

某火电厂 300 MW 机组省煤器灰气力输送系统实验研究

邱晓芬

(福建龙净环保有限公司,福建 龙岩 364000)

摘要:针对某火电厂 300 MW 机组省煤器灰气力输送系统运行不顺畅,常常出现振动、堵管等问题,分析了负压输送、稀相正压输送和密相正压输送工艺各自的技术特点,设计了一套气力输送实验系统;并对该火电厂飞灰进行料性分析和气力输送实验,对其气力输送的稳定性进行了探讨。实验结果表明:对粒径粗、分布宽、较重的省煤器灰采用稀相正压输送,更能提高输送系统的稳定性。

关键词:省煤器灰;气力输送;稳定性;实验研究

中图分类号:TH48 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2017)02-0046-05

管道气力输送技术是一项涉及流体力学、材料科学、自动化技术以及制造技术的综合性技术,它以密闭式输送管道替代传统机械输送,是清洁生产中的一个重要环节。与常见的输水、输油和输气等单相流管道输送不同,管道气力输送属于气固两相流输送技术,具有密闭、安全、清洁、易于实现自动化和连续操作等优点,适合散料输送的现代化物流系统,广泛运用于化工、水泥、电力、粮食等行业^[1]。

某火电厂拥有多台 300 MW 机组,其飞灰均采用密相气力输送。在密相气力输灰系统运行中,发现省煤器灰气力输送系统常常出现振动、堵管等现象,导致整个系统运行效率低下、不安全^[2]。为解决该问题,本文通过比较分析几种常见气力输送方式,设计了一套气力输送实验系统,对该火电厂省煤器灰进行料性分析和输送实验。结果表明:对于粒径粗、分布宽且较重的省煤器灰,采用稀相输送更能提高输送系统的稳定性。

1 几种气力输送方式比较

依据物料在管道中的流动状态,以及气流形成方法的不同,气力输送可分为负压输送式、稀相正压式和密相正压式 3 种类型^[3]。

1.1 负压输送式

负压式气力输送又称吸气式输送,它是将抽

真空设备安装在系统末端,靠抽吸系统内的空气,在输送管道中形成负压,物料通过吸嘴同空气一起进入管道,并被输送至储罐,空气则经除尘器净化后排入大气^[4]。这种输送方式具有以下特点:

- (1)输送装置处于负压状态下工作,不会造成粉尘的外漏,能够保证车间内的卫生条件;
- (2)适宜于物料从几处向一处集中输送,在无法安设压气式供料系统时可以用吸气式输送;
- (3)适用于堆积面广或存放在深处的物料的输送;
- (4)供料装置相对于正压式气力输送要简易得多;
- (5)为提高系统吸送物料的效果,要求料仓处各装置具有良好的气密性,致其装置结构较为复杂;
- (6)物料的输送量、输送距离受到吸力大小限制,且动力消耗较高。

负压气力输送系统主要用于燃煤电厂的灰处理和港口等的散料输送。相比于正压输送系统,负压气力输送投资较省,可以多点受料;另外,由于其设备和管路在真空状态下运行,只能发生内泄漏,因此环境比较清洁。缺点是输送距离较短,输送的极限距离为 200 m,实际工程宜按小于或等于 150 m 设计,单个系统最大出力一般为 40 t/h。

1.2 稀相正压输送式

稀相气力输送属于颗粒悬浮输送。颗粒在管道中分布比较均匀,依靠高速气流所形成的动能使物料处于悬浮状态向前运动。在稀相气力输送过程中,物料的输送速度大于其悬浮速度,通常采用的风速在 15 m/s 以上^[5]。

稀相正压输送系统输送距离在 400 m 左右。因其设备简单、占地面积小、密闭性好、配置灵活,稀相正压输送已成为目前广泛采用的气力输送方式。由于稀相输送靠动能转换传递能量,且在悬浮状态下进行物料输送,因而固气比很低(通常为 5~10);其对风速的要求较高,输送过程中能耗也较高;另外,输送过程中悬浮颗粒间以及颗粒与管壁间的摩擦不仅会产生能量损失,还会造成严重的管道磨损。

