

化工厂房楼面活荷载中外规范对比研究

廖水泉

广东政和工程有限公司杭州分公司, 浙江 杭州 310044

DOI:10.61369/ADA.2026010004

摘 要 : 国际化工项目设计中, GB 51006-2014与 PIP STC01015-2023 (其中荷载折减引用 ASCE 7) 两套规范体系存在显著差异。本文对比分析了两套规范在楼面活荷载设计方面的差异, 通过典型框架结构验算进行定量评估。研究表明: GB 51006 依据工况时间特性进行分类, PIP STC01015 依据荷载力学性质进行分类; GB 规范给出检修荷载分级取值标准, PIP 规范需工程师依据设备参数确定; ASCE 7 活荷载折减系数按概率公式计算, GB 规范采用固定系数。以典型 6 层框架结构为例, 验算结果表明, 折减系数差异导致柱轴力设计值存在较大差异。

关 键 词 : 化工厂房; 楼面活荷载; 荷载折减; GB 51006; PIP; ASCE 7

Comparative Study on Live Loads of Floor in Chemical Plant Buildings between Chinese and Foreign Codes

Liao Shuiquan

Hangzhou Branch of Guangdong Zhenghe Engineering Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 310044

Abstract : In international chemical project design, GB 51006-2014 and PIP STC01015-2023 (which refers to ASCE 7 for load reduction) show significant differences. This paper compares two codes on floor live load design. The study shows the main differences: GB 51006 divides loads according to operation conditions, but PIP divides them by load mechanical properties; GB gives clear values for maintenance loads, but PIP needs engineers to calculate them based on equipment parameters; ASCE 7 builds reduction formula using probability theory, but GB uses fixed coefficients based on the mutual exclusion of conditions. By calculating a typical 6-story frame structure, the results show that the differences between codes cause variations in reduction coefficients and column axial forces. This study can give reference for code coordination in international chemical projects.

Keywords : chemical plant; floor live load; code comparison; GB 51006; PIP; ASCE 7

引言

近年来, 国内设计单位承接海外 EPC 项目日益增多。国际化工项目设计中普遍存在规范体系差异问题: 业主方通常要求遵循 PIP (Process Industry Practices) 标准体系, 该体系在荷载组合与折减方面引用 ASCE 7 通用建筑规范; 而国内设计单位依循 GB 51006-2014《石油化工建(构)筑物结构荷载规范》(基于 GB 50009 和 GB 50068 的框架体系) 开展设计工作。两套规范在荷载分类、取值依据、折减方法等方面存在显著差异, 给工程设计带来困难。楼面活荷载作为化工框架结构设计的关键控制参数, 其取值合理性直接关系到梁板柱及基础等构件的截面设计与配筋构造, 影响结构安全与工程造价。现有研究主要集中于通用建筑规范的对比分析, 针对化工行业专用荷载规范的研究相对不足。范峰等 [6] 对中、美、加、欧屋面雪荷载规范开展了对比研究, 分析了我国规范与 ASCE、NBC、EU 规范在雪荷载取值方面的主要差异; 陈华良 [7] 对中国规范与国际标准在抗震设计领域的适用性进行了对比分析。然而, PIP 标准体系作为北美化工行业主流实践指南, 国内相关研究较少, 在一定程度上影响了国际化工项目的设计质量与实施效率。

近年来, 国内学者对工业建筑楼面荷载取值问题开展了研究。王伟锋等 [8] 总结了工业上楼建筑楼面荷载的合理取值范围; 王朝阳等 [9] 运用 SAP2000 软件, 在基于广义均布活荷载前提下开展楼面活荷载取值研究, 提出楼盖采用单向双次梁布置时, 建议广义次梁的活荷载折减系数不宜小于 0.85, 主方向主梁活荷载折减系数不宜小于 0.75; 楼盖采用井字梁布置时, 建议次梁活荷载折减系数不宜小于 0.80, 主梁活荷载折减系数不宜小于 0.75。

本文对比分析 GB 51006-2014 与 PIP STC01015-2023 在楼面活荷载设计方面的技术要求, 并选取典型化工框架结构开展设计验算, 为跨国化工项目的规范协调提供参考。

