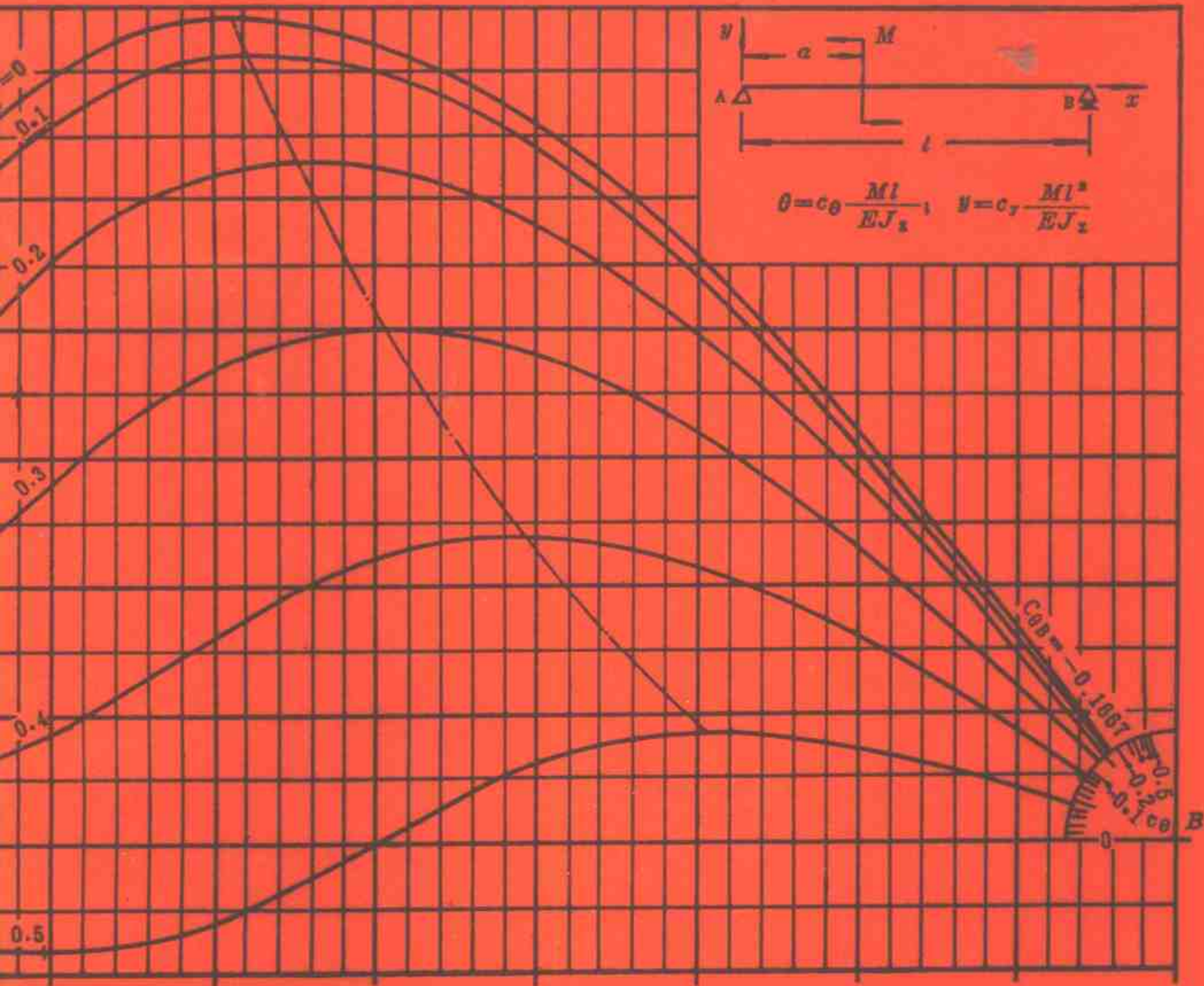
y
a
M
A
B
x
l
$\theta=c_\theta\frac{Ml}{EJ_z}$, $y=c_y\frac{Ml^2}{EJ_z}$
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
$c_{\theta B}=-0.1667$
-0.1
-0.2
c_θ
0
B

