

杆件体系结构力学原理

[苏] И. М. 拉宾诺维奇著

郭长城 王惠德译

高 等 教 育 出 版 社

杆件体系结构力学原理

[苏] И. М. 拉宾诺维奇著

郭长城 王惠德译

高 等 教 育 出 版 社

本书系根据苏联建筑、建筑艺术及建筑材料书籍出版社 (Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам) 出版的拉宾諾維奇 (И. М. Рабинович) 著“杆件体系结构力学原理” (Основы строительной механики стержневых систем) 1960 年第三版修訂及补充版譯出。

全书共二十九章, 内容包括: 靜定体系 (包括空間桁架) 和超靜定体系 (連續梁、剛架、拱及桁架) 的計算方法; 稳定性及动力計算基础; 擋土牆計算基础。书中附有例題及习題。

杆件体系结构力学原理

И. М. 拉宾諾維奇著

郭长城 王惠德译

北京市书刊出版业营业许可证出字第 119 号

高等教育出版社出版 (北京景山东街)

大东集成联合印刷厂印装

新华书店上海发行所发行

各地新华书店經售

统一书号 K15010·655 开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印张 $20 \frac{1}{16}$

字数 511,000 印数 3,701—5,700 定价 (7) 元 2.30

1956 年 10 月新 1 版 (共印 6,800)

1956 年 10 月上册新 1 版 (共印 6800) 1955 年 12 月下旬新 1 版 (共印 5500)

1958 年 7 月合訂本第 1 版 1965 年 11 月第 2 版 1965 年 11 月上海第 4 次印刷

原 序

本教科书是根据高等土建院校教学大纲编写的。内容包括静定及超静定杆件体系的静力的、动力的和稳定性的计算原理,以及挡土墙的近似计算原理。本版与第二版相较,各章节均有少量补充,增添了弹性地基梁的计算一章,并较大地扩充了结构动力学一章。

为了尽量精简本教科书的篇幅,著者仅保留了那些基本上符合于土建院校教学大纲的材料,因此,读者如能参阅著者于1950年出版并于1954年再版的、内容较全的两卷本教程,将是有益的。在该教程中,有兴趣的读者可以找到结构力学各课题较详细的发展史料以及超出教学大纲范围的某些问题的论述。

本书承蒙审阅者——以Д. В. 瓦茵布列格教授为首的基辅土建学院结构力学教研室,以及Д. В. 倍其柯夫、Г. К. 克林和В. Г. 列卡奇教授提出宝贵意见,特此致谢。

目 录

原序	xii
第一章 绪论	1
§ 1.1. 结构力学的对象和任务	1
§ 1.2. 结构计算简图的概念	3
§ 1.3. 结构计算简图的分类	4
§ 1.4. 平面杆件体系支座的分类	6
第二章 结构的机动分析	9
§ 2.1. 由刚片组成的平面机动链的自由度	9
§ 2.2. 例题与习题	11
§ 2.3. 平面铰结链杆系的自由度	13
§ 2.4. 例题	14
§ 2.5. 几何不变平面体系的组成规则	15
§ 2.6. 几何构造分析举例	17
§ 2.7. 瞬变体系	19
§ 2.8. 体系机动分析的步骤	21
第三章 结构力学的图解法和索多边形	22
§ 3.1. 图解法在结构力学中所起的作用	22
§ 3.2. 力多边形和索多边形中的记号	23
§ 3.3. 用索多边形确定平面力系的静力矩	25
§ 3.4. 荷载由结点传递时 M 图和 Q 图的作法	27
§ 3.5. 多跨静定梁的 M 图和 Q 图的作法	28
§ 3.6. 史料简述	32
第四章 影响线的一般理论及其应用实例	34
§ 4.1. 影响线的概念	34
§ 4.2. 用静力法作影响线·简单梁的影响线	35
§ 4.3. 多跨静定梁的内力影响线	41
§ 4.4. 影响线纵坐标的因次	44
§ 4.5. 不动的集中力系的影响量	45
§ 4.6. 按照任意规律分布的不动连续荷载的影响量	46
§ 4.7. 影响线直线线段的一项性质	47

