

述评与讨论

地下污水处理厂设计探讨

邱 维

(广州市市政工程设计研究总院, 广东 广州 510060)

摘 要: 结合多座地下污水处理厂具体工程设计经验,对地下污水处理厂与传统污水处理厂相区别的各专业设计要点进行详细解析,可为地下污水处理厂设计和相关规范、手册编制提供参考。

关键词: 污水处理; 地下污水处理厂; 设计要点; 设计经验

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2017)10-0012-06

Design Briefing of the Underground Wastewater Treatment Plant

QIU Wei

(Guangzhou Municipal Engineering Design and Research Institute, Guangzhou 510060, China)

Abstract: Based on the design experience of a number of underground wastewater treatment plants (WWTPs), the key points of designing underground WWTPs were analyzed by comparing with the traditional above-ground WWTPs. These might provide useful information and reference for the design of underground WWTP, especially for setting up the related standard and manual.

Key words: wastewater treatment; underground wastewater treatment plant; design key points; design experience

随着我国地下污水处理厂的相继建设,地下污水处理厂的优势日益凸显,其设计要点越来越受到业界关注。但是,现在仍无专门规范或手册针对地下污水处理厂设计进行规定或详解。笔者结合多座地下污水处理厂具体工程设计经验,对地下污水处理厂各专业设计要点进行解析,具体包括选址、总体布置、平面和竖向设计、工艺设计、建筑和绿化设计、结构设计、电气设计、自控设计、消防设计、通风、除臭设计等内容,供业界参考。

1 地下污水处理厂设计总体特点

地下污水处理厂与常规地上式污水处理厂相区别,各处理构筑物 and 辅助建筑物整体或部分设置于地面以下天然形成的或人工挖掘的相对封闭的地下空间,运行人员可经常进入地下空间内进行日常巡视、操作和维护等生产活动。

地下空间相对封闭的结构形式为地下污水处理厂建筑结构设计的特点,有人员的经常介入,要求具体设计上必须特别注重地下空间环境的控制,如温度、湿度、氧气含量等空气环境控制和消防、安全逃生等应急措施设置。总的来说,为体现最优的技术性、经济性,地下污水处理厂在各专业设计上均有不同于常规污水处理厂设计的一些特点。

结合广州市京溪污水处理厂、昆明市第九及第十污水处理厂的具体设计经验,重点就与传统污水处理厂设计要点的不同之处,分专业进行解析。

2 地下污水处理厂设计要点

2.1 选址

根据现行《室外排水设计规范》(GB 50014—2006, 2016年版),地下污水处理厂选址与传统污水处理厂有一定差异,详见表1。

表 1 地下污水处理厂与传统污水处理厂选址考虑因素比较

Tab. 1 Comparison of site selection factors between underground WWTP and traditional WWTP

项目	传统污水处理厂	地下污水处理厂	备注
与城镇水体关系	在城镇水体的下游	在水体的上、中、下游均可,但在中、上游具有更大的优势,便于就近收集处理污水,就地作为城市再生水回用,如作为河道补水水源	城市快速发展、水资源综合利用均要求污水分散处理更为经济合理
尾水排放	便于处理后出水回用和安全排放	同左	污水厂兼作再生水厂成为普遍需求,尾水用作厂区回用水和城市杂用水
污泥处理处置	便于污泥集中处理和处置	同左	地下污水厂布置如果较分散(规模小),收集污水性质类似,若仅服务于生活区,其污泥有利于作为肥料等资源利用处置
卫生环境	在城镇夏季主导风向的下风侧	一般无需考虑主导风向因素	地下污水厂双重封闭隔离和多重除臭措施解决臭气泄漏污染,厂区地面基本不受臭气影响
地质条件	有良好的工程地质条件	同左	经济性考量因素,非技术性必备条件
占地	少拆迁,少占地,根据环境评价要求,有一定的卫生防护距离	少拆迁、少占地是地下污水厂的显著优势;卫生防护距离一般不再必要	地下污水处理厂占地非常小,地下空间双层封闭除臭隔音使得厂区卫生条件根本改观,厂区绿化率可实现最大化
扩建可能	有扩建的可能	若采用一个地下空间,土建分期扩建难度较大,设备可分期实施	地下污水厂对污水处理规模和水质处理程度规划控制要求更高,土建宜按远期规划到位,其出水水质标准也应考虑远期发展的要求,应预留充足的余地
防洪排涝	厂区地形不应受洪涝灾害影响,防洪标准不应低于城镇防洪标准,有良好的排水条件	同左	地下污水厂更为强调防洪标准控制
位置便利性	有方便的交通、运输和水电条件	同左	大中城市一般均满足交通、运输和水电条件

