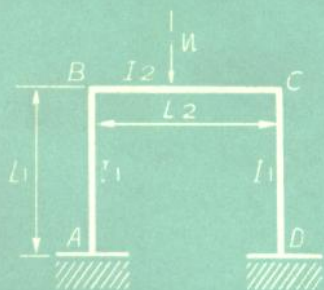


(英) J.E.吉布森 著

结构工程中的计算

铁道部第三勘测设计院第一勘测设计总队 译



人民铁道出版社

内 容 简 介

本书(原名COMPUTING IN STRUCTURAL ENGINEERING)介绍电子计算机FORTRAN计算语言在土建结构计算中的应用。书中介绍的结构计算方法有静力学的基本计算方法,力矩图面积定理,角变位移法,矩阵理论,刚度法(包括平面框架和三维框架),有限单元法等。在有关结构计算的章节中,除了结构计算外,还有数字例题、计算机程序和程序输出。

本书可供土建结构设计技术人员参考。

结构工程中的计算

COMPUTING IN STRUCTURAL ENGINEERING

J.E.Gibson著

铁道部第三勘测设计院第一勘测设计总队 译

人民铁道出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本: 850×1168 $\frac{1}{2}$ 印张: 8.75 字数: 223 千

1978年8月第1版 1978年8月第1次印刷

统一书号: 15043·6125 定价: 0.98 元



译者前言

在英明领袖华主席和党中央抓纲治国伟大战略决策的指引下，我国社会主义革命和社会主义建设呈现出一派大好形势，在这大好形势的鼓舞下，我们遵照毛主席关于“洋为中用”的教导，翻译了这本书，以供广大结构设计人员参考。

该书着重介绍电子计算机 FORTRAN 算法语言在土建结构计算中的应用，叙述浅显易懂。虽然书中算法语言的个别细节与我国稍有出入，但是没有根本的不同。

原书共分十四章。由于考虑其中第十四章“壳和板结构的设计”内容过于简略，为了缩减篇幅，我们将它删去了。

该书由胡人礼同志翻译。由于水平所限，译文中一定会存在不妥和错误之处，欢迎读者批评指正。

铁道部第三勘测设计院第一勘测设计总队

1977年11月

EN96/02

目 录

第一章 结构分析与计算机	1
1.1 引言.....	1
1.2 结构分析.....	2
1.3 计算机的类型.....	4
1.4 电子计算器.....	4
1.5 小型计算机.....	6
1.6 中型电子数字计算机	9
1.7 电子数字计算机的描述.....	9
1.8 二进制.....	12
1.9 输入设备.....	14
1.10 快速存取存储器.....	14
1.11 磁鼓.....	15
1.12 磁带.....	15
1.13 磁盘文件存储器.....	16
1.14 存储的二进制信息和种类.....	16
1.15 运算器.....	16
1.16 控制器.....	17
1.17 输出器.....	18
第二章 FORTRAN程序设计	19
2.1 引言.....	19
2.2 程序语言.....	19
2.3 常数和变量.....	20
2.4 数组.....	21
2.5 算术的运算和表达式.....	22
2.6 算术语句.....	23
2.7 标准函数.....	24

2.8 控制语句	25
2.9 “GO TO” 语句	25
2.10 计算 “GO TO” 语句	26
2.11 “IF” 语句	26
2.12 “DO” 语句	27
2.13 “INPUT” 语句	29
2.14 “READ” 语句	29
2.15 “OUTPUT” 语句	30
2.16 “WRITE” 语句	30
2.17 “FORMAT” 语句	31
2.18 F 换算码	31
2.19 I 换算码	32
2.20 H 换算码	32
第三章 静定结构	33
3.1 初等静力学	33
3.2 剪力和弯矩	34
3.3 数字例题	36
3.4 梁中剪力和弯矩的程序	36
3.5 程序的结构	37
3.6 操作程序	39
3.7 一般程序原理	40
3.8 简支梁中弯矩和剪力的一般程序	41
3.9 根据程序输出	43
3.10 平衡方程	44
3.11 铰结平面结构借节点处力的分解方法分析	45
3.12 数字例题	47
3.13 桁架中力的程序	48
3.14 典型输出	48
3.15 影响线	49
3.16 集中荷载通过简支梁时的影响线	49

