

中南大学研究生创新项目

(自主探索类)

申 报 书

项目名称： “双碳”目标下环境标杆管理及其在我国交通运输
业应用研究

所属学科： 管理科学与工程

项目关键词： 双碳；标杆管理；交通运输业

二、立项依据

（项目的研究目的、意义；国内外研究现状分析和发展趋势；项目应用前景和学术价值；现有研究基础、条件、手段等）

1. 研究的目的及意义

目前，全球每年向大气排放约 510 亿吨的温室气体，对人类社会构成了重大威胁，也为世界各国带来了巨大的挑战^[1]。大量温室气体排放关系到各国的切身利益与经济发展，因此，环境与经济之间的动态均衡已上升为重要的政策问题与社会问题^[2]。可持续发展成为解决这一问题的主要理念，它是指一种既能满足当代人的需求又不对后代人满足其需求的能力构成危害的发展^[3]。作为可持续发展的重要方面，碳减排已成为全球共识。为应对气候问题，2015 年《联合国气候变化框架公约》近 200 个缔约方在巴黎气候变化大会上通过了《巴黎协议》^[4]，在协议中，所有国家同意努力将全球气温上升幅度控制在 2°C 以下，并且鉴于气温上升的严重风险，各国同意力争将气温升幅将控制在 1.5°C 以内。改革开放以来，中国经济飞速发展的同时，经济发展与环境保护的矛盾日益突出。中国是世界上目前最大的温室气体排放国，且在世界排放量中所占的份额不断攀升^[5]。为落实《巴黎协定》减碳控排的国际倡议，2020 年 9 月习近平总书记在第七十五届联合国大会上宣布，中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和^[6,7]。碳达峰、碳中和作为中国实现绿色发展的必由之路，也将成为我国“十四五”污染防治攻坚战的主攻目标^[8]。中共中央、国务院《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》^[8]、国务院《2030 年前碳达峰行动方案》^[9]先后发布，对碳达峰、碳中和这项重大工作进行了系统谋划和总体部署。由此可见，碳减排问题受到了党和国家的高度重视。同时，人们也逐渐意识到“双碳”目标的实现离不开对碳排放的有效管理，而有效的碳排放管理离不开科学客观的环境标杆管理^[10,11]。环境标杆管理主要包括环境标杆设定和环境标杆实现，是一种通过识别和应用最佳实践提升环境效率的方法^[11-15]；该方法还可以为碳减排政策的制定及实施提供详细的参考信息和指导。因此，环境标杆管理可以作为助力我国碳减排工作，实现我国“双碳”目标的重要方法。

然而，当前学术界针对环境标杆管理的研究较少，而且主要聚焦于环境标杆的设定研究，环境标杆的实现研究屈指可数。再加上大部分的环境标杆设定研究和环境标杆实现研究均不够深入，环境标杆设定方面，鲜有研究考虑到决策单元（Decision Making Unit, DMU）自身努力程度等内部因素及环境生产技术限制、政府政策限制等一系列外部因素对环境标杆设定的影响；环境标杆实现方面，鲜有研究考虑到决策者偏好及 DMU 的决策行为等对环境标杆的实现的影响，从而使设定的标杆失去了其现实价值和意义。因此，亟需构建一套科学、有效、符合现实背景的环境标杆管理体系，着力解决 DMU 碳排放无效率等问题，服务我国的碳达峰、碳中和工作，实现“双碳”目标。

碳排放效率评价是环境标杆管理的基础。自被提出以来，引起国内外学者的广泛关注并获得了深入的学术探索和应用推进，其中数据包络分析（Data Envelopment Analysis, DEA）是近年来碳排放效

率评价模型中最流行的方法之一^[16]。中国科学院科技战略咨询研究院、中国科学院文献情报中心及 Clarivate Analytics（原汤森路透旗下知识产权与科技事业部）联合出版的《2016 研究前沿》指出：“基于数据包络分析的环境与能源效率评价”是经济学、心理学及其他社会科学领域的两大重点热点前沿之一，并且强调环境与能源效率评价领域的 35 篇核心文献均采用了 DEA 方法和模型。相比于其他评价方法（如随机前沿分析法、层次分析法等），DEA 方法具有如下优势^[17-20]：1）DEA 方法评价的是一组具有相同结构决策单元（Decision Making Unit, DMU）或系统的相对效率，因此 DMU 的最优效率值不受数据量纲的影响，可以很好的解决评价指标量纲不一致的问题；2）DEA 方法是一种非参数方法，运算时只须提供实际的输入输出数据即可，不用提前确定生产函数形式，因此适用于一些复杂的经济问题；3）使用 DEA 方法时，各评价指标的重要性，即权重值是通过数学模型计算得到，具有较强的客观性；4）DEA 方法评价的效率值是一个综合性的评价指标，尤其适用于多个投入指标和多个产出指标的网络系统的效率评价；5）DEA 方法可为提高 DMU 效率提供具体的改进标杆；6）DEA 方法具有较强的理论基础和应用价值，适用范围广，原理较简单。基于以上优势，**DEA 方法已被拓展并应用于考虑环境因素（非期望产出）的系统环境绩效评价中，并已逐渐成为国际公认的最好最流行的环境绩效评价方法之一**^[16, 21-24]。现有的非期望产出处理方式主要包括：1）将非期望产出视为可自由处置的投入（Hailu 和 Veeman^[25]）；2）将污染产出视为弱可处置性产出（Färe 和 Grosskopf^[26]；Färe 等^[27]）；3）考虑不同的技术下期望产出和非期望产出的处理（Murty 等^[28]；Sueyoshi 和 Goto^[29]）；4）构建符合物质守恒原理的效率测度模型（Coelli 等^[30]；Hampf 和 Radseth^[31]；Welch 和 Barnum^[32]）。考虑到效率评价模型**违背物理定律**会影响到碳排放效率评价的准确性，以及现有碳排放效率测度模型的生产经济学和环境经济学含义并不明确，大多都停留在理论建模的基础上而**缺乏所构造模型对碳排放效率的合理解释**。因此，本项目拟将物质守恒原理和环境经济学理论考虑到碳排放效率评价模型构建中，提出符合物质守恒原理且满足环境经济学理论的碳排放效率测度模型。在此基础上，考虑到生产技术水平通常是不断变化的，故本项目对生产技术水平不变的假设进行放松，结合历史数据和当期数据，预测下一期的环境生产技术，对碳排放效率进行有效评价。

碳排放效率评价为碳排放效率表现的好坏程度提供了定量分析，**环境标杆设定是为碳排放效率表现不佳的 DMU 设定改进目标的过程**。环境标杆设定不仅为碳排放效率不佳的 DMUs 提供科学的参考点，同时也为管理者提高 DMUs 的碳排放效率指明了改进方向，提供了改进方案。环境标杆设定是在经典标杆设定的基础上，考虑环境变量，即非期望产出，实现 DMU 在主观准则或者客观方法下的环境标杆设定。然而，传统的标杆设定问题在很大程度上依赖管理者或者当局者的管理经验和直觉。Cook 等^[33]在 DEA 的基础上提出一种考虑奖惩兼备的激励方案来进行标杆设定，该标杆的设定很大程度上依赖事前目标的选取，而事前目标的选取是由管理者主观决定的。同样，Zhou 等^[34]运用 DEA 方法对淮河流域水资源环境负载表现进行效率分析，并在主观确定的标杆的基础上设定一组奖励和惩罚机制激

励各淮河流域城市改善水资源环境负载表现。Ruiz 和 Sirvent^[35]在考虑管理目标和实际目标的基础上，对两者进行权衡，提出一种新的基于 DEA 的标杆设定方法。其中的管理目标仍然是由管理者主观确定的。然而，由于主观设定标杆的方法在环境标杆设定中有很大的局限性，这种局限性源于管理者对于各个环境指标的认知有限，主观直觉对宏观的环境标杆设定表现出很大的不确定性和不准确性。此外，DMUs 自身努力程度等自身因素及环境生产技术限制、政府政策限制等一系列外部因素的制约均会对环境标杆的设定产生影响。因此，在考虑内部因素和外部因素下，设定科学的环境标杆，同时避免管理者自身主观因素的影响，是解决中国环境问题，实现经济与环境协同绿色发展的重要措施。

环境标杆的实现研究是完成碳减排目标的关键。环境标杆设定为碳排放效率不佳的 DMUs 提供科学合理的改进目标，**环境标杆实现侧重于选取合理的激励方式实现所设定的目标。**基于所设定的改进目标，通过对环境标杆的实现来提升碳排放效率，改善环境问题，从而促使我国绿色经济发展，指引我国更好的实现人民富裕、国家富强、人与自然和谐，实现中华民族永续发展。然而，大多研究者专注于环境标杆的设定问题，对于如何实现所设定的环境标杆鲜有研究者进行研究。为解决此问题，本项目将考虑 DMU 的决策偏好，根据不同 DMU 的决策行为来刻画 DMU 的效用函数。同时梳理 DMU 对标杆实现的影响，研究采取怎样的激励机制，以实现所设定的环境标杆。因此，本项目拟从 DMU 决策行为的角度出发对所设定环境标杆的实现进行研究。

综上所述，针对我国的“双碳”目标的实现需求和相关理论的拓展需求，本项目以碳排放工作为指导，从生产技术不变和生产技术可变两种情形出发，结合生产经济学、环境经济学、信息经济学、行为经济学相关的理论知识，进行相应的标杆管理研究，包括理论研究和应用研究两部分。在理论研究部分，考虑到现有碳排放研究侧重碳排放绩效评价^[36-38]，鲜有涉及环境标杆设定及环境标杆实现问题。故本项目针对生产技术不变和生产技术可变情形，刻画符合环境经济学理论和物质守恒原理的生产技术；其次，将自身努力程度等内部因素和多种外部因素考虑到环境标杆的设定中，为碳排放效率不佳的 DMU 提供科学有效的参考点，同时也为管理者提高 DMU 的碳排放效率指明改进方向；然后，考虑到 DMU 的不同决策行为对环境标杆实现的影响，设置合理的激励机制，以实现所设定的环境标杆。在应用部分，考虑到我国交通运输业在国民经济与社会建设中的重要作用与发展需求，为更加切实地响应并服务于国家战略，例如，中共中央、国务院《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》、国务院《2030 年前碳达峰行动方案》两个文件共同构成贯穿碳达峰、碳中和两个阶段的顶层设计，对加快推进“低碳交通运输体系建设与专项行动”进行了总体部署。本项目在前述理论研究的基础上，针对我国交通运输业的环境标杆管理活动开展应用研究，运用理论研究成果为提升我国交通运输业的碳排放效率、为我国交通运输业设定合理的环境标杆、有效实现所设定的环境标杆等提供科学、定量、客观的政策建议，同时借助应用研究检验并改进理论研究成果，**力求理论联系实践，充分为我国共享经济高发展提供科学有效的理论参考和方法支撑。**

2. 国内外研究现状分析和发展趋势

围绕本项目的研究主题，以下将着重从 DEA 及基于物质守恒原理的 DEA、碳排放效率、环境标杆管理三大方面对本项目相关的国内外研究现状进行总结。

2.1 DEA 及基于物质守恒的 DEA 研究现状分析

DEA 方法是由 Charnes 等^[39]于 1978 年提出的一种非参数规划方法，可有效解决具有多投入多产出评价指标的 DMU 的相对效率评价问题。相较于其它评价方法，DEA 具有较强的客观性，不需要提前设定生产函数。它通过各 DMU 的观测数据判断 DMU 是否为 DEA 有效，本质上是判断 DMU 是否位于生产可能集构成的前沿面上^[40, 41]。众多学者在该领域做出了杰出的贡献，如 Banker 等^[42]；Sexton 等^[43]；Andersen 和 Petersen^[44]；Färe 和 Grosskopf^[45]；Liang 等^[46]等。其中代表性的理论成果包括：基于规模收益不变的 CCR 模型（Charnes, Cooper 和 Rhodes^[39]），基于规模收益可变的 BCC 模型（Banker 等^[42]），基于松弛变量的 SBM 模型（Tone^[47]），超效率模型（Andersen 和 Petersen^[44]），交叉效率模型（Wu 等^[48]）等。目前 DEA 已被广泛应用到各个领域相对效率的评价问题中，比如环境（Sueyoshi 等^[49]；Tian 等^[50]；Zhou 等^[51]）、金融（Fukuyama 和 Matousek^[52]；Ding 等^[53]；Mohtashami 和 Ghiasvand^[54]）、管理（An 等^[55]，Dobos 和 Vörösmarty^[56]；Ruiz 和 Sirvent^[57]）、教育（An 等^[58]；Yang 等^[59]；Chen 和 Wang^[60]）等。Liu 等^[61]针对 DEA 方法在各研究领域的应用研究进行了文献调查，发现前五大应用领域是银行，医疗保健，农业和农场，交通运输，以及教育。最近，Emrouznejad 和 Yang^[62]对 1978 年到 2016 年底 DEA 的理论方法发展以及“现实”应用方面的研究进行了总结和分析，发现农业，银行，供应链，运输以及公共政策是 DEA 的前五大应用领域，并且于 2015 年和 2016 年发表的期刊文献数量最多。从 Web of Science 核心期刊上检索到至今以 DEA 为主题的相关文献 25095 篇，其中英文的有 22083 篇，占 88.0%，中文的 214 篇，占 0.85.3%，这些统计数据反映出 DEA 是目前国际上的研究热点。

