

海河流域平原区水闸闸门防冰冻研究与实践

杜雷功, 刘万新

(中水北方勘测设计研究有限责任公司, 天津 300222)

摘要:北方冬季河道会结冰,河道上的水闸闸门在冰压力作用下会发生变形。在冰层附近,闸门会加速锈蚀,如养护不及时,其面板甚至被锈穿。这些现象的发生,严重影响了水闸功能的发挥,威胁水闸的安全。作者在海河流域水闸设计中,为了防止静冰压力对水闸闸门的破坏,先后采用了压力水射流法、压缩空气吹泡法、保温板法等多种方法进行比较研究及实践。通过几个冬季的运行观察,压力水射流法效果最佳,建议在其它水闸工程中推广使用。

关键词:闸门;冰冻;压力水射流法;压缩空气吹泡法;保温板

中图分类号:TV698.26

文献标志码:A

文章编号:1001-5485(2013)09-0033-04

1 研究背景

根据气象资料,海河流域在每年的11月份中旬进入冬季,河流开始结冰,冰期在50~100 d,平均最大冰层厚度61 cm。处于河道中的水闸闸门,由于受到巨大冰压力的作用,常常发生闸门倾斜、面板变形等现象,变形严重的会致使闸门不能开启。有的闸门经过多年的冰冻作用,如果养护不及时,闸门面板严重老化,甚至被锈穿,使水闸失去挡水功能。同时闸门和门槽会冻结在一起,如若不经化冰强行提闸,则致使启闭机超负荷运行,甚至会发生钢丝绳断裂、机架桥混凝土裂缝、启闭机损坏等事故。水闸受冰冻破坏,大大缩短了其使用寿命,严重威胁水闸安全。

冰压力主要有静冰压力、动冰压力、升降力及堆冰压力4种,海河平原水闸闸门主要是受静冰压力的影响。为了使水闸闸门免遭静冰压力的破坏,结合海河流域的冰冻特点,在水闸闸门防冰冻设计中,要找到一种经济、实用的方法,以延长水闸的使用寿命,使水闸的功能得到充分发挥。

2 海河流域河流冰冻特点

海河流域年平均气温由南往北、由平原向山地降低,温度变化在0~14.5℃。极端最高气温一般出现在6、7月份,极端最低气温一般出现在1、2月份。海河流域越往北,河流开始结冰的日期越早,消冰解冻的日期越迟。海河平原位于山海关、蓟县、房山、满

城、邯郸、焦作以南,以东到渤海,海拔在100 m以下,包含北京、天津、河北省及山东省等地的低海拔地区。

根据中国气象局中国气象科学数据共享服务网资料数据^[1],分析海河流域代表性气象站1971—2000年气候特征值可见:海河流域平原区北京、天津及河北等地区在每年的12月及次年的1月、2月份的月平均气温在0~-10℃之间,属于寒冷地区。北京气象站全年月平均气温为12.3℃,月极端最高气温为41.9℃,月极端最低气温为-18.3℃,1月份月平均气温为-3.7℃;天津气象站全年月平均气温为12.6℃,月极端最高气温为40.5℃,月极端最低气温为-17.8℃,1月份月平均气温为-3.5℃;河北省乐亭气象站全年月平均气温为10.6℃,月极端最高气温为37.9℃,月极端最低气温为-23.7℃,1月份月平均气温为-5.8℃。

据统计^[2],我国华北平原日平均气温低于0℃的为39~89 d,最低气温低于0℃的累积为67~122 d,统计数据见表1。

表1 华北平原代表站日低温统计表

Table 1 Statistics of daily low temperature at representative stations in north China plain

站名	高程/ m	纬度 (北纬)	经度 (东经)	日平均气温 ≤0℃ 持续天 数/d	日最低气温 ≤0℃的 累积天 数/d	累积日平 均负气温 的年均 值/℃
保定	17.2	38°51′	115°31′	88	119	-232
惠民	11.3	37°30′	117°32′	89	122	-218
菏泽	49.7	35°15′	115°26′	68	97	-66
蚌埠	21.0	32°57′	117°22′	39	67	-29

