

DOI: 10.7672/sgjs2025110124

中美混凝土规范对比及工程应用建议

王林琳

(中铁国际集团有限公司,北京 100039)

[摘要] 为解决中国企业在国际项目中面临中美规范差异带来的技术适配性不足与管理复杂等问题,以中国与美国混凝土结构设计相关规范为研究对象,从材料性能、荷载组合、受拉钢筋锚固长度及施工标准等方面展开对比分析,研究规范差异对工程实践的影响。研究表明,中美规范在混凝土强度试验方法、荷载分项系数及锚固长度修正参数上存在显著差异,美国规范锚固长度普遍较中国规范高,计算过程更精细化,而中国规范强调经验化与简洁性。在施工层面,中国与美国规范在模板工程、钢筋连接及混凝土养护要求上呈现不同的侧重点,美国规范强调灵活性与多样化,中国规范注重结构安全与标准化。规范差异将导致设计冗余度偏差、材料选型冲突及施工管理复杂性增加,直接影响项目成本控制与合规风险,基于此,提出系统性应对策略。

[关键词] 混凝土;钢筋;锚固长度;强度

[中图分类号] TU528

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)11-0124-05

Comparison of Chinese and American Concrete Codes and Suggestions on Engineering Application

WANG Linlin

(China Railway International Group Co., Ltd., Beijing 100039, China)

Abstract: To solve the problems of insufficient technical adaptability and complex management caused by the differences between Chinese and American codes in international projects, this paper takes the relevant codes of concrete structure design in China and the United States as the research object, makes a comparative analysis from the aspects of material performance, load combination, anchorage length of tensile steel bar and construction standards, and studies the influence of code differences on engineering practice. The results indicate that there are significant differences in concrete strength test methods, load partial coefficients, and anchorage length correction parameters between Chinese and American codes. The anchorage length of American codes is generally higher than that of Chinese codes, and the calculation process is more refined, while Chinese codes emphasize experience and simplicity. At the construction level, Chinese and American codes have different emphases on formwork engineering, steel bar connection, and maintenance requirements. American codes emphasize flexibility and diversification, while Chinese codes focus on structural safety and standardization. The specification difference will lead to the deviation of design redundancy, the conflict of material selection, and the increase of construction management complexity, which will directly affect the project cost control and compliance risk. And based on this, a systematic coping strategy is proposed.

Keywords: concrete; steel bar; anchorage length; strength

0 引言

随着全球化进程的深入,国际工程合作规模持续扩大,然而,属地化设计规范的技术差异制约了

中国企业国际项目履约效率。中国和美国作为全球两大经济体,混凝土相关规范在材料性能、构造及设计、施工要求的差异直接影响工程技术可行性、经济合理性及施工适配性。中国企业在采用美国规范的工程项目施工时,需深入了解美国规范体系。

[作者简介] 王林琳,高级工程师,一级注册结构工程师, E-mail: 252132003@qq.com
[收稿日期] 2025-01-01

中美规范体系因制度背景差异形成政府主导型与市场驱动型 2 种典型模式。中国国家标准化管理委员会统筹四级标准体系,通过强制性规范保障统一性,但创新性不足;美国依托 ANSI 协调民间标准,构建弹性化三级架构实现快速市场响应。聚焦混凝土设计,中国以住房城乡建设部强制规范为核心形成全过程管控体系,美国通过 ACI 318—19 行业标准提供全周期技术指南。

本文以中国混凝土结构设计相关规范与美国 ACI 318—19 *Building Code Requirements for Structural Concrete* 为研究对象,系统对比二者在关键设计参数、构造要求及施工标准方面的差异,并通过定量分析与案例验证,揭示规范差异的影响规律。

1 混凝土结构设计关键参数差异

在混凝土结构中,混凝土和钢筋作为主要受力材料,其物理和力学性能对工程设计影响较大。

1.1 混凝土强度等级与试验方法

中国规范以混凝土强度等级区分混凝土强度及力学指标,强度等级按立方体抗压强度标准值确定,这种方法已在工程实践中积累了丰富的经验,与建筑材料特点和施工工艺相适应。

美国规范没有混凝土强度等级的概念,采用单一指标规定的混凝土抗压强度区分其强度等级,抗压强度采用 $\phi 150\text{mm}\times 300\text{mm}$ 圆柱体试块确定。

