

文章编号:1673-9469(2012)03-0077-04

基于风险分析的船闸大修周期确定方法

马丽佳

(南京航空航天大学 基建处,江苏 南京 210016)

摘要:目前船闸大修周期的确定基本依靠经验,难以满足运行安全性和维修经济性的双重要求。本文将风险分析技术引入到船闸的大修周期决策中,实现船闸大修周期决策的科学化。通过风险辨识技术得到船闸运行的关键部件,结合船闸大修工程的特点,对关键部件失效的概率及相应损失进行建模量化,最后依据船闸运行效益费用比最小的原则建立大修周期决策模型并进行模型实例计算,研究成果可作为船闸大修周期决策的理论依据。

关键词:船闸;大修周期;风险分析;效益费用比

中图分类号:F273.4

文献标识码:A

The Method to determine the cycle of lock's overhaul based on the risk analysis

MA Li - jia

(Infrastructure Department, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Jiangsu Nanjing 210016, China)

Abstract: As the determination for the cycle of the overhaul depends on experience now, the determination can't meet the safety and economical requirements. Risk analysis technology was used in the decision making in order to realize the scientific decision. The risk identification technology was used to find the key parts of operation. Combining with the characteristics of the overhaul, the model of probability of failure and the loss cost were proposed. In the end, the decision-making model depending on the least CER was established. The results can be used as the theoretical basis for the management of cycle decision.

Key words: ship locks; cycle of overhaul; risk analysis; CER

目前国内对于船闸大修周期的确定缺乏统一的规定,大修计划的制定缺少科学依据,各船闸主要是根据运行管理经验和大修资金的申报情况确定大修周期,这样就使得船闸因检修不利而造成带病运行的现象普遍存在,很多运转件应该更新而得不到更新,能耗和修理费越来越高,船闸运转的精度和效率却越来越低,安全运行的风险越来越大,船闸出现突发故障导致断航的事故时有发生。本文将风险分析的理论应用于船闸大修周期的确定尚属首次尝试,将较为先进的风险分析方法与船闸运行实际相结合,结合实际管理经验和实验数据,为船闸大修周期的理论计算方法开辟

了新的思路,目的是使船闸的大修满足可靠性和经济性的双重要求。

1 风险分析建立周期决策模型

1.1 风险辨识

风险识别就是运用各种方法和手段,将船闸运行期间潜在的、影响运行安全的主要风险和引起风险的主要因素识别出来,并加以分析和整理。可能造成船闸断航的风险因子^[1-2]有很多,例如天气条件、航道水深条件和政策调控等,本文主要研究船闸本身构件发生故障造成的风险。船闸正

收稿日期:2012-05-10

作者简介:马丽佳(1985-),女,河北怀安人,硕士,助理工程师,从事工程管理的研

表1 船闸大修周期调查结果
Tab.1 Research results for cycle of overhaul

序号	船闸	闸次/万次	大修周期/a	主要部件更换周期/a	序号	船闸	闸次/万次	大修周期/a	主要部件更换周期/a
1	泗洪一线	18.25	10	10	11	泗洪二线	18.25	10	10
2	泰州	18	10	10	12	淮阴	15	15	15
3	宿迁	18	10	10	13	淮安	17.52	10	10
4	解台	16.43	10	10	14	盐邵	10.2	10	10
5	刘老涧一	17	10	10	15	刘老涧二	16	8	8
6	宝应	14	10	10	16	高良	15	10	10
7	皂河一线	15	10	10	17	杨庄	17	10	10
8	皂河二线	15	10	10	18	台儿庄	7	10	10
9	吕四	10	10	10	19	韩庄	10	10	10
10	运东	12	8	8	20	微山	8	10	10

常运行的主要风险因子需满足两个条件:船闸运行关键部件的正常工作直接关系到船闸的安全运转;该部件的检修或更换周期与船闸的大修周期有一定关系。

对京杭运河上山东、江苏两省 20 个人字门船闸的大修周期和各部件的更换周期进行问卷式调查,调查内容包括船闸整体的大修周期以及闸、阀门、启闭机、土建等六个主要部分的检修情况,基本涵盖了船闸所有部件(调查结果见表 1),调查发现,船闸主要部件的更换周期与船闸大修周期一致,即船闸的大修与主要部件的更换是同步的。

