



韩国釜山沉管隧道基础铺设整平施工关键技术

张学俊, 魏红波, 张建军

(中交一航局第二工程有限公司, 山东 青岛266071)

摘要: 介绍韩国釜山—巨济岛连接线沉管隧道基础工程, 采用平台式深水铺设整平船铺设整平的施工技术, 为沉管隧道基础整平施工提供借鉴。

关键词: 沉管隧道基础; 平台式整平船; 铺设整平技术

中图分类号: U 655.54

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2013)06-0177-006

Paving and leveling construction technology of immersed tube tunnel foundation from Pusan, South Korea

ZHANG Xue-jun, WEI Hong-bo, ZHANG Jian-jun

(Second Engineering Co., Ltd. of CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Qingdao 266071, China)

Abstract: This paper introduces the engineering of cable immersed tube tunnel foundation from Geojae Island, Pusan, South Korea, which adopts the paving and leveling construction technology of platform deep water paving and leveling barge, serving as reference for the construction of immersed tube tunnel foundation.

Key words: immersed tube tunnel foundation; platform leveling barge; paving and leveling technology

沉管段基础处理是沉管隧道的关键技术之一。沉管隧道采用什么类型的基础完全根据工程的地质条件及其具体情况而定。从世界沉管隧道基础处理发展来看, 沉管隧道基础处理方法主要有先铺法和后铺法两大类。通过对国内外已建设的百座以上的隧道基础处理方法统计, 先铺法占已建隧道的28%, 喷砂法占18%, 压砂法占17%, 灌砂法占16%, 先铺法占的比例最高^[1]。但目前国内施工的已建隧道基础还没有采用先铺法施工的实例。本文重点介绍韩国釜山—巨济岛连接线沉管隧道基础采用先铺法施工的技术, 为沉管隧道基础采用先铺法施工提供借鉴。

1 工程概况^[2]

韩国釜山—巨济连接线是连接韩国最南端的第二大城市釜山到巨济岛的高速公路, 总长约8.2 km。其中沉管段全长3.283 km, 共分18个管节, 每个

管节长180 m, 沉管断面宽26.46 m, 高9.97 m, 为双向4车道, 隧道底部最大水深约50 m, 沉管隧道平、纵剖面见图1。

沿隧道轴线海床地基包括深达25 m厚的软海泥层和下覆10 m厚的密实粗砂层和下覆基岩。为控制可能的差异沉降, 提高地基长期变形刚度和承载力, 采用了SCP及CDM进行加固, 在软弱黏土和淤泥质黏土中采用CDM搅拌加固, 在含岩石的高空隙率地层采用SCP充填加固。加固后使用先铺法碎石基础, 铺设1.5 m厚碎石基础。

沉管隧道管节对基础承载力的要求不高, 在长期运营工况下其抗浮系数仅为1.1~1.2^[1], 按照抗浮系数1.2计算, 沉管在水中受到的浮力是470 000 kN, 需要的管节的总重力为 $470\ 000 \times 1.2 = 564\ 000$ kN, 沉管对地基的压力就是 $(564\ 000 - 470\ 000) / 180 \times 26.46 = 19.7$ kN/m², 可以看出沉管对地基的压力非常小, 一般不需构筑人工基础, 进行基础处理

