

环冷机水密封改造: 技术创新 助力节能降耗与清洁生产

Water Seal Reformation of Ring Cooler: Technological Innovation Facilitates Energy Saving and Clean Production

供稿|路伟 / LU Wei

内
容
导
读

传统环冷机普遍采用橡胶或金属密封,容易出现漏风、扬尘、能耗高等问题,漏风率往往超过30%,严重时甚至达50%以上,不仅浪费能源,还影响余热回收效率。为响应国家节能环保政策,许多钢铁企业开始对环冷机进行水密封改造。本文以邯钢邯宝炼铁厂环冷机改造为例,系统介绍了水密封技术的创新与应用,重点解决了改造中出现的布料不均、栏板漏风、轨道位移、水槽积淤和冬季防冻等一系列实际问题,为同类设备升级提供了切实可行的技术方案和实践参考。

随着钢铁行业节能环保意识的增强,传统环冷机在节能及排放指标上均难以满足要求。无论是橡胶密封还是金属硬密封方式,传统环冷机的综合漏风率均在30%~50%,现场扬尘及积灰严重,无法达到环保标准;同时,其余热回收效率低,吨矿发电量低于15 kW·h,从节能降耗角度来看,已趋于被淘汰。为解决以上问题,邯宝炼铁厂选择将原环冷机改造为水密封环冷机。本文结合环冷机改造过程及实践经验,针对普遍存在的问题与不足,提出一系列技术创新及针对性解决方案,为同类型改造项目提供一定的参考。

邯宝炼铁厂2台360 m²烧结工艺配置的环冷机,单台面积为415 m²,每台环冷机配备5台环冷鼓风机,电机功率为710 kW,风量为450000 m³/h,并配套采用余热回收发电工艺。由于设备漏风较严

重,除冬季少数时段可单风机生产或开启4台风机,其余时间即便5台风机全部开启,仍难以满足生产需要。为达到降本增效、节能环保的目的,对2台环冷机实施水密封改造^[1-2]。

改造实践及技术创新要点

密封装置改造

邯宝炼铁厂原环冷机下部密封采用包容式机械密封系统,在环冷机基础上安装弹性静密封装置。该静密封装置由自润滑密封板构成,分为动、静密封2部分,动、静密封装置依靠弹性压力紧密贴合。在长期使用过程中,随着磨损及变形的加剧,密封面逐渐出现漏风现象,不仅造成现场扬尘,还使得环冷机冷却效率降低,进而降低余热发电效率^[1-2]。

改造后的密封结构

下部密封采用橡胶机械密封与水槽相结合的形式，其中高温段使用氟橡胶，低温段使用硅橡胶，尽可能减少或杜绝灰尘进入。水槽上设置排水管，排出的含泥含尘水通过输水系统与排水系统相连；同时，加强下水槽侧壁，保证其垂直度及圆度。插板（刮板）上增设竖向筋板并加装锌块，提高其耐磨性，延长使用寿命。上部密封采用机械密封（不锈钢丝刷）与水槽相结合的形式，考虑到冷热交替的工况，加装波纹膨胀节。此外，在余热发电取热段结束位置的风道上增设一组隔断密封装置，防止余热发电的回鼓热风与3段风机的冷风相互窜流，进而提高余热回收效率^[2-3]。

结构特点

下部采用水密封形式（见图1），基本杜绝了漏风情况，降低包容式机械密封的维护及更换成本；在水密封内侧增设一组橡胶密封，其中高温段采用耐温氟橡胶，低温段采用硅橡胶，有效避免散料及细灰进入水槽内部，减少上水槽积灰现象，降低维护工作量。该橡胶密封形式还能起到水槽密封的辅助作用，抵消一定的风压，减少水槽的水量消耗^[2-3]。

