

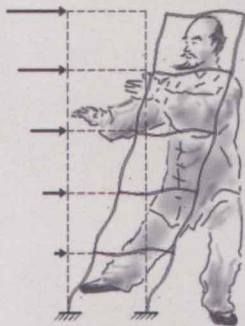
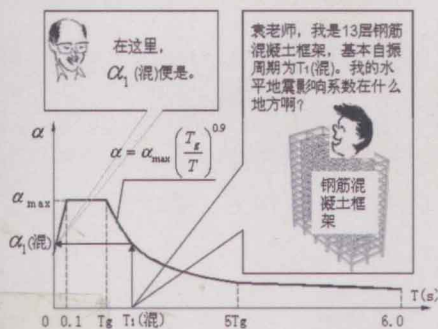
注册建筑师考试辅导教材

建筑结构快速通

(附视频讲座光盘一张)

袁树基 袁静 编著

本书按一级注册建筑师考试大纲编写，着重对基本概念的定义讲解和应试训练，边讲概念边做题。书中图文并茂、通俗易懂。每章末尾配有大量模拟试题、题解和答案。本书适用于备考一级注册建筑师的考生，对于备考二级注册建筑师的考生，可根据二注大纲的要求，舍去较难的部分。本书按最新规范编写，其中包括近两年来实施的《建筑抗震设计规范》、《混凝土结构设计规范》、《高层建筑混凝土结构技术规程》、《建筑地基基础设计规范》、《砌体结构设计规范》和《建筑结构荷载规范》。



以柔克刚

执业资格考试丛书

注册建筑师考试辅导教材

建筑结构快速通

袁树基 袁 静 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑结构快速通/袁树基, 袁静编著. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 12

(执业资格考试丛书) 注册建筑师考试辅导教材

ISBN 978-7-112-14897-4

I. ①建… II. ①袁…②袁… III. ①建筑结构-建筑师-资格考试-自学参考资料 IV. ①TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 275618 号

针对建筑师考试的难点课程之一——建筑结构这部分内容, 本书作者根据历年考题及考试大纲的要求, 从结构概念入手, 用通俗的语言将一些较难理解的概念说得比较明白, 并特意配了一些插图, 增加了本书的趣味性, 使考生在充分理解这些概念的基础上能更加容易地掌握和解答相应考题。在总结前两版次经验的基础上, 本版次特增加了一套综合测试题, 题目以2008~2012年考试出现过的部分较难和易混易错的知识点为主进行编写, 帮助读者在有限的时间内尽快地把概念弄清楚。本书内容全面, 引用了最新规范的内容, 讲解方式多样有趣, 并配视频光盘讲解内容及试题。

本书是参加建筑师考试的考生必备参考书。

* * *

责任编辑: 王 梅 咸大庆

责任校对: 王誉欣 刘梦然

执业资格考试丛书
注册建筑师考试辅导教材
建筑结构快速通

袁树基 袁 静 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京市密东印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 37 $\frac{1}{4}$ 字数: 907 千字

2013年1月第一版 2013年1月第一次印刷

定价: 90.00 元(含光盘)

ISBN 978-7-112-14897-4

(22960)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

2013 年版前言

《建筑结构快速通》2011年初版。两年来我们收到过许多读者的电子邮件，他们普遍认为本书通俗易懂、对考试很有帮助、十分实用，同时也对我们提出了不少宝贵意见，其中提得比较多的是希望我们再做一些视频讲座，特别是力学题的讲座。为此，我们在2012版视频讲座的基础上作了些修改和补充，增加了第4讲。视频第4讲的内容是对本书新增的第9章“综合模拟试题”的部分难题进行讲解。

“综合模拟试题”旨在让读者测试自己在考场的应试能力，共120题，与近两年的考试相同。题目以2008~2012年考试出现过的部分较难和易混易错的知识点为主进行编写。对比较有代表性的题目，视频讲座将结合书本的内容加以拓宽。希望这种方式能帮助读者在有限的时间内尽快地把概念弄清楚。

