

钢铁行业非主工艺流程 BOO 模式的 投资效益与风险研究

陈振兴

(中国冶金科工股份有限公司,北京 100028)

摘要:在“双碳”目标与环保监管趋严的背景下,钢铁行业正面临绿色转型与降本增效的双重压力,传统固废处理模式亟待革新。本文以 BOO 模式在非钢铁非主工艺流程(尤其是钢渣处理领域)的应用为核心,并以 J 公司投资的年产 35 万吨钢渣处理项目为例,深入论证其财务可行性与实践价值。该模式的核心优势在于实现专业化分工、成本优化与风险共担,不仅通过技术与规模效应降低吨处理成本,更将钢铁企业的环保合规压力转化为稳定的服务需求,构建“技术领先-成本优势-风险可控-收益可持续”的闭环。本文成果证实,BOO 模式既是投资方获取长期稳定回报、构建服务壁垒的有效策略,也是助力钢铁企业实现轻资产绿色转型的双赢解决方案,可为相关领域投资决策提供可复制的分析范式和实践参考。

关键词:钢铁行业;非主工艺流程;BOO 模式;钢渣处理;投资效益;风险分析

中图分类号:TF09

文献标志码:A

文章编号:1673-8993(2026)06-0073-06

doi:10.13402/j.gcjs.2026.06.070

Research on investment benefit and risk of BOO model in non-core process flow of iron and steel industry

CHEN Zhenxing

(Investment and Operation Management Department, China Metallurgical Group
Co., Ltd., Beijing 100028, China)

Abstract: Against the backdrop of the "Dual Carbon" goals and increasingly stringent environmental regulations, the steel industry is facing dual pressures of green transformation and cost reduction with efficiency improvement, making the innovation of traditional solid waste disposal models an urgent need. This study focuses on the application of the BOO (Build-Own-Operate) model in non-main process flows of the steel industry, particularly in the field of steel slag treatment, and takes the 350 000 t annual steel slag processing project invested by Company J as a case example to deeply demonstrate its financial feasibility and practical value. The core advantage of this mode lies in achieving specialized division of labor, cost optimization, and risk sharing-it not only reduces the per-ton treatment cost through technological and scale effects, but also transforms the environmental compliance pressure of steel enterprises into stable service demand, thereby constructing a closed loop of "technological leadership-cost advantage-controllable risk-sustainable revenue". This study confirms that the BOO model is not only an effective strategy for investors to obtain long-term stable returns and build service barriers, but also a win-win solution that helps steel enterprises achieve light-asset green transformation, providing a replicable analytical paradigm and practical reference for investment decisions in related fields.

Key words: steel industry; non-main process flow; BOO model; steel slag treatment; investment efficiency; risk analysis

收稿日期: 2026-01-26

作者简介: 陈振兴(1987—),男,高级会计师,从事投资评价相关工作。

钢铁行业当前面临着环保监管持续趋严与成本控制压力并存的局面。在“碳达峰、碳中和”战略目标以及“邻避效应”的双重约束下,企业迫切需要通过绿色转型突破发展瓶颈。与此同时,原材料价格频繁波动与市场需求紧缩,迫使企业转向精细化管理和降本增效方向转变。传统粗放型固废处理模式不仅造成资源浪费,还可能引发长期环境风险。在此背景下,钢渣处理等非主工艺流程的投资价值日益凸显。通过技术升级,可将钢渣从单纯的“环保负担”转化为道路建材、金属回收等高附加值资源,这既有助于满足环保合规要求、降低潜在风险,又可通过资源循环利用创造新的利润增长点,成为钢铁企业在履行环境责任与提升经济效益之间取得平衡的重要途径。

BOT (build-operate-transfer, 建设-经营-转让) 与 BOO (build-own-operate, 建设-拥有-经营) 等特许经营模式,作为吸引社会资本参与公共服务供给的重要机制,已在理论与实践形成较为完善的体系。现有研究多集中于市政公用设施领域,包括污水处理、垃圾焚烧、道路照明等应用场景,这些成果为相关特许经营实践提供了丰富的理论依据与决策支持。例如,张春红^[1]聚焦探索切实可行的优化策略,旨在提升 BOT 项目财务信息的准确性,从而为项目公司、投资方以及政府部门提供更可靠的数据支撑,保障污水处理等重要公共项目实现长期稳定运营;李志刚等^[2]提出社会资本方经济实力是保障环保 PPP 项目成功的重要条件,研究识别出引致环保 PPP 项目成功的 10 条组态路径,将其归纳为信用支撑下的政社联动型、融资与实力双重协同下的社会资本方驱动型、付费合理的政府支持型 3 种模式,对环保 PPP 项目的成功实施具有积极意义,也为 PPP 模式治理提供了借鉴;熊俊昀等^[3]针对当前城市地下综合管廊 PPP 项目投融资问题,构建了兼顾内、外部效益评估的投融资价值潜力评估方法,并从投融资综合效益评估、使用者付费标准和交通协同规划 3 个方面提出建议;卢波等^[4]提出了高速公路 BOT 项目服务区价值增值对策,为 BOT 项目价值管理拓展与服务区运营绩效提升提供了参考依据;潘会娟^[5]阐述了 BOT 项目的概念和应

