

燃煤电站除尘输灰一体化设计方案

潘灏[✉]

(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] 为了减少输灰系统的初投资和运行费用。[方法] 介绍了某2×350 MW循环流化床电站工程采用电除尘大灰斗代替电站常规灰库, 飞灰从电除尘器灰斗出口直接装车外运, 不设灰库和气力输灰装置的工程实例。[结果] 两台炉共节约投资1 078万元, 每年节省空压机运行电耗212万元, 另外, 减少了空压机的耗材和维护检修工作量。[结论] 采用除尘输灰一体化方案可以节省电站投资, 降低运行费用。

关键词: 燃煤电站; 除灰系统; 除尘器

中图分类号: TM611; X701.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2020)S2-0113-06

开放科学(资源服务)二维码:



Integration Design Scheme of Electrostatic Precipitator and Ash Conveying System in Coal-fired Power Station

PAN Hao[✉]

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

Abstract: [Introduction] In order to reduce the investment and operation cost of ash conveying system coal-fired power plant [Method] This paper introduces an engineering example of a 2×350 MW circulating fluidized bed power plant project, in which the large ash hopper of electrostatic precipitator is used to replace the conventional ash silo of the power plant, and the fly ash is directly loaded from the ash hopper outlet of the Electrostatic precipitator and transported outside without the ash silo and pneumatic ash conveying device. [Result] The investment of the two unite save 10.78 million yuan, and the power consumption of the air compressor save 2.12 million yuan per year. In addition, the consumables and maintenance work of the air compressor are reduced. [Conclusion] Integration design scheme of Electrostatic precipitator and ash conveying system in coal-fired power station may save the investment and operation cost.

Key words: coal-fired power station; ash conveying system; electrostatic precipitator

我国一次能源紧缺、环境资源有限, 电站实行竞价上网, 优化电站系统, 减少占地和初投资, 减少运行费用, 是电站设计努力的方向。常规燃煤电站灰库系统设备多, 占地大, 投资大, 本文介绍某2×350 MW循环流化床电站工程采用电除尘大灰斗代替电站常规灰库, 飞灰从电除尘器灰斗出口直接装车外运, 不设灰库和气力输灰装置, 节省了输灰系统的初投资和运行费用的工程实例, 为燃煤电除灰系统的优化设计提供参考^[1]。

1 工程概况

工程规模: 工程规划容量: 4×350 MW超临界循环流化床火电机组; 本期工程容量: 2×350 MW超临界循环流化床火电机组, 同步建设脱硫设施及脱硝装置, 配套热网工程。

本项目的的设计煤种与校核煤种为由高卡印尼煤和湖南郴州的无烟煤, 分别按85:15、50:50比例掺配而成。煤质资料如表1所示, 燃煤量如表2所示, 灰渣量如表3所示。

2 常规除灰系统

常规除灰系统如图1所示, 除灰系统为“气力

表1 煤质资料表
Tab. 1 Coal analysis

名称	符号	设计煤种	校核煤种
1. 煤种		印尼煤:无烟煤 比例 85:15	印尼煤:无烟煤 比例 50:50
2. 元素分析			
收到基碳/%	Car	49.60	48.08
收到基氢/%	Har	3.38	2.43
收到基氧/%	Oar	8.11	5.44
收到基氮/%	Nar	1.01	0.99
收到基全硫/%	Sar	0.68	0.69
3. 工业分析			
全水分/%	Mar	25.14	19.63
空气干燥基水分/%	Mad	11.50	7.01
收到基灰分/%	Aar	12.08	22.75
干燥无灰基挥发分/%	Vdaf	41.99	29.08
4. 收到基低位发热值	Qnet,ar	18.492	17.540
5. 可磨性系数	HGI	56	59.9
6. 灰熔点			
变形温度/%	DT	1 180	1 150
软化温度/%	ST	1 220	1 200
半球温度/%	HT	1 230	1 210
流动温度/%	FT	1 280	1 250

