

酸连轧机组高效生产效率研究与应用

张 华, 张庆波, 孙 牧, 叶桂林, 赵威扬

(内蒙古包钢钢联股份有限公司稀土钢冷轧板材厂, 内蒙古 包头 014010)

摘 要:酸连轧机组小时产量与班产量受产品品种、规格及生产过渡工艺等因素影响, 差异显著。当前多数机组采用折产或折合卷数的方式开展生产效率评价, 该类方法存在评价维度单一、结果客观性不足等局限性。针对此问题, 文章结合酸连轧机组生产实绩, 将现有生产规格划分为 16 个组距, 基于各组距特性设定生产目标, 通过小时卷数与达标率两大核心指标, 构建月度生产效率及班组间效率的量化评价体系。实践表明, 该体系可实现多维度生产效率评估, 为班组生产效率优化提供评价依据, 具备广泛推广价值。

关键词:生产效率; 小时卷数; 高效占比; 达标率

中图分类号: TG332

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2026)03-0010-07

Research and Applications of High – efficiency Production Efficiency for Pickling Line Tandem Cold Mill

Zhang Hua, Zhang Qingbo, Sun Mu, Ye Guilin, Zhao Weiyang

(Cold Rolled Rare Earth Steel Plate Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd.,
Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: The hourly output and output per shift of pickling line tandem cold mill are influenced by such factors as varieties, specifications and production transition processes of products as well as the differences are significant. Currently, the evaluation of production efficiency is carried out by adopting the mode of converting into output or coil quantity for most mills, which is with such limitations as single evaluative dimension and insufficient objectivity of results. In the paper, the existing production specifications are divided into 16 class intervals combining with the actual productions of pickling line tandem cold mill and objectives of productions are set based on the characteristics of each class interval aiming at the problem. The quantitative evaluation system of monthly production efficiency and efficiency of each shift or group is established through the two core indicators, hourly coil quantity and rate of reaching the standard. Practices show that the multidimensional production efficiency evaluation could be realized with this system, which could provide the evaluation basis for optimizing production efficiency of shift and group as well as be with value of extensive promotion.

Key words: production efficiency; hourly coil quantity; high efficiency proportion; rate of reaching the standard

随着冷轧系列产品档次提升与品种多样化发展, 酸连轧机组生产组织呈现小订单占比大、多品种

切换频次高等特征,不同品种的生产节奏差异较大,会增加生产效率定量评价的复杂程度。近年来,国内钢厂酸连轧机组生产效率快速提升,如涟钢 1 720 mm、京唐 2 230 mm 酸连轧机组生产效率已达到国内乃至世界领先水平。检索国内期刊与学术论文发现,针对酸连轧机组生产效率系统性评价的方法研究较少。为此,本文结合酸连轧机组生产特性,以生产运行数据为基础,利用 Excel 创建多维度分析表,对生产实绩数据进行量化分析,开展机组及班组在班、日、周、月等生产效率的量化评价,为企业生产管理决策提供数据支撑。

1 酸连轧机组生产效率评价因素

酸连轧机组生产具有多品种、多规格、小订单等特点,每个生产周期内钢种、规格存在差异影响,会造成生产节奏波动较大,对各班组生产实绩水平评价难度增大;此外,生产计划的不均衡性也是班组经常反馈的突出问题^[1]。因此,亟需构建一个科学的、可量化的评价机制,可快速识别并评价生产效率的关键影响因素。

本文选取连续生产的钢卷实绩数据作为样本,样本数为 5 529 个,其厚度范围为 0.37 ~ 3.0 mm (110 个规格)、宽度范围为 1 146 ~ 1 534 mm (70 个规格)、卷重范围为 10.75 ~ 27.95 t,钢种类别包括低碳钢、深冲钢、结构钢及硅钢。通过数据统计与相关性分析,对以下关键因素进行研究。

