



国外钢结构设计规范译编

(三)

德国钢结构设计规范

全国钢结构标准技术委员会

钢结构设计规范国家标准管理组

一九九四年 北京

德国 026

《稳定状态》——杆件和杆系的屈曲

德国工业标准 18800

江苏工业学院图书馆
藏书章

本手册中引用的标准、规范仅作“参考资料”
使用，如需采用，必须以现行有效版本的标准、规
范为准。

院总工程师办公室 1997.10

国外钢结构设计规范系列编译本

说 明

为向我国钢结构设计、科研、教学单位提供世界各国钢结构设计、科研工作的最新成果,以了解、掌握国际钢结构设计标准、规范的基本情况和理论研究水平,全国钢结构标准技术委员会与钢结构设计规范国家标准管理组,邀请有关单位的钢结构专家、教授陆续开展了对当前世界各主要工业发达国家有代表性的钢结构设计标准、规范中文译本的翻译工作。计划分批编译的国外标准、规范有 ISO 国际标准、苏联、美国、英国、德国、日本以及欧共体等钢结构设计规范。

参加此项编译工作者,均为参加我国钢结构设计规范 GBJ17—88 修订工作的主要成员单位中多年从事钢结构科研、教学和设计工作的专家、教授,第二批完成的“德国钢结构设计规范”,为德国工业标准 DIN18800 第 2 部分《稳定状态》——杆件和杆系的屈曲,对于我国建筑结构专业,特别是从事土建钢结构设计、研究的科技人员、大专院校的教学人员是一本重要而实用的工具性规范用书,也是一本国外有代表性的,内容丰富的钢结构标准、规范资料。为此,本书除了在译校方面保证较高质量外,在编、印方面亦做了极大的努力,采用胶印本内部发行,以求陆续编译的“国外钢结构设计规范”中译本排印规格统一标准。然而,由于首次系列编译这种国外规范,又要求极高的科学性和准确性,限于编译人员的水平,可能有失误之处,欢迎广大读者在阅读、使用中给予指正。

最后,对参加本书译、校和编、发工作的有关人员,为我处组办的国外钢结构设计规范交流活动以及有关的钢结构标准化工作所给予的大力支持,谨致谢忱。

责任编辑:黄友明

稳 定 状 态

杆件和杆系的屈曲

这是一本标准的草案,它现在的内容还不是所要拟定的标准的最后文本。所以还没有对使用做出规定。该标准草案被公之于众以便进行检验和征求意见,必要时可以做进一步的修改。该标准包括 DIN4114 新版定稿的一部分,包括 1952 年 7 月版的第 1 部分和 1953 年 2 月版的第 2 部分,还包括了最高建筑管理机构对此发布的各种文告。但上面所提到的这些版本并非不再有效。

如果在特殊情况下在经济活动中要使用这个标准,则必须在当事人之间,如在委托人和受托人之间进行协商。

对这个标准草案的并议和修改建议已写成了双份提交给建筑标准委员会(NABau),Burggrafen 大街 4—10,1000 柏林 30。

该标准的内容随着 DIN4114 的修订而被重新划分章节和作了补充,并在与钢结构基本标准新规定保持一致下重新命名。该标准内容包括:

DIN18800 第 2 部分	·	钢结构;稳定状态; 杆件和杆系的屈曲
DIN18800 第 3 部分		钢结构;稳定状态 板的翘曲;
DIN18800 第 4 部分		钢结构;稳定状态,板壳的翘 曲

目 录

1.	概述	1
1.1	适用范围	1
1.2	同样适用的标准和准则	1
2.	概论	1
2.1	重要定义,公式符号	1
2.2	建筑钢材的材料系数	3
2.3	设计荷载	4
2.4	充分的承载安全性的验算	4
2.4.1	承载理论	6
2.4.2	塑性铰理论	6
2.4.3	弹性理论	7
2.4.4	弯曲屈曲和弯扭屈曲的分别验算	8
2.5	非理想性假设	8
2.5.1	杆系平面内的单轴弯曲和法向力	10
2.5.2	双向弯曲和法向力	10
2.6	杆件长轴比的限制	11
2.7	截面 b/t 的限制	11
2.7.1	非加强截面	11
2.7.2	加强截面	13
3.	平直单肢单跨杆件的屈曲	13
3.1	轴心压力	13
3.1.1	对弯扭屈曲的限制	13
3.1.2	弯曲屈曲	13
3.1.2.1	杆端为任意 但不可侧移支座受等法向力的等截面杆件	13
3.1.2.2	对较小的横向荷载的考虑	17

