

水闸闸墩裂缝成因及防治措施

赵之瑾, 关新强

(河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要:分析水闸闸墩裂缝成因, 主要是由于墩体内外温差、混凝土的干缩、自生体积变形和外部约束引起的, 且各种原因都有一系列的影响因素。针对这些原因及影响因素, 从材料、温度控制、施工方法与工艺和养护等方面采取措施, 以达到防止和控制裂缝的效果。

关键词:闸墩; 裂缝; 混凝土

中图分类号:TV662+.2

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2003)04-0062-04

水闸是平原地区常见的主要水工建筑物, 闸墩部位易出现裂缝的问题, 长期以来困扰着工程界, 一直未能得到很好的解决。闸墩裂缝的出现给水闸工程带来了多方面不同程度的危害, 也越来越受到学术界的重视。在文献资料的基础上, 本文针对这一现象的成因及其防治措施进行了概括性的分析和述评。

1 工程现状

水闸主要由底板和闸墩组成, 是呈倒T字形“墙-板”式水工混凝土结构。闸墩底部受闸底板约束, 上部可以自由伸缩。闸墩裂缝近竖直向, 两端小, 中间大, 呈枣核形。裂缝向上开展, 位于墩墙中部区域, 一般略超过墩高的一半, 是“上不着顶”; 下部距底板10~30 cm, 是“下不着底”, 常常为贯穿性裂缝, 见图1。

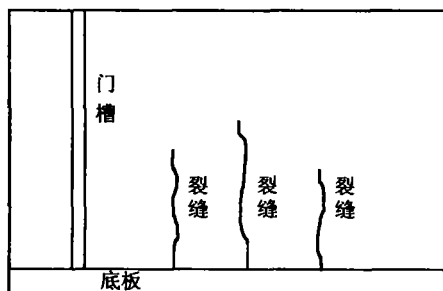


图1 闸墩裂缝示意图

在已建和新建的众多水闸工程中, 很多在闸墩上出现了裂缝, 比如在北京永定河闸、北京小清河闸、湖北荆江分洪北闸、江苏三河闸等工程中, 闸墩上都出现了不同程度的裂缝。新建的石梁河新泄洪闸, 位于江苏省连云港市赣榆、东海两县交界处的新沭河中游, 是石梁河水库枢纽工程的建筑物之一。施

工时混凝土泵送浇筑, 底板混凝土浇筑3个多月后浇筑闸墩。闸墩分22层浇筑, 层厚40~60 cm, 层间间歇约4 h。新闸建成后, 在中间全部9个闸墩和1个边墩都出现了贯穿性裂缝^[1]。

水闸闸墩裂缝的广泛存在并不表明这样的问题是可以忽略的或任其发展的, 正好说明了其突出性、裂缝的预防和控制是一个涉及多学科、多领域、不易解决、需深入研究的综合性问题。

闸墩裂缝的出现和存在, 势必会对其整体性、安全性带来不利的影响。并且由于混凝土开裂后会发生产生碳化等化学反应, 影响其耐久性。作为水工建筑物, 其抗渗性也会受到不利的影响, 由此会产生溶蚀破坏作用。对于边墩, 有时还会出现透过裂缝而发生渗透变形的严重现象。裂缝出现后进行修补, 又增加了工程的维修费用。另外, 出现裂缝还影响了建筑物的美观, 给人们带来视觉上的不良效果和心理上的不安全感。

2 研究现状

目前在对待混凝土结构裂缝问题上, 一般是允许出现裂缝, 而对其宽度进行一定的限制, 不同国家和地区对不同使用环境和要求下的混凝土建筑物的裂缝宽度有不同的控制标准。我国GBJ10-89《混凝土结构设计规范》规定允许裂缝宽为0.2~0.3 mm, 美国ACI规定为0.108 mm, 法国规定为0.27 mm, 加拿大规定为0.064 mm^[2]。

另外, 王铁梦教授在对待裂缝问题上提出“抗”与“放”的两种方法^[3,4]。变形变化引起的约束应力首先要求结构所处的环境能给结构以变形的机会,

作者简介: 赵之瑾(1980—), 女, 江苏苏州人, 水利水电工程建筑专业99级本科学士。

即变形得到满足,则不会产生约束应力.在全自由状态下,如以空间应力-应变关系为例,有:

