

行业视点

引文格式:魏甲明,邓升安,姚亮,等. 关于冶金行业能源管理的研究与思考[J]. 中国有色冶金, 2024, 53(4): 1-12.

WEI Jiaming, DENG Sheng'an, YAO Liang, et al. Research and discussions on energy management in the metallurgical industry[J]. China Nonferrous Metallurgy, 2024, 53(4): 1-12.

关于冶金行业能源管理的研究与思考

魏甲明¹, 邓升安², 姚亮², 余跃²

(1. 中国五矿集团有限公司, 北京 100010; 2. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038)

[摘要] 工业能源管理是一种先进、高效的节能减排手段,通过集中化、系统化的方式管理企业能源,可为企业实现降本增效,同时也是冶金行业实施智能化改造、数字化转型和双碳工作必不可少的一个环节。但冶金行业层面的能源管理研究鲜有报道,对于钢铁和有色冶金两个分支的能源管理差异和共性问题尚缺乏讨论。针对此问题,本文综合分析了冶金行业的能源管理发展情况,讨论了能源管理在冶金行业中的应用逻辑、范畴及效果等,梳理了相关的国家法律、政策、标准、认证及典型节能评价指标,并结合国内外钢铁和有色冶金生产企业能源管理案例进行分析,认为目前我国在冶金行业的能源管理还存在能源监测不足、重局部轻全局、专业人才不足等问题,未来需要从建立量化评估标准体系、引入低碳节能新技术、追踪资源足迹全过程、融合智能化与数字化、大规模使用清洁能源等方面进行关注。随着节能理念的深入,节能新技术的创新突破,能源量化评估体系的完善,碳减排经济效益的激励,以及企业对ESG(环境、社会和治理)的持续强化,能源管理必将迎来更广阔的发展机遇。

[关键词] 能源管理; 碳减排; 系统节能; 生产管控; 智能化转型; 能源量化评估

[中图分类号] TK018; TF083 [文献标志码] A [文章编号] 1672-6103(2024)04-0001-12

DOI:10.19612/j.cnki.cn11-5066/tf.2024.04.001

0 引言

冶金行业是我国能源消耗大户,根据国家统计局数据,2021年全国黑色金属和有色金属的冶炼及压延加工业能耗分别为6.63亿t标煤和2.64亿t标煤。目前,冶金行业的精细化管理模式尚未全面普及,对能源利用和消耗管理还有提升空间。能源管理是一种先进、高效的手段,可通过集中化、系统化管理能源利用和消耗^[1],达到生产低耗能、高效

率及经济性的目标,这也是冶金行业实现绿色低碳高质量发展的必经之路。

胡荣^[2]、杨福迈^[3]、颜瑾等^[4]和惠晨^[5]立足于整个工业角度来讨论企业能源管理工作在宏观层面的共性问题。冶金行业包括钢铁和有色两个分支,在钢铁冶金行业方面,宝钢^[6]、南钢^[7]、泰钢^[8]、太钢^[9]和唐钢^[10]等大型钢铁企业已完成能源管理中心的建立,获得了较好的节能减排增效效果,提升了企业的精细化管理能力。在有色冶金行业方面,中色大冶^[11-12]、金川有色^[13]和铜陵有色^[14]等也在大力推动能源管理中心的建设,已初见成效。

本文认为目前冶金行业的能源管理研究还存在以下问题:①各研究主要关注国家宏观层面的工业节能或冶金企业具体层面的能源管理建设,对于冶金行业层面的研究较少;②钢铁和有色冶金虽都属

[收稿日期] 2024-04-20

[第一作者] 魏甲明(1981—),甘肃白银人,正高级工程师,主要从事冶金、化工和新材料领域技术研发、成果转化及管理方面的工作。

[通信作者] 邓升安(1993—),广东广州人,博士,从事能源管理、节能减排、余热回收等方面的研究工作。

于冶金行业,但两个行业的规模、技术、生产及金属品种等都相差较大,缺乏对二者能源管理共性和个性的研究和探讨,相关研究多聚焦于国内钢铁冶金;
 ③系统性的有色冶金能源管理研究不足,实施案例及后续效果的跟踪和评价方面的报道较少。

因此,本文针对能源管理在冶金行业的发展及应用进行研究,对国内外钢铁和有色冶金工业的能源管理案例以及共性和个性问题进行探讨,为冶金行业能源管理的发展及应用提供参考。

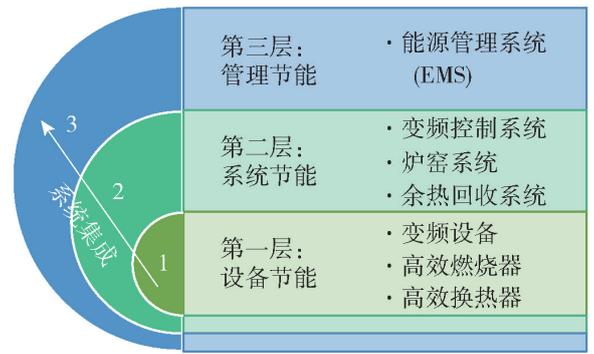


图1 冶金节能的层次

Fig.1 Levels of metallurgical energy saving

1 冶金能源管理概述

1.1 工作内容、运行逻辑及节能减排意义

冶金节能主要有三个层次,如图1所示。第一层次是设备节能,即在生产中使用节能设备来减少能耗,如:采用变频设备、高效压缩机、高效燃烧器及高效换热器等;第二层次是系统节能,即采用先进的控制技术对局部子系统范围内的设备进行合理控制及管理,既节能又能满足生产需求,如:采用先进的变频控制系统、炉窑系统、暖通系统、燃气系统及余热回收系统等;第三层次是管理节能,即通过系统管理对各局部子系统进行统筹,实现多能互补与协同强化,实现生产企业整体节能,如:能源管理系统(EMS)等。这三个层次是逐层递进的关系,经系统集成发挥作用。能源管理就是这里的第三层次,也是最高层次。

广义来说,能源管理是对能源的生产、分配、转换和消耗的全过程进行科学计划、组织、检查、控制和监督工作的总称,工作内容包括规划、实施、检查和改进四个阶段^[15-16]。具体到冶金行业,能源管理的工作内容主要针对冶金生产系统中的能源系统进行管理优化,通过对生产数据进行采集、处理和管理,实现能源供应、需求、转换和存储等过程的科学管理,协助能源系统开展节能改进。主要思路如图2所示。

1) 冶金生产系统是一个由“物质-能量-时间-空间-信息”构成的动态系统^[17],包括物质流、能量流和信息流,三者相辅相成。物质流是载体,包括生产的原料、产品及副产物等;能量流是动力,包括生产的总能耗、有效能耗、产品余热、副产物余热及环境散热等;信息流是纽带,包括生产过程的各项数据

