

公铁交叉矮墩大跨转体连续梁桥设计

罗浚滔

中铁二院工程集团有限责任公司

摘要:海南机场公路国道A线桥梁涉铁节点主桥为(2×85)m预应力混凝土连续梁桥,具有桥墩矮、等效跨径大、转体重量大、曲线半径小、跨越高速铁路对铁路运营影响大等特点,通过对本桥梁体及转体系统分析计算,研究采用合理的结构尺寸及型式,可为同类邻铁路矮墩大跨转体连续梁桥的设计提供借鉴和参考。

关键词:矮墩;大跨径小半径曲线;转体施工;跨越高速铁路

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.11.101

一、工程概况

海南机场公路国道A线桥梁涉铁节点为上跨海南环岛高铁,道路等级为高速公路,设计时速100km/h,桥面为两幅桥,单幅宽度19.1米。

为减少桥梁施工、养护维修对高铁的影响,铁路的边坡及防护栅栏以内不应有其他构筑物,因此本桥跨径最终选定在85m,采用悬臂浇筑及转体施工。

路线位于平面半径R=800m圆曲线上,左右幅中心半径分别为809.6m和790.4m。采用对孔设计,左右幅梁长分别为171.83m和167.76m。

本桥桥位处地质覆盖土层主要有杂填土、粉质黏土、砂砾等,并含有生物碎屑夹层,桩基的侧摩阻在70~80KPa,持力层基本承载力200KPa,地质条件差。

二、上部结构构造

(一)上部结构构造

桥梁的结构形式、桥面布置及尺寸,既要满足结构

受力的要求,同时也要满足公路相关限界、铁路主管部门要求减小养护维修选用预应力混凝土梁的要求。

设计前对预应力混凝土箱梁直腹板、斜腹板方案进行了对比,对比结果如下表:

表1 直斜腹板对比表

项目	直腹板	斜腹板	差值(%)
混凝土方量(m ³)	4987	4520	0.103
恒载支反力(KN)	126038	116892	0.078
抗弯强度(KN.m)	3112587	2981845	0.044

通过对比可得斜腹板可节省圬工方量10%,而支点抗弯强度减少不到5%,截面的减小对结构受力影响较小。

桥位地处0.3g地区,地震烈度高,为节省圬工,减小下部结构地震响应,同时减小转体主墩质量,主梁采用单箱双室变高度、斜腹板型式,梁高采用3.8~8.5m。等效高跨比为1/44.7、1/20。

箱梁顶板宽为19m,箱底宽10.55~8.2m。全桥顶板厚30cm;底板厚30~100cm,在梁高变化段范围内按抛物线变化,边跨端块处底板厚由30cm渐变至80cm;腹板厚50~75~100cm,按三段折线变化,边跨端块处腹板厚由50cm渐变至90cm。