从表1可以看出,华北平原区域内随着纬度的

收稿日期:2012-07-27;修回日期:2012-09-01

作者简介:杜雷功(1960-),男,山东青岛人,教授级高级工程师,主要从事水利水电工程的设计、科研及管理工作,(电话)022-28702828(电子邮箱)lgd430@163.com。

通讯作者:刘万新(1974-),男,天津市人,高级工程师,主要从事水利水电工程的设计、科研工作,(电话)13920079160(电子邮箱)tidilwx@163.com。

增大,日平均气温 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续天数、日最低气温 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的累积天数都具有明显的增大趋势。

通过对海河流域河流主要测站冰期观测^[3],其特征值见表2。

表2 海河流域主要河流冰情特征表
Table 2 Ice characteristics of main rivers in Haihe river basin

河流	站名	冰清日期(月-日)			冰清天数/d		平均最大冰厚/cm
		初冰	封冰	解冰	秋季流冰	封冻	
大滦河	外沟门子	11-22	11-29	04-04	8	126	-
滦河	潘家口	11-17	12-13	02-27	26	76	46
潮白河	苏庄	11-28	12-02	02-23	23	61	56
白河	密云	12-26	01-03	03-19	9	75	50
温榆河	通河	12-03	12-11	02-17	-	62	30
永定河	官厅	11-23	12-01	03-21	-	110	61
永定河	卢沟桥	11-03	12-11	0-27	11	78	51
新开河	耳闸	12-07	12-12	03-06	-	83	48
桑干河	石匣里	11-01	12-29	03-13	-	82	-
拒马河	紫荆关	11-19	01-02	03-04	-	41	-
滹沱河	黄壁庄	12-22	12-29	02-24	-	57	-
南运河	临清	12-02	01-29	02-13	-	51	30
卫运河	德州	12-01	12-03	02-01	20	42	20

观测资料显示,海河流域主要河流最早的初冰期为11月初,最晚解冰期为4月初,平均最大冰厚为61 cm。

3 冻冰对水闸闸门的破坏形式

根据有关研究文献,河流结冰后,冻冰对水闸闸门的破坏形式一般有静冰压力破坏、动冰压力破坏、升降力破坏及堆冰压力破坏4种。

3.1 静冰压力破坏

闸门受静冰压力作用而产生破坏。静冰压力是指水在结冰过程中体积会膨胀,当受到闸门、岸边或建筑物的约束而产生的力,也称之为膨胀压力。

关于静冰压力的研究,国外从20世纪20年代已经开始,提出了不少静冰压力的计算方法。冰层膨胀压力的大小主要与冰层状态、周边约束条件、冰层长度及冰层厚度等因素有关。

一些国家根据试验采用静冰压力值,例如加拿大对于大坝和其它刚性建筑物,采用冰压力值为149~223 kN/m;20世纪初至50年代,在美国、加拿大、瑞典和挪威4个国家实测17个工程的冰压力大小,在冰表面附近冰压力有150~750 kN/m,沿着冰层向下,压力有所减小;东北勘测设计院科研所根据对东北4省区5座水库的观测,也提出了以气温、冰厚等为参数的静冰压力计算公式。

不同国家对静冰压力做了规定或提出了计算公式,可以看出对于闸门这样的薄壁结构,如果考虑冰

压力,其荷载相当大。又由于静冰压力荷载几乎是以线荷载作用在闸门顶部,其作用点一般取冰面以下1/3冰厚处,如将此荷载作为设计荷载,则闸门的用钢量将成倍增加。因此,在钢闸门设计规范中,应采取措施使“闸门不得承受静冰压力”^[4]。

3.2 动冰压力破坏

闸门受到动冰压力而破坏。动冰压力是指河道中漂浮的冰层或冰块,在风力或水流推力作用下对闸门的撞击力。撞击力的大小决定于冰层或冰块在撞击瞬间的有效动能。此外,冰的强度(R_c)也是影响撞击破坏的重要因素。冰的强度随着气温的降低而增加,当气温在0~-30 $^{\circ}\text{C}$ 变化时,冰的强度一般在0.45~3.50 MPa。流冰期冰的强度一般为0.3 MPa。