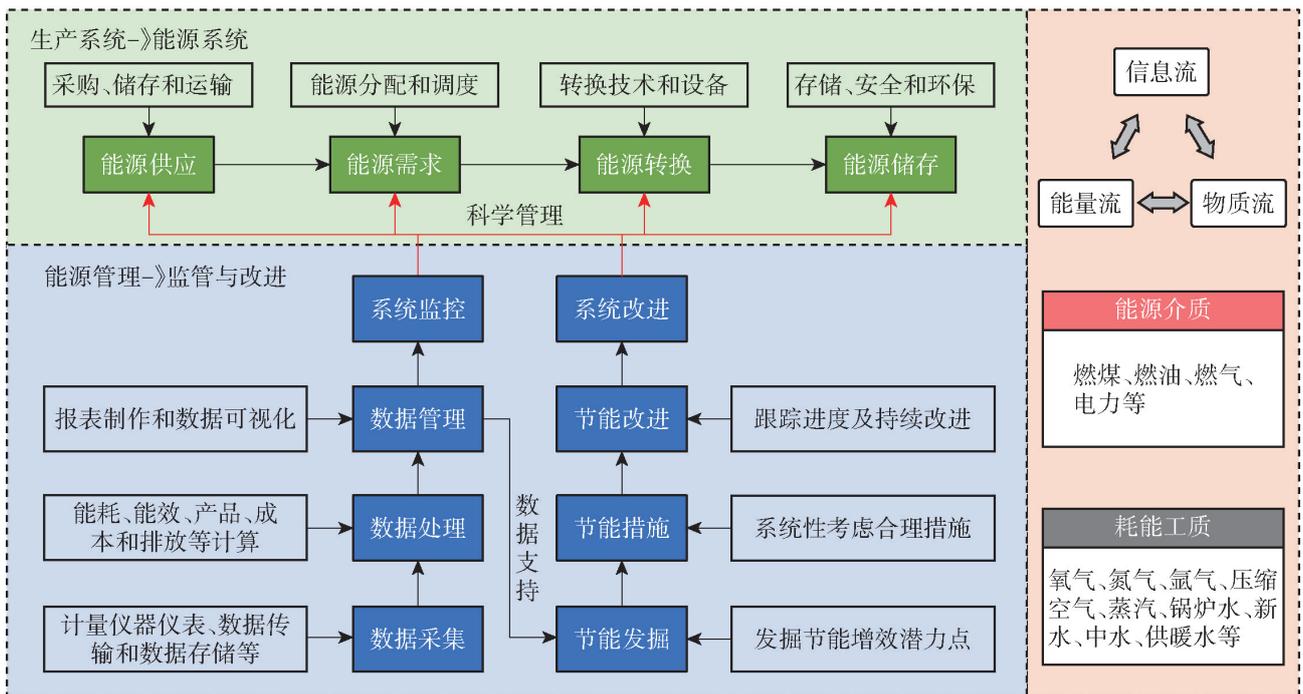


图2 冶金企业生产系统和能源管理的关系

Fig.2 Relationship between production system and energy management in metallurgical enterprises

采集、传输、分析、存储及系统控制互动等。通过设立能源管理中心(管理部门),依托于能源管理系统(控制系统)来统筹上述三者,对整个能源系统进行集中管理,并利用信息流的管理来实现物质流和能量流的协同优化^[18]。

2) 冶金企业的能源主要依赖外部供应,能源系统运行主要涵盖4个方面:用于生产能源供应的基础能源,如柴油、煤及天然气等;根据各生产子系统的能源需求对各能源进行合理的分配和调度;采用相关技术和装置将能源转换为生产所需的形式并使用;对生产产品和副产物中蕴含的能源进行回收、储存、利用或外售,达到提高经济效益的目的。

3) 能源管理可以分为能源系统监控和能源系统改进两个层次,是对能源系统的供应、需求、转换和存储等4个方面进行科学管理。在能源系统监控方面,主要包括三个要素:①通过工业仪器仪表对生产能源基础数据进行计量和采集;②通过基础数据处理获得单位能耗、单位成本及能源品质等关键指标;③根据基础数据处理结果形成生产报表、可视化图表及运行报告等,以便管理人员实时掌握能源效率、节能指标等状况,并基于此进行能源系统调控。在能源系统改进方面,主要包括:①通过能源监控系统

统输出数据协助专业技术人员发现系统节能的薄弱环节,挖掘节能增效的潜力点;②实施与生产系统上下游匹配的节能系统改造项目;③跟踪改造进度和改造后的节能效益,并持续改进。

4) 能源管理除了需要管理企业生产所需的燃煤、燃油、燃气及电力等能源介质,还需要管理氧气、氮气、氩气、压缩空气、蒸汽、锅炉水新水、中水及供暖水等耗能工质,即实现物质流与能量流的协同管理。

由于冶金工艺流程长,各工段间存在相互支持或制约关系,同时其能源系统涉及的能源种类和相关物质种类很多,仅依靠设备节能和系统节能,只能解决短期的和局部的能源问题,可能会造成能源负荷不均、装置重复改造等问题,从长远和全局来看未必经济^[19],因此需要依靠管理节能来实现各局部节能的效益最大化,建设完备的能源管理系统是实现管理节能的重要手段。能源管理系统是一个集成 Intranet/Internet 网络技术、GPRS 无线传输技术、Web Service 软件技术和数据库技术等于一体的大型数据综合管理系统,负责能源系统监控的工作。通过分析多家冶金企业的能源管理系统,本文总结出冶金行业能源管理系统的运行架构(图3)和关键功能(表1)。



图3 冶金能源管理系统运行架构

Fig. 3 Operation architecture of metallurgical energy management system

表 1 冶金能源管理系统关键功能

Table 1 Key functions of metallurgical energy management system

关键功能	具体内容
数据可视 (指导分配调度)	引入实时计算系统,提取计量仪表的监测数据,可视化有利于发现问题,按照节能减排的指标需求进行分配和调度,提升效率和准确性
规范管理 (助力节能增效)	通过业务梳理,明确车间生产流程的操作规范性,促使各部门在节能过程中遵循公司的考核要求,利用系统功能和管理制度共同配合,促进节能过程的规范性
任务跟踪 (辅助过程执行)	解决以往公司内部节能工作无法跟踪,考核过程无法监督的现象。节能部门可以实时了解各环节的节能过程和各部门的考核进度,并及时进行业务催办。各生产部门的节能负责人员也可以直观获得节能过程中的辅导和监督,及时修正节能过程出现的问题
统计分析 (落实低碳指标)	从考核周期、人员分类及部门层级等方面进行节能方面的统计分析,为公司后续节能改造提供直观、准确的统计结果,也为节能减排的改进找到方向

