

技术情报资料

第 8 0 0 1

结 构 类

轻混凝土构件和结构计算

〔苏〕 Ю.И.奥尔洛夫斯基
A.A.库德梁采夫

国家建工总局东北建筑设计院

一九八〇年一月

Ю.И.Орловский А.А.Кудрявцев
РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ И КОНСТРУКЦИЙ
ИЗ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ

«БУДІВЕЛЬНИК» КИЕВ—1976

轻混凝土构件和结构计算

甄文彬 译 朱太儒 校

东北建筑设计院情报室出版
东北建筑设计院印刷厂印刷

目 录

第一章	概 论	1
	轻骨料混凝土的应用。混凝土的设计标号	1
	轻混凝土的主要性能和指标	9
第二章	轻混凝土构件计算与设计的基本规定	23
	一般计算规定	23
	预应力构件计算特点	25
	轻混凝土构件设计的一般构造要求	31
	钢筋锚固	33
	轻混凝土构件的配筋特点	37
	钢筋的接头和钢筋制品	40
第三章	按第一种极限状态计算混凝土与钢筋混凝土构件	45
	混凝土构件强度计算	45
	钢筋混凝土构件正截面强度计算	51
	钢筋混凝土构件斜截面强度(按剪力)计算	59
	受扭兼受弯构件空间截面强度计算	66
	构件的冲切与切裂计算	73
	钢筋混凝土构件疲劳计算	74
第四章	按第二种极限状态计算钢筋混凝土构件	83
	钢筋混凝土构件的裂缝形成计算	83
	钢筋混凝土构件的裂缝开展计算	95
	钢筋混凝土构件的裂缝闭合计算	97
	钢筋混凝土构件的变形计算	98
	参考文献	108

第一章 概 论

轻骨料混凝土的应用 混凝土的设计标号

采用轻混凝土和轻混凝土结构,是今后几年提高建筑效率的主要方向之一。近几年来,苏联和国外在房屋和构筑物的建筑中,不但广泛使用各种骨料的轻混凝土作结构-保温材料,而且作结构材料。

虽然有了一些轻混凝土结构的设计经验,但对轻混凝土结构的计算问题,在标准文献和科技文献中阐述的不够,其原因主要是轻混凝土的多样性,每一种轻混凝土都具有自己的特殊性能,这些性能在构件和结构计算中都应适当予以考虑。

按照建筑法规(СННП) I—21—75规定,在强度、不透水性、抗冻性的设计标号相同的情况下,密实轻骨料水泥混凝土同重混凝土一样,可应用到装配式、装配整体式和现浇结构,同时要考虑到轻骨料混凝土性能的特点(弹性模量较低,收缩和徐变较大,抗磨性较高等)。

轻骨料混凝土同重混凝土相比具有很多优点:容重较小、导热系数较低、耐火度较高。在建筑中使用轻骨料混凝土,由于其初始弹性模量较低,提高了构筑物的柔性,加之其震动能量吸收系数值较大,还可以减小地震荷载〔22〕。因此,这种混凝土是地震地区及承受动荷载的结构(道路板、桩、桥梁的跨空结构、跨线桥、轨枕等)的重要建筑材料。

按照СННП I—21—75规定,轻混凝土按其结构、容重、胶结材和骨料的品种、骨料的颗粒组成和硬化条件进行分类。根据这些特征来确定各种轻混凝土的应用范围(表1)。

轻骨料混凝土的分类和应用

表 1

分类特征	混 凝 土 类 别	应 用 结 构
结 构	密实轻骨料混凝土: 骨料(粗骨料和细骨料、或只有细骨料)颗粒之间的空隙完全充满了硬化胶结材	用于承重结构、有不透水性、较高抗冻性要求的结构
	大孔(少砂和无砂)轻骨料混凝土: 粗骨料颗粒之间的空隙未被细骨料和硬化的胶结材充满	只用于承受压力(砌块或现浇墙体等)的混凝土结构
	气泡轻骨料混凝土: 粗骨料(或粗细骨料)颗粒之间的空隙充填着硬化的泡沫或加气胶结材,混凝土混合料中的空隙占6%以上	只用于围护结构