机械设计计算图集

机械设计计算图集

王锡元 编绘

贵州人民出版社

机械设计计算图集

王锡元　编绘

贵州人民出版社出版

（贵阳市延安中路5号）

贵州新华印刷厂印刷　贵州省新华书店发行

787×1092毫米　16开本　19印张　379千字

198[illegible]年[illegible]月第1版　198[illegible]年[illegible]月第1次印刷

印数 1—[illegible],100册

书号 15115·141　定价 3.40 元

前　言

计算图是一种适用于函数计算的，表示变量之间函数关系的特殊数学图形。它比用公式法表示变量之间的函数关系具有更大的明显性，凡具有中等以上数学基础的人都极易掌握使用。在从事精度要求不很高（读数 2 ～ 3 位有效数字，相对误差 5 ～10%）的特定问题计算时，与通用的计算工具（如：数表、计算尺、计算盘、计算机和电子计算器等）相比，具有一系列的优点。它可帮助使用者选定合理的计算方法，采用正确的计算公式，选用恰当的计算数据，简化计算过程，减轻工作强度，避免计算差错，加快计算速度和促进标准化的推行。

本图集是专为解决一般机械设计中通常遇到的一些计算问题（包括设计计算、校核计算和框算）而编绘的。望能有助于机械的合理设计和设计效率的提高，为我国的“四个现代化”作出贡献。

图集内共编入了计算图 118 幅。按照学科和机械设计计算的一般程序，分成十章编排，既容易查找，又便于单独使用和联用。在每幅计算图上都标有主要计算公式和指导使用的小图，附有单独的说明和计算例题，以便掌握使用。在引论中简要地介绍了计算图的一般原理、特点和使用方法。

“机械设计计算图集”可供从事一般机械设计、研究、生产、维修技术人员，大专院校教师和学习机械设计课程的大、中专学生等作为快速便捷的计算工具书，用以进行设计计算，校核计算，以及电子计算机上机前后的框算等。

在编绘本图集时，我们曾力图通过图集的系统编排，计算公式的正确选用和合理组合，图形的良好构绘，大量数据、系数和标准的汇集及其在图尺上的直接标定等途径，使之能比较系统、完整、方便、快速地用于一般机械设计计算。但是，由于作者的水平有限，所做的工作还很不够，图集中的错误缺点一定很多，热忱欢迎使用者予以指正。

在本图集的编绘、复制、校审和出版过程中，曾得到贵州省轻工业厅科研所，贵阳轻工业机械厂，贵州省机械制造学校及贵州人民出版社等单位领导和有关同志的鼓励和帮助，特别是孙绪增、丁匀成、刘纯文、叶树群、张经学等同志做了不少工作，特此致谢。

王 锡 元

1979年 6 月

目　录

引 论

0-1 函数的表示方法

我们知道，自然界中各个变量之间的函数关系可用多种方法表达出来。最常见的有分析法（公式法）、表格法和图示法三种．

1.分析法(公式法） 用分析式（公式）直接指出需对变量进行的运算种类、数量、次序和各变量之间关系的函数表示方法，叫做分析法或公式法．

以分析法表示的函数关系便于用数学分析的方法进行深入研究．因此，人们通过实践认识的各变量之间的关系，在提高成理论，建立公理、定理、法则……的同时，常常用数学公式明确地表达出来．我们可以方便地利用这些公式，对一定类型的问题进行研究，并进一步推导出适合于解决这类问题的具体算式来．如将各变量的具体数值代入算式中，通过计算，就可以得出需求的结果．

在一般情况下，用分析法进行计算是很方便的．但遇到复杂的公式时，运算往往相当费力．在设计计算时，由于需要对一些数据进行多方面的比较、选择和反复试算，计算工作就更为繁重了．

2.表格法 将一系列顺序变化的自变量值与对应的函数值列成表格来表示该两个变量之间的函数关系的方法称为表格法．如三角函数表，对数表，双曲线函数表，渐开线函数表等都是用表格法表示函数关系的．

