

高速上跨铁路立交主桥施工技术

李 焱 杜晓冬

中铁西安勘察设计研究院有限责任公司 陕西 西安 710054

摘要：对延安东绕城高速公路上跨包西铁路、西延高铁立交工程主桥施工技术开展系列探讨。主桥桥型为2×70m预应力混凝土变截面箱型T型钢构桥，整幅设置，整幅宽33.6m。主桥T构梁采用转体法施工。该桥主梁采用单箱四室斜腹板截面；主墩采用空心墩，单箱双室截面；该桥为墩中转体，转体结构由下转盘、球铰、上转盘、转体牵引系统等组成。对主梁、主墩、转体结构采用Midas/Civil程序和Midas FEA进行计算。计算结果表明其各项指标均满足规范要求。该桥施工方案结构设计合理、经济性好，尽可能的保证了其施工期间铁路轨道的安全运营。

关键词：T构桥；上跨铁路；转体系统；施工方案

1 概述

1.1 工程概况

上跨包西铁路处，包西铁路为双线，线间距为6.03m，为路基形式；上跨西延高铁（在建）处，西延高铁为32m简支箱梁结构，桥墩高度约12.0m，摩擦桩基础，桩长20m，线间距为5.0m，公路采用上跨包西铁路、西延高铁（在建）的形式^[1]。

1.2 工程地质条件

地形、地貌及地层岩性条件：桥梁沿黄土沟壑布设，横跨冲沟，属于黄土沟壑工程区地貌。桥址区地基土共分为6个工程地质层，自上而下分别为硬塑粉质粘土、软塑（可塑）粉质粘土、圆砾土、强风化泥岩、中风化砂岩和中风化泥岩。

2 桥型方案确定

该桥上跨铁路股道，所以在方案设计中必须考虑减小施工对桥下铁路整体运营的影响，尽量做到无影响、无障碍的快速施工。由于包西铁路和西延高铁两条铁路线间距较小，铁路的红线控制范围为90m，且该桥道路中心线与交叉处包西铁路、西延高铁（在建）铁路中心线交角很大（78.2°），若采用小跨径桥型，则不可避免在铁路红线的控制范围内进行立墩，所以小跨径桥梁的立墩界限和技术条件无法满足。因此，必须选取大跨度桥梁作为设计方案，通过一孔跨一条铁路股道的方式保证桥梁主墩柱基础的落脚位置。最终针对各因素进行考量，选取跨径布置为2×70m。

