

公路与城市道路桥涵、隧道专业大专试用教材

钢筋混凝土及砖石结构学

(上册)

杨宏标 编

徐积善 审



北京科学技术出版社

内 容 提 要

本书根据公路、城市道路桥涵和隧道专业(大专)教学大纲和编者多年教学经验,并结合工程设计施工的需要编写而成。全书共三篇,包括钢筋混凝土结构学,预应力混凝土结构学和砖石结构学。书中对基本概念和计算公式进行了详细说明和推演,并附有例题和设计实例。书末附录备有供设计用的表格、数据。

本书系根据交通部现行新规范编写的,除可供作有关专业大专教材外,也适合成人教育和中专使用,对有关专业的土建设计施工人员也有参考价值。

钢筋混凝土及砖石结构学

杨宏标 编

徐积善 审

北京科学技术出版社出版

(北京西直门外南路19号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

昌平沙河建华印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 10印张 237千字

1989年3月第一版 1989年3月第一次印刷

印数1—6,800册

ISBN 7-5304-0426-1/T·78 定价: 4.50元

目 录

上 册

绪 论	1
第一篇 钢筋混凝土结构	7
第一章 材 料	7
§ 1 混 凝 土	7
§ 2 钢 筋	13
第二章 基本概念	16
§ 1 工作原理	16
§ 2 钢筋与混凝土之间粘结	16
§ 3 钢筋骨架组成	17
§ 4 保护层厚度及钢筋净距	20
§ 5 计算方法	20
第三章 受弯构件强度计算	23
§ 1 正截面构造	23
§ 2 正截面工作阶段	25
§ 3 正截面破坏特征	27
§ 4 正截面破坏界限	27
§ 5 单筋矩形截面正截面强度计算	30
§ 6 双筋矩形截面正截面强度计算	38
§ 7 T形截面正截面强度计算	43
§ 8 斜截面抗剪强度计算	51
§ 9 斜截面抗弯强度验算	58
§ 10 梁承载力图	59
§ 11 梁钢筋骨架构造	61
§ 12 钢筋混凝土构件施工图	64
第四章 受扭构件强度计算	73
§ 1 构造要求	73
§ 2 破坏特征	74
§ 3 矩形截面受扭构件强度计算	75
§ 4 矩形截面受扭构件配筋计算上、下限值	77
§ 5 T、箱形截面受扭构件计算特点	79

第五章	轴心受压构件强度计算	81
§ 1	普通箍筋柱强度计算	81
§ 2	螺旋箍筋柱强度计算	85
第六章	偏心受压构件强度计算	89
§ 1	构 造	89
§ 2	破坏特征	89
§ 3	大、小偏心受压的分界	92
§ 4	偏心受压长柱纵向弯曲影响	92
§ 5	矩形截面不对称配筋时强度计算	94
§ 6	矩形截面对称配筋时强度计算	105
§ 7	T形截面强度计算	108
§ 8	圆形截面强度计算	112
§ 9	环形截面强度计算	118
第七章	受拉构件强度计算	124
§ 1	轴心受拉构件强度计算	124
§ 2	偏心受拉构件强度计算	124
第八章	正常使用极限状态的计算	130
§ 1	最大裂缝宽度验算	130
§ 2	受弯构件挠度验算	133
第九章	施工阶段应力验算	137
§ 1	换算截面	137
§ 2	正应力验算	139
§ 3	主拉应力验算	140
§ 4	预制普通钢筋混凝土管桩存放、吊运及吊立时桩身应力验算	151

序

新规范颁布后，广大设计人员、施工人员、管理人员、大中专教师 and 在校学生，急需熟悉、消化和掌握新规范的适用范围和设计方法，并将其全面、准确地应用于各自所从事的工作中去。本书的出版将在这方面起积极的作用。

本书按照专科特点，根据交通部现行新规范JTJ021-85、JTJ022-85、JTJ023-85编写而成，可作为大专试用教材。

本书有以下特点：

1. 通俗易懂，精简扼要，概念明确，注重实用，便于自学。按专科教育规律，根据实际工程需要，对新规范的应用作了较全面的阐述。

2. 根据编者的教学经验，吸收国内外有关教科书的有益编排和论述方法，在编写中做了一些探索，注意到阐述中的点、线、面关系和基本概念及基本公式的来源和推演。

3. 为便于读者学习，编者在讲述每一重要概念和方法后，都列有实例，对培养学生综合运用所学基本知识和解决实际工程的能力是有利的。在各篇之末又附有综合设计例题。

本书适用于大专学校公路与城市道路工程专业、桥涵专业，也可供成人高校、中专有关专业使用。对从事上述各专业及其它土建类工程的设计、施工人员等，也有参考价值。

限于编者水平和时间，书中会有缺点和错误，敬希广大读者及时批评指正，以便进一步修改提高，谨此代为感谢。

徐积善

于北京 一九八八年七月

绪 论

1. 学习本课程的目的

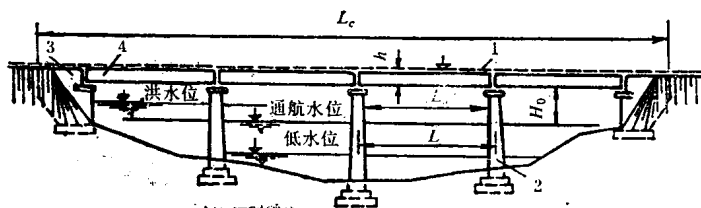
本书主要是研究桥涵工程中的钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、圬工结构基本构件的设计原理，它同《钢木结构》一起，都是为今后学习桥梁和其它道路人工结构物的设计打下牢固的基础。

