

北京工业大学

硕士学位论文

钢铁工业生态化评价体系研究

姓名：邢李志

申请学位级别：硕士

专业：企业管理

指导教师：赵立祥

20090501

摘 要

进入 21 世纪,可持续发展从理念转变为行动的步伐逐步加快,在“建设资源节约型、环境友好型社会”的方针指引下,我国加大力度重点治理资源消耗多、污染排放大的重工业。对于钢铁工业来说,不可能再走大量投入、大量生产、大量排放的浪费资源、污染环境的老路,必须转变增长方式,走经济、环境和社会效益相互协调的发展道路,这就是钢铁工业生态化的意义所在。

钢铁企业作为钢铁工业的组成元素,担负着钢铁工业生态化的核心任务。但是,如何衡量钢铁企业生态化实现的程度,到目前为止还没有一套完整的体系。在这种情况下,本文以钢铁工业生态化理论和分析人类活动与资源环境问题之间关系的 PSR 模型为基础,构建了评价我国钢铁工业生态化程度的概念模型,并且从循环经济思想、可持续发展理念、环境绩效管理等多方面进行考虑,并结合相关领域的研究成果,筛选出一系列符合评价模型要求的指标构成评价指标体系,以达到反映现代生态型钢铁企业所要具备的三大功能的目的——钢铁产品制造功能、能源高效转换功能、废弃物消纳和资源化功能。为保证评价体系的科学性,论文采用 AHP 分析法确定各级指标的权重,并编制权重调查问卷软件作为辅助工具。最后,论文选择了国内的宝钢分公司、首钢总公司、济钢总公司与日本的新日铁钢铁公司,在两种基准值条件下,对其有权重、等权重、无权重的三种综合指数分别进行了计算,而且得到的评价结果与客观事实较为吻合,即我国优秀钢铁企业在生态化方面所做的努力已见成效,在某些方面甚至达到了世界先进水平。

本文的创新性工作主要体现在三个方面。第一,首次将 PSR 模型应用于工业生态化评价方面,结合该模型结构和钢铁产品的生命周期特点,提出从源头技术、末端技术和关联管理三个角度对钢铁工业的生态化水平进行评价,并以此构建起整个评价模型的框架;第二,基于钢铁工业生态化概念,并借鉴世界钢协提出的可持续发展指标以及钢铁行业内取得广泛承认的清洁生产指标、绿色制造评价和全生命周期评价,论文选取了 19 项评价指标,较为科学系统地反映出我国钢铁工业生态化的现状;第三,根据 AHP 分析法原理设计了一套问卷调查软件,可以更加有效地收集指标体系所需要的权重信息,提高了评价体系的客观性和科学性。

关键词 工业生态化; 钢铁工业; 评价模型

Abstract

Entering into the 21st century, Sustainable Development is gradually turned into action. Under the guidelines of "constructing a resource-saving and environment-friendly society", our country is making more efforts to deal with heavy industry which is comparatively more energy-intensive and pollution-serious. For the steel industry, it is impossible to follow the old way of a large number of inputs, mass production and large emissions of wasting resources and polluting the environment. The steel industry must change the mode of growth and take coordinated development road of economic, environmental and social benefits. This is so called steel eco-industrialization.

As component elements of the steel industry, steel enterprises are responsible for Steel Eco-industrialization, but, there is no integrated system on how to measure the achievement of this process so far. Therefore, an evaluation system for Steel Eco-industrialization was constructed in order to estimate ecological degree of steel enterprises in this dissertation. Specific research steps are as follows.

Firstly, this evaluation system was comprised of indicators in terms of source technology, terminal technology and relevant management according to "pressure - state - response" conceptual model invented by the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), which reflected three kinds of major functions of modern steel enterprise correspondingly. Secondly, specific indicators were chosen in terms of pressure to human society, impact on the environment and solutions to environmental problems coming from productive activities of iron and steel enterprises. Thirdly, this dissertation adopted Analytic Hierarchy Process (AHP) to determine weights of indicators at all levels of this index system. In order to facilitate the information collection of indicator weights, questionnaire software was designed as auxiliary means by Delphi method. Finally, this dissertation had chosen three domestic enterprises (Baosteel Group Corporation, Shougang Group Corp., Jigang Group Corp.) and a foreign one (Nippon Steel Corporation) to work out their comprehensive evaluation indexes based on two sorts of benchmark and three sorts of weights. By comparison, we found that Chinese iron and steel enterprises had achieved great progress in steel eco-industrialization, even beyond some international standards.

The innovations of the dissertation are mainly manifested in three aspects. First and foremost, PSR model was adopted to evaluate the level of steel eco-industrialization at first time, which made up the framework of the whole

evaluation system and introduced source technology, terminal technology and relevant management indicators. Besides, 19 indicators were rationally and scientifically chosen to reflect the real status quo of steel industry in terms of eco-industrialization based on advanced relevant researches. Last but not least, questionnaire software was designed by AHP method in order to make the system more reasonable and credible.

Keywords eco-industrialization; steel industry; evaluation model

独 创 性 声 明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的科研成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得北京工业大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对论文所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了感谢。

签名： 邵东宏 日期： 2009年5月15日

关于论文使用授权的说明

本人完全了解北京工业大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文。

签名： 邵东宏 导师签名： 赵文祥 日期： 2009年5月15日

第1章 绪论

1.1 研究背景

1.1.1 现阶段我国主要环境问题及响应对策

在国际社会可持续发展呼声日渐高涨,以及国内资源供给日益紧张、生态环境日趋恶化的双重压力下,作为一个负责任的大国,中国主动参与国际社会的各项可持续发展行动,并积极落实。中国政府于1994年3月正式批准了《中国21世纪议程——中国21世纪人口、环境与发展白皮书》(以下简称《议程》),这是我国的可持续发展战略,是我国政府认真履行1992年联合国环境与发展大会的行动纲领,将指导国民经济与社会发展中长期计划的编制。《议程》指出,产业部门的可持续发展意识和它所制定的可持续长远规划是实现国家可持续发展总战略目标的核心^[1]。

“十五”时期,党中央提出了树立科学发展观和构建社会主义和谐社会的重大战略思想。“十一五”时期,则以科学发展观统领经济社会发展全局。科学发展观强调的是全面、协调、可持续的发展,其中发展循环经济和优化产业结构是两条重要途径。正如《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》中所明确指出的:“要把节约资源作为基本国策,发展循环经济,保护生态环境,加快建设资源节约型、环境友好型社会,实现可持续发展”;“优化产业结构,把调整经济结构作为主线,促使经济增长由主要依靠工业带动和数量扩张带动向三次产业协同带动和结构优化升级带动转变”。目前,我国加大力度重点治理资源消耗多、污染排放大的重工业,如钢铁、有色、煤炭、电力、化工、建材等行业^[2]。

1.1.2 我国钢铁行业进入高速增长阶段

钢是现代生活的基础,对经济发展至关重要。全球钢铁需求不断增长,上世纪五十年代全球粗钢产量约为2亿吨,到2007年粗钢产量增长了6倍,达13.435亿吨。在可预见的未来,钢材仍是一种非常重要且不可替代的材料。20多年来,我国钢铁工业高速发展,自1996年起钢铁产量已连续13年居世界第一位。2008年1月24日,总部位于布鲁塞尔的国际钢铁协会公布:2007年中国以4.89亿吨

再次成为全球第一大粗钢产量生产国^[3]。我国粗钢产量不仅全球第一，且产量超过第二到第八的总和，占全球总产量的 36.4%，2006 年这一比例为 33.8%，2005 年为 31%，2004 年为 26.2%，呈现逐年递增趋势。

表 1-1 2007 年十大产钢国家/地区

Table 1-1 Top 10 Steel-Producing Countries/Regions in 2007

排序	国家/地区	粗钢产量（百万吨）
1	中国	489.2
2	欧盟（27国）	209.5
3	日本	120.2
4	美国	98.2
5	俄罗斯	72.4
6	印度	53.1
7	韩国	51.6
8	乌克兰	42.8
9	巴西	33.8
10	土耳其	25.8

与此同时，我国已是世界上最大的钢铁生产和消费国，成为钢铁投资最集中的地区。当前，我国仍处于城市化和工业化进程中，随着国内固定资产投资增长和汽车、房地产、装备制造业等主导产业的高速发展，使得钢材需求将在相当长时间内保持在较高的增长水平。21 世纪的中国钢铁工业将仍是国民经济的基础产业，并且是基础产业中的重要支柱，在全面建设小康社会的发展中将起着非常重要的作用。

1.1.3 钢铁行业的资源环境压力不断加大

钢铁工业作为资源、能源密集型产业，在大量消耗铁矿石、煤炭、水等有限资源的同时，又大量排放各种废弃物，是一个环境负担很重的产业。尽管我国对钢铁工业发展采取了一系列积极措施，如进行大规模公司并购重组、跟踪和积极利用世界钢铁材料技术的研究新成果等^[4]取得了一定的效果，但仍与发达国家有较大差距。

据统计，世界主要产钢国家的铁钢比一般在 0.5~0.7，而我国为 1.02，吨钢综合能耗比美国高 1 倍，比日本高 1.5 倍；平均吨钢耗用水约 15 吨，约高出国际先进水平 10 吨；CO₂ 排放总量逐年呈上升趋势，而日本却平缓发展，且在钢

产量相同的情况下,我国的CO₂排放总量明显高于日本,如10 000万吨钢铁产量的CO₂排放量,日本为14 800万吨,我国约为25 000万吨,是日本的1.7倍^[5]。

同时,我国的相关资源又是相对贫乏的。我国的铁矿资源可开采年限仅为150年左右,且矿石的含铁量很低,一般在30%左右,必须要经过选矿、烧结(或球团)才能入炉使用。这便造成矿石剥采量大、运输量大、生产工艺流程长、资源和能源消耗高、排放量大等一系列资源环境问题^[6]。焦炭(含炼焦煤)和动力煤占钢铁工业能耗的70%左右^[7],但我国煤炭资源有限,尚可开采的年限仅60年左右,且某些炼焦品种资源不足。我国已有300个城市缺水,108个城市严重缺水,而80%的钢产量集中在大城市,在水资源严重短缺的北方地区,钢产量占全国总量的近50%^[8],水资源短缺也对钢铁工业这一用水大户提出了严峻的挑战。

2007年,联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)在巴厘岛会议上发布了它的第四份评估报告,业界达成的科学共识是:必须制止对地球生态环境不可逆转的伤害,未来10年温室气体排放将达到峰值,到本世纪中叶必须将排放量减少一半。钢铁行业难脱干系,如果发展中国家如中国和印度的人均钢消费量达到OECD的水平,那么到2050年钢铁行业的温室气体排放量将在现有水平上翻番。钢铁行业排放最多的温室气体是二氧化碳,每生产一吨钢所排放的二氧化碳平均为1.7吨。根据国际能源署(IEA)统计,钢铁行业排放的二氧化碳约占全球总排放量的4%~5%。

因此,在可持续发展得到世界各国广泛认同的今天,在我国几十年的传统工业发展模式已经大大透支环境承载能力的状况下,环境友好问题已成为钢铁工业能否继续生存的重要因素。“总经理可以不理睬环境的时代已经过去。将来,公司必须善于管理生态环境,才能赚钱”^[9]。钢铁工业要求生存、谋发展就必须解决资(能)源紧缺、资(能)源浪费和环境污染三大问题,坚定不移地走生态化的可持续发展之路。

1.1.4 钢铁工业生态化的必要性和可行性

钢铁工业实施生态化转向也有着其它产业无可比拟的优越性,这主要表现在以下三个方面。

(1) 钢铁及其制品是少数可以反复利用的材料,是最好的循环材料。在美国,木材的重复利用率每年只有55%,而钢材则达94%。9.11遭受重创的世贸大厦,其钢骨框架近乎百分之百被回收了。2003年,美国重点回收的有建筑用钢

筋及钢板,其回收率为 96%,是多年来回收率最高的产品;罐头,其回收率为 60.2%;废旧汽车回收的钢铁超过了生产汽车的用钢量,达到 1450 万吨。因此在汽车制造领域钢铁重复使用率已经达到了 102.9%。家用电器中的废旧钢铁回收率达到了 89.7%。2003 年,大约有七千万吨的钢铁被重复利用,占金属总回收量的 70.7%^[10]。

(2) 钢铁生产节能潜力大。钢铁生产过程伴随能源转换过程,产生大量二次能源,如焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气等,可为企业自身或社会提供热能、电能、可燃气和蒸汽等。一个年产粗钢 800 至 1000 万吨的钢铁联合企业,把焦炉、高炉、转炉排放的可燃气体全部回收利用,按热量值计算可供一个 120 万千瓦发电厂所需的能源,而且这些可燃气体是清洁无污染的。发电量除满足钢铁厂自用外,还可以向社会供电。钢铁生产还产生大量的固体废弃物,还以同样的钢铁联合企业为例,如果采用先进的工艺技术,把生产过程中的冶金渣全部回收利用,进行加工后,可满足一个年产 300 万吨水泥厂所需的原料^[11]。

(3) 钢铁工业具有社会废弃物处理功能。利用钢铁制造过程中的高温,还可以处理大量的社会废弃物,例如各种不同来源的废钢、废轮胎、废塑料、社会垃圾等。

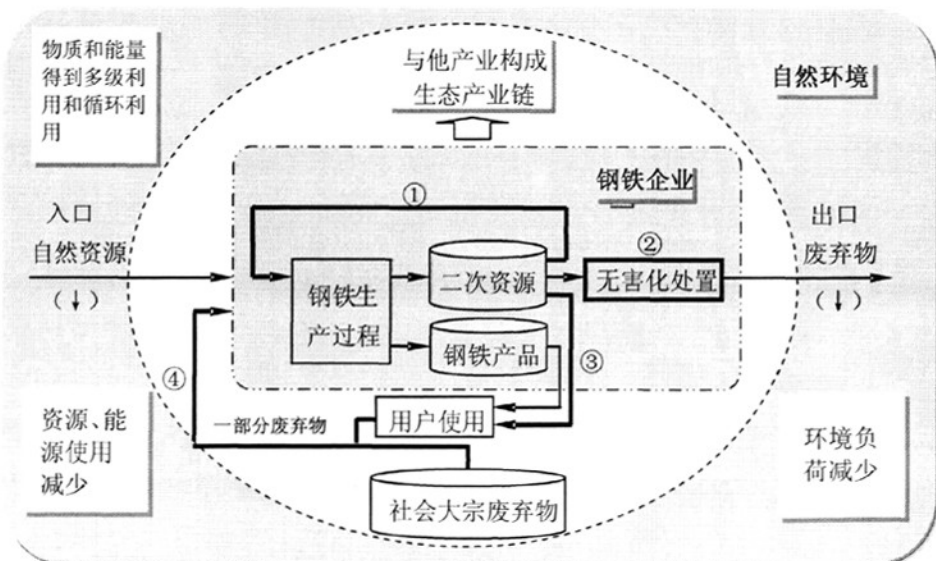


图 1-1 生态化钢铁企业的基本功能^[2]

Figure 1-1 Elementary Functions of Ecological Steel Enterprise

注:①钢铁生产过程中产生的废气、废液、废渣、废钢铁等二次资源在企业内部的循环利用;②对暂时无法有效利用的废弃物进行无害化处置后再排入大自然;③钢铁企业及相关产业或社区进行二次资源交易,高效提供热能、电能、可燃气、蒸汽和氢/二甲醚等新能源;

④消纳处理社会上各种不同来源的废钢铁、废轮胎、废塑料、社会垃圾及社区污水等大宗废弃物。

通过以上分析可以看出,我国钢铁工业生态化既有其实施的必要性,也有其实现的可行性,是今后钢铁工业发展的必然方向。同时,也应该看到,现阶段我国钢铁工业同世界先进国家在能耗、环保上的差距主要是我国钢铁企业在生态化实现程度上的差异所致。因此加强钢铁企业的管理,用确定企业管理目标、颁布管理规范等方式来指导钢铁企业转向生态化的发展模式是必要和重要的。

1.2 问题的提出及研究意义

中国经济正处在工业化、城市化的“爬坡”阶段,钢铁是“工业的食粮”,所以钢铁业是需要进一步发展的重要支柱产业;而传统钢铁工业又是高耗能、高污染的代表,人们对钢铁业的快速发展颇有疑虑。但是,我们也看到包括宝钢、济钢以及正在建设的首钢曹妃甸等在内的优秀钢铁厂已经和正在走出一条新型发展道路,这就是钢铁工业生态化的发展道路。从这些企业的实践可以看出,钢铁工业生态化是以可持续发展为目的,以资源高效利用为核心,以循环经济的减量化、再利用、再生利用为手段,以经济效益、社会效益、环境效益协调优化为充分必要条件,以钢铁企业功能扩展为实施重点的钢铁生产技术改造和管理改善活动。

但是,钢铁工业的生态化作为一门新兴的应用科学,其研究和应用都还处于起步阶段,而且更多的是从清洁生产、绿色制造、全生命周期评价等方面着眼进行分析,具有一定的局限性。因此,国际钢铁协会基于世界钢铁行业的可持续发展提出了一套指标体系,从经济、环境和社会三大外部要素与钢铁企业之间关系出发,为钢铁行业的可持续发展指明了方向,与此同时,其下属的各成员企业也分别以此为依据,制定了各自的可持续发展方案,比较典型的有浦项的环境绩效指标和新日铁的“三重生态化”理念等。

然而,以往的研究都是从更为微观或更为宏观的层面开展,对于介乎之间的钢铁工业生态化的借鉴意义有限,特别是针对我国的现状及特点还有待深入。因此,为了将中国钢铁业整体生态化水平不断推向前进,有必要研究一套中国钢铁工业生态化评价体系。结合当前中国经济发展的形式,将钢铁工业生态化目标的实现落实到企业层次中,从不同的角度使用不同的评价指标来反映出我国钢铁工业高速发展过程中存在的弊端和优势,使人们正确认识该行业的状况,也为科学决策提供了有效的手段,具有十分重要的现实意义。

1.3 相关领域的研究进展及成果

1.3.1 清洁生产指标

钢铁工业是我国的支柱性产业，但同时又是高消耗、高污染的产业，实施清洁生产评价对我国钢铁工业的可持续发展有十分重要的指导意义。由于清洁生产不仅涉及到企业的环境而且还涉及到企业的经济利益和社会效益，因此评价指标体系的设置不仅要包括能源、资源、生产技术、废弃物排放等指标，还要包括经济指标和环境管理指标才能全面地反映钢铁清洁生产的水平。目前，钢铁企业清洁生产指标主要有行业标准和学术论文两类。

2006 年初，国家发展和改革委员会和国家环境保护总局发布了用于评价钢铁行业资源利用效率和环境影响的《钢铁行业清洁生产评价指标体系》。该指标体系目的在于指导和推动钢铁企业依法实施清洁生产，提高资源利用率，减少和避免污染物的产生，保护和改善环境，用于评价钢铁企业的清洁生产水平，作为创建清洁生产先进企业的主要依据，并为企业推行清洁生产提供技术指导。

同年 7 月，国家环境保护总局为贯彻实施《中华人民共和国清洁生产促进法》和《中华人民共和国清洁生产促进法》，保护环境，为钢铁企业开展清洁生产提供技术支持和导向，制订了中华人民共和国环境保护行业标准《清洁生产标准-钢铁行业》。该标准为指导性标准，可用于钢铁联合企业和电炉钢厂（短流程）的清洁生产审核和清洁生产潜力与机会的判断，以及清洁生产绩效评定和清洁生产绩效公告制度。

天津环境保护科学研究院的包景岭、孙贻超和侯晓珉等人，根据钢铁工业的特点，提出了钢铁工业建设项目环境影响评价中清洁生产指标体系的构造方法以及相关的量化指标，并将其运用到天津钢铁工业结构调整项目中^[12]。

北京工业大学周和敏和李贵奇等人，结合层次分析法提出了多目标模糊评价模型，该模型可将治理环境污染指标与投入、产出效益指标相结合进行评价。通过分析国内 13 个钢铁厂治理污染投资的 11 项主要指标，为钢铁工业清洁生产优化决策提供了依据^[13]。

中国地质大学的孙涵和中钢集团武汉安全环保研究院的陈晨，在建立钢铁清洁生产综合评价指标体系的基础上，提出了一种基于 BP 神经网络的综合评价方法。该方法建立多指标综合评价模型，采用隶属度函数对评价指标进行了描述。

不仅具有自学习、自适应、自组织功能,而且避免了评价过程中的人为失误,达到客观评价的目的^[14]。

1.3.2 绿色制造评价

绿色制造是钢铁行业可持续发展的客观要求和发展模式。绿色制造评价体系的提出,有利于对钢铁行业的监督、管理和改进,更有利于提高行业环保节能的积极性,把可持续发展战略落到实处。走绿色制造的道路是我国钢铁行业面向新世纪的必由之路,只有这样,才能顺应时代的发展,提高行业的国际竞争力,才能使我国从钢铁大国向钢铁强国迈进。

天津大学的齐二石,通过对钢铁行业经济效益投入产出指标及能耗污染指标的分析,结合钢铁行业生产经营活动的实际情况,建立了钢铁行业绿色制造的指标体系和评价系统,并使用数据包络分析(DEA)方法对我国18个大中型钢铁企业进行了绿色度评价,提出了改进方向^[15]。

内蒙古科技大学的韩剑宏和包钢公司的林庚,从钢材及其制品的特性出发,强调了钢材及其制品的钢材的绿色设计与绿色制造是一个系统优化的过程,浅谈了钢材及其制品的绿色度评价问题。最后,强调了健康清洁生产的重要性,体现了人-机-环境与自然和谐共存^[16]。

武汉科技大学的王贤琳和张华探讨了基于绿色制造的钢铁生产流程功能,对钢铁生产流程进行了优化,并运用资源效率、能源效率和环境效率3个指标对优化程度进行了评价,从而使钢铁生产低成本、高效率、低耗、连续、紧凑及环境友好成为可能^[17]。

1.3.3 全生命周期评价

生命周期评价(life cycle assessment, LCA)是从产品生命周期全过程来量化其资源消耗和环境排放,并评价这些消耗和排放对资源破坏、生态环境以及人体健康所带来的影响,皆在辨识产品环境质量改善和资源节约的最大机会。

国际钢铁协会在1996年开展了世界钢材产品的生命周期清单研究,并分别于2000年和2007年对清单数据进行了更新,建立了钢铁产品的LCI数据库。国际钢铁协会认为LCA既能为社会服务也能为钢铁业服务,钢铁企业利用LCA,可以做到:①优化钢铁工艺的环境性能;②生产新的钢种或钢材,满足客户环境需要(生态产品开发);③充分认识钢材循环利用的重要性。欧盟钢铁环

境报告利用 LCA 进行可持续能源、环境交流、钢材在新领域的应用等方面的研究。LCA 在新日铁主要用于研发生态产品和评价废钢循环。

生命周期评价在国际钢铁行业的蓬勃发展,为在我国钢铁行业应用这一工具优化发展战略、实施绿色认证,以及企业和行业层面能源环境问题的综合分析提供了很好的基础。

宝钢的沙高原和黄志甲通过对绿色产品的介绍引出产品生命周期评价的基本原理和内涵,详尽地阐述和分析了目前产品生命周期在钢铁行业的应用情况,指出了生命周期评价在钢铁行业的发展前景^[18]。

东北大学的杜涛和蔡九菊借鉴和应用产品生命周期评价方法分析钢铁生产流程的环境负荷,建立了关于钢铁生产流程环境负荷的基本概念、评价指标和指标体系,通过对两类典型钢铁生产流程环境负荷的对比分析,研究不同生产流程对环境负荷产生的影响,指出降低环境负荷的方向和途径,并提出钢铁企业或生产流程绿色度的概念,为钢铁企业优化生产流程、降低环境负荷提供指导和参考^[19]。

安徽工业大学的张培、黄志甲等人也将 LCA 方法应用于宝钢电镀锌产品的评价,得出资源消耗、气候变化、能源消耗、酸化是最主要的四种影响类型,动力、烧结、和炼铁工序是环境影响最为重要的工序^[20]。

1.3.4 可持续发展指标

2003 年 10 月,国际钢铁协会^①(Worldsteel)董事会通过了 11 个可持续发展指标,它们可用于测量世界钢铁工业的经济、环境、社会绩效。这些指标代表了国际钢铁协会对可持续发展的政策目标,它们使用了已有数据,适用于世界各地的钢铁企业。为了鼓励成员公司最大可能的参与数据收集,指标的数量特意选取的很少。2004 年、2005 年和 2008 年,国际钢铁协会国际钢铁协会发布了三期《世界钢铁业可持续发展报告》,这三份报告分别对国际钢铁协会在全球的会员企业 2004、2005 和 2006 财年的数据,应用可持续发展指标进行评估。目的是为利益相关方提供钢铁业为可持续发展所做承诺的全貌,以及履行这些承诺的进展情况^[21~23]。

^① 2008 年 10 月,国际钢铁协会将其名称由“the International Iron and Steel Institute (IISI)”改为“World Steel Association (worldsteel)”。

表 1-2 世界钢铁业可持续发展指标及指标值 (2004-2006)

Table 1-2 The indicators and the Measure of Sustainability of the World Steel Industry
(2004-2006)

序号	指标	2004 指标值	2005 指标值	2006 指标值	单位
经济类	1 在新产品和新工艺中的投资	6.0	6.2	7.7	占收入的比例
	2 运营利润率	8.9	15.7	15.3	占收入的比例
	3 投资回报率	9.1	22.3	19.6	占资本的比例
	4 经济增加值	2.6	11.7	7.6	占收入的比例
	5 能耗强度	19.0	19.1	20.6	吉焦/公吨粗
环境类	6 温室气体排放	1.6	1.7	1.7	公吨 CO ₂ /公吨粗钢产品
	7 材料利用效率	96.8	95.6	97.2	百分比
	8 钢的回收利用	42.3	42.7	45.9	占粗钢的比例
	9 环境管理体系	85.4	90.7	85.5	在已注册的工业企业工作的员工和合同者的比例
社会类	10 员工培训	6.3	9.9	10.4	培训天数/员工
	11 损失工时的工伤频率	7.8	6.6	8.8	发生次数/1 百万工时
参与企业的粗钢产量		325.5	397.2	520.2	百万吨
参与企业的销售收入		191	213	410.3	十亿美元

注：因为不同年份的指标，可能是基于当年不同的入围钢铁企业的数据计算得来，而且个别指标的计算方法发生了变化，所以指标之间并不存在比较性；第五、六、七项承诺难以量化，未能形成相应的指标，但可用具体事例进行定性测量。

国际钢铁协会将钢铁工业的可持续发展归结为三个方面，分别为环境可持续发展、社会可持续发展、经济可持续发展，并从这三个方面提出了应该采取的措施。

(1) 环境可持续发展方面。呼吁成员企业开展技术转让，提高落后钢铁厂的能源效率、采取保护环境和减少污染物排放的措施、搜集有关钢铁产品对环境影响的数据用于生命周期评估和对标分析等

(2) 社会可持续发展方面。为杜绝工伤事故制定安全细则、加强员工培训

和提高安全意识、努力吸引优秀员工和促进知识传授、为当地居民提供就业机会和其他利益等。

(3) 经济可持续发展方面。通过合并重组提高利润率和长期效益、集中研发品种钢并挖掘技术优势、提高原材料自给率或以其它方式确保供应安全、开展国际合作以开发突破性减排技术等。

1.3.5 浦项环境绩效指标

韩国浦项钢铁公司（以下简称浦项）在 2001 年开始采用环境绩效指标评价体系（POSCO Environmental Performance Indicator, POSEPI），目的是评估公司综合的环境管理绩效水平，并以此为公司的战略发展提出科学合理的决策支持^[24]。POSEPI 从运行绩效、管理绩效和环境条件三个方面对其自身的环境质量进行评估，以 1997—1999 年三年平均水平为基准，总分为 100，三大类别基准分别为 60、30 和 10。

