

连续梁-钢管拱组合桥快速施工关键技术

王 仲 兵

(中国水利水电第七工程局有限公司,四川 成都 610213)

摘 要:连续梁-钢管拱组合桥系将连续梁与钢管混凝土拱两种结构结合在一起,具有跨越能力强、整体刚度大、施工方便等优点,较好地解决了高速行车对桥梁的要求,其广泛应用于跨径为 60~200 m 间的铁路、公路桥梁中。但连续刚构钢管拱组合存在结构复杂、桥梁的结构形式转换频繁、采用的施工方法多、工艺复杂多变,且因工期紧、现场安全和协调难度突出等问题。针对大跨度连续梁-钢管拱组合桥结构复杂、体系转换多、施工难度大的特点,提出了大跨度连续梁大节段支架现浇结合挂篮悬臂施工技术并予以实施,同时研发出一种能有效调节混凝土连续梁悬臂施工过程中荷载平衡的装置及调节方法,其适用性及可操作性强,安全可靠。在所依托工程 0 号块施工过程中,项目部技术人员根据实际情况提出了采用隐性反拉预压技术替换传统的显性堆载技术,避免了堆载过程中的施工干扰,消除了显性堆载施工过程中的安全隐患,提高了工作效率。在钢管拱施工过程中设置了支墩,提出了钢管拱安装与铺架平行作业工法并予以实施,保障了工程全线的铺架工期。

关键词:大跨度连续梁-钢管拱组合桥;平衡调节装置及方法;隐性反拉预压;钢管拱安装与铺架平行作业;施工技术

中图分类号:U215;U215.7;[U24]

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2024)05-0001-05

Key Technology for Rapid Construction of Continuous Beam-Steel

Tube Arch Composite Bridge

WANG Zhongbing

(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610213)

Abstract: The continuous beam steel tube arch composite bridge combines the continuous beam and steel tube concrete arch, which has the advantages of strong crossing ability, large overall stiffness, convenient construction, and has better solve requirements of the high-speed traffic on the bridge, widely used in the span of 60~200m railway, highway bridge. However, the structure of continuous rigid steel tube arch composite has complex structure, frequent structural system conversion of the bridge, many construction method, complex and changeable process, tight construction period, prominent site safety and coordination difficulties. Aiming at the characteristics of complex structure, multiple system conversion and difficult construction of long-span continuous beam arch composite bridge, the construction technology of cast-in-place support of large-span continuous beam combined with hanging basket cantilever is firstly proposed. At the same time, a device and adjustment method which can effectively adjust the load balance in the construction process of concrete continuous beam cantilever is developed, which has strong applicability and operability, and high safety and reliability. In the construction of No. 0 block, the implicit reverse tension preloading technology is proposed to replace the traditional explicit overloading technology, which avoids the construction interference in the process of overloading, eliminates the safety hazards in the process of explicit overloading and improves the work efficiency. In the construction of steel tube arch, support piers are set up, and the construction method of steel tube arch installation and laying parallel is put forward, which guarantees the construction period of the whole line.

Key words: Long-span continuous beam steel tube arch composite bridge; Balance adjustment device and method; Implicit reverse tension preloading; Steel tube arch installation and paving work in parallel; Construction technology

1 概 述

连续梁-钢管拱组合桥多用于公路桥梁,在国

内铁路桥梁上的应用还处于起步阶段,施工中存在的问题较多且其建设周期较长。古语虽云“欲速则不达”,但随着科学技术的不断发展,通过技

收稿日期:2023-05-10

术人员对施工工法的研究创新和新技术的应用,是能够实现连续梁-钢管拱组合桥施工“既快速、又能保证安全”的。因此,对铁路连续梁-钢管拱组合桥的安全、高效施工关键技术开展研究,不但能够保证施工过程安全,而且可以节约大量的工期,减少“人、材、机”的投入,并可为今后类似桥梁施工提供经验和借鉴,尤其是对工期紧张的连续梁-钢管拱组合桥施工而言意义更为重大。

