

基于中欧雪荷载规范的门式刚架加固有限元模型 力学性能对比研究

Comparative Study on Mechanical Performance of Finite Element Models for Strengthened
Portal Frames based on Chinese and European Snow Load Codes

魏超凡¹, 赵贵金¹, 张新杰², 梁燕丽²

(1. 河北工程大学 土木工程学院, 邯郸 056038;
2. 中交城市能源研究设计院有限公司 河北分公司, 石家庄 050000)

摘要: 为探究 GB 51022—2015《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》与《NF EN 1991-1-3: 2004 - General actions - Snow loads》中雪荷载规范对门式刚架结构的影响, 通过规范参数对比及有限元建模, 选取改变结构体系法和粘钢法加固工程案例建立 Midas Gen 模型, 对比验证两种规范下结构应力比、稳定性及挠度等力学指标。结果表明:《中国规范》雪荷载计算方法较为简单, 两种规范部分参数与屋面积雪分布系数存在一定差异; 有限元模型计算结果显示,《中国规范》雪荷载值和力学参数计算结果普遍偏大, 尤其在不均匀分布上呈现更大保守性, 而《欧洲规范》计算结果整体偏小。

关键词: 门式刚架加固; 雪荷载;《中国规范》;《欧洲规范》; 有限元分析

中图分类号: TU391 文献标志码: A 文章编号: 1005-8249 (2025) 02-0117-07

DOI:10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2025.02.020

WEI Chaofan¹, ZHAO Guijin¹, ZHANG Xinjie², LIANG Yanli²

(1. School of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China;
2. Hebei Branch, CCCC Gas & Heat Research and Design Institute Co., Ltd., Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: To investigate the impact of snow load specifications in GB 51022—2015 * Technical Specification for Steel Structure of Light-weight Buildings with Gabled Frames * and * NF EN 1991-1-3: 2004 - General actions - Snow loads * on gabled frame structures, this study conducted parameter comparisons between the codes and established Midas Gen models for engineering cases reinforced via structural system modification and bonded steel reinforcement methods. Stress ratios, stability, deflection, and other mechanical indicators under both specifications were compared and validated through finite element modeling. Results indicate: the Chinese code employs a relatively simplified snow load calculation method, with partial parameters and roof snow distribution coefficients differing from the European code. Finite element analysis reveals that the Chinese code yields generally higher snow load values and mechanical parameter results, particularly demonstrating greater conservatism in uneven snow distribution scenarios, while the European code produces smaller calculation results overall.

Key words: reinforcement of portal frame; snow load; Chinese codes; European code; finite element analysis

建筑结构

0 引言

门式刚架结构因其轻量化设计、快速施工特性及优异经济性，在工业与民用建筑领域展现出强大的适应性。该结构体系通过工业化预制与模块化安装，不仅显著缩短了施工周期，其灵活的空间布局能力更使其成为现代工业厂房、物流仓储中心及商业综合体等大空间建筑的优选方案^[1]。

在应对全球气候变暖与化石能源转型的双重挑战下，这种轻质高强的结构形式与光伏发电技术形成了天然协同效应，其屋面空间为光伏板铺设提供了理想载体，推动建筑光伏一体化技术的规模化应用，实现“碳达峰，碳中和”目标^[2]。艾琳^[3]研究表明，2024 年中国光伏产业保持强劲增长，政策持续加码推动高质量发展，各环节产量增幅超 10%。然而，门式刚架其轻量化结构和屋面形态的固有特性，表现出对雪荷载极其敏感，目前极端降雪事件显著增加，时常发生雪荷载超载事故，例如在东北部某暴雪灾害中，某维修车间多轴处出现钢柱发生屈曲破坏以及山墙和檩条发生严重变形^[4]，部分地区厂房甚至发生连续倒塌^[5]。各研究表明，现行雪荷载规范参数体系滞后于极端气候演变规律，其荷载取值与风雪灾害区域实际工况存在显著偏差，导致结构抗灾能力不足，尤其在暴雪频发区形成系统性安全风险，亟需建立荷载动态修订机制与区域差异化设计标准。刘春雨等^[6]通过 ANSYS 对门式刚架破坏模式和机理进行了探讨，并为提升门式刚架结构的安全性能提出一些措施和建议；陈海华^[7]通过对雪灾后工业厂房检测鉴定，基于检测数据评估屋面系统可靠度，为灾后结构安全评估及修复方案制定提供技术依据；胡敬盼等^[8]针对临沂地区轻钢厂房雪灾损伤问题，提出轻钢结构优化设计措施；郭浩翔^[9]通过参数化建模与多工况静动力分析，精确识别结构体系在雪荷载作用下的临界失效阈值，继而以该阈值作为冰雪荷载智能监测系统的安全预警基准值，实现工程安全状态的量化管控；王宗让等^[10]系统梳理雪灾对门式刚架典型损伤机制，形成涵盖荷载组合修正和监测标准完善的规范提升建议；周亚彤等^[11]针对大型钢结构厂房改造中场地受限、不完全卸荷及焊接残余应力制约吊车梁加固三大技

