

香港“净化海港计划”对城市污水处理的启示

吴舒畅^{1,2}, 王亮³, 陈思思^{1,2}, 杨昊⁴, 吴恺量⁴, 朱世俊⁴

(1. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122; 2. 浙江省华东生态环境工程研究院, 浙江 杭州 311122; 3. 浙江大学建筑设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310028; 4. 浙江工业大学 土木工程学院, 浙江 杭州 310023)

摘要: 自20世纪70年代, 维多利亚港海水污染问题日益严重, 使得港口的昔日光彩逐渐褪去。为了解决这一问题, 香港特区政府推行了名为“净化海港计划”的环保基建项目。通过分阶段建设污水处理设施, 解决城市发展导致的海港污染。利用地下深层隧道收集维港两岸的污水进行集中处理, 使维多利亚港的水质得到显著改善。从污水集中式处理与分散式处理的比选、污水深层隧道、污水处理流程的比选以及污水处理厂排放标准的选择等方面与内地进行了对比借鉴。目前该计划已成为海港城市水环境综合治理的先锋典范和模板, 值得其他城市在类似工程中学习和借鉴。

关键词: 香港; 水环境; 污水; 深层隧道; 净化; 治理

中图分类号: TU992

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)05-0130-05

Enlightenment of Hong Kong “Clean Harbour Project” for Urban Sewage Treatment

WU Shuchang^{1,2}, WANG Liang³, CHEN Sisi^{1,2}, YANG Hao⁴, WU Kailiang⁴, ZHU Shijun⁴

(1. China Power Construction Corporation East China Institute of Survey, Design and Research Co., Ltd., Hangzhou 311122, China; 2. Zhejiang East China Eco-environmental Engineering Institute, Hangzhou 311122, China; 3. Zhejiang University Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Hangzhou 310028, China; 4. College of Civil Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: Since the 1970s, the problem of sea water pollution in Victoria Harbor has become increasingly serious, which has gradually faded the former glory of the port. To address this problem, the Hong Kong Special Administrative Region Government has launched an environmentally friendly infrastructure project called the “Clean Harbour Project”. The plan addresses the pollution of the harbour caused by urban development through the construction of sewage treatment facilities in phases. The underground deep tunnel is used to collect the sewage from both sides of the harbour for the centralized treatment, which makes the water quality in Victoria Harbour significantly improved. The centralized and decentralized sewage treatment, deep sewage tunnel, sewage treatment process, discharge standards of wastewater treatment plant and other aspects are compared with that of the mainland. At the present, the plan has become a pioneer model and template for comprehensive water environment management in the port city, which is worth learning from and drawing on by other cities in similar projects.

Keywords: Hong Kong; water environment; sewage; deep tunnel; purification; governance

0 引言

维多利亚港以水深港阔和优越地理位置见称, 使香港发展成为世界主要港口和国际金融中心, 更成为香港的象征。从旧日为飘洋渡海的商旅提供停泊之所, 渐次变为充满活力的国际都会, 香港今天的

繁荣、成就和美誉, 都离不开独一无二的海港。

随着香港人口和工业的高速增长, 自20世纪70年代开始, 海水污染日益严重, 致使多个泳滩关闭、维多利亚港渡海泳停办、海洋生态受损^[1]。2000年左右, 香港特区政府推行“净化海港计划”, 作为一个世界级污水收集及处理计划, 同时也是香港历史上规模最庞大的环保基建项目, 旨在通过分阶段建造污水设施, 解决因城市发展而产生的海港污染问题^[1]。“净化海港计划”通过地下深层隧道收集维港两岸污水进行集中处理, 大幅改善维多利亚港水质^[2]。该工程跨越10个政务分区, 如图1时间轴所示, 该计划

收稿日期: 2024-05-15

基金项目: 浙江省自然科学基金探索项目(LQ23E080020); 污染控制与资源化研究国家重点实验室开放课题(PCRRF21027)