建设能源管理系统的意义主要有:①能源管理是在企业现有或新建设施基础上,形成数据融合,通过数字化和智能辅助决策的方式,从企业层面整体统筹,实现能源管理最优路径,从而帮助企业降本增效和提升市场竞争力;②以碳减排、碳交易指标为基础的能源管理增益,能激励并促使企业挖掘生产过程节能和提高能源利用率的潜能,通过设备改进、工艺及操作方法改进和管理改进等手段,优化生产用能,提高能源回收和利用效率,降低碳排放量;③为推动企业高端化、智能化和绿色化发展预留节能基础设施和智能化管控平台接口。

国外实施能源管理相对较早,如:爱尔兰自2005年政府引进能源管理体系以来,企业的节能步伐大幅加快,参加能源协议项目(EPA)的企业中,有67%的节能工程是由能源管理体系过程产生或推动的^[20]。我国已有一些冶金企业通过实施能源管理获得了节能收益,如:①山西某钢厂通过能源管理系统,检测到烧结机系统漏风率达75%以上,找到问题并实施改造后,实现每年节约标煤13 000 t,CO₂减排33 800 t,按当地标煤价格75元/t计,节约生产成本97.5万元^[21];②新疆某镍厂通过能源管理对采选冶全流程进行评估,发掘出5处节能潜力点,拟通过引进余热供暖、余热发电及热泵技术改造,预计可实现每年节约标煤5 812.8 t,CO₂减排15 113.3 t,节约生产成本523.3万元。

1.2 节能效果典型量化评价指标

我国用于节能效果量化评价的标准主要是《用能单位节能量计算方法》(GB/T 13234—2018)和《综合能耗计算通则》(GB/T 2589—2020)。能源管理的节能效果主要通过以下量化指标评价:用能总

量(如:总综合能耗、总电力消耗及总煤炭消耗)、用能效率(如:单位产品综合能耗、单位产品电力消耗及单位产品煤炭消耗)、产业结构调整带来的节能减排效益(如:单位产值综合能耗、单位产值电力消耗及单位产值煤炭消耗)和节能量/率(如综合节能量/率、电力节约量/率及煤炭节约量/率)等。以能耗和节能的计算为例,综合能耗包括直接消耗的各类能源、耗能工质制备带来的能耗和能源及耗能工质在用能单位内部储存、转换及分配供应(包括外销)过程中的损耗。

1) 总综合能耗 E 按公式(1)计算。

$$E = \sum_{i=1}^n (E_i \times k_i) \quad (1)$$

式中: n 为消耗的能源种类数; E_i 为生产和/或服务活动中实际消耗的第 i 种能源(含耗能工质消耗的能源); k_i 为第 i 种能源的折标煤系数。

2) 单位产品综合能耗 $e_{p,j}$ 按公式(2)计算。

$$e_{p,j} = E_j / M_j \quad (2)$$

式中: E_j 为第 j 种产品的综合能耗; M_j 为第 j 种产品的合格产品产量。

3) 单位产值综合能耗 e_g 按公式(3)计算。

$$e_g = E / G \quad (3)$$

式中: G 为产品产出总产值或增加值(可比价)。

4) 综合节能量 E_s 可根据产品产量或产值来计算,即分别按公式(4)或(5)计算。

$$E_s = \sum_{j=1}^m (e_{pb,j} - e_{pr,j}) M_{r,j} \quad (4)$$

$$E_s = (e_{gb} - e_{gr}) G_r \quad (5)$$

式中: $e_{pb,j}$ 和 $e_{pr,j}$ 分别为第 j 种产品在基期和报告期内的单位产品综合能耗; m 为企业生产的产品种类数; $M_{r,j}$ 为第 j 种产品在报告期内的合格产品产量;

e_{gb} 和 e_{gr} 分别为在基期和报告期内的单位产值综合能耗; G_r 为在报告期内的产品产出总产值或增加值(可比价)。

5) 综合节能率 ε 按公式(6)计算。

$$\varepsilon = E_s/E_b \quad (6)$$

式中: E_b 为在基期内的总综合能耗。

以 1.1 部分列举的山西某钢厂和新疆某镍厂为例,按照上述评价方式计算其节能效果指标,结果见表 2。

表 2 典型冶炼厂节能效果量化评价示例

Table 2 Examples of quantitative evaluation of energy saving effect of typical smelters

评价指标	山西	新疆
	某钢厂	某镍厂
基期产品产量/t	3 652 681	23 340
报告期产品产量/t	2 572 256	23 260
产品单价/(元·t ⁻¹)	1 100	12 500
基期总综合能耗/tce	197 994	20 539
基期单位产品综合能耗/(kgce·t ⁻¹)	54.21	880.0
基期单位产值综合能耗/(kgce·元 ⁻¹)	0.049	0.070
报告期总综合能耗/tce	130 141	14 668
报告期单位产品综合能耗/(kgce·t ⁻¹)	50.59	630.6
报告期单位产值综合能耗/(kgce·元 ⁻¹)	0.046	0.050
单位产品节能量/(kgce·t ⁻¹)	3.61	249.4
单位产值节能量/(kgce·元 ⁻¹)	0.003	0.020
综合节能量/tce	9 289	5 801
综合节能率/%	4.69	28.24

注:①本表数据基于特定年份产量计算,与 1.1 部分的平均数据有所差异;②本表所述新疆某镍厂是集采选冶为一体的综合性冶金矿业生产企业,表中数据取自于经全厂能源深度调研后的真实数据,经核算其节能设施及能源管理系统改造具有可实施性,改造完成后能为企业创造可观的低碳节能效益。

2 冶金能源管理相关法律、政策、标准及认证

我国国家层面鼓励企业通过能源管理推动节能减排,共同为实现双碳目标努力,我国相关部门制定了相关法律、法规、标准及认证,并给予政策和能源补贴的支持,如表 3 所示。

可见,从 1997 年开始,我国就通过出台法律法规和政策以支持通过能源管理来降低钢铁和有色行业的能耗、提高能源利用效率。从 2010 年开始,我

国开始开展能源管理体系认证,鼓励企业用节能量、节能目标完成情况等量化指标来衡量企业建立能源管理体系取得的绩效。同时,我国针对保护环境和节能节水的做法给予税收优惠(财税[2009] 166 号和财税[2017] 71),以及对实施中国清洁发展机制基金及清洁发展机制项目的企业提供税收优惠(财税[2009] 30 号)。在 2018 年后,国家积极推动企业践行环境、社会和公司治理(ESG)理念,鼓励企业可持续发展。在 2020 年,我国提出的双碳目标更是鼓励制造类生产企业绿色低碳发展,通过能源管理提高能源利用效率和降低碳排放量成为重要手段之一^[22]。在“十四五”规划中,我国更加强调了“现代能源体系”,以及将“清洁低碳安全高效”作为现代能源体系的核心内涵。