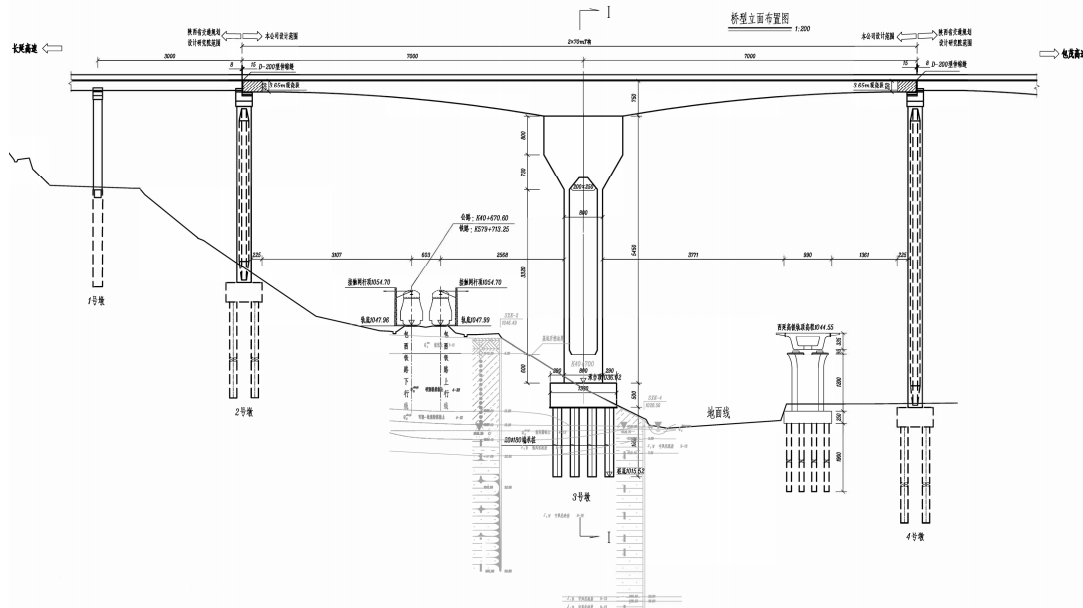


图1 桥型布置图

大跨度桥梁的主要施工方法为悬臂浇筑法、顶推法和转体法。若采用悬臂浇筑法进行施工,需向铁路部门对施工天窗点进行询问,操作较为繁琐;若采用顶推法进行施工,需在铁路股道中间设置临时墩,而铁路股道中间无法满足临时墩的设置。因此,出于对施工期间铁路的安全运营及后期维修进行考虑,选用预应力混凝土变截面箱型T构,并选取转体法进行施工^[1-5]。先在包西铁路西侧平行包西铁路、西延高铁(在建)方向挂篮悬浇。后转体施工就位。该施工方法周期短、方法简单且对铁路安全运营影响较小。

该桥位于半径 $R = 1120\text{m}$ 的缓和曲线上,主桥桥式为 $2 \times 70\text{m}$ 预应力混凝土变截面箱型T构,桥长 140m ,整幅设置,整幅宽 33.6m ,基础采用桩径 28 根 1.8m 的端承桩,从包西铁路 $K579+071.2$ 处和西延高铁 $DK292+345.86$ 处(西延高铁简支箱梁段)上跨通过。

3 结构设计

3.1 主梁设计

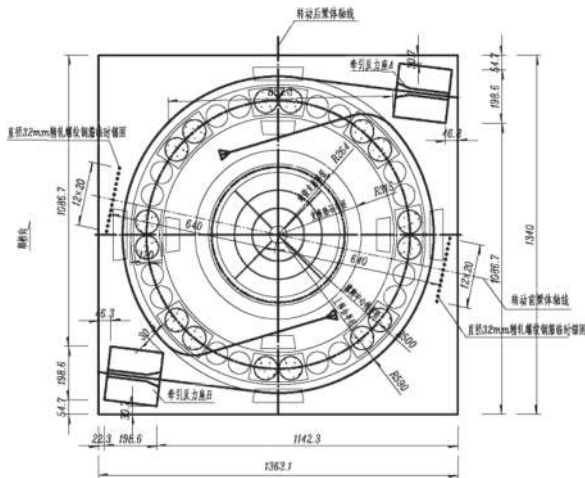
主桥上部结构为预应力混凝土变截面箱梁,采用单箱四室斜腹板截面,箱梁采用挂篮悬浇和支架现浇施工。梁部设置纵坡,与右线坡率一致,采用 -0.783% 。桥梁位于左右设计线分叉和曲线地段,采用整体截面形式包络车行道、防撞墙和检测电网。考虑梁端桥墩径向布置,梁顶平面为梯形,梁纵向中心线为梁端截面的中心连线,与左右设计线有一定偏离。箱梁高度及底板厚度按二次抛物线形式变化,中支点横隔板厚 1.5m ,边支点横隔板厚 1.5m ,梁端到支承中心距离 0.7m ,箱梁采用三向预应力体系。利用Midas/Civil程序对预应力混凝土变截面箱梁进行结构计算,计算模型按照梁段划分、施工顺序及工艺,对每一梁段均考虑挂篮移动就位、混凝土浇筑、预应力钢

束张拉3个施工节段。计算荷载包括:自重、二期恒载、预应力荷载(纵向预应力荷载、竖向预应力荷载、横向预应力荷载、挂篮自重、混凝土自重、制作沉降、温度荷载、可变荷载),计算内容包括以下三点:(1)主桥上部进行纵向计算,分别进行了成桥状态下恒载、活载、预应力、混凝土收缩徐变、支座沉降、温度变化等作用的计算。计算中按照承载能力极限状态和正常使用极限状态进行作用效应组合,以最不利效应组合控制设计;(2)箱梁横向桥面板按框架模式进行设计计算,进行截面设计;(3)主桥上部结构施工阶段计算,对全桥每个施工阶段中的内力、应力、挠度进行计算和验算。计算结果表明,在各种工况下截面内力、应力及挠度均满足相关规范要求。主桥上部结构施工严格遵守相关规范要求执行。