§ 4.8. 结点荷载的影响量	48
§ 4.9. 用机动法作影响线	50
§ 4.10. 用机动法作影响线的例题	52
§ 4.11. 三角形影响线的最不利荷载位置	54
§ 4.12. 多边形影响线的最不利列车荷载位置	58
§ 4.13. 任意影响线上均布荷载的最不利位置	59
§ 4.14. 具有同一集度的均布荷载系的最不利位置	60
§ 4.15. 影响线的导数及其应用	61
§ 4.16. 绕固定作用点转动的集中力的影响量(影响圆)	62
§ 4.17. 不同方向的移动力影响线之间的关系	64
§ 4.18. 史料简述	65
第五章 静定体系的一般性质	67
§ 5.1. 什么是静定杆件体系	67
§ 5.2. 未知量分为两组	67
§ 5.3. 体系的静定性和几何不变性间的关系	68
§ 5.4. 瞬变性的静力学判据·零载法	69
§ 5.5. 结构的基本部分和附属部分各部件中的内力	70
§ 5.6. 自相平衡的荷载的影响	72
§ 5.7. 荷载等效变换的影响	73
§ 5.8. 温度改变、支座移动和杆长误差的影响	75
第六章 三铰拱	78
§ 6.1. 基本概念	78
§ 6.2. 求支座反力的数解法	81
§ 6.3. 弯矩图	84
§ 6.4. 在竖向荷载作用下三铰拱的合理轴形	86
§ 6.5. 竖向荷载引起的剪力图和轴力图	87
§ 6.6. 求支座反力的图解法	90
§ 6.7. 利用对称性来确定支座反力	92
§ 6.8. 合力多边形和压力曲线	92
§ 6.9. 核点弯矩和正应力	95
§ 6.10. H 、 M 、 Q 、 N 的影响线	97
§ 6.11. 用零点法绘制影响线	99
§ 6.12. 习题	101
第七章 静定平面桁架的计算·梁式及伸臂梁式桁架	102
§ 7.1. 桁架的概念	102
§ 7.2. 桁架的分类	104

§ 7.3. 瞬变铰结链杆体系	110
§ 7.4. 瞬变性的静力特征	111
§ 7.5. 速度图的绘制	114
§ 7.6. 检查瞬变性的机动法	117
§ 7.7. 桁架的荷载	119
§ 7.8. 结点法	120
§ 7.9. 结点平衡的特殊情况	123
§ 7.10. 内力图(麦克斯韦-克里莫纳图)	126
§ 7.11. 桁架周界内部结点承受荷载时内力图的绘制	130
§ 7.12. 具有交叉杆件的桁架内力图的绘制	131
§ 7.13. 用分解荷载法绘制内力图	133
§ 7.14. 截面法	134
§ 7.15. 例题·具有平行弦和斜杆腹系的桁架(图 204)	135
§ 7.16. 例题·具有非平行弦和斜杆腹系的桁架(图 210)	139
§ 7.17. 应用截面法的较复杂情形	142
§ 7.18. 合力法	145
§ 7.19. 双截面法或多截面法	146
§ 7.20. 杆件代替法(亨内贝尔法)	147
§ 7.21. 桁架对称性的利用·分解荷载为对称的和反对称的	150
§ 7.22. 机动法·利用速度图求内力	152
§ 7.23. 在非结点荷载作用下桁架的计算	154
§ 7.24. 组合桁架的计算	155
§ 7.25. 史料简述	159
第八章 梁式及悬臂梁式桁架的内力影响线	161
§ 8.1. 用截面法或结点法绘制影响线	161
§ 8.2. 例题	169
§ 8.3. 瞬时转动中心的应用	171
§ 8.4. 较复杂体系的转动瞬心的求法	176
第九章 推力桁架和推力联合体系	178
§ 9.1. 三铰拱式桁架(腹杆式三铰拱)(图 255)	178
§ 9.2. 关于悬索体系的一般知识	180
§ 9.3. 有加劲梁的链索的计算	182
§ 9.4. 多弦索多边形和牵索桁架一般理论的概念	186
§ 9.5. 辐射式牵索桁架计算举例	189
§ 9.6. 习题	193
第十章 平面桁架的结点位移和杆件位移	195

