

ICS 27.010
CCS F01



中华人民共和国国家标准

GB/T××××—202×

代替 GB/T 34912-2017

工业锅炉系统节能设计指南

The guide for energy saving design of industry boiler systems

(征求意见稿)

202×-××-××发布

202×-××-××实施

国家市场监督总局 发布
国家标准化管理委员会

目次

前 言	VI
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 工业锅炉系统节能设计要求	3
4.1 工业锅炉系统设计基本要求	3
4.2 热负荷资料要求	4
4.3 燃料资料的要求	5
4.4 水质资料要求	5
4.5 供热介质要求	5
4.6 其他	5
5 锅炉选型要求	6
5.1 基本要求	6
5.2 燃煤链条炉排锅炉的选型	6
5.3 燃煤循环流化床锅炉的选型	7
5.4 煤粉工业锅炉的选型	8
5.5 燃煤往复炉排锅炉的选型要求	9
5.6 燃用天然气、轻柴油等优质清洁燃料锅炉的选型要求	9
5.7 燃用可燃低热值煤气锅炉的选型要求	错误!未定义书签。
5.8 燃油燃气锅炉燃烧系统要求	错误!未定义书签。
6 汽水系统及设备选型要求	11
6.1 汽水系统选择的基本要求	11
6.2 除氧器的选型要求	12
6.3 锅炉给水泵要求	12
6.4 热网循环泵和补水泵的要求	12
6.5 水处理系统及设备的选型要求	13
7 燃料和灰渣的储运系统及设备选型要求	13
7.1 燃料和灰渣的储运系统基本要求	13
7.2 运煤系统方案的确定	14
7.3 运煤系统和设备要求	14
7.4 除灰渣系统节能设计	15
7.5 循环流化床锅炉石灰石输送系统节能设计	16
7.6 卸油和储油系统及设备要求	17
7.7 输油系统及设备要求	17
7.8 燃气储存及输送系统和设备要求	17

8	风烟系统	18
8.1	风烟系统基本要求	18
8.2	鼓风机、引风机的要求	18
8.3	风管及烟管布置要求	18
8.4	环保配套设备的要求	19
9	余热回收	19
10	设备和管道的保温	19
10.1	设备和管道保温的基本要求	19
10.2	保温材料的要求	20
10.3	设备和管道保温	20
11	热工监测与控制的要求（中元）	21
11.1	热工监测的项目	21
11.2	热工调节与控制的项目	21
11.3	热工控制的功能要求	21
11.4	监测和控制设备要求	22
12	高原环境锅炉系统节能设计要求	22
12.1	系统节能设计基本要求	22
12.2	锅炉选型要求	22
12.3	电机选型要求	23
12.4	汽水系统要求	24
12.5	风烟系统要求	24
13	工业锅炉系统节能指标计算方法（中元）	24
13.1	工业锅炉系统设计热效率的计算	24
13.2	工业锅炉系统能源利用率	26
13.3	工业锅炉系统有关单位能耗的计算	27
附 录 A	.....	30
	（资料性附录）	30
	工业锅炉房初步设计所需主要文件和资料	30
附 录 B	.....	31
	（资料性附录）	31
	热负荷资料的收集与整理	31
附 录 C	.....	34
	（资料性附录）	34
	燃料资料的收集与整理	34
附 录 D	.....	36
	（资料性附录）	36

原水水质分析及校核方法	36
附录 E	40
(资料性附录)	40
锅炉负荷优化选型案例	40
附录 F	42
(资料性附录)	42
燃油、燃气锅炉负荷变化及选型要求	42
附录 G	43
(资料性附录)	43
燃煤锅炉不同炉型特点	43
附录 H	46
(资料性附录)	46
燃油燃气锅炉各炉型特点及冷凝锅炉热效率计算方法	46
附录 I	错误!未定义书签。
(资料性附录)	错误!未定义书签。
附录 J	错误!未定义书签。
(资料性附录)	错误!未定义书签。
蓄热式锅炉的特点	错误!未定义书签。
附录 K	48
(资料性附录)	48
锅炉房常用介质推荐的允许流速	48
附录 L	50
(资料性附录)	50
常用凝结水回收方式	50
附录 M	51
(资料性附录)	51
热水系统常用定压方式	51
附录 N	53
(资料性附录)	53
工业锅炉常用除氧方式	53
附录 O	56
(资料性附录)	56
常用烟气余热回收方式及设备	56
附录 P	60
(资料性附录)	60
各种保温材料的性能与特点	60

附录 Q	65
(资料性附录)	65
工业锅炉系统节能监测项目	65
附录 R	69
(资料性附录)	69
自动检测仪表的类型与特性	69
附录 S	73
(资料性附录)	73

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替.....

本文件由全国能源基础与管理标准化技术委员会（SAC/TC20）提出并归口。

本起草单位：

本标准主要起草人：。

工业锅炉系统节能设计指南

1 范围

本文件规定了工业锅炉系统节能设计的总体要求、锅炉选型、汽水系统及设备选型、燃料和灰渣的储运系统及设备选型、风烟系统及设备选型、余热回收、设备和管道保温、热工检测与控制等要求。

本文件适用于以水为介质、单台锅炉额定出口蒸汽压力为0.1 MPa~3.8MPa、额定蒸汽温度小于或等于450℃的工业蒸汽锅炉系统，以及单台锅炉额定热功率为0.7MW~174MW、额定出口水压为0.1 MPa~2.5MPa的工业热水锅炉系统。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 1576 工业锅炉水质
- GB/T 4272 设备及管道绝热技术通则
- GB/T 8175 设备及管道绝热技术导则
- GB/T 13283 工业过程测量和控制用检测仪表和显示仪表精确度等级
- GB/T 15317 燃煤工业锅炉节能监测
- GB/T 17954 工业锅炉经济运行
- GB/T 18342 商品煤质量 链条炉用煤
- GB 18613 电动机能效限定值及能效等级
- GB 19761 通风机能效限定值及能效等级
- GB 19762 清水离心泵能效限定值及节能评价
- GB/T 20626 特殊环境条件 高原电工电子产品
- GB 24500 工业锅炉能效限定值及能效等级
- GB/T 26126 商品煤质量 煤粉工业锅炉用煤
- GB 28381 离心鼓风机能效限定值及节能评价
- GB/T 29052 工业蒸汽锅炉节水降耗技术导则
- GB/T 32224 热量表
- GB/T36699 锅炉用液体和气体燃料燃烧器技术条件
- GB 50041 锅炉房设计标准
- GB 50049-2011 小型火力发电厂设计规范
- GB/T 50109 工业用水软化除盐设计规范
- GB 50140 建筑灭火器配置设计规范
- GB 50229 火力发电厂与变电站设计防火标准
- GB 50264 工业设备及管道绝热工程设计规范

GB 50316 工业金属管道设计规范
GB 50910 机械工业工程节能设计规范
GB/T51366 建筑碳排放计算标准
CJJ/T 34 城镇供热管网设计标准
CJJ/T 55 供热术语标准
DL/T468 电站锅炉风机选型和使用导则
DL/T 5121-2020 火力发电厂烟风煤粉管道设计规范
DL/T 5142-2012 火力发电厂除灰设计技术规程
DL/T 5187.1-2016 火力发电厂运煤设计技术规程 第1部分：运煤系统
DL/T 5187.2 火力发电厂运煤设计技术规程 第2部分：煤尘防治
DL/T 5187.3 火力发电厂运煤设计技术规程 第3部分：运煤自动化
JB/T 3271 链条炉排技术条件
NB/T34024 生物质成型燃料质量分级
NB/T 47050 往复炉排技术条件
NB/T 47034 工业锅炉技术条件
NB/T 47061 工业锅炉系统能源利用效率指标及分级
NB/T 47062 生物质成型燃料锅炉
JJG 229 工业铂、铜热电阻检定规程

3 术语和定义

CJJ/T 55 界定的以及下列术语和定义使用于本文件。

3.1

工业锅炉系统 industrial boiler system

锅炉房内的工艺系统，包括锅炉本体、燃料及灰渣的储存与输送系统、风烟系统、汽水系统、余热回收、热工监测及控制系统等。

3.2

负荷率 load rate

工业锅炉出力与其额定出力的百分比。

3.3

最大负荷率 maximum load rate

工业锅炉最大出力与额定出力的百分比。

3.4

最小负荷率 minimum load rate

工业锅炉最小出力与额定出力的百分比。

3.5

锅炉设计平均负荷率 design average design load rate of boiler

在设计阶段以平均热负荷工况规划的合理运行方式，计算出的锅炉出力与其额定出力的百分比。

3.6

工业锅炉系统热效率 thermal efficiency of industrial boiler system

工业锅炉系统输出热量与输入热量的百分比。

3.7

工业锅炉系统设计热效率 design thermal efficiency of industrial boiler system

在设计热负荷工况下,工业锅炉系统输出热量与输入热量的百分比。

3.8

工业锅炉系统设计平均热效率 average design thermal efficiency of industrial boiler system

在季节平均热负荷工况下,工业锅炉系统输出热量与输入热量的百分比。

3.9

工业锅炉系统能源利用率 energy efficiency of industrial boiler system

工业锅炉系统输出总能量与消耗总能量的百分比。

3.10

工业锅炉系统设计能源利用率 design energy efficiency of industrial boiler system

在设计热负荷工况下,工业锅炉系统输出的总能量与消耗的总能量的百分比。

3.11

工业锅炉系统外供热量单位电耗设计值 power consumption design value per unit of industrial boiler system outdoor supporting heat

在设计热负荷工况下,工业锅炉系统外供单位热量所消耗的电能。

3.12

工业锅炉系统外供热量单位水耗设计值 water consumption design value per unit of industrial boiler system outdoor supporting heat

在设计热负荷工况下,工业锅炉系统外供单位热量所消耗的原水量。

3.13

工业锅炉系统外供热量单位能耗设计值 energy consumption design value per unit of industrial boiler system outdoor supporting heat

在设计热负荷工况下,工业锅炉系统外供单位热量所消耗的各种能源总和。

3.14

工业锅炉系统外供热量单位燃料耗量设计值 fuel consumption design value per unit of industrial boiler system outside supporting heat

在设计热负荷工况下,工业锅炉系统外供单位热量所消耗的燃料量。

4 工业锅炉系统节能设计总体要求

4.1 基本要求

4.1.1 工业锅炉系统设计前应按规定取得相关部门的批复文件,初步设计前应取得的主要批复文件应包括节能评估报告或节能登记表及审查意见、环境影响报告书或环境影响报告表及批复。

4.1.2 应确定热负荷资料、水质资料、燃料资料,落实相关市政条件,所需主要市政资料详见附录 A。

4.1.3 应确定锅炉系统中锅炉等主要设备的资料。

4.1.4 锅炉设备选型应与锅炉所采用的燃料相匹配。

4.1.5 锅炉系统安装总容量应满足外供最大热负荷和自用热的需求。锅炉设备数量和单台容量应满足外界热负荷的变化,使锅炉在较高的热效率下运行,同时有利于运行管理、节约投资。当一台最大容量锅炉进行检修或事故时,锅炉房的供热能力应满足以下要求:

- a) 连续生产供热所需的最低热负荷;
- b) 采暖通风、空调和生活用热所需的最低热负荷。

4.1.6 锅炉热负荷要求

锅炉系统设计时，应预测以下典型工况下锅炉的负荷率，并符合以下要求：

- a) 燃煤锅炉设计平均负荷率不低于 75%；燃油燃气锅炉设计平均负荷率不低于 60%；
- b) 锅炉最大负荷率不大于 100%；
- c) 燃气锅炉最小负荷率不低于 20%；
- d) 工业煤粉锅炉最小负荷率不低于 50%；
- e) 电锅炉最小负荷率不低于 10%；
- e) 其他锅炉最小负荷率不低于 30%。

4.1.7 辅助系统的选择与辅机的选型应与锅炉相匹配，适应锅炉负荷的变化。

4.1.8 锅炉系统所有用能设备应选用能效指标符合国家规定的节能产品。鼓励研究和应用新材料、新技术、新工艺，提高锅炉及其系统能源转换利用效率、减少二氧化碳和大气污染物排放，并符合当地碳达峰、碳中和及环保要求。宜采用相关技术或设备回收利用锅炉的余热。

4.1.9 锅炉热效率应不低于 GB 24500 中的能效 2 级。

4.1.10 功率大于等于 200kW 的电机宜选择高压电机。

4.1.11 配套的电机额定效率应不低于 GB 18613 中的能效 2 级。

4.1.12 所选用的清水离心泵的额定效率应不低于 GB19762 中的节能评价值。

4.1.13 所选用的通风机的额定效率应不低于 GB19761 中的能效 2 级。

4.1.14 所选用的离心鼓风机的额定效率应不低于 GB 28381 中的节能评价值。

4.1.15 锅炉系统宜有较高的自动化水平、完善的计量设施，单台锅炉容量为 20t/h（14MW）及以上锅炉系统宜有能耗分析系统。

4.1.16 锅炉设备选型应根据项目所在地的海拔和环境温度进行修正。

4.2 热负荷资料要求

4.2.1 热负荷资料的确定

在新建、改建、扩建锅炉房设计时应进行热负荷的收集与核算。热负荷资料的收集与整理具体内容见附录 B。

4.2.2 市政规划

大型区域供热锅炉在收集热负荷资料时宜取得所在城市或地区的城市规划，应取得所在城市和地区的供热规划。

4.2.3 工业热负荷基础的确定

工业用户在非采暖期平均蒸汽用量 $\geq 1.0\text{t/h}$ 的，应逐个进行调查核实、复核计算、分析研究，以此作为确定现状工业热负荷的基础。

企业拟扩建或新建、但仅在项目建议书阶段或设想阶段，其热负荷只能作为规划热负荷，不应作为本期工程热负荷增加的依据。

4.2.4 采暖、热水供应热负荷的确定

4.2.4.1 统计现有和近期拟建的各类需要采暖、制冷和热水供应的建筑面积，并进行必要的筛选。选择建筑密度大，适宜集中供热、制冷和热水供应的建筑物予以优先安排，确定供热和热水的负荷。

4.2.4.2 采暖、热水供应热负荷的确定应按 CJJ 34 所列的各类建筑物的热指标选取，在指标的选取时要综合考虑建筑物建设的时间、建筑保温、当地气象条件等因素。

4.3 燃料资料的要求

4.3.1 燃料分析资料是锅炉选择的基础依据，进行锅炉系统设计时应取得燃料分析资料，燃料资料的收集与整理的具体内容见附录 C。

4.3.2 确定的燃料种类应符合当地环保要求和市场供应实际，应能代表较长期实际燃用的燃料种类，所提出的燃料资料应准确完整，并取得相应的燃料供应协议。

4.3.3 煤质分析资料应包括工业分析和元素分析，煤质分析的原始数据内容应满足其换算到各种基质的需求。其他燃料的分析内容应满足锅炉设计和环保设计的需求。

4.3.4 链条炉排锅炉的煤质应符合 GB/T 18342 的要求。

4.3.5 中小型煤粉工业锅炉的煤质应符合 GB/T 26126 的要求。

4.3.6 循环流化床锅炉用煤应的要求。

4.3.7 生物质成型燃料锅炉的燃料质量应符合 NB/T34024 的要求。

4.4 水质资料要求

4.4.1 进行锅炉补给水系统设计时，应有完善的原水水质资料，原水水质资料的数量和分析项目应能反映一年内水质变化情况，同时应满足系统设计的需要。

4.4.2 水质资料应校核合格，原水水质分析及校核方法见附录 D。

4.5 供热介质要求

4.5.1 锅炉供热介质的选择，应根据供热方式、介质的需要量和供热系统等因素按下列规定进行确定：

- a) 供采暖、通风、空气调节和生活用热的锅炉系统，宜采用热水作为供热介质；
- b) 以生产用汽为主的锅炉系统，应采用蒸汽作为供热介质；
- c) 同时供生产用汽及采暖、通风、空调和生活用热的锅炉系统，经技术经济比较后，可选用蒸汽或蒸汽、热水作为供热介质。

4.5.2 供生产用蒸汽压力和温度以及蒸汽品质应满足热用户生产工艺的要求，对长距离输送的管网，蒸汽宜有适当的过热度，锅炉运行压力与额定压力的偏差不宜过大。

4.5.3 热水热力网的最佳设计供水温度、回水温度，应根据工程具体条件，综合锅炉系统、管网、热力站、热用户二次供热系统等方面的因素，经技术经济比较后确定。

4.5.4 在满足热用户用热需求的前提下，热水锅炉系统的供水温度宜适当降低，供/回水温差宜适当加大。

4.6 其他

4.6.1 结合当地气候和自然资源条件分析、电网规划及技术经济比较，合理利用可再生能源。

对耦合系统明确要求，多能互补等。同一供热系统内宜选择多能互补综合能源系统。

4.6.2 耦合可再生能源的工业锅炉系统，可再生能源利用宜采用分布式，就近消纳。

4.6.3 耦合可再生能源的复合系统宜采用能源管理系统，实现对系统能耗的监测、数据分析和运行管理。

4.6.4 耦合可再生能源的复合系统，应根据实际运行状况制定实现全年可再生能源优先利用的运行方案及操作规程。

4.6.5 蓄热装置应根据经济技术情况和逐时负荷，确定蓄能容量及蓄能-释能周期内系统的逐时运行模式和负荷分配情况。

4.6.6 接入能源互联网的复合系统应提供的信息包括：锅炉、热泵等供热设备的能源消耗量、耗电量、产热量；储热设备的温度计储热量；各类热负荷消耗量；供热管网压力、流速、流量以及供热设备的运行参数和运行工况等。

5 锅炉选型要求

5.1 基本要求

5.1.1 锅炉的选型应确保运行的安全性、经济性和环保性能。

5.1.2 在设备选型时，应保证锅炉负荷的变化在其可调节范围内；宜保证在大部分运行时间内，符合经济运行标准。

5.1.3 根据当地相关政策和资源禀赋，优先选用可再生能源和清洁燃料。

5.1.4 锅炉的设计燃料应与实际使用燃料相符或相近，确保燃料安全、稳定、高效燃烧。锅炉制造企业应在产品说明中注明设计燃料种类、物理和化学特性和允许变化范围。对燃煤锅炉、生物质锅炉还应提出燃料的粒度要求。

5.1.5 锅炉应能适应用户的负荷变化，并保证较高的平均运行效率。

5.1.6 对于采取选择性非催化还原（SNCR）、催化还原（SCR）等烟气脱硝技术的工业锅炉系统，锅炉本体结构应与所选择的脱硝技术相匹配。

5.1.7 锅炉负荷优化选型案例见附录 E，燃油燃气锅炉负荷变化及选型要求见附录 F。

5.1.8 燃煤锅炉不同炉型特点见附录 G，燃油燃气锅炉不同炉型特点见附录 H。

5.1.9 锅炉的炉墙及烟风道应有良好的密封和保温性能，锅炉炉体外表面温度应符合 NB/T 47034 的规定。

5.2 燃煤链条炉排锅炉的选型

5.2.1 不同的煤种适用于不同的链条炉排结构。锅炉选型时，应根据实际燃用的煤种选择相应的炉排型式。

5.2.2 链条炉排锅炉燃用的煤质应符合 GB/T 18342 的规定。锅炉制造单位宜给出该锅炉适宜的煤粒度分布范围。

5.2.3 链条炉排锅炉高效率运行负荷率范围为 75%~100%。

5.2.4 链条炉排应符合 JB/T 3271 的要求。

5.2.5 链条炉排有效面积宜符合表 1 的要求。

表1 链条炉排有效面积的选择 m²/ (t/h)

煤种	锅炉额定蒸发量 (D, t/h) 或者额定热功率 (Q, MW)	
	10≤D ≤20 或7≤Q ≤14	D>20或Q>14
II 类烟煤	0.88~1.3	0.85~1.1
III类烟煤	0.85~1.1	0.8~1.0

5.2.6 燃煤链条锅炉配风

5.2.6.1 一次风要做到沿炉排长度方向的纵向配风合理，而沿炉排宽度方向的横向配风要均匀。

5.2.6.2 在纵向配风中，应根据设计、校核煤种采取有针对性的措施分段送风。

5.2.6.3 在横向配风中，压力不均匀系数不宜超过 10%。压力不均匀系数 η_p 应按公式 1 计算。

$$\eta_p = \frac{p_{\max} - p_{\min}}{\bar{p}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

p_{\max} —— 横向同一排测点中的最大压力，单位为帕 (Pa)；

p_{\min} —— 横向同一排测点中的最小压力，单位为帕 (Pa)；

\bar{p} —— 横向同一排测点中的平均压力，单位为帕 (Pa)。

5.2.6.4 在炉膛容积合适条件下，对于使用高挥发分的燃煤锅炉可设置二次风。

5.2.7 炉拱应根据使用燃料的种类及特性进行设计及布置。

5.3 燃煤循环流化床锅炉的选型

5.3.1 对于高水分、高灰分、高硫分低热值劣质燃料宜选用循环流化床锅炉，多种成分混用燃料宜选用循环流化床锅炉，中高热值煤种、水煤浆、煤粉、兰炭可选用循环流化床锅炉。

5.3.2 燃料的颗粒粒径大小和分布特征应满足锅炉的设计要求，通常粒径范围建议选用 0-10mm。对于燃用水煤浆和煤粉，粒径一般按 0-1 或 0-0.5mm。

5.3.3 燃煤循环流化床锅炉容量宜 ≥35t/h，热水锅炉容量 ≥29MW。

5.3.4 循环流化床锅炉运行负荷调节范围 30-110%，长期连续高效运行负荷率范围为 70%~100%。

5.3.5 应根据具体运行条件和锅炉的设计要求选择适合的碎煤、筛分设备及冷渣器等关键辅助设备。冷渣器冷却方式和换热装置结构形式的选择应综合考虑设备的金属耗量、余热回收率、磨损情况、风机或水泵的耗电量以及有无分选功能等各有关因素。灰渣冷却产生的余热宜回收，可用于加热锅炉给水或加热锅炉送风。

5.3.6 对于炉内脱硫，应依据所用燃料中的含硫量、石灰石的反应活性以及对脱硫率的要求，确定合适的 Ca/S 摩尔比（推荐 1.5-2.5）。

5.3.7 循环流化床锅炉采用低氮燃烧技术，选用合适的炉膛燃烧温度、循环灰量、一二次风配比、过量空气系数等，在不影响燃烧效率的基础上将 NOx 初始生成量降低，NOx 初始排放浓度应小于 100-

150mg/m³，高性能低氮燃烧技术 NO_x 初始排放浓度应小于 50-100mg/m³，具体推荐值见表 2。为保证燃烧工况波动等情形下 NO_x 均能达标排放，锅炉应在分离器进口段配置 SNCR 装置，尾部可不设置 SCR 装置以及预留 SCR 安装空间。

表 3 循环流化床燃用不同煤质时炉膛温度和 NO_x 初始排放浓度

煤种	炉膛温度℃	NO _x 初始排放浓度 mg/m ³
无烟煤	910-920	<50-80
贫煤	900~910	<50-80
烟煤	890~900	<80-100
褐煤及高挥发分烟煤	870~890	<100-150