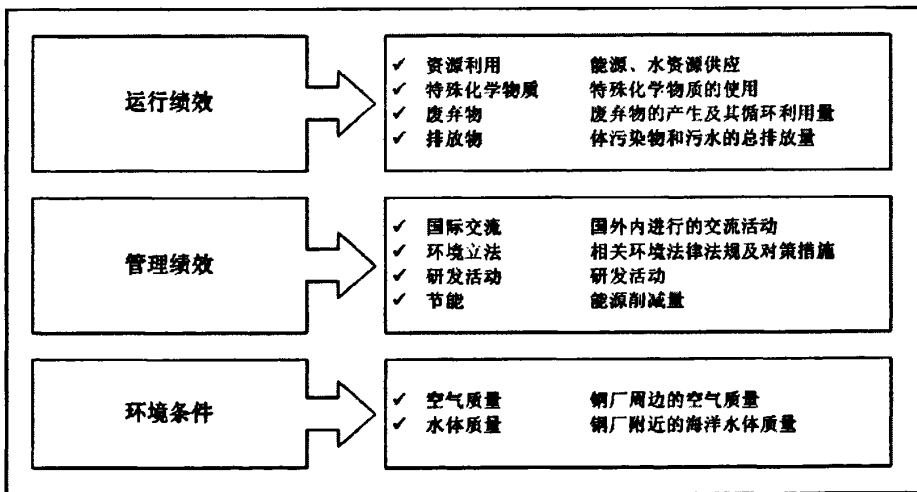


图 1-2 浦项环境绩效指标体系因子

Figure 1-2 POSCO Environmental Performance Indicator Factors

浦项的总体环境绩效到 2003 年提高为 130，到 2004 年提高到 131，到 2005 年提高到 135，到 2006 年提高到 142，到 2007 年进一步提高到 145。目前，浦项正在对该指标体系的细节做进一步的改进以提高评价准确性。

表 1-3 2003 年-2007 年浦项环境绩效指标得分情况

Table 1-3 Scores of POSCO Environmental Performance Indicator in 2003~2007

类别	基准年	2003	2004	2005	2006	2007
运行绩效	60	84	83	83	87	86
管理绩效	30	38	39	41	44	45
环境条件	10	8	9	11	11	14
总分	100	130	131	135	142	145

1.3.6 新日铁的“三重生态化”理念

新日铁希望在抑制全球变暖和构建循环型社会方面做出自己的贡献，其努力包括环境友好型产品、生态化生产过程和生态化解决方案。生态化生产过程指的是重视环境因素钢铁制造过程中的作用；生态友好型产品指的是每个人购买并使用的钢铁制品来自生态化生产过程；而生态化解决方案则通过生态化产品和生态化生产过程实现节约能源、有效应对环境危机的目的^[25]。



图 1-3 新日铁“三重生态化”理念

Figure 1-3 The Three ECOs of Nippon Steel

新日铁“三重生态化”理念包括三大要素：

①生态化生产过程：新日铁的钢铁生产过程具有世界领先的能耗效率，并且计划进一步将环境因素纳入在内，以更高的能耗效率建立一套生态化生产过程。具体应用包括高能效、高资源回收率、高水资源回收利用率、干熄焦设备、转炉、CO₂分离装置。

②生态化产品：凭借着世界顶级的技术实力，新日铁向客户提供环境友好型的产品。在节约资源和能源的同时，降低了对环境产生的影响，实现社会的可持

续发展。具体应用包括汽车用高强度钢、重载荷铁路用钢轨、“EcoKote-S”轻型燃料罐、高性能电工钢板、“Vibless”减震钢板、“Nittetsu”超帧法

③生态化解决方案：通过提供多种节能减排方案，新日铁致力于保护钢厂周边环境，减轻其对环境造成的危害。而且，新日铁致力于在世界范围内促进阻止全球变暖的技术转移。具体应用包括塑料制品循环、轮胎循环、钢铁循环、构建环境友好型城市、植树造林、培育海洋森林

(1) 应对全球变暖的对策与生态化方面。新日铁从“三重生态化”的观点出发，在工业、物流和民用部门三个领域提出应对全球变暖和节约能源的对策。在产业领域，新日铁贯彻生态化生产过程的理念，回收利用所有在钢铁产品生产过程中的副产品气体，使其重新作为能源或发电使用，同时回收生产过程中的余热用于发电。另外，新日铁通过轻量化、长寿命和高能效的生态化产品来实现遏制全球变暖的目的；在物流领域，新日铁旨在提高海运的比例和后勤的工作效率；在民用部门，新日铁同样通过多方面的努力来提高办公室和宿舍的能源利用效率。此外，新日铁还通过开发具有跨时代意义的节能减排技术，在全球范围内推广应对全球变暖的对策，其包括 CO_2 分离装置和脱氢工艺等。

(2) 生物多样性、环境保护与生态化方面。生物多样性同全球变暖一样，是与可持续发展息息相关的全球性重要课题。新日铁通过“植树造林”和“培育海洋森林”等环境保护工程，对生物圈、大气、水体、土壤等多个方面的保护做出自己的贡献，进而达到促进生物多样性和环境可持续性的目的。此外，新日铁还注重开发和提供不包含环境有害物质的生态化产品。

(3) 资源回收利用与生态化方面。凭借着遍及日本本土的钢铁工厂，新日铁正逐步加大其资源回收的力度，实现循环型社会的建设。例如，新日铁贯彻对社会和其他工业企业产生的容器、包装塑料以及全日本废旧轮胎的全部回收，此举表明了新日铁正努力制定关系环境问题的生态化解决方案。

1.4 研究目标和研究内容

评价是人类社会中一项经常性的、极为重要的认识活动，同时在现实社会生活中对一个事物的评价常常要涉及多个因素或多个指标。因此，评价也可以说是在多因素相互作用下的一种综合判断，评价的依据就是指标。

通过文献的查阅了解到，钢铁工业作为我国最为重要的基础行业，存在着高耗能、高污染的问题，这与当前发展循环经济社会、走可持续发展的道路是相违

背的。同时，作为未来工业发展的趋势，工业生态化理论越来越受到学界和业界的关注。因此，论文要重点解决的问题是如何将科学的评价方法应用到钢铁工业生态化评价当中，将钢铁工业的生态化目标层层细化，落实到可操作层面，以期达到为我国钢铁工业生态化发展提供切实可行衡量依据的目的。

论文的主要内容如下：

- (1) 建立钢铁工业生态化评价指标框架；
- (2) 筛选出一系列符合指标框架要求的指标；
- (3) 运用统计学原理为指标赋予科学的权重；
- (4) 选取生态化进程中有代表性的钢铁企业，对其生态化程度进行评价；
- (5) 采用类似指标体系对该评价结果进行比较分析；
- (6) 通过以上的研究，对我国主要钢铁企业的生态化现状程度做出分析。

1.5 研究路线和研究方法

论文的研究路线：首先，在对我国钢铁工业生态化进行诊断分析和对国内外研究现状了解的基础上，采用“压力-状态-响应”环境模型建立指标体系框架；然后，应用成熟的层次分析法和德尔菲专家反馈法确定权重，至此指标体系形成；最后，选取国内外典型企业的数据试算，从试算结果可以验证体系是否符合客观现实，并及时修正，以保证最终分析的科学性，见图 1-4。

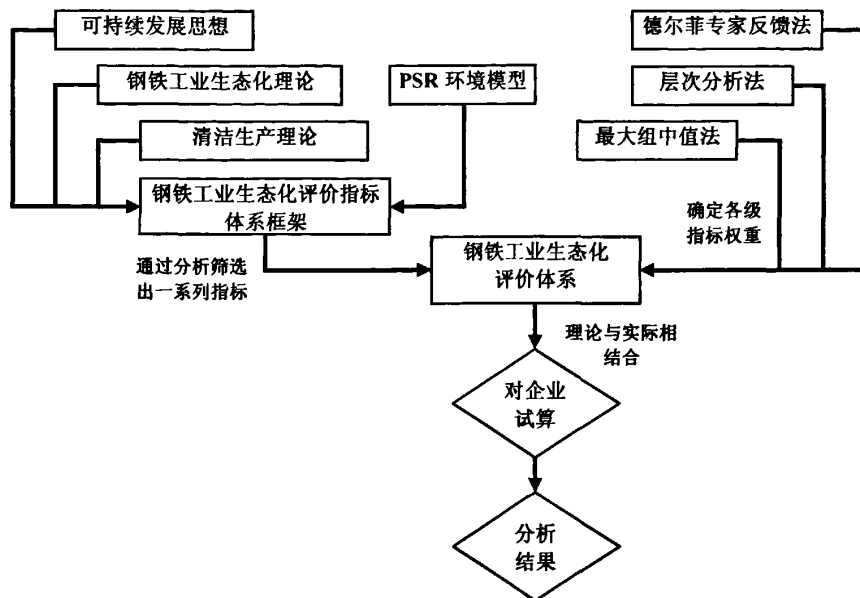


图 1-4 评价模型的基本结构及研究的逻辑思路

Figure 1-4 Structure and Logic Route of Evaluation Model

论文的研究方法:

(1) 文献研究法: 论文对国内外钢铁业发展的主要历史过程进行了总结和分析, 归纳出新时期钢铁业向着环境友好型企业发展的趋势。然后, 从清洁生产、绿色制造、全生命周期评价、国际钢铁协会及其下属成员单位的可持续发展规划等方面着眼, 层层深入, 最终归纳出论文的理论出发点。

(2) 模拟仿真法: 论文采用 OECD 为分析人类活动与资源环境问题之间关系而创建的压力-状态-响应模型, 将钢铁行业可持续发展的三方面内容——社会可持续、经济可持续和环境可持续——有机地与之对应起来, 构建起整个评价体系概念模型。在此之后, 运用目前应用广泛且较为成熟的层次分析方法, 将评价体系的目标条理化、层次化, 构造出一个层次分析结构模型, 使整个体系具备可操作性。

(3) 问卷调查法: 论文根据层次分析法原理, 编制了问卷调查软件, 并采用德尔菲专家反馈法安排调研流程。首先, 编制、使用调查软件调查的优点在于避免了由于比较指标过多打分者不能及时发现判断的逻辑错误, 因为调查软件将判断矩阵的一致性检验过程编入调查表中, 打分者判断若出现逻辑错误, 打分者面前就会有“不一致”的表示; 没有逻辑错误时, 打分者面前就会出现“一致”的表示, 避免了不必要的往返, 节省了大量时间。其次, 使用调查软件, 打分者

可以立即看到指标两两比较后,全部各个级别权重值;打分者对各级别权重值如果不满意,可以立即进行调整,直至满意为止,使得软件具有一定的交互能力。

(4) 个案研究法:论文通过查阅资料和调研得到了详细的数据,以数据为依据进行分析并最终得出被钢铁评价企业的生态化程度。如为了得到指标权重信息,到宝钢、首钢等单位邀请相关人员填写问卷,依据钢铁企业实际生产人员的认识得到了指标权重数据,根据指标权重计算、比较了不同企业的生态化程度,明确了国内企业今后生态化的前进方向。

1.6 本文的创新点

本文的创新在于:

(1) 首次将 PSR 模型应用于工业生态化评价方面,结合该模型结构和钢铁产品的生命周期特点,提出从源头技术、末端技术和关联管理三个角度对钢铁工业的生态化水平进行评价,并以此构建起整个评价模型的框架。

(2) 基于钢铁工业生态化概念,并借鉴世界钢协提出的可持续发展指标以及钢铁行业内取得广泛承认的清洁生产指标、绿色制造评价、全生命周期评价,论文选取了 19 项评价指标,较为科学系统地反映出我国钢铁工业生态化的现状。

(3) 根据 AHP 分析法原理设计了一套问卷调查软件,可以更加有效地收集指标体系所需要的权重信息,提高了评价体系的客观性和科学性。

第2章 理论基础

本章在借鉴国内外相关研究的基础上,对钢铁工业生态化的内涵进行界定,并重点介绍构建整个评价体系所选取的概念模型和结构分析方法,为下一步构建评价模型做出铺垫。

2.1 工业生态化理论

2.1.1 工业生态化理论的起源

自1989年美国通用汽车研究实验室的罗伯特·弗罗施(Robert Frosch)和尼古拉·加劳布劳斯(Nicholas Gallopoulos)在《科学美国人》杂志上发表文章提出“产业生态学”(Industrial Ecology,也有将其翻译为“工业生态学”)的概念以来,产业生态学逐渐成为人们实施可持续发展具体而重要的实践工具^[26]。1995年,格雷德尔(Thomas Graedel)和艾伦比(B. R. Allenby)根据其长期研究和实践,撰写了《产业生态学》(第一版),该书被称为是该领域的第一本著作。1996年联合国环境规划署的《产业与环境》杂志中文版首次向中国读者介绍了产业生态学的概念和方法,从此中国学者也开始使用产业生态学概念。

2.1.2 工业生态化理论的基本思想

根据格雷德尔和艾伦比的介绍,产业生态学是从物质、能量和资本要素出发,对天然材料、加工材料、零部件、产品、废旧产品到产品最终处置加以优化,既减少企业活动对环境的影响,又能从总体利益出发优化整个生产过程,改善企业财务状况,以维护可持续发展的系统方法。

日本学者也较早开展了产业生态学研究。1995年,时任日本国立环境研究所社会环境系统部长的後藤典弘出席了在美国芝加哥召开的产业生态学国际会议,翌年撰写了“推荐产业生态学——少环境负荷的产业活动实践论”。文中说,产业生态学是将产业系统比作生态系统,尽量向贴近自然的生态产业系统转换。在自然生态系中,所有物质都是循环的,物质分别由生产者(植物)、消费者(动物)、分解者(细菌)三个生物群承担并在他们之间进行物质代谢,形成闭环的循环系统。也就是说在自然界,包括无机物,没有一种东西是无用的。产业生态

学就是研究，将自然系统的循环框架应用到产业系统中，使用包括环境监察、LCA、循环等方法，创造出将一种产业中产生的废物变为他产业的原料，这样一种系统^[27]。

由此可以得出结论：将生态学原理应用到产业发展和产业转型中就是产业生态化。产业生态化是以功能经济视野看待产业发展，用建立生态（食物）链的办法解决污染物的负效应，提高资源利用效益。

另外，王如松则指出：产业生态转型的实质是变产品经济为功能经济，变环境投入为生态产出，促进生态资产与经济资产、生态基础设施与生产基础设施、生态服务功能与社会服务功能的平衡与协调发展^[28]。段宁认为，产业生态的构建就是通过不同企业或工艺流程间的横向耦合及资源共享，为废物找到下游的“分解者”，建立工业生态系统的“食物链”和“食物网”，达到变污染负效益为资源正效益的目的^[29]。

2.2 钢铁工业生态化理论

2.2.1 钢铁工业生态化的目标

钢铁工业的生态化，就是根据钢铁工业物质/能量流的输入/输出特点，运用生态学原理，通过生产过程或环节之间的系统耦合，仿照自然界生态过程中的物质循环方式来规划设计、组织生产过程，以循环经济的理念建设以钢铁工业为主要环节的生态产业链，使物质和能量得到多级利用。通过资源和能源的优化配置，使钢铁工业向可持续发展的新型工业化模式转变，实现资源、能源使用效率最大化，污染物排放最小化，同时获得投资效益、经济效益、社会效益和环境效益的协调优化。

钢铁企业从单纯的产品制造向具备更多的社会责任的角色转变

□钢铁产品制造功能

- 绿色产品
- 新型功能材料
-

□能源转换功能

- 自备发电系统开发利用
- 清洁能源—氢
-

□社会大宗废弃物处理、消纳功能

- 废钢铁的循环利用
- 废弃物回收利用
-



图 2-1 钢铁制造流程功能拓展示意图^[30]

Figure 2-1 Extended Process of Steel Production

可以说，钢铁工业生态化的概念是钢铁工业绿色化在意义上的延伸，它提出了现代钢铁企业应具备的三大功能，即钢铁产品制造功能、能源高效转换功能、废弃物消纳和资源化功能；完善了陆钟武院士提出的系统节能理论，在降低第一类载能体单耗及其载能量、降低第二类载能体单耗及其载能量、回收散失的载能体及其能量的基础上，将钢铁企业内部的节能降耗、节污减排、科学管理，扩展到资源、环境、生态、循环经济社会等更为广阔的层面来进行。

2.2.2 国内外钢铁工业生态化的实践

关于生态化转型的产业突破口选择，中国钢铁界著名专家、中国工程院殷瑞钰院士曾进行了阐述，他认为：钢铁工业由于资源密集、能耗密集、生产规模大、物流吞吐大、制造流程工序多、结构复杂、制造流程中伴随着大量物质和能量排放，例如，钢铁工业的能耗约占全国工业总能耗的 11%，排放的废水和废气约占工业总排放量的 14%，固体废弃物约占工业废弃物总量的 16%，所以钢铁工业应是推进生态化、开展循环经济，建立节约型社会的优先切入点^[30-34]。

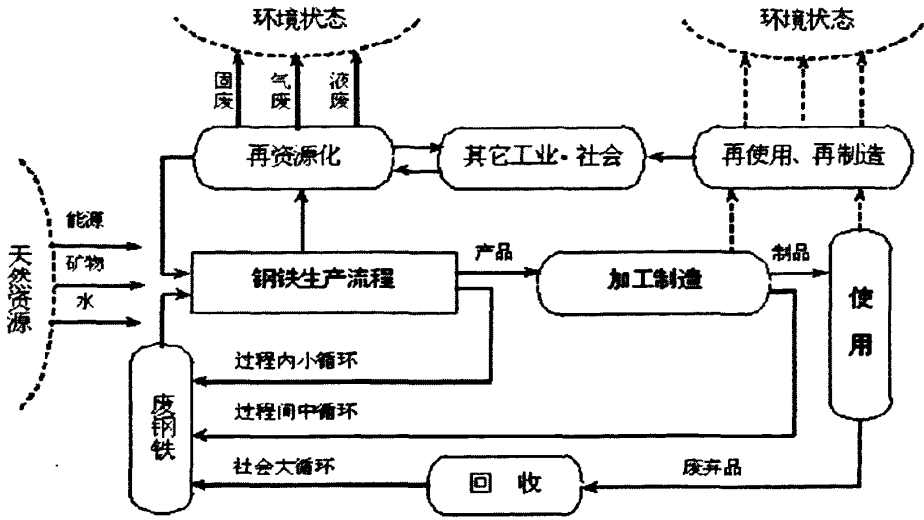


图 2-2 钢铁工业生态化简要模型

Figure 2-2 Brief Model of Steel Eco-industrialization

国外在钢铁工业生态化方面的研究内容包括^[35~38]：

- (1) 建立了钢厂能量和物质流动模型，为模拟冶炼过程中能量利用和废弃物排放奠定了数据基础；
- (2) 开发研究新型节能环保冶炼工艺，从源头减少污染和有害物排放；
- (3) 采取措施减少能源消耗和降低 CO₂ 排放；
- (4) 再循环利用钢铁制品、炉渣等副产品和粉尘等排放物、废弃物；
- (5) 进行钢铁产品生命周期评价，生产环境友好的“生态”产品；
- (6) 再循环利用其他工业所产生的废弃物和副产品，处理废旧轮胎、塑料等社会废弃物，并利用自身技术优势，开发垃圾熔融焚烧等环境保护技术。

最近几年，我国在这方面的相关研究也取得了一定的进展，主要有：

- (1) 系统节能：早在上世纪 80 年代中期，东北大学陆钟武院士就提出了钢铁企业系统节能理论^[39]。陆院士指出，系统节能首先要认清“载能体”和“系统”两个概念：在钢铁企业中，载能体指的是凡在制备过程中消耗了能量的物体，以及本身能产生能量的物体，它包括各种原材料、辅助材料、中间产品、零部件、其他消费品（以上统称为原材料）以及水、蒸汽、压缩空气、氧、电（以上为第

一类载能体)和各种燃料(第二类载能体);系统是指将整个钢铁企业看作为一个大的系统,在这个系统内部,可以把选矿、烧结、焦化、炼铁、炼钢、轧钢等生产车间看成是钢铁企业生产系统的子系统(或称为要素)。钢铁企业的系统节能就是要在由设备部件、单体设备、生产工序和联合企业组成的开放系统的每个环节上,降低和回收利用载能体的单耗及载能量。

(2) 钢铁生产流程环境负荷评价:对我国几种典型钢铁工业流程的物流、能流及环境负荷进行了分析,研究了过程排放与资源、能源消耗及结构、生产要素配置、操作参数等之间的关系,以及产品使用性能、效率、寿命等对整个生命周期环境负荷的影响,提出了钢铁产品生命周期评价方法和评价指标体系。

(3) 绿色制造与钢铁工业:对我国钢铁工业绿色化问题进行了比较系统的研究,提出了钢铁工业绿色化的概念、内涵及其本质特征,提出了我国钢铁工业在今后的发展中所应采取的绿色化对策以及所依托的重点绿色化技术,并建立了评价钢铁工业绿色化程度的量化指标和评价方法。

(4) 钢铁企业生态效率分析^[40]:从工业生态学的角度定义了“产品”的概念,给出了分析钢铁企业生态效率的三个指标——资源效率、能源效率和环境效率,并采用工业代谢分析方法建立了企业物料结算平衡表,理清了输入、输出钢铁企业的资源、能源、产品、废品和污染物的种类及数量。在此基础上,总结了企业间相互利用废品和污染物的共生关系对企业资源效率、能源效率和环境效率的影响。

上述研究成果是钢铁工业清洁生产理论的延续和发展,同时也为研究开发钢铁工业生态化发展模式奠定了坚实的基础。

2.3 压力-状态-响应模型

较成熟的系统分析人类活动与资源环境问题之间关系的概念模型当属压力-状态-响应(Pressure-State-Response, 简称 PSR)模型。1990年,OECD遵照1989年七国首脑会议要求,启动了环境指标项目,首创了PSR模型,它对各国开展可持续发展指标体系研究产生了积极影响。

该模型认为,人类的经济活动对环境和资源形成一定的压力,压力会以一定的信息方式(指标)直接传给机构,各个部分之间是相互反馈的。后来又有将PSR模型加以变形的,如驱动力-压力-状态-影响-对应模型^[41],动力-压力-状态模型^[41]等。我国学者们也对PSR模型进行了较为深入的研究和实际应用,例如,

殷克东等^[43]基于 PSR 模型的可持续发展研究；马小明等^[44]基于 PSR 模型的环境保护投资分析；陈甲球^[45]的 PSR 模型在资源环境保护中的应用分析等。世界银行^[46]也认为，使用 PSR 模型对资源环境问题分析，对制定正确的制度和政策是有效的。

发展是一个全面的，复杂的过程，反映了经济及非经济的状态。作为政策目标，它是个多目标过程，牵涉到人类生活质量的各个方面。对可持续发展的测量，要考虑到社会、经济、生态因素。因此，PSR 结构将指标分为三大类：社会、经济和环境。社会指标包括对公平的测定。

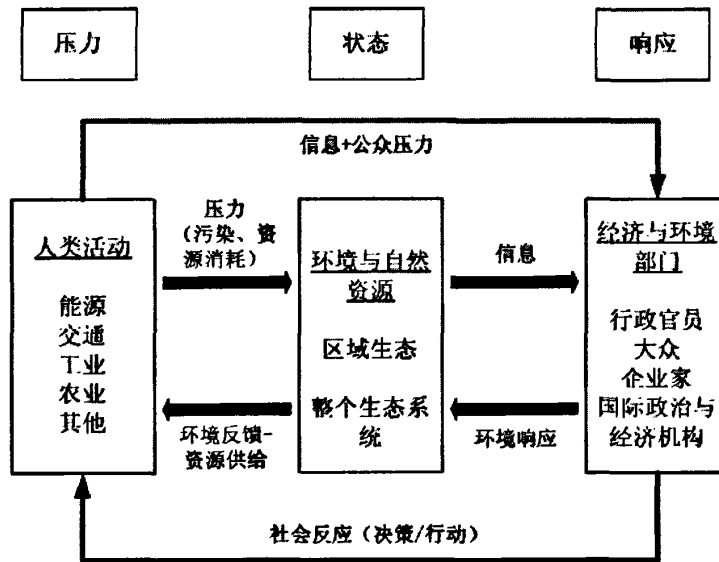


图 2-3 压力-状态-响应模型

Figure 2-3 Pressure-State-Response Model

一般认为，压力是指是指人类活动，主要是经济活动；状态是指现实中的资源环境问题；响应是指各种机构克服资源环境问题所做出的各种努力。它为本文如何设计生态化指标体系框架提供了思路。

2.4 层次分析法

层次分析法（Analytic Hierarchy Process，简称 AHP），是美国运筹学家萨迪（T.L.Saaty）教授于 20 世纪 70 年代中期提出的一种处理定性与定量相结合的多目标规划方法。该法既简便易行又行之有效，特别适合用于对复杂结构指标体系的权数确定。可用于成本效益决策、资源分配次序以及冲突分析等方面^[47]。

2.4.1 构造层次分析结构

建立问题的层次结构模型是 AHP 分析法中最重要的一步,把复杂的问题分解,并按元素的相互关系及其隶属关系形成不同的层次,同一层次的元素作为准则对下一层次元素起支配作用,同时它又受上一层次元素的支配。每一层次中的元素一般不超过 9 个,因为同一层次中包含数目过多的元素会给两两比较判断带来困难。

2.4.2 构造判断矩阵

建立层次分析模型之后,我们就可以在各层元素中进行两两比较,构造出比较判断矩阵。

AHP 分析法主要是人们对每一层次中各因素相对重要性给出的判断,这些判断通过引入合适的标度用数值表示出来,写成判断矩阵。判断矩阵表示针对上一层次因素,本层次与之有关因素之间相对重要性的比较。表 2-1 为一种常用的 1—9 标度法。

表 2-1 判断矩阵标度及其含义

Table 2-1 Marks and Meanings of Judgement Matrix

序号	重要性等级	赋值
1	i, j 两元素同等重要	1
2	i 元素比 j 元素稍重要	3
3	i 元素比 j 元素明显重要	5
4	i 元素比 j 元素强烈重要	7
5	i 元素比 j 元素极端重要	9
6	i 元素比 j 元素稍不重要	1/3
7	i 元素比 j 元素明显不重要	1/5
8	i 元素比 j 元素强烈不重要	1/7
9	i 元素比 j 元素极端不重要	1/9

假定上一层次元素 A_1 作为准则,对下一层元素 $B_1, B_2, \dots, B_n$ 支配关系,我们的目的是要将准则 A_1 的相对重要性赋予 $B_1, B_2, \dots, B_n$ 。在这一步中要回答下面的问题:针对准则 A_1 , 两个元素 B_i 和 B_j 哪个更重要,重要性程度的大小

如何。这就需要对“重要性”赋予一定的数值，赋值的根据或来源，一般地应由熟悉该领域的专家学者独立地给出。

对于 n 个元素来说，我们得到两两比较判断矩阵：

$$B = (B_{ij})_{n \times n}$$

其中 B_{ij} 表示因素 i 和因素 j 相对于目标重要值，根据其重要性等级给予赋值。一般来说，构造的判断矩阵取如下形式：

A_k	B_1	B_2	$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$	B_n
B_1	B_{11}	B_{12}	$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$	B_{1n}
B_2	B_{21}	B_{22}	$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$	B_{2n}
$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$				$\cdot$
$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$				$\cdot$
$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$				$\cdot$
B_n	B_{n1}	B_{n2}	$\cdot$	$\cdot$	$\cdot$	B_{nn}

显然矩阵 B 具有如下性质：

$$B_{ij} > 0$$

$$B_{ij} = 1/B_{ji} (i \neq j)$$

$$B_{ii} = 1 (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

我们把这类矩阵称为正反矩阵。对正反矩阵 B ，若对于任意 i, j, k 均有 $B_{ij} * B_{jk} = B_{ik}$ ，此时称该矩阵为一致矩阵。值得注意的是，在实际问题求解时，构造的判断矩阵并不一定具有一致性，常常需要进行一致性检验。

实际上，凡是较复杂的决策问题，其判断矩阵是经由多名专家填写咨询表之后形成的。专家咨询的本质，在于把专家渊博的知识和丰富的经验，借助于对众多相关因素的两两比较，转化为决策所需的有用信息。因此，专家在填写咨询表之前，必须全面深入地分析每个影响因素的地位和作用，纵览全局，做到心中有数，切忌盲目行事。

2.4.3 判断矩阵的一致性检验

所谓判断思维的一致性,是指专家在判断指标重要性时各判断之间的协调一致,不致出现相互矛盾的结果。在多阶判断的条件下出现不一致是极容易发生的,只不过在不同的条件下不一致的程度是有所差别的。

根据矩阵理论可以得到这样的结论,即如果 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 是满足式 $Ax = \lambda x$ 的数,也就是矩阵 A 的特征根,并且对于所有 $a_{ii} = 1$ 有:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = n$$

