

市政污水厂水池结构设计中预应力技术的应用研究

肖志毅

中铁建发展集团有限公司

摘要: 目前对市政污水池结构预应力技术研究不够完善,为改进市政污水厂水池结构设计研究预应力技术的应用;总结市政污水厂水池结构类型特点,介绍市政污水厂水池结构预应力技术;结合工程实例总结市政污水池结构设计中预应力技术的应用。应用预应力技术可以满足水池强度要求,通过预应力筋布置在池壁外侧,对池壁外侧受拉区施加预应力满足抗裂性要求,提高污水池的安全度与经济性。

关键词: 市政污水厂;水池结构设计;预应力技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.17.114

引言

水资源是保障经济社会可持续发展的重要因素,城市污水处理厂是对水资源净化处理的重点基础设施,可以深度处理城市污水排入水体。水池结构是污水厂中常见构筑物,要求具有较好的抗渗性,满足使用极限状态。环向预应力技术是市政污水厂设计中普遍采用的新型技术,设计市政污水厂沉淀池通常为圆形结构,水池设计中选择计算模型时,应将其作为上端悬臂情况处理。水池壁通常高度小,竖向设计采用普通钢筋混凝土满足抗凝强度要求,而水平向设计中采用普通钢筋混凝土结构难以满足要求,必须加大水池壁厚才能满足强度要求。采用环向预应力技术,在池壁外侧布置预应力筋,池壁外侧施加预应力满足抗裂强度要求。

一、市政污水厂水池结构与预应力技术分析

钢筋混凝土水池壁温度作用影响大,应设置贯通式伸缩缝,释放中面温差引起的应力,但伸缩缝设置容易产生止水带老化漏水等问题,所以很多钢筋混凝土水池工程采用无缝设计。工程中抵抗温度应力避免设缝的方法有设置后浇带与施加预应力等,目前污水厂水池中广泛应用施加预应力的方法。预应力水池的造价受到设计方法等多种因素影响,因此,对钢筋混凝土水池不同形式的预应力研究非常有必要^[1]。

水池是城市工业污水厂常见构筑物,由于结构经常贮水承受较大的压力,要求具有较高的强度与良好抗渗

性。水池结构根据不同划分标准有多种类型,按照结构外形分为矩形与圆形,矩形水池工艺包括单格与多格水池,圆形水池形状包括圆柱形与球形水池等^[2]。混凝土水池分为钢筋混凝土与预应力钢筋混凝土水池,混凝土水池施工成型容易,具有较好的抗渗防腐性能。水池结构包括底板、顶盖与走道板等。矩形水池特点是便于工艺设备布置操作,水池溶剂相同对土地利用率高,结构整体性交叉。矩形水池受力特性不同,包括双向与混合受力壁板。预应力混凝土技术是在构件受荷载前对产生拉应力混凝土施加压力,使混凝土构件使用荷载下不产生过大裂缝,施加预应力可提高混凝土构件抗裂能力减小变形^[3]。近几年,预应力混凝土技术发展迅速,在大跨度空间钢结构中得到推广应用。

污水处理中水工构筑物包括初沉池、生物池等,大型水池结构为抗震多采用预应力结构,按预应力形式分为有、无黏结预应力。市政污水处理厂水池设计应用预应力技术可以满足水池强度要求,通过预应力筋布置在池壁外侧,对池壁外侧受拉区施加预应力满足抗裂性要求,提高污水池的安全度与经济性。随着无黏结预应力筋制作生产锚具设备的改进,无黏结预应力技术也使圆形水池得到快速推广^[4]。矩形水池结构受力分析原理是板构件计算理论,矩形水池力学计算通常采用弹性薄板理论,分析方法包括等代框架法及有限元法等。水池壁是在支撑条件下的板构件,底板与地基作用复杂,通常将池壁底部视为固接,不考虑走道板对池壁的支撑作用。随着不设缝设计思路的推广,水池壁在预应力下的受力分析非常重要。

二、市政污水厂水池工程设计

张贵庄污水处理厂二期工程位于天津市东丽区,工程设计工作年限为50年;结构设计遵循有关的设计规范规程,选择合理的结构形式和计算方法,结构体系布置遵循受力经济合理的原则,结构设计满足工艺及其他专业的设计要求,以技术先进、施工简便为原则进行,结合当地实际情况采用可靠的新技术材料。工程砌体结构施工质量控制等级为B级。根据勘察期间地下水位观测

值，场地抗浮设计水位按大沽标高2.50m考虑。

工程混凝土为商品混凝土，建筑物混凝土强度等级地面以上采用C30。构筑物预应力混凝土采用C40，水池内抹角等二次浇捣混凝土等级不低于C30。垫层采用C20混凝土100mm厚，基槽素混凝土填料为C15^[5]。水泥采用强度等级不低于42.5级的普通硅酸盐水泥，混凝土可掺入膨胀纤维抗裂防水剂等。防水混凝土应满足抗压等耐久性要求，施工配合比应通过试验确定。非预应力钢筋采用HPB300、HRB400级，严禁使用冷加工钢筋。钢材采用Q235B级或Q355B级钢材，其材料性能指标须符合现行国家标准的要求。构筑物结构构件外露金属部件应防锈处理。最外层钢筋的混凝土保护层厚度及裂缝宽度限值见表1。

