

中小燃煤工业锅炉节能减排途径及情景分析

王春晶^{1 2 3}

(1. 煤炭科学技术研究院有限公司 煤化工分院 北京 100013; 2. 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室 北京 100013;
3. 国家能源煤炭高效利用与节能减排技术装备重点实验室 北京 100013)

摘要: 为提高中小燃煤工业锅炉效率,减少污染物排放,促进中小燃煤工业锅炉的清洁高效发展,从清洁燃料替代、集中供热替代、采用先进工业锅炉技术、提高用煤质量 4 个减排途径对中小燃煤工业锅炉节能减排效果进行了分析,研究了 4 个节能减排途径适用区域以及政策情景下节能减排效果。结果表明,中小燃煤工业锅炉通过采用上述 4 个节能减排途径,到 2018 年,可节约标煤 7611 万 tce,减少 SO₂ 排放量 196 万 t,减少 CO₂ 排放量 14613 万 t;到 2030 年可节约标煤 11456 万 tce,减少 SO₂ 排放量 310 万 t,减少 CO₂ 排放量 21995 万 t。

关键词: 中小燃煤工业锅炉; 节能减排; 清洁燃料; 集中供热; 先进锅炉技术

中图分类号: TK227 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-6772(2016)01-0109-05

Energy-saving way analysis of small-medium coal-fired industrial boilers

WANG Chunjing^{1 2 3}

(1. Beijing Research Institute of Coal Chemistry, Coal Science and Technology Research Institute Co., Ltd., Beijing 100013, China;
2. State Key Laboratory of Coal Mining and Clean Utilization, Beijing 100013, China; 3. National Energy Technology and Equipment Laboratory of Coal Utilization and Emission Control, Beijing 100013, China)

Abstract: In order to improve efficiency of small-medium coal-fired industrial boilers, reduce their emissions, the energy saving effects of coal-fired industrial boilers were analyzed from clean fuel alternative, central heating alternative, advanced technology of industrial boilers and coal quality improvement. The applicable region of four energy-saving ways and energy saving effects under policy scenario were introduced. The results showed that, by adopting the above four energy-saving ways, the small-medium coal-fired industrial boilers could save standard coal 7.611×10^7 tons, reduce SO₂ emissions 1.96×10^6 tons, reduce CO₂ emissions 1.4613×10^8 tons by 2018; save standard coal 1.1456×10^8 , reduce SO₂ emissions 3.1×10^6 tons and reduce CO₂ emissions 2.1995×10^8 tons by 2030.

Key words: small-medium coal-fired industrial boilers; energy-saving; clean fuel; central heating; advanced industrial boilers

0 引 言

根据发改环资[2014]2451号《关于印发燃煤锅炉节能环保综合提升工程实施方案的通知》,截至2012年底,我国在用燃煤工业锅炉达46.7万台,总容量达178万蒸t,年消耗原煤约7亿t,占全国煤炭消耗总量的18%以上^[1]。燃煤工业锅炉规模小,效率低,为60%~65%,比国际先进水平低15%^[2];污染物排放浓度高,烟尘排放质量浓度一

般在450 mg/m³,SO₂排放质量浓度达到1600 mg/m³,远高于发达国家水平。燃煤工业锅炉年排放烟尘、SO₂分别约占全国排放总量的33%、27%^[3]。燃煤工业锅炉耗煤量大,污染严重,急需寻找适宜的途径,促进燃煤工业锅炉的节能减排。本文主要对燃煤工业锅炉的清洁燃料替代、集中供热替代、采用先进工业锅炉技术、提高用煤质量4个节能减排途径的节能减排效果、适宜发展区域进行了分析,通过分析预测,在政策驱

收稿日期:2015-09-02;责任编辑:孙淑君 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2016.01.022

作者简介:王春晶(1985—),女,黑龙江望奎人,助理研究员,硕士,从事洁净煤技术技术经济评价等方面工作。E-mail:283562106@qq.com

引用格式:王春晶.中小燃煤工业锅炉节能减排途径及情景分析[J].洁净煤技术,2016,22(1):109-113,117.

WANG Chunjing. Energy-saving way analysis of small-medium coal-fired industrial boilers [J]. Clean Coal Technology, 2016, 22(1): 109-113, 117.

