

苏州河河口水闸翻板闸门底轴支承材料选择

马盈三¹, 陈文伟², 卢新杰²

(1. 郑州华龙机械工程有限公司, 河南 郑州 450007; 2. 中国水电顾问集团华东勘测设计研究院, 浙江 杭州 310014)

摘要 从苏州河河底泥沙多、水质差的环境特点出发, 为选择苏州河河口水闸翻板闸门底轴支承材料, 进行了几种非金属材料及部分高分子材料的选择比较, 通过对材料的物理性能参数比较, 选择具有良好工程业绩和性价比的国产“华一”MGA 材料制作底轴支承部件。介绍对“华一”材料进行热温抗老化性检测、耐酸碱碱性试验、载荷与摩擦性测试、抗泥沙性能试验的情况, 结果表明该材料性能适应苏州河河口水环境条件。

关键词 闸门底轴; 支承材料; “华一”材料; 水下环境; 苏州河河口水闸

中图分类号 TV663; TU53 **文献标识码** B **文章编号** 1006-764X(2007)S1-0093-04

1 研究背景

苏州河河口水闸翻板闸门底轴作为门叶纵向悬臂梁的固端和闸门启闭驱动轴, 是本水闸最重要的构件, 底轴在孔口净宽 100.0 m 范围内共设 10 个支点, 支承门叶和底轴的自重及设计载荷, 两侧动力传动段各设置 2 个支点, 用以承受端部启闭力产生的径向荷载。苏州河河口水闸位于上海外滩风貌区, 要求闸门投入使用后始终处在水下工作, 因此, 给维修工作带来很大难度, 设计提出水下部件按 30 年免维修的要求。底轴的支承部件是整个翻板闸门系统的关键部件之一, 它直接关系到水闸投入运行后是否能够正常运行, 因为闸门的所有荷载全部是通过这些支承部件传递到基础的, 它们既要适应水闸各个结构的受力变形和温度变形, 还要适应苏州河河底泥沙多、水质差的恶劣环境。为此, 设计将其作为本工程的关键技术问题之一予以重点研究, 对结构材料要求如下: ①具有良好的变位适应性; ②物理、化学及结构稳定性高; ③具有自润滑能力和较低的动、静摩擦系数; ④使用寿命长, 耐磨损性强; ⑤低吸水性, 耐候性; ⑥抗泥沙性强; ⑦良好的可加工性和机械性能。支承部件的变位适应性研究在文献[1]中已有详细的论述, 本文将就支承部件的材料研究进行重点论述。

2 材质比选

根据水闸运行对底轴支承部件的要求, 比较理

想的适用材料应该是非金属材料。目前国内外常用的工程用非金属材料有普通尼龙、油尼龙、胶木、橡胶、工程塑料(聚甲醛 POM、聚四氟乙烯等), 以及用它们做基体添加填充料的增强尼龙和增强聚四氟乙烯等。工程塑料具有较好的机械性能、耐化学稳定性、尺寸稳定性等优点, 比金属材料轻, 成型时能耗小。传统的工程塑料如聚四氟乙烯(PTFE)与聚偏二氟乙烯(PVDF)或聚甲醛(POM)等改性材料, 由单一单体聚合而成, 然后使用物理共混改性方法成型得到产品或产品坯料。此类材料在微观结构上存在着各向异性, 是界面突变性非均质材料产品。

按本工程闸门底轴支承部件的使用环境及使用要求, 对上述非金属工程材料的适用性分析如下: 尼龙材料用来制作轴承时, 在没有润滑油的情况下对轴的磨损是十分严重的, 一般不能用于制作运行环境恶劣的重要轴承; 聚四氟乙烯材料, 由于抗拉、抗压强度很小, 在工程中应用范围十分有限, 因此, 工程中应用该类材料一般都是通过添加石墨、玻璃纤维、青铜粉等以增强其机械性能, 但增强聚四氟乙烯的摩擦系数比纯聚四氟乙烯的摩擦系数有所增加。聚甲醛在工程中的应用比较广泛, 国内外聚甲醛产品的摩擦系数都在 0.3 以上, 含油的聚甲醛产品其摩擦系数也都在 0.2 以上。由于聚甲醛具有一定的自润滑性, 广泛用于制作如齿轮、滑轮、滑动轴承等小型零部件, 以及印刷机、复印机、传真机等送纸机构, 几乎没有用于制作大机件的实例。

