

文章编号: 1674—8247(2018)02—0057—04

浅议中美印巴四国桥梁钢筋混凝土设计规范异同点

司大鹏

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:文章结合作者在海外工程设计方面的经验,分别从混凝土材料、钢筋材料、耐久性、配筋要求及计算分析等方面,对中国 TB10002.3-2005《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范》、美国《AREMA》(2009) Volume 2、印度《Concrete Bridge code》(1997)、巴基斯坦《Indian Railway Standard Code Of Practice For Reinforced Concrete Construction》(1942)进行对比分析,阐述它们之间的部分异同点。通过比较表明,在各国钢筋混凝土规范中,中国规范规定内容较其它国家规范规定内容更加详细具体、通用性强,结论可供涉外工程参考。

关键词:混凝土材料; 钢筋材料; 规范

中图分类号: U214.1+8

文献标志码: A

Brief Comments on Some Similarities and Differences of Design Codes for Reinforced Concrete Bridges among China, America, India and Pakistan

SI Da peng

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: This paper combines the author's experience in overseas engineering design, from the concrete material, reinforced material, durability, reinforcement requirements and calculation analysis, Code for design of reinforced concrete and prestressed concrete structures of railway bridges and culverts of China (TB 10092-2017), AREMA (2009) Volume 2 of America "Concrete Bridge code" (1997) of India, Indian Railway Standard Code Of Practice For Reinforced Concrete Construction (1942) of Pakistan were analyzed, expounds the similarities and differences between them, by comparison, it is indicated that in the reinforced concrete codes of various countries, the contents stipulated in the code of China are more detailed and specific than those of other countries. The conclusion can be used for reference for foreign projects.

Key words: concrete material; reinforcing material; standard

在我国大力推行建设“一带一路”,中国铁路逐步走向世界的过程中,要求参与各国铁路建设的工程技术人员对国外的工程技术标准有一定的了解,本文针对中国、美国、巴基斯坦和印度四国的铁路桥梁规范,对有关钢筋混凝土结构的材料、耐久性、配筋要求和计算分析进行了对比研究。

1 钢筋混凝土结构

1.1 混凝土材料

(1) 中国 TB 10092-2017《铁路桥涵混凝土结构设计规范》^[1]中,给出了 C25~C60 不同等级混凝土的轴心抗压和抗拉极限强度,弹性模量。设计规范对水

收稿日期: 2017-05-31

作者简介: 司大鹏(1981-),男,工程师。

引文格式: 司大鹏. 浅议中美印巴四国桥梁钢筋混凝土设计规范异同点[J]. 高速铁路技术, 2018, 9(2): 57-60.

SI Dapeng. Brief Comments on Some Similarities and Differences of Design Codes for Reinforced Concrete Bridges among China, America, India and Pakistan[J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(2): 57-60.

泥、骨料、水、拌合等未做具体要求。混凝土收缩按整体降温 5℃考虑,温度系数 0.0001。

(2)美国规范《AREMA》(2009)^[2]中未给定具体强度等级的混凝土的标准强度和弹性模量,标准强度按照规范要求根据试验确定,对水泥、骨料、水、拌合等做出了具体要求,并要求在设计资料中明确。收缩系数 0.0002,温度系数 0.0001。

(3)印度《Concrete Bridge code》(1997)^[3]中给出了M10~M60不同等级混凝土的轴心抗压强度标准值,抗拉强度按 0.7 计算,给出了弹性模量(如 C20 的弹性模量为 2.5×10^4 MPa,比国内 2.8×10^4 MPa 略低)。设计规范对水泥、骨料、水、拌合等未做具体要求。收缩系数 0.0003,温度系数根据骨料不同 0.0012 到 0.0006 之间。

(4)巴基斯坦《Indian Railway Standard Code Of Parctice For Reinforced Concrete Construction》(1942)^[4]中混凝土强度可按试验确定,给出了 4 种等级的混凝土的容许应力和弹性模量。规范中已给出的最高强度等级混凝土相当于 C25 混凝土的强度。使用更高强度的混凝土需由工程师(监理)批准并进行实验。同样对水泥、骨料、水、拌合等做出了简单要求。除钢筋混凝土拱和大跨度框架外部考虑收缩和温度影响。

1.2 钢筋材料

(1)中国 TB 10092-2017《铁路桥涵混凝土结构设计规范》中给出了 HPB300~PSB980 钢筋的抗拉强度标准值,抗拉计算强度和抗压计算强度、弹性模量,如表 1~表 3 所示。

