

甘肃能化庆阳 2X660MW 煤电项目

初步设计阶段

石子煤系统方案选择 专题报告

中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司

Northwest Electric Power Design Institute Co., Ltd. of China Power Engineering Consulting Group

2024 年 11 月 西 安

目 录

1	项目概况	1
2	设计原始资料	1
2.1	煤质资料	1
2.2	磨煤机排石子煤量	3
3	石子煤方案选择	5
3.1	常见石子煤系统简介	5
3.2	石子煤系统的拟定	6
4	石子煤系统技术经济比	12
4.1	除石子煤系统技术比较	13
4.2	石子煤系统设备及工程量比较	13
4.3	石子煤系统经济比较	15
5	结论	15

【内容摘要】本专题报告针对本工程的煤质及石子煤特性等条件，力求石子煤系统设计经济合理、安全可靠、节约能源，对现有国内部分运行的石子煤系统进行调研，分析研究，提出本工程石子煤系统方案：磨煤机排石子煤采用等压密封活动石子煤斗+电瓶叉车运送到石子煤仓储存，定期外运方式。

1 项目概况

甘能化庆阳电厂（2×660MW机组）工程为新建工程，为甘肃能化九龙川煤矿配套建设煤电一体化项目，本期拟建设2×660MW超超临界间接空冷燃煤机组，厂址位于甘肃省宁县境内。

甘肃省陇东地区是国家规划的14个大型煤炭基地之一，境内煤炭资源丰富，探明资源量359.8亿吨（其中庆阳271.8亿吨），保有资源量184亿吨。九龙川矿井地处西北地区甘肃省宁县，资源储量丰富，煤质好，开采条件较好，适宜建设现代化大型矿井。本工程所在宁县具备建设大规模煤电基地的有利条件，电源建设成本及发电成本相对较低。

宁县地方工业弱小，没有大型工业企业支撑，本项目的建设将有力带动全县财政税收、建筑建材、商贸服务、餐饮、住宿、食品加工、运输、基础建设等众多行业的发展，有效地推动当地经济建设的发展，缓解就业压力，增加居民收入，提高生活水平，对地方经济的发展具有重要意义。

本期工程，供煤煤矿已具备建设条件；供水水源利用城市中水和煤矿疏干水；主机采用高参数大容量空冷机组。高效节能环保型电厂是本工程的建设目标。

本工程计划在2024年12月开工，第一台机组计划于2027年5月建成投产，第二台机组计划于2027年6月建成投产。

2 设计原始资料

2.1 煤质资料

2.1.1 燃煤量 见表 2.1-1

表 2.1-1 耗煤量

机组容量及煤种 \ 燃煤量		吨/时	吨/日	万吨/年
1×660MW	设计煤种	270.63	5412.6	148.85
	校核煤种 1	303.46	6069.2	166.90
	校核煤种 2	256.07	5121.4	140.84
2×660MW	设计煤种	541.3	10825.2	297.69
	校核煤种 1	606.9	12138.4	333.81
	校核煤种 2	512.14	10242.80	281.68

注：按照 BMCR 工况，年利用小时为 5500h，日利用小时为 20h

2.1.2 煤质分析资料，见表 2.1-2

表 2.1-2 煤质分析资料

检测项目	符号	单位	设计煤* NC-24-0326	校核 1* NC-24-0427	校核 2* NC-24-0428	适用标准
全水分	M_t	%	10.3	12.6	9.4	GB/T211-2017
空气干燥基水分	M_{ad}	%	2.34	3.59	2.50	GB/T212-2008
收到基灰分	A_{ar}	%	23.81	26.33	20.83	
干燥基挥发分	V_d	%	25.26 3.62	24.21	26.62	
收到基碳	C_{ar}	%	54.34	48.75	57.05	DL/T568-2013
收到基氢	H_{ar}	%	3.07	2.85	3.33	
收到基氮	N_{ar}	%	0.73	0.62	0.77	
收到基氧	O_{ar}	%	7.24	8.43	8.07	
全硫	$S_{t,ar}$	%	0.98	1.23	1.48	GB/T214-2007
收到基高位发热量	$Q_{gr,v,ar}$	MJ/kg	21.46	19.25	22.66	GB/T213-2008
收到基低位发热量	$Q_{net,v,ar}$	MJ/kg	20.59	18.37	21.76	

