

分类号： TK018
论文编号：

密 级： 公开

贵 州 大 学
2010 届硕士研究生学位论文

水钢能耗分析及对策研究

学科专业： 冶金工程

研究方向： 冶金环保

导 师： 李军旗 教授

研 究 生： 王 丽 远

中国 ■ 贵州 ■ 贵阳

2010 年 12 月

目录

摘 要.....II

Abstract.....III

第一章 绪论.....1

 1.1 课题研究的目标及意义.....1

 1.2 我国钢铁企业能耗现状.....1

 1.2.1 企业能耗水平.....1

 1.2.2 国内典型企业能耗现状.....2

 1.2.3 国外能耗现状.....3

 1.2.4 国外能耗环保.....4

第二章 水钢能源消耗现状.....6

 2.1 水钢主体工序主要技术经济指标及生产现状.....6

 2.1.1 炼铁系统.....6

 2.1.2 炼钢系统.....8

 2.1.3 轧钢系统.....8

 2.2 水钢生产流程及产品结构现状.....9

 2.2.1 生产流程.....9

 2.2.2 产品结构.....10

 2.3 水钢能源结构及能耗现状.....10

 2.3.1 能源结构.....10

 2.3.2 水钢能源流向.....11

 2.3.3 工序能耗及差距.....13

 2.3.4 钢比系数及差距.....13

 2.3.5 主要工序的吨钢工序能耗差距.....14

 2.4 本章小结.....15

第三章 影响水钢吨钢能耗的生产因素分析.....16

 3.1 工厂布局.....16

 3.1.1 厂区布置.....16

 3.1.2 厂内运输.....17

3.2 生产流程.....	17
3.2.1 生产的工艺流程指标.....	18
3.2.2 “界面技术”的现状与分析.....	18
3.2.3 流程问题对能耗的影响.....	21
3.3 水钢主要产品的能值.....	24
3.4 原燃料条件.....	25
3.4.1 原料条件.....	26
3.4.2 燃料条件.....	28
3.4.3 原燃料条件对能耗的影响.....	29
3.5 能源系统.....	30
3.5.1 煤气.....	31
3.5.2 水.....	37
3.5.3 水钢氧气利用状况调研.....	41
3.5.4 蒸汽.....	43
3.5.5 电.....	43
3.6 工艺装备.....	44
3.6.1 炼铁装备.....	44
3.6.2 炼钢装备.....	45
3.6.3 轧钢装备.....	47
3.7 工艺操作.....	48
3.7.1 工艺操作参数.....	48
3.7.2 工艺操作对能耗的影响.....	49
3.8 物质循环.....	50
3.8.1 水钢物流分析及其铁素流图.....	51
3.8.2 废弃物的回收与利用.....	54
3.8.3 物质循环对能耗的影响.....	54
3.9 能源管理.....	56
3.9.1 能源计量管理.....	56
3.9.2 能源管理制度.....	57

3.9.3 能源管理设施、机构与队伍.....58

3.9.4 能耗指标的统计方法.....59

3.10 本章小结.....60

第四章 二次能源产生量和利用途径分析.....61

4.1 工序和钢铁制造流程二次能源产生量理论分析.....61

4.2 典型二次能源的回收与利用技术.....63

4.3 国内钢铁企业余热余能的回收与利用.....65

4.4 水钢余热余能的回收与利用.....67

4.5 本章小结.....69

第五章 水钢企业节能对策和能源结构优化.....70

5.1 立足优化生产流程，调整产品结构，建西部长材精品基地.....70

5.2 改善原燃料条件，稳定炉料结构，降低炼铁系统能耗.....72

5.3 应用“界面技术”，降低高炉—转炉区段能耗.....73

5.4 调整能源结构，提高能源转换效率，增加自发电量.....75

5.5 高效回收余热余能，提高能量品质，力争做到“热尽其用”.....77

5.6 消纳废弃物，节约资源，建设环境友好型企业.....80

5.7 加强能源管理、节能队伍和节能基础设施建设.....81

5.8 提高能源转换工序的能源转换效率.....83

5.9 本章小结.....83

第六章 结论.....85

致 谢.....86

参考文献.....87

附 录.....89

水钢能耗分析及对策研究

摘 要

钢铁行业是我国重点耗能行业之一，资源消耗大、环境污染重。钢铁行业能源节约对于整个工业领域的节能减排影响巨大。钢铁产业在未来要实现长期、健康发展，就必须走能源节约型可持续发展之路。

论文以首钢水城钢铁集团（以下简称水钢）的生产现状和能源消耗为基础，依据系统节能理论、冶金流程工程学和工业生态学等理论为指导，采取比较分析法和综合分析法，对水钢集团能源消耗现状及存在的问题进行了剖析。

论文从工厂布局、生产流程、产品结构、原燃料条件、能源系统、工艺装备、辅助设备、工艺操作、物质循环和能源管理等十个方面详细讨论生产因素对水钢吨钢能耗的影响；对水钢主体工序的能耗进行了系统的分析，找到了水钢能源消耗与国内外企业的差距，为水钢能耗优化提供基础。

论文采用热力学第一定律和热力学第二定律对钢铁企业二次能源的产生进行了理论分析，并应用于水钢二次能源的回收和利用分析。结果表明水钢由于先进的回收技术普及率低，生产布局先天不足，流程不紧凑，技术装备相对落后，能源转换水平低，余热余能回收水平低是导致水钢能耗高的主要原因。

研究水钢的能耗，并提出了八项水钢能源节能对策和能源结构优化方案，这对于实现企业的节能减排目标具有重要意义。

关键词：水钢；能耗；节能对策

Energy Analysis and Countermeasures of Shuicheng Iron & steel [Group]Co.,Ltd.

Abstract

Iron and steel industry is one of China's key energy-consuming industries, resource consumption and serious environmental pollution. Iron and steel industry areas of energy conservation for the entire industry's enormous impact on energy conservation. Iron and steel industry in the future to achieve long-term, healthy development, it must develop a recycling economy, and take the low resource consumption, little environmental pollution and sustainable development.

Shuicheng Iron and Steel Group(hereinafter referred to as Shuigang)Status of production and energy consumption based on energy theory based on the system, metallurgical process engineering and industrial ecology theory as a guide, to take comparative analysis and synthesis analysis, on the Shuigang Group's energy situation and problems were analyzed

Papers from the factory layout, production processes, product mix, the original fuelconditions, energy systems, process equipment, auxiliary equipment, technical operation, material recycling and energy management to discuss in detail the ten factors of production on the Shuigang energy consumption; on Shuigang main Process carried out a systematic analysis of energy consumption, energy consumption and foundShuigang the gap between domestic and foreign enterprises points to provide a basisfor the Shuigang optimize energy consumption.

Thesis, and the first law of thermodynamics second law of thermodynamics energy forthe production of secondary iron and steel enterprises were analyzed, and applied tobusiness recovery and secondary energy use analysis. The results show that theShuigang because of low penetration of advanced recycling technology, production andlayout of the deficiencies, the process is not compact, relatively backward technology and equipment, low level of energy conversion, the low level waste heat and energyrecovery of high energy consumption is the main reason leading companies.

Analysis of energy consumption according to Shuigang case, made eight Shuigangenergy saving measures and energy structure optimization program

Keywords: energy conservation; energy planning; energy saving;

第一章 绪论

1.1 课题研究的目标及意义

随着我国全面建设小康社会目标的确立,我国经济快速增长,各项建设均取得了巨大的成就,但是同时也付出了巨大的资源 and 环境代价,经济发展和资源环境的矛盾日趋尖锐,必须全面贯彻落实科学发展观,走经济效益高、环境污染少的可持续发展道路,实现经济、社会、资源与环境的全面协调发展。

《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》提出了“十一五”期间(2006-2010年)单位国内生产总值能耗降低了 20%左右,主要污染物排放总量减少 10%的约束性指标。国内生产总值(GDP)能耗降低了 4%左右,主要污染物排放总量减少 2%的目标。“十一五”期间实现节能 1.18 亿吨标准煤,减排二氧化硫 240 万吨,减排化学需氧量 138 万吨。确实国家将节能减排工作提到了空前未有的战略高度。

钢铁行业是我国重点耗能行业之一,资源能源消耗大、环境污染严重。中国钢铁行业能耗占全国能源消费的比重在 15%左右,占工业能耗的 20%左右。可以说,钢铁行业节能减排对于整个工业领域的节能减排影响巨大。近年,钢铁企业通过绿色生产,尽量减少污染排放,包括耗水、排废、二氧化硫等指标改善,钢铁工业节能减排工作取得了一定的进展^[2]。但是,我国钢铁工业的进一步发展也日益受到矿产、水、电等资源,运输等各方面条件以及环境排放容量的制约。

从国内发展来看,资源与环境问题决定了中国钢铁行业不能继续走先污染后治理的老路,必须走一条资源消耗低、环境污染少的生态发展之路。

本文以首钢水城钢铁集团(以下简称水钢)为研究实例,从实际出发,以循环经济理论为指导,以经济 and 环境保护协调发展为目标,采取比较分析法和综合分析法,对水钢集团能源消耗的现状、存在的问题 and 采取的措施进行系统研究。同时,根据我国钢铁业二次能源利用的实际研究对水钢集团的能源消耗进行深入研究,并提出了对水钢的节能对策。研究水钢的节能减排,对于实现企业的节能减排目标具有重要意义。这正是本论文研究的初衷和目的。

1.2 国内外钢铁企业能耗现状

1.2.1 企业能耗水平

2008 年我国大中型钢铁企业吨钢综合能耗为 668.4kgce/t,吨钢可比能耗为

632.9kgce/t，详见表 1-1。由表可知，我国大中型企业工序能耗均大幅下降，尤其是耗电较多的炼钢和轧钢工序，降幅达到 21.09kgce/t 和 22.14kgce/t，这主要是电力折标系数调整所致：2005 年底国家统一调整了电力的折标煤系数，从 0.404kgce/kWh 调整到 0.1229kgce/kWh，使钢铁企业外购电力折标煤系数下降，导致全行业吨钢能耗统计值下降了约 17%，折合标煤 126kgce/t。这种调整显然是不合理，不仅人为地降低了钢铁企业的能耗指标，而且掩盖了自发电和外购电的区别，降低了企业自主发电的积极性。

表 1-1 大中型钢铁企业能耗情况

年份	吨钢综合 /kgce/t	吨钢可比 /kgce/t	焦化 /kgce/t	烧结 /kgce/t	炼铁 /kgce/t	炼钢 /kgce/t	轧钢 /kgce/t
2000	920	760	159.34	69.50	464.53	29.04	118.76
2001	876	870	153.78	68.70	448.32	27.82	108.97
2002	815	700	149.81	67.26	454.21	27.02	101.32
2003	778	696	140.58	65.90	483.89	25.45	97.34
2004	761	705	142.21	66.38	466.20	26.57	92.90
2005	741.0	714.1	142.21	64.83	456.79	36.34	88.82
2008	668.4	632.9	129.87	56.03	433.26	15.25	66.68

2006 年以来，我国钢铁工业吨钢能耗的下降主要源于各生产工序能耗的降低。其中，铁前生产工序能耗的降低主要源于设备的大型化。新建了一批 6.0m 和 7.6m 的大型焦炉，提高了焦炭质量，降低了焦化工序能耗；同时，还新建了 300m² 以上及 450m² 的大型烧结机，提高了烧结矿质量，降低了烧结工序能耗^[3]。炼铁方面，一批 3000m³ 以上的大高炉相继投产，高炉的大型化极大地降低了炼铁工序的能源投入，2006 年第一季度高炉的平均入炉焦比降低为 396kg/t。

在调研的钢铁企业中，能耗统计范围大多不包括外购的烧结矿/球团矿、焦炭、铁水及钢坯等在生产过程中消耗的能源，因此导致部分企业的能耗指标低得惊人，甚至超过了国际先进水平。这样一来误导了企业的节能工作，而且影响了全行业能耗统计指标的准确性。

1.2.2 国内典型企业能耗现状

2008 年宝钢的各项能耗指标见表 1-2。表中没有统计外购矿的能耗，同时没有考虑电炉钢对能耗指标的影响^[9]。若要将电炉钢的能耗转换为转炉钢的能耗，并计入外购矿的能耗，则宝钢的吨钢综合能耗为 611.5kgce/t。

表 1-2 宝钢 2008 年吨钢能耗指标

序号	工序	产品产量	钢比系数	工序能耗	吨钢综合能耗
		/×104t	/t/t	/kgce/t	/kgce/t
1	烧结	1709.52	1.601	50.9	82.1
2	炼焦	535.45	0.314	120	37.7
3	炼铁	1301.18	0.90	402	361.8
4	炼钢	1411.36	1.00	10.76	10.76
5	初轧	165.30	0.12	61.1	7.16
6	热轧	1134.27	0.80	92.72	74.52
7	自备电站				9.28
8	CDQ				3.35
9	工业水				0.23
10	氧气				-3.01
12	鼓风				1.21
13	蒸汽				0.21
14	运输				0.11
15	损失				19.10
16	其他				7.0
17	合计				611.5

1.2.3 国外能耗现状

钢铁行业是能源密集型行业，近年来，在钢铁行业产能快速增长的拉动下，焦炭、电力、油、天然气等钢铁生产所需的能源的需求增长较快，能源供应紧张的状况时有发生。能源短缺在世界各国都普遍存在，加之世界各国人民对环保问题日益关注，根据各国的国情以及钢铁行业的发展状况，世界各国在发展自己的钢铁工业时都采取了相应的对策和措施，力求获得经济发展和能源、环境之间的平衡。这些对策和措施的重点之一是开展节能的研究和采取节能措施。从节能效果比较来看，以日本钢铁企业能源单耗为 100 计算的指数分析，韩国钢铁企业能源单耗略大于日本为 105，欧洲为 110，中国大中型钢铁企业为 130，全行业则为 150，也就意味着中国钢铁企业吨钢能耗是日本的 1.5 倍，中国与日韩钢铁在节能上还存在一定的差距。

韩国政府对钢铁企业的节能环保问题相当重视，韩国的能源高度依赖进口，能源供给安全对韩国来说至关重要。两次石油危机对韩国经济产生了极为消极的影响。1978 年，韩国政府成立能源与资源部，负责制定能源政策及能源资源相关计划。1980 年韩国成立了能源管理公团，执行国家节能计划，提高社会能源利用效率。韩国还制定了“五年经济能源节约计划”，将钢铁行业等 194 个高耗能行业作为节能重点，并规定了每年 11 月为节能月，号召全民节能。在韩国政府的倡导下，钢铁企业对节能环保

保问题相当重视。2001 年, 韩国钢铁业在环保节能设备方面的投资为 1400 亿韩元 (1.21 亿美元), 2002 年猛增到 2261 亿韩元, 2003 年降到 1465 亿韩元后, 2004 年回升至 1952 亿韩元。据韩国钢铁协会调查, 预计 2007 年韩国钢铁行业在环保节能设备方面的投资将达到 2498 亿韩元, 比 2006 年的 1989 亿韩元高出 43%。韩国钢铁协会表示, “钢铁产业作为大型设备产业, 随着国内外越来越重视环境问题, 环保及节能的压力将日益增加。”

节能减排技术开发的过程大致可分为三个阶段: 基础性研究、应用研究、产品和工艺技术开发, 这三个研究阶段政府的支持重点也有所不同。前两个阶段的研究开发具有风险大、应用面广、共用性强的特点, 企业往往没有实力进行这样的研究开发, 因此从政府职能和公共财政的性质出发, 基础性研究和共用性强的产业技术研究开发是政府支持的重点。韩国规定对于直接关系国家利益的项目, 全部由政府资助, 并由公立研究机构承担, 对于具有商业价值的项目, 由企业提供部分资金, 合作进行研究, 私营企业研究机构承担或参与核心技术开发, 基础技术开发, 产业技术开发, 替代能源开发的国家研究开发项目任务的, 政府给予研究开发经费 50% 的补贴, 对于个人或小企业从事新技术商业化的, 政府提供总经费 80%—90% 的资助。

以韩国浦项钢铁为例, 浦项筹建初期的资金就是政府通过政治谈判获取于日本。同时, 韩国政府通过金融机构长期给予浦项以低息贷款优惠。不仅如此, 韩国政府还以政府名义为浦项向国外金融机构贷款提供担保。此外, 韩国政府通过“钢铁工业振兴法”、税收豁免、出口保护等政策, 为浦项产业科技研究所、制铁研修院、浦项 R&D 中心的建立, 以及从国外引进一流先进设备提供了充足的政策和资金支持。

在韩国政府的大力支持下, 韩国钢铁企业不仅开发了大量的节能技术, 如浦项钢铁公司和奥钢联共同开发了 FINEX 流程, 可全部使用铁粉矿作为原料, 世界上 60% 的铁矿资源是粉矿, 且粉矿的价格比块矿的价格低, FINEX 工艺可直接使用粉铁矿, 省去了粉矿造球或烧结的造块工艺过程, 具有明显的成本和环境优势。而且在节能技术的运用方面也走在世界前列。从钢铁生产主要节能技术在韩国钢铁领域使用的情况来看, 在干法熄焦发电上当前应用水平为 50%, 高炉炉顶压发电为 100%, 高炉热气回收为 0%, 连轧为 99%, 成为在节能技术的应用上仅次于日本的运用最广泛的国家之一。

1.2.4 国外能耗环保

炼铁的环保是近年来国外先进国家工作的重点。正在开发和推广的各种非高炉炼

铁工艺都将污染排放指标的先进性作为重要的依据。在现有的高炉炼铁流程中,同样进行了大量的改进工作。

北美为了消除烧结工序的污染问题,逐步取消了烧结系统。高炉以球团为主要原料,平均约 90%。有 20 座高炉采用全球团操作。球团以熔剂型为主,同时许多场合也有一定比例的酸性球团平衡使用。在无烧结矿的全球团操作中,通常要加入 5%~10%的由转炉渣、回收废钢、球团粉末、以及铁氧化物废料制成的压块。

欧洲则坚持采用烧结工序。认为烧结工艺的价值在于:用于生产高质量的烧结矿以保证高炉的高效;处理钢铁厂内部的废料使其循环使用。

目前我国钢铁行业的环境保护水平与先进产钢国家相比,差距仍是明显的。突出的一点是我国目前还在为提高各类污染物的排放达标率“奋斗”,而工业发达国家已不存在达标率这个概念,所追求的是持续不断地降低吨钢污染物的排放量。我国对废气中污染物的治理还停留在可见的粉尘上,而工业发达国家已涉及所有不可见的有害气体,除 SO_2 、 NO_x 外,已扩展到挥发性有机物(如苯并(a)芘)、卤代烃类(如二恶英)等。欧洲在 2004 年成立了 ULCOS(超低 CO_2 炼钢)联合体。该联合体由多数钢铁厂,几个涉及钢铁业务的大公司,以及主要的欧洲研究机构组成,共 48 个成员,14 个欧洲国家。ULCOS 的 CO_2 减排新工艺先从基础概念研究开始,然后是可行性研究,最后全部工业化,预计在 2020 年左右完成。

第二章 水钢能源消耗现状

首钢水城钢铁(集团)有限责任公司（以下简称：水钢）始建于 1966 年，地处享有“江南煤都”和“中国凉都”之称的贵州省六盘水市，经过 43 年的建设和一系列工艺、技术和装备的改造，水钢发生了翻天覆地的变化。现已成为集采矿、冶金、煤焦化、机械加工、建筑安装、汽车运输、水泥、进出口贸易等产业为一体，拥有资产总额 105 亿元、在岗职工 2.02 万人，具备年产 280 万吨生铁、300 万吨钢、300 万吨钢材综合生产能力的大型钢铁联合企业，2008 年排名“中国企业 500 强”424 位，“中国制造业 500 强”244 位。长期以来特别是“十五”以来，水钢坚持以人为本，全面、协调、可持续发展的科学发展观，以国家实施西部大开发战略为契机，转变增长方式，创新发展模式，提高发展质量，紧紧围绕发展第一要务，坚持走内涵扩大再生产和新型工业化道路，持续解放思想，深化内部改革，强化企业管理，大力推进科技进步与技术创新，逐步走上了持续协调健康的发展轨道，企业经营业绩和综合实力逐年提高。

2.1 水钢主体工序主要技术经济指标及生产现状

“十一五”以来，水钢以“建西部长材精品基地，创世界品牌”为目标，主要技术经济指标取得历史性突破。其中，2007 年销售收入突破 100 亿元，利税突破 8 亿元，率先成为贵州省单个企业年销售收入实现 100 亿元的“百亿元企业”。2008 年主要产品产量创历史新高，铁 275.19 万吨、钢 307.00 万吨、钢材 294.17 万吨，轧钢综合成材率达到 97.63%；节能降耗成绩显著，吨钢综合能耗降低到 734kgce/t 钢；吨钢新水耗量下落到 12.73 m³/t 钢。

2.1.1 炼铁系统

水钢炼铁系统由高炉、焦化和烧结等工序组成。

(1) 焦化工序

2008 年，水钢煤焦化公司投入运行的焦炉有 4 座，50 孔焦炉 2 座、36 孔奥托式焦炉 2 座，共生产焦炭 136.27 万吨，消耗洗精煤 166.34 万吨。焦炭产量和质量等技术经济指标，参见表 2-1。

表 2-1 2008 年焦化主要生产技术经济指标

项目	焦炭产量(×10 ⁴)	洗精煤单耗 (kg/t 焦)	全焦率 (%)	冶金焦率 (%)	M40 (%)	M10 (%)	工序能耗 (kgce)
----	-------------------------	-------------------	------------	-------------	---------	---------	-------------

指标	136.27	1393.00	78.89	91.76	85.04	6.54	164.0
----	--------	---------	-------	-------	-------	------	-------

(2) 烧结工序

水钢炼铁总厂现有 132m² 烧结机 2 台、65m² 烧结机 3 台烧结工序的基本情况和主要技术经济指标见表 2-2 和 2-3。烧结工序不断推进技术进步,提高了烧结矿冶金性能,不断规范中和料场的作业,烧结原料混匀料比例高达 99.56%,烧结矿的成分趋于稳定已取得了明显的效果,各项经济技术指标得到了明显提高。2008 年,生产高碱度烧结矿为 485.10 万吨。消耗的铁矿石主要为观音山矿业公司的铁矿石和进口矿(巴西、印度、芬兰和澳大利亚)。烧结原料中还有少量杂矿,如高炉返矿、烧结返矿、轧钢铁皮、转炉渣等。

表 2-2 2008 年水钢烧结机基本情况一览表

车间	主机规格 (台×m ²)	日作业率 (%)	利用系数 (t/h·m ²)	年产量 (×10 ⁴)
一烧	2×132	88.32	1.345	214.03
二烧	2×65, 1×75	91.29	1.280	271.07
合计/平均	—	89.51	1.308	485.10

表 2-3 2008 年烧结工序生产技术经济指标

指 标	一 烧	二 烧	合计/平均	指 标	一烧	二烧	合计/平均
品位指数 (%)	54.20	54.17	54.19	料层厚度 (mm)	—	—	576
转鼓指数 (%)	72.75	76.37	74.56	固体燃耗 (kg/t)	—	—	65
碱度 Ro	1.99	1.98	1.99	点火消耗 (GJ/t)	0.109	0.136	0.124
综合合格 率 (%)	92.10	89.90	90.88	电力消耗 (kWh/t)	39	51	46
返矿率(%)	—	—	23.72	工序能耗 (kgce/t)	61.45	72.99	62.82

(3) 高炉炼铁

2008 年,水钢炼铁总厂的生铁产量达到 275.19 万吨。现投入生产的高炉共有 3 座,总容积 3338m³,1#、2#和 3#高炉容积分别为 788m³、1200m³、1350m³。2008 年,由于一场国际金融风暴席卷全球,钢铁企业均面临大量亏损。为了积极应对市场变化和企业生存危机,集团公司做出果断决策,2#高炉于 10 月 29 日停炉停产。随着 2#高炉的停炉,生铁减产,公司能源介质重新平衡分配,生产条件发生变化,炼铁厂根据现有矿石资源,协调组织生产,实现了均衡组织,确保高炉顺利进行,全年取得了较好的技术经济指标。2008 年,高炉炼铁工序的主要经济技术指标(见表 2-4)。

表 2-4 2008 年水钢高炉炼铁工序主要经济技术指标

序号	项目	单位	指标	序号	项目	单位	指标
1	年产量	万吨	275.19	8	生铁合格率	%	99.91
2	利用系数	t/m ³ ·d	2.404	9	金属收得	%	94.80
3	入炉矿品位	%	55.26	10	渣铁比	kg/t	401
4	折算入炉焦比	kg/t	412	11	热风温度	℃	1097
5	折算综合焦比	kg/t	525	12	富氧率	%	0.97
6	喷煤比	kg/t	115	13	铁钢比	t/t	1.0509
7	综合燃料比	kg/t	557	14	工序能耗	kgce/t	449.0

2.1.2 炼钢系统

2008 年，水钢有一炼钢和二炼钢两个炼钢车间（基本情况见表 2-5），5 座转炉，年产钢能力达到 500 万吨，2008 年产钢 307.00 万吨，各项技术经济指标，见表 2-6。

表 2-5 2008 年水钢炼钢工序基本情况一览表

项目	产量 (×104)	转炉 (座)	混铁炉 (座)	精炼炉 (座)	连铸机 (台)
一炼钢	95.93	3×30t	1×600t	1×LF	R5.25 m ³ 流方坯连铸机 2 台
二炼钢	211.07	2×100t	1×900t	1×LF	R6 m ³ 流方坯连铸机 3 台
合计	307.00	5	3	2	5

表 2-6 2008 年水钢炼钢厂主要技术经济指标

序号	项目	单位	指标（实际消耗）		平均
			一炼钢	二炼钢	
1	钢铁料消耗	kg/t	1105	1083	1090
2	铁水单耗	kg/t	865	949	926
3	生铁消耗	kg/t	165	78	102
4	废钢单耗	kg/t	75	57	62
5	金属收得率 (按标准打折计)	%	92.42	93.45	93.16
6	铁水脱硫率	%	0	0	0
7	铁水扒渣率	%	—	—	—
8	转炉煤气回收	GJ/t	14.30	12.37	13.00
9	转炉蒸汽回收	GJ/t	2.96	2.43	2.60
	炼钢工序能耗	kgce/t	35	29	31.53

2.1.3 轧钢系统

水钢轧钢系统有 5 条轧线，为普线、准高线、一棒线、二棒线和高线。其中普线

2009 年已停产。2008 年，水钢钢材产品为 294.17 万吨。各轧钢厂的主要技术经济指标见表 2-7。

表 2-7 2008 年水钢轧钢厂主要技术经济指标

项目	普线	准高线	一棒线	二棒线	高线
产量($\times 10^4$)	25.62	36.84	91.55	94.12	46.05
工序能耗(kgce/t)	77	82	55	51	91
轧钢平均 工序能耗(kgce/t)	64.7				
综合成材率(%)	97.55				

2.2 水钢生产流程及产品结构现状

2.2.1 生产流程

经过“九五”和“十五”改造与建设之后，水钢的主体生产流程在衔接、匹配和优化方面取得了明显改善。其中，烧结工序实现 100%冷矿，高炉入炉矿中球团矿的比例占 15%以上，热轧工序实现了一火成材^[10]。水钢的生产流程正朝着设备的大型化，时间、空间的紧凑化和生产作业的连续化的方向发展。但是，水钢与国内外先进企业相比，生产流程还存在某些不合理的地方，主要问题如下：

(1) 炼铁系统还有部分小烧结机和小高炉存在，装备和工艺水平参差不齐。在高炉的入炉料中碱性烧结矿与酸性球团矿的比例还不尽合理、高炉焦比偏高、喷煤比低、综合燃料比高、能耗高；高炉—转炉区段的铁—钢界面衔接不紧凑，还存在高能耗的混铁炉。

(2) 流程网络复杂

表现在高炉铁水与下游的转炉工序，炼钢工序的连铸坯与下游的轧钢工序之间的热衔接不紧密。如一炼钢的连铸坯还存在汽车运输。

(3) 流程中物流的流速缓慢、连续化程度低、运行时间长，导致产品能耗高

如准高线流程、高线流程、一棒线流程和二棒线流程生产流程中物质流总运行时间分别高达 1390 min、1355 min、1370 min 和 1315min，连续化程度分别为 57.55%、58.30%、58.30%和 60.45%，而先进企业这三类流程的连续化程度达到 70%。可见，上述生产流程距离连续化、紧凑化还存在一定的差距。由于生产流程的流速缓慢、连续化程度低，所以产品能耗较高。经统计计算，2008 年水钢的准高线流程、高线流程、一棒线流程、二棒线流程的最终产品能耗分别为 758.4 kgce/t 材、761.9 kgce/t 材、731.0 kgce/t 材和 721.1 kgce/t 材。

2.2.2 产品结构

产品结构直接关系到企业的核心竞争力，也影响到企业的吨钢综合能耗。2008年，水钢的钢材产量为 294.17 万吨，产品结构见图 2-1。其中：普线产品 25.62 万吨，占 8.71%；准高线产品为 36.84 万吨，占 12.52%；一棒线产品为 91.55 万吨，占 31.12%；二棒线产品为 94.12 万吨，占 32.00%；高线产品为 46.05 万吨，占 15.65%。棒线等高附加值产品已成为水钢的主导产品，符合水钢未来的发展方向及今后一段时间内的国内、国际市场的产品需求。

