

大跨度变截面钢箱梁施工关键技术研究

文 / 常 磊 中铁二十局集团第四工程有限公司

摘要: 本文对大跨度变截面钢箱梁施工进行了全面研究, 结合南京至和县高速公路施工项目, 分别从变截面钢箱梁施工重难点分析、方案比选、临时支撑设计、吊具设计以及调位控制几个方面深入探讨大跨度变截面钢箱梁的施工要点及关键技术, 旨在提高施工效率, 确保结构安全, 为今后相关施工方案提供有力的支撑。

关键词: 变截面; 钢箱梁; 施工关键技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.01.070

引言

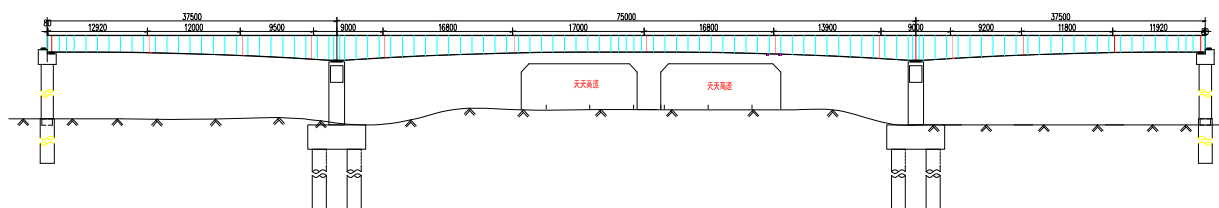
钢箱梁因其具有跨径大、自重轻、工厂化制造质量标准高、施工快速方便等优势, 在桥梁建设中被广泛应用, 尤其适用于跨越复杂地形或在城市环境中的大跨度桥梁。对于高速公路等重大基础设施项目, 进行变截面钢箱梁施工关键技术研究具有重要意义。对于施工而言, 变截面钢箱梁的施工涉及多种复杂技术, 如制造、运输、吊装和连接都会在施工过程中给现场人员带来挑战。对于大跨度变截面钢箱梁施工关键技术研究可以

解决施工中的难题, 有助于开发有效的施工策略和工艺, 减少施工风险。

一、工程概况

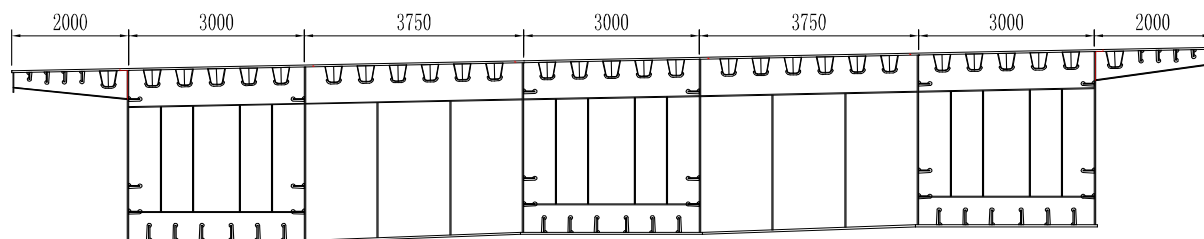
南京至和县高速公路主线桥采用变截面钢箱梁跨越S22天天高速, 设计为(37.5+75+37.5)m的3跨变截面钢箱梁结构, 立面布置如图1所示。

钢箱梁桥面板采用正交异形板, 宽度为20.5m, 单个箱室宽度为3m, 两侧挑臂长为2m, 顶板厚20~35mm, 采用U肋加劲。钢箱梁截面如图2所示。



单位: mm

图1 变截面钢箱梁立面布置图



单位: mm

图2 变截面钢箱梁截面布置图

二、变截面钢箱梁施工重难点分析及方案比选

变截面钢箱梁施工的重难点分析和方案比选对确保工程项目的顺利进行至关重要, 不仅关系到结构的安全和功能性, 也直接影响到项目的经济效益、施工效率。变截面钢箱梁的设计和施工比常规钢箱梁更加复杂, 需要精确的工程计算和精细的施工技术。通过比较不同的施工方案, 可以选择最适合项目具体条件的方法, 确保结构的安全性, 也可提高资源使用效率。