综上所述,地下污水处理厂占地小,厂区地面卫生环境好,传统污水处理厂选址要求的夏季主导风向、卫生防护距离一般不再成为厂址选择的重要因素。

2.2 总体布置

常规污水处理厂总体布置一般根据建(构)筑物功能和流程要求,在平面上进行分区,例如,厂前区、预处理区、二级处理区、出水区、污泥区、辅助建筑区等。通常,卫生环境为总体布置考虑的重点,如厂前区应避开预处理区和污泥区的下风向,且满足最高的绿化环境要求。

地下污水处理厂总体布置与常规污水处理厂有很大的区别,总体上是在立体空间上进行分区。一般厂前区为整个地面环境,除了综合楼和少量辅助建筑外,厂区地面可保证丰富的园林绿化景观。各处理构筑物 and 辅助建筑物均可设置于地面以下的地下空间,同时也解决了寒冷地区污水处理构筑物保温防冻问题。

地下污水处理厂竖向剖面典型形式一般分为三层:地下负二层(污水处理构筑物池体层)、地下负

一层(处理池面层、生产辅助建筑层、生产运行管理空间层)、地面层(综合楼和其他用途层)。当然,这个总体分层理念并非绝对,地下污水处理厂建、构筑物分层设计须因地制宜地综合考虑,根据具体的高程、平面特点合理优化平面组团和空间层叠方式。例如,常常局部存在负三层设置排水事故池等更低高程的池体,负二层也常常是管廊层或部分设备、设施层,负一层常常布置预处理构筑物池体层,地面层也常常会布置加药罐体、排风塔、辅助用房等辅助生产设施。

2.3 平面和竖向设计

地下污水处理厂改变常规的分散布局模式,平面和竖向设计的重点和难点是“平面组团”、“空间叠加”的集约化设计。为了尽量节省地下空间,所有位于地下的处理建(构)筑物的平面形状、空间叠合在满足基本功能和流程的基础上,应尽量紧缩,形成模块化的集成设计。地下污水处理厂平面和竖向设计约束条件多,设计优化要求高。

例如,广州市京溪污水处理厂将各种设备间、处理构筑物组团化、集成化,组拼成预处理区、泥区、生

化区(2个)、膜区(2个)共六个矩形模块,中间保留必要的人行通道、检修通道、管线通道,各种构筑物和设备在不同的标高层垂直布置,充分利用空间以便节约用地^[1]。

2.4 工艺设计

首先是工艺的选址。地下污水处理厂工艺宜选择流程短、效果好、占地省的工艺类型,以尽量节省地下空间,如MBR、MBBR、矩形二沉池、高效沉淀池等。地下污水处理厂二级处理主体工艺选择尤其重要,因为二级处理污水停留时间占总流程的大部分,二级处理工艺选择关系全厂的用地大小。例如,广州市京溪污水处理厂MBR生化池水力停留时间为7.43 h(其中预缺氧区、厌氧区为0.99 h,缺氧区为1.99 h,好氧区为4.45 h),膜区有效停留时间为1.6 h,大大低于常规A/A/O二级处理系统生化池和二沉池的停留时间,为厂区单位占地指标低至 $0.18 \text{ m}^2/(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})$ 发挥了重要作用。地下污水处理厂工艺设计还应综合考虑水质、水量冲击负荷、安全稳定运行、再生水处理、将来水质再提标等因素影响。

具体设计上,工艺单体设计与传统污水处理厂设计完全不同的主要有两点:一是必须充分考虑与地下空间结构柱距相优化、协调;二是工艺设计要重点考虑空间高度与吊装、安装的匹配,在满足设备安装检修的基础上,尽量减少地下空间层高。当然,与常规污水处理厂一样,需更加强调的是考虑流程上下衔接性、相邻关联性,力求水流、空气流流程顺畅,辅助建筑尽量紧邻服务池体,减少管线长度,减小地下空间体量。