用价值,结合污水处理 BOT 项目财务风险的成因提出了有针对性的防控策略。然而,当研究视角延伸至工业固废处理领域时,现有文献的不足逐渐显现。钢铁行业作为工业固废的主要排放源,每年产生的钢渣、粉煤灰等固废总量超过 5 亿吨,其资源化利用与无害化处理已成为行业绿色转型的核心议题,但针对钢铁固废处理项目的 BOT/BOO 模式研究仍相对匮乏。

本文采用“应用现状梳理-典型案例剖析-财务模型验证”的综合分析框架,系统探讨 BOO 模式在钢铁企业非主工艺流程领域的投资财务可行性与综合效益。首先,通过梳理中国冶金科工股份有限公司(以下简称中国中冶)在工业固废处理领域实施 BOO 模式的既有实践,明确研究的现实基础及相关制度与市场环境。其次,选取 J 公司投资建设的年处理能力为 35 万吨的钢渣综合利用项目作为典型案例,从项目背景、运营模式、技术路径及效益实现机制等多维度展开分析,以揭示 BOO 模式推动钢渣资源化的关键实践逻辑与价值创造路径。最后,基于案例数据构建详细的财务评估模型,定量测算投资方的现金流、内部收益率、投资回收期等核心指标,并通过敏感性分析检验模型的稳健性及关键风险因素的影响,从而形成一套可供类似投资决策参考的可复制性评估框架。

1 理论与适用性

1.1 BOO 与 BOT 模式的契约差异

BOO 模式是指社会资本方负责项目投资、建设并长期持有运营基础设施的模式^[6]。其核心特点在于项目所有权不发生转移,运营方通过持有永久经营权获取长期收益,主要适用于具有长期稳定收益、技术复杂度高且政府监管需求较强的项目。

在 BOO 模式下,项目资产永久归投资方所有,无需移交;而在 BOT 模式下,项目需在特许期结束后无偿移交给业主方。这一根本性差异,直接导致了两种模式在项目所有权、运营期限、融资结构及风险分配等方面的显著不同。

1.2 钢铁非主工艺流程的资产特性

钢铁非主工艺流程,是指虽不直接参与核心

炼钢与轧钢工序，但对环境保护、安全生产及稳定运行具有重要支撑作用的辅助环节。钢渣处理、除尘设施等项目虽不直接产出核心钢材产品，却是钢铁企业实现绿色低碳转型与可持续发展的关键所在。

(1) 资金需求密集。该类项目前期需一次性投入巨额资金用于工程建设与设备采购，且投资回收期较长(通常为 5~10 a)，这对投资方的资金实力与持续融资能力提出了较高要求。

(2) 技术门槛高。项目必须掌握钢渣处理等复杂工艺的核心技术(如高效分选、资源化利用)，并具备持续的研发投入能力以提升产品附加值与金属回收率，技术路线的落后将直接削弱项目的盈利空间。

(3) 运营管理复杂。项目运营需要具备长期的精细化管理能力，涵盖处理量调度、成本控制、质量管理以及与钢铁主工序的协同配合，运营效率的高低直接决定了项目的经济效益。

1.3 BOO 模式的适配性机理

BOO 模式之所以契合钢铁非主工艺流程的投资需求，核心在于其有效匹配了产业专业分工、全生命周期成本优化及风险合理分担的内在要求。

1.3.1 专业分工优势

以中国中冶为代表的工程技术服务商，拥有钢渣处理的核心技术(如热闷处理)及成熟的运营管理经验，能够保障项目的高效与稳定运行，这是单一钢铁生产企业难以比拟的。

1.3.2 成本优化潜力

依托专业化运营与规模效应，BOO 模式能显著降低单位处理成本。实证数据显示，部分项目的吨钢渣处理成本较企业自建模式降低 32%。同时，由投资方承担重资产投入，有效减轻了钢铁企业的资金负担。

