

# 道路沥青产品行业碳中和路径分析

罗培锦 许耀

广州新粤沥青有限公司 广东广州 510663

**摘要：**本文深入分析了道路沥青混合料的全生命周期碳足迹，揭示了原材料获取阶段作为碳排放的主要环节，占据了生命周期总排放的60%以上。针对这一阶段，提出了优化石油化工过程、发展新能源业务、加强技术创新、开发碳捕集利用与封存技术等减排策略。同时，对于产品生产和废弃物处置阶段，文中探讨了温拌技术、冷拌再生技术的应用，以及绿色再生工厂生产模式的实施，旨在降低能耗和碳排放。通过多方面的努力和协同合作，沥青产品行业能够在追求经济效益的同时，积极响应国家的碳达峰和碳中和目标。

**关键词：**沥青混合料；全生命周期；碳足迹；碳中和

## 引言

中国作为世界上最大的二氧化碳排放国之一，已承诺在2030年前达到碳排放峰值，并力争在2060年前实现碳中和。2022年6月，交通运输部等部门发布了实施意见，强调将绿色理念融入交通运输基础设施的全生命周期，这为道路沥青产品行业的碳减排和碳中和提供了明确的政策指导。

## 一、道路沥青混合料碳足迹全景

生命周期评价是一种用于评价产品和服务相关的环境因素及其从原材料，经生产、使用直至废弃的整个过程对环境影响的工具（简称LCA）。“产品碳足迹”即碳足迹在产品层面的应用，是指某一产品在其生命周期过程中所导致的直接和间接的CO<sub>2</sub>及其他温室气体（以CO<sub>2</sub>排放当量的形式表示）排放总量。“产品碳足迹”是基于生命周期评价方法计算得到的产品生命周期内所有碳排放的总和。全生命周期（从摇篮到坟墓，B2C），即原材料生产、制造、配送销售、使用、废弃等阶段。新粤沥青公司根据实际情况将沥青产品的全生命周期碳足迹分为六个阶段，分别为产品原材料获取阶段、产品生产阶段、产品运输分配阶段、施工阶段、产品使用阶段和废弃物处置阶段。研究1吨重交沥青混合料，在各个阶段所产生的碳排放量见下表1。

从表中可以看出1吨重交沥青混合料产品的原材料获取阶段对产品全生命周期碳足迹影响最大，其次是产品生产阶段、废弃物处置阶段。其中原材料获取阶段分为原材料生产阶段及原材料运输阶段。沥青的运输为海

表1 1吨重交沥青混合料产品的全生命周期各阶段的GHG排放

阶段	碳足迹	单位	占比
原材料获取阶段	85.13	kgCO <sub>2</sub> e	63.18%
产品生产阶段	20.13	kgCO <sub>2</sub> e	14.94%
产品运输分配阶段	2.58	kgCO <sub>2</sub> e	1.92%
施工阶段	7.17	kgCO <sub>2</sub> e	5.32%
产品使用阶段	0.00	kgCO <sub>2</sub> e	0.00%
废弃物处置阶段	19.73	kgCO <sub>2</sub> e	14.64%
合计	134.75	kgCO <sub>2</sub> e	100.00%

运、公路运输，集料、矿粉、水泥的运输为公路运输。所以主要对产生碳足迹最大的三个阶段进行碳中和路径分析。

## 二、碳排放关键阶段的深入分析，碳减排策略与碳中和路径

当各阶段的碳排放都实现净零排放时，沥青混合料产品的碳足迹为零，即实现碳中和。现对沥青混合料各阶段的碳足迹进行分析，寻找实现碳中和的路径。原材料获取阶段分为原材料的生产、运输。重交沥青的混合料的原材料有重交沥青、集料、矿粉、水泥。

重交沥青原材料获取阶段的碳排放有石油化工阶段原料沥青生产产生的碳排放，将沥青运输到沥青加工厂家产生的碳排放，沥青在沥青加工厂家仓储产生的碳排放，及将沥青运输到沥青搅拌站产生的碳排放。

2020年4月，荷兰壳牌宣布在2050年成为净零排放的能源企业。荷兰壳牌为低碳转型目标出台了完善明确的规划，确定了减排方式及优先级。壳牌计划降低公司

常规燃料的产量，分离和重整炼油和化工业务，建设竞争性能源化工一体化园区。该公司一直积极发展各类新能源业务，包括生物能源、氢能、风能和太阳能等；在荷兰、美国等国家建设多个风电场，并积极探索太阳能技术。

