

中美建筑用钢筋标准及应用对比分析

高迪¹, 林常青²

(1. 中国建筑科学研究院, 北京 100013; 2. 住房和城乡建设部标准定额研究所, 北京 100835)

摘要:我国正处于工业化和城镇化快速发展时期,同时,随着与国际接轨的步伐加快,建筑用钢筋不仅要满足国内建设市场的需要,还要积极加入国际市场的竞争,满足国际市场的需要,这对钢筋的性能、质量提出了更高的要求。本文首先介绍中美两国建筑用钢筋主要产品标准和应用标准的相关内容,阐述了两国建筑用钢筋的发展情况。通过比较分析,指出两国标准在钢筋强度等级设置、应用要求、抗震性能、机械连接和锚固等方面的异同。在此基础上,借鉴美国建筑用钢筋的发展经验和做法,对我国加快建筑用钢筋品种优化与更新换代提出可行建议。

关键词:钢筋;标准;对比;分析

中图分类号:TU375

文献标志码:A

1 概述

我国正处于工业化和城镇化快速发展时期,建筑业发展迅猛,对建筑用钢筋的性能、质量也提出了更高的要求,因此应加快建筑用钢筋品种优化与更新换代。同时,随着我国与国际接轨的步伐加快,我国的建筑用钢筋不仅要满足国内建设市场的需要,而且要积极加入国际市场的竞争,满足国际市场的需要。美国建筑用钢筋标准规范体系完善并有超前意识,钢筋级别设置合理,钢铁行业市场成熟,整体装备水平高,产品系列稳定齐全,行业内设计、生产、管理等部门在钢筋应用技术、认识和操作上都有较高水平,值得我国借鉴。

2 中美建筑钢筋及应用的有关标准

2.1 美国的主要标准

美国建筑用钢筋产品标准方面,主要有混凝土配筋用碳带肋钢筋与光圆钢筋标准 ASTM A615 和混凝土配筋用低合金带肋钢筋与光圆钢筋标准 ASTM A706 两本,由美国材料与试验协会(American Society for Testing

and Materials, ASTM)制定。在钢筋应用方面,主要是由美国混凝土学会(American Concrete Institute, ACI)制订的钢筋混凝土房屋建筑规范 ACI 318。

2.1.1 ASTM A615 简介

ASTM A615 于 1911 年颁布实施,最初钢筋等级划分为 33 级、40 级和 50 级,最小屈服强度为 33ksi、40ksi 和 50ksi(英制公制强度单位对应见表 1)^[1]。发展到今天,33 级和 50 级已经被淘汰,加入了 60、75 和 80 级钢筋。最新版 ASTM A615 - 2012 包含四个等级的钢筋:40 级、60 级、75 级和 80 级^[2]。

表 1 美国钢筋等级强度单位英制公制对应表

美国钢筋等级	33 级	40 级	50 级	60 级	75 级	80 级
英制(ksi)	33	40	50	60	75	80
公制(MPa)	230	280	350	420	520	550

1968 年,ASTM A615 首次纳入 60 级和 75 级钢筋。75 级钢筋的发展有一些曲折,在 1974 年因屈服强度定义与 1971 年版美国钢筋混凝土房屋建筑规范 ACI318 冲突而被删除,经过协调一致后,1987 年又被重新纳入^[3]。2009 年,ASTM A615 纳入 80 级钢筋^[2]。尽管 ASTM A615 已经加入 80 级钢筋,但 75 级钢筋还会保留

收稿日期:2013-06-05

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划课题项目(2008BAE61B04)

作者简介:高迪(1979-),男,四川自贡人,工程师,博士,主要从事建筑结构及标准化研究方面的研究,(E-mail)gaudy_sc@163.com

一段时间,以满足一些用户需要,如用于采矿业的顶锚。

2.1.2 ASTM A706 简介

1974 年,ASTM A706 颁布实施^[3]。在 2009 年之前,标准只针对 60 级钢筋。2006 年,关于增加 80 级钢筋的最初修改草案提交到 ASTM 分委员会 A01.05 工作组,讨论后发现最主要的问题是这种钢筋有没有成为商品的可能性。于是,位于加州、俄勒冈州、华盛顿州和南卡罗莱纳州的四家供应商自愿进行了试生产和测试。测试结果证明产品在抗拉性能和化学组分上均能满足要求。2009 年标准通过修订,纳入了 80 级钢筋。对于此次修订,地震区的结构工程师、钢筋供应商和制造商、施工企业等都是非常支持的,因为更高强度钢筋可减少配筋密集度,增加可建造性,尤其对于抗震结构^[4]。现行版本为 ASTM A706 - 2009b,包括 60 级和 80 级两种钢筋^[5]。低合金钢筋在强度、延性、质量上都比碳钢筋更加优良。因此可以广泛应用于地震地区。ASTM A706 规定 60 级、80 级带肋钢筋的均匀伸长率按不同直径分别为 10% ~ 14% 和 10% ~ 12%,均高于 ASTM A615 中 8% 和 7% 的同类要求^[6]。ASTM A706 还对钢筋的屈服强度上限作出明确规定,而 ASTM A615 中则没有。值得注意的是,ASTM A706 中还指出 80 级钢筋的性能指标可能与现行其他设计规范的规定不一致。

