

# AS / RS 货架的强度计算及设计

贾争现, 曹西京, 刘昌祺

(陕西科技大学, 陕西 咸阳 712081)

[摘要] 提出了在考虑地震所产生的交变短期动载荷情况下, 自动化立体仓库 (ASRS) 货架的强度计算和设计方法, 并通过典型案例加以说明。

[关键词] 货架; 托盘; 交变载荷; 连接板强度

[中图分类号] TH123.3

[文献标识码] A

[文章编号] 1005-152X (2003) 03-0072-04

## Intensity Calculation and Design for AS / RS Goods Shelf

JIA Zheng-xian, CAO Xi-jing, LIU Chang-qi

(Shanxi University of Science and Technology, Xi'an 712081, China)

**Abstract:** Considering the little alternating load produced by earthquake, the paper puts forward intensity calculating and designing methods for ASRS goods shelf and gives out some typical cases.

**Keywords:** goods shelf; pallet; alternating load; intensity of joint board

自动化立体仓库 (ASRS) 是现代物流中心的主要装备和设施。其主要构筑物是采用单元货格结构的高层货架。一般用钢材或钢筋混凝土制作。钢货架因其具有构件尺寸小、仓库利用率高、制作方便和安装周期短等优点, 而成为越来越多的用户和物流设备公司的首选。钢货架可由冷轧型钢、热轧角钢或工字钢焊接而成, 通常货架高度在 8-50m 之间。货格结构和尺寸一般由所存储的货态及托盘尺寸来确定。为了保证货架具有足够的强度和稳定性, 尤其是在极端情况下, 例如在地震所引起的短期交变水平动载荷作用下, 货架立柱、地基、斜拉杆和连接板的强度计算就成为货架设计中必不可少的工作。

本文通过具体设计案例, 在同时考虑长期静载荷, 短期交变动载荷情况下, 提出了货架立柱, 斜拉杆、地基和连接板的强度计算和设计方法。

### 1 基本参数的设定

现设定托盘为标准尺寸:  $800 \times 1\ 000 \times 800$  (mm); 托盘堆放载重平均值为 8kN, 最大值为 10kN; 货架规模为 2 排  $\times$  8 层  $\times$  51 列 = 816 个托盘巷道; 列方向柱中

心尺寸为 1 175mm, 排方向柱外间隔为 850mm, 支柱横截面尺寸为  $75 \times 75$  (mm)<sup>2</sup> (图 1)。货架自重为 500N。单元货格距地面距离分别为  $H_1, H_2, \dots, H_n$ 。根据日本产业机械协会制订的《分离式货架结构计算标准》, 对于长期应力、正常状态, 其货架充实率为 100%; 对于短期应力、地震时状态, 其货架充实率为 80%。

### 2 载荷计算

#### 2.1 长期载荷

设每单元货格铅垂长期静载荷为  $p$ , 则

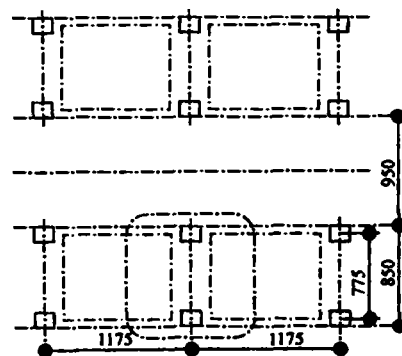


图 1 货架规格图

$p$  = 一个托盘堆放载荷 + 货架自重 = 8 500N (1)