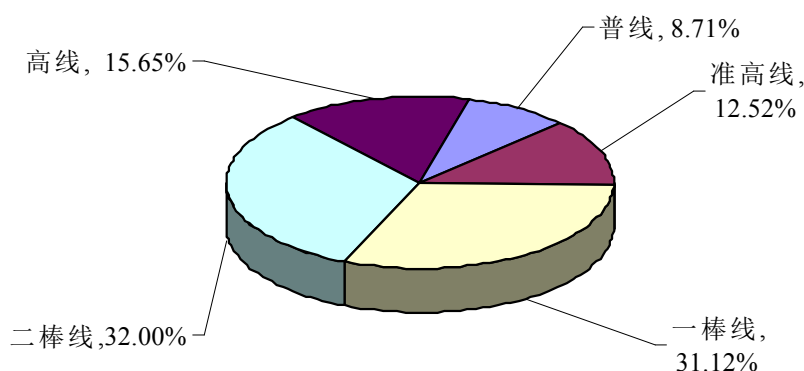


图 2-1 2008 年水钢钢材产品结构表

2.3 水钢能源结构及能耗现状

2.3.1 能源结构

2008 年，水钢消耗能源总量 223.54 万 tce，外购一次能源量 290.15 万 tce，外调能源 19.934 万 tce，库存增加 46.68 万 tce。外购能源有洗精煤 175.93 万 tce、无烟煤 37.03 万 tce、动力煤 30.15 万 tce、汽柴油 1.23 万 tce、冶金焦 15.21 万 tce，电 30.60 万 tce。在购入能源中，有少部分是直接使用的能源，如高炉喷吹用的烟煤、烧结用的动力煤、外购电等，占一次能源总量的 33.70%；大部分要经过转换设备加工成二次能源才能使用^[12]，如焦炭、电力、蒸汽等，占一次能源总量的 66.30%。二次能源是一次能源经加工转换生成的能源产品，它包括的范围很广，如电力、蒸汽和煤气等。在钢铁企业，二次能源主要指生产过程中产生的副产煤气和各种余热、余能。其中，余热资源主要指钢铁厂内产生的中高温余热，一般不包括冷却水等低温余热。2008 年，水钢二次能源生成量为 292.55 万 tce，其中，冶金焦 118.57 万 tce，副产煤气 100.77

万 tce，电 12.70 万 tce，蒸汽 23.89 万 tce，高炉鼓风 17.61 万 tce，水 1.55 万 tce，氧气 8.99 万 tce，压缩空气 0.61 万 tce，粗苯、焦油和软沥青 7.86 万 tce。

2008 年水钢二次能源构成图，由图可见，冶金焦、煤气、高炉鼓风是二次能源的主要部分，分别占二次能源总量的 40.53%、34.45%和 6.02%。

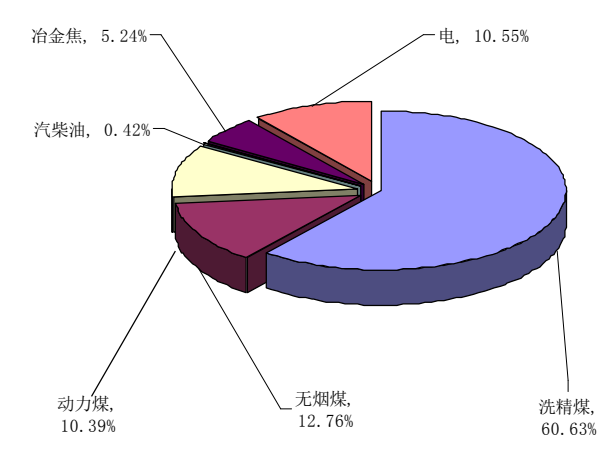


图 2-2 2008 年水钢外购能源

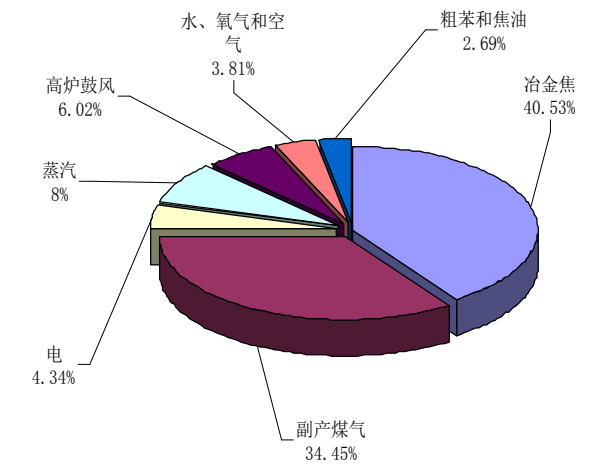


图 2-3 2008 年水钢二次能源

2.3.2 水钢能源流向

由于目前国内钢铁企业的生产结构不相同、产品结构不同以及在吨钢综合能耗和吨钢可比能耗没有一个统一的统计制度和统计口径。因此，企业之间的吨钢能耗比较难以真正反映各企业之间的能耗差距。

为了深入分析各个企业的能源消耗差距，经过调研，分析了国内十大钢铁企业和水钢的能源消耗流向。国内十大钢铁企业和水钢的能源消耗流向图 2-4。

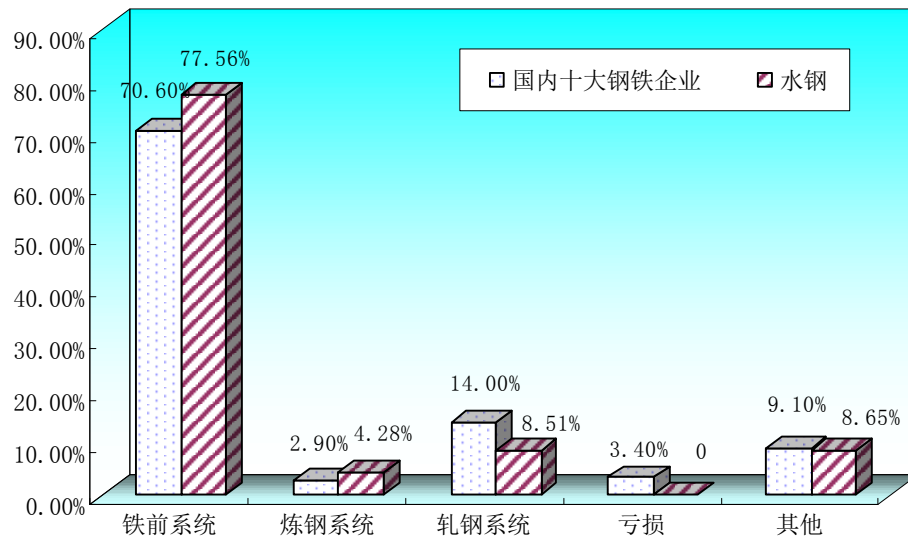


图2-4 钢铁企业能源流向图

由图2-4可见，国内十大钢铁企业的能源消耗流向为：铁前工序占70.6%，其中焦化工序占6.0%、烧结工序占10.1%、球团工序占0.6%、炼铁工序占53.9%；炼钢工序占2.9%，其中转炉炼钢工序占2.3%、电炉炼钢工序占0.6%；轧材工序占14.0%，其中热轧带钢占5.8%，冷轧带钢占2.8%，高线占1.3%，中厚板占1.1%；能源亏损占3.4%；其他（含自发电、焙烧、能源加工等）占9.1%。而水城钢铁公司铁前工序占77.56%，其中焦化工序占9.9%、烧结工序占13.2%、炼铁工序占54.37%；炼钢工序占4.28%；轧材工序能耗8.51%，其中普线占0.89%，准高线占1.35%，一棒线占2.24%，二棒线占2.15%，高线占1.88%。能源亏损极小，接近0，这可能与统计口径有关；化厂、动力、机制、机车等其他占8.65%。同全国十大钢铁企业相比较，水城钢铁公司的能源流向铁前系统的比例高7.5个百分点，说明了水钢铁前系统的能源消耗高；流向炼钢系统的比例高1.38个百分点，水钢炼钢系统的能源消耗也偏高。流向轧材工序的比例低5.49个百分点，主要是由于水钢的产品定位有关，轧材工序产品主要是线材，十大钢铁企业轧材工序有热轧和冷轧产品，导致能源消耗比例较高。

同时，水钢与宝钢相比，焦炭、焦炉煤气、转炉煤气等二次燃料和电、氧等动力介质的差距最为突出，分别为 0.0993kgce/kg 、 2134kJ/Nm^3 、 1717kJ/Nm^3 和 0.0400kgce/kWh 、 0.1232kgce/Nm^3 ，高炉煤气水钢回收水平比宝钢稍高，这是由于水钢的吨铁综合燃料比高等原因造成。造成差距大的主要原因是水钢的焦炉能源转换设备落后，转换效率低；自发电量占耗电总量比例低，TRT 普及率低和没有 CDQ 装置；制氧机组小，装备水平参差不齐，造成水钢制氧工序电耗高。

科学合理的能耗统计和计算方法,对于钢铁企业能源的科学管理和能耗指标的准确计算至关重要^[6]。在现行的钢铁企业能耗统计方法中,对电力、蒸汽、氧氮氩等动力介质的折标煤系数没有统一的约定,导致不同企业之间的能耗指标缺少可比性。能源转换工序的工序能耗,是指统计期内某能源转换工序生产单位产品所消耗的能源量,它反映的是该工序的能源转换效率的高低,也就是这种能源介质折标煤系数的大小。

2.3.3 工序能耗及差距

2008 年,水钢、宝钢各工序能耗见表 2-8。表中“其它”工序包括燃气加工、机车运输、能源亏损和能源转换等。

表 2-8 水钢各工序能耗与宝钢的比较 (kgce/t 产品)

工序	水钢 (2008 年)	宝钢 (2008 年)	差距
烧结	62.8	50.9	-11.9
炼焦	164	120	-53
炼铁	449	402	-47
转炉(含连铸、精练)	31.5	10.9	-20.6
轧钢 (宝钢线材)	64.7	53	-11.3
辅助及其它	63.0	44.0	-19

由表 2-8 可见,水钢的烧结工序,焦化工序、高炉炼铁工序、炼钢工序的工序能耗与宝钢差距较大,分别高 53kgce/t 焦炭、79 kgce/t 铁、28.8 kgce/t 钢。直接原因是:工序能源及其动力介质的实物量单耗高,如焦化工序洗精煤单耗、高炉炼铁工序入炉焦比、综合燃料比、鼓风量等等;余热余能回收低,如焦化工序的红焦显热水钢就没有回收、高炉炉顶余压少发电 (TRT) 21kWh/t 铁,转炉炼钢能源回收低,宝钢转炉工序已实现“负能”炼钢。

2.3.4 钢比系数及差距

水钢的钢比系数与国内先进企业宝钢的比较,列于表 2-9。

表 2-9 2008 年水钢各工序钢比系数与宝钢的比较 (t/t)

工 序	水 钢	宝 钢	差 距
矿钢比	1.4161	1.6130	-0.0998
焦钢比	0.4438	0.3141	0.1297
铁钢比	0.8949	0.8333	0.0628
连铸比	1.0000	1.0000	0.1021
材钢比	0.9582	1.0169	0.0414

水钢的焦钢比高出宝钢 0.1297，这是由于高炉炼铁的焦比高；水钢的矿钢比低于宝钢 0.0998，水钢的矿钢比比宝钢低的原因主要是博宏公司生产的铁水消耗的矿石没有计入统计口径；水钢的铁钢比为 0.8981，比宝钢高 0.0628，是导致吨钢综合能耗偏高的重要原因之一，如果考虑博宏公司给炼钢厂供应的铁水，铁钢比要增加，铁钢比偏高致使水钢的废钢比较低。水钢的铁钢比偏高，与水钢的矿石品位较低和转炉吃废钢偏低有很大的关系。水钢材钢比偏低，一方面，外销了一部分连铸坯，另一方面，轧钢尽管是一火成材，但成材率不高。

2.3.5 主要工序的吨钢工序能耗差距

为了了解水钢与先进企业的主要工序和先进企业的工序能耗和钢比系数（生产结构）的差距，引入吨钢工序能耗概念^[20]。以 1 吨钢为计算基准，在统计期内各工序消耗的能源，称为该工序的吨钢工序能耗。某工序的吨钢工序能耗在数值上等于该工序的工序能耗与其钢比系数两者的乘积。2008 年，水钢各主要工序的吨钢工序能耗与宝钢的比较，以及因工序能耗和钢比系数不同引起的差距等，均列于表 2-10。

表 2-10 2008 年水钢与宝钢吨钢工序能耗的比较 (kgce/t 钢)

项目	宝钢吨 钢工序能耗	水钢吨 钢工序能耗	因工序 能耗差距	因钢比 系数差距	吨钢工序 能耗节能潜力
烧结	82.1	96.1	-22.7	+8.7	-14.0
炼焦	37.7	72.8	-11.0	-24.1	-35.1
炼铁	361.8	403.3	-30.1	-11.4	-41.5
炼钢（转炉、连铸）	10.9	31.5	-20.6	0.00	-20.6
轧材	53.00 (线材)	66.3	-13.3	-2.1	-13.3
辅助及其它	44	63	-19	-	-19.0
合计			-114.6	-28.9	-143.5

由表 2-10 可见，水钢的主要工序的吨钢工序能耗比宝钢高出 143.5 kgce/t 钢，究其根源在于工序能耗和钢比系数两个方面。

(1) 工序能耗

就吨钢工序能耗而言，水钢在工序能耗方面比宝钢高出 114.6kgce/t 钢。其中，炼铁工序比宝钢高出 30.1kgce/t、烧结工序高出 22.7 kgce/t、炼钢工序高出 20.6kgce/t、辅助及其它高出 19kgce/t，焦化工序高出 11.0 kgce/t。

(2) 钢比系数（生产结构）

在钢比系数方面，水钢的能源消耗比宝钢高出 28.9 kgce/t 钢。其中，焦钢比的差距最大，焦钢比高使得焦化工序的吨钢工序能耗高 24.1 kgce/t、铁钢比高使得炼铁工序的吨钢工序能耗高 11.4 kgce/t；矿钢比低使得水钢的烧结工序能耗的吨钢工序能耗低 8.7 kgce/t。

2.4 本章小结

本章在全面了解水钢主体工序的主要技术经济指标、生产现状、生产流程及产品结构的基础上，系统深入地分析水钢与能耗有关的物流、能流现状，并与国内外先进企业进行对比，找出水钢工序能耗、钢比系数和吨钢能耗与国内外先进钢铁企业的差距以及产生的具体原因。

第三章 影响水钢吨钢能耗的生产因素分析

在二十世纪八十年代，陆钟武院士曾提出“载能体”的概念：在制备过程中消耗了能量的物体以及本身能够产生能量的物体统称为载能体；应用系统工程的原理和方法研究冶金工业的节能问题；从载能体的概念出发，研究钢铁厂的节能方向和影响吨钢能耗的影响因素，构造了节能途径分析表。本章应用这种方法并结合水钢的生产实际，从十个方面详细讨论生产因素对水钢吨钢能耗的影响。这十个生产因素是：工厂布局、生产流程、产品结构、原燃料条件、能源系统、工艺装备、辅助设备、工艺操作、物质循环和能源管理等。

3.1 工厂布局

早期的钢铁生产，其主要工序和大部分装置都是间歇操作的，由此导致了整个生产过程的不连续、生产节奏的频繁停顿、工序之间的不同步和大量中间产品库的存在，以及这些中间产品在储运过程中能量的耗散、时间的浪费和资金的占用等，于是就造成了钢铁厂布局的混乱^[22]。水钢始建于上世纪六十年代“三线建设”时期的山城钢铁企业，工厂平面布置混乱，工序之间不匹配，衔接、缓冲、运输能力差。究其原因，是钢铁生产的间歇式作业方式和应运而生的庞乱的总图布置，阻碍着生产流程的连续化和紧凑化。十几年前，水钢在领悟到钢铁生产过程中以平炉—模铸—初轧—开坯为代表的间歇式生产的局限性和不经济性等“技术瓶颈”问题之后，始终坚持对间歇式作业方式和庞大纷乱的总图布置进行全面的改造，不断地改进工艺流程，并朝着生产流程连续化和紧凑化的方向发展，取得了令人瞩目的成绩。然而，由于历史的原因水钢在工厂布局方面仍然存在不少问题，主要表现在厂区布置和厂内运输建设两个方面。

3.1.1 厂区布置

厂区布置，是指企业从接受原料、燃料起直至成品装运的全过程，由各个生产设备和装置所构成的“空间结构”。显然，合理的厂区布置一定具有最简化的生产物流和最快捷的工艺流程，使得厂内的物料搬运费用最少，厂内的空间得到最有效的利用。厂区布置的合理与否，将直接影响企业的生产效率和能耗水平。

水钢整体上各系统（焦炉、烧结、炼铁、炼钢）设备容量小、大型化程度不够，对一个年产量 300 万吨的钢铁企业来说，水钢的烧结机、高炉和转炉的数量偏多，造成厂内各台设备布置分散，占地面积大，导致整个厂区生产系统布局不尽合理，铁水

和钢坯的分配不对应,尤其一炼钢的钢坯与下游的轧钢工序热衔接不紧密,整个生产流程不紧凑,也不顺畅。

3.1.2 厂内运输

钢铁企业是一个由采矿、选矿、烧结、炼铁、炼钢、轧钢等工序组成的有机联合体。受资源、地理条件等限制,水钢所属各厂矿(车间)的总图布置先天不足,相互连接的紧凑程度不同,运输方式也是各种各样,有铁路、公路、水路、皮带、辊道运输等。其中,铁路运输的运能大、速度高、能耗低、安全可靠,可以运输高温物体,运输又不受季节、气候和昼夜的限制,设备便于维护,所以被钢铁企业视为主要运输方式。公路运输机动灵活、直达准确、运输周期短,速度快、费用低,也是钢铁企业重要的运输方式。带式运输具有爬坡能力大、运输能力大、运输平稳、运营和维修费用低等优点,是钢铁企业短距离物料运输的主要方式。辊道运输具有能耗小、环境污染少、成本低等优点,是钢坯运输的最佳方式。钢铁企业的厂内运输是连接各个厂矿(车间)、各工序之间的纽带,好比企业生产的动脉,在企业生产过程中占有极为重要的地位。同样,水钢的厂内运输也包括铁路运输、公路运输、皮带运输、辊道运输等多种方式。这里只讨论水钢的铁路运输和辊道运输两个方面。

水钢高炉、转炉数量多且布局不合理,加上水钢铁路在初期设计、工程建设方面存在的各种问题,使得水钢整个厂区的后来流程改造布局不尽合理,铁路运输仍然存在多处限制厂内运输的问题,如铁一钢之间的铁水运输就很不顺畅。目前,参与铁水运输的 65t 铁水罐多达 84 个,在线 56 个,由于水钢的转炉与铁水罐的罐容不一,一炼钢转炉冶炼一罐铁水又富裕,二炼钢转炉冶炼一罐铁水又不够,不能够实现一罐到底,铁水罐在炼钢厂或冷料厂被耽误,铁水罐的周转时间短则 2.5-3 个小时,长则达 6.5 个小时,造成铁水运输到炼钢厂需要进入混铁炉、铁水温降严重,导致能耗增加。

关于辊道运输,水钢二炼钢供给二棒生产线的连铸坯采用辊道运输方式,连铸坯的热装热送温度较高,达到 500℃ 以上,热装率为 90%。

2008 年准高线和高线加热炉能耗为 1.23GJ/t 和 1.14GJ/t,热装率不高,热装温度也偏低;由于一炼钢和下游的准高线和高线轧机能力不匹配,一炼钢的部分钢坯供给一棒,运输距离较长。准高线 85% 的钢坯和一炼钢供给一棒的钢坯采用公路运输方式,连铸坯难以实施热装热送。

3.2 生产流程

3.2.1 生产的工艺流程指标

经过近十年的技术改造，水钢的生产工艺流程和技术装备水平发生了历史性的变化，炼钢系统实现了全转炉和全连铸的先进工艺，轧钢系统基本上实现了连续化、紧凑化。10 年的技术进步极大地促进了水钢生产流程的衔接、匹配和优化，各项生产流程指标（参见表 3-1）都得到了明显改善：烧结工序实现了 100%冷矿，高炉入炉矿中球团矿的比例提高到 2008 年的 15%，钢坯热装热送率接近 60%，热装温度突破 600℃，轧钢系统实现了一火成材。随着流程的优化和结构调整，产品结构也发生了根本性的转变，棒线和高线等高附加值产品已成为水钢的主导产品。

表 3-1 2008 年的工艺流程指标

流程指标	2008 年	流程指标	2008 年
烧结冷矿比 (%)	100	连铸比 (%)	100
入炉矿中球团矿比 (%)	15	加热炉热装率 (%)	60
转炉钢比 (%)	100	一火成材率 (%)	100

3.2.2 “界面技术”的现状与分析

所谓“界面技术”是相对于钢铁生产流程中炼铁、炼钢、铸锭、初轧（开坯）、热轧等原有主体工序而言的，专指这些主体工序之间的衔接—匹配、协调—缓冲等技术及相关的设备和装置。它不仅包括相应的工艺和装置，而且还包括这些设备的时—空配置、设备的数量和容量的匹配等一系列的工程技术。“界面技术”是为解决钢铁生产过程中物质流、能量流、生产过程温度、生产过程时间等基本参数的衔接、匹配、协调、稳定运行问题服务的。因此，要进一步优化钢铁生产流程，就应该十分关注“界面技术”的发展，促进生产流程整体运行的稳定、协调、高效化和连续化。如图 3-1 所示，钢铁生产流程中存在炼焦—炼铁界面、烧结—炼铁界面、炼铁—炼钢界面、炼钢—连铸界面、连铸—连轧界面等。其中，将炼铁—炼钢界面简称为铁钢界面，它是存在于炼铁、炼钢这两个相对“刚性”工序间的一段相对“柔性”的“界面”，也是钢铁生产过程中最重要的界面，对于水钢来说发展铁钢界面技术尤为重要。

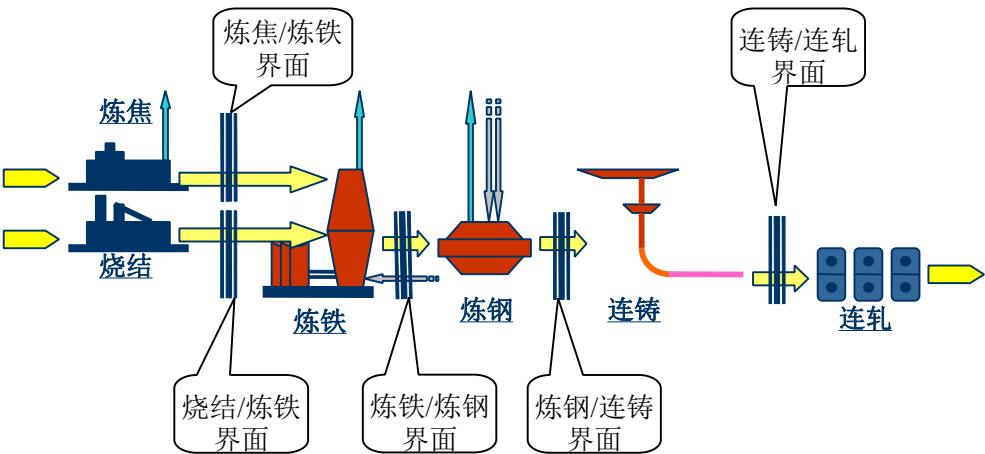


图 3-1 钢铁生产流程的界面

（1）关于铁水运输

一般正常生产情况下，水钢 1#、2#高炉铁水供一炼钢转炉使用，3#高炉铁水供二炼钢转炉使用，不足部分由 1#、2#高炉补充。各高炉到炼钢厂的距离见表 3-2，由表可知， 1#、2#高炉到一炼钢的运输距离相对较近，大约为 1km 左右，到二炼钢距离大约为 1.5km 左右，3#高炉到二炼钢的运输距离大约在 1.5km 以上。

表 3-2 水钢老区各高炉到炼钢厂运输距离

从 到	1#高炉	2#高炉	3#高炉
一炼钢	1.0km	1.0km	1.5km
二炼钢	1.5km	1.5km	1.5km

（2）关于铁钢界面模式

铁水采用受铁罐运输，铁钢界面模式有两种：一种是高炉—受铁罐—混铁炉—兑铁包—转炉模式（简称混铁炉模式）；另一种是高炉—受铁罐—兑铁包—转炉模式。每种模式的时间解析大不相同（以 2008 年实际生产数据为基准）。如果不计入铁水在运输过程中的不合理等待时间，铁水罐的日周转次数为 4.4 次；如果把铁水在运输过程中的等待时间也考虑在内，由于铁路运输不畅，铁水罐的不合理等待时间更长。究其原因如下：

① 高炉—转炉区间工艺装置不匹配，铁水罐个数多，且周转次数有限

高炉——转炉两个相互匹配的上下游工序而言，中间产品是液态铁水，有严格的温度限制，时间节奏的匹配就更加重要。因此，对工艺技术界面的高炉、转炉等装置，不仅要注重生产能力匹配，而且要注重作业时间匹配和作业期内上下工序装置能力的

匹配和技术参数的对应。时间节奏协调是工艺技术界面协调性很重要的方面。高炉—转炉工艺技术界面生产节奏对铁水罐个数的影响主要体现在正常生产条件下的铁水

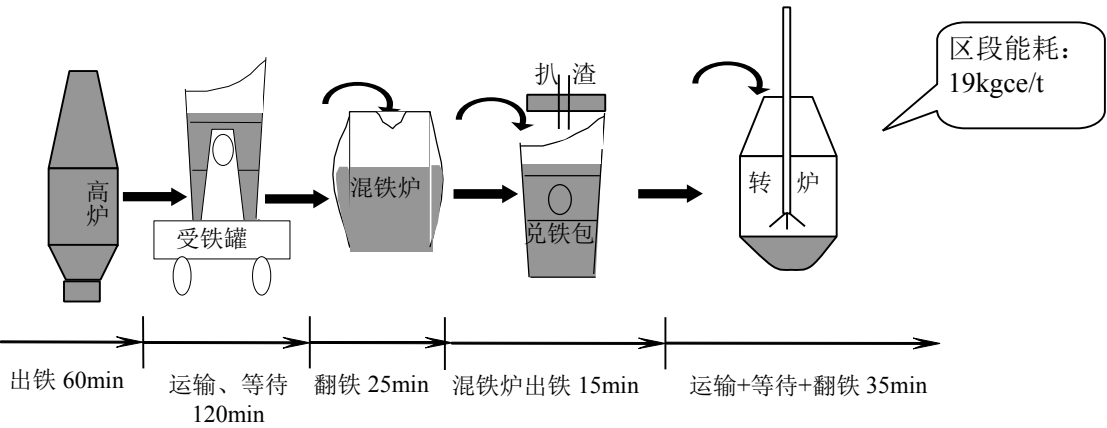


图 3-2 水钢铁钢界面模式（混铁炉模式）

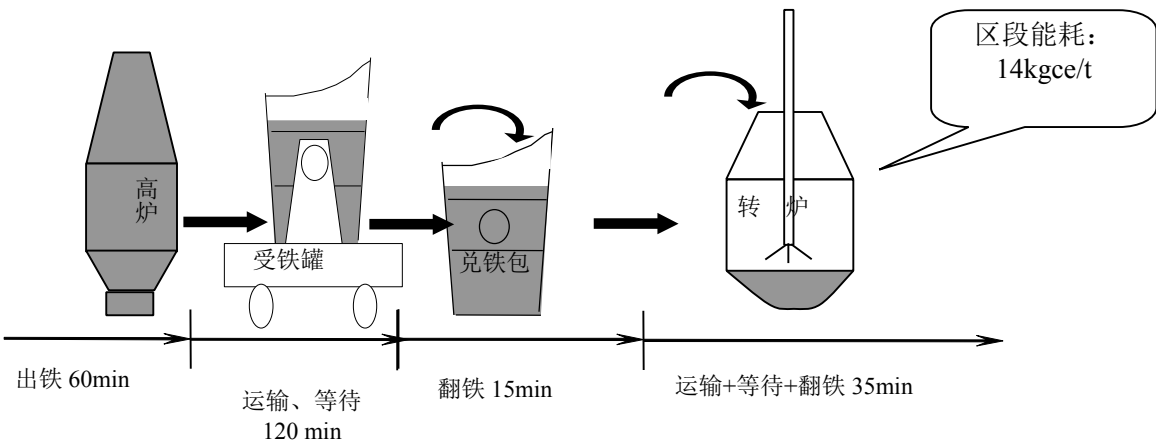


图 3-3 水钢铁钢界面模式（非混铁炉模式）及时间解析

罐周转次数方面，生产节奏衔接得越好，铁水罐周转次数就越多，那么所用的铁水罐的个数就越少。而水钢的转炉大小不一，有 80t 和 25t，2008 年，水钢铁水运输使用的铁水罐在线有 56 个，而且容量单一（65t），一罐铁水又不能满足 80t 转炉一次冶炼的铁水需要，对 25t 转炉来说又富裕，使得在线铁水罐个数较多，增加了调度困难，延长了铁水运输的时间，减少了铁水罐周转次数。

②铁—钢界面衔接不紧凑，铁水温降严重，高炉—转炉区段能耗高。

铁—钢界面还存在高能耗的混铁炉来盛接“多余”的铁水，增加了铁水的运输时间和倒罐的次数。铁水罐若粘罐的处理要返到冷料厂处理，周转时间高达 6.5 个小时增加了铁水罐的运转时间。2008 年，水钢铁水罐平均为 5 个小时左右，造成铁水温度

大幅度下降, 经过混铁炉保温后, 平均入转炉的铁水温度只有 1280°C (宝钢已达到 1350°C), 混铁炉消耗能量, 铁水热量损失也严重, 极大地影响了转炉吃废钢的能力。

