

平面结构振动周期及鞭梢效应的研究

汪礼顺*

摘要 本文研究了两种形式的18米跨度R,C,屋架和双跨四层刚架的前五个振动周期及相应的振型曲线,以及鞭梢效应对刚架的影响。

关键词 振动周期,鞭梢效应,平面结构

前言

平面结构自振周期的计算是一个相当复杂的问题,但用平杆程序,将信息 Du 填上适当烈度,问题便迎刃而解。这里就两种形式的18米跨度R,C,屋架,所计算出的全部内力及振型等,列出了前五个周期及其对比情况;还就四层双跨刚架及鞭梢效应进行了研究。双跨四层刚架的振动周期介于0.4至0.5秒之间,如有鞭梢影响,则周期会加长,对抗震不利。但我们发现鞭梢作用使振型后移,这从后面图示振型曲线的反曲点变化,可以察觉这一奇特现象。这是一般中外文教本中未曾论述过的概念,本文正式提出,对工程振动的研究具有一定参考价值。

1 三角形屋架与折线形屋架振动周期及其比较

图1所示为18米跨度三角形R,C,屋架,采用平杆通用程序计算,其部分结果如下:

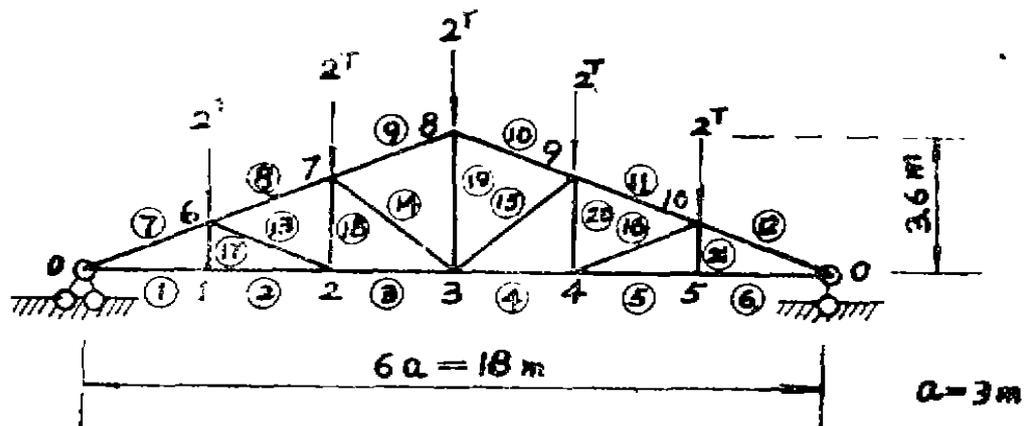


图 1

注:圆圈内为单元编号

本文于1988年12月16日收到。

*参加本文工作的还有杨玉林同志。

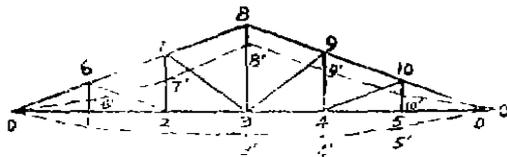
截面尺寸:

	b	h
上弦	20	24 (cm)
下弦	20	16 (cm)
腹杆	14	14 (cm)

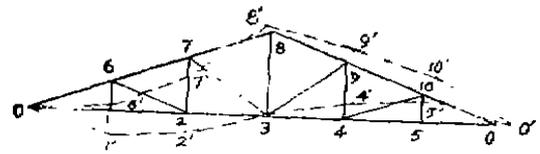
(1) 振动周期

T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
0.186	0.082	0.051	0.042	0.027(sec)

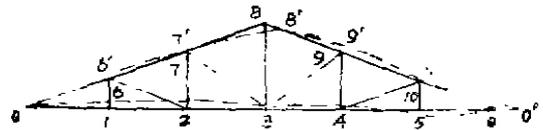
(2) 振型



第一振型



第二振型



第三振型

(3) 杆元轴向力

单元号	$N(t)$	$DN(t)$	单元号	$N(t)$	$DN(t)$
1	16.7	14.1	12	-19.6	-16.0
2	16.7	14.1	13	-3.3	-2.7
3	13.6	10.1	14	-4.4	-3.4
4	15.1	12.6	15	-6.5	-5.5
5	18.3	15.1	16	-3.4	-2.9
6	18.2	15.1	17	0.2	0.1
7	-18.0	-15.2	18	1.8	1.5
8	-14.7	-11.1	19	7.5	6.2
9	-10.9	-9.1	20	1.8	1.5
10	-11.6	-9.6	21	0.1	0.1
11	-16.3	-13.4			