一、规范体系对比分析

GB 51006由住房和城乡建设部发布，属强制性标准。PIP STC01015-2023属推荐性指南。美国无国家强制性工业建筑规范，规范执行主要依靠业主合同要求。GB规范给出了明确技术指标，PIP规范更强调工程师的专业判断。

GB 51006将荷载划分为正常操作、停产检修、充水试压三种工况，设计时分别计算取包络值。正常操作荷载2.0~5.0 kN/m²（第6.2.1条），检修荷载2.0~10.0 kN/m²（第6.2.2条），试压荷载按设备容积计算（第2.1.6条）。

PIP STC01015将荷载划分为恒载、活荷载、试压恒载三类，通过荷载组合公式综合考虑[2]。第4.1.3节表1给出活荷载取值：轻工业6.0 kN/m²，重工业12.0 kN/m²。试压恒载（Test Dead Load）针对水压试验等短时工况，是PIP区别于ASCE 7的补充。检修荷载未给具体数值，要求工程师依据设备参数自行确定。

二、荷载取值与折减原理

（一）活荷载取值标准

正常操作工况与检修工况的活荷载取值对比见表1和表2。

表1 正常操作工况活荷载取值对比

区域功能	PIP (kN/m ²)	GB (kN/m ²)
通用生产区	6.0	2.0
化验分析室	6.0	3.0
楼梯平台	6.0	3.5
重型生产/仓储	12.0	5.0

正常操作状态下 PIP 规范的荷载取值显著高于 GB 规范。这是因为 PIP 将日常操作与可能发生的检修作业统一归入活荷载。相比之下，GB 规范将正常操作工况与停产检修工况视为两种时间互斥的场景，分别给定荷载标准值并分别验算。

表2 检修工况活荷载取值对比

设备类型	PIP	GB (kN/m ²)
压缩机/鼓风机检修区	需工程师计算	10.0
反应器检修区		6.0
热交换器周围区域		4.0
非检修区域		2.0

GB规范针对检修工况制定了完整的分级取值体系，工程师可直接查表确定；PIP规范仅给出原则性要求，具体数值需工程师依据设备参数计算确定。

（二）荷载折减原理

ASCE 7 采用概率统计方法折减活荷载：随构件影响面积增大，各区域同时达到满荷载的概率减小。公制单位（SI）下的计算公式为：

$$L = L_0 \left(0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{K_{LL} \cdot A_T}} \right)$$

式中：L为折减后的活荷载（kN/m²）；L₀为活荷载标准值（kN/m²）；K_{LL}为活荷载要素系数，楼板取1，内部柱取4；

A_T为构件影响面积（m²）。支承多层楼面的构件，L不得小于0.4L₀。

GB 51006根据工况时间相互独立的原理确定折减系数。设计框架梁、框架柱及基础时，当负荷面积大于50 m²，检修活荷载采用固定折减系数。检修荷载≤10.0 kN/m²时折减系数取0.7；>10.0 kN/m²时取0.5，但折减后不应小于7 kN/m²。楼板及次梁不得折减（第6.2.3条）。

表3 活荷载折减机制对比

项目	ASCE 7 (PIP引用)	GB 51006
折减依据	影响面积概率统计	工况时间互斥性
适用荷载	楼面活荷载	检修活荷载
折减方式	公式连续计算	固定系数查表
适用条件	影响面积≥37.2 m ²	负荷面积>50 m ²
最小值	0.40~0.50	0.50~0.70

ASCE 7折减系数随影响面积连续变化，大型结构可达0.4；GB规范采用固定系数，方法简便，但对大型结构相对保守。

（三）荷载组合的比较

ASCE 7采用荷载和抗力系数设计法（LRFD）。化工框架结构楼面设计中，恒载与活荷载的基本组合为1.2D + 1.6L（Section 2.3）。

PIP 第4.2节以及表5指出，考虑试压荷载时，组合调整为1.2(Ds + Dta)，其中Ds为结构恒载，Dta为试压重量。

GB 50068-2018第8.2.9条规定，承载能力极限状态验算时，永久作用分项系数γ_G = 1.3，可变作用γ_Q = 1.5，基本组合为1.3G + 1.5Q。GB 51006-2014第8.2.1条注3规定试压荷载的分项系数取1.2，与PIP规范一致。