高炉—转炉区段的区段能耗, 是指生产单位产品该区段所消耗的能量量, 它等于高炉—转炉区段消耗的能源总量与回收的能源总量之差再除以合格的钢水量。按铁水比为 0.8949 和钢铁料回收率为 93% 计算, 由于水钢炼钢厂转炉冶炼、精炼和连铸的能源消耗没有分开, 经估算, 则水钢各高炉—转炉区段的界面能耗一炼钢高达 19kgce/t , 二炼钢为 14kgce/t , 见图 3-2、图 3-3 所示, 而国内先进企业首钢、武钢高炉—转炉区段的界面能耗分别为 -21.36kgce/t 和 -10kgce/t , 水钢比同类先进企业大约高出 40kgce/t 。

③ 没有铁水预处理工艺

铁水的“三脱”是重要的铁水预处理过程, 影响着整个高炉—转炉生产流程的运转, 水钢铁水有脱硫工艺, 但脱硫站是后期建设的, 其行车能力不够和铁水罐容量等问题一直没有使用, 也没有脱硅、更没有采用专用转炉铁水脱磷工艺, 直接影响转炉的运行节奏和钢水的质量。

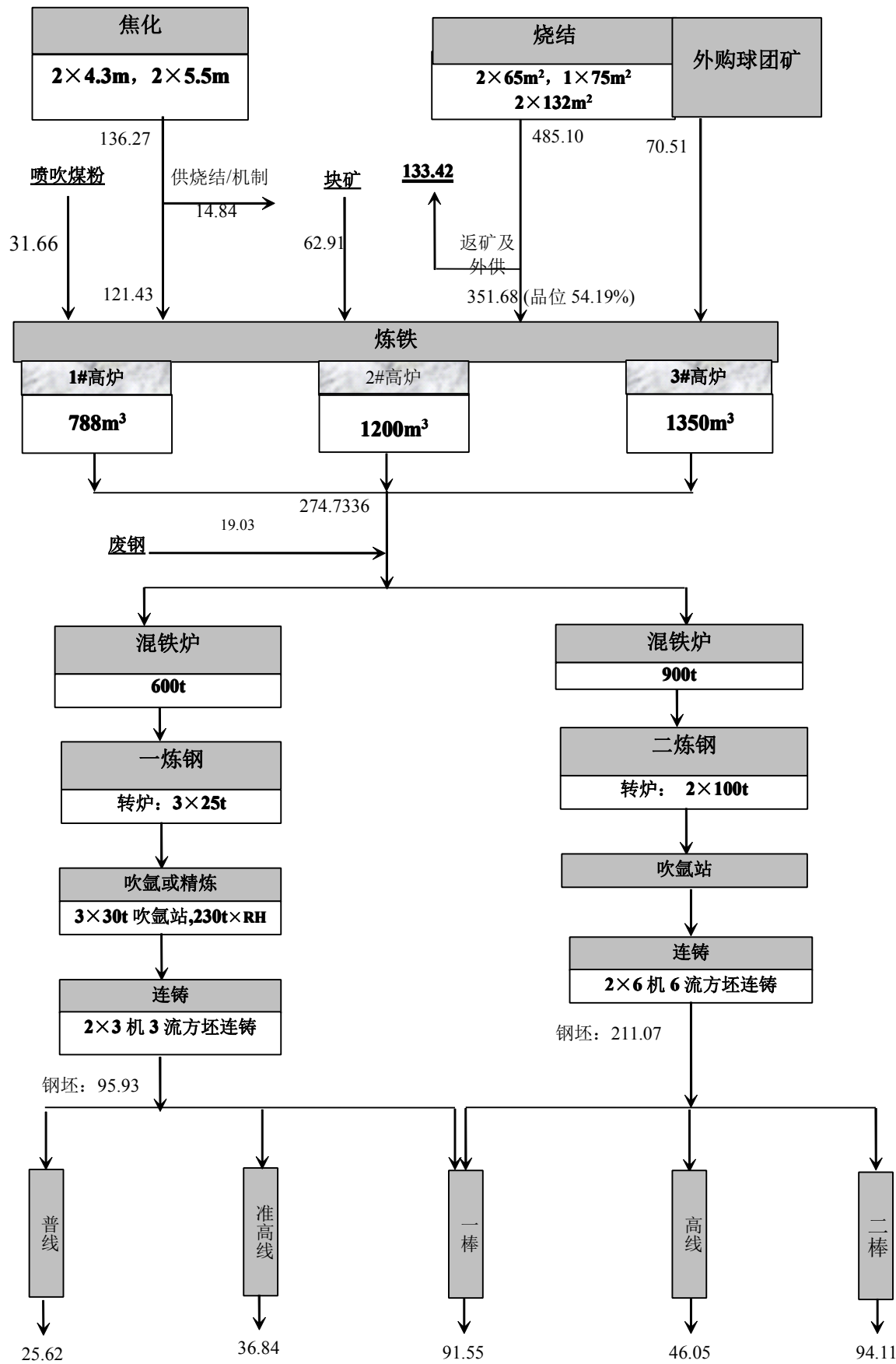
3.2.3 流程问题对能耗的影响

水钢的生产流程, 如图 3-4 所示, 主要生产流程有 2 类: 线材生产流程 (普线、高线、准高线流程); 棒材生产流程 (一棒、二棒)。

(1) 线材生产流程

如图 3-5 所示, 该流程现有 3 条生产线: 普线、准高线和高县三条生产线, 普线因能耗高、工艺落后, 已于 2008 年 8 月停产, 只讨论准高线和高线两条生产线流程。

二条生产线均自成一体, 与其他生产流程没有交叉、重叠。由图可知, 准高线和高线生产线分别由一炼钢和二炼钢供应的板坯进入加热炉加热, 经轧机轧制, 生产出产品。由于水钢铁钢界面不紧凑, 铁水需要在混铁炉保温, 增加了流程的能源消耗; 准高线钢坯来自一炼钢, 运输主要方式为汽车运送, 热装率和热装温度都低, 热装率只有 40%, 且热装温度为 300°C , 钢坯进加热炉平均温度为 150°C 。高速线材生产线钢坯来自二炼钢, 由于连铸和轧机的不匹配, 轧机能力只有连铸坯生产能力的一半,



热装率和热装温度都低，热装率只有 20-30%，钢坯进加热炉平均温度为 150℃。流
图 3-4 水钢生产流程示意图

程的部分装备相对落后，如一炼钢转炉，且流程热衔接不紧凑，所以该流程的产品能耗在水钢较高。

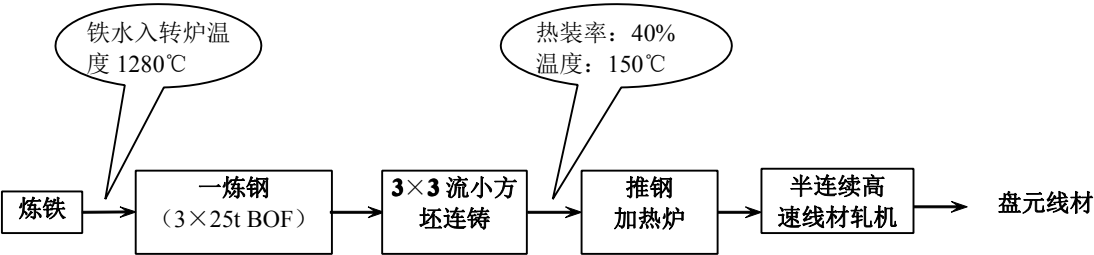


图 3-6a 准高线生产流

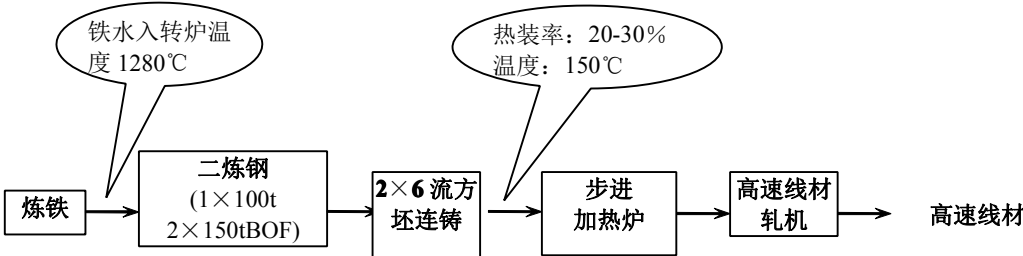
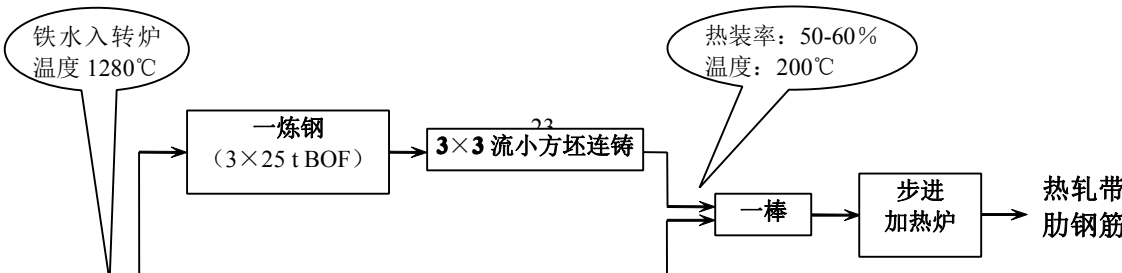


图 3-6b 高线生产流程

图 3-5 2008 年水钢热轧线材生产流程示意图

(2) 棒材流程

如图 3-6 所示，棒材流程包括两条生产线：一棒生产线和二棒生产线。由图可见二棒的的连铸坯全来自于二炼钢，且热装热送率最高，达到 90%，热装温度为 500℃，炼钢——轧钢界面流程组织较其它流程顺畅。一棒的连铸坯绝大部分由二炼钢提供，大约 20%-25%是一炼钢采用汽车运输提供，流程的物流组织混乱，流程中不同环节之间的热衔接较差：铁水入转炉温度只有 1280℃，热装率只有 50%-60%，热装温度也不高，二炼钢连铸坯为 500℃，一炼钢为 80-100℃，平均只有 200℃，混乱的流程物流网络和较差的热衔接状况增加了一棒生产流程的能源消耗。



下面根据水钢的生产实际,统计同类企业的生产数据,对二种流程物质流的运行时间—温度进行了解析,并估算它们的连续化程度及其对能耗的影响。

3.3 水钢主要产品的能值

为了讨论产品结构变化对吨钢能耗的影响,要事先求得水钢主要产品(确切地说是最终产品)的能值(或称产品能耗),即水钢生产一个单位的某种最终产品所消耗的能源量(kgce/单位产品)。产品能值用“累加法”计算求得。以天然资源为起点,首先计算第一道工序的产品能值,即:

$$MFE = F + E + S - B + R \quad \text{公式 (3-1)}$$

式中, F—为工序生产单位产品所耗燃料的载能量, kgce/单位产品;

E—为工序所耗动力的载能量, kgce/单位产品;

S—为工序所耗各种辅助原材料的载能量, kgce/单位产品;

B—为工序向外提供副产煤气或蒸汽、电力的载能量, kgce/单位产品;

R—为工序单位产品所耗主要原料的载能量, kgce/单位产品。

然后, 计算第二道工序的产品能值, 再计算第三道工序,,依次类推, 直到算得最终产品的能值为止。依据水钢 2008 年的生产数据, 计算出准高线产品、高线产品、一棒产品和二棒产品等 4 类最终产品的能值, 结果列于表 3-3。由表可知, 水钢的准高线产品、高线产品、一棒产品和二棒产品等 4 类最终产品的能值分别为 758.4 kgce/t 材、761.9 kgce/t 材、731.0 kgce/t 材和 721.1 kgce/t 材, 整体上来看, 产品能值都偏高, 主要是铁水能值和钢水能值较高; 四种产品中, 二棒产品的能值最低, 主要

是二棒的轧钢工序能耗低。水钢主要产品的能值与先进企业还有一定差距，国内先进的企业线、棒材产品能值为 650kgce/t 材，而水钢普遍高出 70~108 kgce/t 材。

表 3-3 2005 年各类热轧产品能值与同类先进企业的比较 （kgce/t）

产品	准高线产品	高线产品	一棒产品	二棒产品
水钢	758.4	761.9	731.0	721.1

钢铁企业的吨钢能耗还可以表述为，各种最终产品的能值与其材钢比系数的乘积之和。显然，当企业最终产品的能值一定时，企业的产品结构将决定吨钢能耗的大小。当高能值产品占的比例增加时，则企业的吨钢能耗上升，反之亦然。2008 年，水钢的钢材总量 294.17 万 t，4 种最终产品的能值相互差异很大，对吨钢能耗的影响也各不相同。产品结构变化对吨钢能耗的影响可按式计算：

$$\Delta E_i = \Delta x_i \times (MFE_i \times p_{s \rightarrow p}^i - E_0)$$

公式（3-2）

式中， ΔE_i —第 i 产品的产量占钢材总量的比例变化对企业吨钢能耗的影响量，kgce/t-s。

Δx_i —第 i 种产品比例的变化量，%；

MFE_i —第 i 种产品的能值，kgce/t；

$p_{s \rightarrow p}^i$ —第 i 种产品的综合成材率（由坯到材），t/t；

E_0 —吨钢能耗，kgce/t-s。

假设每种产品的产品比例均增加 1%，计算它对吨钢能耗的影响量，其结果列于表 3-4。由表可知，准高线和高线产品比例每增加 1%，将使吨钢能耗上升 1.18 kgce/t-s 和 2.02 kgce/t-s；相反，一棒和二棒产品等低能值产品的产品比例，每增 1%将使吨钢能耗下降 5.6 kgce/t-s 和 9 kgce/t-s。在水钢目前的生产条件下，对吨钢能耗影响最大产品是二棒产品，当二棒的产品比例每增加 1%，吨钢能耗将降低 9.0 kgce/t-s。

表 3-4 产品结构变化对吨钢能耗的影响

产品	准高线产品	高线产品	一棒产品	二棒产品
增加比例	1%	1%	1%	1%
对吨钢能耗的影响， kgce/t	+1.18	+2.02	-5.6	-9.0

发展精品棒材产品，一方面，工序能耗会降低；另一方面，产品市场竞争能力强、附加值高、经济效益好，最终可降低水钢的万元产值能耗。

3.4 原燃料条件

矿石、铁精矿、铁合金、废钢铁等含铁物料，石灰石、白云石、白灰、莹石等溶剂料，以及动力煤、喷吹用煤、洗精煤和焦炭等原燃料的数量和品质，这些都是影响水钢吨钢能耗的重要因素。水钢与国内的其它企业不完全相同，铁矿石以贫矿为主，能源以煤为主，钢以转炉钢为主，这些不利因素都将给水钢带来许多不利于节能、降耗和环境保护的问题。所以，改善原燃料条件，对未来的水钢节能尤为重要。

3.4.1 原料条件

(1) 铁精矿

水钢烧结用的铁精矿种类多，而且品位相差较大。其中：国产观音山铁矿，品位较低(品位为 46.78%)、八街铁矿(58.36%)左右、乌蒙矿(品位为 52%)、音山(60.07%)；进口矿，占铁矿消耗量 80%左右，包括澳大利亚矿、印度、南非和巴西矿（品位为 58%~60%）；转炉钢渣（品位为 40%）、高炉瓦斯灰（品位为 47%）、轧钢铁皮（品位为 70%）。考虑到铁矿成本问题，水钢进口矿石的品位偏低，造成炼铁系统能源消耗高。

(2) 烧结矿

2008 年，水钢烧结生产的各项指标列于表 3-5。

表 3-5 2008 年烧结矿技术经济指标

单位	合格率(%)	一级品率(%)	品位稳定性(%)	碱度稳定性(%)
一烧	92.1	77.43	84.35	81.73
二烧	89.9	75.58	81.54	79.55
全厂	90.88	76.41	82.79	80.54

由表可知，水钢一烧、二烧生产的技术经济指标差异不大，水钢烧结车间烧结矿的一级品率只有 76.41%，偏低。烧结矿品位和碱度的稳定性差，而宝钢烧结矿的合格率和一级品率接近 100%，而且品位比较稳定。水钢烧结矿的成分不稳定，与原料的供应不稳定有关。因为水钢烧结用的含铁原料的品种多、化学成分波动大，所以混料不均匀必将造成烧结矿成分的波动，最终影响高炉的顺行和能耗。

(3) 废钢

钢铁工业的主要铁源有两个：一是铁矿石，二是废钢。前者是自然资源，而后者是回收的再生资源。钢铁工业应尽可能少用铁矿石，多用废钢，这样不仅有利于保存资源，而且还有利于节约能源,减少污染。在钢铁联合企业，提高转炉炉料的废钢比，

是少用铁矿石的重要途径。电炉钢厂以废钢为主要原料,在这方面更具优势。而且,电炉钢厂占地面积小,投资低,很具有吸引力。但是,提高转炉炉料的废钢比和发展电炉钢厂的前提条件,是要有充足的废钢资源。否则,在废钢短缺、价格昂贵的情况下,要钢铁工业多用废钢,只能是一个良好的愿望。世界各国、各地区,废钢资源的实际情况差别很大。有的国家(地区)废钢资源较充足,价格较低。在这种情况下,当然可以多建些电炉钢厂,转炉也可以多吃些废钢。例如美国就属于这种情况,其电炉钢比高达 45%以上。而有的国家(地区)废钢资源不足,价格较高。在这种情况下,不可能发展电炉钢厂,转炉也不可能多吃废钢,例如中国就属于这种情。由此可见,废钢资源状况是决定一个国家(地区)钢铁工业总体结构,尤其是流程结构的一个主要因素,也是影响钢铁企业能耗的重要因素。

对水钢而言,作为典型的高炉—转炉流程企业对铁矿石的依靠程度必然很高,对废钢的依存度逐渐减小。水钢企图与国内其他电炉钢厂争购废钢资源,以实现转炉多吃废钢、少用铁水的良好愿望也不可能成为现实。近几年来,水钢的铁钢比一直维持在 0.9 左右,随着水钢 4#2350m³新高炉的建设投产后,铁钢比还会上升,就是很好的证明。2008 年水钢的铁钢比为 0.8949,水钢转炉的废钢单耗一炼钢 75kg/t,二炼钢为 57 kg/t kg/t,平均为 62 kg/t,废钢比 5.67%。目前,国内外废钢的价格一直居高不下,所以,有必要在全面衡量得失的情况下,认真研究水钢转炉是多用铁水还是多吃废钢的问题。

首先,在钢产量持续高速增长的情况下,我国的废钢资源必然相对短缺,多年来废钢市场价格居高不下,进口量锐减。金融危机前,进口铁矿石一直在涨价,加上国内废钢市场不畅,库存下降,助长了外商囤集居奇,抬高废钢物价。市场经济决定了水钢的铁矿资源主要依赖外购或进口。

2008 年,国内重型废钢、中型废钢和统料废钢的整体平均价格在 2700 元左右,按照 2009 年目前欧洲的废钢价格、日本、韩国和独联体的废钢价格看,短期内废钢还有一定下滑空间,但随着国际金融危机的好转,下滑价格仍不乐观。从经济效益角度看,水钢在近期内废钢价格没有明显下降的情况下,转炉多用铁水或生铁块,少吃外购废钢是有利的。

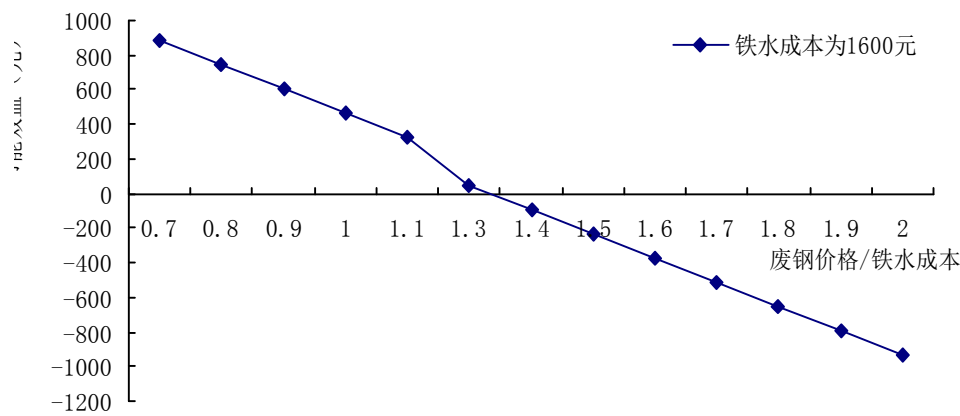


图 3-7 转炉吃废钢的节能效益分析

假设废钢价格在 1000 元~3000 元/t 之间波动，当铁水成本分别为 1200 元、1400 元、1600 元时，用 1 吨废钢替换铁水所产生的节能效益情况（元/t 废钢），如图 3-7 所示。从图中可以看出，当铁水成本一定时，随着废钢价格的上涨，废钢替换铁水的节能效益将越来越差，甚至出现负值。当铁水成本为 1200 元/t 时，经计算得到水钢购进废钢的边际价格是 2150 元/t（用该价格的废钢代替成本为 1600 元/t 铁水时不亏不赢），废钢价格低于边际价格时节能效益为正，高于边际价格时节能效益为负值。当铁水成本上升为 1600 元/t 时，则废钢的边际价格降为 1800 元/t。据调查和估算，目前水钢的铁水成本大约 1600 元/t，如果废钢价格超过 2150 元/t 时，转炉多吃废钢是不划算的。

3.4.2 燃料条件

(1) 洗精煤

水钢焦化厂的炼焦配煤（洗精煤）主要由六种单质煤组成：盘县主焦煤，保华、盘江、汪选和大河焦煤、瘦精煤、1/3 焦煤，各种单质煤按照一定的比例配制成入炉煤。各炼焦厂入炉煤的成分见表 3-6。由表可见，入炉煤的水分均在 10%以上，装炉煤水分对结焦过程有较大的影响，水分增高将使结焦时间延长。通常情况下，水分每增加 1%结焦时间约延长 20 分钟，不仅影响产量和能耗，也影响炼焦速度。故水钢在炼焦配煤时应在降低水分上采取相应措施。

表 3-6 2008 年水钢焦化厂入炉煤的成分及细度（单位：%）

序 号	项目	保华	盘江	大河	瘦精 煤	汪选	松和主 焦	混合煤
--------	----	----	----	----	---------	----	----------	-----

1	水份	13.57	12.85	13.24	13.16	13.15	12.15	12.73
2	灰份	10.44	9.56	9.62	9.78	11.07	9.92	9.97
3	挥发份	21.49	29.24	33.16	13.73	24.85	20.78	26.21
4	细度	-	-	-	-	-	-	77.32
5	细度合格 格率	-	-	-	-	-	-	99.26
6	硫份	0.97	0.39	0.86	0.40	0.68	0.55	0.65
7	胶质层 x	38.26	35.65	44.58	25.35	36.79	31.78	40.29
8	胶质层 Y	13.57	20.38	19.02	2.19	16.95	16.07	16.65
9	G 值	72.17	87.53	84.11	10.48	82.52	83.67	81.25

(2) 动力煤、高炉喷吹用煤

水钢燃料煤的工业分析见表 3-7。

表 3-7 2008 年喷吹用煤、动力煤成分表

项目	灰份(%)	挥发份(%)	硫份(%)	固定碳 (%)	发热值(KJ)
喷吹用煤	13.56	10.05	0.81	64.76	
动力煤	29.45	20.44	3.18	38.73	
烧结 用煤	21.58	8.20	1.10	62.05	

由表可知，水钢燃料煤的硫份普遍偏高，烧结用煤和高炉喷吹用煤的硫份偏高，在烧结和高炉冶炼过程会增加能源的消耗，烧结用煤和高炉喷吹用煤的灰份也偏高，也影响烧结和高炉冶金过程的能源消耗、溶剂消耗，同时高炉渣量也会增加。动力用煤的灰分、挥发分偏高、固定碳含量低，是水钢发电煤耗高的原因之一。动力煤、烧结煤中硫含量偏高，会造成吨钢 SO_2 的排放量，钢铁企业的 SO_2 的生成量和排放源主要是烧结工序和发电锅炉，因此，控制水钢燃料煤的条件是水钢控制 SO_2 排放的重要措施。

3.4.3 原燃料条件对能耗的影响

(1) 原料条件对能耗的影响

由 3.4.1 节原料条件的分析可知，水钢铁矿石来源广泛，有磁选也有浮选，化学成分波动大，品位不稳定，势必造成烧结矿的品位、碱度的不稳定。烧结矿的质量不稳定将直接影响高炉的生产指标，烧结矿成分的波动同时也会影响高炉顺行。在烧结

矿成分波动较大的情况下,高炉操作被迫留有较多的风温储备并将炼钢生铁的含硅量(炉温标志)和碱度保持在较高水平。这样,高炉的燃料比就会提高,从而影响整个炼铁系统的能源消耗和生产水平。

(2) 燃料条件对能耗的影响

① 洗精煤、动力煤、喷吹用煤对能耗影响

洗精煤的水分、灰分偏高,造成吨焦炭耗洗精煤高,2008年的炼焦煤耗高达1393kg/t焦炭,而宝钢是1330kg/t焦炭。洗精煤单耗高是影响焦化工序能耗的原因之一,同时也影响焦炉的产能。

动力煤的挥发份、灰份、硫份偏高,影响发电厂发电煤耗,使得能源转换效率低,增加了能源转换的能耗,从而影响吨钢能耗。喷吹用烟煤水份和挥发份偏高,不仅影响喷吹的安全,也影响烧结工序能耗、煤焦置换比和高炉炼铁工序能耗。

② 焦炭质量

焦炭质量的好坏直接影响炼铁工序能耗,水钢2008年的焦炭质量见表3-8。由表可知,水钢冶金焦的 M_{40} 为81.21%、 M_{10} 为6.87%、灰份为13.20%、硫份为0.58%。

表 3-8 2008 冶金焦质量表

项目	水份	灰份	挥发份	硫份	M40	M10	冶金焦合格率
单位	%	%	%	%	%	%	%
指标	4.67	13.20	1.19	0.58	81.21	6.87	100

这四项指标与国内先进企业相比都有不小的差距。焦炭的质量要满足高炉炼铁的需要,高炉操作的稳定性在一定程度上取决于焦炭质量的稳定性,提高高炉的冶炼强度有赖于焦比的降低,这就要求提供优质的冶金焦。目前,水钢的焦炭质量还不适应大高炉的生产需要,特别是2009年焦炭的硫含量还增加了,达到0.63%,影响了高炉的入炉焦比和综合焦比。经验表明,焦碳灰分减少1.0%,可使炼铁焦比下降1%~2%;焦炭S含量减少0.1%,焦比下降3%~6%,增产5%。如果水钢的冶金焦指标 M_{40} 、灰份、硫分能达到宝钢水平,可降低入炉焦比30~40kg。

3.5 能源系统

本节分析的水钢能源系统包括煤气系统、蒸汽系统、电力系统和氧气系统。这几种能源介质均是由购入能源加工转换而成的,其生产、转换和使用过程对吨钢能耗的影响很大,利用好这部分能源一方面可稳定能源供应,另一方面将降低能源消耗。2008年,水钢副产煤气(包括高炉煤气、焦炉煤气和转炉煤气)的生产总量为 $100.77 \times 10^4 \text{tce}$,

蒸汽生产总量为 $23.89 \times 10^4 \text{tce}$ ，自产电总量为 $12.70 \times 10^4 \text{tce}$ ，氧气生产总量为 $8.99 \times 10^4 \text{tce}$ ，分别占二次能源总量的 35.40%、8.39%、4.46%、3.16%。

3.5.1 煤气

煤气是钢铁联合企业中最重要二次能源，约占二次能源总量的三分之一。一个企业煤气产量的高低以及煤气供应量与需求量之间的平衡程度，对这个企业的产品成本和能源消耗影响极大。目前，我国多数钢铁企业不仅煤气回收率低、消耗量大，而且放散严重。

一个企业要摆脱未来能源涨价和环境治理费用给钢铁生产带来的不利影响，必须从用好煤气开始，即坚持煤气资源开发与节约并重，把节约煤气放在首位；企业在扩大规模和调整结构的同时，要始终保持煤气供应与需求之间的平衡，这是节能工作的基础。因为，企业发展离不开煤气资源的支持与制约。一个企业只有自觉地维持煤气供需平衡，才有条件把钢铁产品的能耗和成本大幅度地降下来。如果煤气供需不平衡，必然带来两种后果：一种可能是煤气相对短缺，企业不得不外购重油等其它燃料以补充煤气之不足；另一种可能是煤气相对过剩，导致煤气放散严重，既污染环境，又造成能源的极大浪费。

目前，水钢煤气系统在供需平衡、缓冲能力、系统优化等方面还存在着问题，煤气缓冲问题尤为突出，导致转炉煤气回收率低下，与国内先进企业相比，水钢煤气资源利用有很大潜力。

（1）水钢煤气系统总体情况

水钢煤气系统的工艺流程是把各种荒煤气通过除尘、净化和降温后送入相应煤气柜，进入相应煤气管网。经过以上处理的高炉煤气、焦炉煤气、转炉煤气，根据不同炉窑、用户对煤气热值、压力的不同要求，分别进行直接供应、单一煤气加压供应、满足不同工艺炉窑、用户对煤气的需要；水钢没有两种煤气混合后直接或加压供应、三种煤气混合后加压供应等几种供应方式。

（2）煤气的发生

煤气的发生设备有高炉、焦炉和转炉，存储设备有 1 个 8 万 m^3 和 1 个 3 万 m^3 转炉煤气柜，1 个 15 万 m^3 高炉煤气柜，1 个 7 万 m^3 焦炉煤气柜；2008 年水钢煤气发生量 $2963.82 \times 10^4 \text{GJ}$ ，折合标准煤 $100.77 \times 10^4 \text{t}$ ，2008 年 BFG、COG、LDG 的发生量及热值如表 3-9。