作者简介: 吴舒畅(1992—), 女, 硕士, 工程师, 从事城市水环境综合治理研究工作。

分两期进行,历时 20 余年^[3]。随着香港特区政府不懈努力,凭借卓越的工程策略以及创新技术,2011 年阔别 30 余年的“维港渡海泳大赛”复办,这也意味着

维港开始重新焕发往日风采,“净化海港计划”也因此享誉国内外,使其成为了现代化都市水环境综合治理的典范和模板^[4]。

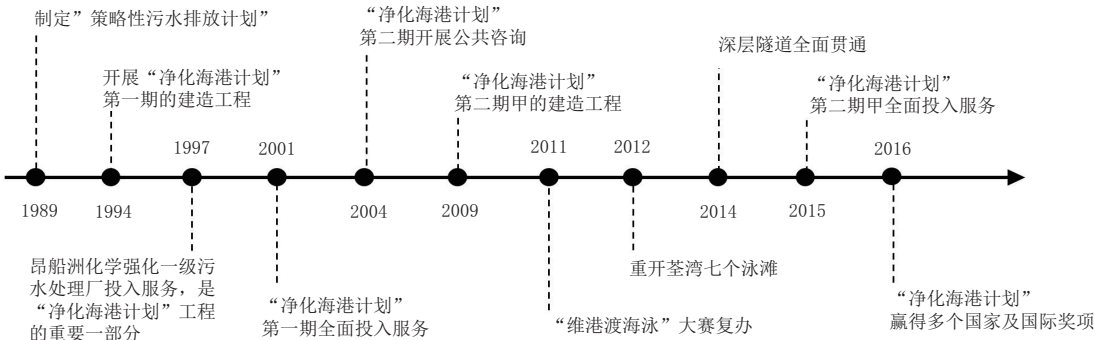


图1 “净化海港计划”时间轴

为全面深入了解香港“净化海港计划”历程,总结借鉴其治理经验、分析汲取其教训不足,本文以系统详实的调查研究为基础,总结梳理香港“净化海港计划”历程与亮点。同时从污水集中式处理与分散式处理的比选、污水深层隧道、污水处理流程的比选以及污水处理厂排放标准的选择等等多方面进行香港与内地异同的对比分析,为城市水环境综合治理做好顶层设计、科学统筹规划、规避潜在风险,提供有益的参考借鉴。

1 污水集中式处理与分散式处理的比选

“净化海港计划”初期,在决定污水收集及处理方案上,应该采用集中式处理,抑或分布式处理,曾引起分歧。集中式处理方案需要建造深层污水隧道,从维港两岸各区输送污水到中央污水处理厂进行污水处理,再排入大海。而分散式处理方案,则必须在各区分别兴建先进的污水处理设施,再把经处理的污水,由各分区的污水处理厂直接排入大海。

为此,香港于1990年6月开始进行全面深入的实地勘察和工程研究,借助软件模拟以及实体模型,分析比较不同级别污水处理厂及不同排放管道位置对环境造成的影响。分析结果显示,集中式污水处理是最具经济效益的净化海港方案,以一个综合深层污水隧道系统收集维港两岸所有的污水,并在昂船洲设立污水处理厂进行集中污水处理。至于分散式污水处理方案,由于市区土地稀缺珍贵,不合乎成本效益,因此不被接纳。

与香港做法不同,目前内地的污水处理选择更倾向于分散式处理,同样为了减少污水排放对城市水环境的影响,内地的做法则是对各污水处理厂进行扩容及提标改造。污水厂提标改造是综合性极强

的系统工程,要考虑的问题很多,其中建设和运行费用多少、处理效果如何、占地面积大小、管理上科学与否、环境影响好坏等都是关键问题。然而内地不少老城区的城市污水处理厂的提标改造也时常面临着占地无法扩大的问题,甚至不得不异地搬迁。

因此,内地与香港类似的“寸土寸金”的超大城市亦可进行集中式污水处理厂提标改造和分散式污水处理厂的详细论证,同时辅以水质模拟,以综合考虑规划年限、工程规模、经济效益、社会效益和环境效益,正确处理近期与远期、集中于分散、排放与利用的关系,做到安全可靠、保护环境、节约土地、经济合理、技术先进且适合当地实际情况。