1.1 厚度

按照酸连轧机组设计产品大纲,结合产品不同

厚度范围的生产特点,划分了 8 个组距。选取样本钢卷数 4 859 个,用于分析厚度组距与每小时生产卷数的关联性,见图 1。

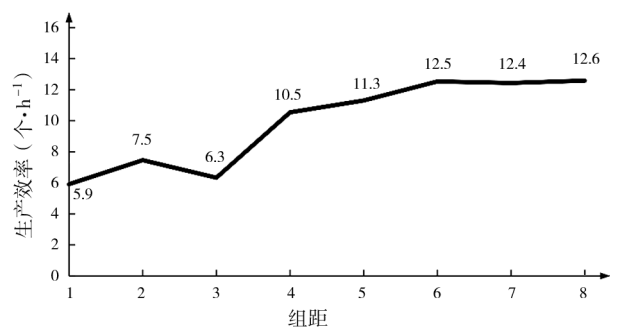


图 1 各组距每小时生产卷数情况图

由图 1 可见,第 1 个组距每小时平均生产卷数为 5.9 个;第 8 个组距每小时平均生产卷数为 12.6 个,是第 1 个组距每小时平均生产卷数的 2.1 倍,表明厚度因素对酸连轧机组生产效率有显著影响,整体呈现随厚度增加效率提升的趋势,应作为生产效率评价的核心要因。

1.2 宽度

按照酸轧机组正常生产节奏实际情况,如 3 ~ 12 分钟可涵盖当前酸连轧机组由薄规格至厚规格的正常轧制用时。随机选取一段时间生产数据,选取钢卷样本数 4 859 个,其宽度值主要分布在 1 200 ~ 1 300 mm 与 1 500 ~ 1 600 mm 两个区间,卷数占比分别为 63%、33%,合计 96%,具体见表 1。

表 1 不同宽度范围对应小时产量统计表

宽度范围/mm	卷数/个	卷数占比/%	产量/t	产量占比/%	用时/h	小时产量/(t·h ⁻¹)
1 100 ~ 1 200	176	3	3 803	3	16.5	230
1 200 ~ 1 300	3 063	63	68 234	60	330.3	207
1 400 ~ 1 500	36	1	982	1	4.3	231
1 500 ~ 1 600	1 584	33	41 579	36	160.8	259

由表 1 可见,宽度区间在 1 500 ~ 1 600 mm 的卷小时产量为 259 t/h,是宽度区间为 1 200 ~ 1 300 mm 的卷小时产量(207 t/h)的 1.25 倍。随着宽度增大,酸连轧机组小时产量总体随之增大,宽度应作为生产效率评价的要因。

1.3 卷重

选取厚度 1.0 mm、宽度 1 507 mm 的钢卷样本

209 卷,分析卷重对生产效率的影响:卷重 20.3 ~ 21 t 的钢卷为 85 个,平均每小时生产卷数为 11.8 个,卷重 22 ~ 24.2 t 的钢卷为 8 个,平均每小时生产卷数为 11.1 个,两者差异较小。卷重受订单需求、生产组产、运输方案等限制,调控措施受限,不作为生产效率评价要因。

1.4 品种

由于当前批量生产品种的生产效率基本无明显差异,针对差别相对较大的硅钢与低碳钢进行对比分析,调取一段时间内生产数据,样本数据为 409 卷厚度 0.5 mm 的硅钢与 182 卷厚度 0.45 ~ 0.5 mm 的低碳钢。经对比,硅钢每小时生产卷数为 4.9 个,低碳钢每小时生产卷数为 7.0 个,钢种差异对生产效率存在一定影响。考虑到硅钢月生产量占比较小,对整体效率评价结果影响有限,不作为生产效率评价要因。

表 2 组距划分标准表

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
厚度/mm	H < 0.4		0.4 ≤ H < 0.5		0.5 ≤ H < 0.7		0.7 ≤ H < 1.0		1.0 ≤ H < 1.5		1.5 ≤ H < 2.0		2.0 ≤ H < 2.5		H ≥ 2.5	
宽度/m	< 1.4	≥ 1.4	< 1.4	≥ 1.4	< 1.4	≥ 1.4	< 1.4	≥ 1.4	< 1.4	≥ 1.4	< 1.4	≥ 1.4	< 1.4	≥ 1.4	< 1.4	≥ 1.4