术难题，通过工程建立量化评估模型揭示各因素对加固效果的影响规律；刘志祥等^[12]通过 24 组风洞试验，揭示低坡度双坡屋面积雪非均匀分布机制；Meglio 等^[13]研究一种被称为“Resisto 5.9 管系统”的冷弯型钢外骨骼结构，用于提升既有建筑结构的抗震性能和隔热性能；Gallego 等^[14]揭示圆锥形钢筒仓屋顶在不对称雪荷载下的结构响应特征，针对 EN 1991-1-3 标准未涵盖的锥顶结构，通过试验与三维梁模型对比分析平衡/非平衡荷载效应验证了锥形屋顶雪荷载非均匀分布的关键影响，为规范修订提供重要依据。Cao 等^[15]采用改进 JC 法评估索架轻钢结构在恒载与雪荷载组合下的可靠度，通过几何可靠性理论构建优化模型，结合 Lingo 软件求解最小约束下的可靠指标，揭示现行设计标准存在安全隐患；Togan 等^[16]基于 GIS 的雪荷载计算较土耳其规范计算结果更加合理。

综上，由于对中欧雪荷载规范中极端气候雪荷载研究不足，结合中欧门式刚架雪荷载规范对门式刚架加固的应力比、稳定性、挠度等力学性能参数进行对比，进一步研究雪荷载作用机制，可使结构设计优化，规范参数修正，并为智能监测系统提供临界阈值，保障工业、农业等大跨度建筑的安全性与经济性，且为了中国企业市场又国内转至海外提供技术支持。

1 工程案例

门式刚架加固是对现有结构进行荷载分析、刚度分析、强度评估以确定刚架加固的必要性与加固范围；确定其加固目标，根据验算结果对增强承载能力、改善结构刚度、提高刚架稳定性等做出针对性方案，故分别采用改变结构体系法和粘钢法的门式钢架进行分析。

1.1 工程概况

改变结构体系法加固工程：熔炼炉配料站位于内蒙古自治区乌兰察布市丰镇市化工业园区，结构形式为门式刚架结构，总跨度 40.9 m，最大柱距 11 m，建筑面积约 2 394 m²，材料强度等级为 Q345。

粘钢法加固项目：锰矿料棚地点与前工程相同，结构形式为双跨门式刚架结构，总跨度 96 m，长度 100 m，柱距 10 m，建筑面积 11 780.64 m²，两项目均于 2021 年建成并投入使用，项目荷载统计为：恒

荷载(含光伏): $(0.35 + 0.15) \text{ kN/m}^2$, 活荷载: 0.5 kN/m^2 , 雪荷载: 0.35 kN/m^2 , 风荷载: 0.55 kN/m^2 , 抗震设防烈度为 7 度 ($0.15g$), 第二组。

1.2 加固方案

(1) 对熔炼炉配料站 GJ-3 刚架进行二维建模并验算, 结果表明 GJ-3 刚架屋脊部分钢梁不满足规范要求, 需进行加固设计。

由于只有部分构件不满足要求, 且为了节省钢材, 故采用改变结构体系法^[17]进行加固, 此加固法需增设支承或附属部件, 改变结构弯矩图形, 使结构的内力得到合理分配。具体措施为在中间位置钢梁钢柱腋处增设 D140 × 5.0 圆管做撑杆, 与钢梁、钢柱连接处需增设加劲肋。对加固后模型进行验算, 刚架均满足规范要求。GJ-3 刚架加固如图 1 所示。

