

高参数工业驱动用抽背式汽轮机研究

李军 尹刚 尹华劼 张鹏飞 张伟荣

(东方电气集团东方汽轮机有限公司 四川 德阳 618000)

摘要: 工业驱动汽轮机应用广泛, 用户个性需求多样化, 需具备较大范围转速和宽负荷运行能力, 追求机组高效、安全的前提下, 满足机组快装、快启停等特殊需求。本文针对高参数工业驱动用抽背式汽轮机研发技术难点, 对汽缸、阀门、轴封、喷嘴室等结构进行深入研究和探讨。

关键词: 驱动; 汽缸; 主汽阀; 抽汽调节阀; 喷嘴室; 轴封

0 引言

工业驱动汽轮机一般作为原动机, 可驱动风机、给水泵、压缩机等机械设备, 具备广泛的应用场景, 其中抽背式汽轮机因具备向用户提供多种参数用汽而受到市场欢迎。为进一步提高机组经济性, 随着蒸汽初参数和功率等级提高, 机组通流级数增多, 轴系跨距长, 汽缸结构设计复杂, 已严重制约机组安全稳定和快速启停能力。

本文就典型进汽参数 13.24MPa (a) /535℃ 机组, 从系统布置、进汽结构、轴封和轴系进行说明, 详细介绍了超高压进汽参数下, 机组汽缸结构、轴端密封、坐缸阀、喷嘴室等关键技术结构设计特点。并在应用

以上技术后, 高效、安全实现机组快装、快启停能力, 满足用户需求。

1 汽轮机整体结构

某典型驱动用抽背机组内部整体结构图详见图 1, 机组主要由前轴承箱、联合轴承、前汽封、喷嘴室、汽缸、调节阀、主汽阀、隔板套及蒸汽室、持环、抽汽调节阀、后汽封、盘车、后轴承箱、油挡、支持轴承、转子及动叶、整体基架、垫铁和地脚螺栓组成。其中主汽阀位于汽缸蒸汽室两侧。

