

中华人民共和国国家标准

多层厂房楼盖抗微振设计规范

Code for design of anti-microvibration
of multistory factory floor

GB 50190-93

主管部门：中华人民共和国机械工业部

批准部门：中华人民共和国建设部

施行日期：1994年6月1日

关于发布国家标准《多层厂房楼盖抗微振

设计规范》的通知

建标 (1993) 859 号

根据国家计委计综 (1984) 305 号文的要求，由原机械电子工业部设计研究院主编，会同有关单位共同编制的国家标准《多层厂房楼盖抗微振设计规范》，已经有关部门会审，现批准《多层厂房楼盖抗微振设计规范》GB 50190-93 为强制性国家标准，自一九九四年六月一日起施行。

本规范由机械工业部管理，其具体解释等工作由机械工业部设计研究院负责，出版发行由建设部标准定额研究所负责组织。

中华人民共和国建设部

一九九三年十一月十六日

附加说明	7-22
条文说明	7-23

目次

1 总则	7-3
2 术语、符号	7-3
2.1 术语	7-3
2.2 符号	7-3
3 基本规定	7-4
4 动力荷载	7-5
4.1 机床扰力	7-5
4.2 风机、水泵和电机扰力	7-5
4.3 制冷压缩机扰力	7-6
5 竖向振动允许值	7-11
6 竖向振动值	7-11
6.1 一般规定	7-11
6.2 楼盖刚度计算	7-11
6.3 固有频率计算	7-12
6.4 竖向振动值计算	7-13
7 设备布置、隔振及构造措施	7-17
7.1 设备布置	7-17
7.2 设备及管道隔振	7-17
7.3 构造措施	7-17
附录 A 多层厂房楼盖振动位移传递系数简化 计算方法	7-18
附录 B 本规范用词说明	7-22

1 总 则

- 1.0.1 为了使多层厂房楼盖设计做到技术先进，经济合理，简便适用，确保正常生产，制定本规范。
- 1.0.2 本规范适用于多层厂房楼盖在动力荷载小于600N的中小型机床、制冷压缩机、电机、风机或水泵等设备作用下的振动计算和设计。
- 1.3 多层厂房楼盖抗震设计时，楼盖上的设备动力荷载应按本规范执行，楼盖上的其它荷载应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》的规定执行；楼盖的结构计算、区域环境和劳动保护的震动要求，应符合国家现行有关标准规范的规定。

2 术语、符号

2.1 术 语

- 2.1.1 第一频率密集区 Compact zone of first frequency
在动力荷载作用下的多跨连续梁，其幅频特性曲线上出现若干密集区，每个密集区内拥有若干个固有频率，在幅频特性曲线上首先出现的频率密集区，称为第一频率密集区。
- 2.1.2 板梁相对抗弯刚度比 Ratio of relative flexural rigidity of slab to beam
板单位宽度的相对抗弯刚度乘以主要跨度与主要的相对抗弯刚度之比。

2.2 符 号

作用和作用效应

编号	符号	说 明
2.2.1.1	F	机械动力
2.2.1.2	F_0	恒置的定向振动位移
2.2.1.3	F_1	机械动力作用点，恒置的静位移
2.2.1.4	F_2	同一楼层上动力作用点以外各楼层点的响应振动位移
2.2.1.5	F_3	多台机器同时运转时，恒置某楼层点产生的合成振动位移
2.2.1.6	F_4	多台机器同时运转时，恒置上某楼层点产生的合成振动位移
2.2.1.7	F_5	一台机器运转时，恒置上某楼层点产生的响应振动位移
2.2.1.8	F_6	第一交叉度上各楼层点的响应振动位移
2.2.1.9	F_7	恒置构件上各楼层点的分布荷载
2.2.1.10	F_8	恒置第一频率密集区内各楼层点频率
2.2.1.11	f_0	恒置第一频率密集区内各楼层点频率
2.2.1.12	f_1	恒置第一频率密集区内各楼层点频率
2.2.1.13	f_2	恒置第一频率密集区内各楼层点频率
2.2.1.14	f_3	恒置第一频率密集区内各楼层点频率
2.2.1.15	f_4	恒置第一频率密集区内各楼层点频率
2.2.1.16	f_5	恒置第一频率密集区内各楼层点频率

2.2.2 计算指标

编号	符号	说 明
2.2.2.1	L	竖向振动位移允许值
2.2.2.2	V	竖向振动速度允许值
2.2.2.3	E	材料的具体质量
2.2.2.4	C	弹簧的阻尼比

2.2.3 几何参数

编号	符号	说 明
2.2.3.1	I	楼面惯性矩
2.2.3.2	I	楼面沿短边的次梁或预制槽形板的惯性矩
2.2.3.3	I_y	主要的惯性矩
2.2.3.4	I_y	次梁间距或预制槽形板宽度

2.2.4 计算参数

编号	符号	说 明
2.2.4.1	k_1	集中质量换算系数
2.2.4.2	k_1	位移系数
2.2.4.3	e	空间影响系数
2.2.4.4	ϕ	抗力点位置修正系数
2.2.4.5	ρ	抗力点位置换算系数
2.2.4.6	γ	振动位移传递系数

3 基本规定

3.0.1 承受动力荷载的楼盖设计, 应取得下列资料:

(1) 建筑物的平面与剖面图;

(2) 楼盖上的设备平面布置图、设备名称及其底座尺寸;

(3) 设备的抗力、扰频、抗倾、抗力作用的方向和位置以及自重等;

(4) 楼盖上的机座、设备和仪器的竖向振动允许值。

3.0.2 承受动力荷载的楼盖宜采用现浇钢筋混凝土肋形楼盖或装配式楼盖。

3.0.3 次梁间距小于或等于 2m、板厚大于或等于 80mm 的肋形楼盖和预制槽形板宽度小于或等于 1.2m 的装配式楼盖, 其梁和板的截面最小尺寸, 应符合表 3.0.3 的规定。

表 3.0.3 梁和板的截面最小尺寸

肋形楼盖	装配式楼盖				主梁 高跨比
	次梁 高跨比	梁 宽	板 厚	板 助 高跨比	
$\frac{1}{18}$	$\frac{1}{15}$	60	$\frac{1}{20}$	30	$\frac{1}{10}$

3.0.4 由动力设备产生的动力荷载应由设备制造厂提供; 当无资料时, 可按本规范第 4 章的规定采用。

3.0.5 支承机座、仪器和设备的楼面或台面, 其振动位移允许值和振动速度允许值应由设备和仪器制造厂提供或通过试验确定; 当无资料时, 可按本规范第 5 章的规定采用。

3.0.6 机床的竖向振动值，应符合下列表达式要求：

$$A_z \leq [A_z] \quad (3.0.6-1)$$

$$V_z \leq [V_z] \quad (3.0.6-2)$$

式中 A_z ——机床的竖向振动位移 (m)；

V_z ——机床的竖向振动速度 (m/s)；

$[A_z]$ ——竖向振动位移允许值 (m)；

$[V_z]$ ——竖向振动速度允许值 (m/s)。

3.0.7 当机床上设置加工表面相刚度较弱的机床，其精度单位宽度的相对抗弯刚度 ($E_p I_p / c^3$) 大于或等于表 3.0.7 的规定值时，可不按竖向振动计算。

精度单位宽度的相对抗弯刚度 $E_p I_p / c^3$ (N/m ³) 表 3.0.7				
精度单位宽度	机床相对抗弯刚度比 α	机床分布密度 (m ² /m ³)		
		≤ 10	11~18	> 18
1	≤ 0.4	240	200	170
	0.8	260	220	180
	1.6	330	270	220
2	≤ 0.4	230	180	160
	0.8	270	200	180
	1.6	300	240	200
3	≤ 0.4	220	170	150
	0.8	260	200	170
	1.6	280	220	190

注：①机床分布密度为机床布置区的总面积除以机床台数。

② E_p ——一次或多次切削形成的弹性模量 (N/m²)；

I_p ——一次或多次切削形成的截面惯性矩 (m⁴)；

c ——一次或多次切削形成的宽度 (m)；

l ——一次或多次切削形成的长度 (m)。

③根据相对抗弯刚度比 α ，按 (6.2.3) 式计算。

4 动力荷载

4.1 机床扰动

4.1.1 机床的扰动可按表 4.1.1 确定。

表 4.1.1											
主 轴			进 给			转 速			轴 距		
机 床	CK6125	CK20	X609W	X61W	X51	BM05	M1010	M1720	M120W	Z315	轴 距
	CK6125	CK30	X609W	X62W	X52	BM05	M1010	M1730	M131W	Z300	
图 号	CK6125	CK6140	CW6140	X6126	X515	BM052	BM65	M1210	M1000	Z3025	图 号
	C1336	C1336	C1336								
轴 力	100	150	100	300	300	300	500	100	300	50	轴 力
	50	150	150	300	400	400	600	150	300	50	
(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)

4.2.2 旋转部件总质量对转动中心的当量偏心距 e_0 ，可按表 4.2.2 确定。

旋转部件总质量对转动中心的当量偏心距 e_0		风机		电机		水泵	
类别	尺寸 mm	低速转动		转速 (r/min)		转速 (r/min)	
		6号	7号	8号	10~20号	3000	1500
e_0 (mm)	2.5~5.5	5.5	4.5	4.5	1.5	1.5	1.5
	10~15	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴

4.2.3 在腐蚀环境中工作的机器，其旋转部件总质量对转动中心的当量偏心距 e_0 ，应按表 4.2.2 的数值乘以介质系数，介质系数可取 1.1~1.2；塑料风机的介质系数可取 1.0。

4.3 制冷压缩机扰力

4.3.1 制冷压缩机的扰力和扰力矩计算的参数，应按下列规定确定：

4.3.1.1 各旋转部件质量换算到曲柄中心（图 4.3.1）的质量，可按下列公式计算：

(1) 单曲柄：

$$m_r = m_1 + 2 \frac{r_{a1}}{r_{a0}} m_2 + \left(1 - \frac{l_c}{l_0}\right) m_3 - \frac{r_c^2}{r_{a0}^2} m_4 \quad (4.3.1-1)$$

(2) 双曲柄：

$$m_r = m_1 + \frac{r_{a1}d}{r_{a0}b} m_2 + \left(1 - \frac{l_c}{l_0}\right) m_3 - \frac{r_{a0}a}{r_{a0}b} m_4 \quad (4.3.1-2)$$

式中 m_r ——各旋转部件质量换算到曲柄中心的质量 (kg)；
 m_1 ——曲柄销质量 (kg)；

- m_2 ——单曲柄臂或端曲柄臂质量 (kg)；
 m_3 ——中间曲柄臂质量 (kg)；
 m_4 ——单连杆组件质量 (kg)；
 m_5 ——单平衡铁质量 (kg)；
 r_{a0} ——曲柄半径 (m)；
 r_{a1} ——单曲柄臂或端曲柄臂质心至主轴中心的距离 (m)；
 r_c ——中间曲柄臂质心至主轴中心的距离 (m)；
 b ——曲柄距离 (m)；
 d ——两端曲柄臂质心之间的距离 (m)；
 d' ——上、下与中间曲柄臂质心之间的轴向距离 (m)；
 l_c ——连杆质心至曲柄销的距离 (m)；
 l_0 ——连杆长度 (m)；
 n_c ——一个曲柄所带的连杆数；
 r_{a2} ——平衡铁质心至主轴距离 (m)；
 a ——两平衡铁质心之间的轴向距离 (m)；
 c ——连杆间距 (m)。

