

焊件设计

[美] O. W. 勃劳杰 著

A large, stylized sunburst or gear-like graphic with many pointed teeth, rendered in a lighter shade of the dark background, framing the central text.

HANJIAN SHEI

中国农业机械出版社

内 容 简 介

本书详细地介绍了农机、电机、机床及工程机械等各类机械产品典型焊件的设计。通过近70个设计实例说明在振动、疲劳、扭转、静载、冲击等条件下焊件设计的原则和计算程序。为了简化设计，书中还介绍了大量实用的公式和图表。

本书可供所有机械制造企业和设计单位的工程技术人员使用，也可作高等院校有关专业师生的教学参考书。

DESIGN OF WELDMENTS

Omer W. Blodgett

THE JAMES F. LINCOLN ARC WELDING FOUNDATION

1976

* * *

焊 件 设 计

〔美〕 O. W. 勃劳杰 著

张伟昌 译
梅仲勤

*

中国农业机械出版社出版

北京市海淀区阜成路东钓鱼台乙七号

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

新华书店经售

*

787×1092 1/16 开 28¹/₂印张 696千字

1985年6月北京第一版·1985年6月北京第一次印刷

印数 00,001—11,000 定价：5.90元

统一书号：15216·186

译 者 的 话

广泛采用焊接结构是机械制造工艺发展的一个重要趋势。在一些工业发达的国家，焊接结构已占机械坯件的40%左右。

毫无疑问，正确的焊件设计直接决定焊接结构的推广应用。目前，由于焊件设计不妥而影响焊接结构技术经济效果的事例仍时有发生。

本书是美国在焊件设计方面的经验总结，其最大特点是切合生产实际。例如，书内所举的近70个焊件设计的实例在生产中是经常碰到的。通过这些实例，举一反三，可以解决许多机械产品的焊件设计问题。正因为如此，本书在美国国内已重印了八次。所感不足的是，书内没有介绍近几年在焊件设计中受到重视的断裂韧性问题。

本书第一到第四章由张伟昌翻译，第五到第七章由梅仲勤翻译。全书由张伟昌整理。由于译者水平所限，错误之处望读者批评指正。

前 言

大约四十年前，焊接钢结构第一次应用于大量生产的电机产品。由于采用这一结构，产品的重量和成本降低了 50%。此后，由于经济和性能方面的优点，焊接钢结构在各种产品上的使用不断得到扩大。

长期的实际经验，创造了决非一个出版物可以积累的、但对设计人员和技术人员却很有用的财富。其中许多知识还未以任何形式公开发表过，仍然留在这一学科的专业人员的手里或头脑里。

林肯电气公司为了促进焊件设计工作，在 1936 年创建了 J. F. 林肯电弧焊基金会。该基金会成立后，有幸通过各种奖励计划和教育活动得到了许多有关这方面的资料。基金会认为，这些资料是大家感兴趣的。因此，这本书的出版，可以为焊件设计人员和技术人员应用焊件设计提供有用的资料。只有最充分地利用这些学识和资料，才能使我们的经济以及从事这方面工作的公司保持竞争性。

本书分为三个部分：第一部分是焊件设计的一般知识、数学公式及其基本的使用方法；第二部分包括焊件应用设计中需要的基本理论和公式；第三部分是根据第二部分提供的资料，对各种典型机械和产品中采用的主要部件进行的实际设计。

我谨希望这些资料对不很熟悉这一方面的读者是一个有用的研究手段，并且作为解决焊件设计和制造问题的参考书。

本书是用几年时间写成的，并尽最大努力来消除各种错误。作者欢迎读者指出书中的错误，也欢迎对各种问题提出质询。但是，由于许多变化因素影响每个设计，无论是作者，还是出版者，都不能对设计者使用书中所列的数据和公式所得的结果承担责任。

