

述评与讨论

## 地下污水处理厂的适应性探讨

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,对地下污水处理厂应用的必要性、可行性进行概括,对地下污水处理厂的优势、劣势及其内在关联性进行详细归纳和分析,并总结地下污水处理厂的适应范围,提出地下污水处理厂在当下城市设计和规划中将体现更多的适应性,在未来“城市精细化设计”中发挥更大的综合价值。

**关键词:** 地下污水处理厂; 必要性; 可行性; 优势; 劣势; 适应性

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2017)08-0026-06

### Adaptability of 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 necessity, feasibility, pros and cons, and their inner correlation of underground WWTPs were discussed. Thereafter, the application situation of underground WWTPs was summarized. The underground WWTPs were considered to possess more adaptability regarding current city design and planning. They also own great value in future ‘city fine design’.

**Key words:** underground wastewater treatment plant; necessity; feasibility; advantage; disadvantage; adaptability

随着我国地下污水处理厂的相继建设,地下污水处理工程应用越来越受到业界关注。笔者结合多座地下污水处理厂的具体工程设计经验,对地下污水处理厂应用的必要性、可行性和抉择历程进行概括,揭示了选择地下式污水厂方案的典型逻辑“链条”,对地下污水处理厂的优势、劣势及其内在关联性进行详细归纳和分析,并总结地下污水处理厂的适应范围,供业界参考。

#### 1 地下污水处理厂必要性探讨

##### ① 地下污水处理厂必要性典型逻辑“链条”

很多时候,地下污水处理厂建设成为必然选择,根本上缘于“城市发展”,其必要性典型逻辑“链条”如下:城市发展→城市化加剧(规划失效)→人口

密度增长、城区范围扩大→过去的上游郊区变成城市密集区→城市污水量加大,但原污水干管、污水厂超负荷,且处于城市中心区难以扩容→上游新增污水厂成为最佳方案→上游土地紧张→传统式污水厂占地较大、周边居民反对、选址困难→占地小、环境友好的地下污水厂方案成为必须→同时污水就地收集、就地处理、尾水再生水兼作河道就地补水及周边杂用水→厂区地面花园式环境为周边居民提供休闲活动场所→综合效益最优。

以广州市京溪污水处理厂和昆明市第九、第十污水处理厂三座大型市政地下污水处理厂为例,分别阐述地下污水处理厂建设的必要性。

##### ② 城市迅猛发展造成污水量剧增突破规划控

制容量的阵痛

当前许多大中城市,一方面是城市在快速发展,另一方面是污水规划的普遍滞后,“发展”与“污染”二者矛盾仍然突出。

以 2010 年建成的广州市京溪污水处理厂<sup>[1]</sup>为例。按照原有污水系统规划,沙河涌全流域均属猎德污水处理厂纳污范围。沙河涌干流全长为 15.6 km,作为广州市中心城区内最大的河涌之一,其水体环境对美化城市形象、提高河涌两侧居民生活质量十分重要。沙河涌上游流域纳污面积为 15.7 km<sup>2</sup>。上游区域早期规划(1997 年—2010 年分区规划)人口密度低至 78 人/hm<sup>2</sup>,后调整规划(2005 年规划导则)人口密度高达 680 人/hm<sup>2</sup>。2000 年前后,沙河涌上游迅速发展,各个小区逐步成熟,人口密度逐年增加,加上流动人口大量涌入,现状实际人口剧增,远远超过最早的规划人口,导致污水量的剧增,已有沙河涌截污系统远远不能满足城市扩张的要求,大量污水溢流污染沙河涌,严重影响广州城市环境,污染问题刻不容缓。

类似情况,昆明市第九、第十污水处理厂也均位于滇池流域的城市上游,2010 年原有污水规划已不能满足城市发展要求,两座地下污水处理厂建设前城市上游快速发展的新增污水分别污染西边小河、海明河等城市水体,进而严重污染滇池。

