

86.578
WMS

156097

浮桥计算

人 民 铁 道 出 版 社

浮 桥 計 算

A. A. 烏 曼 斯 基 著
李 稻 康 譯 郭 可 諾 校

人 民 鐵 道 出 版 社

1 9 6 6 年 • 北 京

本书对浮桥的结构计算作了系统的论述，内容包括浮梁静力学，各种不同体系浮桥浮节基本浮链的静力计算，浮墩强度计算，开启装置机械功率计算，锚固计算，浮桥动力计算原理，以及被浮墩挤缩的急流中水流情况问题。

本书适合桥梁建筑工程师及研究人员参考。

责任编辑：赵洪鑫

浮 桥 计 算

译自苏联А.А.Уманский, Наплавные Мосты,

Ч. II, Расчет Наплавных Мостов.

Трансжелдориздат. Москва, 1939.

李福康 译 郭可谔 校

人民铁道出版社出版

(北京市磁公府甲24号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第010号

新华书店科技发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

书号2042 开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印张 $9 \frac{5}{8}$ 插页3 字数254千

1966年2月第1版

1966年2月第1版第1次印刷

印数 0001—2,600 册 定价(科六)1.50元

目 录

第一章 浮梁静力学	1
§1. 浮性和稳定性.....	1
§2. 浮梁横截面内的剪力图和挠矩图.....	14
§3. 活荷载作用下浮体的下沉与倾斜.....	22
§4. 支承于一点上和两点上的浮梁.....	28
§5. 浮梁横截面中的剪力影响线和 挠曲力矩影响线.....	31
第二章 静定浮链	47
§6. 简支梁中心支承于浮墩的体系.....	47
§7. 带有悬托梁的双悬臂体系.....	50
第三章 铰接浮节之浮链	56
§8. 恒载时的计算.....	56
§9. 一孔施载的影响。浮链的焦点性能.....	63
§10. 影响线.....	67
§11. 绝对刚性浮节组成的无限长正规 浮链的焦点性能。有限长浮链.....	76
§12. 正规浮链的影响线和计算公式.....	81
§13. 在特殊条件下桥梁受力的分析方法.....	89
§14. 采用钢梁部结构的双浮箱 浮节的计算步骤.....	93
§15. 木浮节上部建筑悬臂的计算。 纵梁间荷载的分布.....	110
§16. 带刚性上部建筑的多浮箱浮节的计算.....	118
§17. 托梁和以浮墩舷作浮箱支点的功用.....	120
§18. 铰接浮链浮节上部建筑变形的计算.....	125
§19. 岸边浮节的计算.....	131

第四章 浮墩上的連續梁	137
§20. 中心支承于浮箱的 連續梁體系之五彎矩方程式.....	137
§21. 繪影響綫.....	142
§22. 數字算例.....	146
§23. 按初參數法計算浮墩上的正規連續梁.....	160
§24. 多跨正規連續梁的簡算法.....	178
第五章 浮節間採用彈性連接之浮鏈 和剛性連接于浮墩上的連續梁.....	194
§25. 按力法計算.....	194
§26. 浮節用鎖閉梁連接的浮鏈.....	198
§27. 計算鎖閉梁之近似公式。應力檢算.....	202
§28. 鎖閉梁對浮橋剛度的影響.....	204
§29. 彈性下沉墩和彈性扭轉墩上的梁。 按初參數法計算.....	207
第六章 浮墩與渡船的計算	219
§30. 鋼浮箱.....	219
§31. 河船建造規範.....	227
第七章 錨固計算	241
§32. 概論.....	241
§33. 單面錨固計算.....	242
§34. 雙面錨固計算.....	247
第八章 開啟機械功率計算	255
§35. 開啟裝置發動機功率計算資料.....	255
§36. 移出浮節的拖曳計算.....	261
§37. 縱浮箱上的轉動開啟裝置功率計算.....	264
§38. 橫浮箱上的轉動裝置功率計算.....	268
§39. 聯接的輔助機械功率計算.....	273
第九章 浮橋動力計算	276
§40. 概論.....	276

