

太湖东苕嘴疏浚中泵管堵塞、爆管及管道异常磨损原因分析

陈德林¹, 赵 勇¹, 陈云波², 周 斌², 王建生³

(1. 水利部上海勘测设计研究院, 上海 200434; 2. 水利部太湖流域管理局, 上海 200434;

3. 上海市水务局, 上海 200003)

摘要 对太湖东苕嘴疏浚工程中输泥管接连发生输送泵堵塞、输泥管堵管、爆管和异常磨损等现象进行分析, 认为主要是由于长距离输送粉质黏土, 加之土块中含有 0.3% ~ 0.5% 的铁锰结核物, 导致施工过程中发生泵管堵管、爆管及管道异常磨损, 增加了施工成本, 延长了工期。

关键词 磨损; 爆管; 疏浚; 太湖

中图分类号: U616⁺.2

文献标识码: B

文章编号: 1006-7647(2004)07-0069-03

太湖疏浚工程是太湖综合治理的配套工程。该工程在太湖东苕嘴处疏通一条底宽 350 ~ 450 m, 底高程为 0.0 m, 总长度为 6.78 km, 疏浚土方 438 万 m³ 的人工河道, 将太湖的水顺畅地通过太浦河输送至黄浦江。工程通过公开招标于 2003 年 4 月正式开工, 中标的两家施工单位, 共配备 5 台(套)大功率斗轮式和绞吸式挖泥船, 疏浚土方经管道送至 3.5 ~ 4 km 外的陆上排泥场。

工程施工中, 在完成工程量的 30% 之后, 输泥管道接连不断地发生输送泵堵塞、输泥管道堵管、爆管和管道异常磨损等现象, 影响了正常施工。输泥管道使用的是耐磨的 Mn16 的输浆管, 设计寿命为输送疏浚土方 250 万 m³ 以上, 橡胶管接头设计寿命在 200 万 m³ 以上, 高分子塑胶管比钢管耐磨 2 倍以上, 输送泵泵壳设计寿命在 1000 万 m³ 以上。但以上输泥设施在工程施工中均在输送疏浚土方 20 ~ 30 万 m³ 之间产生严重磨损, 不得不进行更换。本文针对这一情况进行分析探讨。

1 现场情况

a. 管道布置。疏浚管道穿过城镇主要道路、河道时, 采用潜管和局部弯管, 在湖内采用浮箱及潜管, 在田间则采用明管敷设, 长度在 3.5 ~ 4 km 之间。

b. 管道敲击声。输泥管道在加压泵后 500 m 便听到管道与金属的敲击声, 在 1 km 后听到嚓嚓的摩擦声, 越接近排泥场声音越响。

c. 出泥口处。大量泥浆呈抛物线状从管道口排

出, 泥块呈 8 ~ 12 cm 的卵石状堆积, 个别时候有与管径相同的整条泥条排出(图 1), 出泥口附近有较多直径约为 1 ~ 2 cm 的呈柱条状铁锰结核物。



图 1 出泥口排出的泥条

d. 堵管、堵泵。堵管时需拆卸十几节管道才能进行疏通, 加压强排时出现整条连续的泥柱, 堵泵时需拆卸泵壳, 泥土被紧紧贴在泵叶及壳体内, 因密实度较高而只能用铁锹等工具一点一点挖除。

e. 管道磨损。从挖泥船输出 1.5 km 内管道的磨损是均匀的(图 2(a)), 在 1.5 km 以后管道的磨损呈下部沟状(图 2(b)), 橡胶接头、高分子塑胶管的磨损情况与钢管一致, 弯管处损坏更为严重。

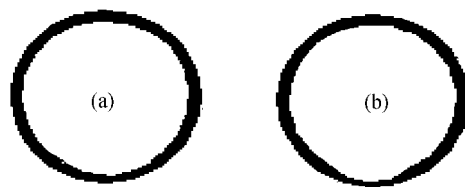


图 2 管道磨损情况

2 原因分析

2.1 堵管、堵泵原因分析

疏浚工况的流程是:斗轮式(绞吸式)挖泥船将平坦的湖底泥土切成 40~20 cm 土块,由大型泥浆泵以 12%~26% 的水泥混合物经过 1 km 长的管道后再由加压泵输送至排泥场(图 3)。