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon_z = \alpha T = \varepsilon_{\max} \\ \sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

此状态下结构可以有任意长度、任意温差不产生约束应力.因此给结构创造自由变形的条件就是控制裂缝的“放”原则.在实际工程中,全自由的理想状态不易做到,但是,可以采用“抗放兼施,以放为主”的设计原则,减少约束,释放大部分变形,使出现较低的约束应力;当结构处于全约束状态,仍以空间问题为例,有:

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon_z = \gamma_{xy} = \gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0 \\ \sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = -E\alpha T/(1-2\mu) = \sigma_{\max} \\ \tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

式(1)和式(2)中, ε 为正应变; γ 为剪应变; τ 为剪应力; E 为弹性模量; α 为线膨胀系数; μ 为侧向变形系数; T 为各点承受的温差.此时有最大约束应力并与长度无关,只要材料的强度能超过最大约束应力,即 $R \geq \sigma_{\max}$,或者材料的极限拉伸大于最大约束拉伸变形,即 $\varepsilon_p \geq \varepsilon_{\max}$,则任意长度不设伸缩缝亦不开裂,只须所选用的结构材料具有足够的抗拉强度和极限拉伸.该设计原则称为控制裂缝的“抗”原则.一般说来,采取“抗”的方法,必须有足够的强度储备;采取“放”的方法,必须有充分的变形余地.

现在一般认为,混凝土建筑物不出现裂缝是不可能的或是很难的.防止裂缝出现,在材料、设计、施工、运行和维护等方面均有一定的研究,但还不够完善或效果不是十分明显.在水工结构工程中,因水的存在,以“抗”为主,力求工程各部位都不裂.

3 成因机理

为了更好地控制裂缝和采取有效措施对裂缝进行预防,必须对裂缝的成因机理进行全面的分析.大量的工程实践证明,闸墩裂缝的产生主要与墩体内外温差、混凝土的干缩、自生体积变形、外部约束等有关,通常是多因素综合作用的结果.

3.1 墩体内外温差

水泥水化产生大量的水化热,在1~3d内可放出热量的50%,甚至更多,当混凝土达到最高温度后随着热量的散发又开始降温,直到与环境温度相同.图2为混凝土浇筑后温度变化过程图(图中, T_p 为入仓温度; T_r 为温升值; T_f 为稳定温度; ΔT 为最高温度和稳定温度升高值(基础温差)).

闸墩作为大体积混凝土,热量传递的同时更易在内部积存,导致了内部温度高于外部温度,内部出

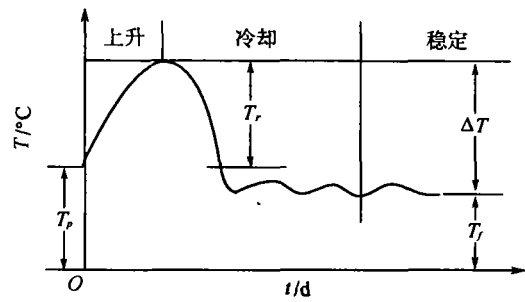


图2 混凝土温度变化过程线

现峰值温度^[5].升温阶段结束后,是散热阶段.内外混凝土散热条件不同,外部混凝土和外界环境接触,散热条件好,热量容易散发,内部混凝土散热条件差,于是在降温阶段又造成了外部混凝土温度低于内部混凝土温度.这样在升温 and 降温阶段都使闸墩内外混凝土形成了同一方向的温度梯度,导致了其变形的不一致.内部膨胀受到外部的限制,或相应地外部收缩受到内部约束,于是在外部混凝土中产生了拉应力.当外部混凝土拉应变达到其极限拉应变,裂缝就由此产生.裂缝初期很细,随着时间发展继续扩大、变深,甚至贯穿.

除了混凝土水化引起的温度作用外,运行期环境温度变化也会产生作用.特别是遇到寒潮袭击、表面温降特别大时,裂缝发展更为严重.

从以上分析可以看出,影响内外温差的主要因素有混凝土水泥用量、水泥品种、浇筑入模温度及环境温度等.

