

CBWA

中国锅炉与锅炉水处理协会
团 体 标 准

T/CBWAXXXXX—202X

超临界二氧化碳锅炉设计导则 Supercritical CO₂ Boiler Design Guidance

(征求意见稿)

2022-××-××发布

2022-××-××实施

中国锅炉及锅炉水处理协会发布

目 次

前言	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 型号表示方法.....	2
5 通用要求.....	3
6 材料选用.....	4
7 结构设计.....	4
8 安全附件及仪器仪表.....	6
9 设计输入和输出.....	7

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。

本文件由中国锅炉与锅炉水处理协会提出并归口。

本文件起草单位：中国特种设备检测研究院、哈尔滨锅炉厂有限责任公司、中国东方电气集团有限公司、西安热工研究院有限公司、哈尔滨工业大学、哈电发电设备国家工程研究中心有限公司、西安交通大学。

本文件主要起草人：刘光奎、黄莺、苏宏亮、王永杰、张彦军、陈新中、钱林峰、闫凯、白文刚、李红智、张一帆、刘辉、张宇、康达、张春伟、赵钦新、杨冬。

本文件为首次发布。

超临界二氧化碳锅炉设计导则

1 范围

本文件规定了超临界二氧化碳锅炉的术语和定义、型号的表示方法、通用要求、材料选用、结构设计、安全附件及仪器仪表、设计输入和输出等基本原则。

本文件适用于采用超临界态二氧化碳作为输出工质的锅炉设计。

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 1886.228-2016 食品安全国家标准 食品添加剂 二氧化碳