3.17	数字例题	51
3.18	简支梁中弯矩和剪力的影响线程序	52
3.19	计算机输出	54
3.20	均布荷载的影响线	55
3.21	数字例题	56
3.22	计算机程序	56
3.23	计算机输出	58
第四章	理论的和实验的应力与应变	59
4.1	应力和应变	59
4.2	主应力	59
4.3	笛卡尔应力和主应力	60
4.4	结构中应力的实验确定	61
4.5	电阻应变仪 (金属片应变仪)	62
4.6	借实验法确定主应力	64
4.7	数字例题	66
4.8	计算机程序	66
4.9	计算机输出	68
4.10	数据自动记录	69
第五章	梁中的弯曲应力、剪力和挠度	70
5.1	简单弯曲理论	70
5.2	矩形面积的二次矩	72
5.3	平行轴定理	73
5.4	空心梁中的应力	74
5.5	非对称弯曲	75
5.6	剪应力的分布	76
5.7	梁的挠度	78
5.8	力矩图面积定理	80
5.9	固端力矩	81
5.10	集中荷载下的固端力矩	82
5.11	部分均布荷载	83

第六章 角变位移法	85
6.1 角变位移方程的推导	85
6.2 连续梁	88
6.3 数字例题	89
6.4 计算机程序	90
6.5 计算机输出	91
6.6 连续梁 (续)	91
6.7 数字例题	93
6.8 计算机程序	94
6.9 计算机输出	95
6.10 门式框架	95
6.11 数字例题	97
6.12 计算机程序	97
6.13 程序输出	98
6.14 多层框架	99
6.15 数字例题	100
6.16 程序的导出	101
6.17 程序输出	103
第七章 矩阵理论	105
7.1 矩阵的定义	105
7.2 矩阵与结构分析的关系	106
7.3 矩阵加法	106
7.4 程序	107
7.5 矩阵减法	108
7.6 程序	108
7.7 矩阵乘法	108
7.8 程序	110
7.9 方形矩阵	110
7.10 零矩阵	111
7.11 单位矩阵	111

7.12	对称矩阵	112
7.13	反对称矩阵	112
7.14	转置矩阵	112
7.15	上三角形矩阵	113
7.16	下三角形矩阵	113
7.17	逆矩阵	114
7.18	联立方程的求解	115
7.19	数值例题	117
7.20	求解联立方程的程序	118
7.21	程序的应用	120
第八章	刚度法	121
8.1	矩阵形式的基本角变位移方程	121
8.2	矩阵法对于门式框架的应用	122
8.3	矩阵形式的广义角变位移方程	124
8.4	参考固定轴力矩、力和位移	127
8.5	位移	127
8.6	力	128
8.7	参考固定轴的刚度矩阵	128
8.8	固端力矩	131
8.9	跨上任一位置处的集中荷载	132
8.10	全跨均布荷载	133
8.11	参考固定轴的固端力矩	133
8.12	组合固端力矩	134
8.13	一节点处诸杆的平衡条件和相容条件	135
第九章	刚度法对框架结构的应用	138
9.1	引言	138
9.2	多层框架	139
9.3	平衡条件	140
9.4	相容条件	140
9.5	简化平衡方程和总刚度矩阵	141

9.6 程序框图	144
9.7 程序说明	146
9.8 总刚度矩阵	148
9.9 程序第 1 部分	150
9.10 程序第 2 部分	150
9.11 程序第 3 部分	151
9.12 程序第 4 部分	152
9.13 程序第 5 部分	154
9.14 程序第 6 部分	155
9.15 程序的应用	155
9.16 程序输出	156
9.17 推广于多层刚架的程序	157
第十章 三维框架的刚度法	165
10.1 三维分析	165
10.2 参考固定轴的力和力矩	169
10.3 参考固定轴的位移	170
10.4 参考固定轴的刚度矩阵	171
10.5 固端力矩	172
10.6 总刚度矩阵	174
10.7 三维框架	175
10.8 格排	178
第十一章 结构设计	182
11.1 设计的概念	182
板梁设计	183
11.2 翼缘和腹板尺寸的选定	183
11.3 焊接设计	185
11.4 数字例题	186
11.5 板梁初步设计的程序	187
11.6 根据程序得出的输出	190
后张法混凝土箱形桥	191