2. 本课程研究的主要对象

在桥梁等构造物中，凡承受和传递荷载的部分统称为结构，而结构则由象桥面板、横梁、主梁、墩、台、拱圈、拉索等基本构件所组成(图0.0.1)。其中，根据受力与变形特点，可分为受拉构件、受压构件、受弯构件、受扭构件或几种受力状态组合作用的构件等。本课程即是以这些基本构件为主要研究对象的。

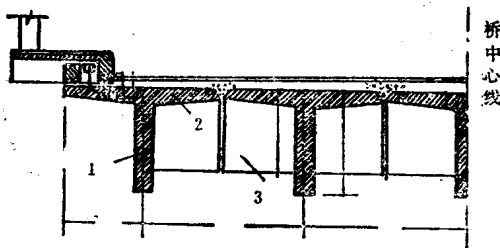
3. 本课程的基本任务

在设计基本构件及其间的连接时，要保证能安全的承受在制造、运输、吊装和使用等过程中会出现的各种荷载，并保证其有足够的耐久性、适用性，且尽量美观；同时，也要根据因地制宜、就地取材、便于施工和养护的原则，合理选择结构形式，以保证节约材料、降低造价、减少维修费用。学习本课程后应能达到上述要求。



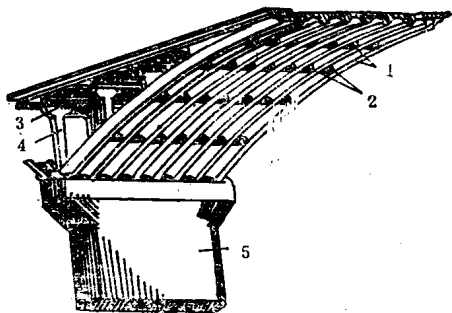
a) 梁式桥的基本组成部分

1—桥面； 2—桥墩； 3—桥台； 4—主梁



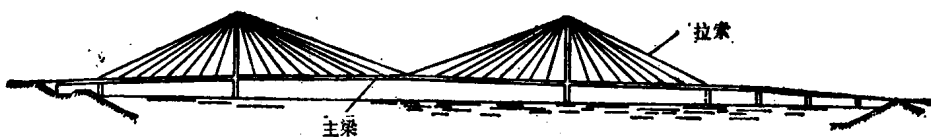
b) 装配式T形梁桥横断面

1—主梁； 2—乙缘（桥面板）； 3—横隔板（横梁）



c) 双曲拱桥上部构造的组成

1—拱肋； 2—横隔板； 3—盖梁； 4—立柱； 5—桥墩



d) 斜拉桥简图
图 0.0.1

4. 本课程的主要特点

(1) 研究荷载与结构材料特性之间的内在矛盾。即根据各构件受力特点, 结合材料特性, 讨论由荷载所引起的内力及构件对这种荷载作用所具有的抵抗能力, 从而建立构件的强度、稳定性、刚度和耐久性(疲劳、裂缝宽度)的计算公式, 并解决有关构造问题。因为结构构件的计算一般仅能初步确定构件主要部位的截面尺寸及钢筋数量等, 对于某些目前还不易正确控制的因素就要通过构造措施予以弥补。此外, 构件各部分尺寸除应满足受力要求外, 亦应考虑便于施工。故构造要求是结构设计中的一个重要组成部分而不应忽视。必需牢记, 没有正确的构造, 不可能保证结构设计的功能要求。

(2) 实验性。工程结构的计算理论是以大量实验为基础建立起来的, 因此, 在学习本课程时, 除要知道实验在建立计算理论中的重要地位和作用, 并懂得通过实验建立计算理论的基本道理之外, 还要明确在运用这些计算理论解决实际工程问题时, 必须注意它的适用条件、目前还存在的问题, 切忌不问具体情况盲目地生搬硬套。

(3) 多方案性。在保证结构设计要求的前提下, 答案常常不是唯一的, 设计亦不是一次即可告成, 往往需要考虑使用要求、材料条件、施工可能及经济造价等一系列实际问题, 进行综合分析比较, 反复修改, 反复验算, 才能作出较好设计。在学习本课程时, 要逐步掌握综合各种因素, 并去粗取精, 去伪存真, 由表及里, 抓住主要矛盾, 舍掉次要矛盾, 锻炼和提高进行分析比较的能力, 培养严谨的科学作风。

(4) 规范性。在进行结构设计时, 应严格按照有关技术标准和设计规范进行设计。因规范是有关部门总结我国建国以来的科研、设计、施工、运用等方面经验, 并参考国外先进技术制订出来的。本书即以中华人民共和国交通部部颁标准《公路桥涵设计通用规范(JTJ 021-85)》、《公路砖石及混凝土桥涵设计规范(JTJ 022-85)》、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范(JTJ 023-85)》为主要依据。对于一些特殊结构或创新结构, 可参照国家批准的专门规范或有关先进技术资料进行设计, 并应进行必要的科学实验。

