

钢筋混凝土 与砖石结构

张建仁 朱剑桥 主编

湖南科学技术出版社

要 容 内

钢筋混凝土与砖石结构

本书是根据《钢筋混凝土结构设计规范》(GB 50010-2010)和《砌体结构设计规范》(GB 50003-2011)等国家标准编写而成的。本书可作为高等院校土木工程、建筑学、城乡规划等专业及相关专业的教材，也可供从事土木工程的工程技术人员参考。

张建仁 朱剑桥

主编

张建仁 朱剑桥

梁 硕 合编

张克波 刘小燕

江苏工业学院图书馆
藏书章

湖南科学技术出版社

钢筋混凝土与砖石结构

主 编：张建仁 朱剑桥

责任编辑：何信媛 余 妆

出版发行：湖南科学技术出版社

社 址：长沙市展览馆路3号

印 刷：长沙交通学院印刷厂印刷

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址：长沙市赤岭路45号

邮 码：410076

出版日期：1995年7月第1版第1次

开 本：787×1092毫米 1/16

印 张：18.75

字 数：445000

印 数：1—3100

书 号：ISBN 7—5357—1799—3/TU·61

定 价：19.00元

湘新登字 004 号

内 容 提 要

本书是以我国交通部部标准《公路桥涵设计通用规范》(JTJ021—85)、《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》(JTJ022—85)和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ023—85)为主要依据编写的。全书共分三篇：钢筋混凝土结构，预应力混凝土结构，砖石结构。书中系统地阐述了钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和砖石结构构件在各种受力状态下的工作性能、破坏形态、计算原理、设计和构造要求，并提供了较多的计算实例，便于读者自学。

本书可供公路交通部门的工程技术人员、科学研究人员和高等学校“公路与城市道路”、“公路桥梁与隧道”专业师生阅读、参考。

前 言

《钢筋混凝土与砖石结构》是高等学校“公路与城市道路”、“公路桥梁与隧道”等专业的一门重要专业基础课。它主要研究钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和砖石结构构件的受力性能、设计计算方法及配筋构造等问题,为后来学习桥梁工程和其他道路人工构造物的设计计算打下基础。目前实行的交通部公路桥涵设计标准是1985年颁布的,鉴于1985年以来,设计理论在不断发展,需要补充和更新的内容较多,特别是有关概率极限状态设计法和部分预应力混凝土结构设计的内容,而且目前关于公路桥涵钢筋混凝土与砖石结构设计原理的参考书籍出版较少,我们编写了这本《钢筋混凝土与砖石结构》。

全书共分钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和砖石结构三篇,以我国交通部部标准《公路桥涵设计通用规范》(JTJ021-85)、《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》(JTJ022-85)和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ023-85)(以后三规范统一简称为《公桥规》)为主要依据。书中在介绍钢筋、混凝土和砖石等材料的物理力学性能和计算指标以及极限状态设计方法的基础上,系统地阐述了钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和砖石结构构件在各种受力状态下的工作性能、破坏形态、计算原理、设计和构造要求等问题。

全书力图体现作者长期从事《钢筋混凝土与砖石结构》教学工作所积累的经验,在内容编排上,由浅入深,循序渐进,理论联系设计实践,既讲清一般原理和基本概念,又介绍便于在工程设计中应用的实用和简化方法。此外,本书还提供了较多的实例,便于读者加深对所学内容的理解。

本书由张建仁、朱剑桥主编。张建仁、朱剑桥、张克波、刘小燕、梁硕共同编写。绪论、第二、三章由张建仁编写;第四、五、六、七章由朱剑桥编写;第一、十、十一、十四章由张克波编写;第八、九、十二、十五章由刘小燕编写;第十三章由梁硕编写。

由于我们水平有限,时间又较紧张,书中难免存在不妥之处,敬请读者批评指正。

作 者

1995年2月

绪 论

一、钢筋混凝土结构的一般概念及特点

钢筋混凝土是由两种物理、力学性能不同的材料——钢筋和混凝土组成的整体。在这两种材料中，混凝土的抗压强度较高，而抗拉强度却很低(约为抗压强度的 $1/8 \sim 1/18$)；钢筋的抗拉和抗压强度都很高。将钢筋和混凝土这两者结合在一起共同工作，使混凝土主要承受压力，钢筋主要承受拉力，可以达到充分发挥各自优势，物尽其用的目的。

