

湫湖灌区1号过水桥改造工程设计与计算

楚雷刚¹, 池丽敏², 邵雨辰²

(1.南京市溧水区水务局, 江苏 南京 211299; 2.南京市水利规划设计院股份有限公司, 江苏 南京 210014)

摘 要: 过水桥在丘陵灌区应用十分广泛,为丘陵地区跨流域调水提供了便利基础条件。湫湖灌区1号过水桥改造,为满足过水桥的设计过流能力及减少占地等要求,使改造后过水桥的断面和跨度均有所增加。过水桥30 m跨度槽身采用后张法预应力技术,通过三维有限元分析计算,表明通过预应力钢筋的施加,可以大大减少运行期的混凝土拉应力,提高结构的安全度。

关键词: 过水桥改造;后张法预应力;三维有限元

中图分类号: U445.6

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)12-0121-05

0 引言

20世纪60年代以来,随着国内水利基础设施的兴建,过水桥因其重量轻、跨度大、造价低、水流条件好、适用性强等特点得到广泛应用。但是,在长期使用过程中由于运行管护不当、材料老化等原因造成一定的病险现象^[1-4]。湫湖灌区1号、2号、3号过水桥,原过流能力在 $8\text{ m}^3/\text{s}$ 左右,输水能力已不满足总干渠($15\text{ m}^3/\text{s}$)要求。3座过水桥均建于1980年,由于长期运行,破损老化、碳化较为严重;由于年久失修,有的还出现侧墙裂缝,严重影响结构安全。过水桥止水原先采用沥青毛毡,现在老化严重,漏水较多,急需进行更换改造。本文以湫湖灌区1号过水桥改造工程为例,过水桥采用后张法预应力技术,并通过三维有限元模型对槽身结构内力及位移进行计算,为优化设计提供依据。

1 湫湖灌区原1号过水桥概况

湫湖灌区原1号过水桥建于1980年,宽4.0 m,高2.5 m,槽台为三联拱形,总长120 m(见图1)。溧水区2015—2018年农村公路提档升级工程X151戴山线(老明公路—秋湖段)道路改造工程穿原1号过水桥中孔,道路设计净宽8.5 m,总宽12.5 m,与过水桥斜交角度约为 64° ,相交斜长约28.5 m。

原1号过水桥由于长期运行,破损老化,年久失修,有的还出现侧墙裂缝,严重影响结构安全。



图1 原湫湖灌区1号过水桥现场照片

2 过水桥设计

1号过水桥原断面 $4.0\text{ m} \times 2.5\text{ m}$,实际过流能力约为 $8\text{ m}^3/\text{s}$ 。

湫湖泵站为湫湖灌区渠首工程,建于1978年,2011年完成更新改造工程,设计流量为 $15\text{ m}^3/\text{s}$ 。原过水桥输水能力与湫湖泵站设计流量不相适应,新建过水桥需根据湫湖泵站设计流量拟定过水桥断面。1号过水桥设计流量为 $15\text{ m}^3/\text{s}$ 。

设计1号过水桥总长161.4 m,共7跨,中跨X151戴山线桥跨度30 m,桥墩采用桩柱式桥台,桩径DN1 200 mm,桩长18.7 m,盖梁高1.2 m,宽1.6 m。其余6跨桥身跨度16 m,桥架采用单排架,中设一道横梁,排架高度根据地形有7.9 m、9.0 m两种,盖梁高0.6 m,宽1.3 m,桥身为 $2 \times 3.0\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ 有拉杆加肋双孔矩形槽,拉杆 $0.2\text{ m} \times 0.2\text{ m}$ 间距2 m,肋 $0.25\text{ m} \times 0.2\text{ m}$,高2.1 m,间距2 m。进水口与总干渠以10 m长扭面衔接,8 m长钢筋混凝土连接段接过水桥与扭面,出水口与总干渠以10 m长扭面衔接,7 m长钢筋混凝土连接段接过水桥与扭面。边跨坡面与干渠锥坡顺接。

