

机械设计手册

单行本

成大先 主编 ●

机械振动·机架设计



化学工业出版社

内 容 提 要

《机械设计手册》单行本共 15 分册 22 篇,涵盖了机械常规设计的所有内容。各分册分别为:《常用设计资料》、《机械制图、极限与配合》、《常用工程材料》、《联接与紧固》、《轴及其联接》、《轴承》、《弹簧·起重运输件·五金件》、《润滑与密封》、《机械传动》、《减(变)速器·电机与电器》、《机械振动·机架设计》、《机构》、《液压传动》、《液压控制》、《气压传动》。

本书为《机械振动·机架设计》,包括机械振动的控制及利用、机架设计。机械振动的控制及利用主要介绍机械振动基础资料,线性振动、非线性振动与随机振动、隔振与减振(隔振器、阻尼减振器、动力吸振器、缓冲器等)等振动系统原理、模型参数、设计计算,以及常用机械振动的利用,测试技术等;机架设计主要介绍机架设计的一般知识,以及梁、桁架、柱和立架、框架、整体式机架及其他机架的设计与计算等。

本书可作为机械设计人员和有关工程技术人员的工具书,也可供大专院校有关专业师生参考。

第 18 篇 机 架 设 计

主要撰稿 蔡学熙 蒋友谅
审 稿 邹舜卿

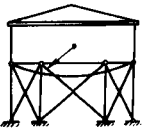
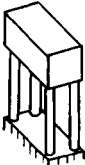
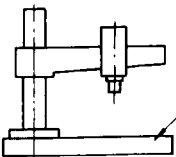
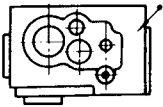
第 1 章 机架结构概论

在机器（或仪器）中支承或容纳零、部件的零件称为机架。如支承贮罐的塔架、固定发动机的机架、容纳传动齿轮的减速器壳体、机床的床身等统称为机架。

1 机架结构类型

1.1 按机架外形分类

表 18-1-1 机架外形分类

外形类别	网架式	框架式	梁柱式	板块式	箱壳式
举 例	 贮罐塔架	 柱式压力机机身	 钢丝缠绕机架	 摇臂钻床底座	 机械传动箱体

1.2 按机架的制造方法和材料分类

按制造方法，机架可分为铸造机架、焊接机架和螺栓联接或铆接机架。按机架材料可分为金属机架、非金属机架。非金属机架又可分为混凝土机架、素混凝土机座平台、花岗岩机架、塑料机架或其他材料的机架。

铸造机架常用材料为铸铁、铸钢和铸铝。小型设备（如仪表等）的机架则有用铜制或塑料制造，其制造工艺设计可参考本手册第 1 篇有关章节。

本篇主要介绍钢结构形式的机架。

1.3 按力学模型分类

表 18-1-2

结构类型	杆系结构	板壳结构	实体结构
几何特征	结构由杆件组成，而杆件（直杆或曲杆）长度远大于其他两个方向的尺寸	结构由薄壁构件组成，而薄壁构件（薄板或薄壳）厚度远小于其他两个方向的尺寸	结构三个方向的尺寸是同一数量级的
机架举例	网架式机架，多数框架式和梁柱式机架	多数板块式和箱壳式机架	少数板块式、框架式和箱壳式机架

注：对某一具体机架，有时很难把它归于哪种结构，因为它可能界于杆系和板壳或板壳和实体两种结构之间。究竟按哪种结构计算，取决于计算工作量和计算精度。若计算精度满足结构设计要求，则按前者计算，否则按后者计算。有的机架要简化为几种结构的组合，用有限元法计算。

1.4 机架杆系结构类型

大部分机架可分解或化简为单个杆件，或简单而又规则的薄板、薄壳。这类机架可以按本手册第 1 篇所列公式、图表进行计算。若机架为复杂的板壳结构或实体结构而又必须详细分析时，可采用有限元法计算。

大部分机架可简化为杆系结构，本篇侧重介绍该种结构及常用的机架形式。

机架杆系结构类型见表 18-1-3。

表 18-1-3 机架杆系结构类型

结构类型		桁 架		刚 架		
		平面桁架	空间桁架	平面刚架	平面板架	空间刚架
结 点	性质	铰结点		刚结点		
	传递的力	集中力		集中力, 力矩		
杆 件	形 状	杆轴		通过截面形心的直线		
	截面	任意		直线, 刚架面内曲线	直线, 且是对称轴线	直线, 曲线
	内力	任意		有一对称轴, 且位于刚架面内	有二对称轴, 且垂直或平行板架平面	有二对称轴
载 荷	位置	轴力		轴力, 剪力, 弯矩	剪力, 扭矩, 弯矩	轴力, 剪力, 扭矩, 弯矩
	方向	桁架面内		任意	任意	任意
支 座	类型	活动铰支座 固定铰支座		活动铰支座, 固定铰支座 滑动支座, 固定端支座		
	方位	桁架面内		任意	任意	任意
机架举例	机架示意图					
	结构计算图					

注：1. 实际的机架杆系结构，有时既有桁架杆件又有刚架杆件，这种结构叫做组合杆系结构。其中包括受有非结点载荷的桁架，因为受有载荷的杆件将产生剪力和弯矩，这种杆件已不是桁架杆件。可见含有这种杆件的桁架，严格地讲是一种特殊的组合杆系结构，但是若把非结点载荷等效到结点上去，仍可按纯桁架进行整体计算。

2. 若杆件形状不满足表中对称性要求，则杆轴不过截面形心的桁架杆件将产生弯曲；截面没有对称轴或载荷、支座不与对称轴共面的平面刚架杆件将产生非平面弯曲；不满足截面对称性的平面板架杆件或空间刚架杆件将产生耦合的弯曲-扭转。

3. 直梁（例如连续梁）可按平面刚架计算，只不过梁不受轴力作用。

2 机架杆系的几何不变性

不少机架都可以看作是由杆件组成的，但是并非把若干杆件随意组合起来就能成其为合理机架结构。必须保证机架杆系是几何不变杆系，应避免几何可变杆系和几何瞬变杆系。本篇各章所述的机架杆系结构，均指几何不变杆系。