用表格法可以表示两个变量之间的函数关系．它不但可避免麻烦的函数计算，而且还可用以表示不知道分析式的函数关系．对计算精度要求较高时，表格法特别适用。但是，表格占用的幅面庞大，编制时耗费劳动量大，且不能连续地表示出量的变化．当需要知道中间值时，还要用插入法进行计算；数值的位数较多时，查找也很麻烦．

3.图示法 用数根数轴或数轴和曲线等组成的平面图形来表示变量之间函数关系的方法叫做图示法．

图示法的最大优点是具有明显性。这种方法能从图面上直观地看出各变量之间的对应关系，便于直接进行各有关变量值之间的比较、探讨和选用。在给出自变量的数值以后，通过简单的作图，就可以很快地在图上找出相应的函数值来。用图示法也可以表示不知道分析式的函数关系。图示法由于构图简单清晰，占用幅面较小，故通过绘制适当

的图形就可以进行函数计算。这种图形统称之为计算图。

应该指出，一般计算图所能达到的精度是不很高的，只能读出2～4位有效数字，相对误差5～10%。但是，这样的计算精度，对于一般机械设计计算中的大部分几何计算，几乎全部力的计算和零件的强度、刚度、寿命等的计算，目前是完全足够了。这是因为，在这些计算中目前采用的许多数据，如安全系数、摩擦系数、材料的弹性模数和极限强度等，大都只有1～2位有效数字，对于计算结果也不必要求更高的精度。对于那些要求计算精度较高的个别问题，如齿轮齿形部分加工需用的尺寸等，可采取一些措施提高计算图的精度或按公式和表格进行计算。

0-2 计算图的构成和分类

代表某一变量的全体实数可用一选定了原点、指定了正方向和建立了线上各点与诸实数之间一一对应关系的直线来表示（图1）。这样的直线称为数轴。

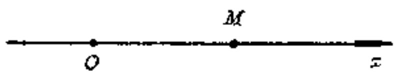

图1 数 轴

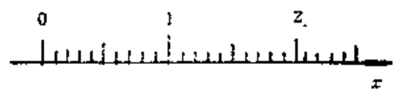

图2 直线图尺

为了便于读数，人们常常在数轴上按一定的规律标注代表这一数量的一组按数量级排列的数相对应的短划。这种标有短划的数轴叫图尺（图2）。图尺可以是直线的，也可以是曲线的。绘有均等排列短划的图尺称为均等图尺；绘有不均等排列短划的图尺称为不均等图尺。对数图尺也属于不均等图尺。

对于每一个 u 值，在图尺上都有一点与它对应；而对于每一点，都有这一点的坐标 x 与它对应。因此，图尺上每一点的坐标 x 就是这一点的标值 u 的函数。即：

$$x = x(u) \tag{1}$$

上面这个关系式就是直线图尺的图尺方程式。

直线均等图尺方程式的普遍形式为：

$$x = mu + a \tag{2}$$

直线对数图尺方程式的普遍形式为：

$$x = m\lg u + a \tag{3}$$

以上式中的系数 m 叫做图尺系数。它就等于图尺上标值之差为1的两点之间的距离。如果我们改变图尺系数的大小，就可以改变图尺上各点间的距离，使整个图尺加长或缩短。

在给出变量 u 的图尺方程式后，我们就可以将图尺 u 绘制出来。为此可先在需要绘出图尺的区间内给出自变量 u 的一系列数值，分别代入公式，计算出相应的坐标值 x，然后再在数轴上按坐标值 x 绘出代表相应于 u 值的短划；利用比例尺，对数尺或用目测

将小分划补齐，再在短划附近标上相应的 u 值。这样就制成了图尺 u。

如果遇到曲线图尺时，我们也可以按照类似的方法，在直角坐标系统中进行绘制（图3）。变量 u 的曲线图尺方程式的普遍形式是：

$$\begin{cases} x = x(u) & (4) \\ y = y(u) & (5) \end{cases}$$

上面，我们简单介绍了用图尺表示变量的方法。这是基础。为了用图示法进行函数的计算，还必须按一定的要求，把代表有关变量的各个图尺联系起来，组成计算图。按照这种联系方法的不同，计算图可分为坐标图（共点图），贯线图（共线图）和活动尺图等三大类。其中，贯线图和活动尺图亦称为诺模图（$\nu o\mu o\varsigma$）。

