

地下(污)水厂突发事件的保护性速闭闸门研究

方跃飞¹, 夏玉雪², 孟元龙¹, 陈俊¹, 李雪涛¹

[1.上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092; 2.四川省遂宁市财政局,四川 遂宁 629000]

摘 要:介绍了地下(污)水厂在发生故障或紧急情况下保护性速闭闸门的工作原理和主要结构组成。该速闭式闸门的关闭时间可调,最长不超过 60 s,最短时间约相当于闸门的自由落体时间。

关键词:暗杆式速闭闸门;单向离合器;离心限速器;暗杆式缓冲装置

中图分类号: TV664

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)10-0128-03

0 引言

目前,在国内大部分污水厂、自来水厂和汇合泵站的进出口处、工农业水渠的进出口处,所设置的闸门多不具备紧急情况下的自动速闭功能,需依靠人工干预后作出响应。特别是地下(污)水厂,如遭遇突发停电、暴雨灾情而闸门无法速闭时,将导致整个(污)水厂淹没、停运,从而造成重大财产损失。目前国内市场上已有应用于地下(污)水厂的明杆式速闭闸门,但暗杆式速闭闸门的应用却少之又少。本研究主旨是开发针对地下(污)水厂突发事件的保护性速闭闸门新产品,使其成为保护(污)水处理厂安全正常运行的第一道屏障,作为地下(污)水厂的安全锁,保护地下(污)水厂财产和人员安全。

1 暗杆式速闭闸门的工作原理和主要结构

暗杆式速闭闸门一般用于污水厂、自来水厂和汇合泵站的进出口处、工农业水渠的进出口处,更适合于地下(污)水厂。速闭启闭机一般与暗杆式速闭闸门配套使用,主要用于事故性(意外停电等)紧急关闭闸门,正常情况下也可当闸门使用^[1]。

驱动装置形成额定转矩,用来驱动主传动轴及小齿轮旋转。暗杆式速闭闸门主要实现传动装置与主传动轴的结合与分离,工作时分正常模式和速闭模式。

正常模式:电动开启与关闭闸门啮合,此时启闭机与暗杆式速闭闸门形成一个整体,与普通闸门的开启和闭合完全相同,手动和电动都能操作。闸门开

启时由于单向离合器啮合驱动闸门上升,上升到一定位置触碰到行程开关,上升停止;下降时由于始终有正常通电,单向离合器处于正常啮合状态,当闸门下降至最低时,电动执行机构触碰行程开关,下降停止。

速闭模式:遭遇突发情况(意外停电等)时,闸门会进入速闭模式。下降关闭时由于突发事件使单向离合器失电后脱离啮合,闸门门体依靠自重迅速关闭,当门体接近最底端约 300~500 mm 时进行缓冲,降低速度以防止门体被击碎,同时防止丝杆被击弯。此模式通过控制系统中的转换开关或其他信号来实现,此时电动装置与传动主轴完全分开,上升和下降力矩控制不再有效,但开度指示行程仍然保持联接状态。

速闭的控制存在手刹和电刹 2 种型式。手刹型式下,手动操作上升后,速闭机处于非速闭模式,需要人员手动沿下降方向摇动约 10~13 圈后,进入速闭模式,此后松开手刹会立即形成速闭。电刹型式下,在单向离合器通电后,即会对主轴形成制动,一旦失电,它就会使上下传动轴迅速脱开,形成速闭。通电电源为 24 V 安全电压,电动装置提升闸门到位时可将电磁制动器同时通电。

暗杆式速闭闸门总体结构和启闭机总体结构图见图 1、图 2。

暗杆式速闭闸门启闭机的总体结构及其工作原理如下:

(1)驱动装置。采用相关厂的电动执行机构,其功能包括:力矩保护、行程控制、开度指示、机上开停按钮及手动和电动切换等。传动副主要是蜗轮蜗杆,其工作特性为短时间工作(一般小于 10 min)。该装置分户内型和户外型,户外型一般用于无易燃易爆和强腐蚀性介质的场所。

