

大跨“槽型+箱型”连续混凝土梁受力与设计研究

颜晓伟

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘 要:针对某地公轨合建工程 35+50+35 m 大跨“槽型+箱型”组合截面连续混凝土梁结构体系特殊、受力行为不明确,采用 ANSYS 有限元软件建立三维实体模型,研究其受力行为,并对设计提出建议。研究表明:一是“槽型+箱型”组合截面满足平截面假定;二是组合截面槽型、箱型部分纵向不同截面、同一截面边或中腹板剪力分布存在显著差异;三是槽型部分边腹板与底板衔接处应力集中明显;四是槽型部分边腹板与底板衔接处应加强配筋、桥面板悬臂根部及跨中配筋可取包络设计。

关键词:“槽型+箱型”组合截面;受力行为;ANSYS 有限元模型;结构设计

中图分类号:U448.21+5

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2022)03-0197-04

0 引言

近年来随着城市交通的发展,公轨一体化高架得到了广泛的应用和研究^[1-2]。目前国内公轨一体化高架上层多为城市快速路、下层为轨道交通。简支槽型梁具有截面空间利用率高、结构整体高度低等特点,在公轨合建下层轨道交通中应用广泛。近年我国在上海、南京、宁波等城市先后进行了大量的工程实践^[3]。

简支槽型梁跨度小,适用跨径一般为 25~35 m,且结构特殊、受力行为不明确、受力复杂^[4-6],性能区别一般混凝土箱梁。为进一步提高槽型梁跨度、明确其受力行为,本文以某地公轨合建工程为背景,采用“槽型+箱型”组合截面,设计 35 m+50 m+35 m 大跨“槽型+箱型”组合截面预应力混凝土连续梁。采

用 ANSYS 有限元软件建立三维实体模型,首先研究该组合截面正应力分布;其次对组合截面剪力分布、桥面板局部应力集中、3 支座支反力分布进行分析;最后对该结构体系桥面板进行配筋设计。上述研究可为该结构的应用和推广提供一定的参考价值。

1 组合截面设计及力学性能

1.1 组合截面设计简介

“槽型+箱型”组合截面包括槽型和箱型两部分。槽型部分含边、中腹板,底板(兼做箱型部分顶板);箱型部分边、中腹板及底板。边跨等高段、中跨跨中截面总高度 2.775 m(箱型高度 1.20 m、槽型高度 1.575 m);中支点处梁总高为 4.075 m(箱型高度 2.5 m、槽型高度 1.575 m),梁高变化段采用二次抛物线;边跨截面过渡为完全槽型截面(梁高 1.975 m),与相邻标准段简支槽型梁顺接。中腹板厚度统一采用 0.8 m;槽型部分边腹板 0.425 m;箱型部分边腹板跨中为 0.4 m,中墩及边墩支点处厚度为 0.5 m;槽型部分底板厚度 0.27 m,

收稿日期:2021-05-21

作者简介:颜晓伟(1987—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

- pavement [C]. International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavement. Ann Arbor: University of Michigan, 1962.
- [8] 关昌余,王哲人,郭大志.路面结构层间结合状态的研究[J].中国公路学报,1989,2(1):70-80.
- [9] 胡小弟,孙立军,刘兆金.沥青路面非均布荷载下层间接触条件不同时力学响应的三维有限元分析[J].公路交通科技,2003,20(3):1-4.
- [10] 严二虎,沈金安.半刚性基层与沥青层之间界面条件对结构性能的影响[J].公路交通科技,2004,21(1):38-41.
- [11] 薛亮,张维刚,梁鸿颢.考虑层间不同状态的沥青路面力学响应[J].沈阳建筑大学学报:自然科学版,2006,22(4):575-578.

