

运煤系统清洁转运新技术研究

李济川

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的]煤尘污染主要发生在燃煤转运点处,传统转运设备及除尘技术无法有效控制。文章旨在研究当前几种新型清洁转运技术,以从根本上控制煤尘污染、满足环保标准要求。[方法]在总结污染源及当前技术缺陷的基础上,针对干雾抑尘、IFT(3-DEM)、无动力除尘导料槽等清洁转运新技术的原理、特点进行分析,并结合典型实例进行技术经济比较。[结果]研究表明:清洁转运新技术可靠性高、应用范围广,能有效控制燃煤转运过程中煤尘污染,实际效果满足环保标准,具有良好的社会效益和经济效益。[结论]清洁转运新技术能解决煤尘污染面临的环保问题,推荐在项目中应用。

关键词: 煤尘污染; 清洁转运; 干雾; IFT(3-DEM); 经济性

中图分类号: TM611; TK284.5

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)02-0043-06

Research on New Clean Transit Technology of Coal Handling System

LI Jichuan

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] The coal dust pollution mainly occurs at transfer point, and have not been effectively controlled by the traditional equipments and dust removal technologies. This paper aims to study several new clean transport technologies to fundamentally control coal dust pollution and meet environmental standards. [Method] On the basis of summarizing the origin of coal dust pollution and current technical defects, combined with typical examples, the principles and characteristics of new technologies, which were dry mist dust suppression, IFT(3-DEM), non-power dust removal groove and so on, were analyzed and carried out technical and economic comparisons. [Result] Research shows that the new technologies have high reliability and wide application range, and can effectively control coal dust pollution during coal transportation. The actual effect meets environmental protection standards and has good social and economic benefits. [Conclusion] New clean transport technologies can solve the environmental problems faced by coal dust pollution, it is recommended to apply in projects.

Key words: coal dust pollution; clean transfer transport; dry mist; IFT(3-DEM); economic performance

火力发电厂运煤系统承担锅炉所需燃煤的输送保障任务,其转运过程必然产生煤尘。该煤尘污染虽不直接影响机组的达标排放,但是严重影响转运环节的空气质量和运行环境,有悖安全、文明生产的要求,损害运行人员身心健康。随着国家环保标准和要求的不断提高,煤尘污染面临的环保压力将越来越大。

当前运煤系统转运点除尘技术控制煤尘污染实

际效果较差,难以满足环保标准要求,同时运煤系统常规转运设备因技术落后而加剧污染。因此,控制煤尘污染、实现燃煤清洁转运需要可靠、高效的新技术取代传统的常规转运设备及除尘技术。

经过多年的技术与积累,微米级干雾、IFT(3-DEM)、无动力除尘导料槽等多项清洁转运新技术已应用于港口、冶金、煤矿等各个行业,对煤尘污染能有效、可靠控制。

在总结常规除尘技术及转运设备的缺陷基础上,分析研究清洁转运新技术的原理、方法及特点,有助于针对不同环节的煤尘及影响因素确定最佳技术方案,解决煤尘污染问题。

1 运煤系统污染源及常规除尘技术分析

1.1 设计规范要求

现行的设计规程、手册对煤尘控制相关指标及煤尘特性等有明确的规定要求及说明,例如:

“煤尘中含有10%及以上游离二氧化硅时,工作地点空气中的含尘浓度不应大于 1 mg/m^3 ,……除尘系统向室外排放浓度不应大于 30 mg/m^3 ……”^[1]

“煤尘中含有10%以下游离二氧化硅时,工作地点空气中总含尘浓度为:时间加权平均容许浓度不应大于 4 mg/m^3 ……”^[2]

“……煤尘不同于其他系统的粉尘,它属于微尘……大于 $5\text{ }\mu\text{m}$ 的粉尘占12.6%,小于 $5\text{ }\mu\text{m}$ 的粉尘占87.4%,粉尘尘粒基本小于 $10\text{ }\mu\text{m}$ ……”^[3]

