



文献标识码：B 文章编号：1003-0492(2014)12-0084-04 中图分类号：TP273

冷轧制造一体化自动排程系统设计及应用

Design and Application for Integrated Automatic Scheduling System of Cold Rolling Manufacturing

李小瑞，吴声扬（武汉钢信软件有限公司 湖北 武汉 430080）

摘要：以钢铁企业冷轧镀锌薄板生产一体化自动排程为案例，分析钢铁企业冷轧生产各工序的业务特点，设计并开发了冷轧生产自动排程系统。系统通过前后工序联合排程、计划生产时间实时更新、计划执行图形化展示、制造管理与生产过程控制纵向集成等关键技术，创新了生产排程和计划执行的工艺管控模式，降低了产品库存，缩短了合同交货期，提高了客户满意度。

关键词：冷轧制造；一体化；自动排程

Abstract: Taking the automatic integration of production scheduling of cold rolled tin plate steel companies as an example, the paper analyzes the business characteristics of the cold rolling production processes, designs and develops the automatic scheduling system of cold rolling production. Based on the key technologies such as the joint scheduling of production process, the real-time updating of production plan, graphical display of the production process, and vertical integration of manufacturing management and production process control, the process management and control model of production scheduling and implementation of the plan are innovated, which reduces the inventory, shortens the contract delivery time, and improves the customer satisfaction.

Key words: Cold rolling manufacturing; Integration; Automatic scheduling

1 引言

生产计划是企业生产管理的依据，是提高企业经济效益的重要环节，要使企业有较强的竞争能力和应变能力，就必须加强生产计划的管理，发达国家的钢铁企业在生产管理上基本上都采用了“准时生产技术”和“敏捷生产管理”等先进的管理方式。随着我国钢铁工业整体水平的发展，信息化建设的普及，各大钢铁企业都致力于生产计划的优化，部分钢铁企业通过引进国外成熟的解决方案和产品进行集成，成功实现了一体化的高级计划排程^[1~2]。

作者参与并主导完成某冷轧镀锌薄板厂的销售生产系统的自主开发工作，系统已于2013年12月底全部投入使用，目前运行基本稳定，满足业务需求。其中的生产计划与排程子系统结合了国内外相关生产计划管理领域的先进思想^[3~5]，采用了符合动态生产需求的生产计划编制技术，符合镀锌板工艺的实际生产要求，本文对此子系统进行详细的阐述。

2 业务需求

某冷轧镀锌薄板厂的产品定位于高端食品级镀锌板及镀锌原板，设计年产能80万吨，其中电镀锌板板材16万吨，电镀锌板卷材24万吨，镀锌原板40万吨，产品规格为0.15~0.55mm×700~1250mm。主要机组设备包括1套酸洗轧机联合机组CDCM、2套连续退火机组CAPL、2套连续电镀锌机组ETL、1套准备机组CPL、2套横切机组SHL、2套半自动包装机组PAL。从热轧厂采购原料卷，用过跨小车将包装好的原料卷直接接收到原料库，钢卷在CDCM、CAPL、ETL机组生产后可根据钢卷的质量情况随时增加CPL机组的生产。

3 系统设计

子系统的主要功能是确认订单交货期，制定合理优化的详细生产计划，将生产计划与生产实绩紧密结合，保证生产计划得到合理而快速地修正，为实现及时、准确、高效的生产组织提供有效手段，解决“在有限产能条件下，交期产能精确预测、工序生产与物料供应最优详细计划”的问题。

- (1) 通过“机组产能平衡”功能确认机组的产能状况、订单的承诺交货期及订单的原料需求；
- (2) 通过“自动预排程”功能预定所有有效钢卷和订单在每一道剩余生产工序的生产顺序及生产时刻；
- (3) 通过“预排程结果展示及调整确认”功能图形化展示预排程结果并确定纳入在线排程的钢卷及钢卷在机组的生产顺序；
- (4) 通过“在线排程信息展示及调整确认”功能图形化展示在线排程进展情况并确定各机组下发给L2生产的钢卷顺序；
- (5) 通过“实绩收集”功能实时收集钢卷的生产信息，实时更新在线排程中生产机组后续钢卷的计划生产时刻，同时对钢卷在后续连排机组的计划进行实时修正。

