

# 中欧规范 T 梁上部结构对比研究

马希田, 陈宏卓, 丁少凌

(中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430056)

**摘要:** 各国规范均为一套系统且复杂的体系, 难以用简化的分析方法进行全面的对比。对比规范的安全度, 需要从作用效应和抗力效应两个方面综合考虑。作用效应需要进行不同状态的荷载组合以得到结构的组合内力, 抗力效应需要考虑承载能力状态、正常使用极限状态(抗裂要求、混凝土压应力要求、刚度要求等)。而桥梁结构的形式多样, 汽车荷载的布置也存在很大的变化, 给规范的对比研究增加了很大的困难。该文旨在通过对中欧规范 T 梁的设计对比研究, 提出较为直观的设计对比结果。

**关键词:** 中国规范; 欧洲规范; T 梁; 对比

欧洲规范是迄今为止国际工程领域最新、最具影响力的一套区域性国际标准, 由欧洲标准化委员会 CEN 颁发, 在欧盟及其前殖民地国家具有权威性地位, 是目前国际上使用范围最广的规范。随着海外工程的拓展尤其是国家“一带一路”的推进, 海外交通土建项目逐渐增多, 中国规范“走出去”势在必行。

该文通过对 20~50 m T 梁中欧规范组合值及抗力、支座反力设计对比研究, 提出较为直观的设计对比结果。

## 1 对比范围、计算方法及相关假定

为了较为全面采用中欧两种规范体系对 T 梁进行对比, 此次研究进行了如下的限制:

(1) 选择跨径为常规的  $L=20、30、40、50$  m 4 种, 结构形式为 T 梁。

(2) 车辆行驶特点: 分幅桥面, 即车辆按单向行驶。

(3) 桥梁宽度选择考虑两种规范车道数的跳跃, 包络各种不利情况, 具体如下: 对于 T 梁结构, 中国规范常采用横向分配系数的方法进行计算, 各车道的临界值分别为(图 1): 一车道( $3.8 \text{ m} \leq B < 6.9 \text{ m}$ ), 两车道( $6.9 \text{ m} \leq B < 10 \text{ m}$ ), 三车道( $10 \text{ m} \leq B < 13.1 \text{ m}$ ), 四车道( $13.1 \text{ m} \leq B < 16.2 \text{ m}$ )。欧洲规范各车道临界值(考虑两侧各 0.5 m 护墙): 一车道( $B < 6.4 \text{ m}$ ), 两车道( $6.4 \text{ m} \leq B < 10 \text{ m}$ ), 三车道( $10 \text{ m} \leq B < 13 \text{ m}$ ), 四车道( $13 \text{ m} \leq B < 17 \text{ m}$ ), 欧洲规范仅 3 个车道设置集中荷载且非重车道及剩余区域均布荷载值相同, 故大于三车道后的荷载对结构的影响是连续的。综上, 结合中欧规范的汽车荷载特点, 对于 T 梁结构桥梁选择  $B=6.3、6.4、6.8、6.9、9.9、10、13、13.1、16.1、16.5$  m。

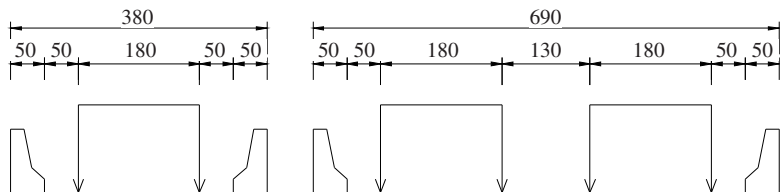


图 1 中国规范 T 梁横向分布系数计算临界车道数示意(单位: cm)

(4) 计算方法: T 梁按照刚性横梁法(跨中)、杠杆法(支点处)计算横向分配系数(欧洲规范参考此方法直接算出各梁的汽车荷载分配值), 横向分配系数按照

支点处至第一道横隔板直线变化。现浇总体箱梁按照单梁模型总体考虑。部分算例属于宽桥范畴( $B/L > 0.5$ ), 以上算法的结果与实际内力略有偏差, 但鉴于此

