包钢宽厚板AGC液压系统及故障诊断*

杨文海[1],王秉林[2],杨文香[3]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司薄板坯连铸连轧厂,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司工程服务公司,内蒙古 包头 014010;
3. 内蒙古第一机械集团三分公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章对包钢宽厚板轧机AGC液压控制系统进行了介绍,对其系统元件构成、系统设计、系统原理、系统特点等进行了介绍和分析。同时结合宽厚板轧机AGC液压控制系统现场维护和故障处理经验,对该液压控制系统的典型故障的故障排查诊断进行了分析,总结介绍了其典型故障排查处理方法步骤,对于轧机AGC液压控制系统的设计、维护、故障诊断、系统优化改进等有较大的参考作用。

关键词: AGC液压控制系统; 系统原理; 系统特点; 故障诊断; 分析
中图分类号: TP273; TG333.23 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2020)06-0065-05
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.06.017

Analysis on AGC Hydraulic System and Fault Diagnosis of Wide and Thick Plate Mill of Baotou Steel

Yang Wen-hai[1], *Wang Bing-lin*[2], *Yang Wen-xiang*[3]

(1. *CSP Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Engineering Service Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
3. *No. 3 Branch Co. of Inner Mongolia First Machinery Group Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, the system component composition, system design, systematic principle and system features of AGC hydraulic control system for wide and thick plate mill of Baotou Steel are introduced and analyzed. Moreover, the troubleshooting and diagnosis of typical faults for the hydraulic control system are analyzed as well as the steps of troubleshooting and treatment for them are summarized and introduced combining with the experiences of on-site maintenance and fault handling for AGC hydraulic control system for wide and thick plate mill, which can be as references for design, maintenance, fault diagnosis, system optimization and improvement of AGC hydraulic control system for rolling mill.

Key words: AGC hydraulic control system; systematic principle; system features; fault diagnosis; analysis

包钢宽厚板轧机AGC液压控制系统由德国SMS公司设计,其系统设计具有大流量、快响应、高精度、高可靠性等特点,通过对AGC液压控制系统及其典型故障的诊断分析,可以较深入地理解其系

* **收稿日期:** 2020-06-01
作者简介: 杨文海(1975-),男,山西省阳泉市人,硕士,高级工程师,现从事轧钢设备技术及管理工作。

中国知网 https://www.cnki.net

统设计原理和特点，对于轧机AGC液压控制系统设计、维护、故障判断处理、系统优化改进等有较大的参考作用。

1 包钢宽厚板轧机AGC设备简介

AGC(Automatic Gauge Control)为自动辊缝控制系统，AGC厚度自动控制是轧机的基本控制功能之一，它使轧制的钢板在轧制方向上厚度均匀，减少同板差，改善钢板质量，提高成材率[1]。AGC系统是轧机核心设备单元，核心功能为精确设置辊缝、提供轧机轧制力，通过快速动态响应保证轧制板形，特点为控制精度高、频率响应快、承载负荷大。

包钢宽厚板轧机AGC设备布置如图1所示，AGC缸布置在机架下部，位于把合在牌坊上的AGC缸底座上，传动侧和操作侧AGC缸布置形式一致，下辊系(下支撑辊及下工作辊)的精确位置由AGC缸实现，AGC缸缸杆上部直接通过12条M42螺栓将压力板把合在缸杆上，AGC缸本体沿缸筒外壁圆周方向布置有位置传感器，粗轧机每个缸布置2个位置传感器，精轧机每个缸布置4个位置传感器。压力板上布置有阶梯垫，不同级数的阶梯垫用于匹配不同的支撑辊及工作辊辊径，以配合AGC缸轧制时保持下工作辊上表面距离轧制线的相对位置，阶梯垫同下支撑辊轴承座下方固定的摇板接触。轧机机架上部布置有EGC(Electric Gauge Control——电动辊缝控制，即电动机械压下)装置，用于设置上辊系(上支撑辊及上工作辊)的位置，通过电机带动蜗轮蜗杆机构，蜗轮带动压下丝杠旋转同时丝杠在垂直方向上下运动，结合上支撑辊、上工作辊平衡机构对轧机上辊系进行定位。轧机生产时，在钢板轧制道次之间，钢板咬入前，EGC系统动作进行上辊系位置的设定，AGC缸进行下辊系位置的设定。钢板在机架内轧制过程中，EGC及上辊系位置保持不变，AGC缸控制整个下辊系进行位置快速响应微调，以快速补偿机架弹性变形等随轧制力等轧制条件不同处于不断变化中的微小变化量，保证轧制辊缝的稳定，从而使轧制钢板厚度和板形等参数得到保证。

