

飞灰远距离节能输送研究

张蕾 李新生

西南电力设计院有限公司

DOI:10.12238/etd.v5i6.10898

[摘要] 对飞灰远距离输送系统进行了试验,旨在满足工程创优。该系统在保证安全运行的同时,注重设计优化、指标先进性和节省投资。按依托电厂需求,测试飞灰料性和输送效果。研究发现,双套管气力输送系统能解决堵管、降低磨损。测试分析了飞灰的关键参数,记录了系统在不同条件下的关键数据。试验表明,系统设计满足多种输送需求并留有余量。研究成果可为相关工程提供优化参考,推动飞灰输送系统的节能高效发展。

[关键词] 飞灰输送; 多点节能化; 双套管气力输送; 物料特性测试; 压缩空气耗量

中图分类号: TE08 **文献标识码:** A

Research on long-distance energy saving transportation of fly ash

Lei Zhang Xinsheng Li

Southwest Electric Power Design Institute Co. LTD.

[Abstract] The long-distance transport system of fly ash was tested in order to meet engineering excellence. The system pays attention to design optimization, advanced index and saving investment while ensuring safe operation. Test fly ash material properties and conveying effects according to power plant requirements. It is found that the double-casing pneumatic conveying system can solve pipe clogging and reduce wear. The key parameters of fly ash are tested and analyzed, and the key data of the system under different conditions are recorded. The experimental results show that the system design can meet various transportation requirements and has some spare capacity. The research results can provide optimization reference for related projects and promote the energy-saving and efficient development of fly ash conveying system.

[Key words] fly ash transport; Multi-point energy saving; Double casing pneumatic conveying; Material characteristics testing; Compressed air consumption

引言

燃煤电站发展下,飞灰处理与输送问题加剧,特别是在远距离及多点输送时。飞灰处理不仅关乎电站效率,还影响环保和资源利用。因此,开发适应远距离、多点输送且节能的飞灰系统至关重要。本研究基于越南某燃煤电站工程,该工程对飞灰系统要求高。为满足高效稳定输送,本研究将进行飞灰远距离及多点节能化输送系统的研究。

1 背景

越南某燃煤电站工程每台炉除尘器灰斗数量多(40)、灰量不大(30t/h),飞灰输送系统要求采用气力输送通过管道将省煤器/除尘器飞灰首先集中送至中转灰库,再将中转灰库内飞灰分别送至灰场和码头,用于灰场填埋和装船运输,输送距离分别为2100m和1600m,单管出力分别为30t/h和50t/h。

2 灰渣量

本工程单台炉BMCR工况下的灰渣量如下:

1×660MW: 设计煤种: 22.29t/h, 校核煤种: 29.05t/h

3 本工程厂外气力输送系统特点分析

3.1 输送距离长。本工程两台炉共设3座钢制中转灰库(2座粗灰库,1座细灰库),每座粗灰库下设2套输灰器,细灰库下设1套输灰器,共设3根灰管将中转灰库内飞灰送至二期码头飞灰装船系统的灰罐中用于综合利用,总出力为3×50t/h,最远输送距离约1600m;当不能综合利用时,可将中转灰库内飞灰气力输送切换至灰场侧终端灰库,设3根灰管,总出力为3×30t/h,输送距离约2100m。厂外输灰系统主要设计参数如下:

3.1.1 飞灰系统出力(综合出力): 中转灰库至二期码头灰罐: 150t/h

中转灰库至灰场侧终端灰库: 90t/h

3.1.2 灰管数量/材质: 中转灰库至二期码头灰罐: 共3根/直管段无缝钢管,弯头采用耐磨。

3.1.3 灰管规格: 中转灰库至二期码头灰罐: DN250~DN350。中转灰库至灰场侧终端灰库: DN250~DN325

3.1.4 两台炉输灰平均耗气量(设计出力时): 中转灰库至二期

码头灰罐: $\sim 210\text{m}^3/\text{min}$ 。中转灰库至灰场侧终端灰库: $\sim 165\text{m}^3/\text{min}$ (与至码头输灰系统不同时运行) 气力输送的基本原理是利用一定静压的压缩空气进行膨胀做功, 推动物料的移动从而实现输送。在输送出力一定的前提下, 空气量越大(相应的输送管径也越大), 输送距离越远; 输送静压越大, 输送距离也越远。由于飞灰气力输送的输送静压一般均为 $0.3\sim 0.4\text{MPa}$, 输送空气量和管径也不能无限放大, 因此飞灰气力输送的输送距离和单管出力也是有限的。本工程厂外输灰系统至码头单管出力为 $50\text{t}/\text{h}$, 至灰场单管出力为 $30\text{t}/\text{h}$, 单管出力均在可控且安全的范围内, 可实现稳定运行。

