

闸门振动问题探讨

潘锦江

(北江大堤管理局芦苞水闸管理所, 广东 三水 528139)

摘要:对常见的弧形闸门和平面闸门的振动问题进行探讨, 阐述闸门振动现象及其危害。闸门振动涉及水流条件、闸门结构及其相互作用。由于动水作用的不平稳引起的闸门振动, 通常与闸门开度、门后淹没水跃、止水漏水、闸门底缘型式的影响等因素有关。针对闸门振源的不同, 从设计和管理角度探讨相应的防振措施, 指出应根据已有的经验防止闸门振动, 通常在总体布置、通气孔、底缘型式、门槽型式、止水型式以及操作方法、运行管理等方面采取有效措施, 以避免或减轻闸门的振动。

关键词:闸门振动; 振源; 防振措施

中图分类号: TV633

文献标识码: B

文章编号: 1006-7647(2001)06-0036-04

1 闸门振动现象概述

振动是常见的自然现象, 而闸门振动是一种特殊的水力学问题, 涉及水流条件、闸门结构及其相互作用, 属流体弹性理论的范畴。长期以来, 已有不少学者对此进行了探索和研究。例如, Thang 等^[1]研究了泄水流对闸门竖向振动的作用, 认为振动与几何尺寸、水流动力及系统的动力特征有关, 试验表明, 在一个较小的范围内, 闸门发生强烈的周期性振动, 而在此范围外只是很小的随机振动; Jongeling 教授^[2]详细研究了平底闸门发生自激振动的条件, 认为自激振动除与闸门的开度比有关外, 还与闸门的折减速度有关, 45°或 60°倾角的闸门底缘有利于防止自激振动; 黄廷璞等^[3]通过对我国 20 余座低水头弧形闸门事故的调查分析, 发现失事闸门均是在明显的振动荷载作用下, 闸门发生强烈振动, 引起弧门支臂动力失稳而导致闸门破坏的; 阎诗武^[4]提出泄水结构振动的振源按性质可分为随机、周期及冲击三种类型, 泄水结构可能受到紊流、尾流、波动及两相流或其组合的动力组合, 紊流使结构产生强迫振动, 周期性尾流与波动有时会与结构或其它介质耦合产生较大的周期性振动, 等等。尽管各国学者从不同角度对闸门振动问题进行了大量的试验与研究, 取得了一定的成果, 但由于闸门是一个较为复杂的空间结构体系, 且闸门振动现象比较复杂, 对水流动力作用的性质和机理尚未完全掌握, 闸门振动问题的研究仍处于探索阶段。在此, 笔者在总结前人研究

成果的基础上, 以目前水利工程中常见的弧形闸门和平面闸门为例, 对闸门的振动问题作一探讨。

闸门振动的原因十分复杂, 但总体来说, 是由于动水作用的不平稳引起的。当闸门与动水接触时, 总会出现振动。闸门的振动, 通常与闸门开度、门后淹没水跃、止水漏水、闸门底缘型式的影响等因素有关。工程实践证明, 闸门泄流时或闸门在动水操作中受到水流作用时都会发生不同程度的振动。一般情况下, 振动比较微弱, 不致影响闸门的安全运行, 但在某些特定条件下, 闸门将产生强烈振动, 甚至产生共振或动力失稳现象。

不同性质的作用力(激励)将使闸门结构产生不同性质的振动。一般情况下闸门的作用力仅为作用于结构的外力(干扰力), 但有时与结构或其周边介质的运动有关, 形成一个耦合系统。正是由于作用力不停地对闸门系统做功, 输入能量来弥补阻尼所消耗的能量, 才使系统的振动不停止。一般认为, 工程中发现的闸门振动现象, 就其性质而论, 基本上属于两类: 一类属于自激振动, 如止水漏水引起的振动, 低水头弧形闸门小开度的振动等, 只在某些特定条件下产生; 另一类属于强迫振动, 是由于外部水流的干扰而引起闸门系统的振动, 外部水流的干扰包括水流及波浪对闸门的冲击, 水跃对闸门的脉动作用, 以及在动水操作中门槽的漩涡等其他不可预计的动水脉动作用力的影响, 这些荷载直接作用于门体并且作用时间较长。