包钢宽厚板轧机AGC设备主要技术参数见表1。

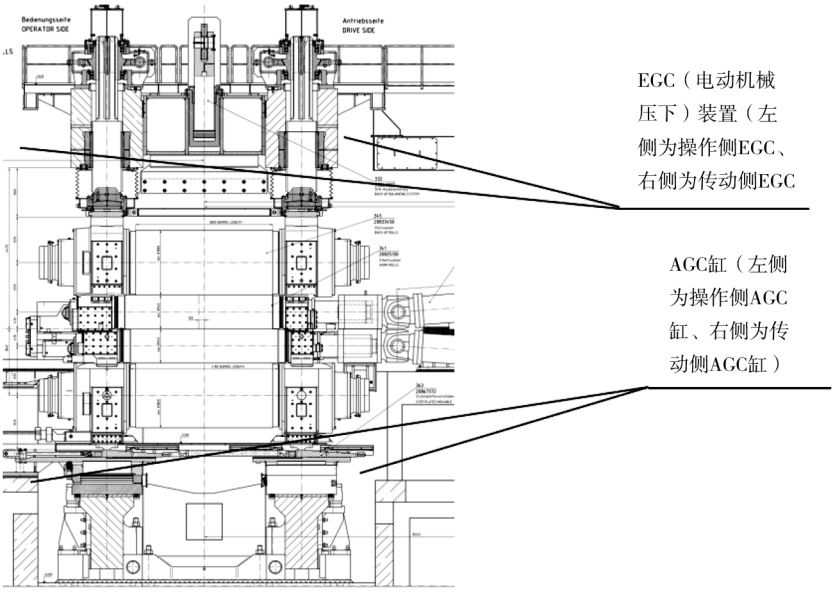


图1 包钢宽厚板轧机AGC设备布置示意图

表1 包钢宽厚板轧机AGC设备主要技术参数表

布置型式	液压缸规格(活塞直径/活塞杆直径－行程)/mm	液压系统动力源压力/MPa	液压缸重量/t
下置式	1 450/1 350－80	29	约19.5

中国知网 https://www.cnki.net

2　轧机 AGC 液压控制系统

2.1　AGC 缸液压控制系统腔侧阀台液压控制回路

包钢宽厚板轧机各 AGC 缸腔侧、杆侧采用独立的控制阀台单独进行控制，液压系统动力源压力为 29 MPa。

每个 AGC 缸腔侧液压控制阀台液压控制系统配置两个伺服阀，分别为阀 1、阀 2。操作画面可选择阀 1 作为主阀，阀 2 作为辅阀(1 +2 工作模式)；阀 2 作为主阀，阀 1 作为辅阀(2 +1 工作模式)；单使用阀 1；单使用阀 2 四种不同工作模式。伺服阀一般情况下选用主辅阀工作模式，其工作模式为：主阀始终处于工作状态，当主阀阀芯开度达到 100% 时，辅阀作为备用自动进入工作状态，“协助”主阀进行 AGC 缸快速响应位置调节。

伺服阀阀 1、阀 2 的进出口油路均设置有两个液控单向阀，且操作侧、传动侧伺服阀阀 1 的液控单向阀的液控油路相互连通，操作侧、传动侧伺服阀阀 2 的液控单向阀的液控油路相互连通，液控单向阀的液控油路的压力油的通断分别通过位于操作侧阀台上的二位四通阀实现。

各伺服阀出口 T 油口油路通主回油路 T 设置插装式单向阀，阀台上设置有二位四通阀，通过得失电可以实现阀台压力油路 P 同回油路 T 的连通和切断。各伺服阀的压力油进油路 P、压力油供油油路 A、各液控单向阀的液控油路、AGC 腔侧油路等设置有压力检测点。