表2 燃煤量表
Tab. 2 Coal consumption

项目	1×350 MW		2×350 MW	
	设计煤种	校核煤种	设计煤种	校核煤种
小时耗煤量/(t·h ⁻¹)	169.36	180	338.72	360
日耗煤量/(t·h ⁻¹)	3387.2	3600	6774.40	7200
年耗煤量/(104 t·a ⁻¹)	100.21	106.51	200.42	213.01

表3 灰渣量表
Tab. 3 Ash content

项目	1 × 350 MW		2 × 350 MW	
	设计煤种	校核煤种	设计煤种	校核煤种
小时灰渣量/(t·h ⁻¹)	27.40	46.90	54.80	93.80
小时灰量/(t·h ⁻¹)	21.92	32.85	43.84	65.70
小时渣量/(t·h ⁻¹)	5.48	14.05	10.96	28.10
日灰渣量/(t·d ⁻¹)	548.00	938.00	1 096.00	1 876.00
日灰量/(t·d ⁻¹)	438.40	657.00	876.80	1 314.00
日渣量/(t·d ⁻¹)	109.60	281.00	219.20	562.00
年灰渣量/(104 t·a ⁻¹)	16.21	27.75	32.43	55.50
年灰量/(104 t·a ⁻¹)	12.97	19.44	25.94	38.87
年渣量/(104 t·a ⁻¹)	3.24	8.31	6.49	16.63

注: (1) 日利用小时数分别按 20 h 计;
(2) 热电联产年利用小时数按 5 917 h 计。

“输灰系统+灰库”方案,即采用正压气力输送系统将电袋除尘器的飞灰直接输送至灰库。干除灰系统按 2×350 MW 机组容量设计。每台炉设计出力应满足燃用设计煤种灰量 1.5 倍 (32.88 t/h) 和燃用校核煤种灰量的 1.2 倍 (39.42 t/h) 的设计要求,同时留有一定余量,最终确定每台炉除灰系统设计出力为 65 t/h。按连续运行方式设计,平均水平输送距离约 300 m。灰库下设置加湿搅拌机以及干灰装车机,可直接装车外运进行综合利用或运至灰场堆放。

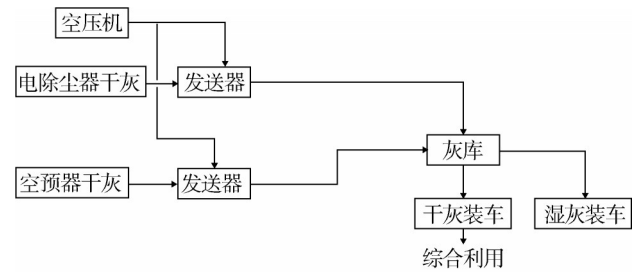


图1 常规除灰系统图

Fig. 1 Conventional ash removal system diagram

2.1 系统设备布置

常规除灰系统遵循粗细分排的设计原则,电袋除尘器一电场的灰排入粗灰库,其余的袋式除尘器的灰排入细灰库。自 1# 锅炉的除尘器至灰库的输送距离约为 280 m,垂直提升高度约 24 m。自 2# 锅炉的除尘器至灰库的输送距离约为 350 m,垂直提升高度约 24 m。本系统出力按 40 t/h 设计。

每台炉除尘器共有 20 个灰斗 (2 个电场,每个电场 4 个灰斗; 3 排袋式除尘器,每排 4 个灰斗),每台锅炉的空预器有 4 个灰斗,每台锅炉共 24 个灰斗。本工程在每台电除尘器下设 1 台气化风机及电加热器,向灰斗提供气化热风。气化风机的参数为 $Q=10 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 、 $H=60 \text{ kPa}$ 。每个灰斗下设 1 套输灰用的仓泵,每台锅炉设 2 根输灰管道,空预器灰管 DN150 与一电场灰管 DN200 合并为一根 DN200 灰管,二电场灰管 DN200 与一、二、三袋区灰管合并为一根 DN200 灰管。

电除尘器一、二电场灰斗选用容积为 1.5 m^3 仓泵,每台锅炉共 8 套;袋区灰斗均选用容积 0.3 m^3 仓泵,每台锅炉共 12 套。空预器灰斗选用容积为 0.2 m^3 输灰仓泵,每台炉共 4 套。