闸门具有一定的自振频率, 它是闸门结构本身

的固有参数,决定于闸门结构刚度、质量分布和材料性质等,它实际上是闸门振动的内因,而闸门振动的大小取决于闸门结构自振频率与激励频率的关系及结构的刚度,当作用力的激励频率接近或等于闸门系统的固有频率时(例如,水流的脉动频率接近闸门的自振频率),不管这种激励频率是外力固有的(属于强迫振动),还是由于结构与水流发生耦合而次生的(属于自激振动),振幅都将逐渐增大,闸门发生共振,由于阻尼的影响,振幅并不会无限增大,但是振幅会达到很大值,这将使闸门整体或局部发生强烈振动,在闸门结构内出现不平常的应力和应变,使闸门受到损害,因此,如何避免或消除共振,是工程上一个重要课题。

2 闸门振源分类

从工程实例来看,危及闸门结构的振动,几乎总是与某些水力条件所形成的振源相联系,当这些振源得到消除或控制之后,振动也就消失,因此必须弄清引起振动的原因,以便采用有效的措施予以治理。按照水力条件的不同,振源可分为下面几类。

2.1 弧形闸门止水漏水引起振动

因止水座板安装不平直,或止水选型不当、柔性不够,导致止水与止水座板之间呈不连续接触而不能完全密封,于是在上游静水压力作用下,水就从止水与座板间隙中射出,这种作用于止水的脉动压力使止水发生振动,从而导致了闸门的振动;还有一种情况,当漏水量较大时,从闸门顶止水射出的水流直接拍打在门叶背后的梁格上,引起闸门振动。针对以上情况,应注意和改进施工质量,保证止水的密封,具体做法是调整止水位置或更换止水材料尺寸,使止水与止水座板紧密接触、消除间隙,漏水停止后闸门就不再振动。但根据笔者经验,若止水安装不好,闸门启闭过程中由于两者间(因制造工艺及安装误差,弧门并非理想的圆弧面)产生不均匀的强烈摩擦,也会引起闸门振动。

2.2 波浪冲击闸门(潜孔式弧门)引起振动

当闸前水位位于胸墙附近或略低于胸墙时,在上游出现较大风浪和涌潮作用下,可能在胸墙底部和弧门露出水面部分的空间形成封闭气囊,空气被压缩,形成巨大的气囊冲击压力,危及弧门安全,甚至导致闸门支臂失稳破坏。对此,可在闸门上游加设防浪栅、防浪排,以削弱或减轻波浪对闸门的冲击,也可以在胸墙底部设置通气管,以使在正常泄流等情况下担负排气的作用,这是避免闸门振动等不利情况的重要设施。

2.3 平面闸门的底缘型式引起振动

这种振动属于自激振动性质,经验证明,平面闸门采用水平底缘的水力条件很不好,不仅增加启闭的困难,更重要的是会引起动水脉动压力,或引起负压而产生空蚀,这些都可能引起闸门振动。防振措施^[5]为:闸门底缘的设计推荐采用图1所示的型式,特别强调刀刃形底缘及挑出的角度。一般来讲,闸门底缘上游倾角不宜小于 45° ,下游倾角不宜小于 30° ,使泄流时底缘流线顺畅,避免闸门产生振动;在操作上,使闸门开度大于底部主梁的宽度,务求避开小开度的强振区,尽量使闸门后为明流状态,底缘不受淹没。

