

上海外环沉管隧道大型管段浮运方法

潘永仁

(香港建设(控股)有限公司,上海 200120)

[摘要] 管段浮运是沉管隧道施工的重要环节,本文以上海外环沉管隧道重量超过 41000t 的管段浮运为工程背景,首先介绍管段拖曳阻力的模型试验,然后说明拖轮配备、浮运工艺流程及浮筒助浮措施,最后简述黄浦江航道交通管制方法。

[关键词] 沉管隧道;管段浮运;航道交通管制

[中图分类号] U455;U491.6

[文献标识码] A

[文章编号] 1002-8498(2004)05-0052-03

The Floating Transport Method of Large Elements Employed for Shanghai Out-ring Immersed Tube Tunnel

PAN Yong-ren

(Hong Kong Construction(Holdings) Limited, Shanghai 200120, China)

Abstract: The floating transport of elements is the key step in the construction of immersed tube tunnel. In this paper, the towing of element, weighing over 41000t, of Shanghai Outer ring immersed tube tunnel are taken as an engineering background. First, the laboratory test of model for determining towing force is briefed. Second, the technique and program of element towing, tugboat arrangement and assistant floating of element through pontoons are introduced. Finally, the method of waterway control in the Huang pu river during element towing is presented.

Key words: immersed tube tunnel; element towing; waterway control

上海外环隧道是城市外环线跨越黄浦江下游的越江工程,距吴淞口约 2km,是上海市首次采用沉管法修建的双向八车道的大型水底公路隧道。江中段长 736m,由 7 个管段 E1 ~ E7 组成,管段宽度 43m、高度 9.55m、长度 100 ~ 108m,最大水下埋深超过 30m。管段制作分大小两个坞进行,其中 E7、E6 管段在小坞制作,从浦东侧开始往浦西侧先期进行沉放,E1、E2、E3、E4、E5 管段在大坞制作,在后期从浦西侧开始往浦东侧按序进行沉放,在 E5 与 E6 管段之间建造最终接头。管段在各自的坞口临时系泊区安装沉放用测量定位塔和钢浮箱。E7、E6 管段利用岸上和工程船舶上的绞车移动到沉放位置,E1、E2、E3、E4、E5 管段从坞口临时系泊区移动到江中沉放位置,需要拖轮浮运和黄浦江封航。下面先介绍管段拖曳阻力的模型试验。

1 管段拖曳阻力的确定

1.1 管段拖曳阻力的模型试验

以长 100m、宽 43m、高 9.55m、平均干舷 0.15m 的 E3 管段为模拟对象。考虑到黄浦江水深变化较大,试验中采用 2 个水深,即 $h = 11\text{m}$ 和 $h = 16\text{m}$ 。拖航速度范围为 0.5 ~ 2.5kn (1kn = 0.515m/s)。为了考察波浪对阻力的影响,对于 11m 水深还进行了在规则波中迎浪

情况下的阻力试验,实体浪高 0.5m。试验分纵拖、横拖及斜拖 30° 和 60° 4 种情况进行,限于篇幅,表 1 仅给出纵拖、横拖的试验结果,阻力曲线与阻力系数曲线如图 1、2 所示。从试验结果可知,阻力系数随着拖运速度的增加而减小。0.5m 波浪对阻力的影响不大,在拖曳速度 2.5kn 时波浪阻力的增加约为 8%。水深对阻力有明显的影响,11m 水深时的阻力比 16m 水深时大 20% 以上。

1.2 管段拖曳阻力的经验估算

根据《港口工程荷载规范》JT215-98,有水流力的公式:

$$F_w = C_w \frac{\rho}{2} V^2 A \quad (1)$$

式中: F_w ——水流力 (kN);

V ——水流相对于管段在阻水面积范围内的平均流速 (m/s);

[收稿日期] 2003-09-23

[作者简介] 潘永仁(1965—),男,浙江东阳人,香港建设(控股)有限公司上海外环隧道管段沉放项目部副经理,高级工程师,博士,上海市政立路 1588 弄 21 号 502 室 200434,电话: (021) 55396100

表1 试验结果

试验工况	拖曳速度/kn				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
	阻力 (kN)				
纵拖,水深 11m,静水	18	77	154	254	426
纵拖,水深 11m,波高 0.5m	23	86	168	279	449
纵拖,水深 16m,静水	15	68	141	233	349
横拖,水深 11m,静水	78	291	562	921	1328
横拖,水深 11m,波高 0.5m	97	329	630	988	1444
横拖,水深 16m,静水	48	242	465	746	1095

