

超低排放湿式电除尘器方 案 的 比 较

司徒有功

(大唐南京发电厂, 江苏 南京 210059)

目录

1 湿式除尘器的方案比较.....	1
1.1 柔性电极湿式电除尘技术.....	2
1.2 金属电极湿式电除尘技术.....	2
1.3 导电玻璃钢电极湿式电除尘技术.....	3
1.4 湿式电除尘技术方案的比较.....	4
2 立式玻璃钢结构湿式静电除尘器结构特点.....	5
2.1 阳极系统（沉淀极）.....	5
2.2 阴极系统（电晕线）.....	6
2.3 供电电源.....	6
2.4 间断冲洗系统.....	6
2.5 电场设计.....	6
3 结束语.....	7

【摘要】降低污染物排放量，国内燃煤发电机组开始了新一轮环保改造。介绍了目前所用湿式电除尘器的 3 种类型，即柔性电极湿式电除尘、金属电极湿式电除尘和导电玻璃钢电极湿式电除尘的工作原理和技术特点，并进一步阐述了立式玻璃钢结构湿式除尘器的结构形式和特点，对燃煤发电机组超低排放改造增加湿式除尘器的方案选择具有一定的参考价值。

【关键词】湿式除尘器；立式玻璃钢结构湿式除尘器；沉淀极；电晕线；超低粉尘检测

国家环保部为降低燃煤发电机组污染物排放量，联合发改委、国家能源局下发了关于印发《煤电节能减排升级与改造行动计划（2014—2020 年）》的通知，要求到 2020 年，现役 600MW 及以上燃煤机组、东部地区 300MW 及以上公用燃煤发电机组、100MW 以上自备燃煤发电机组及其他有条件的燃煤发电机组，改造后大气污染物排放浓度基本达到燃气轮机组排放限值。

排放限值为： $SO_2 \leq 35\text{mg}/\text{m}^3$ ， $NO_x \leq 50\text{mg}/\text{m}^3$ ， $烟尘 \leq 10\text{mg}/\text{m}^3$ （标准状态下，下同）。火电厂目前配置的烟尘处理装置是为了满足国家环境保护部颁布的《关于执行大气污染物特别排放限值的公告》（公告 2013 年第 14 号）[1]的要求，电除尘前加低温省煤器、在静电除尘上增加高频电源、增加旋转电极、增加布袋除尘器等方案很难实现 $烟尘 \leq 10\text{mg}/\text{m}^3$ 的目标。

文中介绍了 3 种湿式电除尘技术，并从性能、可靠性和除尘效果等方面进行了比较，着重介绍了立式玻璃钢结构湿式除尘器。

1 湿式除尘器的方案比较

在目前国内外的湿式电除尘器技术中，主要的差别在于阳极板材质的选取。该设备处理的对象为含大量游离水的饱和湿烟气，在工作过程中存在电化学腐蚀、电位差腐蚀、低温腐蚀等，因此阳极板的选取和工作状态至关重要。

主要的湿式静电除尘器的类型或技术流派有 3 种：柔性电极湿式电除尘、金属电极湿式电除尘和导电玻璃钢电极湿式电除尘。

1.1 柔性电极湿式电除尘技术

柔性电极湿式除尘器是利用静电除尘原理，采用新型耐酸碱腐蚀性优良的柔性纤维材料，强化超细颗粒物高效收集与彻底清灰，实现燃煤脱硫烟气清洁达标排放。

阳极板采用耐酸碱腐蚀柔性纤维织物，正常运行耗水量为零。阴极线采用铅锑合金芒刺线，耐腐蚀，广泛适用于饱和湿烟气环境。柔性电极湿式除尘器的指标如下：粉尘去除率（含石膏）： $\geq 70\%$ ；SO₃去除率： $\geq 20\%$ ；雾滴含量：低于 20mg/m³；系统阻力：200~400Pa。

此类型湿式电除尘器已在国电益阳 300MW 机组、国电荃阳 600MW 机组等工程中投运，从运行情况看除尘效果基本达到粉尘浓度设计值。柔性电极湿式除尘器的电压稳定性、抗腐蚀能力等还需进一步提升。

