

文章编号: 1001-3571 (2022) 03-0001-06

动力煤分选设备特点及选择

张振¹, 谢广元², 周光华¹, 夏文成²

(1. 国家能源集团宁夏煤业有限公司, 宁夏 银川 750011; 2. 中国矿业大学 化工学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 为了给动力煤选煤厂分选设备的选择提供有益参考, 进而提升动力煤分选的经济效益, 重点对动筛跳汰机、斜(立)轮重介质分选机、浅槽重介分选机、复合式干选机、智能干选机五种当前动力煤选煤厂常用分选设备进行了介绍, 并对各分选设备的技术特点和适应性进行了详细分析, 指出动力煤分选设备需要综合考虑原煤可选性、矸石泥化特性、入选上(下)限、产品指标等因素进行合理选择, 以实现动力煤选煤厂经济效益最大化。

关键词: 动力煤分选; 动力煤分选设备; 动筛跳汰机; 斜(立)轮重介质分选机; 浅槽重介分选机; 复合式干选机; 智能干选机

中图分类号: TD94

文献标志码: A

Characteristics and selection of power coal washing equipment

ZHANG Zhen¹, XIE Guangyuan², ZHOU Guanghua¹, XIA Wencheng²

(1. National Energy Group Ningxia Coal Industry Co. Ltd., Yinchuan 750011, China;

2. School of Chemical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: The study made in the paper is intended to provide a valuable reference for power coal cleaning plants for improving their economic performance. Following an introduction particularly to the technological processes employing movable-sieve jig, vertical/inclined lifting wheel separator, heavy medium vessel, compound dry separator and intelligent dry separator—five kinds of equipment commonly used in power coal plants nowadays, the paper makes a detailed analysis of the technical features and applicability of each washing process. It is pointed out that the selection of appropriate processes needs to be made based on overall consideration of raw coal washability, proneness of gangue to undergo degradation in water, upper/lower limit of size of separation and required indices of products, so as to allow the power coal plant to obtain maximized economic benefits.

Keywords: cleaning of power coal; equipments for power coal separation; movable-sieve jig; vertical/inclined lifting wheel separator; heavy medium vessel; compound dry separator; intelligent dry separator

我国动力煤资源储量丰富, 主要分布在新疆、陕西、内蒙古、山西、宁夏等省份^[1]。动力煤是我国主要的能源供给, 高效利用动力煤资源, 不仅能够保障我国经济和社会的发展需求, 而且能够抵消国际能源价格过快增长导致的物价水平上升。随着我国新冠疫情得到有效控制, 社会经济快速发

展, 化工建材等行业复苏, 需要更多的动力煤以满足能源供给^[2]。在未来相当长的时间内, 动力煤的开采、分选和高效利用仍将对我国经济的发展起到至关重要的作用。

在动力煤选煤厂, 除无烟煤之外, 末煤 (<13 mm) 或粉煤 (<6 mm) 多数不分选, 直接

收稿日期: 2022-04-05 责任编辑: 赵宏馨 DOI: 10.16447/j.cnki.cpt.2022.03.001

作者简介: 张振(1964—), 男, 安徽寿县人, 正高级工程师, 硕士, 从事选煤技术管理工作。E-mail: 15024328@chnenergy.com.cn, Tel: 13995299327。

引用格式: 张振, 谢广元, 周光华, 等. 动力煤分选设备特点及选择 [J]. 选煤技术, 2022, 50 (3): 1-6.

ZHANG Zhen, XIE Guangyuan, ZHOU Guanghua, et al. Characteristics and selection of power coal washing equipment [J]. Coal Preparation Technology, 2022, 50 (3): 1-6.