表 3-9 2008 年水钢煤气发生情况表

项目	单位	COG	BFG	LDG
总量	10 ⁴ GJ	1012.65	1833.8	117.37
折标煤	10 ⁴ t	34.43	62.35	3.99
所占比例	%	34.17	61.87	3.69
吨产品产量	m ³ /t	442m ³ /t 焦	1806m ³ /t 铁	57.4m ³ /t 钢
小时发生量	m ³ /t			
热值	GJ/km ³	16.8	6.66	3.69

由表 3-9 看出，高炉煤气的热值偏高，这是由于高炉炼铁工序综合燃料比较高。水钢煤气由于高炉煤气所占的比例较大，致使煤气的平均热值过低。转炉煤气回收水平较低，吨钢回收煤气量只有 57.4m³。转炉煤气回收水平低下对企业实现煤气平衡和利用是极其不利的。

(3) 煤气的消耗

水钢目前对煤气系统实施专业化管理，即由动力厂负责对煤气的净化、加压、混合和供应实施全面管理。水钢煤气的使用以纯单一煤气为主，混合煤气的使用量（配出量）却没有（即没有煤气混合站），不难看出，这种煤气结构对降低煤气消耗、实现煤气的供需平衡，以及提高煤气的使用效率是不利的。2008 年水钢焦炉煤气、高炉煤气、转炉煤气的使用情况见表 3-10。

表 3-10 2008 年水钢煤气用户使用情况表（单位 GJ）

项目	焦炉煤气	高炉煤气	转炉煤气
焦化	1041520	3284580	
烧结	600684	0	
炼铁	78086	8766259	
炼钢	1063793		21618
轧钢	1686193		1152107
动力	1663966	6287168	
其它	519906		
外供	1303676		
总量	10126502	18338007	1173725

2008 年水钢共有焦炉煤气用户 8 个。它们共消耗焦炉煤气 10126502GJ。就煤气使用用户而言，轧钢工序是消耗焦炉煤气的大户，其焦炉煤气消耗量占焦炉煤气消耗总量的 16.65%，其次是动力厂生产蒸汽和发电消耗的焦炉煤气占消耗总量的 16.43

%，然后是焦化厂和炼钢厂，这二个厂消耗的焦炉煤气量分别占焦炉煤气消耗总量的 10.29% 和 10.51%。

2008 年，水钢全公司的高炉煤气用户主要有 3 个，共消耗高炉煤气 18338007GJ。就高炉煤气的用户而言，炼铁厂消耗量最大，占高炉煤气消耗总量的 47.8%。其次是动力厂和焦化厂，它们消耗的高炉煤气量分别占高炉煤气消耗总量的 34.28% 和 17.91%。就燃用高炉煤气的设备而言，热风炉是烧高炉煤气最多的设备，年消耗高炉煤气量占高炉煤气消耗总量的 47.8%，其次是炼焦炉，占消耗总量的 34.28%，锅炉消耗高炉煤气占水钢 17.91%。

2008 年转炉煤气单独用户只有两个，共消耗煤气 1173725GJ。用户为炼钢工序和轧钢工序，分别消耗 21618GJ 和 1152107GJ，其比例为 1.84% 和 98.16%。

(4) 煤气系统存在的主要问题

① 转炉煤气回收率低，放散严重

2008 年，尽管转炉煤气回收量达到 $57.4\text{m}^3/\text{t}$ 钢，但其热值只有 $6600\text{kJ}/\text{m}^3$ ，与宝钢的转炉煤气热值差距较大，宝钢吨钢回收转炉煤气 96m^3 ，热值高达 $8377\text{kJ}/\text{m}^3$ 。转炉煤气的用户少和缓存能力不足是回收水平低的根本原因。此外，转炉煤气的发生量与使用量之间的变化，也会造成不必要的煤气放散。近几年，水钢的钢铁产量增长快，相反煤气设施建设缓慢，转炉煤气回收水平低。

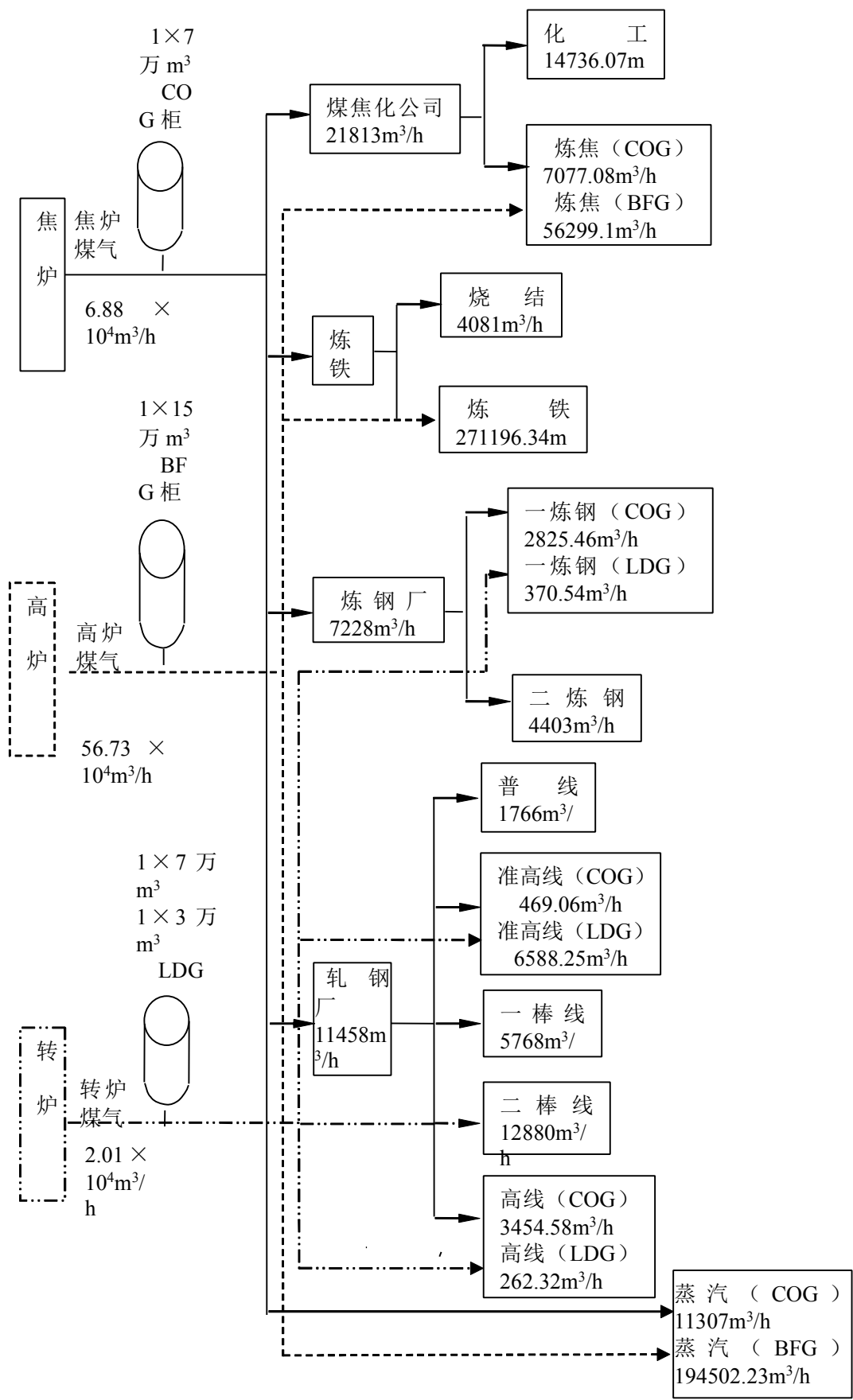


图 3-8 水钢煤气发生、使用、存储及使用结构图

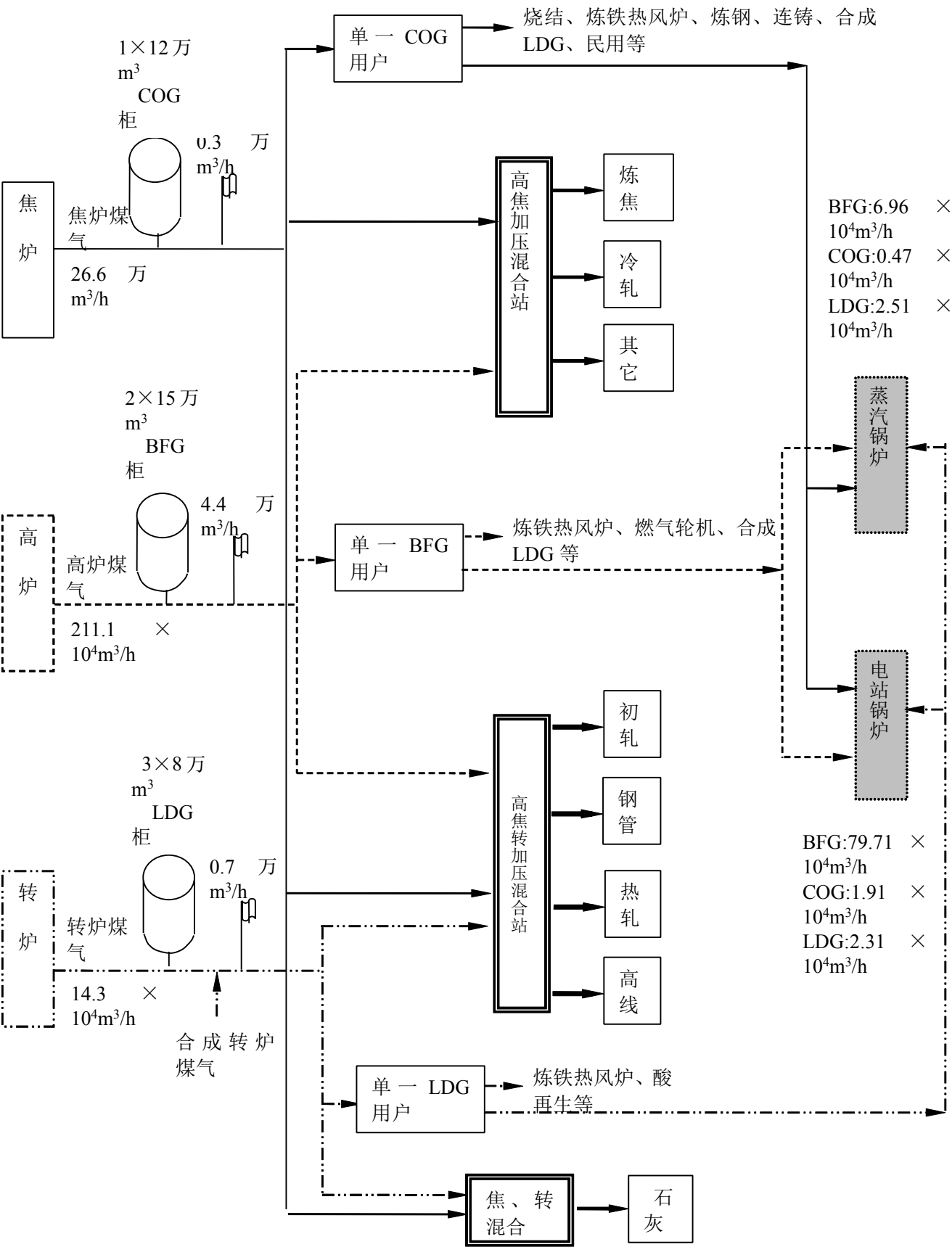


图 3-9 宝钢煤气发生、使用、存储、混合及使用结构图

② 煤气系统缓冲、调节能力不足

2009 年新建的 1 座 7 万 m³ 焦炉煤气柜于年底投入使用,但在转炉煤气柜建成之前,由于无法调解因煤气瞬时波动引发管网压力的大起大落,再加上煤气缓冲用户的缓冲能力小,调节能力差,致使转炉煤气回收水平低。2008 年,由于二炼钢没有煤气柜,煤气压力不稳定,影响用能设备的操作与运行,也就影响转炉煤气的用户。在大型钢铁联合企业中,自备电厂是消耗富余煤气的主要用户,水钢动力厂发电消耗的煤气为高炉煤气和焦炉煤气,完全可以燃烧部分转炉煤气。今后,随着加热炉燃耗的下降,煤气的富余量还有可能增加。因此,在煤气供大于求的时候,钢铁企业只有扩大自备电厂的生产能力、充分发挥其缓冲富余煤气的作用,不断开发新的煤气用户,才能从根本上解决煤气放散和回收问题。

③ 煤气计量不准确、监测手段不健全

水钢煤气计量系统不完善,有些煤气用户尚没安装计量仪表,或者是几台设备共用一块仪表,消耗无计量。如炼钢工序在混铁炉、转炉和精炼在煤气用户方面,没有准确的分开计量。有些流量计由于流量孔板使用时间长,磨损、挂垢严重,常常发生有些测量失真。此外,水钢尚没有建立能源管理中心,造成信息沟通不及时,缓冲用户不能及时吞吐富裕煤气量,管网压力波动大。

④ 煤气管网结构错综复杂、管网压力波动频繁

水钢煤气管网建于上世纪 60-70 年代,腐蚀、堵塞已相当严重。由于改造煤气系统涉及的范围广,危险性大,在水钢又不处于主体地位,所以不到万不得已是不会改造煤气管网的,日积月累必然造成了管网结构上的不合理。一旦系统的某一个环节出现问题,对水钢的整个生产影响极大,况且系统几乎没有检修的机会,稳定运行也没有保障。

⑤ 煤气用户不合理

对钢铁企业煤气的燃烧特性研究表明:为提高煤气的利用系数应保证燃烧在较低的空气消耗系数、较低的排烟温度和较高的空气(煤气)预热温度下进行。对钢铁企业燃料(气)互换性研究表明:同一设备,使用不同种燃料时,其热效率不同;当用一种燃料置换另一种燃料时,必须对置换燃料和被置换燃料二者品质进行评价,使其满足用能设备的工艺要求,在火焰稳定性和热负荷强度上要保持一致。对用能设备的煤气合理热值研究表明:当用能设备的加热温度一定,在不同的助燃空气、煤气预热条件下,所需要的煤气热值也不同,主要取决于煤气的理论燃烧温度;对于用能设备

而言，降低炉膛温度与所加热物料温度之间的温度差，可以减少煤气加热过程的传热不可逆损失，有利于节约燃料。对于煤气有序利用研究表明：优先选择单品种煤气使用，提高煤气利用效率，特别是低热值煤气；如果单品种煤气使用技术上还有困难，采用煤气混合使用的方式。各工序用能设备的煤气消耗应做到“按质用能、热值对口、有序利用”，最大限度地提高煤气资源的使用效率。水钢有些工序的焦炉煤气消耗完全可以用低热值单一煤气或混合煤气来替代。

3.5.2 水

降低钢铁企业的新水消耗，一方面要降低生产工艺用水量，另一方面要提高冷却水的循环率。目前，我国钢铁企业吨钢用水量即工艺用水量为 150~200m³/t 钢，吨钢耗新水量一般在 5~20m³/t 钢。先进钢铁企业吨钢工艺用水量在 140m³/t 钢左右，2008 年马钢吨钢耗新水量为 3.18m³/t 钢，水的循环率达到 98%。水钢吨钢工艺用水量在 200m³/t 钢以上，2008 年吨钢新水消耗量为 12.73m³/t 钢，水的循环率为 83%。相比之下，水钢的吨钢工艺用水量高于马钢等其他钢铁企业，水的循环率也比马钢低，这也是水钢吨钢新水消耗量高于水钢的根本原因。

(1) 水的分配使用

a、新水分配

2008 年，水钢新水消耗总量为 3908.59 万 m³，吨钢新水耗量为 12.73 m³/t 钢。水钢冶金工厂新水消耗量比较大的用户有发电、转炉、炼铁、轧钢、炼钢等 10 余个生产厂和工序。详见表 3-11。

表 3-11 2008 年水钢新水在各厂或工序的分配量

序号	厂或工序	新水用量 (万 m ³ /a)	比例 (%)	用水设备或工艺
1	发电	429.72	10.99	冷却水、除灰、蒸汽、软水
2	蒸汽	424.55	10.86	冷却、化产回收
3	制氧	33.492	0.86	冷却
4	炼铁	284.378	7.28	高炉冷却、软水补水、风机
5	转炉	544.818	13.94	风机冷却、净环补水
6	煤焦化公司	160.814	4.11	结晶器、二冷、蒸汽回收
7	烧结	96.936	2.48	风机及其他冷却、蒸汽回收
8	轧钢	119.726	3.07	汽化冷却、主电室、轧机、净环补水
	其中：普线	47.756	1.22	

	准高线	10.34	0.27	主电室、环形炉、其他
	一棒线	31.94	0.82	主电机、轧机轴瓦、轧辊、加热炉
	二棒线	9.57	0.24	轧机轴瓦冷却
	高线	20.12	0.52	加热炉、轧机
9	鼓风及其它	172.4	4.41	加热炉、轧机
10	机车	27.43	0.70	机车冷却
11	水电厂的新水	1303.17	33.34	
12	冶金工厂其它	311.156	7.96	设备冷却及其它
13	亏损	0	0	漏水、计量误差
14	合计	3908.59	100.00	

注：各工序都有生活用水。

下面对主要耗水工序的用水情况简单作以分析。

（1）水电厂

由表 3-11 可见，水电厂新水用量最大，达到 1303.17 万 m³，占公司新水消耗的 33.34%。主要用于公司各个厂的新水补充和辅助企业（贵州博宏公司、瑞泰物产有限公司等）。

（2）转炉

2008 年，炼钢厂新水流量为 544.818 万 m³，占公司新水消耗量的 13.94%。消耗的新水，除一部分蒸发损失外全部排入厂内污水系统，由水电厂处理。

（3）蒸汽

动力厂生产蒸汽新水耗量也很大，2008 年占公司新水消耗量的 10.86%，主要用于设备冷却。

（4）发电

由表可见，动力厂发电新水用量较大，占公司新水消耗的 10.99%。主要用于电站的冷却，生产蒸汽和软水，轴封轴瓦冷却等。

（5）炼铁

炼铁工序工艺用水量大，总用水量达到 284.378 万 m³，主要用于高炉炉体冷却。炼铁工序大部分为循环水，循环率比较低。这就使得炼铁工序新水耗量相对来说较大。

水钢吨铁耗新水 $1.04\text{m}^3/\text{t}$ ，明显高于宝钢、太钢和本钢等其他钢铁企业。

(6) 烧结

烧结工序的耗水设备主要有风机、空压机、抽烟机和锅炉等，占公司新水消耗量的 2.48%。

水钢吨烧结矿耗新水 $0.20\text{m}^3/\text{t}$ ，比宝钢和首钢高出 1 倍上下。

(7) 轧钢

轧钢厂的主要耗水设备是加热炉冷却、主电室冷却和轧机等设备冷却。2008 年，水钢轧钢系统新水消耗总量为 119.726万 m^3 ，占公司新水消耗量的 3.07%。其中，线材（普线、准高线和高线）新水消耗量占公司新水消耗量的 2.01%。

a、环水分配

2008 年，水钢环水消耗总量为 6874.58万 m^3 。水钢环水消耗主要的用户有是高炉和动力厂的蒸汽。其中高炉环水消耗量最大，消耗量为 4996.63万 m^3 ，占总消耗的 72.68%，而动力厂的蒸汽消耗量为 1877.95万 m^3 ，占 27.32%。

b、排水和污水处理

水钢的排水系统比较复杂。水钢污水大循环系统，即冶金主厂区的错综复杂的排污网和水电厂污水处理厂构成，炼铁、炼钢等的全部污水，烧结、化工、热带和一发电的大部分污水，都排到污水处理厂处理。

(2) 水钢的节水实践和用水状况分析

钢铁企业的供水系统非常复杂，流程示意图见 3-12。图中，虚线框代表钢铁生产过程，它可以表示一个钢铁企业，也可以表示钢铁企业内部的某一个生产工序。进入生产过程的水流有 2 股，即循环水量和新水补给量；离开生产过程的水流有 3 股，即循环水量、生产过程损失量和排水，供水管网距离长。但是，对一个企业或一个生产过程来说，不管水种多么复杂，都可以简单地划分为一次水资源（包括新水和由新水生产出来的软水）和二次水资源，即再生水资源（包括净环水、污环水、串级使用水和回用水等）。图 3-10 为钢铁生产过程中水循环过污损失量。这里，在生产中发挥作用的是生产工艺用水量，其大小是由生产过程的工艺要求决定的，不同的生产工艺过程，其工艺用水量也不同。

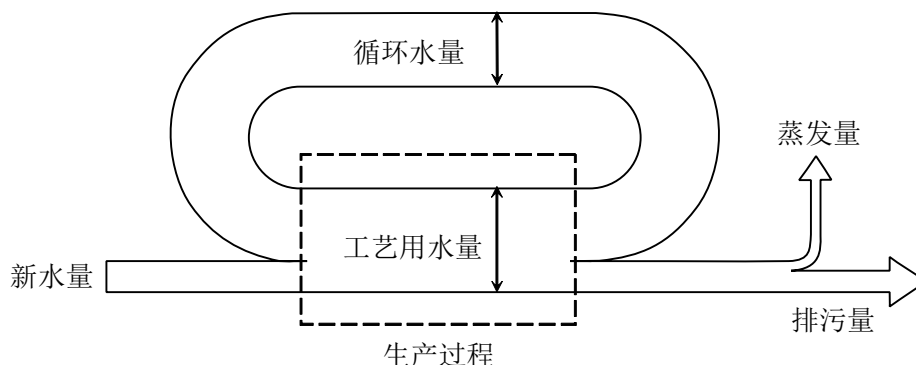


图 3-10 钢铁工业水循环过程示意图

根据水量平衡，可以得到

$$\text{新水消耗量} + \text{循环水量} = \text{生产工艺用水量} \quad \text{公式 (3-3)}$$

$$\text{生产工艺用水量} = \text{循环水量} + \text{蒸发损失量} + \text{排污损失量} \quad \text{公式 (3-4)}$$

由式 (3-3)、式 (3-4) 可得

$$\text{新水消耗量} = \text{蒸发损失量} + \text{排污损失量} \quad \text{公式 (3-5)}$$

可见，在产量稳定的钢铁生产过程中，新水补给量等于生产过程蒸发损失水量和排污过程损失量之和。损失水量越大，新水补给量就越大。为了减少新水补给量，节约水资源，应尽量减少工业水的各种损失量。例如，采用干熄焦工艺，高炉冷却水系统改为软水闭路循环，污水处理后作为工业水重新回用以减少排污损失，等等。

水的循环率和水的资源效率是评价水资源利用水平的两个重要指标。

水的循环率是指循环水总量占生产过程工艺用水总量的百分比，即

$$\text{水的循环率 (水重复利用率)} = \text{循环水总量} \div \text{生产工艺用水量} \quad \text{公式 (3-6)}$$

由式 (3-3) 得到

$$\text{新水消耗量} = \text{生产工艺用水量} - \text{循环水量}$$

而由式 (3-6) 可知

$$\text{循环水总量} = \text{水的循环率} \times \text{生产工艺用水量}$$

因此得

$$\text{新水消耗量} = (1 - \text{水循环率}) \times \text{生产工艺用水量} \quad \text{公式 (3-7)}$$

由式 (3-7) 可见，在钢铁企业中，要抓节水，一方面要降低生产工艺用水量，另一方面要提高水的循环率。

与国内许多先进企业相比，水钢的吨钢新水消耗量还偏高。其原因在于吨钢用水

量大，冷却水的循环率低。问题具体表现在如下几个方面：

(1) 主要耗水设备用水量大

目前，国内先进企业吨钢用水量都在 150m³/t 钢以下，水钢吨钢用水量超过 200m³/t 钢。主要原因在于：①焦炉采用湿法熄焦；②煤气采用湿法除尘；③高炉汽动鼓风；④锅炉采用水除灰；⑤传动设备绝大部分采用水冷工艺。

(2) 水的循环率低

2008 年，水钢工业水的平均循环率为 83%，比马钢低 14 个百分点，有很大提高空间。影响水钢水循环率的因素很多，但最主要的原因是许多工序的单元小循环系统不完善。因为对单元小循环系统来说，水质单一，容易处理，水的循环率会提得很高，而又几个工序或设备共用的中循环系统受到水质要求不同和水中杂质组分不同的限制，使处理难度增加，水的循环率不可能提到很高。此外，个别工序还没有循环水系统，用过的水直接排入下水沟，造成水资源的浪费。目前，在某些工序还存在这种“直流水”现象。

(3) 有些工序串接用水不合理

在钢铁联合企业，原则上应该在各个生产单元建立独立的循环水系统。但是，在某些时候，如果上一工序使用过的水可作为下一工序单元小循环水系统的补水使用，那么这种串接使用就是合理的。相反，如果上一工序使用过的水，依次输送到下一工序使用，每一工序都没有单元小循环水系统，经过几次串接使用后就只能作为污水排放到污水处理系统，那么这种串接使用就是不合理的。水钢有些工序还存在不合理的串接用水现象。

(4) 其他原因

① 供水管网损失较严重，通过调研和分析可知，水钢的新水亏损主要是由管网漏水损失、仪表计量误差损失造成的；② 污水排放量较大，通过调研和分析可知，循环冷却水浓缩倍数低是造成污水排放量大的根本原因；③ 内部结算水价和排水价格偏低，不利于调动基层用水单位节水积极性；④ 统计范围和计算方法的影响，最近几年，由于钢铁企业之间互相攀比吨钢消耗新水指标，各自的统计范围和计算方法不尽一致，一定程度上造成了吨钢新水消耗量的差别。

3.5.3 水钢氧气利用状况调研

氧气系统是钢铁企业生产不可缺少的组成部分。在氧气供需系统中，氧气发生量与使用量不平衡时就会产生放散或报警，这会引起能源浪费或影响用户的正常生产。

(1)水钢氧气系统总体情况

氧气厂是该集团公司下属的二级分厂,主要功能是为炼钢制造氧气。目前,氧气厂拥有国产 6000m³/h 制氧机组两套,15000m³/h 制氧机组一套,日本产 3200m³/h 制氧机组一套。美国产 10000m³/h 透平氮气压缩机两台,主要生产工业管道氧气、氮气、氩气及瓶装工业氧气、氩气、医用氧气,现有生产能力达到:氧气 15200m³/h、氮气 160m³/h、液氧 0.075m³/h。氧气纯度达到 99.64%,氮气纯度达到 99.99%,氩气纯度 ≥99.999%。

向外供应的氧气和氮气主要是通过管道输送,其中向炼钢输送的氧气达到 585000 m³, 氮气 420000 m³,氩气 6000m³。向炼铁输送的氧气达到 150000 m³, 氮气 175000 m³。

(2)氧气的产生

2008 年水钢氧气厂共发生氧气 26971.58×10⁴m³, 折标煤 26.3572×10⁴t。主要设备有:制氧机 4 套、气体球罐 3 个(二炼钢 1 个 650×m³, 氧气厂 2×120m³), 以及一些液氧、液氮装置。氧气的产生月平均为 2247.63×10⁴m³。

(3)氧气的使用

氧气的主要用户是炼钢厂和其它工序,其中,炼钢厂消耗氧气用于转炉吹氧,炼铁厂消耗氧气用于高炉富氧。此外,氧气的一般用户很多,但用量很少。2008 年炼钢、厂共消耗氧气量为 19400.7×10⁴m³, 占氧气消耗总量的 71.93%, 其次为炼铁厂富氧消耗, 约占氧气消耗总量的 25%, 其它用户如废钢厂等消耗氧气量很少。氧气平均放散率为 3.6~3.7%, 构成氧气系统的三个分系统的结构、设备特点和工作特点都会影响氧气的放散率。

(4)存在的主要问题

a.转炉用氧量不均衡、氧气储罐容量小,管网压力波动大

在一般情况下,炼钢厂使用氧气的波动性消耗与制氧厂氧气的平稳发生之间的矛盾是靠气罐和管网的缓冲来解决的。如果气罐和管网的缓冲能力不足,必然以更高的氧气发生量为代价来满足较低负荷的生产需求。这样,转炉用氧的不均衡必然造成管网压力的较大波动,后果是氧气放散严重。

b.氧气用户瞬时调节能力小,峰谷落差大

制氧机组的临时开机受到工艺制约,由于用户的用氧波动造成管网的压力波动较大,而制氧系统的瞬时调节能力小、峰谷差大,氧气缓冲用户无法瞬时消减峰谷造成

的氧气放散。

c.氧气生产能力小，造成供需矛盾

水钢的氧气生产能力小，优先满足炼钢厂的需要，由于水钢地处高原位置，氧气的供应难以使高炉达到真正的富氧冶炼。

3.5.4 蒸汽

(1) 蒸汽的发生

水钢蒸汽主要来自动力厂，其余由炼钢、烧结厂余热蒸汽补充。除个别点外，公司一般供热、生产用蒸汽都是供应联网。2008 年水钢总用汽量 7026310GJ，其中外调能源 212986GJ。动力厂所有锅炉都是热电联产，担负供热、高炉鼓风以及发电任务。锅炉共 8 台，正常运行 7 台，检修时运行 6 台，共装有 5 台发电机组，总容量为 259000KW。2008 年，发电量为 $35276.97 \times 10^4 \text{kWh}$ ，占公司用电总量的 38.32%。

