

# 预应力技术在市政污水厂水池结构设计施工中的运用

梁东峰 王启明

中国市政工程西北设计研究院有限公司 甘肃兰州 730000

**【摘要】**随着城市化进程的不断加快，市政污水厂的建设持续进行。污水厂水池作为关键构筑物，其结构安全与耐久性能直接影响污水处理效率和运营的稳定。传统钢筋混凝土水池在受到较大水压以及其他荷载作用时，往往易出现裂缝，影响水池的正常使用及使用寿命。预应力技术通过在混凝土内施加预压应力，抵消或减小使用荷载下产生的拉应力，可显著提高水池的抗裂性、抗渗性与整体承载力。本文以仙林污水处理厂异地扩建工程为例，系统阐述了预应力技术在市政污水厂二次沉淀池设计与施工中的具体运用，包括工程概况、预应力技术原理、设计要点、施工工艺及质量安全措施等。结果表明，合理的预应力设计与严格的施工控制可有效保障水池的整体性能与使用寿命，为类似工程提供参考与借鉴。

**【关键词】**市政污水厂；二沉池；预应力技术；设计与施工；耐久性

## 1 引言

市政污水处理厂承担着城镇污水的处理和排放达标的重要职责，其主要构筑物之一便是各类功能性水池，包括沉砂池、初沉池、二沉池以及接触消毒池等。这些水池在运行过程中承受的荷载，既有水压、土压力，也可能存在温度应力、施工误差等多种复合应力。传统钢筋混凝土水池在服役期间，常因混凝土收缩、干湿循环以及较大的荷载作用而产生裂缝。裂缝不仅影响混凝土的抗渗性能与耐久性，也可能引起结构的进一步劣化。

预应力技术通过在结构中预先施加一定的压应力，使混凝土在使用阶段所产生的拉应力得到部分或全部抵消，从而有效抑制乃至避免混凝土开裂。在水池构造中引入预应力技术，不仅能显著提升其整体抗裂、抗渗能力，还可减少后期维护及修补费用，具有良好的经济与社会效益。本文结合仙林污水处理厂异地扩建工程，对预应力技术在水池结构中的应用进行综合阐述，旨在为同类工程提供一定的理论与实践指导。

## 2 工程概况

本文所述工程为仙林污水处理厂异地扩建工程中的二次沉淀池。该工程共设4座二沉池，每座池体结构尺寸为 $\Phi 42.6\text{m} \times 5.42\text{m}$ ，具有如下主要特征：

### 2.1 钢筋选择

普通钢筋：HRB400 ( $f_y = 360 \text{ N/mm}^2$ )；

预应力钢筋：采用1X7(Φ)钢绞线(UPS15.20-1860)，直径 $d=15.2\text{mm}$ ，强度标准值

强度标准值 $f_{ptk}=1860\text{N/mm}^2$ 。

### 2.2 设计使用年限及环境条件

a主体结构设计使用年限：50年；

b安全等级：一级；

c抗震设防类别：重点设防类（乙类）；

d地基基础设计等级：乙级；

e环境类别：二b类。

### 2.3 混凝土强度等级及抗渗要求

a垫层、填充：C20；

b池壁（预应力区）：C40；

c其余部位：C30；

d抗渗等级：P8；

e混凝土类型：补偿收缩混凝土。

为满足污水处理厂对抗渗和耐久性的高标准要求，各部位混凝土按照不同受力特点进行强度等级与配合比的优化设计；通过在混凝土中添加适量膨胀剂，对混凝土在硬化过程中的收缩进行补偿，提高水池的抗裂与抗渗性能。

## 3 预应力技术原理

预应力混凝土技术通过在受拉区预先施加压应力，以抵消后续结构在使用期间所产生的拉应力。具体而言，当混凝土达到设计强度后，对预应力钢筋进行张拉并锚固，使混凝土受压并保持预压应力状态。水池在蓄水后，池壁受到明显的环向水压和土压力，容易在环向或竖向出现拉应力；而预应力钢筋产生的预压应力可对抗该拉应力，推迟