1.3 密相正压输送式

密相正压输送又称为浓相输送^[6]。对于密相气力输送,物料在管道中以非悬浮的状态向前输送;在输送过程中,物料的输送速度低于其悬浮速度;物料在管道中不再均匀分布,而呈密集状态,但管道并未堵塞,因而仍然是依靠空气的动能向前输送。

与稀相气力输送相比,密相气力输送具有以下优点:

- (1)输送能力大,是同等管径稀相气力输送的几倍;
- (2)输送速度低,可大大减少物料与管壁的摩擦,使能耗降低;

(3)输送所需气量少,在扩大输送量时无需扩大气源,节省动力源。

比较分析 3 种气力输送方式可知,相对负压输送和稀相正压输送,密相正压输送方式更节能环保,这也是目前密相气力输送被广泛关注的原因。如今,不少电厂的气力输送系统就是沿用这种传统的“经验方法”,忽略了物料本身特性和系统实际工作环境,一味强调采用密相正压输送,导致系统出现振动、堵管现象。事实上,相比稀相输送,密相正压输送能耗更大,稳定性和安全性也随之降低。

2 气力输送实验系统建立

现以某火电厂 300 MW 机组的省煤器灰气力输送系统为例,对其进行针对性的实验分析,探讨采用合理输送方式的重要性。

为了提高该火电厂省煤器灰气力输送的稳定性,找到适合于该类型物料的输送方式,针对该电厂 300 MW 机组气力除灰系统工程的特点(当量输送距离达到 600 m 以上、输送量达到 96 t/h),建立图 1 所示的气力输送实验系统。

图 1 采用 DN100 输送管,弯头 ($R/D = 8, 90^\circ$) 10 个,2 台 0.75 m^3 下引式仓泵(A、B 仓泵),总爬升高度 18 m,总实际输送长度 243 m。2 台仓泵可单独或同时输送,也可通过交叉运行达到连续输送(即一台仓泵输送,另一台仓泵进料、加压、等待)。