若  $D$  = 层数 = 8, 中间支柱根数 = 2 (图 1), 则每根支

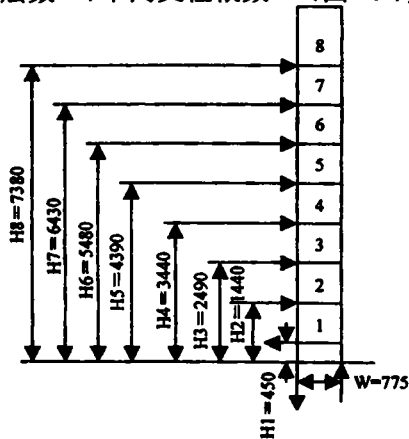


图 2 承载尺寸图

柱承受的长期静载荷为

$$P = pD / \text{根数} = 34\ 000\text{N} \quad (2)$$

### 2.2 地震时水平力

中间支柱受力如图 2 所示, 取短期地震的货架充实率为 80%, 每根中间支柱所受铅垂短期力为

$$p' = 8\ 000 \times 80\% + 500 = 6\ 900\text{N} \quad (3)$$

设震度系数  $K = 0.2$ , 则每根中间支柱所受水平力为

$$P' = K \times p' \times D / 2 = 5\ 520\text{N} \quad (4)$$

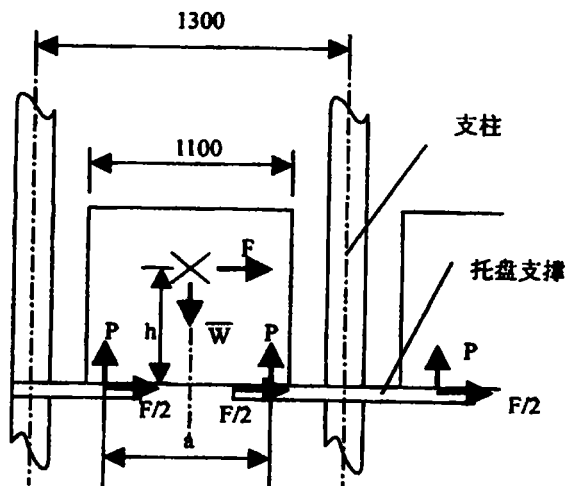


图 3 货位支柱受力图

### 2.3 短期交变动载荷

设施加于每根立柱上的铅垂力为  $B$  (图 2), 则在立柱底部,

$$B_{\text{max}} = \frac{K P_v}{W} \sum_{i=1}^n H_i \quad (5)$$

式(5)中,  $W = 775\ \text{mm}$ 。在本案例中, 可计算出

$$B_{\text{max}} = 56.02\ \text{kN}.$$

考虑到长期静载荷, 则施加在每根立柱上的压缩载荷  $P_c$ 、拉伸载荷  $P_t$  分别为:

$$P_c = B_{\text{max}} + P = 90.02\ \text{kN} \quad (6)$$

$$P_t = B_{\text{max}} - P = 22.02\ \text{kN} \quad (7)$$

### 3 地基承载计算

设堆垛机自重为  $P_1 = 30\ \text{kN}$ , 最大货物重为  $P_{1\text{max}} = 10\ \text{kN}$ , 在存取货物时, 极端情况时只有两个车轮受力, 若安全系数取为 1.2, 则每个车轮所受铅垂载荷

$$P_v = (P_1 + P_{1\text{max}}) \times 1.2 / 2 = 24\ \text{kN} \quad (8)$$

设 AS / RS 的巷道数为  $I = 5$ , 则全部货架货格数  $C = 2IDm = 4\ 080$  个 (9)