功能之间的关系如图1所示。

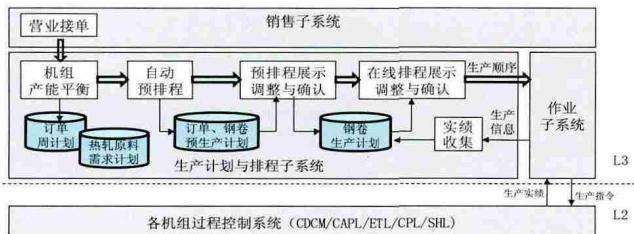


图1 功能关系图

3.1 机组产能平衡

以月为范围，周为单位，综合考虑各机组的检修及停机计划、机组优先顺序、工序间标准工期等约束条件，以订单在各工序的生产处理量为基础，实时计算各机组的生产能力，优化机组分配，确定订单的最终承诺交货期，用倒退方式计算出订单在每一道生产工序的最迟生产日、生产周和原料需求量，在保证机组有足够的能力完成订单的前提下，使各机组产能充分发挥，使生产效率最大化。

3.1.1 工作周的划分与定义

引入工作周的概念，对出货、机组生产、原料接收等主要行为以周为单位进行划分和定义，包括出货周、SHL生产周、ETL生产周、CAPL生产周、CDCM生产周、原料接收周。出货周按每月4个周划分，1~7日为第一周，8~14日为第二周，15~21日为第三周，22~月底为第四周，其他工作周则以出货周为基准，按原料接收->CDCM->CAPL->ETL->SHL的顺序，根据工序间标准工期，从后往前倒退计算出各工作周的时间区间，具体例子如图2所示。

周号	2014-093	2014-094	2014-101	2014-102
出货周	2014/9/15	2014/9/21	2014/9/30	2014/10/1
SHL生产周	2014/9/10	2014/9/16	2014/9/25	2014/9/26
ETL生产周	2014/9/9	2014/9/15	2014/9/16	2014/9/24
CAPL生产周	2014/9/7	2014/9/13	2014/9/14	2014/9/22
CDCM生产周	2014/9/4	2014/9/10	2014/9/11	2014/9/19
原料接收周	2014/9/1	2014/9/7	2014/9/8	2014/9/16
标准工期	出货前 5天	SHL前 1天	ETL前 2天	CAPL前 3天
			CDCM前 3天	

图2 工作周的划分与定义示意图

3.1.2 机组产能平衡自动计算

每周计算一次，每次计算的范围为4个工作周，每次只对第一个工作周的计算结果进行确认，并根据确认结果采购原料，后面三个工作周的计算结果主要用来对机组能力进行预测，在后续机组产能平衡计算时会重新进行计算（如2014-102周，在2014年8月30日确定前，会预测三次）。如图3所示。

产能平衡计算日	计算对象(周号)			
	第1周	第2周	第3周	第4周
2014年8月7日	2014-093	2014-094	2014-101	2014-102
2014年8月16日	2014-094	2014-101	2014-102	2014-103
2014年8月23日	2014-101	2014-102	2014-103	2014-104
2014年8月30日	2014-102	2014-103	2014-104	2014-105
2014年9月6日	2014-103	2014-104	2014-105	2014-106
2014年8月16日	2014-104	2014-105	2014-106	2014-107

图3 机组产能平衡计算示意图

根据4个工作周中的出货周确定进行机组产能平衡计算的订单，考虑各机组的设备检修计划和工艺特性，进行各机组的生产能力和余力、订单在各工序的原料需求量和最迟生产日的计算。

3.1.3 机组产能平衡调整与确定

提供调整功能，对机组产能平衡计算结果进行人为干预：根据机组的生产余力向前或向后调整订单在各机组的生产周、调整订单的具体生产机组（在1#和2#之间调整）、根据机组的实际情况调整周号中机组的生产能力等。针对调整结果重新进行机组产能平衡计算，目的是充分发挥机组的有效产能。对第一个工作周的计算结果进行确认，自此就确定了第一工作周内各机组的产能状况、分配在第一个工作周内订单的承诺交货期及周生产计划，并以此为生产目标对订单进行原料采购和生产，同时确认后的订单就成为了自动预排程的对象。

