

钢铁企业能源审计评价体系的优化

蒋汶峻¹, 王振全²(教授)

(1.北京化工大学经济管理学院, 北京 100029; 2.北京石油化工学院经济管理学院, 北京 102617)

【摘要】 本文针对我国钢铁企业能源审计缺乏完整、系统的评价体系的现状,依据相关国家标准及行业规范整理出能源审计实践中隐含的评价体系;在分析和讨论该体系指标设计的不足以及内容的缺陷的基础上,提出了审计评价体系优化方案,并设计了一个改进的评价体系;使用层次分析法计算了优化后的钢铁企业能源审计评价体系指标权重,结果表明改进后的评价体系具有更高的能源审计评判的分辨率。

【关键词】 钢铁企业; 能源审计; 评价体系

钢铁工业不仅是国民经济的重要基础产业,而且是实现工业化的支撑产业,同时也是技术、资金、资源、能源密集型产业。

钢铁工业是能耗大户,近年来中国钢铁工业能耗总量占全国工业能源消费总量的比例由2002年的15.78%上升至2012年的23%。相对国际钢铁工业而言,我国钢铁工业在燃料组成,工艺流程及资源利用效率等方面还未能达到较高水平,与国际先进企业差距较大(见表1)。我国钢铁工业的发展面临环境和资源的双重制约,在钢铁冶金行业推进节能减排工作是必然趋势。能源审计作为推进节能减排工作的重要手段之一,研究并完善其评价体系具有重要意义。

表1 我国钢铁工业环保现状与国际水平比较

项 目	2006年 我国重点 钢铁企业 平均值	国外先进企业水平
吨钢综合能耗/(t/t)	0.6	
工业水重复利用率/%	94.80	98
吨钢新水耗量/(m ³ /t)	6.71	5.5(阿塞洛),2.6(蒂森-克虏伯)
吨钢外排废水/(m ³ /t)	3.42	1.1(蒂森-克虏伯)
吨钢SO ₂ 排放量/(kg/t)	1.82	1.28(阿塞洛)
吨钢CO ₂ 排放量/(kg/t)	2 050	1 652(2002年日本平均)
吨钢排尘/(kg/t)	1.3	0.5(阿塞洛,蒂森-克虏伯)

资料来源:重点耗能行业能效对标指南

一、能源审计评价体系研究现状

能源审计是依据国家有关节能法律、法规和标准,由专门的审计机构对企业和其他用能单位能源利用的物理过程和财务过程进行检验、核查和分析评价。具体包括企

业基本情况、能源管理(能源统计和计量状况)、企业主要能耗设备检测、企业能耗指标计算分析、能源消耗状况评价与分析、节能技改项目财务分析与经济评价六大部分。评价体系是审计人员进行能耗分析的依据,一套完善的评价体系有助于审计人员分析企业在用能中出现的问题,从而在审计报告中提出合理建议。而能源审计评价体系至今尚未有统一构建,针对钢铁企业的研究更少。

1977年,美国正式提出“能源审计”概念,英国相继进行“能源调查”、制定“工业节能计划”。国外对能源审计评价体系的研究主要集中于能源效率评估和能源消耗评价。国际上具有代表性的能耗指标评价体系有:欧盟(EU)能源效率评价体系;世界能源理事会(WEC)能源效率评价体系;国际原子能机构(IAEA)可持续发展能源评价体系。如IAEA最终筛选出41个指标,社会领域涉及能源不平等和能源供得问题;经济领域有关能源生产、供应、消费,定价、税收、补贴等;环境领域有气候变化、土地利用、森林砍伐等指标。国外能源评价体系层次性强,但不宜直接用于审计结果分析:①大部分指标从宏观的角度构建,对单个企业并不适用;②能耗指标仅是能源审计评价体系的一部分,能源审计还涉及能源计量器具管理、节能潜力分析。

1982年,我国国家经济贸易委员会组织了企业能源审计试点工作,1997年由国家技术监督局颁布的《企业能源审计技术通则》(GB/T17166-1997),是目前国内唯一的能源审计专项标准以及开展能源审计工作的技术依据。我国学者关于能源审计评价体系的研究并不多,多从微观角度考虑,注重能源审计的行业特点及企业的个性特征。樊耀东(2008)针对电信运营,讨论了能源消费间接排放的氟利昂、电磁辐射、蓄电池回收、电子废物回收等,强调评价体系中环保相关指标的重要性。卢强,焦曦