(5) 实践性。学习本课程时, 必须理论联系实际。要搞好设计, 除要有扎实的基础理论外, 还要有施工、经济、使用等方面综合知识。这就要求参加工程实践, 从中吸取丰富的实际知识和分析问题的能力, 经过认识—实践—再认识—再实践这样反复过程, 把丰富的感性认识升华到理性认识。另外, 为培养设计能力, 须对数字计算、整理编写设计书、绘制施工图的基本技能提出严格要求。

5. 本课程地位

本书和《钢木结构》一样, 都是一门介于基础课与专业课之间的重要技术基础课, 它是在学习《道路建筑材料》、《材料力学》、《结构力学》等先修课程基础上, 结合桥梁和道路

工程中实际构件的工作特点进行研究，起到承上启下的作用。包含有：普通钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、圬工结构。这三种结构是我国目前公路桥涵与道路工程结构物广泛采用的结构，而公路钢桥目前甚少，但钢结构作为辅助性临时工程则较多；木结构因我国木材资源严重不足，为节约木材，国家一般禁止修建木桥；对于钢木结构内容将另作介绍。

6. 各种结构的优缺点

钢筋混凝土结构

优点：

- (1) 合理利用混凝土抗压强度和钢筋抗拉强度，共同受力，节约钢材；
- (2) 就地取材。除钢筋和水泥外，其它组成材料如砂、石子等皆可就地取材，节省造价，降低成本；
- (3) 适用性强。构件既可整体式现场浇筑，亦可在预制场或工地预制，然后进行装配。另外，各种土建类构造物都可广泛采用；
- (4) 可模性。构件在造型艺术上容易处理，根据需要可浇制成各种形状和尺寸；
- (5) 耐火性好，整体性好，抗震性能亦较好；
- (6) 耐久性好。因混凝土强度随时间的延长而增大，钢筋经混凝土严密包裹而不易锈蚀，故使用寿命可很长，几乎不需要维修和养护。

缺点：

- (1) 自重大。应用于大跨度承重结构将受到限制；
- (2) 浪费木材。若现场浇筑混凝土，须用木模板和脚手架，因而要耗费一定数量木材。宜采用装配拼接钢模板；
- (3) 施工受季节和天气影响较大。在雨天或冬天进行混凝土施工，应对浇筑、振捣和养护等工艺采取相应措施，确保工程质量。

预应力混凝土结构

优点：

- (1) 提高了构件抗裂度和刚度。因钢筋混凝土结构在使用荷载作用下总是带裂缝工作，影响耐久性，降低刚度。如对其施加预应力，则可不出现裂缝或大大推迟裂缝出现，不仅增加结构耐久性，且因无裂缝而增大截面抗弯刚度，再加上预加应力时会使梁产生反拱度，从而减小了梁的挠度；
- (2) 节省材料、减轻自重。由于采用高强度钢筋和高标号混凝土，可减少钢筋用量和减小构件截面尺寸，进而达到节省钢材和混凝土，减轻自重之目的。这对自重占很大比例的大跨度公路桥梁来说，有显著的优越性，故一般大跨度或重荷载结构，采用预应力混凝土结构是比较经济合理的。
- (3) 可减小梁的竖向剪力和主拉力。梁内曲线预应力筋可使支座附近截面内的竖向剪力减小，再因混凝土截面上预压应力的存在，在使用荷载作用下的主拉力也相应减小，有利于减薄梁的腹板厚度，这亦是减轻自重的原因之一；
- (4) 结构质量安全可靠。施加预应力时，预应力筋和混凝土都经受了一次强度检验。若在张拉钢筋时显示其质量良好，则使用期间亦将是安全可靠的，故从某种意义上说，预应力混凝土结构是一个预先检验过的结构；
- (5) 可作为装配式结构拼装的一种可靠手段。大型结构物分块预制或分段预制后，可

用预应力筋将它们牢固地拼装成整体。

缺点：

(1) 工艺较复杂，对施工质量要求较高；

(2) 需要专门的设备。如张拉机具、灌浆设备。先张法还要张拉台座，后张法得有一定加工精度的锚具，浪费钢材；

(3) 梁的预应力反拱不易控制，它会随混凝土的徐变增加而加大，可能造成桥面行车不通顺；

(4) 开工费用大，对跨径小、构件数量少的工程，成本较高。

圬工结构

优点：

(1) 易就地取材，价格便宜；

(2) 耐久性、耐火性好，维修费用低；

(3) 抗冲击能力强，振动小，整体稳定性好，超载能力大。这是因为圬工结构体积大、重量大、刚性大，当构件受力时，其恒载与活载相比，前者所占比例较大；

(4) 节约钢材、水泥、木材。

缺点：

(1) 自重大，块材强度低，需较大的截面尺寸和较好的地基处理；

(2) 砌筑费工费时，机械化程度低；

(3) 久震后易产生裂缝而失去抗拉能力，降低整体性；

(4) 砌体抗拉、抗弯强度低，一般仅适于建造受压结构。

7. 各种结构的合理使用范围

钢筋混凝土结构虽有缺点，但优点是主要的，故其应用极其广泛。如各种桥梁、涵洞、挡土墙、路面、水工结构物、港工和海工结构物及工业与民用建筑等。对于标准化、装配化的预制构件，更能保证质量、提高施工速度。相对于预应力混凝土结构而言，具有较好延性，对抗震更为有利。但因自重太大，将受到跨度的限制。

