

循环流化床锅炉分离器浇注料脱落原因分析及预防措施

张生胜

山西昱光发电有限责任公司 山西 朔州 036900

摘 要：循环流化床锅炉分离器浇注料脱落会影响锅炉运行。脱落原因涵盖筑炉施工工艺不合理，如搅拌、振捣、养护不当；结构设计存在缺陷，像气流分布不均、锚固系统不佳；耐磨浇注料质量有问题，包括原材料差、结合剂性能不足等。预防措施需从优化施工工艺、改进结构设计、提升浇注料质量、加强施工管理监督等方面着手，可有效减少浇注料脱落，保障锅炉稳定运行。

关键词：循环流化床锅炉；分离器；浇注料脱落；原因分析；预防措施

1 循环流化床锅炉分离器及浇注料概述

1.1 循环流化床锅炉分离器工作原理与作用

循环流化床锅炉（CFB）作为一种高效、清洁的燃煤设备，在能源领域占据重要地位。其分离器是实现气固分离的核心部件，对锅炉的稳定运行和效率提升起着关键作用。循环流化床锅炉分离器主要基于离心分离原理工作。在锅炉运行过程中，从炉膛上升的气固两相流以较高速度切向进入分离器，气流在分离器内部做旋转运动，形成强大的离心力场。固体颗粒在离心力、惯性力和重力的共同作用下，被甩向分离器内壁，沿着内壁下滑，最终从排灰口排出，重新返回炉膛参与循环燃烧；而经过净化的气体则从分离器顶部出口排出，进入后续的对流受热面。分离器的作用主要体现在三个方面。其一，高效分离气固两相流中的固体颗粒，将未燃尽的燃料颗粒和脱硫剂送回炉膛，实现物料的循环利用，提高燃料的燃尽率和脱硫效率，降低污染物排放；其二，维持炉膛内的物料平衡，保证床料浓度稳定，使锅炉能够在最佳工况下运行，提升整体热效率；其三，减轻后续设备如过热器、省煤器等受热面的磨损，延长设备使用寿命，降低设备维护成本和检修频率。

1.2 浇注料的性能与作用

浇注料是一种由耐火骨料、粉料、结合剂及外加剂按一定比例混合而成的不定形耐火材料，在循环流化床锅炉分离器中发挥着不可或缺的作用。浇注料具有优异的耐高温性能，能够承受锅炉运行过程中高达850-1000℃甚至更高的温度，有效保护分离器金属外壳不被高温损坏；其良好的耐磨性可抵御高速运动的固体颗粒对分离器内壁的冲刷磨损，延长设备使用寿命；另外，浇注料还具备良好的抗热震性，能适应锅炉启停过程中温度的剧烈变化，防止因热应力产生开裂、剥落等问题^[1]。在循环流化床锅炉分离器中，浇注料的主要作用是形成耐

磨、隔热的内衬保护层。一方面，它隔离高温烟气和固体颗粒与分离器金属壁面的直接接触，避免金属壁面因高温氧化和磨损而损坏，保障设备的安全性和可靠性；另一方面，浇注料的隔热性能有助于减少热量散失，提高锅炉热效率，降低运行成本。

1.3 常见浇注料类型及适用场景

根据不同的成分和性能特点，常见的浇注料可分为多种类型。高铝质浇注料以高铝矾土为主要原料，氧化铝含量较高，具有较高的耐火度、强度和耐磨性，适用于分离器的入口段、锥段等磨损较为严重的区域。这些部位固体颗粒浓度高、运动速度快，对浇注料的耐磨性能要求极高，高铝质浇注料能够有效抵御颗粒冲刷，延长使用寿命。刚玉质浇注料以刚玉为主要骨料，具有硬度高、耐磨性强、抗侵蚀性好等优点，常用于分离器的直筒段。该部位虽然磨损程度相对入口段和锥段略低，但长期处于高温、高速气流和颗粒的作用下，对浇注料的综合性能要求较高，刚玉质浇注料能满足其使用需求。碳化硅质浇注料含有大量碳化硅颗粒，具有良好的耐磨性、抗热震性和抗侵蚀性，尤其适用于分离器的排灰口区域。排灰口处物料浓度大，且物料的流动状态复杂，碳化硅质浇注料能够有效应对该区域的恶劣工况，减少浇注料的磨损和脱落。莫来石质浇注料结合了莫来石的耐高温、抗热震和低膨胀等特性，适用于对热震稳定性要求较高的部位，如分离器的顶部区域。在锅炉启停过程中，顶部区域温度变化频繁，莫来石质浇注料能够更好地抵抗热应力，防止开裂和剥落。