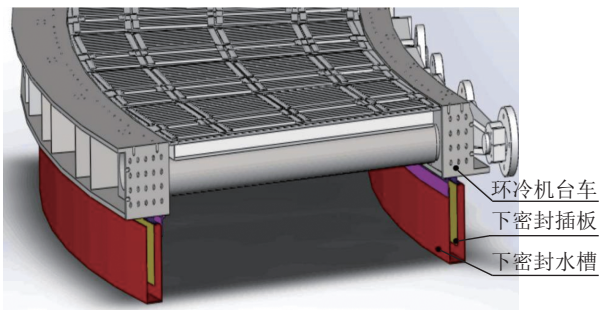


图1 下部水密封示意

上部采用水密封形式（见图2），避免栏板与密封罩之间的漏风，相较于裙片密封，其密封效果更佳，维护工作量更低；在水密封内侧增设一组复合不锈钢丝刷密封，基本杜绝了散料及细灰进入水槽内部，减少下水槽积灰现象，降低维护工作量；钢丝刷与栏板水平密封板柔性接触，使得密封效果更好^[3]。

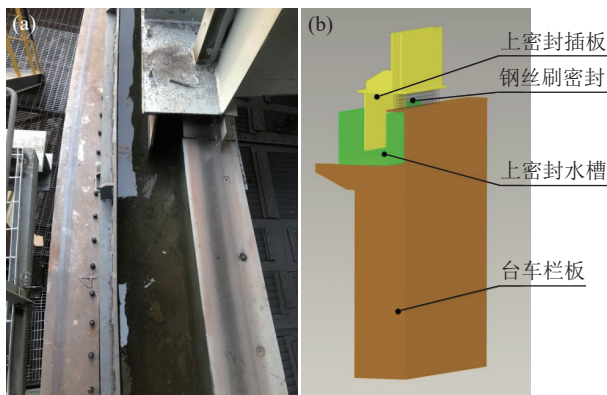


图2 上部水密封现场效果(a)及结构示意图(b)

增加隔断密封，在余热发电1、2段取热结束后的风道内部增设一组隔断密封。该密封装置配合风道隔断阀门共同作用，彻底隔断2、3段风道，可有效防止余热发电的回鼓热风及3段风机的冷风相互窜流，提高余热回收效率。

给矿漏斗改造

给矿漏斗重新设计料流角度，如图3所示。采用料打料和加装高铬铸铁耐磨块的方式解决从单辊落下的料损坏台车篦板的问题，并防止布料偏析和栏板上部积料。给矿漏斗料打料的设计思路，目的是提高漏斗的使用寿命。根据环冷机受料位置重新设计，保证环冷机台车上烧结矿布料平整，内外两侧布料偏差控制在100 mm内；同时，优化环冷端部密封结果，保证散料能够顺畅进入风道或卸料漏斗。



图3 环冷机给矿漏斗改造现场效果

实际应用表明，优化改进后的给矿漏斗基本将环冷机内外侧布料高差控制在100 mm内，相较于改

造前的布料高差（400 mm 以上）有了显著提升。布料平整度的提高可减少冷却风量从薄料层位置逸散，提高风量利用效率。在给矿漏斗最下部出口位置加装自存料缓冲平台，避免了给矿漏斗外侧出口侧板的磨损，延长了设备的使用寿命。

增加自动及手动卸灰阀

在现有 1~3 冷却段的风箱接管上增设 11 个双层卸灰阀，以实现自动控制卸料，如图 4 所示。4、5 段风箱之间的平段处增设 10 个卸料斗及手动插板阀，减少风道内部积料，提高冷却效率。

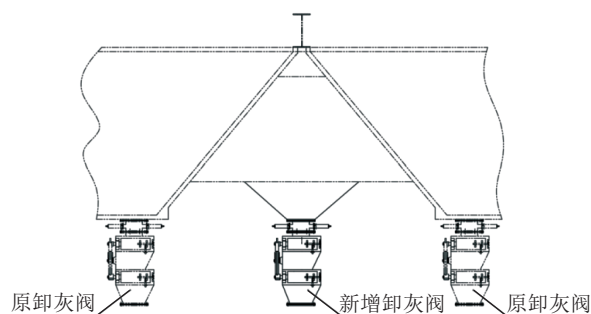


图 4 烟道新增双层卸灰阀安装示意

改造后可通过自动及手动放料方式将积存在环冷机风道原卸灰点之间的散料放空，增加风道通畅度，以便于均衡利用冷却风量，提高冷却效率。

环保卸料小车改造

根据 A 类企业评估要求，所有受料点均需配置除尘设施。原散料小车在受灰过程中未配备除尘设施，无法满足评估要求。因此，本次改造将散料小车升级为环保型卸料小车，优化小车机械结构，增加单体除尘器及配套的电控设施。除尘器随小车同步移动，在风道上自动或手动操作卸灰阀卸料时启动除尘器，以收集小车受料过程产生的扬尘。

