

升船机对接密封机构设计及优化

金龙^{1,2} 王敏^{1,2} 全志杰^{1,2}

1. 华电电力科学研究院有限公司 浙江 杭州 310030

2. 杭州国电机械设计研究院有限公司 浙江 杭州 310030

摘要: 对升船机的对接密封装置进行了设计, 并针对由于两部件转角半径不一致导致的密封拉伸和挤压, 提出一种新型的转角结构, 推出了转角结构的尺寸关系公式, 在升船机对接密封结构上进行了应用, 对以后水利工程、升船机工程等起到较好的指导作用。

关键词: 升船机、对接密封、转角

1 概述

升船机的对接过程一般是由若干设备协同参与完成, 如承船厢、上/下闸首、主提升、对接密封、充泄水系统、对接锁定等。升船机的对接密封装置是整个升船机系统的重要部分, 对接密封在闸首和承船厢之间起到类似桥梁的承接作用, 其可靠性是升船机重要性能指标。

2 升船机 U 型密封框设计

U型密封框驱动机构布置在承船厢端头空腔或者上、下闸首端部的空腔内, 其作用是在承船厢与上、下闸首对接时, 将承船厢与上、下闸首工作门之间的间隙密封, 在间隙充水后使船厢水域与第一级中间渠道水域连通, 形成过船条件。

一般全平衡钢丝绳卷扬式升船机的上、下游对接式一样的, 本文以上游对接进行说明, 上游对接过程由船厢上游卧倒门、上闸首卧倒门、U型对接密封装置、充泄水系统、对接锁定装置以及检测装置等完成。船厢卧倒门和船厢卧倒门皆为挡水作用, 一般采用液压启闭机或者钢丝绳卷扬启闭机控制门体启闭。U型密封框和充泄水一般设置在船厢或者闸首空腔内, U型密封框推出到位后, 起到将船厢和上闸首的间隙进行联通并密封的作用, 然后对间隙进行充水, 待充到与船厢水位或上游引航道水位平齐后, 分别打开船厢和上闸首卧倒门, 船舶进入或者离开船厢。

升船机对接密封装置由U形框架结构、止水水封、弹簧箱结构、液压油缸及支座、导向轮等装置组成, 如图1所示。U形密封框结构与弹簧箱结构通过螺栓连接, 液压油缸与弹簧箱铰接, 驱动U型密封框结构在U形槽内运动, 由导向轮进行约束。液压油缸由主动油缸和压紧油缸组成, 主动油缸分别安装在U形密封框的底边缘和两侧边缘, 缸体固定与支座上, 活塞杆与弹簧箱铰接, 其作用有两各方面, 一是对U型密封框架施加压力, 二是驱动

U型密封框架在厢头的U形槽内运动; 压紧油缸也分别安装在U形框的底边缘和两侧边缘, 油缸活塞杆与弹簧箱不采用铰接连接, 而是可分离的面接触, 缸体固定与支座上, 其作用仅对框架施加压力。U形密封框端部部位设两道止水水封, 一道为P形橡胶水封, 一道为 Ω 形橡胶水封。U型密封框与船厢结构间采用活动的C形止水橡皮止水, 如图2所示。

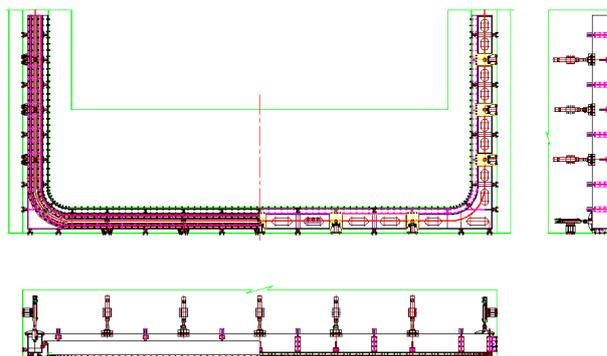


图1 升船机对接密封装置

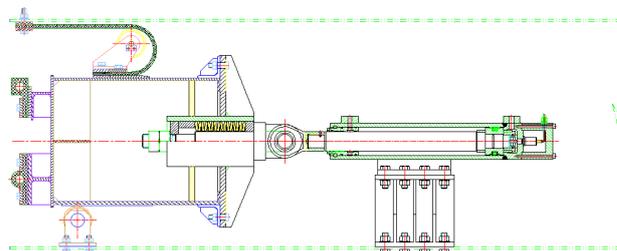


图2 对接密封断面图

3 优化设计

承船厢C型密封装置的关键点在于密封橡胶的制作, 目前采用天然橡胶内层夹帆布网的工艺措施已经能够满足使用要求, 但橡胶形状的确定却直接影响着其使用寿命。主要原因是在U型密封框和承船厢发生相对运动时, 转角处橡胶会发生周向拉伸, 如图3所示。

