

电厂烟气净化技术研究现状

杨秉学

计算 1702

学号:120171080212

摘要:鉴于越来越严格的火电厂污染物排放标准,及高含硫的燃煤供应趋势,非常迫切需要开发一种较目前常规技术更为高效及更宽适应性的脱硫技术,并同时考虑节能低碳。通过查找对枣泉电厂进行双吸收塔设计理论分析,对单吸收塔和双吸收塔串联进行技术经济分析比较,实现 99%及以上脱硫效率的,实现超低排放,并降低脱硫运行电耗。

关键词:高效;高硫煤;节能;串联塔

引言

我国是燃煤大国,且煤的硫分变化范围较大,随着煤矿的不断开采,有些优质低硫煤煤田已面临资源枯竭,燃用高硫煤的比重越来越大。电力行业是我国最主要的煤炭消费行业,为降低燃煤过程产生的大量大气污染物,煤电行业积极推进烟气脱硫、脱硝、除尘事业,并做了大量卓有成效的工作,但由于燃煤总量大,据统计 2015 年全国 SO_2 、 NO_x 排放均在 2 000 万 t 以上,远超出我国大气环境承载容量。其中电力行业 SO_2 、 NO_x 排在 800 万 t 左右,占全国污染物排放总量的 35%以上。因此,加强对电力行业大气污染物的排放控制,从总量上削减燃煤电厂大气污染物的排放,对推动我国大气环境污染治理、改善空气质量状况,具有重要意义。

为降低排入大气的 SO_2 总量,GB 13223—2011《火电厂大气污染物排放标准》,对新建电厂 SO_2 排放标准更加严格,要求排放不大于 100 mg/Nm^3 。同时,鉴于持续下降的空气质量,部分重点区域火电企业率先提出超低排放理念,其中 SO_2 排放不大于 35 mg/Nm^3 。对于越来越高的燃煤含硫量,对节能环保理念的推行是一个极大的考验,需对常规脱硫装置改进技术优化。

一、目前国内脱硫装置现状

目前已开发并已稳定运行的脱硫技术主要有湿法烟气脱硫技术(包括石灰石-石膏法、镁法、氨法、双碱法、海水脱硫等)、干法循环流化床技术及半干法烟气脱硫技术。相比较而言,石灰石-石膏湿法烟气脱硫技术由于其高效(通常设定为脱硫效率 95%)、经济、系统稳定等特点,为各行业特别是电力行业广泛接受。统计表明,湿法烟气脱硫技术占世界上已经安装并稳定运行的电厂烟气脱硫装机总容量的 85%,尤其日本占 98%,美国占 92%。我国 20 万 kW 机组以上的大中型电厂,湿法脱硫也占脱硫总装机容量的 90%,60 万 kW 以及以上的大型机组脱硫,至今全部采用湿法烟气脱硫技术。

此外,石灰石-石膏湿法脱硫工艺因其吸收剂特性及工艺复杂性等原因,系统运行时的电耗相对较高,目前通常占发电量的 1%左右,高硫煤机组甚至可高达 2%~3%。随着煤的含硫量持续升高以及超低排放高脱硫效率的要求,该电耗还会持续提高,这会对电厂的运行经济性造成很大的冲击。在崇尚发展经济与节能环保并进的当前大环境下,这是今后脱硫系统优化改进工作中需要着重考虑的问题。串联塔技术就是基于这种高硫煤、高脱硫效率而提出的一项湿法脱硫技术改进优化措施。

二、石灰石 - 石膏湿法脱硫串联塔特性分析

对于石灰石-石膏湿法脱硫来说,浆液 pH 值直接影响脱硫吸收反应的各个环节。SO₂ 的吸收、石膏结晶和碳酸钙的溶解对 pH 值的要求不同,高 pH 值的浆液环境有利于 SO₂ 的吸收,而低 pH 值则有助于石灰石的溶解和石膏结晶。串联塔随烟气流向设置两个独立的吸收塔,即系统中氧化池和吸收池分开。一级塔主要为氧化过程,pH 值设定较低(4~5),能够保证脱硫剂的溶解吸收过程并生成高品质的石膏,并大大提高氧化效率,降低氧化风机电耗;二级塔主要为吸收过程,pH 值较高(5~6),在较低的液气比下,能够保证非常高的脱硫效率,大幅降低循环泵的能耗。pH 值的控制主要通过补充石灰石浆液实现,浆液池中 pH 值下降时,要及时补充新鲜浆液。

石灰石品质对吸收反应过程影响较大,主要体现在石灰石颗粒的粒度和比表面积,吸收剂的粒度单位体积的表面积越大,越有利于脱硫率的提高。FGD 工艺对脱硫剂要求纯度 90%以上。串联塔脱硫系统,石灰石浆液先进入二级塔,再通过浆液排放排到一级塔进一步吸收反应,两级塔工艺延长了石灰石的停留时间,特别是在一级塔中 pH 值很低,实现了颗粒的有效溶解,可以使用品质稍差和粒径较大的石灰石,降低浆液制备系统电耗。

