



中华人民共和国国家标准

GB/T 28576—2012

工业货架设计计算

Calculation of industrial rack design

2012-06-29 发布

2012-10-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 工业货架结构	2
4.1 自动化立体仓库货架	2
4.2 窄巷道托盘货架	6
4.3 普通托盘货架	7
5 计算方法与计算模型	8
5.1 计算原则	8
5.2 计算模型	8
6 计算工况与荷载组合	10
6.1 计算荷载	10
6.2 计算工况及荷载组合	11
7 强度校核	12
7.1 强度设计值	12
7.2 强度校核	13
8 刚度校核	13
8.1 变形计算	13
8.2 变形限值	13
9 稳定性校核	14
附录 A (资料性附录) 荷载组合计算表达式	15
附录 B (资料性附录) 构件强度计算公式	18
附录 C (资料性附录) 构件稳定性计算公式	20
参考文献	23

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国物流标准化技术委员会(SAC/TC 269)提出。

本标准由全国物流标准化技术委员会(SAC/TC 269)和全国物流仓储设备标准化技术委员会(SAC/TC 499)归口。

本标准起草单位:北京科技大学物流研究所、南京音飞储存设备工程有限公司、上海鼎虎工业设备有限公司、江苏六维物流设备实业有限公司、东莞市海力物流系统设备有限公司、南京万事达物流设备制造有限公司、南京音飞货架制造有限公司。

本标准主要起草人:王转、金跃跃、钱孝刚、赵德平、王士祥、周韬、裴超、谭颖、许晓润。

工业货架设计计算

1 范围

本标准规定了组装式工业货架的基本结构、计算模型、计算工况与荷载组合以及强度、刚度与稳定性校核方法。

本标准适用于组装式工业货架中的自动化立体仓库货架、窄巷道托盘货架、普通托盘货架的设计计算,其他类型货架可参照本标准执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 18354 物流术语

GB 50011—2010 建筑抗震设计规范

GB 50017 钢结构设计规范

GB 50018—2002 冷弯薄壁型钢结构技术规范

JB/T 9018 有轨巷道式高层货架仓库设计规范

3 术语和定义

GB/T 18354、GB 50017 和 JB/T 9018 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

工业货架 industrial rack

由立柱片、横梁(或悬臂梁)等承载构件组成,主要用于存储的货架。

3.2

自动化立体仓库货架 AS/RS rack

由立柱片、横梁(或悬臂梁)等承载构件组成,专门在自动化立体仓库中使用,配合有轨堆垛机作业,主要用于存放托盘装载单元。

3.3

窄巷道托盘货架 very narrow aisle pallet rack

由立柱片、横梁等承载构件组成,配合三向回转式叉车(或无轨堆垛机)作业,主要用于存放托盘装载单元。

3.4

普通托盘货架 pallet rack

由立柱片、横梁等承载构件组成,配合叉车作业,主要用于存放托盘装载单元。

3.5

牛腿式托盘货架 corbel pallet rack

由立柱片、悬臂梁等承载构件组成,主要用于存放托盘装载单元。

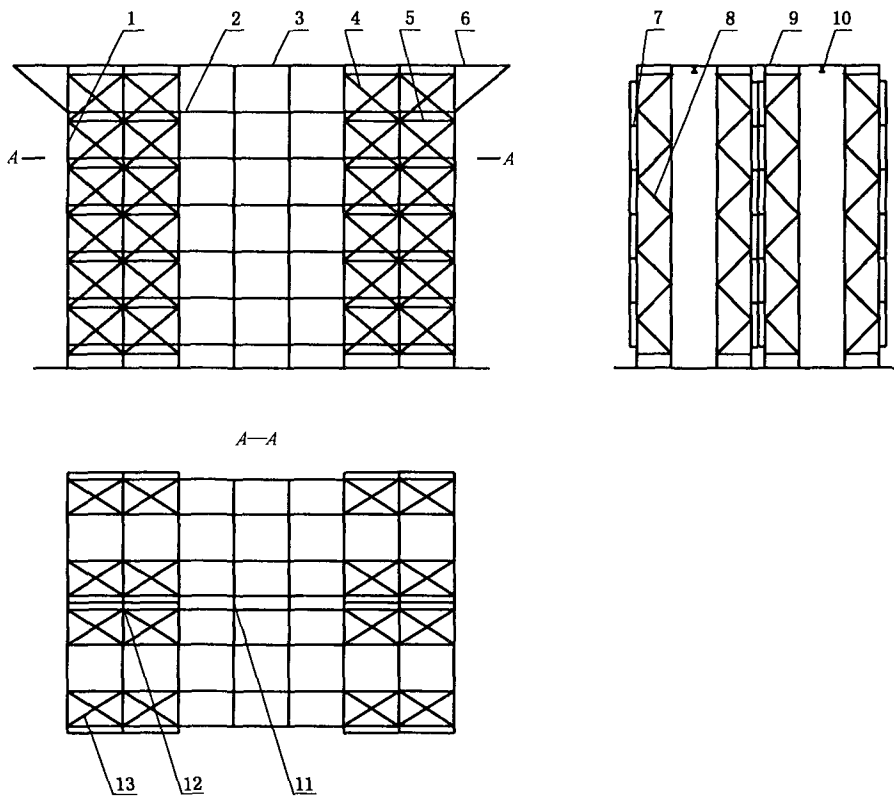
4 工业货架结构

4.1 自动化立体仓库货架

4.1.1 自动化立体仓库横梁式货架

4.1.1.1 总体结构及构成

自动化立体仓库横梁式货架的总体结构包括立柱、横梁、顶梁、水平系杆、垂直斜拉杆、垂直支撑连接梁、水平支撑、横斜撑、隔撑、天轨、天轨吊梁等,如图 1 所示。除隔撑外其余均为必要结构。

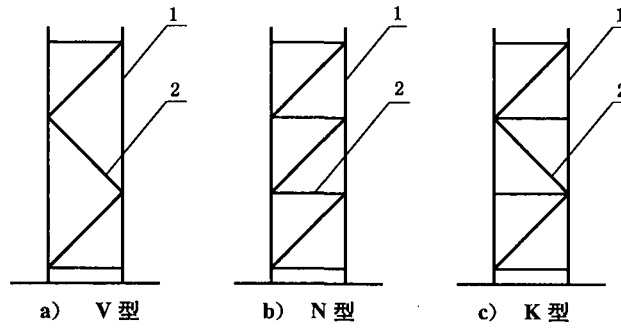


- | | |
|--------------|---------------|
| 1—立柱; | 8—横斜撑; |
| 2—横梁; | 9—天轨吊梁; |
| 3—顶梁; | 10—天轨; |
| 4—垂直斜拉杆; | 11—隔撑; |
| 5—水平系杆; | 12—双排垂直支撑连接梁; |
| 6—天轨支架; | 13—水平支撑。 |
| 7—单排垂直支撑连接梁; | |