3.2 混凝土的干缩

混凝土内的水分,少部分提供了水泥水化的需要,少分泌出流失,大部分水分是在浇筑完毕后慢慢蒸发掉的.随着水泥的凝结、硬化,混凝土中的水分在未饱和和空气中慢慢散失,引起混凝土体积缩小、变形,这种变形称为干缩^[6].由于混凝土的水分蒸发及含湿量的不均匀分布,形成湿度变化梯度.其水分蒸发总是从外向内,由表及里.表层混凝土的水分蒸发程度和速度总是大于内部,表层混凝土收缩的程度亦大,其变形会受到内部混凝土的限制,在表层混凝土中也产生拉应力,使得表层混凝土总的拉应力加大,产生干缩裂缝.但干缩一般只发生在表层,对大体积混凝土而言,干缩扩散深度达6cm需花1个月的时间,故干缩裂缝也只是表面裂缝或开展深度不大.大体积混凝土内部一般不存在干缩问题,但表面干缩不容忽视,它会诱导拉裂缝的产生.闸墩属水工薄壁结构,其影响深度及程度相对较大,尤其是在干热风大季节,如不及时处理和养护,将会发生局部贯穿性裂缝.

混凝土的配合比和组成是影响干缩的主要因

素,一般水泥用量多,水灰比大,则干缩也大。骨料密度大,级配好,弹性模量高,骨料粒径大,可以减小混凝土的干缩^[7]。其次,混凝土的养护和环境对干缩也有很大的影响^[8]。

3.3 自生体积变形

混凝土即使没有水分蒸发,其各组成部分的化学反应也会产生自生体积变形。在底板约束影响范围内,膨胀型自生体积变形会产生预压应力,有利于防裂;收缩型自生体积变形则不利于防裂。普通混凝土的自生体积变形通常为收缩型的。它也是由于水分的迁移而引起的。但不是向外蒸发损失,而是由于水泥水化时消耗水分造成凝胶孔的液面下降,形成弯月面,水泥石供水不足,产生所谓的自干燥作用,使混凝土体相对湿度降低,体积减小^[9,10]。混凝土的自生收缩一般在拆模之前完成,虽然其量值不大,但如果同其他收缩叠加在一起,就会使表面拉应力增大。像水闸闸墩这样的断面尺寸不是很大,但确属必须解决水化热问题的大体积混凝土结构,必须考虑自生收缩参与温度收缩等叠加的影响。

影响混凝土自生体积收缩的因素主要是材料的化学成分和水灰比。水灰比的变化对自生收缩的影响和对干缩的影响正好相反。当水灰比大于0.5时,其自生收缩和干缩相比忽略不计。而当水灰比小于0.35时,自生收缩和干缩的作用相当,必须加以考虑^[10]。

3.4 外部约束

闸墩是底部固结在底板上,上部自由的结构。通常是在底板浇筑完间隔一定时间后才开始浇筑闸墩,此时底板混凝土已经固结,是“老混凝土”。闸墩在沿其高度方向可以自由伸缩,不受约束;厚度方向由于闸墩厚度不大,约束很小;而在沿水流方向,则受底板约束相对很大。闸墩混凝土浇筑早期,产生大量水化热,温度升高,体积膨胀,受到底板约束,产生压应力。但混凝土浇筑早期,弹性模量低,产生的压应力很小。随着热量的散发,混凝土开始降温,加上干缩、自生体积变形等影响,体积开始收缩,同样受到底板约束,产生拉应力。但此时混凝土弹性模量已增大很多,产生的拉应力足以很快抵消早期产生的压应力,并进而出现较大的净拉应力。由于沿水流方向受到的约束最大,则该方向的拉应力也最大,此时混凝土龄期短,强度低,产生的拉应力易超过其抗拉强度,于是在闸墩上产生了常见的垂直于底板和水流方向的裂缝。

影响外部约束的因素主要是闸墩的分缝长度和底板与闸墩混凝土的浇筑时间间隔。

4 防止和控制措施

混凝土在各种不同情况下的开裂有着多方面的

原因,并且通常是多方面作用的结果。当了解了各种原因及影响因素后,就可以采取措施,减少或防止混凝土的开裂。目前,工程界在防止或控制裂缝方面的措施主要体现在材料、温度控制、施工方法与工艺、养护等方面。

