

开发减黏降阻仿生疏浚机具的可行性探讨

唐亚鸣,任晓敏

(河海大学机电工程学院,江苏 常州 213022)

摘要 土壤黏附是影响疏浚机具疏浚效率的重要因素之一。根据土壤对疏浚机具的黏附机理和典型生物的减黏降阻原理以及其他触土机械的工程实践,分析开发减黏降阻仿生疏浚机具的可行性,认为开发减黏降阻仿生疏浚机具从原理和实践上是可行的,有较好的应用前景。

关键词 疏浚机具;土壤黏附;减黏降阻;可行性

中图分类号 TV53+5

文献标识码 B

文章编号 1006-7647(2009)S1-0145-03

近年来,随着电脑控制、液压传动技术的问世和应用以及对水流和泥沙的深入研究,疏浚设备和疏浚技术得到了迅速发展。但是,目前在疏浚过程中,尤其是挖掘黏性土壤过程中,疏浚机具因土壤的黏附而降低了疏浚效率。因此,研究土壤黏附问题、寻求开发具有减黏脱附能力的疏浚机具具有重要的理论意义和实用价值。同时,随着黏附理论不断完善及脱附技术的日趋成熟,开发减黏降阻仿生疏浚机具将成为可能。

1 常用的疏浚机具及黏附情况

目前,绞刀和耙头是常用的清淤疏浚机具。绞刀的应用范围比较广,主要用于航道清淤挖掘和吹填造地等。耙头主要用于沿海港口、宽阔的江面和船舶锚地等疏浚工程中。另外,还有适合水下开采矿藏的斗轮,以及链斗和抓斗等其他疏浚机具。

1.1 绞刀

绞刀一般由绞刀座、刀臂、轮毂组成。刀臂均匀分布在外围的圆周上,在旋转时轮流接触并切削泥土。这种疏浚机具适合开挖较硬的土质,安装在大功率大型绞吸挖泥船上的绞刀,能切削高密度的土,甚至还可以挖掘如石灰岩石和薄层硬岩石(风化岩)等。绞刀根据外形的不同可分为开式、闭式和齿式 3 种类型。开式绞刀在切削黏性土壤时,刀臂切削下来的泥土在绞刀端部前移时容易黏附在刀具上,严重时甚至堵塞最前端的开口。闭式绞刀和齿式绞刀在切削泥土时,被刀臂切削刃和刀齿切削下来的土屑被随后切削下来的土屑挤压将分别沿着刀臂切

削刃和刀齿刀面上升,土壤主要黏附在绞刀刀臂内侧和刀齿的刀面上。在切削较硬的土质时,绞刀受到的黏附力以及摩擦力增大,黏附和磨损较为严重。

1.2 耙头

耙头装设在耙吸管的吸口端,接触水底地面,挖掘疏浚土。耙头挖泥时效率很高,而挖密实细砂相对困难。耙头按吸缝的调节方式可分为固定耙头和活动耙头。固定耙头端部有尖刃,在挖掘密实细砂时,由于尖刃上泥土的黏附,会增加耙头阻力,造成推进功率的损失。活动耙头受土壤黏附的影响也很大,原则上随着泥浆浓度的增加而增加。特别是耙头在挖掘相对较软的土质时,甚至完全陷进泥里,严重影响疏浚速度。近年来出现了许多高压水耙头,利用水力松土将高压水通过密置的喷管交错地射进一定深度的土层中,来减小土壤的黏附以及耙头阻力^[1-2]。

1.3 斗轮和其他疏浚机具

斗轮是由绞刀演变而来的,适宜挖掘较密实的土壤。斗轮的泥斗只有斗体和斗唇,没有斗底。泥斗布设很密,泥沙只有通过斗唇间的间隙进入吸入腔室,切削土层薄而均匀,不易堵塞吸口和叶轮。在疏浚时,泥土主要黏附在斗体上。斗轮上装有刮土刀,能将黏附在斗体上的余土刮入吸入腔室内。另外,还有链斗、铲斗和抓斗等其他疏浚机具。链斗主要用在需要长距离输送泥土或河面较阔的工程中,抓斗主要用于小型工程疏浚。铲斗和抓斗在挖掘黏性较强的淤泥时,淤泥黏附在机具上难以清除。

2 疏浚机具目前的减黏降阻方法

作用在疏浚机具上的力,可运用二维切削理论^[3-4]以简化分析。刀齿的推土阻力与刀齿的切削速度 v_c ,切削土层深度 h_i ,刀齿高度 h_b ,切削角度 α ,剪切角 β ,黏附力 A 及土壤性质如孔隙度 n_i 、松散系数 k_s 有关。

在一定的速度范围之内,推土阻力与切削速度和切削土层厚度成正比。切削速度越快,切削土层的厚度越大,推土阻力越大。对于一定条件的土壤,当切削条件一定时,推土阻力的变化主要是由于黏附力的变化所致。目前疏浚机具常用振动、加热、高压喷水等办法来减黏降阻,但是这些方法的使用效果依然不够理想,而增加的系统设备非常复杂,不仅增加疏浚的成本而且其工作可靠性难以保证。