§41. 单独浮墩和单独浮节的自由振动。	
关于浮节链振动的概念·····	277
§42. 动梁（浮桥浮节）的动反力·····	281
§43. 中心支承于浮墩的	
简支梁浮桥自振频率的确定·····	283
§44. 等浮节铰链的频率方程式·····	285
§45. 浮墩上规则连续梁的频率方程式·····	290
第十章 天然水流受浮墩挤缩时水的流动 ·····	293
§46. 初步设想。截面比能和能量线·····	293
§47. 水流受浮墩挤缩时水的流动·····	297

第一章 浮梁静力学

§1. 浮性和稳定性

浮性。在足够深的水中浮着的固体，其基本性能是因竖向荷重受水的压力而得到平衡。如果物体上还作用有水平的力（例如风压力），则由于水的活动性，物体不能靠水的反作用力获得平衡，而必须借助于特殊的支承，特别是锚固。

外力之合力 G （结构物重）施于结构体系重心（ $H, T.$ ），并按竖直方向由上向下作用（图 1）。水对物体的压力在每点上垂直于物体之表面，并等于高度为该点深度的一个液体柱的重量。

所有这些单元压力的合力 D 等于物体排出的同体积的水重，并按竖直向上的方向作用于该体积之重心。下沉体积之重心称做排水量中心或浮心（ $H, B.$ ）。

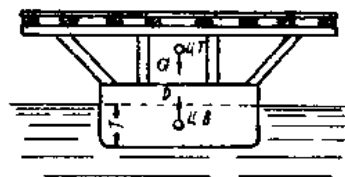


图 1

水的比重以 γ 表示，物体沉下部分所排出之体积以 V 表示，得反作用力的合力 $D = \gamma V$ 。按照平衡条件，则：

$$G = \gamma V,$$

亦即物体所排出的同体积水重等于外荷载的总和或物体重。对于淡水 $\gamma = 1$ 吨/米³，此时荷重 G （以吨计）可直接以排水量（以米³计）表示。对于咸水则按 $\gamma = 1.025$ 吨/米³ 计算。

为了能够平衡，垂直力 G 和 D 必须指向同一直线。因此重心和浮心应位于同一垂线上。这根直线称做浮轴。

综上所述，为了保证船、浮箱或其他浮墩的浮性，必须充分地加大船体沉入水中的体积。船舷高度应超出船中间最大平均下沉度，同时还须有着一定的安全数以适应不均匀下沉（倾斜）和有波浪的情况。

荷重 G 或排水量 V 与下沉度 T 之关系视船的形状而定。假如船壁系竖直的，那么，下沉显然是与荷重成正比例。以 F 表示浸水线面积，得：

$$V = T F,$$

由此得

$$T = \frac{V}{F}. \quad (1)$$

如果船不是直壁形，则面积 F 为一变数。排水量的增量为：

$$dV = F dT.$$

当下沉为 T_1 时，全部排水量可用积分表示为：

$$V_1 = \int_0^{T_1} F dT.$$

式中数值 dT ，常以 δ 表示。

V 与 T 的关系可以很方便地用图解来表示（图 2）。先沿着纵坐标轴画上一系列的下沉量，例如每隔 5 厘米一个，然后沿着横坐标轴画上相应的浸水线面积，即得浸水线面积曲线，或称做浸水线的构造曲线（图 2，曲线 F ）。显然，该曲线与纵坐标轴间所包含的绘有影线的面积即为该下沉量时的相应体积。如果在每个下沉量的横线上画上该下沉量横线与浸水线曲线间面积积分曲线，我们就能得到排水量与下沉的关系曲线或称做荷重尺度（图 2，曲线 V ）。知道了排水量，可以从这根曲线求其相应的下沉量，反之，根据下沉量亦可确定实际的浸水线。排水量曲线（荷重尺度）亦可用来确定浮心在船高上的位置：完全可以找到排水量曲线面积重心在高度上的位置。