收稿日期: 2022-09-27

作者简介: 楚雷刚(1982—),男,本科,工程师,从事农业水利工程管理工作。

工程1号过水桥30 m跨桥身拟采用预应力结构,提高结构抗裂性能,配置足够的表面限裂钢筋等技术,并加强混凝土浇筑后的表面养护(保温、保湿)措施来增大伸缩缝间距^[5]。

对于30 m跨径过水桥,分别采用结构力学法和三维有限元分析法计算。

3 过水桥水力计算

根据《农业综合开发江苏省南京市溧水区湫湖灌区节水配套改造项目初步设计》(2013年)湫湖总干渠水位推算成果,采用总干渠下游末端水位为38.78 m, K0+700处水位40.37 m, K1+220处水位40.08 m。

根据《灌溉与排水工程设计规范》(GB 50288—2018)附录M^[6],当过水桥长度大于其15倍的进口段渠道正常水深时,过水桥流量按照下式计算:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} i^{1/2}$$

式中: Q 为过水桥设计流量, m^3/s ; A 为过水桥过水断面面积, m^2 ; R 为水力半径; i 为槽底比降,取1/900; n 为槽身糙率,取0.014。

通过计算,取过水桥过水断面尺寸为 $2 \times 2.3 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$,此时流量为 $15.43 \text{ m}^3/\text{s}$,流速为 1.09 m/s ,流量 Q 稍大于设计流量,可以满足设计要求。其中考虑槽身顶部超高0.20 m,过水桥断面尺寸为 $2 \times 2.5 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$ 两孔。

本次设计过水桥进、出口槽底高程不变,槽底高程取38.00,又 $i=1/900$ 槽底比降,进水口水面需雍高约0.15 m,可达设计流量。

4 结构有限元模型计算

4.1 基本数据

(1)结构安全级别。按照《灌溉与排水工程设计规范》(GB 50288—2018)^[6],项目建设工程等级如下:总干渠设计流量 $15.0 \text{ m}^3/\text{s}$,工程级别为4级,过水桥安全级别为4级。按照SL191—2008,3.2.4,对应荷载效应基本情况下的承载力安全系数 $K=1.15$ 。根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)续表E.5项目区基本风压取 4.5 kN/m^2 。

(2)荷载及荷载分项系数。槽身自重 $\gamma_g=1.05$;行人荷载取 2.5 kN/m^2 , $\gamma_q=1.20$;过水桥按照满槽水计算 $\gamma_q=1.10$ 。

(3)环境条件类别。因过水桥处于露天,故环境条件类别为二类。混凝土保护层最小厚度 $c=25 \text{ mm}$ 。

(4)材料。混凝土强度等级为C40,但过水桥在

现场浇筑,考虑到施工工艺等具体条件,槽身计算中的混凝土等级采用C30。由SL191—2008查得, $f_c=14.3 \text{ N/mm}^2$, $f_t=1.43 \text{ N/mm}^2$, $f_{ck}=20.1 \text{ N/mm}^2$, $f_{tk}=2.01 \text{ N/mm}^2$, $E_c=3.0 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$,后张时及施工阶段验算中混凝土强度取C40的75%。

(5)裂缝控制等级。按照二级控制。

4.2 预应力施加

槽身预应力施加采用后张法,即先浇筑混凝土,等达到规定强度后再张拉钢筋,预应力通过锚头传给混凝土,预应力筋与混凝土之间的黏结力通过张拉钢筋后对孔道灌浆来实现。锚具对混凝土产生的预应力,随着距锚具的增大而有所损失。在有限元网格中以节点的外荷载形式施加预应力时,必须计算这种损失。

槽身纵向预应力筋:按槽身受力要求计算出的纵向预应力筋主要布置在中墙和边墙底部的大梁内,并在槽底板宽度内沿纵向布置部分通长直筋,由于纵向预应力筋长度长,采用钢绞线($10\phi^{15.2}$)群锚体系,后张法施工。锚下控制应力采用 $\sigma_{con}=0.75f_{pk}=1395 \text{ MPa}$,相应的锚下控制张拉力1953 kN(锚口摩擦阻损失和千斤顶的内摩阻由试验确定)。钢绞线采用双端张拉。

