

火电厂废水零排放系统对锅炉效率的影响

刘畅¹ 黄玲²

1. 大唐南京发电厂; 2. 南京依涛环保科技有限公司

DOI: 10.12238/ems.v6i11.10000

[摘要] 本文对比计算了目前火力发电厂常用的脱硫废水零排放技术对锅炉热效率的损失比率。按照锅炉规模分别对“脱硫废水直接喷雾干燥工艺”和“脱硫废水浓缩+旁路烟道干燥塔工艺”对锅炉效率影响进行了计算分析, 有利于火力发电厂脱硫废水零排放的项目的可行性研究报告的撰写及脱硫废水零排放系统的运行参数的控制。

[关键词] 直接喷雾干燥; 预浓缩; 干燥塔; 热效率; 损失

The impact of zero discharge system for wastewater in thermal power plants on boiler efficiency

Liu Chang 1 Huang Ling 2

1. Datang Nanjing Power Plant; 2. Nanjing Yitao Environmental Protection Technology Co., Ltd

[Abstract] This article compares and calculates the loss ratio of boiler thermal efficiency caused by the commonly used zero discharge technology for desulfurization wastewater in thermal power plants. According to the boiler scale, the impact of "direct spray drying process of desulfurization wastewater" and "desulfurization wastewater concentration+bypass flue drying tower process" on boiler efficiency is calculated and analyzed, which is conducive to the writing of feasibility study report of the project of zero discharge of desulfurization wastewater in thermal power plant and the control of operating parameters of zero discharge system of desulfurization wastewater.

[Key words] Direct spray drying; Pre concentration; Drying tower; Thermal efficiency; loss

1 前言

中国正在投运的大小燃煤火电厂数量十分可观, 而近几年正在基建的燃煤机组也是不在少数。燃煤火电厂的发电原理就是利用水的相变将热能转换为动能, 再通过发电机转化成电能。在这个过程中锅炉内的水会不断循环地从液相转变为气相, 再转变为液相。这个循环的过程中会消耗大量的水资源, 同时也会外排盐含量超标的废水。而目前各行各业都在不断地升级环保节能技术, 燃煤火电厂无论是从锅炉技术还是环保技术上都在深度节水, 全厂最终废水不对外排放已成为必然趋势, 所以火电厂最终的全厂废水都会集中在脱硫废水, 目前脱硫废水的零排放技术均是利用的锅炉烟气的余热, 只要有能量的消耗就会对锅炉能耗造成影响, 这个影响的具体数值是多少, 是否会影响锅炉的运行, 就是本论文要研究探讨的问题。

2 目前火电厂废水零排放系统

2.1 火电厂废水零排放工艺分类

现有中国燃煤机组的脱硫废水零排放技术的运用一般都考虑了投资成本, 呈现出来的结果大致为: 30 万机组以下(含 30 万机组)的电厂直接采用旁路烟气的余热来蒸发废水, 最常用的旁路烟道干燥塔为旋转雾化器干燥塔和单流体压力式喷雾干燥塔; 30 万以上至百万机组的电厂首选先将废水浓缩一定倍数后再结合旁路烟气余热蒸发, 可用的技术组合则比较多, 常见的有“低温浓缩塔+旋转雾化器干燥塔”、“多效闪蒸浓缩系统+旋转雾化器干燥塔”、“多效闪蒸浓缩系统+单流体压力式喷雾干燥塔”。

2.2 脱硫废水直接喷雾干燥

针对 30 万以下机组(含 30 万机组), 在干燥塔之前不对脱硫废水做浓缩处理, 喷雾干燥系统采用旁路干燥工艺。烟气从脱硝出口(空气预热器前)引出一部分热烟气进入喷雾干燥塔, 与经过雾化后的极细小废水雾滴充分接触, 使雾滴