4.3.1.2 往复运动的部件，曲柄连杆机构的质量换算到曲柄销的质量，可按下式计算：

$$m_s = m_5 + \frac{l_c}{l_0} m_3 \quad (4.3.1-3)$$

式中 m_s ——曲柄连杆机构的质量换算到曲柄销的质量 (kg)；

m_5 ——曲柄连杆机构上所有活塞组件（包括活塞杆和活塞）的质量 (kg)。

4.3.2 制冷压缩机的抗力和抗力矩,可按下列规定计算:

(1) 单V型制冷压缩机(图4.3.2-1)的二阶竖向抗力、一阶和二阶回转力矩、一阶和二阶扭转力矩可取0;一阶竖向抗力、一阶和二阶水平抗力可按下列公式计算:

$$P_{s1} = r_{s0} \omega_0^2 (m_1 + m_2) \quad (4.3.2-1)$$

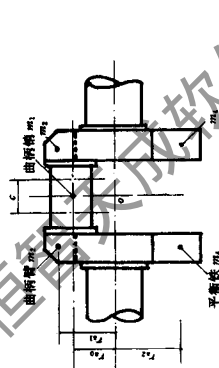
$$P_{s1} = r_{s0} \omega_0^2 (m_1 + m_2) \quad (4.3.2-2)$$

$$P_{s2} = \sqrt{2} r_{s0} \omega_0^2 \frac{r_{s0}}{l_0} m_1 \quad (4.3.2-3)$$

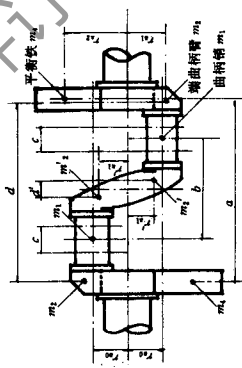
式中 P_{s1} ——制冷压缩机一阶竖向抗力(N);

P_{s1} ——制冷压缩机一阶水平抗力(N);

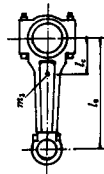
P_{s2} ——制冷压缩机二阶水平抗力(N);



(a) 单曲柄



(b) 双曲柄



(c) 连杆

图 4.3.1 曲柄

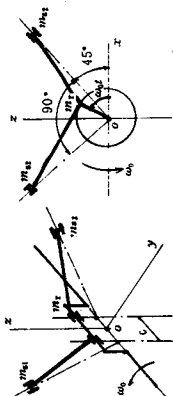


图 4.3.2-1 单V型制冷压缩机传动机构简图

(2) 双V型制冷压缩机(图4.3.2-2)的一阶和二阶竖向抗力、一阶水平抗力、二阶回转力矩、二阶扭转力矩可取0;二阶水平抗力、一阶回转力矩、一阶扭转力矩可按下列公式计算:

$$P_{s2} = 2\sqrt{2} r_{s0} \omega_0^2 \frac{r_{s0}}{l_0} m_1 \quad (4.3.2-4)$$

$$M_{s1} = r_{s0} \omega_0^2 b (m_1 + m_2) \quad (4.3.2-5)$$

$$M_{s1} = r_{s0} \omega_0^2 b (m_1 + m_2) \quad (4.3.2-6)$$

式中 $M_{\phi 1}$ ——制冷压缩机一阶回转力矩($N \cdot m$);
 $M_{\phi 2}$ ——制冷压缩机二阶扭转载矩($N \cdot m$).

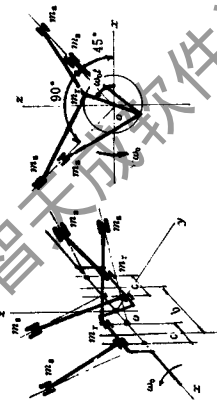


图 4.3.2-2 双 V 型制冷压缩机传动机构简图

(3) 双 V 型制冷压缩机 (图 4.3.2-3) 的一阶和二阶轴向
 扰力、一阶水平扰力、二阶回转力矩、二阶扭转载矩可取 0;

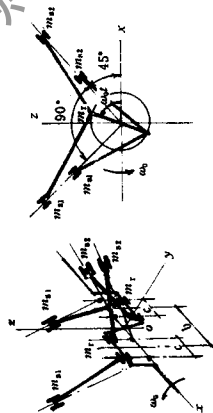


图 4.3.2-3 双 V 型制冷压缩机传动机构简图

阶水平扰力可按 (4.3.2-4) 式计算; 一阶回转力矩、一阶扭转载矩可按下列公式计算:

$$M_{\phi 1} = r_{\omega} \omega_0^2 b \sqrt{(m_1 + m_2)^2 + \left(\frac{c}{b} m_1\right)^2} \quad (4.3.2-7)$$

$$M_{\phi 2} = r_{\omega} \omega_0^2 b \sqrt{(m_1 + m_2)^2 + \left(\frac{c}{b} m_1\right)^2} \quad (4.3.2-8)$$

(4) 单 W 型制冷压缩机 (图 4.3.2-4) 的二阶轴向扰力、一阶和二阶回转力矩、一阶和二阶扭转载矩可取 0; 一阶轴向扰力、一阶和二阶水平扰力可按下列公式计算:

$$P_{x1} = r_{\omega} \omega_0^2 (m_1 + 1.5m_2) \quad (4.3.2-9)$$

$$P_{y1} = r_{\omega} \omega_0^2 (m_1 + 1.5m_2) \quad (4.3.2-10)$$

$$P_{z2} = 1.5r_{\omega} \omega_0^2 \frac{r_{\omega}}{l_0} m_1 \quad (4.3.2-11)$$

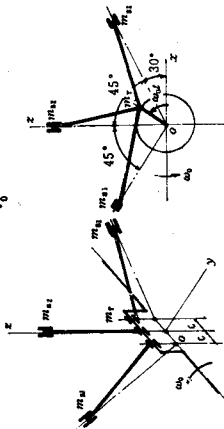


图 4.3.2-4 单 W 型制冷压缩机传动机构简图

(5) 双 W 型制冷压缩机 (图 4.3.2-5) 的一阶轴向扰力、一阶水平扰力、一阶和二阶回转力矩、一阶和二阶扭转载矩可取 0; 二阶轴向扰力、二阶水平扰力可按下列公式计算:

$$P_{x2} = r_{\omega} \omega_0^2 \frac{r_{\omega}}{l_0} m_1 \quad (4.3.2-12)$$

$$P_{y2} = 3r_{\omega} \omega_0^2 \frac{r_{\omega}}{l_0} m_1 \quad (4.3.2-13)$$

式中 P_{x2} ——制冷压缩机二阶轴向扰力(N).

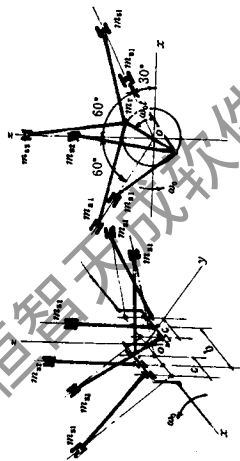


图 4.3.2-5 双 S 型制冷压缩机传动机构简图
(6) 单 S 型制冷压缩机 (图 4.3.2-6) 的一阶和二阶

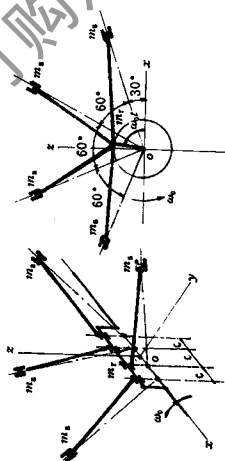


图 4.3.2-6 单 S 型制冷压缩机传动机构简图

转力矩、一阶和二阶扭转载力矩可取 0；一阶和二阶竖向扰力、一阶和二阶水平扰力可按下列公式计算：

$$P_{s1} = r_a \omega_0^2 (m_r + 2m_s) \quad (4.3.2-14)$$

$$P_{s2} = r_a \omega_0^2 (m_r + 2m_s) \quad (4.3.2-15)$$

$$P_{s2} = 0.7654 r_a \omega_0^2 \frac{r_a^2}{I_0} m_s \quad (4.3.2-16)$$

$$P_{s2} = 1.848 r_a \omega_0^2 \frac{r_a^2}{I_0} m_s \quad (4.3.2-17)$$

(7) 双 S 型制冷压缩机 (图 4.3.2-7) 的一阶竖向扰力、一阶和二阶水平扰力可取 0；二阶竖向扰力、二阶水平扰力、一阶和二

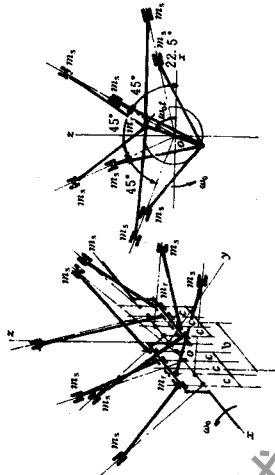


图 4.3.2-7 双 S 型制冷压缩机传动机构简图
阶回转载力矩、一阶和二阶扭转载力矩可按下列公式计算：

$$P_{s2} = 1.531 r_a \omega_0^2 \frac{r_a^2}{I_0} m_s \quad (4.3.2-18)$$

$$P_{s2} = 3.696 r_a \omega_0^2 \frac{r_a^2}{I_0} m_s \quad (4.3.2-19)$$

$$M_{s1} = r_a \omega_0^2 b (m_r + 2m_s) \quad (4.3.2-20)$$

$$M_{s1} = r_a \omega_0^2 b (m_r + 2m_s) \quad (4.3.2-21)$$

$$M_{\omega_0} = 4.132 r_{\omega_0} \omega_0^2 \frac{r_{\omega_0}}{l_0} \text{ cm}, \quad (4.3.2-22)$$

$$M_{\omega_2} = 1.71 r_{\omega_0} \omega_0^2 \frac{r_{\omega_0}}{l_0} \text{ cm}, \quad (4.3.2-23)$$

式中 M_{ω_0} ——制冷压缩机二阶回转力矩(N·m);

M_{ω_2} ——制冷压缩机二阶扭转力矩(N·m)。

(8) 单立式制冷压缩机 (图 4.3.2-8) 的二阶水平扰力、一阶和二阶回转力矩、一阶和二阶扭转力矩可取 0; 一阶竖向扰力可按 (4.3.2-1) 式计算, 二阶竖向扰力可按 (4.3.2-12) 式计算; 一阶水平扰力可按下式计算:

$$P_{\omega_1} = r_{\omega_0} \omega_0^2 m_r \quad (4.3.2-24)$$

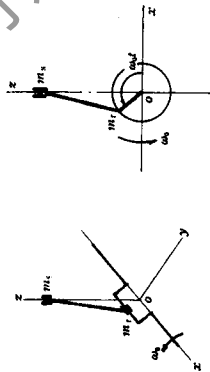


图 4.3.2-8 单立式制冷压缩机结构简图

(9) 双立式制冷压缩机 (图 4.3.2-9) 的一阶竖向扰力、一阶和二阶水平扰力、二阶回转力矩、二阶扭转力矩可取 0; 二阶竖向扰力、一阶回转力矩、一阶扭转力矩可按下列公式计算:

$$P_{\omega_2} = 2 r_{\omega_0} \omega_0^2 \frac{r_{\omega_0}}{l_0} m_r \quad (4.3.2-25)$$

$$M_{\omega_1} = r_{\omega_0} \omega_0^2 (m_r + m_p) \quad (4.3.2-26)$$

$$M_{\omega_1} = r_{\omega_0} \omega_0^2 \text{ cm}, \quad (4.3.2-27)$$

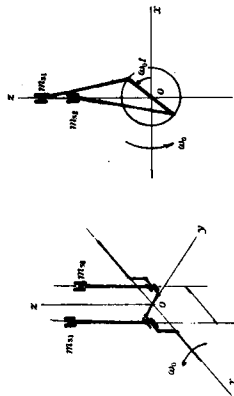


图 4.3.2-9 双立式制冷压缩机结构简图

4.3.3 制冷压缩机的回转力矩和水平扰力在设备上产生的回转力矩, 可换算为作用在设备底部螺栓处的一对竖向力偶; 扭转力矩对底座振动的影响可不计入。

5 竖向振动允许值

6 竖向振动值

5.0.1 机床的竖向振动允许值可按表 5.0.1 采用。

机床名称	加工精度	振动位移允许值(μm)	振动速度允许值(mm/s)
表面粗糙度 $R_a > 0.4 \sim 0.8\mu\text{m}$ 的精密卧式机床、精密车床、数控车床和磨床等	较高	4.8	0.3
表面粗糙度 $R_a > 0.8 \sim 1.6\mu\text{m}$ 的精密车床及磨床等	一般	10	0.5
表面粗糙度 $R_a > 1.6 \sim 3.2\mu\text{m}$ 的机床	一般	—	1.0
表面粗糙度 $R_a > 3.2\mu\text{m}$ 的机床	较低	—	1.5