(一) 施工重难点分析

在南京至和县高速公路的钢箱梁截面设计中, 采用

的截面形式会有一系列复杂的施工难点, 解决相关重难点事项对于确保钢箱梁安装的精确度至关重要。1) 变截面钢箱梁在设计时构造形式变化复杂, 这要求在生产 and 安装过程中极高的尺寸精度。任何微小的误差都可能导致部件之间的不匹配, 增加后期调整的难度和成本。高质量的焊接是构建稳固钢箱梁的核心。2) 施工中需应用先进的焊接技术和严格的焊接过程控制, 以防止由于焊接质量不佳引起的结构弱点。此外, 焊接过程中的热处理控制对于防止材料性能降低和结构变形同样重要。3) 预拱是为了补偿未来使用中可能出现的结构沉

降而设计的。钢箱梁的每个部分都需要根据设计预拱精确制作和安装，确保整体结构在负载后表现出预定的形状和性能。这要求在制作和安装过程中使用高精度的测量设备和技术。4) 由于变截面的结构特点，每段钢箱梁在对接时都需要特别注意接缝的处理。不当的接缝可能导致应力集中，影响整体结构的稳定性。确保每个接缝的严密和均匀对接是保证桥梁长期稳定和安全的环节。

(二) 钢箱梁施工方案比选

根据工程特点，本项目实施前提出两种钢箱梁施工方案。方案一是对各跨箱梁在出厂前进行节段划分，运至现场后进行在支架上分节段吊装进行焊接组装机作。方案二采用钢箱梁在厂内加工制作，运至现场后单跨焊接组装成整体后进行吊装。

1. 钢箱梁单跨整体吊装

单跨整体吊装可以在较短的时间内完成大跨度的安装，大大缩短了桥梁的整体施工周期。尤其是跨越通行道路，整体吊装对通行的影响较小。同时整体吊装在制作加工时的分段划分也可避免多次焊接或连接，有助于保持结构的整体性和均匀性，从而提高了桥梁的结构安全性和耐久性。但是，整体吊装需要大型的起重设备和复杂的辅助结构，这些设备的成本高昂，而且对操作人员的技能要求也很高。在地形复杂的地区，可能无法部署所需的大型起重设备，这限制了整体吊装的应用。整体吊装对气候条件尤其是风速的敏感度较高，恶劣天气可能导致施工延期。

2. 钢箱梁分节段吊装

分节段吊装对现场条件的适应性强，尤其适合于空间受限或地形复杂的环境。与整体吊装相比，分节段吊装通常只需要标准的起重设备，这降低了设备成本和技术难度。分段施工可以更灵活地安排施工进度，更容易在各个施工阶段进行质量控制。但是分段吊装需要在现场进行多次焊接或连接，接缝的处理复杂且可能影响结构的整体性能和安全。虽然每个单独的操作相对简单，但整体施工周期可能因多次安装和调整而延长。分节段施工可能导致材料和结构负载在接缝处分布不均，长期可能影响桥梁的整体性能。

由于单跨最大跨径为75m，单跨梁长较大，对道路运输的转弯半径有较高的要求，同时本项目工期较为宽松，结合上述两个方案的对比，本项目采用方案一进行施工，横桥向分为挑梁节段、纵梁节段和纵梁间横梁节段。挑梁节段共计28节，纵梁节段共计38节，纵梁间横梁节段分为横梁、桥面系制作。

三、变截面钢箱梁吊装施工工艺

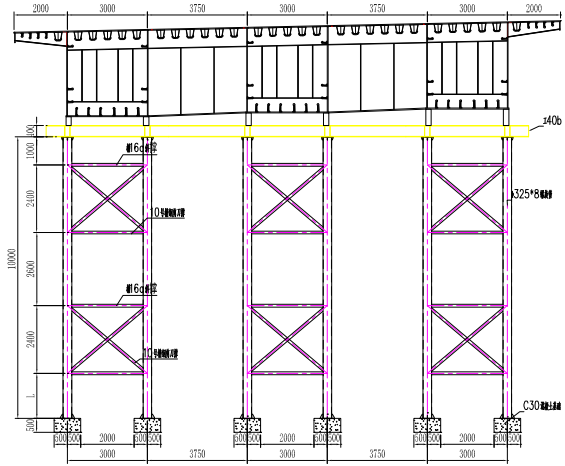
(一) 临时支撑设计与布置

临时支架结构设计成钢管立柱格构式支架，在支架顶部设置分配梁，在分配梁上部用钢管作为支撑点，加劲板倒角距离为20mm，支架的单节制作高度为6m。支架采用汽车吊吊装，通过预埋螺杆与揽风绳进行支架临时固定，临时固定后，采用两台全站仪进行垂直度校正，采用水准仪进行支架顶部标高测量。