目前，我国在中小河流上使用钢筋混凝土建造的桥梁，种类多、数量大，在桥梁工程中占有重要地位。就公路装配式钢筋混凝土简支梁桥而言，在技术经济上合理的最大跨径约为20m左右。悬臂梁与连续梁桥合宜的最大跨径约为60~100m左右。象跨越能力较大的钢筋混凝土拱桥，在我国更是星罗棋布：从1964年创建双曲拱桥开始后十年内，就建成了4000多座、总长30万米。如渡口市箱形拱桥最大跨度达170m；河南前河大桥，最大跨径达150m；湖南长沙湘江双曲拱桥，包括伸向桔子洲上的支桥在内全长1500多米，等等。

预应力混凝土结构由于人为地克服了钢筋混凝土结构的主要缺点，故其应用范围在国内、外得到了迅猛发展。它将在公路和铁路桥梁、屋架、道路立交建筑、塔桅结构、飞机跑道、储液池、压力管道、船体结构、核反应堆、海洋工程等许多领域得到更为广泛的应用。尤其是它必将成为今后桥梁工程中应用最广的一种结构。

因为对于装配式钢筋混凝土简支梁桥，当其跨径超过20m左右时，不但钢材耗量大，而且混凝土开裂现象也往往比较严重，影响结构的耐久性。因此，在建桥实践中，当跨径大于20m，特别是30m以上的跨径，就往往采用预应力混凝土结构。目前，公路上预应力混凝土简支梁桥的跨径已做到50~60m。我国已为25、30、35、40m跨径编制了后张法装配式预应

力混凝土简支梁桥的标准设计。1973年竣工的河南洛阳黄河桥采用了67孔墩中心距为51.05m的装配式预应力混凝土±T形简支梁桥，全长达3428.9m。另外，对于跨越深水、深谷、大河、急流的大跨度桥梁，从结构受力、施工便利、节省材料等方面考虑，往往采用T型刚构桥、斜拉桥，连续梁桥等结构型式较好，而这些又必须采用预应力混凝土结构才有可能。目前，预应力混凝土悬臂梁、连续梁桥，最大跨径已接近250m。如我国已建成的预应力混凝土连续箱梁大桥，有湖北沙洋大桥，主桥为6孔，跨径为110m，而跨越沅水的湖南常德大桥主跨径达120m。对于预应力混凝土斜拉桥，我国建造很多，有上海松江泖港桥，其主跨径200m；济南黄河公路桥，其主跨径220m；天津永定新河桥，其主跨径260m；重庆长江公路大桥，为预应力混凝土T型刚构桥，共8孔，总长大于1000m，其中最大跨径达174m，达到了世界先进水平。

圬工结构在桥涵工程及其它道路工程中常用于以受压为主的结构，如拱桥的拱圈、桥墩、桥台、基础、挡土墙、涵洞、隧道的衬砌、护坡等。另外，它在水利工程及工业、民用建筑等许多领域都应用非常广泛。我国石拱桥、涵建造很多，并有悠久历史。1972年，在四川丰都县所建的九溪沟大桥，即为石拱桥，其跨径已达116m。目前，我国已建跨径在百米以上的石拱桥共有7座。

8. 荷载分类与组合

荷 载 分 类

公路桥涵设计所用的荷载分类如下：

(1) 永久荷载(恒载) 在设计使用期间，其作用位置、大小和方向不随时间变化，或其变化与平均值相比可忽略不计的荷载。

(2) 可变荷载 在设计使用期间，其作用位置、大小和方向随时间变化，且变化与平均值相比不可忽略的荷载。按其对于桥涵结构的影响程度，分为基本可变荷载(活载)和其它可变荷载。

(3) 偶然荷载 在设计使用期间，不一定出现，但一旦出现，其持续时间较短而数值很大。

上述各类标准荷载列于表0-1。

荷 载 组 合

设计桥涵时，应根据可能同时出现的作用荷载，选择下列荷载组合：

组合Ⅰ：基本可变荷载(平板挂车或履带车除外)的一种或几种加上永久荷载的一种或几种；

组合Ⅱ：基本可变荷载(平板挂车或履带车除外)的一种或几种加上永久荷载的一种或几种加上其它可变荷载的一种或几种；

设计弯桥时，当离心力与制动力组合时，制动力仅按70%计算。

组合Ⅲ：平板挂车或履带车加上结构重力、预应力、土的重力及土侧压力中的一种或几种；

组合Ⅳ：基本可变荷载(平板挂车或履带车除外)的一种或几种加上永久荷载的一种或几种加上偶然荷载中的船只或漂流物撞击力；

表 0-1

编号荷载分类		荷载名称	编号荷载分类		荷载名称
1	永久荷载 (恒载)	结构重力	12	基本可变 荷载(活载)	平板挂车或履带车
2		预加应力	13		平板挂车或履带车的土侧压力
3		土的重力及土侧压力	14	其它可变荷载	风 力
4		混凝土收缩及徐变影响力	15 可变荷载		汽车制动力
5		基础变位影响力	16		流水压力
6		水的浮力	17		冰压力
7	基本可变 荷载 (活载)	汽 车	18		温度影响力
8		汽车冲击力	19	支座摩阻力	
9		离 心 力	20	偶然荷载	地震力
10		汽车引起的土侧压力	21		船只或漂流物撞击力
11		可 变 荷 载	人 群		

