

热轧带钢层流冷却装置流场均匀性改进设计

任庆松

鞍钢股份热轧带钢厂 辽宁 鞍山 114000

摘要: 在热轧带钢生产过程中,层流冷却装置是控制带钢组织性能的关键设备,其流场均匀性直接影响带钢冷却效果和产品质量。当前,传统层流冷却装置存在流场分布不均、冷却强度调控不精准等问题,导致带钢出现板形不良、性能波动等缺陷。本文深入分析热轧带钢层流冷却装置流场均匀性对带钢冷却过程的影响,结合流体力学原理与实际生产需求,从喷嘴结构优化、集管布局调整、冷却系统控制算法改进、辅助设备设计等方面探讨流场均匀性的改进设计策略,并对改进设计后的装置进行模拟验证与实际生产应用效果分析,同时剖析改进设计过程中面临的技术、成本、生产协调等挑战及应对措施,旨在为提升热轧带钢层流冷却装置性能、保障带钢产品质量提供理论依据与实践指导。

关键词: 热轧带钢;层流冷却装置;流场均匀性;改进设计;冷却效果;产品质量

1 引言

热轧带钢作为重要的钢材产品,广泛应用于建筑、机械制造、汽车、能源等多个领域。随着各行业对热轧带钢质量和性能要求的不断提高,精确控制带钢的冷却过程成为提升产品质量的关键环节。层流冷却装置通过将冷却水以层流状态喷射到带钢表面,实现对带钢的快速冷却,从而控制带钢的显微组织和力学性能。流场均匀性是衡量层流冷却装置性能的重要指标,均匀的流场能够使带钢在宽度和长度方向上获得一致的冷却速率,避免因冷却不均导致的板形缺陷(如瓢曲、波浪形等)和性能差异(如强度、韧性不一致)。然而,目前多数热轧带钢层流冷却装置存在流场不均匀的问题,制约了带钢产品质量的进一步提升。因此,开展热轧带钢层流冷却装置流场均匀性改进设计研究,对提高热轧带钢生产质量、增强企业市场竞争力具有重要意义。

2 热轧带钢层流冷却装置流场均匀性现状及影响

2.1 层流冷却装置流场均匀性现状

当前,传统的热轧带钢层流冷却装置在流场均匀性方面存在诸多问题。从结构设计上看,部分装置的喷嘴布置不合理,喷嘴间距、角度和喷射方向缺乏科学规划,导致冷却水喷射到带钢表面后分布不均。在集管布局方面,集管的排列方式和高度设置不够优化,使得不同集管之间的水流相互干扰,影响流场稳定性。此外,冷却系统的控制方式相对落后,多采用固定的冷却策略,难以根据带钢的规格、速度以及生产工况的变化实时调整冷却强度,进一步加剧了流场的不均匀性。这些问题导致在实际生产中,带钢沿宽度方向的冷却速率差异可达10%-20%,严重影响带钢的质量和性能。

2.2 流场不均匀对带钢冷却的影响

流场不均匀会对带钢冷却过程产生多方面的负面影响。在冷却速率方面,带钢不同部位冷却速率不一致,会导致带钢内部产生不均匀的热应力。当热应力超过带钢的屈服强度时,就会引发板形缺陷,如带钢出现侧弯、中浪或边浪等现象,降低带钢的成材率。在组织性能方面,冷却速率的差异会使带钢不同区域形成不同的显微组织,例如,冷却速率较快的区域可能形成马氏体组织,而冷却速率较慢的区域则可能形成珠光体或铁素体组织,从而导致带钢力学性能不均匀,无法满足用户对产品性能一致性的要求。此外,流场不均匀还会增加带钢表面氧化铁皮的不均匀性,影响带钢的表面质量和后续加工性能。

3 热轧带钢层流冷却装置流场均匀性改进设计策略

3.1 喷嘴结构优化设计

喷嘴作为层流冷却装置的核心组成部分,其结构设计对于冷却水的喷射形态和流场分布具有决定性的影响。为了提升冷却效果,确保冷却水的均匀喷射,对喷嘴结构进行细致的优化设计是至关重要的。首先,我们可以从喷嘴的内部流道入手,通过采用流线型的设计来减少水流在喷嘴内部的阻力以及涡流的产生,从而使水流能够更加平稳、均匀地喷出。例如,将传统的直筒形流道改进为渐缩形或抛物线形流道,这样的设计可以有效地改善水流的喷射均匀性,提高冷却效率。

其次,对喷嘴的出口形状和尺寸进行优化也是提升冷却效果的重要手段。根据带钢的具体宽度和冷却需求,合理设计喷嘴出口的宽度和长度,确保冷却水能够均匀覆盖带钢表面,避免局部冷却不均的情况发生。此