(2007)针对卷烟制造业,对烟厂能源指标进行比较,提出了适合烟厂能源管理的指标——万支综合能耗和万支可比能耗。兰德年(2008)在分析了中国钢铁工业的现状并对比国外先进水平后,提出了完善吨钢综合能耗指标、吨钢可比能耗指标、万元增加值能耗指标及工序单位产品能耗指标。张世则(2009)则利用实例说明在企业能耗评价指标的实际使用中应该考虑企业的个性特征。

尽管我国学术界对能源审计中评价指标设计的完善给出了各自的建议,但如表1所示,我国钢铁行业能源效率与排放标准与世界先进水平还有一段差距,到目前为止还没有一套完整的钢铁企业能源效率评价体系。

本文依据《企业能源审计技术通则》,结合钢铁行业能源消费的特点和我国现有能源审计报告规范涉及的评价指标,分析其中存在的不足,提出优化措施,并构建我国钢铁企业能源审计评价体系。

二、现行钢铁企业能源审计评价体系中存在的问题

钢铁企业能源审计的实施分为三个阶段:技术准备、现场审计测试和分析总结。能源审计评价指标是将审计测试阶段所收集的数据进行整理计算而得,建立在一定的财务经济责任关系基础上,从而应用于第三阶段。利用评价指标构建并完善评价体系有利于审计人员分析企业总体用能情况,挖掘节能潜力并提出节能减排建议。

尽管到目前为止,我国还没有完整、系统的“钢铁行业能源审计评价指标体系”,但依据《企业能源审计技术通则》(GB/T17166-1997)和相关审计报告规范涉及的评价指标,我国现有钢铁企业能源审计评价体系可归类整理为图1所示的结构。

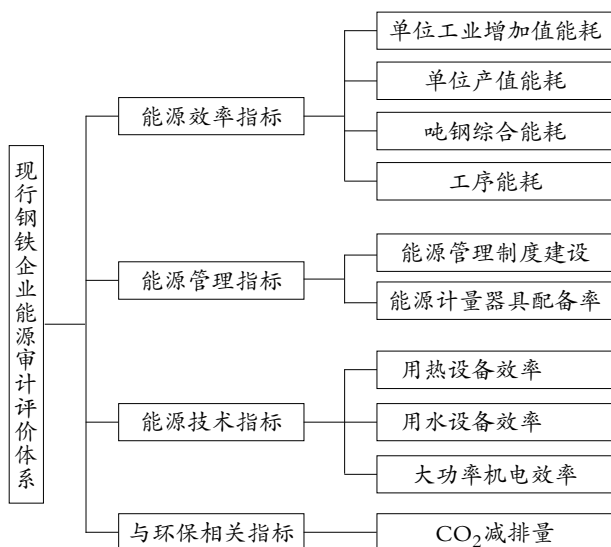


图1 现行钢铁企业能源审计评价体系

从图中可以看出,尽管我国现有钢铁企业能源审计评价体系在指标设置上比较完整,但至少在环境与财务两个方面仍存在问题,分述如下。

1. 环境板块评价指标缺乏可比性与公允性。与环保相关指标审计评价的主要目的是分析企业的节能潜力,提出技术改进建议,在不降低企业产值的前提下减少能源消耗。技术缺陷越大的企业可挖掘的节能潜力越大。我国能源审计与环保相关的评价指标主要表现为以下两个方面的缺陷。

(1)CO₂减排量指标可比性较弱,或缺乏可比性。CO₂减排量是本年度与上一年度排放量的差,它与既有排放基数有关,仅限于存在CO₂减排量潜力的吨钢综合排放高的企业,例如采用了先进节能减排技术与工艺的“柳钢”,其吨钢综合排放一直维持在很低的水平,CO₂减排量几乎是零。

另外,CO₂减排量指标与生产工艺和技术相关。例如,最终产品同样是钢材的两家企业A和B,前者是以铁矿石为原料的钢铁联合生产,其排放主要来源于包括炼焦在内的炼铁工序;后者以废旧钢铁或生铁为原料,其排放仅相当于A企业的炼钢工序的排放。所以,两家企业的“吨钢排放量”或“吨钢能耗”不具可比性;相应地CO₂减排量也不具可比性。

(2)其他排放指标没有统一的标准。包括采选矿在内的钢铁生产还会排放二氧化硫、氮氧化物、烟气、粉尘等大气污染物,以及废水和废渣等土地污染物。尽管我国已经颁布了相应的限排标准,例如《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996),《钢铁工业水污染排放标准》(GB13456-1992)等,但现行评价体系中尚未覆盖废气、废水排放指标,而且各种限排污染物之间也没有相应的等价换算关系,从而导致评价指标体系缺乏公允性。