GB 13223 火电厂大气污染物排放标准

GB/T 2900.48 电工名词术语 锅炉

GB/T 16507.4 水管锅炉第4部分：受压元件强度计算

GB/T 22395 锅炉钢结构设计规范

GB/T 34348-2017 电站锅炉技术条件

GBZ 1 工业企业设计卫生标准

GBZ 2.1 工作场所有害因素职业接触限值第1部分：化学因素

GBZ 223 工作场所有毒气体检测报警装置设置规范

TSG 11 锅炉安全技术规程

JB/T 3315 锅炉用材料入厂验收规则

NB/T 47043 锅炉钢结构制造技术规范

NB/T 47049 管式空气预热器制造技术条件

NB/T 47060 回转式空气预热器

3 术语和定义

GB/T 2900.48界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

超临界二氧化碳锅炉 supercritical carbon dioxide boiler

利用燃料燃烧释放的热能或其他热能加热压力大于7.38MPa、温度大于30.98℃的超临界态二氧化碳，以生产规定参数和品质的二氧化碳的设备。

3.2

给气 feed gas

符合一定质量要求而被输入锅炉的二氧化碳气体。。

3.3

二次气 secondary gas

将高压透平排气经锅炉再次加热进入低压透平做功的工质。

3.4

气冷壁 gas-cooled wall

敷设在锅炉炉膛四周由一组或多组并联管子组成的二氧化碳在管子内部流动进行冷却的受热面，主要吸收炉膛中高温燃烧产物的辐射热量。

3.5

分流省煤器 partial stream economizer

利用从给气中分流出的部分二氧化碳吸收炉膛排出的烟气的热量以降低排烟温度的对流受热面。

3.5

主给气管道 main feed gas pipe

高温回热器冷侧出口至锅炉入口分配集箱之间的管道。

3.6

一次气出口管道 primary outlet pipe

一次气受热面的出口集箱至高压透平入口的主气阀之间的管道。

3.7

二次气入口管道 secondary inlet pipe

高压透平排气至二次气受热面的入口集箱之间的管道。

3.8

二次气出口管道 secondary outlet pipe

二次气受热面的出口集箱至低压透平入口的主气阀之间的管道。

4 型号表示方法

4.1 超临界二氧化碳锅炉的型号由多个字节组成，应能表达出制造单位、工质名称、能量来源、额定参数、燃料种类等，如图 1。

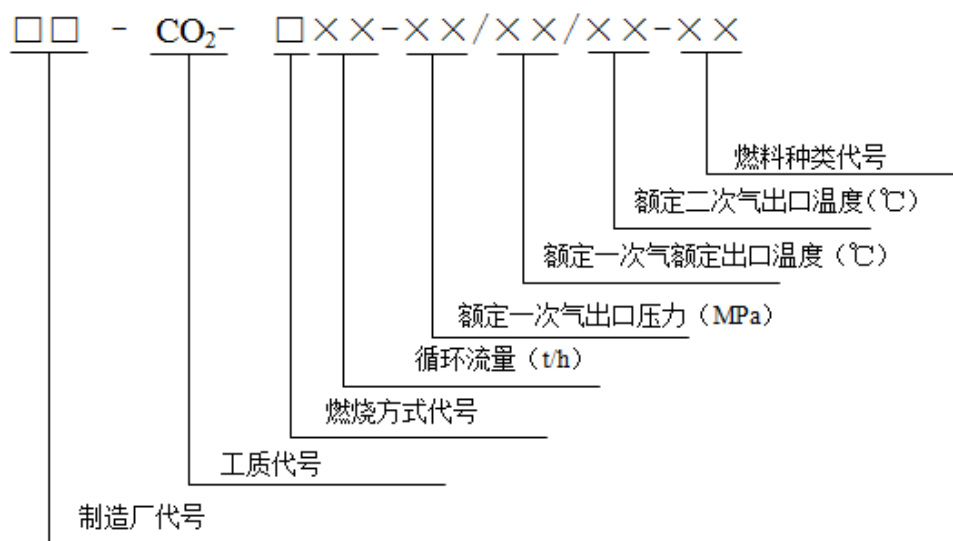


图 1 产品型号组成示意图

4.2 制造单位一般由能够代表制造单位名称的两个大写字母组成，见表1。

表1 制造厂代号

制造厂名称	代号
哈尔滨锅炉厂有限责任公司	HG
上海锅炉厂有限公司	SG
东方电气集团东方锅炉股份有限公司	DG
其他锅炉厂	自定（两个大写字母）

4.3 工质名称为超临界二氧化碳，由其化学分子式 CO_2 表示。

4.4 能量来源有燃料化学燃烧产生和余热物理回收，见表2。

表2 按燃烧方式分类

燃烧方式	名称	代号
室燃燃烧	室燃式超临界二氧化碳锅炉	S
流化床燃烧	流化床式超临界二氧化碳锅炉	L
其他燃烧	其他超临界二氧化碳锅炉	Q

4.5 额定参数由额定循环量（t/h）、额定出口压力（MPa）、额定出口温度（℃）、再热气温（℃）组成。

4.6 燃料种类代号如表3。

表3 按燃料种类分类

燃料种类	名称	代号
煤	燃煤超临界二氧化碳锅炉	M
液体燃料	燃油超临界二氧化碳锅炉	Y
气体燃料	燃气超临界二氧化碳锅炉	Q
生物质	生物质超临界二氧化碳锅炉	SW
其他燃料	其他燃料超临界二氧化碳锅炉	QT