上水槽无动力清淤装置设计

在实际生产过程中，环冷机冷却风与上密封水槽液面接触，导致部分灰尘与细小烧结矿进入水槽，沉积形成淤泥，不仅降低了水槽有效液封高度，还会因液封不均匀造成上水槽内喷水或外喷水的现象，影响正常生产，因此应定期对上密封水槽进行清淤。传统清淤方式主要依靠人工使用特制小铲，在合适位置铲出淤泥。这种方法清淤效果差，

过度依赖人工，员工劳动强度大，且存在作业安全风险^[4]。

为解决上述问题，设计并应用一款高效清淤装置。该装置结构简单，使用便捷，实用性强，既能节省设备成本，又能减轻员工劳动强度，改善作业环境。作为一种无动力装置，它有效解决了上水槽淤泥难清理的问题，该装置的结构示意图 5^[4]。

该装置投入使用后，解决了人工定期清淤存在的劳动强度大、工作环境差及安全隐患，大幅提升清淤的效率和效果。该装置利用虹吸现象，实现无动力排水，减少设备投入和电力消耗，降低设备故障率。该装置结构简单，无需其他动力装置，操作安全便捷，且虹吸排水管上无其他附加部件，清淤结束后淤泥可随水流排空，避免堵塞^[4]。

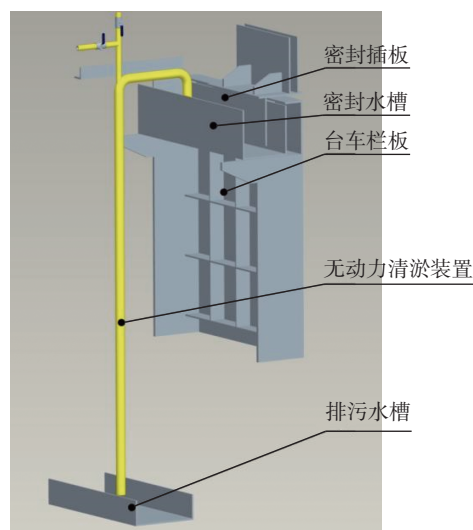


图 5 水密封环冷机上水槽无动力清淤装置示意

道轨端头及压板结构改进

在环冷机运行过程中，轨道回转时与支撑轮相互摩擦，传统的道轨压板结构无法承受该摩擦力，导致道轨沿圆周方向滑移，影响环冷机的平稳运转。为解决此问题，在安装中改进了道轨端头结构，增限位挡板以防止道轨滑移。同时，改进道轨压板结构，在轨道压板、道轨及道轨垫板上加工通孔。安装时，压板螺栓穿透压板、道轨及垫板（见图 6），通过螺栓承受道轨与支撑轮之间的摩擦力，彻底解决道轨滑移的问题。