收稿日期:2021-02-01

作者简介:方跃飞(1974—),男,硕士,高级工程师,从事环保机械设计、环境工程工作。

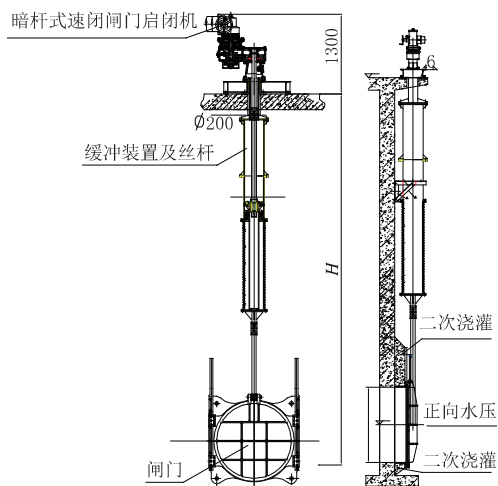


图 1 暗杆式速闭闸门总体结构

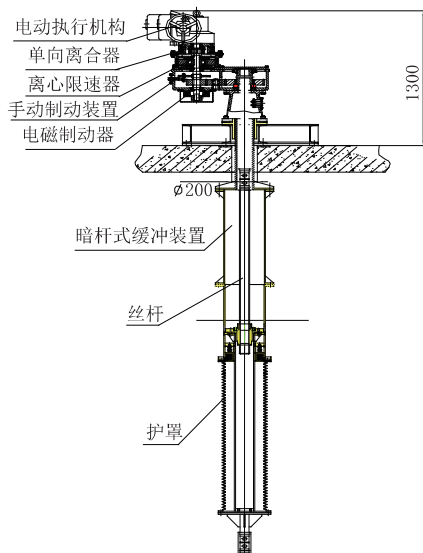


图 2 暗杆式速闭闸门启闭机总体结构图

(2)单向离合器。为了确保闸门快速关闭,闸门在关闭时需与驱动装置快速脱开,提升时使驱动装置与闸门紧固连接,为此选用的单向离合器工作原理见图 3^[2]。

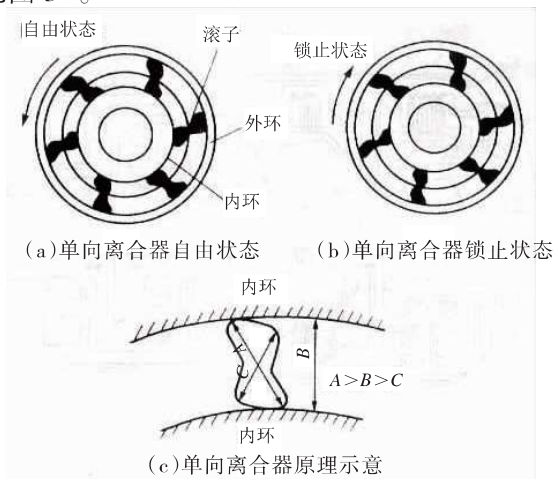


图 3 单向离合器原理图

(3)离心限速器。闸门利用传动副,依靠闸门门体自重快速关闭。由于关闭速度很大,为此设计研发

了利用偏心楔块式棘轮机构的离心限速器(见图 4)^[2]。偏心楔块式棘轮机构的基本原理为:利用楔块与摩擦轮间的摩擦力与楔块偏心的几何条件来实现摩擦轮的单向间歇转动;偏心扇形楔块在离心力作用下,可限制闸门的关闭速度处于一定范围,以保护闸门不因撞击力过大而损坏。

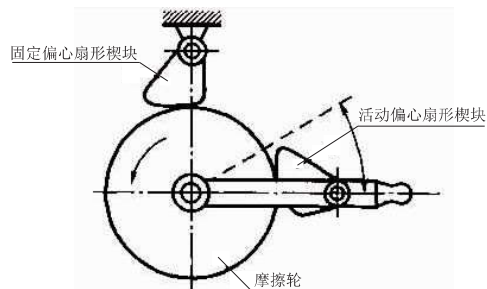


图 4 偏心楔块式棘轮机构原理图

(4)手动制动装置^[2]。主要用于设备维修、更换电磁制动器、清理闸门渠底的污泥等一些特殊工况。作为最后一道防护,该手动装置在检修时可防止闸门自动关闭,采用轮齿式外啮合单向形式。这是为人工锁挂闸门专门设置的机构,能起到双保险作用,一般情况下不需要动作。当人工拉上手刹,机构中所装的接近开关会自动切断电动装置电源,所有电动不能工作,但不影响闸门手动提升,此时不允许有任何下降操作,否则会损坏机件。在速闭启闭机已形成速闭趋势的情况下,脱开手刹,闸门会自行速闭。手动制动装置示意图见图 5。