③ 现状污水收集主干管网和污水处理厂难以扩建与城市继续发展的矛盾

广州市京溪污水处理厂建设前,已有的沙河涌截污管系及猎德污水处理厂处理容量早已饱和,而且难以扩建。沙河涌贯穿白云区、天河区、越秀区三个行政区,沿途穿越重要的城市中心建成区,2000 年前建成的现有河涌截污管再全面扩容极不现实。另外原规划接入的猎德污水处理厂建设之初尚在市郊,但现在已是城市最繁华地带,属于广州市中轴线的珠江新城范围内,用地更为稀缺,根本不能大规模扩建。

类似情况,位于城市上游的昆明市第九污水处理厂原属于第七污水处理厂的纳污范围,昆明市第十污水处理厂建设前原属于第三污水处理厂的纳污范围,其流域下游污水干管和污水处理厂均已满负荷且难以扩容。

随着城市不断超越规划的发展,现状污水收集主干管网和污水处理厂难以扩建与城市继续发展的矛盾

越来越尖锐。

④ 上游新增污水处理厂受土地紧缺与居民强烈反对的双重约束

现实发展程度远超规划,不得不调整规划,重新提出沙河涌上游新建污水处理厂,单独处理上游城市污水,以大大减轻难以改造的下游污水收集和处理系统负荷。沙河涌上游污水量高达  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,用地问题使得在上游适当位置选址成为新的难题。2006 年初,沙河涌纳入广州当年 5 条重点整治河涌之一,京溪污水处理厂列为其综合整治重要工程之一,项目前期围绕选址费尽周折。自 2006 年 6 月开始,围绕新建污水处理厂的选址,反复比较,多方协调,先后研究了京溪村新百佳货运场(5.7 hm<sup>2</sup>)、元岗村穗岗停车场(7.0 hm<sup>2</sup>)、白云配件厂(6 hm<sup>2</sup>)、白云钢板弹簧厂(5.9 hm<sup>2</sup>)、白云配件工业公司(6.8 hm<sup>2</sup>)等 5 处选址,但均不能落实用地而搁置污水处理厂的实施。历经三年的多方案比较和艰难协调,直至 2009 年 4 月,最终确定选址落地于犀牛村金湖停车场(1.8 hm<sup>2</sup>)。但是,落实的选址面积非常小,又位于居住区,若按照常规地上式污水处理厂建设,用地面积远远不足,周边居民更是强烈反对。

类似情况,昆明市第九、第十污水处理厂规划污水量分别达  $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  和  $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,2010 年前的多年来一直都因用地问题而无法推进上游新增污水处理厂的建设。

此时,为突破土地紧缺与居民强烈反对的双重约束,建设占地小、环境好的全地下污水处理厂成为被动选择,甚至是唯一选择。

⑤ 污水处理厂建于地下留出生态宜居地面环境满足各方需求的多赢

如果污水处理厂将主要构筑物均布置在地下,地面设计为绿化和园林式建筑,亭台水榭,绿树成阴,水波荡漾,创造出赏心悦目的环境,彻底打破人们对污水处理厂的傳統认识,进而再引入周边居民对地面良好环境的共享机制,那么就可实现地下污水处理厂建设与城市发展和打造周边居民宜居生活环境等多种需求创造共赢。

⑥ 地下污水处理厂兼作上游再生水厂提供城市河道补水与杂用水之用

广州沙河涌上游克服千辛万难新建京溪地下污水处理厂,并兼作城市再生水厂,尾水可直接作为沙

河涌左支流补水水源和区域城市杂用水。沙河涌综合整治需要足够的水源以满足补水的要求,但是,沙河涌上游末端(元岗桥)标高比沙河涌末端(珠江口)高约18 m,左支流起端的标高又比元岗桥高约18 m,如果从珠江取水以水泵提升至沙河涌上游进行沙河涌的补水,既不合理又不经济。上游就近择地建设地下污水处理厂、再生水厂,延长、深化治水功能,造福一方。类似情况,昆明城市上游的第九、第十污水处理厂尾水分别补给西边小河、海明河,同时也作为城市再生水厂。

