

煤炭洁净燃烧

煤粉罐车卸料速度影响因素研究

张 鑫^{1 2 3} 刘振宇^{1 2 3} 李小炯^{1 2 3} 李 婷^{1 2 3}

(1. 煤炭科学研究总院 节能工程技术研究分院, 北京 100013; 2. 煤炭资源高效开采与洁净利用国家重点实验室, 北京 100013;
3. 国家能源煤炭高效利用与节能减排技术装备重点实验室, 北京 100013)

摘 要: 为解决工程实践中煤粉罐车向煤粉塔气力送粉时间过长的问题, 对输送阻力进行了计算, 并对煤粉罐车的卸料速度影响因素进行了分析。结果表明: 上粉管的压力损失由两相流摩擦压损、煤粉颗粒重力压损以及煤粉颗粒加速动力压损 3 部分构成。当煤粉塔高度由 23 m 变为 28 m 时, 同样输送 20 t 煤粉所需时间由 50.0 min 延长到 58.5 min, 延长了 17%。若保证输送时间不变, 则输送管内径应由 100 mm 增至 106 mm, 此数据与实际仍有较大偏差, 这是由于管道内存在其他阻力因素或煤粉水分较高导致。因此, 为保证良好的输送效果, 建议采用锅炉房或厂区内的洁净干燥压缩空气作为上粉输送气体。

关键词: 煤粉; 罐车; 煤粉塔; 输送; 阻力

中图分类号: TK223

文献标志码: A

文章编号: 1006-6772(2014)05-0090-03

Influencing factors of pneumatic conveying efficiency of coal powder tank car

ZHANG Xin^{1 2 3}, LIU Zhenyu^{1 2 3}, LI Xiaojiong^{1 2 3}, LI Ting^{1 2 3}

(1. Energy Conservation and Engineering Technology Research Institute, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China;

2. State Key Laboratory of Coal Mining and Clean Utilization (China Coal Research Institute), Beijing 100013, China; 3. National

Energy Technology and Equipment Laboratory of Coal Utilization and Emission Control (China Coal Research Institute), Beijing 100013, China)

Abstract: To minimize the conveying time from coal powder tanker to tower, calculated the resistance during conveying. Analyzed the influencing factors of unloading speed of coal powder tank car. The results show that the pressure loss of conveying pipe consists of two-phase flow friction pressure loss, coal powder gravity pressure loss and accelerated dynamic pressure loss. When the height of silo increases from 23 m to 28 m, the conveying time of 20 tons coal powder delays from 50 min to 58.5 min, by 17%. Keep the conveying time unchanging, the inner diameter of pipe should increase from 100 mm to 106 mm which is different from the actual situation. The possible reasons are resistance of pipe or high moisture of coal powder. To guarantee the better conveying effects, the clean, dry and compressed air in boiler room or plant should be used as powder conveying gas.

Key words: coal powder; tank car; coal powder tower; convey; resistance

0 引 言

煤炭科学研究总院研发的集中配送式煤粉工业锅炉系统是由全封闭式罐车将煤粉燃料统一配送至各锅炉房的煤粉存储设备煤粉塔中^[1]。煤粉塔配

置有上粉管,其高度与塔高基本一致,是罐车与煤粉储罐的气力输送连接通道。在某工程项目中发现:当煤粉塔高度变化时,使用同样的罐车,输送相同量的煤粉,输送时间差异较大。由于上粉管长度对煤粉输送特性的影响主要体现在阻力变化,为了解决

收稿日期: 2014-06-23; 责任编辑: 宫在芹 DOI: 10.13226/j.issn.1006-6772.2014.05.022

基金项目: 国家国际科技合作专项资助项目(2012DFA60860); 中煤科工集团技术创新基金资助项目(2013QN035)

作者简介: 张 鑫(1979—),男,山东莱芜人,助理研究员,硕士,主要从事工业煤粉锅炉相关工艺及技术开发工作。Tel: 010-84264331, E-mail: zhangxinchina@hotmail.com

引用格式: 张 鑫, 刘振宇, 李小炯, 等. 煤粉罐车卸料速度影响因素研究[J]. 洁净煤技术, 2014, 20(5): 90-92.

ZHANG Xin, LIU Zhenyu, LI Xiaojiong et al. Influencing factors of pneumatic conveying efficiency of coal powder tank car[J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(5): 90-92.