注：如构件主要为承受某种其它可变荷载而设置，则计算该构件时，所承荷载作为基本可变荷载。

组合 V：桥涵在进行施工阶段的验算时，根据可能出现的施工荷载（如结构重力、脚手架、材料机具、人群、风力及拱桥的单向推力等）进行组合；

构件在吊装时，构件重力应乘以动力系数1.2或0.85，并可视构件具体情况作适当增减。

组合 VI：结构重力、预应力、土重及土侧压力中的一种或几种加上地震力。

上述各种组合中，组合 I 是只计及常遇荷载的主要设计组合，组合 II 是附加不经常出现荷载的附加设计组合，组合 III 是以平板挂车或履带车验算的验算组合，组合 IV 和组合 VI 为在主要设计组合中分别计入两种偶然荷载的偶然组合。

上述各类荷载均为标准荷载，其标准值可查阅《桥规》有关规定。当结构采用极限状态设计时，应根据不同的极限状态和荷载组合，给出不同的荷载安全系数，如式（1.2.3）；当用容许应力设计时，则应按不同的荷载组合给出不同的材料容许应力值。

第一篇 钢筋混凝土结构

第一章 材 料

§1 混 凝 土

一、强 度

(一) 实际强度

实际强度是实测具体材料所得强度，通常以几个与构件同时浇筑并同样养护的混凝土试块的平均强度来反映这一批混凝土的实际强度，以符号上面带“—”表示。在分析构件试验资料时，应以构件材料的实际强度为依据。

影响混凝土强度的因素很多，有水泥标号、骨料品种的性质和大小、水灰比大小、级配设计时各种材料的比例、试件制作方法、凝固时环境条件、混凝土龄期等，在进行试验时，还与试件形状和大小、试验方法、加载方法和速度等有关，因此，各项试验都需以某一规定条件的标准试件强度作为衡量混凝土强度质量的度量标准。

1. 立方体抗压强度($\bar{R}$)

立方体抗压强度（简称立方体强度）是用来衡量混凝土强度质量的一种标准。它是规定以边长为20cm的立方体，在温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 和相对湿度90%以上的潮湿空气中养护28天，依照标准制作，试件上下表面不涂润滑剂，在中心受压下，以每秒为0.15~0.25MPa的速度加压至试件破坏为止，以测得最大荷载时相应的平均压应力作为立方体强度（MPa）。

试验结果表明，立方体试件尺寸愈小，其强度愈大。当立方体边长采用30、15或10cm时，实测强度 $\bar{R}$ 值必须乘以下列强度换算系数，才能转换成标准立方体强度：

立方体试件尺寸 (cm)	强度换算系数
30×30×30	1.05
20×20×20	1.00
15×15×15	0.95
10×10×10	0.90

2. 棱柱体抗压强度($\bar{R}_l$)

在实际工程结构中，受压构件不是立方体而是棱柱体，即试件的高度 h 大于截面边长 b 者统称为棱柱体。其抗压强度与试件高度有关，随高度增大而减小，但当高度在 $h/b=3\sim4$ 左右时，则 $\bar{R}_l$ 变化不大。标准棱柱体试件尺寸为15×15×60cm，工程中也有用10×10×(30~45)cm或其它尺寸。按立方体试验的同样方法所测得的平均压应力值即为棱柱体抗压强度，又称轴心抗压强度（MPa）。

根据国内棱柱体抗压强度试验，并与相应立方体强度试验进行对比分析，并参阅国外资料，可认为混凝土棱柱体试件的抗压强度平均值 $\overline{R}_a$ 与立方体强度的平均值 $\overline{R}$ 之间，近似于简单线性关系。同时，考虑各种可能存在的试验误差及试件与实际结构受力情况的差异，并考虑到多年来取值习惯，偏安全地取用如下换算关系式（图1.1.1）^{〔2〕}：