收稿日期: 2012-10-29

作者简介: 张学俊(1961—), 男, 高级工程师, 从事港口与航道工程及道路桥梁工程施工管理。

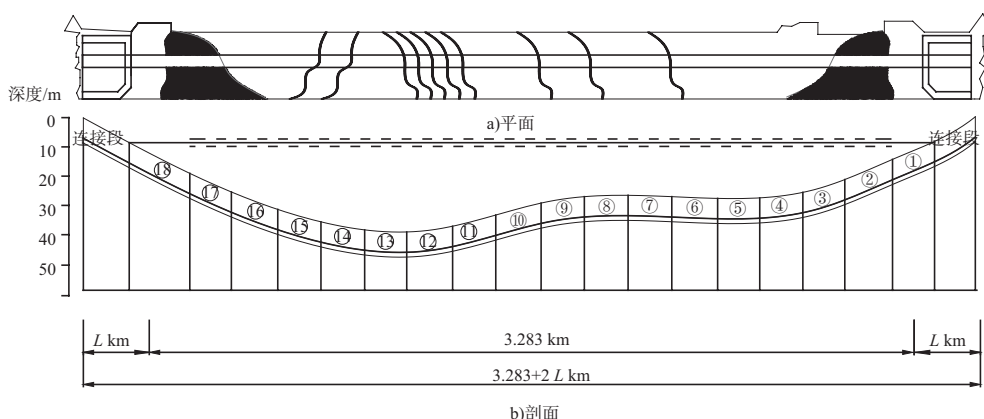


图1 沉管隧道平、纵剖面

的目的不是为了对付地基土的固结沉降,而是为了解决基槽开挖作业所造成的槽底不平整问题,确保沉管基础整体均匀、稳定。

沉管基床设计宽31.66 m,厚1.5 m,基床结构采用横向垄沟碎石基床,垄顶宽1.6 m,垄沟宽1 m,垄中心间距2.6 m,见图2。

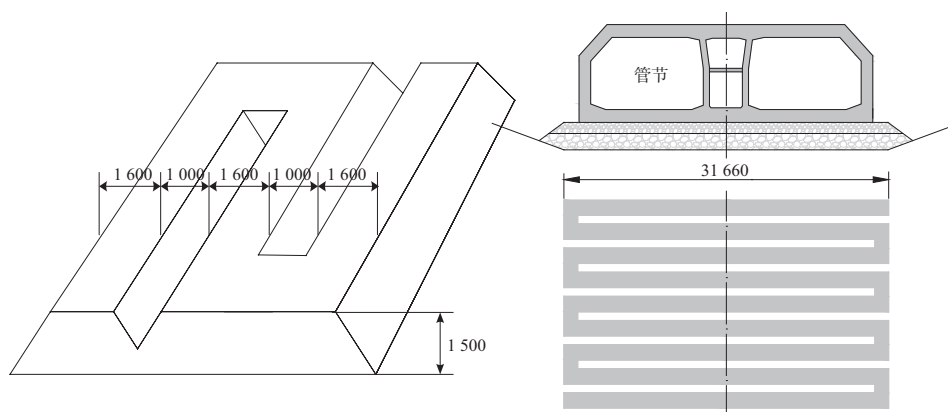


图2 碎石垫层结构

沉管基础设计带状垄沟的优点: 1) 减少用料, 缩短工期; 2) 沉管安装时由于底面积很大, 沉管接近基床时留的沟槽可以作为水和回淤物分散的通道; 3) 基础铺设后, 如果发生局部高的现象, 在下沉沉管时高的地方也容易向沟槽移动, 基础可以有自我调节的空间。为了避免沉管对接时石块进入接头对接密封部位, 每节沉管的两端各留有2.1 m长的凹形空穴不抛石整平。基床铺设整平采用平台式专用整平船施工^[2]。

管的小车, 小车可以沿台车横向移动, 以形成抛石管的大范围作业能力。船上还配置了供料皮带机、柴油发电机、压舱注排水泵和操船锚机等各种辅助设备。整平船及辅助结构主要尺寸见表1。

表1 整平船及辅助结构主要尺寸

部位	长/m	宽/m	高/m
船体 (总质量2 300 t)	61.0	35	11
桩腿 (壁厚 $T=80$ mm)	74.0	ϕ 1.803	
抛石管 (壁厚 $T=20$ mm)	67.8	ϕ 1.524	

2 平台式深水抛石铺设整平船^[3]

2.1 整平船结构组成

本抛石、整平船主船体为“回”字结构, 中间为大尺寸的月池, 四角各布置一根桩腿, 中间月池上部设置一台纵向移动台车, 台车上设置带抛石

2.2 整平船主要技术参数

整平船作为沉管隧道碎石基床铺设施工专用船舶, 实现了对整平船的定位、碎石输送系统的控制、下料管升降的控制、整平刮刀的高程调节、整平台车纵横向移动的控制、水下目标的高程动态定位、下料管料位的控制、碎石铺设的同