2.1 平面杆系的组成规则

要保证一个杆系的几何不变性必须要有足够数目的约束；但是约束数目足够，并不能肯定几何不变，因为还

有一个约束布置的问题。几何不变杆系的组成规则就是为保证杆系几何不变，使约束数目足够又布置合理而规定的准则。

表 18-1-4 平面杆系几何不变性规则

规则名称	几何不变且无多余约束的组成条件	组成示意图	分析举例
二元体规则	二根链杆各用一个铰联结于一个平面刚体上，且三个铰不在同一直线上（若三铰共线，则几何瞬变）		
三连杆规则	二个平面刚体用三根链杆相连，且三根链杆不交于一点（若交于一点，则实交点时，几何可变；虚交点时，几何瞬变）		

注：连杆可以是刚体，也可以是长度可控的，如油缸等。

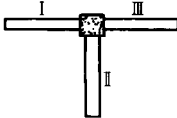
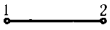
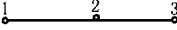
2.2 平面杆系的自由度计算

2.2.1 平面杆系的约束类型

表 18-1-5 平面杆系约束类型

约束名称	约束方式	约束示意图	约束数	说明
简单铰结	一个铰结连二个刚体		2	
复杂铰结	一个铰结连 n 个刚体		$2(n - 1)$	相当于 $n - 1$ 个简单铰结
简单刚结	一个刚结连二个刚体		3	

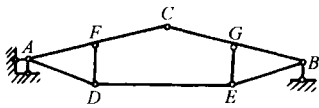
续表

约束名称	约 束 方 式	约束示意图	约 束 数	说 明
复杂刚结	一个刚结连 n 个刚体		$3(n-1)$	相当于 $n-1$ 个简单刚结
简单链杆	一根杆连二个铰点		1	
复杂链杆	一根杆连 n 个铰点		$2n-3$	相当于 $2n-3$ 个简单链杆

2.2.2 平面杆系自由度的计算

表 18-1-6

平面杆系自由度计算方法

计算方法	算 法 1	算 法 2
基本观点	杆系由若干平面刚体受铰结,刚结和链杆的约束而组成	杆系由若干结点受链杆的约束而组成
计算公式	$W = 3m - (3g + 2h + b)$	$W = 2J - B$
	W ——平面杆系的计算自由度数	
	m ——平面刚体数 g ——简单刚结数 h ——简单铰结数 b ——支承链杆数	J ——结点数 B ——简单链杆数
计算举例		
结 论	原有简单铰结数 $h_1 = 5$ (A、B、C、F、G 点) 折算简单铰结数 $h_2 = 2 \times (3 - 1)$ (D、E 点复杂铰结, $n = 3$) 简单铰结总数 $h = h_1 + h_2 = 9$ 平面刚体数 $m = 7$ (AC、CB、AD、DF、DE、EG、EB) 简单刚结数 $g = 0$ (无刚结点) 支承链杆数 $b = 3$ (A 处二根, B 处一根) 计算自由度数 $W = 3 \times 7 - 2 \times 9 - 3 = 0$ 原有简单链杆数 $B_1 = 8$ (AD、DF、DE、EG、EB 三根支杆) 折算简单链杆数 $B_2 = 2 \times (2 \times 3 - 3)$ (AC、BC 复杂链杆, $n = 3$) 简单链杆总数 $B = B_1 + B_2 = 14$ 结点数 $J = 7$ (A、B、C、D、E、F、G 点) 计算自由度数 $W = 2 \times 7 - 14 = 0$	

2.3 杆系几何特性与静定特性的关系

杆系静力分析的基本方法是：截断约束，取分离体，用约束力代替约束；根据分离体的平衡方程，解出约束力。可见，平衡方程总数和未知约束力总数是杆系静力分析的两个基本要素。这两个基本要素的计算见表 18-1-7。

表 18-1-7 杆系平衡方程数和约束力数

所用自由度计算方法		表 18-1-6 算法 1			表 18-1-6 算法 2
平衡方程数	截取的分离体	平面刚体			结 点
	所截分离体数目	m			J
	每个分离体平衡方程数	3			2
	杆系平衡方程总数	$3m$			$2J$
未知约束力数	被截断的约束	简单刚结	简单铰结	支承链杆	简单链杆
	被截约束数目	g	h	b	B
	每个约束的约束力数	3	2	1	1
	杆系未知约束力总数	$3g + 2h + b$			B

按表 18-1-6 和表 18-1-7 计算自由度数 W ，可得表 18-1-8。

表 18-1-8

$W = 0$	静定结构	平衡方程数等于未知力数	有惟一解
$W > 0$	超静定结构	平衡方程数少于未知力数	要有变位等条件求解

3 机架设计计算的准则和要求

3.1 机架设计的准则

(1) 工况要求

任何机架的设计首先必须保证机器的特定工作要求。例如，保证机架上安装的零部件能顺利运转，机架的外形或内部结构不致有阻碍运动件通过的突起；设置执行某一工况所必需的平台；保证上下料的要求、人工操作的方便及安全等。

(2) 刚度要求

在必须保证特定外形条件下，对机架的主要要求是刚度。例如机床的零部件中，床身的刚度则决定了机床的生产率和加工产品的精度；在齿轮减速器中，箱壳的刚度决定了齿轮的啮合性及运转性能。

(3) 强度要求

对于一般设备的机架，刚度达到要求，同时也能满足强度的要求。但对于重载设备的强度要求必须引起足够的重视。其准则是在机器运转中可能发生的最大载荷情况下，机架上任何点的应力都不得大于允许应力。此外，还要满足疲劳强度的要求。

