

超高性能混凝土在装配式渡槽中的应用初探

(成都城投城建科技有限公司,四川省成都市,610500) 周志威 王杰 肖东 谭琪 刘佳欣

摘要 提出利用超高性能混凝土(UHPC)材料预制渡槽,并对渡槽结构进行初步设计,同时与传统混凝土渡槽的工程、经济、社会和环境效益进行了对比。结果表明:UHPC渡槽的槽身重量、全生命周期费用和碳排放量分别较C25渡槽降低了64%、16.5%和68.1%,渡槽结构不仅实现了轻量化,而且大大节约了原材料的用量,降低后期运营维护成本,使得UHPC渡槽具备更好的工程经济和社会环境效益,值得在今后引水输水工程中予以推广应用。

关键词 渡槽;超高性能混凝土;结构设计;效益分析;全生命周期

中图分类号:TV3 文献标识码:B

文章编号:1008-0899(2024)02-0054-02

受限于地质、地形和地貌条件限制,引调水工程和灌区工程往往需要跨越山谷沟壑和河道,相比传统的涵洞输水方式,渡槽具有如下优势^[1-2]:①不影响沟谷和河道的行洪;②水头损失小,可减小水头损耗;③过水能力强。然而传统混凝土预制结构存在尺寸大,重量大,抗拉强度低,易出现开裂,耐久性较差,使用寿命低等问题,渡槽作为一种大型构件,由于多数地处山区,为方便运输吊装,对于构件轻量化的要求更是十分重要,为了适应渡槽结构向大型化、高耐久性和轻量化发展的需要,需要寻找新的材料来替代传统混凝土进行渡槽构件的预制。UHPC混凝土具有强度高、结构可靠、耐久性好、耐磨性佳等特点,已在大跨径桥梁、人行天桥、港口及其海工结构领域得到一定的应用^[3-5]。根据UHPC在已有项目中的应用表明,采用UHPC可以有效减小工程结构的尺寸,可明显减少后期的维护投入,因此很多学者和专家都在致力于UHPC的研究和应用。

本文基于前人研究理论和经验^[6],初步设计了一种UHPC预制拼装渡槽结构,并与传统混凝土渡

槽的工程、经济、社会和环境效益进行了对比分析,以期能为UHPC在水利引水工程中的应用提供借鉴。

1 UHPC混凝土制备

主要原材料包括P.O42.5普通硅酸盐水泥、I级粉煤灰、硅灰、石英砂、平直型镀铜钢纤维、聚羧酸高效减水剂:类、水等。设计采用抗压强度 $\geq 140\text{MPa}$,抗折强度为 $\geq 20\text{MPa}$ 的超高性能混凝土制备渡槽,水胶比为0.17,水泥用量占胶凝材料用量的75%,硅灰用量占胶凝材料用量的20%,钢纤维体积掺量为3%,UHPC配合比设计方案见表1。为防止在UHPC拌合过程中出现明显的干湿界面而导致内部结构不均匀和性能降低情况,在正式搅拌之前,先将水泥、粉煤灰、硅灰以及石英砂等按照用量混合成干粉料,干拌4min;然后再向干粉料中缓慢加入水和减水剂,充分搅拌6min;最后向拌合物中缓慢加入镀铜钢纤维,继续搅拌6min后出料,得到拌合好的UHPC浆料。

表1 UHPC配合比方案

水泥	粉煤灰	硅灰	石英砂	钢纤维	减水剂	水
750	150	200	969	236	33	187

2 渡槽结构设计

2.1 断面形式选取

U形断面渡槽的造型结构更简单、美观,水利条件更优越,纵横向的受力条件好,结构的强度、刚度、稳定性和结构安全性均较高,抗风稳定性较好,施工吊装方便,便于工厂化预制生产,因此,本文UHPC断面采用U形结构。

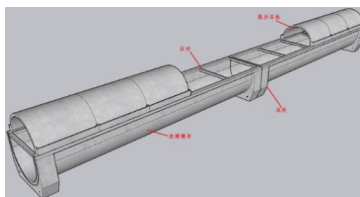
作者简介:周志威(1990~),男,汉族,四川乐山人,硕士研究生,工程师,研究方向:市政、水利、建筑材料相关研究。

