

无粘结预应力施工概述

张瑞峰

中国化学工程第六建设有限公司

摘要：预应力工程分为有粘结预应力工程和无粘结预应力工程。本文结合合肥国新天汇环境科技有限公司合肥污泥资源化利用工程—消化池对无粘结预应力施工过程的难点特点进行论述，主要从工程概况、实物工程量工程特点、项目施工技术及质量要求、劳动力安排、经济指标等方面展开。研究表明，无粘结预应力工程的使用，大大减少了消化池钢筋的使用量；无粘结预应力施工简便，设备要求低；简化了施工工艺，加快了整个施工进度；预应力损失小，可补拉。

关键词：预应力；粘结预应力；无粘结预应力；工程；施工

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.08.016

一、引言

预应力工程就是工程结构构件承受外荷载之前，对受拉模块中的钢筋，施加预拉应力，提高构件的刚度，推迟裂缝出现时间，增加构件的耐久性。对于机械结构来看，其含义为预先使其产生应力，其好处是可以提高构造本身刚性，减少振动和弹性变形这样做可以明显改善受拉模块的强度，使原本的抗性更强。

无粘结预应力是指在预应力构建中的预应力筋与混凝土没有粘结力，预应力张拉力完全靠构件两端的锚具传递给构件。具体做法是预应力筋表面刷涂料并报塑料布（管）后，将其铺设在支好的构件模板内，并浇筑混凝土，待混凝土达到规定强度后进行张拉锚固。它属于后张法施工。无粘结预应力的优点是不需要预留孔道、穿筋、灌浆等复杂工序，施工程序简单，加快了施工进度。同时，摩擦力小且易弯成多跨曲线型，特别适用于大跨度的单、双向连续多跨曲线配筋梁板结构和屋盖。无粘结预应力具有工程质量高、工期短、成本低的特点并且能满足建筑大跨度、大空间的需要，因此在大型圆形仓池、大跨度楼面高层住宅工程、港口工程、机场航站楼、覆土层且板跨度大的地下室顶板中得到广泛应用。本次结合的论述的工程实体—消化池即为大型圆形仓池。

二、工程概况及主要实物工程量

（一）工程概况

消化池为内径为19m，池壁高度27.448m，池壁厚为0.5m，-3.2m~17.6m采用C40预应力钢筋混凝土。消化池顶盖为C40钢筋混凝土正截锥壳。锚具封锚采用C40无收缩细石混凝土。

消化池池壁采用无粘结预应力施工工艺，预应力筋

采用d=15.2无粘结预应力钢绞线，张拉端锚具采用符合设计要求的单孔夹片式锚具，及配套的承压板（钢号Q235）和Φ12螺旋筋（5道Φ12钢筋网片），混凝土强度达到100%设计要求强度之后进行张拉。

座消化池设4个扶壁柱，每一周圈由4段无粘结预应力筋组成。无粘结预应力筋为90度包角，分别锚固在2个扶壁柱上，扶壁柱宽2.7m。

无粘结预应力筋环绕半径为15.3m，每座消化池池壁预应力筋按环向布置，从标高-3.2m~17.6m共设置了59圈无粘结预应力筋。分别为：

标高-3.2m~1.0m间距为350mm共13圈8Φ^s15.2无粘结预应力筋；

标高1.0m~5.2m间距为350mm共12圈7Φ^s15.2无粘结预应力筋；

标高5.2m~9.4m间距为350mm共12圈6Φ^s15.2无粘结预应力筋；

标高9.4m~13.6m间距为350mm共12圈5Φ^s15.2无粘结预应力筋；

标高13.6m~17.6m间距为400mm共10圈4Φ^s15.2无粘结预应力筋；

（二）主要实物工程量

1×7无粘结预应力钢绞线：32吨；弹簧筋：348个；锚垫板：348个；单孔锚具：2784套。

三、工程特点

无粘结预应力主要是预应力筋采用后张发，钢筋与混凝土之间无粘结，张拉后采用夹具在混凝土外固定。该工艺无须预留孔道及灌浆，预应力筋易弯成多跨曲线形状，施工简单方便。施工过程中应该注意检查预应力筋中的钢索是否断裂，护套是否有破损。

