DOI:10.3969/j.issn.1001-5485.2013.10.002 2013,30(10):6-10

水下沿程淤积高程控制工程的措施探究

蔡 莹,段文刚,杨 伟,蒋文秀
(长江科学院 水力学研究所,武汉 430010)

摘要:根据工程细颗粒淤积泥沙的特点,结合沿程均匀管道泄流理论,提出了运用沿程清淤廊道解决工程泥沙淤积问题的设想。简述了沿程清淤廊道结构、运用方式和措施优点,并对措施可能出现的问题简要地提出了解决办法;简要介绍了已有类似措施在工程中的应用。经深入研究证明沿程清淤廊道具有较好的适用性,该措施可在航道、水库、电站、船闸等水利工程的防淤、清淤中发挥重要的作用。

关 键 词:沿程清淤廊道;清淤孔;泥沙淤积;水头;泵站
中图分类号:TV851 **文献标志码**:A **文章编号**:1001-5485(2013)10-0006-05

修建水利工程目的是兴利除害,但在工程运用期间往往会出现一些问题,其中泥沙淤积就是一个常见的难题。河道泥沙淤积缩小过流断面影响正常行洪;水库泥沙淤积减小有效库容影响工程寿命;航道泥沙淤积减小水深影响航运;电站进流过机泥沙加速水轮机磨损;泵站泥沙淤积会造成取水困难;河床沉积物不断增加污染水质等等。不同的工程泥沙淤积规律及防治方式各有特点,经不断探索研究和实践,人们在防治泥沙淤积方面已积累了丰富的知识和经验,随着社会的发展进步,改善工程防淤、清淤技术,提高清淤效率将能更好地满足工程需要。根据细颗粒泥沙淤积特点,结合现有理论知识和相似的工程经验,可以设计出水下控制淤积高程的沿程清淤廊道,为工程防淤、清淤提供一种新途径。

1 现有控制淤积措施及其不足

现有水利工程解决泥沙淤积的主要方式是设置冲沙闸(孔)利用水力清淤,根据泥沙发生的特点利用"蓄清排浑"的运行方式达到防淤、清淤效果,这种工程防淤、清淤措施在运行过程中存在明显不足。主要表现在:

(1) 现在大多数的河流都实行综合梯级开发规划,各项工程的运行都是相互依存、相互影响,工程水力清淤基本上是在河道内将上游泥沙转移至下游,在解决本工程泥沙问题时不可避免给下游工程重复造成了泥沙问题。

(2) 工程水力清淤措施是利用水流底部流速冲刷床面淤积泥沙,一次清淤耗水量大。冲淤时要求床面流速必须大于泥沙起动流速,清淤水流大部分水体动能都集中在上层而不能有效地发挥作用,只有底部小部分水体的能量得到利用,因此耗水量大。葛洲坝大江泄洪冲沙闸一般冲沙流量10 000~15 000 m^3/s,冲沙历时21~72 h;三江冲沙闸冲沙流量为4 500~6 000 m^3/s,冲沙历时8~12 h。三峡工程引航道冲沙闸冲沙流量为2 500 m^3/s[1],将来考虑兴建的2条冲沙隧洞中左冲沙隧洞最大过流量为1 500 m^3/s,右冲沙隧洞最大过流量为1 000 m^3/s,最大冲沙流量为5 000 m^3/s[2-3]。根据葛洲坝三江冲沙闸实际运行情况,冲沙水流平均含沙率约1%(体积比)。

(3) 在深水情况下冲淤,水流动能主要集中在建筑物进水口前局部范围内,一个进水口前只能形成一个小范围的清淤漏斗,水力清淤范围和清淤量都有限;在航道、港口等受地势限制的河道中,工程冲沙措施难以发挥清淤作用。

为维持通航水深,航道、码头等一般都采用船舶疏浚。但船舶清淤能力有限、成本高,在操作期间对航运有一定的影响。

2 水下沿程清淤措施

在水面宽阔、水流缓慢的河道、港口及水库内,淤积的泥沙颗粒细小,水下稳定淤积坡度也比较缓[4],水力输送淤积泥的起动流速低。利用淤积泥沙的这些特点,结合沿程均匀管道泄流理论,在需要经常清淤的关键部位布置水下沿程开孔的清淤廊道,利用工程水头或泵站提供水力应可获得较好的

