

湖泊底泥污染控制技术及其适用性探讨

胡小贞, 金相灿, 卢少勇, 储昭升

(中国环境科学研究院 国家环境保护湖泊污染控制重点实验室, 北京 100012)

[摘要] 对目前国内外应用较多的三类底泥污染控制技术,即环保疏浚技术、原位覆盖技术、原位钝化技术的技术特点、关键技术内容、可能产生的主要环境问题及其应用现状进行了详细分析。在各项技术的优缺点、费用效益比较的基础上,提出环保疏浚技术适用于大面积重污染湖区或河口底泥污染的控制,原位覆盖技术适用于中深水湖泊、海域或河流底泥污染的控制,原位钝化技术适合于风浪扰动不大、非饮用水源地功能湖泊底泥污染的控制。并对三项技术在我国湖泊底泥污染控制领域的应用前景进行了展望。

[关键词] 湖泊;底泥污染;控制技术;适用性

[中图分类号] X524 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2009)09-0023-06

1 前言

近30多年来,由于社会经济的发展和人类活动的影响,大量的外源污染物进入湖泊,并沉积于底泥中,使我国多数湖泊底质遭受严重污染。1990年的全国湖泊大调查结果,所调查的50%的湖泊TP(总磷)超过1000 mg/kg^[1];近年来的调查结果,许多湖泊尤其是城市湖泊底质污染惊人,如太湖、滇池、巢湖许多水域底泥中TP高达3000~4000 mg/kg^[2]。目前我国湖泊底泥污染的普遍性与严重性,使底泥污染释放成为许多湖泊重要的内源。因而,开展湖泊底泥污染控制成为我国很多湖泊富营养化控制与生态修复的重要内容。

湖泊底泥污染底泥控制技术主要有原位处理技术和异地处理技术两类。原位处理技术是将污染底泥留在原处,采取措施阻止底泥污染物进入水体,即切断内污染源的污染途径;异地处理技术是将污染底泥挖掘出来运输到其他地方后再进行处理,即将水体的内污染源转移走,以防止污染水体。其中,原位处理技术主要包括原位覆盖与原位钝化技术。异地处理技术主要有污染底泥疏浚技术^[3,4]。笔者阐述了上述几类湖泊底泥污染控制技术的技术特点、

关键技术工艺、国内外应用现状及实施效果,并对其在我国湖泊底泥污染控制中的适用性进行了探讨。

2 环保疏浚技术

2.1 技术特点

环保疏浚技术是国际上开展湖泊、水库底泥污染治理研究得最早的技术,也是最为有效、广泛应用、成熟的污染底泥控制技术之一。该技术的核心内容是利用专用疏挖设备有效清除湖泊水库的污染底泥,并通过管道将污染底泥输送至堆场进行安全处置。与单纯地疏通航道、增加水体容积的工程疏浚不同,环保疏浚以精确清除严重污染底泥层、创造湖泊生态修复条件为目标,所疏挖污染底泥厚度一般小于1 m,施工时污染层的超挖深度精确控制在<10 cm范围内,在施工过程中采取环保措施尽量避免颗粒物扩散及再悬浮,污染底泥输送至堆场后根据底泥污染特征进行不同的处置^[5]。

2.2 环保疏浚工艺

环保疏浚技术包括疏挖范围及规模的确定、疏浚作业区的划分及工程量计算、污染底泥存放堆场选址、疏挖设备选配、疏挖施工工艺流程确定、堆场围埝及泄水口设计等。疏浚时一般采用绞吸式挖泥

[收稿日期] 2007-11-09

[基金项目] 国家水体污染控制与治理科技重大专项课题(2009ZX07106-005)

[作者简介] 金相灿(1945-),男,浙江义乌市人,中国环境科学研究院研究员,研究方向为环境保护科研和工程实践;E-mail:jinx@Craes.org.cn

船,该船将挖掘、输送、排出等疏浚工序一次完成,它通过船上离心式泥泵的作用产生一定真空将挖掘的泥浆经吸泥管吸入、提升、再通过船上输泥管排到岸边堆场,是一种效率较高的疏浚工艺。污染底泥从水下疏挖后,输送到岸上,一般采用管道输送工艺,管道输送工作连续、生产效率高的特点,当含泥率低时可长距离输送,输泥距离超过挖泥船排距时,还可加设接力泵站^[6]。

