

圆形水池采用无粘结预应力技术的探讨

何德湛

摘要 对无粘结预应力圆形水池在设计、施工中应注意的若干问题及遵守的原则进行了综合的分析和论述,供从业人员参考。

关键词 预应力水池 设计施工

近年来,兴建污水处理厂日渐增多,在圆形水处理池中,越来越广泛地采用无粘结预应力技术。为了共同探讨这一技术在设计、施工等领域中的一些具体问题和有关无粘结预应力技术中的设计、施工要点,本文提出了一些看法和建议,本文所谈到的内容可能存在局限性和有片面的地方,甚至有不准确的方面,请有关专家批评指正。

一、设计方面

笔者认为任何一项工程,设计阶段要重视做好方案设计,即在初步设计阶段就要做好方案比较,设计方案是整个过程的灵魂,必须牢牢把握好。以下几个问题是在方案设计阶段必须考虑和重视的。

1. 预应力张拉工艺及预应力筋和锚具的选择:

目前,圆形水处理池采用预应力技术,其张拉方法以后张法为主,大致有2种类型:(1)连续配筋方式;(2)分段张拉方式。分段张拉方式又可分为:①采用有粘结预应力筋分段张拉工艺;②采用无粘结预应力筋分段张拉工艺。无论有粘结还是无粘结分段张拉工艺均用千斤顶配油泵张拉。在圆形水处理池中,另一种张拉工艺是电张法,用电张法时,预应力筋采用粗钢筋,由于粗钢筋强度较低(相对于由高强钢丝组成的有粘结或无粘结预应力筋而言),获得的预应力有效值小,很不经济,已经很少使用;因此,目前在圆形水处理池中常用的张拉方式只有两种:连续配筋方式,即以绕丝机

缠绕 $\phi 5$ (也可用 $\phi 6$ 、 $\phi 7$)高强钢丝来施加预应力,这种工艺有其局限性,即绕丝获得的预应力吨位有限,不适用于大直径、高水位,需要大吨位预加力的大型圆形水处理池。相比之下,无粘结预应力分段张拉工艺是直径大、水位高、环拉力大的大容量圆形水处理池的首选方案,它比之有粘结预应力分段张拉工艺能节省钢材,降低造价,节约投资,且因施工简便而大大缩短预应力张拉工期,优点十分显著。因此在选择张拉工艺时,笔者推荐直径大(超过26m)、水位高(超过15m)的污泥消化池宜用无粘结预应力张拉工艺;而对水位相对不高(一般水位在4~10m),但直径大(一般在40~60m)的沉淀池或曝气池中也应采用无粘结预应力张拉工艺,它相对于有粘结预应力张拉工艺能收到省钢材、省投资、造价低、施工快的效果;由于连续配筋方式已不能满足大吨位水处理池对环拉力的要求,目前仅在小吨位水处理池中使用。

在选择了无粘结预应力分段张拉工艺之后要选择好无粘结预应力筋材料。选择得当与否,对锚具、张拉工艺以及张拉效果等均起到十分重要的影响,目前国内生产的无粘结预应力筋材料有两大类:无粘结钢丝束,即7 $\phi 5$;由7根钢丝组成的无粘结钢绞线,即 $\phi j15.20$ 。其中无粘结钢绞线又分普通松弛及低松弛型两类,低松弛无粘结钢绞线,其标准强度 f_{pk} 达到1860N/mm²。将钢丝束和钢绞线来比较,笔者认为选用钢绞线比钢丝束要好,价格上虽略高,但锚固和张拉均容易保证质量;在钢绞线中,笔者认为应尽量采用强度较高的

1860N/mm²级低松弛无粘结钢绞线,这不仅是因为低松弛钢绞线的钢丝经稳定化处理弹性极限和屈服强度都得到提高,应力松弛率大大降低,有利于提高砼的抗裂性能和减少钢材用量。在配筋时由于强度高、用量少,可使每根无粘结预应力筋的间距增大,便于无粘结筋的布置、张拉和锚固,使构造设计更加趋于合理;同时,低松弛钢绞线也有利于抗震,因此对地震区受动水压力作用下的圆形水处理池池壁更为适合。

锚具选择:选用无粘结预应力筋(无粘结预应力钢绞线)必须采用I类锚具,I类锚具的锚固性能不仅适用于静载的无粘结预应力砼结构,同时适用于承受动载的无粘结预应力砼结构,因此适用于在地震区建造的无粘结预应力砼圆形水处理池。采用无粘结预应力钢绞线常用的锚固体体系有QM、XM、OVM、HVM、B&S和VLM六大锚固体体系,夹片型式分为2片、3片两大类。

