

“一带一路”背景下中泰高铁建材标准差异化研究

马福全

(中国建筑第八工程局有限公司, 上海市 200112)

摘要: 为了解决中资企业出海过程中遇到的中国标准水土不服问题,以中泰高铁项目推进中遇到的中国标准属地化问题为例,运用理论对比和试验分析等方式对中泰两国高铁建设最常用的钢筋和混凝土材料标准异同点进行了系统研究,旨在为“一带一路”政策下中国标准全球化推广提供有意义的参考,结果表明:中国标准中关于钢筋屈服强度、断裂后伸长率要求和磷、硫、碳元素含量相关规范限值均高于泰国工业标准要求,且泰国钢筋直径规格对比中国钢筋规格标准偏少;试验后发现经过工序改良后的泰国当地钢筋完全满足中国相关强制性标准要求;泰国混凝土相关缺少对其弹性模量、抗拉性能和长期耐久性等层面要求,需要与当地业主统筹中国标准的属地化落地问题。

关键词: 一带一路;中泰高铁;建设材料;标准差异

中图分类号: U238;TU5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)11-0278-05

Study on Difference of Construction Material Standards for China - Thailand High-speed Railway under Background of "One Belt, One Road"

MA Fuquan

(China Construction Eighth Engineering Bureau Co., Ltd., Shanghai 200112, China)

Abstract: In order to solve the problem of Chinese standards not adapting to local conditions encountered by Chinese enterprises in the process of going overseas, taking the localization of Chinese standards encountered in the promotion of the China-Thailand High-speed Railway Project as an example, the theoretical comparison and experimental analysis is applied to systematically study the similarities and differences in the standards of the most commonly used steel bars and concrete materials in the construction of the high-speed railway projects of China and Thailand, which aims to provide a meaningful reference for the global promotion of Chinese standards under the policy of "One Belt, One Road". The result shows that the requirements for steel bar yield strength, elongation after fracture, and the relevant specification limits of phosphorus, sulfur, and carbon content in Chinese standards are higher than those in Thai industrial standards, and the diameter specifications of Thai steel bars are less than those in Chinese steel bar specifications. The test results show that the local Thai steel bars after process modification fully meet the requirements of relevant Chinese mandatory standards. There is a lack of requirements for the elastic modulus, tensile performance and long-term durability of concrete in Thailand. It is necessary to coordinate with local property owners on the localization implementation of Chinese standards.

Keywords: One Belt, One Road; China-Thailand High-speed Railway; construction materials; standard differences

0 引言

我国铁路标准主要包括工程建设标准和技术标准两个方面,是以铁路科技创新进步为基础,成体系概括铁路施工建设和运营实践经验而形成。经过改革开放以来的飞跃式发展,中国铁路成就非凡,技术

要求日臻完备,体系逐步完善,尤其在高速铁道建设方面已达到国际前沿水准。不仅如此,在国家“一带一路”战略稳步推进的背景下,中国铁路的海外布局也在部分区域收获了丰硕成果^[1]。2013年至今,各中国企业在党和政府领导下出海东南亚,广泛参与了东南亚各兄弟国家的铁路项目,并投入技术与资源,推动中国技术准则在这些地区落地实施。然而,标准碰撞与应用期间,因地域和技术差异较大,出现了一些矛盾和难题^[2]。

中国-泰国铁路共建工程为中国高铁技术迈向国际的关键典型工程^[3]。依据两国政府签订协议中

收稿日期: 2025-05-16

基金项目: 中国建筑第八工程局有限公司 2020 年度课题 (2020-3-48)

作者简介: 马福全(1994—),男,博士,高级工程师,从事铁路建设和土木建筑方面的研究工作。

的约定,此项目依托政府层面互利合作机制,以中国高铁技术准则为基准进行建设和施工。铁路技术标准体系的形成与各个国家独特的政体、国情、经济等状况紧密相连,受该国政治、社会、人文及自然条件等诸多因素制约,就中国高铁技术标准在泰国的应用而言,应开展属地化调整^[4]。深入研究中泰铁路建设标准与国内标准差异,对于推动中国铁路标准国际化具有重要的现实意义,可为中国铁路标准“走出去”战略提供新视角和思路。

