

排子河渡槽病险成因分析

桂剑萍¹, 江胜华², 钟汉华¹

(1. 湖北水利水电职业技术学院水利工程系, 湖北 武汉 430070; 2. 武汉大学土木建筑工程学院, 湖北 武汉 430072)

摘要 :针对湖北省大中型灌区混凝土渡槽普遍存在老损率高、破坏严重、制约灌溉效益发挥的现象,以引丹灌区排子河渡槽为研究对象,探讨渡槽出现病险的原因。通过大型有限元分析软件 ANSYS 分析渡槽各种工况的运行情况。结果表明,若把水工结构中的肋形梁板结构计算模型应用到薄壁梁结构设计中,可能导致计算结果不可靠;将三维实体单元应用于渡槽的有限元分析中,可以最大限度地模拟原结构的实际受力情况。同时,介绍了碳纤维布在渡槽加固中的应用,实践证明用碳纤维布加固渡槽经济效益显著。

关键词 :渡槽加固;裂缝;有限元分析;碳纤维布;排子河渡槽

中图分类号 :TV672.2+3 文献标识码 :B 文章编号 :1006-7647(2008)03-0058-04

Causes of dangerous situations for the Paizi River Aqueduct // GUI Jian-ping¹, Jiang Sheng-hua², Zhong Han-hua¹ (1. Water Resources Department, Hubei Water Resources Technical College, Wuhan 430070, China; 2. School of Civil and Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract : Many concrete aqueducts in the large- and middle-scale irrigation area of Hubei province are seriously damaged, so the benefit of irrigation has been greatly restricted. The causes of danger or risk in aqueducts are discussed, with the Paizi River Aqueduct in the irrigation area of Danjiangkou Reservoir as an example. The performance of the aqueduct under different operation modes is analyzed with the large-scale finite element analysis software ANSYS. The results show that the calculation model of ribbed slabs and beams in hydraulic structures is unreliable if applied to the design of the thin-walled beam structure, and the actual forces acting on the aqueduct can be effectively simulated with the solid 3-dimensional finite element method. Also, it is proved that the use of CFRP sheets in risk removal and reinforcement of the aqueduct can have significant economic benefits.

Key words : reinforcement of aqueduct; crack; finite element analysis; CFRP sheets; Paizi River Aqueduct

1 工程概况

引丹灌区位于湖北省北部,是全国大型灌区之一,自然面积 2 980 km²。灌区总耕地面积 17.1 万 hm²,其中灌溉工程控制耕地面积 14 万 hm²。排子河渡槽是引丹灌区的一个关键性大型建筑物,规划灌溉面积达 3.7 万 hm²,在引丹灌区中具有重要作用。该渡槽于 1974 年 7 月建成,设计流量 35 m³/s,加大过水流量 38 m³/s。渡槽槽身为钢筋混凝土筒支矩形槽,侧墙和底板为梁板结构。槽身高 4.25 m,宽 3.8 m,过水断面为 3 m×3.6 m。

2 渡槽病险情况概述

经过 30 多年的运用,排子河渡槽老化破损严重,造成过水能力下降,渗漏现象严重,水量损失巨大,灌溉水利用系数仅为 0.37,灌溉保证率仅为

56%,严重影响工程效益的正常发挥,制约了灌区的可持续发展。经现场检测,渡槽病害主要体现在以下 2 个方面:

a. 槽身伸缩缝止水老化失效。排子河渡槽槽身伸缩缝共有 366 条,采用环氧树脂粘贴 U 形橡皮止水。根据现场实测,目前渡槽最大过流水深为 1.6 m,流量为 20 m³/s,灌溉面积只能达到 1.3 万 hm²。

b. 混凝土质量缺陷。排子河渡槽混凝土质量缺陷表现在槽身混凝土表面有大量裂缝、混凝土表面碳化严重、钢筋裸露锈蚀严重。如图 1 所示,槽身多处出现裂缝,裂缝最长为 2.5 m。据统计,裂缝开展度在 0.1~3 mm 之间,其中 80% 的裂缝开展度大于《水工混凝土结构设计规范》^[1] 的裂缝开展度允许值。经过长期的运行,混凝土表面碳化严重,碳化深度在 6~46 mm 之间。观察发现钢筋裸露锈蚀发生

