

《双碳战略下的先进建材转型》白皮书（摘要版）

同济大学携手沙特阿美助力中国新材料新质生产力发展

双碳新引擎：深挖“油转化”价值
共建低碳高质量基建生态



ABSTRACT

摘要

中国“双碳”目标正推动建筑与基础设施行业加快向绿色、耐久和高效方向转型。建材生产、施工建造及长期运维均伴随大量能源消耗与碳排放，仅依靠能源结构调整难以充分释放行业减排潜力。碳纤维、纤维增强复合材料、高性能聚合物及再生塑料等先进非金属材料，凭借轻质高强、耐腐蚀和运维需求低等优势，可减少传统高碳材料用量，降低运输与施工环节的能源消耗和碳排放，并延长基础设施服役寿命。联合国环境规划署指出，把握绿色转型机遇需要各行业在标准制定、材料创新和规模化投资方面采取战略性、协同化行动。作为领先的综合性能能源与化工企业，沙特阿美通过“非金属材料创新中心”（NEXCEL）支持中国的“双碳”目标。该中心由沙特阿美与中国建材集团（CNBM）旗下的科技研发机构——中国建筑材料科学研究总院（CBMA）于2022年在北京共同创立。NEXCEL作为一个联合平台，致力于技术部署、标准与指南制定、专业培训及国际交流，旨在加速非金属解决方案在中国建筑与基础设施领域的产业化应用。

面向中国建筑、交通、能源和数字基础设施绿色升级需求，沙特阿美依托NEXCEL等创新平台，推动先进非金属材料在技术研发、工程设计、标准规范、检测认证和全生命周期评估等方面持续完善，加快创新成果由项目应用走向规模化推广。

材料转型是能源转型的重要补充。能源转型主要着眼于能源生产和使用方式的低碳化，材料转型则贯穿原料获取、生产

制造、运输施工、服役维护及回收利用全过程。通过结构轻量化、材料耐久化、模块化建造和资源循环利用，先进材料能够降低隐含碳排放、资源消耗与全生命周期成本，并提升风电、光伏、交通、通信和储能等基础设施的建设效率、运行可靠性与环境适应能力。能源与材料协同转型，能够形成覆盖基础设施全生命周期的系统性减排路径。本白皮书基于沙特阿美及非金属材料创新中心（NEXCEL）的全球工程实践数据，结合同济大学在土木工程与材料科学领域的学术积累，系统阐述先进石化基材料作为高性能产业材料的技术路径与产业价值。研究遵循“机制阐释—效果验证—路径提出”的逻辑框架：一是结合国内自十三五以来的减油增化于沙特阿美“油转化”战略，阐释先进材料助力碳减排达到十五五的主要作用机制；二是通过覆盖全场景的标杆项目工程实践数据与测算分析，验证技术落地的可行性、经济合理性与对于双碳与环境价值；三是基于工程实践提出可落地的产业协同路径，供行业决策参考。所有数据均来自公开工程报告、权威发布及NEXCEL项目评估资料。

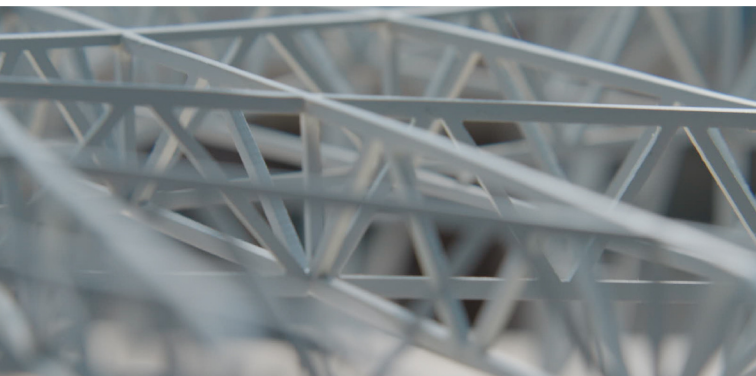
此白皮书，探讨了材料创新如何支持中国构建低碳、更具耐用性的建筑与基础设施。

沙特阿美的材料转型战略展示了碳氢资源由传统燃料向高价值材料延伸的现实路径。依托深厚的能源化工基础、先进研发能力和全球合作网络，沙特阿美持续推动碳氢化合物向高性能聚合物、碳纤维及复合材料转化，并通过NEXCEL等平台推进相关技术在道路、建筑和通信基础设施中的工程验证与应用。实践表明，碳氢资源不仅能够提供能源，也能够成为构建高性能、低排放、耐久基础设施的重要材料基础，为中国绿色建造、先进材料产业升级及中沙材料产业协同发展提供可复制、可推广的解决方案。