5.3.8 循环流化床锅炉的炉膛密相区平均温度宜在 870~920℃之间；运行风速宜控制在 4.5~5m/s。

5.3.9 燃用劣质燃料时，宜采用较高的一次风率，燃用高挥发分燃料时可采用较低的一次风率。具体可参照表 4。

表 4 循环流化床燃用不同煤质时一次风的比例

煤种	挥发分 V _{daf} /%	一次风比例/%
无烟煤	<10	50~65
贫煤	10~20	50~60
烟煤	20~40	45~60
烟煤或褐煤	>40	40~50

注：为适应环保要求，在满足运行性能要求的前提下，一次风比例宜采用较低值。

5.3.10 燃烧室截面形状要考虑给煤、石灰石的扩散能力、二次风的穿透距离、水冷壁受热面的布置要求。燃烧室高度主要考虑受热面的布置和燃烧效率的要求，并兼顾尾部烟道的高度要求。

5.3.11 风帽需要有合理的阻力及气流程程，以保证布风均匀并防止由于床层压力脉动使物料反串进风室。风帽阻力可以选择 1500~3000Pa。

5.3.12 循环流化床的分离器宜选择旋风分离器，如绝热式旋风分离器、水冷高温旋风分离器、汽冷高温旋风分离器。分离器外表面应考虑采取保温措施，减少散热损失。

5.4 煤粉工业锅炉的选型

5.4.1 燃用烟煤和褐煤等挥发分较高的煤种时宜选用煤粉工业锅炉。

5.4.2 煤的指标应符合 GB/T 26126 的要求。煤粉细度不宜低于 170 目。

5.4.3 煤粉工业锅炉的燃料供应宜采用集中制粉、分散供应的模式。炉前采用煤粉储仓密闭存放，仓内应采取有效的防爆和防板结措施。储仓的容积根据锅炉的运行要求确定。用煤量较大的锅炉房，也可选择炉前制粉方式。

5.4.4 煤粉工业锅炉高效运行负荷率范围在 75%~100%。

5.4.5 煤粉工业锅炉的设计应考虑合理配风、充分考虑煤粉燃烧器燃烧火焰尺寸与炉膛尺寸、水冷壁布置之间的关系，以保持燃烧状态的稳定，同时避免炉膛积灰和结渣发生，炉膛高度满足烟气停留时间

大于 2s。

5.4.6 煤粉工业锅炉应选配低氮燃烧器，燃烧器的火焰尺寸应与炉膛匹配，同时燃烧器的布置位置应防止炉膛的振动。燃烧器火焰应避免扫壁。锅炉的配风系统应根据不同煤粉燃烧器的要求进行。

5.5 燃煤往复炉排锅炉的选型要求

5.5.1 高水分的煤(如褐煤)以及焦渣特性值较高的煤宜采用往复炉排锅炉。燃煤低位发热值大于 20000 kJ/kg 的不宜选用往复炉排锅炉。细颗粒占较大比例的煤不宜选用往复炉排锅炉。

5.5.2 往复炉排锅炉燃用的煤质可参照 GB/T 18342 的规定。

5.5.3 往复炉排设备的设计应满足 NB/T 47050 的要求。

5.5.4 高温区的炉排片应使用 HTRSi5、HTRCr16 等耐热材料，并采用易于冷却的炉排片结构，以延长使用寿命。

5.5.5 燃煤往复炉排的有效面积的选择可参照表 5。

表5 往复炉排有效面积的选择 $m^2/(t/h)$

煤种	锅炉额定蒸发量 (D, t/h) 或者额定热功率 (Q, MW)	
	$10 \leq D \leq 20$ 或 $7 \leq Q \leq 14$	$D > 20t/h$ 或 $Q > 14$
I 类烟煤	1.1~1.5	0.90~1.25
II 类烟煤	1.0~1.4	0.85~1.15
褐煤	1.0~1.4	0.85~1.15

5.5.6 配风方式的选择应参照 5.2.6 链条炉排锅炉的配风方式。

5.5.7 锅炉制造单位宜根据锅炉容量、使用煤种，灵活设计炉拱形式。

5.6 燃油燃气锅炉的选型要求

5.6.1 燃用天然气、轻柴油等优质清洁燃料锅炉的选型要求

5.6.1.1 锅炉应具有高效率低能耗、低污染、低排放、低噪音，结构简单安全美观，智能化程序自动控制、多级安全性能保护等功能。

5.6.1.2 以天然气为燃料的锅炉，宜采用冷凝式尾部热交换装置吸收利用低温烟气热量和烟气中水蒸汽凝结放出的汽化潜热，进一步提高系统热效率。

5.6.1.4 设计冷凝式锅炉时，应考虑并采取措施防止低温受热面的腐蚀，应提出解决冷凝水的疏放、收集和处理的方案，避免对锅炉安全运行造成危害，同时避免污染环境。

5.6.1.5 燃油锅炉优先采用优化燃烧的方式控制 NOx 的产生量，若不达标，应增设烟气脱硝处理系统。

5.6.1.8 燃油、气锅炉额定负荷时最后一级受热面处的过量空气系数应符合以下要求：

- 1) 正压燃烧时一般不大于 1.15；
- 2) 贯流式锅炉应不大于 1.3；
- 3) 高（焦、转）炉煤气锅炉和生物质气锅炉，不大于 1.4；
- 4) 表面燃烧锅炉，不大于 1.6。

5.6.2 燃用可燃低热值煤气锅炉的选型要求

5.6.2.1 热值低于 5000kJ/m³ 的可燃低热值煤气可采用蓄热式锅炉，蓄热式锅炉特点参见附录 J。

5.6.2.2 若使用含灰尘、有害杂质较多的可燃煤气，宜增加减少灰尘或有害成分的预处理装置。并在锅

炉对流受热面设置吹灰器。

5.6.2.3 低温烟气区域受热面，宜采用耐腐蚀材料，以提高锅炉的安全性能。

5.6.3 燃油燃气锅炉燃烧系统要求

燃油燃气锅炉燃烧器的选型以及节能、环保、安全要求应符合 GB/T 36699 的规定，并与锅炉本体的结构特性、性能要求及燃料特性相适应。

5.7 电极加热锅炉的选型要求

5.7.1 电极锅炉的给水要求，除了满足 GB/T1576 的要求外，还应满足电导率的要求。

5.7.2 电极锅炉高效运行的负荷率范围在 5~100%，锅炉应能在 0~100%的范围内无级调节。

5.7.3 电极锅炉应设置可靠的循环系统，热水锅炉的循环泵依据供回水温差来选型，蒸汽锅炉的循环泵宜按照循环倍率 $K \geq 4$ 来选型。

5.7.4 锅炉电极应符合：电源额定电压 10kV/50Hz，耐压试验电压 42kV（1min）工频耐受电压；绝缘电阻交接试验不低于 2500M Ω ，预防性试验不低于 50M Ω 。

5.7.5 锅炉热效率大于 98%。加热元件的寿命应在 5 万小时以上。

5.7.6 锅炉运行噪声不应大于 65dB（A）。

5.7.7 锅炉应有可靠的电气绝缘性能，锅炉中不同带电体之间及各带电体与导磁体和接地的金属结构件之间的绝缘电阻，当额定电压不大于 1kV 时，其不应小于 1M Ω ；当额定电压大于 1kV 时，每升高 1kV 绝缘电阻应提高 1M Ω 。当额定电压大于 1kV 但不大于 35kV 时，设备对地绝缘电阻应符合 DL/T2034.1 的相关规定。

5.7.8 电极锅炉高压柜（>6KV）应设置过流保护，缺相保护，短路保护，三相不平衡等保护措施。

5.8 电蓄热储能锅炉选型要求

5.8.1 电蓄热锅炉适用于有碳达峰要求且电网低谷时段剩余负荷较多、电力现货交易市场成熟及促进风电等可再生能源消纳地区的新建、改建和扩建的工业生产和民用建筑等热需求领域。

5.8.2 用于电蓄热供热供暖区域的电网低谷用电负荷与区域用热负荷应有良好的对应关系，电蓄热炉所在区域电网的低谷容量，宜满足电蓄热炉用电负荷需求。

5.8.3 电蓄热炉作为供热热源宜与区域内的其他供热热源并联使用，可作为供热热源的调峰热源，也可以作为区域性独立的供热热源。

5.8.4 新建项目应根据当地用热负荷容量和供电电压等级完成电蓄热炉的设计。用于改造项目的电蓄热炉，应根据原有供热装置的供热能力及原有供热机房的结构尺寸和承载能力，设计电蓄热炉的参数、结构及外形。

5.8.5 电蓄热炉的储热能力、储热额定功率，应根据生产或生活用热需求、谷电时长和具体用热特点进行计算，并应符合下列规定：

a)电蓄热炉的储热能力依据用热项目的总热负荷和日热释放时长确定；

b)电蓄热炉的额定功率根据储热能力、谷电时长、设备热效率及管网热损失等因素确定。

5.8.6 为降低配电成本，电蓄热炉依据不同的加热功率宜选择适合的工作电压。

5.8.7 同一热源站宜采用相同储热方式、相同规格、相同型号的蓄热设备，数量不宜少于 2 套。电蓄热炉设备主体寿命应在 20 年以上，加热元件的寿命不应少于 10000h。

5.8.8 电蓄热炉的选型设计计算方法详见附录 S

5.9 燃用生物质锅炉的选型要求

5.9.1 生物质燃料锅炉应综合考虑燃料、灰渣特性，用热特点及运行方式，气象条件及环保要求，以及运输条件等确定锅炉燃烧方式及结构形式。

5.9.2 生物质燃料锅炉应充分考虑燃料的多变性，合理选定受热面结构布置，材料选用和调温系统布置，尽量控制汽水侧阻力和烟风侧阻力，在满足安全、可靠、稳定、经济运行的条件下，延长连续运行时间。

5.9.3 燃用的散状生物质燃料入炉水分控制在 25%以下，不宜大于 35%，外带杂质灰土质量不超过燃料质量的 20%。

5.9.4 生物质锅炉在冬季环境温度较低时，应设暖风器，提高锅炉进风温度。

5.9.5 锅炉本体设计时应采用低氮燃烧技术降低 NO_x 的初始排放浓度，必要时可考虑预留脱硝配套装置的接口；应合理配置二次风，二次风喷管的位置和数量应根据燃料特性和炉膛结构确定；二次风喷管风速应保证二次风的穿透性，确保燃料的充分燃烧。

5.9.6 炉前给料系统应充分考虑生物质燃料特性，保证燃料输送顺畅，给料均匀，给料口应有消除滞料死角的合理措施（如燃料闸板等），并考虑炉前料仓与炉膛之间设置必要的防火阻断装置（如锁料机等）；

5.9.7 锅炉的过热器、对流管束、省煤器及空气预热器等受热面应设置有效的在线清灰（吹灰）装置（器），以防止受热面积灰；吹灰器选型应充分考虑生物质燃料的成灰特性，保证对锅炉受热面的有效吹灰。

5.9.8 流化床生物质锅炉还应满足以下要求：

5.9.8.1 对于燃料灰熔融性变形温度（DT）高于 1 000℃的燃料，炉膛燃烧温度不宜超过 850℃，炉膛出口烟气温度不宜超过 800℃；对于燃料灰熔融性变形温度（DT）低于 1 000℃的燃料，炉膛燃烧温度宜控制在 700℃~800℃之间，炉膛出口烟气温度不宜超过 750℃；

5.9.8.2 宜设置床料补充系统，以满足锅炉启动加料及运行时的床料补充和置换要求；

5.9.8.3 流化床锅炉宜采用负压给料方式，通过播料风、密封风等措施，保证给料均匀，防止回火。

6 汽水系统设备选型要求

6.1 基本要求

6.1.1 锅炉汽水系统设备选择应充分考虑系统节能的需要，在保证安全可靠运行的前提下，尽可能降低设备的耗水量、耗电量。

6.1.2 汽水管道应根据热力系统与布置条件进行设计，做到选材正确、布置合理、补偿良好，疏水畅通、流阻较小、支吊合理、操作安装维护方便、整齐美观，并避免水击、共振，降低噪声。设计汽水系统时应考虑以下事项：

a) 应根据系统的设计压力与设计温度，依据 GB 50316 合理选择管道材料、壁厚；

b) 应根据流体的流量、性质、流速、允许压力损失等因素，依据 GB50316 计算确定管道直径。

各类介质的推荐流速可参考附录 K；

- c) 设计时应充分利用管道本身自然弯曲(柔性)补偿管道的热膨胀, 不足时增设补偿器加以补偿。
- 6.1.3 蒸汽供热系统, 应根据用户实际情况, 除了必须采用混合加热方式的, 应采用表面加热方式; 蒸汽凝结水应回收利用。
- 6.1.4 外供蒸汽的凝结水应回收利用, 凝结水的回水回收利用率宜大于 90%。
- 6.1.5 凝结水回收方式、回收系统的材质选择、凝结水的水质应符合 GB/T 29052 的规定。常用凝结水回收方式见附录 L。
- 6.1.6 当凝结回水水质达不到要求时, 应对凝结水进行处理, 合格后回用。
- 6.1.7 蒸汽锅炉的排污率应符合 GB 50041 的规定, 经经济技术比较合适的, 可提高补给水和给水水质, 降低锅炉排污率, 节约能源。
- 6.1.8 蒸汽锅炉的连续排污水应回收利用。对总容量大于或等于 10t/h 的蒸汽锅炉, 应设置连续排污扩容器或者排污水换热器, 以便回收排污水的热量, 减少排污热损失。
- 6.1.9 在满足热用户蒸汽品质的前提下, 为保证蒸汽凝结水的品质, 宜在锅炉系统中设置加药装置。
- 6.1.10 对蒸汽负荷变化幅度较大的系统, 宜增设蒸汽蓄热装置。
- 6.1.11 热水系统的定压应符合 GB 50041 和 CJJ 34 的规定, 热水系统常用定压方式见附录 M。
- 6.1.12 热水系统的超压放水宜回收利用。

6.2 除氧器

- 6.2.1 额定量大于等于 10t/h 的蒸汽锅炉, 应配设给水除氧设备。额定功率大于等于 7.0MW 的热水锅炉, 应配设补给水除氧设备。额定容量小于 10t/h 或 7.0MW 的锅炉, 应留有配设给水除氧设备的空间或接口。工业锅炉常用除氧方式见附录 N。
- 6.2.2 蒸汽锅炉给水宜采用热力除氧器, 不宜采用解析除氧。
- 6.2.3 热水锅炉补给水的除氧, 可采用真空除氧、解析除氧、海绵铁除氧或化学除氧。
- 6.2.4 除氧器的结构型式应能满足外界负荷的变化。
- 6.2.5 热力除氧器的除氧水箱底部宜设置再沸腾蒸汽管, 以保证除氧效果。热力除氧器排出的乏汽热量宜回收利用。
- 6.2.6 热力除氧器应设置蒸汽压力自动调节装置和除氧水箱水位自动调节装置。
- 6.2.7 几台除氧器并联连接时, 除氧水箱上宜设置汽、水平衡管。
- 6.2.8 除氧水箱的布置高度, 应保证锅炉给水泵有足够的灌注安装高度;
- 6.2.9 对于真空除氧器, 管道连接应采用焊接, 尽量减少法兰连接。

6.3 锅炉给水泵

- 6.3.1 锅炉给水泵流量、扬程技术参数和台数的确定应符合 GB50041 的规定。
- 6.3.2 锅炉给水泵宜采用调速控制。

6.4 热网循环泵和补水泵

- 6.4.1 热网循环泵、补水泵流量、扬程技术参数以及台数的确定应符合 GB 50041 和 CJJ/T 34 的规定。
- 6.4.2 热网采用补水泵定压时, 补水泵宜采用调速控制。

6.4.3 系统采用变流量水系统时，循环水泵宜采用变速调节控制。

6.5 水处理系统设备

6.5.1 额定蒸发量不大于 4t/h，且额定蒸汽压力不大于 1.0MPa 的自然循环蒸汽锅炉和汽水两用锅炉，可单纯采用锅内水处理。其他蒸汽锅炉均应采用锅外水处理，如额定蒸汽压力大于 1.0MPa 还应同时采用锅内水处理。

6.5.2 额定发热量不大于 4.2MW 的承压热水锅炉和常压热水锅炉（管架式热水锅炉除外），可单纯采用锅内水处理。其他热水锅炉均应采用锅外水处理。

6.5.3 蒸汽锅炉的补给水水质应根据凝结水回收率、炉水水质、锅炉排污率、蒸汽品质等因素确定，满足 GB/T1576 和锅炉制造商对锅炉给水和锅水水质要求。

6.5.4 蒸汽锅炉补给水处理系统应根据原水水质、锅炉补给水水质、锅炉排污率等经技术经济比较后确定。

6.5.5 当原水中溶解固形物和碱度能够满足在合理锅炉连续排污率下锅炉锅水水质要求时，水处理系统可采用软化系统；当采用软化除碱系统仍不能满足锅水水质要求时，应采用除盐系统。

6.5.6 贯流和直流蒸汽锅炉的补给水处理系统宜采用除盐系统。

6.5.7 热水锅炉的补给水水质应符合 GB/T1576 和热力网的要求。

6.5.8 软化和除盐系统的选择计算应符合 GB 50041 和 GB/T 50109 的规定。

6.5.9 当原水水质不能满足软化或除盐设备的进水水质要求时，应对原水进行预处理，去除原水中悬浮物、胶体、有机物等杂质。

6.5.10 水处理系统的设备应能适应锅炉补给水的变化，当所有设备投运时能够满足锅炉最大补水量的要求，在锅炉正常补水量下，系统设备在经济状态下运行。

6.5.11 水处理系统的排水宜综合利用（如冲渣等），减少污水排放。

7 燃料和灰渣的储运系统设备选型要求

7.1 基本要求

7.1.1 新建工业锅炉系统的运煤系统设计应符合 GB 50041、GB 50049、GB 50229、GB 50140、GB 50910、DL/T 5187.1、DL/T 5187.2、DL/T 5187.3 的要求。

7.1.2 新建工业锅炉系统的运煤系统设计应根据建设场地条件、锅炉的规划、锅炉炉型、燃煤品种、自然条件、进厂煤运输方式等因素进行统筹规划，做到布局合理，运输距离短，输送能耗低，并根据锅炉系统的实施阶段分期建设。

7.1.3 新建工业锅炉系统的运煤系统设计应结合项目特点，积极推广国内外先进技术，因地制宜，采用成熟的新技术、新工艺、新结构，提高运煤系统的机械化、自动化水平。

7.1.4 扩建工业锅炉系统的运煤系统设计应结合老厂的生产系统和布置特点进行安排，合理利用原有设施，充分考虑扩建施工对原有设施生产的影响。

7.1.5 除灰渣系统设计方案应根据锅炉炉型、锅炉容量和台数、灰渣量、锅炉排渣形式、炉后除尘器型式和集灰斗布置、灰在除尘器灰斗中的分配比例、灰渣物理化学特性、到贮灰场或灰 / 渣库的输送距离、灰渣综合利用情况、环保要求、工程所在地的有关条件（总平面布置、地形、地质、气象、交通

运输、可用水源等），经技术经济比较后合理选择。

7.1.6 除灰渣系统设计应按锅炉系统的规模统一规划，可根据工程建设进度分期实施。

7.1.7 除灰渣系统设计应符合 GB 50041、GB 50049、DL/T 5142 的要求。

7.1.8 除灰渣系统设计应尽可能为灰渣的综合利用创造条件，宜采用干式除灰渣方案，节约能源。

7.2 运煤系统方案的确定

7.2.1 新建工业锅炉系统的运煤系统在项目总布置中应满足 DL/T5187.1-2016 中 3.0.6 款的要求，力求简单，减少环节。

7.2.2 从贮煤场到锅炉间以及锅炉炉前煤斗的运输，应根据总耗煤量 (Q_h) 采用以下不同的运煤方式：

- a) 总耗煤量 $Q_h \leq 1t/h$ 时，可采用人工装卸和手推车运煤；
- b) 总耗煤量 $1 < Q_h \leq 6t/h$ 时，宜采用间隙机械化设备装卸，间隙或连续机械化设备运煤，可采用装载机、底开式吊桶、料车提升机、斗式提升机等；
- c) 总耗煤量 $6 < Q_h \leq 15t/h$ 时，宜采用连续机械化设备运煤，如带式输送机、斗式提升机、埋刮板输送机等；
- d) 总耗煤量 $15 < Q_h \leq 60t/h$ 时，宜采用单路皮带机运煤，且考虑驱动装置备用；
- e) 总耗煤量 $> 60t/h$ 时，宜采用双路皮带机运煤。双路皮带机可一路运行、一路备用，不考虑双路同时运行。

7.2.3 同时存在厂内外运煤系统或受煤站加厂内运煤系统的项目，运煤系统设计宜在同一个转运点设置连接或分流设施，减少重复搬运量，节约能源。必要时设置出力可调的分流设施，或缓冲仓加给料设施。

7.2.4 当输送距离较远、沿线布置复杂时，可采用管带机或平面转弯的曲线带式输送机。

7.2.5 远距离大功率的下运带式输送机，条件合适时，可设计利用其自发电功能。

7.2.6 受厂区布置条件限制，不宜采用普通带式输送机时，可采用大倾角带式输送机。

7.2.7 当锅炉燃用多个煤种需要混煤时，应设混煤设施。有严格比例要求时，可设置混煤筒仓加给煤机，或受煤斗加出力可调的给料设备；无严格比例要求时，可利用卸煤、取煤设施和原煤仓所兼有的混煤功能。

7.2.8 新建工业锅炉系统的运煤系统出力应根据锅炉系统的规划规模，结合运行锅炉额定蒸发量下的总耗煤量和炉前煤斗容积量确定，并符合下列规定：

- a) 双路运煤系统宜采用三班制运行，每路系统的出力不应小于总耗煤量的 135%；采用两班制运行时，每路系统的出力不应小于总耗煤量的 200%。
- b) 单路运煤系统宜采用两班制运行，其系统的出力不应小于总耗煤量的 300%；采用三班制运行时，其出力不应小于总耗煤量的 200%。
- c) 总耗煤量应取锅炉燃用设计、校核煤种两者中的大值。无校核煤种数据时，还应考虑煤源不稳定、煤质可能变化等因素，乘以 1.1~1.2 的不平衡系数。