2.3 可能产生的主要环境问题

作为一项异地处置技术,环保疏浚技术具有较彻底去除湖泊局部内源污染物,污染底泥异地处置效果好的优点,但也存在着几方面的环境问题:a. 污染底泥疏挖过程中,由于疏挖船绞吸头的绞吸扰动会引起细颗粒物的悬浮与扩散。根据我国滇池环保疏浚工程的监测,由于疏浚时在绞吸头上加了防尘罩,使绞吸扰动影响范围最多只涉及距绞吸头15 m半径的范围,绞吸扰动影响比较严重的范围主要集中在距绞吸头中心距离5 m半径范围之内。b. 泥浆输送过程中,输泥管的跑、冒、滴、漏及管道破裂事故等,可能对周围环境造成一定的影响。c. 疏挖清除了表层的污染底泥,因而至少会对疏挖区的底栖生物造成短期的影响^[5]。d. 应合理确定疏浚深度,保证有效去除污染底泥层,疏浚深度确定不好,疏挖过浅,会造成疏浚后污染物释放增加^[7]。

2.4 国内外应用事例

国外早在20世纪70年代就开始了环保疏浚技术的研究与工程实践。美国在伊利湖、安大略湖南部、马萨诸塞的New Bedford港、奥基乔比湖先后实施了以去除N、P营养盐、重金属、多环芳香烃等污染为主的环保疏浚工程^[8]。日本先后在手贺沼、諏访湖、印幡湖和霞浦湖进行了局部或大规模的湖泊底泥环保疏浚工程;荷兰在Ketelmeer Lake和Geerplas Lake、匈牙利在Balaton Lake、瑞典在Trummen Lake等湖泊也进行了较大规模的底泥疏浚。

我国在湖泊底泥污染控制技术研究方面起步较晚,比国外落后近30年。环保疏浚技术是我国最早研究的底泥污染控制技术,“八五”期间中国环境科学研究院在滇池开展了以去除N、P为主的污染底泥环保疏浚技术研究与 10^5 m^3 的工程示范,20世纪90年代中后期我国先后在云南滇池、长春南湖和安徽巢湖等实施了环保疏浚工程^[9-13]。“十五”期间,中国环境科学研究院依托太湖“八六三”项目开展了底泥精确薄层疏浚技术、细颗粒防扩散技术与堆

场二次污染防治技术的研究,并建立了污染底泥生态疏浚示范工程^[14],因此,环保疏浚技术在我国已属成熟技术,并已取得良好工程实践效果。如我国滇池草海一期疏浚工程实施后,疏浚区水体不再黑臭,水质明显好转,水体透明度由原来小于0.37 m提高到0.80 m^[11-15]。我国已经实施的部分湖泊环境疏浚工程事例见表1。

表1 我国已经实施的湖泊环保疏浚工程事例

Table 1 Environmental dredging projects implemented in China

工程名称	时间	污染物	工程规模	投资
草海底泥疏浚示范工程	1995	N, P	疏浚工程量 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$	-
滇池底泥疏浚一期工程	1998—1999	N, P; 重金属	疏浚工程量: $424 \times 10^4 \text{ m}^3$ 疏浚面积: 2.82 km^2	1.8 亿
滇池底泥疏浚二期工程	2006—2007	N, P; 重金属	疏浚量: $396 \times 10^4 \text{ m}^3$ 疏浚面积: $450 \times 10^4 \text{ m}^2$	2.475 亿
巢湖底泥疏浚一期工程	1999—2000	N, P	疏浚工程量 $480 \times 10^4 \text{ m}^3$	1.9 亿
巢湖底泥疏浚二期工程	2004—2005	N, P	疏浚工程量: $301.99 \times 10^4 \text{ m}^3$ 吹填低洼地: $90.41 \times 10^4 \text{ m}^2$	1.62 亿
西五里湖环保疏浚示范工程	2004—2005	N, P	$12 \times 10^4 \text{ m}^3$	300 万