作为燃料使用；块煤一般需要分选，得到块精煤等产品，以满足化工等行业的用煤需求。在我国选煤生产中，动力煤块煤分选设备主要有动筛跳汰机、斜（立）轮重介质分选机、浅槽重介分选机、复合式干选机、智能干选机等^[3-4]，分选工艺则采用上述设备的一次分选或主再选工艺。

在实际生产过程中，根据煤质特性和产品要求选取合适的动力煤分选工艺和设备是实现动力煤选煤厂经济效益最大化的关键^[5-6]。为有助于合理选择动力煤分选设备，提升动力煤选煤厂经济效益，文章重点介绍了动筛跳汰机、斜（立）轮重介质分选机、浅槽重介分选机、复合式干选机、智能干选机五种动力煤分选设备的特点和适应性，并为动力煤选煤厂分选设备的选择提出了几点建议。

1 动筛跳汰机

1.1 设备简介

动筛跳汰机结构简图如图 1 所示。有别于筛下（侧）空气室跳汰机，动筛跳汰机依靠筛板的上下运动来带动物料作上下运动，进而实现轻产物和重产物的分层与分离，其分选过程不需重介质，也无需供风、顶水和冲水等，因此投资少，生产运营费用低，生产管理方便。如白岩选煤厂采用 TD16/3.2 型液压动筛跳汰机分选 350~50 mm 粒级块煤，数量效率在 95% 以上^[7]。

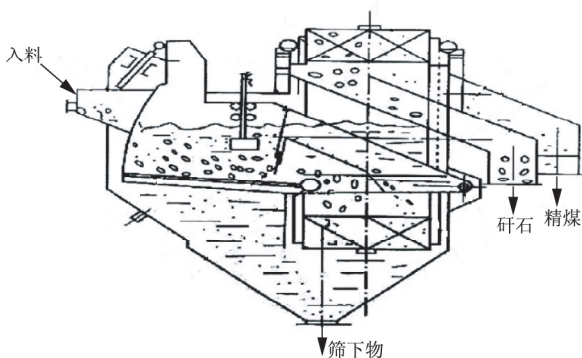


图 1 动筛跳汰机结构简图^[8]

Fig. 1 Structural sketch of movable-sieve jig

1.2 技术特点

(1) 分选粒度范围宽。一般入料粒度可控制在 300~25 mm 范围内，最低分选下限可达 13 mm，但分选下限降低可能会造成分选精度变差等问题。

(2) 分选精度高。分选块煤时的不完善度一般为 0.1 左右，数量效率可达 95% 以上，高于常规跳汰机。

(3) 自动化程度高。近年来动筛跳汰分选工

艺的自动化水平得到提高，可实现生产的在线调节，生产操作灵活、方便。

1.3 适应性

在实际生产中，动筛跳汰分选工艺不仅适用于大多数动力煤选煤厂块煤分选，而且还可用于处理低品质煤，或用于煤矿井下（露天矿坑）的块煤排矸，排除由于采掘机械化程度提高产生的大量矸石，保障后续选煤生产中煤质的稳定；此外，对于原煤可选性为易选，或对精煤产品指标要求不太严格的选煤厂，动筛跳汰分选工艺也是较为适宜的选择。

采用动筛跳汰机分选动力煤时，应注意以下几个问题：

(1) 设备驱动方式的选择。根据驱动方式不同，动筛跳汰机可分为液压动筛跳汰机和机械动筛跳汰机。虽然两者分选原理相同，但是投资成本相差悬殊。一般机械动筛跳汰机投资仅为液压动筛跳汰机的一半，设备性价比较高。此外，机械动筛跳汰机结构较为简单，传动系统零部件较少，维护简便；液压动筛跳汰机液压件较多，且需要冷却水系统，结构较为复杂，故障率高，维护费用较高。

(2) 设备占用空间大小。在相同处理能力的情况下，机械动筛跳汰机的体积要比液压动筛跳汰机大，因此占用空间较大，设计时需根据场地具体情况进行合理选择。

(3) 分选精度需求。当入料下限为 25 mm 时，机械动筛跳汰机的分选精度要低于液压动筛跳汰机，且矸石带煤量大。动筛跳汰机仅适用于易选煤，用于难选、极难选煤时需要慎重选择。

(4) 入选煤质情况。当入选原煤可选性等级为难选、极难选，或者原煤易碎，以及原煤中矸石遇水易膨胀、泥化时，应慎重选择动筛跳汰机。

2 斜（立）轮重介质分选机

2.1 设备简介

斜轮重介质分选机与立轮重介质分选机在分选效率和基建投资等方面相近，仅在提矸轮的布置形式上有所不同。在我国应用较为广泛的是斜轮重介质分选机，其结构简图如图 2 所示。工作时，煤由給料口给入，与水平流一起进入分选机，密度高于悬浮液密度的高灰矸石下沉至槽体下部，由斜提升轮提升并排出；密度低于悬浮液密度的低灰精煤则随溢流排出，由附加排料轮辅助排出。

