

金刚口闸混凝土裂缝成因分析

张 苏 杭

(湖北省水利厅水电工程检测研究中心,武汉 430071)

摘 要:对金刚口闸裂缝进行了表面检查、破坏性态检测,采用三维弹塑性有限元法计算了水闸在运行过程中的应力变化过程,在此基础上对水闸裂缝的产生机理进行了分析,对金刚口闸的整险加固和其他水闸的设计具有参考价值。

关键词:混凝土;裂缝;成因;有限元法

中图分类号:TV66 **文献标识码:**B

1 工程概况

金刚口闸位于湖北省钟祥市境内围堤上,建于 20 世纪 60 年代,是丹江口移民区的一座重要排灌闸。30 多年来,该闸对移民区的生命财产和农业生产起了保障作用。该闸设计流量 134.0 m³/s,排渍面积 3.66 万 hm²,灌溉流量 40.0 m³/s。该闸穿过土堤,为钢筋混凝土箱涵结构,共设 4 孔,每孔尺寸 4.0 ×3.0 m(宽 ×高),底板厚 1.20 m,顶板厚 0.70~0.80 m,闸墩厚度 1.0 m。水闸从进口到出口由横缝分成 3 节,水闸的裂缝分布见图 1。

2 有限元计算分析

2.1 水闸地质情况

由于第二节水闸既有纵向裂缝又有横向裂缝,因此将第二节水闸作为分析对象。第二节水闸地基主要由三种类型的土质组成:人工堆积物。分布于排水闸两侧、围堤等处,主要为黄褐色砂壤土、粉质壤土,局部夹碎石块。第四系全新统冲湖积。粉质壤土:厚度约 3.0~6.0 m,粉质壤土湿,可塑,塑性低,微层理发育。粉质粘土:呈不连续分布,厚度小于 1.0 m,塑性较高。粉细砂:青灰色,饱和,结构较紧密,微层理较发育,含较多白云母片,偶见腐殖质斑点,厚度大于 9.0 m。更新统冲积。主要为砂砾石,青灰色,细砂含量约 70.0%,分选性中,结构较密实,含大量云母片;砾石含量约 30.0%,呈椭圆状,粒径一般为 2.0~6.0 cm,砂砾石和粉细砂直接接触。

2.2 计算概化模型

对涵闸进行了 FLAC^{3D}三维弹塑性有限元分析,以水闸第二节以及两侧的填土和地基土作为整体进行计算。两侧填土各取 20.0 m,地基深度取到更新统冲积层,在闸建基面以下深度约 20.0 m。水闸和地基土的力学参数由实际的地质勘探和检测结果确定,具体数值见表 1。

表 1 混凝土和地基土的力学参数

材料	变形模量/ MPa	泊松比	凝聚力/ MPa	摩擦角/ (°)	抗压强度/ MPa
混凝土	25 000	0.20			17.0
粉质粘土	3.14	0.35	0.012 5	19.10	
粉质壤土	9.13	0.35	0.014 5	32.30	
粉质细砂	25.30	0.35	0.005 0	32.80	

粉质壤土、粉质粘土和粉细砂的湿容重分别为 19.2、18.7 和 17.9 kN/m³。混凝土按不透水考虑,混凝土的容重取 25.0 kN/m³。由于没有填土的容重和其他物理力学参数的试验值,其物理力学指标参照壤土的物理力学指标确定。

混凝土和土之间存在界面,用节理单元模拟,其力学参数由土的力学性质控制。混凝土开裂以后也用节理单元模拟,由于混凝土中配有钢筋,在混凝土开裂以后,钢筋承担拉应力,将钢筋的抗拉强度转化为混凝土的等效抗拉强度,作为开裂面的残余抗拉强度。

