

建筑技术

单层钢厂房纵向抗震计算方法的探讨

贺丽平 冯 东 汪一骏

(北京交通大学土木建筑工程学院,北京 100044)

摘 要 对《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 单层工业钢厂房纵向抗震设计第 9.2.8 条(附录)与第 5.2.6 条对比分析,得出在混凝土无檩屋盖单层工业厂房纵向抗震计算理论中,规范对水平地震作用分配方式的规定相互矛盾。建议采用按抗侧力构件从属面积上重力荷载代表值的比例分配。同时建议规范第 9.2.8 条引用的 9.1.8 第一款改为不计及围护墙和隔墙的有效刚度。根据某重屋盖《单层工业厂房设计示例》中纵向抗震部分按照规范规定和理论分别进行了补充计算和对比,发现两种理论计算所得结果相差很大,严重影响安全。

关键词 单层钢厂房 纵向抗震计算 柱间支撑 围护墙

中图分类号 TU352.11; **文献标志码** A

单层厂房结构是工业建筑中应用最广泛的结构形式之一,其抗震设计非常重要。一般来说,厂房的横向抗震较引人关注。但历次震害统计表明,厂房的纵向震害十分严重。

我国《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010^[1](以下简称新抗规)中第 9.2.8 条规定:厂房的纵向抗震计算对于混凝土无檩屋盖可按附录规定的修正刚度法计算。但新抗规第 5.2.6 条规定:现浇和装配整体式混凝土楼、屋盖等刚性楼、屋盖建筑,宜按抗侧力构件等效刚度的比例分配;木楼盖、木屋盖等柔性楼、屋盖建筑宜按抗侧力构件从属面积上重力荷载代表值的比例分配;普通的预制装配式混凝土楼、屋盖等半刚性楼、屋盖建筑,可取上述两种分配结果的平均值。可以看出,规范第 5.2.6 条的规定与第 9.2.8 条的规定有矛盾,因此这里需要讨论设计时采用哪种方法更合理。

关于围护墙是否应该计入抗震计算,新抗规第 9.2.8 条引用的第 9.1.8 条中关于厂房纵向抗震计算部分规定:混凝土有檩和无檩屋盖,一般情况下宜计及屋盖的纵向弹性变形,围护墙和隔墙的有效

刚度。第 13.2.1 条第 2 款规定:对柔性连接的建筑构件(非承重墙体),可不计入刚度;对嵌入抗侧力构件平面内的刚性建筑非结构构件,应计入其刚度影响,可采用周期调整等简化方法;一般情况下不应计入其抗震承载力,当有专门的构造措施时,尚可按有关规定计入其抗震承载力。因此对于厂房围护墙是否应计入刚度,两者也存在矛盾。

鉴于此,本文首先对规范 9.2.8 条纵向抗震计算理论进行分析研究;之后参考《单层工业厂房设计示例》^[2]中的重屋盖厂房设计示例依照规范规定和本文建议的方法分别对纵向抗震部分进行补充计算,并将计算结果进行比较分析。

1 计算理论分析

1.1 纵向地震作用分配方式

无檩屋盖通常采用 1.5 m×6 m 预应力混凝土屋面板,板面做防水层、保温层和找平层而不做现浇处理,因此采用与现浇和装配整体式相同的荷载分配方式是不合理的。此外,即使屋面采用现浇式或装配整体式,对于多跨厂房通常有内天沟将屋面板分开,柱顶与屋面板不直接连接,屋架及支撑每跨单独设置(如图 1^[3])。屋面板产生的水平地震作用 F_{EK} 经屋架及其端部竖向支撑传递到柱顶,这种情况下地震作用沿厂房纵向传播时,屋面板自然形

确定;

F_{eq} 为厂房单元柱列总等效重力荷载代表值。

以下刚度计算参照《建筑抗震设计手册》(第二版)^[4]第6.1.4条计算:

柱上端铰接,下端固定,采用工字型截面柱,边柱截面尺寸为:上柱 H400×400×8×18,下柱 H800×400×10×18;中柱截面尺寸为:上柱 H600×400×8×18,下柱 H800×400×10×18。