5.0.2 仪器和设备的竖向振动允许值可按表 5.0.2 采用。

仪器、设备名称	测试精度	振动位移允许值(μm)	振动速度允许值(mm/s)
大轴天平、TQG32A 分析天平、陀螺仪、摆式验台、陀螺仪偏角验台、陀螺仪、尼试验台	—	4.8	0.3
精度为 $1\mu\text{m}$ 的万能工具显微镜	较高	—	—
台式光点位移计、计、硬度计、色谱仪、厚度控制仪	—	10.0	—
大型工具显微镜、双管显微镜、阿贝测长仪、万能测长仪、卧式光度计	—	—	0.5
示波镜、示波镜	一般	—	1.0

6.1.1 楼盖竖向振动值应按下列步骤进行：

- (1) 确定动力荷载；
- (2) 计算楼盖的固有频率；
- (3) 计算楼盖的竖向振动值，其计算结果应符合本规范第 3.0.6 条的规定。

6.1.2 楼盖竖向振动值计算时，其计算简图可按下列规定选取：

- (1) 计算板上位移时，宜沿厂房纵向将楼盖视为由彼此分开的多跨连续 T 形梁组成；计算主梁上位移时，可将主梁视为单跨或多跨连续梁；
- (2) 楼盖的周边支承条件宜取简支；
- (3) 当连续梁超过五跨时，可按五跨计算。

6.1.3 钢筋混凝土楼盖的阻尼比 ζ ，可取 0.05。

6.1.4 混凝土的动弹性模量，可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》的规定采用。

6.2 楼盖刚度计算

6.2.1 钢筋混凝土的形楼盖或装配式楼盖的刚度，可按下列公式计算：

- (1) 计算主梁时：

$$D = EI$$

$$(6.2.1-1)$$

- (2) 计算次梁或预制板时：

$$(6.2.1-2)$$

$$D = E_p I_p$$

式中 D ——楼盖刚度 ($N \cdot m^2$);

E ——主要的弹性模量 ($N \cdot m^2$);

I ——主要的截面惯性矩 (m^4);

E_p ——次梁或预制槽形板的弹性模量 (N/m^2);

I_p ——次梁或预制槽形板的截面惯性矩 (m^4);

6.2.2 计算楼盖刚度时,其截面惯性矩可按下列规定确定:

(1) 现浇钢筋混凝土肋形楼盖中梁的截面惯性矩,宜按 T 形截面计算,其翼缘宽度应取梁的间距,但不大于梁跨度的一半;

(2) 装配式楼盖中预制槽形板的截面惯性矩,宜取包括现浇面层在内的预制槽形板的截面计算;

(3) 装配式楼盖中主梁的截面惯性矩,宜按 T 形截面计算,其翼缘厚度宜取现浇面层厚度,翼缘的宽度应取主梁的间距,但不大于主梁跨度的一半。

6.2.3 楼盖的板梁相对抗弯刚度比,应按下列式计算:

$$\alpha = \frac{E_p I_p}{c I} / \frac{E I}{I_y} \quad (6.2.3)$$

式中

α ——板梁相对抗弯刚度比;

I ——次梁或预制槽形板的跨度 (m);

I_y ——主梁的跨度 (m);

c ——次梁间距或预制槽形板的宽度 (m)。

6.3 固有频率计算

6.3.1 计算楼盖的固有频率时,其质量应包括楼盖构件质量、设备质量、长期堆放的原材料和备件及成品等的质量。

6.3.2 楼盖第一频率密集区内最低和最高固有频率,应按下列公式计算:

$$f_{11} = \phi_1 \sqrt{\frac{D}{m l_0^3}} \quad (6.3.2-1)$$

$$f_{1h} = \phi_h \sqrt{\frac{D}{m l_0^3}} \quad (6.3.2-2)$$

式中 f_{11} ——楼盖第一频率密集区内最低固有频率 (Hz);

f_{1h} ——楼盖第一频率密集区内最高固有频率 (Hz);

m ——楼盖构件上单位长度的均匀质量 (kg/m), 当有集中质量时,应按本规范第 6.3.6 条的规定计算;

l_0 ——楼盖构件的跨度 (m);

ϕ_1, ϕ_h ——固有频率系数。

6.3.3 对于单跨和等跨连续梁,其固有频率系数可按表 6.3.3 确定。

表 6.3.3

固有频率系数	梁的跨数				
	1	2	3	4	5
ϕ_1	1.57	1.57	1.57	1.57	1.57
ϕ_h	1.57	2.45	2.94	3.17	3.30

6.3.4 当楼盖上机器的转速均低于 $600r/min$ 时, 可仅计算楼盖的第一频率密集区内最低固有频率 f_{11} 。

6.3.5 计算楼盖的竖向振动值时, 楼盖的固有频率计算值应按下列公式计算:

$$f_1 = 0.8 f_{11} \quad (6.3.5-1)$$

$$f_2 = 1.2 f_{1h} \quad (6.3.5-2)$$

式中 f_1 ——楼盖第一频率密集区内最低固有频率计算值 (Hz);

f_2 ——楼盖第一频率密集区内最高固有频率计算值 (Hz)。

6.3.6 当楼盖构件上有均布质量和集中质量时,对于单跨梁和
各跨刚度相同的等跨连续梁,应按下式将集中质量换算成均布质
量:

$$\bar{m} = m_u + \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n k_j m_j \quad (6.3.6)$$

式中 m_u ——楼盖构件上单位长度的均布质量(kg/m);

m_j ——楼盖构件上的集中质量(kg);

n ——梁的跨数;

k_j ——集中质量换算系数。

6.3.7 集中质量换算系数 k_j 可按表 6.3.7 采用。
计算多跨连续梁的第一频率密区时,最低固有频率 f_{1n} 时,
集中质量换算系数 k_j 可按单跨梁选用;计算第一频率密区内
最高固有频率 f_{1n} 时,集中质量换算系数 k_j 应根据跨数及其序号
选用。

表 6.3.7 集中质量换算系数 k_j

跨 度 序 号	固 有 频 率	α_j									
		0	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
1	1 f_{1n}	0	0.191	0.691	1.310	1.810	2.000	1.810	1.310	0.691	0.191
	2 f_{2n}	0	0.018	0.208	0.720	1.456	2.088	2.267	1.863	1.070	0.311
	3 f_{3n}	0	0.006	0.011	0.183	0.601	1.100	1.381	1.243	0.913	0.006
2	1 f_{1n}	0	0.191	0.691	1.310	1.810	2.000	1.810	1.310	0.691	0.191
	2 f_{2n}	0	0.018	0.208	0.720	1.456	2.088	2.267	1.863	1.070	0.311
	3 f_{3n}	0	0.006	0.011	0.183	0.601	1.100	1.381	1.243	0.913	0.006
3	1 f_{1n}	0	0.191	0.691	1.310	1.810	2.000	1.810	1.310	0.691	0.191
	2 f_{2n}	0	0.018	0.208	0.720	1.456	2.088	2.267	1.863	1.070	0.311
	3 f_{3n}	0	0.006	0.011	0.183	0.601	1.100	1.381	1.243	0.913	0.006

续表 6.3.7

跨 度 序 号	固 有 频 率	α_j									
		0	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
4	1 f_{1n}	0	0.164	0.540	0.863	0.913	0.670	0.312	0.062	0.000	0.018
	2 f_{2n}	0	0.192	1.044	2.440	3.646	3.903	3.046	1.639	0.504	0.046
	3 f_{3n}	0	0.457	0.504	1.639	3.046	3.903	3.646	2.440	1.044	0.192
	4 f_{4n}	0	0.018	0.000	0.062	0.312	0.670	0.913	0.863	0.540	0.164
5	1 f_{1n}	0	0.122	0.397	0.623	0.641	0.448	0.188	0.026	0.004	0.022
	2 f_{2n}	0	0.170	0.914	2.070	2.992	3.072	2.260	1.104	0.278	0.012
	3 f_{3n}	0	0.106	0.841	2.367	3.992	4.693	3.992	2.367	0.841	0.106
	4 f_{4n}	0	0.142	0.278	1.104	2.260	3.072	2.992	2.070	0.914	0.170
	5 f_{5n}	0	0.022	0.004	0.026	0.188	0.448	0.641	0.623	0.397	0.122

注: α_j 为集中荷载至左右支座的距离 x_j 与形成板的跨距 l_j 之比,对于中间跨外集中荷载的 x_j 值,仍为集中荷载至本跨左支座的距离。

6.4 竖向激励计算

6.4.1 楼盖的竖向激励位移,应按下列规定计算:

6.4.1.1 当初始冲击力作用在主要上或各跨跨中板条上时,扰力作用点的竖向激励位移,可按下列公式计算:

$$(1) \text{ 当 } f_0 \leq f_1 \text{ 时,}$$

$$A_0 = \varphi \left[\frac{1 - 2\eta_1}{1 - 2\eta_2} A_1 + \frac{\eta_1 - 1}{1 - 2\eta_2} A_1 \right] \quad (6.4.1 - 1)$$

率计算值 f_2 相同, 且不考虑动力系数 η 时的竖向
振动位移 (m);

k_1, k_2 ——位移系数;

ζ ——接盖的阻尼比;

ε ——空间影响系数, 当计算主要的振动位移时, ε 取为 1;

η_1, η_2 ——动力系数;

φ ——抗力作用点位置修正系数, 应按本规范第 6.4.3 条
的规定采用。

6.4.1.2 当机器扰力不作用在跨中板条上时, 其作用点的竖向
振动位移 (图 6.4.1), 可按下列公式计算:

$$A_{a1} = 0.64 A_1 \quad (6.4.1-10)$$

$$A_{a2} = 0.65 A_2 \quad (6.4.1-11)$$

$$A_{a3} = 0.65 A_3 \quad (6.4.1-12)$$

$$A_{a4} = 0.70 A_4 \quad (6.4.1-13)$$

式中 $A_{a1}, A_{a2}, A_{a3}, A_{a4}$ ——跨中板条上各抗力作用点的竖向
振动位移 (m);

$A_{a1}, A_{a2}, A_{a3}, A_{a4}$ ——跨中板条以外的各抗力作用点竖
向振动位移 (m)。

6.4.2 位移系数可按表 6.4.2 确定。

6.4.3 抗力作用点位置修正系数 φ , 可按下列规定取值:

(1) 当抗力作用点位于主梁上及三跨或两跨边跨的跨中板条
上时, 抗力作用点位置修正系数 φ 可取 1;

(2) 当抗力作用点位于三跨中跨的跨中板条时, 抗力作用点
位置修正系数 φ 可取 0.8;

(3) 当抗力作用点位于单跨的跨中板条上时, 抗力作用点位
置修正系数 φ 可取 1.2。

$$(6.4.1-2)$$

$$\eta = \frac{1}{\left(1 - \frac{f_0^2}{f_1^2}\right)^2 + \left(2\zeta \frac{f_0}{f_1}\right)^2}$$

$$(6.4.1-3)$$

$$A_1 = k_1 \frac{P_1^0}{100 D \varepsilon}$$

$$(6.4.1-4)$$

$$A_1 = k_1 \frac{P_1^0}{100 D \varepsilon}$$

$$(6.4.1-5)$$

$$\varepsilon = \frac{l_0}{3c}$$

(2) 当 $f_1 \leq f_0 \leq f_2$ 时,

$$(6.4.1-6)$$

$$A_0 = \varphi \frac{A_1}{2c}$$

(3) 当 $f_0 \leq f_2$ 时,

$$(6.4.1-7)$$

$$A_0 = \varphi \left[A_1 \eta_1 + A_2 \left(\frac{1}{2c} - \eta_2 \right) \right]$$

$$(6.4.1-8)$$

$$\eta_2 = \frac{1}{2c} \cdot \frac{f_2 - f_0}{f_2 - f_1}$$

$$(6.4.1-9)$$

$$A_1 = k_2 \frac{P_1^0}{100 D \varepsilon}$$

式中 A_0 ——机器扰力作用点, 接盖的竖向振动位移 (m);

A_1 ——机器扰力作用点, 接盖的竖向振动位移 (m);

f_0 ——机器的扰力频率 (Hz);

P ——机器扰力 (N);

A_1 ——机器扰力频率 f_0 与接盖第一频率密集区最低固有频
率计算值 f_1 相同, 且不考虑动力系数 η 时的竖向
振动位移 (m);

A_2 ——机器扰力频率 f_0 与接盖第一频率密集区最高固有频

6.4.4 计算楼盖空向振动位移时,机床的抗力频率 f_0 可取楼盖第一频率 f_{10} 。

6.4.5 同一层楼盖上,抗力作用点以外各验算点的响应振动位移,可按下式计算:

$$A_i = \gamma A_0 \quad (6.4.5)$$

式中 A_i ——同一楼层上抗力作用点以外各验算点的响应振动位移(m);

γ ——位移传递系数,应按本规范附录A确定。

6.4.6 当楼盖上设有对振动敏感的设备或仪器时,应计算各层楼盖的层间响应振动位移。第 i 层楼盖上各验算点的响应振动位移,可按下式计算:

$$A_n = \alpha_n A_i \quad (6.4.6)$$

式中 A_n ——第 i 层楼盖上各验算点的响应振动位移;

α_n ——层间振动传递比。

6.4.7 层间振动传递比 α_n ,可按表6.4.7确定。

6.4.8 楼盖的空向振动速度,应按下式计算:

$$V_j = \omega_j A_j \quad (6.4.8)$$

式中 V_j ——一台机器运转时,楼盖上某验算点产生的响应振动速度(m/s);

A_j ——一台机器运转时,楼盖上某验算点产生的响应振动位移(m);

ω_j ——机器的抗力圆频率(rad/s)。

表 6.4.7 层间振动传递比 α_n

抗力作用点位于	受振层	验算点位置								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
二层楼中	本跨	0.30	0.42	0.52	0.60	0.68	0.75	0.82	0.86	0.90
	三层	0.35	0.49	0.60	0.68	0.75	0.81	0.83	0.83	0.90
	四层	0.50	0.58	0.66	0.72	0.77	0.82	0.85	0.88	0.90
	五层	0.60	0.68	0.74	0.79	0.83	0.86	0.88	0.89	0.90
二层楼中	本跨	0.35	0.51	0.63	0.72	0.79	0.80	0.88	0.89	0.90
	三层	0.40	0.58	0.70	0.77	0.83	0.87	0.89	0.89	0.90
	四层	0.50	0.63	0.73	0.80	0.83	0.88	0.89	0.89	0.90
	五层	0.51	0.64	0.73	0.79	0.84	0.85	0.88	0.89	0.90
三层楼中	本跨	0.40	0.52	0.62	0.70	0.76	0.82	0.85	0.89	0.90
	二层	0.40	0.52	0.62	0.70	0.76	0.82	0.85	0.89	0.90
	四层	0.60	0.68	0.75	0.80	0.82	0.86	0.88	0.89	0.90
	五层	0.65	0.72	0.76	0.81	0.84	0.87	0.88	0.89	0.90
三层楼中	本跨	0.45	0.55	0.62	0.70	0.77	0.82	0.87	0.89	0.90
	二层	0.45	0.58	0.68	0.75	0.82	0.85	0.87	0.89	0.90
	四层	0.50	0.60	0.68	0.75	0.84	0.84	0.84	0.87	0.90
	五层	0.55	0.64	0.71	0.76	0.81	0.85	0.88	0.89	0.90
四层楼中	本跨	0.60	0.68	0.74	0.79	0.84	0.86	0.88	0.89	0.90
	三层	0.65	0.71	0.76	0.80	0.84	0.86	0.88	0.89	0.90
	二层	0.65	0.70	0.75	0.80	0.83	0.85	0.87	0.89	0.90
	五层	0.70	0.75	0.80	0.84	0.86	0.88	0.89	0.89	0.90
四层楼中	本跨	0.60	0.68	0.74	0.79	0.84	0.86	0.88	0.89	0.90
	三层	0.65	0.71	0.76	0.80	0.84	0.86	0.88	0.89	0.90
	二层	0.65	0.70	0.75	0.80	0.83	0.85	0.87	0.89	0.90
	五层	0.70	0.75	0.80	0.84	0.86	0.88	0.89	0.89	0.90
五层楼中	本跨	0.65	0.75	0.80	0.84	0.86	0.88	0.89	0.89	0.90
	三层	0.65	0.75	0.80	0.84	0.86	0.88	0.89	0.89	0.90
	二层	0.65	0.75	0.80	0.84	0.86	0.88	0.89	0.89	0.90
	五层	0.70	0.75	0.80	0.84	0.86	0.88	0.89	0.89	0.90

注: 验算点位置见附录A中图A.0.3。

6.4.9 当楼盖上有各台机器同时运转时，在某核算点产生的合成振动位移和速度，应按下列公式计算：

$$A_m = \sqrt{\sum_{j=1}^n A_j^2} \quad (6.4.9-1)$$

$$V_m = \sqrt{\sum_{j=1}^n V_j^2} \quad (6.4.9-2)$$

式中 A_m ——多台机器同时运转时，在楼盖某核算点产生的合成振动位移 (m)；

V_m ——多台机器同时运转时，在楼盖某核算点产生的合成振动速度 (m/s)；

6.4.10 当楼盖上设置的风机、制冷压缩机、水泵等周期性运转机器为 2~4 台时，其合成振动位移或速度可取其中两台在核算点上产生较大的响应振动位移或速度之和。

7 设备布置、隔振及构造措施

7.1 设备布置

7.1.1 有抗振要求的多层厂房，设备的布置应符合下列规定：

- (1) 厂房中有强烈振动的设备或对振动很敏感的设备 and 仪器，宜布置在厂房底层；
- (2) 厂房中有较大振动的设备或对振动敏感的设备 and 仪器，宜靠近承重墙、框架梁及柱等楼盖局部刚度较大的部位布置；
- (3) 厂房内同时布置有较大振动的设备和对振动敏感的设备、仪器时，宜分类集中，分区布置，并利用厂房变形缝分隔；
- (4) 对振动敏感的设备 and 仪器，应远离有较大振动的设备；
- (5) 厂房中有水平扰力较大的设备时，宜使其扰力方向与厂房结构水平刚度较大的方向一致。

7.1.2 多层厂房中设有对振动敏感的设备 and 仪器时，不宜设置吊车。

7.2 设备及管道隔振

7.2.1 设置在楼盖上的牛头刨床、砂轮机、制冷压缩机和水泵等设备，宜采用加设橡胶隔振垫等简易隔振措施。

7.2.2 各类动力设备与管道之间，宜采用软管或弹性软管连接；管道与建筑物连接部位应采取隔振措施。

7.3 构造措施

7.3.1 多层厂房为多跨结构时，宜采用等跨结构。

7.3.2 楼盖采用的混凝土强度等级，不应低于 C20。

7.3.3 装配式楼盖构造,应符合下列要求:

(1) 楼盖主要应按下式验算设计,框架柱与主要应采用刚性接头;

(2) 预制板的板缝中应配置纵长钢筋,其直径不应小于10mm,板缝应采用 C20 细石混凝土填实;

(3) 预制板上必须加设细石混凝土后浇层,其厚度等级不应小于 C20,厚度不应小于 60mm,后浇层中应配置钢筋网,钢筋网中钢筋的间距不应大于 200mm,直径应为 6~8mm,板的交接处,后浇层顶部应加设负弯矩筋,其间距不应大于 200mm,直径不应小于 10mm。

7.3.4 楼板应与圈梁、连系梁连成整体。

7.3.5 厂房底层设有强烈振动的设备时,应设置独立基础,并与厂房基础脱开。

附录 A 多层厂房楼盖振动位移传递系数简化计算法

A.0.1 本附录适用于板梁相对抗弯刚度比 α 在 0.4~3 范围内,厂房跨度少于或等于三跨的现浇钢筋混凝土肋形楼盖或带现浇钢筋混凝土面层的预制情形板楼盖。

A.0.2 位移传递系数的计算,应符合下列规定:

A.0.2.1 当 $f_0 \leq f_1$ 时:

(1) 扰力作用点在梁中或板中,验算点也在梁中或板中的位移传递系数,可按下式计算:

$$\gamma = \gamma_1 \quad (\text{A.0.2-1})$$

式中 γ_1 ——扰力作用点在梁中或板中,机器扰力频率大于或等于楼盖第一频率密集区内最低固有频率计算值且小于或等于楼盖第一频率密集区内最低固有频率时,

楼盖上其它梁中或板中某验算点的位移传递系数。

(2) 当扰力作用点不在梁中或板中,验算点在梁中或板中的位移传递系数,可按下式计算:

$$\gamma = \rho \gamma_1 \quad (\text{A.0.2-2})$$

式中 ρ ——扰力作用点位置换算系数。

(3) 当验算点不在梁中或板中时的位移传递系数,可按本规范第 A.0.5 条的规定确定。

A.0.2.2 当 $f_0 < f_1$ 时:

位移传递系数可按本规范第 A.0.6 条的规定确定。

A.0.3 扰力作用点在梁中或板中,机器扰力频率大于或等于楼盖第一频率密集区内最低固有频率计算值且小于或等于楼盖第一

位移传递系数 γ_k

表 A.0.3

受力作用点位置	验算点所在跨	验 算 点 位 置						
		1	2	3	4	5	6	7
板中	本跨		1.00	$0.55+0.03\alpha-0.1\alpha^{-1}$	$0.50+0.02\alpha-0.12\alpha^{-1}$	$0.30+0.03\alpha-0.1\alpha^{-1}$	$0.18+0.04\alpha$	$0.05+0.03\alpha$
	邻跨		$0.30+0.08\alpha$	$0.20+0.08\alpha$	$0.15+0.08\alpha$	$0.08+0.05\alpha$	$0.06+0.05\alpha$	$0.04+0.02\alpha$
	隔跨		$0.12+0.06\alpha$	$0.10+0.05\alpha$	$0.08+0.05\alpha$	$0.06+0.04\alpha$	$0.04+0.04\alpha$	$0.03+0.01\alpha$
梁中	本跨	1.00	$0.90+0.2\alpha^{-1}$	$0.36+0.08\alpha$	$0.32+0.06\alpha$	$0.10+0.08\alpha$	$0.13+0.04\alpha$	$0.05+0.02\alpha$
	邻跨	0.75	$0.60+0.15\alpha^{-1}$	$0.29+0.06\alpha$	$0.27+0.05\alpha$	$0.10+0.06\alpha$	$0.10+0.04\alpha$	$0.03+0.02\alpha$
	隔跨	0.50	$0.40+0.1\alpha^{-1}$	$0.18+0.04\alpha$	$0.17+0.03\alpha$	$0.08+0.04\alpha$	$0.08+0.03\alpha$	$0.03+0.01\alpha$

注: 8、9点的位移传递系数按 6、7点相应数值乘以 0.8, 10、11点的位移传递系数按 6、7点相应数值乘以 0.6。

当某跨梁区段内无梁时, 楼盖的其它各梁中取板中验算点 (图 A.0.3) 的位移传递系数 γ_k , 可按表 A.0.3 确定。

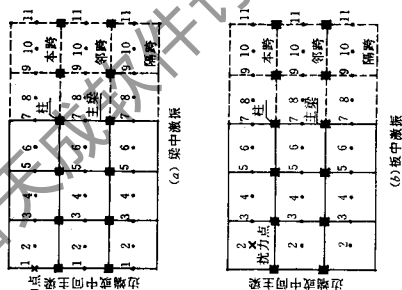


图 A.0.3 按力作用点和验算点位置图

A.0.4 按力作用点位置验算系数 ρ , 可按下列规定计算:

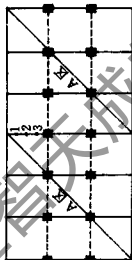
(1) 根据按力作用点和验算点的位置, 将所计算的楼盖分区 (图 A.0.4), 其中 C 区为按力作用点所在的区, 当按力作用点在三跨的中跨时, C 区沿跨度方向的相邻区为 D 区, 单跨楼盖无 D 区;

(2) 当按力作用点在梁上, 验算点位于 A 区时, 按力作用点位置验算系数 ρ 可按表 A.0.4-1 确定;

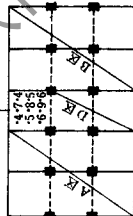
(4) 当扰力作用点在板上, 验算点在 D 区时, 扰力作用点位置换算系数 ρ 可按 A 区、B 区的数值, 由线性插入法计算。

A.0.5 验算点不在梁中或板中时, 其位移传递系数的确定, 应符合下列规定:

(1) 当验算点与扰力作用点不在同一区格时, 可先求出验算点所在区格梁中和板中的位移传递系数 γ_a 、 γ_b 、 γ_c 、 γ_d , 再按图 A.0.5 的规定计算验算点的位移传递系数;



(a) 扰力点作用于梁上



(b) 扰力点作用于板上

图 A.0.4 梁中分区图

表 A.0.4-1 扰力作用点在梁上的 ρ 值

验算点所在区	扰力点位置		
	1	2	3
A 区	1.40	1.00	1.40

(3) 当扰力作用点在板上, 验算点位于 A、B、C 区时, 扰力作用点位置换算系数 ρ 可按表 A.0.4-2 确定;

表 A.0.4-2 扰力作用点在板上的 ρ 值

验算点所在区	扰力点位置				
	4	5	6	7	8
A 区	1.20	1.10	1.20	1.10	1.00
B 区	1.80	1.50	1.80	1.10	1.00
C 区	1.20	1.10	1.20	1.05	1.00

注: 当扰力作用点在 A 区、B 区、C 区时, 靠近扰力点的主要, 其扰力作用点位置换算系数可采用 B 区的数值乘以 0.9。

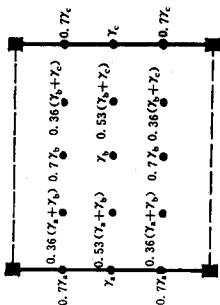


图 A.0.5 验算点与扰力作用点不在同一区格时的位移传递系数

(2) 当验算点与扰力作用点不在同一区格时, 验算点的位移传递系数可按表 A.0.5 计算。

扰力点位置	验算点位置								
	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	1.00	0.69	0.69	1.15	0.91	0.56	0.64	0.64	0.64
5	0.42	1.00	0.69	0.80	0.80	0.38	0.38	0.38	0.38
6	0.59	0.69	1.00	0.90	0.90	0.44	0.44	0.44	0.44
7	0.52	0.52	0.38	1.00	0.80	0.52	0.52	0.52	0.52
8	0.38	0.38	0.52	0.52	0.80	1.00	0.38	0.38	0.38
9	0.38	0.38	0.52	0.52	0.80	1.00	0.38	0.38	0.38

$$\eta = 1.55 + 0.03\eta - 0.1\eta^2$$

A.0.6 机器扰力频率 γ 小于最低第一频率密集区内最低固有频率计算值 γ_1 时, 位移传递系数可按下列公式进行计算 (图 A.0.6):

(1) 当 $0 < \lambda < 0.5$ 时:

$$\gamma = 0.133 F_1 \gamma_1 \quad (\text{A.0.6-1})$$

(2) 当 $0.5 < \lambda \leq 0.95$ 时:

$$\gamma = \frac{0.1 F_1}{\sqrt{(1 - \lambda^2)^2 + (0.1 \lambda)^2}} \gamma_1 \quad (\text{A.0.6-2})$$

(3) 当 $0.95 < \lambda \leq 1$ 时:

$$\gamma = [0.735 F_1 + (1 - 0.735 F_1)(20\lambda - 19)] \gamma_1 \quad (\text{A.0.6-3})$$

式中 λ ——机器扰力频率与最低第一频率密集区内最低固有频率计算值的比值;

γ_1 ——机器扰力频率与最低第一频率密集区内最低固有频率计算值相同时的位移传递系数;

F_1 ——调整系数, 按本规范第 A.0.7 条的规定确定。

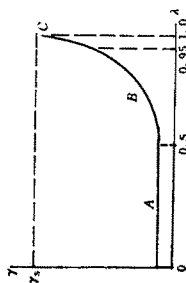


图 A.0.6 γ - λ 关系曲线

A.0.7 调整系数 F_1 , 可按表 A.0.7 确定。

调整系数 F_1 表 A.0.7

机器扰力点位于	被 算 点 位 置				
	5	4	3	2	1
板	本跨 3.20-2.25λ	3.80-2.85λ	10.80-10.00λ	1.00	
中	邻跨 0.09-0.15λ	1.35-0.40λ	2.90-2.05λ	2.70-1.90λ	
	隔跨 1.60-0.75λ	1.60-0.75λ	0.55+0.20λ	0.82	
梁	本跨 3.30-2.55λ	3.30-2.55λ	4.65-3.60λ	12.50-11.5λ	1.00
中	邻跨 1.10-0.35λ	1.20-0.25λ	3.20-2.25λ	4.90-4.00λ	
	隔跨 0.10+0.60λ	0.50+0.30λ	0.82	1.25-0.40λ	

注: 当 λ 小于 0.5 时, λ 取 0.5。

附录 B 本规范用词说明

附加说明

B.0.1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

(1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

(2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

(3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”或“可”；

反面词采用“不宜”。

B.0.2 条文中指定应按其它有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

本规范主编单位、参加单位

和主要起草人名单

主 编 单 位：机械工业部设计研究院

参 加 单 位：上海市建筑科学研究所

北方设计研究院

哈尔滨建筑工程学院

机械工业部第四设计研究院

航空航天部航空工业规划设计研究院

中国电子工程设计院

主要起草人：

刘纯康 徐 建 杨永明 茅玉泉 郭长城
沈健民 叶鹤秀 邱耀亚 程成武 赵佩福
刘世友 陈 巍 朱本全

多层厂房楼盖抗微振设计规范

GB 40190-93

条文说明

本规范是根据国家计委计综 (1984) 305 号文的要求, 由机械工业部负责主编, 具体由机械工业部设计研究院会同上海市建筑科学研究所、北方设计研究院、哈尔滨建筑工程学院、机械工业部第四设计研究院、航空航天部航空工业规划设计研究院、中国电子工程设计院共同编制而成。经建设部一九九三年十一月十六日以建标 (1993) 859 号文批准, 并会同国家技术监督局联合发布。

在本规范的编制过程中, 规范编制组进行了广泛的调查研究, 认真总结我国的科研成果和工程实践经验, 同时参考了有关国外先进标准。并广泛征求了全国有关单位的意见。最后由我会同有关部门审查定稿。

鉴于本规范系初次编制, 在执行过程中希望各单位结合工程实践和科学研究, 认真总结经验, 注意积累资料, 如发现需要修改和补充之处, 请将意见和有关资料寄交机械工业部设计研究院 (北京王府井大街 277 号, 邮政编码: 100740), 并抄送机械工业部, 以供今后修订时参考。

中华人民共和国建设部

一九九三年十一月

1 总 则

1.0.1、1.0.2 随着工业建设的发展,为了节约土地,减少管线长度和生产运输距离,多层工业厂房越来越多,需要有这么方面的设计规范来指导机器设备上楼的布置设计,本规范为中小型金属切削机床、制冷压缩机、电机、风机或水泵等设备设在楼层上时的抗振设计提供了整套设计方法,其目的是将机器设备上楼后楼盖产生的振动对机床加工精度、仪器仪表正常工作 and 操作人员健康的影响控制在允许限值内,通过对已投入使用 70 多个多层厂房调查,目前上楼的动力设备其扰力一般都小于 600N,本规范的试验和调查资料都是在这种条件下得到的,因此规范提出了动力荷载在 600N 以下的限制。

1.0.3 本规范仅对楼盖的抗振设计作出规定,对于多层厂房的静力和抗震设计,仍需按相应的国家现行标准规范进行设计。

目 次

1 总 则	7-24
3 基本规定	7-25
4 动力荷载	7-26
4.1 机床扰力	7-26
4.2 风机、水泵和电机扰力	7-26
4.3 制冷压缩机扰力	7-26
5 竖向振动允许值	7-27
6 竖向振动值	7-28
6.1 一般规定	7-28
6.2 楼盖刚度计算	7-28
6.3 固有频率计算	7-29
6.4 竖向振动值计算	7-29
7 设备布置、隔振及构造措施	7-36
7.1 设备布置	7-36
7.2 设备及管道隔振	7-37
7.3 构造措施	7-37

