

船闸人字门顶枢和底枢设计若干问题探讨

⑦
33-35153

朱召泉 陶碧霞 俞良正

U641.331

(河海大学土木工程学院 南京 210098)

摘要 结合三峡多级船闸人字门顶枢、底枢的设计,对影响人字门顶枢、底枢工作的主要因素进行了简要分析。提出了改善船闸人字门顶枢、底枢工作的若干措施:改进结构型式;改善润滑条件,减小蘑菇头的比压;合理选材,提高材质工艺;精心施工,加强管理。

关键词 三峡水利枢纽 船闸 人字门 顶枢 底枢 优化设计

永久性多级船闸是三峡工程中船舶过坝的主要通道,而人字闸门是整个船闸中主要的设备,它的安全可靠直接影响到多级船闸的安全正常运行。从以往的人字闸门运行情况看,顶枢、底枢作为人字闸门的关键支承部件,其运转的安全可靠与否直接影响人字闸门的运行和船闸的通畅。因此,如何合理布置和设计人字闸门的顶枢及底枢,消除人字闸门的安全隐患,延长大修周期,并做到便于检修,缩短检修时间,从而减小停航损失,是船闸人字闸门设计中值得进一步深入研究的课题。

1 底 枢

1.1 底枢运行实践对设计的要求

底枢是人字闸门的重要部件,其转动部分的承轴巢衬垫容易磨损。近年来,国内一些船闸尤其是京杭大运河苏北段一线和二线的一些船闸,经常发生因底枢转动摩擦副的磨损而造成被迫断航抢修和提前大修的情况。由于航运繁忙,苏北大运河的停航损失相当高。葛洲坝船闸人字闸门也曾出现过类似问题而停航抢修^[1]。因此,对于人字闸门底枢的设计,除应注意其承载能力的安全可

靠性和经济合理性外,更应注意下列要求:

①提高转动零部件耐磨性,减小其磨损率,从而延长大修周期;②便于检修更换,以缩短检修停航时间;③改善受力条件,在结构构造上防止底枢承受过大的横向水平力。

1.2 影响底枢正常工作的主要因素

除底枢结构构造型式是否合理这一影响因素外,对于底枢正常运行的影响尚有下列两个主要因素。

1.2.1 摩擦副的材料选用、匹配和制造工艺

底枢转动摩擦副的材料选用、合理匹配和制造工艺是影响摩擦副磨损程度的一个重要因素。在底枢摩擦副的材料选用方面,对底枢衬垫一般常采用合金铸铜件,而蘑菇头则常用合金钢锻件。由于铸铜件衬垫的硬度及耐磨性均低于合金钢蘑菇头,因此,底枢摩擦副的磨损往往以青铜衬垫磨损较为严重。从摩擦学的角度看,底枢摩擦副的磨损主要表现为金属粘着磨损和滑动摩擦磨损。磨损程度受诸多因素影响,如周围介质,接触应力大小,匹配零件的相对滑动速度,有无润滑,表面粗糙度,匹配零件的摩擦机理。但从材料工艺角度来看,材料不耐磨的主要原因是:①材料选用不当,应力过大而材料硬度过小;

第一作者简介:朱召泉,男,副教授,从事钢结构研究,曾发表《平面钢闸门结构优化设计》等论文。

②材料制造工艺不合理,造成材料金相组织不合理。为提高摩擦副的寿命,应根据弹性和弹塑性摩擦理论及底枢摩擦副低速重载的特点,从抗磨和减磨两方面来考虑,使其得以合理匹配。从减磨角度看,采用钢和铜匹配的摩擦副,摩擦系数小、磨损量也应较小;但从抗磨角度看,由于青铜衬垫的硬度及耐磨性均比合金钢蘑菇头的小,故造成前者磨损量较大。为此,对于钢和铜匹配的摩擦副,应研究选用硬度及耐磨性更好的铜基合金衬垫。