四、项目施工技术及质量要求

（一）无粘结预应力筋的制作、包装及运输

1) 单根无粘结预应力筋的制作应采用挤塑成型工艺，并由专业厂家生产，涂料层的涂敷和护套的制作应连续一次完成，涂料层防腐油脂应完全填充预应力筋与护套之间的环形空间。无粘结预应力筋的涂包质量应符合现行行业标准《无粘结预应力钢绞线》JG161的规定。挤塑成型后的无粘结预应力筋应按工程所需的长度和锚固形式进行下料和组装；并应采取与措施防止防腐油脂从筋的断头溢出，污染非预应力钢筋等。

2) 无粘结预应力筋在工厂加工成型后，可整盘包装运输货按设计下料组装后成盘运输，整盘运输应采取可靠保护措施，避免包装破损及散包；工厂下料组装

后，宜单根或多根合并成盘后运输，长途运输时，必须采取有效的包装措施；装卸吊装及搬运时，不得摔砸踩踏，严禁钢丝绳或其他坚硬吊具与无粘结预应力筋的外包层直接接触；无粘结预应力筋应按规格、品种成盘或顺直地分开堆放在通风干燥处，露天堆放不得与地面接触，并应采取覆盖措施。

（二）无粘结预应力筋的铺设

无粘结预应力筋铺设之前，先绑扎池壁普通钢筋，以形成基本骨架。即可按设计要求的预应力筋标高，点焊三级钢 $\Phi 14$ 钢筋支架，制成一个骨架，每座消化池的每一周圈布置62个骨架，骨架间距为1m。铺设前，应及时检查其规格尺寸和数量，逐根检查并确认其端部组装配件可靠无误后，方可在工程中使用。预应力筋绑扎固定可用铁丝与支架钢筋进行绑扎。铁丝不宜扎得太紧，以免塑料层有明显刻痕和压纹。预应力筋宜从最下一圈开始穿起，由下至上依此进行。从一张拉端穿入另一张拉端，在穿行过程中，池壁侧应每隔一定长度派专人递送。应与其他施工人员密切配合，尽量避免塑料外皮破损，如发现破损，可采用外包防水聚乙烯胶带进行修补，每圈胶带搭接宽度不应小于胶带宽度的1/2，缠绕层数不应少于2层，缠绕长度应超过破损长度30mm，严重破损的应予以报废。每一端部锚垫板外留钢绞线张拉长度不小于650mm，具体尺寸以张拉机为准。无粘结筋固定必须牢靠，当电焊作业在无粘结筋的上部进行时，应采取有效措施防止无粘结筋损坏。张拉端端部模板预留孔应按施工图中规定的无粘结预应力筋的位置编号和钻孔。张拉端的承压板应采用可靠地措施固定在端部模板上，并保持张拉作用线与承压板面相垂直。

（三）夹片锚具系统张拉端和固定端的安装

1) 张拉端锚具系统的安装：无粘结预应力筋的外露长度应根据张拉机具所需的长度确定，无粘结预应力曲线筋或折线筋末端的切线应与承压板相垂直，曲线段的起始点至张拉锚固点应有不小于300mm的直线段；单根无粘结预应力筋要求的最小弯曲半径对 $\Phi 15.2$ 钢绞线不宜小于2.0m。在安装带有穴模或其他预先迈入混凝土中的张拉端锚具时，各部位之间不应有缝隙。