作者简介:桂剑萍(1974—),男,湖北武汉人,硕士,讲师,从事水工结构设计及专业教学工作。E-mail:guijp1008@yahoo.com.cn

在槽身各个部位,尤以侧墙为多,钢筋裸露达356处,并有不同程度的锈蚀。



图1 槽身露筋

3 建筑物病险原因分析

3.1 止水失效

槽身止水结构长期暴露在空气中,自然老化。由于采用的止水橡皮伸缩率较低,施工方法不当,止水效果较差,且长期没有进行正常保养,从而导致止水失效。

3.2 混凝土质量缺陷

根据裂缝的分布及现场检测,经过综合分析,认为渡槽槽身裂缝产生的原因有:①施工原因。由于该渡槽施工期正处于“文革”时期(1966~1976年),没有按设计要求进行施工,施工阶段形成干缩裂缝、温度裂缝,还有部分裂缝是由于混凝土碳化严重、钢筋表面钝化膜中性化、钢筋锈蚀膨胀引起。②设计原因。渡槽设计时,由于计算模型选取不当,造成内力计算与结构实际受力相差较大,从而导致开裂部位钢筋配置的数量不足,渡槽由于承载能力不够而开裂,同时,渡槽的侧墙墙体厚度偏薄,钢筋保护层厚度不足也是产生裂缝的原因之一。

4 渡槽的有限元分析

混凝土结构构件开裂均有共同的力学原因,即开裂部位由荷载产生的应力超过了渡槽本身所能承受的应力,即 $r_0 S \geq R$ 其中 r_0 为结构重要性系数, S

为作用(荷载)效应函数, R 为结构件抗力函数^[2]。因此渡槽开裂应从力学行为方面寻找失效点,并根据失效原因和程度采取相应的加固措施。

4.1 有限元计算模型的建立

对渡槽的结构分析采用大型有限元软件 ANSYS 进行。在有限元模型中,混凝土采用 solid65 单元,纵肋的钢筋采用 link8 单元,其他部位的钢筋采用带筋的 solid65 单元。另外,为防止支座处应力集中,支座处增加1个弹性垫块,采用 solid45 模拟。对于弹性垫块,约束节点的竖向位移;为防止渡槽发生整体的刚体位移,约束刚性垫板极少数节点的横向位移^[3-4]。在建模过程中为减少计算机时,仅取纵向 1/2 结构进行分析。整体有限元网格剖分模型见图2。

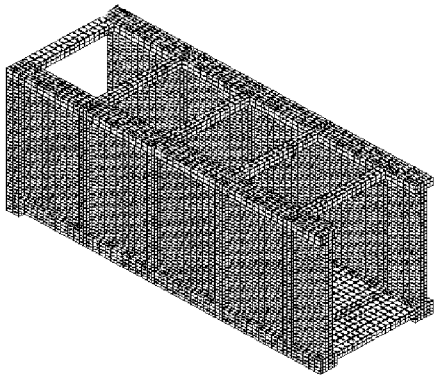


图2 渡槽整体有限元网格剖分模型

4.2 材料特性、荷载及计算工况

渡槽材料特性参数主要根据现场检测及相应的规范来确定。荷载仅考虑结构重力、水重、水压力及风压力。具体计算在此不再阐述。渡槽结构计算时,根据其实际运行条件,采用3种荷载组合:①工况1:渡槽结构自重+设计水位+人群荷载。②工况2:渡槽结构自重+校核水位+人群荷载。③工况3:渡槽结构自重+校核水位+风压力+人群荷载。

