

合流制排水系统溢流调蓄技术研究及应用实例分析

张 辰

(上海市市政工程设计研究总院,上海市 200092)

摘 要:排水系统雨天溢流对受纳水体的污染已日益受到关注。合流制排水系统溢流调蓄技术是控制面源污染、削减污染负荷的一项关键技术。建设调蓄池以减少排江污染负荷是重要的工程措施之一。该文介绍了调蓄池的原理和作用,并结合上海的实际情况,分析阐述了调蓄池的计算方法,为合流制排水系统面源污染控制提供技术支持,并可总结推广应用于上海及其他城市合流制排水系统污染物控制工程。

关键词:调蓄池;合流制排水系统;溢流;截流倍数

中图分类号:TU992 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)05-0001-04

1 概述

合流制排水系统雨天溢流已成为上海城区水体污染的主要原因之一。排江污染负荷严重影响了黄浦江、苏州河水体功能的恢复,这种状况与上海市建设生态型城市、迎接2010年世博会极不相称,亟需改善。而控制城区合流制排水系统的污染,减少耗氧物质的排放,又是解决问题的当务之急。

德国、美国、日本等国家自20世纪60年代起就开展合流制排水系统的雨天溢流对受纳水体污染的研究,其雨水管理正在摆脱传统的孤立考虑水患控制的思路,从仅仅关注管道末端快速排除雨水,转向将城市生态、环境保护、水资源利用统筹考虑的综合管理思路。综合管理的目标是尽可能减少城市雨水系统对受纳水体的影响。

国内对合流制排水系统的污染物控制研究尚待开展,上海在国内率先提出合流制排水系统污染物控制技术研究,合流污水的调蓄池是合流制排水系统面源污染控制的一项关键技术。

2 合流制排水系统溢流调蓄技术

2.1 调蓄池的基本原理及作用

合流制排水系统的溢流调蓄池(The Retention Basins with Overflow,简称RBO)工作原理如图1、图2所示。调蓄池在降雨期间收集部分初期雨水,将收集的雨水缓慢地输送至截流总管,最终进入污水处理厂,从而减少初期雨水对受纳水体的污染。