由表 2 可见,厚度由薄到厚为 8 个组,宽度以 1 400 mm 为界分为 2 个组,共 16 个规格组距。

2.2 数据来源与有效性筛选

评价数据需采集现场实际生产数据,包钢 1 780 mm 酸轧机组所采集的数据来源于 ERP 系统生成的生产班报,从生产班报中提取每卷的生产日期、时间、厚度、宽度等关键信息,并转换为数字格式,按照设定的统计与计算规则,生成需要的 Excel 数据表^[2]。

每个机组正常生产效率均可设定一个特定的区间,区间之外的数据在进行生产效率评价时应过滤,如 ERP 班报中存在因设备故障、检修、计划停线、手动录入等轧制间隔时间存在突变的情况,这些情况对生产节奏评价结果影响很大,因此,需对非正常轧制节奏数据进行过滤,如当前包钢 1 780 mm 酸轧机组将轧制用时 3 ~ 12 分钟样本作为有效数据,确保评价结果运用指导性。

2.3 评价要素定义

基于以上规格组距划分情况,明确以下核心评价要素的定义与计算公式。

2.3.1 单卷轧制用时

单个钢卷生产时间,计算公式为“本卷轧制结束时间 - 上一卷轧制结束时间”,单位为 min。

2.3.2 总卷小时卷数

单位时间内生产卷数,单位为个/h。

2.3.3 某组距轧制用时

某一规格组距内钢卷平均轧制用时,计算公式

2 评价体系构建

2.1 规格组距划分

通过对 1 780 mm 酸轧产线生产效率相关因素分析,评价结果为厚度与宽度是影响生产效率的核心评价要素,其中厚度影响更为显著。将厚度范围划分为 8 个区间,宽度按生产集中度划分为 2 档,两者结合应设立 16 个规格组距,具体见表 2。

为“该组距总轧制用时/该组距总卷数”,单位为 min/个。

2.3.4 某组距小时卷数

某一规格组距每小时生产的卷数,计算公式为“60/组距轧制用时”,单位为个/h。

2.3.5 班组轧制用时

某班组在特定规格组距内平均轧制用时,计算公式为“某班组某一组距总轧制用时/对应班组对应组距总卷数”,单位为 min/个。

2.3.6 班组小时卷数

某班组在特定规格组距小时卷数,计算公式为“60/班组特定组距轧制用时”,单位为个/h。

2.3.7 目标小时卷数

基于一段时间历史生产数据,选取生产水平相对较高的数值作为基准值,单位为个/h。

2.3.8 小时卷数达标率

某组距实际生产卷数与目标卷数的比值,计算公式为“(实际小时卷数/目标小时卷数) × 100%”,单位为百分号。

3 目标设定与评价表设计

3.1 目标小时卷数设定

在目标小时卷数设定方面,可依据历史最好几个月的生产数据进行分析确定,也可选取纪录月小时卷数实绩值,作为各组距目标小时卷数。选取纪录月数据作为目标值,见表 3。

表 3 各组距目标小时卷数设定值

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
厚度/mm	H<0.4		0.4≤H<0.5		0.5≤H<0.7		0.7≤H<1.0		1.0≤H<1.5		1.5≤H<2.0		2.0≤H<2.5		H≥2.5	
宽度/m	<1.4	≥1.4	<1.4	≥1.4	<1.4	≥1.4	<1.4	≥1.4	<1.4	≥1.4	<1.4	≥1.4	<1.4	≥1.4	<1.4	≥1.4
目标卷数/(个/h)	5.9	5.9	7.5	7.4	6.3	7.2	10.5	10.4	11.3	10.9	12.5	12.2	12.4	11.6	12.6	12.5

由表 3 可见,第 1 至第 6 组目标小时卷数最小值为 5.9 个/h,最大值为 7.5 个/h;第 7 至第 10 组目标小时卷数最小值为 10.4 个/h,最大值为 11.3 个/h;第 11 至第 16 组目标小时卷数最小值为 11.6 个/h,最大值为 12.6 个/h。