其中  $m = 51$  列。

仓库全长度 =  $m \times$  单元货格长度 = 59.925m

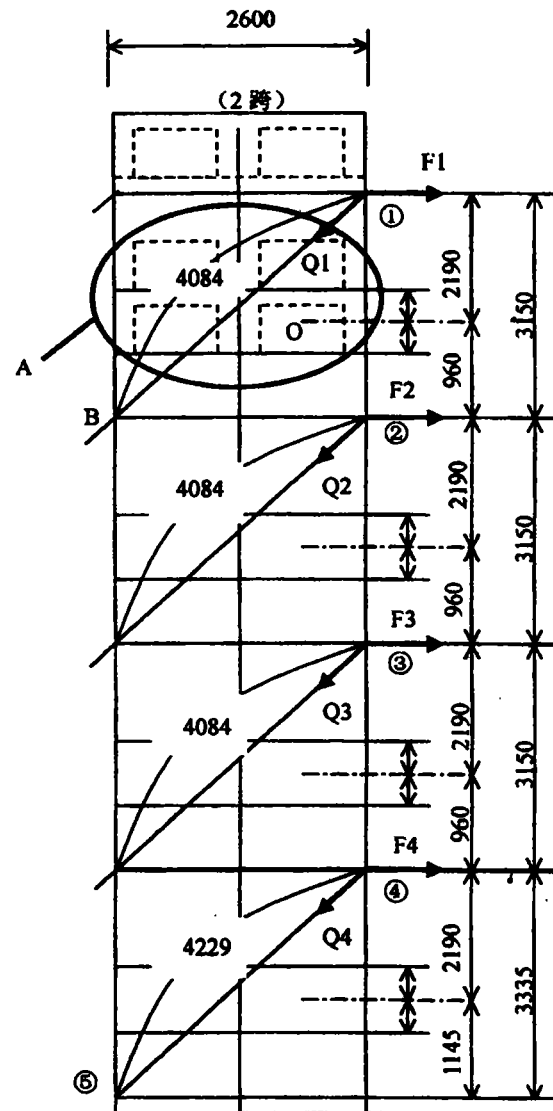


图 4 斜拉杆受力图

仓库全宽度 = 14.35 m  
 堆垛机总重  $P_{堆} = I P_1 = 150 \text{ kN}$   
 每条轨道重为  $P_2 = 30 \text{ kN}$   
 轨道总重  $P_{轨} = I P_2 = 150 \text{ kN}$   
 因此,地面平均载荷  
 $q = (C \times p + P_{堆} + P_{轨}) / (\text{全长} \times \text{全宽}) \quad (10)$   
 代入数据得本案例  $q = 40.68 \text{ kN/m}^2$ 。

4 拉杆承载计算

取货重  $W = \text{托盘堆放最大重量} \times \text{充实率}$ , 短期水平力

$F' = KW$ 。支柱所受水平力: 中间支柱为:  $F / 2 + F / 2 = F$ ; 端支柱为:  $F / 2$  (图 3)。

拉杆承受的张力如图 4 所示, A 部位四个托盘水平方向受力点在 O 处, 其大小为  $4F$ 。对 B 点取力矩, 可求出图示①点承受此力为:  $4F \times 960 / 3150$ 。同时, 在①处还有其上方两个托盘所产生的水平力  $2F$ 。因此, ①处的水平力  $F_1'$  为

$$F_1' = 2F \times (1 + 2 \times 960 / 3150)$$

同理可得

$$F_2' = 2F \times (3 + 2 \times 960 / 3150)$$

$$F_3' = 2F \times (5 + 2 \times 960 / 3150)$$

$$F_4' = 2F \times (7 + 2 \times 960 / 3335)$$

设货架重量/载荷重量为 0.05, 则施加于货架上的实际水平力为:

$$F_i = 1.05 F_i' \quad (11)$$

斜拉杆承担全部短期水平力, 则其拉力

$$Q_i = F_i \times 4084 / 2600 \quad i = 1, 2, 3$$

$$Q_4 = F_4 \times 4299 / 2600$$

可计算出  $Q_1=8.48 \text{ kN}$ ,  $Q_2=19.05 \text{ kN}$ ,

$$Q_3=29.61 \text{ kN}, \quad Q_4=42.01 \text{ kN}$$

由于短期水平载荷为交变载荷, 许用应力取值为静强度的 0.33-0.59 倍, 由此可直接设计斜拉杆尺寸和选用斜拉杆上的螺栓型号。

设连接板厚度为  $t$ , 螺栓直径为  $d$ , 则, 连接板厚度应满足

$$t = Q_{max} / ([\sigma_{\text{压}}] d) \quad (12)$$

式中  $[\sigma_{\text{压}}]$  为连接板的挤压许用应力。

5 连接板的铆钉强度计算

以图 (4) 所示的①点为例, 其连接板的连接方式如图 (5) 所示, 施加于铆钉上的横向力可分为三部分,

分别计算如下:

5.1 连接板的水平力

货架结构及尺寸如图 (4) 所示, 由此可知, 两跨度货架有两根与连接板相连的支柱, 由于货架结构对称, 此两支柱受力相等。即在①处, 拉杆连接板的水平力

$$F_{H1} = F_i / 2 = 1.05F (1 + 2 \times 960 / 3150) = 1.69F \quad (13)$$

在②、③、④处, 同时考虑到其右上方还有斜拉杆作用, 同理可得

$$F_{H2} = F_{H3} = 2 \times 1.05F (2190 / 3150 + 960 / 3150) = 2.1F \quad (14)$$

$$F_{H4} = 2 \times 1.05F (2190 / 3150 + 1145 / 3335) = 2.18F \quad (15)$$

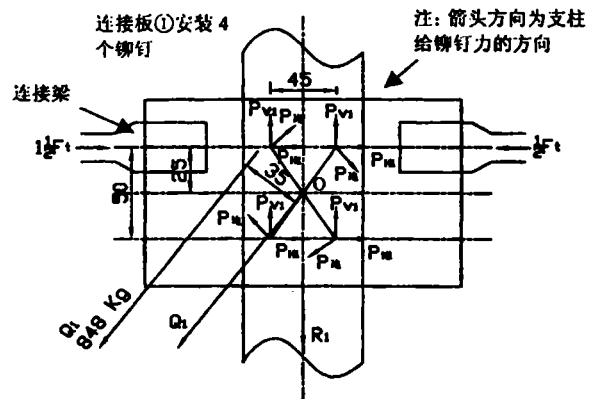


图 5 连接板连接方式图

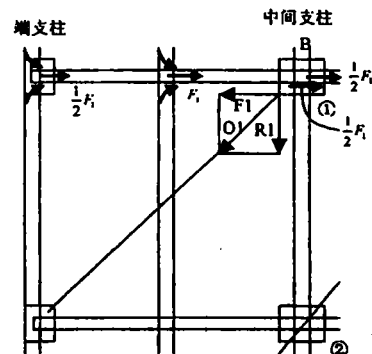


图 6 连接梁受力图

设在①、②、③、④处各有四个铆钉, 以上各力由相应处的铆钉均匀承担, 则单个铆钉承受的连接板水平力为  $P_{H1} = F_{H1} / 4$  (16)

5.2 连接板的铅垂力

在①、②、③处, 拉杆连接板的铅垂力为

$$R_1 = 3150 Q_1 / 4084 = 0.771 Q_1 \quad (17)$$

$$\text{在④点处 } R_4 = 3335 Q_4 / 4229 = 0.789 Q_4 \quad (18)$$

作用于各连接点处单个铆钉上的铅垂力为

$$P_{V1} = R_1 / 4 \quad P_{V2} = (R_2 - R_1) / 4$$

$$P_{V3} = (R_3 - R_2) / 4 \quad P_{V4} = (R_4 - R_3) / 4 \quad (19)$$

②、③、④与①不同之处在于,②、③、④处连接板承受右下方和左上方两个斜拉杆作用。

### 5.3 拉杆及水平梁对连接板中心的力矩

在①处,拉杆张力  $Q_1$  对连接板中心  $O$  的力矩为  $Q_1 \times 35$ 。连接梁受力如图 6 所示。由梁的平衡可知,托盘对中间支柱  $B$  所作用的水平分力  $F_1$ ,其中  $1/4$  由右边梁承担, $3/4$  由左边梁承担。因此,连接梁和斜拉杆张力对连接板中心  $O$  点的力矩