次分析为对比研究,两种规范采用统一算法,同样能达到较好的对比结果。

(5) 中国规范的结构重要性系数取 1.1,正常使用按照部分预应力 A 类构件验算。

(6) 考虑的作用:一期恒载、二期恒载、预应力、汽车、顶板梯度。

(7) 验算内容包含:跨中截面抗弯承载能力、跨中下缘抗裂验算、支点截面抗剪承载能力验算、支座反力验算。

2 T 梁构造

T 梁细部构造参考公路系统常用结构尺寸,不同跨径梁高依次取 1.5、2.0、2.5、3.0 m,马蹄宽为 0.45、0.50、0.60、0.65 m,顶板根部厚度为 0.25、0.25、0.25、0.3 m,顶板翼缘厚度为 0.16、0.16、0.20、0.20 m。为便于研究,湿接缝浇筑完成后边中梁为相同截面,T 梁标准横断面布置见图 2,断面参数见表 1。

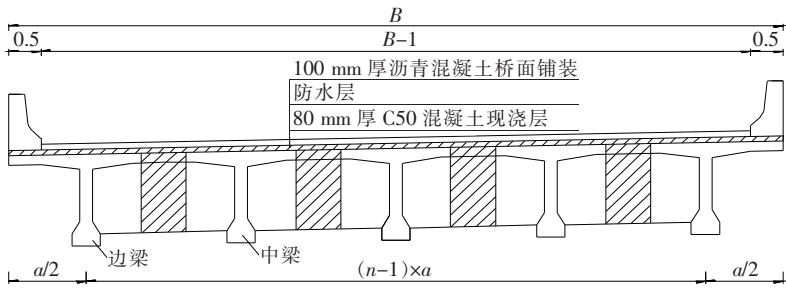


图 2 T 梁标准横断面布置图(单位:m)

表 1 T 梁断面参数

| 编号 | 桥宽<br>B/m | 梁片数<br>n | 梁间距<br>a/m | 桥面宽/<br>m | CHN       | EU        |           |             |
|----|-----------|----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
|    |           |          |            |           | 计算车<br>道数 | 计算车<br>道数 | 车道宽/<br>m | 剩余区<br>宽度/m |
| 1  | 6.3       | 3        | 2.10       | 5.30      | 1         | 1         | 3.00      | 2.30        |
| 2  | 6.4       | 3        | 2.13       | 5.40      | 1         | 2         | 2.70      | 0.00        |
| 3  | 6.8       | 3        | 2.27       | 5.80      | 1         | 2         | 2.90      | 0.00        |
| 4  | 6.9       | 3        | 2.30       | 5.90      | 2         | 2         | 2.95      | 0.00        |
| 5  | 9.9       | 4        | 2.48       | 8.90      | 2         | 2         | 3.00      | 2.90        |
| 6  | 10.0      | 4        | 2.50       | 9.00      | 3         | 3         | 3.00      | 0.00        |
| 7  | 13.0      | 6        | 2.17       | 12.00     | 3         | 4         | 3.00      | 0.00        |
| 8  | 13.1      | 6        | 2.18       | 12.10     | 4         | 4         | 3.00      | 0.10        |
| 9  | 16.1      | 7        | 2.30       | 15.10     | 4         | 5         | 3.00      | 0.10        |
| 10 | 16.5      | 7        | 2.36       | 15.50     | 5         | 5         | 3.00      | 0.50        |

注:CHN 为中国规范;EU 为欧洲规范,下同。

3 作用效应

3.1 恒载

根据截面尺寸、横隔板布置等实际尺寸计算构件体积,混凝土、沥青重度分别取 25、24 kN/m<sup>3</sup>,护墙不考虑横向分配,其荷载完全作用于边梁。

3.2 汽车作用

根据中国规范计算汽车作用效应,考虑汽车横向分配系数、汽车冲击系数影响。

欧洲规范车道划分基本上按 3 m 一个车道的原则,不足一个车道的部分为剩余区。车道荷载为 Load Model1,由 2 个集中力(顺桥向相距 1.2 m)和均布压力组成,不同的是欧洲规范通过设置重车道来体现汽车作用的概率分布影响(中国规范为车道横向折减系数),3 个重车道的集中力分别为 2×300 kN、2×200 kN、2×100 kN,超过 3 个车道时其他车道无集中力,车道 1 均布压力为 9 kPa,其他车道及剩余区为 2.5 kPa(表 2)。重车道可施加在任意车道上,车道荷载按照最不利加载方式布置(图 3)。通过 T 梁的加载影响

