

# 海南洋浦大桥贝雷梁桥面吊机设计技术深入研究

杨古月

中冶建工集团有限公司 重庆大渡口 400000

**摘 要：**海南洋浦大桥作为我国重要的跨海湾桥梁工程，其工字钢结合梁的吊装施工面临诸多技术挑战。贝雷梁桥面吊机凭借其高效、灵活的设计特点，成功解决了大跨度钢梁及预制桥面板的吊装难题。本文深入分析了海南洋浦大桥贝雷梁桥面吊机的设计技术，从工程概况、设计难点、主体结构设计、关键系统设计、模型计算、施工应用及技术创新等方面展开研究，总结了其在施工中的应用经验，并探讨了其在类似工程中的推广价值。研究表明，贝雷梁桥面吊机具有运输拼拆方便、适用性高、经济性好等特点，为大跨度斜拉桥施工提供了新的思路和方法。

**关键词：**海南洋浦大桥；贝雷梁桥面吊机；工字钢结合梁；设计技术；施工应用

## 引言

海南洋浦大桥是我国海南岛西北角洋浦经济开发区的重要交通枢纽，其主跨 460 米的混合式结合梁斜拉桥结构复杂，施工难度大。工字钢结合梁的吊装是该大桥施工的关键环节之一，其施工质量和效率直接影响到整个工程的进度和安全性<sup>[1]</sup>。贝雷梁桥面吊机作为一种高效、灵活的施工设备，在海南洋浦大桥的建设中发挥了重要作用。本文通过对海南洋浦大桥贝雷梁桥面吊机的设计技术进行深入研究，旨在为类似大跨度斜拉桥的施工提供参考和借鉴，推动桥梁施工技术的发展。

## 1 工程概况

### 1.1 大桥总体布局

海南洋浦大桥位于海南岛西北角洋浦经济开发区，横跨白马井海峡，是一座主跨 460 米的双塔双索面混合式结合梁斜拉桥。大桥两侧边跨分别为 58.5 米、63 米和 58.5 米，采用混凝土边主梁结构。主桥中跨 440 米为工字钢结合梁，结合梁宽 31.5 米，Z1 钢梁长 8 米，Z2-Z18 钢梁长 12 米，Z19 钢梁长 4 米，节段最重达 146 吨。结合梁预制混凝土桥面板厚 27 厘米，长 14 米，宽 3.4 米，重约 35.36 吨，一个 12 米标准节段工字钢结合梁共需 6 片预制混凝土桥面板。

### 1.2 工字钢结合梁结构特点

工字钢结合梁采用钢主梁结合混凝土桥面板的整体断面，断面设有两片工字型钢边主梁，两边主梁横向中心距 30 米，通过横梁连接，顺桥方向每 4 米布置一道横梁。横梁之间设置小纵梁和稳定板，采用高强度螺栓连接。钢梁在

工厂分节段制作组装，通过船只直接运至桥位下方，再通过桥面吊机整体起吊，现场进行高强螺栓连接。



## 2 设计难点

### 2.1 钢梁吊装与对位精度要求高

海南洋浦大桥的工字钢结合梁采用高强螺栓群锚连接,每节段连接螺栓数量多达 1340 个。为了便于节段的拼装,拼装板被安装在节段前端。这种设计虽然提高了拼装效率,但也对钢梁的对位精度提出了极高的要求。在吊装过程中,桥面吊机必须具备高程、平面、纵横向以及入梁角度的微调能力,以确保钢梁能够精准对位<sup>[2]</sup>。任何微小的偏差都可能导致螺栓无法正常安装,进而影响整个桥梁结构的稳定性和安全性。因此,桥面吊机的精确控制能力是保证施工质量的关键因素之一。

### 2.2 风载作用下的稳定性保障

海南洋浦大桥位于热带季风气候区,施工区域受季风和台风的影响显著。常风向为 ENE 和 NE,而强风向为 SW,实测最大风速可达 32.3 米/秒。在这样的环境下,桥面吊机在风载作用下必须具备足够的抗倾覆和抗侧翻能力,以确保吊装作业的安全性。风载对吊机的稳定性影响极大,尤其是在吊装重型构件时,吊机的稳定性直接关系到施工人员的安全和施工进度。因此,设计中必须充分考虑风载因素,采取有效的抗风措施,如增加配重、设置抗风缆等,以提高吊机在恶劣天气条件下的作业安全性。