图 0-1a、b 所示为两根截面尺寸、跨度、混凝土强度完全相同的简支梁，一根为素混凝土的，另一根为在受拉区配置适量钢筋的。通过受弯试验发现：素混凝土梁由于混凝土的抗拉强度很低，在不大的荷载作用下，受拉区边缘混凝土容易开裂，而一旦开裂发展，梁瞬间即脆断而破坏，所以梁的承载能力很低；对于在受拉区配置适量钢筋的梁，当荷载达到一定量值时，虽然受拉区仍出现裂缝，且在出现裂缝的截面处，受拉区混凝土脱离工作，但所配置的钢筋这时就发挥作用，承担几乎全部的拉应力。这样，钢筋混凝土梁不会像素混凝土梁那样立即断裂，而能继续承担荷载，直至受拉钢筋应力达到屈服强度，裂缝向上延伸，受压区混凝土达到其抗压强度而被压碎，梁才告破坏。因此，钢筋混凝土梁的承载能力比素混凝土梁提高很多，这显然是充分利用钢筋和混凝土两种材料的强度所取得的。

(一) 钢筋和混凝土的有效结合

钢筋和混凝土这两种物理、力学性能不同的材料之所以能有效地结合在一起共同工作，主要是由于以下三点：

(1) 混凝土和钢筋之间有着良好的粘结力，使两者可可靠地结合在一起，从而保证在荷载作用下构件中的钢筋能够与其外围的混凝土共同变形、共同受力。

(2) 钢筋和混凝土这两种材料的温度线膨胀系数比较接近(钢筋为 1.2×10^{-5} ；混凝土为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}$)，因此，即使温度变化较大，也不致产生较大的温度应力而破坏两者之间的粘结。

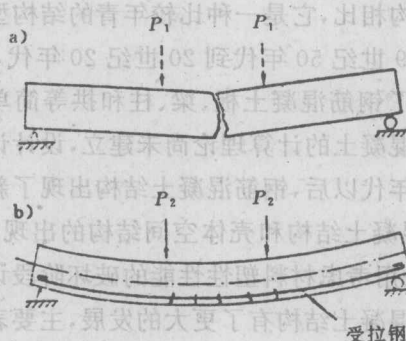


图 0-1

(3) 钢筋至构件边缘的混凝土作为保护层,能使钢筋不易产生锈蚀。

(二) 钢筋混凝土的优点

(1) 在正常使用条件下,钢筋混凝土结构中的混凝土强度随时间的增加而缓慢增长,且钢筋受混凝土保护,一方面不易生锈,使钢筋混凝土结构表现出较好的耐久性,不需要像钢结构那样经常保养和维修,另一方面发生火灾时不致很快达到软化温度而造成结构整体破坏,又使钢筋混凝土结构具有较好的耐火性。

(2) 钢筋混凝土结构,特别是现浇结构,整体性好,有利于抵抗地震、震动以及强烈爆炸的冲击波作用。

(3) 可模性好,结构造型灵活,可以根据使用需要浇制成各种形状和尺寸的结构。

(4) 混凝土中所占比例较大的砂、石材料,不但可以就地取材,而且还可以利用工业废料,起到保护环境的作用。

(5) 合理地发挥了钢筋和混凝土两种材料的性能,在某些情况下可以代替钢结构,从而节约钢材,降低造价。

正是由于钢筋混凝土具有上述一系列优点,所以在桥梁结构、建筑结构、地下结构、隧道结构、港口码头结构等多方面得到了广泛的应用。

但是,钢筋混凝土结构也存在一些缺点,例如,自重过大,这对于大跨度结构、高层建筑以及抗震都是不利的;抗裂性能较差,在正常使用时往往带裂缝工作;施工受气候条件限制;现浇混凝土时需耗用较多的木材;补强修复较困难等。这些缺点在一定程度上限制了钢筋混凝土结构的应用范围。然而,随着科学技术的不断发展,钢筋混凝土结构的这些缺点正在得到逐步克服和改善。例如,采用轻质高强混凝土可以降低结构的自重;采用预应力混凝土可以提高构件的抗裂性;采用预制装配式构件可以节省模板,加快施工进度。

二、钢筋混凝土结构发展简况

钢筋混凝土结构在 19 世纪中叶才开始得到应用,至今只有约 150 年的历史,与砖石、木、钢结构相比,它是一种比较年青的结构型式。

从 19 世纪 50 年代到 20 世纪 20 年代,是钢筋混凝土结构发展的初期阶段。在此期间,出现了钢筋混凝土板、梁、柱和拱等简单构件,所采用的混凝土强度和钢筋强度都较低,钢筋混凝土的计算理论尚未建立,设计计算方法是沿用材料力学中的容许应力法。20 世纪 20 年代以后,钢筋混凝土结构出现了新的发展,它的标志是装配式钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和壳体空间结构的出现,同时计算理论也有了新的进展,1938 年原苏联率先采用考虑材料塑性性能的破坏阶段设计法。第二次世界大战后,各国开展大规模建设,钢筋混凝土结构有了更大的发展,主要表现在材料强度不断提高,应用范围不断扩大,更为合理的极限状态设计法得到了愈来愈广泛的应用。