表4 荷载组合系数对比

规范类别	恒载分项系数	活荷载分项系数	基本组合公式
ASCE 7	1.2	1.6	1.2D + 1.6L
GB规范	1.3	1.5	1.3G + 1.5Q

GB规范的恒载分项系数高于ASCE 7，活荷载分项系数低于ASCE 7。当恒载与活荷载比值处于0.7~0.8区间时，两种组合的设计荷载值接近。

三、典型工程案例验算

（一）工程概况与计算条件

本文选取典型化工框架结构进行对比验算。工程为某精细化工生产厂房，采用现浇钢筋混凝土框架结构。建筑6层，标准层高4.5 m，柱网8 m×8 m，楼盖采用现浇单向板，次梁沿短跨方向布置，间距2.67 m（柱网三等分）。

两套规范的材料强度取值方法不同。GB 50010采用材料强度设计值方法：通过材料标准值除以材料分项系数（混凝土γ_c=1.4，钢筋γ_s=1.1）即为设计值，直接用于承载力计算。ACI 318-25采用标称值方法：材料强度采用标称值（相当于实际平均值），承载力计算结果乘以强度折减系数φ（受弯φ=0.9，受剪φ=0.75等）。两种方法的安全储备方式不同，但可靠度水平相当。本文对比荷载取值与组合方法的差异，材料强度计算按相应规定执行。材料参数见表5，荷载参数见表6。

表5 材料参数对照

项目	GB 50010	ACI 318-25
混凝土强度	C30 ($f_c=14.3\text{ N/mm}^2$)	$f' c = 30\text{ MPa}$
钢筋强度	HRB400 ($f_y=360\text{ N/mm}^2$)	Grade 60 ($f_y=420\text{ MPa}$)
强度折减方式	材料分项系数 ($\gamma_c=1.4$, $\gamma_s=1.1$)	强度折减系数 ϕ (受弯 0.9)

表6 荷载参数

荷载类型	组成	标准值 (kN/m²)	备注
恒载	楼板自重	3.75	$0.15\text{ m} \times 25\text{ kN/m}^3$
	建筑面层	1.0	地砖、找平层
	吊顶	0.4	轻钢龙骨
	合计	5.15	-
活荷载	设备 + 检修	6.0	PIP Table 1/GB 6.2.2-6

(二) 楼板设计验算对比

楼板按单向板简支计算模型设计，计算跨度取次梁间距 2.67 m。两套规范均规定，楼板活荷载不折减。荷载组合与内力分析结果见表 7。

表7 楼板荷载组合与内力对比

计算内容	计算公式	PIP	GB
设计荷载 (kN/m²)	$1.2D+1.6L / 1.3G+1.5Q$	15.78	15.70
跨中弯矩 (kN · m/m)	$M=qL^2/8$	14.06	13.99
计算配筋 (mm²/m)	$A_s=M/(f_y \cdot h_0 \cdot \alpha_s)$	308	323
钢筋用量 (kg/m³)	实配钢筋折算	17.2	17.9

在相同活荷载标准值条件下，两套规范的楼板设计结果接近，设计荷载分别为 15.78 kN/m² 和 15.70 kN/m²，这说明当恒载与活荷载比例相当时，GB 规范较高的恒载系数（1.3）与 ASCE 7 较高的活荷载系数（1.6）产生的设计荷载相近。配筋量差异较小，该差异除受荷载组合影响外，还与材料强度体系不同有关（ACI 318-25 采用 $f' c=30\text{ MPa}$ 、 $f_y=420\text{ MPa}$ 的标称值，GB 50010 采用 $f_c=14.3\text{ N/mm}^2$ 、 $f_y=360\text{ N/mm}^2$ 的设计值）。钢筋用量增幅较小，对工程造价影响可忽略不计。