步质量检测等铺设施工作业的自动化、一体化管理。整平船主要性能见表2。

2.3 整平船主要工艺系统

1) 抛石管整平系统: 抛石管主要结构为一根直径 $\phi 1\ 524\text{ mm}$ 的钢管, 外形为方形加强结构, 用卷扬机上下升降, 升降速度为 $0\sim 7\text{ m/min}$, 抛石

表2 整平船主要性能

石料粒径/mm	20~75
一次最大碎石铺设厚度/m	1.5
设计铺设速度/($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)	0.1~2.5
铺设作业最大水深/m	50
铺设面积/ m^2	$34\text{ m}\times 15.6\text{ m}=530.4$
铺设精度/mm	± 40

注: 最大石料粒径150 mm。

管升/降到位后, 用液压缸锁固。抛石管底部安装方形整平结构, 整平后的碎石宽度为1.6 m。

2) 桩腿升降系统: 桩腿主要结构为长度74 m、直径 $\phi 1.803\text{ m}$ 、壁厚80 mm的钢管, 支腿用液压缸顶升, 液压缸的行程为1.5 m, 支腿的升降速度为1.2 m/min。

3) 皮带机输送系统: 通过4条皮带机2次高度提升, 完成对抛石管的供料, 皮带机带宽1 200 mm, 速度75 m/min, 供料能力 $8\text{ m}^3/\text{min}$ 。

4) 大小车行走系统: 台车用电机驱动、在齿条和钢轨上行走, 质量130 t, 轴距20 m, 大车

带小车纵向移动, 小车带抛石管在大车上横向移动, 抛石管的移动范围 $34\text{ m}\times 15.6\text{ m}$, 移动速度 $0.1\sim 2.5\text{ m/min}$ 。

5) 测量定位系统: 测量定位通过GPS来实现, 为了控制船舶的定位, 在船尾安装了2套GPS; 为了控制大台车的位置, 在大车上安装了2套GPS; 为了控制抛石管的位置和高程, 在抛石管顶部安装了一套GPS; 全船共安装了5套GPS。

6) 船体调平系统: 整平船安装了压载水系统, 作为船体的调平和压载之用, 在控制室内安装了倾斜仪来确认船体的倾斜程度。

7) 整平船施工管理系统: 施工管理系统是结合GPS和各种传感器进行平面位置的引导及高程控制。各种仪器的管理数据都设计了运行软件, 进行一体化的管理, 各种数据、曲线由电脑随时显示, 并可随时进行打印存档。

3 整平工艺流程^[3]

标准段管节碎石垫层长180 m, 分为12个船位进行铺设, 见图3。

单个船位碎石垫层整平工艺流程:

整平船移船定位→整平船插桩抬升→作业参数校准→抛石管定位→供料船定位供料→碎石垫层铺设→成形测量验收→进入下一船位。

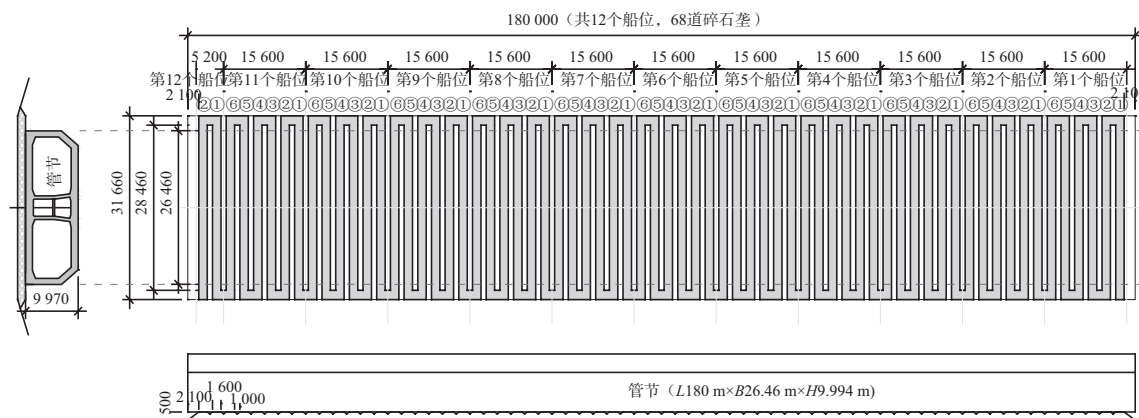


图3 基础抛石平面、断面及纵断面

4 主要施工方法^[2-3]