2 循环流化床锅炉分离器浇注料脱落原因分析

2.1 筑炉施工工艺不合理

筑炉施工工艺的合理性直接影响浇注料的施工质量和使用性能，不合理的施工工艺是导致浇注料脱落的重要原因之一。在浇注料搅拌过程中，如果搅拌时间不足

或搅拌不均匀,会使结合剂与骨料、粉料不能充分混合,导致浇注料的强度和均匀性下降。施工过程中的振捣工艺也至关重要。振捣不充分会使浇注料内部存在大量气孔,降低其密实度和强度,在高速颗粒的冲刷下,这些气孔处容易成为磨损和脱落的起始点;反之,过度振捣则会导致浇注料分层,骨料下沉,粉料上浮,破坏其均匀性,同样影响浇注料的性能和使用寿命。浇注料的养护过程也不容忽视,养护温度和湿度控制不当,会影响结合剂的水化反应,导致浇注料强度增长缓慢或达不到设计要求。

2.2 结构设计缺陷

循环流化床锅炉分离器的结构设计对浇注料的工作状态和使用寿命有着重要影响,不合理的结构设计可能导致浇注料受力不均,从而引发脱落问题。分离器内部的气流分布不均匀是常见的结构设计缺陷之一,当气流在分离器内形成涡流或局部高速区域时,会使浇注料表面受到的冲刷力不均匀,某些部位的浇注料在强大的气流和颗粒冲击下,更容易出现磨损和脱落。分离器的支撑结构和锚固系统设计不当也会影响浇注料的稳定性。锚固钉的布置密度、长度和形状如果不符合要求,无法为浇注料提供足够的锚固力,在热应力和物料冲刷力的作用下,浇注料容易与金属壁面分离,进而脱落。而支撑结构若刚性不足,在锅炉的长期运行过程中可能会发生变形,这种变形会给浇注料带来额外的应力,进而加速其损坏过程^[2]。

2.3 耐磨浇注料质量问题

耐磨浇注料自身质量问题是其在循环流化床锅炉分离器中脱落的根本原因之一。原材料质量对浇注料性能影响显著。若耐火骨料纯度低、含杂质,会降低浇注料的耐火度和强度;粉料颗粒级配不合理,会影响其流动性和密实度。结合剂性能同样关键,其粘结强度不足,无法牢固结合骨料和粉料,会导致浇注料松散、剥落;耐温性能差,高温下失去粘结作用,也会使浇注料失效。此外,部分生产厂家为降低成本,在生产中偷工减料,不按配方比例配制浇注料,或生产工艺控制不严,致使浇注料质量不稳定,难以满足锅炉分离器的高要求。运行方面,循环流化床锅炉的特殊工况也是重要因素。深度调峰、启停调峰等操作会使锅炉内部温度、压力等参数急剧变化,快速变化的工况会对浇注料产生额外热应力和机械应力,长期运行会加速其老化和损坏。同时,频繁的启停和调峰操作还会增加浇注料受冲刷和磨损的机会,进一步缩短其使用寿命。

3 循环流化床锅炉分离器浇注料脱落预防措施

3.1 优化筑炉施工工艺

优化筑炉施工工艺是预防浇注料脱落的关键环节,需要从搅拌、振捣、养护等多个方面进行严格控制。在浇注料搅拌环节,应采用专业的搅拌设备,并严格控制搅拌时间和搅拌速度。一般来说,搅拌时间应根据浇注料的种类和配方要求确定,通常不少于3-5分钟,确保结合剂与骨料、粉料充分混合均匀。同时,要定期检查搅拌设备的运行状态,防止因设备故障导致搅拌不均匀。振捣工艺的优化同样重要,应根据浇注料的特性和施工部位选择合适的振捣方式和振捣时间。对于大面积的浇注区域,可采用插入式振捣棒进行振捣,振捣棒应垂直插入浇注料中,移动间距不宜过大,以防止出现漏振现象;振捣时间以浇注料表面不再显著下沉、不再出现气泡、表面泛浆为宜,避免过度振捣。在养护方面,要根据施工环境和浇注料的要求,制定合理的养护方案。在常温环境下,浇注料施工完成后应及时覆盖塑料薄膜或湿草帘进行保湿养护,养护时间不少于7-14天;在低温环境下,除采取保温措施外,还可添加早强剂或采用蒸汽养护等方式,确保结合剂充分水化,提高浇注料的早期强度。

3.2 改进结构设计

改进循环流化床锅炉分离器的结构设计,有助于改善浇注料的工作条件,减少其脱落风险。优化分离器内部的气流分布是关键,通过合理设计分离器的入口角度、形状和尺寸,以及内部导流装置的布置,使气流在分离器内均匀分布,减少涡流和局部高速区域的产生。例如,采用渐扩式入口设计,能够使气固两相流平稳进入分离器,降低对入口区域浇注料的冲击;在分离器内部设置导流板,引导气流均匀流动,减轻对浇注料的冲刷磨损。完善支撑结构和锚固系统也至关重要,合理增加锚固钉的布置密度,优化锚固钉的长度和形状,提高其对浇注料的锚固力。例如,采用Y型或V型锚固钉,能够增加与浇注料的接触面积,增强锚固效果;同时加强支撑结构的刚性,确保在锅炉运行过程中不发生变形,减少对浇注料的额外应力。