案例一

福州万宝GFRP自由曲面项目 —中国首个全GFRP自由曲面建筑



从复杂曲面设计到数字化精准建造

福州万宝商圈“福云”项目是GFRP在复杂曲面建筑中的代表性应用。项目以三朵牵牛花为设计原型，建设两座南北对称的自由曲面结构，单体展开面积约1460 m²[1]。针对连续双曲面曲率变化大、异形构件数量多、传统二维设计难以精准指导施工等难题，同济大学团队结合GFRP轻质高强、易成型和可定制化优势，构建数字化设计与BIM全过程管控体系，实现1676块不同自由曲面板和2656根非标空间檩条的精准设计、加工与安装[1]。项目体现了GFRP工厂预制、模块化生产和现场快速装配的工业化建造优势。



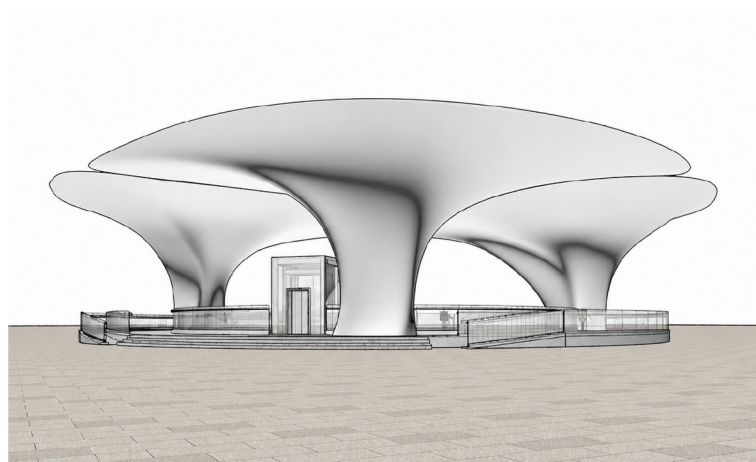
1676块
自由曲面板



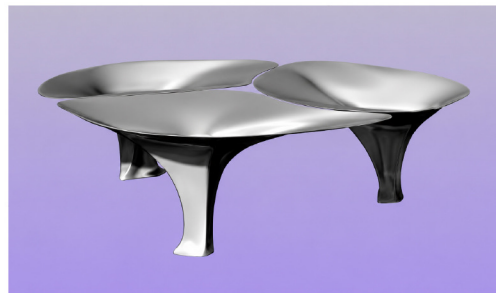
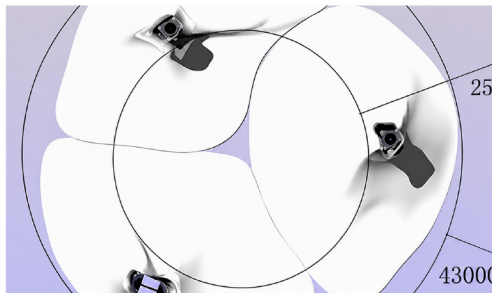
2656根
非标空间檩条

从“重型建造”到“轻量美学”

项目位于福州沿海地区，长期面临高湿、盐雾及复杂风荷载环境。GFRP凭借耐腐蚀、轻质高强和形态自由等特性，在满足建筑复杂造型需求的同时，可降低结构自重和后期维护需求，实现建筑美学、结构性能与耐久性的协同提升。项目形成的自由曲面设计、异形构件制造、BIM协同建造及质量控制技术，为GFRP在城市更新、公共建筑和复杂异形结构中的规模化应用提供了工程示范，也表明高性能复合材料能够突破传统建材在复杂造型、快速建造和长期耐久方面的限制，为新型基础设施建设提供新的材料与技术路径。



建筑模型



1. 赵宇超, 姜旭, 张其林, 等. 福州某商业广场GFRP自由曲面结构设计与施工[J]. 施工技术, 2019, 48(14): 121-125.