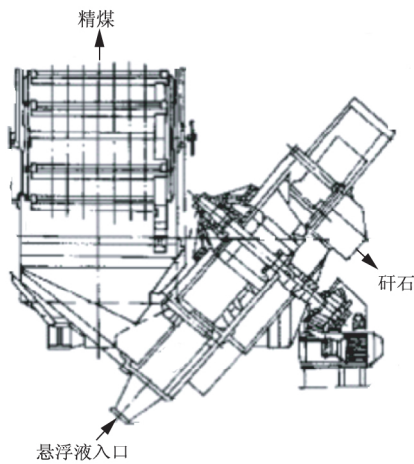


图 2 斜轮重介质分选机结构简图

Fig. 2 Structural sketch of inclined lifting wheel

斜(立)轮重介质分选机的优点是:分选精度较高,矸石中精煤损失少;设备运转部位不接触分选介质,减轻了设备的磨损。其缺点是:设备占地面积较大,基建投资较高;相关设备零部件易损坏,维护费用也高。在我国选煤生产中,立轮重介质分选机应用极少,斜轮重介质分选机应用较多,如田庄选煤厂采用 2 台 LZX-2.6 型斜轮重介质分选机对 >20 mm 粒级块煤进行分选^[9]。

2.2 技术特点

(1) 斜轮重介质分选机精煤采用排料轮强制排出,在提高设备处理能力的同时,也减少了悬浮液循环量,入料上限最高可达 1 000 mm,入料下限可达 6 mm。

(2) 斜轮重介质分选机占地面积较大,排矸轮与分选槽底部容易沉积小块矸石等物料,从而造成排料轮的磨损,严重时还会导致生产临时停机,致使故障率增加。

(3) 由于斜轮重介质分选机轻产物采用排料轮辅助排出,对悬浮液循环量需求较少,因此与悬浮液处理相关的设备功耗较低。

(4) 由于分选槽内有上升悬浮液流,因此悬浮液比较稳定,可使用中等细度的加重质,加重质中 <0.045 mm (325 目) 粒级含量占 40% ~ 50% 就可达到细度要求。

2.3 适应性

斜(立)轮重介质分选机不仅可以用于原煤预先排矸从而代替人工手选,而且还可满足对分选精度要求较高的分选需求,几乎适用于任何可选性煤的分选,尤其是难选、极难选煤。相比之下,该工艺更适用于矸石含量中等或偏低的煤的分选,原

因是煤中矸石含量过大会造成斜提升轮排矸负荷增大,易造成分选槽内的流场受到过度扰动而影响分选效果。

在选择斜(立)轮重介质分选机作为分选设备时,需要考虑以下几个问题:

(1) 分选密度需求。重悬浮液是由磁铁矿、水、煤泥三者按照一定比例混合而成,当分选密度超过 1.7 g/cm³ 时,重悬浮液稳定性变差,易分层沉淀,从而影响分选精度。

(2) 入料下限确定。该工艺对 <13 mm 粒级物料分选效果较差,远低于重介质旋流器分选工艺,因此建议将斜(立)轮重介分选机入料下限控制在 13 ~ 25 mm 之间。

(3) 分选产品数量。目前主流的斜轮重介质分选机均为两产品机型,三产品机型应用极少。若原煤经过一次分选后精煤产品不达标,或者经过一次分选后矸石灰分偏低时,则需要采用主再选工艺。对于主再选工艺的选择与布局,通常有下列两种方式:一是先低密度主选出合格块精煤,后高密度再选出块矸石和块中煤,通常采用两台设备主选+一台设备再选,工艺布置较为简单,适用于精煤量较大的情况;二是先高密度主选出合格块矸石,后低密度再选出块精煤和块中煤,这适用于矸石含量大(40% ~ 50% 或更高)、泥化程度高的原煤分选,可优先将量大、易泥化的矸石排出分选系统,有利于减少设备负荷和重复分选量,并保障后续煤泥水系统的平稳运行。