边柱列柱的侧移刚度 $\sum K_{cA} = \sum K_{cC} = 0.671 \times 10^3 \text{ kN/m}$ (2)

中柱列柱的侧移刚度 $\sum K_{cB} = 0.671 \times 10^3 \text{ kN/m}$ (3)

各柱间支撑选取规格已在图4示出。

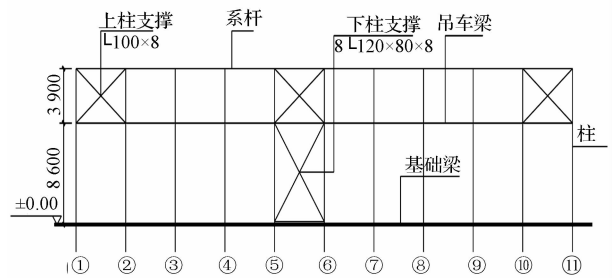


图4 车间各纵向柱列柱间支撑布置图(长度:mm)

边柱列柱间支撑的抗侧移刚度与中柱列柱间支撑的抗侧移刚度:

$$K_{bA} = K_{bB} = K_{bC} = \frac{1}{\delta_{bs} + \delta_{bx}} = 2.191710^4 \text{ kN/m}$$
 (4)

式中 δ_{bs} 、 δ_{bx} 分别表示上柱支撑和下柱支撑单位力作用下的侧移。

该车间的围护墙采用实心烧结砖砌体墙,墙厚240 mm。砖强度等级 MU10,砂浆强度等级 M5。纵墙立面参见图5,刚度按《建筑抗震设计手册》公式6.1.4—14 计算。

经计算,围护墙抗侧移刚度:

$$K_w = 3.5286 \times 10^5 \text{ kN/m}$$
 (5)

8度区围护墙刚度乘以0.4的折减系数。

边柱列抗侧移刚度:

$$K_A = K_C = K_w + K_{cA} + K_{bA} = 16.3732 \times 10^4 \text{ kN/m}$$
 (6)

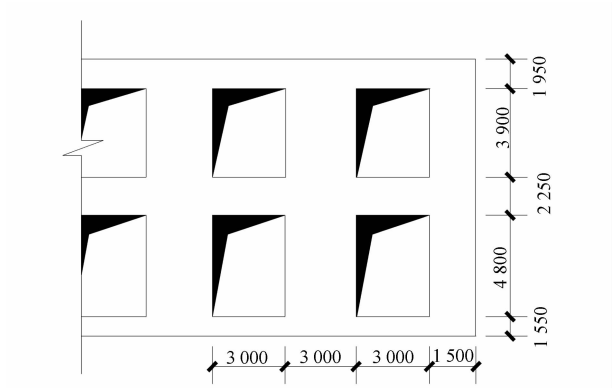


图5 纵墙立面示意图(长度:mm)

中柱列抗侧移刚度

$$K_B = K_{cB} + K_{bB} = 2.2588 \times 10^4 \text{ kN/m}$$
 (7)

据规范附录 K.1.2 修正刚度:

边柱列修正侧移刚度

$$K_{aA} = K_{aC} = 13.92 \times 10^4 \text{ kN/m}$$
 (8)

中柱列修正侧移刚度

$$K_{aB} = 3.48 \times 10^4 \text{ kN/m}$$
 (9)

2.1 新抗规中的计算理论

围护纵墙抗侧移刚度进行折减,并参与分担水平地震作用。纵向水平地震作用按各柱列刚度比例进行分配,分配之后的水平地震作用在每柱列中按构件刚度比例再次进行分配,最终计算得柱列中各构件在柱顶处承担的水平地震作用见表1。

表1 规范规定构件柱顶处地震作用标准值(单位:kN)			
刚度分配	柱	柱间支撑	围护墙
边柱列 A、C	3.98	130.11	837.91
中柱列 B	7.22	235.78	—
小计	15.18	496	1 675.82
构件承担地震作用百分比	0.69%	22.68%	76.63%

注:纵向水平地震作用标准值2 187 kN

2.2 本文建议计算理论

厂房纵向水平地震作用按抗侧力构件从属面积上重力荷载代表值的比例分配,即中柱列承担一半左右的地震作用,边柱列各承担约四分之一。且纵向围护墙不计入地震作用的分配。依此理论进行计算所得各构件承担的柱顶处水平地震作用见表2。

