

无粘结预应力技术在污水沉淀池工程的应用

孔祥荣 赵顺波

【摘要】本文主要针对郑州市王新庄污水处理工程中无粘结预应力孔道摩擦系数和孔道偏差系数现场试验结果,介绍钢绞线张拉理论伸长值与实测的对比研究。

【关键词】无粘结 预应力混凝土 沉淀池

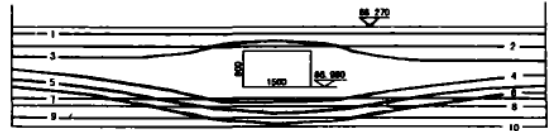
一、工程概况

郑州市王新庄污水处理厂,为国务院淮河流域水污染防治重点工程之一,是利用第四批日本协力基金贷款和国内配套资金进行建设的城市基础设施工程项目,其一期建设规模为日处理污水40万吨。污水沉淀池包括4个内径55m的初沉池和8个内径57m的二沉池,初沉池池壁高度为4.30m,二沉池池壁高度为4.75m,池壁厚度均为0.25m,壁底与底板采用杯槽方式连接,现浇混凝土强度等级为C40。环向预应力筋采用7 Φ 5高强钢绞线,强度标准值 $f_{pk}=1570\text{N/mm}^2$ 。锚具采用OVM15-1和OVM15-2。每圈钢绞线分三段张拉,每段钢绞线包角为 120° ,锚固于池壁外侧等圆心角分布的6个扶壁柱中成 120° 圆心角位置的3个扶壁柱上,相邻的一圈钢绞线则锚固于另外3个扶壁柱上,使环向的预应力更加均匀。

二、池壁孔口处钢绞线布置

初沉池和二沉池的出水渠和排渣斗穿过池壁形成孔洞,使相应位置的池壁环向预应力钢绞线不再能够水平布置,在初沉池施工前期由于对该问题重视程度不够,使该位置的钢绞线布置不尽合理。为了不致因钢绞线的变向造成孔洞处混凝土产生裂缝,根据以往的工程经验,拟定了钢绞线至孔口最近边缘的距离大于150mm,并尽量使钢绞线走向平缓、互不交叉的施工布置原则,结合施工形成的预应力钢绞线布置现状,兼顾钢绞线的布置合理性而又不致使施工单位返工严重,以致影响到施工进度,初沉池出水渠口池壁的钢

绞线布置如图1所示,并将2、3、4号钢绞线置于其它被交叉钢绞线内环。张拉时先张拉内环钢绞线、再张拉外环钢绞线。

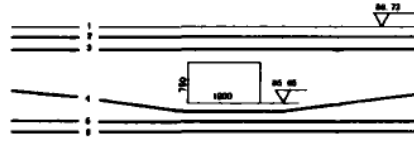


钢绞线沿竖向偏离其原水平线位置的距离 (cm)

至孔垂直中心 线距离(m)	0	1	2	3	4	5	6
钢绞线 编号	3	34	25	19	45	0	
	4	66	62	50	31	22	14
	5	69	64	50	30	17	8
	6	76	70	55	32	19	10

图1 初沉池出水渠口预应力钢绞线布置

二沉池的出水渠口池壁的钢绞线布置如图2所示,避免了钢绞线的交叉布置。



钢绞线沿竖向偏离其原水平线位置的距离 (cm)

至孔垂直中心 线距离(m)	0	1	2	3	4
钢绞线 编号	2	6	5	2	0.5
	3	39	34	19	6.5

图2 二沉池出水渠口预应力钢绞线布

三、张拉施工方案

1、张拉控制应力

根据设计图纸要求,预应力筋采用1470级高强钢绞线,张拉控制应力 $\sigma_{con}=0.70f_{pk}$,按 $0 \rightarrow 1.05 \sigma_{con} \rightarrow \sigma_{con}$ 的顺序张拉锚固。在材料购置时,因市场上无1470级高强钢绞线供应而改用1570级高强钢绞线,但池壁钢绞线配置未予调

孔祥荣 郑州污水净化有限公司工程技术处处长、工程师
赵顺波 华北水利水电学院副教授、工学博士、国家一级注册结构工程师

整。同时,锚具亦采用具有自锚性能的OVM15夹片式锚具,将钢绞线超张拉至 $1.05\sigma_{con}$ 后再回复到 σ_{con} 锚固,给张拉施工带来了不便。对此作了必要的技术变更。

根据《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》(JGJ85-92),对具有自锚性能的夹片式锚具,其张拉顺序为: $0 \rightarrow \sigma_{con}$ 。(1)