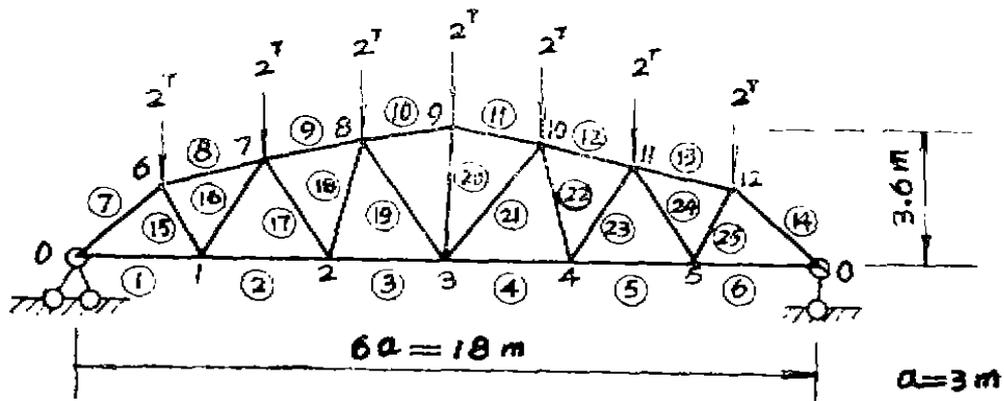
注意:

- 1) 其中 DN 指由于假定地震烈度 $Du = 8$ 而产生的附加轴向力, 如 $Du = 7$, 则减半
- 2) N 是静荷载包括自重所产生轴向力, 由结果看出, 内力分布不对称, 因变形不对称, 右支座有水平位移。所以结构对称, 荷载对称, 约束条件对称, 内力分布才对称, 在结构力学书中, 这一点没有向读者交待清楚。

3) 取的数据

$$R = 300^\circ, Rg = 2400 \text{ kg/cm}^2.$$

图2所示, 18米跨度折线形屋架, 仍按地震烈度 $Du = 8$, 用平杆程序计算, 各杆截面



注: 圆圈内为单元编号

图 2

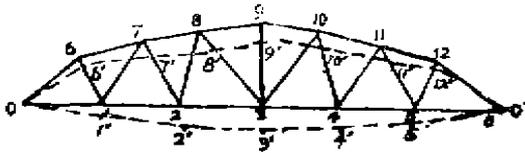
尺寸假定基本与上述三角形屋架相同。

(1) 振动周期

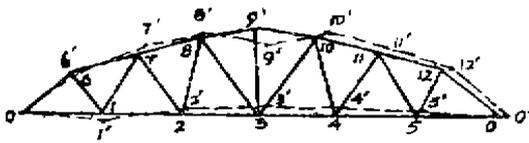
T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
0.227	0.138	0.078	0.057	0.044(sec)

图1与图2所示两种形式屋架的振动周期比较, 18米跨度 T_1 在 0.2sec左右, T_2 在 0.1sec左右。这个数据有实际意义, 在跨度相同的情况下, 影响周期大小的因素是杆元截面尺寸, 截面尺寸大, 周期减小。同样尺寸前者小后者大。

(2) 振型



第一振型



第二振型

2 刚架振动周期及鞭梢效应

图3示一四层R.C.平面刚架, 构件截面尺寸为:

梁—— $b = 30\text{cm}$, $h = 70\text{cm}$,

柱—— $b = 45\text{cm}$, $h = 50\text{cm}$ 。

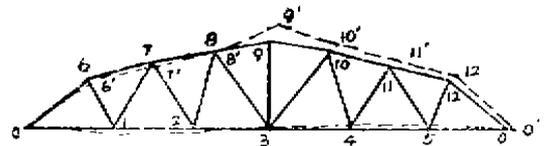
计算结果如下:

(1) 振动周期

T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
0.474	0.151	0.087	0.063	0.035(sec)

其中所用的数据, $R = 200^\circ$, $R_g \approx 3400\text{kg/cm}^2$ 。

(2) 振型



第三振型

(3) 杆元轴向力

单元号	$N(t)$	$DN(t)$	单元号	$N(t)$	$DN(t)$
1	13.0	17.4	14	-18.1	-17.5
2	18.2	20.7	15	6.0	6.5
3	19.2	20.1	16	-5.8	-6.4
4	19.0	18.3	17	1.5	3.5
5	18.3	17.5	18	-0.5	-2.5
6	12.9	12.5	19	0.2	2.7
7	-18.4	-17.7	20	-0.1	-0.9
8	-16.2	-10.4	21	0.1	2.8
9	-19.8	-19.2	22	-0.4	-1.4
10	-18.9	-11.5	23	1.3	0.7
11	-18.9	-18.4	24	-5.6	-3.4
12	-19.5	-19.2	25	5.9	5.8
13	-16.1	-16.0			

注意: 1) N 和 DN 的含义同前。

2) 由计算结果表明, 折线形屋架的内力分布, 在上弦杆及下弦杆都比较均匀, 腹杆内力小。如折线的形式选得比较合理, 弦杆的内力将更加趋于均匀。这是折线形屋架的优点。

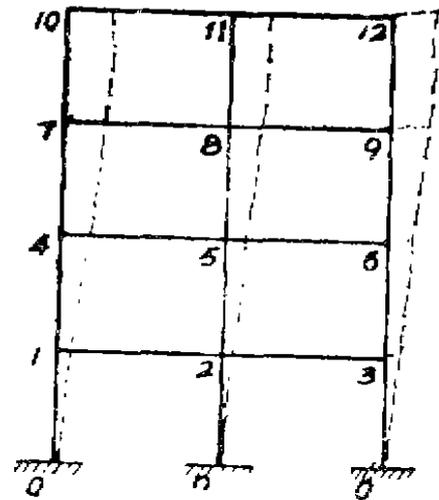
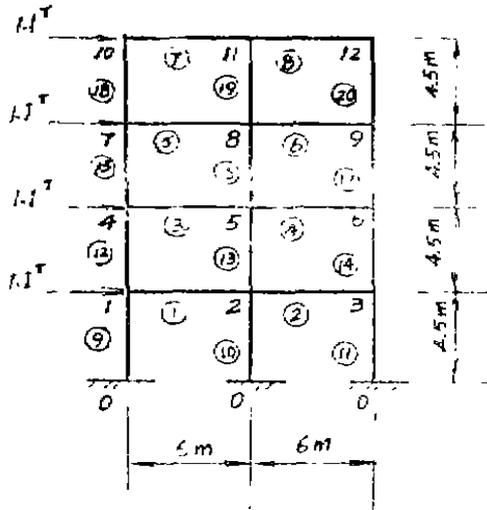
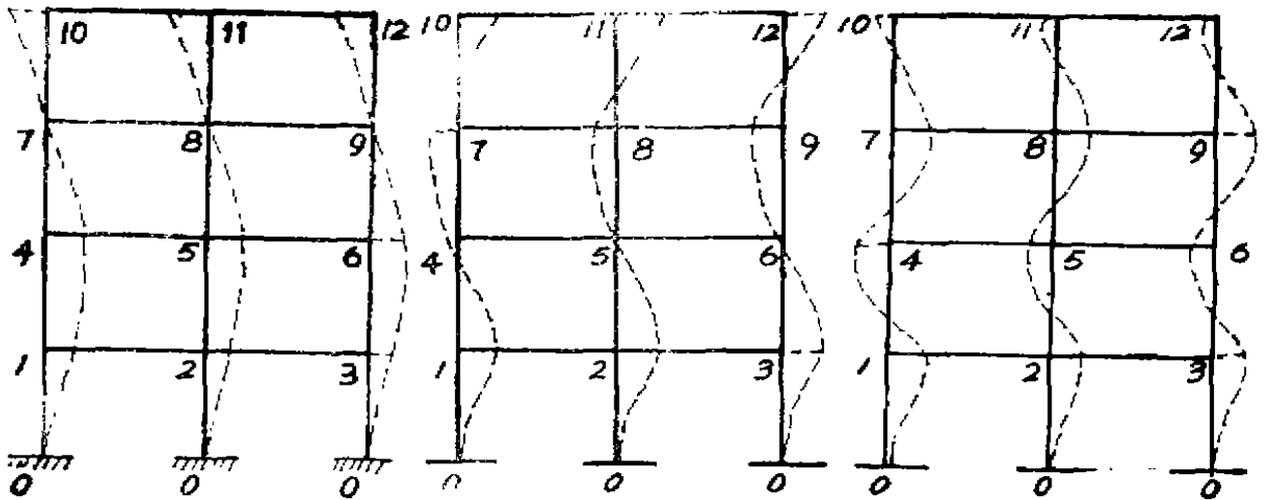