4.3 有限元计算及结果分析

4.3.1 渡槽横向应力

图3为侧板与侧肋在3种工况下的横向应力分布云图。从图3中可以看到,3种工况下,最大竖向拉

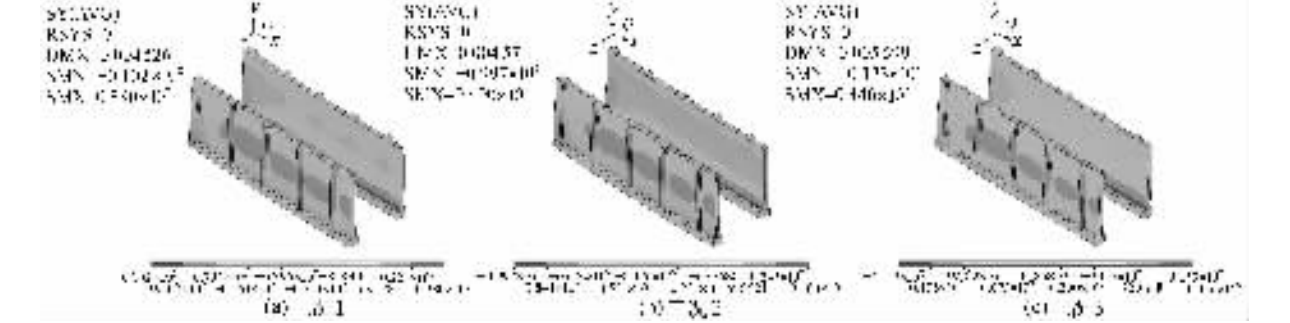


图3 侧板及侧肋横向应力 σ_x 云图

应力区域均在侧肋外部和侧板外侧,其中第3种工况时最大值达到 4.46×10^6 Pa,已经超过混凝土的抗拉强度值。受边界条件的影响,靠近简支座处的侧板最大拉应力偏移至靠近侧肋附近,不同于严格意义上的四边固支双向板。 σ_y 沿槽长度方向不是常数,靠近支座后 σ_y 减小,不同于平面计算方法。

图4为底板与底肋在3种工况下的横向应力分布云图。从图4中可以看出,压应力区域主要在底板上方,最大压应力值出现在底肋与纵向大梁交界下表面处。根据平面计算结果,此处负弯矩最大,与空间有限元分析结论一致。简支座附近的底板下表面的拉压应力均小于其他区域,与平面分析略有不同。最大拉应力值出现在底板上部,为 3.23×10^6 Pa (工况3) 超过混凝土的抗拉强度值。

4.3.2 渡槽纵向应力

图5为侧板、侧肋在3种工况下的纵向应力分

布云图。由图5可以看出,由于空间作用,侧板、侧肋与底肋形成整体受力体系,应力分布与一般梁的应力分布大致相似,即侧板、侧肋下部和底肋处于受拉状态,最大拉应力为 4.54×10^6 Pa (工况3),而侧板上部区域为受压状态。另外,侧板截面同一高度的 σ_x 值不是常数,且 σ_x 的分布不符合平截面假定,但拉、压区的范围大致符合材料力学规律。

图6为底板、底肋在3种工况下的纵向应力分布云图。由图6可以看出,底板、底肋大部分处于受拉状态,为渡槽整体受弯的受拉区域,与实际受力情形符合,其中最大拉应力值为 4.03×10^6 Pa (工况3) 超过混凝土抗拉强度。显然,底板、底肋为防渗抗裂的主要区域。

根据有限元计算结果,底板和侧板跨中区域混凝土所受拉应力超过其抗拉强度,混凝土开裂退出工作。现场检测表现,混凝土表面碳化严重,部分漏筋,表面出现裂缝,与有限元分析结果一致。为保证