- [12] 刘洪波.层间接触对半刚性沥青路面力学响应的影响[D].成都:西南交通大学,2006.
- [13] 周生金.沥青路面荷载与温度耦合疲劳特性研究[D].西安:长安大学,2005.
- [14] 艾长发,邱延峻,毛成,等.考虑层间状态的沥青路面问题与荷载耦合行为[J].土木工程学报,2007,12,40(12):99-104.
- [15] 冯德成,宋宇.沥青路面层间结合状态试验与评价方法研究[J].哈尔滨工业大学学报,2007(4):627-631.
- [16] 罗志刚,曾俊,王随原.界面污染对半刚性基层与沥青面层间黏结性能影响的试验研究[J].中外公路,2011,31(2):47-50.

箱型部分底板厚度由中支点 0.6 m 渐变为跨中 0.27 m,边支点处增厚为 0.49 m。构造图详见图 1。

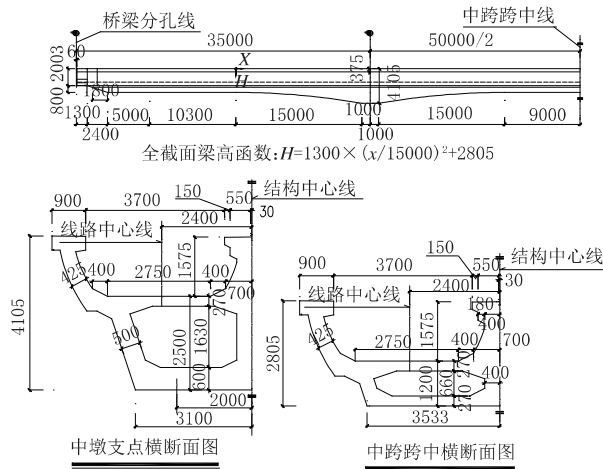


图 1 35 m+50 m+35 m 预应力混凝土连续梁立面及横断面图(单位:mm)

1.2 有限元模型建立

采用 ANSYS 有限元软件进行建模^[7-8],对全桥结构进行数值模拟。实体模型共 3 115 606 个单元,3 509 844 个节点;混凝土采用 solid45 实体单元模拟,预应力钢绞线采用 link8 单元模拟,ANSYS 模型见图 2、图 3。采用约束方程模拟预应力筋和混凝土间的粘结;根据实际支座设置建立边界条件;荷载作用位置及大小均按实际情况模拟。

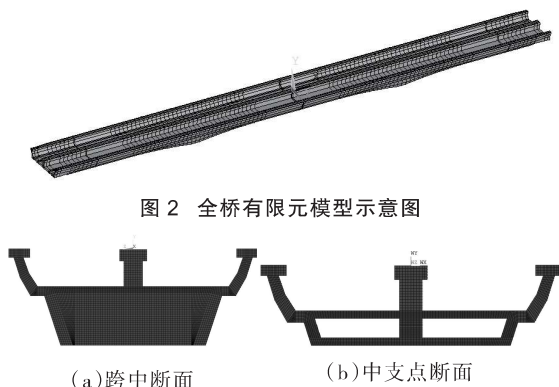


图 2 全桥有限元模型示意图

图 3 横断面有限元模型示意图

1.3 纵向正应力分布规律

对于“槽型+箱型”组合截面是否满足平截面假定进行分析。取 1/2 中跨分析(长度 25 m),考虑在自重作用下(未施加预应力)不同位置处截面纵向正应力分布。按照 3 m 间距取截面,分析中腹板范围正应力分布,详见图 4。

上述分析可知:自重作用下组合截面正应力呈线性分布,满足平截面假定。实际设计中,如预应力配束等可按照杆系有限元模型进行分析。

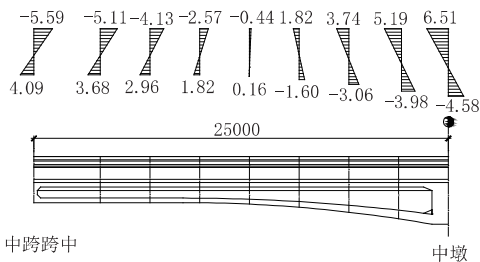


图 4 自重作用下截面正应力分布图(单位:MPa,拉正压负)