表 1 钢筋抗拉强度标准值(MPa)

种类	普通钢筋 f_{sk}			预应力螺纹钢筋 f_{pk}	
	HPB300	HRB400	HRB500	PSB830	PSB980
抗拉强度标准值	300	400	500	830	980

表 4 桥梁混凝土结构钢筋的混凝土最小保护层厚度

环境类别	碳化环境			氯盐环境			化学侵蚀环境				盐类结晶破坏环境				冻融破坏环境				磨蚀环境		
作用等级	T1	T2	T3	L1	L2	L3	H1	H2	H3	H4	Y1	Y2	Y3	Y4	D1	D2	D3	D4	M1	M2	M3
保护层最小厚度/mm	35	35	45	45	50	60	40	45	50	60	40	45	50	60	40	45	50	60	35	40	45

(2)美国规范《AREMA》(2009)钢筋混凝土结构的最小混凝土保护层厚度要求,如表 5 所示。

表 5 最小混凝土保护层

混凝土的情况	最小保护层厚度/mm
浇注在泥土上并永久暴露在泥土上的混凝土	75
暴露在泥土或大气上的混凝土主要钢筋	50
箍筋、连接钢筋和螺旋筋	40
混凝土桥板	-
顶层钢筋	50
底层钢筋	40
没有暴露在空气中或不与地面接触的混凝土主要钢筋	40
箍筋、连接钢筋和螺旋筋	25

表 2 钢筋计算强度(MPa)

钢筋类型		抗拉计算强度 f_p 或 f_s	抗压计算强度 f'_p 或 f'_s
预应力筋	钢丝、钢绞线、预应力混凝土用螺纹钢筋	$0.9f_{pk}$	380
普通钢筋	HPB300	300	300
	HRB400	400	400
	HRB500	500	500

表 3 钢筋弹性模量(MPa)

钢筋种类	符号	弹性模量
钢丝	E_p	2.05×10^5
钢绞线	E_p	1.95×10^5
预应力混凝土用螺纹钢筋	E_p	2.0×10^5
HPB235	E_s	2.1×10^5
HPB335 或 HPB400	E_s	2.0×10^5

(2)美国规范《AREMA》(2009)中要求钢筋在 ASTM 标准中 ASTM A706 中,若采用 ASTM A706 除外的 ASTM 钢材,需提供材料性质报告。不得采用屈服强度大于 420 MPa 的钢筋进行设计。

(3)印度《Concrete Bridge code》(1997)中钢筋的特性参见 IS:432、IS:1786、IS:2062,弹性模量取 2.0×10^5 MPa与国内相同。

(4)巴基斯坦《Indian Railway Standard Code Of Parctice For Reinforced Concrete Construction》(1942)中钢筋特性参见 I. R. S No. M-5 和 I. R. S No. M-23。

1.3 耐久性要求

(1)中国 TB 10005-2010《铁路混凝土结构耐久性设计规范》^[5]中规定混凝土结构净保护层厚度不小于 35 mm,不大于 50 mm。对顶板有防水层的不小于 30 mm。耐久规范中根据不同腐蚀环境最小保护层厚度如表 4 所示。

对于钢筋束,最小混凝土保护层应该小于钢筋束直径或者 50 mm,但不得小于表 5 中给出的尺寸。

(3)印度《Concrete Bridge code》(1997)中最小净保护层厚度为钢筋直径或最大骨料直径+5 mm,并将不同环境分为极端侵蚀、严重侵蚀和普通侵蚀环境,考虑到耐久性不同,结构在不同侵蚀环境中净保护层厚度从 25 mm 到 75 mm 不等。按不同环境等级规定了最低混凝土标号。

(4)巴基斯坦《Indian Railway Standard Code Of Parctice For Reinforced Concrete Construction》(1942)

净保护层厚度未考虑环境分类,板中为 1.27 cm,柱和梁中主筋为 2.54 cm,箍筋及拉筋为 1.27 cm,地下结构为 5.08 cm,总体保护层厚度要求较小。

1.4 配筋要求

(1) 中国 TB 10092 - 2017《铁路桥涵混凝土结构设计规范》中受弯及受压构件的截面最小配筋率(仅计受拉区钢筋)不应低于表 6 与表 7 所列数值。GB 50111 - 2006《铁路工程抗震设计规范》^[6]规定墩柱全截面配筋率不小于 0.5%,不大于 4%。箍筋直径不应小于 10 mm,配箍率不小于主筋配筋率的 1/4,并不小于 0.3%。钢筋净距不小于 30 mm,并不小于钢筋直径。竖向间距不小于 30 mm。受压构件纵向配筋率最小 0.5%,最大 3%,主筋直径不小于 12 mm。螺旋筋螺距不大于核心直径的 1/5。