地下污水处理厂的工艺设计与其他专业协调要求远比传统污水处理厂高。例如,工艺单体平面与建筑、结构柱距协调要求非常高;工艺平面应与地下逃生楼梯间、分区通风机房、卫生间、风口等相协调。地下污水处理厂工艺设计应特别考虑工艺设备的吊装、安装、检修的交通和空间要求,常常需要地面设置必要的吊装孔,地面开孔与地面景观设计需要协调;地下空间布置和层高涉及各个专业设施占有空间;与消防分区的协调等。

2.5 建筑和绿化设计

地下污水处理厂建筑设计的基本构思应考虑以下因素:

① 地下污水处理厂建筑设计与地上污水处理

厂最为显著的不同点是,最佳柱距、防火分区的划分(防火墙设置位置)、逃生通道、地下车辆交通(尤其是运泥车)等需要与工艺等其他专业协作寻优。

② 地下空间应以最小的用地完成最流畅的工业建筑流程,将噪声与废气隔离、处理于地下特定区域,重点保障地下经常巡视、维护区域的卫生环境和建筑空间感受。例如,运用建筑造型、体量、材质和细部处理等手法,体现丰富内涵的地下建筑特色,通过若干内部空间的序列空间组合以及不同分区范围所具有的大小、高低、色彩气氛等特征的具体体现,力求打造一种环保意识动态的、明快的地下空间。

③ 丰富地面的实体、场地、交通、广场、水景、景观造型等花园式设计,把地面绿地空间留给市民,弱化常规污水处理厂或工业建筑固有的、刻板的地面环境,丰富人的生态体验与感知,在力图节约用地的基础上使整个污水处理厂厂区给人深刻园林印象。

④ 因污水处理厂本身即为带有强烈环保性质的生产建(构)筑物群,在满足生产工艺流程及其建筑属性的基础上着重考虑其生态氛围,在满足建筑空间与用地尺度配置适宜的前提下还原于自然,使整个污水处理厂围绕于绿色之中,基本无二次污染,形成优美、宁静的人工自然空间。

⑤ 地面绿化景观方面,除了构思地面景观理念外,工程设计上与常规污水处理厂不同之处应特别考虑地下空间面板范围的覆土深度,合理种植高度、形体、根系与之相适应的乔木、灌木等树种或草坪、花卉,合理安排水景,并注意考虑地下土壤排水、保水和地下空间顶板的防水处理等因素;地下空间也宜考虑将绿化引入,增加地下空间的地面感,改善地下空间生态环境。

2.6 结构设计

地下污水处理厂结构设计包括基坑支护、地基基础、主体结构及建(构)筑单体设计等内容。地下空间范围大,埋深大(一般为15 m左右),施工难度远超过常规污水处理厂,是厂区建筑工程费用的绝大部分,投资占比较大,其技术性、经济性要求很高。

基坑的开挖有逆作法和顺作法,不同的基坑支护方法各有利弊,应结合基坑大小、深度、周边环境 and 地质条件综合比选确定。例如,广州市京溪污水处理厂基坑支护采用“密排 $\phi 1\ 000$ 钻/冲/旋挖孔灌注桩+三道钢筋混凝土桁架内支撑”;昆明市

第九污水处理厂采用“降土+排桩+锚索支护”;昆明市第十污水处理厂采用“排桩+锚索支护”。

地基基础设计应考虑地基承载力、主体结构抗浮、地基变形计算等方面。例如,广州市京溪污水处理厂地基采用天然地基+抗拔锚杆处理,解决承载力及抗浮问题,结合内部工艺填充层和底板外挑覆土等配重计算自重和配重抗浮,并采用底板施工嵌岩抗拔锚杆处理;昆明市第九、第十污水处理厂主体结构底板埋置于粘土层~亚粘土层,能满足地基承载力要求,使用抗浮桩+配重(景观覆土)的抗浮措施,通过调整抗拔桩的间距保证主体结构的整体抗浮和局部抗浮的安全,采用多道施工后浇带(兼作温度应力后浇带)解决主体结构的不均匀沉降。

地下空间主体结构一般为框架结构,主要由底板、中板、顶板及壁板组成。一般底板兼作水处理构筑物底板,可采用平板式,即无梁楼盖;中板主要为操作区和池面区,部分区域设置大量检修孔洞,可采用主次梁结构现浇楼盖;顶板主要为景观区,可采用主梁大板结构现浇楼盖。