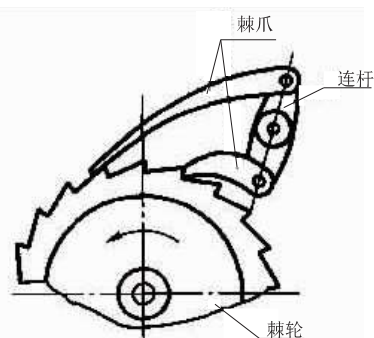


图 5 手动制动装置示意图

(5)电磁制动器。暗杆式速闭闸门在正常情况下与普通闸门功能一致,只在突发情况和停电情况下可迅速关闭闸门,因此在其正常工作时应实现自动化控制。闸门在任何位置上应可自动停止开启或关闭,为此设计采用的电磁制动器见图 6。该电磁制动器装于主传动轴下端、箱体之外(下部),主要是考虑方便检修与更换(或调整间隙约 0.5 mm)。当磁轭中线圈通电时会产生电磁吸力,使旋转的摩擦盘与固定的磁轭吸合发生摩擦,产生摩擦力矩达到制动效果,对主轴形成制动,一旦失电则会迅速脱开,形成

速闭。一般通电电源为 24 V 安全电压。它的通电与电动装置提升到位同时进行。

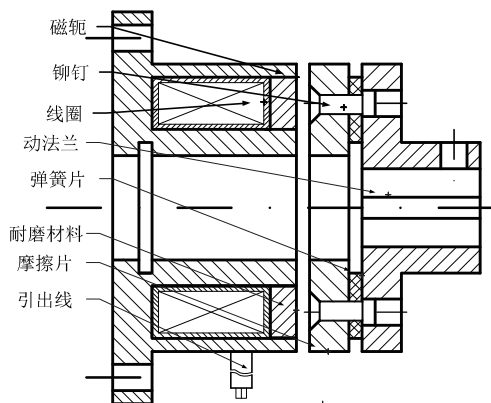


图6 电磁制动器原理图

(6)暗杆式缓冲装置。由于闸门靠自重下降有一定速度,若不设缓冲装置,则闸门可能会因撞击而损坏,为此设计研发了暗杆式缓冲装置(见图7)。该装置采用了空气缓冲,其基本原理是:在闸门即将接近建筑物底板底部(约 200 mm)时,缓冲器下部与缓冲座接触,缓冲器腔内的空气形成压力来抵消外部冲力,腔内空气限流溢出,形成阻压,时间约 1~2 s;当负载的速度比较高时,缓冲腔内的压力上升,形成气垫,以吸收负载的动能,达到吸能缓冲的目的;当负载的速度比较低时,缓冲腔内的高压气体能迅速排空以避免末端反弹,使负载平稳停止。

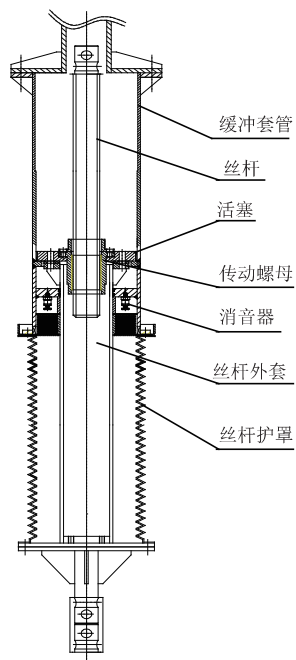


图7 暗杆式缓冲装置

2 暗杆式速闭闸门设计举例

所研发的 2 种方案为:方案一,采用滚珠丝杆型启闭闸门;方案二,采用大导程滑动螺杆型启闭闸门。

国外此类闸门大多采用滚珠丝杆型,虽然其价格较高,但可靠度明显提升。因此,本项目采用方案一,即滚珠丝杆型启闭闸门。

2.1 滚珠丝杆型启闭闸门的计算依据

最大启门力 10 t,工作行程 h 按 2.4 m,关闭前水头按小于等于 3 m 水头,闸门自重及丝杆质量 $m=2\,500\text{ kg}$ 等。一般紧急情况下需要闸门在 1 min 内自动关闭,所以本项目按 1 min 内能将闸门关闭即满足要求。