3 浅槽重介分选机

3.1 设备简介

浅槽重介分选机是近年来推广应用较快的块煤分选设备之一,其结构简图如图 3 所示。浅槽重介分选机分选原理与斜轮重介质分选机相似,但在排矸方式上有差异:该机分选出的矸石先由链式刮板输送机提升至机头,再通过矸石排料口排出,且该机通常无辅助排料轮。相比于斜(立)轮重介质分选机,浅槽重介分选机布局更为简单,适应性更强,目前新建或改扩建动力煤选煤厂一般均优先采用浅槽重介分选机来分选块煤。神东煤炭集团补连塔选煤厂、布尔台选煤厂等均采用浅槽重介分选机一次分选出合格产品;哈拉沟选煤厂则采用浅槽重介主再选工艺分选出合格产品;华丰矿选煤厂采用 XZQ-1620 浅槽重介分选机对 200 ~ 50 mm 粒级块煤进行排矸^[10]。

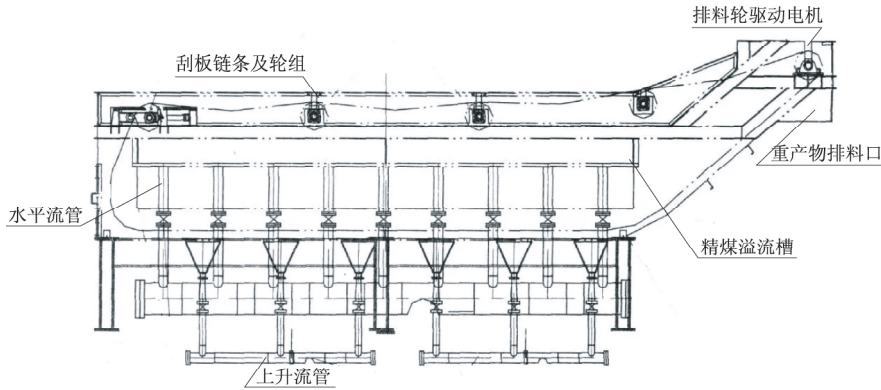


图 3 浅槽重介分选机结构简图

Fig. 3 Structural sketch of H. M. vessel

3.2 技术特点

(1) 分选粒度范围一般在 300 ~ 13 mm 之间，特殊情况下分选下限可达 6 mm。

(2) 相比斜轮重介质分选机，在同等槽宽的情况下浅槽重介分选机处理能力更大，每米槽宽处理能力达 100 t/h。此外，该机采用刮板排矸，矸石排料能力较强。

(3) 对煤质波动的适应性强，分选精度高。根据生产统计，浅槽重介分选机分选块煤的数量效率在 98% 以上，可能偏差在 0.03 g/cm³ 以下。

3.3 适应性

由于浅槽重介分选机对煤质的适应性好，入料粒度范围宽，重产物排料能力强，因此不论是炼焦煤还是动力煤，都可以采用浅槽重介分选机来分选。近年来，浅槽重介分选机在新建选煤厂中得到了广泛使用。

在选用浅槽重介分选机时需要注意以下几点：

(1) 生产成本。浅槽重介分选机的轻产物主要依靠悬浮液携带溢出，而斜轮重介质分选机的轻产物采用排料轮排料，因此浅槽重介分选机工作悬浮液循环量要大于斜轮重介质分选机。悬浮液循环量的增大会造成介质泵能耗上升，增加选煤厂的生产成本。

