



2011

执业资格考试丛书

一级注册建筑师考试辅导教材

第二分册 建筑结构

(第七版)

《注册建筑师考试辅导教材》编委会 编
曹纬浚 主编

本教材由北京市注册建筑师考试辅导班的教师编写，2001年初版正式面世。教材紧跟规范、规程的更新，紧密结合考试实际，每年修订再版。2011年版教材根据新的法规、规范又进行了仔细修订，书中有大量仿真模拟试题，是备考注册建筑师考生必备的指导教材。

中国建筑工业出版社

TU/14=8

:1(2)

2010

执业资格考试丛书

一级注册建筑师考试辅导教材

第二分册 建 筑 结 构

(第七版)

《注册建筑师考试辅导教材》编委会 编

曹伟浚 主编

北方工业大学图书馆



C00254899

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

一级注册建筑师考试辅导教材 第二分册 建筑结构/《注册建筑师考试辅导教材》编委会编, 曹纬浚主编. —7 版. —北京: 中国建筑工程出版社, 2010. 10

(执业资格考试丛书)

ISBN 978-7-112-12577-7

I. ①—… II. ①注…②曹… III. ①建筑结构-建筑师-资格考核-自学参考资料 IV. ①TU

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 201191 号

责任编辑: 张 建

责任校对: 姜小莲 关 健

执业资格考试丛书
一级注册建筑师考试辅导教材
第二分册 建筑结构

(第七版)

《注册建筑师考试辅导教材》编委会 编
曹纬浚 主编

*

中国建筑工程出版社出版、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

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 27¼ 字数: 663 千字

2010 年 12 月第七版 2010 年 12 月第十次印刷

定价: 53.00 元

ISBN 978-7-112-12577-7

(19837)

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)

前 言

赵春山

(住房和城乡建设部执业资格注册中心主任
兼全国勘察设计注册工程师管理委员会副主任
中国建筑学会常务理事)

我国正在实行注册建筑师执业资格制度,从接受系统建筑教育到成为执业建筑师之前,首先要得到社会的认可,这种社会的认可在当前表现为取得注册建筑师执业注册证书,而建筑师在未来怎样行使执业权力,怎样在社会上进行再塑造和被再评价从而建立良好的社会资源,则是另一个角度对建筑师的要求。因此在如何培养一名合格的注册建筑师的问题上有许多需要思考的地方。

一、正确理解注册建筑师的准入标准

我们实行注册建筑师制度始终坚持教育标准、职业实践标准、考试标准并举。三者之间相辅相成,缺一不可。所谓教育标准就是大学专业建筑教育。建筑教育是培养专业建筑师必备的前提。一个建筑师首先必须经过大学的建筑学专业教育,这是基础。职业实践标准是指经过学校专门教育后又经过一段有特定要求的职业实践训练积累。只有这两个前提条件具备后才可报名参加考试。考试实际就是对大学建筑教育的结果和职业实践经验积累结果的综合测试。注册建筑师的产生都要经过建筑教育、实践、综合考试三个过程,而不能用其中任何一个去代替另外两个过程,专业教育是建筑师的基础,实践则是在步入社会以后通过经验积累提高自身能力的必经之路。从本质上说,注册建筑师考试只是一个评价手段,真正要成为一名合格的注册建筑师还必须在教育培养和实践训练上下工夫。

二、关注建筑专业教育对职业建筑师的影响

应当看到,我国的建筑教育与现在的人才培养、市场需求尚有脱节的地方,比如在人才知识结构与能力方面的实践性和技术性还有欠缺。目前在建筑教育领域实行了专业教育评估制度,一个很重要的目的是想以评估作为指挥棒,指挥或者引导现在的教育向市场靠拢,围绕着市场需求培养人才。专业教育评估在国际上已成为了一种通行的做法,是一种通过社会或市场评价教育并引导教育围绕市场需求培养合格人才的良好机制。