动下,通过采用上述4个节能减排途径,预计到2030年可节约标煤11456万tce,减少SO₂排放量310万t,减少CO₂排放量21995万t。

1 中小燃煤锅炉节能减排途径

解决中小工业锅炉节能减排问题主要有4个途径:一是使用天然气、电、生物质等清洁燃料替代燃煤;二是通过集中供热替代;三是采用先进锅炉技术和适用的烟气净化技术;四是通过分选加工改善用煤质量。

1.1 使用天然气、生物质等清洁燃料替代燃煤

1) 天然气

燃气工业锅炉基本无SO₂和粉尘排放,环境得到很大改善。目前,我国燃气锅炉占15%左右,锅炉运行效率达94%,SO₂排放质量浓度在38 mg/m³,烟尘排放质量浓度在5 mg/m³[4],SO₂、烟尘排放达到环保要求。

2) 生物质成型燃料

生物质成型燃料可有效改善农林废弃物的燃烧性能,其硫、氮和灰分较低,在配套的专用燃烧设备上应用,可实现清洁、高效燃烧,产生的SO₂、NO_x和烟尘较少。燃用生物质成型燃料,末端无需处理设施,运行效率在86%左右,SO₂排放质量浓度在30 mg/m³,烟尘排放质量浓度在20 mg/m³[5],SO₂、烟尘排放达到环保要求。

1.2 集中供热替代

集中供热主要包括热电联产、区域锅炉房供热。主要优势包括:①提高能源利用率。热电联产综合热效率可达85%,区域锅炉房的大型供热锅炉的热效率可达80%~90%[6]。②有条件安装高烟囱和烟气净化装置,脱硫除尘效率可达90%。③减少工作人员及燃料、灰渣的运输量和散落量,降低运行费用,改善环境卫生。④易于实现科学管理,提高供热质量。

集中供热的燃料以煤炭为主,也采用天然气、燃油等燃料。近几年,我国集中供热发展较快,集中供热量占我国供热总量的30%左右。

1.3 先进锅炉技术

先进燃煤工业锅炉技术包括煤粉锅炉、水煤浆锅炉、型煤工业锅炉、循环流化床技术、链条炉优化改造技术等。

1) 优质煤粉+煤粉锅炉+烟气净化

目前,我国共应用高效煤粉锅炉300套,总容量

3000蒸t(等效容量),主要分布在山西、山东、广西、江苏、安徽等省。煤粉锅炉效率最高,运行效率可达90%以上,SO₂排放质量浓度在577 mg/m³,烟尘排放质量浓度在40 mg/m³[7],采用布袋除尘,烟尘排放量很低;由于采用低硫煤或炉内脱硫,排放满足国家环境排放要求。

2) 水煤浆+水煤浆锅炉+烟气净化

目前,水煤浆锅炉在我国沿海城市以及环保要求严格的城市得到了一定推广。水煤浆锅炉运行效率可达85%,SO₂排放质量浓度在141 mg/m³,烟尘排放质量浓度在26 mg/m³[8],排放满足国家环境排放要求。

3) 低质原料型煤+专用锅炉

型煤锅炉具有明显的固硫作用。一种低质原料型煤锅炉采用特殊的低温聚焰燃烧技术,燃用热值较低的低质原料(如褐煤、煤泥、煤矸石、高硫煤以及秸秆、锯末等)制成的型煤,固硫效率高,NO_x排放浓度低。不需要配套除尘装置和脱硫系统,不用引风机、鼓风机等设备,常压运行,热效率比传统链条锅炉高约20%,型煤专用锅炉运行效率可达80%以上,SO₂排放质量浓度在42 mg/m³,烟尘排放质量浓度在37 mg/m³[9],排放满足国家环境排放要求。

4) 循环流化床

循环流化床锅炉燃烧稳定性好,燃烧强度和燃料效率高,燃料适应性广,能使用劣质燃料,满足我国锅炉煤种供应多变、原煤直接燃烧比例高等特点。循环流化床运行效率可达78%左右,SO₂排放质量浓度在716 mg/m³[10],烟尘排放质量浓度在195 mg/m³,配套脱硫除尘装置,排放满足国家环境排放要求。