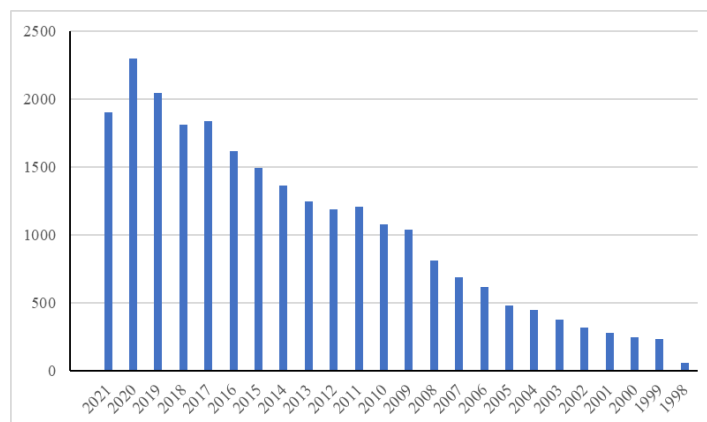


图 1 1998-2022 年 DEA 文献刊发统计（源自 Web of Science 核心检索）

本项目聚焦于 DEA 方法在碳排放效率的应用。以 DEA 为基础工具的碳排放效率评价已经受到研

研究者的广泛关注，其中重要的一个理论基础是 Färe 等^[27]对非期望产出的研究，之后相关理论方法得到迅速发展。碳排放效率评价重在非期望产出的处理上，根据非期望产出的处理方法进行分类，主要分为直接方法和间接方法两大类。其中直接方法可进一步分为三类：1）基于 Färe 等^[27]的研究，该研究将产出的强可自由处理替换为弱可自由处理，之后很多研究都是对这一方法的拓展和延伸，如 Seiford 和 Zhu^[63]，Zhou 等^[64]，Wang 等^[65]；2）基于松弛量或 Russell 测度的评价模型，如宋马林等^[66]，Zhou 等^[67]，Bi 等^[68]，Chen 和 Jia^[69]，Liu 和 Wu^[70]；3）基于方向距离函数（direction distance function, DDF）的模型设定，如 Chung 等^[71]，Boyd 等^[72]，Picazo-Tadeo 等^[73]，Halkos 和 Tzeremes^[74]，Sueyoshi 和 Goto^[75]。同时，间接方法也可以进一步分为两类：1）把非期望产出作为投入处理，例如 Liu 和 Sharp^[76]，Dyckhoff 和 Allen^[77]，Yang 等^[78]，该方法只需确定什么指标是希望越少越好的，什么指标是希望越多越好的，但在反应现实情况时，其真实性有待进一步提升，故有一定的局限性。2）对非期望产出数据进行转换，然后再将其进行效率评价，代表性的工作有非线性单调递减转型法（Scheel^[79]），线性单调递减转型法（Seiford 和 Zhu^[63]；Wu 等^[80]）等。

产出弱处置性处理方法被广泛应用于构建考虑非期望产出 DEA 模型，对碳排放效率进行测度。然而，将非期望产出作为弱自由处置的产出处理违背了非期望产出的单调性，可能会导致对污染物影子价格的不准确估计（Chen 和 Delmas^[81]）。并且，这种弱自由处置方法在不存在末端减排处理时会违背热力学定律（Førsund^[82]）。因此，近年来有学者提出利用符合热力学定律的 DEA 模型来处理非期望产出，如非期望产出的弱 G-处置性，它是通过将物质守恒原理应用于生产技术的刻画中，以此来限制投入、期望产出和非期望产出之间传统的自由替代性（Coelli 等^[30]；Welch 和 Barnum^[32]；Rødseth^[83]，Wang 等^[84]）。物质守恒原理指出，物质既不会消失，也不会被创造，物质的总量总是保持守恒的。Ayres 和 Kneese^[85]首次将物质守恒原理应用到经济分析中，提出了热力学对经济的影响，他们认为由于热力学第一定律的存在，环境退化会导致生产和消费的过剩，因此得出现实生产满足物质守恒基本原理这一结论。但由于当时的环境问题没有现如今这么严峻，再加上当时技术水平有限，允许较少成本的投入在环境治理方面，故污染排放量较高，增加了环境的负担。此后，学者将这一定理应用于特定的污染性生产技术中，以此来限制投入、期望产出和非期望产出之间传统的自由替代性。Pethig^[86]描述了经济学中物质的适当流动。Coelli 等^[30]将物质守恒原理引入生产模型中，提出了一个新的模型，以满足研究者和相关者的需求。然而，它忽略了可控污染物的减排和减排过程所需的额外资金投入问题。2009 年，Lauwers^[87]将物质流动条件考虑到模型的设定当中，提出了环境调节生产效率模型和前沿生态效率模型。随后，在 Coelli 等^[30]基础上，Rødseth^[83]和 Wang 等^[84]考虑了污染物的减排问题。他们将减排活动和生产活动视为一个联合生产的过程，即整个生产过程中期望产出 y ，排放的污染物和减排的污染物均来自于投入 x 。如今，物质守恒原理已引起了许多学者的关注并对其进行研究，构建符合现实且具有应用价值的碳排放效率评价模型，对环境治理等方面进行分析，为决策者提供理论依据和现实指导，

例如 Hampf 和 Rødseth^[88]和 Rødseth 等^[83]均提出了满足物质守恒原理的环境经济模型。与此同时，在应用研究方面，基于物质守恒原理的碳排放效率评价模型应用于火电行业、矿业、钢铁行业、交通运输业等需要进行环境治理的相关领域，为企业的环境治理问题提供有力帮助。例如，Arabi^[89]等将考虑物质守恒原理的 DEA 模型对发电厂的碳排放效率和生产率变化进行评价。

【小结】根据文献阅读整理可知，经过多年发展，DEA 在理论与应用方面均得到了较为充分的研究。在碳排放效率评价方面，DEA 模型构建主要聚焦于非期望产出的处理，而将其作为弱自由处置的产出处理违背了非期望产出的单调性，可能导致对污染物影子价格的不准确估计，且违背物质守恒原理。现如今，物质守恒原理已引起了许多学者的关注并对其进行研究，然而在碳排放效率评价方面，鲜有文献对物质守恒原理进行考虑。因此，“双碳”目标下，亟待构建考虑物质守恒原理的碳排放效率评价模型。

2.2 碳排放效率研究现状分析

近几年，碳排放效率受到广泛关注，但学术界对于碳排放效率这一概念还没有明确性的统一定义。日本学者 Kaya 和 Yokobori 首次提出了碳生产率的概念，并将其定义为二氧化碳排放量与名义 GDP 的比值^[90]，Sun 支持了这一观点^[91]，Mielnik 和 Goldemberg 则用单位能源消费的二氧化碳排放量评价碳排放效率，提出了碳指数的概念^[92]，Ang 认为碳指数是衡量一个国家节能减排的重要标准^[93]，但无论是碳生产率还是碳指数，其都由二氧化碳排放量与某一变量（单要素）的比值来进行衡量，忽略了经济发展、产业结构和要素替代的影响。为弥补上述缺陷，研究者们提出了具有综合多维度特征（多要素）的碳排放效率。首先，引入生产技术效率的概念。生产技术效率是指一定时期内产出与投入的比值，反映生产过程中所有投入要素的综合使用效率^[94, 95]。传统生产技术效率不考虑非期望产出，而在实际生产过程中除了期望产出外，还将不可避免地产生非期望产出，二氧化碳就是一种典型的非期望产出。在计算生产技术效率时，将二氧化碳这一非期望产出纳入评价指标体系，即得到具有综合多维度特征（多要素）的碳排放效率。因此，其本质就是考虑二氧化碳排放的生产技术效率。

目前，DEA 已成为开展碳排放效率研究的主流方法。Zhou 等^[96]将与碳排放效率相关的 4 类指标纳入环境 DEA 模型，对碳排放量最大的 18 个国家的碳排放效率进行了测度，在此基础上分析了碳排放效率影响因素相关性。Zofio 和 Prieto^[97]则运用 DEA 方法测度了 OCDE 国家碳排放效率，并对其差异性进行了分析。魏梅等^[98]借助 DEA 方法测度了中国各地区 1986 至 2008 年间的碳排放效率，并在此基础上研究了碳排放效率的收敛性。基于 Fare^[99]提出的环境技术（Environment Technology），王群伟^[100]等对我国 2001 至 2007 年间的碳排放效率区域差异进行了实证研究。值得注意的是，上述学者所采用的 DEA 模型均为传统 DEA 模型，传统 DEA 模型没有对 DMU 的投入产出的松弛变量进行有效处理。为此，Tone^[101]提出了一种基于松弛变量的非径向非角度测度模型（SBM 模型），避免了径向与角度选

择差异带来的测算偏差,同时对松弛变量进行了有效处理,受到了研究者的青睐。Choi 等^[102]采用 SBM 模型测度了我国碳排放效率,估计了减排成本;Gómez-Calvet 等^[103]则运用 SBM 模型分析了欧盟国家的碳排放效率。SBM 虽然避免了松弛变量和径向选择的问题,但由于方向变量设置的主观性,同一 DMU 的效率测量结果会有偏差^[104]。Sueyoshi 等^[104]拓展了 Cooper 等^[105]的研究,提出了考虑非期望产出的 RAM 模型。该模型不仅是非径向和非定向的,而且避免了 DEA 模型中主观参数的设定,提高了碳排放效率测度结果的客观性和准确性。单纯通过 DEA 模型测度技术效率存在求解复杂的问题,实际研究中一般考虑将 DEA 模型与生产率指数相结合,对碳排放效率进行测度。

【小结】DEA 不需对先验函数进行构造,并且适用于多投入多产出情况下效率的测度。因此,DEA 作为开展碳排放效率研究的主流方法,在构建碳排放效率测度模型方面具有合理性和可行性。然而,现有的碳排放系统较为复杂,简单的 DEA 模型进行碳排放效率测度以无法满足现实需;同时,现有的碳排放效率测度模型不符合物质守恒原理,从而限制了模型的应用范围;其次,现有的碳排放效率测度模型忽略了其对环境经济学含义的合理解释。故本项目在生产经济学理论和环境经济学理论的指导下,构建符合物质守恒原理的碳排放效率测度模型,以实现环境标杆的管理研究。

2.3 环境标杆管理研究现状分析

在绩效管理中,决策者通常使用标杆,与同质组中其他个体的最佳实践进行比较,来评价他们的生产过程(Bogetoft 和 Hougaard^[106];Hougaard 和 Tvede^[107];zhou 等^[108])。Bogetoft^[15]指出,标杆是一种传统的管理工具,通过识别和应用最佳实践来提升效率。环境标杆的研究作为标杆研究的一个分支,该研究对碳排放效率的提升具有重要的现实意义和价值。环境标杆管理主要分为环境标杆的设定及环境标杆的实现,故本项目将环境标杆管理分为环境标杆设定和环境标杆实现两部分展开研究现状说明。

环境标杆设定的现状研究。综合生产经济学理论和环境经济学理论知识,从这两种理论出发,环境标杆设定在一定程度上可由环境效率评价间接得到,当以某种特定的效率测度方式评价环境放效率时,相应的环境标杆也可由该效率测度方式唯一确定(Bogetoft 和 Hougaard^[106];Hougaard 和 Tvede^[107])。考虑到基于环境效率的环境标杆设定方法具有良好的数学性质以及易于解释的经济学含义,因此,这种环境标杆设定方法已经被许多学者所采纳,并广泛应用于环境标杆的设定中。Wu 等^[108]在基于工业中的非期望产出被固定的假设下,构造相应的 DEA 模型对 2007-2012 年五年间中国工业环境效率进行评价,并设定了相应的环境标杆。Chen 和 Jia^[109]运用 SBM 模型对 2008-2012 年间中国区域工业的环境效率进行测量,并给出了相应的环境标杆。结果表明环境标杆设定变化较大的地区往往也表现出更高的环境无效性,并且具有明显的区域性特征;经济欠发达地区的标杆变化相对于经济发达地区的标杆变化波动偏大,这意味着经济欠发达地区的碳排放效率仍有较大的提升空间。An 等^[10]将 Distance

Friction Minimization (DFM) 引入到环境效率的测量当中，并在原有 DFM 的基础上考虑非期望产出，对 2011-2015 年五年间中国工业的环境效率进行了评价，同时在环境效率的基础上设定了相应的环境标杆。值得注意的是，尽管现有关于环境效率的研究较为成熟，但是这些研究不能为低效的 DMU 提供改进目标，而对于 DMU 来说，如果缺少可参考的目标，很难实现效率的提升。再加上现有对环境标杆设定的研究较少，因此，对环境标杆的研究更加具理论价值和现实意义。合理的环境标杆设定对于消除碳排放无效性有很强的参考性，它为碳排放绩效水平表现无效性的 DMU 指明了具体改进方向，进而可以提升 DMU 的碳排放效率。同时，现有研究对于环境标杆设定大都忽略了环境生产技术水平限制、政策限制等外部因素的影响，这些外部因素直接制约了环境标杆设定的可应用性；再者，被评价 DMU 自身的努力程度等内部因素也会对为环境标杆的设定产生不同程度的影响，对于 DMU 来讲，它们更偏好于所需努力最少的环境标杆以实现所设定的目标。另外，对于决策者来说，它们更偏好于较少的付出以实现所设定的标杆。因此，综上所述，**现如今关于环境标杆设定的理论方法研究并不成熟，考虑的因素不够全面，再加上不少环境标杆的研究脱离实际，缺乏一定的科学性和可行性，故所设定的环境标杆不能为被评价单元提供参考意见，使得设定的标杆失去了其需要实现的价值。**