中的水分迅速挥发, 废水中的盐类被干燥后析出, 部分混入原烟气的粉尘中, 通过后续除尘器收集下来。本文将对比研究的为旋转雾化器干燥塔和单流体压力式喷雾干燥塔。

旋转雾化器的雾化原理与雾化盘的转动和雾化蜗壳中烟气的流速有关, 所以一般对进入干燥塔的烟气流相比较于使用单一压力雾化的单流体压力式喷雾干燥塔要求稍高。

2.3 脱硫废水预浓缩+旁路干燥工艺

脱硫废水干燥前的浓缩技术运用的较为广泛的是低温浓缩塔和高效闪蒸浓缩系统, 其中低温浓缩塔采用的是脱硫塔前的烟气, 虽然这里的烟气余热对锅炉效率几乎没有影响, 但是由于此系统在脱硫塔之前对烟气降温, 造成脱硫塔的水平衡难保持, 本文不对其技术进行分析比较。而多效闪蒸系统则是采用的除尘器前后的高温烟气余热, 会对锅炉效率造成一定的影响, 本文将对其进行研究。

干燥塔部分与 2.2 中一致, 也是主要研究旋转雾化器干燥塔和单流体压力式喷雾干燥塔。所以本文 30 万以上至百万机组研究的是“多效闪蒸浓缩系统+旋转雾化器干燥塔”以及“多效闪蒸浓缩系统+单流体压力式喷雾干燥塔”。

3 脱硫废水零排放技术对锅炉效率影响的计算

3.1 计算方法

热效率的损失=取烟(取热)处热量的损失/锅炉烟气的热量

3.2 脱硫废水直接喷雾干燥(旋转喷雾干燥塔)

该技术一般仅用在 30 万以下机组(含 30 万机组), 本文以 30 万机组为例计算, 各发电集团在 30 万机组上配备的一般为 4m³/h 或 5m³/h 处理量的干燥塔, 现按照 5m³/h 处理量的干燥塔计算。根据废水处理量和脱硝出口烟气温度, 抽取锅炉的烟气流如下表所示。锅炉满负荷时干燥 5m³/h, 废水密度 1020kg/m³, 含固体量 3%~5%, 其中悬浮物含量 SS 68mg/L, TDS 31114mg/L, 需要干燥水份 5t/h。

表 3-1 350MW 发电锅炉的热效率的损失(旋转雾化干燥塔)

序号	名称	单位	工况				
			BMCR	100%THA	75%THA	50%THA	40%THA
1	旁路干燥塔数量	个	1				
2	机组负荷	MW	391.4	350.1	262.5	175	147.1
3	脱硝出口湿烟气量(设计煤种)	Nm ³ /h	1078457	1012428	818434	578596	509417
4	抽取旁路烟气流	Nm ³ /h	62984	64660	67003	49668	-
5	旁路烟气的比率	%	5.84	6.24	8.18	8.58	-
6	干燥塔进口的烟气温度	℃	370	360	340	300	-
7	干燥塔蒸发量	m ³ /h	5	5	5	3.4	-
8	干燥塔出口烟气温度	℃	160	160	160	160	-
9	锅炉热效率的损失	%	2.14	2.18	2.57	2.89	-

注: 由于旋转雾化器对进入塔内的烟气流速有一定要求,

所以一般 40%负荷时不能投运。

由表 3-1 可以看出, 增加了旁路干燥系统(旋转喷雾干燥塔)后, 锅炉热效率损失最大为锅炉负荷 50%THA 时, 此时旁路取烟比例为 8.58%, 锅炉热效率损失 2.89%。可见此时对锅炉效率的影响是比较明显的。

3.3 脱硫废水直接喷雾干燥(单流体压力式喷雾干燥塔)

该技术一般仅用在 30 万以下机组(含 30 万机组), 本文以 30 万机组为例计算, 各发电集团在 30 万机组上配备的一般为 1m³/h~5m³/h 处理量的干燥塔, 为了与旋转喷雾干燥塔比较, 此处按照 5m³/h 处理量的干燥塔计算。根据废水处理量和脱硝出口烟气温度, 抽取锅炉的烟气流如下表所示。锅炉满负荷时干燥 5m³/h, 废水密度 1020kg/m³, 含固体量 3%~5%, 其中悬浮物含量 SS 68mg/L, TDS 31114mg/L, 需要干燥水份 5t/h。