规范是设计人员做设计时必须遵循的法规性文件，命题者也以规范为依据来命题，所以无论从实际工作还是从应试的角度，设计人员都应该以现行的最新规范为蓝本。为此，作者努力学习新规范，力争每一版《建筑结构快速通》都能体现最新规范的要求。本书第一版的抗震部分是在即将脱稿时，按2010年12月1日实施的《建筑抗震设计规范》进行了大量修改；随后，上一版的第4章又按2011年7月1日实施的《混凝土结构设计规范》和2011年10月1日实施的《高层建筑混凝土结构技术规程》改写；而这一版的第3、6、7章也分别按2012年10月1日实施的《建筑结构荷载规范》、2012年8月1日实施的《砌体结构设计规范》、《建筑地基基础设计规范》和2012年10月1日实施的《建筑基坑支护技术规程》作了大幅度的修改。

为了便于与广大读者沟通，我们开设了一个博客网页。将通过该网页发布回答读者提问的信息，以便资源共享；也将通过该网页发布本书的勘误信息，以避免误导。

中国建筑工业出版社王梅编审和咸大庆编审十分关注本书的修改和完善，并予以大力支持，及时给我们寄来最新的参考资料和最新规范，使我们有时间按最新规范来写这本书。热心的读者也给我们提出了许多建设性的意见。在此，一并表示由衷的谢意！

由于我们水平有限，书中的错误和不足之处在所难免，希望读者批评指正。祝大家考试取得好成绩！

袁树基 袁 静

2012年11月30日

作者电子邮箱 yuanlaoshi_2010@163.com

建筑结构快速通博客网址：<http://blog.163.com/jzjgkst/>

2012 年版前言

《建筑结构快速通》2011年2月初版，受到广泛关注。普遍反映这本书写法新颖、生动有趣、通俗易懂、比较准确地体现了考试大纲的要求。据一位今年参加一级注册建筑师结构科目考试并获得通过的考生回忆：本书内容能覆盖2011年度考题所含“知识点”的90%以上。中国建筑工业出版社收到过不少对本书的积极评价，并鼓励我们将它修改再版，我们已尽最大努力做好这项工作。希望修改后的《建筑结构快速通》能够帮助更多的读者通过考试。

这一版修改的内容有如下三个方面：

1. 根据2011年注册建筑师考题的动向，对书的内容作适当补充。

2. 第4章“混凝土结构”按照2011年7月1日起实施的《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010和2011年10月1日起实施的《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3—2010全部改写（上一版的抗震设计部分已按《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010编写）。

3. 增加“力学部分难题难点”视频讲座光碟一张。

由于作者水平所限，书中会有不少缺点和错误，恳请读者批评指正。祝大家考试取得好成绩！

袁树基

2011年11月30日

作者电子邮箱 yuanlaoshi_2010@163.com

2011 年版前言

近年来，我常和备考一级注册建筑师的考生们讨论如何作考前复习的问题。自 1983 年研究生毕业以来，我一直在高校从事教学和结构设计工作。由于学习和工作的需要，我在中年之后参加并通过了多次国家级考试或测试：研究生入学考试，英、俄语出国人员考试，一级注册结构工程师测试，注册监理工程师考试（已停注）和注册岩土工程师考试。有感于自己多次参试的体会以及和考生们讨论时的感受，我邀请袁静一起写了这本书，希望通过它与更多的考生们进行交流。

考试大纲强调以定性理解为主。为了贯彻大纲的精神，本书作了如下几方面的尝试：

1. 对力学比较难的“结构机动分析”一节，绕过十分抽象的自由度计算，用比较直观易懂的几何组成分析来判别结构是几何可变、还是静定、超静定以及超静定的次数。讲解的过程辅以较多的例题，例题和模拟试题的插图大都能形象地反映出解题的步骤和过程。

2. 对力学的另一个难点——超静定结构，则着重从结构变形的连续性来定性分析这类结构的受力，例题和模拟试题的插图大都能反映出结构变形和内力的对应关系。

3. 结构部分涉及的内容较多，为了增加些趣味性和便于定性理解难懂的结构问题，我运用拟人法作了些徒手画。由于直接做设计的缘故，我有不错的 CAD 二维绘图基础，但三维透视、Photoshop 和徒手画都是初学，让有半个画家之称的建筑师们见笑了。不过笑笑也好，我就是希望读者们在备考时能够轻松些。