5 通用要求

5.1 超临界二氧化碳锅炉的设计、制造、燃烧设备及系统配置应符合 TSG11 规定。

5.2 锅炉应配备必要的环保设施，污染物排放设计满足 GB 13223 的要求。

5.3 平台和构架的设计应符合 GB/T 22395 要求。

5.4 锅炉配套回转式预热器材料、设计等要求按照 NB/T 47060 要求，管式预热器材料、设计等要求按照 NB/T 47049 要求。

5.5 锅炉本体宜采用露天布置，并有防腐、防冻、防雷击、防风等措施，如因环境制约等条件限制采用厂房内布置或紧身封闭，宜保持良好通风。

5.6 锅炉的燃烧、烟风系统的设计与设备的配置应满足锅炉运行的要求，依照 GB/T 34348-2017 中 8、10、11 执行。

5.7 锅炉内充装的二氧化碳工质质量一般需要符合 GB 1886.228-2016 要求。

5.8 锅炉受热面、管道和集箱应全部进行壁温核算，受压元件强度应按 GB/T 16507.4 规定

计算。

5.9 锅炉受压元件、部件的连接应采用焊接连接，且采用全焊透焊接结构。

5.10 各级受热面最高点处应设有排放空气的管路和阀门，低点设置疏水管路和阀门；管路的引出处应采用加厚的管座（管接头），管路应至少设置串联的两个阀门，其中一个阀门应靠近管路引出处的管接头。

6 材料选用

6.1 超临界二氧化碳锅炉用材料（包括焊接材料）应是纳入国家标准或行业标准中的锅炉用材料。受压元件用的钢板、钢管和锻件的钢材应是镇静钢。

6.2 选用材料时既考虑锅炉受压元件的运行条件（压力、温度以及其他环境因素），也要考虑制造单位的加工工艺和装备条件。

6.3 用于受压元件和非受压元件的金属应具有足够的强度、良好的组织稳定性和抗腐蚀（二氧化碳和烟气）性能，受冷热交替作用的部件应考虑材料的抗疲劳性能，承载构件材料应具有足够的强度和刚度，焊接材料应与被焊材料的性能相匹配。

6.4 锅炉制造单位和安装单位应按 JB/T 3375 规定的项目对锅炉用材料进行验收，合格后才能使用。

7 结构设计

7.1 集箱与管道

7.1.1 管道的材料、规格应根据系统流量、压力、温度参数经过技术经济性比较确定。

7.1.2 集箱和管道最高工作温度不应高于材料允许温度，烟道外的集箱和管道强度计算壁温的取值宜在额定工况工质平均温度基础上加上偏离设计工况可能导致的温度偏差，如表 4。

表 4 集箱和管道强度校核计算温度附加值（℃）

位置	偏差值
主给气管道	+20
气冷壁集箱	+20
气冷壁进出口连接管道	+20
一次气出口管道	+10
二次气入口管道	+20
二次气出口管道	+10

7.1.3 分流省煤器入口管道宜设置调节阀，出口管道的设计温度应能满足分流省煤器在运行中可能出现的最恶劣工况。

7.1.4 一次气出口集箱和管道的元件计算压力宜取额定工况工作压力的 1.05 倍，二次气进口集箱和管道的元件计算压力宜取额定工况工作压力的 1.15 倍，其他部件的元件计算压力宜在此基础上考虑额定工况下工质的流动压降。

7.1.5 受热面进、出口集箱规格和其连接管引入引出方式宜合理匹配，控制各受热面管子最大流量与平均流量偏差不超过 5%。

7.1.6 管道系统应进行各工况应力分析，保证管道热膨胀得到有效补偿。

7.1.7 凡与一次气出口管道、二次气出口管道、主给气管道等锅炉管道直接连接的联箱、集气箱等，均应能够承受一定的管道热膨胀所给予的推力及力矩。

7.1.8 存在温差二氧化碳输送管道三通结构应设计合适结构减少温差应力，可以考虑在支管处采用套筒结构。

7.1.9 管道的设计应以流动阻力最小为目标合理选择管道弯曲半径和管件连接方式。管道弯头在空间结构条件允许情况下管道弯曲半径宜采用不小于3倍管道外径。所用的三通、异径管和弯头宜采用锻造件或挤压成型件，其内壁应打磨光滑，圆滑过渡。

7.1.10 对容易出现杂物的集箱应合理设置检查手孔，手孔内径不宜小于100mm。

7.2 气冷壁

7.2.1 当采用室燃炉时，应保证任何工况下火焰不冲刷气冷壁壁面及气冷壁内其他受热面部件。燃煤锅炉气冷壁的断面大小宜根据输入热功率参照同等条件下的蒸汽锅炉断面热负荷进行选择，并根据气冷壁壁面冷却条件酌情调整。燃油、燃气锅炉的断面大小应满足燃烧器火焰扩展所需空间。