$$\overline{R}_a = 0.7 \overline{R} \tag{1.1.1}$$

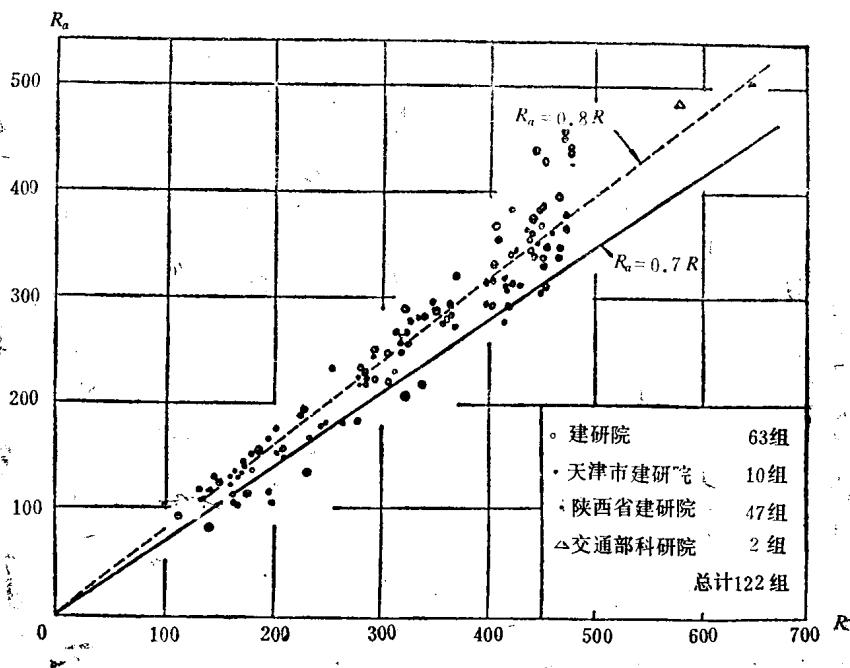


图 1.1.1 混凝土棱柱体抗压强 R_a 与立方抗压强度 R 的关系

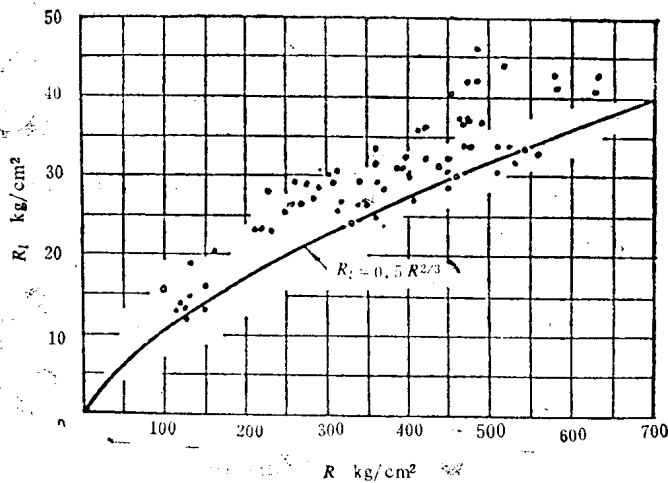


图 1.1.2 混凝土轴心抗拉强度 R_t 与立方强度 R 的关系

（注：图中数据仍用原实验数据， $1\text{kgf/cm}^2 = 10\text{N/cm}^2$ ，下同）

3. 轴心抗拉强度($\overline{R}_t$)

混凝土试件的轴心极限抗拉强度，直接与构件的抗裂性、剪力、扭矩、收缩应力、混凝土和

钢筋间粘结强度等的计算有关。混凝土轴心抗拉强度仅为立方体强度的 $\frac{1}{8} \sim \frac{1}{12}$ 左右, $\bar{R}$ 愈高, 则 $\bar{R}_t/\bar{R}$ 愈小。

目前, 用以研究混凝土轴心抗拉强度的试验量测方法很多, 常用的有直接受拉试验、劈裂试验、弯折试验等。

根据我国一些单位用72组简单方形截面 ($10 \times 10\text{cm}$) 直线试件, 两端对中预埋短筋, 进行直接受拉试验, 实测轴心受拉强度的平均值 $\bar{R}_t$ 与相应立方体强度的平均值 $\bar{R}$ 的关系, 当考虑试验误差及实际施工与实验室数据的差异, 偏安全取为 (图1.1.2) ⁽²⁾:

$$\bar{R}_t = 0.5 \bar{R}^{2/3} \quad (1.1.2)$$

4. 抗剪强度 ($\bar{R}_j$)

混凝土承受纯剪的现象在实际工程中很少遇到, 经常遇到的情况是伴有法向应力的剪应力。要通过试验求得正确的纯剪强度 $\bar{R}_j$ 也较困难。目前对此问题研究尚不够, 实用上估算混凝土的抗剪强度 $\bar{R}_j$ (MPa) 可用如下经验公式:

$$\bar{R}_j = 0.2 \bar{R} \quad (1.1.3)$$

5. 疲劳强度 ($\bar{R}_p$)

在多次重复荷载作用下 (重复几百万次), 混凝土的强度就会降低。因此, 混凝土在多次重复荷载作用下的破坏极限强度称为疲劳强度 (MPa)。 $\bar{R}_p$ 与荷载特征值 $\rho = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$ (即试件在多次重复荷载作用下, 于同一纤维上所产生的最小应力和最大应力之比)、荷载重复次数 n 等有关。 ρ 愈大, 则 $\bar{R}_p$ 愈大。对于桥梁结构, 通常要求能承受200万次以上的重复荷载作为确定混凝土疲劳强度的标准, 此时, 混凝土的疲劳强度值约为其棱柱体抗压强度的50%左右。对于公路桥梁, 因 ρ 值一般较大, 故我国《桥规》中未提出专门验算的规定条文。