在合流制排水系统中建造调蓄池,是提高系统排水能力的一项有效措施。可以降低下游合流制干管、泵站的设计容量,降低工程造价。对现有

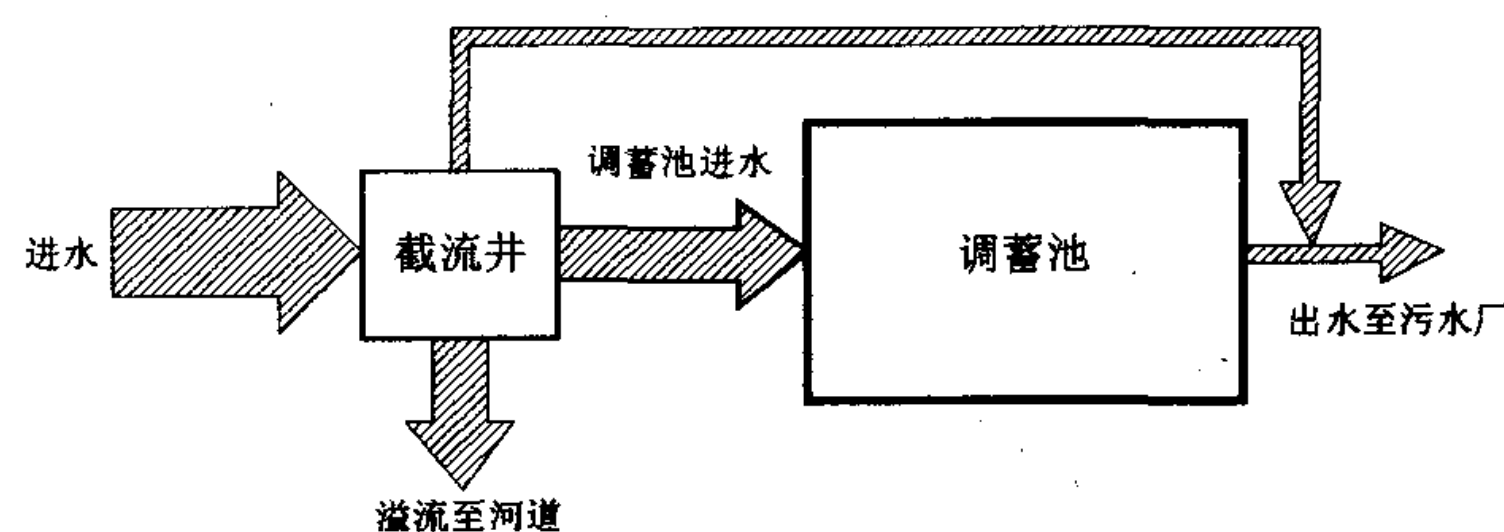


图1 合流制调蓄池作用图解

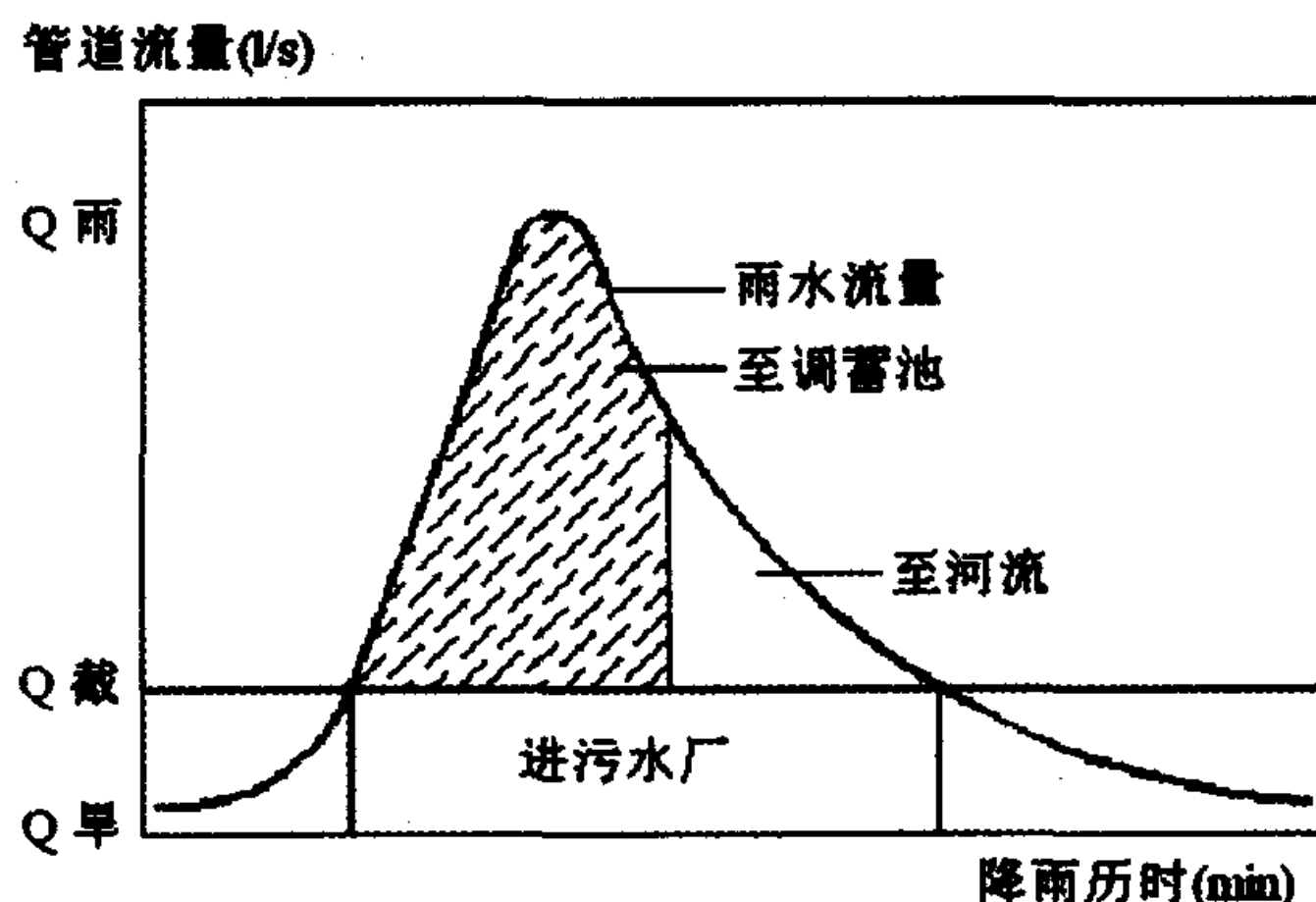


图2 合流制调蓄池曲线图解

超负荷运行的排水系统,建造调蓄池可提高系统的排水能力。

同时,调蓄池具有保护受纳水体的功能。调蓄池可收集初期雨水,从而大大减少暴雨期间合流制泵站的溢流量,减少对水体的污染。

2.2 调蓄池的计算方法

目前,德国、美国和日本等国家已有各自成熟的调蓄池计算方法,其中,德国和日本调蓄池设计目标值都设定为:合流制排水系统排放的污染负荷量与分流制排水系统排放的污染负荷量达到相同水平,在此基础上计算设计系统所需调蓄池的容积大小^[1,2,3]。但上海现有排江水水质研究结果表明^[4],由于存在较严重的雨污混接现象,不能以分流制排水系统的污染负荷量作为调蓄池计算的目标值。在研究国外调蓄池计算方法的基础上,结合上海的实际情况,制定上海的调蓄池计算方法。