续表 1

	多孔混凝土: 无粗骨料, 有人造气孔, 孔壁是由硬化的胶结材同细散的硅质成分混合物构成	主要用于围护结构, 及用于保温
容 重	次轻轻骨料混凝土 — 容重为1800至2200公斤/米 ³	主要用于承重结构
	轻轻骨料混凝土 — 容重为500至1800公斤/米 ³	主要用于围护结构 (容重小于1400公斤/米 ³ 的), 也用于承重结构 (容重大于1400公斤/米 ³ 的)
	特轻轻骨料混凝土 —— 容重小于500公斤/米 ³	用于保温
胶 结 材 品 种	水泥轻骨料混凝土	无特殊要求 (见下) 时, 可用于各种场合
	硅酸盐 (用石灰胶结材) 轻骨料混凝土	只用于工厂生产的装配式混凝土和钢筋混凝土构件
	石膏胶结材轻骨料混凝土	用于室内围护结构
	混合胶结材 (石灰—水泥、石灰—矿渣、水泥—矿渣等) 轻骨料混凝土	只用于混凝土制品和构件
	特种胶结材 (有机和无机) 轻骨料混凝土	有特殊要求时 (如, 对混凝土的耐火、耐化学侵蚀、膨胀有要求) 采用
骨料品种	人工轻骨料混凝土 天然轻骨料混凝土	用于轻和次轻混凝土
骨料的颗 粒 组 成	粗骨料轻混凝土: 粗细骨料均有	用于大多数场合
	细骨料混凝土: 只有细骨料	用于钢丝网水泥结构; 用于装配式结构填缝; 技术经济效果好时, 代替粗骨料混凝土, 用于对敷设在结构孔、槽、表面的预应力钢筋防锈, 及保证钢筋与混凝土的粘结

续表 1

硬化条件	自然硬化轻骨料混凝土	主要用于夏季现浇结构 和用台座生产的装配式构件
	蒸养轻骨料混凝土	用于工厂生产的装配式 构件和低温下的现浇结构
	蒸压轻骨料混凝土	主要用于工厂生产的气 孔轻骨料混凝土和细骨料混 凝土构件

混凝土依据加入配料中的粗细骨料的品种和水泥石的密度分为：密实轻骨料混凝土、密实加气剂轻骨料混凝土、气泡轻骨料混凝土、大孔轻骨料混凝土。

轻骨料混凝土的定名由粗骨料的名称决定。粗骨料可采用：1、人造轻骨料，既包括经过加工的天然材料（粘土陶粒、多孔烧结料、珍珠岩、蛭石、石墨页岩陶粒），也包括工业废料（矿渣浮石、粉煤灰陶粒、矿物燃料粉状燃烧渣）；2、天然轻骨料：火山生成的浮石、凝灰岩、溶渣、火山灰、或沉积生成的蛋白石、海棉岩、硅藻岩、贝壳石灰岩、多孔石灰凝灰岩（表2）。

人工轻骨料混凝土的分类

表 2

混 凝 土 品 种	细 骨 料 品 种	R (公斤 力/厘米 ²)	γ (公斤/米 ³)
粘土陶粒混凝土	石英砂	75~500	1100~1900
	石英砂—陶砂混合骨料	50~500	1000~1800
	陶砂	35~400	900~1700
	热电站粉煤灰	50~100	1200~1500
	珍珠岩砂	35~150	800~1300
	石英砂，加气12%以下	35~300	900~1800
	多孔（20%以下）料浆	35~150	800~1300
	无砂（大孔）	15~50	600~700
矿渣浮石混凝土	石英砂	200~400	1800~2000
	矿渣浮石砂	50~400	1300~2000
	热电站粉煤灰	50~100	1300~1700
	珍珠岩砂	35~150	1000~1400
	矿渣浮石砂，加气	35~200	1000~1700
	多孔料浆	35~150	900~1500
	无砂（大孔）	15~75	800~1000