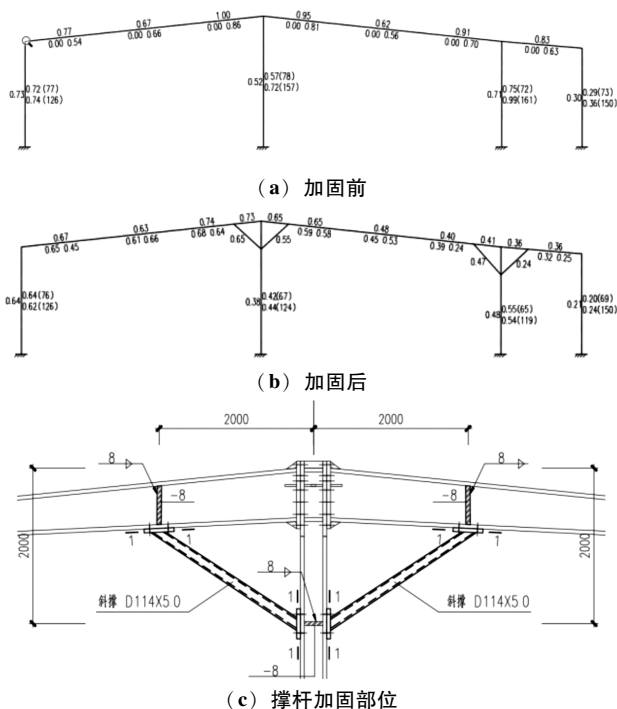


图 1 GJ-3 加固前后应力比

Fig. 1 GJ-3 Stress ratio before and after strengthening

(2) 对锰矿料棚 GJ-2 刚架建模并验算, 结果表明 GJ-2 刚架中柱处部分钢梁与边柱不满足规范要求, 需进行加固设计。钢架跨度较大, 故采用粘钢法^[18-19]进行加固, 分别在刚架不满足要求的钢梁钢柱受压或受拉翼缘处粘 3 ~ 5 mm 结构用钢板, 正截面的承载力应按下式计算:

$$\sigma_0 = \frac{M_{x0}}{W_{nx0}} \quad (1)$$

$$\sigma_1 = \frac{M_x - M_{x0}}{W_{nx}} \quad (2)$$

$$\sigma = \sigma_0 \frac{M_x - M_{x0}}{W_{nx}} + \frac{M_{x0}}{W_{nx0}} \leq \eta_m f \quad (3)$$

式中: σ 、 σ_0 、 σ_1 分别为全部荷载的最大应力、除去初始荷载只有使用荷载作用情况最大应力、不可卸载的初始荷载作用的最大应力, MPa; W_{nx} 、 W_{nx0} 分别为构件加固后、加固前净截面模量, mm^3 ; M_x 、 M_{x0} 分别为加固后构件、不可卸载的初始荷载作用的弯矩设计值, $\text{N} \cdot \text{mm}$; η_m 为受弯构件的加固强度修正系数。

对锰矿料棚加固后模型进行验算, 刚架均满足规范要求。GJ-2 加固验算如图 2 所示。

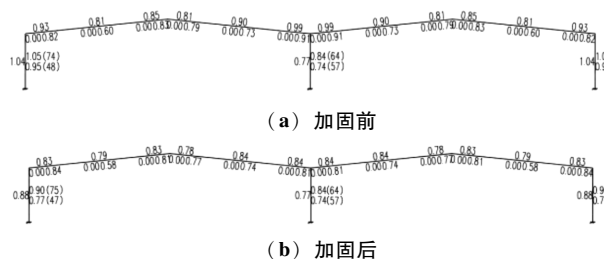


图 2 GJ-2 加固前后应力比

Fig. 2 GJ-2 Stress ratio before and after strengthening

2 中欧雪荷载规范对比

2.1 计算方法

中国规范 GB 51022—2015《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》^[20] (以下简称“中国规范”) 中雪荷载标准值的计算公式为:

$$S_k = \mu_r S_0 \quad (4)$$

式中: S_k 、 S_0 分别为雪荷载标准值、基本雪压, kN/m^2 ; μ_r 为屋面的积雪分布系数。

欧洲规范 BS EN 1991-1-3^[21] (以下简称“欧洲规范”) 规定屋面雪荷载永久/瞬时计算公式:

$$s = \mu_i C_e C_t s_k \quad (5)$$

式中: s 、 s_k 分别为屋顶雪荷载、地面雪荷载的特征值, kN/m^2 ; μ_i 为雪荷载的形状系数, 与我国屋面积雪分布系数相同; C_e 、 C_t 分别为遮挡系数和热系数。

2.2 屋面积雪分布系数

中欧规范中屋面积雪分布系数值如图 3 所示。对于积雪分布系数 μ_r 与 μ_1 , 在屋面坡度角小于 25° 时,《中国规范》取值偏大, 比《欧洲规范》取值大 20% 左右; 积雪分布系数从 30° 才开始出现变化, 而《欧