1.2 金属电极湿式电除尘技术

金属电极湿式电除尘器运行的 3 个阶段与干式电除尘器相同：荷电、收集和清灰。喷淋水在湿式静电除尘器下部的灰斗收集后，自流至循环水箱用于喷淋。在灰斗中收集的喷淋水不仅含有灰尘，还溶解了烟气中的 SO₃ 和从烟气脱硫（FGD）携带的水滴，因此 pH 值将呈酸性，为降低腐蚀性，需加入 NaOH 以提高 pH 值。

NaOH 的加入量将根据循环水箱中的 pH 值调节。金属电极湿式除尘器的指标如下：粉尘去除率（含石膏）： $\geq 70\%$ ；SO₃去除率： $\geq 20\%$ ；雾滴含量：低于 100mg/m³；系统阻力：300Pa。

此类型湿式电除尘器已经在国内的华电淄博 300MW、嘉兴电厂 1000MW 等工程中应用。金属电极湿式除尘器阳极板的腐蚀是一个致命弱点，一旦碱性水膜消失（如喷嘴堵塞），腐蚀将无法避免。同时，不间断的喷水增加了烟气的湿度，在湿式电除尘后增加烟气升温装置也必不可少。

1.3 导电玻璃钢电极湿式电除尘技术

导电玻璃钢电极湿式电除尘收尘（雾）是使含尘（雾）气体通过高压直流 4 个过程：（1）气体电离；（2）颗粒荷电；（3）荷电烟尘（雾）运动；（4）荷电颗粒放电。导电玻璃钢电除雾器主要由以下部分组成：上壳体、集尘极室、中下壳体、绝缘子室、阴极系统及内部冲洗装置。其结构如图 1 所示。

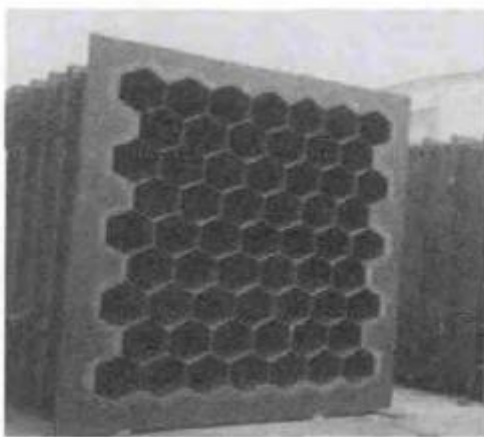


图 1 导电玻璃钢电除雾器结构

导电玻璃钢阳极板，蜂窝结构，具有收尘面积大、荷电均匀、长寿命等特点。玻璃钢电除雾器本体、阳极管组等的材料为碳纤维增强复合塑料，阴极线材料为钛合金。CF 是一种力学性能优异的新材料，它的密度不到钢的 1/4，碳纤维树脂复合材料抗拉强度一般都在 3500MPa 以上，是钢的 7~9 倍，抗拉弹性模量为 23000~43000MPa 亦高于钢。

因此 CF 的比强度即材料的强度与其密度之比可达到 2000MPa/(g/cm³)以上，而 A3 钢的比强度仅为 59MPa/(g/cm³)左右，其比模量也比钢高。导电玻璃钢电极湿式除尘器的指标如下：粉尘去除率（含石膏）：≥80%；SO₃ 去除率：≥20%；雾滴含量：不高于 20mg/m³；系统阻力：300~400Pa。

目前，导电玻璃钢电极湿式除尘器已在国电都匀福泉电厂的 600MW 机组中、国电苏龙电厂、宿迁电厂投运，国电泰州电厂、大唐南京电厂等正在施工中。

1.4 湿式电除尘技术方案的比较

导电玻璃钢电极湿式电除尘技术采用专利的 CF 材质，阳极板具有良好的导电性、耐腐蚀性，表面光滑，系统运行电耗低，不额外增加药品，收集水可直接回用。物耗、能耗低。由于基本不喷水，且阳极吸附极性水液滴和 SO₃ 气溶胶，可有效控制 PM_{2.5} 的排放和避免烟囱雨的发生。

柔性电极湿式电除尘技术采用非金属织物柔性电极作为阳极板，在水浸润后可具备导电性，材质本身也耐腐蚀，不额外增加药品，收集水也可回用。物耗、能耗低。由于基本不喷水，且阳极吸附极性水液滴和 SO₃ 气溶胶，可有效控制 PM_{2.5} 排放和避免烟囱雨的发生。