7.3 运煤系统设备要求

7.3.1 运煤系统中单电机驱动电机功率 $\geq 45kW$ 的设备，应设限矩型机械软启动设施。

7.3.2 多电机驱动皮带机宜选用调速型机械软启动器。

7.3.3 厂内运煤系统中的筛破设备，宜选用筛破一体机。筛破设备的出力宜为运煤系统出力的 1.1~1.2 倍。

7.3.4 厂内运煤系统昼夜作业时间的确定应满足 GB 50049-2011 中 8.1.4 的要求：

- a) 一班制运行时不宜大于 6h；
- b) 两班制运行时不宜大于 11h；
- c) 三班制运行时不宜大于 16h；

运煤系统的运行班制应与锅炉煤仓的总有效容积相协调。

7.3.5 运煤系统的控制方式应符合 GB 50049-2011 中 8.7 的要求。

7.3.6 单台套输煤设备构成的运煤系统宜采用就地控制。

7.3.7 多台套输煤设备组成的单路或双路运煤系统，应采用 PLC 控制。设备间应设有电气联锁、信号和必要的通讯设施。

7.3.8 运煤系统配电室应设在电力负荷相对集中、振动和粉尘较小的位置，以减少能耗损失；控制室应设在振动和粉尘较小的位置，以改善控制室的工作环境。

7.4 除灰渣系统设备要求

7.4.1 煤粉锅炉除灰系统的设计应满足以下要求：

- a) 对于已经落实或有意向进行飞灰综合利用的项目，炉后除尘器灰斗容积 > 8h 集灰量的锅炉，输送距离大于 2.5km 时，宜采用机械输灰系统，在炉后除尘器下用埋刮板输送机或空气斜槽集中，直接装车外运。或在厂内设灰库及外运接口，用气力输灰系统把灰送进灰库暂存，然后外运。
- b) 气力输灰系统设计应根据输送距离的远近，设置灰库位置。输送距离小于 2.5km 时，宜考虑在装灰点或用灰点设灰库。
- c) 气力输灰系统设计宜在输送单元的进气管路上设置空气流量计和手动调节阀。仓泵输送频率宜与实际灰量相协调，可采用仓泵料位开关或可调的时间间隔设置触发输送，降低输送频率。
- d) 灰库为平底库设计时，库底气化槽灰侧的气化风压力应按 DL/T 5142-2012 中 8.2.2 的条款计算，并考虑灰与库壁间的摩擦力影响，对气化槽侧空气压力进行折减。
- e) 相邻灰库间宜设置连通管、隔离阀。
- f) 空压站和灰库气化风机的冷却水宜循环或回收利用。

7.4.2 煤粉锅炉除渣系统的设计应满足以下要求。

- a) 锅炉采用水力除渣方式时，除尘器收集下来的灰，可结合煤粉锅炉的除渣系统排除，冲灰渣水应循环使用。
- b) 锅炉采用机械除渣系统时，应根据渣量、渣的特性、工程条件及渣进行综合利用的要求等因素，经过技术经济比较，选用螺旋捞渣机、刮板捞渣机、水浸式刮板捞渣机或干式风冷输渣机等设备输送锅炉底渣。当条件允许时，宜优先采用机械方式将渣提升至贮渣仓。

- c) 采用螺旋捞渣机、刮板捞渣机方案时，应对捞渣机溢流水和装车点析出水进行收集回用。
- d) 采用水浸式刮板捞渣机方案时，应对捞渣机溢流水和贮渣仓析出水进行收集回用。多台水浸式刮板捞渣机组成的除渣系统，宜集中或按单元设置渣仓。
- e) 采用干式风冷输渣机方案时，应根据锅炉配风要求设置风量调节阀，充分吸收热量。多台干式风冷输渣机组成的除渣系统，可集中或按单元设置渣仓。
- f) 中速磨煤机石子煤宜采用简易机械输送系统。

7.4.3 循环流化床锅炉除灰渣系统的设计应满足以下要求：

- a) 循环流化床锅炉除灰系统的方案确定和节能设计应符合 7.4.1 的要求。
- b) 循环流化床锅炉排出的高温渣，应经冷渣器冷却到 150℃ 以下后排出，余热应尽可能利用。
- c) 用作循环流化床锅炉底渣输送用埋刮板输送机或链斗输送机，应考虑耐磨、低速及调速要求，以适应输渣量的变化。宜在进料口附近设置吸风管并引至预热器。
- d) 用作循环流化床锅炉底渣输送用带式输送机，应考虑耐温要求，以适应渣温较高的工况。建议输送带耐热温度 150℃，宜在进料口附近设置吸风管并引至预热器。
- e) 用作循环流化床锅炉底渣输送用振动输送机，应采用全封闭、低振幅、低噪音设备，应能满足长距离输送要求。

7.4.4 中小型链条炉除灰渣系统的设计应符合以下要求：

- a) 中小型链条炉排灰系统根据锅炉台数、灰量考虑。锅炉台数较少时，宜用除尘器灰斗容积分存灰，在除尘器下直接装车外运；锅炉台数较多，装灰车通道不足时，可采用刮板式输灰机集中装车或加湿搅拌后装车外运。
- b) 中小型链条炉排渣系统根据锅炉台数、渣量考虑。排渣量小时，宜考虑人工除渣；锅炉台数较多时，宜采用重型框链除渣机集中后外运。

7.4.5 除灰渣系统的控制应满足以下要求：

- a) 除灰渣系统的控制方式应满足 GB 50049、DL/T 5142 的要求。
- b) 系统简单的除灰渣系统可设置就地控制装置。

7.5 循环流化床锅炉石灰石输送系统节能要求

7.5.1 循环流化床锅炉脱硫用吸收剂——石灰石应有可靠的来源，宜从市场上直接采购成分、性能和粒度分布均满足锅炉脱硫要求的成品石灰石粉。必须建设吸收剂制备厂时，应优先考虑区域性协作（集中建厂），并根据吸收剂耗量、运输条件、加工工艺、投资及管理方式等因素确定厂址位置。

7.5.2 石灰石粉的进厂运输宜采用自卸罐车。当采用袋装运输进厂时，可用斗式提升机或负压吸送装置送进厂区石灰石粉仓。

7.5.3 厂区石灰石粉仓应根据流化床锅炉的数量、结合石灰石耗量分单元或按炉设置。

7.5.4 炉内脱硫用石灰石粉宜采用一级输送系统，系统中的给料设备出力应变频可调；也可以采用二级输送系统设炉前石灰石粉仓，入炉输送系统中的给料设备出力应变频可调。

7.5.5 厂区石灰石粉仓容积宜为单元运行锅炉额定蒸发量时 24~48h 的消耗量；二级输送的炉前石灰石

粉仓容积宜为单元锅炉额定蒸发量时 10~12h 的消耗量。

7.5.6 宜采用连续可调正压气力输送系统，各级系统设计出力均不应小于锅炉最大连续蒸发量工况下燃用设计煤种时石灰石粉耗量的 150%及燃用校核煤种时石灰石粉耗量的 120%。第二级系统采用连续气力输送时，每台炉的入炉口输送管路宜对称布置。有条件时第二级输送系统也可以采用密闭刮板输送机或螺旋输送机输送，且宜单路设置。。

7.5.7 采用压缩空气做气源的石灰石输送系统，宜在进气管路上设置空气流量计和手动调节阀。

7.6 卸油和储油系统设备要求

7.6.1 工业锅炉燃用轻质油品，需要设置储存甲类或乙 A 类油品的地上立式油罐时，宜根据实际情况，分别选用浮顶油罐、内浮顶油罐或卧式储罐；同时应注意，在选用油罐形式时，在考虑减少油气损失的同时，应将安全问题置于首要的考虑。

7.6.2 燃料油储罐宜根据油品性质合理选用呼吸阀减少油品损耗，下列储罐通向大气的通气管管口应装设呼吸阀，有条件的宜设置油气回收装置。

- 1、储存甲 B 类或乙类油品的固定顶油罐和地上卧式油罐的通气管应装设呼吸阀；
- 2、储存甲 B 类液体的覆土卧式油罐的通气管应装设呼吸阀；
- 3、采用氮气密封保护系统的储罐的通气管应装设呼吸阀。

7.6.3 工业锅炉燃用油品燃料，在环境温度较低可能造成油品凝冻时，燃油储罐应考虑伴热。

7.6.4 轻油储罐宜选用热水加热，重油储罐宜选用蒸汽加热。热水/蒸汽的流量应可调。电加热器不宜作为经常加热燃油的设备。

7.6.5 工业锅炉燃用油品燃料，需伴热的轻油管道宜使用热水伴热，重油管道宜使用蒸汽伴热，当使用蒸汽伴热时，凝结水应回收利用。在经济技术比较后，可选用电伴热。

7.6.6 当工业锅炉系统设置重油加热器时，加热面富裕量宜为 10%，加热面组宜能进行调节。

7.6.7 需要设油罐加热装置的油罐应设保温，保温厚度应按 GB50264 中的要求；当无特殊工艺要求时，应采用经济厚度法计算；并应满足最大允许散热损失和保温结构外表面温度的要求。

7.7 输油系统设备要求

7.7.1 燃油锅炉选用的油泵应根据燃料种类合理选择离心泵或容积泵。在选用容积泵（如齿轮泵或螺杆泵）较为节能时，应注意介质粘度较低时对泵密封性能的影响。

7.7.2 燃油锅炉选用油泵时，应根据合理选定回油量，在没有特殊要求的情况下，回油量取喷嘴额定出力的 15%~50%。

7.8 燃气储存及输送系统设备要求

7.8.1 燃气储配站的储气方式及储罐形式应根据燃气进站压力、供气规模、输配管网压力等因素，经技术经济比较后确定。当工业锅炉系统配套建设有 LNG 气化设施时，宜结合项目周边用能情况考虑冷能利用。

7.8.2 燃气工业锅炉系统内的计划维（检）修宜尽量和燃气管道输送上下游协同进行，集中作业，减少放空量。

7.8.3 管道应具备 95% 以上的设计管道输送能力。

8 风烟系统要求

8.1 基本要求

烟气处理系统在工艺路线选择时应充分进行投资及运行经济性评估，选用低能耗、低物耗的工艺。

8.2 鼓风机、引风机的要求

8.2.1 锅炉的送风机、引风机风量裕量，宜在计算基准量基础上，按表 6 选取；在无特殊情况时，按下限选用：

表 6 锅炉鼓、引风机风量富裕量

炉型	风机	风量裕量 (%)		风压裕量 (%)	
		推荐低限	推荐高限	推荐低限	推荐高限
炉排锅炉	送风机	10	15	20	30
	引风机	10	15	20	30
循环流化床 锅炉	一次风机	15	20	30	44
	二次风机	15	20	30	44
	引风机	10	15	20	30
	返料风机	10	20	21	44
煤粉锅炉		按照 GB 50049 选用			
其它锅炉		10	15	20	30

8.2.2 风机的选型应把设计基准量工况作为风机最佳效率工况。

8.2.3 锅炉所配风机宜配备变频等调速装置。

8.3 风管及烟管布置要求

8.3.1 在布置条件允许时，宜优先选用圆形截面风烟道。

8.3.2 风烟道的流通截面积，应综合考虑投资及合理节省运行费用等因素确定，其设计流速的选用参照 DL/T 5121-2020 表 3.3.3 执行。

8.3.3 风烟道布置力求平顺，减少弯头及其它异形件的数量。

8.3.4 矩形风烟道弯头、异形件的设计，应符合如下要求：

a) 宜优先选用同心圆缓转弯头；根据布置条件也可选用内外边均为圆角的急转弯头；布置确有困难时，可采用外削角急转弯头；

b) 矩形风烟道弯头、变径管等异形件，应参照 DL/T 5121 要求核实是否需要设置导流板或导向叶片；变径管壁板偏转角度控制在合理范围内。

8.3.5 风机入口和出口的直管段长度不宜小于 2.5 倍~6 倍管段当量直径。当直管段长度不能满足上述要求时，应根据布置条件按 DL/T468 的有关规定进行优化。

8.3.6 风、烟道隔离门应选用密封性能好的产品。

8.3.7 对于除尘前烟道，在容易积灰处，宜设置除灰孔或自动除灰装置。

8.4 环保配套设备的要求

8.4.1 烟气脱硫系统的设计应符合以下要求：

- a) 循环流化床锅炉应优先采用炉内脱硫的方式。
- b) 在水资源匮乏地区，烟气脱硫优先选用干法、半干法工艺。
- c) 选用湿法烟气脱硫工艺时，应综合考虑当地脱硫剂资源情况及脱硫副产品销售或处理成本选择合适的脱硫剂。
- d) 脱硫系统额定容量按照锅炉额定工况下燃用设计煤种或校核煤种时烟气量的最大值和最大入口浓度设计，不应再增加裕量。
- e) 当尾部采用湿法烟气脱硫工艺时，净烟道及湿烟囱析出的酸性废水应进行收集，宜送至脱硫系统回用。

8.4.2 烟气脱硝系统的设计应符合以下要求：

- a) 对于循环流化床锅炉，若需要设置烟气脱硝系统时，应优先采用 SNCR 系统。
- b) 对于煤粉锅炉、燃油燃气锅炉，应优先采用低氮燃烧技术，若仍不能满足环保要求时，再设置烟气脱硝系统。
- c) 脱硝系统额定容量按照锅炉额定工况下燃用设计煤种或校核煤种时最大烟气量和最大入口浓度设计；不应再增加裕量。

8.4.3 烟气除尘系统的设计应符合以下要求

- a) 烟气除尘器宜优先选用静电除尘器、布袋除尘器、电袋除尘器,不宜单独选用旋风分离器或水膜除尘器。
- b) 根据环保排放要求、前端环保设施、场地等条件，综合考虑投资及运行费用等因素确定深度除尘工艺。
- c) 除尘系统额定容量按照锅炉额定工况下燃用设计煤种或校核煤种时最大烟气量和最大入口浓度设计；不应再增加裕量。

9 余热回收

9.1 工业锅炉的排烟温度应符合 GB/T 17954 和 GB/T 15317 的要求。

9.2 尽量降低锅炉的排烟温度。可采用热泵等方式将燃气锅炉的排烟温度降到 30℃ 以下。常用烟气余热回收的方式及设备见附录 O。

9.3 在回收烟气余热时，应采取措施防止烟气冷凝水的腐蚀。

9.4 燃气锅炉烟气的冷凝水可处理合格后回收利用。

10 设备和管道的保温要求

10.1 基本要求

10.1.1 设备和管道保温的设计，应满足现行国家规范GB 50264和GB/T 8175的规定。

10.1.2 从节能设计角度出发，除特殊情况外，具有下列情况的热力设备、管道及其附件均应保温：

- a) 外表面温度高于 323K (50℃) (环境温度为 298K (25℃) 时) 且工艺要求减少散热损失的;
- b) 外表面温度低于等于323K (50℃), 但需要减少介质温降的, 或经技术经济比较, 降低外表面温度在经济上是合理的。

10.1.3 保温设计时, 应根据环境、被保温设备和管道的材质及外表面温度, 选用导热系数低、价格低、密度小、施工方便的保温材料, 选用的材料应满足国家现行有关标准, 新材料应通过具备国家相应资质的法定检测机构按国家标准检测合格后才能选用。

10.2 保温材料的要求

10.2.1 保温材料应选择能够提供具有随温度变化的导热系数方程式或图表的产品。对于松散或可压缩的保温材料, 应选择能提供在使用密度下导热系数方程式或图表的产品。常用保温材料的性质和特点见附录P。

10.2.2 保温材料的主要物理性能和化学性能, 除了应符合国家现行有关产品标准的规定外, 其使用状态下的导热系数和密度还应满足下列要求:

- a) 保温材料及其制品在平均温度为298K(25℃)时, 其导热系数不得大于0.080W/(m K)。
- b) 硬质保温制品的密度不应大于220kg/m³, 半硬质保温制品的密度不应大于200kg/m³, 软质保温制品的密度不应大于150kg/m³。

10.3 设备和管道保温

10.3.1 保温层厚度应根据GB / T 4272和GB / T 8175中的经济厚度计算方法确定。当经济厚度偏小导致散热损失超过表7给出的允许最大散热损失时, 可采用最大允许散热损失下的保温厚度, 且保温结构外表面温度满足本标准10.3.2条的规定。

10.3.2环境温度低于或等于25℃时, 设备和管道保温结构外表温度不应超过50℃。环境温度高于25℃时, 设备和管道保温结构外表温度不应高于环境温度25℃。

表7 保温结构外表面允许最大散热损失

介质温度 ℃	常年运行工 况 W/m ²	季节运行工况 W/m ²	介质温度 ℃	常年运行工况 W/m ²	季节运行工 况 W/m ²
50	52	104	400	204	-
100	84	147	450	220	-
150	104	183	500	236	-
200	126	220	550	251	-
250	147	251	600	266	-
300	167	272	650	283	-
350	188	--	700	297	-

10.3.3 对于介质温度高于350℃的, 根据技术经济比较, 可采用复合保温材料。

10.3.4 当热力设备和热力管道在室外露天布置时, 其保温层的外保护层应具有防水功能。

11 监测与控制的要求

11.1 热工监测与控制的项目

工业锅炉的监测内容应满足安全运行、经济核算的需要，监测与控制设计应符合 GB 50041、TSG11、TSG 91 的要求。节能监测的具体项目见附录 Q。

11.2 热工调节与控制的项目（和 11.1 合并）

11.2.1 锅炉系统的热工调节与控制应符合 GB 50041 的要求；

11.2.2 锅炉系统控制系统应对采集的热工控制参数进行数据分析，采集数据能够完成控制、连锁、保护内容、并能根据数据完成锅炉的优化控制。

11.2.3 锅炉应设置燃烧自动调节。

11.2.4 蒸汽锅炉应设置给水自动调节。

11.2.5 热水系统应设置循环水泵自动调节、自动补水装置。

11.2.6 热力除氧设备应设置水位自动调节装置和压力自动调节装置

11.2.7 燃煤锅炉应设置给煤系统的自动调节。

11.2.8 减压减温装置应设置蒸汽压力和温度自动调节装置。

11.2.9 供采暖用锅炉控制系统应设置气候补偿装置。

11.2.10 工业锅炉低温余热利用系统应依据排烟温度自动调节给水流量。

11.2 能源监控管理中心的功能要求

11.3.1 工业锅炉系统宜建立能源监控管理中心，监控中心应具备下列功能：

- a) 监控运行：显示工艺流程图画面及动态运行参数，实时监测锅炉运行状态，实时接收、记录工业锅炉的报警信息，并能形成报警日志，支持符合标准的工业型数据接口及协议，并实现数据共享；
- b) 数据存储及分析：对运行数据各种温度、压力和流量参数和环保指标进行存储，并对工艺参数、运行工况、供热质量等进行统计分析，对运行数据进行运行趋势和供热效果分析，对同类参数进行分析比较和预测；
- c) 能耗管理：应对每日能耗、工况、供热质量进行统计、分析及存储；
- d) 故障报警：应对报警数据进行实时显示和存储，并进行故障原因诊断；
- e) 调度管理：制订供热计划，优化供热调度。

11.3.2 能源管理宜具备以下功能：

- a) 能源计划功能，建立年度能源消耗计划，支持多次修改、保存和下发的功能，统计能源消耗量；
- b) 能耗统计功能，可统计水、电、热及燃料等的消耗量，建立管理台账；
- c) 历年能耗分析功能，统计形成历年能源消耗量，生成报表和图表；
- d) 能源考核功能，进行能源考核，考核周期可设定、修改；
- e) 成本分析功能；
- f) 定期测算锅炉运行效率、水泵效率等，形成图表。

11.3 监测和控制设备要求

11.3.1 工业锅炉的设计应配置自动控制装置，锅炉机组的自动控制装置宜采用计算机控制系统。计算机控制系统应满足以下要求：

- a) 控制系统硬件由工控机、控制器、传感器、执行器、通信系统和人机界面组成。
- b) 控制系统的供电，应设置不间断电源。

11.3.2 工业锅炉仪器仪表的选型、等级、量程、精度等应符合下列要求：

- a) 仪器仪表选型应根据工艺过程、仪表特性、压力等级、测量范围、准确度等因素综合考虑；
- b) 选用的仪器仪表应为经国家授权部门认可、取得制造许可证的合格产品；
- c) 仪器仪表的等级、精度要求应符合现行国家标准GB/T 13283的相关规定；
- d) 温度仪表宜选用测量和变送一体化的温度变送器，测量元件应选用分度号为Pt110的铂热电阻。热电阻允差等级和允差值应符合现行行业标准JJG 229中关于AA级或A级的相关规定。
- e) 压力仪表宜选用压力变送器，微小压力、微小负压的测量，宜选用差压变送器。
- f) 流量仪表应满足精度和保证工作可靠性，根据流量计测量形式保证测量前后的直管段的要求。
- g) 热量表的选型应符合GB/T 32224的相关规定。
- h) 自动检测仪表的类型与特性见附录R。

12 高原环境锅炉系统节能设计要求

12.1 基本要求

12.1.1 项目所在地海拔高度超过 1000m 时，应根据高原环境特点对锅炉本体及辅机选型、系统设计进行修正。

12.1.2 所选择的锅炉在设计过程中应充分考虑了项目所在地海拔高度所带来的影响，制造单位宜具有高海拔地区锅炉制造经验。

12.1.3 对于 SNCR 技术，在选择还原剂喷入位置时应考虑炉膛内低气压带来的温度场、流场变化所造成的适宜“温度窗口”位置变化；对于 SCR 技术，SCR 装置的设计应满足对高原地区锅炉尾部烟道低密度烟气中 NO_x 高效脱除的要求。

12.1.4 配套的电机及控制系统电工电子产品满足 GB/T 20626 的要求。

12.2 锅炉选型要求

12.2.1 层燃锅炉的选型要求

a) 层燃锅炉燃用煤质应根据项目所在地海拔高度适当选择高低位发热量煤种，同时燃料尺寸适当降低以提高燃尽率；生物成型燃料锅炉燃料性质应符合 NB/T 47062 中基本要求，并根据项目所在地海拔

高度对燃料尺寸、细小颗粒量和水分等参数要求进行修正。

b) 燃煤层燃锅炉炉排有效面积应在本标准相关要求的基础上,采用系数 $(P_0/P)^{2/3}$ 进行修正,其中 P_0 为标准大气压, P 为高原地区环境压力;对于生物质成型燃料锅炉,炉排面积热负荷取值范围如下:

- 1) 链条炉排: $600 \times (P/P_0)^{2/3} \text{ kW/m}^2 \sim 950 \times (P/P_0)^{2/3} \text{ kW/m}^2$;
- 2) 往复炉排: $580 \times (P/P_0)^{2/3} \text{ kW/m}^2 \sim 800 \times (P/P_0)^{2/3} \text{ kW/m}^2$ 。

c) 炉排的技术指标应根据项目所在地海拔高度对供风系统冷态性能试验提出相应要求。

%。

d) 高原环境层燃锅炉炉膛出口后的烟道横截面积应比平原地区相同额定蒸发量或热功率的锅炉加大,控制对流受热面流速与平原相当以降低烟风阻力,同时以相同比例增加尾部受热面面积。