1.2.2 润滑条件

人字闸门的运行实践表明,支承部分良好的润滑条件对闸门的正常运行是非常重要的。对于顶枢的润滑比较容易解决,而底枢的润滑问题则是人字闸门设计和管理中的一个难点。底枢的润滑条件与一般机械设备中轴承的工作及润滑条件不同,它具有速度低、比压大、摩擦接触面小、转动角度小($67.5^{\circ} \sim 80^{\circ}$)且长期处于水下等特点。因此,如何合理布置底枢的润滑方式,确保底枢正常可靠的运行是一个需要认真研究的问题。

近年设计的一些船闸,尤其是大中型人字门,底枢均布置了润滑设施,除布置进油管路外,某些人字门底枢还设置了回油管路,以检查进油情况,通常采用一台多点润滑干油泵为底枢、顶枢及其它支承部件同时供油。但从闸门实际运行情况来看,对于大型人字门,因闸门很高,底枢离油泵很远,衬垫也最大,需油量相对较多,若用一台干油泵为多处同时加油,对底枢供油的压力则嫌不足。从葛洲坝船闸及其它一些船闸的运行中也发现^[1],油脂常从底枢蘑菇头的非受力面流出,而受力面油少或无油,润滑条件恶劣。故对于大型人字门的底枢,可单独用一台干油泵来供油。其次,对于底枢的进油口及出油口,油槽槽口尺寸,梭边形式,摩擦副配合间隙大小等,均应在进行分析研究的基础上合理设计。

1.3 改善底枢工作的若干措施

1.3.1 研究和改进底枢的结构型式

底枢的结构设计,既要满足结构型式合

理的要求,从而改善底枢受力,减少磨损以延长大修周期,又要便于检修更换,从而缩短大修或抢修时间,减小停航损失。对于三峡船闸人字门这种特大型闸门结构(门高 37 m,单扇质量 816 t 左右),底枢的结构型式宜选用固定式底枢,并采用连续式承压条支承。为减小传至底枢上的水平力,可设置弧型钢圈和青铜支垫来承受闸门启闭过程中可能传递到底枢上的水平力,从而减小作用在底枢蘑菇头及衬垫上的水平力,达到减少磨损的目的。该方法已在京杭大运河苏北段的淮阴、淮安、宿迁等船闸大修时采用,并取得了较好的效果^[2]。

为了减小承压条的挤卡或磨损,从而改善底枢的受力条件,可适当加大旋转中心与支承反力作用线间的偏心距。美国陆军工程兵团船闸人字门设计资料中建议该偏心距取 178 mm(7 英寸),美国俄亥俄河新坎伯船闸人字门大修时,也把该偏心距由 88.9 mm(3.5 英寸)增大为 178 mm(7 英寸)。此外,苏北大运河船闸在技术改造中也采用过增大该偏心距的方法,改善了承压条的挤卡和磨损。

为方便检修和更换底枢蘑菇头,缩短大修时间,蘑菇头底面下的垫板可设计成可抽动式,当检修时,只需顶起门扇,拆卸蘑菇头侧面的半环形挡块后,即可抽出垫板,从而使蘑菇头降落在垫板下的承轴台的底板上,即可取出更换,使底枢蘑菇头在水下更换成为可能。

1.3.2 合理布置润滑系统,改善底枢润滑条件

为改善底枢的润滑条件,减小磨损,应设置专门的油质润滑设施。为了能在水上随时检查水下底枢的润滑情况,可设置回油管,可随时检查底枢的注油润滑情况,同时也可防止污油长期直接排入闸室内水中,减轻水质污染。对于进、出油管的位置,油槽的数目、布置及尺寸,油管的管径,油脂的粘稠度及泵送性,均应认真研究并合理选用,从而达到良好的润滑效果,防止底枢过早磨损,并杜绝底枢蘑菇头抱死等事故的发生。