对于某些机器的机架尚需满足振动或抗振的要求。例如振动机械的机架；受冲击的机架；考虑地震影响的高架等。

(4) 稳定性要求

对于细长的或薄壁的受压结构及受弯-压结构存在失稳问题，某些板壳结构也存在失稳问题或局部失稳问题。失稳对结构会产生很大的破坏，设计时必须校核。

(5) 美观

目前对机器的要求不仅要能完成特定的工作，还要使外形美观。

(6) 其他

如散热的要求；防腐蚀及特定环境的要求；对于精密机械、仪表等热变形小的要求等。

3.2 机架设计的一般要求

在满足机架设计准则的前提下，必须根据机架的不同用途和所处环境，考虑下列各项要求，并有所偏重。

(1) 机架的重量轻，材料选择合适，成本低。

(2) 结构合理，便于制造。

(3) 结构应使机架上的零部件安装、调整、修理和更换都方便。

- (4) 结构设计合理, 工艺性好, 还应使机架本身的内应力小, 由温度变化引起的变形应力小。
- (5) 抗振性能好。
- (6) 耐腐蚀, 使机架结构在服务期限内尽量少修理。
- (7) 有导轨的机架要求导轨面受力合理, 耐磨性良好。

3.3 设计步骤

(1) 初步确定机架的形状和尺寸。根据设计准则和一般要求, 初步确定机架结构的形状和尺寸, 以保证其内外部零部件能正常运转。

(2) 根据机架的制造数量、结构形状及尺寸大小, 初定制造工艺。例如非标准设备单件的机架、机座, 可采用焊接代替铸造。

(3) 分析载荷情况, 载荷包括机架上的设备重量、机架本身重量、设备运转的动载荷等。对于高架结构, 还要考虑风载、雪载和地震载荷。

(4) 确定结构的形式, 例如采用桁架结构还是板结构等。再参考有关资料, 确定结构的主要参数 (即高、宽、板厚与材料等)。

(5) 画出结构简图。

(6) 参照类似设备的有关规范、规程, 确定本机架结构所允许的挠度和应力。

(7) 进行计算, 确定尺寸。

(8) 必要时, 进行详细计算并校核或做模型试验, 对设计进行修改, 确定最终尺寸。

4 机架结构的选择

4.1 一般规则

根据前面的准则和要求, 进行机架结构形式的选择仍是一个较复杂的过程。对结构形式、构件截面和结点构造等均需要结合具体的情况进行仔细的分析。对结构方案要进行技术经济比较。由于各种设备有不同的规范和要求, 制定统一的机架结构选择方法较困难。但是, 可以利用结构力学的知识提出下列一般的规则。这些规则是为了节约材料在选择结构形式时应遵守的一般规律。

(1) 结构的内力分布情况要与材料的性能相适应, 以便发挥材料的优点。轴力较弯矩能更充分地利用材料。杆件受轴力作用时, 截面上材料的应力分布是均匀的 (图 18-1-1a), 所有材料都得到充分利用。但在弯矩作用下截面上的应力分布是不均匀的 (图 18-1-1b), 所以材料的利用不够经济。

机械结构中许多构件所受的载荷都是沿垂直于杆轴的方向作用的。弯矩沿杆长变化很迅速。有垂直载荷处, 弯矩曲线有曲率, 且曲率与载荷密集度成正比。最大的弯矩常限于一小段内, 在较长段内材料不能充分利用, 这是弯曲构件不经济的另一原因。

这个规则的一个明显的例子就是桁架使用材料较梁更为经济, 梁所以常用于小跨结构是因为构造的简单和制作的便利。在大跨结构中, 桁架是更经济的型式。

在塑性设计中, 钢构件在弯矩作用下的极限状态的应力分布如图 18-1-1c 所示, 而钢筋混凝土构件相应的应力分布见图 18-1-1d。由这些应力图可知塑性设计比弹性状态设计要经济一些, 但是即使按塑性设计, 以轴力作用为主的结构也比以弯矩作用为主的结构更为经济。必须说明, 在机架设计中有动载荷的情况下一般是不考虑塑性设计的。

壳体结构由于主要受轴力作用, 使用材料极为经济。

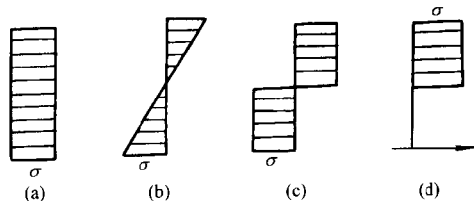


图 18-1-1

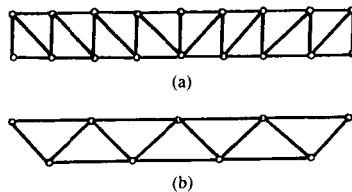


图 18-1-2

(2) 结构的作用在于把载荷由施力点传到基础。载荷传递的路程愈短，结构使用的材料愈省。

图 18-1-2a 和 b 所示为钢架常用的两种腹杆布置。图 a 为斜杆腹系，长斜杆在载荷作用下承受拉力，这是一个优点。但是在斜杆腹系中，载荷通过交替的斜杆和竖杆传到桁架的两端所经的路程很长。在图 b 所示的三角形腹系中，载荷通过斜杆传到桁架两端所经的路程就比较短。由于这个原因，图 b 所示桁架使用材料较少。

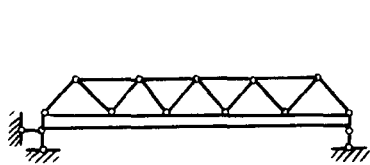


图 18-1-3

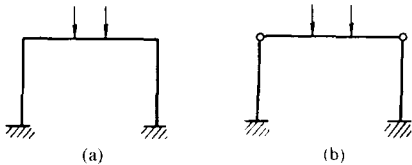


图 18-1-4

另一个例子是图 18-1-3 所示的梁和桁架的组合体系。用这种体系做成的结构要比一般桁架经济，因为下弦梁缩短了载荷传递的路程。

(3) 结构的连续性可以降低内力，节省材料。

例如，连续梁比一串简支梁经济，连续桁架也比一串简支桁架经济。在刚架中由于结点的刚性使弯矩降低，例如在同样载荷下图 18-1-4a 所示刚架受到的弯矩比图 18-1-4b 所示刚架受到的要小。一般来说，连续刚架比孤立的梁柱体系要经济。

