

文章编号: 0451-0712(2006)03-0128-05

中图分类号: U445.3

文献标识码:

海上桥梁施工机械的配置及管理

蒋德林¹, 董庆华², 王洪斌³, 罗本洪³

(1. 路桥华南工程有限公司 中山市 528403; 2. 路桥集团国际建设股份有限公司 北京市 100027;

3. 路桥华东工程有限公司 上海市 200135)

摘 要: 海上桥梁与内陆桥梁相比, 海上桥梁对施工机械要求更高, 施工机械管理成效直接影响工程进度, 通过多年的施工实践, 对海上桥梁施工机械设备的配置及管理进行总结, 以促进海上桥梁建设事业的发展。

关键词: 海上桥梁; 施工机械; 配置; 管理

东海大桥和杭州湾大桥是我国最早建设的真正意义的超长型跨海大桥, 我公司先后参与了上述两座大桥的建设。为顺利完成施工任务, 公司投资购置和建造了打桩船、混凝土搅拌船、起重船、拖轮、交通船、供水船、材料供应船、驳船等海上工程船舶, 是中国公路施工行业首家拥有海上施工成套设备的企业。经过多年的实践, 我公司在海上工程船机设备管理方面积累了一些经验。

1 海上桥梁施工机械管理的特点

海上桥梁施工项目具有区别于内陆河的明显特点, 要提高机械管理成效, 必须满足海上桥梁项目的特殊要求。

(1) 海上工程项目比内陆有更高的机械化施工要求, 投入也大得多。施工中船机设备群体作业, 使用密度高, 施工对船机设备的依赖程度高, 机械管理成效直接影响到工程进度、质量、安全和效益。

(2) 由于工程处于无遮护的外海作业, 施工环境恶劣, 施工战线长、分散多点、无陆基依托, 再加上受雷暴、台风、大风、大雾、潮汐、盐雾(Cl^- 、 SO_4^{2-} 等)影响, 施工的安全风险性大, 船机设备的腐蚀速度快、操作难度大、维修保养不便、操作人员管理困难, 诸多因素导致海上工程机械管理面临许多难以克服的障碍。

比如, 东海大桥 IV 标段三座辅通航孔和 VI 标颗珠山大桥均为在远离岸线海域施工, 施工战线长达 30 km, K6、K12、K24 三座辅通航孔, 最远相距 18 km, K6 辅通航孔与颗珠山斜拉桥相距约 30 km。

作业点分散, K6、K12、K24 三座辅通航孔各有 5 个作业面, 来往均需船舶航行。施工区域常年处于风急浪高的状况, 风力大于 7 级的天数有 65.8 d, 风力大于 8 级的天数有 30 d, 全年平均波高超过 1 m, 部分区域水流速为 2~3 m/s, 年有效作业天数仅有 180 d 左右, 施工船舶定位及移动也十分困难。同时, 所有的施工用料及人员均由船舶从陆基码头转运才能到位, 给船机设备的管理和维修带来极大的不便。

(3) 海上作业危险性大、成本高, 为尽量减少海上作业, 技术上多采用岸上制作、海上吊装的方案, 这就需要大量的吊装设备和大型成套海上船舶设备。这些设备价格昂贵, 由于国内海上桥梁建设起步较晚, 船舶设备市场贮备匮乏, 可利用的社会资源不多。

2 船机设备的配置和管理

施工机械的需求及配置取决于施工方案。东海大桥辅通航孔桥为混凝土群桩基础, 采用搭设 9 个固定式水上施工平台的施工方案。杭州湾大桥 IV 标为打入式钢管桩基础, 无需搭设施工平台。两个项目的混凝土均在水上拌和现场灌注。为确保两个项目顺利实施, 我公司先后购进和建造了打桩船、混凝土搅拌船、起重船、拖轮、交通船、供水船、材料供应船、驳船等船舶设备。

海上桥梁工程施工的主体装备为船舶, 配备满足工程需要的船舶就成为施工成败的关键因素之一。两个项目主要船舶设备的配置情况见表 1。

东海大桥及杭州湾大桥工程所在地为沿海海域、三类航区, 因此配备的工程船舶适航证书必须为

表 1 主要船舶设备配置

东海大桥Ⅳ标			杭州湾大桥Ⅳ标		
设备名称	规格	数量	设备名称	规格	数量
混凝土拌和船	100 m ³ /h	3	混凝土拌和船	100 m ³ /h	2
打桩船	路桥建设桩 8 号	1	打桩船	路桥建设桩 8 号	1
起重船	50~200 t	5	起重船	50~200 t	5
拖轮	1 670~3 200 HP	4	拖轮	2 000~3 500 HP	4
水船	1 000 t	1	水船	1 000 t	1
货运船	各种规格	4	货运及多功能作业船	各种规格	6
交通船	各种规格	13	交通船	各种规格	3
抛锚艇	500 HP	4	抛锚艇	500~700 HP	4
			运桩船	1 800 t	1