2. 几种预应力损失的考虑

无粘结预应力筋的有效预应力 σ_{pe} 等于无粘结预应力筋张拉控制应力 σ_{con} 减去预应力损失值的总和 σ_n 。预应力筋的张拉由于采用不同的施工方法和不同的锚具型式,以及受材料的特性等影响,随着时间的推延,砼材料本身发生收缩和徐变;另外有时预应力筋不可能同时张拉,张拉次序有先有后,要分批进行张拉……等等因素构成了使张拉后建立起来的应力逐渐降低,降低后剩余的预应力筋应力称为有效预应力。有效预应力值是设计中确定配多少预应力筋的主要依据。

在圆形水处理池中推荐采用的无粘结分段张拉工艺(即后张拉法),预应力损失应包括以下五项:

(1)张拉端锚具变形和无粘结预应力筋内缩引起的预应力损失 σ_{n1}

由于张拉完毕,在卸荷时,夹片锚固(一般无粘结筋采用夹片锚具)前无粘结预应力筋会内缩5~6mm;当无粘结预应力筋为直线筋时,此项损失与内缩值(mm)成正比,与张拉端至锚固端之间的距离成反比。在圆形水处理池中,无粘结预应力筋为曲线筋,此时由于锚具变形和无粘结预应力筋内缩引起的预应力损失值 σ_{n1} ,应考虑无粘结预应力曲线筋与壁之间的反向摩擦作用的影响。其计算公式可参照无粘结预应力砼结构技术规程

(JGJ/T92-93)第4.1.5条。

(2)无粘结预应力筋的摩擦损失 σ_{12}

对于圆形水处理池,由于预应力筋是沿着周围环行布置的,无粘结预应力筋是弧线形的即呈曲线形状,根据其弧度和弧线长度,在张拉时会产生预应力筋与池壁之间的摩擦引起的无粘结预应力筋的摩擦损失 σ_{12} ,该项损失与摩擦系数 μ 成正比,无粘结预应力筋较之有粘结预应力筋 μ 值小得多,因而摩擦损失 σ_{12} 也要小得多,这就是采用无粘结预应力技术要比采用有粘结预应力技术节省钢材的主要原因,为了减少摩擦损失,往往采用两端同时张拉的施工方案。无粘结预应力筋与壁之间的摩擦引起的预应力损失 σ_{12} 可按规程第4.1.6条的有关公式计算。

(3)无粘结预应力筋的应力松弛损失 σ_{14}

预应力筋的松弛首先取决于钢的种类、松弛等级;采用超张拉法可以减少无粘结预应力筋的松弛损失,此时,无粘结预应力筋的张拉程序宜为:从零应力开始张拉至预应力筋的张拉控制应力 σ_{con} 的1.05倍,持荷2min后,卸荷至预应力筋的张拉控制应力;或从应力为零开始张拉至预应力筋的张拉控制应力的1.03倍。根据中国建筑科学研究院的试验结果表明:凡采用超荷张拉法,其应力松弛损失将比不超荷张拉要少,超荷5%张拉可减少松弛损失32~51%,平均减少43.7%,这是由于暂时超荷张拉清除了预应力筋的部分塑性变形的缘故,所以比不超荷张拉松弛损失小,有效预应力值就提高了。从无粘结预应力砼结构技术规程4.1.7条中有关预应力松弛损失 σ_{14} 的计算公式(4.1.7式)中可看出;当无粘结预应力筋的张拉控制应力 $\sigma_{con} \leq 0.5f_{pk}$ (无粘结筋抗拉强度标准值)时,无粘结预应力筋的应力松弛值应等于零。为了获得较高的有效预应力,笔者主张采用超荷张拉方法,工程实践中也时常这样做。

(4)砼收缩徐变引起的预应力损失 σ_{15}

该项预应力损失可按规程第4.1.8条有关公式(4.1.8)计算,但计算的 σ_{15} 值对于处于高湿度环境(如南方沿海多雨地区的潮湿地方)的结构,可降低50%;对处于干燥环境(如西北少雨干燥地区)的圆形水处理结构,由于砼收缩量大, σ_{15} 应增加30%来考虑,计算时应予以注意。

(5)无粘结预应力筋采用分批张拉时,张拉后

批无粘结预应力筋会产生混凝土弹性压缩损失,应考虑其对先批张拉筋的影响,为了使先张拉预应力筋的应力与后张拉完毕时建立的预应力筋的应力接近,则需要将先张拉的预应力筋考虑后批张拉预应力筋所引起的弹性压缩预应力损失;该项损失可以在施工时预先加在第一批先张拉预应力筋的控制应力上超张拉;也可在第二批张拉预应力筋完毕时,再对第一批预应力筋进行补张拉。施工时往往采用后者的办法,能够获得预期的效果,弥补了张拉后批无粘结预应力筋所产生的砼弹性压缩损失。

