

老旧生产线焕新记：如何通过技术改造实现高端汽车钢板升级生产

Reconstruction of Technology in Cold Rolled Recoiling Line of High-end Panel Production

供稿|丛伟, 赵红, 鄂立新, 张伟勃, 崔岚 / CONG Wei, ZHAO Hong, E Lixin, ZHANG Weibo, CUI Lan

内容导读

为应对新能源汽车市场的快速增长和用户对汽车钢板质量的严苛要求,本钢浦项冷轧公司对已运行近 20 年的 3 号冷轧重卷生产线进行“智能焕新”。此次改造以“旧设备再利用+新技术加持”为核心,在保留部分原有设备的基础上,引入智能焊接机、高精度质检仪、无尘封闭系统等先进技术,成功攻克了老旧设备精度不足、生产环境粉尘干扰等难题。改造后,生产线不仅实现了高端汽车钢板(如超深冲钢、双相钢等)的批量稳定生产,还能精准检测上游工序的潜在缺陷,这一“低成本、高效率”的改造方案,为传统钢铁企业升级生产线、提升竞争力提供了可复制的样板。

本钢浦项冷轧薄板有限责任公司由本钢板材股份有限公司与韩国浦项制铁集团公司于 2004 年共同出资兴建,其中 3 号重卷机组由美国吉尔森公司设计,机械部分由美国 Herr-Voss 公司制造,电气控制系统由美国 UNICO 公司提供^[1],用于生产上游连退(CAL)、热镀锌(CGL)和电镀锌(EGL)机组提供的汽车和家电板材。因装机老旧,无法满足高端板材的生产需求。2022 年末,伴随经济复苏,新能源汽车市场崛起,为应对高端汽车板用户不断提高的质量需求和残酷的行业竞争,公司决定对运转近 20 年的 3 号重卷机组进行改造,以实现高端汽车板的生产,提高企业竞争力。3 号重卷机组改造工程于 2023 年 1 月启动土建施工,3 月完成设备安装,4 月生产第 1 卷冷轧板,改造后的机组中机械设备由常州宝菱重工机械有限公司设计制造,电气设备由

上海亘宝电气技术有限公司设计制造。

产品品种

3 号重卷机组(RCL)的最大运行速度为 300 m/min,汽车板表面检查模式的最高运行速度为 80 m/min,可生产厚 0.3~2.5 mm、宽 800~1870 mm 的冷轧带钢。

生产原料为连退卷、镀锌卷、电镀锌卷。品种包括:带钢拉伸强度 ≤ 980 MPa 的一般普碳钢(CQ)、冲压用钢(DQ)、深冲用钢(DDQ)、超深冲用钢(EDDQ)、超超深冲用钢(SEDDQ)、普通高强结构用钢(CQ-HSS)、冲压/深冲高强结构用钢(DQ/DDQ-HSS)、超低碳烘烤硬化钢(BH-HSS)、双相钢(DP)、相变诱导塑性钢(TRIP)^[1]等,产能及规格参数如表 1 所示。

表 1 产能和规格参数

项目	产能/万t	带钢/mm		钢卷		
		厚度	宽度	内径/mm	外径/mm	最大质量/t
原料	15	0.3~2.5	800~1870	508、610	800~2150	31
成品	外板：10；普板：5	0.3~2.5	800~1850	508、610	800~1600	15

注：外板即车用外表面钢板，其质量要求最高；普板即车用或家电用普通钢板，其质量要求一般。

生产流程

为确保高端汽车板生产一贯制的质量检查要求，配置以下机旁附属设备：在线废边卷球机、离线焊轮修磨机、便携式油膜测厚仪、微冲机、切板机、便携式频闪仪、离线水平打磨平台及照明系