表2 欧洲规范车道荷载

| 车道编号 | 集中荷载 TS       | 均布荷载 UDL      |
|------|---------------|---------------|
|      | $Q_{ik}$ /kN  | $q_{ik}$ /kPa |
| 1    | $2\times 300$ | 9.0           |
| 2    | $2\times 200$ | 2.5           |
| 3    | $2\times 100$ | 2.5           |
| 其他   | 0             | 2.5           |

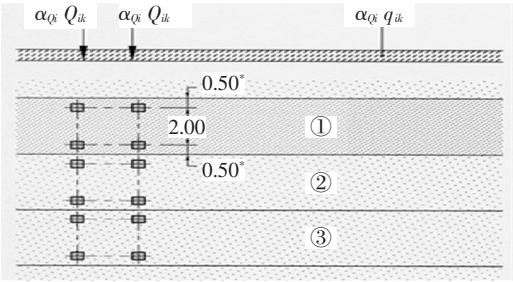


图3 欧洲规范车道荷载图示

线计算出边、中梁分配的最不利集中力及均布力大小。

3.3 梯度温度

对于简支梁结构,体系温差不产生内力及应力,故不予考虑。顶板温差虽不产内力但截面自身变形需协调而产生应力。中国规范顶板温差加载不再赘述,欧洲规范加载模式见规范 EN 1991-1-5 中的图 6.2c。根据加载模式容易求出梯度温度应力。

4 荷载组合

CHN 弯矩承载能力组合 ULS: $1.1\times[1.2DL1+1.2DL2+1.4(1+\mu)(TS+UDL)]$

CHN 剪力承载能力组合 ULS: $1.1\times[1.2DL1+1.2DL2+1.4(1+\mu)(1.2TS+UDL)]$

CHN 支座反力组合 SLS-CH: $DL1+DL2+P+(1+\mu)(TS+UDL)$

CHN 频遇值组合 SLS-Fr: $DL1+DL2+P+0.7(TS+UDL)+0.8TK$

EU 承载能力组合 ULS: $1.35\times(1.0DL1+1.2DL2)+1.35(TS+UDL)$

EU 支座反力组合 SLS-CH: $DL1+1.2DL2+P+(TS+UDL)$

EU 频遇值组合 SLS-Fr: $DL1+1.2DL2+P+(0.75TS+0.4UDL)+0.5TK$

中欧规范组合对比见表 3。

符号意义:DL1 为二期恒载;DL2 为二期恒载;TS 为车道集中力荷载;UDL 为车道均布荷载;TK 为梯度温度; $\mu$  为中国规范规定汽车冲击系数(欧洲规范汽车荷载效应已计入冲击影响);P 为预应力。

简支梁计算结果见图 4~7。

表3 中欧规范组合对比

| 组合/<br>作用 | ULS  |               |               | SLS-CH |           | SLS-Fr |     |
|-----------|------|---------------|---------------|--------|-----------|--------|-----|
|           | EU   | CHN(弯矩)       | CHN(剪力)       | EU     | CHN       | EU     | CHN |
| DL1       | 1.35 | 1.32          | 1.32          | 1      | 1         | 1      | 1   |
| DL2       | 1.62 | 1.32          | 1.32          | 1.2    | 1         | 1.2    | 1   |
| P         | —    | —             | —             | 1      | 1         | 1      | 1   |
| TS        | 1.35 | $(1+\mu)1.54$ | $(1+\mu)1.85$ | 1      | $(1+\mu)$ | 0.75   | 0.7 |
| UDL       | 1.35 | $(1+\mu)1.54$ | $(1+\mu)1.54$ | 1      | $(1+\mu)$ | 0.4    | 0.7 |
| TK        | —    | —             | —             | 1      | 1         | 0.5    | 0.8 |

