

稀土冶炼设备数控化改造中伺服驱动系统响应速度优化

隆村聪

广西国盛稀土新材料有限公司 广西 崇左 532200

摘要：稀土冶炼设备数控化改造中，伺服驱动系统响应速度对冶炼工艺稳定性、设备运行效率及操作安全性至关重要。针对设备运行环境恶劣、负载波动大等问题，文章从散热与耐高温结构优化、负载自适应控制算法优化、系统可靠性强化设计等方面解析了，稀土冶炼设备数控化伺服驱动系统改造策略，通过具体改造措施的运用，能够提升系统响应速度，增强系统的运行稳定性。

关键词：稀土冶炼设备；数控化改造；伺服驱动系统；响应速度；优化方法

引言

稀土作为国家重要战略资源，其冶炼设备的性能满足要求才能提高稀土冶炼工艺水平。以往在稀土冶炼过程中其设备运行效果相对较差，在效率、精度等方面存在一定缺陷，这就需要进行数控化改造以满足运行需求。而在稀土冶炼设备数字化改造过程中需进行伺服驱动系统响应速度的改变，这样能够使得伺服系统快速精准地完成指令，确保物料输送、炉体驱动等能够按照指令快速执行。若稀土冶炼设备的伺服驱动系统执行速度较慢、工艺稳定性较差、产品质量不足，甚至在生产过程中造成严重的安全事故。在这种背景下需深入探讨稀土冶炼设备数控化改造中伺服驱动系统响应速度优化策略，能够保证稀土冶炼设备运行的稳定性、可靠性、安全性达到要求。

1 增强伺服驱动系统响应速度作用

1.1 保障冶炼工艺稳定性

稀土冶炼环节工艺流程相对较为复杂，应保证稀土冶炼的还原时间、焙烧温度达到工艺技术标准才能提高稀土冶炼水平。而在稀土冶炼设备伺服系统运行阶段，能够有效消除外部干扰因素影响，并及时掌握设备运行状态以提高控制策略。例如，焙烧炉出现温度波动时能够快速调节炉体位置、燃料供给等，能够使其达到正常的运行状态。若伺服驱动系统控制存在延迟等情况导致数据变化而给整个系统运行平衡性产生不利影响。在这种情况下需要对稀土冶炼设备工艺参数进行分析，保证其运行功能性达到要求，也能实现控制系统水平的提高。

1.2 提高设备运行效率

稀土冶炼设备数控化改造使得伺服系统快速响应，

作者简介：隆村聪（1987.12.24），女，汉，籍贯：湖南省长沙市，大专。研究方向：数控技术在稀土智能制造中的应用

并顺利完成动作切换以提高运行效率。例如，稀土冶炼过程中物料输送时伺服系统快速响应，进而确定物料装置的启停和速度能够有效减少等待时间；稀土冶炼设备炉体在旋转升降时利用数控化设备缩短动作时间，尽快完成工艺流程。通过该方式能够使得稀土冶炼设备伺服系统响应速度得到提升，能够有效降低生产成本以及能耗，进而达到生产效率提升的目的^[1]。

1.3 提升设备操作安全性

稀土设备在运行过程中面临腐蚀气体、高压、高温的影响，这导致伺服系统运行环境恶劣、故障率升高，需采取必要的保护性措施。数控化改造过程中利用传感器监测伺服系统运行时的压力、温度等情况，若存在异常现象立即停机复位避免出现安全事故。同时稀土冶炼设备数控化改造使伺服系统响应速度加快，能够快速完成动作偏差纠正以保证人员和生产作业安全性。

2 稀土冶炼设备工况分析

某稀土冶炼企业中还原炉、焙烧炉、物料输送装置是其主要组成部分，各个工艺流程对生产工艺要求有着很大影响。通过对生产环境进行分析，焙烧炉周边温度达到800℃~1000℃，还原炉温度为500℃~600℃，这导致伺服系统的运行环境温度较高，对于电机驱动器、散热等功能有更高要求。同时稀土冶炼环节会产生硫化物、含氟化物等腐蚀性气体损害电器元件以及金属部件，如该企业伺服电机绕组绝缘层半年后存在老化严重的现象。

通过对负载方面进行分析，该企业物料输送装置负载从空载的500kg增加到满载的2000kg；还原炉旋转倒料时负载在1~2s内快速从3000kg增加到5000kg，负载发生较大变化。而且，炉体本身重量达到8000kg，惯性较大，在启动和制动时对伺服系统的加速度、制动能力方面要求较高，也会存在超调现象。

该企业中稀土冶炼设备往往连续24h持续运行，只能

在大修环节停机一次。若该设备伺服驱动系统存在连接部件松动等情况，主要是因为物料撞击、机械运转时产生的振动而影响设备的性能。此外，稀土冶炼过程中存在大量的粉尘造成散热系统的堵塞，这导致散热系统运行稳定性无法达到要求，热量无法散失而引发伺服系统的故障率升高。