2.2.1 上海降雨特征

收稿日期:2006-06-20

作者简介:张辰(1964-),男,上海人,教授级高级工程师,总工程师,长期从事给排水工程设计工作。

以上海市中心气象台 1998 年开始至 2000 年 3 年的每小时降雨统计资料^[5]为主要依据,对上海市的降雨情况进行分析。上海地区降雨量与降雨历时如表 1 所示。

表 1 上海地区 1998~2000 年降雨历时统计表^①

降雨强度 (mm/h)	1998 年 降雨量	1998 年 降雨历时	1999 年 降雨量	1999 年 降雨历时	2000 年 降雨量	2000 年 降雨历时	平均降 雨量	平均降 雨历时
0~1.8	459.6	832	588.7	747	424	828	490.8	802
0~2.7	617.1	901	588.7	816	581.1	898	595.6	872
0~3.6	730.2	937	727.7	860	656.1	922	704.7	906
0~5.4	832.7	960	962.1	914	775.7	949	856.8	941
0~7.2	937.1	977	1142.2	943	855.8	962	978.4	961
0~9.0	968.8	981	1209.1	951	925.7	971	1034.5	968
0~14.4	1024.5	986	1360.2	965	1056.8	982	1147.2	978
0~18	1055.1	988	1508	973	1127	984	1230.0	982
0~27	1055.1	988	1641.1	980	1268.4	992	1321.5	987
0~36	1083.2	989	1731	983	1268.4	992	1360.9	988
全年	1161.1	991	1776	984	1305.7	993	1414.3	989

注:①降雨量单位为 mm,降雨历时单位为 h。

2.2.2 截流倍数与降雨量的关系

上海市合流污水治理一期工程确定了上海市截流倍数的计算方法,该工程苏州河沿线服务面积 33.18 km²^[6]。

平均旱流污水量 $Q_{ADWF} = 86 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$

则相当于 ADWF 的降雨强度

$$i_{ADWF} = Q_{ADWF} / (\Psi \times F \times 24)$$

式中: i_{ADWF} ——相当于 ADWF 的降雨强度,mm/h

Q_{ADWF} ——晴天时平均旱流污水量,m³/d

Ψ ——苏州河沿线平均径流系数,平均值为 0.60

F ——苏州河沿线合流制系统面积,33.18 km²

将数据代入公式,则

$$i_{ADWF} = 86 \times 10^4 \div (0.60 \times 33.18 \times 103 \times 24) = 1.8 (\text{mm/h})$$

即:旱流污水量 $86 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 相当于 1.8 mm/h 的降雨量。

截流倍数 $n=1.5$ 相当于 $1.5 \times 1.8 = 2.7$ (mm/h)的降雨量,也就是说,当降雨强度小于 2.7 mm/h 时,雨水及污水可全部由管道和泵站截走,不会发生雨污水溢流至苏州河现象,但当降雨强度大于 2.7 mm/h,如为 4.5 mm/h 时,则有 1.8 mm/h 的雨水将溢流至苏州河中。

为将系统截流倍数与降雨强度相关联,将表 1 数据进一步分析整理,得到某给定降雨区间内的降雨时间和降雨量,见表 2。

截流倍数和降雨强度是相对应的,不同截流倍数的截流量即为其对应降雨强度的降雨量。溢流量即为大于该降雨强度的降雨量,截流倍数与截流量占降雨量比例之间的关系可用式(1)拟合。

$$y = -0.0127[\ln(x)]^3 + 0.0343[\ln(x)]^2 + 0.2182\ln(x) + 0.3399 (x \neq 0) \quad (1)$$