7.2.2 当锅炉过热气与再热气吸热量比例接近时，宜在炉膛内同时布置过热气与再热气受热面保证再热气温能够达到设计值。过热气与再热气受热面相邻布置时，其连接应有可靠的密封和传力结构。

7.2.3 气冷壁宜采用管子加鳍片形式的膜式壁或其他可靠密封形式，当采用膜式壁时管间扁钢材料与管子材料成分应相近。

7.2.4 气冷壁采用膜式壁结构时管子及鳍片应进行温度与应力验算，无论在锅炉启动、停炉和各种负荷工况下，管壁和鳍片的温度均应低于钢材的最高允许使用温度，应力也应低于许用应力，管壁外表面温度低于材料抗氧化温度。

7.2.5 气冷壁的管子规格、材料对热偏差偏差、流量偏差等因素造成的管壁温度不均匀应进行考虑，保证满足强度并留有足够的安全裕度。

7.2.6 气冷壁结构设计应能使气冷壁按预设方向膨胀，并合理装设膨胀指示器，真实显示膨胀状态，便于现场检查。

7.2.7 气冷壁宜采用全疏水结构，放水点装在最低处，保证气冷壁管及其集箱内的水能放空。

7.3 高温受热面

7.3.1 在保证任何工况受热面均能够得到充分冷却基础上，可沿烟气流程将不同位置上受热面并联连接作为同级受热面，两个并联受热面阻力、温升应相近。

7.3.2 受热面的材料选择，应综合考虑烟温偏差、流量偏差等因素，对不同的管段进行壁温核算，并留有足够的安全裕度。

7.3.3 设计中应保证各段受热面在正常运行及启动、停炉时金属壁温不超温过热，按预定方向膨胀且不受阻碍。

7.3.4 受热面宜采用全疏水结构，当采用垂直吊挂结构时应考虑水压试验存留的积水清除措施。

7.3.5 不宜在三通涡流区引入引出受热面管以避免三通效应。

7.3.6 高温受热面管子应采用可靠的防振固定措施，保证在运行中不晃动，不乱排。管夹、卡板等附件应采用耐高温的材料制成，其寿命与相应管材匹配，保证管子按预设方向顺利膨胀。

7.4 分流省煤器

7.4.1 分流省煤器一般采用逆流布置，应保持其传热端差（进口烟温与出口气温差值）不宜小于 50℃。

7.4.2 分流省煤器的设计流量宜根据热力系统优化计算确定，但应能保证任何工况下受热面管子能得到充分冷却。

7.4.3 分流省煤器应能与并联的换热器温升和压降匹配，出口工质温度应与汇入管路工质温度相近，出口压力高于汇入点工质压力，必要时可在分流省煤器入口设置逆止阀。

7.4.4 受热面管子和材料的壁温核算应按照可能出现的最低流量、最高进口温度中最恶劣工况校核金属壁面温度。

8 安全附件及仪器仪表

8.1 安全阀及其排放管路

8.1.1 每台锅炉一次气和二次气系统均应当装设全启式安全阀，宜至少设置 1 个控制式安全阀（气动式、液动式和电磁式）。

8.1.2 一次气或二次气系统锅炉安全阀全部开启时排量之和应大于锅炉设计循环流量，气冷壁、高温受热面装设的安全阀排量应能保证受热面足够的冷却。

8.1.3 安全阀应可靠密封，安全阀动作时无二氧化碳气体泄漏。阀门密封件应具有耐二氧化碳气体腐蚀的性能。

8.1.4 安全阀排放管路应直通安全地点，并加装消音器，其结构应当有足够的流通截面积，保证排气畅通。二氧化碳气体的排放应按照有关规范执行，当其允许排放大气时，排放口应高于排放口为中心的 15m 半径范围内的地面、设备、操作平台 3m 以上。