5) 链条炉优化改造技术

链条炉优化改造后,运行效率可达75%左右,SO₂排放质量浓度在646 mg/m³,烟尘排放质量浓度在183 mg/m³[11],配套脱硫除尘装置,排放满足国家环境排放要求。

1.4 通过分选加工改善用煤质量

分选加工煤主要包括分选煤、动力配煤和固硫型煤。我国煤炭分选加工工艺发展迅速,技术成熟可靠。电站锅炉和燃煤工业锅炉也是分选加工煤应用最多的领域。

燃煤工业锅炉燃用分选煤+动力配煤,锅炉运行效率达80%;燃用固硫型煤热效率可达75%。粉

选煤+动力配煤硫分在 0.7% ,灰分在 18% 左右^[12]。工业锅炉燃用分选煤除尘率按 90% 计算,SO₂ 排放质量浓度在 1059 mg/m³,烟尘排放质量浓度在 133 mg/m³。固硫型煤固硫率以 30% ~ 40% ,硫分 0.8% ,灰分 28% 的型煤为例,工业锅炉燃用固硫型煤除尘率按 90% 计算,SO₂ 排放质量浓度在 535 mg/m³,烟尘排放质量浓度在 50 mg/m³。

2 中小燃煤锅炉节能减排情景分析

2.1 基准情景分析

近年来,我国加大了对中小燃煤工业锅炉的治理力度,包括集中供热代替分散中小燃煤工业锅炉采暖、天然气等清洁燃料代替燃煤工业锅炉等。但

中小工业锅炉的台数及容量仍保持稳定增长,且短时期内,我国中小工业锅炉仍以燃煤工业锅炉为主。按照目前燃煤工业锅炉的增速,考虑一定的先进技术推广,预计中小燃煤工业锅炉容量将会有小幅度增加。根据《关于印发燃煤锅炉节能环保综合提升工程实施方案的通知》2018年,燃煤工业锅炉热效率平均提高 6%。在国家政策推动下,中小燃煤工业锅炉效率不断提高,预计到 2018 年,中小燃煤工业锅炉容量达 180 万 MW,耗煤量维持在 7 亿 t;到 2025 年,中小燃煤工业锅炉容量约 200 万 MW,耗煤量约 7.2 亿 t;到 2030 年,中小燃煤工业锅炉容量约 220 万 MW,耗煤量约 7.35 亿 t。中小燃煤工业锅炉总量预测见表 1。

表 1 燃煤工业锅炉总量预测

Table 1 The forecast of total coal-fired industrial boilers

年份	容量/万 MW	供热量/万 GJ	耗煤量/亿 t	SO ₂ 排放量/万 t	CO ₂ 排放量/亿 t
2018 年	180	842107	7	745	9.39
2025 年	200	929754	7.2	782	10.20
2030 年	220	1027027	7.35	824	11.11

2.2 政策情景分析

在政策推动下,中小工业锅炉的四大节能减排途径(集中供热替代、改善用煤质量、采用先进工业锅炉及清洁燃料替代技术)得到了较大推广。

1) 清洁燃料替代

燃气工业锅炉的发展受到两方面限制,一是天然气的输送管道限制,天然气消费一般围绕天然气的生产地区;二是燃气工业锅炉的运行成本较高,适宜在一些环境要求严格、经济实力较好的地区发展。

我国天然气主要产地在西北、西南地区,陕西、四川和新疆分别占总产量的 26.55%、26.12% 和 22.83%。天然气主要消费区域在西南、西北地区、环渤海、南部沿海、长三角、黄河中游地区,这些地区中小工业锅炉容量占我国工业总容量的 20% 左右^[13]。对于地方环保要求不断加严(如北京、上海、天津等)以及划定“禁燃区”的重点城市适宜发展燃气工业锅炉,这些城市工业锅炉容量占我国工业锅炉总容量的 10% 左右。

国家对中小燃煤工业锅炉采取强有力的政策措施,大幅度增加投入和监管,加大集中供热推广力度,预计到 2018 年,上述地区中小工业锅炉

60% 左右采用燃气工业锅炉,届时,我国燃气工业锅炉占工业锅炉总容量的 20% 左右。到 2025 年,上述地区中小工业锅炉 70% 左右采用燃气工业锅炉,燃气工业锅炉所占比例维持在 20%。到 2030 年,上述地区中小工业锅炉 80% 左右采用燃气工业锅炉,燃气工业锅炉占工业锅炉总容量 25%。

