

烟台市城市污水排海工程予可行性研究
分报告之六

烟台市城市污水排水系统研究

国家环保局 环境科学技术研究所
同济大学

一九八七年八月

总课题负责人： 顾国维、孙茂智

分课题负责人： 李贵义

参加工作人员： 顾国维、蔡不忒、韦鹤平、李贵义
尹庆庆、浦建龙、吉 洪、余宗莲
张景国

协 作 单 位： 烟台市规划处

烟台市城建局

协 作 人 员： 朱 智、朱雅琴、侯宝庆

分报告执笔： 李贵义

目 录

1	绪 言	1
2	烟台市城市排水系统现状及分析	2
	2.1 烟台市概况	2
	2.2 城市排水系统现状及分析	2
3	烟台市城市污水排水系统总体规划方案分析	9
	3.1 排水体制分析	9
	3.2 规划污水排水量	10
	3.3 污水排水系统总体规划方案分析	12
4	烟台市城市污水排水系统最优规划设计	15
	4.1 污水排水系统最优规划设计数学模型	15
	4.2 费用函数	20
	4.3 主要设计参数取值	23
5	排水管道系统优化设计	23
	5.1 重力流污水管道系统的优化设计	23
	5.2 压力流污水输送管的优化设计	28
6	烟台市城市污水排水系统最优总体规划方案	28
	6.1 污水排水系统各可行方案的技术经济比较	28
	6.2 最优规划方案的主要设计结果	30
	6.3 最优规划方案的灵敏度分析	32
7	结 语	36
	参考资料及文献	37

1、绪 言

作为烟台市城市污水排海工程的陆上设施—烟台市城市污水排水系统，存在着诸多可行的方案。就投资和经营费用而言，陆上排水设施的费用远大于海上工程的费用。因此，烟台市城市污水排水系统方案的选择对于整个烟台市城市污水排海工程的投资和工程实施后的经营费用有着很大的影响。本研究报告根据烟台市的地形、城市现状、城市发展战略规划以及水环境质量目标，参考分报告之五和之七的有关研究成果，运用排水系统优化设计的研究成果，着重对烟台市城市污水排水系统进行系统分析，提出烟台市城市污水排水系统的最优规划方案，并对最优规划方案进行灵敏度分析。

2. 烟台市城市排水系统现状及分析

2.1 烟台市区概况

烟台市区由芝罘区和福山区组成, 1984年底城市总人口为29.6万人, 其中芝罘区27.5万人, 福山区2.1万人。根据自然地形, 芝罘区可分为东郊区、旧城区、西郊区和南郊区。旧城区的范围为东西炮台山之间, 南至南山分水岭, 北至海岸, 是烟台市政治和经济活动的中心, 在该区亦有小部分的工厂企业。西炮台山以西夹河以东为西郊区, 是一九五八年后兴建起来的工业区, 仅有小部分为居民区。东炮台以东至清泉寨一带为东郊区, 宾馆、疗养院及高等院校主要集中在东郊区。南山分水岭以南至黄务村为南郊区, 中等专业学校及部分污染较轻的工厂分布在该区, 该区内亦有少部分的居民区。福山区为原来的福山县城, 由于历史的原因, 该区的居住区、工业区及政治经济活动区各自所占比例相差不多。另外, 在夹河以西、柳子河以北正在兴建经济开发区, 目前尚未投入使用。图2—1为烟台市区的平面简图。

2.2 城市排水系统现状及分析

福山区和芝罘区中各小区的排水系统相互独立, 下面逐区简要描述排水系统现状并进行分析。

2.2.1 旧城区

旧城区三面环山, 北临渤海, 地形南高北低, 虹口河、解放河、西南河、海防营河、大海洋河、通伸河、通伸西河这七条河流贯穿该区南北, 参见图2—1。除通伸西河外, 其余几条河道全部加盖改造成城市街道。该区的排水管道目前主要为合流制系统, 近年来逐步地区已改造为分流制系统。二马路、迎祥路、解放路、文化路以及新海阳、白石村、奇山、幸福、小北疃、合成革等生活区的排水管道均按分流制系统敷设或已改造为分流制系统, 目前正在建设中的厚安街、

市府街、南鸿街等居住区也是按分流制系统设计和建造排水管道系统的，在北马路、跃进路以及大海洋河的东西两侧均埋设了部分截流干管。由于改造尚在进行之中，全区还未形成完整的分流制系统，已有的部分分流制管道未能充分发挥作用，目前该区的雨水和污水均通过已有的排水管道系统汇集于上述的七条河道中排放入海，严重污染了第一海水浴场和港口附近海域的水质。

