

连铸机塞棒启闭机构的设计与应用

黃昌金

中冶南方连铸技术工程有限责任公司

DOI : 10.12238/jpm.v6i4.7930

[摘 要] 塞棒启闭机构作为连铸机结晶器液面系统控流的执行机构, 在有限的安装布置空间内, 需实现自动和手动操作功能于一体。塞棒启闭机构还应具备经济耐用、操作方便、运动精度高, 响应速度快等性能特点。因此, 在调研市场现有塞棒启闭机构的设计、使用效果后, 借助相关课题研究, 对塞棒启闭机构进行了新的设计, 并制造了样机。同时, 随相关研发课题一起进行了工业应用的测试, 取得了良好的使用效果。

[关键词] 塞棒启闭机构; 塞棒启闭装置; 塞棒; 机构; 连铸设备

Design and application of plug rod opening and closing mechanism of continuous caster

Huang Changjin

MCC Southern Continuous Casting Technology Engineering Co., Ltd.

[Abstract] As the actuator of the liquid level system of the continuous caster mold, the plug rod opening and closing mechanism needs to realize the automatic and manual operation functions in one in the limited installation and layout space. The plug rod opening and closing mechanism should also have the performance characteristics of economy and durability, convenient operation, high motion accuracy and fast response speed. Therefore, after investigating the design and use effect of the existing plug rod opening and closing mechanism in the market, with the help of related subject research, a new design of the plug rod opening and closing mechanism was carried out, and a prototype was manufactured. At the same time, the industrial application test was carried out together with the relevant R&D topics, and good use results were obtained.

[Key words] plug rod opening and closing mechanism; plug rod opening and closing device; plug rods; Institution; Continuous casting equipment

1.引言

连铸过程中要求将结晶器液面波动控制在一定范围内（一般为 $\pm 3\text{mm}$ ），液面波动过大会影响结晶器保护渣的三层结构，破坏其润滑和传热平衡，导致铸坯表面产生缺陷。同时，液面波动过大也会增加结晶器钢水的卷渣风险，致使铸坯内夹杂物含量超标，严重影响铸坯和最终产品的质量，甚至会造成铸坯纵裂漏钢、夹渣漏钢的恶性生产事故。塞棒启闭机构作为连铸机结晶器液面系统控制的执行机构，在有限的安装布置空间内，需实现自动和手动操作功能于一体。要求塞棒启闭机构具备经济耐用、操作方便、运动精度高、响应速度快等性能特点。塞棒启闭机构稳定可靠性对结晶器液面的平稳控制至关重要。结晶器液面控制系统示意图如下图 1。

2.设计选型

根据结晶器液面控制系统示意图可知,塞棒启闭机构主要由安装连接机架、驱动单元(电动缸或液压缸)、升降导向机构、横梁悬臂机构、塞棒安装连接装置、手动操纵杆(轮)、手动锁紧机构等部件组成。其工况为高温、高粉尘、以及按连铸机浇次长时间连续作业。因此,为满足工况需求,对塞棒启

闭机构的设计提出了很高的要求,通过设计方案的设计和评审、详细的设计选型和计算,最终设计出一套完整的详细施工制造图纸。

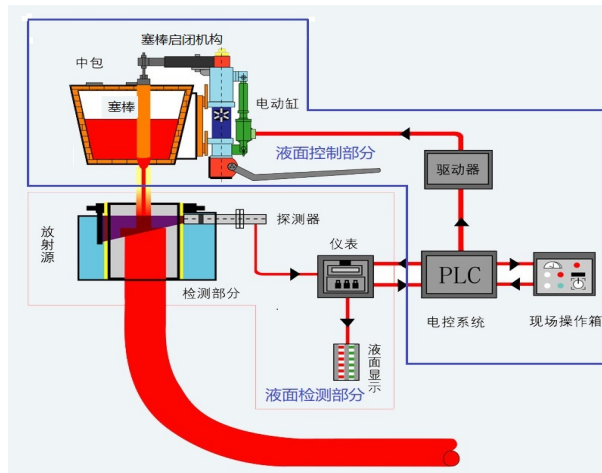


图 1 结晶器液面控制系统示意图

2.1 设计方案的选择

对比分析了同行公司塞棒启闭机构产品的设计特点和使用现状，得出各公司产品的优缺点。同时结合我公司该装置前期的开发应用情况，认为直线轴承升降导向的结构，导向精度高，更有利于获得更高的塞棒控制精度。其中塞棒启闭机构的驱动单元，认为采用的一体式伺服电动缸在外形和布置上具有优势。确定了以直线轴承为升降导向方式、一体式伺服电动缸为驱动单元，导向与驱动同轴布置并设置有载荷平衡装置的基本设计方案。方案简图如下图2。

