

河东污水处理厂无粘结预应力结构设计总结

樊锦仁 赵 萍 王建松

摘 要 本文介绍了河东污水处理厂曝气池、沉淀池和消化池的无粘结预应力结构方案的选择和结构设计、构造措施。从这几个不同类型的水工构筑物的应用效果看,无粘结预应力技术具有广阔的发展前景。

关键词 无粘结预应力 结构设计

一、工程概况

乌鲁木齐市河东污水处理厂,地处乌鲁木齐市北郊东戈壁农场南侧,日处理污水量 20 万 m^3 。厂区内无不良地质现象,地表下 1m 左右可见卵石层,其厚度约 150~220m,承载力 $f_k = 130 \sim 500\text{KPa}$,无地下水,抗震烈度为 8 度。工程所在地区,季节性温差较大,室外最低温度为零下 15.2℃(最冷月平均温度),施工期最热月平均温度为 25.7℃。本工程于 1998 年底全部完工,投产已近三年,运行正常,效果良好。

工程中的大型水工构筑物:A 段曝气池、B 段曝气池、中间沉淀池(四座)、二次沉淀池(四座)及污泥消化池(四座)均采用了无粘结预应力结构型式。其中:A 段曝气池为长 35.6 米,宽 26 米,高 7.5 米(埋入地下 4.8 米)的矩形敞口水池。正常使用状态下,有效水深 6.5 米。根据工艺需要,该池纵向设有三道钢筋砼隔墙。B 段曝气池由两组长 49.5 米,宽 48 米,高 7.5 米(埋入地下 5.6 米)的矩形敞口水池组成。正常使用状态下,有效水深 6.5 米。每组池沿长度方向中央设一道钢筋砼隔墙。中间沉淀池及二次沉淀池均为大型圆形水池,在池顶设有旋转式刮泥杵架,杵架一端固定于中心筒之上,一端沿池壁顶轨道旋转。两池直径分别为 47 米和 59 米,池壁高度分别为 4.45 米和 4.5 米。池内水深分别为 4.5 米和 4.55 米。污泥消化池是一座筒仓式构筑物,内径为 22 米,筒壁高 18 米,底板为倒锥形,高 3 米,顶盖为圆锥壳,高 5 米。锥壳上设悬挂搅拌机一台,重 5 吨。池壁上距

底板 6.5 米处设 1.2 米直径的圆孔一个,作为安装和检查搅拌机叶轮用。工艺要求消化池内污水温度保持 35°,集气室沼气压力为 4KPa,负压为 2KPa。

二、结构方案的确定

中沉池、二沉池的池壁高度虽然不大,但直径较大。本工程所处位置的季节性温差较大,在温度应力作用下,池壁将产生较大的环向拉力,其值为:中沉池 248.4kN/m,二沉池 272.7kN/m;底端最大环拉力为:中沉池 432.8kN/m,二沉池 432.9kN/m。通过荷载组合,两组水池的最大环拉力均达到 600kN/m 左右。如要有效控制由环拉力产生的池壁竖向裂缝,使池壁厚度适中,选用预应力砼结构方案较为理想。中沉池及二沉池如采用非预应力砼结构,其厚度约为 500mm。污泥消化池属空间薄壁结构,它由圆锥壳顶盖、圆柱壳池壁、圆形底板及上、下两道圈梁组成,受力较为复杂,除温度应力外,还受到自重、静水压力、正负气压、土压等荷载的作用。圆柱壳池壁在各种荷载作用下所产生的内力主要是环向拉力和竖向弯矩。

经过不利荷载组合,池壁最大环拉力 $N = 2100\text{kN/m}$ (距底板 6 米处);最大竖向弯矩 $M = 300\text{kN/m}$ (下端支座处)。与中沉池、二沉池相似,竖向弯矩较小,可由非预应力普通钢筋抵抗。由于消化池环向拉力较大,如采用普通钢筋砼结构,池壁厚度需 1 米左右,即便这样,仍解决不了抗渗问题,满足不了闭气要求,因而在技术上不可行。只

环形预应力

有采用预应力砼结构来解决问题。对于圆形水工构筑物,已往的设计大多采用缠丝预应力方案,安全可靠,施工方便,并且造价较低,但目前国内生产的缠丝机一般只能张拉5mm的高强钢丝,对于本工程的消化池来说,如采用缠丝方案,在环拉力最大的区段,钢丝间距仅为10mm左右,这样不但增大了施工难度,而且由于钢丝间距过密,钢丝外部的喷浆保护层施工质量很难保证。根据工艺要求,在圆柱壳池壁环拉力最大的区段还要设置一个直径1.2米的检修入孔,这一部分断筋问题更不好处理,所以,缠丝预应力方案不适用于本工程的消化池。