混凝土立方体抗压强度 f_{cu} 和圆柱体抗压强度 f'_c 的关系可近似为^[1]:

$$f'_c = 0.80f_{\text{cu}} \tag{1}$$

不同强度等级下,中美规范的混凝土抗压强度对比如表 1 所示。由表 1 可知,在相同的混凝土强度等级下,美国规范规定的强度值较中国规范高。因中美规范的试验方法不同,导致强度换算关系不同。这种差异在工程设计和材料选用时需特别注意,不同的试验方法得到的强度数据不同,直接影响到混凝土配合比设计、结构承载能力计算等关键环节。

表 1 中美规范轴心抗压强度对比

Table 1 Comparison of axial compressive strength between Chinese and American codes

规范	混凝土轴心抗压强度/MPa									
	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	
中国规范	13.4	16.7	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4	35.5	38.5	
美国规范	15.8	21.1	25.3	29.5	33.7	38.0	42.2	—	—	

1.2 钢筋材料性能与设计指标

中国规范钢筋等级以屈服强度为核心指标,按热轧工艺分类,如 HPB, HRB 等。常用等级包括

HPB300, HRB400, HRB500, 钢筋强度设计值由标准值除以材料分项系数获得,这种分类方式和设计值计算方法与中国钢铁生产工艺和建筑工程需求相匹配,可保证钢筋在结构中的合理应用和安全性能。

美国规范钢筋等级以 ksi 单位命名 (1ksi ≈ 6.895MPa), 常用等级为 40, 60, 75 级, 使用标准值作为强度标准, 未引入材料分项系数, 体现其设计方法在一定程度上的简化和灵活性, 但也对设计人员的专业判断能力提出了更高要求^[2]。

2 混凝土结构荷载与荷载组合差异

美国规范荷载组合除考虑恒荷载、活荷载、风荷载、雪荷载与地震作用外, 与中国规范不同之处还考虑了雨荷载, 且屋面活荷载单独参与组合。

中国规范永久荷载与单一可变荷载不利组合时的分项系数分别为 1.3, 1.5, 而美国规范分别为 1.2, 1.6。可见, GB 50068—2018《建筑结构可靠性设计统一标准》在荷载组合的分项系数方面已与美国规范接近^[3]。美国规范与中国规范相比, 永久荷载的分项系数略低, 但可变荷载的分项系数略高, 故总体的可靠度水平仍接近。此外, 在中美规范可靠度或安全度的对比中, 不能片面比较各规范荷载取值大小或荷载分项系数高低, 结构可靠度不仅与荷载取值及荷载分项系数有关, 也与荷载组合方式与组合系数、基本计算公式及材料分项系数等因素密切相关, 在开展规范间可靠度水平比较研究时, 需建立多维度的分析框架^[4]。

3 受拉钢筋锚固长度计算差异

3.1 中国规范混凝土锚固长度计算规定

GB 50010—2010《混凝土结构设计规范》规定普通钢筋基本锚固长度 l_{ab} 计算如下:

$$l_{\text{ab}} = \alpha \left(\frac{f_y}{f_t} \right) d \tag{2}$$

受拉钢筋锚固长度 l_a 计算如下:

$$l_a = \xi_a l_{\text{ab}} \geq 200\text{mm} \tag{3}$$

式中: f_y 为钢筋抗拉强度设计值; f_t 为混凝土轴心抗拉强度设计值, 高于 C60 时按 C60 取值; α 为锚固钢筋外形系数, 对于普通带肋钢筋取 0.14; d 为锚固钢筋直径; ξ_a 为锚固长度修正系数, 多于 1 项时可连乘, $\xi_a \geq 0.6$, 取值如表 2 所示。