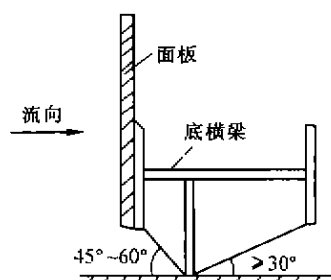


图1 闸门底缘的布置要求

2.4 平面闸门门槽空蚀引起振动

平面闸门是常用的门型,当高速水流经过闸孔时,由于门槽段的边界突变,产生局部压力降,形成空穴现象,引起空蚀破坏。此时发生空蚀时必然伴随着闸门的严重振动,影响安全运行。对不合理的门槽型式,应按照规定^[6]进行改建。

2.5 闸后发生淹没水跃引起振动

闸门在一定开度下泄流时,闸后发生淹没水跃,产生对闸门周期性的冲击,此时由于水流强烈的脉动压力作用,引起闸门振动,这是一种随机荷载下的强迫振动。此时应改变运用条件,避免闸门在淹没水跃时运用,尽量使闸后保持明流和充分通气,振动可能就不再发生。当无法避免淹没水跃时,应提高闸门悬吊结构及支承结构的刚度。

2.6 某些特殊水流条件引起闸门振动

闸门在某些特殊或恶劣的水流条件下运用,也会引起振动。例如,对于低水头弧形闸门,当闸前水位高于闸顶时开启,造成闸门顶底同时泄流,即所谓的“双层过水”,甚至在门体后面形成涡流,这些恶劣的水流条件往往首先引起闸门的强烈振动,致使闸门破坏。所以要尽量避免双层过水;还有些隧洞的工作闸门,在闸门开启过程中,某种水头和开度下的流量使下游洞身产生明满流交替的不良流态,水流的剧烈漩涡和气浪猛烈地冲击闸门,致使闸门产生强烈的振动。

3 防振措施探讨

由于闸门结构复杂,水流动力作用的性质尚未完全弄清,流体与闸门结构的相互作用不够明确,当前国内外尚未制定一套完整的动力计算方法,从闸门设计和管理角度来看,关键在于如何防止闸门产生振动。根据理论分析和实践经验,通常可从总体布置、通气孔、底缘型式、门槽型式、止水型式以及操作方法、运行管理等方面采取有效措施,以尽量避免或减轻不利影响。

3.1 设计措施

闸门的水力设计对闸门安全运行关系重大,闸门的布置或设计如果存在缺陷,有可能在某种条件(即一定的水头和开度下)发生振动。从设计角度看,必须注意以下问题。

a. 在总体布置上,闸门应布置在水流较平顺的部位,尽量避免门前横向流和漩涡、门后淹没出流和回流等对闸门冲击的不利影响,这是一条基本原则。闸门布置在水流较平顺的部位,可以避免运行中的许多复杂的问题。由于水流条件不好,对闸门运行带来许多不良影响,以致闸门不能正常工作,甚至导致失事。如进口漩涡带进大量空气易引起闸门振动,出口回流和淹没出流同样也易引起闸门振动,应防止这些流态对闸门运行中的不利影响。此外,闸门顶部和闸孔同时过水,也是一种不利的流态,易使闸门振动,现行规范^[6]明确指出“闸门布置在进口时,尚应避免闸孔和门槽顶部同时过水”。总之,首先在布置上应尽量避免闸门振动,不能避免时要采取各种措施,以减免其有害影响。

b. 对潜孔式闸门,应在紧靠闸门的孔口顶部设置通气孔,其上端应与启闭机室分开,并设有防护设施。通气孔对于减轻闸门动荷载有相当大的作用,可有效避免胸墙底部空腔产生“水-气锤作用”的不利影响。不设通气孔或通气孔面积偏小或位置不当,都会影响闸门安全运行,加剧闸门空蚀和振动。因此规范^[6]规定“当采用潜孔弧形闸门且上游水位有时低于门楣时,应在进口胸墙段上设排气孔,以减轻潮浪所产生的强压气囊对闸门的冲击力”。对通气孔的要求是:面积足够、位置适宜,通气均匀,安全可靠等,其面积的计算可参照规范^[6]进行。