太湖疏浚段土质主要有两种类型:一种是上部淤泥,占疏浚量的 20%~30%;另一种是下部粉质黏土。疏浚土质中含有 0.3%~0.5% 的直径为 10~25 mm 呈圆柱状长度在 10 cm 以下的铁锰结核物。用三角坐标法展示的粉质黏土层的粒组含量见图 4。当疏浚开挖在上部淤泥层时施工与常规一样,当开挖至粉质黏土层时输送变得困难。这是因为:复杂、易变的粉质黏土细颗粒占 94%,黏粒往往呈薄片状,当土体与 70% 以上的水混合时,土中孔隙水压力增大,使土粒间的有效应力减少,从而使土体发生膨胀,即湿胀,使土体更多的与水相溶,当黏性土含水量极高时土成泥浆,呈黏滞流动状态。泥浆输送过程中应力张量与变形率张量不满足广义牛顿定律,而是泥浆输送过程随着时间的推移,固体泥块在水力输送下靠近土粒表面的水分子受土粒的吸附力越强,与正常的水的性质差别越大,黏性颗粒间在短距离吸引能的影响下,土粒在悬浮液中以很快的速度发生凝聚,由于系统固体颗粒的存在而在输送过程中固体颗粒逐层分解,浆液黏度迅速增大,这时系统呈现非牛顿体的流变特性,系统功率消耗剧增,流速减缓。

浆体流动不同于液体流动,除考虑液体的性质外,还要考虑固体颗粒对混合物性质的影响;此外,由于重力对颗粒的影响,还必须考虑颗粒本身的惯性力,并具有明显的固体浓度梯度特征。图 5 是非均匀浆体的摩阻损失与流速的关系曲线。当流速较高时 A 点曲线趋于平行单一流体,随着流速的增加,浓度梯度变化不明显,悬浮颗粒的惯性影响小,随着浆液黏度增大,摩阻增大,流速从 A 点减少,管路中的固体颗粒分布不均变化越来越明显,减少到 B 点时管路中出现滑动或不动的颗粒淤积层,此时成为淤积流,由于减少了有效过流面积使摩阻损失增加,这种流态是相对不稳定的。

在淤积流速时,固体颗粒在重力作用下下沉的

趋势恰好超过维持颗粒悬浮的紊动力。挖泥船将 40~20 cm 土块由泵送至管道中,经削切后的土块处于悬浮状态,流态为紊流,接近于各向匀质流。由于水力作用,大土块分解成小土块,小土块分解成泥浆,泥浆的黏性增加,土中含有的铁锰结核物由于惯性力的减少,其沉降速度加大,在管底进入跳跃移动状态,听见金属的敲击声,然后再形成波纹和凝聚向前推进,在外部听到“噼噼”的摩擦声,越接近出口处摩擦声越强。发生这种情况对管道的稳定是灾难性的。

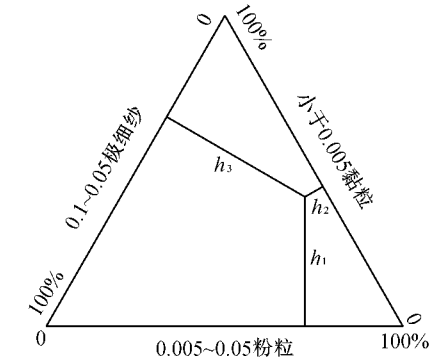


图 4 粉质黏土的粒组含量

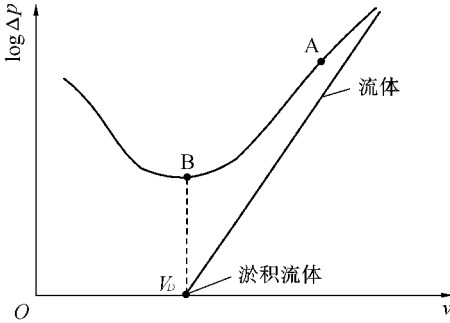


图 5 非均质浆体的磨阻损失与流速的关系

2.2 磨损、爆管原因分析

管道内的磨损是由于输送的浆体中的固体颗粒对管壁的动力作用而造成的。根据流动条件,输浆管道中的磨损呈变形磨损(冲击)和切削磨损(滑动)两种类型。变形磨损是固体颗粒法向冲击引起的,在输浆管道的弯曲点和管道内部的流向变化处如弯管、阀门及钢管与橡胶管结合部发生。因浆液中含有 0.3%~0.5% 的铁锰结核物固体颗粒,这些固体颗粒具有很高的动能,3 m/s 的速度足以在管壁产生大于钢质管材、橡胶管材屈服强度的局部应力,这些应力的叠加和相应的应变共同导致管内壁表面的破

工况	挖泥船水下切削土体	加水泵送	土块被磨削	浆体稠化	接力泵加压	土块被磨削	浆液更加稠化	大土块开始下沉,铁锰结核物沉入管底	浆体更加稠化	铁锰结核物磨冲管道	大土块沉降形成淤积	浆体稠化	→排泥场
流态	紊流							紊流→层流		爆管	堵管	层流	
距离	1 ~ 1.5 km				> 1.2 km			0.5km		1 ~ 1.5 km			

图 3 疏浚工况流程

坏.切削磨损是固体颗粒斜向冲击引起的,只有固体颗粒的硬度大于管内壁表面的硬度时才会发生.工程中铁锰结核物中 SiO_2 的含量为24.87%,其硬度为 800 kg/mm^2 (布式硬度), Fe_2O_3 含量为43.5%,其硬度 600 kg/mm^2 左右,均大于或等于钢管的硬度 $200\sim 800\text{ kg/mm}^2$,这些具有磨削功能的固体颗粒在管道中高速运动,其能量足以切削磨损管路的表面并造成碎屑.