当然,大学教育本身与社会的具体应用需要之间有所区别,大学教育更侧重于专业理论基础的培养,所以我们就从衡量注册建筑师第二个标准——实践标准上来解决这个问题。注册建筑师考试前要强调专业教育和三年以上的职业实践。现在专门为报考注册建筑师提供一个职业实践手册,包括设计实践、施工配合、项目管理、学术交流四个方面共十项具体实践内容,并要求申请考试人员在一名注册建筑师指导下完成。

理论和实践是相辅相成的关系，大学的建筑教育是基础理论与专业理论教育，但必须要给学生一定的时间使其把理论知识应用到实践中去，把所学和实践结合起来，提高自身的业务能力和专业水平。

大学专业教育是作为专门人才的必备条件，在国外也是如此。发达国家对一个建筑师的要求是：没有经过专门的建筑学教育是不能称之为建筑师的，而且不能进入该领域从事与其相关的职业。企业招聘人才也首先要看他们是否具备扎实的基本知识和专业本领，所以大学的本科建筑教育是必备条件。

三、注意发挥在职教育对注册建筑师培养的补充作用

在职教育在我国有两个含义：一种是后补充学历教育，即本不具备专业学历，但工作后经过在职教育通过社会自学考试，取得从事现职业岗位要求的相应学历；还有一种是继续教育，即原来学的本专业和其他专业学历，随着科技发展和自身业务领域的拓宽，原有的知识结构已不适应了，于是通过在职教育去补充相关知识。由于我国建筑教育在过去一时期底子薄，培养数量与社会需求差别很大。改革开放以后为了满足快速发展的建筑市场需求，一批没有经过规范的建筑教育的人员进入了建筑师队伍。而要解决好这一历史问题，提高建筑师队伍整体职业素质，在职教育有着重要的补充作用。

继续教育是在职教育的一种行之有效的教育形式，它特指具有专业学历背景的在职人员从业后，因社会的发展使之原有知识需要更新，要通过参加新知识、新技术的学习以调整原有知识结构、拓宽知识范围。它在性质上与在职培训相同，但又不能完全画等号。继续教育是有计划性、目标性、提高性的，从整体人才队伍和个人知识总体结构上做调整和补充。当前，社会在职教育在制度和措施上还不够完善，质量很难保证。有一些人把在职读学历作为“镀金”，把继续教育当作“过关”。虽然最后证明拿到了，但实际的本领和水平并没有相应提高。为此需要我们做两方面的工作，一是要让我们的建筑师充分认识到在职教育是我们执业发展的第一需求；二是我们的教育培训机构要完善制度、改进措施、提高质量，使参加培训的人员有所收获。

四、为建筑师创造一个良好的职业环境

要向社会提供高水平、高质量的设计产品，关键还是要靠注册建筑师的自身素质，但也不可忽视社会环境的影响。大众审美的提高可以让建筑师感受到社会的关注，增强自省意识，努力创造出一个个经得住大众评价的作品。但目前实际上建筑师的很多设计思想受开发商与业主方面很大的影响，有时建筑水平并不完全取决于建筑师，而是取决于开发商与业主的喜好。有的业主审美水平不高，很多想法往往只是自己的意愿，这就很难做出跟社会文化、科技、时代融合的建筑产品。要改善这种状态，首先要努力创造尊重知识、尊重人才的社会环境。建筑师要维护自己的职业权力，大众要尊重建筑师的创作成果，业主不要把个人喜好强加于建筑师。同时建筑师自身也要提高自己的素质和修养，增强社会责任感，建立良好的社会信誉。要让创造出的作品得到大众的尊重，首先自己要尊重自己的劳动成果。

五、认清差距，提高自身能力，迎接挑战

目前中国的建筑师与国际水平还存在着一定差距，而面对信息化时代，如何缩小差距以适应时代变革和技术进步，成为建筑教育需要探讨解决的问题，并及时调整、制定新的对策。

我们现在的建筑教育不同程度地存在重艺术、轻技术的倾向。在注册建筑师资格考试中明显感觉到建筑师们在相关的技术知识包括结构、设备、材料方面的把握上有所欠缺，这与教育有一定的关系。学校往往比较注重表现能力方面的培养，而技术方面的教育则相对不足。尽管这些年有的学校进行了一些课程调整，加强了技术方面的教育，但从整体来看，现在的建筑师在知识结构上还是存在缺欠。