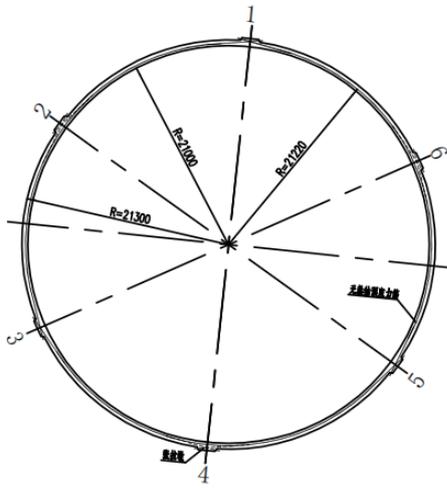
或避免池壁出现开裂，从而显著提升水池的抗裂性、抗渗性和耐久性。

对于采用无粘结预应力筋的水池结构而言，预应力筋与混凝土之间通过防腐润滑脂或保护套相隔，能够自由滑动，有利于后期多次张拉或局部补强(JGJ92)。尤其在大直径圆形水池上，若环向拉力较大，则环向布置的无粘结预应力筋更能充分发挥抵抗水压力的作用。

#### 4 预应力技术在水池结构设计中的运用

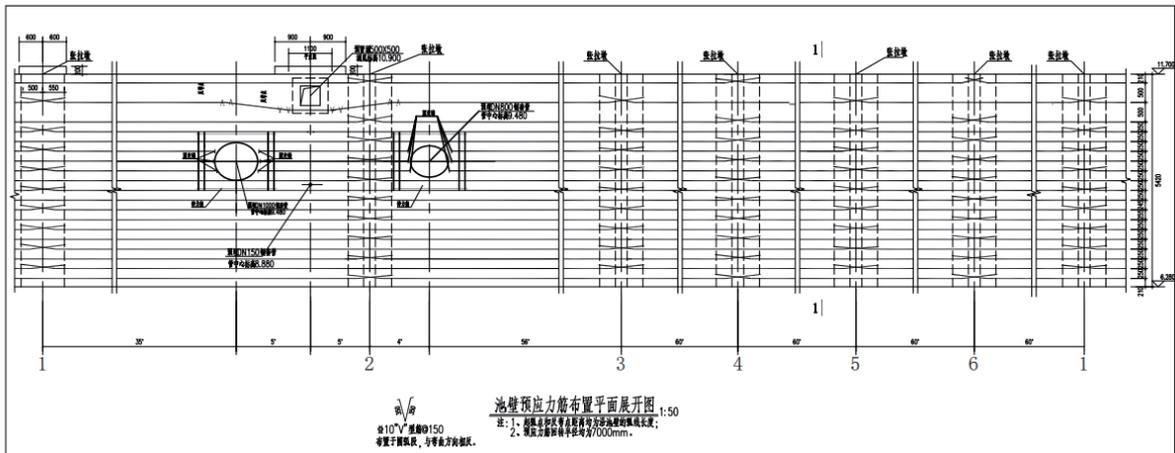
##### 4.1 预应力钢筋的布置

根据工艺管道布置要求，均匀的布置6个张拉墩，方便预应力钢筋张拉。张拉墩和预应力筋平面布置如图所示



预应力钢筋平面布置图 1:200

在圆形二沉池池壁处，为了抵抗环向水压力并控制混凝土裂缝。本工程二沉池环向钢筋选用 16@150的布置形式，沿环向设置预应力钢筋 1Φ<sup>s</sup>15.2@250，预应力钢筋展开布置如图所示



##### 4.2 预应力损失的计算与控制

预应力损失包括锚具与钢筋内缩、摩擦损失、松弛损失以及混凝土收缩与徐变引起的应力损失、分批张拉引起的平均损失等。若预应力损失估算与控制不当，水池结构将出现预应力不足或不均匀分布的情况，影响其抗裂与承载能力。

###### 4.2.1 锚具及钢筋内缩损失

选用了质量可靠、变形量较小的锚具，并在施工过程中严格把控锚具安装质量，以降低锚具变形导致的预应力损失。

###### 4.2.2 摩擦损失

合理设计预应力孔道曲线，尽量减少弯道，减少预应力钢筋与孔道壁间的摩擦损失(JG/T430)。

###### 4.2.3 钢筋应力松弛

选用低松弛预应力钢绞线，并严格控制张拉工艺，尽量降低预应力钢筋在长期荷载作用下发生松弛所带来的预应力衰减(GB/T14370; JGJ85)。

###### 4.2.4 混凝土收缩与徐变

通过合理控制水泥用量，优化水灰比及骨料级配，并加强混凝土养护，使混凝土收缩与徐变保持在较低水平，进而降低对预应力的抵消影响(GB5224)。

###### 4.2.5 分批张拉引起的平均损失

预应力筋采用分批张拉时，应考虑后批张拉筋所产生的混凝土弹性压缩(或伸长)对先批张拉筋的影响，将先批张拉筋的张拉控制应力值  $\sigma_{con}$  增加(或减少)  $a_E \sigma_{pci}$ 。此处  $a_E$  为预应力筋弹性模量与混凝土弹性模量之比， $\sigma_{pci}$  为后批张拉筋在先批张拉筋重心处产生的混凝土法向应力。