2 污水深层隧道

香港确定选用污水集中式处理方案,分两期实施建设污水深层隧道^[5]。

如图2所示,第一期项目工程包括:建设一个全长23.6 km的深层隧道系统,收集来自九龙和香港岛东北部的污水,包括位于葵涌、青衣、观塘、土瓜湾、将军澳、柴湾及筲箕湾的污水处理厂,并全面改善这七所处理厂的设施,于昂船洲兴建集中化学强化一级污水处理厂,以及一条离昂船洲1.7 km的临时海底排放管道,排放经处理的污水。污水深隧的施工方法主要采用盾构顶进,局部采用钻爆顶进。如图3所示,第二期也是由相连的深层隧道网络组成,全长21 km,深度介乎海平面以下70 m至160 m之间,在地质和设计方面都与第一期的隧道系统类似。

污水深层隧道适用于污水集中处理方案,尤其是在完善建成高度发达城市进行污水系统整体有机更新提升时,土地紧张,开挖新建污水主管困难时较为合适。目前内地已实施的污水深层隧道项目有武

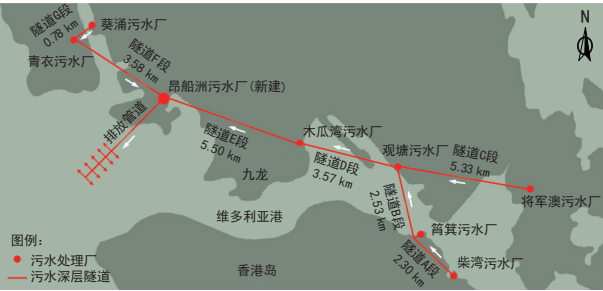


图2 “净化海港计划”一期平面图^[6]



图3 “净化海港计划”二期平面图^[6]

汉大东湖核心区污水深层隧道,其核心建设思路与“净化海港”计划的深隧部分相似,该项目于2014年8月开始建设,该工程将武汉的落步咀、沙湖及二郎庙等三个污水处理厂通过深隧集中输送至拟建的北湖污水处理厂统一处理,污水厂出水标准按一级A标准执行,最后排入长江,深层隧道全长19.20 km^[6]。武汉大东湖污水深层隧道施工方法为主隧道采用盾构法施工,而地质条件较好的落步咀至三环线支隧采用顶管法施工^[7]。两者相关参数的具体对比详见表1^[6-8]。

表1 香港“净化海港计划”与武汉大东湖污水深层隧道项目对比

项目	香港“净化海港计划”	武汉大东湖污水深层隧道
项目总投资/亿元	161	30.29
污水处理量/(万 m ³ ·d ⁻¹)	245	150
隧道长度/km	44.6	19.20
最大主泵流量/(m ³ ·s ⁻¹)	32	9.8
竖井及深度	7个倾斜竖井,深度介于84~170 m	11个竖井,竖井深度均超过32 m,最大深度达51.5 m
隧道施工方法	盾构法、钻爆法、水平定向钻	盾构法、顶管法

3 污水处理流程的比选

3.1 香港污水一级处理的高效率

香港“净化海港计划”最终的污水集中输送至昂船洲污水处理厂处理后排入维多利亚港。香港昂船洲污水处理厂采用化学强化一级污水处理,能够除去污水中近80%的SS和近70%的BOD₅,从而减少细

菌滋生。昂船洲污水厂采用的混凝剂为三氯化铁及其聚合物,投放量为10~20 mg/L。

相比内地目前的规范^[9]中的污水处理效率取值(见表2),昂船洲的化学强化一级处理效率相当于生物二级处理效率,并比普通一级物理处理效率高近2倍。这样的设置可在有限的土地条件下实现相同效率的污水处理效果,值得内地超大型城市借鉴。

表2 《室外排水设计标准》污水厂处理效率

处理级别	处理方法	主要工艺	处理效率/%			
			SS	BOD ₅	TN	TP
一级	沉淀法	沉淀(自然沉淀)	40~55	20~30	—	5~10
		初次沉淀、生物膜法	60~90	65~90	60~85	—
二级	活性污泥法	初次沉淀、活性污泥反应、二次沉淀	70~90	65~95	60~85	75~85
		深度处理 混凝沉淀过滤	90~99	80~96	65~90	80~95