符号和含义

- α ——角加速度 (弧度/秒²)；梁弯曲部分的夹角 (度)；形状系数
- Δ ——弯曲 (Δ_b) 或剪切 (Δ_s) 的垂直挠曲 (英寸)
- ε ——伸长或收缩的单位应变 (英寸/英寸)
- ε_s ——单位剪切应变 (英寸/英寸)
- ν ——泊桑比 (钢通常等于 0.3)
- ω ——角焊缝的焊脚尺寸 (英寸)，绕轴转动的角速度 (弧度/秒)
- ϕ ——单位扭转角 (弧度/英寸长)
- Σ ——合计
- σ ——拉伸或压缩的正应力 (磅/英寸²)；强度 (磅/英寸²)
- τ ——剪切应力 (磅/英寸²)；剪切强度 (磅/英寸²)
- θ ——扭转角 (弧度，1 弧度 = 57.3 度)，转角 (弧度)，其它特指的角度
- a ——要施加应力或已施加应力平面以外的截面积 (英寸²)；板件长度 (英寸)；加速度或减速度 (英尺/分²，英尺/秒²)
- b ——截面宽度 (英寸)；面积重心离参考轴的距离 (英寸)
- c ——从中性轴到最外层表面的距离 (英寸)
- d ——截面高度 (英寸)；力臂 (英寸)；距离 (英寸)
- e ——施加载荷的偏心度 (英寸)；轴向总应变 (英寸)；力臂 (英寸)；有效宽度 (英寸)
- f ——每英寸长焊缝的力 (磅/英寸)；水平剪切力 (磅/英寸)；(垂直) 合力 (磅/英寸)；焊缝的许用强度 (磅/英寸)
- g ——重力加速度 (386.4 英寸/秒²)
- h ——高度；落下高度
- k ——某项常数或扩大系数
- m ——质量
- n ——截面中性轴至参考轴的距离 (英寸)；级数的位数
- p ——内压力 (磅/英寸²)
- r ——半径 (英寸)；回转半径
- s ——弯梁段的长度 (英寸)
- t ——工件厚度 (英寸)；时间 (分)；时间间隔 (秒)
- u ——材料的拉伸回弹模数 (磅·英寸/英寸³)
- u_u ——材料的极限能量阻力 (磅·英寸/英寸³)
- w ——均布载荷 (磅/英寸长)
- x ——力臂长度 (弯曲梁)
- y ——面积重心到整个截面中性轴的距离 (英寸)

- A**——面积 (英寸²)；总截面积
E——拉伸弹性模数 (磅/英寸²)
E_t——剪切弹性模数 (磅/英寸²)
E_c——切向弹性模数 (磅/英寸²)
E_k——动能
E_p——势能
F——总力 (磅)；径向力 (磅)
I——惯性矩 (英寸⁴)
J——极惯性矩 (英寸⁴)
K——最小载荷与最大载荷比 (疲劳)；某项常数
L——构件长度 (英寸或英尺)；支架间的跨度 (英寸)
L_e——柱的有效长度
M——弯矩 (磅·英寸)
M₀——施加的弯矩 (磅·英寸)
N——使用周期数
P——集中载荷 (磅)
Q——剪切中心
R——反作用力 (磅)；构件的抗扭常数 (英寸⁴)
S——截面模数 (英寸³) = I / c
T——扭矩 (磅·英寸)
U——储存能
V——垂直剪切载荷 (磅)；剪切反作用力；速度；容量
W——总载荷 (磅)；重量 (磅)；总宽度 (英寸)
C. G.——重心
HP——马力
N. A.——中性轴
RPM——每分钟转数

