

# 精细化工厂房结构设计的中美欧规范对比研究

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/UAID.2026010029

**摘 要 :** 精细化工厂房具有设备布置密集、腐蚀性介质普遍、消防安全要求严格等特点,其主体结构设计标准远高于一般工业建筑。本文以 GB 51283-2020 对精细化工企业的定义为基础,系统对比了中国 (GB)、美国 (ASCE/ACI)、欧洲 (EN) 三套规范体系在精细化工厂房主体结构设计中关于楼面活荷载、耐久性措施、设计使用年限等方面的技术要求差异。研究表明,上述差异对海外 EPC 项目的造价估算和合规审查有直接影响。

**关 键 词 :** 精细化工厂房; 结构设计; 欧洲规范; 美国规范; 规范对比; 耐久性; 活荷载折减

## Comparative Study on Chinese, American and European Codes for Structural Design of Fine Chemical Plants

Liao Shuiquan

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

**Abstract :** Fine chemical plants feature dense equipment layout, common corrosive media, and strict fire safety requirements. The structural design standard is much higher than ordinary industrial buildings. For fine chemical plant structures, Chinese (GB), American (ASCE/ACI) and European (EN) codes are compared in this paper on floor live load, durability measures and design service life. The comparison shows obvious differences among the three code systems. These differences have direct impact on cost estimation and compliance review in overseas EPC projects.

**Keywords :** fine chemical plant; structural design; Eurocode; American codes; code comparison; durability; live load reduction

### 引言

随着国内化工行业国际化进程加快,工程设计企业承接海外 EPC 项目日益增多。然而,海外项目通常要求采用美标或欧标进行设计,国内工程师对这些规范体系相对陌生。精细化工工业厂房因其功能的特殊性,结构设计较一般工业建筑更为复杂,规范差异带来的影响也更为显著。

近年来,中美欧三套规范体系中的荷载规范与混凝土结构规范相继换版:美国方面,混凝土规范 ACI 318-25 于 2025 年初发布,荷载规范 ASCE 7-22 于 2021 年底发布;欧洲方面,混凝土规范 EN 1992-1-1:2023 于 2023 年 11 月发布。本文基于上述最新版本,系统对比了中美欧三套规范在精细化工厂房结构设计中的技术要求,为海外 EPC 项目设计提供参考。

根据 GB 51283-2020《精细化工企业工程设计防火标准》第 2.0.1 条规定,精细化工企业是指以基础化学工业生产的初级或次级化学品、生物质材料等为起始原料,进行深加工而制取具有特定功能、特定用途、小批量、多品种、附加值高和技术密集的精细化工产品的工厂。该标准涵盖农药、染料、涂料、颜料、试剂、医药中间体、食品添加剂、催化剂、电子化学品、功能高分子材料等 21 大类行业。

精细化工厂房的结构设计区别于普通工业厂房,主要原因有三:首先,防腐蚀要求较高,由于生产过程涉及酸、碱、盐及有机溶剂等介质,因此对结构材料耐久性要求高;其次,设备布置密集,此类工业厂房的楼面活荷载普遍高于一般工业建筑;此外,火灾危险性高。本文将重点针对结构设计中的荷载与耐久性问题展开讨论。

### 一、规范体系概述

中美欧三套规范体系各自庞大,涵盖荷载、混凝土、钢结构、地基基础、抗震等多个专业领域。本文中,精细化工厂房的主体结构主要涉及两类问题:一是楼面活荷载的取值与折减;二是腐蚀环境下的耐久性措施。本文围绕上述两类问题,选取三套体系中

对应的荷载规范和防腐蚀规范进行讨论比较。

中国规范体系采用国家标准 (GB) 与行业标准相结合的模式。荷载取值应依据 GB 50009《建筑结构荷载规范》,防腐蚀设计应依据 GB 50046《工业建筑防腐蚀设计标准》。