2. 财务指标空缺。财务指标可以反映企业的经营状况,在企业能耗相同的情况下,盈利的差异也会影响评价结果,财务指标的空缺会削弱评价体系的客观性。基于钢铁企业的主营业务特点,部分财务数据也可以反映企业生产过程中的能源利用情况,如生产成本中包含外购能源成本、辅助生产成本(耗电、耗水等)。因此,能源审计可以与财务报表审计相结合甚至利用财务报表审计的部分成果,在构建能源审计评价体系时,考虑能源消耗产生的经济效益,有必要补充财务指标。

三、钢铁企业能源审计评价体系的优化

1. 完善与环保相关指标。

(1)将CO₂减排量改进为碳减排潜力指数。碳减排潜力指数的设定是引入了标杆管理的理念,标杆管理中对标方式主要分为企业内部对标、同类企业间对标及普通企业与先进企业对标。本文以第三种方式为主,普通企业与先进企业对标时,不考虑设备规模的差异,而是针对指标的先进性进行比较。参照《重点耗能行业能效对标指南》一书中的“钢铁行业篇”部分,能效对标的最终结果是能效潜力系数。

$$\text{企业X能效} = \frac{\text{企业X的能效指标}}{\text{国外同行业标杆企业能效指标}}$$

钢铁制造流程是由多个不同的生产工序组成的,前一道工序的产品为下一道工序的原料,这是钢铁工业所特有的特点。虽然不同企业的流程不同,但基本上都有焦化、烧结、炼铁、转炉炼钢、电炉炼钢、连铸等工序中的某个或某些工序,而这些工序的单位产品能耗及二氧化碳排放量在明确的界定范围内是相对可比的,因此以工序为研究单位最贴近钢铁企业节能实际。

首先需要考虑钢铁企业 CO₂ 的排放量。结合钢铁企业实际情况,本文将计算边界定为钢铁产品的生产过程及其周边环境,如图2所示。

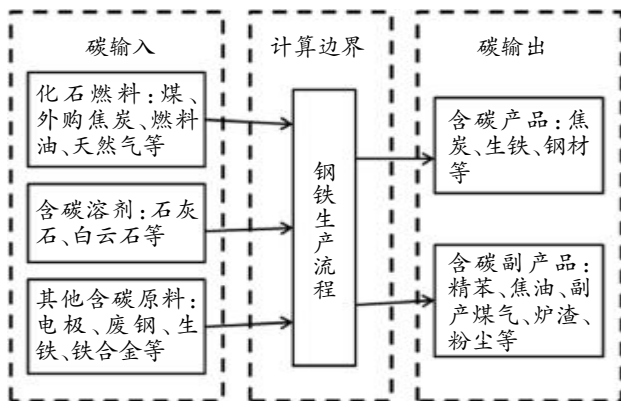


图2 钢铁企业 CO₂ 排放计算边界示意图

将上图中钢铁生产流程细化分解成若干工序流程,并将其简化构成最小研究单位。根据能源审计引用的物质和能量守恒原理,对于一个工序单位而言,应满足能量平衡方程: E_{输入} = E_{输出}。记在 i 工序生产单位产品的能量(标准量)总投入为 G_{1,i}、回收的能量为 G_{2,i},则实际能源消耗为 e_i = G_{1,i} - G_{2,i}。

记外购燃料中碳-氢质量比和含碳的比例分别为 λ 和 φ,则依生产过程的能量流分配原理,单位燃料的平均二氧化碳排放折算系数为:

$$\bar{V}_{\text{CO}_2} = \frac{44}{12} \times \frac{\lambda}{1+\lambda} \times \varphi$$

工序 i 的二氧化碳排放量 V_{CO₂,i} 为:

$$V_{\text{CO}_2,i} = \left(\frac{44}{12} \cdot \frac{\lambda}{1+\lambda} \cdot \frac{\varphi}{b_f} + \frac{1-\varphi}{b_e} \cdot v_{\text{CO}_2} \right) \times e_i \times \rho_i$$