2.2　AGC 缸液压控制系统杆侧阀台液压控制回路

AGC 缸杆侧液压控制阀台设置伺服阀单独对 AGC 缸杆侧进行控制，伺服阀的进出口油路也设置有两个液控单向阀，液控单向阀的液控油路的压力油的通断通过二位四通阀实现。伺服阀的出口 T 油口油路通主回油路 T 前设置插装式单向阀。

AGC 缸腔侧、杆侧伺服阀的伺服控制油路 x 来源于杆侧控制阀台上设置的过滤器将压力油 P 过滤后得到，过滤器精度为 3 μm。伺服阀伺服控制控制油路 x 由 AGC 缸杆侧液压控制阀台引出后，通过阀台内部油路供向自身阀台的 AGC 杆侧控制伺服阀，同时通过阀台外部液压管路供向 AGC 缸腔侧控制阀台伺服阀。阀台上也设置有多个压力检测点。

3　AGC 液压控制系统特点

包钢宽厚板轧机 AGC 缸液压控制阀台液压回路主要具有以下几个特点：

(1) AGC 缸腔侧控制伺服阀采用 MOOG 公司生产的 D664 系列射流管式伺服阀，射流管式伺服阀抗污染能力较强[2]。D664 系列射流管式伺服阀动态响应性能好，查阅该伺服阀样本手册，其动态响应时间参数——阀芯行程由 0 开启至 100% 仅需 17 ms，响应速度快，适应钢板轧制过程中 AGC 系统的实时动态调整要求。

(2) 伺服阀进油路 P 和通向 AGC 液压缸的供油路 A 均设置液控单向阀，由液控单向阀实现伺服阀进出口油路的开闭，液控单向阀结构形式为锥阀，对油路的封闭特性好，液控单向阀的液控油路由控制二位四通阀阀头得失电实现给压泄压，实现对液控单向阀的开闭。且操作侧、传动侧腔侧伺服阀阀 1 的液控单向阀的液控油路相互连通，操作侧、传动侧腔侧伺服阀阀 2 的液控单向阀的液控油路相互连通，分别各自通过位于操作侧阀台上的二位四通阀阀头得失电实现液控油路的给压泄压。当液控油路二位四通阀失电时，该路伺服阀处于不工作状态，通过该控制方式，可靠地实现了伺服阀阀 1、阀 2 独立工作，事故情况下特别有利于故障的查找判断。双伺服工作模式使系统动态特性更好，系统可靠性更高，液控单向阀对伺服阀油路进行开闭控制的设计有利于系统故障情况下原因查找判断。

(3) AGC 缸腔侧控制阀台上设置有二位四通阀通过得失电可以实现压力油路 P 同回油路 T 的连通和切断，用于轧机卡钢过载等情况下 AGC 缸腔侧的快速泄压。AGC 缸腔侧控制阀台上设置有溢流阀，杆侧控制阀台上设置有溢流阀。使系统具有因故障导致压力过大时能够通过溢流阀溢流限压实现过载保护的功能。

(4) AGC 缸杆侧控制阀台伺服阀控制方式为力闭环，阀台出口至 AGC 缸之间的液压管路上设置有压力传感器。轧机生产时，伺服阀始终提供 3 ~ 5 MPa(可进行设置)的力至 AGC 缸杆侧，以使 AGC 缸杆侧有一个稳定的背压，利于 AGC 缸动态调整；当遇换辊标定同步过程等情况，AGC 缸缸杆需落至最低位时，伺服阀提供 12 MPa 的压力至 AGC 缸杆侧，以使 AGC 缸缸杆更可靠、更快速的落至最低位。

(5) AGC 缸腔侧、杆侧控制阀台各伺服阀出口 T 油口油路通主回油路 T 前均设置插装式单向阀，因插装式液压阀具有通流流量大的特性。

中国知网　https://www.cnki.net

(6) AGC 缸腔侧、杆侧控制阀台设置多个压力测点,用于使用压力表测量压力,十分有助于系统故障情况下故障原因查找判断。

4 轧机 AGC 液压控制系统故障排查

AGC 液压控制系统较常见故障为伺服阀故障。

我厂轧机操作画面上 AGC 系统参数画面设置有 AGC 辊缝设定值和实际值,如图 2 所示。AGC 液压控制系统在轧机生产中出现故障时,其直观表现为操作画面上操作侧或传动侧中的一侧 AGC 缸实际辊缝值不跟随设定值,从而导致操作侧、传动侧两侧辊缝偏差大触发连锁停机,轧机不能继续生产。但 AGC 液压系统一般处于双伺服阀工作模式,即如前所述伺服阀"1 +2"或"2 +1"工作模式,操作侧、传动侧四个伺服阀均处于工作模式,具体哪个伺服阀故障导致轧机辊缝实际位置不跟随设定位置需进行后续操作分析判断。