2.1.3 ACI 318 简介

ACI 第一部房屋建筑规范诞生于 1910 年,但第一版以 ACI 318 命名的房屋建筑规范发布于 1941 年,1999 年之前基本上每六、七年修订一次,1999 年后至今每三年修订一次。现行版本为 ACI 318 - 2011,在光圆和带肋碳钢筋、带肋低合金钢筋标准上直接引用现行 ASTM A615 和 ASTM A706^[7]。

规范规定在普通钢筋混凝土结构中,40 级和 60 级带肋钢筋是主要材料,也可以使用 75 级和 80 级钢筋,但对光圆钢筋的应用有严格的限制。对于地震区建筑,推荐使用 60 级低合金带肋钢筋和满足抗震性要求的 40 级、60 级碳钢筋。ACI 318 对于 75 级钢筋的应用可以追溯到 1951 年版规范,尽管在其中未明确提出 75 级钢筋,但实际上允许在竖向柱的配筋中使用屈服强度最高达 75 ksi 的钢筋^[3]。

美国对于高强钢筋的应用是颇为慎重的,75 级和 80 级钢筋在结构中的应用目前在 ACI318 规范中均有很多限制。就 ACI 318 - 11 来说,虽然规范第 9.4 条规定了除预应力筋和横向约束配筋外(可达 100 ksi),钢筋屈服强度设计值(f_y)和横向钢筋屈服强度设计值(f_{yt})的

计算值均不应超过 80 ksi(2005 年版之前规定横向约束配筋也不能超过 80 ksi),但规范中许多条文仍然把 f_y 和 f_{yt} 限制在不超过 60 ksi,实际上也就是限制了 75 级和 80 级钢筋的应用,比如:

(1) 11.4.2 条关于抗剪配筋(箍筋) f_y 和 f_{yt} 的规定(对于焊接的带肋钢筋可以达到 80 ksi,ACI 318 - 95 将其从 60 ksi 提高到了 80 ksi),其目的是对斜裂缝宽度的控制;

(2) 11.5.3.4 条关于抗扭配筋 f_y 和 f_{yt} 的规定,其目的是对斜裂缝宽度的控制;

(3) 11.6.6 条关于摩擦抗剪配筋的规定;

(4) 18.9.3.2 条关于预应力混凝土单元构件粘结配筋 f_y 的规定,目的是保证混凝土不开裂;

(5) 19.3.2 条关于壳体和折板非预应力钢筋 f_y 的规定;

(6) 21.1.5.2 条关于抗震特殊框架和特殊构造墙配筋 f_y 的规定,目的是防止脆性破坏^[8]。

从美国应用情况看,由于 75 级和 80 级钢筋的延性低,ACI 318 规范对于这两个强度等级钢筋的规定很谨慎。另外,规范要求钢筋连接技术和连接成本也需在设计时仔细确认。

2.2 中国的主要标准

我国在建筑钢筋产品方面现行的国家标准主要有《钢筋混凝土用钢第 1 部分:热轧光圆钢筋》GB1499.1 - 2008 和《钢筋混凝土用钢第 2 部分:热轧带肋钢筋》GB1499.2 - 2007;在混凝土结构钢筋应用方面现行的国家标准主要有《混凝土结构设计规范》GB50010 - 2010 和《建筑抗震设计规范》GB50011 - 2010 等。

2.2.1 《钢筋混凝土用钢第 1 部分:热轧光圆钢筋》GB1499.1 - 2008

该标准为 GB1499 的第 1 部分,自 2008 年 9 月 1 日实施,代替了 GB/T701 - 1997《低碳钢热轧圆盘条》中建筑用盘条部分和 GB13013 - 1991《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》。与 GB13013 - 1991 相比,主要变化有:增加特征值定义;增加 300 强度级别;增加产品规格和订货内容;修改并统一钢筋牌号。