3.3 升降力破坏

闸门受到冰层升降产生的升降力而破坏。升降力是指冰层与闸门前缘冻结在一起,当水位升高或下降时,冰层对闸门的上抬或下拽力。这种力主要取决于冰层的弯曲或剪力强度,与水位的变化速度也有关。冰的抗弯强度一般取其抗压强度(R_c)的0.75倍。

3.4 堆冰压力破坏

堆冰压力是指上游来冰(或冰花)在风力作用下,松散的碎冰块堆积在闸门前缘而产生的堆冰压力。这种压力主要取决于堆冰厚度,其作用力特点类似于土压力。

4 水闸闸门冰冻破坏实例

海河流域在上个世纪修建的水闸基本没有采取防冰冻的措施,闸门及门槽在冰压力作用下破损情况相当普遍,造成闸门及埋件锈蚀严重。钢闸门在河道冰压力的长期作用下,闸门变形日趋严重,尤其是闸门面板与冰层接触部位老化更加严重,有的闸门面板甚至被锈穿,造成闸门漏水。有的钢闸门止水冻坏,造成止水不严,使水闸失去了挡水功能。

1963年冬季,海河防潮闸闸门因破冰不及时,致使闸门与门槽冻结在一起。当时未经化冰强行提闸,致使起吊钢丝绳被拉断,闸轮拉碎,闸门与门槽均损坏。

1959年1月永定河官厅水库下游出现冰坝溃决,当时北京三家店拦河闸闸门被冰冻死,无法开闸泄冰,当大量冰块涌入时,致使大量冰块堆积在闸前,甚至翻过闸门。在巨大的冰压力作用下,闸门产生了明显的变形,影响闸门启闭的灵活性。

回龙山水库溢流坝设有13扇12 m \times 8.4 m弧

形闸门,由于该闸门未采取防冰冻措施,检查发现2号闸门向上抬高近3 cm,造成库水下泄。门的左上角向下游倾斜达7.7 cm,造成水封与轨道脱离,闸门梁、板等严重变形,闸门开启及检修困难。

因此,要重视水闸闸门的冰冻问题。虽然海河流域平原区水闸在冬季启闭的机率不多,但对于冬季有启闭要求的闸门,如果不采取措施防止冻结,将会造成闸门不能正常开启,甚至发生启闭机设备破坏事故,故必须更加重视这些闸门的防冰冻问题。

5 水闸闸门防冰措施

为了防止水闸钢闸门冻结和在闸门前形成冰盖,影响闸门启闭或产生较大冰压力,致使闸门启闭机超负荷运行,就必须采取有效的预防措施。防冰及防冰冻的方法要根据闸门布置形式、运行工况,以及水温、气温和冰情确定。

首先,闸门在制造时,应选择具有强度高、可焊性好、冲击韧性高和脆性转变温度低等性能的钢材。在最低气温条件下,闸门止水材料应保证其物理力学性能。闸门主轮和弧门支铰的润滑剂选用低温润滑脂或低温自润滑轴承。液压启闭机其液压油的凝固点应低于当地日最低气温10℃。金属结构防腐材料选用低温漆或金属热喷涂保护,封闭漆应具有良好的耐低温性能。

其次,应选择适宜的方法防止闸门前水体冻结,在闸门前冰盖上应保持有一条不结冰的水域或条带水缝。形成不结冰水域的方法有冰盖开槽法、压力水射流法、压缩空气吹泡法及保温板法等。

5.1 冰盖开槽法

为了防止闸门前水结冰,在闸门前形成一道不结冰的沟,沟的宽度一般为0.5~1.5 m即可。过去对于防冻线不长及冰层厚度不大的闸门前,多采取人工破冰,或加一道多孔隙性的垫料,以缓冲其冰压力,有的采取定期浇蒸汽、热水的方法。机械开槽可以提高开槽的速度,但仍需人工将碎冰捞出,还需定期循环作业,以保持水槽内结冰厚度不大于1 cm。开槽法必须在闸门前冰盖厚度达到可以承受双人冰上作业时才能实施,这种人工方法既不安全,防冰效果又不好,已经逐步被其它方法取代。