表 6 截面最小配筋率(%)

钢筋种类	混凝土强度等级	
	C25 ~ C45	C50 ~ C60
HPB300	0.2	0.25
HRB400	0.15	0.2
HRB500	0.14	0.18

表 7 受压构件截面最小配筋率

受力类型	最小配筋率/%	
全部纵向钢筋	HPB300	0.55
	HRB400	0.50
	HRB500	0.45
一侧纵向钢筋	HPB300、HRB400	0.20
	HRB500	0.18

(2) 美国规范《AREMA》(2009)中规定受弯构件配筋后至少需要提供 1.2 倍设计弯矩的抗弯强度,若配筋面积大于所需面积的 1.2 则可不满足上述规定。对于不同主筋的拉筋、箍筋有不同直径要求,拉筋、箍筋间距不大于 16 倍主筋直径。受压主筋配筋面积不大于毛截面面积的 8% 且不小于 1%。螺旋筋直径不小于 10 mm,螺距不小大于 75 mm,不小于 40 mm。梁内需加配温度和收缩钢筋,至少 530 mm²/m,间距不大于板厚的 3 倍或 45 cm。桥面板横向配筋需延伸至腹板外侧,并以 90 度直勾锚固,底板横向配筋率需达到 0.5%。

(3) 印度《Concrete Bridge code》(1997)规定受拉区最小配筋率:Fe415 号钢筋为 0.2%,Fe250 号钢筋为 0.35%,不大于 4%。柱内主筋最小直径 12 mm,钢筋间距不小于最大骨料直径 + 5 mm,对多根一束钢筋为最大骨料直径 + 15 mm。最大间距不大于 30 cm。为防止收缩与温度开裂,对梁的最小截面配筋率做了详细规定。

(4) 巴基斯坦《Indian Railway Standard Code Of Parctice For Reinforced Concrete Construction》(1942)规定钢筋直径最大不超过 50 mm,最小 5 mm,梁和板中最小主筋直径 6 mm,主中最小主筋直径 12 mm。钢筋间距最小为一倍钢筋直径或最大骨料尺寸 + 6.35 mm。主筋最小水平净距 1.27 cm,受拉区钢筋间距 30 cm。桥面板每 2.54 m 需设膨胀缝。桥面板横向钢筋需通长设置,且不小于 0.3% 桥面板面积。柱内纵向主筋配筋率不小于 0.8%,不超过 8%,螺旋筋和箍筋间距最小为 6 倍钢筋直径。箍筋体积配箍率最小 0.4%。矩形截面柱大尺寸方向主筋间距有规定。

1.5 计算分析

(1) 中国 TB 10092 - 2017《铁路桥涵混凝土结构设计规范》、TB 10002 - 2017《铁路桥涵设计规范》^[7]中采用按容许应力法分别计算轴心受压构件强度及稳定性;受弯构件混凝土压应力、钢筋拉应力和混凝土剪应力;偏心受压构件的混凝土压应力、剪应力。在轴心受压构件稳定性计算中根据长细比引入纵向弯矩系数。偏心受压构件混凝土应力计算中引入弯矩放大系数。箍筋计算规定中性轴处最大混凝土剪应力超过 $[\sigma_{ip} - 3]$ 部分全部由钢筋承担。裂缝限值按不同环境取 0.15 ~ 0.20 mm 不等,主 + 附荷载作用下可提高 20%。位移限值水平挠度按跨中挠度 1/4 000 控制。

(2) 美国规范《AREMA》(2009)、《AASHTO》^[8]中规定挠度计算分瞬时挠度和长期挠度,未给出挠度限制值,按梁的构造要求控制挠度。规范给出了混凝土抗压和抗剪容许应力,并按不同荷载组合提高容许应力,钢筋容许应力 280 级 140 MPa,420 级 170 MPa,钢筋容许疲劳应力幅按钢筋在荷载作用下最小应力通过给定公式计算。抗剪钢筋按受拉、受弯、受压构件分类计算,超出混凝土抗剪强度部分由钢筋承担。引入荷载系数设计,不同受力构件强度折减系数不同,受压构件考虑长细比影响,等效长度通过公式计算,与固端弯矩有关。裂缝通过钢筋应力控制,未给出具体限制值;这种方法是介于极限状态法和容许应力法之间。