2.2.2 西郊区

西郊区为一九五八年后兴建的工业区，兴建前作过比较合理的规划，目前全区道路网已基本形成，但由于在建设中，市政配套设施未能及时跟上，部分道路仍利用道路两侧的土明沟排水，全区只有合成革厂、发电厂、化工厂的污水由专用污水管线排入海湾和夹河口，位于该区东半部的其余污水汇集于幸福河明排入海，西半部分的其余污水则汇集于渠河后明排入夹河口。由于西部的河道仍呈原有的自然状态，未采取任何改善措施，污水对沿途居民的生活和农田作物的生长造成一定程度的不利影响。但该区各条道路均留有敷设排水管道的位置，改造条件较好，改造时不需大量拆迁，实行分流制系统有较好的条件。

2.2.3 东郊区

东郊区是近几年才兴建起来的接待区，该区污水基本上是生活污水。因东郊区的建设刚刚起步不久，规划的市政配套设施基本上尚未建成。一九八五年起对该区迟家村周围道路进行修建过程中，在这些道路上同时敷设分流制管道系统。到目前为止，东郊区的污水仍全部汇集于原有的自然冲沟后就近排放入海。

2.2.4 南郊区

该区为一南北走向的狭长地带，地形北高南低，东西两侧为丘陵

地带，中间谷地有烟莱公路贯彻南北，公路东侧是勤河。该区自然冲沟较多，而且坡度大，自然排水条件较好，目前，该区的雨水和污水基本上是通过这些冲沟排放，汇集于勤河，然后流入夹河，成为夹河污染源的一部分。至今该区还没有污水专用排水设施，自然冲沟大多数尚未进行工程改造。

2.2.5 福山区

该区的建设历史较长，由于原为县城建制，当时的投资有限，再加忽视了市政配套设施的建设，所以排水沟道系统比较零乱，现状排水体制为合流制，全区污水经排水沟道系统排入夹河，直接影响四水厂的水源水质。但目前该区的部分地段正按分流制系统敷设和改造排水管道。

2.2.6 经济开发区

该区一开始就将地面建设和地下设施统一规划、统一设计、统一施工，尽管该区仍在建设之中，尚未投入使用，但已初具规模的第一期三平方公里面积的工程，均已按分流制系统敷设了排水管道。

烟台市市区河流现状

表2-1

断 面	桩 号	距 离 (m)	地面高程 (m)	现 状				
				横断面 (m)	坡降‰	河宽 (m)	底高程 (m)	顶高程 (m)
(一) 虹口河								
入 海 口	0+000	0	2.85			4	0.85	2.55
大 马 路	0+190	190	5.20	2-2×1.7	9.8	4	2.77	4.47
二 马 路	0+310	120	7.28	1-2.5×1.7	24	2.5	6.19	7.89
三 马 路	0+637	327	11.75	1-2.5×1.7	19	2.0	11.43	13.13
	0+740		15.12	1-2×1.8	30	2.0	14.20	16.00
环 山 路	1+298	543		1-2×1.8	30			
合 计	1+150	1180						
(二) 解放河								
入 海 口	0+000	0	2.729			4.5	0.219	2.017
	0+210		3.500			4.5	1.450	3.250
大 马 路	0+450	450	4.972	3-1.5×1.8	4.9	4.5	2.729	4.529
	0+597		6.732			4.5	4.432	6.232
二 马 路	0+766	330	8.329	3-1.5×1.8	10.2	4.5	6.329	8.129
	0+906		9.452			4.5	7.452	9.252
三 马 路	1+060		10.345			4.5	8.400	10.20
四 马 路	1+234	563	11.687	3-1.5×1.8	7.3	4.5	9.50	11.30
华 桥	1+830	600		3-1.5×1.8		4.5		
环 山 路	2+220	380		2-2.25×2		4.5		
合 计	3+500	2323						