(2) 工艺布置。相比斜轮重介质分选机，浅槽重介分选机占地面积和占用空间均较小，便于特大型选煤厂实现设备并列布置。

(3) 设备维护。浅槽重介分选机相关部件维修量较大，当刮板运行一段时间后，易于弯曲变形，致使导轨、链条和棘轮等运转部件磨损加剧。

4 复合式干选机

4.1 设备简介

复合式干选机（图 4）是一种依靠振动、风力、介质等共同作用实现分选的干法分选设备。在

复合式干选机内，煤作螺旋翻滚运动，在风力和振动力的作用下，床层开始松散，物料在重力作用下按照密度大小进行分层^[11]。工作时，原料煤由给料机运送至复合式干选机入料口，进入具有一定纵向坡度和横向坡度的分选床，并在床面上形成一定厚度的物料床层；高密度物料与床面接触，受振动惯性力的作用向背板运动，由背板引导向上运动并在尾端排出，成为矸石；低密度物料在重力作用下沿床面下滑，通过排料挡板，成为精煤产品；介于高密度和低密度之间的物料则成为中煤。复合式干选机最大的优点是无需用水，基建投资少，加工成本低，特别适用于矸石含量高的原煤的预排矸，以及原煤中的矸石易泥化时的分选排矸，也适用于干旱缺水、高寒地区煤炭的分选^[12]。如神华集团万利公司柳塔矿应用 FGX-48 型复合式干选机取得了良好效果，分选不完善度为 0.084，数量效率高达 95.18%。

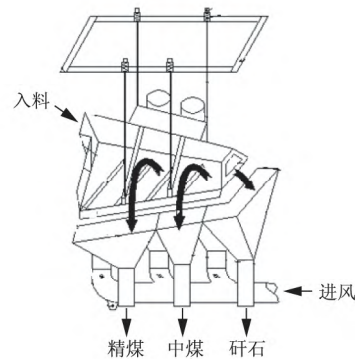


图 4 复合式干选机结构简图

Fig. 4 Structural sketch of compound dry separator

4.2 技术特点

(1) 相比其他分选设备，复合式干选机分选精度略低。用于新疆伊宁地区原煤排矸时，该机对 250 ~ 6 mm 粒级原煤排矸率达 75% 以上，可以满足生产需求，但对该地区的 6 ~ 0.5 mm 粒级粉煤

的分选效果较差, 无法满足分选要求^[11]。

(2) 在分选过程中, 该机产生粉尘较多, 工作环境较差, 应用时需要配备高效除尘装置, 一般较适于中小型规模的选煤厂选用。

(3) 能以一台设备分选出两种或三种产品, 且产品质量可灵活调节, 对煤质的适应性较好, 相比动筛跳汰机、斜(立)轮重介质分选机, 无需设置主再选工艺。

(4) 投资少, 可适用于煤质较差、精煤质量要求不高的选煤厂选用, 从而降低成本, 增加企业效益。

4.3 适应性

复合式干选机主要适用于分选精度要求不高的动力煤分选, 或在干旱缺水地区推广使用。该机投资成本较低, 推广应用前景较好。

在选用复合式干选机时, 需要考虑以下两个问题:

(1) 原煤可选性和地域因素。易选煤可以优先采用复合式干选机; 我国西北干旱严重缺水地区也可以优先考虑采用复合式干选机。

(2) 粉尘防护。选用复合式干选机时, 必须配套除尘设施, 以免造成生产区域粉尘污染。

5 智能干选机

5.1 设备简介

近几年来, 随着选煤厂智能化进程的推进, 以 TDS 智能干选机(图 5) 为主的智能干选设备在选煤厂块煤分选与排矸环节中得到了推广应用, 且发展势头良好。TDS 智能干选机是基于 X 射线识别技术, 根据煤与矸石对射线的吸收程度不同, 通过智能算法等技术手段, 结合高灵敏、高可靠执行机构(高压空气喷嘴等) 将矸石排出, 从而实现煤与矸石的分离^[13]。枣庄矿业集团新安煤业选煤厂采用 TDS 智能干选机替代动筛跳汰机排矸, 在入料粒度为 300 ~ 50 mm 条件下, 矸石带煤率低于 3%^[14]。曙光煤矿选煤厂同样采用 TDS 智能干选机替代了动筛跳汰机排矸, 在分选 200 ~ 40 mm 原煤时, 矸石带煤率仅为 0.83%^[15]。