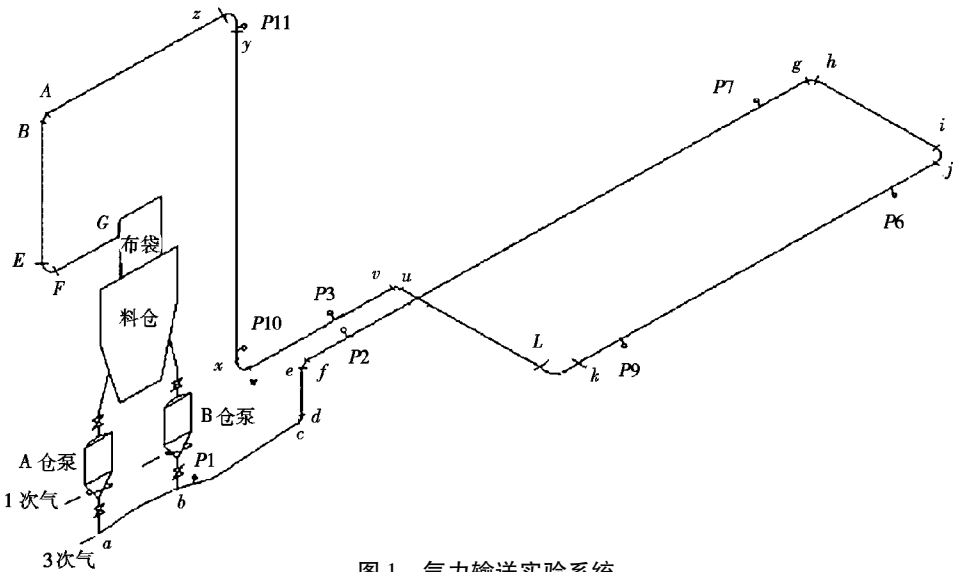


图 1 气力输送实验系统
Fig. 1 Dilute phase pneumatic conveying system

图 1 中管道各测压点间距分别为 $P1-b$ 点 1.91 m; $P1-P2$ 点 31.12 m; $P2-P7$ 点 52.78 m; $P7-P6$ 点 28.04 m; $P6-P9$ 点 49.03 m; $P9-P3$ 点 25.28 m; $P3-P10$ 点 11.56 m; $P10-P11$ 点 10.16 m; $P11$ 至料仓直管段长 33.21 m。

3 实验分析

为使实验更加贴近实际情况,物料采用电厂提供的大约 3 t 的省煤器灰。实验时,首先对省煤器灰灰样加以分析比较,测试其粒径及堆积密度,然后根据所测料性,运用“物料管道输送方式分类图”判别物料能否实行密相输送;之后,为了验证物料分类图的准确性、保证实验结果的可靠性,先利用一半灰样进行大范围实验(大量实验后飞灰粒径往往发生变化),待取得所需的输送方式及实验数据后,再用另一半灰样进行输送,论证所取得的可靠运行条件的准确性。

3.1 灰样料性分析

在火力发电厂气力除灰系统中,粉煤灰颗粒

的质量频率分布称为分散度(粒度分布),是指按照不同粒径段将粉煤灰试样划分为若干个粒组,不同粒组内的灰样质量(g)称为组频数,试样总质量为全频数(g),某个粒组的灰样质量(组频数)占试样总量(全频数)的百分比称为组频率^[7]。

某火电厂省煤器灰灰样中位径 305 μm ,最大粒径 1 mm,堆积密度 $0.86 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,灰样料度分布见图 2。从图 2 可以看出该灰样具有粒径粗、分布宽、较重的特性。

图 3 为用于选择气力输送方式的“物料管道输送方式分类图”^[8]。图 3 中水平轴为中位粒径,纵轴为堆积密度,XY 线及 OO 线将整个图分成 3 组。其中 PC1 组的物料可以流畅而平稳地从稀相到流态化密相输送(主要针对粉料),PC2 组物料可以以稀相、不稳定区或栓流输送,PC3 组物料只能以稀相输送。XY 线为粗细物料分界线,其左边为细料,右边为粗料;OO 线用于判别粗料能否以料栓形式输送,落在 OO 线上方的粗料只能稀相输送,否则可实现料栓输送。