以上无粘结预应力筋在施工张拉过程中形成的预应力损失,经计算一般在 $100\text{N}/\text{mm}^2 \sim 300\text{N}/\text{mm}^2$,或者再多一点,规程规定:无粘结预应力筋的总损失值不应低于 $80\text{N}/\text{mm}^2$ 。

笔者建议在圆形水处理池采用无粘结钢绞线时宜用 $1860\text{N}/\text{mm}^2$ 级低松弛型,一般张拉控制应力为 0.7 标准强度时: $\sigma_{\text{con}} = 0.7 \times 1860 = 1302\text{N}/\text{mm}^2$,预应力损失约占 $8\% \sim 24\%$ 左右,由此看出所占比重是较小的,这是采用无粘结预应力张拉工艺的一个优势。

3. 构造方面的一些问题

(1) 锚固肋的设置:圆形水处理池为了便于无粘结钢绞线的分段张拉和锚固,必须在圆形池壁沿周围设置锚固肋。锚固肋的设置应根据圆形水池直径的大小,每段预应力筋的长度来确定设置数量和位置;一般无粘结筋长度超过 50m 时,宜采取分段张拉和锚固,举例如下:某圆形沉淀池内径为 45m,壁厚为 30cm,无粘结筋布置在池壁中央,池壁中线周长 = $45.3 \times 3.1416 = 142.32\text{m}$,由于预应力筋置于壁中央,即其理论长度为 142.32m,其长度已超过 50m,将预应力筋分为 3 段,即 $142.32 \div 3 = 47.44\text{m}$,满足小于 50m 的要求。此圆形沉淀池可分为 3 段张拉,需设置 6 个锚固肋。锚固肋的位置从圆心出发将圆周等分为 6 份,每一锚固肋的平面夹角为 60° ;为了便于锚固,每 2 个锚固肋的间距即平面夹角为 120° 为一张拉段,即每周圈分 3 段张拉;一般圆形水处理池的锚固肋至少设置 4 个,即每周圈分 2 段张拉,预应力筋为 180° 包角。直径超过 50m 的圆形水池,一般需设置 8 个锚固肋,此时每个锚固肋的平面夹角为 45° ,2 个锚固肋的间距为一张拉段,即每

周圈分 4 段张拉,预应力筋为 90° 包角。

锚固肋一般凸出于池壁外侧,其断面尺寸凸出于池壁外侧不小于 20cm(肋宽),肋长以 150~200cm 为宜。肋宽尺寸要根据锚具和锚垫板尺寸以及张拉设备而定,具体要求由张拉吨位,即每束预应力筋的数量大小等因素来决定,宜适当富裕,方便日后施工张拉。只有当池壁厚度比较厚(一般在 50cm),需要将凸出在池壁外的锚固肋取消时,才在池壁内侧设置锚固槽,此时局部池壁将削弱截面积,同时对配筋带来一定困难,工程上很少这样做。

(2) 锚固肋配筋:锚固肋除平面尺寸需满足受力要求和张拉锚固构造要求之外,配筋亦需要适当加强,特别是对锚固区域,承受局部压力要进行核算,锚垫板部位承受局部压力比较大,需配置足够的螺旋钢筋网片或普通钢筋网片,且要求周围砼振捣密实,决不能出现蜂窝和孔洞。

(3) 无粘结筋遇洞口(池壁开洞尺寸超过 300mm)不能直接通过时,可适当加长无粘结筋长度,用 V 形钢筋架立绕过洞口,在张拉时先张拉绕行通过洞口的无粘结筋,后张拉未绕行的无粘结筋;

(4) 圆形水处理池池壁砼标号:为了使池壁配置与无粘结预应力筋相匹配,池壁砼标号不低于 C30;由于建议采用 $1860\text{N}/\text{mm}^2$ 低松弛无粘结钢绞线,强度等级比较高,故建议池壁砼标号适当提高,采用 C40 比较适合。圆形水处理池常年盛水满载,防渗要求高,尚需根据水位高度和池壁厚度,按给排水结构设计规范要求考虑抗渗等级。

(5) 圆形水处理池池壁中配置无粘结钢绞线时,施工图中应增加以下内容:

① 无粘结钢绞线在池壁中的立面布置图。应沿池壁周长展开;沿池壁高度以标高标注每圈钢绞线的准确位置;

