

CBWA

中国锅炉与锅炉水处理协会
团 体 标 准

T/CBWAXXXXX—202X

超临界二氧化碳发电机组工质质量

Quality of working medium of supercritical carbon
dioxide power generation unit

(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	III
1 范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	4
4 二氧化碳质量标准	6
5 二氧化碳质量检测方法	7
附录 A（资料性附录）杂质分级	8

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：西安热工研究院有限公司、华北电力大学、哈尔滨锅炉厂有限责任公司、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、中国特种设备检测研究院、西安交通大学。

本文件主要起草人：李红智、朱忠亮、张乃强、张纯、白文刚、黄莺、王硕、杜谦、董鹤鸣、谢敏、王凤君、陈新中、刘光奎、闫凯、李军、赵钦新。

本文件为首次发布。

超临界二氧化碳发电机组工质质量

1 范围

本标准规定了过热器出口温度 600℃、压力 20MPa 的超临界二氧化碳发电机组工质质量基本要求，其它参数机组可参考本标准。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注明日期的引用文件，仅所注明日期的版本适用于本文件。凡是不注明日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 5832.1	气体湿度的测定 第 1 部分：电解法
GB/T 5832.2	气体中微量水分的测定 第 2 部分：露点法
GB/T 6285	气体中微量氧的测定 电化学法
GB/T 12145-2016	火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量
GB/T 23938-2021	高纯二氧化碳
GB/T 37186	气体分析 二氧化硫和氮氧化物的测定 紫外差分吸收光谱分析法
GB/Z 2.1-2019	工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素
SH/T 3202-2018	二氧化碳输送管道工程设计标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

超临界二氧化碳 supercritical carbon dioxide

二氧化碳处于温度高于 31.1℃，压力高于 7.38MPa 时的状态。

3.2

超临界二氧化碳布雷顿循环 supercritical carbon dioxide Brayton cycle

一种以超临界二氧化碳为工质的基于布雷顿循环原理的闭式循环，其发电系统主要包括热源、气轮机、发电机、压缩机、冷却器、回热器等。

3.3

再压缩布雷顿循环 recompression Brayton cycle

再压缩式布雷顿循环由主压缩机、再压缩机、透平、高低温回热器、冷却器、加热器及相关的管道构成。典型系统如图 1 所示。

4 二氧化碳质量标准

对于闭式超临界二氧化碳布雷顿循环（包括再压缩布雷顿循环与预压缩布雷顿循环），二氧化碳工质在系统内重复加压升温后做功降温减压过程，系统内二氧化碳品质空间分布差异可忽略，在低温低压易于取气位置收集工质即可代表系统内各处二氧化碳品质。

结合 GB/T 23938-2021、SH/T 3202-2018 要求，与 GB/Z 2.1-2019 对毒性气体浓度限值，新建机组试运行期间工质及运行期间补气应符合表 1 中初始二氧化碳质量标准。考虑机组启动前管道内空气排空过程与二氧化碳工质循环期间发生化学反应引入/富集的杂质（在表 2 所示流动参数下，二氧化碳中杂质对压缩机效率、工质热力学性质以及管道材料腐蚀的影响分别见表 3、表 4 及表 5），同时执行 GB/T 12145-2016 中对蒸汽内金属及矿物杂质含量要求，机组启动时与正常运行期间循环二氧化碳中部分杂质应分别符合表 1 中运行二氧化碳质量标准。

表 1 二氧化碳质量标准

组分	单位	初始二氧化碳质量标准	运行二氧化碳质量标准
二氧化碳	%（体积分数）	99.99	99.9
氢气	ppm（体积分数）	5	4600
氧气	ppm（体积分数）	10	100
氮气	ppm（体积分数）	50	5700
一氧化碳	ppm（体积分数）	5	18 ^a
总烃（THC）	ppm（体积分数）	5	7000
水分	ppm（体积分数）	15	20
氦气	ppm（体积分数）	100	— ^b
氙气	ppm（体积分数）	100	— ^b
硫化氢	ppm（体积分数）	7	— ^b
二氧化氮	ppm（体积分数）	4	— ^b
二氧化硅	μg/kg	^c	10
铁	μg/kg	^c	5