收稿日期:2012-08-15;修回日期:2012-10-28
作者简介:蔡 莹(1965-),男,湖北浠水人,高级工程师,主要从事工程水力学研究,(电话)027-82828073(电子信箱)caiy0121@163.com。

防淤、清淤效果。

2.1　理论依据

根据沿程均匀管道泄流理论[5]，集中水力可以以一定的方式沿管道长度方向进行分配，这为水下沿程防淤、清淤提供了理论依据。

由沿程均匀管道泄流损失水头 h_f 公式，可确定沿程开孔清淤廊道所需要的清淤总水头 $H(H=h_f)$、长度 l 和总流量 $Q(Q=Q'+ql)$ 之间的关系：

$$h_f = \frac{l}{K^2}(Q' + 0.55ql)^2 \quad 。 \qquad (1)$$

式中：K 为流量模数；Q' 为管道末端出流量；q 为沿程单位长度出流量。

式(1)是由管道沿程泄流推导得出，从推导方法可知，式(1)也适用于沿程均匀进流管道。

2.2　简单应用计算

在大型水库及航道、深水码头等泥沙表面流速达到2.0～3.0 m/s 时，应可获得较好的冲刷效果，运用水下沿程清淤廊道清淤水力可参照此流速范围。现以扩张廊道最大断面为6 m(宽)×2 m(高)的沿程吸淤廊道为例，设清淤水头 $H=h_f$，末端出流量 $Q'=Q/3$(廊道粗糙系数 n 取0.014)，可简单得出清淤水头、流量、廊道长度之间的组合关系，见表1。

表1　各种长度沿程清淤廊道水力计算表

Table 1　Result of simple hydraulic calculation for desilting corridors of different lengths

清淤流速 v/(m·s^{-1})	流量 Q/(m^3·s^{-1})	廊道长度 l(m)对应需要的水头 H/m				
		2 000	4 000	6 000	8 000	10 000
2.0	24.0	1.13	2.26	3.38	4.51	5.64
2.3	27.6	1.49	2.98	4.47	5.96	7.46
2.6	31.2	1.91	3.81	5.72	7.62	9.53
2.8	33.6	2.21	4.42	6.63	8.84	11.05
3.0	36.0	2.54	5.07	7.61	10.15	12.68

由简单计算成果可知：运用10 m 左右的清淤水头、36 m^3/s 左右的流量，可满足一条6 m(宽)×2 m(高)、长约10 000 m 的廊道内清淤。由于单位长度流量 q 小，仅靠水力难以在清淤孔外获得理想清淤宽度，廊道外清淤宽度应结合水体对泥沙扰动、水下稳定淤积边坡等因素考虑。受水流影响，一般小粒径泥沙稳定淤积坡度都很小，一条廊道应可获得较宽的清淤范围，大面积清淤可布置多条廊道扩大清淤范围和清淤量。

廊道尺度、清淤孔的设置以及相应水力条件应与工程规模、功能及要求等相适应。清淤水力可利用枢纽水头、水库变动水位差或泵站等提供动力。

2.3　沿程清淤廊道布置及构造

根据控制淤积的部位不同，沿程清淤廊道可布置在水库变动回水的淤积三角洲、电站进口前、航道(包括引航道和船闸)、码头前沿、泵站取水口等关键淤积部位。典型工程布置方式见图1。

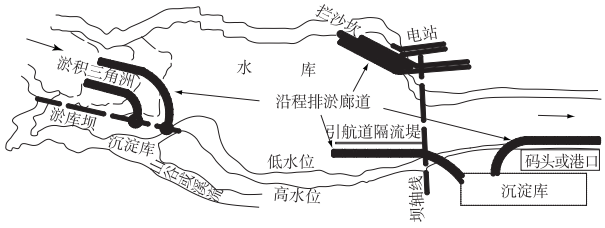


图1　沿程清淤廊道典型布置示意图

Fig. 1　Typical arrangements of desilting corridor

水下沿程清淤廊道是一种在侧壁或顶板沿程开孔的廊道，根据作用水头的方向不同，廊道可设置为吸式结构和冲式结构。沿程清淤廊道主要构造由清淤主廊道、清淤孔和连接廊道、控制闸门(或动力泵站)组成，见图2至图4。