1.3.3 风险分担机制

通过契约明确环保绩效指标(如资源化率不低于 95%)，将合规达标风险转移至专业运营方，使钢铁企业得以规避技术迭代滞后及长期运维管理的风险。

综上所述，BOO 模式通过引入专业第三方，实现了技术、资金与风险的有效配置，是推动钢铁行业绿色转型的务实路径。

2 案例概况与收益机制设计

2.1 案例概况

选取 J 公司采用 BOO 模式投资建设的某钢铁厂钢渣处理单元。该项目设计处理能力为 35 万吨/年^[7]，总投资额为 9 000 万元，主要负责对钢铁冶炼过程中产生的钢渣进行资源化综合利用。

2.2 “四维联动”收益分配机制

项目构建了包含成本补偿、利息补偿、挂钩收益及考核激励在内的“四维联动”收益机制。该机制将投资方的成本回收与收益获取，同钢铁厂的生产规模及经营效益深度绑定，既保障了投资方的财务可行性，又通过利益共享机制倒逼了运营效率提升，推动钢铁厂绿色转型，最终形成“技术-资金-风险-收益”闭环的利益共同体。具体计算逻辑如表 1 所示。

3 财务可行性与风险评价

3.1 财务评价模型构建

从利润影响、现金流影响及投资回报率三个核心维度分析 BOO 模式的财务效益。在利润维度，依托专业化运营降低钢渣单位处理成本，并通过金属回收与建材原料的销售分成机制，拓宽投资方盈利空间，同时削减钢铁企业的固废处置支出，实现双向收益优化。在现金流维度，基于

表 1 收益模式计算逻辑

收益构成	年均值/万元	计算依据
成本补偿	4 300	(耗材 + 能耗 + 工资福利 + 折旧)/钢铁厂可研钢产量 × 实际钢产量
利息补偿	47	(投资额 × 60% - 已付折旧) × 年化利率
挂钩收益	138	投资额 × 钢铁厂近两年平均投资利润率 × 折扣系数(0.75)
考核激励	360	[基准率(据实调整) - 同工艺实际完成尾渣铁含量(据实数据)] × 尾渣量 × 实际渣钢铁单价

长期服务合同锁定稳定收入流，结合成本补偿机制覆盖运营支出，在保障投资方现金流可持续的同时，缓解钢铁企业的资本性支出压力。在投资回报维度，通过利息补偿对冲融资成本，结合技术外溢效应提升资产周转效率，综合测算内部收益率及净现值，验证项目的长期财务可行性。

选取内部收益率 (internal rate of return, IRR)、投资回收期及销售净利率作为核心评价指标^[8]，系统量化 BOO 模式在钢渣处理项目中的财务表现。其中，IRR 通过折现未来现金流，衡量全周期投资回报水平，需高于行业基准收益率以验证经济可行性；投资回收期用于评估资金回笼效率，结合长期运营合同测算初始投资 (含设备购置与土建安装) 的回收时限，为风险控制提供阈值参考；销售净利率则通过对比项目运营收入与成本费用，反映精细化管理的盈利水平。三大指标协同作用，保障投资方收益的稳健性，支撑 BOO 模式在环保合规与财务可持续之间的平衡。

模型输入数据来源于合同约定、业主历史运营数据及行业基准 3 个维度，确保参数的法律效力、历史延续性与横向可比性。合同数据提取自 BOO 长期运营协议，明确成本补偿标准、收益分成比例及考核阈值，构成模型的法律约束边界；历史数据基于业主方近两年的平均投资利润率，用于测算挂钩收益；行业基准则参考权威机构发布的钢渣尾渣含铁量标准，用于计算考核激励。

3.2 盈利能力与现金流分析

基于上述模型，项目达产后预计可实现年均销售收入为 4 845 万元，年均净利润为 420 万元，销售净利率为 8.67%；全投资所得税前内含报酬率为 10.58%，净现值为 2 179 万元，投资回收

期为 7.94 a (含 1 a 建设期)。

3.3 敏感性分析与盈亏平衡

3.3.1 盈亏平衡分析

盈亏平衡分析^[9]旨在确定项目投产后，利润为 0 时的临界点产量。当实际产量低于该点时项目亏损，高于该点时项目盈利。采用生产能力利用率 I_{BEP} 表示盈亏平衡点，计算公式为

$$I_{BEP} = F \div (S - V - T) \times 100\%$$
 (1)