上述设计规程明确煤尘防治的目标,也提供了解决问题的技术发展方向和思路。

1.2 运煤系统污染源分析

运煤系统污染源主要集中在卸煤及转运环节。

卸煤设施:翻车机系统将火车车厢翻转 180° 时,燃煤下落与斗壁撞击、混入气体后高速流动,产生扬尘。

转运站:燃煤由高位头部漏斗进入落煤管时,高速冲击管壁,混入空气形成高正压而扩散、溢出,最后冲击低位皮带机,加剧煤尘外溢。

贮煤系统:近年来一般均为全封闭式如圆形煤场或筒仓等,密封效果好,基本无煤尘外溢。

结合工程实践与设计规程、手册规定及要求,煤尘防治新技术应重点关注粒径分布、流动特性、含尘气流流速及流向等。此外,其他因素对煤尘也有较大影响,例如:

燃煤水分较低(低于7%~8%)或燃用褐煤时,更易产生扬尘。

煤流落差越大,诱导风速及风量也越大,常规除尘技术难以有效降尘或除尘。

现有导料槽、缓冲托辊等设备在性能、密封等方面存在诸多问题,也加剧煤尘外溢^[4]。

1.3 常规除尘技术分析

1.3.1 常用除尘设备

喷水雾抑尘:喷头产生水雾将尘源封闭,增加煤尘表面水分使其粘结、粒径增大后落地,或者粘附在大块燃煤表面随煤流带走。

布袋除尘器:主要分为筒形布袋和扁布袋两种,通过滤筒内滤料吸附空气中煤粒、排出洁净气体。

湿式除尘器:利用含尘气流与液滴或液膜相对高速运动实现气尘分离,较大煤尘颗粒与液滴(或雾滴)因惯性碰撞、接触阻留(即拦截效应)捕集,较小颗粒从气流中脱离。主要有文丘里水膜式、多管冲击式和CCJ冲击式等形式。

高压静电除尘器:高压电场使气体电离产生负离子与煤粒碰撞使其带负电,带负电的煤粒移动至正极(集尘极)、释放负离子后在阳极板上聚集;随后排出净化后的空气。

1.3.2 当前除尘技术局限

众多实例证明常规除尘技术难以有效改善、解决煤尘问题,主要问题如下:

水喷雾抑尘:耗水量大、水雾粒径大小及分布不均,入炉煤水分偏高易堵煤。

布袋除尘器:占地面积大,电耗高;滤袋易堵塞且清理困难,维护工作量大,高挥发分煤种积煤易着火,存在安全隐患^[5]。

湿式除尘器:运行能耗高、水量大,水质有一定要求,废水处理工作量大且有造成二次污染的可能性。

静电除尘器:运行效果受粉尘电阻率影响;初投资大、故障率高,维护工作量大,存在高挥发分煤种积煤着火的安全隐患^[6]。

传统除尘设备一般初投资大、运行成本高,实际效果不佳,不仅新建项目基本不再采用,已建项目也陆续停用、淘汰或更换(如图1所示)。



图1 某电厂已经停运的除尘器设备

Fig. 1 A dust collector device that has been shut down in a power plant

2 微米级喷干雾技术

2.1 技术研究

微米级干雾技术基本原理形成于20世纪70年代美国《煤炭时代》杂志刊载的一篇名为“科罗拉多矿业学院解决可吸入尘埃的控制”的文章，该文章明确指出：粒径大小相近的水雾颗粒和尘埃颗粒靠近时，二者吸附、过滤、凝结的机率最大。根据空气动力学原理，含尘气流绕过雾滴时粉尘粒子与液滴以惯性碰撞等作用捕捉，被捕捉的几率与雾滴直径、受力情况有关——水雾粒径越小，颗粒之间相互粘力越大。

煤尘中约87.4%的煤粒粒径小于 $5\ \mu\text{m}$ ^[3]，微米级干雾抑尘装置产生水雾颗粒直径为 $1\sim 10\ \mu\text{m}$ ，两者粒径正好满足干雾原理中较大结合几率的要求。因此，上面提到的微米级水雾颗粒(干雾)与煤尘粒子易于结合且不断增加新的粒子，变大而沉降，从而消除煤尘。上述原理如图2所示。

