

基于 AASHTO 规范的混凝土桥梁上部结构设计

韩雄刚

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津市 300000)

摘要: 在美国公路桥梁设计规范“AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 2017–8th Edition”的基础上, 采用美国本土桥梁设计软件 CSI Bridge, 从强度极限状态、使用极限状态、疲劳极限状态等方面介绍了混凝土桥梁上部结构的设计验算。

关键词: AASHTO LRFD; CSI Bridge; 极限状态; 桥梁上部结构

中图分类号: U441

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)03-0059-03

0 引言

美国公路桥梁设计规范 AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 2017–8th Edition(简称 AASHTO LRFD 规范)为目前现行美国桥梁设计的最新规范, 相比之前版本有较大变化, 我国现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)许多条文均参考了 AASHTO LRFD 规范。很多国内设计院对于按照 AASHTO LRFD 规范设计桥梁还比较陌生, 且用美标设计桥梁存在许多难点。本文通过按美标设计 T 梁的流程来介绍 AASHTO LRFD 规范, 以期为国内设计院走出国门、承揽按美标设计的桥梁项目提供技术参考和借鉴。

1 工程概况

本工程为某高速公路项目, 标准跨径以 30 m 简支结构为主, 上部结构采用预应力混凝土 T 梁, 桥梁全宽 20.56 m, 横桥向由 6 片中梁和 2 片边梁组成, 横向设置 2 道端横隔板和 3 道中横隔板, 间距 7.04 m。梁顶设置 2.5% 横坡, 梁底水平。梁高 1.7 m, 跨中腹板厚 0.2 m, 支点腹板厚 0.5 m, 翼缘厚度为 0.25 m ~ 0.16 m, 马蹄宽度为 0.5 m, 湿接缝宽度为 0.6 m, 悬臂长为 1.08 m, 中梁和边梁的 T 梁断面见图 1。

2 设计标准及规范

(1) AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 2017–8th Edition (美国公路桥梁设计规范—

收稿日期: 2020-08-04

作者简介: 韩雄刚(1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事桥梁设计工作。

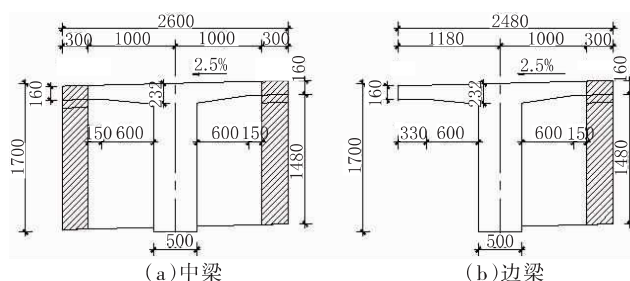


图1 中梁和边梁断面(单位:mm)

第8版, 简称 AASHTO LRFD 规范)。

(2) Standard Specifications for Highway Bridges 2012, 17th Edition(美国高速公路桥梁设计规范 2012, 第17版)。

(3) AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design—2015 (美国桥梁抗震设计规范—2015)。

(4) LRFD Bridge Construction Specifications 2017–4th Edition(美国桥梁施工技术规范—第4版)。

(5) Standard Specification for Structural Steel for Bridges 2015(2015 美国桥梁结构用钢标准规范)。

(6) ASTM A615 / A 615M—2016(美国材料标准规范—2016)。

(7) ASTM A416/ A416M—2017(美国材料标准规范—2017)。

(8) ACI318M—2005(美国混凝土结构建筑规范—2005)。

3 设计材料

3.1 混凝土材料

混凝土材料指标按 AASHTO LRFD 规范取值, 见表1。

表 1 混凝土材料指标表

构件名称	等级	抗压强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	热膨胀系数 /℃ ⁻¹	弹性模量 /MPa	泊松比
T 梁	P	40	3.82	10.8×10^{-6}	31 419	0.2
铺装混凝土	A	40	3.82	10.8×10^{-6}	31 419	0.2
护栏	A	35	3.57	10.8×10^{-6}	29 735	0.2

3.2 钢筋

钢筋需要满足 AASHTO M31 (ASTM A615—2016)60 级的相关规定,可焊接钢筋的屈服强度至少 414 MPa,钢筋须为可焊接钢筋,钢筋焊接应遵守 ANSI/AWS 规定。

3.3 预应力钢筋

本工程采用满足 AASHTO M203 (ASTM A416—2017)规定的无涂层、低松弛的 7 丝钢绞线,其极限抗拉强度为 1 860 MPa。预应力钢筋的弹性模量基于公称横截面面积,可取为 197 000 MPa,张拉控制应力为 1 395 MPa。

4 设计荷载

4.1 恒载

4.1.1 自重(DC)