环境标杆的实现也是环境标杆管理的一项研究重点和难点。然而，对于标杆实现的研究更是少之又少。An 等^[108]指出了现有标杆管理研究的不足，即现有基于 DEA 的标杆管理研究重点均放在标杆的设定上，而忽视了如何设定合理的激励机制来激励 DMU 实现所设定的标杆。该研究首次通过将委托代理理论与 DEA 结合，提出科学的激励机制以促使设定标杆的实现，具有较强的理论价值，并为 DMU 提供指导，具有重要的应用价值。另外，通常情况下，标杆的实现都是基于外部决策者的视角，而忽略了 DMU 本身的决策行为对标杆实现的影响。然而，从本质上来讲，DMU 本身对自身的所处状态更加熟知，因此，其决策行为对标杆的实现起到更加重要的决定作用。本项目考虑到环境标杆的实现会受到 DMU 决策行为的影响，不同 DMU 的偏好不同，因此会产生不同的决策行为，这将影响到激励机制的设置。因此，对 DMU 的效用函数合理刻画及分析和梳理 DMU 对标杆实现的影响具有重要的意义。

【小结】现有的环境管理研究较少，而且主要聚焦于环境标杆的设定研究，忽略了环境标杆的实现研究。对于环境标杆设定研究，理论方法研究并不成熟，考虑的因素不够全面，再加上不少环境标杆的研究脱离实际，缺乏一定的科学性和可行性，故所设定的环境标杆不能为被评价单元提供参考意见，因此限制了设定标杆的应用价值。对于环境标杆的实现研究，由于不同 DMU 的决策行为会对激励机制的设置产生影响，从而影响到环境标杆的实现。**本项目拟考虑内部因素和外部因素对环境标杆设定的影响，设定科学合理的环境标杆，在此基础上，从 DMU 的决策行为出发，设置相应的激励机制，以实现所设定的标杆。**

3. 项目应用前景和学术价值

本项目围绕“双碳”目标下环境标杆管理及其在我国交通运输业的应用研究这一主题，拟开展四项研究内容：（1）生产技术水平不变情形下环境标杆设定研究；（2）生产技术水平可变情形下环境标杆设定研究；（3）考虑 DMU 决策行为的标杆实现研究；（4）中国交通运输业环境标杆管理的应用研究。具有较好的应用前景和学术价值。同时，本项目结合 DEA，物质守恒原理，生产经济学理论，环境经济学理论，行为经济学理论，信息经济学理论等，多学科间交叉融合，开展环境标杆管理研究，具有较大的科学意义和学术价值。具体如下：

（1）应用前景

随着全球气候变化给人类社会带来的重大威胁，越来越多的国家将“碳中和”上升为国家战略，提出了无碳未来的愿景。我国在向世界展示“中国速度”的同时，以破坏生态环境为代价，造成了经济与环境的不协调发展，使得中国面临严峻的环境压力。实现“双碳”目标，是以习近平同志为核心的党中央统筹国内国际两个大局作出的重大战略决策，是着力解决资源环境约束突出问题、实现中华民族永续发展的必然选择，是构建人类命运共同体的庄严承诺。“双碳”目标提出有着深刻的国内外发展背景，必将对经济社会产生深刻的影响；“双碳”目标的实现也应放在推动高质量发展和全面现代化的战略大局和全局中综合考虑和应对。因此，为实现“双碳”目标，碳排放标杆管理研究具有重要的理论价值和实践意义。本项目基于该重要实践需求，在“双碳”目标的指导下，对环境标杆的设定和环境标杆的实现及应用展开研究，力求充分响应国家战略需求，以理论联系实践，全力为环境标杆设定和实现等实质问题提供科学有效的方法支持，加快实现生产生活方式绿色变革，助力我国如期实现“双碳”目标。

（2）学术价值

针对以上的应用前景，本项目拟在“双碳”目标指导下，从生产技术水平不变情形下环境标杆设定研究、生产技术水平可变情形下环境标杆设定研究、考虑 DMU 决策行为的标杆实现研究三项理论研究展开，均具有重要的学术价值。本项目的学术价值具体体现在以下几个方面：

首先，**构建符合环境经济学理论和物质守恒原理的碳排放效率评价模型**。构建科学的碳排放效率评价模型是对碳排放效率度量的关键与基础。然而现有研究大多聚焦碳排放效率模型的模型拓展，忽略了对模型在环境经济学方面合理性的解释和对物质守恒原理的考虑，造成现有以 DEA 为基础研究方法的碳排放效率研究无法良好的描述碳排放效率测量结果。再加上对效率测度时需引入环境（非期望）产出，在对非期望产出处理时，大多数碳排放效率测度模型违背了物质守恒原理，限制了模型在现实背景中的应用。因此，本项目在考虑环境经济学理论和物质守恒原理的基础上，构建科学、合理的碳排放效率评价模型，对于碳排放效率度量具有重要的价值。

其次，**预测和刻画生产技术**。生产技术不变是一种理想状态，现实情况下，生产技术是随着时间

不断变化的，例如从当期到下一期，由于外部环境或自身因素的影响，生产技术发生改变，使得碳排放效率评价时所参考的前沿面发生改变。因此，本项目在生产技术步不变假设的基础上，放松该假设，通过挖掘当期数据及历史数据的相关关系，以此来确定当期与下一期的相关关系，进而对下一期的环境生产技术进行预测和刻画，这对环境标杆的设定的深入研究具有重要的现实意义。

再次，在考虑内部因素和外部因素影响下，设定科学有效的环境标杆。现有的标杆设定研究大多忽略了 DMU 自身努力程度等内部因素及环境生产技术限制、政府政策限制等外部因素对环境标杆设定的影响。故 DMU 在现实条件下的环境标杆实现无法保证。因此，本项目将外部因素等考虑在环境标杆设定中，提出新的环境标杆选取准则，并在该准则的基础上设定符合现实背景的环境标杆。

最后，在考虑 DMU 决策行为的情况下，选择科学合理的激励机制，实现所设定的环境标杆。然而现有的研究大多集中于环境标杆的设定研究，鲜有研究者对环境标杆的实现进行研究，同时考虑到不同 DMU 的具有不同的偏好，将会对标杆的实现产生影响。因此，本项目将考虑不同 DMU 决策行为考虑到环境标杆的实现中，促使目标的顺利完成。

4. 现有研究基础、条件以及手段

4.1 研究基础

首先，项目申请人具有良好基础知识储备，学习 DEA 相关理论知识已有近三年的时间，具体研究碳排放绩效评价，环境生产率分析，及标杆管理等相关问题，与本项目研究内容高度匹配，目前已完成四篇英文论文的撰写，均与碳排放效率评价相关，一篇已在权威期刊 Environmental Science and Pollution Research (SCI 检索，影响因子 4.306, JCR 二区) 在线发表；一篇已在权威期刊 Environment development and sustainability (SCI 检索，影响因子 3.118, JCR 二区) 在线发表；一篇在第四届评价方法与应用分会年会汇报被评为优秀论文，并投稿至权威期刊《系统数学与科学》，已返修；另外一篇处于已完成待投状态。总体来说，项目申请人具备较坚实的研究基础。

其次，项目申请人参与导师国家自然科学基金面上项目（环境大数据背景下交互网络系统的环境绩效评价方法及其应用研究；面向共享经济的网络 DEA 合作博弈方法及其应用研究）两项，导师中南大学创新驱动计划青年人才项目（大数据情形下网络系统的环境绩效评价方法及其应用研究）一项，湖南省研究生创新项目（共享经济背景下网络系统内部资源配置及收益分配研究）一项。导师的多个项目均与碳排放效率评价有关，项目申请人在参与导师项目的过程中，储备了碳排放效率评价及环境标杆设定及实现相关的知识，为该项目的完成打下了坚实的基础。

再次，申请人已经对本项目密切相关的问题进行了研究并取得相应的成果。如：1）考虑生产过程中的非期望产出及非期望产出的减排量，构建符合物质守恒原理的碳排放效率测度模型，对我国火电

厂的碳排放效率及生产率进行分析，发表在 *Environmental Science and Pollution Research*；2）本文对我国钢铁企业数据进行收集、整理、分析，并进行了相关的碳排放效率测度和生产率分析，了解到哪些企业、地区处于环境低效率，哪些企业高效，为本项目下阶段的进展提供有力的保障，该论文发表在 *Environment development and sustainability*；3）运用改进的 SBM 模型对我国矿产行业进行分析研究，该论文已返修至《系统科学与数学》。

最后，该项目的研究成员均为在校研究生，有充足的学习时间，具备较好的学习和研究能力，对 DEA 方法、合作博弈论、标杆管理、数据分析等的具有良好的掌握和应用，并熟练使用 Matlab、Lingo、Python、Stata 等软件；此外，该项目参与人主持中南大学研究生自主创新项目一项，有较丰富的经验和较强的能力协助完成此项目的研究。同时项目研究团队的指导老师长期从事该领域的研究，是该领域非常杰出的研究人员；申请人及其他研究人员会在导师的监督和指导下认真完成该项目的研究。

以上这些都为本项目的顺利展开提供了良好的研究基础。

4.2 研究条件

本项目的执行主要依托中南大学商学院。学院“管理科学与工程”为一级学科国家重点学科，学院科研教学条件优越，设施齐备，有独立的图书馆分馆，藏书 6 万多册，中外期刊 300 多种；学院拥有 28 个为科研和教学服务的实验室，具有多个设备齐全的研究中心，如决策理论与支持平台研究中心、工程管理和项目评价研究中心、区域与产业经济研究中心、两型社会与生态文明协调创新中心等，为项目的理论及应用提供了充分的硬件基础。特别地，拥有湖南省首个国家基础科学中心“数字经济时代的资源环境管理理论与应用”，国家基础科学中心是国家自然科学基金委迄今为止定位最高的科学基金项目，在我国创新驱动战略的推进中居于重要地位。该项目所有成员均来自上述实验室，具有坚实的学术基础和丰富的科研经验。

同时，项目的研究团队具有扎实的研究基础，在 DEA 相关领域取得了丰富的研究成果，团队成员配备合理，博士研究生和硕士研究生在校科研工作的时间较充足，各自在项目经历、科研经历、学术论文写作等方面具备不同的优势，具有较好的创新精神与科研热情。项目成员在前期的一些项目中有过长期稳定的合作经历，具有良好的合作基础和合作氛围。同时，项目申请人及项目成员所在研究团队的指导老师长期从事 DEA、资源与环境管理、评价理论与方法等相关领域的研究且已在 DEA 相关领域取得了丰富的成果，具有深厚的科研基础，并且指导老师工作认真负责，对学生指导非常仔细，对科研十分严谨，并注重学科前沿和学科交叉研究。

另外，本项目所属研究领域也常在全国各地举办（国际性）学术交流会议，和国内外杰出学者的交流也将有助于本项目的顺利开展，推进项目顺利完成。

4.3 研究手段

本项目的研究主要是以数学建模和数据处理、数据分析为主，数学建模主要依托于生产经济学的 DEA 方法，环境经济学的生产技术，结合物质守恒原理，生产经济学理论、环境经济学、行为经济学、信息经济学中的相关理论知识；数据处理以及数据分析主要依赖于 Matlab 对 DEA 模型进行求解。

5. 主要参考文献

- [1] 双碳目标提出的背景、挑战、机遇及实现路径，中国经济评论. [2021-06-10]. https://www.sohu.com/na/471453544_120815451.
- [2] Wu, J., An, Q., Yao, X., Wang, B. (2014). Environmental efficiency evaluation of industry in China based on a new fixed sum undesirable output data envelopment analysis. *Journal of Cleaner Production*, 74, 96-104.
- [3] 杨生平. (2017). 五大发展理念：中国特色社会主义的新发展观. *中国特色社会主义研究*, 4(2), 22-27.
- [4] 巴黎气候变化大会通过全球气候新协议，联合国新闻. [2015-12-12]. <https://news.un.org/zh/story/2015/12/248502>.
- [5] 我国碳排放量已经世界最大 实现低碳经济发展刻不容缓，碳交易网. [2021-2-19]. <http://www.tanpaifang.com/ditanjingji/2021/0219/76764.html>.
- [6] 习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话，新华网. [2020-9-22]. <https://www.chinanews.com.cn/m/gn/2020/09-22/9297588.shtml>.
- [7] Li, X., Gao, L., & Liu, J. (2020). The approach to carbon emission quotas of road transportation: A carbon emission intensity perspective. *Journal of Advanced Transportation*, 2020.
- [8] 中共中央 国务院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，新华社. [2021-10-24]. http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content_5644613.htm.
- [9] 国务院印发《2030 年前碳达峰行动方案》，新华社. [2021-10-26]. http://www.gov.cn/xinwen/2021-10/26/content_5645001.htm.
- [10] An, Q., Tao, X., Dai, B., & Li, J. (2020). Modified distance friction minimization model with undesirable output: An application to the environmental efficiency of China's regional industry. *Computational Economics*, 55(4), 1047-1071.
- [11] An, Q., Tao, X., Dai, B., & Xiong, B. (2021). Bounded-change target-setting approach: Selection of a realistic benchmarking path. *Journal of the Operational Research Society*, 72(3), 663-677.
- [12] Daraio, C., & Simar, L. (2016). Efficiency and benchmarking with directional distances: a data-driven