4. 在书中安排了对话的部分，通过这种方式来模拟课堂上师生之间的互动。对话的内容都是配合定性理解来编写。

书中的规范直接引文都用方框框住，粗体字为强制性条文，括号中的楷体字为作者加注，省略号表示与所描述概念无关、或超出大纲要求的规范内容。

为了便于读者做题时与书本的内容对照，所有插图、公式、表格、例题、对话都带有小节的编号，题解中的规范引文都标明在书中摘录的位置。

本书的内容选摘、章节段落的安排由我和袁静一起商定，对话中的学生部分由袁静构思编写，对话中的老师部分以及本书的其余部分由我完成。我的学生曹伟和潘杭峰帮助我们完成了部分模拟试题题目的文字和图形输入工作；写作过程中，中国建筑工业出版社王梅和咸大庆编审给了我们不少有益的启示，在此表示由衷的谢意！

本书即将脱稿时，新的抗震规范（2010 年版）正式实施了。为此我们对本书初稿做了大量修改。新规范对我们来说也有一个学习的过程，加上我们水平有限，错误和不足之处在所难免，希望读者批评指正。祝大家考试取得好成绩！

袁树基

2010 年 12 月 30 日

作者电子邮箱 yuanlaoshi_2010@163.com

目 录

力 学 篇

第 1 章 建筑力学	3
1.1 结构机动分析	3
1.1.1 概述	3
1.1.2 自由度和约束	4
1.1.3 几何组成分析	8
1.2 静定结构与超静定结构的区别	16
1.2.1 受力分析所需的条件不同	16
1.2.2 温度变化、制作误差、支座沉降等因素在静定结构中不会产生内力	20
1.2.3 温度变化、制造误差和支座位移等因素在超静定结构中可能会引起内力	21
1.2.4 工程结构应尽量采用超静定结构	23
1.3 静定结构的定性分析及计算	24
1.3.1 单跨梁内力的求解——由“取分离体”过渡到“不用取分离体”	24
1.3.2 弯矩图和剪力图的一般规律	26
1.3.3 桁架	33
1.3.4 静定刚架	39
1.3.5 三铰拱	46
1.4 超静定结构的定性分析及特定条件下的定量判别	49
1.4.1 结构变形的连续性	49
1.4.2 变形与内力图的关系·力法浅说	51
1.4.3 截面的几何特性	53
1.4.4 求解杆件变形的图形相乘法	60
1.4.5 超静定梁、柱的内力	65
1.4.6 连续梁可变荷载的不利布置	68
1.4.7 排架结构在水平荷载作用下,柱的剪力分配问题	70
1.4.8 框架结构在水平荷载作用下的定性分析	71
1.4.9 框架结构在竖向荷载作用下的定性分析	74
1.4.10 组合结构	76
1.4.11 可以按简支梁求解的超静定梁	77
1.4.12 温度变化、制造误差和地基变形在超静定结构产生内力时的内力图	78
1.5 应力分析	79
1.5.1 弯曲时的正应力	79
1.5.2 横力弯曲时的剪应力	82
1.5.3 拉弯或压弯构件的正应力	86
1.5.4 扭转应力简介	87

1.6 模拟试题和题解	88
-------------------	----

结 构 篇

第2章 抗震设计的基本知识	137
2.1 地震常识	137
2.1.1 地震的种类	137
2.1.2 地震术语	137
2.1.3 地震震级与地震烈度	138
2.1.4 抗震设防烈度	142
2.1.5 必须进行抗震设计的起始抗震设防烈度	142
2.2 抗震设防的三水准目标	142
2.3 抗震设防分类	143
2.3.1 概述	143
2.3.2 防灾救灾建筑的抗震设防分类	145
2.3.3 公共建筑和居住建筑的抗震设防分类	146
2.4 各抗震设防类别建筑的抗震设防标准	149
2.4.1 抗震设防标准	149
2.4.2 相关术语的解释	150
2.5 抗震设防三水准目标的实现：两阶段设计	152
2.5.1 第一阶段设计	152
2.5.2 第二阶段设计	154
2.6 场地的选择	155
2.6.1 《抗震规范》的规定	155
2.6.2 对抗震不利地段的难点——液化土	156
2.6.3 对抗震危险地段的难点——发震断裂带上可能发生地表位错的部位	160
2.7 建筑形体及其构件布置的规则性	161
2.7.1 规范的相关规定	161
2.7.2 防震缝	165
2.8 非结构构件	165
2.8.1 什么是非结构构件	165
2.8.2 非结构构件的抗震设计	166
2.9 地震作用计算及截面抗震验算简介	168
2.9.1 抗震设防烈度、设计基本地震加速度值的对应关系	169
2.9.2 设计特征周期——场地类别及设计地震分组	169
2.9.3 结构的自振周期——琴弦比喻	171
2.9.4 重力荷载代表值	174
2.9.5 水平地震影响系数、反应谱、计算水平地震作用的底部剪力法	174
2.9.6 竖向地震作用	182
2.9.7 截面抗震验算简介	183
2.10 隔震和消能减震设计	184