12.2.2 燃气锅炉的选型要求

a) 高原环境燃气锅炉炉膛容积应比平原地区适当加大。对 WNS 型锅炉,为了满足火焰长度的要求,海拔每升高 1000 m,炉膛长度应增加 1~2%。b) 高原环境锅炉炉膛出口后的烟道横截面积应比平原地区相同额定蒸发量或热功率的锅炉加大,控制对流受热面流速与平原锅炉相当以降低烟风阻力,同时以相同比例增加尾部受热面面积。

c) 高原环境天然气锅炉排烟的冷凝温度随着海拔升高而降低,海拔每升高 1000 m 冷凝所需的排烟温度降低约 2~3℃ 选取。

d) 高原环境燃气锅炉使用地环境温度低于-10℃时,应布置空气预热器。

12.2.3 燃气锅炉燃烧系统要求

a) 燃烧器设计应在满足 GB/T 36699 要求的前提下结合高原环境特点进行修正。

b) 燃烧器的额定功率应与锅炉容量匹配,随着海拔升高应放大喷口直径,使得燃气射程在合理范围之内,如燃烧器按照平原设计,需采用系数 (P_0/P) 对燃烧器功率进行修正以增加富裕量。

c) 燃料的流量控制系统宜按照表压折算到质量流量来控制。

d) 低氮燃气燃烧器的选型应充分考虑高原环境特点,按照平原条件设计的燃烧器使用在高原地区时应进行热态测试确定其 NO_x 排放是否超标。

12.3 电机选型要求

12.3.1 绝缘强度降低

当电机使用地点海拔与试验地点海拔不同时,电机选型需考虑绝缘强度的降低。

12.3.2 电机功率修正

高原环境下,若电机的额定输出功率保持不变,则需要满足式(2):

$$(h-1000)\Delta i \leq 40 - t_{at} \quad (2)$$

式中：

h ——电机使用海拔，m；

t_{at} ——电机使用地点的环境温度，℃；

Δi ——海拔在 1000~5000 米，海拔每提高 100 米所需要的最高环境温度补偿值，取 $\Delta i = 0.01 * \text{电机绕组温升极限} / 100$ ，℃/m。

若无法满足这一环境要求，则电机额定输出功率降低值按式（3）计算：

$$\Delta Ne = [(h - 1000) \Delta i - (40 - t_{at})] * Ne / 100 \quad (3)$$

式中：

Ne ——电机的额定功率，kW；

ΔNe ——电机额定功率降低值。

12.4 汽水系统要求

高海拔地区水泵的允许吸上真空高度按式（4）进行修正。

$$H_s = H_{s0} - (10.3 - H_g) - (H_z - 0.24) \quad (4)$$

式中：

H_s ——高海拔下的允许吸上真空高度，mH₂O；

H_{s0} ——海平面下的允许吸上真空高度，mH₂O；

H_g ——水泵安装地点的大气压，mH₂O；

H_z ——液体相应温度下饱和蒸汽压力，mH₂O。

12.5 风烟系统要求

12.5.1 确定在海拔标高大于 1000m 地区的烟风管道截面时，应考虑大气压力降低的影响，对介质的容积流量和推荐流速（DL/T 5121-2020 表 3.3.3）进行修正。

12.5.2 烟风道的流量修正系数为 (P_0/P) ，流速不做修正。

12.5.3 风机选型时，烟风系统阻力应按系数 (P_0/P) 修正后作为风机的选用风压。

13 工业锅炉系统节能指标计算方法

13.1 工业锅炉系统设计热效率的计算

13.1.1 工业锅炉系统热效率：

$$\eta_y = \frac{Q_c}{B \times Q_r} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- η_y ——工业锅炉系统热效率；
- Q_c ——工业锅炉系统输出热量，单位为千焦每时（kJ/h）；
- Q_r ——工业锅炉系统单位燃料输入热量，单位为千焦每千克（kJ/kg）或千焦每标准立方米（kJ/Nm³）；
- B ——燃料消耗量，单位为千克每时（kg/h）或立方米每时（m³/h）。

13.1.1.2 工业锅炉系统输出热量的计算

13.1.1.2.1 对于外供饱和蒸汽的蒸汽工业锅炉系统输出热量应按公式（6）计算：

$$Q_{cb} = D_b \times (h_{bq} - r \times w / 100) - b \times h_{bs} - n \times h_{ns} + Q_{c1} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- Q_{cb} ——外供饱和蒸汽的蒸汽工业锅炉系统输出热量，单位为千焦每时（kJ/h）。
- D_b ——工业锅炉系统对外供蒸汽量（不含加（伴）热燃料、除氧等自用蒸汽），单位为千克每时（kg/h）；
- h_{bq} ——工业锅炉系统对外供蒸汽的饱和焓值，单位为千焦每千克（kJ/kg）；
- r ——工业锅炉系统对外供蒸汽的汽化潜热，单位为千焦每千克（kJ/kg）；
- w ——工业锅炉系统对外供蒸汽的湿度（%）；
- b ——工业锅炉系统补水量，单位为千克每时（kg/h）；
- h_{bs} ——补水的焓值，单位为千焦每千克（kJ/kg）；
- n ——外部回到工业锅炉系统的凝结水的量，单位为千克每时（kg/h）；
- h_{ns} ——凝结水的焓值，单位为千焦每千克（kJ/kg）；
- Q_{c1} ——利用工业锅炉系统余热对外供应的热量，单位为千焦每时（kJ/h）。

13.1.1.2.2 对于外供过热蒸汽的蒸汽工业锅炉系统输出热量应按公式（7）计算：

$$Q_{cg} = D_g \times h_{gq} - b \times h_{bs} - n \times h_{ns} + Q_{c1} \dots\dots\dots (7)$$

- Q_{cg} ——外供过热蒸汽的蒸汽工业锅炉系统输出热量，单位为千焦每时（kJ/h）。
- D_g ——工业锅炉系统对外供过热蒸汽量（不含加（伴）热燃料、除氧等自用蒸汽），单位为千克每时（kg/h）；
- h_{gq} ——工业锅炉系统对外供过热蒸汽的焓值，单位为千焦每千克（kJ/kg）。

13.1.1.2.3 对于热水工业锅炉系统输出热量应按公式（8）计算：

$$Q_{cs} = G_c \times h_{cs} - G_r \times h_{rs} - b \times h_{bs} + Q_{c1} \dots\dots\dots (8)$$

- Q_{cs} ——热水工业锅炉系统输出热量，单位为千焦每时（kJ/h）。
- G_c ——工业锅炉系统对外供循环水的流量（不含加（伴）热燃料、除氧等自用热），单位为千克每时（kg/h）；
- G_r ——外供循环水回到工业锅炉系统的流量（不含加（伴）热燃料、除氧等自用热），单位为千克每时（kg/h）；
- h_{cs} ——工业锅炉系统对外供循环水的焓值，单位为千焦每千克（kJ/kg）；
- h_{rs} ——外供循环水回到工业锅炉系统的焓值：单位为千焦每千克（kJ/kg）。

13.1.3 工业锅炉系统单位燃料输入热量的计算

工业锅炉系统单位燃料输入热量应按公式（9）进行计算。

$$Q_r = Q_{net.ar} + Q_w + Q_{ex} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

Q_r ——工业锅炉系统单位燃料输入热量，单位为千焦每千克(kJ/kg)或千焦每标准立方米(kJ/m³)；

$Q_{net,ar}$ ——燃料收到基的低位发热量，单位为千焦每千克(kJ/kg)或千焦每标准立方米(kJ/m³)；

Q_w ——外部能源为满足入炉燃料的要求而加(伴)热燃料的单位能耗，单位为千焦每千克(kJ/kg)或千焦每标准立方米(kJ/m³)；

注： Q_w 指在本工业锅炉系统内用，除本工业锅炉系统所产生的蒸汽或热水以外能源，加(伴)热燃料的能耗和在本工业锅炉系统以外为供应合格燃料供本工业锅炉系统使用而用于加热、伴热等所使用的热能或其他能源。

Q_{rx} ——进入本工业锅炉系统燃料的单位物理热量，单位为千焦每千克(kJ/kg)或千焦每标准立方米(kJ/m³)。

13.1.4 工业锅炉系统设计热效率的计算

在设计热负荷工况下，工业锅炉系统的设计热效率应按公式(10)进行计算；

$$\eta_{ys} = \frac{Q_{cs}}{B_s \times Q_{rs}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

η_{ys} ——工业锅炉系统设计热效率(%)；

Q_{cs} ——在设计热负荷工况下，工业锅炉系统的输出热量，单位为千焦每时(kJ/h)；

B_s ——在设计热负荷工况下，工业锅炉系统的燃料消耗量，单位为千克每时(kg/h)或标准立方米每时(m³/h)；

Q_{rs} ——在设计负荷工况下，工业锅炉系统燃料的单位输入热量，单位为千焦每千克kJ/kg或千焦每立方米(kJ/m³)

13.1.5 工业锅炉系统设计平均热效率的计算

工业锅炉系统设计平均热效率应按公式(11)进行计算：

$$\eta_{yp} = \frac{Q_{cp}}{B_p \times Q_{rp}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

Q_{cp} ——在设计平均热负荷工况下，工业锅炉系统的输出热量，单位为千焦每时(kJ/h)；

B_p ——在设计平均热负荷工况下，工业锅炉系统的燃料消耗量，单位为千克每时(kg/h)或标准立方米每时(Nm³/h)；

Q_{rp} ——在设计平均负荷工况下，工业锅炉系统燃料的单位输入热量，单位为千焦每千克kJ/kg或千焦每标准立方米(kJ/Nm³)

13.2 工业锅炉系统能源利用率

13.2.1 工业锅炉系统能源利用率应按公式(12)进行计算。

$$\eta_e = \frac{Q_c}{B \times Q_r + 29307 \times \beta \times N_z} \times 100\% \dots\dots\dots (12)$$

式中：

η_e ——工业锅炉系统能源利用率，%；

Q_c ——工业锅炉系统输出热量，单位为千焦每时(kJ/h)；

Q_r ——工业锅炉系统单位燃料输入热量，单位为千焦每千克(kJ/kg)或千焦每立方米(kJ/m³)；

- B —— 燃料消耗量，单位为千克每时 (kg/h) 或立方米每时(m³/h)；
- β —— 上年度全国平均供电煤耗，单位为千克标煤每千瓦时 (kgce/kW h)；
- N_z —— 工业锅炉系统设备总耗电量，单位为千瓦时每时 (kW·h/h)。

13.2.2 工业锅炉系统设备总耗电量计算方法

应按公式(13)计算工业锅炉系统设备总耗电量

$$N_z = N_1 \times B + N_2 \times b + N_3 + N_4 + N_5 + N_6 + N_7 + N_8 \dots\dots\dots (13)$$

式中：

- N_z —— 锅炉辅机总耗电量，单位为千瓦时每时 (kW h/h)；
- N_1 —— 燃料加工及输送电耗，单位为千瓦时每千克 (kW h/kg) 或千瓦时每标准立方米 (kW h/Nm³)；
- N_2 —— 补水单位电耗，单位为千瓦时每千克 (kW h/kg)；
- N_3 —— 燃烧设备电耗，单位为千瓦时每时 (kW h/h)；
- N_4 —— 鼓风机电耗，单位为千瓦时每时 (kW h/h)；
- N_5 —— 引风机电耗，单位为千瓦时每时 (kW h/h)；
- N_6 —— 给水泵电耗，单位为千瓦时每时 (kW h/h)；
- N_7 —— 循环泵电耗，单位为千瓦时每时 (kW h/h)；
- N_8 —— 其他辅助设备电耗，单位为千瓦时每时 (kW h/h)。

13.2.3 工业锅炉系统设计能源利用率应按公式(14)进行计算。

$$\eta_{es} = \frac{Q_{cs}}{B_s \times Q_{rs} + 29307 \times \beta \times N_{zs}} \times 100\% \dots\dots\dots (14)$$

式中：

- η_{es} —— 工业锅炉系统设计能源利用率 (%)；
- Q_{cs} —— 在设计热负荷工况下，工业锅炉系统的输出热量，单位为千焦每时 (kJ/h)；
- B_s —— 在设计热负荷工况下，工业锅炉系统的燃料消耗量，单位为千克每时 (kg/h) 或标准立方米每时 (Nm³/h)；
- β —— 上年度全国平均供电煤耗，单位为千克标煤每千瓦时 (kgce/kW h)；
- N_{zs} —— 在设计热负荷工况下工业锅炉系统设备总耗电量，单位为千瓦时每时 (kW h/h)。

13.3 工业锅炉系统有关单位能耗的计算

13.3.1 工业锅炉系统外供热量单位燃料耗量设计值计算方法

工业锅炉系统外供热量的单位燃料消耗量设计值应按公式 15 计算。

$$B' = \frac{B \times Q_{net, ar}}{29307 \times Q_{cs}} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

- B' —— 外供热量的单位燃料消耗量设计值，单位为千克标煤每吉焦 (kgce/GJ)；
- B —— 燃料消耗量，单位为千克每时 (kg/h) 或立方米每时(m³/h)；
- $Q_{net, ar}$ —— 燃料收到基的低位发热量，单位为千焦每千克 (kJ/kg) 或千焦每立方米(kJ/m³)；
- Q_{cs} —— 在设计热负荷工况下，工业锅炉系统的输出热量，单位为千焦每时 (kJ/h)。

13.3.2 工业锅炉系统外供热量单位电耗设计值计算方法

在设计热负荷工况下，工业锅炉系统外供单位热量所消耗的电能应按公式（16）计算：

$$n = \frac{N_{ZS}}{Q_{CS}} \dots\dots\dots (16)$$

式中：

- n —— 外供热量单位电耗设计值，单位为千瓦时每吉焦（kW h/GJ）；
- N_{ZS} —— 生产外供总热量所消耗电能的设计值，单位为千瓦时（kW h）；
- Q_{CS} —— 生产外供总热量的设计值，单位为吉焦（GJ）。

13.3.3 工业锅炉系统外供热量单位水耗设计值计算方法

工业锅炉系统外供热量的单位水耗设计值应按公式 17 计算。

$$b' = \frac{b}{Q_{CS}} \dots\dots\dots (17)$$

式中：

- b' —— 外供热量的单位水耗设计值，单位为千克每吉焦（kg/GJ）；
- b —— 生产外供总热量所消耗水量的设计值，单位为千克（kg）；
- Q_{CS} —— 在设计热负荷工况下，工业锅炉系统的输出热量，单位为千焦每时（kJ/h）。

13.3.4 工业锅炉系统外供热量单位能耗设计值计算方法

工业锅炉系统外供热量的单位能耗设计值。应按公式 18 计算

$$e = B' + \alpha \times n + k \times b' \dots\dots\dots (18)$$

式中：

- e —— 外供热量单位能耗设计值，单位为千克标煤每吉焦（kgce/GJ）；
- B' —— 外供热量的单位燃料消耗量设计值，单位为千克标煤每吉焦（kgce/GJ）；
- α —— 电量折合标准煤系数（kgce/kW h）本标准取 α =0.1229；
- n —— 外供热量单位电耗设计值，单位为千瓦时每吉焦（kW h/GJ）；
- k —— 以标准煤计的水耗折算系数（kgce/kg）本标准取 k=0.2571×10⁻³；
- b' —— 外供热量的单位水耗设计值，单位为千克每吉焦（kg/GJ）。

13.4 工业锅炉系统碳排放计算

13.4.1 工业锅炉系统年度碳排放总量计算

$$E = E_{\text{燃烧}} + E_{\text{外购电}} \dots\dots\dots (19)$$

$$E_{\text{燃烧}} = \sum_{i=1}^n AD_i \times EF_i \dots\dots\dots (20)$$

$$E_{\text{外购电}} = AD_{\text{电}} \times EF_{\text{电}} \dots\dots\dots (21)$$

式中：

- E —— 系统年度二氧化碳排放总量，单位为吨二氧化碳（tCO₂）；
- E_{燃烧} —— 系统年度化石燃料燃烧产生的二氧化碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO₂）；
- E_{外购电} —— 系统年度消耗外购电力产生的二氧化碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO₂）；
- AD_i —— 系统年度第 i 种化石燃料的活动数据，单位为吉焦（GJ）；
- EF_i —— 第 i 种化石燃料的二氧化碳排放因子，单位为吨二氧化碳每吉焦（tCO₂/GJ），参

照 GB/T51366 执行；

i——化石燃料类型代号；

AD_{外购电}——系统年度消耗外购电力电量，单位为兆瓦时（MWh）；

EF_电——电网年平均供电排放因子，单位为吨二氧化碳每兆瓦时（tCO₂/MWh），参照 GB/T51366 执行。

13.4.2 工业锅炉系统外供热量碳排放强度

$$E_i = \frac{E}{Q_{cs}} \dots \dots \dots (22)$$

式中：

E_i——系统的单位外供热力二氧化碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO₂/GJ）；

Q_{cs}——系统年度生产外供总热量，单位为吉焦（GJ）。

附录 A

(资料性附录)

工业锅炉房初步设计所需主要文件和资料

工业锅炉房初步设计应依据以下市政条件资料：

- a) 供水方案及供水协议
- b) 排水协议
- c) 燃料供应协议
- d) 粉煤灰、炉渣、石膏购销协议
- e) 燃料分析报告
- f) 水质分析报告
- g) 建设工程岩土工程初步勘察报告
- h) 电力供应协议及电力接入方案
- i) 50年或100年一遇洪水水位
- j) 市政供水\污水\雨水接入点的坐标及标高
- k) 建设项目四周市政现状道路及规划道路相关资料
- l) 热力管道市政接入点的坐标及标高
- m) 建设项目地形图(1:500)
- n) 建设项目所在地的气象水文资料
- o) 热负荷资料

附录 B

(资料性附录)

热负荷资料的收集与整理

B.1 热负荷资料的收集

热负荷资料的收集应根据热负荷的性质、热负荷的发展阶段分别收集统计，在热负荷数据统计表中要区分工业热负荷、采暖热负荷、生活热水热负荷、现状热负荷、近期热负荷和规划热负荷等。

B.2 工业热负荷资料的收集

B.2.1 工业热负荷一般为蒸汽负荷，工业热负荷资料的收集要调查清楚生产工艺的用热要求，蒸汽的参数、凝结水的回收等情况。收集不同生产季节典型生产日的蒸汽负荷、全年蒸汽负荷情况。典型生产日小时热负荷调查表见表 B.1，典型生产月生产用蒸汽调查表见表 B.2。

表 B.1 典型生产日小时热负荷调查表

用热单位	负荷性质	用热季节或月份	直接加热 间接加热	蒸汽参数		凝结回水		时间								
				蒸汽压力 MPa	蒸汽温度 ℃	回水量 t/h	回水温度 ℃	1	2	3	.....	23	24			
		春														
		夏														
		秋														
		冬														

表 B.2 典型生产月生产用蒸汽调查表

用热单位	负荷性质	供热介质	用热参数		用汽量 t/h									用热方式		回水情况						停产期或检修期									
			压力 MPa	温度 ℃	冬季			春秋季			夏季			直接 用热	生产 班制	冬季		春秋季		夏季											
					最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小			回水量 t/h	回水温度 ℃	回水量 t/h	回水温度 ℃	回水量 t/h	回水温度 ℃										

注：回水情况：蒸汽凝结水回水应为无污染可供锅炉使用的合格水。
 负荷性质：1 类负荷—停汽后发生人身或设备事故；2 类负荷—停汽后影响生产；3 类负荷—允许短时间停汽。

B.2.2 对于生产产品的能耗、产量一般也进行调查，调查表见表 B.3。

表 B.3 主要产品产量及单耗调查表

单位名称	产品名称	年产量 t	单位产品能耗 t(汽)/t	直接或间接用热	生产班次及 生产时间	年平均生产时间	停产或检修时间

B.2.3 对于供热区域内由集中供热替代的现有锅炉房。供热的锅炉容量及锅炉运行参数应进行调查，现有锅炉房的调查表见表 B.4。

表 B.4 现有锅炉房情况调查表

锅炉型号	压力 MPa	温度 ℃	出力 t/h	台数	安装时间	年耗煤量 t	低位发热量 kJ/kg	生产班制	运行时间 h	年供蒸汽量 t	年用电量 kW.h

B.3 采暖、空调、生活热水负荷调查

采暖、空调、生活热水负荷收集要结合当地的气象条件、建筑围护结构的热工特性等，调查当地实际的建筑物供热指标、实际供热时间等，对于有分时分区供热的建筑物应予以说明，调查表见表 B.5。

表 B.5 采暖、空调、生活热水负荷调查表

建筑物名称	建筑面积 10 ⁴ m ²	建筑类别	建设时间	建筑物层高	采暖热指标 W/m ²	热负荷 kW	生活热水指标 W/m ²	热水供应方式	小时最大生活热水负荷 kW	备注

B.4 热负荷资料的整理

对各热用户提供的热负荷资料进行整理汇总时，应按照不同时段的热负荷进行审核。现状热负荷宜按照全年耗煤量和生产工艺设计能耗分别验算，现状采暖热负荷可按照现状锅炉房的耗煤量进行验算，误差大时应查明原因。对新增加的热负荷要可靠落实，应以批准的建设项目为准，不得任意扩大。

B.5 热负荷叠加

对各热用户提供的热负荷叠加时，同时率的取用应符合下列规定。

- a) 对有稳定生产的主要用户，在取得不同季节的典型日负荷曲线的基础上，进行热负荷叠加时，不应计算同时率；

- b) 对生产热负荷量较小或无稳定生产热负荷的次要热用户，在进行最大热负荷叠加时，应乘以同时率；
- c) 采暖热负荷及用于生活的空调制冷热负荷和生活热水负荷进行叠加时，不应计算同时率；
- d) 同时率数值取 0.7~0.9，热负荷较平稳的地区取大值，反之取小值。

附 录 C
(资料性附录)
燃料资料的收集与整理

C.1 煤质资料的收集

煤质资料的收集包括以下内容，下列内容中可以根据不同燃烧形式的锅炉有所删减。

- a) 工业分析：煤的全水分 M、灰分 A、挥发分 V 和固定碳 FC；
- b) 元素分析：C、H、O、N、S 各元素，以及水分和灰分；
- c) 煤的可磨性系数、煤的堆积密度；
- d) 煤的粒度；
- e) 灰的成分；
- f) 灰的性质：变形温度 DT、软化温度 ST、熔化温度 FT、比电阻、堆积密度。

C.2 燃料油资料的收集

燃料油资料的收集包括以下内容，下列内容中可以根据燃用不同的燃油品种有所删减。

- a) 油的元素分析：C、H、O、N、S 各元素，以及水分；
- b) 油的性质：发热量、粘度、比重、比热、凝点、闪点、导热系数。

C.3 燃气资料的收集

燃气资料的收集包括以下内容，下列内容中可以根据燃用不同的燃气品种有所删减。

气体燃料的成分分析、发热量、密度、爆炸极限、华白数、粘度。

C.4 不同“基”成分换算系数

煤质分析结果不同“基”成分换算系数见表 C.1。

表 C.1 煤质分析结果不同“基”成分换算系数

已知基	所求基			
	收到基 (ar)	空气干燥基 (ad)	干燥基 (d)	干燥无灰基 (daf)
收到基 (ar)	1	$\frac{100 - M_{ad}}{100 - M_{ar}}$	$\frac{100}{100 - M_{ar}}$	$\frac{100}{100 - (M_{ar} + A_{ar})}$
空气干燥基 (ad)	$\frac{100 - M_{ar}}{100 - M_{ad}}$	1	$\frac{100}{100 - M_{ad}}$	$\frac{100}{100 - (M_{ad} + A_{ad})}$
干燥基 (d)	$\frac{100 - M_{ar}}{100}$	$\frac{100 - M_{ad}}{100}$	1	$\frac{100}{100 - A_d}$
干燥无灰基 (daf)	$\frac{100 - (M_{ar} + A_{ar})}{100}$	$\frac{100 - (M_{ad} + A_{ad})}{100}$	$\frac{100 - A_d}{100}$	1