基于以上分析,确定船闸正常运行风险分析的路线如图 1 所示。

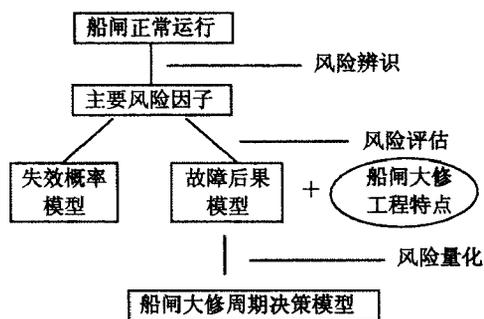


图1 风险分析路线图

Fig.1 Roadmap of risk analysis

文献[2]三峡船闸重大危险源的辨识与评价研究中,对于人字门船闸安全运行的潜在危险因子进行了系统的辨识和评价,得出船闸系统的重大危险源为船舶系统、升船机和入字闸门,故不考虑外部因素,船闸安全运行的关键在闸门部分,而根据国内船闸多年运行的经验,对于人字门船闸,顶枢摩擦副与底枢摩擦副是其控制部位,二者的正常工作直接影响人字门的运行工况。国内很多

船闸出现过因顶、底枢摩擦副出现故障导致航运中断的特大事故发生^[3],对这些事故进行分析研究,结论如下:

从事故发生原因角度进行分析:在船闸实际运行中,顶枢摩擦副失效类型一般为拉杆疲劳失效,与拉杆材质有很大关系,若能保证顶枢摩擦副拉杆材料的质量则可避免拉杆的突然断裂。顶枢的日常检查维护较底枢方便很多,这就能保证通过及时的监测使顶枢摩擦副故障免于发生或者是在故障导致严重后果发生前及时予以解决。底枢摩擦副失效一般为磨损失效,底枢摩擦副是闸门部分最易发生故障且故障后果最严重的部件^[3],很多因素均会导致底枢摩擦副故障的发生,又因其位于水下,日常检查巡视困难,不能及时做好润滑维护工作,若表现出一些工作异常的现象(异响、门体抖动)时,表明已经破损较严重了。

从事故造成后果角度进行分析:顶枢摩擦副事故一般为突发性的拉杆断裂等事故,事先基本无征兆,一旦发生就会造成航运中断。底枢摩擦副若发生偏磨等情况,首先会造成闸门运行异常、门体倾斜、承压条偏磨,进而导致顶枢摩擦副的拉杆应力异常,会带来一系列的连带损失,最终造成闸门无法正常运行而断航。

从事故处理角度进行分析,顶枢摩擦副若发生事故,一般可在不抽水的情况下进行抢修,断航时间较短,而底枢摩擦副若发生事故,首先寻找事故发生原因就比较困难,一般的需潜水员多次潜水进行检查,其次维修时大部分需断航抽干闸室,航运中断时间较长。

综上,顶枢摩擦副和底枢摩擦副均是船闸人字闸门部分安全运行的关键控制因素,但是,顶枢

摩擦副在保证材质质量合格和日常的检测和维护能保质保量完成的前提下,一般不会发生严重事故,故不将其作为船闸安全运行的主要风险因子。而底枢摩擦副的日常维护比较困难,一旦发生故障造成的损失巨大且较难维修,因此,最终确定底枢摩擦副为船闸安全运行的主要风险因子。