过水桥断面设计和预应力筋布置如图2、图3所示。

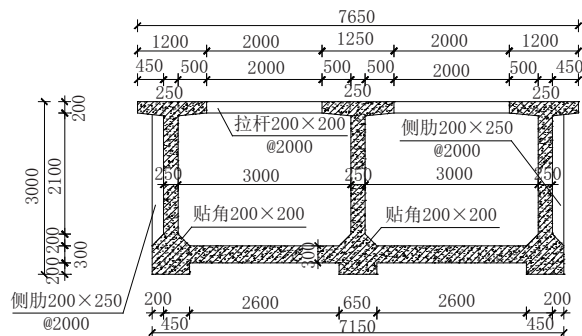


图2 过水桥断面设计图(单位:m)

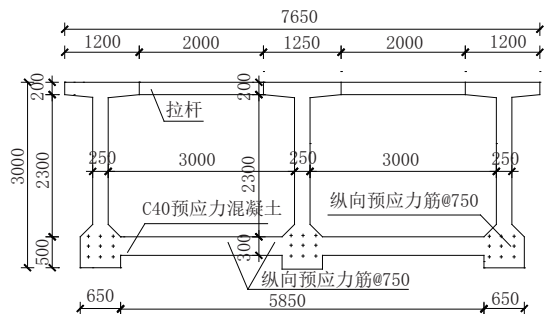


图3 预应力筋布置图(单位:m)

4.3 有限元计算

4.3.1 不加预应力三维有限元分析

建立过水桥结构整体三维有限元分析模型,如

图 4 所示。过水桥长度方向为 Y 向,水平向为 X 向, 竖直向为 Z 向。混凝土结构采用空间 8 结点六面体 单元,少量 6 结点棱柱退化单元,模型共划分 60 876 个结点、41 466 个实体单元。

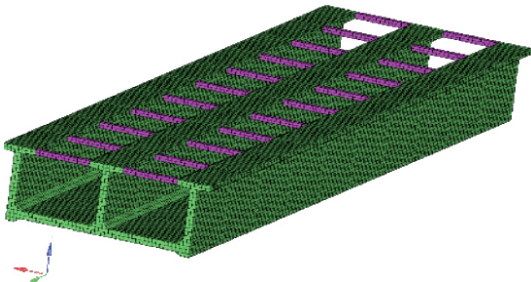


图 4 两孔一联过水桥结构三维有限元模型

过水桥采用弹性材料进行分析,槽身为 C40 混凝土, $E=32.5\text{ GPa}$,泊松比 0.167,密度 $2\,450\text{ kg/m}^3$ 。过水桥顶部联杆为 C20 混凝土, $E=28.0\text{ GPa}$,泊松比 0.167,密度 $2\,400\text{ kg/m}^3$ 。槽身内部的预应力钢筋, $E=200\text{ GPa}$,泊松比 0.3,密度 $7\,850\text{ kg/m}^3$ 。

边界条件:过水桥底部两端各 0.8m 范围内的结点施加约束,一端加三向固定约束,另外一端仅施加 Z 向约束。

荷载条件:(1)结构自重;(2)过水桥内水压力 (2.3 m 水深)。

计算工况:(1)仅自重;(2)自重 + 水压。

水压分布区域如图 5 所示。

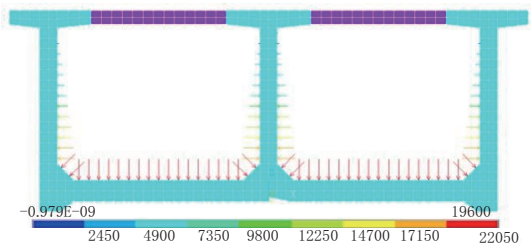


图 5 水压分布区域

(1)工况 1:仅自重。在仅自重荷载作用下,最大 竖直向变形发生在过水桥跨中部位,最大变形为 4.185 mm(见图 6)。过水桥跨中部底下两侧部沿过 水桥长度方向的拉应力最大,其值为 2.92 MPa(见图 7、图 8)。