式中： F 为年固定成本； V 为年可变成本； S 为年营业收入； T 为年税金及附加。

计算结果表明，项目只需达到设计产能的 80.89% 即可实现盈亏平衡，抗风险能力较强。

3.3.2 敏感性分析

敏感性分析用于考察不确定因素对经济评价指标的影响程度。

(1) 钢铁厂收益率变动的影响。由于项目收益与钢铁厂经营效益挂钩，钢铁厂利润率的变化直接影响项目 IRR 与投资利润率 (表 3)。

由表 3 可知：钢铁厂利润率下降将同步拉低项目收益。该风险属于系统性风险，源于宏观经济与市场波动，在“风险共担、收益共享”的合作机制下难以完全规避。

(2) 建设投资、钢产量及经营成本变动的影响。进一步分析建设投资、钢产量及经营成本单因素变动对项目 IRR 的影响 (表 4~6)。

由表 4~6 可知：项目 IRR 对钢铁厂钢产量的波动最为敏感，对经营成本的变动次之，而对建设投资变动的敏感度相对较低。从项目全周期来看，控制建设投资规模、将运营成本维持在核定范围内，以及争取更高的钢产量，均是提升项目收益的有效途径。鉴于项目建设期的刚性需求，

表 2 项目全投资现金流量 万元

类别	项目	合计	建设期	达产年
现金流入	销售收入	71 985	—	4 830
	建设期增值税抵入	831	831	—
	回收固定资产余值	736	—	—
现金流出	建设资金	7 492	7 492	—
	建设期增值税	857	857	—
	经营成本	56 949	—	3 797
	附加税	260	—	26

表 3 钢铁厂收益率变动对项目收益的影响 %

钢铁厂利润率	内部收益率	投资利润率
0	8.18	4.64
1.50	9.70	5.74
2.42(基准)	10.58	6.41

表 4 建设投资变动的影响 %

建设投资变动率	内部收益率	投资利润率
-10	11.21	6.91
0	10.58	6.41
10	10.11	6.01

表 5 钢铁厂钢产量变动的影响 %

钢产量变动率	内部收益率	投资利润率
-5	6.80	3.65
0	10.58	6.41
5	14.14	9.18

表 6 经营成本变动的影响 %

经营成本变化率	内部收益率	投资利润率
-5	13.77	8.87
0	10.58	6.41
5	7.23	3.96

应重点加强对钢渣处理单元建设投资的概算管控。在运营阶段，需进一步强化成本精细化管理。考虑到近年钢铁行业生产运行总体平稳，钢产量波动幅度有限，因此产量变化对项目收益带来的风险处于可控区间。

3.4 关键风险识别与应对

3.4.1 技术风险

风险描述：钢渣处理技术迭代迅速，项目可能因工艺落后导致金属回收率下降或资源化产品附加值不足，影响长期竞争力。

应对措施：在合同中增设技术升级条款，明确研发投入分摊机制；引入第三方技术评估机构，定期审计设备效率与环保合规性，规避因技术滞后引发的履约风险。

3.4.2 市场风险

风险描述：资源化产品（如建材、再生金属）市场价格波动或需求萎缩，可能削弱挂钩收益机制的有效性，压低投资回报率。

应对措施：设置价格联动条款，将部分收益与建材价格指数挂钩，平滑周期性波动；拓展下

游应用渠道，与水泥厂、路基材料商签订长期供货协议，锁定需求端稳定性。

3.4.3 合同风险

风险描述：合同条款界定不清或履约监管缺位，易引发环保绩效争议（如资源化率未达标），导致罚款甚至合作终止。

应对措施：量化环保指标（如排放标准、资源化率）并引入第三方检测机制，消除歧义；建立动态履约监控系统，实时追踪处理量与合规数据，必要时行使法定抗辩权以应对违约行为；在合同谈判中明确风险分配矩阵，例如将技术迭代风险分配给具备专业能力的社会资本方，将合规风险由钢铁企业协同分担。

3.4.4 综合风险协同应对

BOO 模式通过专业化分工有效降低整体风险敞口。例如，整合热闷处理、高效磁选等先进技术，将环保合规压力转化为技术示范优势；利用长期照付不议合同锁定基础收益，对冲市场波动。关键在于合同设计需平衡“风险共担”与“收益共享”，例如通过考核激励机制将环保绩效与收益分成挂钩，形成双向硬约束。