上述问题,从煤粉输送阻力方面进行分析计算以期得到较好的解决方案及有借鉴意义的设计依据。

1 问题分析

目前多数粉体罐车(如煤粉罐车、水泥罐车)进行输送作业时都是利用车载空压机作为气源,因此在车载空压机和输送管径已定的情况下,其粉体输送能力,即能克服的最大总阻力可以确定,这是影响粉体输送效率的最根本因素。除此之外物料的水分、外部输送管路的粗糙度等也是影响输送效率的影响因素^[2]。

本案例中,当煤粉塔高度增加时,上粉管输送垂直段加长阻力随之增加,由于总输送压头的限制,上粉管输送固气比相应下降,表现为输送等量煤粉所需时间延长。因此,解决问题的关键是通过其他途径抵消上粉管高度加长带来的阻力增加,维持输送固气比不变。根据相关文献资料,输送管径是影响卸料速度的因素之一^[3],且管路阻力小,则输送固气比大^[2]。

2 阻力计算

2.1 计算方法及参数选择

目前煤粉工业锅炉普遍采用的煤粉塔高度为 23 m,罐车煤粉载装量为 20 t。根据经验数据,输送 20 t 煤粉所需平均时间为 50 min,折合煤粉质量流量为 6.67 kg/s,车载空压机气量一般为 8 m³/min,因此输送固气比为 41.43 kg/kg。该固气比在高炉喷吹煤粉输送系统的范围内,因此采用高炉喷吹的阻力(压力损失)计算方法^[4-6]进行分析。

目前煤粉工业锅炉常用的上粉管内径为 100 mm,罐车附带软管的当量长度约为 3 m。

罐车工作时,罐车内(上粉管入口)压力恒定为 200 kPa;煤粉塔顶部与大气之间间隔布袋除尘器,因此上粉管出口压力约为 2 kPa;两相流系数 k 按经验取值,此处取 0.75。

2.2 计算公式

上粉管的压力损失按照来源不同可以分为 3 部分,公式为

$$\Delta P_{\text{总}} = \Delta P_f + \Delta P_g + \Delta P_d$$

式中: $\Delta P_{\text{总}}$ 为两相流总压损, kPa; ΔP_f 为两相流摩擦压损, kPa; ΔP_g 为煤粉颗粒重力压损, kPa; ΔP_d 为煤粉颗粒加速动力压损, kPa。

1) 两相流摩擦压损公式为

$$\Delta P_f = 1.045(1 + k\mu) \frac{\rho_a^{0.75} v_a^{0.75}}{D^{1.25}} L \times 10^{-5} \quad (1)$$

式中: k 为两相流系数,按经验取 0.5 ~ 1,管径小、流速低时取低值,反之亦然; μ 为固气比, kg/kg; ρ_a 为管内气体平均密度, kg/m³; v_a 为管内气体平均速度, m/s; D 为管路内径, m; L 为管路长度, m。

2) 煤粉颗粒重力压损公式为

$$\Delta P_g = \frac{QH}{3.673v_a A_p} \times 10^{-2} \quad (2)$$

式中: Q 为煤粉输送质量流量, t/h; H 为垂直管段高度, m; A_p 为管段内横截面积, m²。

3) 煤粉颗粒加速动力压损公式为

$$\Delta P_d = \frac{Q(v_g - v_b)}{3.673gA_p} \times 10^{-2} \quad (3)$$

式中: v_g 为管内气体实际末速度, m/s; v_b 为管内气体实际初速度, m/s; A_p 为管段内横截面积, m²; g 为重力加速度, m/s²。

2.3 计算结果与分析

根据理想气体状态方程,计算出上粉管入口和出口空气密度分别为 3.62、1.23 kg/m³。由于空气质量流量恒定,计算出 108 mm 上粉管的初速度和末速度分别为 14.6、42.8 m/s。由此可算出管中气体的平均密度和平均速度分别为 2.42 kg/m³ 和 28.6 m/s。

将以上数据代入式(1)~(3)中,按输送高度 23 m 计算,该条件下两相流摩擦压损为 19.77 kPa,煤粉颗粒的重力压损为 17.13 kPa,煤粉颗粒的加速动力压损为 9.36 kPa,总压损为 46.26 kPa。

当输送管高度增加,两相流摩擦压损随之线性增长,同时重力压损也随之增长;由于上粉管入口和出口压力恒定,管路内径不变,因此初末速度也恒定,煤粉颗粒加速动力压损不变^[7-10]。

因此按 28 m 垂直输送高度(其他条件不变)进行计算,则两相流的摩擦压损增大为 23.73 kPa,煤粉颗粒的重力压损增大为 20.86 kPa,煤粉颗粒的加速动力压损则依然为 9.36 kPa,此时总压损变为 53.95 kPa,共增加 7.69 kPa。

阻力增加时固气比会相应下降以维持总阻力损失基本不变。经过计算,当上粉管煤粉质量流量下降为 5.7 kg/s,即固气比下降为 35.4 kg/kg 时,总压损下降至 46.21 kPa。此时罐车输送 20 t 煤粉所需时间由 50.0 min 提高到 58.5 min,延长了 17%。表 1 为内径 100 mm 上粉管阻力。由表 1 可知,输送高

度增加后,若要维持相同输送时间必须克服更多的压力损失,即气源能力要增大;若无法克服更多的压损,则输送时间会延长。根据现场情况判断,气源已无法克服更多的压力损失,因此要解决该问题,需要改变其他条件以抵消送粉高度增加部分带来的阻力损失,确保输送固气比基本不变^[11-12]。

表1 内径100 mm上粉管阻力

塔高/ m	固气比/ (kg·kg ⁻¹)	摩擦压 损/kPa	重力压 损/kPa	动力压 损/kPa	总压损/ kPa	20 t粉输送 时间/min
23	41.4	19.77	17.13	9.36	46.26	50
28	41.4	23.73	20.86	9.36	53.95	50
28	35.4	20.39	17.82	8.00	46.21	58.5