梁体在支座处设横隔板,全联共设3道横隔板,中横隔板、边支座附近底板设置人孔,以便施工和养护维修。

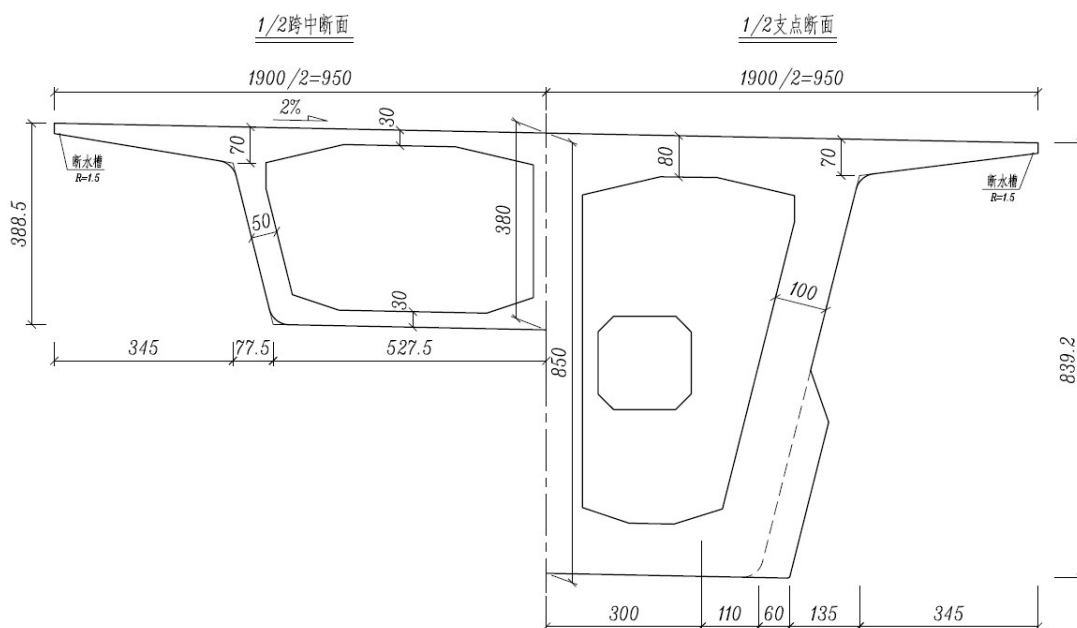


图1 梁体跨中及支点断面图

(二) 主梁构造特殊设计

主梁采用斜腹板设计，在中墩处箱底宽8.2m。但中墩支座吨位8500t，支座上板尺寸大，为增加弯桥的抗扭和车辆荷载下的抗倾覆能力，同时因本桥梁高较大，设计中也考虑了地震工况下梁体的抗倾覆性。梁体在中墩处采用了加宽设计，加宽值60cm，加宽高度3m。

进一步对比分析，支座间距5m时弯桥内外侧反力不均较6m时更明显，需要选用更大吨位支座，因此加宽设计亦取得较好经济效益。

(三) 梁体预应力体系

箱梁采用C55混凝土。箱梁为三向预应力混凝土结构，按全预应力结构设计。纵向钢束采用15、19-15.2mm高强度低松弛钢绞线。

为改善顶板横向应力状况，减小顶板跨中和悬臂根部横向弯矩，在梁体顶板设置3-15.2mm高强度低松弛钢绞线。

梁体腹板内设竖向预应力。腹板竖向预应力采用3-15.2mm高强度低松弛钢绞线，均采用单端张拉，张拉端设于梁顶。

三、转体系统设计

(一) 转体概况

主梁采用悬臂浇筑+转体法施工。左右分幅转体，转体T构长度149米，最大平转角度89°。整个转体系统由上盘、下承台、上下球铰、撑脚、滑道、牵引系统部分组成。设计转体球铰承载力约为130000kN。

(二) 上盘结构

本桥的转体上盘结构与一般的转体桥梁有明显不同。一般的转体桥梁上盘与桥墩为一个整体，截面尺寸较大，上盘受力不控制设计。

而本桥因线路纵断面控制，中支点处梁底已贴近地面，墩高矮，因此设计将桥墩与上盘合一，转体时主梁重量全部由上盘承担。

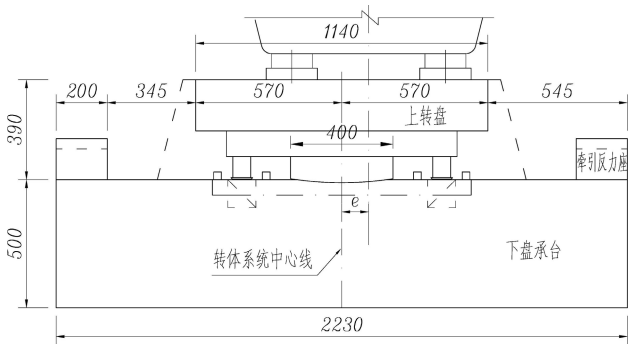


图2 转体上下盘设计图

本桥处于曲线上，且左右幅曲线半径不同，设计时采用有限元软件midas civil分别模拟左右幅转体工况，对转体系统分别设置偏心，设置结果如下表：

表2 转体偏心设置表

位置	外侧反力 (KN)	内侧反力 (KN)	腹板差偏心距 (cm)	偏心距 (cm)
左幅	32745	70034	0.02	-0.80
右幅	32012	69965	0.02	-0.82

(三) 下盘结构

下盘承台为转体结构的基础，转体完成后，与上盘连接共同形成桥梁基础。下盘在球铰正下方，承台尺寸为17.5×22.3×5m。下盘上附设撑脚滑道、牵引反力座等。撑脚与滑道表面预留15mm间隙，滑道上铺设24mm厚钢板，钢板上涂抹硅脂或黄油等润滑剂，以降低撑脚与滑道之间的滑动摩擦系数。