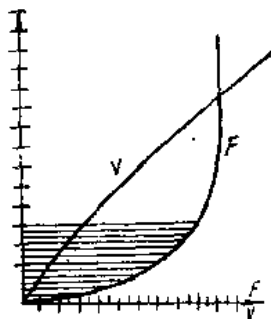


图 2

现在我们看一看，在什么条件下当荷载加大或减少时（下沉是均匀不倾斜的）浮轴仍保持其位置。如果增加的荷载不太多，

所引起的附加下沉量也不大。在这个下沉范围内，可以认为浸水线面积不变。此时，下沉体积的增量为：

$$dV = F dT.$$

这个增加层的重心显然是与浸水线面积的重心相重合的。很明显，如果增载 P 垂直通过浸水线面积重心作用，那么，作用力可以得到平衡，浮轴不发生偏斜。

当活荷载在很大范围内变动时，浮桥与浮箱外形最好这样选择，即在中心施载时，其浮轴仍保持它的位置。为此，就必须在各种下沉时（没有倾斜）使浮心始终与相应浸水线重心位于同一垂直线上。在浮箱为直壁形时（垂直的棱柱体或圆柱体），不论其平面外形如何，这个条件总是可以实现的，因为棱体体积中心总是与其底下（浸水线）重心在同一垂直线上。

如果浮箱之壁不是垂直面的，但它的形状在平面、正面和侧面均对称，其浮轴也可以达到固定不动。此时，全部浸水线之重心亦必在同一直线上。

可以看出，浮体在力的作用下下沉的现象完全类似中心受力的棱体杆弹性受压的现象。下面我们将看到，某些条件下浮体的倾斜类似于棱体杆的挠曲现象。

平底船浸水线重心和面积的计算实例。主要尺寸：长度 $L=13.55$ 米，宽度 $B=5.00$ 米，舷高 $H=1.10$ 米。平面外形由曲线部分和长方形构成（图3）。

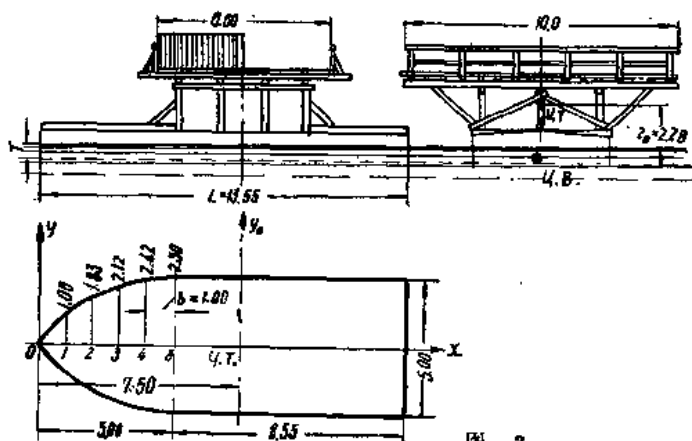


图 3

船端部的面积及其对船头轴的静矩，按梯形法计算如下：

$$F = \int y dx = 2b \left[\sum_{i=0}^n y_i - \frac{y_0 + y_n}{2} \right],$$

$$S = \int xy dx = 2b \left[\sum_{i=0}^n x_i y_i - \frac{x_0 y_0 + x_n y_n}{2} \right].$$

式中 x ——横坐标；

y ——从浸水线面积轴线上量得之纵坐标；

b ——每个梯形的宽度或两纵坐标间的距离。

计算列于表1内。表中 Σ ——该行各项数值的合计， $\Delta\Sigma$ ——首末两项之和的二分之一。

浸水线全部面积：

$$F = 2 \times 1.00 \times 8.73 + 5.00 \times 8.55 = 60.21 \text{ 米}^2.$$

表 1

i	x	y	xy
0	0	0	0
1	1.00	1.06	0.06
2	2.00	1.83	3.66
3	3.00	2.17	6.51
4	4.00	2.42	9.64
5	5.00	2.50	12.50
	Σ	9.98	33.37
	$\Delta\Sigma$	1.25	6.25
	Σ	8.73	27.12