② 无粘结钢绞线在池壁中的布置以剖面图形式表示钢绞线和池壁中普通钢筋骨架的关系且在图中标注无粘结钢绞线的规格、数量、间距等。

③ 锚固肋配筋详图及构造大样:包括锚固肋平面尺寸、配筋及局部承受压力部位的配筋详图,即螺旋网片或普通钢筋网片的数量、钢筋直径、长度、间距等;锚垫板平面尺寸、厚度、锚筋直径、长度、根数和型式;封堵锚具端头平面尺寸和封堵砼

标号等等;

④洞口处无粘结钢绞线构造图:应示意画出洞口位置(标注标高及平面位置尺寸)及洞口处无粘结钢绞线绕行洞口上(或下)方的位置,绕行通过的无粘结钢绞线用V筋来架立,V筋直径可用 $\phi 10@150$;

⑤设计说明中包括:选用无粘结钢绞线的材料强度等级;如选用直径为 $\phi j15.20$,低松弛型 $1860\text{N}/\text{mm}^2$ 级无粘结钢绞线;说明张拉控制应力值,如 σ_{con} 为 $0.7f_{\text{pk}}$;说明张拉方法:如每个张拉段采用两端张拉的方法,也可以是两端同时张拉,也可以是先在一端张拉并锚固然后补张拉另一端;张拉程序一般为 $0 \rightarrow 0.2\sigma_{\text{con}} \rightarrow 1.03\sigma_{\text{con}}$ 。

二、施工方面

无粘结预应力施工应有预应力专业施工队伍并严格执行工程监理、质量检查与验收制度。以下根据施工程序分五个方面谈谈施工中应注意的一些问题和做法。

1. 无粘结预应力筋断料

根据设计图纸按张拉段计算所需长度用砂轮切割机断料,不得使用氧割或电焊切割。无粘结预应力筋可以在出厂前断料,但由于运输不太方便,往往将成捆无粘结预应力筋运至施工现场后在现场断料;断料时要注意,对于穿越洞口附近的预应力筋应计算出伸长量,长度要比普通的张拉段适当长一些,以免统一断料后长度不足。

2. 池壁无粘结预应力筋的铺设

(1)在铺设预应力筋之前,先绑扎普通钢筋骨架,在钢筋骨架上烧焊支架钢筋和支架限位钢筋。钢筋直径以 $\phi 14$ 为宜,间距一般为 1000mm (见图1)

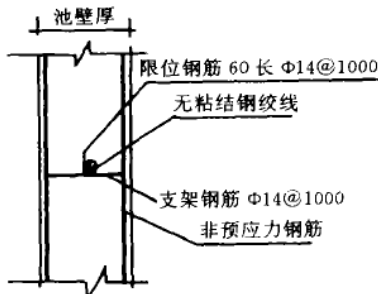


图1 无粘结筋与钢筋骨架连接

(2)无粘结预应力筋的穿束与固定:无粘结筋应单根穿束,从一张拉端穿入另一张拉端,也可以

从中间往两头张拉端穿行,在穿行过程中,每隔一定长度派专人递送,穿行时预应力筋应平行顺直,不允许出现交叉扭结,当集束配置多根无粘结预应力筋时,应保持平行走向,防止相互扭绞;并对每根预应力筋两端做好胶带标记,以便两端同时张拉。无粘结预应力筋调整就位后根据图纸进行绑扎,无粘结筋绑扎固定可用钢丝与支架钢筋进行绑扎,钢丝不宜扎的太紧,但固定必须牢固,垂直允许偏差不宜太大,一般为 $\pm 10\text{mm}$;为了保证无粘结筋顺直,扶壁处的纵向钢筋及横向钢筋(均指普通钢筋)应为无粘结筋让路,优先保证无粘结筋平行顺直通过;各种管线也应为无粘结筋让路,严禁各种管线将无粘结筋的垂直位置抬高或压低;铺设无粘结筋时,尽量减少无粘结筋与普通钢筋之间的摩擦,以免无粘结筋塑料外皮破损,一旦发生破损,应及时用胶布进行缠绕修补,发现严重破损时应予以更换,在铺设无粘结筋过程中,严禁管线施工时的电焊作业在无粘结筋的上部进行,严禁烧伤无粘结筋。

(3)锚固肋端部锚垫板的安装和固定:在无粘结预应力筋铺设工作完成之后,按设计图纸要求,在锚固肋端部固定锚垫板。无粘结筋穿入垫板后将垫板紧贴钉在扶壁柱侧模上,防止浇筑砼时垫板发生歪斜变位及漏浆;为避免垫板倾斜,扶壁柱处的横向拉结筋应离开垫板锚爪不少于 5cm ;为保证张拉顺利,曲线筋在端部承压板内垂直于承压板的平直段长度 $\geq 300\text{mm}$;张拉端无粘结预应力钢筋外露长度不大于 400mm 。