建筑是时代发展的历史见证，它凝固了一个时期科技、文化发展的印记，建筑师如果不能与时代发展相适应，努力学习和掌握当代社会发展的科学技术与人文知识，提高建筑的科技、文化内涵，就很难创造出高水平的作品。

当前，我们的建筑教育可以利用互联网加强与国外信息的交流，了解和掌握国外在建筑方面的新思路、新理念、新技术。这里想强调的是，我们的建筑教育还是应该注重与社会发展相适应。当今，社会进步速度很快，建筑所蕴含的深厚文化底蕴也在不断地丰富、发展，现代建筑创作不能单一强调传统文化，要充分运用现代科技发展成果，使建筑在经济、安全、健康、适用和美观得到全面体现。在人才培养上也要与时俱进。加强建筑师科技能力的培养，让他们学会适应和运用新技术、新材料去进行建筑创作。

一个好的建筑要实现它的内在和外表的统一，必须要做到：建筑的表现、材料的选用、结构的布置以及设备的安装融为一体。但这些在很多建筑中还做不到，这说明我们一些建筑师在对新结构、新设备、新材料的掌握和运用上能力不够，还需要加大学习的力度。只有充分掌握新的结构技术、设备技术和新材料的性能，建筑师才能够更好的发挥创造水平，把技术与艺术很好地融合起来。

中国加入 WTO 以后面临国外建筑师的大量进入，这对中国建筑设计市场将会有很大的冲击，我们不能期望通过政府设立各种约束限制国外建筑师的进入而自保，关键是要使国内建筑师自身具备与国外建筑师竞争的能力，充分迎接挑战、参与竞争，通过实践提高我们的设计水平，为社会提供更好的建筑作品。

《注册建筑师考试辅导教材》

编 委 会

主任委员 赵知敬

副主任委员 于春普 翁如璧

主 编 曹纬浚

编 委 (以姓氏笔画为序)

于春普 王其明 冯 玲 刘宝生

任朝钧 吕 鉴 李魁元 李德富

杨金铎 张思浩 汪琪美 林焕枢

周惠珍 朋改非 赵知敬 姜中光

耿长孚 贾昭凯 钱民刚 翁如璧

曹纬浚 曾 俊 樊振和

编写说明

原**建设部**和**人事部**自1995年起开始实施注册建筑师执业资格考试制度。

为了帮助建筑师们准备考试,本书的编写教师自1995年起就先后参加了北京市一、二级注册建筑师考试辅导班的教学工作。他们都是本专业具有较深造诣的高级工程师和教授,分别来自北京市建筑设计研究院、北京建筑工程学院、北京工业大学、北京交通大学、中国人民大学、清华大学建筑设计院和原北京市城市规划管理局。作者以考试大纲和现行规范、标准为依据,在辅导班讲课教案的基础上,经多年教学实践的检验修改,于2001年全国考生编写、出版了本套考试辅导教材。教材的目的是为了指导复习,因此力求简明扼要、联系实际,着重对规范的理解与应用,并注意突出重点概念。