3 稀土冶炼设备数控化改造中伺服驱动系统响应速度优化方法

3.1 散热与耐高温结构优化

经过对该企业稀土冶炼设备运行环境进行分析，发现伺服驱动系统运行工况较为恶劣，在高温、高压、粉尘的影响下故障率升高，需进行必要的优化和调整。按照该稀土冶炼设备运行工况条件选择使用双循环水冷系统，在电机、外壳中设置内外两层旋转冷水通道以达到降低电机绕组温度的目的，从而避免因为高温给伺服驱动系统的电机造成影响。而在该系统优化过程中选择使用导热系数达到 $401\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 的紫铜作为通道壁，从而使得导热性能达到技术标准，并选择使用沸点 300°C 的专用导热油作为冷却液。通过该设计方式能够使得冷却效果达到技术标准，确保在运行过程中的设备温度在 $65^\circ\text{C}\sim70^\circ\text{C}$ 之间，即使焙烧炉周边达到 1000°C 也能保证伺服驱动系统电机稳定运行。

驱动器在设计环节所选择的散热方式为“热管+液冷”复合方式，这就需要在系统内部设置直径 8mm 的三根热管以达到良好的散热效果。而在散热系统设计过程中，鳍片间隔距离设定为 5mm ，将其主要敷设在热管的一侧，并且实现热量的稳定导出以增大散热面积。而在该系统散热过程中，其芯片内部的散热循环速度达到 $2\text{L}/\text{min}$ 。同时该系统在散热设计环节安装转速 $2800\text{r}/\text{min}$ 的轴流风扇，这样能够在设备内部形成对流以保证驱动器工作温度控制在 55°C 以内^[2]。

伺服驱动系统在优化改造过程中需选择使用等级H级的聚酰亚胺漆包线，其主要特点是耐高温性能好，能够满足电机绕组的运行需求。该类型漆包线的运行极端温度能够达到 180°C ，确保各项功能达到要求。而对于驱动器内部的各元件选择也要保证其耐高温达到标准，一般重要元件应保证其处于 $-55^\circ\text{C}\sim150^\circ\text{C}$ 之间能够稳定运行。驱动器外壳、电机等在生产作业过程中需在结构表面喷涂厚度 0.1mm 的高温耐腐蚀涂层，这样能够保证设备具备较高的耐高温性能，其发挥陶瓷复合性材料作用避免外部环境硫化物、氟化物等腐蚀性气体的侵蚀作用，确保设备运行功能达到要求。

3.2 负载自适应控制算法优化

经过稀土冶炼企业生产状况进行分析，发现在设备运行过程中负载波动变化较大，这就要根据改造要求选择使用负载自适应控制算法进行调整。在该系统优化过程中应选择高性能微处理器，能够掌握 100ms 负载变化情况，再联合使用PID控制算法进行系统参数控制。而在系统设计阶段选择使用精度较高的负载变化模型，掌握 50ms 的负载变化参数以及时进行负载数据分析且对系统进行调整。

若系统监测发现伺服驱动系统运行时负载超出 $5\%\text{ms}$ ，则立即将比例参数从常规的 0.8 增加到 1.2 以提高响应速度。积分时间从 0.1s 减小到 0.05s 消除稳态误差，微分时间为 0.02s 不变。在该环节中使得系统监控周期控制为 0.5ms ，即使系统运行过程中负载发生很小变化，也能够快速掌握各项数据信息提高伺服驱动系统的控制精度。而在本系统改造过程中所选择伺服电机最大过载转矩 $18\text{N}\cdot\text{m}$ ，额定转矩 $5\text{N}\cdot\text{m}$ 的永磁同步电机，其能够满足生产作业要求且在还原炉旋转时能够抵抗负载冲击。驱动器设计阶段选择科学合理的电路设计方式，确保电流环带宽达到 10kHz ，这样能够保证电流环、速度环、位置环三环控制精度达到要求，进而提高电机的精准调节控制能力以应对负载波动变化。

3.3 系统可靠性强化设计

为能满足该稀土生产设备连续 24h 持续运行的要求，在伺服驱动系统优化改造阶段应保证其可靠性达到技术标准。伺服驱动系统在优化改造环节将各个电源模块容量设定为 500W ，并选择两个模块的冗余设计方式以保证其各自承受 50% 荷载达到稳定性要求。若系统运行过程中监测发现主负载模块的电压波动超过 $\pm 5\%$ ，则系统在 3ms 内自动切换备用模块运行，以保证其运行过程中不会出现严重负载或者故障而引发设备停机。

伺服电机选择的是陶瓷轴承，并在内部填充聚四氟乙烯降低摩擦系数、提高耐磨性。而在轴承安装完成后需在内部填充聚脲脂润滑脂确保轴承使用寿命达到 1200h ，进而减少维护次数。伺服驱动系统需研发出先进的神经网络诊断系统，并且通过安装传感器掌握电流、电压、温度、转速等各项数据。在该系统运行过程中将数据采集的频率设定为 1kHz ，并根据获取的各项数据信息落实故障诊断和处理，使得故障诊断准确率达到 95% 以上。若系统监测发现存在轴承温度升高、电机绝缘电阻下降等故障问题，能够提前 30min 给工作人员发送信息并提出处理建议尽快解决故障问题^[3]。