式中 b_e 和 b_f 分别为外购电力和外购碳能源的平均标煤折算系数; v_{CO₂} 为企业外购电力的发电厂生产单位电力的二氧化碳排放量(单位 kg/kwh); ρ_i 为第 i 道工序的材比系数,即该工序实物产量与总钢材产量之比。于是,具有 n 个工序的钢铁企业生产过程的综合 CO₂ 排放量为:

$$V_{\text{CO}_2} = \sum_{i=1}^n V_{\text{CO}_2,i}$$

因此,碳减排潜力指数为:

$$\phi = \frac{V_{\text{CO}_2 - \text{标杆企业}}}{V_{\text{CO}_2 - \text{本企业}}} \times 100$$

上式右边乘以 100 是为了将指标归一化为 0~100 之间的数值,方便数据比较,能反映企业可挖掘的节能潜力,将数值进行等级划分有利于企业的对标管理,进而寻找差距以提高本企业水平。碳减排潜力指数越小,说明企业能耗(二氧化碳排放量可以间接反映企业的能源消费)与标杆企业差距越大,有足够的改进空间,节能潜力越大。若指标数值接近 100,说明企业能耗水平接近标杆企业,处于行业领先水平,节能潜力很小。碳减排潜力指数可划分为表 2 所示的 4 个等级。

表 2 碳减排潜力指数等级划分

取值范围	等级	与标杆差距/整改措施
0~30	D	很大/需要技术整改或更新设备
30~60	C	较大/通过调整生产结构达到目的
60~80	B	较小/需小规模整改
80~100	A	很小/只需加强日常管理

(2) 补充废气、废水减排量指标。钢铁生产过程中会产生大量工业废水、废气。废水主要来源于炼钢、轧钢过程中的冷却排污水,包括一部分生活污水、厂房地面冲洗水等,其特点是水量大、水质复杂,悬浮物较多。钢铁厂的废气主要有炼铁车间排放的煤气、SO₂、烟尘和粉尘等,属于大气污染物。废水和废气对环境的危害严重,因此在工业生产中,需要进行废水、废气处理,尽可能使其净化,废气相关减排量指标与废水相关减排量指标作为绝对指标是合理的。

2. 补充财务相关指标。

(1) 综合能源成本率。能源审计是建立在一定财务经济责任关系基础上的一种经济监督或公正证明的职能工作。财务报表审计会核算企业生产成本,包括能源消费成本,能源审计可以利用财务审计的工作成果。能源成本占全部生产成本的比例既可以体现企业的用能趋势,又可以间接地反映在企业利润上,具体到产品生产的各工序上,可以分析综合能耗单位成本的变化是由于价格变化导致还是由于能源消费结构变化导致。

以财务数据计算企业能源成本指标为:

$$\text{综合能源成本率} = \frac{\text{能源成本}}{\text{产品总成本}} \times 100\%$$

(2) 物料平衡验证。审计过程中,需要核定企业产品产量,将原材料投入与钢铁产出作为一个封闭生产系统,可以发现并分析生产过程中的物料亏损。例如某钢铁企业 2005 年球团厂消耗干基精矿粉 46.03 万吨、膨润土 0.52 万吨,合计原材料 46.55 万吨,由于球团工艺为氧化反应,故其产出球团重量应大于或接近投入原材料重量,而实际产出仅 44.51 万吨,相差 2.04 万吨,损失价值 1 631 万元。可能导致该企业物料亏损的原因:生产过程管理不够

严格,对料场地面没有进行硬化,原材料露天堆放使得厂区内扬尘现象比较严重以致氧化不充分。因此该指标的设定有利于审计结论与建议的提出。

四、优化后的能源审计评价体系及权重

1. 优化后的评价体系。参考《中华人民共和国节约能源法》、《企业能源审计技术通则》(GB/T17166-1997)、《节能技术监测通则》(GB15316-1994)、《综合能耗计算通则》(GB2589-1990)、《工业企业能源管理导则》(GB/T15587-1995)、《用能单位能源计量器具配备与管理通则》(GB/T17167-2006),以及钢铁企业能源审计报告规范,修正、补充了部分指标,构建改善后的钢铁企业能源审计评价体系框架如图3所示。