沿海三类航区,船舶的导航、救生、消防等要按三类航区要求配置。在确定船舶种类和吨位(或马力)时,要从抗风能力和作业能力等方面进行考察、选用,确保能适应该海域施工工况。工程船舶的市场稀缺性是必须面对的主要问题之一,2002 年东海大桥刚开工,当时国内市场中符合沿海施工条件的各类工程船舶非常缺乏,能找到的一些打桩船、混凝土搅拌船、起重船等租金又非常高,并且对工程施工的适用性不尽如人意。针对当时情况,我公司当即决定自行购置或建造打桩船、混凝土搅拌船、起重船、拖轮、交通船等大型关键设备,其他小型船舶则到社会上租用。

工程船舶的锚系泊系统是船舶定位、移船作业以及安全使用的生命线,船舶的锚系泊系统是选择工程船舶的另一关键点。配置船舶的锚系泊系统时可从下列几个方面进行考察:

- (1)船舶自身吃水所受水流冲击产生的阻力需锚缆承载;
- (2)船舶自身高度受该海域最大可作业风力影响;
- (3)海洋潮汐引起洋流时速对船舶的冲击;
- (4)所在施工海域海床地质的可锚泊性,也就是锚泊位提供的抓地力情况;
- (5)定位锚泊及锚缆锚泊位置(锚缆长度、角度等);
- (6)船舶与洋流方向可能存在的夹角。

根据东海大桥和杭州湾大桥的实际情况,大型施工船舶的锚头一般选用 4 头 5~8 t 的有杆海军锚或当地土法制作的大抓力锚,锚机一般选用 15~20 t 的液压锚机,锚缆一般选用直径为 32~48 mm,长度为 300 m 的专用钢丝绳。

3 基础施工设备的管理

3.1 灌注桩基础施工

3.1.1 供电方式及发电机的选择

海上工程用电一般为自发电供应,供电方式及线路布置应在施工前期认真策划。以东海大桥Ⅳ标段为例,共有三个工区,每个工区有三个平台。三个工区中最短施工线为 360 m,最长施工线为 500 m,从施工区域长度来看,柴油发电机组供电范围均可满足,因此工区用电有两种选择方案:一种为各平台均设置柴油发电机组的分散式供电;一种是将柴油发电机组设置在中间平台上向两侧平台及边墩供电,称之为集中并网式供电。如果采用分散式供电方案,首先,考虑到钻机、振桩锤、塔吊等冲击型用电设备启动的需要,每平台至少需配置 600 kW 的供电量才能保证基桩钻孔的正常进行,9 个平台共需用电约 5 400 kW;其次,由于各平台在同一时间段用电是不等负荷的,用电高峰和低谷期不一致,必然产生能源不足和能源过剩在不同工区同时存在而造成浪费的现象;第三,一旦有发电机发生故障,该平台的各项工作将处于瘫痪状态。而且每台发电机均需安排 1~2 名操作手,人员使用多。采用中央平台集中并网供电则可克服分离式供电的三个缺点,节约能源又可节省人员。但集中供电缺点就是供电电缆必须置放在平台与平台之间的海底,而该部分区域又是施工船舶锚泊密集地,船锚可能会损害电缆,甚至引发安全事故。

经过方案比选,我们最后选定集中供电方案,同时制定了完善的安全防护措施,明显标识海底电缆的位置,并设置禁止船舶抛锚区域,确保该方案的顺利实施。

在海况条件下,人员进出和设备维修都非常困

难,再加上海洋空气中含有腐蚀性盐雾成分较多,因此在发电机选型时,使用密封性较好、耐腐蚀的船用发电机为宜。我们在各工区中间平台上设置4台300 kW及1台80 kW VOLVO型进口组装的船用发电机组,5台发电机组并网发电,保证整个工区用电,80 kW发电机组主要提供工区晚间照明及施工人员生活用电,用电高峰参与供电。在施工初期,由于尚未建立起发电机房,为满足施工需要,单机露天工作,受盐雾腐蚀、潮湿空气及劣质燃油对燃供系的损害等不利因素的影响,造成发电机在初始状态故障较多,随后我们有针对性地采取了一些措施,如:在供电平台上设置发电机房,并对发电机组的进、排气口进行改装,机组停机状态采取用预热装置通电对发电机及电器件加热防潮,夏季采用轴流风机改善机房通风条件,以改善发电机组的内外工作环境。自从发电机组工作环境得到改善后,故障基本排除,保证了工程的生产、生活用电。经统计,东海大桥项目发电机组工作满6 000 h,查验活塞环、气门等易磨损部位,磨损量仍在规范要求之内。