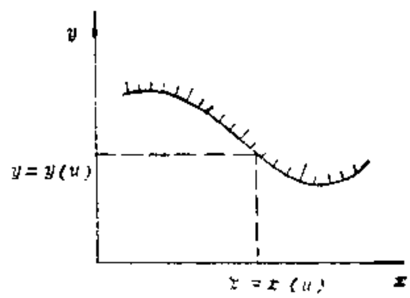

图3　曲线图尺

1.坐标图　在一平面上，用两个代表不同变量的直线图尺相交就可组成一个坐标系。两图尺间的交角为直角的坐标系，称为直角坐标系。交角不等于直角的坐标系，称为斜坐标系。在坐标系中，按照投影的原理，在坐标平面内绘制的一条曲线，可表示两坐标图尺所代表的变量之间的函数关系。在坐标平面内绘制的一族曲线，则可表示三个变量之间的函数关系。上述这种坐标图形可以称为简单坐标图。如将二个、三个或更多个简单坐标图中代表同一变量的图尺合并，绘制成复合坐标图，则可以表示四个、五个或更多个变量之间的函数关系。

一切已知分析式或未知分析式的函数关系，以及一切可用贯线图或活动尺图表示的方程式和不能用贯线图或活动尺图表示的方程式，都可以用坐标图来表示。而且用坐标图表示函数关系，比用其他图示法具有更为直观的明显性。

由于直线图形最容易绘制，便于内插，所以，在绘制坐标图时，应力求通过适当选择两坐标轴所代表的变量和图尺方程式，将所要表示的关系式变换成直线方程式，即：

$$au + bv + c = 0 \qquad (6)$$

然后再进行作图。

2.贯线图　用一相贯直线与代表三变量的固定图尺相交的交点建立变量之间函数关系的平面图形，叫做贯线图，共线图或列线图。用三个图尺组成的简单贯线图，可表示三个变量之间的函数关系。作为简单贯线图的特殊情况，如果将图尺之间的贯线段缩短为一个点，使相应的两图尺重合，则可以表示两个变量之间的函数关系。这种固定的重合图尺常被广泛地用来进行不同单位的换算。还有一种叫做垂直线图的贯线图。它利用一对相互垂直的直线来建立起四个变量之间的函数关系。这种线图可方便地利用划有一对垂直线的透明板来进行解算。

当需要表示四个、五个、或更多个变量之间的函数关系时，可在关系式中引入一系

列中间参数，把式子改写成可由简单贯线图表示的几个式子。绘图时使代表中间参数的图尺重合，形成由数个简单贯线图组合而成的复合贯线图。

一般贯线图占用的幅面较小，构图清晰，绘制简单，使用方便，可作为计算图广泛使用。

下面我们列举一些可用贯线图表示的常用函数关系式，供大家参考。

（1）含有三个平行直线图尺的贯线图可表示为方程式：

$$f_3(w)=f_1(u)+f_2(v) \tag{7}$$

含有三个平行直线均等图尺的加、减法贯线图，以及含有三个平行直线对数图尺的乘、除法贯线图都属于这一类。

（2）“N”形贯线图可表示为方程式：

$$f_3(w)=\frac{f_1(u)}{f_2(v)} \tag{8}$$

（3）含有一个曲线图尺的贯线图可表示为方程式：

$$f_3(w)f_1(u)+f_2(v)+\varphi_3(w)=0 \tag{9}$$

例如，解二次方程式的贯线图就属于这种类型的图形。

（4）含有三个曲线图尺的贯线图可表示为方程式：

$$\frac{\varphi_3(w)-\varphi_1(u)}{f_3(w)-f_1(u)}=\frac{\varphi_2(v)-\varphi_1(u)}{f_2(v)-f_1(u)} \tag{10}$$

