



ICC CAS



山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代技术路线研究与政策建议

中国科学院山西煤炭化学研究所

2017.06

前言及摘要

锅炉是重要的能源转换设备，也是能源消费大户和重要的大气污染源。

工业锅炉是指生产的蒸汽或热水主要用于工业生产或民用的锅炉。它使用面广、需求量大，包括工业用蒸汽锅炉、采暖用热水锅炉、民用生活锅炉、工业企业自备发电锅炉、城市热电联供锅炉、特种用途和余热锅炉等。20 世纪 90 年代就形成了比较完整的工业锅炉型谱，共有 8 个大类，38 个系列，85 个品种，300 多个规格。

工业燃煤锅炉是指以煤炭为燃料的工业锅炉，其能耗高、效率低、节能潜力巨大，被列入国家《节能中长期专项规划》十大重点节能工程之首。山西省工业燃煤锅炉保有量大、分布广、能耗高、污染重，能效和污染控制整体水平与国外相比有一定的差距，节能减排潜力较大。本项目工作任务的目的是结合山西省工业燃煤锅炉运行现状，落实近年来我国多部委及山西省系列关于工业燃煤锅炉的政策文件要求，以保障燃煤锅炉安全经济运行、提高能效、减少污染物排放为目标，以推广高效锅炉、淘汰落后锅炉、实施工程改造、提升锅炉运行水平、调整燃料结构、替代中小供热锅炉为主要手段，分析制定山西省工业燃煤锅炉能效提升以及燃料调整的技术路线、运行方式、工作重点，研究山西省在推进工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代工作的政策、市场及技术障碍，提出相关政策激励的建议及落实办法，为山西省制定相关政策提供决策依据。

在山西省经济和信息委员会节能处、山西省发展和改革委员会气候处、山西省质监局特种设备处、山西省锅炉压力容器监督检验研究院、山西省节能监察总队、山西省节能中心等相关部門的领导和支持下，编制单位中国科学院山西煤炭化学研究所组建了专业、高效的工作团队，完成了项目既定的文案及实地调研工作；进行了技术路线研究过程中的现场调研、资料收集及整理、会议准备等工作，系统地运用德尔菲法、头脑风暴法、SWOT 分析法和情景分析法等科学方法论进行了技术路线的制定。

本课题的工作内容：

1. 调研山西省工业燃煤锅炉情况：掌握山西省工业燃煤锅炉数量、容量、地域、类型及结构形式分布特点、锅炉设计及运行能效状况、锅炉运行管理状况等。

2. 分析山西省在用工业燃煤锅炉能效状况：分析山西省锅炉能耗高的环境、技术及管理原因，结合山西省工业燃煤锅炉能效提升的进展以及在用燃煤工业锅炉的存在问题，重点是影响能源效率提升和污染物减排的主要因素，分析评估山西省工业燃煤锅炉能效提升的措施。

3.分析山西省工业燃煤锅炉燃料结构调整状况：结合山西省能源结构调整目标，分析评估近年山西省工业燃煤锅炉燃料结构调整的进展及其问题，评估山西省不同锅炉潜在替代燃料能源的赋存量、其地域分布以及替代技术的经济性，提出山西工业燃煤锅炉燃料结构调整的工作重点及技术措施等。

4.研究山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代技术路线：通过不同类型工业锅炉节能相关技术以及不同燃料锅炉能效及经济性的整理分析，以路线图绘制的方法，制定山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代技术路线。以锅炉行业锅炉淘汰为抓手，提出工业燃煤锅炉淘汰和改造升级的时间、容量、技术措施、运行方式、重点领域等。

5.研究与技术路线图实施相适应的财税产业政策建议：分析目前存在的阻碍燃煤锅炉能效提升和燃料替代各种政策、体制、市场及技术上的障碍；结合绘制的技术路线图，提出解决这些障碍的相关配套保障措施和政策建议等。

通过项目的执行，调查和分析得出，目前山西省燃煤锅炉总体热效率平均值在60%~70%之间，而燃油燃气锅炉总体热效率平均值在80%~85%之间。燃煤工业锅炉的主要热损失为固体不完全燃烧热损失，其次是排烟热损失，这两项损失合计约为20%，燃油燃气锅炉的各项热损失中，最主要的热损失为排烟热损失。

课题提出了工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代路线图框架和总体构想，对现有高效锅炉从种类、技术要求、适用范围方面进行了分析，指出集中供热和煤粉锅炉的发展优势；对限制类锅炉能效提升改造方法进行了全面分析，从日常管理、运行调节、相关技术应用上进行了原因、措施分析和阐述，指出应重视节能技术的选择和应用，注意与锅炉结构的适用性。

政策方面，课题提出的相关内容包含但不限于：

1.制定并实施成本效益好的锅炉淘汰战略

山西省政府多个文件提出了为数众多的小型工业燃煤锅炉淘汰要求，但企业对蒸汽热力需求仍在。如何最环保、最绿色的满足企业的需求，是工业燃煤锅炉淘汰后要实施的重大战略，也是提升工业系统能效，改善环境，并发展热电联产和分布式能源的最佳机会。地方政府需要提供必要的资源，支持工业企业采用成本有效的锅炉淘汰战略。地方政府也应利用这个契机，进行综合全面规划，加快推进并协调燃料替代和采用热电联产和分布式能源的战略。

2.通过激励政策加快先进技术开发和应用

在可见的未来，煤炭仍将是山西重要的能源，因此有必要把重点放在如何更高效

更清洁地利用煤炭，大型煤炭的热电联供以及煤基分布式能源是重要的解决途径。与此同时也需要对可替代性的解决方案的研发、技术应用和市场推广进行战略的规划，从而避免造成基础建设和技术体系只适合于煤炭的“煤炭锁定效应”。政府通过税收和财政激励可以加速锅炉系统优化、清洁燃料替代（如天然气、、生物质能、太阳能）和能源综合利用（如余热利用、热电联产和分布式能源）等的技术开发和市场推广。

3.建立有效的标准和规范

制定更严格的燃煤及燃气工业锅炉能效标准和能效水平测试规范。在燃煤锅炉标准基础上，制定生物质锅炉、电锅炉、甲醇锅炉等能效标准，并使其成为和其他要素（如安全）一体化的指标。同时，也应开发有关锅炉的运行管理、调试、水处理等方面的规范及蒸汽系统的能效评价标准。此外，制定有关热电联产和分布式能源系统的技术标准、操作及设计指南对这些技术的更广泛应用至关重要。

4.通过实施城市试点项目推广先进技术和整体解决方案

政府可考虑实施燃煤工业锅炉节能减排综合提升工程试点项目，以验证和示范新解决方案。试点城市可制定综合性试点计划，侧重于整体解决方案。在城市试点中，可开展具体的技术示范，用于展现不同的技术手段，如清洁燃料处理技术、高效低排放燃烧器、锅炉自动化监测控制技术、智能化炉膛清污技术、锅炉温度影像技术、蒸汽系统优化、建立热电联产能源中心，以及利用太阳能进行锅炉预热等等创新技术和手段。

5.开发创新性的商业模式和融资机制

商业和融资模式的创新对促进先进技术和整体解决方案的社会投资十分关键。可以考虑在城市试点体验创新的模式。商业模式转变的同时，需采用创新的融资模式。这些模式包括采用为工业企业提供蒸汽、热力、电力联供服务并收费的服务机制，或者与企业建立长期的购买服务合同等。

目 录

前言及摘要	I
1 项目研究内容及路线	1
1.1 研究目标	1
1.2 思路框架	1
1.3 研究内容	2
1.4 研究方法	3
2 山西省工业燃煤锅炉能效提升与燃料替代任务	6
2.1 国内形势	6
2.2 山西省节能减排要求	7
2.3 山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代任务	9
3 山西省工业燃煤锅炉现状及能效情况	13
3.1 工业燃煤锅炉的分类及结构	13
3.2 调研方法及调研内容	14
3.3 调研结果	15
4 山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代进展与问题	31
4.1 山西省工业燃煤锅炉能效提升进展及存在问题	31
4.2 山西省工业燃煤锅炉燃料替代进展及存在问题	37
4.3 山西省集中供热现状及需求	43
5 山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代实施内容与障碍	45
5.1 山西省工业燃煤锅炉能效提升内容	45
5.2 山西省工业燃煤锅炉燃料替代的实施内容	47
5.3 山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代实施的障碍及挑战	49
6 山西省工业燃煤锅炉能效提升路线及措施	51
6.1 工业燃煤锅炉能效提升路线	51
6.2 工业燃煤锅炉能效提升主要措施	53
7 山西省燃料资源开发和利用情况及燃料替代措施	65
7.1 山西省燃料资源开发和利用情况	65
7.2 燃料替代的空间布局	71
7.3 清洁燃料替代思路	72
7.4 清洁能源替代改造优化方案措施	82
8 山西省工业燃煤锅炉能效提升路线图研究	88
8.1 技术路线图分析框架	88

8.2 重点任务分析	88
8.3 重点任务关键技术要素分析	89
8.4 技术路线图	93
8.5 技术路线图推进架构	95
9 典型技术案例及技术经济分析	96
9.1 典型工业燃煤锅炉节能技术	96
9.2 典型燃料替代技术	100
9.3 典型非锅炉替代形式技术	105
10 相关政策措施建议	111
附件一：工业燃煤锅炉淘汰产品名称及型号规格	116
附件二：锅炉推荐产品名称及型号规格	119
附件三：锅炉能效相关标准及设计安装要求	123
附件四：在用锅炉的能效监测指标要求	128
附图一：山西省煤质分布及产量图	132
附图二：燃煤工业锅炉能效提升及燃料替代技术路线图	133
参考文献	134
图表索引	136
表格	136
图形	138

1 项目研究内容及路线

1.1 研究目标

本项目工作任务的目的是结合山西省工业燃煤锅炉运行现状，落实近年来我国多部委及山西省系列关于工业燃煤锅炉的政策文件要求，以保障燃煤锅炉安全经济运行、提高能效、减少污染物排放为目标，以推广高效锅炉、淘汰落后燃煤锅炉、实施工程改造、提升燃煤锅炉运行水平、调整燃料结构、替代中小供热锅炉为主要手段，分析制定山西省工业燃煤锅炉能效提升以及燃料调整的技术路线、运行方式、工作重点，研究山西省在推进锅炉能效提升及燃料替代工作的政策、市场及技术障碍，提出相关政策激励的建议及落实办法，为山西省制定相关政策提供决策依据。

通过项目目标研究的实现，可以落实我国多部委及山西省系列关于工业燃煤锅炉的政策文件要求，提出解决目前存在的阻碍燃煤锅炉能效提升和燃料替代的政策、体制、市场以及技术障碍。山西省工业燃煤锅炉运行效率提升潜力较大，通过制定山西省工业燃煤锅炉能效提升技术路线，以淘汰落后锅炉为抓手，推广先进高效燃煤锅炉，加强锅炉的节能技改，提高燃料替代等手段，提升山西省工业燃煤锅炉平均运行效率。

1.2 思路框架

1.2.1 研究思路

本项目根据国家及山西省对工业燃煤锅炉能效提升及燃料结构调整的迫切需求，利用技术路线图这个技术创新工具，对山西省工业锅炉，尤其是燃煤工业锅炉能效提升及燃煤替代的技术路线进行研究，最终实现为山西省提高工业燃煤锅炉能源利用效率，减少大气污染排放，实施燃煤锅炉节能环保综合提升工程提供技术支撑。

1.2.2 思路框架

制定山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代技术路线图重点在于辨识锅炉能效提升以及燃料替代的重要任务及具体目标，主要工作包括：国内及省内节能形势要求、战略任务，相关关键技术要素及其分析，战略任务与关键技术之间的关联性分析等。其框架如下图 1-1 所示：

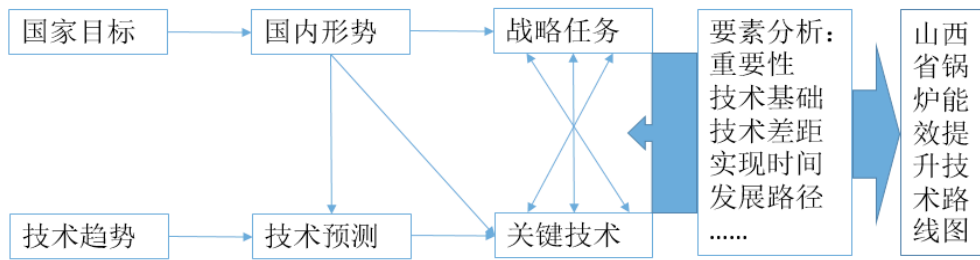


图 1-1 编制工业锅炉能效提升路线图示意图

山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代路线图编制的核心是描述山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代不同时间节点战略任务与关键技术之间的关系，以及关键技术及其发展重点的优先顺序。

1. 建立战略任务与关键技术之间的关联性；
2. 相关要素分析，即对关键技术的技术基础，技术差距、预期实现时间的评价；
3. 按照战略任务确定各个关键技术的发展重点，并以调查数据为基础，综合考虑技术重要性、技术基础、技术差距以及实现时间等，按照技术发展路径及其发展模式以时间序列系统描述发展时序。

在山西省经济和信息委员会节能处、山西省发展和改革委员会气候处、山西省质监局特种设备处、山西省锅炉压力容器监督检验研究院、山西省节能监察总队、山西省节能中心等相关单位的领导和支持下，编制单位中国科学院山西煤炭化学研究所组建了专业、高效的工作团队。完成了路线图制定过程中的现场调研、资料收集及整理、会议准备等工作，合理、系统地运用德尔菲法、头脑风暴法、SWOT 分析法和情景分析法等科学方法论来进行路线图的制定，使技术路线图的制定在公开、公正、公平的前提下集思广益，从而获得科学性、权威性、决策性的结论。

技术路线图各个阶段要素及关联度的提出，均是按照“现场调研—问卷调研—召开专题研讨会—反馈—修正”的顺序进行。

1.3 研究内容

本项目以山西省工业燃煤锅炉能效提升和燃料调整为重点，通过相关技术路线图的研制以及政策激励措施研究，推广高效燃煤锅炉，淘汰落后燃煤炉型，大幅度提升燃煤锅炉本质效率；通过燃煤锅炉运行管理及辅机匹配、系统优化、服务支撑、污染治理等工作，提高锅炉经济运行水平；强化燃煤锅炉运行监测，实施节能工程改造，实现在用燃煤锅炉的运行效率实时管理，提高燃煤锅炉系统整体运行效率；通过燃料结构调整改造、热电联供、分布式能源等措施进行中小供热锅炉替代，提升锅炉行业

环境状况及燃料结构层次。

1.山西省在用燃煤工业锅炉调研

调研山西省工业燃煤锅炉情况：掌握山西省工业燃煤锅炉数量、容量、地域、类型及结构形式分布特点、锅炉设计及运行能效状况、锅炉运行管理状况等。

2.山西省在用工业燃煤锅炉能效状况分析

分析山西省在用工业燃煤锅炉能效状况：分析山西省锅炉能耗高的环境、技术及管理原因，结合山西省工业燃煤锅炉能效提升的进展以及在用燃煤工业锅炉存在的问题，重点是影响效率提升和减排的主要因素，评估山西省工业燃煤锅炉节能潜力及节能目标。

3.山西省工业燃煤锅炉燃料结构调整现状、问题及趋势分析

分析山西省工业燃煤锅炉燃料结构调整状况：结合山西省能源结构调整目标，分析评估近年山西省工业燃煤锅炉燃料结构调整的进展及其问题，评估山西省不同锅炉潜在替代燃料能源的赋存量、其地域分布以及替代技术的经济性，提出山西工业燃煤锅炉燃料结构调整的工作重点及技术措施等。

4.山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代路线

研究山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代技术路线：通过不同类型工业燃煤锅炉节能相关技术以及不同燃料锅炉能效及经济性的整理分析，以路线图绘制的方法，制定山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代技术路线。以锅炉行业锅炉淘汰为抓手，提出工业燃煤锅炉淘汰和改造升级的时间、技术措施、运行方式、重点领域等。

5.研究山西省工业锅炉节能激励措施和政策建议

分析目前存在的阻碍燃煤锅炉能效提升和燃料替代各种政策、体制、市场及技术上的障碍；结合绘制的技术路线图，提出解决这些障碍的相关配套保障措施和政策建议等。

1.4 研究方法

本报告中技术路线图依据《产业技术路线图原理与制定》推荐的方法与程序进行编制。

根据研究目标和内容的需要，课题采用理论分析和实证研究、直接调研和间接调研相结合的方法，了解山西省工业锅炉的总体情况及运行状况，在借鉴国内外其他省市锅炉能效提升技术基础上，运用技术路线图、能源经济学、技术经济学等相关理论和德尔菲法、头脑风暴法、PEST分析法、SWOT分析等方法展开研究。

1.德尔菲法

德尔菲法又称专家规定程序调查法，是由调研者拟定调研表，按照既定程序，以函件形式分别向专家组成员进行征询，而专家又以匿名的方式提交意见，经过反复征询、归纳、修改，专家组意见趋于集中，最后获得准确率高的集体判断结果。

在技术路线图制定过程中，德尔菲法被用于研讨会前的调研问卷环节中。

2.头脑风暴法

头脑风暴法是指使用激励和引发新观点的特定规则与技巧，通过集体共同努力来寻求特定问题的解答方法。在这个过程中，个体成员即兴的想法会受到重视，而会议过程就是收集所有即兴创意的过程。头脑风暴只占创造性解决问题过程中的一部分，在会前有一个界定问题的阶段，会后还有评价阶段对专家意见进行集中筛选。

在技术路线图制定过程中，每次专题研讨会在研讨环节都采用头脑风暴法进行小组讨论。

3.PEST 分析法

PEST 分析法是战略外部环境分析的基本工具，它通过政治（Politics）、经济（Economic）、社会（Society）和技术（Technology）角度或四个方面的因素分析从总体上把握宏观环境，并评价这些因素对战略目标和战略制定的影响。

在技术路线图的制定过程中，PEST 分析法运用于对山西省工业燃煤锅炉产业政策及地位的分析。

4.SWOT 分析法

SWOT 分析法又称为态势分析法，是一种能够较客观而准确地分析和研究一个单位现实情况的方法。从整体上看，SWOT 可以分为两部分：第一部分为 SW，主要用来分析内部条件；第二部分为 OT，主要用来分析外部条件。SWOT 分析方式通过应用系统分析的思想，将各种因素相互匹配起来加以分析，从中得出一系列具有决策性的结论，有利于领导者和管理者做出较正确的决策和规划。

在技术路线图的制定过程中，SWOT 分析法主要运用于对资源条件的分析。

技术经济评估主要依托编制单位在本领域的相关研究积累，采用文献检索与理论分析相结合、定性与定量相结合的方法进行研究。

本项目的研究技术路线如下图 1-2 所示：

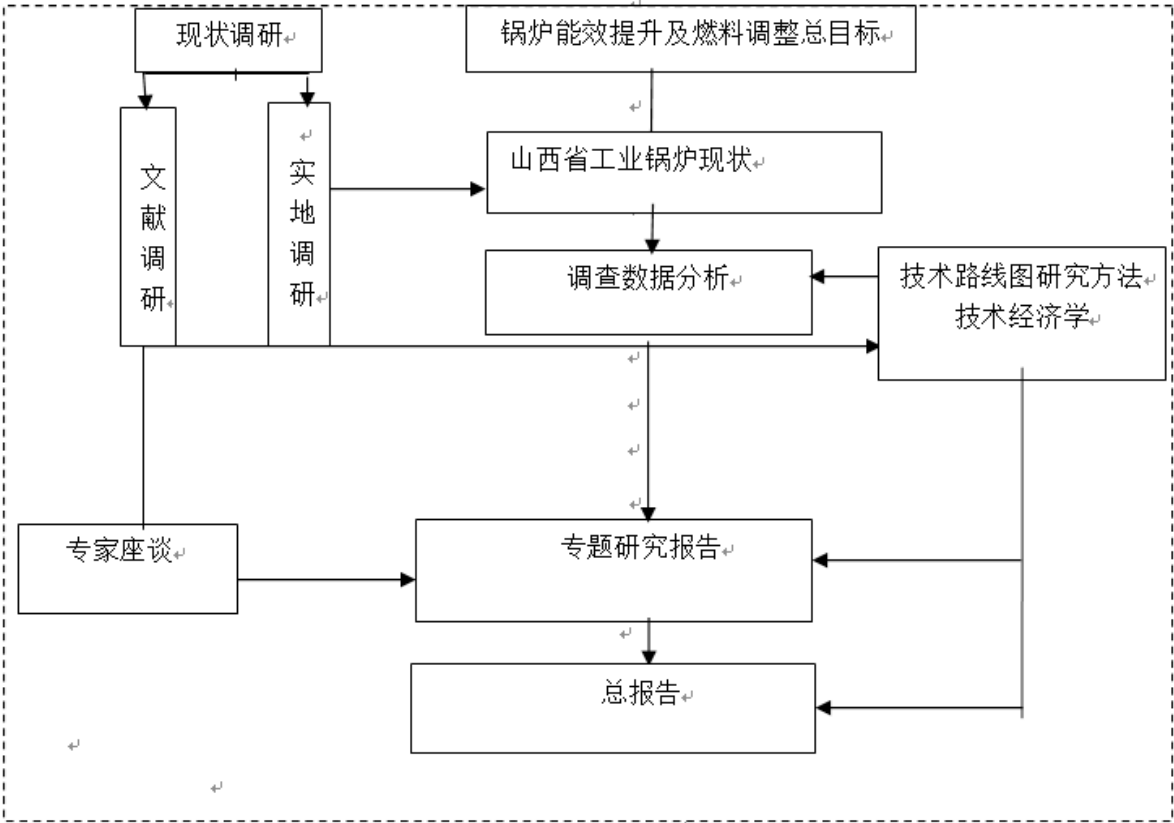


图 1-2 项目研究路线示意图

2 山西省工业燃煤锅炉能效提升与燃料替代任务

2.1 国内形势

我国工业锅炉能耗高、效率低、节能潜力巨大，“十一五”期间被列入国家《节能中长期专项规划》十大重点节能工程之首，国务院“十二五”节能减排综合性工作方案提出“到 2015 年，工业锅炉平均运行效率比 2010 年提高 5 个百分点”。

2013 年 9 月，国务院发布《大气污染防治行动计划》，提出要“加强工业企业大气污染综合治理，全面整治燃煤小锅炉”。加快推进集中供热、“煤改气”、“煤改电”工程建设，到 2017 年，除必要保留的以外，地级及以上城市建成区基本淘汰每小时 10 蒸吨及以下的燃煤锅炉，禁止新建每小时 20 蒸吨以下的燃煤锅炉；其他地区原则上不再新建每小时 10 蒸吨以下的燃煤锅炉。在供热供气管网不能覆盖的地区，改用电、新能源或洁净煤，推广应用高效节能环保型锅炉。在化工、造纸、印染、制革、制药等产业集聚区，通过集中建设热电联产机组逐步淘汰分散燃煤锅炉。同时要“加快重点行业脱硫、脱硝、除尘改造工程建设”、“20 蒸吨/时及以上的燃煤锅炉要实施脱硫，除循环流化床锅炉以外的燃煤机组均应安装脱硝设施”、“燃煤锅炉和工业窑炉现有除尘设施要实施升级改造”。国办印发的《能源发展战略行动计划(2014-2020 年)》也明确“实施电机、内燃机、锅炉等重点用能设备能效提升计划，推进工业企业余热余压利用。深入推进工业领域需求侧管理，积极发展高效锅炉和高效电机”。

2014 年，发改环资〔2014〕2451 号文件《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》要求各省市要切实组织实施好燃煤锅炉节能环保综合提升工程，提高能源利用效率，减少大气污染排放。2014 年 11 月，国家发改委、工信部等 7 部委联合印发了《燃煤锅炉节能环保综合提升工程实施方案》，指出“到 2018 年，推广高效锅炉 50 万蒸吨/时，高效燃煤锅炉市场占有率由目前的不足 5%提高到 40%；淘汰落后燃煤锅炉 40 万蒸吨/时；完成 40 万蒸吨/时燃煤锅炉的节能改造；燃煤工业锅炉平均运行效率在 2013 年的基础上提高 6 个百分点，形成年 4000 万吨标煤的节能能力；减排 100 万吨烟尘、128 万吨二氧化硫、24 万吨氮氧化物”、“到 2017 年，天津市、河北省地级及以上城市建成区基本淘汰 35 吨/时及以下燃煤锅炉”。

2017 年 3 月，环保部等部委发布《京津冀及周边地区 2017 年大气污染防治工作方案》，方案提出京津冀大气污染传输通道包括北京市，天津市，河北省石家庄、唐山、廊坊、保定、沧州、衡水、邢台、邯郸市，山西省太原、阳泉、长治、晋城市，山东省济南、淄博、济宁、德州、聊城、滨州、菏泽市，河南省郑州、开封、安阳、鹤壁、

新乡、焦作、濮阳市（以下简称“2+26”城市）。10月底前完成小燃煤锅炉“清零”工作。10月底前，北京、天津、石家庄、廊坊、保定、济南、郑州行政区域内基本淘汰 10 蒸吨及以下燃煤锅炉，以及茶炉大灶、经营性小煤炉。其他城市建成区及县城全面淘汰 10 蒸吨及以下燃煤锅炉。燃煤窑炉加快电炉、气炉改造进度。

“2+26”城市实现煤炭消费总量负增长。新建用煤项目实行煤炭减量替代。以电、天然气等清洁能源替代的散煤量，可纳入新上热电联产项目煤炭减量平衡方案。20 万人口以上县城基本实现集中供热或清洁能源供热全覆盖。新增居民建筑采暖要以电力、天然气、地热能、空气能等采暖方式为主，不得配套建设燃煤锅炉。

2.2 山西省节能减排要求

2013 年 10 月 16 日，山西省人民政府印发《山西省落实大气污染防治行动计划实施方案》的通知，提出要全面淘汰燃煤小锅炉。加快热力和燃气管网建设，通过集中供热和清洁能源替代，加快淘汰供暖和工业燃煤小锅炉。到 2015 年底，淘汰建成区每小时 10 蒸吨以下燃煤锅炉、茶浴炉，同时要做好热源替代工作，确保原有集中供热面积不减少。到 2017 年底，所有工业园区以及化工、造纸、印染、制革、制药等产业集聚的地区，逐步取消自备燃煤锅炉，改用天然气等清洁能源或由周边热电厂集中供热。在供热供气管网覆盖不到的其他地区，改用电、新能源或洁净煤，推广应用高效节能环保型锅炉。设区市和县级市建成区不得新建燃煤锅炉。加大城乡结合部、城中村小锅炉综合整治力度。太原市建成区煤炭消费总量实现零增长，2016 年底前，市区淘汰每小时 20 蒸吨以下燃煤采暖锅炉，彻底取缔建成区范围内城中村的民用燃煤设施。

2013 年 12 月 23 日，山西省人民政府印发《山西省加快发展节能环保产业实施方案》，围绕国家节能环保重点领域，提出要推广高效锅炉（窑炉）和高效热能回收系统；鼓励发展分布式供能系统，加快实施产业化示范项目。

2014 年 10 月 23 日，山西省人民政府办公厅印发了《关于印发山西省 2014~2015 年节能减排低碳发展行动方案的通知》晋政办发〔2014〕76 号文件。文件提出：调整优化能源消费结构。实行煤炭消费目标责任管理，严控煤炭消费总量，降低煤炭消费比重。加快推进煤炭清洁高效利用，大力推广使用型煤、清洁优质煤及清洁能源，限制销售灰分高于 16%、硫分高于 1% 的散煤。增加天然气供应，优化天然气使用方式，新增天然气优先用于居民生活或替代燃煤。大力发展非化石能源，不断提高非化石能源占一次能源消费量的比重。加快更新改造燃煤锅炉，2014~2015 年淘汰落后锅炉 1 万蒸吨。开展锅炉能源消耗和污染排放调查。实施燃煤锅炉节能环保综合提升工程，

推广高效节能环保锅炉，有序推进燃煤锅炉脱硫脱硝除尘升级改造，污染物排放达到新的《锅炉大气污染物排放标准》（GB13271-2014）。

为贯彻落实《国务院关于印发大气污染防治行动计划的通知》（国发〔2013〕37号）及《山西省人民政府办公厅关于印发山西省2013-2020年大气污染治理措施的通知》（晋政办发〔2013〕19号）精神，加快替代燃煤小锅炉，有效治理雾霾天气，促进电采暖产业发展，消纳省内富余电力，提升全省城乡电气化水平，改善城乡用能结构和人居环境，结合我省采暖和用电实际，2016年5月16日，山西省人民政府办公厅印发《关于推进城乡采暖“煤改电”试点工作实施方案的通知》，考虑当地经济社会发展和财力水平，通过开展采暖“煤改电”试点，逐步替代传统燃煤小锅炉，提高电能占终端消费比重，消纳富余电力，保障居民采暖，减少大气污染排放，推进城乡供热能源结构调整和技术进步。2016年完成5000户居民、50个高速公路服务区（收费站管理办公区）采暖“煤改电”试点任务，在有条件的学校、医院、商场、办公楼、厂房等公共建筑试点推广电采暖。“十三五”期间，全省力争完成50万户居民采暖“煤改电”任务，有条件地区实现学校、医院、养老院、旅游景点等公益事业单位和乡镇机关、村委会等电采暖全覆盖，到2020年，形成年均60亿度以上新增电力消费能力。

2016年12月29日，山西省人民政府印发《关于山西省“十三五”综合能源发展规划的通知》，提出工业燃煤锅炉平均运行效率比2013年提高8个百分点，优化能源消费结构，以发展清洁低碳能源为主要方向，同步推进非化石能源加快发展与化石能源高效清洁利用，推动能源利用升级，逐步减低煤炭消费比重，提高天然气、可再生能源等清洁能源消费比重，加快产业结构转型升级，实现能源结构和产业结构优化升级。加快煤层气等清洁能源供应，到2020年，煤炭消费占一次能源消费比重下降至73%。完成高污染燃料禁燃区的划定和调整工作，并逐步扩大高污染燃料禁燃区范围；通过集中供热和清洁能源替代，全面淘汰燃煤小锅炉。2016年底前，太原市彻底取缔建成区范围内城中村的民用燃煤设施；2020年，其他设区市逐步取缔建成区范围内城中村的居民燃煤设施。

2017年4月12日，山西省人民政府办公厅发布《关于印发山西省大气污染防治2017年行动计划的通知》，通知指出：太原、阳泉、长治、晋城4市已被国家列为北方地区冬季清洁取暖首批实施范围。各市要全面加强城中村、城乡结合部和农村地区散煤治理，太原、阳泉、长治、晋城、临汾、晋中“4+2”城市要按照省环保厅关于燃煤控制的有关要求划定“禁煤区”，除煤电、集中供热和原料用煤企业（包括洁净型煤加

工业企业用煤)外,10月底前,完成燃料煤炭“清零”任务。进一步提高集中供热、供气率,到2017年底全省城市(含县城)集中供热普及率达到90%以上。加大清洁能源替代散煤力度,按照宜气则气、宜电则电的原则,10月底前,太原、吕梁、晋中、长治、临汾5市各完成10万户以上以气代煤或以电代煤工程,其他市根据实际情况各完成5万-10万户。加大工业低品位余热、地热能利用。各市要与相关部门统筹“煤改气”“煤改电”工程的规划与实施,制定工作方案,加大气源、电源的保障力度,应积极主动开拓气源,支持管道气、液化天然气(LNG)、压缩天然气(CNG)等多种方式、多种主体供应。加大燃煤锅炉淘汰力度。10月底前,所有县城建成区10蒸吨/小时及以下燃煤锅炉全面“清零”,11个设区市建成区基本淘汰20蒸吨/小时以下燃煤锅炉。加快燃煤窑炉电炉、气炉改造进度。

“4+2”城市实现煤炭消费总量负增长。太原、阳泉、长治、晋城、晋中、临汾“4+2”城市列为我省首批煤炭消费总量控制城市,实现煤炭消费总量负增长。新建用煤项目实行煤炭减量替代。以电、天然气等清洁能源替代的散煤量,可纳入新上热电联产项目煤炭减量平衡方案。20万人口以上县城基本实现集中供热或清洁能源供热全覆盖。新增居民建筑采暖要以电力、天然气、地热能、空气能等采暖方式为主,不得配套建设燃煤锅炉。

2017年4月17日,《山西省人民政府办公厅关于进一步控制燃煤污染改善空气质量的通知》进一步提出,提高集中供热普及率。积极推进区域热电联产,淘汰现有分散供热锅炉和小型供热机组,力争实现城市热电联产集中供热率达到60%以上。加快城市集中供热管网设施建设,到2017年底,全省城市(含县城)集中供热普及率达到90%以上。列入京津冀大气污染传输通道的太原、阳泉、长治、晋城4市以及临汾、晋中2市(以下简称“4+2”城市)实现煤炭消费总量负增长,2017年7月底前,“4+2”城市要根据有关要求制定“禁煤区”实施方案,在城市已划定的高污染燃料禁燃区基础上进一步划定“禁煤区”,明确除煤电、集中供热和原料用煤企业(包括洁净型煤加工企业用煤)外,需禁用燃料煤炭的区域、单位或用户名单,并向社会公布,确保10月底前完成燃料煤炭“清零”任务。

2.3 山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代任务

近年来,我国多个部委以及山西省都发布了一系列关于工业锅炉的政策文件,其中包括《大气污染行动计划》、《修订的大气污染防治法》、《开展工业燃煤锅炉能效提升环保综合工程》、《大气污染防治工作方案》等,这些政策为燃煤工业锅炉减

少能耗、控制污染排放制定了具体的目标和要求；同时也鼓励替代燃煤锅炉的解决方案，如燃料替代，发展分布式能源和热电联产系统等。

2.3.1 淘汰落后燃煤锅炉，推广高效燃煤锅炉

1. 淘汰落后锅炉

(1) “4+2”城市划定“禁煤区”

“4+2”城市在已划定的“高污染燃料禁燃区”基础上进一步划定“禁煤区”，区域除煤电、集中供热和原料用煤企业（包括洁净型煤加工企业用煤）外，完成燃料煤炭“清零”任务。

(2) 加快淘汰燃煤小锅炉

① 11个设区市和所有县城建成区要按期全面完成《行动计划》确定的燃煤锅炉淘汰任务。

② 在集中供热管网覆盖地区，已建成的不能达标排放的燃煤供热锅炉，须根据《大气污染防治法》第三十九款要求予以拆除。

2. 推广高效燃煤锅炉

围绕国家节能环保重点领域，推广高效锅炉（窑炉）和高效热能回收系统，高效燃煤锅炉市场占有率提高到40%以上。

(1) 优先采用国家推荐燃煤锅炉。

(2) 推动高效清洁燃烧炉具的普及。

① 推动城中村、城边村以及农村地区居民实施小型燃煤锅炉（炉具）环保改造，逐渐淘汰传统直烧炉。

② 积极引导建制镇驻地村、中心村、旅游村等经济条件较好的农村地区改用燃气或电取暖设施。

(3) 禁止销售不符合国家相关标准的劣质炉具。

2.3.2 提升燃煤锅炉运行水平

开展锅炉能源消耗和污染排放调查，实施燃煤锅炉节能环保综合提升工程。

1. 燃煤工业平均运行效率

燃煤工业锅炉平均运行效率比2013年提高8个百分点。

2. 强化燃煤锅炉污染排放监管。

(1) 11个设区市要制定在用燃煤锅炉对标改造计划，明确改造清单及完成时限。

(2) “4+2”城市燃煤锅炉排放的SO₂、氮氧化物和颗粒物达到《锅炉大气污染物排

放标准》（GB13271—2014）确定的大气污染物特别排放限值要求。

(3)其余 5 市实现达标排放。

3.安装污染源自动在线监控设施

11 个设区市要全面清查辖区内 20 蒸吨/小时及以上的燃煤锅炉污染源自动在线监控设施的安装及与环保部门联网情况。

2.3.3 替代中小供热锅炉

1.提高集中供热普及率

积极推进区域热电联产，淘汰现有分散供热锅炉和小型供热机组，力争实现城市热电联产集中供热率达到 60%以上。

2.加快城市集中供热管网设施建设

到 2017 年底，全省城市（含县城）集中供热普及率达到 90%以上。

3.建立大型高效燃煤锅炉，整合个体需求，取代分散小锅炉

(1)在集中供热管网覆盖地区，禁止新建、扩建分散燃煤供热锅炉。

(2)11 个设区市建成区和县城建成区不得新建燃煤锅炉。

(3)其他地区原则上不再新建 10 蒸吨/小时以下的燃煤锅炉。

2.3.4 调整燃料结构

1.加快煤层气等清洁能源供应，加大可再生能源利用比例，到 2020 年，煤炭消费占一次能源消费比重下降至 73%。

(1)设区市要因地制宜、多能配置，鼓励利用余热、余压、生物质能、地热能、太阳能、燃气等多种形式的清洁能源和可再生能源供热方式。

(2)鼓励风电、太阳能消纳困难地区探索采用电采暖、储热等技术实施供热。

(3)推广应用工业余热供热、热泵供热等先进供热技术

(4)完成高污染燃料禁燃区的划定和调整工作，并逐步扩大高污染燃料禁燃区范围；通过集中供热和清洁能源替代，全面淘汰燃煤小锅炉。

2.推动“煤改气”“煤改电”工程

(1)工业园区及产业集聚区

在陶瓷、玻璃、铸造、建材、制革、制药等行业，特别是产业集聚区、工业园区要逐步取消自备燃煤锅炉，积极推进“煤改气”“煤改电”工程。

(2)冬季取暖

11 个设区市开展散煤污染源调查，摸清底数，按照“宜气则气、宜电则电”的原

则，积极与当地电力公司、燃气公司对接，完成年度“改气”、“改电”工程。

3.重点区域实施清洁燃料置换

(1)设区市除“禁煤区”外，建成区范围内暂时无法实施整村拆迁、无法实现集中供热及“煤改气”、“煤改电”等清洁能源替代的城中村、城边村，要全部实现优质型煤等清洁燃料置换，并对居民使用的劣质散煤进行清理回收。

(2)各市建成区外未实现集中供热和清洁能源替代的其他区域，鼓励使用清洁燃料，限制燃用硫分高于1%、灰分高于16%的民用散煤。

(3)加快推进煤炭清洁高效利用，大力推广使用型煤、清洁优质煤及清洁能源。

3 山西省工业燃煤锅炉现状及能效情况

3.1 工业燃煤锅炉的分类及结构

3.1.1 工业锅炉分类

锅炉是重要的能源转换设备，也是能源消费大户和重要的大气污染源。

按照燃料或能源品种分类，锅炉可整理为：燃煤锅炉、燃油锅炉、燃气锅炉、生物质燃料锅炉、电锅炉、化工废液锅炉、垃圾焚烧锅炉以及余热锅炉。

工业锅炉是重要的热动力设备，主要指生产的蒸汽或热水主要用于工业生产或民用的锅炉，包括工业用蒸汽锅炉、采暖用热水锅炉、民用生活锅炉、工业企业自备发电锅炉、城市热电联供锅炉、特种用途和余热锅炉等。根据燃料的种类、性质不同，锅炉的容量、用途及参数的不同，工业锅炉的燃烧设备可分为多种多样的类型。20 世纪 90 年代就形成了比较完整的工业锅炉型谱，共有 8 个大类，38 个系列，85 个品种，300 多个规格。目前，采用最广泛的仍为层燃炉；其中，结构最简单的是手烧炉；在手烧炉基础上发展起来的有抛煤机炉、链条炉、振动炉、往复推动炉等半机械化及全机械化炉等。

按《锅炉压力容器制造监督管理办法》规定的制造管理，锅炉可按照四个分类整理：①A 级锅炉制造单位：压力不限；②B 级锅炉制造单位：额定蒸汽压力小于及等于 2.5MPa 的蒸汽锅炉；③C 级锅炉制造单位：额定蒸汽压力小于及等于 0.8MPa 且额定蒸发量小于及等于 1t/h 的蒸汽锅炉；额定出水温度小于 120℃ 的热水锅炉；④D 级锅炉制造单位：额定蒸汽压力小于及等于 0.1MPa 的蒸汽锅炉；额定出水温度小于 120℃ 且额定热功率小于及等于 2.8MW 的热水锅炉。

3.1.2 锅炉结构

传统锅炉整体的结构包括锅炉本体和辅助设备两大部分，现代锅炉整体还包含锅炉安全附件、仪表与控制装置。

1. 锅炉本体

包括锅炉中的炉膛、锅筒、燃烧器、水冷壁过热器、省煤器、空气预热器、构架和炉墙等主要部件等，是生产蒸汽的核心部分。

2. 锅炉辅助设备

(1) 给水设备：主要有注水器、蒸汽往复泵和离心泵等；

(2) 水处理设备：水处理设备还包括机械过滤器类、离子交换器类、除二氧化碳器类及酸、碱贮存槽、计量箱等水处理设备；

(3)通风设备：通常指鼓风机、引风机和烟囱；

(4)输煤设备：机械上煤包括单斗提升机、带式输送机、埋刮板输送机、煤粉输送管道等。煤粉锅炉的制粉系统磨煤机主要有钢球磨煤机、风扇磨煤机、中速磨煤机等；

(5)燃烧设备：燃烧设备主要有固定炉排、链条炉排、往复炉排、滚动炉排、下饲炉排、抛煤机、鼓泡流化床、循环流化床、室燃炉燃烧器等；

(6)灰渣设备：机械化燃烧的锅炉主要用刮板出渣机和螺旋出渣机，电站锅炉常采用干式除渣方式和水力除灰渣系统；

(7)除尘设备：锅炉常用的除尘器有旋风除尘器、离心式水膜除尘器、袋式除尘器、静电除尘器、湿式除尘脱硫器等；

(8)锅炉的排污和排汽系统：包括连续排污系统和定期排污系统设备。

3.锅炉安全附件、仪表与控制装置。

锅炉的附件及仪表是锅炉安全经济运行不可缺少的一个组成部分。齐全、灵敏、可靠的安全附件、仪表与控制装置是锅炉安全经济运行的保证。主要有：安全阀、压力表、水位表、高低水位报警器、温度测量仪表、排污及疏水装置、自动保护装置。

3.2 调研方法及调研内容

3.2.1 调研方法

根据研究目标和内容的需要，课题采用直接调研和间接调研相结合的方法，通过文献资料调研和实地调研，收集国家、地方、行业对工业锅炉能效的要求以及相关政策法规规定，了解锅炉数量、容量、地域类型、锅炉蒸发量及结构形式分布特点、锅炉设计及运行能效状况、锅炉运行管理状况、锅炉节能技改措施及其技术经济效果等。

3.2.2 调研内容

1.调研机构及调研过程

针对调研目标，选取山西省工业锅炉相关管理部门及山西省工业锅炉相关企业用户作为调研对象。

2.调研内容

根据资料类型把调研内容分为文献资料调研和实地调研两个部分。

文献资料调研主要包含国家、地方、行业标准要求、各级政府的政策法规规定等。

主管部门实地调研主要包含锅炉数量、容量、地域、类型、锅炉蒸发量及结构形式分布特点、锅炉设计及运行能效状况等等资料；企业实地调研资料包含锅炉节能技改项目实施效果、节能技改项目实施模式、锅炉运行管理状况等。