4 讨论

4.1 BOO 模式对传统环保投资的替代效应

BOO 模式为投资方介入钢铁非主工艺流程（如钢渣处理）提供了独特的价值创造路径。依托专业化运营，投资方能够整合先进技术与管理经验，显著提升资源化效率^[10]与产品附加值，构筑技术壁垒；利用规模效应摊薄单位处理成本；借助长期契约锁定稳定收益流，并通过明确的风险分担机制对冲市场波动与合规风险。此外，叠加政策红利与行业需求增长的外部驱动，BOO 模式最终构建起“技术领先 - 成本优势 - 风险可控 - 收益可持续”的良性循环，为绿色投资领域确立了可复制的盈利范式。

4.2 长周期运营中的契约稳定性挑战

尽管 BOO 模式优势明显，但在长周期运营中仍面临严峻的契约稳定性挑战。其一，履约能力风险。鉴于运营周期通常长达 10 ~ 15 a，钢铁企业可能因市场周期波动或经营困境导致履约能力

下降,而合同条款的刚性约束易引发收益纠纷,甚至导致项目提前终止。其二,技术迭代风险。随着固废处理技术的快速演进,投资方若无法持续投入研发以保持工艺先进性,将难以应对日益严格的环保标准,进而丧失成本优势,面临违约处罚。

4.3 推广建议

为推动 BOO 模式的规模化应用,建议从 3 个层面施策:1) 主体准入层面:投资方在合作前应审慎评估自身的技术适配性(如工艺成熟度与升级潜力)、资金承载力及历史合规记录,确保具备长周期运营能力;2) 契约设计层面:合同需明确动态收益分成机制(如与钢铁厂效益挂钩的阶梯式定价)、刚性环保绩效指标及风险分配条款(如界定技术迭代的责任归属),以锁定合理收益并降低不确定性;3) 政策扶持层面:建议主管部门提供专项财政补贴、税收优惠或绿色金融支持,缓解投资方初期资金压力;同时加快制定行业标准,为 BOO 项目的投资回报创造稳定的制度预期,最终实现投资方获取技术溢价与钢铁企业降低全寿命周期成本的双赢格局。

5 结论与展望

5.1 结 论

研究表明,BOO 模式在钢铁非主工艺流程投资中具备显著的财务可行性与综合效益。对于投资方而言,通过专业化运营实现技术溢价与规模效应,有效降低了单位处理成本并提升了资源化产品附加值,形成了稳定的现金流;对于钢铁企业而言,则实现了由“重资产”向“轻资产”的运营模式转型,释放资金聚焦主业升级,同时成功规避了环保合规风险。这种基于长期合同的收益共享与风险共担机制,在政策环境的加持下,实现了投资方内部收益率达标与钢铁企业成本节约的统一,为钢铁行业绿色转型提供了可持续的

解决方案。

5.2 展望

本研究聚焦于 BOO 模式的财务可行性,但仍存在局限性:数据样本多集中于头部钢企,缺乏中小型钢铁企业的实证数据;模型构建相对理想化,未充分纳入政策突变与供应链中断等极端风险。未来研究可拓展至水泥、化工等其他重工业固废处理领域,验证 BOO 模式的跨行业适用性;同时,可引入动态博弈模型与全生命周期成本分析法,进一步量化不同市场情境下的风险阈值,以提升研究的普适性与决策参考价值。

参考文献:

- [1] 张春红. 城市污水处理厂 BOT 项目的财务核算优化研究[J]. 市场周刊,2026,39(1):142-146.
- [2] 李志刚,薛怡. 环保 PPP 项目何以成功:要素组合与模式归纳[J]. 财会月刊,2026,47(5):92-97.
- [3] 熊俊昀,徐武强,任宗祥,等. 城市地下综合管廊 PPP 项目投融资价值评估与优化建议[J]. 交通企业管理,2026,41(2):133-135.
- [4] 卢波,唐颖玉,高广博,等. 高速公路 BOT 项目服务区价值增值影响因素研究[J]. 项目管理技术,2026,24(4):45-51.
- [5] 潘会娟. 污水处理 BOT 项目财务风险成因与对策[J]. 活力,2026,44(4):25-27.
- [6] 朱晓林,尚方方. 钢铁企业基于生命周期的环境作业成本法核算研究[J]. 会计之友,2014(5):67-71.
- [7] 张海艳,林文龙,邢宏伟,等. 处理工艺对钢渣性能影响及应用研究现状[J]. 钢铁研究学报,2025,37(9):1123-1124.
- [8] 田达. 项目财务评价指标体系和方法探析[J]. 中国市场,2022(2):161-162.
- [9] 周波. 国有企业固定资产投资后评价体系的构建与应用[J]. 市场瞭望,2024(15):138-139.
- [10] 马庆华. 工业固废资源化利用在区域节能降碳中的贡献评估[J]. 中国资源综合利用,2025,43(12):97-99.