伺服电机安装阶段需设置有 45mm 的丁晶橡胶减震垫，确保安装座与电机之间能够达到柔性连接。该减震

垫能够有效吸收设备运行环节产生的振动能量，其厚度设定为10mm保证振幅从0.5mm下降到0.1mm，避免各设备出现损伤等情况。而在驱动器内部安装阶段需设置多层复合型的滤网，其内部尺寸达到 $5\mu\text{m}$ 能够有效过滤粉尘，并间隔200h进行清洁处理达到散热效果的要求^[4]。

4 改造结果分析

4.1 响应速度提升效果

该稀土生产企业经过伺服驱动系统改造完成后，需对生产环节的响应速度进行测试分析以验证改造效果是否达到既定的目标。该系统验证过程中，从0到额定转速阶跃指令发送之后，发现其速度响应时间从改造前0.5s缩短到0.08s，能够使得稳定转速时间有效减少；转矩响应时间从改造前0.2s减小到0.04s并保证其输出的转矩达到技术标准；伺服驱动系统的位置响应时间从改造前0.3s下降到0.07s，并保证系统定位精确性达到运行需求。

本系统在改造结束后，经过运行效果的分析发现还原炉完成90°时间从改造前10s缩短到2.5s，旋转时超调量从10%下降到2%确保稳定性达到要求；物料输送装置启停时间从改造前0.3s减小到0.05s并保证整个旋转过程具备顺畅性。

通过上述工艺参数改进，使得焙烧温度控制度从 $\pm 5^\circ\text{C}$ 提升到 $\pm 20^\circ\text{C}$ 、还原时间误差从 $\pm 30\text{s}$ 减小到 $\pm 5\text{s}$ 、产品纯度提升0.5%。通过该伺服驱动系统的响应速度优化改进，使得稀土冶炼设备数控化改造达到技术标准，能够有效提升稀土冶炼生产设备的运行可靠性以及稳定性，并保证设备响应速度达到使用需求满足设备的运行要求^[5]。

4.2 运行稳定性表现

该稀土生产企业进行冶炼设备数控化改造完成后，经过对系统运行稳定性进行分析发现其表现优越。该设备改造完成后经过连续1500h运行，未出现任何停机情况满足稀土企业连续24h不间断的运行需求。而在伺服驱动系统改造完成后，即使环境温度达到85℃，电机温度依然保持在70℃左右、驱动器温度55℃左右，并未超出温度范围，也能防止系统发生过热现象。经过对稀土冶炼设备伺服驱动系统的负载测试后，发现在系统运行过程

中若负载出现1~15N·m之间剧烈波动变化，能够保证稀土冶炼设备的转速波动控制在 $\pm 1.5\%$ 以内、转矩波动控制在 $\pm 2\%$ 以内，这比改造之前的 $\pm 5\%$ 、 $\pm 8\%$ 控制精度得到有效提升。同时该系统在改造过程中采用神经网络故障诊断方式能够预警发现6次潜在故障，其中有3次为轴承温度异常升高、2次驱动器电压波动、1次散热通道堵塞。根据故障的信号及时采取预防应对措施，降低设备故障停机造成巨大损失。稀土冶炼设备数控化改造后，伺服驱动系统的设备维护周期从元30天延长到90天，维护人员工作量减少60%、维护成本降低60%，每年节约的维修费用达50万元。

5 结语

稀土冶炼设备数控化改造伺服驱动系统响应速度得到有效提升，并保证稀土冶炼设备运行达到稳定性、可靠性要求提高其负载响应速度。同时系统冶炼设备施工和改造还要分析系统冶炼设备的运行实际情况，选择适宜的散热、耐高温、自适应控制算法、可靠性强化等方式提高稀土冶炼设备的运行水平和工艺稳定性。

本文所选择某稀土冶炼企业设备运行状况进行分析，针对伺服驱动系统进行优化改造以提高其运行速度，满足数控化改造的标准和要求。同时今后科学技术发展速度不断加快，针对稀土冶炼设备数控化改造不断深入进行，保证各项先进技术应用到实践中以提高伺服驱动设备响应速度。

参考文献

- [1]房孟钊,宁瑞.废气吸收塔系统的优化改造[J].硫磷设计与粉体工程,2021,(06):17-21+5.
- [2]向汉,邓文彬,林先彬.冶炼烟气制酸用槽管式分酸器改造实践[J].中国有色金属,2018,(S2):84-86.
- [3]冷大鹏.铜冶炼自动剥片机组设备的设计及改造[J].中国金属通报,2020,(03):79+81.
- [4]李宁.数字化转型下的黑色金属冶炼智能化管理与控制[J].新疆钢铁,2024,(01):31-33.
- [5]胡泽亚.300 kt/a锌冶炼烟气制酸系统改造生产实践[J].硫酸工业,2023,(01):28-31.