2) 热电联产替代燃煤工业锅炉

热电联产的发展受到机组的容量和供热半径的限制,大型热电厂绝不允许建设在城市中,最多只能在距城市中心一定距离的郊区建设,这样热网管道的投资相当大,这些投资都将分摊在热价上使热价过高,而且供热距离远,造成供热损失,影响热电联产的热效率。热电联产适宜在我国华北、东北等冬季比较寒冷,供暖时间较长的城市发展,如吉林、辽宁、甘肃、河北、山西等地。这些地区工业锅炉容量占我国工业锅炉总容量的 50% 以上。我国南方地区一些城市也逐渐发展热电联产,新增建筑面积的 5% 左右实现集中供热^[14]。

通过国家对分散中小燃煤工业锅炉采取强有力的政策措施,大幅度增加投入和监管,加大集中供热推广力度,预计到 2018 年,上述地区集中供热的供热量占总供热量的 80% 左右,其中热电联产供热量

占60%。到2025年,上述地区集中供热的供热量占总供热量的90%左右,其中热电联产供热量占60%。到2030年,上述地区城市内基本实现集中供热,供热量占总供热量的95%以上,其中热电联产供热量占60%。

3) 区域锅炉房替代燃煤工业锅炉

区域锅炉房供热范围可大可小,能灵活适应负荷的变化。城市中心企业及热电联产管网覆盖不了的区域适宜发展区域锅炉房供热。国家对分散中小燃煤工业锅炉采取强有力的政策措施,大幅度增加投入和监管,加大集中供热推广力度,预计到2018年,东北、华北等地区集中供热的供热量占总供热量的80%左右,其中区域锅炉房占40%。到2025年,东北、华北等地区集中供热的供热量占总供热量的90%左右,其中区域锅炉房供热量占40%。到2030年,东北、华北等地区城市内基本实现集中供热,供热量占总供热量的95%以上,其中区域锅炉房供热量占40%。

4) 发展先进工业锅炉技术

高效煤粉锅炉初期投资较大,是常规链条炉的1.5倍以上,适合于有一定实力的工业用户、城市供热中心。水煤浆锅炉投资成本相对也比较高,主要适用于经济发达且环保要求高,资源匮乏的地区,如珠三角、长三角地区等。型煤专用锅炉由于受到燃料成型等工艺距离的限制,适宜在郊区离原料较近的地区,采暖、洗浴、饮用水、制冷等使用热水锅炉的行业应用。

通过对先进工业锅炉技术的推广,预计到2018年,先进工业锅炉供热量占燃煤工业锅炉总供热量的25%;到2025年占30%;到2030年达到35%。

5) 燃用分选加工煤

中小燃煤工业锅炉只需经过简单改造即可燃用分选煤和配煤,适用范围较广,可广泛适用于采暖、供热、供汽等。固硫型煤由于受到工艺限制,型煤的推广一般在原料附近,适合于在中小城市、城镇以及大城市的郊区推广使用。

预计到2018年,燃用分选加工煤的燃煤工业锅炉供热量占链条炉总供热量的58%,分选煤+配煤供热比例约占50%,固硫型煤供热比例占8%。到2025年,燃用分选加工煤的燃煤工业锅炉供热量占链条炉总供热量的83%,分选煤+配煤供热比例约占75%,固硫型煤供热比例占8%。到2030年,燃用分选加工煤的燃煤工业锅炉供热量占链条炉总供热量的99%,分选煤+配煤供热比例约占90%,固硫型煤供热比例占9%。

2.3 政策情景实施效果

以现有链条炉(10 t/h,以原煤为燃料)为基准,比较采用清洁燃料替代、集中供热、先进燃煤锅炉以及燃用分选加工煤途径的节能、减排效果。在国家采取强有力的政策措施,大幅度增加投入和监管的情况下,通过采用清洁燃料替代、集中供热、先进燃煤锅炉以及燃用分选加工煤4个节能减排途径,到2018年可节约标煤7611万tce,减少SO₂排放196万t/a,减少CO₂排放量14613万t/a;到2025年可节约标煤9787万tce,减少SO₂排放280万t/a,减少CO₂排放量18791万t/a;到2030年可节约标煤11456万tce,减少SO₂排放310万t/a,减少CO₂排放量219951万t/a。