目前,常用的混凝土标号为 20 号~40 号($R=20\sim40\text{MPa}$),如果工程需要,标号为 80 号~100 号的混凝土也不难配制。为了减轻结构自重,轻质高强混凝土也在迅速发展,

它的容重一般为 $14 \sim 18 \text{ kN/m}^3$, 而强度可达到 50 MPa 。在国外, 常用的热轧钢筋的强度可达 $600 \sim 900 \text{ MPa}$, 热处理钢筋的强度一般为 $1250 \sim 1450 \text{ MPa}$ 。

由于材料强度的不断提高, 钢筋混凝土和预应力混凝土的应用范围越来越广泛。近三十年来, 钢筋混凝土和预应力混凝土在大跨度结构和高层结构中的应用有了令人瞩目的发展。如原联邦德国采用预应力混凝土建造了跨度为 90 m 的飞机库屋面梁; 挪威建成的 Skarnsundet 大桥主跨达 530 m , 是目前世界上跨度最大的预应力混凝土斜拉桥; 美国芝加哥水塔广场旅馆大楼达 76 层 (262 m), 是目前世界上最高的钢筋混凝土房屋; 加拿大多伦多国际电视塔高达 549 m , 是目前世界上最高的钢筋混凝土构筑物。

自 70 年代以来, 设计理论也得到了迅速发展, 主要标志是在结构设计中已开始采用以概率理论为基础的、以可靠度指标度量结构可靠性的分析方法, 使定值极限状态设计方法向更完善、更科学的概率极限状态设计方法的方向发展, 例如, 加拿大早在 1979 年就率先将结构可靠度理论引入桥梁设计规范中, 接着是英国和日本。此外, 随着对混凝土变形性能的深入研究、现代化测试技术的发展、有限元法和电子计算机的应用, 可以对构件甚至结构的受力全过程进行弹塑性分析。这样, 就使得钢筋混凝土的计算理论和设计方法更趋完善, 并向着更高的阶段发展。

钢筋混凝土在我国的应用始于 19 世纪末和 20 世纪初, 但直到解放前夕, 钢筋混凝土技术发展极为缓慢, 应用范围很窄, 大工程更是寥寥无几, 钢筋混凝土结构的设计皆袭用资本主义国家的一些旧方法。新中国成立后, 随着社会主义建设事业的蓬勃发展, 钢筋混凝土在我国工程建设中得到了迅速的发展和广泛的应用。

就钢筋混凝土在我国公路桥涵结构中的应用而言, 设计理论经历了如下几个阶段:

(1) 50 年代以前, 基本上没有单独的公路桥梁结构设计规范, 完全参照房屋或铁路桥梁结构设计规范, 即传统的容许应力设计法。

(2) 50 年代到 70 年代, 是我国公路桥梁结构设计规范逐步形成时期。最初主要是采用原苏联的桥梁结构设计规范(容许应力法), 如原苏联 1948 年编制的《公路桥涵设计规范》, 1961 年我国终于编制了自己的《公路桥涵设计规范》, 该规范结合我国具体情况增加了不少的内容, 但设计方法仍是传统的容许应力设计法。

(3) 1974 年我国编制的《公路桥涵设计规范》, 虽然仍是以容许应力设计法表达的, 但隐含有极限状态计算思想, 即在确定容许应力时按极限状态方程式表达。这种方法又称为新的容许应力设计法。

(4) 1985 年经交通部批准颁发的《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》, 明确规定采用极限状态设计法, 分别进行承载能力极限状态和正常使用极限状态计算。这表明我国公路桥梁钢筋混凝土结构设计理论已前进了一大步。

目前, 交通部公路规划设计院正在组织全国有关单位抓紧编制由国家计委下达任务的《公路工程结构设计统一标准》。该标准以结构可靠度理论为基础, 采用分项系数表达的概率极限状态设计法。它是修订公路工程结构设计和施工规范的依据, 按该标准修订的公路桥梁结构设计规范, 将使钢筋混凝土桥梁结构设计理论和方法更加先进和合理, 从而赶