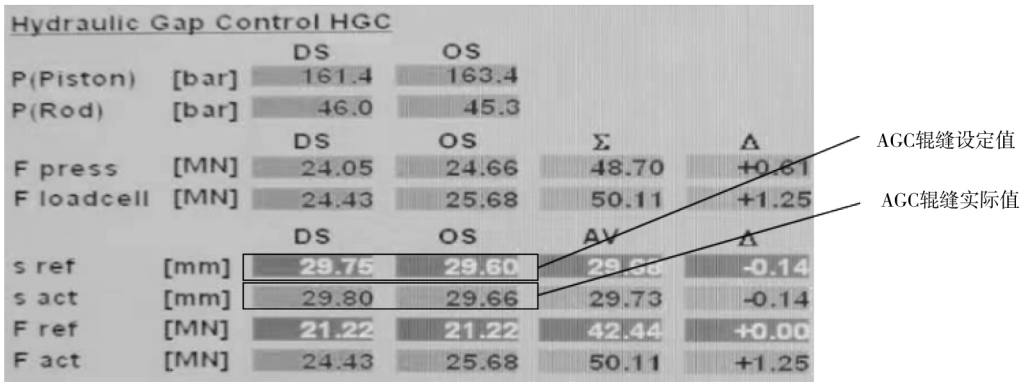


图 2 轧机操作画面 AGC 系统参数画面

后续操作分析判断步骤如下:将 HGC 伺服阀控制模式进行切换,由故障前的主辅阀控制模式切换为单阀控制模式,单阀控制模式分别选伺服阀 1 阀、2 阀控制模式,在操作室操作对 AGC 缸进行动作测试,通过轧机控制系统 PDA(Process Data Analysis——生产过程数据分析软件)曲线观察是否轧机 AGC 辊缝实际值跟随辊缝设定值,若出现不跟随现象,进一步观察是操作侧还是传动侧不跟随,哪侧不跟随则哪侧的伺服阀有故障。且同时观察伺服阀开度,不跟随的那侧的伺服阀的开口度命令会达到 100%。

正常工作时 AGC 缸相关数据 PDA 曲线如图 3 所示。图中曲线参数自上而下依次分别为:轧制道次数、轧机加载信号、传动侧辊缝设定值及实际值、操作侧辊缝设定值及实际值、传动侧伺服阀阀 1 开度命令值、传动侧伺服阀阀 2 开度命令值、操作侧伺服阀阀 1 开度命令值、操作侧伺服阀阀 2 开度命令值。

选择伺服阀单阀工作模式时,在操作室操作 AGC 缸进行测试,若出现操作侧传动侧两侧 AGC 缸均不动作情况,则重点排查 HGC 伺服阀油路液控单向阀控制油路的二位四通阀是否出现故障:先观察是否该阀阀头得电(阀头指示灯亮),并使用电压表测量是否阀头得电且电压正常,若阀头电压正常,手动"捅阀"(用螺丝刀等工具推阀体侧面阀芯手动测试杆头),连接压力表测试 AGC 缸腔侧控制阀台上测点是否已经接通压力油路,若未接通压力油路,则伺服阀前后液控单向阀控制油路的二位四通阀阀体有故障。

上述操作分析判断的原理为:AGC 液压控制系统因伺服阀故障导致 AGC 缸缸杆实际位置不跟随设定位置情况下,多数情况下因伺服阀阀芯卡阻不能继续动作造成,在伺服阀双阀工作模式下,此时无论伺服阀主阀还是辅阀阀芯卡阻,因主辅阀阀体油路互通,主辅阀中一个阀故障会影响到另一个阀的闭环调节。由双阀工作模式切换为单阀工作模式后,伺服阀油路入口出口的液控单向阀控制油路的二位四通阀失电,液控单向阀关闭,此时伺服阀主辅阀油路彼此分隔独立,故障伺服阀不会对另一伺服阀产生影响,分别选阀 1、阀 2 单阀工作模式,对 AGC 缸进行动作测试,测试出具体故障伺服阀所处位置。若选择伺服阀单阀工作模式下,对 AGC 缸进