1.2 底枢摩擦副故障概率模型

底枢摩擦副是船闸运转易损件,一般其失效形式属于磨损失效,根据故障率理论,对于磨损损坏的机件,其失效规律符合威布尔分布^[4]。

底枢摩擦副的故障概率模型为当 $t \geq 0$ 时

$$P(T) = 1 - e^{-(t/\eta)^\beta} \quad (1)$$

式中 β - 形状参数; η - 长度参数。

应用回归分析方法确定两个参数,在没有底枢故障数据记录的情况下,可通过室内做底枢摩擦副磨损实验进行参数研究。作者根据江苏省交通厅航道局的船闸运转件磨损试验数据得到底枢摩擦副的故障概率模型^[5-8]。

1.3 底枢更换费用及损失分析

底枢摩擦副的损坏可能引起两部分的损失,直接经济损失 F_1 (底枢摩擦副维修费用)、连带损失 F_2 (引起其他相关部件损坏的维修费用)。根据风险的定义,底枢摩擦副故障概率主要影响连带损失部分。

直接经济损失:假设不考虑技术更新,仅采取原型更换的形式进行底枢摩擦副的更新,这样的更新模式下底枢更换费用与更换周期无关。底枢更换的总费用年值随着底枢使用时间的延长逐渐递减。但是,随着船闸使用年份的增加,底枢摩擦副磨损加剧,每年用于底枢的润滑保养费用逐年递增。即

$$A_t = F_1(A/F, i, t) + R_t \quad (2)$$

式中 A_t - t 年底枢的维修费用年值; F_1 - 底枢更换费用; $A/F, i, t$ - 终值年值折算系数; R_t - 底枢在第 t 年的日常维护费用。

连带经济损失:船闸底枢摩擦副是整个船闸最重要的构件之一,其磨损破坏不仅危及本身的使用安全,关键是会影响船闸其他部分的运行安全。根据调查,可能出现的连带损失有:

1) 导致墙面承压条的偏磨,严重时导致承压条压坏破损,造成旋转轴线及支承轴线的偏移,同时承压条偏磨还会导致顶枢拉杆超载运行。

2) 造成门体倾斜,止水破坏,闸门漏水,门叶变形,不但引起闸门结构发生倾斜、振动、异响等破坏,还会造成闸门灌泄水时间延长,船舶等待时间延长,影响了船闸的通过能力。

3) 断航影响。如果某一个船闸出现停航,必然导致线上其他船闸也断航,这样船闸管理方损失的过闸费就是线上所有船闸过闸费的总和。

以上各项损失均可通过调查得到确定的损坏维修费用数据为

$$F_2 = \lambda_t(C_1 + C_2 + \dots + C_t) \quad (3)$$

式中 F_2 - 连带损失; C_1, C_2, \dots, C_t - 各项连带损坏部件更换或维修的费用调查值; λ_t - 与时间有关的修正系数,在无具体连带损失部件监测记录时,可取 λ_t 为 1。

1.4 大修周期决策模型

根据底枢风险的定义,将(式1)和连带经济损失带入船闸运行风险中得到底枢风险的计算模型为

$$R(t) = P(t) \times F_2(t) = [1 - e^{-(t/\eta)^\beta}] \times \lambda_t(C_1 + C_2 + \dots + C_t) \quad (4)$$

基于风险分析的大修周期决策是以费用效益比作为判别依据,选择该比值取得最小的年份作为船闸大修周期,故关键是要分别计算出不同周期下大修工程的费用和效益值后进行比较,费用即根据某次船闸的大修实际支出得到,而效益则为因大修的实施而避免的船闸继续运行下去可能导致的损失,因船闸故障概率无法定量描述,根据以上分析,通过考察底枢的更换周期来确定船闸的大修周期,因此将更换底枢摩擦副的费用效益比最小的年份作为船闸的大修周期,相应的,概率为底枢的故障概率,费用为底枢更换费用,而效益则为因底枢实施更换而避免的风险。

综上所述,对船闸的大修年份 t 的选择应保证该年大修效益/费用值最大,设效益/费用 = μ , 则

$$\mu = \frac{R(t)}{A(t)} = \frac{[1 - e^{-(t/\eta)^\beta}] \times \lambda_t(C_1 + C_2 + \dots + C_t)}{F_1(A/F, i, t) + R_t} \quad (5)$$