在输送的浆体中含有的铁锰结核物在浆体运动中呈悬浮状态.经验表明,当固体颗粒的 C/C_A 值(即管顶 $0.08D$ 处与管中心处固体颗粒体积分数之比)小于0.5时,铁锰结核物沿管底滑动并引起磨损,所以造成管底磨削成一道沟痕.由于这种磨损的存在,需定期将管道翻转方向.

(上接第16页)

5 成果整理和分析

按照以上计算模型和参数,对4种典型工况进行计算,求出了整体结构的位移、应力.现根据工程设计要求对计算成果进行整理和分析.

表3给出了基本组合下的计算工况1和计算工况2以及特殊组合下的计算工况3和计算工况4共4种计算工况下的抗滑稳定安全系数、抗浮稳定安全系数和对应的最大地基应力.

表3 抗滑、抗浮稳定安全系数及最大地基应力

荷载组合	运行情况	计算工况	K	K'	最大地基应力	
					数值/MPa	位置
基本组合	正常运行	1	14.35	2.965	-1.54	下游齿墙
基本组合	正常运行	2	15.94	1.735	-1.42	下游齿墙
特殊组合	非常运行	3	17.74	1.609	-1.20	下游齿墙
特殊组合	机组未安装	4	10.73	2.153	-1.62	上游折角

由表3可以看出,最小抗滑稳定安全系数发生在特殊组合下的机组未安装工况4,最小值为10.73,最大抗滑稳定安全系数发生在特殊组合下的校核水位工况3,最大值为17.74.前者由于自重荷载最小,而后者则由于向上的扬压力增大.最小抗浮稳定安全系数发生在特殊组合下的校核水位工况3,最小值为1.609,最大抗浮稳定安全系数发生在基本组合下的正常运行工况1,最大值为2.965.

图2为工况1的3个横剖面(右0+101.85m、右0+89.35m)地基法向应力分布.

6 结 语

计算结果表明,喜河水电站厂房坝段的最小抗滑稳定安全系数发生在特殊组合下的机组未安装工

3 结 语

太湖东茭嘴疏浚工程中发生泵管堵塞、爆管及管道异常磨损等问题,主要原因是长距离输送含有粉质黏土的疏浚先例较少,加之土块中含有0.3%~0.5%的铁锰结核物,这在疏浚施工中很少发生.针对这些问题,现场技术人员采取了以下措施:①加强了对挖泥船操作人员的管理,并指派有经验的机长操作;②密切注意输出压力的变化,及时调整输浆浓度,并在每一条管道上增设了2台接力泵;③调整了管道的曲率半径,并及时更换耐磨损的管道.通过这些措施,基本解决了施工中的问题,为下阶段太湖大范围地疏浚提供了可借鉴的经验.

(收稿日期 2004-07-28 编辑:马敏峰)

况,最小值为10.73.最小抗浮稳定安全系数发生在特殊组合下的校核水位工况,最小值为1.609.地基法向应力均为压应力状态,最大地基法向应力发生在特殊组合下的机组未安装工况,最大值为-1.62 MPa.整体结构的抗滑、抗浮稳定和地基应力满足工程稳定安全要求^[7,8].

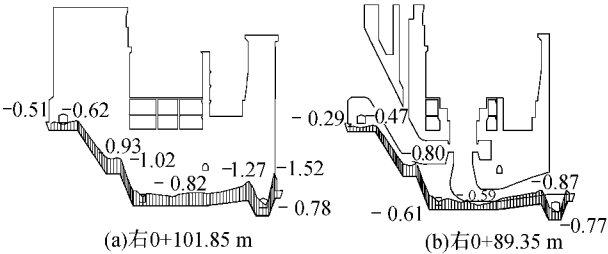


图2 工况1横剖面地基法向应力分布(单位:MPa)

参考文献:

[1] SL266-2001 水电站厂房设计规范[S].
[2] 陈和群,彭宣茂.有限元法微机程序与图形处理[M].南京:河海大学出版社,1992.
[3] DL 5077-1997 水工建筑物荷载设计规范[S].
[4] DL/T 5077-1976 水工混凝土结构设计规范[S].
[5] 林绍忠,苏海东.水电站蜗壳保压浇筑混凝土结构的三维仿真分析[J].水利学报,2002(1):45~48.
[6] 朱伯芳.有限单元法原理与应用[M].北京:水利电力出版社,1979.120~160.
[7] 顾鹏飞,喻远光.水电站厂房设计[M].北京:水利电力出版社,1992.
[8] 傅作新.水工结构力学问题的分析与计算[M].南京:河海大学出版社,1993.

(收稿日期 2004-10-09 编辑:高建群)