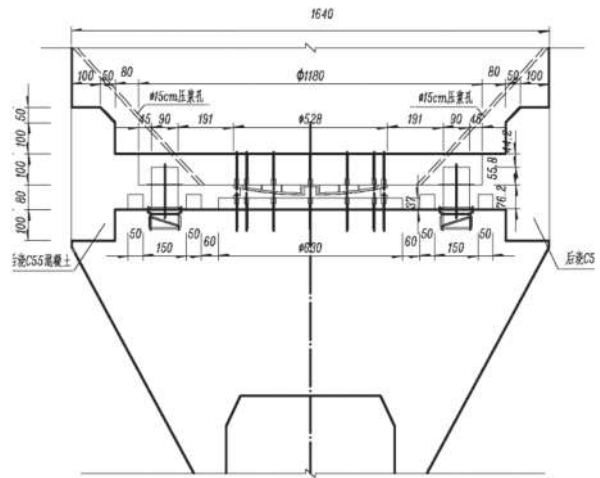
3.2 主墩设计

主墩3#桥墩采用空心墩,单箱双室截面,墩身与箱梁固结,墩壁厚 1.10m ,墩身横桥向墩顶宽 19m ,墩底宽 12m ,墩身顺桥向墩顶宽 16.4m ,墩底宽 8m ,墩底设置 6.0m 实体段,墩高为 54.5m 。由于在墩中设置转体系统,转体上桥墩高 5m ,采用实心,转体下桥墩设置 6.0m 厚实体段。最后,利用Midas/Civil程序对预应力混凝土单箱双室主墩进行结构计算,其中计算荷载除了梁部所考虑的全部荷载之外,还有温度荷载、风荷载和离心力。计算中按照承载能力极限状态和正常使用极限状态进行作用效应组合,以最不利效应组合控制设计。通过对主墩承载能力、主墩裂缝验算和主墩承台、桩基、转体过程计算,计算结果表明主墩均满足各个相关规范的设计要求。对于转体过程中主墩的计算,采用Midas FEA对转体过程中主墩应力进行实体分析。

3.3 转体结构



(a) 转体系统平面图



(b) 转体系统立面图

图2 转体系统布置图

该桥的转体结构由承重系统、转体牵引系统和平衡系统组成。其中,承重系统由下转盘和上转盘构成,下转盘设置在下段墩上,支撑转体结构的全部重量,上转盘是转体的关键结构,该桥的上转盘与桥墩为一体,上、下转盘中设置球铰结构,通过上、下转盘的相对转动来实现转体,在整个转体过程中形成一个多向、立体的受力状态。转动牵引系统由连续千斤顶、液压泵站及主控台组成,为转体施工提供转动牵引力;平衡系统由结构本身及实现平衡转体的配重组成,T构是完全自平衡体系,必须确保横桥向与顺桥向对转盘中心的力矩平衡,转体前进行承重验证,若不平衡则采用梁面配筋的方法调整平衡状态。

该桥为墩中转体,下转盘设置在下段墩身上,上转盘设置在上段墩身上,上段墩身又与梁部直接连接。由于转体需要,墩身主筋将被截断,但主筋在同一截面处截断量不超过50%。转体完成后,需用套筒将截断的主筋连接起来,并采用自密实混凝土浇筑这部分墩身(封固转体球铰),待混凝土浇筑完成到达强度后,张拉预埋在墩身中的竖向预应力钢束,最终形成完整桥墩和墩梁刚性连接结构。施工时,应注意上下段墩身预埋钢筋的和预应力钢束及其管道精确位置,保证转体完成后上下墩身间预埋钢筋能准确连接、预应力穿索及其顺利张拉。

下转盘设置在下段墩身上,支撑转体结构全部重量,在墩空心顶部附近设置了纵横向预应力钢束。下转盘上设置转动系统的下球铰、保险撑脚环形滑道及转体牵引千斤顶反力座、竖向连接钢筋和预应力钢束等。