c. 对平面闸门,闸门底缘型式的布置需予以注意,因为闸门的底缘型式对闸门泄流时的水力学因素比较敏感,若底缘型式布置不当,会增加门底的动水压力,容易产生闸门的振动。闸门底缘合理的布置要求见图1。

d. 闸门底缘与堰顶接触点的位置也要注意,一

般宜处在堰顶最高点的下游侧,以利于压低泄流水舌和减少堰面出现负压的机会,从而减轻闸门的振动。

e. 当选用弧形闸门时,要注意采用合理的止水型式。下面以图2所示的闸门为例,分析因漏水而产生振动的情况。图2(a)所示为闸门止水橡胶安装误差过大或止水座不平整,导致水流从缝隙中射出。射流在止水头部形成负压,使止水橡胶带被吸向止水座,封闭了间隙,如图2(b)所示。这时负压消失,而止水由于本身的弹性被弹回,故又出现间隙。如此往复循环,使止水以一定频率产生振动(称为止水的自激振动)。当止水自激振动频率与门体自振频率接近时,就会引起闸门振动(维持振动所需的能量来自闸门上游恒定的水压力)。止水自激振动频率与止水布置的型式以及止水橡胶的弹性模量和截面尺寸等因素有关。因此,应选择适当的止水布置方案或改变止水布置型式,消除止水和止水座之间的间隙,或更换止水橡胶的型号等以改变止水本身的自激振动频率,避免引起闸门振动。

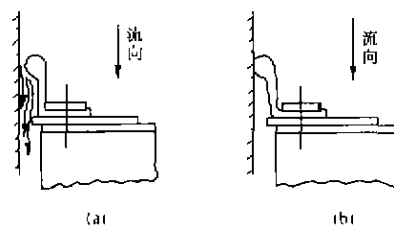


图2 止水漏水产生的自激振动

f. 当选用平面闸门时,要注意采用合理的门槽型式。门槽对流态比较敏感,如果布置不当,在高速水流经过时,可能产生动水压力脉动和负压,在闸门启闭过程中特别是局部开启泄流时使闸门产生振动,故应注意门槽的正确设计。我国钢闸门设计规范^[6]推荐的平面闸门门槽型式如图3所示,分为I型和II型两类,各有不同的适用范围。

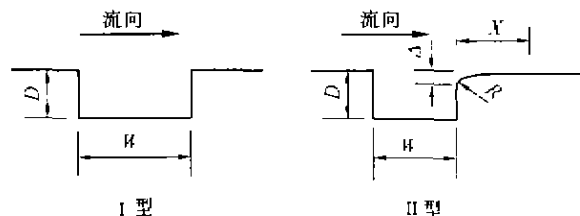


图3 平面闸门门槽的布置开型式

g. 对于低水头的弧形闸门,闸门振动往往突出地表现在弧门中易于产生变形振动的构件——支臂结构上,从设计角度看宜从支臂的结构和构造上予以保证。弧形支臂是薄弱环节,而支臂的动力稳定性又是关系到闸门安全运行的重要问题,为此规范^[6]专门指出必须特别注意支臂的动力稳定性。根据有

关资料^[3],由于闸门布置不当,运用性能不好,有些低水头水闸的弧形闸门,振动颇为强烈,甚至因各种动力作用而发生支臂失稳,导致闸门破坏.因而在目前振动机理还不十分清楚的情况下,从构造上予以保证,不失为切实可行的办法,如主框架平面外的刚度加强,支臂端部适当加固等.

h. 闸门结构在水中的振动是弹性系统和流体相互作用相互影响的复杂过程,因此有些问题单靠理论分析难以解决.对水流条件比较复杂或大型工程中重要的闸门,在运行过程中可能产生的振动问题,应借助水工模型试验,作专门研究加以解决.