目 录

第1章 设计概论	1
§ 1.1 焊接钢结构的发展	1
§ 1.2 系统的焊件设计	3
§ 1.3 问题性质的确定	8
§ 1.4 有效使用钢材的设计原则	13
§ 1.5 用等截面法的重新设计	28
第2章 载荷和应力分析	39
§ 2.1 载荷及其评定	39
§ 2.2 材料性能	47
§ 2.3 截面性能	53
§ 2.4 拉伸分析	74
§ 2.5 压缩分析	76
§ 2.6 弯曲分析	89
§ 2.7 复合应力分析	99
§ 2.8 弯曲梁的强度	107
§ 2.9 弯矩引起的挠曲	112
§ 2.10 梁的剪切挠曲	135
§ 2.11 弯曲梁的挠曲	139
§ 2.12 板的压曲	144
第3章 特种设计条件	153
§ 3.1 冲击载荷设计	153
§ 3.2 疲劳载荷设计	161
§ 3.3 改善振动控制的设计	172
§ 3.4 尺寸稳定性	179
§ 3.5 弹性匹配	184
§ 3.6 扭转载荷设计	187
第4章 静载构件的设计	204
§ 4.1 设计机座	204
§ 4.2 设计平台	223
§ 4.3 支撑或加固构件	228
§ 4.4 设计钢架	236
§ 4.5 柱杆、支脚或脚板	249
§ 4.6 容器、圆筒、壳体	252
§ 4.7 壳体类工件用的挂耳和支架的设计	267
§ 4.8 设计齿轮箱	274
§ 4.9 电机	282

§ 4.10 设计轴承座	294
§ 4.11 设计凸台和垫板	299
§ 4.12 设计机器支架	302
第 5 章 转动构件的设计	305
§ 5.1 设计飞轮	305
§ 5.2 设计钢皮带轮和滑轮	319
§ 5.3 设计钢辊	334
§ 5.4 设计大型钢齿轮	344
第 6 章 接头设计和生产	357
§ 6.1 钢的可焊性	357
§ 6.2 接头设计	359
§ 6.3 确定焊缝尺寸	364
§ 6.4 焊接成本估计	384
§ 6.5 收缩与变形的控制	397
第 7 章 基本设计公式	407
§ 7.1 梁的图形和公式	407
§ 7.2 圆形平板	430
§ 7.3 扭转构件	438
§ 7.4 机架的图形和公式	440
§ 7.5 细弯杆	444
§ 7.6 受集中载荷的薄圆环	445
§ 7.7 受内压力的薄环	446

第1章 设计概论

§ 1.1 焊接钢结构的发展

焊接钢结构设计的发展已远远超出图1所示的焊件。象图1那样的焊件，无论从设计上和成本上看，都是很理想的。

采用现代的设计和制造工艺，将能使图1那样过时的焊件改成新式的、费用低的焊件(图2为现时的焊件，可作比较)。现在，采用气割机，能在厚板上切出光滑的切口。许多较薄的部件则采用剪切。

采用自动焊接和新型焊条的手工焊，再配上定位装置，可以用很快的焊接速度得到外观和质量都很优良的焊缝。

采用重型压弯机和弯辊，可以加工成多种角形件和缘板。这样，焊件设计并不局限于把平板焊接在一起。把压制成型和焊接联合使用能得到费用低、边缘光滑和外表整洁的制件。实际上，现时焊件的外观标准对设计有重大的影响，以至很难简单地从外表确定一台机器是铸件还是焊件。

但是，焊件有其自己的特点，必须采用不同的设计。仿照铸件或螺栓结构的外观和形式会犯浪费的错误。焊件需要不同的材料、不同的设计思路、不同的生产工艺。焊件设计是创制机械部件的一个完整的方法，与创制机械部件的任何其它设计方法一样，也必须采用专门的方法，方可获得最大的经济效果。所有的设计方法都需要满足刚度、强度、振动、疲劳、冲击或外观方面的任何实际要求。对于任何一个机械部件，只有以最低的成本得到最大的使用效果，才算是最好的设计方法。



图1 这类焊件虽然可作生产应用，
但已改为图2所示的现时焊件



图2 采用电弧焊接的新型机器，
线条清晰美观

本书的目的是为了帮助设计人员在考虑使用焊件设计时，能以最低的成本、最大的产量来生产最好的机械。

为什么要用焊接钢制件

采用钢制焊件可有效地发挥母材优良的物理性能，对改善机器性能和降低制造费用有突出的有利条件。

机器性能

1. 较大的刚度和强度可提高运转速度、产量和精度。
2. 机器可在增大的载荷下运转。
3. 机器可承受较大的过载。
4. 机器可承受冲击载荷。
5. 由于焊接钢制件的固有刚度，机器的组装与基础无关。
- ✓ 6. 设计灵活，可克服振动问题。
- ✓ 7. 在运送和使用中不会因搬运不善而发生破损。
- ✓ 8. 焊接钢制件无缩孔，不会产生泄漏。

