

力流法及其在机械设计中的应用^①

陈贻伍

(中南工业大学机械系, 长沙 410083)

摘要

提出了力流和力流法的概念, 并对其进行了定义。对力流法则、力流三要素、力流类型和性质等作了较详尽的论述, 并通过几个简单的机械设备和装置来说明力流法在机械工程设计上的应用。力流法是对机械系统进行力学行为分析和机械结构设计与分析的一种非常有效的方法。

关键词: 力源 力 力流 力流法

力流就是力在传递过程中的轨迹。机械系统中力的传递是通过系统中各个相关零部件的相互接触面来进行的, 力的传递方向即力流的流动方向。力流法是指在一受载的机械系统中, 力流流动的法则或规律。其内容包括:

1. 力在受载机械系统中的传递方式, 是通过该系统中各个相关零部件的相互接触面来进行的; 对于传力零件(或构件), 力流必然是从其某一接触面处传入, 而从另一接触面处传出, 力流在该零件体内不会突然消失。
2. 力在受载机械系统中的传递路线, 遵循传递路径最短的规律。
3. 力在受载机械系统中的传递方向, 是从被动作指向主动件。

力流法的三大要素是: 力源、力和力流。任何一个机械系统, 当其处于工作状态时, 系统中必然有力源、力和力流。如桥式起重机作业时, 吊钩上的荷重就是该受力系统中的力源, 由该力源所产生的力和力流就会在起重机系统中流动。显然, 力源是指力产生或发源的地方(某一实体), 而不是通常我们所说的系统中的原动机。机械系统中, 力源可以有两个以上。如预应力轧机, 当其尚未轧制时, 工作机座系统中只有一个预应力力源; 而当其进行轧

制时, 就有两个力源。此时, 系统处于两个力源的共同作用下, 有两个力和力流在流动。

在机械系统中, 力流可分两种类型: 一是封闭型力流, 也称闭环力流; 二是非封闭型力流, 又称开环力流。闭环力流中的力, 只是在该闭环系统中循环流动, 如不计力流在流动过程中的损耗, 则不流向该闭环系统之外, 其性质是属系统中的内力性质。例如一种齿轮试验装置, 就是利用闭环力流进行设计和工作的。当轧钢机轧制时, 其工作机座, 就轧制力而言, 也是一闭环力流。开环力流中的力, 在流过该开环系统后, 最终将流出该系统而流入大地, 由地球来承受该力。如前述桥式起重机起吊荷重时, 其力流就属开环力流, 荷重力从吊具与吊钩的联接处流入起重机系统, 在流过该系统后, 从大车轨道流出系统, 传给厂房柱子基础而进入大地。

在对机械系统进行力分析和机械结构分析时, 力流法是一种行之有效的简便方法。利用力流法可以定性分析受载的机械系统中, 力从力源处出发, 将在系统中沿什么样的路径流动, 即力流轨迹。其中哪些零、部件没有力流通过, 表明它们是不受力的; 哪些有力流通过, 表明它们是受力的。根据力流的疏密, 可

① 收稿日期: 1993年11月14日

以判断受力零件的哪些部位为高应力区而形成应力集中。就是说，力流法可以对系统中每个零、部件的力学行为进行定性分析。此外，力流法还可对机械设计进行结构分析，进而对机械结构设计方案进行优化筛选。

下面举几个简单例子来说明力流法在机械设计中的应用。

根据力流法则第1、2条，很容易定性分析出普通螺母螺纹牙载荷分布的不均匀性，如图1所示。由图中力流线(简称力线)的疏密可看出，螺母各圈螺纹牙受载随螺纹圈数从下向上递增而递减。螺母的第一圈螺纹牙为力流最先流入处，传力路线最短，力线最密、载荷和应力最大。随着圈数上移，距离力流最先进入处加大，传力路径加长，受力逐渐减小。