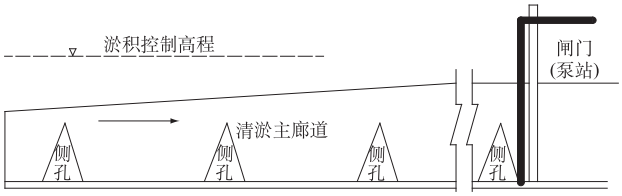


图2　吸式沿程清淤廊道

Fig. 2　Suction-type desilting corridor

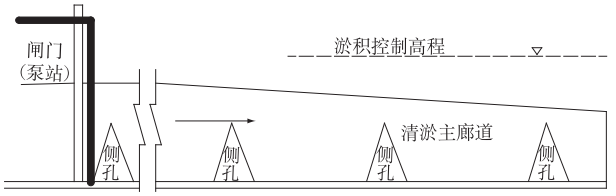


图3　冲式沿程清淤廊道

Fig. 3　Impulse-type desilting corridor

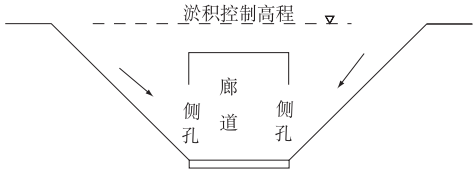


图4　清淤廊道剖面图

Fig. 4　Section of desilting corridor

(1) 清淤主廊道：主廊道为工作段，是输送清淤水力及吸入泥沙的通道。主廊道布置在水下关键清淤部位，廊道顶面低于河床淤积控制高程，沿程设置清淤孔，廊道断面可沿水流方向沿程变化，吸式廊道过流断面沿程递增，冲式布置则沿程递减。

(2) 清淤孔：清淤孔是定点清除主廊道外泥沙的分支通道，沿程布置在清淤主廊道的侧墙上，清淤孔的间距和大小按廊道内沿程水力分布状况变化。近端清淤孔的截面小、间隔距离较长，远端截面逐渐变大、间距较短。

（3）连接廊道、控制闸门或动力水泵：连接廊道是挟沙水流集中外泄通道或冲淤清水进流通道，利用挡水建筑物抬高水位提供清淤水头，需在连接廊道设置控制闸门，利用机械能提供清淤水头应设置动力水泵。

廊道长度、断面尺寸和形式、清淤孔孔距与孔形等参数应结合工程规模并根据计算和试验效果综合考虑，廊道断面形状有方形、城门洞形和圆形等，孔形有矩形、圆形及三角形等。

2.4 清淤廊道运用方式

在利用枢纽水头提供水力的情况下运用沿程清淤廊道控制淤积高程时，控制上游淤积高程应采用吸式结构，控制下游淤积则采用冲式结构。在措施运用过程中，泥沙在自重下沉（或下滑）和水流扰动的作用下从沿程清淤孔积聚在清淤廊道内，在廊道外形成自然坡积漏斗，当廊道内泥沙淤积到一定程度后，开启闸门冲刷廊道内泥沙，在底部水力作用下扩大廊道外沿程淤积漏斗范围，通过连接廊道将泥沙排出清淤部位以外。利用泥沙向廊道内不断填充，连续或间歇开启闸门清淤，可以控制淤积部位的高程。

利用淤积库等方式可将泥沙排出河道，可避免泥沙对下游工程影响，集中大量清淤便于实现泥沙资源利用。

3 沿程清淤工程实例

3.1 供水工程中的应用

自来水厂沉淀池运行一段时间后需要排除池底泥沙，常用穿孔管作为排泥设施[6]。沉淀池排泥使用的穿孔管为普通钢管或塑料管，在管道两侧沿程设置排泥孔，将穿孔管间隔适当距离布置在沉淀池底部，根据沉淀池泥沙淤积情况间断开启闸阀，利用沉淀池内外水位差排泥。

3.2 水电站中的应用

大朝山水电站为避免泥沙进入水轮机，在靠近厂房设一排沙廊道，底坎高程为 840 m，出口孔的尺寸为 3 m×6 m。进水部分由伸入库内（电站进水口前）的廊道式进水孔构成，廊道侧面顺水流方向开有 13 个1.44 m×2 m 的进水孔。排沙廊道布置进行了正向、双向、反向 3 种模型试验[7]。

3.3 三峡永久船闸进水口布置

三峡双线连续 5 级船闸是三峡水利枢纽工程中最重要的建筑物之一，船闸进水口为正向取水，布置在第一闸首上游 155 m 范围内，顺水流方向依次布置 4 条沿程分散进水廊道，在进水廊道的上、下游侧等距离布置分散进水孔[8-9]。