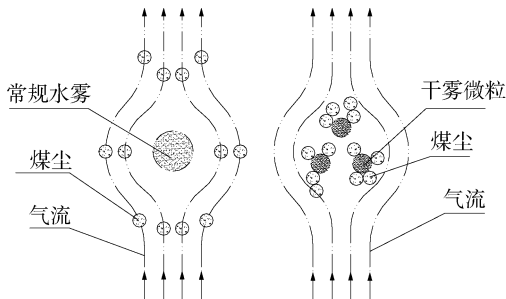


图2 干雾抑尘原理图

Fig. 2 Schematic diagram of dry fog suppression

微雾(干雾)抑尘装置采用模块化设计，由主机(干雾机)、空压机、储气罐、干雾喷头(万向节喷雾模组)、水/气管道等组成。系统采用自动控制系统，根据气候情况还可考虑设置电伴热等辅助部件。干雾抑尘系统常见配置及组合方式如图3所示。

2.2 应用与结论

卸煤系统如翻车机、卸船机等封闭困难的场所因常规除尘技术效果欠佳而运行环境恶劣，有项目实测在卸煤时翻车机区域粉尘浓度在 $200\sim 10\ 000\ \text{mg}/\text{m}^3$ 之间^[7]，远超国家标准。采用微米级喷干雾抑尘技术以后，上述场所煤尘情况明显改善。

华电襄阳发电有限公司翻车机及碎煤机室进行干雾抑尘技术改造后进行实测(采样时长均为16

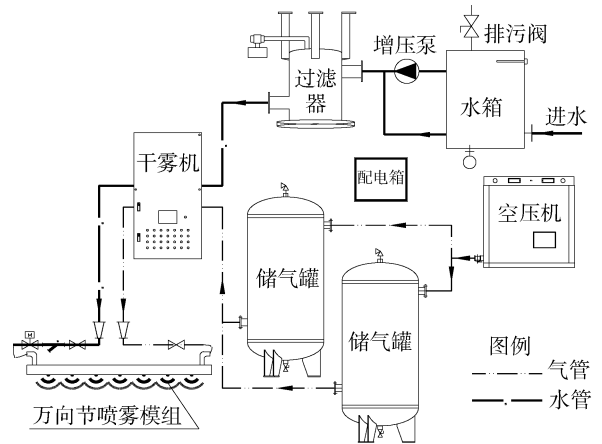


图3 干雾抑尘系统图

Fig. 3 System drawing of dry fog suppression

h)，数据如表1所示：

表1 总悬浮颗粒物(TSP)检测数据

Tab. 1 Test data for total suspended particulate matter mg/m^3

检测状态/位置	碎煤机室	翻车机室
干雾开启状态	2.21	0.90
干雾关闭状态	12.4	9.28

表1中检测数据完全达到环保标准，且煤湿度增重比仅0.02%，该厂翻车机室内的干雾抑尘系统运行作业现场效果如图4所示。



图4 翻车机室干雾作业现场

Fig. 4 Working status of dry fog dust suppression in dumper room

微米级干雾抑尘技术的应用不仅具有显著的环保效果，也带来明显的经济效益。

山东某翻车机室采用该技术后，综合抑尘率99%以上，月回收煤尘约100 t以上；某选煤厂装车站抑尘率达90%以上、煤水分增加小于0.1%、避免喷水降低热值损失约3 200万元^[8-9]。同时，该项技术也可于转运环节加强煤尘控制效果。

3 转运站清洁输送新技术

3.1 技术研究

转运站是燃煤转运的主要场所，头部漏斗、落煤管及导料槽等常规转运站设备按《火力发电厂带式输送机运煤典型设计选用手册》(D-YM96)执行，制造简单、密封性差，煤尘外溢严重，难以满足环保标准要求。

IFT、3-DEM 及无动力导料槽等转运站清洁输送新技术在电力、煤矿、冶金等诸多领域应用后，因可靠、高效而逐步推广并取代上述常规设备^[10]。

3.1.1 IFT 技术

IFT (Inertial Flow Technology 惯性流动技术，以下简称 IFT 技术) 与 3-DEM (Discrete Element Method 离散单元技术)、曲线落煤管等命名不同，但基本原理相似，本文仅以 IFT 技术为代表探讨该类技术。