显然,当矩阵具有完全一致性时, $\lambda_1 = \lambda_{\max} = n$, 其余特征根均为零;而当矩阵 A 不具有完全一致性时,则有 $\lambda_1 = \lambda_{\max} > n$, 其余特征根 $\lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ 有如下关系:

$$\sum_{i=2}^n \lambda_i = n - \lambda_{\max}$$

上述结论告诉我们,当判断矩阵不能保证具有完全一致性时,相应判断矩阵的特征值根也将发生变化,这样就可以用判断矩阵特征根的变化来检验判断的一致性程度。因此,在 AHP 分析法中引入判断矩阵最大特征值根以外的其余特征根的负平均值,作为度量判断矩阵偏离一致性的指标,即用 $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ 检查决策者判断思维的一致性。

显然,当判断矩阵具有完全一致性时, $CI = 0$, 反之亦然。从而有: $CI = 0$, $\lambda_1 = \lambda_{\max} = n$, 判断矩阵具有完全一致性。

另外,当矩阵 A 具有满意的一致性时, $\lambda_{\max}$ 稍大于 n , 其余特征根也接近于零。不过这种说法不够严密,我们必须对“满意一致性”给出一个度量指标。

衡量不同阶判断矩阵是否具有满意一致性,我们还需要引入判断矩阵的平均随机一致性指标 RI 值。对于 1—9 阶判断矩阵, RI 值分别列于表 2-2 中。

表 2-2 1-9 阶判断矩阵 RI 值分布表

Table 2-2 Distribution List for 1-9 levels RI Value of Judgement Matrix

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

在这里, 对 1、2 阶判断矩阵, RI 只是形式上的, 因为 1, 2 阶判断矩阵总是具有完全一致性。当阶数大于 2 时, 判断矩阵的一致性指标 CI 与同阶平均随机一致性指标 RI 之比称为随机一致性比率, 记为 CR 。当 $CR = \frac{CI}{RI} < 0.10$ 时, 即认为判断矩阵具有满意的一致性, 否则就需要调整判断矩阵, 使之具有满意的一致性。

2.4.4 层次单排序

计算出某层次因素相对于上一层次某一因素的相对重要性, 这种排序计算称为层次单排序。具体地说, 层次单排序是指根据判断矩阵计算对于上一层某元素而言本层次与之有联系的元素重要性次序的权重。

我们这里给出的一种简单的计算矩阵最大特征根及其对应特征向量的方法的计算步骤:

- (1) 计算判断矩阵每一行元素的乘积 M_i

$$M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}, \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

- (2) 计算 M_i 的 n 次方根 $\overline{W}_i$

$$\overline{W}_i = \sqrt[n]{M_i}$$

- (3) 对向量 $\overline{W} = [\overline{W}_1, \overline{W}_2, \dots, \overline{W}_n]$ 正规化

$$W_i = \frac{\overline{W}_i}{\sum_{i=1}^n \overline{W}_i}, \text{ 则 } W = [W_1, W_2, \dots, W_n] \text{ 即所求的特征向量, 也就是指标 } i \text{ 的权重。}$$

2.4.5 层次总排序

依次沿阶梯层次结构由上而下逐层计算,可计算出各指标相对于总目标的相对重要性的排序值,即层次总排序。

层次总排序要进行一致性检验,检验是从高层到底层进行的。但也有最新的研究指出,在 AHP 分析法中不必检验总排序的一致性。也就是说,在实际操作种,总排序一致性检验常常可以省略^[48]。

2.5 本章小结

本章总结了构建钢铁工业生态化评价指标体系所必需的基础性理论。其中,从工业生态化理论中衍生出的钢铁工业生态化理论,为本文的研究确定了方向;PSR 模型为整个评价体系框架的构建提供了依据;AHP 分析法则可以保证整个体系中的各项指标都具有符合实际的相对重要性,提高综合评价结果的可信程度。

第3章 评价指标体系的构建

评价是指“根据确定的目的来测定对象系统的属性，并将这种属性变为客观定量的计值或者主观效用的行为”^[49]。由于影响事物的因素往往是众多而复杂的，如果仅从单一指标上对被评价事物进行评价不尽合理，这就需要将反映评价事物的多项指标的信息加以汇集，得到一个综合指标。

指标综合评价方法是对多指标进行综合的一系列有效方法的总称，它具备以下特点：它的评价包含了若干个指标，这多个评价指标分别说明被评价事物的不同方面；评价方法最终要对被评价事物做出一个整体性的评判，用一个总指标来说明被评价事物的一般水平；随着所需考虑的因素越来越多，规模越来越大，对评价工作本身的要求也越来越高，即要求它克服主观性和片面性，体现出科学性和规范性。

综合评价的具体方法有许多种，但各种方法的总体思路是统一的，大致可分为熟悉评价对象、确立评价的指标体系、确定各指标的权重、建立评价的数学模型、分析评价结果等几个环节。其中，确立指标体系，确定个指标权重，建立数学模型这三个环节是综合评价的关键^[50]。

本章主要介绍钢铁工业生态化评价概念模型建立的原则、评价模型构建的基础以及指标选取的依据。

3.1 评价指标体系建立的原则

指标评价体系的设计要能够有效地衡量企业生态化的程度，准确地反映钢铁企业三大功能的实现情况，还要兼顾科学管理和经济效益等问题。因此，建立评价指标体系要充分考虑以下原则：

(1) 科学性原则：钢铁工业生态化评价体系的建立要遵循钢铁工业生态化理论，体现可持续发展的思想内涵。指标的选择、指标权重的确定、数据的选取和综合评价结果的计算与合成必须以公认的科学理论为依据，能够科学地反映钢铁企业三大功能的实现情况及其演化发展规律。

(2) 系统性原则：钢铁企业内部是一个复杂的生产系统，评价指标选取应遵循系统性原则，反映经济效益、社会效益与环境效益这三者复合系统的整体状

态和相互作用关系,必须实现指标体系的结构最优化,并可以体现钢铁企业的三大功能,即钢铁产品制造功能、能源高效转换功能、废弃物消纳和资源化功能。

(3) 可操作性原则:涉及钢铁工业生态化的评价指标数量众多,但精确的量化不等于准确的评价。对于生态化程度的综合评价,应选取尽量少的典型指标,反映最主要和最全面的信息,每项指标应具有独立性、可量化性和通用性,力求使指标体系相对简洁易用。此外,钢铁工业生态化程度综合评价的意义在于分析现状和预测未来,认清所处阶段和发展中存在的问题,更好地指导实际工作。因此,尽量选取日常统计指标或容易获得的指标,以便直观、简便地说明问题,更好地指导生态化进程的监测和调控。

(4) 可比性原则:保证评价指标体系的客观公正,保证数据来源的可靠性、准确性和评估方法的科学性,不仅需要保证不同钢铁工业生态化程度评价结果能够进行横向比较,而且还要保证同一钢铁企业的生态化历史进程能够进行纵向比较。只有这样,综合评价的结果才能够有利于实际的应用,并指导钢铁工业生态化发展的实践。

(5) 层次性原则:层次是表示事物的结构或运动形式具有等级次序性。任何一个系统不是孤立的,是有多级别、多层次的有机整体,往往有若干子系统,形成系统在纵向上的层次性和合理的整体结构。在钢铁企业这一庞大复杂的系统中,可以通过层次性原则建立起各个子系统的层次化网络,通过各层次的深层剖析和对比探究系统整体的本质,最终找出制约钢铁工业生态化发展的症结所在。

(6) 独立性原则:指标体系中涉及的指标必须尽可能地相互独立。同一类指标中的具体指标应避免重复,不同类指标间的具体指标应相互独立,这样才能用尽可能少的指标对钢铁工业生态化程度进行准确地评价。

3.2 钢铁工业生态化评价体系框架的构建

从世界钢协成员企业的可持续发展报告可以看出,近年来这些钢铁企业纷纷将社会可持续性、经济可持续性和环境(生态)可持续性放在了同等重要的位置上,并从产品生命周期全过程(LCA)着手,提出一系列优化方案和对策措施。从另一个角度来看,这些方案和措施符合 OECD 提出的 PSR 模型所倡导的三方面努力。因此,本文结合近年来我国钢铁工业的实际发展情况和相关前沿性研究,基于 PSR 模型框架、可持续发展理念和钢铁工业生态化所具备的功能,构建钢铁工业生态化指标评价体系。

借用 PSR 模型，本章将钢铁工业生态化评价体系设计为图 3-1 所示的形式。

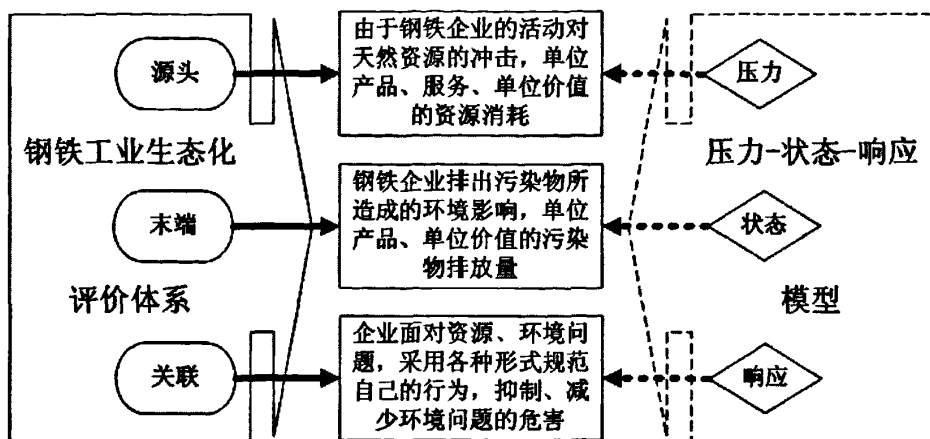


图 3-1 钢铁工业生态化评价指标体系框架

Figure 3-1 Framework of Steel Eco-industrialization evaluation Index System

评价体系包括了源头指标、末端指标和关联指标等三类指标。源头指标反映了由于钢铁企业的活动对天然资源的冲击，末端指标反映了钢铁企业排出污染物所造成的环境影响，关联指标反映的是企业面对资源、环境等问题采取的措施。以上三类指标，构成了钢铁工业生态化评价体系的框架。

源头技术指标和末端技术指标可以用来衡量企业的钢铁产品制造功能，通过具体指标反映出企业是否将原料和能源转化为质量好、成本低、环境负荷小且能够满足用户不断变化要求的钢材，即可以反映钢铁企业基本功能的实现情况；同时，源头技术指标通过对钢铁企业消耗的能源和资源的统计，可以从整体上反映出企业单位产出是否实现了能源的高效转换；关联管理指标和末端技术指标，可以分别从意识和行动的角度反映出企业废弃物消纳和资源化的进展情况。

总之，指标评价体系的设计要能够有效地衡量企业生态化的程度，准确地反映钢铁企业三大功能的实现情况，还要兼顾科学管理和经济效益等问题。

3.3 钢铁工业生态化评价体系的指标确定

对钢铁工业生态化指标的选取具有重要借鉴意义的研究方向包括循环经济、生态化、绿色化、清洁生产和可持续发展等。这些理论虽然在前面各章已经详细介绍了，但在此还要再强调一下陆钟武院士对开展循环经济提出的两点倡议：

(1) 可持续发展所要求的是投入生产中的物质总量的减少。在总人口在增加, 人均需求也在增加的时候, 要想减少投入生产中的物质总量, 就要求物质和环境利用效率有极大的提高。循环经济所提倡的是加强以企业为中心、物质和资源的小循环、中循环和大循环的利用, 核心是资源、环境的高效利用。

(2) 循环经济已将环保工作从企业的一般管理工作转变为企业核心业务的一部分, 上升到企业的战略决策层面。在这种情况下, 企业内部的管理工作就需要进行相应的实质性的变革。

因此, 钢铁工业生态化指标涉及的范围应包括以钢铁企业为中心的资源能源利用的小循环、中循环、大循环以及总体衡量企业资源能源利用效率的指标; 还要反映循环经济思维下企业内部管理的实质性变革指标, 如浦项环境绩效管理指标那样, 可以为公司的战略发展提出科学合理的决策支持; 最为重要的是, 要体现出可持续发展的三方面要求, 即经济可持续、环境可持续和社会可持续, 这点在世界钢协提出的可持续发展指标和新日铁的“三重生态化”理念中得到了体现。

3.3.1 源头技术指标的选取

3.3.1.1 资源消耗 铁矿石和废钢是支撑钢铁工业的两种重要原料。解决铁矿石的资源缺口要求我们具有全球的视野, 立足国内外两个市场, 充分利用境外资源是实现钢铁工业可持续发展的重要保障。为降低海外获取资源的成本和风险, 生产方面一定要走循环经济道路, 提高资源和能源的使用效率。因此, 本体系中选取“吨钢天然矿物消耗量”作为一项评价指标, 指标来源为《钢铁企业生态效率分析》(以下简称生态效率分析) 一文中提出的资源效率指标^[40]。

从资源利用和环境保护的角度看, 利用废钢炼钢具有铁矿石无法比拟的优势。用废钢炼钢比用铁矿石炼钢要减少水污染 76%、节水 40%、减少采矿废弃物 97%、减少气体污染 86%。另外, 从投资方面看, 用“废钢—电炉炼钢—轧钢”的短流程工艺比传统的矿石—高炉—转炉—轧钢工艺节约投资 1/3~1/5 (视产品不同而异)。从资源利用的角度看, 土地资源是我国最宝贵的资源, 电炉炼钢可节约用地 70%。因此, 促进废钢回收利用, 鼓励废钢进口, 将直接提高钢铁企业节能环保的效果, 有助于钢铁工业迈向绿色产业。因此, 采用“废钢系数”来衡量钢铁企业利用废钢的程度, 指标来源为国际钢铁协会提出的可持续发展指标 (以下简称可持续发展指标) 和陆钟武院士提出的废钢指数^[51]。

3.3.1.2 能源消耗 能源消耗是工业企业中最重要的资源消耗指标之一, 直接关系到企业的生产经营效益。吨钢综合能耗是反映钢铁企业能源消耗和能源利

用状况的重要技术经济指标，它能大致反映出钢铁联合企业钢铁生产的技术水平、原燃料条件和管理水平等，它既包括生产流程的能耗，也包括其他辅助流程的能耗，所以选取“吨钢综合能耗”作为该体系指标之一，指标来源为国家发改委和国家环保总局颁布的钢铁行业清洁生产评价指标体系（以下简称清洁生产指标）和可持续发展指标。

3.3.1.3 水消耗 我国水资源短缺，只有世界人均占有量的 1/4，未来二十年我国人均占有量将下降到 1700 吨，接近国际警戒线。而我国的钢铁工业用水量大、排水量大、污染严重。国外企业吨钢新水用量只有 6 吨左右，先进企业甚至可以达到 3 吨，而我国重点钢铁企业 2004 年吨钢用新水平均有 13.73 吨，与国外钢铁企业相比有明显的差距，国内各企业间差距也很大^[52]。所以，我国钢铁企业节水的潜力很大，对用水进行定额管理，限制其用水，既可以减轻处理大量污水的负担，又可以大大节约水资源，而且可以大幅度减少对水体的污染，保护生态环境，保证人们的用水安全。基于这种考虑，选取“吨钢新水消耗量”指标来促进钢铁企业向着生态化目标发展，指标来源为清洁生产指标。

3.3.1.4 绿色制造 所谓绿色产品，是指产品的生产、使用及处理过程符合环境要求，对环境无污染，对人的身体健康没有危害，并有利于资源再生和回收利用的产品，即制造过程为绿色制造的产品。绿色技术是指绿色产品全生命周期中涉及到的各种设计、生产和回收再利用技术。

绿色产品应符合以下的要求：一是设计产品时应考虑资源与能源的保护与利用；二是生产中要采用无废少废技术和清洁生产工艺；三是使用过程要有益于公众健康；四是产品使用寿命完结时，应考虑产品易于回收和处置。结合对绿色产品概念和要求，钢铁行业的绿色产品应具有高强度、高韧性、高弹力、耐腐蚀、重量轻、超薄、焊接性好、易成形、易回收等特性。因此，考虑到钢铁绿色产品与传统钢铁产品相比，具有消耗资源和能源少的特点，选取“绿色产品和技术销售比重”作为源头技术指标之一，指标来源为浦项提出的环境绩效指标评价体系（以下简称环境绩效指标）中的运行绩效指标。

3.3.2 末端技术指标的选取

3.3.2.1 工业固体废物 钢铁企业生产过程中产生的固体废弃物主要有高炉渣、钢渣、粉煤灰、含铁尘泥等。其中，高炉渣和钢渣在固体废弃物中所在比例大于 60%，可回收作为生产建筑材料的原料；含铁尘泥经过净化后，产生的粉尘可压块后回到转炉再利用，氧化铁皮经分选后可送烧结使用，炼铁厂的除尘灰可送烧结使用；粉煤灰中的干灰磨细后直接用于水泥原料，湿灰可直接用于道路

建设；其它废弃物中，石灰石、白云石泥饼回到烧结利用，或者作为烟气脱硫的吸收剂，粉焦系统回收的焦粉用于高炉喷煤，化产焦油渣回到配煤利用。

总之，钢铁行业产生的工业固体废弃物量大、面广，如果对其进行资源化利用，既可以获得好的经济效益，又可以减少占用土地面积，解决了环保难题。为了考察钢铁企业在这方面所做的努力，本文分别从“3R 原则”减量化、再利用和资源化的角度出发，选取“吨钢废渣排放量”和“固体废弃物再资源化率”作为评价指标。其中，“固体废弃物再资源化率”的指标来源为清洁生产指标^②。

3.3.2.2 大气污染物 造成大气污染的污染物产生场所统称大气污染源，可分为天然污染源和人为污染源。工业污染是人为污染源中的主要来源。尤其是燃料燃烧，向大气排放大量烟尘、CO₂ 和 SO₂ 等。我国能源主要靠煤、石油等石化燃料，煤占总燃料的 70%以上，所以大气污染主要属煤烟型污染^[53]。钢铁生产中有炼焦工艺流程，大量使用焦煤生产焦炭，由焦炭、石灰石和铁矿石作为主原料生产铁，其过程会产生大量烟尘、CO₂ 和 SO₂ 等。

国家环保总局在《全国主要污染物总量控制方案》中提出了 12 种重点控制的污染物，其中有三项是大气污染物，它们分别是烟尘、SO₂ 和工业粉尘。在钢铁行业的统计中常把烟尘和粉尘合为一项，所以论文选取“吨钢 SO₂ 排放量”、“吨钢尘排放量”两项指标。NO_x，即氮氧化物，因其在钢铁生产过程中排放量较大且对环境危害也较大，故也将“吨钢 NO_x 排放量”选作一项指标。以上三项指标来源均为清洁生产指标。

随着京都议定书在 2005 年初生效，温室气体排放成为全球关注的环境问题之一。京都议定书中涉及 6 种温室气体，与钢铁业关系最密切的气体是 CO₂，所以选取“吨钢 CO₂ 排放量”来描述钢铁企业对温室效应的“贡献”，指标来源为可持续发展指标。

3.3.2.3 水污染物 钢铁企业的用水就其用途来说主要是冷却用水，其次是煤气洗涤、除尘用水，还有一部分是生产工艺、冲洗设备、地面用水等。钢铁企业中用水和排水量大的生产工序是炼铁、炼钢（转炉）和轧钢等工序。对水环境影响较大的主要有焦化酚氰废水、高炉和转炉煤气洗涤水、热轧含油废水、冷轧含乳化液和油废水、酸洗废水、含铬废水等。

钢铁企业生产过程中废水量大、水质复杂，一部分水经使用后仅水温升高，可以经冷却降温后循环使用；另一部分水则因与产品直接接触而被污染，需经适

^② 该指标为清洁生产指标中含“铁尘泥回收率”、“回收含铁尘泥利用率”和“冶炼渣利用率”三项指标综合而得。

当处理后方可循环使用或达到排放标准排放。钢铁企业废水的污染特征和主要污染物见表 3-1。

表 3-1 钢铁企业废水的污染特征和主要污染物^[55]

Table 3-1 Characters and Majoy Components of Sewage from Steel Enterprises

工厂 名称	污染物特征						主要污染物								
	污浊	臭味	颜色	有机 污染物	无机 污染物	热污 染	酚	氰化 物	石油 类	COD	SS	酸	碱	铬	硫化 物
烧结厂	◆				◆						◆				
焦化厂	◆	◆	◆	◆	◆		◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆		◆
炼铁厂	◆		◆		◆	◆	◆	◆		◆	◆				◆
炼钢厂	◆		◆		◆	◆			◆	◆	◆				
轧钢厂	◆		◆	◆	◆	◆			◆	◆	◆	◆	◆	◆	

工业废水中含有许多有机物质，而这些有机物质都有二个共性：一是它们至少都由碳氢元素组成；二是绝大多数的有机物质能够化学氧化或被微生物氧化，两种基本元素分别与氧形成无毒无害的二氧化碳和水。所以，化学耗氧量（COD）和生化耗氧量（BOD）便能够综合性地反映废水中所有有机物质的数量，且分析比较简单，因此被广泛地应用于废水分析和环境工程上。实际上，COD 并不只表示水中的有机物质，它还表示水中具有还原性质的无机物质，如：硫化物、亚铁离子、亚硫酸钠，甚至氯根离子。

所以，考虑到指标设置的可计量性、可比较性、可操作性，并且尽量用较少的代表性指标来最大程度地反映客观事实，选取“吨钢 COD 排放量”来评价钢铁企业排放的污水对生态带来的危害，选取“吨钢废水排放量”指标来衡量企业对污水处理所做的努力，两项指标来源均为清洁生产指标。

3.3.3 关联管理指标的选取

指标体系引用了国际钢铁协会《世界钢铁业可持续发展报告》中的四项指标，分别是环境管理系统（ISO14000 认证单位员工比例）、员工培训（员工平均培训天数）、损失工时的工伤发生频率（损失工时的工伤频率）、营业利润率。指标将国际钢协关于可持续发展政策宣示中的概述具体化。指标计算基于企业现有的数据，适用于世界上所有地区的钢铁公司。

将“环境信息发布”作为评价指标之一，目的是促进钢铁企业对外发布环境报告或可持续发展报告，既有利于企业加强自身的环保力度，也有利于规范整个行

业的信息统计工作，指标来源为清洁生产指标和环境绩效指标中的管理绩效指标。

同时，为体现钢铁企业的三大功能中的“废弃物消纳和资源化功能”，选取“消纳、处理社会废弃物”作为一项评价指标（这里的废弃物指的是广义的废弃物，包括废塑料、废轮胎、社会垃圾、社区废水和污水等），以此衡量钢铁企业积极构建生态产业链的努力程度，指标来源为生态效率分析中的环境效率指标^[40]。

最终，由三大类共 19 项指标构成了钢铁工业生态化指标评价体系。

表 3-2 钢铁工业生态化评价指标

Table 3-2 Steel Enterprises Eco-industrialization Indicators

目标	分类	指标	来源
钢铁工业生态化	源头技术指标	废钢系数	可持续发展指标、废钢指数
		吨钢综合能耗	清洁生产指标、可持续发展指标
		吨钢新水消耗量	清洁生产指标
		吨钢天然矿物消耗量	生态效率分析之资源效率指标
		绿色产品和技术的销售比重	浦项运行绩效指标
	末端技术指标	吨钢废渣排放量	清洁生产指标
		吨钢尘排放量	清洁生产指标
		吨钢 SO ₂ 排放量	清洁生产指标
		吨钢 CO ₂ 排放量	可持续发展指标
		吨钢 NO _x 排放量	清洁生产指标
		吨钢废水排放量	清洁生产指标
		吨钢 COD 排放量	清洁生产指标
		固体废弃物再资源化率	清洁生产指标
	关联管理指标	ISO14000 认证单位员工比例	可持续发展指标
		损失工时的工伤频率	可持续发展指标
		员工平均培训天数	可持续发展指标
		环境信息发布	清洁生产指标、浦项管理绩效指标
		营业利润率	可持续发展指标
		消纳、处理社会废弃物	生态效率分析之环境效率指标

注：表中各项指标的统计周期一般以年为单位，特殊指标取多年的平均值。本指标体系适用于长流程钢铁企业。

3.3.4 指标的统计说明

指标体系的各项指标确定下来之后要界定它们的统计范围,这样做一方面有利于明确企业统计各项指标时的具体计算方法,另一方面可以保证各家企业的生态化评价结果可以相互比较。本文对这些指标的统计说明来自于国内外钢铁行业中公认的概念和定义^[56-57]。

3.3.4.1 源头技术指标 该类指标表明了钢铁生产对天然资源的消耗程度,或者是减少对天然资源的消耗。若以1吨钢为计算基准,钢铁企业资源负荷的“源头”指标有:

(1) 废钢系数

所谓“废钢系数”,是指统计期内进入钢铁企业生产环节的废钢量与同期内的钢产量之比。它可表达为:

$$\begin{aligned}\text{废钢系数}(\%) &= \frac{\text{统计期内进入钢铁企业的废钢资源量(吨)}}{\text{统计期内企业粗钢合格产出量(吨)}} \\ \times 100\% &= \frac{\text{加工废钢量(吨)} + \text{折旧废钢量(吨)}}{\text{统计期内企业粗钢合格产出量(吨)}} \times 100\%\end{aligned}$$

废钢中不包含自产废钢。在相同钢产量的情况下,废钢的使用量越多,铁矿石的使用量将会越少,表明钢铁工业的发展对天然资源消耗的减少^[51]。

(2) 吨钢综合能耗

吨钢综合能耗是指,钢铁企业在报告期内生产每吨粗钢所综合消耗的各种能源自耗总量。能源自耗总量必须是将各种能源按规定的计算方法分别折算为同一标准单位后的总和。其计算公式为:

$$\text{吨钢综合能耗(千克标准煤/吨)} = \frac{\text{企业钢铁工业生产中自耗能源量(千克标准煤)}}{\text{企业粗钢合格产出量(吨)}}$$

计算说明:

①式中子项——企业钢铁工业生产中自耗能源量,包括统计期内生产直接消耗的各种能源及其辅助生产系统实际消耗的各种能源,即企业自耗的全部能源量,其计算公式为:

$$\text{企业钢铁工业生产中自耗能量} = \text{企业购入能源量} + (\text{—}) \text{库存能量增减量} -$$

企业非钢铁工业生产消耗的能源量－企业外销能源量＝企业钢铁工业生产各部位耗能量之和＋企业能源亏损量。

企业外销能源是指企业向外销售的购入能源、企业二次能源、下脚燃料及余热等。驻厂施工单位、独立核算的非工业生产单位和厂区（车间）以外的生活耗能（如服务公司、医院、学校、职工食堂等），凡有据可查的部分均可以作为外销能源处理。

②企业钢铁工业生产指矿石采选、人造块矿、炼铁、铁合金冶炼、炼钢、连铸、钢加工、钢丝及其制品、焦炭、耐火材料、炭素制品和为钢铁工业生产服务的运输、机修、动力等生产。

③企业自耗能源量与企业生产构成有关。由于企业生产构成不同，生产每吨钢的平均自耗能源量也不同。因此，它主要用来考核和分析本企业历年能耗水平的变化，也可以作为钢铁联合企业之间对比参考用。

计算能耗指标的几项具体规定：

①能耗总量包括作为燃料的能耗和作为动力的能耗（含压缩空气、水等载能体）。如果能源作为原材料形式消耗时，也应作为能源消耗计算，如炭素制品消耗无烟煤、冶金焦等。

②有自备洗煤厂的企业按洗精煤开始计算能耗，洗煤副产（中煤、煤泥等）作动力煤使用时，按动力煤计算能耗。

③能耗总量不包括化学反应热和不作为能源利用的石油制品（如蜡、润滑油等）。

④能耗总量不包括企业二次能源的消耗。

⑤企业能耗总量包括供方不承认的计量误差、途耗和企业库存及供应损失量（工序、车间等耗能部位承担的损失量，则计入相应部位的能耗中）。

⑥除计算主要能源实物消耗指标外，各种能源物质都要按其平均低位发热值（即燃料经完全燃烧，但燃烧物的水蒸气仍以气态存在时的反应热，不包括燃烧中生成的水蒸气放出的凝结热）折算为发热值为 29.273 兆焦/千克标准煤^[14]。