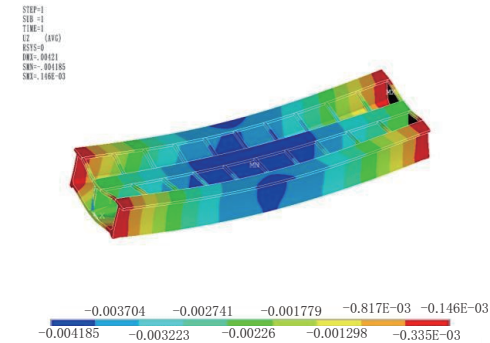


图 6 竖直向变形分布(单位:m)

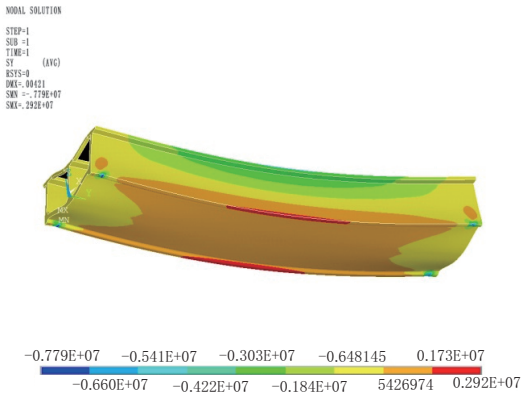


图 7 水平向(槽身向)应力分布(单位:Pa)

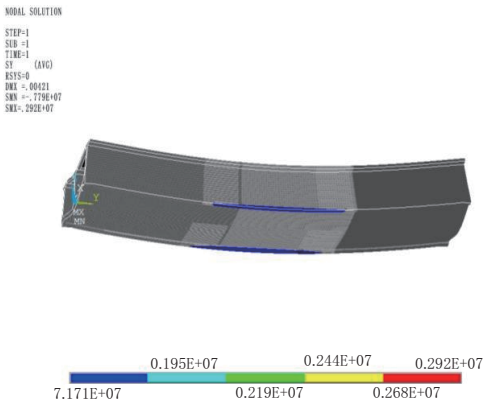


图 8 水平向(槽身向)超过 1.71 MPa 的应力分布(单位:Pa)

(2)工况 2:自重 + 水压。在自重 + 水压荷载作用 下,最大竖直向变形发生在过水桥跨中部位,最大变 形为 9.174 mm(见图 9)。过水桥跨中部底下两侧部 沿过水桥长度方向的拉应力最大,其值为 6.32 MPa (见图 10、图 11)。

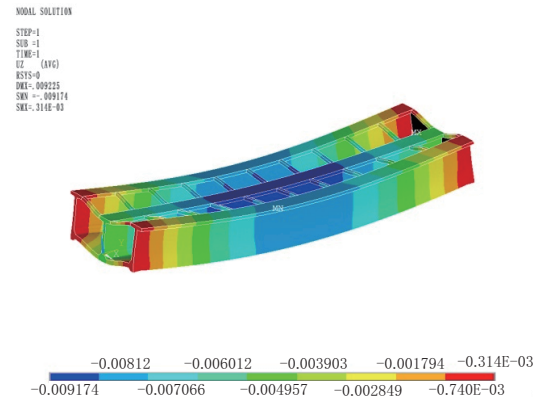


图 9 竖直向变形分布(单位:m)

4.3.2 加预应力三维有限元分析

建立过水桥结构整体三维有限元分析模型,如 图 4 所示。过水桥长度方向为 Y 向,水平向为 X 向, 竖直向为 Z 向。混凝土结构采用空间 8 结点六面体 单元,少量 6 结点棱柱退化单元,预应力钢筋采用杆 单元。加预应力时,其预应力钢筋布置如图 12 所示, 模型共划分 71 626 个结点,41 466 个实体单元、