以上规则在实际应用中有时是互相矛盾的。例如图 18-1-4a 所示结构和 b 所示结构比较起来，是互有利弊的。一方面由于结构的刚性，图 a 所示结构中梁的弯矩较小，但在另一方面由于结点的刚性，柱的弯矩增加了。

4.2 静定结构与超静定结构的比较

表 18-1-9 静定结构与超静定结构的比较

比较项目	静定结构	超静定结构
防护能力	静定结构没有多余约束。当任一约束突然破坏，即变成几何可变杆系，不能承受任何载荷，所以防护能力差	超静定结构有多余约束。多余约束突然破坏后，仍能维持几何不变性，还能承受一定的载荷，所以防护能力强
内力分布	由于没有多余约束，局部载荷对结构的影响范围小，内力分布很不均匀，内力峰值大	由于有多余约束，局部载荷对结构的影响范围大，内力分布比较均匀，内力峰值较小
结构刚度和稳定性	由于没有多余约束，载荷作用下的结构变形，受不到多余约束的进一步限制，结构的刚度和稳定性差	由于有多余约束，载荷作用下的结构变形要受到多余约束的进一步限制，结构的刚度和稳定性较好
结构材料和杆件截面的影响	静定结构的内力只需用静力平衡方程即可确定，所以内力与结构材料性质和杆件截面尺寸无关	超静定结构的内力不能单用静力平衡方程来确定，还需同时考虑变形条件，所以内力与结构的材料性质和杆件截面尺寸有关
非载荷因素（支座移动、温度改变、材料收缩和制造误差）的影响	非载荷因素只引起静定结构的位移和变形，不在静定结构中产生内力（因为位移和变形受不到多余约束的限制）	非载荷因素不仅引起超静定结构的变形，而且还在超静定结构中产生内力（因为变形要受到多余约束的限制）
杆件截面设计的简单程度和调整结构内力分布的能力	静定结构杆件截面尺寸设计简单，只要结构外形及其尺寸（指用杆轴表示的力学模型）一定，即可由平衡方程求出内力，再按强度条件设计杆件截面。但静定结构的内力分布与杆件刚度比值无关，故不能通过改变杆件刚度来调整内力分布	超静定结构杆件截面尺寸设计复杂，只有事先假定截面尺寸才能求出内力，然后再根据内力重新设计杆件截面，若设计截面与假定截面相差过大，需重新计算。但超静定结构的内力分布与杆件刚度比值有关，故可通过改变杆件刚度来调整内力分布

4.3 静定桁架与刚架的比较

表 18-1-10 静定桁架与刚架的比较

比较项目	静定桁架	刚架
是否便于使用	由于桁架结点都是铰结点，所以为了保证杆系的几何不变性，所用的杆件数目较多，而且占据了内部空间，不便使用	由于刚架结点主要是刚结点，所以刚架的几何不变性，除了支座的约束作用外，主要依靠刚结点的连结作用，所用的杆件数目较少，内部空间大，便于使用
是否节省材料	由于桁架杆件都是二力杆件，只有轴力，所以内力沿杆轴和应力沿杆件截面都是均匀分布的，充分利用了材料	由于刚架杆件大都是梁式杆件，内力主要是弯矩，所以内力沿杆轴和应力沿杆件截面都是非均匀分布的，没有充分利用材料

4.4 几种杆系结构的力学性能的比较

机架的典型结构形式有梁、刚架、桁架和组合结构，还可按其结构受力有以下两种分类方式。

- (1) 无推力结构和有推力结构。梁和梁式桁架属于前者；三铰拱，三铰刚架、拱式桁架和某些组合结构属于后者。
- (2) 将杆件分为链杆和梁式杆。桁架中的各杆都是链杆；多跨梁和刚架中的各杆都是梁式杆；组合结构中的杆件有的是链杆，有的是梁式杆。

对于梁式杆，应尽量减少杆件中的弯矩。现从这个角度，讨论各杆系结构的特点。

- 1) 在静定多跨梁和伸臂梁中，利用杆端的负弯矩可以减小跨中的正弯矩（如图 18-1-5b）。
- 2) 在有推力结构中，利用水平推力的作用可以减小弯矩峰值（如图 18-1-5e）。