哈氏可磨指数	HGI	/	55	61	52	GB/T2565-2014
煤灰熔融特征温度/变形温度	DT	°C	1210	1280	1220	GB/T219-2008
煤灰熔融特征温度/软化温度	ST	°C	1250	1290	1230	
煤灰熔融特征温度/半球温度	HT	°C	1260	1300	1240	
煤灰熔融特征温度/流动温度	FT	°C	1270	1310	1250	
煤灰中二氧化硅	SiO ₂	%	56.62	56.04	53.37	GB/T1574-2007 DL/T1037-2016
煤灰中三氧化二铝	Al ₂ O ₃	%	19.39	22.88	19.34	
煤灰中三氧化二铁	Fe ₂ O ₃	%	7.20	7.81	6.61	
煤灰中氧化钙	CaO	%	7.08	5.69	9.92	
煤灰中氧化镁	MgO	%	1.46	1.46	2.11	
煤灰中氧化钠	Na ₂ O	%	0.71	0.64	1.00	
煤灰中氧化钾	K ₂ O	%	2.11	1.90	1.89	
煤灰中二氧化钛	TiO ₂	%	0.93	1.09	0.92	
煤灰中三氧化硫	SO ₃	%	3.62	1.75	3.50	
煤灰中二氧化锰	MnO ₂	%	0.096	0.084	0.101	
煤灰中五氧化二磷	P ₂ O ₅	%	0.295	0.280	0.321	

2.2 磨煤机排石子煤量

2.2.1 石子煤率（石子煤量）取值

我国电厂燃煤普遍煤种多变、煤质低劣，产生的石子煤不仅杂质多，而且数量变幅大，相差可达一个数量级，相同的煤种，不同的磨煤机，不同的运行水平，石子煤量会相差一倍以上，导致石子煤量更难预测。

为对磨煤机石子煤排量有个准确的把握，我们对几大磨煤机厂家进行了调研，相关内容见表 2.1-1。

表 2.2-1 磨煤机制造厂石子煤量推算表

序号	磨煤机制造厂	中速磨型号	石子煤量推算方法
1	上海重型机器厂	RP、HP 碗式中速磨(美国 GE 技术)	HP 磨煤机石子煤量为 0.1%，该比例参数是引进技术的参考值，但国外煤是精煤，杂质少。
2	北京电力设备总厂	ZGM 磨(德国 Babcock 技术)	ZGM 磨是德国 babcock 技术，排石子煤量少，排出来的是 1000 大卡以下的矸石，节约资源，采用液压加载，且加载力大（MPS95 磨加载力在 21t~33.6t），排石子煤量为燃煤量的 0.1%~0.5%。
3	沈阳重型机械集团有限责任公司	MPS 磨(德国 Babcock 技术)	从德国 Babcock 引进技术生产的 MPS 磨，无论对于何种煤质，对于石子煤量的确定都没有具体的计算方法。
			目前确定石子煤量所遵循的原则是： 灰份 $\leq 20\%$ 时，单台磨排出的石子煤量=单台磨机出力 $\times 0.5\%$ ； 灰份 $\geq 20\%$ 时，单台磨排出的石子煤量=单台磨机出力 $\times 1\%$ ； 最大按 1%计。
			不同可磨性指数对石子煤量无影响。
4	长春发电设备总厂	MPS-HP-II磨(德国 Babcock 技术)	MPS-HP-II磨煤机是液压加载方式，磨辊磨损后，液压自动改变加载力，保证碾磨性，石子煤量不变。该磨煤机石子煤量可按 0.05%~0.1%计算。
			不同可磨性指数对石子煤量无影响。
			MPS-HP-II磨速度相对比 MPS 磨高，加载力加大，并增加了反作用力控制系统，可以减少震动。

根据各大磨煤机厂提供的数据，石子煤率一般不超过燃煤量的 0.1%，但据调研结果，由于煤源不稳，实际燃烧煤质偏离设计煤质，使得石子煤率不可估算。本报告根据工程经验，石子煤率暂按燃煤量的 0.5%取值。若煤质发生变化，石子煤率的取值相应变化