制造方法

1. 投资和管理费用少。
- ✓ 2. 无制模费、修模费、木模储存费、保险费、维修费或搬运费。
- ✓ 3. 占用面积小。
4. 焊件很少或不要清理，可在焊接车间内涂漆。
- ✓ 5. 与单件机加工、然后用螺栓装配的方法相比，由于可把许多机器部件精确地组装成焊件，减少了机加工费用。
6. 容易改变制造工序，可适应不同设计。
- ✓ 7. 焊接操作和制造车间比较灵活，可满足一般产品重新设计的要求。
- ✓ 8. 准备时间少，可在不长时间内将新的设计投入生产。

✓ 性能优良而材料费用低

1. 强度
2. 刚度
3. 均匀性
4. 无粗大气孔、收缩裂纹等。
5. 塑性

钢材的这五个设计质量指标可以在钢焊接接头中同时得到体现。

钢的其它特点

- ✓ 1. 来源广、供货可靠、费用低。
2. 形状和尺寸范围大，小至千分之几英寸，大至数百英尺。
- ✓ 3. 当正确设计部件时，相同刚度下的重量较轻。
4. 设计灵活性大。
5. 不受加工方法限制，可用已知的任何方法加工。
6. 用电弧焊接法制造时，尺寸和形状匹配不受限制。
7. 可用下列方法制造：

手工电弧焊

钎焊

自动埋弧焊

气焊

惰性气体保护自动电弧焊

电阻焊

半自动或全自动水蒸气保护电弧焊[⊖]

8. 可用下列方法切割

带锯

气割

弓形锯

剪切

摩擦锯

冲压或冲模冲压

9. 可用下列方法成型

弯曲

成型加工

冲制

拉制

旋压

锻造

辊压

辊弯

胎模锻

辊压成型

10. 设计优良的钢制焊件省去了很多繁复的机加工，但如果需要时，也可采用各种金属切削方法。

§ 1.2 系统的焊件设计

1. 设计人员需要解决的问题

设计焊接钢机座或钢架的技术人员会碰到设计和工艺方面的许多问题：如何选择最有效的截面形式，如何很快地确定该截面的尺寸，是否需用加强板，多大尺寸，放在什么地方等。如果要寻求一种充分利用焊接钢结构优点的有效设计，那就必须解决这些问题和其它一些实际问题。

过去，设计钢结构的实用方法，一度是根据原有经验设计的。这样做比较容易，但遗憾的是，形状和截面选择几乎是按毫无更改的“经验法则”，使得机器构件显得“肥头大耳”，超过实际需要，即是说，增加了多余的材料费、制造费和焊接量。

幸好，这种做法已经在很大程度上放弃了。现今的机器设计通常是根据数学计算进行的。设计人员根据决定性的力及其影响，按照这些计算确定材料的截面。这就得到更有效的设计并可更好地利用钢的许多优良性能。

本书为有关机架、机座和其它焊接钢结构的数学分析和求解机器设计问题提供了一个坚实的基础。这里介绍的方法有助于简化那些必须采用的应力分析和复杂、费时的设计公式。

本节提出了钢结构设计的合理方法。为了更好地利用基本的设计公式，对它们之间的关系也作了论述。

⊖ 水蒸气保护焊在生产中使用很少，现已大量采用CO₂气体保护焊——译注

2. 选择设计方法

(1) 一次一件

(2) 整台机器

一次设计一件的优点

管理部门对立即全部改用焊接十分犹豫, 所以, 可以逐步改成焊接制件。逐步改换的优点是可以节省投资和较少变更装备。

对那些自己有铸造厂的公司, 逐渐改成焊接钢制件, 可以使公司慢慢地削减铸件生产。这样就不需要过急地废弃现有的装备或调整人员。随着经验的积累, 信心的增强, 设计人员和生产人员会自觉地加深对焊接结构的了解。