根据项目组需提交的成果，将调研的课题内容分为四个方面进行分别考虑，具体情况见表 3-1 所示。

表 3-1 调研内容

序号	内容
1	标准要求及相关政策法规规定
2	山西省在用锅炉运行及管理情况
3	山西省新设计锅炉情况
4	工业锅炉相关节能技改措施情况

3.2.3 调研情况说明

目前山西省开展了全省锅炉登记状况调查、锅炉能耗普查工作，并进行了电子化管理。

在用锅炉的数量统计有 3 个口径：锅炉统计数量、在用承压锅炉数量以及纳入千家企业锅炉数量。其中在用承压锅炉数量是我省每年检验的锅炉，统计数据准确，各参数记录详实，统计分析误差较小；锅炉统计数量包括了承压锅炉安装使用过但目前已经报停的锅炉、包括质监系统管理范围外的常压锅炉等，该数据误差较大；纳入千家企业锅炉数据截至年限在 2014 年。

结合近年山西省淘汰更新中小锅炉的工作，数据的收集存在一定的滞后和重复计算遗漏等问题，准确性存在某些偏差。

3.3 调研结果

3.3.1 山西省工业燃煤锅炉数量及容量

1. 锅炉总体情况

截至 2016 年末，山西省在用锅炉总数量约 1.6 万台，涵盖了电站锅炉、承压蒸汽锅炉、工业锅炉、承压热水锅炉、有机热载体锅炉、有机热载体气相炉、有机热载体液相炉等类型。

各区域锅炉统计数量以及各类型锅炉比例详见下表 3-2 和 3-3；各地区锅炉情况见图 3-1。

表 3-2 山西省近年在用锅炉统计数量

年份	太原	晋中	大同	阳泉	朔州	忻州	长治	吕梁	临汾	晋城	运城	全省
2010	2219	955	2760	329	354	985	1677	436	985	1455	1420	13574
2011	2345	2036	1694	355	651	734	1881	921	993	1370	1875	14903
2012	2474	2163	1410	429	420	920	1001	1787	1027	1189	2038	14858
2013	2746	2381	1436	435	468	931	1026	2148	1113	1226	2217	16127
2014	3131	2598	1461	442	716	942	1052	2510	1199	1264	2395	17708
2015	3189	2730	1445	442	680	964	1057	1648	1333	1011	3022	17521
2016	1250	2820	1452	400	633	1182	1071	1696	1421	1033	3129	16403

表 3-3 2016 年在用锅炉各类型比例

	电 站 锅炉	承 压 蒸 汽 锅 炉	工 业 锅 炉	生 活 锅 炉	承 压 热 水 锅 炉	有 机 热 载 体 锅 炉	有 机 热 载 体 气 相 炉	有 机 热 载 体 液 相 炉	其 他
比例（在用）	2.6%	19.7%	26.6%	16.1%	13.9%	1.2%	0.3%	1.2%	18.4%
比例（所有）	2.4%	24.8%	24.0%	14.7%	16.5%	1.3%	0.3%	1.1%	14.9%

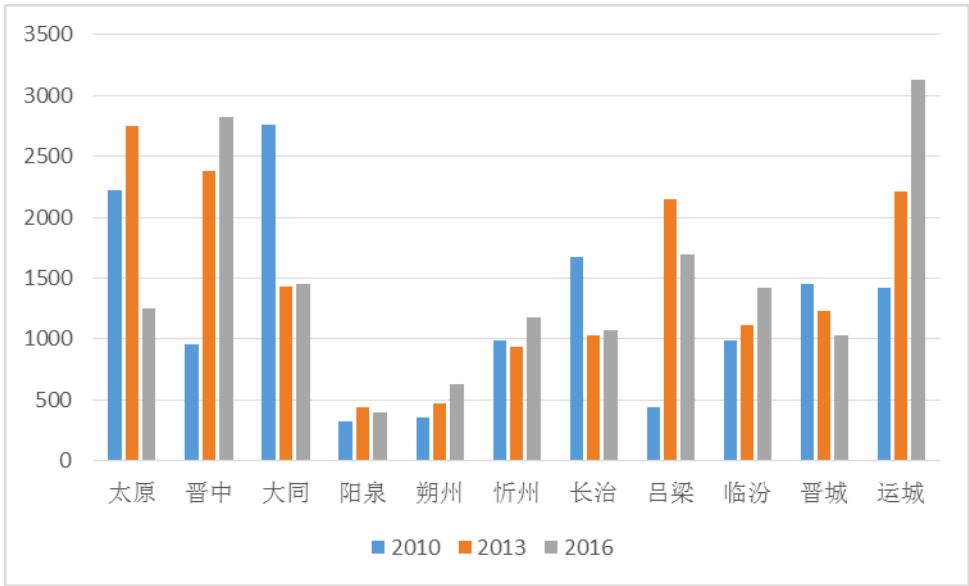


图 3-1 各区域在用锅炉情况

2016 年，山西省锅炉按照燃料分类的比例如下表 3-4 所示；在用不同介质锅炉情况、在用不同燃料锅炉情况、在用不同容量锅炉数量情况分别如下图 3-2~3-4 所示。

可以看出，目前山西省在用锅炉仍以燃煤锅炉为主，太原市燃煤锅炉比重较低。锅炉容量方面，小于 8t/h 的锅炉数量仍然超过了 60%。

表 3-4 2016 年山西省锅炉按燃料分类的比例

	燃煤锅炉	燃油和燃气锅炉	生物质燃料锅炉	余热锅炉	电热锅炉	总 计
忻州	89.10	9.40	0.91	0.3	0.08	100
太原	48.59	39.05	0.97	8.96	2.43	100
朔州	85.8	9.9	3.13	0.8	0.27	100
晋城	66.42	24.22		34.22	0.92	100
全省	84.7	8.9	1.1	5.1	0.2	100

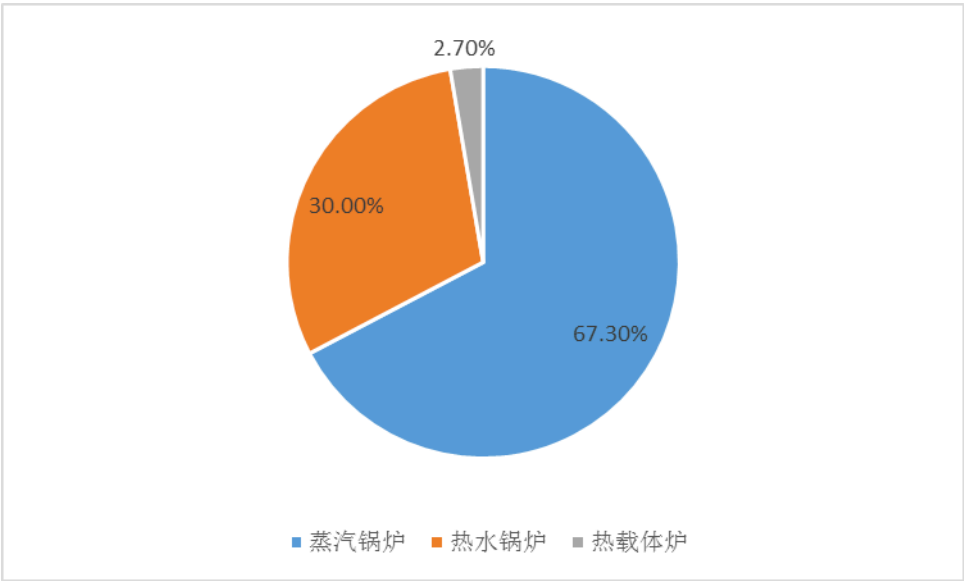


图 3-2 2016 年在用不同介质锅炉情况

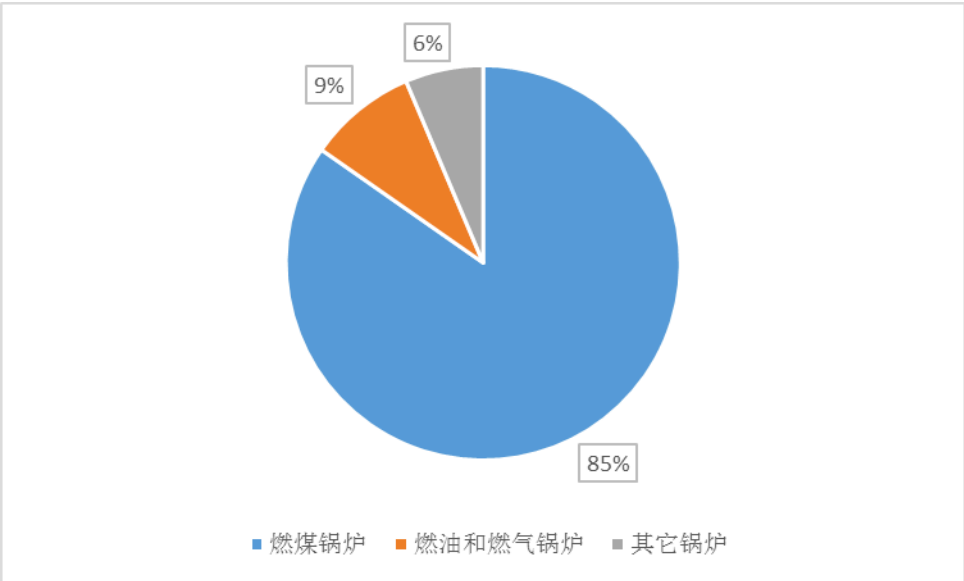


图 3-3 2016 年在用不同燃料锅炉情况

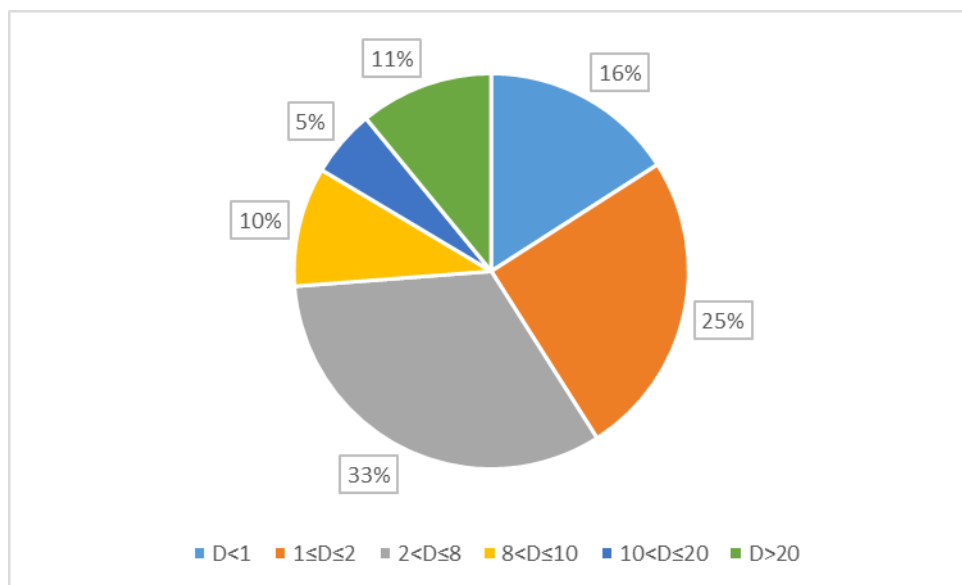


图 3-4 2016 年在用不同容量锅炉数量情况

2. 工业锅炉总体情况

工业锅炉方面，包含生活锅炉在内约 0.8 万台，平均蒸吨约为 4.4 t/h；10 t/h 以下燃煤工业锅炉的平均蒸吨约为 2.1 t/h。不同大小在用工业锅炉数量比例见图 3-5；不同大小工业锅炉总容量比例如图 3-6 所示。

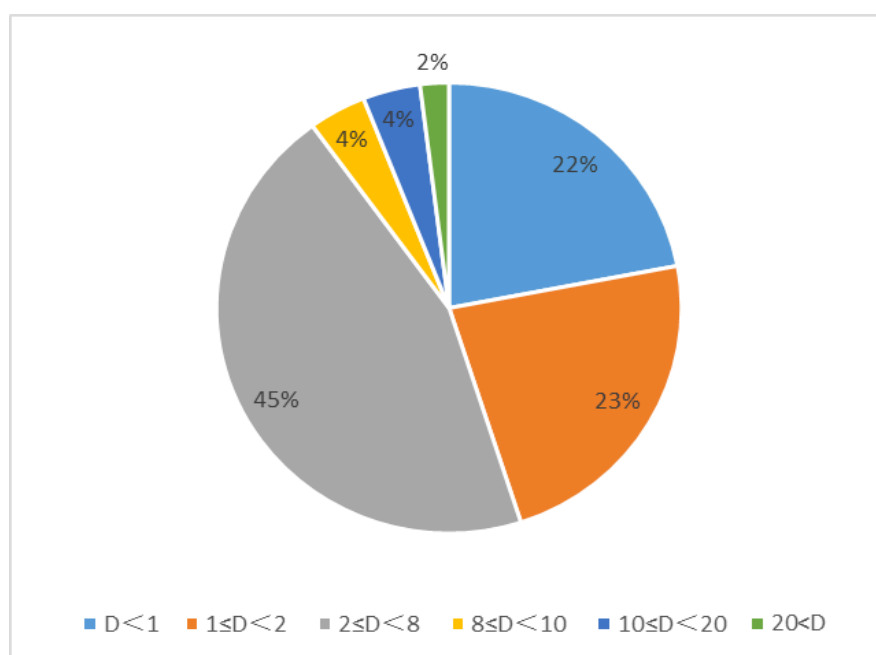


图 3-5 不同大小容量工业锅炉数量比例

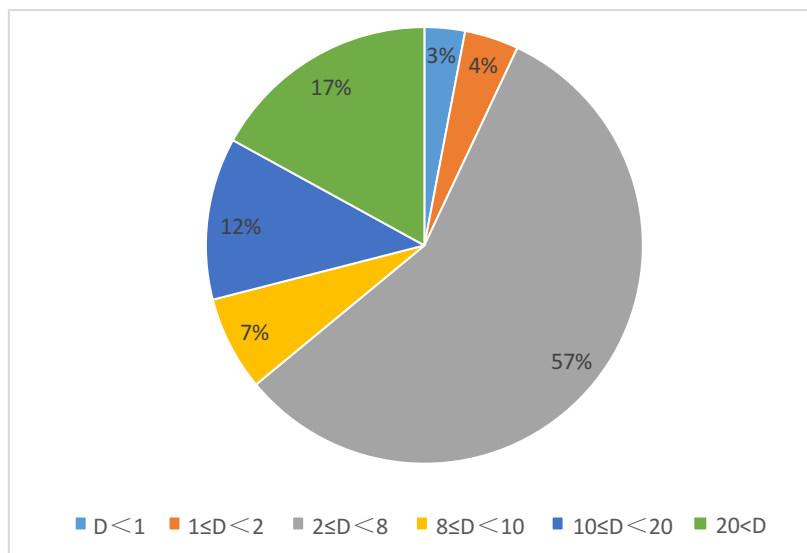


图 3-6 不同大小容量工业锅炉总容量比例

3. 千家企业工业锅炉状况

截至 2014 年，纳入山西省千家企业在用锅炉共计 2358 台，总容量为 206233t/h。按锅炉类型划分，电站锅炉 466 台，工业锅炉 1892 台，工业锅炉总容量 28527t/h，平均容量 15.1t/h；按燃料种类划分，燃煤锅炉 1411 台，占比 74.6%，燃气锅炉 436 台，占比 23%，燃油锅炉和余热锅炉占比 2.4%；按容量划分，10t/h 以下锅炉 1057 台，占到工业锅炉总数的 56%，10t/h 以上锅炉 1301 台；按燃烧方式划分，燃煤锅炉中层燃锅炉占绝大部分，占比 75%，沸腾燃烧锅炉占比 25%。

千家企业工业锅炉状况如下图 3-7 所示。

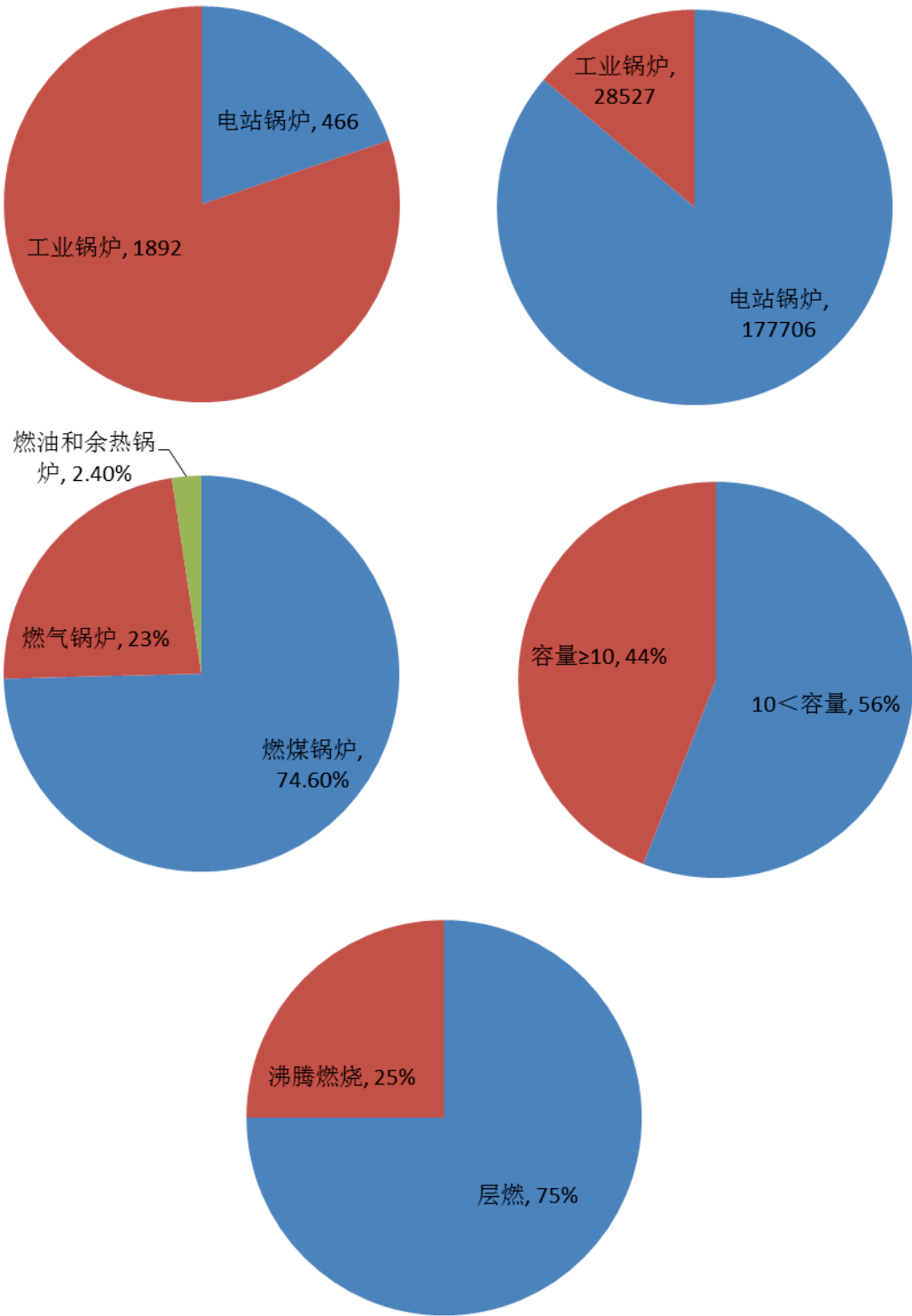


图 3-7 千家企业工业锅炉状况

山西省千家企业锅炉平均实际测试效率如表 3-5 所示。

表 3-5 山西省千家企业锅炉效率抽样统计表（2015 年）

	D<10	D≥10
锅炉数量（台）	92	184
占锅炉总数的百分比	8.7%	14.14%
平均实际测试效率	65.2%	70.9%

3.3.2 山西省工业燃煤锅炉能效

1. 新设计锅炉的能效状况

统计显示，新设计的锅炉，热效率明显提升，额定条件下的测试效率符合国家相关标准要求，以燃煤锅炉热效率为例，近三年新设计燃煤锅炉的热效率变化趋势图如图 3-8 所示。

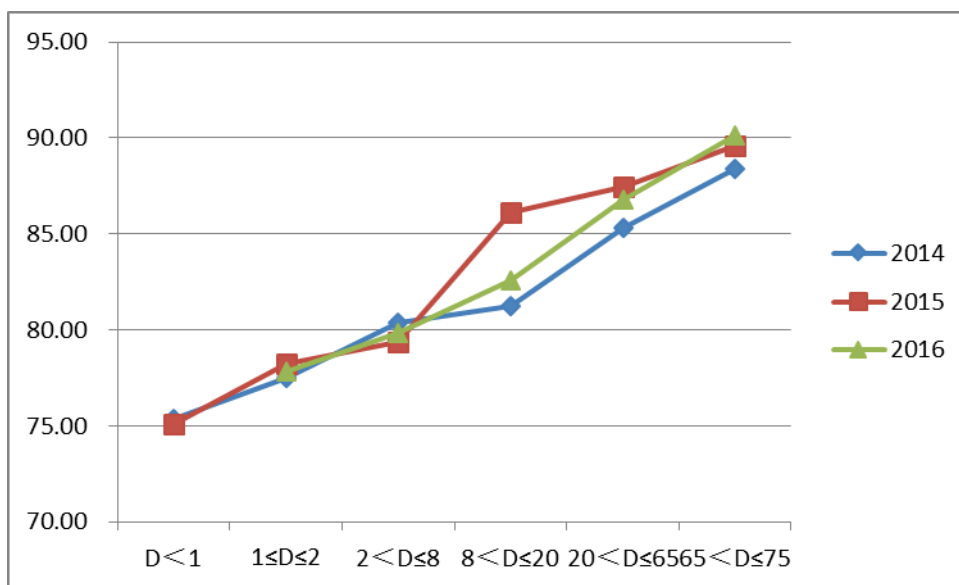


图 3-8 近三年新设计燃煤锅炉的热效率变化趋势图

分析近年新设计锅炉测试效率，得到：

（1）测试的油气锅炉，折算蒸发量（供热量）在 0.5~90t/h 之间，锅炉效率普遍在 90%以上，效率高的可达到 97.3%；

（2）测试的生物质锅炉，折算蒸发量（供热量）在 0.5~75t/h，锅炉效率在 76%~90.5% 之间；

（3）测试的电加热锅炉，折算蒸发量（供热量）为 0.5t/h，锅炉效率为 98.4%；

（4）燃 I 类烟煤，燃烧方式均为循环流化床燃烧，蒸发量在 75~280t/h 之间，锅炉效率在 89.0%~92.77%之间；

（5）燃 II 类烟煤，燃烧方式为循环流化床燃烧，蒸发量在 40t/h~300t/h 之间，锅炉效率在 87%~92.5%之间；燃烧方式为层燃，蒸发量在 1~25t/h 之间，锅炉效率在

77.4%~82.4%之间。

分析 2016 年 II 类烟煤层燃锅炉，得到定型测试锅炉效率如下图 3-9 所示。

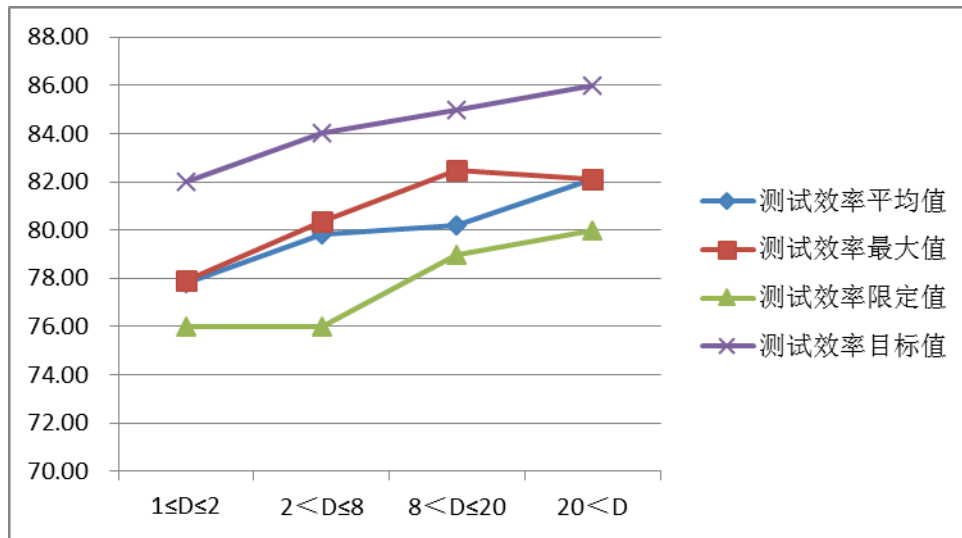


图 3-9 II类烟煤层燃锅炉定型测试效率

(6) 燃III类烟煤，燃烧方式为室燃，蒸发量为 10t/h，锅炉效率为 87.1%~87.5%之间；燃烧方式为循环流化床燃烧，蒸发量在 130~300t/h 之间，锅炉效率在 91.5%~92.5%之间。

(7) 燃褐煤锅炉，燃烧方式为循环流化床燃烧，折算蒸发量在 75~165.7t/h 之前。锅炉效率在 89.3%~91.3%之间。

(8) 燃贫煤锅炉，燃烧方式为循环流化床燃烧，蒸发量在 130~240t/h 之间，锅炉效率在 91.8%~92.2%之间。

(9) 新设计一台甲醇锅炉，蒸发量为 0.5t/h，锅炉效率为 94.27%。

测试数据显示，不同热源的锅炉，效率差别较大，电加热锅炉效率和天然气锅炉效率较高，燃生物质效率差别较大。对燃煤锅炉而言，循环流化床效率高于室燃锅炉，室燃锅炉效率高于层燃锅炉。同时，新设计的锅炉，热效率普遍提高。

新设计燃煤锅炉燃烧类型、煤炭类型以及锅炉容量和效率关系如下表 3-6 所示。

表 3-6 新设计燃煤锅炉燃烧类型、煤炭类型以及锅炉容量和效率关系

煤炭类型	燃烧方式	锅炉容量	测试效率
褐煤	循环流化床	75~165t/h	89.3%~91.3%
贫煤	循环流化床燃烧	130~240t/h	91.8%~92.2%
Ⅲ类烟煤	室燃	10t/h	87.1%~87.5%
	循环流化床燃烧	130~300t/h	91.5%~92.5%
Ⅱ类烟煤	循环流化床燃烧	40t/h~300t/h	87%~92.5%
	层燃	1~2t/h	76.4%~78.4%
		2~8t/h	77.4%~81.7%
		8~20t/h	77.5%~82.4%
		>20t/h	80.1~82.3%
Ⅰ类烟煤	循环流化床燃烧	75~280t/h	89.0%~92.77%

2.2013~2014 年在用锅炉能效状况

通过能效测试和能效普查统计分析，对全省锅炉进行抽样调查，获得燃煤工业锅炉 2013~2014 年运行热效率见图 3-10。

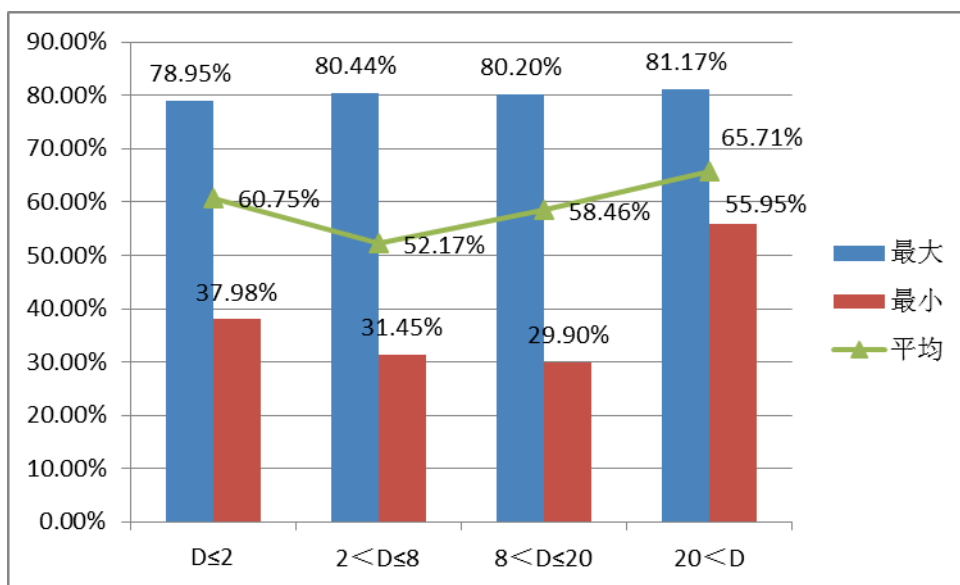


图 3-10 燃煤工业锅炉实际运行热效率

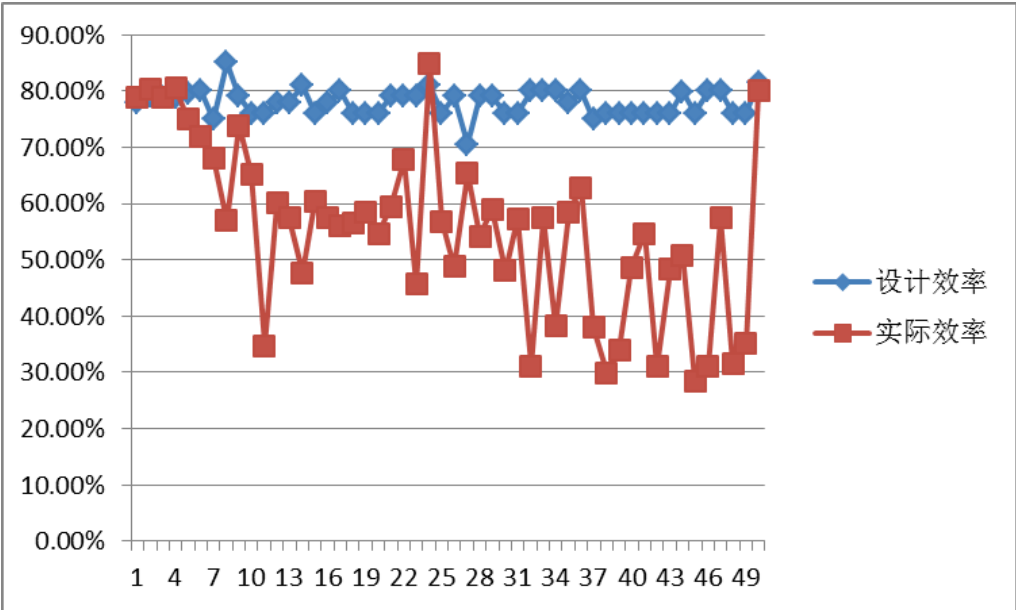


图 3-11 燃煤工业锅炉实际运行效率与设计效率比较（随机取 50 组数据）

测试燃油气锅炉实际运行效率与设计效率差别较小，见表 3-7。

表 3-7 燃油气锅炉实际运行效率与实际效率比较

容量	测试平均效率	测试最大效率	设计效率
D≤2	87.63%	89.37%	90%
2<D≤8	87.01%	89.88%	91.33%
8<D≤20	89.97%	89.97%	90%

可以看出，2013~2014 年度，燃煤锅炉实际运行效率与设计效率差别较大，约在 20%左右，实际运行效率较低，同时，不同锅炉，由于运行操作的差异，实际运行效率相差较大，运行状态好的和运行状态差的效率差别达到了 50%以上。

3.2016 年在用锅炉能效状况

通过能效测试和能效抽查统计分析，对全省锅炉进行抽样调查，获得燃煤工业锅炉运行 2016 年热效率见下图 3-12~3-16 所示。

可以看出，燃煤锅炉热效率低于燃气以及燃油锅炉。燃煤锅炉运行效率方面，容量在 8D 以下的燃煤锅炉热效率仍低于 60%，而不同容量的燃油燃气锅炉其热效率均超过了 80%。

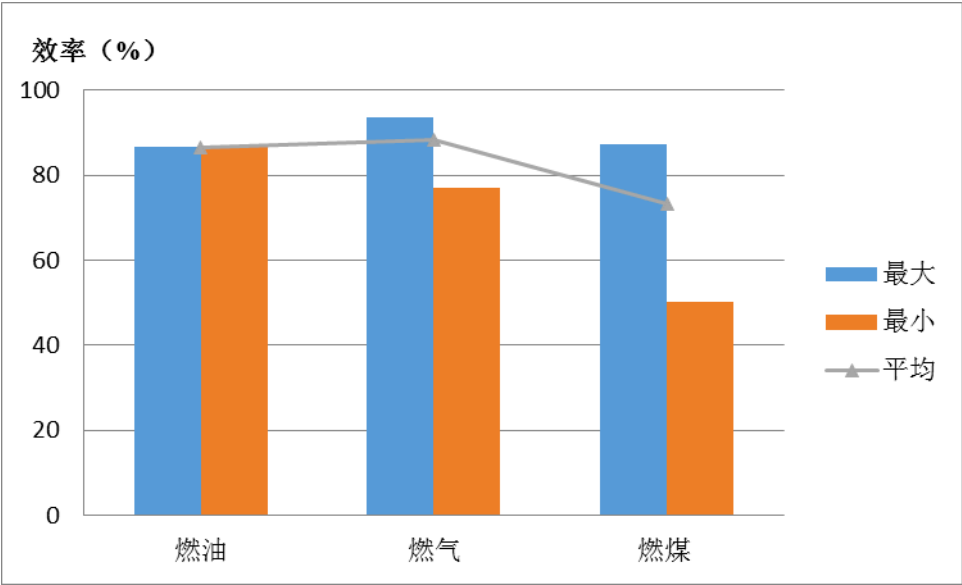


图 3-12 分燃料类型的工业锅炉热效率

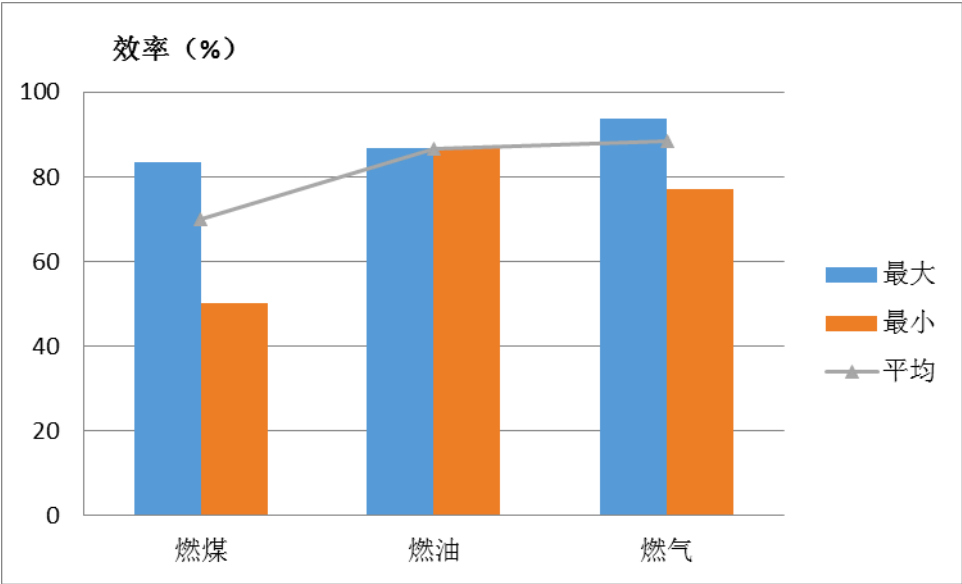


图 3-13 分燃料类型的工业蒸汽锅炉热效率

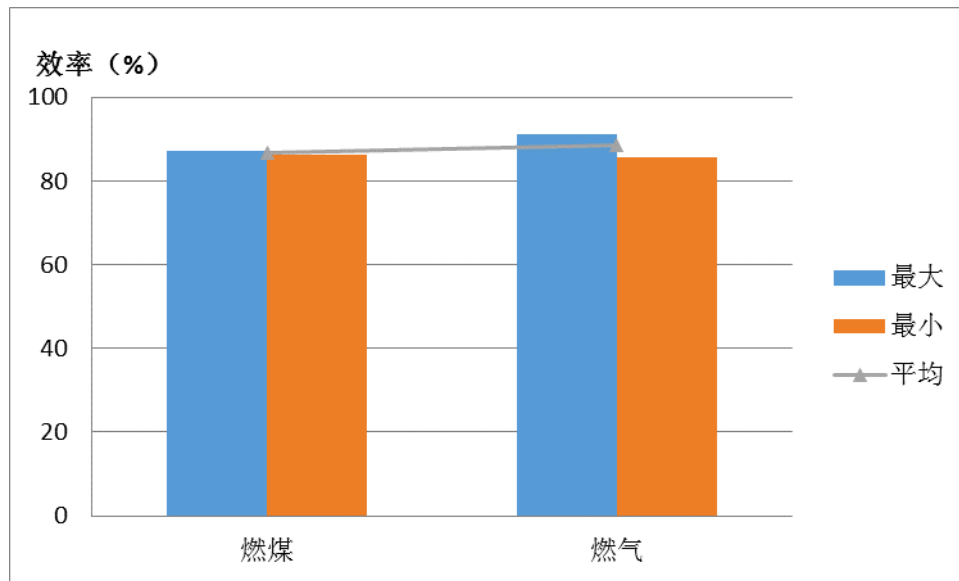


图 3-14 分燃料类型的工业热水锅炉热效率

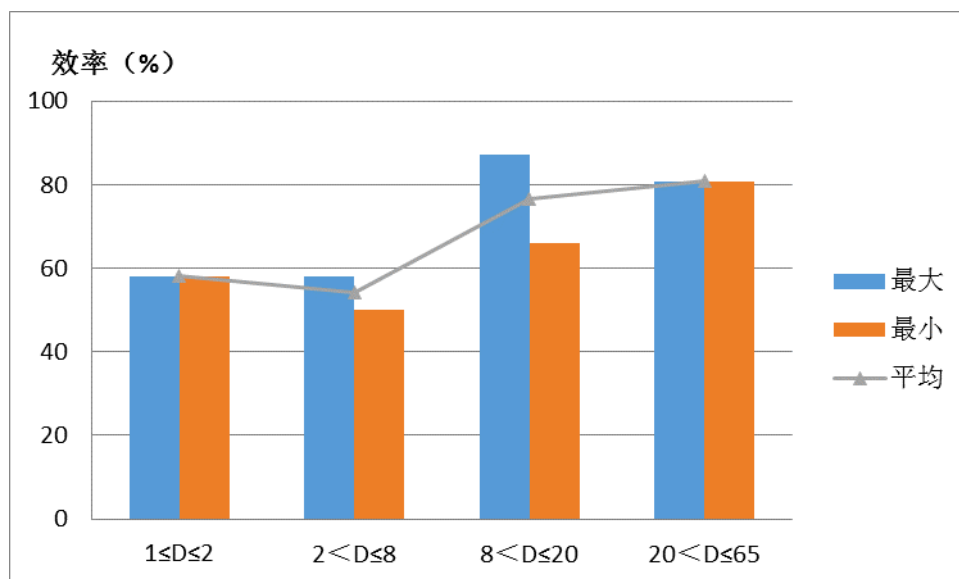


图 3-15 不同容量燃煤锅炉热效率

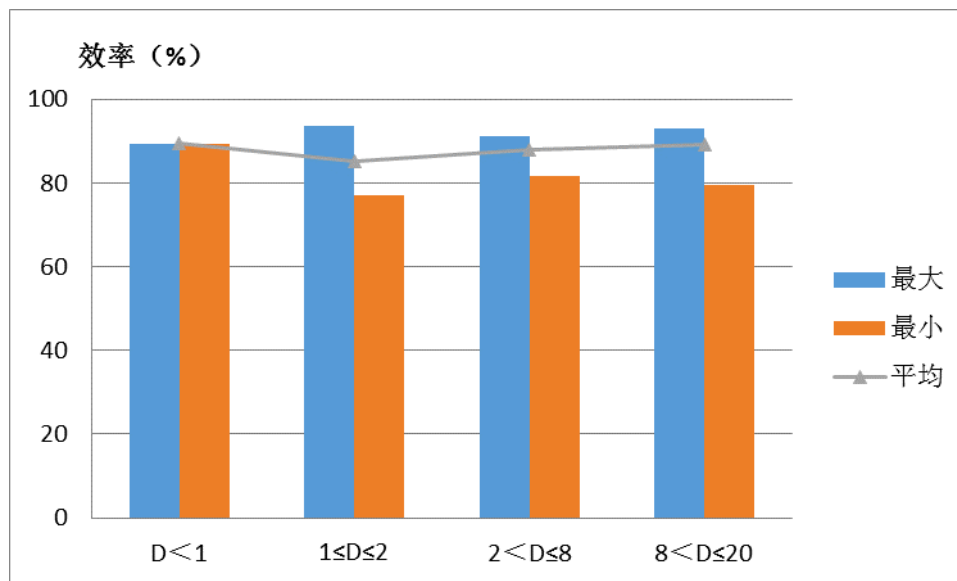


图 3-16 不同容量燃油气锅炉热效率

3.3.3 山西省工业燃煤锅炉水质

通过对我省工业燃煤锅炉水质管理现状调研，主要存在以下问题：

1. 锅炉排污率高，热量浪费严重

排污是保证锅炉水质达标以及蒸汽品质保证的途径之一。用软化水作补给水的工业锅炉水的溶解固形物含量都很高，有的甚至超标。使用单位为了保证锅炉水质达标，通过提高排污率来降低杂质浓缩倍率。绝大部分工业锅炉没有安装排污水热量回收装置，排污也未实现自动控制，排污比较盲目、机械，随意性较大，造成热量的极大浪费。很多锅炉排污率在 10%~15% 之间，有的甚至达到 30%，远远高于一般控制标准的 5%~10%。锅炉排污率升高，锅炉热效率降低。锅炉排污会造成水损失、热损失，同时还因向环境排放热水而造成热污染。

2. 冷凝水未回收或因污染严重无法回收利用

锅炉冷凝水所具有的热量可达蒸汽全热量的 20%~30%。回收冷凝水的热量并加以利用，既可提高锅炉给水温度，也可减少锅炉补给水量，是提高锅炉的热效率的有效途径。

目前，工业燃煤锅炉冷凝水很多没有回收，主要有以下原因：

(1) 锅炉设计安装时没有考虑冷凝水回收；

(2) 企业因冷凝水回收装置一次性投资较大企业不愿意安装；

(3) 一些企业虽有回收装置但凝结水杂质多，因没有采用相应的水处理措施冷凝水不合格而无法回收利用。

3.热力除氧效率偏低

容量较大的工业锅炉普遍使用热力除氧器，主要存在以下问题：

(1)需要耗费大量蒸汽，使锅炉有效利用热量减少；

(2)锅炉给水温度提高会使省煤器平均水温增高省煤器传热温差减少，排烟温度增高排烟热损失加大。有时热力除氧器补水量较大或运行管理不到位时除氧器除氧温度达不到要求，除氧效果较差。