5.2 压力水射流法

射流法的原理是将水下温度相对较高的水通过潜水泵和管路释放在闸门前,加上放出的水流搅动水体,会在闸门前形成一条不结冰的区域。

射流法防冰冻所提供的水温应大于0.4℃,潜

水泵的流量可根据《水工建筑物抗冰冻设计规范》(SL211—2006)中附录F提供的公式选择,其扬程应大于2倍潜水泵放置水深。水中射水管的直径应与潜水泵出口尺寸配套,射水孔直径一般在3~12 mm,孔距0.50~1.0 m,其面积和等于或略小于射水管的面积,射水管一般安装在水下200~500 mm范围内。此种方法称为水下射流法。还有将射水管安装于水面以上的称为水上射流,又称喷淋式。

独流减河进洪闸就是应用水下射流法预防闸门前水结冰的,其系统结构布置型式见图1。进洪闸由南、北2闸组成,北闸13孔,闸室总宽度137.9 m;南闸27孔,闸室总宽度287.7 m,每座水闸各设2套防冰装置。潜水泵购置4台,2台备用,型号为80QW30-15-3,扬程为15 m,流量为30 m³/h,电机功率为3 kW。射水管为DN65镀锌钢管,射水孔直径5 mm,间距为500 mm。安装时先将射水管放置在闸底上,此时固定卷扬机为下极限位置。固定卷扬机安装在左右岸控制楼内,做调节射水管入水深度之用。卷扬机为JJMW1型10 kN慢动卷扬机,扬程10 m,平均绳速低于4.5 m/min。钢丝绳镀锌,通过省力滑轮组与主钢丝绳相连。

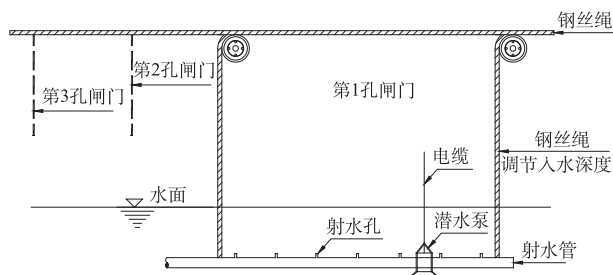


图1 独流减河进洪闸防冰冻装置

Fig.1 Anti-freezing device for the incoming flood sluice of the Duliujian river

横钢管布置距离闸门大于3.0 m,入水深度经现场试验最终确定为30 cm左右,以达到水泡直径最大、化冰效果最好的目标。入水钢管左右各有一根钢丝绳与闸墩顶部的滑轮相连,滑轮的转动可以调节横管的入水深度,滑轮由固定卷扬机带动。等到不需要射流防冰的季节到来时,将横管提出水面,以不影响水闸的过流。潜水泵的动力电缆引自控制楼,接入自动控制系统,可实现水泵的远程开启。水泵开启方式为分组、自动、间断射流,这些均可通过远程控制实现,而无需人现场操作,实现了自动化。

此套射流防冰系统在2008年独流减河进洪闸除险加固工程实施后投入使用,其具有施工简单、耗电量较小;后期维修养护工作量小,节省人工及养护费用;射流使用的水源直接取自河道,无需单独铺设

供水管路等优点,运行效果良好。

5.3 压缩空气吹泡法

压缩空气吹泡法的原理是通过深入水中的管路释放压缩空气,利用气泡驱动温度较高的水流射向水面或冰盖,形成强烈的紊动水流,使水面冰层融化或抑制结冰。

压缩空气吹泡法防冰系统包括空气压缩机、供气管、扩散管等设备,要合理选择以上设备的型号及材料,以使整个系统达到最佳的运行效果。

压缩空气吹泡法防冰系统消耗气流量一般取 $0.03 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{min})$,压力取 0.6 MPa 。喷嘴淹没在水下 $2 \sim 5 \text{ m}$,孔径 3 mm 。

压缩空气吹泡法防冰系统一般将 2 台压缩机并联,互为备用。吹气嘴距离闸门的距离应大于 3.0 m ,否则会使闸门附近水体含氧量增加,造成闸门的腐蚀速度加快。

西河闸枢纽的节制闸共 6 孔,闸室总宽度 72.5 m ,该闸就是应用此法预防闸门前水结冰的。其管路的布置如图 2 所示,空压机布置在右岸控制楼内,型号为 SA-22A,共设 2 台。此外还设置一台 SPE130 型移动式空压机,为系统备用。供气总管布置在上下游检修门槽部位,共 2 条。