浸水线面积之充满系数或实有面积与外接长方形面积之比

$$c = \frac{F}{LB} = \frac{60.21}{13.55 \times 5.00} = 0.89.$$

全部面积对 Y 轴的静矩：

$$S = 2 \times 1.00 \times 27.12 + 5.00 \times 8.55 \left(13.55 - \frac{8.55}{2} \right) = 450.75 \text{ 米}^3,$$

重心离船头轴 (Y 轴) 的距离：

$$a = \frac{S}{F} = \frac{450.75}{60.21} = 7.50 \text{ 米}.$$

平底船上部建筑之轴线应与求得的浸水线面积的重心相重合。

稳定性。这里所指的稳定性乃是浮体在倾斜力和力矩作用时能获得平衡的性能。我们现在研究这样的情况，即浮体（平衡状态）在承受力偶作用时荷重总数及其相应之排水量仍旧不变。上述的附加力偶可以是这样的：垂直作用的荷重 P 自然地移动一 x 距离。这就相当于一附加力偶 Px 。

在力偶作用下，浮体开始倾斜，当其力矩达到一定数值时，浮体可能失去平衡而颠覆。其实，在研究浮桥时，必须使物体倾斜极小，因为主要的尺寸总是这样来规定的，即荷载在任何位置时，斜度不得超过一预定数值，通常此数为 $3 \sim 7\%$ 。因此，可以把浮桥的大倾斜问题搁置一旁而仅限于考虑小斜度。为方便起见，可以采用很精确地由微小倾斜而找得的关系式。

首先要说明排水量不变的微小倾斜系围绕着通过浸水线重心的轴线发生。假定物体对轴线 AB 倾斜一小角度 $\varphi = \tan \varphi$ ，此时，一个楔形体转出水外，另一个楔形体则转入水中①。距 AB 轴 x 距离的小柱上排水量单元力（浮力）为（图4）：

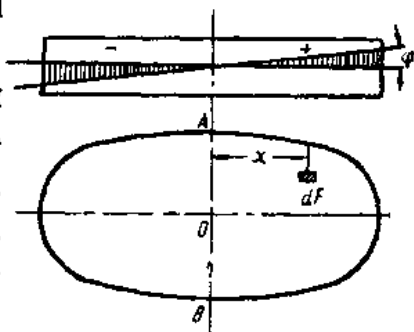


图 4

$$\gamma dV = \gamma x \varphi dF.$$

垂直线上各力之投影应等于零（因为倾斜系由于力矩作用而发生，即没有附加荷载，而排水量又不变）：

$$\gamma \int^F dV = \gamma \varphi \int^F x dF = 0,$$

由此

$$\int^F x dF = 0,$$

亦即面积 F 对倾斜轴之静矩等于零。由此可见， AB 轴通过浸水线面积重心，也就是该面积的中心轴线。需立即指出，与棱体杆

① 斜角可用浸水线朝反方向转一 φ 角表示。

挠曲现象类似之处为：这两个非常靠近的水位线的交线(AB)，相当于受挠杆件横截面的中性轴。

再谈谈关于 φ 角的确定。首先我们根据类似于偏心受压的挠曲理论，来研究外力偶作用面与浸水线面积两主惯性轴之一相重合的情况。任意方向的力偶作用很容易转换为对两主轴倾斜作用的情况。但是，与偏心受压所不同的是这里不得不计算重心偏移时物体本身重所引起的附加力矩。