上国内外钢筋混凝土结构设计的先进水平。

设计理论的不断更新,使我国的钢筋混凝土和预应力混凝土桥梁及其他结构得到了迅速发展,大跨径、特大跨径的桥梁和其他高层结构不断出现。例如1990年建成的长沙湘江北大桥为双塔单索面预应力混凝土斜拉桥,主跨为210m;1993年建成的郧阳汉江大桥为双塔双索面预应力混凝土斜拉桥,主跨达414m;目前正在修建的武汉长江二桥、安徽铜陵长江大桥、重庆长江二桥均为双塔双索面预应力混凝土斜拉桥,它们的主跨分别为400m、432m和444m,令人瞩目。此外,还有其他一些有名的建筑物,如深圳国际外贸中心45层(高150m);上海“东方之珠”电视塔高达468m,居亚洲第一。这些都表明钢筋混凝土结构在我国进入了一个新的发展时期。

三、学习本课程需要注意的几个问题

(1)《钢筋混凝土与砖石结构》主要研究钢筋混凝土、预应力混凝土、砖石及混凝土等构件的受力性能、设计计算方法及配筋构造等问题。它为今后学习桥梁工程和其他道路人工构造物的设计计算打下理论基础。本课程与材料力学既有不少相似之处,又有很多不同的地方。在学习时要着重从它与材料力学的不同方面来掌握钢筋混凝土的特点。

材料力学主要是研究单一、匀质、连续、弹性(或理想弹塑性)材料的构件。本课程主要研究的是由钢筋和混凝土两种材料组成的构件,而且混凝土是非匀质、非连续、非弹性的材料。因此,材料力学的公式可以直接加以应用的场合不多;而材料力学解决问题的一般方法,如通过几何、物理及平衡关系建立基本方程的途径,对钢筋混凝土却是适用的,不过在每一种关系的具体内容上还需要考虑钢筋混凝土性能上的特点。

(2)在学习本课程时,应着重了解构件的受力特点和变形特点,以及在此基础上建立起来的符合受力情况的力学计算图式。由于本课程与实际材性密切相关,而钢筋、混凝土和砖石等材性是各不相同的,故设计计算常常要依赖于科学试验的结果。因此,在进行理论推导时,经常要在计算公式中引进一些半理论半经验的修正系数,在学习和运用这些公式时要特别注意它的适用范围和限制条件。

(3)材料力学、结构力学等课程侧重于构件的应力分析和变形计算,它们中问题的解答往往是唯一的。而钢筋混凝土课程所要解决的不仅是强度和变形计算问题,主要是结构构件的设计,包括方案、截面型式及材料的选择、配筋构造等。结构设计是一个综合性的问题,需要遵循“安全、适用、经济、合理”的基本原则。同一构件在给定荷载下的设计,答案常常不是唯一的,而且设计计算也不是一次就可以获得成功的。通常要进行综合分析比较,才能做出合理的选择。因此,在学习本课程中,要注意学会对各种因素进行综合分析的设计方法。

(4)在学习《钢筋混凝土与砖石结构》中一定要学会运用《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》和《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》,这又是一个与力学课程不同的特点。上述规范的内容基本上贯穿了整个全书。应予强调的是,设计规范是国家颁布的关

于设计计算和构造要求的技术规定和标准,是带有一定约束性和立法性的文件。它对贯彻国家技术经济政策,保证设计质量起着十分重要的作用。因此,作为一个工程技术人员在设计过程中必须严格遵守设计规范中的各项规定。当然,设计规范也不是一成不变的,随着科学技术的不断发展和实践经验的逐步积累,设计规范将会得到不断的修订和增补。一般说来,各国钢筋混凝土结构设计规范大体每隔 10 年左右全面修订一次。因此,要用发展的观点看待设计规范,也就是说,在学习本课程时,注意力不应仅限于规范所列的条文公式,而且还要加强对扩充规范条文的有关内容的学习和理解。只有这样,才能适应设计规范的发展,不断提高设计工作水平。

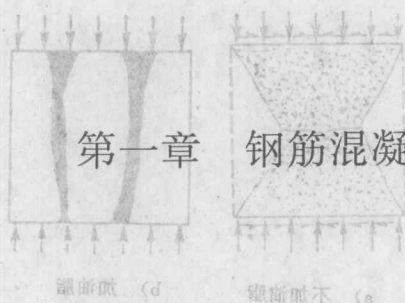
以上这些特点,都是同学们在已学课程中所未曾遇到过的问题,只有很好地认识它,并不断予以实践,才能较好地掌握本课程的内容。