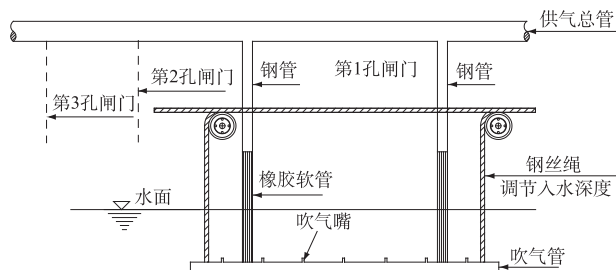


图2 西河闸节制闸防冰冻装置

Fig.2 Anti-freezing device for the regulating sluice of the Xihe sluice

系统安装后要保证胶管处于松弛状态,吹气管等的重量由钢丝绳承担。水位变化时,可通过拉伸钢丝绳控制吹气嘴的入水深度,保证水花最大。吹气管留有备用吹气嘴,吹气嘴口用自行车内胎加工成的密封圈密封。每年系统投入运行前应对各管路进行检修及打压试验,在结冰期结束后,将胶管及其以下部分拆下保存。

此套射流系统在 2004 年西河闸枢纽的节制闸除险加固工程实施后投入使用,其具有施工简单、防冰效果良好的优点,但该系统与压力水射流系统相比,其耗电量较大,后期维修保养费用也较高。

5.4 保温板法

此法是将聚苯乙烯泡沫铺在闸门前面,板间应

紧密连接,不留有缝隙。每块板的宽度及厚度,根据结冰最大厚度及施工要求经过计算确定,其导热系数一般小于 $0.03 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 。一般选用的硬质聚苯乙烯泡沫板的宽度为 $150 \sim 300 \text{ cm}$,厚度 $10 \sim 15 \text{ cm}$ 。

聚苯乙烯泡沫板保温法在黑龙江省黑河市卧牛河水库的进水塔防冰上成功应用。当进水塔的周围水体结冰厚度达到 $10 \sim 15 \text{ cm}$ 时,紧贴塔的四周冰面上铺设宽度 300 cm 、厚度 15 cm 的硬质泡沫板,板间连接紧密,不留缝隙,周围用模板固定防止位移。经过 3 个冰期的观察,当地最低气温在 $-32.4 \sim -38.9 ^\circ\text{C}$,最大冰厚 $89 \sim 120 \text{ cm}$ 时,实测板下最小结冰厚度 $0 \sim 5 \text{ cm}$,中间部位板下水体基本不冻结,保温效果良好。

天津市潮白新河宁车沽防潮闸共 23 孔,闸室总宽度 199.1 m ,该闸也采用此法预防闸门前水体结冰。在冬季观察,在闸门前形成一道不冰冻的区域,闸门可自由启闭。

此法的缺点是,在冬季到来前需人工安装保温板,冬季过后还需人工拆除。安装时,施工工作人员需驾船到闸门前面或是当闸门前冰盖厚度达到可以承受双人冰上作业时才能实施,安装质量受人为因素影响较大,且不安全,不能实现自动化操作。

6 结 语

本文通过对海河流域几座水闸闸门采取的防冰措施比较,为预防闸门遭受静冰压力破坏及闸门与门槽冻结在一起,需在闸门前形成一道不结冰区域。在此方面,压力水射流法优势明显,建议在流域内其它水闸工程中推广使用。其主要优点如下:

(1) 射流系统设备运行稳定,施工简单,后期维修保养工作量小,耗电量较小。

(2) 射流所用水源可直接取自河道,不用单独铺设供水管路;闸门及埋件无需额外考虑防腐措施。

(3) 射流系统中潜水泵的开启可在远程控制,其操作可在集中控制室完成,节省人工费用。

参考文献:

- [1] 中国气象局. 中国地面气候标准值月值数据集 (1971 - 2000 年) [DB/OL]. (2005 - 04 - 25) [2012 - 07 - 27]. <http://www.cma.gov.cn/>. (China Meteorological Administration. Data of Monthly Standard Value of Ground Climate in China from 1971 to 2000 [DB/OL]. (2005 - 04 - 25) [2012 - 07 - 27]. <http://www.cma.gov.cn/>. (in Chinese))