§ 10.1. 緒論	195
§ 10.2. 位移图(維氏图)的概念	196
§ 10.3. 更一般情形下的位移图的繪制	199
第十一章 空間桁架	203
§ 11.1. 空間桁架計算的意义	203
§ 11.2. 空間力系的合成	203
§ 11.3. 將力分解为同它相交于一点三个分量	206
§ 11.4. 力在六个方向上的分解	209
§ 11.5. 沿六个方向分解一力的不确定的情形	210
§ 11.6. 空間桁架几何不变性和不动性的特征	211
§ 11.7. 例题与习题	215
§ 11.8. 用結点法求桁架內力	219
§ 11.9. 將桁架分解成平面体系以求內力	221
§ 11.10. 用杆件代替法求內力	222
§ 11.11. 靜定“双片結構”各部件的內力計算	224
第十二章 超靜定体系的計算問題	227
§ 12.1. 什么是超靜定杆件体系	227
§ 12.2. 多余联系数目的計算公式	228
§ 12.3. 具有多余联系的体系的特性	231
§ 12.4. 計算方法的分类	233
第十三章 彈性体系的基本定理	235
§ 13.1. 基本概念	235
§ 13.2. 广义力和广义位移	236
§ 13.3. 靜力加载过程中外力的功·克拉珀隆定理	238
§ 13.4. 例题	240
§ 13.5. 平面彈性杆件体系的內力功	240
§ 13.6. 关于外力功和內力功的一些說明	244
§ 13.7. 虛位移原理在彈性体系中的应用	245
§ 13.8. 虛位移原理对于实际位移的应用·位能	246
§ 13.9. 功的互等定理	248
§ 13.10. 位移互等定理(麦克斯韦定理)	250
§ 13.11. 关于位移因次的說明	252
§ 13.12. 用撓曲綫作为位移的影响綫	253
§ 13.13. 反力互等定理(瑞萊定理)	256
§ 13.14. 反力与位移的互等	257
§ 13.15. 位能的偏导数·卡氏定理	259

§ 13.16. 史料簡述	262
第十四章 杆件体系位移的计算	264
§ 14.1. 靜定体系内力图的繪制	264
§ 14.2. 外界影响: 荷載、联系的位移和溫度改变	265
§ 14.3. 平面杆件体系位移的一般公式	267
§ 14.4. 选择单位力的例子	271
§ 14.5. 靜定体系由于外載所引起的位移	273
§ 14.6. 当内力图之一为直綫形时积分計算的規則	276
§ 14.7. 超靜定体系由于外載所引起的位移	280
§ 14.8. 靜定体系和超靜定体系的溫度位移	281
§ 14.9. 由于支座或其他联系的位移所引起的位移	284
§ 14.10. 用彈性荷載法繪制曲杆或折杆的撓曲綫	289
§ 14.11. 将撓曲綫作为索多边形来繪制	291
§ 14.12. 史料簡述	295
第十五章 力法原理	297
§ 15.1. 基本体系和基本(多余)未知量	297
§ 15.2. 外載作用下力法的典型方程	299
§ 15.3. 計算溫度作用时的典型方程	301
§ 15.4. 已知支座移动情形下的典型方程	301
§ 15.5. 荷載、溫度及支座移动联合作用时的典型方程	303
§ 15.6. 史料簡述	304
第十六章 連續梁的计算	305
§ 16.1. 連續梁的概念	305
§ 16.2. 多余联系的数目·基本体系的选择	306
§ 16.3. 外載作用下連續梁的計算·三弯矩方程	308
§ 16.4. 例題及习题	315
§ 16.5. 弯矩定点比及弯矩定点	319
§ 16.6. 应用弯矩定点比作弯矩图	324
§ 16.7. 弯矩影响綫的繪制	328
§ 16.8. 剪力影响綫的繪制	332
§ 16.9. 支座反力影响綫的繪制	333
§ 16.10. 当作撓曲綫来繪制影响綫	334
§ 16.11. 最不利的荷載	336
§ 16.12. 支座移动时的計算	339
§ 16.13. 彈性移动支座上的連續梁	341
§ 16.14. 关于用預設弯矩法或預設应力法計算連續梁的概念	345