本教材严格按考试大纲编写,在每年教学实践中不断加以改进,出版10年来深受全国考生们的欢迎。本教材于2001年正式出版,2003年按新的考试大纲及新的标准、规范对教材进行了全面修订;2004年至2010年每年均根据规范、标准的修订、更新,对部分内容进行增补和替换,2011年再次进行了修订。2010年年底开始执行的新修订的规范、标准不少,按规定明年考试将会采用这些修订过的规范、标准,与我们关系较大的有:《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)、《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 26—2010)、《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ 134—2010)、《建筑给水排水设计规范》(GB 50015—2003)(2009年版)、《供配电系统设计规范》(GB 50052—2009)及《建筑地面工程施工质量验收规范》(GB 50209—2010)等,2011年我们的《教材》和《习题集》按照这些新修订的规范、标准仔细进行了修订,保证满足大家的考试要求。参加本教材编写的老师如下:第一及第八章,耿长孚;第二章及第六章第四节,张思浩;第三章,王其明;第四章,姜中光;第五章,任朝钧;第六章第一至三节及第七章建筑部分,翁如璧;第九章,钱民刚;第十、十二、十三章及第七章结构部分,曾俊;第十一章,林焕枢;第十四章,汪琪美;第十五、十六章,李德富;第十七章,吕鉴;第十八章及第七章设备部分,贾昭凯;第十九章及第七章电气部分,冯玲;第二十章,朋改非;第二十一章,杨金铎;第二十二章,周惠珍;第二十三章,刘宝生;第二十四章,李魁元。

多年来先后协助以上作者和主编编写、修订本《教材》的老师有:张英、郝昱、赵欣然、霍新民、何玉章、颜志敏、曹一兰、周庄、张文革、张岩、周迎旭、曹京、杨洪波、李智民、耿京、陈璐、李铁柱、仲晓雯、冯存强、阮广青、刘若禹、任东勇、钱程、阮文依、王金羽、康义荣。

为方便考生复习,本教材分5个分册出版。第一分册包括第一至第八章,内容为“设计前期 场地与建筑设计”部分;从2010年起第一分册又分为上、下册,上册为知识部分,包括第一至第五章,下册为作图部分,包括第六至第八章;第二分册包括

第九至第十三章，为“建筑结构”部分；第三分册包括第十四至第十九章，为“建筑物理与建筑设备”部分；第四分册包括第二十及第二十一章，为“建筑材料与构造”部分；第五分册包括第二十二至第二十四章，为“建筑经济 施工与设计业务管理”部分。

考生在复习本教材时，应结合阅读相应的标准、规范。本教材每章后均附有参考习题，可作为考生检验复习效果和准备考试的参考。我们今年在一分册下册中设置了几套“方案作图”、“技术作图”和“场地作图”的模拟试题，以帮助考生掌握作图考试的应试技巧。此外，我们于2001年组织编写了《一级注册建筑师考试模拟试题集》（含作图题），这几年每年都进行修订，收录了单选题（知识题）近6000道，相当于每年考试题数的8倍，每题均提供了解答提示和答案；2011年我们在《模拟试题集》中每个科目的后面集中设置了两套模拟试题，以便考生在学习完教材并做了部分习题后，集中做一下这两套模拟试题，做两次仿真考试以检验自己的学习效果。大多数作图题提供了参考答案，对考生备考必定大有好处。今年我们在《模拟试题集》后增加了附录5对知识单选题考试备考和应试的建议，请各位考生注意阅读。