(3) 印度《Concrete Bridge code》(1997)采用分别验算正常使用极限状态和承载能力极限状态。正常使用极限状态钢筋强度设计值 $0.75f_y$,混凝土强度设计值 $0.5f_{ck}$,材料强度系数 Y_m ;正常使用极限状态混凝土受弯取 1.0,受压取 1.33,钢筋取 1.0。承载能力极限状态混凝土容许应力在使用阶段基础上 $\times 1.5$,钢筋 $\times 1.15$ 。容许裂缝宽度:一般环境为 0.2mm,严重和极端侵蚀环境取 0.1 mm。裂缝计算需考虑局部与整体效应共同作用。钢筋疲劳应力幅 $\phi 16$ 以下取

155 MPa, $\phi 16$ 以上取 120 MPa。规定柱的大方向尺寸不得大于小尺寸的 4 倍。柱的等效高度按约束方式取系数确定,按不同长细比区分长短柱,柱的承载能力计算按长柱、短柱和弯曲方向不同分别计算,规定柱的长细比不超过 40,一端无约束的不得超过 30。梁的水平刚度按跨度/受压区宽度限制。

(4) 巴基斯坦《Indian Railway Standard Code Of Partice For Reinforced Concrete Construction》(1942) 中连续梁计算中正负弯矩的计算按简化方法,即一跨加载其他跨空载或邻跨加载其他跨空载。抗剪计算中若混凝土剪应力不超过容许应力则按构造配筋,若超过容许应力则按所有剪力由钢筋承担计算配筋的等效高度按约束方式取系数确定,按不同长细比区分长短柱,柱的承载能力计算按长柱、短柱和弯曲方向不同分别计算,对偏心受压柱的混凝土应力和钢筋应力有补充规定。梁的水平刚度按跨度/受压区宽度限制。

2 结论

(1) 混凝土材料:中国与印度规范中都给出了混凝土的标号与力学指标,两种指标接近;巴基斯坦规范给出的混凝土材料标号较低,不能达到当今铁路桥梁设计普遍采用的混凝土标号要求;美国规范没有给出混凝土材料的具体力学指标,但对混凝土力学性能试验进行了规定。

(2) 钢筋材料:美国规范与巴基斯坦规范对钢筋材料的要求和力学指标均需参考其他文件。

(3) 耐久性要求:巴基斯坦规范要求的钢筋保护层厚度较小,且未考虑环境等级的影响。对于普通钢筋,美国规范中规定的最小混凝土保护层厚度比中国规范的略大。

(4) 配筋要求:各国规范对不同受力构件的配筋率均做出了要求,混凝土强度等级较低时(C20、C25)

最小配筋率美国标准和中国基本相同;混凝土强度等级较高时(C50)对于 HPB300 和 HRB400 钢筋最小配筋率美国标准高于中国。

(5) 计算分析:巴基斯坦规范与中国规范相同,采用容许应力法设计,但在具体计算方法上,巴基斯坦规范多采用简化计算方法,且在钢筋的容许应力方面也未考虑钢筋的疲劳,且未见裂缝计算公式和裂缝限制要求。美国规范所采用的计算方法不完全是容许应力法或极限状态法,规范给出的挠度计算公式按长期和短期挠度分类,但没有给出具体的挠度限制值,挠度通过结构尺寸控制。裂缝没有给出具体的计算公式和限值,裂缝宽度通过钢筋应力控制。

参考文献:

- [1] TB 10092-2017 铁路桥涵混凝土结构设计规范[S].
TB 10092-2017 Code for Design of Concrete Structures of Railway Bridges and Culverts [S].
- [2] American Railway Engineering and Maintenance-of-way Association. Manual for Railway Engineering[S]. [Lanham, USA]: Published by AREMA, 2010.
- [3] Code of Practice for Plain, Reinforced & Prestressed Concrete For General Bridge Construction Concrete Bridge code, 1997.
- [4] Indian Railway Standard Code Of Partice For Reinforced Concrete Construction, 1942.
- [5] TB 10005-2010 铁路混凝土结构耐久性设计规范[S].
TB 10005-2010 Code for Durability Design on Concrete Strcuture of Railway[S].
- [6] GB 50111-2006 铁路工程抗震设计规范[S].
GB 50111-2006 Code for seismic design of railway engineering[S].
- [7] TB 10002-2017 铁路桥涵设计规范[S].
TB 10002-2017 Code for Design on Railway Bridge and Culvert [S].
- [8] American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications[M]. AASHTO, 2012.

(编辑:苏玲梅)