2.2.2 石子煤排量

石子煤排量计算见表 2.2-2。

表 2.2-2 石子煤排量表

石子煤量 锅炉台数		小时石子煤量(t/h)	日石子煤量(t/d)	年石子煤量(t/y)
设计煤种	1	1.35	27	7425
	2	2.7	54	14850
校核煤种1	1	1.52	30.4	8360
	2	3.04	60.8	16720
校核煤种2	1	1.28	25.6	7040
	2	2.56	51.2	14080

注：（1）日利用小时为 20 小时，机组年利用小时为 5500 小时。

（2）石子煤所占比例为：0.5%。

3 石子煤方案选择

3.1 常见石子煤系统简介

石子煤具有比重大、温度高、颗粒大及硬度高等特性，使得石子煤比一般灰渣更难输送。目前国内石子煤输送系统的方式很多，大体可归纳为五大类：

- (1) 固定+活动石子煤斗方式；
- (2) 密封式活动石子煤斗方式；
- (3) 机械输送方式；
- (4) 水力输送方式；
- (5) 气力输送方式。

活动石子煤斗方式是采用活动石子煤斗、叉车转运方式来处理石子煤。密封式活动石子煤斗方式是对固定+活动石子煤斗方式的改进和升级。全智能石子煤输送系统又是对密封式活动石子煤斗方式的改进和升级。

机械输送系统是采用振动（或刮板）输送机、钢带输送机（或耐热皮带）将中速磨煤机排出的石子煤运送到石子煤仓内集中，然后由汽车外运。

水力输送系统是利用高压水通过水力喷射器将中速磨煤机排出的石子

煤输送到脱水仓、灰渣浆池或刮板捞石子煤机内，然后由汽车外运或同灰渣浆一起输送至灰场。

气力输送又分为负压输送和正压输送两种方式。

3.2 石子煤系统的拟定

水力输送系统:初投资高（约 1000 万）且系统复杂，运行效率较低；运行维护工作条件较差,占地面积最大，耗水较大，且含煤污水处理难度大等缺点。故此方案本工程不采用此方案。

机械输送系统：初投资高（约 920 万）且系统复杂，设备布置需在主厂房零米以下布置纵向沟道，检修维护条件较地上较差等缺点。故此方案本工程不采用此方案。

正压输送系统：初投资高（约 970 万）且系统复杂，管道磨损较严重，系统及设备目前运行业绩少，相对可靠性较低，输送距离较短（实际应用在 100m 以内）等缺点。故此方案本工程不采用此方案。

以下着重对适合本工程的三个方案进行专题论证：

方案一：磨煤机排石子煤采用负压输送系统输送到石子煤仓储存定期外运方式。

方案二：密封式活动石子煤斗，叉车转运石子煤斗至临时储存点，最终由卡车将石子煤运输至斗式提升机，再由斗式提升机提升至石子煤仓储存定期外运方式。叉车人工驾驶。

方案三：全智能石子煤输送系统，叉车转运石子煤斗至斗式提升机，翻转倒料倒入斗式提升机，由其最终输送至石子煤仓储存定期外运方式。叉车具有自动驾驶、自动搬运、自动翻转卸料，全程无人工操作。

3.2.1 方案一：负压气力输送方式。

（1）石子煤系统工艺流程，见图 3.2-1

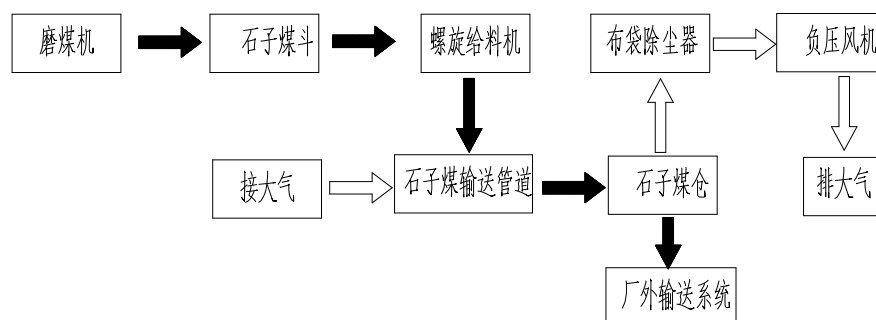


图 3.2-1 石子煤系统工艺流程框图

（1）石子煤装置部分：

每台炉设 6 台中速磨煤机，5 运 1 备。石子煤先排到固定石子煤斗内储存，定期或连续由固定石子煤斗下方的螺旋给料机将石子煤排入石子煤负压输送系统中，石子煤由负压输送系统输送到石子煤仓储存，再用自卸汽车卸至临时堆放场或由自卸汽车运至灰场。