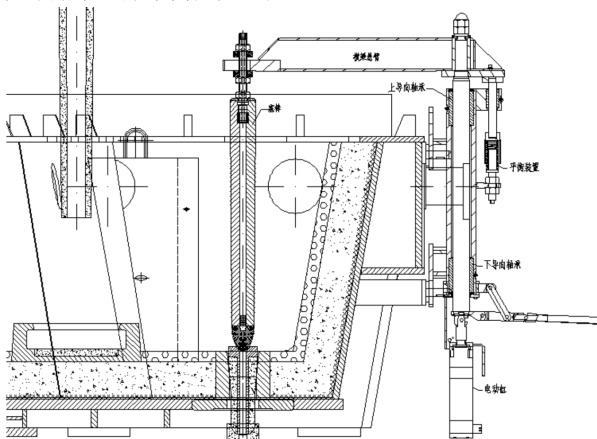


图2 塞棒启闭机构初步方案图

2.2 设计选型与计算

塞棒启闭机构的设计选型重点在于驱动单位推力和行程的确定，本方案的驱动单元采用的是体式伺服电动缸，这种伺服电动缸国内有成熟的供货厂家。但由于本案中电动缸的工况与供货厂家标准产品应用工况有所不同，因此需要根据实际工况进行选型和修改相关设计。下面就以方坯塞棒启闭机构的设计计算为例，通过已知参数，计算得出驱动单元的额定推力F和电动缸有效行程S。

工作载荷的分析，根据机构的方案图可知，电动缸工作载荷包括升降活动机构的重力、塞棒及塞棒连接机构的重力、塞棒插入中间包内钢液和保护渣以下受到的浮力。可以简化为刚性悬臂梁的受力模型进行计算。

通过分析可知塞棒插入覆盖剂表面以下产生的总浮力为 $F_{\text{总}}$ 为向上的力，塞棒启闭机构升降部分零件自重产生的作用力 $G_{\text{总}}$ 为向下的力，中包液面在工作液位时，电动缸需要提供的推力为 $G_{\text{总}}-F_{\text{总}}$ 。开浇初期，中包液面的高度并不在工作液位，按照极端工况考虑，假设塞棒所受的浮力为零，那么电动缸的工作载荷就是 $G_{\text{总}}$ 。开启水口时考虑钢水的粘结阻力，取塞棒升降的阻力系数 $\mu=1.5$ ，则初步得出电动缸的额定推力F为：

$F=G_{\text{总}}*\mu=2024.68*1.5=3037.02\text{N}$ 。（根据机构的设计重量计算得出）

塞棒的升降行程根据经验设计值，初选 $S=140\text{mm}$ 。根据F、S值，参照一体式电动缸厂家提供的选型手册，确定电动缸的最终设计参数为额定推力 $F=6300\text{N}$ ，有效行程 $S=130\text{mm}$ ，塞棒处于零位时（水口关闭状态）保证塞棒有效的上下行程为 $\pm 65\text{mm}$ 。同时根据选型手册还确定了电动缸的持续推力、最大推力、额定电流、额定电压、额定速度、丝杆导程等其它主要技术性能参数，选绝对值编码器作为位置反馈检测元件，为满足使用需求，数据信号与电源线选用定制的哈丁接头实现线路