注：Mar——煤样收到基水分，%；Mad——煤样空气干燥基水分，%；Aar——煤样收到基灰

分，%；

Aad——煤样空气干燥基灰分，%； Ad——煤样干燥基灰分，%。

C.5 相同基高、低位发热量换算

相同基高、低位发热量换算的关系式见表 C.2。

表 C.2 相同基高、低位发热量换算

项目	高、低位发热量的关系
收到基	$Q_{ar.net} = Q_{ar.gr} - 25(9H_{ar} + M_{ar})$
空气干燥基	$Q_{ad.net} = Q_{ad.gr} - 25(9H_{ad} + M_{ad})$
干燥基	$Q_{d.net} = Q_{d.gr} - 226H_d$

注： $Q_{ar.net}$ ——收到基低位发热量，单位为千焦每千克（kJ/kg）或千焦每立方米(kJ/Nm³)；
 $Q_{ar.gr}$ ——收到基高位发热量，单位为千焦每千克（kJ/kg）或千焦每立方米(kJ/Nm³)；
 $Q_{ad.net}$ ——空气干燥基低位发热量，单位为千焦每千克（kJ/kg）或千焦每立方米(kJ/Nm³)；
 $Q_{ad.gr}$ ——空气干燥基高位发热量，单位为千焦每千克（kJ/kg）或千焦每立方米(kJ/Nm³)；
 $Q_{d.net}$ ——干燥基低位发热量，单位为千焦每千克（kJ/kg）或千焦每立方米(kJ/Nm³)；
 $Q_{d.gr}$ ——干燥基高位发热量，单位为千焦每千克（kJ/kg）或千焦每立方米(kJ/Nm³)；
 H_{ar} ——收到基氢的质量百分数，%；
 H_{ad} ——空气干燥基氢的质量百分数，%；
 H_d ——干燥基氢的质量百分数，%。

附录 D
(资料性附录)

原水水质分析及校核方法

D.1、水质分析资料的数量

D.1.1 原水水质是确定合适的水处理方案,选择合理的水处理流程、采用合适的化学药剂和计量、进行水处理设备计算的重要基础资料。自然界中的水质是随环境变化的,水处理系统设计水质分析报告的数量应能反映出一年中水质的变化,对于地表水宜每月化验一次,水质资料不宜少于 12 份;对于地下水宜每季度化验一次,水质资料不宜少于 4 份。

D.1.2 对于蒸汽锅炉系统原水水质分析宜采用水质全分析,水质全分析项目和格式见表 D.1。当进行水质全分析有困难且水处理系统不需采用除盐系统即可满足要求时,原水分析项目不宜少于表 D.2 的项目。对于热水锅炉系统原水水质分析项目可以适当简化,具体见表 D.3。

表 D.1 蒸汽锅炉系统水质分析项目

工程名称:				化验编号:					
取水地点:				取水部位:					
取水时气温:				取水时间:					
取水时水温				分析时间:					
水样种类									
项目		mg/l	mmol/l	备注	项目		mg/l	mmol/l	备注
硬 度	总硬度				阳 离 子	Ca ²⁺			
	碳酸盐硬度					Mg ²⁺			
	非碳酸盐硬度					K ⁺			
	负硬度					Na ⁺			
酸 碱 度	甲基橙碱度					NH ₄ ⁺			
	酚酞碱度					Fe ²⁺ ;			
	酸度					Fe ³⁺			
	PH 值					Al ³⁺			
其 他	悬浮物					Mn ²⁺			
	溶解固形物								
	COD _{Mn}				阴 离 子	SO ₄ ²⁻			
	残余氯					HCO ₃ ⁻			
	溶解氧					CO ₃ ²⁻			
	游离二氧化碳					Cl ⁻			
	含油量					NO ₂ ⁻			
	全硅 (SiO ₂)					NO ₃ ⁻			
非活性硅 (SiO ₂)				OH ⁻					

表 D.2 蒸汽锅炉系统水质分析简化项目

工程名称:				化验编号:					
取水地点:				取水部位:					
取水时气温:				取水时间:					
取水时水温				分析时间:					
水样种类									
项目		mg/l	mmol/l	备注	项目		mg/l	mmol/l	备注
硬 度	总硬度				其 他	悬浮物			
	碳酸盐硬度					溶解固形物			
	非碳酸盐硬度					COD _{Mn}			
	负硬度					残余氯			
酸 碱 度	甲基橙碱度					溶解氧			
	酚酞碱度					游离二氧化碳			
	酸度					含油量			
	PH 值								

表 D.3 热水锅炉系统原水水质分析项目

工程名称:				化验编号:					
取水地点:				取水部位:					
取水时气温:				取水时间:					
取水时水温				分析时间:					
水样种类									
项目		mg/l	mmol/l	备注	项目		mg/l	mmol/l	备注
总硬度					COD _{Mn}				
甲基橙碱度					残余氯				
PH 值					溶解氧				
全铁					含油量				
悬浮物									

D.2、原水水质校核

D.2.1 总硬度、碱度、离子间的关系

原水的总硬度的计算见公式 D.1。

$$H_o = H_z + H_y \dots \dots \dots (D.1)$$

式中:

Ho——总硬度，单位为毫摩尔每升（mmol/L）；

H_z——碳酸盐硬度，单位为毫摩尔每升（mmol/L）；

H_y——非碳酸盐硬度，单位为毫摩尔每升（mmol/L）。

当有非碳酸盐硬度存在时，应符合公式 D.2。

$$[\text{Cl}^-] + [\text{SO}_4^{2-}] > [\text{K}^+] + [\text{Na}^+] \dots\dots\dots (\text{D.2})$$

式中：

[Cl⁻]、[SO₄²⁻]、[K⁺]、[Na⁺]为原水中 Cl⁻、SO₄²⁻、K⁺、Na⁺物质的量浓度（mmol/l）。

当原水中有负硬度存在时，应当没有非碳酸盐硬度存在，此时原水中离子关系应符合公式 D.3 和公式 D.4：

$$[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] < [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] \dots\dots\dots (\text{D.3})$$

$$[\text{Cl}^-] + [\text{SO}_4^{2-}] \leq [\text{K}^+] + [\text{Na}^+] \dots\dots\dots (\text{D.4})$$

式中：

[Ca²⁺]、[Mg²⁺]、[HCO₃⁻]、[CO₃²⁻] 为原水中 Ca²⁺、Mg²⁺、HCO₃⁻、CO₃²⁻物质的量浓度（mmol/l），其余同上。

D.2.2 甲基橙碱度、酚酞碱度与 OH⁻、HCO₃⁻、CO₃²⁻的关系

甲基橙碱度（M）、酚酞碱度（P）与 OH⁻、HCO₃⁻、CO₃²⁻的关系见表 D.4。

表 D.4 M、P、OH⁻、HCO₃⁻、CO₃²⁻的相互关系

P 和 M 的关系	水中存在的离子	各离子的量浓度（mmol/l）		
		OH ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻
M=P	OH ⁻	P	—	—
M<2P	OH ⁻ 和 CO ₃ ²⁻	2P-M	2(M-P)	—
M=2P	CO ₃ ²⁻	—	M	—
M>2P	CO ₃ ²⁻ 和 HCO ₃ ⁻	—	2P	M-2P
P=0	HCO ₃ ⁻	—	—	M

D.2.3 PH 值的检核

当 PH<8.3 时应按公式 D.5 计算 PH 值：

$$\text{PH} = 6.35 + \lg(\text{HCO}_3^-) - \lg(\text{CO}_2) \dots\dots\dots (\text{D.5})$$

当 PH>8.3 时应按公式 D.6 计算 PH 值：

$$\text{PH} = 10.33 + \lg(\text{CO}_3^{2-}) - \lg(\text{HCO}_3^-) \dots\dots\dots (\text{D.6})$$

误差：δ=|PH - PH'| ≤ 0.2

式中：

PH——原水中 PH 值的计算值；

PH'——原水中 PH 值的实测值；

(HCO₃⁻)——HCO₃⁻量浓度，单位为毫摩尔每升（mmol/l）

(CO₂)——游离 CO₂ 的量浓度，单位为毫摩尔每升 (mmol/l)。

D.2.4 阴阳离子总数的校核

化合物在水溶液中离解时，阳离子的正电荷总量与阴离子的负电荷总量应相等，水才呈电中性。水中阳离子量浓度计算式见 D.7，阴离子量浓度计算式见 D.8。

$$C_{ca} = [K^+] + [Na^+] + [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [Fe^{2+}] + [Fe^{3+}] + [NH_4^+] + \dots \quad (D.7)$$

$$C_{an} = [Cl^-] + [SO_4^{2-}] + [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}] + [NO_3^-] + \dots \quad (D.8)$$

式中：

C_{ca}—水中所有阳离子的量浓度，单位为毫摩尔每升 (mmol/l)；

C_{an}--水中所有阴离子的量浓度，单位为毫摩尔每升 (mmol/l)

[Fe²⁺]、[Fe³⁺]、[NH₄⁺]、[NO₃⁻]为原水中 Fe²⁺、Fe³⁺、NH₄⁺、NO₃⁻物质的量浓度 (mmol/l)，其余同上。

以上浓度之间误差(δ) 的校核公式见下式 D.9:

$$\delta = \left| \frac{\sum C_{ca} - \sum C_{an}}{\sum C_{ca} + \sum C_{an}} \right| \times 100\% \leq 2\% \dots \quad (D.9)$$

注：本附录中有关物质质量浓度的基本单元规定如下：

K⁺、Na⁺、NH₄⁺、OH⁻、HCO₃⁻、Cl⁻、NO₂⁻、NO₃⁻物质的量浓度 (mmol/l) 的基本单位分别为 K⁺、Na⁺、NH₄⁺、OH⁻、HCO₃⁻、Cl⁻、NO₂⁻、NO₃⁻；

Ca²⁺、Mg²⁺、Fe²⁺、Mn²⁺、SO₄²⁻、CO₃²⁻物质的量浓度 (mmol/l) 的基本单位分别为 1/2Ca²⁺、1/2Mg²⁺、1/2Fe²⁺、1/2Mn²⁺、1/2SO₄²⁻、1/2CO₃²⁻；

Fe³⁺、Al³ 物质的量浓度 (mmol/l) 的基本单位分别为 1/3Fe³⁺、1/3Al³⁺。

附录 E
(资料性附录)
锅炉负荷优化选型案例

E.1 案例的基本运行参数

北京某锅炉房采暖设计热负荷为 34.3MW(含锅炉房自用采暖),生活热水最大热负荷 4MW,平均热负荷 3MW,最小热负荷 1.3MW,燃料为天然气。通过计算,锅炉房最大热负荷为 38.3MW,根据北京地区的室外采暖设计温度和气象条件,采暖平均热负荷约为 24.9MW,采暖初期(室外温度 5℃)的热负荷约为 17.2MW。

E.2 锅炉的选型

E.2.1 锅炉类型的选择

本锅炉房选择 3 台 10.5MW 和 2 台 4.2MW 燃气热水锅炉,鉴于燃气锅炉故障率低,大部分热负荷为季节性负荷,故未设置备用锅炉。

E.2.1 最大热负荷工况

最大热负荷为 38.3MW,此时 5 台锅炉全部运行,运行锅炉总出力为 39.9MW,平均每台锅炉的负荷率为 96%。

当最大一台锅炉故障时运行锅炉总容量为 29.4MW,仍可满足最大负荷(38.3MW)的 77%的需求,或满足采暖设计热负荷(34.3MW)的 86%的需求,或满足采暖平均热负荷和生活热水最大热负荷之和(28.9MW)100%的需求。

E.2.2 采暖季初期工况

采暖季初期负载情况见表 E.1

表 E.1 采暖季初期负荷情况表

项目		负荷情况一	负荷情况二	负荷情况三
热负荷需求	生活热水负荷 (MW)	1.3	3	4
	采暖热负荷 (MW)	17.2	17.2	17.2
	合计 (MW)	18.5	20.2	21.2
运行策略一	运行锅炉台数及容量	2×10.5MW	2×10.5MW	2×10.5MW+ 1×4.2MW
	运行锅炉的总容量 (MW)	21	21	25.2
	运行锅炉负荷率	88%	96%	84%
运行策略二	运行锅炉台数及容量	2×10.5MW+ 1×4.2MW	2×10.5MW+ 1×4.2MW	2×10.5MW+ 1×4.2MW

	运行锅炉的总容量 (MW)	25.2	25.2	25.2
	运行锅炉负荷率	73%	80%	84%

E.2.3 采暖季采暖平均热负荷工况

采暖季采暖平均热负荷情况见表 E.2

表 E.2 采暖季采暖平均热负荷工况

项目		负荷情况一	负荷情况二	负荷情况三
热负荷需求	生活热水负荷 (MW)	1.3	3	4
	采暖平均热负荷 (MW)	24.9	24.9	24.9
	合计 (MW)	26.2	27.9	28.9
运行策略一	运行锅炉台数及容量	3×10.5MW	3×10.5MW	3×10.5MW
	运行锅炉的总容量 (MW)	31.5	31.5	31.5
	运行锅炉负荷率	83%	89%	92%
运行策略二	运行锅炉台数及容量	2×10.5MW+ 2×4.2MW	2×10.5MW+ 1×4.2MW	2×10.5MW+ 1×4.2MW
	运行锅炉的总容量 (MW)	29.4	29.4	29.4
	运行锅炉负荷率	89%	95%	98%

E.2.4 非采暖季工况

非采暖季的负荷情况见表 E.4

E.4、非采暖季工况

项目		最小负荷	平均负荷	最大负荷
热负荷需求	生活热水负荷	1.3	3	4
	采暖热负荷	0	0	0
	合计	1.3	3	4
运行策略	运行锅炉台数及容量	1×4.2MW	1×4.2MW	1×4.2MW
	运行锅炉的总容量	4.2	4.2	4.2
	运行锅炉负荷率	31%	71%	95%

附录 F

(资料性附录)

燃油、燃气锅炉负荷变化及选型要求

F.1 燃油、燃气锅炉的选型

F.1.1 燃油、燃气锅炉应根据锅炉运行负荷大小及工况变化进行选型。

F.1.2 如果锅炉供热负荷变化较大，需要长时间低负荷运行，锅炉选型适合按满足常用较低负荷设计锅炉额定蒸发量或额定热功率，通过多台锅炉组合同时运行满足大负荷供热需求。因为锅炉较低负荷运行，由于散热损失增大，会明显降低锅炉运行热效率，不利于节能；同时由于锅炉需要长期较低负荷运行，会对锅炉尾部受热面造成低温腐蚀，造成锅炉安全隐患，容易对燃烧系统的安全可靠性产生影响。较低负荷时只运行 1 台锅炉，需要升高供热负荷时，根据供热量启动匹配合理的锅炉数量。

F.2 锅炉负荷与热效率

F.2.1 对于 6t/h 及以上蒸发量蒸汽锅炉，本体散热损失较小，锅炉负荷降低时排烟温度降低减少的排烟损失高于散热损失的增加，在 60%~90%负荷运行时，热效率会有所增加，锅炉在 75~90%负荷段为最佳运行负荷范围。

F.2.2 对于 6t/h 以下蒸发量蒸汽锅炉，由于锅炉吨位较小散热损失较大，导致锅炉负荷降低时排烟温度降低减少的排烟损失低于散热损失的增加，锅炉在低于 85%负荷下运行，锅炉热效率较额定负荷时越来越低，锅炉在 85%~95%负荷段为最佳运行负荷范围。

F.2.3 热水锅炉如果采用变流量调节负荷，进出水温度不变，热效率随负荷变化同上述蒸汽锅炉类似。如果通过降低进水温度和出水温度来调节负荷，由于锅炉排烟温度下降较大，锅炉热效率会随着负荷的降低有所提高。

F.2.4 对于冷凝式锅炉，冷凝水疏放管道口径选型一定要留有足够余量，保证锅炉运行时产生的冷凝水能够及时排出，同时应避免锅炉长期低负荷运行，以延长冷凝段使用寿命。

附 录 G
(资料性附录)
燃煤锅炉不同炉型特点

G.1 层状燃烧燃煤工业锅炉的特点

G.1.1 层状燃烧燃煤工业锅炉具有以下优点:

- a) 发展历史长, 使用面广, 技术成熟度高;
- b) 燃料制备简单, 总电耗低, 运行成本低;
- c) 系统简单, 辅助设备少, 空间尺寸小, 安装简便;
- d) 不易形成爆燃和大面积结焦和结渣, 运行安全性高;
- e) 操作简便, 易于掌握, 对运行技术要求低;
- f) 烟气对受热面的磨损程度低;
- g) 飞灰量小、颗粒度大易于除尘及除尘后的处理。

G.1.2 层状燃烧燃煤工业锅炉具有以下缺点:

- a) 燃烧效率较低。与循环流化床锅炉和煤粉锅炉相比, 机械不完全燃烧损失较大;
- b) 不能实现炉内脱硫;
- c) 负荷调整速度较慢。

G.1.3 各类燃煤链条炉排设备具有的特点

a) 链带式炉排的特点

- 1) 结构简单, 金属耗量低, 机械加工量少, 成本低;
- 2) 通风截面比较大;
- 3) 漏煤量大, 燃烧效率低;
- 4) 侧部漏风大, 燃烧损失大;
- 5) 运行中, 炉排片之间、炉排片与轴之间有磨损, 导致间隙加大或炉排跑偏, 维修量大;
- 6) 主动炉排片既受力又受热, 工作条件恶劣, 易损坏。

b) 大鳞片炉排的特点

- 1) 漏煤量少, 通风性能好, 固体不完全损失小;
- 2) 炉排片只受热不受力, 受力的链条不受热, 工作条件好;
- 3) 炉排阻力较小;
- 4) 炉排片的安装、检修及更换方便。
- 5) 结构较复杂;
- 6) 金属耗量较大, 制造加工量较大, 成本较高;
- 7) 安装要求严格。

c) 小鳞片炉排的特点:

1) 小鳞片炉排的受力状况和进风方式与大鳞片炉排相同，结构和传动与大鳞片相仿。除具备大鳞片炉排的优点以外，还有结构紧凑，重量轻等特点，制造成本低于大鳞片。

2) 与大鳞片炉排相比，小鳞片炉排的缺点是制造和安装要求更高、链条阻力较大。

d) 横梁炉排的特点:

1) 刚性大，受力情况最优，适于大容量锅炉;

2) 炉排片受热不受力，链条受力不受热，且链条的工作条件比鳞片炉排更好;

3) 风室之间的密封及侧密封更加严密;

4) 漏煤少;

5) 炉排片的检修和更换方便;

6) 金属耗量大，机械加工量大，加工精度要求高，制造成本高。

G.1.4 各类链条炉排的容量适用范围

a) 20t/h(14MW)以下容量的链条炉排锅炉宜选用链带式炉排形式或小鳞片炉排形式;

b) 容量为 20 t/h(14MW)~40 t/h(29MW)的链条炉排锅炉宜选用大鳞片炉排形式;

c) 40 t/h(29MW)以上容量的链条炉排锅炉宜选用横梁式炉排形式。

G.1.5 炉排片材质的选择要求

a) 炉排片材质一般可采用 HT150 材质;

b) 对于热值较高的煤，为提高炉排片的耐热温度，可采用 HRTSi5 材质;

c) 对于灰份较少的煤宜选用 QTRSi5 材质。

G.1.6 容量较大的锅炉宜采取有效技术措施减小炉排横向配风不均匀系数。

G.2 循环流化床工业锅炉的特点

G.2.1 循环流化床工业锅炉具有以下优点:

a) 燃料适应性好，既可燃用优质煤，也可燃用各类劣质燃料;

b) 负荷调节范围宽，一般为 30%~110%;

c) 燃烧效率高，通常在 97.5%~99.5%范围内。锅炉热效率可达 90%以上;

d) 可实现炉内脱硫;

e) 氮氧化物排放低;

f) 燃料预处理系统比煤粉工业锅炉简单。

G.2.2 循环流化床工业锅炉具有以下缺点:

a) 系统复杂，投资大;

b) 烟风系统阻力较大，风机电耗大;

c) 锅炉受热面部件的磨损比较严重，需要采取专门防磨措施;

d) 燃烧调整控制点较多，与煤粉炉相比，实现自动化控制的难度较大。

G.3 煤粉工业锅炉的特点和适用条件

G.3.1 煤粉工业锅炉具有以下优点:

- a) 燃烧效率高，可达 98%以上。锅炉热效率可达 90%以上。
- b) 锅炉启停简便。
- c) 锅炉测控水平高，在稳定运行符合范围内的负荷调节性好，对负荷变化反应快。
- d) 可实现炉内低氮燃烧。
- e) 可实现系统全封闭运行，自动上煤，集中排灰，无粉尘跑冒。

G.3.2 煤粉工业锅炉具有以下缺点：

- a) 系统比较复杂，投资大；
- b) 燃料制备复杂；
- c) 对煤质的要求比较高，不适合燃用贫煤和无烟煤；
- d) 需要有专门技术措施防止炉膛爆燃、燃料自燃等。炉膛结焦和结渣几率也高于层燃方式；
- e) 负荷调节范围相对较窄。

附录 H

(资料性附录)

燃油燃气锅炉各炉型特点

H.1 锅壳式火管锅炉

H.1.1 锅壳式火管结构是燃油燃气锅炉的主要形式。该结构锅炉外形尺寸较小,适合快装化要求,而锅壳式结构也使锅炉的围护结构相应简化,具有明显的优点;锅炉烟气密封问题比较容易解决,更加适合于油、气燃料的微正压燃烧,圆形燃烧室的形状有利于和油气燃烧火焰空间匹配。锅炉主要对流换热烟管,方便采用强化传热措施,可以有效提高传热性能,提高单位换热面积有效传热量,锅炉结构可以做到更加紧凑。

H.1.2 锅壳式火管锅炉,由于火焰、烟气和换热介质均在钢制锅壳内部,烟气通道的承压能力比水管结构锅炉高,锅炉抗蒸汽或油气爆炸冲击能力强,锅炉本体受破坏的可能性较小,相对水管结构更加安全。锅壳式结构水容量较大,对锅炉突然的负荷变化适应性较强,同时对水质要求相对较低一些。

H.1.3 锅壳式火管锅炉按烟气换热流程分为干背和湿背两种结构,从性能可靠性考虑,优先采用湿背式结构。锅壳式火管锅炉相对水管锅炉结构简单,加工工艺简单,制造自动化程度更高,工作量较少,锅炉制造周期较短,比较适合现代大规模流水线生产。

H.2 水管锅炉

H.2.1 水管式燃油燃气锅炉,各种受热面布置比较灵活,可以适应锅炉的各种参数需要,自动化控制程度高。水管锅炉结构相对复杂,制造工艺复杂,加工难度大,体积和重量较大,制造过程机械化程度较低,加工周期较长。水管锅炉对水质要求较高。

H.2.2 水管锅炉分为立式和卧式两种。卧式水管燃油燃气锅炉,燃烧器水平安装,操作和检修比较方便,受热面的布置沿长度方向有很大的裕度,利于快装,可组装生产;常用有 D 型、A 型和 O 型三种结构形式,其中 D 型水管锅炉由于布置过热器和尾部受热面更加灵活,该型结构用得最多;从 D 型变化出来的水管燃油燃气锅炉型式也较多。