案例二

NEXCEL项目成果复合材料5G信号塔 —新材料赋能数字基建

1.5吨塔体实现140 km/h抗风与高密度挂载

针对非洲地区的自然环境与通信设备挂载需求，在非金属材料创新中心支持下，中国建材总院所属哈尔滨玻璃钢研究院研发了首座生态友好型复合材料无线信号塔。项目突破了复合材料塔结构设计、功能一体化与高效成型等关键技术，塔体以聚氨酯树脂和玻璃纤维为主要材料，采用高效拉挤工艺制备。以复合材料替代传统钢材，可显著减轻塔体自重，降低运输与安装难度，同时减少腐蚀风险和后期维护需求，为通信基础设施低碳化提供了新的材料与结构解决方案。2023年落地埃及的18米高通信塔整塔质量仅1.5吨，较同类金属塔减轻约50%；占地面积为2.25平方米，缩减约30%，并可抵抗140 km/h风速。塔体可挂载6个HXWD天线、1个直径0.6米的MW天线和6个RRU，设备挂载能力优于传统铁塔，并符合ANSI/TIA 222-G设计规范[2]。



占地面积缩减约

30%

较同类金属塔减轻约

50%

NEXCEL助力哈玻院复合材料“绿色信号塔台”落地埃及 ▶

2. 中心项目成果（一） | 哈玻院复合材料“绿色信号塔台”落地埃及[EB/OL]. (2023-02-28)
[2026-06-29]. <https://mp.weixin.qq.com/s/drmY3iC6gwEKnxDDXrfaJg>.

从埃及到广州验证复杂环境适应能力

相关技术随后应用于广州通信基础设施建设，并针对高温、高湿和沿海腐蚀环境优化材料体系、结构设计与连接方式。复合材料塔具有耐腐蚀、绝缘和低维护等优势，其轻量化与模块化设计可降低运输、吊装和现场安装难度，提高施工效率及运维安全性。与同高度传统铁塔相比，复合材料塔在生产阶段可减少约43%的碳排放[3]，并通过降低维护需求和延长服役周期改善全生命周期综合效益。该项目实现了从海外验证到国内应用的跨区域拓展，体现了NEXCEL推动先进非金属材料服务绿色数字基础设施建设的战略价值。

生产阶段减少约

45%的碳排放

非金属材料赋能“十五五”绿色数字基建升级

在“十五五”时期新型基础设施适度超前建设的政策导向下，通信塔作为信息网络的重要载体，正成为新材料技术验证与绿色低碳建造的重要场景。相较传统钢制通信塔普遍存在自重大、运输安装难、易腐蚀、维护成本高等问题，复合材料通信塔以轻质高强、耐腐蚀、耐候、绝缘和低维护等优势，为数字基础设施升级提供了新的材料路径。沙特阿美非金属材料创新中心（NEXCEL）联合中国建材总院所属哈尔滨玻璃钢研究院，围绕通信设施轻量化、绿色化和长寿命需求，开发复合材料5G信号塔，并推动相关成果在埃及和广州实现工程落地，探索出“通信保障、低碳建造与长寿命运维”协同统一的解决方案。

（复合材料通信塔：实现“通信保障”、“低碳建造”与“长寿命运维”的协同统一。）

NEXCEL推动哈玻院复合材料信号塔落地广州 ▶

3. 中心项目成果（十二） | 哈玻院复合v材料信号塔落地广州[EB/OL]. (2024-07-19)[2026-06-29]. <https://mp.weixin.qq.com/s/KmmUjPIxBb2Ulx54VrTl3A>.



案例三

“投入新可能，球场改造计划”

沙特阿美新材料升级改造北京东单室外篮球场

先进回收塑料驱动公共体育设施绿色升级

北京东单体育中心篮球场改造项目的核心价值，在于其以公共体育设施这一高频使用、公众可感知的城市空间为载体，验证了先进回收塑料从废弃物资源化到高性能终端应用的闭环路径。面对传统聚氨酯等室外运动场材料在回收困难、再利用价值有限和废弃处置环境压力较大的现实瓶颈，沙特阿美携手SABIC与英利奥，将先进回收技术引入室外篮球场翻新场景，推动场地材料从传统塑胶体系向可回收、高值化、高性能的新型体系升级。项目采用来自于SABIC TRUCIRCLE™解决方案中的循环材料，通过催化裂解等先进回收工艺，将废塑料转化为可替代化石来源的原料，再进一步生产出性能与原生塑料相当的全新聚合物，并借助ISCC PLUS认证实现材料来源与循环属性的可追溯性管理。在此基础上，英利奥开发出兼具耐久性、环保性与运动性能的高性能户外运动地板，使回收材料突破传统“低值化”利用局限。此协同模式构建材料全周期三重价值体系：技术闭环：贯通废塑料收集、先进再生与地板制造全产业链；性能革新：破除再生塑料低值桎梏，赋能户外运动场景应用；循环闭环：球场地板服役期满后，全部材料可无损回收、再度利用。

