

山东某港区风化花岗岩的特性及 对疏浚管线的磨蚀性

曹凯, 张更生, 程瑾

(中交天津港航勘察设计院有限公司, 天津 300450)

摘要: 基于强风化花岗岩具有遇水崩解软化的特性, 从崩解土质在管线中运移规律以及土质颗粒分布、颗粒形状、圆度、硬度等方面, 对管线输送物料过程中的磨损量进行分析评价。依据管线断面不同位置磨损量大小, 提出管道底部磨损量大的主要原因是受到粒径在 0.25 ~ 5 mm 砾砂和粒径大于 5 mm 的花岗岩残块的摩擦、冲击和切削管道壁面作用所致, 探讨了管道磨损规律。

关键词: 疏浚工程; 花岗岩特性; 磨蚀性; 输送

中图分类号: U 616

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)10-0189-04

Characteristics of weathered granite and its abrasibility in dredging pipeline at a harbor of Shandong province

CAO Kai, ZHANG Geng-sheng, CHENG Jin

(CCCC Tianjin Port & Waterway Prospection & Design Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300450, China)

Abstract: Based on the characteristics of strong weathered granite, i. e. disintegrating and softening when contacting with water, we will appraise the pipeline's wear loss in the process of material's conveying from the migration, soil particle size distribution, particle shape, roundness, hardness, etc. According to the wear loss of pipeline section's different position, we know that the large wear at the bottom of the pipe is due to the friction, impacting and cutting on the pipe wall from the gravel sand of 0.25 ~ 5 mm particle size and granite residual block with the particle size of greater than 5 mm. This paper discusses the pipeline's wearing rule.

Keywords: dredging engineering; granite characteristics; abrasibility; transportation

疏浚工程中, 输送管道是疏浚施工的主要辅助设备, 其施工磨损也是一种常见的物理现象, 通常的做法是坏而换之, 即使为了节约成本, 维修输送管线中的磨损往往需要很高的费用, 并耽误大量的施工时间, 降低时间利用率, 影响施工效率。在施工项目成本管理中, 随着管理过程的深化, 须对管道磨损问题进行深入探讨。疏浚工程中管道磨损受输送压力、浓度、速度、输送岩土特性、管线材质、管线粗糙度和流体运动状态等影响。以重型绞吸船输送风化花岗岩为例, 指

出输送过程中管线磨损常发生在管道的局部异形构件处, 如弯头、三通、水上与水下管连接处和水陆管接头等。输浆管道中的磨损可分为摩擦磨损、冲击磨损和切削磨损 3 种类型。对输送岩土性质和磨损类型相互关系进行分析评价, 从输送岩土特性角度探讨泥沙运动和管道磨损规律。

1 输送岩土特性

本工程疏浚区域的土质为风化花岗岩, 黄褐色-灰黄色, 粗粒结构, 块状构造, 裂隙发育, 岩体风

收稿日期: 2014-02-19

作者简介: 曹凯(1983—), 男, 硕士, 工程师, 从事港口航道勘察设计工作。

化强烈，岩芯多呈砂状、角砾状，偶见碎块状（手可掰碎）。干钻极难进尺，给水钻进进尺较快，岩芯采取率为65%~71%，岩体基本质量等级分类为V类。疏浚岩土工程特性分级为15级，天然状态单轴饱和抗压强度最大值7.463 MPa，饱和单轴抗压强度最大值4.568 MPa，软化系数为0.61，为软化岩石，浸水24 h饱和抗压强度降低38.8%。

1.1 遇水崩解特性

取4M25孔-20 m处的风化花岗岩做遇水软

化崩解试验，将岩石点荷载残样2块（尺寸为60 mm×40 mm×35 mm，55 mm×45 mm×40 mm不规则块体）放进水中，看见水中不断有气泡溶出，吸水速度很快，经过15 min的浸泡后，风化花岗岩崩解成面糊状，黏性很弱，强度完全丧失，经过水洗后残留颗粒为粗砂和砾砂，夹少量碎石块，黄褐色，析出粒径为0.25~13 mm，质量占总风化岩的35%左右。图1为风化花岗岩遇水软化崩解的过程。