4.作业人员专业水平低

一些单位由于不重视锅炉的水处理工作，缺乏安全管理意识，对于不是长时间使用的锅炉，给水不经任何处理直接使用，造成锅炉的腐蚀、结垢现象严重。还有一些锅炉使用单位不按监察部门的要求制定相应的管理制度，不配备水处理作业人员或对手处理作业人员不进行任何培训，对锅炉水处理工作采取放任态度。部分水处理作业人员虽然经过取证培训，但仍对化验操作的方法、原理一窍不通，有的化验员认为食盐能够使水质软化，甚至在软水箱里直接加盐，类似的事件不在少数。有些水质化验员责任心差，不能做到按时监测水质变化情况及时调整锅炉水质达到国家标准，化验数据不准确，记录不完善，胡乱使用药剂、随意加药，致使锅炉水质达不到标准的要求，因此这类使用单位的锅炉的结垢、腐蚀情况非常普遍，锅炉水质的检测合格率非常低。

5.不重视水处理设备的维护

目前绝大部分锅炉配备的都是自动离子交换器（自动软水器），它连接饱和盐水罐，可以自动再生，操作方便。但是，很多锅炉用户误解了这种系统的工作原理，认为一旦硬度超标，系统就会自动进行再生，锅炉给水的硬度不用再进行人为的监测，这是非常错误的看法。自动软水器的控制器品牌种类虽繁多，但一般分为时间型和流量型两种，时间型控制器能够设定交换罐的再生时间，流量型控制器可根据锅炉用水量设定软水的周期制水量，当制水量达到设定值时，交换罐开始再生。这两种类型的自动软水器都是通过人为设定的固定值进行自动再生的，不能根据原水水质的变化或仪器自身使用情况进行自动调整，如放任不管，时常会出现出水水质不合格的情况，因此，水处理人员要经常监测出水水质情况，并根据本单位锅炉用水的特点调整软水器的再生时间或周期制水量，以保证锅炉给水的质量。另外，不注意水处理设备的维护也是造成锅炉水质恶化的重要原因。软水器在运行或再生过程中如果操作不当，容易造成树脂的流失、破碎，致使出水水质不合格。如果给水系统管路及软水箱没有很

好的防腐措施，则会造成锅炉给水铁离子含量超标，锅炉水呈现黄色甚至红棕色，同时，铁离子还会引起离子交换树脂中毒，使得软水器的交换功能下降。

6.没有对水质进行常规检测和处理

很多锅炉并没有专职的水处理工或由司炉工兼职，不能对异常的水质检测结果进行及时适当处理，水处理检验员应给予技术指导和帮助。有的水质检测单位只顾化验水质合不合格，不根据具体情况“对症下药”就失去监督检验的意义了，应该有针对性、准确地提出整改意见，帮助锅炉使用单位搞好水处理工作，这样才能降低水质不合格率提高本地区水处理有效率和整体水平。

3.3.4 山西省工业燃煤锅炉运行管理

1.锅炉运行负荷对运行效率的影响

在实际运行中，绝大部分工业锅炉存在着低负荷运行问题。调查样本中多数工业锅炉的平均运行负荷只有额定负荷的 45%~65%左右，有的甚至更低。

2.燃料的选择对运行效率的影响

调查样本中很多锅炉燃料偏离设计要求，燃用劣质煤，造成燃煤的着火、燃尽困难，燃烧不完全，使锅炉燃烧效率降低，影响锅炉热效率。

3.锅炉辅助设备对运行效率的影响

一些锅炉的水处理设备运行效果较差，水质达不到国家标准要求，锅炉的水垢严重，既影响锅炉的传热效果，降低锅炉的热效率，又危及锅炉的安全运行。有的锅炉鼓、引风机配套不合理，特别是在用锅炉配套的水泵与风机，多数不能变数调节，仅靠挡板、阀门的截留来调节流量或压力，使设备处于高消耗低输出的运行状态，增加了锅炉的自身耗能比例。

4.锅炉漏风现象较多

工业锅炉运行管理中存在的较为突出缺陷是漏风问题。主要表现在，炉排与侧墙间的漏风严重，炉排横向风压分布不均衡；风室的密封性能差，风室之间互相串风，布风板正常无法调节。很难根据火床上各燃料区段合理布风，往往是风门敞开，任其自然，根本无法组织炉内的正常燃烧。另外，炉墙和炉膛后部灰坑都有严重的漏风现象存在。在检测中发现，一些锅炉的实测锅炉排烟处过剩空气系数在 3 左右，有的甚至高达 4 以上，排烟热损失可达 15%左右。

5.锅炉管理人员素质不高

目前，很多企业的锅炉运行人员大部分都是经过岗前安全技术培训后就直接上岗。

很少经过全面系统的技术学习和培训，缺乏对锅炉运行调试基础知识的了解。运行人员缺乏观察火床、火焰燃烧状态、查看煤质、烟色、判断燃烧产物燃烬程度、过剩空气系数大小等经验性的知识，尤其对有关组织燃烧调整、选择合理运行方式等规律性的东西更是不甚清楚。不能根据负荷、煤质的变化情况正确的组织燃烧，经常采用如下一些不合理的运行方式，直接影响了锅炉的运行效率。

4 山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代进展与问题

近年来,随着我国多个部委以及山西省发布的系列关于工业燃煤锅炉的政策文件,山西省各部门并加大落实力度,取得了积极成效,但是,与艰巨的节能工作任务相比,还有一定距离,主要表现在,人员业务素质、政策执行、监测分析、技术装备、监督落实等能力有待进一步提升,节能政策法规体系、技术服务体系、企业能源管理体系、政府信息监控体系、科技支撑体系还不够完善等。

4.1 山西省工业燃煤锅炉能效提升进展及存在问题

4.1.1 山西省工业燃煤锅炉能效提升要求

2016 年 12 月 29 日,山西省人民政府印发《关于山西省“十三五”综合能源发展规划的通知》,提出燃煤工业锅炉平均运行效率比 2013 年提高 8 个百分点。

4.1.2 山西省工业燃煤锅炉能效提升情况

1. 锅炉能效提升状况

下图 4-1 为 2013~2014 年度锅炉测试效率与 2016 年度锅炉测试热效率对比图。

2013~2014 年度,我省锅炉平均热效率偏低,仅为 62%左右,与设计热效率相差 15~20 个百分点,不仅远远低于《锅炉节能技术监督管理规程》平均能效 80%的要求,也低于全国 65%的平均水平。经过两年的努力,2016 年度,我省 $D>2$ 的工业燃煤锅炉能效较大提升,尤其是 $D>8$ 的大容量锅炉,其热效率提升接近 15%。 $D<2$ 的燃煤锅炉能效下降,与锅炉老化有一定关系, $2<D\leq 8$ 的燃煤锅炉能效小幅提升,不到 2%。

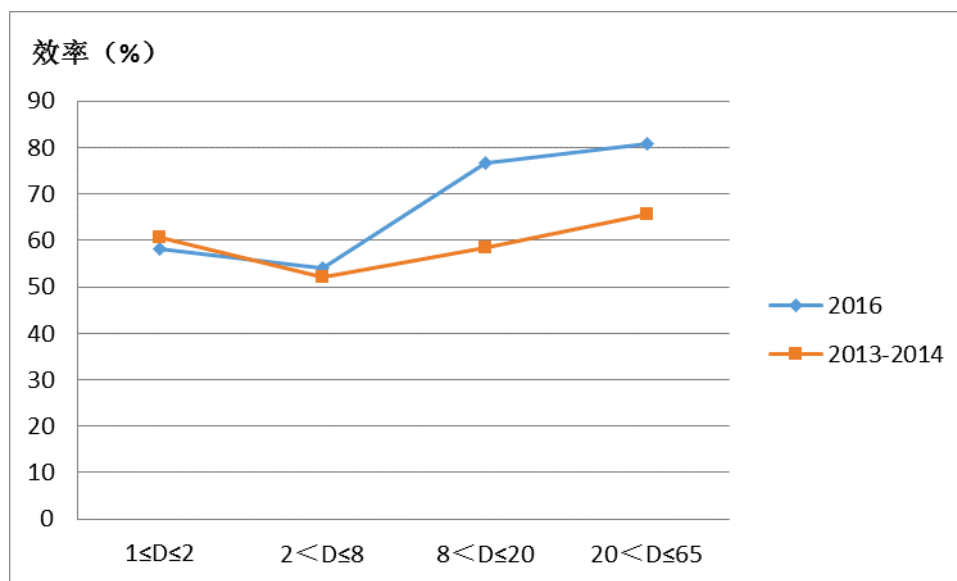


图 4-1 2013~2014 年与 2016 年在用燃煤锅炉热效率对比图

2. 工业燃煤锅炉尤其是小容量燃煤锅炉其它热效率指标分析

影响工业锅炉节能潜力发挥的因素有很多，既有燃料供应因素，又有技术因素、管理因素和政策因素，而且这些因素可能随着时间的推移，影响程度会发生变化，节能潜力也会随着这些因素的逐步改善逐年减小。

针对 8D 以下燃煤锅炉近年能效提升幅度较小的情况，调查认为与锅炉老化有关，同时锅炉的运行管理也有待加强。

(1) 炉渣可燃物含量

针对 $D \leq 8$ 的燃煤锅炉，项目组随机选取了 50 组在用锅炉进行炉渣可燃物含量的测试，并与燃煤锅炉标准规定的炉渣可燃物含量指标进行对比，如图 4-2 所示。

可以看出，多数炉渣可燃物含量较高，超过了要求的可燃物含量指标。

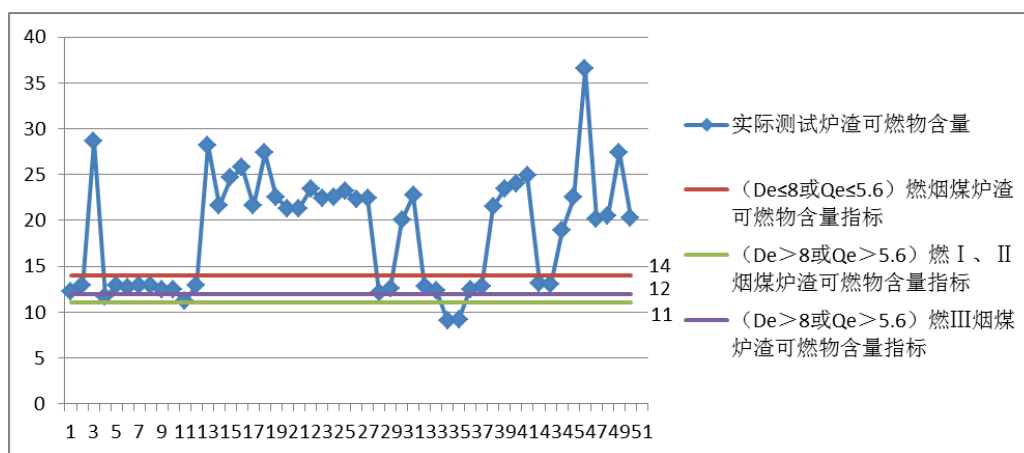


图 4-2 燃煤工业锅炉炉渣可燃物含量

(2) 锅炉排烟温度

项目组随机选取了 50 组在用蒸汽锅炉进行了实际排烟温度测试，并与燃煤蒸汽锅炉 ($D < 35\text{t/h}$) 排烟温度指标进行对比，如图 4-3 所示。

可以看出，超过一半的锅炉其排烟温度较高。

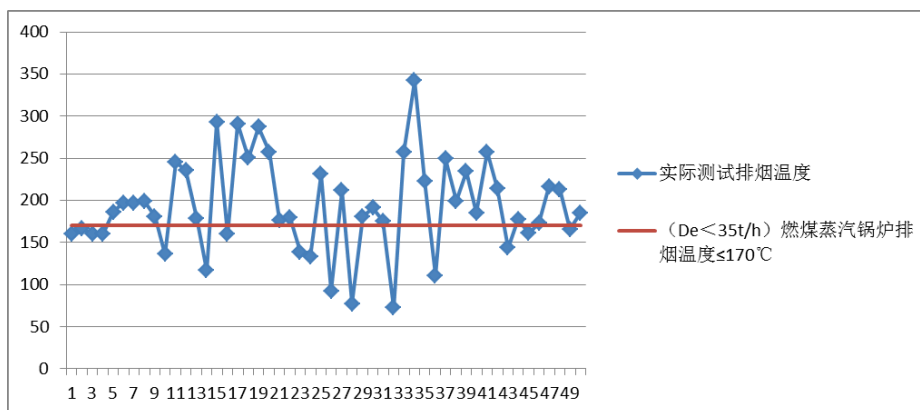


图 4-3 燃煤工业锅炉实测排烟温度

4.1.3 山西省工业燃煤锅炉能效提升存在问题

从抽样测试结果结合我省目前在用燃煤锅炉容量比例关系，2016 年在用锅炉平均运行效率较 2013~2014 年平均运行效率提升率估算为 6.54%，能效提升取得了积极效果，但离要求仍有一定距离。

$$57\%*0.018+20\%*0.2+11\%*0.15-7\%*0.02=6.54\%$$

目前燃煤锅炉能效存在问题主要为：

1. 锅炉技术装备落后

(1) 在用燃煤锅炉平均容量小，小锅炉数量多

山西省在用工业燃煤锅炉的平均容量近几年虽然有所提高，但仍然较小，目前在用燃煤锅炉平均容量约为 4.4 蒸吨/小时左右。锅炉的热效率和污染物的生成量与锅炉容量密切相关。通常，锅炉容量越小，其热效率越低，生成的烟尘量也越多。同样，锅炉容量越小，锅炉的自动化、机械化、仪表化也越差，煤炭燃烧也愈不完全，锅炉工作也愈不稳定。

(2) 小容量锅炉运行监测仪表不全，控制水平低

企业抽样调研结果显示：部分小容量燃煤锅炉没有配备自动控制装置，缺乏锅炉运行检测和控制手段，尤其是缺少显示锅炉经济运行参数的仪表。运行人员在调整锅炉时，往往由于缺少数据，不能对锅炉的运行状况随时做出准确判断并实行相应的运行调整，难以使得锅炉处于最佳状况运行；容量在 1 蒸吨/小时以下的在用锅炉普遍计量仪表缺失，无法了解锅炉能效状况，也无法准确调整运行参数。

部分燃煤工业锅炉控制水平低，多为位式、开环控制，没有实现连续闭环控制，不能根据外界变化调节锅炉运行状态，无法使锅炉运行较快地适应工况的变动和处于持续稳定状态，锅炉运行效率的保证和提高受到了限制。也使得锅炉运行人员的劳动强度加大，对运行人员的依赖性增大，因此锅炉控制水平成为制约提高锅炉效率的重要因素之一。

(3) 锅炉设备本身存在不足

目前锅炉制造企业一般只注重锅炉本体设计，对燃烧设备并不多加研究，燃烧设备通常交给所谓的专业配套厂配套生产，而专业配套厂通常只是来图加工，缺少研发能力。部分层燃炉燃烧设备存在较多缺陷；机械炉排存在漏煤量偏大、侧密封不严等问题（往复炉排更为严重）；部分锅炉的燃烧设备和辅机制造质量偏低；部分锅炉后部灰坑和炉墙都有漏风现象；有些锅炉的本体保温不好，集箱和连通管等部件常常不

加保温；还有锅炉（主要是较大容量锅炉）没设吹灰装置，锅炉受热面积灰，尤其是尾部受热面积灰严重，这些都严重影响炉内正常燃烧，影响锅炉运行效率。

(4)锅炉房整体系统配套水平低

部分锅炉房存在主机和辅机匹配性不好的问题：锅炉的鼓引风机和给水泵、循环水泵配套偏大。有些辅机是按照额定容量配置的，由于处于低负荷运行状态，辅机不能在高效率区域运行，仍会造成较大的能源浪费。泵与风机无负荷调节档次，不能随锅炉运行工况的变动相应进行变速调节，而是靠挡板洞门的节流来调节流量或压力，这样势必影响锅炉运行状态的快速调整，从而影响锅炉性能的正常发挥。

2.燃料供应不稳定，匹配性差

(1)供煤渠道不稳定

山西省的资源特征决定了工业锅炉以燃煤为主。其中煤炭多以散煤和原煤为主，工业锅炉的燃煤多为未经过洗选加工的原煤，颗粒度、灰份等没有保证，除了部分市区外多数没有采用链条锅炉专用煤或专用型煤，煤炭品种、质量变化大。

山西省在用锅炉燃煤以层燃锅炉为主，而层燃锅炉对煤种适应性较差，当燃用煤种发生变化时，它的燃烧情况必然发生变化，一般是变得更差些；而且供应煤种的经常变化，也使得锅炉运行、管理人员无法掌握煤质情况，摸不清运行规律，也不能采取有针对性地应对措施；既降低了锅炉的运行热效率，也增加了锅炉污染物排放。

(2)燃料不当或燃料质量较差

锅炉使用单位选用的燃煤，经常不是设计煤种，锅炉燃料燃烧较困难，增大机械不完全燃烧热损失。尤其是小容量（20t/h 以下）燃煤层燃锅炉，由于使用非设计煤种，造成的热损失一般在 20%~30%之间；

部分锅炉使用设计煤种，但质量较差，燃煤中小于 5mm 的煤面占比过大。当其超过 70%时，将严重影响锅炉通风，增加了着火和燃尽的难度，造成了热损失增大。

3.锅炉运行管理水平不高

(1)漏煤、炉渣可燃物含量高

炉排间隙大可导致漏煤量增大，特别是往复炉排容易烧坏，常见出现增大漏煤量的情况；锅炉在燃用挥发分低的煤种时，燃煤不易着火，会导致炉渣中可燃物含量增高；锅炉运行负荷低时，炉膛温度偏低，造成燃煤难以着火，也可造成炉渣可燃物含量偏大；

(2)燃烧机的调整不当

多数在用锅炉的燃烧机的风气比调整的不合理，燃烧机调整人员没有配备烟气分析仪，仅凭肉眼观察火焰调整风气比，有排烟处氧含量为 0% 的，对应的一氧化碳浓度超过 50000ppm，必然造成锅炉的化学不完全燃烧损失增大；有的排烟处氧含量为 10% 以上的，对应的一氧化碳浓度为 0 ppm，必然造成排烟热损失增大；

(3) 烟气排烟温度高

对在用锅炉测试结果分析，部分锅炉排烟温度较高，多数为 200℃ 至 250℃，最高的超过了 350℃。锅炉排烟温度高的原因：

①设计不合理，受热面积偏小或烟气流速偏低，热力计算有误或偏差过大；

②尾部辅助受热面未设、解列或不足，该类锅炉尾部受热面工作条件较差，冷水进入锅炉后首先在此处加热，析出溶解氧，会从内部腐蚀其内表面，外部烟气水蒸气含量较高，容易冷凝，会造成其外表面腐蚀，故容易损坏；

③水管锅炉对流管束区隔墙开裂，烟气短路，也可导致排烟温度增高，增大排烟热损失；

④其它原因，如：热面积灰、结垢；超负荷运行；锅炉挡烟墙损坏、开裂，造成烟气短路等。

(4) 过量空气系数偏大

调查结果中发现大部分锅炉的过量空气系数多在 2~3.5 之间，有些甚至超过 4，远大于正常值 1.45~1.65。排烟处过量空气系数越大锅炉热效率也越低，过量空气系数每增加 0.1，将使锅炉效率降低 0.5%~0.7% 左右。过量空气系数偏大，烟气量增大，带走大量热量，使排烟热损失增大；增大烟气流速，降低炉膛温度，恶化燃烧，使气体不完全燃烧和固体不完全燃烧损失增大，加速受热面的磨损，使锅炉的维护成本增加。

过量空气系数偏大的原因主要是漏风和配风不合理。锅炉漏风的原因主要是炉门、人孔门、窥火孔门等设备老化变形、关闭不严，局部炉墙或烟道密封不良以及炉底密封水槽处漏风。在链条炉中，燃料在炉排上依次发生着火、燃烧、燃尽各阶段，燃烧是沿着炉排长度方向分阶段、分区进行的，所以应根据各分区燃烧情况，采取分段供风，合理分配供风量。如炉中间燃烧区应加大供风量，而炉排前端和后端适度减少供风量。

(5) 运行负荷低

许多单位在选购锅炉时，对热负荷评估不准，或者为预防用能情况变化，总是选择超出需求较大容量的锅炉，大马拉小车，使得锅炉不能在额定负荷（或接近额定负

荷)的工况下运行;锅炉运行负荷低于额定负荷,平均负荷不到60%,偏离最佳运行负荷85%。

而对于燃煤锅炉,锅炉低负荷运行,致使一些锅炉运行参数难以控制在合理范围内,如炉膛温度、给风量、漏风系数等,除散热损失增加外,会使得炉膛温度偏低,燃煤着火、燃尽困难,煤中的固定碳燃烧变得更加困难,炉渣含碳量增加,增大锅炉机械不完全燃烧热损失,同时造成锅炉过量空气系数增加,增加了排烟热损失,锅炉按额定负荷配备鼓引风机,同时造成了辅机耗电浪费。同时由于延期温度和流速变化,增大了尾部受热面积腐蚀与积灰堵塞得可能性。

(6)炉墙、炉顶表面温度高

由于设计时炉墙稳定导热计算有误或没有及时检修炉墙,及时处理其剥落、开裂的部位,没有选用优质保温材料,及时增加保温层的厚度等原因,导致部分锅炉炉墙、炉顶表面温度高,造成锅炉散热损失增加。

(7)锅炉受热面积灰、结垢

锅炉受热面的积灰、结垢的热阻是钢材的40倍以上,会阻碍炉内传热,许多单位锅炉运行时不能及时清灰,受热面内侧富集水垢,使得锅炉的排烟温度上升,增加了热损失。

(8)漏风导致排烟热损失增加

①锅炉炉门、看火门、清灰门等容易变形,其上的挡板容易损坏、脱落,部分锅炉没有及时维修处理,导致漏风增加,增大热损失;

②出渣处水封水位不够,或其周围的挡板因腐蚀严重导致不能密封,导致漏风;

③炉墙裂缝、烟道连接法兰处的石棉绳因使用时间长酥脆脱落,造成漏风。

(9)鼓引风机的调节

部分小容量锅炉,鼓引风机为多工频运行,其调节风量采用挡板调节,调节风量很困难,不可能精准调节,且挡板处振动较大,调节好的开度会随时间变化;工频运行的鼓引风机在锅炉负荷较低时,浪费较多的电能。

(10)部分锅炉没有水处理设备

部分锅炉没有水处理设备,水质不达标、结水垢严重。影响锅炉效率。有些锅炉未安装或未按规定运行脱硫除尘装置,污染物排放未得到有效控制,排污率高达20%~30%,造成严重的大气和环境污染,同时排放掉了大量热能。

(11)司炉工总体素质不高

①部分锅炉司炉人员缺少对锅炉相关知识、技能全面系统地学习和培训，尤其是缺乏实际操作技能的培训，他们常常不能根据负荷、煤质变化等情况正确地调整、运行锅炉，从而限制了锅炉设备性能水平的充分发挥。特别是季节性取暖的一些锅炉和热水锅炉使用单位甚至雇佣农民工、临时工无证上岗操作锅炉，尤其是小锅炉用户这种现象更为明显。

②司炉工流动性大。司炉人员的操作技术和责任心在很大程度上决定锅炉的运行水平，在当前锅炉运行监测仪表不全、控制水平低、排质多变的情况下，司炉工人的技术水平和责任就显得非常重要。

4.政策法规不完善，工作监督和管理较差

(1)锅炉节能工作监督和管理体系不完善

目前我省燃煤工业锅炉的安全、环保和节能监督分离：技术监督部门负责安全监督，每年年检，工作较规范；环保部门负责污染物排放控制的监督与管理，按年抽查，全面规范管理存在一定的难度；国家和地方节能管理体系和能源执法监督体系还很不健全、完善，专门执法机构负责锅炉节能执法还存在困难。

例如：调研发现部分中小锅炉没有进行能效测试，没有锅炉运行的相关数据，不能及时发现存在的影响锅炉运行效率的问题并进行处理。

(2)与市场经济发展相适应的国家和地方节能政策相关标准仍需完善

缺乏完善的、与市场经济发展相适应的国家和地方节能政策相关标准，锅炉设计、制造、运行、检测等准入门槛较低。已有的标准多属指导性的，与设计规范、设备制造和实际应用相联系的标准较少，实施效果差，影响了高效锅炉产品的推广与应用。

例如：调研发现的甲醇锅炉的相关设计、安装及准入标准的空缺；在用锅炉能效测试结果的相关分析标准等。

(3)激励和约束机制不健全

激励和约束机制不健全，创新驱动不足，市场缺乏节能减排的内在动力。

4.2 山西省工业燃煤锅炉燃料替代进展及存在问题

4.2.1 山西省工业燃煤锅炉燃料结构调整要求

《关于印发山西省 2014~2015 年节能减排低碳发展行动方案的通知》提出：实行煤炭消费目标责任管理，严控煤炭消费总量，降低煤炭消费比重。加快推进煤炭清洁高效利用，大力推广使用型煤、清洁优质煤及清洁能源，限制销售灰分高于 16%、硫分高于 1%的散煤。增加天然气供应，优化天然气使用方式，新增天然气优先用于居民

生活或替代燃煤。大力发展非化石能源，不断提高非化石能源占一次能源消费量的比重。

《关于山西省“十三五”综合能源发展规划的通知》，进一步提出要优化能源消费结构，以发展清洁低碳能源为主要方向，同步推进非化石能源加快发展与化石能源高效清洁利用，推动能源利用升级，逐步减低煤炭消费比重，提高天然气、可再生能源等清洁能源消费比重，加快产业结构转型升级，实现能源结构和产业结构优化升级。加快煤层气等清洁能源供应，到 2020 年，煤炭消费占一次能源消费比重下降至 73%。

4.2.2 山西省工业锅炉分燃料替代进展情况

山西省 2014 年~2016 年新设计锅炉不同燃料的容量情况如下图 4-4~4-7 所示。

可以看出，我省新设计锅炉仍以燃煤锅炉为主，燃油燃气锅炉近年逐年降低，生物质、余热锅炉近年变化趋势不大。

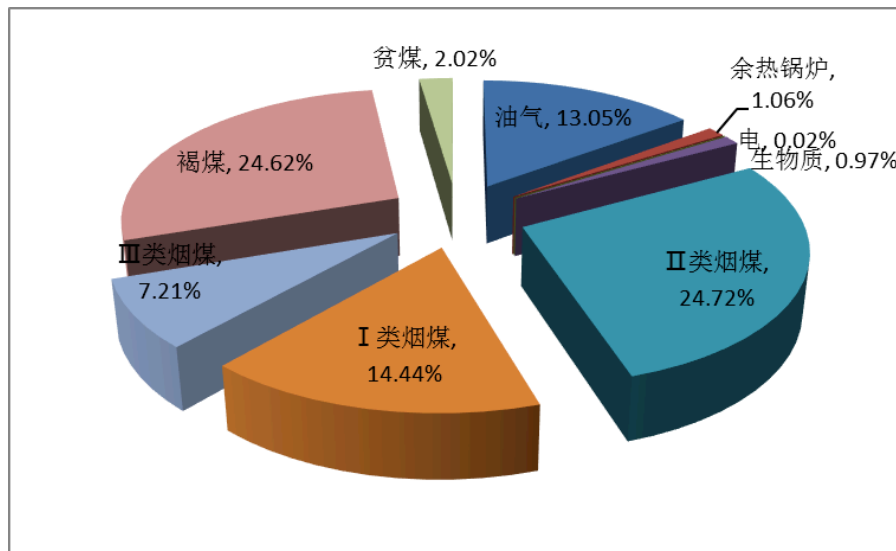


图 4-4 2014 年新设计安装锅炉燃料种类容量比例

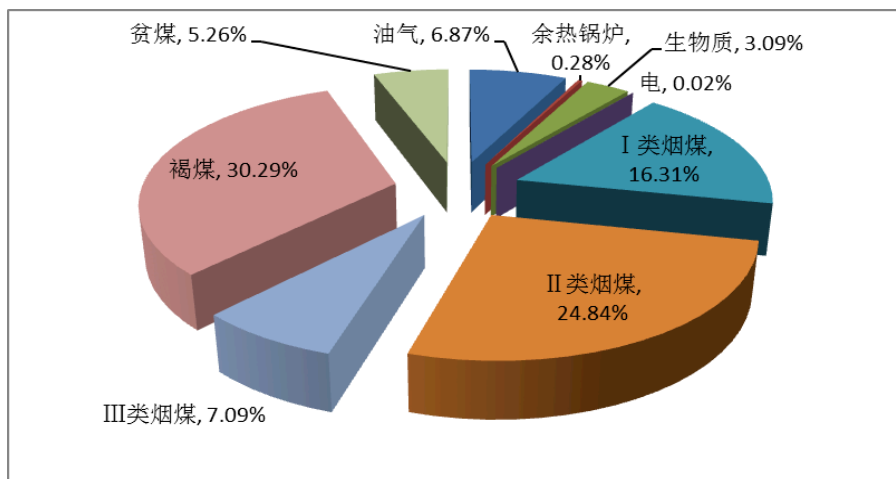


图 4-5 2015 年新设计安装锅炉燃料种类容量比例

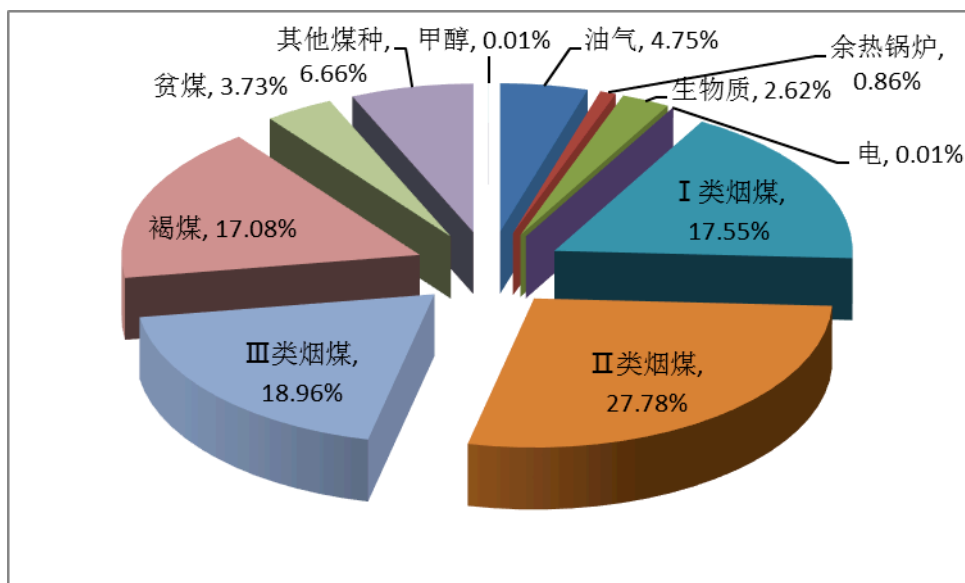


图 4-6 2016 年新设计安装锅炉燃料种类容量比例

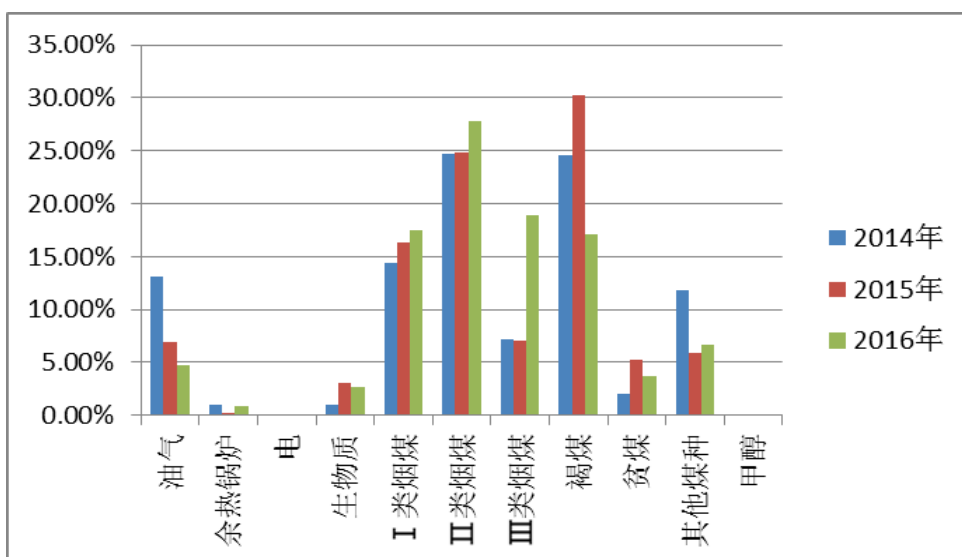


图 4-7 近三年新设计安装锅炉燃料种类容量比例图

山西省 2014 年~2016 年新设计锅炉不同燃料的数量情况如下图 4-8~4-11 所示。

数量方面，新设计锅炉以燃油燃气锅炉主，其次是燃煤锅炉，余热锅炉的设计数量也超过了 5%，电锅炉数量较少；2016 年开始，甲醇锅炉进入锅炉市场。

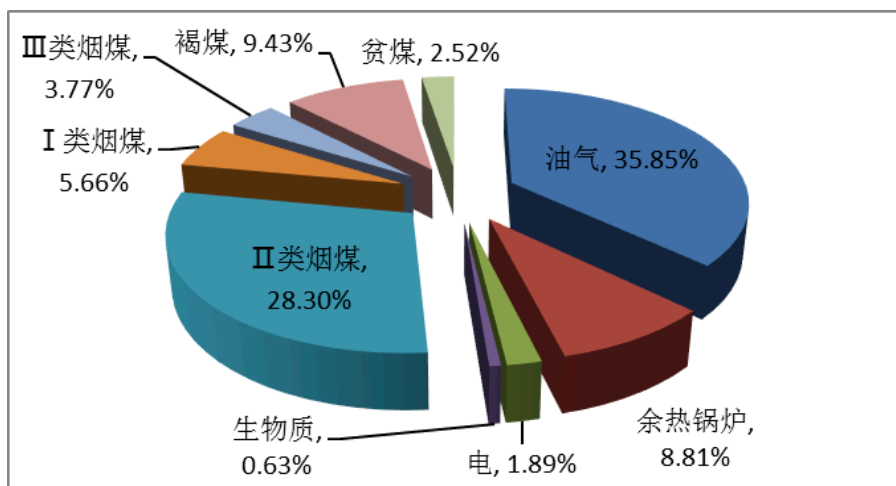


图 4-8 2014 年新设计安装锅炉燃料种类个数比例

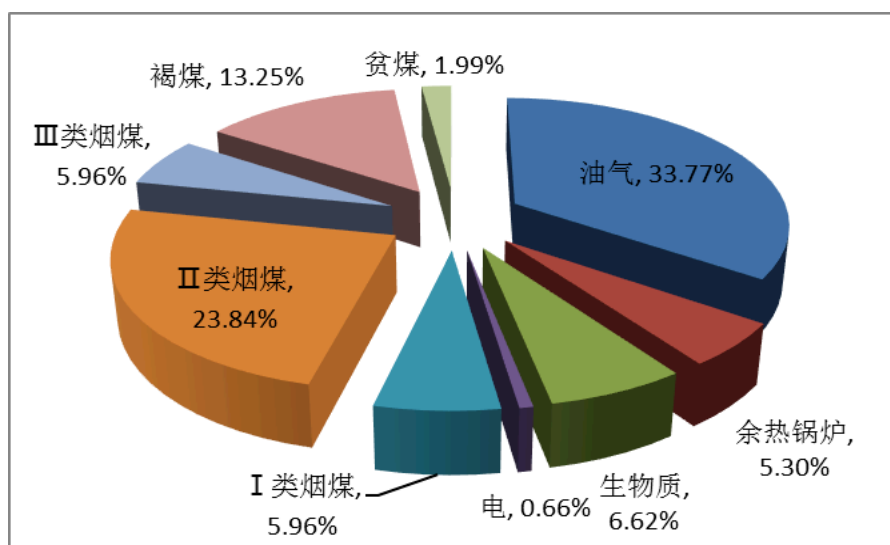


图 4-9 2015 年新设计安装锅炉燃料种类个数比例

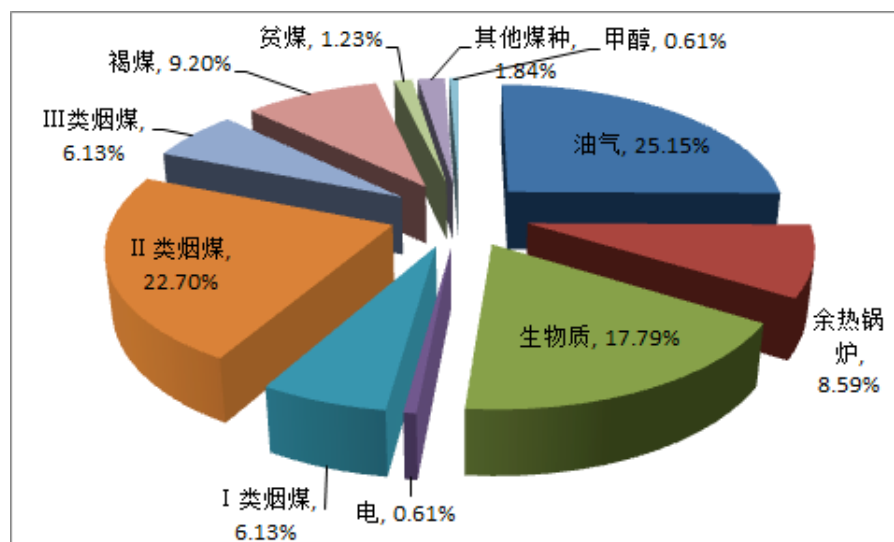


图 4-10 2016 年新设计安装锅炉燃料种类个数比例

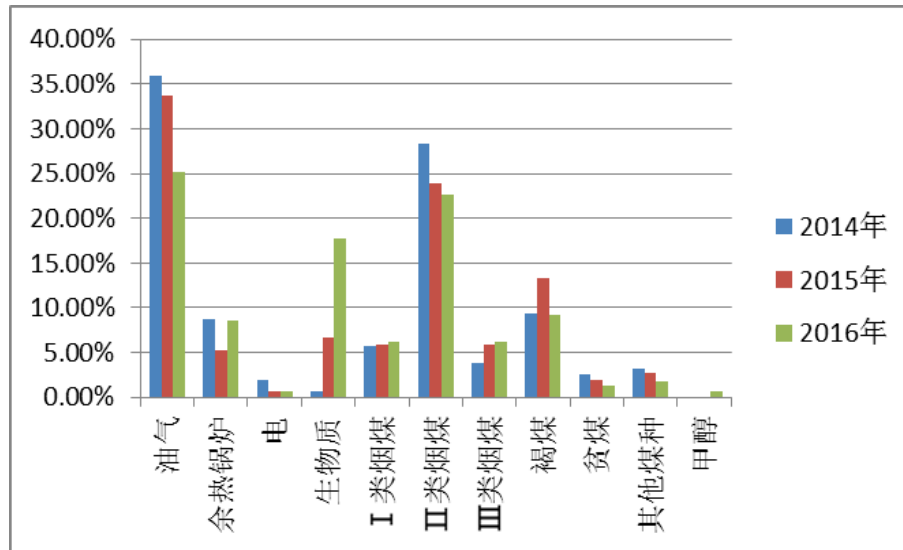


图 4-11 近三年新设计安装锅炉燃料种类个数比例

图 4-12 为按平均容量近三年不同燃料种类平均容量示意图。

可以看出，设计方面，大容量锅炉仍以燃煤锅炉为主，其它品种燃料锅炉平均容量较低，依次分别为：生物质锅炉、油气锅炉、余热锅炉、电锅炉以及甲醇锅炉。

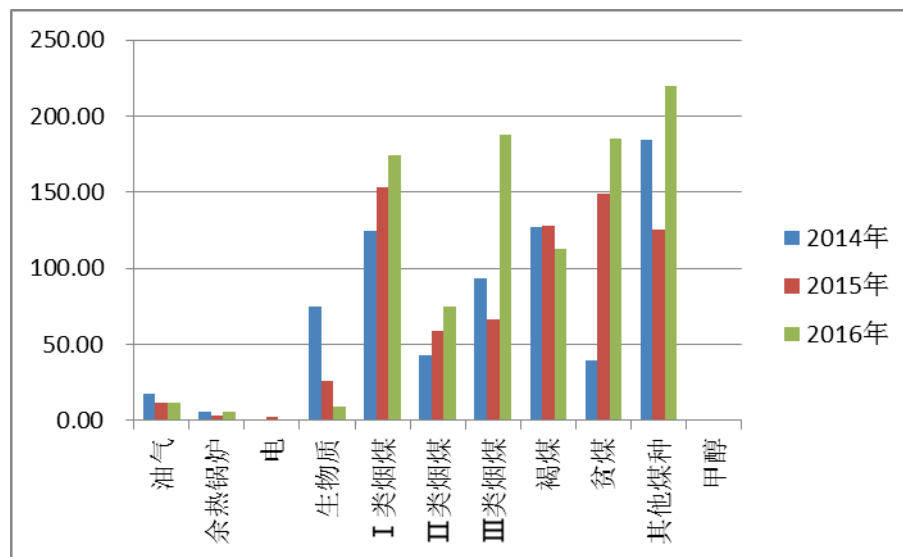


图 4-12 按平均容量近三年不同燃料种类平均容量

4.2.3 山西省工业锅炉分燃料替代存在问题

从近年山西省设计安装锅炉分燃料容量类型来看，煤炭锅炉总容量一直在 80%以上，结合目前我省煤炭锅炉总容量占锅炉总容量 85%的比例分析，离《关于山西省“十三五”综合能源发展规划的通知》提出的到 2020 年，煤炭消费占一次能源消费比重下降至 73%差距较大。

虽然山西省锅炉大部分采用原煤来进行工业供热和蒸汽生产，山西省同样具有更

清洁的资源，如天然气、生物质能、电能、余热锅炉以及太阳能等。

1. 天然气锅炉

我国正在着手改革工业天然气价格机制，国家发展和改革委员会鼓励大型用气企业直接与天然气供应商协商燃气供应价格。针对非居民用户，国家发展和改革委员会宣布对天然气价格双轨制实行并轨，即提高存量气价格并显著降低与国际石油价格直接相连的增量气价。这些举措使得非居民用户的天然气价格降低大约 5%。我国天然气使用目标是将天然气在全国总用能的占比从 2013 年的 6%，提高到 2015 的 8%，到 2020 年进而提高到 10%。

十二五期间山西省提出“气化山西”战略，通过增加天然气等气源供应和修建更多的输送管道，提高天然气用量，目标是提高天然气在全省总用能的占比。

然而从近年设计安装锅炉方面，尽管天然气锅炉的数量较高，但由于其单机容量低，其总容量比重较低，不能支持我省提出的燃料结构调整目标的完成。究其原因，仍在于目前燃料的价格使得其经济性并不能与燃煤锅炉相比。