(二) 标准强度

按统一标准浇筑的混凝土, 在各批之间是常发生差异的, 即使是同一次按相同配合比搅拌而得的混凝土试件, 按照统一方法在同一台试验机上进行试验, 所测得的强度也是不完全相同的, 此即材料强度的变异性 (离散性)。按材料的标准强度, 是考虑了上述的材料实际强度的变异性, 为统一材料质量要求而规定的材料强度标准值。混凝土的标准强度即是在保持和《公路桥涵施工技术规范》中规定的85%保证率相一致前提下, 其大小等于混凝土实际强度 (平均强度) 减去一个均方差, 它具有85%的保证率, 以右上角带“b”表示。

1. 立方体抗压标准强度 (R)

立方体抗压标准强度即混凝土标号, 习惯不用 R^b , 而用 R 表示。其大小为

$$R = \bar{R} - \sigma = \bar{R} (1 - C_v) \quad (1.1.4)$$

式中 $\bar{R}$ ——标准立方体试件在标准条件下所测得的抗压强度的平均值;

σ ——立方体试件抗压强度的均方差;

C_v ——立方体强度的变异系数 (离散系数), $C_v = \sigma/\bar{R}$, 按不同混凝土标号分别采用;

当 $R=15 \sim 20$ 号时, $C_v=0.167$;

当 $R=25 \sim 40$ 号时, $C_v=0.145$;

当 $R=50 \sim 60$ 号时, $C_v=0.123$ 。

把通过试验获得的 R 及 C_v 值代入式(1.1.4),即可得到这一批混凝土立方体抗压标准强度即混凝土标号。在桥涵工程中,用于公路桥梁承重部分的混凝土标号 R 有如下几级:15、20、25、30、40、50、60(MPa)。显然,在按式(1.1.4)得到的值若界于两个相邻标号之间时,则按较低一级处理。

混凝土标号是设计钢筋混凝土和预应力混凝土结构时选择混凝土材料的主要指标。应根据结构物的用途、尺寸、使用条件及经济和技术等因素综合考虑。一般地讲,作为钢筋混凝土构件的混凝土标号不宜低于15号,当采用Ⅱ级钢筋时,混凝土标号不宜低于20号。在预应力混凝土组合梁中,钢筋混凝土部分的混凝土标号不宜低于25号。对于预应力混凝土构件的混凝土标号不宜低于30号。当采用碳素钢丝、刻痕钢丝、钢绞线、热处理钢筋作为预应力筋时,混凝土标号不宜低于40号。

2. 轴心抗压标准强度(R_a^b)

其大小等于

$$R_a^b = \bar{R}_a - \sigma_a = \bar{R}_a (1 - C_{va}) \quad (1.1.5)$$

式中 $\bar{R}_a$ ——棱柱体试件的轴心抗压强度的平均值;

σ_a ——棱柱体试件轴心抗压强度的均方差;

C_{va} ——棱柱体试件轴心抗压强度的变异系数,可假定 $C_{va} = C_v$

由式(1.1.4),有

$$\bar{R} = \frac{R}{1 - C_v}$$

并代入式(1.1.1),则

$$\bar{R}_a = 0.7 \frac{R}{1 - C_v}$$

将其代入式(1.1.5),又因 $C_{va} = C_v$,则

$$R_a^b = 0.7R \quad (1.1.6)$$

由式(1.1.6)计算得到轴心抗压标准强度 R_a^b 值列于附表3。

3. 轴心抗拉标准强度(R_t^b)

其大小等于

$$R_t^b = \bar{R}_t - \sigma_t = \bar{R}_t (1 - C_{vt}) \quad (1.1.7)$$

式中 $\bar{R}_t$ ——混凝土轴心抗拉试件强度的平均值;

σ_t ——混凝土轴心抗拉试件强度的均方差;

C_{vt} ——混凝土轴心抗拉试件强度的变异系数,可假定

$$C_{vt} = C_v$$

把式(1.1.2)和 C_{vt} 值代入式(1.1.7),则

$$\begin{aligned} R_t^b &= 0.232 \bar{R}^{\frac{2}{3}} (1 - C_v) = 0.232 \left(\frac{R}{1 - C_v} \right)^{\frac{2}{3}} (1 - C_v) \\ &= 0.232 R^{\frac{2}{3}} (1 - C_v)^{-\frac{1}{3}} \end{aligned} \quad (1.1.8)$$