3 生物减黏降阻

3.1 土壤动物脱附减阻

20 世纪 80 年代初,我国以任露泉为代表的学者开始从仿生学的角度对土壤动物进行减黏降阻的研究。任露泉等^[5]根据机械领域存在触土部件土壤黏附严重、工作阻力大、磨损快的技术难题,开始从事地面机械脱土减阻研究工作,提出了生物仿生脱附减阻理论,为减黏降阻的研究开辟了新的途径,并在此基础上提出了几何非光滑表面仿生、仿生电渗和柔性仿生等脱附减阻技术。任露泉等^[5]应用实体显微镜和扫描电镜等表面分析仪器对蛻螂、蚯蚓、蝼蛄、蚂蚁等 7 种典型土壤动物进行了实际观察和体表测试分析,初步探讨了土壤动物的减黏脱土规律。研究人员根据土壤学知识进行初步分析,认为土壤动物的凸起结构或波纹体表使动物体表与土壤接触界面之间存在一些间隙,能有效地减少土壤黏附面积,降低界面大气负压,破坏水膜的连续性,改善界面润滑,具有减黏降阻作用。

3.2 植物的脱附原理

科学家们发现一些植物的叶子,在不用添加任何洗涤剂或机械作用的情况下,仅通过水就可使用使其表面彻底清洁,这就是一些植物叶子具有自清洁功能,而荷叶是这些植物的典型代表。荷叶效应的秘密在于荷叶叶面上存在着非常复杂的多重纳米和微米级的超微结构。通过显微镜观察,荷叶的表面有一层茸毛和一些微小的蜡质颗粒,水在这些纳米级的微小颗粒上不会向荷叶表面其他方向蔓延,而是形成一个个球体(即雨水或露珠),这些滚动的水珠会带走叶子表面的灰尘,从而清洁了叶子表面^[6]。

4 开发减黏降阻仿生疏浚机具的可行性

a. 适应疏浚工程发展趋势。随着诸如香港国际机场之类大型疏浚工程的日益涌现、疏浚业的竞争日趋激烈以及人们对环境的日益重视,大型高效化疏浚机具的出现已成为未来发展的必然趋势。在疏浚工程中,土壤对疏浚机具的黏附作用严重影响了疏浚效率和疏浚质量,加大了能源消耗。例如,疏浚机具在疏浚黏性土壤的过程中,由于土壤黏附严重需要清理,影响了疏浚的效率;在一次疏浚作业中,需备用多个疏浚机具以备不时之需,从而造成了资源、财力和时间的巨大浪费。因此,从根本上减少土壤对机具的黏附,必将促进疏浚机具的快速发展,并会带来显著的经济效益和社会效益。因而以先进的理论为指导,应用成熟的技术开发减黏降阻仿生疏浚机具是必要的,也是可能的。

b. 黏附理论的日趋完善为研究疏浚机具的脱附奠定了理论基础。自 20 世纪 20 年代以来,人们从不同角度研究了土壤黏附机理,提出了种种不同的理论学说^[7-9]。Fountainne 的水分张力理论,即通常说的“水膜理论”,是土壤黏附理论中被引用最多的一个理论;Hains 的毛细管理论;钱定华的五层界面理论;丛茜提出土壤对金属材料表面的吸附是以化学吸附为主的黏附理论等。以任露泉为代表的学者从仿生学的角度对土壤动物进行减黏降阻的研究,提出了生物仿生脱附减阻理论。而计算机的迅速发展和分形几何学的应用以及试验手段的不断完善,将促进土壤黏附理论研究的进一步完善。日趋完善的黏附理论为开发减黏降阻仿生疏浚机具奠定了理论基础。

c. 地面机械脱附减阻技术为疏浚机具提供了借鉴。采用仿生表面改形与表面改性相结合的方法,根据土壤动物的凹坑形非光滑表面研制出的仿生犁壁,比普通犁壁减少油耗 5.6% ~ 12.6%,降低犁耕阻力 15% ~ 18%,并具有较好的脱土性和耐磨性^[10]。采用柔性仿生脱附技术设计的柔性内衬和柔性链,应用于铲斗、挖斗、轮斗及自卸车车厢上,脱附率达 100%,取得了较好的经济效益和社会效益。应用柔性仿生技术设计的柔性仿生矿车可以有效地解决煤的湿黏和冻黏,脱煤率达 95% 以上。仿生电渗技术在落煤斗、铲斗等部件上的应用,有效地解决了煤粉积留问题,电渗电压只需 24 V,具有高效节能的效果。荷叶效应在日常生活及工业生产中的应用主要是仿荷叶织物、荷叶玻璃、荷叶效应防水漆、荷叶效应乳胶漆和模拟荷叶制造憎水性膜等。这些技术在农业机械、工程机械等方面得到了广泛应用。

研制开发的这些地面机械产品与挖掘用的疏浚机具具有相同或相似的入土机理及黏附机理,为研制减黏降阻仿生疏浚机具提供了有益的借鉴。

5 结 语

资料表明,挖掘机和装载机等工程机械由于触土部件表面土壤的黏附作用而消耗的能量占总消耗能量的 30% ~ 50%,降低技术生产率 20% ~ 30%^[11]。疏浚中疏浚机具由于土壤的黏附作用而消耗掉的能量更多,开发仿生疏浚机具能降低能耗,达到提高疏浚作业生产效率和节约能源的效果。