- approach. *Journal of the Operational Research Society*, 67(7), 928-944.
- [13] Dirick, L., Claeskens, G., & Baesens, B. (2017). Time to default in credit scoring using survival analysis: a benchmark study. *Journal of the Operational Research Society*, 68(6), 652-665.
- [14] Zhu, B., Baesens, B., Backiel, A., & Vanden Broucke, S. K. (2018). Benchmarking sampling techniques for imbalance learning in churn prediction. *Journal of the Operational Research Society*, 69(1), 49-65.
- [15] Bogetoft, P. (2013). Performance benchmarking: Measuring and managing performance. *Springer Science & Business Media*.
- [16] 中国科学院科技战略咨询研究院, 中国科学院文献情报中心, Clarivate Analytics. 2016 研究前沿.
- [17] Boudreau, J. W. (2004). Organizational Behavior, Strategy, Performance and Design in Management Science. *Management Science*, 50(11), 1463-1476.
- [18] 马占新. (2013). 偏序集与数据包络分析. 科学出版社.
- [19] 成刚. (2014). 数据包络分析方法与 MaxDEA 软件. 知识产权出版社.
- [20] Zhang, L., Zhao, L., & Zha, Y. (2021). Efficiency evaluation of Chinese regional industrial systems using a dynamic two-stage DEA approach. *Socio-Economic Planning Sciences*, 101031.
- [21] Wang, K., Yu, S., Zhang, W. (2013). China's regional energy and environmental efficiency: a DEA window analysis based dynamic evaluation. *Mathematical and Computer Modelling*, 58(5), 1117-1127.
- [22] Zhou, P., Ang, B. W., Poh, K. L. (2006). Slacks-based efficiency measures for modeling environmental performance. *Ecological Economics*, 60(1), 111-118.
- [23] Wang, Q., Su, B., Zhou, P., Chiu, C. R. (2016). Measuring total-factor CO₂ emission performance and technology gaps using a non-radial directional distance function: a modified approach. *Energy Economics*, 56, 475-482.
- [24] Song, M., Guan, Y. (2014). The environmental efficiency of Wanjiang demonstration area: A Bayesian estimation approach. *Ecological Indicators*, 36, 59-67.
- [25] Haillu, A., & Veeman, T. S. (2001). Non-parametric productivity analysis with undesirable outputs: An application to the Canadian pulp and paper industry. *American Journal of Agricultural Economics*, 83(3), 605-616.
- [26] Färe, R., & Grosskopf, S. (2004). Modeling undesirable factors in efficiency evaluation: comment. *European Journal of Operational Research*, 157(1), 242-245.
- [27] Färe, R., Grosskopf, S., Lovell, C. K., & Pasurka, C. (1989). Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: A nonparametric approach. *The Review of Economics and Statistics*, 90-98.
- [28] Murty, S., Russell, R. R., & Levkoff, S. B. (2012). On modeling pollution-generating technologies. *Journal*

- of *Environmental Economics and Management*, 64(1), 117-135.
- [29] Sueyoshi, T., & Goto, M. (2012). Data envelopment analysis for environmental assessment: Comparison between public and private ownership in petroleum industry. *European Journal of Operational Research*, 216(3), 668-678.
- [30] Coelli, T., Lauwers, L., & Van Huylenbroeck, G. (2007). Environmental efficiency measurement and the materials balance condition. *Journal of Productivity Analysis*, 28(1-2), 3-12.
- [31] Hampf, B. & Rodseth, K. L. (2015). Carbon dioxide emission standards for US power plants: An efficiency analysis perspective. *Energy Economics*, 50, 140-153.
- [32] Welch, E., & Barnum, D. (2009). Joint environmental and cost efficiency analysis of electricity generation. *Ecological Economics*, 68(8), 2336-2343.
- [33] Cook, W. D., Ramón, N., Ruiz, J. L., Sirvent, I., & Zhu, J. (2019). DEA-based benchmarking for performance evaluation in pay-for-performance incentive plans. *Omega*, 84, 45-54.
- [34] Zhou, X., Luo, R., An, Q., Wang, S., & Lev, B. (2019). Water resource environmental carrying capacity-based reward and penalty mechanism: A DEA benchmarking approach. *Journal of Cleaner Production*, 229, 1294-1306.
- [35] Ruiz, J. L., & Sirvent, I. (2019). Performance evaluation through DEA benchmarking adjusted to goals. *Omega*, 87, 150-157.
- [36] 金伟星. (2020). 环境规制下交通基础设施碳排放动态效率测度研究 (硕士学位论文, 长安大学).
- [37] Zhao, P., Zeng, L., Li, P., Lu, H., Hu, H., Li, C., ... & Qi, Y. (2022). China's transportation sector carbon dioxide emissions efficiency and its influencing factors based on the EBM DEA model with undesirable outputs and spatial Durbin model. *Energy*, 238, 121934.
- [38] Zhang, J., Du, Z., Fu, L., Han, Y., Zheng, W., Yu, F., ... & Ping, W. (2021). Novel anaerobic digestion and carbon dioxide emissions efficiency analysis of food waste treatment based on SBM-DEA model. *Journal of Cleaner Production*, 129591.
- [39] Charnes, A., Cooper, W.W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*. 2(6). 429-444.
- [40] 魏权龄. (2004). 数据包络分析. 北京: 科学出版社.
- [41] 杨国梁. (2015). DEA 模型与规模收益研究综述. 中国管理科学, 23(S1), 64-71.
- [42] Banker, R.D., Charnes, A., & Cooper W.W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*. 30(9). 1078-1092.
- [43] Sexton, T.R., Silkman, R.H., & Hogan, A.J. (1986). Data envelopment analysis: Critique and extensions.

- In: Silkman, R.H. (Ed.), *Measuring Efficiency: An Assessment of Data Envelopment Analysis*. Jossey-Bass, San Francisco, CA, 73-105.
- [44] Andersen, P., & Petersen, N.C. (1993). A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. *Management Science*, 39 (10), 1261-1294.
- [45] Färe, R., & Grosskopf, S. (2000). Network DEA. *Socio-Economic Planning Sciences*, 34(1), 35-49.
- [46] Liang, L., Cook, W.D., & Zhu, J. (2008). DEA models for two-stage processes: Game approach and efficiency decomposition. *Naval Research Logistics*, 55, 643–653.
- [47] Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 130(3), 498-509.
- [48] Wu, J., Liang, L., & Yang, F. (2009). Achievement and benchmarking of countries at the Summer Olympics using cross efficiency evaluation method. *European Journal of Operational Research*, 197(2), 722-730.
- [49] Sueyoshi, T., Yuan, Y., & Goto, M. (2017). A literature study for DEA applied to energy and environment. *Energy Economics*, 62, 104-124.
- [50] Tian, N., Tang, S., Che, A., & Wu, P. (2020). Measuring regional transport sustainability using super-efficiency SBM-DEA with weighting preference. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118474.
- [51] Zhou, X., Luo, R., An, Q., Wang, S., & Lev, B. (2019). Water resource environmental carrying capacity-based reward and penalty mechanism: A DEA benchmarking approach. *Journal of Cleaner Production*, 229, 1294-1306.
- [52] Fukuyama, H., & Matousek, R. (2017). Modelling bank performance: A network DEA approach. *European Journal of Operational Research*, 259(2), 721-732.
- [53] Ding, L. L., Lei, L., Wang, L., Zhang, L. F., & Calin, A. C. (2020). A novel cooperative game network DEA model for marine circular economy performance evaluation of China. *Journal of Cleaner Production*, 253, 120071.
- [54] Mohtashami, A., & Ghiasvand, B. M. (2020). Z-ERM DEA integrated approach for evaluation of banks & financial institutes in stock exchange. *Expert Systems with Applications*, 147, 113218.
- [55] An, Q., Tao, X., & Xiong, B. (2020). Benchmarking with data envelopment analysis: an agency perspective. *Omega*, 102235.
- [56] Dobos, I., & Vörösmarty, G. (2019). Inventory-related costs in green supplier selection problems with Data Envelopment Analysis (DEA). *International Journal of Production Economics*, 209, 374-380.
- [57] Ruiz, J. L., & Sirvent, I. (2019). Performance evaluation through DEA benchmarking adjusted to goals. *Omega*, 87, 150-157.

- [58] An, Q., Yang, M., Chu, J., Wu, J., & Zhu, Q. (2017). Efficiency evaluation of an interactive system by data envelopment analysis approach. *Computers & Industrial Engineering*, 103, 17-25.
- [59] Yang, G. L., Fukuyama, H., & Song, Y. Y. (2018). Measuring the inefficiency of Chinese research universities based on a two-stage network DEA model. *Journal of Informetrics*, 12(1), 10-30.
- [60] Chen, L., & Wang, Y. M. (2020). DEA target setting approach within the cross efficiency framework. *Omega*, 96, 102072.
- [61] Liu, J. S., Lu, L. Y., Lu, W. M., & Lin, B. J. (2013). A survey of DEA applications. *Omega*, 41(5), 893-902.
- [62] Emrouznejad, A., & Yang, G. L. (2018). A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. *Socio-Economic Planning Sciences*, 61, 4-8.
- [63] Seiford, L. M., & Zhu, J. (2005). A response to comments on modeling undesirable factors in efficiency evaluation. *European Journal of Operational Research*, 161(2), 579-581.
- [64] Zhou, G., Chung, W., & Zhang, X. (2013). A study of carbon dioxide emissions performance of China's transport sector. *Energy*, 50, 302-314.
- [65] Wang, K., Wei, Y. M., & Huang, Z. (2016). Potential gains from carbon emissions trading in China: A DEA based estimation on abatement cost savings. *Omega*, 63, 48-59.
- [66] 宋马林, 王舒鸿, 邱兴业. 一种考虑整数约束的环境效率评价 MOISBMSE 模型[J]. 管理科学学报, 2014, 17(11): 69-78.
- [67] Zhou, P., Ang, B. W., & Poh, K. L. (2006). Slacks-based efficiency measures for modeling environmental performance. *Ecological Economics*, 60(1): 111-118.
- [68] Bi, G. B., Song, W., & Zhou, P. (2014). Does environmental regulation affect energy efficiency in China's thermal power generation? Empirical evidence from a slacks-based DEA model. *Energy Policy*, 66, 537-546.
- [69] Chen, L., & Jia, G. (2017). Environmental efficiency analysis of China's regional industry: a data envelopment analysis (DEA) based approach. *Journal of Cleaner Production*, 142, 846-853.
- [70] Liu, X., & Wu, J. (2017). Energy and environmental efficiency analysis of China's regional transportation sectors: a slack-based DEA approach. *Energy Systems*, 8(4), 747-759.
- [71] Chung, Y. H., Färe, R., (1997). Grosskopf S. Productivity and undesirable outputs: a directional distance function approach. *Journal of Environmental Management*, 51(3), 229-240.
- [72] Boyd, G. A., Tolley, G., & Pang, J. (2002). Plant level productivity, efficiency, and environmental performance of the container glass industry. *Environmental and Resource Economics*, 23(1), 29-43.

- [73] Picazo-Tadeo, A. J., Beltrán-Esteve, M., & Gómez-Limón, J. A. (2012). Assessing eco-efficiency with directional distance functions. *European Journal of Operational Research*, 220(3), 798-809.
- [74] Halkos, G. E., & Tzeremes, N. G. (2013). A conditional directional distance function approach for measuring regional environmental efficiency: Evidence from UK regions. *European Journal of Operational Research*, 227(1), 182-189.
- [75] Sueyoshi, T., & Goto, M. (2018). *Environmental assessment on energy and sustainability by data envelopment analysis*. John Wiley & Sons.
- [76] Liu, W., & Sharp, J. (1999). DEA models via goal programming[M]//Data envelopment analysis in the service sector. Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 79-101.
- [77] Dyckhoff, H., & Allen, K. (2001). Measuring ecological efficiency with data envelopment analysis (DEA). *European Journal of Operational Research*, 132(2): 312-325.
- [78] ang, L., Ouyang, H., Fang, K., Ye, L., & Zhang, J. (2015). Evaluation of regional environmental efficiencies in China based on super-efficiency-DEA. *Ecological Indicators*, 51, 13-19.
- [79] Scheel, H. (2001) Undesirable outputs in efficiency valuations. *European journal of operational research*, 132(2), 400-410.
- [80] Wu, J., An, Q., Xiong, B., & Chen, Y. (2013). Congestion measurement for regional industries in China: A data envelopment analysis approach with undesirable outputs. *Energy Policy*, 57, 7-13.
- [81] Chen, C. M., & Delmas, M. A. (2012). Measuring eco-inefficiency: a new frontier approach. *Operations Research*, 60(5), 1064-1079.
- [82] Førsund, F. R. (2018). Multi-equation modelling of desirable and undesirable outputs satisfying the materials balance. *Empirical Economics*, 54(1), 67-99.
- [83] Rødseth, K. L. (2016). Environmental efficiency measurement and the materials balance condition reconsidered. *European Journal of Operational Research*, 250(1), 342-346.
- [84] Wang, K., Wei, Y. M., & Huang, Z. (2018). Environmental efficiency and abatement efficiency measurements of China's thermal power industry: A data envelopment analysis based materials balance approach. *European Journal of Operational Research*, 269(1), 35-50.
- [85] Ayres, R.U., & Kneese, A. V. (1969). Production, consumption, and externalities. *Am Econ Rev*, 59, 282–297.
- [86] Pethig R (2003) The “material balance approach” to pollution: its origin, implications and acceptance. Discussion paper, University of Siegen.
- [87] Lauwers, L. (2009). Justifying the incorporation of the materials balance principle into frontier-based eco-