滚珠丝杆采用南京丝杆工艺厂的滚珠丝杆。经过查表得滚珠丝杆副规格为 FFZD6320-4,丝杆外径 $d_1=60\text{ mm}$,丝杆底径 $d_2=52.8\text{ mm}$,丝杆导程 $P_h=20\text{ mm}$,丝杆效率 $\eta=0.85$,电动头输出转速为 18 r/min,摩擦系数取 $f=(1/5 \sim 1/10)f_{\text{滑}}$ ($f_{\text{滑}}$ 为滑动螺纹摩擦系数, 0.15)^[3]。

2.2 滚珠丝杆型启闭闸门的计算过程

(1)闸门关闭时扭矩 M 的计算公式^[4]为:

$$M = m \times r_0 \times \tan(\lambda - \phi_{\text{滚}})$$

式中: m 为闸门和丝杆质量,取 2 500 kg; r_0 为丝杆半径, $r_0 = \frac{d'}{2} = \frac{60+52.8}{4} = 28.2\text{ mm}$ (d' 为中径, mm); λ

为螺旋升角, $\lambda = \tan^{-1} \frac{P_h}{\pi d'} = \tan^{-1} \frac{20}{\pi \times 56.4} = 6.44^\circ$; $\phi_{\text{滚}}$

滚珠丝杆摩擦角, $\phi_{\text{滚}} = \tan^{-1} f = \tan^{-1} \frac{1}{8} \times 0.15 = 1.07^\circ$ 。

(2)闸门开启所需时间 t_1 为:

$$t_1 = \frac{h}{v} = \frac{2\,400}{\frac{1}{2} \times (0 + 18 \times 20)} = \frac{2\,400}{180} = 13.33\text{ min}。$$

(3)闸门关闭时所需时间 t_2 及垂直速度 v ^[4]为:

$$t_2 = \sqrt{\frac{2S}{a}} = \sqrt{\frac{2 \times 21.897}{0.92}} = 6.9\text{ s}。$$

式中: a 为加速度, $a = g \cdot \tan(\lambda - \phi_{\text{滚}}) = 9.8 \times \tan(6.44^\circ - 1.07^\circ) = 0.92\text{ N/m}$,其中 g 为重力加速度。

$$v = v_0 \times \sin \lambda = 6.9 \times 0.92 \times \sin 6.44^\circ = 0.70\text{ m/s}。$$