建筑结构

洲规范》从 25°开始变化,在这个范围内两者逐渐接近;积雪分布系数从 30°之后,两者的取值几乎重合。但是对于我国轻型门式刚架结构的屋面坡度角推荐取值为 1/20~1/8,对工业厂房而言,较大层面坡度应用较少。对于双坡双跨结构的不均匀情况,《欧洲规范》中 μ_2 从 30°开始取值为 1.6,《中国规范》则根据积雪的分布情况分别乘以 1.4 和 2.0 的放大系数。

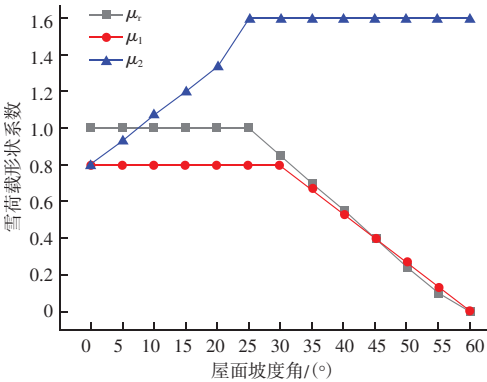


图3 μ_r 、 μ_1 、 μ_2 关系

Fig. 3 The relationship between μ_r , μ_1 and μ_2

如图4所示,屋面积雪堆积区域的荷载分布显著偏高,这恰是中欧雪荷载规范的核心差异所在。研究^[22]表明,外力作用引发的积雪堆积是导致建筑结构破坏的关键因素,这突显出积雪集中区域荷载研究的必要性。

3 刚架静力分析

3.1 刚架内力分析

分别采用中欧规范中均匀分布与不均匀分布单工况进行计算,结果见表1。在雪均匀分布下,无论是单跨双坡还是双跨双坡结构,《中国规范》计算值较大,超出《欧洲规范》结果 25%;在雪非均匀分

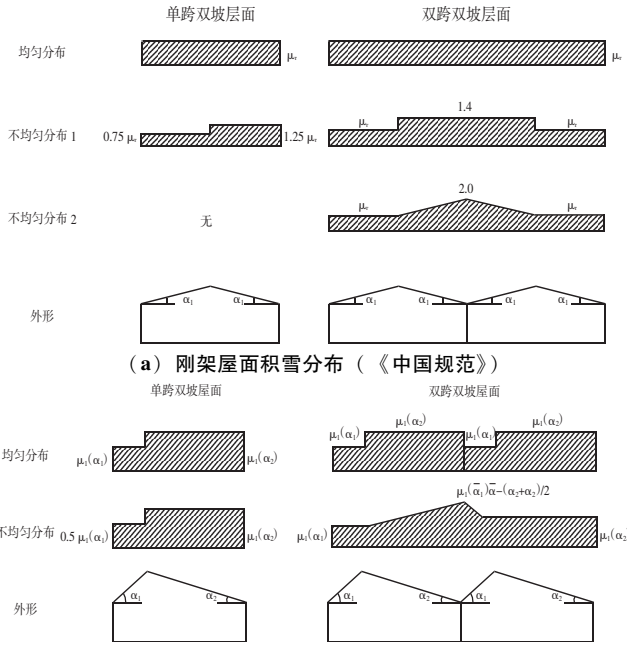


图4 屋面积雪分布情况

Fig. 4 Distribution of snow on roof

表1 雪荷载单工况下荷载统计表

Table 1 Load statistics table for snow load under single working condition

规范	改变体系法	粘钢法
《中国规范》- 均匀	0.35	0.35
《欧洲规范》- 均匀	0.28	0.28
《中国规范》- 不均匀1	0.44	0.49
《中国规范》- 不均匀2		0.70
《欧洲规范》- 不均匀	0.28	0.34