101	.....	算十更距的封固能散普	廿一章
108	.....	算十更距的封固能散同	廿二章
111	.....	算十更距的封固能散受心耐	章十第
111	.....	目 录	廿一章
111	.....	算十更距的封固能散受心耐	廿二章
131	.....	算十更距的封固能散受心耐	廿三章
137	.....	算十更距的封固能散受心耐	廿四章
绪论	.....	算十更距的封固能散受心耐	廿五章
141	.....	算十更距的封固能散受心耐	章八第
141	.....	第一篇 钢筋混凝土结构	廿一章
141	.....	算十更距的封固能散受心耐	廿二章
第一章 钢筋混凝土结构材料的物理力学性能	.....		1
141	第一节 混凝土	.....	1
151	第二节 钢筋	.....	15
151	第三节 钢筋与混凝土的共同工作	.....	19
第二章 钢筋混凝土结构设计计算的基本原理	.....		21
151	第一节 结构设计的要求	.....	21
151	第二节 半概率、近似概率和全概率极限状态设计法	.....	24
161	第三节 现行《公桥规》的极限状态法计算原则	.....	25
161	第四节 荷载及材料强度取值	.....	28
第三章 受弯构件正截面强度计算	.....		32
171	第一节 受弯构件的截面形式与构造要求	.....	32
171	第二节 弯曲性能的试验研究	.....	37
173	第三节 单筋矩形截面	.....	46
181	第四节 双筋矩形截面	.....	53
181	第五节 单筋T形截面	.....	60
第四章 受弯构件斜截面强度计算	.....		68
191	第一节 概述	.....	68
201	第二节 无腹筋简支梁的受剪性能	.....	68
211	第三节 有腹筋简支梁的受剪性能	.....	74
231	第四节 钢筋混凝土简支梁斜截面强度计算	.....	76
231	第五节 钢筋混凝土简支梁抗剪钢筋设计与复核	.....	82
233	第六节 全梁承载能力校核及构造要求	.....	86
第五章 受扭构件的强度计算	.....		93
241	第一节 受扭构件试验研究	.....	93
241	第二节 矩形截面受扭构件强度计算	.....	96
241	第三节 T形、箱形截面受扭构件的计算特点	.....	103
第六章 轴心受压构件的强度计算	.....		104

第一节	普通箍筋柱的强度计算	104
第二节	间接箍筋柱的强度计算	108
第七章	偏心受压构件的强度计算	112
第一节	偏心受压构件的试验研究	112
第二节	矩形截面偏心受压构件的强度计算	119
第三节	矩形截面大偏心受压构件设计	129
第四节	矩形截面小偏心受压构件设计	137
第五节	圆形截面偏心受压构件的强度计算	141
第八章	受拉构件的强度计算	147
第一节	轴心受拉构件的强度计算	147
第二节	偏心受拉构件的强度计算	147
第九章	受弯构件的裂缝与变形计算	151
第一节	换算截面	151
第二节	受弯构件裂缝宽度验算	152
第三节	受弯构件的挠度(变形)计算	155
	第二篇 预应力混凝土结构	
第十章	预应力混凝土结构的基本原理	161
第一节	预应力混凝土的基本概念	161
第二节	预加应力的方法和锚、夹具	164
第十一章	预应力混凝土的材料及预应力损失	171
第一节	预应力混凝土的材料	171
第二节	张拉控制应力和预应力损失的估算	173
第十二章	预应力混凝土受弯构件	185
第一节	预应力混凝土受弯构件各受力阶段的分析与计算特点	185
第二节	承载能力极限状态计算	189
第三节	正常使用极限状态计算	194
第四节	局部承压计算	204
第五节	预应力混凝土受弯构件设计	213
第十三章	部分预应力混凝土结构设计原理	231
第一节	部分预应力混凝土结构的基本概念	231
第二节	部分预应力混凝土受弯构件的计算原理	233
第三节	部分预应力混凝土简支 T 梁设计示例	241
第四节	无粘结预应力混凝土简介	258

第三篇 砖石结构

第十四章 砖石结构的一般概念及材料的力学性能	261
第一节 砖石结构的一般概念.....	261
第二节 块材、砂浆和砌体.....	262
第三节 砌体的强度.....	265
第十五章 砖石构件的计算	271
第一节 极限状态设计法.....	271
第二节 轴心与偏心受压构件计算.....	272
第三节 局部承压计算.....	276
第四节 正截面受弯、直接受剪计算.....	277
主要参考文献	278



第一章

钢筋混凝土结构材料的物理力学性能

第一节 混 凝 土

混凝土是用水泥、砂子和石子三种材料,有时还加入减水剂或其他外加剂,用水拌和经过凝固硬化后制成的人工石材。混凝土应具备强度、耐久性和和易性这三个方面的性能,并满足对经济性等方面的要求。混凝土的物理力学性能即强度和变形性能,随上述组成材料的性质、配合比、龄期、制作方法和养护条件等的差异而有所不同。

