

doi: 10.11832/j.issn.1000-4858.2014.07.028

热轧带钢移动式横切剪液压系统分析

韩清刚¹, 张彦滨¹, 张 雪¹, 梁 韬², 李鹏来²

(1. 北京首钢国际工程技术有限公司, 北京 100043; 2. 首钢京唐钢铁联合有限责任公司, 河北 唐山 063200)

摘 要:介绍了热轧带钢移动式横切剪液压系统配置,简述了系统工作中存在的问题并进行了分析。相比定量泵直接供油,给出了恒压变量泵加蓄能器联合供油的系统优化方案,并对方案进行了数值计算。优化方案不仅可解决目前系统存在的问题,而且具有明显的节能效果。该方案可对类似工况液压系统的设计和改造提供参考。

关键词:移动式横切剪;定量泵;恒压变量泵;蓄能器

中图分类号:TH137 文献标志码:B 文章编号:1000-4858(2014)07-0103-04

Analysis of Hydraulic System Designed for Cross Cut Shear of Hot Rolled Strip

HAN Qing-gang¹, ZHANG Yan-bin¹, ZHANG Xue¹, LIANG Tao², LI Peng-lai²

(1. Beijing Shougang International Engineering Technology Co., Ltd., Beijing 100043;

2. Shougang Jingtang Iron and Steel Complex., Tangshan, Hebei 063200)

Abstract: The hydraulic system designed for cross cut shear of hot rolled strip is introduced. The problems of hydraulic system are given and analyzed. The optimized design resolution is provided and calculated. The constant pressure variable pumps combined with accumulators substitute the fixed displacement pumps. The optimized design can resolve the existent problems and it's quite effective on energy saving compared with the actual design. This study is helpful to the design and rebuilding of hydraulic systems with similar working conditions.

Key words: cross cut shear, fixed displacement pump, constant pressure variable pump, accumulator

引言

首钢京唐公司热轧带钢横切生产线位于河北唐山曹妃甸工业区,设计年生产热轧钢板 30 万吨,于 2012 年初顺利投产,是目前国内配置一流、全线自动化水平一流的自主集成剪切线。生产线上关键设备之一的移动式横切剪由国内某知名制造商设计制造,同时配套横切剪液压系统。随着全线设备运行日益平稳,产量逐步提高,我们发现横切剪液压系统还存在一些问题,成为了制约生产顺稳的瓶颈,亟需解决。

1 问题分析

1.1 热轧带钢横切生产线概况

主要设备包括:上料鞍座、地辊站、测宽测径装置、钢卷车、开卷机、带钢穿带台、双夹送辊、五辊矫直机、切头剪、1#刷辊、圆盘剪、碎断剪、十一辊矫直机、2#刷

辊、移动式横切剪、喷印机、堆垛机、升降垛板台、板垛运输机、运输辊道、自动打捆机、低压液压站、高压液压站、稀油润滑站等。主要生产钢种:低碳钢、优质碳素结构钢、高强度低合金钢、汽车用钢、船板、锅炉和压力容器用钢等。成品钢板主要参数:厚度 8 ~ 25.4 mm,宽度 830 ~ 2130 mm,长度 2000 ~ 16000 mm;最大屈服强度 850 MPa,最大抗拉强度 1000 MPa。生产线最大速度 40 m/min,横切剪最大剪切次数 10 次/min。

