

卵形消化池结构设计

薛晓荣

摘要 本文结合某工程实例,介绍了卵形消化池的结构设计及无粘结预应力技术的应用情况,提出了此类结构在设计中应注意解决的一些问题。

关键词 卵形消化池 预应力技术 薄膜应力 弯曲应力

前言

近年来,随着城市大型污水处理厂建设的日益增多,污泥消化池的容量亦日趋增大,这就需要建筑更合理的结构型式来满足使用要求。卵形消化池由于其受力条件好,能充分搅拌,污泥不致沉淀附着于底部死角,同时,还具有上部狭窄,表面产生的浮渣易清除,单位容积表面积小,保温效果好等优点,已越来越引起工程界的重视。

现结合某工程实例,对卵形消化池的静力计算及结构设计作一介绍。

一、结构本体

该工程共设一级消化池 2 座,二级消化池 1 座,呈等边三角形分布,中到中距离为 40.0m。池顶部设置有工作平台及联系走道板。卵形消化池主要由 37 根 $\Phi 800$ 钻孔灌注桩、下部块体承台及上部壳体组成。池体总高度为 34.037m,最大内径为 18.0m,埋深 10.840m,运行时,池内正常液面高度为 30.440m,单池容积 4600m³,池壁厚度为 380~700mm。上部壳体混凝土强度等级为 C40,下部块体承台为 C30,混凝土抗渗等级均为 S8。预应力筋采用抗拉强度标准值 f_{pk} 为 1860N/mm² 的低松弛高强 $\Phi 15$ 钢绞线,Ⅰ类夹片锚具。上部壳体为双向无粘结预应力结构。结构剖面见图 1。

二、计算模型

首先在 Autocad R14 中生成结构垂直平面内的二维线段图,然后利用 ALGOR FEAS(91 版)软件包 ViziCad 环境中的前处理模块 Super

Draw I (SD2) 形成有限元网格,并利用 Decoder 译码器将 SD2 形成的图形赋以主控信息、材料信息等。这样,将整个结构按受力要求离散等效成上下不同厚度组成的等厚板壳元及块体元,下部土体等效成弹簧元, $\Phi 800$ 钻孔灌注桩等效成刚度较大的弹性支承边界元。利用 ALGOR FEAS 软件对结构进行三维整体内力分析。

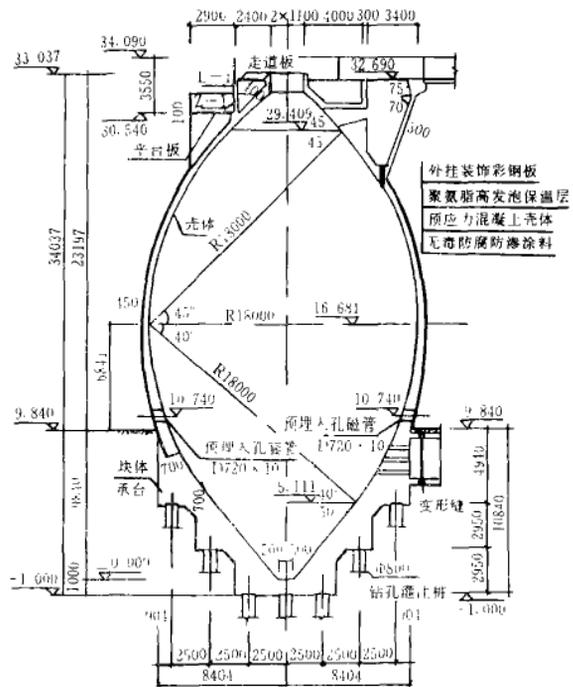


图 1 消化池剖面

三、荷载计算原则

1. 池内液体重度标准值按 10.5kN/m³ 计算。
2. 壁面温差按下式计算:

$$\Delta t = \frac{h/\lambda}{1/\beta_i + h/\lambda} (T_N - T_A)$$

式中 h —池壁厚度(m);

λ — i 材质壁板的导热系数(千卡/m·h·°C);

β_i — i 材质壁板与空气间的热交换系数(千卡/m·h·°C);

T_N —壁板内侧介质的计算温度,采用中温消化工艺, T_N 取 35°C;