3.2 美国规范混凝土伸展长度计算规定

根据 ACI 318—19 25.4.2 节相关规定, l_d 取值与钢筋型号、保护层厚度、混凝土材质、钢筋涂层、浇筑位置等因素相关。关于混凝土锚固长度的规定如表 3、4 所示, 表中 φ_l 为反映浇筑位置影响的钢筋位置系数, φ_c 为反映环氧涂层效果的涂层系数,

表 2 锚固长度修正系数 ξ_a 取值

Table 2 Values of the anchorage length correction factor ξ_a		
条件		取值
带肋钢筋公称直径 $d>25\text{mm}$		1. 10
环氧树脂涂层带肋钢筋		1. 25
施工过程中易受扰动钢筋		1. 10
面积修正 $A_{s\text{实配}} > A_{s\text{计算}}$	非抗震	$\frac{A_{s\text{计算}}}{A_{s\text{实配}}}$
	抗震及直接承受动载	1. 00
保护层厚度	$3d$	0. 80
	$3d\sim 5d$	内插
	$\geq 5d$	0. 70

φ_g 为钢筋强度等级系数, λ 为轻质混凝土系数, d_b 为钢筋直径, ϕ_s 为钢筋尺寸。

表 3 受拉带肋钢筋及钢筋网片伸展长度

Table 3 Extension length of tensile ribbed steel bars and steel mesh sheets		
钢筋间距及保护层厚度	≤ 6 号 (19mm) 钢筋及带肋钢筋网片	≥ 7 号 (22mm) 钢筋
伸展或搭接钢筋或钢筋网片净间距 $\geq d_b$, 净保护层厚 $\geq d_b, l_d$ 范围内拉筋或箍筋不少于规范最小值; 伸展或搭接钢筋或钢筋网片净间距 $\geq 2d_b$, 净保护层厚度 $\geq d_b$	$(\frac{f_y \varphi_t \varphi_e \varphi_g}{2. 1 \lambda \sqrt{f_c}}) d_b$	$(\frac{f_y \varphi_t \varphi_e \varphi_g}{1. 7 \lambda \sqrt{f_c}}) d_b$
其他情况	$(\frac{f_y \varphi_t \varphi_e \varphi_g}{1. 4 \lambda \sqrt{f_c}}) d_b$	$(\frac{f_y \varphi_t \varphi_e \varphi_g}{1. 1 \lambda \sqrt{f_c}}) d_b$

3.3 锚固长度计算参数差异

中美规范在锚固长度计算参数方面影响因素对比如表 5 所示。由表 5 可知,中美规范在锚固长度计算参数方面存在明显差异,这些差异反映了两国在混凝土结构设计理念、工程实践经验及对结构性能要求的不同侧重点。在实际工程设计中,须充分考虑这些差异,确保钢筋锚固长度设计满足结构安全和可靠性要求^[5]。

表 5 中美规范影响因素对比

Table 5 Comparison of factors influencing codes between China and the United States		
影响因素	中国规范 (GB 50010)	美国规范 (ACI 318—19)
混凝土强度	$f_t \leq 2. 04\text{MPa}$	$\sqrt{f'_c} \leq 100\text{psi}$
钢筋类型	考虑锚固钢筋外形系数;考虑尺寸,对于直径 $>25\text{mm}$ 钢筋进行修正 考虑环氧树脂涂层系数	考虑钢筋级别修正,考虑尺寸修正,考虑环氧树脂涂层修正 (与保护层和间距相关)
锚固条件	保护层厚度在 $3d\sim 5d$ 时进行修正	通过钢筋间距、保护层厚度及箍筋设置情况选择不同公式
最小锚固长度	$\geq 250\text{mm}$	$\geq 12\text{in} (305\text{mm})$
面积修正	抗震及直接承受动载情况,考虑计算钢筋与实配钢筋面积修正	除特别规定情况,超量钢筋折减
其他	考虑钢筋扰动影响	考虑浇筑位置、轻质混凝土材料影响