（3）吨钢新水消耗量

吨钢新水消耗量，是指统计期内企业生产 1 吨钢所消耗的新水量，以生产 1

吨钢所消耗的新水吨数表示, 单位为吨/吨, 其值等于平均生产 1 吨钢各工序消耗的水量之和与水的排放率的乘积, 即:

$$W = (\sum_{i=1}^n p_i w_i)(1-a) + W'$$

式中, W 表示吨钢新水消耗量; w_i 表示第 i 工序的工序水耗, 单位为吨/吨; W' 表示无产品的工序或单位消耗的新水量折合成的新水消耗量, 单位为吨/吨; a 表示水循环率; p_i 表示第 i 工序的钢比系数^①。

(4) 吨钢天然矿物消耗量

吨钢天然矿物消耗量, 是指生产 1 吨钢所消耗各种天然矿物的总和。考虑到铁矿石、煤炭和石灰石这三类矿物所占比例比较大, 选取它们的总和来代表消耗矿物量之和。计算公式为:

$$C_s = \frac{C_{iron} + C_{coal} + C_{limestone}}{P_s}$$

其中, C_s 为统计期内吨钢天然矿物消耗量, 单位为吨/吨; C_{iron} 为统计期内铁矿石使用量, C_{coal} 为统计期内煤炭使用量, $C_{limestone}$ 为统计期内石灰石使用量, P_s 为统计期内企业粗钢合格产出量, 单位均为吨。(无法得到统计期内天然资源的使用量时, 可用购入量代替)

(5) 绿色产品和技术销售比重

绿色产品和技术销售比重, 是指钢铁企业生产的绿色产品销售额加上转移清洁生产技术销售额之和, 占同期主营业务销售收入的比重。因绿色产品和技术研发周期较长, 可取连续年份作为一个周期计算该比重。计算公式为:

$$C_g = \frac{P_g + T_g}{S_r}$$

式中, C_g 为绿色产品和技术销售比重, P_g 为绿色产品销售额, T_g 为转移清洁生产技术销售额, S_r 为主营业务销售收入, 单位均为万元。

^① 工序的钢比系数等于统计期内该工序的实物产量与同期内粗钢产量之比。由于炼铁工序直接相关的铁前工序较多(采矿、选框、烧结、球团、炼焦), 所以对这些工序, 首先要引入“铁比系数”的概念。工序铁比系数为: 工序的铁比系数=工序的实物产量(吨)/生铁产量。某工序的“铁比系数”与“铁钢比”的乘积, 等于该工序的钢比系数, 因为: 工序的铁比系数 铁钢比=(工序的实物产量/生铁产量) (生铁产量/粗钢产量)=工序的实物产量/粗钢产量=工序的钢比系数。

在本文中，进行比较的四家企业均通过了 ISO14000 的认证，因此它们生产的产品被认为是生态化产品。在进行比较时，我们选择国际市场上这些企业绿色产品的竞争力，即它们出口部分的钢材占钢材总产量的比重来代表绿色产品和技术销售比重。

3.3.4.2 末端技术指标 该类指标指由人类过量消耗资源造成的环境破坏，用生产吨钢的污染物排放量表示。排放的污染物包括渣、粉尘、烟尘、SO₂、NO_x、CO₂ 以及废水等。主要指标有：

(1) 吨钢废渣排放量

该指标是以生产 1 吨钢所产生的渣量表示，单位为千克/吨。

$$V_R = \sum_{i=1}^n p_i (v'_{ri} - v''_{ri}) + V'_R$$

式中， V_R 表示吨钢废渣排放量； v'_{ri} 、 v''_{ri} 分别表示第 i 工序产生和回收利用的渣量，单位为千克/吨； V'_R 表示无产品的工序或单位产生的渣量折合成的吨钢废渣排放量，单位为千克/吨； p_i 表示第 i 工序的钢比系数。

(2) 吨钢尘排放量

该指标以生产 1 吨钢所排放的烟尘量和粉尘量加和表示，单位为千克/吨，为监测值。

$$V_D = \sum_{i=1}^n p_i (v'_{di} - v''_{di}) + V'_D$$

式中， V_D 表示吨钢尘排放量； v'_{di} 、 v''_{di} 分别表示第 i 工序排放和回收利用的粉尘和烟尘量，单位为千克/吨； V'_D 表示无产品的工序或单位排放的烟尘量和粉尘量折合成的吨钢尘排放量，单位为千克/吨； p_i 表示第 i 工序的钢比系数。

(3) 吨钢 SO₂ 排放量

该指标以生产 1 吨钢所排放的 SO₂ 量表示，单位为千克/吨，为监测值。

$$V_{SO_2} = \sum_{i=1}^n p_i v'_{SO_2} + V'_{SO_2}$$

式中， V_{SO_2} 表示吨钢 SO₂ 排放量； v'_{SO_2} 表示第 i 工序 SO₂ 排放量，单位为千

克/吨； V'_{SO_2} 表示无产品的工序或单位排放的 SO_2 折合成的吨钢 SO_2 排放量，单位为千克/吨； p_i 表示第 i 工序的钢比系数。

(4) 吨钢 CO_2 排放量

该指标以平均生产 1 吨钢所排放的 CO_2 量表示，单位为吨/吨。

$$V_{CO_2} = \sum_{i=1}^n p_i v'_{CO_2} + V'_{CO_2}$$

式中， V_{CO_2} 表示吨钢 CO_2 排放量； v'_{CO_2} 表示第 i 工序 CO_2 排放量，单位为吨/吨； V'_{CO_2} 表示无产品的工序或单位排放的 CO_2 折合成的吨钢 CO_2 排放量，单位为吨/吨； p_i 表示第 i 工序的钢比系数。可以根据各种燃料的用量和各种燃料的 CO_2 排放因子大致计算出某个钢铁企业 CO_2 的排放量。

(5) 吨钢 NO_x 排放量

该指标以平均生产 1 吨钢所排放的 NO_x 量表示，单位为千克/吨，为监测值。

$$V_{NO_x} = \sum_{i=1}^n p_i v'_{NO_x} + V'_{NO_x}$$

式中， V_{NO_x} 表示吨钢 NO_x 量排放量； v'_{NO_x} 表示第 i 工序 NO_x 排放量，单位为千克/吨； V'_{NO_x} 表示无产品的工序或单位排放的 NO_x 折合成的吨钢 NO_x 量排放量，单位为千克/吨； p_i 表示第 i 工序的钢比系数。

(6) 吨钢废水排放量

该指标以平均生产 1 吨钢所外排的废水量表示，单位为吨/吨，为监测值。

$$V_{H_2O} = \sum_{i=1}^n p_i v'_{H_2O} + V'_{H_2O}$$

式中， V_{H_2O} 表示吨钢废水排放量； v'_{H_2O} 表示第 i 工序废水的排放量，单位为吨/吨； V'_{H_2O} 表示无产品的工序或单位排放的废水折合成的吨钢废水排放量，单位为吨/吨； p_i 表示第 i 工序的钢比系数。外排废水是指达到国家二级排放标准的废水。

(7) 吨钢 COD 排放量

该指标以平均生产 1 吨钢所外排的 COD 量表示,单位为千克/吨,为监测值。

$$V_{COD} = \sum_{i=1}^n p_i v'_{COD} + V'_{COD}$$

式中, V_{COD} 表示吨钢 COD 排放量; v'_{COD} 表示第 i 工序 COD 的排放量,单位为千克/吨; V'_{COD} 表示无产品的工序或单位外排的 COD 折合成的吨钢 COD 排放量,单位为千克/吨; p_i 表示第 i 工序的钢比系数。

(8) 固体废弃物再资源化率

统计期内企业利用、消纳的固体废弃物量(高炉渣、钢渣、粉煤灰、含铁尘泥)与同期使用的固体天然资源量之比。计算公式为:

$$S_r = \frac{D_w}{C_d} \times 100\%$$

式中, S_r 为固体废弃物再资源化率; D_w 为统计期内企业利用、消纳的固体废弃物量, C_d 为同期使用的固体天然资源量,两者单位均为吨。

3.3.4.3 关联管理指标 该类指标是指面对资源环境问题,钢铁生产企业努力用自己的行动缓解与生态环境和社会之间的矛盾。关联管理指标包括:

(1) ISO14000 认证单位员工比例

ISO14000 环境管理体系是一系列的方法和规定,它使一个机构能够评价环境绩效,不断改善、提高运作效率。钢铁企业通常通过制定和实施环境政策、实行培训和加强操作控制等措施建立自己的环境管理体系。这里采用 ISO14000 认证单位员工比例作为考核指标。公式为:

$$S = \frac{C_{ISO14000}}{C_p} \times 100\%$$

式中, S 为在已通过 ISO14000 认证的单位中的员工和合同者占钢铁企业总员工和合同者的百分比, $C_{ISO14000}$ 为已通过 ISO14000 认证的单位中员工和合同者的人数, C_p 表示钢铁企业的员工和合同者的总数。

(2) 损失工时的工伤频率

钢铁行业旨在以零伤害为目标,为职工提供一个安全的工作环境。使用最多

的指标之一是损失工时的工伤频率。损失工时的工伤是指在工作中导致工时损失的工伤，工作通常是指受伤者在工伤发生当天或当班时所从事的工作。若工伤后并没有立即发生工时损失，而是相隔一段时间后出现了缺岗，只要缺岗和工伤之间存在直接联系，通常也被视为损失工时的工伤。用 1 百万个工日内发生损失工时的工伤比例来计算此频率，公式为：

$$F_I = \frac{T_I}{H_w / 1000000}$$

式中， F_I 为每百万工时因工伤误工频率，单位为次/1 百万工时； H_w 为企业当年全年工时，单位为小时； T_I 为当年工伤次数。

(3) 员工平均接受培训的天数

员工培训为员工发展技能、提高工作效率和质量提供帮助。有效的培训将增加员工的创新能力，使生产工艺得到改善。对于钢铁工业而言，员工培训是指训练员工达到岗位要求的熟练操作状态。培训包括多种方式，如课堂讲授、阅读理解字面材料、在计算机上模拟岗位操作程序等。这里采用员工平均接受培训的天数作为评价指标，公式为：

$$\overline{D_p} = \frac{D}{C_p}$$

式中， $\overline{D_p}$ 表示员工平均接受培训的天数，单位为天/人， D 表示员工接受的培训天数， C_p 表示员工总数。

(4) 环境信息发布

将钢铁企业环境（可持续发展）报告书的对外发布情况作为评价企业公布环境信息的指标。钢铁企业如有对外发布的环境报告或可持续发展报告，则“环境信息发布”的单项评价指数取值为 1；如无对外发布的环境报告或可持续发展报告，则“环境信息发布”的单项评价指数取值为 0。

(5) 营业利润率

营业利润率是主营业务利润（税前）与主营业务产品销售收入之比。营业利润率可以度量一个公司从事当前业务的赢利能力。计算公式为：

$$O_m = \frac{O_p}{S_r} \times 100\%$$

式中, O_m 为营业利润率, O_p 为主营业务税前利润, S_r 为主营业务销售收入, 单位均为万元。(无法得到主营业务利润和主营业务产品销售收入时, 可用全业务利润和营业收入来代替。)

(6) 消纳、处理社会废弃物

该指标表明钢铁企业社会功能的完成程度。主要指处理社区废水、销纳社会废塑料、废轮胎等的能力。由于此项任务在钢铁企业内刚刚开始, 所以企业若正在开展, 无论量大小, 其单项评价指数取值为 1; 如没有开展, 则单项评价指数取值为 0。

3.3.5 指标的判别基准

建立钢铁工业生态化指标评价体系的一个重要前提是必须首先确定指标判别基准, 明确各项指标与企业生态化程度的关系。参考上世纪八十年代中期陆钟武院士提出的系统节能思想和殷瑞钰院士提出的钢铁工业生态化的内涵, 论文提出三项判别钢铁工业生态化的基准:

①减少对自然资源的索取, 提高资源和能源的使用效率, 降低单位产品(产值)的能耗、水耗、矿产消耗;

②控制钢铁制造过程中副产品的产生, 减少渣、废水、废气和有毒有害污染物的排放, 提高“三废”的再资源化水平;

③提高企业环境管理方面的能力, 体现投资效益、经济效益、社会效益和环境效益的协调发展。

以此判别基准, 就可以明确指标数值的大小对企业生态化程度产生何种影响, 也为计算综合评价指数做了铺垫。

3.4 本章小结

本章首先以殷瑞钰院士结合外国内钢铁工业发展实践提出的钢铁工业生态化理论为基础,借助 OECD 为分析人类活动与资源环境问题之间关系所构建的 PSR 模型,搭建起评价我国钢铁工业生态化程度的概念模型框架。之后,从循环经济思想、可持续发展理念、环境绩效管理等多方面进行考虑,结合钢铁行业内应用广泛的清洁生产指标、世界钢协提出的可持续发展指标和浦项环境绩效管理指标,筛选出符合本文评价体系框架的一系列指标,达到反映出现代生态型钢铁企业所要具备的三大功能的目的,即钢铁产品制造功能、能源高效转换功能、废弃物消纳和资源化功能。该评价体系可以评价钢铁企业在保持自己经济效益增长的同时、担负社会责任,保持其周围有良好环境状态的能力最终为钢铁企业生态化程度给出分值(综合评价指数)。分值越高,其可持续性越强,从而对钢铁全行业的法律法规政策的制定和环境管理的定量化与系统化提供决策工具。

第4章 权重确定及数据处理方法

本章对整个评价体系中相关数据如何处理做了说明，包括指标的权重、指标的基准值、单项评价指数和综合评价指数的计算公式。

4.1 确定各级评价指标的权重

4.1.1 构造层次分析结构

为了提高评价体系的科学性，我们采用层次分析法（Analytic Hierarchy Process, AHP）来确定各级指标的权重。根据 AHP 分析法原理，本文对钢铁行业生态化评价所建立的层次分析结构如图 4-1 所示，它来源于图 3-1 的钢铁工业生态化评价指标体系框架。

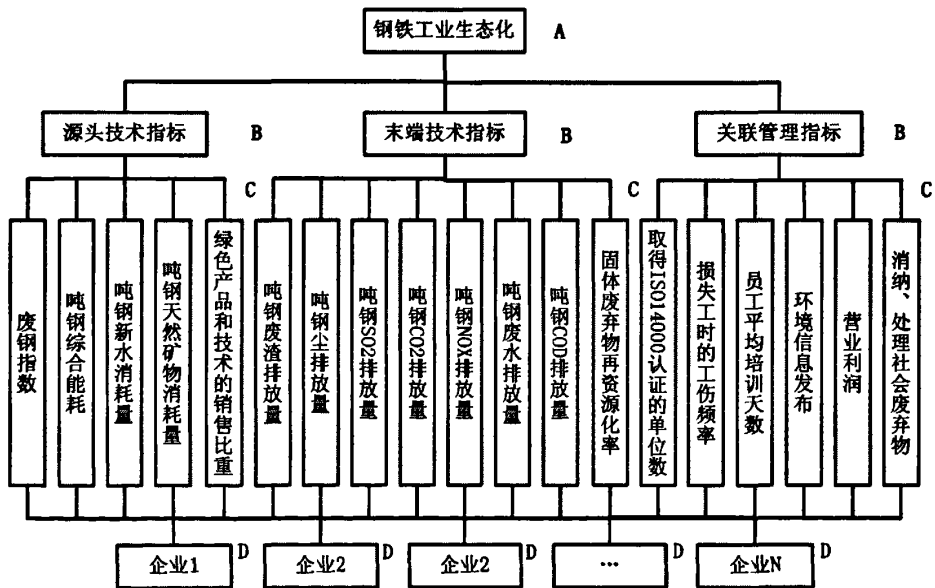


图 4-1 钢铁工业生态化评价层次分析结构图

Figure 4-1 Analytic Hierarchy Framework of Steel Eco-industrialization

整个评价体系的层次结构分为三层：第一层（A）为目标层，表明指标体系的最终目的是要实现对钢铁企业生态化程度的一种客观的、科学的评价；第二层（B）为主准则层，对应 PSR 模型的三个方面，从钢铁企业的源头技术（钢铁企

业的活动对天然资源的冲击)、末端技术(钢铁企业排出污染物所造成的环境影响)和关联管理(钢铁企业面对资源、环境等问题采取的措施)角度来反映评价的具体目标,下文中称为一级指标,对应一级权重;第三层(C)为分准则层,涵盖了上一章经过筛选后得出的一系列生态化评价指标,是对现代生态型钢铁企业的具体度量,下文中称为二级指标,对应二级权重或层次总排序后的权重;第四层(D)为对象层,即指将要应用该指标体系进行评价的钢铁企业。

4.1.2 设计权重调查问卷

为了快速完成权重确定工作,本文设计了一个权重调查问卷软件(使用EXCEL 2007制作),用此软件能快速、准确地完成大规模调查的数据处理。

4.1.2.1 软件结构

(1)第一页为“基本信息”,作用是了解问卷填写者的基本情况,包括所属单位(企业)、年龄、职务、学历、在钢铁业界的工作年数、对中国钢铁企业的了解程度,另外还可以提出自己对该软件的问题或建议,见附表1-1。

(2)第二页为“问卷填写表”,共分为四个单元,依次对应“一级指标相对重要性的比较”、“二级指标(源头技术指标)相对重要性的比较”、“二级指标(末端技术指标)相对重要性的比较”、“二级指标(关联管理指标)相对重要性的比较”。每个单元由7类区域构成:

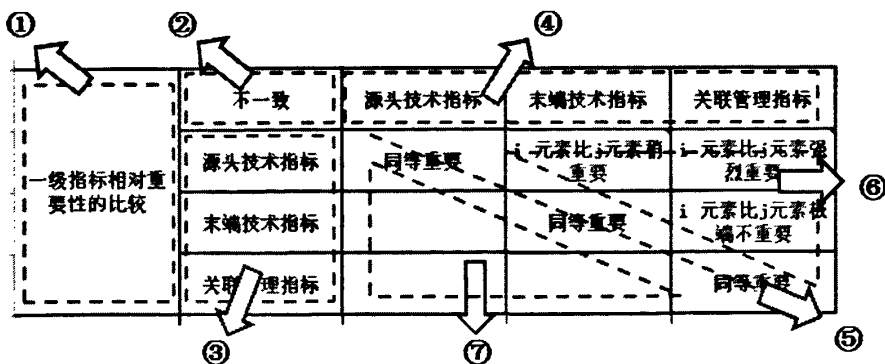


图 4-2 “问卷填写表”其中一单元结构示意图

Figure 4-2 Structure of One of Units in Questionnaire Software

①说明区域:说明整个区域为一级指标或二级指标(包括源头技术、末端技术和关联管理三类)的判断矩阵;

②判断区域：根据后台运算的结果，反馈矩阵是否一致的信息。如不一致，需要调整填写区域；

③列元素区域：对应属于同一级别的各个指标，矩阵中记为 a_j ；

④行因素区域：对应属于同一级别的各个指标，矩阵中记为 a_i ；

⑤定值区域：该区域元素 a_i 和元素 a_j 相同， a_{ij} 的标度固定；

⑥填写区域：该区域元素 a_i 和元素 a_j 不相同，需选取不同的标度描述元素 a_{ij} ；

⑦非填写区域：该区域元素 a_{ji} 与填写区域元素 a_{ij} 的标度对应判断值互为倒数关系，不用填写。

(3) 第三页为“后台运算”，分为左右两部分。左侧部分将上一页各单元中的评语赋值，形成判断矩阵；右侧部分根据 AHP 分析法的一致性检验、层次单排序和层次总排序等原则对左侧的判断矩阵进行后续的运算。

关联管理指标	ISO14000认证 单位员工比例	职业健康安全 单位员工比例	员工平均培训 次数	环境信息发布	营业利润率	捐赠、处理社 会废弃物
ISO14000认证 单位员工比例	1.00000	3.00000	5.00000	1.00000	5.00000	0.20000
职业健康安全 单位员工比例	0.33333	1.00000	3.00000	0.33333	3.00000	0.14286
员工平均培训 次数	0.20000	0.33333	1.00000	0.20000	1.00000	0.11111
环境信息发布	1.00000	3.00000	5.00000	1.00000	5.00000	0.20000
营业利润率	0.20000	0.33333	1.00000	0.20000	1.00000	0.33333
捐赠、处理社 会废弃物	5.00000	7.00000	9.00000	5.00000	3.00000	1.00000

行元素的乘积 M_i	M_i 的 n 次方根	特征向量 w_i	$(A \cdot w)_i$	$n \cdot w_i$	最大特征根	CI	RI	CR	判断一致性	权重总排序
15.00000	1.57042	0.19044	1.13115	1.08263	1.04481					0.04694
0.14286	0.72302	0.08307	0.52675	0.49844	1.05080					0.02161
0.00148	0.33764	0.03879	0.23755	0.23276	1.02055					0.01009
15.00000	1.57042	0.19044	1.13115	1.08263	1.04481					0.04694
0.00444	0.40548	0.04659	0.34214	0.27953	1.22396					0.01212
4725.00000	4.09638	0.47067	3.34548	2.82400	1.18466					0.12245
加和	8.70335				6.57359	0.11512	1.24000	0.09284	一致	

图 4-3 第三页“后台运算”其中一单元运算示意图

Figure 4-3 Operation of One of Units in Questionnaire Software Third Page

(4) 第四页为“单人打分结果”，将第三页的运算结果，即一级权重、二级权重和总排序权重归纳总结到表中。

4.1.2.2 操作步骤

(1) 被调查者首先需要阅读指标统计说明以及调查步骤说明，以获得对所

要评价指标一定程度的认识。

(2) 打开软件 (EXCEL 表格), 进入“问卷填写表”, 依次完成四个单元的问题回答。“问卷填写表”中带下拉框的区域为选择区, 见图 4-4。调查者所要做的是根据自己的经验, 对每个单元内的指标相对重要性做出判断。相对重要性共分为 9 个等级, 依次对应表 2-1 中的 1-9 标度及其含义。

一级指标相对重要性的比较	不一致	源头技术指标	末端技术指标	关联管理指标
		同等重要	i 元素比 j 元素稍重要	i 元素比 j 元素强烈重要
			i 元素比 j 元素稍重要	i 元素比 j 元素极端不重要
			i 元素比 j 元素稍重要	同等重要

图 4-4 调查表下拉框使用示意图

Figure 4-4 Operation of Drop-down List in Questionnaire

然后, 将每个单元中所要判断的 i 指标和 j 指标两两比较, 得出它们之间相对的重要性, 即在下拉框中选择合适的结论。

(3) 检查每个单元的填写结果, 避免出现逻辑前后不一致现象发生。如某单元出现逻辑矛盾, 则该单元表格判断区域中的“判断结果”显示为“不一致”; 如该单元无逻辑矛盾, 则显示为“一致”。

(4) 检查无误后, 在“单人打分结果”页中自动出现一级权重、二级权重、总排序权重。问卷调查者可根据总排序权重, 来验证各指标权重是否符合自己的判断。

(5) 最后, 问卷调查者需要填写“基本信息”, 以便后期数据处理中的统计专家话语的权威性。如果问卷填写者对该问卷设计有问题或建议, 也可填入该页的意见回执表中。

4.1.3 收集权重反馈信息

制作好权重调查问卷软件后, 将其发送给钢铁行业领域的专家和学者进行调研, 整个过程采用德尔菲法 (Delphi Method) 进行操作。该方法依据系统的程序, 采用匿名发表意见的方式, 即专家之间不得互相讨论, 不发生横向联系, 只能与调查人员发生关系, 通过多轮次调查专家对问卷所提问题的看法, 经过反复征询、

归纳、修改，最后汇总成专家基本一致的看法，作为预测的结果。这种方法具有广泛的代表性，较为可靠。

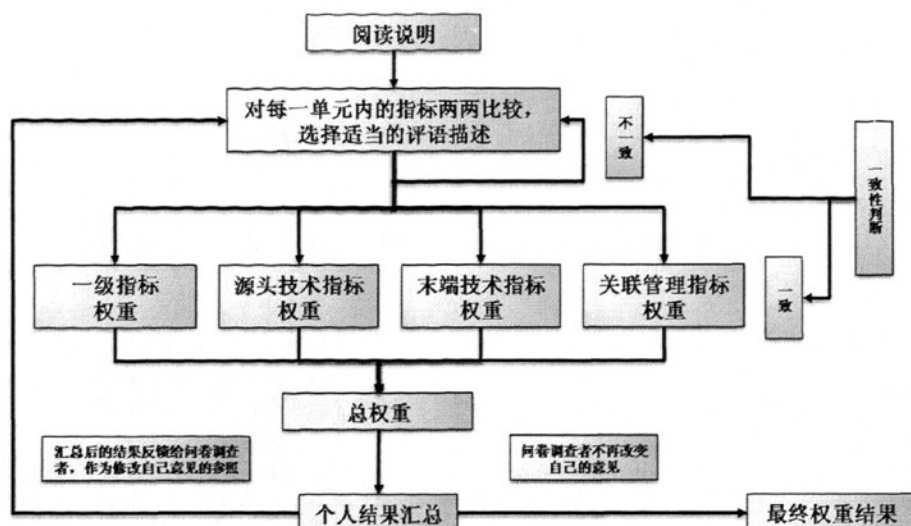


图 4-5 层次分析法与德尔菲专家法结合收集权重信息

Figure 4-5 Collecting Weights by AHP and Delphi Method

实施步骤:

(1) 按照钢铁工业生态化评价指标体系所涉及到的知识范围，邀请一些业内知识丰富的专家和环保部门人员参与调查，组成论文专家小组。

(2) 向所有问卷调查者提出所要预测的问题及有关要求，并附上有关这个问题的所有背景材料。同时，请他们提出还需要什么材料，然后由权威专家提供书面答复。

(3) 各位问卷回答者根据他们所收到的材料，提出自己的预测意见，并说明自己是怎样利用这些材料提出预测值的。

(4) 将各位问卷回答者第一次判断意见汇总，列成图表，进行对比，再发还给他们，让他们比较自己同他人的不同意见，修改自己的意见和判断；也可以把他们的意见加以整理，或请权威专家加以评论，然后再把这些意见反馈给他们，以便他们参考后修改自己的意见。

(5) 将所有问卷调查者的修改意见收集起来，汇总，再次发还给他们，以便做第二次修改。

逐轮收集意见并反馈信息是德尔菲法的主要环节,收集意见和信息反馈一般要经过三至四轮。在向问卷回答者进行反馈的时候,只给出各种意见,但并不说明发表各种意见者的具体姓名。这一过程重复进行,直到每一个问卷调查者不再改变自己的意见为止。

4.1.4 确定指标体系权重

本文为获得科学合理的指标权重,邀请了 56 位钢铁行业专家学者(分别来自宝钢、首钢、首秦、钢铁研究总院和东北大学)按照上述要求进行了打分,由此初步确定了各层次、各指标的权重。其中,对收集来的 56 分权重信息采用最大组中值法进行处理,具体步骤如下(详见附录 1 权重信息收集过程及计算方法):

(1) 对专家所赋予的权数变量 W_{ij} ($i=1,2,\dots,19; j=1,2,\dots,56$) 分组。先从各个评价指标中找出最大值 $W_{\max}$ 和最小值 $W_{\min}$; 再确定各评价指标分组的组数 p , 本文取 $p=5$; 而后利用公式 $\frac{W_{\max} - W_{\min}}{p}$ 计算出 W_{ij} 分组的组距, 分别将每个指标收集来的权重从小到大分为 p 组。

(2) 计算各组权重的频数, 即统计 19 个指标的 56 个权重变量分布在五组中的个数。

(3) 根据频数的分布情况, 取最大频数所在组的组中值为指标的权数 W_i ($i=1,2,\dots,19$), 从而得出权重向量。若 $\sum_{i=1}^{19} W_i \neq 1$, 须做归一化处理。

最终, 得到各级指标的权重, 如表 4-1 所示。

表 4-1 根据反馈信息得到的各级指标权重

Table 4-1 Acquiring Weights Based on information Collected

分类	一级权重	指标	二级权重	权重
源头技术指标	0.44394	废钢系数	0.23465	0.10417
		吨钢综合能耗	0.13124	0.05826
		吨钢新水消耗量	0.26969	0.11973
		吨钢天然矿物消耗量	0.11114	0.04934
		绿色产品和技术销售比重	0.25328	0.11244