A段曝气池和B段曝气池为两组大型矩形敞口水池,受力特征与圆形水池差别较大。A段曝气池纵向池壁为单向受力板,侧向池壁为双向受力板。为改善壁板的受力状态,降低壁板的根部弯矩,使池壁厚度减小,沿纵向池壁顶端设450mm×1200mm的走道板,并沿纵向每隔10m设一道拉梁,池壁因此可视为下端固定,顶端铰支的单向受力板。B段曝气池因平面尺寸过大,无法设拉池梁,池壁纯粹是下端固定的单向受力悬壁板。根据内力组合计算结果:A段曝气池下端部最大弯矩 $M=256.3\text{kN}\cdot\text{m/m}$,B段曝气池下端部最大弯矩 $M=697.3\text{kN}\cdot\text{m/m}$,如采用普通非预应力钢筋砼结构式,A段曝气池池壁厚度约为700mm,而B段曝气池池壁厚度可达1000~1200mm,需配置的普通钢筋量也很大。这样看来,A段曝气池采用非预应力砼结构型式是可行的,而对B段曝气池而言,因乌市北郊夏季(施工季节)地面温度较高,施工时,大量砼水化热的问题不好解决。池壁厚度过大,既不经济,对工艺又不利,因此,设计人员考虑采用预应力砼方案。为与B段曝气池结构型式统一,A段也考虑采用预应力砼方案。A、B段曝气池是通过设伸缩缝来解决温度应力问题的。

有粘结预应力砼结构虽然在我国应用较广泛,有锚固可靠的优点,但施工工艺复杂,在浇注砼时需预留孔道,此外还要穿筋,张拉、灌浆等,施工技术难度大,工期长,另外,在张拉预应力筋时,摩擦损失过长,从而增加预应力筋的用量。所以无粘结预应力技术尽管在水工构筑物中有所应用,但为数不多,在房屋建筑业中应用较广泛。无粘结

预应力结构的最大优点是不需要预留孔道穿筋,不需要灌浆。施工时,预应力筋的布置和普通钢筋的布置完全一样,浇注砼也一样,待砼达到设计强度后,即可进行预应力筋的张拉,这样施工既简单方便,又可大大缩短工期。无粘结预应力筋在张拉过程中,应力、应变值易准确掌握。它也存在一些不足:一、无粘结预应力筋和锚具是加工好的成品,价格较高;二、无粘结预应力筋在工作时不与周围砼粘结,完全靠锚具锚固传力,一旦锚具失去作用,预应力立即消失。经过调研,多次比较,考虑到在同一工程中的施工工艺的统一,我们最终确定这几项大型构筑物均采用无粘结预应力砼结构形式。

三、结构设计及构造措施

1. 预应力钢材的选用

本工程在施工图设计阶段首先统一选用了BUPC无粘结预应力钢筋及其锚固系统,预应力钢筋为 $f_{pk}=1570\text{N/mm}^2$,7Φ5高强钢丝。A、B段曝气池固定端采用墩头锚具,张拉端采用夹片锚具,而其它圆形构筑物则只采用夹片锚具。在工程施工前,市场上出现了 $f_{pk}=1860$ 的低松弛无粘结预应力钢绞线,这种预应力筋具有明显的强度优势,其应力松弛率较前者有大幅度降低,所以,我们对设计进行了修改,1860级高强钢绞线代替了1570级高强钢丝。锚固系统由OVM体系代替了BUPC体系。这样在配筋用量减小的同时,每组无粘结预应力筋的间距也相应增大,对于预应力筋的布置,张拉及锚固十分有利,结构更加合理,施工难度降低。

2. 无粘结预应力钢筋的布置及锚固

A、B段曝气池预应力钢筋沿池壁竖向布置根据弯矩图呈曲线形状,恰好利用了无粘结预应力钢筋比较容易弯曲的优势(如图1、2所示)。弯矩沿池壁高度向上逐渐减小,预应力筋由池壁内侧逐渐移向中间。预应力筋砼保护层最小处为50mm。锚固端端头距底板下表面的距离为100mm。张拉端锚具由二次浇筑的走道板或圈梁予以保护。中沉池、二沉池及污泥消化池的预应力筋由环拉力方向决定沿水平环向布置,与矩形水池相比,较为简单。