金属电极式湿式电除尘技术的电极需采用高耐腐的哈氏合金（如 C276）或不锈钢 316L 材料制作，设备内需布置大量喷嘴，阳极板有腐蚀风险，还需对收集水进行废水处理，物耗、能耗高。上述 3 种湿式电除尘技术主要对比参数如表 1。通过比较，导电玻璃钢电极湿式电除尘技术相对于柔性电极和金属电极具有一定的优势。

表 1 湿式电除尘技术主要参数对比表

参数描述	导电玻璃钢	柔性电极	金属电极
电极材质	导电玻璃钢	非金属织物	316L
导电方式	具有良好导电性和防腐性，不需借助外部水源，六角蜂窝结构，荷电均匀，单位体积阳极板面积大	金属织物表面需保持有水湿润且均匀，四角板块结构，荷电相对均匀，单位体积阳极板面积比较大	金属不直接作为电极，使用时需保证表面均匀覆盖水膜，板块平行结构，荷电均匀，单位体积阳极板面积小
冲洗方式	定时冲洗，约 24 h 一次	定期冲洗	需保持金属电极表面水膜
水耗	~10 t/h	~5 t/h	~80 t/h
布置要求	竖直	竖直	水平
系统阻力	~500 Pa	~700 Pa	~1000 Pa
性能对比	阳极板机械强度较高，介于金属极板和柔性极板之间；除尘效率可达 70~85%；间歇冲洗，水耗较小；除尘效率与除尘面积相关，在相同流速及停留时间下总集尘面积大；设备总尺寸较紧凑；本体阻力小于 300 Pa	柔性极板，自身机械强度弱，极板周围需设置张紧装置；除尘效率 70%~85%；利用从烟气中收集的酸液带出灰；平时定期冲洗，水耗小；相同流速及停留时间下总集尘面积大；设备总尺寸较紧凑；本体阻力小于 300 Pa	金属极板，机械强度高，刚性好，不易变形，极间距有保证；除尘效率一般为 70%；水耗大，碱消耗大，对喷嘴性能要求高；收集的酸液稀释加碱中和；相同流速及停留时间下总集尘面积较小；设备总尺寸略大；本体阻力小于 300 Pa
可靠性对比	使用寿命 10~15 a，与产品的质量、制作产品所用的树脂等原材料性能有关；装置内部设喷淋水系统，不连续运行；主体采用碳钢加玻璃鳞片；运行中电场均匀，电压较稳定	使用寿命保证在 2 个大修期；装置内部设喷淋水系统，不连续运行；柔性极板框架材质 2205、2507 不锈钢，其他构件采用碳钢加玻璃鳞片；受阳极材料影响，电场放电距离会发生变化，电压稳定性较差	低温耐腐蚀性能差，但有连续中性喷淋水膜保护，使用寿命 15 a 以上；喷嘴为易损件，对水质要求较高；一旦喷嘴堵塞，易腐蚀、易结垢；无框架，内部构件采用碳钢加玻璃鳞片；一般需增加烟气加热装置
使用效果	可有效控制 PM _{2.5} 的排放和避免烟囱雨的发生	可有效控制 PM _{2.5} 的排放和避免烟囱雨的发生	需配套建设 MGGH，提高烟温以控制烟囱雨的发生