碎石垫层基床采用平台式整平船整平, 抛石管底部的方形整平头整平后的设计宽度是1.6 m, 整平长度可达34 m, 满足整平范围要求。整平时

抛石管从一条垄的起点开始定位, 皮带机向抛石管供料5~10 m的高度后, 大车开始带抛石管横向移动, 碎石不断从管底排出并整平成型, 皮带机保持供料, 抛石管不断移向终点, 到垄的终点

后,抛石管沿大台车纵向移动2.6 m,进入下条垄的位置,调整垄的高程,开始整平下条垄,不断重复上述过程,完成一个船位的整平。

4.1 整平船移船定位

整平船移船由拖轮拖带,拖航时4个桩腿直立,桩腿最低点与平台底部基线平齐,船舶处于漂浮状态,拖到整平施工位置抛锚定位。整平船采用GPS定位,平面定位精度控制在 ± 100 mm以内。

4.2 整平船插桩抬升

1) 整平船调平:下降桩腿前依据倾斜仪的读数,通过压载水的调拨将船体调整到水平状态。

2) 整平船抬升:整平船的抬升由安装在升降主结构内的抬升装置完成,即通过液压油缸顶升带动爬升齿轮与桩腿齿条进行啮合运动,以此实现船体的抬升。

3) 整平船抬升压载:为防止船体浮出水面时下沉,向对角的2根支腿附加超载荷(1.3倍),再向剩余的2根支腿也附加超载荷(图4)。施工时为避免潮水及波浪的影响,整平船平台抬升高度为:可预测的高潮位+预测最大波高/2+富余高度(0.5 m)。

4.3 作业参数校准

1) 施工位置确认:平台整平船抬升完成后,在控制系统中输入第一条垄的两端点坐标,控制系统自动显示其位置。此时确认计划铺设区域是否在

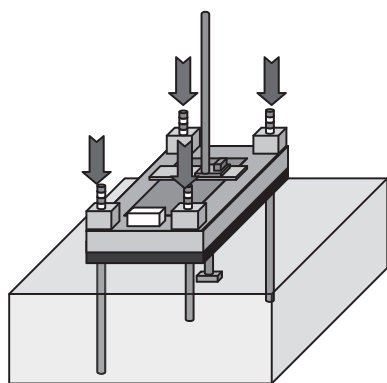


图4 平台抬升压载状态示意

铺设范围内,若不满足要求需重新定位抬升平台。

2) 声纳校准:声纳受水深、水温、盐分浓度等因素的影响使测量值产生误差,所以每次测量时都需要进行校准。校准时,将抛石管降至施工深度,通过校准用声纳进行测深,接收发送器和反射

盘之间的距离为1 500 mm,如果有误差时进行音速修正。之后向施工用声纳输入音速修正值,再次用相同的顺序进行确认(图5)。

3) 抛石管深度确认:为了精确校核抛石管系统的高程,需要对抛石管深度进行确认。通过岸上(或人工岛)或测量塔的已知点来测量抛石管的深度进行确认。

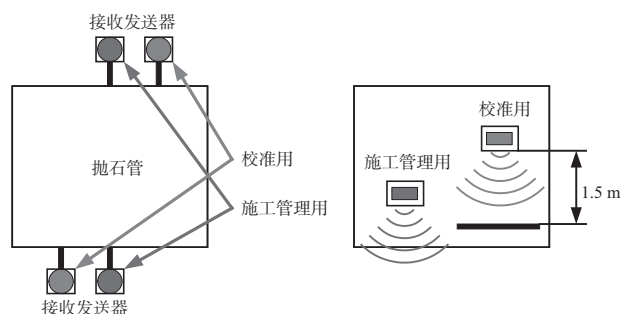


图5 声纳校准示意

4) 抛石管位置的确认:抛石管位置通过设置在大车控制室中的抛石管定位系统进行管理,为了确认此系统的精度,施工前在人工岛或测量塔的已知点确认抛石管的位置,确认的方法是使用全站仪进行测量或使用静态的GPS测量。