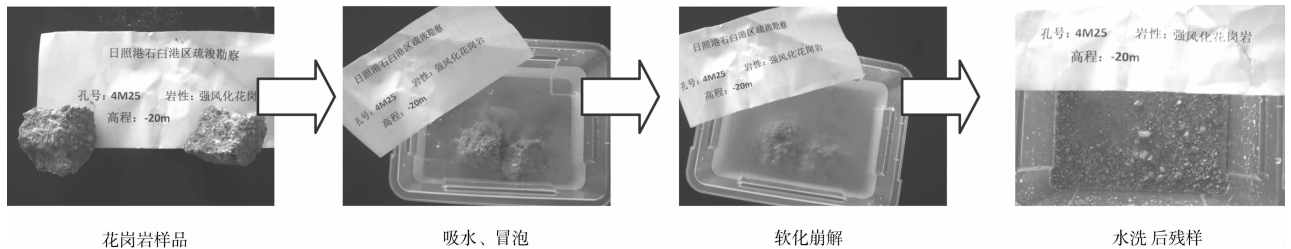


图1 风化花岗岩遇水软化崩解过程

风化花岗岩具有遇水崩解软化的特性，管道输送适宜性较好，重型绞吸船在开挖输送风化花岗岩时，由于水的浸泡和冲刷，输送物料以粗砂、砾石和花岗岩残块的形式运移，这将对管道的磨损提出考验。

1.2 颗粒特性

由于风化花岗岩具有遇水软化崩解的特性，水力输送时多崩解为粗砂和砾石，由管道输送至吹填区。输送过程中对挖泥船的水力输送效能及磨损影响取决于通过这一部件的颗粒的尺寸、形状、数量、速度和硬度，颗粒的这些不同性质对于疏浚管线和绞刀头的磨损也不尽相同。根据《拉塞尔和泰勒的颗粒形状分类和命名》方法，依据取样试验，本工程的输送物料为粗砂和砾石，分类名称为亚角形的，圆度系数为0~0.25，砾石棱角在输送过程中经过磨损开始变圆，大弯仍然保留，小弯光滑并少了许多。

依据吹填区输送物料的取样试验，有效粒径 d_{10} 、中间粒径 d_{30} 、平均粒径 d_{50} 和限制粒径 d_{60} 分布见图2。

其中平均粒径 d_{50} 是指样品的累计粒度分布百

分数达到50%时所对应的粒径。 d_{50} 常用来表示土质颗粒的平均粒度，依据图2，平均粒径 d_{50} 在0.81~7.206 mm之间，平均值为1.55 mm，其物理意义是粒径大于1.55 mm的颗粒占50%，小于1.55 mm的颗粒也占50%。

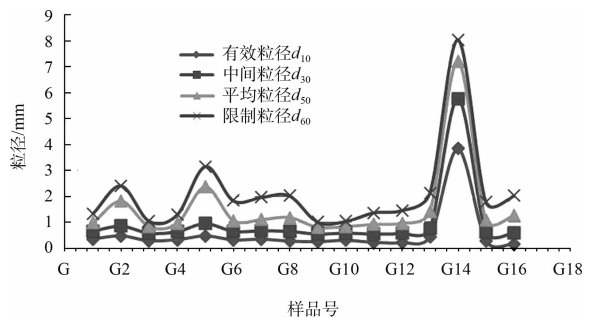


图2 输送物料粒径分布

2 输送物料在管线中运移的规律

从磨损的概念得知，磨损问题包括2个相互关联的现象，即颗粒与被磨表面的相互作用，因此磨损一定与液固两相流态及颗粒的运动状态有关。管道输送风化花岗岩崩解土质颗粒时，混合物被认为是伪均质体或非均质体，依据崩解土质由细颗粒变泥质、粗颗粒砾砂和花岗岩残块组成，管道中运移的固体颗粒形态可分为：a) 悬移质：

粒径小于 0.25 mm 的细颗粒; b) 跳跃质: 粒径在 0.25 ~ 5 mm 的粗颗粒; c) 推移质: 粒径大于 5 mm 的花岗岩残块 3 种。液、固、流中固体颗粒的运动形态如图 3 所示。

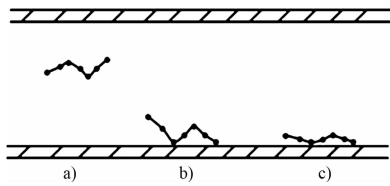


图 3 固体颗粒形态

在管道输送固体颗粒时, 每种运移形态的运动方式分为下面几种:

1) 旋转运动。颗粒的旋转运动是因为流体的速度梯度使作用在颗粒上的力不均匀, 土质固体颗粒形状不对称, 各点所受阻力不同, 产生旋转力矩; 颗粒与管壁之间的摩擦、碰撞以及颗粒间的相互碰撞摩擦等。固体颗粒的旋转速度很大, 其旋转速度随着颗粒直径的减少而增大, 并与流体输送速度成正比。

2) 振动。具有较大脉冲速度的流体, 曳引土质颗粒, 引起颗粒的振动, 大颗粒对脉冲流体有惰性, 直径大于 60 ~ 70 μm 的土质颗粒, 基本上不随流体振荡, 细小颗粒则随流体同频振荡, 但振幅一般小于流体振幅。

3) 跳动。跳动是由于岩土质颗粒与管壁碰撞或固体颗粒堆积时, 受流体带动, 而引起壁面反弹或固体颗粒的随机聚散。

4) 平动。岩土颗粒的平动和跳动是其主体运动, 较大的岩土颗粒重力较大, 输送时紧贴管道底部由向前的流体动力曳引滚动。

岩土质在管道中输送时, 颗粒的不同运动状态会同时出现叠加, 形成更加复杂的运动, 造成更加复杂的磨损, 使研究磨损更困难^[1]。

3 管线磨蚀量的分析评价

在离船尾 24 m (船尾第 2 根管)、120 m (水上管中间 (F10))、240 m (水下管与水上管连接处)、720 m (水陆管接头)、770 m (陆地管西侧出口)、770 m (陆地管南侧出口) 管线断面, 进

行管线磨损测量。对监测数据进行分析发现, 管道磨损较大断面常发生在管道的局部异形构件处, 如弯头、三通、水上与水下管连接处和水陆管接头等。管线磨损断面测点位置见图 4。对监测数据进行统计分析, 管线断面不同位置万方磨损累计值见图 5。

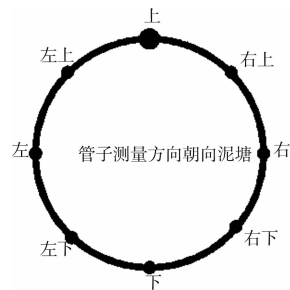


图 4 管线磨损断面测点位置

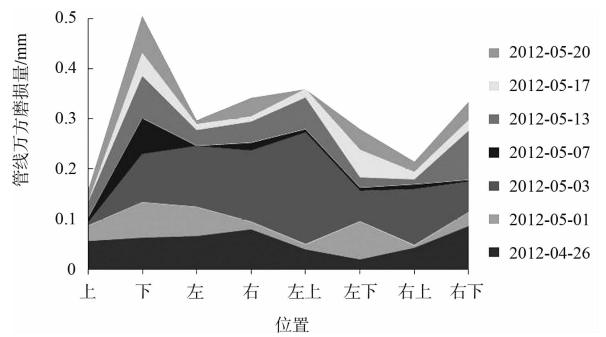


图 5 管线不同位置万方磨损累计值

从管线磨损的面积图可以看出, 在测量断面的上部, 管线磨损最小, 万方磨损量 0.16 mm; 在测量断面的下部, 管线磨损最大, 万方磨损量 0.51 mm, 磨损量大的主要原因是受到粒径在 0.25 ~ 5 mm 砾砂跳跃质和粒径大于 5 mm 的花岗岩残块的推移质的摩擦、冲击和切削管道壁面所引起。除此之外, 疏浚工程中管道输送花岗岩物料时, 管道断面不同位置的磨损量值受诸多因素影响, 如输送岩土颗粒分布、颗粒级配、圆度、形状、硬度、管道输送压力、泥沙输送浓度、输送速度以及管道材质的影响。

在离船尾 240 m (水下管与水上管连接处) 管线断面不同位置的累计磨损量见图 6。

从图 6 可知, 管道底部在监测期间磨损最为严重, 量值为 2.3 mm。具体管线断面磨损量和万方磨损量趋势吻合, 最大值均发生在管道底面处,

管道不同位置磨损量不同，磨损方式就不同。由于管道内的磨损是由于输送的浆体中的颗粒对管壁的动力作用而造成的，依据输送土质颗粒和液体二相流在管道内流动特点，以及颗粒的运动方式，输浆管道中的磨损可分为摩擦磨损、冲击磨损和切削磨损3种类型。