2008 年，水钢余热锅炉共有 4 台，余热蒸汽来自烧结、炼钢厂，未并入管网外，烧结、焦化和轧钢没有回收蒸汽。

(2) 蒸汽的分配和使用

2008 年，水钢蒸汽总发生量为 7026310GJ，其中水钢生产用为 6813324GJ，占发生量的 96.97%。

2008 年，水钢蒸汽主要用于煤焦化公司、炼铁厂、动力厂和氧气厂。根据水钢能源平衡表可知，煤焦化公司蒸汽用量为 592183GJ，占总量的 8.69%，其中炼焦为 256156GJ，占总量的 3.76%；而炼铁厂的高炉蒸汽用量为 257366GJ，占 3.78%；动力厂是整个水钢蒸汽消耗最多的厂，其中发电和鼓风分别用去 3247511GJ 和 2522288GJ，占总消耗量的 47.66%和 37.02%；还有氧气厂的消耗量为 193976GJ，占 2.85%。

(3) 蒸汽损失原因分析

蒸汽损失主要集中在管网的输送上，由此，应尽量减少输送蒸汽过程中的热量损失（以最短的距离、最小的管径、最小的压力降、最少的热损失和安全可靠等），检查厂区中的管道布置情况，寻找不合理的地方。水钢的蒸汽管网庞大、相互复杂交错，蒸汽用户用能及供汽方式存在问题，造成管网损失很大。

3.5.5 电

钢铁企业是能源消耗大户。在大型联合企业里，“既买煤又买电”和“只买煤不

买电”是两种不同的用能模式，后者在吨钢综合能耗及吨钢有害气体排放量上都优于前者。现在只有宝钢实现了“只买煤不买电”的模式，而大部分企业也有发电厂，但只作为自备电厂，其发电量占整个企业用电量一半不到。分析好水钢自备电厂的发电及用能状况将对水钢的节能工作有很大的贡献，同时，也将对国内同类型钢铁企业起到重要的指导作用，这对于我国实现新型工业化、实现钢铁工业的可持续发展具有深远的历史意义。

2008 年，水钢耗电总量为 120276.72 万 kWh，折合 43.2996×10^4 吨标煤，吨钢耗电为 365.6kWh/t 钢。其中购入电量 84999.75 万 kWh，折合 30.5999×10^4 吨标煤，自发电量为 35276.97 万 kWh，折合 12.6997×10^4 吨标煤，水钢自发电量主要来自动力发电厂和 TRT 发电，占总耗电量的 31.43%，外调 8049.6 万 kWh，折合 2.8979×10^4 吨标煤。自耗电量占自耗能源总量的 18.07%。

水钢现有 1 台发电机组，是 3[#]高炉装有一台 5500KW 发电机组。2008 年全年共发电 3672×10^4 kWh。由于水钢 TRT 配置率只有 1/3，2008 年每吨铁发电仅仅 13Kwh，与宝钢 34Kwh/t 铁，差距很大。水钢作为一个大型的联合企业，在依靠技术进步，积极推进结构调整，优化钢铁生产过程的同时，应提高 TRT 发电效率。

3.6 工艺装备

工艺设备的先进与落后，直接影响钢铁企业的产能、能源消耗和铁资源利用率的高低。目前，水钢的主体设备既有现代的大型装备，如在建的 256m²的烧结机和 2100m³大高炉等先进设备，也有一些落后的、吨位很小的冶金设备，它们仍在使用之中。这些落后设备主要集中在小高炉、老焦炉、小烧结机和年老的制氧机等工序能耗较高的推钢式加热炉等。这些设备亟待淘汰，否则水钢的能耗水平是不可能提高的。

3.6.1 炼铁装备

(1) 焦化

2008 年，水钢煤焦化分公司投入生产的焦炉共有 4 座。其中，50 孔焦炉 2 座、36 孔奥托式焦炉 2 座。小焦炉能耗高、成焦率偏低，生产的焦炭质量也不高，影响了水钢焦炭生产的整体水平及高炉焦比。

(2) 烧结

2008 年，水钢炼铁总厂有一烧、二烧 2 个烧结车间，共有烧结机 5 台。烧结总面积 469m²，生产高碱度烧结矿，成品烧结的生产能力（包括返矿） 520×10^4 t/a。二

烧车间有 3 台小烧结机，规划在“十一五”期间淘汰，新建 2 台 265m² 烧结机；一烧 2 台 132m² 烧结机烧结矿采用环冷，配有郁热锅炉。水钢的烧结设备尽管已处于国内钢铁企业的先进水平，但仍然存在一些问题，如二烧车间的 3 台烧结机设备生产能力小，相应的技术经济指标也落后于其它大型烧结机，表现在烧结矿品位稳定性差，比水钢的烧结矿平均品位稳定性、一级品合格率、碱度稳定性都低于一烧的新烧结机 2 个百分点以上，这对烧结工序提高生产率、烧结工序降低工序能耗是极其不利的。

(3) 高炉炼铁

2008 年底，水钢有高炉共 3 座。其中，容积为 3338m³，1#、2#和 3#高炉容积分别为 788m³、1200m³、1350m³，1000m³ 以下的小高炉 1 座。水钢计划“十一五”新建 2350m³ 的 4# 高炉，届时水钢的铁水产能将达到 480×10⁴t。水钢除了主体设备外，炼铁厂还有热风炉、上料及炉顶装料设备、炉渣处理设备、高炉喷煤设备等辅助设备。

① 热风炉配置：所有热风炉均为空、煤气双预热。

② 上料及炉顶装料设备：2#高炉采用料钟形式加料，1#和 3#采用无料钟式加料形式。

③ 炉渣处理：炉渣处理是水冲渣工艺。采用水冲渣工艺，水钢采用的水冲渣工艺不仅使高炉渣的显热无法利用，而且造成水资源的大量浪费。

④ 高炉喷煤：高炉喷煤系统采用的是，集中制粉后再输送到煤粉喷吹站的单管路喷煤技术，喷煤谁被跟不上富氧大喷煤的要求。

⑤ 所有高炉都采用湿法除尘工艺，湿法除尘设备占地面积大，消耗的水量大，运行电耗高。

⑥ 余热余能回收水平低，1#和 2#高炉没有配备 TRT 装置。直接影响了炼铁系统的能耗水平。

3.6.2 炼钢装备

水钢现有 2 个炼钢厂，分别为一炼钢、二炼钢。

(1) 一炼钢

主要设备有：三座 25t 转炉、三座在线吹氩站、一座 LF 精炼炉、三台 3 机 3 流的小方坯连铸机。具体工序情况如下：

a. 炼钢工序

平均冶炼周期普通钢(低合金钢、普碳钢、低碳钢)26.77 分钟，品种钢(30#~70

#)平均冶炼周期35分钟,采用溅渣护炉结合镁碳砖贴补护炉,转炉平均炉龄15000炉。

b. 精炼工序

三座在线吹氩站,供氩压力为0.3MPa~0.5MPa,吹氩时间普碳钢大于4.5分钟,低合金大于5分钟;一座30吨的LF精炼炉,加热速率3~5℃/分钟,脱硫率50%。

c. 连铸工序

三台小方坯连铸机,浇注断面150×150mm,弧形半径R6.0m,最高拉速达2.5~3m/min,单流产量最高达20万吨/年。

d. 钢包使用情况

公称容量为30吨,正常周转钢包个数12个,备用6个。

(2) 二炼钢(100吨转炉)部分

主要设备有:二座100t转炉、二座在线吹氩站、一座LF精炼炉,两台6机6流的小方坯连铸机。具体工序情况如下:

a. 炼钢工序

两座公称容量为100吨的氧气顶底复吹转炉,日产钢46炉,平均出钢量86.85吨,平均冶炼周期普通钢(低合金钢、普碳钢、低碳钢)38.65分钟,采用溅渣护炉工艺,转炉平均炉龄12000炉。

b. 精炼工序

两座在线吹氩精炼站,供氩压力为0.3~0.5MPa,吹氩时间低合金钢不低于5分钟;一座100吨的LF转炉(在建中)。

c. 连铸工序

2台小方坯连铸机,浇注断面150×150mm,弧形半径R10.0mm,最高拉速达2.5~3m/min,单流产量最高达16万吨/年,连铸比为100%。

d. 钢包使用情况

公称容量为100吨,正常周转钢包个数9个,备用4个。

e. 脱硫工序

现有铁水预脱硫站一座,现在由于天车能力和铁水罐的对应问题,没有启用。

(3) 存在的问题:

① 铁水罐与转炉容量不对应,导致转炉在冶炼过程需分批多次兑铁,极大地影响了生产效率提高和转炉煤气的回收。

② 一炼钢的转炉容积小,与水钢高炉的大型化不匹配。

③ 铁钢界面还存有混铁炉，混铁炉不仅要消耗能源，而且还增加了铁水的倒罐次数，致使铁水温降解加大，铁钢界面能量损失大。

④ 设备较为老化，尤其是一炼钢，比如：UPS 电源容易发生故障，造成风机停止运行，转炉煤气不能正常回收；600 吨混铁炉点火有时使用焦炉煤气保温，停止煤氧枪对铁水包的保温，焦炉煤气的消耗也会升高；炉口水箱漏水，造成焦炉煤气及氧气的消耗升高；转炉煤气的回收率不高。

3.6.3 轧钢装备

2008 年，水钢轧钢系统有 5 条轧线投入生产，包括普线、准高线、高线、一棒和二棒。主要产品有 $\Phi 5.5\text{mm}-\Phi 20\text{mm}$ 普通线材、准高速线材、高速线材。产品等级涵盖 II、III、IV 螺纹钢、45# 优质棒材、70S、82B 高速线材等。

加热炉、轧机是影响轧钢系统能耗的主要设备，存在以下问题：

（1）加热炉的单位燃耗较大

普线、准高线、高线、一棒和二棒四条轧线加热炉的燃耗分别为 1.01GJ/t、1.23GJ/t、1.14GJ/t、0.93GJ/t 和 0.8GJ/t，而国内先进的加热炉燃耗在 0.8GJ/t 以下。

（2）加热炉和轧机不匹配

加热炉有 1 座为推钢式加热炉，3 座步进式加热炉。水钢高线轧机能力只有加热炉生产能力的一半，出现“大马拉小车”现象，致使生产效率低，加热炉的燃耗也是最高的。

（3）轧钢设备电耗高

水钢轧钢设备电耗偏高，2008 年水钢的普线、准高线、高线电耗为 118.27kWh/t、110.43kWh/t 和 146.15kWh/t，而国内同类产品先进水平电耗在 100kWh/t 以下。存在部分轧钢设备老化、配套电机耗电量高等问题，这些问题在一定程度上导致了轧钢设备的电耗偏高。

3.7 辅助设备

水钢的辅助设备主要包括为生产、生活服务的蒸汽锅炉、制氧机，以及大量的水泵、风机、电机等机电设备。因为水钢的机电设备数量多、年代不一，缺少详细的统计数据，所以在此无法做全面论述。这里仅就蒸汽锅炉和制氧机等设备分析其能源消耗及其能源产品的产生、使用情况，以便找出辅助设备方面存在的各种问题，为水钢全面实施系统节能、进一步挖掘节能潜力提供依据。

3.8 工艺操作

3.8.1 工艺操作参数

工艺操作参数也是影响水钢吨钢（或吨材）能耗的重要因素。归纳起来主要有：高炉的入炉料结构（即球团矿、烧结矿的配比）、高炉的燃料配比、铁钢比、铁水温度、连铸坯热装热送程度（热装热送率及热装温度）及综合成材率等，如图 3-11 所示。因此，要降低水钢各生产流程的能源消耗，就必须系统深入地分析水钢的工艺流程及其运行参数，才能找出影响吨钢（或吨材）能耗的关键环节，进而对生产流程进行优化和调整。水钢在工艺操作参数方面存在的主要问题如下：

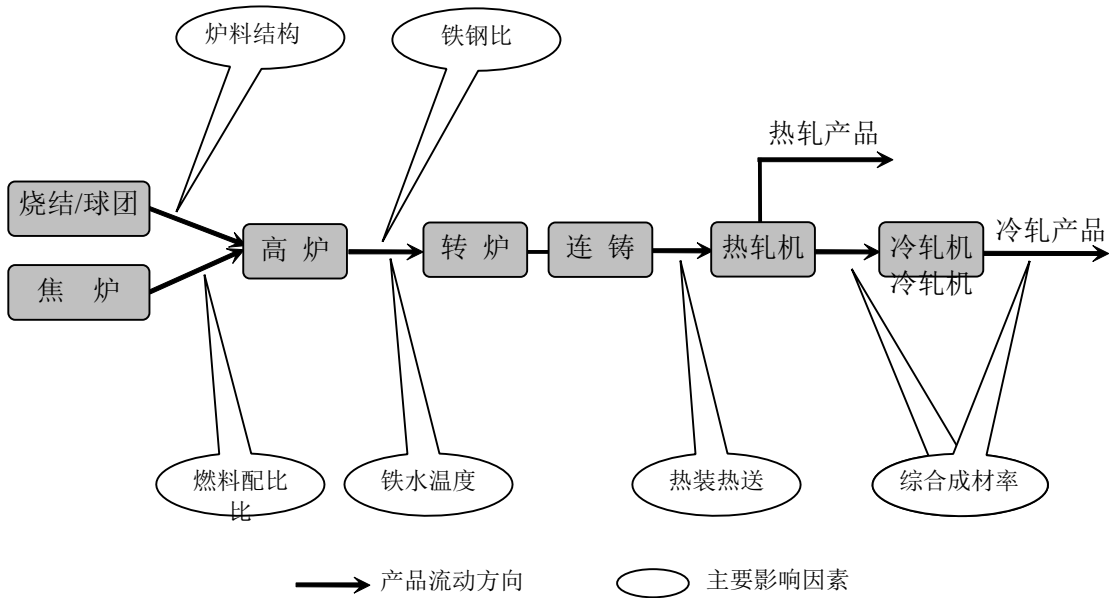


图 3-11 影响钢铁生产流程能耗的主要操作参数

(1) 高炉的炉料结构不合理

在水钢高炉的入炉料中，球团矿与烧结矿的比例大约为 15：85，而先进企业已经达到 30：70。就能耗而言，因球团工序能耗比烧结工序低 10~15kgce/t 矿，所以提高入炉料中球团矿的比例可以降低整个炼铁系统的能耗。

(2) 高炉燃料配比不合理

2008 年，水钢入炉焦比为 412kg/t 铁，而宝钢只有 300kg/t 铁，水钢偏高 112kg/t 铁。水钢的喷煤比为 115kg/t，而宝钢已达到 200kg/t，水钢偏低 85kg/t。

(3) 入转炉的铁水温度偏低

由于水钢的铁—钢界面衔接不紧凑，铁水温降大，入转炉的铁水温度仅为 1280℃；铁水温度低使得水钢转炉吃废钢能力受到了限制，相关资料表明：入转炉铁水温度每降低 10℃，影响转炉少吃废钢 8kg 左右。

(4) 转炉废钢比低

2008 年，水钢的转炉废钢比仅为 62kg/t 钢，而宝钢转炉废钢比已达到 163kg/t 钢。废钢比偏低，使得水钢的铁钢比多年来一直较高。

(5) 热装热送率及热装温度低

水钢的连铸与下游轧钢工序之间物流关系复杂，引发轧钢厂与炼钢厂之间在空间分布和生产调度等方面存在一系列问题，使得连铸坯进入加热炉的热装热送率不高，2008 年平均热装率只有 40%，平均热装温度 300℃。唯有二棒生产线的热装率达到 90%，热装温度达到 600℃。

(6) 综合成材率偏低

轧钢的综合成材率受加热炉热工制度、轧制流程装备水平、产品品种及产品深加工程度等因素的影响。合理的热工制度、先进的装备会提高成材率；成材率也因产品的不同而不同，如线材的成材率较高，一般可达 98.0% 以上，产品深加工程度越高，最终产品的成材率就越低。水钢产品都是一火成材，尽管综合成材率近些年来提高较快，2008 年达到 97.55%，但还有进一步提高的潜力。

3.8.2 工艺操作对能耗的影响

工艺操作水平的高低直接影响企业的能耗，尤其是前节提到的那些重要操作参数。高炉的炉料结构对炼铁系统能耗影响很大：按照 2008 年水钢烧结工序的能耗水平，炉料结构中球团矿的比例每提高 1%，则吨铁能耗降低约 0.79kgce。高炉的燃料配比也是影响炼铁系统能耗的重要工艺操作参数之一，按 2008 年焦化工序能耗计算，高炉燃料中煤比每提高 1kg/t，则吨铁能耗降低 0.143 kgce。铁水入转炉温度直接影响着转炉的废钢比及转炉工序的能耗：铁水温度每提高 10℃，转炉可多吃废钢约 8kg（不多消耗能源），可降低吨钢能耗 4~4.5kgce。连铸坯的热装热送是加热炉乃至轧钢系统节能的重要措施。按热装率 100% 计算，热装温度每提高 100℃，则加热炉的能耗将降低 2.3 kgce/t。2008 年水钢的热装热送率及热装温度不高，还有很大的提升空间。影响轧钢系统能耗的另外一个重要工艺操作参数是综合成材率。在轧钢系统能源消耗总量保持不变的情况下，按 2008 年水钢轧钢工序能耗水平（64.7kgce/t）估算，

若综合成材率再提高一个百分点，轧钢工序能耗可降低 0.8 kgce/t。

3.9 物质循环

从某种意义上说，钢铁生产过程也是各种物料的流动过程，其中包括各种含铁物料、各种熔剂料等物质的流向、流量、流速、流动距离等。这些物质流的流动状况既影响钢铁生产过程的能源消耗，又影响资源消耗和环境负荷。因此正确认识和分析钢铁生产过程中物质流动，特别是含铁物料的流向和流量等问题，对研究钢铁厂的节能降耗具有重要现实意义。

“减量化、再利用、再循环”是建立节约型、环境友好型钢铁企业的基本原则。钢铁企业中的物质循环主要指含铁、含碳等废弃物的再循环和再利用。众所周知，铁是钢铁生产过程的主要物质，贯穿整个生产流程，它把流程中各工序串接在一起，形成铁素流。铁素流是整个物质流的主体，它遵循物质守恒的原则，流进流出每一个生产工序。因此，首先要分析清楚钢铁生产流程中的铁素循环，才能弄清楚与钢铁生产有关的其它物质消耗问题，最终降低资源和能源消耗，改善企业与合作的友好程度。

陆钟武院士指出，钢铁工业要提高资源效率、能源效率和环境效率，走出一条新型工业化道路，必须对传统钢铁工业的物质生产结构加以改进，从企业内部、企业之间到企业与合作的三个层面上进行物质循环结构的重构，即建立物质的大、中、小三个层面的循环。

大循环：是指钢铁产品经使用报废后，其中部分物质返回原工业部门，作为原料，重新利用。具体来说，大循环主要是关于外部废钢（或称社会废钢）的循环问题。要尽可能多地回收社会废钢，并使它回到钢铁企业来，作为原料，重新处理。这样才能用较少的铁矿石，生产较多的钢材，减轻环境负荷，提高资源利用效率。

中循环：是指钢铁企业与其它企业之间的物质循环，工厂的废物、余能等，送往其他企业去加以利用。这是企业之间的物质循环。各企业之间在资源和能源方面要形成互补的格局。

小循环：是指钢铁企业内部的物质循环，下游工序的废物或副产品，返回上游工序，作为原料，重新利用。也就是说，不让各道工序产生的废物作为污染物排放到外界去，而是作为其他工序的原料，重新回到生产流程中来。这样可以提高资源利用效率，减轻环境污染。

与世界主要产钢国相比，我国废钢产业的发展还处于初级阶段，还存在以下问题：

① 近几年来,随着连铸比的不断提高,企业内部自产废钢量大幅度减少。折旧废钢量虽然在增加,但远远赶不上钢产量的增长,这就使得我国的废钢资源缺口越来越大,进口废钢数量陡增,废钢价格上涨;

② 废钢产业作为钢铁工业的辅助产业,没有形成高效顺畅的物流配送系统;

③ 废钢的加工设备水平和加工能力,远远达不到快速增长的钢铁工业的发展要求。

鉴于废钢的资源情况和发挥水钢矿山资源的优势,水钢在物质循环方面应加强小循环和中循环,也就是在充分利用企业内部的含铁、含碳等废弃物或副产品的同时,也要将高炉渣、转炉渣、粉煤灰等资源送往水泥厂等其它企业利用。

3.9.1 水钢物流分析及其铁素流图

(1) 铁流图

以 1t 钢为计算基准的水钢实际铁流图。图中每个箭头表明各股物流的实际物流方向,括弧内数值为铁素量^[25]。为了对比分析水钢实际物流与先进企业之间的差距,还绘制了德国蒂森克虏伯公司的铁流图,见图 3-12。从图中可以看出,2008 年水钢和蒂森克虏伯(Thyssenkrupp)公司(见图 3-13)每生产 1 吨钢需要铁矿资源量分别为 1.5237 和 0.478t,同时外加废钢量分别为 0.062 和 0.520t,排入环境 0.056 和 0.029t。两者差距之大,一方面是由于两个企业的生产结构不同,另一方面也与水钢相对落后的物质循环水平有关。

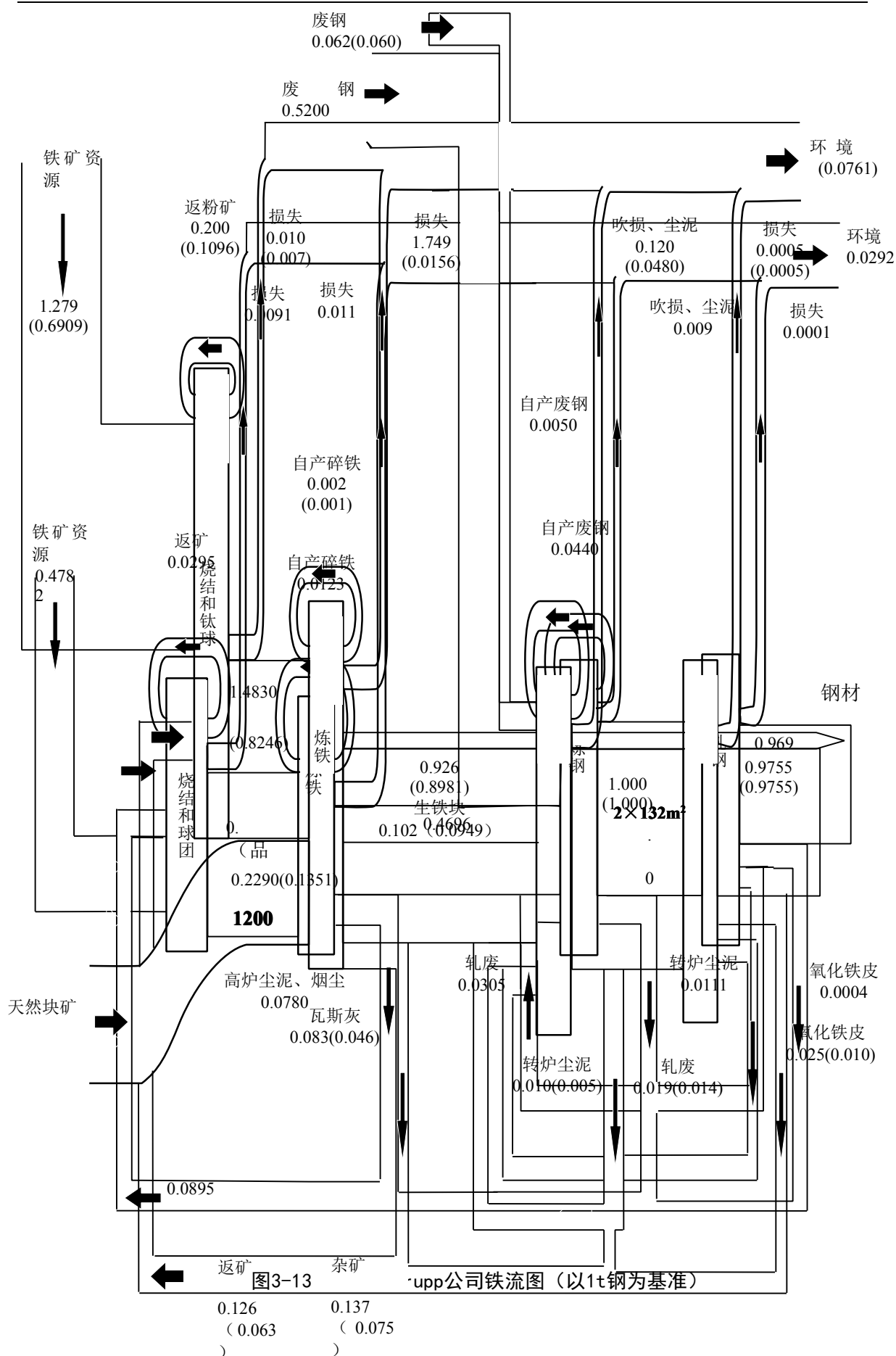


图3-12 2008年水钢铁流图(以1 t钢为基准)

(2) 物流指标

物流图形象的描绘出钢铁企业各种物质流的来龙去脉。如果把钢铁企业看作一个生产系统,那么物流图将清楚地描绘出进入该系统的输入物流、从系统输出的排放物流、在系统内部循环的循环物流。这三股物流对钢铁企业的能耗、环境负荷、资源效率均有不同程度的影响。水钢的主要物流指标分析如下:

① 废钢指数

将统计期内进入钢铁工业的废钢含铁量与同期内生产的钢铁产品的含铁量之比 S ,定义为钢铁工业的“废钢指数”。其公式如下:

$$S = \frac{\text{废钢含铁量}}{\text{钢铁产品含铁量}} \quad \text{公式 (3-8)}$$

根据物流图和废钢指数公式计算:

水钢的废钢指数 $=0.062/1.0=0.062$

Thyssenkrupp 的废钢指数 $=0.52/1.0=0.52$

废钢指数是可以反映一个国家或地区钢铁工业(或企业)废钢资源的充足程度的重要指标,它与输入物流和铁资源有关,由计算结果可知德国 Thyssenkrupp 公司的废钢指数是水钢的 8.38 倍。

② 铁资源效率分析

对钢铁工业,铁的资源效率定义为统计期内钢铁工业生产出来的钢铁产品含铁量与生产这些产品所消耗的铁矿资源的含铁量之比 γ 。铁的资源效率 γ 在数值上等于钢铁工业每消耗 1t 铁矿资源所能生产出来的钢铁产品量。其公式如下:

$$\gamma = \frac{\text{钢铁产品产量}}{\text{铁矿资源含铁量}} \quad \text{公式 (3-9)}$$

根据物流图和铁资源效率公式计算:

水钢的铁资源效率 $=1/0.8260=1.21$

Thyssenkrupp 的铁资源效率 $=1/0.4782=2.09$

铁的资源效率是评价钢铁企业物质循环程度的一个重要指标。流程铁资源效率受废钢指数、含铁物料产生率、铁素损失率和铁素循环率等指标影响。在各项指标的影响下,2008 年水钢和德国 Thyssenkrupp 公司的流程资源效率仅为 1.21 和 2.09,约为 Thyssenkrupp 公司的 57.9%。水钢每生产 1 吨钢材向环境中损失水 76kg 铁素资源,而德国 Thyssenkrupp 公司只有 29kg。钢流程铁资源效率过低反映了水钢物流的不合

理，主要体现在：废钢指数过低、铁素循环率低。要改善水钢物质循环，提高水钢流程的铁资源效率，降低水钢能耗，提高水钢对环境的友好程度，解决其物流的不合理性是必要途径之一。

3.9.2 废弃物的回收与利用

水钢钢铁生产的固体废弃物种类多、数量大，主要有高炉炉渣、转炉钢渣、电厂粉煤灰、烧结尘泥、高炉瓦斯灰、高炉尘泥、转炉尘泥、轧钢氧化铁皮等。固体废弃物的数量及回收利用方式对水钢的各工序的工序能耗及吨钢（吨材）能耗有着很大影响。对水钢固体废弃物回收和利用的主要问题分析如下：

(1) 各类含铁尘泥及瓦斯灰

2008 年，如果高炉尘泥和瓦斯灰按照生铁产量的 4% 计算，水钢高炉产生的高炉尘泥及瓦斯灰总量为 $11 \times 10^4 \text{t}$ ，瓦斯灰经过加处理返回烧结工序配料，高炉尘泥抛弃，未加以充分利用。

(2) 高炉炉渣

2008 年，查阅炼铁总厂生产计划报表可知水钢吨铁渣量为 401kg，高炉炉渣总产出量高达 $110.2 \times 10^4 \text{t}$ ，而宝钢的吨铁渣量只有 270kg。水钢高炉渣采用泡渣工艺，除少量自用外，绝大部分外销。渣铁比高，一方面直接影响炼铁工序能耗，另一方面，渣中的铁素浪费增多，高炉渣一般含铁在 0.5% 左右，渣中的铁素资源在钢铁企业的小循环中难以利用。

(3) 转炉钢渣

2008 年，经现场调研，水钢转炉的吨钢渣量高于 100kg，转炉的钢渣总量高达 $30 \times 10^4 \text{t}$ ，而宝钢转炉吨钢渣量为 80kg。由于转炉铁料和辅料消耗高，造成水钢吨钢渣量高，同时也造成了铁素循环量增加，从而增加转炉的工序能耗和吨钢（吨材）能耗。水钢钢渣年利用率平均不到 10%，若按照钢渣中含铁 10% 计算，则生产每吨钢会损失 10kg 铁元素，直接使吨钢能耗上升 5kgce。

(4) 氧化铁皮

轧钢系统的固体废弃物主要是氧化铁皮，2008 年水钢氧化铁皮量高达 560t，折合吨材氧化铁皮量为 1.9kg，全部返回烧结系统作烧结配料用。轧钢作为钢铁生产靠后的工序，返回烧结系统作烧结配料用，增加了整个流程的能耗。