3.1.2 基桩施工设备管理

海上桥梁一般为深孔桩基础,东海大桥Ⅳ标三座辅通航孔每根基桩深度达110 m,桩径为2.5 m,浇注混凝土方量约700 m³/根,如此大方量基桩混凝土一次性浇注成功难度很大,必须保证钻孔及混凝土灌注机械性能的稳定性。

大直径基桩施工首先要保证基桩钢护筒沉桩质量,东海大桥主墩钢护筒设计直径为2.9 m,海底海床下振沉20 m,护筒振沉垂直度小于0.5%,振沉力高达180 t,我们选用国内最大的DJZ200可调偏心距式液压振动沉拔桩机,并配备最大工作直径为3.5 m的夹具,较好地解决了沉桩难题。

海上桥梁深孔桩基础单根浇注量很大(东海大桥Ⅳ标达到700 m³),为保证混凝土的连续浇注,需要大容量的搅拌船配合施工,我公司新建的3艘存量1 000 m³混凝土、生产能力为100 m³/h搅拌船先后投入使用。由于连续灌注的时间较长,为了保证混凝土连续灌注,必须预先选择条件较好、适于船舶施工的天气,在浇注前要对搅拌船进行全面的例行保养以保持船舶系统、搅拌系统处于良好的工作状态。基桩灌注过程中,必须根据船舶作业位置和洋流方向确定锚泊位置和形式,同时配备防止船舶走锚时能及时救助的值班拖轮、锚艇,救助船舶锚泊在距搅拌船500~800 m位置最佳。如果采用单艘搅拌船对

大方量(一次浇注大于400 m³)混凝土进行灌注,尤其是基桩混凝土,应尽量选用具有双拌和系统的搅拌船,以确保基桩灌注的安全。

基桩钻孔施工还应注意两个环节。第一是连续供电,连续供电才能保证桩孔护壁均匀而不出现孔壁崩塌。由于我们采用集中并网供电,一个工区就形成了一座小型发电站,如果一台发电机组出现故障,基本不影响正常供电,海上工区平台供电得到较好的保证。第二是锚泊系统要配套。如果船的锚泊系统不配套,混凝土浇注过程中如遇大风、大浪、大潮、流向变化大时,很容易发生船舶走锚现象。一旦发生走锚现象,需及时动用拖轮、锚艇进行救助,使船舶迅速回位恢复施工。

3.2 打入桩施工

打入桩基础是海上桥梁常见的形式,打入桩基础常规有两种,即PHC混凝土管桩基础和钢管桩基础。打入桩基础施工常用打桩船完成。海上桥梁使用的钢管桩一般为大直径长桩,如杭州湾跨海大桥钢管桩直径为1.6 m,长72~85 m。由于施工环境恶劣,要尽可能缩短海上施工的环节。打桩船的选型配置及使用在《杭州湾跨海大桥Ⅳ标钢管桩施工技术》一文中已有详细叙述。这里只强调以下几点:

(1)打桩船的选型应综合考虑打桩船的吊装系统是否能满足桩的起吊,主要考查内容为桩架的高度、吊桩系统的最大吊桩吨位,要充分利用高潮位水深来降低桩架高度;

(2)在深水区域,如打入桩径不超过1.5 m的中小直径管桩,打桩船桩架高度不够时,可通过水深调整5~8 m。当管桩桩径过大,水流对管桩冲击会影响打桩船桩架对管桩的定位精度时,不宜采用;

(3)施工海域的潮汐、水流、气象条件、海床可锚泊性对打桩船有较大的影响,打桩船必须是适航的,锚系泊系统能满足该区域海上施工;

(4)桩锤振沉力(锤击力)满足海上管桩区域的地质情况;

(5)打桩船替打与管桩管径应配套,如不配套须预先定做;