分类	一级权重	指标	二级权重	权重
末端技术指标	0.39524	吨钢废渣排放量	0.08963	0.03543
		吨钢尘排放量	0.11220	0.04435
		吨钢 SO ₂ 排放量	0.11015	0.04354
		吨钢 CO ₂ 排放量	0.13313	0.05262
		吨钢 NO _x 排放量	0.17212	0.06803
		吨钢废水排放量	0.15576	0.06156
		吨钢 COD 排放量	0.15550	0.06146
		固体废弃物再资源化率	0.07150	0.02826
中间管理指标	0.16082	ISO14000 认证单位员工比例	0.18298	0.02943
		损失工时的工伤频率	0.25885	0.04163
		员工平均培训天数	0.10115	0.01627
		环境信息发布	0.08725	0.01403
		营业利润率	0.18595	0.02990
		消纳、处理社会废弃物	0.18382	0.02956

从指标权重可以看出,目前我国钢铁工业已经认识到节能减排措施对于可持续发展、构建生态友好型企业的重要性。但是,也从另一个方面暴露出我国钢铁企业环境管理意识的单薄。在不远的未来,技术升级和产业结构调整对生态化建设的作用会遭遇瓶颈,到那时科学有效的管理手段(例如 ISO 9001 质量管理体系、ISO 14001 环境管理体系、OHSAS 18001 职业健康与安全评价体系标准等)便会成为推动中国钢铁工业生态化的主导力量。

4.2 对指标数据进行处理

4.2.1 评价基准值的确定

本指标体系确定各定量评价指标基准值的依据是:

(1) 凡国家或行业在有关政策、规划等文件中对该项指标已有明确要求值的就选用其要求的数值。表 4-2 中列出了现在国家对钢铁企业的各项标准。

表 4-2 钢铁行业相关的污染物排放标准

Table 4-2 Standard for Discharge of Pollutants Relevant to Steel Industry

标准编号	标准名称
GB8978	污水综合排放标准
GB9078	工业炉窑大气污染物排放标准
GB13271	锅炉大气污染物排放标准
GB13456	钢铁企业水污染物排放标准
GB16171	炼焦炉大气污染物排放标准
GB16297	大气污染物综合排放标准
GB/T24001	环境管理体系 规范及使用指南

(2) 凡国家或行业对该项指标尚无明确要求值的, 则选用国内外重点大中型钢铁企业近年来实际达到的中上等水平的指标值, 据此得到的评价基准值基本代表了行业的先进水平。

(3) 定性指标和某些百分数指标设基准值为 1 (100%), 其中定性指标若满足要求, 则取值为 1; 不满足要求, 取值为 0。表 4-3 对指标基准值的来源进行了分类。

表 4-3 指标基准值来源分类

Table 4-3 Sorts of Indicator Benchmarks Resource

基准值来源	指标名称
国家标准	吨钢综合能耗、吨钢新水消耗量、吨钢尘排放量、吨钢 SO ₂ 排放量、吨钢 NO _x 排放量、吨钢 COD 排放量、吨钢废水排放量
国外钢铁行业先进水平	废钢指数、吨钢 CO ₂ 排放量、吨钢 NO _x 排放量、ISO14000 认证单位员工比例、损失工时的工伤频率、员工平均培训天数
当年国内大中型企业平均水平	吨钢天然矿物消耗量、吨钢废渣排放量、营业利润率
基准值为 1 (100%)	绿色产品和技术销售比重、固体废弃物再资源化率、环境信息发布、消纳、处理社会废弃物

注: 外国钢铁行业先进水平主要参考《世界钢铁业可持续发展报告 (2005 年版)》; 吨钢 NO_x 排放量基准值来自于阿塞勒集团 (Arceolor S.A.) 2004 年数据。

根据前面指标和基准值的解释说明, 通过收集整理得到的指标基准值如表

4-4 所示:

表 4-4 评价体系基准值

Table 4-4 Indicator Benchmarks for Evaluation System

指标	基准值	单位
废钢系数	42.7	%
吨钢综合能耗	700	千克标准煤/吨
吨钢新水消耗量	6	吨/吨
吨钢天然矿物消耗量	2.4 ^①	吨/吨
绿色产品和技术销售比重	100	%
吨钢废渣排放量	350	千克/吨
吨钢尘排放量	1.3	千克/吨
吨钢 SO ₂ 排放量	1	千克/吨
吨钢 CO ₂ 排放量	1.7	吨/吨
吨钢 NO _x 排放量	1.11	千克/吨
吨钢废水排放量	3	吨/吨
吨钢 COD 排放量	0.2	千克/吨
固体废弃物再资源化率	100	%
ISO14000 认证单位员工比例	90.7	%
损失工时的工伤频率	6.6	次/1 百万工时
员工平均培训天数	9.9	培训天数/员工
环境信息发布	1	——
营业利润率	5.76 ^②	%
消纳、处理社会废弃物	1	——

19 项指标中,“吨钢天然矿物消耗量”和“营业利润率”根据当年我国钢铁行业整体状况计算:

①吨钢天然矿物消耗量:2005 年全国钢铁行业消耗铁矿石、煤炭、焦炭和石灰石总量,除以当年全国粗钢产量 35324 万吨^[58]。

②营业利润率:2005 年大中型钢铁企业的主营业务利润(税前)为 7296740 万元^③,主营业务产品销售收入为 126653050 万元,当年大中型钢铁企业营业利润率为 5.76%^[59]。

^③ 主营业务收入净额—主营业务成本—主营业务税金及附加—经营费用—销售费用—管理费用—财务费用
=126653050—109459060—707696—287239—1515214—5912658—1474443=7296740 万元(单位:万元)

4.2.2 定量评价指标的无量纲化

由于各指标的量纲（单位）不同，不能进行相互比较和计算，在综合分析前必须对各指标进行无量纲化处理。所谓的指标无量纲化就是清除量纲和数量级的影响，将指标的实际值转化为可以综合的指标评价值，从而实现评价指标的可综合性。常用的无量纲化处理方法有相对化处理法、功效系数法、标准化处理法和最优值距离法等几种。鉴于衡量我国钢铁工业生态化的现有标准不全和钢铁企业数据样本有限等原因，论文采用相对化处理法对定量指标无量纲化处理。

定量评价的指标从其数值情况来看，可分为两类情况：一类该指标的数值越低越符合总目标的要求，即逆指标，如能耗、水耗、污染物排放量等指标；另一类是指标的数值越高越符合总目标的要求，即正指标，如取得 ISO14000 认证的比例数。因此，根据钢铁工业生态化的判别基准，选用环境管理指数方法对指标进行标准化。对于取值越高企业生态化程度越低的指标，需要将计算式中的分子分母倒置。对指标的考核评分，根据其类别采用两种计算模式。

对指标数值越高越符合生态化要求的正指标，其计算公式为：

$$C_i = \frac{C_{xi}}{C_{oi}}$$

对指标数值越低越符合生态化要求的逆指标，其计算公式为：

$$C_i = \frac{C_{oi}}{C_{xi}}$$

式中：

C_i —第 i 项定量评价指标的单项评价指数，其值取小数点后五位；

C_{xi} —第 i 项定量评价指标的实际值（考核年度实际达到值）；

C_{oi} —第 i 项定量评价指标的评价基准值。

论文中，各指标的单项评价指数的正常值一般在 1.0 左右，但当其实际数值远小于（或远大于）评价基准值时，计算得出的 C_i 值就会较大。有的指标如果 C_i 偏离 1.0 的程度大时，计算结果就会偏离实际，对其他评价指标的单项评价指数产生较大干扰，所以，我们采用给 C_i 设置上限的方法，对单项评价指数大于或

等于 1 的，均设上限为 1。

4.3.3 缺失数据的处理

论文所构建的钢铁工业生态化评价指标体系是一个内容涵盖广泛的体系，这就不可避免地产生一个问题：大部分钢铁企业不能对每项指标都提供详尽的数据，或是该企业根本不存在某些指标所对应的工艺流程，这就要求我们在企业缺失一部分指标数据的情况下对其进行评价。

在处理缺失数据的过程中，我们所采用的方法是权重的重新分配法，即属于相同类别的指标如果缺失的话，可以把该类别的权重在剔除缺失项后，将剩下的权重归一化再分配，具体操作步骤见附录二。这样，我们就可以根据企业所能够提供的指标数据得出该企业生态化程度的大致结果。但是，缺失数据不能过多，否则将会对结果的准确性产生较大影响。

二级权重归一化公式是：

$$W'_i = \frac{W_i}{\sum_{i=a}^b W_i}$$

$$\sum_{i=a}^b W'_i \neq 1$$

式中， W'_i 为剔除缺失数据后的第 i 项二级指标权重， W_i 为未剔除缺失数据的指标中第 i 项二级指标权重； $\sum_{i=a}^b W_i$ 为不包含缺失数据的其他二级指标权重之和，其中 a 和 b 为同类二级指标权重的序号（缺失数据无序号）。下面以首钢末端技术指标为例进行说明。

首钢所提供的数据中，末端技术指标缺失了“吨钢 CO_2 排放量”和“吨钢 NO_x 排放量”两项，本文作了以下处理：

（1）假设指标都齐全，根据问卷调查者的填表结果做出层次单排序；

（2）剔除缺失数据项对应的二级指标，然后将剩余的二级指标归一化后再层次总排序。

例如，将首钢数据中末端技术指标缺失的两项剔除，则变为表 4-5 形式。

表 4-5 剔除首钢末端技术指标中缺失项后的二级权重

Table 4-5 Second-level Weights in Terminal Technology after Delecting Missing Indicators

末端技术指标	指标	剔除缺失项后的二级权重
	吨钢废渣排放量	0.08963
	吨钢尘排放量	0.11220
	吨钢 SO ₂ 排放量	0.11015
	吨钢废水排放量	0.15576
	吨钢 COD 排放量	0.15550
	固体废弃物再资源化率	0.07150

然后，将剔除缺失项后的二级权重归一化，得到表 4-6 形式。

表 4-6 剔除首钢末端技术指标中缺失项后的二级权重（归一化后）

Table 4-6 Second-level Weights in Terminal Technology after Delecting Missing Indicators
(Normalization)

末端技术指标	指标	归一化的二级权重
	吨钢废渣排放量	0.12901
	吨钢尘排放量	0.16150
	吨钢 SO ₂ 排放量	0.15855
	吨钢废水排放量	0.22420
	吨钢 COD 排放量	0.22383
	固体废弃物再资源化率	0.10291

最后，将归一化后的二级指标权重与一级指标权重相乘，得到层次总排序的权重，见表 4-7。

表 4-7 剔除首钢末端技术指标中缺失项后的层次总排序

Table 4-7 Final-level Weights in Terminal Technology after Delecting Missing Indicators

末端技术指标	指标	层次总排序的权重
	吨钢废渣排放量	0.05099
	吨钢尘排放量	0.06383
	吨钢 SO ₂ 排放量	0.06267
	吨钢废水排放量	0.08861
	吨钢 COD 排放量	0.08847
	固体废弃物再资源化率	0.04068

4.3 计算综合评价指数

所谓多指标综合评价,就是指通过一定的数学模型将多个评价指标值“合成”为一个整体性的综合评价值,其中,加权加和法是最常使用的评价方法。采用加权加和法的关键在于确定指标体系并确定各指标的权重系数,然后与无量纲处理后的单项评价指数对应加权加和计算出表征钢铁企业生态化程度的综合评价指数,根据该指数的大小,我们可以横向比较钢铁行业内各家企业生态化的程度,也可以纵向反映某家钢铁企业不同年份生态化程度的变化趋势。

本文中选用了三种计算综合评价指数的方法,不同点在于权重的选取,分为有权重、等权重和无权重三种。这样做的目的在于分析权重大小对我们最终评价结果的影响。

4.3.1 有权重的综合评价指数

这里的“有权重”指的是通过 AHP 分析法和德尔菲专家反馈法收集得到各指标权重。计算公式为: 计算公式为:

$$G = \sum_{i=1}^{19} W_i \times C_i$$

其中, G 为钢铁企业生态化程度的综合评价指数, W_i 为第 i 项指标的权重, C_i 为第 i 项指标的单项评价指数。

为了使结果便于比较,我们可将该指数变为百分制结果,公式为:

$$G' = G \times 100$$

G' 为钢铁企业生态化程度的综合评价指数的百分制结果。

4.3.2 等权重的综合评价指数

设定三大类指标相对于总目标的权重相等,每大类指标中的指标相对于大类指标的权重也相等。再根据综合评价指数计算公式得到钢铁企业生态化程度的综合得分。对于本指标体系,一级权重均为 $1/3$,三类二级权重依次为 $1/5$ 、 $1/8$ 和 $1/6$ 。

4.3.3 无权重的综合评价指数

无权重相当于各项指标相对于总目标都是同等重要的,即 W_i 都为 $\frac{1}{n}$, n 为企业提供数据的指标个数。无权重综合评价指数计算公式为:

$$G_{\text{无}} = \sum_{i=1}^n C_i$$

其中, $G_{\text{无}}$ 为钢铁企业生态化程度的无权重综合得分, C_i 为第 i 项指标的单项评价指数。如将该得分变为百分制结果,计算公式为:

$$G'_{\text{无}} = \frac{G_{\text{无}}}{n} \times 100$$

$G'_{\text{无}}$ 为钢铁企业生态化程度的无权重综合得分的百分制结果。

4.3.4 综合评价指数的评估标准

将钢铁企业生态化程度划分为五个等级,每个等级对应相应的综合得分区间,同时也表征了钢铁企业在生态化方面的某种状态。具体划分见表4-8。

表 4-8 钢铁企业生态化等级划分标准

Table 4-8 Classifying Standard for Steel Enterprises Eco-industrialization Degree

钢铁企业生态化等级	表征状态	对应得分区间	颜色表征
I	恶劣状态	[0~60]	红色
II	较差状态	[60~70]	橙色
III	一般状态	[70~80]	黄色
IV	良好状态	[80~90]	蓝色
V	理想状态	[90~100]	绿色

每种状态的表征意义如下:

①恶劣状态:资源、能源使用效率低,单位产品污染物排放量大,环境管理意识差,难以实现投资效益、经济效益、社会效益和环境效益的协调发展。

②较差状态:资源、能源使用效率较低,单位产品污染物排放量较大,环境管理意识较差,阻碍了投资效益、经济效益、社会效益和环境效益的协调发展。

③一般状态:资源、能源使用效率一般,单位产品污染物排放量相当于全国

平均水平，具有一定的环境管理意识，基本实现投资效益、经济效益、社会效益和环境效益的协调发展。

④良好状态：资源、能源使用效率较高，单位产品污染物排放量较少，环境管理意识较高，促进了投资效益、经济效益、社会效益和环境效益的协调发展。

⑤理想状态：资源、能源使用效率高，单位产品污染物排放量少，环境管理意识高，保证了投资效益、经济效益、社会效益和环境效益的协调发展。

但是，现实中也可能会出现某些指标较好，而另一个或者几个指标较差，特别是由于指标权重的因素，较差的指标即使很少，但却将总分值拉下来的情况。所以上述分值与表征特征的关系还要看具体情况来分析。

4.4 本章小结

本章重点对指标体系的相关数据进行处理，主要包括指标权重的收集、指标评价基准值的确定和综合评价结果的计算方法。指标权重收集方面，根据 AHP 分析法原理编制了一套权重调查问卷，然后采用德尔菲专家反馈法所规定的流程方式收集到 56 份有效反馈信息，并根据这些权重信息处理得到逐级、逐个指标的权重；然后，根据国内外钢铁行业相关标准和发展水平，确定每个指标对应的评价基准值，以此得到每个指标的单项评价指标；最后，采用加权加和公式计算生态化综合评价指数。

第 5 章 钢铁工业生态化评价实例

基于对宝山钢铁股份有限公司、首钢京唐钢铁联合有限责任公司、济钢集团有限公司以及新日本制铁株式会社相关文献、数据的收集和整理,利用论文建立的评价模型,本章对这四家企业的生态化程度进行了实证分析。

5.1 基于 2005 年数据对国内三家钢铁企业进行生态化评价

5.1.1 三家企业数据的来源与处理

根据以上设计,本节试算了 2005 年宝山钢铁股份有限公司(以下简称宝钢)、首钢京唐钢铁联合有限责任公司(以下简称首钢)和济钢集团有限公司(以下简称济钢)的生态化综合评价指数。三家企业的数据大部分分别由宝钢环境保护与资源利用部、首钢环境保护部和济钢总公司提供^[58, 60-61]。其中首钢总公司数据缺少“吨钢 CO₂ 排放量”、“吨钢 NO_x 排放量”、“损失工时的工伤频率”和“员工平均培训天数”四项;济钢总公司缺少“吨钢天然矿物消耗量”、“吨钢 CO₂ 排放量”、“损失工时的工伤频率”和“员工平均培训天数”四项。每项数据的来源如表 5-1 所示。

表 5-1 宝钢、首钢和济钢三家钢铁企业相关数据的来源

Table 5-1 Data Resource of Three Domestic Steel Enterprises

指标	宝钢	首钢	济钢
废钢系数	根据 2006 年公司实录计算	取自 05 年环境报告书	济钢总公司提供
吨钢综合能耗	环境保护与资源利用部提供	环境保护部提供	2006 中国钢铁工业年鉴
吨钢新水消耗量	环境保护与资源利用部提供	环境保护部提供	2006 中国钢铁工业年鉴
吨钢天然矿物消耗量	根据 2006 年公司实录计算	估算	缺失
绿色产品和技术销售 比重	根据宝钢股份有限公司 2005 年度报告计算	根据 2006 中国钢铁工业年 鉴计算	根据 2006 中国钢铁工业年鉴 计算
吨钢废渣排放量	环境保护与资源利用部提供	取自 05 年环境报告书	济钢总公司提供
吨钢尘排放量	环境保护与资源利用部提供	环境保护部提供	济钢总公司提供
吨钢 SO ₂ 排放量	环境保护与资源利用部提供	环境保护部提供	济钢总公司提供
吨钢 CO ₂ 排放量	环境保护与资源利用部提供	缺失	缺失
吨钢 NO _x 排放量	环境保护与资源利用部提供	缺失	济钢总公司提供

指标	宝钢	首钢	济钢
吨钢废水排放量	环境保护与资源利用部提供	环境保护部提供	济钢总公司提供
吨钢 COD 排放量	环境保护与资源利用部提供	环境保护部提供	济钢总公司提供
固体废弃物再资源化率	采用宝钢股份数据代替	环境保护部提供	济钢总公司提供
ISO14000 认证单位员工比例	环境保护与资源利用部提供	环境保护部提供	济钢总公司提供
损失工时的工伤频率	环境保护与资源利用部提供	缺失	缺失
员工平均培训天数	环境保护与资源利用部提供	缺失	缺失
环境信息发布	环境保护与资源利用部提供	环境保护部提供	济钢总公司提供
营业利润率	根据 2006 年公司实录计算	根据年报计算	济钢总公司提供
消纳、处理社会废弃物	环境保护与资源利用部提供	环境保护部提供	济钢总公司提供

注：宝钢分公司数据中，凡是根据 2006 年公司实录计算得到的，均为宝钢股份数据替代。

宝钢分公司的“废钢系数”、“吨钢天然矿物消耗量”和“营业利润率”三项指标由宝钢股份的来代替。

根据宝钢 2006 年公司实录，2005 年宝钢股份粗钢产量为 1836.1 万吨，因此，“废钢系数”和“吨钢天然矿物消耗量”两项指标根据公式计算分别为 15.7% 和 2.85 吨/吨。

2005 年宝钢股份的主营业务销售收入为 1266.08 亿元，主营业务税前利润为 126.66 亿元；2005 年首钢总公司主营业务销售收入为 806 亿元，主营业务税前利润为 16 亿元。根据公式计算得到它们的营业利润率分别为 21% 和 1.99%。

对首钢“吨钢天然矿物消耗量”指标进行估算。取石灰石消耗量为全国平均水平（生产 1 吨钢消耗 0.8 吨石灰石），煤炭消耗量为标准煤折算量（生产 1 吨钢消耗 1.13 吨煤炭），当年首钢铁矿石有 60% 为进口（国内铁矿生产 1 吨钢要消耗可采储量 3.5 吨，进口矿取消耗 1.6 吨），因此，2005 年首钢大致每吨钢消耗了 4.29 吨天然矿物^④。

2005 年，宝钢、首钢总公司和济钢总公司分别生产钢材 1400 万吨、854 万吨和 807 万吨，出口钢材分别为 209 万吨、135.72 万吨和 101.52 万吨，采用计算得到的比重代替它们的“绿色产品和技术销售比重”，分别为 8.72%、15.89% 和 12.58%。

^④ $0.8 + 1.13 + 1.6 \times 60\% + 3.5 \times 40\% = 4.29$

表 5-2 四家钢铁企业指标数据汇总

Table 5-2 Data of Four Steel Enterprises in 2005

分类	指标 (单位)	宝钢	首钢	济钢	新日铁
源头技术指标	废钢指数 (%)	15.7	1.6	6.78	10
	吨钢综合能耗 (千克标准煤/吨)	687	747	670	725
	吨钢新水消耗量 (吨/吨)	3.77	4.98	3.87	12.8
	吨钢天然矿物消耗量 (吨/吨)	2.85	4.29	缺失	2.94
	绿色产品和技术销售比重 (%)	14.93	15.89	12.58	30
末端技术指标	吨钢废渣排放量 (千克/吨)	280	529.15	351	11
	吨钢尘排量 (千克/吨)	0.66	0.66	0.44	1.87
	吨钢 SO ₂ 排放量 (千克/吨)	1.72	0.97	1.05	0.63
	吨钢 CO ₂ 排放量 (吨/吨)	2.02	缺失	缺失	2.05
	吨钢 NO _x 排放量 (千克/吨)	1.5	缺失	0.76	1.17
	吨钢废水排放量 (吨/吨)	0.85	0.64	1.33	缺失
	吨钢 COD 排放量 (千克/吨)	0.023	0.018	0.084	0.03
	固体废弃物再资源化率 (%)	98.11	99.98	100	98
关联管理指标	ISO14000 认证单位员工比例 (%)	95	100	100	100
	损失工时的工伤频率 (次/百万工时)	2.3	缺失	缺失	0.4
	员工平均培训天数 (天/人)	7	缺失	缺失	缺失
	环境信息发布	1	1	1	1
	营业利润率 (%)	21	1.99	4.65	8
	消纳、处理社会废弃物	1	1	1	1

5.1.2 三家企业生态化程度综合评价结果

根据本文计算综合评价指数的三种方法,得到的评价结果见表 5-3 (具体计算过程见附录 2 生态化综合评价指数计算过程)。

表 5-3 2005 年宝钢、首钢和济钢的生态化综合评价指数

Table 5-3 Comprehensive Evaluation Value of Three Domestic Steel Enterprises in 2005

	宝钢	首钢	济钢
有权重	78.11	73.19	77.93
等权重	83.87	77.28	83.86
无权重	85.32	78.00	86.94

可以看出,三种方法得到的结果大致相同,生态化程度由高到低分别为宝钢、济钢和首钢。

从表 5-3 的数据中可以看出,三家公司的生态化指标数据各有千秋,如果不用论文设计的生态化程度的指数计算方法,无法对其优劣进行比较;而使用了论文设计的生态化程度指数计算方法后,其程度水平就可以排出顺序来了。

根据钢铁企业生态化等级划分标准,在有权重情况下三个企业都处于“一般状态”;在等权重和无权重情况下宝钢与济钢则上升到“良好状态”,而首钢仍为“一般状态”,说明我国的钢铁工业生态化程度和水平还有提高的空间。

5.1.3 采用可持续发展指标对评价结果进行分析

本节将宝钢、首钢和济钢三家企业的数据代入国际钢铁协会提出的可持续发展指标体系,从钢铁工业的经济、环境、社会绩效三方面进行考察,见表 5-4。11 项指标中的“在新产品和新工艺中的投资”和“经济增加值”两项由于三家企业缺乏相关统计,因此全部缺失;“温室气体排放”、“员工培训”和“损失工时的工伤频率”三项,首钢和济钢两家缺失;“投资回报率”指标可以根据三家公司各自的年报可以计算得到,相关数据见表 5-5。

表 5-4 宝钢、首钢和济钢相关财务数据

Table 5-4 Relevant Financial data of Three Domestic Steel Enterprises

	资产总额 (万元)	流动负债 (万元)	利润总额 (万元)	投入资本 (万元)	投资回报率 [®] (%)
宝钢	14202423.6	4267817.88	1831077.36	9934605.72	18.43
首钢	1513736.42	117546.10	115577.75	1396190.32	8.28
济钢	1451518.79	881198.28	127781.34	570320.51	22.41

[®] 投资回报率等于息税前利润除以投入资本(总资产和流动负债之差)。

表 5-5 国际钢铁协会可持续发展指标体系下三家钢铁企业的指标值

Table 5-5 Indicator Value of Three Steel Enterprises According to The indicators and the Measure of Sustainability

序号	指标	指标值	宝钢	首钢	济钢	单位
经济类	1 在新产品和新工艺中的投资	6.2	缺失	缺失	缺失	占收入的比例
	2 运营利润率	15.7	21	1.99	4.65	占收入的比例
	3 投资回报率	22.3	18.43	8.28	22.41	占资本的比例
	4 经济增加值	11.7	缺失	缺失	缺失	占收入的比例
	5 能耗强度	19.1	20.11	21.86	19.61	吉焦/公吨粗
环境类	6 温室气体排放	1.7	2.02	缺失	缺失	公吨 CO ₂ /公吨粗钢产品
	7 材料利用效率	95.6	98.11	99.98	100	百分比
	8 钢的回收利用	42.7	15.7	1.6	6.78	占粗钢的比例
	9 环境管理体系	90.7	95	100	100	在已注册的工业企业工作的员工和合同者的比例
社会类	10 员工培训	9.9	7	缺失	缺失	培训天数/员工
	11 损失工时的工伤频率	6.6	2.3	缺失	缺失	发生次数/1 百万工时

注：“能耗强度”指标的单位与我国常用能耗单位不同，根据每吨标准煤燃烧可以收到基低位热值为 29.27 吉焦（GJ）计算，可以将三家企业的该项指标进行转换；“钢的回收利用”指标在我国钢铁行业即指“废钢系数”。

从表 5-5 可以看出，与国际钢铁协会的可持续发展指标比较，这三家国内重点钢铁企业虽然在“能耗强度”、“材料利用效率”指标方面接近世界水平，但是其他多项指标还存在一定差距，表现为：三家企业的经济类指标在某方面表现较好，其他方面却较差，经济运行状况存在隐患；环境类指标方面，钢的回收利用程度较低，这也是我国迫切需要推广节能环保型电炉炼钢、促进废钢循环利用、鼓励废钢进口等一系列政策措施的缘由；社会类指标方面，明显表现出与国际水平的差距。

另外，数据缺失严重的情况也从侧面说明一个问题：在对钢铁企业生态化评价的过程中，数据的统计和收集存在很多困难，甚至企业本身就没有这方面的记

录,生态化管理手段和措施还有待于在我国钢铁行业中大力推广。

5.2 基于 2005 年数据与新日铁公司进行生态化程度比较

为衡量我国钢铁企业在国际钢铁行业生态化进程中所处的位置,本节将 2005 年的宝山钢铁股份有限公司、首钢京唐钢铁联合有限责任公司、济钢集团有限公司以及新日本制铁株式会社(以下简称新日铁)的生态化程度比较。新日铁的数据来自《2005 年新日铁的可持续发展报告书》(见上一节表 5-5)^[62],对其缺失数据同样采用了重新分配权重的方法。考虑到要充分凸出各家企业的优势和新日铁作为国外公司不适用我国各种现行环保标准等两点因素,将基准值换为这四家企业各项指标中的最优值,新的基准值见表 5-6。

表 5-6 四家公司比较时使用的评价体系基准值

Table 5-6 Benchmarks for Evaluation among Four Steel Enterprises

目标	分类	指标	基准值	单位
钢铁工业生态化	源头技术指标	废钢系数	15.7	%
		吨钢综合能耗	687	千克标准煤/吨
		吨钢新水消耗量	3.77	吨/吨
		吨钢天然矿物消耗量	2.85	吨/吨
		绿色产品和技术销售比重	30	%
	末端技术指标	吨钢废渣排放量	11	千克/吨
		吨钢尘排放量	0.44	千克/吨
		吨钢 SO ₂ 排放量	0.63	千克/吨
		吨钢 CO ₂ 排放量	2.02	吨/吨
		吨钢 NO _x 排放量	0.76	千克/吨
		吨钢废水排放量	0.64	吨/吨
		吨钢 COD 排放量	0.018	千克/吨
		固体废弃物再资源化率	100	%
	关联管理指标	ISO14000 认证单位员工比例	100	%
		损失工时的工伤频率	0.4	次/1 百万工时
		员工平均培训天数	7	培训天数/员工
		环境信息发布	1	——
		营业利润率	21	%
		消纳、处理社会废弃物	1	——