的快速插拔，设计出一体式电动缸的订货图如下图3。

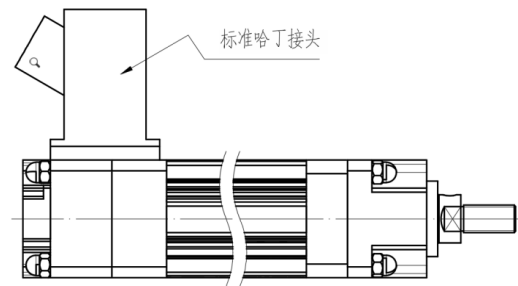


图3 一体式电动缸订货图

根据初步方案，塞棒启闭机构还设置了垂直向下载荷的平衡装置，平衡力由螺旋弹簧提供。按照极端情况考虑，假设塞棒所受的浮力为零，由表1可知塞棒启闭机构升降部件自重产生的向下的作用力为 $G_{\text{总}}=2024.68\text{N}$ 。如果平衡弹簧在工作位时能够平衡掉向下载荷的约80%，那么塞棒上升时电动需要实际提供的推力就会小很多，这样电动缸可以低负荷工作，对电动缸有利，同时，手动操作塞棒启闭机构时人手也能够轻松操纵。因此需要根据平衡载荷进行弹簧的设计选型，确定弹簧的最大工作载荷 P_n 为：

$$P_n=G_{\text{总}}*80\%=2024.68*0.8=1619.74\text{N}$$

初定最小工作载荷 $P_1=40\text{N}$ ；工作行程 $h=130\text{mm}$ ；弹簧材料60Si2Mn，载荷作用次数 $10^3\sim 10^6$ 次，由上可以得出初定弹簧刚度 $P'=12.15188\text{N/mm}$ 。参照化工版机械设计手册关于弹簧的计算得出弹簧的最小工作载荷下的长度 $H_1=337.97\text{mm}$ ，最大工作载荷下的长度 $H_0=207.95\text{mm}$ ，工作极限载荷下的长度 $H_2=172.00\text{mm}$ ，工作液位时水口关闭状态平衡弹簧高度 $H_3=242.18\text{mm}$ 。根据以上计算结果，查询机械设计手册表11-2-12得弹簧自由高度340mm，工作液位时水口关闭状态平衡弹簧工作高度 H_4 为240mm。

塞棒处于关闭水口状态时，平衡弹簧的向上作用力加上塞棒插入保护渣液面以下产生的向上的浮力之和为 $F_{\text{平}}=1215+608.45=1823.45\text{N}$ ，为塞棒启闭机构升降部件自重产生的向下的力 $G_{\text{总}}$ （ $G_{\text{总}}=2024.68\text{N}$ ）的90%，达到了预期的载荷平衡效果。

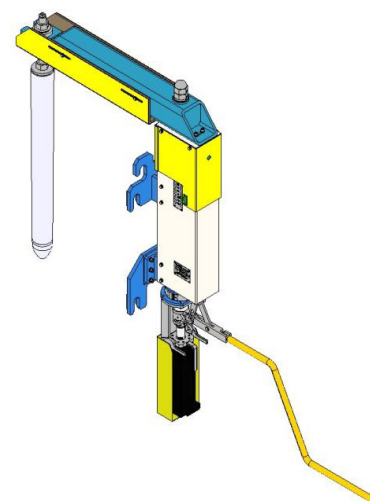


图4 塞棒启闭机构正轴测图

2.3 详细设计

在上述主要配套件及零件的设计选型确定后,开展塞棒启闭机构整体设备的详细设计。其中安装接口尺寸、横臂的截面和长度尺寸、直线轴承的型号均参考现有成熟设计,可免于选型和计算。保证了设备详细设计工作的顺利开展。其中,在详细设计阶段,重点围绕一体式电动缸的快速拆装和隔热保护、横臂的隔热保护、机架安装连接尺寸及追求整体外形美观等方面开展设计工作。经过专家组的评审,最后形成了详细设计外形图如下图4。

3.设备制造与出厂试验

详细设计图纸出来后,制造厂按照图纸将设备制造出来,并保证设备能达到设计要求的性能和精度。需要控制好制造过程的每个环节,需对每个零件的制造质量进行把控,并在设备装配完后进行出厂前的测试。在制造前期,为了制造厂的技术人员能够快速的理解设计意图和设计要点,我们组织召开了制造交底会议,并在制造过程中保持良好的沟通。

3.1 设备制造过程质量控制

本设备制造的核心零部件为机架、升降导向杆。这两个零件涉及直线轴承的安装配合,必须确保加工的精度。因此针对以上两个零件,制造工艺员制定了制造作业指导书,设计师制定了检验要求大纲,由制造公司质检部门的质量工程师进行检验把关。