关于超长结构不分缝技术措施,可参考昆明市第九、第十污水处理厂的经验。地下空间主体结构平面尺寸一般超过规范建议的伸缩缝最大设缝间距50 m,工艺要求尽量不设贯通结构的变形缝,考虑地面以下温差变化较小,混凝土收缩主要发生在前期,可考虑采取下列措施,避免或减少混凝土的前期收缩和温度效应引起的混凝土构件可见裂缝的产生:①在地下室设置后浇带,后浇带在两个月后浇筑;适当提高地下室底板、侧壁的配筋率;②地下室防水层采用柔性防水(聚氨酯涂层或卷材),即使出现微小的收缩裂缝,外防水层也能起到阻止渗漏的作用;③地下室底板和顶板,采用控制裂缝宽度性能较好的变形钢筋,壁板、楼板钢筋按照“宁细勿粗,宁密勿疏”的原则配置,板筋双层双向拉通布置;④从减少混凝土自身收缩率的角度考虑,优化混凝土的配合比设计,加入合适的添加剂,控制水灰比、砂率、水泥用量及坍落度等指标;另一方面要求加强混凝土的振捣及养护,应有可靠措施保证混凝土在全湿润条件下硬化,优先考虑蓄水养护。

2.7 电气设计

地下污水处理厂一般应定位为重要的污水处理厂,供电系统宜按一级负荷设计,即双电源供电,要求两路电源同时工作,互为备用,每路电源均能满足

全部负荷用电的要求。比传统污水处理厂有更高要求的是,除了双电源设计以外,还应考虑应急供电。污水处理厂全部位于地下,若发生火灾,消防负荷的供电中断会造成人身伤害,对于重要的防范事故安全的设备也不容任何闪失,相关设备必须保障最大的安全性,因此,除两路电源外,需设备用发电机组,主要供以下负荷:消防水泵、消防风机、消防风阀、事故排水泵、事故截断阀等,还应设置EPS供应应急照明和疏散指示灯、进水刀闸阀和防火卷帘门等。

地下污水处理厂的地下空间采光、照明设计主要除了满足照度、节能要求外,重点关注改善地下无窗建筑室内光环境,减少不良心理反应。首先,应充分利用地面上设置的设备吊装孔进行自然采光(侧窗、天窗),视觉心理上尽量减少地下空间的封闭、压抑等不良影响。其次,可采用主动式太阳光系统将自然光通过孔道、导管、光纤等传递到隔绝的地下空间,如采用纤维光导管系统等环保、无能耗的照明装置。第三,人工照明设计应综合考虑照度、均匀度、色彩适宜度等,打造适合人视觉特点的、富有活力的、多样的光照环境。第四,根据使用环境、生产功能和重要性设计照明,如部分地下车间宜采用防潮、防爆灯具,中控室、配电室等重要场所设应急照明灯具。

2.8 自控设计

地下污水处理厂自动化系统设计具体内容与常规污水处理厂一样,一般包括生产过程监测与控制系统、过程检测仪表、闭路电视监控系统、周界防范系统、综合信息系统、电力自动监控系统等,但地下污水处理厂应要求比常规污水处理厂达到更高的管理自动化水平和安全保障水平,尽量减少进入地下管理、维护的强度和频率,力求达到全自动运行控制、无人值守的目的。另外,应设置地下空间部分区域的硫化氢、甲烷、二氧化碳等有毒有害气体的在线监测和自动报警,以保障地下空间的环境安全。

2.9 消防设计

地下污水处理厂消防与常规污水处理厂不同之处在于地下空间消防设计。地下空间建筑面积很大,地下灭火要求高,一般按照戊类厂房标准,合理规划多个防火分区,设置消火栓系统, $1\,000\text{ m}^2 < \text{规模} < 2\,000\text{ m}^2$ 的厂房及 $500\text{ m}^2 < \text{规模} < 1\,000\text{ m}^2$ 的变电房防火分区设置自动喷淋灭火系统,柴油发电机房及地下变配电间均设置全淹没式气体消防系

统,所有建筑物均配备手提灭火器,设置防排烟系统,设置火灾自动报警及消防联动控制系统。

地下车间应尽量减少防火分区数量。每个防火分区均设单独的安全出入口,各个分区之间以防火卷帘及防火墙相分隔。防火墙设计位置要求较高,一般需结合工艺特点、运行维护要求、交通管理方便等综合考虑。消防水源可全部由厂区中水提供(一般利用消毒池)。