3.9.3 物质循环对能耗的影响

现代钢铁联合企业是复杂的铁—煤—化—工生产系统，系统中有多种物流，其中铁素流是物流的主要形式。在铁素流中，主要含铁原料是从第一道工序贯穿到最后一道工序的主物流。除主物流之外，还有三种物流。第一种物流（或称 α 物流），包括各种含铁物料从流程以外输入各道工序的物流；第二种物流（或称 β 物流），包括从某道工序返回本工序重新处理的各股物流，以及从某道工序或下游工序返回上游工序重新处理的各股物流；第三种物流（或称 γ 物流），包括从各道工序向外界输出的各股物流。

各股物流每增减 1kg 对吨材能耗的影响通过计算列于表 3-12，从流程以外输入的各种含铁物料能降低吨材能耗。如，外购 1kg 烧结矿与外购 1kg 废钢或生铁块，分别能降低吨材能耗 0.0579 kgce 和 0.5387 kgce；转炉多吃 1kg 外购废钢或生铁块与多吃 1kg 自产废钢，二者对吨材能耗的影响完全不同，前者可降低吨材能耗 0.5387 kgce，而后者反而使之上升 0.0358 kgce。各种含铁物料返回上游工序重新利用，虽然没有浪费资源，却要付出增加能耗的代价。每增加 1kg 返回烧结工序利用的烧结及高炉返矿、高炉碎铁、高炉瓦斯灰、转炉尘泥、氧化铁皮，分别使吨材能耗增加 0.0517、0.2248、0.2986、0.6807、0.1420kgce。此外，外卖 1kg 铸铁，将增加吨材能耗 0.5180 kgce；各工序损耗也使吨材能耗增加，越是靠后的工序，能耗增加越大，如炼铁工序、炼钢工序和轧钢工序散发到环境中 1kg 废弃物，吨材能耗分别增加 0.0106、0.5745 和 0.6808 kgce。

表 3-12 各股物流的单位增减对吨材能耗的影响

序号	吨材物流增减量 (kg 实物/t 材)	吨材能耗变化量 (kgce/t 材)
1	外加烧结矿 α_1	-0.0579
2	外购废钢 α_3	-0.5387
3	烧结、高炉返矿 β_{11}	0.0517
4	高炉碎铁 β_{22}	0.2248
5	炼钢厂内废钢、渣钢 β_{33}	0.0358
6	高炉尘泥、瓦斯灰、灌渣 β_{21}	0.2986
7	转炉尘泥 β_{31}	0.2693
8	氧化铁皮 β_{41}	0.6807
9	氧化铁皮 β_{43}	0.1420
10	烧结损失 γ_1	0.0594
11	铸铁 γ_{21}	0.5180

12	炼铁工序损耗 γ_{22}	0.0106
13	炼钢工序损耗 γ_3	0.5745
14	轧钢工序损耗 γ_4	0.6808

3.10 能源管理

3.10.1 能源计量管理

能源计量是钢铁企业能源管理工作的基础，也是节能降耗，提高经济效益的重要手段之一。只有全面的抓好能源计量仪表基础建设，解决好能源计量问题，才能为水钢的能源管理提供准确量值，才能为开展能耗分析、预测、规划，制定能源定额，合理安排生产等工作提供有力支持^[26]。水钢通过近几年的能源基础建设，基本完成了计量管路的整改、理顺，同时对跑、冒、漏管线进行更换，全公司的用能大户均已实现了仪表计量。目前，水钢计量仪表的覆盖率达到较高水平，据能源部门统计已经超过 95%。计量仪表设施的建设为公司制定相应的用能计划提供了必要的生产数据。

(1) 在能源计量方面亟待解决的问题：

小流量计量不准确。受动力介质的质量、工况变化等因素的影响，选取计量仪表只能依据测量上限选取。结果导致了这类仪表在小流量范围内计量时不准确；

计量缺少统一的标准，给仪表计量带来若干问题。其一，同类仪表参数不统一，计量不一致。由于水钢分布地域广、生产单位多，不可避免的使得同类计量系统中由于各计量点不是在同一时间设计安装的，系统中各计量点所选压力、温度、标准状态、地区大气压等参数不一致，特别是标准状态的不同将严重影响系统数据平衡，这类问题在气体计量方面尤为明显。其二，用户需求量少的动力介质如蒸汽、氧气、氮气、氩气等，主管道上小管径支管道较多，由于大量小管径支管道的存在导致有些小管径管道无计量仪表。这些小管径支管道与主管道相连，最终小管径计量仪表的不健全在一定程度上影响了总公司计量数据的真实性。从而直接影响到了能源统计与能源管理工作。仪表安装的另一个问题是个别设备安装位置选点失误，配置的计量仪表起不到应有的作用。如个别孔板安装位置没有按照标准位置（孔板前直管道不小于 10 倍管道直径、孔板后直管道不小于 5 倍管道直径）安装，最终对管道流量计量的准确性造成了影响。计量仪表的准确率以及能源统计真实性直接影响到管理标准和能源消耗定额制定的合理性。如果标准与实际违背，或者定额过高过低，都不利于节约能源，甚至会适得其反。能源的准确计量能够促进节能积极性、提高工艺操作准确度，是企业

节能降耗的基础。水钢能源计量由于生产波动、用户多以及小管径管道较多等原因，存在着一系列的计量问题，只要逐步改正和完善，还有一定的提升潜力。继续完善能源计量仪表的建设，继续加强能源计量的科学策划及合理配备，对未来水钢降低企业成本，提高企业整体竞争力将起到不可估量的作用。

(2) 能源数据统计与管理存在的若干问题：

能源计量的策划缺少超前意识。由于缺少一个长期规划和明确的目标，导致水钢能源计量管理与节能降耗结合的不够紧密。为了使二者有机的结合起来，一定要将前者纳入节能降耗的计划之中，这对钢铁企业的发展和提升企业核心竞争力是非常有益的；

能源计量和分配方式落后。采用手工抄表和人为配平的方法，不能做到能源的发生量和配出量的动态平衡，常常运用行政手段对能源分配数据进行干预，影响了节能单位和用能单位的节能积极性。为了方便计量数据的科学统计并对能源数据进行统一管理和在线检测，实现能源系统的安全运转、稳定供给和有效利用，促进能源管理手段的现代化，达到能耗低、费用少、效益高的目标，水钢应抓紧筹建能源中心，对企业的能源问题实现真正意义上的现代化管理。

3.10.2 能源管理制度

能源管理工作，必须落实到制度法规建设上来，并由有关部门监督强制执行。经调查了解到，水钢在能源管理制度建设方面，没有规定明确的执法主体和监督主体，对节能行政主管部门的法律地位及其管理责权的规定也不够明确。

(1) 能源供应制度

能源要择优供应，合理分配。对产品质量好的重点工艺优先供应能源，以提高能源效益；反之，当能源出现紧缺时，对能耗高、质量差、产品次重要应减供至停供能源。如在副产煤气出现不足时，应优先保住轧钢等主体工序，最后考虑自备电站。根据生产工艺和用能设备不同要求实行定品种、定规格、定品位供应，防止将高品位能源用于只需低品位能源的地方（例如 BFG 即可满足的工艺要求的就不能使用 COG）。煤炭、供电、供油、供气等管理制度制定的好坏，关系到企业用能的合理性。

(2) 燃料管理制度

燃料分析化验制度。定期取样，进行化验分析，建立燃烧技术档案。煤应做工业分析，测定水分、灰分、挥发分和低位发热值。

(3) 能耗定额管理制度

能耗定额管理制度，是编制能源供应计划的重要根据，是监督和控制能源使用、保证正常生产的重要手段，是强化能源管理、推进节能工作的重要措施之一。能源消耗定额主要包括：建立能耗定额体系；制定和修订能耗定额；采取有效的管理措施和技术手段，保证定额的实现；考核和分析能耗完成情况，不断总结经验、提出改进措施。能源定额的考核主要包括：考核方式，分为公司级、厂部级、车间级这样三级的方式。其中最重要的是厂级对下级实行班组、单机或按工序进行分级考核；考核内容主要是考核单项产品的单项能耗和综合能耗、单项工艺的单项能耗和综合能耗。能源定额考核制度要与岗位责任制和奖罚条例相结合。建立严格的节能管理制度和有效的激励机制，将节能降耗的目标和责任落实到车间、班组和个人，加强监督检查，进一步调动广大职工节能降耗的积极性。能源部门要加强对企业、分厂、车间节能情况的跟踪、指导和监督，定期公布企业能源利用状况。

3.10.3 能源管理设施、机构与队伍

钢铁企业能源系统要实现管理的科学化和现代化，软硬件设施的高水准和高科技是必须的，否则，再好的能源管理方法也只能是“无米之炊”。水钢能源管理设施自动化程度不够，主要体现在：

能源信息量少，传输速度低，对事故既无预示信息又无法在线记录，难以实现能源系统的安全运行；二次能源调度仍沿袭人工电话这种传统方式，无法进行二次能源动态调度平衡，致使煤气和氧气放散率较高、电力负荷波动较大、尖峰负荷较高、用电费用增加；多数设备硬件和软件（尤其是老区）落后于世界一流水平，无论是能源网络还是能源管理系统都无法满足现代化生产的管理需要。

水钢近几年来千方百计地节约能源，取得了显著成绩，同时也给能源管理工作、管理机构和节能队伍建设带来了一些新情况和新问题。目前，水钢集团公司最基层的能源统计等工作通常分配给下属单位，指派专人或兼职来完成。多数单位只设一个能源管理岗位，管理人员除了完成日常的能源统计工作之外，还要进行能耗分析及其他工作，很少有其他方面的专业人员参与其中。在设备的动态管理方面做的不及时，注重大型设备的维护而对小型设备的维护注意不够。在节能管理方面更多的是凭借经验管理，缺少科学管理和现代化管理手段；在组织形式上更多的是公司能源管理部门参加的纵向管理，缺少各职能处室和生产厂广泛参与的纵横结合的管理体系；在节能项目管理、组织节能技术攻关和节能技术改造等方面缺少长期规划，抓具体的单体设备

层面上的项目多，抓长远的企业层面上的项目少。

水钢要加强节能管理队伍建设，充实节能管理力量，完善节能监督体系，在整合现有相关机构和节能研究部门的基础上，组建能源管理中心。

3.10.4 能耗指标的统计方法

(1) 吨钢综合能耗、吨钢可比能耗的计算方法

吨钢综合能耗是指在统计期内能源消耗总量与同期内的合格钢产量的比值，(单位 kgce/t-s)。吨钢可比能耗：在统计期内钢铁联合企业每生产 1 吨钢，从炼铁（包括焦化、烧结、高炉）、炼钢（包括铸锭、连铸）直到成材配套生产所必需的耗能量和企业的能源转换、燃气加工、机车运输、能源亏损等所分摊在每吨钢上的耗能量之和（单位：kgce/t-s）。为了消除企业因生产构成差异对能耗的影响，企业购入或外销烧结矿和生铁时，在计算吨钢可比能耗过程中应将这部分烧结矿和生铁的生产能耗补入或扣除。

按规定，计算可比能耗时，只考虑以下诸工序：焦化、烧结、球团、炼铁、炼钢、初轧、轧钢、能源转换、燃气加工、厂内运输以及能源亏损。其他工序（如采矿、选矿、铁合金、耐火、白灰、铸管、轧辊、机修、洗煤等）均不考虑在内。

为了消除钢铁企业在外购或矿山生产的烧结/球团矿比例的差异和冷轧产品比例、规格和型号不同造成的吨钢能耗的不可比性，对吨钢综合能耗及吨钢可比能耗的统计方法应进行修正。修正后的吨钢综合能耗统计口径为：统计期内的能源消耗总量包括外购生铁块消耗的能源。修正后的吨钢可比能耗口径为：焦化、烧结、炼铁、炼钢、热轧、燃气加工、厂内运输以及能源亏损。外购生铁块的能源消耗，消耗水平按照本企业生产 1t 铁水的水平来计算。

(2) 各种燃料、动力的折标煤系数

钢铁企业消耗的能源有一次能源和二次能源。一次能源中固液体燃料折标煤系数是以燃料的低位发热值为标准，企业可以根据实际的燃料热值来确定。水钢一次能源的折标煤系数多年来一直不变（如喷吹煤粉、动力煤、洗精煤等），影响企业的节能进步。二次能源包括焦炭、煤气及电、蒸汽、氧、氮、氩等动力介质，水钢二次能源的折标煤系数多年来一直不变（如焦炭、各种煤气、各种动力介质等），焦炭是固体燃料，折标煤系数同固液体燃料，煤气按照热值来计算的；鼓风、压缩空气、水、和氧、氮、氩的折标煤系数是根据生产某种动力介质的能源消耗和该动力介质的产量比值，计算公式如下：

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{Q} \quad \text{公式 (3-10)}$$

式中： α —某种动力介质的折标煤系数，kgce/单位产品（kgce/kWh、kgce/m³或 kgce/t 等）；

e_i —生产某种动力介质（产量为 Q ）消耗的第 i 种能源，kgce；

Q —某种动力介质的产品产量，kWh、m³ 或 t 等。

由于各企业的自发电量、余热回收电量和外购电量比例不同，钢铁企业电力的折标煤系数，不同于厂内自发电的折标煤系数，是自发电、TRT 和 CDQ 回收电、外购电的供电煤耗的加权平均值。计算公式如下式：

$$\alpha_{\text{电}} = \frac{(Q_1 + Q_2) \times \beta_1 + Q_3 \times \beta_2 + Q_4 \times \beta_3}{\sum_{i=1}^4 Q_i} \quad \text{公式 (3-11)}$$

式中： $\alpha_{\text{电}}$ —电的折标煤系数，kgce/kWh；

Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 —分别为外购电、TRT 和 CDQ、CCPP、自发电的电量，kWh；

β_1 、 β_2 、 β_3 —分别为外购电（包括 TRT 和 CDQ）、CCPP、自发电的发电煤耗，kgce/kWh

3.11 本章小结

本章针对水钢的实际生产情况，从工厂布局、生产流程、产品结构、原燃料条件、能源系统、工艺装备、辅助设备、工艺操作、物质循环和能源管理十个方面详细分析了直接影响水钢吨钢能耗的主要因素，为下一步实施优化方案提供了强有力的依据。

第四章 二次能源产生量和利用途径分析

在钢铁企业,二次能源主要指生产过程中产生的副产煤气、动力介质和各种余热、余能。其中,余热资源主要指钢铁厂内产生的中高温余热,一般不包括冷却水、低温固态产品和低温烟气等无经济价值的低温余热。本章重点讨论副产煤气和余热余能的有关情况。

4.1 工序和钢铁制造流程二次能源产生量理论分析

钢铁企业在生产的过程中产生了大量的余热余能资源,余热余能的回收利用程度是降低能耗的一个重要措施。

根据热力学第一、第二定律,余热余能的回收利用应遵循以下基本原则:及时回收,减少耗散;按质用能,梯级利用。余热余能资源的回收主要有三个途径:直接回收;热回收;动力回收。任何能量在实际转换过程中,都存在转换效率的问题,都不可避免的存在能量的损失和能质的降低。所以,一般来说,直接回收是最方便、经济的,也是损失最小的。

回收利用余热资源的总原则:根据余热资源的数量、品质(温度)和用户需求,按照能级相匹配的原则,按质回收、温度对口、梯级利用,即:①若有合适热用户,直接利用余热则最为经济。例如,产品显热不经转换直接供给下一道工序,用余热预热空气和煤气、预热或干燥物料、生产蒸汽和热水,在夏季热用户减少时用多余的热量制冷等;②对于高温余热应采用动力回收,如发电或热电联产;③对于低温余热应首选直接热利用,对不能直接利用的低温余热,先将它作为热泵系统的低温热源,提高其温度水平后再加以利用;④对于中温余热资源或热回收或动力回收。

所讨论的二次能源的利用率如下式:

$$\text{二次能源利用率} = \frac{\text{回收利用的二次能源量}}{\text{二次能源产生总量}}$$

这里二次能源利用率一方面取决于某类二次能源是否被利用(如是否采用 CDQ 回收焦炭的显热),另一方面取决于该回收利用技术最大可回收的效率(如目前 CDQ 只能回收焦炭显热的 80%),因此,二次能源利用率与技术的提高有直接关系。

对钢厂余热资源选取三种余热资源基准温度,进行分析:

基准一:以 0℃ 为基准;(固、液、气均为 0℃)

基准二:以国家余热标准 GB/T1089-2000 为基准;(固体 500℃,液体 80℃,

气体 200 ℃)

基准三：修正余热基准温度。(固体 200 ℃ ， 液体 80 ℃ ， 气体 200 ℃)

将基准温度为零度、国家余热标准温度和修正余热基准温度下计算得出的二次能源理论产生量，与现有技术条件下可回收的二次能源量进行对比（图 4-1）。

工序	种类	基准温度为零度时二次能源产生量/kgce		国家标准温度下二次能源产生量/kgce		修正基准温度下理论产生量/kgce		现有技术下可回收量/kgce	
		吨产品	折吨钢	吨产品	折吨钢	吨产品	折吨钢	吨产品	折吨钢
焦化	焦炭显热	60.73	20.13	20.47	6.82	48.45	16.04	48.45	16.04
	COG 潜热	261.34	87.00	261.34	87.00	261.34	87.00	258.96	85.98
	COG 显热	17.06	5.80	12.96	4.09	12.96	4.09	3.75	1.36
	废烟气显热	19.45	6.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	小计	358.58	119.41	294.44	97.92	322.76	107.13	322.42	103.38
烧结	烧结矿显热	21.15	32.07	6.14	9.21	15.01	22.86	7.51	11.26
	废气显热	15.35	23.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	小计	36.51	55.27	6.14	9.21	15.01	22.86	7.51	11.26
高炉	BFG 潜热	180.48	171.27	180.48	171.27	180.48	171.27	176.05	167.18
	BFG 显热	27.64	26.27	7.51	7.16	7.51	7.16	0.00	0.00
	炉顶余压	16.04	15.35	16.04	15.35	16.04	15.35	16.04	15.35
	炉渣显热	21.15	20.13	13.99	13.31	18.08	17.40	0.00	0.00
	热风炉烟气显热	12.96	12.28	6.82	6.48	6.82	6.48	7.16	6.48
	小计	258.61	245.65	224.84	213.58	229.27	217.67	198.91	189.01
转炉炼钢	LDG 潜热	30.71	30.71	30.71	30.71	30.71	30.71	26.27	26.27
	LDG 显热	7.16	7.16	6.14	6.14	6.14	6.14	6.14	6.14
	炉渣显热	5.12	5.12	3.41	3.41	4.09	4.09	0.00	0.00
	小计	42.99	42.99	40.26	40.26	40.94	40.94	32.41	32.41
轧钢	加热炉废气显热	24.56	23.88	20.47	20.13	20.47	20.13	13.99	13.65
总计		-	487.21	-	381.10	-	408.73	-	349.71

图 4-1 现有技术条件下可回收的二次能源量比较

注：基准温度为零度、国家余热标准温度和修正余热基准温度

通过理论分析，可见：

无论选取何种基准温度，各工序二次能源所占钢铁制造流程二次能源总量的比例相差不大，高炉工序二次能源产生量最大，约占 50%。各工序二次能源产生总量为 11.98GJ/t-s，如果充分利用普及现有技术，二次能源回收利用率可以达到约 86.6%。二次能源中，副产煤气所占比例最大，总计达到约 74.6%，其中焦炉煤气约占 22.29%，高炉煤气约占 43.66%，转炉煤气约占 9.02%。

目前高炉渣、钢渣显热尚无有效回收利用技术；高炉煤气显热、烧结和焦化烟气显热由于工艺操作原因，尚未进行回收利用。各种余热余能资源中，焦炭显热、烧结矿显热、高炉炉顶余压和转炉煤气显热等是余热回收的重点，目前已有成熟技术，在进一步开发新技术，提高回收效率的基础上，重点应加强节能技术的推广，提高普及率。烧结、焦化废烟气等低温显热回收技术尚不成熟，高炉渣和钢渣显热利用技术有待开发，是未来钢铁工业节能技术创新的方向和突破点。

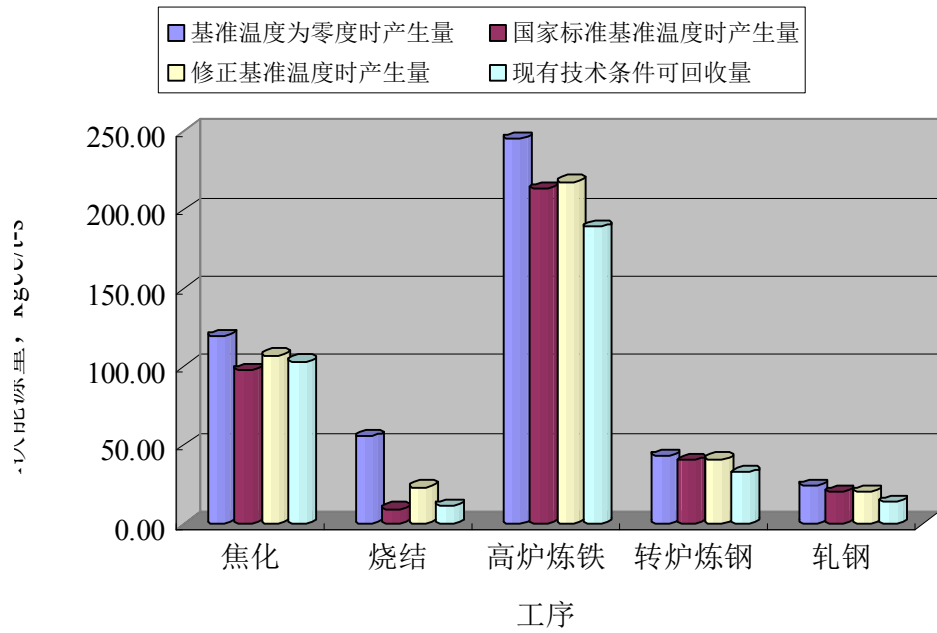


图 4-2 三种基准温度下二次能源产生量与现有技术条件下可回收量比较

4.2 典型二次能源的回收与利用技术

(1) 焦炭及烧结矿显热

烧结矿、球团矿和焦炭的显热，是只依附所在工序产品而不能带入到下一道工序的净热量，只有通过气固热交换方式才能回收利用。表 4-1 给出了三种热回收方式的火用分析结果：①红焦采用干熄焦方法首先回收其显热，然后再生产蒸汽并发电，计算可知，其火用效率为 34%，降低焦化工序能耗 51.5kgce/t 焦；②烧结矿显热采用带式环冷机首先回收 350℃的混合热风，再用余热锅炉生产低压蒸汽，其火用效率只有 17%；③烧结矿显热按照能级匹配的原则，将来自环冷机的 400℃高温热风送往余热锅炉生产蒸汽并发电，再用 300℃中温热风预热点火炉的助燃空气、加热烧结原料和供给热风烧结等，用 250℃的低温热风去干燥物料。整个过程的火用效率提高到 21%，降低烧结工序能耗 16.6 kgce/t 矿。可见，烧结矿/球团矿的显热回收都宜采用干熄焦方式，因为蓄热式热交换器的热效率最高，传热火用损失也最小，有望降低工序能耗在 25.0kgce/t 矿以上。

表 4-1 热回收方式的节能效果

余热资源回收方式	火用效率/%	工序能耗影响量/kgce/t
焦炭显热发电（干熄焦）	34	-51.5
烧结矿显热生产低压蒸汽	17	-10.2
烧结矿显热分级回收、梯级利用	21	-16.6

(2) 熔渣显热

高炉、转炉和电炉渣等高温固体的显热，虽然出渣温度高达 1500℃ 以上，但由于回收困难，目前除了高炉渣采用水淬法回收余热水以外，其他尚处在实验研究阶段。例如，用风淬法粒化高炉渣并获取高温热风或发电；利用甲烷和水蒸气重整反应吸收高炉熔渣粒化过程的显热，并在催化剂作用下生产 H₂ 和 CO 等燃料气，将热能转变为化学能。以上三种回收方式的热平衡分析、火用分析以及能级分析的结果，列于表 4-2。由表可见，水淬法将 1500℃ 的高温熔渣转换为 80℃ 的热水，能级差为 0.72，尽管转换过程的热效率很高但有效能却损失严重，其火用效率仅有 12%，对降低高炉炼铁能耗的贡献也只有 3.8kgce。相反，化学法按能级匹配的原则将高温熔渣转换为 1100℃ 的 H₂ 和 CO，转换过程的能级差不到 0.01，热效率和火用效率同时达到 88%，可使炼铁工序能耗下降 17.7kgce/t 铁，节能效果明显。可见，化学法、风淬法是未来高温熔渣余热回收的发展方向。

表 4-2 采用不同方式回收高炉熔渣显热的节能效果分析

回收方式	换热介质	能级差	热效率/%	炼铁工序能耗的影响/kgce/t 铁
水淬法回收热水	水	0.72	58	-3.8
风淬法回收热风、蒸汽	空气	0.16	40	-8.0
化学法回收 H ₂ 和 CO、发电等	CH ₄ +H ₂ O	0.01	88	-17.7

(3) 废（烟）气显热

钢铁企业的气体显热多数为炉窑排出的废（烟）气，温度范围为 150℃~1600℃，目前成功回收利用的是 700℃ 以上的高温烟气，250℃ 以下的低温废气几乎未回收利用，如烧结机的烟气显热及其环冷机的低温热风、高炉荒煤气显热等。废（烟）气显热无论温度水平高低，都应根据所属余热资源的数量和温度以及用户的需求，尽量做到温度对口回收、梯级利用，否则难以获取理想的节能效果和经济效益，见表 4-3。以 200℃ 烧结环冷机热风显热的回收利用为例，用它发电的热效率仅为 10%，可降低烧结工序能耗 4.1kgce/t 矿；用它直接预热烧结原料的热效率为 60%，可降低烧结工序能耗 8.4kgce/t。轧钢加热炉烟气显热的回收装置目前有两种，其中蓄热式换热器的热效率为 63%，可降低轧钢工序能耗 15.4kgce/t 坯；而间壁式换热器的热效率只有 35%，可降低轧钢工序能耗 8.6kgce/t 坯。炼钢转炉的烟气显热，一般用汽化冷却锅炉来回收，通常生产低压蒸汽，尽管热效率为 50%，火用效率为 23%，但降低转炉工序

能耗 3.6kgce/t；若进一步提高蒸汽压力并发电，则炯效率可提高至 33%，降低转炉工序能耗将达到 6.6kgce/t 钢。对于高温炯气余热最好采用综合利用，既发电又供热。

表 4-3 采用不同方式回收炯气余热的节能效果分析

回收方式		温度/℃	能级差	热效率%	工序能耗影响/kgce/t
烧结环冷机热风显热	预热烧结原料	200	0.17	60	-8.4
	升值发电	200	0.62	10	-4.1
轧钢加热炉炯气显热	蓄热室	1100	0.04	63	-15.4
	换热器	1000	0.24	35	-8.6
炼钢转炉炯气显热	回收蒸汽发电	1600	0.16	28	-6.6
	回收低压蒸汽	1600	0.45	50	-3.6

由此可见，钢铁企业余热资源的回收与利用，必须同时依据热力学第一、第二两大定律，根据余热资源的数量、温度和用户需求，按质回收、温度对口、梯级利用。余热回收利用所在工序（或系统）产品能耗的改变量是评价热工设备完善性和用能系统合理性的统一判据。高温余热应首选动力回收；低温余热应首选直接热利用，或作为热泵系统的低温热源提升其温度水平；中温余热应根据用户需求选择热回收、动力回收或综合利用。

各种余热余能回收利用方式优化后，对于高炉—转炉生产流程来说，吨钢发电量约为 165kWh/t 钢，详见表 4-4。由表可知，红焦显热通过 CDQ 可发电 120kWh/t 焦；利用烧结矿经环冷机冷却后得到的部分炯气余热可发电约 10kWh/t 矿；炼铁工序既有余热发电（利用高炉渣显热），也有余压发电（利用高炉炉顶煤气压力），分别达到 50 和 40 kWh/t 铁；利用转炉煤气显热可发电约 25 kWh/t 钢。按此计算，年产 800 万吨钢的企业，利用余热余能（不包括各种煤气）可发电约 13 亿 kWh/a，约占企业电耗量的 1/3。

表 4-4 钢铁生产流程余热余能发电量统计

工序	余热余能资源量（kgce/t 产品）		发电方式	吨产品发电量（kWh/t）
焦化	红焦显热	44.3	干熄焦（CDQ）	120
烧结	烧结矿显热	21.3	余热发电（SHR）	10
炼铁	高炉渣显热	20.3	余热发电（MSR）	50
	炉顶煤气压力能	14.0	余压发电（TRT）	40
炼钢	转炉炯气显热	8.6	余热发电（LDGR）	25

4.3 国内钢铁企业余热余能的回收与利用

如第一篇第二章所述，与世界先进水平相比，我国钢铁企业的能耗指标仍然偏高，

这主要是由于我国钢铁工业余热余能回收利用水平低下造成的。根据调研数据，计算了我国钢铁工业余热余能资源量和回收量，列于表 4-5。通常余热余能是指钢铁生产过程中各主要生产工序排出的热载体以环境温度（25℃）为基准可释放的热量及排出的除热能外的其它各种能量（如压力能、化学能、动能等）。余热余能的统计范围包括焦化、烧结/球团、炼铁、炼钢及轧钢等主要生产工序，不包括除焦化外的制氧、发电等其它能源转换工序及铁合金、碳素、耐火材料、机车冶金等其它辅助原材料制备工序。