当前,泰国尚未建立系统完备的属地化高速铁路标准体系^[5]。中泰铁路合作项目由中泰双方代表携手共建,该项目以中国技术标准海外输出为蓝本启动,合同具体验收和施工标准的技术规格书也依据国标来起草。鉴于中泰两国国情存在差异,中国高铁技术标准难以直接运用到泰国项目中。通过总结中泰铁路建设中的具体问题,分析和研究中泰高速铁路与国内建设标准的差异,对一带一路项目的稳步推进和中国标准的属地化推广意义重大^[6]。

基于此,本研究以“一带一路”背景下的中泰高铁项目为例,根据项目推进中遇到的中国标准水土不服问题,运用理论和试验等方式对中泰两国高铁建设最常用的钢筋和混凝土材料标准异同点进行了系统研究和分析,在此基础上提出了一些建议,旨在为“一带一路”政策下的中资企业出海和中国标准化的全球化推广提供有意义的参考。

1 项目概况及研究必要性

1.1 项目概况

中泰高铁共建项目线路从首府曼谷邦素站起始,沿途经大城府、巴冲县等地区,终点位于经济重省呵叻府,全程长度超过 250 km,其中桥梁隧道共计 27 座、总长超过 194 km,路基总长超过 50 km,桥隧占比将近 80%。全线共设有大城、沙拉武里、邦素、巴冲、廊曼、呵叻等 6 座大中型高架车站,沿线房建总面积超过 18 万 m²。泰国政府承担全部建设资金,预计建设周期为 5.5a^[7]。

1.2 研究背景及必要性

高铁建设中,建材质量对于保证工程安全性和耐久性至关重要。中国铁路建设标准对材料控制指标要求细致全面,但泰国本地生产的建筑材料性能常无法满足中国高铁建设标准。同时,中国生产的材料运输成本较高,且两国关于建材试验检测技术存在较大差异,导致建材质量难以准确评估,这给工

程质量和安全性带来了潜在风险^[8]。通过系统梳理,从泰国国情适应、建设效益提升和规避防范风险三个方面对进行中泰高铁项目建材标准与国内标准差异化研究的必要性进行如下总结:

首先是中国技术适应泰国国情的必然要求。中国国家铁路相关标准体系契合中国法规,贴合中国国情、文化、环境等特点,满足我国本土市场需求。然而,由于泰国具有独特国情政治和文化,且当地在环保、文明施工等方面的技术法规条款与中国存在较大差异,意味着中泰高铁项目无法全盘照用中国标准体系,加大了项目施工组织的复杂性,也凸显了开展中泰两国铁路标准差异性研究的必要性。

其次是提高中泰项目经济效益的关键环节。中国铁路“走出去”战略是经济发展的必然选择,在确保工程质量和产生社会效益的基础上,经济效益也是中国企业参与中国铁路海外项目的关键因素。通过中国标准在泰国的适应性研究,能在满足合同要求和保证工程质量的前提下,优化施工技术和相关技术指标,从而降低履约风险提高经济效益。

再者是有效防范项目履约风险的重要手段。工程标准中建材选用、技术合同等核心内容,是防范风险的重要环节^[9]。标准要求与方案制定、质量验收、分包分供合同签订等直接相关,以中泰国家标准异同性和属地适用性研究为基础,明确相关的施工标准和验收要求差异,从而提前在合同条款中规避,对保障在泰中资企业核心利益,降低项目合作风险、保障已施工产值快速确权等意义重大。

2 钢筋材料标准差异化研究

2.1 钢筋力学性能对比分析

我国钢筋标准明确了相关性能强制性要求,普通钢筋需遵循钢筋混凝土用钢相关规范和《铁路工程混凝土结构高强钢筋设计规定》^[10]。表 1 给出中国标准与泰国工业标准(TIS,泰国工业部下属工业标准协会制定)^[11]中钢筋主要指标的对比分析。