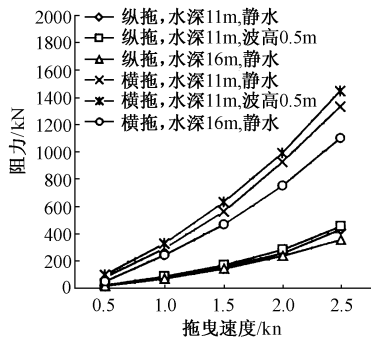


图1 阻力曲线

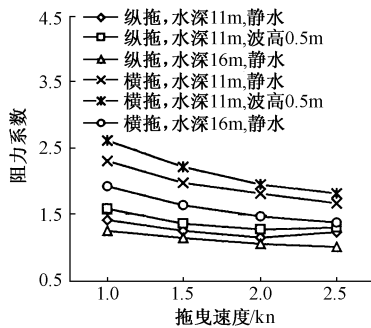


图2 阻力系数曲线

C_w ——水流阻力系数,根据被拖曳物体沿拖曳方向的长度与迎流面的宽度的比值确定;

——水的密度,取 $1t/m^3$;

A ——拖曳物体在流向垂直平面上的投影面积 (m^2)。

根据规范,纵拖时 C_w 取 1.1,横拖时 C_w 取 1.6 (根据规范值外推得到),于是在 $V = 1kn$,管段平均干舷取 0.15m 时,对 E3 管段有:

纵拖时的水流阻力: $F_{W1} = 1.1 \times 0.5 \times 0.515^2 \times 43 \times 9.40 = 59.0kN$;

横拖时的水流阻力: $F_{W2} = 1.6 \times 0.5 \times 0.515^2 \times 100 \times 9.40 = 199.5kN$ 。

1.3 管段拖曳阻力的取定及分析

经验估算值与模型试验值的差异较大,后者更正确可靠,这是因为它是针对性的专门试验,另外规范中没有大型钝体水流阻力的计算方法,上面的计算只是

参考类似的公式估算。从图 3 可知,流速、阻水面积、水深、波浪高度中的任何一项变化, C_w 都会不同。实际应用式(1)进行水流阻力的计算,对 C_w 的准确取值是比较困难的。

对管段拖运,只有通过模型试验才能准确确定管段的拖曳阻力。由于试验模型表面光滑,而实际管段外表面是较为粗糙的混凝土,为此,以最不利工况水深 11m、波高 0.5m 的试验结果提高 20 %作为实际施工取值。

在 $V = 1kn$,管段平均干舷取 0.15m 时,对 E3 管段有:

纵拖时的水流阻力: $F_{W1} = 86 \times 1.2 = 103.2kN$;

横拖时的水流阻力: $F_{W2} = 329 \times 1.2 = 394.8kN$ 。

2 管段浮运工艺与流程

2.1 管段浮运的水文、气象条件

水流流速 $< 0.5m/s$;风速 $< 5m/s$;波高 $< 0.5m$;能见度 $> 1000m$ 。

2.2 管段浮运方式及拖轮配备

由于管段的干舷较低,而拖轮的船舷较高,无法直接傍拖,参考国外沉管隧道管段浮运的经验,采用 4 艘全回转大马力拖轮吊拖的方式进行管段浮运。管段从 B 坞坞口临时系泊区到隧道轴线 E3 管段沉放位置,浮运距离为 600m,采用先沿出坞航道纵拖 200m,然后在主航道上斜横拖 400m 的浮运线路,浮运速度定为 1kn,如图 3 所示。

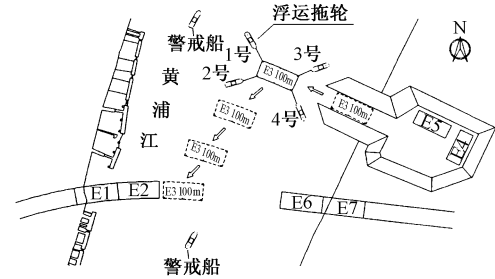


图3 E3 管段浮运线路示意

配备 5 艘功率为 2942kW 的拖轮 (其中 1 艘为各用),拖缆采用 96mm 尼龙缆,长度不小于 80m。拖轮系柱拖力为 314kN。使用 4 艘拖轮拖带管段,在迎流方向上总有 2 艘拖轮同时发挥作用,考虑拖轮艏向与来流方向成 45° 角,则拖力在水流方向上的合力为: $2 \times 314kN \times \cos 45^\circ = 444kN > F_{W1}、F_{W2}$,拖轮配备可满足拖运要求。

2.3 管段浮运时间及步骤

管段浮运安排在每月农历初 10 和 25 左右进行,根据黄浦江河口的潮汐涨落规律,一般选择在白天高平潮前 1.5 ~ 2h 开始浮运,此时为涨潮,对浮运有利。从临时系泊区拖轮带缆至浮运结束拖轮撤离,一般为 3 ~ 4h,其中黄浦江封航 2h。