式中, y ——截流量占降雨量的比例,%

x ——截流倍数

上海地区系统截流倍数与截流量占降雨量比例之间的关系见图 3。

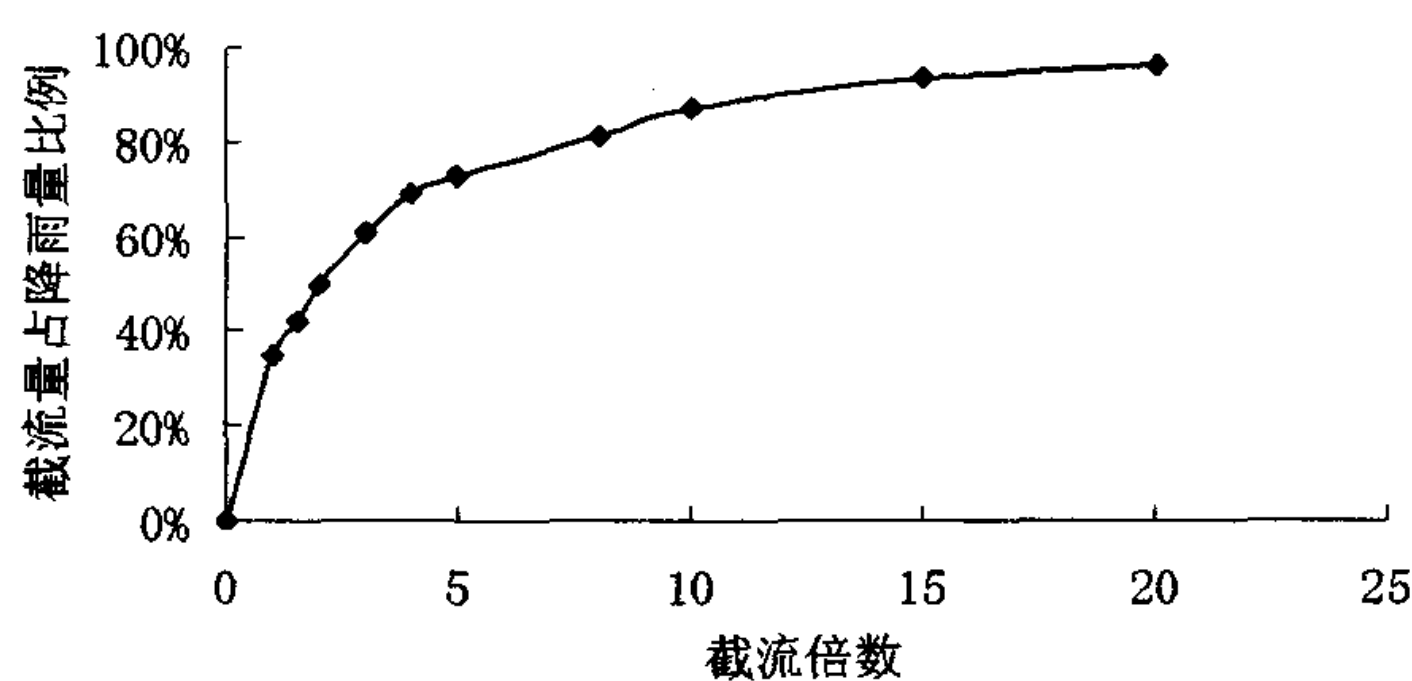


图 3 截流倍数与截流量占降雨量比例之间的关系

2.2.3 调蓄池容积计算方法

对于上海的合流制排水系统,其不同截流倍数下的年平均排江水量就可由式(2)求得。

$$Q = HA\Psi(1-y) \quad (2)$$

式中: Q ——年平均排江量, $\times 10^3 \text{ m}^3/\text{a}$

H ——降雨深度,mm/a

A ——服务面积,km²

ψ ——径流系数

y ——截流量占降雨量的比例

据此,可得到该系统不同截流倍数与年平均排江量的关系。

系统增设调蓄池后,实质上是增大了系统的截流倍数。当系统的调蓄量(f)为(mm)时,即单位面积调蓄量(f)为 $10 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,则增设调蓄池后,在调蓄池运行期间该系统的截流倍数可由式(3)求得。

$$n_1 = \left[(n+1) \times Q_{\text{污}} + \frac{Au \times 10f}{3600t} - Q_{\text{污}} \right] / Q_{\text{污}} \quad (3)$$

式中, n_1 ——调蓄池运行期间系统截流倍数;

n ——系统截流倍数;

表 2 给定降雨强度的降雨量和降雨历时

降雨强度 (mm/h)	0~1.8	1.9~2.7	2.8~3.6	3.7~5.4	5.5~7.2	7.3~9.0	9.1~14.4	14.5~18	18.1~27	27.1~36	>36
降雨量(mm)	490.8	104.9	109.0	152.2	121.5	56.2	112.6	82.9	91.5	39.3	53.4
降雨历时(h)	802.3	69.3	34.7	34.7	19.7	7.0	10.0	4.0	5.0	1.3	1.3

$Q_{污}$ ——系统旱流污水量, m^3/s

Au ——固化面积, 即 $A \cdot \Psi$, hm^2

Ψ ——径流系数

t ——调蓄时间, h

F ——调蓄量, mm

在确定污染负荷目标削减率后, 即可得系统调蓄池的体积。

3 工程实例

建设调蓄池可将上海市合流污水治理一期工程部分泵站的截流倍数由 1.5 提高到 3^[7]。本文将成都路调蓄池为例介绍调蓄池的设计方法。

3.1 总体设计

调蓄池为圆形钢筋混凝土地下构筑物, 内径 40 m, 布置于成都北路东侧、南苏州河路南侧规划绿地下, 北距南苏州河路红线 3.16 m, 西距成都北路红线 25.24 m, 南距地铁 1 号线 13.43 m, 东距用地边界 7.84 m。调蓄池总平面布置示意图由图 6 所示。