图 1 自动化立体仓库横梁式货架总体结构

4.1.1.2 立柱片结构

立柱片由两根立柱和横斜撑组成,有 V 型、N 型或 K 型三种类型,如图 2 所示。

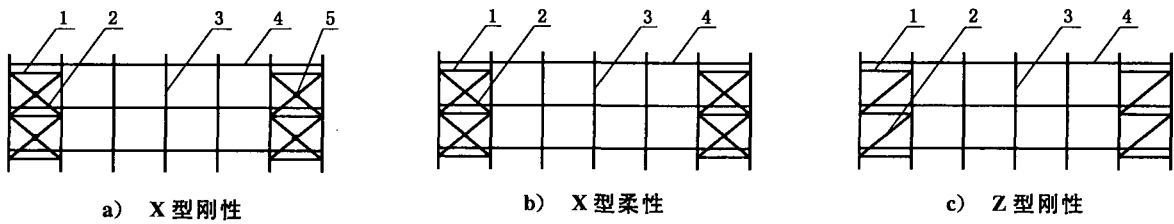


1——立柱；
2——横斜撑。

图 2 立柱片类型及结构

4.1.1.3 垂直支撑结构

垂直支撑由水平系杆和垂直斜拉杆组成，有 X 型刚性、X 型柔性和 Z 型刚性三种类型，如图 3 所示。每对垂直支撑可跨越 1 层或 2 层，也可跨越 1 列或 2 列，如图 4 所示。



1——水平系杆；
2——垂直斜拉杆；
3——立柱；
4——横梁；
5——螺栓。

图 3 垂直支撑类型及布置

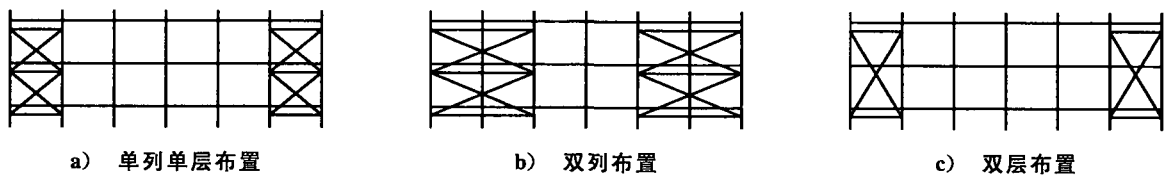


图 4 垂直支撑常见布置方式

4.1.1.4 水平支撑结构

水平支撑有 X 型、K 型和 V 型三种类型，在长度方向的布置宜与垂直支撑相对应，如图 5 所示。

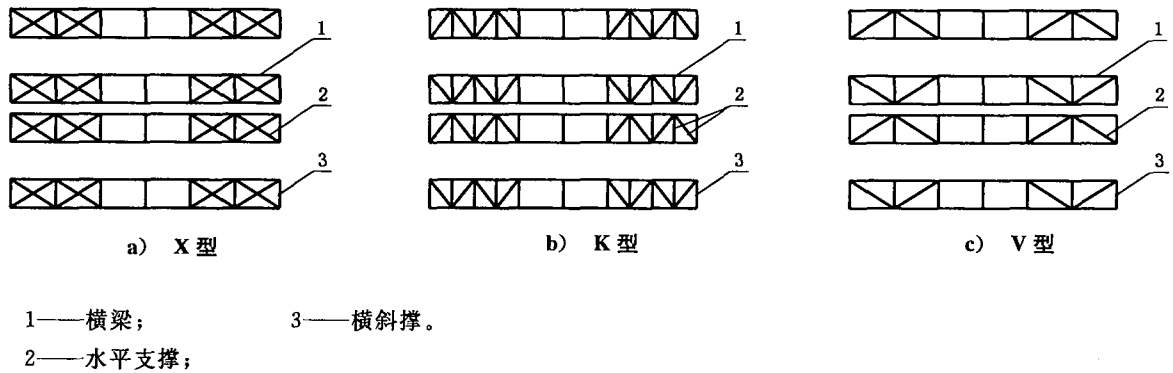
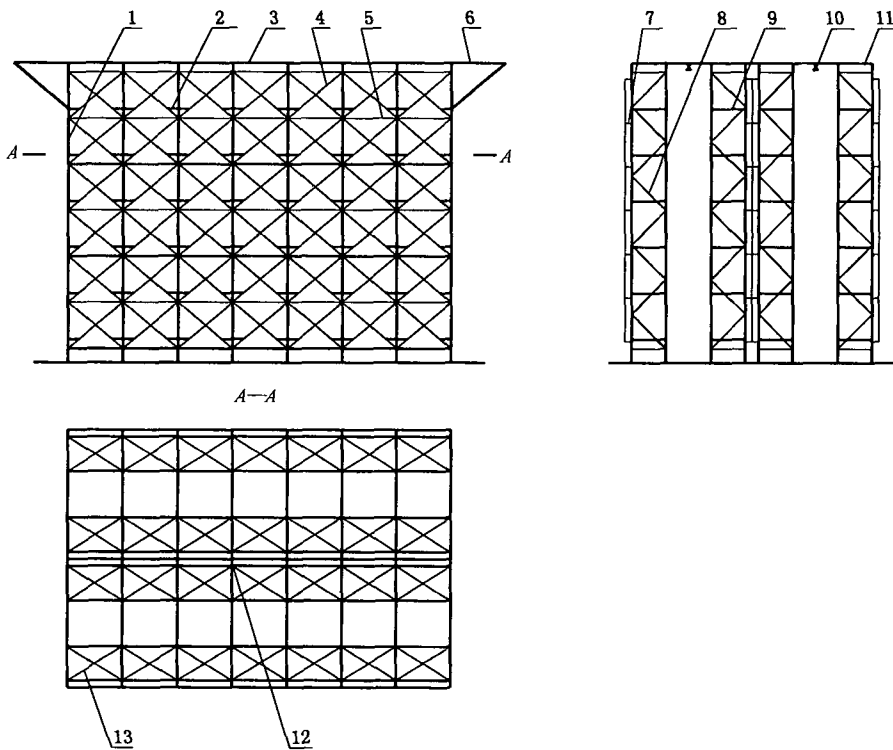


图 5 水平支撑类型及布置

4.1.2 自动化立体仓库牛腿式货架

4.1.2.1 总体结构及构成

自动化立体仓库牛腿式货架的总体结构包括立柱、横斜撑、悬臂梁、连续梁、牛腿梁、顶梁、水平系杆、垂直斜拉杆、水平支撑、垂直支撑连接梁、隔撑、天轨、天轨吊梁等,如图 6 所示。除隔撑外其余均为必要结构。