重心与浮心间的距离以 a 表示(图5)。

重心与浮心的相互位置有三种情况：(a) 重心高于浮心($a > 0$)，此种情况在研究船的倾斜时具有重大现实意义；(b) 重心低于浮心($a < 0$)，这是在船的底部设有主要重量和荷重位置很低时；(c) 重心与浮心重合($a = 0$)。

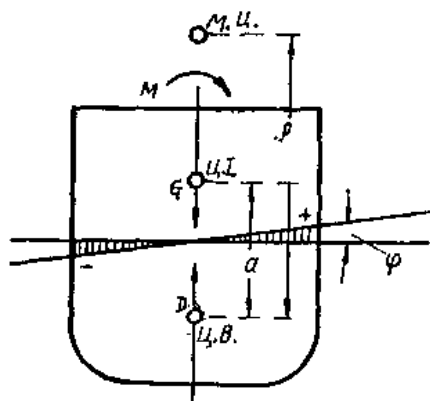


图 5

当浮体倾斜一角度 φ 时，作用力之施力点随之变动，而相当于附加了某一力偶的作用。归根到底，重量和排水量的力应位于同一直线——新浮轴上。这种情况可想象为：力仍旧作用于它以前的施力点处但同时增加一个相应的力偶。

假定外部施加之力矩 M 使浮体顺时针旋转。转入水中之(右)楔形和转出水外之(左)楔形组成一对反时针方向旋转的力偶。倾角 φ 很小时，该力偶力矩为：

$$M' = - \int \gamma x \varphi dF x = - \gamma \varphi \int x^2 dF = - \gamma \varphi I.$$

式中 I —— 浸水线面积对浮轴之惯矩。

物体重量和水的反力亦组成一力偶。不难看出，该力偶力矩在以 $\varphi = \sin \varphi = \tan \varphi$ 计算时为：

$$M'' = \gamma V a \varphi。$$

力矩的符号由距离 a 之符号来确定。

当 $a > 0$ 时, 力矩按顺时针方向旋转, 即发生附加倾斜。当 $a = 0$ 时, $M'' = 0$ 。当 $a < 0$ 时, 表示有复原扶直的作用。

按照平衡条件 $M' + M'' + M = 0$, 将以上数值代入并约算, 得,

$$M = \gamma \varphi (I - V a)。 \quad (2)$$

此公式表示倾斜力偶与复原力偶相平衡。由公式 (2) 又可得,

$$\varphi = \frac{M}{\gamma V \left(\frac{I}{V} - a \right)} = \frac{M}{\gamma V (\rho - a)}。 \quad (3)$$

公式 (3) 称做稳定性的定倾中心公式^①, 它的几何意义可分以下几点说明。数值 $\frac{I}{V}$, 具有长度单位, 并称之为定倾半径;

$$\frac{I}{V} = \rho。 \quad (4)$$

位于浮心以上距离为 ρ 的那一点, 称做定倾中心 (M, H)。数值 $\rho - a$, 亦即重心和定倾中心间的距离, 称为定倾中心高。公式 (3) 可用以判断浮体平衡的性质。

稳定性的必需条件是,

$$\rho - a > 0,$$

亦即定倾中心应高于物体重心。

如果 $\rho - a = 0$, 则有限的力矩都可能引起无限大的倾斜。

当 $\rho - a < 0$ 时, 平衡是很不稳定的; 在浮体自身重量的作用下, 极小的推撞都会引起倾复; 因此, 在浮体建筑物的全部计算中除检算浮性外, 稳定性的检算是一项首要的任务。

在浮桥和渡船上, 我们常可见到活载位于桥面板上, 常高于

① 常写成 $\alpha \varphi$ 或 $\tan \varphi$ 以代替 φ 。必须记住, 这里所指是小角度的倾斜。对于直壁形船, $\varphi < 3.8^\circ$ 或 $\tan \varphi < 0.063$ 时, 所给的定倾中心公式, 其误差不过 1%。