每台磨煤机配 1 台固定石子煤斗，每个固定石子煤斗的有效容积均为 0.7m^3 。固定石子煤斗通过一个上部闸门与磨煤机相连。固定石子煤斗能储存每台磨煤机约 6 小时的石子煤排放量。正常情况下，上部闸门打开，石子煤直接排入石子煤斗。当石子煤斗装满需要排放时，上部闸门关闭，打开石子煤斗的出口门，由固定石子煤斗下方的气力给料机连续的将石子煤排入石子煤负压输送系统中，经负压输送系统将石子煤输送到石子煤仓储存，再用自卸汽车卸至临时堆放场或由自卸汽车运至灰场。

本期每台炉石子煤拟设 1 套负压气力输送系统送，每套系统出力为 10t/h ，对于每台炉设计煤种留有 200%以上的裕量。

每台炉设 2 套 $Q=120\text{m}^3/\text{min}$ ， $P=-75\text{KPa}$ 的负压风机，一套运行，一套备用。

每两台炉设置 1 座石子煤仓，石子煤仓有效容积为 25m^3 ，可贮存锅炉满负荷时设计煤种 39 小时的石子煤量。所有设施为地上布置。

(2) 负压输送特点说明:

1) 罗茨风机采用进口品牌机头保证负压系统的大流量低负压运行且无需冷却水;罗茨风机电机采用变频工作的方式,若磨煤机石子煤渣量小时,可通过变频器降频工作减小系统用电量,若石子煤渣量大时可通过变频器加大工作频率提高罗茨风机流量保证负压系统的正常运行。

2) 石子煤负压控制系统纳入 DCS 控制,可在 DCS 画面上监控石子煤负压系统的运行状态(包括插板门状态;罗茨风机负压、温度、频率等;A~F 磨石子煤运行时间;石子煤仓料位、温度等);可根据石子煤量在 DCS 画面上设定系统循环时间、A~F 磨石子煤抽料间隔时间和单磨抽料时间来减小负压系统用电负荷。

3) 磨煤机下端的石子煤斗设置石子煤专用双通道可调节型气力给料器。气力给料器是石子煤管道输送的关键部件,可以通过气力给料的调节装置来调节石子煤的落料速度以达到石子煤的连续输送并保证不会出现堵料现象。此气力给料器结构简单、输送速度快且连续给料、适应的石子煤粒径范围大、并且可在运行中根据石子煤量的大小进行调节,调节过程简便易行、运行可靠性高。针对石子煤斗内自燃,在石子煤斗内增加温度传感器,以监测内部温度和报警并设有喷水装置来阻碍石子煤积焦燃烧的现象。

4) 石子煤斗内设有格栅网可以将石子煤中的大的金属异物、石子煤积焦等过滤,且石子煤斗及给料器出口设置便捷检修门,能方便处理石子煤中含有的铁块、铁丝等金属异物,避免异物导致负压石子煤系统出现流通不畅等现象。

5) 石子煤仓只需定期用转运车运输石子煤,且石子煤装车过程中无扬尘污染,大大减少了人工费用、避免了环境污染。

6) 整个石子煤负压输送系统系统布置方便,整齐,使用效果好,符合

环保要求。避免恶劣现场环境中的人工作业，解决人工清理造成的现场污染、彻底杜绝了锅炉房刺激性气味等诸多问题。大大改善了锅炉房的空气质量，保证了在锅炉房的工作人员的身体健康。