H.2.3 水管燃油燃气锅炉按出厂形式还分为快装出厂和散装出厂两个结构。随着锅炉容量的增大或者结构的需要,锅炉的外形尺寸已经超过运输尺寸极限,无法全部在生产厂内全部组装完成,大量零部件的装配需要到用户现场进行,锅炉需要散件运出厂,锅炉为散装锅炉。

H.2.4 水管热水锅炉,水循环方式可以采用自然循环和强制循环两种方式,由于强制水循环锅炉更加安全可靠,水管热水锅炉优先采用强制水循环方式。

H.2.5 水管燃油燃气锅炉过热器优先采用对流式结构,布置于对流换热烟道内,完全可以满足工业锅炉对过热蒸汽温度的要求,不需要采用炉膛内完全辐射或者半辐射式过热器,以避免过热器传热负荷强度,有利于过热器安全可靠运行。

H.3 相变热水锅炉

H.3.1 相变锅炉就是 $<0.1\text{Mpa}$ 的蒸汽锅炉内置管壳式换热器的热水锅炉。因此锅炉内没有氧腐蚀，不会有结垢带来的安全风险和效率下降，特别是在系统回水温度低于烟气露点温度时通过换热器的温差可以避免锅炉本体的冷凝腐蚀。

H.3.2 相变锅炉可以用管壳式烟管锅炉本体也可以用水管锅炉本体，锅炉本体不承受供热系统的压力，供热系统的压力有管壳式换热器的管程来承受，系统的水与锅炉的炉水完全分离，因此通过调节流量来调整系统能量时不会对锅炉产生影响。

H.3.3 相变锅炉在烟气尾部配置冷凝器，系统的先进入冷凝器再进入换热器，这样可以全流量进入冷凝器有利于提高锅炉的冷凝率。

H.4 水冷预混燃烧锅炉

H.4.1 水冷预混燃烧就是助燃空气和燃气以不低于完全燃烧理论值的空燃比混合后进入以水为介质的间壁式火空内燃烧，对火焰燃烧的初始阶段有冷却效果的燃烧装置。

H.4.2 具有可靠的燃烧安全稳定性，在火焰燃烧的初始阶段进行冷却有效地抑制了 NO_x 的产生，实现稳定的低 NO_x 排放，火焰短（ $<10\text{cm}$ ），没有脉动燃烧不会产生振动。

H.4.3 锅炉结构可以用水管也可以火管，由于火焰短可以采用一回程，使得锅炉不需要回燃室而变得结构简单，制造方便容易实现智能化、自动化。

H.4.4 采用预混燃烧，燃烧效率高，传热系数大，能效高，单位功率钢耗低，有助于锅炉行业节能减排“双碳”目标实现。

附 录 I
(资料性附录)

锅炉房常用介质推荐的允许流速

锅炉房常用介质推荐的允许流速见表 I。

表 I 锅炉房常用介质推荐的允许流速

工作介质	管道种类	推荐流速 (m/s)	工作介质	管道种类	推荐流速 (m/s)	
过热蒸汽	DN>200	40~60	凝结水	凝结水泵吸水管	0.5~1	
	DN=200~100	30~50		凝结水泵出水管	1~2	
	DN<100	20~40		自流凝结水管	< 0.5	
饱和蒸汽	DN>200	30~40	冷却水	冷水管	1.5~2.5	
	DN=200~100	25~35		热水管(压力式)	1~1.5	
	DN<100	15~30	压缩空气	小于 1.0MPa	8~22	
二次蒸汽	利用的二次蒸汽	15~30	城市煤气、发生炉煤气	DN<80~100	4~6	
	不利用的二次蒸汽	60		DN=200~300	7~8	
废汽	利用的锻锤废汽管	20~40		天然气	DN=400~700	10~12
	不利用的锻锤废汽管	60	中、低压管道		8~25	
乏汽	排汽管(从受压容器中排出)	80	油 品 粘 度	1~2 ℃ 1~11.5mm ² /s	油泵吸油管	≦1.5
	排汽管(从无压容器中排出)	15~30			油泵出油管	≦2.5
	排汽管(从安全阀排出)	200~400		2~4 ℃ 11.5~27.7mm ² /s	油泵吸油管	≦1.3
锅炉给水	水泵吸水管	0.5~1.5			油泵出油管	≦2.0
	离心泵出口管	2~3		4~10 ℃ 27.7~72.5mm ² /s	油泵吸油管	≦1.2
	往复泵出口管	1~2			油泵出油管	≦1.5
	给水总管	1.5~3		10~20 ℃ 72.5~145.9mm ² /s	油泵吸油管	≦1.1
生水	上水管、冲洗水管(压力)	1.5~3			油泵出油管	≦1.2
	软化水管、反洗水管(压力)	1.5~3		20~60 ℃ 145.9~438.5mm ² /s	油泵吸油管	≦1.0

	反洗水管（自流）、溢流水管	0.5~1			油泵出油管	≤ 1.1
	盐液管	1~2		60~120 E	油泵吸油管	≤ 0.8
热网循环水	锅炉房	0.5~3		438.5~877.0mm ² /s	油泵出油管	≤ 1.0

注：为减少锅炉房内架空敷设管道的噪声和振动，天然气的流速不宜取高值。

小管取流速较小值，大管流速取较大值。

附 录 K
(资料性附录)
常用凝结水回收方式

K.1 蒸汽凝结水余热回收系统

K.1.1 蒸汽结水余热回收的意义与内涵

通过凝结水回收系统中能量的综合利用,达到最经济的能量回收利用,保持整个蒸汽热力系统利用率最高,经济性最好。凝结水回收中的能量包括:凝结水所含热能的回收、二次蒸汽的有效利用、软化水的回收。

K.1.2 凝结水回收系统设计

根据回收的凝结水是否和大气相通,将凝结水回收与利用系统分为开式和闭式两种类型。疏水压力大于等于 0.3MPa 以上时,宜采用闭式系统;疏水压力小于 0.3MPa 时,宜采用开式系统。

K.1.3 凝结水回收管的设计

通常凝结水回收管内的介质是两相流体,需采用合理的凝结水配管尺寸。

K.2 锅炉排污水回收系统设计

K.2.1 基本要求

将排污水中的热量最大限度地回收利用。

K.2.2 闪蒸罐与闪蒸蒸汽回收

高温高压的锅炉排污水进入闪蒸罐(连续排污扩容器),在闪蒸罐内,排污水压力迅速下降,同时释放出闪蒸蒸汽。

K.2.3 闪蒸后剩余排污水的热量回收和安全排放

闪蒸后剩余的排污水不宜蒸汽锅炉直接使用,宜通过换热器将热量回收。

附 录 M
(资料性附录)
热水系统常用定压方式

M.1 热水系统定压点值的计算

M.1.1 热水系统定压是使热水系统在运行和停运中保持一定的压力，确保在运行过程中系统任何一点不汽化，在循环水泵停运时整个热水系统充满水。系统定压方式有：补给水或锅炉连排水的原有压力定压、膨胀水箱定压、水泵定压和气体定压等。

M.1.2 定压点处的压力值应根据热水网的水压图的要求确定。在一般情况下可按公式(M.1)计算：

$$p=10H+ p_s +20 \dots\dots\dots (M.1)$$

式中：

- p ——定压点压力值，单位为千帕（kPa）；
- H——最高用户充水高度，单位为米水柱（mH₂O）；
- p_s ——与热网供水温度对应的汽化压力，单位为千帕（kPa）；
- 20——安全余量，单位为千帕（kPa）。

M.2 软化水或锅炉连续排污水定压系统

软化水来自水处理间，锅炉连续排污水来自锅炉连续排污扩容器。只要上述两补充水源的压力能满足热水网定压点的定压压力，就可以直接将补给水源接到供热系统定压点上；如果压力大于定压点压力，则可通过减压阀减压后再接入系统。在软化水或锅炉连续排污水的补给水管上应设置止回阀。此定压方式目前在实践中很少采用。

M.3 开式高位膨胀水箱定压系统

M.3.1 在供热范围内的最高点设置开式高位膨胀水箱与供热系统回水管相连通，使系统回水压力基本恒定。膨胀水箱的液位一般通过浮球阀自动控制，膨胀水箱与回水管道的连接管上不得装任何阀门。膨胀水箱定压除了起定压作用外，还起容纳系统膨胀水的作用。

M.3.2 在实际工程中，由于膨胀水箱不可能做得较大，不易找到适于开式膨胀水箱安装高度的位置，同时散热量相对较大，所以仅适用于供水温度较低且供热区域内建筑物高度不高的小型供热系统中，比如二级网或直供系统，在有热力站的一次网热水循环系统很少使用。

M.3.3 这种定压方式简单、可靠，初投资少。

M.4 补水泵定压系统

M.4.1 补水泵定压使利用补水泵的扬程保持热水系统回水压力维持在一定范围内。这是目前工程中使用最为普遍的一种定压方式，适用于各种规模、各种温度、各种地形的热网定压系统。

M.4.2 为保持补水压力基本恒定，对补水泵需进行有效控制，常用的控制方式有：

- a) 用电接点压力表控制补水泵的启停，即高压力停泵，低压力启泵；
- b) 用压力调节阀控制补水泵的出水压力；
- c) 采用自动稳压补水装置的定压系统；
- d) 对补水泵采用变频调速控制；
- e) 可调压补水泵定压系统。

M.4.3 压力点的压力值，事先在电控箱内用专用旋钮设定，当热网出现失水或热膨胀等状况时，定压点压力波动，压力传感器把压力波动信号传到电控箱内，箱内控制电路会自动改变补水泵电动机的转速，使水泵流量变化，从而维持系统定压点压力。

M.5 气体定压方式

M.5.1 利用密闭容器内气体的压力来达到定压目的的定压方式称为气体定压,气体定压需设置补水泵配合进行。当热水循环系统压力下降,气体膨胀能够减缓热水系统压力下降的速度,当压力下降到一定程度时,补水泵启动,向系统补水增压;当系统压力到一定数值后,补水泵停止运行。当热水循环系统由于温升而压力上升,气体收缩能够减缓热水系统压力上升的速度,当压力上升一定程度时,系统泄压装置启动。根据容器内充入的介质可分为氮气定压和空气定压两种。为防止气体溶于水中,用皮囊将气体和水隔离。

M.5.2 气体定压由于气体膨胀和收缩延缓了系统压力的变化速率,避免补水泵频繁启动。但由于定压气体的容积有限,在较大的热力系统应用较少;同时该定压方式系统复杂,运行费用较高。

附 录 N
(资料性附录)
工业锅炉常用除氧方式

N.1 热力除氧器

N.1.1 热力除氧器的原理

热力除氧器是利用蒸汽加热待除氧水，使水、汽充分接触混合，依据道尔顿定律和亨利定律，将溶于水中的氧气和其他气体解析到气相（蒸汽）中，从而得到去除水中氧气的效果。

N.1.2 除氧器的分类

N.1.2.1 按除氧器工作压力来分，可分为大气式热力除氧器（工作压力 0.02MPa,工作温度 104℃）、中压除氧器（工作压力 0.3MPa,工作温度 145℃）和高压除氧器（工作压力 0.5MPa,工作温度 158℃）；工业锅炉系统常用大气式热力除氧器。

N.1.2.2 按除氧器结构型式可分为淋水盘式、旋膜式、喷雾或喷雾填料式等多种。

N.1.2.3 按待除氧水的种类来分，可分为部分补给水和全补给水两种类型。

N.1.3 热力除氧器耗汽量的计算

热力除氧器的耗汽量 D_g 应按公式(N.1)计算：

$$D_g = \frac{G(h_2 - h_1)}{0.98(h - h_2)} + D_f \dots\dots\dots(N.1)$$

式中：

D_g —— 热力除氧器耗气量，单位为千克每时（kg/h）；

G —— 待除氧最大水量，单位为千克每时（kg/h）；

h_1 —— 除氧器进口水焓，单位为千焦每千克（kJ/kg）；

h_2 —— 除氧器出口水焓，单位为千焦每千克（kJ/kg）；

h —— 进入除氧器蒸汽焓，单位为千焦每千克（kJ/kg）；

D_f —— 排气中蒸汽的损失，单位为千克每时（kg/h）。

当设有排汽冷却器时， D_f 为耗汽量的 5%~10%，不设有排汽冷却器时， D_f 为耗汽量的 1%~2%。

N.2 热力除氧器的特点

热力除氧器具有以下几个特点：

- a) 除氧效果好，出水含氧量可达到 0.015mg/l;
- b) 不会增加除氧水的含盐量；
- c) 除了去除氧气，还能去除二氧化碳等其他气体
- d) 运行稳定可靠。
- e) 需要有蒸汽热源；

f) 对负荷变化的适应性较差。

N.3 真空除氧器的特点

N.3.1 真空除氧器的工作原理和热力除氧器一样，只是工作压力小于大气压力，有一定的真空度。加热用热源可以是与热力除氧器一样用蒸汽，也可以利用高温热水将待除氧水加热到一定温度后在除氧器内自沸腾。

N.3.2 真空除氧器与热力除氧器相比多一套抽真空系统。真空除氧器的具有以下特点：

- a) 对热源的要求较低
- b) 不会增加除氧水的含盐量；
- c) 除了去除氧气，还能去除二氧化碳等其他气体
- d) 系统较为复杂，要有抽真空系统；
- e) 对负荷变化及参数变化的适应性较差。

N.4 解析除氧的特点

N.4.1 解析除氧是基于气体溶解定律，将无氧的气体（一般用碳与空气中氧气反应形成无氧气的空气）与待除氧的给水强烈混合，将溶解在水中的氧气析出至气体中，达到去除水中氧气的目的。

N.4.2 解析除氧技术特点如下：

- a) 待除氧水不需预热，常温下即可进行除氧；
- b) 设备布置简单，高低位布置均可，设计简单，安装方便；
- c) 设备体积小，占地面积小，适用于单层布置的锅炉房；
- d) 由于气体中的 CO₂ 溶解于水中，除氧水 pH 值略有降低。随着锅内沸腾蒸发，CO₂ 会进入蒸汽中，在蒸汽凝结过程中再次溶入水中。

N.5 化学除氧的特点

N.5.1 化学除氧就是往水中投入还原剂使之与 O₂ 作用，以达到除氧的目的。在工业锅炉系统中常用的除氧药剂是亚硫酸钠，化学反应方程式如公式(N.2)：



N.5.2 每除 1gO₂ 需 8g 无水亚硫酸钠或 16g 结晶状 Na₂SO₃·7H₂O。为保证除氧效果，需维持一定的亚硫酸钠过剩量。一般给水中保持亚硫酸根 2-7mg/L，锅水中保持 10-30mg/L。

N.5.3 化学除氧方式设备简单，操作方便，除氧效果好，但是对于含氧量较高的水，直接用药剂除氧，药剂消耗量大，运行费用较高，而且增加水中的含盐量，因此只有小型的蒸汽锅炉(≤4t/h)或热水锅炉补给水除氧中才有采用。

N.6 海绵铁除氧的特点

N.6.1 海绵铁除氧是待除氧水通过含有海绵状铁物质的容器时，水中的氧气与铁发生化学反应。海绵铁除氧反应方程式如公式 N.2：



N.6.2 由于除氧器中铁过量，水中的 Fe^{2+} 很难被氧化为 Fe^{3+} 。海绵铁除氧器在除掉水中溶解氧的同时， Fe^{2+} 将溶入水中。为避免 Fe^{2+} 进入锅炉生成水垢与水渣，应采用钠离子交换的方式将其除去。

N.6.3 海绵铁除氧可对常温水进行除氧，装置简单，初投资低，运行费用也较低，在热水锅炉补给水除氧中应用广泛。

附录 O

(资料性附录)

常用烟气余热回收方式及设备

O.1 不同换热装置的应用

锅炉排放烟气余热回收可采用换热器进行回收,对于冷凝后产生酸性冷凝液的烟气,宜采用间壁式换热装置;对于冷凝后不产生酸性冷凝液的烟气,可以采用间壁式换热器或直接接触式换热器。

O.2 燃煤工业锅炉烟气余热回收系统设计基本要求

O.2.1 工业锅炉低温余热回收系统宜满足所需要的排烟温度,并能够处理烟气温度低于烟气露点时酸凝结的问题。为防止低温腐蚀,一般降低至 80-90℃,同时因低温烟气换热温差低,换热效率不高,需利用不同强化换热技术来提高换热效率,最大限度的降低烟气温度利用烟气余热。

O.2.2 根据烟气成分和温度,选择合适的设计结构和材料。换热系统采用分区强化换热原则与分级供水控制壁温相结合的设计理念,可将低温回热器分为高温段和低温段,分段设计、分级给水。高温段换热设备采用碳素钢制造,管型可为翅片管、螺纹管等以强化换热;低温段可采用 ND 钢光管,以防止腐蚀。

O.3 燃煤工业锅炉烟气余热回收系统设计

O.3.1 间壁式换热器的选用与种类

燃煤工业锅炉余热回收系统一般是低温烟气加热部分锅炉给水,后将加热后的给水输送至除氧器,烟气和水之间的换热器,宜使用间壁式换热器。间壁式换热器是冷、热两流体被一层固体壁面(管或板)隔开,不相混合,通过间壁进行热交换。间壁式换热器有板式换热器、夹套式换热器、沉浸式蛇形管换热器、喷淋式换热器、套管式换热器、管壳式换热器 6 大类。燃煤工业锅炉低温回热器一般使用蛇形管换热器。

O.3.2 间壁式换热器的设计

O.3.2.1 结构设计宜采用分段设计、分级给水,烟气温度降低至 80℃时压力损失宜在 400Pa 以内。

O.3.2.2 将燃煤锅炉低温回热器分为高温段和低温段,进行分段设计高温段换热设备采用碳素钢制造,管型为翅片管或螺纹管强化换热;低温段采用 ND 钢光管以防止低温腐蚀。

O.3.2.3 换热器采用分级供水方式精细调节工质流速或可以采用返回部分出口水灵活调节供水进口温度,来控制壁面温度使之在酸露点之上,以防止低温腐蚀。由烟气推动力和烟气自然爬升高度的经济性而言,低温换热器将排烟温度降低至 80-90℃为宜。同时为保证低温换热器的经济实用性和可行性,压力损失宜在 400Pa 以内。

O.3.2.4 应根据烟气特点选择顺流、逆流、混合流等不同的流动方式。顺流是热工质和冷工质

的流动方向相同，逆流是热工质和冷工质的流动方向相反，顺流和逆流兼有时为混合流。由传热公式 $Q = kA\Delta T_m$ ， ΔT_m 越大，传热量越大，顺流和逆流是两种极端情况，在相同的进出口温度下，逆流的 ΔT_m 最大，顺流的最小，逆流布置时的换热最强，逆流布置时，压力损失也较大。

O.3.2.5 管子的布置方式可以选择顺排、逆排或顺逆结合等型式。顺排是指在气流方向上管子顺序排列，而逆排（逆排）是指气流方向上管子交逆排列。设计换热器时，当设计要求对阻力没有严格限制时，应首选逆排方式排列，当阻力的要求较低时，应选取顺排或顺逆结合的方案。

O.3.2.6 管型根据烟气特性可以选择光管、螺纹管、翅片管等管材。螺纹管和翅片管是采取无源强化的方式，强化换热效果，常用光管、螺纹管和翅片管来进行换热。翅片管能极大地扩展受热面积，但存在阻力损失大的缺点，螺纹管具有良好的综合换热效果，阻力增加不大的优点。

O.3.2.7 管材可以选用碳素钢、ND 钢、玻璃管等材料。在烟气酸露点前端的高温段，可采用碳素钢钢管，以节省成本，在烟气酸露点后端的低温段，可采用 ND 钢、玻璃管等管材，以防止低温腐蚀，提高低温回热器的寿命。

O.3.2.8 余热回收设计计算基于热平衡方法。低温回热器是利用锅炉尾部的低温烟气余热，加热工质的换热设备，属于低温烟气和工质之间的热交换，用低温烟气加热工质，以降低排烟温度，增加锅炉效率。烟气和水之间的能量平衡，低温烟气的放热量等于工质的吸热量，烟气和工质的总换热量应按公式 (O.1) 计算，烟气侧换热量应按公式 (O.2) 计算。

$$Q = m_f c_f (t_0 - t_1) \dots\dots\dots(O.1)$$

1)

式中：

- Q —— 总换热量，单位为瓦 (W)；
- m_f —— 工质流量，单位为千克每秒 (kg/s)；
- c_f —— 工质比热，单位为焦每千克摄氏度 (J/(kg·°C))
- t_0 —— 工质进口温度，单位为摄氏度 (°C)；
- t_1 —— 工质出口温度，单位为摄氏度 (°C)；

$$Q_g = q_g (I_1^g - I_2^g) \dots\dots\dots(O.2)$$

2)

式中：

- Q_g —— 烟气侧换热量，单位为瓦 (W)；
- q_g —— 烟气流速，单位为标准立方米每秒 (Nm³/s)
- I_1^g —— 烟气进口比焓，单位为焦耳每 N 立方米 (J/Nm³)；
- I_2^g —— 烟气出口比焓，单位为焦耳每 N 立方米 (J/Nm³)。

换热系数计算按公式(O.3)计算:

$$k = \frac{Q}{A\Delta T_m} \dots\dots\dots (O.3)$$

式中：

k —— 传热系数，单位为瓦每平方米·摄氏度（W/(m²·°C)）；

Q —— 总换热量，单位为瓦（W）；

A —— 换热面积，单位为平方米（m²）；

ΔT_m —— 对数温差，单位为摄氏度（°C）。

O.3.2.9 以 Q_g 为总换热量 Q ，用 Q_f 作校核，当 $\frac{Q_g - Q_f}{Q_g} \leq 5\%$ 时认为设计达到精度要求， Q_f 。

Q_f —— 水侧吸热量，单位为瓦（W）。

O.3.3 控制压力损失的方法

O.3.3.1 合理选择烟气流速和气流方向上的管排数。

O.3.3.2 低温回热器的压力损失与烟气流速和气流方向上的管排数成正比，为将其压力损失控制在 400Pa 以内，需从烟气流速和气流方向上的管排数两方面上，综合控制。

O.3.3.3 烟气的流速决定了压力损失基数的大小，烟气流速越大，压力损失基数越大，低温换热器的压力损失就越大，应在满足换热要求的前提下，选择合适范围内的最小烟气流速，控制换热器的压力损失。

O.3.3.4 气流方向上的管排数越多，压力损失基数乘以管排数的值就越大即换热器的压力损失就越大。所以设计时要合理选择横向排数，在满足一定换热面积的情况下，使纵向管排数即气流方向上的管排数最少，以控制换热器压力损失的大小。

O.3.3.5 为确保低温回热器良好的换热效果，在进行低温回热器校核时，应将热偏差控制在 5% 以内。为保证低温回热器的经济效益，其压力损失不宜太大，在进行低温回热器校核时，应将压力损失控制在 400pa 以内。