3.2 自动预排程

自动预排程的对象有三类：库内需生产钢卷、热轧已产出未收料钢卷、已产能确认热轧未产出订单。之所以将热轧未产出订单作为预排程的对象，目的主要是能够预先建立一个设备工作的预览，并对订单的排列有一个预测的可能。

自动预排程的目的是考虑钢卷或订单在机组的最迟生产日及各种约束，在其剩余工序上进行顺序预排和组批，根据工序的特性，首先进行制约条件多的CAPL机组自动排程，再以CAPL机组为基准，做其前工序和后工序的自动排程，工序的排程顺序如图4所示。

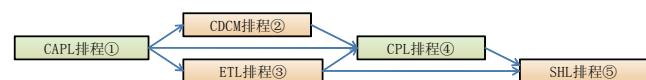


图4 工序排程顺序示意图

自动预排程的处理包括：预排程信息收集、机组排程数据生成、各机组排程。

3.2.1 预排程信息收集

预排程信息包括三类。①排程的对象：库内需生产钢卷、热轧已产出未收料钢卷、已产能确认热轧未产出订单，以及与之相关的订单品质设计信息；②计算用的基本要素：机组成材率、作业率、小时产量；③制约条件和标准值：在线排程信息、设备停机计划、PUG（生产单元）重量上下限、PUG切换所要时间、工序间MIN/MAX工期、各机组的厚宽最大尺寸差等。

3.2.2 机组排程数据生成

获取每一个预排程对象的剩余工序，根据剩余工序进行机组展开，生成各个机组的预排程数据，如果剩余工序已经纳入在线排程，则直接从在线排程数据库获取机组排程数据，否则需要根据基本要素进行计算。

3.2.3 CAPL机组排程（1#CAPL和2#CAPL机组分别排程）

对机组号为1#CAPL(2#CAPL)没有纳入在线排程的机组排程数据进行编排，处理顺序如图5所示。



图5 CAPL机组排程处理顺序示意图

(1) 临时PUG编制。根据CAPL机组PUG编制要素将CAPL机组排程数据进行分类汇集，生成临时PUG编号。

(2) Min PUG制约检查。检查PUG重量是否满足PUG的重量下限。

(3) PUG整合确定。对于PUG下限重量不满足的PUG进行合并处理。

(4) 一次PUG排列。不考虑设备检修及停机计划，进行临时PUG的顺序编排、PUG内材料顺序编排、PUG生产开始和结束时刻计算、PUG内材料生产开始和结束时刻计算。如果两个PUG之间切换需要时间，则将PUG切换时间也作为一个非材料PUG加入到这两个PUG之间。

在进行PUG和PUG内材料的生产时刻计算时，首先要考虑PUG排列的起点时刻，收集CAPL机组中已纳入在线排程未生产钢卷所需要的生产时间（包括设备检修及停机时间），当前时刻+所要时间，就是PUG排列的起点时刻，如图6所示。