T_A —壁板外侧的大气温度,按当地年最低月的统计平均温度采用。

经上式计算后 Δt 取为 4.62°C。

3. 中面季节温差 t_R 取 10°C。

4. 环向预应力等效压力的换算

由于环向预应力筋形成了闭合环,按压应力相等原则,可等效成作用于壳体法向的均布压力 P (kN/m²):

$$P = \frac{\delta_{pe} A_p}{R \cos \alpha}$$

式中 δ_{pe} —预应力筋的有效预应力值(kN/m²);

A_p —每 m 内预应力筋的截面面积之和(m²/m);

R —池体环向水平半径(m);

α —壳体法向与水平面的夹角。

5. 竖向预应力等效压力的换算

竖向预应力除按上述原则等效成法向均布压力外,由于竖向预应力筋为非连续筋,故在预应力筋的两端部尚需施加水平节点力 N_h 及垂直节点力 N_v 。

6. 气压

根据工艺要求,池体内部充满沼气,其工作压力为 6.0kN/m²,则气密性试验压力按 6.0×1.5=9.0kN/m² 考虑。

四、作用效应组合

消化池为三维卵形薄壳结构,内力计算较为复杂,结构设计必须充分考虑各种荷载的工况组合。消化池考虑了在结构自重、静水压力、气压、壁面温差、中面季节温差、外侧土压力、环向预应力、竖向预应力、地震作用等多种荷载作用下的作用效应组合,并使其满足:

$$\gamma_0 S \leq R$$

式中 γ_0 —结构重要性系数,取 1.1;

S —荷载效应组合的设计值;

R —结构构件抗力的设计值。

荷载效应组合设计值的计算式为:

$$S = \sum_1^m \gamma_{G_i} C_{G_i} G_{ik} + \Psi \sum_1^n \gamma_{Q_j} C_{Q_j} Q_{jk}$$

式中 G_{ik} —第 i 个永久作用的标准值;

C_{G_i} —第 i 个永久作用的作用效应系数;

γ_{G_i} —第 i 个永久作用的分项系数,结构和设备自重取 1.2,其它永久作用取 1.27;

Q_{jk} —第 j 个可变作用的标准值;

C_{Q_j} —第 j 个可变作用的作用效应系数;

γ_{Q_j} —第 j 个可变作用的分项系数取 1.4;

Ψ —可变作用的作用组合系数,取 1.0。

五、预应力损失

根据《无粘结预应力混凝土结构技术规程》(JGJ/T92-93)的规定,预应力损失包括下面 5 项。

1. 张拉端锚具变形、无粘结预应力筋内缩和变角垫块引起的预应力损失 σ_{11}

现行 GBJ10-89 规范及 JGJ/T92-93 规程中未提供预应力筋包角为 180°的预应力损失计算公式,亦未提供变角垫块的摩擦损失,根据有关资料,并参照 JGJ/T92-93 规程第 4.1.5 条规定,经计算并综合考虑后,此部分引起的预应力损失 σ_{11} 取 δ_{con} 的 23.25%。

2. 无粘结预应力筋与壁之间的摩擦引起的预应力损失 σ_{12}

根据 JGJ/T92-93 规程第 4.1.5 条的计算公式, $\sigma_{12} = 21.84\% \delta_{con}$ 。

3. 预应力筋应力松弛引起的预应力损失 σ_{13}

由于工程中采用了 1860N/mm² 级低松弛高强 $\Phi 15$ 钢绞线,根据有关标准,当初始荷载加载到钢绞线最小破断力的 70%时,持续 1000h 的松弛损失不应超过 2.5%,故 σ_{13} 取 δ_{con} 的 2.5%。

4. 混凝土收缩、徐变引起的预应力损失 σ_{15}

根据 JGJ/T92-93 规程第 4.1.8 条的规定,经计算, $\sigma_{15} = 1.7\% \delta_{con}$;

5. 预应力筋分批张拉时,后批张拉筋使混凝土产生弹性压缩,会引起前批筋的预应力损失。但由于本结构竖向预应力筋相对较少,且环向预应力采用补足张拉方法,故此部分损失不考虑。

通过上述计算可知, σ_{11} 及 σ_{12} 的值较大。但由于本结构中预应力筋较长, σ_{11} 仅存在于张拉端的反摩擦长度内, 而 σ_{12} 中间最大, 向两张拉端逐渐减小, 故计算预应力总损失时, 两者取大值。计算后, 预应力总损失值 $\sigma_{1n} = 27.49\% \delta_{con}$ 。