由表 1 可知,钢筋主要性能中屈服强度与断裂后伸长率中国标准要求较 TIS 标准高,抗拉性能、最小弯曲直径 TIS 标准较中国标准高。此外,中国标准规定了对于抗震钢筋的额外指标,即实测抗拉强度与实测屈服强度之比不小于 1.25,而 TIS 标准规定的强曲比为 SD30 型钢筋为 1.63,SD40 型钢筋为 1.44。鉴于泰国曼谷至呵叻府地震基本烈度达到 VI 度,所以当地对钢筋抗震性要求更加严格。

表 1 中泰两国关于钢筋主要性能标准对比表

机械性能	光圆钢筋		带肋钢筋	
	中 HPB300	泰 SD30	中 HRB400	泰 SD40
屈服强度/MPa	≥300	≥295	≥400	390
抗拉强度/MPa	≥420	≥480	≥540	560
断后伸长率/%	≥25	≥17	≥16	15
最大延伸率/%	≥10.0	—	≥7.5	—
冷弯 180°	$d=a$	$d=(1.5\sim2)a$	$d=4a$	$d=5a$
反向弯曲	—	—	$d=5a$	—

注：表中， d 为弯心直径； a 为钢筋直径。

2.2 钢筋化学元素当量的对比分析

钢筋中化学元素的含量对钢筋强度、焊接性能等影响较大，中国标准及泰国工业标准均对此进行了详细规定，中国国家标准委员会于2024年颁布钢筋混凝土用钢标准^[12]相关规定见表2。TIS标准^[11]对钢筋化学成分的规定见表3。

表 2 中国国家标准钢筋化学成分的规定

牌号	化学成分(质量分数)%					碳当量 (Ceq)
	C	Si	Mn	P	S	
HPB300	0.25	0.55	1.50	0.045	0.045	—
HRB400	0.25	0.80	1.60	0.045	0.045	0.54

表 3 泰国国家标准钢筋化学成分的规定

牌号	化学成分(质量分数)%					碳当量 (Ceq)
	C	Si	Mn	P	S	
SD30	0.27	—	—	0.05	0.05	0.50
SD40	—	—	1.80	0.05	0.05	0.55

碳能提升钢筋和钢材强度，却会削减其延展性。硫会使钢材出现“热脆”现象，磷会导致钢产生“冷脆”特性，二者均会对钢的焊接性能产生负面影响^[13]。因而，这两种元素属于有害元素，在碳钢生产过程中必须对其含量进行严格把控。

由表2和3可知，在钢筋的化学成分标准对比中，中国HRB400钢筋的碳含量限值设定为0.25%，而泰国SD40钢筋未明确列出碳含量方面的限制；在硫含量方面，中国HRB400钢筋限值设定为0.045%，低于泰国SD40钢筋限值0.05%要求，反映出中国标准体系的严格性；磷含量方面，中国HRB400钢筋限定标准为0.045%，高于泰国SD40钢筋0.05%的限定。对于HRB300钢筋，其碳含量的标准是0.25%，低于泰国SD30钢筋0.27%的限定要求；硫含量两者限值均为0.05%，标准一致；而磷含量中国HRB300钢筋为0.045%，低于泰国SD30钢筋的0.05%限值要求。综合来看，在碳、硫、磷等元素控制上，中国标准普遍较泰国TIS标准更为严格。

2.3 钢筋规格对比分析

中国标准常见螺纹钢直径规格涵盖10~32 mm^[12]，包括10、12、14、16、18、20、22、25、28、32 mm等多种尺寸，而泰国标准螺纹钢直径则仅包含10、12、16、20、22、25、28、32mm等规格。中泰两国螺纹钢直径标准的详细对照见表4。从对比中可以发现，中国螺纹钢直径的种类更为丰富，相对而言泰方标准的螺纹钢直径规格总体相近，却在14 mm和18 mm这两个尺寸上存在缺失。

以10 mm螺纹钢为例，依据中国标准^[12]，钢筋内径标注尺寸为9.6 mm，容许误差±0.4 mm；横肋高度设定为1.0 mm，容许误差±0.4 mm；横肋间距为7.0 mm，容许误差±0.5 mm。泰国标准规定内径公称尺寸也为9.6 mm，允许偏差为0.55 mm，间距要求7.0 mm，与中国规范差别较小。