断 面	桩 号	距 离 (m)	地面高程 (m)	现 状				
				横 断 面 (m)	坡降‰	河宽 (m)	底高程 (m)	顶高程 (m)
(三) 西南河								
入 海 口	0+000	0				13	-0.18	2.7
北 马 路	0+200	200	2.754		1.4	10	0.10	1.90
北 大 街	0+400	200	3.114	4-2.5×1.8	2.8	10	0.650	2.45
	0+600		3.800			4.5	1.730	3.53
跃 进 路	0+850	450	5.481	2-1.25×1.8 1-1.5×1.8	5.7	4.5	3.22	5.02
	1+040		6.764			3	4.300	6.10
	1+208		7.856			3	6.100	7.90
毛 巾 厂	1+375	525	9.383	2-1.5×1.8	7.4		7.10	8.90
	1+600		12.791				10.751	
环 山 路	2+000	625						
合 计	2+000	2000						
(四) 大海洋河								
入 海 口	0+000	0	2.05	2-9×2.9		18.0	-1.08	1.82
	0+460		3.13			14.0	-0.03	2.90
北 马 路	0+600	600	3.20	4-3.7×3	0.5	14.0	1.20	2.90
	0+800		4.24		5.0	12.0	1.80	3.79
西 大 街	0+950	350	5.05	4-3×1.8	7.83	9.0	2.93	4.77
西 盛 街	1+250	300	7.18			9.0	5.00	7.00
跃 进 路	1+400	150	9.20	3-3×1.84		5.0	6.07	7.87
环 山 路	1+700	300	12.42	1-4.5×1.8	12.1	4.5	10.09	11.89
合 计	3+000	3000						

断 面	桩 号	距 离 (m)	地面高程 (m)	现 状				
				横 断 面 (m)	坡降‰	河宽 (m)	底高程 (m)	顶高程 (m)
(五)海防营河								
入 海 口	0+000							
北 马 路	0+390	390	3.176	1-2×2	1.0	2	1.027	3.027
	0+498	108	3.159			1.7	1.284	3.084
西 大 街	0+718	220	3.409	1-1.7×1.8	1.85	1.7	1.379	3.179
跃 进 路	0+966	248	5.756	1-0.9×1.2	8.75	0.9	3.092	4.292
毓 璜 顶	1+366	400			30.0		75.00	
合 计	1+400	1366						
(六)通伸河								
入 海 口	0+000		3.00	15.6×3		15.6	0.00	3.00
幸 福 路	0+190	190	2.89	7.2×1.7	6.3	7.2	1.19	2.89
西大街	0+640	450	4.80	2.2×0.8	6.3	2.2	4.04	4.80
跃 进 路	1+670	1030	13.35	2×1.5	7.7	2.0	11.85	13.35
环 山 路	1+990	320						
合 计	2+000	2000						
(七)通伸西河								
入 海 口	0+000		2.90	11×1.2		11.0	0.70	2.90
铁 路	0+280	280	2.90	2-2×1 +3×1	0.0008	4.0	1.36	2.26
建 设 路	0+570	290	2.78	2-2×1.7	0.0008	4.0	1.60	2.60
	0+795	225	2.82			4.0	1.83	2.83
芝 罘 屯	1+115	320	3.10	2-1.5×1	0.002	3.0	2.19	3.19
	1+455	340	2.85			1.8	2.80	3.90
沟 头	1+689	234	3.88	1-1×1	0.002	1.0	3.40	4.40
合 计	1+689	1600						

断 面	桩 号	距 离 (m)	地面高程 (m)	现 状				
				横断面 (m)	降坡‰	河宽 (m)	底高程 (m)	顶高程 (m)
(八) 幸福河								
入 海 口	0+000		2.62			11	0.72	2.62
分 水 口	1+900	1900	5.19		1.8	8	4.19	4.19
烟 岗	3+350	1450	8.35		1.6	6	5.85	8.35
铁 路	4+870	1520	16.48		7	6	16.18	16.48
跃 进 路	6+090	1220						
合 计	9+200	6090						
(九) 勤 河								
入夹河口	0+000	0	15.15			19.0	13.05	
黄务桥北	5+100	5100	26.10		2.2	23.0	24.50	26.10
火 化 厂	8+560	3460	45.41		5.0	5.0	41.91	45.41
合 计	9+800							
(十) 区 河								
入 海 口	0+000		1.68			18.0	0.28	1.68
良种场路南	3+320	3320	3.87		0.7	13.8	2.00	3.87
官家岛路桥	4+600	1280	5.67		0.9	17.5	3.87	5.67
烟福公路交点	6+6.70	2070	6.47		0.5	10.5	3.97	6.47
	8+020	1350						
	9+970	1950						
	12+570	2600						
合 计	12+570							