水闸在施工完成后,主要受到的荷载有:自重、上覆填土重量、侧向土压力和渗流荷载(通过渗透三维分析得到,按面力考

收稿日期:2004-11-10

作者简介:张苏杭(1977-),男,工程师。

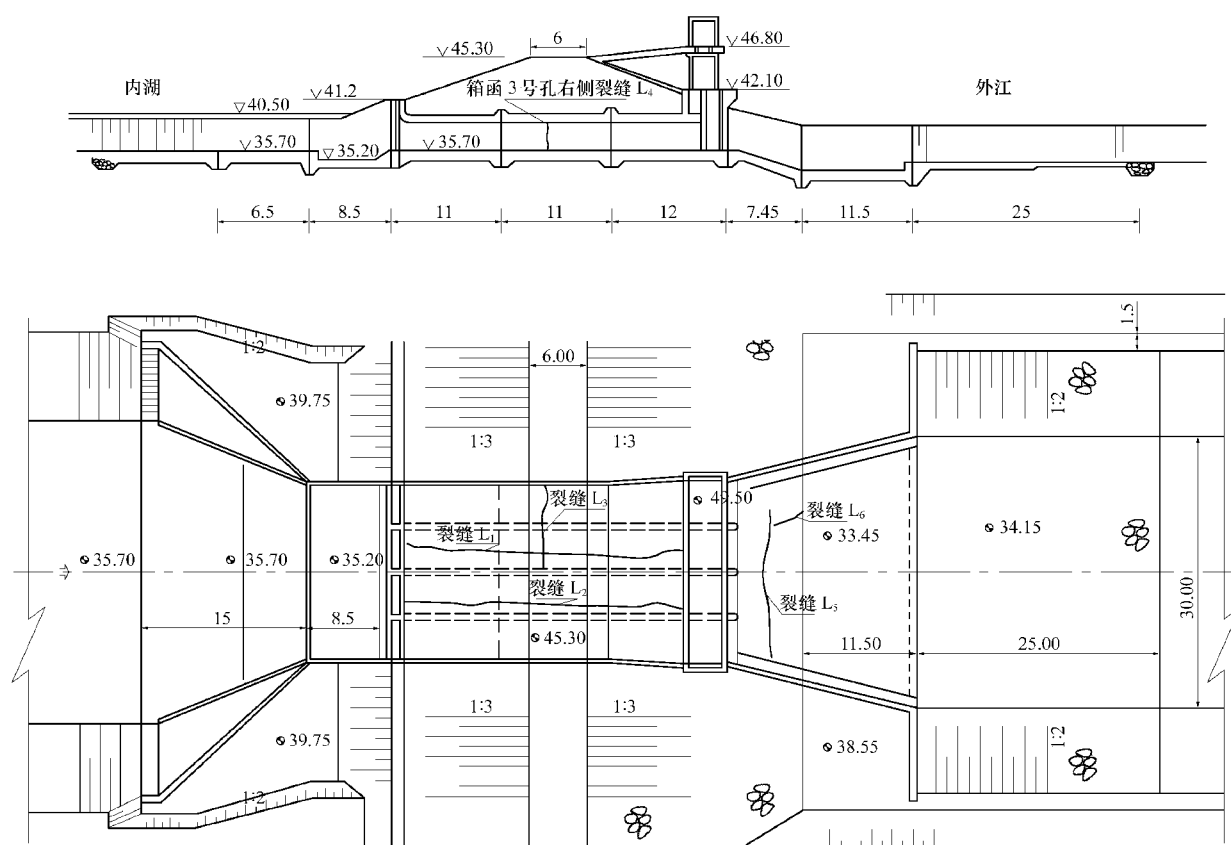


图1 金刚口排水闸裂缝示意图(单位:m)

虑)等,经过多年运行,从实际观测来看,该闸没有渗透变形。因此,本计算将模拟荷载作用过程。

2.3 计算方案

为了弄清水闸箱涵中间一节底板开裂的原因,在试算的基础上,拟定下列3个计算情况:假定水闸初始时不存在开裂面,施加荷载,检查闸底板在开裂前的应力、变形分布状态。假定在顺水流方向的裂缝形成前,水闸有垂直水流方向的断裂面存在,施加荷载,检查闸底板的应力、变形分布状态。在第种情况计算结果的基础上,计算底板在顺水流方向裂缝形成以后,底板的应力分布状态。

从底板裂缝的形态来看,顺水流方向的裂缝将闸底板分成3块,相互之间由钢筋连接,而垂直水流方向的裂缝跨越1号和2号孔底板,和2号孔底板的顺水流方向裂缝相交并穿过该裂缝。假如顺水流方向的裂缝先形成,则此裂缝将底板分割成3块,3块底板之间除有钢筋连接以外,基本可看作是独立的受力单元。

由于预先并不知道实际的裂缝开裂顺序,因此分别假定在初始时,水闸没有任何裂缝和水闸底板含有垂直水流的裂缝两种情况进行计算,也即对和两种情况分别计算,以说明顺水流方向的裂缝形成的原因。