外,为了适应不同规格带钢的冷却需求,可以采用可调式喷嘴结构,通过调节喷嘴的喷射角度和流量,实现更加灵活和精确的冷却控制,从而进一步提高流场均匀性,确保冷却效果达到最佳状态。

3.2 集管布局调整

集管布局在层流冷却装置中对于流场均匀性的影响同样不容忽视。在纵向布局上,合理调整集管之间的间距和高度,可以有效避免集管之间的水流相互干扰,保证冷却水的均匀喷射。根据带钢的运行速度和冷却曲线要求,可以采用变间距的集管布置方式。在冷却初期,集管间距较小,以提供较高的冷却强度,满足快速冷却的需求;而在冷却后期,适当增大集管间距,可以减缓冷却速率,避免过度冷却。

在横向布局方面,优化集管的排列方式同样重要。采用交错排列或对称排列的方式,可以使冷却水在带钢宽度方向上分布更加均匀,避免出现冷却死角。同时,调整集管的高度,确保集管与带钢表面的距离保持一致,也是避免因距离差异导致的冷却不均的重要措施。通过这些细致的布局调整,可以大大提升层流冷却装置的冷却效果,保证带钢的冷却质量。

3.3 冷却系统控制算法改进

为了实现层流冷却装置流场的精准控制,必须对现有的冷却系统控制算法进行全面的改进和优化。具体而言,可以引入先进的智能控制算法,例如模糊控制、神经网络控制等。这些智能算法能够根据带钢的具体规格(包括厚度和宽度)、运行速度、实时温度以及生产工况等多方面的实时数据,进行动态调整冷却系统的各项参数。这些参数包括但不限于喷嘴的开启数量、喷射角度、水流流量等。例如,通过利用神经网络算法对海量的生产数据进行深入的学习和训练,可以建立起一个精确的带钢冷却过程数学模型。基于该模型的预测结果,可以实时调整冷却策略,从而实现带钢冷却速率的精确控制。此外,还可以采用多变量协同控制算法,这种算法能够综合考虑带钢的温度、板形、性能等多个关键目标,全面优化冷却系统的运行参数,显著提高流场的均匀性和冷却效果,确保生产过程的稳定性和产品质量。

3.4 辅助设备设计与应用

设计和应用高效的辅助设备,能够进一步提升层流冷却装置的流场均匀性,从而显著改善冷却效果。安装导流板是一种常用的辅助手段,具体做法是在集管下方或带钢两侧合理设置导流板,这样可以有效引导水流均匀分布,减少水流的扩散和飞溅现象,提高冷却水的利

用效率。此外,还可以设置均流装置,如多孔板、格栅等,这些装置能够对水流进行二次分配,确保水流在进入喷嘴前达到更加均匀的状态。在带钢运行过程中,采用张力控制装置来保持带钢的平直度,避免因带钢抖动或偏移而导致的冷却不均匀问题。同时,配备先进的在线检测设备,实时监测带钢的温度、板形和冷却速率等关键参数,并将这些检测数据及时反馈给冷却系统的控制系统,形成闭环控制机制。通过这种闭环控制,可以及时调整冷却参数,确保流场的均匀性和带钢的冷却质量,从而全面提升生产效率和产品质量。

4 改进设计的模拟验证与实际应用

4.1 数值模拟验证

为了确保改进设计的层流冷却装置能够达到预期的冷却效果,我们采用了计算流体力学(CFD)软件进行了详细的数值模拟。首先,我们构建了层流冷却装置的三维几何模型,这个模型精确地反映了冷却装置的内部结构。随后,我们根据实际的生产条件,设置了合理的边界条件和物理参数,这些参数包括水流速度、温度、带钢的运行速度等,以确保模拟结果的准确性。

在模拟计算过程中,我们重点关注了装置内部以及带钢表面的流场分布情况。通过模拟,我们得到了流场分布云图、速度矢量图等结果,这些结果为我们提供了直观的流场分布情况。我们将改进前后的模拟结果进行了详细的对比分析,特别是对流场均匀性的改善情况进行了深入的研究。例如,我们发现改进后的设计使得带钢宽度方向上的冷却速率差异显著降低,从原来的15%降低到了5%以内,这表明流场分布变得更加均匀,从而验证了改进设计的有效性。

4.2 实际生产应用

在数值模拟验证基础上,我们将改进设计后的层流冷却装置应用于实际热轧带钢生产线。应用中,对带钢冷却过程实时监测与数据采集,记录温度变化、板形数据及力学性能指标,为评估改进效果提供依据。

