



疏浚吹填工程“经济流速”的研究与应用

于祖杰

(龙口港集团有限公司, 山东 龙口 265700)

摘要: 流速变化影响排泥设备成本, 会引起经济效益变化; 流速变化又会带来产量变化, 给整个工程经济效益带来影响。为了保证工程施工过程中经济效益的最大化, 在实际施工时必须考虑两者之间的关系。经施工中不断探索, 在排泥设备磨损与完成产量之间, 寻求一个能为工程施工带来经济效益最大化的流速, 称之为“经济流速”。

关键词: 疏浚; 吹填; 经济流速

中图分类号: U 616⁺.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)10-0193-03

Study and application of “economic velocity” of dredging and filling project

YU Zu-jie

(Longkou Port (Group) Co., Ltd., Longkou 265700, China)

Abstract: Velocity changes will affect the mud equipment cost and cause economic changes while bringing changes of production, thus affect the economic benefits of the project. To ensure the maximization of economic benefit in the process of construction, we must consider the relationship between the two factors in practical construction. The flow velocity which can bring the maximum economic benefit for the engineering construction, which is called the economic flow velocity, is sought between the mud equipment wear and complete production.

Keywords: dredging; filling; economic flow velocity

1 项目建设背景

在龙口港 27[#]、28[#]、29[#]通用泊位工程后方场地吹填过程中, 吹填管线频繁出现爆管的情况, 每次爆管后就必须停止吹填、全力抢修, 特别是晚上出现爆管时, 由于灯光和安全问题, 只能停止施工等到天亮后进行修复, 上述问题致使吹填效率降低、成本增加。由于工期紧, 每次停工后都想增大吹填压力, 争取把上次吹填时耽误的吹填量补回来, 结果出现了更加频繁的爆管, 就这样处在“增加压力就爆管、爆管就修复、修复就耽误时间和吹填量”的恶性循环中, 上述循环致使吹填量较少成本却很大。为此需分析土方输送流速大小带来的不同后果, 研究推导流速、生产率和设备磨损之间的经济关系, 得到合理的经济流速。

2 创新点

2.1 流速与产量之间的经济关系

龙口港 27[#]、28[#]、29[#]通用泊位工程后方场地吹填的土质以中粗砂为主。根据中粗砂的特征(中砂: $d > 0.25$ mm 颗粒超过总质量 50%; 粗砂: $d > 0.5$ mm 颗粒超过总质量 50%), 船舶在吹填施工过程中, 其单位时间内完成的产量为^[1]:

$$W = Sv\rho \quad (1)$$

式中: W 为单位时间产量 (m^3/s), S 为输送管道截面面积 (m^2), 管径为 $\phi 800$ 的排泥钢管截面面积为 0.5 m^2 ; v 为输送流速 (m/s); ρ 为输送泥浆浓度 (%)。

分析式(1)可知, 流速与泥浆浓度为影响单位时间产量的主要因素, 在泥浆浓度 ρ 一定时, 输

收稿日期: 2015-02-12

作者简介: 于祖杰 (1969—), 男, 高级工程师, 注册咨询工程师 (投资)、一级建造师 (港口与航道工程专业)、造价工程师, 从事港口及航道工程管理工作。

送流速 v 提升, 则单位时间产量就会相应提高^[2]。

根据观测分析, 在同一种施工工况、施工工艺下, 流速提高时, 单位时间通过截面的输送量会增加, 产量也会随着流速的提高而逐步增加。但是受疏浚船舶挖掘能力与施工条件的限制, 当流速超过一定范围后, 绞吸船挖掘量难以满足稳定的吸入浓度时, 输送泥浆的浓度会下降, 此时输送产量增加的速度会减缓, 流速继续提高后, 浓度会继续下降, 输送产量也出现基本不上升的现象, 流速与产量的关系曲线见图 1。

