

外海沉管隧道回淤监测及防淤清淤技术

宋来中

(中交一航局第二工程有限公司, 山东 青岛 266071)

摘要:港珠澳大桥沉管隧道在 E15 碎石垫层基床铺设后出现异常强回淤, 为了摸清基槽的回淤强度及原因, 开展一系列回淤监测研究, 主要包括多波束扫测、回淤盒监测、含沙量监测等现场实测手段。为了减少回淤, 开展覆盖防淤研究, 并根据现场流场情况和基槽走向制定截淤坝、扰动等防淤措施。为了清除碎石基床的异常回淤, 在整平船上增加清淤设备, 并在 E22 进行清淤施工, 效果满足设计要求。从后续管节施工情况看, 该成套技术是可行的、有效的。

关键词:回淤监测; 防淤; 清淤; 整平船改造; 沉管隧道

中图分类号: U652.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-7874(2017)08-0038-04

doi: 10.7640/zggwjs201708009

Technology of siltation monitoring, minimizing and dredging in immersed tunnel of open seas

SONG Lai-zhong

(No.2 Engineering Co., Ltd. of CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266071, China)

Abstract: The Hongkong-Zhuhai-Macao Bridge immersed tunnel occurred abnormal siltation after laying the foundation of E15 gravel cushion. In order to find out the siltation intensity and reasons of foundation trench, we carried out a series of studies in siltation monitoring, including multi-beam bathymetry, monitoring of siltation box and sediment concentration. In order to reduce siltation, we carried out the research on coverage of silt prevention, and developed silt prevention measures of cut silt dam and disturbance according to the scene of the flow field and the direction of the base. In order to remove the abnormal siltation of the gravel bed, we increased the dredging equipment in the leveling ship, and carried out the dredging construction in E22, the effect meets to the design requirements. Based on construction of the subsequent pipe section, the siltation monitoring and minimizing method is feasible and effective.

Key words: siltation monitoring; siltation minimizing; dredging; leveling ship transformation; immersed tunnel

0 引言

港珠澳大桥岛隧项目位于伶仃洋水域中部浅滩至东滩, 在香港机场大屿山西北侧海域横穿铜鼓航道和伶仃西航道, 距珠江入海口约为 51 n mile。

港珠澳大桥海底隧道总长 5 664 m, 采用沉管法进行施工, 基槽相对挖深在 30~40 m, 设计基槽宽度为 41.9 m, 基槽边坡自下而上分别为 1:2.5

和 1:5。港珠澳大桥沉管基槽横贯伶仃航道和铜鼓浅滩滩尾, 海底水深介于 -8~-15 m 之间。以 E15 管节为界, 西部沉管穿越伶仃航道, 水深相对较深, 东部管节穿越铜鼓浅滩滩尾, 水深相对较浅。

1 回淤状况

2014 年 11 月 13 日完成 E15 碎石基床的铺设工作, 验收检测数据满足设计要求。11 月 16 日 08:00, 潜水员安装前检查基床时发现: 基床垄顶存在黏稠状回淤物, 厚度大多在 2~3 cm, 局部 4~6 cm, 且具有一定强度, 若继续安装会存在不确

收稿日期: 2017-04-08

作者简介: 宋来中 (1967—), 男, 山东聊城人, 硕士, 高级工程师, 主要从事港口与航道工程、铁路工程、工民建工程等大型工程项目的施工组织设计及其管理工作。E-mail: hehuofeng@sohu.com

定性,可能会造成不可预知的结果,最终审慎确定中止 E15 管节的安装,同时启动应急预案,管节返航回坞。

目前,港池、航道浚深后的回淤强度估算主要有经验公式法、物理模型试验、数值模拟和现场试挖槽试验等研究手段。考虑到现场施工进度要求,项目部决定开展现场监测^[1-2]。

2 回淤分析

2.1 回淤质情况

E15 出现突淤后,潜水员在 E15 管节使用专用取样器取得 6 组回淤物样品进行了颗分试验,样品的中值粒径 D_{50} 介于 0.01~0.075 mm 的百分含量平均值约为 53.8%, D_{50} 小于 0.01 mm 的百分含量平均值约为 38.6%, D_{50} 大于 0.075 mm 的百分含量平均值约为 8%。因此,回淤物组成以粉沙和淤泥为主,粉砂含量略高于淤泥的含量,并含有少量(不大于 8%)细沙,回淤质基本可定义为淤泥质粉砂或粉砂质淤泥。