3.2 海水冲厕城市污水二级处理的选用

香港“净化海港计划”一期于2001年12月投入使用,维多利亚港水质虽有大幅度提升但仍存在一定问题。如维港西部水域,尤其是荃湾一带泳滩的水质,仍然受到来自昂船洲污水处理厂经处理但未经消毒的大量排放水的影响。因此,香港委托了国际专家小组,重新审视“净化海港计划”,着重研究了昂船洲污水处理厂是否采用曝气生物滤池技术为二级处理以及是否进行污水三级处理的问题。

香港进一步开展了“环境及工程可行性研究”和“密集型污水处理技术试验”两项研究,前者旨在评估方案的工程技术可行性及对水质的影响,而后者则是测试密集型污水处理技术对香港咸潮污水的成效。

结果显示生物曝气滤池技术并不适合处理香港高盐分的污水,而水质仿真结果也显示,要保护维港水质,并不需要采用三级污水处理方案。同时三级污水处理方案也涉及相当大的操作及成本问题。基于成本、环境影响和工程技术因素的综合考虑,最终挑选了提升昂船洲现有的中央污水处理设施为首选方案,并以此作为“净化海港计划”第二期工程方案。

与香港情况类似,内地青岛、秦皇岛、天津、厦门、宁波、大连、烟台等沿海发达城市均开始了海水冲厕的研究与探索工程,如青岛胶南“海之韵”小区于2009年完成了海水示范工程^[10-12]。海水冲厕导致进入污水厂的污水可能是高盐污水,一般是指总盐

质量分数至少 1%(相当于 10 g/L)。而当采用生物法进行处理时,高浓度的盐类物质对微生物具有抑制作用,主要体现在以下三方面:一是随着盐度的升高,活性污泥的生长受到影响,其生长曲线的变化表现在适应期变长、对数增长期的生长速度变慢以及减速生长期的历时变长;二是盐度加强了微生物的呼吸作用和细胞的溶胞作用;三是盐度降低了有机物的可生物降解性和可降解程度,使有机物的去除率和降解速率下降。采用生物法处理高盐污水仍旧是目前国内外的研究重点,目前还不是成熟的技术。因此,对于内地采用海水冲厕城市可适时开展对应

的污水处理研究,同时也可经论证后借鉴香港化学强化一级处理方案。

4 污水处理厂排放标准的选择

为净化水环境,内地目前许多污水厂提标改造的标准往往是一级 A 标准或准“四类”标准^[13],这实际与内地污水处理厂分散式处理排放外河有关,高标准的排放标准则对污水处理流程提出很高的要求。与内地污水排放高标准不同,香港目前大型污水处理厂相对没有内地严苛,表 1 列举了香港目前运行的大型污水处理厂的污水排放标准^[14-17]。

表 3 香港污水处理厂污水排放标准

污水处理厂	昂船洲污水厂	沙田污水厂	石湖墟污水厂	大埔污水厂	准“四类”标准	一级 A 标准	一级 B 标准
改造时间	2009 年改造	2010 年改造	2009 年改造	2013 年改造	—	—	—
设计流量/(万 m ³ ·d ⁻¹)	170	34	9.3	8.8	—	—	—
SS/(mg·L ⁻¹)	≤55	≤30	≤30	≤30	—	≤10	≤20
BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	≤75	≤20	≤20	≤20	≤6	≤10	≤20
氨氮/(mg·L ⁻¹)	—	≤5	≤2	—	≤1.5	≤5(8)	≤8(15)
TN/(mg·L ⁻¹)	—	≤20	—	≤25	≤10	≤15	≤20

注:括号外数值为水温>12℃时的控制指标,括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。

如上表所示,香港目前运行的污水处理厂的排放标准并不高,现状运行的污水厂有的指标甚至比一级 B 标准还低。污水厂的排放标准的选取与收纳水体的水环境容量以及自净能力有关,因此对于内地污水处理排放的标准的选用应结合收纳水体,像香港一样进行大尺度的水质模拟分析,选用合适的排放,做到安全可靠、经济合理。