3 原位覆盖技术

3.1 技术特点

原位覆盖技术又称封闭、掩蔽或帽封技术,其技术核心是利用一些具有较好的阻隔作用的材质覆盖于污染底泥上,将底泥中的污染物与上覆水分隔,大大减少底泥中污染物向水体的释放能力。覆盖技术具下述3方面功能:a. 通过增加污染物与水体间的接触距离,将污染底泥与上层水体物理性阻隔开;b. 覆盖物的覆盖作用可稳固污染底泥,防止其再悬浮或迁移;c. 通过覆盖层中有机颗粒的吸附作用,有效削减污染底泥中污染物进入上层水体^[16]。

3.2 覆盖材质及厚度

覆盖技术中覆盖材质的选择十分关键,一般来说,覆盖材质需安全、不产生二次污染,廉价易获得、经济上可行,施工操作便捷,对污染物的覆盖有效。与覆盖材质覆盖效果密切相关的特性包括:a. 覆盖

材质的粒径:粒径越小,污染物的穿透能力越低,阻隔能力越强;b. 覆盖材质中有机质含量、比表面积和孔隙率:这些特性与覆盖材质对污染物的吸附能力相关;c. 覆盖材质的比重或密度:该特性与覆盖材质抗水流扰动、稳固污染底泥的性能相关^[17]。

原位覆盖通常采用小粒径的材料,如清洁细沙、腐殖土、粘土矿物等,还可采用方解石、沸石,粉煤灰,土工织物或其他人工材质等。清洁砂子是最常用的污染底泥覆盖材质,在发生营养盐释放的底泥表面覆盖一层 30 ~ 50 cm 厚的清洁砂子,可较有效地抑制底泥中的营养盐(特别是 P)的释放。近年研究发现,钙质膨润土是较理想的底质封闭材料,若将钙质膨润土投至湖底可形成一致密的隔离层,既增强了底泥对 P 的吸附能力,又可阻止底泥中 N, P 的溶出,且对湖水的水化学无明显影响。粉煤灰最早用于富营养化湖泊的底质封闭,效果良好,能够减轻富营养化湖泊底泥污染物的释放^[11]。

原位覆盖的厚度与覆盖材质、污染物类型及环境因子相关,但一般都在 0.3 ~ 1.5 m 之间。以清洁泥沙为覆盖物时,若底泥中污染物以营养盐为主,覆盖层厚度常为 20 ~ 30 cm,污染物以 PAHs 或 PCBs 为主时,最小覆盖厚度一般需 50 cm 以上^[17]。近年来德国科学家采用 CaCO_3 为覆盖材质进行湖泊底泥污染物释放控制的研究,结果表明 CaCO_3 覆盖厚度小于 5 cm 时,即可有效阻隔底泥中 P 等营养盐的释放^[18]。

3.3 可能产生的主要环境问题

原位覆盖也会产生一些环境问题:a. 原位覆盖后污染物仍留在原处,阻隔效果的持久性与覆盖层的持久性密切相关。b. 在覆盖过程中,若施工不当,覆盖物在重力作用下与污染底泥混合,引起污染底泥间隙水中污染物被挤压、扩散至上覆水而引起污染。尤其是在浮泥含量高的水域,工程效果难以保证^[19]。c. 覆盖后底泥表层被新的覆盖物所替换,改变了原有的底栖生态环境。d. 覆盖后由于水流和风浪的扰动,或是底栖生物的扰动,削弱覆盖的阻隔效果。

3.4 国内外应用事例

相对于疏浚技术来讲,覆盖技术具工艺简单、成本较低、二次污染小的特点,且适用于处理多种污染如有毒有机污染(PAHs, PCBs)、磷酸盐、硝酸盐污染、农药污染、金属和放射性物质等污染的底泥,因而在国外广受青睐。早在 1978 年,美国实施了世界上首例原位覆盖工程,随后日本、挪威以及加拿大等

国相继实施了这一技术。1984 年在华盛顿西雅图 Duwamish 航道实施了沙子覆盖工程控制重金属及 PCBs 的污染。1988 年在华盛顿塔科马 St. Paul 航道实施了原位覆盖工程,采用取自 Puyallup 河粗糙的沙砾覆盖近海岸的底泥^[18]。英国、加拿大曾用麻织物、针刺法聚酯织物、乙烯基玻璃纤维覆面网织物等材质进行覆盖。上述覆盖工程效果表明,覆盖技术可保持较为长效的阻隔效果。在我国,覆盖技术尚处于实验室试验与探索阶段,大规模水体中的实践还较少。1999 年在巢湖市环城河河道底泥环保疏浚工程中,采用了河道内污染底泥疏浚后覆盖 0.5 m 厚清洁细沙的工艺,该工程可以算是我国首例覆盖工程事例。2005 年在昆明大清河整治中也采用了疏浚后覆盖卵石的工艺进行该河道底泥污染的治理。