工程效益与战略价值并重

在“十五五”时期，国务院《全民健身计划（2026—2030年）》颁布的背景下，该项目的重要性并不止于完成一次球场翻新，而在于验证了循环材料进入高性能公共体育场景的现实可行性。以北京东单篮球场为起点，沙特阿美计划将改造扩展至全国更多篮球场地。2025年5月，沙特阿美与“姚基金”达成合作，计划在未来三年内，在中国城市和乡村地区新建或翻新超过60座社区篮球场及多功能运动场地[4]。这一规模化布局，为循环塑料运动地板的广泛应用提供了实践平台。它打通了从废塑料回收、先进再生、材料认证到终端应用的完整路径，体现出材料技术、产业协同与场景落地之间的有机衔接。作为城市更新与全民健身背景下的示范案例，沙特阿美为公共空间绿色升级提供了可复制的实践样板，也为循环经济理念在更广泛基础设施中的推广应用积累了可借鉴的经验。



60座新建或翻新篮球场



可回收、高值化、高性能的循环材料



国贸沙特阿美篮球场改造揭幕典礼



北京东单Aramco篮球场

4. 中国日报. 沙特阿美宣布与姚基金达成多年合作伙伴关系, “投入新可能, 球场改造计划” 社区球场焕新亮相[EB/OL]. (2025-05-13)[2026-06-29]. <https://ex.chinadaily.com.cn/exchange/partners/82/rss/channel/cn/columns/snl9a7/stories/WS68230941a310205377032e9a.html>.

案例四

新型材料赋能低碳赛场

沙特阿美足球场打造全球绿色建造新标杆高性能材料赋能大型公共设施转型升级

沙特阿美足球场坐落于沙特胡拜尔，由沙特阿美与ROSHN集团联合建设，设计容纳人数47,000人，总体规划面积约800,000平方米[5]，预计2026年竣工。场馆主要服务于阿尔-卡迪西亚俱乐部，并承接2027年亚洲杯及2034年世界杯系列赛事。场馆造型取材于海岸漩涡意象，流畅的流线型结构为新材料集成应用提供了良好基础，实现了体育功能、建筑美学与低碳建造的有机融合。

项目重点应用轻质、耐久的新型复合材料GFRP：采用GFRP筋替代传统钢筋，使用量约80万延米，充分发挥其轻质、耐腐蚀等特点，降低滨海高温、高盐环境下钢筋腐蚀带来的耐久性风险。项目应低碳材料替代了35%的水泥[6]，截止2026年7月共循环了18,000吨建筑垃圾，显著降低建材碳足迹。同时，场馆在雨水管理上首次配备了非金属聚合物模块化蓄水池，其具备高承载、易安装、节约用地等优势，还可以消除二氧化碳排放，降低钢筋腐蚀风险[7]。



80万延米

GFRP筋替代传统钢筋



低碳材料替代35%水泥用量

新型材料赋能低碳赛场

此外，沙特阿美依托本项目搭建全球技术联盟，携手Foster + Partners, Populous, Dar等世界顶尖设计机构，引入精工国际等企业先进BIM结构仿真技术[9]，为FRP等高性能材料在复杂节点及大跨度结构中的安全应用，提供精准的理论支撑与设计保障。以本项目为牵引，全新的非金属材料产业链正加速构建，并为沙特“2030愿景”工业化建设赋能高端制造发展，依托产业协同创新持续培育新质生产力。



面向全生命周期未来基础设施的新材料集成创新

沙特阿美足球场项目雄辩地证明，当代大型基础设施已不再是单一功能的承载物，而是驱动材料创新、实践低碳理念、促进国际合作的综合性平台。

全生命周期价值提升：项目通过使用Pozzolona替代传统水泥，从材料生产源头优化资源利用效率。这标志着建筑业从过去仅关注建设成本，转向对材料全生命周期价值的系统管理，这是一种根本性的转变。GFRP筋在地面板的全面应用，以其卓越的耐腐蚀性，确保了结构沿海高盐环境下的百年耐久性，消除了因钢筋锈蚀导致混凝土开裂而带来的频繁维修，实现了长期、低维护的基础设施高效运营。