输灰管布置在综合管架,与本专业有关工业水管道、仪用气管道及其它专业管道共用一个综合管架。

本期工程设三座灰库，两座粗灰库，一座细灰库。每座灰库直径为14 m，高23.5 m，有效容积为1 500 m³。2个粗灰库可满足2台锅炉燃用设计煤种51 h贮灰量，或燃用校核煤种工况34 h贮灰量。每座灰库设有3个出口，2个接干灰装车机，1个接加湿搅拌机。干灰散装机的出力为200 t/h，加湿搅拌机的出力为200 t/h。

各灰库底部设有气化槽，灰库的气化风由气化风机提供。本期工程灰库运行层安装4台Q=18 Nm³/min、H=90 kPa气化风机，3台运行，1台备用，不独立设置气化风机房。

在每座灰库的运行层设1台电加热器，不设备用。每座灰库顶部均设有1台布袋除尘器，过滤面积为150 m²。

灰库地面冲洗排污水纳入全厂废水处理系统。

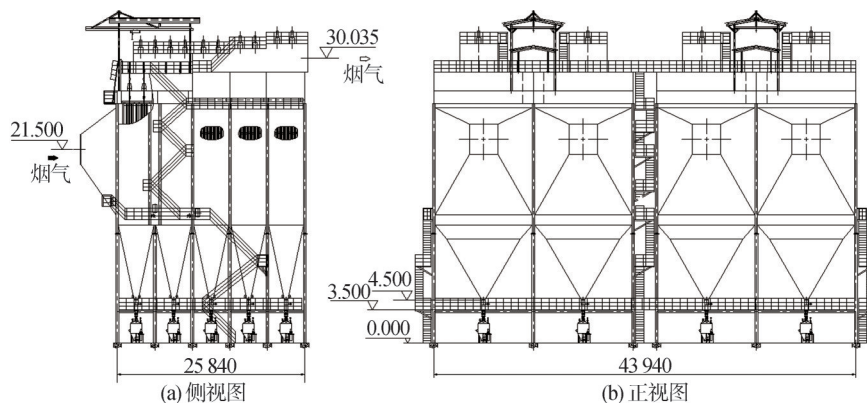
本工程两台炉的气力除灰系统输送用气尖峰耗气量约为116 Nm³/min。由三台40 Nm³/min含油螺杆空压机提供压缩空气。

除灰系统每台炉设置1台20 m³输送用储气罐和1台2 m³仪用储气罐，并为灰库设置1台5 m³仪用气储气罐。

灰库侧的运灰道路上，设置有1台载重量为200 t的电子汽车衡，用于运灰车和运石灰石粉车的称重计量^[2-7]。

2.2 常规灰斗电除尘器方案

本项目采用电袋复合除尘器，前置2电场除尘室后置3滤袋除尘室，双通道，每台机组配置2台除尘器。常规方案除尘器进口标高21.50 m，灰斗的容积按除尘器进口最大含尘量满足锅炉8 h满负荷运行设计，每台除尘器设五排灰斗，第一、二排灰斗对应一、二电场，第三、四、五排灰斗对应3个袋区。每个灰斗有一个标高为4.5 m的出口，接仓泵把灰送至灰库。每个灰斗下部对称布置2块300×150大小的气化板，增加出口处粉尘的流动性，以及防止粉尘由于温度下降受潮结块。常规除尘器外形图和性能参数表见图2和表4。