2.11	模拟试题和题解	186
第3章	建筑结构设计方法及荷载	199
3.1	设计方法	199
3.1.1	极限状态概述	199
3.1.2	极限状态设计表达式	204
3.2	荷载	208
3.2.1	荷载分类、设计基准期、荷载代表值（标准值、组合值、准永久值、频遇值） 及设计值	208
3.2.2	荷载组合	212
3.2.3	风荷载	214
3.2.4	楼面和屋面活荷载	221
3.2.5	永久荷载	226
3.3	模拟试题和题解	228
第4章	混凝土结构	239
4.1	概述	239
4.2	材料	240
4.2.1	钢筋	240
4.2.2	混凝土	243
4.3	受弯构件承载力的定性分析及简单计算	248
4.3.1	正截面承载力	248
4.3.2	斜截面承载力及抗剪计算	254
4.3.3	抗扭承载力简介	257
4.4	轴心受力构件的承载力	258
4.4.1	轴心受拉构件的承载力	258
4.4.2	轴心受压构件的承载力	258
4.5	偏心受力构件的承载力	261
4.5.1	偏心受拉构件	262
4.5.2	偏心受压构件	263
4.6	混凝土构件的变形及裂缝控制	266
4.6.1	受弯构件的变形	266
4.6.2	裂缝控制	268
4.7	预应力混凝土结构	270
4.7.1	钢筋的张拉方法	270
4.7.2	预应力钢筋的张拉控制应力及对材料性能的要求	272
4.7.3	预应力对构件的承载力有没有影响	274
4.8	构造规定	275
4.8.1	伸缩缝	275
4.8.2	混凝土保护层	276
4.8.3	钢筋的锚固	276

4.8.4	钢筋的连接	278
4.9	楼盖结构	279
4.9.1	概述	279
4.9.2	四边支承矩形板的受力特点及设计方法	281
4.10	多层和高层建筑混凝土结构的抗震和非抗震设计	283
4.10.1	混凝土高层建筑的界定及主要结构形式	283
4.10.2	各类结构的最大适用高度和最大适用高宽比	284
4.10.3	结构的平面布置	286
4.10.4	抗震等级	288
4.10.5	框架结构(含“强柱弱梁”的道理)	290
4.10.6	剪力墙结构	296
4.10.7	框架-剪力墙结构(简称“框-剪结构”)	299
4.10.8	框架-核心筒结构	302
4.10.9	筒中筒结构	305
4.10.10	复杂的高层建筑结构	306
4.10.11	防震缝	307
4.10.12	抗震设计中的几个“强”与“弱”的问题	308
4.11	模拟试题和题解	309
第5章	钢结构	345
5.1	概述	345
5.2	钢材	346
5.2.1	钢结构对钢材力学性能的要求	346
5.2.2	影响钢材力学性能的因素	348
5.2.3	钢材的强度设计值	352
5.2.4	钢材产品的规格	353
5.3	连接	354
5.3.1	焊缝连接	354
5.3.2	紧固件连接	358
5.4	轴心受力构件	360
5.4.1	轴心受力构件的强度验算	360
5.4.2	轴心受压构件的整体稳定	361
5.4.3	轴心受压构件的局部稳定	364
5.4.4	构件的允许长细比 $[\lambda]$	365
5.5	受弯构件和压弯构件	366
5.5.1	受弯构件——梁的强度计算	366
5.5.2	受弯构件——梁的整体稳定	367
5.5.3	受弯构件——梁的局部稳定	370
5.5.4	吊车梁的疲劳问题	371
5.5.5	钢与混凝土组合梁	372
5.5.6	压弯构件简介	373
5.5.7	柱脚的防护	374

