空气质量对煤气锅炉烟气颗粒物排放浓度的影响*

李 平,孟晓敏,刘晓明,田顺生

(内蒙古包钢钢联股份有限公司动供总厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 针对包钢股份动供总厂煤气锅炉烟气颗粒物浓度超过国家标准现象,介绍了煤气锅炉烟气颗粒物排放要求和动供总厂各煤气锅炉排放超标情况,讨论了煤气锅炉烟气颗粒物的产生途径,对颗粒产生的3种途径进行深入分析后,发现了空气质量和锅炉烟气颗粒物超标的关系。通过相同炉型煤气锅炉对比试验,有效地降低了煤气锅炉烟气颗粒物排放浓度,提出了降低煤气锅炉烟气颗粒物的方法,为煤气锅炉烟气中颗粒物排放浓度达到国家现行的排放标准和超低排放改造提出对策。

关键词: 煤气锅炉; 空气质量; 颗粒物

中图分类号: X551 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2021)06-0023-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.06.015

Effects of Air Quality on Emission Concentration of Fume Particulate Matter of Gas Boiler

Li Ping, Meng Xiao-min, Liu Xiao-ming, Tian Shun-sheng

(*Power Supply General Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the paper, it is introduced the emission requirements of fume particulate matter of gas boiler and excessive emission of all gas boilers in Power Supply General Plant as well as discussed the ways of generating fume particulate matter of gas boiler aiming at its concentration in Power Supply General Plant exceeds the national standard. With the deep analysis of three ways of generating particles, the relation between air quality and excessive emission of fume particulate matter of gas boiler is found. The emission concentration of fume particulate matter of gas boiler is effectively reduced through comparative test of gas boiler with the same boiler type and the methods to reduce it are put forward so that the countermeasures for emission concentration of fume particulate matter of gas boiler to meet current national emission standard and ultra-low emission transformation are put forward.

Key words: gas boiler; air quality; particulate matter

煤气是钢铁企业重要的附属产品,有高炉煤气、转炉煤气及焦炉煤气3种,主要用于煤气锅炉、加热炉等工业炉窑。煤气是一种优质、高效、清洁的燃料,燃烧后产生的烟气中颗粒物含量极少,二氧化硫和氮氧化物也比较少,比煤粉锅炉更容易达到国家排放标准。包钢股份动供总厂有7台煤气锅炉,排放标准执行《火电厂大气污染物排放标准》[1]中的规定,排放限值为颗粒物不大于10 mg/m^3、二氧化

* **收稿日期:** 2021-10-26

作者简介: 李 平(1970-),男,内蒙古包头市人,硕士,高级工程师,主要从事热能与动力工程的运行、设备研究工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

硫不大于100 mg/m^3、氮氧化物不大于200 mg/m^3。近几年随着国家对环境保护的重视程度日益提高，出台了一系列相关政策及标准。2019年4月，中华人民共和国生态环境部等五部委联合发布了环大气〔2019〕35号文件《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》，要求2025年底前，重点区域钢铁企业超低排放改造基本完成。煤气锅炉超低排放限值为颗粒物不大于5 mg/m^3、二氧化硫不大于35 mg/m^3、氮氧化物不大于50 mg/m^3，国内大多数煤气锅炉不经改造不能达到超低排放要求。本文对煤气锅炉烟气中污染物排放规律进行研究，为下一步超低排放改造做准备。

2020年10—12月，我厂各台煤气锅炉的烟气颗粒物排放浓度小时均值在2 mg/m^{3}左右，没有出现超标现象。2021年1月份，各台锅炉的烟气颗粒物排放浓度小时均值突然升至5 mg/m^{3}左右，经常出现超标现象，二氧化硫和氮氧化物浓度变化不大。针对此情况，从煤气锅炉颗粒物产生途径入手进行了分析和研究。

1 煤气锅炉颗粒物产生途径

1.1 燃料中存在颗粒物

(1) 高炉煤气是高炉炼铁生产过程中产生的可燃气体。颗粒物主要成分为铁、氧化亚铁、氧化铝、二氧化硅、氧化镁和焦炭粉末等。颗粒物浓度一般在10 mg/m^{3}以内。

(2) 转炉煤气是转炉炼钢过程中产生的可燃气体。颗粒物主要成分为氧化铁粉，颗粒物浓度一般在10 mg/m^{3}以内。

(3) 焦炉煤气是焦炉生产过程中产生的可燃气体。煤气中夹带少量煤尘，颗粒物浓度一般在5 mg/m^{3}以内。

1.2 气相析出型颗粒物

气相析出型颗粒物是燃料在空气不足的高温条件下热分解所生成的固体颗粒。高炉煤气、转炉煤气中含有碳氢化合物较少，可忽略不计。焦炉煤气不饱和烃含量为2%～4%，不完全燃烧时会产生少量的固体颗粒物。