注：图中标高单位为m，其余尺寸单位为mm。

图2 常规除尘器外形图

Fig. 2 Outline of conventional esp

3 除尘输灰一体化系统

除尘输灰一体化系统见图3。即将电除尘器收集的飞灰采用除尘器灰斗下直接装车方案。空预器灰斗收集的飞灰采用正压气力输送方案将灰输送至除尘器进口烟道。

3.1 系统流程图

3.2 系统设备布置

电除尘下每个灰斗下设1套卸料设备，包括1台干灰散装机和1台加湿搅拌机，出力均为200 t/h。除尘器6 m设置运转层，卸料设备布置在除尘器下

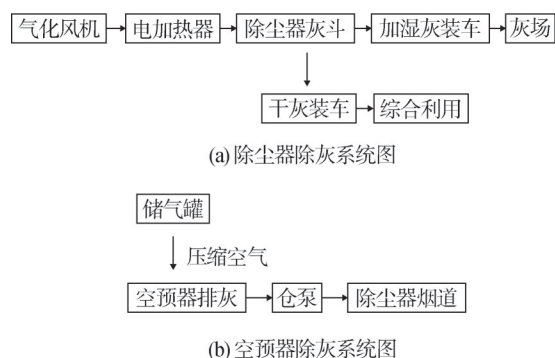


图3 优化除灰系统图

Fig. 3 Optimized ash removal system diagram

表4 除尘器技术特性参数表
Tab. 4 Technical characteristic parameters of ESP

参数名称	数值
处理烟气量/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	2 215 990
烟气温度/ $^{\circ}\text{C}$	130.8
进口含尘量/($\text{g} \cdot \text{Nm}^{-3}$)	50
出口排放浓度/($\text{mg} \cdot \text{Nm}^{-3}$)	<5
设备阻力	≤ 1.2
设备漏电率	<2.0
前级点除尘器部分	
电除尘器型号	2FAA278-2
烟气流通面积/m	2 \times 278.4
总集尘面积/m	22 272
集尘板型式	480C
放电极型式	RSB 芒刺线
电除尘效率/%	≥ 90
布袋除尘器部分	
过滤面积/ m^2	35 815
过滤风速/($\text{M} \cdot \text{min}$)	1.03
脉冲阀规格	Optipow105
烟气温度/ $^{\circ}\text{C}$	130.8
喷吹压力/MPa	0.25~0.35
平均压空耗量/($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	14

6 m 运转层上。

每台炉设4个空预器灰斗，收集的飞灰采用正压气力输送系统输送至除尘器入口烟道。气力输送系统出力为每台炉不小于4 t/h。每个灰斗下设一个仓泵，其容积为0.2 m^3 ，共4个仓泵，4根DN80的输灰管分别接入除尘器进口的4条烟道上，每条灰管约30 m长。

空预器排灰输送至除尘器进口烟道用压缩空气平均耗气量为0.5 Nm^3/min ，尖峰耗气量为10.6 Nm^3/min ，烟气量为21 513 Nm^3/min ，空气量只占烟气量的两万分之一，对除尘器无影响。

除尘器灰斗下设有加湿搅拌机，当干灰无法外运时，灰加湿搅拌后运至灰场。

3.3 除尘输灰一体化电除尘器方案

除尘器的外形如图4所示，本方案除尘器本体和常规方案相同，除尘技术性能参数也相同，区别在于灰斗及其出口设备。

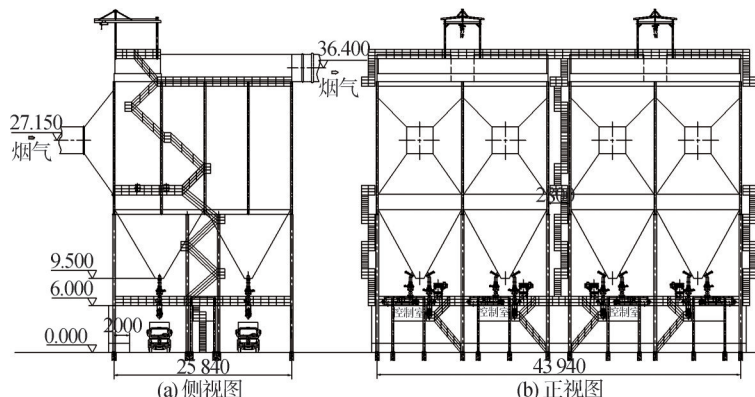
除尘器灰斗出口直接装车卸灰，灰斗兼做储灰库使用。除尘器每个灰斗1套卸料设备，包括1台干灰散装机和1台加湿搅拌机，出力均为200 t/h，并纳入承包方提供的DCS系统控制。

除尘器每个通道灰斗由常规方案的5个改为2个，每台炉共8个灰斗，每个灰斗容积不小于500 m^3 ，灰斗的总有效容积需满足除尘器进口最大含尘量28 h储灰量的要求。