3.3 提升耐磨浇注料质量

提升耐磨浇注料的质量是预防其脱落的根本保障,需要从原材料选择、生产工艺控制等方面入手。在原材料选择上,应严格把关,选用纯度高、性能优良的耐火骨料和粉料。例如,选择特级高铝矾土作为骨料,确保其氧化铝含量在85%以上,提高浇注料的耐火度和强度;合理搭配不同粒径的粉料,优化颗粒级配,提高浇注料的流动性和密实度。加强生产过程中的质量控制,严格按照配方比例配制浇注料,确保结合剂、外加剂等添加

量准确。同时采用先进的生产工艺和设备,如强力混合机、振动成型设备等,提高浇注料的混合均匀性和成型质量。建立完善的质量检测体系,对生产出的浇注料进行严格的性能检测,包括耐火度、强度、耐磨性、抗热震性等指标,确保产品质量符合设计要求^[3]。

3.4 加强施工管理与监督

加强施工管理与监督是确保筑炉施工质量的重要手段,能够有效预防浇注料脱落问题的发生。建立健全施工管理制度,明确施工人员的职责和 workflow,制定严格的施工质量标准 and 验收规范。在施工前,对施工人员进行专业培训,使其熟悉浇注料的性能特点、施工工艺和质量要求;施工过程中,安排专人进行现场监督,及时发现并纠正施工中的违规操作和质量问题。加强对施工材料的管理,严格执行材料进场检验制度,确保使用的浇注料、锚固钉等材料质量合格。对不合格材料坚决不予使用,并及时退场处理。同时合理安排施工进度,避免因赶工导致施工质量下降。

4 实际案例分析

4.1 案例一

某电厂300MW循环流化床锅炉运行一年后,分离器锥段和排灰口区域的浇注料大面积脱落,导致停炉检修。分析原因,主要问题存在于筑炉施工与结构设计两方面。筑炉施工中,搅拌时间不足导致结合剂与骨料混合不均,振捣不充分则内部气孔多,降低了密实度和耐磨性。结构设计上,分离器锥段角度不合理造成物料堆积,增加冲刷磨损;锚固钉布置密度不足,无法有效固定浇注料。

针对这些问题,采取了多项解决措施。施工工艺上,延长搅拌时间至5分钟,确保混合均匀,采用振捣棒提高密实度,并加强养护管理。结构设计上,调整分离器锥段角度以优化物料流动,增加锚固钉密度并采用Y型锚固钉增强固定效果。同时,严格执行烘炉曲线以确保整改效果。经过整改,锅炉重新投入运行后,分离器浇注料未再出现大面积脱落现象,锅炉运行稳定性显著提高。此次案例表明,筑炉施工工艺和结构设计的优化对于解决浇注料脱落问题至关重要。通过细致的分析和有效的措施,可以显著提升锅炉的运行效率和安全性。

4.2 案例二

某电厂在新建一台350MW循环流化床锅炉时,充分吸取以往经验教训,在分离器浇注料施工和运行过程中采取一系列预防脱落的措施,取得良好的效果^[4]。在施工前,对浇注料的原材料进行严格筛选,选用高纯度的刚玉骨料和性能优良的结合剂,并委托专业机构对浇注料配方进行优化,提高其综合性能。施工过程中,严格按照优化后的施工工艺进行操作,搅拌时间控制在4分钟左右,采用分层振捣的方式确保振捣密实;加强施工管理和监督,安排专业技术人员全程跟踪指导,对每道工序进行严格验收。在结构设计方面,对分离器进行优化设计。调整入口段的形状和角度,设置导流板,使气流均匀进入分离器;加强支撑结构的刚性,采用高强度钢材制作支撑梁;优化锚固系统,增加锚固钉数量,并对锚固钉进行防腐处理,提高其使用寿命。锅炉投入运行后,定期对分离器浇注料进行检查和维护,及时发现并处理局部磨损和轻微裂纹等问题。经过两年多的运行,该电厂CFB锅炉分离器浇注料保持良好状态,未出现大面积脱落现象,有效降低设备维护成本,提高锅炉的运行效率和可靠性。

结束语

循环流化床锅炉分离器浇注料脱落问题复杂且影响重大。通过对其脱落原因的深入分析,针对性提出的预防措施在实际案例中已展现出良好效果。未来,随着技术不断进步,应持续优化相关工艺与管理,进一步提升浇注料稳定性,确保循环流化床锅炉高效、安全、长周期运行,为能源行业发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 张晓蕾,刘建新,张海鹏,等.循环流化床锅炉旋风分离器中心筒的外压稳定性分析[J].热力发电,2021,50(2):84-85.
- [2] 李明,黄乐平,胡昆明.循环流化床锅炉结渣控制技术[J].燃料化学学报,2019,47(12):1397-1410.
- [3] 蔺伟东.预防循环流化床锅炉结焦的措施[J].今日制造与升级,2022,(01):76-78.
- [4] 杨琅.循环流化床锅炉结焦原因与对策分析[J].节能环保,2020,(07):37-38.