- | | |
|---------------|----------------|
| 1——立柱； | 8——横斜撑； |
| 2——悬臂梁； | 9——牛腿梁； |
| 3——顶梁； | 10——天轨； |
| 4——垂直斜拉杆； | 11——天轨吊梁； |
| 5——水平系杆； | 12——双排垂直支撑连接梁； |
| 6——天轨支架； | 13——水平支撑。 |
| 7——单排垂直支撑连接梁； | |

图 6 自动化立体仓库牛腿式货架总体结构

4.1.2.2 立柱片结构

同 4.1.1.2。

4.1.2.3 垂直支撑结构

垂直支撑有 X 型刚性、X 型柔性和 Z 型刚性三种类型,自动化立体仓库牛腿式货架的垂直支撑在长度方向应布满整个货架,如图 7 所示。每对垂直支撑可跨越 1 层或 2 层,也可跨越 1 列或 2 列,如图 8 所示。

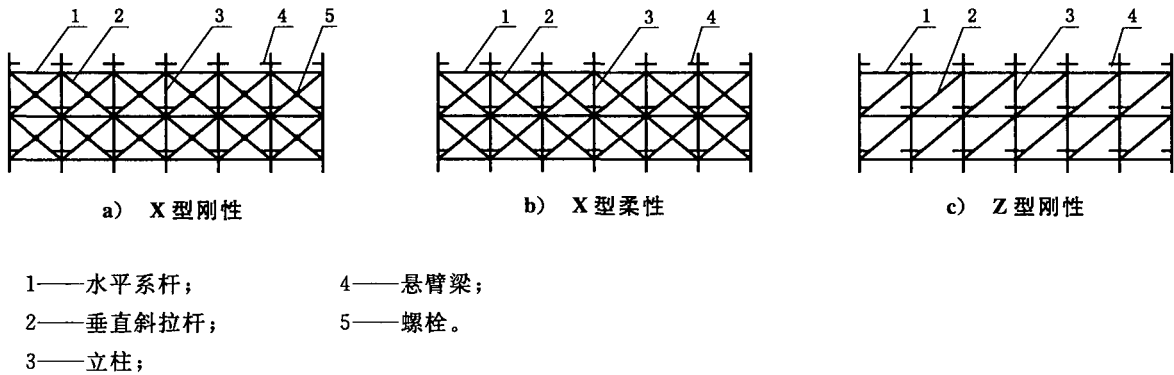


图 7 垂直支撑类型及布置

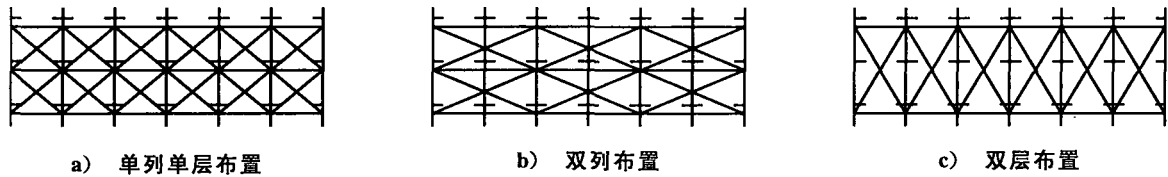
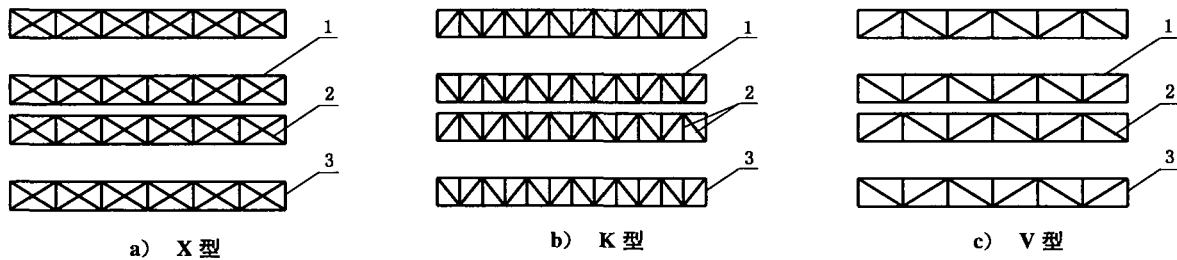


图 8 垂直支撑常见布置方式

4.1.2.4 水平支撑结构

水平支撑有 X 型、K 型和 V 型三种类型,如图 9 所示。自动化立体仓库牛腿式货架的水平支撑在长度方向应布满整个货架,高度方向可每层都布置,或每隔 1 层~2 层布置一组。



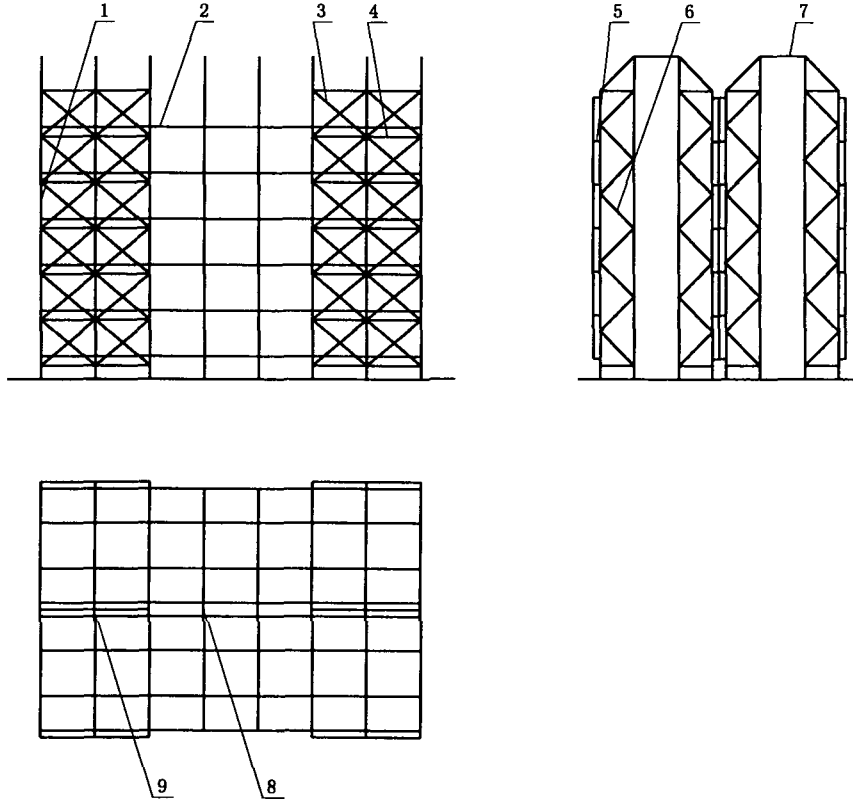
1——水平系杆;
2——水平支撑;
3——横斜撑。

图 9 水平支撑类型及布置

4.2 窄巷道托盘货架

4.2.1 总体结构及构成

窄巷道托盘货架的总体结构包括立柱、横梁、垂直支撑、垂直支撑连接梁、横斜撑、隔撑、龙门梁等，如图 10 所示。其中，立柱、横斜撑、横梁、龙门梁为必要结构，其余均为可选结构。



