其可行性，旨在推动高效节能保温复合管工业化生产，实现节能降耗与绿色发展。

关键词：数字化技术；聚氨酯保温管；节能降耗；绿色发展

DOI: 10.69979/3041-0673.25.09.058

引言

在倡导节能减排与可持续发展的当下，高效节能保温复合管在众多领域的应用需求日益增长。无论是集中供热、油气输送，还是化工、医药等工业管道，都对保温管材的性能提出了更高要求。传统保温管生产技术存在诸多局限，难以满足不断升级的市场需求。数字化技术的蓬勃发展为保温管生产带来新机遇。本研究旨在探索数字化技术下高效节能保温复合管工业化关键成型工艺，突破技术瓶颈，提高生产效率和产品质量，实现节能降耗与绿色发展，为相关行业提供技术支撑。

1 数字化技术下对高效节能保温复合管工业化生产的需求分析

1.1 行业发展需求

随着各行业对能源利用效率的重视，高效节能保温复合管在能源输送领域的需求持续攀升。在集中供热和油气输送等关键领域，传统保温管的低保温性能导致大量能源损耗，增加了运营成本。同时，部分传统保温管耐久性差，频繁维修不仅耗费大量人力、物力，还影响正常生产与使用。因此，行业迫切需要具有更高保温性能、更长使用寿命的复合管，以降低能源消耗，减少维护成本，提高整体运营效率。数字化技术的融入，有助于优化生产流程，实现生产过程的精准控制，提升产品质量，满足行业对高性能保温复合管的需求。

1.2 技术革新驱动

数字化技术的快速发展为高效节能保温复合管的生产带来了新的可能性。先进的数字化控制技术能够实现对生产过程的实时监控和精确调控，提高生产的自动化程度，减少人为因素对产品质量的影响。例如，在聚氨酯喷涂和聚乙烯缠绕等关键工艺环节，数字化技术可以精确控制材料的喷涂量、缠绕速度和厚度，确保产品质量的稳定性。此外，数字化模拟技术还能在产品研发阶段对复合管的性能进行预测和优化，缩短研发周期，降低研发成本。技术革新驱动着高效节能保温复合管工业化生产向智能化、高效化方向发展。

2 高效节能保温复合管工业化生产的关键成型工艺考核指标设计

为满足能源高效利用和环保生产的严格要求。设计一套科学合理的高效节能保温复合管工业化生产的关键成型工艺考核指标至关重要，在数字化技术驱动的背景下，高效节能保温复合管工业化生产的关键成型工艺应从以下两方面切入。一方面，从市场对保温管的保温性能、耐用性和适用性结合其设定的高标准进行考核指标的设计；另一方面，从行业发展现有技术瓶颈进型相关技术指标的设计，为实现工业化生产的高效与可持续提高一定的数据支撑。融合以上两方面进行的考核指标设计，有助于规范生产流程、提升产品质量，推动整个行业朝着绿色、高效方向发展。

表1 项目验收的考核指标

主分类	二级分类	指标	技术参数/验收标准	测试标准/显著说明
材料性能	机械性能	轴向剪切强度	$\geq 0.12 \text{ MPa} (23 \pm 2^\circ\text{C})$ $\geq 0.08 \text{ MPa} (140 \pm 2^\circ\text{C})$	ASTM D732 剪切试验
	几何特性	管径适用范围	DN32-DN1200	ISO 6708 管径标准
热工性能	耐温性能	长期使用温度 峰值耐受温度	$\leq 140^\circ\text{C}$ $\leq 150^\circ\text{C}$	ISO 2578 热老化试验
	热传导特性	导热系数 节能效率	$\leq 0.21 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ $\eta \geq 9\%$	ASTM C177 标准测试
耐久性	服役周期	设计使用寿命	$\geq 30 \text{ 年}$	ISO 2394 耐久性评估
经济绩效	产出指标	新增工业产值 新增销售额	$\geq 80 \text{ 万元}$ $\geq 50 \text{ 万元}$	国家统计局工业统计制度
社会效益	工程优化	管道结构效率提升	使用寿命延长 30%	ANSI/AWWA C950 标准对比
	成本控制	全生命周期成本降低	维护成本降低 30% 运营成本降低 20%	LCC 成本分析法
	环境效益	碳排放降低率	节能率 9%	ISO 14064 碳核算标准
	就业促进	岗位新增量	10-20 个	人力资源和社会保障局备案

2.1 技术创新

在高效节能保温复合管工业化生产进程中，技术创新是核心驱动力。在保温层制备技术上，创新性地采用超临界辅助喷涂发泡技术。这一技术有效解决了传统聚氨酯发泡材料泡孔率低、隔热保温效果不佳的问题。通过精确调控超临界流体的参数，大幅提升了泡孔率，显著增强了保温性能。同时，该技术更为绿色环保，整个生产过程无化学残留，实现全环节零排放。生产工艺方面，推出新型“聚氨酯喷涂+挤出聚烯烃缠绕+配重涂敷”工艺。此工艺针对传统“管中管”工艺的薄弱环节进行优化，不仅简化了生产流程，降低了成本，还大幅提高了施工效率。在规模化生产时，能有效提升产能，降低生产周期。而且，通过对生产装置的研发与升级，实现了生产过程的高度自动化，进一步保障了产品质量的稳定性和一致性，为高效节能保温复合管的工业化生产奠定了坚实的技术基础。