$$M = 35Q_1 + 25 F_1 (3 - 1) / 4 = 35Q_1 + 12.5F_1 \quad (20)$$

四个铆钉对角线距离为 67mm,因此,在①处力矩  $M$  引起的单个铆钉的剪力为

$$P_{m1} = M / (2 \times 67) = 0.261Q_1 + 0.093 F_1 \quad (21)$$

$P_{m1}$  的方向如图 5 所示。

### 5.4 铆钉剪力

在①处,由图(5)知,四个铆钉中,左上侧铆钉  $A$  处于最不利位置。由

$$P_{F1} = 680N, P_{V1} = 1640N, P_{m1} = 1710N$$

可计算出,①处  $A$  点铆钉的合剪力约为  $F_{SA} = 3485N$ 。同理可计算出②、③、④各铆钉的剪力。

在货架底部⑤点处(图 5),斜拉杆张力  $Q_4$  和水平分力  $F_4$  由连接板和连接梁分别平均承担,此处铆钉数为 6 个。则每个铆钉承担的

$$\text{水平剪力} \quad P_{F5} = 0.5 F_4 / 6 = 0.833 F_4$$

$$\text{铅垂剪力} \quad P_{V5} = R_4 / 6 = 0.132 Q_4 \quad (22)$$

与 5.3 所述同理可得,由连接板和连接梁对连接板中心的力矩所产生的单个铆钉剪力为

$$P_{M5} = (27Q_4 - 0.0125F_4) / (2 \times 119 + 45 \times 45 / 119) = 6885 Q_4 - 3.188 F_4 \quad (23)$$

然后再计算出该处最不利位置铆钉的合剪力。

由以上计算得出的单个铆钉的最大剪力值,可以设计铆钉尺寸和校核铆钉强度。

## 6 结束语

利用本文提出的货架受力计算方法,既考虑了地震引起的短期水平交变的极端情况,又避免了烦琐的数学计算,其结果与实际设计案例相符。此方法概念明确,思路清晰,简单易行,可作为立体仓库设计与施工的参考。

### [参考文献]

- [1] 刘昌祺. 物流配送中心设计[M]. 北京:机械工业出版社,2001
- [2] 单辉祖. 材料力学[M]. 北京:高等教育出版社,1999.
- [3] 刘昌琪. 自动化立体仓库设计. 陕西科技大学讲义.

(上接第 54 页) 将来增加 EDI 报文的数据、EDI 交换的频度等。第三、交易伙伴的要求:和多少交易伙伴进行贸易,对方联系人是谁,对方是否有 EDI 经验等。第四、标准的角度:采用哪种标准,每一种标准有多少版本,版本的差异,选择哪一年的标准。第五、人才的角度:本企业是否具有 EDI 人才,EDI 软件对人员是否有要求,是否有计划培养该方面的人才及开展普及教育。第六、系统的角度:是否已经具备计算机应用软硬件系统,对原有系统兼容性的考虑,对 EDI 核查跟踪系统的考虑等。第七、通信的角度:通过 VAN 或采用 PTP 的通信方式,是否有通信方面的人员等。

(2) EDI 软件的选择:EDI 用户软件一般为自行开发或购买商品化软件。购买现成软件的优点主要是周期短、成本低、投入人员少、包含多种标准等;自主开发的优点是后续的维护容易、扩充性强、连接容易等。但不管哪种方式,EDI 用户软件必须适合自身环境。选择 EDI 用户软件的必要条件为:能产生核查跟踪报表,提供多标准与多版本的能力,能提高源程序三个条件。只有符合这三个条件的软件方可以进入下一步的评估。对软件评估的指标有许多,但对一个软件最后综合取舍要取决于对其各种指标的加权运算结果。

(3) VAN 的选择:在同时存在多个 VAN 的情况

下,评价与选择 VAN 可从以下几个角度考虑。第一、顾客支持能力:容量、贸易伙伴和其它 VAN 的互通能力、培训、技术接口、系统可靠性与备份措施、核查报表与核查跟踪能力、存储转发功能、标准格式的支持、安全性、EDI 有效性等。第二、客户定制服务:不同的 VAN 提供客户定制服务的能力不同。第三、翻译软件:有些 VAN 提供了最终用户的翻译软件,有些 VAN 将翻译软件和网络服务结合在一起,提供给部分计算机应用程序较低的使用者;与银行或其他机构的集成能力。第四、EDI 相关产品:如资料处理、公司内部的电子邮箱、电子布告栏和资料的捆绑性等。

### [参考文献]

- [1] 刘信圣. 商业超市与电脑管理[M]. 北京:中国国际广播出版社,2000.
- [2] 李大军. 商业管理信息系统[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [3] 李大军. 连锁经营与计算机管理[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [4] 黄敏学. 电子商务[M]. 北京:高等教育出版社,2002.
- [5] 于鹏. 电子商务概论[M]. 北京:电子工业出版社,2001.
- [6] 王步芳. 我国连锁企业如何实施 EDI 系统[N]. 计算机,2002-21.