3. 烟台市城市污水排水系统总体规划方案分析

3.1 排水体制分析

整个烟台市区目前还没有城市污水处理厂，只有个别工厂内有废水处理设施。旧城区和西郊区排出的污水严重污染了芝罘湾海域的水体水质，旧城区是烟台市的门户和窗口，旧城区海滨地区水体的污染既影响了烟台市旅游风景区的外观，又影响了芝罘湾海域沿海水体的生态平衡。南郊污水汇集于勤河，流入夹河上游，福山区的污水全部排入夹河，夹河是烟台市区的主要淡水资源，虽然目前还未受到严重污染，如果福山、南郊两区维持目前的排水系统状况，随着这两区的发展，势必危及夹河水质，给烟台市这一缺水地区未来的发展带来极不利的影响，同时工业污染源中的有毒有害物质将损及套子湾海水养殖区的经济价值。根据东郊区的现状及烟台市城市发展战略规划，东郊区为旅游接待区，该区无工业污染源，东郊区沿海主要为海水养殖区，但玉岱山海水浴场亦位于东郊区，因此从旅游风景区的外观保护和玉岱山海水浴场的水质保护考虑，应对该区的城市污水作适当处置。

为了给烟台市这一沿海经济开发城市今后的发展创造有利条件，为了保护烟台市这一旅游风景区，从长远的战略发展考虑，实行分流制排水系统势在必行，因为只有在实行分流制系统以后，才能对整个市区的城市污水彻底而方便地予以适当的处置，并可减少污水处理设施的投资和运行费用，降雨期间的雨水则通过雨水排水系统排除，不致出现合流制系统在降雨期间常有的污水溢流而影响居民日常生活和市容环境卫生的现象，另外合流制排水系统在降雨期间将有部分未经处理的污水通过截流管的溢流井直接排入水体。从排水沟道系统的投资考虑，为了尽量减少降雨期间的污水溢流事件，合流制沟道系统的

设计降雨重现期必须取足够大的数值，而分流制排水沟道系统中的雨水排水系统的设计重现期则可略小些，根据国外的研究，分流制系统甚至可以尽量利用道路的自然坡度排除降雨期间的雨水。因此，相比之下，分流制排水系统的雨水管管径可以比合流制排水管管径小得多，还可尽量利用自然冲沟和明渠排除雨水。此外，分流制排水系统中，污水沟道系统的设计流量远小于雨水沟道系统的设计流量，因此，就收集系统而言污水沟道系统的投资远小于雨水沟道系统的投资。根据以上的分析，分流制排水沟道系统的投资不一定比合流制沟道系统的投资大许多，不同地区的不同情况这二种排水体制的排水沟道系统的投资差异将不同。但烟台市区自然冲沟和市内河道多，自然排水条件好，如果设计合理，分流制排水沟道系统的投资不一定会比合流制排水沟道系统的投资大。

不过对于旧城区和福山区这二个已实行合流制系统的老城区，要过渡到分流制排水系统牵涉到现状体制的改造问题。从烟台市城市污水排水系统的现状及其分析可知，烟台市的城市规划和市政部门正在朝过渡到分流制系统这一方向努力，并已做了大量的工作，为烟台市全面实行分流制排水系统打下了良好的基础。

3.2 规划污水排放量

3.2.1 全市规划污水排放量

根据分报告之五的分析研究结果，全市居民生活用水标准（包括公共建筑用水）为250升/人·日，全市远期规划人口（2000年）60万人，得全市居民生活用水量为15万吨/日另外考虑到烟台作为一个旅游城市，每年来烟台旅游的人数逐年增加，流动人口的生活用水量亦是一个可观的数字。根据烟台市的发展规划，规划各种宾馆的床位共

计25000个，其中20000个为高中级床位，床位利用率按95%计，高中级床位的人均生活用水量按900升/人·日计，按此估算得流动人口的生活用水量为1.8万吨/日。生活污水量按生活用水量计，得全市生活污水量为16.8万吨/日。

根据烟台市的工业发展规划，2000年的全市工业总产值为86.3亿元，每万元产值的排水量为102吨，据此得2000年的工业废水总量为24.1万吨/日。

根据以上计算得2000年的全市规划污水排放量为40.9万吨/日。

2000年距今只不过13年时间，而一般给排水工程设施的使用年限为40年。由于烟台市城市污水排海工程的投资巨大，为了充分发挥工程和投资的效益、考虑到为烟台市2000年之后的继续发展留有一定的余地，参考烟台市的水资源发展规划，烟台市城市污水排海工程的设计水量的选择宜以2000年的规划水量为依据，但适当留有余量。建议烟台市城市污水排海工程的设计水量取50万吨/日。

3.2.2 各区规划污水排放量分配由于目前缺乏烟台市各区工业发展的详细规划，各区工业废水量的分配主要参考烟台市城市规划部门提供的资料，各区的规划污水量分配见表3—1。