3.活动尺图　用活动图尺上代表一变量值的点和固定图尺上与之相对应的另一变量值的点相对准的方法建立函数关系的图形叫做活动尺图。广泛应用的通用计算尺，计算盘等都属于这一类计算图。按照同样的原理，我们也可以绘制一些专用计算尺，计算盘和其他活动尺图来进行函数关系的计算。在这类计算图中包含有一些活动图尺，制作比较困难，因此使用范围也受到了一定的限制。

由上面的介绍得知，任何一个函数关系式或一组顺序计算的函数关系式，都可以用简单坐标图、贯线图或活动尺图组成的复合计算图来表示。

在进行设计工作时，为了合理地解决某一个问题，常常需要对几个计算关系式进行平行的计算和比较，才能找出理想的结果。例如，在设计轴时，需按强度条件和刚度条件分别进行计算，然后再按最不利的条件确定轴的设计尺寸。由于需要平行计算和进行比较的关系式都是从不同的条件出发去解决同一个问题的，因此在这些关系式中必然含有一些共同的变量。在绘制计算图时，如使表示各个关系式的复合计算图中共同的变量图尺重合，则可以组成一种新的多用途计算图。我们称它为综合计算图。这种计算图的绘制，可进一步浓缩计算图形，扩大计算图的使用范围，加快计算速度。

0-3　计算图的特点

利用计算图进行计算工作具有下列特点：

1.计算图可根据较先进的计算公式绘制。利用这种计算图进行计算时，可确保计算方法的先进性和计算公式选用的正确性，并可省去查找、选用、衍导计算公式的工作。

2.计算图对于使用者并不要求具有高深的数学基础和技术理论水平。计算图的明显性可以极大地帮助使用者形象地认识计算公式所表示的变量之间的变化规律。具有初中以上文化水平的工人、干部、技术人员都能够较快地学会使用.

3.在一个综合计算图中，可以包含有几个有关的（串联或平行的）计算公式。在这些公式中共同的变量均可用同一个图尺表示。因而大大简化和浓缩了构图，减少了许多重复计算。例如，在圆断面圆柱螺旋拉压弹簧计算图（图8-1）中，需按公式：

$$P=\frac{\pi d_3}{8KD_2}\tau \text{ 和 } f=\frac{8PD_2^3}{Gd^4}.$$

分别计算出弹簧的负荷及其单圈变形量。在绘制综合计算图时，使代表两公式中共同包含的 P，d，D_2 三个变量的图尺重合，则可省去在 D_2, O_3, O_1，d 等四个图尺之间重复绘制贯线(重复计算)的工作。当一个对象需要按两个以上的条件进行平行计算和比较时，可在综合计算图上进行直接比较，按合理的条件进行一次计算，得出最终的结果来。例如，在进行平键联接强度的设计计算时，平键的尺寸应按平键承受剪切应力和轮壳、键或轴中最弱的一个承受挤压应力的两个条件平行计算后比较决定。在平键联接强度计算图（图6-2）中，用直尺进行粗略比较后，即可确定最危险的条件，再按此经过一次计算，就可以求出最终的结果来了.

4.在综合计算图的图尺上，可按计算时常用的单位把变量直接表示出来，以省去为变换单位而进行的查表和计算工作。例如，在应力应变计算图（图3-5）中，扭转角 $\Delta\varphi$ 和横截面的弯曲变形转角 θ 在图尺上均直接以常用的单位“度”表示。因而在计算时可省去从“弧度”转换为“度”的工作.

5.有些图尺可以直接按有关标准规定的数值进行分划，以省去查找标准的工作，有利于在设计中标准化的推行。例如，在螺栓强度计算图（图 9-3）中代表螺纹规格的图尺 M，在三角皮带传动计算图（图 4-2.1）中三角皮带的规格型号都是按有关标准的规定直接表示出来的.