统、离线水平检查平台及照明系统，全线配备高效灭蚊灯，以消除蚊虫尸体，避免其飘落在带钢上产生钢板硌印。

改造后 3 号重卷生产线冷轧板的生产流程如图 1 所示。

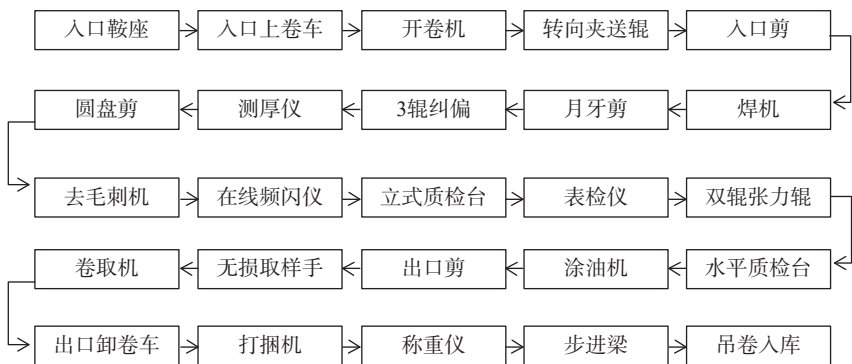


图 1 生产流程

重卷 3 号线改造及采用的装备技术

改造工程新购置的设备包括：武汉凯奇窄搭接焊机、博亚精工圆盘剪、宝信表面质量检测仪（SDD）、北科测厚仪、Drello LED 频闪仪、Drello 便携式油膜测厚仪、泰格瑞祥微冲机、依诺唯切板机、常州托利多电子秤、一级自动化以及二级计算机系统。

为节省投资，在原机组部分旧设备基础上实施改造，保留开卷机、卷取机、涂油机、上卷小车、卸卷小车、步进梁、CPC 带钢纠偏系统、EPC 带钢纠边系统、GFG 涂油机、焊缝检测器等单体设备、出入口设备、液压站以及泵组和电缆等。重点对在线非标设备进行改造，目的是达到汽车板外板产品生产检查要求。主要利旧设备明细如表 2 所示。

表 2 主要利旧设备明细

项目	入口段设备	中间段设备	出口段设备	液压流体设备	单体设备
机械部分	开卷机、上卷小车、EMG CPC带钢纠偏传感器框架	圆盘剪前EMG CPC带钢纠偏传感器框架	卷取机、步进梁、EMG EPC带钢纠边传感器框架	液压站、液压阀台	GFG涂油机C型架小车和刀梁、焊缝检测器框架
电气部分	开卷机主电机及整流逆变单元柜、EMG CPC电控柜和特殊电缆	圆盘剪前EMG CPC电控柜和特殊电缆	卷取机主电机及整流逆变单元柜、EMG EPC电控柜和特殊电缆	油泵主电机及MCC泵电机马达控制柜	GFG涂油机可编程逻辑控制器（PLC）及电控柜、焊缝检测器和特殊电缆

改造施工难点及应对措施

施工难点

（1）改造施工与周边工艺环境因素相互干扰。

施工区位于本浦冷轧四区厂房正中，左侧为电镀锌机组，右侧为冷轧成品卷中间库区，上部为 24 h 吊运钢卷的 28[#]和 29[#]天车，前侧为 2 条热镀锌机组，

后侧为成品卷包装机组。运送镀锌钢卷的高速台车沟道紧靠施工场地，台车将成品镀锌卷源源不断运至包装线进行包装外发。在确保周边机组生产质量不受施工影响的前提下顺利推进改造工程，具有极大的挑战和难度。（2）工期紧。为了提升产品质量和企业竞争力，该改造工程的工期非常紧。（3）确保改造后实现高端汽车外板批量生产。

➤ 解决措施

为了防止混凝土基础破拆产生的大量扬尘影响周边各机组成品卷的生产质量，单独开设车辆进出厂区的大门和通道，并以6.5 m无缝钢管为支柱，围绕施工场地和通道制作防尘塑料大棚以遮挡渣土灰尘。6.5 m的支柱高度既确保了防尘棚上部天车往返

作业时不被刮带，又保证了棚内混凝土罐车、钩机、铲车等的作业回旋高度。

对原机组混凝土基础实施破拆，依据设计下挖至地面以下5 m，深基坑两侧为厂房支撑柱，支撑柱需承担28#和29#天车24 h往返吊卷的碾压力（≥2000 kN）和横向侧拉力。为了防止深基坑塌方和厂房两侧受力不均匀造成倾斜，深基坑侧壁采用护壁桩进行边坡支护。

开始施工时厂房内气温在0℃左右，为了确保混凝土的浇筑质量，防止新老基础结合后下沉产生冷缩缝，在基础结合部位采用后浇带技术；为了缩短工期，采用C15牌号混凝土分层回填技术。改造施工与周边工艺环境干扰难点的常见解决方法如表3所示。