3 冶金行业能源管理的发展

冶金企业数字化转型的实施方式,主要是在已有生产系统设施的基础上,建立一个智慧运营管控中心,通过流程数字化实现全工序互联互通,形成生产管控“一张图”,进而实现全厂生产调度集中化,管控平台包括智慧仓储、智慧物流、智能生产、设备管理和安全安保等模块,能源管理系统是其中一个重要模块。目前国内的冶金能源管理系统主要是对能源系统进行监控,而国外先进的冶金能源管理系统在能源供需预测、优化和生产决策方面的功能更加完善^[23],技术上仍存在一些差距。

3.1 钢铁行业能源管理的发展

钢铁冶金是一个工艺相对固定、流程长和高能耗的生产过程,各工序耗能高且上下游互相影响,如何降低冶炼系统综合能耗,提高钢铁冶金整体能源利用效率一直是个难题,而能源管理就是一个较为理想的解决方法。根据中钢协的数据,钢铁冶金各工序能耗典型值见表 4。

国外钢铁冶金的能源管理发展较早,早在 1959 年,日本八幡制铁所就建造了世界上第一套能源管理系统。20 世纪 60 年代初,为了满足能源生产和合理分配的需要,德国、日本等国利用仪器监测燃气、电力及蒸汽等能源介质和耗能工质的用量,能源管理系统的采集模块基本成型。到 70 年代初,日本的钢铁企业就开始尝试通过计算机进行能源管理的统一分配、利用和转换,形成了较完整的能源管理系统。到 80 年代,能源管理系统进入快速发展期,可

表3 我国关于能源管理的部分法律、政策、标准及认证等

Table 3 Some laws, policies, standards and certifications on energy management in China

类别	法律、政策、标准及认证	关键内容
法律	中华人民共和国节约能源法 (1997 通过)	重点用能单位应当每年向管理节能工作的部门报送上年度的能源利用状况报告。管理节能工作的部门应当对重点用能单位报送的能源利用状况报告进行审查。对节能管理制度不健全、节能措施不落实、能源利用效率低的重点用能单位限期整改
	工业企业能源管理中心建设示范项目 财政补助资金管理暂行办法 (财建[2009] 647 号)	中央财政安排资金对工业企业能源管理中心建设示范项目给予适当支持
政策	关于开展能源管理体系认证试点工作的通知 (国认可[2009] 44 号)	从2009年11月1日起,以国标 GB/T 23331—2009 和行业实施规则为认证依据,鼓励先从钢铁、有色金属、煤炭及电力等重点行业开展能源管理体系认证试点工作,为期2年
	关于能源管理体系认证试点机构条件及审批事项的通知 (国认可[2010] 2 号)	试点工作主要在钢铁、有色金属、煤炭、电力及化工等十个重点行业开展,确定出承担能源管理体系认证试点工作的认证机构条件及批准事宜
政策	关于促进节能服务产业发展增值税、营业税和企业所得税政策问题的通知 (财税[2010] 110 号)	对节能服务公司实施合同能源管理项目可以享受营业税和企业所得税的优惠政策
	钢铁、石油和化工、建材、有色金属、轻工行业企业能源管理中心建设实施方案 (工信部节[2015] 13 号)	在2020年前,在钢铁行业建设和改造完善企业能源管理中心100个左右,在有色金属行业建设80个企业能源管理中心
标准	重点用能单位能耗在线监测系统推广 建设工作方案 (发改环资[2017] 1711 号)	各省(区、市)节能主管部门、质监部门要联合编制本地区监测系统建设工作方案,于2017年年底报国家发展改革委(环资司)和质检总局(计量司)
	“十四五”规划 (2021 年通过)	提出推广合同能源管理、合同节水管理等服务模式,推进钢铁等行业绿色化改造,推动绿色转型实现积极发展等目标
标准	能源管理体系实施指南 (GB/T 29456—2012)	规定了组织落实能源管理体系各项要求的通用指南及指导性方法和实施建议
	钢铁企业能源管理中心技术规范 (YB/T 4360—2014)	规定了钢铁企业能源管理中心的术语和定义、特性、构成、基本功能和要求,适用于钢铁联合企业能源管理中心的设计、建设和使用
标准	能源管理体系 能源基准和能源绩效 参数 (GB/T 36713—2018)	配套 GB/T 23331—2012,确立了能源基准(EnB)及能源绩效参数(EnPI)的确定原则和使用指南
	合同能源管理技术通则 (GB/T 24915—2020)	规定了合同能源管理的技术要求和合同文本,适用于合同能源管理项目的实施
标准	能源管理体系 要求及使用指南 (GB/T 23331—2020)	规定了建立、实施、保持和改进能源管理体系要求
	有色金属冶炼企业能源管理中心技术规范 (YS/T 1411—2021)	规定了有色金属冶炼企业能源管理中心的术语和定义、基本要求、建设具体要求、数据及信息安全、验收评价要求等内容,适用于有色金属冶炼企业能源管理中心的建设、验收和运行
标准	钢铁行业能源管理绩效评价指南 (GB/T 40084—2021)	提供了钢铁行业能源管理绩效评价的基本要求、评价内容及评价报告方面的指导,适用于以钢铁冶炼及压延加工为对象的钢铁企业开展能源管理绩效评价
	钢铁企业能源管理中心技术规范 第1部分:一般要求 (YB/T 4360.1—2022)	规定了钢铁企业能源管理中心的术语和定义、特性、构成、基本功能和要求,适用于钢铁联合企业能源管理中心的设计、建设、使用和评估
认证	能源管理体系 行业认证要求 (钢铁:RB/T 103—2013; 有色:RB/T 117—2014)	按照 GB/T 23331《能源管理体系 要求》标准及相应的《能源管理体系 行业认证要求》建立能源管理体系,且正常运行至少6个月以上

表4 2022年中钢协会会员单位各工序能耗
及综合指标

Table 4 Energy consumption of each process and
comprehensive index of member units of
China Steel Association in 2022

能耗分析项	单位	数值
吨钢综合能耗	kgce/t	551.36
烧结	kgce/t	48.56
球团	kgce/t	24.41
焦化	kgce/t	104.20
高炉	kgce/t	387.91
转炉	kgce/t	-17.74
电炉	kgce/t	55.38
轧钢	kgce/t	50.54
吨钢电消耗	kW·h/t	466.06
吨钢新水消耗	m ³ /t	2.44

编程系统(PLC)和分布式系统(DCS)被广泛应用,成为能源管理的重要手段^[24]。目前钢铁冶金的能源管理先进代表企业有美国纽柯钢铁公司、日本住友金属和歌山制铁所、德国蒂森克虏伯钢铁公司和韩国浦项钢铁集团等^[23],通过融合大数据和云计算技术,以合理利用能源为目的,将能耗数据全面收集和深入分析,进而形成企业内部节能分析诊断工具,实现不同工序生产流程在全生命周期内各环节设备、工艺参数以及能耗等多方面优化和实时控制^[25]。先进的能源管理系统既有能源信息采集和趋势监测的功能,也有以合理利用支配能源为目的的决策、调度和控制功能。