使用新的评价体系基准值,本文对四家企业进行了生态化综合评价指数的计算,评价结果见表 5-7。

表 5-7 2005 年宝钢、首钢、济钢与新日铁的生态化综合评价指数

Table 5-7 Comprehensive Evaluation Value of Four Steel Enterprises in 2005

	宝钢分公司	首钢总公司	济钢总公司	新日铁 ^①
有权重	76.86	66.77	66.79	75.34
等权重	79.68	69.70	70.99	80.82
无权重	77.46	69.36	69.16	80.47

有权重的情况下新日铁生态化程度排在宝钢分公司之后,其他两种情况下新日铁位居第一。但是,新日铁在有权重时,生态化程度得分为 75.34,处在“一般状态”,在等权重和无权重时都在 80 分以上,处在“良好状态”,由此可以看出权重的影响。

相对于我国的三家钢铁企业,新日铁的“吨钢新水消耗量”指标为 12.8 吨/吨,超过我国三家企业二倍多,而我们赋予该指标的权重值由较高,这是其在有权重情况下排名下降的主要原因。

我国是一个贫水国家,北方人均淡水量则更少,所以我们强调节水;但是,日本是个岛国,年均降水量 1000 毫米,对于新日铁来说水资源不是限制他们发展的要素。世界各国的自然资源拥有量不同,他们的钢铁企业在生态化进程中考虑的各因素重要性也不尽相同,反映在源头技术指标中的“吨钢综合能耗”、“吨钢新水消耗量”和“吨钢天然矿物消耗量”的数据会有较大差别。所以,在跨国比较时应注意指标差距背后的原因。

新日铁的“绿色产品和技术销售比重”、“吨钢废渣排放量”、“损失工时的工伤频率”等三项指标非常凸出,分别为 30%、11 千克/吨和 0.4 次/百万工时,远远好于我国钢铁企业。由此可见,这三项内容将是我国钢铁企业今后生态化努力的重点方向。

总之,通过对比可以发现:我国钢铁企业在生态化方面所做的努力已见成效,而且在某些方面甚至达到了世界先进水平。论文只对国内三家重点钢铁企业的生态化程度进行了计算,其他企业由于其统计指标难以获得等原因没有计算。根据张寿荣的研究^[63],我国钢铁业总体实际能耗比重点企业能耗要高得多,这说明众多企业,特别是中小企业的生态化水平还大有提高的空间。

^①《2006 年新日铁可持续发展报告》中没有“吨钢废水排放量”和“员工平均培训天数”两项指标的相关信息,缺失数据采用权重的重新分配法处理。

5.3 本章小结

本章基于 2005 年宝钢、首钢、济钢和新日铁的数据，在两种基准值条件下，对其有权重、等权重、无权重的三种综合指数分别进行了计算。通过对比可以发现，我国优秀钢铁企业在生态化方面所做的努力已见成效，而且在某些方面甚至达到了世界先进水平。但在“绿色产品和技术销售比重”、“吨钢废渣排放量”、“损失工时的工伤发生频率”三项指标上，我国钢铁企业与世界先进水平还有差距，这三项内容将是我国钢铁企业今后向着生态化努力的方向。

结 论

本文通过对可持续发展、工业生态化、绿色制造、清洁生产、PSR 环境模型和 AHP 分析法等理论的应用,以及对世界钢铁工业面临的主要资源环境问题的研究,结合相关国际组织的经验措施和先进钢铁企业的环境管理实践,构建了一套钢铁工业生态化评价体系,并以此为基础进行了案例研究。

通过研究,本文得出以下几点结论:

第一,从收集到的 56 份有效指标权重信息可以看出,目前我国钢铁工业已经认识到节能减排措施对于可持续发展、构建生态友好型企业的重要性。但是,也从另一个方面暴露出我国钢铁企业环境管理意识的淡薄。在不远的未来,技术升级和产业结构调整对生态化建设的作用将会遭遇瓶颈,到那时,科学的管理手段(例如 ISO 9001 质量管理体系、ISO 14001 环境管理体系、OHSAS 18001 职业健康与安全评价体系标准等)便会成为推动中国钢铁工业生态化的主导力量。

第二,论文在 2005 年宝钢、首钢、济钢和新日铁的相关数据基础上,在两种基准值条件下对其有权重、等权重、无权重的三种综合指数分别进行了计算,而且结论与现有认知基本一致,说明该指标评价体系是可以应用于实际的。

第三,论文只对国内三家重点钢铁企业的生态化程度进行了计算,其他企业由于统计指标难以获得等原因没有计算,这说明在评价过程中数据的统计和收集存在很多困难,甚至某些企业本身就没有相关的记录,生态化管理手段和措施还有待于在我国钢铁行业中大力推广。另外,研究表明我国钢铁业总体实际能耗比重点企业能耗要高得多,这说明众多钢铁企业(特别是中小企业)的生态化水平还大有提高的空间。

第四,通过与新日铁的对比可以发现,我国优秀钢铁企业在生态化方面所做的努力已见成效,而且在某些方面甚至达到了世界先进水平。但在“绿色产品和技术”的销售比重、“吨钢废渣排放量”、“损失工时的工伤发生频率”三项指标上,我国钢铁企业与世界先进水平还有差距,这三项内容将是我国钢铁企业今后生态化努力的方向。

第五,世界各国的自然资源拥有量不同,他们的钢铁企业在生态化进程中考虑的各因素重要性也不尽相同,反映在源头技术指标中的“吨钢综合能耗”、“吨钢新水消耗量”和“吨钢天然矿物消耗量”的数据会有较大差别。所以,在跨国比

较时应注意指标差距背后的原因。

由于搜集资料的难度和本人学识、能力所限，论文尚存在一些不足之处。主要是：

第一，由于时间所限，对国际钢铁协会下属企业的可持续发展报告研究不够深入，一些具有代表性的指标还有待挖掘。

第二，缺乏对指标体系合理性的进一步分析，应在下一步研究中采用相类似的、较为成熟的指标体系进行验算。

第三，钢铁企业相关数据的收集工作有待加强，需要积极和企业的环保部门、统计部门和财务部门进行有效的沟通，以期达到指标体系不断完善和指标数据符合实际的目的。

第四，对于“环境信息发布”和“消纳、处理社会废弃物”两个定性指标，若今后有更多的企业开展起这两项工作，我们将进一步研究它们的定量评价方法，比如采用模糊评价方法来将定性数据变为定量数据。

第五，文中尚未运用该评价体系进行纵向评价，因此下一步研究要针对特定的几家钢铁企业，跟踪其几年之内在环境保护和经济运营方面的相关信息，并以此为依据反映我国钢铁工业生态化的进展情况。

当然，随着国家新的政策、法规和钢铁行业节能减排、清洁生产标准的出台，指标体系还可以做适当的调整，如增加新的指标或变换评价基准以及改变指标权重等，使得该评价体系能够更好地服务于我国钢铁工业的健康发展。

参考文献

- 1 林淼, 林晶, 王树岭. 可持续发展与企业管理. 中国软科学. 1999, (2): 41~45
- 2 陈黎娟, 中国钢铁工业生态化的企业管理模式研究. 北京工业大学硕士论文. 2007
- 3 World Steel in Figures 2008. World Steel Association, 2008
- 4 M.Oleksandr. Restructuring. Productivity and technical efficiency in China's iron and steel industry 1988-2000. Journal of Asian Economics. 2004, (15): 135~151
- 5 张立宏, 杜涛, 蔡九菊. 建设生态化钢铁企业的必要性及其措施. 中国冶金, 2005, 15 (7): 49~53
- 6 刘军. 以科技为先导, 管理为基础, 搞好节能环保, 促进钢铁工业可持续发展. 2001 年冶金能源环保技术会议论文集. 济南, 2001: 28~34
- 7 李新创. 影响我国钢铁工业发展的十大因素. 冶金管理, 2004, (1): 24~28
- 8 周维富. 我国钢铁工业结构的现状、问题及对策. 中国经贸导刊, 2005, (15): 16~17
- 9 D.Hitchcock, M.Willard. Sustainability: Enlarging Quality's Mission. Quality Progress, 2002, (2): 43~47
- 10 Steel Recycling Rates Fact Sheet. Steel Recycling Institute, 2004
- 11 罗冰生. 提高钢铁工业资源利用率. 中国联合钢铁网, 2006
- 12 包景岭, 孙贻超. 钢铁工业环评中清洁生产评价指标体系. 城市环境与城市生态, 2003, 16 (3): 51~53
- 13 周和敏, 李贵奇. 钢铁工业清洁生产的多目标模糊评价. 钢铁研究学报, 2001, 13 (6): 23~26
- 14 孙涵, 陈晨. 基于 BP 神经网络的钢铁企业清洁生产评价方法研究. 华东理工大学学报, 2007, (2): 74~78
- 15 马珊珊, 齐二石. 钢铁行业绿色制造评价体系研究. 科学学与科学技术管理,

2007, (9): 194~196

16 韩剑宏, 林庚.浅谈钢材的绿色制造及绿色度评价.包钢科技, 2004, 24 (1): 70~73

17 王贤琳, 张华面.向绿色制造的钢铁生产流程优化及其评价.机电工程, 2007, 24 (6): 94~97

18 沙高原, 黄志甲.产品生命周期评价在钢铁行业的应用和前景.冶金经济与管理, 2007, (5): 38~40

19 杜涛, 蔡九菊.典型钢铁生产流程的环境负荷分析.中国冶金, 2006, 16 (12): 38~41

20 张培, 田长生.钢铁产品生命周期影响评价方法.安徽工业大学学报, 2007, 24 (1): 84~88

21 Sustainability Report of the World Steel Industry 2004. International Iron and Steel Institute, 2004

22 Sustainability Report of the World Steel Industry 2005. International Iron and Steel Institute, 2005

23 Sustainability Report of the World Steel Industry 2008. World Steel Association , 2008

24 Creating Another Success Story POSCO Sustainability Report 2007. POSCO, 2007

25 Nippon Steel Sustainability Report 2008. Nippon Steel Corporation, 2008

26 Thomas Graedel, B. R. Allenby.产业生态学.第二版.清华大学出版社, 2004

27 後藤典弘.産業エコロジーのすすめ—環境負荷の少ない産業活動の実践論—, グローバルネット, 1996, 71 (10): 4~5

28 王如松.循环经济建设的产业生态学方法.产业与环境, 2003, (1): 48~52

29 段宁.清洁生产、生态工业和循环经济.环境科学研究, 2001, (06): 1~8

30 殷瑞钰, 张春霞.钢铁企业功能拓展是实现循环经济的有效途径.钢铁, 2005, 40 (7): 1~8

- 31 殷瑞钰.关于新一代钢铁制造流程的命题.上海金属, 2006, (7): 1~5
- 32 殷瑞钰, 张春霞.钢铁企业实施循环经济 为建立节约型社会做贡献.冶金管理, 2005 (5): 4~9
- 33 殷瑞钰.节能、清洁生产、绿色制造与钢铁工业的可持续发展.钢铁, 2002, (8): 1~8
- 34 胡长庆, 张春霞, 齐渊洪, 殷瑞钰.钢铁工业生态化研究进展与前景分析.钢铁.2004, 39 (8): 112~116
- 35 Jan Peter Andersen, Barry Hymna. Energy and Material Flow Models for US Steel Industry. Energy, 2001, (26): 137~159.
- 36 LEE I O. Energy and Pollutants Redueing Teehnologies in New Iron making Proeessesat POSCO. ISIJ International, 2002 (42): 533~537
- 37 European Steel Industry and Climate Change Legistation. Steel Times International, 2002, (4): 34~36
- 38 Jun KAWAI. Development of Environmenral Friendly Steel Products (Eeoproducts) at Nippon Stee. Nippon Steel Technical Report, 2000, 81 (1): 1~4
- 39 陆钟武, 池桂兴, 蔡九菊, 邵玉良.系统节能技术基础.江西冶金, 1989, (9): 39~43
- 40 戴铁军, 陆钟武. 钢铁企业生态效率分析. 东北大学学报 (自然科学版), 2005, 12 (26): 1168~1173
- 41 村井秀文等.東アジアの都市化と環境問題.Working Paper Series, 1994, 99 (7)
- 42 土木学会・環境システム委員会.環境システムーその理念と基礎手法.共立出版, 1998
- 43 殷克东.基于 PSR 模型的可持续发展研究.软科学, 2002, 16 (5): 62~66
- 44 马小明.基于压力-状态-响应模型的环境保护投资分析.环境保护, 2002, (11): 31~33
- 45 陈甲球.PSR 模型在资源环境保护中的应用分析.石材, 2006, (7): 28~30

- 46 World Development Report 2003: Sustainable Development In a Dynamic World: Transforming Institutions, Growth and, Quality of Life. Copublication of World Bank and Oxford University Press, 2003
- 47 陈国宏.组合评价系统综合研究.复旦学报(自然科学版), 2003, 42(5): 667~672
- 48 杜栋.现代综合评价方法与案例精选.清华大学出版社, 2005
- 49 三浦武雄, 浜冈尊.现代系统工程学导论.中国社会科学出版社, 1985
- 50 王宗军.综合评价的方法、问题及其研究趋势.管理科学学报, 1998, (1): 73~79
- 51 陆钟武.论钢铁工业的废钢资源.钢铁, 2004, 4(37): 66~70
- 52 刘铁男.钢铁产业发展政策指南.经济科学出版社, 2005
- 53 付保荣, 惠秀娟.生态环境安全与管理.化学工业出版社, 2005
- 54 国家环境保护总局规划与财务司.环境统计概论.中国环境科学出版社, 2003
- 55 国家环境保护总局科技标准司.钢铁行业清洁生产审核指南.化学工业出版社, 2004
- 56 钢铁工业协会.中国钢铁工业生产统计指标体系指标解释.冶金工业出版社, 2003
- 57 钢铁工业协会.中国钢铁工业生产统计指标体系指标目录.冶金工业出版社, 2003
- 58 中国钢铁工业年鉴 2006.中国钢铁工业协会信息统计部, 2006
- 59 中国钢铁工业“十五”发展概览编辑委员会.中国钢铁工业“十五”发展概览.冶金工业出版社, 2006
- 60 宝钢公司实录 2006.宝山钢铁股份有限公司, 2006
- 61 首钢环境报告书 2005.首钢安全环境保护部, 2005
- 62 Nippon Steel Sustainability Report 2006. Nippon Steel Corporation, 2006
- 63 张寿荣.钢铁工业的发展趋势与我国钢铁工业 21 世纪应对挑战的策略.宏观经济研究, 2007, (2): 10~15

附录1 权重信息收集过程及计算方法

附表 1-1 问卷填写者的基本情况

Appendix Table 1-1 Fundamental State of Questionnaire Informants

	年龄	职务	职称	学历	在钢铁业界的工作年数	对钢铁企业的了解程度
A (宝钢)	45	首席研究员	教授级高工	大学本科	23	比较了解
B (宝钢)	52	首席研究员	教授级高工	大学本科	28	很了解
C (宝钢)	43	所长	教授级高工	在读博士	23	很了解
D (宝钢)	38	主任工程师	教授级高工	硕士	13	很了解
E (宝钢)	33	科研	工程师	硕士	8	不太了解
F (宝钢)	36		高工	博士	8	比较了解
G (宝钢)	62	首席研究员	教授级高工	博士	39	很了解
H (宝钢)	50	所长	教授级高工	硕士	25	很了解
I (宝钢)	62	炼铁专家	教授级高工	本科	39	比较了解
J (首钢)	35	科研	高级工程师	博士	5	不太了解
K (东北大学)	41		教授	博士	15	比较了解
L (钢研总院)	41	主任	教授级高工	博士	4	比较了解
M (宝钢)	55	首席研究员	教授级高工	大学本科	28	比较了解
N (首钢)	39	科研员	高工	硕士	3	比较了解
O (首钢)	27	科研员	工程师	硕士	2	比较了解
P (首钢)	38	科研员	高工	硕士	4	比较了解
Q	29	技术员	工程师	硕士	4	很了解
R	37	科研员	工程师	本科	13	比较了解
S		技术员	工程师	本科	4	很了解
T (首钢)	30	科研员	中级工程师	硕士	2	比较了解
U (首钢)	35	科研员	助理工程师	大专	15	比较了解
V (首钢)	29	科研员	中级工程师	硕士	4	不太了解
W (首钢)	23	科研员		本科	1	不太了解
X (首钢)	52	事务员		本科	30	不太了解
Y (首钢)	28	科研员		硕士	1	不太了解
Z (首钢)	43	科研员	高工	本科	20	很了解
AA (首钢)	30	科研员	工程师	硕士	3	比较了解
AB (首钢)	29	科研员	中级工程师	硕士	3	不太了解
AC (首钢)	28	科研员	中级工程师	博士	1	比较了解
AD (首钢)	28	科研员		硕士	1	不太了解

	年龄	职务	职称	学历	在钢铁业界的工作年数	对钢铁企业的了解程度
AE (首钢)	28	科研人员	工程师	硕士	2	比较了解
AF (首钢)	26	科研人员		硕士	1	比较了解
AG (首秦)	35	生产主管	高工	本科	9	比较了解
AH (首秦)	43	技术主管	高工	本科	18	比较了解
AI (首秦)	29	技术员	助理工程师	本科	4	比较了解
AJ (首秦)	36	主管	工程师	硕士	6	比较了解 54
AK (首秦)	54	设备主管	高工	本科	32	很了解
AL (首秦)	34	值班主任	高工	本科	12	比较了解
AM (首秦)	28	环保管理	助理工程师	本科	3	比较了解
AN (首秦)	29	调度员	助理工程师	本科	4	不太了解
AO (首秦)	32	生产计划	工程师	本科	7	比较了解
AP (首秦)	35		工程师	本科	5	不太了解
AQ (首秦)	30	安全管理	工程师	本科	7	比较了解
AR (首秦)	36	工人	中级工程师	大专	5	比较了解
AS (首秦)	40	工人	高级工程师	高中	30	比较了解
AT (首秦)	30	工人	高级工程师	中技	5	比较了解
AU (首秦)	32	工人	高级工程师	高中	5	比较了解
AV (首秦)	28		工程师	本科	5	比较了解
AW (首秦)	51	专业员	工程师	中专	32	比较了解
AX (首秦)	25			初中	3	比较了解
AY (首秦)	27			高中	6	比较了解
AZ (首秦)	27	技术员	助理工程师	本科	3	比较了解
BA (首秦)	37	技术主管	炼钢工程师	本科	14	很了解
BB (首秦)	46	作业长	OG 工程师	本科	22	很了解
BC (首秦)	34	作业长	炼钢工程师	本科	13	很了解
BD (首秦)	38	作业长	工程师	本科	11	很了解

注:A、B、C...AF 为打分者。

附表 1-2 调查者给出权重的汇总
Appendix Table 1-2 Benchmarks from Questionnaire Informants

目标	分类	指标	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
钢铁工业生态化	源头技术指标	废钢指数	0.10571	0.01007	0.05802	0.11369	0.05173	0.02629	0.02595	0.02454	0.02222	0.06667	0.09091
		吨钢综合能耗	0.27379	0.01744	0.15027	0.11369	0.13399	0.12582	0.15027	0.14211	0.11111	0.06667	0.09091
		吨钢新水消耗量	0.12011	0.06625	0.02595	0.08638	0.02314	0.01228	0.05802	0.05487	0.11111	0.06667	0.09091
		吨钢天然矿物消耗量	0.03592	0.06625	0.15027	0.04987	0.13399	0.05878	0.15027	0.14211	0.02222	0.06667	0.09091
		绿色产品和技术的销售比重	0.13388	0.04000	0.09613	0.09091	0.08571	0.05579	0.09613	0.09091	0.06667	0.06667	0.09091
	末端技术指标	吨钢废渣排放量	0.01199	0.00704	0.00408	0.06503	0.01560	0.04742	0.08165	0.02633	0.03623	0.08601	0.06427
		吨钢尘排放量	0.01199	0.00751	0.02545	0.04941	0.09723	0.25209	0.01855	0.05944	0.04157	0.08601	0.04883
		吨钢 SO ₂ 排放量	0.06245	0.04433	0.02545	0.05668	0.09723	0.01849	0.08703	0.11586	0.04157	0.02572	0.05602
		吨钢 CO ₂ 排放量	0.02824	0.04296	0.00982	0.05668	0.08476	0.11534	0.08703	0.11586	0.04157	0.01955	0.05602
		吨钢 NO _x 排放量	0.02824	0.04433	0.00982	0.05668	0.03754	0.01545	0.01855	0.06819	0.04157	0.01485	0.04883
		吨钢废水排放量	0.08054	0.00751	0.00982	0.05668	0.03754	0.02566	0.01855	0.02295	0.04157	0.05062	0.07373
		吨钢 COD 排放量	0.01333	0.04296	0.02545	0.05668	0.01560	0.09332	0.01741	0.02295	0.04157	0.01704	0.04257
		固体废物资源化率	0.00584	0.00336	0.00408	0.05668	0.04307	0.08135	0.07660	0.02295	0.04769	0.03353	0.06427
	关联管理指标	ISO14000 认证单位员工比例	0.01136	0.01632	0.02811	0.00579	0.01347	0.01553	0.03451	0.00486	0.04455	0.03401	0.00659
		损失工时的工伤频率	0.02801	0.27392	0.13650	0.02473	0.03663	0.00274	0.00751	0.01200	0.05350	0.09251	0.02373
		员工平均培训天数	0.00461	0.06687	0.01332	0.01311	0.00602	0.01018	0.01417	0.02717	0.04455	0.01635	0.01646
		环境信息发布	0.01136	0.06687	0.02811	0.01092	0.03663	0.00228	0.01070	0.00530	0.04455	0.03703	0.00791
		营业利润率	0.02801	0.14524	0.13650	0.02727	0.03663	0.00648	0.03806	0.02959	0.05350	0.11943	0.01646
		消纳、处理社会废弃物	0.00461	0.03079	0.06285	0.00909	0.01347	0.03472	0.00902	0.01200	0.09267	0.03401	0.01976

续表 1

L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
0.09091	0.07197	0.05890	0.06667	0.06667	0.23586	0.09139	0.19110	0.09139	0.04420	0.19110	0.05765	0.09139	0.02607	0.06667
0.09091	0.16405	0.21422	0.06667	0.06667	0.11985	0.12027	0.19110	0.12027	0.04420	0.19110	0.25861	0.12027	0.07822	0.06667
0.09091	0.06334	0.02226	0.06667	0.06667	0.08015	0.27416	0.06370	0.27416	0.10075	0.06370	0.08788	0.27416	0.05943	0.06667
0.09091	0.32286	0.21422	0.06667	0.06667	0.09106	0.06944	0.06370	0.06944	0.17450	0.06370	0.07587	0.06944	0.10294	0.06667
0.09091	0.15556	0.12740	0.06667	0.06667	0.13173	0.13881	0.12740	0.13881	0.09091	0.12740	0.12000	0.13881	0.06667	0.06667
0.06427	0.00328	0.02076	0.01639	0.08272	0.03539	0.00482	0.04376	0.00482	0.02062	0.04376	0.04116	0.00482	0.04494	0.05069
0.04883	0.00733	0.07075	0.04568	0.07142	0.01855	0.00958	0.03815	0.00958	0.02062	0.03815	0.02727	0.00958	0.04043	0.04146
0.05602	0.02178	0.05786	0.04568	0.02115	0.02269	0.01432	0.05021	0.01432	0.03113	0.05021	0.01806	0.01432	0.04638	0.04146
0.05602	0.02178	0.00759	0.04568	0.02784	0.01779	0.01088	0.05021	0.01088	0.04097	0.05021	0.02727	0.01088	0.06103	0.03390
0.04883	0.02178	0.04124	0.04568	0.01985	0.02269	0.01432	0.01920	0.01432	0.05392	0.01920	0.01372	0.01432	0.03636	0.04146
0.07373	0.00841	0.01302	0.04870	0.02968	0.02269	0.02846	0.02202	0.02846	0.07097	0.02202	0.01043	0.02846	0.02334	0.04146
0.04257	0.00495	0.02758	0.04568	0.01302	0.02269	0.02457	0.01272	0.02457	0.09340	0.01272	0.00792	0.02457	0.04043	0.04146
0.06427	0.02178	0.01947	0.03982	0.06765	0.02269	0.02457	0.02202	0.02457	0.12292	0.02202	0.05418	0.02457	0.04043	0.04146
0.00659	0.03084	0.02827	0.02001	0.12202	0.03977	0.03472	0.00610	0.03472	0.00605	0.00610	0.02775	0.03472	0.03127	0.06635
0.02373	0.01683	0.00954	0.07208	0.07770	0.01936	0.02891	0.04454	0.02891	0.00605	0.04454	0.02775	0.02891	0.17490	0.05525
0.01646	0.00416	0.02596	0.03465	0.05387	0.02109	0.02407	0.00879	0.02407	0.01048	0.00879	0.01602	0.02407	0.01991	0.04600
0.00791	0.01072	0.00392	0.06002	0.03735	0.02532	0.02891	0.00879	0.02891	0.01511	0.00879	0.01111	0.02891	0.03127	0.05525
0.01646	0.02428	0.02827	0.06002	0.02590	0.02532	0.02891	0.01992	0.02891	0.02179	0.01992	0.04806	0.02891	0.02956	0.05525
0.01976	0.02428	0.00877	0.08656	0.01649	0.02532	0.02891	0.01659	0.02891	0.03143	0.01659	0.06932	0.02891	0.04643	0.05525

续表 2

AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO
0.09139	0.19110	0.16171	0.06667	0.07199	0.06441	0.09040	0.03887	0.08691	0.00666	0.01337	0.03414	0.01337	0.03128	0.00566
0.12027	0.19110	0.28008	0.06667	0.07199	0.15511	0.12473	0.04843	0.18608	0.02763	0.03951	0.10085	0.03951	0.09385	0.03579
0.27416	0.06370	0.04256	0.06667	0.01926	0.06441	0.03389	0.01040	0.03258	0.01357	0.12926	0.03781	0.12926	0.04855	0.03579
0.06944	0.06370	0.04256	0.06667	0.03724	0.06441	0.04676	0.02505	0.08691	0.00345	0.04443	0.04710	0.04443	0.03128	0.01672
0.13881	0.12740	0.13173	0.06667	0.05779	0.08024	0.03754	0.02011	0.03609	0.05342	0.03171	0.11343	0.03171	0.06047	0.01077
0.00482	0.04376	0.01500	0.05069	0.02956	0.02773	0.03685	0.05771	0.00883	0.01200	0.06047	0.04167	0.06047	0.07206	0.18193
0.00958	0.03815	0.01407	0.04146	0.06738	0.04146	0.04850	0.05031	0.01870	0.02289	0.07395	0.04167	0.07395	0.07206	0.07487
0.01432	0.05021	0.01407	0.04146	0.14923	0.09361	0.07805	0.07057	0.02796	0.02387	0.18560	0.04167	0.18560	0.08266	0.04323
0.01088	0.05021	0.01320	0.03390	0.02577	0.01706	0.01240	0.01805	0.00671	0.00426	0.01647	0.04167	0.01647	0.08266	0.04323
0.01432	0.01920	0.02125	0.04146	0.10076	0.06260	0.04228	0.05771	0.02145	0.00785	0.03525	0.04167	0.03525	0.08266	0.02496
0.02846	0.02202	0.02797	0.04146	0.10076	0.06673	0.04228	0.05771	0.02145	0.04848	0.04639	0.04167	0.04639	0.07206	0.12968
0.02457	0.01272	0.03208	0.04146	0.04147	0.04757	0.02128	0.05031	0.01630	0.04548	0.04639	0.04167	0.04639	0.08266	0.09854
0.02457	0.02202	0.01852	0.04146	0.12204	0.07181	0.05170	0.06621	0.02145	0.09345	0.17246	0.04167	0.17246	0.12480	0.04055
0.03472	0.00610	0.01148	0.06635	0.01326	0.02142	0.02922	0.04578	0.04648	0.03512	0.01890	0.02724	0.01890	0.01026	0.01302
0.02891	0.04454	0.06980	0.05525	0.03004	0.04456	0.07300	0.12452	0.11610	0.17058	0.00870	0.11995	0.00870	0.01480	0.08848
0.02407	0.00879	0.01655	0.04600	0.01014	0.01030	0.02433	0.04204	0.04648	0.07121	0.00406	0.01171	0.00406	0.01026	0.06135
0.02891	0.00879	0.02599	0.05525	0.02297	0.01784	0.07300	0.06603	0.06703	0.01890	0.01890	0.02724	0.01890	0.00711	0.02456
0.02891	0.01992	0.03749	0.05525	0.00919	0.01784	0.06078	0.05498	0.05581	0.17058	0.00488	0.11995	0.00488	0.01026	0.02456
0.02891	0.01659	0.02387	0.05525	0.01913	0.03090	0.07300	0.09522	0.09667	0.17058	0.04929	0.02724	0.04929	0.01026	0.04632