厂区的柴油发电机房及地下变配电间消防可采用S型气溶胶预制灭火系统等全淹没灭火方式。

对于地下空间防排烟设计,无人区可不设置排烟系统,对于面积较小但路线较长的地下综合管廊区域,设置相应的机械排烟及补风系统,其余大空间按防火分区布置,设置机械排烟系统及补风系统;一般补风量按不小于排烟量的50%计算,防排烟设备考虑10%的漏风量;对于无法自然排烟的防烟楼梯间、前室设置机械加压送风系统,楼梯间与前室间设置余压阀,以保证楼梯间、前室的余压要求。注意风管穿越防火分区、风机房的房间隔墙和楼板、重要的或火灾危险性大的房间隔墙和楼板、变形缝的两侧等部位时需设置防火阀。

2.10 通风、除臭设计

通风除臭是保障地下空间空气环境非常重要的环节。通风除臭的基本思路:产生恶臭的构筑物“负压抽气”;不散发恶臭的建筑空间“微正压换气”;分区、分质收集处理。下面以昆明市第九、第十污水处理厂地下空间通风除臭设计进行具体说明。

① 可以分开除臭的、产生大量恶臭的构筑物空间

首先工艺设计上应保证产生恶臭源的构筑物池体、设备的封闭隔绝,为通风除臭创造良好的条件。必须注意吊装孔、检修孔、观察孔等池面开孔的密封措施细部的设计,一般可考虑常规盖板上再增加橡胶垫密封。池体内设计不间断的臭气抽吸,保证池体内负压环境,也减少臭气的泄漏。臭气抽吸口应均匀布置,保证各空间抽气量均衡。

臭气经隔离抽吸收集后,通过管道进入生物除臭滤池处理,即通过在生物滴滤装置内培养针对硫化氢、氨、甲硫醚和甲硫醇等恶臭气体的菌种,氧化降解大部分的硫化氢、氨、甲硫醚和甲硫醇等气体。

② 通风、除恶臭系统难以分开的构筑物空间

虽然对细格栅、沉砂池、精细格栅、脱水机房、装泥间进行了局部加盖并采取负压抽吸等措施,但由于时常需要清理污水垃圾外运、运送污泥,且上述构筑物的设备由于时常需要检修造成密闭罩并不能完全处于密封状态,从而使少量的臭气飘散到负一层的操作空间,所以将细格栅、沉砂池、精细格栅、脱水机房、装泥间通风、除恶臭系统合并为一个系统。

该部分臭气也采用生物除臭滤池处理后集中高空排放。因其恶臭污染物浓度比上述①的浓度相对要小,应作为单独的系统进行收集处理(分质处理原则)。

同时,要考虑操作空间更好的空气环境,该区域设置负氧离子送风系统,室外新风经高能负氧离子发生器处理后分散送入室内各处人员活动区域。

③ 有可能存在微量恶臭污染物的构筑物空间

对于MBR生化池(包括厌氧池、缺氧池、好氧池)、MBR膜区的负一层操作面,虽然对上述臭气源水面进行密封加盖处理并设置了除恶臭负压抽吸系统,使臭气源处于负压状态以防臭气飘逸到负一层的操作空间,但存在除恶臭系统处于检修停机状况而使微量的臭气从密封盖板缝隙飘逸到负一层操作空间。因此,MBR生化池(包括厌氧池、缺氧池、好氧池)、MBR膜区的负一层操作面的通风换气经活性炭吸附处理后集中高空排放。

④ 不存在恶臭污染物的构筑物空间

对于如配电间、高压柜室、鼓风机房、消防泵房等设备房间,由于不存在散发恶臭污染物,因此对上述设备房间仅设置普通的通风换气系统以满足房间通风散热换气要求,排风分散就近排放。设备房间的送风量为排风量的1.05倍以保证房间处于微正压状态,防止其他污染物进入。

⑤ 尾气高空排放

上述臭气分质收集处理达标后再集中,最后经约20 m高空排放塔集中排放,更好地保证地面空气环境。高空排放塔应结合建筑造型、景观要求设计。

3 结语

地下污水处理厂的地下建筑空间大,埋深大,其设计难度相对较大。地下污水处理厂设计在重点打造地面良好景观环境的同时,还需要保障进入地下管养的运营人员的地下空间环境质量,并提高安全

(下转第21页)