3.1.2.3	等截面,受等法向力的一端固结杆件	17
3.1.2.4	变截面,受变法向力杆端为任意支座的杆件	17
3.1.3	等截面,受等法向力,杆端为任意不可移动支座的杆件的弯扭屈曲.....	17
3.2	单轴弯曲和法向力.....	17
3.2.1	对弯扭屈曲划分的范围.....	17
3.2.2	垂直于荷载平面的弯曲屈曲.....	19
3.2.3	荷载作用平面内的受弯屈曲.....	19
3.2.4	等截面,受等轴力杆件的弯扭屈曲	20
3.2.4.1	弯扭屈曲的一般验算.....	21
3.2.4.2	以受弯曲应力为主的杆件的简化验算.....	22
3.2.4.3	以受弯为主的杆件将受压翼缘作为压杆的简化验算.....	23
3.3	双轴弯曲和轴力.....	24
3.3.1	对弯扭屈曲的限制.....	24
3.3.2	绕 X 轴的转角 θ 的忽略	24
3.3.3	等截面,受等轴力的杆件弯扭屈曲	24
4	等截面,受等轴力组合单跨直杆的屈曲	25
4.1	定义.....	25
4.2	垂直于实轴方向的屈曲.....	26
4.3	垂直于虚轴方向的屈曲.....	27
4.3.1	概述.....	27
4.3.2	符号.....	27
4.3.3	考虑剪切变形时等效杆件内力的求解.....	29
4.3.3.1	非理想性不利因素的假设.....	29
4.3.3.2	两端为铰接非侧移支座的轴心压杆.....	29
4.3.3.3	单向弯曲和轴力.....	30

4.3.4	对单肢杆件的验算	30
4.3.4.1	弦杆的验算	30
4.3.4.2	横向连接件及其连接的验算	31
4.3.4.3	框架式组合件上的单跨验算	31
4.4	特殊形状的框架式杆件的屈曲安全性验算	31
4.4.1	杆组 16(表 8)	31
4.4.2	杆组 2(表 8)	32
4.4.3	杆组 3(表 8, 第 2 栏)	32
4.5	结构的构造	34
4.5.1	概述	35
4.5.2	框架式杆件	35
5.	直杆杆系的屈曲	35
5.1	桁架	35
5.1.1	轴心受压桁架杆件的屈曲长度, 杆件节点向平面外的位移受到限制	35
5.1.2	轴心受压桁架杆件的屈曲长度, 杆件节点向平面外的位移受到限制。并在杆件的中间与另一桁架杆件相交	36
5.1.3	轴心受压桁架腹杆的屈曲长度, 杆件节点向平面外的位移受到限制, 并在杆件中间受到一个半框架的弹性支撑	36
5.1.4	单角钢构成的轴心受压桁架腹杆	36
5.1.5	受压弦杆和有弹性横向支撑的压杆	37
5.2	无侧移平面单层框架, 连续梁和柱	37
5.2.1	单层框架无侧移的定义	37
5.2.2	平面杆系框架, 连续梁和柱的计算	39
5.2.3	加固构件的计算	39

5.3	可产生侧移的多层平面框架,弹性支座的连续梁 和柱.....	39
5.3.1	可产生侧移的多层平面框架.....	39
5.3.1.1	按弹性理论计算.....	39
5.3.1.2	塑铰理论的计算.....	44
5.3.2	弹性支座的连续梁.....	44
5.3.2.1	有弹性横向支撑渡桥的受压弦杆.....	44
6	拱梁的屈曲.....	44
6.1	轴心压力(柱曲线拱).....	44
6.1.1	等截面拱平面内的屈曲.....	44
6.1.2	等截面拱的极点失稳.....	45
6.1.3	变截面拱平面内的屈曲.....	45
6.1.4	与拱平面垂直方向的屈曲.....	45
6.2	单向弯曲和轴力.....	47
6.2.1	拱平面内的屈曲.....	47
6.2.2	垂直于拱平面的屈曲.....	48
6.2.2.1	矩形或I形等截面在弦上受压或受拉的圆拱.....	48
6.2.2.2	受正应力和弯曲应力等截面工形交叉支座圆拱的分段 计算.....	49
6.3	空间荷载.....	49
7	薄壁直杆的屈曲.....	50
7.1	承载理论.....	50
7.2	塑铰理论.....	51
7.3	弹性理论.....	51
	对其它标准和准则的说明.....	55
	说明的章节	
2.4.2	(表1、表2、图1、图2、图3).....	58