图3 注：圆圈内为单元编号

第一振型



第二振型

第三振型

第四振型

图4所示平面刚架，在顶面以上还附有一个尺寸为2.5m跨度的小框架，是建筑物上的哨楼示意图。

其中 $R = 200^{\circ}$, $R_g = 3400\text{kg/cm}^2$.

突出顶面的小框架下端假定为铰接。

刚架各杆件的尺寸

杆件号	b	h
1 → 9	30cm	70cm
10 → 10	20cm	30cm
11 → 22	45cm	50cm
23 → 24	20cm	20cm

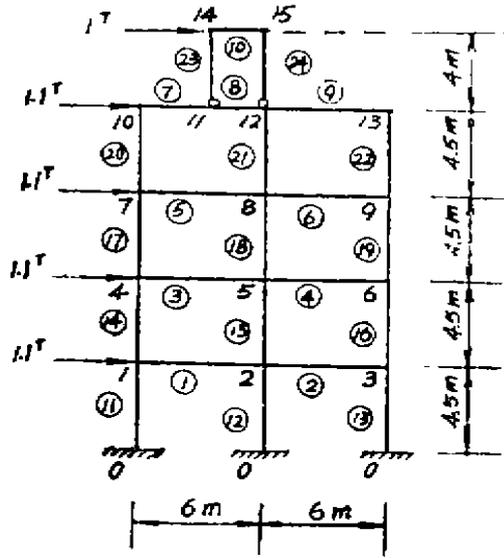


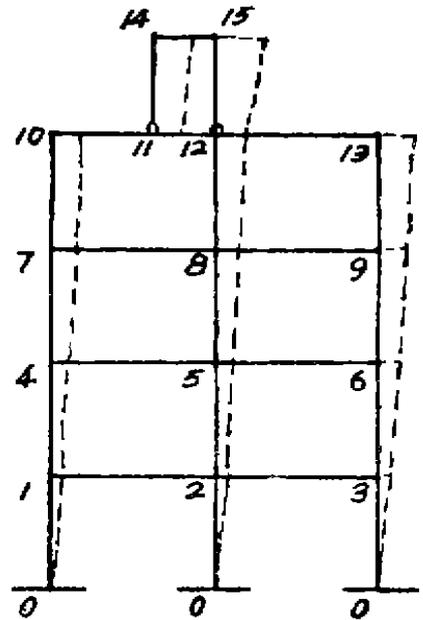
图4 注：圆圈为单元编号

计算结果如下：

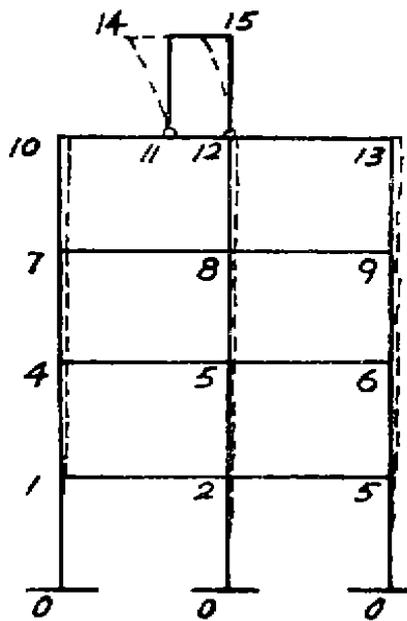
(1) 振动周期

T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
0.622	0.487	0.195	0.117	0.088(sec)