在完成无粘结预应力筋和普通钢筋的绑扎,封池壁模板之前应进行隐蔽工程验收,当确认合格后方能浇灌砼。

3. 浇筑砼

浇筑砼时应绝对避免振动棒强力撞击无粘结钢绞线,以防止振动棒将无粘结预应力筋塑料外皮凿破,池壁砼浇筑时必须注意振捣密实,防止漏振;砼浇筑时,施工人员应严禁踏压或撞碰无粘结预应力筋、支撑架及预埋件,同时应注意锚固肋和端部钢筋较密处砼必须振捣密实,防止发生蜂窝、空洞等现象。

4. 无粘结预应力筋张拉

在预应力筋张拉前首先应进行设备标定。无粘结预应力筋张拉机具及仪表,应有专人使用和

管理,并定期维护和校验。

张拉设备应配套校验,压力表的精度不宜低于1.5级;校验张拉设备用的试验机或测力计精度不得低于 $\pm 2\%$;校验时千斤顶活塞的运行方向,应与实际张拉工作状态一致。

张拉设备的校验期限,不宜超过半年。当张拉设备出现反常现象时或在千斤顶检修后,应重新校验。

在池壁砼强度试验值达到设计规定的可张拉砼强度时,方可开始进行预应力张拉。张拉前应根据设计图纸计算出每根无粘结预应力筋的张拉控制应力(即 $\sigma_{con} = 0.7f_{pk}$)及每根无粘结预应力筋的张拉力(即 $1.03\sigma_{con}A$);张拉顺序按设计图纸要求进行,张拉时应做到孔道、锚环与千斤顶三对中,张拉过程应均匀,张拉完毕后应检查端部和其他部位是否有裂缝,并填写张拉记录表。

通常采用的张拉工艺: $0 \rightarrow 20\% \sigma_{con}$ (读初始伸长值 L_1 ,并作记录) $\rightarrow 40\% \sigma_{con}$ (读伸长值并作记录) $\rightarrow 1.03\% \sigma_{con}$ (量测伸长值 L_2 ,并作记录) \rightarrow 持荷2min \rightarrow 卸荷至零。

一般采用应力控制方法张拉,即以张拉力为主,伸长值校验的方法:初应力时量取千斤顶活塞的伸长值 L_1 ,张拉至 $1.03\sigma_{con}$ 时再量取千斤顶活塞的伸长量 L_2 ,二者之差为预应力筋的实际伸长值,实际伸长值大于计算伸长值10%或小于计算伸长值5%,应暂停张拉,查明原因并采取措施,予以调整后方可继续张拉,无粘结预应力筋理论(计算)伸长值 ΔL ,按规程第5.36条公式(5.36-1)式计算。

5. 锚具保护

无粘结预应力筋张拉施工完毕后,应及时对锚固区进行保护。应使用手提式切割机(砂轮锯)或其它机械方式切割多余预应力筋,严禁采用电弧切割,切割后露出锚具夹片外的长度不得小于30mm,在无粘结预应力筋端部,锚具及承压板表面涂以专用防腐油脂和防水涂料。用塑料封端罩封闭,最后用比池壁砼标号提高一级的后浇微膨胀豆石砼将锚具封闭起来,为防止后浇微膨胀砼干裂,应进行养护,使后浇砼真正起到封闭和保护锚具的作用。这是无粘结预应力施工的最后一道工序,应该派专人去完成,以确保无粘结预应力施工圆满完成。

一般在工程结束后20d内,施工单位应向甲方(建设单位或称业主)提供一份完整的预应力施工竣工资料,主要文件包括:按规程要求提交无粘结钢绞线、锚具出厂质量合格证和质量保证书;钢绞线和锚具复验报告;张拉设备标定报告或张拉机具及仪表校验报告;现场无粘结预应力张拉记录;池壁砼强度试验报告及质量评定记录。

参考文献

- [1]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)。
- [2]中国建筑科学研究院:冯大斌,栾贵臣主编.后张预应力混凝土施工手册.中国建筑工业出版社.1999年。
- [3]何德湛:无粘结预应力技术在圆形水处理池中的推广和应用.特种结构.2000年1期。

更正

《海威姆预应力技术》2001年第1期第19页中“大会一致推荐杜振辰教授为名誉理事长”应为“杜拱辰教授”,特此更正。在此向杜拱辰教授、作者及读者致以歉意。