表3-1

各区的规划污水排放量分配

	生活污水量 (万吨/日)	工业废水量 (万吨/日)	合 计 (万吨/日)
旧 城 区	4.5	5.2	9.7
西 郊 区	4.0	15.6	19.6
东 郊 区	3.2	0	3.2
开 发 区	2.5	5.0	7.5
南 郊 区	1.0	1.0	2.0
福 山 区	2.5	5.5	8.0
合 计	17.7	32.3	50.0

3.3 污水排水系统总体规划方案分析

污水排水系统的总体规划方案主要考虑各区污水的处置方法和尾水出路以及相应的污水干管系统的布置和设计。根据烟台市的城市发展战略规划、烟台市的地形特征和环境质量要求、考虑到现有的排水系统以及烟台市为缺水城市这一特点、参考分报告之七的研究结果，经初步分析，遴选出以下六个可行方案留待后文作进一步研究。

方案1 各区污水全部集中到西沙旺，经格栅和沉砂预处理后排放到芝罘岛外海域，如图3—1所示。后文中提到的预处理均指格栅和沉砂工艺预处理。

烟台市具有辽阔的海域，且沿海水域尤其是芝罘岛外水域水力条件好，水深大，在我国目前国民经济还不够发达、财力物力有限的情况下，充分利用自然水体的稀释扩散能力和自净能力来处理城市污水，在保证水体环境质量的前提下，是达到经济效益最佳而又确保环境效益的一条行之有效的措施。西沙旺预处理厂中格栅的主要功能是去除污水中较大的漂浮物，沉砂的目的是去除污水中较粗的固体颗粒，以防止在预处理厂后续的污水输送管中产生泥砂淤积。

方案2 南郊污水就地二级处理后灌溉农田，其余各区污水集中到西沙旺经预处理后排放到芝罘岛外海域，如图3—2所示。

南郊污水主要是生活污水，并有少量污染轻，主要成份为有机物的工业废水。南郊郊区拥有大片农田和果林，南郊污水经二级处理后灌溉农田既可缓和周围农田的缺水问题，同时污水中含有农作物生长中必需的有机肥料，对促进农作物的生长和改良土壤具有很大益处。南郊附近已有的卧龙水库，可以很方便地改造为储存非灌溉季节南郊排出污水的调节池。本方案的提出还出于考虑到如果南郊污水集中到西沙旺预处理厂，需要翻越南山，并需增设长约2700米的污水运输

送管，还需改造旧城区大海洋路已有的污水管线。

方案3 南郊和东郊污水均就地二级处理后灌溉农田，其余各区污水集中到西沙旺经预处理后排放到芝罘岛外海域，如图3—3所示。

东郊的情况和南郊类似，不同的是东郊污水全是生活污水，如果东郊污水集中到西沙旺预处理厂，需越过旧城区与东郊区交界处的高地，并需增设长约2000米的污水输送管。东郊周围目前有三个水库，可以方便地改造为污水调节池。

方案4 东郊污水就地二级处理后灌溉农田，其余各区污水集中到西沙旺经预处理后排放到芝罘岛海域，如图3—4所示。

方案5 福山、东郊、南郊污水各自就地二级处理后灌溉农田，其余各区污水集中到西沙旺经预处理后排放到芝罘岛外海域如图3—5所示。

这个方案的提出除了考虑到方案2和方案3的情况外，还考虑到福山区远离西沙旺。该区污水如果要集中到西沙旺预处理厂，必须经过开发区，福山至开发区相距约4500米，开发区至西沙旺预处理厂相距约9400米。

方案6 所有各区的污水均集中到西沙旺，经二级处理后排放到芝罘岛外海域。

经二级处理后排海，虽然增加陆上处理设施的费用，但却可减少海上工程的费用。

在上述的六个方案中，污水排水沟道系统只限于考虑有关的污水干管和污水输送管，由于各区内部的污水收集系统的平面布置和管径等主要取决于各区的地形。烟台市区各区的地形具有比较明显的地势，如福山区的地形大致为东南高，西北低，旧城和西郊区的地形大致为南高北低，东郊区的地形为西南高、东北低，南郊西的地形为北

高南低，只有经济开发区比较平坦。烟台市城市规划和市政部门已根据这些自然地形特征，对各区内部的污水收集系统作过规划，这些规划有的已经实施或正在实施，因此，各区内部的污水收集系统对于比较上述六个方案的优劣基本上没有影响，反之，各区内部的污水收集系统在上述六个方案中基本没有变化。

下面将运用排水系统优化设计的方法对上述六个可行方案进行系统分析，选择最优的排水系统总体规划方案。