布下,《中国规范》计算值较大,分别超出《欧洲规范》结果 57.14%、106.6%,造成荷载差异的主要原因是屋面积雪分布系数取值不同。

采用 Midas Gen 有限元软件对加固后项目进行建模分析,不均匀分布工况下各项目弯矩及变形趋势如图5所示。

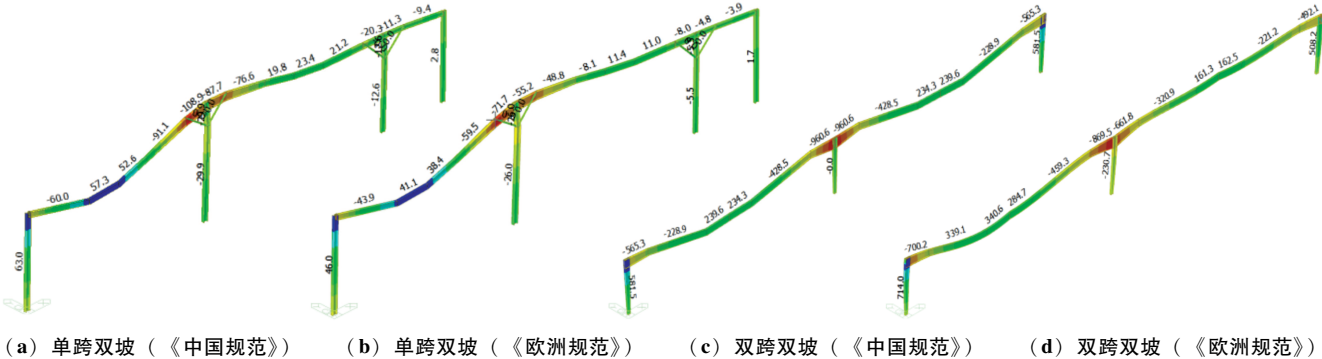


图5 刚架弯矩及变形趋势图

Fig. 5 Bending moment and deformation trend diagram of rigid frame

3.2 应力比

强度应力比是评估结构安全性的关键指标，计算结果不超过 1.0。两加固项目各雪荷载工况下刚架应力比如图 6 所示。整体而言，《中国规范》计算结果偏大，在单坡双跨刚架中，均匀雪荷载下结构最不利构件较《欧洲规范》计算结果超出 28.6%，不均匀工况超出 70%；在双坡双跨刚架中均匀工况超出 19.2%，不均匀工况超出 27.2%。

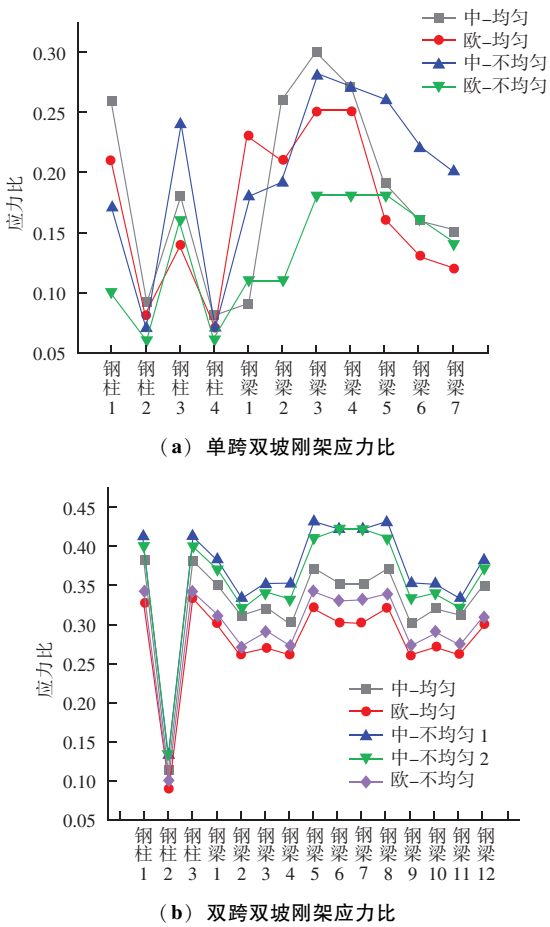


图 6 雪荷载各工况刚架应力比

Fig. 6 Stress ratio of rigid frame under different snow load conditions

3.3 稳定性

钢结构平面内、外稳定应力比直接反映出结构稳定性能。两加固项目在雪荷载工况下刚架平面内、外稳定应力比如图 7 所示。由于粘钢法刚架钢梁平面内稳定应力比过小，数据不作参考。中欧雪荷载工况下最不利构件平面内、外稳定应力比汇总见表 2。《中国规范》不均匀分布工况时稳定应力比偏大，且结构形式为单跨双坡时更为显著。