2. 生物质能

生物质燃料锅炉属于零排放锅炉，生物质能是进行燃料替代的较经济性的燃料。

我国开展了生物质锅炉供热系统示范项目，但目前我国生物质能的利用主要集中在生物质发电的装机容量方面，因此难以使工业用的生物质加热锅炉形成规模。

我省近年生物质锅炉的数量仅次于燃煤和燃油气锅炉，但其近年来单机容量逐年降低。现实中，其多由燃煤锅炉改为生物质燃料锅炉，不是只能燃用生物质燃料的锅炉，许多单位在办理安装手续时，是按生物质燃料锅炉办理的，但实际使用时，从生物质燃料的可获得性以及经济性考虑，企业往往仍使用煤作为燃料，则造成了运行效率低下、污染严重的后果。

3. 电锅炉

电锅炉主要是小容量锅炉。与其匹配的小容量锅炉主要有链条炉排燃煤锅炉、生物质锅炉、燃油锅炉、燃气锅炉等，五种锅炉中，电锅炉投资成本相对较低，但由于电价过高，其运营成本远高于设备投资成本，使经济性较差。近年山西省发布了多个关于支持燃煤锅炉改电锅炉的文件，但电锅炉数量及比例仍然较低。

虽然电锅炉对完全替代燃煤锅炉不具备经济性，但它或可成为储能的可考虑选项，即在用电低谷时段使用电锅炉提供或储存热力。低谷时段往往是电价最低且风能电力过剩的时段。此时使用电锅炉一是其经济性有所提高，二是可消纳过剩的风能发电。

然而，电价需要降得足够低，或耦合其它的燃料锅炉或设备，才能使电锅炉成为可与其它燃料竞争的选项。

4.3 山西省集中供热现状及需求

4.3.1 山西省集中供热要求

《关于印发山西省大气污染防治 2017 年行动计划的通知》提出，要进一步提高集中供热、供气率，到 2017 年底全省城市（含县城）集中供热普及率达到 90%以上。20 万人口以上县城基本实现集中供热或清洁能源供热全覆盖。新增居民建筑采暖要以电力、天然气、地热能、空气能等采暖方式为主，不得配套建设燃煤锅炉。

4.3.2 山西省集中供热现状

表 4-1 为山西省近年热力产出及分品种能源投入表。可以看出，2013 年以前，我省的供热主要以原煤、洗煤以及煤矸石为主，辅以焦炉煤气以及高炉煤气的荒煤气利用。从 2013 年开始，山西省逐步加大了天然气作为燃料的供热的力度，尤其在 2015 年其消费量明显提升，转炉煤气在 2015 年也进入了供热领域。

表 4-1 山西省热力产出及分品种能源投入表

	煤	原煤	洗煤	煤矸石	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气	焦炉煤气	高炉煤气	转炉煤气	热力产出
	万 t	万 t	万 t	万 t	万 t	万 t	万 t	万 t	亿 m ³	亿 m ³	亿 m ³	亿 m ³	万百万 kJ
2010	816.97	630.06	111.86	75.05	5.8	0.46	3.09	0.42		4.2	29.05		12089.93
2011	1014.91	759.49	179.23	76.19	0.4	1.39	0.98	0.21		1.16	30.17		14472.47
2012	1104.88	936.33	93.3	75.25	3.08	0.99	0.45	1.01		1.75	26.27		16014.55
2013	1171.53	1011.68	90.13	69.72	1.05	1.01	1.9	0.47	0.11	1.23	26.69		17916.84
2014	1285.65	1105.46	64.4	115.79	1.16	1.41	3.14	0.06	0.15	1.35	20.07		23610.24
2015	1486.84	1307	74.67	105.17	6.54	0.37	8.82	0.29	1.13	1.21	14.12	0.41	27044

下图 4-13 为近年山西省热力产出图，可以看出，随着山西省相关文件的要求，我省集中供热需求逐年递增，目前供热面积已接近 2011 年的一倍以上。

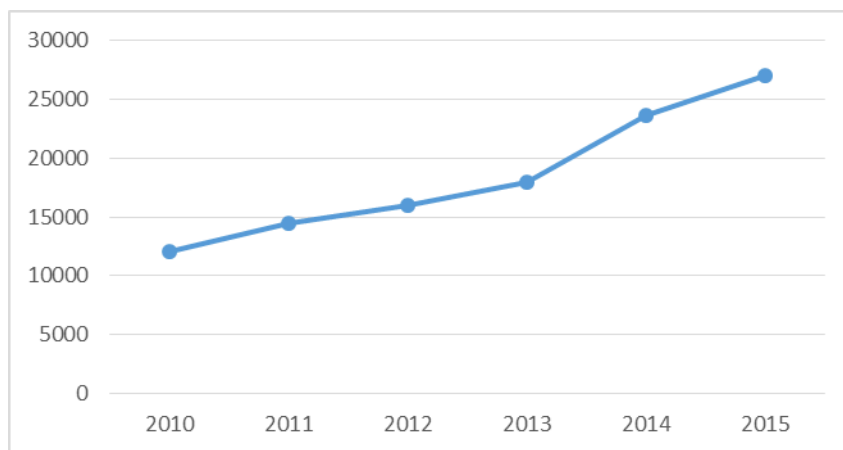


图 4-13 山西省近年热力（万百万 kJ）产出图

4.3.3 山西省集中供热问题

在满足企业及用户供热供气需求的同时进行小型燃煤锅炉替换，有三个手段：

- 1.采用粗放小型燃煤锅炉替代，也即简单的“煤改气”“煤改电”或；
- 2.在城市供热领域，通过集中供热取缔各单位自建锅炉，可以减少大气污染、提高能源使用效率。
- 3.利用淘汰小锅炉的契机，采取创新的手段，整合个体需求，建立局部化集中供热供气服务，使用先进微燃气轮机进行热电联产等资源高效利用的创新方式，替代企业独立的自建锅炉。小容量锅炉运行效率低下；集中设置的锅炉房容量可以较大，较大锅炉房管理相对专业，运行效率和污染物排放可以达标。

目前多数的燃煤锅炉替代内容仍属于第一种粗放型式。淘汰小型燃煤锅炉的工作为城市综合规划、优化配备资源、有效达到能源环境双控目标提供了契机，但从调研情况看，目前结合优化配备资源的城市综合规划仍有欠缺，仅有部分城市如太原、大同、晋中等做了淘汰小型燃煤锅炉的城市供热规划。

工业领域，由于企业对供热和蒸汽负荷需求的差异化，实现大规模、集中式统一服务较为困难。分布式能源应运而生，其以局部集中的能源服务中心为模式，取代企业独立分散的小锅炉，满足数个相邻企业所需的供热和蒸汽负荷要求。这种局部集中的能源中心既能满足用户各异的需求，又能取得独立分散锅炉所达不到的较高的资源利用效率。这种能源中心因具有一定的规模，可以采用更节能的技术，分散或小型设备使用这些技术可能不具有经济性。采用能源中心取代分散的锅炉也可以显著降低空气污染监测和控制的成本。同时，热电联产为基础的分布式能源中心可成为调峰系统，在满足企业用热、用汽需求的同时，灵活运行，提供高附加值的服务。

5 山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代实施内容与障碍

燃煤工业锅炉的能效提升工程及燃料替代是一个系统的、复杂的、长期的、包括多方面技术应用的系统工程，应以燃煤锅炉淘汰为抓手，燃料清洁替代、中小供热锅炉替换以及节能改造为手段，应突出重点，分步实施。

5.1 山西省工业燃煤锅炉能效提升内容

5.1.1 山西省工业燃煤锅炉淘汰

按照锅炉容量划分的淘汰范围如下表 5-1 所示。

表 5-1 山西省工业燃煤锅炉淘汰内容

	内容	更新手段	淘汰理由	实施时间进度
“4+2” 城市	划定“禁煤区”，区内除煤电、集中供热和原料用煤企业（包括洁净型煤加工企业用煤）外，燃料煤炭“清零”	集中供热或热电联供 清洁燃料替代 能源分布中心	《关于印发山西省大气污染防治 2017 年行动计划的的通知》	2017 年 10 月底煤炭任务清零
11 个设区市	基本淘汰 20 蒸吨/小时以下燃煤锅炉	集中供热或热电联供 能源分布中心		
所有县城建成区	10 蒸吨/小时以下燃煤锅炉全面“清零”	集中供热或热电联供 清洁燃料替代 能源分布中心		
乡镇及农村地区	全部淘汰以下炉型： 1t/h 以上手烧炉 2t/h 手摇炉排蒸汽锅炉（DZH2-1.0-A II）	清洁燃料替代	不符合相应的现行标准 GB24500-2009 工业锅炉能效限定值及能效等级 NB/T47034-2013 工业锅炉技术条件 GB13271-2014 锅炉大气污染物排放标准	2017 年年底
	全部淘汰以下炉型： LHS 型立式冲天管结构燃油、燃天然气锅炉 立式水管燃油、气蒸气锅炉 LHS-0.7-Y(Q)LHS2-1.0-Y(Q) DZL2-1.0-A II.P 未改进的水火管快装锅炉	高效锅炉 清洁燃料替代 能源分布中心	不符合相应的现行标准 GB24500-2009 工业锅炉能效限定值及能效等级 高耗能落后机电产品淘汰目录	2017 年年底

	内容	更新手段	淘汰理由	实施时间进度
	立式固定炉排有机热载体锅炉 YGL-160M A II YGL-200M A II 往复炉排热水锅炉 DZW1.4-0.7/95/70- A II DZW2.8-0.7/95/70- A II 卧式内燃链条炉排锅炉：WNL1-13-A3 WNL2-13-A3 WNL4-13-A3 沸腾锅炉 SHF6-SHF35			
	淘汰的其它锅炉炉型 (详见附件1)	清洁燃料替代	高耗能落后机电产品淘汰目录	
乡镇及农村地区	根据天然气管网进度逐步实施逐步取缔10t/h(7.0MW)以下燃煤蒸汽及热水锅炉	清洁燃料替代 能源分布中心	a. 《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(发改环资[2014]2451号)》文件有明确规定; b. 通过在用锅炉能效测试, 这类锅炉运行效率普遍在45%至60%之间, 大大低于TSG G0002-2013《锅炉节能技术监督管理规程》规定的限定值; c. 影响燃煤锅炉运行效率的因素较多, 燃料质量、燃烧设备、运行工况、司炉工的运行水平、锅炉的管理、辅机的运行与调节等, 都可能影响到锅炉运行效率, 而这类锅炉的使用单位也普遍不能使各个影响因素达到较合理的运行工况;	根据天然气管网以及集中供热进度逐步实施
	根据天然气管网进度逐步实施逐步取缔燃煤常		安装时不需办理手续, 所以个人、小单位多数	

	内容	更新手段	淘汰理由	实施时间进度
	压热水锅炉		使用该类产品； 锅炉容量较小，一般不大于 7.0MW(10t/h)； 运行效率低下，污染物排放超标；	
老旧能耗高锅炉	锅炉更新改造替换	优先采用高效锅炉	工业锅炉使用寿命一般在 10~15 年	结合锅炉能效测试进行，能效测试不符合的淘汰或改造
集中供热管网覆盖地区	已建成的不能达标排放的燃煤供热锅炉拆除	集中供热	《大气污染行动计划》	结合锅炉能效测试进行

5.1.2 工业燃煤锅炉锅炉节能改造

多个文件要求在关闭小型锅炉同时，企业对未在淘汰之列的既有锅炉进行节能改造，提高其能效和环保成效。锅炉节能改造的重点在于 10 蒸吨/小时以上，尤其是 20 蒸吨/小时以上燃煤锅炉。

表 5-2 按照锅炉热效率划分的改造内容

锅炉容量	锅炉热效率	改造后热效率	实施进度	备注
$10 \leq D \leq 15$	$\leq 70\%$	$\geq 80\%$	结合锅炉能效测试 进行	参照工业锅炉节能 监测热效率考核指 标；改造内容可参考 第七章节
$15 \leq D \leq 25$	$\leq 73\%$	$\geq 80\%$		
$25 \leq D < 50$	$\leq 76\%$	$\geq 82\%$		
$D \geq 50$	$\leq 78\%$	$\geq 85\%$		

5.2 山西省工业燃煤锅炉燃料替代的实施内容

5.2.1 清洁燃料替代

燃料替代主要聚焦于小型燃煤锅炉，也即容量小于 8 蒸吨/小时的燃煤锅炉。应对企业或地区目前及将来发展用热负荷进行详细的热负荷计算，根据当地煤炭、天然气、可再生能源及供热规划情况，遵守当地节能减排规划，考虑节能技术和清洁能源替代锅炉新产品，优化供热方案；并在替代改造同时，将锅炉房内存在的一些其它节能减排措施同步实施，避免多次改造。

清洁能源替代改造优化方案的思路：小联片集中供热、分布式供能热电冷联产、新能源-太阳能的应用-燃气锅炉与电锅炉双热源优化、采用多合模块锅炉自动群控方

案、清洁能源锅炉+太阳能光热优化、热泵技术+太阳能光热优化、余热利用以及发展区域煤炭配送中心等。详见第七章。

5.2.2 中小供热锅炉替代

坚持集中与分散供能相结合，因地制宜建设城乡供能设施，推进城乡用能方式转变，提高城乡用能水平和效率；要大力发展分布式能源，科学发展热电联产，及热电冷联供。

1. 积极发展区域热电联产和区域集中供热

热电联产是一种高效的能源生产方式。以供暖为主的城市集中供热、工业企业生产用热、工业园区（经济开发区）的区域供热、大型企业集团生产生活用热时发展区域热电联产的重点。政府主管部门做好热力规划和电力发展规划，积极稳妥推进资源综合利用热电联产机组建设，实现重点城市、工业园区（经济开发区）、大型企业集团集中供热、用热，替代淘汰现有工业锅炉。

在企业集中的区域，如工业园区（经济开发区）、大型企业集团，推广区域集中供热，即取缔每个企业的单个供热工业锅炉，在区域设置一个集中热站（较大容量和先进锅炉系统工业锅炉），实现区域内企业的集中供热、用热（生产生活）。这方面工作需要当地政府协调，政府出资建设区域内供热管网，并协调供热的合理价格。

“十三五”期间，通过积极发展热电联产机组建设和区域集中，争取在有条件的县市城区、工业园区（经济开发区）、大型企业集团建设热电联产或集中热源（一个园区、区域只设单一热站）实现集中供热，替代淘汰取缔小于或等于 10D 高耗能、高污染的小工业锅炉，实现减少工业锅炉用煤。

2. 分布式能源

(1) 天然气分布式能源

天然气是一种高热值的清洁能源，提高其能源利用效率，是完成“十二五”主要污染物排放目标和节能目标，实现可持续发展的重要举措。分布式能源系统是天然气利用的首选方式。

(2) 煤基分布式能源

加快试点示范，努力探索适合煤基分布式能源的实施路径发展煤基分布式能源必须走技术攻关、集成创新、示范项目建设、规模化发展的路径，并配套开展组织变革，以适应“点多面广、五脏俱全”的特点；通过产业战略联盟和企业战略合作等多种形式，采用市场化手段整合优势资源，形成一整套适合批量化发展的市场化、集约化、

智能化管理模式和体系。

5.3 山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代实施的障碍及挑战

5.3.1 山西省工业燃煤锅炉能效提升障碍

1. 缺少适当的标准规范

(1) 市场工业锅炉产品能效指标中缺少生物质锅炉、小型电锅炉、煤粉锅炉、甲醇锅炉热效率指标，缺少甲醇锅炉的相关标准，使得低性能的锅炉在替换燃煤锅炉时缺少反映工业锅炉系统运行水平的能效指标。

(2) 缺乏锅炉运行操作、设备调整、锅炉水处理等规范，造成运行效率低下。

2. 管理和运行能力弱

(1) 采用低质燃煤并缺乏对购买的煤炭进行成分测试，导致能源效率偏低。

(2) 锅炉操作人员教育和培训水平较低，技术能力薄弱。

(3) 缺少工业锅炉经济运行诊断、评价技术机构和技术人员，及相应评价工具包、最佳实践案例、技术应用指南等技术支撑资源。

(4) 锅炉监测及运行控制自动化程度欠缺，导致无法实现优化运行。

(5) 锅炉房全系统及蒸汽管网系统节能潜力评价体系没有建立。

3. 监管薄弱

(1) 缺乏对锅炉能耗和排放情况的持续性监测和上报。

(2) 对实施已制定的锅炉能效目标和排放标准的监管依然薄弱。

(3) 能耗监测周期较长。

5.3.2 山西省工业燃煤锅炉燃料替代障碍

1. 缺乏有效的规划

各市区缺少有效的战略、全面的规划、及强大的技术支持，为关闭燃煤锅炉后的行动留下空白，会遗失以锅炉为抓手，推广全面解决方案的良机。

2. 市场缺乏竞争

(1) 政府对使用天然气的工业项目的前置审批可能增加燃气投资项目的不确定性。

(2) 不同燃料的锅炉的固定投资成本差别不大，但是运行成本差异较大，主要是因为燃料价格造成运营成本远高于设备成本。

(3) 优先保民用天然气使得工业用天然气供给面临挑战。

(4) 由于需求高于供给，工业用天然气价格偏高。

(5) 缺乏有效金融杠杆和风险规避机制使得工业用户面对燃料价格变动时没有有效

应对手段。

(6)电锅炉峰谷电价高影响运行。

(7)生物质锅炉监管不力，从成本考虑有时会燃烧煤炭。

5.3.3 推广分布式能源和热电联产

替代中小锅炉、治理散烧煤最大的难点在于被替代的市场都是价格极其敏感的中小企业和消费社会群体，所以发展分布式能源必须通过技术创新，降低成本、减少排放、提高效率来突显竞争力。

1.法规和行政管理障碍

(1)无法连接到电网和热力输送系统，使得分布式热电联产系统以“孤岛方式运行”，使分布式热电联产项目的投资经济性受到影响。

(2)分布式或热电联产系统审批程序拉长投资者投资周期。

(3)对分布式能源和热电联产系统尚缺少全面的规划和协调，导致布局分散，无法实现规模效应。

2.市场和融资障碍

(1)由于融资途径有限，缺乏第三方（如能源服务公司）的积极参与，导致分布式能源及热电联产市场扩展缓慢。

(2)分布式能源及热电联产系统的投资成本不能完全由电力和热力价格反应，影响对分布式能源及热电联产的投资回报。

(3)商业和民用建筑中通常按照面积平摊供热费用，而没有安装量表按实际用热收费，抑制私人资金进入供热服务领域。

(4)投资成本较高，缺乏融资渠道，使得热电联产和分布式能源推广缓慢。

(5)热电联产和分布式能源的投资尚缺少有效的税收财政激励和其他的激励政策。

3.技术障碍

(1)缺乏实际经验和有效支撑工具限制了热电联产和分布式能源优化设计能力。

(2)热电联产和分布式能源系统的设计未采用柔性设计，无法提供高附加值服务（比如变为调峰机组），失去获得最大收益的机会。

6 山西省工业燃煤锅炉能效提升路线及措施

6.1 工业燃煤锅炉能效提升路线

工业燃煤锅炉能效提升路线可以集中于锅炉设计制造形成的本质效率和运行管理方面的效率。因此对锅炉能效提升，可按照锅炉设计制造方面的能效提升路线和在用锅炉能效提升路线进行。

6.1.1 锅炉设计制造方面的能效提升路线

锅炉设计制造方面的路径能效提升措施及影响因素如下图 6-1 所示。

表 6-1 锅炉设计不同各环节的设计原则。

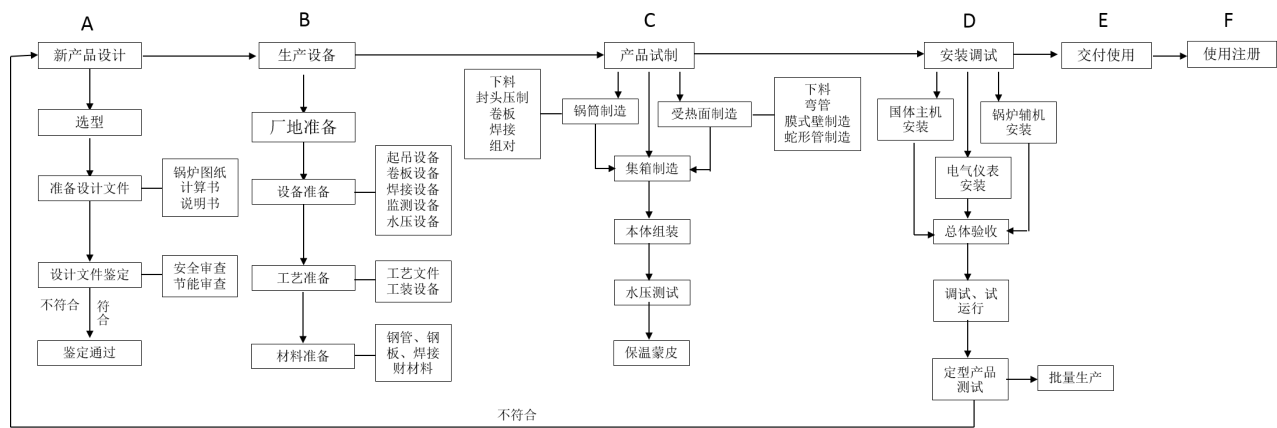


图 6-1 锅炉设计制造安装阶段能效提升措施及影响因素

表 6-1 各环节的设计原则

A	B	C	D
关注点			
1、选择成熟、先进的炉型，不宜选择落后淘汰的炉型。	1、根据企业世界情况，选择合理的焊接工艺。	1、选择合适的坡口型式，减少金属填充量。	1、选择与锅炉相匹配的风机、电机。
2、根据企业的实际情况，合理选择锅炉材料，尽可能降低锅炉重量。	2、对材料进行入厂验收。	2、选择合适的焊接参数，降低焊接能耗。	2、尽可能使用变频技术，降低电机的能耗。
3、合理布置锅炉受热面，降低排烟锅炉。	3、根据《锅规》及相关标准要求，入厂验收时，对于符合条件的材料免做理化试验及无损测试。	3、精心操作，保证焊接质量，降低返修率。	3、烟道、风道设计合理，减少阻力。
4、选择合适的保温材料，适当增加保温厚度，增加保温效果。	4、采用的焊接设备要求性能稳定，耗电量低。	4、按照图纸、工艺文件施工，保证锅炉保温效果。	4、使用 DCS 等自动控制装置。

A	B	C	D
5、根据燃料不同，选择合适的燃烧方式，提高燃烧效率。			5、节能监测仪表布置齐全、合理。
6、合理设计锅炉前后拱。			6、水质达标。
参考标准			
1、TSG G001-2012《锅炉安全技术监察规程》	1、TSG G001-2012《锅炉安全技术监察规程》	1、GB/T16508-2013《锅壳锅炉》	1、GB50273《锅炉安装施工及验收规范》
2、TSG G001-2010《锅炉节能技术监督管理规程》	2、JB/T3375-2002《锅炉用材料入厂验收规范》	2、GB16507-2013《水管锅炉》	2、TSG G0001《锅炉节能技术监督管理规程》
3、《工业锅炉设计计算方法 热力计算》	3、NB/T47015-2011《压力容器焊接规程》		3、GB/T1576《工业锅炉水质》
4、《工业锅炉设计计算方法 烟风阻力计算》			
5、《工业锅炉设计计算方法 水动力计算》			
6、GB16508-2013《锅壳锅炉》			
7、GB16507-2013《水管锅炉》			
8、GB/T1740-2008《有机热载体锅炉》			
9、NB/T47034-2013《工业锅炉技术条件》			

6.1.2 在用锅炉能效提升路线

在用锅炉能效提升路线如下图 6-2 所示。

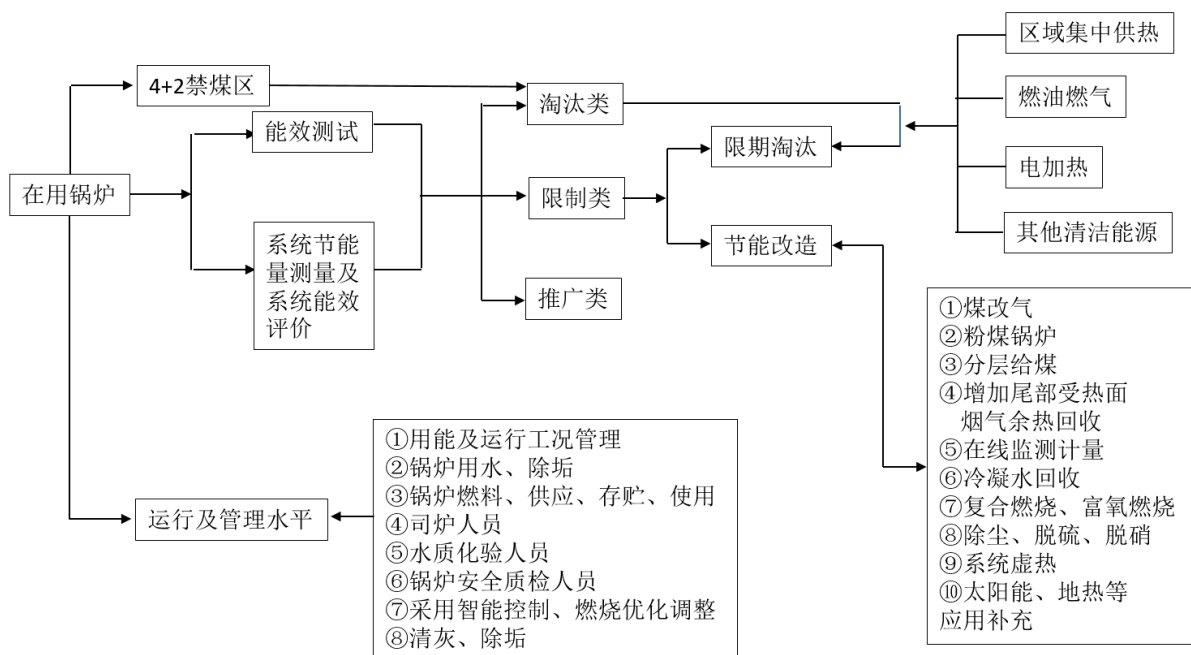


图 6-2 在用锅炉能效提升路线

6.2 工业燃煤锅炉能效提升主要措施

6.2.1 锅炉设计及制造

1. 锅炉燃烧器

目前，国外公司开发并推广应用的燃烧器包括预混燃烧、低氮燃烧等技术在内的常规燃料和非常规燃料一体式、分体式燃烧器系列产品，单机最大功率分体式达到93MW。通过采用烟气外部再循环技术、烟气内部再循环技术、燃料分级或者空气分级燃烧技术、烟气脱硝技术、预混燃烧+无焰燃烧等技术，使燃烧器氮氧化物（NO_x）和锅炉氮氧化物（NO_x）排放最低达到 5-10mg/m³ 左右。我国燃烧器技术与欧洲等工业发达地区相比历史较短，仅有十五、六年时间，尽管从仿制开始但起点较高，“十二五”期间更是进入了发展上升期，产品品种增加很快，产品质量也有很大提高，生产应用稳定增长特别是非常规燃料燃烧器。国内的燃烧器与国外品牌在低氮燃烧与低氮排放、油气燃烧器研发能力和手段等方面还有一定的差距。对于燃油气锅炉，目前进口燃烧机价格占到了锅炉本体造价的 30~50%。

(1)燃烧设备炉排优化

合理配风包括沿炉排长度的分段送风和沿炉排宽度的均匀送风两个方面，目前的新型炉排已采用分段送风、等压风仓结构等先进技术，改善了沿炉排各方向燃烧区域的空气需要与供给之匹配，加强了炉内气体的混合，避免过量空气系数过大。炉排煤斗分层给煤装置技术改造，分层给煤机装置能使煤在进入炉膛前形成下层为大块，中

层为小块，最上层为煤粉的分布格局，煤粒之间的缝隙得以保留，减少了通风阻力，使通风均匀、燃烧充分并利于燃烬。从而使炉渣含碳量大大降低，提高了锅炉的热效率，可节煤 5%~10%，具有投资少、易实施等特点。

(2)燃烧系统改造

对于链条炉排炉，燃烧系统技术改造是从炉前适当位置喷入适量煤粉到炉膛的适当位置，使之在炉排层燃基础上，增加适量的悬浮燃烧，可以获得 10%左右的节能率。但是，喷入的煤粉量喷射速度与位置要控制适当，否则将增大排烟温度，影响节能效果。对于燃油、燃气和煤粉锅炉，是用新型节能燃烧器取代陈旧、落后的燃烧器，改造效果与原设备状况相关，原装越差，效果越好，一般可达 5%~10%。

(3)炉拱改造

炉拱对于锅炉的燃烧效率和出力有决定性的影响。按照实际使用的煤种，适当改变炉拱的形状与位置，可以大大改善燃烧状况，降低固体不完全燃烧损失，提高燃烧效率减少燃煤消耗，现在已有适用多种煤种的节能炉拱配置技术。这项改造可获得 10%左右的节能效果，技改投资短期内即可收回。

双人字形宽煤种节能炉拱设计理论：其设计遵循“再辐射”传热原理即炉拱先吸收高温火焰的辐射热量，使本身具有很高的温度，然后再以漫辐射的形式将热量向四面八方辐射出去。所以，强化炉拱传热的根本途径是提高拱区温度。双人字形节能炉拱由人字形前拱和人字形后拱组成。

(4)煤炭解耦燃烧

燃料燃烧过程中存在着污染物排放与燃烧效率之间的耦合关系，富氧和高温有利于提高燃烧效率，但同时会增大 NO_x 等污染物的生成；反之，贫氧低温燃烧有利于抑制 NO_x 的生成，但燃料不易燃尽，使燃烧效率下降。不同燃烧方式的耦合程度不同，通常燃煤大于燃气，煤粉炉大于层燃炉。中国科学院过程工程研究所提出了解耦燃烧技术，并开发出系列的解耦燃烧炉。对于层燃解耦燃烧技术，主要通过优化煤炭的热解和燃烧过程，用煤炭自身产生的热解煤气和半焦抑制燃烧过程中 NO 的生成，在不降低锅炉效率的前提下降低 NO 的排放。层燃解耦燃烧技术具有传统层燃炉的优点，又弥补了其一些主要的不足。

2.锅炉辅机制造

锅炉辅机主要包括：给煤设备、除渣设备、通风设备、除尘设备、给水设备及其它附属配套设备，这些设备的主要能耗是电力。如果把这部分能耗折算到锅炉系统效

率里面，大约占 10%左右，有的甚至更大。高效节能锅炉辅机，对提高锅炉系统能效具有重大意义。根据功率比较，鼓引风机电机和水泵电机功率相对较大，如果把驱动电机改为变频驱动，该电机可以节约 40%的电能。

(1)给煤装置改造

层燃锅炉都是燃用原煤，其中占多数的是链条炉排锅炉，原有的斗式给煤装置，使得块、末煤混合堆实在炉排上，阻碍锅炉进风，影响燃烧。将斗式给煤改造成分层给煤，即使用重力筛选将原煤中块、末自下而上松散地分布在炉排上，有利于进风，改善了燃烧状况，提高煤的燃烧率，减少灰渣含碳量，可获得 5%~20%的节煤率，节能效果视改前炉况而异，炉况越差，效果越好。投资很少，回收很快。

(2)分层给煤及燃烧

分层燃烧实质上就是通过一个固定形态的“筛子”将不同粒径的原煤颗粒分开使燃烧得以良好组织的过程。颗粒大的分布在炉排的底部作为基层，小颗粒则分布在基层的上部。通过分层布料不仅使风阻显著减小、改善气流分布、提高面积热强度和炉膛温度，同时可以使漏煤带出(热)损失明显下降。

(3)利用蓄热器，稳定锅炉运行参数

蓄热器是一种能够储存热能的压力容器，在蒸汽供热系统中一般采用变压式蓄热器。变压式蓄热器又分为储存直接储存蒸汽的蓄汽包（或称干汽包）和储存高温热水的蓄热器。蓄热器的原理是以热水为介质来储存热能的压力容器。在用气负荷有波动的情况下，利用蓄热器充热和放热作用，调节负荷需要，保持锅炉稳定运行，达到节约燃料，提高锅炉效率的目的。从热力学中可知，在不同压力下，饱和水的焓值是不同的。高压饱和水降压时，焓值也要下降，多余的热量就会把部分饱和水气化，放出蒸汽以供使用，在供气系统中，蓄热器进汽侧与锅炉相接，出汽侧与用户相接。当用汽量低于锅炉的额定蒸发量时，将多余的蒸汽充入蓄热器内的水中，并压力上升。当用汽量大于锅炉的额定蒸发量时，蓄热器的压力自动下降，释放出储存的热能，以补充用汽不足。将多余的蒸汽充入蓄热器内的水中，并使压力上升。

(4)锅炉辅机及控制系统改造

①鼓引风机连锁控制并采用导向器调节。中小型工业锅炉闸板或转动挡板来调节风量的，风量的减少靠增加截流阻力来实现。风机压头的一部分用来克服截流阻力，致使风机在较低效率下工作，这必然要多消耗电能。而导向器可以使气流在进入风机工作轮前先行转向，既能达到调节风量的作用，又能节约电能。

②更换与风量匹配的电机：当风机容量选大时，更换全套风机投资较大，可以考虑更换电机。

③采用变频调速技术：锅炉用的鼓引风机和水泵，一般为电动机恒速运转，输出一定的风量和水量。如要改变风量，一般是通过风机入口处的挡板或导向器的开度来实现；水泵的出水量则是通过调节泵出口管道上的调节阀开度来实现。风机的风量和水泵的出水量与其转速成正比，功耗与转速的立方成正比。所以，采用变频调速技术，改变电机的转速来调节风量和出水量的大小，可以达到节电的目的。

④变频调速与恒速追踪负载综合节电技术：通过微电脑和内置自动追踪控制系统，将数字技术和通信技术相结合，使普通变频调节技术又上了一个新台阶。

(5)输配系统节能改造

①改善管道保温条件，提高防雨、水能力，采用直埋技术降低散热损失和减少投资。

②建立水平衡系统，加装管网调节装置，提高水平衡调节功能，减少不必要的阻力损失。

③加强管路的防腐和维修，更换质量较差的阀门，以减少跑、冒、滴、漏造成的损失。

3.提高锅炉的自动化水平

目前，多数控制设备还停留在基于锅炉安全的运行控制水平，应兼顾锅炉节能、环保性能，设备提高锅炉自动化运行水平。锅炉设计制造安装时就采用燃烧控制技术特别是燃煤锅炉的燃烧控制技术；用于锅炉燃烧控制的在线监测传感器技术；锅炉燃烧控制的传感器、执行器和控制设备的可靠性；远程运行与控制、监测系统等。

锅炉安装验收时，严格按照有关标准规范要求检查锅炉的计量检测仪表的装配是否符合要求，保证锅炉控制监测计量仪表安装符合要求并能够正常运行。锅炉计量、检测、控制仪表的配置应当满足要求。锅炉本体以及尾部相连接烟风道应当预留能效测试、控制计量孔(点)，用于检测、记录锅炉运行状况。

积极探索“互联网+锅炉安全/节能/环保”的模式应用；以油气炉等可实现全自动控制的锅炉为载体，与互联网、物联网等技术融合嵌入形成高效智能运行示范系统。《国家重点节能技术推广目录》（第三批）中推荐了《新型高效煤粉锅炉系统技术》，《国家重点节能技术推广目录》（第六批）中推荐《锅炉燃烧温度测控及性能优化系统技术》，引导提高锅炉自动控制水平。锅炉在线监测装置及经济运行系统以先进的监测

技术和设备准确采集相关数据，以煤-风-温度的合理匹配为基础，优化锅炉燃烧，提高锅炉效率，降低锅炉煤耗。

当用户热负荷波动较大且频繁时，应当采取均衡符合措施，实现有效调节。多台锅炉的系统宜配置集中控制装置，保证锅炉运行平衡，处于经济高效运行的要求。工业锅炉控制系统节能改造有两大类，一是按照锅炉的负荷要求，实时调节给煤量、给水量、鼓风量和引风量，使锅炉经常处在良好的运行状态。将原来的手工控制或半自动控制改造成全自动控制。这类改造，对于负荷变化幅度较大，而且变化频繁的锅炉来说，其节能效果很好，一般可达 10%左右。二是对供暖锅炉，在保持足够室温的前提下，根据户外温度的变化，实时调节锅炉的输出热量，达到舒适、节能、环保的目的。实现这类控制，可使锅炉节约 20%左右的燃煤。

4.锅炉生产的智能制造

随着工业锅炉技术的发展和研发技术、手段的提高，工业锅炉的数字化设计进一步发展为基于标准件库和参数化设计的以 CAD 二次开发、锅炉的三维设计、功能更加强大的通用计算系统、基于设计全过程控制的锅炉 CAD 应用系统等，并开始将基于数值模拟和仿真技术的建模、分析、性能预测和优化设计等用于锅炉设计。针对工业锅炉技术的进步，提高以 CAD 二次开发和参数化设计的水平；提高计算机软件对于工业锅炉新技术的适应性；计算机软件增加欧美锅炉标准的算法和功能，提高国际市场竞争力；提高三维设计的使用率；提高有限元分析的普及率，提高优化设计手段；模拟仿真方面：数学模型需要进一步完善，边界条件更加贴近实际情况，研究提出更加精准的计算方法；完善炉内燃烧与锅内的水循环耦合分析、对流受热面烟气侧和工质侧的耦合分析，使分析结果更加符合实际情况；建立实验条件对工业锅炉数值模拟的研究成果进行验证和完善，使模拟结果更加贴近实际运行结果。比如燃煤链条炉排锅炉通过采用膜式壁、螺纹管、H 型翅片管、螺旋翅片管、分层给煤、等压风室、优化拱形以及二次风和飞灰回燃等技术使煤质适应性更广，提高锅炉节能的总体技术。

制造过程自动化、智能化，锅炉产品、零部件制造过程自动化、智能化趋势日益突显，数控设备不断增加，机器人将会在资金雄厚的制造企业优先采用。针对锅炉部件的原料加工以及关键部件加工制造，加大技术改造力度和制造工艺装备的投入，机械化、自动化专机、生产线甚至智能化机器人设备，以有效地降低制造成本，提高生产率和产品质量。数控下料设备、数控钻孔设备、管件（膜式壁、蛇形管、带扩展受热面管子）制造生产线等先进制造设备在行业推广和应用，提高锅炉行业的总体面貌

和工艺、质量综合水平。

5.拓展锅炉制造企业服务链

在锅炉行业运用信息技术、互联网技术，运用大数据技术，通过基于互联网的远程监控与运行管理系统对锅炉日常运行数据的收集、分析，来指导锅炉按需设计和结合用户体验进行设计改进，乃至指导企业管理人员创造新模式、新业态。随着企业两化融合程度的不断深入，构建上下游供应链协同信息化平台体系成为许多企业关注的焦点；通过协同平台实现前端供应商平台、内部支付平台与后端经营代理平台、售后服务平台信息的有效对接是当前企业向两化深度融合的重要方向。随着移动互联网和社交应用的发展，“微营销”这种新型的营销方式将成为锅炉行业扩大锅炉设备的潜在市场的新的营销渠道。锅炉行业的产品生产有着行业特殊性，技术要求高，生产周期较长，基于上述特点，在锅炉产品的设计、生产到全面交货的产品生产过程中，及时沟通就显得越发重要。企业通过微信、微博、手机客户端等工具以推送、关注、转发、互动等方式；将产品信息或促销活动等快速的传递到用户手中，这种快和广的营销模式将企业和用户紧密的联系起来。基于市场原则的以“产品研发”、“生产制造”、“品牌合作”为起点的互联网“异地协同设计”模式将日益兴起。

6.2.2 在用锅炉运行管理

1.提高运行管理水平

提高锅炉的运行管理水平，从锅炉房建设、施工监督、验收、设备运行过程的组织、运行、调节、检查、维修和人员培训等各个环节入手。锅炉房内安装的煤、汽、水计量设备和仪表，做到计量准确；杜绝跑冒滴漏现象，保证设备完好；提高司炉人员操作水平；保持水处理设备保持完好运行，定期补充树脂、安排专职水处理人员定时化验水质，以指导司炉人员排污；及时除灰和清焦；加强用煤的管理与调整，根据锅炉适应煤种特性，合理配煤，建立锅炉用煤定额考核制度；掌握用汽规律，合理调整锅炉负荷；保持汽压、水位和汽温稳定；均匀给煤、合理使用配风调整和控制燃烧；合理控制排污量，减少热损失。

2.加强作业人员节能培训

锅炉运行人员和水质作业人员的正确操作对锅炉节能起重大作用，提高该类人员的节能意识，加强安全和节能运行训练。对司炉人员和水质作业人员进行理论知识和实际操作的培训，实行持证上岗。在考核中加入节能技术考核。

如链条锅炉，运行时要针对燃料特性和供汽要求调节煤层厚度、煤层推进速度、

鼓引风量、各风室调风板开度，这些都不是用制度硬性规定能做到的。司炉人员在操作过程中，要充分认识到操作与节能的关系，抓好节煤、节电和节热三个环节；根据锅炉型式而合理正确操作。

3.加强水质管理

锅炉是重要的能源转换设备，而水介质则是能源转化的载体，其品质的好坏对锅炉的节能意义重大。对于以水为介质的锅炉，节能降耗主要体现在节能、节水、水处理以及水资源的综合利用等方面，对于有机热载体锅炉则主要体现在有机热载体的适用性和导热性能。对于工业锅炉，涉及节能降耗主要体现在水处理设备选择、水质控制、锅炉排污以及蒸汽凝结水回用等方面。影响锅炉能效综合指标的因素有原水水质、水处理方式、锅炉排污、锅炉状态，以及循环冷却水的综合利用。

有机热载体为一种有机物，易变质，易氧化，易燃烧，或多或少都有一定毒性，因此对其在锅炉中流速、热负荷严格要求，宜采用密闭系统，或增加废气吸收装置。有机热载体的导热性能是锅炉效率重要保证，因此其变质将严重影响锅炉效率。影响变质的因素：系统形式、高位槽及结构、加热系统、锅炉最高热负荷、日常运行是否超负荷运行；体现热载体性能的指标有：残炭、运动粘度、酸值、闭口闪点、水分、低沸物含量等；有机热载体使用不当造成锅炉变化主要有炉管的变形、局部鼓包，磨损则会对传热造成一定影响；系统中油垢的沉积和在换热管的附着将影响换热系统的热效率。

6.2.3 锅炉节能改造技术

1.强化燃烧

强化燃烧措施可使燃料充分燃烧，降低固体不完全燃烧热损失和气体不完全燃烧热损失，提高锅炉效率。目前强化燃烧的方法有很多种，包括：采用预热空气；合理布置二次风；富氧燃烧技术；烟气再循环技术；半沸腾燃烧技术等。

(1)提高锅炉给水温度或入炉空气温度。

提高锅炉给水温度的可以提高锅炉效率，据统计，锅炉给水温度每提高 20℃，锅炉效率可以提高 1%。入炉空气温度的提高可以强化燃料的燃烧，提高燃烧效率，同样可以提高锅炉的运行效率。