表1 最外层钢筋的混凝土保护层厚度及裂缝宽度限值

环境类别	板、墙、壳保护层厚度/mm	梁、柱、杆保护层厚度/mm	裂缝宽度限值/mm
室内干燥环境 I-A	20	25	0.3
室内潮湿环境 I-B	25	30	0.2
化学腐蚀环境 V-C	35	40	0.2

根据有关规范的要求，贮水构筑物伸缩缝间距控制要求无保温池体不大于20m；部分单体设缝区段略有超长水池体混凝土采用补偿收缩混凝土，采用加强带等措施控制混凝土的收缩开裂。伸缩缝处采用8mm厚300mm宽橡胶止水带，在迎水面用50mm厚双组分聚硫防水密封胶嵌缝止水，使伸缩缝处具有两道防水屏障。水池内水侧采用柔性防腐防水涂料，初沉池底板上有浇层后可取消防腐。臭氧池内水侧采用水泥基渗透结晶型防水防腐涂料，厚度不应小于1.0mm。工程设计建（构）筑物地基基础设计须满足地基承载力要求，天然地基不能满足承载要求采用合理的地基处理方案。较小的建筑物可采用天然地基，其他建（构）筑物采用预应力混凝土管桩基础。根据《地勘报告》提供的地质条件，适宜的桩型主要有灌注桩和预应力混凝土管桩。

三、市政污水厂水池结构设计中的问题

随着国家经济的发展，对城市环境要求不断提高，污水厂是对环境影响较大的建筑工程，污水厂处理污水指标要不断改进，城市污水厂结构设计应采用先进的施工技术，考虑改造的可行性选择节能低耗的方案，保证水池结构的稳定性。污水厂水池结构设计要注意污水池

表面材料施工工艺，根据实际情况开展水池结构设计工作。污水厂处理污水含有很多杂质，水池表面材料设计要考虑防渗防腐性，由于环境影响要考虑材料的收缩性。

目前污水厂水池结构设计中主要存在水池表面材料工艺设计不足，水池防渗性能过低等问题，污水厂建设中水池结构设计必须注重整体结构的稳定性，更多关注水池结构不均匀沉降问题，如水池表面未涂刷防腐材料，污水池运行中池体防腐性能较差，污水通过裂缝渗透到混凝土结构内部造成严重破坏。由于污水池中的污水经常含有不良腐蚀性物质，长期使用后造成裂缝问题影响水池效果，污水处理厂水池结构主要是钢筋砼结构，受到外部环境影响产生热胀冷缩引起应力变化。水池放空检修中出现上浮问题，主要由于设计抗浮水位选择不当，抗浮稳定系数不能满足抗浮要求。污水厂水池采用钢筋砼结构，施工中为增加混凝土覆盖量加大钢筋的承受力，导致钢筋砼变形破坏水池结构完整性。

四、市政污水厂水池结构预应力技术应用

污水厂水池结构设计中多采用无黏结预应力施加环向预应力，绕丝法预应力施工方法与材料不同于分段张拉无黏结预应力，为设计方案具有安全性比较选择分段张拉无黏结预应力技术。工程选择低松弛无黏结钢绞线效果较好，经过多次冷拔后消除应力热处理，应力松弛力降低有利于减少预应力筋的用量。选用钢绞线需采用I类锚具，工程采用钢绞线强度标准值 $f_{ptk}=1570\text{Mpa}$ 。

（一）市政污水池预应力设计计算

水池预应力损失为张拉建立预应力到有效预应力出现应力减少，预应力损失包括无黏结预应力筋摩擦损失，无黏结预应力筋应力松弛损失等。张拉后卸荷时无黏结预应力筋内缩引起预应力损失。圆形水池预应力筋为沿外池壁环向布置，采用千斤顶张拉损失降低50%。工程采用超张拉程序减少松弛损失。预应力损失计算见表2，表3、4为初沉池、二沉池壁环向预应力筋计算。无黏接预应力消化池考虑其结构材料特殊性，预应力损失 $\sum \sigma_i$ 包括锚具形式和预应力钢筋内缩引起预应力损失，无黏结预应力筋与护套壁间摩擦引起预应力损失；预应力钢筋应力松弛引起预应力损失，混凝土收缩徐变引起预应力损失。

表2 预应力损失计算N/mm²

预应力损失	σ_{11}	σ_{12}	σ_{14}	σ_{15}	σ_{17}
初沉池	63.7	55.4	46.4	63.8	26.5
二沉池	61.0	56.8	48.2	65.4	28.3