6.利用计算图进行的计算工作可归结为：按已知变量的值绘制投影线（在坐标图中），绘制贯线（在贯线图中）或将活动图尺与固定图尺的刻度对准（在活动尺图中），即可方便地在相应的图尺上读出需求的变量值来。在使用复合计算图和综合计算图时，计算作图工作必须先从只包含一个未知变量的简单计算图上开始，然后顺序进行相邻的

具备了解算条件的（只含有一个未知变量的）简单计算图的作图，直至最后找出需求的答案为止。在所有上述计算中，只要用铅笔轻轻记下中间图尺上相应点的位置，而完全不必要知道该点所代表的数值，所以可大大减少读数次数，消除中间读数误差和加快计算速度。

7.由于以上特点，可见利用综合计算图进行设计计算，确能取得方便、快速的效果。而且在计算中还可以避免因公式、系数选用不当，单位、小数点位置搞错及计算错误等造成的各种差错。

8.由于计算图是按照一定的公式构绘的解算特定问题的专用计算图形，因此，在图尺上还可以标明各种系数及数据的使用条件和适用范围。把计算图作为帮助记忆的工具，以减少使用者死记硬背一些复杂公式和数据等的负担。

9.在使用者具有一定的实践经验以后，还可以将有关的数据和条件等补充记录在相应的图尺上，把计算图作为总结记录个人经验的工具。

10.将这样构绘的综合计算图，按照设计计算的程序和要求配套成龙，编排成集，可以大大方便设计工作，加快计算速度。

0-4 使用计算图的注意事项

为了正确地运用计算图，使用者应注意下列各点：

1.在作图计算时，在计算图上衬一张描图纸，可长期保护计算图面的清洁完好。

2.作图使用的三角板和直尺的边要平直；三角板的角度要准确；铅笔的硬度要适中（采用H，HB，B级硬度的铅笔较适宜），笔尖要削得尖细圆滑；量规的针头要尖直。使用铅笔划线和量规度量时，用力要轻，以能分辨为度。这样可保护图面，保证作图计算的准确性。

3.有条件时可自制一块刻有一对垂直交线的透明塑料板。用它来解算垂直贯线图，可省去绘制垂直贯线的工作，使用也非常方便。

4.在利用计算图进行计算时，作图的次序可按预先给定的已知变量的情况确定（先解只含有一个未知数的简单计算图），但坐标图的投影方法和每一贯线所交的图尺及他们之间的联结情况、必须与指导线图中所示的情况相符，不得任意变更。在本图集中、为了保持计算图图形的清洁和完整，表明各图尺之间联结关系的指导线图均采用符号或小图表示。符号中的外文字母代号就是图尺的代号，联线即代表联结该图尺之间的贯线。如：

$$a—b—A$$

即表示贯线与代号为 a，b，A 的三个图尺相交，在交点处可读得相对应的数值。在计算图所附的小图中，实线表示图尺，虚线表示贯线，圆点表示两个以上的贯线与中间图

尺的交点，短划表示读数的位置。

0-5 计算图的扩大使用

当计算图中图尺的刻度范围不能满足使用要求时，可按下述方法扩大计算图的使用范围。

大家都知道：在进行公式变换时，在等式或不等式的两边乘以或除以，加上或减去相同的量时，其式不变的原理。根据这个原理可知：

1.在乘除法的计算图中，在表示等式两边分子中的任意一个变量的两个图尺上各乘以或除以 10^n；在表示等式或不等式两边分母中的任意一个变量的两个图尺上各乘以或除以 10^n；在表示等式或不等式一边分子中的任意一个变量的图尺上乘以或除以 10^n，而在表示另一边分母中任意一个变量的图尺上除以或乘以 10^n；或在表示等式一边的分子、分母上任意一个变量的两个图尺上各乘以或除以 10^n，则计算结果仍然保持正确。用公式可表示为：