在具体计算各主要生产工序的余热余能时，给定以下主要计算参数的数值：

（1）焦化工序的钢比系数为 0.40t 焦/t 钢；焦炉煤气产生量为 410m³/t 焦；红焦温度为 1000℃，上升管焦炉煤气温度为 700℃，焦炉烟气温度的 200℃；

（2）机尾烧结矿温度为 800℃，烧结烟气温度的 150～300℃；球团工序的钢比系数为 0.25t 矿/t 钢，球团矿排出温度为 200℃；

（3）高炉渣产量为 0.32t 渣/t 铁，液态高炉渣温度为 1500℃；高炉煤气发生量为 1650m³/t 铁，高炉煤气热值为 3350kJ/m³，炉顶高炉煤气温度为 200℃；高炉冷却水平均温度为 40℃；热风炉排烟温度为 500℃；

（4）连铸比为 100%；连铸坯温度为 900℃；钢渣温度为 1550℃；转炉煤气产生量为 100m³/t 钢，热值为 8370kJ/m³，烟罩处转炉烟气温度的 1600℃；电炉炉顶排放口烟气温度的 1200℃；

（5）轧钢工序钢比系数为 0.92t 材/t 钢；加热炉炉尾或入蓄热式烧嘴烟气平均温度为 900℃；加热炉汽化冷却蒸汽压力为 1.5MPa，温度为 200℃。

对各工序的余热余能回收利用情况详述如下。

表 4-5 2008 年我国钢铁工业余热余能回收利用情况

余热余能资源			余热		余能		合计	
			资源量	回收量	资源量	回收量	资源量	回收量
			/kgce/t 钢	/kgce/t 钢	/kgce/t 钢	/kgce/t 钢	/kgce/t 钢	/kgce/t 钢
焦化	焦炭显热		20.2	2			32.49	2.6
	焦炉煤气显热		5.7	0.6				
	焦炉烟气显热		6.5	0				
烧结/球团	烧结	烧结矿显热	32	9.6			58.3	9.6
		烧结烟气显热	23.4	0				

	球团	球团矿显热	2.9	0				
炼铁	铁水显热		41.5	37.4			145.3	44.7
	高炉渣显热		20.1	0.4				
	高炉冷却水显热		32.4	0				
	高炉煤气显热		26.3	0				
	热风炉烟气显热		12.3	3.7				
	高炉煤气余压				12.7	3.2		
炼钢	钢坯显热		20.6	6.9			32.9	9.8
	钢渣显热		5.1	0				
	转炉煤气显热		7.2	2.9				
轧钢	加热炉烟气显热		24.5	8.6			34.5	9.4
	加热炉冷却水显热		10	0.8				
总计			290.7	72.9	12.7	3.2	303.4	76.1

由表 4-5 可见，按吨钢折合量计算可知，我国钢铁工业的余热资源总量为 303.4kgce/t 钢，包括产品显热、渣显热、废（烟）气显热及冷却水显热水钢的余热余能回收水平只有 76.1kgce/t 钢，占理论回收量的 25.1%。而先进国家的回收水平已高达 80%以上，因此，我国钢铁企业余热余能的回收潜力颇大，从理论上大约为 165 kgce/t 钢；在应用先进回收技术，普及成熟回收技术，加强管理的基础上，未来我国钢铁工业的余热余能回收利用率可达 64%，目前还具有的回收潜力为 118kgce/t 钢，如果挖掘这些潜力，可极大地降低吨钢能耗。

表 4-6 我国钢铁工业余热余能回收利用潜力

项目	焦化	烧结/球团	炼铁	炼钢	轧钢
资源量/kgce/t 钢	32.49	58.3	145.3	32.9	34.5
目前回收量/kgce/t 钢	2.6	9.6	44.7	9.8	9.4
未来回收量/kgce/t 钢	14.0	23.0	110.0	23.1	20.0
回收潜力/kgce/t 钢	11.4	13.4	65.3	13.3	11.6

由表 4-6 计算可知，在应用先进回收技术，普及成熟回收技术，加强管理的基础上，未来我国钢铁工业的余热余能回收利用率可达 65%，目前还具有的回收潜力为 119.1kgce/t 钢，如果挖掘这些潜力，可极大地降低吨钢能耗。

4.4 水钢余热余能的回收与利用

在第三章从生产规模、技术装备、生产布局、厂内运输、能源结构、能源转换及余热余能等方面分析了影响水钢能耗的主要因素。通过分析可知：生产布局先天不足，

流程不紧凑,技术装备相对落后,能源转换水平低,余热余能回收差是导致水钢能耗高的主要原因;影响钢铁企业能耗水平的生产因素众多,而且各个因素之间又彼此影响,如何定量分析这些因素对能耗的影响,并采取措施降低钢铁企业的能源消耗是水钢非常重要的现实课题。正是基于这样的考虑,在充分调研水钢的能耗基础上,发现水钢的工序能源消耗高,且二次能源回收低。表 4-7 是水钢的余热余能资源及回收情况。

表中计算按照余热计算的基准三计算,即修正余热基准温度(固体 200℃,液体 80℃,气体 200℃)。计算为包括各种煤气的化学热。表中余热资源的分类:纵向按热量的载体分类,分为产品显热、渣显热、废(烟)气显热及冷却水显热等 4 类;横向按品位分类,分为高品位(温度 $\geq 900^{\circ}\text{C}$)和压力能、中品位(温度在 400~900℃之间)和低品位(温度 $< 400^{\circ}\text{C}$)等 3 类。

表 4-7 水钢余热余能资源及回收利用情况 (kgce/t 钢)

余热资源		高品位		中品位		低品位		合计	
		资源量	回收量	资源量	回收量	资源量	回收量	资源量	回收量
产品显热	烧结矿显热			32	8.0				
	焦炭显热	20.2	0						
	铁水显热	41.5	35.4						
	钢坯显热	20.6	8.2						
	小计	82.3	43.6	32	8.0			114.3	40.0
渣显热	高炉渣显热	20.1	0						
	钢渣显热	5.1	0						
	小计	25.2	0					25.2	0
废(烟)气显热	焦炉烟气显热					6.5	0		
	焦炉煤气显热			5.7	0				
	烧结烟气显热					23.4	0		
	高炉煤气显热					26.3	0		
	热风炉烟气显热			12.3	0				
	转炉煤气显热	7.2	2.6						
	加热炉烟气显热			24.5	8.6				
	小计	7.2	2.6	42.5	8.6	56.2	0	105.9	11.2
冷却水显热	高炉冷却水余热					32.4	0		
	加热炉冷却水余热					10	0	10	0
	小计					42.4	0	42.4	0
余压	高炉煤气余压	12.7	4.3					12.7	4.3
	小计	12.7	4.3					12.7	4.3
	合计	127.4	50.2	74.5	16.3	98.6	0	300.5	55.5

注:水钢没有球团,故没有计入球团矿显热。

由表 4-7 可见,按吨钢折合量计算可知,我国钢铁工业的余热资源总量为

300.5kgce/t 钢，包括产品显热、渣显热、废（烟）气显热及冷却水显热水钢的余热余能回收水平只有 55.5kgce/t 钢，占理论回收量的 18.5%。

水钢余热回收利用水平低下，还存在不少问题，主要表现为：

（1）成熟余热回收技术普及率低，实际应用中回收效果差。水钢余热回收起步较晚，一些大型的回收利用技术普及率相对降低，如干熄焦（CDQ）、蓄热式燃烧（HTAC）、煤调湿（CMC）、烧结环冷机余热回收等技术在水钢普及率很低或为 0，如干熄焦技术、蓄热式燃烧、煤调湿普及率为 0。

（2）高、中品位显热贬值回收，能量浪费极大。传统的余热回收以热力学第一定律为为指导的，回收过程中只重量，不重质，导致大量的高品位余热降级回收，造成了极大的能量浪费，如烧结矿显热、转炉煤气显热回收低压蒸汽等都导致了余热的极大贬值，造成了很大的能量损失。

（3）余热回收利用新技术发展缓慢。余热回收技术发展缓慢是水钢，也是我国钢铁工业余热回收低的另外一个原因。钢铁工业的低温废（烟）气余热虽然品质低，但数量很大，由于相应的回收利用技术不成熟，且发展缓慢，使得这部分余热基本没有得到回收利用。由于回收技术不成熟，相应的技术研究滞后，大量的高温冶金渣所携带的显热，如高炉渣显热，基本没有得到回收利用，只能白白浪费。

结合分析可知，水钢与国内钢铁企业的余热回收水平吨钢有 6.6%差距，为 20.6kgce/t 钢，与国际先进水平和理论回收量差距跟大。表 4-7 是水钢各工序的余热余能回收潜力。水钢余热余能的回收潜力颇大，从理论上大约为 162 kgce/t 钢；在应用先进回收技术，普及成熟回收技术，加强管理的基础上，水钢未来余热余能回收利用率可达 60%，目前还具有的回收潜力为 128kgce/t 钢，如果挖掘这些潜力，可极大地降低吨钢能耗。

4.5 本章小结

本章通过对二次能源产生量、利用途径及技术的研究，分析水钢不同工序的二次能源产生量和回收量，结合水钢实际给出未来的节能潜力所在，并对现有技术进行评价，提出企业进一步降低能源消耗的方向。

第五章 水钢企业节能对策和能源结构优化

5.1 立足优化生产流程，调整产品结构，建西部长材精品基地

(1) 产品结构调整

未来的水钢要以建设“建西部长材精品基地”为目标，科学分析国内外钢铁市场的发展态势，充分发挥西南地区的市场优势、水钢生产工艺和技术装备的后发优势，广泛吸收国内外先进技术，消化集成再创新，生产高质量、高技术含量、高附加值、市场急需的精品长材。在“十二五”或稍长一段时间内，通过调整产品结构和优化工艺流程，把水钢从追求规模和产能的竞争，转变为培育核心竞争力和综合实力的竞争；从简单的品种结构的竞争，转变为品种、质量、成本、服务水平的竞争；从国内企业之间的竞争，发展为同国内外企业集团的竞争。

水钢“十二五”产品结构规划的首选方案是：2015 年生产粗钢 500 万吨，钢材 490 万吨，高质量预应力钢棒、超细晶棒线材、高强钢筋 HRB400 或 HRB500 等为主导精品产品的比例将达到 75%，这些产品为高附加值长材产品。

(2) 生产流程优化

为了满足水钢建设“国家西部长材精品基地”宏伟目标的要求，按照冶金流程工程学原理和现代化钢铁厂工艺流程的发展趋势，通过广泛的调查研究、认真听取水钢有关技术人员的意见，经过反复优化，对水钢“十二五”生产流程规划提出以下方案，详见图 5-1。未来水钢做到每条生产流程都要尽可能地做到紧凑合理、物流顺畅、能源消耗少，发挥水城煤矿资源优势构建高效率、低能耗、低成本、无污染的钢铁生产运行系统，体现 21 世纪钢铁工业的科技发展水平，顺应中国钢铁工业先进生产力的发展方向。水钢炼铁系统：“十二五”期间全面淘汰目前依然存在的落后工艺和装备，具体如下：水钢炼铁系统以结构调整、淘汰落后为重点，“十二五”期间继续淘汰现有的 75m² 烧结机，新建 4# 高炉（容积为 2350m³）。到 2011，水钢共有高炉 4 座：1 座 788m³ 高炉，1 座 1200m³

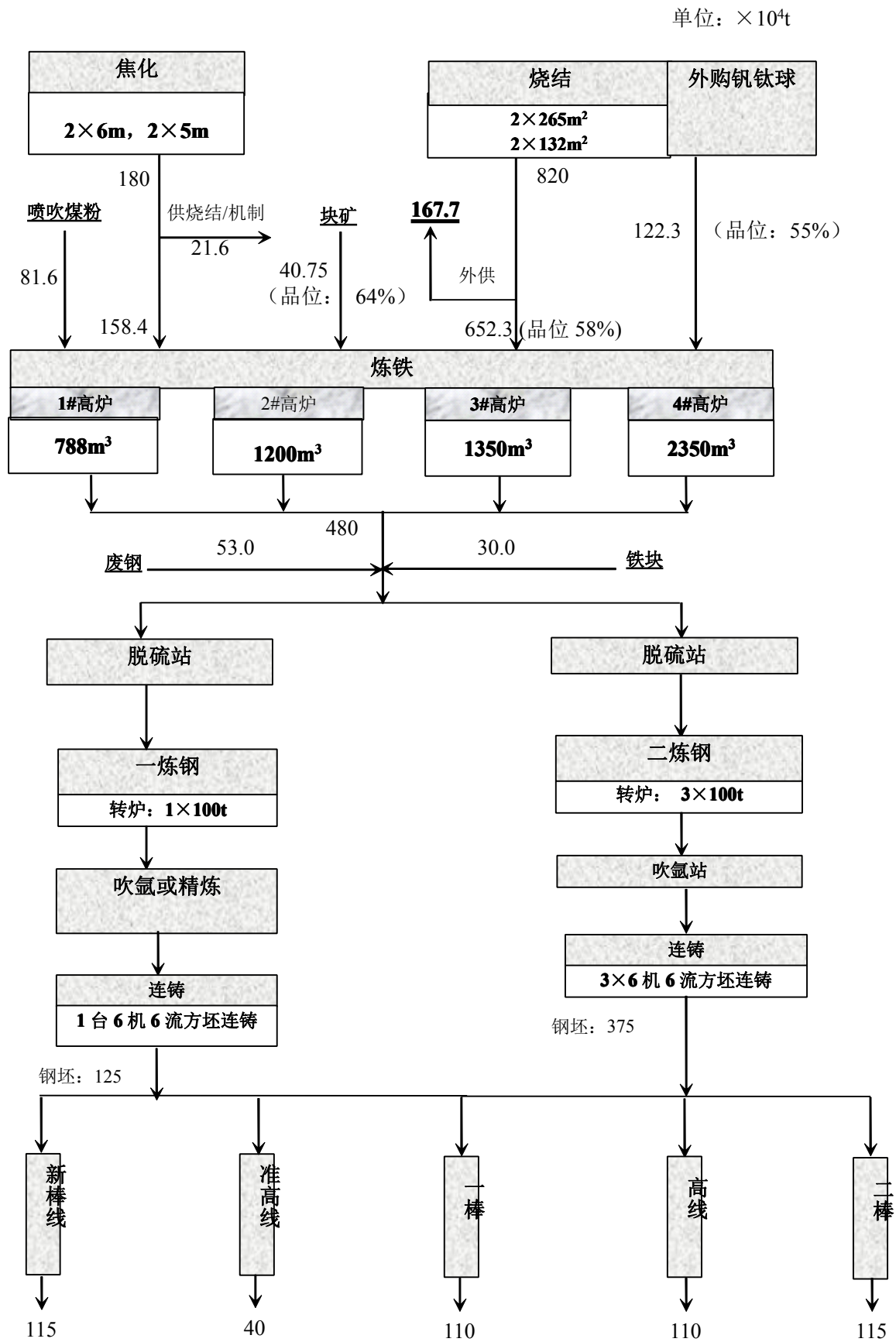


图 5-1 水钢生产流程规划示意图

高炉, 1 座 1350m³, 高炉 1 座 2350m³ 高炉, 铁水总产量为 510 万吨; 按照钒钛球: 烧结矿: 块矿=15:80:5 的比例设计高炉的炉料结构, 烧结工序淘汰现有的 3 座 75m² 以下烧结机, 新建 2 座 265m² 烧结机, 烧结矿产量为 820 万吨; 焦化工序保留近年经过大修改造的 2 座 5.5m 焦炉, 新建或大修改造 2 座 4.03m 焦炉。高炉—转炉区段的铁钢界面: 优化铁钢界面模式, 取消模式, 取消混铁炉, 缩短铁水运输时间, 提高入转炉的铁水温度; 炼钢系统重点是淘汰一炼钢 3 座 30t 转炉, 新建 2 座 100t 转炉 (一炼钢和二炼钢各一座), 钢产量达到 500 万吨, 并建设相对应的连铸设备和精炼设备; 轧钢系统淘汰高能耗的普线, 优化产品结构, 改造作业区, 淘汰落后的轧制生产线, 加强钢坯热装热送, 提高热轧工序综合成材率。新建一条棒线, 改造高线的轧机, 使轧机能力与加热炉生产产能匹配。

针对水钢厂区布局、总图布置存在的问题, 按照冶金流程工程学和水钢生产流程和装备的改造规划, 对水钢当前的厂区布局做出以下安排: 有步骤地改造厂区布局, 淘汰落后装备和工艺, 改建陈旧厂房, 打通物料运输过程中的“瓶颈”环节, 理顺物流和能流关系, 实现整体布局的紧凑化和连续化; 改造铁路、公路、辊道和皮带运输设施, 增加铁路输送能力; 修复煤气、蒸汽和供排水管道, 优化管网设施, 包括布局、管径以及流量、流速和压力等工艺参数的优化等。

重点是进一步完善和优化炼铁、铁钢界面、炼钢、连铸连轧等各个工序, 保证流程的紧凑和连续; 修复各类管道, 优化管路布置。

5.2 改善原燃料条件, 稳定炉料结构, 降低炼铁系统能耗

(1) 改善高炉原料结构, 提高入炉矿质量

研究表明, 精料技术对高炉炼铁的科技进步的影响率达70%, 而高炉操作和设备等方面的影响率只占30%。所以说, 高炉炼铁必须以精料为基础的。

精料技术的核心是提高高炉入炉矿的含铁品位, 入炉矿品位每提高1%, 炼铁焦比下降1.5%, 生铁产量升高2.5%, 铁渣量减少30kg, 高炉可增加喷煤15kg/t。规划2010年的入炉矿品位为59.7%, 2010年后的入炉矿品位为60%。

提高炼铁原燃料转鼓强度, 可降低炼铁焦比。烧结、球团转鼓指数每提高1%, 可提高产量1.9%。酸性烧结矿($\text{CaO}/\text{SiO}_2 < 1$)碱度提高0.1, 可降低炼铁焦比3~5%。

入炉烧结矿和球团矿的质量及其品位稳定性会直接影响高炉生产的技术经济指标。例如, 烧结矿含铁量突然升高或降低时 (即使波动 1%~2%) 都会引起高炉炉温急剧下

降或升高，炉温波动过大，会引起炉况失常并造成生铁成分不合格。炉温过高，生铁含硅量易出格，炉温过低，生铁含硫量易出格，所以在烧结矿成分波动较大的情况下，高炉操作被迫留有较多的风温储备并将炼钢生铁含硅量（作为炉温标志）和碱度保持在较高水平。经验证明，每升高或降低 100°C 风温，相当于降低或升高焦比 30kg/t 左右，生铁含硅量增减 0.5% ，相当于增减焦比 20kg/t 。

（2）提高炼焦煤和焦炭质量

影响焦炭质量的主要指标是灰分、硫分、强度（热）和透气性。焦炭的质量要符合高炉炼铁的需要，高炉操作的稳定性在一定程度上取决于焦炭质量的稳定性，提高高炉的冶炼强度有赖于焦比的降低，这就要求提供优质的冶金焦。一般高炉要求冶金焦灰分和硫含量低，强度高，块度适当且均匀，气孔均匀、致密，反应性适度，反应后强度高。提高水钢焦炭质量的主要措施是焦炉的大型化、淘汰 5m 以下焦炉；实施优化配料技术，煤调湿—型煤化快速炼焦技术，严格控制入炉煤的灰分，降低洗精煤的硫分；采用干法熄焦技术等。

（3）高炉实施高风温富氧大喷煤，降低入炉焦比

富氧高风温大喷煤技术，可实现高炉喷吹煤比在 200kg/t 铁以上。高炉喷吹煤粉是炼铁系统结构优化的中心环节，可以实现节焦增产、炼铁环境友好的效果，同时可降低生铁成本。

据推算热风温度每提高 100°C 可使高炉焦比下降 $20\text{--}35\text{kg/t}$ ，并带来减少炉顶煤气所带走的热损失，增加生铁产量，加大煤粉喷吹量等多个效果。

5.3 应用“界面技术”，降低高炉—转炉区段能耗

（1）加强铁水预处理，提高入转炉的铁水质量

随着市场对高纯净度钢水的需求日益增长，铁水预处理得到了迅速的发展。铁水预处理是指铁水的“三脱”工艺，即铁水预处理脱硅、脱磷和脱硫。在铁水“三脱”的工艺条件下，铁水的脱硅、脱磷和脱硫从转炉冶炼负荷中分化出来，转炉的冶炼功能进一步简化为脱碳和升温。对于转炉炼钢工序，带来以下好处：① 提高钢水纯净度，大批量生产低磷低硫钢成为可能；② 降低全工序的成本，减少了合金料和耐材的消耗；③ 由于转炉操作的简化和标准化，提高了转炉产能；④ 成分命中率提高。

（2）优化铁钢界面模式

a、 优化铁路线布局，理顺高炉—炼钢厂的对应关系

优化高炉—转炉区段的铁路线，理顺铁水运输，从根本上扭转过去由于铁路线布局问题而造成的铁水运输“三长”现象（即等待运输时间长，翻铁时间长，在线时间长），为“铁钢界面”的紧凑化和热衔接创造条件。实现铁水供应有序，明确高炉—炼钢厂之间铁水供给的对应关系。

b、控制高炉出铁节奏，优化铁钢界面，铁—钢之间做到均衡生产

控制高炉出铁次数和出铁时间，以满足铁—钢之间均衡生产的要求：4座高炉的日出铁次数均控制在12次，每次出铁时间控制在50min。

c、彻底淘汰高炉与转炉间的混铁炉，使铁—钢之间进一步紧凑化。考虑到铁水的计量问题，在高炉出铁处增设铁水计量装置。

高炉运往一炼钢、二炼钢南区的铁水，全部采用120t的大罐，不再使用65t小罐。根据高炉的利用系数及出铁次数，将承接铁水列车由原来的一车5罐、6罐、7罐或8罐改为1#和2#高炉一车3罐运输，3#高炉一车4罐，4#高炉一车5罐，做到“一罐到底”，即受铁罐在高炉处受铁之后，铁水在受铁罐内进行脱硫扒渣，然后由受铁罐直接兑入转炉，不再倒罐。运行模式及铁水的传摘时间见图5-2。考虑生产过程中的正常等待时间、高炉出铁时间、铁水正常运输时间及通过各设备、装置的时间，同时保证高炉—转炉的平衡生产，应用排队论方法进行优化计算，确定：1#和2#高炉需要受铁罐15个，即5组，每组3个；3#高炉需要受铁罐12个，即3组，每组4个；4#高炉需要受铁罐15个，即3组，每组5个；需要为安全起见，高炉多配12个，一共需54个铁水罐，在线42个。

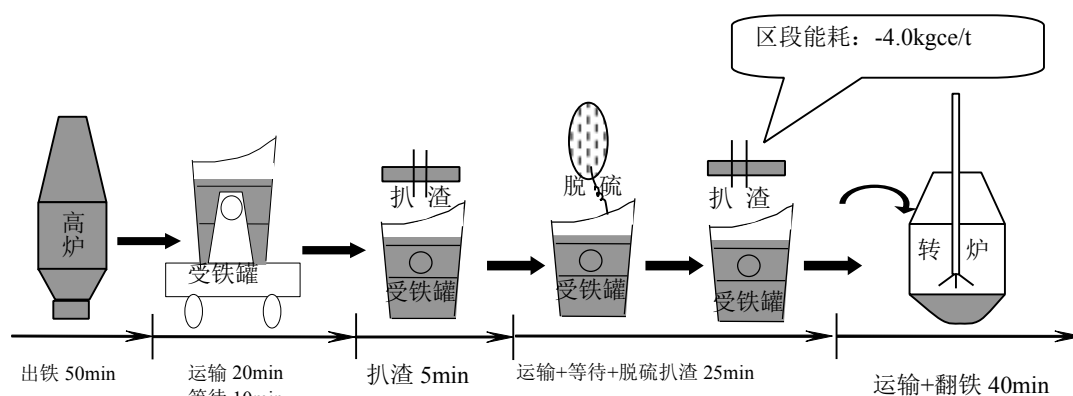


图 5-2 一炼钢、二炼钢界面模式

采取以上措施可节省铁水运输时间约 20min，铁水罐的日周转次数由现在的 4.4 次提高到 6 次。同时，铁水罐和兑铁包采用在线烘烤，铁水罐和兑铁包烘烤装置采用蓄热式烧嘴结构，烘烤过程实施计算机在线控制技术，对钢包和铁水罐的罐壁温度进行在线

控制。这些措施可使铁水温度提高约 70°C ，再加上增加铁水罐周转次数的保温效果，可保证入转炉的铁水温度不低于 1360°C 。

铁钢界面采用优化模式以后，高炉—转炉的区段能耗降低到 -5.0 kgce/t 以下（包括转炉和连铸能耗），比 2008 年下降 $19\sim 24\text{ kgce/t}$ 。

5.4 调整能源结构，提高能源转换效率，增加自发电量

(1) 优化利用煤气资源，提高煤气使用效率

一般地说，企业中各种用能设备可选择不同的煤气作燃料。但是，受企业煤气总量、热值和煤气供需平衡的限制，企业所有用能设备在能源的使用方面将彼此制约、相互影响。所以，在能源可替换的情况下，及时有效地调整水钢的煤气用户，增大煤气缓冲设备，尽可能地保持煤气系统的供需平衡，可减少煤气的放散损失。

水钢在“十二五”期间，各种煤气在结构调整进程中会出现不同程度的富余。铁、钢生产规模的扩大，高炉煤气和转炉煤气将会大量增加，而水钢轧钢系统只有热轧，没有冷轧等深加工产品，煤气使用量也会增加，但整体上高炉煤气和转炉煤气会大量过剩，解决的办法是开发烧低热值高炉煤气和高焦混合煤气的用户。建议水钢依据煤气资源的数量、品质和用户需求，按照不同品质煤气的最佳利用方式和优先使用顺序，实现煤气“按质用能、热值对口、有序利用”，最大限度地提高煤气资源的使用效率。

因此，单品种煤气在满足用气要求的条件下优先就近使用，余量再考虑并入总网，这样可减轻加压机负荷，减少投资维护费用，同时减少煤气混合过程中的有用能损失。

将高炉煤气、焦炉煤气混合后作为燃料在钢铁企业内部使用非常普遍，究其原因，一是高炉煤气热值较低，单独使用其燃烧温度达不到用能设备的工艺要求，而将高炉煤气、焦炉煤气混合后再燃烧可以满足热工要求；二是高热值焦炉煤气产生量小，用户消耗量大，高热值煤气紧缺，混合后可满足用能设备用量需求。虽然从能量守恒角度（即热力学第一定律）来看，二者混合后总量保持不变，没有能量损失。然而，从能量品质的角度来看，混合过程使得气体混乱度增加，是一个不可逆的熵增过程。因此各种燃料最好不混合而单一使用，这样能质利用效率最高。

因此，单一煤气优先供给用户，如高炉煤气供给热风炉、蓄热式加热炉、锅炉使用，一是提高燃料利用效率，使得低热值煤气得到充分利用；二是减少混合过程的火用损失；三是降低管网、混合站等设施的建设费用。

转炉煤气就近使用，通过对燃烧器改造，使烤包烧嘴满足燃烧转炉煤气的要求，提

高烘烤效率，铁水包烘烤、钢包烘烤、连铸中间包烘烤等均使用转炉煤气，莱钢、本钢等钢铁企业均采用转炉烘烤铁水包、钢包。为了避免转炉煤气间歇式回收等对用户的波动，建议采用转炉煤气合成装置。转炉煤气的特点是含硫量低，用于石灰焙烧有利于降低石灰含硫量，是钢铁企业使用转炉煤气的最佳用户。宝钢采用人工合成转炉煤气的方法减少转炉由于间歇式生产引起的煤气波动，从而保证了高焦转炉煤气组成的混合煤气的热值和压力的稳定。建议水钢在转炉煤气的使用上参照宝钢的做法，将回收的转炉煤气作为一种煤气资源进行管理、使用和分配，这样做有助于提高企业回收转炉煤气的能力和用户使用转炉煤气的积极性。

焦炉煤气产量相对稳定，各种参数波动小，热值高，毒性较小，主要用于热值要求高的设备加热使用，如烧结机点火等，多余部分考虑再资源化制氢、甲醇、二甲醚等。

(2) 优化利用氧气资源，提高氧气使用效率

水钢使用氧气的用户主要是炼铁厂高炉的富氧喷吹和炼钢厂转炉的吹氧冶炼。生产实践表明，高炉越是顺行，高炉富氧的能力越强，此时炼钢用氧也越高。而制氧机的生产能力又相对稳定，因此就造成了一种阶段性地氧气供需不平衡，用氧越不均衡，越容易放散。改善用氧不均衡的方法主要是调整炼钢生产的作业模式，具体方法有两种。一是各转炉的停修时间或用氧时间尽量相互错开，二是控制转炉停隔时间，停隔时间不能过长，或在有条件下实施放散停隔。水钢可以通过协调炼钢厂的作业模式，降低氧气的放散率。

在实际生产中应建立氧气使用系统（用户）的仿真模型，对炼钢、炼铁和其它氧气用户的用氧量随时间变化规律进行仿真，同时根据制氧机生产能力、生产方案、控制过程和氧气用户的作业计划（生产模式）制定氧气系统的决策模型，合理地确定氧气的生产计划以及高炉、转炉均衡用氧的使用计划，有效降低氧气的放散率。