在满足加工粗糙度要求“较粗”时（即楼盖控制点合成振动速度度不大于 1.5mm/s ）楼盖的最低刚度与机床分布密度、梁板刚度比之间的关系。

3 基本规定

3.0.1 本条根据多层厂房楼盖抗微振设计的需要，提出了楼盖抗微振设计所需的资料。

3.0.2 本条根据对目前我国已经建成投产的多层厂房的调查研

究，提出了适合我国国情的楼盖形式。

3.0.3 本条是根据 73 个多层厂房的发展调查而提出楼盖梁、板的最小尺寸，供设计者在初步设计时参考，同时也可避免设计时采用过小的截面尺寸而造成不良后果。

3.0.4 本条强调各类设备的动力荷载应由设备制造厂提供，但目前并非所有的上楼设备都具有动力资料，当没有动力资料时应按第 4 章的规定确定。

3.0.5 各类机床、仪器和设备的振动允许值应由制造厂家或研制部门提供，但鉴于国内外目前还无法做到，为今后能逐步达到上述要求，因此本条中强调应由有关部门提出。

3.0.6 本条给出了动力设备上楼后楼盖上产生的振动对机床加工精度、仪器或设备正常工作以及操作人员健康的影响限制在允许范围内的设计表达式。

3.0.7 机器设备上楼楼盖的振动计算比较复杂，规范编制组通过大量调查统计分析后，提出了楼盖界限刚度值，设计时只要采用的楼盖刚度不低于该界限值，楼盖振动就可以基本上控制在设备加工精度要求的允许范围内。统计表明，每台机床在生产区的占有面积大致可分为三类，即密集（小于 $10\text{m}^2/\text{台}$ ）、一般（ $11\sim 18\text{m}^2/\text{台}$ ）、稀疏（大于 $18\text{m}^2/\text{台}$ ），各自所占的比例约为 18%、62%和 20%。表 3.0.7 就是根据本规范的机床扰力值，按最不利的排列进行振动计算，

4 动力荷载

4.1 机床扰力

4.1.1、4.1.2 决定机床扰力的影响因素很多,如运转质量、不平衡的偏心距、加工材料和切削量、操作过程中回转轴时的脉冲性冲击和运行部件间的摩擦等,因此机床扰力很难由质量、偏心距和频率的关系来确定。

表 4.1.1 中的机床扰力值是采用对称质量偏心法、共振模拟法和弹性变算法对几十台机床进行试验,测定了综合整向效应的扰力值,按同类分组进行数理统计分析,使所提供的机床扰力具有 95% 以上的保证率,因此表 4.1.1 中的机床扰力值是当量空向扰力。

机床扰力作用点的确定,曾有三种观点:一是在加工部位的主轴旋转中心;二是取机床的质心;三是根据试验实测时,均取机床支承结构处的振动量,所以应取机床支承底面积中心。为了便于取值,并与试验一致,本规范取机床支承底面积中心作为扰力作用点。

4.2 风机、水泵和电机扰力

4.2.1~4.2.3 风机、水泵和电机属于旋转运动设备,这类设备在传动过程中由不平衡质量引起的扰力,除了与偏心质量、偏心距和工作频率有关外,还与制造装配的密合性、间隙、磨损、轴承变形以及运转部件质量分布不均匀程度有关。这三类设备的工况属稳态振动,其扰力的确定采用理论公式(4.2.1-1)计算,取叶轮和转子的质量作为旋转部分的质量,其它部分影响综合到对应的当量偏心距 e_0 中。当量偏心距 e_0 按下列方法确定:

(1) 风机的当量偏心距是根据国家标准图 CG327 提供的扰力试验资料核算得到的,由于风机分直联和皮带传动两种,直联式风机无附加传动部件,运动平稳,因此偏心距比皮带传动式小。

(2) 目前上装的水泵大多数是清水泵,清水泵的允许偏心距根据技术条件规定,叶轮不平衡试验精度不应低于 G6.3 级,即 $e_0 \omega = 6.3$,其叶轮质量不平衡偏心距,参照国外资料,将产品的允许偏心距乘以 10 倍得出当量偏心距。

(3) 根据电机技术条件规定,电机转子的允许偏心距 e_0 按下列公式确定:

$$e_0 = Gr / W \quad (1)$$

式中 G ——转子不平衡重量;

r ——转子半径;

W ——转子重量。

参照国外资料,将电机的允许偏心距乘以 5 倍得出当量偏心距。

在规范编制过程中,对表 4.2.2 所列的当量偏心距进行过可靠性试验,对 5 台风机、3 台水泵和 8 台电机进行扰力试验,试验结果表明按表 4.2.2 计算的扰力值为试验值的 1.2~2.5 倍,按表 4.2.2 的当量偏心距计算设备的扰力值是安全可靠的。

4.3 制冷压缩机扰力

4.3.1~4.3.3 制冷压缩机通常称为冷冻机,属旋转往复运动设备,气缸型式有立式、V 型、W 型、S 型四类,曲柄可分为单柄和双曲柄,当制冷压缩机各列往复质量相等并配以适当的平衡块时,理论上,一阶阶扰力和扰力矩是完全平衡的,只有二阶扰力和扰力矩;而高阶扰力很小可忽略不计。至于配用电机产生的一阶扰力可由公式(4.2.1-1)计算,与制冷压缩机扰力同时

作用于支撑结构上。

在计算轴经压缩机的扰力和扰力矩时，扰力矩和水平扰力引起的回转子矩可以简化为一对方向相反的竖向扰力，作用于设备底座边缘或底座螺栓的位置，而扭转力矩可忽略。

5 竖向振动允许值

5.0.1、5.0.2 本章针对多层工业厂房中机床、仪器和设备上楼后的抗微振要求，提出了相应的振动控制标准，适用于机械加工、装配调试、科研试验楼等多层建筑。

由于对振动的控制部位有不同的要求和理解，从机床、仪器和设备的生产、研制部门角度来说，要求控制其最敏感的部位，如机床的加工刀具与工件接触部位、仪器设备的光栅、光栅读数部位或支承刀口部位等。但从土建工程设计角度来说，上述部位的振动控制需换算到直接支承机床、仪器和设备的支承台面，即台面或基座表面的振动。因此本章所规定的振动允许值的控制部位一律指机床或仪器、设备的支承面上。

表达振动允许值的参量是很复杂的。大量试验表明，机床、仪器和设备的振动允许值并非常量，在试验的幅频曲线上呈现出复杂的关系。每种设备有若干共振频率，在这些共振频率上表现出它们对振动敏感，而在其它频率上不太敏感。即使同种设备，由于制造和装配的误差不同，每台设备的共振点也不会在同一频率上。若要用这些曲线来表达多种机床、仪器和设备的振动允许值，显然是不现实的。经过对试验数据的统计分析得出每种机床、仪器和设备的振动允许值，在诸多物理量中总能接近某个振动物理量，统计结果表明这个物理量就是振动速度。同时试验又表明，也有部分仪器、设备的振动允许值受振动频率的影响不太明显，而采用振动位移来控制更接近实际。为此本章在限定振动允许值以振动速度作为基本控制指标的同时，对部分仪器、设备在频率为 10Hz 以下的低频段增加了振动位移的控制指标。

本章表 5.0.1 和表 5.0.2 规定的振动允许值是根据下列因素

确定的:

(1) 保证机床、仪器和设备正常工作 and 加工精度要求, 不致因上楼设备的运行而影响产品质量和操作人员的工作与健康;

(2) 所给定的振动允许值以试验为基本依据, 是 30 年来对仪器仪表和设备正常工作状态下的测试资料和对生产实践经验的广泛调查研究的成果。

本规范所确定的振动允许值只列举了可以上楼的仪器设备并经过试验、调查和统计分析的机床和仪器设备。对于未列入和由于科学技术的发展而研制和生产的新设备的振动允许值, 仍应按上述原则要经过试验确定。在无试验条件的情况下, 可以参照本章确定, 这时首先应将结构特征和工作原理与本章中同类设备的结构特征和工作原理相近的设备进行对比, 以确定该机床或仪器、设备振动允许值的衡量标准, 然后比较它们的加工或测试精度, 以确定该机床或仪器、设备的振动允许值。

6 竖向振动值

6.1 一般规定

6.1.1 本条提出了楼盖振动计算的步骤和要求。
6.1.2 为了简化计算, 规范编制组经过多年的试验研究分析, 提出了简而易用且具有一定准确性的抗力作用点下振动位移的计算方法, 该方法是将楼盖沿纵向视作彼此分开的多跨连续 T 形梁, 当计算主梁上抗力作用点下的振动位移时, 则可直接将主梁视作 T 形梁来计算。因此, 楼盖的振动计算简化为 T 形单跨或多跨连续梁的计算模型。

6.1.3 钢筋混凝土楼盖结构的阻尼比 ζ , 通过大量实测资料统计, 装配式楼盖的阻尼比为 0.065~0.08, 现浇混凝土楼盖的阻尼比为 0.045~0.06, 本规范中阻尼比统一取为 0.05, 是偏于安全的。

6.1.4 通过三组混凝土构件 (C20、C30、C40), 分别在静态万能试验机及动态试验机上进行试验, 动荷载的频率范围为 10~40Hz, 三组试件平均动静态弹性模量比值见表 1:

动静态弹性模量比值				
表 1				
动荷载幅度(N)	2000~5000	5000~10000	5000~20000	10000~30000
E_d/E_g	1.04	1.16	1.27	1.34

由于本规范上楼设备属中小型, 抗力很小, $E_d/E_g < 1.04$, 因此建议混凝土的动静态弹性模量可近似地取静态弹性模量。

6.2 楼盖刚度计算

6.2.1~6.2.3 本节给出钢筋混凝土防形楼盖或装配式楼盖

刚度计算公式, 其计算简图按本规范第 6.1.2 条的规定采用。

6.3 固有频率计算

6.3.1~6.3.3 楼盖竖向固有频率的计算, 按本规范第 6.1.2 条中给出的计算模式进行, 即采用单跨或多跨连续梁的计算模型, 由梁的自由振动方程式:

$$\frac{(1+ir)EI}{\bar{m}} \frac{\partial^4 z}{\partial x^4} + \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = 0 \quad (2)$$

可解得 K 型固有频率:

$$f_k = \varphi_k \sqrt{\frac{EI}{\bar{m} l^4}} \quad (3)$$

$$\varphi_k = \frac{a^2}{2\pi} \quad (4)$$

第 6.3.3 条给出了固有频率系数 φ_k 的计算表格。

6.3.6 在梁上同时具有均布质量 m_u 和集中质量 m_j 时, 用精确法求算该体系的固有频率和振型是十分复杂的, 可近似地采用“能量法”将集中质量换算成均布质量, 较简便地求出该体系的固有频率和振型。对于同时具有均布质量 m_u 和集中质量 m_j 的梁, 假定其振型曲线 $z(x)$ 与具有均布质量 $\bar{m}$ 梁的振型曲线相同。

当仅有均布质量 m_u 时, 体系的固有圆频率为:

$$\omega = \sqrt{\frac{\int_0^l EI [z''(x)]^2 dx}{\int_0^l m_u z^2(x) dx}} \quad (5)$$

当既有均布质量 m_u , 又有集中质量 m_j 时, 体系的固有圆频率为:

$$\omega = \sqrt{\frac{\int_0^l EI [z''(x)]^2 dx}{m_u \int_0^l z^2(x) dx + \sum_{j=1}^n m_j z_j^2}} \quad (6)$$

令两者的固有频率和振型相同可得:

$$\bar{m} = m_u + \frac{1}{l} \sum_{j=1}^n m_j k_j \quad (7)$$

$$k_j = \frac{l^4 z_j^2}{\int_0^l z^2(x) dx}$$

表 6.3.7 中的 k_j 值就是按上式求得的, 上述公式是按单跨梁推导的, 关于连续梁上的集中质量换算成均布质量, 其原理与单跨梁相同。

6.4 竖向振动计算

6.4.1、6.4.2 楼盖抗力作用点的竖向振动位移, 采用了连续梁的计算模型, 由梁的振动方程:

$$\frac{EI}{\bar{m}} (1+ir) \frac{\partial^4 z(x,t)}{\partial x^4} + \frac{\partial^2 z(x,t)}{\partial t^2} = \frac{P(x)}{\bar{m}} e^{i\omega t} \quad (8)$$