3.2.2 方案二：密封式活动石子煤斗，叉车转运方案

(2) 石子煤系统工艺流程，见图 3.2-2

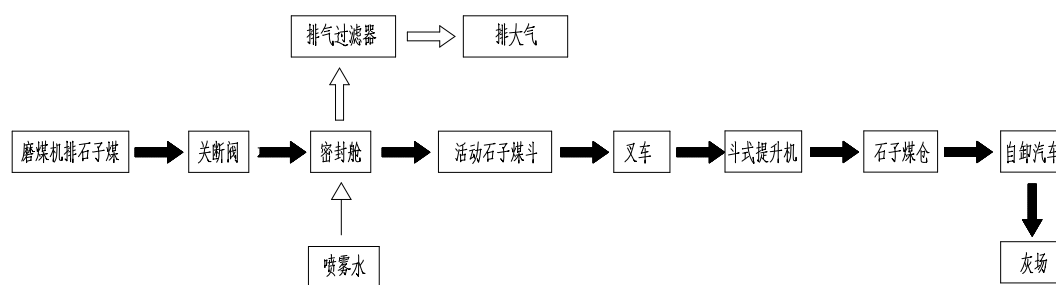


图 3.2-2 石子煤系统工艺流程框图

(2) 石子煤装置部分

每台炉设 6 台中速磨煤机（5 运 1 备），每台炉设 7 台活动石子煤斗（每台磨煤机下设 1 台，另设 1 台倒运）；系统正常运行时打开石子煤排放二次关断门（一次关断门正常情况下常开，在二次门不严密故障情况下使用。）。石子煤通过管道排入活动石子煤斗，当石子煤斗装满或到时报警后，关闭排放二次关断阀门，将石子煤斗泄压后由叉车卸至斗式提升机入料口后经斗式提升机至石子煤仓暂存，自卸汽车外运至灰场。

每台活动石子煤斗的容积约为 0.7m^3 ，每台石子煤斗能储存每台磨煤机设计煤种约 6 小时的石子煤排放量，按照石子煤产生情况约 6 小时运行一次，每台炉每次运行约需 0.5 小时~1.0 小时。

每台炉设 1 套电动旋转叉车。

每 1 台炉设置 1 座石子煤仓、1 台斗式提升机，石子煤仓有效容积为 25m^3 ，可贮存锅炉满负荷时设计煤种 39 小时的石子煤量。

所有设施为地上布置。

3.2.2 方案三：全智能石子煤输送系统转运方案

磨煤机排放的石子煤通过方形的转运箱存储，转运箱里的石子煤完全依靠人工进行巡检以此判断是否需要倒卸，并通过人工完成倾倒及复位工作，现场 24H 人工不间断工作，整个劳动强度大、效率低、环境恶劣。拟引入（无人驾驶智能叉车）AGV 自动搬运系统，完成石子煤转运箱的搬运及倾倒工作，从而提高车间的自动化程度，提升物流效率，减少人工成本。

（1）石子煤系统工艺流程，见图 3.2-3

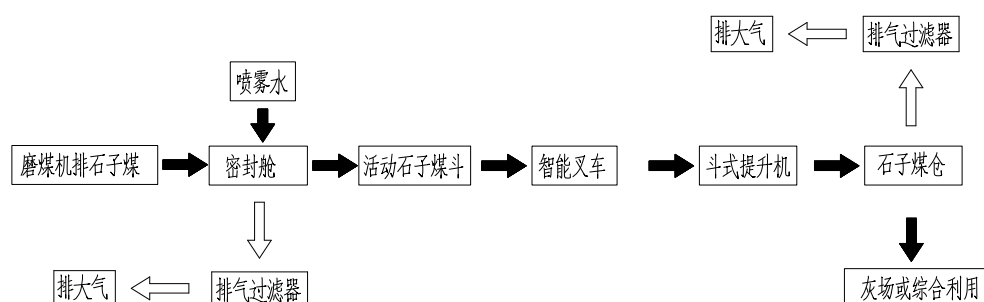


图 3.2-3 石子煤系统工艺流程框图

（2）石子煤装置部分

每台炉设 6 台中速磨煤机（5 运 1 备），每台中速磨煤机设 1 套排石子煤管道、阀门、密封舱、活动石子煤斗及称重报警装置，每台炉另设 1 台活动石子煤斗作为公共备用。系统正常运行时打开石子煤排放二次关断门（一次关断门正常情况下常开，在二次门不严密故障情况下使用），石子煤通过管道排入活动石子煤斗。石子煤斗下设称重平台，当石子煤斗装满或到时报警后，关闭二次关断阀门，通过密封仓顶部泄压阀泄压后，用无人驾驶智能叉车（AGV）转运运输至斗式提升机，再由斗式提升机提升至石子煤仓储存。