5.2 技术特点

(1) 系统简单。智能干选机分选过程不用水, 节省了湿法选煤过程的水力管道、煤泥水处理等环节的投资, 且辅助设备少, 生产管理方便。

(2) 入料粒度范围宽, 可广泛应用于 300 ~ 50、100 ~ 25 mm 粒级块原煤的分选。

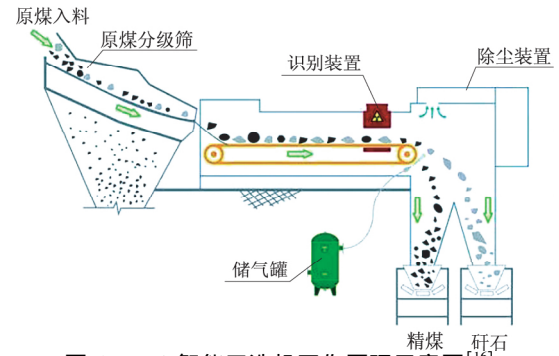


图 5 TDS 智能干选机工作原理示意图^[16]

Fig. 5 Schematic diagram showing working principle of TDS intelligent dry separator

(3) 分选精度高。依托于大数据及智能分析系统, 智能干选机能够准确识别煤与矸石, 跟踪物料的运行轨迹进而锁定目标, 控制执行机构动作, 实现煤与矸石的精准分离。一般矸石中带煤率在 3% ~ 5% 之间, 分选精度较高。

(4) 辐射防护安全性好。智能干选机依托射线识别技术对矸石与煤进行识别, 再辅以铅壳屏蔽, 设备周围的辐射强度低于国标值, 能保障工作环境绿色安全。

(5) 分选过程无煤泥产生。与复合式干选机选煤相同, 智能干选机分选过程不需水, 不产生煤泥水, 节省了煤泥水浓缩回收设备, 可节省基建投资。

(6) 能耗低。智能干选机采用射线识别技术, 由高压空气执行煤矸分离, 其能耗主要是空压机。

(7) 维护量小。智能干选机相关辅助设备少, 设备自身及零部件性能可靠, 维护量小。

(8) 工人劳动强度小。智能干选机是高度自动化的分选设备, 正常生产时仅需 1 人值守即可, 也可实现无人值守。

5.3 适应性

智能干选机块煤排矸的分选精度高, 可广泛适用于动力煤的排矸以及炼焦煤块煤预排矸作业。该设备仅靠一套集成装备即可实现分选, 操作和工艺极其简单, 用于老厂改造时, 可以在原煤手选输送带上进行, 可操作性强, 适应性广^[17-18]。

在选择智能干选机时, 应注意以下几点:

(1) 适用范围。现阶段智能干选机多用于排矸作业, 在实际生产中, 智能干选机常用于 > 50 mm 粒级原煤的预先排矸, 用于代替人工手选以及动筛跳汰机、斜(立)轮重介质分选机排矸。智能干选机对中煤和精煤的分离精度低于中煤和矸石的分离精度, 因此智能干选机排矸后的混煤一般还需要设置再选才能够保证块精煤产品质量合格。

对于煤质较好的动力煤,智能干选机可以实现大块原煤的终极分选,直接分选出合格大块精煤。

(2) 分选下限。智能干选机的分选下限与其处理量密切相关,分选下限越低,设备处理量越小。现阶段分选下限最低可达 25 mm,但应用时分选下限多以 50 mm 为主。相比其他设备,智能干选机分选下限受限,在实际应用中需要将其与重介排矸设备联合使用,才能实现全粒级排矸。

(3) 占用空间。智能分选机占地面积小,设备运行过程中无需用水,可用于井下原煤的预先排矸,再将排出的矸石用于井下充填^[19]。

6 结语

动力煤选煤厂的分选主要以块煤分选为主,原煤经预先脱粉处理后,>6 mm (13 mm) 块煤经分选设备处理成为最终精煤产品。普遍应用的块煤分选设备主要有动筛跳汰机、斜(立)轮重介质分选机、浅槽重介分选机、复合式干选机、智能干选机等,究竟选取哪种设备来分选动力煤,笔者有以下几点建议:

(1) 应详细分析原煤的可选性以及矸石泥化特性。当原煤可选性好时,可选择动筛跳汰机,但应严格把控入料下限;当原煤可选性差时,应优先选择分选精度较高的重介质分选设备;当矸石含量大且易泥化时,可优先选用无需用水的复合式干选机、智能干选机等设备。