5.6	多层和高层钢结构的抗震和非抗震设计	374
5.6.1	各类钢结构多、高层建筑的适用高度	374
5.6.2	各类多、高层钢结构建筑的高宽比限制	376
5.6.3	2010 版《建筑抗震设计规范》对多、高层钢结构的抗震等级的划分	377
5.6.4	防震缝	378
5.6.5	竖向支撑	378
5.6.6	水平支撑	380
5.6.7	柱截面形式	380
5.6.8	钢框架结构抗震构造措施	380
5.7	钢结构涂装工程	383
5.7.1	概述	383
5.7.2	钢材表面除锈	384
5.7.3	防腐蚀涂料涂装	385
5.7.4	防火涂料涂装	386
5.8	模拟试题和题解	387
第 6 章	砌体结构	401
6.1	概述	401
6.2	材料	401
6.2.1	块体	401
6.2.2	砌筑砂浆	403
6.2.3	砌体的力学性能及计算指标	404
6.3	受压构件	407
6.3.1	静力计算时的刚性方案、弹性方案和刚弹性方案	407
6.3.2	刚性方案多层房屋的外墙可以不考虑风荷载影响的情况	409
6.3.3	墙和柱的高厚比	410
6.3.4	无筋受压构件计算简介	413
6.4	一般构造要求	414
6.4.1	在潮湿环境中的砌体对材料的要求	415
6.4.2	墙体转角处和纵横墙交接处设拉结钢筋	415
6.4.3	承重的独立砖柱截面、毛石墙截面和毛料石柱截面的最小尺寸	416
6.4.4	防止局部受压破坏的措施	416
6.4.5	在砌体中留槽洞及埋设管道的规定	416
6.4.6	防止或减轻墙体开裂的主要措施	416
6.5	圈梁、过梁、墙梁及挑梁	419
6.5.1	圈梁	419
6.5.2	过梁	420
6.5.3	墙梁	421
6.5.4	挑梁	424
6.6	配筋砖砌体构件简介	425
6.6.1	网状配筋砖砌体构件	425
6.6.2	砖砌体和钢筋混凝土面层或钢筋砂浆面层的组合砌体构件	426

6.6.3	砖砌体和钢筋混凝土构造柱组合墙	426
6.7	砌体结构构件抗震设计	427
6.7.1	多层房屋的总高度、层数和层高的限制	427
6.7.2	多层砌体房屋总高度与总宽度的最大比值限制	428
6.7.3	房屋抗震横墙的最大间距	429
6.7.4	砌体墙段的局部尺寸限值	431
6.7.5	多层砌体房屋的建筑布置和结构体系	431
6.7.6	底部框架-抗震墙房屋的结构布置	432
6.7.7	多层砖砌体房屋抗震构造措施	433
6.7.8	底部框架-抗震墙房屋抗震构造措施	436
6.7.9	配筋混凝土小型空心砌块抗震墙房屋	436
6.7.10	生土房屋和石砌体房屋的层数和高度限制	439
6.8	砌体施工若干问题	440
6.8.1	砌体结构砌筑前预先浇水的问题	440
6.8.2	砖砌体的转角处和交接处不能同时砌筑时的处理方法	441
6.8.3	临时施工洞口和脚手眼的留置问题	443
6.9	模拟试题和题解	443
第7章	地基与基础	461
7.1	土的物理性质及工程分类	461
7.1.1	土的生成	461
7.1.2	土的结构	461
7.1.3	土的三相组成	462
7.1.4	土的物理性质指标	464
7.1.5	黏性土的缩限、塑限、液限、塑性指数和液性指数	466
7.1.6	岩土的分类	467
7.2	地基的强度与变形	469
7.2.1	概述	469
7.2.2	土体的抗剪强度	469
7.2.3	土的压缩系数 a 和压缩模量 E_s	471
7.2.4	地基变形的原因及计算深度	472
7.2.5	建筑物的地基变形控制	473
7.3	地基基础设计的基本规定	474
7.3.1	地基基础设计等级	474
7.3.2	与地基基础设计等级相应的设计要求	475
7.4	基础设计	476
7.4.1	基础的埋置深度	476
7.4.2	地基承载力验算	477
7.4.3	无筋扩展基础——刚性基础	481
7.4.4	扩展基础	482
7.4.5	柱下条形基础	484
7.4.6	高层建筑的筏形基础和箱形基础	485