对于垂直水流方向的裂缝,通过情况的计算结果,判断垂直水流的裂缝是否和顺水流的裂缝同时发生;由情况的计算结果判断垂直水流裂缝是否在顺水流方向裂缝形成以后产生。假如上述答案是否定的,则说明垂直水流的裂缝不是在顺

水流向裂缝形成后产生的,可以判定该裂缝是在施工期间就已经存在了。

2.4 计算结果分析

为了便于说明,建立一坐标系, x 轴从1号孔指向2号孔, y 轴从上游(内湖)指向下游(外江), z 轴则垂直向上。在施工完成以后,水闸将受到自重、上覆填土重量、侧向土压力等荷载作用,这些荷载不是同时施加到水闸上的,而是通过一定的顺序施加的,完全精确地模拟这种施加过程是困难的。在本研究中,假定水闸的自重和上覆土压力同时施加到水闸上,而两侧的填土则由于排水固结需要一定的时间才能沉降稳定。因此荷载施加的顺序是先施加水闸自重和上覆土压力,待其变形稳定以后再施加两侧的侧向土压力。

图2和图3分别是情况、底板上表面最大主应力等值线图。从图2可以看到,2号孔和3号孔底板上表面受到的拉应力最大,由经验可以判断该2处将产生开裂,底板将从上表面向底面开裂。这一结果和实际观测到的裂缝开裂形态是一致的。从图3可以看到,和第种情况相比,差别不大,也即垂直水流的裂缝形成时间对顺水流方向的裂缝产生与发展没有什么影响。

由此可以看到,水闸中间顺水流方向的裂缝产生和发展的原因是:从底板的结构形式来看,底板和闸墩是一个整体,对地基不均匀沉陷变形的适应能力差;从水闸受到的荷载情况来看,荷载的施加过程存在差别,从而导致水闸中间两孔拉应力增大;另外由于地基的不均匀性而导致的不均匀沉陷也是造成中

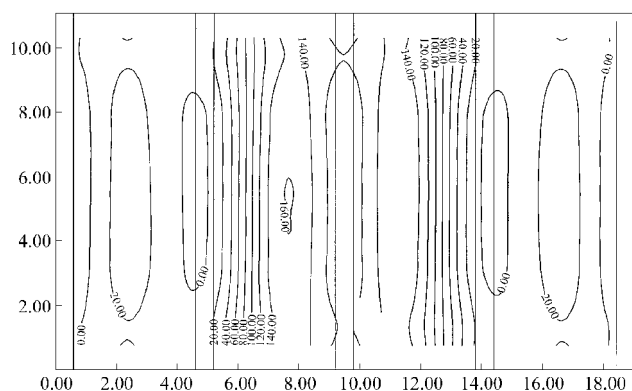


图2 情况 水闸底板上表面最大主应力等值线(单位:0.01 MPa)

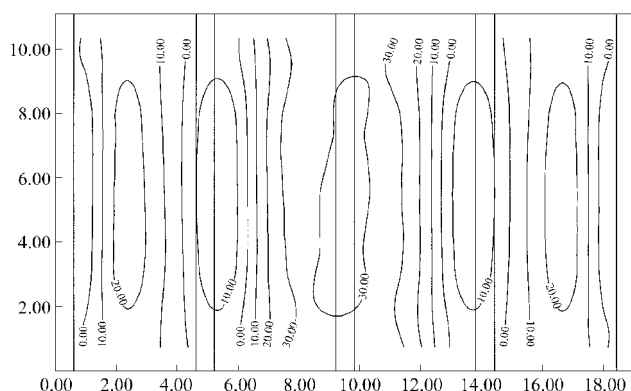


图4 情况 水闸底板上表面最大主应力等值线(单位:0.01 MPa)

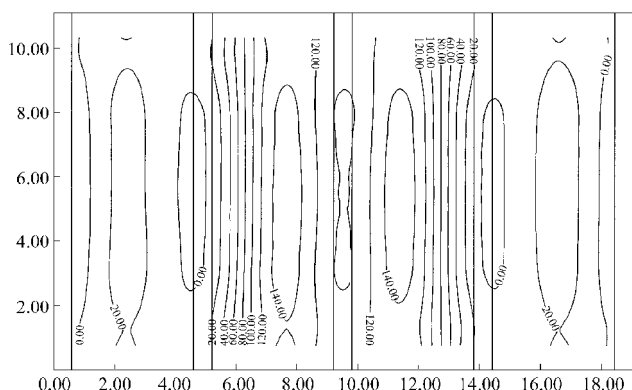


图3 情况 水闸底板上表面最大主应力等值线(单位:0.01 MPa)