5 结 语

本文论述了香港“净化海港计划”的主要历程,主要分析总结了其对内地城市处理的启示。

(1)污水集中式处理与分散式处理的比选

在污水集中式处理与分散式处理的比较中,应坚持因地制宜的原则。不同城市需结合其独特特点,辅以水质模拟分析,全面权衡规划年限、工程规模、经济效益、社会效益和环境效益,从而作出合理的选择。对于香港及内地这类超大型城市,由于浅层排水系统已错综复杂,拆迁征地极为困难,且难以协调浅层污水排水系统的矛盾,污水深层隧道在地下空间利用和污水提质增效方面展现出显著优势。因此,对于内地那些土地资源紧张、人口密度大、污水环保矛盾突出的大型城市,污水深层隧道技术值得进行深入论证和比较选择。

(2)海水冲厕城市因地制宜选择污水处理流程

香港作为采用海水冲厕的城市,其污水处理流程并未遵循传统的“一级物理处理+二级生物处理+三级深度处理”模式。而是根据香港地区的实际情况,因地制宜地选择了更适宜的污水处理流程。鉴于香港使用海水冲厕,导致污水含盐量较高,二级生物处理的效果并不理想,同时在土地资源紧缺的香港,二级生物处理所需的占地面积也是一个难以解决的问题。因此,香港选择继续采用一级化学强化工艺,以充分发挥昂船洲污水处理厂的优势。与此同时,内地的一些沿海发达城市,如青岛、秦皇岛、天津、厦门、宁波、大连、烟台等,也开始探索和研究海水冲厕的可行性。鉴于此,未来这些采用海水冲厕的城市,应更加深入地开展科研论证,寻找更为合适的污水处理方法,以适应其特定的水质条件和环保需求。

(3)香港污水厂污水排放标准并不高

为了提升水质环境,内地众多污水处理厂目前正在进行提标改造,普遍追求一级 A 标准或接近“四类”标准。这种高标准的制定,与内地污水处理厂普遍采用分散式处理并直接排放至外河的现状密切相关,高标准自然对污水处理流程提出了更为严格的要求。与内地的高标准不同,香港目前运行的污水处理厂排放标准相对较低,部分指标甚至低于一级 B 标准。污水厂排放标准的确定,需综合考虑收纳

水体的环境容量和自净能力。因此,内地在选定污水处理排放标准时,应借鉴香港的做法,结合收纳水体的实际情况,进行大规模的水质模拟分析,需选择既安全可靠又经济合理的排放标准。

(4)久久为功、多部门协同全流域范围综合系统化治理

香港“净化海港计划”横跨10个行政分区,分两期进行,历时20余年。随着香港特区政府不懈努力,凭借卓越的工程策略以及创新技术,协同香港环境环境局、渠务署、发展局等多部门共同推进,最终使维港开始重新焕发往日风采。

参考文献:

- [1] 林锦慰. 香港净化海港计划:环境影响评价[C]//中国环境科学出版社. 中国环境科学学会学术年论文集. 上海:中国环境科学出版社, 2010: 1690-1694.
- [2] Aecom集团,安社亚洲香港有限公司. 净化港口计划第二期甲一勘察:环境影响评估研究报告[R]. 香港:政府渠务署, 2008.
- [3] 香港工程师学会. 香港净化海港计划[J]. 城乡建设, 2019(2): 66-67.
- [4] YUEN A N Y, CHEUNG F C M, CHEUNG A K Y. The Long Term Sustainability of the Victoria Harbour Relies on the Successful Implementation of the Harbour Area Treatment Scheme[C]// Guangdong Science and Technology Press. Proceedings of the Fourth Symposium on Sustainable Development of Guangdong, Hong Kong and Macao. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 2008: 248-254.
- [5] 香港渠务署. 净港扬清 给维港的信[EB/OL]. (2019-03-01) [2024-03-21]. https://www.dsd.gov.hk/uploads/page/Publicity_and_Publications/HATS_Monograph/HATS_Monograph_Final.pdf. Hong Kong Drainage

Services. Department. Stonecutters Island Sewage Treatment Works [EB/OL]. (2019-03-01) [2024-03-21]. https://www.dsd.gov.hk/uploads/page/Publicity_and_Publications/HATS_Monograph/HATS_Monograph_Final.pdf.