(一)混凝土的强度

对混凝土进行强度试验时,如果所选择的试件的形状与尺寸、试验方法、加载条件和试件的受力性质等不同,测得的强度值亦不相同。因此,对每项试验需要规定一个标准作为依据。混凝土的主要强度指标是立方体抗压强度 R 、棱柱体抗压强度 R_c 和抗拉强度 R_t ,在设计和施工中应按不同受力情况,采用不同的强度作为判别标准和设计依据。

1. 立方体抗压强度(R)及标号

《公桥规》规定,作为混凝土基本强度指标的立方体强度是以边长为20cm的立方体,在温度为 $20\pm 3^\circ\text{C}$ 和相对湿度在90%以上的潮湿空气中养护28天,按标准制作和试验方法测得的抗压极限强度(MPa),也就是混凝土的标号,用符号 R 表示。立方体强度并不代表实际构件中混凝土的受力情况,但由于它的制作及试验比较简单,可作为在统一试验方法下衡量混凝土强度的相对指标。

有些国家如美国、日本和欧洲混凝土协会(CEB)采用直径 $d=150\text{mm}$,高度 $h=300\text{mm}$ 的圆柱体抗压试件的强度作为混凝土强度指标,符号为 f_c (美国)或 f_c (CEB)。 f_c 与边长为20cm的立方体强度 R 的换算关系大致为 $f_c=(0.7\sim 0.8)R(\text{MPa})$ 。在实际应用中,为了节约材料,减少工作量,也常采用边长为15cm或10cm的立方体试件。试验表明,由于“尺寸效应”,立方体边长越小,抗压强度越高。如果采用边长为15cm或10cm的立方体试件,则测得的抗压强度可通过尺寸效应换算系数换算成20cm的立方体强度,换算系数分别为0.95及0.9。

试验时所测混凝土强度的数值与试验方法有密切关系。试件在试验机上受压时,纵向要缩短,横向要扩张,亦即产生横向变形,因而在试件的上、下表面与试验机承压板的接触面上将产生一定的摩阻力,阻止了试件自由地产生横向变形,就好像在试件的上、下端各加了一个“套箍”,延缓了裂缝的发展,从而提高试件的抗压强度。破坏时,试件将沿斜向面破裂,继而四周混凝土剥落(图1-1a)。如果在试件上、下表面与承压板之间涂上一层油脂,使摩阻力减小到不能阻碍试件的横向变形,这时量测到的抗压极限强度较前者为小,

破坏时的裂缝大致与压力作用方向平行(图 1-1b)。按前述的标准试验方法是不涂油脂的。

除横向变形约束条件对抗压强度有影响外,加载速度也是影响混凝土抗压强度的因素之一。加载愈快,测得的强度愈高,通常试验时的加载速度约为每秒 0.15~0.3MPa。

混凝土标号是钢筋混凝土结构设计时选择材料的主要指标,应根据结构物的用途、尺寸、使用条件以及技术经济条件等因素综合考虑。《公桥规》中用于承重部分的混凝土标号分为

15、20、25、30、40、50 和 60 号 (MPa)。钢筋混凝土结构一般用低于 40 号的混凝土。

2. 棱柱体抗压强度(轴心抗压强度)(R_a)

混凝土的抗压强度不仅与试件的尺寸有关,也同它的形状有关。在实际工程中,一般受压构件不是立方体而是棱柱体,即构件

的高度远大于宽度或长度。因此,棱柱体的抗压强度更能反映混凝土的实际抗压能力,用棱柱体试件测得的抗压强度称为棱柱体抗压强度(轴心抗压强度)。

棱柱体试件是在与立方体试件相同的条件下制作的,试件表面不涂油脂。试验表明,棱柱体试件的抗压强度较立方体的为低,且试件高度与宽度之比 h/b 越大,则强度越低(图 1-2)。这是由于随试件高度的增加,承压板与试件之间的摩阻力对试件横向变形的约束力减小之故。当高宽比 $h/b > 3$ 时,棱柱体抗压强度变化很小,所以,为尽可能消除承压板与试件接触面之间摩阻力对抗压强度的影响,又能尽量避免试件因纵向弯曲产生的附加偏心而降低抗压强度,一般国内采用的棱柱体试件的高宽比 $h/b = 3 \sim 4$,但具体尺寸尚无统一规定。

图 1-3 为 122 组 $15 \times 15 \text{cm}$ 截面的棱柱体抗压强度试验结果。由图可见,棱柱体平均抗压强度 $\bar{R}_a$ 与立方体平均抗压强度 $\bar{R}$ 大致成直线关系,近似为 $\bar{R}_a = 0.8\bar{R}$,考虑到试验误差及多年来的实践经验,偏于安全地取用下式:

$$\bar{R}_a = 0.7\bar{R} \quad (1-1)$$

3. 抗拉强度(R_t)