根据《无粘结预应力混凝土结构技术规程》(JGJ/T92-93),无粘结预应力筋的张拉控制应力,对钢绞线为 $0.70f_{pk}$,当需提高张拉控制应力时,不宜大于 $0.75f_{pk}$,即当以 $0.70f_{pk}$ 为张拉控制应力基准值时, σ_{con} 上限值为:

$$\sigma_{con max} = \frac{0.75}{0.70} \times 0.70f_{pk} = 1.07 \times 0.70f_{pk} \quad (2)$$

由于设计图纸要求的钢绞线为1470级,而实际采用的是1570级,当按1470级为基准张拉时,1570级钢绞线的张拉控制应力系数为 $1.05 \times 0.70 \times 1470/1570 = 0.69$,尚低于规程0.70的标准,因此直接将1570级钢绞线张拉至1470级的 $1.05\sigma_{con}$ 是合理的。因此取用:

$$\begin{aligned} \text{张拉控制应力 } \sigma_{con} &= 1.05 \times 0.70 \times 1470 \\ &= 1080.45 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{张拉控制力 } F_{con} = 1080.45 \times 140 = 151.26 \text{ kN}$$

2、张拉顺序

采用单端张拉,对应端补张拉的方式。采用3台千斤顶对锚固在1、3、5扶壁柱上的每圈钢绞线先单端张拉,再被张后完成一圈的张拉工作,此后沿池壁高度方向按从下至上的顺序依次张拉。锚固在1、3、5扶壁柱上的钢绞线张拉锚固后,以同样的方法沿池壁高度方向按从上至下的顺序张拉锚固在2、4、6扶壁上的钢绞线。对于池壁孔口处的钢绞线,则调整张拉次序,先张拉内圈钢绞线,再张拉外圈钢绞线。

钢绞线起始张拉端的张拉程序为:

$$0 \rightarrow 0.2\sigma_{con} \rightarrow \sigma_{con} \quad \text{即张拉力 } 0 \rightarrow 30.25 \rightarrow 151.26 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3)$$

当张拉力达到30.25kN时开始记录钢绞线张

拉伸长初始值,张拉力达到151.26kN时记录钢绞线张拉伸长值。

钢绞线补张拉端的张拉程序为:

$$0 \rightarrow \sigma_{con} \quad \text{即张拉力 } 0 \rightarrow 151.26 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (4)$$

开始张拉时记录钢绞线张拉伸长初始值,张拉力达到151.26kN时记录钢绞线张拉伸长终值。

结合国内其他同类工程施工经验,施工单位尚应提供所采用的预应力钢绞线力学性能指标实验测定结果,包括屈服负荷、最大负荷、伸长率、弹性模量等;提供混凝土力学性能指标实验测定结果,包括抗压强度和抗压弹性模量;提供张拉千斤顶的标定实验结果。

四、钢绞线现场张拉实验

1、试验概况

为了确定钢绞线的伸长值,首先需确定钢绞线与孔道之间的摩擦系数和孔道偏差系数,为此在预应力筋正式张拉施工前,选一组3根预应力筋束进行了现场试验,并以此为依据确定正式张拉施工控制参数。试验结果列入表1。

表1 钢绞线现场张拉试验结果表

序号	P_1 (kN)	P_2 (kN)	ΔL^0 (mm)	ΔL (mm)
1	20	14.67	-23	40
	30	21.78	0	61
	50	38.93	42	102
	75	57.99	88	154
2	20	12.21	-19	40
	30	21.54	0	60
	50	39.00	45	99
	75	56.43	92	149
3	20	13.04	-23	42
	30	22.05	0	63
	50	39.30	47	105
	75	59.29	98	157

其中 P_1 为张拉端拉力,由张拉油泵油表读数给定; P_2 为固定端拉力,由20t穿心式拉压传感器测定; ΔL^0 为张拉端钢绞线伸长值,由钢板尺测量张拉千斤顶油缸伸出长度确定,是以 $P_1=30$ kN为基点给出的。通过线性回归分析,得到各钢绞线的实际伸长值 ΔL 。

2、孔道摩擦和孔道偏差系数的确定

根据设计图纸,钢绞线由张拉端和锚固端的

直线段和中间的圆弧段组成,长度分别为:

$$\text{直线段 } L_1=L_3=2.247\text{m}$$

$$\text{圆弧段 } L_2=2\pi R(120-2\times 2.49)/360=2\times 3.14\times 27.6885\times 115.02/360=55.556\text{m}$$