§ 16.15. 史料簡述	346
第十七章 用力法計算簡單剛架及超靜定拱	347
§ 17.1. 基本概念	347
§ 17.2. 有一个多余未知量的剛架的計算	348
§ 17.3. 关于对称体系典型方程的簡化·有三个多余联系的剛架的計算	354
§ 17.4. 引用剛臂来进一步簡化前一剛架的計算	359
§ 17.5. 帶拉杆的双鉸拱的計算	360
§ 17.6. 拉杆柔度的影响· M 、 Q 、 N 图·压力綫	365
§ 17.7. 影响綫的繪制	369
§ 17.8. 溫度影响的計算	373
§ 17.9. 无鉸拱·基本体系的选择·确定系数的数解法和图解法	374
§ 17.10. 內力图的繪制·压力綫	381
§ 17.11. 影响綫的繪制	383
§ 17.12. 溫度和收縮作用的計算	388
§ 17.13. 支座移动作用的計算	389
§ 17.14. 具有彈性支座的对称拱的計算	391
第十八章 超靜定桁架的計算	395
§ 18.1. 超靜定桁架总論	395
§ 18.2. 关于截面的选择	395
§ 18.3. 具有一根多余杆件的桁架的計算	397
§ 18.4. 具有一根多余杆件的桁架的影响綫的繪制	399
§ 18.5. 具有若干根多余杆件的桁架的計算	402
§ 18.6. 用預設应力法計算桁架	403
第十九章 用力法計算复杂剛架体系	407
§ 19.1. 总論	407
§ 19.2. 靜定基本体系的 M 图和任意体系的 Q 、 N 图的繪制	407
§ 19.3. 基本体系的合理选择	410
§ 19.4. 組合內力图和組合未知量的性质	413
§ 19.5. 組合未知量法的应用例题	415
§ 19.6. 对称条件带来的补充簡化	417
§ 19.7. 若干个基本体系的同时利用	419
§ 19.8. 內力图和影响綫的檢查	420
§ 19.9. 史料簡述	423
第二十章 用位移法(变形法)計算剛架体系	424
§ 20.1. 剛架体系結点的彈性可动度	424