O.4 燃气锅炉烟气余热回收系统设计基本要求

冷凝法热回收：将燃气锅炉排烟冷却到其露点以下，且回收它所含水蒸气潜热的 50% 以上，也包其大量显热的过程。冷凝法热回收可采用直接接触式和间壁式。

O.5 燃气锅炉烟气余热回收系统设计

O.5.1 间壁式冷凝法热回收

O.5.1.1 间壁式低温回热器中，低温烟气走管外，工质水走管内，二者通过换热管进行热交换，将排烟温度降低到 40°C，从而冷凝烟气中的水蒸气，回收烟气中水蒸气的显热和潜热。

低温回热器中设置导液口，及时将冷凝液排出。若冷凝液的腐蚀性较强，宜采用耐腐蚀材料。

O.5.1.2 间壁式冷凝法热回收系统的排烟温度宜低于 40°C。燃气锅炉的排烟中，以二氧化碳和水蒸气为主，硫氧化物的含量低，低温腐蚀程度较低，可将排烟温度降低至 40°C，以最

大限度地回收低温余热，降低排烟温度。

O.5.1.3 燃气锅炉冷凝式低温换热器的设计中，应降低低温回热器的压力损失，为增加低温余热回收的可行性和经济性，所增加的阻力宜在原锅炉烟风系统的动力压头承受范围之内，无需另外提供动力装置。

O.5.1.4 冷凝锅炉系统的烟气中氧含量应低于 3.5%，以利烟气冷凝。

O.5.2 接触式冷凝法热回收

O.5.2.1 直接接触式热交换器是指在设备中工艺流体与冷却流体直接混合，既没有由隔壁所形成的热阻，也不会由于因增加传热面积而导致布置隔壁的复杂性。燃气锅炉低温回热器采取直接接触式，冷、热流体直接接触进行传热，避免了传热间壁热阻和两侧的污垢热阻。低温烟气和工质水相互混合，水直接吸收烟气中的热量，具有较高的传热效率和传热效果。

O.5.2.2 排烟和冷却水的温度取决于设备结构形式与进口烟气温度与湿度，排烟一般冷却到 38℃~43℃这一温度范围。

O.5.2.3 被加热的水流流经第二级间壁式热交换器。推荐采用第二级热交换器是为了将与排气接触的水（称为工作流体）从热分配系统的其余部分隔开，工作流体从排气中吸收少量的氮氧化物，而是 PH 值将接近于 5。（增加二级热交换器避免弱酸性水直接流入锅炉）。

O.5.2.4 宜增加气液两相间的接触面积，达到好的传热传质效果。可采用一些能增大换热面积的填料，使冷却液形成液柱状、雾状或膜状。

O.5.2.5 宜在冷凝部位采用较低温度的被加热水。温度越低，冷凝效果越好，效率越高。被加热水的温度决定排烟温度。

附录 P

(资料性附录)

各种保温材料的性能与特点

P.1 设计采用的各种绝热材料的物理化学性能及数据应符合各自的产品标准规定。

P.2 各种保温材料的性能指标与特点见表 P.1。

P.3 当选用高出本表见使用温度的玻璃棉、岩棉、矿渣棉和含粘结剂的硅酸铝制品时，需有厂家提供国家法定检测机构出具的合格的最高使用温度评估报告，其最高使用温度应高于工况使用温度至少 100℃。

表 P.1 保温材料的性能指标与特点

序号	材料名称	使用密度 (kg/m ³)	最高使用温度 (°C)	推荐使用温度[T ₂] (°C)	常用导热系数 λ _n (平均温度 T _m =70°C 时)[W/(m·K)]	导热系数参考方程 T _m 为平均温度 (°C) [W/(m·K)]	抗压强度 (MPa)	要求
1	硅酸钙制品	170	650 (I型)	≤550	0.055	$\lambda = 0.0479 + 0.00010185T_m + 9.65015 \times 10^{-11}T_m^3 (T_m < 800^\circ\text{C})$	≥0.5	应提供满足国家标准《硅酸钙绝热制品》GB/T10699-1998 第 5.2 条中最高使用温度要求的检测报告
			1000 (II型)	≤900				
		220	650 (I型)	≤550	0.062	$\lambda = 0.0564 + 0.00007786T_m + 7.8571 \times 10^{-8}T_m^2 (T_m < 500^\circ\text{C})$ $\lambda = 0.0937 + 1.67397 \times 10^{-10}T_m^3 (T_m = 500^\circ\text{C} \sim 800^\circ\text{C})$	≥0.6	

序号	材料名称		1000 (II型)	≤900	常用导热系数 λn(平均温度 Tm=70°C 时)[W/(m·K)]	导热系数参考方程 Tm 为平均温度 (°C) [W/(m·K)]	抗压强度 (MPa)	要求	
			使用密度 (kg/m³)	最高使用温度 (°C)					推荐使用温度[T2] (°C)
2	复合硅酸盐制品	涂料	18~200 (干态)	600	≤500	≤0.065	$\lambda = \lambda_0 + 0.00017 (T_m - 70^\circ\text{C})$	—	应提供不含石棉的检测报告
		毡	60~80	550	≤450	≤0.043	$\lambda = \lambda_0 + 0.00015 (T_m - 70^\circ\text{C})$	—	
			81~130	600	≤500	≤0.044			
		管壳	80~180	600	≤500	≤0.048		—	
3	棉制品	毡	60~100	500	≤400	≤0.044	$\lambda = 0.0337 + 0.000151T_m (-20^\circ\text{C} \leq T_m \leq 100^\circ\text{C})$ $\lambda = 0.0395 + 4.71 \times 10^{-5}T_m + 5.03 \times 10^{-7}T_m^2 (100^\circ\text{C} < T_m \leq 600^\circ\text{C})$	—	1.岩棉制品的酸度系数不应低于 1.6; 2.岩棉制品的加热绒收缩率 (实验温度为最高使用温度, 保温 24h), 不应超过 4%; 3.应提供高于工况使用温度至少 100°C 的最高使用温度评估报告, 且满足现行国家标准《绝热用岩棉、矿渣棉及其制品》GB/T11835-2007 中第 5.7.3 条要求;
		缝毡	80~130	650	≤550	≤0.043 ≤0.09 (Tm=350°C)	$\lambda = 0.0337 + 0.000128T_m (-20^\circ\text{C} \leq T_m \leq 100^\circ\text{C})$ $\lambda = 0.0407 + 2.52 \times 10^{-5}T_m + 3.34 \times 10^{-7}T_m^2 (100^\circ\text{C} < T_m \leq 600^\circ\text{C})$		
		板	60~100	500	≤400	≤0.044	$\lambda = 0.0337 + 0.000151T_m (-20^\circ\text{C} \leq T_m \leq 100^\circ\text{C})$ $\lambda = 0.0395 + 4.71 \times 10^{-5}T_m + 5.03 \times 10^{-7}T_m^2 (100^\circ\text{C} < T_m \leq 600^\circ\text{C})$ $\lambda = 0.0337 + 0.000128T_m (-20^\circ\text{C} \leq T_m \leq 100^\circ\text{C})$		

			101~160	550	≤450	≤0.043 ≤0.09 (T _m =350°C)	$\lambda = 0.0407 + 2.52 \times 10^{-5}T_m + 3.34 \times 10^{-7}T_m^2$ (100°C<T _m ≤ 600°C)		4.缝毡、贴面制品的最高使用温度均指基材
		管壳	100~150	450	≤350	≤0.044 ≤0.10 (T _m =350°C)	$\lambda = 0.0314 + 0.000174T_m$ (-20°C≤T _m ≤ 100°C) $\lambda = 0.0384 + 7.13 \times 10^{-5}T_m + 3.51 \times 10^{-7}T_m^2$ (100°C<T _m ≤ 600°C)		
序号	材料名称		使用密度 (kg/m ³)	最高使用温度 (°C)	推荐使用温度[T ₂] (°C)	常用导热系数 λ _n (平均温度 T _m =70°C时)[W/(m·K)]	导热系数参考方程 T _m 为平均温度 (°C) [W/(m·K)]	抗压强度 (MPa)	要求
4	矿渣棉制品	毡	80~100	400	≤300	≤0.044	$\lambda = 0.0337 + 0.000151T_m$ (-20°C≤T _m ≤ 100°C) $\lambda = 0.0395 + 4.71 \times 10^{-5}T_m + 5.03 \times 10^{-7}T_m^2$ (100°C<T _m ≤ 400°C)		1.矿渣棉制品的加热线收缩率 (试验温度为最高使用温度,保温 24h), 不应超过 4% 2.应提供高于工况使用温度至少 100°C的最高使用温度评估报告, 且满足国家标准《绝热用岩棉、矿渣棉及其制品》GB/T11835-2007 中 5.7.3 的要求; 3.缝毡、贴面制品的最高使用温度均指基材
			101 ~ 130	500	≤350	≤0.043	$\lambda = 0.0337 + 0.000128T_m$ (-20°C≤T _m ≤ 100°C) $\lambda = 0.0407 + 2.52 \times 10^{-5}T_m + 3.34 \times 10^{-7}T_m^2$ (100°C<T _m ≤ 500°C)		
		板	80~100	400	≤300	≤0.044	$\lambda = 0.0337 + 0.000151T_m$ (-20°C≤T _m ≤ 100°C) $\lambda = 0.0395 + 4.71 \times 10^{-5}T_m + 5.03 \times 10^{-7}T_m^2$ (100°C<T _m ≤ 400°C)		

			101 ~ 130	450	≤350	≤0.043	$\lambda = 0.0337 + 0.000128T_m$ (-20°C ≤ T _m ≤ 100°C) $\lambda = 0.0407 + 2.52 \times 10^{-5}T_m + 3.34 \times 10^{-7}T_m^2$ (100°C < T _m ≤ 500°C)	—	
		管壳	≥100	400	≤300	≤0.044	$\lambda = 0.0314 + 0.000174T_m$ (-20°C ≤ T _m ≤ 100°C) $\lambda = 0.0384 + 7.13 \times 10^{-5}T_m + 3.51 \times 10^{-7}T_m^2$ (100°C < T _m ≤ 500°C)		
序号	材料名称		使用密度 (kg/m ³)	最高使用温度 (°C)	推荐使用温度[T ₂] (°C)	常用导热系数 λ _n (平均温度 T _m =70°C 时)[W/(m·K)]	导热系数参考方程 T _m 为平均温度 (°C) [W/(m·K)]	抗压强度 (MPa)	要求
5	玻璃棉织品	毯	24~40	400	≤300	≤0.046	$\lambda = \lambda_0 + 0.00017(T_m - 70^\circ\text{C})$ (-20°C ≤ T _m ≤ 220°C)	—	
			41~120	450	≤350	≤0.041			
		板	24	400	≤300	≤0.047			
			32	400	≤300	≤0.044			
			40	450	≤350	≤0.042			
			48	450	≤350	≤0.041			
			64	450	≤350	≤0.040			
			毡	24	400	≤300				≤0.046
		32		400	≤300	≤0.046			
		40		450	≤350	≤0.046			
		48		450	≤350	≤0.041			
		管壳	≥48	400	≤300	≤0.041			

6	硅酸铝棉及其制品	1#毡	96	1000	≤800	≤0.044	$\lambda_L = \lambda_0 + 0.0002 (T_m - 70) \quad (T_m \leq 400^\circ\text{C})$ $\lambda_H = \lambda_L + 0.00036 (T_m - 400^\circ\text{C}) \quad (T_m > 400^\circ\text{C})$ (式中 λ_L 取上式 $T_m=400^\circ\text{C}$ 时计算结果)	—	应提供产品 500℃时的导热系数和加热永久线变化, 且应满足现行国家标准《绝热用硅酸铝及其制品》GB/T-16400 的有关规定
			128	1000	≤800				
		2#毡	96	1200	≤1000				
			128	1200	≤1000				
		1#毡	≤200	1000	≤800				
		2#毡	≤200	1200	≤1000				
		板、管壳	≤220	1100	≤1000				
树脂结合毡	128		350	≤0.044	$\lambda_L = \lambda_0 + 0.0002 (T_m - 70)$	—	含粘结剂的硅酸铝制品应提供高于工况使用温度至少 100℃的最高使用温度评估报告		
序号	材料名称	使用密度 (kg/m ³)	最高使用温度 (°C)	推荐使用温度[T ₂] (°C)	常用导热系数 λ _n (平均温度 T _m =70°C 时)[W/(m·K)]	导热系数参考方程 T _m 为平均温度 (°C) [W/(m·K)]	抗压强度 (MPa)	要求	
7	硅酸镁纤维毯	100±10, 130±10	900	≤700	≤0.040	$\lambda = 0.0397 + 2.741 \times 10^{-6} T_m + 4.526 \times 10^{-7} T_m^2$ (70°C ≤ T _m ≤ 500°C)	—	应提供产品 500℃时的导热系数和加热永久线变化, 加热永久线变化 (试验温度为最高使用温度, 保温 24h) 不大于 4%	

注：1. 设计采用的各种绝热材料的物理化学性能及数据应符合各自的产品标准规定。

2. 导热系数参考方程中 (T_m-70)、(T_m-400) 等表示该方程的数据项。

3. 当选用高出本表见使用温度的玻璃棉、岩棉、矿渣棉和含粘结剂的硅酸铝制品时, 需有厂家提供国家法定检测机构出具的合格的最高使用温度评估报告, 其最高使用温度应高于工况使用温度至少 100℃。

附 录 Q
(资料性附录)

工业锅炉系统节能监测项目

Q.1 蒸汽锅炉节能监测项目监测内容及仪表功能见表 Q.1

表 Q.1 蒸汽锅炉监测项目

监测项目	单台锅炉额定蒸发量								
	≤4t/h			>4t/h~<20t/h			≥20t/h		
	监测仪表的功能								
	指 示	积 算	记 录	指 示	积 算	记 录	指 示	积 算	记 录
燃料量(煤、油、燃气)	√	√	√	√	√	√	√	√	√
蒸汽流量	√	√	√	√	√	√	√	√	√
锅筒蒸汽压力	√	—	√	√	—	√	√	—	√
给水流量	√	√	√	√	√	√	√	√	√
给水温度	√	—	√	√	—	√	√	—	√
省煤器出口水温	√	—	√	√	—	√	√	—	√
过热器出口蒸汽压力、温度	√	—	√	√	—	√	√	—	√
排烟温度	√	—	√	√	—	√	√	—	√
排烟含 O ₂ 量或含 C O ₂ 量	—	—	—	√	—	√	√	—	√
排烟烟气流速	—	—	—	—	—	—	√	—	√
排烟颗粒物浓度	—	—	—	—	—	—	√	—	√
排烟 S O ₂ 浓度	—	—	—	—	—	—	√	—	√
排烟 NO _x 浓度	—	—	—	—	—	—	√	—	√
炉膛出口烟气温度	—	—	—	√	—	—	√	—	√
对流受热面进、出口烟气温度	—	—	—	√	—	—	√	—	√
省煤器(节能装置)出口烟气温度	—	—	—	√	—	—	√	—	√
湿式除尘器出口烟气温度	—	—	—	√	—	—	√	—	√
湿式脱硫装置出口烟气温度	—	—	—	√	—	—	√	—	√
空气预热器、进出口空气温度	—	—	—	√	—	—	√	—	√
炉膛烟气压力	—	—	—	√	—	—	√	—	√

省煤器(节能装置)出口烟气压力	√	—	—	√	—	—	√	—	√
空气预热器出口烟气压力	√	—	—	√	—	—	√	—	√
SCR 反应器出口烟气压力	—	—	—	√	—	—	√	—	√
除尘器出口烟气压力	√	—	—	√	—	—	√	—	√
一次风压及风室风压	—	—	—	√	—	—	√	—	√
二次风压	—	—	—	√	—	—	√	—	√
给水调节阀前压力	—	—	—	√	—	—	√	—	√
给水调节阀开度	—	—	—	√	—	—	√	—	√
给煤(粉)机转速	—	—	—	√	—	—	√	—	√
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、频率	—	—	—	√	—	√	√	—	√
锅炉给水泵负荷电流频率	—	—	—	√	—	√	√	—	√
除尘器出口颗粒物浓度	—	—	—	—	—	—	√	—	√
脱硫装置出口 S O ₂ 浓度	—	—	—	—	—	—	√	—	√

Q.2 热水锅炉节能监测项目监测内容及仪表功能见表 Q.2

表 Q.2 热水锅炉节能监测项目

监测项目	单台锅炉额定热功率(MW)								
	≤2.8			>2.8~<14			≥14		
	监测仪表的功能								
	指示	积算	记录	指示	积算	记录	指示	积算	记录
燃料量(煤、油、燃气)	√	√	√	√	√	√	√	√	√
锅炉循环水流量	√	√	√	√	√	√	√	√	√
锅筒压力	√	—	√	√	—	√	√	—	√
锅炉进、出口水温和水压	√	—	√	√	—	√	√	—	√
排烟温度	√	—	√	√	—	√	√	—	√
排烟含 O ₂ 量或含 CO ₂ 量	—	—	—	√	—	√	√	—	√
排烟烟气流速	—	—	—	—	—	—	√	—	√
排烟颗粒物浓度	—	—	—	—	—	—	√	—	√
排烟 SO ₂ 浓度	—	—	—	—	—	—	√	—	√

排烟 NO _x 浓度	—	—	—	—	—	—	√	—	√
炉膛出口烟气温度	—	—	—	√	—	—	√	—	√
对流受热面进、出口烟气温度	—	—	—	√	—	—	√	—	√
省煤器(节能装置)出口烟气温度	—	—	—	√	—	—	√	—	√
湿式除尘器出口烟气温度	—	—	—	√	—	—	√	—	√
湿式脱硫装置出口烟气温度	—	—	—	√	—	—	√	—	√
空气预热器、进出口空气温度	—	—	—	√	—	—	√	—	√
炉膛烟气压力	—	—	—	√	—	—	√	—	√
省煤器(节能装置)出口烟气压力	√	—	—	√	—	—	√	—	√
空气预热器出口烟气压力	√	—	—	√	—	—	√	—	√
SCR 反应器出口烟气压力	—	—	—	√	—	—	√	—	√
除尘器出口烟气压力	√	—	—	√	—	—	√	—	√
一次风压及风室风压	—	—	—	√	—	—	√	—	√
二次风压	—	—	—	√	—	—	√	—	√
给煤(粉)机转速	—	—	—	√	—	—	√	—	√
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、频率	—	—	—	√	—	√	√	—	√
锅炉循环泵负荷电流频率	—	—	—	√	—	√	√	—	√
锅炉循环泵进、出口压力	√	—	—	√	—	—	√	—	√
除尘器出口颗粒物浓度	—	—	—	—	—	√	√	—	√
脱硫装置出口 S O ₂ 浓度	—	—	—	—	—	√	√	—	√

Q.3 工业锅炉系统辅助设备节能监测项目见表 Q.3

表 Q.3 工业锅炉系统辅助设备节能监测项目

辅助部分	监测项目	监测仪表		
		指示	积算	记录
水泵油泵	水泵、油泵出口压力	√	—	—
	循环水泵进、出口水压	√	—	—
	汽动水泵进汽压力	√	—	—
	水泵、油泵负荷电流	√	—	√
热力除氧器	除氧器工作压力	√	—	√
	除氧水箱水位	√	—	√

	除氧水箱水温	√	—	√
	除氧器进水温度	√	—	√
	蒸汽压力调节器前、后压力	√	—	√
真空除氧器	除氧器进水温度	√	—	√
	除氧器真空度	√	—	√
	除氧水箱水位	√	—	√
	除氧水箱水温	√	—	√
	射水抽气器进口水压	√	—	√
解析除氧器	喷射器进口水压	√	—	—
	解析器水温	√	—	—
离子交换水处理	离子交换器进、出口水压	√	—	—
	离子交换器进水温度	√	—	—
	软化或除盐水流量	√	√	√
	再生液流量	√	√	√
	阴离子交换器出口水的 SiO ₂ 和 pH 值	√	—	√
	出水电导率	√	—	√
	钠离子交换器出水硬度	—	—	√
反渗透水处理	进、出口水压力	√	—	—
	进、出口水流量	√	√	√
	进口水温度	√	—	—
	进、出口水 pH 值	√	—	√
	进、出口电导率	√	—	√
减温减压器	高压和低压侧蒸汽压力和温度	√	—	√
	减温水温度、压力	√	—	√
	减温水水量	√	√	√
	高压侧蒸汽流量	√	—	√
	低压侧蒸汽流量	√	√	√

附录 R (资料性附录)

自动检测仪表的类型与特性

R.1 仪表选型

R.1.1 仪表类型

工业锅炉常用的热工检测仪表包括温度、压力、流量、液位等。

R.1.2 仪表选型原则，

R.1.2.1 所选择的仪表。应力求先进，质量可靠，性能稳定，经济合理。

R.1.2.2 仪表的功能、材质、结构形式和安装方法应能满足运行要求，并方便操作和维护。

R.1.2.3 仪表的量程，应根据运行参数的实际要求显示范围或实际变化的范围确定。

R.1.2.4 仪表精度的选择，应根据不同的测量和控制对象确定。对于仅供操作和监视的参数，其显示仪表的精度可为 1.5 级，对于需要进行经济核算的参数，其显示仪表的精度应为 1 级或高于 1 级。

R.2 温度测量仪表

R.2.1 温度仪表的分类见表 R.1

R.2.2 温度测量仪表量程范围的选择。测量仪表最高使用指示值为仪表满量程的 90%。测温元件的显示仪其指示值为满量程的 20%~90%。

表 R.1 温度仪表的分类

测量方式	类型	名称	温度范围/℃	优点	缺点	
接触式	固体膨胀式	双金属温度计	-185~620	示值清楚机械强度好	精度较低	
	液体膨胀式	玻璃液体温度计	-200~600	价廉精度高	易损，观察不便	
		压力式温度计	-80~400	价廉容易就地集中	毛细管强度差，损坏后不易修复	
	气体膨胀式	压力式温度计				
		热电阻	铂电阻	-256~900	测量准确	振动场合易坏
		铜电阻	-200~150			
	热电偶		铂铑铂 30-铂铑 6*	0-1800	测量范围广，测量准确，不易损坏	需要补偿导线（*者除外），测低温时电势小
			铂铑 10-铂	0-1600		
			镍铬-镍硅	-50~1200		
			镍铬-铐铜	-50~800		
铜-康铜			-200~400			
非接触式	亮度法	光学温度计	700~3200	使用方法，量程较宽	有主观误差	
	辐射式	辐射温度计	100~2000	使用方法，性能稳定	环境条件要求高	

R.3 压力测量仪表

R.3.1 压力测量仪表的分类及主要特点见表 R.2

R.3.2 压力表量程的选择。选择弹性式压力表测量压力时应根据实际使用压力进行选择。在测量平稳压力时，最大工作压力不应超过量程的 2/3；测量脉动压力，最大工作压力不应超过量程的 1/2。为了保证测量准确度，最小工作压力不应低于量程的 1/3。

R.3.3 弹性式压力表外形的选择。盘装仪表选用轴向有边、径向有边或矩形压力表。盘装圆形压力表的表面直径一般采用 $\phi 150\text{mm}$ 。现场指示压力表的表面直径一般采用 $\phi 100\text{mm}$ 。在照明条件差、安装位置高、示值看不清的场合，应采用表面直径为 $\phi 200\text{mm}$ 或 $\phi 250\text{mm}$ 的压力表（例如锅炉锅筒蒸汽压力表）。

表 R.2 压力测量仪表的分类及主要特点

类型	名称	精度	优缺点	应用场合
液柱式	U 型压力计	1.5	结构简单，制作方便，容易损坏	测量低压或真空度，或作压力标准计量器件
	杯型压力计			
	斜管压力计			
弹性式压力表	弹簧管压力表	精密：0.2；	测量范围宽，结构简单，使用方便，价格便宜，可以制成远传式，广泛使用	用来测量压力和真空度，可就地指示，可以集中控制，具有记录、发讯报警、远传功能
	多圈弹簧管压力表	0.25、0.5；		
	膜盒压力表	一般：1.0；		
	波纹管压力表	1.5、2.5		
电气压力表	Y TZ 型电阻远传压力表	0.075~1.5	测量范围广，便于远传和集中控制	用于压力需要远传和集中控制的场合
	Y TT 型差动远传压力表			
	Y SH 型霍尔压力变送器			
	力平衡式压力变送器			
	电容式压力变送器			
	可散硅压力变送器			
活塞式压力计	压力表校验仪	一等：0.02	测量精度高，但结构复杂，价格较贵	用来检定精密压力表和普通压力表
	真空表校验仪	二等：0.05		
	活塞式压力表	三等：0.2		

R.4 流量测量仪表

R.4.1 流量测量仪表的分类及主要特点见表 R.3.