续表 3

AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD
0.06667	0.06667	0.06667	0.06667	0.02698	0.01450	0.14012	0.17082	0.01405	0.03279	0.17082	0.17082	0.06667	0.06667	0.18930
0.06667	0.06667	0.06667	0.06667	0.06498	0.04285	0.07622	0.07978	0.04088	0.01531	0.07978	0.07978	0.06667	0.06667	0.18930
0.06667	0.06667	0.06667	0.06667	0.02166	0.03869	0.05165	0.02701	0.02147	0.00518	0.02701	0.02701	0.06667	0.06667	0.08304
0.06667	0.06667	0.06667	0.06667	0.06498	0.00949	0.06118	0.09787	0.00614	0.01879	0.09787	0.09787	0.06667	0.06667	0.04795
0.06667	0.06667	0.06667	0.06667	0.05216	0.00844	0.07622	0.02991	0.06032	0.00574	0.02991	0.02991	0.06667	0.06667	0.12740
0.04167	0.04167	0.04167	0.04167	0.04513	0.04385	0.13761	0.15113	0.22460	0.15311	0.15113	0.15113	0.04167	0.05069	0.03588
0.04167	0.04167	0.04167	0.04167	0.04857	0.04385	0.02934	0.09391	0.13956	0.09514	0.09391	0.09391	0.04167	0.04146	0.01574
0.04167	0.04167	0.04167	0.04167	0.11802	0.05030	0.14043	0.05474	0.08135	0.05546	0.05474	0.05474	0.04167	0.04146	0.02726
0.04167	0.04167	0.04167	0.04167	0.05940	0.05030	0.06623	0.04159	0.06181	0.04214	0.04159	0.04159	0.04167	0.03390	0.06624
0.04167	0.04167	0.04167	0.04167	0.14433	0.05030	0.03587	0.04434	0.06589	0.04492	0.04434	0.04434	0.04167	0.04146	0.01122
0.04167	0.04167	0.04167	0.04167	0.05178	0.05030	0.03824	0.03369	0.05007	0.03413	0.03369	0.03369	0.04167	0.04146	0.05774
0.04167	0.04167	0.04167	0.04167	0.13540	0.05030	0.01863	0.03369	0.05007	0.03413	0.03369	0.03369	0.04167	0.04146	0.01694
0.04167	0.04167	0.04167	0.04167	0.08968	0.06620	0.01429	0.02755	0.04094	0.02791	0.02755	0.02755	0.04167	0.04146	0.02726
0.05556	0.05556	0.05556	0.05556	0.00856	0.08011	0.03629	0.04380	0.05491	0.16729	0.04380	0.04380	0.05556	0.06635	0.00873
0.05556	0.05556	0.05556	0.05556	0.01781	0.08011	0.00597	0.03037	0.03807	0.11599	0.03037	0.03037	0.05556	0.05525	0.02618
0.05556	0.05556	0.05556	0.05556	0.00856	0.08011	0.00650	0.00865	0.01084	0.03303	0.00865	0.00865	0.05556	0.04600	0.00873
0.05556	0.05556	0.05556	0.05556	0.01483	0.08011	0.03629	0.01610	0.02019	0.06150	0.01610	0.01610	0.05556	0.05525	0.00873
0.05556	0.05556	0.05556	0.05556	0.01235	0.08011	0.01767	0.00720	0.00903	0.02750	0.00720	0.00720	0.05556	0.05525	0.02618
0.05556	0.05556	0.05556	0.05556	0.01483	0.08011	0.01125	0.00784	0.00983	0.02995	0.00784	0.00784	0.05556	0.05525	0.02618

附表 1-3 最大组中值法处理反馈信息得到的各项指标权重
Appendix Table 1-3 Acquiring Benchmarks by Median-Value-in Max-Group Algorithm

指标	$W_{\max}$	$W_{\min}$	组距	组 I 频数	组 II 频数	组 III 频数	组 IV 频数	组 V 频数	频数最大组	频数最大组中值	归一化后的权重
废钢指数	0.23586	0.00566	0.04604	19	25	3	5	4	II	0.07472	0.10417
吨钢综合能耗	0.28008	0.01531	0.05295	22	16	9	6	3	I	0.04179	0.05826
吨钢新水消耗量	0.27416	0.00518	0.05379	23	26	3	0	4	II	0.08588	0.11973
吨钢天然矿物消耗量	0.32286	0.00345	0.06388	36	12	6	1	1	I	0.03539	0.04934
绿色产品和技术的销售比重	0.15556	0.00574	0.02996	9	9	20	5	13	III	0.08065	0.11244
吨钢废渣排放量	0.22460	0.00328	0.04426	37	12	0	5	2	I	0.02541	0.03543
吨钢尘排放量	0.25209	0.00733	0.04895	40	14	1	0	1	I	0.03181	0.04435
吨钢 SO ₂ 排放量	0.18560	0.01407	0.03431	31	16	4	3	2	I	0.03123	0.04354
吨钢 CO ₂ 排放量	0.11586	0.00426	0.02232	18	22	11	3	2	II	0.03774	0.05262
吨钢 NO _x 排放量	0.14433	0.00785	0.02729	22	28	4	1	1	II	0.04879	0.06803
吨钢废水排放量	0.12968	0.00751	0.02444	21	25	8	1	1	II	0.04416	0.06156
吨钢 COD 排放量	0.13540	0.00495	0.02609	23	28	1	3	1	II	0.04408	0.06146
固体废弃物再资源化率	0.17246	0.00336	0.03382	24	22	5	3	2	I	0.02027	0.02826
ISO14000 认证单位员工比例	0.16729	0.00486	0.03248	36	17	1	1	1	I	0.02111	0.02943
损失工时的工伤频率	0.27392	0.00274	0.05424	41	7	5	2	1	I	0.02986	0.04163
员工平均培训天数	0.08011	0.00406	0.01521	28	10	7	8	3	I	0.01167	0.01627
环境信息发布	0.08011	0.00228	0.01556	20	16	5	10	5	I	0.01006	0.01403
营业利润率	0.17058	0.00488	0.03314	35	15	1	3	2	I	0.02145	0.02990
消纳、处理社会废弃物	0.17058	0.00461	0.03320	35	14	6	0	1	I	0.02120	0.02956

附录 2 生态化综合评价指数计算过程

附表 2-1 2005 年宝钢生态化评价的试算结果（有权重情况下的三家公司比较）
Appendix Table 2-1 Tentative Calculation Result of Baogang Eco-industrialization in 2005 (among Three Domestic Steel Enterprises with Weights)

目标	分类	权重	指标	基准值	数据值	单位	单项评价指标	权重	得分
钢铁工业生态化	源头技术指标	0.44394	废钢指数	42.7	15.7	%	0.36768	0.10417	0.03830
			吨钢综合能耗	700	687	kgce/t-s	1	0.05826	0.05826
			吨钢新水消耗量	6	3.77	t/t-s	1	0.11973	0.11973
			吨钢天然矿物消耗量	2.4	2.85	t/t-s	0.84211	0.04934	0.04155
	末端技术指标	0.39524	绿色产品和技术的销售比重	100	14.93	%	0.14930	0.11244	0.01679
			吨钢废渣排放量	350	280	kg/t-s	1	0.03543	0.03543
			吨钢尘排量	1.3	0.66	kg/t-s	1	0.04435	0.04435
			吨钢 SO ₂ 排放量	1	1.72	kg/t-s	0.58140	0.04354	0.02531
			吨钢 CO ₂ 排放量	1.7	2.02	t/t-s	0.84158	0.05262	0.04428
			吨钢 NO _x 排放量	1.11	1.5	kg/t-s	0.74000	0.06803	0.05034
			吨钢废水排放量	3	0.85	t/t-s	1	0.06156	0.06156
			吨钢 COD 排放量	0.2	0.023	kg/t-s	1	0.06146	0.06146
	关联管理指标	0.16082	固体废物再资源化率	100	98.11	%	0.98110	0.02826	0.02773
			ISO14000 认证单位员工比例	90.7	95	%	1	0.02943	0.02943
			损失工时的工伤频率	6.6	2.3	/1000000h	1	0.04163	0.04163
			员工平均培训天数	9.9	7	d/p	0.70707	0.01627	0.01150
有权重总分 百分制	—— ——	1 ——	环境信息发布	——	1	——	1.00000	0.01403	0.01403
			营业利润率	5.76	21	%	1	0.02990	0.02990
			消纳、处理社会废弃物	——	1	——	1.00000	0.02956	0.02956
				——	——	——	——	1.00000	0.78114
				——	——	——	——		78.11

附表 2-2 2005 年首钢生态化评价的试算结果（有权重情况下的三家公司比较）
Appendix Table 2-2 Tentative Calculation Result of Shougang Eco-industrialization in 2005 (among Three Domestic Steel Enterprises with Weights)

目标	分类	权重	指标	基准值	数据值	单位	单项评价指标	权重	得分
钢铁工业生态化	源头技术指标	0.44394	废钢指数	42.7	1.6	%	0.03747	0.10417	0.00390
			吨钢综合能耗	700	747	kgce/t-s	0.93708	0.05826	0.05460
			吨钢新水消耗量	6	4.98	t/t-s	1	0.11973	0.11973
			吨钢天然矿物消耗量	2.4	4.29	t/t-s	0.55944	0.04934	0.02760
			绿色产品和技术销售的比重	100	15.89	%	0.15890	0.11244	0.01787
			吨钢废渣排放量	350	529.15	kg/t-s	0.66144	0.05099	0.03373
	末端技术指标	0.39524	吨钢尘排放量	1.3	0.66	kg/t-s	1	0.06383	0.06383
			吨钢 SO ₂ 排放量	1	0.97	kg/t-s	1	0.06267	0.06267
			吨钢 CO ₂ 排放量	1.7	—	t/t-s	—	—	—
			吨钢 NO _x 排放量	1.11	—	kg/t-s	—	—	—
			吨钢废水排放量	3	0.64	t/t-s	1	0.08861	0.08861
			吨钢 COD 排放量	0.2	0.018	kg/t-s	1	0.08847	0.08847
关联管理指标	0.16082	固体废物再资源化率	100	99.98	%	0.99980	0.04068	0.04067	0.04067
		ISO14000 认证单位员工比例	90.7	100	%	1	0.04598	0.04598	0.04598
		损失工时的工伤频率	6.6	—	/1000000h	—	—	—	—
		员工平均培训天数	9.9	—	d/p	—	—	—	—
		环境信息发布	—	1	—	—	1.00000	0.02192	0.02192
		营业利润率	5.76	1.99	%	—	0.34549	0.04673	0.01614
	—	1	消纳、处理社会废弃物	—	1	—	1.00000	0.04619	0.04619
			—	—	—	—	—	1.00000	0.73190
			—	—	—	—	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	73.19

附表 2-3 2005 年济钢生态化评价的试算结果 (有权重情况下的三家公司比较)
Appendix Table 2-3 Tentative Calculation Result of Jigang Eco-industrialization in 2005 (among Three Domestic Steel Enterprises with Weights)

目标	分类	权重	指标	基准值	数据值	单位	单项评价指标	权重	得分
钢铁工业生态化	源头技术指标	0.44394	废钢指数	42.7	6.78	%	0.15878	0.11720	0.01861
			吨钢综合能耗	700	670	kgce/t-s	1	0.06555	0.06555
			吨钢新水消耗量	6	3.87	t/t-s	1	0.13470	0.13470
			吨钢天然矿物消耗量	2.4	—	t/t-s	—	—	—
			绿色产品和技术的销售比重	100	12.58	%	0.12580	0.12650	0.01591
	末端技术指标	0.39524	吨钢废渣排放量	350	351	kg/t-s	0.99715	0.04087	0.04075
			吨钢尘排放量	1.3	0.44	kg/t-s	1	0.05116	0.05116
			吨钢 SO ₂ 排放量	1	1.05	kg/t-s	0.95238	0.05022	0.04783
			吨钢 CO ₂ 排放量	1.7	—	t/t-s	—	—	—
			吨钢 NO _x 排放量	1.11	0.76	kg/t-s	1	0.07848	0.07848
			吨钢废水排放量	3	1.33	t/t-s	1	0.07102	0.07102
			吨钢 COD 排放量	0.2	0.084	kg/t-s	1	0.07090	0.07090
	关联管理指标	0.16082	固体废弃物再资源化率	100	100	%	1.00000	0.03260	0.03260
			ISO14000 认证单位员工比例	90.7	100	%	1	0.04598	0.04598
			损失工时的工伤频率	6.6	—	/1000000h	—	—	—
			员工平均培训天数	9.9	—	d/p	—	—	—
			环境信息发布	—	1	—	1.00000	0.02192	0.02192
有权重总分 百分制	—	1	营业利润率	5.76	4.65	%	0.80729	0.04673	0.03772
	—	—	消纳、处理社会废弃物	—	1	—	1.00000	0.04619	0.04619
				—	—	—	—	1.00000	0.77932
		—	—	—	—	—	—	—	77.93

附录 2-4 2005 年宝钢生态化评价的试算结果（等权重情况下的三家公司比较）
Appendix Table 2-4 Tentative Calculation Result of Baogang Eco-industrialization in 2005 (among Three Domestic Steel Enterprises with Equivalent Weights)

日标	分类	权重	指标	基准值	数据值	单位	单项评价指标	权重	得分
钢铁工业生态化	源头技术 指标	0.33333	废钢指数	42.7	15.7	%	0.36768	0.06667	0.02451
			吨钢综合能耗	700	687	kgce/t-s	1	0.06667	0.06667
			吨钢新水消耗量	6	3.77	t/t-s	1	0.06667	0.06667
			吨钢天然矿物消耗量	2.4	2.85	t/t-s	0.84211	0.06667	0.05614
			绿色产品和技术销售比重	100	14.93	%	0.14930	0.06667	0.00995
			吨钢废渣排放量	350	280	kg/t-s	1	0.04167	0.04167
	末端技术 指标	0.33333	吨钢尘排放量	1.3	0.66	kg/t-s	1	0.04167	0.04167
			吨钢 SO ₂ 排放量	1	1.72	kg/t-s	0.58140	0.04167	0.02422
			吨钢 CO ₂ 排放量	1.7	2.02	t/t-s	0.84158	0.04167	0.03507
			吨钢 NO _x 排放量	1.11	1.5	kg/t-s	0.74000	0.04167	0.03083
			吨钢废水排放量	3	0.85	t/t-s	1	0.04167	0.04167
			吨钢 COD 排放量	0.2	0.023	kg/t-s	1	0.04167	0.04167
	关联管理 指标	0.33333	固体废物再资源化率	100	98.11	%	0.98110	0.04167	0.04088
			ISO14000 认证单位员工比例	90.7	95	%	1	0.05556	0.05556
			损失工时的工伤频率	6.6	2.3	/1000000h	1	0.05556	0.05556
			员工平均培训天数	9.9	7	d/p	0.70707	0.05556	0.03928
环境信息发布			——	1	——	1.00000	0.05556	0.05556	
营业利润率			5.76	21	%	1	0.05556	0.05556	
有权重总分 百分制	—— ——	1 ——	消纳、处理社会废弃物	——	1	——	1.00000	0.05556	0.05556
			——	——	——	——	——	——	0.83867 83.87

附表 2-5 2005 年首钢生态化评价的试算结果（等权重情况下的三家公司比较）
Appendix Table 2-5 Tentative Calculation Result of Shougang Eco-industrialization in 2005 (among Three Domestic Steel Enterprises with Equivalent Weights)

日标	分类	权重	指标	基准值	数据值	单位	单项评价指标	权重	得分
钢铁工业生态化	源头 技术 指标	0.33333	废钢指数	42.7	1.6	%	0.03747	0.06667	0.00250
			吨钢综合能耗	700	747	kgce/t-s	0.93708	0.06667	0.06247
			吨钢新水消耗量	6	4.98	t/t-s	1	0.06667	0.06667
			吨钢天然矿物消耗量	2.4	4.29	t/t-s	0.55944	0.06667	0.03730
			绿色产品和技术销售比重	100	15.89	%	0.15890	0.06667	0.01059
	末端 技术 指标	0.33333	吨钢废渣排放量	350	529.15	kg/t-s	0.66144	0.05556	0.03675
			吨钢尘排量	1.3	0.66	kg/t-s	1	0.05556	0.05556
			吨钢 SO ₂ 排放量	1	0.97	kg/t-s	1	0.05556	0.05556
			吨钢 CO ₂ 排放量	1.7	—	t/t-s	—	—	—
			吨钢 NO _x 排放量	1.11	—	kg/t-s	—	—	—
			吨钢废水排放量	3	0.64	t/t-s	1	0.05556	0.05556
			吨钢 COD 排放量	0.2	0.018	kg/t-s	1	0.05556	0.05556
			固体废弃物再资源化率	100	99.98	%	0.99980	0.05556	0.05554
	关联 管理 指标	0.33333	ISO14000 认证单位员工比例	90.7	100	%	1	0.08333	0.08333
			损失工时的工伤频率	6.6	—	/1000000h	—	—	—
			员工平均培训天数	9.9	—	d/p	—	—	—
			环境信息发布	—	1	—	1.00000	0.08333	0.08333
			营业利润率	5.76	1.99	%	0.34549	0.08333	0.02879
有权重总分 百分制	—	1	消纳、处理社会废弃物	—	1	—	1.00000	0.08333	0.08333
	—	—	—	—	—	—	—	—	0.77283
	—	—	—	—	—	—	—	—	77.28

附表 2-6 2005 年济钢生态化评价的试算结果（等权重情况下的三家公司比较）
Appendix Table 2-6 Tentative Calculation Result of Jigang Eco-industrialization in 2005 (among Three Domestic Steel Enterprises with Equivalent Weights)

目标	分类	权重	指标	基准值	数据值	单位	单项评价指标	权重	得分
钢铁工业生态化	源头技术指标	0.33333	废钢指数	42.7	6.78	%	0.15878	0.08333	0.01323
			吨钢综合能耗	700	670	kgce/t-s	1	0.08333	0.08333
			吨钢新水消耗量	6	3.87	t/t-s	1	0.08333	0.08333
			吨钢天然矿物消耗量	2.4	—	t/t-s	—	—	—
			绿色产品和技术销售的销售比重	100	12.58	%	0.12580	0.08333	0.01048
	末端技术指标	0.33333	吨钢废渣排放量	350	351	kg/t-s	0.99715	0.04762	0.04748
			吨钢尘排放量	1.3	0.44	kg/t-s	1	0.04762	0.04762
			吨钢 SO ₂ 排放量	1	1.05	kg/t-s	0.95238	0.04762	0.04535
			吨钢 CO ₂ 排放量	1.7	—	t/t-s	—	—	—
			吨钢 NO _x 排放量	1.11	0.76	kg/t-s	1	0.04762	0.04762
			吨钢废水排放量	3	1.33	t/t-s	1	0.04762	0.04762
			吨钢 COD 排放量	0.2	0.084	kg/t-s	1	0.04762	0.04762
	关联管理指标	0.33333	固体废弃物再资源化率	100	100	%	1.00000	0.04762	0.04762
			ISO14000 认证单位员工比例	90.7	100	%	1	0.08333	0.08333
			损失工时的工伤频率	6.6	—	/1000000h	—	—	—
			员工平均培训天数	9.9	—	d/p	—	—	—
			环境信息发布	—	1	—	1.00000	0.08333	0.08333
			营业利润率	5.76	4.65	%	0.80729	0.08333	0.06727
			消纳、处理社会废弃物	—	1	—	1.00000	0.08333	0.08333
有权重总分	—	1	—	—	—	—	—	—	0.83859
百分制	—	—	—	—	—	—	—	—	83.86

附表 2-7 2005 年宝钢生态化评价的试算结果（无权重情况下的三家公司比较）

Appendix Table 2-7 Tentative Calculation Result of Baogang Eco-industrialization in 2005 (among Three Domestic Steel Enterprises without Weights)

目标	分类	权重	指标	基准值	数据值	单位	单项评价指标	权重	得分
钢铁工业生态化	源头技术指标	—	废钢指数	42.7	15.7	%	0.36768	0.05263	0.01935
			吨钢综合能耗	700	687	kgce/t-s	1	0.05263	0.05263
			吨钢新水消耗量	6	3.77	t/t-s	1	0.05263	0.05263
			吨钢天然矿物消耗量	2.4	2.85	t/t-s	0.84211	0.05263	0.04432
	末端技术指标	—	绿色产品和技术销售比重	100	14.93	%	0.14930	0.05263	0.00786
			吨钢废渣排放量	350	280	kg/t-s	1	0.05263	0.05263
			吨钢尘排放量	1.3	0.66	kg/t-s	1	0.05263	0.05263
			吨钢 SO ₂ 排放量	1	1.72	kg/t-s	0.58140	0.05263	0.03060
			吨钢 CO ₂ 排放量	1.7	2.02	t/t-s	0.84158	0.05263	0.04429
			吨钢 NO _x 排放量	1.11	1.5	kg/t-s	0.74000	0.05263	0.03895
			吨钢废水排放量	3	0.85	t/t-s	1	0.05263	0.05263
			吨钢 COD 排放量	0.2	0.023	kg/t-s	1	0.05263	0.05263
关联管理指标	—	—	固体废弃物再资源化率	100	98.11	%	0.98110	0.05263	0.05164
			ISO14000 认证单位员工比例	90.7	95	%	1	0.05263	0.05263
			损失工时的工伤频率	6.6	2.3	/1000000h	1	0.05263	0.05263
			员工平均培训天数	9.9	7	d/p	0.70707	0.05263	0.03721
	—	—	环境信息发布	—	1	—	1.00000	0.05263	0.05263
			营业利润率	5.76	21	%	1	0.05263	0.05263
			消纳、处理社会废弃物	—	1	—	1.00000	0.05263	0.05263
	—	—	—	—	—	—	—	—	0.85317
有权重总分	—	—	—	—	—	—	—	—	85.32
百分制	—	—	—	—	—	—	—	—	—

附表 2-8 2005 年首钢生态化评价的试算结果（无权重情况下的三家公司比较）

Appendix Table 2-8 Tentative Calculation Result of Shougang Eco-industrialization in 2005 (among Three Domestic Steel Enterprises without Weights)

目标	分类	权重	指标	基准值	数据值	单位	单项评价指标	权重	得分
钢铁工业生态化	源头 技术 指标	—	废钢指数	42.7	1.6	%	0.037470726	0.06667	0.00250
			吨钢综合能耗	700	747	kgce/t-s	0.93708166	0.06667	0.06247
			吨钢新水消耗量	6	4.98	t/t-s	1	0.06667	0.06667
			吨钢天然矿物消耗量	2.4	4.29	t/t-s	0.559440559	0.06667	0.03730
	末端 技术 指标	—	绿色、产品和技术销售的比重	100	15.89	%	0.1589	0.06667	0.01059
			吨钢废渣排放量	350	529.15	kg/t-s	0.661438156	0.06667	0.04410
			吨钢尘排放量	1.3	0.66	kg/t-s	1	0.06667	0.06667
			吨钢 SO ₂ 排放量	1	0.97	kg/t-s	1	0.06667	0.06667
			吨钢 CO ₂ 排放量	1.7	—	t/t-s	—	—	—
			吨钢 NO _x 排放量	1.11	—	kg/t-s	—	—	—
			吨钢废水排放量	3	0.64	t/t-s	1	0.06667	0.06667
			吨钢 COD 排放量	0.2	0.018	kg/t-s	1	0.06667	0.06667
	关联 管理 指标	—	固体废弃物再资源化率	100	99.98	%	0.9998	0.06667	0.06665
			ISO14000 认证单位员工比例	90.7	100	%	1	0.06667	0.06667
			损失工时的工份频率	6.6	—	/1000000h	—	—	—
			员工平均培训天数	9.9	—	d/p	—	—	—
			环境信息发布	—	1	—	1	0.06667	0.06667
			营业利润率	5.76	1.99	%	0.345486111	0.06667	0.02303
有权重总分 百分制	—	—	消纳、处理社会废弃物	—	1	—	1	0.06667	0.06667
	—	—	—	—	—	—	—	—	78.00

附表 2-9 2005 年济钢生态化评价的试算结果（无权重情况下的三家公司比较）
Appendix Table 2-9 Tentative Calculation Result of Jigang Eco-industrialization in 2005 (among Three Domestic Steel Enterprises without Weights)

目标	分类	权重	指标	基准值	数据值	单位	单项评价指标	权重	得分
钢铁工业生态化	源头 技术 指标	—	废钢指数	42.7	6.78	%	0.15878	0.06667	0.01059
			吨钢综合能耗	700	670	kgce/t-s	1	0.06667	0.06667
			吨钢新水消耗量	6	3.87	t/t-s	1	0.06667	0.06667
			吨钢天然矿物消耗量	2.4	—	t/t-s	—	—	—
			绿色产品和技术的销售比重	100	12.58	%	0.12580	0.06667	0.00839
			吨钢废渣排放量	350	351	kg/t-s	0.99715	0.06667	0.06648
	末端 技术 指标	—	吨钢尘排量	1.3	0.44	kg/t-s	1	0.06667	0.06667
			吨钢 SO ₂ 排放量	1	1.05	kg/t-s	0.95238	0.06667	0.06349
			吨钢 CO ₂ 排放量	1.7	—	t/t-s	—	—	—
			吨钢 NO _x 排放量	1.11	0.76	kg/t-s	1	0.06667	0.06667
			吨钢废水排放量	3	1.33	t/t-s	1	0.06667	0.06667
			吨钢 COD 排放量	0.2	0.084	kg/t-s	1	0.06667	0.06667
	关联 管理 指标	—	固体废弃物再资源化率	100	100	%	1.00000	0.06667	0.06667
			ISO14000 认证单位员工比例	90.7	100	%	1	0.06667	0.06667
			损失工时的工伤频率	6.6	—	/1000000h	—	—	—
			员工平均培训天数	9.9	—	d/p	—	—	—
			环境信息发布	—	1	—	1.00000	0.06667	0.06667
			营业利润率	5.76	4.65	%	0.80729	0.06667	0.05382
有权重总分 百分制	—	—	消纳、处理社会废弃物	—	1	—	1.00000	0.06667	0.06667
	—	—	—	—	—	—	—	—	0.86943
			—	—	—	—	—	—	86.94

附表 2-10 2005 年宝钢生态化评价的试算结果（有权重情况下的四家公司比较）
Appendix Table 2-10 Tentative Calculation Result of Baogang Eco-industrialization in 2005 (among Four Steel Enterprises with Weights)