- efficiency models[J]. *Ecological Economics*, 68(6): 1605-1614.
- [88] Hampf, B., & Rødseth, K. L. (2015). Carbon dioxide emission standards for US power plants: An efficiency analysis perspective. *Energy Economics*, 50, 140–153.
- [89] Arabi, B., Doraisamy, S. M., Emrouznejad, A., & Khoshroo, A. (2017). Eco-efficiency measurement and material balance principle: an application in power plants Malmquist Luenberger Index. *Annals of Operations Research*, 255(1-2), 221-239.
- [90] Kaya Y., Yokobori K. Global Environment, Energy, and Economic Development[R]. Tokyo: United Nation University, 1993
- [91] Sun, J. W. (2005). The decrease of CO₂ emission intensity is decarbonization at national and global levels. *Energy Policy*, 33(8), 975-978.
- [92] Mielnik, O., & Goldemberg, J. (1999). Communication The evolution of the “carbonization index” in developing countries. *Energy Policy*, 27(5), 307-308.
- [93] Ang, B. W. (1999). Is the energy intensity a less useful indicator than the carbon factor in the study of climate change?. *Energy Policy*, 27(15), 943-946.
- [94] Chau, K. W., & Walker, A. (1988). The measurement of total factor productivity of the Hong Kong construction industry. *Construction management and economics*, 6(3), 209-224.
- [95] Domar, E. D. (1962). On total productivity and all that. *Journal of Political Economy*, 70(6), 597-608.
- [96] Zhou, P., Ang, B. W., & Han, J. Y. (2010). Total factor carbon emission performance: a Malmquist index analysis. *Energy Economics*, 32(1), 194-201.
- [97] Zofio, J. L., & Prieto, A. M. (2001). Environmental efficiency and regulatory standards: the case of CO₂ emissions from OECD industries. *Resource and Energy Economics*, 23(1), 63-83.
- [98] 魏梅, 曹明福, & 江金荣. (2010). 生产中碳排放效率长期决定及其收敛性分析. *数量经济技术经济研究*, (9), 43-52.
- [99] Färe, R., Grosskopf, S., Lovell, C. K., & Pasurka, C. (1989). Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: a nonparametric approach. *The review of economics and statistics*, 90-98.
- [100] 王群伟, 周德群, & 周鹏. (2010). 中国全要素二氧化碳排放绩效的区域差异——考虑非期望产出共同前沿函数的研究. *财贸经济*, (9), 112-117.
- [101] Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European journal of operational research*, 130(3), 498-509.
- [102] Choi, Y., Zhang, N., & Zhou, P. (2012). Efficiency and abatement costs of energy-related CO₂ emissions in China: A slacks-based efficiency measure. *Applied Energy*, 98, 198-208.

- [103] Gómez-Calvet, R., Conesa, D., Gómez-Calvet, A. R., & Tortosa-Ausina, E. (2014). Energy efficiency in the European Union: What can be learned from the joint application of directional distance functions and slacks-based measures?. *Applied Energy*, 132, 137-154.
- [104] Sueyoshi, T., Goto, M., & Ueno, T. (2010). Performance analysis of US coal-fired power plants by measuring three DEA efficiencies. *Energy policy*, 38(4), 1675-1688.
- [105] Cooper W. W., Park K. S., Pastor J. T. (2000). RAM: A Range Adjusted Measure of Efficiency[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 11: 5-42.
- [106] Bogetoft, P., & Hougaard, J. L. (1999). Efficiency evaluations based on potential (non-proportional) improvements. *Journal of Productivity Analysis*, 12(3), 233-247.
- [107] Hougaard, J. L., & Tvede, M. (2002). Benchmark selection: An axiomatic approach. *European Journal of Operational Research*, 137(1), 218-228.
- [108] Wu, J., An, Q., Yao, X., & Wang, B. (2014). Environmental efficiency evaluation of industry in China based on a new fixed sum undesirable output data envelopment analysis. *Journal of Cleaner Production*, 74, 96-104.
- [109] Chen, L., & Jia, G. (2017). Environmental efficiency analysis of China's regional industry: a data envelopment analysis (DEA) based approach. *Journal of Cleaner Production*, 142, 846-853.

三、研究方案

1. 研究目标、研究内容和拟解决的关键问题

1.1 研究目标

本项目的总目标是在“双碳”目标指导下，针对生产技术水平不变和生产技术可变两种情形设定符合物质守恒原理的环境标杆，并在考虑 DMU 决策行为下实现所设定的环境标杆，最后将理论研究成果应用于我国交通运输业环境标杆管理的实践指导中，进而为相关部提供政策建议。具体可分为以下几个小目标：

（1）**针对生产技术水平不变情形，设定相应的环境标杆。**根据生产经济学和环境经济学的相关概念及理论，构建符合物质守恒原理和环境经济学理论的碳排放效率测度模型，并将自身努力等内部因素及环境生产技术限制、政府政策限制等外部因素引入环境标杆设定中，设定科学合理的环境标杆；

（2）**针对生产技术水平可变情形，设定相应的环境标杆。**结合环境经济学相关公理体系与物质守恒原理，挖掘历史数据与当期数据的相关关系，对下一期的环境生产技术进行预测，刻画出下一期的环境生产技术，并将自身努力等内部因素及环境生产技术限制、政府政策限制等外部因素引入环境标杆设定中，提出新的环境标杆选取准则，对环境标杆进行设定；

（3）**针对 DMU 的不同决策行为，展开相应的标杆实现研究。**结合行为经济学理论，根据 DMU 的不同决策行为，合理的刻画其相应的效用函数。同时，梳理和分析 DMU 决策行为对标杆实现的影响。基于此，为不同的 DMU 设置科学、合理、有效的激励机制，以促使每个 DMU 实现所设定的环境标杆；

（4）**基于理论研究成果，开展我国交通运输业环境标杆管理的应用研究，**在检验理论研究正确性的同时为促进我国“双碳”目标的顺利实现提供科学意见。

上述四个研究子目标中，前三个子目标是基础性目标，承载了本项目的主要学术价值；第四个子目标是应用性目标，是本项目服务国家“双碳”目标实现的主要体现。

1.2 研究内容

本项目围绕“双碳目标下环境标杆管理及其在我国交通运输业应用研究”，拟从生产技术水平不变和可变情形出发，结合物质守恒原理，设定符合现实背景的环境标杆，针对 DMU 不同决策行为选择合理的激励机制，以实现所设定的标杆，并将理论成果应用于我国的交通运输业环境标杆管理中加以检验和改进。研究内容的总体框架图如图 2 所示，具体包括 1）生产技术水平不变情形下环境标杆设定研究；2）生产技术水平可变情形下环境标杆设定研究；3）考虑 DMU 决策行为的标杆实现研究；4）中国交通运输业环境标杆管理的应用研究。以下将对研究内容进行详细阐述。

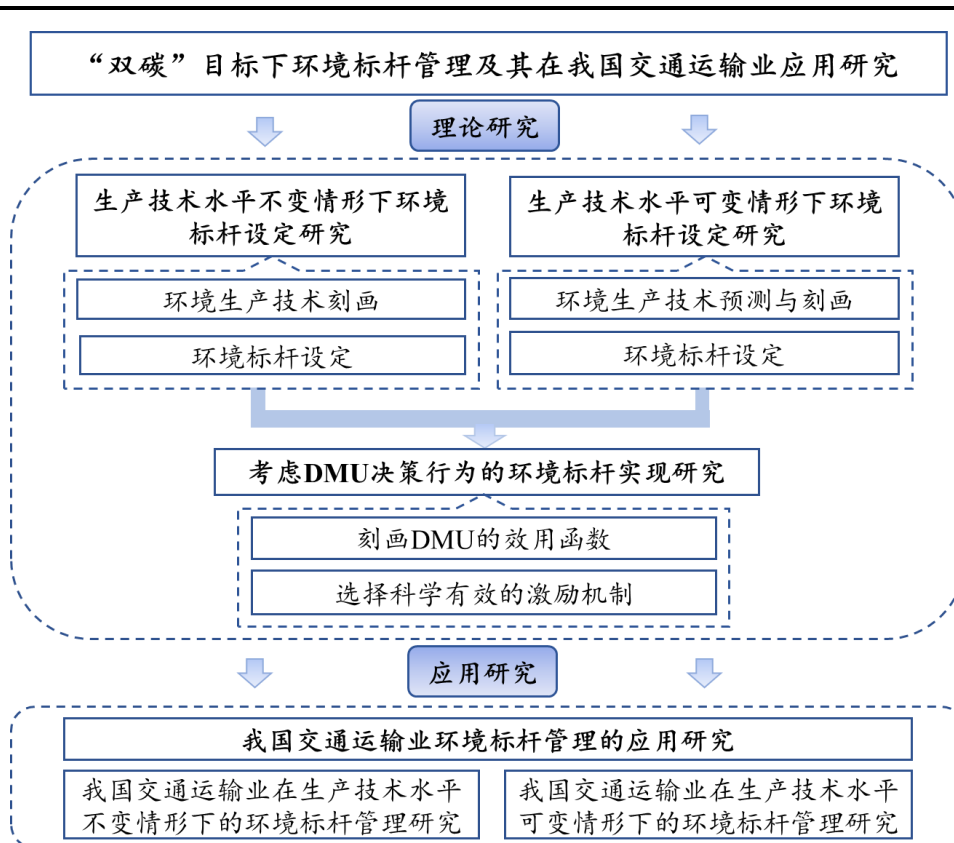


图 2 项目研究内容总体框架图

1.2.1 生产技术水平不变情形下环境标杆设定研究

(1) 生产技术水平不变情形下环境生产技术刻画

生产技术水平不变即意味着 DMU 所构成的前沿面不发生改变。环境技术刻画是环境标杆设定的基础，合理的环境生产技术水平刻画保证了标杆设定的科学性，有助于之后的标杆实现研究。DEA 作为一种非参数效率测度方法，现已被广泛运用于环境生产技术刻画。多数传统的环境生产技术刻画方法在构建 DEA 模型对碳排放效率进行评估时，对非期望产出进行弱处置性处理。然而，弱自由处置的方法违背了非期望产出的单调性，可能导致对污染物影子价格的不准确估计。并且，弱自由处置方法未考虑末端减排处理时，违背了热力学定律。因此，本项目在碳排放效率测度研究时将物质守恒原理纳入考虑，如对非期望产出进行弱 G-处置性处理，刻画符合物质守恒原理的环境生产技术，以此来限制投入、期望产出和非期望产出之间传统的自由替代性。与此同时，现有基于 DEA 的碳排放效率评价研究往往没有跳出运筹学中优化与求解的研究范式，大多数研究聚焦碳排放效率模型的模型拓展，而忽略所构造的碳排放效率评价模型是否具有合理的环境经济学解释和内涵，造成现有以 DEA 为基础研究方法的碳排放效率研究无法良好的解释碳排放效率测度结果。故本部分从环境经济学和生产经济学的角度出发，刻画符合环境经济学内涵的环境生产技术，基于次，明确环境生产可能集的相关公理体系，构造符合物质守恒原理的碳排放效率评价模型。

(2) 生产技术水平不变情形下环境标杆设定

环境标杆设定不仅有助于消除碳排放不佳的 DMU 的碳排放效率无效性,提升碳排放效率,而且可以为碳减排不佳的 DMU 提供具体的标杆值,为其提升碳排放效率指明方向。现有的环境标杆设定研究重点聚焦于根据不同的标杆设定准则在环境生产前沿面上选取科学合理的标杆值以满足管理者的管理需要。然而,大多标杆设定研究忽略了自身努力程度等内部因素及环境生产技术限制、政府政策限制等外部因素对环境标杆设定的影响。尽管得到了相应的环境标杆值,但 DMU 是否能在现实条件下实现该环境标杆无法得到保证,进而无法保证碳排放效率提升的管理目标。**故本部分的研究重点在于将内部因素和外部因素引入标杆设定中,以提出科学、合理的环境标杆选取准则,并在该准则的基础上设定符合现实背景的环境标杆,为碳排放效率的提升指明方向。**

针对以上分析,本部分研究内容为:从生产经济学和环境经济学的角度出发,探讨环境生产技术的刻画,明确环境生产可能集的相关公理体系,构造符合物质守恒原理的碳排放效率评价模型;将内部因素和外部因素引入环境标杆设定中,提出科学、合理的环境标杆选取准则,并在该准则的基础上设定符合现实背景的环境标杆,为碳减排不佳的 DMU 指明方向,提升碳排放效率。

1.2.2 生产技术水平可变情形下环境标杆设定研究

(1) 生产技术水平可变情形下环境生产技术预测与刻画

生产技术水平可变即意味着 DMU 所构成的前沿面将会发生改变。现实情况下,生产技术水平是随着时间不断变化的,例如从当期到下一期,由于外部环境或自身因素的影响,生产技术发生改变,使得碳排放效率评价时所参考的前沿面发生改变。再加上大多碳排放效率模型不符合物质守恒原理,导致碳排放效率测度的不合理性,从而限制了碳排放效率评价模型的应用范围。故本节在 1.2.1 节的基础上,放松生产技术水平不变的假设,拟对生产技术水平可变情形下基于物质守恒的环境标杆设定进行研究。鉴于下一期的生产前沿面是未知的,本部分结合当期数据及历史数据,对当期的前沿面进行分析,挖掘当期与下一期环境生产技术水平之间的潜在相关关系,进而设定合理的技术变化参数,并对其进行求解,以此来刻画下一期的环境生产技术。在此基础上,结合环境生产可能集的相关公理体系,构造符合物质守恒原理的碳排放效率评价模型。