横切剪液压系统主要包括高压液压站及控制阀台等设备。该液压系统除了服务移动式横切剪之外,还

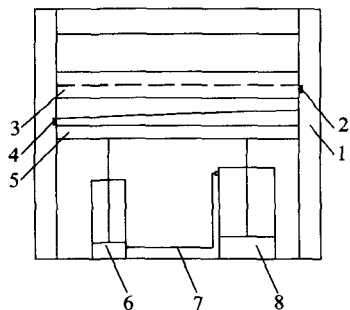
收稿日期:2013-12-13

作者简介:韩清刚(1978—),男,山东曹县人,高级工程师,硕士,主要从事流体传动与控制系统设计工作。

服务带钢切头剪,两个剪子动作序列上互不影响。我们仅考虑其服务于横切剪。横切剪具有切定尺成品、切取样、切废料等功能。

该生产线横切剪为下切式液压剪^[1],即上刀片固定,下刀片上下运动实现剪切。横切剪由底座、剪体和横移机构组成。剪体主要组成:机架、上刀架、下刀架、压板装置、剪切油缸、剪刀间隙调整机构,见图1所示。横移机构含有伺服电机,可以通过齿轮齿条传动驱使剪体沿生产线往复快速移动。工作循环开始时,横切剪从零点位置快速追踪至与带钢线速度一致时完成一次剪切,剪体快速回退到零点位置等待下一次循环,从而保证对热轧带钢的不停车连续定尺剪切。

横切剪液压系统服务对象为驱动下刀架上下运动的两个串联剪切缸、驱动压板装置压紧钢板两个压板缸。剪切缸大缸缸径350 mm,杆径210 mm,行程220 mm;剪切缸小缸缸径280 mm,杆径200 mm,行程220 mm;由于压板缸非常小,相比剪切缸可忽略,为了说明问题并结合实际情况仅考虑剪切缸。



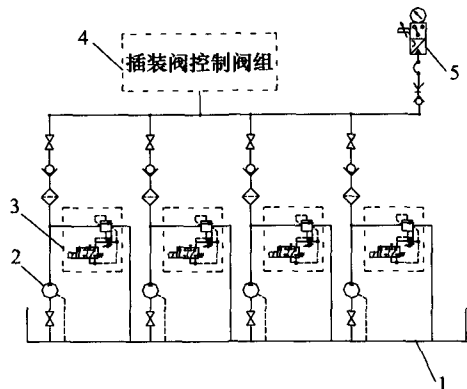
1. 剪体 2. 上接近开关 3. 上刀架 4. 下接近开关 5. 下刀架
6. 剪切缸小缸 7. 串联油管 8. 剪切缸大缸

图1 横切剪剪体结构简图

1.2 横切剪液压系统配置及存在问题

液压系统分为控制阀台和液压站,均布置在横切剪附近。控制阀台主要采用的是大流量插装阀配合小通径电磁阀的控制形式。下刀架剪切后回落过程控制油路中设有溢流阀和剪切缸大缸放油阀组,放油阀组可调节下刀架下降速度。液压站采用的是高压大流量定量泵直供的形式,选配了四台(三用一备)F12-250型定量轴向柱塞泵,单台定量泵参数:流量370 L/min,压力24 MPa,电机功率90 kW;油箱容积6.5 m³;循环泵流量340 L/min,循环回路中配有冷却器;油箱配有6个浸入式电加热器,每个电加热器功率3 kW。供油原理见图2所示。横切剪液压系统的配置从功能上看是成功的,已满足了设计要求,可以对极限规格带钢在

工艺要求生产线速度下完成剪切,剪切周期不超过原限定的2.5 s。



1. 油箱 2. 定量泵 3. 电磁溢流阀 4. 控制阀组 5. 压力继电器

图2 横切剪液压供油原理

目前存在的突出问题一:液压系统温度控制不稳定。通过安装在油箱吸油侧立壁上的温度继电器对油温进行监控,正常工作温度38~43℃。一段时间停泵后再起泵时油箱油温偏低,尤其在冬季,由于是冷加工车间,环境温度很低,油箱浸入式加热器的加热效果不明显。另外,定量泵启泵工作一段时间后油液温度上升幅度较大,经常达到50℃以上,冷却器虽然一直在工作,但冷却效果很小,油温降不下去,尤其在夏季更明显。经核算加热器总功率合适。油箱的加热器布置不合理,不应该所有加热器集中布置在油箱一个角落,而应该沿油箱均匀分散开,适当多布置在吸油侧,充分散开才能更好促进整箱油液的热传导和对流,才能改善加热效果。由于定量泵工作时,无论带不带载,其一直在对大流量的油液进行吸油、压油和排油,电机相当一部分功率转化成热量,再加上大流量油液在油箱内的翻腾搅动,摩擦生热,也就必然引起了油温的快速攀升。