- [6] 曾磊,刘畅,阮超,等. 武汉大东湖核心区污水深隧传输系统运行调度[J]. 中国给水排水, 2023, 39(20): 104-109.
- [7] 何巍伟,王梦华,武今巾. 我国深隧排水系统典型案例剖析[J]. 净水技术, 2023, 42(6): 142-151.
- [8] 何文凯. 基于武汉大东湖核心区污水传输系统的城市排水深隧项目总体规划探讨[J]. 智能城市, 2019, 5(24): 114-115.
- [9] GB 50014—2021, 室外排水设计标准[S].
- [10] 寇希元,张雨山,王静. 海水冲厕技术研究与应用进展[J]. 海岸工程, 2009, 28(2): 83-89.
- [11] 苗英霞,王树勋,郝建安,等. 对我国海水冲厕立法的思考[J]. 水资源保护, 2014, 30(4): 93-96.
- [12] 马颖,郭华宇,孙国周,等. 海水冲厕应用与研究进展[J]. 后勤工程学院学报, 2013, 29(3): 67-70; 96.
- [13] 关永年. BAF+高效沉淀池+V型滤池用于污水厂高标准提标改造[J]. 中国给水排水, 2023, 39(14): 66-70.
- [14] 香港渠务署. 昂船洲污水处理厂[EB/OL]. (2009-03-01) [2024-03-21]. https://www.dsd.gov.hk/SC/Files/publications_publicity/publicity_materials/leaflets_booklets_factsheets/STSTW.pdf.
- [15] 香港渠务署. 沙田污水处理厂 [EB/OL]. (2009-03-01) [2024-03-21]. https://www.dsd.gov.hk/TC/Files/publications_publicity/publicity_materials/leaflets_booklets_factsheets/Stonecutter.pdf.
- [16] 香港渠务署. 石湖墟污水处理厂[EB/OL]. (2009-06-01) [2024-03-21]. https://www.dsd.gov.hk/SC/Files/publications_publicity/publicity_materials/leaflets_booklets_factsheets/SWHSTW.pdf.
- [17] 香港渠务署. 大埔污水处理厂[EB/OL]. (2009-06-01) [2024-03-21]. https://www.dsd.gov.hk/SC/Files/publications_publicity/publicity_materials/leaflets_booklets_factsheets/TaiPoSTW.pdf.

(上接第123页)

安全,又不过度浪费材料。

4 结 语

市政道路设计时,受规划线位影响,常遇到道路与现状河涌斜交情况,本文结合实际工程设计案例,采用迈达斯有限元分析软件进行多模型分析对比,对大角度斜交箱涵设计进行了深入的分析与研究,最终得到主要结论如下。

(1)对于大角度斜交箱涵,在竖向荷载作用于顶板时,顶板最大正弯矩位于顶板跨中处,最大负弯矩位于顶板支座处;在横向荷载作用于侧墙时,顶板最大正负弯矩均位于顶板支座处。

(2)为了设计合理经济安全,大角度斜交箱涵应

采用三维板壳模型计算,能更好考虑斜交箱涵整体扭转作用。

(3)为了结构受力合理,建议在设计大角度斜交箱涵时,于箱涵顶板端部设置暗梁,于底板底部设置抗滑键,以更好抵抗箱涵整体扭转作用。

参考文献:

- [1] JTG/T 3365-02—2020,公路涵洞设计规范[S].
- [2] 李文治. 某大角度斜交箱涵的受力分析与方案比选[J]. 北方交通, 2014(9): 17-20.
- [3] 张伟立. 箱涵端部斜交段的内力计算与结构设计[J]. 结构工程师, 2016, 32(4): 29-34.
- [4] 陈征. 斜交框架箱涵空间受力分析及配筋设计[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2015(8): 2653-2654.