



沉管隧道管节沉放施工技术*

吴瑞大¹, 任朝军^{1,2}, 吕 黄¹, 苏林王^{1,2}

(1. 中交第四航务工程局有限公司, 广东 广州 510230; 2. 中交四航工程研究院有限公司, 广东 广州 510230)

摘要: 以国内外已建沉管隧道相关施工技术为依托, 对常用管节沉放方法进行对比分析。阐述常用管节沉放方法如浮吊法、浮箱沉吊法、升降平台法和抬吊法的施工流程及技术措施, 并对4种管节沉放方法的优缺点进行综合比较, 给出每种管节沉放方法的适用范围, 为沉管隧道管节沉放方法的选择、工艺优化以及新技术研究提供参考依据。

关键词: 管节沉放; 浮吊法; 浮箱沉吊法; 升降平台法; 抬吊法

中图分类号: U 455

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)02-0150-06

Sinking technology for immersed tubes

WU Rui-da¹, REN Chao-jun^{1,2}, LYU Huang¹, SU Lin-wang^{1,2}

(1. CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China;

2. CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: According to the immersed tunnel projects built at home and abroad, we summarize the popular sinking methods for immersed tubes. Based on the study about the construction process and technical measures of the popular methods, such as floating crane method, floating box method, SEP method and square barge method, we present the merits and faults, and give the applicability of each sinking method to provide a reference for the method choice, technical optimization and new technology research.

Keywords: immersed tube sinking; floating crane method; floating box method; SEP method; square barge method

随着全球经济和科技的发展, 跨越江河和海峡的交通运输逐渐增多。为满足生产、生活的需要, 同时降低对周围环境的影响, 解决大面积水域的航运等问题, 水下隧道技术应运而生。水下隧道主要的施工方法有沉管法、矿山法和盾构法。沉管法隧道线路总长较矿山法和盾构法隧道显著缩短, 管节断面形状选择灵活, 施工时各工序可平行作业, 极大地提高了作业效率, 同时预制管节的质量控制精度较高, 因此, 沉管法隧道在很多情况下占有明显优势, 已成为最经济合理

的水下穿越方案^[1-3]。

管节沉放是整个沉管隧道水下施工中极为重要的一环, 合理的管节沉放方案可以提高管节沉放的安全性, 保证隧道施工质量。沉管隧道发展初期, 管节沉放常采用浮吊法和拉沉法, 随着沉管隧道规模的日益大型化和施工技术的发展, 先后形成了浮箱沉吊法、升降平台法、抬吊法等管节沉放施工工艺。由于每条隧道的工程特点和施工条件各不相同, 因此无法形成一套统一可靠的施工工艺。针对具体的工程, 管节沉放方案的选

收稿日期: 2012-10-23

*基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2011BAG07B01)

作者简介: 吴瑞大 (1966—), 男, 高级工程师, 主要从事港口航道工程、公路桥梁施工技术研发。

择极其复杂,必须综合考虑隧道规模、建设条件、施工限制条件以及船机设备等情况。研究国内外沉管隧道管节沉放技术,综合分析其优缺点和适用范围,可以为沉管隧道管节沉放方案的选择提供参考,对我国隧道技术的发展意义重大。

1 国内外管节沉放定施工技术

对国内外沉管隧道管节沉放方案进行研究分析,管节沉放方法主要包括吊沉法和拉沉法^[4]。拉沉法利用预先设在沟槽的地垄,通过架设在管节上面的卷扬机牵拉扣在地垄上的钢丝绳,将管节缓缓拉入水中。该方法由于不需要方驳等沉放船舶的特点^[5],在隧道工程中有一定的应用,如荷兰埃河隧道、法国马赛港隧道。但是拉沉法水底桩墩设置费用较高,尤其是施工水深较大,管节数量较多,因此现在沉管隧道施工时已经极少采

用。目前沉管隧道管节沉放主要采用吊沉法,根据管节沉放设备的不同,吊沉法可分为浮吊法、浮箱沉吊法、升降平台法和抬吊法等。

1) 浮吊法。

浮吊法又称起重船沉吊法,管节浮运到位后,采用2~4艘起重船提吊管节顶面预设的吊点,将管节缓慢沉放到规定的基槽位置。采用单浮吊沉放管节时,管节控制难度较大,在管节纵坡调整时较难让管节处于稳定状态。当管节纵向晃动过大时,由于压载水晃动过大而改变管节重心位置,造成不稳加剧,容易发生安全事故。与单浮吊相比,双浮吊对管节控制能力较好,但是由于浮吊前端锚固定位缆不能直接穿越管节,故必须在管节的另一侧设置锚缆方驳,见图1。虽然浮吊法施工便利,但是受起重能力所限,浮吊法常用在规模较小、管节较轻的沉管隧道,如荷兰Botlek隧道、广州珠江隧道^[6-7]等。