冷却降温效果差有以下几个方面原因:① 定量泵高压大流量,发热量大;② 冷却水来水水质不达标,拆开水过滤器滤芯经常能发现堵塞严重,冷却水量不够必然冷却效果就差,需要提高供水质量,并经常清理更换水过滤滤芯;③ 油箱内部应严格区分吸油区和回油区,中间布置隔板。将泵的溢流回油、卸荷回油、来自阀台和油缸的所有卸回油等统统进入回油区,充分保证吸油区的干净、稳定。同时保证循环泵从回油区吸油,经过过滤和冷却后排入吸油区,必然很大程度上改善温控效果。

横切剪液压系统存在的突出问题二:横切剪剪切

时液压系统噪声偏大。液压泵出口电磁溢流阀得电建立起高压后,直至下刀架上行至上接近开关位置,偏大的噪声一直存在。对设备附近的操作和维护人员带来一定的影响。由于本系统采用的是超载剪切,首先要核实电机功率。试车时,单台定量泵从空载逐渐加压到工作压力 24 MPa 时,检测到的电流值从 60 ~ 255 A,90 kW 泵电机名牌上额定电流为 164 A,可见剪切时最大将超载 55%,由于正常工作时高压剪切过程仅仅 1 s 左右,超载符合相关规范^[2]。横切剪液压系统一个工作周期可粗略细分为四个阶段,① 下刀架上行至上接近开关剪切钢板阶段,压力 24 MPa,所需功率最大,持续时间 1 s;② 下刀架在上接近开关位置处停留时间 0.3 s;③ 剪切缸下行至下接近开关阶段,压力 7 MPa,持续时间 1 s;④ 泵空载运行阶段,压力 2 MPa,持续时间 3.7 s。据此粗略数据绘制下刀架位移时间示意图,见图 3 所示。

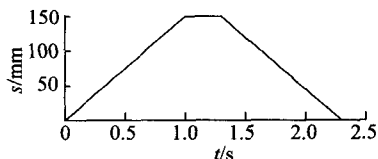


图3 下刀架位移时间示意图

系统工作周期内每阶段泵电机功率计算公式^[2]如下:

$$P = \frac{\psi p_i Q_i}{600 \eta_p} \quad (1)$$

其中, P 为电机功率, kW; ψ 为转换系数, 取为 1; p_i 为液压泵工作压力, bar; Q_i 为液压泵工作流量, L/min; η_p 为电机泵装置总效率 (计算方便, 这里取为常数 0.9)。

结合系统各工作阶段可根据等值功率选择泵电机, 等值功率计算公式^[2]如下:

$$\bar{P} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N P_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^N t_i}} \quad (2)$$

其中, \bar{P} 为等值功率, kW; N 为工作循环阶段总数; P_i 为循环周期中第 i 阶段所需的功率 kW, t_i 为第 i 阶段持续的时间, s。根据式 (1) 和式 (2) 计算得等值功率 $\bar{P} = 80.75$ kW。可见, 液压站选配 90 kW 电机是合适的。

现场检查确认噪音主要来自定量泵。当然噪音的产生是多方面的, 比如泵的安装减震方式、吸油管路和压油管路合不合规范、油液中无杂质气泡等等。现场严格按照泵厂家技术人员的要求对系统吸油管、压

油管和卸油管均进行了改善, 但噪音未见减小。索要并查阅该型号定量泵噪音曲线, 也并未发现超标, 但实际使用中却远不如人意。解决噪音的方法主要有: ① 高压液压站周边加装隔音板; ② 为高压液压站建房子或者建厂时选择放置于地下; ③ 优化高压液压站供油配置, 选择小流量恒压变量泵加蓄能器形式。当然, 最好是系统设计时就选择这种方式, 或者在一定时间后对系统进行升级改造时选用。