城市下游无法扩建污水处理厂,而在上游建设污水处理厂、再生水厂,即可实现就地收集处理污水就地回用,节省长途调水补水的能耗,在补水功能上发挥了很好的经济性。

## 2 地下污水处理厂可行性探讨

### 2.1 国家政策面及资金的支持(资金可行性)

21世纪以来,环境问题越来越备受关注。当前,城市环境保护的主要任务仍然是以提高人民生活质量为目标,以创造良好的人居环境为中心,结合城镇化发展战略,强化城市环境的综合治理,重点解决水污染、大气污染和垃圾污染,使大中城市的环境质量得到明显改善。中央和地方政府十分重视城市水污染问题,经济的发展、政策的保证、资金的投入以及多项措施的齐头并进,地下污水处理厂高标准的水污染治理势必进入一个新的阶段。

### 2.2 占地小利于污水厂落实用地(规划可行性)

广州京溪污水处理厂采用占地小的全地下式,只需常规污水处理厂用地的1/5,昆明市第九、第十污水处理厂只需常规污水处理厂用地的1/3。占地小的地下式方案最终能够在寸土寸金的城市居住区内落实污水处理厂选址,实现用地规划调整和污水规划调整的可行性。

### 2.3 环境友好利于周边居民接受(居民支持)

地下污水处理厂环境友好性易于获得周边居民的接受和支持。传统污水处理厂常常在解决大区域污水处理问题的同时,又给污水处理厂周围小区域带来新的污染。地下污水处理厂能最大可能地兼顾“治污”与“污染”的矛盾,在治理区域污水的同时,保持良好的厂区地面环境,同时也让紧邻小区远离臭气、噪音等污染,清澈的尾水又补充河道,全方位地创造更好的环境。我国已建成的许多地下污水处理厂地面作为厂区绿化、小区花园、城市公园、休闲

健身场地、停车场、道路、活水公园等。

### 2.4 与周边环境兼容实现利益共享(企业支持)

地下污水处理厂理念更好地契合周边地块开发建设理念,易于获得周边开发企业的支持,实现多赢。昆明市第九、第十污水处理厂均位于昆明市中心城区,周边建筑密集,污水处理厂拟选厂址均已被地产商征用,多年来政府努力与地产商谈判土地回征事宜,但按常规污水处理厂建设用地太大,谈判一直僵持无法推进。直至2011年,污水处理厂建设理念突破常规采用地下式方案,因其用地节省、地面景观与周边地产开发的地面环境相协调等显著优点,最终促成昆明市政府、业主与房产商的成功谈判合作,打破多年用地僵局问题,实质性地推动了两座地下污水处理厂的建设。如今,这两座地下污水处理厂建成后的地面建设为城市公园,成为周边居民小区花园和休闲场所(见图1、2)。



图1 昆明市第九污水处理厂鸟瞰图

Fig. 1 Aerial view of the 9th municipal sewage treatment plant in Kunming City



图2 昆明市第十污水处理厂鸟瞰图

Fig. 2 Aerial view of the 10th municipal sewage treatment plant in Kunming City



## 2.5 技术可行性(技术支持)

现有污水处理技术、地下空间建造技术和管理技术已完全满足地下污水处理厂的设计、建设、运行。例如,广州市京溪污水处理厂 2009 年 4 月落实用地,2009 年 7 月完成项目建议书及可行性研究报告,2009 年 8 月—9 月完成初步设计,2009 年 10 月—12 月完成施工图设计、施工招标、设备采购招标,2010 年 9 月污水处理厂建成通水。至今污水处理厂已投产 6 年多,一直运行良好,社会反响较好。目前,我国数十座地下污水处理厂相继成功建设和运行,表明地下污水处理厂相关技术方面不存在壁垒。而且,随着技术的不断进步,地下污水处理厂将越来越体现更好的经济可行性。