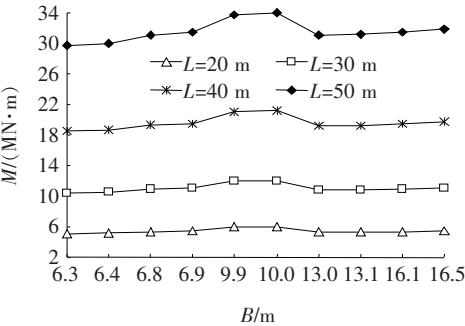


图4 边梁跨中承载能力组合弯矩值(中国规范)

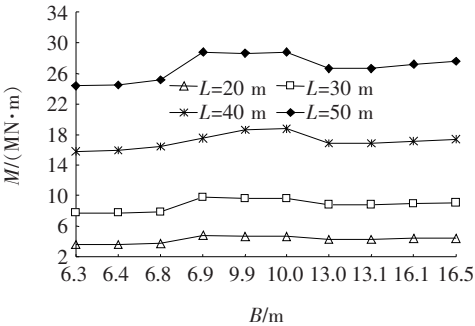


图5 中梁跨中承载能力组合弯矩值(中国规范)

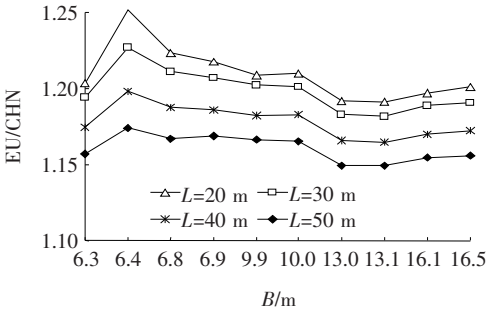


图 6 边梁支座反力比值

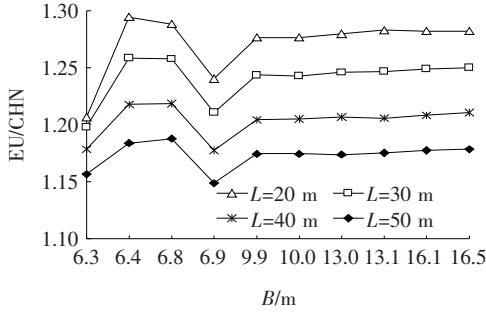


图 7 中梁支座反力比值

由图 4~7 可以看出:跨中截面承载力组合弯矩欧洲规范偏大,为中国规范的 1.06~1.39 倍;根部截面承载力组合剪力欧洲规范偏大,为中国规范的 1.04~1.13 倍;标准值组合下支座反力欧洲规范偏大,为中国规范的 1.15~1.29 倍。跨中截面抗裂组合弯矩欧洲规范偏小,为中国规范的 0.67~0.91 倍。

5 钢束用量

主梁混凝土标号为 C50,钢束中心距下缘的距离分别为 0.12、0.18、0.25、0.25 m。中欧规范混凝土设计强度分别为 22.4、22.7 MPa,1860 钢绞线中欧规范设计强度分别为 1 260、1 375 MPa。

抗裂验算时,考虑收缩徐变影响钢束永存应力根据经验取 1 100 MPa。中国规范频遇值组合允许最大拉应力为  $0.7f_{tk}=1.855$  MPa,准永久值组合不出现拉应力;欧洲规范要求受拉区钢束波纹管外边缘不出现拉应力,此次研究偏安全按照频遇值组合全截面不出现拉应力控制。中欧规范具体评判标准见表 4。

简支梁计算结果见图 8、9。

由图 8、9 可知:两种规范下钢束用量均由承载力组合控制,承载能力与正常使用状态的钢束用量差异随跨径的增大逐步接近(活载弯矩占比随跨径的加大而减小),50 m 跨径基本持平。欧洲规范的钢束用

