

公路、铁路与房建行业钢结构设计规范比较研究

原 华, 吴卫华

(河南大学 土木建筑学院, 河南 开封 475004)

摘要:通过对比交通部标准 JTJ025—86《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》、行业标准 TB10002.2—2005《铁路桥梁钢结构设计规范》与国家标准 GB50017—2003《钢结构设计规范》的主要条文,研究了公路、铁路行业桥梁钢结构与房建钢结构在设计准则、所用钢材牌号及材料属性、设计荷载、主要计算公式等方面的异同,重点分析了三种规范材料强度取值、构件强度、稳定性和疲劳验算存在差异的原因,客观评价了公路、铁路钢结构规范主要验算公式的合理性;研究成果对工程设计人员深入理解公路、铁路桥梁钢结构设计规范,掌握钢桥设计的精髓有实用价值。

关键词:钢结构;公路桥梁;铁路桥涵;规范

中图分类号: TU391

文献标志码: A

文章编号: 1005-2909(2014)04-0080-04

在中国,与钢结构设计及钢材材料属性相关的规范很多。钢结构设计方面,有适于工业与民用房屋和一般构筑物钢结构设计的国标 GB50017—2003《钢结构设计规范》(以下简称《钢规》)^[1],有关于冷弯成型钢构件及其连接的国标 GB50018—2002《冷弯薄壁型钢结构技术规范》,还有 1987 年 1 月发布,适于一般公路工程钢结构设计的交通部标准 JTJ025—86《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》(以下简称《公桥钢规》),以及铁道部 2005 年颁布的用于客货列车共线、客车时速 ≤ 160 km/h、货车时速 ≤ 120 km/h 简支或连续钢桁梁、板梁及全焊钢梁设计的行业标准 TB10002.2—2005《铁路桥梁钢结构设计规范》(简称《铁桥钢规》)。结构用钢的材料特性方面,国标 GB/T714—2008《桥梁用结构钢》(简称《桥钢》)规定了桥梁用结构钢的牌号、尺寸、外形、技术要求、检验规则等。国标 GB/T700—2006《碳素结构钢》(简称《碳钢》)、国标 GB1591《低合金结构钢》(简称《低合金钢》)分别对相应类别钢材的规格、属性等进行了规定。

为便于工程设计人员掌握钢桥设计的精髓,文中将公路、铁路行业桥梁钢结构与房建钢结构相关规范在所用钢材牌号、设计准则、材料强度取值、设计荷载、主要计算公式等方面的异同进行了深入分析。

一、所用钢材牌号

《公桥钢规》要求公路钢桥主体结构采用《低合金钢》规定的 16 Mn 钢或其他

收稿日期: 2013-12-9

基金项目: 河南大学教学改革研究项目

作者简介: 原华(1982-),女,河南大学土木建筑学院副教授,博士,主要土木工程研究,(E-mail) yuan-

huazzl@163.com。

适于桥梁结构的普通低合金钢,以及符合《碳钢》的 8 号 A3 钢或其他适于桥梁结构的普通碳素结构钢^[2];根据《铁桥钢规》和《桥钢》,铁路钢桥的钢梁主体结构应采用质量等级为 D 级或 D、E 级的 Q235q、Q345q、Q370q、Q420q 钢,且《碳钢》及《低合金钢》要求桥梁辅助结构和连接型钢分别选用 Q235—B、Z、Q345c 钢^[3-4];然而,《钢规》要求,房建钢结构承重结构选用质量符合《碳钢》和《低合金钢》规定的 Q235、Q345、Q390、Q420 钢^[1]。可以看出,由于大多数房屋建筑按 50 年设计基准期设计,而公路桥涵及铁路钢桥按 100 年设计使用年限设计,且桥梁荷载多为动载或冲击荷载,因此与房屋建筑相比,公路、铁路钢桥对钢材的性能要求更高,其主体结构普遍采用高强度结构钢。

二、设计准则

当前国际工程界常用的两种基本结构设计方法为容许应力法和极限状态法。容许应力法自 1826 年被提出后一直沿用至今,它视材料为理想弹性体,要求构件任意截面上任意一点的应力不超过材料容许应力,即 $\sigma_{\max} \leq [\sigma]$ 。