混凝土的抗拉强度是钢筋混凝土结构设计中确定混凝土抗裂度的重要指标,有时也间接地作为衡量混凝土其他力学性能的指标,例如混凝土的冲切强度、混凝土与钢筋的粘结强度等。

混凝土的抗拉强度很小,一般约为 $(\frac{1}{8} \sim \frac{1}{12})R$ 左右,而且 R 越高, R_t/R 的比值越小,

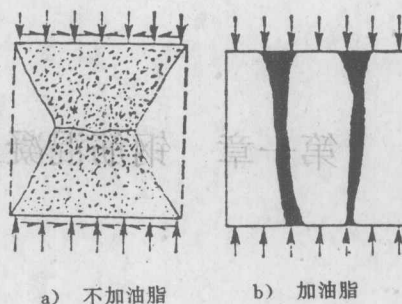


图 1-1

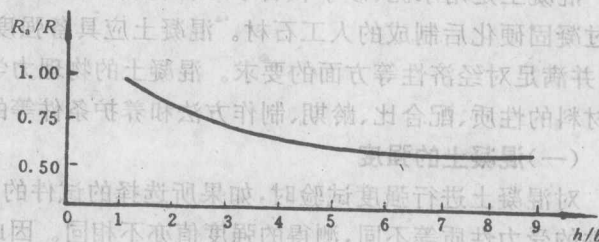


图 1-2 h/b 对 R_a/R 的影响

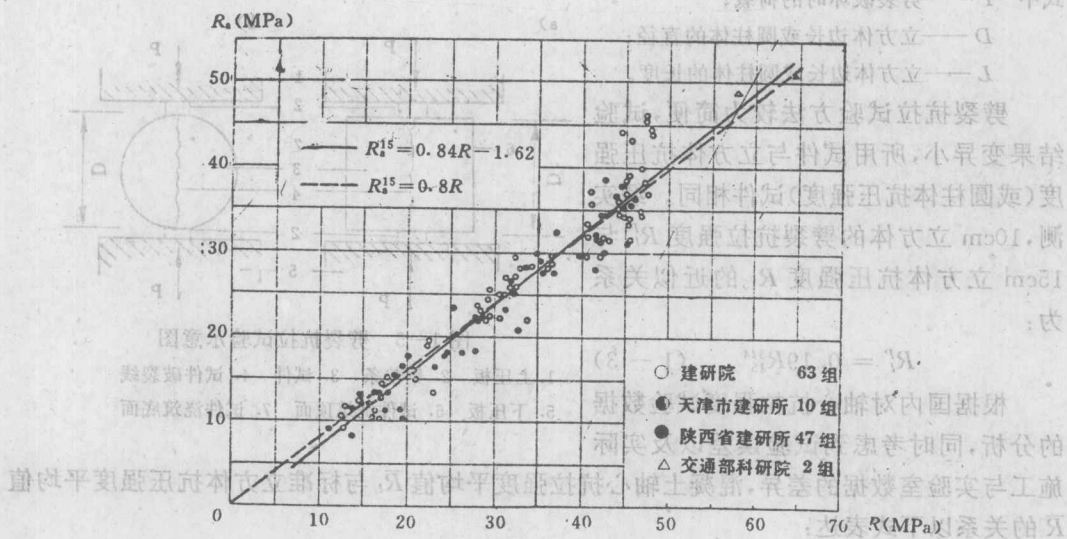


图 1-3 混凝土棱柱体平均抗压强度 R_s 与立方体平均抗压强度 R 的关系

即 R 提高后,相应的抗拉强度 R_t 提高却不大。

由于影响混凝土抗拉强度的因素较多,试件大小、形状、具体试验方法不同,测得的抗拉强度各有差异,至今还没有一种统一标准的抗拉试验方法和量测标准。目前混凝土抗拉强度的试验方法主要是直接轴向拉伸试验、劈裂试验以及弯折试验。

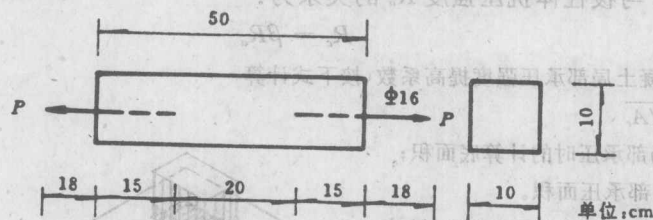


图 1-4 轴心受拉试件

直接轴向拉伸试验方法如图 1-4 所示,试件采用 $h/b=5$ 的棱柱体,两端对中预埋短筋,力求能使试件均匀受拉,试件破坏时的平均拉应力即为混凝土的轴心抗拉强度。这种试件的缺点是两端所埋设的钢筋难以对中,使试验结果的离散性较大。