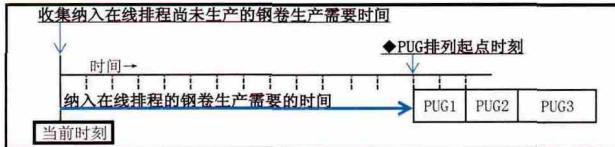


图6 PUG排列的起点时刻示意图

(5) 二次PUG排列。在一次排列的基础上，考虑设备检修及停机计划，将设备检修及停机计划也作为一个PUG插入到PUG

的序列中，重新进行PUG和材料生产时刻的计算，如果设备检修及停机计划穿插在一个材料PUG中，则自动将材料PUG分割成两个。如图7所示。

一次排列结果				设备检修及停机计划			二次排列结果					
PUG	钢卷	重量	时间(分钟)	生产结束时刻	休止开始时刻	休止时间(分钟)	休止理由	PUG	钢卷	重量	时间(分钟)	生产结束时刻
L1	2014/8/18 0:24	2014/8/18 8:00	480.0	定期检修	L1
L2	C36	20	24.0	2014/8/18 0:24	2014/8/19 9:00	180.0	计划停电	L2	C36	20	24.0	2014/8/18 0:24
L3	C37	20	24.0	2014/8/18 6:48	2014/8/18 6:48
L3	C37	20	24.0	2014/8/18 6:48	C38	18	21.6	2014/8/18 7:09	C38	18	21.6	2014/8/18 7:09
L3	C38	18	21.6	2014/8/18 7:09	C39	20	24.0	2014/8/18 7:33	C39	20	24.0	2014/8/18 7:33
L3	C39	20	24.0	2014/8/18 7:33	C40	20	24.0	2014/8/18 7:57	C40	20	24.0	2014/8/18 7:57
L3	C40	20	24.0	2014/8/18 7:57	C41	20	24.0	2014/8/18 8:21	C41	20	24.0	2014/8/18 16:21
L3	C41	20	24.0	2014/8/18 8:21

图7 PUG的二次排列示意图

在二次排列完成后，顺序检查前后钢卷之间的厚度和宽度是否满足厚宽最大尺寸差的要求，如果不满足要求则进行报警标记。

3.2.4 CDCM机组排程

对机组号为CDCM没有纳入在线排程的机组排程数据进行编排。

(1) 临时PUG编制。在CDCM机组进行PUG编制的排程数据有两种，一种是已经在CAPL机组排程的CAPL预定材，一种是不经过CAPL机组CDCM下线后直接为成品的冷硬卷。分别对CAPL预定材和冷硬卷根据各自编制要素进行分类汇集，生成各自的临时PUG编号。

(2) 一次PUG排列。先进行PUG内材料顺序编排，取PUG的代表日期，再以PUG的代表日期为基准将CAPL预定材PUG和冷硬卷PUG混合一起进行PUG顺序编排。其余同CAPL机组。

(3) 二次PUG排列。同CAPL机组。

3.2.5 ETL机组排程（1#ETL和2#ETL机组分别排程）

对机组号为1#ETL(2#ETL)没有纳入在线排程的机组排程数据进行编排。

(1) 临时PUG编制。在ETL机组进行PUG编制的排程数据有两种，一种是CAPL产出材，一种是CAPL预定材。分别对CAPL预定材和CAPL产出材根据各自编制要素进行分类汇集，生成各自的临时PUG编号。

(2) 一次PUG排列。先进行PUG内材料顺序编排，取PUG的代表日期，再以PUG的代表日期为基准将CAPL预定材PUG和CAPL产出材PUG混合进行PUG顺序编排。其余同CAPL机组。

(3) 二次PUG排列。同CAPL机组。

3.2.6 CPL机组和SHL机组的排程同ETL机组。

3.3 预排程结果展示及调整确认

自动预排程的结果使用甘特图展示，主画面的纵坐标为排程机组，横坐标为时间，以PUG为单位根据各个PUG的所要时间作

成带状图，根据PUG的顺序进行排列，可以反映出在产设备和工作量的分配，同时可以对图中的PUG块进行连线、调整、确定等操作。如图8所示。

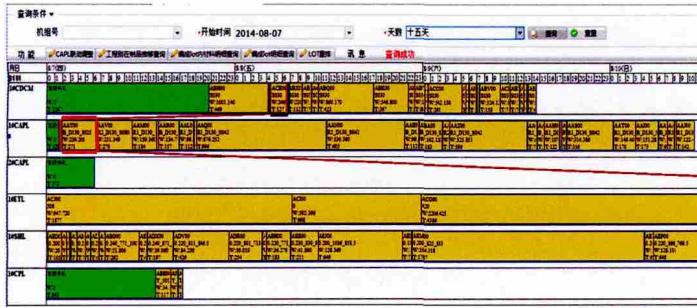


图8 甘特图

自动预排程后，以基于各个机组的在库量和排程结果中材料接受量、发出量为基础，按日生成在制品推移的预定，使计划人员及时掌握各机组后续若干天的预计产出量和各个库的预计库存量，以便保证设备物料的连续供给，降低设备的待料时间，缩短生产时间，有计划地减少库存。图9为对在制品推移的预定展示。