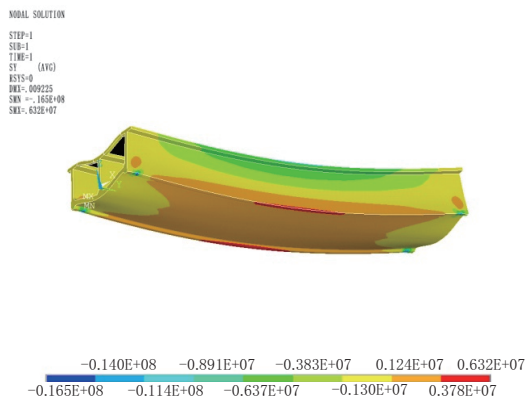


图 10 水平向(槽身向)应力分布(单位:Pa)

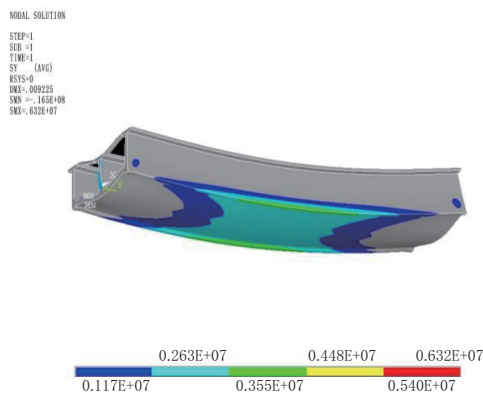


图 11 水平向(槽身向)超过 1.71 MPa 的应力分布(单位:Pa)
10 456 个杆单元。其余边界和荷载条件与不加预应力时一样。预应力大小为 1 032 N/mm²。

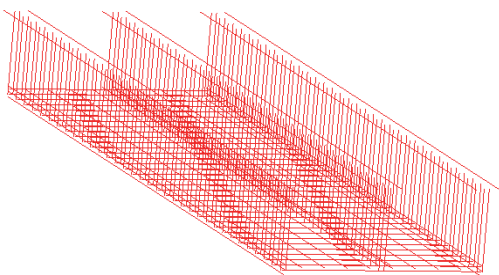


图 12 预应力钢筋布置图

(1)工况 1:仅自重。在仅自重荷载作用下,最大竖向变形发生在过水桥跨中部位,最大变形为 0.692 mm(见图 13)。过水桥上部沿过水桥长度方向的拉应力最大,其值为 0.925 MPa(见图 14)。

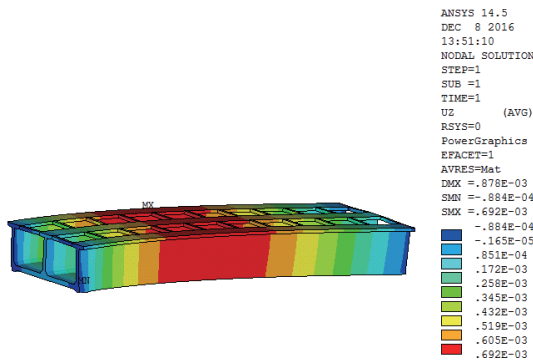


图 13 竖向变形分布(单位:m)

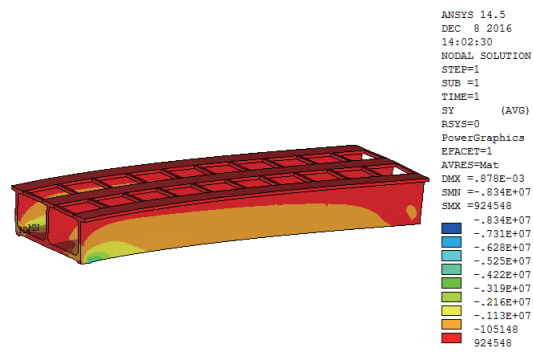


图 14 水平向(槽身向)应力分布(单位:Pa)

(2)工况 2:自重 + 水压。

在自重 + 水压荷载作用下,最大竖向变形发生在过水桥跨中部位,最大变形为 3.937 mm(见图 15)。过水桥跨中部底下两侧部沿过水桥长度方向的拉应力最大,其值为 2.66 MPa(见图 16)。