(6)统筹考虑施工效率、成本投入等因素的重要性,恰当选择全回转式或固定式打桩船。

4 承台与墩身的施工设备管理

海上桥梁的承台为大体积混凝土施工,配套承台施工的钢套箱或者混凝土套箱一般为整体式吊

装,以减少套箱海上拼装的工序,降低施工风险。东海大桥Ⅳ标承台套箱设计为防撞与套箱相结合的永久性结构,单件最重达560 t,杭州湾Ⅳ标承台套箱较小,但重量也达100 t。整体式套箱由于体积大、重量重,均由工厂完成制作加工。确定整体式套箱外协制作加工时,应选择有吊装能力的大型厂家,以利于组织套箱的落驳运输。大型套箱加工制作也可在工厂的平驳上进行组装成型,运输至施工现场安装,以减少工厂在大型浮吊上的投入。

套箱工厂吊装、运输、施工现场的安装均需专业大型设备完成,特大型水上起重设备可租赁,目前国内已有具备3 000 t起重能力的起重船。海上大型构件的安装应注意以下问题:

(1)事前应对构件的运输、吊装方案做详细的方案论证,从运输驳船的定位、浮吊驻位、吊索、卸扣、吊点、吊具等各方面进行计算求证;

(2)选择适航、适应工程所在海区的船舶进行运输、吊装作业;

(3)大潮汛期间(农历每月中旬、月底的前后5~6 d)不宜进行吊装作业;

(4)海面风力大于7级时(以东海北部海域为例)不宜进行吊装作业;

(5)海上出现暗流、涌浪、大雾等天气不宜吊装作业。

海上桥梁工程对于矮墩身较多采用预制吊装方案,对于高墩身施工则需要现浇完成。高墩身施工可在每个承台安装一台塔吊,可有效地解决有效作业时间短的问题。

5 上部结构的机械配置和管理

海上桥梁上部施工有现浇和预制吊装两种方案。除了大构件吊装,对于现浇及小构件吊装,所需机械配置与内陆桥梁无太大的差别,但应注意以下几点。

(1)采用挂篮现浇时,在挂篮拼装过程中,需用起重船吊装。因箱梁浇注施工,单个块段施工周期短,箱梁块段多,混凝土方量少。为了减少拌和船移位起、抛锚的次数,提高施工效率,可在适当位置安装一台卧式泵,采取二次泵送方式浇注箱梁。由于海工混凝土不易泵送,卧式泵的选型应较陆上同工况偏大。对于高塔施工安装塔式起重机必须做好抗台风的安全措施。

(2)装配式桥梁的上部施工。东海大桥Ⅶ标颗珠

山大桥主桥桥面为钢结构桁架主梁,上铺预制混凝土盖板,一般宜选用大型起重船架设钢梁。由于施工周期较长,我们自行设计加工8台吊装能力为100 t的桥面悬臂吊机,圆满地完成了颗珠山大桥65段桥面钢梁的吊装任务,比租赁起重船更为经济。在海况条件下,桥面悬臂吊机的设计必须做台风工况下的稳定性验算。

6 拌和船的设计与制造

拌和船的设计依据,是满足一次成孔灌注桩的要求,即一次性连续浇注600 m³混凝土。考虑到成孔过程中不可遇见因素及后续工程施工的适用性,拌和船实际设计能力为一次性连续浇注最大方量1 000 m³混凝土,船体总体设计及锚系泊系统设计符合沿海船舶的相应规范。因东海大桥属海上施工,施工中不可遇见因素太多,应尽量缩短桩基混凝土的浇注时间。所以,拌和船的混凝土泵送输出系统设计为100 m³/h的输出能力,以保证混凝土的顺利浇注。

(1)设计的指导思想。

充分考虑海上桥梁施工特点,拌和船必须满足自身上料、骨粉液料输送、称量、搅拌和浇注的综合功能,同时满足安全生产和环境保护要求。我公司拌和船理论生产能力为100 m³/h,混凝土泵送能力为100 m³/h,布料杆的工作半径在30 m以上,垂直高度在35 m以上。由于生产能力受混凝土搅拌时间的影响,特别是海工混凝土要求搅拌时间较长,因此,生产能力一般达不到理论生产能力。这样,混凝土泵送能力大于生产能力,避免了成品混凝土的积压,保证了混凝土的连续生产。考虑到作业海区的海况,船舶除了具有足够的稳定性外,还应具有较强的抗风能力,锚系泊设备容量大,储备系数高,保证作业的安全性能。所有生活污水、油污、废混凝土等都经处理后按有关规定进行排放,从而保证了施工区域的环境质量。由于海上施工风浪较大,混凝土搅拌系统采用了“防晃”装置设计,有效地解决了船舶晃动对称量精度的影响,保证了混凝土质量。