续表 2

烧结料混凝土	石英砂	200~500	1700~1900
	石英砂—烧结砂混合骨料	150~500	1500~1900
	烧结砂	50~300	1300~1800
	珍珠岩砂	35~150	1000~1500
	多孔料浆	35~100	1000~1400
硅藻岩陶粒混凝土	石英砂	250~500	1700~1900
	硅藻岩砂	100~400	1600~1900
	珍珠岩砂	50~150	1200~1500
粉煤灰陶粒混凝土	石英砂	100~300	1200~1600
	热电站粉煤灰	50~100	1000~1400
	多孔料浆	35~100	900~1300
	珍珠岩砂	35~100	800~1300
粉煤灰烧结料 混 凝 土	石英砂	100~400	1300~1800
	破碎烧结砂	50~200	1000~1300
	珍珠岩砂	35~150	900~1300
	多孔料浆	35~150	1000~1400
石 墨 页 岩 陶 粒 混 凝 土	石墨页岩陶砂	35~100	900~1300
	石墨页岩陶砂—石英砂混合骨料	50~150	1100~1500
	珍珠岩砂	35~150	800~1200
	珍珠岩砂—石英砂混合骨料	50~200	900~1500

细骨料的品种对混凝土的强度和变形性能有很大影响。上述粗骨料的人工砂、天然砂、水淬高炉渣、密致岩石砂，以及多孔砂同密实砂混合骨料，常被用作细骨料。当细骨料中多孔砂的含量超过30%时，其各种计算指标和规定，均按多孔砂混凝土采用。当有相应的试验和经济根据时，容许采用热电站粉煤灰作细骨料。

所有骨料均应符合现行全苏国家标准（ГОСТ）或技术规范。

用密实砂，如石英砂制备的混凝土具有较好的结构性能。但是，为了降低混凝土的容重，尤其是对于围护结构，用多孔砂作细骨料，或将水泥石气孔化比较合理。

采用同粗骨料同样品种的多孔砂代替密实砂，可使混凝土的容重降低10~20%，同时，弹性模量显著降低，达20~30%时，混凝土的收缩和徐变增大15~30%。

采用膨胀珍珠岩砂作细骨料代替密实骨料，可使混凝土容重降低25%～30%。但是，珍珠岩砂混凝土具有较高的变形特性。珍珠岩砂混凝土的弹性模量，比密实砂混凝土低20～35%，收缩高20～30%，徐变大1～1.5倍。此外，这种混凝土的抗拉强度低15～20%。

加气在水泥石中形成8～12%的气泡（低孔隙化），使混凝土的容重降低不多（3～5%），但可改善混合物的和易性。加气对混凝土的结构性能基本没有影响。因此，可把使用加气剂的混凝土视为普通密实轻混凝土。

加气在水泥石中形成15～20%的气泡（高孔隙化），可使混凝土的容重降低10～18%，同时，混凝土的弹性模量降低15～20%，收缩增大15～20%，徐变增加2～4倍。气泡混凝土的抗拉强度基本没有降低。

大孔轻骨料混凝土属于保温混凝土，以墙砌块用于围护结构，或同结构混凝土相配合，用于复合结构。其结构性能不稳定、不均匀。

为了便于进行结构计算和设计，按照在长期荷载作用下的结构性能，将轻混凝土进行分组（表3）。

轻混凝土按结构性能分组

表 3

组 别	混 凝 土 品 种	在正常温-湿度条件下 混凝土流变特性变化范围	
		收 缩 率 $\varepsilon_y \cdot 10^{-5}$	单位徐变变形 $C \cdot 10^{-6}$
I	密实轻混凝土（非孔隙化）：用除珍珠岩砂和热电站粉煤灰外的各种多孔细骨料制备的粘土陶粒混凝土、矿渣浮石混凝土、烧结料混凝土、粉煤灰陶粒和石质浮石混凝土	30～45	3～7
II	密实轻混凝土（非孔隙化）：用硅藻岩和粉煤灰陶粒、贝壳石灰岩，及除珍珠岩砂和电站粉煤灰砂外的各种细骨料制备的混凝土	40～60	6～15
III	用电站粉煤灰砂、珍珠岩砂制备的I、II组混凝土或气泡水泥混凝土；火山渣、凝灰岩混凝土（砂的品种不限）	50～200	14～35
IV	大孔轻混凝土	35～60	—

容重是轻骨料混凝土的基本分类特征（表4）。容许采用干燥状态下最大容重超过表4所列的轻骨料混凝土，但是最大不能超过2200公斤/米³。这种混凝土的结构计算，按容重1800公斤/米³的混凝土进行。

干燥至恒重的轻骨料混凝土容重近似值 (吨/米³)

