

抽水蓄能机组取消主轴检修密封可行性分析

刘新航 权强 董政森
(河南天池抽水蓄能有限公司 河南 南阳 474600)

摘要：现代抽水蓄能机组具有高比转速、安装高程低、淹没深度大等特点，下水库正常蓄水尾水位远高于机组安装高程，为防止下水库尾水通过机组上涌造成水淹厂房，则需要机组主轴密封需运行稳定、封水可靠。正常情况下，蓄能机组主轴密封由工作密封和检修密封组成，主轴工作密封在机组停机稳态、运行过程中均正常投入，主轴检修密封一般在机组检修状态投入，通过压缩空气膨胀橡胶空气围带抱紧大轴，起到密封止水效果。本文对抽水蓄能机组主轴检修密封结构及功能进行阐述，分析其运行风险，确认取消主轴检修密封后，不会影响机组的安全稳定运行，同时可节省工程建设投资及后期运维成本，为后续同类型抽水蓄能电站水泵水轮机结构设计提供参考依据。

关键词：抽水蓄能机组；比转速；空化；工作密封；检修密封；橡胶空气围带

1 概述

抽水蓄能电站机组主轴密封系统由工作密封和检修密封两部分组成，正常机组运行工况及停机状态下，主轴工作密封均投入运行，通过高于尾水水压供水有效阻断尾水上涌，避免尾水上涌至水车室；机组调相工况运行时，在转轮的高速旋转作用下，部分主轴工作密封供水在转轮室形成水环避免转轮室内压缩空气逸出，提升了蓄能机组抽水工况启动成功率。主轴检修密封布置在工作密封下方，机组检修时视情况投入，可以在不排空尾水的情况下对主轴工作密封进行检修，一定程度上节省机组检修时间^[1]。

2 结构及原理

抽水蓄能机组主轴密封根据结构一般分为轴向自补偿式和径向自补偿式。两种结构型式的主轴工作密封均由静止的浮动密封环与旋转的抗磨环形成的密封副，其工作原理均相同，安装结构如图 1 所示。

以轴向自补偿式主轴密封结（图 2）为例，主轴工作密封由供水管路、浮动环、密封环、抗磨环、调整弹簧、密封水箱等部件构成，在抗磨环与浮动环之间有一个由耐磨材料制成的密封环，依靠高压水在密封环与抗磨环接触面之间形成的一层水膜，达到密封效果。