美国规范体系由各专业学会分别制定,通过 IBC(International Building Code)统一引用后具有法律效力。荷载规范为 ASCE/

SEI 7-22《Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures》,由美国土木工程师学会(ASCE)发布;混凝土结构规范为ACI 318-25《Building Code Requirements for Structural Concrete》,由美国混凝土学会(ACI)发布;钢结构规范为AISC 360-22《Specification for Structural Steel Buildings》,由美国钢结构学会(AISC)发布。化工行业另有PIP(Process Industry Practices)系列标准对上述通用规范进行补充。

欧洲规范体系以Eurocode系列标准为核心,由欧洲标准化委员会(CEN)制定,各成员国通过发布国家附录(National Annex, NA)确定本国采用的参数值。荷载规范为EN 1991-1-1:2002《Eurocode 1: Actions on Structures》;混凝土结构规范为EN 1992-1-1:2023《Eurocode 2: Design of Concrete Structures》,该版本为第二代欧洲规范,于2023年11月发布,大幅减少了国家自定参数(Nationally Determined Parameters, NDP)数量;混凝土材料与配合比要求见EN 206:2013+A2:2021《Concrete – Specification, Performance, Production and Conformity》。

中美欧三套规范体系对照见表1。

表1 中美欧规范体系对照

| 类别  | 中国            | 美国            | 欧洲                     |
|-----|---------------|---------------|------------------------|
| 荷载  | GB 50009-2012 | ASCE 7-22     | EN 1991-1-1:2002       |
| 混凝土 | GB 50010-2010 | ACI 318-25    | EN 1992-1-1:2023       |
| 钢结构 | GB 50017-2017 | AISC 360-22   | EN 1993-1-1:2022       |
| 防腐蚀 | GB 50046-2018 | ACI 201.2R-16 | BS EN 206-2013+A2-2021 |

本文针对楼面活荷载、腐蚀环境防护、设计使用年限三个方面,对比分析中美欧规范的技术差异。

## 二、楼面活荷载

### (一) 分类方法

GB 50009-2012按房屋功能分类,附录D列出了各类工业建筑楼面活荷载参考值。ASCE 7-22按使用类别分类,工业建筑分为轻型(Light Manufacturing)和重型(Heavy Manufacturing)两档,以100 psf(4.79 kN/m<sup>2</sup>)为界。EN 1991-1-1则将工业建筑归入Category E,该类别可再细分为E1和E2两类。三套规范体系中关于荷载分类方法对比见表2。

表2 荷载分类方法对比

|             | 分类依据 | 工业建筑分类            | 备注                       |
|-------------|------|-------------------|--------------------------|
| GB 50009    | 房屋功能 | 按生产类型细分           | 附录D                      |
| ASCE 7-22   | 使用类别 | Light/Heavy       | 4.79kN/m <sup>2</sup> 为界 |
| EN 1991-1-1 | 活动类型 | Category E: E1/E2 | 国家附录细化                   |

### (二) 荷载取值

中美欧规范对工业厂房典型区域的楼面活荷载取值对比见表3。由表3可知,三套规范的取值方法存在明显差异:GB 50009附录D按车间类型进行细分,重型金工车间的荷载值可达22 kN/m<sup>2</sup>;ASCE 7-22采用轻型/重型二分法,其中重型厂房(Heavy

Manufacturing)统一取11.97 kN/m<sup>2</sup>(250 psf);EN 1991-1-1给出7.5~15.0 kN/m<sup>2</sup>的参考范围,由设计人员根据具体情况确定。

表3 典型区域楼面活荷载取值(kN/m<sup>2</sup>)

| 区域类型   | GB 50009 | ASCE 7-22 | EN 1991-1-1 |
|--------|----------|-----------|-------------|
| 轻型生产车间 | 3.0~5.0  | 6.00      | 3.0~5.0     |
| 重型生产车间 | 8.0~22.0 | 11.97     | 7.5~15.0    |
| 走道/楼梯  | ≥ 3.5    | 4.79      | 3.0~5.0     |
| 仓库     | 5.0      | 6.00      | 7.5         |