表3 改造施工与周边工艺环境干扰难点的常见解决方法

干扰因素	干扰原因	干扰现象	解决方法	用材
防护方面	改造机组因工艺设计，需要拆除设备基础并重新浇筑、安装设备	设备及基础拆除和浇筑、安装时产生的扬尘飘落至周边机组，影响带钢表面质量	在改造区设置防尘棚，棚高考虑避开上部天车桥箱，避免其往返时造成刮碰，并满足施工机具摆杆的回旋作业	棚梁采用钢管，棚顶采用塑料卷材
土建方面	冬季环境温度低；下挖基坑两侧的支撑柱需要承载天车往复运卷产生的作用力；工期紧	低温影响混凝土浇筑后的养护时间和质量；新旧土建基础结合处出现冷缩缝及下沉变形；下挖区深且面积较大，周边天车往复作业扰动可能会引发塌方和厂房基础倾斜甚至倾覆	混凝土浇筑后铺设蒸汽伴热管并覆盖塑料布和棉门帘，确保水化热不会过快流失；采用C15早强混凝土回填以缩短工期；采用后浇带技术避免基础下沉和冷缩缝问题；采用钢板护壁桩技术，避免往复碾压应力扰动引发塌方和基础倾斜	C15混凝土、钢板护壁桩、蒸汽伴热管、塑料布、棉门帘
天车方面	重卷机组前部2条镀锌线和后部1条包装线生产时需24 h吊运钢卷	前、后产线吊钢卷用车影响改造施工用车；施工用车影响产线生产节奏和材料吊运	确保天车10 t副钩能够正常使用，7：00—17：00以周边生产用车为主，施工用车为辅；18：00—6：00以施工用车为主，生产用车为辅，并优化天车检修系统	10 t副钩

➤ 缩短工期的措施

随着新能源汽车市场需求的扩大，为满足高端汽车板质量提升和企业竞争力增强的双重要求，改造工期显得尤为紧迫。重卷机组常规改造工期≥1 a，此次改造用时仅4个月。

为了缩短工期，采用合理组织多工种并行施工和防护的措施：土建和设备安装从机组头尾两侧相对平行施工；土建及防尘棚搭建拆卸上下立体施工；选择合适标号，注重搅拌强度、流动度、膨胀度、泌水率指标的控制，并采用蒸汽保温方式进行养护，确保混凝土无蜂窝麻面，快速达到强度标准；合理规划天车使用频率，通过高空作业升降车有效解决施工与生产中起重设备利用冲突问题；优

化镀锌工艺，提升包装运卷台车的运行效率。

➤ 实现高端汽车板批量生产采用的技术

要实现高端汽车外板量产，改造后的产线在重卷工序下不能产生新缺陷，并能检查出上游工序的质量缺陷，可通过以下技术达到改造目的。

（1）开卷机、卷取机卷筒均配备2种橡胶套筒，适用于φ508 mm和φ610 mm内径卷的生产。采用高质量橡胶套筒减少带钢头尾压印，在卷取机所用套筒上开凹槽，通过感应式光栅检测凹槽的旋转位置，在一级自动化中加入套筒凹槽软驱定位检测计算程序^[2]，消除带钢头尾压印缺陷。

（2）入口转向辊与开卷机刚性连接，液压同步滑移，避免开卷纠偏时带钢与转向辊面因轴向相对

运动而产生擦划伤。转向辊架在线性导轨上以减小摩擦力，并与开卷机同步运行。

(3) 转向辊、张力辊面喷涂碳化钨 (WC) 使表面光滑，减少带钢二次擦划伤。为了保持辊面清洁，不在重卷工序中污染带钢表面，所有转向辊均配置能自动、手动切换控制的在线刮刀清洁辊面，刮刀刀片可随时更换。

(4) 夹送辊采取垂直升降结构，并具有高精度同步机构，实现带钢夹送动作位置精准，消除穿带夹送时的辊印，避免带钢跑偏。

为保证连续生产，焊机采用带钢窄搭接电阻自动缝焊机，焊机通直流中频电。为确保能生产出高强钢及硬质锰合金钢，焊机还配置了感应加热炉，焊接高强钢后对边部进行退火，细化焊材内部的金属晶粒，使晶粒变软，强度降低，增加金属的结晶韧性，提升带钢的焊接品质，保证连续生产，提高生产效率及产量。

