

精轧机换辊系统的优化

丰仕银

四川机电职业技术学院 四川 攀枝花 617000

摘要：攀钢钒板材厂1450mm热轧产线于2022年完成了精轧及卷取区域的整体自动化升级改造，将精轧机组的换辊方式由传统人工操作全面升级为全自动控制模式。本文聚焦于自动换辊过程中设备动作时序冗余、运行速度保守及控制逻辑冗长等问题，通过系统性分析与现场验证，对关键控制环节进行了多维度优化。优化措施包括动作并行化、速度参数提升、SFC流程精简及检测冗余设计等，显著缩短了换辊周期，有效提升了产线作业效率与系统可靠性。实践表明，优化后单次换辊时间平均减少超过70秒，为产线高效稳定运行提供了坚实保障。

关键词：精轧机；自动换辊；控制逻辑优化；作业效率；SFC顺控

引言

在现代热轧带钢生产中，换辊时间是衡量产线柔性及效率的核心指标之一。随着用户对产品规格多样化和交货周期缩短的需求日益增强，钢铁企业亟需通过技术手段压缩非生产性停机时间。攀钢钒板材厂1450mm热轧产线作为西南地区重要的热轧基地，于2022年实施了精轧及卷取区的全面智能化改造，实现了从手动换辊向全自动换辊的跨越。然而，在初期运行阶段发现，尽管自动化水平显著提升，但换辊周期仍存在较大优化空间，部分设备动作存在串行执行、速度设定保守、信号判断冗余等问题。为此，本文基于西马克（SMS）提供的机电功能规范，结合现场实际工况，围绕“抽旧辊—装新辊”全流程，对精轧机换辊控制系统进行精细化优化，旨在提升换辊速度、增强系统鲁棒性，并为同类产线提供可复制的技术路径。

1 设备硬件及软件简介

精轧机组换辊涉及到精轧机所有的设备间的协调动作，主要包含主机的定位，上下工作辊和上下支撑辊的平衡、各类锁紧装置、上下阶梯垫、前后导板、擦拭器、横移缸、换辊小车、活套等机械设备的顺控衔接。

精轧换辊过程主要由3个重要的步骤组成，分别是停轧后轧机的准备阶段，自动抽旧辊阶段，自动装新辊阶段，每个阶段均由SFC顺控程序执行。其基本程序结构如图1。文中所涉及优化也仅从这3个阶段进行优化^[1]。

换辊准备：精轧机组抛钢后，抽出旧工作辊前，各机架传动、活套、窜辊等相应设备移动到换辊位，关闭工作辊冷却水，为换工作辊做准备。

抽旧工作辊：换辊准备完成后，可以抽出旧工作辊，抽旧辊过程中相关设备退出避免机械设备间的相互干扰。

装新工作辊：旧工作辊抽出后，移动横移平台将新辊

对准机架装入新工作辊，同时根据新工作辊参数计算上下阶梯垫厚度。换辊小车后退到相应位置，为回收旧辊做准备。

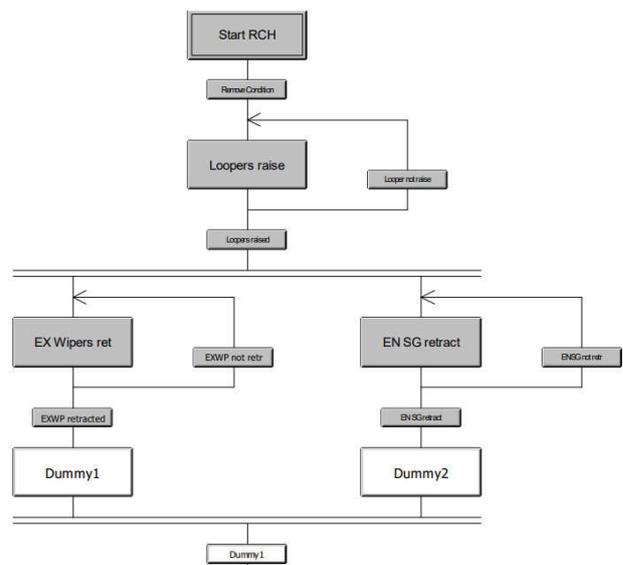


图1 抽旧辊SFC程序（部分）

2 精轧机换辊优化控制

依据西马克硬件EMF手册，结合现场实际工况，精轧机换辊主要从以下情况进行优化控制；

- 优化换辊过程中机械设备的动作衔接；
- 优化换辊过程中机械/电气设备的运行速度；
- 优化换辊过程中信号采集判断时机；

2.1 抽旧辊的步骤合并

在抽精轧工作辊时，需对上下工作辊的接轴锁紧，上下工作辊挡板必须打开，避免抽辊时将接轴一起抽出。在自动换辊小车勾头下落时，接轴锁紧装置/挡板锁紧装置也具备动作的条件，在此步序可执行多设备的同