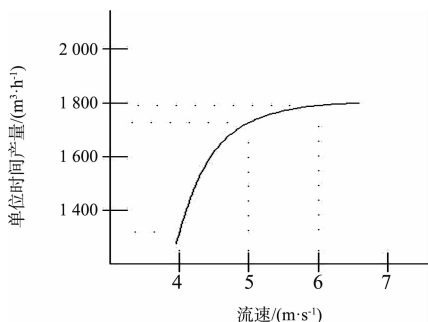


图 1 流速与产量

从图 1 可以看出, 当流速高于 5.5 m/s 之后, 单位时间的产量提升速率就会大幅度减缓, 而继续提高输送流速时, 产量并没有较大的提高, 当前流速下的经济效益就会出现一定的下滑。

2.2 流速与排泥设备磨损的经济关系

2.2.1 磨损原理

从泥沙磨损的形成过程看, 高速的泥沙像“砂轮”一样对管壁形成均匀磨损, 称之为研磨侵蚀。除去泥沙具有与悬移质类似的磨损作用外, 还有颗粒以不同的轨迹或角度碰撞、冲击或磨削过流面, 其磨损破坏作用的大小取决于流速、流态、数量、粒径、硬度、运动方式等多方面, 还与过流时间、抗冲耐磨性能有关, 称之为冲击侵蚀。输送过程中受重力作用影响, 重一点的泥沙会出现短暂的沉降, 导致排泥设备底部磨损最为严重。

流动中的颗粒有两种磨损形式, 冲击侵蚀和研磨侵蚀 (图 2)。

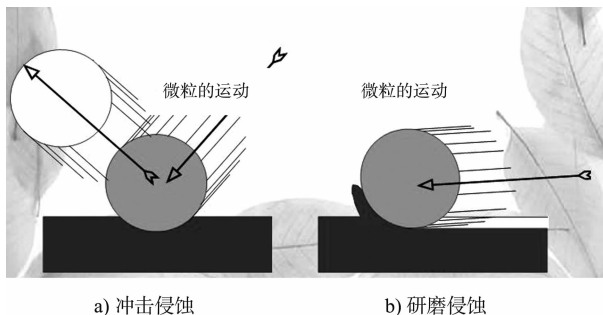


图 2 磨损形式

2.2.2 输送工程中定量估算方法

根据龙口港 27[#]、28[#]、29[#]通用泊位工程后方场地吹填实际情况, 参考悬移质泥沙磨损定量估测方法^[3], 悬移质泥沙磨损深度与下列因子呈比例关系:

$$\delta \propto KS^m v^n D^\alpha T^\beta R^p \quad (2)$$

式中: δ 为磨损深度 (mm); S 为含沙量 (kg/m^3); v 为过流流速 (m/s); D 为泥沙粒径 (mm); T 为过流历时 (h); R 为钢材强度; K 为系数。

式 (2) 中各参数的大小为: $m = 0.7 \sim 1.0$, $n = 2.7 \sim 3.2$, $p = -1.105$, $\alpha = \beta = 1.0$ 。可见, 在影响泥沙磨损深度的众多因素中, 以过流流速的影响最为显著, 大约为 3 次方关系; 而在相同的材料强度条件下, 泥沙磨损强度与含沙量、颗粒粒径及过流历时成线形关系。

根据现场类似工程的实际经验数据, 式 (2) 中, 取 $m = 1.0$, $n = 3.0$, $p = -1.105$, $\alpha = \beta = 1.0$, 则可得出泥沙磨损深度的定量关系式为:

$$\delta = KSv^3 DTR^{-1.105} \quad (3)$$

一般而言, 在易遭泥沙磨损的泄流表面均采用抗冲耐磨材料, 不同的抗冲耐磨材料, 其 R 值也不同。若将 R 值的影响计入综合系数中, 则式 (2) 可进一步简写为:

$$\delta = CSv^3 DT \quad (4)$$

式中: C 为综合系数, 反映泥沙颗粒特性与过流面的抗磨性能的综合影响。

2.2.3 测厚数据论证估测方法

为了全面总结流速变化与排泥设备磨损程度的关系, 专项测量排泥设备管壁厚度, 并统计出百万方磨损 (表 1), 以验证磨损估测方法。

表 1 排泥管线跟踪检测记录

流速/ (m·s ⁻¹)	排泥管 规格	测厚 位置	上次测量 壁厚/mm	此次测量 壁厚/mm	厚度差/ mm	上次至本次 吹泥方量/万 m ³	每百万方 磨损/mm
5.0 ~ 5.5	水上钢管 φ800 × 6 000	上	15.9	15.2	0.7	81.75	0.86
		中(左)	16.0	15.0	1.0		1.22
		中(右)	15.9	15.0	0.9		1.10
		下	16.0	14.2	1.8		2.20
	水上钢管 φ800 × 6 000	上	15.8	15.2	0.6	81.75	0.73
		中(左)	15.9	15.1	0.8		0.98
		中(右)	16.0	15.1	0.9		1.10
		下	16.0	14.3	1.7		2.08
6.0 ~ 6.5	水上钢管 φ800 × 6 000	上	15.2	14.4	0.8	60	1.33
		中(左)	15.0	14.0	1.0		1.67
		中(右)	15.0	14.1	0.9		1.50
		下	14.2	11.7	2.5		4.17
	水上钢管 φ800 × 6 000	上	15.2	14.5	0.7	60	1.17
		中(左)	15.1	14.0	1.1		1.83
		中(右)	15.1	14.2	0.9		1.50
		下	14.3	11.9	2.4		4.00

分析表 1，当流速在 5.0 ~ 5.5 m/s 时，排泥设备百万方磨损约为 2.2 mm；流速在 6.0 ~ 6.5 m/s 时，排泥设备百万方磨损约为 4.1 mm。通过计算比较，发现磨损程度确实与流速的 3 次方成正比。

2.3 土方输送流速与排泥设备磨损间的经济分析

综合考虑流速对疏浚工程带来的经济影响，在实际施工工况下，当流速为 5.5 m/s 时，生产率为 1 700 m³/h，管线最大磨损为 2.2 mm；当流速为 6.5 m/s 时，生产率为 1 780 m³/h，管线最大磨损为 4.1 mm。

磨损费用通常用下面经验公式计算：

排泥设备成本费用 =

$$\frac{nP}{6}\left[1 - \left(\frac{\text{最薄面} - 6.5}{16 - 6.5}\right) \times 100\% + 5\%\right] \quad (5)$$

式中：n 为排泥管线累计长度（m）；P 为每 6 m 钢管市场价格的加权平均单价。

由式(5)计算可知，虽然流速增加，就产量增加的角度考虑，成本会逐渐降低，但是当流速增加到一定范围之后，受诸多实际因素影响，成本降低曲线变化趋势会逐渐变缓，甚至会反弹上升。根据以上推断计算，作成本变化曲线（图 3），可以看出当流速为 5.0 ~ 5.5 m/s 时，施工船舶产量

能达到一个较高的值，而且此时对排泥设备磨损的也在一个合理的范围。

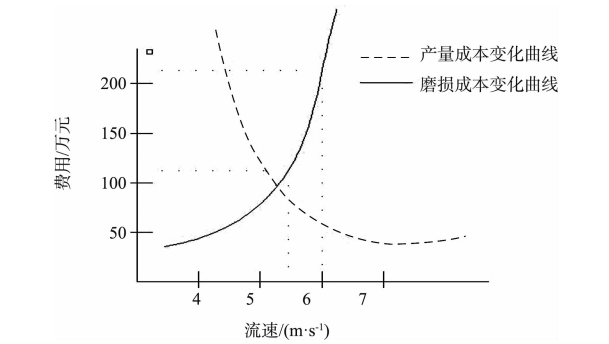


图 3 成本随流速变化曲线

综上，流速变化影响排泥设备成本，会引起经济效益变化；流速变化又会带来产量变化，对整个工程经济效益的带来影响。为了保证工程施工过程中经济效益的最大化，在实际施工时必须考虑两者之间的关系，因为流速增加，会造成排泥设备磨损严重，致使管线成本增加，降低了工程的经济效益，同时又会使产量增加，提高了工程的经济效益；流速减小，排泥设备磨损轻，管线成本减少了，但是产量也会随之下降。通过上述计算并分析施工现场具体记录，找到了一个能为工程施工带来经济效益最大化的流速，这个流速称之为“经济流速”。（下转第 208 页）