球铰由上下两块刚质球面板组成,上面板为凸面,通过圆锥台与上部的牵转盘连接,上转盘就位于牵转盘上;下面板为凹面,嵌固于下转盘顶垫石,中心转盘直径为5.28m。上、下面板均为40mm厚钢板压制而成的球面。转动体系的核心是转动球铰,它是转体施工的关键结构,制作及安装精度要求很高,必须精心制作,精心安装。钢球铰面在工厂制造,在下球铰面上按设计位置铣钻聚四氟乙烯板镶嵌孔,同时在下球铰面上设置适量的混凝土振捣孔,以方便球铰面下混凝土的施工。

上转盘布有纵、横向预应力钢筋。转台直径为1180cm,高度为100cm。转台是球铰、撑脚与上转盘相连接的部分,又是转体牵引力直接施加的部位。转台内预埋转体牵引索,预埋端采用P型锚具。同一对索的锚固端在同一直径线上并对称于圆心,注意每根索的预埋高度和牵引方向应一致。每根索埋入转盘长度大于300cm,每对索的出口点对称于转盘中心。牵引索外露部分圆顺地缠绕在转盘周围,互不干扰地搁置于预埋钢筋上,并作

好保护措施,防止施工过程中钢绞线损伤或严重生锈。待上盘混凝土达到设计强度后,进行整个转动系统支撑体系的转换。抽去垫板使转台支承于球铰上。施加转动扭矩,使转台绕球铰中心轴转动。检查球铰的运转是否正常,测定其摩擦系数,为转体施工提供依据。

从上述工程概况中不难看出,该桥的转体重量($W = 245000\text{KN}$)及角度(77.5°)较大。在该桥的施工过程中,转体施工是施工的关键步骤,是整个施工质量好坏的体现。转体启动时的静摩擦系数 $\mu = 0.1$,转动过程中的动摩擦系数 $\mu = 0.06$,根据式 $F = W \times \mu$ 可以得到静摩擦力为24500KN;动摩擦力为14700KN。根据式(1)对转体拽拉力进行计算。

$$T = 2/3 \times (R \cdot W \cdot \mu) / D \quad (1)$$

其中, R 为球铰平面半径, $R = 264\text{cm}$; D 为转台直径, $D = 1180\text{cm}$;

计算结果得到,转体启动时所需最大牵引力 $T = 3654\text{KN}$,转体转动过程中所需牵引力 $T = 2193\text{KN}$ 。

在实际转体按不平衡体系转动,即人为控制转体结构偏向右侧,使一个支撑腿接触滑道,控制该支撑腿支撑反力不超过2000KN。在上述设定的转动条件下,计算牵引力公式如式(2):

$$T = 2/3 \times (R \cdot W \cdot \mu) / D + N \times \mu \times R_{\text{撑}} / D \quad (2)$$

式中, N 为转体时支撑腿最大支撑力, $N = 2000\text{KN}$; $R_{\text{撑}}$ 为支撑腿半径, $R = 5\text{m}$ 。最终通过计算得出启动和转动时所需的最大牵引力 $T'_1 = 3739.0\text{KN}$, $T'_2 = 2243.3\text{KN}$ 。故该桥通过牵引锚固且缠绕于直径为1180cm的转台周围的38- Φ s15.2mm钢绞线,使得转动体系转动。

结语:延安东绕城高速公路上跨包西铁路、西延高铁立交工程主桥采用预应力混凝土变截面箱型T构,采用转体施工法进行施工,合计工期550天。该工程施工方案的确定,通过对主桥梁结构,主墩和转体结构进行方案设计、计算、验算,得到了合理、经济的工程施工方案。该方案最大程度的保证了施工期间铁路运输的运营安全,可供其他工程提供经验及借鉴。

参考文献

- [1]张联燕,程懋方,谭邦明,等.桥梁转体施工[M].北京:人民交通出版社,2002.
- [2]程飞,张琪峰,王景全.我国桥梁转体施工技术的发展现状与前景[J].铁道标准设计,2011,(6):67-71.
- [3]周文胜,朱根云,许柏民.G312跨沪宁高速公路跨线桥转体施工[J].桥梁建设,2004,(1):47-50.