目标	分类	权重	指标	基准值	数据值	单位	单项评价指标	权重	得分
钢铁工业生态化	源头技术 指标	0.44394	废钢指数	15.7	15.7	%	1.00000	0.10417	0.10417
			吨钢综合能耗	687	687	kgce/t-s	1.00000	0.05826	0.05826
			吨钢新水消耗量	3.77	3.77	t/t-s	1.00000	0.11973	0.11973
			吨钢天然矿物消耗量	2.85	2.85	t/t-s	1.00000	0.04934	0.04934
			绿色产品和技术销售的比重	30	14.93	%	0.49767	0.11244	0.05596
	末端技术 指标	0.39524	吨钢废渣排放量	11	280	kg/t-s	0.03929	0.03543	0.00139
			吨钢尘排放量	0.44	0.66	kg/t-s	0.66667	0.04435	0.02956
			吨钢 SO ₂ 排放量	0.63	1.72	kg/t-s	0.36628	0.04354	0.01595
			吨钢 CO ₂ 排放量	2.02	2.02	t/t-s	1.00000	0.05262	0.05262
			吨钢 NO _x 排放量	0.76	1.5	kg/t-s	0.50667	0.06803	0.03447
			吨钢废水排放量	0.64	0.85	t/t-s	0.75294	0.06156	0.04635
			吨钢 COD 排放量	0.018	0.023	kg/t-s	0.78261	0.06146	0.04810
	关联管理 指标	0.16082	固体废物资源化率	100	98.11	%	0.98110	0.02826	0.02773
			ISO14000 认证单位员工比例	100	95	%	0.95000	0.02943	0.02795
			损失工时的工伤频率	0.4	2.3	/10000000h	0.17391	0.04163	0.00724
			员工平均培训天数	7	7	d/p	1.00000	0.01627	0.01627
			环境信息发布	1	1	—	1.00000	0.01403	0.01403
			营业利润率	21	21	%	1.00000	0.02990	0.02990
			消纳、处理社会废弃物	1	1	—	1.00000	0.02956	0.02956
有权重总分	—	1	—	—	—	—	—	1.00000	0.76858
百分制	—	—	—	—	—	—	—	—	76.86

附表 2-11 2005 年首钢生态化评价的试算结果（有权重情况下的四家公司比较）
Appendix Table 2-11 Tentative Calculation Result of Shougang Eco-industrialization in 2005 (among Four Steel Enterprises with Weights)

目标	分类	权重	指标	基准值	数据值	单位	单项评价指标	权重	得分
钢铁工业生态化	源头 技术 指标	0.44394	废钢指数	15.7	1.6	%	0.10191	0.10417	0.01062
			吨钢综合能耗	687	747	kgce/t-s	0.91968	0.05826	0.05358
			吨钢新水消耗量	3.77	4.98	t/t-s	0.75703	0.11973	0.09064
			吨钢天然矿物消耗量	2.85	4.29	t/t-s	0.66434	0.04934	0.03278
			绿色产品和技术销售比重	30	15.89	%	0.52967	0.11244	0.05956
	末端 技术 指标	0.39524	吨钢废渣排放量	11	529.15	kg/t-s	0.02079	0.05099	0.00106
			吨钢尘排量	0.44	0.66	kg/t-s	0.66667	0.06383	0.04255
			吨钢 SO ₂ 排放量	0.63	0.97	kg/t-s	0.64948	0.06267	0.04070
			吨钢 CO ₂ 排放量	2.02	—	t/t-s	—	—	—
			吨钢 NO _x 排放量	0.76	—	kg/t-s	—	—	—
			吨钢废水排放量	0.64	0.64	t/t-s	1.00000	0.08861	0.08861
			吨钢 COD 排放量	0.018	0.018	kg/t-s	1.00000	0.08847	0.08847
	关联 管理 指标	0.16082	固体废弃物再资源化率	100	99.98	%	0.99980	0.04068	0.04067
			ISO14000 认证单位员工比例	100	100	%	1.00000	0.04598	0.04598
			损失工时的工伤频率	0.4	—	/1000000h	—	—	—
			员工平均培训天数	7	—	d/p	—	—	—
			环境信息发布	1	1	—	1.00000	0.02192	0.02192
有权重总分 百分制	— — —	1 — —	营业利润率	21	1.99	%	0.09476	0.04673	0.00443
			消纳、处理社会废弃物	1	1	—	1.00000	0.04619	0.04619
			—	—	—	—	—	1.00000	0.66775
			—	—	—	—	—	—	66.77

附表 2-12 2005 年济钢生态化评价的试算结果（有权重情况下的四家公司比较）
Appendix Table 2-12 Tentative Calculation Result of Jigang Eco-industrialization in 2005 (among Four Steel Enterprises with Weights)

目标	分类	权重	指标	基准值	数据值	单位	单项评价指标	权重	得分
钢铁工业生态化	源头技术指标	0.44394	废钢指数	15.7	6.78	%	0.43185	0.11720	0.05061
			吨钢综合能耗	687	670	kgce/t-s	1	0.06555	0.06555
			吨钢新水消耗量	3.77	3.87	t/t-s	0.97416	0.13470	0.13122
			吨钢天然矿物消耗量	2.85	—	t/t-s	—	—	—
			绿色产品和技术销售的比重	30	12.58	%	0.41933	0.12650	0.05304
	末端技术指标	0.39524	吨钢废渣排放量	11	351	kg/t-s	0.03134	0.04087	0.00128
			吨钢尘排放量	0.44	0.44	kg/t-s	1.00000	0.05116	0.05116
			吨钢 SO ₂ 排放量	0.63	1.05	kg/t-s	0.60000	0.05022	0.03013
			吨钢 CO ₂ 排放量	2.02	—	t/t-s	—	—	—
			吨钢 NO _x 排放量	0.76	0.76	kg/t-s	1.00000	0.07848	0.07848
			吨钢废水排放量	0.64	1.33	t/t-s	0.48120	0.07102	0.03417
			吨钢 COD 排放量	0.018	0.084	kg/t-s	0.21429	0.07090	0.01519
	关联管理指标	0.16082	固体废弃物再资源化率	100	100	%	1.00000	0.03260	0.03260
			ISO14000 认证单位员工比例	100	100	%	1.00000	0.04598	0.04598
			损失工时的工伤频率	0.4	—	/1000000h	—	—	—
			员工平均培训天数	7	—	d/p	—	—	—
			环境信息发布	1	1	—	1.00000	0.02192	0.02192
有权重总分 百分制	—	1	营业利润率	21	4.65	%	0.22143	0.04673	0.01035
	—	—	消纳、处理社会废弃物	1	1	—	1.00000	0.04619	0.04619
	—	—	—	—	—	—	—	1.00000	0.66787
								—	66.79

附表 2-13 2005 年新日铁生态化评价的试算结果 (有权重情况下的四家公司比较)
Appendix Table 2-13 Tentative Calculation Result of Nippon Eco-industrialization in 2005 (among Four Steel Enterprises with Weights)

日标	分类	权重	指标	基准值	数据值	单位	单项评价指标	权重	得分
钢铁工业生态化	源头 技术 指标	0.44394	废钢指数	15.7	10	%	0.63694	0.10417	0.06635
			吨钢综合能耗	687	725	kgce/t-s	0.94759	0.05826	0.05521
			吨钢新水消耗量	3.77	12.8	t/t-s	0.29453	0.11973	0.03526
			吨钢天然矿物消耗量	2.85	2.94	t/t-s	0.96939	0.04934	0.04783
	末端 技术 指标	0.39524	绿色产品和技术的销售比重	30	30	%	1.00000	0.11244	0.11244
			吨钢废渣排放量	11	11	kg/t-s	1.00000	0.04196	0.04196
			吨钢尘排放量	0.44	1.87	kg/t-s	0.23529	0.05253	0.01236
			吨钢 SO ₂ 排放量	0.63	0.63	kg/t-s	1.00000	0.05157	0.05157
			吨钢 CO ₂ 排放量	2.02	2.05	t/t-s	0.98537	0.06233	0.06141
			吨钢 NO _x 排放量	0.76	1.17	kg/t-s	0.64957	0.08058	0.05234
			吨钢废水排放量	0.64	—	t/t-s	—	—	—
			吨钢 COD 排放量	0.018	0.03	kg/t-s	0.60000	0.07280	0.04368
	关联 管理 指标	0.16082	固体废弃物再资源化率	100	98	%	0.98000	0.03347	0.03280
			ISO14000 认证单位员工比例	100	100	%	1.00000	0.03274	0.03274
			损失工时的工伤频率	0.4	0.4	/1000000h	1.00000	0.04631	0.04631
			员工平均培训天数	7	—	d/p	—	—	—
			环境信息发布	1	1	—	1.00000	0.01561	0.01561
			营业利润率	21	8	%	0.38095	0.03327	0.01267
等权重总分 百分制	—	1	消纳、处理社会废弃物	1	1	—	1.00000	0.03289	0.03289
	—	—	—	—	—	—	—	1.00000	0.75345
								—	75.34

附表 2-14 2005 年宝钢生态化评价的试算结果（等权重情况下的四家公司比较）
Appendix Table 2-14 Tentative Calculation Result of Baogang Eco-industrialization in 2005 (among Four Steel Enterprises with Equivalent Weights)

目标	分类	权重	指标	基准值	数据值	单位	单项评价指标	权重	得分
钢铁工业生态化	源头技术指标	0.33333	废钢指数	15.7	15.7	%	1.00000	0.06667	0.06667
			吨钢综合能耗	687	687	kgce/t-s	1.00000	0.06667	0.06667
			吨钢新水消耗量	3.77	3.77	t/t-s	1.00000	0.06667	0.06667
			吨钢天然矿物消耗量	2.85	2.85	t/t-s	1.00000	0.06667	0.06667
			绿色产品和技术的销售比重	30	14.93	%	0.49767	0.06667	0.03318
	末端技术指标	0.33333	吨钢废渣排放量	11	280	kg/t-s	0.03929	0.04167	0.00164
			吨钢尘排放量	0.44	0.66	kg/t-s	0.66667	0.04167	0.02778
			吨钢 SO ₂ 排放量	0.63	1.72	kg/t-s	0.36628	0.04167	0.01526
			吨钢 CO ₂ 排放量	2.02	2.02	t/t-s	1.00000	0.04167	0.04167
			吨钢 NO _x 排放量	0.76	1.5	kg/t-s	0.50667	0.04167	0.02111
			吨钢废水排放量	0.64	0.85	t/t-s	0.75294	0.04167	0.03137
			吨钢 COD 排放量	0.018	0.023	kg/t-s	0.78261	0.04167	0.03261
			固体废弃物再资源化率	100	98.11	%	0.98110	0.04167	0.04088
	关联管理指标	0.33333	ISO14000 认证单位员工比例	100	95	%	0.95000	0.05556	0.05278
			损失工时的工伤频率	0.4	2.3	/1000000h	0.17391	0.05556	0.00966
			员工平均培训天数	7	7	d/p	1.00000	0.05556	0.05556
			环境信息发布	1	1	—	1.00000	0.05556	0.05556
			营业利润率	21	21	%	1.00000	0.05556	0.05556
有权重总分 白分制	—	1	消纳、处理社会废弃物	1	1	—	1.00000	0.05556	0.05556
	—	—	—	—	—	—	—	—	0.79682
		—	—	—	—	—	—	—	79.68

附表 2-15 2005 年首钢生态化评价的试算结果（等权重情况下的四家公司比较）
Appendix Table 2-15 Tentative Calculation Result of Shougang Eco-industrialization in 2005 (among Four Steel Enterprises with Equivalent Weights)

目标	分类	权重	指标	基准值	数据值	单位	单项评价指标	权重	得分
钢铁工业生态化	源头技术指标	0.33333	废钢指数	15.7	1.6	%	0.10191	0.06667	0.00679
			吨钢综合能耗	687	747	kgce/t-s	0.91968	0.06667	0.06131
			吨钢新水消耗量	3.77	4.98	t/t-s	0.75703	0.06667	0.05047
			吨钢天然矿物消耗量	2.85	4.29	t/t-s	0.66434	0.06667	0.04429
	末端技术指标	0.33333	绿色产品和技术的销售比重	30	15.89	%	0.52967	0.06667	0.03531
			吨钢废渣排放量	11	529.15	kg/t-s	0.02079	0.05556	0.00115
			吨钢尘排放量	0.44	0.66	kg/t-s	0.66667	0.05556	0.03704
			吨钢 SO ₂ 排放量	0.63	0.97	kg/t-s	0.64948	0.05556	0.03608
			吨钢 CO ₂ 排放量	2.02	——	t/t-s	——	——	——
			吨钢 NO _x 排放量	0.76	——	kg/t-s	——	——	——
			吨钢废水排放量	0.64	0.64	t/t-s	1.00000	0.05556	0.05556
			吨钢 COD 排放量	0.018	0.018	kg/t-s	1.00000	0.05556	0.05554
	关联管理指标	0.33333	固体废弃物再资源化率	100	99.98	%	0.99980	0.05556	0.05554
			ISO14000 认证单位员工比例	100	100	%	1.00000	0.08333	0.08333
			损失工时的工伤频率	0.4	——	/1000000h	——	——	——
			员工平均培训天数	7	——	d/p	——	——	——
有权重总分百分制	—— —— ——	1 —— ——	环境信息发布	1	1	——	1.00000	0.08333	0.08333
			营业利润率	21	1.99	%	0.09476	0.08333	0.00790
			消纳、处理社会废弃物	1	1	——	1.00000	0.08333	0.08333
			——	——	——	——	——	0.69700	69.70

附表 2-16 2005 年济钢生态化评价的试算结果（等权重情况下的四家公司比较）
Appendix Table 2-16 Tentative Calculation Result of Jigang Eco-industrialization in 2005 (among Four Steel Enterprises with Equivalent Weights)

目标	分类	权重	指标	基准值	数据值	单位	单项评价指标	权重	得分
钢铁工业生态化	源头技术 指标	0.33333	废钢指数	15.7	6.78	%	0.43185	0.08333	0.03599
			吨钢综合能耗	687	670	kgce/t-s	1	0.08333	0.08333
			吨钢新水消耗量	3.77	3.87	t/t-s	0.97416	0.08333	0.08118
			吨钢天然矿物消耗量	2.85	—	t/t-s	—	—	—
			绿色产品和技术销售的销售比重	30	12.58	%	0.41933	0.08333	0.03494
	末端技术 指标	0.33333	吨钢废渣排放量	11	351	kg/t-s	0.03134	0.04762	0.00149
			吨钢尘排量	0.44	0.44	kg/t-s	1.00000	0.04762	0.04762
			吨钢 SO ₂ 排放量	0.63	1.05	kg/t-s	0.60000	0.04762	0.02857
			吨钢 CO ₂ 排放量	2.02	—	t/t-s	—	—	—
			吨钢 NO _x 排放量	0.76	0.76	kg/t-s	1.00000	0.04762	0.04762
			吨钢废水排放量	0.64	1.33	t/t-s	0.48120	0.04762	0.02291
			吨钢 COD 排放量	0.018	0.084	kg/t-s	0.21429	0.04762	0.01020
			固体废弃物再资源化率	100	100	%	1.00000	0.04762	0.04762
	关联管理 指标	0.33333	ISO14000 认证单位员工比例	100	100	%	1.00000	0.08333	0.08333
			损失工时的工伤频率	0.4	—	/1000000h	—	—	—
			员工平均培训天数	7	—	d/p	—	—	—
			环境信息发布	1	1	—	1.00000	0.08333	0.08333
			营业利润率	21	4.65	%	0.22143	0.08333	0.01845
有权重总分 百分制	—	1	消纳、处理社会废弃物	1	1	—	1.00000	0.08333	0.08333
	—	—	—	—	—	—	—	—	0.70994
		—	—	—	—	—	—	—	70.99

附表 2-17 2005 年新日铁生态化评价的试算结果（等权重情况下的四家公司比较）
Appendix Table 2-18 Tentative Calculation Result of Nippon Eco-industrialization in 2005 (among Four Steel Enterprises with Equivalent Weights)

目标	分类	权重	指标	基准值	数据值	单位	单项评价指标	权重	得分
钢铁工业生态化	源头技术指标	0.33333	废钢指数	15.7	10	%	0.63694	0.06667	0.04246
			吨钢综合能耗	687	725	kgce/t-s	0.94759	0.06667	0.06317
			吨钢新水消耗量	3.77	12.8	t/t-s	0.29453	0.06667	0.01964
			吨钢天然矿物消耗量	2.85	2.94	t/t-s	0.96939	0.06667	0.06463
	末端技术指标	0.33333	绿色产品和技术的销售比重	30	30	%	1.00000	0.06667	0.06667
			吨钢废渣排放量	11	11	kg/t-s	1.00000	0.04762	0.04762
			吨钢尘排放量	0.44	1.87	kg/t-s	0.23529	0.04762	0.01120
			吨钢 SO ₂ 排放量	0.63	0.63	kg/t-s	1.00000	0.04762	0.04762
			吨钢 CO ₂ 排放量	2.02	2.05	t/t-s	0.98537	0.04762	0.04692
			吨钢 NO _x 排放量	0.76	1.17	kg/t-s	0.64957	0.04762	0.03093
			吨钢废水排放量	0.64		t/t-s	—	—	—
			吨钢 COD 排放量	0.018	0.03	kg/t-s	0.60000	0.04762	0.02857
	关联管理指标	0.33333	固体废弃物再资源化率	100	98	%	0.98000	0.04762	0.04667
			ISO14000 认证单位员工比例	100	100	%	1.00000	0.06667	0.06667
			损失工时的工伤频率	0.4	0.4	/1000000h	1.00000	0.06667	0.06667
			员工平均培训天数	7		d/p	—	—	—
			环境信息发布	1	1	—	1.00000	0.06667	0.06667
			营业利润率	21	8	%	0.38095	0.06667	0.02540
等权重总分 百分制	—	1	消纳、处理社会废弃物	1	1	—	1.00000	0.06667	0.06667
	—	—	—	—	—	—	—	—	80.82

附表 2-18 2005 年宝钢生态化评价的试算结果（无权重情况下的四家公司比较）
Appendix Table 2-18 Tentative Calculation Result of Baogang Eco-industrialization in 2005 (among Four Steel Enterprises without Weights)

目标	分类	权重	指标	基准值	数据值	单位	单项评价指标	权重	得分
钢铁工业生态化	源头技术指标	—	废钢指数	15.7	15.7	%	1.00000	0.05263	0.05263
			吨钢综合能耗	687	687	kgce/t-s	1.00000	0.05263	0.05263
			吨钢新水消耗量	3.77	3.77	t/t-s	1.00000	0.05263	0.05263
			吨钢天然矿物消耗量	2.85	2.85	t/t-s	1.00000	0.05263	0.05263
			绿色产品和技术销售的比重	30	14.93	%	0.49767	0.05263	0.02619
			吨钢废渣排放量	11	280	kg/t-s	0.03929	0.05263	0.00207
	末端技术指标	—	吨钢尘排放量	0.44	0.66	kg/t-s	0.66667	0.05263	0.03509
			吨钢 SO ₂ 排放量	0.63	1.72	kg/t-s	0.36628	0.05263	0.01928
			吨钢 CO ₂ 排放量	2.02	2.02	t/t-s	1.00000	0.05263	0.05263
			吨钢 NO _x 排放量	0.76	1.5	kg/t-s	0.50667	0.05263	0.02667
			吨钢废水排放量	0.64	0.85	t/t-s	0.75294	0.05263	0.03963
			吨钢 COD 排放量	0.018	0.023	kg/t-s	0.78261	0.05263	0.04119
	关联管理指标	—	固体废弃物再资源化率	100	98.11	%	0.98110	0.05263	0.05164
			ISO14000 认证单位员工比例	100	95	%	0.95000	0.05263	0.05000
			损失工时的工伤频率	0.4	2.3	/1000000h	0.17391	0.05263	0.00915
			员工平均培训天数	7	7	d/p	1.00000	0.05263	0.05263
			环境信息发布	1	1	—	1.00000	0.05263	0.05263
			营业利润率	21	21	%	1.00000	0.05263	0.05263
有权重总分 百分制	—	—	消纳、处理社会废弃物	1	1	—	1.00000	0.05263	0.05263
	—	—	—	—	—	—	—	—	0.77459
			—	—	—	—	—	—	77.46

附表 2-19 2005 年首钢生态化评价的试算结果（无权重情况下的四家公司比较）
Appendix Table 2-19 Tentative Calculation Result of Shougang Eco-industrialization in 2005 (among Four Steel Enterprises without Weights)

目标	分类	权重	指标	基准值	数据值	单位	单项评价指标	权重	得分
钢铁工业生态化	源头技术指标	—	废钢指数	15.7	1.6	%	0.10191	0.06667	0.00679
			吨钢综合能耗	687	747	kgce/t-s	0.91968	0.06667	0.06131
			吨钢新水消耗量	3.77	4.98	t/t-s	0.75703	0.06667	0.05047
			吨钢天然矿物消耗量	2.85	4.29	t/t-s	0.66434	0.06667	0.04429
			绿色产品和技术销售的销售比重	30	15.89	%	0.52967	0.06667	0.03531
			吨钢废渣排放量	11	529.15	kg/t-s	0.02079	0.06667	0.00139
	末端技术指标	—	吨钢尘排量	0.44	0.66	kg/t-s	0.66667	0.06667	0.04444
			吨钢 SO ₂ 排放量	0.63	0.97	kg/t-s	0.64948	0.06667	0.04330
			吨钢 CO ₂ 排放量	2.02	—	t/t-s	—	—	—
			吨钢 NO _x 排放量	0.76	—	kg/t-s	—	—	—
			吨钢废水排放量	0.64	0.64	t/t-s	1.00000	0.06667	0.06667
			吨钢 COD 排放量	0.018	0.018	kg/t-s	1.00000	0.06667	0.06667
	关联管理指标	—	固体废弃物再资源化率	100	99.98	%	0.99980	0.06667	0.06665
			ISO14000 认证单位员工比例	100	100	%	1.00000	0.06667	0.06667
			损失工时的工伤频率	0.4	—	/1000000h	—	—	—
			员工平均培训天数	7	—	d/p	—	—	—
			环境信息发布	1	1	—	1.00000	0.06667	0.06667
			营业利润率	21	1.99	%	0.09476	0.06667	0.00632
有权重总分 百分制	—	—	消纳、处理社会废弃物	1	1	—	1.00000	0.06667	0.06667
	—	—	—	—	—	—	—	—	0.69361
			—	—	—	—	—	—	69.36

附表 2-20 2005 年济钢生态化评价的试算结果（无权重情况下的四家公司比较）
Appendix Table 2-20 Tentative Calculation Result of Jigang Eco-industrialization in 2005 (among Four Steel Enterprises without Weights)

目标	分类	权重	指标	基准值	数据值	单位	单项评价指标	权重	得分
钢铁工业生态化	源头技术指标	—	废钢指数	15.7	6.78	%	0.43185	0.06667	0.02879
			吨钢综合能耗	687	670	kgce/t-s	1	0.06667	0.06667
			吨钢新水消耗量	3.77	3.87	t/t-s	0.97416	0.06667	0.06494
			吨钢天然矿物消耗量	2.85	—	t/t-s	—	—	—
			绿色产品和技术销售的比重	30	12.58	%	0.41933	0.06667	0.02796
	末端技术指标	—	吨钢废渣排放量	11	351	kg/t-s	0.03134	0.06667	0.00209
			吨钢尘排放量	0.44	0.44	kg/t-s	1.00000	0.06667	0.06667
			吨钢 SO ₂ 排放量	0.63	1.05	kg/t-s	0.60000	0.06667	0.04000
			吨钢 CO ₂ 排放量	2.02	—	t/t-s	—	—	—
			吨钢 NO _x 排放量	0.76	0.76	kg/t-s	1.00000	0.06667	0.06667
	关联管理指标	—	吨钢废水排放量	0.64	1.33	t/t-s	0.48120	0.06667	0.03208
			吨钢 COD 排放量	0.018	0.084	kg/t-s	0.21429	0.06667	0.01429
			固体废弃物再资源化率	100	100	%	1.00000	0.06667	0.06667
			ISO14000 认证单位员工比例	100	100	%	1.00000	0.06667	0.06667
			损失工时的工伤频率	0.4	—	/1000000h	—	—	—
有权重总分 百分制	—	—	员工平均培训大数	7	—	d/p	—	—	—
			环境信息发布	1	1	—	1.00000	0.06667	0.06667
			营业利润率	21	4.65	%	0.22143	0.06667	0.01476
			消纳、处理社会废弃物	1	1	—	1.00000	0.06667	0.06667
	—	—	—	—	—	—	—	—	0.69157
	—	—	—	—	—	—	—	—	69.16

附表 2-21 2005 年新日铁生态化评价的试算结果（无权重情况下的四家公司比较）
Appendix Table 2-21 Tentative Calculation Result of Nippon Eco-industrialization in 2005 (among Four Steel Enterprises without Weights)

日标	分类	权重	指标	基准值	数据值	单位	单项评价指标	权重	得分
钢铁工业生态化	源头 技术 指标	—	废钢指数	15.7	10	%	0.63694	0.05882	0.03747
			吨钢综合能耗	687	725	kgce/t-s	0.94759	0.05882	0.05574
			吨钢新水消耗量	3.77	12.8	t/t-s	0.29453	0.05882	0.01733
			吨钢天然矿物消耗量	2.85	2.94	t/t-s	0.96939	0.05882	0.05702
	末端 技术 指标	—	绿色产品和技术销售比重	30	30	%	1.00000	0.05882	0.05882
			吨钢废渣排放量	11	11	kg/t-s	1.00000	0.05882	0.05882
			吨钢尘排放量	0.44	1.87	kg/t-s	0.23529	0.05882	0.01384
			吨钢 SO ₂ 排放量	0.63	0.63	kg/t-s	1.00000	0.05882	0.05882
			吨钢 CO ₂ 排放量	2.02	2.05	t/t-s	0.98537	0.05882	0.05796
			吨钢 NO _x 排放量	0.76	1.17	kg/t-s	0.64957	0.05882	0.03821
			吨钢废水排放量	0.64		t/t-s	—	—	—
			吨钢 COD 排放量	0.018	0.03	kg/t-s	0.60000	0.05882	0.03529
	关联 管理 指标	—	固体废弃物再资源化率	100	98	%	0.98000	0.05882	0.05765
			ISO14000 认证单位员工比例	100	100	%	1.00000	0.05882	0.05882
			损失工时的工伤频率	0.4	0.4	/1000000h	1.00000	0.05882	0.05882
			员工平均培训天数	7		d/p	—	—	—
			环境信息发布	1	1	—	1.00000	0.05882	0.05882
			营业利润率	21	8	%	0.38095	0.05882	0.02241
等权重总分 百分制	—	—	消纳、处理社会废弃物	1	1	—	1.00000	0.05882	0.05882
	—	—	—	—	—	—	—	—	0.80468
	—	—	—	—	—	—	—	—	80.47

攻读硕士学位期间发表的学术论文

- 1 赵立祥, 邢李志, 李京文. 中国钢铁工业生态化研究. 统计研究. 2008, (8): 30~34
- 2 赵立祥, 邢李志. 北京废旧轮胎资源化回收体系研究. 经济论坛. 2009, (7): 70~73

致 谢

三年的硕士学位攻读即将结束，本论文正是在我在此期间通过学习、思考、研究和实践所取得的主要成果。同时，本论文也是在我的导师赵立祥教授的悉心指导下完成的。从论文选题、写作提纲拟订、问卷调研到论文的反复修改和最终定稿，都浸透着赵老师不厌其烦的精心指导和一遍一遍的指正，凝聚着赵老师倾注的心血。因此，当我拿起完成的论文时，首先想到的就是赵老师对我的无私帮助。三年来，赵老师不仅对我的学业悉心指导、提供便利、严格要求，使我顺利完成毕业论文，同时在生活上也给了我莫大的关怀和帮助。赵老师严谨的治学态度、正直坦诚的人格以及平易近人的作风，都对我产生了潜移默化的影响，不仅教我怎样做学问，还教我怎样待人接物，使我受益终身。在学业即将完成之际，谨向尊敬的恩师致以深深的谢意！

在论文研究过程中，多次得到课题组钢铁研究总院殷瑞钰院士、张春霞教授和经管学院任海英副教授、戴铁军博士的指导帮助和宝贵建议，在此表示衷心的感谢！

期间，也曾到为收集论文相关信息接触到来自首钢、钢铁研究总院和东北大学的多位专家学者，他们的无私帮助为增加了论文的科学性和客观性，对我顺利完成论文帮助很大，借此机会致以诚挚的谢意！

感谢经管学院的各位老师，尤其要感谢张永安教授、臧维副教授和叶菲副教授，他们在论文评审、答辩和论文开题、中期检查中，对论文提出了很多有价值的宝贵意见和建议，给我很大的启迪和帮助。

在论文的写作过程中，参阅了大量的国内外的相关著作和文献，谨在此对其作者表示感谢，他们的研究成果对本论文具有很大的指导作用和参考价值。

另外，我还要特别感谢詹瑞娟同学，百忙之中帮助我对论文作最后的校订。

最后，我要感谢我的家人，正是他们的支持和鼓励，才使我有继续求学的机会，并顺利完成学业。承载着大家殷切的期盼，我深感愧疚，呈上这份论文姑且算是对他们的一份回报！

邢孝志

于北京工业大学

二零零九年四月二十八日