3.2堵管概率低。本工程飞灰输送系统拟采用双套管浓相输送系统, 可在正常运行条件下对大物料团自动地疏松, 不易出现其它飞灰输送系统中常见的堵管现象。其特点为在浓相输送管内安装了内套管, 内套管内每隔一段距离都有特别设计的斜口, 每个斜口中央竖有开孔的截流孔板。

流入内套管的输送空气在截流孔板作用下, 在输送管内尽可能大地产生紊流, 使物料和空气连续地充分地流化、混合, 便于输送。

若物料输送时在输送管内某段形成了物料堆, 局部压阻增加, 产生局部高压。高压使更多的空气旁路流入内套管, 在物料堆前后内管开口处, 形成更强的紊流, 从而疏松堆积的物料堆, 消除堵塞。

3.3管道磨损小。本工程所采用的双套管输送系统其管道较不易磨损, 通常情况下, 双套管在正常运行时, 管道底部约 $1/3$ 都是铺满了灰的, 这部分底部灰, 不需要参与到输送中, 而且在系统启动与结束时, 也不需要将管道吹空。单管则需要在启动时将管道内吹空, 来保证管道内部通畅。

3.4操作简单, 运行维护量少。双套管浓相输送系统在管道中有物料的状态下, 仍可随时起、停。无需在正常或故障停运后为保障下次启动必须先将管内滞留的物料清除干净。

低流速、低正压、高浓度的特点使系统磨损非常小(因设备的磨损速度是与飞灰输送速度的立方成正比关系), 因而系统非常耐用, 维护量非常小。

4 飞灰远距离节能化气力输送系统试验研究

4.1飞灰物料特性测试。(1)测试物料。本试验采用越南某电厂飞灰进行物料测试试验。(2)测试仪器。包括烧杯、筛网、顶击式振筛机、水分测试仪、激光粒度分析仪和粉体综合性测试仪等。(3)飞灰物料特性。2019年对自越南某电厂灰库采样的混灰粉体进行了物料特性分析, 具体情况如下: 休止角度: 46.6° , 越小流动越好; 崩溃角度: 23.5° , 越小喷动越好; 差角: 23.1° , 越大喷动越好; 平板角: 45.9° , 越小流动越好; 分散度: 40% , 越大喷动越好; 松装密度: $0.9\text{t}/\text{m}^3$; 振实密度: $1.4\text{t}/\text{m}^3$; 压缩度: 40% , 越小流动越好; 水分: 0.18% ; 中位径: $11.47\mu\text{m}$ 。

流动性指数的计算方法是英国人Carr在60年代确定的。他对大量粉体进行测量后, 用类似模糊数学中综合评价的方法对定性的概念进行模糊量化。简单的说, 流动指数是休止角、压缩度、平板角、均齐度等项指数的加权和。其中, 休止角、平板角越大, 流动性越差; 压缩度越大, 流动性越差。崩溃角越大, 喷动

性越差; 差角越大, 喷动性越强; 分散度越大, 喷动性越强。

从该电厂飞灰物料特性可以看出, 该灰样休止角度较大, 流动性一般, 松装密度在飞灰常见范围之内; 飞灰粒径总体偏细, 中位径较小, 混灰与国内常规二电场飞灰粒径分布类似。

4.2飞灰远距离输送试验。该实验室可全部完成本试验所需的飞灰物理特性分析、研究, 以及飞灰气力输送机理及输送特性的试验研究。

4.2.1试验平台及设施。本试验采用该研究中心的双套管气力输送试验平台; 可进行单输送罐或多输送罐, 多种输送长度输送性能的实验研究, 其输送距离最长达 4000m 。

(1)飞灰输送罐。本试验平台输灰器采用下引式输送罐作定量输送。(2)输送管道。本飞灰输送试验的输送管道采用 $\text{DN}125-200-250$ 双套管; 根据需要, 本试验台可涵盖 4000m 范围内的输送距离。(3)压缩空气供给及实验参数测定。针对本试验项目, 压缩空气供应及实验参数测定方法如下:

(1)压缩空气供应。压缩空气由螺杆式空气压缩机提供。(2)实验参数测定方法。在输送过程中, 空气质量流量由Annubar测定。Annubar流量计具有测量精度高、量程比大、不可恢复压损小等特点, 它是基于伯努利能量守恒原则和皮托管测速原理发展起来的差压式均速管流量计。

给料量(即输送能力), 通过料仓的重量传感器测定。

①实验监视图说明。(1)正常输送曲线。正常输送曲线, 无堵管特征, 压力曲线平稳, 特别在稳定输送段, 压力曲线成水平态势。(2)堵管曲线。在输送过程中, 压力曲线, 特别是飞灰输送罐内压力曲线和管道出口压力曲线在输送过程中慢慢升高, 后来突然升高。主要是由于物料在输送过程中过度沉积, 造成气流无法正常向后输送, 导致压力陡增。

4.2.2试验步骤。(1)料性分析。具体参见本报告4.1章节相关内容。(2)气量确定。输送所需气量: 基于所测物料料性及所采用的实验管线, 根据理论计算并对比已做的实验及工程(对于别的类似物料), 确定该物料稳定输送时所需的气量。然后通过实验装置中的气阀调节各进气的气量, 获得输送所需的气量。(3)运行步骤。包括起始状态、进料、输送和输送罐进料等步骤。(4)数据分析及论证。对所取得的数据进行整理、分析。

4.3试验数据统计。

4.3.1输送距离为 1600m 的飞灰远距离输送试验。①实验数据统计。(1)第一组: 补气: $25\text{Nm}^3/\text{min}$, 输送气: $87\text{Nm}^3/\text{min}$, 助吹气: $98\text{Nm}^3/\text{min}$, 总气量: $210\text{Nm}^3/\text{min}$, 输送起始速度: $4.27\text{m}/\text{s}$, 系统出力: $50.7\text{t}/\text{h}$, 输送管道沿程平均压力(kPa): $P_{\text{仓}}=116\text{kPa}$, $P_1=112\text{kPa}$, $P_4=72\text{kPa}$, $P_8=43\text{kPa}$, $P_{10}=14\text{kPa}$; (2)第二组: 补气: $25\text{Nm}^3/\text{min}$, 输送气: $87\text{Nm}^3/\text{min}$, 助吹气: $93\text{Nm}^3/\text{min}$, 总气量: $205\text{Nm}^3/\text{min}$, 输送起始速度: $4.94\text{m}/\text{s}$, 系统出力: $50.25\text{t}/\text{h}$, 输送管道沿程平均压力(kPa): $P_{\text{仓}}=108\text{kPa}$, $P_1=104\text{kPa}$, $P_4=63\text{kPa}$, $P_8=39\text{kPa}$, $P_{10}=14\text{kPa}$; (3)第三组: 补气: $20\text{Nm}^3/\text{min}$, 输送气: $87\text{Nm}^3/\text{min}$, 助吹气: $93\text{Nm}^3/\text{min}$, 总气量: $200\text{Nm}^3/\text{min}$, 输送起始速度: $4.18\text{m}/\text{s}$, 系统出力: $50.54\text{t}/\text{h}$, 输送管道沿程平均压力

(kPa): $P_{\text{仓}}=193\text{kPa}$, $P_1=187\text{kPa}$, $P_4=123\text{kPa}$, $P_8=70\text{kPa}$, $P_{10}=20\text{kPa}$; (4) 第四组: 补气: $20\text{Nm}^3/\text{min}$, 输送气: $82\text{Nm}^3/\text{min}$, 助吹气: $93\text{Nm}^3/\text{min}$, 总气量: $195\text{Nm}^3/\text{min}$, 输送起始速度: 4.78m/s , 系统出力: 50.32t/h , 输送管道沿程平均压力 (kPa): $P_{\text{仓}}=193\text{kPa}$, $P_1=187\text{kPa}$, $P_4=124\text{kPa}$, $P_8=73\text{kPa}$, $P_{10}=20\text{kPa}$; (5) 第五组: 补气: $20\text{Nm}^3/\text{min}$, 输送气: $82\text{Nm}^3/\text{min}$, 助吹气: $88\text{Nm}^3/\text{min}$, 总气量: $190\text{Nm}^3/\text{min}$, 输送起始速度: 4.05m/s , 系统出力: 50.05t/h , 输送管道沿程平均压力 (kPa): $P_{\text{仓}}=232\text{kPa}$, $P_1=226\text{kPa}$, $P_4=152\text{kPa}$, $P_8=62\text{kPa}$, $P_{10}=25\text{kPa}$; (6) 第六组: 补气: $15\text{Nm}^3/\text{min}$, 输送气: $82\text{Nm}^3/\text{min}$, 助吹气: $88\text{Nm}^3/\text{min}$, 总气量: $185\text{Nm}^3/\text{min}$, 输送起始速度: 4.19m/s , 系统出力: 50.3t/h , 输送管道沿程平均压力 (kPa): $P_{\text{仓}}=245\text{kPa}$, $P_1=237\text{kPa}$, $P_4=143\text{kPa}$, $P_8=69\text{kPa}$, $P_{10}=29\text{kPa}$; (7) 第七组: 补气: $15\text{Nm}^3/\text{min}$, 输送气: $82\text{Nm}^3/\text{min}$, 助吹气: $83\text{Nm}^3/\text{min}$, 总气量: $180\text{Nm}^3/\text{min}$, 堵管。