表 2 为 2002 年 11 月 14 日 E3 管段浮运日的潮位与断面平均流速预测值,对应的曲线如图 4 所示。07:00~09:00,潮位大于 2.3m,出坞航道和主航道水深均超过 11.80m,管底富余水深超过 2.40m,且流速小于 0.5m/s。综合分析后决定在 07:00 开始管段浮运,13:00 开始管段沉放,航道封航时间为 6:30~8:30。浮运步骤如下:

- (1)05:30~06:00 管段浮运准备,拆除管段的副系泊缆,拖轮到达现场;
- (2)06:00~07:00 管段首端的 2 条拖轮就位、带好拖缆,将岸上 2 台绞车的钢丝绳系到管段尾端的缆桩上,用于系留管段,拆除管段的主系泊缆;
- (3)07:00~07:10 管段在首端的 2 条拖轮拖带下,沿着出坞航道向西浮运 100m;
- (4)07:10~07:20 管段尾端的 2 条拖轮就位、带好拖缆,沿着出坞航道继续向西浮运 100m;
- (5)07:20~07:50 将管段沿着浮运线路斜横拖运至隧道轴线 E3 沉放区;
- (6)07:50~08:40 连接管段东北、西北的主系泊缆,置换相应拖轮拖缆,拖轮撤离;
- (7)08:40~09:30 连接管段东南、西南的主系泊缆,置换相应拖轮拖缆,拖轮撤离;

表 2 潮位与流速预测值

预测项目	时间/h											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
潮位/m	2.10	1.80	1.65	1.55	1.50	1.70	2.00	2.30	2.60	2.80	2.65	2.40
流速/(m/s)	0.45	0.55	0.65	0.68	0.40	0.25	-0.10	-0.40	-0.45	-0.25	0.10	0.25

预测项目	时间/h												
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
潮位/m	2.25	2.10	2.00	1.95	1.90	2.20	2.50	2.80	3.10	3.20	3.00	2.75	
流速/(m/s)	0.35	0.40	0.45	0.45	0.30	0.20	-0.10	-0.40	-0.60	-0.40	0.10	0.30	

注:流速为负表示涨潮,流速为正表示落潮

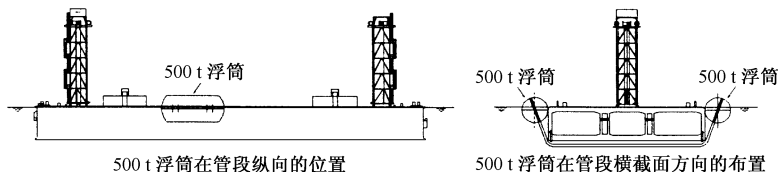


图 5 E3 管段管侧浮筒助浮

(8)09:30~10:00 连接管段的副系泊缆,调整管段位置,拖运结束。

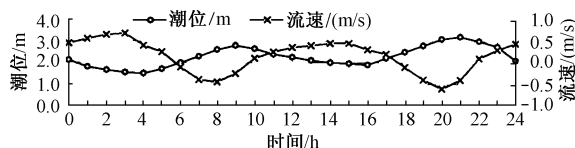


图 4 2002 年 11 月 14 日潮位与流速预测

2.4 航道交通管制

每天进出黄浦江的除了集装箱班轮、国际客轮、国内航线的货轮外,还有大量的小型货运船,这些货运船舶低、操纵性能差、多趁涨潮集中进口。针对大型管段浮运,海事局制订了周密详细的航道交通管制方案,封航范围从黄浦江的 101 灯浮到 107 灯浮,长达 5nmile,时间为 2h,提前 3d 发封航通告。各大航运公司根据封航通告临时调整了航班时间。对小型货运船,专门在吴淞口外设置临时锚地,供封航时临时停泊。

2.5 管段助浮措施

为了保证管段浮运安全,要求管段浮运时干舷大于 0.15m,而实际上 E1~E4 管段平均干舷小于 0.05m,为此,采用在管段两侧绑扎浮筒以增加管段干舷。根据管段试浮干舷测量情况,确定需绑扎的浮筒吨位、数量、位置。对 E3 管段用 1 对 500t 的浮筒助浮,如图 5 所示。

3 结语

沉管隧道施工在我国还处于起步阶段,许多大中城市如上海、南京、武汉、广州、宁波等均被河流分隔,沉管隧道在我国的应用前景十分广阔。本文介绍的仅是管段短距离浮运的方法,对管段长距离浮运,可考虑吊、傍混合拖的方法,以提高管段的操纵性能。对如何保证管段在内河航道中安全、快速浮运,需要技术人员与拖轮船队指挥协调配合,精心组织,预案周全。