三峡船闸进水口的作用是向闸室供水，在汛期往复流和异重流作用下易造成进水口泥沙淤积。为了使进水箱涵各孔口在含沙水流环境下水流能顺利带走底部泥沙，进水口应满足在进水箱涵内泥沙达到冲淤平衡时能够长期保持均匀进流并且不影响输水时间。因此，三峡船闸进水口具有水下沿程防淤的功能。

4 沿程清淤廊道优点

根据结构及功能特点，利用水下沿程清淤廊道解决工程泥沙淤积问题，具有如下主要优点：

（1）工程措施结构简单，可避免大流量冲淤的水力学问题。现有工程措施采用大流量冲淤，设计应考虑消能防冲措施，运用时还应避免对航运、发电、取水等多方面的影响；水下清淤廊道在淤积期内依靠“细水长流”方式排淤，措施运用期间基本不会影响其他工程运行。

（2）可综合利用多种有利因素，节省清淤水量。水下沿程清淤廊道可利用泥沙自重下沉、水流及船舶等对泥沙的扰动、水库季节变化水位等多种因素，降低清淤水量、提高排淤效率。

（3）上岸泥沙可集中资源化利用。淤积泥沙土质肥沃可提高农作物产量和品质，在城市范围内可以利用泥沙造地而扩充土地面积，上岸的泥沙还可用作建筑材料等。

5 措施运用中需解决的主要问题

简单计算和其他工程应用可为运用沿程清淤廊道解决工程泥沙问题提供参考。应用一种新的措施解决复杂工程问题涉及面广，需要研究和解决的技术问题多。清淤廊道深置于水底地面，不确定因素难以充分预见，要正常发挥清淤功能，防止廊道和孔口的淤塞应该是需解决的基本问题。解决这一问题应考虑采取多种措施，简单设想如下：

（1）工程设计时要考虑充足的水力条件并沿程均匀分配，确保廊道内有足够且均衡的冲淤流速。需要充分掌握清淤部位有关情况，综合研究清淤廊道的适用条件，合理设计廊道断面尺寸、长度、清淤孔的布置方式与清淤水头之间的关系。

（2）合理选择廊道断面和清淤孔孔型也有助于预防廊道淤塞。顶圆下方廊道在侧壁适当高度开清

淤孔,清淤孔被泥沙掩埋后在廊道内顶部仍留有一定的空间,可为廊道内部淤积提供疏通水力。

(3) 设置配套监测手段,及时监测清淤廊道内的泥沙沉积情况,适时调度清淤防止廊道和孔口淤塞。

(4) 配备应急处理廊道淤塞设施,利用现有技术可开发配套设备。

基本原理可为解决问题提供初步的思路,具体应用应开展必要的试验研究,用科学的手段发现并解决问题。试验方法包括模型试验研究和建设试验工程。

6　运用清淤廊道的设想

航道、水库、水电站、船闸、码头等水利工程在运用过程中都存在着淤积问题,需要经常进行清淤工作,在关键淤积部位布置水下沿程清淤廊道可为工程防淤、清淤发挥作用。措施应用应结合具体工程实际情况从合理性、可行性、经济性等多方面综合考虑。

长江三峡通航建筑物是三峡坝区水上交通咽喉要道,维护坝区上、下游引航道的畅通是一项极为重要的工作。自 2003 年永久船闸投入运行以来,下游引航道已进行过多次清淤工作。根据研究,上游引航道运行 30 年后,也将逐渐进入繁重的清淤维护期[10]。为解决上游引航道淤积问题,曾研究过多种解决措施,也有建议将来增建冲沙廊道[3],以增强引航道内冲刷流速提高清淤效果。修建冲沙廊道投资大,还会带来其他问题。如能在上游引航道床面布置沿程吸淤廊道,下游引航道内布置冲淤廊道,在泥沙自重、船舶航行和航道水流共同作用下,利用库水位提供水头将泥沙排出航道,可以长期保证引航道水深,在清淤期间不会影响船舶航行。