2) 固定端锚具的安装：将组装好的固定端锚具按设计要求的位置绑扎牢固，内埋土固定端板不得重叠，锚具与垫板应贴紧。

3) 张拉端和固定端均应按设计要求配置螺旋筋和钢筋网片，螺旋筋和网片均应紧靠承压板或连体锚板，并保证与无粘结预应力筋对中和固定可靠。

（四）混凝土浇筑

1) 无粘结预应力筋铺设、安装完毕后，应进行隐蔽工程验收，当确认合格后方可浇筑混凝土。

2) 混凝土浇筑时，严禁踏压撞碰无粘结预应力筋、支撑架以及端部预埋部件。

3) 张拉端、固定端混凝土必须振捣密实。

（五）无粘结预应力筋铺设技术要求

1) 预应力筋支架焊接要牢固，隔层间距要准确。

2) 预应力筋放筋时要防止外层塑料皮被硬物磕破。

3) 单根穿线过程中，同一束两端锚垫板各孔要对应一致。

4) 当一束钢绞线都穿齐了，要把整束筋与定位支架平顺绑牢。

5) 预应力筋锚垫板必须与外模板贴严，固定锚垫板，要稳固，螺旋筋位置要紧贴锚垫板，并要固定牢靠。

6) 同圈预应力筋在扶壁柱中会交错，两束间距为50mm，一束在上，一束在下，所以在同一扶壁柱张拉端预应力钢绞线，各圈各钢束交错位置要层层一致，即同一截面的。同一扶壁柱同圈对应锚垫板上下位置高差50mm。

7) 张拉端无粘结筋预留长度不小于800mm。

以上预应力筋铺设要求是后续预应力张拉顺利进行的保证，从而使整个消化池建立良好的预应力效果。

8) 无粘结筋铺设完毕后，扶壁柱端部固定螺旋筋和锚垫板，锚垫板应固定牢靠，与预应力筋中心线末端的切线相垂直。锚垫板的中心高度应与无粘结筋的矢高要求相吻合。

9) 在完成全部钢筋绑扎、无粘结筋敷设完成后，应进行隐蔽工程的验收，当监理工程师确认合格后方可进行后续施工。

10) 浇捣混凝土时，应防止振动棒将无粘结筋塑料外皮凿破。因张拉端钢筋较为集中，混凝土浇捣必须注意振捣密实。混凝土浇捣时，施工人员严禁踏压无粘结筋、支架及预埋件。同时注意端部和钢筋较密处混凝土的密实性，防止发生空洞现象。

（六）无粘结预应力筋的张拉

无粘结预应力筋的张拉，池壁预应力筋均采用两端张拉，同一环内的四根预应力钢绞线应同时张拉。

1) 按设计要求

池壁环向预应力的张拉，采用8套张拉设备，分别置于4个扶壁柱上，对同一圈四束无粘结筋两端同时张拉。

2) 张拉顺序

先自下而上对奇数圈进行张拉。奇数圈张拉完毕后，再对偶数圈自上而下进行张拉。预应力筋张拉采用应力和伸长值双控制。

3) 张拉力计算

预应力筋张拉控制应力 $=1860 \times 0.72 = 1339 \text{N/mm}^2$ ，为减少预应力筋的应力松弛损失，施工时采取超长张拉，但最大张拉应力不得超过 $0.72 f_{ptk}$ （抗拉强度标准值）。

单根预应力筋张拉力为 $1339 \times 140 \times 1.05 =$

196.833KN

8根无粘结筋张拉力为 $8 \times 196.833 = 1574.664\text{KN}$

7根无粘结筋张拉力为 $7 \times 196.833 = 1377.831\text{KN}$

6根无粘结筋张拉力为 $6 \times 196.833 = 1180.998\text{KN}$

5根无粘结筋张拉力为 $5 \times 196.833 = 984.165\text{KN}$

4根无粘结筋张拉力为 $4 \times 196.833 = 787.332\text{KN}$

张拉时应做到无粘结筋、锚具与千斤顶三对中，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。

(七) 无粘结预应力筋的张拉的安全技术要求

1) 张拉前检查油泵、千斤顶是否正常，压力表是否与千斤顶配套安装，检查吊篮是否正常升降，检查吊千斤顶钢丝绳是否牢靠。

2) 张拉操作人员在张拉操作部位时，必须戴好安全带，安全帽。

3) 同一筒仓先张拉奇数圈，从下而上隔圈8台千斤顶同时依次两端张拉，然后自上而下张拉偶数圈至张拉完毕。

4) 操作人员到张拉部位，先检查锚垫板后砧是否密实，外观有无空洞，如无问题将锚垫板上砧必须清理干净，露出钢板。

5) 用扁铲将张拉端预留长度的钢绞线的外塑料皮铲去，外皮必须铲到锚垫板根部并清理干净，总之锚垫板外不能有塑料皮存在，（防止在张拉过程中塑料皮进入夹片的卡牙内，钢绞线出现滑丝现象）。