表 4 中国与泰国常规螺纹钢直径对比

公称直径/mm		公称横截面积/mm ²		理论重量/(kg·m ⁻¹)	
中国	泰国	中国	泰国	中国	泰国
10	10	78.54	78.5	0.617	0.616
12	12	113.1	113.1	0.888	0.888
14	无	153.9	无	1.21	无
16	16	201.1	201.1	1.58	1.578
18	无	254.5	无	2.00	无
20	20	314.2	314.2	2.47	2.466
22	22	380.1	380.1	2.98	2.984
25	25	490.9	490.9	3.85	3.853
28	28	615.8	615.8	4.83	4.834
32	32	804.2	804.2	6.31	6.313
36	36	1 018.0	1 017.9	7.99	7.990

2.4 工艺改进后钢筋元素及物理力学性能研究

由上述分析可以看出，泰国本土钢筋从力学性能、化学组成和规格上与中国钢筋存在一定差别。考虑到中泰高铁项目采用中国标准，属于中国技术的海外出口，需要与泰国厂家协商采取一定的生产工艺优化措施，以满足中国标准的相关要求。

2.4.1 试验设计

为了验证泰国钢筋经工艺改良后的物理化学性能，进行了相关物理力学试验和元素含量检验。物理力学性能方面，主要对直径为20 mm的螺纹钢使用CL-03-WF型万能试验机进行试验分析，包括拉伸试验、弯曲试验、内径和重量偏差等，均严格按照相关标准规程进行；化学元素含量方面，主要选取当地某供应商DB28，SD40螺纹钢，使用DHF83型多元素快速分析仪对泰国钢筋化学成分进行分析，每批试验件数量3个，结果变动范围控制在±15%之

间,以确保试验结果的稳定性和可信度。

2.4.2 试验过程及结果分析

图 1(a)和图 1(b)分别给出了实际施工条件下制作直径为 20mm 螺纹钢筋试验样品和钢筋力学试验照片,均严格按照相关国家标准规程进行操作。

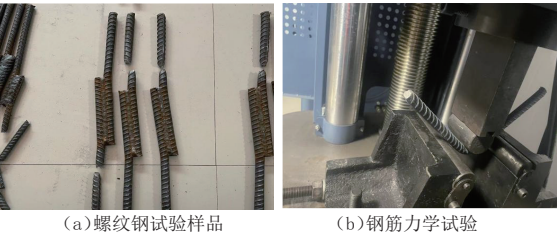


图 1 钢筋样品制作与力学试验照片

所有钢筋样品的力学试验结果,包括拉伸/弯曲试验相关参数、内径和重量偏差等见表 5。

表 5 泰国当地螺纹钢筋物理力学指标试验结果

项目	中国标准限值 ^[14]	试验批次	
		1	2
直径/mm	20	20	20
公称截面积/mm ²	314.2	314.2	314.2
试件长度/mm	5d	100	100
拉伸试验	屈服强度/MPa	400	445
	抗拉强度/MPa	540	590
	断后伸长率/%	16	25.2
	最大总伸长率/%	7.5	21.1
		19.3	
弯曲试验	弯曲角度/(°)	180	180
	弯心直径/mm	4d	80
内径偏差/mm	±0.5	-0.32	-0.26
重量偏差/%	±5.0	-2.5	-2.5

所有经改良后的钢筋样品化学成分试验结果,包括 C、Si、Mn、P、S 和碳当量等指标见表 6。

表 6 泰国本地钢筋化学成分试验结果

DB28、SD40 钢筋	化学成分(质量分数)%					碳当量 (Ceq)
	C	Si	Mn	P	S	
规范要求 ^[12,15]	0.25	0.8	1.6	0.045	0.045	0.54
结果平均值	0.22	0.39	1.17	0.014	0.023	0.48

结果显示,经改良后钢筋的极限抗拉强度(大于 540 MPa)、屈服强度(大于 400 MPa)、内径尺寸偏差(±0.5 mm)、重量偏差(±5.0%)等各项性能指标,均在国标限值内,满足相关强制性要求。钢筋化学成分方面,碳、硅、硫、磷、氧、碳当量等对钢筋力学性能和耐久性影响比较大的元素也满足国标要求。由此可见,钢筋可由泰国本地供应商供应,但相关加工工艺应按照中国标准改进,尤其在碳含量控制等方面需进行生产工艺优化。优化后的钢筋满足了中泰两国关于材料的合同约定,也是本工程研究项目的创新点之一,受到中泰两国政府表彰。