中国石油天然气集团有限公司大力实施“稳油增气”策略，推动了天然气产量快速增长；积极推进可再生能源布局，加大地热资源的规模开发和综合利用；高度重视科技创新，持续推进科技减排发展碳捕集、利用与封存技术；此外，还致力于通过林业碳汇等推动产业低碳发展。通过国内外石油能源行业巨头的战略规划部署可以看出，石油行业主要通过节能减排，绿色能源，碳捕集技术及林业碳汇作为实现碳中和目标的实施措施。

集料、矿粉、水泥原材料获取的碳排放主要是原材料的生产及运输，生产单位主要是矿山，水泥加工厂等。根据“零碳矿山”路径研究与实践，有“减碳”生产、“低碳”供应、智能碳管理、“零碳矿井”示范的实施路径<sup>[1]</sup>。通过减少生产过程碳排放，实现生产减碳。把节约能源资源放在首位，实行全面节约战略，持续降低单位产出资源消耗和碳排放。持续提升用电设备能效水平，减少电力消耗和碳排放量。提高供热设备能源利用效率，减少供热燃料消耗碳排放量。提升能碳管理水平，减少碳排放量。调整能源消费结构，实现生产低碳。用电光伏化。用热清洁化。利用生物质能，对低温余热进行利用。提升碳汇能力，实现生态负碳。推进碳汇林建设，开展固碳减排研究。

水泥加工厂的零碳路径研究涉及多个方面，包括产能控制、技术升级、原燃料替代、以及二氧化碳的捕集、利用与封存（CCUS）等。通过控制和优化水泥产量，减少不必要的生产活动，是实现碳达峰的重要手段之一。研究表明，通过全面加强产能控制、加大落后产能淘汰力度，可以推动水泥行业碳排放于“十四五”中期达峰。提高水泥利用效率、大力推行熟料减量与替代也是关键措施。采用新型干法生产技术比传统方法减少CO<sub>2</sub>排放量34%，生产掺加混合材料的水泥比硅酸盐水泥减少CO<sub>2</sub>排放量35%<sup>[2]</sup>。利用固体废物替代燃煤，可带动行业CO<sub>2</sub>排放量较2020年减少0.17×10<sup>8</sup>t<sup>[3]</sup>。粉煤灰替代熟料是中国水泥CO<sub>2</sub>减排的主要部分，与替代生料结合可产生最大CO<sub>2</sub>减排373.303kg/t水泥。这表明通过替代原料技术，可以有效减少CO<sub>2</sub>排放。CCUS技术是水泥行业实

现碳中和的必要路径。混凝土固碳、钙循环等在水泥行业具有典型行业优势的技术可与生产工艺紧密结合，成为未来水泥行业CCUS技术的重要发力点。基于用富氧燃烧技术实现水泥生产烟气中CO<sub>2</sub>浓度的富集，然后采用深冷冷冻法对烟气中的CO<sub>2</sub>进行液化分离，最后将液态CO<sub>2</sub>产品用于油气田驱油以提高原油采收率的水泥工业富集捕集、利用与封存CO<sub>2</sub>的技术路线，显示了CCUS技术在水泥行业的应用潜力。

集料、矿粉、水泥运输过程的碳中和需要综合考虑包括运输方式的选择、运输效率的提升、能源替代。铁路运输在能耗和碳排放方面均优于公路运输。因此，在大宗货物运输中，应优先考虑“公转铁”或“公转水”的策略，即通过优化货物流向，将部分公路货运转移到铁路或水路运输上。多式联运也是一个有效的选择，它能够结合不同运输方式的优势，实现更高效、低碳的货物运输。提高运输效率是降低碳排放的关键。可以通过采用先进的物流技术和管理方法来实现，例如优化车辆路径规划、实施高效的货物配送策略以及利用信息技术提高物流信息的透明度和准确性。通过技术创新和政策引导，可以进一步降低运输过程中的碳排放。例如，发展新能源和电气化公路货运、推进铁路专用线、地铁、高铁等轨道货运，以及促进生物燃料甲醇和LNG动力船舶货运等方向。