(四) 球铰结构

球铰为转体结构的转动中心，同时承受并传递转体结构的全部重量。

球铰结构如图5所示。

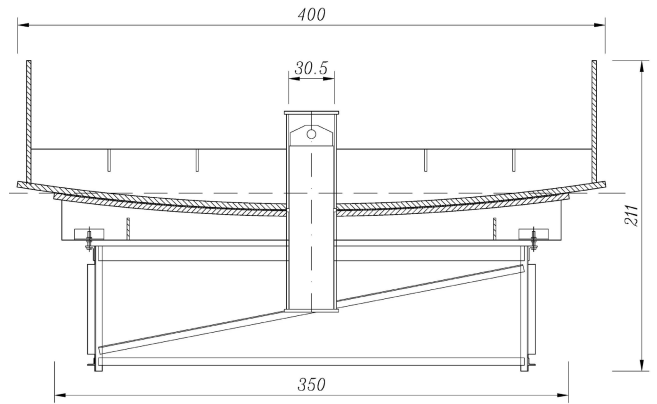


图3 转体球铰结构设计图

转体球铰由上、下两个球面组成，分别用40mm厚的钢板加工成球面，球面半径13m，球铰直径4m。为防止球铰在加工、运输过程中变形，同时加强与上、下盘之间混凝土的连接，其背部设置多根径向及环向加劲肋。

下球面钢板上安装带储脂坑的聚四氟乙烯复合材料滑动片，以减小上、下球面之间的摩擦系数，滑动片机械性能允许许应力>100MPa，拉断伸长率>250%，拉伸强度>30MPa。球铰中心设置直径300mm定位轴。

四、转体承台对高铁的影响分析

(一) 分析思路

由于高铁对沉降位移很敏感，而桥址处地质条件差、转体主墩吨位大，位移沉降也较大，因此设计采用岩土有限元软件GTS-NX及有限差分软件FLAC^{3D}，建立包括岩土、桥桩基础、承台及高铁U槽模型。根据U槽穿越土层的工程性质、线路线形和相关工程经验分步模拟承台和桩基的施工过程和运营荷载，分析桥梁承台和桩基施工及运营对高铁变形的影响。

(二) 模型建立

选取上跨节点处的典型断面，采用数值模拟方法计算桥梁施作运营对高铁的变形影响，利用GTS-NX建立三维有限元模型，考虑到承台和高铁的近接程度和影响范围，合理确定85m处的分析模型，具体如图6所示，模型总长度310m、总宽度为250m，深度为100m，共划分单元135万个。Y1承台与高铁防护栏最近距离为3.58m，Z4承台与高铁防护栏最近距离为2.88m。模型包含了高铁隧道左右线及新建桥梁承台Y1、Y2、Z3、Z4及相应的桩基础、围护桩及冠梁。采用FLAC^{3D}对施工过程和运营荷

载进行数值计算模拟。模型边界条件取为，两侧面水平位移约束，正面及背面水平位移约束，底面竖向位移约束，顶面为自由面。

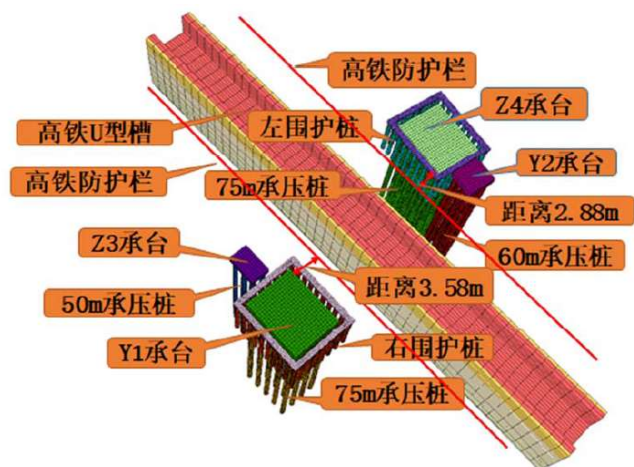


图4 沉降分析有限元模型（隐藏土体）

（三）施工工况模拟

（1）围护桩及承压桩模拟

钻孔灌注桩桩体采用实体模拟，材料为C35混凝土，线弹性材料。钻孔桩施工可以分为两步进行，首先是钻孔及泥浆护壁过程，用垂直增量荷载形式实现对泥浆护壁的模拟，增量荷载约为12.5kPa/m；其次是钻孔灌注桩桩体成型，采用实体桩。