2018年、2025年、2030年中小工业锅炉情况预测见表2~表4。

表2 2018年燃煤工业锅炉情况预测

Table 2 Forecast of coal-fired industrial boilers in 2018

项目	集中供热	燃用分选加工煤		先进燃煤锅炉			清洁燃料替代	链条炉燃用原煤
		分选煤+配煤	固硫型煤	高效煤粉锅炉	水煤浆锅炉	型煤专用锅炉		
占比/%	7	20	3	13	6	3	5	43
耗煤量/(亿 tce·a ⁻¹)	0.23	0.78	0.13	0.37	0.21	0.09	0	1.93
节能量/万 tce	733	1150	235	2294	710	245	2244	—

3 结 论

1) 燃煤工业锅炉主要节能减排途径包括清洁燃料替代、集中供热替代、采用先进工业锅炉技术、

提高用煤质量。燃气工业锅炉主要适宜在天然气生产地区以及环境要求严格、经济实力较好的地区发

表3 2025年中小工业锅炉情况预测
Table 3 Forecast of coal-fired industrial boilers in 2025

项目	集中供热	燃用分选加工煤		先进燃煤锅炉			天然气替代	链条炉燃用原煤
		分选煤+配煤	固硫型煤	高效煤粉锅炉	水煤浆锅炉	型煤专用锅炉		
占比/%	12	26	3	14	7	3	5	29
耗煤量/(亿 tce · a ⁻¹)	0.45	1.13	0.12	0.43	0.28	0.13	0.00	1.44
节能量/万 tce	1460	1670	228	2696	947	339	2477	—

表4 2030年中小工业锅炉情况预测
Table 4 Forecast of coal-fired industrial boilers in 2030

项目	集中供热	燃用分选加工煤		先进燃煤锅炉			天然气替代	链条炉燃用原煤
		分选煤+配煤	固硫型煤	高效煤粉锅炉	水煤浆锅炉	型煤专用锅炉		
占比/%	10	28	2	17	9	4	5	26
耗煤量/(亿 tce · a ⁻¹)	0.39	1.32	0.10	0.57	0.35	0.19	0.00	1.40
节能量/万 tce	1276	1961	192	3610	1198	483	2737	—

展;集中供热适宜在我国华北、东北等冬季比较寒冷,供暖时间较长的城市发展;高效煤粉锅炉适合于有一定实力的工业用户、城市供热中心;水煤浆锅炉适用于经济发达且环保要求高,资源匮乏的地区,如珠三角、长三角地区等;型煤专用锅炉适宜在郊区离原料较近的地区,采暖、洗浴、饮用水、制冷等使用热水锅炉的行业应用;燃用分选煤和配煤,适用范围较广,可广泛适用于采暖、供热、供汽等。

2) 国家采取强有力的政策措施,大幅度增加投入和监管的情况下,通过采用清洁燃料替代、集中供热、先进燃煤锅炉以及燃用分选加工煤4个节能减排途径,到2018年可节约标煤7611万tce,减少SO₂排放196万t/a,减少CO₂排放量14613万t/a;到2025年可节约标煤9787万tce,减少SO₂排放280万t/a,减少CO₂排放量18791万t/a;到2030年可节约标煤11456万tce,减少SO₂排放310万t/a,减少CO₂排放量219951万t/a。

参考文献:

- [1] 刘孝天,于景泽,刘恒宇,等.超超临界燃煤锅炉技术研究[J].锅炉制造,2015(5):11-13.
Liu Xiaotian, Yu Jingze, Liu Hengyu *et al.* Research on 1000 MW USC Coal-fired Boiler[J]. Boiler Manufacturing, 2015(5): 11-13.
- [2] 陈慈平,于航,李继领,等.某厂燃煤锅炉改造为燃气锅炉的可行性分析[J].节能工程,2010(6):40-43.
Chen Ciping, Yu Hang, Li Jiling *et al.* The analysis of the feasibility of reforming coal boiler to gas boiler in auto parts factory [J]. Shanghai Energy Conservation, 2010(6): 40-43.
- [3] 梁俊宁,张振文,高晓庆,等.煤质对锅炉大气污染物排放量的影响[J].煤炭转化,2015,38(1):91-95.
Liang Junning, Zhang Zhenwen, Gao Xiaoqing *et al.* Effect of coal quality on air pollutants emissions from coal boiler [J]. Coal Conversion, 2015, 38(1): 91-95.
- [4] 陈力生,刘丽珍,颜谨.燃气锅炉的性能测试与分析[J].煤气与热力,2011,31(11):14-17.
Chen Lisheng, Liu Lizhen, Yan Jin. Performance testing and analysis of gas-fired boiler [J]. Gas & Heat, 2011, 31(11): 14-17.
- [5] 王许涛,张百良.生物质秸秆成型燃料特性分析[J].洁净煤技术,2013,19(2):39-41,46.
Wang Xutao, Zhang Bailiang. Characteristics of biomass straw densification briquettes fuel [J]. Clean Coal Technology, 2013, 19(2): 39-41, 46.
- [6] 王振兴.城市集中供热系统的优化研究[J].价值工程,2013(15):284-286.
Wang Zhenxing. Optimization of urban central heating system [J]. Value Engineering, 2013(15): 284-286.
- [7] 范玮.煤粉工业锅炉产业发展现状及投资分析[J].洁净煤技术,2012,18(4):6,12.
Fan Wei. Development and investment analysis of pulverized coal industrial boiler [J]. Clean Coal Technology, 2012, 18(4): 6, 12.
- [8] 苏丽清,李美芬.型煤锅炉与型煤质量[J].洁净煤技术,2012,8(3):34-36.
Su Liqing, Li Meifen. Briquette-fired Boiler and Briquette Quality [J]. Clean Coal Technology, 2012, 8(3): 34-36.
- [9] 俞建洪,席代国.水煤浆锅炉的能效分析[J].工业锅炉,2009(6):1-5.
Yu Jianhong, Xi Daiguo. Analysis of energy efficiency of CWS-fired boiler [J]. Industrial Boiler, 2009(6): 1-5.

(下转第117页)

0.03% ,证明乌海煤的配入不仅能降低焦炭成本 ,而且能保持焦炭质量的稳定。

3 结 论

1) 乌海煤镜质组含量高 ,且多为均质镜质组 ,非常适合配煤炼焦使用 ,能生产出高质量的焦炭。

2) 乌海煤的奥亚膨胀度大 ,最大流动度较高 ,这种煤炼焦时生产的胶质体数量较多 ,且胶质体的结焦性能很好。在单独炼焦的焦炭热态性能和肥煤炼焦的焦炭质量接近。

3) 乌海煤可部分替代肥煤炼焦 ,不仅能低焦炭成本 ,而且能保持焦炭质量稳定。

参考文献:

- [1] 邓秀媛. 关于工业企业“成本领先行动”推进方法的探讨[J]. 中国总会计师, 2011(1): 120-122.
Deng Xiuyuan. Discussion on industrial enterprises promote methods of "cost ahead action" [J]. China Chief Financial Officer, 2011(1): 120-122.
- [2] 曹代勇, 黄岑丽, 袁文峰, 等. 山西炼焦煤资源与开发利用现状分析[J]. 中国煤炭地质, 2008(11): 1-4 23.
Cao Daiyong, Huang Cenli, Yuan Wenfeng, et al. Exploitation and utilization status quo of coal resources for coking in shanxi province [J]. Coal Geology of China, 2008(11): 1-4 23.
- [3] 黄岑丽, 袁文峰. 关于山西炼焦煤资源保护的政策建议[J]. 煤炭经济研究, 2009, 29(2): 12-17.
Huang Cenli, Yuan Wenfeng. Policy recommendations on protection of Shanxi coking coal resources [J]. Coal Economic Research, 2009, 29(2): 12-17.
- [4] 张学军. 山西焦煤集团主要炼焦煤特性分析[J]. 选煤技术, 2009(2): 20-22.
Zhang Xuejun. Characteristics analysis of main coking coal in Shanxi coking coal group [J]. Coal Preparation Technology, 2009(2): 20-22.
- [5] 王锋正, 郭晓川. 内蒙古煤炭资源产业比较优势研究[J]. 煤炭经济研究, 2010, 30(3): 8-12.
Wang Fengzheng, Guo Xiaochuan. Advantages study on inner Mongolia coal resources industry contrast [J]. Coal Economic Research, 2010, 30(3): 8-12.
- [6] 赵广文. 乌海及周边城镇空间整合研究[D]. 北京: 清华大学, 2012: 40-59.
Zhao Guangwen. Research on the spatial integration of Wuhai and the surrounding towns [M]. Beijing: Tsinghua University, 2012: 40-59.
- [7] 韩兵, 李慧. 乌海煤化工的发展前景[J]. 内蒙古煤炭经济, 2013, 31(2): 3-5.
Han Bing, Li Hui. Coal chemical industry development prospects in Wuhai [J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2013, 31(2): 3-5.
- [8] 李宁, 朱书全, 曹国强. 乌海肥煤硫分分布特性研究[J]. 煤炭工程, 2014, 46(2): 108-110.
Li Ning, Zhu Shuquan, Cao Guoqiang. Experimental study on sulfur content distribution features of wuhai fat coal [J]. Coal Engineering, 2014, 46(2): 108-110.
- [9] 郭金立. 对合理利用乌海炼焦煤的探讨[J]. 内蒙古煤炭经济, 1992, 10(2): 66-67.
Guo Jinli. Discussion on the rational use of Wuhai coking coal [J]. Inner Mongolia Coal Economy, 1992, 10(2): 66-67.
- [10] 孙会青, 齐炜, 胡进. 煤的基氏流动度测定标准及测定仪研究[J]. 洁净煤技术, 2011, 17(6): 73-76.
Sun Huiqing, Qi Wei, Hu Jin. Study on Gieseler plastometer and determination standards of Gieseler fluidity [J]. Clean Coal Technology, 2011, 17(6): 73-76.
- [11] 付建华, 张振国, 薛立民. 几种煤的基氏流动度浅析[J]. 燃料与化工, 2008, 39(3): 23-25.
Fu Jianhua, Zhang Zhenguo, Xue Limin. Brief analysis on gieseler fluidity of some coals [J]. Fuel & Chemical Processes, 2008, 39(3): 23-25.
- [12] 孔庆和. 乌海煤田开发现状及建议[J]. 内蒙古煤炭经济, 1986, 4(1): 6-8.
Kong Qinghe. Status and suggestions on Wuhai coal development [J]. Inner Mongolia Coal Economy, 1986, 4(1): 6-8.
- [10] 李斌, 李剑锋, 吕俊复, 等. 我国大型流化床锅炉机组运行现状[J]. 锅炉技术, 2012, 43(1): 22-28.
Li Bin, Li Jianfeng, Lyu Junfu, et al. Status of large scale circulating fluidized bed boiler operation in china [J]. Boiler Technology, 2012, 43(1): 22-28.
- [11] 薛启春. 链条锅炉改造探讨[J]. 中国井矿盐, 2007(6): 38-40.
Xue Qichun. Discussion on the modification of chain boiler [J]. China Well and Rock Salt, 2007(6): 38-40.
- [12] 牛焱. 固硫型煤的应用分析[J]. 煤炭加工与综合利用, 2004(4): 36-39.
Niu Yan. Analysis on the application of sulfur-fixation coal briquettes [J]. Coal Processing & Comprehensive Utilization, 2004(4): 36-39.
- [13] 康建国. 全球天然气市场变化与中国天然气发展策略思考[J]. 天然气工业, 2012, 32(2): 5-10.
Kang Jianguo. A discussion on global natural gas market change and Chinese natural gas development strategies [J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(2): 5-10.
- [14] 张晓松, 郭旭. 城市集中供热系统现状和问题分析[J]. 煤气与热力, 2009, 29(11): 11-14.
Zhang Xiaosong, Guo Xu. Analysis on status quo and problems of urban centralized heat-supply system [J]. Gas & Heat, 2009, 29(11): 11-14.

(上接第113页)