7.4.7 桩基础	487
7.5 软弱地基	491
7.5.1 软弱地基的利用	491
7.5.2 软弱地基的处理	492
7.5.3 沉降缝	493
7.5.4 砌体承重结构房屋防止不均匀沉降的措施	494
7.5.5 大面积地面荷载	494
7.6 地基的冻胀性及应对措施	494
7.6.1 地基的冻胀性	494
7.6.2 防冻害措施	495
7.7 土压力和支挡结构	496
7.7.1 土压力	496
7.7.2 支挡结构概述	504
7.7.3 边坡重力式挡土墙	506
7.7.4 基坑工程	511
7.8 地基及基础可不进行抗震验算的情况	514
7.8.1 可不进行抗震验算的天然地基及基础	514
7.8.2 可不进行抗震验算的桩基	515
7.9 模拟试题和题解	515
第8章 其他结构体系及结构制图	534
8.1 木结构	534
8.1.1 木材	534
8.1.2 若干计算规定	537
8.1.3 构造要求	538
8.1.4 木结构防火	539
8.1.5 木结构的防潮通风措施	540
8.2 大跨度结构	541
8.2.1 平板网架结构	541
8.2.2 悬索结构	544
8.3 建筑结构制图	547
8.4 模拟试题和题解	554
第9章 综合模拟试题	561
参考文献	583

力 学 篇

《考试大纲》的要求：

一级：对结构力学有基本了解，对常见荷载、常见建筑结构形式的受力特点有清晰概念，能定性识别杆系结构在不同荷载下的内力图、变形形式及简单计算。

二级：对建筑力学的概念有基本了解，对一般杆系结构在一般荷载作用下的内力及变形有一个基本概念。

说明：“结构力学”研究的对象是“杆系结构”。这类结构由杆件所组成，所谓“杆件”是指横截面尺寸比长度方向尺寸小得多的构件。梁、桁架、刚架和拱是杆系结构的典型形式，也是本篇讨论的范围。

第1章 建筑力学

1.1 结构机动分析

1.1.1 概述

建筑结构必须是几何不变的，否则结构就不能保持稳定。图 1.1.1-1 (a) 所示结构是一个几何可变结构，在其左上角施加一个轻微的干扰，它就会一垮到底。若在它对角线上加一根杆（图 1.1.1-1b）情况便大为改观，可用来承受荷载，是几何不变的。

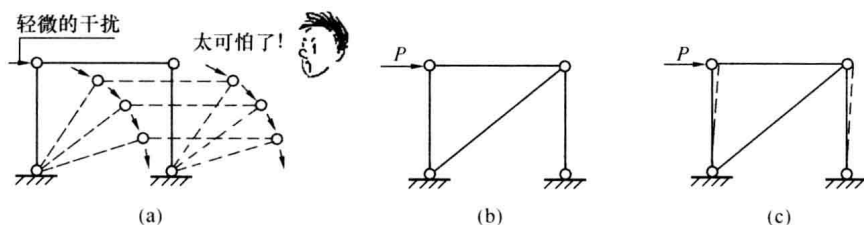


图 1.1.1-1 几何可变结构与几何不变结构

(a) 几何可变结构的机构运动；(b) 几何不变结构；(c) 几何不变结构的正常变形

注意到图 1.1.1-1 (a) 的结构在倒塌过程中各杆件的材料还未来得及发生变形，说倒就倒、一塌到底、十分可怕，因此几何可变结构是绝对不能采用的。这里“几何可变”是指杆件材料在没有发生任何变形（像刚体一样）的情况下，结构几何形状也会改变，发生类似于机构（机械构件）那样的运动。反之，“几何不变”是指杆件材料没有发生任何变形时，结构几何形状不会改变（图 1.1.1-1b）。实际上几何不变的结构在荷载作用下是会产生微小位移的，如图 1.1.1-1 (c) 虚线所示，但这种位移是杆件材料变形引起的、正常的，和“几何可变”不是同一概念。我们最关心的是结构会不会出现图 1.1.1-1 (a) 那样危险的机构运动，因此对绝大多数结构来说，在判别体系的几何可变性时，是把杆件当作刚体、把结构当作机构、看看这个机构会不会动起来进行分析的，这样的方法叫做结构机动分析。

