

预应力混凝土现浇异形箱梁受力性能研究

李晓辉

北京国道通公路设计研究院股份有限公司 北京 100161

摘要: 对于某高速公路工程实例中异形现浇箱梁, 分别建立有限元分析模型, 对变宽、斜墩、不等跨等特殊情况, 进行了异形箱梁受力性能研究。由不同分析模型计算结果对比, 论述了异形箱梁结构受力特征及设计内容要点, 对异形现浇箱梁优化设计提供参考及建议。

关键词: 现浇箱梁、预应力混凝土、异形、有限元模型、受力性能

Study on the stress performance of cast-in-place prestressed concrete special-shape box girder

Li Xiaohui

Beijing National Highway Design and Research Institute Co., LTD. Beijing 100161

Abstract: For the special-shaped cast-in-place box girder in an expressway engineering example, the finite element analysis model is established respectively, and the special cases such as widening, inclined pier and unequal span are studied. From the comparison of the calculation results of different analysis models, the main points of the design are discussed, providing the reference and suggestions for the optimal design of special-shaped cast-in-place box girder.

Key words: cast-in-place box girder, prestressed concrete, special-shaped, finite element model, stress performance

1 前言

现浇混凝土箱梁桥在桥梁工程中经常采用, 特别对于变宽、斜墩、不等跨等非规则桥梁中, 例如互通立交主线桥分支处、匝道桥连接处等情况中, 本文着重对异形混凝土箱梁进行受力性能分析。

2 工程实例

以某高速公路上的互通立交主线桥为例, 选取其中变宽、斜墩、不等跨的一联异形箱梁, 上部结构为现浇预应力混凝土连续箱梁, 其跨径布置(32m+34m+34m+32m), 变宽度30.96m~35.68m, 倾斜桥墩布置, 横梁轴线与桥梁设计线夹角73°(大桩号端横梁与箱梁两边线垂直的折线横梁)。此联异形箱梁处于主线桥分叉位置, 箱梁大桩号右侧分出另一条匝道桥, 此箱梁为异形结构(如图1所示)。桥梁下部结构采用花瓶柱式墩, 下接承台桩基础。

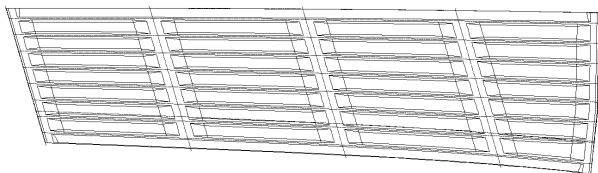


图1 混凝土异形箱梁平面图

3 箱梁建模

3.1 截面尺寸

该现浇异形箱梁为单箱七室、直腹板四跨连续梁结构, 桥面总宽度变化通过调整各箱室宽度实现。箱梁高度1.8m, 悬臂长2.0m。箱梁跨中段的顶板厚度25cm, 底板厚度22cm, 腹板标准段厚60cm。箱梁墩顶支点处的顶板厚度35cm, 底板厚度32cm, 腹板加厚段85cm。直线渐变段为3.0m, 端横梁宽度1.58m, 中横梁宽度3.0m。整联箱梁采用现浇C50混凝土浇筑。

3.2 计算荷载

设计荷载标准为: 公路-I级汽车荷载; 环境类别: II类; 桥梁所在地区平均相对湿度0.65。

3.3 有限元模型

采用桥梁博士设计计算系统, 应用杆系理论有限单元法, 按照全预应力混凝土结构, 建立异形箱梁有限元模型, 进行各工况下箱梁受力性能分析及预应力钢束设计。首先按照桥梁实际设计尺寸建立有限元分析模型, 一期恒载包括主梁结构重量, 其中纵向主梁以结构自重方式施加, 横梁以集中力方式施加于作用点处; 二期荷载中的桥面铺装和防撞护栏重量, 采用均布力形式输入程序。钢筋混凝土材料容重取26kN/m³。