上述国外企业的能源管理技术已经较为先进,其发展不局限于能源系统的监控,更多聚焦于系统改进,即从流程优化、技术创新和使用可再生能源等方面提升企业效益。如:纽柯钢铁公司是全球最具代表性的优秀短流程企业之一,它采用 mini-mill 短流程电炉炼钢技术来节约生产能耗与物耗、提高生产效率进而降低了成本和排放,还利用 HIsmech、Castrip 等创新技术进一步节能减排^[26]。近些年,纽柯公司投资兴建了美国首家 100% 风电炼钢厂,使用风电进行电弧炉冶炼,以废钢为原料生产再生钢,也投资了 Electra 公司,开发一种无碳炼铁工艺,使用可再生能源,利用电化学和湿法冶金工艺将铁矿石冶炼成高纯铁,最后用于电弧炉炼钢工艺,从而减少温室气体排放,实现绿色转型。

国内钢铁行业的能源管理起步较晚,但发展迅速。国内现已有数十家钢铁企业建立了能源管理系

统,通过对生产能源远程监控和优化调配来节能增效,这也是钢铁企业数字化转型的一个重要环节。以下是国内钢铁龙头企业实施能源管理的案例。

宝山钢铁股份有限公司^[19, 27-29]于 1982 年建立国内第一个能源管理中心,其能源管理系统以全厂生产主设备为对象,采用以“三流一态”为核心的四维能源管理方法,对全厂能源自上而下进行统一管理,实现了能源供应、输配、转换和消耗全生命周期的预测、优化和管理。具体为利用光纤把分布于全厂范围内的变电站、给排水设施、煤气加压站和能源管网等连接在一起,通过能源管理系统既实现了对能源系统的分散控制和集中管理,也实现了包括监控、优化、分配和预测的闭环管理。通过能源管理大大降低了宝钢的综合能源消耗,提高了能源的综合利用效率,特别是减少高炉煤气的放散率和生产污水排放率,减轻了城市环境污染。经估算,每年的生产人员与能源投入费用可节省 6 000 多万元。

南京钢铁集团有限公司^[7, 30-31]于 2005 年建立能源管理中心,实现对能源实绩、能源计划、能源平衡和能源预测等全方位的监控和管理功能,监管对象包括电力、煤气、蒸汽、压缩气体及给排水等。能源管理系统内包含煤气系统智能平衡调度、转炉煤气回收预测、电力系统智能管控和氧气智能平衡调度等子系统。能源管理中心自运行以来,已实现吨钢综合能耗降低 6.4%,年节约 45 万 t 标煤,吨钢新水消耗降至 2.0 m³,煤气实现近零放散,提高了煤气回收率及发电量,提高了劳动生产率,减少了人员配备。

山东泰山钢铁集团有限公司^[8, 32-34]于 2016 年建立能源管理中心,以水、电、气及汽等作为能耗数据的采集对象,对企业能源生产、输配及消耗实施扁平化动态监控和调度,改进和优化了生产全流程的能源平衡,减少了煤气放散,充分利用余热资源,实现了能源信息与公司采购、销售及设备信息的智能集成,进而提升了企业管理水平,进一步减少了人力和物力应用。经估算,每年可综合节能 2%,节能增效带来的经济效益超过 2 500 万元。

目前钢铁行业能源管理仍存在一些需要改进的方面,如:能源数据计量采集不够精确;缺少对全厂余热资源及能流网络的监控;能源管理系统与其他运营管理系统之间互动不足;能源调度手段还以人工为主;预警机制存在一定滞后性,预测准确性还不够高等。和国外钢铁行业能源管理技术相比,采集

精细化、预测准确性、功能全面性和系统智能化等方面还存在一定差距,发展重点还主要在能源系统监控和局部设备或系统升级上,另外,在能源绿色低碳转型方面还有较大的发展空间。

3.2 有色行业能源管理发展

有色冶金涉及多种金属元素,各元素的提取工艺大不相同,特别是冶金技术,其规模体量比钢铁冶金小得多,但工艺种类比钢铁冶金多得多,技术和工段标准化程度低,能源利用率较低,这是有色行业能源管理发展速度相对较慢的主要原因。

国外有色行业较早开始发展能源管理和节能降碳技术,代表企业有美国铝业公司、芬兰奥托昆普集团和德国贺利氏集团等,这些企业除硬件外,还注重技术人员的培训,不断提高人员的技能水平和节能意识,全方位提高生产效能,并积极投资和推进可再生能源项目,加强创新。美国铝业公司升级其氧化铝生产技术,通过开发可再生能源以减少70%的碳排放,旗下Elysis公司有零碳排放的惰性阳极铝电解技术(Elysis TM技术),并生产出世界上首批零碳排放的原铝,同时在澳洲的6家铝厂全面采用可再生能源供电的机械蒸汽再压缩技术(MVR),以代替目前的天然气锅炉产蒸汽技术;奥托昆普集团有自己的闪速炉熔炼技术,具有能耗低、效率高、劳动条件好和自动化水平高等优点;贺利氏集团旗下有贺利氏光伏,以减少集团对传统能源的依赖,并为全球太阳能电池制造企业提供高性能的产品和解决方案。

国内有色行业的能源管理水平虽和国外存在一定差距,但在我国双碳目标和数字化转型的推动下,加快了能源管理技术升级,以下是国内有色冶金企业实施能源管理的案例。

中色大冶^[11-12,35]于2015年建立能源管理中心,利用EPON光传输网络实现长距离数据互通,对主要能源数据进行采集,并上传信息化系统生成相应的报表,同时企业还建立健全了节能降耗考核体系,推广车间级能源评审,形成系统的管理体系,通过工艺优化、设备升级和操作改进进一步降低生产能耗。经过一系列的改进,2017年铜冶炼综合能耗较2012年降低56.7%,新水消耗降低65%。

株冶集团于2015年建立能源管理中心,其能源管理系统属于“株冶智能工厂平台”中的一个模块,集能源过程监视、能源管理和优化分析等功能为一体,可集中管理电、煤、天然气、蒸汽、水、压缩空气及

氧气等多种能源,并对生产中能源的产生、转换和消耗全过程进行系统化和精细化的管理,实现企业能源最优利用。公司年节能量折合标煤1.37万t,经济效益可达3800万元。

金川集团^[13,36]于2015年建立能源管理中心,覆盖了公司本部燃料动力能源的所有数据采集,实现信息化技术与科学管理相结合的能源管理功能,有效实现了能源集中监控、统一调度、优化利用和异常报警。公司每年可降低2%的总能耗量,节能折合标煤2万t,减排二氧化碳5.2万t。