即,使 μ 取得最大值的 t 就是船闸基于风险的决策模型所计算得到的船闸大修周期。

2 模型算例分析

以江苏省某内河船闸大修工程为例,参考该

船闸大修的工程量清单及日常维护保养记录,得到底枢更换总费用 F_1 为 114 000 元。据调查船闸每年日常维护费用为 2-3 万元,用于底枢摩擦副的日常维护主要是润滑工作,随着运行年份的增加,日常维护费用也不断增加,设第八年的日常维护费用为 1000 元,以后每年递增 100 元,将 F_1 均摊到各个年份再加上日常维护费用即得到维修年值 A 。连带损失 F_2 计算如表 1 所示。

表 1 连带损失计算表

Tab. 1 Calculation table of joint loss

损坏项目	单价/元	合价/元
拆除 4 扇	2 000	8 000
门轴柱承压条 安装 4 扇	4 000	16 000
环氧砂浆灌注 4 扇	7 000	28 000
拆除 4 扇	1 000	4 000
斜接柱承压条 安装 4 扇	2 000	8 000
环氧砂浆灌注 4 扇	3 500	14 000
门下止水橡皮 4 扇	1 800	7 200
断航损失过闸费 2/d	40 000	80 000
线上其他船闸损失过闸费 6/d	40 000	240 000
其他(电器件损坏、电费增加等)	10 000	
合计	415 200	

因缺乏底枢故障率的数据记录,故采用实验数据^[3]利用威布尔分布图解法计算底枢故障率分布函数,并由此计算出不同年份底枢的失效概率。

3 结语

船闸运行的关键部件是底枢摩擦副,底枢摩擦副破坏的直接经济损失和间接经济损失通过实验数据得到其破坏的概率计算模型和风险的计算模型。研究成果可作为船闸大修周期决策的理论依据。需要注意的是,船闸的大修周期影响范围大,需要考虑的因素多,模型的计算结果只是为决策者提供理论上的依据,具体工作中还需结合多方面的情况和意见进行综合判定,如何在工程实际中应用还有待进一步的验证。

参考文献:

[1] 马丽佳. 一种基于经济寿命理论的船闸大修周期确定

方法[J]. 水运工程, 2010, 439(3): 121-125.

- [2] 张伟. 三峡船闸重大危险源的辨识与评价研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007.
- [3] 王建民. 人字门船闸底枢摩擦副零件失效事故分析及材料研究[J]. 现代交通技术, 2006(4): 78-81.
- [4] WESSELS WILLIAM. Use of Weibull versus exponential to model part reliability [C]. Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, Beijing, China, 2007: 131-135.
- [5] 陈一梅, 马丽佳. 船闸底枢可靠性分析模型及应用研究[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2011, 41(1): 205-209.
- [6] BOCCHETTI D. A competing risk model for the reliability of cylinder liners in ship Diesel engines[J]. Reliability Engineering and System Safety, 2009, 94(8): 2751-2759.
- [7] WANG YINGXIN. Study for reliability model of Antenna mechanical device about worship [J]. Ship Electronic Engineering, 2009, 29(8): 166-169.
- [8] WANG LINGZHI, XU YUGONG, ZHANG JIADONG. Research on reliability analysis model for key components and parts of railway equipment and its application [J]. Journal of the China Railway Society, 2008, 30(4): 93-97.
- [9] OVIDIU. Cost and schedule estimate risk analysis for transportation [C]. INFRASTRUCTURES, Proceedings of the ASME 2009 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, 2009, 11.
- [10] GIORGIO MASSIMILIANO. A wear model for assessing the reliability of cylinder liners in marine diesel engines [J]. Transactions on Reliability, 2007, 56(1): 158-166.
- [11] PALANISAMY P. Prediction of tool wear using regression and ANN models in end-milling operation [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2008, 37(1-2): 29-41.
- [12] ASHRAF, M AZEEM. Modeling of dry sliding wear using a systematic approach [J]. Engineering Materials, 2006, 324(2): 967-970.

(责任编辑 刘存英)