此外,在使用泰国本土钢筋时,必须着重考量并严格遵循中国标准中对于特定参数的强制性要求,这些强制性要求与泰国标准存在较大差异,必须在项目推进中予以特别关注。例如,中国标准明确禁止“螺纹钢筋经过高压穿水处理”。

3 混凝土材料标准差异化研究

3.1 混凝土规格及指标对比分析

在泰国土建施工领域,土建行业呈现出较高发展水平,桥梁建设几乎全面运用了混凝土结构。中国标准中关于不同强度等级混凝土在轴心抗压等关键指标的具体要求见表 7;与之对应,TIS 标准^[11]关于混凝土性能的相关要求列于表 8 中。

表 7 中国标准关于不同等级混凝土性能规定

强度等级	轴心抗压强度/MPa	轴心抗拉强度/MPa	弹性模量
C20	13.5	1.7	2.80×10 ⁴
C25	17	2	3.00×10 ⁴
C30	20	2.2	3.20×10 ⁴
C35	23.5	2.5	3.30×10 ⁴
C40	27	2.7	3.40×10 ⁴
C45	30	2.9	3.45×10 ⁴
C50	33.5	3.1	3.55×10 ⁴
C55	37	3.3	3.60×10 ⁴
C60	40	3.5	3.65×10 ⁴

表 8 泰国工业标准关于不同等级混凝土性能规定

强度等级	轴心抗压强度/MPa	
	圆柱体	立方体
C14.5/18	14.5	18
C17/21	17	21
C19.5/24	19.5	24
C23/28	23	28
C25/30	25	30
C27/32	27	32
C30/35	30	35
C33/38	33	38
C34/40	34	40
C37/42	37	42
C40/45	40	45
C45/50	45	50
C50/55	50	55

从上述图表对比分析可知,TIS 标准明确了原材料使用、施工流程管控及试验测试方法等方面要求,但对于弹性模量、抗拉性能及长期耐久性指标未做具体规定。中泰两国均采用 28 d 且强度保证率不小于 95% 试件。在抗压强度测试中,中国标准选用 150 mm×150 mm×150 mm 立方体试件,泰国标准则允许使用同尺寸试件或直径 150 mm、高 300 mm 圆柱体

试件。两国标准均规定混凝土氯离子含量通常不大于0.06%,且在腐蚀性介质下需采取额外耐蚀措施。

就强度等级而言,TIS标准中常用混凝土C30至C55的强度及试块规格要求与中国标准一致。但中泰标准中用于垫层和回填的混凝土强度等级标号有差异,分别为C21和C20;而用于附属结构的混凝土,泰国和中国标准分别为C24和C25。这也启示着相关工程人员警惕规范字面的意思差异。

3.2 混凝土理论重量的偏差指标分析

中泰铁路建设中承台型号多,尺寸大,承台设计方量与实量方量常常存在偏差,产生偏差的原因可归结为以下三方面:其一,由于承台为桥梁结构主要受力构件,配筋较多,加之墩身预埋钢筋均伸入承台底部,因此承台钢筋和墩身预埋钢筋占用了较大体积;其二,承台在3个方向的施工误差允许范围为 ± 30 mm,因此得到的混凝土方量与设计方量存在偏差;其三,由于混凝土为拌合物,各组分的理论配合比与施工配合比往往无法保持一致,导致混凝土的理论容重与实际容重存在偏差。

为了计算实际施工中混凝土理论和实际容重的偏差范围,需要了解两国关于承台尺寸偏差的不同。其中,国标《高速铁路桥涵施工质量验收标准》^[16]规定了承台在各个方向上的尺寸偏差为 ± 3 mm,而泰国规范目前没有给出具体的尺寸偏差值,多依赖于当地业主和监理要求,这点需要格外注意。