3.2 多维度评价表设计

选取某一时段轧制用时数据,运用 Excel 的统

计与计算功能,编制相关统计及计算原则,编制评价表,见表 4。该生产效率评价表可用于机组及四班平均轧速、小时产量差异化评价。围绕“目标达成”与“实绩排序”两个维度,可设计小时卷数评价(见表 5)、达标率评价(见表 6),可统计各组距卷数、高效卷数、高效卷小时卷数、高效卷达标率等数据,实现机组及班组在不同周期的效率评价。

表 4 生产效率评价表

班别	产量/t	平均轧速/(m·min ⁻¹)	轧制用时/h	小时产量/(t·h ⁻¹)	用时占比/%
甲	23 592	297	106.8	221	69
乙	18 079	331	88.5	204	68
丙	16 634	312	76.2	218	62
丁	16 913	337	80.9	209	45

由表 4 可见,该表可对机组及班组平均轧制速度与机组小时产量进行量化及排序评价。

由表 5 可见,该表可对机组及班组每小时平均生产卷数进行量化及排序评价,并可对 16 个组距每小时平均生产卷数进行单独评价。

由表 6 可见,该表可对机组及班组每小时平均

生产卷数达标率进行量化及排序评价,并可对 16 个组距每小时平均生产卷数达标率进行单独评价。

由表 7 可见,该表可对机组及班组高效段、低效段小时产量进行量化及排序评价,并可对低效段生产时间及发生低效段卷数进行分类统计。

表 5 小时卷数评价表

序号	厚度/mm	宽度/mm	目标卷数/个	卷数占比/%				小时卷数/(个·h ⁻¹)			
				甲	乙	丙	丁	甲	乙	丙	丁
1	H<0.4	W<1 400	5.9			89	50			5.9	6.2
2		W≥1 400	5.9			88	55			5.9	6.1
.....											
15	H≥2.5	W<1 400	12.7	71	93	76	83	11.9	12.7	12.8	13.0
16		W≥1 400	12.7	76	74	100	0	12.8	11.6	12.8	

表 6 达标率评价表

序号	厚度/mm	宽度/mm	卷数占比/%				小时卷数/(个·h ⁻¹)			
			甲	乙	丙	丁	甲	乙	丙	丁
1	H<0.4	W<1 400	70	92	78	80	93.0	100.5	100.2	102.1
2		W≥1 400	72	93	79	83	94.0	100.3	100.9	102.5
.....										
15	H≥2.5	W<1 400	71	93	76	83	94.0	100.2	100.8	102.1
16		W≥1 400	76	74	100		101.0	91.3	100.4	

表 7 高效段与低效段统计表

班别	产量 /t	作业班数 /个	高效段产量 /t	高效段时产 /(t·h ⁻¹)	低效段时产 /(t·h ⁻¹)	个 /(0.2~1 h)	个 /(1~4 h)	个 /(>4 h)	低效卷数 /个
甲	30 894	16.4	29 069	205	33	69	9	2	80
乙	32 268	15.4	31 422	202	29	37	4	1	42
丙	33 863	14.8	32 613	220	44	39	6		45
丁	32 446	15.4	31 322	226	24	41	2	2	45

注:高效段与低效段可根据机组实际自行定义,如包钢 1 780 mm 酸轧机组高效段定义为钢卷产出间隔时间在 3~12 分钟的钢卷纳入高效段,钢卷产出间隔时间超过 12 分钟的钢卷纳入低效段。

4 评价过程与结果分析

4.1 评价流程

利用 Excel 的数据统计与公式编辑功能,构建自动化评价流程。

4.1.1 基表导入

将 ERP 系统导出的生产班报 Excel 表作为基表,粘贴至评价模板中。

4.1.2 数据联动

通过在 Excel 中建立相应统计分析表,表中采用数据链接与公式计算等功能,自动将基表数据同步至样表,见表 4、表 5、表 6 和表 7。

4.1.3 结果生成

系统自动计算各评价指标,并通过颜色标注,实现绩效排序可视化。

4.2 实例验证

选取某酸轧机组某月生产数据作为验证样本,共涉及 5 634 个钢卷(总重量 125 125 t),将 ERP 班报数据粘贴值 EXCEL 设计好的模板上,可生成相应的分析表。