淤泥质粉砂或粉砂质淤泥在水中有一定的黏着力,干燥后黏着力消失,呈分散状态。在较强动力条件作用下,启动容易,并以悬移质、推移质形式运动。同时,一旦动力条件减弱,特别是在人工开挖的航槽中发生淤积,沉淀较快且容易密实和固结。

2.2 流场情况

沉管隧道轴线方向为东西向,和该区域涨落潮主流向几乎垂直。

伶仃洋潮汐类型属于不规则的半日混合潮。从实测潮位过程曲线分析,潮汐不等现象明显,其中大潮期间日潮现象较明显,小潮期间半日潮现象显著,中潮介于两者之间。涨潮的流向以偏 N 为主,落潮的流向多为偏 S。

工程水域高潮位由外海向珠江口内逐渐增高,低潮位由外海向珠江口逐渐降低,潮差也有由外海向珠江口内逐渐增大的趋势^[3-4]。

3 回淤监测

3.1 多波束扫测

多波束测深系统由声学系统、数据采集系统、数据处理系统、外围辅助传感器及成果输出系统组成。KONGSBERG EM2040 多波束测深系统发射频率 200~400 kHz,测深条带覆盖角度 140°,宽深比可达 5.5 倍,最大量程可达 600 m,波束数 256 个,沿航线波束角 0.7°,垂直航线波束角

0.7°,最大发射 ping 频率可达 50/s,脉冲长度小于 25 μ s,测深精度满足 IHO 国际海道测量特级标准^[5]。

根据深槽的地形特点,对于待安管节将多波束监测区域分为 5 部分,分别是隧道基槽、北侧边坡 1:2.5 边坡、北侧边坡 1:5 区域、南侧边坡 1:2.5 边坡、南侧边坡 1:5 区域。

3.2 回淤盒

回淤盒采用塑料储物箱和固定钢结构组成。在已整平完成的碎石垫层上放置 5 个沉淀盒,其中 1、2、3 号按照指令定期进行放取,4 号、5 号沉淀盒为水下备用沉淀盒。5 个沉淀盒放置在碎石垫层的 4 号垄顶的轴线中间位置,依次从南至北排列。

每次取盒前封闭盒盖,记录准确的取盒时间。取出回淤盒后进行淤积厚度、粒度等分析,并保留样品。

3.3 测深仪

利用测深仪测得仪器与底座钢板之间的深度变化反算回淤变化。潜水员在第 4 条垄中心偏北 10 m 处安放 SDE-28S 测深仪,测深仪固定在钢板上。钢板尺寸为 1 200 mm \times 1 200 mm \times 12 mm,在钢板上焊接高 1.5 m 三脚架固定测深仪,测深仪的数据线通过 100 m 长的 ϕ 10 钢丝绳绑在锚漂上。每天进行数据的读取。

3.4 含沙量监测

含沙量监测分为施工区的定点监测和从内伶仃岛至施工区的巡测。含沙量巡测是采用日本 ALEC 公司自容式 COMPACT-CTD 型浊度测量仪。定点实时传输的含沙量观测仪器采用美国 Campbell 公司 OBS 3A。

4 防淤措施

4.1 覆盖防淤

将制作好的钢盖板覆盖在已整平好的基床上,使淤泥落在保护盖板上,施工过程中随着整平一个船位,即覆盖一个船位,沉管安装前将盖板依次吊出水面后排水,将其浮在水面上,把淤泥清除到泥驳中,然后将盖板拖到临时存放水域存放,等待下次循环使用。

盖板根据单块碎石基床的尺寸加工制作,采用桁架式结构,顶面布置纳泥格舱,单块盖板重量约 400 t,盖板设计 8 个吊点(图 1),设计纳泥厚度 20 cm。

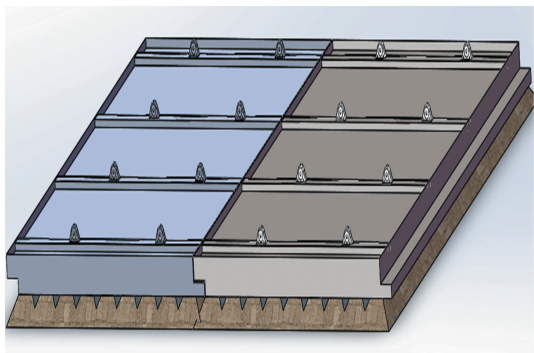


图1 覆盖板示意图

Fig. 1 Cover plate schematic

于E22管节进行试验,盖板沉放后横向、轴向平面位置偏差均 ≤ 20 cm。吊除后经过扫测和探摸,碎石基床基本未受到破坏。从试验效果看,钢盖板覆盖防淤方案能够实现平整一个船位,覆盖一个船位,减少碎石基床的暴露时间,有效防止回淤。