工作原理: 锅炉来汽经汽缸两侧主汽阀进入汽缸上半蒸汽室, 由四组调节阀控制进入喷嘴室内进汽量, 最后经喷嘴加速后进入通流内部作功, 推动转子转动。

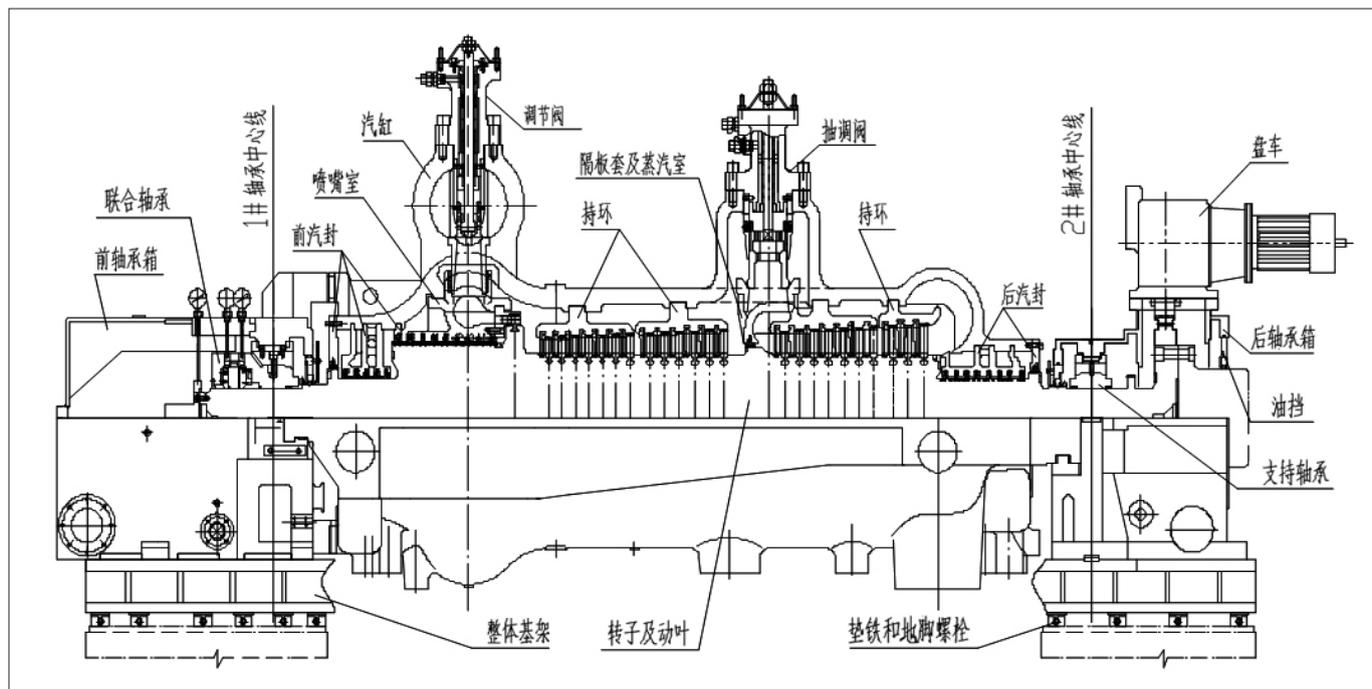


图 1 某高参数抽背式汽轮机内部整体结构图

机组可通过轴端连接单一设备进行驱动,亦可在轴头和轴尾两轴端分别连接不同设备实现双驱功能。为便于实现快装,机组采用整体基架,机组在制造厂内完成部件装配,缩短在电厂安装机组时间。

机组采用全坐缸式主汽阀、调节阀、抽汽调节阀,调节阀形式可采用提板式顺序配汽或单阀盖阀门管理配汽。坐缸阀使得主汽阀到汽缸之间无需导汽管,减少了转子飞升有害汽体容积,同时使得机组结构更加紧凑,便于快装。

2 汽缸结构

对于超高压进汽参数汽轮机,功率等级越大,为满足调节级焓降和叶片安全,调节级根径一般较高。为匹配高根径调节级,汽缸外径需设计的较大,如采用单层缸设计,受限中分面大螺栓规格,在进汽参数较高情况下,一般螺栓强度无法满足汽缸水平法兰密封要求,故针对高参数进汽机组汽缸采用双层缸结构,即内缸外面再套一层外缸,减少汽缸内、外压差,从而改善法兰大螺栓受力情况,实现密封。

相比单层缸设计机组,双层缸设计机组整机笨重,部分机组由于太过笨重而不能采取整体发货方案,在启停时因加热、冷却缓慢、胀差大引起启停速度降低,设计复杂、检修困难等,均难以媲美现阶段单层缸的优势。本文介绍的汽缸采用单层缸结构,汽缸通过四个猫爪支撑在前、后轴承箱上,采用下猫爪中分面支撑,并在前、后箱设计立键作为天地方向热膨胀导向用,这样设计可以很好地减少机组运行时热膨胀对内部通流间隙的影响。

为减少缸体质量,提升加热速度,汽缸壁厚不易过厚,汽缸高压区域,诸如蒸汽室宜采用圆筒形结构,调节级区域采用大圆弧过渡缸壁结构,减少应力突变位置,提升缸壁强度;特别是水平法兰因调节级后压力提高后,为便于螺栓中心能靠近汽缸内壁^[1],减少蒸汽对螺栓的影响,一般设计的比较厚,采用大圆弧缸壁结构可以围绕圆弧布置螺栓,可减少螺栓轴向间距,进一步改善水平法兰大螺栓受力情况。

汽缸水平法兰设计,除了考虑螺栓刮面不伤及汽缸外壁,防止削弱缸壁强度外,还应考虑减少法兰宽度,使用窄高法兰,减少内、外壁温差,缩短启动时间^[2],可避免采用法兰加热装置。设计螺栓时,应注意法兰和螺栓热膨胀不一致产生的额外的热应力,必要时采用全通孔螺栓结构。

其他方面,汽缸各抽口应尽量全部布置在汽缸下

半,方便后续检修保养,前滑动猫爪处的轴封抽口应注意避开整体基架和基础,并考虑汽缸轴向膨胀量和管道保温空间。各抽口布置合理,方便铸造,并考虑汽缸低点疏水直接通过抽口排走。汽缸完成设计后,需对整缸模型进行机械载荷工况和稳态工况(考虑热应力)下的强度校核,建议通过有限元工具,评判汽缸结构强度、螺栓强度和汽密性是否合格。特别注意,在校核中分面汽密性时,需考虑螺栓高温蠕变松弛、紧力下降情况下的密封性。