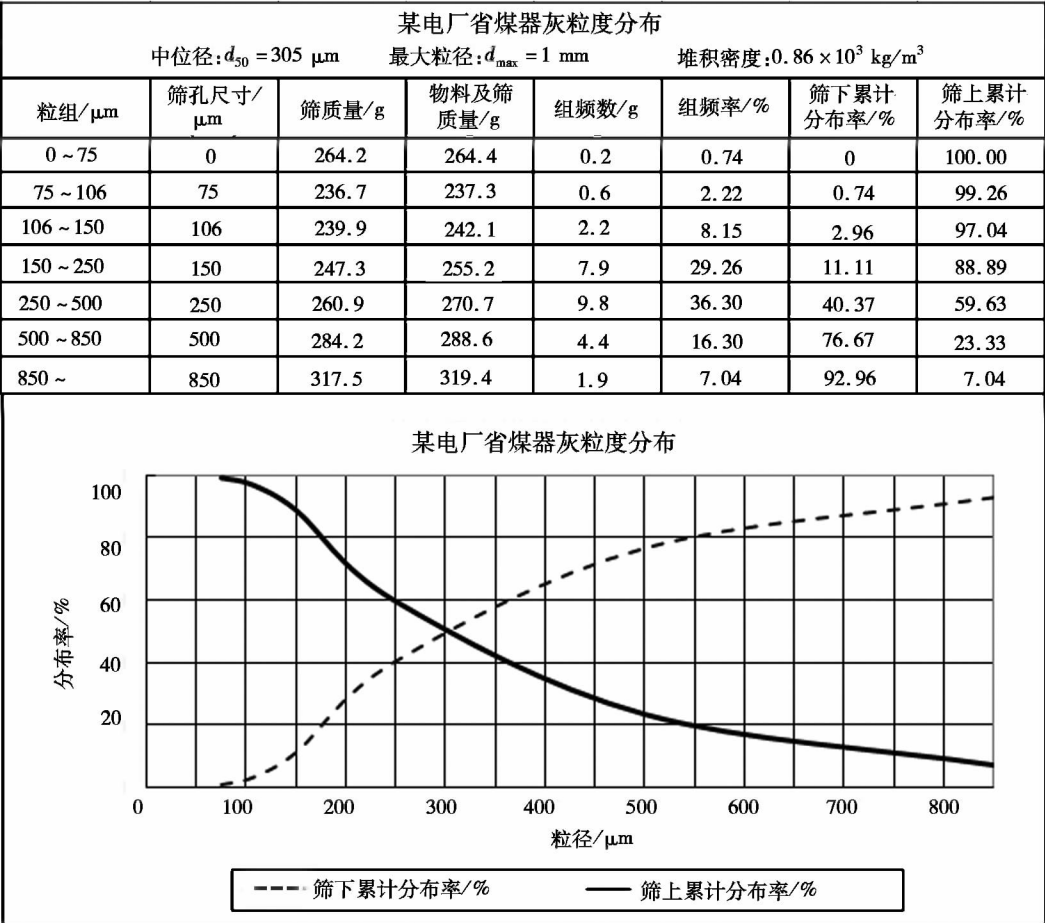


图 2 某电厂省煤器灰样料度分布图
Fig. 2 Distribution diagram of the economizer ash sample sizes in a power plant

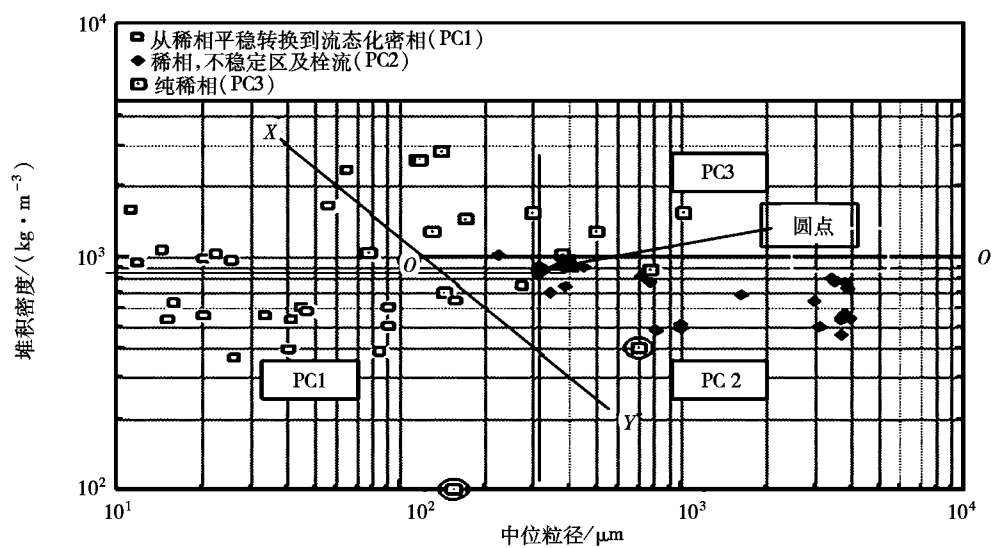


图 3 物料管道输送方式分类图

Fig.3 Classification diagram of material pipeline conveying mode

根据图 2 所测得某火电厂省煤器灰实验前的飞灰料性,在“物料管道输送方式分类图”中得到对应的圆点(见图 3),该圆点落在 PC2 组,说明该电厂飞灰输送适合采用稀相正压输送。