5) 底部油缸行程长度的确认:油缸有效行程为1 200 mm,通过伸缩底部油缸进一步确认准确推出距离。

4.4 抛石管定位

1) 施工高程的确定:对接端施工高程=已安管节尾端基床垫层实测顶高程;尾端施工高程=待安管节尾端设计高程+当期沉降量;待安管节首尾端碎石垫层高程确定后,对本管节纵向坡度做相应微调。

2) 抛石管起点、终点的确定:为了保证碎石基层的起点和终点处的整平质量,碎石垫层的起点和终点都选择在垫层以外,从垫层外进入,到垫层外结束。

3) 抛石管下降定位:抛石管底高程校准完成后,再通过抛石管顶部设置的GPS确认抛石管的平面位置,最后通过移动大小车将抛石管定位于施工位置。

4.5 供料船定位、供料

供料船在未铺设一侧横跨基槽方向布置,且

与整平船之间保持一定距离,避免供料船与整平船碰撞。运料船运料至现场后,顺基槽垂直供料船布置,把船头运输斜板搭在供料船上,通过装载机给供料船供料或直接给整平船供料。供料船的存料能力为 $700 \sim 1\,300 \text{ m}^3$ 。

4.6 碎石垫层铺设

1) 垫层纵坡的控制:碎石基础沿纵向均设有纵坡,通过制作不同坡度的管头调整段来对所有坡度进行施工,坡度变化时,更换相应坡度的管头调整段。

2) 碎石基床分层:整平船铺设碎石垫层厚度均为 1.5 m 。为了提高碎石基床整平精度,铺设分两层施工,基床顶层 40 cm 为细平层,底层 1.1 m 为粗平层,先进行底层铺设,再进行顶层铺设。

3) 抛石管移动速度:本船设计铺设速度 $0.1 \sim 2.5 \text{ m/min}$ 。施工时底层碎石铺设行走速度为 1.5 m/min ,顶层碎石铺设行走速度为 1.0 m/min ,垫层验收抛石管行走速度为 2.5 m/min 。

4) 抛石管行走路线控制:碎石抛填方向及抛石起点、终点位置确定后,通过施工管理系统设置抛石管行走路线,依据施工管理系统的记忆功能,保证底层碎石、顶层碎石及铺设验收三道工序抛石管均按同一路线行走。

5) 料位管理:通过重锤测量法将抛石管内料位高度控制在 $5 \sim 10 \text{ m}$ 。重锤测量装置见图6。

6) 铺设作业:碎石基床铺设是碎石通过抛石管移动进行的排出、铺设作业。抛石管的移动是依靠行走大车和行走小车的纵移和横移实现的,由移动行走大、小车带动抛石管移动,完成铺设与整平作业。

4.7 成型测量验收

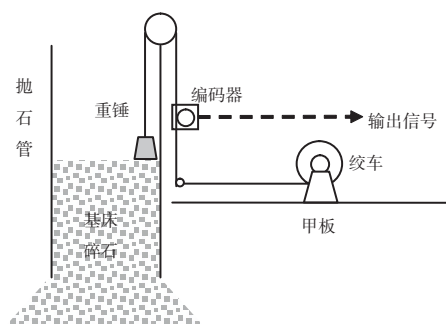


图6 石料高度测量

碎石垫层第二层铺设到达一个船位的终点后,需对碎石垫层的高程进行质量检测。将抛石管提升到声纳距成形表面 $2 \sim 2.5 \text{ m}$ 左右的距离,通过安装在给料管前端的声纳予以确认。通过计算机界面横向移动抛石管、纵向移动台车,按照图7所示的检测线检测铺设碎石垫层的高程。图中“①”表示横断面测量,检测碎石条带中心线的高程;“②”为纵断面测量,检测碎石垫层宽度的 $L/6$ 和 $L/2$ 共3条线的高程。当碎石基床存在部分超出要求范围时,采用抛石管局部刮平处理或重新铺设。