有些河道因泥沙淤积已形成地上“悬河”[11],这些河段具有布置沿程清淤廊道防淤、清淤的有利条件,在关键部位利用沿程清淤廊道将泥沙排出河道可控制一段河床淤积高程。在河口、沿海等其他受到自然水头限制而需要经常清淤的河道、航道或码头[12]布置沿程清淤廊道,利用水泵提供动力也可获得好的效果。

我国一些水库因泥沙淤积已丧失部分或主要功能,延长水库使用寿命也需要寻找有效的解决办法。在三峡工程上游金沙江和一些主要支流进入水电开发高峰期,这些水库群具有为三峡工程承担拦沙的任务[13],尽管一些水库库容巨大拦沙效果显著,牺牲库容填沙终究不是好的办法,水库群建成后“蓄清排浑”的防淤措施将会受到多种因素限制,淤积在水库里的泥沙将来还需要清淤。在水库内主要淤积区(淤积三角洲)利用部分库容修建积淤库(如大型库汊),设置沿程清淤廊道,利用水库水位季节性变化或泵站提供水头将水库淤积泥沙排向积淤库,然后在积淤库内干地清淤,可以清除大量泥沙延长水库寿命。在坝前布置清淤廊道,利用枢纽水头控制坝前泥沙淤积可减轻泥沙对工程的威胁。

水电站等取水建筑物为减少泥沙对电站的影响,一般都在工程进口前设置拦沙坎阻挡泥沙进入机组,拦沙坎可以拦截大部分推移质,却难以避免部分泥沙翻越拦沙坎进入电站进水口。如果在低于拦沙坎的内、外侧设置沿程清淤廊道,在工程水头作用下,控制坎外泥沙淤积高度减少泥沙翻越拦沙坎,而翻越拦沙坎后沉积的泥沙可通过坎内清淤廊道的排除减轻泥沙对水轮机的影响。

船闸的重要性在于必须确保航运通畅,闸室及附近航道因流速小容易产生泥沙淤积,由于受工程结构的限制,在这些地方机械清淤难以充分施展[14]。三峡永久船闸虽然在闸室内设置了冲淤管[15],但这种措施只能改善闸室内的泥沙分布,不能将淤积泥沙排出闸室。在闸室内容易产生淤积的部位设置沿程清淤廊道,利用闸室泄水可将泥沙排出闸室,在类似船闸这种小范围局部防淤、清淤的工程中利用沿程清淤廊道应可获得更明显的效果。

7　结　语

提高工程防淤、清淤效率,可充分发挥工程效益、延长工程使用寿命。从基本理论和工作原理分析并结合已有类似工程的经验,可设计具有防淤、清淤功能的水下沿程清淤廊道,将设施布置在工程关键部位可控制泥沙淤积高程。此项措施运用具有一些明显的优点,存在的一些问题也可通过深入研究来解决。为满足工程清淤发展的需要,应开展相关技术研究,如果经试验和实际检验这一工程措施具有突出应用价值,可将其广泛应用于河道、航道、水库、电站、港口及码头等工程的防淤、清淤,上岸泥沙还可实现资源利用。

参考文献:

[1] 陈忠儒,石含英. 葛洲坝航道冲沙闸设计特点与运行实施[J]. 长江科学院院报,1993,10(3): 14 – 21. (CHEN Zhong-ru, SHI Han-ying. Design Characteristics and Operation of Gezhouba Channel Scouring Sluice[J].

Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 1993, 10(3): 14 - 21. (in Chinese))
[2] 郑守仁,刘 宁. 三峡临时船闸及其改建冲沙闸设计[J]. 中国三峡建设,1998,(7):4 - 6. (ZHENG Shouren, LIU Ning. Design of TCP Scouring Sluice Reconstructing by Temporary Ship Lock [J]. China Three Gorges Construction,1998,(7):4 - 6. (in Chinese))
[3] 周建军. 三峡引航道冲沙方案研究[J]. 水利学报, 1999,(10): 23 - 28. (ZHOU Jian-ju. Study on the Flushing of the Lock Approach in TGP[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1999, (10): 23 - 28. (in Chinese))
[4] 朱鉴远. 长江中下游床沙组成垂直变化成因分析[J]. 泥沙研究,2000,(10):40 - 45. (ZHU Jian-yuan. Analysis on the Causes of Vertical Variation of Bed Material in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River[J]. Journal of Sediment Research, 2000,(10):40 - 45. (in Chinese))
[5] 吴持恭. 水力学(第三版)[M]. 北京:高等教育出版社,2003. (WU Chi-gong. Hydraulics (Third Edition) [M]. Beijing: Higher Education Press, 2003. (in Chinese))
[6] 陈海松. 自来水厂穿孔排泥管的复核计算和改造[J]. 中国给水排水,2005,(8):80 - 81. (CHEN Hai-song. Calculation and Renovation of Perforated Sludge Discharge Pipe in Waterworks [J]. China Water & Wastewater,2005,(8):80 - 81. (in Chinese))
[7] 苏有为. 水电站排沙廊道体型的优化[J]. 水利水运科学研究,1996,(1):8 - 14. (SU You-wei. Type Optimization of Flash Gallery in Hydropower Station[J]. Hydroscience Research,1996,(1):8 - 14. (in Chinese))
[8] 蒋筱民,童 迪. 三峡船闸输水系统防淤设计[J]. 人民长江,2009,40(23):54 - 55. (JIANG Xiao-min, TONG Di. Design of Sediment Protection for TGP Shiplock's Intake System[J]. Yangtze River, 2009,40(23): 54 - 55. (in Chinese))
[9] 江耀祖,吴英卓. 三峡永久船闸进水口型式研究[J]. 水利水电快报,2003,24(18):14 - 16. (JIANG Yao-zu, WU Ying-zhuo. Study on TGP Shiplock's Entrance Shape[J]. Express Water Resources & Hydropower Information, 2003,24(18):14 - 16. (in Chinese))
[10] 魏国远,刘 娟,郭 炜. 三峡水利枢纽坝区泥沙问题研究[J]. 长江科学院院报,2001,18(5):23 - 27. (WEI Guo-yuan, LIU Juan, GUO Wei. Research on Sediment Problems in TGP's Dam Area [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2001, 18(5):23 - 27. (in Chinese))
[11] 李国英. 黄河中下游水沙的时空调度理论与实践[J]. 水利学报,2004,(8):1 - 7. (LI Guo-ying. Theory and Practice of Temporal and Spatial Dispatch of Water and Sediment in Middle-Lower Reaches of Yellow River [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004,(8):1 - 7. (in Chinese))
[12] 金 谬,谈泽炜,李文正,等. 长江口深水航道的回淤问题[J]. 中国港湾建设,2003,(4):1 - 6. (JIN Miu, TAN Ze-wei, LI Wen-zheng, *et al.* Back-Silting in Deep Waterways in Yangtze Estuary[J]. China Harbour Engineering, 2003,(4):1 - 6. (in Chinese))
[13] 黄 悦,黄煜龄. 溪洛渡水库对三峡水库泥沙淤积影响预估[J]. 中国三峡建设,2002,(9):16 - 18. (HUANG Yue, HUANG Yu-ling. Estimate Xiluodu Reservoir Influence on TGP Sediment[J]. China Three Gorges Construction,2002,(9):16 - 18. (in Chinese))
[14] 李善启. 葛洲坝船闸清淤情况回顾[J]. 水运工程,1996,(6):29 - 31. (LI Shan-qi. Review of Gezhouba Shiplock Siltation Clearing[J]. Water Transporting Engeering,1996, (6):29 - 31. (in Chinese))
[15] 江耀祖,吴英卓,王业红. 三峡永久船闸闸室防淤减淤试验研究[J]. 水利水电快报,1999, 20(10):7 - 11. (JIANG Yao-zu, WU Ying-zhuo, WANG Ye-hong. Study on Method against Deposit in TGP Shiplock[J]. Express Water Resources & Hydropower Information, 1999, 20(10):7 - 11. (in Chinese))

(编辑:周晓雁)

Discussion on Underwater Desilting Corridor for Hydropower Engineering

CAI Ying, DUAN Wen-gang, YANG Wei, JIANG Wen-xiu
(Hydraulics Department, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: According to the characteristics of fine-grained depositing sediment, and in association with the theory of flow along pipeline with uniform draw-off, the solution of engineering sediment problem by using desilting corridor along the path is proposed. The structure, operational mode, and advantages of the desilting corridor are described, and a solution for potential problems is put forward. Similar methods in engineering application are briefly introduced. If further studies and the following results could prove that the desilting corridor has good applicability, the measure could be an important desilting approach in waterways, reservoirs, power plants, ship locks and other hydraulic projects.

Key words: desilting corridor along the path; desilting hole; sediment deposition; waterhead; pump station