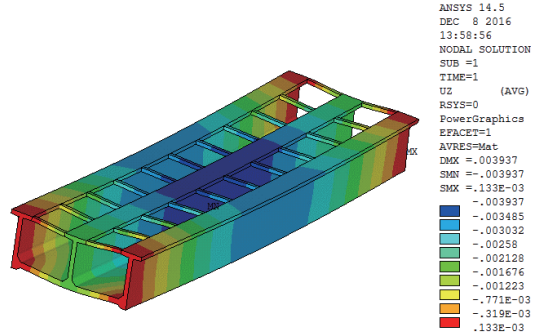


图 15 竖向变形分布(单位:m)

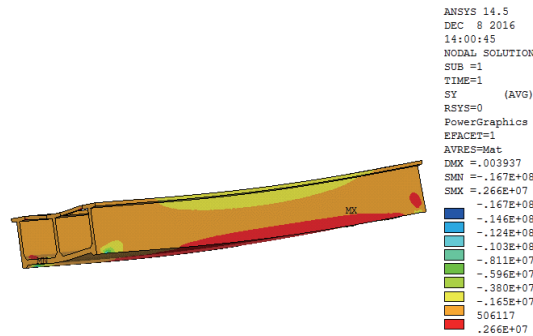


图 16 水平向(槽身向)应力分布(单位:Pa)

5 结果分析

根据以上有无加预应力进行数值计算,取得其计算的最大竖直向位移值和槽身向的拉应力值见表 1。

表 1 有无加预应力数值计算成果对比

名称	不加预应力		加预应力	
	工况 1	工况 2	工况 1	工况 2
位移/mm	4.185	9.174	-0.692	3.973
应力/MPa	2.92(下)	6.32(下)	0.925(上)	2.66(下)

注:位移向上为负,向下为正;应力值中(上)表示在槽顶上部出现拉应力,(下)表示在槽底部出现拉应力。

工况 1 下(仅自重),加预应力时最大竖向位移向上,最大拉应力在顶部过水桥;而没有加预应力时最大竖向位移向下,最大拉应力在底中部过水桥。这是由于底部预应力筋比上部多,形成拱效应造成的。工况 2 下(自重+水压):不管有无加预应力,其位移和应力的最大值在同侧取得,但是没有加预应力计算的位移值和应力值比有加预应力计算的位移值和应力值大。

通过以上分析可知,通过预应力钢筋的施加,可以大大减少运行期的混凝土拉应力,但在完建期会出现上拉下压的拱效应。而且,过水桥底部的预应力值越大,完建期的拱效应越明显,但运行期的混凝土拉应力也就越小。

结构力学法及三维有限元分析法表明,对 30 m 跨槽身施加纵向预应力后,结构应力状态明显改变,各控制截面的拉应力均大幅降低。

6 结 语

根据湫湖灌区 1 号过水桥特点,运用结构力学法和三维有限元方法对槽身位移及应力值进行计算,得出以下结论:

(1)采用三维有限元模型对过水桥在施加预应力条件下进行内力及位移进行计算,经过实践验证是可行的,可供类似工程参考。

(2)结构力学法及三维有限元分析法表明,对 30 m 跨槽身施加纵向预应力后,结构应力状态明显改变,各控制截面的拉应力均大幅降低,为结构优化设计提供了有力依据。

建成后 1 号过水桥如图 17 所示。



图 17 建成后 1 号过水桥

参考文献:

- [1] 翟利军,吉晓红.过水桥预应力钢绞线布置优化研究[J].中国农村水利水电,2021(4):132-135.
- [2] 李娜.大跨度预应力简支箱梁结构过水桥计算[J].广西水利水电工程,2021(2):37-39.
- [3] 王坤雪,吴志华,等.浅谈 U 型薄壁过水桥除险加固技术方案——以碗窑灌区峡口西干渠过水桥为例[J].浙江水利科技,2021,235(3):57-61.
- [4] 严冬青.南干过水桥除险加固工程设计[J].中国科技信息,2021(5):41-42.
- [5] SL191—2008,水工混凝土结构设计规范[S].
- [6] GB 50288—2018,灌溉与排水工程设计规范[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com