表 3-2 350MW 发电锅炉的热效率的损失(单流体压力式喷雾干燥塔)

序号	名称	单位	工况				
			BMCR	100%THA	75%THA	50%THA	40%THA
1	旁路干燥塔数量	个	1				
2	机组负荷	MW	391.4	350.1	262.5	175	147.1
3	脱硝出口湿烟气量(设计煤种)	Nm ³ /h	1078457	1012428	818434	578596	509417
4	抽取旁路烟气流	Nm ³ /h	59927	62980	64619	46092	39120
5	旁路烟气的比率	%	5.55	6.14	7.89	7.96	8.15
6	干燥塔进口的烟气温度	℃	370	360	340	300	290
7	干燥塔蒸发量	m ³ /h	5	5	5	3.6	2.8
8	干燥塔出口烟气温度	℃	160	160	160	160	160
9	锅炉热效率的损失	%	2.04	2.15	2.48	2.65	2.78

由表 3-2 可以看出, 增加了旁路干燥系统(单流体压力式喷雾干燥塔)后, 锅炉热效率损失最大为锅炉负荷 40%THA 时, 此时旁路取烟比例为 8.15%, 锅炉热效率损失 2.78%。可见此时对锅炉效率的影响是比较明显的, 但单流体压力式喷雾干燥塔对锅炉效率的影响稍微小一些。

3.4 多效闪蒸浓缩系统+旋转雾化器干燥塔

该技术一般运用在 660MW 及 1000MW 机组上, 本文以 1000MW 燃煤锅炉为例分别计算低温浓缩阶段热损失(按照从低低温省煤器取热源计算)及干燥阶段热损失, 计算总系统对锅炉效率的影响。一般百万机组的电厂的脱硫废水量为 20~40m³/h, 脱硫废水首先经多效闪蒸浓缩系统浓缩 5~10 倍, 将浓缩液部分送至旁路干燥塔蒸发干燥。

本文按照总系统处理量 30m³/h 计算, 30m³/h 脱硫废水首先经多效闪蒸浓缩系统浓缩至 6m³/h, 再分配至锅炉两台炉, 每台炉一台干燥塔(每台干燥量 3m³/h)干燥。

本工程浓缩阶段取热为从低低温省煤器（安装于除尘器后）的热水，热水进入负压环境形成低温蒸汽闪蒸，而经过低低温省煤器后烟气的温度也会相应下降。

末端旁路烟道蒸发工艺，利用烟气余热将废水蒸发，达到废水零排放的目的。由于抽取的部分烟气未经过空预器、两级低温省煤器，对空预器的热量回收，两级低温省煤器的热量回收均造成了一定影响，进而造成过滤热效率的下降，增加一定量的供电煤耗。根据废水处理量和脱硝出口烟气温度，抽取锅炉的烟气量如下表所示。本系统设计按照 30t/h 的废水设计规模，干燥浓缩液为 6m³/h，浓缩液中含固体量 30%，其中 SS 占 10%，TDS 占 25%，需要干燥水份 5.04t/h，单台炉蒸发水量 2.52t/h。

表 3-3 1000MW 发电锅炉的热效率的损失（多效闪蒸浓缩系统+旋转雾化器干燥塔）

序号	名称	单位	工况				
			BMCR	100%THA	75%THA	50%THA	40%THA
1	机组负荷	MW	1005.55	991.16	780.00	495.02	397.1
2	总烟气量	万 Nm ³ /h	316.18	316.64	252.19	182.22	149.2
3	低低温省煤器前烟温	℃	107.10	106.60	105.50	103.60	101.7
4	低低温省煤器后烟温	℃	104.0	103.4	102.5	100.4	98.6
5	旁路干燥塔数量	个	1(单台炉)				
6	抽取旁路烟气量	m ³ /h	31214.5	33194.7	35138.7	30944.5	-
7	旁路烟气的比率	%	0.1035307	0.1067209	0.12412422	0.1443876	-
8	干燥塔进口的烟气温度	℃	385	383	367.9	346	-
9	干燥塔蒸发量	m ³ /h	2.52	2.52	2.52	1.68	-
10	干燥塔出口烟气温度	℃	160	160	160	160	-
11	锅炉热效率的损失	%	0.065505	0.067137	0.0706425	0.082618	-