根据 AASHTO LRFD 规范第 3.5.1 条表 3.5.1-1,素混凝土容重取 $\gamma=24.0 \text{ kN/m}^3$,钢筋混凝土的重量考虑钢筋及其他影响,取 $\gamma=26.0 \text{ kN/m}^3$ 。

4.1.2 二期桥面铺装(DW)

沥青混凝土容重取 $\gamma=23.0 \text{ kN/m}^3$,防水混凝土容重取 $\gamma=26.0 \text{ kN/m}^3$,铺装层荷载为 3.23 kN/m^2 。防撞护栏按 10.4 kN/m 计。

4.2 汽车活载(LL)

AASHTO LRFD 规范将作用在桥面和附属结构上的汽车荷载定名为 HL-93,包括以下 3 种情况:

- (1)3 轴货车荷载(35 kN、145 kN、145 kN)。
- (2)设计双轴(110 kN,轴距 1.2 m)。
- (3)车道荷载(9.34 kN/m,车道宽 3 m)。

设计货车或双轴的静力效应(不包括离心力及制动力)考虑动荷载增计值。

4.3 整体温度

桥梁整体温度计算分整体升温 and 整体降温,整体温差引起的内力按 AASHTO LRFD 规范采用下式计算:

$$\Delta T = \alpha L (T_{\text{MaxDesign}} - T_{\text{MinDesign}}) \quad (1)$$

式中: ΔT 为温度变化引起的位移; α 为线膨胀系数; L 为桥梁一联全长; $T_{\text{MaxDesign}}$ 为设计最高温度; $T_{\text{MinDesign}}$ 为设计最低温度; $T_{\text{MaxDesign}}$ 与 $T_{\text{MinDesign}}$ 根据当地气温确定。

4.4 温度梯度

计算桥梁结构由于梯度温度引起的效应时,需根据桥梁所处区域查表确定正温度梯度最高和最低温度,或根据当地条件确定。

负温度梯度由正温度梯度乘以系数确定,该系数根据桥面铺装层确定:混凝土铺装时取 -0.3,沥青混凝土铺装时取 -0.2。

4.5 疲劳荷载

疲劳荷载应按 AASHTO LRFD 规范规定的 1 辆设计货车或其各轴确定,但 2 个 145 kN 轴之间的间距为恒值 9 m,汽车荷载应考虑动荷载增计值。

5 验算过程

根据 AASHTO LRFD 规范,各极限状态分别为:强度极限组合 I~IV、使用极限状态 I~IV、疲劳极限状态 I~II 和偶然极限状态 I~II,比我国现行《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)的极限状态要多一个疲劳极限状态。

结合桥梁图纸,采用 CSI Bridge 美国本土桥梁设计软件建立 $1 \times 30 \text{ m}$ T 梁有限元模型,模型中有 630 个节点,16 个框架单元,24 根钢束和 259 个壳单元。软件内部提供了按 AASHTO LRFD 规范或按有限元模型计算横向分布系数的方法,由于按 AASHTO LRFD 规范计算横向分布系数有其局限性,所以此次计算采用有限元模型来计算横向分布系数^[1]。将荷载和边界条件施加到有限元模型上以后,就可以对模型进行求解并按 AASHTO LRFD 规范进行验算。

5.1 疲劳极限状态验算

疲劳极限状态组合 0.8 (LL+IM)(其中 LL 为汽车荷载效应,IM 为汽车荷载增计值)下,主梁的弯矩为 $0.8 \times (1\ 018.4 + 0.33 \times 1\ 018.4) = 1\ 083.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$;预应力应力幅为 $119.4 \text{ MPa} < 125 \text{ MPa}$ (125 MPa 为 AASHTO LRFD 规范中 5.5.3.3 条的指标)。