3 喷嘴室结构

喷嘴室采用带轴封段结构,并采用反包凸肩定位形式,四段进汽管与调节阀阀座通过叠片密封环与汽缸腔室(调节级后)隔绝,两外侧进汽通过中分面后与喷嘴下半两侧相连,中分面处叶采用叠片密封环和套筒密封,详见图2。

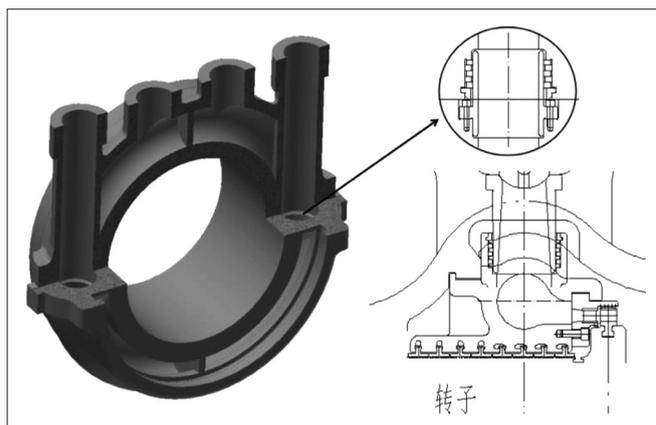


图2 喷嘴室结构图

该喷嘴室的技术特点如下:

(1) 喷嘴室带轴封设计,极大提高了轴封密封效果和转子轴向空间利用率,机组轴承跨距可调整裕量大幅提升;

(2) 因调节级压力大于第一段轴封压力,使喷嘴室凸肩在轴向压差下实现整圈密封;凸肩采用反包模式,使得受力面在凸肩出汽侧,不用设计汽缸槽,从而减少凸肩设计轴向宽度;

(3) 进汽口、中分面叠片密封环设计,减少主蒸汽的泄漏量;

(4) 因调节级后蒸汽压力将大于轴封后的压力,故喷嘴室受蒸汽力压力和非张力,还可起到很好的中分面密封作用;

(5) 在蒸汽力自身作用下,喷嘴室中分面可采用小螺栓把接,汽缸内壁直径可以进一步降低,从而减少

汽缸受力。

可以看出，采用反包凸肩带轴封设计喷嘴室，不仅提升了机组轴向和径向空间利用率，还能很好地利用自身压差实现密封，降低螺栓设计难度。该类型喷嘴室设计简单，整体结构紧凑，配套高参数单层汽缸设计可行性较强。

4 轴封设计

超高压高参数抽背式类型机组因调节级后压力较高，如何设计一套高效轴封结构对减少漏汽损失至关重要。为减少前、后轴封段长度，缩短跨距，利用喷嘴室和汽封体结构分别设计了前汽封五挡和后汽封三挡

漏汽系统，其中前汽封第一挡漏入通流内部做功，第二挡漏入排汽，第三挡去除氧器，第四挡去疏水扩容器，第五挡去轴封加热器；后轴封第一挡去除氧器，第二挡去疏水扩容器，第三挡去轴封加热器。轴封设计详见图3。

机组轴封应配合机组推力调整进行设计，该机型将部分汽封体结构做成大凸肩中空设计，如图示③④处，利用局部转子轴伸段长，即实现汽封体分挡漏汽，也为各漏汽口腾出了轴向布置空间。端汽封体方面，采用端把结构，直接把接在汽缸上，如采用凸肩设计，因轴向压差较小，密封效果很差；端把设计有利于汽封抽口全部布置在汽缸上。