表 2 建议方法构件柱顶处地震作用标准值(单位:kN)

从属面积重力荷载代表值分配	柱	柱间支撑
边柱列 A、C	16. 24	530. 51
中柱列 B	32. 48	1 061. 02
小计	64. 96	2 122. 04
构件承担地震作用百分比	2. 97%	97. 03%

注:纵向水平地震作用标准值 2 187 kN

2. 3 两种理论下的柱间支撑截面应力比

表 3 柱间支撑斜杆截面强度应力比

序号	计算理论	上柱柱间支撑		下柱柱间支撑	
		边柱列	中柱列	边柱列	中柱列
1	规范 GB50011—2010	0. 23	0. 36	0. 49	0. 90
2	本文建议	0. 96	1. 63	1. 58	3. 13
3	$\frac{2}{1}\%$	417	453	322	348

注:截面强度应力比 $\frac{\sigma}{\sigma_f} = \frac{\sigma}{0.75f} = \frac{\sigma}{f}$, 其中 $\gamma_{RE} = 0.75$

3 结论

- (1)计算表明柱间支撑为纵向主要抗震构件(见表 2),柱在纵向抗震计算中作用很小,可忽略不计。
- (2)GB 50010—2010 第 9 章单层钢筋混凝土柱厂房和单层钢结构厂房的柱间支撑设计中,前者对支撑长细比要求较严格,后者要求强度应力比不超过 0.75,二者应统一。
- (3)不论无檩和有檩混凝土预制屋面板厂房,

- 由于构件在构造上不能形成整体,故纵向地震作用不能按抗侧力构件等效刚度的比例分配,只能按抗侧力构件从属面积上重力荷载代表值的比例分配。
- (4)不配筋的围护墙由于本身和连接等原因,不能参与纵向抗震计算。按规范规定计算可得 $\frac{e_0}{y}$ 2.78 $\geq$ 0.6,可见窗间墙的抗震承载力远远不足。
 - (5)按本文建议方法算得的柱间支撑斜杆截面强度应力比远大于 1(见表 3),故应加大柱间支撑截面,使其强度应力比小于 1。例如,中柱列下柱支撑斜杆截面应改为 2 L 200 $\times$ 125 $\times$ 14。
 - (6)实际工程中,多数厂房长度(66 m~84 m)大于 60 m,若下柱柱间支撑仍只设一道,则围护墙的虚构抗震作用更大,其柱间支撑更不能满足要求。
 - (7)上述建议,希望规范主管部门高度重视。

参 考 文 献

1 GB 50011—2010 建筑抗震设计规范. 北京:中国建筑工业出版社,2010

2 09SG 117—1 单层工业厂房设计示例(一). 北京:中国建筑标准设计研究院,2009

3 99J 201—1 平屋面建筑构造(一). 北京:中国建筑标准设计研究院,2002

4 龚思礼. 建筑抗震设计手册(第二版). 北京:中国建筑工业出版社,2002

Some Discussions on Longitudinal Seismic Calculation of Single-story Steel Factory Buildings

HE Li-ping, FENG Dong, WANG Yi-jun

(School of Civil Engineering of Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, P. R. China)

[Abstract] Regarding the distribution modes of longitudinal horizontal seismic forces of single-story steel factory buildings with concrete roof without purlin, there are conflicts between Sections 9. 2. 8(Appendix K) and 5. 2. 6 in the Code for Seismic Design of Buildings GB 50011—2010. Distributing the longitudinal seismic forces according to the proportion of the gravity loads on the subordinate areas of the lateral force components is suggested. Replacing section 9. 2. 8 which quote form clause 1 of section 9. 1. 8 with “don’t consider the effective stiffness of the enclosure walls or the partition walls” is recommended. Then the single-story Factory building Design Examples is referred to during calculating the longitudinal seismic forces with two methods, and found the calculated results of two methods are greatly different, which affect the safety of factory buildings seriously.

[Key words] single-story steel factory buildings longitudinal seismic calculation column-and-brace enclosure walls