(三) 框架柱设计验算对比

选取标准层中柱对比验算。柱网尺寸 8 m × 8 m，单层柱受荷面积 64 m²，6 层框架累计受荷面积 384 m²。荷载折减与轴力分析结果见表 8。

表8 框架柱荷载折减与轴力对比

计算项目	计算公式	PIP	GB
受荷面积 (m²)	$8 \times 8 \times 6\text{ 层}$	384	384
活荷载折减系数	公式 / 固定	0.40	0.70
折减后活荷载标准值 (kN)	$6.0 \times \text{折减系数} \times 384$	921.6	1612.8
活荷载设计值 (kN)	$1.6L / 1.5Q$	1474.6	2419.2
恒载设计值 (kN)	$1.2D / 1.3G$	2373.1	2570.9
柱轴力设计值 (kN)	恒载 + 活荷载	3848	4990

ASCE 7 公式计算，当受荷面积 $AT=384\text{ m}^2$ 、 $KLL=4$ （内部柱）时，折减系数计算值为 0.367，按规范规定最小值 0.4 取用。GB 规范第 6.2.3 条规定，当检修荷载标准值不大于 10.0 kN/m² 时，折减系数取 0.7。

经荷载组合后，PIP 规范柱轴力设计值为 3848 kN，GB 规范为 4990 kN。差异主要源于折减系数不同：ASCE 7 折减系数为 0.4，GB 规范为 0.7，导致 GB 规范折减后活荷载标准值明显高于 PIP 规范。虽然 GB 规范的活荷载组合系数 1.5 低于 PIP 规范的 1.6，但不足以抵消折减系数的差异。该轴力差异对框架柱截面尺寸与配筋构造影响显著。

四、结论与建议

本文对比了 GB 51006 与 PIP STC01015 在化工厂房楼面活荷载设计方面的技术差异，结论如下：

- 荷载分类体系不同。GB 51006 依据工况时间特性，将荷载划分为正常操作、停产检修、充水试压三种时间互斥的工况类型；PIP STC01015 依据荷载物力学性质，将荷载划分为恒载、活荷载、试压恒载三类，可同时存在于设计计算中。
- 荷载取值规定不同。GB 规范针对检修工况给出了完整的分级取值体系，工程师可直接查表应用；PIP 规范仅给出制造区域活荷载的分类标准，检修荷载需工程师依据设备参数自行计算。
- 荷载折减机制不同。ASCE 7 基于概率统计理论建立折减公式，折减系数随构件受荷面积增大而递减；GB 规范基于工况互斥性原理采用固定折减系数，实施简便但对大型结构相对保守。
- 典型框架结构验算表明，不折减构件（如楼板）的设计结果接近；需折减构件（如框架柱）的设计结果相差较大，主要原因在于折减系数的差异。

参考文献

[1] GB 51006-2014, 石油化工建 (构) 筑物结构荷载规范 [S]. 北京：中国计划出版社，2015.

[2] PIP STC01015, Structural Design Criteria[S]. Austin: Process Industry Practices, 2023.

[3] ASCE/SEI 7-22, Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures[S]. Reston: American Society of Civil Engineers, 2022.

[4] GB 50068-2018, 建筑结构可靠性设计统一标准 [S]. 北京：中国建筑工业出版社，2018.

[5] GB 50009-2012, 建筑结构荷载规范 [S]. 北京：中国建筑工业出版社，2012.

[6] 范峰，莫华美，洪汉平，中、美、加、欧屋面雪荷载规范对比 [J]. 哈尔滨工业大学学报，2011, 43(12): 18-22.

[7] 陈华良. 采用中国规范的抗震设计与国际标准的对比分析 [J]. 四川水泥，2024, (11): 41-43.

[8] 王伟锋，陈明强，陈延浩，等. 工业上楼建筑设计中常见问题及应对措施 [J]. 四川建筑，2025, 45(6): 49-52.

[9] 王朝阳，祝建刚，何云明，等. 工业上楼建筑楼面活荷载取值探讨 [J]. 建筑科学，2025, 41(11): 107-115.