2 优化方案及计算

2.1 系统优化方案

根据工艺要求, 按最苛刻的工况考虑, 每分钟至少完成 10 次剪切循环, 液压系统剪切周期不超过 2.5 s, 这里按 2.3 s 考虑, 见图 3。基于相关计算我们推荐采用的液压系统配置为: PV076 型恒压变量泵四台 (三用一备) 加蓄能器联合供油形式, 单台恒压变量泵参数: 流量 100 L/min, 压力 25 MPa, 电机功率 45 kW。在剪切缸驱动下刀架上行剪切带钢过程中由工作泵和蓄能器同时供油, 上接近开关发讯后蓄能器关闭, 恒压变量泵供油驱动下刀架下行, 下接近开关发讯时, 蓄能器打开, 恒压变量泵往蓄能器充油, 很快系统压力将稳定在设定的 25 MPa。系统准备好进行下一次剪切。

PV076 型恒压变量泵单台的压力流量曲线, 经过拟合后如下:

$$Q = -0.0125p + 112 \quad (3)$$

其中, Q 为液压泵流量, L/min; p 为液压泵出口压力, bar。

下刀架升降单程行程为 150 mm, 上升时剪切速度 150/1 = 150 mm/s, 剪切缸大缸需要供油流量 866 L/min; 下降时速度 150/1 = 150 mm/s, 剪切缸小缸供油流量 272 L/min, 三台恒压变量泵供油足以满足下降速度的需要。

剪切行程中, 剪切缸大缸由三台恒压变量泵和蓄能器联合供油, 由于剪切过程时间短, 压力变化不大, 可以认为变量泵为定量泵。进而计算得出需要蓄能器至少补充的油量为: 866/60 - 300/60 = 9.43 L。相当于蓄能器的有效工作容积为 9.43 L, 考虑 10% 的安全余量。

$$V_w = V_1 - V_2 = 9.43 \times 1.1 = 10.37 \text{ L} \quad (4)$$

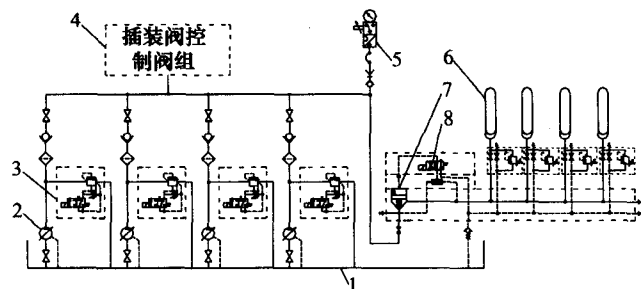
其中, V_w 为有效工作容积; V_1 为蓄能器最小工作压力时对应的气体容积; V_2 为蓄能器最大工作压力时对应的气体容积。

$$V_0 = \frac{V_w}{p_0^{0.715} \left[\left(\frac{1}{p_1} \right)^{0.715} - \left(\frac{1}{p_2} \right)^{0.715} \right]} \quad (5)$$

$$p_0 V_0^n = p_i V_i^n \quad (6)$$

其中, V_0 为蓄能器总容积, L ; V_w 为蓄能器有效容积, L ; 假设蓄能器工作在绝热过程, 指数 $n = 1.4$, p_1 为最低工作压力: 23 MPa; p_2 为最高工作压力: 25 MPa, $p_0 = 0.9 p_1$ 为充气压力: 20.7 MPa, p_i 为第 i 时点蓄能器工作压力; V_i 为第 i 时点蓄能器气体容积。

由式(4)和式(5)^[2]可得蓄能器总容积 $V_0 = 193.63 L$ 。可选择4个SB330-50蓄能器组成一组, 横切剪液压系统优化供油形式见图4所示。