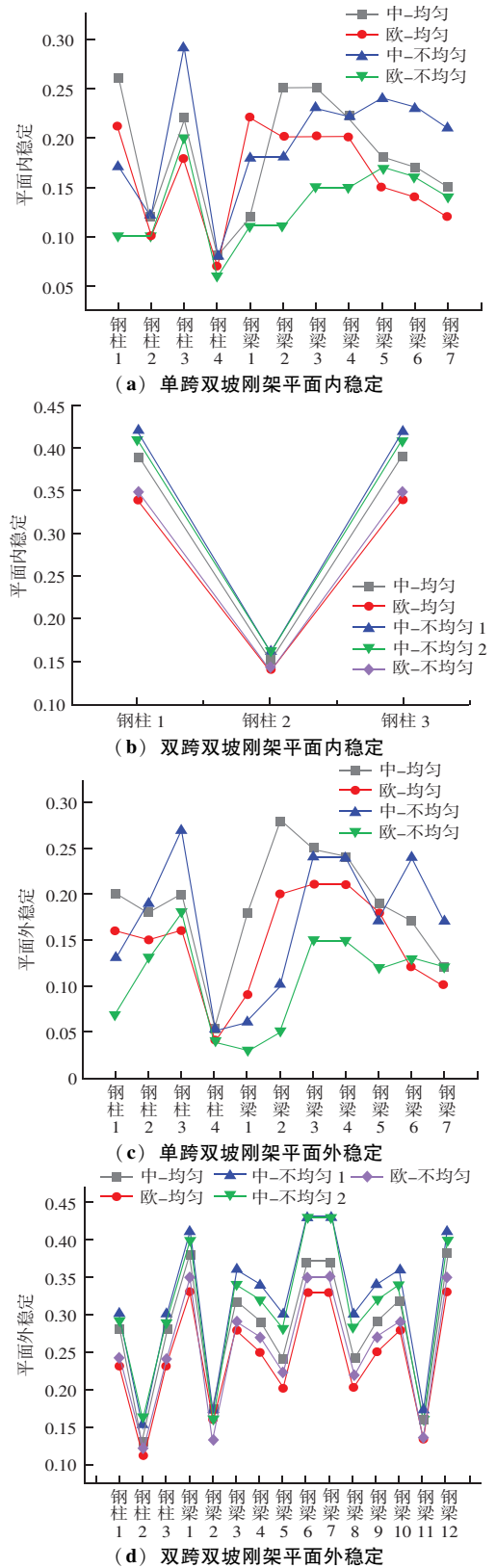


图 7 雪荷载各工况刚架稳定性

Fig. 7 Stability of rigid frames under snow load in various working conditions

建筑结构

表 2 最不利构件平面内外稳定应力比汇总

工况	结构形式	平面内			平面外		
		《中国规范》	《欧洲规范》	超出比例/%	《中国规范》	《欧洲规范》	超出比例/%
均匀	单跨双坡刚架	0.26	0.21	23.8	0.17	0.12	41.7
	双跨双坡刚架	0.39	0.34	14.7	0.16	0.13	23.1
不均匀	单跨双坡刚架	0.26	0.21	23.8	0.13	0.07	85.7
	双跨双坡刚架	0.42	0.35	20.0	0.30	0.22	36.4

3.4 挠度

挠度是衡量结构变形量的指标。雪荷载工况下刚架挠度如图 8 所示。《中国规范》计算结果偏大，在单坡双跨刚架中，均匀雪荷载下结构跨中挠度较《欧洲规范》计算结果最大超出 20.1%，不均匀工况下最大超出 70.3%；在双坡双跨刚架中均匀工况下最大超出 15.3%，不均匀工况下最大超出 22.6%。