### 2.3 预制桥面板吊装与安装的复杂性

预制桥面板的吊装和安装是海南洋浦大桥施工中的另一大挑战。桥面板较重,且通过海上驳船运输至桥下,这增加了吊装的难度和风险。桥面吊机需要解决长悬臂吊装桥面板的问题,同时还要考虑桥面板安装过程中与预应力管道或预应力连接器的位置冲突。在吊装过程中,桥面板的定位精度要求极高,任何偏差都可能导致预应力管道或连接器的损坏,进而影响桥梁的整体性能。因此,吊机的操作精度和灵活性是确保桥面板顺利安装的关键。此外,海上运输的不确定性也要求吊机具备快速、高效的吊装能力,以减少因天气变化带来的施工风险。

## 3 主体结构设计

### 3.1 贝雷梁选型与组装

在海南洋浦大桥桥面吊机的设计中,主体结构选用了标准贝雷梁进行组装。贝雷梁因其标准化的设计和高强度的承载能力被广泛应用于桥梁施工领域。此次选用的贝雷梁总长 42 米,宽 26.51 米,高 3 米,整个主体结构共使用了 288 片贝雷梁。

这种选型不仅确保了吊机的结构强度,还极大地提高了组装的效率。贝雷梁的组装过程简便快捷,能够在较短的时间内完成拼装并投入使用,为大桥的施工进度提供了有力保障。

### 3.2 主纵梁与横联设计

为了增强桥面吊机的整体稳定性,主纵梁的前后端特别设计了型钢横联。这些横联不仅为吊机提供了额外的横向支撑,还有效增强了结构的整体刚性。桥面吊机的设计重量为 230 吨,而其起吊能力按 180 吨进行控制,这样的设计能够充分满足工字钢结合梁以及预制桥面板的吊装需求。通过合理的设计,主纵梁与横联的结合确保了吊机在吊装过程中的稳定性和安全性,为施工提供了可靠的保障。

### 3.3 整体稳定性增强措施

在吊装过程中,防止桥面吊机倾覆失稳是设计的关键。为此,特别设计了后锚固系统和配重系统。后锚固系统通过后锚吊杆将反锚力传递给已安装好的工字钢结合梁,从而为吊机提供了稳定的后锚点。配重系统则通过在吊机后端增加配重,确保吊机在行走和吊装过程中的抗倾覆系数大于 1.5。这些措施共同作用,有效增强了桥面吊机的整体稳定性,保障了施工过程的安全和顺利进行。

## 4 关键系统设计

### 4.1 行走系统与牵引方式

海南洋浦大桥桥面吊机的行走系统设计充分考虑了施工过程中的灵活性与稳定性。该系统采用轮箱平车与千斤顶牵拉相结合的方式,确保吊机能够在桥面上平稳移动。具体而言,行走系统由四个轮箱平车组成,每个平车均配备高强度轮组,以适应桥面的复杂地形和承载需求。牵引力由两台 20 吨穿心式千斤顶提供,这种千斤顶具有高效、稳定的特性,能够确保吊机在行走过程中保持平稳,避免因牵引力不足或不稳定而导致的安全隐患。

### 4.2 起吊系统与动力配置

桥面吊机的起吊系统是其核心功能的体现,特别是在吊装工字钢结合梁时,需要具备强大的动力和精准的控制能力<sup>[3]</sup>。为此,吊机共设置了 4 个吊点,每个吊点均配备一台 10 吨卷扬机,这些卷扬机安装在桥面吊机的后端,形成了一个稳定的起吊动力系统。通过卷扬机、钢丝绳和滑车组的协同工作,钢梁能够被平稳地提升至指定高度。

### 4.3 安全系统与抗倾覆措施

施工安全是桥梁建设中的重中之重,海南洋浦大桥桥面

吊机在设计时特别注重安全系统的配置。吊机尾部设置了施工安全绳, 这些安全绳固定于已安装好的工字钢结合梁上, 形成了一个可靠的后锚系统。这一设计的目的是为了防止在起吊工字钢结合梁或安装预制混凝土桥面板时, 因后锚失效而导致桥面吊机前倾失稳。

## 5 模型计算

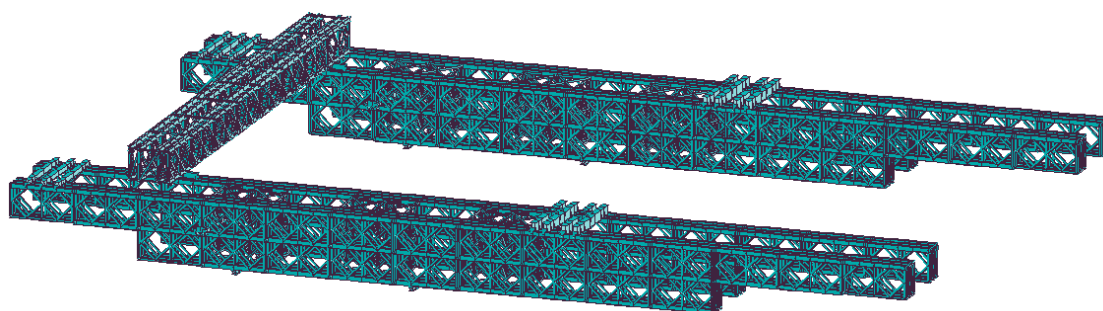
### 5.1 计算假定与模型建立

在对海南洋浦大桥桥面吊机进行受力计算时, 采用了先进的有限元计算软件 MIDAS, 按照 1:1 的比例对空间结构进行建模。这一建模方式能够精准地模拟吊机在实际施工中的