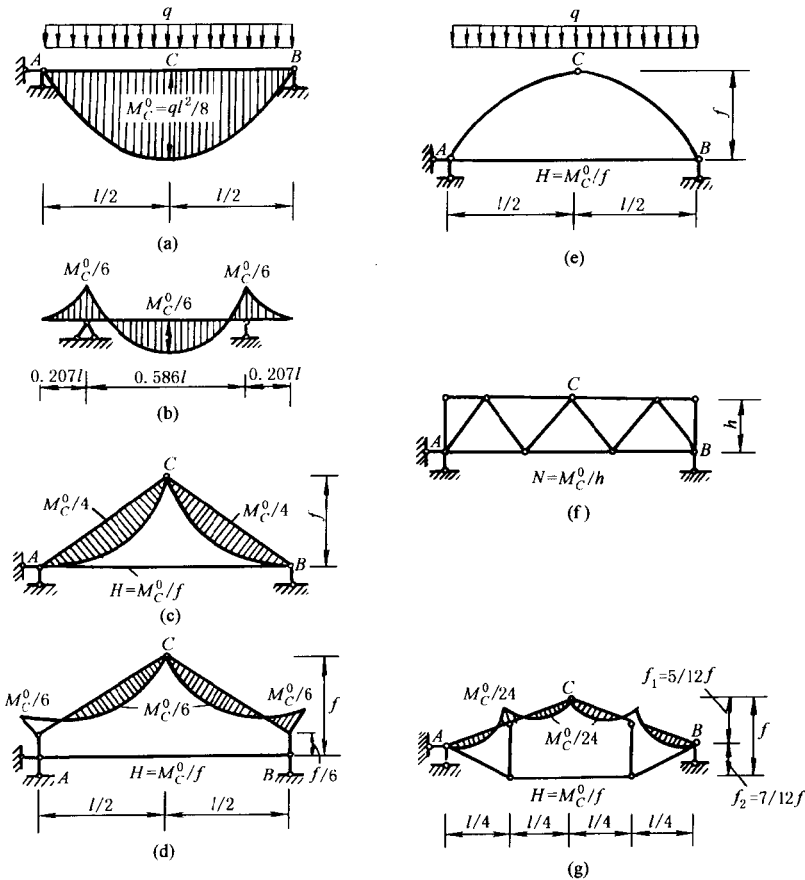


图 18-1-5

3) 在桁架中, 利用杆件的铰结和合理布置以及载荷的结点传递方式, 可使桁架中的各杆处于无弯矩状态。

为了对各种杆系结构形式的力学特点进行综合比较, 在图 18-1-5 中给出了几种结构形式在相同跨度和相同载荷 (全跨受均布载荷 q) 作用下的主要内力数值。图 18-1-5a 是简支梁 (跨中截面 C 的弯矩为 $M_C^0 = \frac{ql^2}{8}$)。图 18-1-5b 是伸臂梁。为了使弯矩减小, 设法使支座负弯矩与跨中正弯矩正好相等。根据这个条件可以求出伸臂长度应约为 $0.207l$, 这时弯矩峰值下降为 $\frac{1}{6} M_C^0$ 。

图 18-1-5c 是带拉杆的三角形三铰架, 推力为 $H = M_C^0/f$, 由于推力的作用, 上弦杆的弯矩峰值下降为 $\frac{1}{4} M_C^0$ 。图 18-1-5d 中, 拉杆与上弦杆端部之间有一个偏心距 $e = f/6$, 这样, 上弦杆端部负弯矩与杆中正弯矩正好相等, 弯矩峰值进一步下降为 $\frac{1}{6} M_C^0$, 这两种情况都属于三铰刚架的特殊情况。图 18-1-5f 是梁式桁架, 在结点载荷作用下, 各杆处于无弯矩状态, 中间下弦杆的轴力为 M_C^0/h 。图 18-1-5g 是组合结构, 为了使正弦杆的结点负弯矩与杆中正弯矩正好相等, 故取 $f_1 = \frac{5}{12}f$, $f_2 = \frac{7}{12}f$, 这时上弦杆的弯矩峰值下降为 $\frac{1}{24} M_C^0$, 中间下弦杆的轴力为 $\frac{M_C^0}{f}$ 。

从以上的分析和比较可看出, 在相同跨度和相同载荷下, 简支梁的弯矩最大, 伸臂梁、静定多跨梁、三铰刚架、组合结构的弯矩次之, 而桁架中除了受均布载荷作用的杆件有弯矩外, 其他杆件的弯矩为零。基于这些受力特点, 所以在工程实际中, 简支梁多用于小跨度结构; 伸臂梁、静定多跨梁、三铰刚架和组合结构可用于跨度较大的结构; 当跨度更大时, 则多采用桁架。

另一方面, 各种结构形式都有它的优点和缺点。简支梁虽然具有上述缺点, 但也有许多优点, 如制造简单, 使用方便。所以在工程实际中简支梁仍然是广泛使用的一种结构形式。其他结构形式虽具有某些优点, 但也有其缺点: 如桁架的杆件很多, 结点构造比较复杂; 三铰刚架要求基础能承受推力 (或需要设置拉杆承受推力)。所以选择结构形式时, 不能只从受力状态这一方面去看, 而必须进行全面的分析和比较。

4.5 几种桁架结构的力学性能的比较

(1) 力学性能比较

对于几种常见形式的桁架, 为了便于比较, 使它们的跨度、节距及承受的载荷 (上弦各结点承受的载荷) 都相同。又为了方便计算, 使各结点载荷均等于 1。

1) 平行弦桁架 (图 18-1-6a)

① 弦杆轴力 计算弦杆轴力时, 可应用力矩平衡方程, 矩心选在桁架各结点。力臂等于桁架高度 h 。设与桁架同跨度、同载荷的简支梁上, 对应于桁架各结点的截面弯矩为 M^0 , 则弦杆的轴力可表示为:

$$N = \pm \frac{M^0}{h}$$

式中 右边的正号表示下弦杆的轴力为拉力, 负号表示上弦杆的轴力为压力。因为平行弦桁架的轴力与梁相应结点处的 M^0 值成比例, 所以, 中间弦杆的轴力大, 两端弦杆的轴力小。

② 腹杆轴力 求桁架腹杆轴力时用截面法。由铅垂投影平衡方程可知, 斜杆的铅垂分力和竖杆的轴力, 分别等于简支梁相应节间的剪力 Q^0 , 即

$$\begin{aligned} V_{\text{斜杆}} &= + Q^0 \\ N_{\text{竖杆}} &= - Q^0 \end{aligned}$$

上式表明, 这里的斜杆轴力为拉力, 竖杆轴力为压力。图 18-1-6a 中, 给出了平行弦桁架各杆的轴力值 (因载荷取值为 1, 所以此内力值也就是内力系数)。

若对上边平行弦桁架与实体梁的内力进行比较, 可以看出二者有许多类似之点。桁架弦杆主要承受弯矩, 相当于工字梁中翼缘的作用; 腹杆主要承受剪力, 相当于工字梁中腹板的作用。对实体梁来说, 在横截面面积不变的情况下, 如材料尽可能远离中性轴布置 (采用合理截面形状), 则截面惯性矩就越大, 梁的抗弯能力就越强。实际上, 桁架是更好地体现上述条件的。从整体看, 图 18-1-6a 所示桁架是承受弯曲的结构; 从局部看, 每根杆件都是承受拉伸与压缩的杆件, 因而强度性能好。桁架在其高度、跨度、重量轻、承载力强等方面的优点, 实体梁都是无法与之相比的。

2) 三角形桁架 (图 18-1-6b)

① 弦杆轴力 弦杆所对应的力臂, 由中间到两端按直线规律变化。设力臂为 r , 则弦杆轴力仍可表示为:

$$N = \pm \frac{M^0}{r}$$

力臂 r 向两端减小的速度比 M^0 要快, 因而 $\frac{M^0}{r}$ 向两端渐增。所以, 弦杆越靠近两端, 其轴力越大。

② 腹杆轴力 由截面法可知, 斜杆轴力为压力, 竖杆轴力为拉力, 并且二者都是越靠近桁架中间, 其轴力越大。三角形桁架各杆的轴力如图 18-1-6b 所示。

3) 抛物线桁架 (图 18-1-6c)