2.5	(图 4)	64
3.1.2.1	屈曲应力曲线的公式法	65
2.3.2	(表 3~表 7)	67
3.2.4.1	(图 5、图 6)	75
3.3.3	(图 7)	77
5.1.1	(图 8、图 9)	78
5.1.2	(图 10~图 15)	79
5.1.3	(图 16)	82
5.2.1	(表 8)	83
5.3.1.2	(表 9)	84
5.3.2.1	(表 10、表 11)	85
6.1.1	(图 17)	88
7.3	(图 18~图 20)	89

1. 概述

对于钢承重结构及其构件,不但要对已完成的建筑状态进行承载安全性验算,而且对任何建筑状态和翻修状态都要进行承载安全性的验算。在进行验算时必须根据所使用的标准考虑惯性力和冲击力。

对于在本标准中未加解决的稳定性验算可使用如下规定:

由试验和计算所得的负荷,相对于使用荷载必须具有至少 1.5(LF、H)和 1.3(LF HZ)倍的安全性(见 2.3 节)。在特殊情况下,有时安全系数要根据所使用的标准来确定。考虑到几何非理想性(如荷载作用点的偏心,几何体上的偏差)和结构上非理想性(如材料内部自应力)的影响,通常按 2.5 节假设几何等效不利因素。

如果能通过其它的检验方法证明具有充分的安全性,也可以不按本规定的规定做。

1.1 适用范围:

本标准适用于钢杆系结构,特别是该标准是按主管部门的实用标准而制定的,该标准通常假设钢材具有充分的塑性变形能力。

1.2 同样适用的标准和准则

DIN1055 建筑用荷载的假定;

DIN1072 路桥;荷载的假定;

DIN17100 普通建筑钢材,质量规范;

DIN18800,第 1 部分 钢结构;设计与构造;

DAST—Ri011 适于焊接的高强微粒建筑钢材 StE460 和 StE690;

2. 概述

2.1 重要的定义,公式符号

只要失效与杆件在任意方向的外伸有关,或与绕纵轴的转动有关,或与两个变形有关,则在该标准中将这种非稳定失效理解为屈曲。

将简化设计按组成分为三种不同的情况:

a) 一般情况,在该情况下出现并考虑杆轴的弯曲和绕杆轴的转动。这种

情况称作弯扭屈曲。

b) 特殊情况,在该情况下杆系或杆系中的杆件在法向力和有横向荷载或无横向荷载的作用下,仅受到弯曲的作用,或者说可以将杆件的转动忽略不计。这种情况称作弯曲屈曲。

c) 特殊情况,在这种情况下只容许出现绕杆轴的转动或者容许将弯曲忽略不计。这种情况称作扭转屈曲。

坐标:

X 杆轴

Y,Z 截面主轴

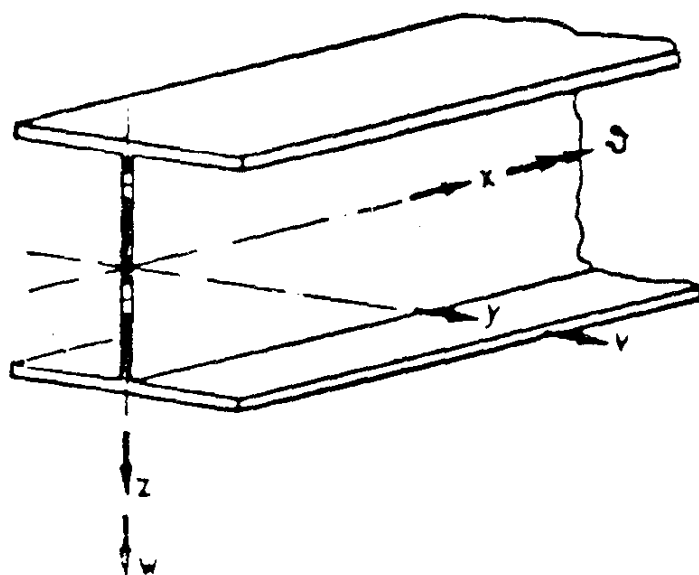


图 1 坐标和变形

变形

V 沿 Y 轴方向上的位移。

W 沿 Z 轴方向上的位移。

φ 杆件的转角=杆件的纤维在 X-Y 平面内或在 X-Z 平面内的转角。

ν 绕 X 轴的转动。

材料参数

E 弹性模量

G 剪切模量

β_s 屈服点

μ 横向变形系数

截面参数

A 截面面积

W 弹性抵抗矩

W_{PL} 塑性抵抗矩

I 惯性矩

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \text{ 回转半径}$$

杆件参数

L 杆件长度(体系长度)