注:1. GB 50009附录D按行业细分,表中数值为典型车间的取值范围;2. ASCE 7-22数值换算系数为0.0479 kN/m<sup>2</sup>/psf;3. EN 1991-1-1数值取自Table 6.3。

### (三) 活荷载折减

三套规范的活荷载折减规则对比见表4。由表4可知,GB 50009-2012第5.1.2条允许按从属面积和楼层数进行活荷载折减,附录D注4规定工业建筑墙、柱、基础可采用与主梁相同的荷载值。ASCE 7-22 Section 4.7.3规定:超过100 psf(4.79 kN/m<sup>2</sup>)的活荷载不得折减,仅支撑两层以上的构件最多允许折减20%。EN 1991-1-1也允许活荷载折减,第6.3.1.2(10)条规定,A至E类区域(含工业建筑)可按从属面积采用折减系数 $\alpha_A$ ,基准面积 $A_0$ 取10.0 m<sup>2</sup>。

表4 活荷载折减规则对比

| 规范          | 折减条件                                  | 工业建筑适用性        |
|-------------|---------------------------------------|----------------|
| GB 50009    | 按从属面积和楼层数折减                           | 适用,墙柱基础可取主梁荷载值 |
| ASCE 7-22   | >100 psf(4.79 kN/m <sup>2</sup> )禁止折减 | 重型车间基本不可折减     |
| EN 1991-1-1 | 按面积( $\alpha_A$ )和层数( $\alpha_n$ )折减  | 适用于E类工业建筑      |

荷载折减的差异对精细化工厂房的结构设计影响较为显著。由于化工生产车间活荷载普遍超过4.79 kN/m<sup>2</sup>,采用ASCE 7-22进行设计时,因不得进行活荷载折减,柱和基础的设计荷载较采用中欧规范明显偏大,从而导致结构用材量相应增加。这一限制对海外EPC项目的造价影响尤为明显,建议设计人员在方案阶段即针对此项差异进行专项复核。

## 三、腐蚀环境与防护设计

### (一) 环境分类体系

GB 50046-2018第3.1.1条将腐蚀性介质按存在形态分为气态、液态、固态三类,第2.0.1条按腐蚀程度分为强腐蚀、中腐蚀、弱腐蚀、微腐蚀四级。ACI 318-25 Section 19.3.1将影响混凝土耐久性的环境作用分为四个类别:F(冻融循环)、S(硫酸盐侵蚀)、W(接水环境)、C(钢筋锈蚀防护)。每个类别再细分若干等级。EN 206:2013+A2:2021 Section 4.1将影响混凝土耐久性的环境作用分为六个类别:X0(无锈蚀或侵蚀风险)、XC(碳化引起的锈蚀)、XD(非海水氯化物引起的锈蚀)、XS(海水氯化物引起的锈蚀)、XF(冻融侵蚀)、XA(化学侵蚀)。

由上文可知,三套规范在腐蚀环境分类方法上存在明显差异。

GB 50046按介质形态和腐蚀程度两个维度划分;ACI 318-25按冻融、硫酸盐、接水、钢筋锈蚀四类环境因素分别评估,同一构件可能同时属于多个类别;EN 206按碳化、氯化物、冻融、化学侵蚀等劣化机理分为六大类,每类再分3~4个等级。

（二）混凝土材料要求

确定使用环境等级后,需根据对应等级查取混凝土材料的具体要求。为便于横向对比,本文以强腐蚀环境为例,对比三套规范在此类环境下的混凝土材料要求,结果见表5。其中,GB 50046取“强腐蚀”等级,ACI 318-25取 S3等级,EN 206取 XA3等级。

| 表5 强腐蚀环境混凝土材料要求 |                       |               |                       |
|-----------------|-----------------------|---------------|-----------------------|
| 参数              | GB 50046表4.2.3        | ACI 318-25 S3 | EN 206 XA3            |
| 最低强度等级          | C40                   | 31/35 MPa     | C35/45                |
| 最大水胶比           | 0.40                  | 0.45/0.40     | 0.45                  |
| 最小胶材用量          | 340 kg/m <sup>3</sup> | —             | 360 kg/m <sup>3</sup> |
| 水泥类型            | 抗硫酸盐                  | Type V        | 抗硫酸盐                  |