中国知网 https://www.cnki.net

行动作测试，操作侧、传动侧两侧 AGC 均不动作，则伺服阀前后液控单向阀控制油路的二位四通阀阀体有故障或未收到得电命令导致两侧伺服阀前后液控单向阀未开启，伺服阀油路处于锁闭状态的可能性最大。

为了测试伺服阀处于单阀工作模式下，AGC 缸动作实际位置值不跟随设定位置值时，故障排除锁定为伺服阀故障情况下，进一步判定故障为伺服阀自身故障还是因伺服阀控制系统或线路故障未收到动作命令信号，除使用电流表测量伺服阀控制插头插针命令信号外，还可以将伺服阀油路入口、出口的液控单向阀控制油路的二位四通阀阀头连同伺服阀 $1^{\#}$、$2^{\#}$阀的控制插头上下对调，操作侧、传动侧均对调。然后动作 AGC 缸进行测试，若某伺服阀无论用 $1^{\#}$还是 $2^{\#}$伺服阀控制插头控制均不动作，而无论 $1^{\#}$还是 $2^{\#}$伺服阀控制插头控制另一伺服阀 AGC 缸均动作，则可测试出该伺服阀自身存在故障；若某伺服阀控制阀头无论控制 $1^{\#}$还是 $2^{\#}$伺服阀，AGC 缸均不动作，则可测试出该伺服阀控制系统存在故障，伺服阀未收到动作命令。

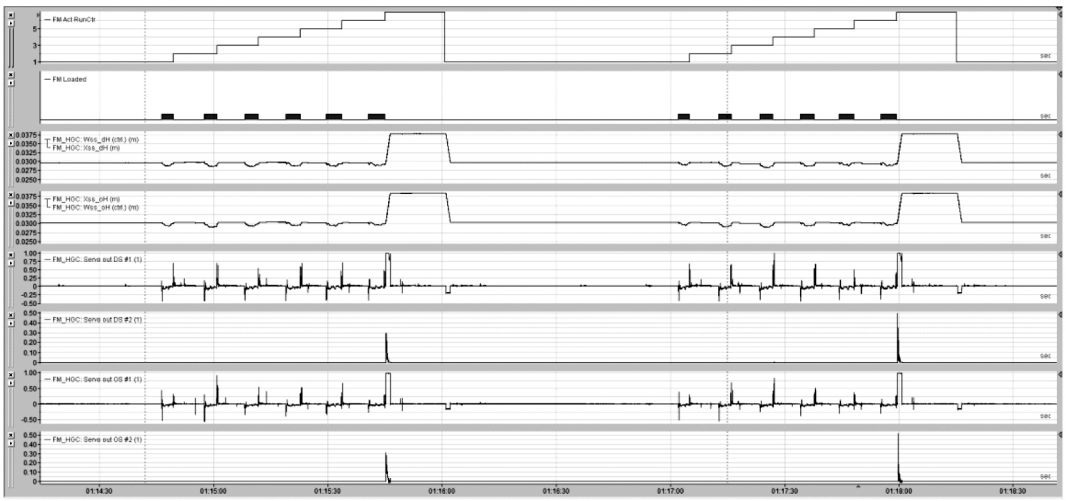


图 3　轧机 AGC 相关 PDA 数据曲线

5　结束语

通过对我厂宽厚板 AGC 液压控制系统的分析，对于其系统设计特点、系统构成、系统元件选型等能够有较系统的认识。通过对 AGC 液压控制系统典型故障排查诊断进行分析总结，可进一步加深对系统的理解，积累伺服液压系统故障排查诊断处理经验。在日常液压系统维护工作中，应不断总结思考，熟悉掌握系统特性，这在科学合理地对系统进行维护，系统出现故障时能够快速准确地做出故障原因判断，对系统进行优化改进等方面有较大意义。

参　考　文　献

[1]　孙伟. 中厚板轧机厚度控制系统研究 [D]. 河北: 燕山大学，2011.

[2]　赵开宇，张利剑，袁朝辉. 射流管电液伺服阀特性分析 [J]. 机床与液压，2016，44(14)：56.

中国知网　https://www.cnki.net