4.2 截淤坝

从现场实测流场数据看,基槽内存在较为明显的东西向流。为了减少和降低东西向流引起的泥沙输移对基槽回淤的影响,决定在待安管节基槽东西两侧设置“截淤坝”。西侧在已安管节顶部抛填碎石进行潜堤拦沙;在东侧安排疏浚船采用吸泥拦沙法进行动态截淤,吸泥拦沙法是采用清淤船在距离待安管节尾端东侧约200 m位置处的基槽底部浑水进行持续性的抽吸。

在距离待安管节基槽首端东侧约150 m的位置设置水下横向潜堤拦沙坝,横截堤坝顶宽1.0 m,高于管顶回填2.0 m,两侧坡率按自然休止且不陡于1:1.5,回填施工过程中应遵循管节左右两侧对称、分层的原则。

4.3 扰动法

扰动法是采用人工(潜水员)或机具对垄顶回淤物进行扰动和采用海底压缩空气扰动,以防止回淤物进一步沉淀。

5 清淤措施

在原有整平船的基础上,利用现有的稳固船体平台及大小车系统,增设一套清淤装置,清除水下48 m处碎石垄面和垄沟内淤泥,但不能破坏已铺设好的碎石垫层,要求在10个工作日内完成一个管节范围内的清淤。

5.1 整平船清淤系统

利用原有整平船大小车系统,增设大车梁和

小车平台,安装一套能够上下升降的桁架,在桁架头部安装2台大功率泥泵,通过调节吸口装置的开闭和高度实现碎石垄顶和垄沟内淤泥的清除。由于清淤装置桁架随大小车移动,泥泵排出泥水引至海面以上后,通过软管排至软管绞车处,再通过此处连接的排泥管线排至1 km以外。软管绞车将随桁架位置的移动实现排泥软管的收、放,保证排泥软管与桁架排泥管(硬管)的有效连接。

清淤系统通过安装在桁架下端的DOP250型大型泥泵将淤泥抽吸到船上,经过可收放的软管排至左舷软管快速接头处,再经过漂浮软管排至1 km以外。DOP250泵和其清淤原理见图2。

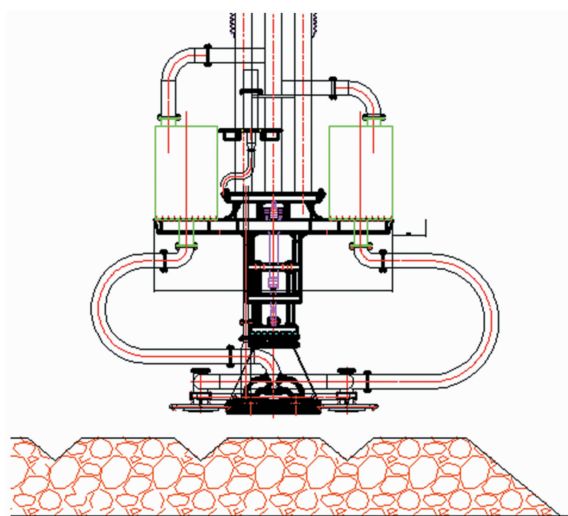


图2 清淤系统原理图

Fig. 2 Dredging system schematic

清淤装置吸口沿碎石垄方向移动,通过开闭前后的吸口阀板,保持吸口一直朝向碎石垄前方,一次移动能够清除一条碎石垄上淤泥。清淤装置设置有两个辅吸口,分别位于碎石垄的两侧垄沟上方,用于清除垄沟内淤泥。清淤装置头部还设置有一套冲水系统,将海水至吸口四周的喷水口喷出,能够扰动碎石垄面及垄沟上的淤泥,增强清淤效果。

根据GPS数据对清淤装置高程及水平位置进行调整,利用清淤装置头部油缸精确、自动的调整吸口位置高度,保证清淤效果且不破坏碎石垫层。所有清淤系统装置的信号数据、包括GPS信号数据统一集成到桁架顶端电气箱内,通过无线信号传输至小车操控室,实现远程无线操控。

清淤配置强光照明的水下摄像头和多波束扫描成像声纳装置,随桁架一起移动,实时获取水

下碎石基床清淤状况,同时将数据反馈给系统集控室,便于了解清淤情况。

5.2 清淤试验情况

整平船于西人工岛北侧进行设备调试和清淤系统试验。试验之前经过声纳扫测和潜水员探摸,了解试验段碎石垄和原泥面的标高,并对碎石垄上淤泥的淤积情况进行了统计。根据声纳扫测数据和潜水员探摸情况,确定了清淤系统吸头设定标高,然后在试验过程中对泥泵功效进行调节,检验试验效果。清淤试验之后,先通过抛石管声纳进行检测,然后利用潜水员水下探摸确认清淤效果。