鉴于用户要求的汽车板切边比例逐年提高，同时为释放上游机组的产能，配置圆盘式切边剪和去毛刺机，实现带钢切边宽度、剪刀侧间隙和重叠量间隙的自动设定及调节功能。为了提高切边效率和质量，在距离圆盘剪前最近处设置高精度 3 辊 CPC 带钢纠偏装置，确保带钢快速准确地进入圆盘剪，实现切边效果最优。

为实现高端汽车板生产时的质量检查功能，3 号重卷机组改造采取以下技术手段：将原机组的入口操作台、质检操作台、出口操作台整合成一个中央操作台（以下简称质检台），实现集控生产和质量检查的多重功能；在质检台前配置在线 X 射线测厚

仪复检来料厚度，质检台上、下方转向辊配置在线带钢表面质量检查仪 (SDD) 的检测探头；带钢从质检台上方垂直进入后，两侧配置在线频闪仪；带钢转向后斜向上进入质检台内的双辊张力辊组中，张力辊组可实现全线连接、张力平衡稳定和速度计算；带钢经张力辊组后进入水平质量检查台，上方配置可编组控制光照亮度的照明系统，有助于质检人员更好地检查带钢的质量缺陷。为充分满足水平质检台的打磨及精确质检需求，光照度应 $\geq 850 \text{ lx}$ ，水平质检台长度应 $\geq 4.7 \text{ m}$ ，最好能覆盖全冷轧厂辊系。为了辅助质量综合判定，质检台内配置可确定取样钢板尺寸长度的切板机和可调节冲压深度的微冲机，同时配置便携式频闪仪、2000 mm 钢板尺、200 mm 钢板尺、锥形尺、千分尺和卷尺，以及判定带钢平坦度、镰刀弯、宽度偏差、厚度偏差和各种质量缺陷的手动测量工具。

改造工程所用涂油机为高压静电式涂油机，为降低费用整机利旧，涂油剪切后配置带钢无损取样机械手。为避免重卷穿带过程中带钢表面二次擦划伤，全线合理布置不锈钢台面穿带导板台和聚氨酯材质表面的托辊。

为保证高端板材生产质检的无尘要求，全线采用透明聚碳酸酯 (PC) 实心耐力板整体封闭，屋顶配置中央风机及风道，确保正压隔绝外部尘埃。为避免夏季沿轧制方向带钢表面残留蚊虫尸体痕迹（以下简称蚊虫印）^[3]，从质检台至封闭厂房内沿照明和汽车板通道线配置大量灭蚊灯。封闭区地面刷防尘自流平地坪漆并铺设地板，防止生产期间堆积扬尘产生灰尘烙印。高端汽车板批量生产采用的技术如表 4 所示。

表 4 高端汽车板批量生产采用的技术

序号	设备	改造原因	改造用技术	效果
1	开卷机、卷取机	≥ 3 圈时，钢卷出现 5~30 m 头尾压印	选用高质量橡胶套筒；卷取机套筒开凹型导槽，用感应光栅测量凹槽旋转位置，通过程序计算将带头定位至凹槽处卷取以消除压印	消除头尾压印
2	开卷机与入口转向辊	开卷时带钢与卷筒产生轴向擦划伤	刚性连接，液压滑块同步滑移纠偏；转向辊架在线性导轨上以减小摩擦力，并与开卷机同步运行	避免转向辊轴向擦划伤
3	转向辊、张力辊	带钢转向和速度、张力变化，导致出现擦划伤	辊面喷涂碳化钨增加辊面耐磨度，降低辊面与带钢表面附着力，提高辊表面光滑性	消除擦划伤
4	夹送辊	夹送辊印	高精度液压垂直同步升降结构，避免辊两侧夹送不一致造成跑偏	消除夹送辊印
5	焊机	原焊机精度下降，焊接故障率高，质量差，无法焊接厚料和高强钢	采用直流中频窄搭接电阻自动缝焊机；配置感应加热炉	各种规格焊接质量良好