建国初期,中国公路桥涵设计主要借用美国及前苏联标准,以容许应力法为主。1985 年以后,自主编制的部分标准逐渐开始选用极限状态法,现行《公桥钢规》因颁布年份较早仍采用容许应力法。从我国铁路行业第一部结构设计标准问世至今,铁路钢桥始终采取容许应力法进行设计^[3-5]。除疲劳计算之外的房建钢结构设计率先选用以概率理论和结构可靠度理论为基础的极限状态法^[1],并已多次修订,但因缺乏对疲劳极限状态的深入研究,疲劳计算仍沿用传统的容许应力法。

容许应力法简洁、实用,不能真实反映材料的特性、荷载效应及构件抗力的变异,无法考虑材料塑性阶段的继续承载,设计偏于保守,而极限状态设计法通过可靠度指标使各构件的可靠度得以互相协调,以塑性理论为基础,发挥了材料的潜力。基于概率理论的极限状态法已成为国际钢桥设计的主流。为满足当前大规模钢桥建设需要,采用极限状态设计法是公路、铁路行业钢桥设计的一种必然趋势。

三、材料强度取值

公路、铁路行业规范称 $[\sigma]$ 为基本容许应力,基本容许应力等于材料屈服强度 σ_s 或极限强度 σ_b 除以安全系数,即 $[\sigma] = \sigma_s/K$ 或 σ_b/K' 。

对于上式中安全系数的取值,《桥钢》和《铁桥钢规》没有用概率方法,而是根据多年的工程经验规定热轧钢材基本容许应力的安全系数取 1.7 左右,抗拉强度安全系数取 2.5 左右,铸钢基本容许应力的安全系数采用 1.85^[3];《公桥钢规》仅以表格的形式给出不同钢材的容许应力,没能给出容许应力的具体计算依据。

在《公桥钢规》和《铁桥钢规》中,钢材的弯曲容许应力 $[\sigma_w]$ 与轴向容许应力 $[\sigma]$ 并不相等, $[\sigma_w] = 1.05[\sigma]$, $[\sigma_w]$ 比 $[\sigma]$ 约大 5 ~ 10 MPa; 剪切容许应力 $[\tau] = \frac{1}{\sqrt{3}}[\sigma] \approx 0.6[\sigma]$; 端部承压容许应力(磨光顶紧) $[\sigma_c] = 1.5[\sigma]$ ^[2-3]。

房建行业,《钢规》规定钢材的抗弯强度设计值与轴向抗拉、抗压强度设计值相等。若设钢材抗拉、压、弯强度设计值为 f , 则

$$f = \frac{f_y}{\gamma_R} \quad (1)$$

式中: f_y 为钢材屈服强度; γ_R 为抗力安全系数,对于 Q235 钢安全系数取 1.087, 对 Q345、Q390、Q420 钢安全系数统一取 1.111。

钢材抗剪强度设计值 $f_v = \frac{f}{\sqrt{3}} \approx 0.58f$, 即钢材抗剪强度设计值为抗拉、压、弯强度设计值的 $\frac{1}{\sqrt{3}}$, 这与《公桥钢规》和《铁桥钢规》的规定相同。

钢材端部承压(刨平顶紧)强度 f_{ce} 按式(2)计算:

$$f_{ce} = \frac{f_u}{\gamma'_R} \quad (2)$$

其中: f_u 表示钢材极限抗拉强度; γ'_R 取 1.15 (Q235) 或 1.175 (Q345、Q390 及 Q420)。

将《钢规》表 3.4.1-1 分别与《公桥钢规》表 1.2.5 及《铁桥钢规》表 3.2.1 比较,不难发现:同标号、相等屈服强度的钢材,房建行业规范给出的抗拉、压、弯强度及抗剪、端部承压强度均高于公路、铁路行业规范中的相应值。

四、设计荷载

公路、铁路钢桥设计用到的设计荷载取荷载标准值,而房屋钢结构设计所采用的极限状态设计法中,设计荷载为荷载标准值与荷载分项系数、结构重要性系数、可变荷载组合系数的一个组合值。房屋钢结构的设计使用年限通过结构重要性系数 γ_0 反