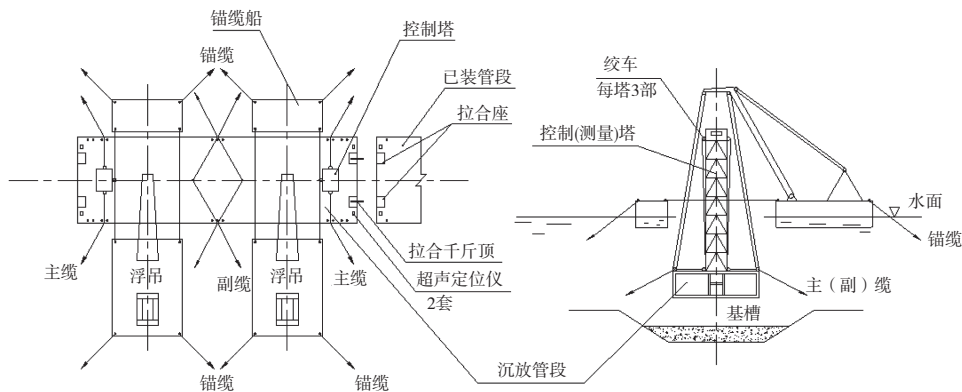


图1 双浮吊管节沉放

2) 浮箱沉吊法。

浮箱沉吊法是20世纪60年代在荷兰建造柯恩隧道和陪纳勒克斯隧道时首创的,其使用历史较长,使用频率较高。初期该方法的沉放设备为4只方形浮箱,分为前后2组,每组浮箱以钢桁架相连。随着技术的发展,4只浮箱逐渐由前后2只大浮箱或改装的浮驳所取代,并成为浮箱沉吊法的主流,如上海外环沉管隧道^[8-9]、宁波常洪沉管隧

道^[10]均采用浮驳代替浮箱的沉吊法。管节二次舾装时,采用起重船将浮箱起吊至管节顶部,管节吊点通过缆索与浮箱上的沉放绞车相连并固定。浮箱和管节一起浮运到施工现场,由于浮箱的压力,导致管节干舷降低,因此浮运前应对管节的干舷进行细致分析,如干舷确实不能满足管节浮运要求时,应采用合理措施进行助浮。管节浮运到位后,采用4根横调缆和2根纵调缆将管节锚固定位,同时每个

浮箱以4个锚索定位,管节调整绞车通常位于测量塔顶部,通过转向滑轮与调整缆相连,见图2。管节沉放时,向管节灌注压载水至设计位置,然后缓慢释放沉放绞车,管节以40~50 cm/min速度下沉,管节沉放过程中,应随时采用调整缆校正管节位置。采用浮箱沉吊法施工时,对浮箱的系泊要求较低,为了简化施工工艺,加快施工进度,在条件允许时可以省掉浮箱的系泊缆。

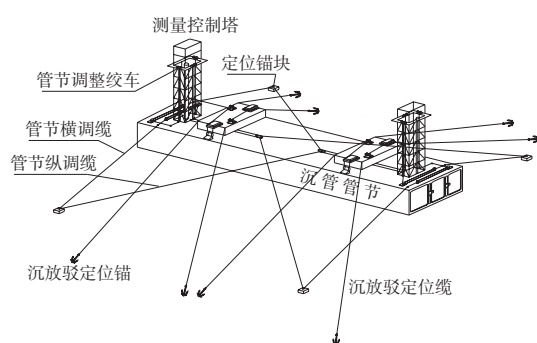


图2 浮箱法管节沉放

3) 升降平台法。

升降平台法又称SEP法或骑吊法。该方法的主要施工设备是自升式升降平台，升降平台由4根柱脚和1个钢浮箱组成。移动升降平台至管节沉放区上方，将柱脚下放至基床表面，向钢浮箱内部注水，在重力和柱脚液压千斤顶作用下，柱脚插入海床至设计位置。平台沿柱脚升出水面。管节就位后，将管节吊点与升降平台的沉放缆索相连，利用平台沉吊管节，将管节缓慢沉放至预定位置。管节沉放完成后，将平台下放至水面并且钢浮箱排水，利用浮力将柱脚拔出，浮运转移继续使用。升降平台法沉放管节示意图3。由于升降平台法沉放管节稳定性好，且不需要管节锚碇系统，其占用的作业水域较小，因此在交通繁忙的水域得到了广泛的应用，如日本京叶线台场沉管隧道、香港地铁沉管隧道等。