- | | |
|---------------|---------------|
| 1——立柱； | 6——横斜撑； |
| 2——横梁； | 7——龙门梁； |
| 3——垂直斜拉杆； | 8——隔撑； |
| 4——水平系杆； | 9——双排垂直支撑连接梁。 |
| 5——单排垂直支撑连接梁； | |

图 10 窄巷道托盘货架总体结构

4.2.2 立柱片结构

同 4.1.1.2。

4.2.3 垂直支撑结构

同 4.1.1.3，当货架层数大于 6 时，宜每 5 列~6 列增加一组垂直支撑，在长度方向宜布置在货架的两端和中间位置。

4.2.4 水平支撑结构

同 4.1.1.4，当货架层数大于 6 时，宜增加水平支撑，在长度方向的布置宜与垂直支撑保持一致，高度方向可每层都布置，或每隔 1 层~2 层布置一组。

4.2.5 龙门梁结构

龙门梁结构有全高和高低结合两种类型,如图 11 所示。

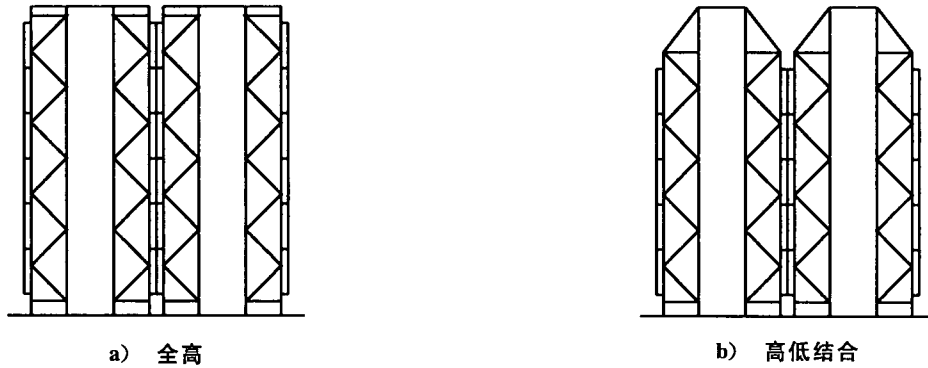
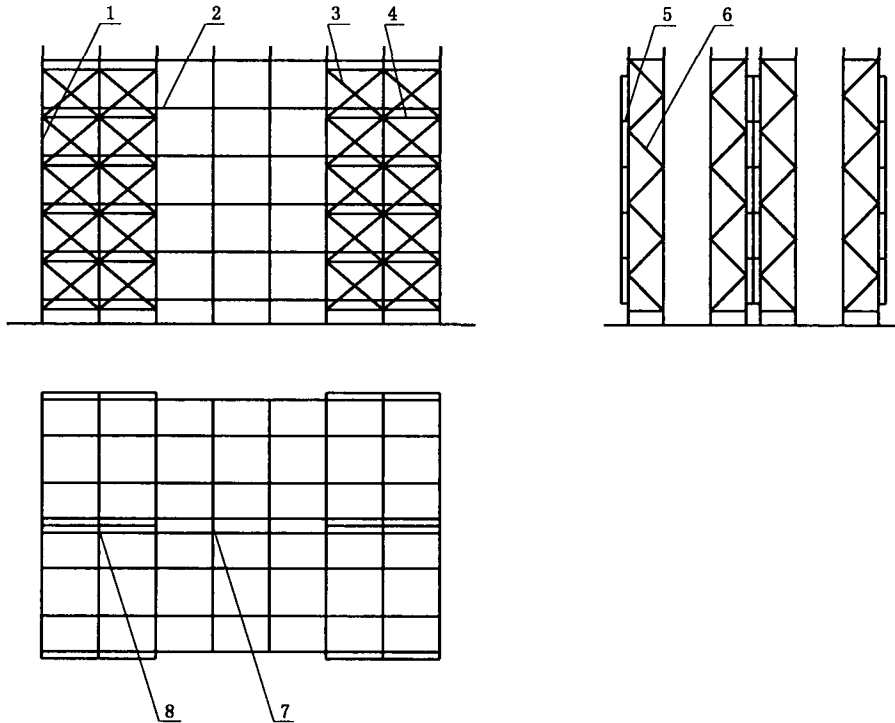


图 11 龙门梁结构类型

4.3 普通托盘货架

4.3.1 总体结构及构成

普通托盘货架的总体结构包括立柱、横梁、垂直支撑、垂直支撑连接梁、横斜撑、隔撑等,如图 12 所示。其中,立柱、横斜撑、横梁为必要结构,其余均为可选结构。



- 1——立柱;
- 2——横梁;
- 3——垂直斜拉杆;
- 4——水平系杆;
- 5——单排垂直支撑连接梁;
- 6——横斜撑;
- 7——隔撑;
- 8——双排垂直支撑连接梁。

图 12 普通托盘货架总体结构

4.3.2 立柱片结构

同 4.1.1.2。

4.3.3 垂直支撑结构

同 4.1.1.3,当货架层数大于 6 时,宜每 5 列~6 列增加一组垂直支撑,在长度方向宜布置在货架的两端和中间位置。

4.3.4 水平支撑结构

同 4.1.1.4,当货架层数大于 6 时,宜增加水平支撑,在长度方向的布置宜与垂直支撑保持一致,高度方向可每层都布置,或每隔 1 层~2 层布置一组。

4.3.5 龙门梁结构

同 4.2.5,当立柱片的高度和宽度的比例大于或等于 8:1 时,宜增加龙门梁。

5 计算方法与计算模型

5.1 计算原则

5.1.1 本标准采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,以分项系数设计表达式进行计算。

5.1.2 对货架进行整体强度和稳定性分析时,应采用承载能力极限状态法进行设计计算;对货架进行刚度分析时,应采用正常使用极限状态法进行设计计算。

5.1.3 按承载能力极限状态法计算货架结构时,应采用荷载设计值和强度设计值进行计算;按正常使用极限状态法计算货架结构时,应采用荷载标准值和变形限值进行计算。

5.1.4 货架局部及单个构件的计算,可采用材料力学、结构力学、弹塑性力学方法,也可采用有限元方法。货架整体强度和稳定性分析宜采用有限元方法。

5.1.5 以下类型货架应采用有限元方法进行整体强度和稳定性分析和计算:

- 货架高度超过 6 m 的普通托盘货架和窄巷道托盘货架;
- 所有自动化立体仓库货架;
- 所有牛腿式托盘货架。

5.2 计算模型

5.2.1 绝对坐标系

货架计算模型的绝对坐标如图 13 所示。

5.2.2 网格剖分

使用有限元方法进行货架整体分析时,应简化货架结构,建立适用于有限元分析的结构模型。

货架的整体有限元计算模型宜简化成空间三维框架模型。

取构件连接的自然节点为结构模型节点,相邻节点之间构件形成单元。

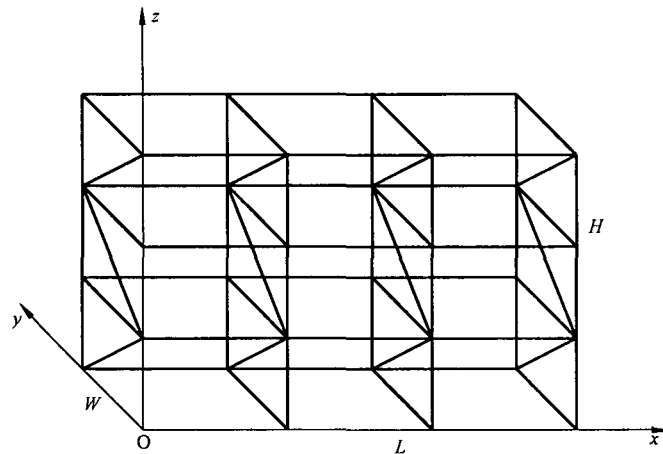


图 13 货架计算模型的绝对坐标系

5.2.3 模型简化

货架整体的排、列、层数过多,可对结构进行简化,并满足以下条件:

- 计算排数:巷道两侧货架之间有连接的货架,可取偶数排;巷道两侧货架之间无连接的货架,可取奇数排;
- 计算列数:不得小于 6 列,至少包括两组不相邻的垂直支撑列;
- 计算层数:应取实际层数。

5.2.4 单元简化

货架结构单元包括杆单元和梁单元,其简化模型如表 1 所示。

表 1 货架单元简化

构件类别	梁单元	杆单元	说明
立柱	√		
横梁	√		包括承载横梁、顶梁
悬臂梁	√		
牛腿梁	√		
垂直支撑连接梁	√		
天轨吊梁	√		
天轨	√		
横斜撑		√	
水平系杆		√	
垂直斜拉杆		√	
水平支撑		√	

5.2.5 约束与边界条件

约束包括节点的约束和单元的约束,约束方式包括刚接、铰接和半刚半铰。

边界条件包括地面、仓库外墙及其他货架结构之外的约束构件对货架节点、单元自由度的限制。各种构件的约束与边界条件简化原则如表 2 所示。

表 2 约束与边界条件简化原则

约束类型	约束方式与边界条件			备注
	xOz	yOz	xOy	
立柱与地面	半刚半铰	半刚半铰	半刚半铰	采用单螺杆连接
	半刚半铰	刚接	刚接	采用双螺杆连接
	刚接	刚接	刚接	采用预埋板连接
立柱与横梁	半刚半铰	刚接	刚接	
立柱与悬臂梁	半刚半铰	刚接	刚接	
立柱与横斜撑	刚接	刚接	刚接	采用双孔连接
	刚接	半刚半铰	刚接	采用单孔连接
垂直支撑与垂直支撑连接梁	刚接	刚接	刚接	采用双孔连接
	半刚半铰	刚接	刚接	采用单孔连接
水平支撑与横梁	刚接	刚接	刚接	采用双孔连接
	刚接	刚接	半刚半铰	采用单孔连接
立柱与垂直支撑连接梁	刚接	刚接	刚接	
立柱与隔撑	刚接	刚接	刚接	
悬臂梁与牛腿梁	刚接	刚接	刚接	
立柱与天轨吊梁	刚接	刚接	刚接	
天轨与天轨吊梁	刚接	刚接	刚接	

6 计算工况与荷载组合

6.1 计算荷载

货架的计算荷载包括恒荷载、活荷载、竖向冲击荷载、水平荷载、地震荷载。

6.1.1 恒荷载

货架结构的自重,包括横梁、立柱等所有构件的重量。

6.1.2 活荷载

搁置在货架上的货物和托盘的重量。按实际情况考虑的各层货物的荷载。

6.1.3 竖向冲击荷载

储运机械存取货物时对横梁(或悬臂梁)产生的冲击力,通常可取一个装载单元静载设计值的 50%。

按承载能力极限状态计算时,应计及作用在最不利位置处的竖向冲击荷载的影响,且由此冲击荷载

所产生的应力不得大于强度设计值。

计算横梁挠度时,不必考虑竖向冲击荷载的影响。

6.1.4 水平荷载

由货架结构构件的初弯曲、安装偏差、荷载偏心以及储运机械的轻度碰撞等因素所引起的水平力。

水平荷载分别沿货架结构 x 方向、 y 方向两个主方向作用于横梁(或悬臂梁)与立柱的连接节点处。水平荷载可取为由横梁(或悬臂梁)传至该节点的全部恒荷载与最大活荷载之和的 1.5%。

自动化立体仓库货架的水平荷载还应考虑满荷载下堆垛机货叉伸叉时,由于偏载产生的对货架的作用力。堆垛机作业时对货架产生的水平作用力 F 可按式(1)计算:

$$F = k \cdot G \cdot (l/h) \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- k —— 加权系数,可取 1.2~1.5;
- G —— 货物单元的额定荷载,单位为千克(kg);
- l —— 货叉伸叉长度,单位为毫米(mm);
- h —— 堆垛机高度,单位为毫米(mm)。

6.1.5 地震荷载

地震荷载仅考虑水平地震作用(即地震纵波,分 x 向和 y 向)对货架产生的影响,不考虑竖向地震作用。

地震荷载的计算方法参见附录 A。

6.2 计算工况及荷载组合

货架的计算工况可分为以下三种:

- 正常工况:货架正常承载状态。应考虑恒荷载、活荷载、竖向冲击荷载、 x 向水平荷载和 y 向水平荷载等的影响,计算货架结构的强度、变形和稳定性。
- 地震工况:货架地震时的承载状态。应考虑恒荷载、活荷载和地震荷载的影响,计算货架结构的强度。地震荷载分为 x 向水平地震荷载和 y 向水平地震荷载。地震工况下,活荷载按 80% 的满载率计算。在此工况下,不必校核货架结构的变形和稳定性。
- 偏载工况:货架货物特殊摆放的承载状态。应考虑恒荷载和不对称活荷载的影响,计算货架结构的强度和稳定性。

各种计算工况的荷载组合如表 3 所示。

表 3 各计算工况及荷载组合

计算工况	荷载状态	荷载组合
正常工况*	静态荷载(100%)	恒荷载+活荷载
	静态荷载+冲击荷载	恒荷载+活荷载+竖向冲击荷载
	静态荷载+水平荷载	恒荷载+活荷载+x 向水平荷载
	静态荷载+水平荷载	恒荷载+活荷载+y 向水平荷载

表 3 (续)

计算工况	荷载状态	荷载组合
地震工况	静态荷载+地震荷载	恒荷载+活荷载+x 向水平地震荷载
	静态荷载+地震荷载	恒荷载+活荷载+y 向水平地震荷载
偏载工况	静态荷载	恒荷载+不对称活荷载
注:以上荷载组合的计算表达式参见附录 A。		
* 库架合一式货架应考虑风载和雪载。		

在进行货架结构计算时,应根据实际情况考虑表 3 中所列举的荷载组合,并按其荷载状态下最不利的组合进行强度、变形和稳定性校核。

按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计时,荷载组合中各荷载分项系数的取值如表 4 所示。

表 4 荷载分项系数

荷载类型	承载能力极限状态	正常使用极限状态
恒荷载	1.2	1
活荷载	1.4	1
竖向冲击荷载	1.4	1
水平荷载	1.4	1
地震荷载	1.3	1

7 强度校核

7.1 强度设计值

强度设计值的采用应按 GB 50018—2002 中 4.2.1 的规定,如表 5 所示。

表 5 钢材的强度设计值

单位为牛顿每平方米

钢材牌号	抗拉、抗压和抗弯 f	抗剪 f_v	端面承压(磨平顶紧) f_{ce}
Q235 钢	205	120	310
Q345 钢	300	175	400

计算全截面有效的冷弯型钢货架结构的受拉、受压或受弯构件的强度时,可采用考虑冷弯效应的强度设计值,其计算方法见 GB 50018—2002 附录 C。

货架结构的抗震强度设计值 f_E 应按式(2)确定。

$$f_E = f/\gamma_{RE} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

f ——钢材的强度设计值;

γ_{RE} ——抗震强度设计值调整系数,通常货架结构梁、柱构件取 $\gamma_{RE} = 0.80$,支撑及连接取 $\gamma_{RE} = 0.90$ 。

7.2 强度校核

强度计算方法见 GB 50018—2002 中第 5 章压弯构件、受弯构件和轴心受压(拉)构件部分的相关规定。

立柱应按压弯构件计算,横梁应按受弯构件计算,支撑类构件应按轴心受压(拉)构件计算。

强度校核中,各构件推荐适用的计算类型和计算公式如表 6 所示。

表 6 强度计算方法

构件	构件受力状态	受力状态说明	计算公式	备注
立柱	压弯 (单轴对称开口截面)		参见附录 B	
横梁	受弯 (单轴对称或双轴对称)	荷载通过截面弯心且与主轴平行	参见附录 B	
		荷载偏离截面弯心但与主轴平行		
横斜撑	轴心受压(拉)		参见附录 B	当简化为杆单元时
垂直支撑	轴心受压(拉)			当简化为杆单元时
水平支撑	轴心受压(拉)			当简化为杆单元时

8 刚度校核

8.1 变形计算

货架的变形应按正常使用极限状态进行计算。应根据实际情况考虑表 3 中所列举的荷载组合,并按其荷载状态下最不利的组合进行变形计算,各荷载分项系数均应取 1.0,如表 4 所示。

8.2 变形限值

货架构件的变形包括节点位移、横梁最大位移和悬臂梁最大位移。货架各类变形限值按表 7 采用。

表 7 货架变形限值

变形位置	变形限值 mm		
	自动化立体仓库货架	窄巷道托盘货架	普通托盘货架
节点最大 x 向位移	10	15	15
节点最大 y 向位移	10	15	15
节点最大 z 向位移	10	15	15
横梁最大 z 向位移(挠度)	跨度/300 ^a	跨度/200 ^b	跨度/200 ^c
悬臂梁最大 z 向位移	悬臂梁跨度/200	悬臂梁跨度/150	悬臂梁跨度/100
^a 最大不超过 10 mm。 ^b 最大不超过 15 mm。 ^c 最大不超过 15 mm。			

9 稳定性校核

应对货架的主要构件进行稳定性校核。各构件的稳定性计算应满足 GB 50018—2002 中第 5 章中轴心受压(拉)构件、受弯构件和压弯构件部分的相关规定。

立柱应按压弯构件计算,横梁应按受弯构件计算,支撑类构件应按轴心受压(拉)构件计算。

稳定性校核中,各构件适用的计算类型和计算公式如表 8 所示。

表 8 稳定性计算方法

构件	构件受力状态	受力状态说明	计算公式	备注
立柱	压弯 (单轴对称开口截面)	弯矩作用在对称平面内时,弯矩作用平面内、外的稳定性	参见附录 C	
		弯矩作用在对称平面内时,弯心一侧受压的稳定性		
		弯矩作用在非对称主平面时,弯矩作用平面内、外的稳定性		
横梁	受弯 (单轴对称或双轴对称)	荷载通过截面弯心且与主轴平行	参见附录 C	
		荷载偏离截面弯心但与主轴平行		
横斜撑	轴心受压(拉)		参见附录 C	当简化为杆单元时
垂直支撑	轴心受压(拉)			当简化为杆单元时
水平支撑	轴心受压(拉)			当简化为杆单元时

在地震工况下,可不进行稳定性校核。

附 录 A
(资料性附录)
荷载组合计算表达式

A.1 荷载组合 1: 恒荷载+活荷载(即静态荷载), 表达式见式(A.1):

$$\gamma_G \cdot C_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot C_Q \cdot Q_k \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

- γ_G —— 恒荷载分项系数;
- γ_Q —— 活荷载分项系数;
- C_G, C_Q —— 恒荷载和活荷载的荷载效应系数, 通常按结构力学方法计算;
- G_k, Q_k —— 恒荷载和活荷载的标准值。

A.2 荷载组合 2: 恒荷载+活荷载+竖向冲击荷载(即静态荷载+冲击荷载), 表达式见式(A.2):

$$\gamma_G \cdot C_G \cdot G_k + \gamma_Q (C_Q \cdot Q_k + C_{Q1} \cdot Q_{1k}) \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