说明: (1) 以上所有数据为按相似性准则放大后的试验数据。

(2) 所有输送是无压开泵。

②数据统计整理: 输送总气量、压损、起始速度、变径处压力、末速如下所示:

(1) 第一组: 总气量: $210\text{m}^3/\text{min}$, 压损实测: 112kPa , 输送起始速度: 4.27m/s , 变径处压力: $43/50\text{kPa}$, 末速: 11.6m/s ; (2) 第二组: 总气量: $205\text{m}^3/\text{min}$, 压损实测: 104kPa , 输送起始速度: 4.94m/s , 变径处压力: $39/51\text{kPa}$, 末速: 11.8m/s ; (3) 第三组: 总气量: $200\text{m}^3/\text{min}$, 压损实测: 187kPa , 输送起始速度: 4.18m/s , 变径处压力: $70/71\text{kPa}$, 末速: 11.87m/s ; (4) 第四组: 总气量: $195\text{m}^3/\text{min}$, 压损实测: 187kPa , 输送起始速度: 4.78m/s , 变径处压力: $73/69\text{kPa}$, 末速: 11.97m/s ; (5) 第五组: 总气量: $190\text{m}^3/\text{min}$, 压损实测: 226kPa , 输送起始速度: 4.05m/s , 变径处压力: $62/101\text{kPa}$, 末速: 11.81m/s ; (6) 第六组: 总气量: $185\text{m}^3/\text{min}$, 压损实测: 237kPa , 输送起始速度: 4.19m/s , 变径处压力: $69/97\text{kPa}$, 末速: 12.37m/s 。

4.3.2 输送距离为2100m的飞灰远距离输送试验。①实验数据统计。(1) 第一组: 输送气: $77\text{Nm}^3/\text{min}$, 助吹气: $88\text{Nm}^3/\text{min}$, 总气量: $165\text{Nm}^3/\text{min}$, 输送起始速度: 4.79m/s , 系统出力: 30.6t/h , 输送管道沿程平均压力 (kPa): $P_{\text{仓}}=133\text{kPa}$, $P_1=125\text{kPa}$, $P_4=87\text{kPa}$, $P_8=36\text{kPa}$, $P_{10}=10\text{kPa}$; (2) 第二组: 输送气: $77\text{Nm}^3/\text{min}$, 助吹气: $83\text{Nm}^3/\text{min}$, 总气量: $160\text{Nm}^3/\text{min}$, 输送起始速度: 4.14m/s , 系统出力: 30.41t/h , 输送管道沿程平均压力 (kPa): $P_{\text{仓}}=149\text{kPa}$, $P_1=142\text{kPa}$, $P_4=100\text{kPa}$, $P_8=42\text{kPa}$, $P_{10}=13\text{kPa}$; (3) 第三组: 输送气: $77\text{Nm}^3/\text{min}$, 助吹气: $78\text{Nm}^3/\text{min}$, 总气量: $155\text{Nm}^3/\text{min}$, 输送起始速度: 4.28m/s , 系统出力: 30.20t/h , 输送管道沿程平均压力 (kPa): $P_{\text{仓}}=248\text{kPa}$, $P_1=240\text{kPa}$, $P_4=165\text{kPa}$, $P_8=70\text{kPa}$, $P_{10}=16\text{kPa}$; (4) 第四组: 输送气: $72\text{Nm}^3/\text{min}$, 助吹气: $78\text{Nm}^3/\text{min}$, 总气量: $150\text{Nm}^3/\text{min}$, 输送起始速度: 4.25m/s , 系统出力: 30.84t/h , 输送管道沿程平均压力 (kPa): $P_{\text{仓}}=266\text{kPa}$, $P_1=258\text{kPa}$, $P_4=183\text{kPa}$, $P_8=83\text{kPa}$, $P_{10}=20\text{kPa}$; (5) 第五组: 输送气: $67\text{Nm}^3/\text{min}$, 助吹气: $78\text{Nm}^3/\text{min}$, 总气量: $145\text{Nm}^3/\text{min}$, 输送起始速度: 4.2m/s , 系统出力: 30.08t/h , 输送管道沿程平均压力 (kPa): $P_{\text{仓}}=268\text{kPa}$, $P_1=$