(2)改变燃烧方式

不提倡使用链条炉排锅炉和固定炉排锅炉，因为这种锅炉燃烧效率较低，污染物排放量大，取而代之的是更节能更环保的循环流化床锅炉、燃煤粉锅炉和水煤浆锅炉

等。而在山西省，链条炉排锅炉和固定炉排锅炉在工业锅炉中比例较大。链条炉排锅炉和固定炉排锅炉，再造为更节能环保的循环流化床锅炉，燃煤粉锅炉和水煤浆锅炉等。

(3)炉膛配二次风

燃煤锅炉炉膛配二次风，可加强炉膛内火焰的扰动，二次风是经空预器加热的热风，有利于烟气中可燃气体的燃尽，可降低锅炉化学不完全燃烧热损失，同时可使得烟气中的飞灰燃尽，减少了飞灰可燃物含量。

(4)合理调整锅炉空气系数

通常锅炉空气系数会对化学不完全燃烧产生严重的影响。一旦过量空气系数过小，锅炉在燃烧时会因为氧气不足增加不完全燃烧的损失；一旦锅炉空气系数过大，这时炉膛温度降低就会增大不完全燃烧的损失，与此同时排烟损失也会增大。如果锅炉空气系数偏大，可以采取减少锅炉炉膛和烟风道漏风同时合理配风来实现空气系数的降低；如果过量空气系数偏小，应合理配风，如果工业锅炉燃用的是贫煤和无烟煤，其过量最佳空气系数应在 1.2~1.5 范围内，其余的煤种为 1.2，总之为了实现锅炉热效率的提高，应将空气过量系数控制在合理的范围之内。

2.余热回收

过高的排烟温度造成排烟热损失大量增加，严重影响了锅炉的运行效率。在尾部增加受热面，进行余热回收，则可以大幅提高锅炉的运行效率。目前锅炉余热回收的方法主要有：

(1)对燃煤锅炉增设省煤器或空气预热器，提高锅炉给水温度或入炉空气温度

提高锅炉给水温度的可以提高锅炉效率，据统计，锅炉给水温度每提高 20℃，锅炉效率可以提高 1%。入炉空气温度的提高可以强化燃料的燃烧，提高燃烧效率，同样可以提高锅炉的运行效率。

(2)对燃油锅炉增设节油器或给水加热器

节油器可以降低供油粘度，细化油滴，提高燃油的雾化程度，进而提高锅炉的燃烧效率。燃烧效率的提高可以降低固体不完全燃烧热损失和气体不完全燃烧热损失，降低空气系数，减少排烟热损失。增加给水加热器则可以提高锅炉给水温度，提高锅炉效率。

(3)对燃气锅炉增设冷凝式或半凝式换热器

燃气锅炉的烟气中含有大量水蒸气，通过增设换热器，充分回收水蒸气的汽化潜

热,可以降低锅炉排烟温度,提高锅炉的效率。对有机热载体炉增设空气预热器或尾部换热器。有机热载体炉排烟温度往往在 320℃ 以上甚至更高,如果不设置尾部余热回收装置,会使排烟热损失大量增加。

(4) 冷凝水闭式回收

在普通工业锅炉中,蒸汽经过管道至用热设备,真正被吸收的热能只有 75%,而剩余的 25% 热能仍留在冷凝水中,如果不加以回收利用,就至少会损失 20% 左右的能源。冷凝水温度可高达 60~100℃ 且水质好,冷凝水进行回收,节省水处理费用,降低煤耗,节能达到 10%~15%,是一种高效率、低投入的节能方法。

冷凝水闭式回收装置可以将用汽系统产生的大量高温凝结水通过本装置及管道系统直接送入锅炉形成闭式循环系统。现今市场上最常见的冷凝水回收设备主要有双罐虹吸式和柱塞往复式两种。

(5) 自动排污热能回收装置

锅炉排污排放的是锅炉运行压力下的饱和热水。自动排污是通过仪器定时取样控制锅水溶解固形物浓度,当锅水溶解固形物浓度超过 GB1576《工业锅炉水质》标准中规定浓度时,自动排放锅水,实现锅水溶解固形物浓度的在线控制。因为取样频度高,锅水溶解固形物浓度波幅小,排污率比人工控制减少 4%~5%。

6.2.4 锅炉更新淘汰

1. 淘汰高耗能及小型燃煤锅炉

(1) 淘汰高耗能锅炉设备

严格按照工信部《高耗能落后机电设备(产品)淘汰目录淘汰落后锅炉炉型。通过热电联产、集中供热,清洁能源、可再生能源的利用,拆除现有热效率低、除尘效率低的小锅炉。支持小型燃煤锅炉“煤改气”、“煤改电”,鼓励浅层地热能、电热蓄能、太阳能和天然气等清洁能源的应用,优化能源消费结构。对不具备集中供热联网条件的大型商场、酒店、医院和写字楼,必须采取电、天然气等清洁能源取代燃煤供能。

(2) 淘汰小型燃煤锅炉

锅炉的热效率和污染物的生成量与锅炉容量密切相关。小型燃煤锅炉运行效率低,污染物排放大,是影响工业锅炉能效和环保特性的主要炉型之一;锅炉容量越小,其热效率越低,生成的烟尘量也越多;同时,锅炉的自动化、机械化、仪表化也差,煤炭燃烧不完全,锅炉工作也不稳定。

(3) 逐步淘汰老旧能耗高的燃煤锅炉

工业锅炉使用寿命一般在 10~15 年。老旧锅炉的设计热效率本来就低，多数会达不到现有标准的要求。对达到使用寿命的老旧锅炉，如果是 10t/h 以下的，首先淘汰，10t/h 以上的，进行能效测试，测试结果不符合标准的进行淘汰或改造。

2.更新高效锅炉

(1)高效煤粉锅炉

煤粉工业锅炉的推广被工信部、环保部、科技部共同纳入“工业锅炉系统能效提升计划”；煤粉工业锅炉借鉴了德国等欧洲发达国家煤粉工业锅炉的技术经验，以高度自动化的系统集成作为技术特点，主要包含适宜于在较小空间燃烧的空气分级旋流燃烧技术、煤粉的精密储供技术、自动程序控制和安全保护技术、脱硫及脱硝一体化技术等。是高效、环保的燃煤炉型。该类锅炉热效率高和环保可达标外，还具有类似油气炉那样启停便捷、负荷调节性好等优点。

采用高效煤粉燃烧技术、容量适中的煤粉工业锅炉，并通过合同能源管理模式推广。尽管这种锅炉及配套保障系统的投入目前大约是油气锅炉的 4 倍，但对用汽量大的大中型企业，按照目前油气价格和煤炭价格比较，可以很快从节约的燃料费中收回投资成本。煤粉工业锅炉必须充分利用其炉膛所具有的低温运行特点，并应用燃烧器空气分级和烟气再循环等低氮燃烧技术，组织好低温低氧燃烧。煤粉工业锅炉可以通过利用自身的燃烧技术优势，实现低的 NO_x 排放，它不需要复杂昂贵的非选择性催化还原烟气脱硝技术，更不需要电站锅炉的选择性催化还原烟气脱硝技术。

容量小于 10t/h 锅炉不宜采用煤粉锅炉。因其投资太大，用户很“难”配齐包括烟气污染物控制装置在内的各个系统设备；而且，这些小容量锅炉在污染物排放方面难以监控。容量在 75t/h 以上也不宜采用现代煤粉工业锅炉模式，因为电站锅炉已有很成熟的燃烧技术（包括四角布置切圆燃烧技术等）可供借鉴。锅炉容量越大，原有工业锅炉炉膛低温运行优势、可使用单个燃烧器的优势、可充分发挥低氮燃烧的优势等等也逐步被削弱，还得使用 SNCR 烟气净化技术来解决氧化物达标问题。

为了从源头上控煤粉工业锅炉烟尘排放总量，必须采则低灰优质烟煤或褐煤为燃料，把燃料含灰量严格控制在 10% 以下，有条件的可控制在 5% 左右，这样该燃料的地位热值会成比例上升，锅炉使用的总燃料量也下降，使得锅炉炉排放的总灰量随之减少。要配备质量合格的布袋除尘器，并注意其运行中的保养与维护。要安装包括烟尘在内的烟气污染物排放值在线监控装置，发现烟尘排放超标，及时分析问或更换布袋。推广除尘脱硫一体化装置，使烟尘排放进一步降低，达到我国超低烟尘排放水

平。

煤粉工业锅炉系统的发展主要集中在单台容量 75t/h(集中供热)以下、高参数(热电联产)和超低排放等方面。未来单台容量 20~40t/h 的煤粉工业锅炉系统将成为市场热点,工业煤粉锅炉的最佳容量范围应是 10t/h 至 65t/h,工业煤粉锅炉适宜于优质煤。

(2)流化床锅炉

循环流化床锅炉燃料适应性强,特别适合中、低硫煤,适合于热值低的煤种,链条炉排和煤粉锅炉不能燃烧的煤炭燃料,循环流化床锅炉都可以使用,且可以用于垃圾等其他固体废弃物的焚烧,燃烧效率高,可达 95%~99%,负荷适应性好,负荷调节范围 30%~100%。循环流化床锅炉脱硫是一种炉内燃烧脱硫工艺,以石灰石为脱硫吸收剂,燃煤和石灰石自锅炉燃烧室下部送入,一次风从布风板下部送入,二次风从燃烧室上部送入。石灰石受热分解为氧化钙和二氧化碳。气流使燃煤、石灰颗粒在燃烧室内强烈扰动形成流化床,燃煤烟气中的 SO_2 与氧化钙接触发生化学反应被脱除。清洁燃烧,脱硫率可达 80%~95%, NO_x 排放可减少 50%。

65t/h 及以上适宜采用循环流化床锅炉。流化床锅炉适于劣质煤的燃烧。更大容量的锅炉建议采用电站锅炉使用的成熟的煤粉锅炉燃烧方式。

(3)水煤浆工业锅炉

煤炭的清洁高效利用是符合我国国情和市场需求的必然选择,也是大气污染有效治理的根本途径。2015 年 4 月 27 日国家能源局印发关于《煤炭清洁高效利用行动(2015-2020 年)》的通知,提出要“积极推广先进的煤炭提质、洁净型煤和高浓度水煤浆技术”;“在矿区、港口等煤炭集散地通过水煤浆等先进的煤炭优质化加工技术实现煤炭精细化加工配送”;“废渣全部无害化处理或资源化利用,推广应用废水制水煤浆”;“提升锅炉污染治理水平”。

当前,水煤浆锅炉主要分布在对排放要求较高,且经济基础较好的地区,主要应用行业有:化纤和印染行业、国内部分区域集中供暖锅炉、工业企业用工业锅炉等。水煤浆锅炉未来将随着这些行业的发展而发展,而且水煤浆锅炉的燃料适应性好于煤粉工业锅炉,在同样的运作模式和系统配置水平下,它们的优缺点基本是一样的。

经过近几年的推广应用,水煤浆工业锅炉燃烧技术已经成熟,并进入到在全国全面推广应用的阶段。在全国已有多家锅炉厂家进行设计制造,并取得了成功的经验。锅炉自动化程度高,调节方便,特别是采用全自动水煤浆燃烧器,具有点火前炉膛自动吹扫、自动点火、自动火焰检测、连锁保护、失火保护、水煤浆枪自动在线清洗等

各种功能，与燃油锅炉中的燃烧器功能相当，正常喷浆燃烧期间，其燃烧所需浆量、空气量能随锅炉或用热设备的要求自动负荷调节，使其不停浆，减小轻油点火的次数，具有超压、低、高水位等各种安全保护措施，其控制安全，实现全自动。由于不需专用的煤场及渣场，采用水煤浆锅炉后，锅炉房环境卫生完全可以与油相媲美，其排放指标也完全达到了油炉的要求。同时自控程度也完全达到了油炉的程度，而所需运行费用几乎与煤炉相当。在当前油价上涨，环保要求高的情况下，水煤浆锅炉是一种既符合环保要求又经济的产品。

7 山西省燃料资源开发和利用情况及燃料替代措施

7.1 山西省燃料资源开发和利用情况

7.1.1 煤炭资源

山西省含煤地层约 6.48 万平方公里，占全省面积的 40%左右。主要成煤时代为石炭二迭纪和侏罗纪。根据含煤地层的发育特征及其构造组合，将山西的含煤区域划分为六个大的煤田和八个面积不大的煤产地。六大煤田分别是：大同煤田、宁武煤田、太原西山煤田、沁水煤田，霍西煤田和河东煤田。三大煤炭基地分别是：晋北动力煤基地、晋中炼焦煤基地以及晋东无烟煤基地。六大煤田面积约 6 万平方公里，占全省含煤面积的 92%。

埋深在 2000 米以浅的煤炭资源总量为 6600 亿吨，占全国煤炭资源总量的 11.9%，仅次于新疆维吾尔自治区和内蒙古自治区，位居全国第三。全省 119 个行政县（市、区）中，赋存煤炭资源的有 94 个，其中，有 68 个县（市、区）煤炭年产量在百万吨以上。

山西省煤炭资源品质优良，煤类齐全，从低变质的褐煤、长焰煤到高变质的贫煤、无烟煤，省内均有分布。煤炭种类的分布特征是：由北向南，煤的变质程度逐渐增高，依此分布着低变质煤（长焰煤、不粘煤、弱粘煤、1/2 不粘煤）、中变质煤（气煤、气肥煤、肥煤、1/3 焦煤、焦煤）、高变质煤（瘦煤、贫瘦煤、贫煤、无烟煤）。山西拥有 14 个牌号的煤种，其中大同的动力煤，阳泉、晋城的无烟煤，离柳、乡宁的稀有炼焦煤储量大、分布广，在市场上具有极佳的品牌效应。大同煤田弱粘结煤以低硫、低灰、发热量高而享誉中外；河东煤田离石、柳林、乡宁矿区的主焦煤被誉为煤中的“精粉”；沁水煤田晋城矿区的“兰花炭”更是名闻遐迩，是化工用煤的佳品。山西煤炭资源开发条件较好，除北部宁武煤田平鲁一带赋存 8 米以上巨厚煤层，埋藏浅，适宜露天开采外，其它地区大多为中厚煤层，总体地质构造简单偏中等。

附图一为山西省三大煤炭基地及矿区与六大煤田煤质分布及产量图。

7.1.2 天然气资源

山西省煤层气资源量为 10 万亿 m^3 ，约占全国煤层气资源总量的 1/3，相当于全国天然气资源总量的 1/3。煤层气资源分布集中（仅沁水和河东煤田煤层气储量占全省资源总量的 80%以上）、开发条件好（煤层深度适中，构造简单，含气量高）、勘探程度高（其中沁水煤田目前是全国勘探程度最高、开发潜力最好的煤层气气田），有利于煤层气的规模开发与有效利用。

我国天然气管网架构基本形成了“西气东输、北气南下、海气登陆”的供气格局。现在已建成的陕京一线、陕京二线、陕京三线、“西气东输”、榆济线共 5 条国家级天然气主干管线过境山西省，为山西省创造了丰富的天然气气源条件。

“十二五”以来，我省大力实施“气化山西”战略，以天然气、煤层气等资源综合利用为主导的燃气产业的快速发展，这对于推动我省能源结构战略性调整和产业转型升级、实现节能减排、推动生态文明建设、带动全省经济社会快速发展起到了积极作用。目前山西以国新能源为龙头企业，完善了 17 条长输管网，总长度 1420 公里，总输气能力 125 亿立方米，规划建设 11 座液化调峰项目、650 座加气站、LNG 和 CNG 车队 4 个。山西国新能源目前基本实现了三个全覆盖：全省燃气大管网纵横联通全覆盖；全省天然气、煤层气、焦炉煤气和氢气混合气源全覆盖；全省加气站、物流车队等物流产业全覆盖，致力于将山西燃气产业培育成为产业集中度高、竞争优势明显的新兴能源产业。山西省天然气供气量为 $39.5 \times 10^8 \text{Nm}^3$ ；根据与中石油和中石化签订的供气协议，到 2020 年天然气供气有望达到 $70 \times 10^8 \text{Nm}^3$ 。

山西省省级输气管线现已初步形成“三纵十一横”的天然气(煤层气)输配管网络局。全省管网已通达全省 11 个设区市、90 余县(市、区)和部分重点镇，重点覆盖城市居民燃气、工业、加气站等领域。市县燃气管网建设水平参差不齐，管网覆盖率差别较大。地级市及少数县城管网覆盖率较高，大部分县域管网覆盖率极低。

2016 年 12 月山西省天然气产量为 4 亿立方米，同比增长 19.1%。2016 年 1-12 月止累计山西省天然气产量为 43.2 亿立方米，同比增长 5.3%。

7.1.3 生物质资源

山西的生物质资源，主要包括农业生物质资源、森林生物质资源、人畜粪便资源及城市垃圾四大类。

1. 农作物秸秆资源

山西省农作物秸秆主要来自于小麦、玉米、豆类、谷子、棉花、油料等作物，其中小麦和玉米秸秆产量约占秸秆量总的 90%。据统计 2013 年山西省秸秆产量约 1616 万吨，折标煤资源量约为 840 万吨。从山西省来看，农作物秸秆资源产量最大的运城地区，产量最小的为阳泉、太原。

2. 林业及其加工剩余物种类及产量

山西省林地总面积 4600 万亩，占全省土地总面积的 19.58%，果园面积 279 万亩，经济林修剪枝条、薪炭林平茬等常年总量约 200 万吨，可利用总量约 100 万吨。其中，

运城、临汾等原果区修剪枝条约 100 万吨；薪炭林、防护林等受政策保护，林木剩余物按可利用 15% 计算，可收集量约 25 万吨；天然林资源储量较大，但受自然条件及政策限制，回收率低，不予考虑。山西省经济林修剪枝条主要作为农村柴薪，只有少量用于烧木炭和纤维板的加工；森林抚育间伐物、薪炭林剩余物 90% 没有有效利用。木材加工企业木材加工废弃物可全部收集利用。

3. 畜禽粪便资源

据统计 2013 年山西省全年大牲畜（牛、马、驴、骡）存栏量有 122.71 万头，猪年末存栏量为 473.76 万头，羊年末存栏量为 833.99 万头，家禽年末存栏 7295.78 万只。禽类粪便总量约 2430 万吨/年，折算标煤约 316 万吨/年。

4. 城镇生活垃圾资源

目前山西省全省城镇年产约 1000 余万吨生活垃圾，其中未来 5 年内，我省城镇年产生垃圾总量将达到 1200 万吨。大中城市垃圾清运填埋比较规范，易于收集利用，是能源产业化利用的重点。县级以下城镇生活垃圾量较小，但在逐年增加，已成为能源产业化利用的潜在部分。大量的生活垃圾未进行无害化和能源化处理就进行填埋，资源浪费严重。

生物质资源的开发以沼气技术和不秸秆气化技术的推广应用为主。目前，我省已建成户用沼气池 80 余万户，年生产沼气近 2.9 亿立方米，替代煤炭消耗 30 余万吨，可保护 240 万亩森林植被免遭破坏。大中型沼气集中供气 and 秸秆集中供气流程建成 213 处，集中供气近 6 万户。拥有市、县、乡村级服务网站点 3260 处，初步形成农村沼气服务网络。甲醇燃料汽车（M85-M100）示范流程取得成效，在用车甲醇化改装 1.5 万余辆，拥有煤层气燃料汽车 7000 余辆。

根据《2013 年度中国生物质发电建设统计评价报告》显示，截至到 2013 年，山西省生物质能源核准容量达 324.7MW，并网容 174.7MW，其中农林生物质直燃并网容量有 130MW，垃圾焚烧并网容量达 44.7MW。上网电量约占全国的 2.83%。全省围绕晋城、长治等 10 市的 26 个生猪生产基地县，吕梁、晋中等 8 市的 20 个蛋鸡优势生产县、10 个肉鸡优势生产县，大同、朔州等 8 市的 22 个奶牛优势生产县，忻州、朔州等 11 市的 26 个肉牛优势生产县，大同、朔州、晋中等 7 市的 20 个肉羊优势生产县，忻州、临汾、吕梁 3 市的 11 个绒山羊优势生产县的标准化养殖小区和养殖场建设沼气站。

7.1.4 太阳能资源

山西太阳能资源虽不及西藏、新疆、青海、甘肃等地，但高于同纬度的河北、北京、东北和山西以南各省市，是我国太阳能资源较丰富的地区之一。根据我国太阳能区划数据，山西省年曝辐射量介于 $5020\sim 6130\text{MJ/m}^2$ ，折合标准煤 $170\sim 210\text{kg/m}^2$ 。

由于地形复杂，年曝辐射量的等值线不规则，其分布特点是由南向北逐渐增加。年曝辐射量最高的地方是北部的左云县，达 6130MJ/m^2 ；其次是右玉、五寨等地，约 5980MJ/m^2 ；中部的方山县至左云、右玉一带和五台山地区及其西北部的繁峙、应县的部分地区，在 5860MJ/m^2 以上；临汾的部分地区及晋城市、沁源县，在 $5020\sim 5440\text{MJ/m}^2$ 之间；运城大部分地区在 5020MJ/m^2 以下。山西省太阳辐射量最低的地方在垣曲县，约 4840MJ/m^2 。山西省约 60% 的地区年曝辐射量在 $5440\sim 5720\text{MJ/m}^2$ 之间。

山西省太阳能利用主要有两方面，一方面安装太阳能热水器，为生产和居民生活提供热水；另一方面在农村广泛利用太阳能温室、塑膜大棚发展种植业、养殖业、育种育苗等，取得了较好社会效益和经济效益。

根据《2013 年度中国太阳能发电建设统计评价报告》显示，截止到 2013 年山西省累计核准 436MWP，其中大型光伏发电项目核准 405MWP，分布式光伏发电项目累计核准 31MWP；光伏并网容量达 306MWP，其中地面大型光伏电站并网 275MWP，分布式光伏电站并网 31MWP。

山西省目前形成太阳能产业聚集的有长治的山西易通环能科技有限公司和山西日盛达太阳能科技有限公司等产业集群，形成了太阳能电池生产组件。

7.1.5 风能

我国风能富集区域是西北、东北和沿海地区，山西的风能主要受西风带影响，大部分地区以偏西风为主。山西省地处黄土高原东部，其西部地势较为开阔平坦，基础风速也比较大。内蒙是我国风能资源较为丰富的地区，而山西省西北部与其接壤。山西省境内山区较多，风速比较大的高山区、存在狭管效应的山谷、风口等地形也比较多；另外，山西风场具有的极大风速低，无台风，无盐雾，极端低温高，风沙天气少，电网分布均匀等诸多优势。因此，山西存在较好的风能开发潜力和价值。从山西省年平均风速分布图看，山西省风能资源较好区域主要分布在以下 4 个区域：

1. 五台山高山区域

五台山高山区域位于山西省北部，风向稳定，全年为西北风，最大风速月出现在冬季，最小月平均风速出现在夏季，全年风速在 5m/s 以上。

2.管涔山及吕梁山西部区域

管涔山及吕梁山西部区域位于中部断陷盆地与黄河峡谷之间。其风能较好的区域有两个：一是包括平鲁、神池、宁武、五寨、岢岚等县(市)的区域；二是吕梁山西部包括中阳、蒲县等县(市)的区域。

3.晋西北区域

晋西北区域位于山西省最北部，包括天镇、阳高、右玉、平鲁、大同等县(市)的区域。该区于内蒙交界，冬季冷空气活动频繁，风力比较强，适宜开发风电场。

4.中条山区域

中条山区域位于山西省境南端，包括运城、永济、芮城、平陆等县(市)的区域。该区与黄河谷口相邻，中条山自西南向东北穿过，地形作用下，该区有较大风速。

山西省年平均风速(m/s)分布如下图 7-1 所示。

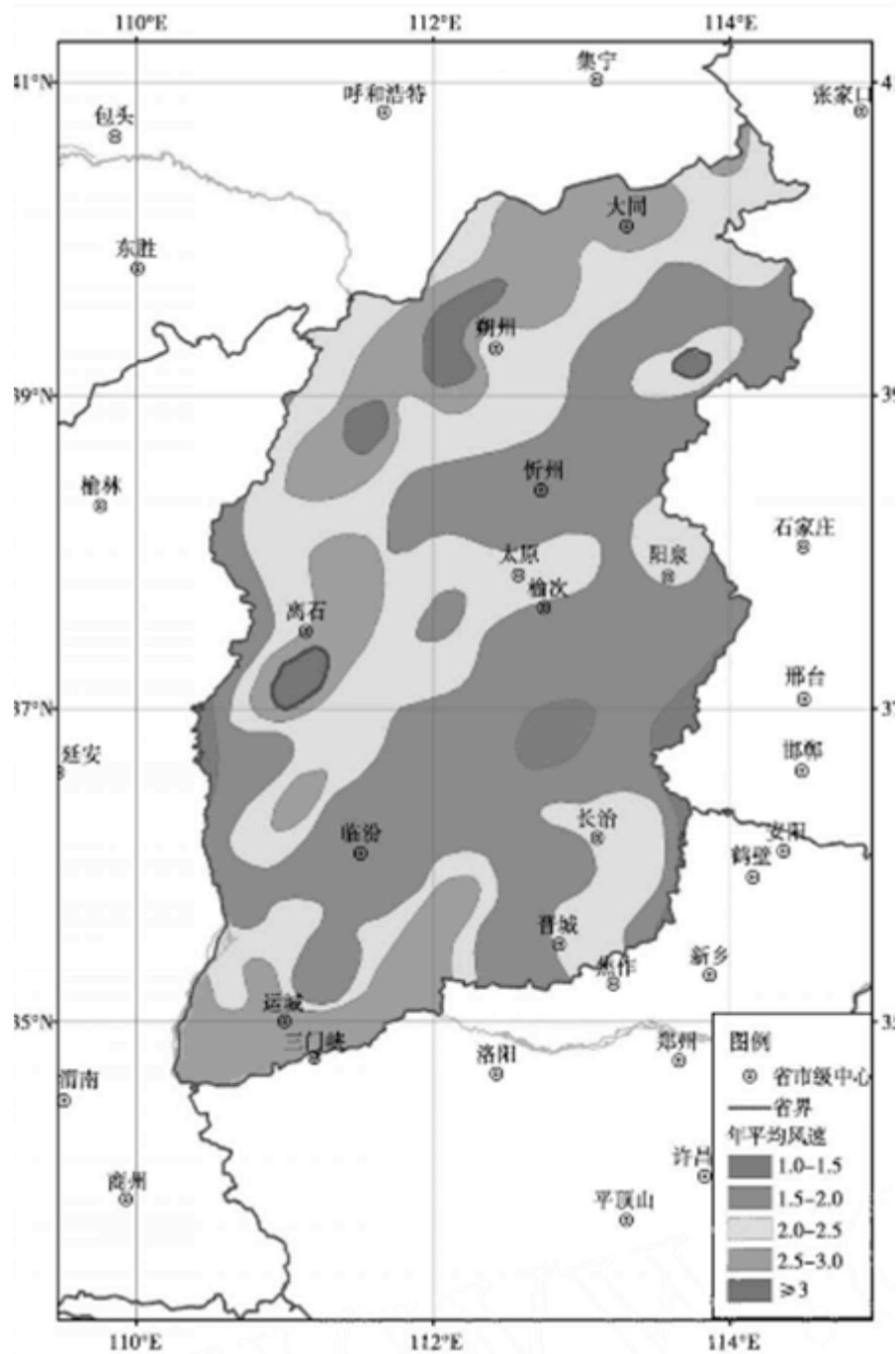


图 7-1 山西省年平均风速(m/s)分布图(色斑图)

根据国家能源局发布的《2014 年风电产业监测情况》，截止到 2014 年底，山西省风电项目累计核准容量 929.56 万千瓦，累计并网容量 455.15 万千瓦，累计在建核准容量 474.41 万千瓦。山西省风电项目绝大多数分布二朔州市、忻州市和大同市。

下表 7-1 为 2013 年山西省各地级市风电分布情况表。

表 7-1 2013 年山西省各地级市风电分布情况

序号	市	核准（万千瓦）		并网（万千瓦）	
		累计	所占份额	累计	所占份额
1	朔州市	292.78	39.4%	111.6	32.2%
2	忻州市	177.65	23.9%	105.15	30.3%
3	大同市	140.3	18.9%	100.75	29.0%
4	运城市	54.2	7.3%	19.6	5.6%
5	长治市	29.95	4.0%	10	2.9%
6	吕梁市	19.4	2.6%	0	0.0%
7	晋中市	24.8	3.3%	0	0.0%
8	阳泉市	4.95	0.7%	0	0.0%

数据来源：《2013 年度中国风电建设统计评估报告》

山西地形复杂，针对偏远无电地区的用电需要，可发展离网风电应用技术和独立运行的小型风力发电系统。山西省风电年利用小时数在 1800~2300 小时之间，几乎没有弃风问题。大多数年份风电利用小时数在 2000 小时以上。

7.2 燃料替代的空间布局

山西除拥有较为丰富的煤炭和较为发达的常规能源产业，也具有丰富的新能源资源，有较好的区位优势，主要有天然气、太阳能、地热能、生物质能和风能等。如何开发和利用新能源，建立包括新能源在内的多元化新型能源结构逐步取代以煤炭为主的常规能源格局，确保山西经济可持续发展战略的实施，调整能源消费结构非常重要。

结合山西新能源的富存及集聚特点，新能源用于锅炉燃料替代的空间布局建议如下：

1. 天然气

天然气管网覆盖地区优先采用天然气替代；积极推进天然气管网的覆盖面建设。

在陶瓷、玻璃、铸造、建材、制革、制药等行业，特别是产业集聚区、工业园区要积极推进“煤改气”。

2. 清洁煤炭

设区市除“禁煤区”外，建成区范围内暂时无法实施整村拆迁、无法实现集中供热及“煤改气”、“煤改电”等清洁能源替代的城中村、城边村，要全部实现优质型煤等清洁燃料置换。

结合我省煤质资源分布及锅炉类型、年燃料需求情况，在煤炭生产、消费集中地和主要中转地，建设具备储存、加工、配送等功能的煤炭物流园区，进行锅炉专用煤加工配送。

市建成区外未实现集中供热和清洁能源替代的其他区域，鼓励使用清洁燃料，限制燃用硫分高于 1%、灰分高于 16% 的民用散煤。

3. 太阳能

在农村和小城镇大力推广家用太阳能热水器、太阳能辅助采暖、太阳能房、太阳灶和沼气等。

充分开发利用地热资源，争取在大同、忻州等地热资源分布区，因地制宜利用地热资源进行供暖以及热水锅炉的替代等。在太阳能丰富的左云、右玉、五寨、方山、繁峙、应县等太阳能资源丰富地区进行太阳能热利用普及以及分布式光伏发电等项目。

4. 生物质能资源开发利用过程

适度建设生物质能供热项目，推广高效低排放专用生物质炉。重点在长治、忻州、运城等地区利用玉米、小麦、棉花等秸秆资源，适度规划建设一批生物质能供热项目，在大中型城市推广垃圾供热项目。

争取生物质固化成型燃料技术方面有所突破，建设一批生物质成型燃料应用示范点和秸秆气化集中供气站。

5. 风电

在风电项目丰富的朔州市、忻州市和大同市，利用风电的电锅炉建设。

低谷时段往往是电价最低且风能电力过剩的时段。此时使用电锅炉一是其经济性有所提高，二是可消纳过剩的风能发电。

7.3 清洁燃料替代思路

锅炉燃料替代涵盖两个方面，即通过洁净煤技术改善工业锅炉的用煤管理和燃煤锅炉的油气电化改造。

《能源发展战略行动计划〔2014-2020 年〕》要求采取措施，调整能源结构，推广清洁能源的生产和使用；优化煤炭使用方式，推广煤炭清洁高效利用，逐步降低煤炭在一次能源消费中的比重。比如提高燃天然气、煤层气、页岩气、管道煤气、液化石油气锅炉和燃油锅炉的比重；根据目前我省发电能力的过剩，适当扩大电加热锅炉的比重，充分利用好峰谷电价。特别对分散式小型锅炉，建议采用燃油气锅炉和电加热锅炉。

7.3.1 改善工业锅炉的用煤管理

1.改善燃煤工业锅炉用煤管理，发展煤炭洗选加工，分类供应

改善燃煤工业锅炉用煤管理，发展煤炭洗选加工，分类供应。对煤炭的热值、挥发分、灰分、硫含量等指标进行科学分选，对适于不同炉型的煤炭粒度进行分类供应。如适于工业煤粉锅炉、适于链条炉排锅炉、适于流化床锅炉设计的煤种。落实工业锅炉用煤标准，通过提高工业锅炉燃煤的标准化，提高燃煤锅炉的燃烧效率，降低燃料消耗，降低污染物排放。

表 7-2 煤炭种类代号

燃料种类	代号	燃料种类	代号
烟煤 I 类	AI	型煤	X
烟煤 II 类	A II	水煤浆	J
烟煤 III 类	A III	褐煤	H
无烟煤 II 类	W II	贫煤	P
无烟煤 III 类	WIII		

表 7-3 工业锅炉用煤分类

燃料类别		干燥无灰基挥发份	收到基低位发热量
石煤、煤矸石	I		不大于 5.4
	II		5.4~8.4
	III		8.4~11.5
褐煤		大于 37	不小于 11.5
无烟煤	I	6.5~10	小于 21
	II	小于 6.5	不小于 21
	III	6.5~10	不小于 21
贫煤		10~20	不小于 17.7
烟煤	I	大于 20	14.4~17.7
	II	大于 20	17.7~21
	III	大于 20	大于 21

关于锅炉用煤技术条件的标准《链条炉排锅炉用煤技术条件》(GB/T-18342-2009)，标准的具体要求如下：链条炉排锅炉用煤分为块煤和混煤，宜将块煤用于链条炉排锅

炉。链条炉排锅炉用块煤和混煤的技术要求和试验方法见表 7-4 表 7-5。

表 7-4 链条炉排锅炉用块煤的技术要求和试验方法

项目	符号	单位	技术要求	试验方法
粒度	——	mm	6~25	GB/T 17608
限下率	——	%	<30.00	MT/T 1
全水分	Mt	%	≤12.0	GB/T 211
挥发分	Vdaf	%	≥22.00	GB/T 212
灰分	Ad	%	≤25.00	GB/T 212
发热量	Qnet,ar	MJ/kg	≥21.00	GB/T 213
全硫	St,d	%	≤0.75; >0.75~1.00; >1.00~1.50	GB/T 214
煤灰熔融性 软化温度	ST	℃	≥1250; ≥1150 (Ad≤18.00%时)	GB/T 219
焦渣特征	CRC	——	≤5	GB/T 212

表 7-5 条炉排锅炉用混煤的技术要求和试验方法

项目	符号	单位	技术要求	试验方法
粒度	——	mm	<50 (<6mm 的不大于 30%) ; <30 (<3mm 的不大于 25%)	GB/T 17608
挥发分	Vdaf	%	>20.00; >8.00~20.00 (Qnet,ar>18.50MJ/kg)	GB/T 212
灰分	Ad	%	≤30.00	GB/T 212
发热量	Qnet,ar	MJ/kg	>21.50; >20.00~21.50; >16.50~20.00	GB/T 213
全硫*	St,d	%	≤0.75; >0.75~1.00; >1.00~1.50	GB/T 214

煤灰熔融性	ST	℃	≥1250;	GB/T 219
软化温度			≥1150 (Ad≤18.00%时)	
焦渣特征	CRC	—	≤5	GB/T 212
全硫 (St,d) 大于 1.5%时, 应添加固硫剂或有脱硫装置。				

目前工业锅炉尚未实现用煤的优质化分类和分质供应。例如：适合层燃链条锅炉燃烧的是煤块，而不是煤粉；而适合煤粉炉燃烧的是煤粉，而不是煤块。炉前成型、炉前配煤技术（如分层技术、分行技术）等，是工业锅炉节能减排的基础。

2.型煤及洁净煤技术

所谓洁净煤制品，是采用洁净煤技术，如洗选、筛分、加工、成型、转化、洁净燃烧和烟气脱硫等技术，把污染型的原煤转化成清洁燃料或比较清洁的燃料，如洗选后的洁净煤、工业固硫型煤、水煤浆、煤气等。工业锅炉改烧洁净煤制品，在经济上可获得良好的效益，如工业锅炉燃用经过分级的粒度适当的煤炭，锅炉热效率可提高15%，还可获得良好的环境效益。

煤矿要配套建设选煤厂，推广先进的型煤生产应用技术以及洁净煤技术，加强褐煤提质技术，完善煤炭品质量和利用技术装备标准。

例如，链条炉燃烧烟煤时，要求煤的粒度为25~50mm，一般最大不应超过50mm，其中0~6mm的粉煤应超过55%；流化床锅炉则要求煤炭的粒度为8~10mm。适宜的煤炭粒度，会提高锅炉热效率，减少烟尘的生成量，使锅炉运行稳定。

3.发展现代煤炭物流

规范煤炭生产、流通、储存、使用等环节，发展现代煤炭物流。加强物流基础设施建设和衔接，优化煤炭物流节点布局。

在煤炭生产、消费集中地和主要中转地，建设具备储存、加工、配送等功能的煤炭物流园区。鼓励煤炭企业之间、煤炭企业与相关企业之间联合组建第三方物流公司，发展大型现代煤炭物流企业，推进煤炭物流规模化、集约化。减少煤炭储运过程的损耗。

7.3.2 燃煤锅炉的燃料改造

目前我国燃煤锅炉总体热效率平均值在65%~80%之间，而燃油燃气锅炉总体热效率平均值在80%~90%之间。

国家《能源发展战略行动计划（2014-2020年）》中提出“到2020年，非化石能源占一次能源消费比重达到15%，天然气比重达到10%以上，煤炭消费比重控制在62%

以内”。围绕能源结构转换工作的不断推进以及减排的严格要求，燃气工业锅炉将继续向低氮排放、冷凝化方向发展。未来应以分散式及时供热为出发点，做好天然气深度利用技术和产品的研发、系统集成与工程化工作，特别是中小容量（ $\leq 40\text{t/h}$ ）新型燃气锅炉、冷凝式燃气锅炉产品开发、定型和推广，通过综合利用目前国际上最先进的分级燃烧技术、浓淡燃烧技术、蒸汽雾化技术、预混燃烧技术和中心稳燃射流燃烧技术等，结合烟气再循环技术和燃烧控制技术等以最大限度地控制 NO_x 的排放；通过研制高端换热设备，有效降低锅炉排烟温度，有效回收烟气显热和烟气中水蒸汽潜热，提高锅炉热效率，降低燃气消耗量。

1. 燃气锅炉

燃气锅炉启停速度快，启停炉过程耗能少，运行自动化程度高，锅炉排放烟尘少，是替代燃煤锅炉的有效措施。随着人工费的提高，冷凝式燃气锅炉产品开发推广应用，使燃气锅炉的效率提高，自动化程度高的燃气锅炉节能节钱效果凸显。

目前由于燃气价格较高，开户费等配套设施的初期建设投入较大，用户投入产出与煤炭相比有较大价格差别，燃气锅炉的推广使用存在一定的问题，应加大政府支持力度。

2. 电加热锅炉

从我国未来的能源消费结构可以看出，三大化石能源中除了较清洁的天然气比例略有增长，石油与煤炭的占比都有所下降。而同时，我国电力产品的过剩时代已经来临。这为“电代煤”、“电代气”创造了坚实的基础条件。随着电力体制的进一步改革，电价的市场化，未来我国电锅炉的发展将迎来新高峰。电加热锅炉启停速度快，启停炉过程耗能少，运行自动化程度高，锅炉烟尘没有，利用好峰谷电价，电加热锅炉的优势会更加明显。

山西省容量小于 1t/h 的锅炉比例较大，这些锅炉的节能提效除了用燃气锅炉替代外，电热锅炉也是可行的选择之一。随着国内电热锅炉技术的发展，今后将出现智能化的电热管式、电极式、电感式产品等多极化市场格局。学校、医院、宾馆、商场、写字楼及工厂用小容量的锅炉等适合发展电锅炉。

3. 生物质工业锅炉

能源转型战略中，生物质等可再生能源的利用是一个重要方面。而生物质能源密度小、原料体积大等特点决定了生物质能源是典型的分布式能源，生物质能源转化工厂规模不宜过大。因此，近几年受国家鼓励得到较快发展的生物质直燃发电也因生

物质资源收集成本的制约面临发展的瓶颈，而发展基于生物质成型燃料利用的生物质供热锅炉则显示明显的优势。

生物质成型燃料锅炉发电、供热这个模式已经成为我国目前落实国务院大气污染防治行动计划、发展分布式可再生能源、替代燃煤锅炉等污染比较严重的供热方式的重要模式之一。生物质直接燃烧，2014年，国家能源局、环保部下发了“关于开展生物质成型燃烧锅炉供热示范项目建设的通知”，鼓励开展生物质供热替代中小型燃煤锅炉，重点在京津冀鲁、长三角、珠三角等大气污染防治形式严峻，压减煤炭消费任务较重的地区，建设一批生物质供热示范项目。生物质供热是具有较强竞争力的工业清洁供热方式，能显著提高能源利用效率，与天然气、轻油供热相比具有明显的成本优势，宜成为工业清洁能源供热方式的优先选择。

由于现阶段煤炭价格和生物质燃料的价格差别及热值差别，推广生物质锅炉需要政府强制或补贴。

生物质能供热（主要包括热电联产、成型燃料锅炉供热等）是解决区县（非城市建设区）、学校、医院、工商业以及农村城镇化等供热问题的主要方向，是破解燃煤，改用清洁供热的有效途径。项目规模不大，灵活方便，可有利于解决农田秸秆回收，加工成型、短途运输、成本核算等难题。特别是秋后的农田秸秆还田有限，焚烧难禁，运输困难等问题长期得不到很好的解决。把这些丰富的资源加工成燃料，变成热能、电能或其它品种产品，是解决乡镇、农村建成小康社会的重要工作。

链条锅炉燃用生物质供热：燃用酒糟等小颗粒专用锅炉，生物质锅炉实施低氧燃烧技术。

4.余热锅炉

利用各种废气、废料、废液中的显热或（和）可燃物质作为热源（可加补燃），且热源呈常压、负压或微正压的锅炉称为余热锅炉。余热烟气中含尘量、流量、温度等特性对余热锅炉结构及受热面结构设计具有重要影响。绝大多数工艺过程中流通的烟气都含有一定量的腐蚀性气体和烟尘。

我省在用余热锅炉有水泥窑余热锅炉、玻璃窑余热锅炉、烧结余热锅炉、钢铁冶金用余热锅炉、化工化肥造气用余热锅炉及其他余热锅炉等。余热利用领域的发展主要三个方向：

- (1)余热利用领域逐渐扩大，新的余热锅炉产品不断出现；
- (2)余热锅炉向高温、高压和高余热回收利用率方向发展；

(3)余热利用向中、低温方向发展。

5.太阳能、地热等热源的热利用

(1)太阳能热泵

国家发改委发布的《国家重点推广的低碳技术目录》，太阳能热泵分布式采暖系统技术名列其中。太阳能热泵分布式中央采暖系统技术把常规的供热系统与太阳能利用相结合，具有较好的节能减排效果。

随着中高温太阳能热水器的开发以及太阳能与建筑一体化技术的日益完善,太阳能热水器的应用领域不再局限于提供热水，正逐步向取暖、制冷、烘干和工业应用方向拓展。目前，全国已有 20 多个省 80 多个城市实施了太阳能鼓励或强制安装政策。