(2) 应以保障精煤产品质量为导向。现阶段,块煤三产品分选设备虽有报道,但实际应用成熟度不高,因此当采用一次分选难以出合格产品时,需要考虑采用主再选工艺。主再选工艺可以将几种设备进行组合,如智能干选机排矸+浅槽重介分选机精选、动筛跳汰机排矸+浅槽重介分选机精选或浅槽重介分选机主再选工艺等。

(3) 应考虑选煤厂设备投资与经济效益最大化。详细分析原煤特性,特别是矸石含量、泥化程度等,以判定是否需要设置重介排矸。当矸石含量过大时,在综合对比后,可以考虑预先排矸工艺,以减轻后续分选设备的生产压力和矸石对设备的磨损,并避免矸石泥化给煤泥水系统带来的不利影响。

(4) 块煤分选工艺应与全厂工艺合理匹配,充分发挥各自设备的优势。例如:已采用三产品重介旋流器的选煤厂在后续改造时,可优先考虑采用浅槽重介分选机或智能干选机排矸;对于低变质程

度煤炭的分选,因其产品大部分作为电煤使用,可以优先考虑干选工艺,以避免后续产品难于脱水的问题。

参考文献:

- [1] 齐正义,贾存瑞,代现法. 块煤分选工艺的优化研究 [J]. 煤炭加工与综合利用,2021 (1): 16-19.
- [2] 王启瑞. 新冠疫情对山西煤炭产业的影响及相关建议 [J]. 中国煤炭,2020,46 (5): 7-9.
- [3] 王伟. 动力煤选煤工艺流程适应性思考 [J]. 选煤技术,2019 (6): 91-93.
- [4] 袁红军,高 鸿. 动力煤洗选工艺分析 [J]. 煤炭加工与综合利用,2018 (5): 19-22.
- [5] 付亮亮. 浅谈干法选煤技术现状和新思路 [J]. 科技创新导报,2017,14 (21): 38-39.
- [6] 付银香. 动力煤选煤厂选煤工艺现状及展望 [J]. 洁净煤技术,2015,21 (6): 30-33.
- [7] 吴国平. 动筛跳汰机在白岩选煤厂的应用 [J]. 煤炭技术,2014,33 (8): 330-332.
- [8] 王俊洋. 动筛跳汰机分选效果研究 [J]. 中小企业管理与科技 (下旬刊),2020 (11): 189-190.
- [9] 张庆贤. 斜轮分选机在田庄选煤厂的改造实践 [J]. 煤炭加工与综合利用,2020 (11): 46-48.
- [10] 李艳红,季晓明,秦国富. XZQ-1620 浅槽重介分选机在华丰矿选煤厂的应用 [J]. 选煤技术,2013 (5): 68-70.
- [11] 顾建军. 复合干选技术对块煤与末煤的排矸效率分析 [J]. 煤炭加工与综合利用,2021 (9): 1-4.
- [12] 王政军. 动力煤选煤厂设计中几种常见选煤工艺的浅析 [J]. 煤炭加工与综合利用,2006 (5): 55-56.
- [13] 高 嵩,王 敏,吴 波. TDS 智能干选机在煤矿中的研究与应用 [J]. 煤炭科学技术,2020,48 (S2): 57-60.
- [14] 吴文波. 智能干选在选煤厂块煤分选系统改造中的应用分析 [J]. 中国煤炭,2017,43 (12): 123-126.
- [15] 侯鹏辉. 块煤 TDS 智能干选机在曙光煤矿选煤厂的应用 [J]. 煤炭加工与综合利用,2019 (1): 39-41.
- [16] 吴金保,王慧超. TDS 智能干选机在灵新选煤厂的应用 [J]. 中国煤炭,2019 (12): 43-47.
- [17] 李 燕. TDS 智能干选机在应用中的注意事项 [J]. 选煤技术,2021 (6): 71-74.
- [18] 黄海峰,谌 托,王守强. 干法分选设备在淮北矿业集团的应用 [J]. 选煤技术,2020 (1): 34-38.
- [19] 梁兴国. TDS 智能干选机在井下排矸充填技术的应用 [J]. 选煤技术,2020 (2): 30-34.