2 组合截面受力研究

组合截面结构特殊、受力复杂,需重点考察截面剪力分布;槽型部分底板与箱型部分桥面板衔接段受力复杂;该结构桥面板受力不同于箱梁桥面板,应予以分析。

2.1 截面剪力分布

组合截面中抗剪主要由槽型、箱型各自边、中腹板分担。基于 ANSYS 有限元模型,考虑自重+预应力下不同位置、同一位置处截面不同部位剪力值分布,剪应力分布如图 5 所示。取 1/2 中跨 7 个断面处截面(见图 6),计算结果见表 1。

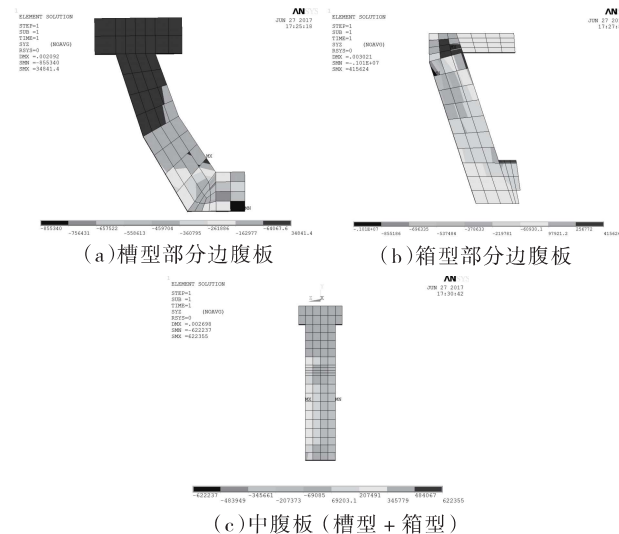


图 5 中支点组合截面不同部位剪应力云图(单位:Pa)

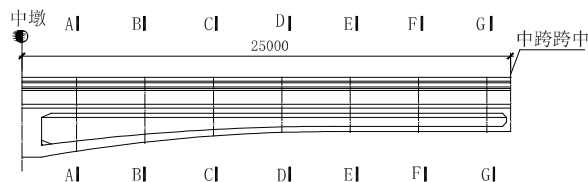


图 6 剪力值计算截取位置

上述计算分析表明:一是中支点附近(A-A、B-B)箱型断面剪力值为槽型的 2~3 倍;D-D 断面至跨中,槽型部分剪力值大于箱型部分,在跨中附近(F-F~G-G)约为箱型部分的 2 倍;二是槽型部分剪力最大值出现在 D-D 断面,约为 1/4 跨径处,箱型部分中支点附近最大;三是槽型、箱型部分边腹板承担

表 1 截面剪力值分布表					单位: kN		
位置	V_{CB}	V_{CZ}	V_{XB}	V_{XZ}	ΣV	$V_C/\Sigma V$	$V_X/\Sigma V$
A-A (2.8 m)	-964	-701	-2 722	-2 146	-8 178	20.4%	59.5%
B-B (6.3 m)	-1 296	-805	-2 508	-1 754	-6 858	30.6%	62.1%
C-C (9.8 m)	-1 518	-968	-1 360	-1 287	-5 664	43.9%	46.7%
D-D (13.3 m)	-1 562	-990	-926	-897	-4 561	56.0%	40.0%
E-E (16.8 m)	-1 328	-820	-628	-628	-3 516	61.1%	35.7%
F-F (20.3 m)	-984	-572	-440	-439	-2 545	61.1%	34.5%
G-G (23.8 m)	-594	-338	-268	-261	-1 533	60.8%	34.5%

注:剪力 V_{CB} —“槽型边腹板”剪力值, V_{CZ} —“槽型中腹板”剪力值, V_{XB} —“箱型边腹板”剪力值, V_{XZ} —“箱型中腹板”剪力值, V_C —“槽型”腹板总剪力值, V_X —“箱型”腹板总剪力值;括号中数值为计算截面距离中墩截面距离。