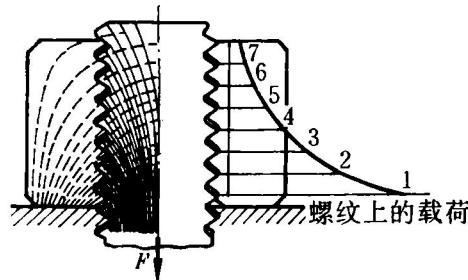


图1 普通螺母螺纹牙载荷分布

图2为一起升机构，作用于吊钩上的荷重 Q 为该机构的力源，其力流为开环力流。利用力流法分析得出，不论吊钩起升、下降或停止，减速器中各齿轮的轮齿承载齿面是不变的，即各齿轮对是以单齿面方式工作的。这是因为力源的作用位置和方向不随吊钩三种不同状态而改变，因此，力流方向和路线不会改变。

图3是利用闭环力流性质设计的一齿轮试验装置，它是由 $Z_a = Z_b$, $Z_g = Z_f$ 的相同齿轮对I和II、中间轴3和联轴器等组成的一封闭机构。为了对该系统加载，在紧固半联轴器e和c之前，保持齿轮b(与半联轴器e一起)固定不转，而仅对半联轴器c施加顺时针方向的扭矩。这时，主要依靠轴的扭转弹性变形，半联轴器c相对于半联轴器e转过一定角度。在紧

固半联轴器c和e之后，就成为一个承载装置。其力流，显而易见，为一闭环力流。根据闭环力流的性质，该力为一内力。系统中的扭矩就是由被平衡的内力所产生的，它可以使齿轮对所传递的啮合功率，超过驱动该系统运转的原动机所消耗的功率若干倍。

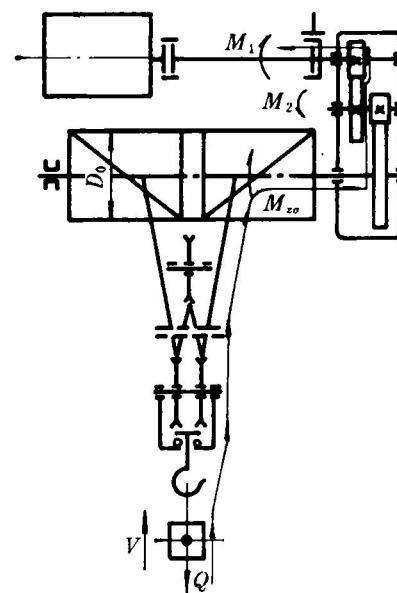


图2 起升机构

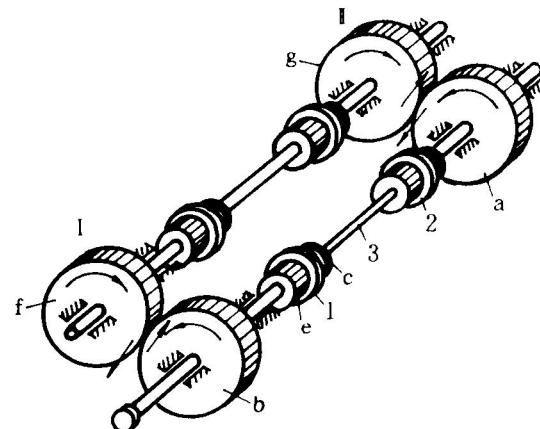


图3 齿轮试验装置

1、2—联轴器；3—中间轴；
a、b、g、f—齿轮；e、c—半联轴器

图4为一直线式浇铸机结构示意图。电动机通过传动装置(图中未示出)带动主动轴1转动，两主动链轮2和9分别用键与轴1相联

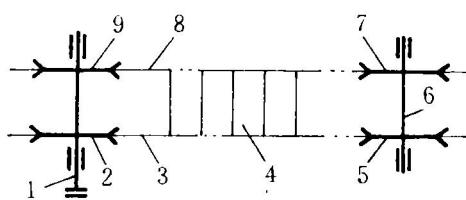


图 4 直线式浇铸机示意图

1—主动轴；2、9—主动链轮；3、8—链条；
4—铸模小车；5、7—从动链轮；6—从动轴

接；两从动链轮 5 和 7 同样用键与从动轴 6 联接；链条 3 和 8 同时与铸模小车相联。当轴 1 带动两主动链轮转动时，通过两链条的移动而带动铸模小车平移，以实现液态金属的浇铸。因为