目前,国内外常采用立方体或圆柱体试件的劈裂试验来测定混凝土轴心抗拉强度。如图 1-5 所示,在卧置的立方体(或圆柱体)与承压板之间放置垫条(一般为钢垫条),使上下形成对应条形加载。这样,在垂直面上就产生了拉应力,其方向与加载方向垂直且基本均匀,从而形成劈裂破坏。混凝土劈裂抗拉强度 R_t^f ,按弹性理论为:

$$R_t^f = \frac{2P}{\pi DL} \quad (1-2)$$

式中 P ——劈裂破坏时的荷载;

D ——立方体边长或圆柱体的直径;

L ——立方体边长或圆柱体的长度。

劈裂抗拉试验方法较为简便,试验结果变异小,所用试件与立方体抗压强度(或圆柱体抗压强度)试件相同。经实测,10cm 立方体的劈裂抗拉强度 R_t^p 与 15cm 立方体抗压强度 R_{15} 的近似关系为:

$$R_t^p = 0.19R_{15}^{3/4} \quad (1-3)$$

根据国内对轴心抗拉强度试验数据的分析,同时考虑到试验误差以及实际施工与实验室数据的差异,混凝土轴心抗拉强度平均值 $\bar{R}_t$ 与标准立方体抗压强度平均值 $\bar{R}$ 的关系以下式表达:

$$\bar{R}_t = 0.232\bar{R}^{2/3} \quad (1-4)$$

4. 局部承压强度 (R_c)

局部承压强度是实际工程结构中常遇到的混凝土强度问题,如柱、基础和桥墩等结构直接承受或通过垫板传来的局部集中荷载,或是预应力混凝土结构中张拉锚具下的局部承压(图 1-6)。局部荷载作用下的混凝土因受周围混凝土的约束,从而提高了局部承压面积部分的混凝土强度,其强度值由荷载作用位置、局部承压面积大小而定。根据试验,局部承压强度 R_c 与棱柱体抗压强度 R_a 的关系为:

$$R_c = \beta R_a \quad (1-5)$$

式中 β ——混凝土局部承压强度提高系数,按下式计算

$$\beta = \sqrt{A_d/A_c}$$

A_d ——局部承压时的计算底面积;

A_c ——局部承压面积。

5. 复合应力状态下的混凝土强度

在实际工程结构中,构件通常受到轴力、弯矩、剪力、扭矩的不同组合作用,因此混凝土很少处于理想的单向受力状态,而更多的是处于双向或三向受力状态。研究这种复合应力状态下的混凝土强度问题,是很有实际意义的。由于混凝土材性的特点,至今仍未能建立起完善的强度理论。目前,在实际应用中大多采用以试验结果为依据的经验公式。

在双向或三向受压状态中,由于侧向压应力的存在,约束了侧向变形,延迟和限制了沿纵轴方向的内部微裂缝的发生和发

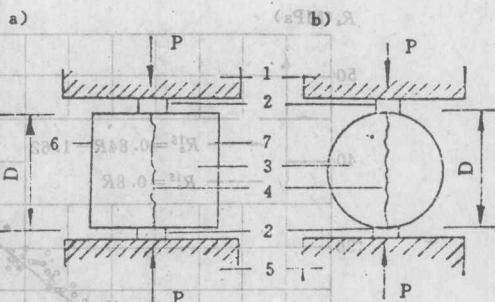


图 1-5 劈裂抗拉试验示意图

1. 上压板 2. 钢垫条 3. 试件 4. 试件破裂线
5. 下压板 6. 试件浇筑顶面 7. 试件浇筑底面

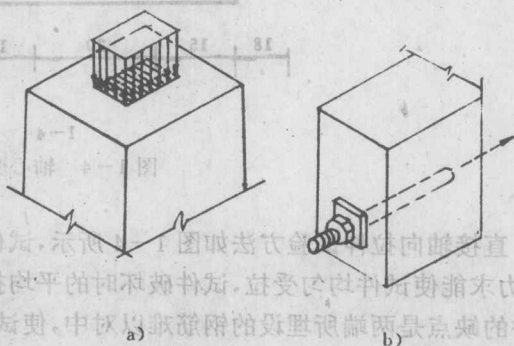


图 1-6 局部承压