行业数据表明：2014 年，太阳能工程向规模化方向发展，约占到太阳能热利用市场份额的 40.7%。其中，住宅工程仍然居首位，占到 63%，商用(医院、宾馆、学校、敬老院等)工程居其次占到 28%，工农业及其它领域工程占到 9%。太阳能集热器及系统的销售量为 5000 万平方米；太阳能热水器保有量达到 4.14 亿平方米，增长 10.4%。

(2)地源热泵

据保守估算，我国 287 个地级以上城市每年浅层地热能可利用资源量相当于 3.56 亿吨标准煤，扣除消耗电量，可节约相当于 2.48 亿吨标准煤，减少二氧化碳排放 6.52 亿吨。2013 年地源热泵供暖总面积达 3 亿平方米，地源热泵全行业产值 350 亿元。国家能源局等四部门发布有关促进地热能开发利用的指导意见，为地源热泵行业打开了新的政策空间。意见提出，到 2015 年，全国地热供暖面积达到 5 亿平方米，地热能年利用量达到 2000 万吨标准煤。

(3)太阳能与燃油燃气锅炉联产优化技术

太阳能利用是当前可再生能源利用焦点，太阳能热水器或太阳能热水系统是目前太阳热能应用发展中最具经济价值、技术最成熟且已商业化的一项应用产品。如与燃油、燃气、电锅炉配套，可以解决当阴雨天阳光不足或冬季气候较低时无法提供稳定热源供应的问题，实现常年 24 小时供应热水。另一方面太阳能集热与锅炉给水系统一体化集成，锅炉给水加热后送入锅炉，生产热水或蒸汽，提供生产或生活所需。这样既使太阳能利用领域不断得到拓展，又为燃油气、电锅炉等的利用节约运行成本。

(4)太阳能锅炉改造

随着太阳能中低温热水系统技术的不断成熟，太阳能中高温热水系统技术也在不断完善，太阳能中高温系统替代常规锅炉也成为一种必然趋势。太阳能锅炉改造就是

通过利用太阳能热力技术，并结合对常规燃煤、燃油、燃气、电、沼气和其他传统能源、新能源锅炉进行节能减排改造来达到节能降耗减排目的的复合技术工程。目前，可采用的蓄热方式有 3 种：显热蓄热、潜热蓄热和化学储能。对不同的蓄热方式，应选用相应不同的蓄热材料。

低温蓄热：以平板式集热器收集太阳热和以低沸点工质作为动力工质的小型低温太阳能锅炉系统，用水或盐水蓄热。

中温蓄热：100~500 的蓄热，通常指 300 的蓄热，用于小功率太阳能锅炉系统，蓄热材料为高压热水、有机热载体等。

高温蓄热，500 以上，主要材料为钠和融化盐。极高温蓄热：1000 左右，铝等材料。

(5)垃圾及其它废弃物焚烧锅炉

城市生活垃圾中可燃垃圾的处理方式主要有焚烧处理、发酵气化、堆肥、燃料棒加工等几种方式，目前主要处理方式焚烧处理。通过焚烧及灰渣熔融达到垃圾无害化、减容化处理，以及灰渣的安定化、资源化处理，同时最大限度回收垃圾热能。目前实用的垃圾焚烧处理技术主要分为垃圾直接焚烧处理技术及垃圾气化焚烧处理技术两类。垃圾直接焚烧处理技术目前主要有机械炉排炉技术、流化床焚烧炉技术、回转窑焚烧炉技术 3 种；垃圾气化焚烧处理技术主要有垃圾气化熔融技术和垃圾直接熔融技术 2 种。以日本为例，垃圾直接焚烧占约 65%，以机械炉排炉技术、流化床焚烧炉技术为主；气化焚烧占约 35%，代表技术有荏原制作所的流化床气化熔融炉和新日铁公司的 SHAFT 式直接熔融炉。

2007 年 6 月 4 日，国家发改委发布了《中国应对气候变化国家方案》，其中明确指出：鼓励“在经济发达、土地资源稀缺地区建设垃圾焚烧发电厂”；“大力研究开发和推广利用先进的垃圾焚烧技术，提高国产化水平，有效降低成本，促进垃圾焚烧技术产业化发展”。垃圾焚烧处理近年来发展迅速，我国自 1988 年我国第一座垃圾焚烧厂——深圳市市政环卫综合处理厂建成投产后，至 2010 年 10 月底，全国共建成生活垃圾焚烧厂 100 余座，受我国可再生能源政策以及地方对生活垃圾焚烧发电给予的电价优惠的影响，主要以垃圾焚烧发电为主，地域分布上主要集中在东部经济比较发达的地区。预计在未来 5 年我国还将建设大约 100 座以上的生活垃圾焚烧厂。

7.3.3 中小供热锅炉替代

“十三五”时期，我国工业化、城镇化建设进程将进一步加快推进。《国家新型城

镇化规划（2014~2020 年）》要求户籍人口城镇化率从 2012 年的 35.3%提高到 2020 年的 45%左右的同时，城镇可再生能源消费比重从 2012 年的 8.7%提高到 2020 年的 13%、“北方地区县城和重点镇集中供热水平明显提高”、“城镇建设和改造优先采用分布式能源，资源丰富地区的城镇新能源和可再生能源消费比重显著提高”；《能源发展战略行动计划（2014-2020 年）》要求“坚持集中与分散供能相结合，因地制宜建设城乡供能设施，推进城乡用能方式转变，提高城乡用能水平和效率”、“大力发展分布式能源，科学发展热电联产，鼓励有条件的地区发展热电冷联供”。

1.集中供热

实现集中供热是城市能源建设的一项基础设施，是城市现代化的一个重要标志，也是国家能源合理分配和利用的一项重要措施。我省是煤炭大省，燃煤锅炉的集中供热是节能减排的主要手段之一，也是淘汰小型燃煤锅炉的替代手段之一。

集中供热采用大容量锅炉，可以合理调配锅炉运行负荷，提高锅炉运行效率，可以提高能源利用率、节约能源。区域锅炉房的大型供热锅炉的热效率可达 80%~90%，而分散的小型锅炉的热效率只有 50%~60%。减少司炉人员及燃料、灰渣的运输量和散落量，降低运行费用，改善环境卫生。同时便于环保设备的投入及正常运行，控制烟尘、SO₂、NO_x 排放。易于实现科学管理，提高供热质量。容量较大的锅炉普遍安装基于工业控制计算机的在线燃烧优化系统；锅炉运行完全实现自动化控制，无人或仅需较少的操作人员；运用群控技术根据用户实际负荷同时控制多台锅炉的投运和退出。

新建、改扩建的燃煤热源厂要与供热规划相一致，新建集中热源单台锅炉容量一般要大于 80t/h，总容量要达到 320t/h 以上，供热能力要达到 400 万 m² 以上，但过大会增加管路损耗，增大供热安全风险。建设城市大型多环供热管网，实现多热源联合运行，可以互相备用互相补充，提高供热系统的经济性和可靠性，提高热能利用率。

城市建成区限制小型燃煤锅炉联网规模，现有的 20t/h 及以下燃煤供暖锅炉房不应新增供热面积。

2.热电联产

热电联产综合热效率可达 85%，而大型火电汽轮机组的发电热效率一般不超过 45%。优先利用现有热电厂供热能力，扩建、改建现有热电厂、规划新建热电厂发展热电联产。鉴于我省目前火电建设状况，合理规划，尽量利用现有电力生产企业的发电后余热，减少热电厂的重复建设；提高热电锅炉的使用效率，提高建设项目单位资源消耗的产出效率和产出量，减少资源浪费。国家电网统调机组的发电锅炉。对外供

热比例还相当小，多数仅用以发电，还有很大的供热潜力，建议政府合理利用，避免重复投资建设。

3.分布式能源

随着人民生活水平的提高和社会对能源的需求的丰富，现有大型能源点的集中供应不能充分满足能源供应分散、多样化且经济环保的迫切要求，分布式能源由此而备受关注。分布式能源在主要发达国家市场份额已经不低欧洲的分布式能源发展水平居世界领先地位。以德国为例，目前分布式能源总装机已超过 75 吉瓦，约占总装机容量的 47%，其高效煤粉炉已经具备了煤基分布式能源的雏形。美国目前的分布式能源发电量约占全国总电量的 14%，计划到 2030 年实现分布式能源装机占全美发电机组总装机容量的 20%。日本的水平与美国差不多。

2009 年 12 月 16 日国家能源局对分布式能源系统的定义是指：将能源系统以小规模、小容量、模块化、分散式的方式布置在用户端，来双向传输冷、热、电能。以热电冷联产技术为基础，与大电网和天然气管网相联结，向一定区域内的用户同时提供电力、蒸汽、热水和空调冷水(或风)等的能源服务系统。

我国分布式能源起步较晚，占比不高，潜力巨大我国目前已建成了 40 多个天然气分布式能源项目，分布式能源站总装机容量约 500 万千瓦，其规模和占比与发达国家相距甚远。“十三五”规划全国分布式能源装机规模达到 5000 万千瓦，预计分布式能源会有更大的发展空间、更快的发展速度。

当前，能源行业经过长期集中式为主的发展，正逐步进入到一个集中式与分布式相结合的阶段。2013 年以来，国家能源局陆续出台多个文件，鼓励通过分布式能源和能源智能微网等方式实现多能互补和协同供应，为用户提供高效智能的能源供应和相关增值服务，同时实施能源需求侧管理，推动能源就地清洁生产和就近消纳，提高能源综合利用效率。

(1)天然气分布式能源

当前的分布式能源主要以天然气为主，而我国的能源禀赋是富煤贫油少气，随着技术的不断进步，以煤为主的煤基分布式能源项目逐渐走进了人们的视野。分布式能源以其能源的阶梯利用（能源利用率可达 80%以上）、“三废”（废气、废水、废渣）集中处理、近距离输送、布局灵活、价格较低的特点，成为提高能源利用效率和大气污染治理

①多种气源能源互补分布式能源：天然气、煤层气、焦炉气、沼气等

适用领域：大、中、小型燃气轮机联合循环

工业：冶金、化工等过程；电子、食品、制药等工业园区工业用汽

建筑：大型公共建筑、商业建筑、居民建筑等

其他：矿区周边的边远城镇、农村

燃机技术：上海电气/西门子、哈尔滨电气/GE、东方电气/三菱、南汽、普惠等

燃气的要求：甲烷含量大于等于 85%，对氧量和惰性气体含量有严格要求

②煤矿井下抽放煤层气（CMM）、废矿井煤层气(AMM) 分布式能源

适用领域：小型燃气轮机/内燃机联合循环

工业：冶金、化工等过程；电子、食品、制药等工业园区工业用汽

建筑：大型公共建筑、商业建筑、居民建筑等

其他：矿区周边的边远城镇、农村

内燃机技术：颜巴赫\曼海姆\国内众多设备厂

燃气的要求：同高炉煤气或者工业废气、沼气或者瓦斯的要求：甲烷含量大于等于 25%，对氧量有严格要求。

(2)煤基分布式能源

当前，技术不断进步，燃煤锅炉通过超低排放改造可以大幅减排（1 吨散烧煤的大气污染物排放总量大约等同于 20 吨超低排放燃煤锅炉的排放量），燃料集中研磨，罐车配送，运输环节无污染且更加灵活；加之煤炭资源丰富、价格低廉，使煤基分布式能源相对天然气分布式能源优势明显。

煤基分布式能源技术攻关的重点中小燃煤锅炉技术创新重点主要包括 4 方面：

高效环保煤粉锅炉本体研究；

中小高效环保煤粉锅炉超低排放研究；

全厂自动控制研究；

分布式燃煤多联供能源效率管理系统。

7.4 清洁能源替代改造优化方案措施

7.4.1 小联片集中供热天然气资源

清洁生产促进法提出，燃煤锅炉房清洁能源替代改造，以发展燃气锅炉为主，燃气供应缺乏地区才考虑建设其它燃料锅炉。

理由：燃气锅炉涉及天然气供应管网的规划和投资，管网距离大，投资费用长。从目前燃料价格分析，燃煤锅炉燃料费用最低，天然气燃料费用高得多，会增加企业

成本。相连的企业集中建设大锅炉房，与各企业分别设置小锅炉房相比，供热总装机容量可减小，投资费用低，容量大的锅炉热效率比小容量锅炉高，运行管理水平容易提高，可节约能源，降低燃料费用；锅炉房管理和操作人员可减少，降低运行费用；锅炉房总用地可减少，节约用地，有利于采用分布式供能站的建设。

对有条件的工程，应采用小联片集中供热方案，获取最佳节能减排效果，降低企业供热成本。

小联片集中供热亦是城市天然气公司管网优化设计宜考虑的课题。

实施模式：合同能源管理模式

7.4.2 分布式供能热电冷联产

分布式供能系统是以天然气等一次清洁能源在用能现场或靠近用能现场的小型 and 微型独立输出电、热（冷）能的系统。分布式供能系统的一种主要技术形式为热电冷联产（热电冷联供）。

分布式供能系统是以小规模、小容量、模块化、分散式的方式设置在主建筑用能处，是将天然气等燃料同时转化为电力、蒸汽或热水以及冷水的高效能源供应系统，能源利用效率可达 75%~90%，具有高效环保和多种能源供应特性。

我国分布式供能系统从 1995 年上海市黄浦区中心医院热电冷三联供项目开始建设。2011 年 8 月，国家发改委等四部委联合发文“关于发展天然气分布式能源的指导意见”提出，要在我国十二五规划中需推广 1000 个左右天然气分布式供能系统，到 2020 年达到 5000 万 kw。天然气分布式能源系统的发展目标十分明确。

实施分布式能源需考虑：建设工程的热负荷必须调查清楚，需画制日负荷曲线和冬夏季平均负荷曲线。这对主机的选择和经济运行甚为重要。

热负荷变化较大的工程，应采用蓄热技术，减少主机装机容量，降低工程建设费用。机组选配设计原则：以热定电。

建议以大中型企事业单位、小联片集中供热锅炉房、区域供热中心为首推动改造实施单位。

7.4.3 新能源-太阳能应用

太阳能供热应用技术目前已经比较成熟，居民住房淋浴供热已较普遍应用，一些工厂企业技改项目也实施了太阳能供热。开发利用太阳能新能源是一项有效的节能减排措施。

太阳能集热装置作为一种太阳能节能器，制作成一套专为锅炉房应用的节能模块，

应用于工业和民用锅炉房中，减小锅炉装机容量，减少油气燃料消耗。

具体应用方案，加热锅炉补给水——采用经过水处理后的软化水，通过节能器加热，用作锅炉补给水。直接用于热水供应系统——采用生活自来水作为吸热介质，供应热水用户。

太阳能集热受到气候、日照时间等条件制约，必须有常规的锅炉房热水制备系统备用。备用系统连接方式采用并联或串联应视具体系统条件拟定。应用太阳能与锅炉双热源优化设计具有很大的发展前途，因此在设计锅炉房时，应该根据场地条件，企业建筑物情况，创造装设太阳能集热设备的条件，尽量推广应用太阳能。表 7-6 为典型地区太阳能节能器不同燃料类型锅炉上运用的经济效益分析表。

表 7-6 典型地区不同燃料锅炉太阳能节能器经济效益分析

锅炉类型	燃油锅炉	燃气锅炉	电锅炉
太阳能节能量 (MJ)	1730	1730	1730
燃料热值	46.04MJ/kg	35.53MJ/Nm ³	3.6MJ/ (kw.h)
锅炉效率	90%	90%	95%
节约燃料量	41.7 kg	54.1 Nm ³	505.76 kw.h
燃料价格	7 元/kg	4 元/ Nm ³	0.8 元/ kw.h
年节省燃料费用 (元)	292.2	216.4	4.4.6
集热器投资 (元)	1000	1000	1000
静态投资回收期 (年)	3.42	4.62	2.47

太阳能在锅炉房的静态投资回收期为 2.5~4.5 年，寿命期 15 年内，可减少二氧化碳排放量 2~3t。

集热器投资费用对回收期关系很大，研究降低集热器投资非常重要。目前市场价每平方米集热价格为 700~1500 元。

7.3.4 燃气锅炉与电锅炉双热源加蒸汽蓄热器优化设计

采用电锅炉的目的是作为燃气锅炉事故备用（部分重要汽），并在晚上利用低谷廉价电降低天然气运行费用。蒸汽蓄热器白天用作均衡波动负荷，减小燃气锅炉装机容量，晚上贮存电锅炉产汽，补充白天用汽。这种优化设计，降低锅炉装机容量，减少投资费用，减少燃气消耗，降低锅炉运行费用，提高锅炉运行热效率，节约能源。

目前很多燃气锅炉房设计，考虑燃气供应有问题时，采用油气两用锅炉。但多建设一套燃油设施，使锅炉房系统复杂，基建投资费用增加。上述气、电热源优化方案

可以引发思考借鉴。

7.3.5 采用多台模块锅炉自动群控方案

锅炉房运行自动群控有两种情况：一种是几台较大同容量的锅炉组成的锅炉房，一般由一台作为调峰运行，其余锅炉均按照额定负荷运行。另一种是采用多台小容量的模块式锅炉组成的锅炉房，锅炉运行负荷实施群控，其设计理念是随着热负荷的变化，改变锅炉的运行台数，达到节能效果。

避免大马拉小车，使得每台运行锅炉都处于热效率较高的运行状态。低负荷运行时，减少锅炉运行台数，从而减少锅炉散热损失。通过群控改变运行锅炉配置和依次启停顺序，均衡每台锅炉的运行时间，使得每台锅炉的寿命周期充分利用。可减少锅炉备用容量，节省基建费用。

使用情景：对于总热负荷不大，且其变化幅度较大的情况，为了适应热负荷的变化，采用多台小容量锅炉加群控技术，不失为节约能源、减少锅炉房建筑面积和净空高度的一种设计方案。它对于中小型公共建筑内供热、供冷及生活热水的热负荷适应性强，节能效果明显。

7.3.6 清洁能源锅炉+太阳能光热双热源优化

1. 天然气锅炉+太阳能光热优化

在有天然气管网供气的地区应采用天然气置换改造，但由于目前天然气价格昂贵，增加企业燃料运行费用，因此应采用太阳能光热技术优化，降低锅炉房运行费用。

2. 太阳能光热+电锅炉双热源优化

在目前天然气管网还没能敷设或敷设费用很大的地区，应采用太阳能光热+电锅炉供热方案。因太阳能供热受到气候、日照时间等制约，必须要设备用供热源。

若企业热负荷均为热水工质时，宜采用电热水锅炉，如有蒸汽供应是，应选用电加热蒸气锅炉。

7.3.7 热泵技术+太阳能光热双热源优化

应用于纯热水供应企业，使用于燃煤热水锅炉替代改造。

1. 热泵技术

热泵式利用设备内的吸热介质（冷媒）从空气或自然环境中采集热能，经压缩机压缩后提高冷媒的温度，并通过热交换器冷媒放出热量加热冷水，同时派出冷气，制取的热水进行采暖或直接用于热水供应。热泵技术在暖通专业中广泛应用，目前技术发展较快，热泵类型较多，有空气源热泵、低热源热泵、二氧化碳热泵，热源塔热泵、

太阳能热泵，双热源热泵等。

由于热泵的供热效率比锅炉供热效率高，因此在锅炉房热水供热应采用热泵替代。

2.热泵技术+太阳能光热双热源优化

热泵需要电，太阳能受日照制约，两者优化组合，节能减排最为理想，目前正在热水供应系统广泛推广使用。

7.3.8 工业余热余压的供热替代

山西是个能耗大省，第二产业比重较大，煤炭、冶金、电力、焦化、建材和化工等行业有较好的余热余压以及其他余能可以充分利用，目前已有多数行业及其进行了余热余压得利用项目，取得了较好的节能及经济效益，详见附件五。

1.钢铁

高炉炉顶压差发电技术、纯烧高炉煤气锅炉技术、低热值煤气燃气轮机技术、高炉炉顶压差发电装置、纯烧高炉煤气锅炉发电装置、低热值高炉煤气发电一燃汽轮机装置等。

2.有色

推广烟气废热锅炉及发电装置，窑炉烟气辐射预热器和废气热交换器，回收其他装置余热用于锅炉及发电。

3.煤炭行业

推广瓦斯抽采技术和瓦斯利用技术，逐步建立煤层气和煤矿瓦斯开发利用产业体系。

4.水泥

推广纯低温余热发电技术，建设水泥余热发电装置。

5.玻璃

推广余热发电装置，低温余热发电一制冷设备；推广全保温富氧，降低烟道散热损失。

6.化工行业

推广焦炉气化工、发电、民用燃气，余热利用，密闭式电石炉，硫酸余热发电等技术，对有条件的化工企业和焦化企业进行节能改造。

7.其他行业

纺织、轻工等其他行业推广供热锅炉压差发电等余热、余压、余能的回收利用。

7.3.9 建立大型煤炭储配基地和煤炭物流园区

落实《商品煤质量管理暂行办法》，加强煤炭质量管理，实现煤炭分质分级利用。加快制定锅炉燃煤技术条件，提高燃煤品质及使用等级，推进煤炭清洁化燃烧。推广使用洗选煤，燃煤锅炉不得直接燃用高硫高灰份的原煤。建设大型煤炭储配基地和煤炭物流园区，开展集中配煤、物流供应试点示范，提高煤炭洗选加工能力，推广符合细分市场要求的专用煤炭产品。

具体目标：针对目前锅炉用煤普遍质量低，煤质不稳定、与锅炉不匹配、严重影响锅炉运行效率的问题，结合锅炉改造示范，建立锅炉专用煤加工配送中心。通过煤炭集中加工，向用户供应符合燃煤装备设计要求的配煤、型煤、颗粒煤等煤炭加工产品，提高并稳定锅炉用煤质量。

项目示范：选择三个地级市，建立三个生产规模为 20~30 万吨/年的锅炉专用煤加工配送示范中心，进行加工配送中心的技术配套、工艺集成、自动化控制配套示范及加工配送中心的技术配套、工艺集成、自动化控制配套示范及加工配送中心生产示范，向锅炉用户提供符合燃煤装备质量要求的配煤、型煤、颗粒煤等煤炭加工产品。同时结合各城市实际情况，制定推广使用锅炉专用煤的技术规范和政策法规。

推广应用：结合锅炉改造示范工作，在合适地市推广建设煤炭加工配送中心。

8 山西省工业燃煤锅炉能效提升路线图研究

本文运用技术路线图的方法，以保障山西省工业燃煤锅炉安全经济运行、提高能效、减少污染物排放为目标，分析为完成目标的重点研究任务以及各重点任务的技术要素，并提出相应的技术及实施时间建议。

8.1 技术路线图分析框架

1. 技术路线图简介

技术路线图通常可分为三种类型：产业技术路线图，企业（或产品）技术路线图，国家（或区域）技术路线图。产业技术路线图是对于某个产业整体技术发展趋势的预测，代表了产业技术、市场等发展方向，工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代技术路线图属于产业技术路线图。

2. 技术路线图分析框架

山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代路线图研究从山西省工业锅炉能效提升战略需求出发，确定相应的发展重点任务及各个任务内容的关键技术。不同重点任务可能涉及多项关键技术，而每项关键技术也可能对多个发展重点有所贡献。发展重点是根据战略需求从关键技术群中选择出来的。对于发展重点的评价是综合考虑技术重要性、研发基础、技术差距、技术经济性以及时间的基础上，以时间序列系统描述。

相应的技术路线图如图 8-1 所示。

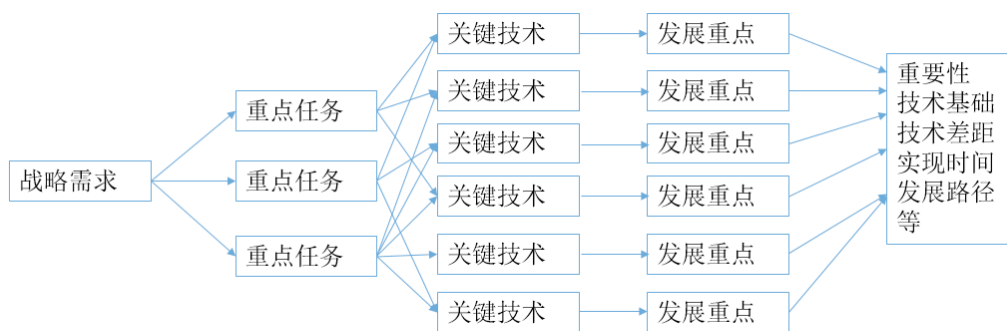


图 8-1 技术路线框架图

8.2 重点任务分析

为实现山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代目标的有效突破，按照技术路线图的制定原则，通过详细分析山西省工业燃煤锅炉能效现状以及燃料结构调整需求，经过项目组征询领域内核心专家，集中讨论并提炼汇总，项目团队最终形成了山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代的四个战略需求以及十一项重点任务，详见下表 8-1。

表 8-1 战略需求及重点任务

序号	战略需求	重点内容	主要任务
1	提升锅炉本质效率	通过强化锅炉运行监测，淘汰落后炉型，推广高效锅炉，以大幅度提升我省工业燃煤锅炉的平均容量，提升燃煤锅炉的平均本质效率	提升锅炉主机制造业水平
			强化锅炉监测运行
			淘汰落后锅炉，推广高效锅炉
			优化锅炉辅机及控制系统
2	提高锅炉经济运行管理水平	通过强化锅炉运行管理及辅机匹配、系统优化、服务支撑、污染治理等工作，提高工业锅炉经济运行管理水平	锅炉运行管理制度建设
			锅炉运行管理能力建设
3	提高锅炉系统整体运行效率	通过系统实施节能工程改造，实现在用锅炉的运行效率实时管理，提高工业锅炉系统整体运行效率	节能工程改造
			节能集成及优化技术
4	提升锅炉行业环境及燃料结构	通过燃料结构调整改造、集中供热、热电联供、分布式能源等措施进行中小工业锅炉供热及供气替代，调整锅炉行业燃料消耗结构，提升提升锅炉行业环境及管理水平。	煤改气、煤改电、余热锅炉及可再生能源燃料替代等
			热电联供及集中供热
			分布式能源

8.3 重点任务关键技术要素分析

1. 重点任务的关键技术要素

经过项目组广泛征求意见，集中讨论并提炼汇总，项目团队最终形成的各重点任务的关键技术如下表 8-2 所示。

表 8-2 山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代关键技术

序号	重点任务	关键项目技术要素
1	强化锅炉监测运行	锅炉排放和能效系列标准
		能效测试能力建设
		热效率及排放监测计划与手段
		煤炭解耦燃烧技术
2	提升锅炉主机制造业水平	高效环保煤粉锅炉技术
		中小高效环保煤粉锅炉超低排放技术
		自动控制研究分布式燃煤多联供能源效率管理系统
		锅炉数字化设计技术
		突破工业锅炉大型化、脱硫脱硝关键技术
		优化层燃和循环流化床技术
		煤分级清洁利用技术
		低污染控制技术

序号	重点任务	关键项目技术要素
3	淘汰落后锅炉，推广高效锅炉	能效检测和报告制度
		淘汰锅炉炉型工作
		全省锅炉炉型数据库
		能效监测执法和实施
4	优化锅炉辅机及控制系统	锅炉辅机及控制系统的适配标准
		锅炉自动化控制技术
		锅炉房全系统及蒸汽管网系统节能潜力评价体系
5	锅炉运行管理制度建设	锅炉房系统运行制度建设
		燃煤锅炉燃料煤采购、测试、及储运制度
		锅炉运行监测记录及上传机制
6	锅炉运行管理能力建设	锅炉作业人员资格认定
		锅炉作业人员节能培训
		锅炉管理人员节能培训
7	节能工程改造	分层给煤及强化燃烧技术
		蒸汽蓄热器节能技术
		锅炉冷凝水回收节能技术
		锅炉给水化学除氧节能技术
		水汽相变节能技术
		清洁能源低氮燃烧技术
		烟气余热回收技术
		锅炉水处理防腐阻垢节能技术
		链条炉复合燃烧技术
		锅炉智能吹灰优化与在线结焦预警系统技术
		过量空气管理
		合理调整锅炉空气系数
8	节能集成及优化技术	节能集成及优化技术
		优化保温蒸汽管道、阀门、配件和容器节能技术
		输配系统节能技术
9	煤改气、煤改电、清洁煤炭及可再生能源锅炉燃料替代	洁净改性工业型煤技术
		洁净改性动力配煤技术
		区域煤炭配送中心示范
		贯流式锅炉高效节能技术
		冷凝式热水锅炉
		冷凝余热回收技术
		直流式锅炉（蒸汽发生器）技术
		高温蓄热电锅炉技术
		工业行业余热余压利用综合技术

序号	重点任务	关键项目技术要素
		二氧化碳热泵技术
		太阳能-空气源热泵组合集热技术
		太阳能热泵技术
		太阳能光热技术
		热源塔热泵技术
		喷油螺杆式空压机热回收技术
10	热电联供及集中供热	城市供热规划
		能源动力中心多联供技术
11	分布式能源	局部化集中供热供气服务
		天然气分布式供能技术
		煤基分布式供能技术

2.关键技术要素分析

为了突破山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代关键技术难点，实现山西省工业燃煤锅炉能效提升的产业目标，经过项目组组织领域专家深入研讨以及问卷调查，将提炼出的关键技术要素按优先重要顺序分为顶级、高级和中级，对这些研发项目按研发基础进行了级别分类；同时，根据专家研讨对这些关键技术要素的实施时间按照近期（2018 年以前）、中期（2018-2021 年）、远期（2021-2025 年）排序，结果见下表 8-3。

关键技术及项目在不同时间节点的优先顺序可作为政府在相关政策制定及决策方面提供依据。

表 8-3 山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代关键技术要素分析

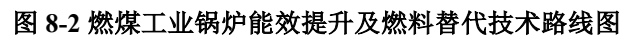
序号	关键技术要素	技术要素属性	重要性	市场应用时间
1	锅炉排放和能效标准	制度建设	顶级	近期
2	能效测试能力建设	能力建设	顶级	近期
3	热效率及排放监测计划与手段	制度建设	顶级	近期
4	煤炭解耦燃烧技术	技术层面	高级	中期
5	高效环保煤粉锅炉技术	技术层面	高级	中期
6	自动控制研究分布式燃煤多联供能源效率管理系统	技术层面	高级	中期
7	锅炉数字化设计技术	技术层面	高级	远期
8	突破工业锅炉大型化、脱硫脱硝关键技术	技术层面	高级	中期
9	优化层燃和循环流化床技术	技术层面	高级	中期
10	煤分级清洁利用技术	技术层面	高级	远期
11	低污染控制技术	技术层面	高级	中期
12	能效检测和报告制度	制度建设	顶级	近期

序号	关键技术要素	技术要素属性	重要性	市场应用时间
13	淘汰锅炉炉型工作	能力建设	顶级	近期
14	全省锅炉炉型数据库	能力建设	顶级	中期
15	能效监测执法和实施	能力建设	顶级	近期
16	锅炉辅机及控制系统的适配标准	制度建设	高级	近期
17	锅炉自动化控制技术	技术层面	高级	中期
18	锅炉房全系统及蒸汽管网系统节能潜力评价体系	技术层面	高级	远期
19	锅炉房系统运行制度建设	制度建设	顶级	近期
20	燃煤锅炉燃料煤采购、测试、及储运制度	制度建设	顶级	近期
21	锅炉运行监测记录及上传机制	制度建设	顶级	近期
22	锅炉作业人员资格认定	能力建设	顶级	近期
23	锅炉作业人员节能培训	能力建设	顶级	近期
24	锅炉管理人员节能培训	能力建设	顶级	近期
25	分层给煤及强化燃烧技术	技术层面	高级	近期
26	蒸汽蓄热器节能技术	技术层面	高级	近期
27	锅炉冷凝水回收节能技术	技术层面	高级	近期
28	锅炉给水化学除氧节能技术	技术层面	高级	近期
29	水汽相变节能技术	技术层面	高级	近期
30	清洁能源低氮燃烧技术	技术层面	中级	中期
31	烟气余热回收技术	技术层面	高级	近期
32	锅炉水处理防腐阻垢节能技术	技术层面	高级	近期
33	链条炉复合燃烧技术	技术层面	高级	近期
34	锅炉智能吹灰优化与在线结焦预警系统	技术层面	高级	近期
35	过量空气管理	技术层面	高级	近期
36	合理调整锅炉空气系数	技术层面	高级	近期
37	节能集成及优化技术	技术层面	高级	中期
38	优化保温蒸汽管道、阀门、配件和容器节能技术	技术层面	高级	近期
39	输配系统节能技术	技术层面	高级	近期
40	洁净改性工业型煤技术	技术层面	高级	近期
41	洁净改性动力配煤技术	技术层面	高级	近期
42	区域煤炭配送中心示范	能力建设	中级	中期
43	贯流式锅炉高效节能技术	技术层面	中级	近期
44	冷凝式热水锅炉	技术层面	中级	近期
45	冷凝余热回收技术	技术层面	高级	近期
46	直流式锅炉（蒸汽发生器）技术	技术层面	高级	近期
47	高温蓄热电锅炉技术	技术层面	高级	中期
48	工业行业余热余压利用综合技术	技术层面	高级	中期
49	二氧化碳热泵技术	技术层面	中级	近期

序号	关键技术要素	技术要素属性	重要性	市场应用时间
50	太阳能-空气源热泵组合集热技术	技术层面	中级	中期
51	太阳能热泵技术	技术层面	中级	中期
52	太阳能光热技术	技术层面	中级	中期
53	热源塔热泵技术	技术层面	中级	中期
54	喷油螺杆式空压机热回收技术	技术层面	中级	中期
55	城市供热规划	能力建设	顶级	近期
56	能源动力中心多联供技术	技术层面	高级	中期
57	局部化集中供热供气服务	能力建设	顶级	远期
58	天然气分布式供能技术	技术层面	顶级	近期
59	煤基分布式供能技术	技术层面	顶级	远期

8.4 技术路线图

山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代路线如下图 8-2 所示.



8.5 技术路线图推进架构

结合山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代的实施内容及障碍，提出路线图推进的工作架构如下图 8-3 所示：

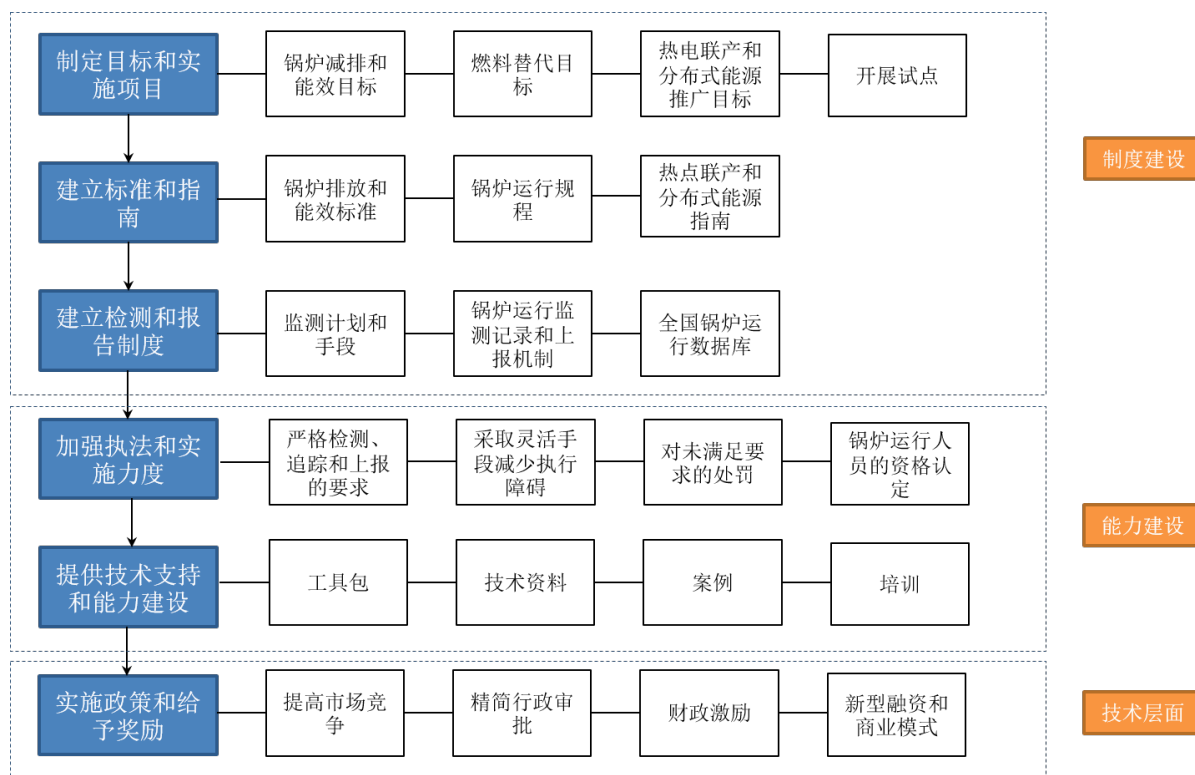


图 8-3 技术路线推进架构图

9 典型技术案例及技术经济分析

9.1 工业燃煤锅炉节能技术

9.1.1 蒸汽蓄热器节能

蒸汽蓄热器是一种蒸汽热能的储存容器，具有均衡供汽波动负荷的作用。用于蒸汽负荷波动的供汽系统，可使锅炉燃烧负荷稳定；在余热利用系统，能有效地回收热量。蒸汽蓄热器是一种行之有效的节能设备，国家标准“锅炉房设计规范”基本规定中作了推荐，合理使用蒸汽蓄热器后，一般能节约燃料 3%~20%。蒸汽蓄热器分类较多，一般有两大类，即变压式蓄热器和恒压式蓄热器。变压式蓄热器对外直接供应蒸汽；恒压式蓄热器分为给水蓄热器和热水蓄热器两种，对外供应的能量为热水。

常用的蒸汽蓄热器为变压式蓄热器，借助工作压力变化进行蓄热和放热。蒸汽蓄热器属于压力容器，适用变压式蒸汽蓄热器的必要条件是：工艺设备用汽负荷时波动的，日负荷曲线变化频繁和剧烈；部分用户的用气压力必须小于汽源（锅炉或热电站供热）的工作压力，低压蒸汽消耗必须大于或等于最大用汽负荷与锅炉房额定蒸发量之差。

蒸汽蓄热器的一般功效有：节约能源；可增大锅炉房瞬间供汽能力，减少锅炉房装机容量或台数，降低基建费用；稳定供汽，保证供汽参数，可提高工艺生产的产量和质量；锅炉燃烧稳定，可延长锅炉使用寿命；避免锅炉赶火，减轻司炉工劳动强度；蓄热器蒸发放热，负荷适应性好，优于燃烧自动调节；锅炉燃烧稳定，有益于环境卫生保护。

蒸汽蓄热器应用领域广泛，适用于造纸、化纤、印染、烟草、制糖、食品、酿造、化工、制药等行业，在集中供热、分布式供能、热电联产和太阳能新能源应用中有很大的发展前景。

蒸汽蓄热器的优点：

1.应用性价比一般投资回收期为 2~3 年。

2.蒸汽蓄热器放热机理是沸腾蒸发放热，负荷调节适应性好，无级调节，在锅炉机组节能技术改造措施中调节速度优于变频和 DSC 燃烧自动调节，它是节能的治本措施，宜优先考虑。

3.蒸汽蓄热器应用功效除节约能源外，还能减少锅炉装机台数，节省基建投资；稳定供汽，满足工艺生产要求，保证生产质量，延长锅炉使用寿命，减少司炉工人员编制和劳动强度，有益于环境保护，应用领域广泛。

新建和改建锅炉房时，应按照锅炉房设计规范考虑蓄热器的应用，避免建后改造，建议设计单位和有关监督部门重视。

9.1.2 锅炉冷凝水回收的节能技术

锅炉在运行过程中，大量蒸汽转换成冷凝水，冷凝水的热能回收利用对于锅炉经济高效运行会产生积极的作用。利用冷凝水回收装置对热力系统的冷凝水的蒸汽热能进行回收，有利于锅炉排污量减少，降低排污热损失，提高锅炉热效率。同时也可以减少软化水处理量，节省软化水处理费用。

改造对象特点：工业锅炉冷凝水回收过程中，管道腐蚀严重，冷凝水 pH 值低，铁离子严重超标，从而影响正常回收使用的锅炉用户。

改造对象：蒸发量在 4t/h 以上的燃煤、燃油、燃气锅炉。

主要设备：冷凝水回收利用装置。

产品简介：能有效抑制冷凝水回收系统的腐蚀。其内含碱度调节剂、缓蚀剂和多种有机胺，可分配至冷凝水系统前、中、后段，配比作用良好。用途：广泛用于热力系统采用冷凝水回收的锅炉用户。

使用方法：通过加药泵与锅炉给水泵或冷凝水循环泵同步加入炉内或管道内。药剂用量随炉水、冷凝水品质及系统情况调节。

效果：冷凝水回收既节约了燃料，用水，又减少了热排放；以冷凝水与给水温度相差 60℃ 计算，热效率提升为 5~6%。

冷凝水管道缓蚀剂对锅炉金属管道腐蚀作用明显，可确保锅炉长期、安全、经济运行。

9.1.3 锅炉给水化学除氧节能技术

锅炉给水中的溶解氧是造成锅炉热力系统管道氧腐蚀的主要原因。为了防止和减轻热力系统的氧腐蚀，必须对锅炉给水进行除氧处理。锅炉给水的除氧方式有多种。如热力除氧、真空除氧、解析除氧、化学除氧等。我国锅炉目前基本采用热力除氧方法。

应用对象：工业锅炉热负荷不稳定，除氧器运行时不能稳定在 104℃ 的单位用户，锅炉炉内已发生氧腐蚀迹象的单位用户，因除氧器消耗大量热力蒸汽而出于节能降耗考虑的单位用户。

效果：采用炉内加药除氧方案，即能彻底解决锅炉氧腐蚀的问题，控制水质符合标准，又能节约大量的蒸汽能源，减少碳排放。除氧药剂不会对热力系统产生任何不

良的安全和环境保护隐患。根据各单位的实际运行工况，可选择关闭热力除氧器或设定除氧器温度。

9.1.4 水汽相变节能技术

水汽相变节能装置的技术突破了传统节能技术的框架，不受在用设备烟气侧空气动力性能的影响，不影响燃烧，不受烟气侧已采用节能技术的限制，可叠加使用。

应用范围：适用于 0~22.3MPa 蒸汽锅炉，安装的位置在锅炉的给水系统中，其在给水系统中阻力的增加小于 0.05，正常使用条件下使用寿命不低于 8 年。

技术特点：该节能装置安装在锅炉的进水一侧，对已安装烟气侧节能装置的锅炉可叠加使用户不干扰。用户无需对该装置进行日常维护；节能装置使用过程中不需要消耗其他能源。

9.1.5 清洁能源低氮燃烧技术

清洁能源低氮燃烧技术改造应用范围广，可适用于绝大多数本体严重老化、腐蚀、年久失修的建议更换锅炉，还适用于其污染物排放不符合国家标准的燃煤（重油）锅炉。具体的改造及燃料替代形式则需根据锅炉情况及燃料供应情况进行合理选择。