2 立式玻璃钢结构湿式静电除尘器结构特点

立式玻璃钢结构湿式静电除尘器主要由阳极系统（沉淀极）、阴极系统（电晕线）、高压直流供电电源、间断冲洗系统等组成。其结构如图 2 所示。

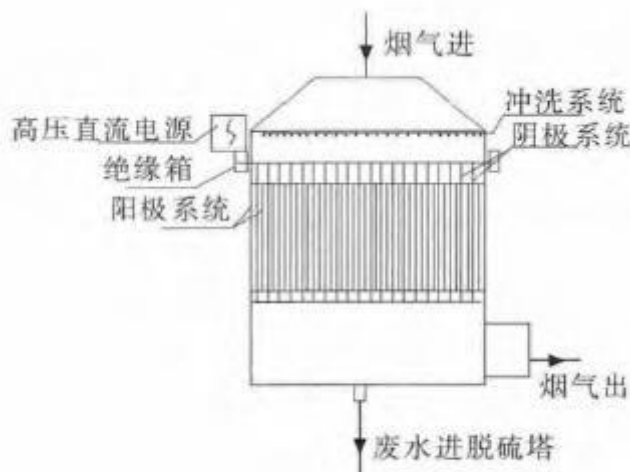


图 2 立式玻璃钢结构湿式除尘器的结构

2.1 阳极系统（沉淀极）

阳极系统中的沉淀极采用立式蜂窝状结构，受力状态好、结构紧凑、六边型结构放电死区小。

沉淀极采用 CF 高导复合材料整体加工而成。该材料是以高分子材料为粘合剂、纤维及其制品作增强材料、高碳纤维为导电功能材料合成的高导复合材料，它具有重量轻、导电性能优良、耐腐蚀性能优异、阻燃性能好、疏水性强等特点，能确保湿式静电除尘器在电厂脱硫之后的烟气中高效稳定运行，有效地除去尘、雾、液滴及气溶胶、PM2.5 等杂质，彻底消除石膏雨现象。

湿式静电除尘器运行时收集下来的液滴在沉淀极表面形成液膜，由于该材料（CF）具有很强的疏水性，能有效阻隔尘和石膏对沉淀极壁的粘接，靠重力自流至下部集液槽，实现自动清灰，收集液可返回脱硫塔内循环使用。

2.2 阴极系统（电晕线）

阴极系统包括电晕线、绝缘箱等。电晕线采用刚性高效芒刺型结构，材料选用耐氯离子及电化学腐蚀的钛合金。可最大限度地提高烟气流速（安全运行气速可达到 3.5m/s），有效解决了阴极系统的腐蚀。

同时，阴极性的固定采用刚性连接，使得放电距离均匀，提高了电压的稳定性，确保立式玻璃钢结构湿式静电除尘器在高烟气流速条件下具有较高的除尘、除雾效率。

2.3 供电电源

立式玻璃钢结构湿式静电除尘器多采用高频电源供电，相对工频电源，其具有转换效率高、高压特性好、供电平衡、电场闪络控制优越等优点。

2.4 间断冲洗系统

为防止少量烟尘的沉积，在沉淀极管上部设置有一层间断喷淋装置，此喷淋装置由冲洗水泵供水，采用高压力及专用的无堵塞冲洗喷嘴，每隔 24~48h 冲洗一次，每次 3~5min。

立式玻璃钢结构湿式静电除尘器正常运行过程中无需冲洗，每台湿式静电除尘器分为多个电场，当需要进行间断冲洗时，控制系统会自动停掉其中一个电场或该电场降压运行，并按程序打开相应的冲洗水阀门，冲洗完成后即可开启该电场。在整个冲洗过程中仍能满足烟气污染物的达标排放。

2.5 电场设计

要想获得性价比最优的湿式静电除尘器，电场设计至关重要（沉淀极管长度的设置以及配套阴极系统的设计）。根据多依奇公式：

$$\eta = 1 - \frac{c}{c_0} = 1 - \exp\left(-\frac{A\omega}{Q}\right) \quad (1)$$

除尘效率取决于沉淀极面积、粒子直径、电流密度、电场强度和电场驱动力等；沉淀极面积与沉淀极管径、管长有关。

经过大量实验研究发现，沉淀极管径 300~330mm、管长 3.5~4.5m 性价比为最佳。沉淀极管过长容易引起电晕线共振、摆动，做功下降；沉淀极管过长会使收集下的石膏、尘等板结在沉淀极管下部不易清除，导致除尘效率下降。

3 结束语

燃煤机组增加湿式除尘器是新一轮环保排放改造的必选方案。立式玻璃钢结构湿式静电除尘器应用在燃煤机组脱硫之后，除尘效率可达到 80% 以上，可有效消除石膏雨现象，同时有效捕集液滴、尘、酸雾等亚微粒子，且在运行过程中不需要喷淋水及碱液，不产生新的二次污染物；收集液可返回脱硫塔循环使用。在燃煤电厂应用该产品可使尾气排放烟尘 $\leq 5\text{mg}/\text{m}^3$ ，达到燃气轮机组的排放标准，具有极高的推广应用价值。

(来源：江苏电机工程 司徒有功)