映在设计荷载中,仅设计使用年限100年及以上或安全等级为一级的结构构件,取 γ_0 不小于1.1,其余结构构件的 γ_0 可取小于1.1;而公路、铁路行业规范规定桥梁的设计使用年限为100年,所有钢桥均属于房建规范中所述的安全等级为一级, γ_0 不小于1.1。

表1 《钢规》与《公桥钢规》、《铁桥钢规》主要计算公式的对比

《钢规》		《公桥钢规》及《铁桥钢规》	
强度	正应力	轴心拉、压 $\frac{N}{A} \leq f$ 及 $\frac{N}{A_n} \leq f$	中心受拉 $\frac{N}{A} \leq [\sigma]$
	强度	主平面内受弯 $\frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} + \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} \leq f$	法向应力 一个主平面内受弯 $\frac{M}{W} \leq [\sigma_w]$
		拉弯、压弯 $\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} \pm \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} \leq f$	偏心受压(拉) $\frac{N}{A} \pm \left(\frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \right) \frac{1}{C} \leq [\sigma]$
	剪应力	主平面内受弯 $\frac{VS}{I \cdot t_w} \leq f_v$	强度 剪应力 受弯曲 $\frac{VS}{I_m \delta} \leq C_\tau [\tau]$
折算应力	同时受正应力、剪应力或局部压应力 $\sqrt{\sigma^2 + \sigma_c^2 - \sigma\sigma_c + 3\tau^2} \leq \beta_1 f$, 其中 β_1 取1.1或1.2	换算应力 受弯或受压(拉)并受弯 $\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 1.1[\sigma]$ 或 $1.1[\sigma_w]$	
整体稳定性	轴压 $\frac{N}{\varphi A} \leq f$	中心受压 $\frac{N}{A_m} \leq \varphi_1 [\sigma]$	
	主平面内受弯 $\frac{M_x}{\varphi_b W_x} \leq f$	法向应力 一个主平面内受弯 $\frac{M}{W_m} \leq \varphi_2 [\sigma]$	
	压弯构件 $\frac{N}{\varphi_x A} + \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x W_{lx} \left(1 - 0.8 \frac{N}{N'_{Ex}} \right)} \leq f$	偏心受压 $\frac{N}{A_m} + \frac{\varphi_1}{\mu \varphi_2} \cdot \frac{M}{W_m} \leq \varphi_1 [\sigma]$	
疲劳计算	常幅 $\Delta\sigma \leq [\Delta\sigma]$, 其中 $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ (焊接) 或 $\sigma_{\max} - 0.7\sigma_{\min}$ (非焊接)	公桥钢规 拉-压或以压为主的拉-压 $\frac{N}{A_1} \leq [\sigma_n]$	
	变幅 $\Delta\sigma_e \leq \left(\frac{C}{n} \right)^{1/\beta} [\Delta\sigma]$, $[\Delta\sigma] =$	轴心受力 $\frac{M}{W_1} \leq [\sigma_n]$	
		疲劳验算 铁桥钢规 一个主平面内受弯 $\frac{N}{A_1} + \frac{M}{W_1} \leq [\sigma_n]$	
重级工作制吊车 $\alpha_f \cdot \Delta\sigma \leq [\Delta\sigma]_{2 \times 10^6}$	偏心受压(拉) $\gamma_d \gamma'_n \sigma_{\max} \leq \gamma_t \gamma_p [\sigma_0]$		
	拉-拉或以拉为主的拉-压 $\gamma_d \gamma_n (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) \leq \gamma_t [\sigma_0]$		

五、计算公式

《公桥钢规》与《铁桥钢规》对钢桥强度及稳定性计算公式的规定一致。表1列出了房屋钢结构及公路、铁路钢桥实腹式构件强度、稳定性、疲劳验算公式。

经比较,房建规范与公路、铁路规范强度及稳定性计算公式的构成大致相同,但具体细节略有差别。《钢规》采用极限状态设计方法,故主平面内受弯的正应力强度验算公式通过塑性发展系数 γ_x 、 γ_y 考虑材料的塑性;《公桥钢规》和《铁桥钢规》均采用容许应力法设计,构件内力计算仅考虑材料弹性受力阶