热轧光圆钢筋包括 HPB235 和 HPB300 两种牌号,强度等级分别为 235 MPa 和 300 MPa。与 ASTM615 类似,该标准中对钢筋的化学成分含量,外观、重量、尺寸偏差,力学和加工性能,检验试验等都做了明确规定^[9]。

按照住房和城乡建设部、工业和信息化部《关于加快应用高强钢筋的指导意见》(建标[2012]1 号),修订该标准时,将取消 HPB235,仅保留 HPB300。

2.2.2 《钢筋混凝土用钢第2部分:热轧带肋钢筋》GB1499.2-2007

该标准为GB1499的第2部分,自2008年3月1日实施,代替了GB1499-1998《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》。与GB1499-1998相比,主要变化有:增加细晶粒热轧钢筋;增加细晶粒热轧钢筋HRBF335、HRBF400、HRBF500三个牌号;增加普通热轧钢筋、细晶粒热轧钢筋、特征值三条定义;增加订货内容;增加疲劳性能、焊接性能、晶粒度三项技术要求;对“表面质量”、“重量偏差的测量”等条款作修改;修改钢筋牌号标志及附录等。

热轧带肋钢筋包括普通热轧钢筋HRB335、HRB400、HRB500和细晶粒热轧钢筋HRBF335、HRBF400、HRBF500六种牌号,强度等级分别为335 MPa、400 MPa、500 MPa。对有较高要求的抗震结构钢筋适用牌号后加“E”,并规定了实测抗拉强度与实测屈服强度之比、钢筋实测屈服强度与屈服强度特征值之比以及最大伸长率。对于其他要求,如钢筋的化学成分含量,外形、重量、尺寸偏差,力学和工艺性能,检验试验等,标准也都做了明确规定^[10]。

2.2.3 《混凝土结构设计规范》GB50010-2010

该规范自2011年7月1日实施,在纵向受力普通钢筋、箍筋选用中增加了500 MPa级带肋钢筋,以300 MPa级光圆钢筋取代了235 MPa级钢筋并调整了钢筋锚固长度。对有抗震要求的钢筋,在实测抗拉强度与实测屈服强度之比、钢筋实测屈服强度与屈服强度特征值之比以及最大伸长率方面,与GB1499.2-2007有相同规定^[11]。

我国混凝土结构设计规范的编制依据主要是上世纪七、八十年代进行的大量基础性科研,当时的试验用钢筋强度均为335 MPa以下。虽然历经2002版、2010版两次修订,分别将400 MPa、500 MPa钢筋纳入设计规范,但未从根本上改变相关规范的技术体系,结构构件抗震综合评价等关键问题仍未完全解决,从而也造成目前我国的设计规范使用的钢筋强度等级最高是400 MPa,而针对500 MPa级钢筋的具体应用技术措施还不完备。

3 中、美两国建筑钢筋标准及应用情况比较分析

3.1 强度等级

在美国钢筋产品标准中,其强度等级序列为40级(280 MPa)、60级(420 MPa)、75级(520 MPa)和80级(550 MPa),对应的是保证率为99.9%的钢筋屈服强度

特征值。我国钢筋产品标准强度等级序列包括235 MPa(光圆)、300 MPa(光圆)、335 MPa(带肋)、400 MPa(带肋)和500 MPa(带肋),对应的是保证率为95%的钢筋屈服强度特征值。其中300 MPa、400 MPa和500 MPa级分别与美国40级、60级和75级对应,两国的等级设置基本一致,235 MPa级对应的30级钢筋在美国已经淘汰,另外我国600 MPa级钢筋应用也正在进行研究。

3.2 钢筋应用

我国混凝土结构设计规范GB50010-2010允许使用300 MPa、335 MPa、400 MPa和500 MPa级钢筋,其中包括了光圆钢筋;推荐受力配筋以400 MPa为主。美国ACI 318同样以60级(400 MPa)作为结构主要受力配筋,最高可以使用550 MPa级。在辅助配筋方面,我国大量使用300 MPa级光圆钢筋,而ACI 318的要求更加严格,一般只能使用40级带肋钢筋,光圆钢筋仅允许用于钢筋网片和螺旋箍筋,这样有利于提高结构性能。但我国现行带肋钢筋产品标准GB1499.2中没有纳入300 MPa级,实际使用中只能以335 MPa级替代。