(2) 生产技术水平可变情形下环境标杆设定

根据现有数据,刻画动态的生产技术,进行动态的环境标杆设定更加符合现实需求。动态的环境标杆设定有助于 DMU 不断地消除碳排放无效性,从而提升自身的碳排放效率 DMU 的碳排放效率无效性。基于上述已刻画的新一期环境生产技术,本节对生产技术水平可变情形下基于物质守恒原理的环境

标杆进行设定。考虑到 DMU 自身努力程度等内部因素及环境生产技术限制、政府政策限制等外部影响因素对标杆设定的影响，我们将内部因素及外部因素引入环境标杆设定中。**基于此，提出科学、合理的环境标杆选取准则，并在该准则的基础上进行环境标杆设定，为减排目标的实现指明方向。**

针对以上分析，本部分研究内容为：根据历史信息，挖掘当期与上一期环境生产技术水平之间的潜在相关关系，预测下一期的环境生产技术，在此基础上，结合环境经济学的相关公理体系，构造符合物质守恒原理的碳排放效率评价模型；将内部因素和外部因素引入环境标杆设定中，以提出科学、合理的环境标杆选取准则，并在该准则的基础上设定符合现实背景的环境标杆，为碳减排不佳的 DMU 指明方向，提升碳排放效率。

1.2.3 考虑 DMU 决策行为的环境标杆实现研究

环境标杆实现是 DMU 的终极目标，因此，环境标杆管理研究不仅仅聚焦于环境标杆如何设定这一研究问题，如何实现所设定的环境标杆也是研究的重点和难点。然而，现有的研究主要集中于环境标杆的设定研究，鲜有研究者对环境标杆的实现进行研究。**其次，传统思维下，通常会考虑决策者偏好对环境标杆实现的影响。而本项目从 DMU 的角度出发，考虑到 DMU 具有不同的偏好，会产生不同的决策行为来影响环境标杆的实现。**例如不同的 DMU 可能会对相同的环境产出有不同的处理态度，从而做出不同的决策，这将会影响到环境标杆的具体实现。而且相比于决策者的偏好，DMU 对自身状态更加熟知，因此对 DMU 的效用函数刻画更有价值，同时 DMU 对标杆实现的影响也更值得去考虑。为解决上述问题，本项目将 DMU 的偏好信息引入环境标杆实现中，研究 DMU 在不同决策行为下的环境标杆实现问题。**故本部分结合行为经济学理论，根据每个 DMU 的决策行为等合理的刻画其效用函数，同时，梳理分析 DMU 对环境标杆设定的影响。**基于此，为不同的 DMU 设立科学、合理、有效的激励机制，以促使每个 DMU 实现所设定的环境标杆。

针对以上分析，本部分的研究内容为：考虑 DMU 的决策行为，刻画其相应的效用函数，同时，梳理分析 DMU 对环境标杆设定的影响，为不同的 DMU 设置相应的激励机制，促使每个 DMU 实现最终所设定的环境标杆。

1.2.4 我国交通运输业环境标杆管理的应用研究

交通运输业是我国重点碳排放领域，也是实现“双碳”目标的重要发力点，作为国民经济发展重要的基础性、先导性、服务性行业，受到中共中央、国务院的高度重视。中共中央、国务院《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》中明确提出**加快推进低碳交通运输体系建设**的工作要求。“双碳”工作的要求正是推动交通运输绿色转型高质量发展的机遇，因此抓住交通运输行业的碳达峰及碳中和这一牛鼻子，是促使交通运输行业更深层次变革，最终实现交通运输业低碳转型的关键。

环境标杆管理不仅可以通过识别和应用最佳实践提升交通运输业的碳排放效率，还可以为交通运输业减排政策的制定及实施提供详细的参考信息和指导。因此，我国交通运输业的环境标杆管理研究具有重要的实践价值。

基于以上分析，本项目的环境标杆管理的理论研究可以用于对我国交通运输业环境标杆管理的应用研究，有效助力我国交通运输业实现绿色、低碳、高质量发展，最终实现“双碳”目标。本部分拟以我国交通运输业为例展开应用研究，在“双碳”目标的指导下，融合上述三项理论研究（生产技术不变情形下环境标杆的设定；生产技术可变情形下环境标杆的设定；考虑 DMU 决策行为的环境标杆实现研究），对我国交通运输业进行环境标杆管理研究。最后，应用结果检验理论，为我国交通运输业碳排放效率的提升、环境标杆的设定及环境标杆的实现提供建议，进而为“双碳”目标的实现提供实践指导。

1.3 拟解决的关键问题

本项目在“双碳”目标的指导下，展开环境标杆管理研究。为实现上述的研究目标，拟解决的关键问题如下：

（1）如何科学的刻画环境生产技术。刻画合理、有效的环境生产技术和碳排放效率评价模型的关键与基础。已有的碳排放效率研究大多聚焦于模型的拓展与创新，忽略了对模型在环境经济学方面合理性的解释，及对物质守恒原理的考虑，造成现有以 DEA 为基础研究方法的碳排放效率研究无法良好的描述碳排放效率测度结果。因此，如何在考虑环境经济学理论及物质守恒原理的基础上，刻画科学、合理的环境生产技术，是本项目拟解决的第一个关键问题。

（2）如何预测下一期环境生产技术。现实情况下，生产技术水平通常是随时间不断变化的，使得碳排放效率评价时所参考的前沿面发生改变。再加上大多碳排放效率模型不符合物质守恒原理，导致碳排放效率测度的不合理性，从而限制了碳排放效率评价模型的应用范围。因此，根据历史数据与当期数据的相关关系，挖掘当期与下一期环境生产技术水平之间的潜在相关关系，从而对下一期的环境生产技术进行预测和刻画，是本项目拟解决的第二个关键问题。

（3）在内、外部因素影响下如何设定环境标杆。现有的标杆设定研究大多忽略了 DMU 自身努力程度等内部因素及环境生产技术限制、政府政策限制等外部因素对环境标杆设定的影响。故 DMU 在现实条件下的环境标杆实现无法保证。因此，将内部因素和外部因素等考虑在环境标杆设定中，提出新的环境标杆选取准则，并在该准则的基础上设定符合现实背景的环境标杆是本项目拟解决的第三个关键问题。

（4）在考虑 DMU 决策行为下如何实现环境标杆。以往的环境标杆管理研究主要聚焦于标杆的设定研究，鲜有研究者对环境标杆的实现进行研究。其次，考虑到 DMU 的不同决策偏好会影响环境标杆

的实现。因此，在考虑 DMU 决策行为的基础上，为不同的 DMU 设立科学、合理、有效的激励机制，以促使每个 DMU 实现所设定的环境标杆是本项目拟解决的第四个关键问题。

2. 拟采取的研究方法及可行性分析

2.1 拟采取的研究方法

本项目拟从生产水平技术不变和可变情形出发，设定科学、合理的环境标杆，在考虑 DMU 决策行为的基础上对标杆进行实现研究，并将理论成果应用于我国交通运输业的标杆管理。结合上述的研究内容，本项目总体研究技术路线如下：

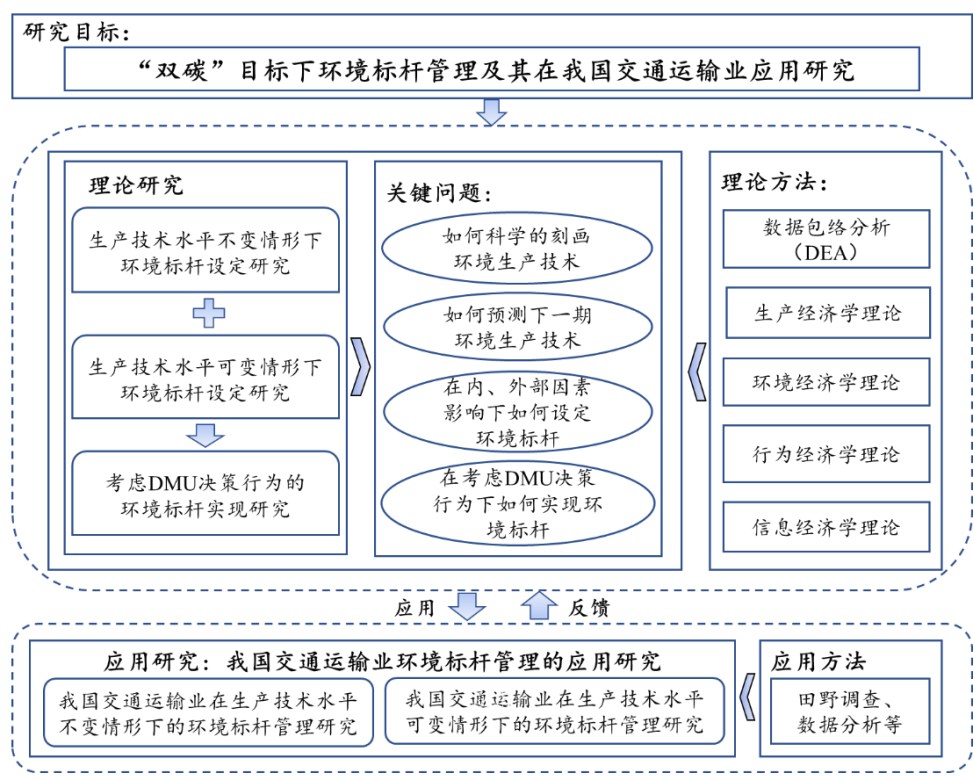


图 3 项目总体技术路线图

如图 3 所示，本项目采用的理论研究方法有：1) 数据包络分析 (DEA)，传统 DEA 方法的基础上，构建符合物质守恒原理的 DEA 模型；2) 生产经济学理论，将该理论应用于不同情形下的环境生产技术刻画中；3) 环境经济学理论，指导碳排放效率模型的构建；4) 行为经济学理论，对 DMU 的不同决策行为进行刻画；5) 信息经济学理论，选择合理的激励机制。应用研究方法有：田野调查法、数据分析法等。以下将针对每一项研究内容给出具体的研究方案。

2.1.1 生产技术水平不变情形下环境标杆设定研究方案

(1) 生产技术水平不变情形下环境生产技术刻画

在对生产技术水平不变情形下的环境生产技术进行刻画时，首先需选取贴近现实社会背景，符合物质守恒原理的环境生产技术假设对碳排放效率进行评价，常用的环境生产技术假设有环境生产函数是否满足凸性，是否严格单调假设条件等。基于所选取的科学合理的环境生产技术假设，构建符合物质守恒原理的环境生产可能集，从而刻画出理论上最优的环境生产前沿面。本项目拟采用 DEA 方法对环境生产可能集进行描述，利用 DEA 非参性、客观性、可处理多投入多产出等优点以避免由人为主观决定的参数对环境生产可能集的影响。另外，梳理期望产出和非期望产出之间的环境经济学关系也是进行科学合理的碳排放效率评价重要的一个环节。现有研究对于非期望产出的处理方法大致分为两类，一类是从数学角度出发，将非期望产出在碳排放效率测量模型中视为投入或者经过数据转化视为期望产出，这种处理方式严重脱离了碳排放效率测量的环境经济学理论基础，造成所得碳排放效率很难解释。另外一类从期望产出和非期望产出均为环境生产过程中的产出出发，利用弱 G 性（weak disposability）和半可处理性（semi-disposability）取代先前碳排放效率评价的强可处置性（strong disposability）。本项目将基于现有研究背景，对非期望产出进行弱 G-处置，将物质守恒原理应用于生产技术的刻画。基于刻画的生产技术，构造碳排放效率评价模型，该模型依赖于生产可能集和期望产出与非期望产出之间的关系。因此，可构造符合物质守恒原理的径向模型，SBM 模型，WA 模型，closest target 模型等一系列碳排放效率测度模型。最后，**基于所选择的碳排放效率测量模型，对碳排放效率进行评价，进而可以阐明所得碳排放效率的环境经济学含义。**以投入导向的径向环境评价模型为例，所得碳排放效率值的环境经济学含义为被评价 DMU 环境投入还可缩减的比率，代表环境投入的冗余。

（2）生产技术水平不变情形下环境标杆设定

依据上述所构造的环境生产可能集，选取合理的环境标杆准则。环境标杆准则的选取主要分为内生性选择和外生性选择两大类。内生性选择主要包括环境标杆的选取仅仅依赖于已有环境生产可能集和环境生产数据，较为常见的是基于最近距离的环境标杆选取准则，该准则要求所设定的环境标杆对于 DMU 来说花费的努力最小；外生性选择主要包括环境标杆的选取受到外界因素的制约，主要体现在政府规划强度、节能减排目标等，较为常见的是基于限制改进的环境标杆选取准则，该准则要求所设定的环境标杆严格满足一系列的外在条件约束。**基于内生性选择和外生性选择，选取符合现实要求的环境标杆准则，并将自身努力等内部因素及环境生产技术限制、政府政策限制等外部因素引入环境标杆的设定中，设定符合现实的环境标杆。**环境标杆设定模型的求解主要依赖于线性优化和非线性优化的相关理论知识，并采用相关软件如 Matlab，Lingo 等加以求解。

本项目拟采取的研究方案如下：1）收集和整理最新环境相关数据对我国环境问题进行分析，对环境政策进行解读，开展符合中国现实背景的理论研究；2）选取贴近现实社会背景，符合物质守恒原理的环境生产技术假设；3）运用 DEA 方法构建符合物质守恒原理的环境生产可能集，刻画出理论上最优的环境生产前沿面；4）梳理期望产出和非期望产出之间的环境经济学关系，选取科学合理的方法刻画碳排放

效率评价中期望产出和非期望产出之间的关系；5) 构造碳排放效率测度评价模型，对碳排放效率进行评价，进而对碳排放效率的环境经济学进行解释；6) 选取合理的环境标杆准则；7) 基于环境标杆准则，设定符合现实意义的环境标杆。