- γ_G —— 恒荷载分项系数;
- C_G, C_Q —— 恒荷载和活荷载的荷载效应系数, 通常按结构力学方法计算;
- G_k, Q_k —— 恒荷载和活荷载的标准值。
- γ_Q —— 活荷载分项系数;
- C_{Q1} —— 竖向冲击荷载的荷载效应系数, 按结构力学方法计算;
- Q_{1k} —— 竖向冲击荷载标准值, 按 6.1.3 的规定采用。

A.3 荷载组合 3: 恒荷载+活荷载+水平荷载(即静态荷载+水平荷载), 表达式见式(A.3):

$$\gamma_G \cdot C_G \cdot G_k + \gamma_Q (C_Q \cdot Q_k + C_{Q2} \cdot Q_{2k}) \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

- γ_G —— 恒荷载分项系数;
- γ_Q —— 活荷载分项系数;
- C_G, C_Q —— 恒荷载和活荷载的荷载效应系数, 通常按结构力学方法计算;
- G_k, Q_k —— 恒荷载和活荷载的标准值;
- C_{Q2} —— 水平荷载的荷载效应系数, 按结构力学方法计算;
- Q_{2k} —— 水平荷载标准值, 按 6.1.4 的规定采用。

A.4 荷载组合 4: 恒荷载+活荷载+水平地震作用(即静态荷载+地震荷载), 表达式见式(A.4):

$$\gamma_G \cdot C_G \cdot G_E + \gamma_E \cdot C_E \cdot F_E \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

- γ_G —— 恒荷载分项系数;
- C_G —— 恒荷载的荷载效应系数, 通常按结构力学方法计算;
- $G_E = G_k + \sum_{i=1,2,\dots} \psi_{Qi} \cdot Q_{ki}$, 其中 ψ_{Qi} 为活荷载的组合值系数, 按表 A.1 采用, Q_{ki} 为活荷载标准值;
- γ_E —— 水平地震作用分项系数;
- C_E —— 水平地震作用效应系数;
- F_E —— 水平地震作用的标准值。

表 A.1 货架活荷载的组合值系数

活荷载种类	组合值系数
雪荷载	0.5
按实际情况考虑的货架各层活荷载	1.0
按等效均布荷载考虑的货架各层活荷载	0.8

式(A.4)中,水平地震作用的标准值 F_E 可按式(A.5)、式(A.6)确定:

$$F_E = \alpha_1 \cdot G_{eq} \dots\dots\dots (A.5)$$

$$F_i = \frac{G_i H_i}{\sum_{j=1}^n G_j H_j} F_E \quad (i=1,2,\dots,n) \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

α_1 ——相应于货架结构基本自振周期的水平地震影响系数;

G_{eq} ——货架结构的等效总重量,可取 $G_{eq} = 0.85G_E$;

G_E ——货架结构的总重力荷载的代表值, $G_E = \sum_{j=1}^n G_j$;

F_i ——货架结构第 i 层的水平地震作用标准值;

G_i, G_j ——分别为集中于货架结构第 i 层、第 j 层的重力荷载代表值,可取其自重的标准值和活荷载组合值之和;

H_i, H_j ——分别为货架第 i 层、第 j 层的计算高度。

式(A.5)中,货架结构的水平地震影响系数 α_1 可按式(A.7)~式(A.9)确定:

当 $T \leq 0.1$ s 时:

$$\alpha_1 = (0.45 + 5.5T) \cdot \alpha_{max} \dots\dots\dots (A.7)$$

当 $0.1 < T \leq T_g$ s 时:

$$\alpha_1 = \alpha_{max} \dots\dots\dots (A.8)$$

当 $T_g < T \leq 3$ s 时:

$$\alpha_1 = \left(\frac{T_g}{T}\right)^{0.9} \cdot \alpha_{max} \dots\dots\dots (A.9)$$

式中:

T ——货架结构的基本自振周期,可按理论计算或经验公式确定;

T_g ——特征周期值,根据场地类别和设计地震分组按表 A.2 采用;

α_{max} ——水平地震影响系数的最大值,根据地震烈度按表 A.3 采用。

表 A.2 特征周期值 T_g

单位为秒

设计地震分组	场地类别				
	I ₀	I ₁	II	III	IV
第一组	0.20	0.25	0.35	0.45	0.65
第二组	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75
第三组	0.30	0.35	0.45	0.65	0.90

注 1: 计算罕遇地震作用时,特征周期增加 0.05 s。
注 2: 场地类别确定方法详见 GB 50011--2010 中的 4.1.6。

表 A.3 水平地震影响系数的最大值表 α_{\max}

地震影响	6 度	7 度	8 度	9 度
多遇地震	0.04	0.08(0.12)	0.16(0.24)	0.32
罕遇地震	0.28	0.50(0.72)	0.90(1.20)	1.40

注：括号中数值分别用于设计基本地震加速度为 0.15 g 和 0.30 g 的地区。

附录 B
(资料性附录)
构件强度计算公式¹⁾

B.1 单轴对称开口截面的压弯构件

计算见式(B.1)。

$$\sigma = \frac{N}{A_{en}} \pm \frac{M_x}{W_{enz}} \pm \frac{M_y}{W_{eny}} \leq f \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

- N ——轴心力；
- A_{en} ——有效净截面面积；
- M_x ——对截面主轴 x 轴的弯矩；
- M_y ——对截面主轴 y 轴的弯矩；
- W_{enz} ——对截面主轴 x 轴的较小有效净截面模量；
- W_{eny} ——对截面主轴 y 轴的较小有效净截面模量。

B.2 受弯构件

a) 当荷载通过截面弯心且与主轴平行时,计算见式(B.2)、式(B.3)。

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_{enz}} \leq f \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

$$\tau = \frac{V_{max} S}{I t} \leq f_v \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

- M_{max} ——跨间对主轴 x 轴的最大弯矩；
- τ ——剪应力；
- V_{max} ——最大剪力；
- S ——计算剪应力处以上截面对中和轴的面积矩；
- I ——毛截面惯性矩；
- t ——腹板厚度之和；
- f_v ——钢材抗剪强度设计值。

b) 当荷载偏离截面弯心且与主轴平行时,计算见式(B.4)。

$$\sigma = \frac{M}{W_{enz}} + \frac{B}{W_{\omega}} \leq f \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：

- M ——计算弯矩,取构件全长范围内的最大弯矩；
- B ——与所取弯矩同一截面的双力矩,当受弯构件的受压翼缘上有铺板,且与受压翼缘牢固相连并能阻止受压翼缘侧向变位和扭转时 $B=0$,此时可不验算受弯构件的稳定性。其他情况,可按 GB 50018—2002 中 A.4 的规定计算；