4 原位钝化技术

4.1 技术特点

污染底泥原位钝化技术的核心是利用对污染物具有钝化作用的人工或自然物质,使底泥中污染物惰性化,使之相对稳定于底泥中,大大减少底泥中污染物向水体的释放,达到有效截断内源污染的作用。该技术具有下述几方面主要功能:a. 加入的钝化剂在沉降过程中能捕捉水体中的 P 与颗粒物,从而使水体中污染物得到较好的去除;b. 钝化层形成后可有效吸附并持留底泥中释放的 P,从而有效减少由底泥释放进入上覆水中的污染量。c. 钝化层的形成可有效压实浮泥层,减少底泥的悬浮^[20]。

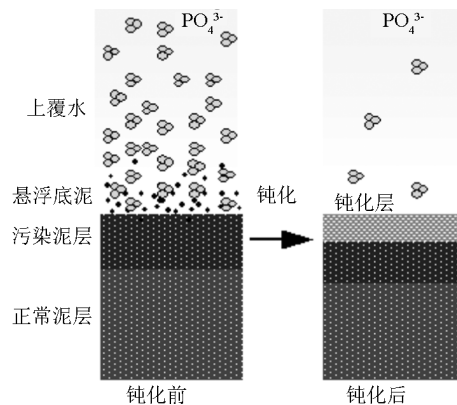


图 1 底泥磷原位钝化原理图

Fig. 1 Sketch map for in-site phosphorus inactivation

4.2 钝化剂种类及加药量

原位钝化技术中钝化剂的选择十分关键,应考虑钝化剂的安全性、不产生二次污染,能有效钝化污

染物,经济上可行且操作便捷。目前国际上常用的钝化剂有铝盐、铁盐和钙盐。铝盐是应用最广泛、应用最早的钝化剂,铝盐水解后形成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 的絮状体,一方面去除水体中的颗粒物和 P,另一方面通过在底泥表面形成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 的絮状体毯子,有效吸附从底泥中溶出的 P。用铝盐进行处理并在 $\text{pH} > 6$ 时,对生物无毒性,由于氢氧化铝絮状体对 P 的吸附不受氧化还原状态的影响,铝盐处理能达到较好的效果。铁盐和钙盐通过与 P 结合形成难溶沉淀来达到钝化 P 的目的,这两种盐对水体安全无毒,但其钝化效果受水体 pH 值和氧化还原状态的影响,在 pH 值或氧化还原状态改变时 P 易重新释放出来造成污染^[22]。

少量的铝盐即可有效去除水体中 P,但不能有效抑制底泥中 P 的释放。通常铝盐作为底泥钝化剂的投药量为 $10 \sim 30 \text{ mgAl/L}$,考虑到对水体中生物的不良影响,建议最大的铝盐用量为 26 mgAl/L ,一般根据湖泊碱度的不同,需要加入一定量的缓冲剂如铝酸钠、碳酸钠等。铁盐与钙盐的应用较铝盐少,1969 年 Peelen 向 Dordrecht Reservoir (The Netherlands) 投加的铁盐量为 $2 \text{ mgFe}^{3+}/\text{L}$,1984 年向 Eoxcote Reservoir (England) 投加硫酸铁溶液,其加药量为 $3.5 \text{ mgFe}^{3+}/\text{L}$,1991 年 Boers 按 $100 \text{ mgFe}^{3+}/\text{m}^2$ 的药剂量直接将铁盐注入底泥。用钙盐进行底泥污染的控制时会使水体 pH 值明显上升,一般以小剂量为宜,目前实际应用中钙盐投加量有 10 mgCa/L , 27 mgCa/L , 135 mgCa/L ^[21]。

4.3 可能产生的主要环境问题

底泥原位钝化后存在着如下环境问题:a. 钝化剂一般为纯化学药剂或改良后的化学药剂,其中的有效成份如 Al^{3+} 要求小于 $50 \mu\text{g/L}$ 时才能保证对生态系统无毒性。b. 钝化剂原位施加过程较难控制,易造成不同区域加药不均匀,影响原位处理的效率。c. 原位钝化后,由于风浪、底栖生物等的扰动易使钝化层失效而造成污染物的重新释放。