4.2.1 整体效率水平

该月高效卷占比达 72%,高效段产量 113 706 t,小时产量达到 211 t/h,平均轧制速度为 326 m/min,整体生产效率处于较高水平。

4.2.2 班组绩效差异

(1)小时产量:乙班表现最优,小时产量达到 225 t/h,且高效卷占比 79%(排名第一);

(2)轧制速度:甲班轧制速度最快,达到 342 m/min;

(3)小时卷数:乙班与丙班并列第一,均为 10.7 个/h,甲班最低(10.1 个/h);

(4)高效卷达标率:机组整体达标率达到 99.3%,其中丙班最高(102%),丁班最低(96.8%)。

具体数据见表 8(小时产量评价表)、表 9(小时卷数评价表)、表 10(达标率评价表)、表 11(高效段与低效段统计表)。

由表 8 可见,这一时段机组平均轧制速度达到 326 m/min,甲班轧制速度最快,达到 342 m/min;机组小时产量达到 211 t/h,乙班小时产量最大,达到 225 t/h。

表 8 生产效率评价表

班别	高效段产量/t	平均轧速/(m·min ⁻¹)	轧制用时/h	小时产量/(t·h ⁻¹)	用时占比/%
甲	29 069	342	131.9	193	76%
乙	31 422	312	144.1	225	79%
丙	32 613	341	128.6	210	67%
丁	31 322	310	133.5	215	69%

表 9 小时卷数评价表

序号	厚度 /mm	宽度 /mm	目标卷数 /个	卷数占比/%				小时卷数/(个·h ⁻¹)			
				甲	乙	丙	丁	甲	乙	丙	丁
1	H<0.4	W<1 400	5.9	91	50	100		6.1	5.3	9.3	
2		W≥1 400	5.9								
.....											
15	H≥2.5	W<1 400	12.7	100	89	68	60	12.4	12.1	12.6	11.5
16		W≥1 400	12.7	78	77	72	59	12	11.8	11.6	11.2

由表 9 可见,这一时段机组平均小时卷数达到 10.5 个,乙班、丙班效率最高,达到 10.8 个;甲班效率最低,为 10.1 个。

由表 10 可见,这一时段机组平均小时卷数的目标达标率 99.3%,丙班效率最高,达到 102%;乙班效率最低,为 96.9%。

表 10 达标率评价表

序号	厚度 /mm	宽度 /mm	卷数占比/%				小时卷数/(个·h ⁻¹)			
			甲	乙	丙	丁	甲	乙	丙	丁
1	H<0.4	W<1 400			89	50	104.2	90.3	157.3	
2		W≥1 400								
.....										
15	H≥2.5	W<1 400	71	93	76	83	97.4	95.0	98.9	90.5
16		W≥1 400	76	74	100		94.7	92.7	91.0	88.6

注:空白处表示此对应项在统计周期内未生产。

表 11 高效段与低效段统计表

班别	产量 /t	作业班数 /个	高效段产量 /t	高效段时产 /(t·h ⁻¹)	低效段时产 /(t·h ⁻¹)	个 /(0.2~1 h)	个 /(1~4 h)	个 /(>4 h)	低效卷数 /个
甲	30 894	16.4	29 069	205	33	69	9	2	80
乙	32 268	15.4	31 422	202	29	37	4	1	42
丙	33 863	14.8	32 613	220	44	39	6		45
丁	32 446	15.4	31 322	226	24	41	2	2	45

由表 11 可见,可对机组及班组的高效段、低效段小时产量进行量化及排序评价,并可对低效段生产时间及发生低效段卷数进行分类统计。

奏之外的低效率段分析,可统计 0.5 h、1 h、2 h、4 h、12 h 内等多种形式生产效率及发生频次。

5 推广应用

5.1 生产线拓展

该评价体系可推广至连续生产线的生产管理,可设置高效段与低效段两个维度进行分析,高效段主要用于筛选除设备故障、介质报警、计划停线、检修停线等轧制用时较长之外的钢卷样本数据,等同评价正常生产效率水平。低效段可用于正常生产节

5.2 多形式应用

评价表可应用于月、日、班、小时等不同周期,以及产量、卷数、达标率等不同维度的效率评价。例如,通过周达标率趋势分析(见图 2、表 12),可直观掌握各班组效率波动情况,为针对性优化提供依据。