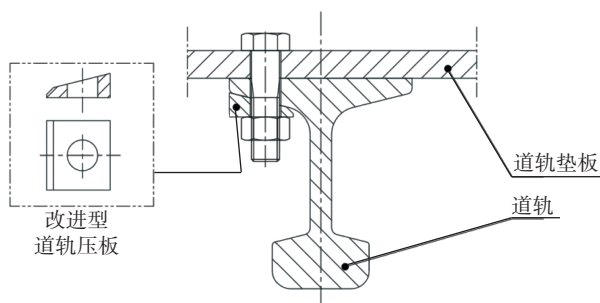


图6 改进型道轨压板及安装示意

可补偿式栏板间密封结构设计

环冷机栏板与立柱之间采用螺栓连接，在实际生产中，由于环冷机冷却过程中料温变化，栏板出现热胀冷缩现象，导致栏板与立柱连接处出现间隙，不仅会造成漏风，还会使细灰外扬，造成现场扬尘及积灰明显。为解决此问题，在环冷机栏板与栏板之间加装补偿式密封装置，如图7所示。该装置满焊在栏板上，安装后立柱位于密封装置内侧，可完全密封原栏板与立柱之间的缝隙。密封装置采用U形薄钢板结构，既能保证密封效果，又不影响环冷机栏板在物料冷却过程中的热胀冷缩，避免焊缝因受力而开裂。装置内部填充硅酸铝岩棉，起到隔热及辅助密封的效果。该装置投入使用后，有效消除了环冷机栏板与立柱之间的漏风问题，同时解决漏风造成的扬尘及漏料现象，具有节能和环保的效果。

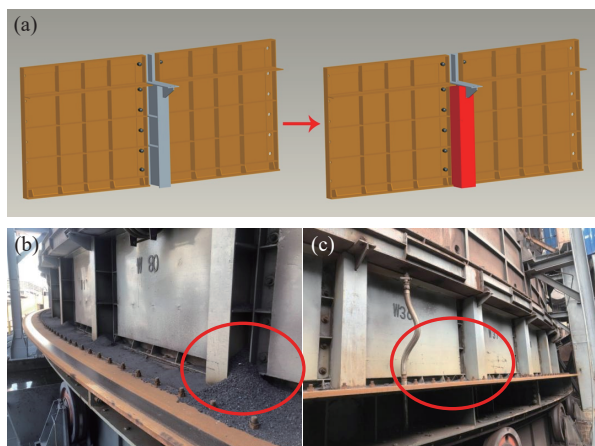


图7 可补偿式栏板间密封装置安装示意 (a) 及安装前 (b) 后 (c) 现场对比

冬季水槽及给排水系统防冻措施

采用水密封方式虽降低了漏风率，但在冬季低

温环境下，尤其是北方地区，水槽及给排水防冻问题成为新的挑战，处理不当会对生产造成严重影响。为解决该问题，进行一系列操作创新及改进。在实际生产中，因高温烟气与水槽接触，通过热量交换使上下水槽内的温度基本保持在 15°C 以上，生产过程中不会发生水槽冻结的情况。但给排水管及下水槽排水管缺乏热量补给，存在冻结风险，传统方式是增加保温及伴热，实际效果不佳，且会增加设备投入及能源消耗。经过研究，邯宝炼铁厂采用给排水自动控制的方式，通过下水槽定时排水，将水槽热量置换到排水管内水体中，水位下降后给排水管会自动补水，保证给排水管道及阀门不被冻结。此外，在低温区域增加温度检测装置，气温较低时，系统根据水槽水温自动控制给排水，避免发生低温冻结的情况。在检修停机或事故停机情况下，根据停机时间灵活选择增加给排水频次或排空水槽的方式，防止停机后水槽无热量补充导致低温冻结问题。

其他结构及技术优点

- (1) 台车翻转轴采用通轴结构，增强台车抗弯曲、抗扭转能力。
- (2) 翻转轴采用关节轴承，具备自调节能力，翻转卸料更灵活；在翻转轴两侧增加密封装置，防止细灰进入轴承造成磨损，同时杜绝轴端漏风、漏灰问题。
- (3) 全平面台车结构的装载系数更高，通风面积更大；通轴置于台车体中部，降低了摇臂轮轮压。
- (4) 完善设备故障检测与保护机制：通过台车翻转检测，防止异物损毁设备；通过台车粘料检测，防止异物或者过烧损害设备；通过驱动打滑及定扭矩检测，采用安全可靠的防打滑及定扭矩检测装置，防止发生过载等问题。
- (5) 栏板采用双层结构，中间增设保温材料，减少栏板热量辐射散失，同时起到岩棉防护的作用；外层盖板采用全满焊的整体式结构，有效保护岩棉。
- (6) 环冷罩采用骨架喷涂涂料方内隔热保温方式，减少高温段环冷罩热量辐射散失。