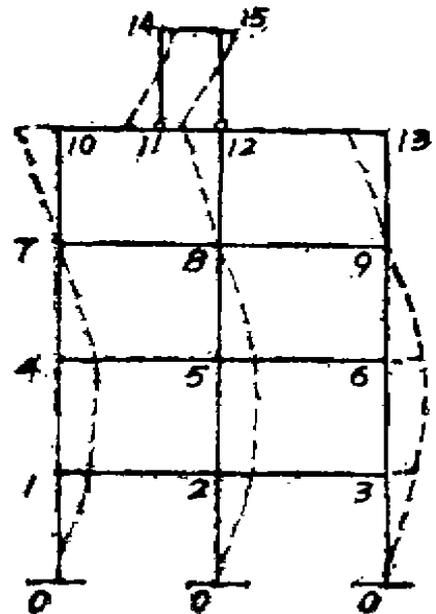
(2) 振型



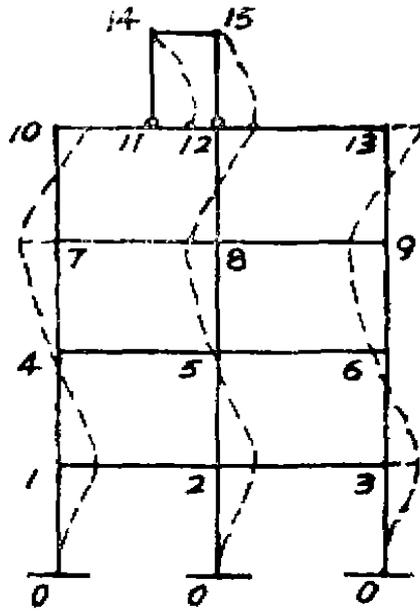
第一振型



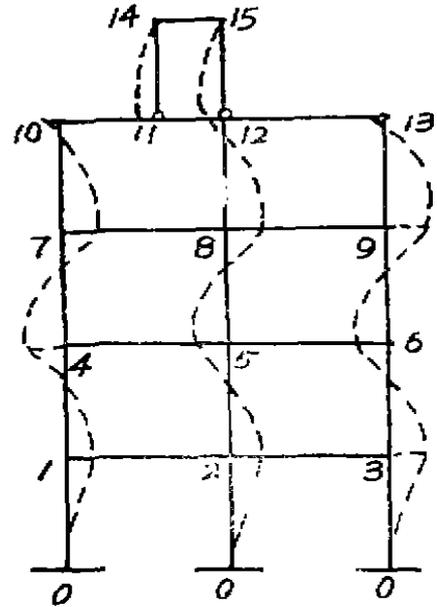
第二振型



第三振型



第四振型



第五振型

由图可见:

第一振型是一条自然的、有剪切影响的变形曲线。

第二振型变形曲线有一个反弯点, 位置在顶层附着小框架下端附近, 主刚架的变形很小, 结点10的相对水平位移仅0.080cm, 而结点14的水平位移为-1cm。主刚架在第二振型出现时, 基本上处于稳态, 仅顶层小框架显示出破坏性的较大水平位移而振荡, 这一现象值得重视。

第三振型变形曲线的特点是主刚架上部出现一个反弯点, 顶层小框架上部也出现一个反弯点。

第四振型变形曲线的特点是主刚架出现两个反弯点, 小框架出现一个反弯点, 这时最大水平位移在一层, 结点1的相对水平位移为1cm。

第五振型的变形曲线有4个反弯点, 如图所示。

3 周期比较与鞭梢效应探讨

两种形式18mR,C,屋架前三个周期:

表 1

屋架形式	T_1	T_2	T_3
三角形	0.186	0.082	0.051 (sec)
折线形	0.227	0.138	0.078 (sec)