的剪力值均大于其中腹板,C-C 断面向跨中箱型部分边、中腹板承担的剪力值基本相同。根据上述剪力分布可进一步细化边、中腹板截面箍筋设计。

2.2 槽型底板(箱型顶板)受力分析

“槽型+箱型”组合截面中槽型底板兼做箱型顶板,槽型部分边腹板与其底板衔接处受力复杂,需进行分析。

采用 ANSYS 模型分析,计算结果如图 7 所示。上述计算表明:槽型部分边腹板与底板衔接处应力集中明显;边、中墩支点附近处该位置正应力达到峰值,计算结果表明该处承受较大弯矩、剪力值。

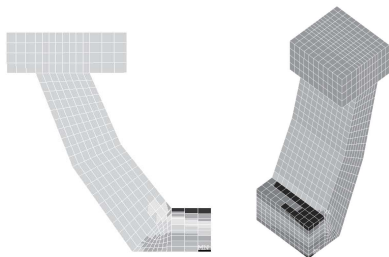


图 7 槽型部分边腹板与底板衔接处应力图

2.3 边墩支座反力分布

边墩为保证与相邻标准槽型梁顺接,过渡为完全槽型截面。为保证支座受力均匀、合理,边墩支点断面每道腹板下均设支座,共设 3 支座,如图 8 所示。根据有限元模型提取恒载+二期、恒载+二期+列车静载下支反力,详见下表 2。

上述计算结果表明,左、右支座分担支反力约为中支座 70%;3 个支座搁置于双柱柱间横梁上,该横梁计算应按照上述实际计算支反力值分布加载。

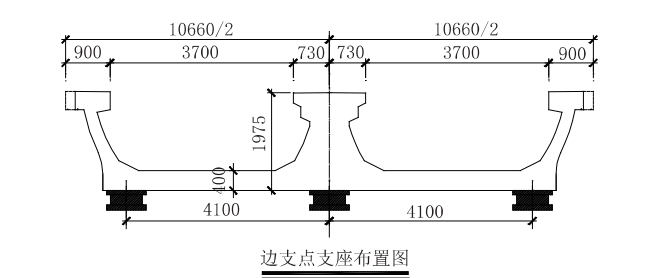


图 8 边支座布置示意图(单位:mm)

表 2 端部支反力分布表				单位: kN
工况	左边支座	中支座	右边支座	支反力总和
恒载+二期	1 169	1 590	1 169	3 928
恒载+二期+列车静载	1 596	2 264	1 596	5 456

3 桥面板配筋

“槽型+箱型”组合截面桥面板同时承受自重、二期、列车活荷载、梯度温度等。槽型部分边腹板与底板衔接处应力集中明显,应加配筋。桥面板配筋应根据上述衔接处、悬臂端和跨中取包络设计。

根据 ANSYS 模型分别计算三处弯矩值、剪力值,按照钢筋混凝土构件配筋如下,如图 9 所示。

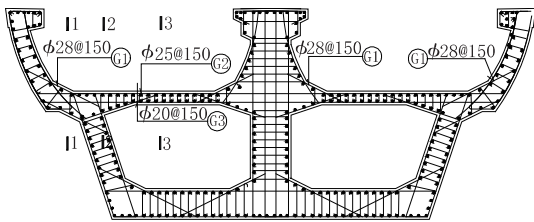


图 9 槽型部分底板(箱型部分)配筋示意图

(1)槽型边腹板与底板衔接处 1-1 断面:板厚采用 484 mm;该区域除桥面板钢筋外,需另设置 #G1 钢筋,直径 28 mm@150 mm 进行加强;同时在中腹板与槽型底板衔接处同样加强钢筋。

(2)桥面板悬臂端 2-2 及跨中 3-3 断面:板厚分别为 470 mm、270 mm;底板顶部 #G2 采用直径 25 mm@150 mm,底板底部 #G3 直径 20 mm@150 mm。

4 结 语

以某工程 35 m+50 m+35 m 大跨“槽型+箱型”组合截面连续混凝土梁设计为背景,从组合截面正应力分布、截面剪力分布、槽型底板(箱型顶板)不同部位受力、端支点支反力分布、桥面板配筋进行分析和设计。主要结论如下:

- (1)“槽型+箱型”组合截面在自重作用下载面正应力呈线性分布,满足平截面假定。
- (2)组合截面中槽型、箱型腹板剪力分布具有差

异性。中支点附近箱型部分梁高较高时,箱型腹板承担 59.5%~62.2%截面总剪力值,槽型部分腹板承担 20.4%~30.6%;中跨跨中截面箱型部分梁高较低时,箱型部分腹板承担 34.5%~35.7%,槽型部分腹板承担 60.8%~61.1%。

(3)同一断面处,槽型部分边腹板分担剪力值要大于其中腹板;箱型部分边腹板与中腹板剪应力相差较小。实际工程设计中需根据上述剪力分布适当细化边、中腹板箍筋设置。

(4)边墩支点处槽型部分截面设置 3 个支座,左:中:右支座反力比例约为 1:1.42:1。

(5)通过对槽型底板(箱型顶板)边腹板与底板衔接处、悬臂根部及跨中弯矩及剪力计算,按钢筋混凝土构件配置桥面板钢筋。边腹板与底板衔接段需加强配筋,悬臂根部处及跨中部位配筋可取包络设置。通过合理配筋保证桥面板在运营阶段承载力、裂

缝均满足规范要求。

参考文献:

- [1] 张吉,陆元春,吴定俊等.槽形梁结构在轨道交通中的应用与发展[J].铁道标准设计,2013(10):78-82.
- [2] 贺恩怀.槽形梁在城市轨道交通工程中的应用[J].铁道工程学报,2003(2):13-16.
- [3] 袁胜强,顾民杰.宁波市北环快速路工程总体设计[J].工程建设与设计,2015(S1):102-105.
- [4] 聂建国,胡红松.简支槽形梁考虑空间受力的理论解[J].工程力学,2012,29(12):64-71.
- [5] 黄侨,陈卓异,杨明等.槽型梁桥力学性能的研究现状与展望[J].中外公路,2013,33(6):131-135.
- [6] 胥为捷,薛伟辰.预应力混凝土槽型梁的研究与应用[J].建筑结构,2006,36(S1):100-105.
- [7] 田杨,邓运清,黄胜前等.双线铁路曲线简支槽形梁的空间分析[J].铁道工程学报,2012(3):24-28.
- [8] 陈波,赵晓波.轨道交通预应力混凝土槽型梁有限元分析[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2011,30(S2):1241-1245.

(上接第 181 页)

- forced RAP Bases over Weak Subgrade under Full-Scale Moving Wheel Loads [J].Journal of Materials in Civil Engineering,2011,23(11):1525-1534.
- [12] Sireesh S,Sitharam T G,Dash S K.Bearing capacity of circular footing on geocell - sand mattress overlying clay bed with void[J].Geotextiles & Geomembranes,2009,27(2):89-98.
- [13] he stress-strain behaviour of multiple geocell packs[Z].
- [14] 刘金龙,栾茂田,王吉利,等.土工织物加固软土路基的机理分析[J].岩土力学,2007(5):1009-1014.
- [15] 徐婧.山区高速公路拓宽路基不均匀沉降处治技术研究[D].陕西西安:长安大学,2013
- [16] Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight

- of Soils Using a Vibratory Table[J].Astm.
- [17] Standard test methods for minimum index density and unit weight of soils and calculation of relative density[J].Astm.
- [18] Standard test method for determining tensile properties of geogrids by single or multi-rib tensile method. ASTM[J].Astm.
- [19] Simac M R.Connections for geogrid systems [J].Geotextiles & Geomembranes,1990,9(4-6):537-546.
- [20] Bush D I,Jenner C G,Bassett R H.The design and construction of geocell foundation mattresses supporting embankments over soft grounds[J].Geotextiles and Geomembranes,1990,9(1):83-98.
- [21] 方浩.离心试验制模幕式砂雨法装置研制与性能评价[Z].黑龙江哈尔滨:中国地震局工程力学研究所,2019.