表 4 中欧规范评判标准对比

| 组合     |     | 评判标准                  |
|--------|-----|-----------------------|
| ULS    | EU  | 组合力小于抗力               |
|        | CHN | 组合力小于抗力               |
| SLS-CH | EU  | 压应力小于 0.48 倍立方体混凝土标号  |
|        | CHN | 压应力小于 0.5 倍混凝土抗压强度标准值 |
| SLS-Fr | EU  | 波纹管外边缘不出现拉应力          |
|        | CHN | 拉应力小于 0.7 倍混凝土抗拉强度标准值 |

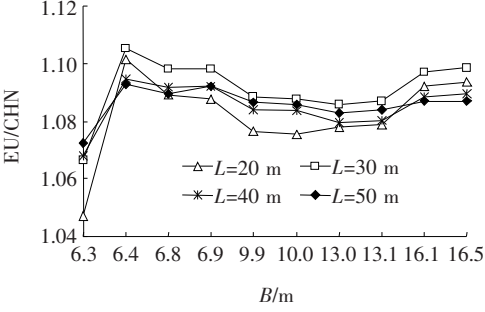


图 8 边梁最小钢束用量比值

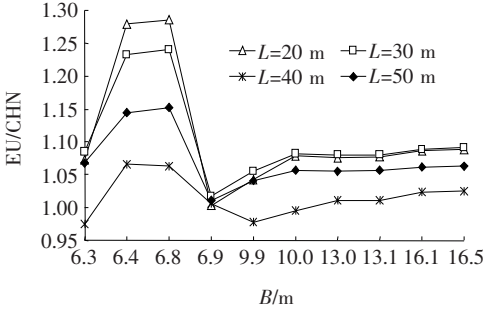


图 9 中梁最小钢束用量比值

量普遍偏大,差异最大出现在桥宽  $6.4\text{ m}\leq B<6.9\text{ m}$  范围内(桥宽较窄且欧洲规范比中国规范可多布置一个车道),最大钢束用量差值达到了 29%,其他桥宽钢束用量差值不超过 11%(根据文献结论,同样钢筋配置下,欧洲规范的抗剪承载能力数值为中国规范的 1.15~1.7 倍,故满足中国规范抗剪承载能力必然满足欧洲规范要求)。