临时支架高度方向采用调节段与千斤顶进行，主要

用于安装时钢箱梁标高和安装结束后进行钢箱梁的整体卸载。

共设置11组支架，每组支架由12根钢管焊接组成。临时支架截面图3:



单位: mm

图 3 临时支架截面图

钢箱梁架设时采用搭设临时支架，分节段吊装架设法。支架搭设完毕后，开始进行吊装作业，运梁车运至施工现场后，钢梁直接从运梁车起吊后进行吊装。对于二拼钢梁，钢梁节段由运梁车吊入现场总拼胎架进行二拼，拼装焊接完成后直接由总拼胎架起吊吊装。

(二) 起吊构件验算

在吊装开始之前，需在每个分段绑定两根防风麻绳，这有助于控制分段在空中的稳定性。所有吊点与钢梁顶板连接后，由安全负责人进行详细检查和验收，确认符合安全标准后方可继续操作。在安全检查合格后，由吊装指挥官指导吊车操作者逐步提升分段，直到高度超过临时支架顶面0.5m。然后缓慢移动吊臂至预定位置上方。当分段达到适当高度（临时支架顶面以上5cm）时，吊装指挥官会命令吊车司机暂停，此时，施工人员根据事先标记的钢梁底板边线和中心线手工调整钢梁至初步定位。随后，吊车继续缓慢下降，直至分段安全放置到最终位置。吊点的布置需确保其焊接位置位于主要结构面。若吊点位置不在结构面上，应采用临时加固措施来增强吊耳的承载能力^[1]。四个吊耳需均匀分布于节段四周，确保节段的重心位于四个吊耳形成的矩形中心点附近。此外，禁止在钢箱梁的悬臂部位设置吊耳^[2]。

1. 钢丝绳的选用及验算

钢箱梁吊装单件最大重量为29.3t，选用Φ42mm的钢丝绳。

Φ40mm钢丝绳承受的拉力为:

$$N_{绳} = 29.3 \div 4 \div \sin 60 = 8.46t = 84.6kN$$

故钢丝绳的破断拉力总和为:

$$N_{总} = N_{绳} \times K \div \phi = 84.6 \times 8 \div 0.82 = 825.4kN$$

式中: $N_{绳}$: 钢丝绳承受的拉力, 单位kN;

K : 安全系数, 取值8;

ϕ : 应力折减系数, 取值0.82;

查钢丝绳破断拉力得 $\phi 42\text{mm}$ 钢丝绳破断拉力为 $1110\text{kN} > 825.4\text{kN}$ 。钢丝绳满足吊装要求。

2. 卸扣的选用及验算

结合本联最大梁段重量,通过查阅规范《一般起重用D型和弓形锻造卸扣》(GB/T 25854-2010),本项目卸扣计划采用M-DW20型卸扣。钢箱梁梁段的吊装全部使用20t卡环。吊装的选用按最重梁段29.3t,采用四个吊点,每吊点为7.4t,卡环的安全系数取2,卡环安全荷载为 $14.8\text{t} < 20\text{t}$ 。此卡环满足施工要求。

(三) 调位控制

全联钢箱梁均就位至临时支架上后,若箱梁位置与设计位置存在偏差,需对钢箱梁进行精确的细部调整,按照先平面后立面的原则进行调整^[3]。具体方法如下:

1. 平面位置调整

顺桥向调整:对于梁的后端位置调整,在已安装的钢梁和待调整钢梁的内部两侧腹板上焊接四个受力点(每侧两个)。在同一侧腹板受力点之间安装一个10t级的平面调整装置(平三套),使用装置上的紧固螺栓进行精确调节,以达到所需的后端位置。前端位置的调整类似,也是在待调整钢梁的底板和相应的H型钢上焊接四个受力点,并利用同样规格的平三套进行调整^[4]。

横桥向调整:在临时支架横梁上焊接一个反力点,然后安装一个10t级的千斤顶。通过千斤顶可以精确地调整钢梁的横向位置。

水平调整力验算分析:在进行位置调整时,必须考虑到钢梁与支撑结构间的摩擦力。根据材料属性,钢板间的起动摩擦系数一般在0.15至0.2之间。为确保施工安全,本项目将摩擦系数定为0.2。根据钢梁分段重量计算(最大重量为29.3t),最大起动摩擦力约为5.86t。因此使用两个10t的平三套或千斤顶可以有效地完成调整任务。如果现场条件或其他因素影响水平调整的难度,可以在H型钢上放置四氟滑板,以降低摩擦力,从而更加容易地调整钢梁的水平位置。