箱梁各腹板内设置三排三列预应力纵向通长钢束, 采用13Φ^{15.2}抗拉强度标准值为 $f_{pk} = 1860\text{MPa}$ 钢绞线, 塑料

波纹管管道成型。采用后张法施工工艺, 预应力钢束采用两端张拉, 锚下张拉控制应力 $0.75f_{pk}$ 。预应力穿束管道摩擦系数为0.20, 局部偏差系数0.0015, 锚固时两端回缩总变形12mm。在桥梁使用信息输入中, 考虑1.15活载偏差系数; 桥梁整体温度荷载: 整体升温 30°C , 整体降温取 -30°C ; 箱梁竖向梯度温度按照《公路桥涵设计通用规范》^[1]中施加。基础不均匀沉降取值8mm, 考虑3650天收缩徐变作用。

4 箱梁受力性能

4.1 箱梁极限承载力

此联箱梁处于主线桥变宽分叉部位及受斜墩影响, 第四跨的腹板长度在箱梁左右两侧长度不同, 其它腹板长度在此两者之间, 可按各情况分别进行有限元建模分析。以连续箱梁长度方向为横坐标轴, 在基本荷载组合作用下, 绘制异形箱梁承载能力极限状态的正截面强度验算数值结果如图2-1、2-2所示(图2中最外侧边缘线代表最大弯矩对应抗力; 图2中内部曲线代表最大弯矩包络图):

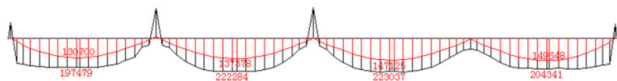


图 2-1 计算最大内力及抗力图 (长腹板) (单位: kN.m)

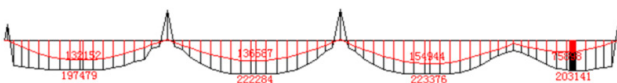


图 2-2 计算最大内力及抗力图 (短腹板) (单位: kN.m)

由图中曲线可见, 在持久状况承载能力极限状态计算时, 主梁所有截面弯矩内力均小于箱梁截面弯矩抗力, 满足《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》^[2]规范要求。当第四跨由长腹板考虑时, 第四跨范围内的荷载内力偏大, 而第四跨按短腹板考虑时, 第四跨荷载内力大为减小, 而在两者之间区段, 荷载内力介于两者之间, 其它跨的抗弯极限承载能力和最大弯矩内力相差不大。

4.2 箱梁截面正应力

在正常使用极限状态荷载短期效应组合下, 主梁各截面正应力分布如图3-1(2)所示(上缘外侧线代表上缘最大应力, 上缘内侧线代表上缘最小应力; 下缘外侧线代表下缘最大应力, 下缘内侧线代表下缘最小应力)。截面上、下缘均处于完全受压状态(应力值没有出现负值), 上缘最小压应力0.2 MPa, 下缘最小压应力0.8MPa, 符合全预应力混凝土构件截面正应力指标要求。

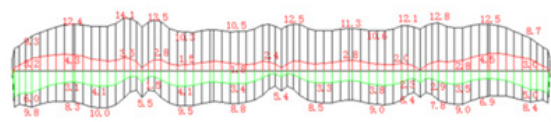


图 3-1 箱梁顶、底缘正应力包络图 (长腹板) (单位: MPa)

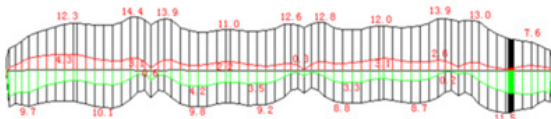


图 3-2 箱梁顶、底缘正应力包络图 (短腹板) (单位: MPa)

对于箱梁正截面最大压应力, 《公路混凝土桥规》^[2]7.1.5款规定: 受压区混凝土最大压应力:

$$\sigma_{kc} + \sigma_{pk} \leq 0.5f_{ck} = 0.5 \times 32.4 = 16.2(\text{MPa})$$

由图中可见, 主梁截面最大压应力为14.4MPa, 主梁最大主应力均满足规范要求。

对于箱梁正截面最大拉应力, 《公路混凝土桥规》^[2]6.3.1款规定: 对于全预应力混凝土构件, 在作用(或荷载)短期效应组合下:

$$\sigma_{st} - 0.80\sigma_{pc} \leq 0$$

在荷载短期效应组合下, 主梁正截面未出现拉应力, 表现为最小压应力0.2MPa, 满足规范中抗裂验算要求。

异形箱梁按长腹板考虑时, 横截面应力分布特点与其它跨的非常相近, 而对于横截面(短腹板)的下缘压应力较大, 达到了11.5MPa, 且上缘的压应力较小(7.6MPa), 表明当第四跨较小时, 预应力钢束布置靠近底板且预应力效应显著, 使截面下缘压应力显著增大, 但对于顶板压应力没有显著影响, 由于跨度减小而顶板压应力有所降低。