已知
$$\frac{x}{y}=\frac{u\cdot v}{w\cdot z} \tag{11}$$

则
$$\frac{(x\cdot 10^{\pm n})}{y}=\frac{(u\cdot 10^{\pm n})\cdot v}{w\cdot z} \tag{12}$$

$$\frac{x}{(y\cdot 10^{\pm n})}=\frac{u\cdot v}{(w\cdot 10^{\pm n})\cdot z} \tag{13}$$

$$\frac{(x\cdot 10^{\pm n})}{y}=\frac{u\cdot v}{(w\cdot 10^{\mp n})\cdot z} \tag{14}$$

或
$$\frac{x}{y}=\frac{(u\cdot 10^{\pm n})\cdot v}{(w\cdot 10^{\pm n})\cdot z} \tag{15}$$

如果对 m 次的指数函数施行上述手术时，则应在表示该变量的图尺上乘以或除以 $10^{\frac{n}{m}}$。用公式表示为：

已知
$$\frac{x}{y}=\frac{u^{\pm m}\cdot v}{w^{\pm m}\cdot z}, \tag{16}$$

则
$$\frac{(x\cdot 10^{\pm n})}{y}=\frac{(u\cdot 10^{\frac{\pm n}{\pm m}})^{\pm m}\cdot v}{w^{\pm m}\cdot z} \tag{17}$$

$$\frac{x}{(y\cdot 10^{\pm n})}=\frac{u^{\pm m}\cdot v}{(w\cdot 10^{\frac{\mp n}{\pm m}})^{\pm m}\cdot z} \tag{18}$$

$$\frac{(x\cdot 10^{\pm n})}{y}=\frac{u^{\pm m}\cdot v}{(w\cdot 10^{\frac{\mp n}{\pm m}})^{\pm m}\cdot z} \tag{19}$$

或
$$\frac{x}{y}=\frac{\left(u\cdot 10^{\pm\frac{n}{m}}\right)^{\pm m}\cdot v}{\left(w\cdot 10^{\mp\frac{n}{m}}\right)^{\pm m}\cdot z} \tag{20}$$

2.在加减法的计算图中，在表示等式或不等式两边各个变量的图尺上分别乘以或除以10^n，则计算结果仍然保持正确．用公式可表示为：

已知
$$x\pm y=u\pm v$$

则
$$(x\cdot 10^{\pm n})\pm(y\cdot 10^{\pm n})=(u\cdot 10^{\pm n})\pm(v\cdot 10^{\pm n}) \tag{21}$$

如遇到m次的指数函数时，处理方法同1．用公式可表示为：

已知
$$x\pm y=u^{\pm m}\pm v \tag{22}$$

则
$$(x\cdot 10^{\pm n})\pm(y\cdot 10^{\pm n})=\left(u\cdot 10^{\frac{\pm n}{\pm m}}\right)^{\pm m}\pm(v\cdot 10^{\pm n}) \tag{23}$$

3.在加减法计算图中，在表示等式或不等式两边中任意一个正变量（或负变量）的两个图尺上各加上或减去（减去或加上）相同的常数a（如1，2，5，10，100……），则计算的结果仍然保持正确．用公式可表示为：

已知
$$x+y=u-v \tag{24}$$

则
$$(x\pm a)+y=(u\pm a)-v \tag{25}$$

或
$$(x\pm a)+y=u-(v\mp a) \tag{26}$$

0-6 提高计算图计算精度的途径

在0-1中我们已经提到，一般计算图所能达到的计算精度仅为2～3位有效数字．在某些要求计算精度较高的情况下，在绘制和使用计算图时，如能采取一些简单的处理办法，也可以将它的计算精度提高到4～5位有效数字以上．

1.在由固定的重合图尺组成的计算图中，可以简单地用加大图尺系数的办法，将图尺加长到需要的精度．为了便于图面的安排，可将图尺分割成若干段，平行排列在一幅计算图内．

2.在某些计算中，可以利用"尾数分段计算"的办法提高它的计算精度．

今有一算式：
$$z=x\cdot y \tag{27}$$

式中：x、z——4～5位有效数字的变量；

y——1～2位数的真数．

把变量x和z分别划分为首数x'、z'和尾数x''、z''，并令：
$$x=x'+x'' \tag{28}$$

将此式代入式（27）中，得：
$$z=(x'+x'')y$$