循环经济实践：项目首次部署的37,300 m³非金属聚合物模块化雨水调蓄池，其“设计寿命50年”和“可完全回收”的特性，确保了材料在使用周期结束后不会成为建筑垃圾，而是可作为高质量的再生资源重新进入价值链，体现了新质生产力所强调的资源高效循环利用。

国家战略竞争力的锻造：通过与国际顶尖机构合作，项目将全球前沿的材料标准与认证体系引入并本地化。成功实施后，将有机会主导制定中东特殊环境条件与工况下新型材料应用标准，从规则的追随者转变为规则的制定者，以标准引领支撑产业高质量发展。

5. Aramco. Aramco Stadium[EB/OL]. [2026-04-09]. <https://www.aramcostadium.com/en>.

6. Saudi Gazette. Aramco Stadium recycles 18,000 tons of construction waste in sustainability push[EB/OL]. (2026-04-14). <https://saudigazette.com.sa/article/660536/saudi-arabia/aramco-stadium-recycles-18000-tons-of-construction-waste-in-sustainability-push>.

7. BAMAROOF S M, DAZA J F C, ALWADAAH N A. Mitigating Corrosion Risks in Storm Water Management: the Use of Non-Metallic Modular Geocell Tanks[J]. MECC 2025, 2.

8. 精工国际. 精工国际沙特阿美体育场项目主结构构件提前交付[EB/OL]. (2025-03-19). <https://news.goalfore.cn/latest/detail/82051.html>.

中国拥有完整的制造体系、丰富的工程应用场景和持续增长的高性能材料需求；沙特阿拉伯具备能源资源、化工产业基础和面向未来的转型愿景。双方在能源资源、材料研发、产业制造、工程应用和市场拓展等方面具有高度互补性。以沙特阿美为代表的能源化工企业，可通过推动碳氢资源向高性能聚合物、碳纤维、复合材料和循环材料延伸，进一步释放“油转化”的材料价值；中国合作伙伴则可依托科研、制造和工程能力，加快先进材料的本土化适配与应用，共同构建从原料、研发、制造到项目应用和循环利用的材料创新链。

NEXCEL是推动这一共同愿景落地的重要协同平台。通过连接沙特阿美在非金属材料解决方案方面的技术积累与同济大学及中国合作伙伴的研发、工程转化和产业资源，NEXCEL已推动先进材料在道路、建筑和通信基础设施中的应用。未来，其作用可进一步由单项项目合作拓展至联合研发、性能评价、标准建设、检测认证、人才培养和国际推广，推动创新成果从项目应用走向更广泛的产业化实践。

未来创新将围绕材料、结构和全生命周期三个层面展开：开发适用于严苛环境的高耐久复合材料和高性能聚合物，推进结构轻量化与再生材料高值化利用，并将低碳理念贯穿设计、建造、运维和更新全过程。通过强化产学研协同、完善标准与评价体系，并拓展材料在风电、光伏、交通、通信、储能和城市更新等领域的应用，先进非金属材料有望同时提升基础设施的性能、效率和环境适应能力。沙特阿美与中国合作伙伴可在持续创新与开放合作中，共同探索具有技术可行性、经济竞争力和环境效益的材料解决方案，为中国“双碳”目标和高质量发展提供长期支撑，并为全球材料转型贡献可借鉴的合作路径。

共同愿景

以材料转型共创低碳未来

Common Vision: Transforming Materials to Create a Green Future Together

面向全球低碳转型与中国高质量发展，能源体系的清洁化需要与材料体系的高性能化协同推进。材料转型通过优化材料生产、建造、使用、维护和回收方式，能够降低基础设施全生命周期的资源消耗与碳排放，并以轻量化、长寿命和高效率提升工程系统的长期价值。先进非金属材料由此不仅成为传统材料体系的重要补充，也将成为推动建筑、交通、能源和数字基础设施绿色升级的关键支撑。



同濟大學
TONGJI UNIVERSITY



【扫码获取更多先进材料转型内容】