5.2 抗弯验算

针对各梁最大弯矩,采用 CSI Bridge 软件的验算结果见图 2。

图 2 中阴影部分为最大和最小荷载效应,上下 2

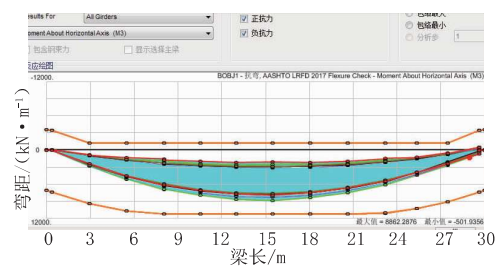


图2 上部T梁正截面抗弯承载力结果图形

条边界线为结构实际抗力线;阴影部分位于上下抗力线内部,说明结构满足 AASHTO LRFD 规范要求。

5.3 抗剪计算

针对各梁剪力,采用 CSI Bridge 软件的验算结果见图 3(图中 D/C 为剪力效应与抗力的比值)。

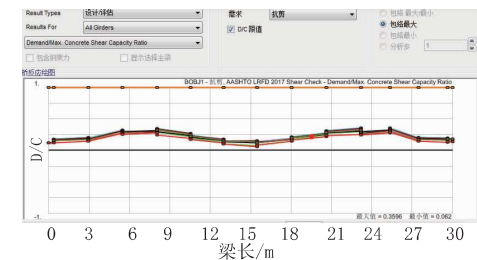


图3 上部T梁抗剪结果图形

由图3可见,D/C最大值为0.3596,最小值为0.062,均小于1,满足 AASHTO LRFD 规范要求。

5.4 使用极限状态下抗裂验算

T 梁顶部拉应力验算见图 4,T 梁底部拉应力验算见图 5。

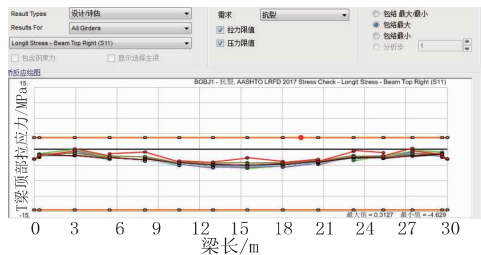


图4 T梁顶部拉应力验算结果图形

由图4可知,T梁顶部最大拉应力为0.3127 MPa,最大压应力为4.629 MPa,均介于上下限值以内,满足 AASHTO LRFD 规范要求。

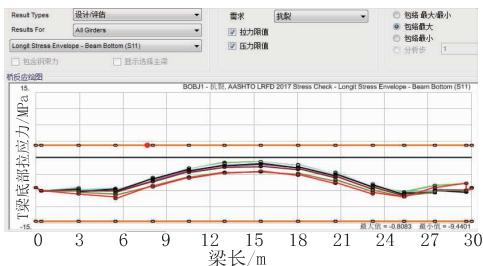


图5 T梁底部拉应力验算结果图形

由图5可知,T梁底部最大拉应力为0.8083 MPa,最大压应力为9.44 MPa,均介于上下限值以内,满足

AASHTO LRFD 规范要求。

5.5 预应力筋的应力验算

中梁和边梁的有效预应力验算见表 2。

表 2 中梁和边梁的有效预应力表				
梁名称	钢束名	张拉前应力 /MPa	张拉后应力 /MPa	有效预应力 /MPa
边梁	N1	1 395	1 317.988	1 180.093
	N2	1 395	1 318.257	1 180.362
	N3	1 395	1 323.390	1 185.495
中梁	N1	1 395	1 317.988	1 180.093
	N2	1 395	1 318.257	1 180.362
	N3	1 395	1323.390	1 185.495

由表 2 可知:边梁和中梁的 N1、N2、N3 钢束有效预应力均小于 AASHTO LRFD 规范所规定的 $0.72 f_{pu}=1\,339.2\text{ MPa}$ (f_{pu} 为抗拉强度),满足该规范要求。

5.6 挠度验算

活载挠度根据 AASHTO LRFD 规范计算,上部结构挠度见图 6。

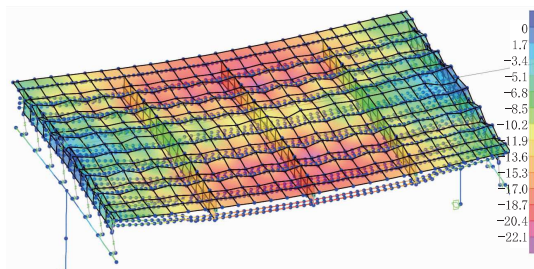


图6 上部结构挠度图(单位:mm)

由图6可见,上部结构最大挠度为22.1 mm,小于 AASHTO LRFD 规范规定的 $L/800=36.4\text{ mm}$ 限值,满足 AASHTO LRFD 规范要求。

6 结 语

从材料、荷载、荷载组合及验算项目等方面对现行 AASHTO LRFD 规范进行了介绍,并采用美国本土桥梁设计软件 CSI Bridge 分析验算了 1 座 $1\times 30\text{ m}$ 预应力混凝土 T 梁桥。通过分析发现,美标桥梁的设计流程与国内桥梁设计流程基本一致,最大区别在于材料指标取值的不同,而对于桥梁结构需要控制的主要因素基本相同。美国现行 AASHTO LRFD 规范较我国现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》在桥梁各部位的控制指标上更加全面和细致,值得学习借鉴。

参考文献:

[1] 章娜娜,孙水生,卢稳健.公路桥梁荷载横向分布系数综述[J].四川建筑,2009,29(6):148-150.