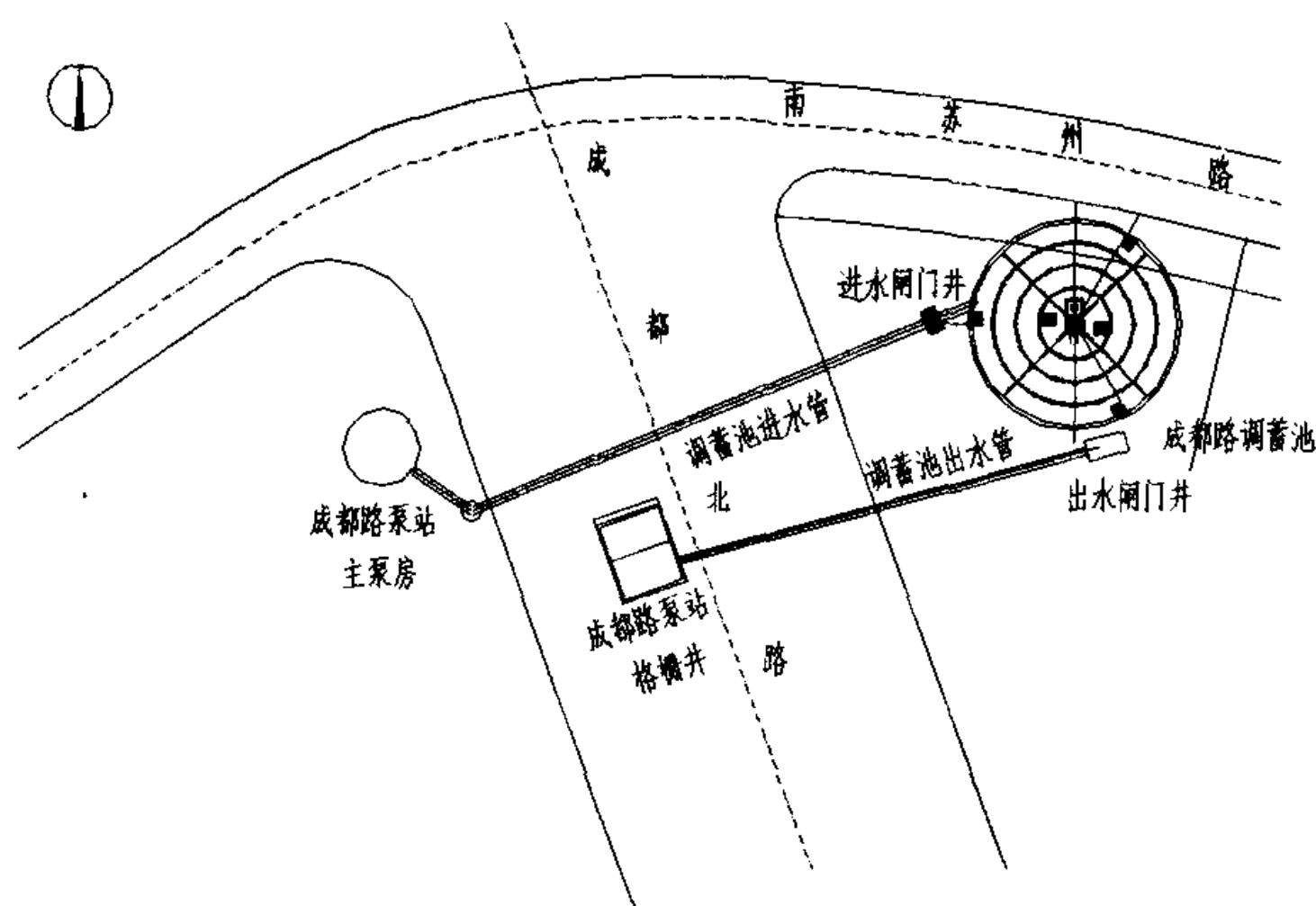


图 6 成都路调蓄池总平面布置示意图

现状地面标高 2.60 m, 调蓄池顶板标高 1.60 m, 顶板上部考虑 2 m 覆土及大树荷载。池体总容积 8 300 m^3 , 有效调蓄容积 7 400 m^3 , 池边水深 5.0 m, 池中水深 7.50 m, 池中设有 $\Phi 4$ m 的泵坑, 泵坑深 2 m, 调蓄池底板标高 -4.4~-6.9 m, 以 1:7.2 坡向泵坑。