S_K 所检验方向的最小临界荷载时的屈曲长度

$$\lambda = \frac{S_K}{i} = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{ki}}} \text{ 长细比}$$

$$\lambda_s = \pi \sqrt{\frac{E}{\beta_s}} \text{ 临界应力等于屈服点时的长细比}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_s} = \sqrt{\frac{N_{PL}}{N_{ki}}} = \sqrt{\frac{\beta_s}{\sigma_{ki}}} \text{ 相关长细比}$$

其中:

$N_{PL} = A\beta_s$ 塑性法向内力

N_{ki} 所检验方向的最小临界荷载时的法向内力

$$\sigma_{ki} = \frac{N_{ki}}{A}$$

S 抗剪刚度 = 产生单位变形角(杆轴与法截面间的夹角)的剪力。在组合杆中用等效杆的抗剪刚度 S^* 代入 S。

$$\gamma_s = \frac{1}{1 - \frac{N}{S}} \text{ 考虑剪切变形系数, 忽略剪切变形时取 } \gamma_s = 1。$$

$$\epsilon = L \sqrt{\frac{\gamma_s N}{EI}} \text{ 杆件系数}$$

其中:

N 以压力为正

2.2 建筑钢材的材料参数

作为计算基础的屈服极限值 β_s , 当构件壁厚 $t \leq 40\text{mm}$ 时可从表 1 中查取。当壁厚 $t > 40\text{mm}$ 时必要的话可以使用比较低的屈服极限 β_s 。

表 1 $t \leq 40\text{mm}$ 的材料参数

	1	2	3
	钢 种	屈服点 β_s N/mm ²	相关长细比 λ_s
1	St 37	240	92.9
2	St 52	360	75.9
3	StE 460	460	67.1
4	StE 690	690	54.8
5	$E = 210000\text{N/mm}^2, \mu = 0.3, G = 81000\text{N/mm}^2$		

2.3 设计荷载

设计荷载是用使用荷载乘以安全系数 γ 。在有些情况下要注意因考虑动力影响时对提高单项荷载的有关规范。

截面的大小一定要在设计荷载下加以求解。同样所有的验算都要用该截面进行。

安全系数

LF 主荷载(H) $\gamma = 1.50$

LF 主荷载和附加荷载 $\gamma = 1.30$

2.4 充分的承载安全性验算

充分的承载安全性的验算可有选择地按如下理论进行：

——承载理论 (2.4.1 节)

——塑铰理论 (2.4.2 节)

——弹性理论 (2.4.3 节)

在任何情况下都必须确保不能出现非稳定平衡状态。

截面的大小要始终在设计荷载(γ 倍的使用荷载)下求解。

如果不能用已给出的标准之一证明变形对平衡(第Ⅱ理论)的影响可以忽略不计,也就是说在非变形体系上平衡条件能够得到明确的说明(第Ⅰ理论),则在进行截面大小的计算时对该影响要引起足够的重视。

对于几何的和结构上的非理想性肯定会遇到与实际情况相近的假设。在各种情况下,为综合考虑各种非理论性的影响,容许按第 2.5 节假设几何等效非理想性。

剪应力产生的变形的影响在一般情况下容许忽略不计。

小的截面消弱部分(如螺栓孔)在进行截面大小及变形计算时通常也忽略不计。但必须保证截面消弱部位不会产生提前的局部失效。

在受到稳定危害的杆系上通常容许忽略下列连接上的滑动:

- 焊接连接;
- 铆钉连接;
- 精制螺栓连接,SLP 型和 GVP 型。
- GB 型连接,在该连接中必须附加证明按 DIN 18800 第 1 部分单个螺栓传递的力不超过上部结构的 1.25 倍容许荷载 $N(LFH)$ 。

若采用下列连接到滑动不能忽略,也就是说要按计算确定滑动值:

- 粗制螺栓连接
- SI 型连接。
- GV 型连接,当按 DIN18800 第 1 部分单个螺栓传递的外力超过 1.25 倍的上部结构的容许应力(LFH)时¹⁾。