3.3 中国高铁混凝土标准的属地化调整

由于泰国标准无混凝土强度、耐久性、弹性模量等要求,但是中泰铁路施工按照中国标准验收,建议各中国企业应在与供应商的合同中增加相对应的条款,否则很可能影响后期验收。

再者,根据上述分析可以发现承台实际施工混凝土体积量与理论值可能存在较大误差,建议各中国企业在施工过程中予以扣除相对应的钢筋、波纹管、预埋件等体积,并提前与当地业主沟通尺寸偏差允许值,避免因此对工程效益产生的不利影响。

4 结 论

本文以中泰高铁项目为例,根据项目推进中实际遇到的中国标准本土化问题,对中泰两国关于高铁建设最常用的钢筋和混凝土材料标准进行了系统研究,并提出了相关建议,主要结论如下:

(1)钢筋主要性能中屈服强度与断裂后伸长率中国标准要求较泰国工业标准高,而抗拉极限强度,

最小弯曲直径等指标泰国标准较中国标准高。

(2)工程施工常用的HRB300和HRB400钢筋中碳、磷、硫元素含量规范限值,中国标准均小于等于泰国TIS标准数值,意味着中国规范要求更高。

(3)中国标准体系中螺纹钢的尺寸系列较为完整和系统。而泰国TIS标准方面总体与中国标准相近,但在14 mm、18 mm等型号出现了缺失。

(4)泰国钢筋在碳元素当量控制、抗震性能、极限抗拉强度等方面与中国标准存在一定差异,但实践证明经过工序改良后的泰国钢筋完全满足中国相关强制性标准,在解决工程难题的同时也为一带一路工程中国技术输出提供了良好借鉴。

(5)泰国TIS标准缺少对混凝土弹性模量、抗拉性能和长期耐久性层面要求,且未明确对承台施工的误差大小作限值规定。

(6)结合两国建材标准差异和中泰项目某标段遇到的实际问题,建议中资企业在与供应商的合同中增加关于主要建材由于标准差异相对应的量化条款说明,以规避后期履约可能遇到的争议问题。

参考文献:

- [1] 刘悦,李白鹭,李佳智.“一带一路”倡议下的世界城市竞争力——以点带面,共建共赢,行稳致远[J].城市发展研究,2017,24(8):后插1-后插5.
- [2] 王勤.中国与东盟经贸关系发展现状与前景[J].东南学术,2002(5):75-79.
- [3] 鲁涓涓.中国高铁“走出去”实践探析[D].南京:南京大学,2019.
- [4] 华佚佚.面向“一带一路”企业技术标准联盟运行模式与实现路径研究[D].杭州:杭州电子科技大学,2022.
- [5] 陈源.中国铁路标准走出去适应性研究的思考[J].中国铁路,2017(6):12-16.
- [6] 孙海富.中国高铁标准在泰国的适应性分析[J].铁道工程学报,2022,39(10):100-104.
- [7] 杨舟,罗俊铭.中泰铁路一期工程12月21日开工[J].城市轨道交通研究,2018,21(1):149.
- [8] 李欢,杨廷志,张曦,等.泰国铁路标准化概况及合作策略研究[J].中国标准化,2024(21):290-295.
- [9] 石守仁.公司法定代表人对外越权担保问题研究——以中建材合同纠纷案为例[D].长春:吉林财经大学,2022.
- [10] 高志国.中国高速铁路轨道设计标准在东南亚地区的适应性研究[J].铁道标准设计,2024,68(8):47-53.
- [11] Thai Industrial Standard Institute.Thai community products standard[S].Bangkok,Thailand,2014.
- [12] GB/T 1499.2—2024,钢筋混凝土用钢 第2部分:热轧带肋钢筋[S].
- [13] 佟玉磊.高强度钢材的冶炼工艺优化与性能提升[J].中国金属通报,2024(16):16-18.
- [14] GB/T 28900—2022,钢筋混凝土用钢材试验方法[S].
- [15] GB/T 20066—2006,钢铁化学成分测定用试样取样和制样方法[S].
- [16] 陈珺.《高速铁路桥涵工程施工质量验收标准》汉英翻译实践报告[D].成都:成都理工大学,2022.