2.2 社会效益

高效节能保温复合管工业化生产关键技术研发具有广泛且深远的社会效益。从能源与环境角度看，项目成果有助于实现节能降耗和绿色发展目标。产品优异的保温性能大幅减少了能源在输送过程中的损耗，降低了对煤炭、天然气等传统能源的依赖，从而减少了因能源消耗产生的温室气体排放，为缓解全球气候变化贡献力量。同时，避免了因管道泄漏导致的环境污染问题，保护了生态环境的可持续性。在经济与社会发展层面，对推动地方经济发展意义重大。一方面，开发的高强度、高质量、低成本的保温管道，在管网系统中的广泛应用，

带动了相关产业的发展，促进了产业链的完善和升级。另一方面，项目实施过程中创造了 10—20 个就业岗位，涵盖研发、生产、销售、售后等多个领域，缓解了就业压力。此外，通过提升管道的设计结构、材质，优化管道布局，延长了管道使用寿命，降低了维护成本和使用成本，提高了社会资源的利用效率，为社会经济的稳定发展提供了有力支持。

3 数字化技术下对高效节能保温复合管工业化关键成型工艺的阶段目标及可行性

3.1 高效节能保温复合管工业化关键成型工艺项目阶段目标

3.1.1 前期调研工作（2023.11—2024.02）

在高效节能保温复合管工业化关键成型工艺项目推进过程中，前期调研阶段意义重大。此阶段紧紧围绕区域集中供暖、油气输送等重点领域，针对保温管材的实际需求展开深度调研。通过广泛收集各类数据，全面分析行业发展趋势，精准制定出既符合市场需求又紧跟技术发展前沿的中高端聚氨酯保温管道技术路线。确定采用超临界辅助高效隔热保温聚氨酯发泡材料和工艺，并系统研究保温层、外护层的类型、厚度对复合管材在保温性能、耐候性能、施工效率以及成本等多方面的影响规律。这些工作为后续研究筑牢了坚实的理论根基，明确了清晰的方向，是整个项目得以顺利开展的重要前提。

3.1.2 中期实验工作（2024.02—2024.09）

中期实验阶段是项目的攻坚时期。在此期间，项目

团队全力以赴投入到工艺研制、装置开发改进以及产品研发工作中。重点围绕超临界辅助聚氨酯喷涂、配重涂敷等核心技术开展试验，对生产流程进行细致优化，致力于提升产品质量和耐受性。顺利完成实验室小试，开发出自动化生产设备，模拟工业化生产环境，以此验证技术的可行性和稳定性。这一系列工作为大规模生产积累了丰富的数据，为进一步优化生产参数提供了有力支持，为项目实现工业化生产奠定了坚实基础。

3.1.3 后期验收工作（2024.09—2025.05）

后期验收阶段是项目成果转化与检验的关键阶段。该阶段积极推动聚氨酯保温管道在重大领域的应用部署，根据不同地域的实际需求，对管道设计与施工方式进行优化，进一步强化保温和节能效率。将多种复合保温管新工艺进行高效耦合，实现工业化制备。全面且严格地评估产品性能，依据预先设定的技术指标、经济指标、创新能力和社会效益等标准进行验收。对项目成果进行系统总结，提炼出可在行业内广泛借鉴的经验，为高效节能保温复合管行业的整体发展贡献重要力量。