预应力损失表

预应力损失	$\sigma_{11}$ (锚具变形和钢筋内缩损失)	$\sigma_{12}$ (预应力钢筋的摩擦损失)	$\sigma_{14}$ (环向预应力钢筋的松弛损失)	$\sigma_{15}$ (混凝土收缩徐变损失)	$\sigma_{16}$ (分批张拉引起的平均损失)
应力 (N/mm <sup>2</sup> )	107.48	153.12	44.64	67.04	6.28

### 4.3 与混凝土材料的协同设计

针对市政污水厂对池体抗渗及耐久性能的高要求，本工程在池壁处采用C40混凝土，其他部位分别采用C20、C30，以兼顾不同部位的承载需求及经济可行性。通过在混凝土中加入适量膨胀剂，使其在硬化过程中产生微膨胀，从而补偿混凝土的收缩，较大幅度地减小开裂风险，提高水池的耐久性和水密性。设计中根据水池所处环境类别（如二b类）的特点，对混凝土耐久性参数也进行了针对性控制，以确保水池在长期服役过程中不会因钢筋锈蚀或混凝土劣化而影响整体功能。

## 5 预应力水池施工工艺

### 5.1 施工准备

预应力水池施工前，及时编制专项施工方案和作业指导书。成立预应力钢筋定位小组，由项目总工程师担任组长，明确预应力筋定位流程：在普通钢筋上标出预应力筋位置→按节点图设置定位支架钢筋→定位复核→安装预应力钢绞线。由项目总工、工程部长及主管技术人员层层开展技术交底，明确施工工序和质量目标。

### 5.2 预应力钢筋施工

#### 5.2.1 预应力钢筋的安装

依据施工图及平面放线标定预应力钢绞线位置，采用无齿锯切割无粘结预应力钢绞线，并将其存放于干燥且有苫布覆盖的区域。固定时，按节点图每隔0.75m在内置支撑钢筋上进行绑扎，一定要确保钢绞线在混凝土中浇筑中不发生移位。若钢绞线外皮有破洞则用电工胶布缠裹修补牢靠。完成预应力筋安装后，再安装池壁外模板并进行合模。

#### 5.2.2 混凝土强度试验与张拉时间

池壁混凝土浇筑完成并达到养护龄期28天后，在同条件试件强度达到设计强度等级的100%时方可进行预应力张拉。

#### 5.2.3 张拉设备校验及锚具安装

张拉设备如千斤顶、压力表进场前需经专业检测机构校验，校验日期不超过半年，且不得超过200次张拉作业。锚

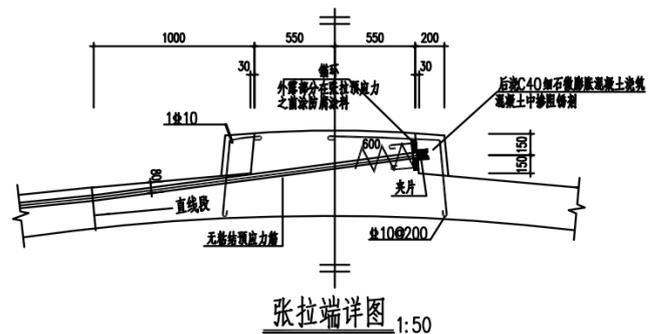
具安装时检查其外观及机械性能，保证套筒、夹片无裂纹或夹渣。上锚时防止沙尘进入夹片，以免出现滑丝问题。

### 5.2.4 张拉工艺

张拉施工由项目技术负责人主持。张拉严格遵循“对称、分级、同步”的基本原则，采用以张拉力为主、伸长量作校核的“双控”张拉法，当实际伸长量与计算伸长量之差大于±6%时，查明原因并及时处理。按图对池壁张拉墩进行编号，张拉墩同一侧的钢绞线由下到上编号。施工时采用每圈三股筋六端同时张拉，张拉顺序自下而上隔圈张拉。当张拉力达到设计控制力后，应持荷一定时间，确保钢绞线与锚具咬合牢固。锚固后预应力筋的外露长度不宜小于30mm，以防其回缩。

### 5.2.5 封锚

锚固完成后立即使用环氧树脂粘结剂对锚具夹片及外露钢绞线进行涂覆，在新旧混凝土结合面处凿毛并清理干净后再用C40细石混凝土二次浇筑封锚，并注意定时洒水养护，保证封锚区与主体结构的整体性。