根据《行政许可法》，本书编委会不再冠以注册建筑师管理委员会的名义，但书的内容未变。经过每年的修订补充，书的质量每年都会更上一层楼。

祝各位考生考试取得好成绩！

《注册建筑师考试辅导教材》编委会

2010年10月

一级注册建筑师考试辅导教材

总 目 录

第一分册 设计前期 场地与建筑设计

上册 知识部分

- 第一章 设计前期与场地设计知识
- 第二章 建筑设计原理与标准、规范
- 第三章 中国古代建筑史
- 第四章 外国建筑史
- 第五章 城市规划基础知识

下册 作图部分

- 第六章 建筑方案设计（作图）
- 第七章 建筑技术设计（作图）
- 第八章 场地设计（作图）

第二分册 建筑结构

- 第九章 建筑力学
- 第十章 建筑结构与结构选型
- 第十一章 荷载及结构设计
- 第十二章 建筑抗震设计基本知识
- 第十三章 地基与基础

第三分册 建筑物理与建筑设备

- 第十四章 建筑热工与节能
- 第十五章 建筑光学
- 第十六章 建筑声学
- 第十七章 建筑给水排水

第十八章 暖通空调

第十九章 建筑电气

第四分册 建筑材料与构造

第二十章 建筑材料

第二十一章 建筑构造

第五分册 建筑经济 施工与设计业务管理

第二十二章 建筑经济

第二十三章 建筑施工

第二十四章 设计业务管理

第二分册 建 筑 结 构

目 录

前言	赵春山
编写说明	
第九章 建筑力学	1
第一节 静力学基本知识和基本方法	1
第二节 静定梁的受力分析、剪力图与弯矩图	11
第三节 静定结构的受力分析、剪力图与弯矩图	15
第四节 图乘法求位移	21
第五节 超静定结构	23
参考习题	30
答案	52
第十章 建筑结构与结构选型	54
第一节 概述	54
第二节 多层与高层建筑结构体系	59
第三节 单层厂房的结构体系	82
第四节 木屋盖的结构形式与布置	97
第五节 大跨度屋盖结构	103
参考习题	114
答案	117
第十一章 荷载及结构设计	119
第一节 建筑结构荷载及设计方法	119
第二节 砌体结构	137
第三节 钢筋混凝土结构	165
第四节 钢结构	227
第五节 木结构	259
参考习题	273
答案	293
第十二章 建筑抗震设计基本知识	295
第一节 概述	295
第二节 建筑结构抗震设计	308
参考习题	366
答案	370

第十三章 地基与基础	373
第一节 概述.....	373
第二节 地基土的基本知识.....	373
第三节 地基与基础设计.....	379
第四节 软弱地基.....	399
第五节 土坡稳定及挡土墙.....	403
参考习题.....	403
答案.....	406
附录 1 全国一级注册建筑师资格考试大纲	408
附录 2 全国一级注册建筑师资格考试规范、标准及主要参考书目	411
附录 3 2010 年度全国一、二级注册建筑师资格考试考生注意事项	417
附录 4 解读《考生注意事项》	419

第九章 建 筑 力 学

建筑力学包括静力学、材料力学、结构力学三部分内容。

第一节 静力学基本知识和基本方法

静力学研究物体在力作用下的平衡规律，主要包括物体的受力分析、力系的等效简化、力系的平衡条件及其应用。

一、静力学基本知识

(一) 静力学的基本概念

1. 力的概念

力是物体间相互的机械作用，这种作用将使物体的运动状态发生变化——运动效应，或使物体的形状发生变化——变形效应。力的量纲为牛顿（N）。力的作用效果取决于力的三要素：力的大小、方向、作用点。力是矢量，满足矢量的运算法则。当求共点二力之合力时，采用力的平行四边形法则：其合力可由两个共点力为边构成的平行四边形的对角线确定，见图 9-1(a)。或者说，合力矢等于此二力的几何和，即

$$F_R = F_1 + F_2 \quad (9-1)$$

显然，求 F_R 时，只需画出平行四边形的一半就够了，即以力矢 F_1 的尾端 B 作为力矢 F_2 的起点，连接 AC 所得矢量即为合力 F_R 。如图 9-1(b) 所示三角形 ABC 称为力三角形。这种求合力的方法称为力的三角形法则。

2. 刚体的概念

在物体受力以后的变形对其运动和平衡的影响小到可以忽略不计的情况下，便可把物体抽象成为不变形的力学模型——刚体。

3. 力系的概念

同时作用在刚体上的一群力，称为力系。

4. 平衡的概念

平衡是指物体相对惯性参考系静止或作匀速直线平行移动的状态。

(二) 静力学的基本原理

1. 二力平衡原理

不计自重的刚体在二力作用下平衡的必要和充分条件是：二力沿着同一作用线，大小相等，方向相反。仅受两个力作用且处于平衡状态的物体，称为二力体，又称二力构件、二力杆，见图 9-2。