进水闸门井内净尺寸 4 m \times 2 m, 内设 1 台 DN1600 双密封电动蝶阀。驱动装置采用 IP68 机电一体化驱动头。出水闸门井内净尺寸 3 m \times 1.5 m, 内设 1 台 DN1000 双密封电动蝶阀。驱动装置采用 IP68 机电一体化驱动头。出水井内净尺寸 3 m \times 2 m, 用于接纳 DN1000 出水管、DN800 溢流管和 2 根 DN300 水泵出水管。2 台 22 kW 潜水泵安装在泵坑内, 水泵出水管安装 2 台 DN300 橡胶止回阀用于断流。

池边布置 3 台 10 kW 潜水搅拌机, 呈 120° 角布置, 池中布置 2 台 5.5 kW 潜水搅拌机, 呈 180° 角布置, 顺时针方向搅动水流, 防止泥沙沉积后板结。

3.2 工艺参数

3.2.1 设计原则

充分利用地下空间, 提供土地的利用率, 将调蓄池设置于大型绿地下, 池顶覆土可满足大树种植要求; 调蓄池体积满足削减排江量 50% 以上的要求; 调蓄池作为合流制排水系统污染控制的核心构筑物, 其采用的设备应可靠性高、检修少。

3.2.2 系统截流倍数

成都路调蓄池的服务泵站为成都泵站, 属已达标排水系统, 规划服务面积为 306 hm^2 , 设计暴雨重现期 $P = 1$ a, 径流系数为 $\psi = 0.8$, 雨水配泵流量 22.55 m^3/s , 单台流量 2.05 m^3/s , 污水配泵流量 3.3 m^3/s , 单台流量 1.10 m^3/s 。现状晴天污水量为 5.85×10^4 m^3/d , 合 0.677 m^3/s 。按现状污水量, 计算配泵截流倍数 $n = (3.3 - 0.677) / 0.677 = 3.87$ 倍。