焊接钢结构不仅可以用于新造的机器, 而且也可以替换生产中较旧式的机器部件。这可以大大减少部件的木模储备。

设计整台新型机器的优点

采用这种方法, 设计人员不受原设计的任何约束, 由于不受铸件的限制, 有可能减少机器构件的数量, 从而减少焊接量和总装时间。

在很多情况下, 一个整体焊件可代替几个铸件, 从而改进设计, 降低成本。用几个零件连接成一个整体焊件, 在设备装配时只需少量的机加工。

总之, 采用焊接结构可以更好地改善外观和性能, 降低重量和成本。这些结构上的改进, 能够配备新式的动力系统和现代的控制系統, 增加产品的销售能力和利润。

3. 选择设计基础

(1) 按原设计

(2) 只按载荷

按照原设计的设计

按照原设计有利也有弊。有利之处是, 原设计方案有令人满意的使用性能, 还能为新设计提供一个安全的起点。原设计常常经过多年改进而成为一种好的设计。不利之处是, 思路受原设计限制, 堵塞了开辟解决基本问题的任何新道路。也就是说, 任何原设计中的弊病都会统统保留下来。

按照原设计进行设计时, 可使用等截面表 (见 1.5 节) 或列线图作强度和刚度计算。

仅按照载荷的设计

只按载荷设计, 可充分发挥设计人员的创造力, 不受原设计框框的限制。的确, 在有些情况下, 为确定载荷的数值和类型, 需要做很多计算, 而且还必须决定许用应力 (按强度计算) 或许用挠曲 (按刚度设计)。

当只按载荷设计时, 应使用强度和刚度设计公式。

4. 选择设计准则

(1) 只按强度

(2) 补充刚度

(3) 按无载荷

这种选择应该考虑整个机器, 然后重新审定每个设计构件。在某些情况下, 机器基本上按强度设计, 而只有一部分按刚度设计。

只按强度设计

所有的设计都必须有足够的强度，使构件能承受正常的工作载荷或合理的过载，不致由于撞击或屈服而发生破坏。筑路机械、农机、电机托架等多用强度设计。

如果按原铸件设计焊接钢制件，则采用等强度原则。如果直接根据算得的载荷进行新设计，则采用强度设计公式。

除了强度外按刚度设计

在某些情况下，只有足够强度的设计，会使所设计的工件在加载时产生过大的挠曲。为了有足够的刚度及强度，必须把工件做得很厚。在金属切削机床中，多用刚度设计。

如果按原设计进行焊接钢制件设计，则采用等刚度原则。如果直接根据算得的载荷进行新设计，则采用刚度设计公式。

按无载荷设计

可以把有些部件归为“无载荷”类。这些部件是指使用中实际上没有载荷的构件，以及没有一定强度或刚度要求的构件。齿轮挡板、入孔盖、防护板及防尘套等都是无载荷设计的典型例子。这些部件偶而有噪音问题，但解决这一问题不是刚度，也不会影响基本设计。噪音问题将在第 3.3 节振动控制中讨论。

5. 设计公式

在一个设计公式中，共包括三个因素。它们是：

1. 载荷
2. 构件
3. 应力和应变

在根据载荷类型确定的所有公式中，这三个因素相互有一定的关系。如果知道了其中两个因素，那么也可以知道第三个。因此，所有的设计问题，实质上不外乎下面所列的问题：

1. 确定某一构件受外力作用产生的内应力或应变；
2. 在某个许用应力或许用应变条件下，确定某一构件上可以施加的外力；
3. 在给定的许用应力或许用应变的范围内，选择或设计承受一定载荷的某一构件。