1.3.3 提高材质工艺,合理进行匹配

为减小磨损,应合理选配底枢材料,着重提高摩擦副的耐磨性,并适当减小摩擦系数。由于钢和铜之间的摩擦系数较小,一般船闸人字门设计时,底枢摩擦副常采用钢和铜匹配。如在葛洲坝船闸及京杭大运河某些船闸人字门中,底枢蘑菇头曾用 35CrMo, 40Cr, 40Cr₁₃ 或 38CrMoAlA 等合金钢材料铸造,衬垫曾采用铝铁青铜合金 ZQAl₉Fe₄ 或 ZQAl₁₀Fe₃ 铸造。为了减小磨损,摩擦副表面常需进行热处理,如表面经淬火和渗氮处理后,可大大提高其硬度。但即使如此,在钢和铜匹配的底枢摩擦副中,往往青铜衬垫的磨损量较大,形成严重的磨损和偏磨^[3]。因此,应该研制和选用强度更高、硬度更大和耐磨性更好的青铜合金作为底枢衬垫材料。

1.3.4 设置浮箱,减小底枢蘑菇头的比压

为了减小底枢蘑菇头的比压,除可适当加大蘑菇头直径外,最直接有效的措施就是在人字门的水下部分几根主横梁间的空档设置浮箱,可减小作用在底枢上的闸门自重和由闸门自重产生的作用在顶、底枢上的水平力。江苏省交通厅航道局在船闸大修技术改造中,曾在人字门中采取增设浮箱的措施,增设浮箱后,底枢摩擦副上的比压减小到原来的 1/3 ~ 1/2,从而减少了顶底枢摩擦副的磨损,效果明显。对于三峡船闸人字闸门,由于闸门较高,而下游最低水位较低,虽然布置浮箱不如中小型船闸人字闸门效果明显,但布置浮箱后,底枢蘑菇头的比压也可减少 14% 左右。

2 顶 枢

人字闸门的顶枢是保证门扇垂直并绕竖轴转动和防止门扇倾倒的上部支承部件。顶枢的可靠与否直接影响着整个门扇的正常工作 and 安全。

2.1 顶枢的运行实践

在船闸人字闸门的运行实践中,因顶枢发生事故而影响船闸正常运行的情况也时有发生。

如 1987 年 3 月 8 日葛洲坝 2 号船闸下闸首左侧人字门顶枢横向拉杆发生断裂事故^[1],即是由于顶枢发生事故而造成航运中断的特大事故。分析此次事故发生的原因,提出需在设计中引起注意的两个问题。

2.1.1 拉杆的材质及加工工艺

对于人字门顶枢拉杆这类重要构件,一般宜用锻钢件,以提高其强度和改善其塑性和韧性。选材和制作要求应非常严格,应按设计图纸尺寸直接锻造成型,不宜切割,以免引起材质变脆。但对葛洲坝 2 号船闸人字门断裂的顶枢拉杆所进行的检查发现,两根拉杆均采用厚达 120 mm 的 45 号锻钢,材质本身性能符合要求,但实际加工制作时,不是直接锻造成型,而是锻成板块后再气割成设计尺寸,切口既未经过机械加工,也未进行取样或探伤检查。在气割过程中可能出现的缺陷如气割边缘钢材的淬火效应、较高的残余拉应力、气割过程中可能掺入的氮等杂质和增碳以及割口处可能残留的微裂纹或其它缺陷,不能当即发现并消除。因此,以上可能出现的缺陷及材质变性,可能是引起顶枢拉杆应力脆性断裂的主要因素之一。

2.1.2 顶枢拉杆的受力特点

顶枢横向拉杆(A 杆)在开、关门过程中应力是交变和波动的,在接近全关的一段波动剧烈,虽然开、关门的频率很低,但每开、关一次应力却变化多次,变幅也很大,并且不只是拉、压应力交变一次,因此,顶枢拉杆存在疲劳问题。除了上面所述的主要因素外,人字门的安装偏差以及操作条件也会影响到顶枢拉杆的受力。如在关门过程中,A 杆拉应力逐渐加大,若承压条的安装偏差为上小下大呈“A”型,则人字闸门在全关闭时,承压条上部会出现挤卡,在推拉杆的继续驱动下,A 杆将发生超载。如闸门关门到位后,继续“关门越位操作”(如使用人字闸门推拔淤砂等),也将使顶枢拉杆承受过大应力。由于温度变形及弹性变形,对于大型门叶而言也将对顶枢拉杆内力产生一定影响。(下转第 53 页)