可解得:

$$z(x,t) = \sum_{k=1}^n \frac{\beta_k}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_k^2}\right)^2 + (2\zeta_k)^2}} z_k(x) e^{i(\omega t - \gamma_k)} \quad (9)$$

$$\beta_k = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{P_j(x)}{\bar{m}} z_k(x)}{\omega_k^2 \sum_{j=1}^n \int_0^l z_k^2(x) dx} \quad (10)$$

生一定的误差。规范做了以下考虑：计算连续梁第一密集区内最低和最固有有频率时，考虑 $\pm 20\%$ 的误差范围，如图1所示，然后将频率密集区内多条 A - γ 响应曲线汇成一条包络线a、b、c、d、e，从而可将多自由度体系用当量单自由度体系的形式来表达。

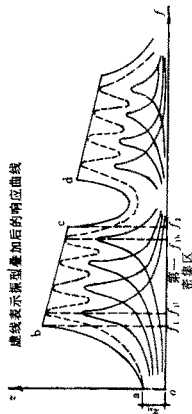


图1 A - γ 响应曲线

然后在此基础上将响应曲线按不同频率进行分段，计算其振动位移，在共振区前 $f_0 < f_1$ 时按下述推导公式计算：

$$A_0 = A_u + A_1 (\eta_1 - 1) \quad (16)$$

$$\eta_1 = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{f_0^2}{f_1^2}\right)^2 + \left(2\frac{f_0^2}{f_1}\right)^2}} \quad (17)$$

当 $f_1 < f_0 \leq f_2$ 时：

$$A_0 = A_u + A_1 (\eta_1 - 1) + A_2 \left(\frac{1}{2\zeta} - \eta_2 \right) \quad (18)$$

$$\eta_2 = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{f_0^2}{f_2^2}\right)^2 + \left(2\frac{f_0^2}{f_2}\right)^2}} \quad (19)$$

由于(6.15)式和(6.17)式在 $f_0 = f_1$ 处不连续，因此

$$\gamma_k = \tan^{-1} \frac{2\zeta}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_k^2}} \quad (11)$$

$$\omega_{sk} = \frac{\omega_k}{\sqrt{1 - \frac{\omega^2}{\omega_k^2}}} \quad (12)$$

如果略去相位角 γ_k ，并令 $\sin \alpha_k = 1$ ，则得到梁上任一点 x 处的最大位移方程为：

$$A(x) = \sum_{k=1}^n \frac{\sum_{i=1}^n P_i(x) z_{ik}(x) dx}{m \omega_{sk}^2 \sum_{i=1}^n \int_0^l z_{ik}^2(x) dx + (2\zeta)^2} z_k(x) \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_k^2}\right)^2 + (2\zeta)^2}} \quad (13)$$

当连续梁第 s 跨作用有一集中扰力 $P_s \sin \alpha t$ 时，则：

$$\sum_{i=1}^n P_i(x) z_{ik}(x) dx = P_s z_{sk}(x_p) \quad (14)$$

式中 x_p ——集中扰力 $P_s \sin \alpha t$ 离支座的距离。

$$A(x) = \frac{2P_s l^3}{nEI} \sum_{k=1}^n \frac{z_{sk}(x_p) z_{ks}(x)}{\alpha_k^4} \left(\frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_k^2}\right)^2 + (2\zeta)^2}} - 1 \right) + A_u + A_1 (\eta_1 - 1) \quad (15)$$

本规范采用连续梁模型来计算楼盖的固有频率和扰力作用点下的位移，由于做了简化处理，楼盖固有频率和位移计算必将产

将 (6.15) 式改为:

$$A_0 = \frac{1}{1 - \frac{2\eta_1}{A_0}} A_0 \frac{\eta_1 - 1}{1 - \frac{2\eta_1}{A_0}} A_1 \quad (20)$$

规范中引用了空间影响系数 η ，这是由于连续梁的计算简图是将被激励作彼此独立的梁来进计算，未考虑其空间整体作用，因此计算结果均较实测数据大，通过计算与实测数据对比分析，引入空间影响系数 η 后，使计算结果更符合实际，用本规范方法计算跨中板条上激励点下位移和固有频率与实测结果的对比见表 2。

6.4.3 抗力作用点下位移计算的修正系数 ϕ 值，是由于计算和实测对比分析都是根据二跨及三跨多跨连续梁激励跨的路中板条作为一连续梁计算的，对于抗力作用点在单跨跨中或三跨中间跨的路中板条上时，通过有限元计算得到其位移与前者的比例关系分别为 1.2 和 0.8。

用本规范计算激励点下位移与自振频率与实测结果对比 表 2

厂 房	激励点 板条中	自振频率 f_n Hz			激励点位移 μm		
		板	中	梁	板	中	梁
徽县轴承厂	130	1325	20	21.02	9.5	24.6	—
	130	1325	23.7	20.8	8.6	27.6	—
	1735	1707	26	21.02	122	26.3	—
上海机床厂 中小件车间	700	—	23.8	23.6	109.5	23.7	—
	700	—	15.42	—	112	—	—
	746	—	15.10	—	119	—	—
上海机床厂	154	1009	16.0	—	36	—	—
	154	1009	16.0	17.5	10	27.6	—
	154	1326	16	18.4	11.5	22.5	—
上海机床厂	154	1326	21	17.5	10.4	35.2	—
	154	1326	21	20.8	6.7	46.5	—
	154	154	16	17.5	10.7	4.1	—
石家庄电机厂	113	157	13.3	14.6	5.3	4.4	—
	113	157	13.3	17	5.2	4.2	—
	113	157	13.3	14.6	2.8	4.6	—
石家庄电机厂	147	—	13.3	—	9.2	4.4	—
	147	—	15	—	7.2	—	—

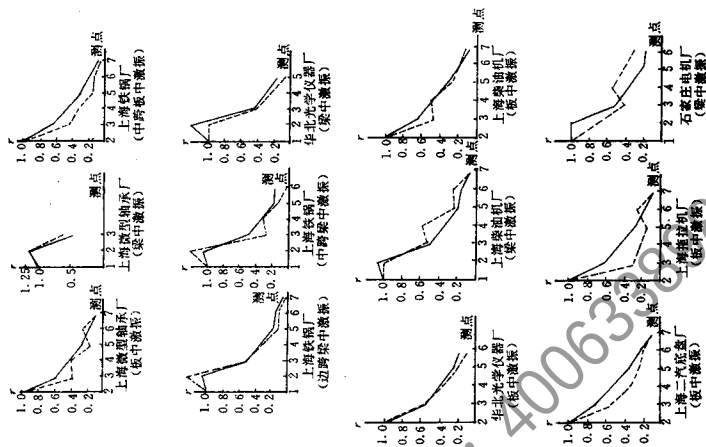
表 2

厂 房	激励点 板条中	自振频率 f_n Hz			激励点位移 μm		
		板	中	梁	板	中	梁
华北光学仪器厂	162	162	15	19	12.9	10.1	—
	113	113	17.75	17.25	10.1	9.6	—
	56	56	17.75	18.25	8.4	4.9	—
上海机床厂 上海分厂	154	154	15	19	8.4	3.9	—
	56	56	15	18.25	4.9	3.6	—
	154	154	15.46	14.8	13.1	9.5	—
唐山机床厂 研究组	154	154	15.46	15.4	15.5	6.7	—
	239	239	21.40	—	14.7	—	—
	239	239	31.562	30.20	15.4	—	—
上海电机厂	165	165	12.7	—	5.3~45.36	4.95~3.03	—
	165	165	13	—	15.4	—	—
	165	165	15.2	—	16.6	—	—
东方造纸厂	165	165	22	—	16.9	—	—
	165	165	17.3	—	7	—	—
唐山电子厂	—	—	19	—	5.3	—	—
	—	—	34.75~25.44	—	—	—	—

6.4.4 机床是一个多自由度振动体系，其工作转速随加工材料和工艺要求不同，变化范围很大，且自振频率，很难避开激励的固有频率，因此机床的抗力频率可近似地取激励的第一密集区中最低固有频率 f_{n1} 。

6.4.5 机器抗力作用点以外的激励响应简化计算法的原则，提出是以有限单元法为基础，采用计算和实测相结合的原则，吸取了国内所提出的各种计算方法中的优点。

简化计算法的基本思想是：抓住一条主线，做出三个修正。一条主线是抗力点作用于梁中（板中）共振时，其它各梁中（板中）位移传递系数的计算，三个修正：抗力点不在梁中（板中）位置修正；激励点不在梁中（板中）的修正；非共振（共振前）的修正。



影响楼盖振动位移传递系数的因素有：板梁刚度比，阻尼比，频率比，应力点及验算点的位置等。由于本规范中阻尼比已取为定值 0.05，其它因素简化计算方法中均给予考虑。

(1) 应力点作用于梁中（板中）时，其它各梁中（板中）位移传递系数 η_i ，是通过 44 个横和厂房的有限元计算和 10 多个厂房实测结果进行统计和回归。结果表明：单跨、二跨和三跨的回归分析，对得到的曲线进行归一化，得出 η_i 的计算公式。

所选取厂房的板梁刚度比变化范围为 $0.4 \sim 3.0$ ，取单跨、二跨和三跨分别进行统计和回归。结果表明：单跨、二跨和三跨的本跨、二跨和三跨的邻跨，其位移传递系数的数值相差不多（小于 10%），为简化计算，对本跨和邻跨按同一公式考虑。

(2) 对应力点不在梁中（板中）时的位移传递系数与应力点作用于梁中（板中）时位移传递系数的比值分析发现，在某些区域内，应力点位置换算系数 ρ 为常数。

ρ 值与板梁刚度比有关，但相差不大（小于 15%），为简化起见，换算系数取其包络值，而不与板梁刚度比相联系。

(3) 验算点位置换算系数是采用插值法原理并根据有限单元法计算结果进行了调整。

(4) 共振前的传递系数，采用有限元进行分析，频率比采用 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.75、0.8、0.85、0.9、0.95、1.0 共 13 个档次，对于每一验算点，其传递系数随频率比呈抛物线变化，类似于单原点放大系数曲线，但其数值不同，两者的差别用函数 F_i 来修正。

计算结果表明：当频率比 $\lambda < 0.5$ 时，其传递系数变化较小，接近常数；当 $0.5 < \lambda < 0.95$ 时呈抛物线变化，当 $0.95 < \lambda < 1$ 时呈直线变化。

用本规范计算的传递系数值与实测结果的对比见图 2。

(一) 层间振动传递的实测试验

(1) 层间振动传递实测试验的结果。实测试验结果表明：层间传递比离散性较大，主要由于影响层间振动的因素较多，如各层楼盖及与振源远近的不同测点均存在一定的共振频率差；在某一共振频率时，并不是各层楼盖及各测点均出现振动的最大响应；在实测试验中存在某些外界振动干扰或因振源位移较小等因素，给实测试验结果带来误差。

6个多层厂房的实测值，均考虑在某一共振频率带区内的最大响应，在多个共振频率下，可得到不同的试验值，剔弃过大、过小值，然后对1个厂房的多个数据取其均值为实测值。

从6个多层厂房楼盖层振动传递的数据中取保证率为90%以上进行回归分析，并以此作为确定对应距振源 r 处的层间传递比。层间振动传递比的大小，一般远处大于近处，大约传到4个柱距可考虑接近1；振源附近各层相差较大，而远距振源各层相差甚小；上层区域大于下层区域；隔跨区域大于本跨区域；振幅小时大于振幅大时。