除了与钢铁行业能源管理类似的共性问题外,国内有色行业还存在一些个性问题,如:能源数据采集覆盖面相对不足,采集装置种类相对不足,采集频率较低等,部分企业仍存在低效的人工抄录方式,数据上报滞后,缺少能源管理的数据基础,数据库软硬件配套不全面,全厂能源管理统筹布局有待提高等。与国外有色行业能源管理技术相比,国内在节能技术创新、节能设施建设、能源管理平台建设和节能降碳措施实施等方面还存在不足。

3.3 钢铁和有色能源管理对比及共性问题

国内钢铁和有色行业能源管理发展进程及能耗与排放总结如表5所示。从规模产量来看,有色行业的体量只有钢铁行业的5%~10%,但单位产品的能耗和排放高于钢铁行业,且余热资源的利用率也较低。钢铁行业的能源管理中心普及率较高,有

表5 钢铁和有色行业的能源管理发展情况及能耗与排放对比

Table 5 Development of energy management and comparison of energy consumption and emissions in steel and non-ferrous industries

能源管理情况	钢铁	有色
能源管理中心建立	基本建立,获得一定成效	部分建立,获得初步成效
能源管理自动化程度	较高	一般
能源管理水平	一般	较低
数据记录方式	机器存储	机器存储为主,仍存在人工抄录
企业间发展差距	存在一定差距	较大
冶炼及压延加工业能耗	6.63亿tce	2.64亿tce
碳排放	14.9亿t	6.7亿t
余热资源占比	37%	60%
余热资源利用率	30%~50%	低于30%
能量品位浪费	较大	较大

一定规模的钢厂已基本建立,且能源管理自动化程度较高。有色冶炼工艺较多,相关研究和技术升级相对分散,不像钢铁冶炼工艺这么相对统一,导致有色行业的能源管理发展相对较慢,不同企业间的发展差距较大。

通过调研,总结出一些国内钢铁和有色企业在能源管理方面的共性问题。

1) 能源监测不足。各车间工段能源监测检测手段难以满足能耗统计、能源品质及产品单耗等计算需求。一级计量不足,如取用地下水和地表水等缺少计量仪表;二级计量不足,如锅炉产生的蒸汽和空压机产生的压缩空气等缺少准确的流量、压力等计量;三级计量不足,如各用能单元内部生产线和主要耗能设备等缺少能耗计量(电、燃气、蒸汽、压缩空气及采暖通风量等)。此外,目前冶金生产企业的能源监测主要针对燃料消耗、电力供应消耗和供暖量等,对可利用余能资源缺乏评估和统计,包括余热、余压、化学余能和余冷等。能源监测数据的不足导致企业无法确切掌握生产中各系统、设施的能源效率和节能潜力,从而影响能源管理系统建设的进一步开展。

2) 重局部轻全局。在能源管理体系中,开发和应用节能技术和装备只是系统节能的一个局部工作,局部节能虽然能够解决当前具体的能源问题,但对全厂节能的贡献是有限的,还可能会造成能源资源浪费、上下游不匹配和重复改造等问题。能源管理需要从全局入手,评估企业内外部、各工段之间的能质互补关系,挖掘全厂能源资源,统筹规划后实施,以此达到系统性节能增效的目的。比如:在余热回收中,单个子系统回收的余热通常难以被自身高质量回用,或者只能将余热回收成热水或低温蒸汽造成能量品位浪费。通过全局系统性能源管理就可以实现各子系统间的协同互补,实现全厂余热梯级利用,充分回收利用各品质能源。

3) 专业人才不足。由于能源管理所带来的收益并不像销售产品获利一样直观,部分企业对节能减排这类非强制性要求重视不足,对于能源管理类、数字化等专业性人才需求度相对较低。

3.4 发展趋势与前景展望

能源管理是冶金行业实施智能化改造、数字化转型和双碳工作的必经环节。随着能源需求的不断增加、环境问题的日益凸显以及国家政策的持续推进,冶金能源管理在未来发展中将面临诸多挑战和

机遇,以下几个发展方向值得关注。

1) 量化评估标准的建立。能源管理最重要的是能源的量化评估,由于冶金技术的多样化和冶金企业的情况各异,如何建立准确且具有可比性的能源量化评估方法非常重要。通过标准的建立,可以提高评估的全面性、客观性和公正性,促进各企业间和各技术间的比较和竞争,助于识别优秀和落后的主体,推动技术的进步。例如:统一的能效评估体系可以帮助企业识别各工序的节能潜力,方便节能工作的开展。

2) 低碳节能新技术引入。低碳节能新技术的引入,对保护环境、提高能源利用效率和产业转型升级等方面都具有重要意义。例如:新型高效热泵的引入为企业余热回收和制热制冷提供更节能更廉价的途径;分布式能源系统的建立为企业带来更灵活、更经济的冷热电联供。

3) 资源足迹全过程追踪。能源、碳和水等资源足迹的全生命周期追踪,可以帮助企业发现产品生产、运输及使用等环节中的资源使用情况和排放问题,进而更好地改进工艺和技术,更好地管理资源使用,也为企业资源规划与管理提供指导。例如:追踪碳足迹可以更好地发现各工序的碳去向和碳排放,方便企业制定针对性的降碳措施,有助于双碳工作的开展和碳交易的实施。

4) 智能化与数字化融合。智能化与数字化技术将成为冶金能源管理的核心驱动力。将大数据、云计算、人工智能、机器学习等技术与冶金能源管理系统深度融合,实现能源的实时监测和分析,提高能源利用效率,合理规划能源的使用和能源供需动态平衡,实现智能化、无人化的管理和控制,为企业创造更高的经济效益。例如,利用人工智能算法对能源数据进行分析,可以预测设备的能耗趋势,为企业制定更科学的能源管理策略。

5) 清洁能源大规模使用。随着技术的进步和环保政策的推动,清洁能源将在冶金行业大规模使用,推动可持续发展。例如:采用光电、风电或水电等绿电进行电炉炼钢,为可持续发展做贡献;采用氢冶金替代部分传统碳冶金,推动绿色转型;生物质能、地热能等新能源技术的进一步应用,为冶金行业提供了更多的绿色能源选择。

4 结语

双碳目标和节能工作的落实,一般通过源头减

量、能源替代、节能提效、回收利用、工艺改造和碳捕集六大技术路线作为突破点,能源管理是其中的关键实施环节。与国外先进能源管理技术相比,虽然国内冶金行业特别是有色冶金行业的能源管理技术还存在不足,但随着节能理念的深入,节能新技术的创新突破,能源量化评估体系的完善,碳减排经济效益的激励,以及企业对 ESG(环境、社会和治理)的持续强化,能源管理必将迎来更广阔的发展机遇。如何在冶金能源量化评估方法及标准、新型低碳节能及热回收设备、智慧化能源管理平台和能源绿色转型等方面取得突破,为即将到来的机遇做好储备,是冶金行业从业人员需要进一步思考的问题。

[参考文献]