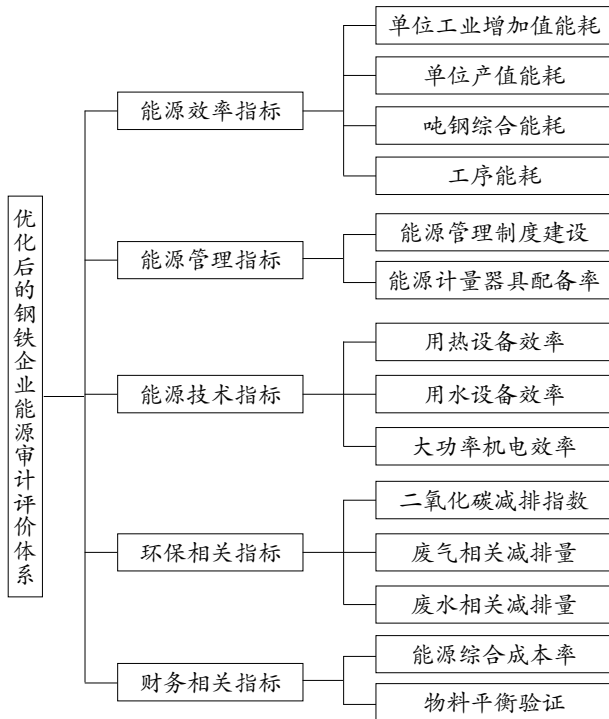


图3 完善后的钢铁企业能源审计评价体系

2. 指标权重分析。在利用评价体系分析钢铁企业能源利用情况时,应首要考虑对评价结果影响显著的指标。指标对结果的影响程度通过权重体现,本文采用层次分析法对各指标之间的重要程度进行逻辑性分析与数学处理,通过YAAHP 7.5软件进行运算,得到指标权重如表3。

通过权重分析可以看出,在钢铁企业能源审计评价体系中,权重大于10%的指标排序依次为单位工业增加值能耗(21.51%)、工序能耗(13.55%)、碳减排潜力指数(15.41%)、综合能源成本率(11.85%)。上述指标综合考虑了钢铁企业的经济效益与能耗的关系、企业生产工序繁多的特点、CO₂减排与节能潜力的关系及能源成本占总成本的比重,将其作为企业能源利用分析的重要指标与国内同行业平均指标进行比较,可以更好地分析企业节能潜力,提出审计结论和建议。

表3 指标权重

一级指标	二级指标		三级指标		
	名称	权重	名称	权重	百分比
钢铁企业能源审计评价体系	能源效率指标	0.465 9 (46.59%)	单位产值能耗	0.082 4	8.24%
			单位工业增加值能耗	0.215 1	21.51%
			吨钢综合能耗	0.032 9	3.29%
			工序能耗	0.135 5	13.55%
	能源管理指标	0.045 5 (4.55%)	能源管理制度建设	0.015 2	1.52%
			能源计量器具配备率	0.030 3	3.03%
	能源技术指标	0.095 6 (9.56%)	用热设备效率	0.038 2	3.82%
			大功率电机效率	0.038 2	3.82%
			用水设备效率	0.019 1	1.91%
	与环保相关指标	0.235 1 (23.51%)	碳减排潜力指数	0.154 1	15.41%
			废气相关减排量指标	0.037 1	3.71%
			废水相关减排量指标	0.043 9	4.39%
	与财务相关指标	0.158 0 (15.80%)	综合能源成本率	0.118 5	11.85%
物料平衡验证			0.039 5	3.95%	

五、结语

我国工业化进程中,经济的快速发展固然离不开钢铁工业的发展,但其衍生的能源消耗、环境污染问题亦不容忽视。钢铁企业能源审计从管理的角度发现企业的问题并进行节能潜力分析,提出合理建议。评价指标体系是审计的重要依据,本文通过分析现行钢铁企业能源评价体系存在的缺陷,改善并补充了评价指标,构建较为优化的评价体系,对指导能源审计工作具有理论和现实意义,可供相关部门试验和商讨。

主要参考文献

樊耀东.电信运营节能减排指标体系研究[J].运营与应用,2008(5).
 卢强,焦曦.建立工厂能源指标体系支撑能源管理目标实现[J].节能管理,2007(4).
 兰德年.钢铁行业节能减排方向及措施[J].冶金管理,2008(7).
 张世则.企业能源审计评价指标与体系研究[D].上海:上海师范大学,2009.
 赵雅敬.钢铁企业碳排放成本核算与评价研究[D].长沙:中南大学,2011.
 党银宁.基于CPV数据降维和神经网络的能源审计对评价方法的研究[D].长沙:中南大学,2010.
 国家发展和改革委员会资源节约和环境保护司.重点耗能行业能效对标指南[M].北京:中国环境科学出版社,2009.
【基金项目】 国家社会科学基金资助项目“基于能源消耗的中国进出口贸易承载二氧化碳排放的统计研究”(项目编号:11CTJ012)