3.2 实验结果分析

为了验证该电厂省煤器灰需采用稀相气力输送这一判断,利用图 1 气力输送系统进行实验。为了取得稳定输送条件,在设置实验装置后(包括将灰样装入顶部料仓),需要对灰样进行大范围的气力输送,表 1 为 17 次实验结果的数据记录。

表 1 实验数据参数表

Table 1 Parameter table of experimental data

实验次数	$m_{\text{fl}}(\text{A})/(\text{kg} \cdot \text{s}^{-1})$	$m_{\text{fl}}(\text{B})/(\text{kg} \cdot \text{s}^{-1})$	$m_{\text{B}}/(\text{kg} \cdot \text{s}^{-1})$	$m_{\text{s}}/(\text{t} \cdot \text{h}^{-1})$	m^*	$P_{\text{开}}(\text{A})/\text{kPa}$	仓泵压力 P/kPa	P_1/kPa	$V_{\text{a1}}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$V_{\text{a2}}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$P_{1\text{c}}/\text{kPa}$
1	0.011 6	0	0.233 3	12.12	13.75	0	209	206	8.55	25.98	179
2	0.013 4	0	0.252 8	12.27	12.80	0	226	225	8.75	28.24	184
3	0.013 4	0	0.252 8	8.15	8.50	0	209	199	9.51	28.24	139
4	0.013 4	0	0.252 8	8.39	8.75	0	202	194	9.67	28.24	139
5	0.013 4	0	0.252 8	10.48	10.94	257	220	212	9.11	28.24	160
6	0.013 4	0	0.261 2	8.13	8.22	0	200	194	9.98	29.13	139
7	0.013 4	0	0.261 2	8.36	8.46	0	214	203	9.68	29.13	139
8	0.013 4	0	0.261 2	8.95	9.05	0	207	200	9.78	29.13	146
9	0.013 4	0.013 40	0.261 2	7.82	7.91	0	210	188	10.18	29.13	131
10	0.037 98	0.035 54	0.264 90	16.18	14.84	262	272	260	8.99	32.13	224
11	0.037 98	0.035 54	0.264 90	16.34	14.99	261	275	257	9.07	32.13	231
12	0.052 89	0.051 67	0.264 90	17.42	15.23	265	299	276	9.03	33.71	246
13	0.052 89	0.051 67	0.264 90	17.96	15.70	268	299	274	9.08	33.71	246
14	0.058 54	0.057 78	0.254 03	20.65	18.35	273	306	298	8.40	33.16	279
15	0.058 54	0.057 78	0.254 03	20.82	18.50	273	316	301	8.33	33.16	279
16	0.058 54	0.057 78	0.254 03	20.49	18.21	275	308	305	8.25	33.16	279
17	0.058 54	0.057 78	0.254 03	20.07	17.84	267	308	299	8.37	33.16	273

注: $m_{\text{fl}}(\text{A})$ 为往 A 仓泵提供的气化气量; $m_{\text{fl}}(\text{B})$ 为往 B 仓泵提供的气化气量; m_{B} 为直接往输送管道提供的气量,从而总气量 $m_{\text{f}} = m_{\text{fl}}[\text{A}]$ 或 $m_{\text{fl}}(\text{B})] + m_{\text{B}}$; m_{s} 为飞灰输送量; m^* 为灰气比,通过计算获得; V_{a1} 为输送管道起点输送速度; V_{a2} 为输送管道出口点输送速度; $P_{1\text{c}}$ 为 P_1 点压力预测值。

实验相关说明如下:

- (1)在第 1~3 次实验中,仓泵出料口($\phi 100$)未加装孔板限制出料,且 3 次气量相对偏小,不易把管道内的物料及时输走,输送压力持续上升,具有堵管倾向,输送不稳定。
- (2)为了取得稳定输送,在第 4~12 次实验中,仓泵出料口加装了 $\phi 40$ 孔板用于限制出料,通过调节气量及比例后可以实现稳定输送。
- (3)为了提高输送量,在第 13~17 次实验中,仓泵出料口限制出料孔板由 $\phi 40$ 改为 $\phi 50$,通过调节气量及比例后可以提高输送量。
- (4)在第 9~17 次实验中,实行 A、B 仓泵交叉运行。