笔者依托某铁路特大桥横跨高速公路 A、B、C 匝道(主梁为 $(64.95+136+64.95)$ m 预应力混凝土连续梁与钢管混凝土拱组合结构)施工中存在的问题,在收集并整理国内外相关资料和深入分析国内外研究成果的基础上,结合新建铁路工程施工过程,针对连续梁-钢管拱组合桥的快速施工开展了一系列的理论分析与工艺工法研究,对工期紧张的连续梁-钢管拱组合桥存在的问题,探索出有效的解决办法并予以实施,取得了较好的效果。此次研究主要包括以下几方面内容^[1]:

(1)满堂支架现浇+挂篮施工技术:因该工程施工工期较紧,为缩短工期,项目部技术人员研究出一种减少悬臂现浇段节段段数、调整边跨现浇段长度、在跨中增加支架现浇段、悬臂现浇施工和支架现浇同步施工的方法,缩短了施工工期。根据工程实际情况研究并总结出其施工技术及质量控制措施,形成了施工工法,同时申报了四川省省级工法“大跨度连续梁大节段支架现浇结合挂篮悬臂施工工法”(SCFG 336—2017)。

(2)隐性反拉受力技术:传统的支架预压方法为堆载预压,存在材料浪费严重、施工周期用时长、安全风险突出且预压得出的数据误差较大的缺陷。根据以上不足之处与实际施工需求,研发出一种新型隐性支架反拉预压方法,减少了材料投入,节约了施工工期;同时获得了“一种新型支架隐性反拉预压方法”发明专利(201821156299X)。

(3)大跨度连续梁悬臂施工平衡技术:随着悬臂浇筑施工阶段悬臂架梁长的不断深入,悬臂两端的不平衡荷载对 0 号块 T 构形式产生的弯矩也随之加大,T 构形式的稳定性亦不好界定。根据以上存在的不足,为保证悬臂施工的平衡稳定性,研发出一种混凝土连续梁悬臂施工荷载平衡调节装置及调节方法,增加了施工的安全性;同时

获得了“一种混凝土连续梁悬臂施工荷载平衡调节装置”实用新型专利(201721455269.4)及“一种混凝土连续梁悬臂施工荷载平衡调节方法”发明专利(201711071371.9)。

(4)钢管拱的安装与铺架平行作业施工技术:目前国内现有的连续梁-钢管拱组合桥施工方法一般为先施工完主梁,再施工钢管拱并灌注钢管拱混凝土,随后安装吊杆并张拉,最后进行铺轨作业。为了节约工期,项目部技术人员对钢管拱的安装与铺架平行作业施工技术进行了研究,总结并形成了施工工法,同时获得了“一种钢管拱施工与铺架平行作业施工方法”发明专利(201810803022X)。

2 快速施工技术研究

2.1 满堂支架现浇+挂篮施工技术研究

大跨径预应力混凝土连续梁桥因其刚度大、伸缩缝少、行车平顺舒适、跨越不利地形能力强等优点已成为连续梁桥的主要结构形式。尤其是近几十年,我国在大跨径预应力混凝土连续梁桥建设中取得了举世瞩目的成就。目前我国施工的大跨径预应力混凝土连续梁桥多采用挂篮悬臂浇筑法或支架现浇法施工。全挂篮悬臂浇筑施工方案虽然资源投入较少,但会导致施工工期过长;全支架现浇施工方案虽然能节约工期,但其材料浪费严重、资金投入大。因此,寻找一种能综合两种施工方案优点的连续梁施工方案是一项值得研究的施工技术。

通过依托工程成功应用了大跨度连续梁大节段支架现浇结合挂篮悬臂施工技术,总结并形成了大跨度连续梁大节段支架现浇结合挂篮悬臂施工工法,该工法具有的特点如下^[2]:

(1)纯挂篮悬臂现浇施工技术无法满足施工工期要求;纯支架法施工技术又因现场地形条件不能满足相关要求而无法实施,二者结合既能保证施工工期,又能克服现场不利地形条件的影响。

(2)项目部根据现场地形条件,在地势平坦、地基承载力较好、无不利地形等区域将边跨和中跨部分悬臂现浇段调整为支架现浇段。

(3)在地形不利(跨河流、石油管道、高速公路、沟壑等)区域采用挂篮悬臂法进行现浇施工。

(4)在挂篮悬臂对称浇筑施工的同时,安排另一组施工人员同时施工支架现浇段,二者可同步

施工,从而达到缩短施工工期的目的。

某特大桥连续梁通过采用大节段支架现浇结合挂篮悬臂施工技术,成功地解决了工期滞后的困境,抢回工期约 60 d,获得设计单位、业主单位的高度赞扬,为企业树立了良好的形象。

该工法可以在挂篮悬臂现浇段施工的同时施工支架现浇段,能够获得良好的经济效益。与传统的全挂篮悬臂现浇法相比减少了梁段的分节,从而使整个梁体混凝土连接的更好,梁体线型更美观,同时因支架现浇段不影响挂篮悬臂现浇段的施工,可以安排另一组人员单独施工,进而极大地缩短了施工工期。与传统的全支架现浇法相比,减少了材料投入量,其跨越不利地形的能力强,单次混凝土浇筑量少,混凝土的施工质量容易得到保证。该工法综合了传统全挂篮悬臂现浇和全支架现浇法的优点,既能缩短施工工期,又减少了材料的投入,降低了施工成本,较好地兼顾了经济性和合理性的需要。

在应用该工法的同时,通过设置防护棚架及合理安排交通的方式确保了该工法上跨高速公路匝道施工的安全,且不影响高速公路匝道的正常通行。

2.2 隐性反拉受力技术

根据所依托项目 0 号块支架需堆载预压 1 871 t 的实际情况,现场若采用传统的预压块堆载预压存在以下问题:(1)需提前预制混凝土块 780 块该混凝土块仅用于预压,预压完成后的预压块无其他用途,材料浪费严重;(2)现场计算出的码放高度最高约为 7 m,安全风险极高;(3)现场最少需配置两台吊车进行加载、卸载,完成 0 号支架预压需时 15 d,工期较长;(4)预压块不规则,预压重量偏差较大且堆载时容易导致支架受力不均匀。因此,需要寻找一种新的预压方式替代传统的堆载预压,以保证工程进度和施工安全,同时减少资源投入。

为解决上述问题,项目部技术人员通过在预应力连续梁施工承台时,在主梁承台上预埋钢绞线,待支架搭设完成后在支架上设置张拉平台,并将预埋钢绞线的另一端接长至张拉平台上,采用液压千斤顶张拉钢绞线的方法对支架进行反拉预压。采用该隐形反拉预压技术替代堆载预压,能够达到加快施工进度、保证施工质量的目的^[3]。

通过在梁体主墩承台上预埋钢绞线并将其延伸至支架上的张拉平台上,形成上下拉结对支架进行预压,与传统的显性堆载预压方法相比,能够有效地降低安全风险,且在预压过程中支架受力均匀,预压力精度控制精准,最终得到的支架预压数据更准确,能够更直观、精确地了解支架预压后的沉降及变形情况,从而能够更好地保证支架系统的稳定性。隐性反压工序见图 1。