- [1] 徐伟,何坤,谷琳. 人工智能技术在有色金属冶炼能源管理中的应用研究[J]. 绿色矿冶,2024,40(1):78-82.
XU Wei, HE Kun, GU Lin. Research on the application of artificial intelligence technology in energy management of nonferrous metal smelting [J]. Sustainable Mining and Metallurgy, 2024,40(1):78-82.
- [2] 胡荣. 浅析能源统计在企业能源管理工作中的作用[J]. 资源节约与环保, 2019(12):120-125.
HU Rong. Analysis on the role of energy statistics in enterprise energy management [J]. Resources Economization & Environmental Protection, 2019(12):120-125.
- [3] 杨福迈. 加强能源计量管理夯实能源统计基础[J]. 节能, 2019,38(1):125-126.
YANG Maifu. Strengthen the management of energy measurement and consolidate the foundation of energy statistics [J]. Energy Conservation, 2019,38(1):125-126.
- [4] 颜瑾,杨宇航,刘丽,等. 企业能源管理及能耗预测综述[J]. 电脑知识与技术, 2019,15(16):285-287.
YAN Jin, YANG Yuhang, LIU Li, et al. Review of enterprise energy management and energy consumption prediction [J]. Computer Knowledge and Technology, 2019,15(16):285-287.
- [5] 惠晨. 能源可视化系统在企业能源管理工作中的应用[J]. 中国集体经济, 2021(32):27-29.
HUI Chen. The application of energy visualization system in enterprise energy management work [J]. China Collective Economy, 2021(32):27-29.
- [6] 桂其林. 钢铁企业能源价值管理指标体系的设计与应用[J]. 冶金自动化, 2014,38(2):9-14.
GUI Qilin. Design and application of iron and steel enterprise energy value management system [J]. Metallurgical Industry Automation, 2014,38(2):9-14.
- [7] 刘昱辰. 能源管理系统在钢铁行业的应用[J]. 冶金管理, 2022(9):1-3.
LIU Yuchen. The application of energy management systems in the steel industry [J]. China Steel Focus, 2022(9):1-3.
- [8] 李涛,唐巧梅,祁建伟. 泰钢能源管理中心系统的建立与应用[J]. 山东冶金, 2019,41(6):54-57.
LI Tao, TANG Qiaomei, QI Jianwei. Establishment and application of energy management center system in taishan steel [J]. Shandong Metallurgy, 2019, 41(6):54-57.
- [9] 景婧. 能源管理系统在钢铁行业中的应用[J]. 山西冶金, 2022,45(4):143-144, 200.
JING Jing. Application of energy management system in iron and steel industry [J]. Shanxi Metallurgy, 2022, 45(4):143-144, 200.
- [10] 李春香. 唐钢能源管理提升的途径[J]. 冶金能源, 2019,38(4):3-6.
LI Chunxiang. Ways to improve Tanggang's energy management [J]. Energy for Metallurgical Industry, 2019,38(4):3-6.
- [11] 夏军. 如何利用 EPON 网络实现大冶有色工业区之间光数据远距离传输[J]. 数字技术与应用, 2015(9):34-35.
XIA Jun. How to use EPON network to achieve long-distance transmission of optical data between Daye Nonferrous Industrial zone [J]. Digital Technology & Application, 2015(9):34-35.
- [12] 于冰新,阮涛,邓东奎,等. 大冶有色冶炼厂节能降耗生产实践[J]. 中国有色金属, 2018(S2):45-48.
YU Bingxin, RUAN Tao, DENG Dongkui, et al. Energy saving and consumption reducing production practice in Daye Nonferrous Smelter [J]. China Nonferrous Metals, 2018(S2):45-48.
- [13] 李惠,贾宇,刘元贵. 铜冶炼企业能源管理体系的创建与实践[J]. 企业科技与发展, 2022(6):174-176.
LI Hui, JIA Yu, LIU Yuanguai. The establishment and practice of energy management system for copper smelting enterprises [J]. Sci-Tech & Development of Enterprise, 2022(6):174-176.
- [14] 朱浩,姚毓舟. 铜陵有色能源管理数据采集系统设计[J]. 科技视界, 2015(31):278.
ZHU Hao, YAO Yuzhou. Design of Tongling Nonferrous energy management data acquisition system [J]. Technology Perspective, 2015(31):278.
- [15] 雒莎. 卷烟企业能源管理运行实践[J]. 区域治理, 2021(53):160-163.
LUO Sha. Practice of energy management operation in cigarette enterprises [J]. Regional Governance, 2021(53):160-163.
- [16] 全国能源基础与管理标准化技术委员会. 能源管理体系要求及使用指南: GB/T 23331—2020[S]. 2020.
National Energy Foundation and Management Standardization Technical Committee. Energy management systems: requirements with guidance for use [S]. 2020.
- [17] 殷瑞钰. 论钢厂制造过程中能量流行为和能量流网络的构建[J]. 钢铁, 2010,45(4):1-9.
YIN Ruiyu. Comment on behavior of energy flow and construction of energy flow net work for steel manufacturing process [J]. Iron and Steel, 2010,45(4):1-9.
- [18] 金宇晖. 企业能源管理绩效的系统评价方法研究[D]. 武