2. 加减平衡力系原理

在作用于刚体的力系中，加上或减去任意一个平衡力系，不改变原力系对刚体的作用

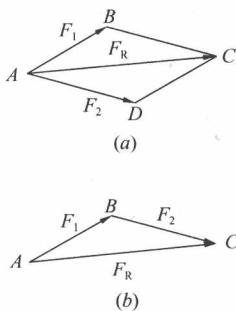


图 9-1 力的平行
四边形法则

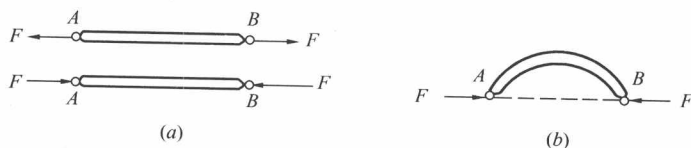


图 9-2 二力平衡必共线

效应。

推论 I：力的可传性。作用于刚体上的力可沿其作用线滑移至刚体内任意点而不改变力对刚体的作用效应。

推论 II：三力平衡汇交定理。作用于刚体上三个相互平衡的力，若其中两个力的作用线汇交于一点，则此三力必在同一平面内，且第三个力的作用线通过汇交点，如图 9-3 所示。

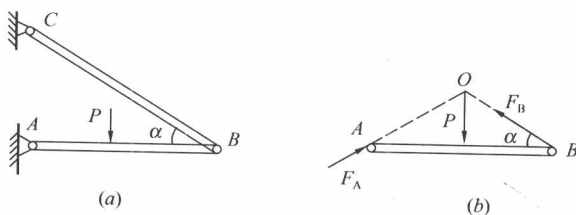


图 9-3 三力平衡必汇交

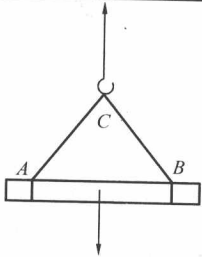
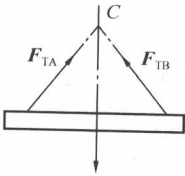
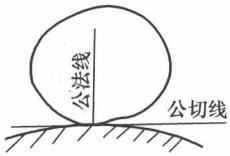
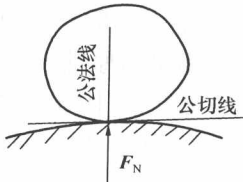
(三) 约束与约束力（约束反力）

阻碍物体运动的限制条件称为约束，约束对被约束物体的机械作用称为约束力（或约束反力）。约束反力的方向永远与主动力的运动趋势相反。

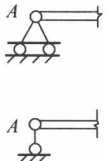
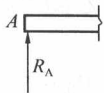
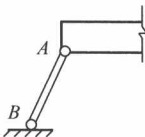
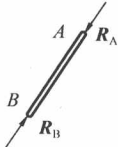
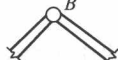
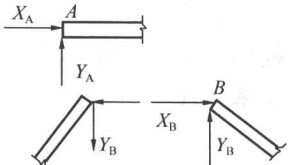
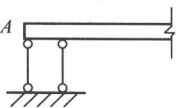
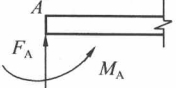
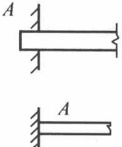
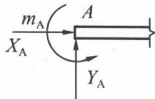
工程中常见的几种类型约束的性质以及相应约束力的确定方法见表 9-1。

几种典型约束的性质及相应约束力的确定方法

表 9-1

约束的类型	约束的性质	约束力的确定
 柔体约束（如绳索、胶带、链条等）	柔体约束只能限制物体沿着柔体的中心线伸长方向的运动，而不能限制物体沿其他方向的运动	 约束力必定沿柔体的中心线，且背离被约束的物体
 光滑接触约束	光滑接触约束只能限制物体沿接触面的公法线指向支承面的运动，而不能限制物体沿接触面或离开支承面的运动	 光滑接触面的约束力通过接触点，沿接触面的公法线并指向被约束的物体

