

# 无粘结预应力技术在大直径污泥消化池设计中的应用

王长祥 韩群芳

**摘要** 在以往的消化池设计中多采用绕丝或低碳钢分段张拉的预应力方法。在青岛海泊河污水处理厂的四座内径28m的大型污泥消化池的设计中,为了满足耐腐蚀、抗裂(水密性和气密性)以及建立较高预压应力的要求,消化池的环向预应力首次采用无粘结预应力方案。

**关键词** 消化池 无粘结 预应力 设计

## 一、工程概况

青岛市海泊河污水处理厂,地处海泊河入海口处。该厂有4座污泥消化池,均为一级消化池。消化池内径28m,柱壳部分高17m,上环梁为 $0.90 \times 1.20\text{m}$ ,锥体部分高度4m。柱壳部分壁厚0.50m,锥壳部分壁厚0.30m,底板厚1.05m,板下为桩基础。池内贮放之污泥比重约 $10.5\text{kN/m}^3$ ,污泥温度 $35^\circ\text{C}$ ,有一定弱腐蚀性。池体内侧有防腐层,外部有保温措施。柱壳及上环梁之砼强度等级为C38,锥壳及底板砼为C28。池体简图参见图1。

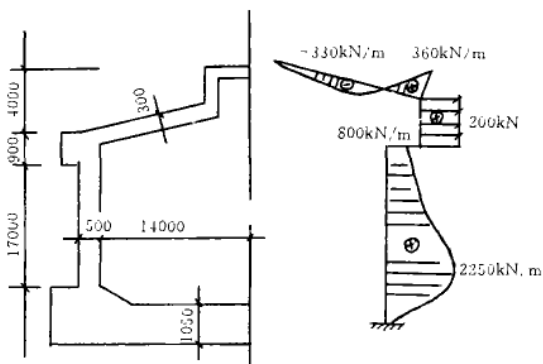


图1 池体简图 图2 环拉力分布图

## 二、消化池的设计

### 1. 消化池的内力

本消化池的内力计算采用手算与电算(DCAD程度)相结合的方法,考虑了施工、试压、使用、事故及温度等因素,共计算出8种荷载组合

情况下的内力,分列如下。

- ①自重状态
- ②自重+预应力施工状态
- ③自重+预应力+试验水压
- ④自重+预应力+设计水压+试验气压
- ⑤自重+预应力+设计水压
- ⑥自重+预应力+设计水压+设计气压
- ⑦自重+预应力+设计水压+事故气压
- ⑧自重+预应力+设计水压+设计气压+温度应力

度应力

根据计算结果可知,柱壳部分的最大环拉力可达 $2250\text{kN/m}$ 左右,上环梁的最大环拉力也达到 $2000\text{kN}$ 左右,在锥壳的根部有较大的径向弯矩将导致环向较大裂缝的开展。为了控制锥壳根部裂缝的宽度,需要增加上环梁上的预压应力,以降低锥壳根部之径向弯矩。池体的环拉力之分布情况详见图2。

### 2. 预应力方案的选择

由于消化池地处海边,环境的腐蚀性较严重,参考规范要求预应力设计应严格控制不出现裂缝,即在环向采用全部预应力方法设计。这就要求柱壳最大预压力要达到 $2500\text{kN/m}$ 。而为满足锥壳根部之抗裂要求,上环梁之预应力需达到约 $2900\text{kN/m}$ 。在以往较小直径消化池设计中较多采用绕丝或低碳钢分段张拉技术,而本池采用无粘结预应力方案是基于下述原因。