11.7	弹性设计	191
11.8	由于加载条件产生的力矩	192
11.9	由于恒载产生的应力	194
11.10	由于活载产生的应力	194
11.11	由于后张力产生的应力	194
11.12	组合应力	195
11.13	设计例题	195
11.14	加筋预应力混凝土箱形桥的初步设计程序	197
11.15	程序输出	202
	绘图输出	203
11.16	引言	203
11.17	基本绘图仪的使用说明	203
11.18	HGP RECT (...)	205
11.19	板梁截面的图解输出	205
11.20	可见显示装置	207
第十二章	有限单元法	208
12.1	引言	208
12.2	矩形单元	210
12.3	虚功对刚度矩阵推导的应用	213
12.4	总刚度矩阵	217
12.5	所有边均嵌固的方形板	222
12.6	计算机程序	224
12.7	方形板的计算结果	227
12.8	结果的比较	227
12.9	长板程序	230
12.10	结果的比较	233
12.11	其它类型的单元的应用	233
第十三章	壳和板的研究	235
13.1	引言	235
	壳方程的推导	235

13.2	作用于壳单元上的应力合力	235
13.3	平衡方程	236
13.4	应力——应变方程	237
13.5	应变位移关系	237
13.6	应力合力位移方程	238
13.7	壳方程和求解	240
13.8	多圆柱壳的边界条件	242
13.9	无边缘梁的开口多壳	243
13.10	无边缘梁开口多圆柱壳的一般程序	245
13.11	二十跨的多圆柱壳屋顶	246
13.12	部分加载的圆柱壳	248
13.13	作用于板单元上的应力合力	249
13.14	风荷载下的折板屋顶	250
13.15	槽形桥的模型研究	252
13.16	带有边梁的一般多圆柱壳的程序	254
13.17	三跨通风屋顶	254
13.18	双曲率的多壳	254
13.19	封闭式多弧圆柱壳的程序	259
13.20	空心矩形截面梁的研究	260
13.21	箱形桥封闭圆柱壳的程序	261
13.22	透明塑胶模型箱形桥的研究	262
13.23	关于封闭悬臂壳和心墙中风应力的程序	263
13.24	多圆柱壳竖管中的风应力	264
13.25	高耸建筑三角心中的风应力	265
文献目录		268

第一章 结构分析与计算机

1.1 引言

本书主要在于向读者介绍结构工程中计算机的各种应用。已经成功地使用计算机的结构工程部分是：

(I) 结构分析，亦即整个结构由于所施加的荷载所引起的弯矩、力和位移的计算。

(II) 应力分析，亦即由于上面所述弯矩和力所引起的应力的确定。

(III) 结构杆件的设计，亦即根据上面分析以不产生过大的应力和位移来确定结构的杆件。

(IV) 绘图输出，亦即将上面所定杆件的实际几何形状以全部注上尺寸和注解的图显示出来。

(V) 试验结果的数据处理，亦即自动记录和处理由于结构或结构杆件试验所产生的应力和位移。

(VI) 费用和数量清单。

本书只详细考虑这些中的前五个部分，并给出简短的结构分析要点。实际上本书在完成这些方面的计算时，用到三种计算机，即

(I) 电子计算器*；

(II) “小型”计算机；

(III) 中等大型计算机。

这些将在本章的稍后部分详加叙述。

*为了把书内照片 I 中袖珍式和台式计算机与照片 II 和 III 中的计算机区别开，将用于第一种 Calculator——词译为计算器，用于后两种的 Computer——词译为计算机。——译注

1.2 结 构 分 析

关于结构中弯矩和力的分析，分为两大类。

静定结构

在这些结构中，其力矩和力仅应用静力学的初等原理来计算。本书仅分析下面情况：

(I) 各种荷载条件下的简支梁。

(II) 铰接框架。

然后叙述可以确定各种横截面梁弯曲应力和剪应力的初等弯曲理论。根据此理论，计算位移，最后叙述可以确定刚性结构框架中的力矩和力的所谓力矩图面积定理。对于这种框架应用静力方程是不够的。

静不定结构或超静定结构

这些是刚性连接的结构或连续梁，对于这种结构静力学原理提供确定力矩和力的不充分数据，必须导出包括位移的其它方程，以便解决问题，其中有一种方法叫做角变位移法。

角变位移法

这种方法是根据力矩图面积定理导出来的，它将结构中的端力矩与实际位移连系起来。把此方法与静力学结合起来便可以借求解未知位移来完成分析。该方法可以用于下列结构的分析：