王杰(1990~),男,汉族,四川南充人,本科,工程师,研究方向:市政、桥梁研究。

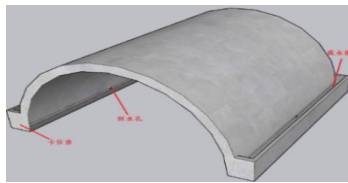
2.2 结构组成

渡槽由槽身、两端底座和弧形盖板组成。槽身过水断面由直线段和圆弧曲线段两部分组成,渡槽两端为加厚底座,为了加强两边侧墙联系,同时减小渡槽槽身底部的弯矩,在侧墙上部每隔一段距离增设一根拉杆,两侧槽身顶部适当加宽形成边梁,从而增加槽身的总体刚度。在渡槽上方可以视情况增设弧形盖板,弧形盖板可以减少夏季高温季节的水量蒸发,提高渠系水利用系数,降低泥土、树叶等杂物进入渠道导致堵塞的概率。盖板两侧设置截水槽,在每节盖板截水槽中间位置设置一个回水孔,回水孔处设置滤网,平时可收集和过滤雨水。

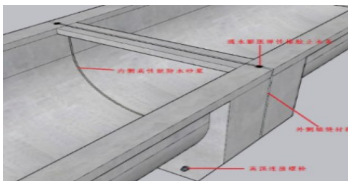
渡槽沿纵向方向分段预制,在底座左右位置各布设一个连接孔,通过高强螺栓对两段渡槽进行固定连接。在预制渡槽两端槽身沿着过水断面预留半个止水孔,当两段渡槽预制拼装后,在中间沿着止水孔布置一条遇水膨胀弹性橡胶止水条,在内侧迎水面用高性能防水砂浆填充抹平,在止水带外侧用泡沫或者塑料填缝材料填充。当单跨渡槽跨度较大时,由于UHPC渡槽本身属于薄壁结构,宜采用先张预应力法沿着渡槽圆弧段布置多束预应力。渡槽三维效果结构示意图1。



(a) 渡槽整体结构



(b) 渡槽盖板



(c) 两段渡槽连接处细部

图1 渡槽三维效果示意

2.3 U型渡槽断面尺寸参数

以5级渡槽为例,设计跨度为9.96m,设计流量为 $2.04\text{m}^3/\text{s}$,加大设计流量为 $2.55\text{m}^3/\text{s}$,普通混凝土渡槽强度等级为C25,圆弧段半径 R_0 为0.8m,槽壁厚度 t 为0.14m,每根拉杆的宽度为0.15m,跨宽比为4.15,底部采取加厚措施,加厚0.16m。在采用UHPC进行渡槽断面设计时,需保证过水断面和跨度不变,在普通混凝土渡槽结构基础上,将槽壁厚度减小至原来的1/2,同时底部不采取加厚措施。渡槽的环向和纵向钢筋均采用PCB1420高强冷拔低碳钢丝,纵向配筋率为2.25%,环向配筋率为1.15%。两种渡槽结构断面示意图2。

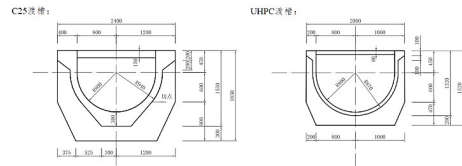


图2 C25和UHPC渡槽断面对比

2.4 结构受力分析

为验证UHPC断面设计的合理性,对UHPC渡槽的纵向和环向结构应力进行了计算,结果显示:跨中槽底最大拉应力为 3.2MPa ,截面边缘最大拉应力仅为 0.38MPa ,均满足抗裂性要求(不出现裂缝允许承载的最大拉应力为 4.5MPa),其余断面弯矩值均满足设计要求,表明UHPC渡槽满足结构稳定性的设计要求。

3 效益对比

3.1 工程效益

C25渡槽和UHPC渡槽同等长度(单跨9.96m)工程量对比见表2。从表2中可知:在相同长度下,UHPC槽身混凝土方量仅为普通混凝土的35%,钢筋用量仅为普通混凝土的48%,单跨槽身重量仅为普通混凝土的36%,单跨构件重量显著降低,能够便于构件的运输和吊装,提高渡槽的施工效率。

表2 两种渡槽工程量对比

项目	单位	C25	UHPC
单跨槽身的跨度	m	9.96	9.96
横截面槽壁的厚度	mm	140(槽底300)	70
单跨槽身的砼用量	m^3	10.12	3.58
单跨槽身的钢筋用量	t	1.47	0.71
单跨槽身的重量	t	28	10.2