## 3 地下污水处理厂优势、劣势探讨

### 3.1 地下污水处理厂优势

#### ① 占地小

地下空间的立体叠加使用和构筑物平面组团布局大大减小了地下污水处理厂的建筑占地,地下空间双层封闭除臭、隔音使得传统污水处理厂要求的厂区卫生防护绿化带距离要求不再必要。另外,一般地下污水处理厂为了减小地下空间体量采用短流程污水处理技术,这些因素均大大减少了污水处理厂用地面积。在现有地下污水处理厂工程应用实例中,其占地一般为传统式的  $1/5 \sim 1/2$ ,节省土地效果显著。

#### ② 隔臭

污水厂的处理对象和处理过程会产生大量的恶臭物质,其恶臭引起的扰民现象越来越频繁。而地下污水处理厂厂区地面上不再有过过去传统污水处理厂普遍存在的臭味问题,周边居民不受污水处理厂臭气的影响。地下污水处理厂产生臭源的池体均做加盖密封处理,少量泄漏到地下操作空间的臭气还有地下箱体的密封,双重封闭隔离和多重除臭措施使污水臭源、地下操作空间受污染的空气均得以控制,有效解决了常规污水处理厂臭气泄漏造成的恶臭问题。昆明市第九、第十污水处理厂等多座地下污水处理厂建成后的地面公园(花园)常常成为周边居民休闲活动的场所,也说明了地下污水处理厂的臭气问题能得到较好的解决。

#### ③ 隔音

同样的原因,地下污水处理厂双重封闭隔离,使得污水处理车间噪音得到有效控制,地面上听不到

常规污水处理厂鼓风机等设备发出的噪音。

#### ④ 隔热(保温)

在我国北方城市和国外高纬度国家,受地面冰冻气温影响,地上式污水处理厂常常面临低温污水难处理的难题,而地下污水处理厂基本不受外部低温影响,污水处理池体内温度恒定,利于污水生物处理效率,节省保温费用。例如北欧的芬兰、瑞典是采用地下污水处理厂较早、较多的国家,隔热保温是其重要因素。

#### ⑤ 地面景观好

地下污水处理厂的地面上没有传统地上污水处理厂所常见的众多污水池、构筑物,换之为园林、绿地、公园、水景等花园环境,大大颠覆了对传统污水处理厂的表观认识。

#### ⑥ 与周边环境协调

地下污水处理厂地面空气、噪音、景观环境得到大大改善,周边环境大大受益,实现了污水处理市政设施与周边城市环境之间的最大协调性、相容性,利于创造宜居城市。

#### ⑦ 提高区域整体开发综合价值

良好的地面景观环境辐射周边土地受益,提升城市区域价值。地下污水处理厂除了常规的治污价值外,其综合功能也大大升级,包括土地价值、环境价值、艺术价值、公共空间价值、外延城市综合体价值等。地下、地面土地利用效率提升,大大加强了人的参与性、亲和性,进而改善厂外周边环境,盘活周边土地价值。现有地下污水处理厂的成功应用已充分表明,地下污水处理厂可以完全融入城市开发,与城市公园、市民休闲娱乐、运动场地、市政公交、社会停车等设施有机结合,彻底改变人们过去对污水处理厂避之不及的固有观念,利于城市区域整体开发,其综合价值远远超过传统污水处理厂本身的治污价值。

### 3.2 地下污水处理厂劣势

#### ① 设计、施工难度相对较大

地下污水处理厂一般存在以下分项工程规模增加或标准提高:地面景观、地下深基坑支护、基础处理、地下结构、消防设施、通风设施、除臭设施、自动监测和报警设施、地下采光照明设施、事故应对措施、与周边功能衔接等。相对传统地上污水处理厂,地下污水处理厂的建筑空间向地下延伸,工作量加大,工程内容增加,设计及施工难度相应加大。