(I) 连续梁。

(II) 门式框架。

(III) 多层刚架。

在这里可以合理有效地使用电子计算器。当刚架变得较复杂或具有大量杆件时，那么要从角变位移和平衡方程导得的联立方程计算的位移未知数就变得很多，因而采用计算机方法便是有益的。

为了易于建立角变位移方程，引用矩阵证明是有利的。因而将叙述按矩阵表示法的一般角变位移方程导出矩阵形式的所谓分析刚度法。

刚度法

这种方法用矩阵将一根杆中的力和弯矩与其位移和转动连系起来。借依次对每一节点考察交于该节点处诸杆的平衡和位移连续性，建立所谓总刚度矩阵，这种矩阵可以用来计算未知位移和转动。所以该方法可用于分析大型多层刚架。

在这里，应用“小型”计算机仍是有益的。然而，用这种方法去分析一个三维刚架时，则需要应用中等大型计算机。

这里应该说明本书所叙述的方法决不是很详尽的，但是是经过慎重选择的，以使结构理论可以得到连贯的叙述。因而，在静不定结构情况下，下列这些原理可以顺序地由一个原理导出另一个原理：

- (I) 欧拉伯努利弯曲原理。
- (II) 根据弯曲理论导出力矩图面积定理。
- (III) 根据力矩图面积定理导出角变位移方程。
- (IV) 矩阵理论。
- (V) 把矩阵理论用于广义角变位移方程导出平面框架的刚度法。
- (VI) 从(V)导出三维刚架的刚度法。

这样可以以逻辑方式从极简单体系开始进行程序编制，最后考虑复杂得多的体系的程序编制。

这里必须指出，结构分析中的大部分基本原理被略去了，主要被略去的有能量法，亦即应变能和余能以及用于手算的标准数值法，即力矩分配法。然而，这些方法在许多有关这方面的优秀著作中较全面地包括进去了，其中如有马西森、费希尔·卡西、库尔和戴克斯、詹肯斯、莱特福特、莫里斯、麦克明、利夫斯利等人的著作。

另外，完全略去了柔度法，但是可从上述章节中了解其细节。还有结构分析的计算问题，是作者根据个人的经验写的，而在布朗顿、奇奈洛、王和其他等人的著作中有类似的精采章节。

1.3 计算机的类型

现在将对前面所述用于本书的三种计算机加以详细说明。

近来,有三种计算机在实践中普遍使用,那就是:

(I) 电子计算器,其大小从袖珍式的机子到台式机器。

(II) 小型计算机,由电传打字机、处理程序的机箱和各种外部输出装置组成。

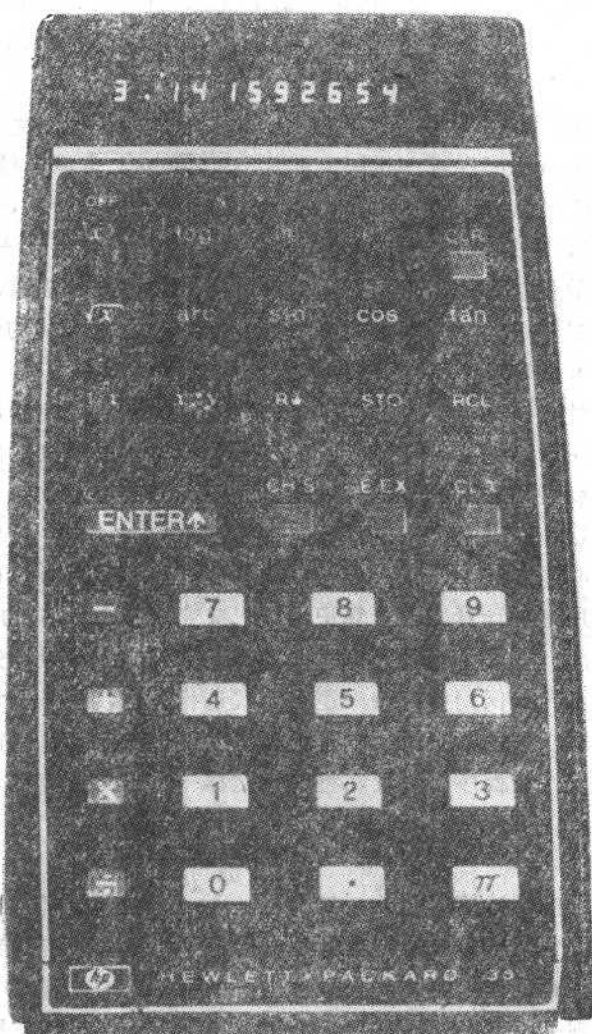
(III) 中型到大型计算机。

现在将稍详细地叙述每一种计算机的操作和应用。

1.4 电子计算器

照片 I 表示一台典型电子计算器。这是一台 Hewlett Packard HP35机,可以手拿着或放在台上使用。它可执行所有通常的算术运算,精确度达十位数字,如照片中的顶上窗口表示数字 π 那样显示出来。所有算术运算是靠拨动机面上的手控键盘来进行的。右边四行键盘允许将 0 至 9 的数字、小数点和数字 π 输入机器,并立即显示出来。左列中标以“-”、“+”、“ $\times$ ”和“ $\div$ ”的四个键盘允许执行所有这些算术运算。算术运算是极简单的,譬如说 123 乘 456。1、2、3 诸数依次按相应键盘来进行,然后按“ENTER”键盘将数字 123 放到算术存储寄存器中。接着按键盘输入 456 数,并按标明“ $\times$ ”的乘法键盘,于是所要求的乘积 56088 便立即显示出来。其它算术手续按类似方式执行,小数点则在需要的地方按标有句号的键盘放进去。

该计算器最大的特点是它具有同时建立三角函数、指数函数和对数函数的能力。这些函数位于顶上三行键处,从这里可以看到,它可以计算三角函数 $\sin$ 、 $\cos$ 和 $\tan$ 以及它们的反函数。因而,为了确定 $\cos 35^\circ$, 按入数字 35, 然后按标明“ $\cos$ ”的键盘,于是显示出所要求的余弦 0.8191520443。这个数的反函数可以借按标明“ $\arccos$ ”的键盘,然后按“ $\cos$ ”的键来得到,此时立即显示出数字 34.99999999, 亦即 35° 。



照片1 HP35电子计算器

此外，掀标明“ $\sqrt{x}$ ”的键盘可以立即计算出 x 的平方根，掀标明“ $1/x$ ”的键盘可以计算出 x 的倒数。指数借掀标明“ e^x ”的键来得出， e^{-x} 借掀倒数键来形成 $1/e^x$ ，亦即 e^{-x} 。按这种方式，可以建立双曲型函数。例如，如果要求 $\cosh x$ ，由于

$$\cosh x = (e^x + e^{-x})/2 = 0.5(e^x + e^{-x})$$

于是可借计算 e^x ，加上 e^{-x} ，乘以0.5来形成。例如，先掀键使 $x = 2$ ，再掀“ e^x ”键产生 e^x ，即7.389056098，借掀存储键盘即“STO”键盘存储起来供将来参考。掀倒数键盘“ $1/e^x$ ”，于是形成 e^{-x} ，亦即0.1353352833；现在借简单地掀加法“+”键盘，这两个数就加到一起，显示出7.529391381。用0.5去乘，亦即掀0.5，然后掀“ $\times$ ”键盘，则显示出所要求的 $\cosh 2.0$ 的值，亦即3.762195691。

总计，该计算器有四个存储寄存器，就这种精制程度，该机器可以用于迅速执行十分冗长的工程计算。本书所列的算术计算实际上就是用这种计算器计算的。

注意，在进行复杂的计算时，按逻辑方式处理，这里存储寄存器证明是不够的，于是诸数需要写到计算记录纸上，以供将来应用。用这种计算器，计算记录纸形成完成整个计算的控制中心。然而，在进行这种计算时，不需要拘谨的程序设计知识；一系列算术指令仅用键盘按一逻辑方式进行。这就把电子计算器与电子计算机区别开来了，电子计算机在可以进行计算之前要对计算机输入指令程序组。现在将叙述这样一个小型计算机。

1.5 小型计算机

除了电子计算器之外，其次就是所谓小型计算机。通常，这种计算机包括一台电传打字机，电传打字机把程序带和数据带穿成孔，不管是那一穿孔，同时给出一个看得见的或硬的复制记录。这种电传打字机通常与一个很小的程序处理机相联接，处理机拥有一个控制设备、一个很小的存储器和一个运算器。输出仍经过该电传打字机。