每两个灰斗设置1个操作间，每台炉共计4个操作间。操作间的位置及高度方便观察到2个灰斗下的卸灰设备出口，并不阻挡汽车通道。操作间内设置操作台，可以控制2个灰斗下的4台卸灰设备的运行。

灰斗的出口标高从常规方案的4.5 m抬高至9.5 m，除尘器进口标高为27.15 m。

采用大灰斗方案后，灰斗的结构需重新设计。采用“主横筋+内部管撑”组成灰斗主受力骨架，结合科学计算进行正确选材设计，并采用有限元分析软件进行结构强度复核，有效保障了电袋复合除



注：图中标高单位为m，其余尺寸单位为mm。

图4 除尘输灰一体化电除尘器方案除尘器外形图

Fig. 4 Outline of Integration design scheme of Electrostatic precipitator and ash conveying system

尘器灰斗设计满足不同工况使用条件的要求,能够确保设备长期可靠运行^[8-9]。

为保证除尘器灰斗内灰的流动性,采用单灰斗12块气化板4面均布的方案,距灰斗口500 mm处即为气化板布置处。通过布置多于常规数量的气化板,来保证在较大的出口处的灰的流动性。每台炉除尘器灰斗设2台气化风机($Q=20\text{ m}^3/\text{min}$, $P=60\text{ kPa}$, 1运1备)和1台电加热器,为灰斗气化板提供气化风。气化风机和电加热器布置在灰斗下运转层平台。

每台炉除尘器下设2条装车通道。电除尘器地面至6.00 m运转层处的装车车道采用全封闭,车区域内采用微负压抽尘,以改善装车环境。同时,电除尘器地面设水冲洗设施,冲洗水收集至排污池后

用排污泵输送至污水处理车间。在电子汽车衡附近的运灰车辆进场道路中,设有洗车池,用以冲洗进入厂区内的灰车车轮,改善厂区内清洁文明生产环境。

本方案与常规电袋除尘器相比占地面积不变,由于加大了灰斗、抬高了除尘器和增加气化风板及风机增加的费用两台炉共约为400万元。

4 技术比较

方案一(气力输送系统+灰库)及方案二(电除尘器灰斗直接装车,取消灰库)可靠性及检修维护方面比较见表5。

表5 系统性能及检修维护方面比较表

Tab. 5 Comparison of system performance and maintenance

比较内容	方案一 气力输送系统+灰库	方案二 电除尘器灰斗直接装车,取消灰库
系统可靠性	技术成熟可靠,应用业绩很多	应用业绩较少
系统复杂程度	相对复杂,功能分区设置	简单,集中布置在除尘器下,不设置灰库
运行维护工作量	空压机需定期维护检修,输灰弯头易磨损,易损件较多,备品备件较多	装车设备较多
工作环境	集中在灰库装车,装车时有一定的粉尘排放,但远离主厂房区域	电除尘器下设置两条装车通道,装车设备较多,运行环境较为恶劣
占地面积	较大	较小

5 经济比较

5.1 初投资比较

方案一(气力输送系统+灰库)及方案二(电除尘器灰斗直接装车,取消灰库)的初投资见表6。

5.2 运行费用比较

采用除尘器灰斗直接装灰方案,取消了气力输灰系统,每台炉减少输灰压缩空气 $116\text{ m}^3/\text{min}$,节约三台空压机,空压机功率每台250 kW,按年运行小时数5 917 h计算,上网电价0.478元计算,年节省电耗212万元。

6 结论

1) 利用电除尘灰斗作为储灰设备,下设套卸料装车设备,直接装车外运干灰或加湿运至灰场,取消灰库,技术上可行,相关项目已经运行超过

一年。

2) 采用电除尘器下灰斗直接汽车装灰方案可节省气力输灰系统和灰库的投资,两台炉共节约投资1 078万元,每年节省空压机运行电耗212万元,另外,减少了输灰空压机的耗材和维护检修工作量。

7 存在问题

若采用除尘器灰斗汽车运灰方案,由于装车点众多,以目前的设备技术水平,卸灰时存在泄漏是不可避免的,此方案对除尘器0.00 m层运行环境影响较大。可采用封闭装灰车道,采用微负压抽尘系统来控制灰尘污染。