一个构件通常仅用于承受一种载荷。该载荷（力）使构件产生应力，发生应变。这种应变可用延伸、收缩、挠曲或扭转角测定。

所以，每个承受一定形式载荷的构件都必须按一定的许用应力或一定的许用应变条件设计。

在按这些许用条件进行设计时，设计人员应该选择最有效的材料和最有效的截面、尺寸和形状。材料的综合性能和截面特性决定该构件承受给定载荷的能力。

表 1 列出了跟这些因素有关的设计公式的参数。

6. 设计公式中的载荷因数

除非全都知道载荷的类型、施加方式及数值，否则有关载荷的给定数据是不完全的。

1. 类型

- a. 拉伸
- b. 压缩
- c. 弯曲
- d. 扭转

表1 机器设计公式中的因数

机器设计公式的应用准则		
I 载 荷		
施加方式	类型	数值
a. 稳定的	a. 拉伸	a. 力, 磅
b. 冲击的	b. 压缩	b. 弯矩, 磅·英寸
c. 变化的	c. 弯曲	c. 扭矩, 磅·英寸
	d. 扭转	
II 构 件		
材料	截面	
a. 抗拉强度, σ_t	a. 面积, A	
b. 抗压强度, σ_c	b. 长度, L	
c. 剪切强度, τ	c. 惯性矩, I (弯曲刚度因数)	
d. 疲劳强度	d. 截面模数, S (弯曲强度因数)	
e. 弹性模数(拉伸), E_t	e. 扭转阻力, R (扭转刚度因数)	
f. 弹性模数(剪切), E_s	f. 回转半径, r	
III 应力和应变		
a. 拉伸应力, σ_t	a. 引起的变形, 伸长或压缩, ϵ	
b. 压缩应力, σ_c	b. 垂直挠曲, Δ	
c. 剪切应力, τ	c. 扭转角, θ	

2. 施加方式

- a. 稳定的
- b. 冲击的
- c. 变化的

3. 数值

- a. 力, 磅
- b. 弯矩, 磅·英寸
- c. 扭矩, 磅·英寸

7. 设计公式中的构件因数

除非全都知道材料的性能和构件截面的相应性能, 否则有关构件的必要数据是不完全的。

1. 材料性能

构件用的材料有一定的物理性能。在极限强度(拉伸、压缩或剪切)上, 或者某些情况下在材料屈服强度上加一安全系数来确定许用载荷。这些数值用于所有的强度问题。弹性模数用于所有的刚度问题。

σ_t ——许用抗拉强度

σ_c ——许用抗压强度

τ ——许用剪切强度

E ——拉伸弹性模数

E_s ——剪切弹性模数

2. 截面性能

构件横截面的形状和尺寸影响构件的工作性能。这种影响可用截面性能中的一个性能测

定。当受轴向载荷或剪切载荷时，截面面积是关键的性能。

A ——横截面面积

L ——构件非支承部分的长度

S ——截面模数，构件在按梁使用时的强度因数

I ——惯性矩，构件在按梁使用时的刚度因数

R ——抗扭常数

根据材料的性能和截面性能，可以预先确定构件的工作性能。由于只按强度设计，或者补加刚度设计，可把这些性能分成以下几类：

强度	刚度
$\sigma_t \times A$ (拉伸)	$E \times A$ (拉伸或压缩)
$\sigma_c \times A$ (压缩)	
$\tau \times A$ (剪切)	$E_s \times A$ (剪切)
$\sigma_t \times S$ (弯曲)	$E \times I$ (弯曲)
$\sigma_c \times S$ (弯曲)	$E_s \times R$ (扭转)

应该说明，弯曲构件的刚度（阻止挠曲的能力），由构件的弹性模数（ E ）和惯性矩（ I ）的乘积确定。各种钢材的弹性模数（ E ）相同，所以，马上就可以看出，采用高强钢并不会改善构件的刚度。