§ 20.2. 位移法的系数公式(反力公式).....	426
§ 20.3. 位移法(变形法)的概念.....	431
§ 20.4. 任意超静定平面杆系的位移法典型方程.....	434
§ 20.5. 竖柱刚架的位移法方程.....	439
§ 20.6. 建立方程的例题.....	445
§ 20.7. 温度作用的计算.....	447
§ 20.8. 影响线的绘制.....	448
§ 20.9. 用力法及位移法联合解算问题.....	449
§ 20.10. 混合法.....	450
§ 20.11. 用位移法及混合法得到的内力图的检查.....	453
§ 20.12. 史料简述.....	453
第二十一章 用力矩定点比法计算刚架	455
§ 21.1. 不动结点刚架的基本未知量公式.....	455
§ 21.2. 例题.....	459
§ 21.3. 可动结点的刚架计算.....	460
第二十二章 刚架的近似计算	465
§ 22.1. 总论.....	465
§ 22.2. 在水平(风)荷载作用下多跨多层刚架的近似计算(图 504).....	465
§ 22.3. 在竖向荷载作用下多跨多层刚架的近似计算(图 507).....	467
§ 22.4. 用力矩分配法或其他量值分配法计算刚架.....	469
§ 22.5. 用逐次渐近法(迭代法)解算典型方程.....	471
§ 22.6. 关于计算机在超静定体系计算问题中的应用.....	473
第二十三章 将由薄板构成的棱筒形刚架的计算化为平面杆件刚架的计算	475
§ 23.1. 基本假设.....	475
§ 23.2. 刚架条的平衡微分方程.....	477
§ 23.3. 例题.....	483
第二十四章 连续弹性地基上的梁的计算	488
§ 24.1. 总论.....	488
§ 24.2. 齐次微分方程的积分.....	489
§ 24.3. 例题.....	492
§ 24.4. 非齐次微分方程的积分.....	493
§ 24.5. 各向同性弹性地基上的梁的计算的概念.....	496
第二十五章 弹性极限外的杆件体系的应力状态	500
§ 25.1. 关于结构按计算极限状态的计算.....	500

§ 25.2. 理想彈-塑性材料的計算簡图	502
§ 25.3. 承受恒載的超靜定桁架的計算	502
§ 25.4. 在一次加載和卸載下的靜定梁的計算	507
§ 25.5. 在一次加載和卸載下的超靜定梁的計算	510
§ 25.6. 在彎矩和軸力聯合作用下的塑性鉸	514
§ 25.7. 一些說明	515
第二十六章 結構穩定性的計算	517
§ 26.1. 計算穩定性的意義	517
§ 26.2. 關於精確計算與近似計算	518
§ 26.3. 有限和無限自由度體系的臨界荷載的確定	519
§ 26.4. 確定直杆臨界力的近似方法	525
§ 26.5. 應用虛位移原理求解的例子	529
§ 26.6. 組合杆的臨界力	531
§ 26.7. 用位移法計算剛架穩定性的概念	534
§ 26.8. 例題	538
§ 26.9. 史料簡述	540
第二十七章 單自由度體系的動力計算	542
§ 27.1. 動力荷載的種類	542
§ 27.2. 彈性體系的自由度	542
§ 27.3. 運動的微分方程及其積分	543
§ 27.4. 體系固有振動頻率的確定	546
§ 27.5. 例題	550
§ 27.6. 杆件體系的受迫振動	551
§ 27.7. 突加荷載的影響	552
§ 27.8. 按照綫性規律隨時間逐漸增加或減少的荷載的影響	552
§ 27.9. 荷載短時作用的影響	554
§ 27.10. 短時沖量的影響	556
§ 27.11. 例題	557
§ 27.12. 振動荷載的影響	558
§ 27.13. 任意周期荷載的影響	560
§ 27.14. 例題	565
§ 27.15. 高頻率的周期荷載的影響	568
§ 27.16. 受迫位移及自由位移的幾何表示	569
§ 27.17. 支座移動的影響	572
§ 27.18. 橫向彎曲撞擊的影響	573
§ 27.19. 關於非綫性振動	576

第二十八章 有限自由度及无限自由度体系的动力学基础..... 583

§ 28.1. 多自由度体系的振动	583
§ 28.2. 将荷载分解为标准分量	586
§ 28.3. 动力位移的互等性	589
§ 28.4. 地震力作用下结构计算的概念	590
§ 28.5. 按无限自由度体系求梁的自由振动	593
§ 28.6. 标准振型(固有振型)的特性	597
§ 28.7. 受迫位移	599
§ 28.8. 振动荷载的作用	602
§ 28.9. 关于移动荷载的动力作用的概念	606
§ 28.10. 史料简述	611