1) 在设计荷载(γ 倍的使用荷载)下计算出的铆钉连接,螺栓连接和焊接的连接力要按 2.3 节用安全系数 γ 去折减。因为必须按标准(如 DIN1050, DIN4100)的规定证明连接件的承载安全性。目前这些标准都是基于“容许 σ 初稿”之上的。

对于几种实际工作中经常出现的情况在如下章节中对可能的验算方法做了说明:

第 3 节平直单肢单跨杆件的屈曲。

第 4 节 等截面受恒载的平直单跨组合杆件的屈曲。

第 5 节 平直杆系的屈曲。

第 6 节 拱梁的屈曲。

第 7 节 平直薄壁杆件的屈曲。

2.4.1 承载理论问题

在使用承载理论时,要在杆件或杆系的每一条纤维上考虑材料的实际弹塑性性能。在做应力——应变关系曲线时会遇到与实际情况相接近的假设。简而言之,容许采用线性弹性——理想塑性的应力——应变关系曲线。

还必须验算体系所承受的荷载是大于还是等于设计荷载(γ 倍的使用荷载)。对每种检验的荷载状态均容许假设,荷载是相互间按比例增加的。

2.4.2 塑性铰理论

根据塑性铰理论塑性变形部分仅在塑铰处以屈曲角的形式来考虑,也就是说杆件除塑铰以外的其它变形性能均假设为是弹性的。

塑性铰的承载能力要通过相关条件来描述。相关条件中以一个线性弹性——理想塑性的应力——应变关系曲线为先决条件。相关条件总是与横截面有关,它决定着各种截面内力的组合。横截面承载能力的控制也就是为了控制各种截面的内力组合。在承载体系的所有截面中相关条件都必须得到满足。在塑性铰处达到了全截面塑化的极限状态。这也是相关条件的特征。

如果没有扭矩出现,则容许按附页 1 中表 1 和表 2,图 1 和图 2 采用基于简化假设上的相关条件。如果截面消弱部分位于受拉区,则对消弱部分必须加以考虑。这种情况通常是将截面相应部位的净截面面积代入相关条件。

还要验算,按塑性铰理论计算而获得的“工作荷载”是大于还是等于设计荷载(γ 倍的使用荷载)。对每种检验的荷载状态均容许假设,荷载相互间是按比例增加的。

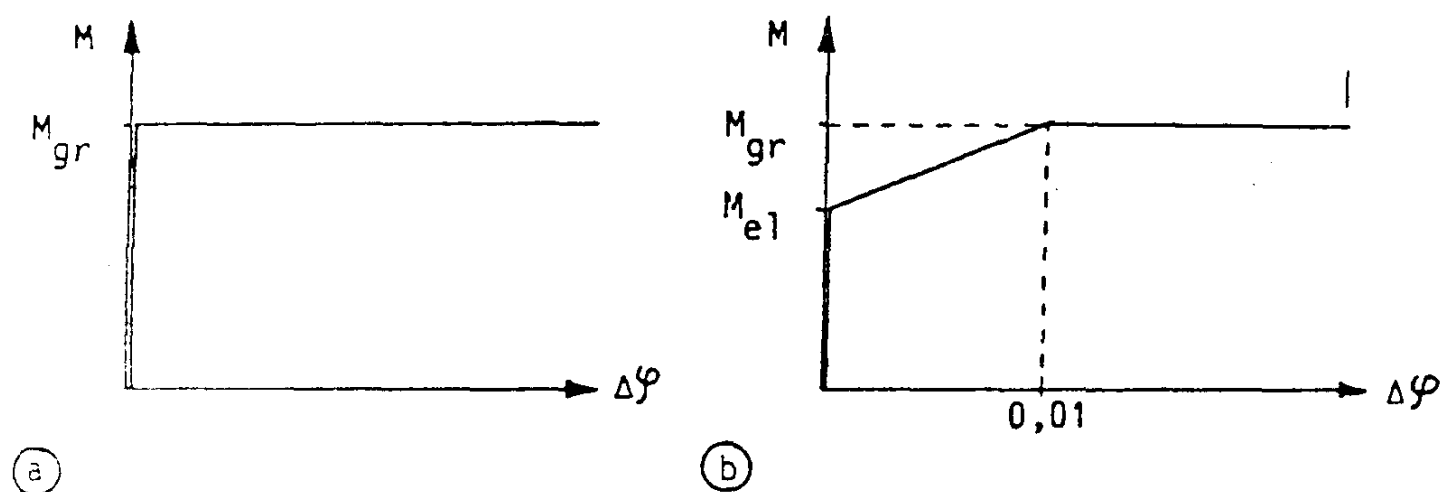
如果属有关的弯曲轴的形状系数 $\alpha_{pL} = W_{pL}/W \leq 1.24$,则容许将在图 2 a 中描述的塑性铰中的弯矩 M 和屈曲角 $\Delta\varphi$ 之间的关系作为计算依据。