六、预应力筋配置原则

1. 张拉控制应力取抗拉强度标准值 f_{pk} 的 75%, 即 $\delta_{con} = 1395 (N/mm^2)$;

2. 抗裂验算

在最不利荷载组合下, 上部壳体产生的环向拉力全部由环向预应力筋来承担, 并使其保持约 $0.30 N/mm^2$ 的剩余压应力, 使壳体在荷载的短期效应组合下, 满足公式 $\sigma_{sc} - \sigma_{pc} < 0$, 防止混凝土池壁开裂。 σ_{sc} 为荷载的短期效应组合下抗裂验算边缘的混凝土法向应力; σ_{pc} 为扣除全部预应力损失后, 在抗裂验算边缘混凝土的预压应力。

3. 环向预应力筋

根据壳体的环拉力设计值(见图 2), 环向共设置预应力钢绞线 94 圈, 每圈由 2 束半圆形预应力筋组成, 每束钢绞线的包角均为 180° 。预应力筋沿竖向分段均匀分布, 其规格分别为 $1 \times \Phi 15$ 、 $3 \times \Phi 15$ 、 $4 \times \Phi 15$ 、 $5 \times \Phi 15$ 。

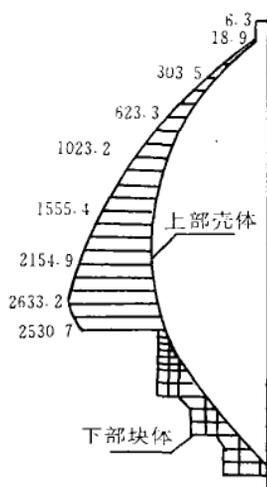


图 2 壳体环拉力设计值(kN)

4. 竖向预应力筋

竖向预应力筋的配置以整体构造为主, 同时考虑承担上部壳体与下部块体承台交接处存在的弯曲应力。经综合考虑后, 沿环向均匀设置了 2×24 束 $3 \times \Phi 15$ 预应力钢绞线。

七、预应力张拉工艺

卵形消化池为双向无粘结预应力结构, 必须待池体混凝土全部浇筑完毕, 并达到设计强度等级的 100% 后, 方可开始张拉。张拉时, 为减少环向、竖向预应力分批张拉的相互影响, 减少预应力损失, 建立有效的预应力值, 采用以下张拉工艺。

1. 首先张拉环向预应力筋, 每环 2 束预应力筋的四端同步张拉, 张拉值为控制应力的 80%, 由最下层预应力筋开始, 向上隔圈错位 30° 张拉。

2. 其次张拉竖向预应力筋, 竖向预应力筋采用平面内正交四端同步张拉工艺, 张拉值达到设计要求。

3. 最后对环向预应力筋由上往下的进行补足张拉, 隔圈错位 30° , 每环 2 束预应力筋的四端同步张拉, 张拉值达到设计要求。

无粘结预应力筋的张拉采用应力控制方法, 同时校核无粘结预应力筋的伸长值。从零应力开始, 张拉至控制应力 δ_{con} 的 1.03 倍后锚固。环向、竖向均采用变角张拉工艺。为减小张拉时变角垫块的摩擦损失, 变角角度均控制在 25° 以内。

八、各种荷载作用下的位移

1. 结构最大位移值

标准值名称	最大位移值(mm)
结构自重作用下的位移	0.543
静水压力及气压作用下的位移	0.657
壁面温差 $\Delta t = 4.62^\circ C$ 作用下的位移	0.028
中面季节温差 $t_k = 10^\circ C$ 作用下的位移	2.953
环向预应力作用下的位移	1.063
竖向预应力作用下的位移	0.615

2. 结构变形

结构在各种荷载作用下的变形情况, 见图 3。

九、构造措施

1. 由于卵形消化池常年满水运行, 内部充满沼气, 运行后不能渗水漏气, 故池体混凝土中掺入了 WG-Ⅱ 型高效复合防水剂, 以改善混凝土的孔结构, 提高密实度, 降低水化热。同时, 在正常水位以下 1.0m 处至壳顶范围内设置了 5mm 厚不锈钢钢板作内衬, 池体内部其余部位均刷防腐防渗涂料, 以满足其对水密性、气密性的严格要求。