除尘器灰斗汽车运灰方案由于存灰量比常规灰库少,需确保运输车辆及时把灰运走,对车辆配置

表6 初投资比较(两台炉价格)
Tab. 6 Preliminary investment comparison (price of two boilers)

	气力除灰方案 /万元	备注	除尘输灰一体化 方案/万元	备注
气力除灰系统	1 869	含两座粗灰库,一座细灰库和输灰管路	251	空预器灰斗至除尘器进口烟道气力输灰设备
除尘器灰斗装车 机设备	—	—	205	含8台干灰散装机和8台加湿搅拌机及相关控制设备
除尘器车道围闭	—	—	100	电除尘器地面至6.00 m运转层处的装车车道全封闭
空压机(舍后处理设备)	165	尖峰耗气量约为116 Nm ³ /min。由三台40 Nm ³ /min含油螺杆空压机提供压缩空气。	—	—
除尘器本体增加 的费用	—	—	400	加大灰斗和抬高除尘器和增加防堵设备增加的费用
节约投资	基准	—	-1 078	—

和运行管理要求较高。

参考文献:

- [1] 刘馨泽. 火力发电厂节能降耗技术措施探讨[J]. 资源节约与环保, 2019(12):1.
LIU X Z. Discussion on technical measures for energy conservation and consumption reduction of thermal power plants [J]. Resource Conservation and Environmental Protection, 2019 (12): 1.
- [2] 杨明博. 火力发电厂输煤除尘器系统应用中存在的问题[J]. 河南科技, 2018(31):44-45.
YANG M B. Problems in the application of coal handling dust remover system in thermal power plant [J]. Henan Science and Technology, 2018 (31): 44-45.
- [3] 刘毅. 正压浓相气力输灰管径的选择研究[J]. 南方能源建设, 2016, 3(1): 115-117.
LIU Y. Research on pipe diameter selection of dense phase positive pressure pneumatic fly ash handling system [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(1): 115-117.
- [4] 秦斌. 火电厂气力除灰不畅的原因分析及解决对策[J]. 化工管理, 2019(20):113-114.
QIN B. Cause analysis and solution of poor pneumatic ash removal in thermal power plant [J]. Chemical Management, 2019 (20): 113-114.
- [5] 李辉, 颜常柏, 姬正喜. 大唐合山1×600 MW机组上大压小扩建工程气力除灰设计运行小结[J]. 科技视界, 2017(9): 123+109.
Li H, YAN C B, JI Z X. Summary of the design and operation of pneumatic ash removal in the 1 × 600 MW unit upper large pressure and small expansion project of Datang Heshan [J]. Science and Technology Horizon, 2017 (9): 123 + 109.
- [6] 熊雄. 火力发电厂灰库结构设计的探讨[J]. 建材技术与应

用, 2010(11):23-24.

XIONG X. Discussion on structural design of ash silo in thermal power plant [J]. Building Materials Technology and Application, 2010 (11): 23-24.

- [7] 赖祯贤. 灰库结构设计问题的探讨[J]. 重庆建筑大学学报, 2002(6):29-34.

LAI Z X. Discussion on structural design of ash silo [J]. Journal of Chongqing University of architecture, 2002 (6): 29-34.

- [8] 邱晞. 布袋除尘器钢支架结构设计的若干问题与分析[J]. 企业技术开发, 2018, 37(7):73-75.

QIU X. Some problems and analysis of the structural design of the steel support of the bag filter [J]. Enterprise Technology Development, 2018, 37 (7): 73-75.

- [9] 吕群. 电除尘器本体设计制造的优化方法探讨[J]. 中国环保产业, 2017(9):33-35.

LV Q. Discussion on optimization method of design and manufacture of ESP body [J]. China Environmental Protection Industry, 2017 (9): 33-35.

作者简介:



潘灏

潘灏 (通信作者)

1972-, 男, 广东广州人, 学士, 高级工程师, 从事专业电厂热能动力研究 (e-mail) 1443405612@ qq. com.

(责任编辑 李辉)