综合各种因素后, 上述材料对本工程的条件而

言均不适宜。

通用性的非金属材料由于本身材质结构所决定的承压性能差,抗疲劳、耐磨损能力弱,以及在非油润滑和水润滑条件下摩擦系数大、抗黏着磨损性差等原因,不能在本工程中使用。

国内外现已在研制和使用塑料合金和改性的新型共聚高分子材料,但由于组分和工艺的不同,或采用添加纤维的方法增加强度,其物理、机械性能差别很大。

国外产品不仅价格昂贵,而且承载力和耐磨性也不能很好地适应本工程的要求,特别是这些材料的生成工艺尚难以实现成型大型机件。

现代非金属工程材料利用聚合物的“合金化”技术对某些高分子材料进行共混改性,赋予其新的性能,进而开拓出高性能化的塑料合金新品种。国内生产的塑料合金产品已广泛用于汽车、船舶、工程设备、电子产品、精密仪器等,它们的特点是:添加不同成分、不同数量的微量元素后能够得到不同性能的塑料合金材料,也正因为这个特性,不同的塑料合金产品在一定的使用条件下,效果是不一样的。通过对不同品牌塑料合金产品的比选,本工程最终确定选用具有良好工程业绩和材料性价比的国产“华一”MGA材料制作底轴的支承部件。

“华一”材料是一种各向同性无界面突变的均质聚合物,具有三场稳定性。该材料以不同单体共聚的高分子为基础,采用合成的稀土金属化合物及多种改性添加剂改性,通过特殊的合成工艺制造而成的均质长链聚合物。“华一”材料产品坯料是在材料化学反应聚合过程中一次得到的,在高聚物材料形成的同时成型了制品的坯料,避免了热熔性成型工艺高温冲击对材料结构的破坏,也把注塑成型工艺产品在挤出成型过程中因急冷定型及受热不均匀而形成的材料内应力影响加以消除。同时,“华一”材料使用特制的稀土金属化合物进行综合改性,在高聚物、减摩剂各组分之间形成配位化学键,使材料结构链牢固,保证了材料具有优异的自润滑性及较低的摩擦系数,较好的承压能力,良好的抗冲击性、耐磨损性、稳定性和抗老化性,这些性能比前述其他高分子材料更为优异。

“华一”材料的物理性能参数见表1。

表1 “华一”材料的物理性能参数

产品代号	抗冲击强度/ ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$)	抗压强度/ MPa	邵氏 D 硬度	线胀系数/ $10^{-5}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$	吸水率/ %	摩擦系数	比磨损率/ $10^{-6}(\text{mg}\cdot(\text{N}\cdot\text{m})^{-1})$
MGA	≥ 120	≥ 125	≥ 65	7.8~8.0	≤ 0.8	0.03~0.06	0.5~0.8
MGB	≥ 120	≥ 120	≥ 63	7.8~8.2	≤ 0.8	0.02~0.05	0.5~0.8
MGC	≥ 100	≥ 100	≥ 60	7.0~8.6	≤ 0.8	0.04~0.08	3.5~5.2

3 针对性研究和试验

在初步确定了材料后,为进一步验证该材料是否适合苏州河河口水闸具体的工作环境,会同郑州华龙机械工程有限公司对其进行了针对性的性能试验和检测,并结合具体使用环境对初选材料进行进一步提高性能和制作工艺的研究。

3.1 研究和试验项目

底轴支承部件常年工作在河床的底部,底槛高程-1.50 m,支承轴承座安装在-3.80 m高程,使用中会有很多泥沙、污杂物聚集在底轴和支承部件的周围,难免会有泥沙进入支承部件摩擦面。另外,在河底环境中有多重腐蚀性气体(如 H_2S)和酸碱性腐蚀物,所以支承部件的工作环境非常恶劣,针对性的性能试验和检测包括①抗老化性检测;②耐酸碱性试验;③承载力和摩擦系数的关系试验;④抗泥沙试验。