4.4 国内外应用事例

相对于其他几种污染底泥处置技术来讲,原位钝化技术被认为是“原位的”、“经济有效的”且“生态的”底泥污染治理技术之一^[4],适合于 P、重金属等污染底泥的治理。铝盐钝化 P 的技术已在国外很多湖泊中应用并取得成功,如 1978 年和 1988 年 Lake Mirror,1975 年 West Twin Lake,1986 年 Morey

Lake 等湖泊,用铝盐处理后钝化底泥中 P 的时效长达 5 至 12 年之久^[21]。近年来利用铁盐或钙盐与其他措施相结合进行底泥中 P 钝化的研究取得了一定进展,并在某些湖泊中应用成功。如 1992—1993 年在德国 Lake Bross - Glienicker 用铁盐加通气的方法进行底泥 P 钝化处理,处理后水体中 P 比处理前削减了 93%,成功实现了水质恢复^[22];1996 年在日本霞浦湖进行硝酸钙原位试验,处理后围隔内底泥间隙水中 P 削减了 79%^[23];2002 年在德国 Lake Dagow 和 Lake Globow 用硝酸盐加铁复合物进行底泥 P 处理的试验,试验结果 P 的释放量由处理前的 $4 \sim 6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 降为处理后的接近 0^[25]。

原位钝化技术的研究在我国还非常少,仅有少量试验的报道。长春南湖曾于 1996 年在湖区用聚乙烯薄膜围成直径 $2.8 \sim 3.2 \text{ m}$ 圆柱形围栏,在围栏内进行硫酸铝钝化的试验,试验结果可溶性磷酸盐去除率为 $54.0\% \sim 80.6\%$ ^[11];中国环境科学研究院于“十五”期间在北京官厅水库底泥污染控制技术筛选中,对底泥磷钝化技术的适用性进行了一定的探索^[25,26];我国有学者曾用天然沸石、石灰、铁盐和铝盐对星湖内源性 P 负荷控制进行了试验^[27];中科院水生所曾于“十五”期间在武汉月湖开展了污染底泥原位固化的研究,并在固化剂制备上作了一定的探索。

5 三项技术的适用性探讨

上述三项底泥污染控制技术有其不同的优缺点及适用条件,详见表 2。环保疏浚技术具工艺较复杂、费用较高、疏挖过程对底泥的扰动较大、污泥输送过程可能存在着一定的环境风险、底泥异地处置需要占用一定面积的堆场、后续监测费用较高等缺点,适用于经济实力较强地区局部重污染湖区或河口底泥污染的控制,对经济实力不强、无处置场地、或小区域污染底泥的情况,不适用该技术^[6,7]。原位覆盖技术一般需要覆盖至少 30 cm 厚的覆盖物,覆盖后会减少水体的有效容量,一般适用于中深水湖泊、海域或河流中底泥污染的控制,在浅水水体尤其是浅水湖泊中不太适宜使用。原位钝化技术受风浪及水流扰动影响较大,加入化学药剂具有一定的生态风险,一般适用于风浪扰动不大的、非饮用水源地功能湖泊中底泥污染的控制。

表2 三项技术的优缺点与适用性比较

Table 2 Advantages, disadvantages and applicability of three sediment pollution control techniques