由式(1.1.8)计算得到的混凝土轴心抗拉标准强度 R_t^b 值列于附表3。

(三) 设计强度

设计强度是我国现行《桥规》给出的考虑了一定的安全储备后的材料强度计算值,是钢筋混凝土构件和预应力混凝土构件按现行《桥规》计算时所采用的材料强度数值。其大小等

于混凝土实际强度（平均强度）减去二倍均方差，它具有97.73%的保证率，以不带上标符号表示。

1. 轴心抗压设计强度（ R_a ）

其大小等于

$$R_a = \overline{R}_a - 2\sigma_a = \overline{R}_a (1 - 2C_{va}) \tag{1.1.9}$$

将 $\overline{R}_a$ 和 C_{va} 值代入上式 则

$$R_a = 0.7R \frac{1 - 2C_v}{1 - C_v} \tag{1.1.10}$$

由式（1.1.10）计算得到的轴心抗压设计强度 R_a 值列于附表3。

2. 轴心抗拉设计强度（ R_t ）

其大小等于

$$R_t = \overline{R}_t - 2\sigma_t = \overline{R}_t (1 - 2C_{vt}) \tag{1.1.11}$$

将 $\overline{R}_t$ 和 C_{vt} 值代入上式，则

$$\begin{aligned} R_t &= 0.232 \overline{R}^{\frac{2}{3}} (1 - 2C_v) \\ &= 0.232 \left(\frac{R}{1 - C_v} \right)^{\frac{2}{3}} (1 - 2C_v) = 0.232 R^{\frac{2}{3}} \frac{1 - 2C_v}{(1 - C_v)^{\frac{2}{3}}} \end{aligned} \tag{1.1.12}$$

由式（1.1.12）计算得到的混凝土轴心抗拉设计强度 R_t 值列于附表3。但对于50号和60号混凝土，考虑到其破坏时呈脆性破坏特征，加上工程实践经验不足，其强度取值按公式计算后再分别乘以折减系数0.95和0.90。

例1.1.1 某钢筋混凝土构件，按30号混凝土进行设计，试检验施工质量。并用公式校核附表中各项设计指标值。已知，在浇筑构件时，通过随机取样得到35个标准立方体（20×20×20cm）试块，在标准条件下进行养护和试验，测得各试块中心受压强度如下（MPa）：

40.0	41.5	36.9	38.7	38.7	40.7	40.9
41.6	40.6	40.7	41.4	47.1	42.8	42.1
47.1	39.5	47.3	49.0	43.5	41.7	43.7
47.5	43.8	44.1	36.1	36.0	39.0	34.0
43.9	44.5	45.6	45.9	41.0	38.9	41.5

解：根据数理统计知识，可求得该组数据 x_i 的各项统计特征值为：

$$n = 35$$

平均值 $\overline{R} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 41.93 \text{MPa}$

均方差 $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\overline{R} - x_i)^2}{n - 1}} = 3.56 \text{MPa}$

变异系数 $C_v = \frac{\sigma}{\overline{R}} = 8.44\%$

确定该批混凝土设计标号。

由式（1.1.4）得：

$R = \bar{R} - \sigma = 41.93 - 3.56 = 38.37 \text{MPa}$
 $> 30 \text{MPa}$, $< 40 \text{MPa}$, 按较低一级标号取为30号。满足设计要求。

下面求附表 3 中各项设计指标值。

轴心抗压标准强度由式 (1.1.6) 求得:

$$R_k^c = 0.7 \times 30 = 21 \text{MPa}$$

轴心抗拉标准强度由式 (1.1.8) 求得

$$R_k^t = 0.232 \times 30^{2/3} \times (1 - 0.145)^{1/3} = 2.10 \text{MPa}$$

轴心抗压设计强度由式 (1.1.10) 求得:

$$R_a = 0.7 \times 30 \times \frac{1 - 2 \times 0.145}{1 - 0.145} = 17.44 \text{MPa}, \text{ 取 } 17.50 \text{MPa}.$$

轴心抗拉设计强度由式 (1.1.12) 求得:

$$R_t = 0.232 \times 30^{2/3} \times \frac{1 - 2 \times 0.145}{(1 - 0.145)^{2/3}} = 1.77 \text{MPa}, \text{ 取 } 1.75 \text{MPa}.$$

二、变 形

(一) 混凝土极限变形

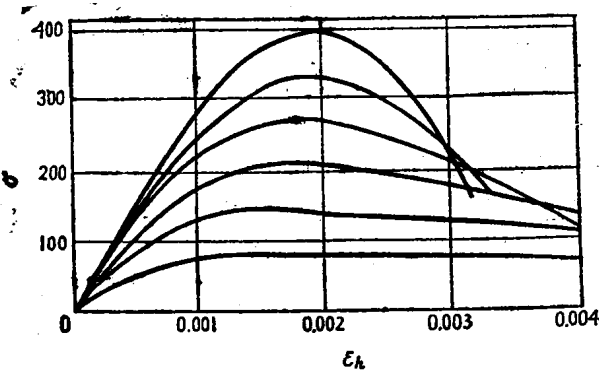


图 1.1.3 混凝土圆柱体不同标号的应力应变曲线

0.002, 计算时可取0.002。

对于非均匀受压构件 (如受弯构件、大偏心受压构件), 其极限压应变值一般为0.002~0.006, 有时可达0.008。

混凝土的受拉极限变形 $\epsilon_{t, \max}$ 比受压极限变形小很多, 仅为其 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{12}$, 对普通标号混凝土, $\epsilon_{t, \max}$ 值一般不超过0.00017, 计算时可取0.0001。

(二) 混凝土弹性模量

在计算结构变位、超静定结构内力、温度应力、构件在使用阶段截面应力时, 常把混凝土看作近似弹性材料进行分析, 此时, 需要用到混凝土的弹性模量。

中国建筑科学研究院对混凝土弹性模量做了大量试验, 提出如下经验公式:

$$E_k = \frac{10^6}{2.2 + \frac{330}{R}} \tag{1.1.13}$$