第二十九章 挡土墙的计算原理..... 613

§ 29.1. 总论	613
§ 29.2. 库伦理论	614
§ 29.3. 列布汉定理及彭色列作图法	617
§ 29.4. 作用于墙上的土压力的公式	622
§ 29.5. 总压力图及压力集度图	623
§ 29.6. 活荷载的影响	626
§ 29.7. 被动土压力(反抗力)	627
§ 29.8. 挡土墙的强度计算	629
§ 29.9. 挡土墙的倾覆及滑动计算	633
§ 29.10. 关于挡土墙所受土压力的较为精确的理论的概念	635
§ 29.11. 史料简述	636

第一章 绪论

§ 1.1. 结构力学的对象和任务

从广义来说, 结构力学是一门研究各种结构的强度、稳定性及刚度的计算原理和方法的科学。

设计新结构时, 作强度及稳定性计算的目的是为了保证结构具有足够的、但非过分的安全性, 以符合耐久性和经济性的双重要求。作刚度计算的目的是为了使结构不致发生过大的变形(挠度、沉陷及振动), 这些变形对于结构本身虽无危险, 但从使用方面来说是不容许的。

不仅设计新结构时需要进行计算, 而且当现有结构需要承受过去未曾料及的新荷载时, 也必须进行计算, 以便查明结构能够负担多少新荷载, 是否需要加固, 以及如何加固, 等等。

结构力学对于现代建筑科学的意义是极其重大的。任何一个结构物, 要想设计得可靠而经济, 莫不有赖于计算。对于保障人民的生命和节约资财来说, 结构愈复杂和愈巨大, 计算的意义也愈重要。通过计算, 将给设计者揭示出结构各部件的全部静力的或动力的内力, 从而选择这些部件的尺寸, 使其应力具有设计者所期望的数值。

在苏联, 结构力学的使命是重大的和光荣的。国家的工业、民用、交通等建设事业达到了很大的规模, 而且结构的安全和经济, 是全体人民所关心的。

如果把结构力学看作纯粹是数学课程, 则将是一种很危险的误解。既然结构力学研究的是由某种建筑材料构成的实际结构的强度和刚度问题, 其结论自然要以这些材料的实有性质的研究和

知识为依据,亦即要以适当安排的实验为依据。

有关结构本身的全部假设,以及在研讨各种计算方法时对于结构所作的全部假设的性质,也必须用实验的方法加以检验。

只有经过实验的验证,理论才能被确认。

用实验方法确定模型或实有结构的内力及变形的现代技术,已经达到相当高的水平,它们是结构力学发展的有力武器。

我们这里所说的一切,也适用于广义的结构力学——直接或间接地研究结构计算的各个学科。这些学科有:材料力学、弹性理论、塑性理论,以及狭义的,通常所说的结构力学。材料力学主要研究简单杆的计算理论,它对于建筑结构和机械制造是一门同等重要的学科。狭义的结构力学与材料力学相较,主要研究构成结构的杆件体系的计算理论。这两个学科都试图用比较简单的数学方法来解决自己的问题。弹性理论与此不同,它将结论的严格性和精确性提到首要地位,故采用比较繁复的数学工具。必须指出,需要弹性理论和塑性理论的不仅有建筑领域,而且还有许多其他技术领域。

狭义的结构力学还可称为结构理论。

为了简略起见,以后我们提到“结构力学”这一名词时,只限于它的狭义,并与“结构理论”一词不加区别。

本书称为“杆件体系结构力学”,是因为现在的结构理论教科书的内容基本上就是这种体系的计算。

这一门学科在过去长时期中,而且直到现在,还被某些著者称为“结构静力学”或“结构图解静力学”。

后一名称完全不符合这门学科的实际内容,因为数解法所起的作用并不次于图解法。而名称“结构静力学”也是不合适的,因为在现代结构理论中,除了静力学以外,动力学问题业已占有显著的地位。