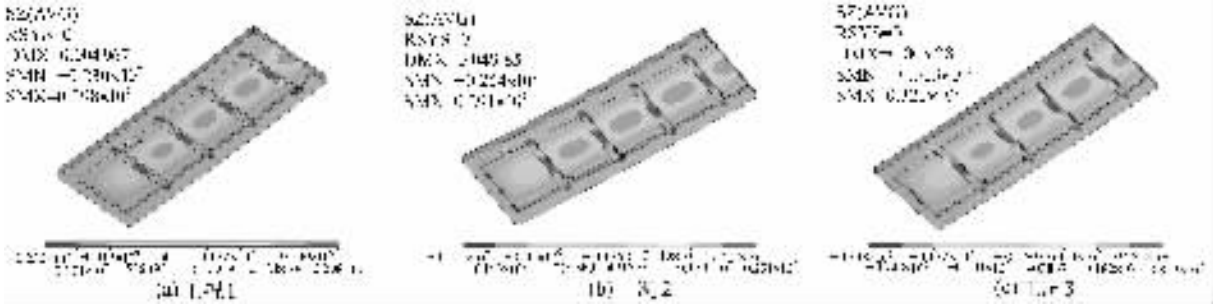


图4 底板及底肋横向应力 σ_y 云图

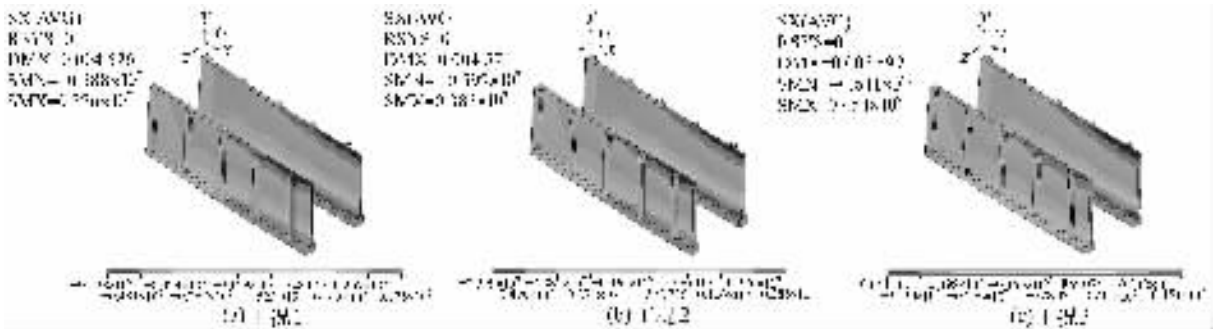


图5 侧板及侧肋纵向应力 σ_x 云图

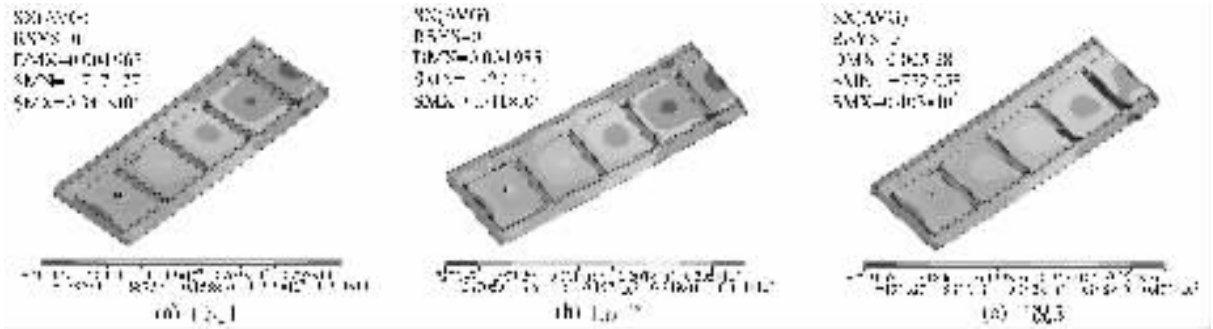


图6 底板及底肋纵向应力 σ_x 云图

渡槽正常使用,须采取相应的加固补强措施,修补裂缝,提高抗裂防渗能力。

5 渡槽加固方案的选择

常用钢筋混凝土结构的加固方法有:粘钢加固法、碳纤维黏结加固法、加大截面法、化学植筋加固法等。碳纤维黏结加固法与传统加固法相比具有几乎不受现场条件限制、施工方法简单等很多优点,并成为国际上混凝土结构加固技术的一个亮点。结合本工程实际特点,排子河渡槽加固方案拟采用碳纤维布黏结加固法进行加固。具体加固设计在此不再阐述。

经计算,对底板主、次梁采用2层碳纤维,其他部位采用1层碳纤维进行加固处理,所采用的碳纤维布型号为YC-N200,其主要性能指标如下:单位面积质量为 200 g/cm^2 ,设计厚度为 0.111 mm ,抗拉强度 f_{cf} 为 4900 MPa ,弹性模量 E_{cf} 为 $2.3 \times 10^5\text{ MPa}$ 。