3.3 抗震性能及应用

我国混凝土结构设计规范GB50010-2010对抗震钢筋的要求是:(1)钢筋抗拉强度实测值与屈服强度实测值之比不小于1.25;(2)钢筋屈服强度实测值与屈服强度特征值之比不大于1.3;(3)钢筋最大拉力下的总伸长率实测值不小于9%。同样出于对钢筋延性的考虑,美国在抗震区要求使用60级低合金带肋钢筋或40级和60级碳钢带肋钢筋,其中碳钢带肋钢筋还必须符合超强比和强屈比的要求,与上述我国抗震钢筋的第(1)、(2)条要求相同,但没有对最大总伸长率作特别规定,另由于60级低合金带肋钢筋性能优良,ACI 318未对其作额外规定。除500 MPa级(对应美国75级,520 MPa)带肋钢筋外,美国标准对伸长率的要求大都高于我国,而且美国该级别碳钢钢筋在抗震区不允许采用。伸长率要求对比见表2和表3。我国对于抗震钢筋的伸长率统一要求为9%,对采用高强钢筋的结构的抗震性能不利,应加强其抗震应用研究。

表2 光圆钢筋伸长率对比

光圆钢筋标准	强度等级	公称直径 (mm)	伸长率 (%)
GB1499.1	235MPa	6~22	10
	300MPa		
ASTM A615(碳钢)	280MPa(40级)	10~19	11~12

3.4 机械连接与机械锚固

我国规范将钢筋连接强度等级分为I、II、III三个等级,其中III级为最低要求,规定接头强度应不小于钢筋

表 3 带肋钢筋伸长率对比

带肋钢筋标准	强度等级	公称直径 (mm)	伸长率 (%)
GB1499.2	335MPa	6~50	7.5(9)*
	400MPa		
	500MPa		
ASTM A615(碳钢)	420MPa(60级)	10~57	7~9
	520MPa(75级)		6~7
ASTM A706(合金)	420MPa(60级)	10~57	10~14
	550MPa(80级)		

*: 括号内为有抗震要求时的伸长率。

屈服强度标准值的 1.25 倍,与 ACI 318 - 2011 的 12.14.3.2 条的规定相同,所以美国标准与我国的最低要求一致。在连接形式上,中美两国有所不同,但均能保证受力要求,鉴于国情和行业发展水平的不同,应该说各有优缺点。在机械锚固方面,两国的要求基本相同,倡导采用机械锚固,以节约钢材,方便施工。ACI 318 的第 12.6.1 条、12.6.2 条对带肋受拉钢筋端头锚固板的基本锚固长度及其适用条件作了详细规定,包括钢筋屈服强度限制、钢筋公称直径限值、混凝土类型、锚固净面积、保护层厚度、钢筋净距等。我国在机械锚固技术方面起步较晚。混凝土结构设计规范 GB50010 - 2010 中增加了钢筋锚固板相关技术要求,2011 年颁布实施的行业标准钢筋锚固板应用技术规程 JGJ256 - 2011,对锚固板技术作了更加详细的规定^[12],这些都为机械锚固技术的广泛应用提供了有效技术保障。

4 建议

通过中、美两国建筑钢筋标准及应用情况对比分析,结合我国实际情况,对建筑钢筋生产应用尤其是加快推广高强钢筋应用提出如下建议:

(1) 加强钢筋生产技术研究。加快基础技术研发,提升生产、加工工艺,推广余热处理、超细晶粒热轧、微合金处理等先进生产工艺,尤其是加强对非合金化高强度钢筋的研究和成果转化工作,降低成本。

(2) 加快高强钢筋应用技术研究。混凝土结构设计规范 GB50010 的编制依据主要是上世纪七、八十年代进行的大量基础性科研,应优化 500 MPa 级高强钢筋生产工艺,确保满足结构抗震设计性能指标并加强其连接技术的研发、推广与应用;完善配置高强钢筋的结构构件抗震性能相关研究以及开展 600 MPa 级高强钢筋的生产技术研发与应用技术的基础研究工作。

(3) 修订完善相关标准规范。美国的标准规范与钢筋产品和技术发展同步。我国从目前看,应加快制修订相关标准规范,加强标准配套,完善标准体系。修订

GB1499 带肋钢筋标准,优化钢筋级别设置,暂保留小直径 HRB335 钢筋。借鉴美国做法,严格控制光圆钢筋使用,不仅有利于提高建筑使用性能,而且可以淘汰落后钢筋生产能力,优化产能,促进带肋钢筋生产消费的结构升级。淘汰大直径 HRB335 的应用,将现 GB1499 标准中的 335 MPa 级钢筋逐步取消,把 400 MPa 级钢筋设为主力钢筋,建立与国际协调并具有中国特色的建筑用钢筋等级体系。科学修订《混凝土结构设计规范》和《高层建筑混凝土结构技术规程》等主要相关钢筋应用标准。从长期看,还应明确相关标准规范的制修订周期,行业资料、信息搜集研究工作持续化,适时推出“小改版”以适应发展需要,增强标准的开放性、兼容性和协调性。