显然,在跨度、材质和截面积尺寸均相同的情况下,折线形屋架较三角形屋架周期略大一些。其原因是此折线形屋架混凝土用量的体积 $V = 2.1839\text{m}^3$,而三角形屋架的 $V = 1.9442\text{m}^3$ 。前者大于后者,故对抗震并不利,符合屋顶重对抗震不利的观点。同时由 DN 值看出,折线形屋架 DN 值大于三角形屋架的 DN 值。

两种形式刚架前四个周期:

表 2

刚架形式	T_1	T_2	T_3	T_4
图 3	0.474	0.151	0.087	0.063(sec)
图 4	0.622	0.487	0.195	0.117(sec)

由此显然可见,后者的周期比前者长,对抗震不利,历次地震灾危都表明,女儿墙,无竖筋的砖烟囱和突出大楼顶部的哨楼等,都很容易破坏。如1966年3月8日和3月22日我国邢台地震,震级为6.7级,震中在河北省新河县。当时石家庄市烈度为6度,而6度不用设防。但石家庄市府大楼五层顶部的哨楼损坏严重;在邢台地区许多农村民房的砖砌烟囱都被震塌了,又如1976年7月28日我国唐山发生7.8级大地震,它波及的北京地区为6度,一些老式建筑的女儿墙出现了不少倒塌的情况;15米以上的高烟囱损坏率约占10.7%。由此可见受有鞭梢作用的建筑物,周期较长,对抗震不利,以往传统的抗震观点是要防止应力集中,并加强构造措施;而问题的主因是鞭梢效应,自振周期加长,位移大,即振幅大对抗震不利。特别值得指出的一个新现象,由图3与图4两种刚架的振型对比,发现有鞭梢作用的刚架,振型出现后移。例如图4主刚架的第三振型即相当于图3刚架的第二振型;图4的第四振型即相当于图3的第三振型等等。这里还应指出的是在图4的第二振型中,主刚架顶部的水平位移仅为0.08cm左右,而其上部附属小框架的相对水平位移则为-1cm,即上部变形大,主刚架侧移非常微小,基本上是处于稳态。如果外来干扰仅涉及第二周期,则对主刚架反而有利。这一现象类似吸振器的作用,今后可用试验来证实。我们尚未在一般教材中发现是否有人叙述过这种问题,只知道机器可以设置吸振措施。

大家都知道,地震是人类的天敌,全世界每年大约发生人们能感觉到的地震几万次,破坏性的大地震每年多则二十多次,少则三五次。1988年11月中国云南澜沧耿马发生7.6级大地震,死伤4000多人,房屋倒塌20万间以上。公路干线和通信线路受到严重破坏,不少水库出现险情,人民财产损失20亿元左右。又1988年12月苏联亚美尼亚发生大地震,报载震级为8级以上,死亡者约5万人以上,受伤者1.5万人左右,造成近50万人无家可归。接着1989年元月苏联塔吉克共和国又发生强烈地震,震中死亡人数达千余人,地震引起小山滑坡。可见,地震一旦发生会引起一系列重大灾害,而地震预测和防震研究还跟不上形势,这些问题应列为国家建设事业中一项重大课题来抓。

最后感谢秦文越教授审阅全文,汪晓江助工协助绘插图。

参 考 文 献

- [1] 平面杆系结构〔兼空间协同〕的矩阵分析和通用计算程序,《电子计算》,1977年第3、4期
[2] 平面杆系兼空间协同通用计算程序〔PG〕,北京土建学会,1988
[3] Finite Element Methods in Mechanics, NOBORU KIKUCHI, 1986
[4] 同时迭代法,汪礼顺,重庆建筑工程学院建工系,1988.9

(编辑:徐维森)

A STUDY OF THE VIBRATION PERIODS AND THE WHIPLASH EFFECT OF PLANAR STRUCTURES

Wang Lishun

ABSTRACT This paper presents a study of the first five vibration periods of two types of R.C. roof trusses with a span-length of 18 m and two 4 stories 2 bay R.C. frames together with their curves of the modes of vibration, as well as the whiplash effect on one of the frames.

KEY WORDS vibration periods, whiplash effect, planar structures