时动作。

小车从E11至E13/钩头落下/下工作辊接轴锁紧/下工作辊挡板打开

上工作辊接轴锁紧/上工作辊挡板打开

表1 抽旧辊的步骤合并前后时间统计 (单位: 秒)

优化步序	2023年原始值		2024.04.08	优化结果
	分段时间	合计时间	合计时间	
小车E11至E13	8.69	15.81	10.91	-4.9
钩头 落下	3.55			
下工作辊 接轴 锁紧	2.13			
下工作辊 挡板 打开	1.44			
上工作辊 接轴 锁紧	2.59			
上工作辊 挡板 打开	1.86	4.45	0.73	-3.72

2.2 装新辊的步骤合并

在装工作辊时,当辊装到位后上下工作辊的接轴由锁紧状态变化为打开,上下工作辊挡板由打开变为锁紧状态。在此步序可优化为同时动作^[2]。

上工作辊接轴打开/上工作辊挡板锁紧

下工作辊接轴打开/下工作辊挡板锁紧

表2 装新辊的步骤合并前后时间统计 (单位: 秒)

优化步序	23年原始值		2024.03.18	优化结果
	分段时间	合计时间	合计时间	
上工作辊 挡板 锁紧	2.38	4.14	1.63	-2.53
上工作辊 接轴 打开	1.76			
下工作辊 挡板 锁紧	1.21	5.24	3.18	-2.06
下工作辊 接轴 打开	4.03			

2.3 优化下阶梯垫动作速度及定位精度

在生产过程中,下阶梯垫根据不同的轧辊直径定位到相应位置,以保证轧线标高,换辊时,下阶梯垫要缩回到初始位置,以便上工作辊有下落空间,因此阶梯垫的行程通常比较长(超过800mm,最长为行程1800mm),运行时间也很长,而且每次换辊时阶梯垫要多次。因此,适当调整阶梯的运行速度,精调定位精度,可以缩短换辊时间。

当下支撑辊上抬离开与下阶梯垫的接触,下阶梯垫的退出将不再与其他相关机械设备干涉。原下阶梯垫的后退速度相对保守,平均每阶用时6.2秒。见表3。

表3 原下阶梯垫动作统计

3090步 下阶梯垫退出			
下阶梯垫级数	速度基准	用时(秒)	优化前效果
7阶	基准35%	49.80	每阶6.2秒
9阶	基准35%	61.40	
7阶	基准35%	49.30	

对照西马克的设计,下阶梯垫的动作速度可达

150mm/s。将下阶梯垫的速度由35%调整到70%,平均每阶用时为0.92秒,平均每阶节省5秒。见表4。

表4 优化后下阶梯垫动作统计

3090步 下阶梯垫退出			
下阶梯垫级数	速度基准	用时(秒)	优化后效果
7阶	基准70%	12.30	每阶0.92秒
8阶	基准70%	14.20	
8阶	基准70%	14.16	
6阶	基准70%	10.33	
7阶	基准70%	12.38	

2.4 优化换辊小车位置检测控制

换辊小车的位置精度,会影响拉辊时上工作辊位下落置精度等。当前精轧换辊小车的位置检测由绝对值编码器完成,一旦编码器发生故障,就会对换辊过程产生极大影响,因此对换辊小车的位置检测增加备用方式,即通过换辊小车行走电机的速度积分,模拟计算小车位置以替换编码器检测位置。同时在换辊小车前极限位置E13处增加位置检测,既可用于换辊小车前极限位置确定,又可对小车位置进行精确标定^[3]。

2.5 优化换辊小车速度控制

在自动换辊模式下,换辊小车的速度控制由基准和反馈通过P调节器完成。当小车走到不同的位置或者小车速度在不同的阶段,程序中通过不同方式(包括速度给定和斜坡限幅)对小车的速度进行限幅。图6可见在小车自动定位时,小车的速度到达进入减速区,速度基准给得很小,导致小车行走时间长。原速度给定程序见表5。