3.2 研究概况

3.2.1 热氧抗老化性检测

塑料产品在制作、储存或使用的过程中,随着时间的增长和各种内外因素的综合作用,物理力学等性能会逐渐下降,最后丧失使用性能的现象称为老化。引起塑料老化因素很多,但总的不外乎两方面的因素,即塑料本身的化学结构(内在因素)和外界因素。内在因素主要是分子结构上存在的一些弱点或聚合、成型过程中引起的一些弱点等;外界因素有热、光、电、机械、辐射能、氧、酸碱等作用。老化的过程实际上是内因存在缺陷,在外因的作用下又进一步促使内因的缺陷加大。所谓塑料老化时间的长短不同也就是外在因素促使塑料内部分子链断裂、交联侧基变化得快慢不同。塑料内在结构的不同对外界因素的影响敏感程度是不同的,这就是塑料老化得快慢不一样的原因。

环境中的分子氧是影响塑料老化的重要原因之一。塑料对分子氧很敏感,但通常情况下氧是在热、光、机械能、离子辐射等物理因素作用下与塑料反应,所以,在研究塑料结构与氧的反应能力时与其他物理因素的作用一起考虑。塑料热氧老化寿命实验就是在温度、氧的作用环境下的抗老化程度检测。针对产品的使用特性,对材料的组分进行了调整,使材料的抗老化性进一步提高,经热氧老化寿命检测,环境温度下老化寿命见表2。

对照本工程 ,如河底水中的工作温度按年平均 16 ~ 17 ℃(上海地区的年平均气温 15.68℃)计 ,应为 627 年 ;“华一”材料的使用寿命远远大于 30 年。

表 2 “华一”材料环境温度下的热氧老化寿命

使用温度/ ℃	热氧老化 寿命/a	使用温度/ ℃	热氧老化 寿命/a
- 20	2 719	30	324.6
- 10	1 778	40	212.2
0	1 162	50	138.7
10	759.2	60	90.7
20	496.6		

3.2.2 耐酸碱碱性试验

酸碱的作用使非金属材料性能降低也是非常主要的原因 ,由于“华一”材料是化学改性的各向同性的均质体 ,在研究过程中对添加的微量元素进行了调整 ,使材料对电化学反应不敏感 ,在酸碱性质介质中浸泡不析出 ,得到稳定的材料结构和链键能 ,以适应长时间的浸泡。酸碱溶剂溶入溶出浸泡和浸泡后的摩擦性试验结果见表 3、表 4。

从表 3 可以看出 ,试样在酸碱溶液中浸泡后质量没有减少反而增加 ,这种变化主要是材料吸水引起 ,但变化量很小。从表 4 可以看出浸泡后材料的摩擦系数降低 ,表明水进入材料内后使其摩擦性向好的方向转化 ,体现出水润滑的作用 ,所以支承部件

表 3 “华一”材料在不同 pH 值溶液中浸泡 49 h 后的溶入溶出结果

组别	pH = 4			pH = 6			pH = 10		
	质量/g		变化率/%	质量/g		变化率/%	质量/g		变化率/%
	浸泡前	浸泡后		浸泡前	浸泡后		浸泡前	浸泡后	
1	46.005 6	46.025 2	0.043	45.827 7	45.841 8	0.031	46.228 1	46.240 6	0.027
2	45.845 3	45.867 0	0.047	45.899 4	45.909 8	0.023	46.481 5	46.495 9	0.031
3	46.046 9	46.067 5	0.045	46.023 5	46.035 4	0.026	46.553 4	46.565 2	0.025
均值			0.045			0.027			0.028