正常工作状态下，压力供水系统经高精度过滤后的清洁压力水通过浮动密封环内部水腔流向密封环，通过

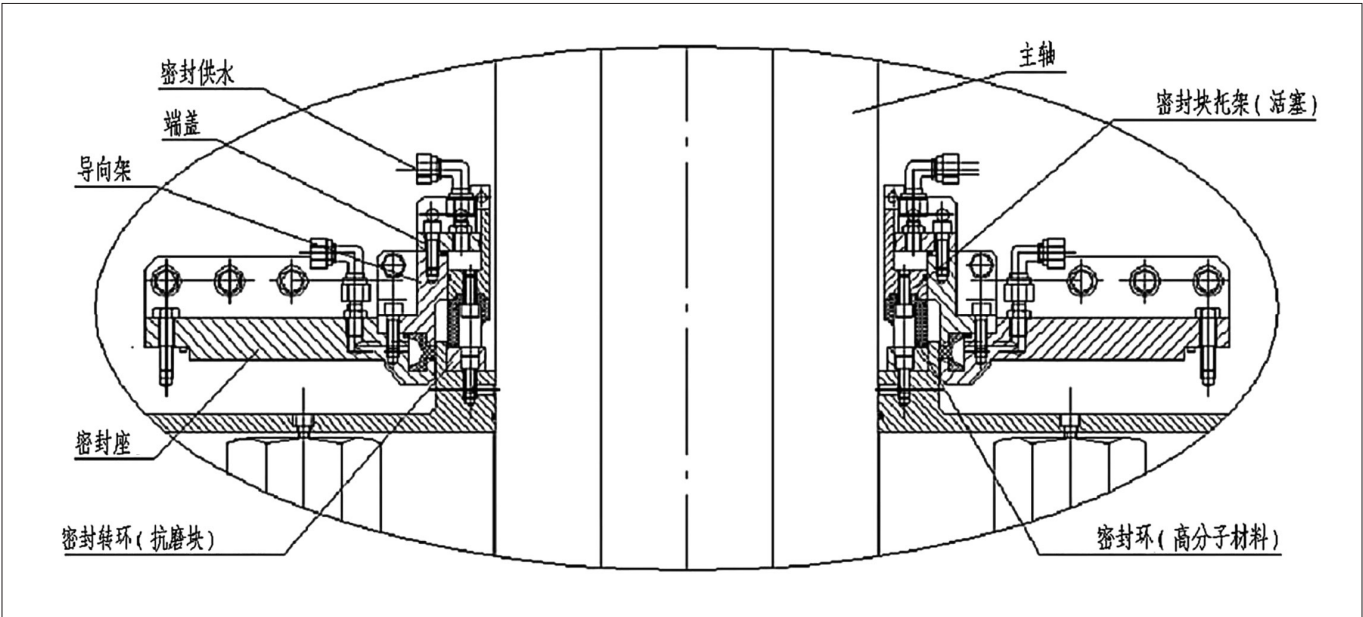


图 1 主轴密封安装结构图

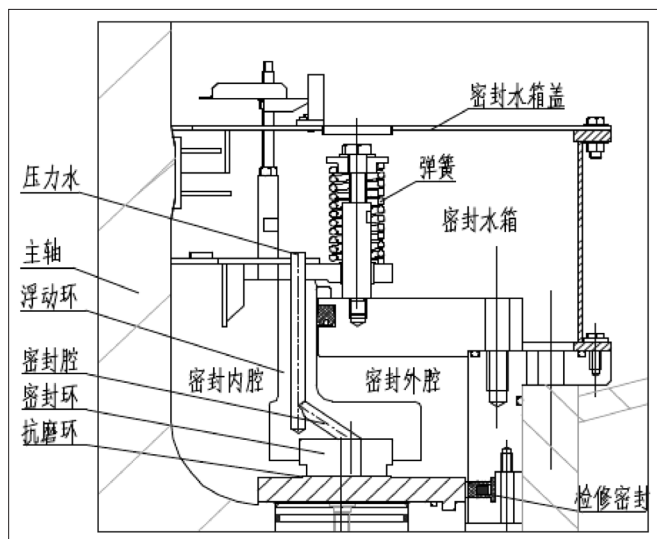


图2 轴向自补偿式主轴密封结构图

供水管路上增压泵（若高压水源，则需要减压），适当调节供水压力，保证供水压力大于尾水压力与密封座动态自补偿力（弹簧补偿、压缩气或水压补偿）之和，确保密封环（固定部分）与抗磨环（转动部分）结合面之间形成适当厚度水膜，阻止尾水通过密封环与抗磨环间隙上涌。同时，此处产生的水膜避免了旋转抗磨环与静止密封环间直接摩擦，减少了密封环磨损量，一定程度上起到了润滑与冷却作用。清洁压力水经密封副后一部分直接排至尾水；一部分途径大轴溢流至主轴密封水箱内，经排水管排至机组外指定部位^[2,3]。

主轴检修密封为静态密封，布置在工作密封下部，一般为橡胶围带结构，材料多采用SBR橡胶或NBR橡胶，通过压缩空气使橡胶围带充气、排气控制主轴检修投入或退出。正常情况下，一般设计膨胀量约为3mm。当主轴工作密封需要检修时，在不排空尾水的情况下，利用压缩空气充气使橡胶围带快速膨胀抱紧大轴旋转部件，形成有效阻断阻止尾水上涌；当主轴工作密封检修完投入运行，通过排出压缩空气，橡胶围带收缩复位与大轴旋转部件脱离，恢复至原始状态^[4]。

3 运行风险分析

据统计，国内现已投产的抽水蓄能机组主轴密封均配置检修密封，但由于机组检修状态下均排空尾水，同时担心主轴检修密封投入后无法全部退出，主轴检修密封在电站运行过程中基本不投入。据统计结果反馈，主轴检修密封使用过程中可能会出现漏气、封水不严、破损等问题，存在无法可靠退出、与转动部件接触等安全隐患。