2.1.2 生产技术水平可变情形下环境标杆设定研究方案

(1) 生产技术水平可变情形下环境生产技术刻画

环境生产技术的预测主要通过估计前沿面改变率 (Rate of Frontier Change, RFC) 实现。RFC 的估计需要对 DMU 在历史的某一时期至当期内的碳排放效率进行计算。在历史的某一时期至当期之间找出所有当期有效 DMU 并计算其在下一时期的碳排放效率，另 T ($0 < T \leq j$ (j 为历史的某一时期)) 为估计 RFC 的初始时期，由于考虑到生产前沿面的改变， k 时期 ($j \leq k < t$ (t 为当期)) 有效 DMU 在 T 时期的碳排放效率将出现大于 1 的情况 (假设生产技术不会随着时间退步)。通过综合所有的当期有效 DMU 及其在 T 时期的碳排放效率，可计算出 RFC，利用 RFC 以及当期的环境生产技术，可预测下一期的环境生产技术。在预测环境生产技术的基础上，利用环境经济学的相关公理体系，刻画符合物质守恒原理的环境生产技术。

(2) 生产技术水平可变情形下环境标杆设定

依据所预测的环境生产可能集，同理，考虑到环境标杆准则的选取主要分为内生性选择和外生性选择两大类。内生性选择主要包括环境标杆的选取仅仅依赖于已有环境生产可能集和环境生产数据，较为常见的是基于最近距离的环境标杆选取准则，该准则要求所设定的环境标杆对于 DMU 来说花费的努力最小；外生性选择主要包括环境标杆的选取受到外界因素的制约，主要体现在政府规制强度、节能减排目标等，较为常见的是基于限制改进的环境标杆选取准则，该准则要求所设定的环境标杆严格满足一系列的外在条件约束。基于内生性选择和外生性选择，选取符合现实要求的环境标杆准则，并将自身努力等内部因素及环境生产技术限制、政府政策限制等外部因素引入环境标杆的设定中，设定符合现实的环境标杆。环境标杆设定模型的求解主要依赖于线性优化和非线性优化的相关理论知识，并采用相关软件如 Matlab, Lingo 等加以求解。

本项目拟采取的研究方案如下：1) 根据已有的历史数据，对 RFC 进行测度，进而预测下一期环境生产技术；2) 运用 DEA 方法构建符合物质守恒的原理及环境经济学原理的环境生产可能集，刻画理论上最优的环境生产前沿面；3) 构造碳排放效率模型，对碳排放效率进行评价，进而对碳排放效率的环境经济学进行解释；4) 依据所预测的环境生产可能集，选取合理的环境标杆准则；5) 基于环境标杆准则，设定符合现实意义的环境标杆。

2.1.3 考虑 DMU 决策行为的标杆实现研究方案

结合行为经济学理论，考虑到 DMU 所处的背景、环境等可能不同，因此在对事情的判断上有一定

的区别，因此在面对很多抉择时，会产生不同的结果。DMU 的判断和抉择过程实际是信息处理过程，该过程包括信息获取、信息处理、信息输出、信息反馈。DMU 的决策行为实则是 DMU 偏好的一种反应，故对 DMU 的决策偏好进行分析和梳理，在此基础上，根据 DMU 的决策行为对每个 DMU 的效用函数进行刻画。同时，讨论不同决策单元的决策行为对环境标杆实现带来的影响。基于此，为不同的 DMU 设立相应的激励机制，以有效的实现所设定的环境标杆。其中，对不同 DMU 的决策行为进行刻画是环境标杆实现的关键。本项目拟采用 DEA 方法，设计有效或者最优激励机制，以激励 DMU 在环境标杆（非期望产出）设定的基础上，实现最少的能源消耗和资金投入。有效的激励机制要求 DMU 满足个体理性和激励相容约束并创造最大的社会福利，而最优激励机制在有效激励机制的基础上要求管理者对 DMU 的补偿最小。

本项目拟采取的研究方案如下：1）对 DMU 的决策行为进行梳理；2）根据 DMU 的决策行为对每个 DMU 的效用函数进行刻画；3）讨论不同 DMU 对环境标杆实现带来了何种影响；4）结合 DEA 方法，设计有效激励机制或最优激励机制以激励 DMU 在环境标杆设定的基础上，投入最少的资源消耗和资金，最终实现所设定的环境标杆。

2.1.4 中国交通运输业环境标杆管理的应用研究方案

基于上述三项理论研究成果，本部分拟对“双碳”目标下我国交通运输业环境标杆管理展开应用研究，具体研究步骤如下：

1）准备阶段。首先通过问卷调查、田野调查、专家咨询等方法确定我国交通运输业的交通运输系统，构建投入产出指标体系；然后通过数据库调取、二手数据搜集、网络信息采集等方式搜集相关数据，对数据进行缺失值处理、标准化、特征选择等预处理，并用数据分析方法对数据进行整理和分析。

2）研究阶段。首先，基于上述理论研究，针对生产技术不变和生产技术可变情形下我国交通运输业系统，刻画相应的环境生产技术，构建符合物质守恒原理及环境经济学理论的碳排放效率评价模型；然后，将影响我国运输业的内部因素（自身努力水平等）和外部因素（环境生产技术限制、政府政策限制等）引入环境标杆的设定中，提出相应的环境标杆选取准则，制定科学、合理的环境标杆；最后，结合我国交通运输业的碳排放现状和现实背景，设立相应合理、科学、有效的激励机制，促使所设定标杆的实现。

2.2 可行性分析

本项目的研究内容基于现实需求提炼而来，且当前尚未获得充分的研究。以下，申请人拟从“研究方案是否可行”与“项目成员实施项目的可行性”两方面分别阐述项目实施的可行性。

（1）研究方案可行性

本项目分为理论研究与应用研究两大部分，应用研究以理论研究为基础。理论研究主要围绕“环境标杆管理”主题展开，细分为三部分：一是生产技术水平不变情形下环境标杆设定研究方案；二是生产技术水平可变情形下环境标杆设定研究方案；三是考虑 DMU 决策行为的环境标杆实现研究方案。**三部分研究内容界定明确，思路逻辑清晰。**研究方案提供了解决研究问题、实现研究目标的初步思路，研究路线明确且切实可行，并可在研究过程中逐步调整、完善，符合研究的基本范式。

本项目拟采取的研究方法主要包括 DEA、生产经济学理论、环境经济学理论、行为经济学理论、信息经济学理论等。目前，学术界 DEA 与物质守恒原理结合研究，碳排放效率测度研究，环境标杆实现研究均较为成熟，这些研究为本项目的开展提供了一定的理论方法依据。此外，结合行为经济学理论及信息经济学理论，可以准确的刻画 DMU 的决策偏好，选择更加合理的激励机制以促使标杆实现。因此，本项目的研究方案具有可行性。

（2）项目团队实施项目的可行性

首先，申请人在 DEA、环境绩效评价、标杆设定、标杆实现等相关领域研究近三年，取得了一定的研究成果。其次，本项目既涉及数学建模，又涉及算法设计，申请人曾参加过全国大学生数学建模比赛获得国家级二等奖的成绩，且系统学习过编程语言，熟练掌握 Matlab, python 等软件，故在这两方面均有比较扎实的研究基础，并已经先期开展项目中部分子问题的研究工作。再者，申请人多次参与导师及课题组同学的项目，有一定的经验和能力完成好此项目。此外，团队成员包含两名优秀的富有科研热情和创新精神的博士生和一名刻苦钻研且有建模基础的硕士生，结构合理，研究领域范围广泛，包括 DEA 及博弈的研究，标杆管理研究，复杂群体决策研究，机器学习等相关知等，并均在各自研究方向取得了一定的研究成果。最后，项目组已对本研究某些子问题的相关核心模型构建进行了反复的交流讨论。以上情况为本项目的顺利开展奠定了坚实的基础。

综上所述，本项目研究问题明确、研究思路清晰、研究方法切实可行、研究内容具备较高的研究价值。申请人及项目组其他成员具备扎实良好的科研基础，可以胜任本项目的研究工作。基于此，本项目的研究是科学可行的，并且有望取得高质量的研究成果。

3. 本项目的创新之处

（1）研究视角新颖，符合环境经济学理论和物质守恒原理。由于多数传统的碳排放效率测度方法不满足物质守恒原理，不仅使得环境测度方法缺失合理性，而且限制了其应用范围。同时，现有基于 DEA 的碳排放效率评价研究忽略了评价模型在环境经济学方面的解释，造成现有以 DEA 为基础研究方法的碳排放效率研究无法良好的解释碳排放效率测量结果。故本部分提出新的研究视角，从环境经济学的角

度出发，结合物质守恒原理，对碳排放效率进行评价，研究视角新颖。

(2) 研究方法创新，预测下一期环境生产技术。大多情况下，环境标杆设定所依赖的生产技术水平通常是不断变化的。故本项目放松生产技术水平不变的假设，结合当期的历史数据，对当期的前沿面进行分析，挖掘当期与下一期环境生产技术水平之间的潜在相关关系，通过设定技术变化参数并对其进行求解的方式，对下一期的环境生产技术进行预测，具有鲜明的创新性。

(3) 研究方案贴近现实，设定环境标杆考虑了内、外部因素影响。大多标杆设定研究忽略了 DMU 自身努力程度等内部因素及环境生产技术限制、政府政策限制等外部因素对环境标杆设定的影响，同时在环境标杆设定时未将物质守恒原理考虑在内。尽管得到了相应的环境标杆值，但 DMU 是否能在现实条件下实现该环境标杆却无法保证，进而使得提高碳排放效率水平的管理目标无法保证。故本项目的研究的重点在于量化内、外部因素影响，刻画 DMU 自身努力程度等，使得研究贴近现实，具有较强的价值。

(4) 理论与实践紧密结合，实现环境标杆从 DMU 决策行为角度考虑。如何实现所设定的环境标杆也是研究的重点，但现有的研究大多集中于环境标杆的设定研究，鲜有研究者对环境标杆的实现进行研究。本项目从现实背景和现实需求出发，根据每个 DMU 的决策行为等合理的刻画其效用函数，基于此，为不同的 DMU 设立科学、合理、有效的激励机制，以促使每个 DMU 实现所设定的环境标杆，最终实现“双碳”目标，使得理论与实践紧密结合。

4. 预期研究进展

本项目研究时间为 2022 年 1 月开始，用三年的时间完成具体年度研究计划如图 4 所示，其中 $Q_i (i = 1, 2, 3, 4)$ 表示当年的第 i 季度，具体阐述如下。

研究内容		2022				2023				2024			
		Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄
生产技术水平不变情形下环境标杆设定研究	生产技术水平不变情形下环境生产技术刻画	■											
	生产技术水平不变情形下环境标杆设定		■										
生产技术水平可变情形下环境标杆设定研究	生产技术水平可变情形下环境生产技术预测与刻画		■	■									
	生产技术水平可变情形下环境标杆设定				■								
考虑DMU决策行为的环境标杆实现研究	刻画DMU效用函数					■	■						
	选择科学有效的激励机制						■	■					
我国交通运输业环境标杆管理的应用研究	生产技术水平不变情形下的环境标杆管理研究							■	■				
	生产技术水平不变情形下的环境标杆管理研究									■	■	■	
总结	撰写研究报告 申请结题												■

注：年度工作计划可能会根据研究中的新问题做出动态弹性调整。

图4 年度研究计划甘特图

除上述甘特图所包括的具体研究工作计划外，项目在研期间，申请人及项目成员通过参加高水平学术会议、阅读相关文献，跟进 DEA、碳排放效率测度、环境标杆管理等最新动态，以确保项目的顺利完成。

5. 预期成果

本项目的主要工作是结合 DEA 和环境标杆管理，针对环境生产技术不变情形和环境技术可变情形下基于物质守恒的环境标杆管理问题进行研究，就该问题带来的一些子问题提出一套科学的解决方法，预期研究成果包括：

完成研究内容：包括理清各类理论；建立和完善各类方法和模型；实践应用以及反馈。

创造学术热点：通过对部分子问题的深入研究，依靠参加国内外学术会议、合作开展学术研究、推动相关实践应用等契机，将有关研究成果和思想与学术同行进行交流，使之成为国内外研究关注的热点。

增进与优秀学者的交流：通过参加国际性或国内学术交流会议，增加与国内外优秀学者的交流。

发表学术论文：项目全体成员的研究成果主要以学术论文或研究报告的形式呈现，本项目预期在国内外公认的管理科学与工程、运筹学领域具有重要影响的杂志，如 European Journal of Operational Research、Omega、Journal of the Operational Research Society，管理科学学报、系统工程理论与实践、等发表（含录用）SCI/SSCI 检索学术论文 2-3 篇，其中包括 JCR 一区论文 1-2 篇，ABS 三星论文 1-2 篇。