① 弦杆轴力 在抛物线桁架中, 各下弦杆的轴力及各上弦杆轴力的水平分力的力矩, 其矩心的力臂, 即为各竖杆的长度, 而竖杆的长度与弯矩一样, 都是按抛物线规律变化的。故可知各下弦杆的轴力与各上弦杆轴力的水平分力的大小都相等 (符号相反), 从而各上弦杆的轴力也接近相等。

② 腹杆轴力 由于下弦杆轴力与上弦杆轴力的水平分力相等, 根据截面法, 由 $\Sigma X = 0$, 可知各斜杆轴力均等于零。不难断定, 各竖杆的轴力也均等于零。

4) 折线形桁架 (图 18-1-6d)

折线形桁架是三角形桁架和抛物线形桁架的一种中间形式。由于上弦改成折线, 端节间上弦杆的坡度比三角形桁架大, 因而使力臂 r 向两端递减得慢一些, 这就减小了弦杆特别是端弦杆的内力, 虽然 $\frac{M^0}{r}$ 值也逐渐增大, 但比三角形桁架的变化要小。

由上面的分析, 可得以下结论:

1) 平行弦桁架的内力分布不均匀, 弦杆内力向中间增加, 因而弦杆截面要随着改变, 这就增加了拼接的困难; 如用同样的截面, 又浪费材料。但是, 由于它在构造上有许多优点, 如可使结点构造划一, 腹杆标准化等, 因而仍得到广泛应用; 不过多限于轻型桁架, 这样便于采用截面一致的弦杆, 而不致有很大的浪费。

2) 三角形桁架的内力分布也不均匀。弦杆的内力近支座处最大, 并且端结点夹角很小, 构造复杂。由于其两

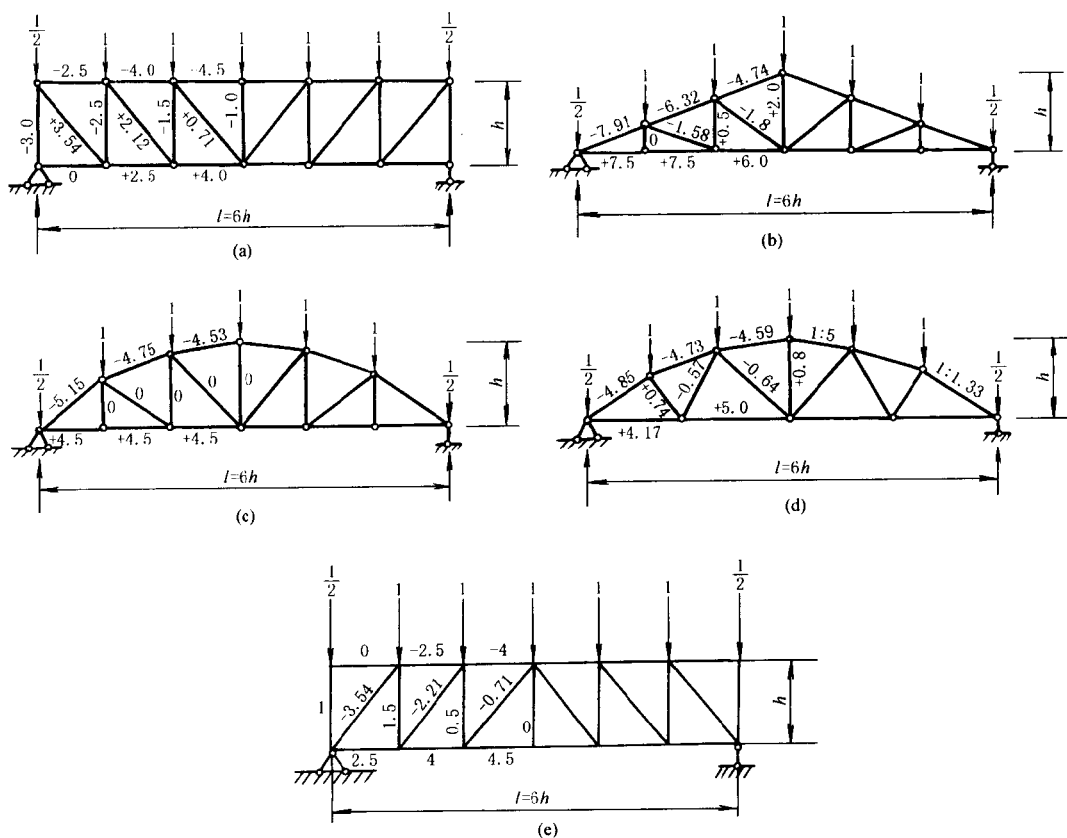


图 18-1-6

面斜坡的外形符合屋顶构造的要求，所以三角形桁架只在屋顶结构中应用。

3) 抛物线形桁架的内力分布均匀，从受力角度来看是比较好的桁架形式。但是，曲弦上每一结点均须设置接头，构造较复杂。

4) 折线形桁架的内力分布近似抛物线形桁架，但制造较方便。

(2) 桁架腹杆的布置对其内力的影响

在平行弦桁架中(图 18-1-6a),若腹杆的布置由 N 式变为反 N 式(图 18-1-6e),则其内力的性质也随着改变,斜杆由受拉变为受压,竖杆由受压变为受拉。在图示的情况下,后者优于前者。至于斜杆的内力大小,则与其倾角有关。斜杆与弦杆的夹角小,则斜杆的内力大。腹杆的布置对桁架的构造和制造有影响。如桁架节间长度变小,斜杆与弦杆夹角加大,其内力虽较小,但腹杆增多,结点数目增加,制造复杂,反而不一定经济,所以布置腹杆需要全面权衡。