基于电站运维安全考虑，大型蓄能电站机组检修时均排空尾水，不再投入主轴检修密封，更有部分电站后期将主轴检修密封橡胶空气围带拆除，从结构功能

上讲，主轴检修密封已失去存在价值。

鉴于抽水蓄能电站布置特点和主轴检修密封结构型式，在抽水蓄能机组主轴检修密封投入使用过程中存在以下隐患。

3.1 无法可靠阻断尾水

主轴检修密封通常采用橡胶空气围带型式，安装于检修密封支架内对其束缚，以防止充气后膨胀过量而损坏橡胶围带，橡胶空气围带上设置一个或两个不锈钢接头，用于压缩空气的充入及排出。

正常抽水蓄能机组主轴检修密封安装完毕后需进行压力试验并检查抱轴间隙。压力试验中，由于充气接头的存在，存在接头漏气的隐患，后期使用过程中很难保证其运行可靠性。鉴于抽水蓄能机组安装高程位于尾水位以下，且具有较大的淹没深度，主轴检修密封处水压约0.7~1.0MPa。在不排空尾水的情况下投入检修密封，一旦接头处漏气无法可靠阻断尾水，存在水淹顶盖、导轴承，甚至水淹厂房的安全隐患^[5]。

3.2 无法可靠退出

主轴检修密封材料多为SBR橡胶或NBR橡胶，具备耐磨、耐热及耐老化等优点，但其弹性一般，抗屈挠、抗撕裂性能较差。当主轴检修密封长时间投入，由于橡胶空气围带弹性差，排气后膨胀状态的橡胶空气围带无法立即恢复至初始状态与转动部分脱离。若机组检修后短时间内开机运行，高速旋转的转动部件会造成橡胶磨损甚至会磨穿漏水。国内某大型抽水蓄能电站曾出现过橡胶空气围带磨损开裂现象，根据其安装及运行维护记录分析判定为安装打压试验后复位不完全，且机组运行时摆度过大造成橡胶空气围带与转动部分发生碰撞磨损，鉴于该电站机组主轴检修密封投产后未再投入使用，且机组检修时均排空尾水，避免了不可预知隐患的发生^[5]。

4 取消检修密封可行性分析

4.1 结构功能方面

随着抽水蓄能电站设计制造水平的不断提高，机组主轴工作密封已经具备良好的加工精度，高精度过滤器的配置也为工作密封提供了洁净度、压力、流量满足设计要求的润滑水，保证主轴工作密封长时间安全稳定运行。同时，鉴于抽水蓄能机组启停较为频繁，在机组正常停机备用、运行过程中，主轴密封润滑水一直处于投入状态，只有检修时才会切断润滑水，满足了抽水蓄能机组启动快速的要求。按照抽水蓄能机组主轴工作密封工作原理，主轴密封润滑水压力大于尾水压力与密封座动态自补偿力（弹簧补偿、压缩气或水压补偿）之和，足以可靠地密封尾水，即便机组长时间停机时检修密封不投入，尾水中杂质也无法进入工作密封密

封副中,保证了工作密封的安全运行。例如广蓄、惠蓄、仙游等大型抽水蓄能电站,从取消了检修密封后的运维情况来看,主轴密封未出现漏水增大等异常情况,运行安全可靠^[6]。

同时,目前抽水蓄能电站设计制造大趋势下,机组比转速不断提高,抽水蓄能机组水头较高,且抽水蓄能电站呈高水头趋势发展,机组尺寸相对较小,多数抽水蓄能机组在尾水管出口设置尾水事故闸门,当工作密封检修时关闭尾水事故闸门,尾水管内积水一般2~3h即可排空,或只需将尾水排至转轮以下即可进行检修作业。与不排尾水投入检修密封进行检修作业相比,既保证了检修作业安全可靠,同时对检修工期无明显影响。对于未设置尾水事故闸门的电站,排除尾水时间有所增加,是否需要设置检修密封则需要进行综合考虑。从目前已投产未设置尾水事故闸门的抽水蓄能电站调研情况看,虽然机组结构上设置了检修密封,但投产后很少投入使用。