由图 2 可以看出,机组周达标率整体呈现上升后波动趋势变小的趋势,其中丁班波动幅度相对较大。

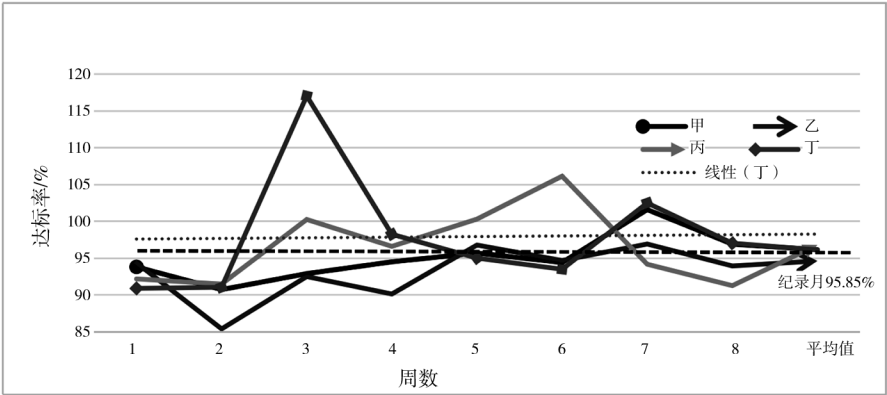


图 2 2025 年连续两个月周达标率情况

表 12 当月与最高月达标率对比

厚度 /mm	宽度 /mm	目标卷数 /个	达标率/%					某月达标率 /%	当月比 某月增长率
			甲	乙	丙	丁	合计		
0.5≤H<0.7	W<1 400	7.1	117.0	99.9	96.5	130.6	107.2	109.6	-2.4
	W≥1 400	7.7	104.9	90.4	84.3		96.1	103.0	-6.9
0.7≤H<1.0	W<1 400	11.2	95.2	91.4	93.4	108.6	96.4	97.7	-1.3
	W≥1 400	10.7	93.6	100.7	91.3	93.6	94.7	94.3	0.4
.....									
2.0≤H<2.5	W<1 400	12.7	95.3	101.0	97.6	97.5	97.9	100.0	-2.1
	W≥1 400	12.3	93.9	88.6	88.8	90.3	90.3	97.4	-7.1
H≥2.5	W<1 400	12.7	88.9	102.5	91.9	91.9	95.5	97.0	-1.5
	W≥1 400	12.7	91.6	87.8	89.0	91.8	90.9	94.7	-3.8
	最小值		83.4	84.9	83.9	90.3	88.3	86.7	1.6
	最大值		117.0	102.5	98.7	130.6	107.2	109.6	-2.2

由表 12 可见,可对机组及班组月度小时卷数达标率与某一月进行量化对比,用于评价差值情况。

6 结论

本文结合酸连轧机组生产特点,对机组一级、二级、ERP 系统数据信息传输与储存特点,采用 Excel 软件建立了生产效率统计分析 & 评价表,通过设定多个组距及重点评价要素,确定具体评价规则与分析方法,量化分析了机组小时产量、轧制速度、小时卷数、小时卷数达标率等重点生产效率指标,可用于机组不同时段生产效率分析,也可用于不同班组生产的效率评价。该评价方法是对酸轧机组数据应用的实践探索,也是对酸轧机组生产效率评价方式的创新应用。该方法可推广至连退、镀锌、平整、重分

卷等连续产线使用,也可用于同类产线对标分析;该方法可用于数智化系统应用转化,生成与之相关的生产效率评价图表,作为可视化看板的重点管理要素,促进生产效率快速评价机制发挥作用,为企业生产管理决策提供数据支撑。

参 考 文 献

[1] 张青山,张彦志,张昭杰. 生产系统的效率评价与低效诊断[J]. 沈阳工业大学学报,2008, 30(2):143-146.

[2] 刘志凯,陆长学. 生产效率评价分析管理及 Excel 软件的应用[J]. 应用技术,2015(3): 100-102.