①低碳钢分段张拉方案难以达到设计要求的较高预应力值。

②如采用绕丝方案则最大环拉力处预应力钢

丝间距将小于1cm,这将导致施工困难,也将影响喷浆保护层与池壁砼的粘结效果。

③在上环梁上难以用绕丝方法建立本池所需的较高预压力值。

④绕丝技术的后喷浆保护层的施工质量不易保证,喷浆层常因多种原因产生裂缝甚至剥落,最终使预应力筋锈蚀,在沿海地区不宜采用。

⑤绕丝方法在张拉过程中应力、应变的控制准确度较差。

### 3. 无粘结预应力筋的特点

①可以建立较高的预压应力值,使大直径消化池的设计成为可能。

②由于无粘结筋是在预应力筋外表涂油后再用聚乙烯材料包皮,可以和非预应力筋同时埋设于砼中,但预应力筋与砼不接触,因而其张拉摩阻力小并且其抗锈蚀的能力大大增强了。

③采用锥形锚具,锚固系统可靠。

④张拉中可进行应力、应变的准确控制。

⑤采用轻型千斤顶施工方便。

基于上述分析,最终我们采用了无粘结筋预压应力方案。

### 4. 预压应力设计及构造措施。

鉴于目前尚无全国统一的无粘结筋设计规范,我们在设计中参考了建研院编制的《无粘结预应力砼结构技术规程》的送审稿和北京地区的《无粘结预应力体系设计施工规程》。

在综合考虑了预压应力损失和施工条件等因素之后,我们沿消化池周边设了6个扶壁式锚固肋以锚固预应力筋。这样每圈预应力筋可分三段(120°)张拉,参见图3。上、下相邻圈之预应力筋交错锚固于锚固肋上,以减小摩擦损失的不均匀性,为减小摩擦损失,在预应力筋端部使其沿圆弧切线方向伸出,即端部有一直线段。由于本池设计预压应力值较高,故采用3根或4根预应力筋(7Φ5 高强钢丝)为1束,每束使用1块锚板,但每根筋单锚。这样张拉力值较小,可以使用轻便千斤顶,施工方便。为保证预应力筋位置准确,将其置于非预应力筋(外层筋)的内侧加以固定。其砼保护层厚度在6cm以上。

由于现有的设计规程中未能提出预应力筋包角为120°情况的预压应力损失计算方法,为了得到合乎实际的预压应力损失值,我们在一个直径较小

的池体上进行了实验,测定了包角为30°、60°、90°、120°、180°情况下的预压应力摩擦损失和锚具变形。从而为准确计算预压应力损失提供了依据。也为今后的设计提供了参考。

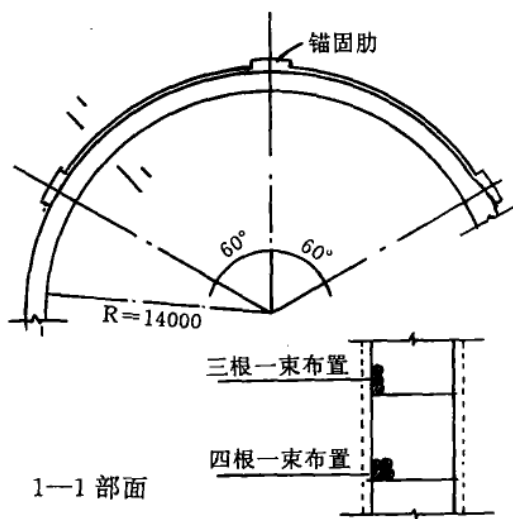


图3 预压应力筋剖面

### 三、施工措施

为了使预压应力损失的计算值与实际相符,以保证预压应力值的可靠性和整个结构的可靠性。在预压应力筋施工过程中又特别采取以下几项措施。

1. 预压应力筋铺设与砼浇筑的过程中,不能碰破预压应力筋的外皮,更不可伤及钢筋。
2. 每束预压应力筋中的几根筋的相对位置必须固定,不允许发生扭曲现象。
3. 每圈三段预压应力筋同时两端张拉。
4. 张拉过程中要进行严格应力控制,并以伸长值来校核。
5. 张拉时同一锚板处的筋要先张拉内侧筋后张拉外侧筋。
6. 严格按设计要求次序张拉各段预压应力筋。
7. 张拉后预压应力筋端部应尽快以细石砼加以保护。

### 四、结语

本池预压应力筋在张拉的过程中采用了超张拉方法,在应力控制的前提下,现场测得的预压应力筋伸长值与估算结果相近,未发现异常。张拉中在Ⅰ号池发生2根断筋,其它池未发生。其断筋率不足1%,是允许的。