4.3 斜截面主应力

4.3.1 主拉应力

在荷载短期效应组合下, 《公路混凝土桥规》^[2]6.3.1款规定: 对于全预应力混凝土构件的斜截面主拉应力:

$$\sigma_{tp} \leq 0.4f_{tk} = 0.4 \times 2.65 = 1.06(\text{MPa})$$

箱梁斜截面最大主拉应力为0.7MPa, 在短期效应组合作用下, 斜截面抗裂满足规范抗裂验算要求。对于长腹板(短腹板)两种情况, 斜截面主拉应力相差不显著。

4.3.2 主压应力

在短期效应组合下, 箱梁斜截面主拉应力如图4。根据《公路混凝土桥规》^[2]7.1.6款规定: 受压区混凝土最大主压应力:

$$\sigma_{cp} \leq 0.6f_{ck} = 0.6 \times 32.4 = 19.44(\text{MPa})$$

从图4可见, 在标准效应组合下, 主梁斜截面主压应力最大值为13.4MPa, 满足规范中斜截面最大主压应力设计要求。

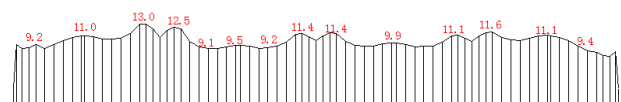


图 4 标准组合作用下的主应力包络图(长腹板)(单位: MPa)

考虑长腹板斜截面主压应力分布特点与其他跨的对应数值相近, 短腹板情况下的斜截面主压应力有所降低, 两者差异不显著。

4.4 钢束最大应力

根据《公路混凝土桥规》^[2]7.1.5款规定, 需对使用阶段受拉区预应力钢束拉应力进行验算。由模型分析结果, 可得各分析模型的钢绞线拉应力相差不大, 最大值为1180MPa,

均不大于应力容许值 $0.65f_{pk}=1209\text{MPa}$, 满足规范中钢束应力验算要求。

5 现浇施工缝

对于长度在150m以内的异形混凝土箱梁, 可采用通长预应力钢束设计。当联长超过150m时, 为了避免过大的预应力损失, 通常进行分段设计施工, 设置现浇施工缝, 即长度在150m以内作为一段进行建造, 再通过使用预应力钢束连接器方式进行箱梁剩余部分修建。钢束连接器通常设置在恒载弯矩零点处, 即预应力钢束弯起段重心位置处。

在工程实践中, 有时连续梁联长虽然在150m以内, 如果箱梁预应力钢束难以采用两端张拉方式(若一端张拉空间不足, 只能采取单端张拉), 并且单端张拉方式的预应力损失较大, 此时在边跨内某处设置现浇施工缝, 使用预应力钢束连接器, 可先进行主要区段的单端张拉预应力施工, 之后再继续进行现浇梁剩余区段建设。

6 结束语

对于异形混凝土箱梁桥, 需进行专项受力性能分析及预

应力钢束设计。考虑箱梁变宽、斜墩、不等跨等特殊状况, 可依据不同腹板长度分别建模分析, 采用受力指标包络方式体现异形箱梁受力性能, 以及调整预应力钢束布置, 使各项验算指标满足规范要求, 此方法简捷实用、便于操作, 具有较好经济性和效益性。当联长较长时可采用钢束连接器分节段施工, 使异形混凝土箱梁整体具有良好受力使用性能。

参考文献

- [1]JTG D60-2015,公路桥涵设计通用规范[S].人民交通出版社
- [2]JTG 3362-2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].人民交通出版社
- [3]范立础.预应力混凝土连续梁桥[M].人民交通出版社
- [4]项海帆.高等桥梁结构理论[M].人民交通出版社
- [5]徐岳.预应力混凝土连续梁桥设计[M].人民交通出版社