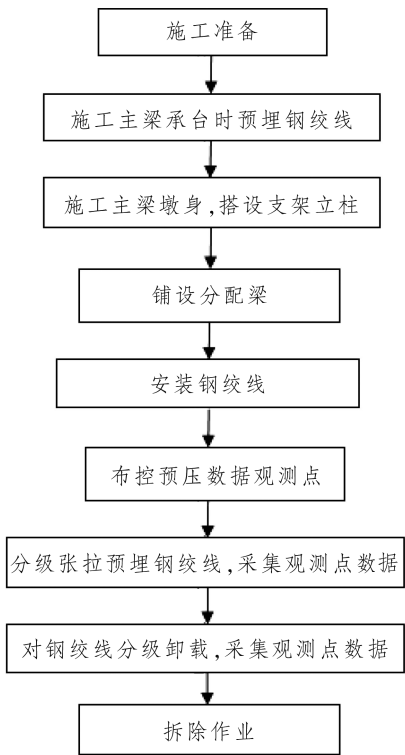


图 1 隐性反压工序图

该技术工序简单,操作方法简便,操作步骤少,效果显著,推广性强,而且避免了堆载过程中的施工干扰,具有较高的经济性和实用性。该技术施工工期短,无需大型机械配合施工,能够节约大量的人力、财力;其既能够减少材料的投入,又缩短了施工工期 12 d,降低了施工成本,进而有效地降低了施工中的安全风险,兼顾了经济性和合理性需要,推广应用前景广阔。

2.3 混凝土连续梁悬臂浇筑施工荷载平衡的设置

通常在桥梁施工过程中往往会出现不对称施工的情况,而不对称施工使桥梁的稳定性大幅度降低,安全风险突出。随着浇筑施工阶段的推进悬臂不断加长,悬臂两端的不平衡荷载对 T 构形式产生的弯矩也随之加大。以往,为了保证 0 号

块 T 构形式的稳定性,需要在 T 构两侧设置临时支墩用以抵消悬臂施工过程中由不平衡荷载对 T 构产生的弯矩,从而使整个连续梁悬臂安全施工直至全桥合拢。而在实际的悬臂施工过程中,除了混凝土浇筑进度无法保持完全同步外,导致悬臂两端产生不平衡荷载的原因还有很多,例如,施工过程中人群产生的荷载、施工机械和材料产生的荷载、挂篮行走过程中的不同步产生的荷载等,而这些因素产生的不平衡荷载是很难准确定量的,对 0 号块形成的 T 构形式是否产生了弯矩、产生的弯矩是否超过设计允许值,这些因素在施工过程中很难有一个准确的判断,也就无法保证连续梁在悬臂施工过程中一直保持安全的平衡状态。但如果忽视这些因素的存在,就有可能发生较大的安全事故。

针对以上问题,项目部技术人员提出了一种能有效调节混凝土连续梁悬臂施工过程中荷载平衡的装置及调节方法并予以应用。该技术方案是一种混凝土连续梁悬臂施工荷载平衡调节装置:在主梁承台位于主梁墩身的两侧设置临时支墩,由主梁墩身上端承载梁体,其关键技术是在主梁承台和梁体之间位于主梁承台两侧各安装 9~12 根 $\Phi 32$ 精轧螺纹钢(现场精轧螺纹钢之间可以通过接长器连接)。在精轧螺纹钢端头设置锚垫板,锚垫板上方设置双螺帽,锚垫板下方设置双层钢筋网片。该关键技术包括以下步骤:

(1)在施工连续梁主梁承台时,在主梁承台两侧对应位置各预埋 9~12 根、共计 18~24 根 $\Phi 32$ 精轧螺纹钢,并在精轧螺纹钢端头设置锚垫板,在锚垫板上方设置双螺帽,锚垫板下方设置双层钢筋网片,待主梁承台混凝土浇筑完成后精轧螺纹钢能有效地锚于主梁承台混凝土中;

(2)施工连续梁主梁墩身;

(3)设置临时支墩,搭设临时支架,安装 0 号块模板,同时利用接长器将主梁承台预埋的精轧螺纹钢接长至梁体内,在精轧螺纹钢上端头(梁体内)同样安装锚垫板并佩戴双螺帽,加设 3 道钢筋网片;