列于表 2 中。

5 排沙廊道水流挟沙能力估算

由于排沙漏斗的上口径与底孔直径之比达 40 倍,通过廊道的流量约占 7%,而挟带的泥沙量占总量的 90% 以上,且多为粗颗粒泥沙。这种高含沙量的二相流,目前尚无较准确的公式计算其推移质输沙率。根据渠首和其它型式沉沙池设计和运用的工程经验,以断面平均流速作为控制判断的依据,采用小流量、陡底坡和大流速的设计方法。冲沙廊道底坡为 1/30,宽 0.6m,底断面为半圆形,衬砌为铸铁(或掺硅粉混凝土)等耐磨材料,糙率 $n=0.012$,对应 $Q_2=0.3\text{ m}^3/\text{s}$ 时的弓形过水断面的水深约为 0.22 m,流速约 3.5 m/s;群体泥沙运动方式以滑动、滚动为主。实践表明,这种设计方法是有效可行的。冲沙廊道后的明渠出口设计高程为 80.81 m,高于主河槽 2.60 m。

6 结 语

a. 由于流量系数取值的影响,以上水力计算是近似的,但其结果可满足工程设计要求。

b. 在设计排沙漏斗时,要兼顾其上游引水渠和下游排沙廊道的水流泥沙运行条件,不允许发生淤积;排沙明渠末端一定要高出河床床面,切忌二者齐平。

c. 漏斗直径不宜超径设计,因为合适的斗径可形成有效的涡旋,有利于排除泥沙。当设计流量达几十立方米每秒时,可考虑并联设计几个排沙漏斗。

d. 在枯水期关闭漏斗前的进水闸门,如果漏斗内淤积有少量的泥沙,汛期可用设计流量冲洗干净。另外,须防止人为地将大河卵石或粗树干抛入漏斗内,造成底孔堵塞。

e. 本工程建筑物衬砌材料多为就地取材,故造价低廉(1992 年竣工结算价约为 12 万元),这有利于排沙漏斗的推广应用。

f. 乌斯图河渠首的排沙漏斗建成运行至今,使用情况良好,发挥了节水排沙的工程经济效益。

参考文献

- 1 周著等.强螺旋流排沙漏斗的模型试验和原型观测.水利水电技术,1991(11):44~48
- 2 斯里斯基 C M.高水头水工建筑物的水力计算.毛世民等译.北京:水利电力出版,1984.244

(收稿日期:1997-11-17 编辑:熊水斌)

(上接第 35 页)

2.2 保证顶枢正常工作的措施

a. 合理选择顶枢拉杆的材料、严格控制拉杆的加工工艺。顶枢拉杆应采用优质锻钢件,保证拉杆材料有较高的强度及良好的塑性及韧性。拉杆的加工制造,应按设计图纸轮廓尺寸直接锻造成型,不应气割,以免引起材质变脆,并可适当增大拉杆设计断面,降低设计应力。

b. 精心组织施工安装。认真分析影响顶枢工作的各种因素,对整个人字门结构及顶、底枢和承压条进行精确定位和装配、承压条的安装偏差宜为上大下小的“V”型,以免关门时上部卡阻而使顶枢拉杆超载。另外,在闸门施工安装时,还应考虑到大型人字门

门叶变形、闸墙变位、温度变化及承压条磨损等各种因素的影响,以使闸门在正常运行时上述各种因素的不利影响降到最低。

c. 加强人字门的运行管理,严格按照运行程序正常操作和管理。对闸门支承运转件定期润滑、维护和保养,以改善其工作条件,从而保证整个人字闸门安全可靠运行。

参考文献

- 1 陈家伟.葛洲坝船闸人字门几次重大事故处理及探讨.金属结构,1983(2):36~54
- 2 沈伯明.船闸技术改造概况.水运工程,1996(3):37~42
- 3 王建民.船闸运转件磨损实验简介.水运工程,1993(3):64~71

(收稿日期:1997-08-27 编辑:张志琴)