2. 垂直方向调整

水平调整完成后,使用两台50t的千斤顶进行垂直方向的调整。为确保调整精度和结构安全,千斤顶应置于临时支撑系统的支墩正上方。为防止千斤顶直接与梁板接触造成损伤,应在千斤顶的液压杆上放置一块橡胶垫。橡胶垫既能保护梁板,也能分散压力,防止压力集中。在进行垂直调整时,必须使用精密测量工具来确保钢梁达到预定的垂直位置。调整至理想位置后,使用钢垫片和钢楔在每个腹板位置进行固定,以保持调整后的位置稳定。完成位置调整后,为防止钢梁移动或位移,需在梁体两侧及两端的平台上焊接限位板。这些限位板作为永久性固定措施,确保梁体在使用过程中的稳定性和安全性。

(四) 现场焊接

焊前进行焊接工艺的评定试验,试验根据图纸的焊接接头形式、焊接位置、母材牌号及厚度,并根据本项目所遵循的相关标准,确定具体的焊接工艺评定项目,拟用的焊接设备及焊接方法,焊接坡口形式,编写焊接工艺评定项目清册等。

焊接顺序总原则为以大节段为单位,同一节段内的钢箱梁线型找正,测量完焊缝尺寸经测量检查验收合格后,焊接该节段内的焊缝。每个节段的底板的纵横向焊缝均采用同步对称焊,同一条焊缝采用双向对称焊接。

箱体焊缝焊接顺序:

第一步钢箱梁对接、角接焊缝找正后对横隔板与腹板角接焊缝进行点焊;第二步焊底板对接纵横焊缝;第三步焊盖板对接纵横焊缝;第四步焊同个节段内横隔板与腹板的角接焊缝;第五步同个节段内的对接纵焊缝焊完后焊接相邻节段之间的横焊缝;第六步焊接嵌补段纵肋。

挑臂焊接顺序:

第一步焊接相邻节段面板对接焊缝;第二步焊挑臂与主箱体之间面板对接焊缝;第三步:焊挑臂腹板与主箱体侧腹板之间角接焊缝。

四、测量控制措施

在节段制造时箱梁匹配节段在端头位置布置“十”字交叉样冲眼,作为现场拼接对位用;在每段钢箱梁顶板上布置6个测量控制点,轴线两侧的4个测点作为标高控制点,6个点均可作为轴线控制点和里程控制点,测量点在钢箱梁总装制造时设置,测量点打样冲眼并涂红油漆作为标识。

在完成梁段架设作业后,支架体系、砂筒会发生一定量的变形沉降,为避免钢箱梁的变形沉降影响整个施工的精度,架设完毕的每一梁段均应在支架上存放一段时间,以半天时间为宜,然后对梁段整体进行沉降测量,沉降稳定后进行下一工序施工。在开展钢箱梁安装作业时,采用水准仪辅助安装,参考水准仪的数值调整梁体两侧边缘的高程,对准桥梁中心线,然后通过液压千斤顶调整梁段,梁段就位后采用马板进行临时固定,并用全站仪完成桥轴线的复测,保证钢箱梁安装质量。

结语

变截面钢箱梁的施工技术是高速公路桥梁建设中的一项复杂而关键的工程技术。本文中详细分析和讨论的关键技术点,如临时支架的设计、精确的起吊构件验算和高效的调位控制等,不仅为本项目带来了直接的技术益处,也为未来类似的大型基础设施项目提供了可借鉴的经验。特别是在当前技术快速发展和工程需求不断增长的背景下,这些经验和技能积累将为解决更复杂工程问题提供支持,推动工程技术的创新和进步。

参考文献

- [1] 凌军,王呈义.既有高速公路上跨钢箱梁施工及保通工艺浅析[J].交通节能与环保,2023,19(S1):147-150.
- [2] 袁艳春.大跨连续组合梁桥钢箱梁施工技术[J].交通世界,2023,(14):181-183.
- [3] 齐永立.架桥机法建造汀江大跨变截面连续钢箱梁桥施工关键技术[J].施工技术,2015,44(S1):336-340.
- [4] 张建慈.大跨度体外预应力钢-混凝土组合变截面连续箱梁桥施工技术研究.广东省,中铁二十五局集团有限公司,2014-04-13.