(2) 生产使用时的层间振动传递比。从西安东风仪表厂实际生产使用时的测定表明：当二层机床开动率为60%~80%时，梁中最大振位移1~6 μ m，板中最大位移2~10 μ m，振动传到三层；其上下对应点的层间振动传递比，梁中为0.35~0.50，板中为0.20~0.60，振幅小时传递比大，反之则小。

(二) 计算程序说明

为了进行楼盖层和层间振动位移传递系数的计算，规范编制了专门计算程序，其计算模型和计算原理如下：

- (1) 计算模型。
- (a) 以楼盖层结构板各个厂房为对象做整体计算；
- (b) 略去水平位移；
- (c) 每个结点取3个自由度，竖向位移及绕两个水平轴的转动；

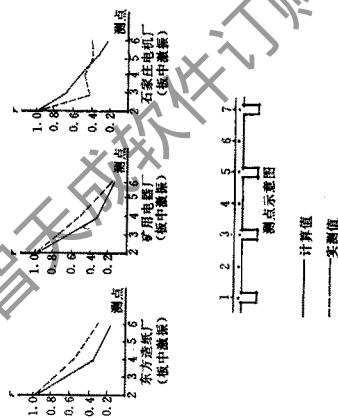


图2 本规范传递系数简化计算方法与实测结果对比

6.4.6、6.4.7 多层厂房楼盖上各种动力机器设备在生产使用过程中，产生的振动将波及到整个厂房，当楼层内设有精密加工设备、精密仪器和仪表时，其精度和寿命会受到严重的影响，因此必须考虑激励层的平面振动传递，然后通过激励层的柱子传递到其它受振层。

层间振动传递是个复杂的问题，早在60年代初就提出来了，并进行了实测试验。80年代后期，对此又继续进行了实测试验，并进行了理论研究。对层间振动传递较为系统地进行了6个多层厂房的实测试验，还有个别局部试验或实际生产的测定。在理论研究方面，将多层厂房分简为楼板于结构及柱子于结构，采用固定界面模态综合法计算，并编制了电算程序，其计算值与实测结果相比吻合较好，为层间传递比提供了较为可靠的基础。

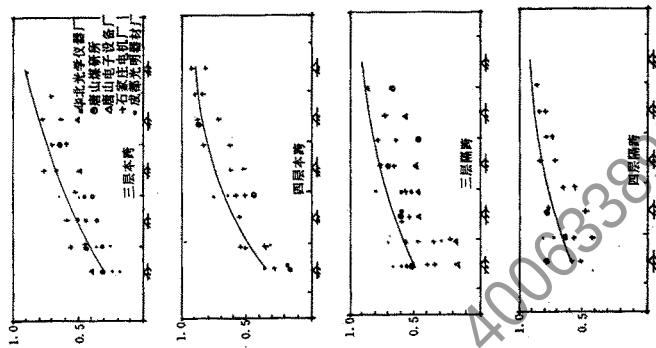


图 3 二层层间位移与总位移之比

(d) 次梁和板合并为各向异性板;

(e) 考虑主梁扭转及柱子变形。

(2) 计算原理。楼层层间位移的计算采用 RITZ 向量直接叠加法。先计算 RITZ 值和 RITZ 向量, 然后按 RITZ 向量分解求动力反应。由于利用了荷载空间分布特点, 给出了良好的初始向量。无需迭代, 因而较于空间迭代法省时间、省机时, 也使楼层层的计算可以在微机上实现。

层间位移的计算将多层厂房分割为楼板和柱子子结构, 采用带阻尼理论, 用固定界面概念综合法计算。

6 个多层厂房实测试验结果与本规范计算结果的对比见图 3、图 4。

6.4.9、6.4.10 对于多层厂房楼盖结构, 一般有多台机器同时作用。每台机器都是引起楼盖结构振动的振源, 楼盖上某点在各振源作用下受迫振动的大小, 取决于这些振源引起的振动响应如何合成。实测结果表明: 楼盖振动的合成响应是随机的, 因为机器的力幅、频率、相位差与加工情况等都有很大的随机性。另外对于多自由度体系的楼盖而言, 在随机力作用下的最大振动响应往往不会在同一时刻到达, 因此多台机器共同作用下的动力响应合成是随机反应遇合与振型遇合的统计率问题。

目前考虑响应合成的方法有如下几种:

(1) 总和法: 前苏联 M200-54 认为最大合成响应为各振源单台最大响应的绝对值总和。

$$w = \sum_{i=1}^n |w_i| \quad (21)$$

(2) 最大单台相关法: 以某单台响应为基数再乘以综合影响系数 k 。

$$w = k |w_i| \quad (22)$$

(3) 平方和开方法: 合成响应为各单台响应的平方和开方。

$$w = \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i^2} \quad (23)$$

根据大量的实测对比, 总法和法与实测偏大很多, 因为它没有考虑振源源的随机特性、运动方式、布置位置等因素, 而是振动响应合成的数值, 因而是保守的不合理的。最大单台相关法中, 影响系数 k 值的影响因素太多, 如机床的数量、扰力大小、机器布置和运动方式等, 并且在同一楼层上, 不同验算点的 k 值也不同。 k 值的统计值的波动幅度很大 (约为 1.5~6.0), 因而很难准确选取, 而且从理论上多台响应只与某一单台响应有关也是不成立的。

平方和开方法是我国于 1978 年提出来的, 它是用随机函数理论在平级、正态假定下得出的结果, 同时考虑了随机反应遇合与振型遇合, 有一定的理论根据。经过对 95 个合成响应实测资料统计分析表明, 用平方和开方法计算合成振幅值与合成振幅值的比较结果为: 平均值 $\bar{x} = 1.12$, 均方差 $\sigma = 0.172$, 离散系数 $C_v = 0.176$ 。因此用此法计算有较高的精度, 但是由于有一些是在机器空转下的实测结果, 因此为了进一步验证平方和开方法的可靠性, 规范编制组织有关单位做了机器正式加工下的振动合成试验, 共实测了 144 个测点, 合成机器台数为 2~9 台, 机器有车床、刨床等各种类型。根据实测结果整理出平方和开方法的可靠度见表 3。

上述多台机器加工时的合成响应试验还有一个缺点, 即单台机器振动实测与多台机器合成振动的实测在时域上不同步。为了进一步检验平方和开方法的可靠性, 又采用了机器振动响应的人工随机合成试验, 具体做法是先将单台机器的实测记录随机抽样通过 CAD 数据转换输入计算机, 然后在计算机上进行多台合成, 合成过程在全时域上进行。最后用平方和开方法同总和法的计算合成与人工随机合成结果相比较, 采用平方和开方的方法是合理的。

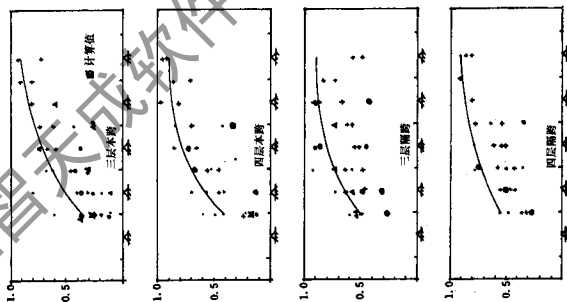


图 4 二、三层中剪力层间振动传递比

平方和开方法的可靠度

表 3

机器台数	2	3	4	5	7	9
测试次数	56	24	24	16	16	8
可靠度 100% 的台数	32	13	19	15	11	6
可靠度 < 100% 的台数	24	11	5	1	5	2
最小可靠度 (%)	98.15	98.86	99.86	99.99	99.99	99.99

合成动力响应采用平方和开方法计算简便、精确度高、可靠度亦大,尤其是机器台数多,且类型又多样时,则与平穩、正态假定愈符合,计算精度亦愈高。但对于应力周期性较强的同类型机器(如风机、冷冻机等),且台数为 4 台或 4 台以下时宜作修正。理论分析表明:对四台同等简谐应力作用下,仅考虑相位随机因素时,平方和开方法的可靠度为 84%。实测结果表明,可以直接取其中最大两个单台响应之和。

7 设备布置、隔振及构造措施

7.1 设备布置

7.1.1 本条从设备布置方面对有抗振要求的楼盖设计提出要求,以限制有强烈振动的设备引起楼盖产生较大的振动,减小对振动敏感设备、仪器的不利影响。在设备布置时,应首先考虑把它们放在厂房的底层。否则应限制个别有强烈振动的设备产生的振动,或为满足个别对振动敏感的设备、仪器的振动控制要求,而采用提高整个楼盖结构刚度的方案在经济上是不合理的。

楼盖振动虽然不遵循类似于地面振动沿各辐射方向有大致相同的振动衰减规律,但有强烈振动的设备安装处将引起较大的楼盖振动,且在其附近常有局部振动。虽然此类设备自身对振动限制不严,但它产生的振动波及邻近区域,对其它仪器、设备产生影响。因此,有较大振动的设备和对振动敏感的设备、仪器应分别集中、分区布置。有条件时,可利用厂房伸缩缝(沉降缝、抗震缝)进行分隔。伸缩缝等在构造上若处理得当,对楼盖振动有一定的隔离作用。试验资料表明,有时伸缩缝等可减小 40% 左右的振动力。

对于目前常用的梁板式楼盖,靠近支座(如框架柱、承重墙)部位振动力相对较小。若把对振动敏感的设备、仪器布置在这些楼盖局部刚度较大的部位,则可减小楼盖振动对它们的影响。同理,当设备扰力作用在这些部位时,引起较小的楼盖振动。在这些部位布置有较大振动的设备也是适宜的。

本规范中楼盖的抗振设计主要考虑楼盖垂直振动的的影响,楼盖上设备的水平扰力对楼盖振动的影响采用一对竖向集中力等

效, 当多层厂房需要克服水平振动影响时, 使水平抗力较大设备的抗力方向与厂房结构水平刚度较大的方向取得一致是有益的。

7.1.2 调查结果表明, 设有吊车的多层厂房, 吊车运行时楼盖上的设备将受到较大的振动影响, 有些工厂的吊车只有等楼盖上的设备不工作时才能使用。有防震要求的多层厂房, 一般不应设置吊车。

7.2 设备及管道隔振

7.2.1 对有强烈振动的设备采取隔振措施可以有效地控制楼盖振动。

砂轮机、空调设备等也宜采用简易隔振措施, 如加设橡胶隔振垫等。在多层厂房使用调查中发现, 有的厂房楼盖上的墙体受到未经隔振的砂轮机的影响, 加工精度不能满足要求; 又如某厂房安装在楼盖上的万能工具显微镜, 因空调设备的运行无法正常工作。

7.2.2 动力设备与管道之间若不用软管连接, 将导致管道振动过大, 严重时会引起管道连接处损坏。在管道与建筑物连接部位采用简易隔振措施 (如弹性套垫等), 可防止安装在墙体上的某些仪表、开关失灵, 也可避免因管道振动造成墙体开裂。

7.3 构造措施

7.3.1 多层厂房为多跨结构时, 采用等跨结构与采用不等跨结构相比, 前者各跨间楼盖的振动分布比较均匀, 便于灵活布置对振动要求相近的设备。

7.3.3 采用装配式楼盖时, 必须采取措施增强楼盖的整体性, 否则将大大降低楼盖的抗微振能力。如因主梁未按组合梁设计, 后浇层厚度过薄, 将造成楼盖整体性差、刚度不足, 导致楼盖振动过大。

7.3.4 楼板与圈梁、连系梁连成整体, 可起到约束楼盖四周边

界振动的作用。

7.3.5 在厂房底层, 有强烈振动的设备应设置独立基础并与厂房基础脱开, 可避免其振动直接通过柱子或墙体传给楼盖, 减小对楼盖的振动影响。