另外,一级塔作为粗脱硫,去除烟气中大多数杂质、灰尘、HCL 和 HF 等,减少杂质对二级塔的吸收反应影响,提高二级塔脱硫效率。为达到 99%以上的脱硫效率,两塔的脱硫效率可分别设置在 90%上下,处于湿法脱硫的经济运行区。而单吸收塔如要达到 99%以上效率,则需要耗费更多的单位能耗。

根据两级塔性能特点,设定不同的参数,以达到效率与能耗最佳。这个最佳设计参数需要计算与试验配合来完成。

三、单塔和串连吸收塔的技术经济比较

石灰石-石膏湿法脱硫系统的脱硫流程,通常设定为,锅炉排出的烟气通过电除尘器除尘后,被引入脱硫净化装置进行脱硫净化,再通入烟囱排放。该脱硫净化装置主要设备为湿法脱硫塔及其辅机。系统的大型耗电设备主要包括克服烟气阻力的脱硫—吸收塔升压风机,及脱硫吸收塔主要附属设备——浆液循环泵、氧化风机等,脱硫附属系统还包括脱硫剂的制备系统及石膏脱水系统,其中耗电较大的设备为石灰石磨机及真空皮带机真空泵等。以下对脱硫吸收塔采用单塔和串联塔的投资与运行费用进行分析比较。

3.1 系统设置区别

整个脱硫系统而言,单塔和串联塔脱硫系统,主要的设备配置区别在于吸收塔的设置为一个或两个,2 种设置导致的投资区别主要为吸收塔及其辅机的配置差异,运行费用区别主要为吸收塔附属系统包括浆液循环泵、氧化风机等设备及克服烟气通过吸收塔造成的压力损失消耗电耗。以枣泉电厂 2×660 MW 烟气超低排放工程进行方案设计分析与研究。

表 1 FGD 入口烟气参数 (BMCR 工况,湿基,实际含氧量)

煤种	$\varphi(\text{CO}_2)/\%$	$\varphi(\text{O}_2)/\%$	$\varphi(\text{N}_2)/\%$	$\varphi(\text{SO}_2)/\%$	$\varphi(\text{H}_2\text{O})/\%$	HCl 质量 浓度/(mg·Nm ⁻³)	FGD 入口		
							烟气流 量/(Nm ³ ·s ⁻¹)	烟气 温度/℃	SO ₂ 质量 浓度/(mg·Nm ⁻³)
设计煤种	12.2	5	73.865 1	0.134 9	8.8	20	633.5	92	3 054
校核煤种	12.2	5	73.865 1	0.134 9	8.8	20	633.5	92	4 213

本工程要求在燃用设计煤种和校核煤种的所有工况下,脱硫后排出的 SO₂ 质量浓度 ≤35 mg/Nm³(干基,6%O₂),脱硫效率 ≥99.2%。2 按照单个吸收塔设置,吸收塔的脱硫效率不得低于 99.2%,如果按照 2 个吸收塔串联配置,两塔的脱硫效率相叠加,原则上一塔 80%左右,二塔不高于 95%。

3.2 单双塔设置相关数据

吸收塔脱硫效率的决定因素为液气比、pH 值、浆液氧化程度、烟气流速等,最关键影响因素是液气比,也就是浆液循环量与烟气流量的比值,液气比越高,循环泵流量越大,脱硫效率也越高。

浆液循环量同脱硫效率的关系曲线为脱硫效率随着浆液循环量的增加而提高,但是随着脱硫效率的提高(超过 95%),浆液循环量不断增加,而脱硫效率不是按比例提高,提高比例逐渐降低。也即是每提高 1%的脱硫效率,效率越高时增加的浆液循环量越高。表明湿法脱硫吸收塔效率在 90%~95%之间,运行最为经济。

根据公司开发的湿法脱硫计算软件,单塔脱硫效率在 99.2%时,采用一层增效板加 6 台循环泵(5 用 1 备),每塔泵的流量为 10 800 m³/h,吸收塔压损 3 530 Pa;采用双塔时,一级塔采用 1 层增效板加 3 台循环泵,脱硫效率 86%,每塔泵的流量为 7 600 m³/h,吸收塔压降为 1 288 Pa;二级塔采用 1 层增效板加 2 台循环泵,脱硫效率 95%,3 台循环泵(2 用 1 备),每台泵的流量为 7 600 m³/h,吸收塔压降为 920 Pa。

3.3 单双塔主要运行电耗比较

3.3.1 浆液循环泵

浆液循环泵的运行电耗

$$P = \sum (Q \times H \times \rho \times g) \div \eta \div \eta_l \div \eta_d \quad (1)$$