## 6 质量控制与安全措施

### 6.1 质量控制

#### 6.1.1 健全质量管理体系

建立健全质量管理体系，将质量目标、质量责任层层分解下去，并及时进行施工质量的动态监控与评价。

#### 6.1.2 选择专业分包队伍配备质量工程师

总承包方选择专业分包方宜选择在公司专业分包库内长期合作、有同类型同规模工程施工经验的。同时项目部要

配备技术过硬、责任心强的质量工程师，总分包两级管理人员都必须熟悉各自岗位的质量管理责任。

### 6.1.3 专项技术审核

预应力分项工程开工前，总分包两级项目部技术人员及时重温设计意图和关键部位的质量要求，再次认真审核施工图以确认没有错漏碰缺，并组织预应力专项设计交底。

### 6.1.4 材料报验

普通钢筋、混凝土、预应力钢绞线、锚具等关键材料都必须严格执行报验制度，并按规定进行见证取样复试。其中预应力材料、配件应严格执行《预应力混凝土用钢绞线》GB/T5224、《预应力筋锚具、夹具和连接器》GB/T14370 和《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ85。

### 6.1.5 工序控制

每道工序都要严格执行事前交底、质量三级验收制度，尽早发现问题及时整改，以免出现较大工作量的返工。

### 6.1.6 关键工序旁站监理

对钢筋安装、张拉和混凝土浇筑等关键环节，施工方实施专人监督检查，监理方进行旁站监理，以确保设计、规范各项要求的落实。

### 6.1.7 质量问题处理

施工过程中及时开展巡检，如发现质量问题须及时采取技术、管理措施予以纠偏，并对出现的质量问题进行分析总结，以防止问题重复出现。

## 6.2 安全措施

### 6.2.1 安全教育与制度

预应力张拉作业人员应先经专门培训并考核合格，所有人员均须先完成三级安全教育及安全技术交底。工程总承包方应建立健全包含预应力施工内容的全员安全生产责任制，并及时进行相应风险分级管控和隐患排查治理，及时制定预应力施工专项应急预案并进行演练。

### 6.2.2 现场安全标识与防护

张拉作业周边应设警戒区，张拉端前设厚度不少于3mm的钢质挡板，挡板背面粘贴安全操作规程。张拉作业时操作人员只能站在千斤顶的两侧，同时任何人员不得从正面

通过，以防止锚具、夹片、钢绞线等意外飞出伤人。

### 6.2.3 张拉及特种设备管理

预应力张拉作业应严格执行安全操作规程，并按施工方案缓慢、均匀进行，过程中如发现异常，如钢绞线滑脱、锚具松动或混凝土开裂，应立即停止作业并排查原因。设备及仪表应由专人使用和管理，并进行定期维保和检验。

六不张拉原则：没有预应力材料出厂合格证不张拉，预应力筋规格不符合设计要求不张拉，张拉前交底不清不张拉，配套件不符合设计要求不张拉，准备工作不充分、安全措施未落实不张拉，混凝土强度达不到设计要求不张拉，即合规交配准强。

## 7 结论

在市政污水厂水池结构中应用预应力技术，可有效改善水池的整体抗裂性与耐久性，减少因水压、土压力等外部荷载导致的裂缝与渗漏风险。仙林污水处理厂二沉池的实际应用表明，通过合理的预应力钢筋布置、精确的预应力损失控制并结合合适的混凝土材料设计，能够显著提升圆形水池结构的安全性能和使用寿命。此外，在施工阶段务必注重预应力筋安装与张拉的工艺质量，辅以严格的把控及安全防护措施，可最大程度保障工程效果。随着预应力材料与施工工艺的不断发展与成熟，预应力技术将在市政污水厂及其他基础设施建设中发挥更为重要的作用，为提升城市公共服务设施的整体水平提供坚实保障。

### 参考文献：

- [1] 申晟. 关于市政污水厂水池结构的分析[J]. 居业, 2023, (06): 97-99.
- [2] 孟琳, 杨晓亮. 市政污水处理厂水池结构设计要点探究[J]. 中国住宅设施, 2021, (05): 33-34.
- [3] 谷昊伟. 复杂组合水池结构设计探讨[J]. 江西建材, 2022, (02): 193-194+197.
- [4] 杜帅. 预应力技术在圆形水池结构设计中的应用分析[J]. 四川水泥, 2017, (03): 75.
- [5] 朱海燕. 预应力钢筋混凝土水池结构设计[J]. 工程建设与设计, 2021, (06): 15-16+19.