每台活动石子煤斗的容积约为 0.7m^3 ，每台石子煤斗能储存每台磨煤机设计煤种约 6 小时的石子煤排放量，按照石子煤产生情况约 6 小时运行一次，每台炉每次运行约需 0.5 小时~1.0 小时。

为了确保石子煤箱的高效和自动化，每台炉设一台无人驾驶智能叉车（AGV），共 2 台。这 2 台 AGV 将负责在 2 台炉石子煤箱搬运工作。为了维持生产的持续运行和降低等待时间，AGV 计划每 4 小时运行一次。

每台 AGV 都将配备一套先进的传感器系统，这些传感器不仅能够自动检测在用的转运箱何时需要替换，还能够确保备用箱及时推入。通过这种方式，AGVs 能够在取出已满的箱子的同时，无缝地将空箱置于适当位置，保持生产线的流畅运转。

在设备对接方面，将采用数字孪生技术，这不仅实现了实物设备与其虚拟副本之间的同步，还能实时监控生产流程并提供有效的问题预测和预防。通过这种同步，数字孪生系统可以根据实时数据下发具体的搬运任务给 AGV。

任务的触发将完全自动化，由传感器自动触发。这种自动化机制显著提高了效率，减少了人为错误的可能，并确保了生产过程中的连续性和稳定性。传感器将检测箱子的状态并在适当的时候发出指令，从而触发 AGV 执行搬运任务。

转运物料的温度上限为 200 度，这个温度条件要求 AGV 及其搬运装置必须能够承受高温环境，以防设备受损。需要确保 AGV 的材料和构造进行了特殊设计，使其能够在这样的温度条件下稳定工作，同时保护搬运物料不受外界环境的影响。

环境温度大约在 35 度左右，这对于 AGV 的运行同样提出了挑战。AGV 的冷却系统需要防止设备过热。

通讯网络层面，AGV 的导航系统不能完全依赖于 GPS 信号，需要有可

靠的内部导航技术，如激光导航或磁带导航等，来确保精确和可靠的定位。

此外，该系统的应用场景涵盖室内及室外环境，这需要确认以便于装备 AGV 以适应不同的工作环境。室外工作条件可能会更加苛刻，比如更高的温度波动，湿度，以及粗糙地面的影响。因此，AGV 的设计需要考虑到室外使用时的防护措施，确保设备的耐用性和可靠性。

AGV 叉车会在对各样点采样后规划出最优线路，高效完成任务模块。将其适用在高度重复的堆垛搬运工作中，可实现空托盘运输、物料运输、物料存取全流程自动化，为企业减少人力成本。

激光 SLAM 导航可实现整车重复定位精度可达 $\pm 10\text{mm}$ ，搭载货物识别定位、托盘自动找正功能，高效精准完成叉取存放流程，避免发生碰撞事故。

3D 智能避障：整车采用两侧低位+高位避障雷达，360°全方位智能防护。即使在人机协同、多车协同作业的复杂场景中，也能全方位感知、针对不同障碍物及时应变，帮助企业物流模块更灵活、安全、高效运行。

自动充电：无需人工干预，自主判断电池使用情况，结合任务安排，利用空闲时间自动连接充电桩，避免充电等待，影响整体物流进程。

每 1 台炉设置 1 座石子煤仓、1 台斗式提升机，石子煤仓有效容积为 25m^3 ，可贮存锅炉满负荷时设计煤种 26 小时的石子煤量。所有设施为地上布置。

4 石子煤系统技术经济比

4.1 除石子煤系统技术比较

表 4-1 石子煤系统技术比较表

项目	方案一（负压气力输送）	方案二（密封式活动石子煤斗）	方案三（全智能石子煤输送系统）
优点	<ul style="list-style-type: none">1.对石子煤变化的适应性较强2.输送管道架空布置，煤仓间生产环境较好。3.自动化程度高。4.输送系统密封性好。5.由 DC 控制、大大减少了人工费用	<ul style="list-style-type: none">1.系统最简单，运行环节最少，安全可靠。2.检修维护工作量少。3.密封性较好。	<ul style="list-style-type: none">1.系统简单，运行环节少，安全可靠。2.检修维护工作量少。3.密封性较好。4.自动化水平高。5.不需人工参与（活动石子煤斗解列除外）。
缺点	<ul style="list-style-type: none">1.系统较稍复杂	<ul style="list-style-type: none">1.对锅炉房内生产环境有一定污染。2 自动化水平较低。3.需人工参与，劳动强度较大。4.对石子煤变化的适应性稍差。特别是石子煤量增大易引起石子煤排放不及时，造成事故隐患。	<ul style="list-style-type: none">1.对锅炉房内生产环境有一定污染。2.对石子煤变化的适应性稍差。3 磨煤机运行现场环境一般甚至较差，众多传感器可能会误动作。4.维修技术难度大。5.无人驾驶智能旋转叉车技术不成熟，国内暂无运行业绩。