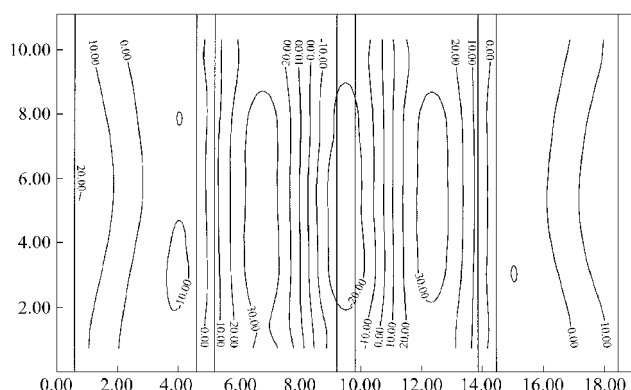


图5 情况 水闸底板底面最大主应力等值线(单位:0.01 MPa)

间两孔拉应力增大的原因。

由计算的结果来看,在2号和3号孔的底板中顺水流向的拉应力大约在0.20 MPa,在两侧1号和4号孔的底板中的顺水流向拉应力也大约为0.20 MPa。底板底面两侧存在顺水流向的拉应力约为0.15 MPa,而底面中间部位处于受压状态。显然,在水闸上表面和底面的拉应力达不到混凝土的抗拉强度,不会产生垂直水流向的裂缝,这说明垂直水流向的裂缝不可能和顺流向的裂缝同时产生。

若在第 种情况计算结果的基础上,进一步使底板在中间位置开裂,形成顺水流向的裂缝,底板的应力重新分布。从图4和图5中可以看到,在底板的上面中间位置有顺水流方向的拉应力,而底板底面则在两侧边墩位置存在拉应力。从最大主应力等值线图来看,顺水流向的拉应力大约在0.3 MPa左右,显然这样大小的拉应力不足以使底板开裂产生拉裂缝,也就是说在顺水流方向的裂缝形成以后,水闸应力调整,但调整后的应力并不会产生垂直水流方向的裂缝。

从力学原理方面来看,垂直水流的箱涵断面的刚度很大,在承受上述荷载情况下,拉应力一般较小,不会发生开裂。从上述计算结果来看,垂直水流的截面上的拉应力小,达不到混凝土的抗拉强度。由此可以说明:垂直于水流的裂缝不可能因为受到自重、上覆土压力、侧向土压力和地基渗透变形而产生。根据前面论述可以判断,垂直水流向的裂缝在顺水流向的裂缝形成之前就已经存在。该裂缝产生的原因可能为:施工期产生

裂缝,在运行期受上述荷载和地基变形作用而贯穿发展。

3 结 语

通过上述计算分析可以得出如下结论:

(1) 底板和闸墩是一个整体,对于地基不均匀沉陷变形的适应能力差;荷载的施加过程存在差别,水闸中间两孔上表面拉应力增大,加之结构设计强度不够,底板上表面的拉应力超过混凝土的抗拉强度,从而导致闸底板顺水流方向裂缝的产生。

(2) 垂直水流的裂缝可能是施工期内就已经形成,在运行期,在荷载和地基渗透变形等作用下贯穿和发展。 □

参考文献:

- [1] 长江流域管理办公室. 金刚口排水闸设计说明书[Z].
- [2] 长江流域管理办公室. 金刚口排水闸竣工资料[Z].
- [3] 长江水利委员会水利质量检测中心. 金刚口排水闸裂缝检测报告[R].
- [4] 湖北省水利厅水电工程检测研究中心. 金刚口排水闸安全检测报告[R].
- [5] 欧添雁,卢亦焱. 安庆市枞阳闸的检测与加固处理[J]. 中国农村水利水电, 2004, (11).
- [6] 蔡迟亮,张伟民. 龙沥闸病害原因分析和加固方案[J]. 中国农村水利水电, 2003, (10).
- [7] 邱建安. 混凝土箱涵裂缝浅析[J]. 中国农村水利水电, 2003, (6).