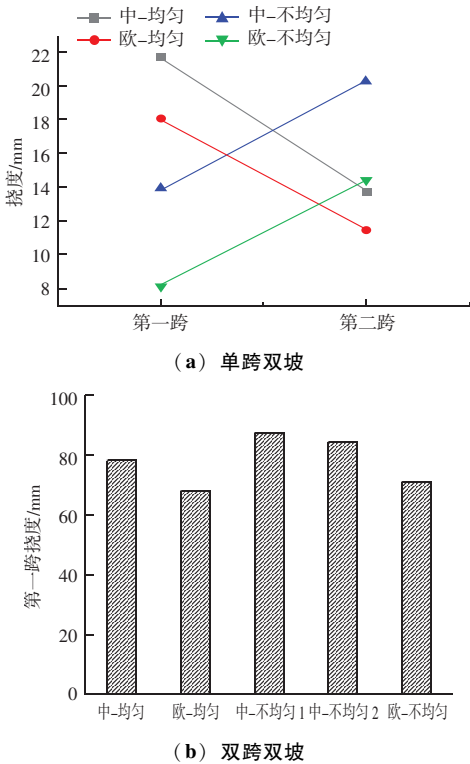


图 8 刚架挠度
Fig. 8 Deflection of rigid frame

4 结论

基于中欧雪荷载规范对门式刚架加固项目进行对比分析，得出如下结论：

(1) 对雪荷载计算公式而言，《中国规范》较为简单，《欧洲规范》中遮挡系数与热系数的引入与积

雪堆积处系数的取值并非定值，造成了计算结果的明显差异。

(2) 对单跨、双跨双坡刚架进行有限元建模与静力分析，《中国规范》计算结果较《欧洲规范》普遍偏大，在不均匀雪荷载分布工况更为显著。

参 考 文 献

[1] 弓晓芸. 轻型钢结构建筑发展回顾及展望 [C] // 中国建筑金属结构协会钢结构专家委员会. 钢结构与金属屋面新技术应用. 中国建筑工业出版社, 2015: 9.

[2] 苗青青, 石春艳, 张香平. 碳中和目标下的光伏发电技术 [J]. 化工进展, 2022, 41 (3): 1125 - 1131.

[3] 艾琳, 司俊龙, 陈喜军. 2024 年中国光伏发电行业发展现状与展望 [J/OL]. 水力发电, 1 - 6 [2025 - 03 - 23].

[4] 李志永, 陈宇, 杨向燊, 等. 叶水福国际物流 (天津) 有限公司仓库雪灾钢结构加固修复施工技术 [C] // 天津大学, 天津市钢结构学会. 第二十三届全国现代结构工程学术研讨会论文集. 天津天保建设发展有限公司; 天津建工科技有限公司 2023. 026489.

[5] 舒兴平, 彭力, 袁智深. 2008 年南方特大冰雪灾害对钢结构工程破坏的典型实例及原因分析 [C]. 钢结构工程研究 (七) —— 中国钢结构协会结构稳定与疲劳分会 2008 年学术交流会议论文集, 2008 (总第 11 期).

[6] 刘春雨, 杜文凤, 孙云, 等. 雪灾致轻型门式刚架结构破坏的形式及机理分析 [J]. 河南大学学报 (自然科学版), 2017, 47 (2): 230 - 239.

[7] 陈海华. 某厂房雪灾后屋面系统 (可靠性) 检测鉴定 [J]. 建材与装饰, 2018 (16): 62 - 63.

[8] 胡敬盼, 蒋将. 轻钢结构厂房雪灾损伤预测及防灾措施研究 [J]. 山西建筑, 2017, 43 (30): 54 - 56.

[9] 郭浩翔. 门式刚架轻钢厂房冰雪荷载智能监测和预警系统 [D]. 成都: 西华大学, 2016.

[10] 王宗让, 王振山, 苏明周, 等. 轻型门式刚架房屋灾害破坏及防灾减灾问题分析 [J]. 西安建筑科技大学学报 (自然科学版), 2015, 47(6): 868 - 873.

[11] 周亚彤, 贾智慧. 大型钢结构厂房加固改造技术探析 [J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23 (8): 56 - 58.

[12] 刘志祥, 余志祥, 何欢, 等. 典型单跨低坡度双坡屋面的风致雪堆试验研究 [J]. 建筑结构学报, 2024, 45 (5): 136 - 144.

[13] MEGLIO E, FORMISANO A. Design and modelling strategy for cold - formed steel exoskeletons for the seismic - energy retrofit of reinforced concrete structures [J]. Structures, 2024, 69107502.

[14] GALLEGO E, FUENTES M J, RAMÍREZ - GÓMEZ A, et al. Effects of different snow load arrangements on steel silo roof structures [J]. Advances in Structural Engineering, 2018, 21