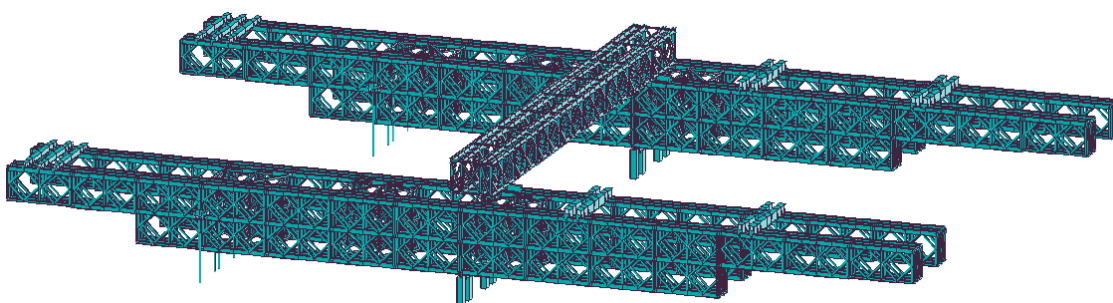
受力情况。计算过程中, 假定机体部分的自重由软件自动计算, 自重系数设定为 1.05, 以确保计算结果的准确性。对于吊机的其他部分, 根据其分布形式, 以集中荷载或均布荷载的方式加入到模型中。在结构单元的选择上, 贝雷片被定义为梁单元结构, 支撑架为桁架单元, 而其他部分则采用梁单元进行模拟。这些假定和单元选择为后续的精确实算奠定了基础。

### 5.2 荷载组合与工况分析

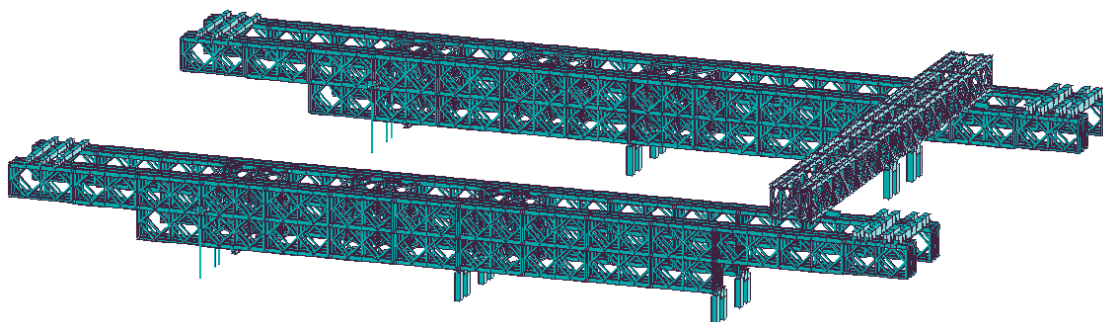
在进行桥面吊机的受力分析时, 考虑了多种实际施工中的工况, 包括桥面吊机行走、吊装工字钢结合梁、吊装预制混凝土桥面板以及安装预制混凝土桥面板(考虑偏心受力)。



行走工况计算模型



钢梁吊装工况计算模型



预制混凝土桥面板吊装工况计算模型

这些工况涵盖了吊机在施工过程中可能遇到的各种复杂情况。在荷载组合方面, 按照规范要求, 采用恒载  $\times 1.2 +$

活载  $\times 1.4$  的方式进行计算。这种荷载组合方式充分考虑了施工过程中可能出现的最不利情况, 确保了计算结果的安全



性和可靠性。

### 5.3 应力与变形结果验证

经过详细的有限元计算,结果显示桥面吊机在各种工况下,主要受力部位的应力和变形均满足规范要求。以吊装工字钢结合梁工况为例,主桁贝雷梁的最大应力为 251MPa,远低于容许应力 273MPa,表明吊机在该工况下的受力情况是安全的。同时,最大变形为 75 毫米,也在设计允许的范围内。这些计算结果验证了桥面吊机设计的合理性和安全性,为施工过程中的吊装作业提供了可靠的技术保障。