由于与U型密封框相连的橡胶的转角半径比与承船厢相连的橡胶大，即 $R > r$ ，则U型密封框的密封周长比承船厢的密封周长大，因此当U型密封框相对于船厢运动时，以大半径部件即密封框为参照标准安装密封，密封橡胶会沿着周向拉伸。反之，橡胶则会被挤压折叠。由于密封橡胶与部件连接面均是通过压板和螺栓形成的静密封，无法实现相对运动，在这两种情况下，密封橡胶在与压板的接触部位都将发生较大的拉伸应或挤压应力。

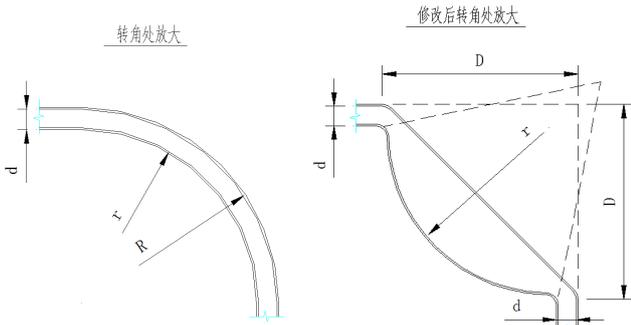


图3 密封转角示意图 图4 优化后的密封转角示意图

由于该种密封方式的特点，橡胶本身处于周期性的交变运动，而褶皱的本质是橡胶的一面受拉而另一面受压，即使不发生整体拉伸变形，同样会大大降低其使用寿命。为了使橡胶在运动过程中不发生整体拉伸或者褶皱现象，必须保证两固定端的周长相等。由图1可以看出，周长的变化部位在转角处，现对转角处的构造进行重新设计，优化后的转角示意图如图4所示，将半径较大的弧形结构改进为类似倒角的直边结构，半径较小的弧形结构由外弧改进为内弧，根据密封橡胶在转角处不发生拉伸或褶皱的原则，转角处内外边长应相等，由数学分析得：

$$D = \sqrt{2}r \arcsin \frac{D-d}{\sqrt{2}r}$$

其中：D为外结构的倒角边长；

r为内结构弧形的半径；

d为两结构的距离。

从而保证橡胶在运动过程中不发生拉伸变形或褶皱现象。根据分析，当橡胶的两固定端是周长相等时，该

橡胶的展开状态（即初始状态）为一块标准的矩形橡胶。因此，密封橡胶在制作过程中不需要根据部件的边界尺寸以及相对运动距离进行特殊模具的制作，大大提高了该密封橡胶的通用性并且降低了制作成本。

根据以上原理，将升船机对接密封框结构进行优化，将承船厢部分的外弧结构改进为内弧结构，将U型密封框的转角处由弧形结构改为直线结构，根据以上公式，确定承船厢弧度尺寸和U型密封框的直线结构的尺寸，优化后的结构如图5所示。

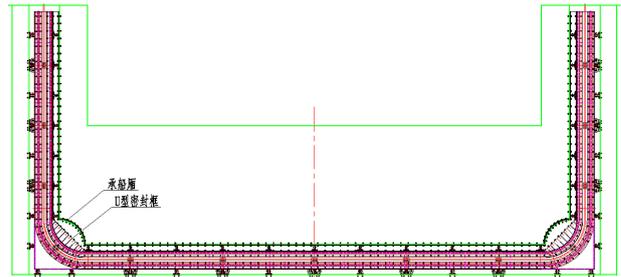


图5 改进的对接密封框

4 结论

静密封是低速重载等水利机械上常用的密封形式，不仅造价成本低、通用性强、使用寿命长，其安装精度要求也较动密封低，便于维修和更换。本文在对升船机对接密封装置的密封结构进行了设计，并通过对密封面转角处的优化设计，使原有的静密封具有更好的可靠性，能够大大提高其使用寿命，为类似该条件下的密封情况提供了可借鉴的新型密封方式。

参考文献：

- [1] 钮新强，宋维邦. 船闸与升船机设计[M]. 北京：中国水利水电出版社，2007.
- [2] 张裕文. 岩滩升船机对接密封装置的制造与模拟试验[J]. 红水河，1999.
- [3] 姚明明，叶子靖. 向家坝升船机对接密封装置运行可靠性浅析[J]. 中国水运，2020.
- [4] 陈伟. 向家坝升船机C型水封更换及改造[J]. 中国水运，2020.