内径 28m 消化池是国内现有池中直径最大者之一,首次采用无粘结预应力方案。在以往采用绕丝预应力方法时,由于担心绕丝在长期使用下可能出现锈蚀和断丝现象,因而在强度设计中不能充分利用绕丝预应力筋参加强度计算。这就造成非预应力筋用量较多。经初步比较,无粘结预应力方案的造价比绕丝方案略高一些,但如将使用期限及可靠度等因素全面考虑,则无粘结方案是合理的。

青岛海泊河污水厂的四座消化池于 1992 年建成。其满水试验和闭气试验及使用至今都比较成功,这也从侧面说明抗裂度的设计是合格的。整

个池体的施工质量也是较好的。本工程各池在今后长期使用状态下的性能,有待于时间的检验。但总的来看,无粘结预应力筋应用于大直径消化池的设计中是一次有益的尝试。

#### 参考文献

- [1] 《无粘结预应力砼结构体系设计与施工规程》北京地区
- [2] 《无粘结预应力砼结构设计施工规程》中国建筑院编写送审稿
- [3] 《多层建筑高效预应力结构研究与实践》陈惠玲著
- [4] 《混凝土结构设计规范》GBJ10—89

(上接第 29 页)垫板。在张拉工作完成后二次浇筑 300mm 高的圈梁,对锚具予以保护。

#### 4. 关于非预应力钢筋

在普通钢筋砼池壁设计中,一般地说,所配置的钢筋如果能够满对裂缝限制的要求,也就能够满足强度的要求。在全预应力砼池壁中,由于砼中不出现拉应力,强度是满足的。对于部分预应力砼池壁,配置的预应力钢筋数量相对较少,虽然预应力钢筋承担了大部分荷载,但是仍须配置一定数量的非预应力钢筋来满足强度的要求。另一方面,由于预应力钢筋未与砼结合,裂缝会集中开展。所以需要配置适量的非预应力钢筋来改善裂缝分布。美国 ACI 规范规定非预应力钢筋的最小配筋率为 4%。国内的一些试验结果也表明,当无粘结预应力受弯构件配置一定数量的非预应力钢筋(配筋率 4%)时,裂缝的开展情况与有粘结受弯物件无明显差异。由此看来,配置一定数量非预应力有粘结钢筋对改善无粘结预应力砼的性能是非常必要的。综上所述,非预应力钢筋受强度条件和构造配筋率控制,以满足强度要求为主,提高非预应力钢筋的强度,就能减少非预应力钢筋的用量,达到节省钢材的目的。在本设计中,预应力池壁的非预应力钢筋采用Ⅱ级冷拉钢筋,其强度比冷拉前提高 20%以上。按强度计算出的非预应力钢筋配筋率为 6.3%,也满足了构造要求。

考虑到预应力钢筋与砼无粘结,强度不能充

分发挥,所以在强度计算中,参照有关资料适当提高了结构的安全系数。

设计中将非预应力钢筋布置在预应力钢筋的外侧,砼保护层 25mm,也起到保护预应力钢筋的目的(图 3)。

#### 三、技术经济效果

泰安污水处理厂的生物池,由于采用部分预应力技术设计,收到了比较好的技术经济效果。其一,采用部分预应力,砼受到的平均预压应力相对较小,设计中适当降低了砼标号,采用 C28 砼。其二,与全预应力结构相比,预应力钢筋和锚具用量都大为减少。其三,较传统钢筋砼结构,池壁的断面减小,砼和钢筋用量都有较大的节省。其四,有效地改善了结构的性能。这表明,无粘结部分预应力砼结构在给水处理工程中应用有着一定的前景。当然,一些具体问题,如预应力筋的选用,施加预应力的程度、设计构造等有待在今后的设计中进一步总结和探讨。

#### 参考文献

- [1]《钢筋砼结构设计规范》(TJ10—74)
- [2]《给水排水工程结构设计规范》(GBJ69—84)
- [3]北京地区《无粘结预应力结构体系(BUPC)设计与施工规程》(试行 DBJ01—7—90)
- [4]陈惠玲编《现代预应力》
- [5]杜拱辰著《现代预应力砼结构》
- [6]林同炎著《预应力砼结构设计》