表3 初沉池壁环向预应力筋计算

分段 顶至底	分段高度h/m	Nt/m	Ay/mm ²	直径、间距
0.0-0.1H	0.5	391.4	348	2- ϕ 15.0@250
0.1-0.7H	3	424.6	756	2- ϕ 15.0@250
0.7-1.0H	1.2	147.4	315	2- ϕ 15.0@250

表4 二沉池壁环向预应力筋计算

分段 顶至底	分段高度h/m	Nt/m	Ay/mm ²	直径、间距
0.0-0.2H	1.0	33.54	590	1- ϕ 15.0@230
0.2-0.8H	3.0	47.95	844	2- ϕ 15.0@330
0.8-1.0H	1.0	32.14	566	2- ϕ 15.0@250

混凝土收缩徐变引起预应力损失降低50%，预应力筋产生混凝土弹性压缩影响预应力损失降低，后批张拉预应力筋张拉后补张拉获得良好效果。根据《无黏结预应力混凝土结构技术规程》(JGJ92-2016)规定，使在不不利荷载组合下水池壁计算截面在施工阶段要求不出现裂缝，考虑施工阶段内池内无水，试水阶段池内有水与检修阶段池内无水荷载组合^[6]。为便于预应力筋分段张拉锚固，沿水池壁外侧设置扶壁柱便于预应力张拉。污水池结构设计中水池壁与底板采用杯槽式柔性连接，池壁与槽口内侧采用油麻沥青嵌缝。无黏结预应力张拉端设置在水池壁扶壁柱。

(二) 污水池预应力结构施工

污水池工程预应力结构施工工序包括预应力筋铺设与张拉，无黏结预应力筋根据施工图计算下料长度，用有色笔在池壁画出每道预应力筋坐标位置。张拉无黏结预应力筋采用双控法，以应力控制法张拉。水池壁混凝土强度实验值达到规定100%时进行张拉，做到孔道与千斤顶孔对中。预应力钢绞线自上而下布置，封闭圆形应力形成需在不同位置钢绞线，二沉池断面配置26束钢绞线。施工图设计将断面所需钢绞线分布在不同层面，在各层面排配置3束钢绞线。

初沉池参数公称面积A=139.98mm²，张拉摩擦系数k=0.004，直线段X2=3.1m，曲线段X1=27.68m，根据公式 $\Delta L = E_p \cdot X/A \cdot E$ 计算伸长值，E_p平均张拉力取跨中张

拉均值。张拉端拉力值F=153.84kN，跨中拉力均值为F/=137.38kN， $\Delta L=31.04\text{cm}$ ，二沉池拉力伸长值X2直线段=3.1m，曲线段X1=22.8m， $\Delta L=26.46\text{cm}$ ^[7]。池壁混凝土抗压强度达到设计强度85%以上张拉，锚固处设置对讲机保证同步。采用张拉工艺为0→10%读初始伸长值L1→40%伸长值记录→持荷2分钟卸荷。张拉采用应力应变双控，满足规范-5%~10%范围内要求。张拉后池壁发生回缩位移，初沉池环向回缩25mm，二沉池环向回缩19mm。

结语

本文研究介绍市政污水厂水池结构预应力技术，以天津东丽区张庄污水处理厂二期工程为例，总结市政污水池预应力结构技术应用。工程建成投用后使用效果好，水池壁设计采用预应力技术中，选择低松弛无黏结钢绞线应力松弛率降低，有利于减少预应力筋用量；大直径污水池采用无黏结预应力筋设计方案，相比普通混凝土结构具有良好经济效益；张拉预应力筋中采用双控方法，水池壁预应力筋张拉后进行监控记录。

参考文献

- [1] 张树俊, 吴伟. 污水厂大型水池裂缝控制设计探究[J]. 工程建设与设计, 2022(4): 7-9.
- [2] 黄学勇. 水池结构设计在市政工程中的分析应用[J]. 居业, 2020(5): 18-19.
- [3] 贺成刚, 郑伟光, 王志华. 市政污水处理厂水池结构设计要点分析[J]. 建筑技术开发, 2019, 46(13): 86-87.
- [4] 王萍. 圆形预应力水池结构设计[C]//《建筑科技与管理》组委会. 2018年6月建筑科技与管理学术交流会论文集. 北京:《建筑科技与管理》组委会, 2018: 13-14.
- [5] 许文博, 张国栋, 周阳. 预应力技术在市政污水厂水池结构设计中应用[J]. 建材与装饰, 2017(41): 91-92.
- [6] 杨海燕, 王景涛. 预应力技术在市政污水厂水池结构设计中应用[J]. 山东工业技术, 2017, (14): 13-14.
- [7] 吴添福. 预应力技术在市政污水厂水池结构设计中应用[J]. 建材与装饰, 2016, (17): 153-154.

作者简介: 肖志毅(1980-), 男, 河北衡水人, 高级工程师, 从事结构设计与研究。