(2)工程船舶的建造必须满足工程进度的需要。

船舶设计时间和船厂建造时间是制约建造周期的两大重要因素,因此,在设计单位和船厂选择上,必须进行深入细致的实地调查,充分考察企业的性质、实力、能力、以往造船经历、经营状况和资金情况。建造师的选聘关系到船舶建造质量和建造周期,

必须选择船舶建造经验丰富、工作责任心强的人来担任,同时应考虑有船舶建造和工程施工经验的人相搭配。设备采购和混凝土搅拌系统的设计是混凝土拌和船能否达到设计使用能力的重要环节,也是缩短建造周期的关键,除考虑经济因素外,重要的是适用性、先进性、可靠性和可维修性,这是保证拌和船在海上作业的重要因素,直接影响生产成本和生产质量。由于很多设备要在建造过程中就放入船舱内,才可进行上部构造的施工,因此设备交货期至关重要。交货过早,增加了设备保管的风险;交货过迟,则影响船舶建造的整体进度。

7 海上桥梁施工的机械管理总结

(1)安全管理是重中之重。

海上施工首先要树立“安全第一”的思想,制订完善的设备安全规章制度和操作规程。在实施过程中,要严把准入关,要定期对设备进行安全检查,定期对操作人员进行安全生产教育。海上施工安全风险大,大型船舶设备都是群体作业,管理不善可能出现群死群伤的恶性事故,因此只有在确保安全的情况下,船机设备才能投入使用,避免不必要的人员和财产损失。

(2)机械设备的选型非常关键。

海上施工设备的选型除了考虑设备本身的工作能力和性能外,还必须考虑海况条件下,对风、浪、潮、流、腐蚀等特殊环境条件的适应性,还要满足海事部门的相关规定。在市场储备不充分的前提下,海上施工设备选型对工程的进度、质量、安全和效益可能产生相当大的影响。比如在杭州湾Ⅳ标施工中,打桩设备的选型有两个方案,第一个方案是对自有的路桥建设桩8号柴油式桩锤进行国产化技术改造;第二个方案是新购进口液压式桩锤。如采用第二个方案,要增加2 500万元的投入,而且采购期超过6个月,合同工期难以保证。经分析后,我们采用第一方案并成功地完成了桩锤的技术改造,既节省了投资又保证了施工进度。

(3)要加强对租赁船舶的使用与管理。

海上桥梁施工工程船舶需求量很大,而且相当部分要在社会上租赁。杭州湾Ⅳ标租赁船舶约20艘,东海大桥在施工高峰期间,租赁船舶多达40多

艘,其中小型交通船占10多艘,大型驳船将近10艘,拖轮5艘。在内陆施工条件下,项目对外租设备往往只注重使用管理,保养和维修由出租方负责,但在海况条件下,对外租设备尽可能实行管、用、养、修全过程管理,随时掌握外租设备动态。在租赁前期,认真研读待租船舶的技术资料,大型船舶要去现场考察,以确定能否满足施工需要,查验其船检证书和船舶实际配置及船型是否符合施工海域运营情况。签订合同后,向出租方进行施工海域图交底,防止其船抛锚、搁浅时碰断海底电缆及天然气管道等。在租赁船舶中,拖轮是管理的重点,其性能好坏及船长的航海经验直接影响施工的进度和安全。拖轮利用率的高低也直接影响施工成本。对租赁船舶保修,需强化预防性维修养护。海上应急条件差,如果应急准备工作不预先做到位,受影响的不仅是设备上的损失,可能会造成整个生产计划无法顺利进行。所以,关注设备动态,获得设备最真实的技术状态,采用积极有效的管理措施和维修手段应对,才能确保船机设备的正常运行。

(4)要加强台风期间的船舶管理。

严格按照船舶防台预案执行,在台风来临前相关人员要对重点船舶进行检查,检查内容包括:主机、舵、锚、缆、各种航海仪器、电器、阀门、消防、救生设备等,使其保持适航状态。如船上有临时结构物和施工材料,应进行加固,严防台风来时发生意外。各船舶要储备充足的食物和淡水,船长、轮机长不得离船,并密切注意收听最新气象消息,组织人员值班,时刻保持待命拖航状态。防台指挥中心管理人员对台风的影响应做充分的估计,坚持24 h值班,对台风的位置和移动方向实时掌握,准确判断,必要时果断决策,迅速按照预案计划指挥撤离。

8 结语

机械设备管理的最终目的,就是保证船机设备在施工过程中处于良好的技术状况,最大限度地发挥其效能,满足施工生产的需要。随着海上桥梁施工的不断深入,船舶设备有大型化、专业化的发展趋势,对海上桥梁机械设备管理进行总结和研究,将有力地促进我国海上桥梁建设事业的发展。