3.2 经济效益

由于渡槽运输吊装费用与所处的交通和地理

环境有较大的关系,暂不考虑运输和吊装费用,仅对两种渡槽全生命周期进行对比,见表3。从表3中可知:在没有考虑运输吊装费用的前提下,UHPC渡槽的全生命周期费用比C25渡槽降低约16.5%,由于C25渡槽预制构件的体积和重量远高于UHPC渡槽构件,因此,其运输吊装费用肯定是高于后者的,故实际上UHPC渡槽的全生命周期成本比C25渡槽降低幅度将高于16.5%。

表3 两种渡槽全生命周期成本对比

项目	C25	UHPC
生产材料费/元	9060	15006
维护费/元	262.7	442.7
检修费/元	507.4	330.1
拆换费/元	9060	0
总成本/元	18890.1	15778.8

3.3 社会环境效益

社会效益:UHPC渡槽相比普通混凝土渡槽,维修更换次数更少,可减少对供水的影响时间,缩短因维修更换造成的停水问题,充分确保工农业生产和人们的生活,同时降低渡槽工程因结构耐久性破坏带来的经济损失。

环境效益:按照中国建筑材料联合会发布的标准《预拌混凝土低碳产品评价方法及要求》(T/CBMF27-2018)中对于碳排放的要求,查询每种原材料对应的CO₂排放系数,再根据碳排放量计算公式,可初步计算得到单跨C25渡槽的碳排放量为4762.8kg,单跨UHPC渡槽的碳排放量为3041.5kg。新建UHPC渡槽的碳排放比传统混凝土渡槽降低约36.1%,如果换算成60年设计使用年限全生命周期碳排放,采用UHPC渡槽的碳排放降低幅度将达到68.1%。UHPC材料使用量少,不仅降低了碳排放量,而且还能大幅度降低由于渡槽拆换产生的废弃建筑材料,经济环保,践行了碳中和的发展理念。

4 讨论

利用UHPC材料预制渡槽相比普通混凝土而言具有如下优势:①断面尺寸减小,自身结构重量大幅度降低,方便运输和吊装,提高施工效率;②力学和耐久性更好,后期可大大降低维护保养所花费的人力物力,全生命周期成本更低;③由于维修更换次数显著减少,可降低因维护工作对工农业和居民供水的影响,社会效益显著;④UHPC的原材料用

量更少,降低了碳排放量,具有明显的环境效益。

本文在设计时,为方便对比,将UHPC渡槽长度与C25渡槽长度保持一致,在实际设计时,UHPC渡槽的跨宽比可适当增大,而且在设计过程中配筋取值偏于保守,使得UHPC材料本身的性能未得到完全的发挥,借鉴UHPC在预制箱梁中的应用,UHPC渡槽可优化设计为无腹筋预应力结构,从而减少钢筋的使用量,进一步降低UHPC渡槽的成本,提升渡槽的工程经济和社会环境效益。

5 结语

利用UHPC混凝土设计了一种U型预制装配式渡槽,该渡槽主要由槽身、两端底座和弧形盖板组成,在相同跨度下,相比C25混凝土渡槽而言,断面尺寸明显减小,实现了构件轻量化,可大大降低后期运营维护成本,延长渡槽的使用寿命。根据初步计算,UHPC渡槽的槽身重量、全生命周期费用和碳排放量分别较C25渡槽降低64%、16.5%和68.1%,具有更好的工程经济和社会环境效益,在未来引水输水工程中具有一定的推广应用价值。本文仅对UHPC渡槽的结构进行了初步设计对比,后续将开展相关模型试验研究,以验证UHPC渡槽在输水、抗冻、抗渗、抗震等性能方面的科学性与合理性。

参考文献

- [1]郭洪有.大截面长距离预制装配式渡槽快速施工技术在新疆二期工程中的应用[J].水利建设与管理,2020,40(05):72-75+84.
- [2]时兆中.舒庐干渠南港渡槽预制T型梁运输吊装实践[J].江淮水利科技,2021,No.96(06):14+36.
- [3]曹君辉,樊伟,李立峰等.基于UHPC的高性能桥梁结构研究与应用[J].湖南大学学报(自然科学版),2022,49(11):1-32.
- [4]王卫锋,马泽志,郑小红等.30mUHPC预应力简支π形梁人行天桥荷载试验分析[J].甘肃科学学报,2022,34(04):55-64.
- [5]王雄峰,陈波,张丰等.钢纤维掺量对超高性能混凝土力学性能影响研究[J].水利与建筑工程学报,2022,20(03):61-66.
- [6]刘俊君.超高性能混凝土U形渡槽槽身结构设计及模型试验研究[D].华南理工大学,2021.