表 4 受拉带肋钢筋及钢筋网片伸展长度修正系数

Table 4 Correction factor for extension length of tensile ribbed steel bars and steel mesh sheets		
修正系数	条件	系数值
轻质混凝土系数 λ	轻质混凝土	0. 75
	普通混凝土	1. 00
	重混凝土	1. 00
钢筋等级系数 φ_g	40 级或 60 级	1. 00
	80 级	1. 15
	100 级	1. 30
涂层系数 φ_e	环氧涂层或镀锌环氧双涂层钢筋, 且其净保护层 $<3d$, 或其净间距 $<6d$	1. 50
	其他情况环氧涂层或镀锌环氧双涂层钢筋	1. 20
	无环氧涂层或镀锌钢筋	1. 00
钢筋尺寸 φ_s	≥ 7 号 (22mm) 钢筋	1. 00
	≤ 6 号 (19mm) 钢筋及带肋钢筋网片	0. 80
钢筋位置系数 φ_t	水平钢筋下新拌混凝土浇筑厚度 $>12\text{in} (305\text{mm})$	1. 30
	其他	1. 00

注: $\varphi_t \varphi_e \leq 1. 7$

3.4 计算差异的影响

中美两国在钢筋锚固长度计算的基本思路上有相似之处,都考虑了钢筋强度、混凝土强度等因素,但在具体计算参数和修正系数方面存在明显差异。

中国规范锚固长度计算方法相对简洁,参数取值相对固定,通过基本锚固长度和修正系数相结合的方式,考虑了钢筋类型、混凝土强度、锚固条件等主要因素。在实际工程应用中,设计人员能快速计算锚固长度,便于开展设计工作。然而,这种计算方法对于特殊情况或复杂结构的适应性有限,如对于高强度混凝土和轻质混凝土的考虑不够全面,在某些复杂的锚固条件下可能无法准确反映实际受力情况。

美国规范对锚固长度的计算考虑了更多的影响因素,更适应多样化需求,通过多个修正系数和不同的计算公式,能够更细致地反映不同情况下钢筋锚固实际需求,如考虑了浇筑位置对锚固长

度的影响,在实际工程中,尤其是大体积混凝土浇筑或特殊施工工艺,对保证钢筋与混凝土的黏结性能和结构整体性具有重要意义。但这种精细化的计算方法使计算过程较繁琐,需设计人员对规范有深入的理解和掌握,同时在实际工程应用中需准确获取更多的参数信息,增加了设计工作的复杂性。

根据锚固长度计算结果,一般情况下,中国规范规定的锚固长度要求普遍低于美国规范,美国规范不同锚固条件下对锚固长度影响较大。若考虑钢筋环氧树脂涂层,其锚固长度差异也会因系数差异进一步放大。

4 施工标准差异

对于模板工程,中美规范中均要求模板应采取不破坏结构安全性和耐久性为前提的方式进行拆除。中国对模板设计流程要求编制详细施工方案,结合多项规范要求执行;美国规范要求承包商制定支撑拆除和重新安装程序,并计算荷载转移,但具体方案由承包商自主确定。对于模板安装和固定要求,中国规范更注重结构安全性、实用性及物料是否节约,优先选用钢模板和胶合板;美国规范更注重经济性与安全性的平衡,允许使用多样化模板材料,但未强制标准化^[6-7]。

中美规范均允许采用钢筋搭接、焊接及机械连接接头形式。中国规范对进行疲劳验算构件,纵向受拉钢筋不得采用绑扎搭接,也不宜采用焊接接头,对于纵向受力钢筋的焊接接头及机械连接接头有相互错开相关规定。美国规范除对受拉拉结构件有要求外,其他受力钢筋无错开要求。

中国规范规定混凝土浇筑和振捣应采取防止模板、钢筋、钢构件、预埋件及其定位件移位的措施,可以通过采用二次添加外加剂的方式保证混凝土工作性;美国规范规定了多种浇筑运输设备的相关规定,并规定了运输时间^[5]。