8.1.5 安装安全阀的管道及管座应能承受安全阀动作时的反作用力。

8.2 温度测量装置

8.2.1 锅炉工质系统相应部位温度测点按如下原则设计：

- a) 锅炉入口给气温度；
- b) 分流省煤器进出口气温；
- c) 气冷壁进出口气温；
- d) 每级受热面进出口气温；
- e) 存在温差汇合管道汇合前后气温。

8.2.2 锅炉烟风系统相应部位温度测点按如下原则设计：

- a) 炉膛出口烟温；
- b) 空气预热器进出口烟温；
- c) 空气预热器进出口风温；
- d) 每级受热面出口烟温；
- e) 油燃烧器的燃油（除轻油）进口油温；
- f) 再循环烟气温度。

8.2.3 锅炉相应部位金属温度测点按如下原则设计：

- a) 高温受热面炉外金属壁温；
- b) 炉膛气冷壁出口金属壁温；
- c) 炉膛气冷壁燃烧器区背火侧金属壁温。

8.3 压力测量装置

8.3.1 锅炉工质系统相应部位压力测点按如下原则设计:

- a) 锅炉入口给气压力;
- b) 分流省煤器进出口压力;
- c) 炉膛气冷壁进出口压力;
- d) 每级受热面进出口压力;
- e) 汇合管道汇合前后压力。

8.3.2 锅炉烟风系统相应部位压力测点按如下原则设计:

- a) 炉膛出口压力;
- b) 空气预热器进出烟气压力;
- c) 空气预热器进出风压力。

8.4 安全连锁与保护

8.4.1 环境保护

8.4.1.1 锅炉本体周围环境中应建立二氧化碳气体传感器报警系统,环境浓度超过 GBZ 2.1 规定的时间加权平均容许浓度前应报警,报警装置设置符合 GBZ/T 223 规定。

8.4.1.2 在厂房内布置锅炉设备时,应在锅炉房地面及低洼处等布置事故管道,并符合 GBZ 1-2010 中 6.1.5.2 要求。事故通风管道应与二氧化碳检测报警装置设置连锁。

8.4.1.3 空气预热器前尾部烟道宜对烟气中二氧化碳含量在线检测,以监测炉内二氧化碳受热面泄漏。

8.4.1.4 锅炉放气阀、安全阀等放气装置打开时应有报警提示。

8.4.2 锅炉工质系统连锁保护应当至少装设以下保护装置:

- a) 任何情况下,循环流量低于启动流量时的报警装置;
- b) 工质流程气冷壁出口温度超过规定值时的报警装置;
- c) 给气断气超过规定时间时,自动切断锅炉燃料供应装置;
- d) 锅炉出口一次气或二次气超压报警装置;
- e) 锅炉出口一次气或二次气超温报警装置;

8.4.3 锅炉的炉膛安全应根据炉型不同设置相应保护连锁,其燃料供给、烟风系统运行、点火控制与熄火保护满足 TSG11 5.6.4 至 5.6.7 要求。

8.4.4 锅炉的燃烧系统应与锅炉匹配,具有安全可靠、节能环保、方便检修等特点,燃烧系统的设计、连锁保护应满足 TSG11 6 相关要求。

9 设计输入和输出

9.1 锅炉的设计工作输入一般应提供如下资料:

- a) 燃料化学成分
- b) 工质纯度
- c) 工质参数
- d) 燃料制备系统
- e) 厂房布置
- f) 安装条件、运行方式
- g) 技术协议

9.2 锅炉的设计工作输出一般应提供如下资料:

- a) 锅炉本体说明书
- b) 受压元件强度计算书

- c) 壁温计算汇总
- d) 气冷壁工质流动计算汇总
- e) 烟风阻力计算汇总
- f) 工质流程阻力计算汇总
- g) 锅炉总图
- h) 工质系统流程图
- i) 其他工程图纸