IFT 技术主要根据离散学原理，利用国际先进的 3D 模拟软件进行三维设计/建模，对物料及空气二相流的状态进行详细研究，模拟分析物料粒子的弹性、黏性、塑性、形变等级、滑动、膨胀和流动性。研究最终成果结合皮带机的运行参数及落料点的高差等对散状物料处理设备进行测试和优化，确定落料设备(三通、落煤管、导料槽等)的最佳结构型式及具体布置。

IFT 技术主要特点为：

- 1) 煤流全程导流由无序坠落改可控滑落，减小诱导风量。
- 2) 严格控制煤流滑落过程的动势能大小和方向变化，兼顾能量衰减与流动顺畅。
- 3) 煤流终点水平出口速度与受煤皮带接近，消除对设备的冲击，减少扬尘。
- 4) 控制煤流轨迹、居中软着陆，消除跑偏和撒煤。

IFT 技术是通过模拟计算落煤管曲线引导煤流集中、连续移动并切换方向，从源头解决煤尘产生、飞扬问题。最终定型的漏斗、落煤管等转运设备是异型形状，材质及厚度等也异于常规类型。应用较广的 IFT 技术 3D 建模图及效果图如图 5 所示。

3.1.2 无动力除尘导料槽

在已建项目中，IFT 技术受土建基础限制较难实施，而无动力除尘导料槽技术重点针对落料点局部应用，改动小、投资省，应用较多。无动力除尘

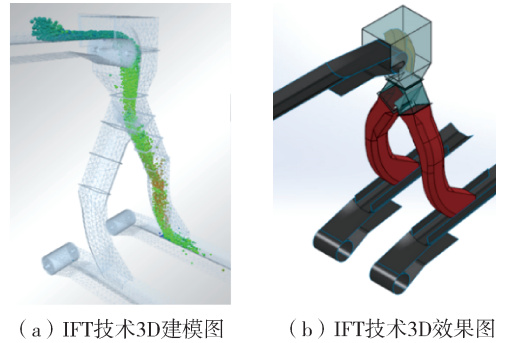
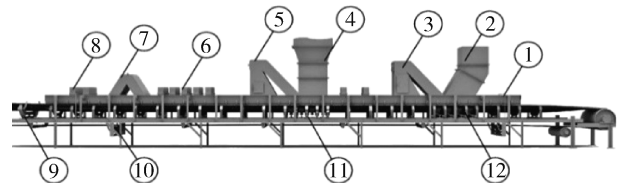


图 5 IFT 转运技术 3D 建模图及效果图

Fig. 5 3D modeling and design sketch of IFT transfer technology

导料槽与 IFT 技术中的导料槽附件不同，是一种相对独立运行的技术和设备。

已投运的典型无动力除尘导料槽主要部件包括多级等压力平衡系统(自动循环)、导料槽本体、阻尼降尘系统等。落煤管与导料槽接口处还有集流导向对中装置，降低流速、风量及导料槽内正压。多级自动循环减压装置模块化制作，根据煤质情况变化可调整。导料槽本体内衬为厚 10 mm 进口耐磨钢板加进口聚氨脂板，防溢裙板采用进口材料。无动力除尘导料槽装置示意图如图 6 所示：



注：①—尾部密封装置；②—落煤管；③—一级循环装置；④—落煤管；⑤—一级循环装置；⑥—阻尼装置；⑦—二级循环卸压装置；⑧—阻尼装置；⑨—上调心托辊组；⑩—下调心托辊组；⑪—皮带机缓冲床。

图 6 无动力除尘导料槽结构示意图

Fig. 6 Schematic diagram of unpowered dust removal guide groove

无动力除尘导料槽基本原理为：落料点处的冲击气流沿皮带正反方向扩散→含尘气流受阻尼胶帘阻滞、反弹后多数进入主循环通道负压区又经原路径持续循环→气流含尘浓度不断增加后在导流板上附着、沉积脱落随物料被运走→剩余含尘气流运动中动能衰减，最终在后段的空气阻尼帘阻滞下完全停滞、消失。