4.8 进入下一船位

一个船位基床铺设完成检测合格后,整平船下降入水,通过船体浮力将4根桩腿同时拔出,此时一个船位基床整平结束,移船至下一船位进行

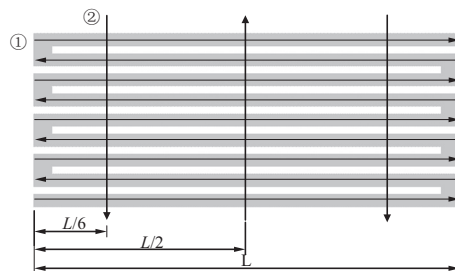


图7 碎石垫层高程检测

基床铺设。

5 工艺实施效果^[2]

5.1 整平精度

韩国釜山沉管隧道基础采用KUS-ISLANDD号船整平,选取6,7,9管节的测量结果进行整平精度说明,整平允许偏差按 $\pm 40 \text{ mm}$ 计,其整平测量结果见表3。

韩国釜山沉管隧道基础整平的合格率均达到80%以上,但垄的平均值合格率均达到90%以上,这样的整平精度,安装的沉管没有发生质量问题。

5.2 整平效率

表3 整平的测量结果

管节	测量 笼数/条	测点 总数/个	高于 4 cm的点	低于 4 cm的点	$\pm 4 \text{ cm}$ 以 内的点	合格 率/%	笼平均值 合格率/%
6	73	19 703	473	2 847	16 383	83.1	94.5
7	73	19 393	251	1 527	17 615	90.8	100
9	66	18 558	647	946	16 965	91.4	100

整平船的效率与相关的各工序时间以及操作的熟练程度有关,韩国釜山沉管基础整平的效率为:一般12~16 h可整平一个船位(分2层整平),总面积是1 060 m²,整平一个180 m长的管节需12个船位,考虑6 h的移船定位时间,整平一个管节大概需要9~11 d。

5.3 安全、环保

整平船工作时,船体被4个桩腿牢固地顶离水面一定高度,船体基本不受波浪、水流的影响,就像在陆地工作一样,船体抗风的能力也大大增强,除非有台风到来才去避风,因此,整平船整平工作的安全性很高。整平船是用抛石管来抛填石料,对施工海域的扰动和周围的生态环境影响极小。

6 结语

1) 平台式抛石整平船是专为韩国釜山隧道基础整平施工设计、改建的专用船,它实现了抛石、整平、检测一体化的作业,在水深50 m左右

的条件下,整平精度达到了 ± 40 mm,满足了沉管基础整平的需要。作为先铺法施工的整平技术应该是世界上比较先进的,在施工管理和控制方面,更有很多独到之处,国内同类工程可以学习借鉴。

2) 本工程于2007年9月开始施工,到2010年12月结束,共铺设了约3 240 m(约10万m²)的基础,共下沉了18段沉管,施工效率完全满足工期要求、施工质量完全合格,已安装的18根沉管没有发现基础质量问题。

参考文献:

- [1] 王梦恕. 中国隧道及地下工程修建技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
- [2] 张宝昌. 韩国釜山沉管隧道施工技术考察报告[R]. 青岛: 中交一航局第二工程有限公司, 2010.
- [3] 冲山, 祯雄. 深水抛石整平船KUS-ISLAND[J]. 建筑施工规划, 2010(2): 68-72.

(本文编辑 郭雪珍)

~~~~~

## · 消 息 ·

### “长江口02”号轮挖泥船正式交船

近日,由道达海洋重工与荷兰联合建造的12 000 m<sup>3</sup>自航耙吸式挖泥船“长江口02”号正式交付长江口航道管理局。“长江口02”号挖泥船是目前国内建造的最先进、技术含量最高的大型挖泥船,与常规耙吸式挖泥船相比,具有机动灵活、效率高、避让快、浅吃水等特点,能在风浪较大和土质不易沉淀的情况下装驳作业,是耙吸式挖泥船中的高端产品。该船总长132 m,型宽27.3 m,耙吸深度25 m,泥舱容积12 000 m<sup>3</sup>,主要用于长江口深水航道专用清淤疏浚和维护。

摘编自《交通建设报》