### ② 直接投资相对较大

地下污水处理厂功能升级,必然提高工程标准,增加工程内容,投资相应也将大幅增加。不考虑拆迁、土地价值的节省和周边环境改善、周边土地增值收益,以 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模估算,地下污水处理厂直接投资将会增加 $1/3 \sim 1/2$ 。

### ③ 运行成本相对较高

因操作维护均需要在地下完成,对地下空间的环境提出较高要求,因此运行成本会相应增加,一般包括:a. 涉及运行成本必然增加的因素包括维护地下空间环境的通风、除臭、照明、安全措施等;b. 考虑工艺流程安全性因素或地下高程设计的特殊性,可能存在工艺流程需要的安全水头、多级提升增加富余水头等因素,也相应增加运行成本;c. 涉及景观提升等其他功能扩展需要的运行成本;d. 一般地下污水处理厂优先采用流程短、占地小的工艺,其运行成本较常规流程一般更高,如MBR工艺在大大节省用地的同时,还需要面对克服跨膜压差所需产水电耗、克服膜污染所需膜吹扫能耗、定期换膜等方面的成本增加。

### ④ 土建扩建难度大宜一次规划建设到位

地下污水处理厂若采用一个地下空间,土建将来扩建改造难度大,故设计初期对污水处理厂的规划控制要求更高。污水处理厂总规模宜按远期规划到位,其出水水质标准也应考虑远期发展的要求,污水处理规模和水质处理程度应预留充足的余地。

### ⑤ 风险因素增加

将传统设于地上的污水处理厂搬到地下,各类分项因素也会相应增加。包括防洪、消防、关键设备故障、维护环境、突发事件、检修、自动监测、管理方面,设计、运行管理必须更加关注地下污水处理厂各类因素的影响。

## 3.3 地下污水处理厂优势、劣势关联性探讨

地下污水处理厂同时存在以上诸多优势、劣势,但不能单独考虑或过分强调某一个或几个因素,因为各个因素一般存在内在的关联,相互交叉。

① 设计、施工难度加大的同时,征地拆迁难度减小

污水处理厂向地下空间拓展,地下深度变大,施工难度增加,平面组团和分层叠加因素倍增,精细化设计复杂;同时,平面占地变小,规划落地变易,征地拆迁量变小,场地平整工作更易。因此,在综合实施

难度方面需要比选。

② 工程直接费增加与征地拆迁等工程间接费降低并存

地下污水处理厂工程直接造价增加,同时,占地小带来的减少征地拆迁费用等间接费用的好处,进而再考虑周边环境改善、周边土地增值带来的经济效益,其好处更加凸显。因此,项目经济性方面需要比选。

③ 地面污染控制良好与运行成本增加正相关  
恶臭、噪音等污染源控制在相对密闭的地下空间内,利于有效治理,必要的成本增加利于实现地面环境的保护,其投入、产出需要权衡。

### ④ 功能提升通常会导致工程投资增加

地下污水处理厂能实现地面功能的大大提升,必须同时面对投资、成本“价格”的增加,提升额外功能后“价值”在单一治污项目中的比较不在同一维度。例如,土地资源的节约和生态环境的改善等因素在生命周期寻优比选中不容忽视。因此,“价格”与“价值”需要权衡。

### ⑤ 技术进步推动优势更突出而劣势更弱

上述优势、劣势在不同的地区、不同的时期表现的权重各不相同。随着经济水平的提高,技术在发展,地下污水处理厂方案的投资增幅越来越小,成本增量逐渐降至经济发展所能承受的范围,各类风险因素可防可控,所以,地下污水处理厂作为一种选择,将会越来越凸显优势,弱化劣势,也必然推动地下污水处理厂的进一步发展。

## 4 地下污水处理厂的适应性探讨

污水处理厂采用地上式或地下式方案,应综合考虑地区经济发展水平、城市发展需求、污水处理厂标准定位、土地制约因素、环境约束条件等各个方面,在各个因素中寻求特定区域、特定时期的“平衡点”。总之,应贯彻“因地制宜”原则。