在三角形桁架中(图 18-1-6b),若腹杆的布置由 N 式变为反 N 式,则腹杆内力的性质也要改变,即斜杆受拉,竖杆受压。以前钢屋架采用这种形式,可以避免钢材压杆过长容易失稳的缺点。用钢筋混凝土或钢材做成的三角形桁架,跨度较大时,腹杆采用 N 式或反 N 式,都使下弦结点和腹杆太多,不够经济,故常采用如图 18-1-7a、b 的形式。图 18-1-7c 表示三角形桁架的另一种形式,由于改变了腹杆的布置,使压杆短而拉杆长。压杆采用钢筋混凝土,截面大,不易失稳,拉杆采用钢材,使两种材料都能发挥各自的长处。

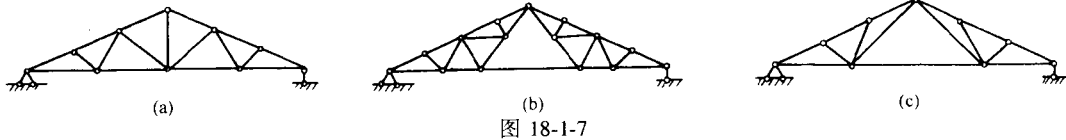


图 18-1-7

5 几种典型钢机架结构形式

本节提供某些设备所采用的机架结构形式，供选择时参考。

5.1 挖掘机机架

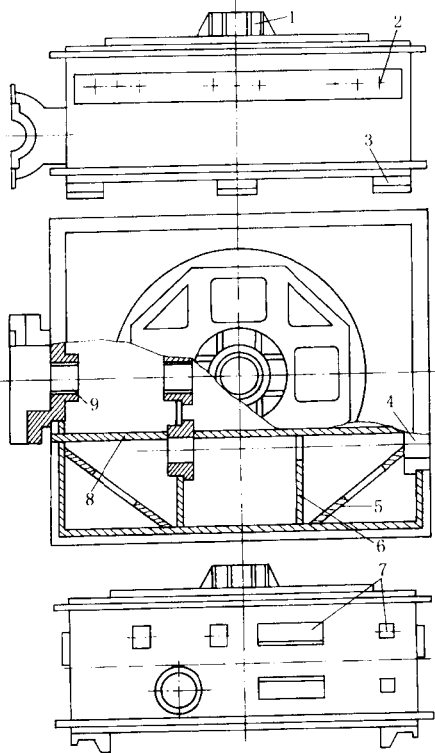


图 18-1-8 4m³ 采矿挖掘机底架的下架

1—轴座；2—螺栓孔；3—钩牙；4—轴孔；5—斜板；
6—隔板；7—机座；8—井字板；9—轴孔

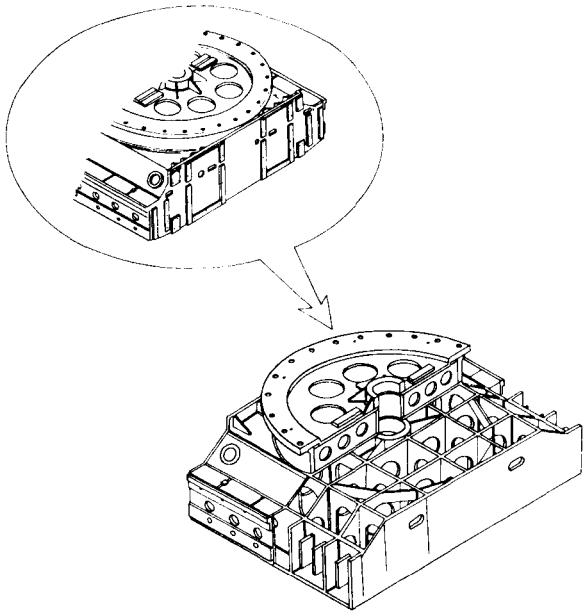


图 18-1-9 23m³ 挖掘机下架

(1) 图 18-1-8 为 4m^3 采矿挖掘机底架的下架图，与履带架组成支持整机的底架。

该下架为呈蜂窝状的焊接箱形结构，内部用隔板 6、8 焊成井字形，对角焊有斜板 5。上下盖板留有开孔，便于进行检修、安装工作。

箱形结构的下架刚度大，承载能力强，能保证机器原地转弯时有较好的刚性。

(2) 图 18-1-9 所示是 23m^3 采矿挖掘机的下架，该下架是焊接的箱形结构，是由上下盖板间许多纵横交错、垂直布置的隔板焊接而成。下架中一些关键性隔板，都是由具有耐低温、高冲击韧性的优质钢材制造。随着抗疲劳设计原理和焊接技术的迅速发展，结构不连续所引起的应力集中已减小到最低限度。

(3) 履带架。履带架是用来承受来自下架的载荷并传递给支重轮的构件，有铸钢件也有焊接件，是一封闭箱形结构，简单可靠。

图 18-1-10 所示是 4m^3 采矿挖掘机的履带架，其左端开有装张紧机和导向轮的轴孔 1，三个装支重轮的心轴孔 2，右端为减速器的机壳 4 及驱动轮的轴孔 3，上面是缓倾斜的斜面并加工有与下架联接用的螺钉孔 5，下面有三个同下架相连的钩牙 6。

(4) 图 18-1-11 所示为卡特皮勒公司 235 型液压挖掘机的回转平台。它用螺栓固定在回转轴承组件的外侧，并支承行走机构上面的部件。两个箱形截面纵梁构成平台的主梁，它和箱形截面的横梁连接，形成臂杆支架组件和回转驱动机构的坚固支座。中心箱形结构件的四周焊有槽钢，构成整个机架，并为安装燃油箱、液压油箱、液压控制阀、电池和驾驶室提供坚固的支座。