8. 设计公式中的应力和应变因数

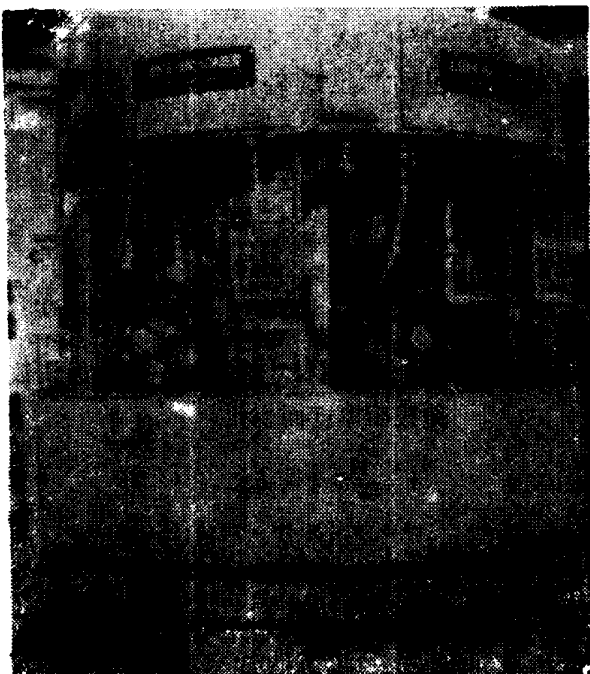
对应力和应变作如下规定：

1. 应力

σ_t ——拉伸应力

σ_c ——压缩应力

τ ——剪切应力



采用焊接钢结构大大改进了新型滚齿机



早期的多轴滚齿机主要采用铸件

2. 应变是单位移动量（每英寸长度的英寸数）。移动量通常用下面的总移动量表示：

e —— 拉伸或压缩时的伸长或收缩

Δ —— 弯曲或剪切时的垂直挠曲

θ —— 扭转时的扭转角

§ 1 3 问题性质的确定

1. 确定问题性质的重要性

在采用各种公式解决设计问题之前，必须仔细而又清楚地分析设计问题本身。然而，这并不总是很明白的。想要很快地解决疑难问题的做法，将造成不好的设计。

例如，汽车刹车装置使车轮停止转动，汽车停驶。但是，这种分析问题的方法并未说明实际的设计要求是什么；而且按照这种分析得到的刹车装置并不能很好地工作。

正确的方法是要了解制动装置是吸收正在开动汽车的动能。当刹车装置吸收的能量正好等于正在开动的汽车的惯性能时，汽车便停驶了（速度等于零）。现在的问题是设计一个刹车装置，使之在一定时间内吸收一定的能量而无过热，等等。这就要确定设计原则，以便制造一台有效的装置。

为了保持产品的工作性能，并获得最大的经济效益，关键是要确定和评定载荷条件。

2. 载荷分析

对构件施加载荷时便会发生应力和应变。应力是对施加力的内部阻力。应变是由这个应力产生的“弹性”量或变形量，诸如弯曲时的挠曲，拉伸时的延伸，压缩时的收缩、以及扭转时的扭转角。

用以说明梁构件强度的截面性能是截面模数（ S ）。表 1 列出的公式表明，两种等强度设计的截面模数跟它们的许用抗拉强度成反比。

用以说明梁构件刚度的截面性能是惯性矩（ I ）。表 1 内的公式表明，两种按等刚度设计的惯性矩跟它们的弹性模数（ E ）成反比。

在比较两种或多种设计时，如果采用相似的截面，包括高度的外形尺寸也相同，则截面积（ A ）、惯性矩（ I ）和底表面受应力的截面模数（ S ）的数值随截面厚度而变化。严格说来，这种关系并不是确切的，但从实用观点看，是非常接近的，而且在大多数应用中是可靠的。图 1 内两种相似截面的情况说明了这种关系。

下列问题用来说明载荷分析的重要性

有个制造厂在一个悬臂上安装一台自动焊机头，见图 2。工件放

在小车上，并在焊机下移动。后来，由于要制造更大的储罐，必须增加悬臂的长度。

在确定这个问题的过程中，技术人员认为这是一个简单的悬臂梁，在外端受一集中载荷。

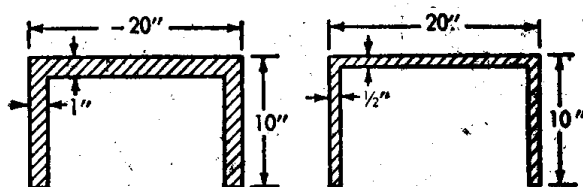


图 1 具有同样形状和外廓尺寸的截面，其截面模数随截面厚度而变化

$t = 1$ 英寸	$t = \frac{1}{2}$ 英寸 = 50%	} 相当于左面截面性能的百分数
$A = 38.0$ 英寸 ²	$A = 19.5$ 英寸 ² = 51.3%	
$I = 359.7$ 英寸 ⁴	$I = 193.8$ 英寸 ⁴ = 52.4%	
$S = 50.5$ 英寸 ³	$S = 23.9$ 英寸 ³ = 47.3%	