4.2 石子煤系统设备及工程量比较

表 4-2 石子煤系统设备及工程量比较

项目	石子煤设施（土建工程量）	石子煤主要设备
方案一（负压气力输送）	正常地面 石子煤仓基础：荷载 100t, 2 个	石子煤斗：有效容积 0.7m^3 ，12 台 气力给料机：出力 10t/h, 12 台 石子煤仓 $\phi 4\text{m}$ ： $V_{\text{有效}}=25\text{m}^3$, 2 座 布袋除尘器：过滤面积：80 m^2 处理气量：3000 m^3/h ，2 台 负压风机：120 m^3/min 风压：-75Kpa N=132kW 380V，4 台
方案二（密封式活动石子煤斗）	正常地面+地磅基础 石子煤仓基础：荷载 100t, 2 个 斗式提升机基础：荷载 30t, 2 个	密封式活动石子煤斗：有效容积 0.7m^3 , 14 台 叉车：出力 3.5t/h, 2 台 斗式提升机：B=400mm G=20t/h, H=14.5m , N=8.5kW, 2 台 石子煤仓 $\phi 4\text{m}$ ： $V_{\text{有效}}=25\text{m}^3$, 2 座
方案三（全智能石子煤输送系统）	正常地面+地磅基础 石子煤仓基础：荷载 100t, 2 个 斗式提升机基础：荷载 30t, 2 个	密封式活动石子煤斗：有效容积 0.7m^3 , 14 台 无人驾驶智能叉车：出力 3.5t/h, 2 台 斗式提升机：B=400mm G=20t/h, H=14.5m , N=8.5kW, 2 台 石子煤仓 $\phi 6\text{m}$ ： $V_{\text{有效}}=25\text{m}^3$, 2 座

4.3 石子煤系统经济比较

表 4-3 石子煤系统经济比较

方案 项目		方案一 (负压气力输送)	方案二 (密封式活动石子煤斗)	方案三 (全智能石子煤输送系统)
初投资 成本 (万元)	设备费(万元)	~400	210	450
	安装费(万元)	16	11.3	12
	建筑费(万元)	~15	12	12
	合计	431	233.3	474
初投资差额(万元)		+197.7	基本值	+240.7
耗水量(每炉)		无	无	无
耗电量(每炉)		~140KW(实际工作功率 90KW)	20KW	20KW
年运行 维护成本(万元)	年检修维护费 (材料费用)	5.2	~13.8	~16
	水费(万元)	不计	无	无
	电费(万元)	29.09	2.3	4.7
	人工费(万元)	~10	45	10
	合计	~44.29	61.1	~30.7
年运行维护成本差额(万元)		+13.59	+30.4	基本值

注：注：电费暂按照 0.3078 元/KW·h 计算，水费暂按 5 元/立方米计算。

5 结论

综上所述，以上三种石子煤方式从技术角度看均是可行的。从业绩角度看，目前方案二的业绩是最多、但存在一定的环境污染和有刺激性气味等缺点；方案三的业绩国内暂无，无人驾驶智能叉车技术有待进一步提高；方案一为负压气力输送系统自动运行程度化高，无泄漏风险、设备布置在

零米检修维护方便，近几年运行业绩较多。

为使除石子煤系统安全可靠，为电厂经济运行，本工程推荐采用除石子煤系统的方案二，即活动石子煤斗+电瓶叉车转运的石子煤输送系统方案：除石子煤系统拟采用密封式活动石子煤斗收集+电瓶叉车运输+石子煤仓储存的机械处理方式。该方式具有安全可靠，初期投资费用少，空间利用率高，检修维护工作量小，锅炉房内设备布置灵活，维护方便，对石子煤量的变化适应能力强，运行费用较低以及对环境无污染等优点。