(4)搭设简易平台,利用两个便携式螺旋千斤顶将精轧螺纹钢预紧,使精轧螺纹钢处于一种绷紧的状态,预先使其产生应力以提高构造本身的刚性,减少其振动和弹性变形,改善受拉模块的弹性强度,使其原本具有的抗拉性更强,混凝土连续

梁悬臂施工荷载平衡调节装置即告安装完成;

(5)最后浇筑 0 号块混凝土、完成梁体的施工,通过临时支墩及临时固结设施将梁体与主梁墩身固结,形成 T 构形式;

(6)张拉 0 号块预应力筋,拆除临时支架、模板等辅助设施,利用悬臂浇筑施工法施工连续梁的悬臂部分;

(7)全桥合拢后^[4],拆除全部混凝土连续梁悬臂施工荷载平衡调节装置(即临时支墩和精轧螺纹钢)。

通过在梁体主墩承台上预埋精轧螺纹钢并将其延伸至梁体 0 号块内形成上下拉结被动调节平衡装置,充分利用精轧螺纹钢抗拉性较强的特点,使其被动参与梁体 T 构的平衡调节,与主动平衡调节装置(临时支墩)共同形成平衡调节联动机制——临时支墩的主要作用是主动抵消混凝土梁设计值的不平衡荷载。对于超过设计值的不平衡荷载被动地由预埋在主梁承台和梁体内的精轧螺纹钢抵消;假设施工过程中不平衡荷载超过设计值,临时支墩不足以保证 0 号块 T 构形式的稳定,梁体即将发生倾斜的状况,此时,绷紧的精轧螺纹钢参与受力,对将要倾斜的梁体施加一个被动的反拉力,该被动反拉力刚好能够抵消掉多余的不平衡荷载,自动调节施工荷载平衡,从而保证结构的平衡及稳定性,为悬臂现浇连续梁施工过程的稳定增加了一道强有力的保险措施,极大程度地降低了安全风险。

通过采用精轧螺纹钢连接主梁承台及梁体,与主梁墩身两侧的临时支墩配套使用,达到了抵消或牵制梁体悬臂施工产生的不平衡荷载的目的。由于精轧螺纹钢具有高强度性能,其能够调节的不平衡荷载值大,能够有效地抵消施工过程中各种因素产生的、难以定量的不平衡荷载,从而提高了施工过程中不平衡荷载值的容许量,保证了悬臂施工的安全性。

该实用新型专利组成简单,操作方法亦简单,仅需几个简单的步骤即可完成且无需大型设备和大量的材料,更不需要大量的劳动力,能够节约资源且效果显著,推广性强,具有较高的经济性和实用性。

2.4 钢管拱的安装与铺架平行作业

为了满足主梁合拢后走行运梁车的需要,项

目部首先提出了对原设计方案进行变更的要求,建议取消原设计方案中的边支点梁顶的临时压重,在 136 m 长的跨中增设一个中间临时支墩。该中间临时支墩采用桩柱式,墩身为 3 根、直径为 1.5 m 的钢管混凝土柱,墩柱横向中心距为 4.55 m,钢管采用 Q235 钢,壁厚 12 mm,钢管内填充 C35 混凝土。另外,采用 3 根直径为 1.5 m 的钻孔桩作为基础,桩中心距为 4.55 m,桩尖嵌入 W2 弱风化岩层,桩身采用 C35 混凝土钢筋笼。

该工程主梁 0 号块、K12'、跨中 26 m 长的 K14 梁段采用支架现浇法施工,在主梁合拢、张拉预应力完成后拆除跨中其余的临时支架,仅保留其中间的临时支墩参与全桥受力,在安装吊杆并施加初始张力后将中间的临时支墩拆除。

运梁车和长轨车的主要检算工况为^[5]:

工况一:桥面汽车吊已撤离,其余同支架安装拱肋工况。采用运梁车运梁,长轨车运轨。该工况为最终实行且为最不利工况,因此仅对该工况进行检算。

工况二:拱肋和横撑钢管已安装完毕,桥面支架已拆除,拱肋和横撑钢管开始参与全桥受力,采用运梁车运梁。

工况三:灌筑拱肋混凝土后采用运梁车运梁,长轨车运轨。

工况四:吊杆已安装并施加初始张力,中间临时支墩已拆除,该桥梁的结构体系为连续梁与钢管混凝土拱组合结构。采用运梁车运梁,长轨车运轨。

钢管拱施工与平行作业施工技术^[6]是通过在连续梁中跨中部加装临时支墩用于临时减短连续梁中跨的净跨,从而有效地避免了跨中位置在铺架作业时运梁车、架桥机通过时发生扰度过大的现象。钢管拱的安装采取独立格构架法施工,且其独立格构架预留空间大,能够满足铺架作业时运梁车、架桥机通过时所需要的空间;同时,独立格构架自重较轻,对梁体稳定性影响较小。通过改变传统的先安装钢管拱、灌注钢管拱混凝土、安装吊杆并张拉吊杆后才能进行铺架作业的现状,实现了在梁-拱体系未成型前钢管拱的安装与铺架能平行作业的目的,节约工期约 20 d 并节约了人工和机械费用,经济效益明显。通过对钢管拱与铺架平行作业施工时各种附加效应进行的分析

和研究,有效地保证了平行作业的顺利进行,亦保证了主拱的施工质量,节约了施工工期。实践证明:通过采用上述措施,能够实现钢管拱与铺架平行作业。

3 结 语

此次研究针对某特大桥大跨连续梁-钢管拱组合桥结构复杂、体系转换多、施工难度大、工期紧张的特点,采用现场实测、理论分析和数值仿真分析相结合的方式,从材料和结构设计、工厂试装及现场实施控制四个方面开展了相关研究,取得了以下具体的成果:

(1)提出了大跨度连续梁大节段支架现浇结合挂篮悬臂施工技术,同时研发出一种能有效调节混凝土连续梁悬臂施工过程中荷载平衡的装置及调节方法,其适用性及可操作性强,安全可靠,能够节约工期。

(2)提出了一种新型支架隐性反拉预压技术,用以替换传统的显性堆载技术,避免了堆载过程中的施工干扰,消除了显性堆载施工过程中的安全隐患,加快了施工进度。

(3)钢管拱施工过程中,在其主梁部位设置了支墩,提出并确定了一种钢管拱安装与铺架平行作业的新型工法。对钢管拱吊装施工、混凝土浇筑进行了真实的仿真模拟,选取最不利的工况作为重点研究对象,对钢管拱线型与应力及全桥结构施工阶段的空间稳定性进行了分析,对施工阶段的桥梁结构变形和安全性进行了合理评价,为施工提供了有力的理论和技术支持并节约了施工工期。

参考文献:

- [1] 陈宝春. 钢管混凝土拱桥设计与施工[M]. 北京:人民交通出版社,1999.
- [2] 高健. 挂篮在大跨桥合拢中作为配重的施工工艺介绍[J]. 中国水运,2007,29(6):100-102.
- [3] 窦建军,张海荣. 京津城际(60+128+60)m 连续梁拱设计简介[J]. 铁道标准设计,2007,51(2):14-17.
- [4] 颜建敏,等. 连续刚构桥合龙工艺研究[J]. 山西科技,2009,24(2):126-128.
- [5] 朱张峰,等. 京沪高铁梁-拱组合桥钢管拱安装方案设计[J]. 施工技术,2010,52(6):122-123.
- [6] 高速铁路桥涵施工技术规程:Q/RC 9603-2015[S].

作者简介:

王仲兵(1992-),男,重庆綦江人,助理工程师,从事铁路工程施工技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)