一种有效的方式是增加上粉管管径。管径增大后,管路横截面积增大,管中气速下降。从式(1)和式(3)可以看出,在上粉管总阻力中占据主导地位的两相流摩擦压损和煤粉颗粒加速动力压损,均会随管径的增大而减小^[12-15]。

经过计算,垂直输送高度28 m,固气比保持在41.4 kg/kg的情况下,根据理论计算上粉管内径增大至106 mm时,总压损即可降为46.26 kPa,与内径100 mm上粉管的压力损失相当。

3 结 论

1) 煤粉罐车送粉时间延长的关键是输送气源无法克服更多的阻力,可以通过提升气源能力和降低总压损2个方法解决。

2) 输送能力不变的情况下,若输送高度增加,可通过增大管径等方式降低总压损,以维持输送时间不变;输送垂直高度由23 m增至28 m时,要保证输送时间不变,则需要将输送管内径由100 mm增至106 mm。

3) 实际运行中输送时间比计算结果更长,分析可能输送管内设置过滤装置异物堵塞造成较大阻力损失,从而影响输送效率,同时煤粉自身特性(如水分)变化也是影响因素之一。

4) 为保证良好的输送效果,建议可采用锅炉房或厂区内的洁净干燥压缩空气,其经济性及输送效果更好。

参考文献:

- [1] 何海军,纪任山,王乃继.高效煤粉工业锅炉系统的研发与应用[J].煤炭科学技术,2009,37(11):1-4.
[2] 韩万喜.散装水泥运输车吹卸效率探究[J].专用汽车,2003

(1):15-16.

- [3] 张洪波,田娟.散装水泥车平均卸料速度和剩余率的研究[J].商用汽车,2003(1):53-54.
[4] 孟庆敏,周云,陈晓平等.粉体密相气力输送研究综述[J].锅炉技术,2011,42(3):1-5.
[5] GB 50607—2010,高炉喷吹粉煤工程设计规范[S].
[6] 张海涛.粉体气力输送计算中的几个问题的讨论[J].化工设备与管道,2002,39(4):13-17.
[7] 林江.气力输送系统流动特性的研究[D].杭州:浙江大学,2004.
[8] 林江,林建忠,楼建勇等.气力输送系统中初始气固速度比对固粒输送速度的影响[J].煤矿机械,2003(8):35-37.
[9] 吴晓.栓流密相气力输送特性的试验研究[J].硫磷设计与粉体工程,2009(1):13-17.
[10] 黎晖.流化床式水泥罐车卸灰过程分析[J].铁道车辆,1993(7):33-34.
[11] 郑镭.散装水泥运输车的优化分析[D].唐山:河北理工大学,2008.
[12] 朱军.立式和卧式散装水泥下灰罐车的设计问题[J].石油矿场机械,1996,25(4):2-4.
[13] 李仲山,颜福高,朱文.重力举升式粉罐车远距离低速密相输送分析[J].专用汽车,2004(4):29-30.
[14] 高景华,胡建波.罐车运输粉状或颗粒状物料气力卸料及输送装置[J].矿业工程,2011,9(6):63-64.
[15] 李志义,周一卉,由宏新.粉体的气力输送[J].硫磷设计与粉体工程,2000(1):12-13.

(上接第77页)

- [6] 解炜,熊银伍,孙仲超等.NH₃改性活性焦脱硝性能试验研究[J].煤炭科学技术,2012,40(4):125-128.
[7] 张文博,安洪光,宋学平等.褐煤基活性焦用于固定床加压气化废水处理的研究[J].工业水处理,2014,34(2):19-21.
[8] 张旭辉,苗文华,白中华等.褐煤基活性焦制备及吸附处理焦化废水的研究[J].煤化工,2010(5):12-14.
[9] 徐莉莉,孙硕,王军等.活性焦吸附对煤化工废水膜处理工艺的影响[J].环境工程学报,2013,7(10):3827-3832.
[10] 高继贤,刘静,翟尚鹏等.活性焦(炭)干法烟气净化技术的应用进展[J].化工进展,2011,30(5):1097-1105.
[11] 张旭辉,刘振强,苗文华等.中国褐煤在活性焦制备及应用方面的发展前景[J].洁净煤技术,2011,17(1):11-14.
[12] 卫冬丽,邢德山,韩红琳.活性焦制备工艺对其性能的影响研究[J].电力科技与环保,2012,28(5):11-14.
[13] 陈立杰,苏永渤,王恩德等.以煤炭为原料制备活性焦及其脱硫效应的研究[J].安全与环境学报,2002,2(6):12-14.
[14] 张守玉,吕俊复,岳光溪等.煤种及炭化条件对活性焦孔隙结构的影响[J].煤炭学报,2003,28(2):167-172.
[15] 肖宏生,张文辉.煤基活性炭生产用斯列普活化炉生产工艺探讨[J].洁净煤技术,2001,7(1):57-60.