根据目前土壤黏附机理和脱附理论的发展状况,减黏降阻仿生疏浚机具的研制开发是可行的,而且有着很好的应用前景。可以借鉴现有的、发展成熟的减黏降阻仿生产品的成功经验,在土壤黏附机理和脱附理论的指导下,研制开发减黏降阻仿生绞刀、耙头,取得成功以后可推广到其他的疏浚机具领域,具有较大的现实意义。

参考文献:

[1] 杨年浩,倪福生,孙丹丹. 高压水射流技术发展及其在疏浚工程中的应用[J]. 采矿技术, 2006, 6(1): 67-69.

[2] 尚涛,王昕,李建桥. 开发减黏降阻仿生钻具的可行性[J]. 吉林大学学报:工学版, 2002, 32: 101-104.

[3] Os, Van, LEUSSEN A G, Van W. Basic research on cutting forces in saturate sand[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1987, 12(113): 12-36.

[4] MIEDEMA S A. Calculation of the cutting forces when cutting water saturated sand[D]. Delft: Delft University of Technology, 1987.

[5] 任露泉,陈德兴,胡建国. 土壤动物减黏脱土规律初步分析[J]. 农业工程学报, 1990, 6(1): 15-20.

[6] NEINHUIS C, BARTHOLOTT W. Characterization and distribution of water-repellent, self-cleaning plant surfaces[J]. Annals of Botany, 1997, 388: 431-432.

[7] FOUNTAINE E R. Investigation into the mechanism of soil adhesion[J]. Soil Sci, 1954(5): 1-7.

[8] L. D. 贝弗尔. 土壤物理学[M]. 北京: 农业出版社, 1983: 60-62.

[9] 张际先. 土壤对固体材料黏附和摩擦的研究[D]. 江苏: 江苏工学院, 1985.

[10] 李建桥,任露泉,刘朝宗,等. 减黏降阻仿生犁壁的研究[J]. 农业机械学报, 1996, 27(2): 1-4.

[11] B. K. 鲁德耶夫. 关于挖掘机铲斗黏土现象及其减少方法[J]. 国外工程机械, 1981, 3: 167-173.

(收稿日期: 2009-01-12 编辑: 方宇彤)

(上接第 144 页)为确保水泵和水泵出口阀门安全,在泵站出水总管上设置相应恒压阀。

3.2 输水管道水锤控制^[1-2]

该工程运行过程输入管道水锤控制措施主要包括: ①严格控制关阀时间。为防止关阀水锤对管道的破坏,必须严格控制管道的关阀时间,避免直接出现关闭水锤。沉沙池—马家沟水库输水管线关阀时间应大于或等于 120 s;高位水池—大学城输水管线的关阀时间应大于或等于 240 s。②加强排气措施。该工程输水管线较长,起伏较多,在凸起处容易产生气囊。当管道中气囊两端的压差为 0.1 kPa、水流速度波动为 1 m/s 时,最大水锤压力升值(直接水锤)将达 1 MPa,是管道事故的主要原因之一。为防止管道因气囊引起的气爆型水锤,管道在凸起处均设置自动排气阀,确保排气畅通。该工程线路总长 105.44 km,共布置有 232 套排气阀,保证排气阀排气畅通,是消除管道气爆型水锤的重要保证。

4 结论与建议

- a. 铜罐驿长江提水工程运行过程所产生的管道安全风险主要表现在提水泵站闭阀水锤的影响。
- b. 工程运行期提水泵站出水口压力可根据对水泵机组的参数分析液控缓闭止回阀关闭时间和水

- 泵出口最大压力,在总出水管上设置相应恒压阀。
- c. 该工程运行过程应严格控制关阀时间,避免出现关闭水锤。其中,沉沙池—马家沟水库输水管线关阀时间应大于或等于 120 s;高位水池—大学城输水管线的关阀时间应大于或等于 240 s。
- d. 运行过程中应在管道凸起处设置排气阀,确保排气畅通,避免气爆型水锤影响。
- e. 在采取合理保障措施后,该工程运行过程中的管道运行风险能得到很好的控制。
- f. 由于该工程规模较大,管线较长,在很多问题上还需要在工程运行过程中进行跟踪分析和研究,不断地调整和改进保障措施,以达到安全运行的目的。

参考文献:

[1] 姜乃昌,许仕荣,张朝升,等. 泵与泵站[M]. 第 5 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007: 143-246.

[2] 金锥,姜乃昌,汪兴华,等. 停泵水锤及其防护[M]. 第 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004: 262-300.

[3] 长江水利委员会长江勘测规划设计院. 重庆市铜罐驿长江提水工程初步设计报告[R]. 武汉: 长江水利委员会长江勘测规划设计院, 2005.

[4] GB/T50265—97 泵站设计规范[S].

(收稿日期: 2008-09-17 编辑: 方宇彤)