主动轴 1 → 键 → 主动链轮 2 → 链条 3 → 从动链轮 5 → 键
↑ ↓
键 ← 主动链轮 9 ← 链条 8 ← 从动链轮 7 ← 键 ← 从动轴 6

为一封闭结构系统，当设计、制造和安装不合理时，就会产生系统的附加力，其力流为封闭型力流。该内力将严重影响浇铸机的工作性能并导致设备的过早损坏。因此，设计时，将轴 6 上两个从动链轮中的一个，设计成空套套在轴上，将封闭结构系统在空套链轮与轴的接合面处开环，以此来消除可能出现的封闭力流。然而，对于某些具有封闭结构系统、但由于某种原因而不希望开环的机械设备，如冷轧管机工作机座的往复运动机构，就只能借助合理的设计和提高制造、安装精度等措施来最大限度地降低封闭结构系统中闭环力流的内力大小。

图 5 为提升卷筒的结构。其中图 a 为卷筒 1 与轴 2 用键联接。电动机通过减速器(图中未示出)和联轴器 4 带动卷筒轴转动，经键使卷筒转动，以实现提升和下降。图 b 是卷筒轴通过其另一端的键来驱动卷筒的。图 c 卷筒与轴不采用键联接，而是采用齿轮联接盘与减速器的输出轴直接相联。由于它们的结构型式不同，力流(扭矩部分)在流过这部分零部件时的路径也就各异。用力流法分析，可以看出，图 c 的卷筒结构型式最佳，而图 b 的最不合理。这是因为，第三种卷筒的结构比前两种具有更合

理的力流，它符合按力流最短路径法则进行机械结构设计以充分有效地利用材料的目的。

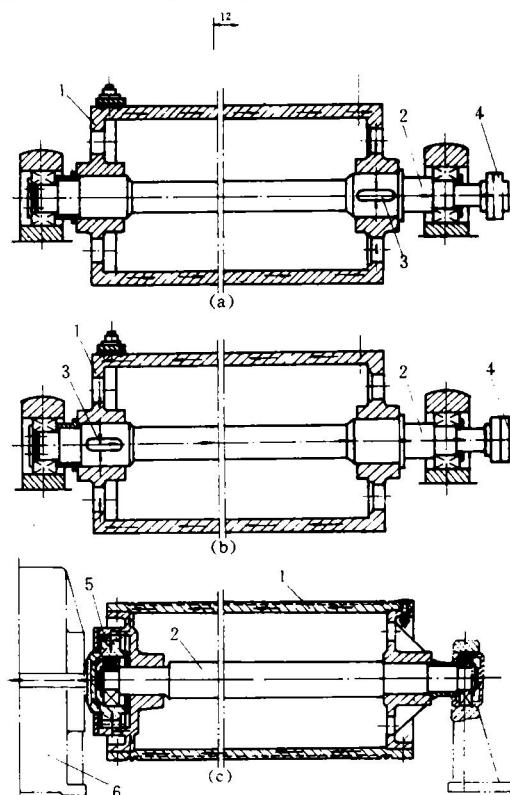


图 5 卷筒装配

1—卷筒；2—轴；3—键；
4—联轴器；5—齿轮盘；6—减速器

综上所述，力流是承载的机械系统中真实存在的力学行为，而力流法就是研究力流流动的法则。力流法是对机械系统进行力学行为分析和机械结构设计与分析的一种非常简便而有效的机械分析方法，在机械工程设计上应用极广，已成为机械设计学中的一个组成部分。

参考文献

- 1 黄靖远、龚剑霞主编. 机械设计学. 北京: 机械工业出版社, 1991.
- 2 董仲元、蒋克铸主编. 设计方法学. 北京: 高等教育出版社, 1991.
- 3 程良能等主编. 有色金属冶炼设备. 北京: 冶金工业出版社, 1993, 1.
- 4 库德里亚夫采夫 B H 著, 汪一麟等译. 机械零件. 北京: 高等教育出版社, 1985.