^a考虑气体泄露对工作场所人员毒害性，按 GB/Z 2.1-2019 中要求执行；

^b与初始值保持一致；

^c无需测量。

表 2 二氧化碳流动参数

长度（m）	10km	进口压力（MPa）	15
内径（m）	0.711	进口温度（℃）	33
外径（m）	0.785	质量流量（kg/h）	2200600

表 3 压缩机入口二氧化碳质量（以降低效率 0.5% 为基准）

	He	H ₂	CO	O ₂	Ar	N ₂	CH ₄
预压缩循环	0.77%	1.11%	1.0%	0.91%	1.25%	1.11%	1.67%
再压缩循环	1.11%	2.5%	2.0%	1.79%	2.78%	2.56%	4.17

表 4 考虑热力学性质偏差百分比的二氧化碳质量^a

	N ₂	CH ₄	Ar	O ₂	H ₂	CO
以 1% 压降为基准	0.57%	0.73%	1.22%	0.87%	0.46%	0.71%
以 1% 密度下降为基准	0.74%	0.99%	1.28%	0.98%	0.53%	0.07%

^a 杂质对二氧化碳流动消极影响排序见附录 A。

表 5 考虑管道材料腐蚀速率的二氧化碳质量

	SO ₂	O ₂	CO	H ₂ S	NO ₂
625/ 750°C/20MPa	/	100ppm 提高 2.5 倍	1% 提高 3.6 倍	/	/
Haynes 230/650-700°C/20MPa	/	10ppm 3-10 倍	/	/	/
低合金钢、50°C8MPa	1%，14.7 倍	4.12%，2.5 倍	/	50ppm, 1.41 倍； 200ppm, 41 倍 以上；1000ppm, 8.5 倍	50ppm, 1.7 倍； 100ppm, 2.3 倍； 1000ppm, 4.5 倍；

5 二氧化碳质量检测方法

氧含量的测定按 GB/T 6285 的规定执行，允许采用其他等效方法，当测定结果有异议时，以 GB/T 6285 规定的方法为仲裁方法。

氢、氮、一氧化碳含量的测定按 GB/T 23938 的规定执行，允许采用其他等效方法，当测定结果有异议时，以 GB/T 23938 规定的方法为仲裁方法。

水分含量的测定按 GB/T 5832.1 或 GB/T 5832.2 的规定执行，当测定结果有异议时，以 GB/T 5832.2 规定的方法为仲裁方法。

二氧化硫和氮氧化物的测定按 GB/T 37186 的规定执行，允许采用其他等效方法，当测定结果有异议时，以 GB/T 23938 规定的方法为仲裁方法。

总烃的测定按 GB/T 8984 规定进行，允许采用其他等效方法测定二氧化碳中总烃含量，当测定结果有异议时，以 GB/T 8984 规定的方法为仲裁方法。

附录 A

杂质分级

所有杂质通过占据体积的一部分减少 CO₂ 的运输体积，下面的排列按照每种杂质对于管道中 CO₂ 流体运输所产生的消极影响的增加幅度（从左到右）。值得注意的是，一些杂质（在开始时刻）可能具有积极影响。表 4 展示了每种杂质所导致的纯 CO₂ 改变的百分比汇总。

- 压力 — H₂O, SO₂, NH₃, CO, H₂S, Ar, CH₄, O₂, H₂, N₂
- 温度热损失 — N₂, H₂, O₂, CH₄, Ar, CO, H₂S, SO₂, NH₃, H₂O
- 密度 — H₂O, SO₂, H₂S, NH₃, CO, Ar, CH₄, O₂, H₂, N₂
- 黏度 — H₂O, N₂, Ar, H₂, CH₄, O₂, CO, NH₃, SO₂, H₂S
- 相位包络 — H₂O, H₂S, CO, NH₃, SO₂, CH₄, Ar, O₂, N₂, H₂
- 临界压力 — H₂O, H₂S, CO, SO₂, NH₃, CH₄, Ar, H₂, N₂, O₂
- 临界温度 — H₂O, NH₃, SO₂, H₂S, CO, Ar, H₂, CH₄, O₂, N₂