6) 在上锚具之前检查两端张拉端钢绞线预留长度是否合适，通过对讲机保持联系，如两头有一端长度不合适，提前调整。

7) 两张拉端检查无任何情况后，安装锚具，锚具安装必须与锚垫板紧密贴严夹片必须打紧。

8) 安装限位板，千斤顶，工具锚，工具夹片，将工具夹片均匀打紧，各夹片外露长度要一致，不能有里出外进等现象，安装千斤顶，千斤顶轴线要与锚垫板必须垂直。

9) 通过对讲机联系张拉小组，千斤顶是否正确安装完毕，各小组检查无误后，4台千斤顶同时开机张拉至初应力 $10\% \sigma_{con}$ 时，停机量测并记录缸体伸出量 a 及工具夹片外露长度 d ，然后同时开机张拉至 $30\% \sigma_{con}$ 时，停机测量并记录缸体伸出量 b ，然后继续同时开机张拉至 $105\% \sigma_{con}$ 时停机测量并记录缸体伸出量 c 及工具锚夹片外露长度 e ，持荷2分钟，计算实测伸长量是否在理论伸长量 $\pm 6\%$ 范围内，如无问题，将压力表读数补至设计压力，然后卸荷。

10) 在张拉施工过程中随时做好张拉施工记录，观测各种数据变化，采用压力表控制应力并用伸长值进行校核，张拉伸长值控制在 $\pm 6\%$ 内，如超出此范围暂停施工，分析原因采取措施处理后方能继续施工。

11) 实测伸长量计算： $b+c-2a-(d-e)-f$

f -千斤顶内预应力筋伸长量。

12) 张拉完毕后切除多余钢绞线，锚头预留钢绞线长度不小于3cm。无粘结钢绞线断料，应按计算长度用无齿锯切割，不得使用气割或电焊切割。

13) 在千斤顶张拉过程时，操作人员必须精神高度集中不能随便离开油泵，密切观察张拉端变化情况，千斤顶后工具夹片是否全部咬住钢绞线，整束7根在张拉过程中是否同时行进，如有一组异常，通过对讲机联系必须全部停机，异常排出后才能同时张拉。千斤顶后方绝对不允许站人，以防止钢绞线及夹片断裂后飞出伤人。

14) 在千斤顶初应力后应及时将吊链松开，防止吊千斤顶吊环由于千斤顶出缸时作用力太大，把吊环弄断。

15) 张拉小组必须服从统一指挥，相互间协调配合，严格按照张拉操作程序施工，以保证所建立的预应力效果均匀准确。

五、劳动力安排

需要三个工种：技术工、张拉工、维修工，人数分别为18人、16人、1人。

六、经济指标

以合肥污泥资源化利用工程消化池为例，单个消化池总计用钢绞线32吨，弹簧筋348个，锚垫板总计348个（4孔~8孔），单孔锚具2784套，综合单价约为1万元/吨。

七、总结

1、无粘结预应力工程的使用，大大减少了消化池钢筋的使用量。原设计消化池池壁钢筋为螺纹三级钢 $\phi 25@150$ ，改为无粘结预应力后，池壁钢筋改为螺纹三级钢 $\phi 22@150/200$ （11.6米以下间距150，11.6米以上间距200）。钢筋的用量减少使整个构件自重减轻。

2、无粘结预应力施工简便，设备要求低。简化了施工工艺，加快了整个施工进度。

3、预应力损失小，可补拉。预应力筋与外护套间设防腐油脂层，张拉摩擦损失小，使用期预应力筋可补张拉。抗疲劳性能好。无粘结语音里筋与混凝土纵向可相对滑移，使用阶段应力幅度小，无疲劳问题。

参考文献

[1] 马建文，赵蒙蒙，张乃，等. 基于无粘结PC梁桥的施工工艺探究[J]. 建筑技艺与设计，2020，28（05）：93-94.

[2] 郝喜林，张凤波，隋雨秋，等. 超长预应力T型梁无粘结施工技术研究[J]. 土木施工与技术，2020，49（10）：111-115.

[3] 林金飞，刘江波，杨善双，等. 无粘结预应力混凝土管桩施工工艺研究[J]. 水文地质工程地质，2017，44（1）：154-157.