## 6 施工应用

### 6.1 桥面吊机拼装与调试

桥面吊机的拼装工作在已完成的混凝土梁段上展开,借助桥面汽车吊和桥旁桅杆吊协同完成。拼装过程中,所有安装构件首先通过桅杆吊从栈桥吊运至桥面,随后利用汽车吊进行精准组装。拼装顺序遵循从下至上的原则,优先完成整体结构的搭建,再逐步细化局部组件,确保每一部分都准确就位,形成稳固的整体结构。在拼装完成后,还需对桥面吊机进行全面调试,包括行走系统、起吊系统和安全系统的功能测试,确保设备在正式投入使用前处于最佳状态。

### 6.2 钢梁吊装与安装流程

桥面吊机整体行走到位后,运载待安装钢梁的船驳精准就位。4 台 10 吨卷扬机协同作业,对 4 个主吊点滑车组进行下放操作,确保主吊点与钢梁临时吊耳通过销轴牢固连接。钢梁起吊前,先进行试吊,将钢梁起吊至 0.5 米高度并悬空停留 5 分钟,观察设备运行情况及钢梁状态。试吊无误后,正式起吊钢梁至安装高度。到达指定高度后,利用 8 台 5 吨以上丝顶对主吊点前横梁进行纵向移位顶升,同时配合千斤顶进行横向移位调整,通过卷扬机、丝顶的协同操作,对钢梁进行纵向、横向和高度上的微调,确保钢梁精准对位,满足桥位和标高的要求。钢梁就位后,进行高强螺栓的初拧和终拧,完成钢梁的整体吊装与安装。

### 6.3 预制桥面板吊装与施工控制

在钢梁斜拉索安装完成后,运载预制桥面板的船只抵达指定位置。桥面吊机天车系统启动,行走至桥面板起吊位置,下放 40 吨电动葫芦吊具,与桥面板的扁担梁牢固连接。桥面板被提升至超过已安装钢梁的高度后,天车开始往回纵向移动,平稳行走至安装区段。到达安装位置后,锁定轮箱,防止天车在横向行走时发生位移。随后,40 吨电动葫芦横

向行走至安装位置正上方,缓慢下降,将桥面板精准安装就位。在整个吊装和安装过程中,严格控制桥面板外露钢筋与桥面吊机支撑之间的距离,避免碰撞,确保施工安全。

## 7 技术创新与优势

### 7.1 运输与拼拆的便捷性

贝雷梁桥面吊机的设计充分考虑了施工的高效性与便捷性。其主体结构采用标准贝雷梁组装而成,这种设计不仅使得运输过程极为方便,而且在施工现场能够快速拼装成型。贝雷梁的标准化和模块化特性,使得施工人员能够在短时间内完成吊机的组装与拆卸工作,大大缩短了施工准备时间。这种高效的运输与拼拆能力,为海南洋浦大桥的施工进度提供了有力保障,同时也为类似工程的快速施工提供了参考。

### 7.2 高适用性与组装灵活性

贝雷梁桥面吊机的设计展现了极高的适用性和组装灵活性。它能够根据不同的施工需求进行灵活组装,适用于多种钢梁吊装场景。无论是复杂的桥梁结构还是多变的施工环境,贝雷梁桥面吊机都能通过调整其组装方式来满足需求。其设计的通用性和可扩展性,使得吊机在面对不同工程时无需进行大规模的改造,从而提高了设备的利用率和施工效率。这种灵活性不仅为海南洋浦大桥的施工提供了便利,也为其他类似桥梁工程的施工提供了广泛的适用性。

## 8 结语

海南洋浦大桥贝雷梁桥面吊机的设计与应用为大跨度斜拉桥的施工提供了新的思路和方法。通过合理的设计和优化,贝雷梁桥面吊机在保证施工质量和安全的前提下,显著提高了施工效率,缩短了施工周期。其运输拼拆方便、适用性高、经济性好等特点,使其在类似工程中具有广泛的推广价值。未来,随着桥梁施工技术的不断发展,贝雷梁桥面吊机有望在更多大型桥梁工程中发挥重要作用。

### 参考文献:

- [1] 房帅平. 乌海黄河大桥桥面吊机结构设计与应用[J]. 市政技术, 2025, 43(03): 131-137+287.
- [2] 周衍领. 桥面吊机在我国斜拉桥建设中的应用及发展[J]. 国防交通工程与技术, 2020, 18(06): 9-13.
- [3] 李松. 中央双索面斜拉桥 500t 过索式桥面吊机设计技术研究. 陕西省, 中交第二公路工程局有限公司, 2020-12-01.

**作者简介:** 杨古月(1986-01), 男, 汉族, 重庆市长寿区, 学历: 硕士, 职称: 高级工程师, 研究方向: 公路工程。