式中: Q 为浆液循环泵额定流量, m³/s; H 为循环泵扬程, m; ρ 为浆液密度, 1 150 kg/m³; η 为离心浆液泵效率, 取 85%; η_l : 离心浆液泵效率; η_d 为离心浆液泵电机效率, 取 0.95。H= 吸收塔喷嘴背压 + 管道压力损失(一般取 3m) + 喷嘴净高差压, 本项目经计算, 单塔 5 层喷淋, 每层喷淋层高差 2.2 m, 循环泵扬程分别为 21.3、23.5、25.7、27.9、30.1 m; 双塔一级塔 3 层喷淋, 扬程分别为 21.3、23.5、25.7 m, 双塔二级塔 3 层喷淋, 扬程分别为 21.3、23.5、25.7 m(一层备用)。

经计算, 单塔循环泵电耗 = [(21.3+23.5+25.7+27.9+30.1) × 10 800 ÷ 3 600 × 1150 × 9.81 ÷ 0.85 ÷ 0.95] kW = 5 386 kW, 串联塔循环泵电耗 = [(21.3+23.5+25.7+23.5+25.7) × 7 600 ÷ 3 600 × 1 150 × 9.81 ÷ 0.85 ÷ 0.95] kW = 3 530 kW。单塔比双塔电耗增加 1 856 kW。

3.3.2 升压风机

升压风机电耗

$$P = Q \times p \div (3 600 \times 1 000) \div \eta \div \eta_l \div \eta_d \quad (2)$$

式中: Q 为风量, m³/s; p 为风机的全风压, Pa; η 为风机的效率; η_l 为升压风机联轴器传动效率; η_d 为升压风机电机效率。

单塔与双塔方案升压风机电耗差 $\Delta P = [633.5 \times (273 + 92) \div 273 \times (3 530 - 1 288 - 920) \div 0.85 \div 0.98 \div 0.95 \div 1 000]$ kW = 1 479 kW。

经比较, 脱硫效率不低于 99.2%时, 双塔方案比一塔方案主要设备电耗低 3 335 kW。按年运行小时 5 500 h 计, 枣泉电厂一期 2 × 660 MW 烟气超低排放工程比单塔降低电耗 1834 万度 / 年, 节约电费约 640 万元 / 年(按上网电价 0.35 元 / kW 计算)。增加 1 个吸收塔的投资不到 1 年就可回收成本。串联塔脱硫工艺是高硫煤、高脱硫效率下经济环保可行的方案。

四、结论与建议

枣泉电厂超低排放项目为达到脱硫效率不低于 99.2%, 采用串联塔脱硫工艺, 一级吸收塔脱硫效率为 85%时, pH 值 4.5 左右, 二级吸收塔脱硫效率 95%, pH 值接近 6。由于二

级塔入口烟气含硫极低,约为原烟气的 15%,按照超低硫煤脱硫设计原则,可以取消氧化风。在本工程二级塔设计了氧化风,可以按照实际运行效果来确定使用或不使用。

按照枣泉电厂超低排放项目的设计计算看,燃用设计煤种,单塔运行电费比双塔要高出 640 万 /年,可以看出,燃用高硫煤时,采用常规单塔设计,运行非常不经济,应通过串联塔设计,对 2 个塔进行液气比、效率、pH 值的匹配设计,达到效能最佳的运行状态。

参考文献

- [1] 邱晓燕, 沙 熠, 宁雪姣, 等. 大规模风电接入的智能电网多类型柔性负荷分级优化调度[J], 高电压技术, 2016, 42(7):2084-2901.
- [2] 孙伟卿, 王承民, 张焰, 等. 采用柔性化方法表示刚性约束的电力系统优化模型[J]. 电网技术, 2012, 36(3): 120-126
- [3] 刘振亚, 秦晓辉, 赵良, 等. 特高压直流分层接入方式在多馈入直流电网的应用研究[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(10): 1-7.
- [4] 陆晓楠, 孙凯, Josep Guerrero, 等. 适用于交直流混合微电网的直流分层控制系统[J]. 电工技术学报, 2013, 28(4): 35-42.
- [5] 冯明, 李兴源, 洪潮, 等. 基于多馈入功率恢复因子的南方电网多回直流分层协调控制策略[J]. 电网技术, 2015, 39(10): 2822-2829.
- [6] 汤涌. 电力系统安全稳定综合防御体系框架[J]. 电网技术, 2012, 36(8): 1-5.
- [7] 王奎. 电力系统继电保护的研究[J]. 能源研究与管理, 2016(1): 109-111.
- [8] 戎淑群,徐承亮燃煤电厂烟气净化中双塔串联脱硫技术应用研究与经济分析,1005-7676 (2017) 04-0098-04