清洁能源低氮减排技术对现有燃煤（重油）锅炉进行改造，其改造内容少、成本较低且效果显著，同时，又因其改造形式灵活多样，可广泛适用于具备不同基础条件的场合。

9.1.6 烟气余热回收技术

利用空气预热器或者省煤器将废气加热进入锅炉的空气温度或者锅炉给水温度，提高燃烧效率一般排烟温度（在保证排烟温度在烟气露点温度以上时）每降低 10℃，锅炉效率可提高 0.5%~0.6%。

主要设备为省煤器、空气预热器。以排烟温度从 200℃降低到 130℃左右计算，热效率提升状况为 4~5%，设备投资成本约 70 万元。

9.1.7 节能集成及优化技术

节能集成及优化技术针对整个锅炉供热系统的节能改造进行系统集成和技术优化，目前在多地得到支持和发展。其原理为：在总结现有节能技术的基础上，对工业锅炉现有设备和技术（如燃煤炉拱、炉排、自控设备、蓄热器、换热器等）进行分析，评估各项技术的实用性与经济性以及系统节能潜力，提出节能集成技术以及相应的优化系统，同时结合有关研究应用成果。在考虑锅炉本身节能特别是燃烧节能的同时兼顾供热系统节能改造，并以控制技术作为各项节能技术应用的平台，形成适用的工业

锅炉及蒸汽系统节能实施方案，加以节能改造示范。并在实施后，对节能实施方案进行科学评估并验证。对具体工业锅炉节能改造工程，其具体工作步骤为：测试——评价——方案制定——技术交底——方案实施——过程质量检验——总体验收——能效评定。

该项技术建议以合同能源管理的模式进行运作。

9.1.8 其它节能技术

1. 锅炉水处理防腐阻垢节能技术

对锅炉和管道内壁的碳酸盐污垢进行及时处理，提高循环水的流速和热的传导，保证锅炉安全运行。

其主要设备为碱煮加酸洗系统，以水垢厚度按 1mm 计算，热效率提升 1.2~3% 设备投资成本在 10 万元以内，设备使用年限为 2.5 年。

2. 链条炉复合燃烧技术

将链条炉排和煤粉这两种不同的燃烧方式有机结合，在燃烧过程中，煤粉靠炉排上火焰点燃，煤粉燃烧形成的高温火焰提高了炉膛温度，为链条炉排上的煤层着火提供了丰富的热源，使难以着火的煤着火燃烧顺利。

主要设备为风扇磨煤机制粉系统，按 20% 的煤制粉率以及 26.47 KW·h/t 的系统单耗计算，热效率提升 6%~8%，设备使用年限 15 年，设备投资成本 50 万元，设备年运行成本 10 万元。

3. 锅炉智能吹灰优化与在线结焦预警系统技术

在锅炉各受热面污染在线监测的基础上，实现系统开环运行操作指导与闭环反馈监测控制相结合的智能吹灰运行模式，从而减少吹灰蒸汽用量，降低排烟温度，提高锅炉效率。

主要设备为吹灰器、控制监测设备，灰垢厚度按 1mm 计算，热效率提升 2~3%，设备使用年限为 12 年，设备投资成本 35 万元，设备年运行成本 5 万元。

4. 优化保温蒸汽管道、阀门、配件和容器

在锅炉运行中通过对炉表温度、排温温度监测的数据来分析判断锅炉各部位的炉墙的密封情况以及炉体外保温层的隔热效果，及时修复墙体密封不良与保温层损坏的部位；加强辅属管道、给水系统和排污系统的定期巡查，降低锅炉燃烧热量损失，节约燃料。主要设备为管道、阀门、配件和容器等，效率提升 0.75~1.5%。

5. 过量空气管理

当过量空气系数过大时，会造成燃煤与空气混合不均匀，致使炉膛平均温度降低，影响了燃烧工况，排烟量增大，带出热量增加，也就是排烟热损失增加。过量空气系数过小时，燃料不能充分燃烧，能源没有得到最好的利用。过量空气管理保证燃料得到充足的氧气而完全燃烧的前提下，过量空气系数愈低，燃烧愈经济。

9.2 典型燃料替代技术

9.2.1 贯流式锅炉高效节能技术

设计制造上使用了独特的工艺，采用了“w”形烟气流程，在对流传热部位采用了特殊的鳍片管，增加了换热面积、烟气流速和扰动度，提高了传热效果。锅炉上有自动控制电脑，能实现安全预警功能，报警连锁功能、能效管理功能、远程通信功能。燃烧器上安装具有自诊断功能的火焰感应器，给水管上装有新型双密封止回阀，蒸汽管路上安装有失效保护型蒸汽压力开关、新型破真空阀等多项专利，保证锅炉安全稳定地运行。

9.2.2 冷凝式热水锅炉

传统的天然气热水锅炉存在一些缺陷：90%以上的运行状态低于额定工况，后期运行费用过高，实际成本远高于供热的效益等。冷凝燃气锅炉技术优势在于：

1.热利用率高、后期运行费用比传统锅炉低30%~50%、体积是传统锅炉体积的1/3，单体占地面积1.56m²。

2.排烟管道采用普通PVC管，排烟温度低于60℃，传统排烟温度高达150~250℃，节省了大量的安装费用、锅炉本体的智能控制系统可对数十项参数进行自动调节，大幅度降低运行费用和客户的操作难度。

3.排放水平超越欧洲V号标准，自动调节火焰大小，使锅炉功率从2.5%~100%按需求智能调节，打破传统锅炉无法调节空气量和功率大小的缺陷，为客户大幅降低天然气消耗量。

4.100%预混燃烧技术，使空气与天然气比例完美混合，大幅提升锅炉效率。自适式安装技术，使锅炉安装难度直线下降，无需任何大型设备。适用于不需要蒸汽的供热场合。

9.2.3 冷凝余热回收技术

燃油和燃气锅炉是一种较为清洁的能源利用方式，但很多单位在燃油、燃气过罗的采购初期并没有配备节能设备，往往造成排烟温度较高，甚至超过200度，造成很大的能源浪费。由于燃油、燃气中的含硫量很低且较为干净，因此相比燃煤锅炉而言，

燃油、燃气锅炉的烟气余热可以采用更有效的泛热管深度余热回收技术，将排烟温度降至 62℃ 以下，余热可用来加热锅炉给水或其他冷源，同时保证原排烟系统正常运行，有效提高锅炉燃烧效率，实现节能减排。

燃油、燃气锅炉冷凝式深度烟气余热回收技术，可针对现有锅炉的排烟温度、鼓风机频率、烟道阻力、进水温度、进风温度等关键参数进行现场测量，针对性的设计深度余热回收系统方案。

应用范围：适用于各类排烟温度超过 120℃ 的燃油/燃气锅炉。

燃油燃气锅炉烟气深度余热回收系统经济性分析表详见下表 9-1~9-2。

表 9-1 不同容量燃油锅炉年节能情况表

锅炉额定负荷 (t/h)	2	4	6	10	20
耗油量 (t/年)	1694.1	3388.2	5082.4	8470.6	12705.9
节油量 (t/年)	79.7	159.4	239.2	398.6	597.9
节约燃料费 (万元/年)	55.8	111.6	167.4	279.0	418.5

注：以运行 6000h、效率提高 4% 折算

表 9-2 不同容量燃气锅炉年节能情况表

锅炉额定负荷 (t/h)	2	4	6	10	20
耗气量 (Nm ³ /年)	1694118	3388235	5082353	8470588	12705882
节气量 (Nm ³ /年)	79723	159446	239170	398616	597924
节约燃料费 (万元/年)	27.9	55.8	83.7	139.5	209.3

注：以运行 6000h、效率提高 4% 折算

对于年运行时间大于 6000 小时的燃油、燃气锅炉而言，采用冷凝式深度余热回收技术进行节能改造，将排烟余热用于加热锅炉给水、风或其他冷源，可以将排烟温度有效降低至 60℃ 以下，节约大量的能源消耗，系统改造的回收期一般小于一年，节能效果显著。

9.2.4 直流式锅炉（蒸汽发生器）技术

蒸汽发生器技术特点：

1. 安全性高

蒸汽发生器本身包含的水容量少，一般约为其蒸发量的 16%，加上其结构形式为立式盘管结构形式，即时出现裂缝也只是盘管裂管。

2. 结构紧凑

面积只有燃煤锅炉的 1/4~1/3，既节省了大量空间，也节约了基建费用。

3.蒸汽品质高

其输出蒸汽的干度可达到 99.5%，由于蒸汽湿度减少，能有效遏制冷凝水的积聚，提高热效率。

4.操作简单，维护保养费用低，使用寿命长

其自动化程度高，操作简单方便，维护保养费用低，无需大修，可减少运行费用。使用年限长，部件可替换，主要部件如燃烧器、汽水分离器、水泵等使用年限都在 30 年以上。

5.排烟温度低，排污量小，具备真正的无极变速

蒸汽发生器广泛应用于传统卧室燃煤锅炉节能改造项目；工业、民用需求高品质蒸汽项目等。

9.2.5 高温蓄热电锅炉技术

电锅炉蓄热系统分为高温承压蓄热与常压水箱蓄热两种。常压电锅炉蓄热系统占地面积大，加热到有效温度所需时间较长，有效热量利用效率低。高温蓄热电锅炉占地面积小，蓄热温度高，需热量大，有效热量利用率高。

高温蓄热电锅炉主要应用于酒店、商务办公楼、商场、医院学校以及工矿企业等采暖、生活热水供应，并根据不同使用情况，同时满足采暖、生活热水适用或提供各种水温。

高温蓄热电锅炉宜与天然气锅炉双热源优化应用，作为天然气供应故障时的备用，利用夜间低谷电供热降低天然气的运行费用。

高温蓄热电锅炉与燃油、燃气锅炉经济分析如下表 9-3、9-4 所示。

表 9-3 电锅炉与燃油、燃气锅炉投资费用比较表

	燃油锅炉 700 kw	燃气锅炉 700 kw	蓄热电锅炉 700kw
锅炉价格（万元）	13.28	17.37	20.96
辅助设备及配套费用（万元）	23	16	18
总投资费用（万元）	36.28	33.37	38.96
热效率%	85~92	85~92	99
环保	需经环保审批	需经环保审批	无污染
消防安全	消防要求高,需配消防设施	消防要求高,需配消防设施	无要求
使用及维护	需专人值守,维护费用高	需专人值守,维护费用高	

表 9-4 电锅炉与燃油、燃气锅炉运行费用比较表

	燃煤	燃油	燃气	电锅炉
采暖面积 (m ²)	10000			
客房热水 (人)	100			
燃料种类	煤	轻油	天然气	电
燃料发热量	20920kj/kg	42886 kj/kg	35564 kj/m ³	3598.24 kj/(kw.h)
锅炉热效率 (%)	60	90	92	99
燃料耗量	200kg/h	65 kg/h	78 m ³ /h	700 kw/h
燃料价格	0.7 元/ kg	8 元/ kg	3.6 元/ m ³	0.3 元/ kw.h
运行费用 (元)	140	520	280	210
其它费用	排污、清灰、除渣、 维修、工人工资	排污、清灰、除尘 储油、维修、工人工 资	排污、清灰、储气、 维修、工人工资	6~8 年更换加热管
辅机设备	储煤、烟囱、除尘 器、给煤器	储油罐、日用油 箱、供油泵、油管道、 烟囱、重油需辅助加 热	烟囱、燃气调压 站、燃气管道	供电电缆

电价为低谷电价

电锅炉具有无污染、无公害、无噪声、无消防特殊要求，自动化程度高的特点，符合国家节能政策要求。山西省电力富裕，夜间低谷电使用率低，低谷电价优惠，能源前景较好。经济上，充分利用各个阶段能源优惠政策，白天平电阶段选择燃气锅炉，低谷电选择电锅炉，这是空调采暖和生产热源最经济运行模式。

9.2.6 天然气分布式供能技术

天然气是一种高热值的清洁能源，提高其能源利用效率，是完成“十二五”主要污染物排放目标和节能目标，实现可持续发展的重要举措。分布式能源系统是天然气利用的首选方式。

2011 年，国家发改委等四部委联合发文“关于发展天然气分布式能源的指导意见”中明确定义，天然气分布式能源系统指利用天然气为燃料，通过冷热电三联供等方式实现能源的梯级利用，综合能源利用效率在 70%以上，并在负荷中心就近实现能源供应的现代能源供应方式。其技术核心为能源梯级利用，即在用户侧利用天然气燃烧的

高温段热量发电，发电后余热低温段利用来制冷，实现能源梯级利用，一次能源利用率高达 70%以上，相比分产系统可实现节能 25%以上，减排二氧化碳 33%以上，同时，使得用户获得电、冷、热等多形式供能，实现用电安全性的提高。

1.天然气分布式能源相比分产系统（市电+燃气锅炉）的优点

(1)享受优惠政策

(2)享受系统设备投资补贴，减少系统初投资，减少常规功能设备的数量和容量，减少常规功能设备投资。

(3)能源效率高，且享受优惠气价，使能源费用大大节省。

(4)分布式能源系统降低了用电容量申请，减少了基准电费。

(5)享受天然气排管费用优惠。

(6)节约能源节能 30%左右。减排 50.1%附近。

2.应用范围

适用于由稳定天然气供应，能源消费量达且其中的地区，以及对供电要求较高的单位，以便于集中控制和管理，用电、用冷负荷时间长，单位面积负荷大。

建议有条件的锅炉实现煤改气，结合典型区域热需求及电需求集中地区采取天然气分布式能源。

3.应用类型

可分为区域性和楼宇型。

区域性分布式能源多用于大型工厂、混合型设区等多栋建筑构成区域，多采用大型燃气内燃机、燃气轮机为原动机。

楼宇分布式能源多用于医院、宾馆、办公楼等单栋或数栋建筑，多采用小型燃气内燃机及微型燃气轮机等小型动力装置作为原动机。

根据分布式能源配置不同，项目当地的气电价格比和项目年运行时间长短，其投资回收再 3~8 年。

9.2.7 煤基分布式供能技术

当前，技术不断进步，燃煤锅炉通过超低排放改造可以大幅减排(1 吨散烧煤的大气污染物排放总量大约等同于 20 吨超低排放燃煤锅炉的排放量)，燃料集中研磨，罐车配送，运输环节无污染且更加灵活;加之煤炭资源丰富、价格低廉，使煤基分布式能源相对天然气分布式能源优势明显。煤基分布式能源有望通过示范引领，改变人们对煤炭污染环境的旧有认识，进而快速推广，推动大气污染有效治理。

1.煤基分布式能源技术攻关的重点

煤基分布式能源技术攻关的重点主要包括 4 方面：

- (1)高效环保煤粉锅炉本体研究；
- (2)中小高效环保煤粉锅炉超低排放研究；
- (3)全厂自动控制研究；
- (4)分布式燃煤多联供能源效率管理系统。

2.煤基分布式能源的技术要求

将先进、成熟的高效煤粉炉技术、能源动力中心多联供技术、煤粉炉尾气减排技术等集成到一起，形成国际领先的煤基分布式能源总体解决方案；优化工程设计，采用紧凑型、小型化、一体化布局，可以实现煤基分布式能源系统厂房与民用建筑物的完美融合。

煤基分布式能源要实现“三不一去两集中”，达到高效环保目标“三不一去”是指现场不见煤、不见烟、不见灰，去工业化。通过集中制粉、供粉、自动上煤，实现全过程煤粉密闭运行，现场不见煤；通过除尘、脱硫、脱硝，全厂排放不见烟、实现超低排放；粉煤灰经密闭系统排出，就地综合利用、变废为宝，产灰不见灰；通过厂房的去工业化设计，外观如写字楼。

“两集中”是指集中制备并散装车配送煤粉，集中远程智能控制。系统将采用集中制备与配送煤粉的方式，尽量利用现有燃煤电厂的燃料进、储、输系统，既可从源头上保证使用优质煤、保证煤粉的质量，又可取消分散的堆煤场，减少占地和地面污染，规模化后还能降低成本。同时系统要采用集中远程智能控制技术，对多锅炉进行远程监控，做到全自动、智能化启动和运行，达到无人值班要求。

通过“三不一去两集中”的煤基分布式能源技术路线，可实现高效环保的目标。

9.3 典型非锅炉替代形式技术

9.3.1 二氧化碳热泵技术

应用范围：适用于各种热水需求量大的场所，如酒店、高等院校、医院、细雨中住宅楼等。

条件：热水需求量大，用水时间长（24h 不可断水），若使用常规热源加热方式需支出较多的能源费用，且常规能源在设备的维护和管理上也有很大一部分支出。使用该技术可将这笔费用减少 70%以上。

二氧化碳热泵经济性分析如下表 9-5 所示。

表 9-5 二氧化碳热泵经济性分析表

加热方式	电锅炉	燃油锅炉	燃气锅炉	燃煤锅炉	热泵热水器
设备价格(万元)	8	8	8	8	30
能源种类	电	柴油	天然气	燃煤	空气或水+电
环保指数	环 保 不 节 能	环保不节能	环保不节能	环保不节能	高效环保节能
安全指数	危险	危险	危险	危险	安全
安装地方	安 装 不 限 值	受安装限制	受安装限制	受安装限制	安装不限值
能源价格(峰谷电均价)	0.7 元/kw.h	8 元/m ³	4 元/m ³	0.88 元/kg	0.5675 元/m ³
日消耗燃料	917.99kw.h	92.59 m ³	116.28 m ³	272.53 kg	193.80 m ³
日运行费用(元)	642.59	740.72	465.12	139.83	109.98
年能源费用(元/年)	234547	270370	169767	87536	40143
设备折旧折合费用(元/年)	8000	8000	8000	8000	3000
维护费用(元/年)	5000	9600	9600	9600	0
强检费用	15000	15000	15000	15000	0
总支出费用(元/年)	262547	320970	202367	120136	70143
使用效果	直 流 式 供 热 水,水 温 不 稳 定	直流式供热水,水温不稳定	直流式供热水,水温不稳定	直流式供热水,水温不稳定	职能控温补水供热采暖冷气
优点	不 污 染,占 地 少	初投资较少	初投资较少	初投资较少	后期费用很低,安全环保,便于管理,COP 值为 4.5
不足	使用费高,危险	使用费高,危险,污染环境,专人看管费高	使用费高,危险,污染环境,专人看管费高	使用费高,危险,污染环境,专人看管费高	初投资大,极端天气节能效果差
热泵节约(元/年)	192404	232829	132225	49993	
成本回收年限	1.59	1.29	2.27	6.00	

设定条件: 热值 3.138*106kj/t 产水量 15t/d

表 9-6 不同燃料锅炉年总费用明细(万元)

计算年	电锅炉	燃油锅炉	燃气锅炉	燃煤锅炉	热泵热水器
1	33	27	27	19	34
2	60	54	48	31	41
3	86	81	68	43	48
4	112	108	88	55	55
5	138	135	108	67	62
6	165	162	129	79	69

7	191	189	149	91	76
8	217	216	169	103	83
9	243	243	189	115	90
10	270	270	210	127	97
成本回收年限（年）	1.56	1.29	2.27	6.00	

当用户用水量较大且屋顶有一定空余空间的情况下，可以选择使用太阳能集热器和二氧化碳热泵联合优化运行的制热系统，这样的优化组合更加节能经济，且又不缺乏稳定性。

9.3.2 太阳能-空气源热泵组合集热技术

新能源热水作为一种新型产品，具有节能、环保、健康、可持续当量供应热水等独特优势，随着世界能源价格的不断上涨及全球环保意识的增强，面对日益严峻的节能减排形式，太阳能供热系统更是以其运行费用低、出水温度稳定等特点，成为众多产品中的新宠儿。

应用范围：太阳能集热器供应系统适用于各种军民住宅及热水需求量较大的场所，如各种住宅小区、别墅楼盘、酒店、洗浴中心、工厂工艺流程等，这类场所的热水需求量大，用水跨度长（24h 不间断水），若使用常规加热方式加热水年需支出较大的能源费用，且使用常规能源在设备的维护和人员管理上也有较大的支出。使用太阳能集热系统可将费用减少 90%以上。

表 9-7 太阳能热水机与常规能源锅炉经济性能比较表

加热方式	电锅炉	燃油锅炉	燃气锅炉	燃煤锅炉	太阳能-空气源热泵
能源种类	电	柴油	天然气	燃煤	太阳
环保指数	环保不节能	污染不节能	污染不节能	污染不节能	高效环保节能
安全指数	危险	危险	危险	危险	安全
安装地方	安装不限值	安装受限制	安装受限制	安装受限制	安装不限值
能源价格（峰谷电均价）	0.7 元/(kw.h)	8 元/m ³	4 元/m ³	0.88 元/kg	0
日消耗燃料	917.99 kw.h	92.59 m ³	116.28 m ³	272.53 kg	0
日运行费用（元）	642.59	740.72	465.12	239.83	0
年能源费用（元）	234547	270363	169767	87536	0
设备折旧折合费用（元/年）	8000	8000	8000	8000	30000
维护费用（元/年）	5000	9600	9600	9600	0
强检费用（元/年）	15000	15000	15000	15000	0
总支出费用（元/年）	262547	302963	202367	120136	30000
使用效果	直流式供热	直流式供热水，	直流式供热水，	直流式供热	智能控温补水供热水

加热方式	电锅炉	燃油锅炉	燃气锅炉	燃煤锅炉	太阳能-空气源热泵
	水, 水温不稳定	水温不稳定	水温不稳定	水, 水温不稳定	
优点	不污染, 占地少	初投资较少	初投资较少	初投资较少	后期费用很低, 安全环保, 便于管理
缺点	使用费高, 危险	使用费高, 危险, 污染环境, 专人看管费较高	使用费高, 危险, 污染环境, 专人看管费较高	使用费高, 危险, 污染环境, 专人看管费较高	初投资大, 需要一定的安装面积
太阳能集热系统节约(元/年)	232547	272963	172367	90136	
成本回收期年限(年)	0.6	0.5	1	2.5	

设定条件: 热值 $3.138 \times 10^6 \text{KJ/d}$, 产水量 15t/d

当客户热水需求量大, 但安装面积有限的情况下可选用太阳能集热器与空气源热泵联合互补运行的方式进行供热, 白天太阳能集热器作为主要热源制取一天所需要的水, 夜间空气源热泵利用低谷电价的优势, 作为辅助热源补充一定的热水。

9.3.3 太阳能热泵技术

太阳能热泵中央热水系统是通过聚光型槽式集热器吸取太阳能加热导热油, 通过高温导热油驱动空气源吸收式热泵机组, 以从空气中提取热量, 达到太阳能、空气能的结合, 使两种新能源浑然天成。太阳能热水系统主要由三部分组成: 能量采集区、能量转换区和能量利用区。太阳能热泵系统特点: 占地面积小, 使真空管或平板太阳能的 $1/4 \sim 1/6$ 。与传统太阳能家空气源热泵相比, 初投资更低, 不存在冻管爆管的问题。双能源保障, 运行节能, 稳定, 以导热油为导热介质, 无高压风险。可应用于学校、医院酒店等。当用户热水需求在 60°C 以下, 同时热水需求量又较大的时候可以考虑。

9.3.4 太阳能热泵热水技术

目前, 为宾馆、医院等大型公共建筑提供生活热水的方式主要为锅炉、空气源热泵、地源热泵、真空管太阳能集热系统等方式。从建筑成本和运行效果来看, 这些生产方式都存在一些固有的缺陷和局限性。

锅炉能源利用效率低, 安全系数也低。空气源热泵在冬季能耗大大降低, 难以满足水温的要求, 需要消耗电能化霜。地源热泵面临高额的打井费用, 且成熟的城区会限制钻地打井的可行性。真空管太阳能集热系统受阴雨天气制约, 一般需要增加辅助加热系统。

太阳能热泵热水系统将分散的太阳能通过集热器聚集热量加热导热油, 从而驱动

主机工作制取热水：光热转化效率高，占地面积小；双能源系统，运行稳定可靠，不爆管，不冻管。多能源监护控制系统，控制更健康。其应用场所：医院、边关、酒店，洗浴中心等需要热水的场所，特别是有燃气能源且太阳能集热面积相对较小的高层建筑。

9.3.5 太阳能光热技术

传统工业供热包括集中式供热和工业锅炉供热两种。

集中供热是指以热水或蒸汽作为热媒，由一个或多个热源通过热网向城镇或其中某些区域热用户供应热能的方式。集中供热的优点包括能源利用率高、有条件进行高标准的烟气净化等。供热机组的热电联产综合热效率高达 85%，而大型气轮机组的发电热效率一般不超过 40%，区域锅炉房的大型供热锅炉的热效率可达 80%~90%，而分散的小型锅炉的热效率只有 50%~60%。集中供热站安装高烟囱和烟气净化装置，便于消除尘烟，减轻大气污染，改善环境闻声，还可以实现低质燃料和垃圾的利用。但是集中供热的热网投资巨大，且受供热半径的限制，无法覆盖所有的工业用户。

在没有集中供热热网的区域，目前工业用热企业只能利用工业锅炉来生产蒸汽或高温热水。工业锅炉包括燃煤锅炉、燃油锅炉、燃天然气锅炉、电锅炉等。由于锅炉单机功率较小，设备的利用率也较低，因此能源利用率低下，平均只能达到 50%~60%，并且烟尘排放高，污染环境。随着燃煤和燃油价格上涨，工业锅炉运行成本也随之上升。

使用对象：需要使用蒸汽或者高温热水的众多行业的能源消耗单位，都属于国家节能减排政策规划范围内需要进行设备更换或者技术改造。太阳能光热系统的应用需要较大的光照面积，因此，有大面积厂房的生产企业尤其合适。太阳能光热集热系统的面积载荷约为 40kg/m^2 ，一般的钢结构厂房或者钢筋混凝土厂房屋面都可安装。小型燃煤锅炉和燃气、燃油锅炉用户是目前阶段最适合的用户。企业的用热周期为间断性，尤其是每日在 9:00~17:00 的用户具有较好的经济性。

9.3.6 相变蓄热式 PCM 太阳能集热器

相变材料 (PCM) 在固液相变过程中吸收或释放能量，这部分能量称为相变潜热。利用 PCM 太阳能集热器构筑的 PCM 太阳能采暖系统，做到了较好的热平衡，具有较高的热效率，解决了传统太阳能系统因停电、停水、泄露、控制失灵等多种原因造成的集热器温度过高而引起的炸管、爆管，泄露等导致的太阳能供热系统瘫痪问题。

9.3.7 热源塔热泵技术

热源塔热泵是以空气为热源，通过塔体与空气进行热量交换，实现制冷、供暖及提供生活热水等多种功能的新型节能设备。热源塔热泵系统比地源热泵系统容易实现。其与传统的中央空调相比，将热源塔代替冷却塔，与地源热泵系统相比，不受地下地上水资源和地面面积的限制，热源塔热泵机组采用水-水换热的方式，机组本身的效率比采用空气-水换热系统要高。因此，热源塔热泵系统更适合于在夏热冬暖地区推广应用。

适用对象：建筑面积 10000m² 以上（或制热量 1000kw 以上）的中大型公共项目。对于项目要求制冷、供热及生活热水的工程，更能发挥出系统的节能优势。项目低质条件缺水、少水、不具备埋管、打井、其他水源换热的地区。冬季最低气温不低于-12度，室外相对湿度不低于 55%的地区。传统的单冷水机制冷+锅炉制热形式的改造项目。

9.3.8 喷油螺杆式空压机热回收技术

空压机是一种通用设备，使工业领域较为广泛应用的第四大工质能源。在大多数生产企业中，压缩空气的能源消耗占全部能源消耗的 10%~35%。

对于空压机，其输入电能约 80%左右转化为压缩热，并由各种冷却器带走。如果可以根据相应类型压缩机的结构和原理进行改造，进行热量回收，结合工厂实际情况进行热源利用，可以减少用于其他用途加热的燃料消耗量。

通过在空压机的油路中增加换热器及相应的控制装置，完全可以将全部或部分原本由冷却器排风扇带走的热量收集起来，对热水进行加热。

10 相关政策措施建议

10.1 加强引导，规范发展

1. 产业规划和产业政策

山西省政府多个文件提出了为数众多的小型工业燃煤锅炉淘汰要求，但企业对蒸汽热力需求仍在。如何最环保、最绿色的满足企业的需求，是工业燃煤锅炉淘汰后要实施的重大战略，也是提升工业系统能效，改善环境，并发展热电联产和分布式能源的最佳机会。地方政府需要提供必要的资源，支持工业企业采用成本有效的锅炉淘汰战略。地方政府也应利用这个契机，进行综合全面规划，加快推进并协调燃料替代和采用热电联产和分布式能源的战略。

以工业燃煤锅炉为抓手，淘汰中小工业燃煤锅炉为契机，促进政策改进和整体行动。从规划、市场、审批等多方面为集中供热、热电联产以及分布式能源的规模化、集约化发展创造条件，结合当地的资源特征编制新城镇建设与城市改造规划，统筹中小型锅炉改造、供暖、供水、供电、供气，规划好分布式、多联供的能源中心及管网建设。简化审批流程，有效缩短分布式能源项目开发周期，为分布式实现规模化发展创造条件。

2. 加强技术支撑和能力建设

(1) 组织最佳实践的探索及使用

技术支撑项目应该包括提供评估工具包、培训、技术指南和最佳实践案例等。

①组织有关专家对现有的新燃烧技术进行综合评价，详细分析各种技术的优缺点、适用范围、经济效益等，并提出对新技术进一步完善的方案以及对不同炉型技术改造的建议，对在用锅炉进行有效的措施推广。

②组织技术推介会，主办与锅炉能效、燃料替代及资源综合利用相关的技术会议，使设备生产企业、投资机构及工业用户有机会分享产品与技术信息，了解地方市场需求，以确定最适合用户需求的解决方案，为优秀的技术提供一个良好的示范平台和推广机遇。

③组织试点城市进行新能源示范项目，创新的融资机制，更有效的商业模式，以及侧重于温室气体减排的城市规划。

(2) 加强能力建设

能力建设是工业燃煤锅炉各相关利益方解决锅炉能效提升方案及燃料替代的重要基础。需要针对不同的项目相关方开展有效的能力建设项目，包括工业企业、政府机

构、服务商、制造商以及投资机构。这些项目可以涉及法规、标准，也可涵盖锅炉改造技术、提高运行和维护、燃料替代、可再生能源、合同和融资等内容。培训可以用更经济省时的方式，如网络培训和在线视频课程等形式。

10.2 完善法规标准

1.在锅炉制造许可、使用登记、设计文件鉴定、制造监督检验和安装监督检验等方面，增加节能的强制性要求；加快修订山西省工业锅炉能效限定值及能效等级等强制性标准，提高节能环保准入门槛；不符合排放标准的制订严格的惩罚措施。加快制修订锅炉水动力计算、热力计算、烟风阻力计算、锅炉选型及配套辅机选择、经济运行、能效测试评价方法等标准；加快制定燃煤质量分等分级系列标准。

2.制定更严格的燃煤及燃气工业锅炉能效标准和能效水平测试规范。在燃煤锅炉标准基础上，制定生物质锅炉、电锅炉、甲醇锅炉等能效标准，并使其成为和其他要素，如安全、环保一体化的指标。

3.开发有关锅炉的运行管理、调试、水处理等方面的规范及蒸汽系统的能效评价标准。

4.制定有关热电联产和分布式能源系统的技术标准、操作及设计指南。

5.制定热电联产系统和分布式能源的并网上网及系统互联制相应规则和标准。

10.3 强化监督，提高执法有效性

1.充分发挥特种设备安全监察和节能监管体系、节能监察体系和环境监管体系的作用，研究建立安全、节能、环保信息共享和联合监督执法机制，提升监管效能。

2.严格落实节能报告、环评制度以及锅炉设计文件鉴定、定型产品能效测试等制度，禁止生产、销售和使用不符合节能减排要求的锅炉。

3.开展对锅炉制造和使用单位的监督检查，曝光违规企业，加大处罚力度。

4.加强对煤炭质量的监督检查，确保地级及以上城市建成区销售、使用的煤炭为低硫份低灰份的洁净煤。

5.节能执法队伍加强对工业锅炉的节能执法检查，关停淘汰超龄和耗能的工业锅炉。严格制止高耗能，高污染的锅炉进入市场，积极推广与应用高效锅炉产品。

6.继续加强法规和标准的实施力度，加强在监测、上报以及减排核查方面的能力。

10.4 加大财税激励措施

在可见的未来，煤炭仍将是山西重要的能源，因此有必要把重点放在如何更高效更清洁地利用煤炭，大型煤炭的热电联供以及煤基分布式能源是重要的解决途径。与

此同时也需要对可替代性的解决方案的研发、技术应用和市场推广进行战略的规划，从而避免造成基础建设和技术体系只适合于煤炭的“煤炭锁定效应”。政府通过税收和财政激励可以加速锅炉系统优化、清洁燃料替代（如天然气、、生物质能、太阳能）和能源综合利用（如余热利用、热电联产和分布式能源）等的技术开发和市场推广。

1.加大公共财政对工业燃煤锅炉节能工作的支持力度

加大财政、信贷对工业燃煤锅炉节能工作的支持力度。除了增加节能资金拨款外，建立工业锅炉节能专项基金，完善有关减免税政策。一方面弥补目前工业锅炉节能资金的短缺，维持工业锅炉节能机制的运作，另一方面用于鼓励高效工业锅炉的研发、生产、推广，调动锅炉企业、节能服务公司，用户推动锅炉节能的积极性。

通过国家、地方重大专项资金，落实对技术攻关、试点示范企业的扶持和补助，如对清洁高效煤粉工业锅炉进行试点推广并给予资金支持；根据达标检测后实际供给用户的蒸吨量，补助投资运营商，鼓励企业用分布式能源替代传统中小燃煤锅炉、治理散烧煤；根据实际带来的损失和给用户增加的负担，对率先按政策执行关停、改造的用户给予适当的补偿或补贴，形成通过采用分布式能源替代散烧煤的正向激励。

2.出台财税鼓励政策

现有电、热、冷及天然气等能源价格体系不够合理，制约分布式供能的发展。政府应出台鼓励政策，在天然气价格和上网电价上给予优惠政策，对于供能企业给予财政补贴和税收减免政策。

3.建立节能减排技术创新引导专项基金

(1)鼓励行业骨干企业建立研发中心，完善设计研发手段特别是计算机辅助技术应用，提高锅炉企业自主研发能力；出台政策引导措施，鼓励企业进行研发投入。

(2)提升高校和科研院所的基础理论研究及试验测试水平，通过产业技术联盟的合作形式，开展共性技术研究，增强原始创新能力。

(3)鼓励企业实施信息化技术改造，提升两化融合能力。

(4)鼓励一批拥有自主知识产权的技术、产品研发，标准研究和产业化推广。

10.5 建立基于市场的节能激励措施

既要建立良好的节能机制，强调政府的监督管理，更要充分重视市场的作用。

1.积极推行“合同能源管理”

组织对企业的锅炉运行情况进行诊断，提出改造方案。按照市场运作方式，吸引合同能源管理公司参与企业锅炉更新改造和节能技术推广应用，企业应从节能效益中

还贷。

2.消除行政障碍，提高市场竞争性，鼓励私人投资和第三方的参与市场。

(1)地方政府可以通过 PPP（政府-社会合作伙伴），有效激励私人领域参与到燃气供给的基础设施建设和扩展燃气的输送管网。

(2)对燃气价格持续的改革，减少工业部门的燃气价格和其他部门之间的差距。

(3)去除工业热电联产和分布式系统接入城市电网和热力输送系统的障碍，提高系统的投资回报率。

3.发挥政府在工业锅炉节能方面的示范带头作用

政府在工业锅炉采购时应通过招投标优先选用符合节能要求的工业锅炉产品及相关设备。

10.6 组织引导，加快先进技术开发应用

(1)加大对工业锅炉技术研发投入，增强创新能力。对影响行业发展的技术瓶颈问题，如大型燃煤锅炉改进优化技术、低污染控制技术、数字化设计技术等，开展联合攻关；推进产业技术联盟和平台建设，完善科研创新体系；制定科学的能效标准，通过多种手段强化节能环保技术和产品的推广。

(2)组织专家对山西省工业锅炉用煤的预处理进行技术经济分析，同时吸取国内外的技术及管理经验，设计出工业锅炉用煤的生产、预处理、运输、使用等环节的经济方便的程序，提出区域煤炭配送中心示范可行性研究报告。建设示范点进行实际示范，在此基础上总结经验向全省推广。

10.7 创新融资和商业模式

“高能效” “低排放” 的技术在整个技术的生命周期中有较大的节能减排效果，但往往需要比常规技术较高的前期投入。解决融资是清除推广先进技术市场障碍的一个关键点。

1.通过试点示范，创新商业模式

试点示范项目既是展示先进技术方案的平台，也是开发和测试创新融资和商业模式的一个最佳机会。

政府可考虑实施燃煤工业锅炉节能减排综合提升工程试点项目，以验证和示范新解决方案。试点城市可制定综合性试点计划，侧重于整体解决方案。在城市试点中，可开展具体的技术示范，用于展现不同的技术手段，如清洁燃料处理技术、高效低排放燃烧器、锅炉自动化监测控制技术、智能化炉膛清污技术、锅炉温度影像技术、蒸

汽系统优化、建立热电联产能源中心，以及利用太阳能进行锅炉预热等等创新技术和手段。

也可选择一家工业园区，以工业园区管委会（政府）和社会资本建立 PPP，将园区内相近企业的蒸汽/热/电等需求整合起来，建立热电联产系统中心。项目可采用创新的服务购买合同模式（PPA），利用第三方融资。在这个模式下，成立由锅炉制造企业参与的特殊目的公司，负责设计、开发、融资并实施热电联产项目，使用先进的技术（如微型燃气轮机、锅炉系统自动化、低氮氧化物排放的燃烧技术等）。

2.创新融资模式

商业模式转变的同时，需采用创新的融资模式。这些模式包括采用为工业企业提供蒸汽、热力、电力联供服务并收费的服务机制，或者与企业建立长期的购买服务合同，并以这种费率服务机制或长期购买合同质押获得融资，并以服务收费归还贷款。可以试点 PPP 模式，由地方工业园区的管委会整合园内企业对热/蒸气的需求，招标采购所需要的企业服务。

附件一：工业燃煤锅炉淘汰产品名称及型号规格

表附 1-1 淘汰产品名称及型号规格

序号	锅炉型号
高耗能落后机电设备（产品）淘汰目录（第一批）	
1	0.4—0.7t/h 工业锅炉 立式水管固定炉排锅炉 LSG 0.4—8—A3 立式水管固定炉排锅炉 LSG 0.7—8—A3 立式水管固定炉排锅炉 LSG 0.5—8
2	1t/h 单纵汽包水管固定炉排锅炉 DZG1—8
3	2t/h 工业锅炉 单纵汽包水管固定炉排锅炉 DZG2—8 单纵汽包水管活动炉排锅炉 DZH2—8
4	4t/h 工业锅炉 卧式快装固定炉排锅炉 KZG4 — 13 卧式快装链条炉 KZL4-13-1
5	兰开夏、考克兰、康尼许锅炉
6	卧式快装固定炉排锅炉 KZG1—8
7	LSG0.1—5 立式水管锅炉
8	LHG0.3—8 立式水管锅炉
9	LSG0.36—5 立式水管锅炉
10	LSG0.4—5 立式水管锅炉
11	LHG0.4—7 立式水管锅炉
12	LHG0.45—8 立式水管锅炉
13	LHG0.5—8 立式水管锅炉
14	LSG0.5—7 立式水管锅炉
15	LHG0.85—8 立式水管锅炉
16	LSG1—8 立式水管锅炉
17	WSG1—8 卧式手烧炉
18	WNG1—8 卧式手烧炉

序号	锅炉型号
19	KZG1.25—8 手烧快装炉
20	LHG1.35—8 立式火管炉
21	WNG1.5—8 卧式手烧炉
22	KZG1.5—8 手烧快装炉
23	WYG1.5—8 卧式手烧炉
24	WWG2—8 卧式手烧锅炉
25	WNG2—8 卧式手烧锅炉
26	WSG2.2—8 卧式手烧锅炉
27	立式火管蒸汽锅炉 LHG0.4—5
28	固定炉排蒸汽锅炉 KZG1—8
29	固定炉排蒸汽锅炉 KZG2—8
30	固定炉排蒸汽锅炉 KZH1—8
31	固定炉排蒸汽锅炉 KZH2—8
32	快装链条蒸汽锅炉 KZL2—8(I)
33	快装链条蒸汽锅炉 DZL2—13(I)
34	抛煤机蒸汽锅炉 KHP6—13 / 350
35	抛煤机蒸汽锅炉 KHP6—25 / 400
36	振动炉排蒸汽锅炉 SHZ2—8
37	振动炉排蒸汽锅炉 SZK4—25
38	振动炉排蒸汽锅炉 SZZ4 — 13
39	振动炉排蒸汽锅炉 KZZ4—13
40	振动炉排蒸汽锅炉 DZZ2—8
41	振动炉排蒸汽锅炉 KZZ2—13
42	沸腾床蒸汽锅炉 SHF4—25
43	沸腾床蒸汽锅炉 SHF9—13
44	抛煤机锅炉 SZP10—13
45	抛煤机锅炉 SZP10—13 / 350
46	抛煤机锅炉 SZP10—25 / 350

序号	锅炉型号
47	抛煤机锅炉 SZP10—25 / 400
48	老结构振动炉排锅炉 KZH10—25 / 400
49	沸腾锅炉 KHF20—25 / 400
50	KZL4 — 13 — AIII水火管链条蒸汽锅炉
高耗能落后机电设备（产品）淘汰目录（第二批）	
1	LHS 型立式冲天管结构燃油、燃天然气锅炉
2	立式水管燃油、气蒸汽锅炉 LHS1-0.7-Y(Q) LHS2-1.0-Y(Q)
3	DZL2-1.0-A II .P 未改进的水火管快装锅炉
4	2t/h 手摇炉排蒸汽锅炉（DZH2-1.0-A II）
5	立式固定炉排有机热载体锅炉 YGL-160MA II YGL-200MA II
6	往复炉排热水锅炉 DZW1.4-0.7/95/70-A II DZW2.8-0.7/95/70-A II
7	卧式内燃链条炉排锅炉 WNL1-13-A3 WNL2-13-A3 WNL4-13-A3
8	沸腾锅炉 SHF6-SHF35