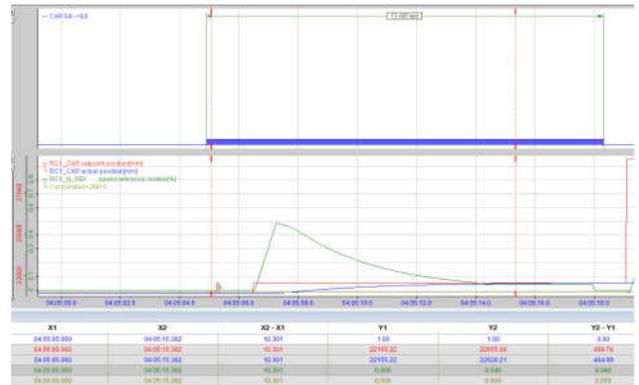


图2 换辊小车E6-->E8运行时间

表5 原速度基准给定程序表

序号	P调节器输出	实际输出
1	0.2 < V < 5.0	4.0
2	-0.2 < V < 0.2	0.0
3	-5.0 < V < -0.2	-4.0

通过对小车起步/减速/停车的功能逻辑控制的优化,在换辊小车由E6位置到E8位置节省出3.52秒的小车运行

时间。见表6

表6 E6至E8位优化比较

小车从E6至E8位 (4030步)		
优化前用时 (秒)	优化后用时 (秒)	节省 (秒)
13.72	10.2	3.52

2.6 优化AGC液压缸缩回速度

精轧AGC液压缸由两个伺服阀控制，在换辊时，通常只用了一个伺服阀来控制，因此速度较慢，经过查看缩回曲线并跟踪设备状态后，改用两个伺服阀来控制，缩回速度大幅提升，减少了设备运行时间5秒。

表7 AGC液压缸缩回速度优化前后数据

AGC液压缸缩回速度 (2040步) 时间: 秒		
优化前	优化后	效果
16	9.7	6.3

2.7 调整接轴定位速度

在换辊时，需要对轧机接轴进行定位以保证工作辊扁头与接轴相互对准，在接轴定位过程中，尤其是到了后期，传动的速度基准只给了0.3m/s，加速度为0.5m/s²，此定位速度和加速度太小，导致定位时间极长。根据设备运行情况，将后期定位速度调整为2.0m/s，加速度调整为1.0m/s²，使接轴定位过程快速准确。

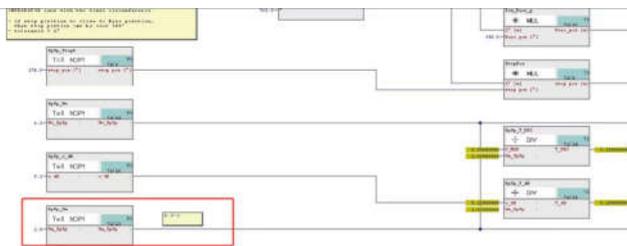


图3 接轴定位优化

表8 主传动接轴定位时间优化前后对比

主传动接轴定位 (2030步) 时间: 秒		
优化前	优化后	效果
34	8.1	25.9

2.8 减少SFC流程执行时间

在换辊过程中，原程序为了保障设备安全，在某些SFC步骤中增加了等待和确认时间，以保证设备确实动作到位，而在换辊过程中，这些等待时间并不都是必需的，因此经过长时间跟踪换辊过程和设备动作状态后，

对这些等待时间进行逐步优化减少，缩短换辊时间至少40秒。

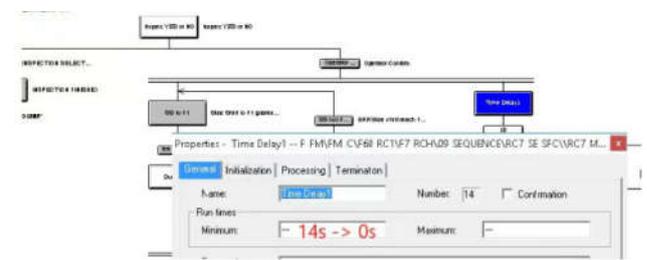


图4 优化SFC程序执行

2.9 预判下支撑辊抬升压力判断

在装辊步序4140（下支撑辊上抬）步骤，需满足液压缸压力大于195bar的门槛值。此过程原逻辑执行需19.42秒，通过现场观察设备的实际动作情况，将门槛值由195bar调整到175bar，同时在程序逻辑判断中延迟8秒，来满足实际设备动作到位判断。通过2处调整配合，此步骤执行时间控制在8.9秒，由此节约时间10.5秒^[4]。

3 结语

本文针对攀钢钒1450mm热轧产线精轧机自动换辊系统存在的效率瓶颈，提出并实施了九项关键技术优化措施。通过动作并行化、参数提速、逻辑精简与冗余增强，成功将单次换辊时间压缩70秒以上，大幅提升了产线有效作业率。系统自2024年初投运以来运行稳定，未发生因优化引发的安全或精度问题，充分验证了方案的可行性与先进性。本研究不仅为该产线的高效运行提供了技术支撑，也为国内其他热轧产线的自动化升级与智能优化提供了可借鉴的工程范例。

参考文献

[1] SMS. PANZHILHUA-HSM_EMF_FM_RC-Aux-movements_V1: 机电功能说明[R]. 德国杜塞尔多夫: 西马克集团, 2022.

[2] SMS. PANZHILHUA-HSM_EMF_FM_BUR-bal-thrust-blocks_V1: 机电功能说明[R]. 德国杜塞尔多夫: 西马克集团, 2022.

[3] SMS. PANZHILHUA-HSM_EMF_FM_CVC_V1: 机电功能说明[R]. 德国杜塞尔多夫: 西马克集团, 2022.

[4] SMS. PANZHILHUA-HSM_EMF_FM_WRB_V1: 机电功能说明[R]. 德国杜塞尔多夫: 西马克集团, 2022.