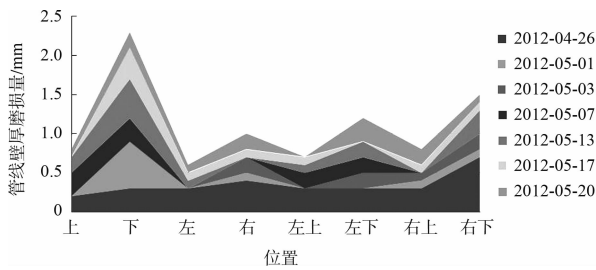


图6 管线不同位置万方磨损累计值 (离船尾 240 m 处)

1) 摩擦磨损。

浆体在管道运动中，粒径大于 5 mm 的花岗岩粗颗粒作为推移质形态，在管壁上滚动或滑动产生磨损，粗颗粒土质会在壁面上施加一个随机的交变摩擦力，而使颗粒作用点的管道材料前部受压力、后部受拉力，虽然这种力很小，但长期大量的颗粒作用，终会使材料发生表面疲劳，而产生裂纹，直至剥落。一般认为，圆形球、菱形、尖角形颗粒对管道磨损量为 1:2:3^[2]，依据疏浚花岗岩矿鉴定和土工试验分析，颗粒圆度系数为 0~0.25，棱角较多，摩擦系数较大，对疏浚工程中管线磨损较大。

2) 冲击磨损。

冲击磨损是固体颗粒以不同冲击角冲击管壁作用引起的，在输送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磨损最为严重。平均粒径 0.81~7.206 mm 崩解花岗岩颗粒在输送管道中，以 3~6 m/s 的速度撞击管壁，依据动量守恒定理，将在管壁产生 3~24 kN 冲击力，管壁产生大于材质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壁表面的破坏。甚至有些颗粒嵌入壁面，使材料发生塑性变形；另一些颗粒则反弹出来，壁面承受连续不断的冲击力，产生疲劳，长期下去，管壁材料会因疲劳而剥落。

3) 切削磨损。

切削磨损是固体颗粒斜向冲击和摩擦管壁引起，只有固体颗粒的硬度大于管壁表面的硬度时才会发生。经过岩矿鉴定，风化花岗岩块体崩解后为砾石和砂粒，而砾石和砂粒的主要成分为石英和长石，石英和长石的莫氏硬度等级为 6~7，而通常钢铁的莫氏硬度是 4~5，硬度大于管道材质。形成的砂粒和砾石形状多为刀片样锋利的棱角-次圆状，形状不规则，当颗粒与管壁接触时，颗粒在管道壁运移时不断旋转，尖角像“车刀”一样切削壁面，速度足够快时，会在壁面上切削出一条沟痕，或直接切掉一部分金属，也有一些速度不大的颗粒，可能会嵌入管壁，但紧跟其后的大量颗粒将会继续作用，将嵌入的颗粒冲刷撞击脱落，暴露出创口，被继续冲刷，引起严重磨损。

4 结语

1) 从港区风化花岗岩遇水崩解、颗粒分布、颗粒形状、硬度及矿物成分等特性，分析影响疏浚工程输送管道磨蚀的关键因素指标，分析不同输送颗粒在输送过程中的运移形态和方式，评价崩解粗砂粒和砾石平均粒径、圆度、形状、硬度特性对管道摩擦磨损、冲击磨损和切削磨损的影响。

2) 在管线磨损量的统计分析中，在测量断面的上部，管线磨损最小，万方磨损量 0.16 mm；在测量断面的下部，管线磨损最大，万方磨损量 0.51 mm，磨损量大的主要原因是受到粒径在 0.25~5 mm 砾砂跳跃质和粒径大于 5 mm 的花岗岩残块的推移质的摩擦、冲击和切削管道壁面所引起。

3) 基于输送岩土特性，对管道磨损类型和磨损规律进行分析研究，研究成果给输送管线防护措施制定提供了技术支持，从而提高管线的使用寿命和施工效率意义重大。

参考文献：

[1] 宁克林. 粉体输送管道磨损浅析[J]. 江苏冶金, 2001(4): 40-41.
 [2] 张继军, 桂晓莉. 浆体管道磨损机理研究[J]. 甘肃科技, 2011, 27(1): 60-62.

(本文编辑 郭雪珍)