4.2 经济效益方面

检修密封由压缩空气操作其投入退出,压缩空气空气压力一般为1.0~2.0MPa,由电站8.0MPa压气系统经减压或配置专用空压机提供操作气源,设置专用检修密封用气压力储气罐,提供稳定压力的气源。

检修密封气系统设备的布置空间及设备采购投资是一次性投资,但后期运维需长期执行。压力容器属特种设备,需所在地安监局进行注册登记备案,取得许可后方可投入运行,且投运后每年需要进行年检。根据金属监督技术导则及水电厂反措要求,压力容器、压力管道的焊缝每年需要进行金属探伤检测;压力容器的安全阀、压力表等附件每年需要有资质的单位进行校验。压力容器每3~6年需要进行全面安全性检测,根据实际情况还需进行压力容器耐压试验。

可见,检修密封控制用气系统的建设、运维成本较大,抽水蓄能电站在建设初期设计该套设备,但投产后由于不再使用检修密封,致使这套设备闲置于地下厂房,每年仍需要投入人力物力进行维护。因此,在电站设计初期考虑取消检修密封,即可节省电站控制用气系统设备建设投资及投产后的运维成本。

5 结语

随着抽水蓄能电站设计制造水平的不断提高,设计制造能力的不断提高,和新材料、新工艺的不断应用,

当今抽水蓄能机组主轴密封已经具备良好的加工精度,高精度过滤器的配置也为工作密封提供了洁净度、压力、流量满足设计要求的润滑水,保证主轴工作密封长时间安全稳定运行。而主轴检修密封设置初衷在于不排尾水的情况下可快速检修工作密封,但是由于其本身结构及工作原理,可能会出现漏气、封水不严、破损等问题,存在无法可靠退出、与转动部件接触等安全隐患。

目前,国内现已投产的大型抽水蓄能机组主轴密封均配置检修密封,但机组投产运行后主轴检修密封气源均关闭,电站机组检修时不投入使用。同时,大部分抽水蓄能电站检修时基于电站运维安全考虑,均采用尾水排空的检修方式,不投入主轴检修密封,更有部分电站在机电安装阶段将橡胶空气围带拆除。上述情况均表明主轴检修密封已失去存在价值。通过本文分析,认为设置尾水事故闸门的抽水蓄能电站在机组设计阶段可以取消检修密封。同时,现有在建抽水蓄能电站设计初期已取消了检修密封,既节省基建期投资及投产后运维成本,也消除了检修密封带来的安全隐患^[7]。

参考文献:

- [1] 李永杰,徐桅,钱力.张河湾主轴密封结构浅析与技改建议[J].水电站机电技术,2016,39(12):6-8.
- [2] 刘时贵,权君宗,谢俊.水轮机检修密封控制技术探讨[J].东方电机,2014(3):11-13.
- [3] 陈泓宇,何少润,季怀杰.清蓄电站径向式主轴密封分析[J].水电站机电技术,2016,39(3):3-5.
- [4] 何松林.广蓄电站机组主轴密封结构剖析及运行检修特点[J].云南水力发电,2016,23(5):94-99.
- [5] 陈湘匀.主轴密封结构剖析及烧损分析[J].水电站机电技术,2001(3):49-50.
- [6] 曹成高,陶吉全,谭鋈.葛洲坝电站机组新型主轴密封结构优化[J].水电与新能源,2016(5):37-45.
- [7] 张玺琛.李洋水泵水轮机结构设计[J].黑龙江水利科技,2016(1):37-38.

作者简介:刘新航(1989.10-),男,汉族,河南南阳人,本科,工程师,研究方向:水力发电工程技术及建设管理;权强(1989.03-),男,汉族,陕西西安人,本科,高级工程师,研究方向:水力发电工程技术及建设管理;董政森(1987.05-),男,汉族,河南漯河人,本科,高级工程师,研究方向:水力发电工程技术及建设管理。