§ 1.2. 结构计算简图的概念

结构计算简图是实际结构的简化表示, 它在计算过程中代替结构本身。

为了使工程师们可以直接用来解决实际问题, 结构力学必须简化问题的条件, 放弃考虑那些比较不重要的因素, 用计算简图来代替实有结构。

现在举一计算简图的例子。

一个梁式体系的金属桥跨结构, 通常是由两个竖桁架组成的, 两个桁架之间彼此用纵向和横向联系以及桥面系联结着。桥面系由横梁、纵梁及某种构造的行车路基组成: 横梁两端焊接于主桁架; 纵梁焊接于横梁; 行车路基则支承于桥面系的交叉梁系上。每一桁架的各金属杆件的端部彼此刚结。这种桥跨结构的大致形式示于图 1(透视图)。

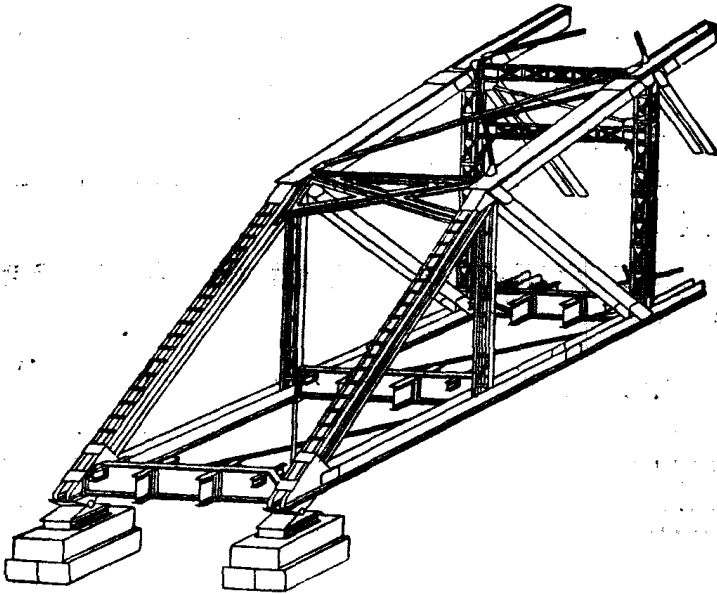


图 1

如果这种桥跨结构承受竖向荷载, 计算时通常不把整个体系视为空间体系, 而将荷载按照杠杆定律分配于两个桁架, 将每一桁架视为一个独立体系。联系及桥面系的变形以及由它们传给主桁架的其他某些力, 均忽略不计。桁架的每一杆件均用它们的几何轴线来代替; 认为所有这些轴线严格地位于同一平面内。认为组成桁架结点的各杆端严格地汇交于一点, 即结点的中心。各杆件的相互联结都假定为理想铰结。认为全部外载完全作用在上述理想图形的平面内。各不动的和可动的支座都认为是理想铰支座, 忽略摩擦力。所有这些假设的总体, 便构成了桥跨结构计算简图的特征。

§ 1.3. 结构计算简图的分类

在结构力学中, 研究的对象只是结构的计算简图, 但为了简单起见, 我们采用“结构”这一名词, 而不再每次加以解释。

从计算的观点来看, 结构可以依照不同的特征加以分类。

根据几何的或空间的观点, 结构可以分为三种类型:

1) 杆件结构 这种结构是由杆件组成的, 也就是由一个尺度(长度)远大于其他两个尺度的部件组成的。单独的杆件是杆件体系的特殊情形。

2) 薄板、厚板及壳体结构 这类结构的部件, 两个尺度(长度和宽度)远大于第三个尺度(厚度)。

3) 块体或实体结构 这类结构中, 所有三个方向的尺度是同一等级的。

按照上述方法来作计算简图的分类是很重要的, 因为上述三类结构的计算特性彼此极不相同。本教程几乎只限于杆件结构的研讨。

其次, 杆件结构又可分为平面结构和空间结构。平面结构是