参考文献:

- [1] Clifford W S. ASTM A615 grade 75 reinforcing steel, when, why & how to use It[J]. Structure Magazine, 2011 (8):34-35.
- [2] ASTM International. ASTM A615/A615M-12 standard specification for deformed and plain carbon-steel bars for concrete reinforcement [DB/OL]. <http://www.astm.org/Standards/A615.htm>, 2013.
- [3] David P G. Raising the Grade-Higher yield strength added to ASTM A706/A706M specification for Low-Alloy steel reinforcing bars [J]. Concrete International, 2011,(4):59-62.
- [4] Gustafson D P. Re-Visiting Low-Alloy steel reinforcing bars[J]. Concrete International, 2007,29(1):55-59.
- [5] ASTM International. ASTM A706/A706M-09b standard specification for Low-Alloy steel deformed and plain bars for concrete reinforcement [DB/OL]. <http://www.astm.org/Standards/A706.htm>, 2013.
- [6] ASTM International. ASTM A706/A706M-09b standard specification for Low-Alloy steel deformed and plain bars for concrete reinforcement[S]. West Conshohocken, PA, 2009.
- [7] American Concrete Institute ACI Committee 318. Building code requirements for structural concrete (ACI 318-11) and commentary[S]. Farmington Hills, MI, 2011.
- [8] American Concrete Institute ACI Committee 318. Building code Requirements for structural concrete (ACI 318-11) and commentary[S]. Farmington Hills, MI, 2011.
- [9] 国家建筑钢材质量监督检测中心. GB1499.1-2008

- 钢筋混凝土用钢第1部分:热轧光圆钢筋[S].北京:中国标准出版社,2011.
- [10] 中冶集团建筑研究总院.GB1499.2-2007 钢筋混凝土用钢第2部分:热轧带肋钢筋[S].北京:中国标准出版社,2011.
- [11] 中国建筑科学研究院.GB50010-2010 混凝土结构设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [12] 中国建筑科学研究院,北京韩建集团有限公司.JGJ256-2011 钢筋锚固板应用技术规程[S].北京:中国标准出版社,2011.

Comparative Analysis on Construction Rebar Standards and Application Between China and U. S

GAO Di¹, LIN Chang-qing²

(1. China Academy of Building Research, Beijing 100013, China; 2. Research Institute of Standards & Norms, MOHURD, Beijing 100835, China)

Abstract: China is currently in a rapid development period of industrialization and urbanization. Mean while, with the pace of internationalization, products of building rebar are required not only to meet domestic needs, but also to be competitive in international market. Therefore, construction rebars with higher quality and performance is requested by the industry. In this paper, the main component and development of rebar's primary product standards and application standards between China and U. S. are reviewed. The similarities and differences in grades setting, requirement of application, seismic performance, mechanical connection and anchoring between the standards are comparatively analysed as well. Finally, the analysis results in several feasible proposal helpful for type optimization and upgrade of construction rebar by referencing the advanced experience and practice of U. S.

Key words: rebar; standards; compare; analyse

(上接第65页)

Continous Rigid Frame Bridge Cantilever Casting Construction of Rhombic Hanging Basket Under Excessive Deflection Analysis

CHEN Yu-qing¹, XIAO Fei², WEN Fan-chuan³, GU Jian-feng²

(1. Shandong Janzhu University, Ji'nan 250101, China; 2. Changan University, Xi'an 710064, China; 3. Yunnan Highway Engineering Supervision and Consultancy Company, Kunming 650021, China)

Abstract: Hanging basket construction has promoted the development of continuous rigid frame bridge with high pier and large span, and the linear stiffness of hanging basket is the key factor to affect the construction safety and the alignment of the bridge. Based on the Nu River bridge (continuous rigid frame bridge with 88 + 160 + 88m), the article establishes finite element model, calculates the stress and deformation of rhombic hanging basket in suspension pouring construction process, and analysis the overrun reason of its elastic deformation under preloading. In view of the stiffness of main truss is insufficient, a set of reinforcing measures are put forward, these measures are proved to be reliable and efficient through the calculation analysis and actual measurement, and they can, provide references for the similar bridge hanging basket construction.

Key words: continuous rigid frame bridge; hanging basket stiffness; insufficient rigidity; reinforcing measures