1. 油箱 2. 恒压变量泵 3. 电磁溢流阀 4. 控制阀组
5. 压力继电器 6. 蓄能器 7. 插装阀 8. 电磁阀

图4 横切剪液压供油原理优化

2.2 优化方案计算结果及分析

根据横切剪工艺要求结合式(3)~式(6)^[2]对优化方案进行数值计算^[3], 蓄能器组压力见图5所示, 蓄能器容积见图6所示, 恒压变量泵组压力见图7所示, 恒压变量泵组流量见图8所示。计算结果展示了系统工作最紧凑的情况下两个周期(12 s)内的液压系统参数变化。

从图5~图8看出, 蓄能器工作在23~25 MPa之间, 同时即使是最紧凑工况下变量泵对蓄能器的补油

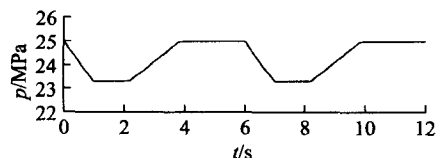


图5 蓄能器组压力

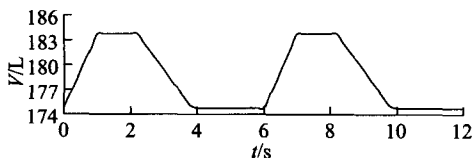


图6 蓄能器组容积

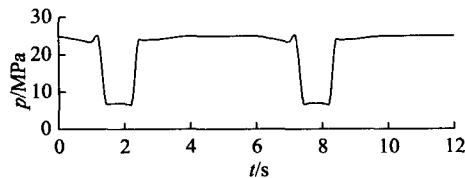


图7 变量泵组压力

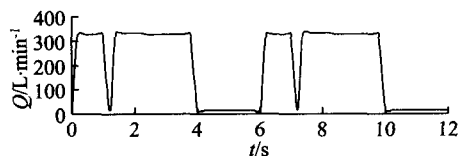


图8 变量泵组流量计算

也有充足时间完成, 每个周期恒压变量泵至少还有2 s左右的时间在恒压点维持节能运行。可以看出, 恒压变量泵与蓄能器在容量的匹配上是合适的^[4,5]。

根据实际工况可以计算出优化方案相比原方案节能在60%以上。同时根据样本资料PV076泵25 MPa压力满流量时比同样工况下F12-250型泵噪声低10 dB以上, 同时小流量对系统中管道、过滤器、阀门等的冲击将大大减小, 蓄能器本身对系统又能起到缓冲和吸振作用, 整个系统必将更稳定、更安静。同时, 由于泵流量的减小, 泵在卸荷或者溢流时对油箱内油液搅动作用减弱, 一方面电机的发热功率大大缩小, 方便油温控制; 另一方面油液的安静抑制了其中气泡的产生, 利于杂质的沉淀, 对泵起到了保护作用, 也降低了噪音产生的可能。

3 结论

热轧带钢横切生产线移动式横切剪液压系统采用过载剪切模式符合规范, F12-250型大流量定量柱塞泵在24 MPa压力下噪声比样本所示偏大, 移动式横切剪的工况决定了液压系统更适合采用小流量恒压变量泵加蓄能器联合供油的形式, 不仅能大大降低噪声, 同时使系统更稳定、温控更有效、节能效果更明显。

参考文献:

- [1] 杨春青, 邓争, 李萌, 等. 下切式液压剪的设计[J]. 液压与气动, 2012, 2(8): 171-173.
- [2] 成大先. 机械设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [3] 韩清刚. 热轧带钢粗轧高压水除鳞系统数值计算[J]. 轧钢, 2010, 27(2): 40-43.
- [4] 董涛, 薛彦俊. 变压器铁芯横剪线开卷机液压系统的改进[J]. 液压与气动, 2011, (6): 101-102.
- [5] 侯波, 何贤超. 高工效、低能耗剪叉式液压升降机设计研究[J]. 液压与气动, 2012, (1): 39-40.