式中: v_0 为初速度, $v_0 = at_2$ 。

闸门开启时间计算图见图 8,闸门关闭速度计算图见图 9。

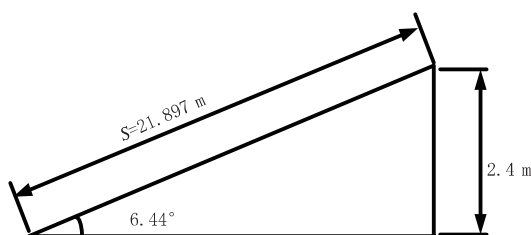


图8 闸门开启时间计算图

表 3 实际进出水水质

月份	平均进水 / (mg·L ⁻¹)						平均出水 / (mg·L ⁻¹)					
	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP	COD _{Cr}	BOD ₅	SS	NH ₃ -N	TN	TP
1	183	105	205	24.5	34.1	3.2	20.5	6.4	9.5	4.7	10.0	0.46
2	189	109	183	24.6	34.8	2.8	26.3	7.1	9.3	4.4	10.1	0.42
3	190	103	218	25.5	35.3	2.9	29.6	8.4	9.7	4.5	12.9	0.40
4	195	105	215	24.4	32.4	2.8	35.7	9.3	9.6	4.2	12.6	0.41
5	198	110	221	24.8	35.3	3.1	40.6	9.5	9.8	4.9	11.2	0.45
6	197	98	200	25.0	33.1	2.7	40.5	8.2	9.4	4.7	11.5	0.38
7	203	108	199	24.7	34.7	3.3	41.8	9.6	9.3	4.5	11.8	0.31
8	204	106	217	24.9	34.1	2.8	42.3	8.8	9.6	4.7	10.9	0.36
9	194	82	187	22.5	33.5	2.4	36.2	8.5	8.8	4.1	11.9	0.38
10	196	101	192	23.7	34.5	3.4	39.4	9.1	9.4	4.3	11.4	0.44
11	206	108	198	24.3	36.6	3.6	46.9	9.2	9.6	4.6	12.3	0.47
12	203	102	189	23.5	33.8	3.0	45.3	9.3	9.1	4.2	13.4	0.41
平均	197	103	202	24.4	34.4	3.0	37.1	8.6	9.4	4.5	11.7	0.41

根据监测结果,各项出水指标均达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 标准,运行情况良好,出水水质稳定。

6 结 语

(1)由于本工程为现状污水厂的提标改造,改造期间不能停水,在现状二沉池后端增设深度处理设施,基本不影响污水厂正常运行。

(2)将中间提升泵房、混合池、深床滤池、反洗废水池合建,接触消毒池和反洗清水池合建,具有占地面积小、工程造价低、运行维护管理方便等优点。

(3)本工程采用深床滤池,可以满足去除 TN、TP 和 SS 三功能合一的要求。并且可结合实际运行情况进行调整,若出水 TN 浓度较低,则减少或不投加碳源,将深床滤池的运行模式调整为纯过滤模式,用以去除 TP 和 SS,降低运行成本和能耗。

进行调整,若出水 TN 浓度较低,则减少或不投加碳源,将深床滤池的运行模式调整为纯过滤模式,用以去除 TP 和 SS,降低运行成本和能耗。

(4)该工程的建设,不仅是改善当地水环境的重要措施和环节,也是区域性水污染防治的重要组成部分,与此同时,它还将产生巨大的社会效益、环境效益和经济效益。

参考文献:

[1] 栗文明,高敏,周军,等.反硝化滤池污水处理工艺应用调研及设计要点[J].中国给水排水,2020,36(22):100-105.
[2] 孙银琪,张萍.靖江市城市污水处理厂升级改造工程的设计和运行[J].中国给水排水,2014,30(22):104-106.
[3] 刘金星,冯成军,蒋岚岚.济源市城市污水处理厂一期工程提标改造工程工艺设计[J].中国给水排水,2015,31(20):46-49.

(上接第 130 页)

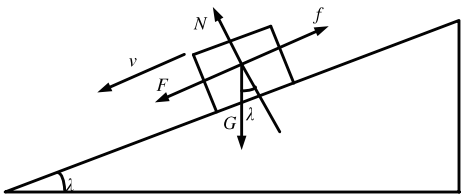


图 9 闸门关闭速度计算图

由此可见,闸门关闭时间远远小于 1 min,完全满足突发情况下迅速关闭闸门的要求。

3 结 语

本项目组所研发的针对地下(污)水厂突发事件的保护性速闭闸门目前已运用于长三角某污水处理厂。经过现场调试发现并解决了一些实际应用产生的问题。比如:由于建筑物施工工艺所限,洞口中心至平台标高存有误差,需要调整启闭设备的有效行程长度,因而采取了在缓冲装置外面设置螺纹来上下调节装置的措施,完美解决了标高误差问题;另外,为确保闸门启闭平顺,在丝杆内设置注油管与平台上的注油装置连接,注油装置可将润滑脂便捷注入丝杆内的注油管,对丝杆起到了持续的润滑保护作用。本项目组研发的保护性速闭闸门现状使用状况较佳,业主反映良好。

参考文献:

[1] 张大群.污水处理机械设备设计与应用[M].北京:化学工业出版社,2003.
[2] 孙恒,陈作模.机械原理[M].北京:高等教育出版社,2001.
[3] 张耀宸.机械加工工艺设计手册[M].北京:航天工业出版社,1987.
[4] 李金根,钟木华,魏华晟,等.给水排水设计手册(第九册)[M].上海:上海市政设计院,1999.