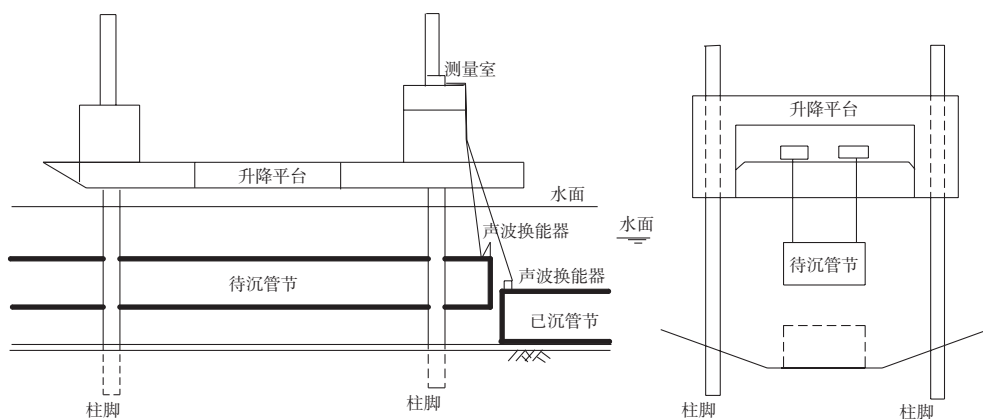


图3 升降平台法沉放管节

4) 抬吊法。

抬吊法又称扛吊法或方驳扛吊法。四方驳抬吊法的主要设备为4艘小型方驳,方驳分为前后2组,每组方驳之间由型钢或钢梁板相连,2组船舶之间也可采用桁架相连,形成一个船组,见图4。

管节沉放时,方驳之间的钢梁作为受力构件承受管节的吊力。由于方驳较小,吊沉能力有限,因此四方驳抬吊法多用于规模较小的沉管隧

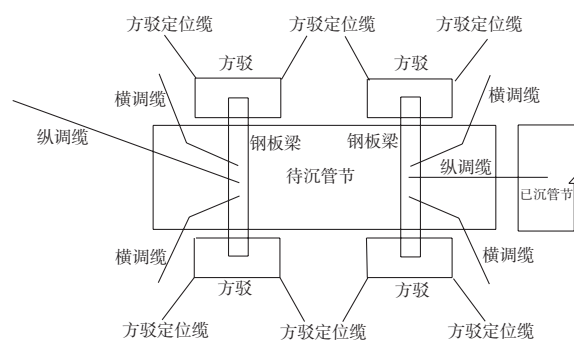


图4 四方驳抬吊法沉放管节

道, 如第二座汉普顿公路桥式隧道等。随着社会的发展, 沉管隧道的规模越来越大, 管节施工环境越来越复杂, 对管节沉放的稳定性要求越来越高, 为了解决这个难题, 工程技术人员对抬吊法进行了改进, 将前后两只方驳采用一只大的方驳代替, 就产生了双驳抬吊法, 见图5。双驳抬吊法的方驳尺度较大, 虽然制造费用较高, 但是其稳定性较好, 适合各种复杂的管节沉放条件。该方法在国外应用较多, 如日本多摩川、川崎航道沉管隧道^[11]、美国旧金山巴特沉管隧道等。由于双驳抬吊法的方驳的稳定性较好, 操作比较方便, 因此管节的锚固要求较低, 在条件许可时, 可以省去管节定位缆索, 改用对角方向张拉的斜索系定于整体稳定性好的双驳船组上, 进行管节位置微调 and 管节沉放。