1) 压弯构件、受弯构件和轴心受压(拉)构件的强度计算公式见 GB 50018—2002 的第 5 章。

W_w ——与弯矩引起的应力同一验算点处的毛截面扇性模量。

B.3 轴心受压构件

计算见式(B.5)。

$$\sigma = \frac{N}{A_m} \leq f \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

式中：

σ ——正应力

N ——轴心力；

A_m ——有效截面面积；

f ——钢材的抗拉、抗压和抗弯应力设计值。

附 录 C
(资料性附录)
构件稳定性计算公式²⁾

C.1 单轴对称开口截面的压弯构件

a) 当弯矩作用在对称平面内时,弯矩作用平面内、外的稳定性计算见式(C.1)、式(C.2)。

$$\frac{N}{\varphi A_e} + \frac{\beta_m M}{\left(1 - \frac{N}{N'_E} \varphi\right) W_e} \leq f \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

$$\frac{N}{\varphi A_e} \leq f \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

N ——轴心力;

φ ——轴心受压构件的稳定系数,应按 GB 50018—2002 中表 A.1.1-1 或表 A.1.1-2 采用,其弯扭屈曲的换算长细比 λ_ω 按 GB 50018—2002 中式 5.5.4-1 计算;

A_e ——有效截面面积;

β_m ——等效弯矩系数;

M ——计算弯矩、取构件全长范围内的最大弯矩;

N'_E ——系数, $N'_E = \frac{\pi^2 EA}{1.165\lambda^2}$;

W_e ——对最大受压边缘的有效截面模量;

f ——钢材的抗拉、抗压和抗弯应力设计值。

b) 当弯矩作用在对称平面内,且使截面在弯心一侧受压时,计算见式(C.3)。

$$\left| \frac{N}{A_e} - \frac{\beta_{my} M_y}{\left(1 - \frac{N}{N'_{Ey}}\right) W'_{ey}} \right| \leq f \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:

N ——轴心力;

A_e ——有效截面面积;

β_{my} ——对 y 轴的等效弯矩系数,按 GB 50018—2002 中 5.5.3 的规定采用;

M_y ——对截面主轴 y 轴的弯矩;

N'_{Ey} ——系数, $N'_{Ey} = \frac{\pi^2 EA}{1.165\lambda_y^2}$;

W'_{ey} ——截面的较小有效截面模量;

f ——钢材的抗拉、抗压和抗弯应力设计值。

c) 当弯矩作用在非对称主平面时,弯矩作用平面内、外的稳定性公式见式(C.4)和式(C.5):

$$\frac{N}{\varphi_x A_e} + \frac{\beta_m M_x}{\left(1 - \frac{N}{N'_{Ex}} \varphi_x\right) W_{ex}} + \frac{B}{W_\omega} \leq f \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

2) 压弯构件、受弯构件和轴心受压(拉)构件的稳定性计算公式见 GB 50018—2002 的第 5 章。

$$\frac{N}{\varphi_y A_e} + \frac{M_x}{\varphi_{bx} W_{ex}} + \frac{B}{W_w} \leq f \quad \dots\dots\dots (C.5)$$

式中:

- N ——轴心力;
- φ_x ——对 x 轴的轴心受压构件稳定系数,长细比按 GB 50018—2002 中式(5.2.4-1)计算;
- A_e ——有效截面面积;
- β_m ——等效弯矩系数;
- M_x ——对截面主轴 x 轴的弯矩;
- N'_{Ex} ——系数, $N'_{Ex} = \frac{\pi^2 EA}{1.165\lambda_x^2}$;
- W_{ex} ——对截面主轴 x 轴的受压边缘的有效截面模量;
- B ——与所取弯矩同一截面的双力矩;
- W_w ——与弯矩引起的应力同一验算点处的毛截面扇性模量;
- f ——钢材的抗拉、抗压和抗弯应力设计值;
- φ_y ——对 y 轴的轴心受压构件稳定系数,长细比按 GB 50018—2002 中式(5.3.2-2)计算;
- φ_{bx} ——受弯构件的整体稳定系数,应按 GB 50018—2002 中 A.2 的规定计算。

C.2 受弯构件

a) 当荷载通过截面弯心且与主轴平行时,计算见式(C.6)。

$$\frac{M_{\max}}{\varphi_{bx} W_{ex}} \leq f \quad \dots\dots\dots (C.6)$$

式中:

- M_{\max} ——跨间对主轴 x 轴的最大弯矩;
- φ_{bx} ——受弯构件的整体稳定系数,应按 GB 50018—2002 中 A.2 的规定计算。
- W_{ex} ——对截面主轴 x 轴的受压边缘的有效截面模量;
- f ——钢材的抗拉、抗压和抗弯应力设计值。

b) 当荷载偏离截面弯心但与主轴平行时,计算见式(C.7)。

$$\frac{M_{\max}}{\varphi_{bx} W_{ex}} + \frac{B}{W_w} \leq f \quad \dots\dots\dots (C.7)$$

式中:

- M_{\max} ——跨间对主轴 x 轴的最大弯矩;
- φ_{bx} ——受弯构件的整体稳定系数,应按 GB 50018—2002 中 A.2 的规定计算;
- W_{ex} ——对截面主轴 x 轴的受压边缘的有效截面模量;
- B ——与所取弯矩同一截面的双力矩;
- W_w ——与弯矩引起的应力同一验算点处的毛截面扇性模量;
- f ——钢材的抗拉、抗压和抗弯应力设计值。

C.3 轴心受压构件

计算见式(C.8):

$$\frac{N}{\varphi A_e} \leq f \quad \dots\dots\dots (C.8)$$

式中:

- N ——轴心力;

GB/T 28576—2012

- φ ——轴心受压构件的稳定系数,应按 GB 50018—2002 中表 A. 1. 1-1 或表 A. 1. 1-2 采用,其弯扭屈曲的换算长细比 λ_0 按 GB 50018—2002 中式(5. 5. 4-1)计算;
- A_e ——有效截面面积;
- f ——钢材的抗拉、抗压和抗弯应力设计值。

参 考 文 献

- [1] ANSI MH16.1:2004 Specification for the design—Testing and utilization of industrial steel storage racks
- [2] FEM 10.2.02 The design of static steel pallet racking
- [3] JIS B 8942:2004 Automated storage and retrieval system—General specifications
- [4] CECS 23:90 钢货架结构设计规范
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
工 业 货 架 设 计 计 算
GB/T 28576—2012

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100013)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.75 字数 42 千字
2012年10月第一版 2012年10月第一次印刷

*

书号: 155066·1-45617 定价 27.00 元



GB/T 28576-2012