重心和浮心。对于这种建筑物，随着荷重的增加， α 系数将减小，稳定性将降低，因此检算这种建筑物的稳定性，应在最大荷重时进行。根据上述原因，应力求将上部建筑的高度降低，因为桥面板重量和荷重会使整个体系的重心提高，从而使其稳定性减小。

但是，船舱中承受荷重的普通船只，其稳定性反而随着荷重的增长而提高。

在以后的全部推导中，我们将认为浮体建筑物总是稳定的。下面就可看到，在通常遇到的情况中， α 与 ρ 比较起来总是很小的，特别是上部建筑低矮的浮桥。

船绕横轴的倾斜称做纵倾，绕纵轴的倾斜称做侧倾。研究绕两主轴的倾斜可分别得到纵的和横的定倾中心。对于椭圆形船，纵向的（或大的）定倾半径 R 将比横向的定倾半径 ρ 大许多倍，其差值比与浸水线面积两个方向的惯矩差同。对于浮桥的平底船和宽船只，定倾中心之间的差别不至如此之大。

将定倾中心公式（3）写成如下形式：

$$\varphi = \frac{M}{\gamma I \alpha}, \quad (5)$$

式中

$$\alpha = 1 - \frac{aV}{I}. \quad (6)$$

必须强调指出，由公式（5）可得知浮体的倾斜条件与棱体杆的挠曲现象相类似（横向截面面积中，应力与变形的直线分配）。 $\gamma = 1$ 时，距倾斜轴 x 处的下沉可用以下公式表示：

$$T = \frac{Mx}{\alpha I}.$$

这个公式恰恰也表示出挠曲时的法线应力，其中 α 可认为是截面减弱系数。显然，这种比拟也可推广到力偶与主轴成一角度作用的情况（斜挠曲）。

带有上部建筑的平底船倾斜计算实例。取前已考虑过的平底船（图3）。桥面人群250公斤/米²单侧施载，当风力强度150公斤/米²同时作用

时，计算平底船对其横轴（亦即桥之纵轴）的倾斜。

船头之惯矩

$$I_x = \frac{2}{3} \int y^3 dx,$$

$$I_y = 2 \int y x^2 dx,$$

按梯形规则求算。 $b=dx=1$ 时的积分计算列于第 2 表内。

表 2

i	x	y	y^3	$x^2 y$
0	0	0	0	0
1	1.00	1.06	1.19	1.06
2	2.00	1.83	6.11	7.32
3	3.00	2.17	10.21	19.53
4	4.00	2.42	14.20	38.72
5	5.00	2.50	15.63	62.50
	Σ	9.98	47.34	129.13
	$\Delta \Sigma$	1.25	7.82	31.25
	Σ	8.73	39.52	97.88

全部面积之惯矩：

$$I_x = \frac{2}{3} \times 1.00 \times 39.52 + \frac{8.55 \times 5.00^3}{12} = 115.5 \text{ 米}^4.$$

$$I_y = 2 \times 1.00 \times 97.88 + \frac{5.00}{3} (13.55^3 - 5.00^3)$$

$$= 60.21 \times 7.50^2 = 747.21 \text{ 米}^4.$$

底部以上结构体系的重心高度按下式计算：

$$x_0 = \frac{\Sigma P x}{\Sigma P}.$$

表 3

荷 重 名 称	重 量 P (吨)	至底面之力 臂长度 z (米)	力 矩 Pz (吨·米)
活 载 $0.25 \times 10.0 \times 3.30$	8.25	3.75	30.90
行車部分，根据重量計算	8.50	3.00	25.50
上 部 建 筑	5.50	2.25	12.38
平 底 船	9.00	0.30	2.70
	$\Sigma P = 31.25$		$\Sigma Pz = 71.48$