4.1 材料

混凝土材料的合理选择是预防并控制裂缝的重要方面。

为了降低水化热,可采用中热硅酸盐水泥或低热矿渣硅酸盐水泥^[11]。减少水泥用量,可降低水化热,降低混凝土的拉应力。在混凝土中掺活性混合料,如在混凝土中掺粉煤灰,可使混凝土最高温度降低,并可将达到最高温度的时间向后推迟,有利于热量消散,用时间控制裂缝;使混凝土和易性得到改善,减小了水泥和水的用量;因略有膨胀,减小混凝土的自生体积收缩;降低混凝土吸附水的能力,使混凝土干缩减小,抗裂性提高^[5]。掺入粉煤灰的百分数就是温度和水化热降低的百分数。如掺加20%粉煤灰的混凝土温度和水化热为未掺混凝土的80%。

外加剂的使用也是防裂的有效措施。缓凝剂可减慢混凝土放热的速率,有利于热量消散。减水剂可在水灰比不变时减少水和水泥用量,降低水化热。膨胀剂可以补偿混凝土的自生收缩,产生一定的预压应力,抵消结构由于收缩产生的拉应力^[12-14]。值得注意的是,膨胀剂应使用在闸墩底部有外部约束的部位,注意各部位混凝土膨胀变形的协调性,避免内部膨胀大于表面膨胀的现象出现^[15]。

此外,要特别注意混凝土合理配合比的设计^[15]。

4.2 温度控制^[5]

首先要降低混凝土的入仓温度,使现场新拌混凝土的温度被限制在6℃左右。在高温期拌和时,可以加入冰片代替一部分水进行混凝土冷却。浇筑时尽量在春季或秋季,避免在夏季午间高温时和冬季浇筑。对运送混凝土的工具或浇筑仓面采取遮阳或降温措施;其次要减小内外温差,内部温度升高和表面温度降低共同作用会增加温度梯度。必要时,在混凝土内部埋设冷却水管,用地下水或人工冷却水进行人工导热,降低混凝土的内部温度。相反,对于外部混凝土要进行隔热保护,以调节表面温度下降的速度,使内外温差减小。

4.3 施工方法与工艺

为了提高混凝土的运输速度,现常采用泵送混凝土。由于泵送混凝土要求流动性大^[16],其水泥用量大,水灰比大,粗骨料粒径小,水化热温升高,易产生温度收缩裂缝。因此在浇筑闸墩混凝土时,为了防裂,不宜采用泵送混凝土。考虑到泵送混凝土施工效率

高,可以用于受约束较小的闸墩上部,而底部采用常态混凝土。

为了使混凝土更好地散热,可分层浇筑混凝土^[5],分层的深度为1.0~1.5m。上一层混凝土的浇筑在前一层混凝土初凝前浇完。最底层混凝土可与底板同时浇筑,这样就可削弱或消除底板对闸墩混凝土的约束。另外,考虑到约束和长度有关,可以缩短分缝长度,减小底板约束作用,或者分段浇筑,预留1~2m的后浇带,待各段收缩完成之后,再在后浇带中浇筑膨胀型混凝土^[17]。

4.4 养护

当温度高时,混凝土水化反应加快,强度发展快,变形速度也快;当空气湿度小时,水分蒸发快,其变形速度也会加快。对混凝土进行养护是为了减慢其变形速度。早期养护可以在模板未拆时,尽可能减小环境风速;拆模后可从结构顶部浇水或淋水,保证混凝土表面湿润,若在闸墩四周裹上不透气的塑料膜后再浇水或淋水,则养护效果会更好。模板可推迟3~4d拆除^[17],起到隔热和保湿作用。拆模后立即在混凝土表面涂上防裂剂,也能起到保湿的作用。