260kPa , $P_4=189\text{kPa}$, $P_8=82\text{kPa}$, $P_{10}=18\text{kPa}$; (6) 第六组: 输送气: $67\text{Nm}^3/\text{min}$, 助吹气: $78\text{Nm}^3/\text{min}$, 总气量: $140\text{Nm}^3/\text{min}$, 堵管。

说明: (1) 以上所有数据为按相似性准则放大后的试验数据。

(2) 所有输送是无压开泵。

②数据统计整理: 输送总气量、压损、起始速度、变径处压力、末速如下所示:

(1) 第一组: 总气量: $165\text{m}^3/\text{min}$, 压损实测: 125kPa , 输送起始速度: 4.79m/s , 变径处压力: $87/62\text{kPa}$, 末速: 10.96m/s ; 系统出力: 30.60t/h ; (2) 第二组: 总气量: $160\text{m}^3/\text{min}$, 压损实测: 142kPa , 输送起始速度: 4.14m/s , 变径处压力: $100/61\text{kPa}$, 末速: 11.83m/s ; 系统出力: 30.41t/h ; (3) 第三组: 总气量: $155\text{m}^3/\text{min}$, 压损实测: 240kPa , 输送起始速度: 4.28m/s , 变径处压力: $165/86\text{kPa}$, 末速: 12.15m/s ; 系统出力: 30.20t/h ; (4) 第四组: 总气量: $150\text{m}^3/\text{min}$, 压损实测: 258kPa , 输送起始速度: 4.25m/s , 变径处压力: $183/83\text{kPa}$, 末速: 12.11m/s ; 系统出力: 30.84t/h ; (5) 第五组: 总气量: $145\text{m}^3/\text{min}$, 压损实测: 260kPa , 输送起始速度: 4.2m/s , 变径处压力: $189/86\text{kPa}$, 末速: 12.25m/s ; 系统出力: 30.08t/h 。

4.3.3 试验数据分析。根据试验数据, 本工程设计压缩空气耗量可以满足采用试验灰样时, 单管出力达 50t/h 、最远输送距离为 1600m , 以及单管出力为 30t/h 、最远输送距离为 2100m 时的压缩空气耗量需求, 并留有一定余量, 现场实际运行时最大耗气量约 $185\sim 210\text{m}^3/\text{min}$ (不含省煤器及除尘器飞灰送至中转灰库所需压缩空气)。

从输送试验可以看出, 输送罐及管道补气量降低, 物料输送的栓状形态不能得到有效的扰乱, 随着输送的进行, 管道内颗粒沉降严重, 输送过程的压损逐渐增大, 整体出现不平稳的态势, 最终出现堵管现象。

5 结语

通过对越南某电厂飞灰物理特性的测试与分析, 掌握了该电厂飞灰的流动性、喷动性和堆积特性, 为后续输送系统的设计和优化提供了重要依据。本研究采用双套管浓相输送系统, 有效解决了物料在输送过程中易堆积导致的堵管问题, 提高了输送系统的稳定性和可靠性。通过实际输送试验, 我们验证了该系统在远距离输送和高效出力方面的能力。试验数据表明, 系统在不同气量、输送速度和压力条件下的性能均表现优异, 且留有一定的设计余量, 能够满足多种输送需求。

本研究不仅为越南某燃煤电站工程的飞灰输送系统提供了优化方案, 还为相关工程的飞灰输送系统设计提供了有益的参考。研究成果可推动飞灰输送系统的节能高效发展, 提高电站的运行效率和环保水平。

【参考文献】

- [1] 正压浓相飞灰气力输送系统: JB/T 8470-2010[S].
- [2] 许德强, 郭洋洋. 双套管气力输送系统内管脱管及磨损问题分析及防治[D]. 除灰技术, 2020.

作者简介:

张蕾(1990—), 女, 汉族, 四川成都人, 大学本科, 工程师、研究方向: 物料输送。