（2）基坑开挖及承台施作模拟

基坑开挖时将需要开挖部分设为空模型，求解平衡即可模拟基坑开挖工况。承台施作时再将此前设为空的部分设为弹性模型，计算中所有基坑开挖、承台施作不断重复上述过程即可。

（3）桥梁施加外荷载模拟

桥梁基础设施做完后需施加外荷载，以此模拟上跨桥梁在运营中对高铁的影响。此过程将桥梁运营期间的总荷载（静载+活载）换算为面力施加在承台相应区域处求解平衡。

（四）列车荷载模拟

海南环岛铁路为双线高速铁路，考虑列车荷载作用，按上下线同时有列车行驶计算。列车荷载采用ZK荷载，参考《铁路路基设计规范》（TB10001-2016）和《高速铁路设计规范》（TB 10621-2014）中列车荷载换算土柱法，路基上荷载包括列车轴重产生的荷载和轨道、轨枕、道砟、路基等自重产生的荷载，考虑到列车动力影响，取动力系数为1.4，采用换算土柱为3.0m宽的78.12kPa的等效均布荷载。考虑列车荷载后对桥梁施工进行模拟。

（五）分析结论

经过计算分析，桥梁上部施工后，高铁道床开始

发生毫米级沉降，且随着施工阶段的推进，高铁沉降逐步增大，最大沉降为8.683mm，竖向最大10m弦为0.10mm，满足规范要求（2.0mm）。最大负向水平位移为-4.463mm，10m弦为0.021mm，满足规范要求（2mm）。

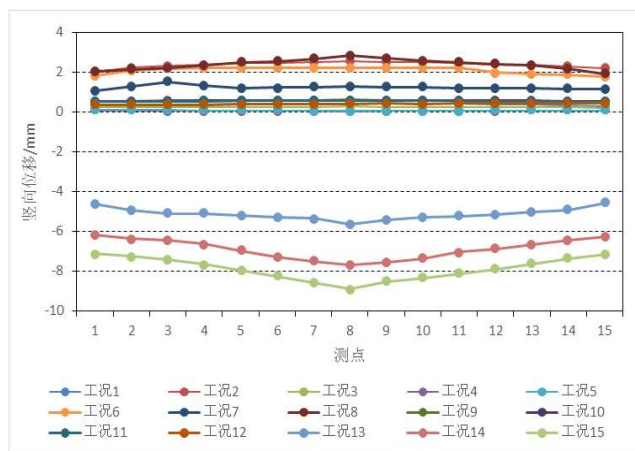


图5 主要工况下高铁竖向位移曲线

施工中，实测值接近并小于计算值，并在施工第7个月开始监测沉降值趋于收敛。

五、结束语

（1）海南机场公路国道A线桥梁为（2×85）m预应力混凝土连续梁桥，具有桥墩矮、等效跨径大、转体重量大、曲线半径小、对高铁运营影响大等特点，采用转体结构设计，可以大大减小对铁路的影响。

（2）桥梁转体重量达13000t，桥墩矮，上盘尺寸小，设计施工难度大。同时结合弯桥受力特点，对主桥结构设计和施工方法进行了设计创新和优化，为今后类似桥跨结构的设计及方案选择提供了借鉴。

（3）目前本桥已建成通车。经过施工单位反馈，施工过程中高铁位移与计算较吻合，控制在允许范围内，保证了高铁运营安全。转体全过程撑脚始终未与滑道接触，进一步验证了设计结论。

参考文献

[1]李锐, 郭占元, 鄢勇, 吴再新, 张志勇, 童登国. 成贵铁路西溪河大桥设计[J]. 四川建筑, 2016(2): 109-112.
 [2]JTG D60-2015, 公路桥涵设计通用规范[S].
 [3]JTG D62-2004, 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
 [4]JTG D63-2007, 公路桥涵地基与基础设计规范[S].
 [5]TB 10002-2017, 铁路桥涵设计规范[S].

作者简介：罗浚滔，1982年出生，男，高级工程师，桥梁设计研究工作。