该技术无需外界动力，仅通过煤流的气流扰动、自然沉积脱落并不断循环达到自动除尘的目的。

3.2 应用与结论

IFT 技术(3-DEM)与无动力除尘导料槽等转运

站清洁输送新技术已在多个项目中成功应用，取得良好效果。

例如舟山电厂碎煤机室实施无动力除尘导料槽改造后，专业机构检测#6 皮带尾部运行时空气数据，各项指标表现良好，如表 2 所示。

表 2 煤尘浓度检测数据

Tab. 2 Test data of coal dust concentration mg/m³

采样位置	第 1 次	第 2 次
导料槽出口 1.5 m 处机架左侧 0.5 m 处	1.34	0.36
导料槽出口 1.5 m 处机架右侧 0.5 m 处	0.90	0.93
导料槽中部机架外左侧 0.5 m 处	0.77	0.37
导料槽中部机架外右侧 0.5 m 处	1.23	1.00

该厂正在运行的碎煤机室如图 7 所示，无动力除尘导料槽控制煤尘效果明显。



图 7 舟山电厂正在运行的无动力除尘导料槽

Fig. 7 Running unpowered dust removal guide groove in Zhoushan Power Plant

钦州二期 2 × 1 000 MW 机组采用 IFT 与无动力除尘导料槽组合模式，效果良好，正常运行的煤仓间带式输送机如图 8 所示。



图 8 钦州电厂运行中的 IFT 落煤管及无动力导料槽

Fig. 8 Running IFT chute and unpowered dust removal guide groove in Qinzhou Power Plant

4 新技术辅助措施

煤尘控制除了 IFT、3-DEM 及无动力导料槽等

各项清洁转运新技术外，还需要相关辅助措施确保效果，其中煤尘清扫是重要的辅助手段。

设计规程规定：“运煤栈桥(道)、转运站……应采用水力清扫。煤仓间带式输送机层不宜水冲洗部位的积尘应采用真空清扫。”^[2]

电规总院对国内电厂运煤系统调研统计结果表明：水力清扫方式占 52%；干、湿结合方式的占 40%；干式清扫方式只有 8%。有关清扫方式的推荐统计数据显示：约 76% 推荐水力清扫；约 12% 推荐采用干、湿结合；仅约 6% 推荐采用干式清扫^[11]。

据实践反馈，在采用干雾抑尘、IFT、无动力导料槽等新技术有效控制煤尘后，水力清扫效果更佳，并可降低每日清扫频率和强度。

以某新建 2 × 1 000 MW 机组项目为例，每日节约水力清扫用水量如下：

$$G_r = mg_x a \quad (1)$$

式中： G_r 为每日冲洗水量，m³/d； m 为每日地面冲洗次数，一般取 1~3 次(本项目按减少冲洗 1 次计算)； g_x 为单位面积每次的冲洗水量，取推荐值为 0.01 m³/m²； a 为运煤系统应进行冲洗的面积，该项目按 11 000 m²。

据式(1)每日可节约冲洗用水约 110 m³。

5 技术经济性分析

以我院设计的粤北某新建 2 × 1 000 MW 百万机组项目为例，厂内运煤系统对整合、应用 IFT、3-DEM 及无动力导料槽等各项清洁转运新技术与采用常规除尘技术、设备进行对比分析，其主要技术经济分析结果如后所述。

燃煤清洁转运新技术与常规技术的主要技术差异如表 3 所示。

表 3 燃煤转运除尘技术分析

Tab. 3 Analysis of coal-fired transport dust removal technology

转运环节	常规技术	清洁转运新技术
卸煤系统(翻车机)	喷水雾	干雾
贮煤系统(全封闭)	—	—
转运系统	常规漏斗、落煤管及普通导料槽	IFT 落煤管、无动力导料槽等
除尘设备	布袋、多管冲击等常规除尘器	取消或小型除尘器备用