一般来说,地下污水处理厂具有以下方面的适应性:

① 适应于城市快速发展的土地稀缺城区必须“见缝插针”新增污水处理厂

发展迅猛、规划滞后造成城市上游必须新增污水处理厂,污水分散处理成为一种新的趋势,面对土地稀缺,“被动”采用地下污水处理厂方案可能是唯一选择。目前建成的很多地下污水处理厂包括广州市京溪污水处理厂即为典型案例。

② 适应于经济条件较好的大中城市新建高标准污水处理厂

对于经济条件较好的大中城市,地下污水处理厂建设将逐渐从“被动”发展到“主动”,包括城市规划层面提前谋划地下污水处理厂。预期未来,地下污水处理厂将从一种技术选择发展为一种发展趋势,是前瞻性建设高标准污水处理厂的体现。

③ 适应于城市综合体、CBD、住宅区等成片新建或改造中配套建设高标准污水处理厂

污水处理厂的规划设计提升至城市经营的更高高度成为城市设计新的方向。与城市综合体、CBD、住宅区结合配套,提升区域整体标准和综合价值,地下污水处理厂大有作为。例如,昆明第九、第十污水处理厂就是与紧邻地产项目结合开发的项目,贵阳市彭家湾五里冲棚户区改造污水处理综合工程位于 CBD 中心<sup>[2]</sup>。

④ 适应于城市公园、绿地等用地性质地块上新建污水处理厂

市政设施与城市公园、绿地均为城市规划用地的重要内容。地下污水处理厂与城市公园、绿地能有机结合,土地共享,实现资源更大的利用价值。目前建成的很多地下污水处理厂地面都作为城市公园、休闲场地。

⑤ 适应于结合停车场、运动场、公共休闲场地、道路、广场、公交站场、再生水厂等市政实施和其他地下空间合建多功能地下污水处理厂

污水处理厂与其他市政设施、公共设施结合建设,打造综合功能的“市政设施群”,实现城市用地性质的跨界和融合,是未来“城市精细化设计”的一个方向。例如,贵阳市彭家湾五里冲棚户区改造污水处理综合工程采用全地下式,集地面公园、停车场及商场、公交车首末站、污水处理厂为一体的地下四层综合工程<sup>[2]</sup>。

## 5 结语

面对传统污水处理厂建设的用地、环保等诸多问题,甚至是难以逾越的鸿沟,地下污水处理厂提供

了一种全新的选择思路,甚至可能成为解决现实难题的唯一方案。地下污水处理厂建设的必要性和可行性已通过许多工程实践得以证明。地下污水处理厂具有良好的防护性、密闭性和热稳定性,能更好地解决污水处理车间隔音、隔臭和隔热(保温)问题,能最大限度地利用土地资源,与周边环境协调,具有良好的经济、社会和环境效益。地下污水处理厂具有与传统污水处理厂不同的优势、劣势,因此也具有其独特的适应性。地下污水处理厂在当下城市设计和规划中将体现更多的适应性,在未来“城市精细化设计”中发挥更大的综合价值。

## 参考文献:

- [1] 邱维. 广州京溪地下污水处理厂设计经验总结[J]. 中国给水排水, 2011, 27(24): 47-49.
- [2] 张明杰, 周建忠, 杨斌, 等. 地下式污水厂与商场、公交站相结合的地下综合利用工程[J]. 中国给水排水, 2016, 32(22): 68-72.



作者简介:邱维(1975-), 男, 四川广安人, 硕士, 高级工程师, 总工程师, 注册设备工程师, 注册咨询工程师, 注册造价工程师, 从事给水排水工程设计研究工作 20 年, 获得国家、省、市工程优秀设计咨询奖二十余项, 授权专利技术四项。

E-mail: 86076293@qq.com

收稿日期: 2016-12-29