1.3 助燃空气中存在颗粒物

空气中颗粒物主要由土壤、沙尘经风力的作用输送到空气中而形成的。颗粒物粒径小于100 μm称为总悬浮颗粒物，简称TSP。颗粒物粒径小于10 μm的称为可吸入颗粒物，简称PM_{10}。颗粒物粒径小于2.5 μm的称为细颗粒物，简称$PM_{2.5}$。TSP和PM_{10}在粒径上存在着包含关系，即PM_{10}为TSP的一部分。PM_{10}和$PM_{2.5}$在粒径上存在着包含关系，即$PM_{2.5}$为PM_{10}的一部分。

在空气质量监测中，当粒径大于10 μm时，要考虑沉降。当粒径小于10 μm时，与其他气态污染物一样，不考虑沉降。因此环境监测站仅对PM_{10}及$PM_{2.5}$进行监测。国内外研究结果表明，PM_{10}/TSP的重量比值为60%～80%。

2 颗粒物超标原因分析

2020年10—12月，各煤气锅炉烟气颗粒物浓度较低，见表1。2021年1月13日0:00—1月14日23:00，各台煤气锅炉的烟气颗粒物排放浓度小时均值频繁超标，见表2。

表1 2020年10—12月煤气锅炉烟气颗粒物排放情况(折算前)

项目	4#炉	5#炉	6#炉	8#炉	9#炉	热力1#炉	热力2#炉
小时均值最大值/(mg·m^{-3})	11.18	11.86	9.50	14.34	12.34	12.94	12.36
小时均值平均值/(mg·m^{-3})	2.81	1.60	1.28	3.06	3.15	2.09	1.94
小时均值超标次数	2	2	0	5	1	2	1

表2 2021年1月13—14日煤气锅炉烟气颗粒物排放情况(折算前)

项目	4#炉	5#炉	6#炉	8#炉	9#炉	热力1#炉	热力2#炉
小时均值最大值/(mg·m^{-3})	26.12	34.36	35.88	35.23	31.91	33.52	29.38
小时均值平均值/(mg·m^{-3})	18.11	16.32	16.28	16.46	17.46	10.52	10.26
小时均值超标次数	47	38	44	43	41	28	26

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.1　燃料中颗粒物

通过大量数据研究表明，高炉煤气、转炉煤气、焦炉煤气的颗粒物浓度不大于 10 mg/m^3 时，锅炉烟气颗粒物浓度为 2 ~ 3 mg/m^3 左右，不会造成颗粒物浓度超标。

2021 年 1 月 12—15 日，包钢股份各高炉、转炉、焦炉生产正常，钢铁产量、焦炭产量变化不大，高炉煤气、转炉煤气、焦炉煤气产量变化不大，高炉煤气、转炉煤气颗粒物含量变化不大，排除煤气中颗粒物浓度高导致各台锅炉烟气颗粒物浓度超标。

2.2　燃料中存在析出型颗粒物分析

高炉煤气、转炉煤气中不饱和烃含量极少，可忽略不计，即使不完全燃烧也不会产生析出型颗粒物，焦炉煤气不完全燃烧会产生一定量的固体颗粒。4$^{\#}$ 锅炉的主要燃料为焦炉煤气，8$^{\#}$、9$^{\#}$锅炉掺烧焦炉煤气，这 3 台锅炉可能会产生析出型颗粒物。图 1 为我厂各台煤气锅炉的烟气颗粒物排放浓度变化趋势，从图 1 可以看出各台煤气锅炉的颗粒物排放趋势基本一致，排除析出型颗粒物导致各台锅炉烟气颗粒物浓度超标。