表 4 “华一”材料在不同 pH 值溶液中浸泡后在不同比压下的动、静摩擦系数

pH 值	20 MPa						60 MPa					
	最大静摩擦系数			最大动摩擦系数			最大静摩擦系数			最大动摩擦系数		
	第 1 组	第 2 组	均值	第 1 组	第 2 组	均值	第 1 组	第 2 组	均值	第 1 组	第 2 组	均值
0	0.061	0.060	0.061	0.049	0.043	0.046	0.039	0.040	0.040	0.027	0.026	0.027
4	0.054	0.052	0.053	0.035	0.038	0.037	0.030	0.034	0.032	0.025	0.027	0.026
6	0.055	0.058	0.057	0.050	0.043	0.047	0.033	0.034	0.034	0.028	0.026	0.027
10	0.054	0.066	0.060	0.039	0.036	0.038	0.031	0.033	0.032	0.024	0.027	0.025

注 :pH 值为零表示未浸泡 ,作为对照情况。

表 5 “华一”材料载荷与摩擦性测试结果

序号	干 态		油 态	
	比压/MPa	摩擦系数	比压/MPa	摩擦系数
1	8.17	0.086 0 ~ 0.072 0	6.49	0.010 0 ~ 0.005 0
2	10.79	0.084 3 ~ 0.068 0	13.41	0.015 0 ~ 0.009 6
3	16.51	0.080 3 ~ 0.062 0	17.97	0.017 0 ~ 0.013 2
4	20.85	0.075 0 ~ 0.058 0	22.14	0.018 0 ~ 0.015 8
5	28.69	0.075 0 ~ 0.057 0	30.37	0.020 0 ~ 0.016 1
6	31.19	0.075 0 ~ 0.056 7	34.72	0.021 0 ~ 0.016 2
7	35.04	0.074 6 ~ 0.056 0	40.67	0.022 3 ~ 0.016 2
8			49.87	0.023 4 ~ 0.016 0

在水中工作 ,水有润滑作用。

3.2.3 载荷与摩擦性测试

根据本工程的工作性质 ,对材料的弹塑性做了调整 ,以适应使用中可能出现的阻卡问题 ,对调整后的产品材料进行了载荷和摩擦性测试 ,结果见表 5。

试验加载从小载荷开始逐级增大 ,但不为整数。干态摩擦系数随载荷的增加而减小 ,在加润滑油的情况下 ,摩擦系数随载荷增大略有增加 ,分析为在大载荷下油润滑效果减弱 ,所以在在大载荷下工作时材料的自润滑性是很重要的。

3.2.4 抗泥沙性能试验

由于时间的原因 ,本工程参照该材料在小浪底工程应用时的抗泥沙性能测试数据 ,见表 6。

表 6 黄河含沙量与“华一”材料摩擦性能模拟实验数据

含沙量/(kg · m ⁻³)	静摩擦系数	动摩擦系数
3	0.051	0.036
5	0.050	0.038
100	0.064	0.049
200	0.067	0.053

根据表 6 数据可知 ,当有少量细沙时 f_s 和 f_d 不但 not 升高 ,而且还有下降的趋势 ,只有当含沙量足够高时才有上升趋势 ,总体影响不大 ,一般不会超过清水值的 50%。

苏州河河口段含沙量检测数据如下:平均涨潮含沙量为 0.205 kg/m^3 ,平均落潮含沙量为 0.17 kg/m^3 ,悬沙粒径 D_{50} 在 $0.006\sim 0.0195\text{ mm}$ 范围,床沙粒径 D_{50} 在 $0.0232\sim 0.032\text{ mm}$ 范围。黄河段含沙量检测检测结果为 D_{50} 在 $0.0220\sim 0.0317\text{ mm}$ 范围。

以上含沙量检测数据表明,苏州河悬沙粒径远小于黄河,床沙粒径与黄河相近,而苏州河的含沙量远小于黄河,因此,可以认为“华一”材料的抗泥沙性能是能够适应苏州河泥沙特征条件的。

4 结 语

苏州河河口水闸的闸门形式为国内首创的单跨100 m底轴驱动式翻板闸门,该工程在设计上采用了

(上接第24页)经计算,钢壳空腔内灌满混凝土后,不计上部围堰重,以沉井自重即可下沉。为限制沉井突沉,在沉井内设置搁置梁,在沉井距准确标高2.0 m时停止沉井下沉施工,施打钢管桩,再放置搁置梁,然后继续下沉钢壳沉井,直至就位。根据监测,实际沉井下沉满足结构和功能要求^[3]。