3.2 运行管理措施

引起闸门振动的原因很多,尽管在设计阶段经过充分研究和论证,但由于设计时无法全面预见到闸门投入运行后,闸门发生振动的可能性和强烈程度,有时只能在出现振动现象后再来研究处理.因此,必须重视对闸门的运行管理和维护保养.

a. 定期检查可及时发现问题.每年汛前、汛后都要对启闭设备和闸门逐一检查,避免闸门振动的发生.对滑轮、支铰等运转部位定期检修、加油润滑,保证这些部位转动灵活自如;闸门的联接紧固件应保持牢固(目的是提高闸门结构刚度,改变自振特性,避免共振);闸门止水应密封可靠,无明显的散射现象.此外,还应特别注意一些薄弱部位,如弧形闸门的支臂与支铰连接处有无严重锈蚀,通气孔是否有堵塞或排气不畅等情况.

b. 闸门操作规程要仔细拟定,并严格按照操作规程启闭闸门,不得违章操作运行,如不得双层过水,不得长时间停留在振动开度等.

c. 闸门启闭是控制运用的关键.闸门在启闭过程中和开启后,应注意闸门的进水口、门槽附近及闸门后水流流态是否正常,门体是否有振动现象发生.

d. 运行中,可采用避开发生闸门振动位置的措施,躲过闸门振动的危险区.如进口漩涡只在某一水位时才出现,应考虑在此水位不作局部开启运行;当有横向流时,闸门不作局部开启运行或避免某些开度.规程^[7]将“避免闸门停留在发生振动的位置运用”列为对闸门操作运用的基本要求,但这仅是一种权宜之计,如闸门开度调整幅度过大,有时可能与下游消能防冲有矛盾,此时应该针对振因,尽量消除振动.

e. 运行中,应对闸门加强观察,随时进行检修,以防病态扩大.例如,在运行中发现闸门主次梁挠度过大,则意味着刚度小,若在动水中工作,闸门可能产生较严重的振动.

f. 运行中已经发生较为强烈振动的闸门,应研究其振因并采取针对性的措施.振动严重有可能危害

闸门时,则宜作现场操作的原型观测(一般在欲测部位上安装测振仪)以便研究解决.

4 结 语

影响闸门振动的因素很复杂,在目前理论研究尚不成熟的情况下,笔者认为重要的是在闸门的设计和管理中,根据已有的认识和经验予以防止.

设计单位要总结经验,考虑闸门振动因素,提高设计质量,主动了解闸门的运行情况,为施工单位和管理单位及时提供技术措施.水闸管理单位要不断提高技术管理水平,对于闸门的结构性能和工作条件,应作充分的了解,要求工程管理人员摸清闸门结构布置和荷载传递的方式,掌握它的关键部位,在实际运行操作的过程中加强维护和管理,除做好闸门的防漏水和防锈蚀工作外,还必须注意做好闸门的防振工作,以保证闸门安全运行.

参考文献:

- [1] Thang N D, Naudascher E. Vortex-excited vibrations of under-flow gates. J of Hydraulic Research [J]. 1986, 24 (2): 133 - 151.
- [2] Jongeling T H G. In-flow vibrations of gate edges [A]. International Conf On Flow Induced Vibrations [C]. England, 1987. 147 ~ 156.
- [3] 黄廷璞,危盼.我国低水头弧形闸门失事调查和初步分析[J].金属结构,1986,(5):23~41.
- [4] 阎诗武.泄水结构振动振源分析(二)[J].人民珠江,1999(3):36~38.
- [5] 蔡正坤,瞿尔仁.闸门与启闭机[M].第二版.北京:水利电力出版社,1988.323~329.
- [6] SL74-95,水利水电工程钢闸门设计规范[S].
- [7] SL75-94,水闸技术管理规程[S].

(收稿日期:2000-05-06 编辑:熊水斌)