如前所述,清洁转运新技术在运煤系统转运的各个环节基本全面取代常规除尘及转运设备,高效可靠,先进性及优势明显。

新技术与常规技术的经济差异主要体现在初投资及今后的运行维护费用上,同时节能、节水等环保方面也有可观效益,如表4所示。

表4 燃煤清洁转运方案经济性分析

Tab. 4 Economic analysis of coal-fired clean transportation scheme

方案	传统技术工艺	清洁转运新技术
设备和土建费用/万元	0	+420
节约冲洗水/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	+110	0
年耗电/($\times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$)	+66	0
年运行维护费用/万元	+30	0

由表4可知:采用新技术虽然初投资稍高(增加约420万元),但节能降耗(年省电660 GW·h)、省水(日省水110 m^3),维护工作量小、费用省;而且机组运行时间越长、运行及维护费用更省,实现较好的经济效益和社会效益。

6 结论

微米级干雾技术在卸煤系统(翻车机、卸船机等)应用较广,也可作为转运站煤尘控制的辅助手段或直接替换传统除尘器设备^[12]。

转运站清洁输送技术(IFT、3-DEM等)从源头至终点全程解决转运站煤尘问题,但存在计算复杂、专业3D软件分析周期长、造价高、供货商选择范围小等不足,适用于要求较高的新建项目。

无动力除尘导料槽重点作用于煤尘产生的重要环节——落料点,适应性强、效果好,性价比高,更适用于改造项目或对初投资较敏感的新建项目。

上述运煤系统清洁转运新技术跨越工艺设备与除尘技术界限,针对不同项目情况整合或单独采用,解决煤尘问题并达到环保标准,取得良好的经济效益和社会效益,可靠有效,值得推荐采用。

煤尘治理是一项繁杂、困难的系统工作,本文探讨的各项新技术还需要各方配合才能有效运行,以下建议可供参考:

1)煤尘防治最终效果与业主重视、严格管理密不可分。

2)配套措施对系统正常运行同样重要,如煤表

面水分控制在8%~10%,配置优质纠偏装置、清扫器等。

3)IFT、3-DEM等技术设计周期长,对构筑物布置影响较大,应及时确定厂家、以便及时开展设计;当外部条件如煤质等参数偏离原设计条件、影响设备运行效果时,应根据情况及时调整设备布置,满足现场运行要求。

参考文献:

- [1] 电力规划设计总院. 发电厂采暖通风与空气调节设计技术规范: DL/T 5035—2016 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2016.
- [2] 中国电力企业联合会. 火力发电厂运煤设计技术规程第2部分 煤尘防治: DL/T 5187.2—2004 [S]. 北京: 中国电力出版社.
- [3] 李善化, 康慧, 孙相军, 等. 火力发电厂及变电所供暖通风空调设计手册 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [4] 胡焕国. 带式输送机转运点撒料、扬尘的优化设计 [J]. 产业与科技论坛, 2014, 13(11): 64-65.
- [5] 邵文杰. 干雾抑尘系统在火力发电厂输煤系统中的应用 [J]. 中国设备工程, 2017(22): 110-112.
- [6] 黄华. 干雾抑尘装置在输煤系统的实际应用 [J]. 山东工业技术, 2017(18): 72.
- [7] 李含立. 干雾抑尘技术在翻车机上的应用 [J]. 中国高新技术企业, 2017(10): 109-110.
- [8] 王亚南, 王海燕, 高婧茹. 微米级干雾抑尘技术在火车双车翻车机系统中的应用 [J]. 山东煤炭科技, 2018(6): 185-186.
- [9] 孙虎, 刘建明. 干雾抑尘技术在黑岱沟选煤厂装车站的应用 [J]. 煤炭加工与综合利用, 2010(1): 39-42+59.
- [10] 王自初, 洪斌, 李世民. 3-DEM转运点技术在散货卸船系统中的应用 [J]. 起重运输机械, 2013(10): 92-95.
- [11] 郑启麟. 火电厂运煤系统地面清扫方式及范围 [J]. 电力建设, 2000(2): 25-26+33.
- [12] 原路安. 干雾抑尘技术在热电厂煤皮带机的应用 [J]. 山西电力, 2017(3): 55-57.

作者简介:



LI J C

李济川(通信作者)

1975-, 男, 四川宜宾人, 高级工程师, 重庆大学热能工程专业学士, 主要从事火电厂物料输送设计工作(e-mail) lijichuan@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)