通过对比可以发现,三套规范对水胶比的要求基本一致,均控制在0.40~0.45范围内。强度等级方面,GB 50046要求 C40,EN 206要求 C35/45,ACI 318-25要求31/35 MPa,三者接近但GB略高。ACI 201.2R-23 Section 7.3.3指出,粉煤灰和硅粉等火山灰材料可降低氢氧化钙含量,提高混凝土抗酸能力。但该指南同时指出,没有任何一种水硬性水泥混凝土能长时间抵御强酸性水(pH≤3)的侵蚀,对于此类极端环境,通常需要采用保护屏障系统。

（三）混凝土保护层厚度

混凝土保护层厚度是耐久性设计的关键参数,直接影响钢筋的锈蚀防护效果。通过对比三套规范可以发现,其划分逻辑存在本质差异:美欧规范按使用环境类型(如碳化、氯化物、接触土壤等)直接确定保护层厚度;中国规范 GB 50046则采用“介质性质+腐蚀等级”的双重判定体系,先将环境划分为强、中、弱、微四个腐蚀等级,再根据构件类型(条形构件或面形构件)确定保护层厚度。为便于横向对比,表6将三套规范按相近的使用环境进行归类。

| 表6 混凝土保护层厚度对比 (mm) |                |            |                  |
|--------------------|----------------|------------|------------------|
| 使用环境               | GB 50046表4.2.5 | ACI 318-25 | EN 1992-1-1:2023 |
| 室内干燥(板墙/梁柱)        | 30/35          | 20         | 15               |
| 室外一般(板墙/梁柱)        | 30/35          | 38~50      | 30               |
| 强腐蚀(板墙/梁柱)         | 35/40          | 50         | 40               |
| 永久接触土壤(基础)         | 50             | 75         | 40               |

由表6可知,三套规范差异最显著的是永久接触土壤的基础构件:ACI 318-25要求75mm,GB 50046要求50mm,EN 1992-1-1要求40mm。ACI 318-25对保护层厚度的要求较 GB 50046增加50%,较欧标 EN 1992-1-1增加近90%。该差异的主要原因在于美国规范对钢筋锈蚀防护的安全储备要求更高。这一差异不仅直接影响基础构件的有效截面高度和配筋构造,还会增加混凝土用量。因此,在采用美标进行设计时,应在方案阶段即考虑加大基础埋深或调整基础形式,以避免后期设计变更。

（四）钢结构涂层厚度

GB 50046-2018表5.2.3规定了钢结构涂层最小厚度:强腐蚀环境下,防护层使用年限大于15年时不应小于320μm,11~15年不应小于280μm,6~10年不应小于240μm。表5.2.3注4规定,室外工程涂层厚度宜增加20~40μm。美国规范方面,AISC 303-22引用 SSPC 系列标准进行钢结构涂层设计;欧洲规范方面,EN 1090-2引用 ISO 12944 系列标准。两者均由设计人员根据环境条件选择具体涂层体系。

四、设计使用年限

设计使用年限是结构耐久性设计的基础参数,直接影响混凝土强度、保护层厚度等指标的选取。三套规范对设计使用年限的分级方式对比见表7。

| 表7 设计使用年限与结构等级 |          |            |                  |
|----------------|----------|------------|------------------|
| 结构类型           | GB 50068 | ACI 318-25 | EN 1992-1-1:2023 |
| 临时结构           | 5年       | —          | 10年(S1)          |
| 易替换构件          | 25年      | —          | 25年(S2)          |
| 普通建筑           | 50年      | 50年        | 50年(S4)          |
| 重要建筑           | 100年     | 75~100年    | 100年(S6)         |