3.2.3 调蓄池体积的计算

由式(3)计算采用不同调蓄量 f 时, 调蓄池运行时系统的截流倍数 n_1 和调蓄池体积, 结果如图 4 所示。

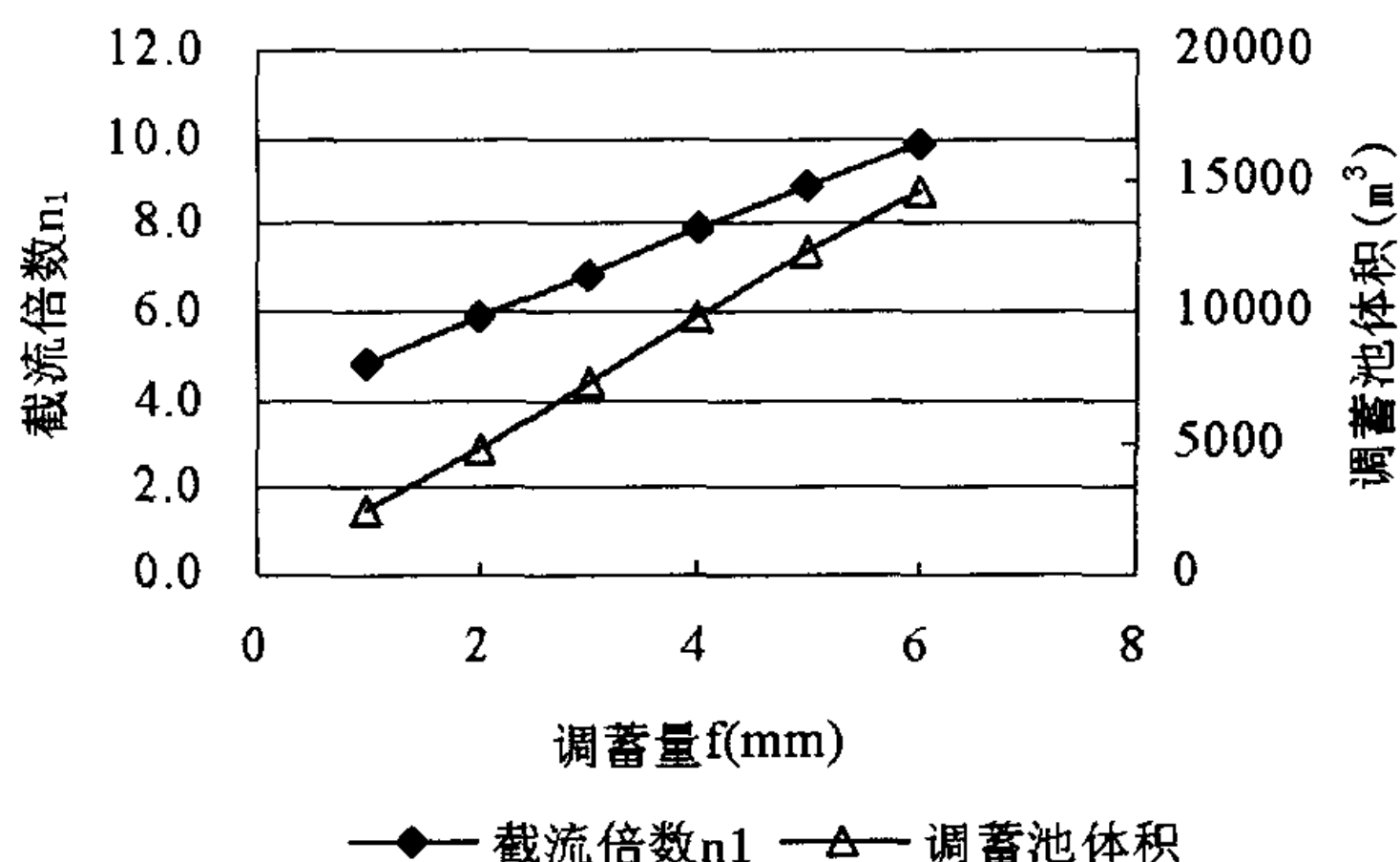


图 4 调蓄量、截流倍数和调蓄池体积的关系

设计原则要求调蓄池运行能削减 50% 以上的排江量。不同截流倍数的排江量见图 5。

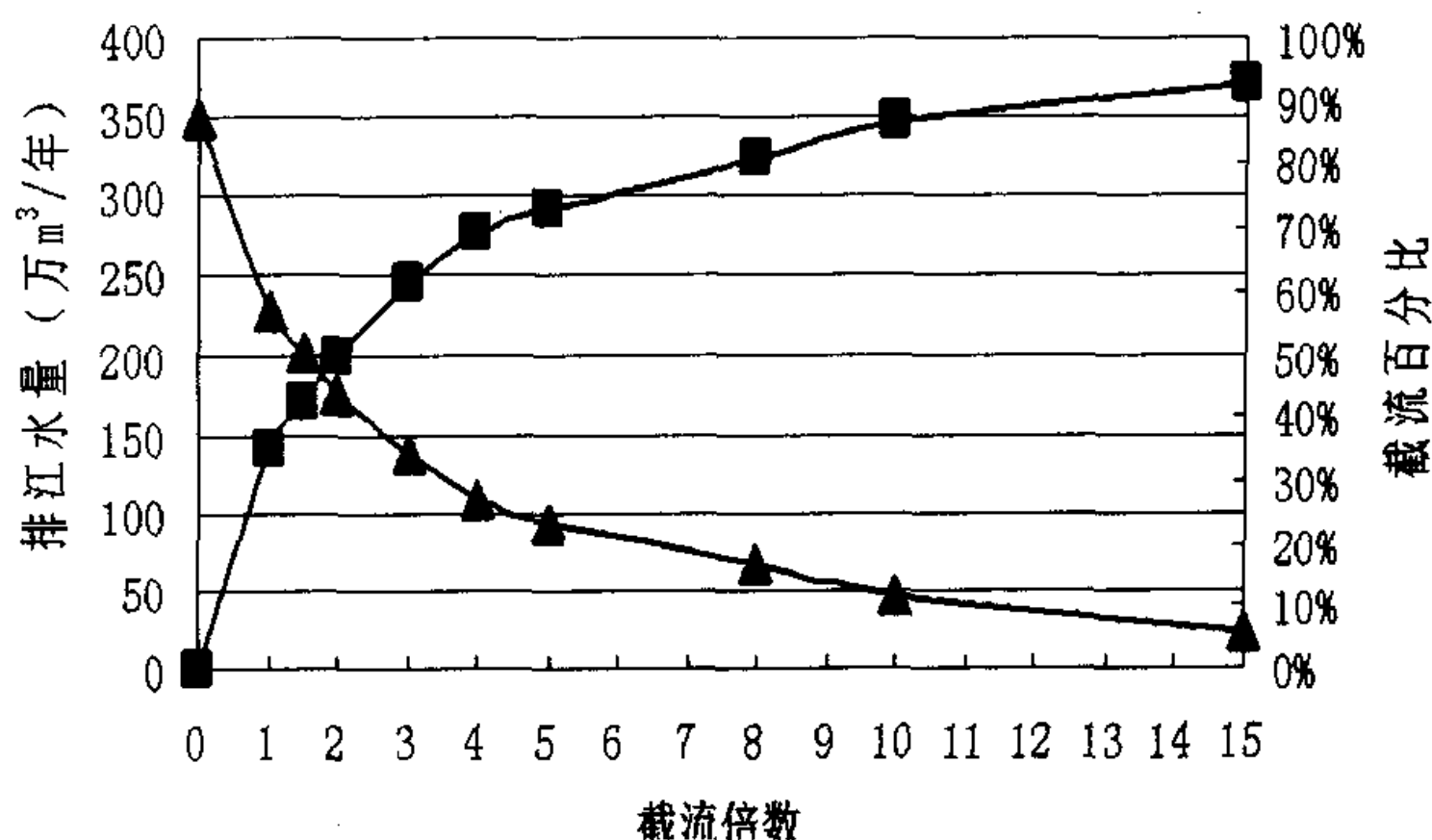


图 5 不同截流倍数的排江量

由图5可知,系统在原截流倍数3.87时,排江量约为125万 m^3/a ,因此调蓄池运行以后,至少需削减排江量63万 m^3/a 。相应的系统截流倍数约为9。此时系统调蓄量 f 为5 mm,所需调蓄池体积为12 240 m^3 。