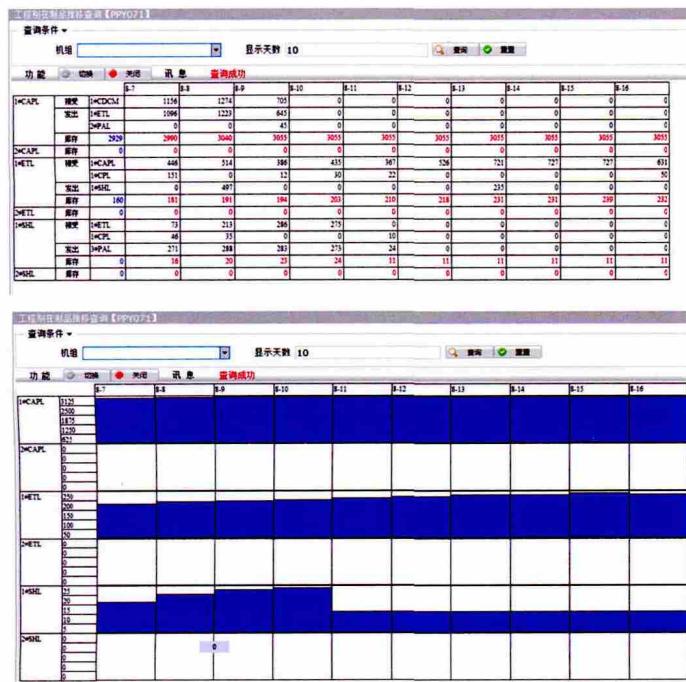


图9 在制品推移预定示意图

提供调整功能，计划人员可以对自动排程结果进行人为干预（排在前面的已纳入在线排程的PUG不能调整），调整后重新计算相关PUG和材料的生产时刻。

计划人员选择PUG进行排程确定，选择的PUG及材料被纳入在线排程，未被纳入在线排程的材料依然是下一次自动预排程的对象。

3.4 在线排程信息展示及调整确认

在线排程各机组进展情况也使用甘特图展示，纵坐标为排程机组，横坐标为时间，以PUG为单位，根据各个PUG的所要时间作成带状图，根据PUG的顺序进行排列。

提供调整功能，计划人员可以对在线排程信息进行人为干预（排在前面的已下L2的PUG需要L2认可），调整后重新计算相关PUG和材料的生产时刻。

计划人员选择PUG进行排程确定，选择的材料被传给L2进行生产。

3.5 实绩收集

实时收集各机组的生产信息，并实时更新在线排程的生产计划信息：更新生产机组后续钢卷的计划生产时刻，同时对钢卷在后续连排机组的计划进行实时修正，保证在线排程计划的最新、完整与一致。

4 结语

与引进国外成熟产品进行集成相比，自主开发的生产计划与排程子系统也实现了先进的功能：对设备能力和待生产物料的需求能力进行平衡，给出订单在每个生产节点的生产日期，确定订单的承诺交货期，综合考虑时间、数量、产能、工艺特性等约束条件，进行生产线详细计划的优化编排，将生产计划与生产实绩紧密结合，使生产计划得到合理而快速地修正，为生产过程和物流顺畅提供了保障。

生产计划与排程子系统随着某冷轧镀锌薄板厂的投产而同步使用，使各机组产能充分发挥，有效地缩短了订单的生产过程时间，保证了订单的交货期，减少了原料采购提前期，减少了生产缺料现象，减少了原料、半成品和成品的库存，缩短了合同交货期，提高了客户的满意度。

参考文献：

- [1] 郭亚朋, 李俊杰, 李峰源. 首钢京唐公司冷轧先进排程系统浅析[J]. 轧钢, 2014, 31(1) : 68-71.
- [2] 陈斌. 马钢新区冷轧高级排程系统浅析[J]. 安徽冶金, 2009, (2) : 47-50.
- [3] 闫华, 刘强. 基于ERP环境下的高级计划排程系统[J]. 中国制造业信息化, 2010, 39(19) : 18-21.
- [4] 王宏亮. 钢铁企业多粒度分型生产计划管理方法研究[M]. 大连理工大学, 2011.
- [5] 胡国奋. 钢铁企业制造执行系统实现方法与关键技术研究[M]. 东北大学, 2007.

作者简介

李小瑞 (1972-) , 女, 山西垣曲人, 工程师, 主要从事大型信息管理系统的系统设计和软件开发工作。

吴声扬 (1978-) , 男, 福建莆田人, 硕士研究生, 主要从事钢铁行业信息化的系统设计和开发工作。