$$z_0 = \frac{71.48}{31.25} = 2.28 \text{ 米。}$$

平均下沉

$$T = \frac{\sum P}{\gamma F} = \frac{31.25}{1 \times 60.21} = 0.52 \text{ 米。}$$

由于平底船之形状为棱体形，浮心距船底之高度为平均下沉的一半，
即：

$$\frac{T}{2} = 0.26 \text{ 米。}$$

重心在浮心以上的高度为：

$$a = 2.28 - 0.26 = 2.02 \text{ 米。}$$

定倾半径

$$\rho = \frac{I_y}{V} = \frac{747.21}{31.25} = 23.90 \text{ 米。}$$

定倾中心高度

$$\rho - a = 23.90 - 2.02 = 21.88 \text{ 米。}$$

竖向活载引起之偏心力矩

$$M_q = 8.25 \times \frac{3.30}{2} = 13.60 \text{ 吨} \cdot \text{米。}$$

行车部分和上部建筑正面面积上的风压力对浮心的力矩等于：

$$M_w = 0.150 \times 11.31 \times 2.0 = 3.40 \text{ 吨} \cdot \text{米} \text{ ①}$$

式中：0.150——风压力强度；11.31——预先算得的受风面积；2.00——
风力作用面重心距浮心的高度。

全部力矩

$$M = 13.60 + 3.40 = 17.00 \text{ 吨} \cdot \text{米。}$$

纵倾角

$$\varphi = \frac{M}{\gamma V (\rho - a)} = \frac{17.00}{1.00 \times 31.25 \times 21.88} = 0.025。$$

船头附加沉没深度

$$7.50 \times 0.025 = 0.19 \text{ 米。}$$

船头最大下沉度

$$T_{\max} = 0.52 + 0.19 = 0.71 < 1.10 \text{ 米。}$$

① 这个力矩相当于静风压150公斤/米²。如果计算风的冲击作用，则风力引起之倾斜应增大一倍。

平底船之横倾（桥面板纵坡度）直接与浮节间的联接方式有关。纵向坡度的计算将在后面研究浮节浮链工作时考虑。

计算浸水线面积各个要素的公式。用适宜的抛物线截段替代船体曲线的部分，可以简化曲线形浸水线几何要素的计算。图 6 中给出了各种不同幂次的抛物线图形。

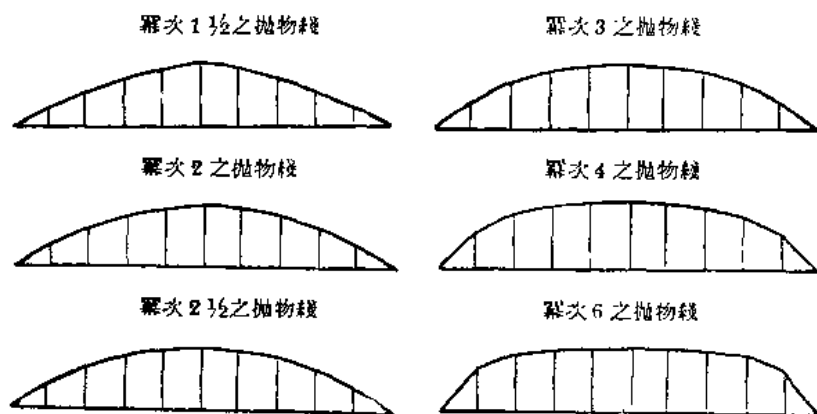


图 6

各种抛物线外截段 OAB 的主要几何要素计算公式如下（图 7）：

曲线方程式

$$y = h \frac{x^n}{a^n}$$

面积

$$F = \frac{1}{n+1} a h$$

对 Oy 轴和 Ox 轴之静矩，

$$S_y = \frac{1}{n+2} a^2 h$$

$$S_x = \frac{1}{2(2n+1)} a h^2$$

重心坐标：

$$x_o = \frac{n+1}{n+2} a, \quad y_o = \frac{n+1}{2(2n+1)} h$$

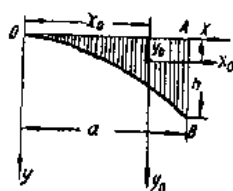


图 7