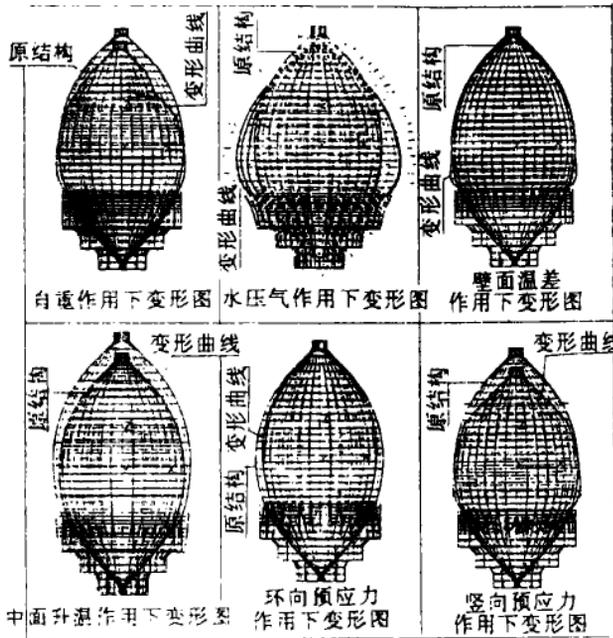


图3 变形图

2. 污泥采用中温消化工艺,内部温度达 35°C 左右。为使卵形消化池有良好的保温效果,同时减小池体在壁面温差作用下的温度应力,地面以上壳体表面设置了 100mm 厚高发泡聚氨脂保温层。

3. 为使上部壳体无粘结预应力筋所建立的环向预应力更加安全可靠,在环向预应力筋的张拉锚固区,长度约 1.0m 的范围内,通过池体中先预埋导管,无粘结预应力筋去皮除油处理,且待张拉锚固后,端部再经过真空灌浆,改为有粘结,使其与夹片锚具共同工作,进一步提高了锚固区的安全度。

HVM 信息

柳州欧维姆建筑机械有限公司名称变更公告

各业务往来单位:

柳州欧维姆建筑机械有限公司因业务发展需要,经柳州市人民政府批准,已更名为柳州海威姆建筑机械有限公司,从 2001 年 9 月 15 日起正式启用柳州海威姆建筑机械有限公司新印鉴。原柳州欧维姆建筑机械有限公司的一切债权债务均由柳州海威姆建筑机械有限公司承担。柳州欧维姆建筑机械有限公司的一切合法权益均由柳州海威姆建筑机械有限公司继承。

特此敬告各有关单位。

柳州欧维姆建筑机械有限公司
柳州海威姆建筑机械有限公司
2001 年 9 月 1 日

十、结论

1. 通过分析计算可知,卵形消化池是一种良好的受力结构型式,其主要承受环向薄膜应力。竖向薄膜应力及环向、竖向弯曲应力相对均较小。

2. 在上部壳体与下部块体承台的交接处,由于两者刚度相差较大,环向预应力筋张拉时,为保证上部壳体能建立有效的预应力,设计时应适当延长、增加下部块体承台中一定范围内的环向预应力筋,并首先在下部块体承台中建立一定的预应力值后,再张拉上部壳体中的预应力筋。

3. 由于块体的边界效应,在结构自重、环向预应力、竖向预应力、中面季节温差作用下,空池时,其交接处尚存在一定的弯曲变形,设计时需配置一定数量的竖向预应力筋及竖向非预应力筋,以满足结构受力及整体构造的要求。

参考文献

- [1] 何德湛. 圆形水池采用无粘结预应力技术若干问题的探讨. 特种结构, 2000 年第 17 卷第 5 期
- [2] 姜洪兴、郑麟、王大龄. 预应力混凝土卵形消化池. 特种结构, 1994 年第 11 卷第 1 期
- [3] 中华人民共和国行业标准. 无粘结预应力混凝土结构技术规程 (JGJ/T92-93). 中国计划出版社, 1993 年北京
- [4] 陶学康. 后张预应力混凝土设计手册. 中国建筑工业出版社, 1996. 11
- [5] 给水排水工程构筑物结构设计规范 (送审稿) 1996. 10
- [6] 尉希成. 贮水构筑物内力分析, 中国铁道出版社, 1986