另一个核心部件就是一体式电动缸,虽然此次合作的供应商具有一体式电动缸的制造应用经验,但如前所述,该厂家标准的一体式电动缸适用的工况跟本案应用工况不同,使用工况要恶劣的多,需要承受高温、高粉尘及长时间工作考验;同时本次要求电源线和信号控制线合二为一,并采用哈丁快速接头进行连接。这些改变对厂家也是一次新的尝试,相当于重新开发一个产品。因此,制造质量必须严格把关。在一体式电动缸的制造过程中,我们与厂家保持紧密联系,反复沟通和校对,一体式电动缸经历了多次的方案调整,制造了多个样机进行测试,最终制造出了一个相对满意的产品。

3.2 出厂检验与试验。

设备制造质量的好坏,需通过检验和实验才能知道。在塞棒机构装配完后,进行尺寸和动作的检验,检验显示,导向精度和运动行程均符合设计要求。为了能够如实的仿真动作,项目团队特意制作一套测试控制箱。在检验合格后,进行了自动控制仿真动作冷负荷试验,试验结果显示新设计制造的塞棒启闭机构动作顺畅、灵敏度、运动精度达到预期结果。

4.工业应用测试

借助相关课题研究,本次设计制造的塞棒启闭机构有机会到实际的应用现场进行工业应用测试。应用的铸机型为中、大方坯兼容型铸机,中包连浇时间最长达50多个小时,平均连浇时间40小时,也就是说塞棒启闭机构必须能够经得住最长50小时以上的热态工作考验。同时相关课题研究的主要内容是自动开浇,要求塞棒启闭机构必须具备高精度控制性能。

不负众望,塞棒启闭机构使用效果良好,实现了中包自动开浇及长时间的塞棒控流。电动缸的位置控制精度达到0.05mm,连续使用超15个浇次以上,设备运行稳定,性能可靠。浇钢期间结晶器钢水液面控制稳定,液面控制精度动态波动约±1mm,静态波动约±0.5mm,达到行业领先水平。



图5 热试照片

5.存在的缺陷及优化措施

本次塞棒启闭机构虽然在工业实际应用中取得了成功,经受了工况的考验,但应用过程中还是发现存在如下需要进一步优化和改进的地方。1)塞棒启闭机构的设计需考虑对浇钢操作的影响,由于本次采用的是导向杆与驱动单元电动缸同轴布置的设计,整体较高,即电动缸下部距离结晶器罩的顶部较近,不利于浇钢工查看结晶器液面及更换结晶器浸入式水口的操作。后期改进塞棒启闭机构的结构布局。2)塞棒启闭机构转纯手动操作时,电动缸处于掉使能状态,塞棒的定位需要通过手动锁紧机构来固定,此次设计的手动锁紧机构锁紧力不够,塞棒易松动跑位,后期需改进手动锁紧方式。3)手动压杆机构相对单薄,后期可适当增加材料的厚度以提升结构的刚性强度。4)升降导向杆的设计不利于制造,建议改变轴与连接板的定位方式。

6.结论

本次塞棒启闭机构的设计与应用取得了成功,关键在于:1)方案选择合理;2)通过对核心零配件的选型计算,获得较优的设计参数;3)在设备的制造阶段,注重主要零部件的制造质量把控,采取了必要的把控措施,做好主要零件的加工制造精度的检验;4)在设备制造完成出厂前,创造条件进行动态空载、负载实验,把相关问题在出厂前暴露出来并及时加以改进,确保了设备功能达到设计要求;

在工业应用阶段,虽然塞棒启闭机构使用效果良好,经受了工况的考验,但也暴露出来的一些问题,需要后期不断进行优化和改进。

[参考文献]

- [1]成大先,机械设计手册[J].化学工业出版社,第五版,第二卷、第3卷、第4卷;
- [2]秦勤、吴迪平、邹家祥等,连铸设备的热行为及力学行为[J].北京,冶金工业出版社,2018第二版
- [3]刘诗道、徐旭、张玉华,塞棒夹紧装置的设计[J].安徽工业大学学报,2011年10月第4期;
- [4]李东辉、刘相华、王国栋,连铸机塞棒自动开浇与液位控制系统的设计[J].中国冶金,2006年第4期;
- [5]刘建峰、万尼丽、王辉,提高塞棒的开浇成功率[J].北江冶金,2006年第11月第4期。