续表 4

序号	设备	改造原因	改造用技术	效果
6	圆盘剪	原机组无法剪切厚度 ≤ 0.8 mm的薄料, 频繁飞边跑边	采用带超越离合器的可选择主动动力剪切和被动拉剪剪切的旋转圆盘剪; 具有去毛刺辊功能	各种规格剪切质量良好
7	集控式质检台	旧机组分成入口台、质检台、出口台, 功能分散, 定员多, 质检效率低下, 很多缺陷未被发现	一个中央集控台实现全线集控和质检功能; 配置测厚仪、表面质量检查仪、频闪仪、立式和水平组合打磨检查平台、矩阵式照明系统、剪板机以及微冲机	全覆盖检查判定上游工序高端汽车板来料的质量缺陷
8	导板台、托辊	旧机组布置不合理, 部件老化, 生产过程中产生二次擦划伤	全线合理布置不锈钢台面的穿带导板台和聚氨酯表面材质的托辊	有效避免二次擦划伤
9	机组封闭	采用片状水晶帘零星遮挡旧机组, 基本没有封闭, 造成灰尘油污烙印缺陷	采用透明聚碳酸酯实心耐力板全线整体封闭; 屋顶配置中央风机风道, 确保封闭区正压隔绝外部尘埃; 封闭区沿照明和汽车板通道线配置大量灭蚊灯以消除蚊虫印; 印及蚊虫印地面刷防尘自流平地坪漆并铺设地板	有效避免灰尘烙印

改造技术应用情况

利用上述技术对重卷 3 号机组进行改造, 改造后的质检台实景和机组封闭实景分别如图 2~3 所示。改造后, 重卷生产中未产生新的质量缺陷, 对上游工序高端汽车板来料质量缺陷实现了全覆盖检查判定。该改造技术的应用可为冷轧全流程高端汽车板的生产提供终端产品质检判定, 并为冷轧全工序汽车板一贯制生产提供工艺技术支持。重卷 3 号机组完成改造并投产后, 相继为奔驰、上汽、日产、比亚迪等汽车厂批量生产高端汽车板。



图 2 重卷机组改造后质检台: (a) 质检台处带钢上表面质检; (b) 质检台处带钢下表面质检

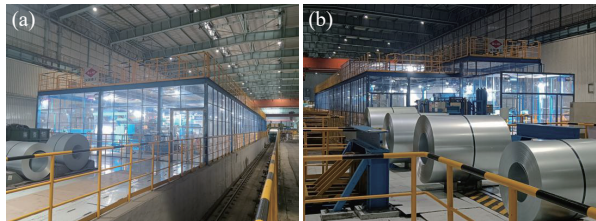


图 3 重卷机组改造后机组: (a) 改造后机组入口; (b) 改造后机组出口

结束语

3 号重卷机组改造后, 本浦冷轧全工序汽车板实现量产, 标志着本钢汽车板生产技术水平得到提高。鞍钢集团本钢公司通过对老旧重卷机组实施高端汽车外板的改造, 为集团内其他冷轧产线升级提供可参考的改造和建设经验。国内外钢铁企业竞争日趋激烈, 在新建重卷机组资金压力较大的背景下, 对原有装备基础进行改造成为钢企提高竞争力的优选方案。本浦冷轧 3 号重卷机组改造工程作为典型案例, 其在改造中遇到的问题和采用的技术对同行业具有重要的借鉴意义。随着装备制造水平的提高和人工智能 (AI) 技术的不断迭代, 未来重卷改造中可引入可翻转式水平打磨质检台、在线 AI 打磨机以及机器人打捆、贴标签等技术。

参考文献

- [1] 本钢集团有限公司. 冷轧. 北京: 冶金工业出版社, 2019
- [2] 王瑞. 宝钢新增重卷机组项目风险管理研究 [学位论文]. 沈阳: 东北大学, 2017
- [3] 梁振威, 周国平, 孙力, 等. 冷轧带钢表面清洁生产技术实践// 第八届 (2011) 中国钢铁年会. 唐山, 2011: 3080

作者简介: 丛伟 (1971—), 男, 辽宁省本溪人, 硕士, 本钢浦项冷轧设备部业务专家。主要研究方向: 电气自动化仪表。通信地址: 辽宁省本溪市本钢浦项冷轧薄板有限责任公司; E-mail: cw18004142669@163.com。