6 碳纤维布加固的施工工艺

由于碳纤维布弹性模量与钢筋的相近,故在施工时应停止渡槽输水,以减少渡槽中钢筋及混凝土的变形,确保可以在部分卸载情况下进行碳纤维布加固,且加固后的渡槽钢筋受到的拉应力能部分传递给碳纤维,以达到两者协调工作。在最大荷载作用下,可以充分发挥碳纤维布的材料强度^[5-7]。碳纤维布加固的施工工艺如下:①首先去除待加固部位的混凝土表面风化层,并凿毛,注意保持施工面干净。②将界面树脂均匀涂刷在施工面上,待其不粘手时,用修平树脂找平施工面。③待修平树脂不粘手时,在施工基面上均匀涂刷浸渍树脂,其厚度为 $3 \sim 5\text{ mm}$,要求树脂全部盖住施工基面。④将碳纤维布拉紧展平,并铺在涂有浸渍树脂的基面上,然后用辊子滚压,排除布与树脂间的空气,并使浸渍树脂完全浸透碳纤维布。要求滚压之后的碳纤维布要平直,布与树脂间无气泡。⑤在碳纤维布上涂1层浸渍树脂,并均匀盖住,其厚度一般为 $1 \sim 2\text{ mm}$ 。要求在确认碳纤维布与树脂之间无空气后方可涂刷。同时注意搭接区的粘贴,做好标记,保证搭接长度不小于 150 mm 。⑥养护7d后,表面涂刷具有抗老化及耐腐蚀性能的防护层。

7 结 语

应用有限元分析软件 ANSYS 对排子河渡槽结构进行初步分析,结合排子河渡槽结构检测鉴定,可得出以下结论:①渡槽结构设计时,若把水工结构中的肋形梁板结构计算模型应用到薄壁梁结构设计

中,由于该模型未考虑空间整体作用性能,受力不明确,可能导致计算结果不可靠;②将三维实体单元应用于渡槽的有限元分析中,减少了传统利用板、壳和杆单元分析所产生的误差,可以最大限度地模拟原结构的实际受力情况;③由于渡槽防渗抗裂的要求,建议研究使用预应力混凝土渡槽;④实际上,渡槽在碳纤维布加固之前已经存在不同长短和深度的裂缝。本文的计算模型并没有模拟出这些裂缝对工作性能的影响。

排子河渡槽经过碳纤维布加固补强后已投入使用,使用3a以来,运行情况良好,槽体结构无新的裂缝产生,也没有发现渗漏现象(见图7),加固效益明显。经过有限元模拟分析初步验证其强度和刚度得到了提高,可见碳纤维布加固渡槽这类过水水工建筑物,不仅加固效果良好,而且可以起到节水的效果,技术上也可行,经济效益显著。

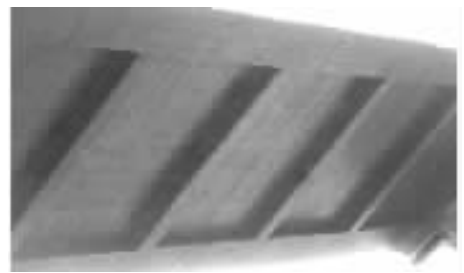


图7 渡槽底板采用碳纤维加固后的状况

参考文献:

[1] SL/T191—96 水工混凝土结构设计规范[S].
[2] 宋力,张晓英,高玉琴,等.引滦入唐工程某渡槽裂缝成因及对策分析[J].南水北调与水利科技,2007,3(1):85-86-94.
[3] 刘晓青,李同春,顾清华.用有限单元法求解复杂结构体系的内力[J].河海大学学报:自然科学版,2000,28(S1):111-115.
[4] 欧阳实,倪保璐,欧健.钢筋混凝土筒支型矩形渡槽断裂强度及寿命的断裂力学分析初探[J].水利水电科技进展,1999,19(6):47-48.
[5] 王怀宾.采用碳纤维等新材料加固引水渡槽工程实践[J].西北水电,2005(2):37-38.
[6] GB50367—2006 混凝土结构加固技术规范[S].
[7] CECS146—2003 碳纤维片材加固混凝土结构技术规范[S].

(收稿日期:2007-11-28 编辑:骆超)