续表

约束的类型	约束的性质	约束力的确定
 可动铰支座 (辊轴支座)	可动铰支座不能限制物体绕销钉的转动和沿支承面的运动, 而只能限制物体在支承面垂直方向的运动	 可动铰支座的约束反力通过销钉中心且垂直于支承面, 指向待定
 链杆约束	链杆约束只能限制物体沿连杆中心线方向的运动, 而其他方向的运动都不能限制	 链杆约束的约束反力沿着链杆中心线, 指向待定
 固定铰链支座  圆柱铰链 (中间铰)	铰链约束只能限制物体在垂直于销钉轴线的平面内任意方向的运动, 而不能限制物体绕销钉的转动	 约束反力作用在垂直于销钉轴线的平面内, 通过销钉中心, 而方向待定
 定向支座	定向支座只能限制物体沿支座链杆方向的运动和物体绕支座的转动, 而不能限制物体沿支承面的运动	 约束力可表示为一个垂直于支承面的力和一个约束力偶, 指向与主动力相反。
 固定端约束	固定端约束既能限制物体移动, 又能限制物体绕固定端转动	 约束反力可表示为两个互相垂直的分力和一个约束力偶, 指向均待定

例 9-1 图 9-4 所示支承可以简化为下列哪一种支座形式?

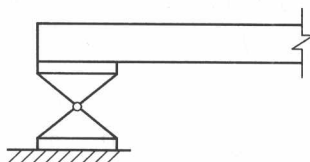


图 9-4



提示：支承所能约束的位移为水平位移、竖向位移。

答案：A

例 9-2 图 9-5 所示支承可以简化为下列哪一种支座形式？

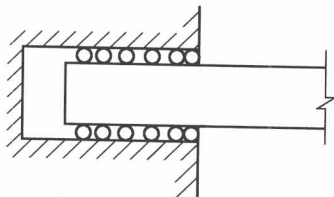
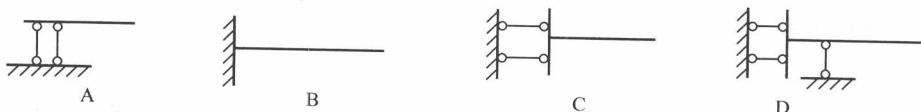


图 9-5



提示：支承所能约束的位移为转动和竖向位移。

答案：A

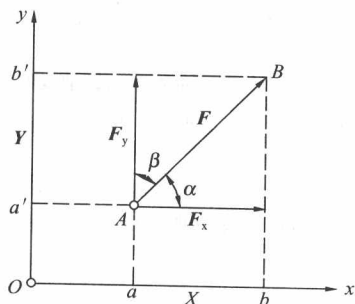


图 9-6

(四) 力在坐标轴上的投影

过力矢 F 的两端 A 、 B ，向坐标轴作垂线，在坐标轴上得到垂足 a 、 b ，线段 ab ，再冠之以正负号，便称为力 F 在坐标轴上的投影。如图 9-6 中所示的 X 、 Y 即为力 F 分别在 x 与 y 轴上的投影，其值为力 F 的模乘以力与投影轴正向间夹角的余弦，即：

$$X = |F| \cos \alpha$$

$$Y = |F| \cos \beta \quad (9-2)$$

若力与任一坐标轴 x 平行，即 $\alpha=0^\circ$ 或 $\alpha=180^\circ$ 时：

$$X = |F| \text{ 或 } X = -|F|$$

若力与任一坐标轴 x 垂直，即 $\alpha=90^\circ$ 时：

$$X=0$$

合力投影定理。平面汇交力系的合力在某坐标轴上的投影等于其各分力在同一坐标轴上的投影的代数和。

$$F_x = \sum X_i \quad F_y = \sum Y_i \quad (9-3)$$

例 9-3 平面力系 P_1 、 P_2 汇交在 O 点，其合力的水平分力和垂直分力分别为 P_x 、 P_y ，如图 9-7 所示。试判断以下 P_x 、 P_y 值哪项正确？

A $P_x=3\sqrt{3}$, $P_y=1$

B $P_x=3$, $P_y=3\sqrt{3}$

C $P_x=3$, $P_y=-\sqrt{3}$

D $P_x=3\sqrt{3}$, $P_y=3$

提示： $P_x=P_1 \sin 30^\circ + P_2 \sin 30^\circ = 3$