目前，水钢制氧能力严重不足，是制约高炉实现富氧大喷煤技术的重要原因之一，随着水钢钢铁产能的增加，这一问题更加突出。建议水钢加快对制氧设备的投入。

(3) 组建燃气—蒸汽联合循环发电机组

锅炉燃烧纯高炉煤气，是钢铁企业利用大量低热值高炉煤气进行发电的一项新技术，在不影响锅炉安全运行的情况下可通过调整发电负荷来增减高炉煤气的使用量，既有效地利用了高炉煤气资源，又能及时地调整煤气管网的压力波动，减少煤气放散。燃气—蒸汽联合循环发电机组，是当前世界上热电转换效率较高的发电装置，它以钢铁企业的副产煤气为燃料，热电转换效率可达 48% 以上。建燃气—蒸汽联合循环发电机，既

可减少高炉煤气的放散，减轻大气环境的污染，又能获得大量的电能，还可利用此装置汽轮机抽汽供热的优点提供生产用蒸汽，具有显著的节能效果、经济和环境效益。

(4) 扩大自备电厂能力，降低发电能耗

在大型钢铁联合企业里，自备电厂发挥着很大的作用，它不但能为企业提供电力需求，而且作为煤气系统的调节用户，消化多余的副产煤气，节约了能源，减少了煤气的放散。近年来，一些大型联合企业提出了一种新的用能模式：“钢铁联合企业只买煤不买电”，即通过建造高效率的燃煤发电装置，充分利用钢铁制造过程中产生的各种煤气和余热余能来发电。其中，燃气—蒸汽联合循环发电，高炉炉顶余压发电、焦炉干熄焦发电、转炉余热发电和烧结矿显热发电等技术，在国内外已是成熟技术。我国的宝钢、济钢等利用富裕煤气为燃料，建造了 CCGT 发电装置，运行效果良好。

为扩大自备电厂能力，降低发电煤耗，“十二五”期间，水钢应充分回收余热余压，并将其升值利用，提高水钢的自发电量及其占总用电量的比例，发电能耗降低到年的 0.310kg/kWh ，仅此一项，水钢的发电煤耗将比 2008 年降低 0.045kg/kWh 。

5.5 高效回收余热余能，提高能量品质，力争做到“热尽其用”

(1) 回收利用余热余能的基本原则

钢铁企业的余热余能，主要指用能设备排放的或产品携带的有回收利用价值的余热或余能，包括余热、余压、蒸汽以及各种燃料和物料载有的显热等。为了降低吨钢能耗，钢铁企业一方面要提高能源转换效率，另一方面也要及时、充分地回收加工过程中排放的热量和能量，尽可能地在钢铁联合企业内部形成不同形式的能量流循环，特别是余热余能的小循环利用。回收利用余热余能时应遵循如下原则：

a、节能第一，回收第二的原则

在制定余热余能回收方案之前，首先要判断进一步节约能源提高装置本身热效率的可能性，把降低能源消耗放在第一位，把回收各种余热余能放在第二位。因为提高装置热效率可减少装置的余热余能生成量，由此获得的直接节能效果，比通过回收余热余能的节能效果更为经济和有效。

b、小循环为主，大循环为辅的原则

回收的余热余能要首先用于装置本身，以便缩短余热余能从回收使用环节的路径，实现能量消耗最小化、能量流耗散最小化。例如，回收加热炉的烟气余热最好用来预热助燃空气或燃料，它可以直接降低加热炉的单位热耗，其节能效果比把回收的余热

用于其他环节（如生产蒸汽），效果更为明显。在这方面最成功的事例就是高温空气蓄热燃烧技术，它能在最短的回收半径内、最大限度地回收烟气余热，将助燃空气和煤气均预热到 1000°C 以上，做到了燃料化学能和燃烧产物物理热的高效利用。在钢铁厂的余热余能中，带给某工序的主要原料载有的能量最为宝贵，如进转炉前的高温铁水，进加热炉前的高温连铸坯，进烧结机前被预热的烧结原料，进焦炉前被预热的入炉煤等。这些原料载有的热量都是 100% 的有效热，要特别珍惜。目前，正在水钢实施的热风烧结技术、连铸坯热装热送、铁水罐和钢包烘烤技术等，都是高效回收余热余能、保护高温热量不被贬值的成功例子，应在水钢继续推广使用。

c、余热温度对口，梯级利用的原则

在回收利用余热余能时，要根据余热余能资源的“数量”和“质量”，以及用户对能量品质的需求，在供需之间尽量做到能级匹配、温度对口、梯级利用，在符合技术经济要求的条件下，选择适宜的用能系统和设备，使回收的余热余能发挥最大的经济效益和环境效益。

(2) 温度对口、梯级利用、热尽其用

钢铁企业的蒸汽用户除高、中压蒸汽用户以外，大多数是低压蒸汽用户，为此，在从热电厂到连接蒸汽用户的管网上，不得不设置多道减压阀门以满足低压蒸汽用户对压力的要求。这样做既增加了蒸汽管网的投资费用又浪费了能源，所以钢铁企业在满足高、中压蒸汽用户需求的前提下，还要加大对各工序余热蒸汽的回收量，一方面用其替代由热电厂生产的高中压蒸汽，另一方面用其补充大多数用户对低压蒸汽的需求。对余热蒸汽而言，在增大回收量的同时，还要解决好冬季蒸汽不足、夏季放散等问题，其出路是根据季节不同及时调节蒸汽用户，以实现不同时期高、中、低压三种蒸汽的供需平衡问题。

(3) 中低温余热的动力回收

钢铁生产过程中低温余热的回收与利用，对降低钢铁企业的能耗消耗有十分重要的意义。就降低钢铁生产过程的能源消耗而言，一方面要积极采用先进技术降低各道工序的余热余能产生量；另一方面则要通过技术进步充分回收利用已生成的各种余热余能。在钢铁生产过程中有大量中低温余热资源，如烟气余热、蒸汽余热、冷却水余热以及烧结矿、焦炭等固体的显热。回收利用中低温余热的原则是：根据余热资源的数量和品位及用户的需求，做到供能与用户之间的能级匹配，在满足工艺要求的条件下，选择适宜的回收工艺和设备，发挥余热的最大效能。

水钢的中低温余热受季节的影响，回收利用量随季节变化很大，在夏季大量中低温余热因没有用户而排放，造成了能源的浪费。为解决这一问题，建议水钢实施中低温余热升值利用技术。对于中低温余热，或用于装置本身，或用来生产蒸汽。不管用途如何，都要根据中低温余热的品位（能级）高低和数量的多少，决定是就地使用，还是采用升值的办法，将其转换成使用方便、输运灵活的电能，再用于生活、采暖等。

(4) 加强各工序余热余能回收

a、炼铁系统余热余能回收

在提高烧结余热利用水平方面：烧结机机尾几个风箱烟气的温度约为 250~300℃，环冷机高温段废气温度 300℃左右，建议将这两部分废气用于物料干燥，热风烧结和预热助燃空气。烧结机其余烟气温度在 100℃以下，不考虑回收利用。环冷机中温段和低温段的废气可考虑进行梯级回收使用，如可以将低温段废气引入环冷机中温段来冷却烧结矿，这样既利用了烟气余热，又使中温段的废气温度得到提高，可以进一步利用其余热，如用来进行热风烧结等。

此外，还要对炼铁系统中的干熄焦显热、焦炉煤气显热、热风炉余热、高炉炉顶余压及高炉渣显热等余热余能进行回收，降低炼铁系统能耗。具体措施不赘述，其节能效果见表 5-1。

表 5-1 炼铁系统节能措施效果分析

措 施	节能效果
CDQ	40kgce/t 焦炭
导热油回收焦炉煤气显热	4kgce/t 焦炭
煤调湿—型煤快速炼焦技术	16kgce/t 焦炭
提高 TRT 发电效率	12kgce/t 铁
热风炉烟气余热回收	10kgce/t 铁

b、炼钢工序余热余能回收

针对炼钢工序的特点，采用“负能”炼钢技术解决水钢在炼钢节能中存在的问题。“负能”炼钢是指在统计期内转炉回收的能源（转炉煤气、蒸汽）大于消耗的能源（氧气、电、煤气、水等）的炼钢过程。通常转炉烟气含有的潜热和显热占转炉所消耗能源量的 100~130%。尽管转炉回收二次能源的总量变化不大，但是转炉气潜热容易转化为显热，而降低了能量的品质。因此“负能”炼钢的核心应该是：在尽可能提高转炉煤气回收的基础上，回收转炉蒸汽。而转炉煤气回收的关键是提高转炉煤气回收量和热值。

在不改变转炉煤气回收工艺的情况下,具体措施有:①自动降罩与炉口压差调控并行。一方面控制煤气浓度,另一方面减少煤气的二次燃烧,提高转炉煤气热值和回收量。回收量达到 $95\text{m}^3/\text{t}$ 钢,热值达到 $7500\text{kJ}/\text{m}^3$,即 $24\text{kgce}/\text{t}$ 钢。②开发稳定的转炉煤气、蒸汽用户。尤其在蒸汽用户上,要消除季节性差异。③增加现有气柜的缓冲能力,可以考虑将一、二炼钢现有的两个气柜联网。如果考虑改变转炉煤气回收工艺的情况下,建议将 OG 法除尘改为转炉煤气干法除尘。

c、轧钢工序余热余能回收

轧钢工序提高连铸坯热装热送率,降低加热炉能耗。与冷料入炉相比,铸坯在 500°C 热装到加热炉时,可节能 $0.25\text{GJ}/\text{t}$ 钢;入炉温度为 600°C 时,可节能 $0.34\text{GJ}/\text{t}$ 钢;如果采用直装的方式,即入炉温度为 800°C 时,则可节能 50% 以上。由此可见,轧钢加热炉的节能措施中,热装热送的效果是最直接、最显著的。

5.6 消纳废弃物,节约资源,建设环境友好型企业

水钢的生产流程属于典型的高炉—转炉流程,利用其生产工艺和高温设备的优势,可以回收、利用、处理一定量的社会废弃物。利用各种不同来源的废钢铁 $150\sim 200\text{kg}/\text{t}$ 钢作为原料,促进铁素资源的循环利用。不仅可以节约铁矿资源和能源,而且可以减轻废弃物对社会造成的污染。对社会回收的废弃塑料进行加工处理,通过高炉喷吹或装入焦炉与煤共焦化等方法加以利用。不仅可以处理废弃物,而且节能,在减轻环境负荷的同时也得到了能源。处理大宗尾矿、转炉渣等含铁废渣,含铁废渣可以通过再选进入烧结、高炉配料。不仅可以提高铁素资源效率,而且可以减轻固体废弃物对社会造成的污染。

钢铁企业在生产过程中不断产生各种废渣、污泥、粉尘等。这些废弃物如果不回收利用,不仅污染环境,而且造成资源、能源的浪费。各种废弃物的再资源化利用,不仅减少了环境污染,而且提高了企业的资源综合利用率,对钢铁企业来说,是一举多得的好事。钢铁企业的主要废弃物有高炉炉渣、钢渣、含铁尘泥、粉煤灰、工业垃圾等。高炉水渣是生产水泥的良好原料,同时还可用作混凝土原料,或制作矿渣砖。钢渣因其特殊的化学成分而被用作钢铁冶炼的烧结熔剂,还可以用来生产钢渣水泥或作为水泥的掺合料;国外的一些企业对钢渣进行了农业资源化利用,即将钢渣处理后用作土壤改良剂,或生产钢渣肥料。对含铁尘泥的利用大多在钢铁企业内部进行,即将搜集到的含铁尘泥作为烧结原料重新利用。粉煤灰主要用于生产各种水泥、砖等建筑材料,也可用其生产

农业肥料。

对于水钢来说，首先是继续扩大各种渣及尘泥在钢铁企业内部的再利用，如钢渣中铁素的分离再利用、尘泥返回烧结做原料等。其次，应拓展渣的工业利用范围，不仅做水泥的原料，而且可以开发渣产品，如用钢渣做铺路砖、人造大理石等。另外，可适当增加各种渣、尘、灰的农业利用，如用煤灰或钢渣配制各种农业肥料等。

5.7 加强能源管理、节能队伍和节能基础设施建设

(1) 加强能源统计和计量管理

a. 加强能源数据统计，促进能源平衡，指导节能工作

关于能源数据的统计，水钢要制定统一统计口径、计算方法和报表格式。报表的数据来源：一部分是能源管理部门自行收集，一部分是通过其他管理部门（生产、计划、财务等）和车间收集，还有一部分是公司统计部门或情报机构提供的^[37]。在没有管理信息系统和能源中心的情况下，数据获取的主要手段是通过人工报表实现的，辅以专门的调查和能源测试。建立能源中心之后，数据采集将逐渐实现自动化，避免人工干预。

能源数据的统计工作分吨钢综合能耗和吨钢可比能耗两个方面：吨钢综合能耗是统计期内水钢消耗的能源量与钢产量之比，统计方法与水钢现行的能耗统计方法相同；吨钢可比能耗的统计范畴是从烧结到热轧材，包括外购的球团矿和生铁的能耗，目的是增强水钢自身和企业之间的可比性。

水钢要为能源统计部门和行政主管部门依法行使节能统计调查、统计执法、节能监督、数据发布和节能工作问责提供必要的工作保障。统计部门要切实加强能源统计，充实必要的人员，完善统计制度，改进统计方法，建立能够反映能耗水平、节能目标责任和评价老和制度的节能统计体系。

b、完善能源计量管理和加强基础工作

能源计量管理的关键是强调能源系统整体性、全局性和相关性，各种能源介质、各信息点之间存在着相近、相离和互动、联动的关系，各种信息的进入和退出都将对系统内的周围、甚至整体平衡带来波动或影响。所以，水钢的能源计量管理应该将能源的生产、转换和使用集于一体，建立统一的管理体制，由统一的部门负责，在能源生产和使用过程中通过优化管理和对能源的在线调度和调整，确保各生产工序用能的持续、稳定和合理，消除和减少能源放散损失。

能源管理现代化，首先是设备与技术的现代化。所以，水钢要加强能源计量的基础

设施建设, 加强能源仪表的扩充与更新换代工作。

c、建设能源管理中心, 完善节能检测监督体系

完善水钢节能检测监督体系。对电力、固体燃料、流体能源(重油、各种燃气和气态工质, 如氧气、氮气、氢气、压缩空气等)和水等能源, 按炉窑、机台、车间、分厂和企业等层面实行多级监测管理; 对能源生产厂和各生产工序及其能源消耗数据进行实时采集和处理, 对能源系统进行实时监测, 可以进行运行状况的评估、能源供需的预报预测, 实现能源调度自动化管理, 使各台设备始终处于优化运行状态。大力推进节约能源工作, 要严格管理措施, 完善激励政策。要把实践中形成的节能措施和有益经验上升到完善节能法律法规体系上来。同时, 通过加强执法, 形成依法节能的良好氛围。当前, 要抓紧建立节能目标责任制和评价考核制度, 加强重点耗能设备和环节的节能跟踪管理和监督检查。

加快建设能源管理中心。能源管理中心是对能源生产厂和各生产工序及其能源消耗数据进行实时采集和处理的检测监督体系。结合能源管理中心数据建立优化调度决策支持系统, 采取离线优化和在线控制的手段, 建立相应的优化和动态控制数学模型, 用模型化的方法研究能源的有效回收、优化分配和合理使用问题, 为能源系统实现供需平衡提供技术支持和优化方案。

(3)加强节能管理队伍建设, 建立健全节能保障机制

a、加强能源管理队伍的建设, 充实节能管理力量, 完善节能监督体系, 扩展水钢能源管理部门(公司节能办)在现有行政业务职能范围的基础上对节能工作的监督管理和日常监察(监测)工作, 依法开展节能执法和监察(监测)。

b、在整合水钢现有的能源管理机构、科研部门和生产单位的基础上, 组建水钢能源管理中心, 对全公司能源的生产、转换、分配、使用及回收和再利用等实施全面、科学、现代化管理。

c、进一步深化节能科技体制改革, 建立一支精干、高效、高水平的节能科技队伍, 着力培养一批创新能力强的高水平节能科技带头人, 建立与之相适应的节能科技管理体制, 为水钢的节能管理和节能科技发展服务。要逐步形成以水钢技术中心为主体, 联合国内外高校及科研院所, 构建较为完善能源系统科研体系。在有条件的时候组建“水钢能源与热工”研究机构, 建立热工研究专业队伍, 重新确立“热工”在钢铁工业中的地位和作用。

e、组织国内外能源热工专家, 成立“水钢节能科技委员会”和“水钢节能咨询委员会”,

以成立两委为契机，建立最广泛的节能“统一战线”。今后凡是涉及战略的、全局的、方向性的能源工作，都要充分听取两委委员的意见。

f、设立完备的能源管理网络机构：根据国内外先进管理模式和水钢的实际情况，建立三级能源管理网络，即公司级、二级生产厂（部）和各分厂（车间）。

g、切实加强组织领导，建立健全节能保障机制。水钢要把能源问题和节能工作摆上重要议事日程，切实加强领导，要发挥能源管理委员会的作用。能源管理委员会是公司级能源管理决策机构，由能源办公室来负责能源委员会日常管理工作，包括宣传贯彻上级能源政策及指示，编制节能规划和目标，推进、协调、管理节能技术和项目，对全公司的能源进行全过程管理和具体指导、考核；各二级厂部以节能领导小组形式，代表本部门具体进行能源管理工作，组织完成能耗指标、实施节能措施和推广节能新技术；各分厂、车间做到安全用能、依法用能和节约用能。

h、加强能源管理。节能管理工作要从传统的经验管理转向科学管理和现代化管理，组织形式要由能源部门的单一的纵向管理发展到有各职能处参加的纵横结合的管理体系。

5.8 提高能源转换工序的能源转换效率

（1）建立科学合理的能耗统计和计算方法，对于钢铁企业能源的科学管理和能耗指标的准确计算至关重要。在现行的钢铁企业能耗统计方法中，对电力、蒸汽、氧氮氩等动力介质的折标煤系数没有统一的约定，导致不同企业之间的能耗指标缺少可比性。以能源转换工序能耗为 0，来计算出实际能源折标系数，可以对能源转换效率进行科学的评估和管理^[43]。水钢的固体燃料和动力介质的折标系数多年来一直没有变化，造成能耗数据失真。

（2）淘汰落后设备，可提高设备能源转换效率；增加液态产品氧、氮、氩的储存能力，可提高其瞬时调压能力，减少非正常生产带来的氧气放散。

（3）合理安排生产、增加非正常工况调节手段。通过调节生产节奏，消减氧气系统波动，比如针对转炉炼钢不均衡生产，尽量错开转炉冶炼时间，避免转炉同时生产、同时停炉；针对用氧工况波动建立事故预案，根据其系统特性进行调节，可以有效提高其应对非正常生产带来的用氧量波动。如宝钢针对区域性用氧和转炉的周期性用氧建立了动态仿真系统，为氧气系统的调节提供了科学的决策支持。

5.9 本章小结

本章针对水钢的实际生产流程及二次能源利用模式,对其能源利用效率、能源结构、环境负荷等方面进行优化,提出关键节能技术和能源结构优化方法,并分析这些技术的可行性,从而达到降低水钢能耗的目的。

第六章 结论

本文通过对水钢各重要环节能耗进行系统深入地分析,找出水钢与国内同类企业的差距,提出水钢节能对策和能源优化方法,从而最大限度地提高钢铁企业资源的利用率,并得出以下结论:

(1) 在全面了解水钢主体工序的主要技术经济指标、生产现状、生产流程及产品结构的基础上,系统深入地分析水钢与能耗有关的物流、能流现状,发现水钢存在工序能源及其动力介质的实物量单耗高;余热余能回收低;转炉炼钢能源回收低;铁钢比、材钢比偏高等问题。

(2) 针对水钢的实际生产情况,从工厂布局、生产流程、产品结构、原燃料条件、能源系统、工艺装备、辅助设备、工艺操作、物质循环和能源管理十个方面详细分析了直接影响水钢吨钢能耗的主要因素,为下一步实施优化方案提供了强有力的依据。

(3) 通过对二次能源产生量、利用途径及技术的研究,分析水钢不同工序的二次能源产生量和回收量,结合水钢实际提出了水钢应从技术装备,能源转换,余热余能回收等方面降低能源消耗。

(4) 针对水钢的实际生产流程及二次能源利用模式,对其能源利用效率、能源结构、环境负荷等方面进行优化,提出调整产品结构、改善原燃料条件、调整能源结构等若干关键节能技术和能源结构优化方法,从而达到降低水钢能耗的目的。

致 谢

在论文完成之际，衷心的感谢我的导师李军旗教授对我的关心、指导和鼓励。在三年的研究生学习生活中，导师在工作和学习上给予了我无微不至的关怀和巨大的帮助；同时，导师严谨的治学态度，对待科学的一丝不苟，在学术上不断进取的精神，让我铭记在心，必将使我受益终生。

在水钢调查研究期间，承蒙水钢各部门的大力协助，在此谨对他们的鼎力支持与热情帮助表示深深地谢意！

衷心感谢贵州大学材料学院的其他老师，在学习、工作和生活中给我的大力指导和帮助；衷心感谢课题组的各位老师及同事对我的支持和帮助；衷心感谢我的师兄、师姐、师弟、师妹们在各个方面对我的支持和帮助。

最后，衷心感谢三年来给予我关心、支持和帮助我完成学业的亲人、朋友、老师和同学们。

参考文献

- [1]钱伯章. 钢铁行业节能减排的进展[J]. 冶金信息导刊, 2008, 45(2): 1-6.
- [2]殷瑞钰. 中国钢铁业发展与评估[J]. 金属学报, 2002, 38(6): 561-567.
- [3]陆钟武, 戴铁军. 钢铁生产流程中物流对能耗和铁耗的影响[J]. 钢铁, 2005, 40(4): 1-7.
- [4]殷瑞钰. 冶金流程工程学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2004.
- [5]李文兵, 毕英杰, 纪扬等. 基于生产流程的炼钢—连铸—热轧仿真系统[J]. 冶金自动化, 2005, 29(3): 37—49.
- [6]田敬龙. 十大钢电力消耗分析及节电对策[J]. 冶金能源, 2008, 27(3): 3-9.
- [7]陈丽云, 张春霞, 徐海川等. 钢铁工业二次能源产量分析[J]. 过程工程学报, 2006, 6(1): 123-127.
- [8]谢文德. 计算机在能源管理工作中的应用探讨. 新疆钢铁, 2001, (1): 6-8
- [9]上海市能源领导小组节能办公室. 能源管理基础. 上海: 上海科学技术出版社, 1985. 10-11
- [10]李慧. 钢铁冶金概论. 北京: 冶金工业出版社, 1993. 1
- [11]工业技术学会研究会. 钢铁生产概论. 上海: 上海科学技术出版社, 1985. 2
- [12]高均, 马思凯. 钢铁企业能源消耗及节能对策. 上海金属, 1996, 18(3): 55.
- [13]国家冶金工业局规划发展司, 中国冶金学会, 冶金科技发展中心. 冶金科技发展指南(2000~2005年). 中国冶金, 1999, (6): 1-7
- [14]陈路. 我国钢铁工业能源经济效益分析. 冶金能源, 1995, 14(1): 7-12
- [15]谢国安, 陆钟武. 钢铁工业结构调整对能源消耗的影响. 钢铁, 1996, 31(11): 53-57
- [16]魏建新. 钢铁企业能源消耗指标浅析. 冶金能源, 2001, 20(5): 9—10
- [17]蔡九菊, 赫冀成, 陆钟武等. 过去20年及今后5年中我国钢铁工业节能与能耗剖析. 钢铁, 2002, 37(11): 68—73
- [19]徐寿波. 广义节能. 北京: 湖南人民出版社, 1982. 6
- [20]陆钟武, 蔡九菊. 系统节能基础. 北京: 科学出版社, 1993. 8
- [21]陆钟武. 冶金热能工程导论. 沈阳: 东北大学出版社, 1990. 5
- [22]谢安国. 钢铁工业和企业能源消耗系统分析方法的研究. 沈阳: 东北大学出版社, 1997
- [23]谢安国, 陆钟武. 连铸节能量的 $e-p$ 分析. 冶金能源, 1995, 14(6): 3—6
- [24]陆钟武, 蔡九菊, 于庆波等. 钢铁工业生产流程的物流对能耗的影响. 金属学报, 2000, 36(4): 370—378
- [25]于庆波, 陆钟武等. 钢铁生产流程中物流对能耗影响的计算方法. 金属学报, 2000, 36(4): 397—402
- [26]刘豹. 能源模型与系统分析. 北京: 能源出版社, 1983
- [27]刘祥官, 李吉鸾. 冶金生产过程的系统优化. 系统工程理论与实践, 1994, (6): 54—59
- [28]鞠幼化. 冶金企业工序系统节能研究. 节能, 1999
- [29]方必和等. 工业技术节能量优选研究. 运筹与管理, 1994, 3(3): 86—89
- [30]黄梯云. 管理信息系统导论. 北京: 机械工业出版社, 1985. 1—3
- [31]薛华成. 管理信息系统. 北京: 清华大学出版社, 第三版, 1999. 12—18
- [32]姜旭平. 信息系统开发方法—方法, 策 版社, 1997
- [33]王勇领. 计算机数据处理系统分析与设计. 北京: 清华大学出版社. 1991
- [34]远腾胜等. 鹿岛制铁所的能源管理系统. 武钢技术, 1995, 33(4): 55
- [35]何麟生, 杨章远, 许志宏. 应用信息技术加速我国钢铁工业现代化. 钢铁, 1996, 31(4): 84
- [36]陈日生译. 西德钢铁厂能源供应问题最优控制. stahl & Eisen, 1971(5): 256—261
- [37]蔡九菊. 钢铁企业系统节能决策模型的研究及其应用: [东北大学博士论文]. 沈阳: 东北大学, 1986
- [38]R. 科多尼, 朴熙天, K. V 拉曼尼. 综合能源规划手册. 吕应中译. 北京: 能源出版社, 1989. 203—207
- [39]孟昭利, 蔡子群. 企业能量平衡模式研究. 见: 第六届全国热力学分析与节能学术会议学术委员会编. 热力学分析与节能论文集. 北京: 科学出版社, 1993; 218—221
- [40]许圣华. 灰色系统理论在企业节能潜力预测中的作用. 能源研究与利用, 1999, (5): 12—14
- [41]徐明德. GM(1, 1)模型及其在能源预测中的应用. 应用能源技术, 1995, (2): 6—7
- [42]余新哲. 电力需求管理系统在美国 RTI 钢铁公司的应用. 电力需求侧管理, 2001, 3(6): 47—49
- [43]邵玉良. 钢铁企业能源中心可行性研究. 钢铁, 1996, 31: 105—108

- [44]Broothhead D S, LoWe D. Multivariable functional interpolation and adaptive networks. Complex Systems 2. 1988, (222). 321-355
- [45]Powell M J D. Radial basis functions for univariable interpolation: a functions and data. RMCS, Shrivenham UK, 1985. 143-167
- [46]Light w A. Some aspects of radial basis function approximation. In: Approximation Theory, Spline Functions And applications, ries. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1992, (256): 163-190
- [47]Poggio T And Girosi F. Networks for approximation and learning. proceedings of the IEEE, 1990, (78): 1481-1497
- [48]Chen S Et Al. orthogonal least square learning algorithm for radialbasis function networks. IEEE Trans, Neural Network, 1991, (2): 302-309
- [49]Kenneth C Laudon, Jane P Laudon. Management information systems——organization and technology. Printice Hall, 1996. 34
- [50]Allen & Scott Morton, Information technology and the corporation of the 1990s. OXFORD. 1993
- [51]Cash. Building the information——age organization: structure, control, and information technology. IRWIN, INC, 1994
- [52]Jessup, Leonard^L The effects of Anonymity on GDSs group process with an idea——generating task. MIS Quarterly, 1990, (11): 14-18
- [53]Corbato, Fernando J. On building systems that will fail. Communications of ACM, 1991, (34): 9
- [54]Er. M C. Decision support systems: a summary' problems, and future trends. Decision Support Systems, 1988, (4): 355-363
- [55]Chen Y S. An entity——relationship approach to decision support and expert systems, Decision Support Systems, 1988, (4): 225-234
- [56]Abdallah Al Shehri. Artificial neural network for forecasting residential electrical energy International Journal Of Energy Research, 1999. 23(8): 649-661.
- [57]Bisio G. Energy method for efficient energy resource use in the steel industry, Energy, 1993, (18): 971-985

附 录

附录一：硕士期间发表学术论文清单

附录二：硕士期间参加的主要科研项目

附录三：学位论文原创性声明和关于学位论文使用授权的声明

附录一：硕士期间发表学术论文清单

发表的学术论文清单

- [1] 王丽远 .高炉—转炉流程的节能分析 [J] 中国稀土学报.2008，26，345-348

附录二：硕士期间参加的主要科研项目

硕士期间参加的主要科研项目

项目名称	项目来源	起止年月
高阻尼铝基合金微观组织及性能研究	贵州省科技厅基金	2007.5—2009.5
50CrVA 弹簧钢中的夹杂物对疲劳寿命的影响	贵州省科技厅基金	2008.10—2010.10
Nz2AlF6-K3AlF6-AlF3 系电解质中 Al2O3 的溶解度研究	贵州省科技厅基金	2009.10—2011.10
金属氧化物直接制备金属的新技术	贵州大学博士基金	2009.11—2011.11
含钛废渣直接制备钛及其合金的新技术	贵州省科技厅基金	2010.6—2012.6
风电系统铝质散热器抗腐蚀研究	贵阳市科技局工业类项目	2010.9—2010.9

附录三：学位论文原创性声明和关于学位论文使用授权的声明

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下独立进行研究所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的科研成果。对本文的研究在做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名：

日期：200 年 月

关于学位论文使用授权的声明

本人完全了解贵州大学有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留或向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅；本人授权贵州大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文和汇编本学位论文。

(保密论文在解密后应遵守此规定)

论文作者签名：

导师签名：

日期：200 年 月