在其它各种情况下,为避免出现更大的不安全性,对下列两点之中取其

一加以足够的考虑：

1) 保留图 2 a $M-\Delta\varphi$ 关系曲线；将按塑性铰理论计算得到的“工作荷载”降低 15% 或将设计荷载 (γ 倍的使用荷载) 提高 18%。

2) 以图 2 b 经修正的 $M-\Delta\varphi$ 关系曲线为根据，据以在截面开始进入屈服点 β_s 时的弯矩和在点 $\Delta\varphi=0.01$ 处全截面塑化时的弯矩之间得到一条线性直线。



M_{el} ——按弹性理论直接达到屈服点 β_s 的弯矩。

M_{gr} ——全截面塑化时的弯矩，同时考虑现有截面内力的大小。

图 2, 弯矩 M 和屈曲角 $\Delta\varphi$ 在塑铰处的关系曲线。

2.4.3 弹性理论

在应用弹性理论时将线性弹性应力——应变关系曲线作为根据。

还要验算杆系的弹性极限荷载是大于还是等于设计荷载 (γ 倍的使用荷载)。如果在荷载相互间按比例增加的假设下，在杆系的大多数负荷纤维中达到屈服点 β_s ，则这时就达到了弹性极限荷载。还要验算在设计荷载 (γ 倍的使用荷载) 下杆中没有任何地方超过屈服点 β_s 和在此状态下平衡是稳定的。

在进行应力计算时位于受拉区的截面消弱部分要加以考虑。

如果剪应力不大于 $0.3\beta_s$ ，则容许不考虑该剪应力。否则等效应力起控制作用。

在使用弹性理论时，如果

$$n_{ki} = \frac{\text{临界荷载}}{\text{设计荷载}} \geq 10 \quad (1)$$

则容许近似在不设非理想性因素下进行计算。临界荷载要在自重荷载相互间按比例增加的假设下计算,在该计算中仅考虑法向力。

2.4.4 弯曲屈曲和弯扭屈曲的分别验算

根据标准的规定,考虑弯曲屈曲和弯扭屈曲时的分别验算允许按下列形式进行。

在弯曲状态中截面内力的大小可以在总的杆系上去求解。在此还要提供的应用的理论所要求的承载安全性的证明。

接下来就是弯扭屈曲的验算问题。由总的杆系中解出已知杆端内力的独立杆件,然后对每根需进行弯扭屈曲验算的独立杆件象对一根单跨杆一样进行分析。

在这两种情况中,非理想性的不利因素按 2.5 节加以考虑。

2.5 非理想性假设

考虑到几何的和结构上的非理想性的影响,容许假设几何等效非理想性不利因素。该不利因素一般设于最不利的方向上。

如果一项计算允许按第 I 理论进行,则不需要考虑非理想性问题。

下列两种情况要加以区分:

情况 a

图 3 和表 2 中的初变形

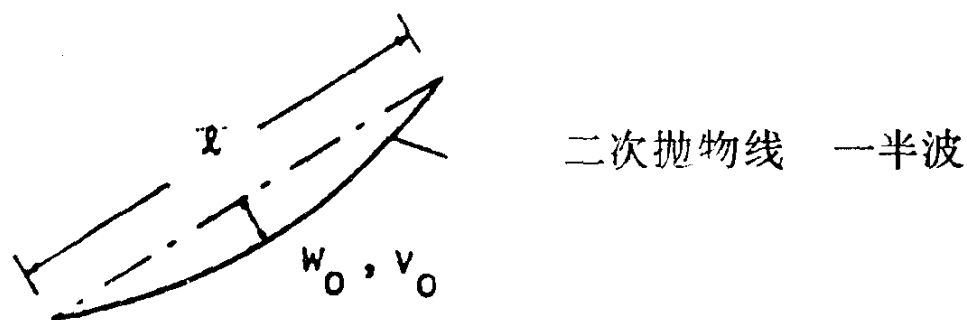


图 3 一杆件的初弯曲