(5) 斗桥。链斗挖泥船中，斗桥是支承全部斗链进行挖掘工作的大梁，为桁架结构，如图 18-1-12。

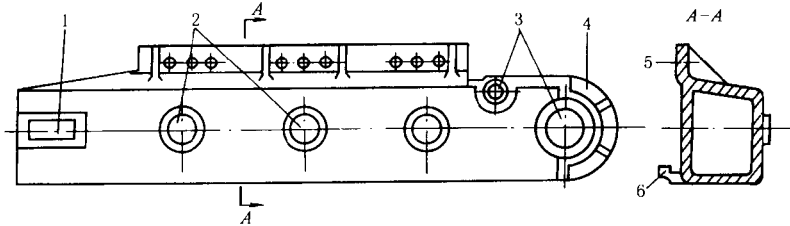


图 18-1-10 履带架

1、3—轴孔；2—心轴孔；4—机壳；5—螺钉孔；6—钩牙

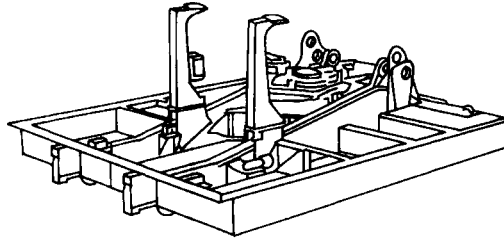


图 18-1-11 回转平台

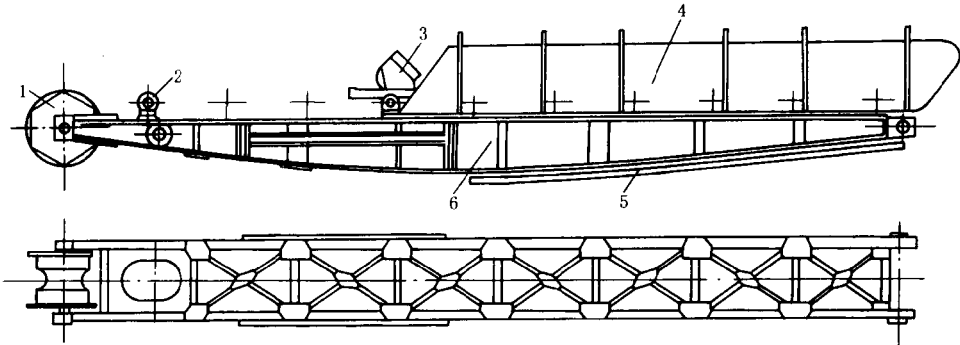


图 18-1-12 斗桥

1—下导轮；2—导链滚筒；3—斗链；4—上部挡泥板；5—底部挡泥板；6—斗桥

5.2 起重运输设备机架

图 18-1-13 为钢板结构的起重机机架。图 18-1-14 为桁架结构的起重机机架。图 18-1-15 为一端刚性支腿、一端挠性支腿为起重机机架。图 18-1-16 为空腹框架式起重机机架。图 18-1-17 为桅杆式机架。图 18-1-18 为钢绳机架。

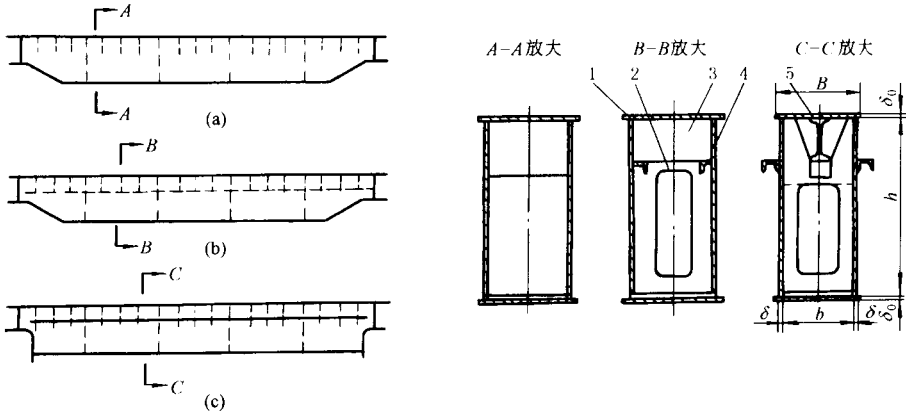


图 18-1-13 正轨箱形梁式起重机机架

(a) 适用于小起重量小跨度；(b) 适用于小起重量大跨度；(c) 适用于大起重量
1—盖板；2—大筋板；3—小筋板；4—腹板；5—承轨梁

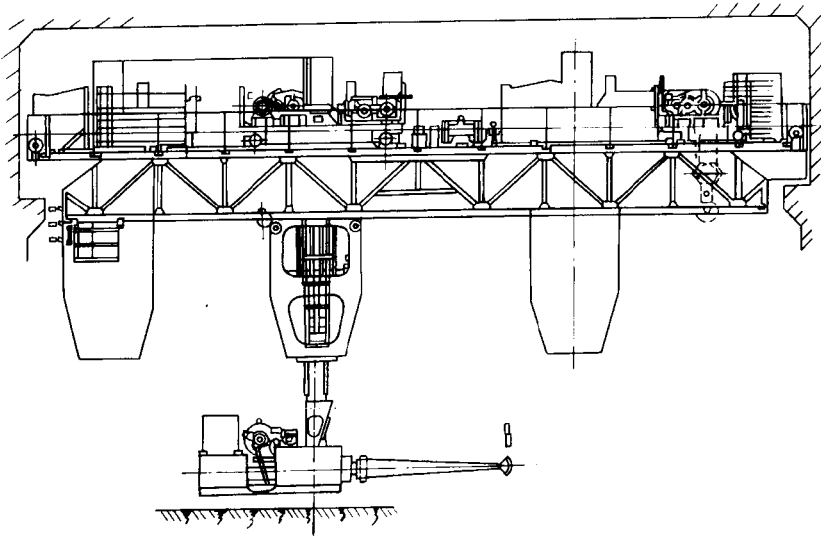


图 18-1-14 桁架式起重机 (20t 起重量加料起重机)

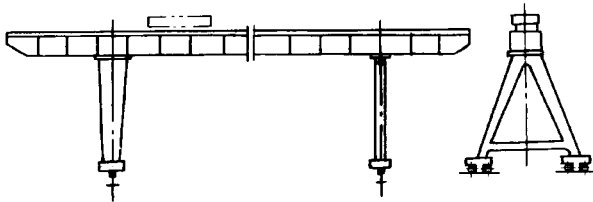


图 18-1-15 龙门起重机机架 (刚性-挠性支腿起重机梁)