6 延伸研究

采用简支梁同样的研究方法进行三跨结构连续的验算,以探寻连续结构中欧规范的变化规律。计算结果见图 10~17。

由图 10~17 可得:跨中截面的钢束配置情况与简支梁规律相同。中支点截面因活载占比较大,中国规

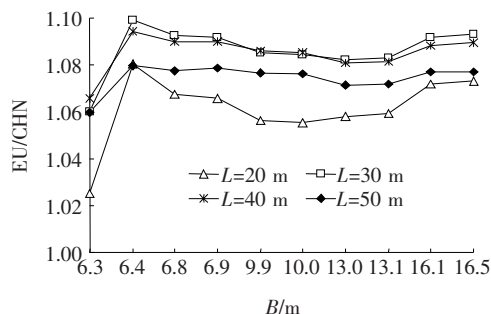


图 10 边跨边梁跨中最小钢束用量比值

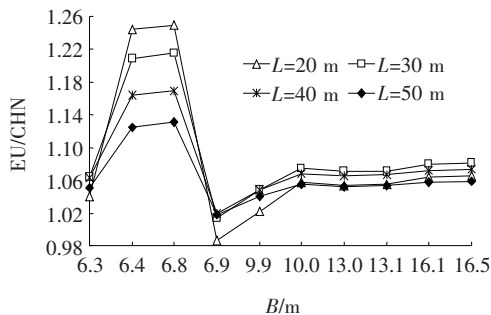


图 11 边跨中梁跨中最小钢束用量比值

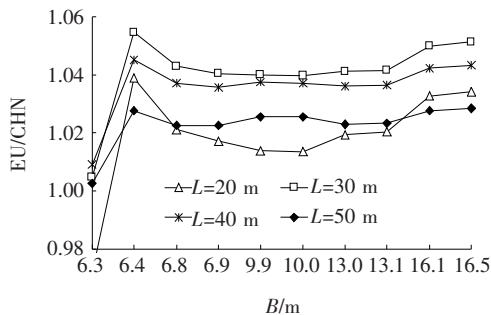


图 12 中跨边梁跨中最小钢束用量比值

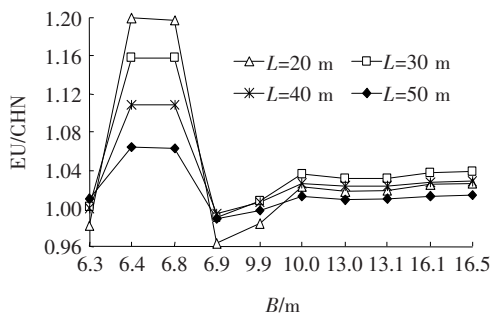


图 13 中跨中梁跨中最小钢束用量比值

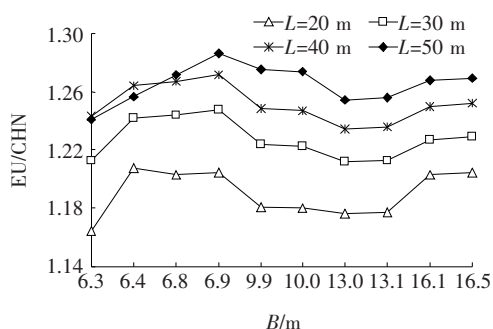


图 14 边梁中支点最小钢束用量比值

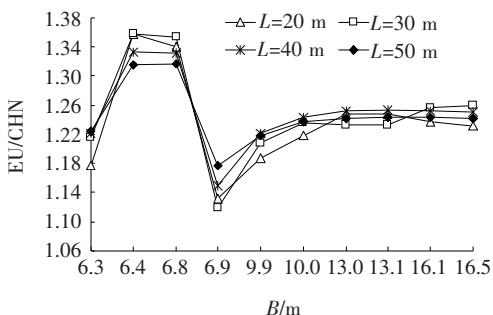


图 15 中梁中支点最小钢束用量比值

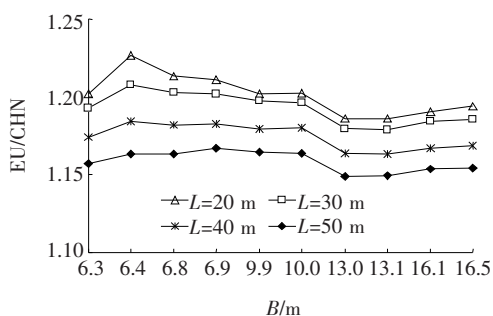


图 16 边梁中支座反力比值

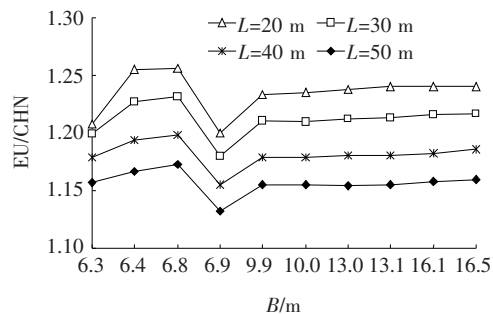


图 17 中梁中支座反力比值

范主要由抗裂控制,欧洲规范两种状态下的纵向钢束用量基本持平。

## 7 结论

经过 20~50 m T 梁中欧规范组合值及抗力、支座反力对比,可以得到该类桥型的以下对比结论:

(1) 两种规范下跨中纵向钢束数量均由承载能力组合控制,承载能力与正常使用状态的钢束用量随跨径的增大逐步接近,50 m 跨径基本持平。中支点截面因活载占比较大,中国规范主要由抗裂控制,欧洲规范两种状态下的纵向钢束用量基本持平。除截面抗剪外,欧洲规范更偏于安全。对于窄桥,需重点关注 6.4