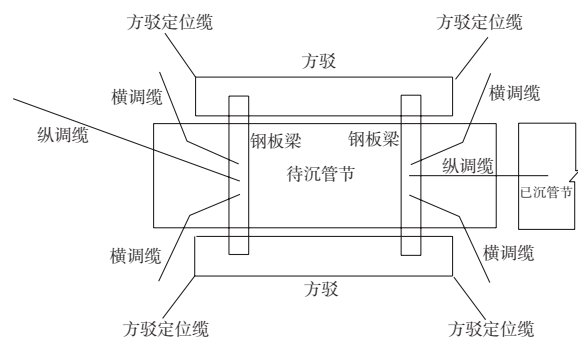


图5 双驳抬吊法沉放管节

将方驳尺寸和吃水深度加大, 同时将左右2个方驳与连接钢梁制造为一个整体, 就形成了另外一种双驳抬吊法即双壳体船法, 见图6。其沉放稳定性略低于前述双浮驳抬吊法, 该方法在韩国釜山-巨济沉管隧道中得到了成功的应用。

2 管节沉放施工方案适用性分析

对于具体沉管隧道工程, 为了在众多方案中选择最合适的管节沉放施工方案, 必须对现有的管节沉放施工技术进行全面了解, 掌握各种施工方法的特点、适用范围以及沉放注意事项, 在此基础上, 根据工程的规模、风浪流、航道、

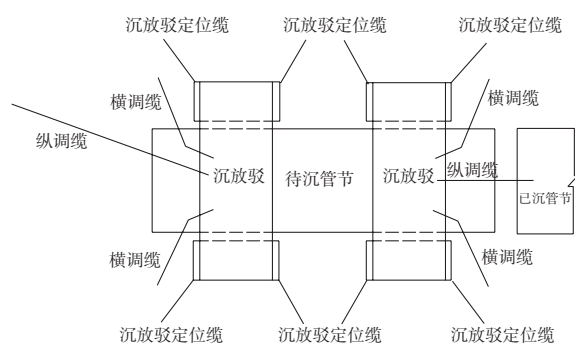


图6 双壳体船抬吊法沉放管节

现有设备等情况进行综合分析, 确定可行的施工方案。管节沉放方案选择是一个复杂反复的过程, 是沉管隧道施工工艺研究的关键, 为了提高沉放方案选择的效率, 本文根据国内外的工程实例, 结合沉管隧道的施工特点, 对4种常用的管节沉吊方法的优缺点进行综合比较, 结果见表1。

由表1可以看出, 由于占用施工水域面积较大, 且受船舶起重能力影响, 浮吊法常用于规模较小且施工水域开阔的沉管隧道; 浮箱沉吊法的稳定较差, 不适用于恶劣水文环境下施工的沉管隧道, 同时当施工水深较大时, 测量塔变形较大, 导致管节无法精确定位, 因此浮箱沉吊法也不适用大水深施工的沉管隧道; 骑吊法施工时受风浪流等的影响较小, 稳定性极好, 同时由于没有锚碇结构, 其占用的施工水域面积极小, 但是由于设备成本高, 因此该方法适用于水深大、施工水域小且水文条件恶劣的沉管隧道; 四方驳抬吊法由于吊沉能力有限, 多用于规模较小的沉管隧道。对于双驳抬吊法, 浮运时抬吊驳可以助浮, 解决干舷管节不足的问题, 同时沉放驳对浮轴的惯性矩成倍增大, 使得浮运和沉放时管节抗倾覆稳定性及安全度大为提高, 但是由于沉放驳的制造成本较高, 该方法常用于规模较大、管节数量较多、施工水深较大、水文环境恶劣的沉管隧道。

表1 管节沉放施工方案优缺点比较

比较项目	浮吊法	浮箱沉吊法	骑吊法	抬吊法
对二次舾装的影响	无	无	无	有测量塔时需按顺序二次舾装
沉放设备就位	不需其它设备	需起重船辅助	不需其它设备	无自航能力时需拖轮或绞车配合
微调绞车的位置	测量塔顶部	测量塔顶部	不需微调绞车	沉放驳甲板
对测量塔要求	刚度要求较大	刚度要求较大	无	刚度要求较小
沉放设备	不需专门制造, 成本较低	不需专门制造, 成本较低	需专门制造, 成本高	双驳和双壳体船需专门制造, 成本较高
对干舷的影响	无	降低管节干舷, 干舷不足要求时需助浮	无	无
拖航阻力	较小	较小	较小	迎水面积较大, 拖航阻力较大
吊驳的系泊要求	较高	较低, 条件允许时浮箱可不系泊	无沉放吊驳	较高
管节锚定要求	较高	较高	较低, 管节也可以不锚定	较低, 双驳抬吊时管节可以不锚定
占用水域面积	极大	较小	最小	较大
不足	受船舶起重能力影响较大	稳定性稍差, 不适用于大水深、恶劣的水文环境	成本较高, 施工效率稍低	四方驳抬吊的吊沉能力较低, 双驳抬吊成本较高