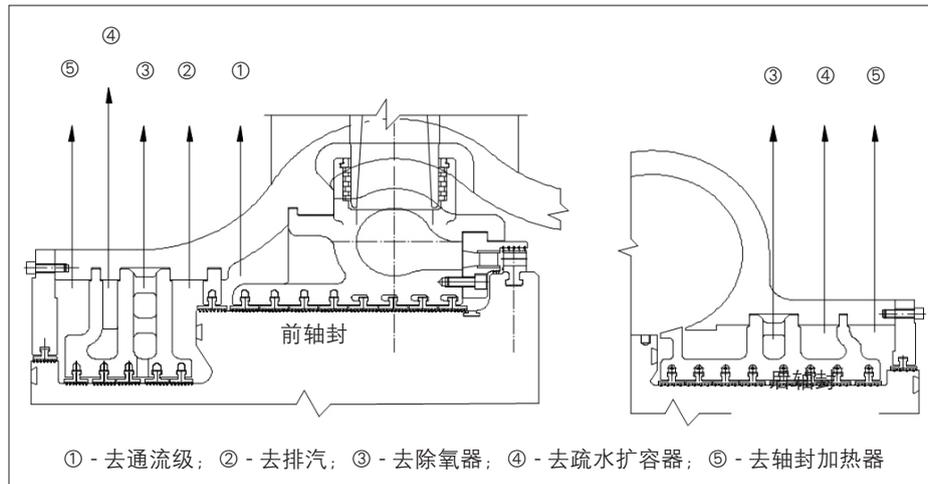


图3 轴封结构设计图

5 坐缸阀

为便于快装和发货，机组阀门一般设计成坐缸阀门，结构紧凑。当采用独立控制油站，液压油采用抗磨油时坐缸阀门一般设计成提板式结构，避免油与高温汽缸接触；采用抗燃油时，提板式和单阀直拉结构均可采用；特殊要求下，诸如需要实现阀门管理功能下，一般采用单阀直拉结构。为减少阀门冗余结构，一般将阀门设计成单阀直拉结构，即采用单阀盖，油动机位于