中国规范规定混凝土养护时间一般 $\geq 7d$,对于有特殊要求的混凝土(如掺有外加剂、有抗渗要求或防水混凝土等),养护时间应相应延长($\geq 14d$)。美国不同标准规定的养护时间不同,一般情况下养护期最少为7d,大体积混凝土和碾压混凝土最后一个层面至少养护14d,且规定了寒冷天气条件下的养护时间。

5 美国规范应用对工程项目的影

5.1 技术影响

在美国规范市场项目中,中国设计人员对美国规范熟悉度不高,为确保设计符合美国规范要求,

避免因计算错误导致结构安全隐患,需学习和掌握美国规范设计理念、计算方法和构造要求。这一方面会导致设计流程复杂化,设计文件缺乏系统性,难以被国外工程师或监理认可,需反复修改完善,设计工作延误,影响整个项目的履约进度;另一方面,设计人员无法充分利用美国规范中的先进设计理念和方法,甄别和比选规范中的设计冗余度难度较大,设计优化不足,从而影响项目质量和成本控制。

5.2 成本影响

设计人员对美国规范理解不够深入,为了满足美国规范要求,承包商需要投入更多的人力、物力和财力,包括聘请熟悉美国规范的设计人员、购买相关的标准规范和设计软件等,同时,国内熟悉美国规范的设计人才相对较少,这在一定程度上限制了中国企业在境外项目中的发展,企业需要花费大量时间和精力培养和引进相关人才,以满足项目需求,人工成本、设计成本和管理成本相应增加。此外,由于美国规范对材料性能和质量要求与中国规范不同,企业需采购符合美国规范要求的材料,可能导致材料成本增加。

5.3 管理影响

企业需建立适应美国规范要求的项目管理体系,从设计文件审查、施工过程监控到竣工验收,都需按照美国规范的标准和流程进行管理,这对企业质量管理、进度管理和文档管理等方面均提出了更高的要求。同时,由于美国规范是由民间团体编制,且各州对规范的执行情况存在差异,企业在项目实施过程中需要密切关注当地法规和规范具体要求,增加了项目管理的复杂性。

6 工程应用建议与管理策略

6.1 技术能力提升与人才储备

企业应加强对设计、施工和管理人员的美国规范技术培训,邀请专家进行讲解和指导,帮助设计人员深入理解美国规范内容和要求,如学习规范体系衔接,掌握规范体系及设计原理,避免直接套用中国规范或直接采取包络设计;注重培养既熟悉中国规范又掌握美国规范的复合型人才,为企业参与国际工程项目提供人才保障;充分借用工具支持,建立规范学习平台,提供相关的标准规范、学习资料和案例分析,方便设计人员随时学习和查阅。

6.2 规范关键差异分析与转换

提前做好积累与收集,掌握中美规范在不同领域的差异,编制关键参数对照表,建立规范对比数据库。数据库应包括规范条款内容、计算方法、适

用范围等信息,方便设计人员进行查询和对比,并定期对数据库进行更新和维护,确保数据的准确性和时效性;在设计流程中增加规范审查环节,对设计方案进行中美规范的双重审查,确保设计方案在符合要求的同时,减少包络设计造成的冗余;建立设计优化机制,鼓励设计人员在满足规范要求的前提下,积极采用先进的设计理念和方法,对设计方案进行优化,提高项目质量和效益。

6.3 项目管理优化

建立适应美国规范的项目管理流程和制度,明确各部门和人员在项目实施过程中的职责和权限;加强与当地企业协作,引入当地工程师或第三方咨询参与项目,加强设计文件的审核和审查,确保设计符合美国规范要求 and 项目实际需求;在施工过程中,严格按照美国规范进行质量控制,加强施工现场监督和检查,及时发现和解决施工中出现的问题;加强与当地政府部门、设计单位、监理单位等的沟通与协调,及时了解当地法规和规范变化情况,确保项目顺利实施。同时推动标准互认工作开展,争取中国规范与美国规范的等效性认证。