段,公式中未包含反映材料塑性的参数。《钢规》中强度验算采用净截面积,稳定性验算用毛截面积,《公桥钢规》和《铁桥钢规》仅受拉构件的强度验算采用净截面积,受压构件强度计算及稳定性验算均采用毛截面积,忽略螺栓、钉孔截面削弱的影响。《钢规》将钢结构的稳定性分为整体稳定性和局部稳

定性两类,通过设置小于1.0的整体稳定系数 φ 、 φ_b 来考虑构件发生整体失稳时的承载能力,通过验算构件高(宽)厚比、设置加劲肋避免局部失稳;《公桥钢规》和《铁桥钢规》将钢构件的稳定性分为总稳定性和局部稳定两种,借助容许应力折减系数 φ_1 、 φ_2 (φ_1 及 $\varphi_2 < 1.0$)来降低发生总体失稳时钢材的容许应力,用与《钢规》类似的计算方式或构造措施保证构件的局部稳定性,但高(宽)厚比的具体限值略有差别。

《钢规》要求直接承受动力、重复荷载作用的构件,当应力变化次数 $\geq 5 \times 10^4$ 时应验算疲劳强度;《公桥钢规》和《铁桥钢规》规定凡承受动载的构件或连接必须进行疲劳计算,对应力循环次数并无明确要求,这是由于钢桥所受动载均为循环荷载,且钢桥在达到100年设计使用寿命时所受动载的循环次数难以准确估算。三种规范均规定只受压的构件可不验算疲劳强度。《钢规》通过限制(等效)应力变化幅度以避免钢构件疲劳破坏发生,《铁桥钢规》通过限制应力变化幅度或最大应力进行疲劳验算,而《公桥钢规》要求验算截面处的法向应力小于疲劳容许应力。

六、结语

我国与钢结构相关的标准多达几十种。笔者对公路、铁路行业桥梁钢结构与房建钢结构设计规范的关键条文进行了对比研究,深入挖掘了公路、铁路钢桥设计与普通房屋钢结构设计的差异及其存在根源,有益于工程技术人员准确把握公路、铁路桥梁钢结构设计精神,为进一步修订完善《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》提供有价值的参考。

参考文献:

- [1]中华人民共和国建设部. GB50017—2003 钢结构设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2003.
- [2]中华人民共和国交通部. JTJ025—86 公路桥涵钢结构及木结构设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,1987.
- [3]中华人民共和国铁道部. TB10002. 2—2005 铁路桥梁钢结构设计规范[S]. 北京:中国铁道出版社,2005.
- [4]中国国家标准化管理委员会. GB/T714—2008 桥梁用结构钢[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [5]高策,薛吉岗. 铁路桥梁结构设计规范由容许应力法转为极限状态法的思考[J]. 铁路标准设计,2012(4):41-45.

Comparative study of steel structures design standard in highway, railway and building industries

YUAN Hua, WU Weihua

(School of Civil Engineering and Architecture, Henan University, Kaifeng 475004, P. R. China)

Abstract: Through the comparison with main contents among JTJ025—86 Standard for Design of Steel Structure and Timber Structure Highway Bridges and Culverts, TB10002. 2—2005 Code for Design on Steel Structures of Railway Bridge and GB50017—2003 Code for Design of Steel Structures, the similarities and differences of design criteria, the steel grades and material properties, design load, the main calculation formula and so on between highway, railway steel bridge codes and building steel structure specifications are researched, then the reasons for the differences in the material strength values, structural strength, stability and fatigue checking between the three kinds of specifications are analyzed particularly, and the rationality of main checking formula in highway, railway steel bridge specifications is evaluated objectively. For the project planners, the research is of practical value to comprehend the design code of steel structure in rail road bridge and grasp the essence of steel structure design.

Keywords: steel structure; highway bridge; railway bridge and culvert; specification