- 汉:华中科技大学,2022.
- JIN Yuhui. The systematic evaluation methods for energy management performance in enterprises[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2022.
- [19] 尚久华. 钢铁企业 EMS 发展现状及其难点的解决思路[J]. 应用能源技术, 2016(12): 9-12.
- SHANG Jiu-hua. The present situation of EMS and solutions to its difficulty[J]. Applied Energy Technology, 2016(12):9-12.
- [20] 能源管理体系案例研究 爱尔兰的能源协议项目[J]. 认证技术, 2011(10): 39-40.
- Case study on energy management system in Ireland's energy agreement project[J]. China Quality Certification, 2011(10): 39-40.
- [21] 冯建英, 刘忠利. 能源管理控制中心节能技术应用[J]. 山西冶金, 2021, 44(3): 140-141.
- FENG Jianying, LIU Zhongli. Application of energy-saving technology in energy management control center[J]. Shanxi Metallurgy, 2021, 44(3): 140-141.
- [22] 李辉, 孙云增, 梁康元, 等. 基于碳中和背景下节能示范园区智慧能源管理平台的设计与研究[J]. 能源与环保, 2021, 43(10): 154-160.
- LI Hui, SUN Yunzeng, LIANG Kangyuan, et al. Design and research on smart energy management platform for energy-saving demonstration parks based on background of carbon neutrality [J]. China Energy and Environmental Protection, 2021, 43(10): 154-160.
- [23] ZHANG Qi, WANG Xiaoying, ZHANG Dawei, et al. Development of energy management system in integrated iron and steel works[J]. Advanced Materials Research, 2011, 204-210: 1737-1740.
- [24] BAN Yunqi. Energy decision making of steel company based on energy management system[J]. IFAC-PapersOnLine, 2020, 53(5): 608-613.
- [25] 齐琳琳. 钢铁企业能源管理系统促进节能减排探究[J]. 冶金与材料, 2023, 43(6): 181-183.
- QI Linlin. Exploration of energy management system in steel enterprises to promote energy conservation and emission reduction [J]. Metallurgy and Materials, 2023, 43(6): 181-183.
- [26] 柯华飞. 纽柯钢铁公司的环境实践模式[J]. 冶金信息导刊, 2010, 47(2): 43-44, 50.
- KE Huafei. Environmental performance in Nucor [J]. Metallurgical Information Review, 2010, 47(2): 43-44, 50.
- [27] 刘钟. 钢铁企业能源管理系统的工程建设实践[C]//中国计量协会冶金分会 2017 年会论文集, 湛江、武汉, 2017.
- LIU Zhong. Engineering construction practice of energy management system in steel enterprises[C]//Proceedings of the 2017 Metallurgical Branch Meeting of China Metrology Association, Zhanjiang and Wuhan, 2017.
- [28] 宝山钢铁股份有限公司. 宝钢全方位能源集约管理的做法[J]. 中国钢铁业, 2017(1): 28-29.
- Baoshan Iron and Steel Co. Ltd.. Baosteel's approach to comprehensive energy intensive management[J]. China Steel, 2017(1): 28-29.
- [29] 桂其林. 能源管理案例之上海宝钢[J]. 中国标准化, 2017(11): 49-50.
- GUI Qilin. Energy Management Case: Shanghai Baosteel[J]. China Standardization, 2017(11): 49-50.
- [30] 赵烽敏. 南钢全厂能源管理系统在节能降耗方面的作用[C]//中国计量协会冶金分会 2008 年会论文集, 北京, 2008.
- ZHAO Fengmin. The role of the energy management system in energy conservation and consumption reduction in the entire plant of Nanjing Iron and Steel United Co. Ltd. [C]//Proceedings of the 2008 Metallurgical Branch Meeting of China Metrology Association, Beijing, 2008.
- [31] 江苏省工业和信息化厅. 江苏省钢铁行业智能化改造数字化转型实施指南(第二版)[G]. 2023.
- Industry and Information Technology Department of Jiangsu. Implementation guidelines for intelligent transformation and digital transformation of the steel industry in Jiangsu province (Second edition)[G]. 2023.
- [32] 力控科技助力泰山钢铁集团能源管理中心系统项目建设[J]. 自动化博览, 2017(10): 46-49.
- Force Con helps the construction of energy management system project in Taishan Steel[J]. Automation Panorama, 2017(10): 46-49.
- [33] 李涛, 朱林, 唐巧梅, 等. 基于两化的能源管理中心在泰钢的研究与应用[C]//第十一届中国钢铁年会论文集, 北京, 2017.
- LI Tao, ZHU Lin, TANG Qiaomei, et al. Research and development of energy management center based on automation information fusion in Taigang[C]//Proceedings of the 11th China Steel Annual Conference, Beijing, 2017.
- [34] 刘祥银, 翟乃波. 泰钢能源介质管理系统的构建与应用[J]. 山东冶金, 2018, 40(2): 68-69.
- LIU Xiangyin, ZHAI Naibo. Construction and application of energy medium management system in taishan steel [J]. Shandong Metallurgy, 2018, 40(2): 68-69.
- [35] 大冶公司能源管理成果与展望[J]. 有色冶金节能, 1997(1): 33-37.
- The achievements and prospects of energy management in Daye[J]. Energy Saving of Nonferrous Metallurgy, 1997(1): 33-37.
- [36] 邓冰, 李惠, 吴霞. 基于工业互联网平台的能源管理系统在铜冶炼行业的研究与应用[J]. 有色设备, 2023, 37(3): 36-42.
- DENG Bing, LI Hui, WU Xia. Research and application of energy management system based on industrial internet platform in copper smelting industry [J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2023, 37(3): 36-42.

Research and discussions on energy management in the metallurgical industry

WEI Jiaming¹, DENG Sheng'an², YAO Liang², YU Yue²

(1. China Minmetals Corporation, Beijing 10010, China; 2. China ENFI Engineering Corporation, Beijing 100038, China)

Abstract: Industrial energy management is an advanced and efficient means of energy conservation and emission reduction, which manages the energy in a centralized and systematic way to reduce costs and increase efficiency for enterprises. It is also an essential link in the implementation of intelligent transformation, digital transformation, and the work of carbon neutrality and carbon peaking in the metallurgical industry. However, few studies on energy management have been reported at the metallurgical industry level, and the differences and common problems of energy management between steel and non-ferrous metallurgy have not been discussed. In view of this problem, this paper first comprehensively analyzed the development of energy management in metallurgical industry, and then discussed the application logic, scope and effect of energy management in the metallurgical industry, then sorted the relevant national laws, policies, standards, certifications and typical energy-saving evaluation indicators, and finally analyzed energy management cases of steel and non-ferrous metallurgy production enterprises at home and abroad. It is believed that there are still problems in China's energy management in the metallurgical industry, such as insufficient energy monitoring, emphasising local areas but neglecting the overall situation, and a shortage of professional talents. In the future, attention needs to be paid to establishing a quantitative evaluation standard system, introducing low-carbon and energy-saving new technologies, tracking the entire process of resource footprints, integrating intelligence and digitization, and large-scale use of clean energy. With the deepening of energy-saving concepts, innovations breakthroughs in energy-saving new technologies, the improvement of energy quantification evaluation systems, incentives for carbon reduction economic benefits, and the continuous strengthening of ESG (Environmental, Social and Governance) by enterprises, energy management will undoubtedly usher in broader development opportunities.

Key words: energy management; carbon reduction; system energy saving; production control; intelligent transformation; energy quantification assessment

中国恩菲主编的三项节能诊断技术规范发布

近日,中国恩菲工程技术有限公司主编的《铜冶炼企业节能诊断技术规范》YS/T 1693、《铅冶炼企业节能诊断技术规范》YS/T 1694 和《锌冶炼企业节能诊断技术规范》YS/T 1695,由工业和信息化部发布,将于10月1日起施行。

这3项规范规定了铜、铅、锌冶炼企业节能诊断的术语和定义、诊断基本原则及方法、诊断范围、诊断要点、工作程序报告要求等。作为有色金属冶炼行业首批发布的节能诊断技术规范,这3项规范可指导铜、铅、锌冶炼企业有效发现用能问题、深入挖掘节能潜力、提升能源利用效率和管理水平,实现降本增效。

这3项规范的发布将有助于《工业能效提升行动计划》的贯彻落实和工业节能诊断服务的推广开展,推动有色金属冶炼行业绿色发展,为实现碳达峰碳中和目标作出积极贡献。

(资料来源:中国恩菲)