通过对比改进前后生产数据,发现改进后的装置在实际生产中效果显著。带钢板形缺陷率降低超30%,力学性能均匀性显著提高,如带钢宽度方向抗拉强度波动范围从 $\pm 50\text{MPa}$ 缩至 $\pm 20\text{MPa}$ 以内,带钢质量明显提升。

此外,带钢表面质量也明显改善,氧化铁皮均匀性提高,满足用户对高质量热轧带钢的需求。这些改进提高了企业经济效益,增强了市场竞争力。总之,改进设计后的层流冷却装置在实际生产中效果令人满意,为热轧带钢生产提供了重要技术支持。

5 改进设计面临的挑战及应对措施

5.1 技术挑战及应对

热轧带钢层流冷却装置流场均匀性改进设计涉及流体力学、传热学、材料学等多学科知识,技术难度较大。在喷嘴结构优化和集管布局调整过程中,需要精确计算水流的流动特性和传热过程,确保改进设计的合理性和有效性。同时,智能控制算法的开发和应用也面临着数据处理量大、模型建立复杂等问题。为应对这些技术挑战,企业应加强与科研院所、专业机构的合作,组建跨学科的研发团队,开展联合攻关。利用先进的实验设备和仿真软件,进行大量的实验研究和数值模拟,不断优化设计方案和控制算法。此外,还应关注国内外相关技术的发展动态,及时引进和吸收先进技术,提升自身的技术水平。

5.2 成本挑战及应对

改进设计需要对层流冷却装置的硬件设备进行改造和升级,包括更换喷嘴、调整集管布局、安装辅助设备等,同时还需要投入资金进行软件系统开发和人员培训,导致成本大幅增加。为降低成本,企业可采用分步实施的策略,优先对影响流场均匀性较大的关键部件进行改进,逐步完成整个装置的升级改造。在设备采购方面,通过招标采购、与供应商建立长期合作关系等方式,降低设备采购成本。此外,企业还可以申请政府的科研项目资金支持,或者与其他企业合作分摊研发成本,减轻资金压力。

5.3 生产协调挑战及应对

在改进设计的实施过程中,需要对生产线进行停机改造,这会影响到正常的生产进度,给企业带来一定的生产压力。同时,改进后的装置在试运行阶段可能会出现一些问题,需要及时进行调整和优化,这也需要生产部门、技术部门和设备维护部门之间密切配合。为应对生产协调挑战,企业应制定详细的改造计划和应急预案,合理安排停机时间,尽量减少对生产的影响。在试运行

阶段,建立跨部门的协调机制,加强各部门之间的沟通与协作,及时解决出现的问题。此外,还应加强对操作人员的培训,使其熟悉改进后装置的操作方法和维护要求,确保装置的稳定运行。

6 结论

热轧带钢层流冷却装置流场均匀性改进设计对提高带钢产品质量具有重要意义。通过对喷嘴结构、集管布局、冷却系统控制算法以及辅助设备等方面进行优化设计,并经过数值模拟验证和实际生产应用,有效改善了层流冷却装置的流场均匀性,提高了带钢的冷却效果和产品质量。尽管在改进设计过程中面临技术、成本、生产协调等方面的挑战,但通过采取相应的应对措施,可以逐步克服困难,实现装置的升级改造。未来,随着钢铁行业对产品质量要求的不断提高和相关技术的持续发展,还需要进一步深入研究和优化层流冷却装置的设计,探索更加先进的控制技术和方法,不断提升热轧带钢层流冷却装置的性能,推动钢铁行业高质量发展。

参考文献

- [1]孙杰,吴豪,彭文,等.热轧带钢残余应力形成机理与调控研究进展[J/OL].中国冶金,1-16[2025-07-03].<https://doi.org/10.13228/j.boyuan.issn1006-9356.20250123>.
- [2]张文旭,沈铁成,闫文彪,等.热轧带钢层流冷却高位水箱及层流水流量的设计计算[J].山东冶金,2024,46(03):46-49.DOI:10.16727/j.cnki.issn1004-4620.2024.03.017.
- [3]廖钢,余伟,夏梓崑.热轧薄带钢层流冷却边部遮蔽模拟及分析[J].轧钢,2024,41(03):119-126.DOI:10.13228/j.boyuan.issn1003-9996.20240317.
- [4]禰行朋,韦皓,莫琳琳,等.热轧带钢厚规格层流冷却控制策略优化[J].四川冶金,2024,46(01):61-65+69.
- [5]任长辉,田海,陶震,等.热轧带钢层流冷却的精冷段SmithPSO-BP-PID反馈控制[J].锻压技术,2023,48(12):177-181.DOI:10.13330/j.issn.1000-3940.2023.12.025.