5 结 语

以浮式钢壳沉井解决不断航、不断流、受力大的基础结构问题不失为一种较好的方案。浮式钢壳沉井设计需要进行钢壳结构设计、受力井设计和围堰设计等几部分,沉井结构尺寸的拟定除考虑结构布置与总体受力稳定情况外,还需要考虑施工期的水文条件、浮运稳定和受力问题,计算分析需考虑钢壳浮运的结构受力与浮运稳定、施工期的受力和永久受力,以及施工期的抗浮稳定等多种工况。计算分

(上接第92页)压强升高,这时为达到系统工作真空度所需的抽气时间,称为系统的工作抽气时间。工作抽气时间影响监测系统的整体工作效率,在本项目中,真空机组采用2台抽速为 4 L/s 直连式旋片真空泵,当监测系统每10天监测1次、真空系统升压速率为 10 Pa/h 时,系统工作抽气时间小于5 min。

6 系统运行

真空激光准直系统的安装与闸门的现场安装同步进行,并在闸门整体调试前投入运行。监测系统实现了设备控制和数据采集的自动化,可自动监测系统真空度,根据要求启动或关闭真空机组,可进行全自动巡测、多点选测、单点连续监测、定时监测,综合监测误差小于 0.2 mm ,单点监测时间小于20 s,全部测点巡测时间小于3 min,真空系统泄露升压速率

很多新技术、新的安装方式及新材料。该项目的顺利建成和投入运行,不仅实现了工程建设的功能要求,同时也为我国此类新型闸门的设计、施工积累了经验,为工作在水下的大型球面轴承支承结构积累了使用方法和经验,由于该球面轴承的直径突破了我国的使用记录,标志着我国在抗泥沙磨损、防腐、免维修材料研制上达到了一个新的高度。

参考文献:

[1] 陈文伟,汪云祥,季永兴,等.苏州河河口水闸工程综述[J].水利水电科技进展,2007,27(S1):1-4.
[2] 区英鸿.塑料手册[M].北京:兵器工业出版社,1991.
(收稿日期 2007-01-15 编辑 高建群)

析时,在未进行空间结构分析的条件下可以根据规范进行简化计算,计算结果基本满足功能要求,但计算需仔细分析不同受力工况和简化模型。

浮式钢壳沉井的施工是工程成功与否的关键环节,钢壳焊接需进行水密性试验才能下水浮运,就位的沙岛厚度需满足上部沉井受力要求,沙岛高程需满足高水位沉井就位的要求,沉井下沉需对称挖土以免偏位,还要考虑防止沉井突沉的限位措施及沉井偏位的纠偏措施。

参考文献:

[1] 季永兴,卢永金,陈文伟,等.苏州河河口水闸工程设计特色[J].上海水务,2006(2):3-5.
[2] 江祖铭,王崇礼.墩台与基础[M].北京:人民交通出版社,2000.
[3] 季永兴,卢永金,张永宝,等.苏州河水闸边墩沉井沉放影响分析与对策[J].城市道桥与防洪,2005(2):87-90.
(收稿日期 2007-01-15 编辑 高建群)

小于 100 Pa/h ,系统工作抽气时间小于5 min。在闸门的调试及试运行中,监测系统对闸门各种开度下闸门轴的变形进行了监测,及时、准确地掌握了闸门轴的运行状态及变形规律。

7 结 语

苏州河河口水闸是目前国内最大的底轴驱动翻板闸门,为保证其安全运行、掌握闸门运行状态,建立了闸门轴变形监测系统,并将真空激光准直技术首次应用于金属结构的变形监测。系统实现了完全的自动化控制监测,各项功能及技术指标达到设计要求。系统对各种工况下闸门轴的变形进行了监测,取得了大量监测数据,为水闸的安全运行管理、验证结构设计提供了宝贵的基础资料。

(收稿日期 2007-01-15 编辑 熊水斌)