3 结语

浮吊法形成的时间较早, 常用于水域开阔、规模较小的沉管隧道, 随着隧道建设的发展, 目前该方法的应用越来越少; 改进后的浮箱沉吊法, 用2个大浮箱或改装驳船取代了4只小浮箱, 沉放稳定性和起重能力有所增加, 是目前中大型沉管隧道管节沉放的主要方法; 双浮驳抬吊法虽然设备成本较高, 但是由于其良好的稳定性和施工的便捷性, 该方法已成为大水深、恶劣水文环境条件下大规模沉管隧道施工的首选; 升降平台法施工稳定性极好, 占用的施工水域面积小, 但是由于设备成本非常高, 该方法应用较少, 仅在施工水域极小且环境恶劣的沉管隧道中有所应用。

随着交通运输业和隧道施工技术的进步, 沉管隧道逐渐向外海、大水深、恶劣施工环境方向发展, 以现有管节沉放方法为基础, 研究新型的管节沉放施工技术, 或对现有施工技术

进行改进, 使其满足施工条件更为复杂的沉管隧道施工的需要, 是未来管节沉放施工技术的研究方向。

参考文献:

[1] 潘永仁, 丁美. 大型沉管隧道管段沉放施工技术[J]. 现代隧道技术, 2004, 41(5): 1-5.

[2] 杨小勇. 沉管隧道施工初探[J]. 西部探矿工程, 2006, 122(6): 136-138.

[3] 钟辉虹, 李树光, 刘学山, 等. 沉管隧道研究综述[J]. 市政技术, 2007, 25(6): 490-494.

[4] 陈韶章. 沉管隧道设计与施工[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

[5] 吴小羊. 上海市外环沉管隧道管段沉放施工技术[J]. 建筑施工, 2005, 27(2): 29-32.

[6] 陈越, 管敏鑫, 冯海朝. 珠江沉管隧道浮运沉放技术[J]. 世界隧道, 1996(6): 27-33.

- [7] 黎宝松. 广州珠江沉管隧道的设计与施工[J]. 城市道桥与防洪, 1992(4): 27-34.
- [8] 李侃, 杨国祥. 上海外环线越江沉管隧道工程技术概览[J]. 世界隧道, 2000(5): 32-37.
- [9] 朱家祥, 陈彬, 刘千伟, 等. 上海外环沉管隧道关键施工技术概述[J]. 岩土工程界, 2004, 6(9): 7-10.
- [10] 王吉云. 宁波常洪沉管隧道施工技术[J]. 现代隧道技术, 2002, 39(6): 13-22.
- [11] 胡政才, 先明其, 马积薪. 日本多摩川沉管隧道的设计与施工[J]. 世界隧道, 1995(5): 52-75.
- (本文编辑 郭雪珍)

《水运工程》优秀论文评选

评委点评:

沉管法隧道在水下隧道技术中占有明显优势: 线路总长明显缩短, 施工时各工序可平行作业、提高作业效率、预制管节质量精度控制较高, 很多情况下是最经济合理的水下穿越方案。管节沉放是其中极为重要的一环, 方案的选择极其复杂, 必须综合考虑隧道规模、建设条件、施工限制条件以及船机设备等情况。

本文在研究国内外沉管隧道管节沉放技术的基础上, 综合分析比较了浮吊法、浮箱沉吊法、升降平台法、抬吊法的优缺点和适用范围, 阐述了施工流程及技术措施, 可以为沉管隧道管节沉放方案的选择提供参考, 对我国隧道技术的发展颇有裨益。随着行业发展和技术进步, 沉管隧道向外海、大水深、恶劣环境发展, 建议作者以现有管节沉放研究成果为基础, 结合工程实例, 研究新型的管节沉放施工技术, 或对现有技术优化改进, 以满足施工条件更为复杂的沉管隧道施工需要, 为我国隧道技术的前瞻性发展做好储备。



2014年12月

评委简历:



匡立平, 应用研究员, 山东港湾建设集团有限公司执行董事、总经理。

在6个部级、省级重点建设项目中担任主要技术工作, 其中4项工程获交通运输部水运工程质量奖, 1项工程获国家优质工程银奖。撰写的多篇论文在国家级刊物上发表, 为一线施工提供了有力的技术支持。