技术	优点	缺点	费用效益	适宜实施条件
覆盖	不移动底泥,扰动小;覆盖后保持较稳定的化学和水力条件;某些覆盖材质对污染物兼有吸附功能;适合于营养盐、重金属、POP _s 等多种污染的底泥	污染物留在原处,不能彻底解决污染问题;覆盖后减少库容;不能大面积实施;不利于生物多样性;易受强水流或风浪等侵蚀	根据我国在巢湖环湖的工程经验,包括砂子、运输、覆盖施工费用等,按覆盖砂子厚度50cm计,其工程造价为98.5元/m ²	须在控源后实施;适于覆盖材质易获得、而疏浚费用特别高或堆场不宜找到的中深水湖泊局部区域或疏浚后河流;要求湖泊水力条件或风浪不冲蚀覆盖层、且底部地形能支持覆盖层
钝化	不移动底泥,扰动较小;有效减少底泥的悬浮;适合于磷或重金属污染的底泥	化学药剂加入,需考虑生态风险;原位加药不均匀,处理效率不一致;环境因子如水流、水温影响处理效果;该技术研究尚不成熟,尤其是对N、P以外的污染物;水流或风浪的扰动影响钝化效果	国外工程经验,其费用仅为疏浚的1/5-2/3,对污染物的钝化效率高,可达50-90%	须在控源后实施;适用于非水源地湖泊或水库局部重污染区;要求现场水力条件或风浪不冲蚀钝化层
疏浚	增加库容;彻底清除内源污染并进行异地处置,效果好;适合除挥发性污染物以外的多种污染物的去除;技术较成熟	底泥异地堆放与处置,需长期监测;较难清除细颗粒带来的二次污染;随污染底泥带走底栖生物;疏浚过程中排放臭气,对周围环境有不利影响	根据我国已实施的工程经验,包括污染底泥疏挖、堆放、处置的综合工程造价约为30-50元/m ³ 不等	须在控源后实施;适用于具较好的底泥堆放条件,堆放场征地费不太昂贵的湖泊重污染海湾或河口

6 结语

随着我国对湖泊治理力度的加大,外源污染得到逐渐控制或局部控制,内源污染的治理日显重要,并已成为目前我国湖泊富营养化治理与生态修复的重要内容。环保疏浚技术经过近十年的研究与工程实践,在我国已被证明是高效的、成熟的技术,并仍将是我国湖泊污染底泥控制中的主流技术。但应针对该技术的关键问题,如合理确定疏挖层的深度、减少疏挖过程与疏挖后细颗粒悬浮与扩散、疏浚后底泥的资源化利用及降低疏浚后生态风险等方面加强研究,进一步提高环保疏浚的质量与疏浚后的效果。同时,针对目前我国许多湖泊或河流底泥受有毒有机物污染的特点,在环保疏浚基础上开发有毒有害污染底泥疏浚技术。覆盖与钝化技术目前在我国虽有少量的试验探索或工程实践,但尚缺乏系统的技术基础研究,由于覆盖与钝化技术可在重污染区原位、局部灵活应用,将是我国“十一五”期间重点研究与开发的底泥污染控制技术。环保疏浚与覆盖技术相结合,进行疏浚后覆盖,一方面可减少疏浚工程量,另一方面巩固疏浚后的效果,是我国底泥污染治理的新方向,但应开展生态覆盖材质及其有效覆盖厚度、原位覆盖工艺等的研究。钝化技术是湖泊局部重污染区底泥磷与重金属治理的经济高效的技术,同时具改善底质理化性状功能,目前该技术的开

发在我国越来越受到重视,但应突破国外现使用的常规铝盐、铁盐和钙盐的缺点及其局限性,根据我国湖泊流域资源特点,研制新型、高效、安全的钝化剂,开发原位高效钝化剂施加工艺,使该技术真正成为“低费用,高效率”的底泥污染控制技术。

参考文献

- [1] 金相灿, 刘鸿亮, 等. 中国湖泊富营养化[M]. 北京: 化工出版社, 1995
- [2] 袁旭音, 许乃政, 陶于祥, 等. 太湖沉积物的空间分布和富营养化特征[J]. 资源调查与环境, 2003, 24(1): 20-28
- [3] Murphy T P, Lawson A. Review of emerging issues in sediment treatment [J]. Aquatic Ecosystem Health and management, 1999, 2: 419-434
- [4] Jon Renholds. In-site treatment of contaminated sediments [R]. USEPA, 1998. 27
- [5] USEPA. Contaminated sediment remediation guidance for hazardous waste sites [R]. USEPA, 2005
- [6] 李进军. 污染底泥环保疏浚技术[J]. 中国港湾建设, 2005, 6(140): 46-65
- [7] 莫孝琴. 湖泊内源污染治理中的环保疏浚浅析[J]. 人民长江, 2003, 34(12): 47-49
- [8] Sebetich M J, Ferriero N. Lake restoration by sediment dredging [J]. Verh Internat Verein Limnol, 1997, 26(2): 776-781
- [9] 中国环境科学研究院. 滇池草海污染底泥疏挖及处置一期工程可行性研究 [R]. 中国环境科学研究院, 1997
- [10] 天津航道勘察设计研究院. 滇池污染底泥疏挖及处置二期工程初步设计 [R]. 中国环境科学研究院, 2005