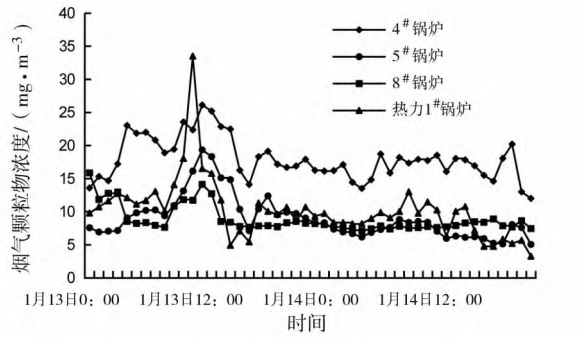


图 1　2021 年 1 月 13—14 日各台煤气锅炉烟气颗粒物排放浓度变化趋势

2.3　空气中颗粒物浓度高

2021 年 1 月 13—14 日包头市出现扬沙天气，空气中 PM_{10} 最高浓度达到了 1 697 μg/m^3，空气中 TSP 浓度为 2.1 ~ 3.2 mg/m^3，空气降尘浓度为 28.6 ~ 43.5 mg/m^3 [2]。在此期间，各台煤气锅炉烟气颗粒物排放浓度明显升高。以热力 1$^{\#}$、2$^{\#}$两台锅炉为例分析，锅炉的颗粒物排放浓度与空气 PM_{10} 变化趋势基本一致（图 2）。通过以上分析，此次煤气锅炉烟气颗粒物超标与扬沙天气有直接关系，空气中颗粒物含量越高，锅炉烟气排放浓度也越高。

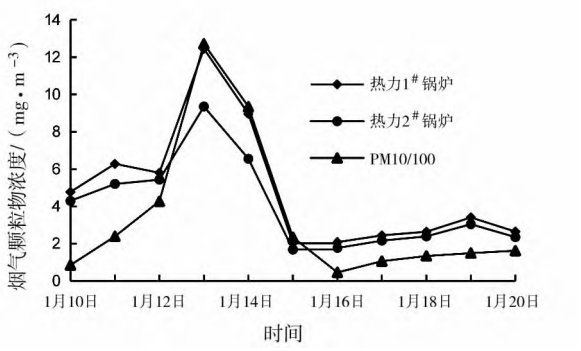


图 2　热力 1$^{\#}$、2$^{\#}$锅炉烟气颗粒物排放浓度与空气中 PM_{10} 变化趋势

通过大量的数据分析，锅炉的颗粒物排放浓度约是 PM_{10} 的 15 ~ 20 倍。当 PM_{10} 浓度大于 700 μg/m^{3}时，煤气锅炉烟气颗粒物排放浓度就会频繁出现超标现象。

由于我国北方地区和西北地区植被比较稀少，沙质土壤较多，寒潮大风频繁，在春天的三、四月份、冬季的十二月和来年的一月，很容易出现沙尘天气。当空气中 PM_{10} 浓度大于 700 μg/m^3 时，煤气锅炉烟气颗粒物排放浓度就会频繁出现超标现象（表 3）。

3　锅炉烟气颗粒物超标应对措施

3.1　将送风机取风切换为室内取风

2021 年 3 月 14 日晚 23∶00，受到蒙古国沙尘暴影响，包头全市大部地区出现强沙尘暴天气，各台锅炉烟气中的颗粒物浓度都急剧升高。我厂将 5$^{\#}$锅炉送风机挡板切换为室内取风，6$^{\#}$锅炉送风机取风挡板切换为室外取风，进行对比试验（图 3），可见 5$^{\#}$锅炉烟气颗粒物浓度明显低于 6$^{\#}$锅炉。

当出现沙尘天气时，如果空气中颗粒物含量水平相对较低时，送风机取风挡板切换为室内取风，可以降低锅炉烟气颗粒物浓度，但效果有限。根据本次试验数据分析，将送风机取风切换为室内取风可以降低锅炉烟气中颗粒物浓度，当 PM_{10} 浓度小于 1 200 μg/m^{3}时，此方法有效。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表3 PM_{10}与煤气锅炉烟气颗粒物排放浓度关系

时间	PM_{10} /(μg·m^{-3})	热力1#锅炉 /(mg·m^{-3})	6#锅炉 /(mg·m^{-3})	9#锅炉 /(mg·m^{-3})
2021-1-12 18:00	506	4.96	7.93	8.36
2021-1-12 19:00	496	4.94	6.97	7.28
2021-1-12 20:00	498	5.36	7.43	7.74
2021-1-12 21:00	468	6.27	7.83	8.67
2021-1-12 22:00	430	6.40	9.01	9.30
2021-1-12 23:00	416	5.87	9.71	9.22
2021-1-13 0:00	464	9.79	9.87	9.98
2021-1-13 1:00	550	9.74	9.33	9.74
2021-1-13 2:00	705	11.62	13.62	14.79
2021-1-13 3:00	765	12.76	13.26	14.97
2021-1-13 4:00	839	12.13	17.40	23.33
2021-1-13 5:00	906	11.13	19.27	23.95
2021-1-13 6:00	1023	11.69	20.26	24.49
2021-1-13 7:00	1308	13.07	19.44	26.22
2021-1-13 8:00	1428	10.10	18.24	19.47
2021-1-13 9:00	1534	14.06	19.25	20.52
2021-1-13 10:00	1400	18.05	21.93	23.94
2021-1-13 11:00	1697	33.52	26.74	28.08
2021-1-13 12:00	1686	16.51	32.42	31.91
2021-1-13 13:00	1672	15.78	35.88	29.93