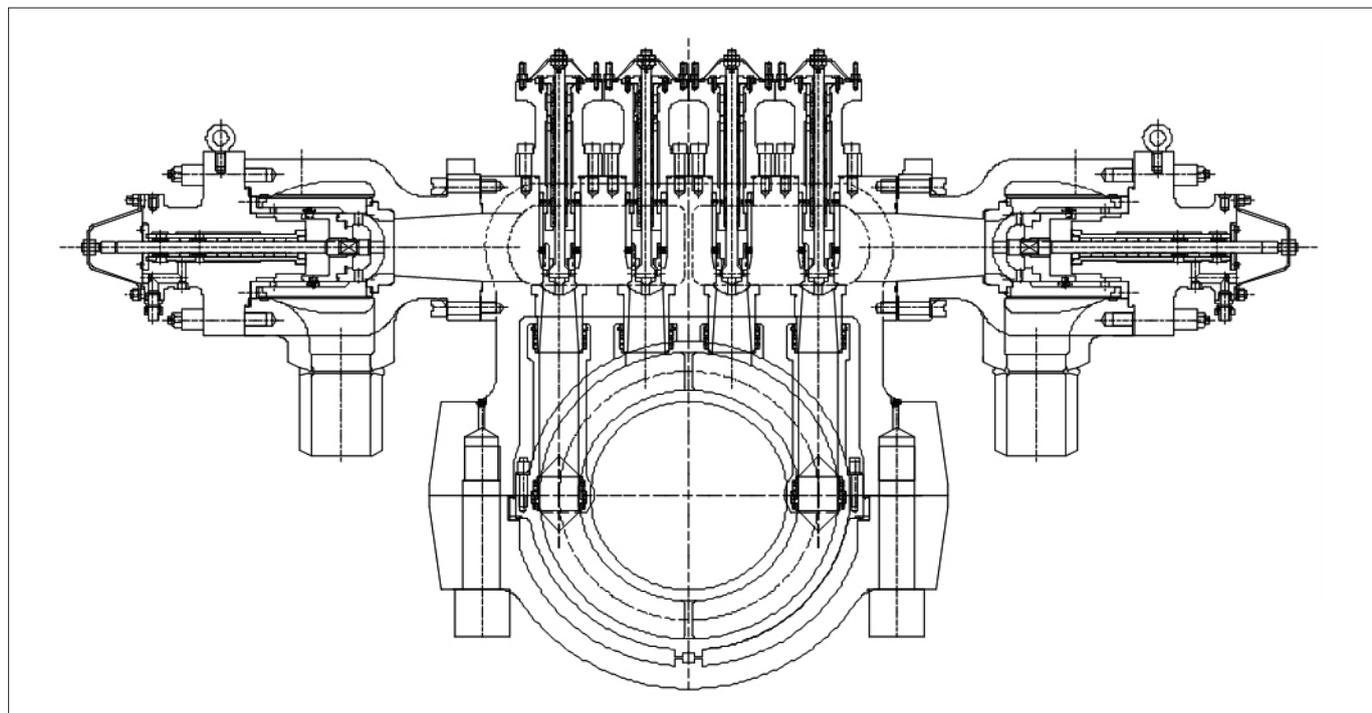


图4 坐缸阀布置图

阀盖顶部直接拉动阀杆控制调节阀和主汽阀进汽,见图4坐缸阀布置图,因结构简单,安装、维护方便,使用较为广泛。

主汽阀:为匹配大进汽量,一般在汽缸左右两侧对称布置两个主汽阀。为减少与汽缸把接螺栓受力,需将与汽缸连接的法兰孔设计的较小,图4中将阀座扩散角延伸设计在阀壳内壁上,利用阀壳内壁实现扩压作用,缩短了阀壳设计长度,同时能以较小的法兰孔与汽缸直连,实现小阀盖密封结构,配合缠绕垫片,选用非热紧螺栓即可实现密封效果。把接螺母宜采用开槽螺母,以便减少螺母安装空间。

调节阀:一般采用四组调节阀,与喷嘴室四组喷嘴对应,设计在汽缸蒸汽室顶部。调节阀一般设计两段阀杆漏汽,大阀配置预启阀,以降低阀杆受力。该机型阀座设计由汽缸侧部(主汽阀安装法兰孔处)进入安装,使得调节阀与汽缸可设计比阀座外圆更小的法兰孔,配合缠绕垫片,能以较小的横向空间完成四组调节阀的设计。由于阀座采用侧装,为方便安装施工,

一般建议阀座与汽缸孔采用小间隙配合,为降低蒸汽激振力的影响,阀座一般需采取圆锥销防转,局部焊接固定安装方案。

6 结语

本文介绍了高参数工业驱动用抽背式汽轮机开发设计,从系统结构布置、汽缸、喷嘴、轴封、阀门等方面进行了详细技术说明。文中提及的汽缸单层缸设计、喷嘴室设计和多段轴封设计技术方案等均具有较广的通用性,对工业驱动用抽背式机型的系列化、模块化设计有很高的借鉴价值,亦可广泛用于其他透平机械机型设计,能起到很好的指导借鉴意义。

参考文献:

- [1] 吴厚钰. 透平零件结构和强度计算 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2007: 232-233.
- [2] 中国动力工程学会. 火力发电设备技术手册: 第二卷 汽轮机 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 9-23.

严正声明

近期,本刊编辑部收到作者反映,一些不法分子盗用我刊名义,自建非法网站或钓鱼网页 (<http://www.zgjxzz.cn>、<http://mach-china.toug.com.cn> 等),或以《中国机械》杂志社编辑部“编辑”“责任编辑”等名义,向广大作者征收稿件,并收取所谓的“版面费”、“审稿费”等,严重侵犯、影响了本刊声誉和广大作者的权益。在此,本刊严正声明如下:

1. 《中国机械》杂志社于1982年创刊,是国家新闻出版署批准登记的国家级机械工程类学术期刊(旬刊),目前尚未创建独立的“官方网站”,浏览本刊电子版需从中国工业新闻网 (<http://www.cinn.cn>) 下方链接进入,链接地址 http://www.cinn.cn/zgjxzz/index_348.shtml,或通过万方数据知识服务平台 (<https://www.wanfangdata.com.cn/>) 的官方网页搜索本刊进行查询,链接地址 <https://sns.wanfangdata.com.cn/period/zgjx> 查询全文;

2. 《中国机械》杂志为旬刊,请广大作者认准,凡标记“半月刊”“月刊”的网络征稿平台,均为非法网站,欢迎联系本刊编辑部进行举报;

3. 《中国机械》杂志社唯一投稿邮箱: jxzzs@cinn.cn;

4. 《中国机械》杂志社《录用通知书》加盖“中国机械编辑部”公章,凡加盖“《中国机械》杂志社编辑部”或使用已作废公章(防伪码为1101081749266的总编室公章、防伪码为1101081491290的原编辑部公章),均为假冒录用通知书;

5. 《中国机械》杂志社从未委托任何机构、网站或个人代理本刊的组稿、审稿等相关事宜,编辑部一直严格遵守“三审三校”规定,追求杂志整体质量的提升,将期刊的社会效益放在首位,对于盗用《中国机械》杂志社名义发布虚假信息、实施非法征稿等行为,本刊将依法追究其法律责任;

6. 本刊编辑部唯一联系电话: 010-67410664。

敬请广大作者和读者注意辨别,提高警惕,谨防上当!

《中国机械》杂志社
2022年11月