- [11] 徐锐贤,王 才,毕范本,等. 长春南湖富营养化与生态治理 [M]. 吉林:吉林科学技术出版社, 1997
- [12] 刘丽萍,陈 静. 底泥疏挖工程对草海生态环境的影响预测 [J]. 云南环境科学,1999,18(1):11-12
- [13] 王小雨,冯 江. 长春南湖底泥疏浚前后水因子分析及动态变化 [J]. 中国环境监测, 2004,20(2):10-13
- [14] 中国环境科学研究院. 太湖重污染区底疏浚与生态重建技术研究报告 [R]. 中国环境科学研究院, 2005
- [15] 中国环境科学研究院. 滇池草海污染底泥疏挖与处置工程环境效益评估报告 [R]. 中国环境科学研究院,2000
- [16] Michael R,Palermo Ph D, Timothy A,etal. In-situ capping as a remedy component for the Lower Fox river [R]. White Paper NO. 6B,2002
- [17] Palermo M R. Design considerations for in-situ capping of contaminated sediments [J]. Wat Sci Tech,1998,37(6~7):315-321.
- [18] Ute Berg, Thomas Neumann. Sediment capping in eutrophic lakes - efficiency of undistributed calcite barriers to immobilize phosphorus [J]. Applied geochemistry 2004, 19:1759-1771.
- [19] Azcue J M, Zeman A J, Alena M. Assessment of sediment and porewater after one year of sub aqueous capping of contaminated sediments in Hamilton Harbour. Canada [J]. Water Sci Tech, 1998,37(6~7):323-329.
- [20] Yi Xing, Lili Liang, Xiaozhen Hu, et al. Review for Phosphate inactivation and remediation technology with different reagents in-situ treatment on contaminated sediment of lake [R]. 北京:北京国际环境技术学术研讨会,2006
- [21] G.Dennis Cooke Restoration and Management of Lakes and Reservoirs(second edition) [M]. CRC Press,1993
- [22] Klaus - dieter Wolter, Wilhelm Ripl. Successful restoration of Lake Gross - Glienicke(Berlin, Brandenburg) with combined iron treatment and hypolimnetic aeration [R]. Technische universitat berlin department of limnology,1998.
- [23] Mikuniya corporation. Pilot - scale treatment of Nakanoumi Lake, Report to Ministry of Construction [R]. Japanese,1998
- [24] Koschel R,Casper P, et al. Sediment treatment with a nitrate - storing compound to reduce phosphorus release [J]. Water research. 2005,39: 494-500
- [25] 金相灿,孟庆义,等. 官厅水库污染底泥处置技术方案比较研究 [R]. 中国环境科学研究院, 2001
- [26] 周小飞. 官厅水库污染分析、评价与控制研究 [D]. 儋州:海南热带农业大学,2002
- [27] 成晓玲,陈华章,余 倩,等. 控制星湖内源性营养物质磷负荷的有效性研究 [J]. 城市环境与城市生态, 1999,12(4):7-8

Techniques for sediment pollution control and discussion on the applicability in lakes of China

Hu Xiaozhen, Jin Xiangcan, Lu Shaoyong, Chu Zhaosheng

(State Environmental Protection Key Laboratory for Lake Pollution Control,

Research Center of Lake Environment, Chinese Research Academy

of Environment Sciences, Beijing 100012, China)

[Abstract] This article intends to give a systematic review of three sediment pollution control techniques, that is environmental dredging technology, in-situ capping technology, and in-situ inactivation technology, which have been applied successfully in many cases home and abroad. Through a detailed summary, the three techniques have been clearly displayed about the characteristics, main technical processes, primary environment problems during construction and application status, etc. On comparison of advantages and disadvantages of the three techniques, environmental dredging technology is recommended to apply to economy relatively advanced area with heavily sediment polluted lake bay or river mouth. In-situ capping technology is applicable for moderate-deep lakes and rivers, while in-situ inactivation technology is applicable for non-drinking function lakes with weak wave disturbance. The application foreground of the three techniques in sediment pollution control in Chinese lakes is also prospected.

[Key words] lake; sediment; pollution control technique; applicability