5 展望及结语

水闸闸墩混凝土产生裂缝是各种因素共同作用的结果,但是各种因素并不是互相独立的。在本文的述评中,我们可以看到,有时要减小一种原因的不利影响,却会增加另一种因素的不利影响。由此也导致了在防裂措施中,有的防裂措施既有其积极的影响,也有其消极的影响。因此在采取防裂措施的时候,怎样抓住主要矛盾,各种措施该如何进行到一个合理的度,这个度应该怎样把握,是值得进一步探讨的问题。这就要求对混凝土的抗裂能力进行一个最为合理的评价^[18],以指导我们采取最为有效的防裂措施。

水闸闸墩及其他类似倒“T”形混凝土结构的裂缝问题突出且复杂,已受到越来越高度的重视。要使混凝土结构的裂缝得到有效的控制,必须加强科学研究工作,揭示裂缝机理,推出新技术、新方法。要加强工程业主、科研、设计和施工人员之间的合作与协调,科研先行。目前已有一些工程很好地解决了裂缝问题,比如江苏二河新泄洪闸工程,采用在闸墩混凝土内预埋冷却水管的方法,用循环水冷却混凝土来控制内外温差,并且墩体底部与底板混凝土同时浇筑,以减小底板的约束作用,使得该工程在施工期均未出现1条贯穿性裂缝。

致谢:本文在成文过程中得到了河海大学水利水电工程学院朱岳明教授的指导,在此深表谢意。

参考文献:

- [1] 朱岳明,黎军,刘勇军.石梁河新建泄洪闸闸墩裂缝成因分析[J].红水河,2002(2):44~47.
- [2] 张相宝.混凝土构筑物裂缝原因分析与处理[J].混凝土,2000(10):39~43.
- [3] 王铁梦.建筑物的裂缝控制[M].上海:上海科学技术出版社,1987.57~58.
- [4] 王铁梦.钢筋混凝土结构的裂缝控制[J].混凝土,2000(5):3~6.
- [5] 迟培云,钱强,高昆.大体积混凝土开裂的起因及防裂措施[J].混凝土,2001(12):30~32.
- [6] 黄国兴.混凝土的收缩[M].北京:中国铁道出版社,1990.2~14.
- [7] 曹雪平,翟胜章.水工钢筋混凝土墩墙裂缝的形成及修补[J].江苏水利,2001(增刊):22~23.
- [8] 王增忠,朱玉仲.混凝土建筑物的裂缝分析及其防护处理[J].混凝土,2001(4):7~8.
- [9] 蒋家奋.浅析混凝土的自收缩[J].混凝土与水泥制品,2001(3):6~7.
- [10] 覃维组.混凝土的收缩,开裂及其评价与防治[J].混凝土,2001(7):3~6.
- [11] 林建宁,刘军华,李生庆,等.泵送混凝土施工裂缝的成因及防治[J].混凝土,2000(5):15~19.
- [12] 李光伟.某水电站大坝混凝土自生体积变形研究[J].水电工程研究,2001(3~4):32~33.
- [13] 陆士强.膨胀剂在大体积混凝土和薄壁混凝土中的应用[J].混凝土,2001(2):30~32.
- [14] 李光伟.混凝土抗裂能力评价[J].水利水电科技进展,2001,21(2):33~36.
- [15] 戴镇湖.大体积混凝土的防裂[J].混凝土,2001(9):9~11.
- [16] 崔德密,沈敏,顾洪,等.泵浇混凝土闸墩裂缝成因计算分析[J].水利水电技术,2001,32(10):10~12.
- [17] 刘长明,李明蔚.薄壁混凝土结构裂缝及其控制[J].混凝土与水泥制品,2000(5):45~46.
- [18] 吴胜兴,任旭华.混凝土结构温度裂缝的特点及其控制[J].水利水电科技进展,1996,16(5):10~13.

(收稿日期:2002-09-28 编辑:傅伟群)

·简讯·

潘家铮院士访问河海大学

2003年6月18日,中国科学院、中国工程院潘家铮院士对河海大学进行了学术访问。访问期间,潘家铮院士与河海大学校领导及有关专家、教授一起座谈,探讨水利建设中重大的疑难问题、水利建设发展方向及河海大学如何为水利建设服务等。潘家铮院士还为河海大学的师生作了题为《水利建设中的哲学思考》的学术报告。报告涉及水利建设中的许多热点问题,内容新颖、视角独特,给广大师生留下了深刻的印象。

(叶志达、郭莹供稿)