三套规范均以50年作为普通建筑的基准设计年限。GB 50068将设计年限分为5年、25年、50年、100年四档;EN 1992-1-1:2023采用结构等级(S1~S6)与设计年限挂钩,设计年限100年时结构等级应在基准等级上增加2级;ACI 318对临时结构和易替换构件未作明确规定。精细化工厂房的设计使用年限应结合工艺寿命、设备折旧年限等因素综合确定。由于精细化工产品更新周期较短,生产线寿命一般仅15~20年,结构设计年限的确定需权衡初期投资与全寿命周期成本。

五、结论

通过对比分析中国 GB、美国 ASCE/ACI、欧洲 EN 三套规范体系在精细化工厂房结构设计中的技术要求,得出以下结论:

- (1)活荷载取值与折减:GB 50009按行业类型细分,取值范围为3.0~22.0 kN/m<sup>2</sup>;ASCE 7-22采用轻型/重型二分法,以4.79 kN/m<sup>2</sup>为界,且超过此值不得折减;EN 1991-1-1给出参考范围,允许按面积和层数折减。化工生产车间活荷载普遍超过4.79 kN/m<sup>2</sup>,采用 ASCE 7-22设计时,柱和基础荷载普遍偏大,结构用材量相应增加。
- (2)腐蚀环境分类:三套规范分类逻辑不同。GB 50046按介质形态和腐蚀程度划分;ACI 318-25按 F/S/W/C 四类因素分别评估;EN 206按劣化机理分为六大类。设计人员需熟悉各体系的判定方法,避免等级对应错误。
- (3)混凝土材料要求:强腐蚀环境下,三套规范对水胶比要求基本一致(0.40~0.45),GB 50046对强度等级要求略高(C40)。pH≤3的极端酸性环境下,混凝土自身无法满足耐久性要求,需采用保护屏障系统。

(4)保护层厚度:差异最显著的是永久接触土壤的基础构件。ACI 318-25要求75mm,GB 50046要求50mm,EN 1992-1-1要求40mm。该差异直接影响基础构件的有效截面高度、配筋构造及混凝土用量。此外,GB 50046在同一腐蚀等级下区分条形构件和面形构件,美欧规范无此规定。

(5)设计使用年限:三套规范均以50年为基准。GB和EN明

确规定年限分档,ACI 318-25通过暴露环境等级和风险类别间接实现差异化要求。精细化工厂房设计年限应结合工艺寿命综合确定。

上述差异直接影响海外EPC项目的结构选型、材料用量和工程造价。建议设计人员在项目初期明确适用规范体系,针对活荷载折减、保护层厚度等关键参数进行专项复核。

## 参考文献

- 
- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50009-2012 建筑结构荷载规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
  - [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50046-2018 工业建筑防腐蚀设计标准[S]. 北京:中国计划出版社,2018.
  - [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 51283-2020 精细化工企业工程设计防火标准[S]. 北京:中国计划出版社,2020.
  - [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 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] American Society of Civil Engineers. ASCE 7-22 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures[S]. Reston: ASCE, 2022.
  - [6] American Concrete Institute. ACI 318-25 Building Code Requirements for Structural Concrete[S]. Farmington Hills: ACI, 2025.
  - [7] American Concrete Institute. ACI 201.2R-23 Guide to Durable Concrete[S]. Farmington Hills: ACI, 2023.
  - [8] European Committee for Standardization. EN 1991-1-1:2002 Eurocode 1: Actions on Structures[S]. Brussels: CEN, 2002.
  - [9] European Committee for Standardization. EN 1992-1-1:2023 Eurocode 2: Design of Concrete Structures[S]. Brussels: CEN, 2023.
  - [10] European Committee for Standardization. EN 206:2013+A2:2021 Concrete – Specification, Performance, Production and Conformity[S]. Brussels: CEN, 2021.