提高项目团队的学术氛围及科研能力：项目实施期间组织开展项目研究团队内部学术研讨会，增加

项目成员之间的学习交流，并在导师的指导下共同取得科研能力上的进步。

四、研究基础

与本项目有关的研究工作积累和已取得的研究工作成绩及目前承担项目的情况（不能出现相关人员信息）

1. 项目负责人

1.1 本项目有关的研究工作积累

首先，申请人已学习 DEA 相关知识近三年的时间，对 DEA 模型、物质守恒原理、全要素生产率分析、标杆管理、聚类方法等进行了较为深入的研究，为项目的进行奠定了坚实的理论基础。在研一、博一对《博弈论与信息经济学》、《微观经济学》、《管理研究方法》、《大数据分析》、《最优化原理》等课程进行系统学习，储备了一定的基础知识。同时，现有研究主要为碳排放效率和生产率的测度，以及标杆管理问题研究等，并将测度方法应用于钢铁企业，火电厂，矿产业等，为相关政策的制定提供理论依据。其次，通过大量的英文文献阅读和学术论文的撰写，本人在 DEA 相关文献检索、阅读、信息提取和学术论文的撰写方面积累了坚实的科研基础。再者，熟练使用 Matlab、Lingo、SPSS 等数学计算软件，可为本项目的完成提供技术支撑。最后，本人多次参加学术交流会议，并在第四届评价方法与应用分会年会获优秀论文奖。此外，通过参加会议，对本项目相关的学术前沿知识有很好的掌握，为本项目的开展提供了有力的帮助。现已取得的成果如下：

（1）论文《Measuring the environmental protection efficiency and productivity of the 49 largest iron and steel enterprises in China》在国际期刊《Environment development and sustainability》（SCI 检索，影响因子 3.118，JCR 二区）在线发表。该论文从环境保护的视角出发对我国的 49 家钢铁企业的环境保护效率进行评估，在此基础上，运用 global Malmquist 指数进行环境保护效率的动态评估，为我国钢铁企业绿色发展提供指导意见；

（2）论文《Measuring environmental efficiency of thermal power plants in China: An improved Malmquist-Luenberger index with materials balance principle》在国际期刊《Environmental Science and Pollution Research》（SCI 检索，影响因子 4.306，JCR 二区）在线发表。该论文从物质守恒的角度出发，对我国的火电行业进行碳排放效率评价。由于 Malmquist-Luenberger 指数在计算的过程中存在不可行解的问题，本文运用超效率模型解决此问题的同时，对碳排放效率和环境生产率进行评价。基于理论研究，本文将其应用于火电厂行业的环境绩效评价，为相关政策制定者提供参考依据；

（3）论文《中国矿产资源的可持续效率及全要素生产率分析》投稿至高水平期刊《系统科学与数学》，已收到返修意见。该论文提出了扩展的 SBM 模型，以我国 31 个省份为例，对 2013-2017 年我国矿产资源的可持续效率水平进行评估，并结合全局参比 Malmquist-Luenberger 指数对我国可持续全要素生产率水平展开分析；

（4）论文《A new clustering approach using data envelopment analysis: An external preference perspective》

现已处于完成待投状态。传统的聚类方法通常通过对样本的分析，利用自身与中心之间的距离来实现聚类，而该论文引入了外部决策者的偏好视角，从一个全新的角度对 DMU 进行聚类，具有较强的理论价值和现实意义。

1.2 已取得的研究工作成绩

通过研一、研二及博一的学习和研究，申请人利用 DEA 方法对以下问题进行了研究，并取得相应的研究成果。以导师一作本人二作或通讯作者发表 SCI 论文 2 篇，另外，有 1 篇处于返修状态，1 篇完稿待投，具体论文如下：

(1) Ding, S., Zhao, J., Zhang, M., Yang, S., & Zhang, H. (2021). Measuring the environmental protection efficiency and productivity of the 49 largest iron and steel enterprises in China. *Environment, Development and Sustainability*, 1-19. (SCI 检索，影响因子 3.118，JCR 二区)；

(2) An, Q., Zhao, J., Tao, X., & Wang, Z. (2021). Measuring environmental efficiency of thermal power plants in China: an improved Malmquist–Luenberger index with materials balance principle. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-15. (SCI 检索，影响因子 4.306，JCR 二区)；

(3) 论文《中国矿产资源的可持续效率及全要素生产率分析》投稿至《系统科学与数学》，已返修。

(4) 论文《A new clustering approach using data envelopment analysis: An external preference perspective》处于完成待投状态。

申请人获得的成果和奖励：

获第四届评价方法与应用分会年会优秀论文奖；

参加全国数学建模大赛获国家级二等奖；

参加江西省“华创杯”市场调研大赛获省级三等奖；

参与校级课题“基于几何聚合算子的多属性群决策问题”并顺利结题。

1.3 目前承担项目情况

参与导师国家自然科学基金面上项目两项（项目编号：71871223；72171238）；

参与导师中南大学创新驱动计划青年人才项目（项目编号：2019CX041）；

参与湖南省研究生创新项目一项（项目编号：2020zzts013）。

2. 项目成员 1

2.1 本项目有关的研究工作积累

项目成员对 DEA 方法已有较长一段时间的学习和研究, 在该项目相关领域已有一定的知识储备、工作的积累以及相关的研究成果, 具有较为坚实的研究基础。项目成员已经开展了对该项目的部分子研究, 解决了现有文献中的不足, 比如对于 DEA 方法对于碳排放效率的测量, 已经确定了合适的 DEA 方法模型, 并且已经初步研究了如何对 DEA 方法求出来的碳排放效率值进行合理的分解。其次, 该项目成员已结合 DEA 方法和环境标杆管理进行了研究, 并已发表了相关的论文在《Omega》上, 这也为本项目的研究打下了坚实的理论基础。

2.2 已取得的研究工作成绩

项目成员现今完成了 9 篇学术论文的撰写, 且 4 篇已被录用, 5 篇论文处于返修阶段, 具体论文如下:

(1) An, Q., Tao, X., Dai, B., & Xiong, B. (2021). Bounded-change target-setting approach: Selection of a realistic benchmarking path. *Journal of the Operational Research Society*, 72(3), 663-677. (JCR 二区, ABS 三星);

(2) An, Q., Tao, X., Dai, B., & Li, J. (2020). Modified distance friction minimization model with undesirable output: An application to the environmental efficiency of China's regional industry. *Computational Economics*, 55(4), 1047-1071. (SCI 检索期刊, JCR 三区, ABS 一星);

(3) An, Q., Tao, X., & Xiong, B. (2021). Benchmarking with data envelopment analysis: An agency perspective. *Omega*, 101, 102235. (SCI 检索期刊, JCR 一区, ABS 三星);

(4) Tao, X., Xiong, B., & An, Q. (2021). DEA-based centralized resource allocation with network flows. *International Transactions in Operational Research*, 28(2), 926-958. (JCR 二区, ABS 一星);

(5) Nested frontier-based best practice regulation under asymmetric information in a principal-agent framework; revise and resubmit (*European Journal of Operational Research*, JCR 一区, ABS 四星);

(6) Benchmarking with nonconvex production possibility set through data envelopment analysis: An application to China's transportation system; revise and resubmit (*Expert Systems with Applications*, JCR 一区, ABS 一星)

(7) Frontier-based incentive mechanisms for allocating common revenues or fixed costs; revise and resubmit (*European Journal of Operational Research*, JCR 一区, ABS 四星);

(8) Sequential benchmark selection on Pareto-efficient frontiers with endogenous directions; revise and resubmit (*Journal of Operational Research Society*, JCR 二区, ABS 三星)

(9) Improving carbon emission performance of thermal power plants in China: a non-parametric environmental benchmark selection approach; revise and resubmit (Journal of Global Information Management, JCR 三区, ABS 二星)

2.3 目前承担项目的情况

主持中南大学研究生自主创新项目一项（项目编号：2020zzts019）；

参与导师国家自然科学基金面上项目两项（项目编号：71871223；72171238）；

参与导师中南大学创新驱动计划青年人才项目（项目编号：2019CX041）。

3. 项目成员 2

3.1 本项目有关的研究工作积累

该成员长时间从事科研工作,对碳排放效率评估、管理决策方法与理论等进行了深入的学习和研究,并且完成了多篇英文论文的撰写,具有丰富的项目经历,在理论基础和科研能力等方面均可为本项目的顺利开展提供较大帮助和支持。已学习机器学习方法和不确定决策方法近四年,并将机器学习技术与不确定决策方法在风险评估领域进行了应用研究。另外,熟练掌握项目所需的工具,包括 Matlab, SPSS, Pycharm 等,为项目的顺利进行打下了坚实的基础。

3.2 已取得的研究工作成绩

该项目成员目前已有两篇论文,具体包括:

(1) Wen-hui Hou, Xiao-kang Wang, Hong-yu Zhang, Jian-qiang Wang, Lin Li, A novel dynamic ensemble selection classifier for an imbalanced data set: An application for credit risk assessment, Knowledge-Based Systems, 208, 106462, 2020. (SCI, JCR Q1)

(2) Wen-hui Hou, et al. Safety risk assessment of metro construction under epistemic uncertainty: An integrated framework using credal networks and the EDAS method, Applied Soft Computing Journal, 2021, 108: 107436. (SCI, JCR Q1)

(3) Wen-hui Hou, et al. Intuitionistic fuzzy c-means clustering algorithm based on a novel weighted proximity measure and genetic algorithm, International Journal of Machine Learning and Cybernetics, 2021, 12: 859–875. (SCI, JCR Q2)

(4) Xiao-kang Wang, Wen-hui Hou, et al. BW-MaxEnt: A Novel MCDM Method for Limited Knowledge[J].

Mathematics, 2021, 9(14): 1587. (SCI, JCR Q1)

3.3 目前承担项目的情况

参与导师国家自然科学基金项目一项（基金号：71571193）。

4. 项目成员 3

4.1 本项目有关的研究工作积累

该成员对 DEA 方法已有较长时间的学习经历，主要研究方向为基于 DEA 方法的绩效评价及标杆管理研究，有一定的研究基础，计划在下一阶段更加深入对标杆管理的研究。其次，该项目成员对本项目研究方法较为熟悉，为本项目的研究奠定了坚实的理论基础；通过研一上学期大量课程的学习和深入思考，为项目的顺利完成提供了保障。并且大量英文文献的阅读以及英文论文的撰写培养了该成员良好的科研能力，为本项目的顺利开展提供了科研基础。最后，项目成员熟练掌握项目所需的工具，包括 Matlab, SPSS, Pycharm 等，促进项目的开展。

4.2 已取得的研究工作成绩

结束研一上学期的课程，已撰写多篇课程小论文；

论文《A data-driven consensus method for large-scale group decision making with input-output relationship》，处于完成待投状态。

该成员本科获得的成果和奖励：

大学创新训练计划国家级立项；

校级金种子立项；

商业调研大赛一等奖。

4.3 目前承担项目的情况

参与导师国家自然科学基金面上项目两项（项目编号：71871223；72171238）；

参与导师中南大学创新驱动计划青年人才项目（项目编号：2019CX041）。

五、经费预算

支 出 科 目	金 额 (万元)	计 算 根 据 及 理 由
合 计	2.6	
科研业务费	1.30	<p>包括差旅费、调研费、会议费、国际合作交流费、出版/文献/信息传播/知识产权事务费等。</p> <p>(1) 国际合作交流费指研究人员出国及外国专家来华工作的费用，参加国际会议的会务费共计 4000 元，明细如下：</p> <p>A. 项目研究过程中，参与国内学术交流会议 1-2 人次，会务费每人次 1500 元，共计 3000 元；</p> <p>B. 项目研究过程中，组织开展学术研讨、咨询以及协调项目研究工作等活动而发生的会议费用合计约 1000 元</p> <p>(2) 差旅费指市外出差的住宿费、旅费、伙食补助费、杂费等，以及调研和到外地开会的会务费和市内出租车、公交车乘车费，共计 6800 元，明细如下：</p> <p>A. 在项目研究过程中参与国内学术交流会议 2-5 人次，往返车费、住宿费等共计 4100 元；</p> <p>B. 项目组成员前往非同城高校、科研院所进行学术交流探讨 2-3 人次，每人次差旅费平均元，每次一周左右，共计 1200 元；</p> <p>项目组成员进行相关数据搜集、调研等 2-5 人次，每人次差旅费平均 600 元，每次一周左右，共计 3500 元。</p> <p>(3) 出版/文献/信息传播/知识产权事务费指出版费、资料费、印刷费、办公软件购买费、文献检索费、专业通信费、专利申请及其他知识产权事务等费用，共计 2200 元；项目期间预计发表 SCI/SSCI 检索论文 2-3 篇，撰写论文 1-4 篇，语言润色费、版面费等每篇平均 550 元，共计约 2200 元。</p>
实验材料费	0.30	<p>材料费指各种原材料、辅助材料等低值易耗品、办公用品的购置费用，共计 3000 元，明细如下：</p> <p>(1) 项目研究过程中发生的资料查询、打印、复印、检索、翻译等费用合计 800 元；</p> <p>(2) 项目研究过程中购买文具、U 盘等办公用品费用合计 300 元；</p> <p>(3) 购买中英文书籍费共计万元，英文书籍 1-3 本，平均每本 150 元，合计约 900 元；</p> <p>(4) 购买中文书籍 5-10 本，平均每本 50 元，合计约 1000 元。</p>
仪器设备费	0.80	<p>设备费指专用设备、办公设备、专用软件购买费、办公家具购置费用：</p> <p>项目研究过程中购买打印机一台，约 0.8 万元。</p>
相关经费	0.20	其他，如项目研究过程中产生的设备（如计算机）维护费用等。

注：预算支出科目按下列顺序填写：1. 科研业务费 2. 实验材料费 3. 仪器设备费 4. 相关经费。

六、研究生个人承诺

1. 本项目申报和材料撰写过程不存在学术不端行为，且未获得其他项目立项。

簽名: 年 月 日

指导教师意见

签名: 年 月 日

二级
培养
单位
评审
推荐
意见

	<div>负责人：年 月 日</div> <div>(公章)</div>
学校 评审 意见	<div>负责人：年 月 日</div> <div>(公章)</div>