表1 等强度和等刚度的公式

弯曲等强度设计

$$M = KPL, M = \sigma S$$

所以

$$\sigma S = KPL$$

比较受同样载荷(P)的两个设计

$$\sigma_1 S_1 = K_1 P_1 L_1 \quad \sigma_1 S_2 = K_2 P_2 L_2$$

等强度

$$\sigma_1 S_1 = \sigma_2 S_2$$

弯曲等刚度设计

$$\Delta = \frac{KPL^3}{EI}$$

比较受同样载荷(P)和有同样挠曲(Δ)的两个设计

$$\Delta_1 = \frac{K_1 P_1 L_1^3}{E_1 I_1} \quad \Delta_2 = \frac{K_2 P_2 L_2^3}{E_2 I_2}$$

等刚性

$$E_1 I_1 = E_2 I_2$$

式中

 K ——梁常数 M ——弯矩 P ——载荷 L ——梁长度 σ ——弯曲应力 S ——截面模数($= I/c$)

式中

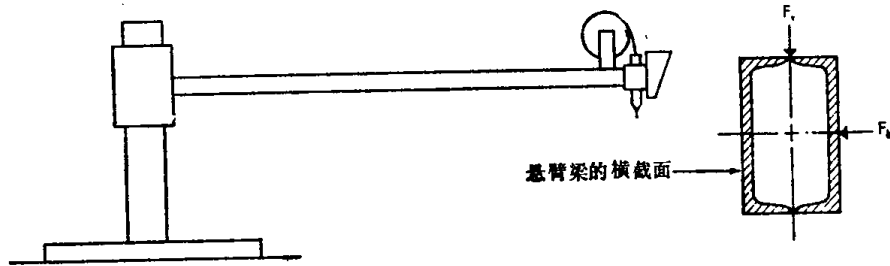
 Δ ——挠曲 E ——弹性模数(拉伸) I ——惯性矩

图2 在非支承端装有一台焊机机头的长悬臂梁,受较少的水平力;使用条件的实际振动可能使水平方向的移动量大于垂直方向的移动量

已知自动焊机头、焊丝盘和焊剂的重量,然后规定在该载荷下许用的垂直挠曲为 1/8 英寸,虽然不知道加在梁上的水平力,但假定这个力为垂直力的 1/4,要求保持一定的水平稳定性。

结果要求采用高度大于宽度的简单箱型截面,如何做到这一点呢?

当焊机机头装在新悬臂梁的端部时,梁向下挠曲 1/8 英寸。在作更换或移到别的位置之前,这种情况差不多要保持 20 年。当焊机机头工作时,或许偶而受操作者的撞击,或许是吊车在上部通过和摇动正在制造的框架时,该装置会稍有振动。不管在什么情况下,这个悬臂梁的水平振动幅度要比垂直的大。这是由于绕垂直 Y—Y 轴的惯性矩 I_y , 大大低于绕水平 X—X 轴的惯性矩 (I_x)。如果焊接速度不太大,焊机机头可在垂直方向自动调节 保持恒定的电弧长度。但在水平振动时就无法进行这样的控制。

这里所说的实际设计问题,多是为了维持合适的刚度以阻止可能出现的悬臂移动,悬臂在水平方向的移动最大。这就导致截面与原设计的不同。可以看作把原横截面(图2)按其纵向中心线转动 90°。

设计人员通常要求在经济合理的情况下,得到最大的强度和刚度。如果已经很好地确定了设计问题,那么在设计构件时还得有一定的挠曲量。例如,某些农机部件在通常的使用条件下,必须要有向上的挠曲量。