(5)在第 10~17 次实验中,实现了在大输送量下的稳定输送。

由表 1 可见,输送系统在稳定输送时的输送灰气比均小于 20,说明该电厂的省煤器灰适合采用稀相输送,这与上述理论判别法相一致;同时由表 1 可见,系统在稳定输送时要求起始点的最小速度 $V_a > 8.25 \text{ m/s}$,转化成系统设计中常用的 Froude 数为 $Fr = V_a / (9.81 \times D)^{0.5} > 8.33$ 。

3.3 对比实验验证

基于上述所做的大量实验,确定了该电厂省煤器灰的输送方式为稀相输送,在该输送方式下,将所剩的另一半灰样进行 3 次实验,结果见表 2。

表 2 验证实验数据表
Table 2 Data sheet of verification experiment

实验 次数	$m_n(\text{A})/(\text{kg} \cdot \text{s}^{-1})$	$m_n(\text{B})/(\text{kg} \cdot \text{s}^{-1})$	$m_B/(\text{kg} \cdot \text{s}^{-1})$	$m_s/(\text{t} \cdot \text{h}^{-1})$	m^*	$P_{\text{开}}(\text{A})/kPa$	仓泵压力 P/kPa	P_1/kPa	$V_{a1}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$V_{a2}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	P_{1c}/kPa
1		0.058 76	0.253 28	15.61	13.90	274	323	305	8.24	33.10	220
2	0.059 34	0.058 76	0.268 88	15.32	12.99	265	338	321	8.32	34.76	219
3	0.059 34	0.058 76	0.268 88	15.16	12.85	263	332	315	8.44	34.76	219

对比表 1、表 2 中的实验数据可以看出:在同样的实验条件下,表 1 和表 2 的灰气比 m^* 均小于 20,所需的起始点最小输送速度(或 Froude 数)变化不大,说明该系统能够稳定输送物料。

4 结论

管道气力输送虽是一门年轻的学科,但由于其节能环保的特点,已经越来越多地用于粉粒状

物料的输送。实验研究表明不同气力输送方式各有不同的适用范围,只有结合经验数据图和实验数据,方能设计出合适的气力输送系统。本文在对几种气力输送方式分析比较基础上,针对实际案例,结合理论判断和实验结果,得出对于粒径粗、分布宽、较重的省煤器灰,采用稀相输送更能提高输送系统稳定性的结论。

参考文献:

[1] 曹宪周,鲁选民. 气力输送技术的发展及其在粮食行业中的应用[J]. 粮食与饲料工业,2011,34(6):14-18.

[2] 张荣善. 散料输送与贮存[M]. 北京:化学工业出版社,1994:274-315.

[3] 郑祥玉,徐尧. 气力输送工艺在煤粉输送中的应用[J]. 洁净煤技术,2015,21(2):85-88.

[4] 洪江. 气力输送方式的分类及划分界限的确定: II. 划分界限的确定[J]. 化工冶金,1993,14(2):182-188.

[5] SANCHEZ L,VASQUEZ N,KLINZING G E, et al. Characterization of bulk solids to assess dense phase pneumatic conveying[J]. Powder Technology,2003,138(2):93-117.

[6] 王伟. 大型自备电厂项目的工艺与设备选择[J]. 化肥设计,2013,51(4):24-27.

[7] 原永涛,蒋学典,孙宝森,等. 火力发电厂气力除灰技术及其应用[M]. 北京:中国电力出版社,2002:8-10.

[8] 潘仁湖. 散料料性及其气力输送流动模式[J]. 硫磷设计与粉体工程,2006(3):1-6.