7 结语

本文系统对比了中美混凝土结构设计规范材料性能、钢筋锚固长度及工程应用上的差异,中国规范侧重经验化与简洁性,美国规范强调精细化与动态适应性;在美国规范应用中,中国企业需重点应对技术适配性不足、成本不可控及合规风险挑战,建议采取技术能力提升、规范转换优化及管理体系统升级等策略,系统性降低技术适配风险与成本超支压力,提升中国企业在国际工程市场的竞争力。

参考文献:

[1] 王金鑫,魏巍巍,胡家顺.中美欧混凝土结构设计[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.
GONG J X,WEI W W,HU J S. Design of concrete structure in China,America and Europe[M]. Beijing:China Architecture & Building Press,2007.

[2] 李文平.中美欧混凝土结构设计规范差异及实例分析[M].北京:中国建筑工业出版社,2023.
LI W P. Differences and case analysis of design codes for concrete structures in China,America and Europe[M]. Beijing:China Architecture & Building Press,2023.

[3] 叶子健.中美欧混凝土结构设计规范对比研究[J].建筑结构,2020,50(S2):512-518.
YE Z J. Comparative study on design codes of concrete structures in China,America and Europe[J]. Building structure,2020,50(S2):512-518.

[4] 李翔,高玲,陈健陵.中美规范荷载效应组合对比研究[J].东方电气评论,2022,36(3):80-84.
LI X,GAO L,CHEN J L. Comparison of load combinations between China and the United States standard[J]. Dongfang electric review,2022,36(3):80-84.

[5] 杨创.中美规范非弯曲钢筋锚固和绑扎搭接对比分析[J].工程建设与设计,2021(1):155-157.
YANG C. Comparative analysis of anchorage and binding lap joints of non-bending steel bars in Chinese and American codes[J]. Construction & design for engineering,2021(1):155-157.

[6] 沈东辉.中美水电工程混凝土施工技术标准对比研究[D].北京:清华大学,2017.
SHEN D H. Comparative research on concrete construction technology for hydropower projects between standards of China and America[D]. Beijing:Tsinghua University,2017.

[7] 麻鹏飞,程宝军,沈锐,等.中美混凝土施工标准对比研究[J].建材世界,2018,39(6):42-45.
MA P F,CHENG B J,SHEN R,et al. Comparative study on concrete construction code between China and the United States[J]. The world of building materials,2018,39(6):42-45.

(上接第 106 页)

[5] 刘方华.高塔横梁“托架+装配式桁架+盘扣支架”组合支架体系设计及施工技术[J].公路,2021,66(8):226-230.
LIU F H. Design and construction technology of “bracket + assembled truss + buckle bracket” combined support system for high tower beam[J]. Highway,2021,66(8):226-230.

[6] 陈轶龙,陈昌富,朱世民,等.考虑注浆压力和土体饱和度影响的锚-土界面剪切性能试验研究[J].公路工程,2022,47(4):172-177.
CHEN Y L,CHEN C F,ZHU S M,et al. Experimental study on shear behavior of anchor-soil interface considering the influence of grouting pressure and soil saturation[J]. Highway engineering,2022,47(4):172-177.

[7] 马健生,孙大伟,余地,等.装配式道路基层结构填缝材料配

比设计及性能分析[J].公路,2017,62(10):17-21.
MA J S,SUN D W,YU D,et al. Proportion design and performance analysis of joint filling materials for assembled road base structure[J]. Highway,2017,62(10):17-21.

[8] 彭文耀,李婷玉,陈宇亮,等.高掺量厂拌热再生改性沥青混合料路用性能研究[J].公路工程,2022,47(4):155-159.
PENG W Y,LI T Y,CHEN Y L,et al. Study on road performance of high volume hot recycling modified asphalt mixture[J]. Highway engineering,2022,47(4):155-159.

[9] 卜良桃,龚文兵.水泥基灌浆料抗压强度现场检测方法试验研究[J].公路工程,2021,46(5):74-80.
BU L T,GONG W B. Experimental study on on-site detection methods of compressive strength of cement-based grouting material[J]. Highway engineering,2021,46(5):74-80.