附件二：锅炉推荐产品名称及型号规格

表附 2-1 推荐产品名称及型号规格

序号	设备名称	型号
节能机电设备(产品)推荐目录（第一批）		
1	大型高温热水锅炉	DZL72-1.6/150/90-A II
2	强制循环水管热水锅炉	QXL70-1.6/130/70-A II
3	燃低劣油页岩高低差速循环流化床锅炉	DHX-65-3.82-Y（JG65/3.82-M）
4	燃煤有机热载体加热锅炉系统	Y LW16000
5	高温热水锅炉	QXL64-1.6/130/70-A II
6	循环流化床锅炉	SHX35-2.5/400-A II 2
7	燃水煤浆蒸汽锅炉	SZS10-1.25-J
节能机电设备(产品)推荐目录（第二批）		
1	大型高温热水锅炉	DZL58-1.6/150/90-AII
2	油田燃煤注汽锅炉	QXL23-17.5-AII
		QXL48-17.5-AII
3	真空锅炉	WNS0.7-0.5/80/60-Q(SV-6005)
4	全自动整装燃油（气）水管饱和蒸汽锅炉	SZS10-1.25-QC
		SZS20-2.5-QC
		SZS30-1.25-QT
		SZS35-2.5-QC
5	高炉煤气锅炉	DHS220-9.8/540-Q (JG-220/9.8-Q)
6	燃煤泥与矸石高低差速循环流化床锅炉	DHX130-3.82/450-MN (JG-130/3.82-MN)
7	生物质成型燃料自控锅炉	CWWH0.2-85/60
8	75t/h 燃秸秆发电锅炉	DHL75-3.82/450-T （SF-75/3.82-T）
9	DZL3 型燃煤链条热水锅炉	DZL29-1.25/130/70-AII3
		DZL70-1.25/130/70-AII3
节能机电设备(产品)推荐目录（第三批）		

序号	设备名称	型号
1	燃气锅炉	SZS20-1.25-Q SZS35-1.25-Q
2	10 万吨/年煅烧焦项目烟气能量回收系统余热锅炉	BQ100/1050-50-3.82/450
3	燃油页岩高低差速循环流化床锅炉	DHX130-9.8/540-YY
4	多种生物质燃料直燃锅炉	DHX65-3.82/450-SW
5	大容量复合循环高温热水锅炉	QXL29-1.6/150/90-A II
6	甘蔗渣锅炉	DHG-135/3.8-G
7	常压热水燃煤锅炉	CWRL1.4-85/60- AIII
节能机电设备(产品)推荐目录（第四批）		
1	固态燃料半煤气回转燃煤蒸汽锅炉	DZL6-1.25-AII
2	链条炉排蒸汽锅炉	DZL4-1.25-AIII
3	卧式内燃湿背式燃油、燃气蒸汽锅炉	WNS2-1.25-Q WNS4-1.25-Q WNS1.4-1/95/70-Q WNS14-1.25/130/70-Q
4	高效煤粉工业热水锅炉	SZS14-1.6/130/70-AIII SZS14-1.6/115/70-AIII
5	基于流态重构的循环流化床蒸汽锅炉	TG-240/9.81-M
6	基于流态重构的循环流化床热水锅炉	QXF116-1.6/130/70-MI
7	自然循环低流速差压流化床锅炉	DHX20-1.25-A
8	循环流化床锅炉	XTG-40/3.82-M
9	高温、高压燃混合生物质锅炉	DHX75-9.8/540-SW
10	全自动卧式燃气整装水管热水锅炉	SZS29-1.6/130/70-Q
11	燃气蒸汽锅炉	LHS2.0-1.04-Q WNS2.0-1.0-Q
12	组装水管链条炉排锅炉	SZL8-1.6-H
13	热水锅炉	DZL4.2-0.7/95/70/AI
14	卧式燃气蒸汽锅炉	WNS0.5-0.8-Q

序号	设备名称	型号
		WNS2-1.25-Q
		WNS4-1.25-Q
节能机电设备(产品)推荐目录（第五批）		
1	DHL 型燃煤链条炉排热水锅炉	DHL46-1.6/150/90-A II
2	QXS 型煤粉工业锅炉	QXS58-1.6/130/70-AIII
3	循环流化床燃煤锅炉	XTG-35/3.82-M
4	高低差速循环流化床燃煤矸石锅炉	DZX220-9.8/540-GS
5	WNS 型卧式凝 式蒸汽锅炉	WNS2-1.25-Q(LN)
		WNS4-1.25-Q(LN)
		WNS6-1.25-Q(LN)
6	SZS 型燃气热水锅炉	SZS58-1.6/130/70-Q
7	SZS 型燃气热水锅炉	SZS46-1.6/130/70-Q
8	WNS 型燃气蒸汽锅炉	WNS8-1.25-Q
9	WNS 型燃气热水锅炉	WNS7.0-1.25/115/70-Q
10	QXS 型燃气热水锅炉	QXS14-1.25/130/70-Q
11	WNS 型燃气蒸汽锅炉	WNS6-1.25-Q
12	WNS 型燃气蒸汽锅炉	WNS6-1.25-Q
		WNS10-1.25-Q
		WNS20-1.25-Q
13	ZZS 型燃气铸铁热水锅炉	ZZS0.46-0.7/95/70-Q
		ZZS0.7-0.7/95/70-Q
		ZZS1.05-0.7/95/70-Q
14	QXS 型直流式蒸汽锅炉	QXS1-1.0-Q
15	YQL 型有机热载体锅炉	YQL-14000Q
节能机电设备(产品)推荐目录（第六批）		
1	75t/h 燃造纸废渣高低差速循环流化床锅炉	DZS75-3.82/450-FZ
2	高效煤粉锅炉	DHS20-1.6-MF

序号	设备名称	型号
3	90t/h 次高温次高压生物质锅炉	JG-90/5.3-T
4	单锅筒横置式链条炉排水管热水锅炉	QXL58-1.25/130/70-A II
5	双锅筒横置式往复推动炉排层燃水管散装热水锅炉	SHW29-1.25/130/70-H
6	全自动燃油、气模块组装水管热水锅炉	SZS58-1.6/130/70-Y、Q
7	35 吨燃油（气）蒸汽锅炉	KDZS35-1.27/350-Y(Q) II
8	贯流燃气锅炉	CZI-1000GS(LSS1-1.0-Q)
		CZI-2000GS (LSS2-1.0-Q)
		CZI-4000GS (LSS4-1.0-Q)
		CZI-4000GU (LSS4-1.0-Q)
9	双锅筒纵置式室燃散装热水锅炉	SZS58-1.6/150/90-Q
10	冷凝式卧式内燃燃气蒸汽锅炉	WNS6-1.25-Q
节能机电设备(产品)推荐目录（第七批）		
1	复合流化床生物质锅炉	SZF18-1.25-BMF
2	复合流化床生物质锅炉	SZSG12-1.25-BMF
3	强制循环室燃热水锅炉	QXS58-1.6/130/70-AIII
4	燃气热水锅炉	QXS10.5-1.25-130/70
5	一体式冷凝承压热水锅炉	WNS7-1.0/115(95)/70-Y、Q
6	SZS 型 46MW 燃气热水锅炉	SZS46-1.6/130/70-Q
7	贯流燃气锅炉	CZI-2000GU
8	双锅炉纵置式室燃冷凝热水锅炉	SZS46-1.25/130/70-YQ(L)
9	燃油燃气锅炉	WNS10-1.25-Y、Q
10	冷凝式卧式内燃燃气热水锅炉	WNS14-1.25/130/70-Q
11	燃油燃气蒸汽锅炉	WNS10-1.25-Y、Q
12	低氮冷凝热水锅炉	LHS0.586-1.0/95/20-YQ

附件三：锅炉能效相关标准及设计安装要求

工业锅炉能效指标是指锅炉热效率、排烟温度、排烟处过量空气系数、炉渣可燃物含量、炉体表面温升的统称。为提高锅炉运行的能效水平，加强工业燃煤锅炉的设计、制造及运行管理，推进新型高效节能燃煤工业锅炉的开发、制造及应用，国家相继发布了系列工业燃煤锅炉的能效标准。详见表附 3-1。

表附 3-1 锅炉运行管理及节能监测评价标准和准则

序号	名称	编码
1	《工业锅炉通用技术条件》	GB/T 10094-2002
2	《工业锅炉热工性能试验规程》	GB/T 10180—2003
3	《工业锅炉水处理设施运行效果与监测》	GB/T 16811—2005
4	《工业锅炉经济运行》	GB/T 17954-2007
5	《设备及管道保温技术通则》	GB/T 4272—2008
6	《工业锅炉水质》	GB/T 1576-2008
7	《燃煤工业锅炉节能监测标准》	GB/T 15317-2009
8	《工业锅炉能效限定值及能效等级》	GB 24500-2009
9	《工业锅炉安装工程施工及验收规范》	GB/T 50273—2009
10	《工业锅炉节能产品技术条件》	CIBB2—2009
11	《工业锅炉系统能效监测与评定》	DB11/T 180-2010
12	《锅炉节能技术监督管理规程》	TSG G0002-2010
13	《工业锅炉能效测试与评价规则》	TSG G0002-2010
14	《生活锅炉热效率及热工试验方法》	GB/T10820-2011
15	《烟道式余热锅炉热工试验方法》	GB/T10863-2011
16	《工业锅炉技术条件》	NB/T47034-2013
17	《锅炉大气污染物排放标准》	GB 13271-2014

1、锅炉设计制造及安装方面

锅炉设计制造及安装方面的规范及要求包含：《中华人民共和国特种设备安全法》、《特种设备安全监察条例》、《锅炉节能技术监督管理规程》、《高耗能特种设备节能监督管理办法》以及《锅炉设计文件节能审查办法（试行）》等。

其中，《特种设备安全监察条例》要求：特种设备生产单位对其生产的特种设备

的安全性能和能效指标负责，不得生产不符合安全性能要求和能效指标的特种设备，不得生产国家产业政策明令淘汰的特种设备。同时,高耗能特种设备还应当按照安全技术规范的要求提交能效测试报告。

《高耗能特种设备节能监督管理办法》要求：高耗能特种设备生产单位应当按照国家有关法律、法规、特种设备安全技术规范等有关规范和标准的要求进行生产，确保生产的高耗能特种设备符合能效指标要求。特种设备生产单位不得生产不符合能效指标要求或者国家产业政策明令淘汰的高耗能特种设备。

《锅炉设计文件节能审查办法（试行）》要求：各锅炉制造企业和相关锅炉设计文件鉴定机构应当按照该办法的要求进行锅炉设计文件节能审查工作，为通过节能审查的锅炉设计文件不得投入生产。

锅炉设计文件节能审查内容包含主要参数（蒸发量、额定功率、出口压力、出口温度、燃料特性等）；主要结构（炉膛结构、受热面、炉墙、省煤器、空气预热器）及钢耗量；燃烧系统（炉拱、炉排、燃烧器）；锅炉辅机（鼓风机、引风机、给水泵、循环泵和蒸汽泵、水处理系统）配备及功率；计量、检测、控制仪表及预留监测孔位置变化。

锅炉仪表配置要求如下表附 3-2 示。

表附 3-2 锅炉仪表配置要求

监测项目	单台蒸汽锅炉额定蒸发量或热水锅炉热工率								
	≤4 t/h (2.8 MW)			<20t/h (2.8 MW)			≥20t/h (2.8 MW)		
	指示	积算	记录	指示	积算	记录	指示	积算	记录
燃料量（煤注 1、油、燃气）	√	√	√	√	√	√	√	√	√
燃气、燃油的温度和压力	√			√			√		√
蒸汽流量				√	√	√	√	√	√
给水流量	√	√	√	√	√	√	√	√	√
热水锅炉循环水量	√	√	√	√	√	√	√	√	√
热水锅炉补水量				√	√	√	√	√	√
过热蒸汽温度	√			√			√		√
蒸汽压力	√			√			√		√

监测项目	单台蒸汽锅炉额定蒸发量或热水锅炉热工率								
	≤4 t/h (2.8 MW)			<20t/h (2.8 MW)			≥20t/h (2.8 MW)		
	指示	积算	记录	指示	积算	记录	指示	积算	记录
热水温度	√			√			√		√
排烟温度	√			√			√		√
排烟含 O ₂ 量注 2				√			√		√
炉膛温度							√		
各级对流受热面进、出口烟气温度							√		
空气预热器出口热风温度				√			√		
炉膛出口烟气压力							√		
一次风压及风室压力							√		
二次风压							√		
炉排速度	√			√			√		
鼓、引风机进口挡板开度或调速风机转速				√			√		
鼓、引风机负荷电流							√		

注 1: ≤4 t/h (2.8 MW) 燃煤锅炉可不配置燃煤量指示仪表, 积算和记录可采用人工方式记录。

注 2: ≤10 t/h (7 MW) 锅炉建议安装。

2、锅炉产品热效率要求

根据相关要求及规范, 目前锅炉制造厂的设计资料都开展锅炉设计文件审查工作, 不符合能效要求的锅炉不得投入生产, 锅炉热效率从源头上得到了保证。参照《工业锅炉技术条件》以及《工业锅炉能效限定值及能效等级》, 燃煤锅炉产品热效率应当满足以下要求:

- (1) 层状燃烧锅炉产品允许工况范围内最低热效率目标值和限定值见表附 3-3;
- (2) 抛煤机链条炉排锅炉产品允许工况范围内最低热效率目标值和限定值见表附 3-4;
- (3) 流化床燃烧锅炉产品允许工况范围内最低热效率目标值和限定值见表附 3-5。

表附 3-3 层状燃烧锅炉产品允许工况范围内最低热效率目标值和限定值

燃料品种		燃料收到基低位发热量， Q _{net.v.ar} (KJ/kg)	锅炉容量，D （t/h 或者 MW）									
			D<1		1≤D≤2		2<D≤8		8<D≤20		D>20	
			D<0.7		0.7≤D≤1.4		1.4<D≤5.6		5.6<D≤14		D>14	
			锅炉热效率，%									
			目 标 值	限 定 值	目 标 值	限 定 值	目 标 值	限 定 值	目 标 值	限 定 值	目 标 值	限 定 值
烟煤	Ⅱ	17700≤Q _{net.v.ar} ≤21000	79	73	82	76	84	78	85	79	86	80
	Ⅲ	Q _{net.v.ar} >21000	81	75	84	78	86	80	87	81	88	82
贫煤		Q _{net.v.ar} ≥17700	77	71	80	74	82	76	84	78	85	79
无 烟 煤	Ⅱ	Q _{net.v.ar} ≥21000	66	60	69	63	72	66	74	68	77	71
	Ⅲ	Q _{net.v.ar} ≥21000	71	65	76	70	80	74	82	76	86	79
褐煤		Q _{net.v.ar} ≥11500	77	71	80	74	82	76	84	76	86	80

注：1. 表中未列燃料的锅炉热效率指标，参照相应燃料收到基低位发热量相近的锅炉热效率指标。

2. 各燃料品种的干燥无灰基挥发分（V_{daf}）范围为：烟煤，V_{daf}>20%；贫煤，10%<V_{daf}≤20%；Ⅱ类无烟煤，V_{daf}<6.5%；Ⅲ类无烟煤，6.5%≤V_{daf}≤10%；褐煤，V_{daf}>37%。（下同）

表附 3-4 抛煤机链条炉排锅炉产品允许工况范围内最低热效率目标值和限定值

燃料品种		燃料收到基低位发热量, Q _{net.v.ar} (KJ/kg)	锅炉容量, D (t/h 或者 MW)			
			6≤D≤20 或者 4.2≤D≤14		D>20 或 D>14	
			锅炉热效率, %			
			目标值	限定值	目标值	限定值
烟煤	II	17700≤Q _{net.v.ar} ≤21000	86	80	87	81
	III	Q _{net.v.ar} >21000	88	82	89	8.
贫煤		Q _{net.v.ar} ≥17700	85	79	86	80

表附 3-5 流化床燃烧锅炉产品允许工况范围内最低热效率目标值和限定值

燃料品种		燃料收到基低位发热量 Q _{net.v.ar} (KJ/kg)	锅炉容量，D (t/h 或者 MW)			
			6≤D≤20 或者 4.2≤D≤14		D>20 或者 D>14	
			锅炉热效率，%			
			目标值	限定值	目标值	限定值
烟煤	I	14400≤Q _{net.v.ar} <17700	85	79	86	80
	II	17700≤Q _{net.v.ar} ≤21000	88	82	89	83
	III	Q _{net.v.ar} >21000	90	84	90	84
贫煤		Q _{net.v.ar} ≥17700	87	81	88	82
褐煤		Q _{net.v.ar} ≥11500	88	82	89	83

燃油和燃气锅炉产品允许工况范围内最低热效率目标值和限定值见表附 3-6。

表附 3-6 燃油和燃气锅炉产品允许工况范围内最低热效率目标值和限定值

燃料品种	燃料收到基低位发热量 Q _{net.v.ar} (KJ/kg)	锅炉容量，D （t/h 或者 MW）			
		D≤2 或 D≤1.4		D＞2 或 D＞1.4	
		锅炉热效率，%			
		目标值	限定值	目标值	限定值
重油	按燃料实际化验值	90	86	92	88
轻油		92	88	94	90
燃气		92	88	94	90

附件四：在用锅炉的能效监测指标要求

1、热工测试方面的要求

热工测试是锅炉节能评价基础，热工测试可以确定锅炉热效率，了解锅炉运行经济状况的好坏；通过反平衡测试可以找出造成能量损失的主要原因；指明减少损失，提高效率的主要途径；是锅炉节能改造效果评价的基础。

测试的方法主要有定型产品热效率测试、锅炉运行工况热效率详细测试、工况热效率简单测试以及锅炉及其系统运行能效评价测试。目前锅炉热工测试相关标准规范有：《烟道式余热锅炉热工试验方法》（GB/T10863-2011）、《生活锅炉热效率及热工试验方法》（GB/T10820-2011）、《锅炉节能技术监督管理规程》（TSG G0002—2010）、《工业锅炉能效测试与评价规则》（TSG G0003—2010）和《燃煤工业锅炉节能监测》（GB/T15317—2009）、《工业锅炉热工性能试验规程》（GB/T10180—2003）等。

2、在用锅炉能效测试热效率要求

目前国家没有在用锅炉能效测试热效率要求，可查到的标准有燃煤工业锅炉能效测试指标及其限值（DB22/T 1973-2013）以及高耗能燃煤锅炉能效指标（DB46/T180-2009），其中高耗能燃煤锅炉能效指标规定了广东地区在用锅炉的热效率指标、在用锅炉的排烟温度指标、在用锅炉的排烟处过量空气系数指标、在用锅炉的炉渣可燃物含量指标以及在用锅炉的炉体表面温升指标等。

高耗能燃煤锅炉能效指标中规定的不同类型锅炉测试热效率指标如下表附 4-1~附 4-9 所示。

表附 4-1 在用层状燃烧锅炉热效率指标

燃料品种		燃料收到基低位发热量 $Q_{net, v, ar}$ kJ/kg	锅炉额定蒸发量 $D_e(t/h)$ 或额定热功率 $Q_e(MW)$		
			$D_e \leq 8$ 或 $Q_e \leq 5.6$	$8 < D_e \leq 20$ 或 $5.6 < Q_e \leq 14$	$D_e > 20$ 或 $Q_e > 14$
			锅炉热效率 %		
烟煤	I	$Q_{net, v, ar} < 17700$	78	79	80
	II	$17700 \leq Q_{net, v, ar} \leq 21000$	78	79	80
	III	$Q_{net, v, ar} > 21000$	80	82	84
贫煤		$Q_{net, v, ar} \geq 17700$	76	78	80
无烟煤	II	$Q_{net, v, ar} \geq 21000$	72	74	76
	III	$Q_{net, v, ar} \geq 21000$	74	76	79
褐煤		$Q_{net, v, ar} \geq 11500$	76	78	80

注： 1、各燃料品种的干燥无灰挥发份（ V_{daf} ）范围：烟煤： $V_{daf}>20\%$ ；贫煤： $10\%<V_{daf}\leq 20\%$ ；
 II类无烟煤： $V_{daf}<6.5\%$ ；III类无烟煤： $6.5\%\leq V_{daf}\leq 10\%$ ；褐煤： $V_{daf}>37\%$ 。
 2、在广东地区的层状燃烧锅炉，本标准不推荐使用煤种：I类烟煤、II类无烟煤、III类无烟煤。

表附 4-2 在用循环流化床锅炉热效率指标

燃料品种		燃料收到基低位发热量 $Q_{net, v, ar}$ kJ/kg	锅炉额定蒸发量 $D_e(t/h)$ 或额定热功率 $Q_e(MW)$		
			$D_e\leq 20$ 或 $Q_e\leq 14$	$20<D_e<35$ 或 $14<Q_e<24.5$	$D_e\geq 35$ 或 $Q_e\geq 24.5$
			锅炉热效率%		
烟煤	I	$Q_{net, v, ar}<17700$	79	81	82
	II	$17700\leq Q_{net, v, ar}\leq 21000$	82	83	85
	II I	$Q_{net, v, ar}>21000$	84	85	86
贫煤		$Q_{net, v, ar}\geq 17700$	81	83	84
褐煤		$Q_{net, v, ar}\geq 11500$	82	84	85
无烟煤	I	$Q_{net, v, ar}\geq 21000$	80	81	82
	II	$Q_{net, v, ar}\geq 21000$	80	81	82
	II I	$Q_{net, v, ar}\geq 21000$	81	82	84

表附4-3 在水煤浆锅炉热效率指标

燃料品种			燃料收到基低位发热量 $Q_{net, v, ar}$ kJ/kg	锅炉额定蒸发量 $D_e(t/h)$ 或额定热功率 $Q_e(MW)$		
				$D_e\leq 20$ 或 $Q_e\leq 14$	$20<D_e<35$ 或 $14<Q_e<24.5$	$D_e\geq 35$ 或 $Q_e\geq 24.5$
				锅炉热效率%		
水 煤 浆	I 级	浓度 $>66\%$	$Q_{net, v, ar}>19500$ 挥发份 $>30\%$	87	88	89
	II 级	浓度 $64.1\%\sim 66\%$	$18500<Q_{net, v, ar}\leq 19500$ $20\%<$ 挥发份 $\leq 30\%$	86	87	88
	III级	浓度 $60.1\%\sim 64\%$	$17000<Q_{net, v, ar}\leq 18500$ 挥发份 $\leq 20\%$	85	86	87

表附 4-4 在用有机热载体锅炉热效率指标

燃料品种		燃料收到基低位发热量 $Q_{net, v, ar}$ kJ/kg	锅炉额定蒸发量 $D_e(t/h)$ 或额定热功率 $Q_e(MW)$		
			$D_e\leq 8$ 或 $Q_e\leq 5.6$	$8<D_e\leq 20$ 或 $5.6<Q_e\leq 14$	$D_e>20$ 或 $Q_e>14$
			锅炉热效率 %		
烟煤	I	$Q_{net, v, ar}<17700$	73	74	76

	II	$17700 \leq Q_{net, v, ar} \leq 21000$	73	74	76
	III	$Q_{net, v, ar} > 21000$	75	76	78
贫煤		$Q_{net, v, ar} \geq 17700$	71	73	75
无烟煤	II	$Q_{net, v, ar} \geq 21000$	65	67	70
	III	$Q_{net, v, ar} \geq 21000$	70	72	75
褐煤		$Q_{net, v, ar} \geq 11500$	71	73	76

注：1、燃煤的干燥无灰基挥发份（ V_{daf} ）范围为：烟煤： $V_{daf} > 20\%$ ；贫煤： $10\% < V_{daf} \leq 20\%$ ；
II类无烟煤： $V_{daf} < 6.5\%$ ；III类无烟煤： $6.5\% \leq V_{daf} \leq 10\%$ ；褐煤： $V_{daf} > 37\%$ 。
2、在广东地区的有机热载体锅炉，本标准不推荐使用煤种：I类烟煤、II类无烟煤、III类无烟煤。

表附 4-5 在用燃煤锅炉排烟温度指标 °C

锅炉类型	排 烟 温 度	
蒸汽锅炉	$D_e < 35\text{t/h}$	$\leq 170^\circ\text{C}$
	$D_e \geq 35\text{t/h}$	$\leq 150^\circ\text{C}$
有机热载体炉	热载体额定供热温度+40°C且不应大于 250°C	

表附 4-6 在用燃煤锅炉排烟处过量空气系数指标

燃烧方式	层状燃烧	流化床燃烧
过量空气系数	≤ 1.75 (燃用无烟煤的 ≤ 2.0)	≤ 1.50

表附 4-7 燃煤锅炉炉渣可燃物含量指标 %

锅炉额定蒸发量 D_e (t/h) 或额定热功率 Q_e (MW)	使用燃料						
	烟煤			贫煤	无烟煤		
	I	II	III		I	II	III
$D_e \leq 8$ 或 $Q_e \leq 5.6$	14	14	14	16	18	18	16
$D_e > 8$ 或 $Q_e > 5.6$	12	12	11	13	15	15	14

① 表中数值为层燃工业锅炉在额定负荷下运行时对炉渣可燃物含量的要求。

表附4-8水煤浆锅炉飞灰含碳量 %

锅炉额定蒸发量 D_e (t/h)或 额定热功率 Q_e (MW)	水煤浆等级		
	I 级	II 级	III级
$D_e \leq 10$ 或 $Q_e \leq 7$	3.5	4.0	4.5
$10 < D_e < 35$ 或 $7 < Q_e < 24.5$	3.0	3.5	4.0
$D_e \geq 35$ 或 $Q_e \geq 24.5$	2.5	3.0	3.5

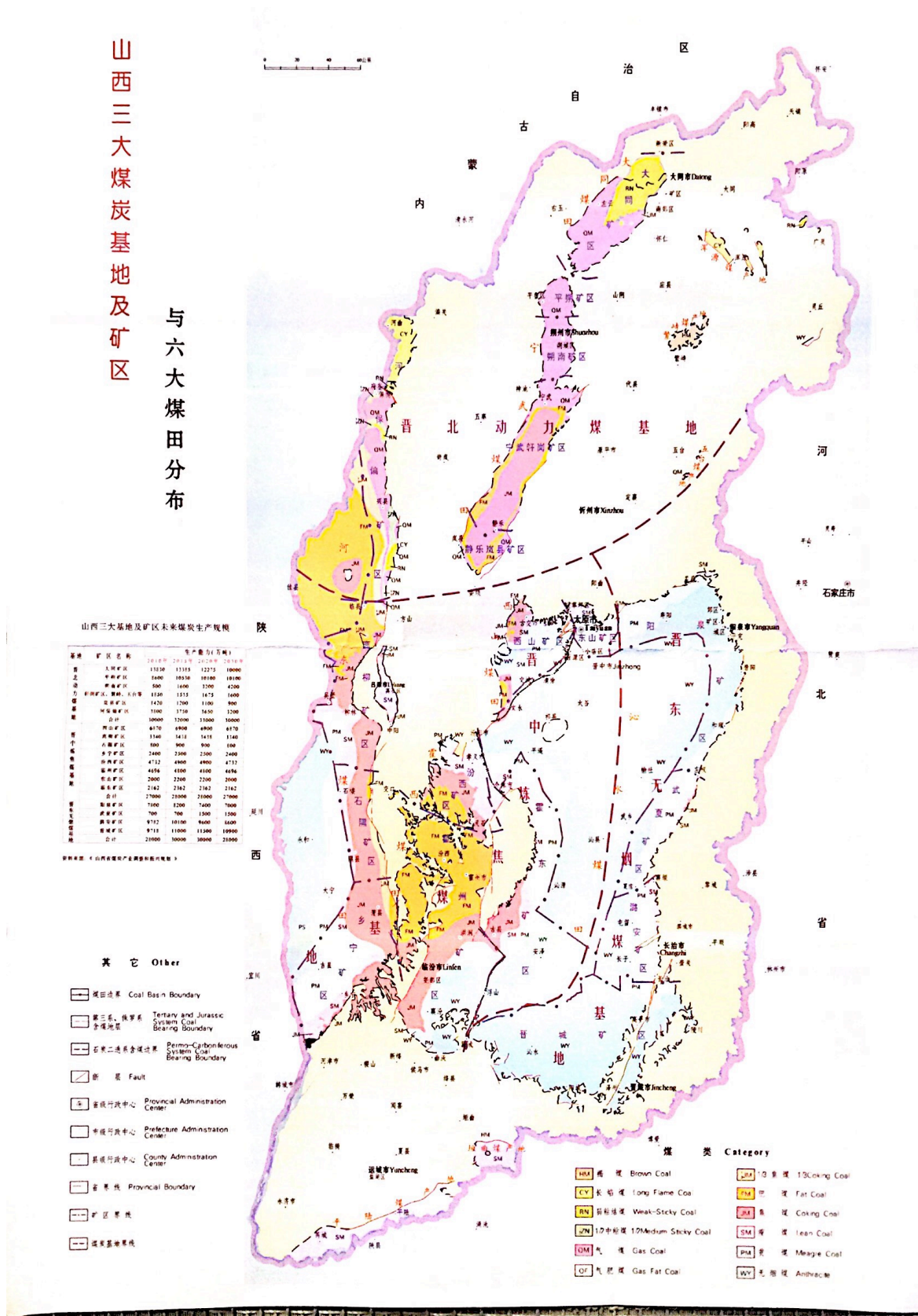
表附 4-9 炉体外表面温升指标 °C（上限值）

	位 置	侧面	炉顶
燃煤锅炉	炉体外表面距门、孔 300 mm 以外温度	+25	+45

注：1、炉体外表面温升：炉体外表面温度比环境温度高出的温度数值。

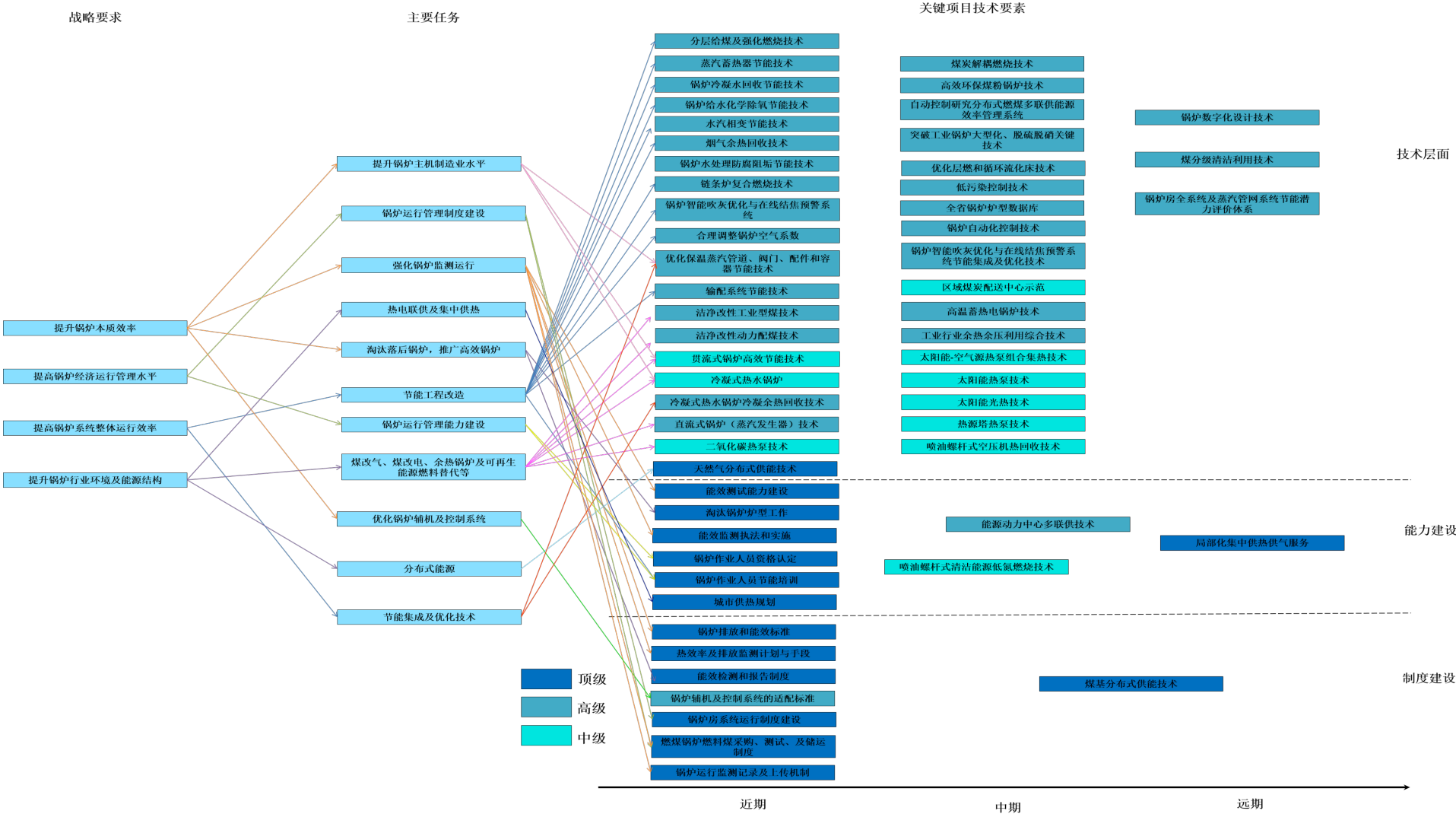
2、环境温度：在锅炉的操作平台，围绕锅炉的距离炉墙 1 米远的空气温度的平均值。

附图一：山西省煤质分布及产量图



图附 1-1 山西省煤质分布及产量图

附图二：燃煤工业锅炉能效提升及燃料替代技术路线图



图附 2-1 燃煤工业锅炉能效提升及燃料替代技术路线图

参考文献

- [1] 《中华人民共和国宪法》，1978 年版
- [2] 《中华人民共和国节约能源法》，1998 年版
- [3] 《中华人民共和国大气污染防治法》，2015 年版
- [4] 《中华人民共和国特种设备安全法》
- [5] 《能源中长期发展规划纲要(2004—2020 年)》，2004 年
- [6] 《能源发展战略行动计划（2014-2020 年）》，2014 年
- [7] 《国务院关于加强节能工作的决定》，国务院 2006 年发布
- [8] 《能源发展“十一五”规划》，国家发展改革委 2007 年发布
- [9] 《能源发展“十二五”规划》，国务院，2013 年 1 月 1 日发布
- [10] 《国家能源科技“十二五”规划（2011-2015）》
- [11] 《能源发展战略行动计划（2014-2020 年）》
- [12] 《煤炭行业“十二五”规划》
- [13] 《“十二五”节能环保产业发展规划》（国发〔2012〕19 号）
- [14] 《关于加快发展节能环保产业的意见》（国发〔2013〕30 号）
- [15] 《大气污染防治行动计划》（国发〔2013〕37 号）
- [16] 《2014-2015 年节能减排低碳发展行动方案》（国办发〔2014〕23 号）
- [17] 《国务院办公厅关于印发能源发展战略行动计划(2014-2020 年)的通知》（国办发〔2014〕31 号）
- [18] 《关于印发<重点区域大气污染防治“十二五”规划>的通知》（环发〔2012〕130 号）
- [19] 《国务院关于印发“十二五”节能减排综合性工作方案的通知》（国发〔2011〕26 号）
- [20] 《重点地区煤炭消费减量替代管理暂行办法》（发改环资〔2014〕2984 号）
- [21] 《国民经济行业分类与代码》（GB/T4754-2011）
- [22] 《国家重点节能技术推广目录》（第三批），国家发展和改革委员会，2010 年 11 月
- [23] 《国家重点节能技术推广目录》（第六批），国家发展和改革委员会，2013 年 12 月
- [24] 《高耗能特种设备节能监督管理办法》（国家质量监督检验检疫总局第 116 号）
- [25] 《锅炉压力容器制造监督管理办法》../技术报告/国家质量监督检验检疫总局令第 22 号文）
- [26] 《Energy Law》, Joseph P. Tomain, Richard D. Cudahy, 2004
- [27] 《Gross domestic product 2014》，World Development Indicators database, World Bank, 1 July

2015

- [28] 《工业锅炉技术条件》（NB/T 47034-2013）
- [29] 《工业锅炉能效限定值及能效等级》（GB 24500-2009）
- [30] 《锅炉房设计规范》（GB50041-2008）
- [31] 《锅炉大气污染物排放标准》（GB 13271-2014）
- [32] 《锅炉节能技术监督管理规程》（TSG G0002-2010）
- [33] 《工业锅炉能效测试与评价规则》（TSG G0003-2010）
- [34] 《中华人民共和国 2014 年国民经济和社会发展统计公报》，中华人民共和国国家统计局，2015 年 2 月 26 日
- [35] 《山西省统计年鉴 2016》。
- [36] 《关./技术报告/能源行业加强大气污染防治工作方案》（发改能源[2014]506 号）
- [37] 《International Performance Measurement and Verification Protocol》（EVO 10000-1:2014），Prepared by Efficiency Valuation Organization
- [38] 《节能量测量与验证技术通则》（GB/T 28750-2012）
- [39] 《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》（发改环资[2014]2451 号）
- [40] 《京津冀及周边地区落实大气污染防治行动计划实施细则》（环发〔2013〕104 号）
- [41] 《重大节能技术与装备产业化工程实施方案》（发改环资[2014]2423 号）
- [47] 《2014-2015 年节能减排科技专项行动方案》（国科发计〔2014〕45 号）
- [42] 《关于印发燃煤锅炉节能减排攻坚战工作方案的通知》（国质检特〔2015〕152 号）
- [43] 《开展生物质成型燃料锅炉供热示范项目建设的通知》（国能[2014]295 号）
- [44] 清华大学电力工程系锅炉教研组. 锅炉及锅炉房设备 [M]. 北京：中国建筑工业出版社，1995.
- [45] 岑可法. 循环流化床锅炉理论与运行 [M]. 北京：中国电力出版社，1998
- [46] 钱伟. 浅论节能潜力分析方法 [J]. 中国能源，2004，（9）
- [47] 俞珠峰，周然. 18 个城市工业锅炉控制污染措施评价 [J]. 节能与环保，2004，（9）
- [48] 王善武. 中国工业锅炉节能潜力分析与建议 [J]. 工业炉，2005，（1）
- [49] 白泉，佟庆. 应用信息技术开辟节能新篇章 [J]. 中国能源，2004，（9）
- [50] 上海市能效中心. 工业锅炉清洁能源替代及节能技术改造 [M]. 上海科学技术出版社，2015
- [51] "中国燃煤锅炉能效提升及燃料替代的方案分析和实施路径研究"项目成果. 2015

http://www.cheef.org.cn/view_dynamic.asp?ID=200

图表索引

表格

表 3-1	项目调研内容
表 3-2	山西省近年在用锅炉统计数量
表 3-3	各类型锅炉比例
表 3-4	山西省锅炉按燃料分类的比例
表 3-5	山西省千家企业锅炉效率抽样统计表
表 3-6	新设计燃煤锅炉燃烧类型、煤炭类型以及锅炉容量和效率关系
表 3-7	燃油气锅炉实际运行效率与实际效率比较
表 4-1	山西省热力产出及分品种能源投入表
表 5-1	山西省工业燃煤锅炉淘汰内容
表 5-2	按照锅炉热效率划分的改造内容
表 6-1	锅炉设计制造安装阶段能效提升措施及影响因素
表 7-1	2013 年山西省各地级市风电分布情况
表 7-2	煤炭种类代号
表 7-3	工业锅炉用煤分类
表 7-4	链条炉排锅炉用块煤的技术要求和试验方法
表 7-5	条炉排锅炉用混煤的技术要求和试验方法
表 7-6	典型地区太阳能节能器在不同燃料锅炉的经济效益分析
表 8-1	战略需求及重点任务
表 8-2	山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代关键技术
表 8-3	山西省工业燃煤锅炉能效提升及燃料替代关键技术要素分析
表 9-1	不同容量燃油锅炉年节能情况表
表 9-2	不同容量燃气锅炉年节能情况表
表 9-3	电锅炉与燃油、燃气锅炉投资费用比较表
表 9-4	电锅炉与燃油、燃气锅炉运行费用比较表
表 9-5	二氧化碳热泵经济性分析表
表 9-6	不同燃料锅炉年总费用明细（万元）
表 9-7	太阳能热水机与常规能源锅炉经济性能比较表
表附 1-1	淘汰产品名称及型号规格
表附 2-1	推荐产品名称及型号规格
表附 3-1	锅炉运行管理及节能监测评价标准和准则
表附 3-2	锅炉仪表配置要求
表附 3-3	层状燃烧锅炉产品允许工况范围内最低热效率目标值和限定值
表附 3-4	抛煤机链条炉排锅炉产品允许工况范围内最低热效率目标值和限定值
表附 3-5	流化床燃烧锅炉产品允许工况范围内最低热效率目标值和限定值
表附 3-6	燃油和燃气锅炉产品允许工况范围内最低热效率目标值和限定值
表附 4-1	在用层状燃烧锅炉热效率指标

表附 4-2 在用循环流化床锅炉热效率指标

表附 4-3 在水煤浆锅炉热效率指标

表附 4-4 在用有机热载体锅炉热效率指标

表附 4-5 在用燃煤锅炉排烟温度指标 ℃

表附 4-6 在用燃煤锅炉排烟处过量空气系数指标

表附 4-7 燃煤锅炉炉渣可燃物含量指标 %

表附 4-8 水煤浆锅炉飞灰含碳量

表附 4-9 炉体外表面温升指标 ℃（上限值）

图形

- 图 1-1 编制工业锅炉能效提升路线图示意图
- 图 1-2 项目研究路线示意图
- 图 3-1 各区域在用锅炉情况
- 图 3-2 在用不同介质锅炉情况
- 图 3-3 在用不同燃料锅炉情况
- 图 3-4 在用不同容量锅炉数量情况
- 图 3-5 不同大小锅炉数量比例
- 图 3-6 不同大小锅炉容量比例
- 图 3-7 千家企业工业锅炉状况
- 图 3-8 近三年新设计燃煤锅炉的热效率变化趋势图
- 图 3-9 II 类烟煤层燃锅炉定型测试效率
- 图 3-10 燃煤工业锅炉实际运行热效率
- 图 3-11 燃煤工业锅炉实际运行效率与设计效率比较
- 图 3-12 分燃料类型的工业锅炉热效率
- 图 3-13 分燃料类型的工业蒸汽锅炉热效率
- 图 3-14 分燃料类型的工业热水锅炉热效率
- 图 3-15 不同容量燃煤锅炉热效率
- 图 3-16 不同容量燃油气锅炉热效率
- 图 4-1 2013~2014 年与 2016 年在用燃煤锅炉热效率对比图
- 图 4-2 燃煤工业锅炉炉渣可燃物含量
- 图 4-3 燃煤工业锅炉实测排烟温度
- 图 4-4 2014 年新设计锅炉燃料种类容量比例
- 图 4-5 2015 年新设计锅炉燃料种类容量比例
- 图 4-6 2016 年新设计锅炉燃料种类容量比例
- 图 4-7 近三年新设计锅炉燃料种类容量比例图
- 图 4-8 2014 年新设计锅炉燃料种类个数比例
- 图 4-9 2015 年新设计锅炉燃料种类个数比例
- 图 4-10 2016 年新设计锅炉燃料种类个数比例
- 图 4-11 近三年新设计锅炉燃料种类个数比例
- 图 4-12 按平均容量近三年不同燃料种类平均容量
- 图 4-13 山西省近年热力(万百万 kJ)产出图
- 图 6-1 锅炉设计制造安装阶段能效提升措施及影响因素
- 图 6-2 在用锅炉能效提升路线
- 图 7-1 山西省年平均风速(m/s)分布图(色斑图)
- 图 8-1 技术路线框架图
- 图 8-2 燃煤工业锅炉能效提升及燃料替代技术路线图
- 图 8-3 技术路线推进架构图
- 图附 1-1 山西省煤质分布及产量图

图附 2-1 燃煤工业锅炉能效提升及燃料替代技术路线图