另外有些结构，例如大跨度结构中的索网等柔性结构体系，它们几何形状的稳定性的依靠索的预拉力来保证的。设想一下：图 1.1.1-2 所示索网结构的索如果没有绷紧（即没有预拉力），那它就像渔网一样，谈不上有什么稳定的几何形状了。柔性结构体系将在悬索结构

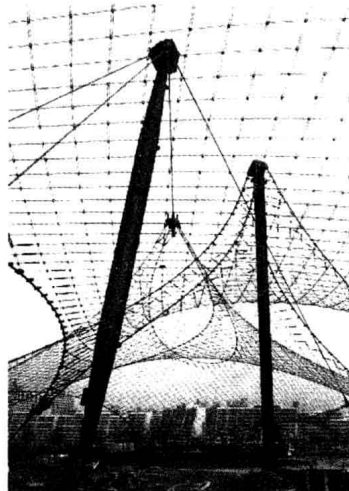


图 1.1.1-2 索网结构，若无预拉力就像渔网一样

一节中介绍。现在回到本节的主题——结构机动分析。

结构机动分析一般分两步进行：

① 首先求解结构的计算自由度 W ，若 $W > 0$ ，则结构是几何可变量体；若 $W \leq 0$ ，则结构满足几何不变的必要条件，但不够充分，还须进行下一步。

② 对结构进行几何组成分析，看看杆件和约束的布置是否合理、能否满足几何不变的充分条件，若不满足则结构仍是几何可变的；若满足则结构就是几何不变的了。对于后者，如果第①步求出的计算自由度 $W = 0$ ，结构则为没有多余约束的几何不变体系；如果 $W < 0$ ，结构则为有多余约束的几何不变体系。

当结构不是很复杂时（考题属于此类），可以跳过比较抽象的第①步而直接进入比较直观的第②步。大纲强调定性分析，故我们仅讨论结构的几何组成。

1.1.2 自由度和约束

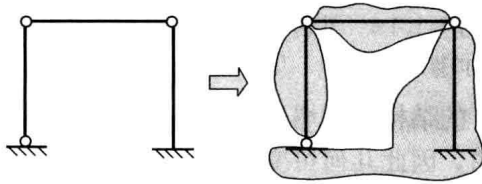
尽管我们没有打算讲解自由度和约束数的计算，但仍需要了解它们的概念，因为这是结构几何组成分析的基础。

1. 自由度

自由度是体系运动时可以独立变化的几何参数的个数。前面说过，结构机动分析时需把杆件视为刚体，若将刚体画成任意形状的刚片，会给分析工作带来许多方便，见下例。

【例 1.1.2-1】对附图所示结构的“几何组成分析”，下列哪项正确？（ ）

- (A) 几何可变量体 (B) 有多余联系的几何不变体系
(C) 瞬变体系 (D) 无多余联系的几何不变体系



【例 1.1.2-1】附图

题解：可以把右边柱看成是基础向上的延伸，两者合起来作为一块刚片；再把左边柱和横梁也各看成一块刚片，这个结构就成为一个“三刚片用不在一条直线上的三铰两两相连”的体系（见附图）。根据稍后要讲到的三刚片规则，它属于无多余约束的几何不变体。

说明：题目中的“联系”与“约束”同义。

答案：D。



小波和小静：袁老师，刚片是变形虫，对吗？

袁老师：不对，变形虫是会变形的，但刚片不会变形。刚片的形状是为了适应代替没有多余约束的几何不变体的需要，既然它代替的是几何不变体，所以不会变形，它也因此被称为刚片。



对话 1.1.2-1 刚片是用来代替没有多余约束的几何不变体

既然刚片那么有用，我们就先讨论一下它的自由度。图 1.1.2-1 (a) 表示一个无约束的刚片在做自由运动，原始位置用实线表示，运动后的位置用虚线表示。可以看出这刚片沿 x 轴方向自由地平移了 Δx ，这是它的第一个自由度；刚片又沿 y 轴方向自由地平移了