确定孔道摩擦系数 μ 和孔道偏差系数 κ 的基本计算公式为:

$$L_1 \text{ 末端、} L_2 \text{ 始端有效预拉力 } P_{e1}=P_1(1-\kappa x)=P_1(1-2.247\kappa) \quad (5)$$

$$L_2 \text{ 末端、} L_3 \text{ 始端有效预拉力 } P_{e2}=P_{e1}e^{-(\kappa x+\mu \theta)}=P_{e1}e^{-(55.556\kappa+2.01\mu)} \quad (6)$$

$$L_3 \text{ 末端有效预拉力 } P_2=P_{e2}(1-\kappa x)=P_{e2}(1-2.247\kappa) \quad (7)$$

$$\text{钢绞线伸长值 } \Delta L=[(P_1+P_{e1}+P_{e2}+P_2)/2\times L_1+P_{e1}L_2(1-e^{-(\kappa L_2+2.01\mu)})/(\kappa L_2+2.01\mu)]/A_p E_p \quad (8)$$

根据上述公式编制计算程序,利用现场试验的实测数据进行拟合分析,最后选取孔道摩擦系数 $\mu=0.07$,孔道偏差系数 $\kappa=0.003$ 。

3、钢绞线伸长值的确定

张拉控制应力 $P_{con}=151.26\text{kN}$

$$L_1 \text{ 末端、} L_2 \text{ 始端有效预拉力 } P_{e1}=P_{con}(1-2.247\kappa)=151.26\times(1-2.247\times 0.003)=150.24\text{kN}$$

L_2 末端、 L_3 始端有效预拉力:

$$P_{e2}=150.24e^{-(55.556\times 0.003+2.01\times 0.07)}=110.51\text{kN}$$

$$L_3 \text{ 末端有效预拉力 } P_2=110.51\times(1-0.003\times 2.247)=109.77\text{kN}$$

单端张拉力伸长值:

$$\Delta L=[(151.26+150.24+110.51+109.77)/2\times 2.247+(150.24\times 55.556\times(1-e^{-(0.003\times 55.556+0.07\times 2.01)})/(0.003\times 55.556+2.01\times 0.07)]/(140\times 10^6\times 1.95\times 10^5)=0.285\text{m}=285\text{mm}$$

锚固端补张后总伸长值:

$$\Delta L=2\times[(151.26+150.24)/2\times 2.247+(150.24\times 55.556/2\times(1-e^{-(0.003\times 55.556+0.07\times 2.01)})/(0.003\times 55.556+2.01\times 0.07)]/(140\times 10^6\times 1.95\times 10^5)=308\text{mm}$$

按钢绞线张拉伸长值容许误差为-5%、+10%的标准,其实测张拉伸长值均符合要求。

五、单束钢绞线张拉时池壁应力计算

为了准确地掌握初沉池预应力张拉施工时池

壁混凝土的应力状态,采用Super-SAP93三维有限元通用程序,对单圈整环预应力钢绞线张拉时池壁混凝土应力状态进行了计算分析,将池壁混凝土沿轴向分为22层,每层沿环向按中心角为 3° 划分成块体元。原始数据的取值如结构尺寸、混凝土强度与设计时取值相同。计算分析时考虑每段采用2台千斤顶两端同时张拉施工,单圈整环预应力钢绞线共采用6台千斤顶。千斤顶张拉力达到预应力钢绞线的控制张拉力(σ_{con})但未锁定时,池壁内表面混凝土受到最大的轴向拉应力 σ_t ,其值应满足下列公式:

$$\sigma_t \leq 0.7f_{tk} \quad (9)$$

式中, f_{tk} 为张拉预应力钢绞线时的混凝土抗拉强度标准值。

预应力钢绞线对孔道的作用力由径向挤压力和切向拖曳力组成,经过预应力损失(孔道摩擦损失)计算后可得到预应力钢绞线沿程的有效径向挤压力和切向拖曳力,有限元计算时均简化为相应的节点等效荷载。

按混凝土浇筑满28天取值,C40混凝土 $f_{tk}=2.45\text{MPa}$,则上式具体为

$$\sigma_t \leq 1.72\text{MPa} \quad (9a)$$

分析结果表明,张拉过程中池壁内表面混凝土最大的轴向拉应力 σ_t 为 0.7MPa ,因此张拉预应力钢绞线时不会产生裂缝,张拉过程是安全的。

六、预应力施工效果

经过周密的施工组织,目前初沉池和二沉池均顺利完成了预应力张拉施工工作,观测结果表明张拉施工效果良好,达到了设计要求。

参考文献

- 1、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。
- 2、预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程JGJ85-92,中国建筑工业出版社,1992。
- 3、陶学康主编,后张预应力混凝土设计手册,中国建筑工业出版社,1996。
- 4、李佩勋、李行宜、王跃文 无粘结钢绞线环形配筋摩擦、锚固损失和影响长度的试验研究,(见《世纪之交的预应力新技术》),专利文献出版社,1998。