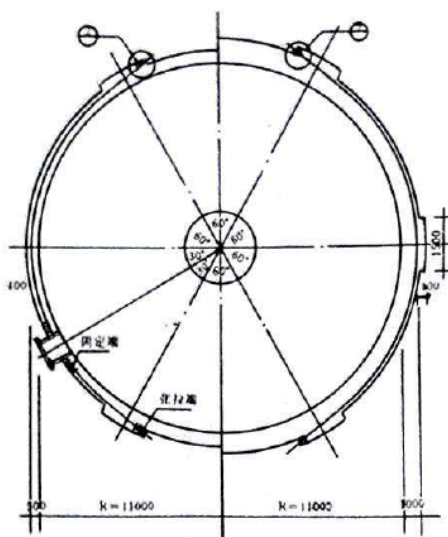


图5 污泥消化池预应力筋配筋图

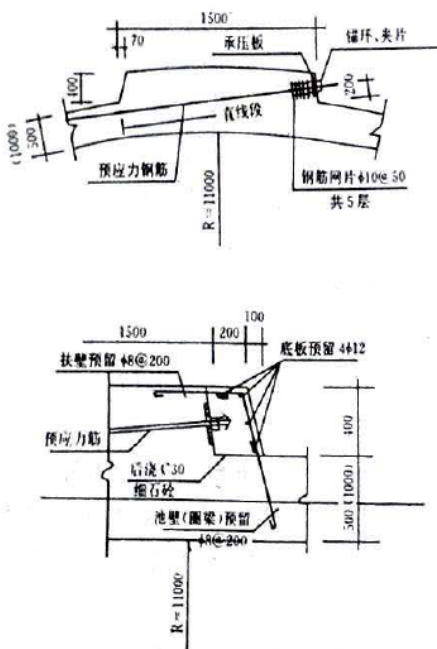


图6 污泥消化池预应力筋外锚固节点

本工程因采用无粘结预应力砼方案,为安全稳妥、计算简便,无论受弯还是受拉构件均严格按照不出现裂缝的构件进度抗裂验算。其步骤为:①根据池壁内力计算结果确定池壁厚度,估算预应力钢筋数量。②计算荷载的短期效应组合下抗裂验算边缘的砼法向应力 σ_{sc} 。③计算扣除全部预应力损失后,在抗裂验算边缘砼的预压应力 σ_{pc} ,最后进行抗裂验算。在计算 σ_{pc} 值时,不论受弯构件,还是轴心受拉构件,其方法是一致的,即:①确定张拉控制应力;②计算预应力损失值;③计算预应力筋的有效预应力值。在无粘结预应力砼构件中的锚头局压区,应验算局部受压承载力。

四、施工

施工阶段是关系到工程质量的重要环节。A、B段曝气池、中沉池及二沉池于1996年6月开工,同年11月完工。消化池于1998年6月动工,同年11月完工。虽然砼工程量大,砼标号高,但工程采用商品砼浇注,施工组织合理,保证了砼的浇注质量。无粘结预应力筋的铺设与普通筋相同,工艺较简单,均由普通施工人员完成,但预应力筋的位置要求准确无误,必须十分小心。

砼浇注完毕,A、B段曝气池为悬臂构件,要求待砼强度达到10%后进行预应力张拉。而圆形构筑物则可待砼强度达到75%后进行预应力张拉。张拉工艺技术要求高,工作人员必须熟悉张拉机械的使用。这道工艺对结构的承载能力起决定作用,因此,要求由专业队伍、专业人员进行张拉、锚固的施工。本工程采用应力控制方法张拉,校核无粘结预应力筋的伸长值。设计文件给出了相关数据,作为预应力筋张拉的依据。锚垫板的安装有一定的精度要求,在浇注砼时应注意保护锚垫板并及时消除锚垫板上的水泥浆。由于无粘结预应力完全靠锚具传力,所以锚具的防护措施必须到位。张拉、锚固完成后,应及时对锚具进行防腐处理,在二次砼浇注时,应作到二次浇注砼必须与原构件砼结合紧密,不得产生渗漏,防止锚具锈蚀。

五、结论与问题

乌鲁木齐河东污水处理厂在不同类型的大型水工构筑物中应用无粘结预应力技术进行结构设计,收效良好,说明无粘结预应力技术有广泛的应用范围和发展空间。

从本工程的结构设计及施工经验看出,采用无粘结预应力结构可作到:

1. 减小构件截面尺寸(池壁厚度),大约30~40%,大量节约砼用量。
2. 减小非预应力钢筋用量,节省钢筋用量。
3. 缩短施工工期,降低施工费用。
4. 提高构件抗渗能力,改善结构抗震性能。

对大型水工构筑物而言,无粘结预应力结构方案也解决了砼结构解决不了的许多实际技术问题,值得推广、应用。但也应看到,预应力钢筋和锚具均为加工成品,价格昂贵,整个工程造价是否能较大程度降低,还值得研究。

对于矩形构筑物,池壁大多为受弯构件,本工程采用抗裂验算控制预应力筋数量,标准偏高,在今后的此类设计中建议适当降低标准,采用部分预应力设计方法,按验算裂缝宽度进行预应力筋配筋计算将更经济、合理。