改造前后效果对比

通过对比分析改造前后的数据可知，改造后经济及环保效益显著，见表1。每台环冷机配套的5台

鼓风机正常生产只需开启 2~3 台,耗电量将明显降低;吨矿发电量明显提升,经济效益可观。此外,一系列新技术的开发与应用,有效降低了环冷机的

事故率,维护成本随之减少;尤为重要的是,改造后彻底解决了现场无组织排放带来的扬尘问题,环保效益突出。

表 1 改造前后的主要数据对比

项目	有效冷却面积/m ²	台车栏板高度/m	2台电极驱动功率/kW	台车数量	鼓风机开启数量	吨矿发电量/(kW·h)
改造前	415	1.5	11	72	4(冬季)、5(夏季)	14.5
改造后	430	1.6	18.5	80	1~2(冬季)、2~3(夏季)	21.0

通过对比改造前后的数据可知,一系列新技术的开发及应用取得了明显的节能及环保效果。采用上下水密封结合钢丝刷的密封技术,漏风率降低;栏板采用双层结构,中间增设保温材料,同时开发应用栏板间的密封装置,配合环冷罩骨架喷涂料内隔热保温技术,大幅减少热量辐射散失,提高余热发电效率,吨矿发电量平均提高 6.5 kW·h;在合适位置增设自动及人工卸灰阀,避免散料堵塞风道,提高风量利用率,使环冷鼓风机能耗减少约 40%;开发应用水槽自动清淤装置,提高水槽的密封效果,减少人工工作量;改进布料精度,采用平面台车结构,扩大冷却面积,降低流速,提高装载系数,延长热交换时间;改进轨道压板的固定方式,降低环冷机在运转过程中的事故率;通过优化操作、自动控制等方式在不增加设备设施及能源消耗的前提下,成功解决冬季水槽及给排水冻结的问题。

结束语

随着环冷机传统密封形式被淘汰,水密封环冷机成为当前行业的主流选择,但设备改造必然会产生一些新的问题。本文结合改造及生产过程的实践经验,通过应用创新技术来解决现场问题,通过改造环冷机密封结构降低了漏风率,通过改进给矿斗结构改善布料平整度,通过增加卸灰阀及改造卸料小车解决了风道积料及卸灰的环保问题,通过增加水槽清淤装置解决了水槽淤泥问题,通过改进道轨

固定结构解决了道轨位移问题,通过增加栏板密封装置解决了栏板的漏风问题,通过热量置换操作的方式解决了水槽冬季防冻的问题,为国内同类型环冷机的新建及改造工作提供一定的参考,具备较强的推广意义。这些创新技术在环冷机改造或新建过程中,有效解决了一系列共性问题,尤其适用于节能环保要求较高的地区和企业。对于配备环冷机余热发电系统的钢铁厂,其节能效果更加明显。通过实施创新技术,能够显著降低环冷鼓风机能耗,减少现场扬尘污染,提高余热回收效率及发电量,降低设备故障率,减少人工投入,并节约维护维修成本,具有较高的实践价值。

参考文献

- [1] 齐立东,胡荣,王二林.高效节能水密封环冷机的改造及应用实践.冶金设备,2020(S2):173
- [2] 赵军凯,侯健,姜林.邯钢烧结机冷却系统改造与余热发电效果提升.中国冶金,2020,30(4):69
- [3] 李林海,马飞.一种改进的环冷机水密封结构:中国专利,216668329.2022-06-03
- [4] 焦国帅,路伟,赵晓杰,等.一种烧结环冷机水密封上水槽的清淤装置:中国专利,218511523.2022-08-15

作者简介:路伟(1985—),男,河北省邯郸人,2008年毕业于太原理工大学机械设计制造及其自动化专业,邯钢集团邯宝钢铁有限公司炼铁厂设备管理人员,机械工程师,曾多次参加邯钢烧结设备维护、改造、新建和管理工作。主要研究方向:冶金设备的管理。通信地址:邯钢邯宝炼铁厂;E-mail:395365660@qq.com。