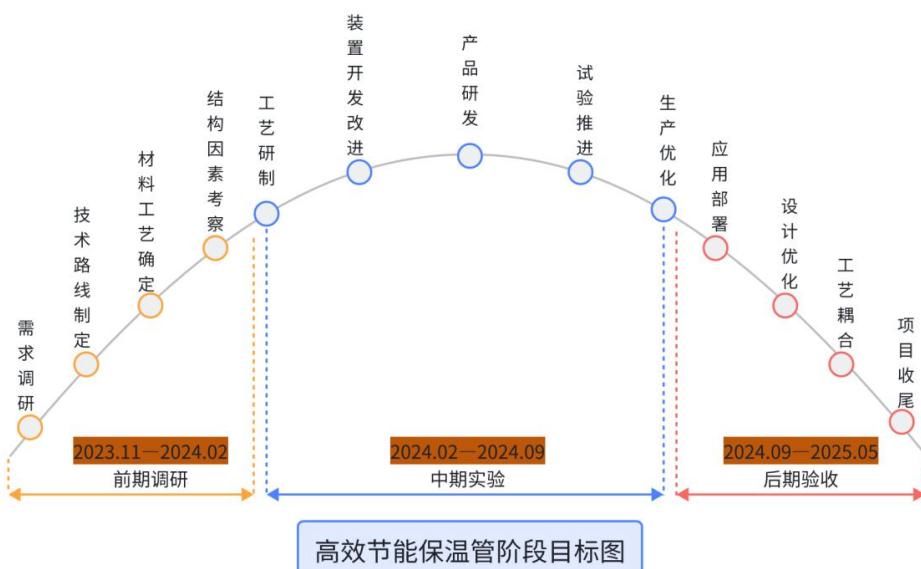


图1 高效节能保温复合管工业化关键成型工艺项目阶段目标图

3.2 高效节能保温复合管工业化关键成型工艺项目可行性分析

3.2.1 技术可行性

从技术层面来看，该项目凭借超临界辅助喷涂发泡技术制备保温层，搭配创新的“聚氨酯喷涂+挤出聚烯烃缠绕+配重涂敷”工艺，实现了产品保温与耐用性能的显著提升，达到国内外先进水平。这种技术创新，精准地解决了传统工艺长期存在的难题，具备突出的前瞻性。超临界辅助喷涂发泡技术有效提升了聚氨酯发泡材料的泡孔率，增强了保温性能；新型复合工艺简化了生产流程，降低了成本，提高了生产效率。这些技术优势为项目的成功实施提供了坚实的核心技术保障，促使产品在市场竞争中具有一定的竞争能力。

3.2.2 研发团队可行性

从研发团队来看，团队架构科学完善，人员结构合

理优化。项目负责人拥有二十多年材料研发及项目管理经验，积累了深厚的专业知识，具备丰富的实践操作能力，在项目规划、技术指导方面发挥着关键作用。团队成员来自材料科学、机械工程、化学工艺等多个领域，形成了强大的跨学科协作优势。各专业人员紧密配合，充分发挥各自专长，能够高效地攻克项目推进过程中的各类技术难关，确保技术研发工作顺利进行，为项目的技术创新和持续发展提供了坚实的人力支撑。

3.2.3 承办单位可行性

项目实施承办单位是项目落地的重要保障。该项目的承办单位在高分子管道材料研发、生产、应用的全产业链中均处于国内优势地位。长期的发展使他们积累了丰富的研发和工程技术经验，拥有先进的生产与检测设备，建立了完善的管理体系和严格的质量控制标准。在项目实施过程中，这些优势能够确保资源的合理调配，

保障生产工艺得以精准实现，严格把控产品质量。从原材料采购到产品出厂的每一个环节，都能做到高效管理与严格监督，为项目的顺利开展提供全方位支持。

3.2.4 市场需求可行性

在市场需求领域，集中供热、油气输送、化工等行业对高效节能保温复合管的需求呈现持续增长态势。随着能源成本的不断攀升以及环保要求的日益严格，市场对高品质保温管的需求愈发强烈。该项目所研发的产品具备环保、节能、防腐等诸多优势，不仅能有效降低能源损耗，减少环境污染，还能提高管道使用寿命，降低维护成本，高度契合市场需求，拥有广阔的应用前景。这为项目的产业化推广提供了有力支撑，有望实现良好的经济效益和社会效益。

4 结束语

综上所述，数字化技术为高效节能保温复合管工业化生产带来新契机。通过对行业需求和技术革新的分析，明确了研发方向。参考行业标准与技术瓶颈，对高效节能保温复合管工业化关键成型工艺进行考核指标的设计，为项目实施提供了量化标准。划分阶段目标，多方面探讨，充分论证了项目的可行性。但在项目推进过程中，仍需持续关注技术创新和市场变化，不断优化工艺和产品，以应对可能出现的挑战。

参考文献

- [1] 姜霖. 高效节能铝合金熔炼保温复合炉[J]. 铸造, 1996(07): 41.
- [2] 朱建雄. 聚氨酯直埋保温管施工技术应用[J]. 建筑安全, 2024, 39(12): 9-12.
- [3] 周鹏, 李同续. 柔性保温管用聚氨酯硬泡组合料研究[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2024, 22(04): 51-55.
- [4] 黄毅信. 聚乙烯材料和胶粘剂应用于装配式空调保温套管[J]. 广东化工, 2023, 50(20): 52-53+43.
- [5] 张萌. 聚氨酯保温材料研究进展[J]. 合成树脂及塑料, 2023, 40(04): 72-75+81.
- [6] 保温及绝热材料[J]. 建筑与预算, 2022(08): 106-111.
- [7] 杨锐昊, 罗维多, 蒋沛. 聚氨酯保温管的应力松弛及蠕变分析[J]. 全面腐蚀控制, 2021, 35(12): 47-51.
- [8] 冯伟伟. 谈直埋预制保温管现场保温修补的做法[J]. 山西建筑, 2021, 47(17): 102-103+170.
- [9] 唐木正. 保溫管用耐热聚乙烯(PE-RT II)管道技术与应用[J]. 橡塑技术与装备, 2021, 47(12): 38-43.

科研项目：高效节能保温复合管研发及工业化应用。

项目编号：202305B022。

资助基金：承德市科技计划项目：高效节能保温复合管研发及工业化应用（202305B022）。