由于用地面积的限制,选择调蓄量 $f=3$ mm,此时调蓄池体积为7 344 m^3 ,取7 400 m^3 。按单台雨水泵流量2.05 m^3/s 计算,相当于调蓄时间为1 h。

调蓄池运行可考虑缩短调蓄时间,运行两台雨水泵,以增加单位时间的调蓄量,此时系统调蓄量可由3 mm提高为6 mm,调蓄时间为30 min。即可达到设计原则所要求的削减50%的排江量。

3.3 调蓄池效益分析

泵站或管道的设计流量及设计截流倍数一旦确定,就可以通过数学分析方法从理论上算出1年中被截流的初期雨水量及发生溢流时排江的雨水量。1年中的降雨总量基本上是一定的,截流倍数越大,那么排入城市内河的雨水量就越少,排入内河的污染物也相应减少。本节以成都路调蓄池为例,进行调蓄池效益分析。成都路调蓄池服务的成都泵站,属于合流一期服务范围,因此在效益分析时,使用表3所示的截流倍数与截流量占降雨量比例之间的关系。

3.3.1 成都路泵站

如前所述,系统原排江量为 $125 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,由于用地面积的限制,只能增加7 400 m^3 调蓄池。按开1台雨水泵调蓄60 min计算,截流倍数为6.9,此时系统的排江量约为 $79 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,减排量为36.8%。

若按开两台雨水泵调蓄30 min计算,截流倍数为10,此时系统的排江量为 $45 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$,减排量为64%。

3.3.2 苏州河沿岸调蓄池效益分析

依照上述计算方法,苏州河沿岸调蓄池的效益分析如表3所示。

表3 苏州河沿岸调蓄池效益分析表

序号	系统名称	泵站名称	泵站服务面积(km^2)	调蓄池名称	调蓄池体积(m^3)	减排比例(%)	减排量($\times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$)
1	宜昌叶家宅	宜昌叶家宅	1.57 1.39	梦清园	25 000	80	72
2	康定昌平	昌平	0.93 2.52	昌平	15 000	56~74	118~155
3	成都	成都	3.06	成都	7 400	37~64	46~80
4	芙蓉江	芙蓉江	6.93	芙蓉江	12 500	94	470
5	万航江苏	江苏	1.64 2.60	江苏	15 300	51	100
合计			20.64				817~888

因此通过实施调蓄池工程,每年可减少排入苏州河的 COD_Cr 负荷1 178~1 280 t(按 COD_Cr 平均浓度144 mg/L计),削减率约为29%。

4 结语

调蓄池工程将有助于减少黄浦江和苏州河水系的水体污染,提高城市防汛能力。建造调蓄池以减少排江量是控制合流制排水系统雨天溢流的工程措施之一,具有提高工程造价效益比、节约工程投资的优势,溢流调蓄池同样适用于上海不少存在严重雨污水混接现象的分流制排水系统。

参考文献

- [1]日本下水道协会.合流式下水道改善对策指针和解说(2002版)[M].
- [2]Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanaelen Arbeitblatt A 128 April 1992.
- [3]测量、建造和管理雨水调蓄池的指导方针,1977手册[M].A117 ATV 1977.03.
- [4]李田.苏州河泵站排江水质及污染控制对策(非公开出版物).
- [5]上海市中心气象台1998年至2000年时降雨统计资料(非公开出版物).
- [6]上海市政设计院,上海城建设计院,上海隧道设计院.上海市合流污水治理一期工程初步设计(非公开出版物).
- [7]上海市政工程设计研究院.苏州河沿岸市政泵站雨天污染物削减工程预可行性研究报告[R].2002(非公开出版物).

国家大剧院建水下长廊与长安街、地铁连通

国家大剧院的水下廊道之一北廊近日开始施工。为有效防水,每块玻璃都“全副武装”。水下北廊将国家大剧院与长安街连通,并且与“天安门西”地铁站相连,届时在大剧院看完演出的观众,步行1分钟就能进入地铁站。

根据设计,水廊顶部由一块块4 m^2 左右的玻璃组成。这些玻璃厚度在7 cm左右,每块重达520公斤。玻璃定位安装将经历4道程序进行防水。