沥青混合料的生产环节的碳中和方案可以从多个角度进行探讨。利用天然气作为沥青拌合站燃料，可以降低CO<sub>2</sub>排放量。推广温拌技术和冷拌再生技术，温拌技术的能耗和二氧化碳排放量比传统热拌技术均降低了20%左右。而冷拌再生沥青混合料总能耗与碳排放较热拌沥青混合料分别降低了56%和50%。这些技术的应用有助于减少能源消耗和碳排放。优化沥青混合料的生产流程：通过改进沥青混合料的生产流程，如采用中温化技术降低拌合与压实温度，以及对沥青面层施工沥青混合料拌合阶段能耗及碳排放因素进行分析并采取相应的减排措施，可以有效降低能耗和碳排放。实施绿色再生工厂生产模式：通过工厂化的再生质量控制技术，对配置系统、取样方法、加热温度等生产工艺控制指标提出建议，结合实际生产情况进行质量效果验证，为再生工厂生产运行中各个阶段的质量控制提供技术依据。

沥青混合料废弃环节的碳中和分析涉及多个方面，包括废弃的沥青混合料可以回用于原材料生产、混合料制备、需考虑运输及施工等阶段与非再生料的差异。在

原材料生产阶段，使用回收材料如再生粗、细骨料和铣刨料（RAP）可以显著降低能耗和碳排放。随着RAP掺量的增加，新型再生沥青混合料在整个生命周期内的能耗和碳排放呈降低趋势<sup>[4]</sup>。此外，采用中温化技术和冷再生技术可以在不降低沥青混合料性能的前提下，有效降低CO<sub>2</sub>排量。在混合料制备阶段，热拌再生沥青混合料与冷拌再生沥青混合料相比，前者在原材料生产阶段的能耗与排放较大，但施工阶段的能耗与排放较低<sup>[14]</sup>。在运输阶段，RAP的运输距离对其碳排放有显著影响。当RAP的运输距离超过一定阈值时，其碳排放量会增加。因此，优化RAP的运输路线和方式是减少碳排放的重要措施。在施工阶段，不同再生方法对CO<sub>2</sub>排放的影响存在差异。使用再生料的CO<sub>2</sub>排放量比使用新料的要少，而就地再生设备由于有时需要长距离运输会导致CO<sub>2</sub>排放量增大，但综合比较其排放的CO<sub>2</sub>仍是最少的。

### 三、结论与未来展望

本文通过对道路沥青产品全生命周期碳足迹的详细分析，揭示了沥青混合料在不同生产阶段的碳排放特点，并针对原材料获取、产品生产、废弃物处置等关键阶段提出了具体的碳减排及碳中和路径。研究发现，原材料获取阶段是沥青产品生命周期中碳排放的主要来源，占比超过60%，其次是产品生产和废弃物处置阶段。针对这些阶段，报告提出了一系列切实可行的减排措施和碳中和策略。

在原材料获取阶段，通过优化石油化工过程、发展新能源业务、加强技术创新、开发碳捕集利用与封存技术等措施，可以有效降低碳排放。同时，对于集料、矿粉、水泥等原材料的获取，实施“零碳矿山”路径，包

括减碳生产、低碳供应、智能碳管理等，以及水泥加工厂的零碳路径研究，均有助于实现碳中和目标。

在产品生产阶段，推广温拌技术和冷拌再生技术、优化生产流程、实施绿色再生工厂生产模式等措施，能够显著降低能耗和碳排放。此外，废弃环节的碳中和分析表明，通过使用回收材料、中温化技术和冷再生技术，以及优化运输路线和方式，可以有效减少废弃沥青混合料的环境影响。

综上所述，实现道路沥青产品行业的碳中和目标需要多方面的努力和协同合作。通过采纳本报告提出的策略和措施，沥青产品行业可以在确保经济效益的同时，积极响应国家的碳达峰和碳中和目标，为全球气候变化的应对贡献力量。未来的工作应当聚焦于这些策略的实施效果评估和持续优化，以确保碳中和路径的顺利实施和长期可持续性。

### 参考文献

- [1] 李新华. 神东矿区创建“零碳矿山”路径研究与实践[J]. 中国煤炭, 2022, 48(11): 88-94.
- [2] 李新, 石建屏, 吕淑珍等. 中国水泥工业CO<sub>2</sub>产生机理及减排途径研究[J]. 环境科学学报, 2011, 31(05): 1115-1120.
- [3] 贺晋瑜, 何捷, 王郁涛等. 中国水泥行业二氧化碳碳排放达峰路径研究[J]. 环境科学研究, 2022, 35(02): 347-355.
- [4] 雷斌, 周健英, 余林杰等. 利用废料制备再生沥青混合料全生命周期的环境效益评价[J]. 新型建筑材料, 2023, 50(05): 56-60.