R.4.2 锅炉系统常用的流量检测仪表。工业锅炉系统中需要进行流量检测的有蒸汽流量计、给水流量、送风量、燃气量、热量。

表 R.3 流量测量仪表的分类及主要特点

名称	精度	适用场合	特点	相对价格	
面积式	玻璃管转子流量计	2.5	空气、氮气、水及与水相似的其他安全流体的小流量测量	结构简单，维修方便，精度低、不适用于有毒介质及不透明液体	较便宜
	金属管转子流量计	1.5, 2.5	1、流量大幅度变化的场合 2、高粘度腐蚀性流体 3、差压式导管易汽化的场所	1、具有玻璃管转子流量计主要特点 2、可远传 3、防腐性，可用于酸碱块等腐蚀性介质	贵

	冲塞式流量计	3.5	各种无渣滓，无结焦介质的就地指示，积算	1、结构简单，安装使用方便 2、精度低，不能用于脉冲流量测量	便宜
差压式	节流装置流量计	1	非强腐蚀的单向流量，允许有一定的压力损失	1、结构简单，使用广泛 2、对标准节流装置不必个别标定可用	较便宜
	匀速管流量计		大口径大流量的各种气体、液体的流量测量	1、结构简单，安装、拆卸、维修方便 2、压损小，能耗小，但输出压差较低	较便宜
流速式	旋翼式水表	2	主要用于水的计量	1、结构简单，安装使用方便 2、灵敏度高	便宜
	涡轮流量计	0.5~1	适用于粘度较小的洁净流体	1、精度高，适于计量 2、变送器体积小，维护容易 3、轴承易磨损，连续使用周期短	较贵
	漩涡流量计	1.5	适用于各种气体和低粘度液体测量	1、量积范围变化范围宽 2、压力损失较小，测量部分无可动件	贵
	电磁流量计		适用于电导率 $>10^{-4}$ S/cm的导电液体的流量测量	1、只能测导电液体 2、测量精度不受介质粘度、密度、温度电导率变化的影响，几乎无压损 3、不适合测量铁磁性物质	贵
	超声波流量计	0.5	适用于要求精度高，压力损失小的流量测量	1、无压力损失，可不中断流体输送安装 2、只能用于测量液体 3、安装精度要求高	贵
	分流旋翼式蒸汽流量计	2.5	较精确计量饱和水蒸汽的质量流量	1、安装方便 2、直读式，使用方便 3、可对饱和蒸汽的流量进行压力校正补偿	便宜
容积式	椭圆齿轮流量计	0.2~0.5	适用于高粘度介质的流量测量	1、精度较高，计量稳定 2、不适用含有固体颗粒的物体	较贵

R.5 液位测量仪表

R.5.1 液位测量仪表的分类见表 R.4。

R.5.2 锅炉系统常用液位测量仪表。锅炉系统需要进行液位测量的有锅炉锅筒水位、除氧器水箱水位、软水箱水位、给水箱水位、凝结水箱水位、补水箱水位。

表 R.4 液位测量仪表的分类

名称		简单原理	精度	适用介质	仪表示值特性
直读式	玻璃管液位计	连通器原理		非粘稠深色的各种介质	直读
	玻璃板液位计				
浮力式	浮球式液位计	浮球随液面变化而升降	$\pm 5\text{mm}$	各种液体	信号直读
	浮筒式液位计	所受浮力随液面变化而变化	1.5	各种液体	连续测量调节
静压式	吹气式液位计	静压随液位变化而变化	1.5	腐蚀性、粘性含有颗粒	连续测量调节
	差压式液位计		1.0	各种液体	连续测量调节
电气式	电接点液位计	液位变化接通电极电路		导电液体	断续信号
	谐振式液位计	线路阻抗随液位变化而变化	2.0	导电液体	连续测量
	电容式液位计	电极电容随液位变化而变化	2.5	各种液体	连续测量
超声波液位计		利用声波在气体、液体或固体中的衰减程度、穿透能力和辐射阻抗等各不相同的性质	$\pm 3\text{mm}$	各种液体	信号，连续测量
辐射式液位计		放射性同位素发射		各种液体	信号，连续测量

附录 S (资料性附录)

固体电蓄热炉设计与选型

S.1 一般规定

S.1.1 新建项目应根据当地用热负荷容量和供电电压等级完成电蓄热炉的设计。用于改造项目的电蓄热炉，应根据原有供热装置的供热能力及原有供热机房的结构尺寸和承载能力，设计电蓄热炉的参数、结构及外形。

S.1.2 电蓄热炉的储热能力、储热额定功率，应根据生产或生活用热需求、谷电时长和具体用热特点进行计算，电蓄热炉的储热能力应大于最大日供热量需求。电蓄热炉额定储热功率由谷电时长、热释放时长及热损失率确定。通常情况下，对采用连续供暖方式的民用住宅，热释放时长取 24h；对采用非连续供暖方式的公共建筑，热释放时长取 18h；用于工业热源时，热释放时长取工作时长（h）；电蓄热炉的热损耗应小于等于 5%，最终设计还要根据客户用热需求综合考虑。

建筑供暖电蓄热炉功率设计的计算公式为：

$$P = Qq \times T / Tc \times (1+F+Fc) \times Ao$$

$$\text{或：} P = Q \times T / Tc \times (1+F+Fc)$$

式中：

P—电蓄热炉额定功率（kW）

Qq—采暖设计热负荷指标（kW/m²）

Q—总热负荷（kW）

Ao—供暖面积（m²）

F—管网损耗（%）

Fc—电蓄热炉热损耗（%）

T—电蓄热炉热释放时长（h）

Tc—低谷电时长（h）

工业生产供热电蓄热炉功率设计的计算公式为：

$$P = Q / Tc \times (1+F+Fc)$$

式中：

P—电蓄热炉额定功率（kW）

Q—最大日供热量（kWh）

F—管网损耗（%）

Fc—电蓄热炉热损耗（%）

Tc—低谷电时长（h）

S.1.3 为了降低电网配电成本和降低变电损耗，电蓄热炉依据不同的加热功率，推荐选择下列工作电压：

- 1 单台电蓄热炉功率小于 0.5MW 时，宜采用 0.4kV 电源供电；
- 2 单台电蓄热炉功率大于 0.5MW 小于 10MW 时，宜采用 10kV 电源供电；
- 3 单台电蓄热炉功率大于 10MW 小于 30MW 时，宜采用 35kV 电源供电；
- 4 单台电蓄热炉功率大于 30MW 小于 80MW 时，宜采用 66kV 电源供电；
- 5 单台电蓄热炉功率大于 80MW 时，宜采用 110kV 电源供电。

S.1.4 同一热源站宜采用相同储热方式、相同规格、相同型号的蓄热设备，数量不宜少于 2 套。电蓄热炉设备主体寿命应在 20 年以上，加热元件的寿命不应少于 10000h。

S.1.5 电蓄热炉安装环境应采取防雨、防水、防潮、防火、排风、接地等安全措施。

S.1.6 电蓄热炉储能体与地之间的短时（1min）工频耐受电压指标应符合表 4.1.6 的有关规定。

表 S.1.6 短时（1min）工频耐受电压（有效值 kV）

系统标称电压（kV）	耐受电压（有效值 kV）/1min
0.4	1.5
3	14.4
6	18.4
10	24
20	40
35	64
66	128
110	200

S.1.7 电蓄热炉外表面最高温度不应高于机房环境温度 25K。

S.1.8 在民用或工业建筑物内安装用空气作为热交换介质的电蓄热炉时，储能体温度不宜超过 550℃；当电蓄热炉储能体温度高于 550℃时，应单独设计机房安装设备；与民用或工业建筑间距应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的规定。

S.1.9 电蓄热炉换热器的水质应符合现行国家标准《工业锅炉水质》GB/T 1576 的规定。

S.1.10 电蓄热炉换热器设计应符合下列规定：

1 当输出温度低于介质沸点时，开口式常压系统换热器的耐压不小于 0.6MPa，出厂测试压力不小于 1.2MPa；

2 当输出介质温度高于介质沸点时，换热器设计耐压应符合现行国家标准《压力容器 第 1 部分：通用要求》GB 150.1 的规定；

3 换热器应做好防腐处理；

4 在换热器及循环水系统中应安装有压力表、排污阀或放水阀、排气阀及防汽化的安全装置。

S.1.11 安装于建筑内的独立式电蓄热炉,应符合现行国家标准《工业企业噪声控制设计规范》GB/T 50087 的相关规定。

S.2 电气系统及控制

S.2.1 供电电源应根据电蓄热炉用电需求和设备的额定电压等级进行选择。

S.2.2 电蓄热炉用电系统设计应符合下列规定:

- 1 高压配电系统应采用单母线分段运行,每台电蓄热炉宜采用一段母线供电;
- 2 低压用电(配电)系统应采用单母线分段运行。

S.2.3 当功率因数低于 0.90 时,应设无功功率补偿装置。

S.2.4 10kV 及以上电压等级的电蓄热炉配电装置的设计,应按现行国家标准《3-110kV 高压配电装置设计规范》GB 50060 执行,并应符合下列规定:

- 1 前级应配备具有过流、速断、单相接地保护功能的真空断路器开关设备;
- 2 后级应配备真空接触器开关设备,控制电蓄热炉启停;
- 3 应配备停电检修的隔离电器。

S.2.5 电蓄热炉的继电保护和安全自动装置的设计应符合现行国家标准《继电保护和安全自动装置技术规程》GB/T 14285 的有关规定。

S.2.6 电蓄热炉电缆选择与敷设应符合现行国家标准《电力工程电缆设计标准》GB50217-2018 的有关规定。

S.2.7 过电压保护及接地系统设计应符合下列规定:

1 应符合现行国家标准《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》GB/T 50064 的规定;

2 建(构)筑物防雷设计应符合现行国家标准《建筑物防雷设计规范》GB 50057 的规定;

3 交流接地系统的设计应符合现行国家标准《交流电气装置的接地设计规范》GB/T 50065 的规定。

S.2.8 控制系统设计应符合下列规定:

1 应设有电蓄热炉的储能体工作温度设定值、储能体超温设定值、供回水工作温度设定值、水温超温设定值的输入、显示、采样、开关量控制等功能的温控系统;

2 应具有手动、自动、远程控制功能;

3 应具有通讯接口;

4 应设有一组及以上独立的且与温控系统并行的高温极限值断电保护系统。

S.3 电蓄热炉设备选址

S.3.1 电蓄热炉安装位置的选择应符合下列规定:

1 电蓄热炉为所在区域独立热源时，应靠近热负荷中心。电蓄热炉与其他热源并联运行时，应靠近其他热源厂或其对外供热的管网；

2 电蓄热炉不宜设在多尘或有腐蚀性气体的场所，当无法远离时，不应设在污染源风向的下风侧；

3 电蓄热炉不应设在经常积水场所的正下方或地势低洼和可能积水的场所；

4 电蓄热炉周围应设有可靠的防洪措施，并应高于内涝水位。

S.3.2 电蓄热炉设备机房可单独建设，也可设在建筑物内的基础层。对于安装在地下室的设备，应有防止水淹的措施并确保停电时也有足够的排水能力。

S.4 电蓄热炉基础

S.4.1 电蓄热炉设备基础设计应符合下列规定：

1 基础应能满足电蓄热炉设备承重及工作温度设计要求；

2 炉体基础上表面应满足设备安装要求；

3 电蓄热炉基础倾斜度应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定。宜避开自然地形复杂、自然坡度较大的地段；

4 电蓄热炉混凝土基础地面应达到一级防水要求；

5 户外用电蓄热炉基础埋置深度宜大于场地冻结深度，应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定。

S.5 电蓄热炉保温层

S.5.1 保温层与储能体间距应符合表 4.5.1 规定。

表 S.5.1 保温层与储能体间距

电蓄热炉额定工作电压 (kV)	保温层与储能体间距 (mm)
0.4	20
3	150
6	200
10	250
15	300
20	380
35	500
66	820
110	1200

S.5.2 保温材料防火等级不低于 A 级。

S.5.3 保温材料吸湿率应不大于 5%，保温材料憎水率应不小于 98%。

S.5.4 保温材料加热永久线变化应不大于 4%。

S.6 安全技术要求

S.6.1 电蓄热炉高压进线端口处应设防护遮拦，应设置防鼠、防小动物装置，并应设置电气安全连锁。

S.6.2 电蓄热炉高压进线端对接地体之间的短时工频耐受电压应符合表 4.1.6 的规定。

S.6.3 10kV 及以上电压等级电蓄热炉应设两级以上保护，第一级应设能切断工作电流的本地真空交流接触器或具有失压自动分断功能的断路器，第二级应设能切断故障电流的远端真空断路器。

S.6.4 接地装置应符合现行国家标准《交流电气装置的接地设计规范》GB/T 50065 的有关规定。

S.6.5 10kV 及以上电压等级电蓄热炉的温控系统应在达到温度设定值、超温设定值时切断本地真空交流接触器或具有失压自动分断功能的断路器电源，当切断本地真空交流接触器或断路器电源操作失败时，应能切断远端真空断路器电源，并应设有操作失败、超温报警闭锁系统。

S.6.6 10kV 及以上电压等级电蓄热炉除具有温控系统的控制功能外，还应设置一种及以上独立的可切断两级高压配电柜电源的物理高温极限安全装置。

S.6.7 每组储能体均应设置二点以上的测温探测器。

S.6.8 高压进线通道应设置防护栏及安全连锁装置。

S.6.9 设备机房应设置应急照明装置。

S.6.10 其它安全技术要求应符合现行国家相关标准规定。

S.7 消防

S.7.1 电蓄热炉机房的消防系统可参照（按）丁类厂房消防标准，设计应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的有关规定。

S.7.2 电蓄热炉应设置移动式灭火器，灭火器的配置应符合现行国家标准《建筑灭火器配置设计规范》GB 50140 的有关规定。

附录 T (资料性附录)

工业锅炉系统节能设计典型案例

T.1 高电压大功率成套固体电蓄热炉系统节能设计典型案例

1.适用范围 适用于储能调峰、清洁供热领域节能技术改造。

2.系统节能设计原理及工艺

在预设的电网低谷时段或弃风电时段，自动控制系统接通高压开关，66 千伏高压电网为高压电发热体供电，高压电发热体将电能转换为热能同时被高温蓄热体不断吸收，当高温蓄热体的温度达到设定的上限温度或电网低谷时段结束时，自动控制系统切断高压开关，高压电网停止供电，高压电发热体停止工作，高温蓄热体与高温热交换器之间有热输出控制器，高温热交换器将高温蓄热体储存的高温热能转换为热水、热风或蒸汽等输出。工作原理图如下：



3.技术指标

- (1) 工作电压：110 千伏。
- (2) 蓄热温度达到：700℃。
- (3) 蓄热能力达到：300 千瓦时/立方米。
- (4) 具有近 200 兆瓦的额定功率。

4.技术功能特性

- (1) 可实现超大功率电热转换和超大容量热储能。
- (2) 直接利用 10~110 千伏以上高电压加热，突破电热转换的功率瓶颈，使电蓄热炉成为等同于燃煤、燃气方式的一种大功率清洁热源。
- (3) 广泛应用于电力系统主动调峰、用户侧储能调峰、提升新能源发电消纳水平，将低谷电和弃风、弃光、弃水发电转化为热能并储存。
- (4) 综合利用“低质”电力转化为“高质”热能，有效替代化石燃料消耗。

5.应用案例

张家口市崇礼区城区二道沟热源厂煤改电项目,技术提供单位为沈阳世杰电器有限公司。

(1) 用户用能情况简单说明: 崇礼区丰汇热力有限公司 二道沟热源厂原有 58 兆瓦燃煤锅炉 2 台, 每年标准煤消耗量 为 4.312 万吨。

(2) 实施内容及周期: 在二道沟热源厂内建设电供暖热 源, 采用固体电蓄热炉替代原有燃煤锅炉热源, 其供暖能力 规划先行满足供暖面积 146 万平方米的供暖需求。管网沿用现有系统, 集中供热, 供热介质为热水, 固体电蓄热炉输出 热水, 对接原有供热管网, 一次网供水温度为 60~95℃。实 施周期 13 个月。

(3) 节能减排效果及投资回收期: 改造后, 据统计, 每 年利用废弃风电进行蓄热供暖, 相对于原使用的燃煤锅炉, 年节约标准煤 4.32 万吨, 年减排 CO₂11.97 万吨。该项目综 合年效益合计为 2700 万元, 总投入为 27660 万元, 投资回收 期为 10 年。

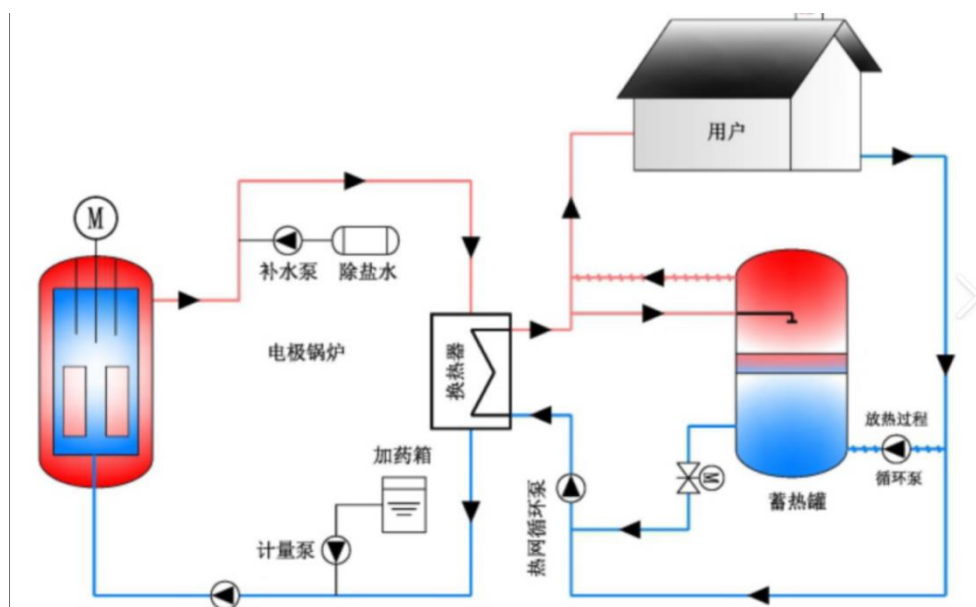
6. 未来三年推广前景及节能减排潜力 预计未来 3 年, 推广应用比例可达到 30%, 可形 成年节 约标准煤 74 万吨, 年减排 CO₂204.98 万吨。

T.2 高压电极锅炉+蓄热罐节能设计典型案例

1. 适用范围 适用于电网储能调峰、清洁供热领域节能技术改造。

2. 高压电极锅炉+蓄热罐系统节能设计原理及工艺

在电网谷电时段, 高压电极锅炉通电加热, 产生的热量除满足谷电时段供热或其他用途, 多余热量以热水方式储存于蓄热罐, 当蓄热罐的温度达到设定的上限或电网谷电时段结束时, 停止蓄热罐蓄热; 在电网非谷电时段, 通过蓄热罐对外进行热量输出, 满足末端用户的热量需求。高压电极锅炉+蓄热罐蓄热系统工作原理如下图:



3. 技术指标

- (1) 工作电压: 10 千伏。
- (2) 电极锅炉效率: $\geq 99.5\%$ 。
- (3) 系统蓄热总效率: $\geq 98\%$ 。

(4) 常压蓄热罐最高蓄热温度可达 90-95°C，承压蓄热罐可满足更高蓄热温度要求。

4.技术功能特性

(1) 水是最廉价、常见的蓄热介质，项目针对性设计可实现不同的功率电热转换和容量热储能。

(2) 直接利用 10 千伏高电压加热，减少投资预算，提高转化效率，使电极锅炉+蓄热罐蓄热方式成为替换燃煤、燃气等老旧能源的重要清洁热源利用方式。

(3) 广泛应用于电力系统主动调峰、用户侧储能调峰、提升新能源消纳，将低谷电和弃风、弃光、弃水发电转化为热能并储存。

(4) 综合利用“低质”电力转化为“高质”热能，有效替代化石燃料消耗。

5.应用案例

甘肃省临泽县 200 万平米清洁能源供暖（煤改电）项目一期工程蓄热电锅炉系统设备供货及安装，技术提供单位为江苏双良锅炉有限公司。

(1) 原用户用能及环境情况说明：改造前：临泽县集中供热热源厂设置有 2 台 29MW 链条炉排燃煤锅炉和 1 台 58MW 链条炉排燃煤锅炉。锅炉容量小，热效率低，燃煤消耗量大，供热成本居高不下，供热企业生存艰难，常年处于亏损状态或亏损边缘，供热站周边城市环境恶劣。

(2) 实施内容及运行周期：在原燃煤锅炉房南侧空地新建电极式锅炉房一座：一期 4 台 40MW 高压电极热水锅炉，配套 10000 立方米常压蓄热罐 3 个。正常情况 4 台电极锅炉谷电时段全开，峰平时段不开，极寒天气情况下，峰平时段增加一台电极锅炉，满足临泽县城 200 万平方米的供暖需求。外供管网沿用原有系统，供热介质为热水，高压电极热水锅炉蓄热系统对接原有供热管网，一次网供水温度为 90~60°C。现已正常运行 3 个采暖期。

(3) 节能减排效果：改造后，每年利用废弃风电进行蓄热供暖，相对于原使用的燃煤锅炉，年节约标准煤 5.205 万吨，年减排二氧化碳 14.189 万吨，年减排二氧化硫 0.039 万吨，年减排氮氧化物 0.038 万吨，年减排炉灰 0.737 万吨。同时也减少了煤、渣的运输量，缓解了由此带来的交通压力，进而减少了汽车尾气排放，从而有利于城市环境状况的改善，积极推动城市发展。