- (16): 2507–2517.
- [15] CAO C Y, LIU M, WANG Q Y, et al. Reliability assessment under combinations of snow load effect: the lightweight steel structures with gabled frames and components designs [J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2012, 1799 (166–169).
- [16] TOGAN V, DURMAZ M, DALOLU A. Optimization of roof trusses under the snow loads given in turkish code and the gis-based snow load map [J]. *Engineering structures*, 2022 (11): 62.
- [17] 孙绪杰, 王凤来, 张厚, 等. 改变结构体系加固方法的应用 [J]. *建筑结构*, 2013, 43 (14): 87–89, 99.
- [18] 谢阳, 戴阳, 王永泉. 门式刚架钢结构厂房新型加固技术的应用 [J]. *江苏建筑*, 2019 (4): 57–60.
- [19] 赵更歧, 倪克, 王庆辉, 等. 粘钢加固门式刚架 Γ 型梁柱节点锚固方法研究 [J]. *工程抗震与加固改造*, 2021, 43 (2): 130–136.
- [20] 门式刚架轻型房屋钢结构技术规范: GB 51022—2015 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [21] Eurocode 1 – Actions on structures – Part 1 – 3: general actions – Snow loads – National annex to NF EN 1991 – 1 – 3: 2004 – General actions – Snow loads: NF P06 – 113 – 1/NA/A1 – 2011 [S]. The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC.
- [22] 倪桂和. 基于荷载规范的轻钢结构雪致破坏原因研究 [D]. 广州: 广州大学, 2017.
- ~~~~~
- (上接第 78 页)
- [9] 高旭, 郭建波, 晏鄂川. 考虑止水帷幕的深基坑降水预测解析计算 [J]. *岩土力学*, 2018, 39 (4): 1431–1439.
- [10] 张军, 冯佳蕊, 翟少磊. 洞庭湖大桥锚定基坑降水及对地连墙影响分析 [J]. *地下空间与工程学报*, 2018, 14 (增刊 1): 256–262.
- [11] 马玉飞, 刘焕玉, 熊辉, 等. 深基坑开挖降水对周边环境的影响分析 [J]. *水利技术监督*, 2022 (7): 250–255.
- [12] 魏嵩琦. 兰州地铁车站深基坑开挖及降水对周边管道影响的数值分析研究 [D]. 兰州: 兰州理工大学, 2014.
- [13] 周勇, 魏嵩琦, 朱彦鹏. 兰州地铁车站深基坑开挖过程中降水对邻近地下管道的影响 [J]. *岩土工程学报*, 2014, 36 (增刊 2): 495–499.
- [14] 朱大鹏, 谢昌建, 杨阳. 深基坑开挖及降水诱发邻近建筑物变形破坏机理及影响因素 [J]. *科学技术与工程*, 2022, 22 (3): 1166–1172.
- [15] 李曙光, 吴应明, 王洪坤. 富水软土地区不同降水开挖工况下深基坑变形研究 [J]. *施工技术 (中英文)*, 2022, 51 (1): 26–31.
- (上接第 101 页)
- [5] HU J Z, LI S, ZHANG J, et al. Pitting corrosion initiated by $\text{SiO}_2\text{-MnO-Cr}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ -based inclusions in a 304 stainless steel [J]. *Journal of Iron and Steel Research International*, 2024, 31 (9): 2281–2293.
- [6] ZOU J Y, WANG Z W, MA Y L, et al. Role of gradient nano-structured surface in collapsed pitting corrosion on AISI 316L stainless steel during tribocorrosion [J]. *Corrosion Science*, 2022, 197: 110043.
- [7] 阮建, 王欣怡, 刘宏洲, 等. 基于均匀和局部腐蚀模型的海上风电单桩基础承载特性 [J]. *中国海洋平台*, 2023, 38 (4): 42–47.
- [8] 赵炳震, 杜颜胜, 李存良. 随机锈蚀 H 型钢柱偏压承载力分析 [J]. *结构工程师*, 2024, 40 (2): 33–41.
- [9] 张志强. 石墨烯改性复合涂层体系制备及其在环氧树脂生产装置钢结构设施的防腐蚀应用 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2024.
- [10] WYSOKOWSKI A. The impact of corrosion on the fatigue strength of steel used in bridge structures [J]. *Ochrona przed Korozją*, 2024, 67 (1): 2–8.
- [11] ALMASHAKBEHY Y, SALEH E., AL – AKHARS N M, et al. Evaluation of half – cell potential measurements for reinforced concrete corrosion, *Coatings*, 2022, 12 (7): 975.
- [12] 张恩旺, 潘金龙, 梁鸿宇, 等. 钢结构的腐蚀及防腐措施的研究 [J]. *安徽建筑*, 2022, 29 (6): 70–71.
- [13] 刘新宇. 加装电梯钢结构防腐涂装的技术 [J]. *全面腐蚀控制*, 2024, 38 (10): 197–199.
- [14] 石廷阅, 杨晓红, 程馨, 等. 钢结构表面光电阴极保护材料及其光阳极最新研究进展 [J]. *表面技术*, 2024, 53 (19): 27–39.
- [15] 吴斌, 王晓天. 钢结构建筑锈蚀及防腐处理的技术研究 [J]. *全面腐蚀控制*, 2024, 38 (11): 93–95.
- [16] 何童童. 钢结构桥梁设计中的耐久性与腐蚀防护措施 [J]. *新城建科技*, 2024, 33 (3): 86–88.