注：由于旋转雾化器对进入塔内的烟气流速有一定要求，所以一般 40%负荷时不能投运。

由表 3-3 可以看出，增加了旁路干燥系统后，锅炉热效率损失最大为锅炉负荷 50%THA 时，热效率损失 0.1276188%。可见在 1000MW 机组投运的先浓缩再干燥的工艺对锅炉效率的影响是很小的。

3.5 多效闪蒸浓缩系统+单流体压力式喷雾干燥塔

为了与 3.4 中的技术路线做比较，本文以 1000MW 燃煤锅炉为例分别计算低温浓缩阶段热损失（按照从低低温省煤器取热源计算）及干燥阶段热损失，计算总系统对锅炉效率的影响。总系统处理量 30m³/h 计算，30m³/h 脱硫废水首先经多效闪蒸浓缩系统浓缩至 6m³/h，再分配至锅炉两侧，每台炉的

4 台干燥塔（每台干燥量 1.5m³/h）干燥。根据废水处理量和脱硝出口烟气温度，抽取锅炉的烟气量如下表所示。本系统设计按照 30t/h 的废水设计规模，干燥浓缩液为 6m³/h，浓缩液中含固体量 30%，其中 SS 占 10%，TDS 占 25%，需要干燥水份 5.04t/h，单台炉蒸发水量 2.52t/h。

表 3-4 1000MW 发电锅炉的热效率的损失（多效闪蒸浓缩系统+单流体压力式喷雾干燥塔）

序号	名称	单位	工况				
			BMCR	100%THA	75%THA	50%THA	40%THA
1	机组负荷	MW	1005.55	991.16	780.00	495.02	397.1
2	总烟气量	万 Nm ³ /h	316.18	316.64	252.19	182.22	149.2
3	低低温省煤器前烟温	℃	107.10	106.60	105.50	103.60	101.7
4	低低温省煤器后烟温	℃	104.0	103.4	102.5	100.4	98.6
5	旁路干燥塔数量	个	2(单台炉)				
6	抽取旁路烟气量	m ³ /h	32571.6	32198.9	34084.5	30016.6	25613.9
7	旁路烟气的比率	%	0.100829	0.1035192	0.1204005	0.140056	0.147823
8	干燥塔进口的烟气温度	℃	385	383	367.9	346	327
9	干燥塔蒸发量	m ³ /h	2.52	2.52	2.52	2.08	1.68
10	干燥塔出口烟气温度	℃	160	160	160	160	160
11	锅炉热效率的损失	%	0.06392604	0.06527358	0.0713132	0.0802902	0.0824937

由表 3-4 可以看出，增加了旁路干燥系统后，锅炉热效率损失最大为锅炉负荷 40%THA 时，热效率损失 0.0824937%。可见在 1000MW 机组投运的先浓缩再干燥的工艺对锅炉效率的影响是很小的，且单流体压力式喷雾干燥塔对锅炉效率的影响更小。

4 小结

本文对比计算了目前火力发电厂常用的废水零排放技术对锅炉的热效率损失。

350MW 及以下的机组常用脱硫废水直接喷雾干燥工艺，计算得：该工艺在低负荷时对锅炉的效率影响较大，其中单流体压力式喷雾干燥塔较旋转雾化器干燥塔的影响稍小，且在 40%负荷时仍然能够投运。

660MW 及 1000MW 机组常用低温浓缩+旁路干燥工艺，计算得：该工艺即使在低负荷时对锅炉的效率影响都很小，其中单流体压力式喷雾干燥塔较旋转雾化器干燥塔的影响更小，且在 40%负荷时仍然能够投运。