根据本次试验结果,吸头调节至距离碎石垄面 15 cm 左右,泥泵运转负荷达到 85% 以上时清淤效果最好。当吸头调节至距离垄面 12~13 cm 时,泥泵运转负荷达到 70% 即碎石垄上小块碎石开始启动,被吸出排泥管。大车速度保持 1 m/min 即可一次行走清除碎石垄上淤泥。

5.3 E22 清淤情况

受 1524 号台风影响,第一、二船位施工完成后暂停整平作业,按照泥沙攻关组要求,进行日常回淤监测、潜水扰动和高压空气水下扰动,但担心已铺基床出现回淤。10 月 29 日第一、二船位回淤突然加剧,此时初步计划通过加强扰动进行减淤,至 10 月 31 日整个回淤进一步加剧,经多次讨论决定进行清淤施工。

清淤共经历三个阶段,11 月 2 日开始清淤至 11 月 4 日清淤完成。清淤完成后第一时间安排多波束扫测,通过 11 月 4 日与 1 日的数据比对,第一、二船位清淤效果明显,平均清淤厚度为 7 cm,由于北侧回淤比南侧严重,北侧清淤深度较南侧大,最大清淤厚度为 24 cm。多波束扫测结果显示 E22 碎石垫层表层回淤物基本清理干净、碎石垫层高程、纵坡等数据在设计要求范围内^[6]。

6 结语

经过近 1 a 的研发,回淤监测及防淤清淤成套技术已成功应用在 E16—E29 沉管安装中。回

淤监测方法通过多种方式的监测数据可以相互比对,较为准确地给出基槽和边坡的回淤强度和边坡稳定等数据;现场使用各种防淤措施后,基床上的回淤强度和回淤量有所减少,有效保障回淤厚度在设计要求范围之内。针对小范围的突淤研发的整平船清淤系统在 E22 成功得到应用,说明此清淤系统在后铺法碎石垫层上的清淤尝试是可行的。

参考文献:

- [1] 陆永军,左利钦,王红川,等.波浪与潮流共同作用下二维泥沙数学模型[J].泥沙研究,2005(6):3-14.
LU Yong-jun, ZUO Li-qin, WANG Hong-chuan, et al. Two-dimensional mathematical model for sediment transport by waves and tidal currents[J]. Journal of Sediment Research, 2005(6): 3-14.
- [2] 曹祖德,李蓓,孔令双.波、流共存时的水体挟沙力[J].水道港口,2001(4):151-155.
CAO Zu-de, LI Bei, KONG Ling-shuang. Carrying capacity for a wave-current coexistent system[J]. Journal of Waterway and Harbour, 2001(4): 151-155.
- [3] 黄志扬,丁健,叶建国.乐清湾港池试挖槽回淤监测[J].中国港湾建设,2012,32(5):43-47.
HUANG Zhi-yang, DING Jian, YE Jian-guo. Siltation monitoring in trial dredged channel of Yueqing Bay[J]. China Harbour Engineering, 2012, 32(5): 43-47.
- [4] 陈志民,蔡南树,辛文杰.珠江口伶仃洋航道的回淤分析[J].海洋工程,2002,20(3):61-68.
CHEN Zhi-min, CAI Nan-shu, XIN Wen-jie. Analysis on the sedimentation of the Lingdingyang channel in the Zhujiang estuary [J]. The Ocean Engineering, 2002, 20(3): 61-68.
- [5] 陈相铨,朱良生,王青,等.珠江伶仃洋余流垂向分布的季节变化及其与径流的关系研究[J].热带海洋学报,2010,29(5):24-28.
CHEN Xiang-quan, ZHU Liang-sheng, WANG Qing, et al. Seasonal variation of vertical profiles of residual currents in the Lingdingyang Estuary and its correlation with runoff of the Pearl River[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2010, 29(5): 24-28.
- [6] 孙阳阳,徐良,张建军,等.基于多波束测深的海底基床监测与分析[J].中国港湾建设,2015,35(11):46-48.
SUN Yang-yang, XU Liang, ZHANG Jian-jun, et al. Monitoring and analysis of seafloor subgrade using multi-beam bathymetry [J]. China Harbour Engineering, 2015, 35(11): 46-48.