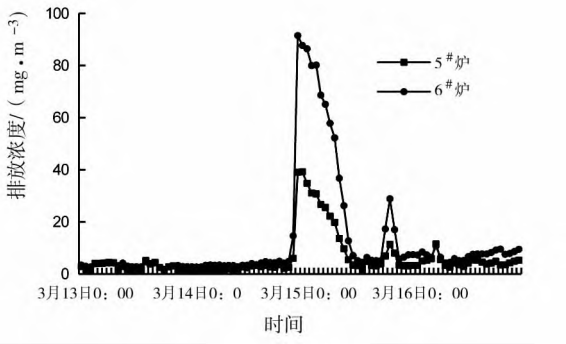


图3 5#、6#锅炉烟气颗粒物排放浓度

3.2 净化送风机入口空气

在送风机入口安装空气过滤装置。我厂各台燃气轮机进气入口配置空气过滤器,3月15日包头市出现沙尘天气,各台燃气轮机烟气颗粒物排放浓度无明显变化,均未超标,见表4。净化空气后,锅炉烟气颗粒物浓度将不受空气质量影响。空气除尘相比于烟气除尘处理风量小,建设费用低,占地面积小。

常用的空气过滤器有自洁式空气过滤器、自动卷帘式空气过滤器、布袋式空气过滤器等几种。其中,布袋式空气过滤器除布袋的过滤作用外,还有重力沉降、惯性撞击和静电吸附等除尘效应,除尘效率一般都在98%以上[3],是目前使用最多的除尘器。

表4 2021年3月15日燃气轮机烟气颗粒物排放浓度 mg/m^3

时间	1#燃气轮机	2#燃气轮机	3#燃气轮机	4#燃气轮机
00:00	0.37	0.41	1.77	1.42
01:00	0.4	0.38	2.67	1.45
02:00	0.38	0.35	1.93	1.47
03:00	0.32	0.34	1.85	1.48
04:00	0.44	0.34	1.81	1.48
05:00	0.48	0.36	1.94	1.48
06:00	0.59	0.36	1.99	1.5
07:00	0.44	0.33	3.7	1.54
08:00	0.34	0.3	1.82	1.56
09:00	0.28	0.31	1.76	1.51
10:00	0.28	0.35	1.79	1.55

(下转第90页)

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

带、板的各产品的全工序日成本核算，满足了成本业务人员对成本日核算的要求。同时，成本业务人员依据核算的结果，对异常的数据及时与生产现场沟通，了解实际生产状况，现场生产人员针对不同的问题，及时了解影响产品成本的因素，真正实现了成本的事中控制，全员的成本管理意识也在逐步提高。下一步通过更深入分析日核算的数据，自动挖掘出当日实际的生产及设备运转状况，充分发挥日成本的监控作用，进而从根本上实现企业降本增效的目的。

参 考 文 献

[1] 刘霞. 浅谈现代企业实施战略成本管理[J]. 现代商业，2011，(14)：137－138.
[2] 戴莅隽. 以“日成本”核算为核心的成本管理新模式[J]. 冶金财会，2017，(4)：15－21.
[3] 崔本照. 对现代企业成本管理的思考[J]. 合作经济与科技，2011，(9)：55－56.

(上接第26页)

4 结论

(1) 我国北方地区、西北地区煤气锅炉烟气颗粒物排放浓度异常超标时，需考虑空气质量问题。当PM_{10}浓度大于700 μg/m³时，没有任何除尘设施的锅炉烟气颗粒物排放浓度将会超标。

(2) 若煤气锅炉烟气颗粒物排放指标只有在沙尘天气时超标，且采用的脱硫、脱硝工艺不产生新的颗粒物，可采用空气除尘设备。

参 考 文 献

[1] GB 13223—2011，火电厂大气污染物排放标准[S].
[2] 吴海，程妍东，倪继宾，等. 包头市城市系统中风沙天气与TSP、PM_{10}、降尘之间量的对应关系[J]. 内蒙古林业调查设计，2005，28(S1)：28－31.
[3] 信保定. 高炉鼓风机过滤器的选择[J]. 钢铁厂设计，2021，(6)：44－48.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net