表 4

粗骨料的松散容重 (公斤/米 ³), 但不超过	密 实 轻 混 凝 土										用和粗骨料同品种多孔砂制备的混凝土										石 英 砂 混 凝 土				
	容重为200~300公斤/米 ³ 的膨胀珍珠岩砂混凝土										混 凝 土 抗 压 强 度 标 号 R														
	大孔和气泡混凝土																								
	15~25	35	50	75	100	150	200	250	300	150	200	250	300	150	200	250	300	350	400						
陶 粒 混 凝 土																									
350	0.65	0.7	0.85	0.65	0.7	0.8	0.85	0.8	0.85	0.95	1.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
400	0.7	0.8	0.9	0.7	0.8	0.9	1.0	0.9	0.95	1.0	1.15	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
500	0.8	0.9	1.0	0.85	0.9	1.0	1.1	1.0	1.05	1.1	1.2	1.3	—	1.55	1.55	—	—	—	—	—					
600	0.9	0.95	1.05	0.95	1.0	1.1	1.2	1.15	1.2	1.25	1.3	1.4	1.5	1.6	1.65	1.65	1.65	1.7	1.75	—					
700	—	1.0	1.1	1.05	1.1	1.2	1.35	1.3	1.35	1.4	1.45	1.5	1.55	1.6	1.65	1.65	1.75	1.7	1.75	1.75					
800	—	1.1	1.2	1.15	1.2	1.3	1.4	1.4	1.45	1.5	1.55	1.6	1.65	1.7	1.75	1.75	1.85	1.8	1.85	1.8					
珍 珠 岩 混 凝 土																									
300	0.5*	—	—	0.6	0.7	0.85	0.95	0.7	0.85	0.95	1.15	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
400	0.6*	—	—	0.7	0.8	0.9	1.0	0.8	0.9	1.0	1.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
烧 结 料 混 凝 土																									
500	0.8	0.9	1.0	0.9	0.95	1.05	1.15	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	—	1.65	1.65	—	—	—	—	—					
600	0.9	1.0	1.1	1.0	1.05	1.15	1.25	1.2	1.3	1.4	1.55	1.65	—	1.7	1.7	1.75	1.75	1.8	1.85	—					
700	1.0	1.1	1.2	1.1	1.15	1.25	1.35	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	—	1.75	1.8	1.8	1.85	1.85	1.9	1.9					
800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.8	1.8	1.85	1.85	1.9	1.9	—					
矿 渣 浮 石 混 凝 土																									
700	—	—	—	1.25	1.3	1.4	1.5	1.4	1.55	1.6	1.7	1.8	—	2.0	2.0	2.1	2.1	2.1	—	—					
800	—	—	—	1.35	1.4	1.5	1.6	1.6	1.65	1.7	1.8	1.9	—	2.1	2.1	2.15	2.15	2.2	2.2	—					
天 然 轻 骨 料 混 凝 土																									
500	0.8	0.9	1.0	0.9	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3	1.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—					
600	0.9	1.0	1.1	1.0	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	—	—	—	—	—	—	—	—					
700	1.0	1.1	1.2	1.1	1.15	1.25	1.35	1.3	1.4	1.5	1.7	1.8	—	—	—	—	—	—	—	—					
800	1.1	1.2	1.3	1.2	1.25	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.8	1.85	—	—	—	—	—	—	—	—					
炉 渣 混 凝 土																									
700	1.0	1.1	1.2	1.2	1.25	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6	1.7	1.75	—	—	—	—	—	—	—	—					

*系现浇保温混凝土的数据。

注: 1.粗骨料的松散容重是指常用级配的容重;

2.计算标准荷载时,上列容重值应当增大0.1吨/米³;

4.对于用石英砂和多孔砂混合骨料制备的混凝土,γ值按插入法取值。

3.计算结构的安装重量时,容重值应当加大

0.15吨/米³;

混凝土的设计标号，依据结构的用途和工作条件，按抗压强度（立方强度）——主要指标、轴心抗拉强度、抗冻性和不透水性等指标来确定。

必要时，混凝土标号，可依据专门的标准文献，按照 СНиП II—21—75 没有规定的其他指标，如弯曲抗拉强度、抗磨性、耐火性等来决定。

进行轻混凝土结构设计时，混凝土抗压强度设计标号 $\bar{R}$ 采用如下：25、35、50、75、100、150、200、250、300、350 和 400 号；普通钢筋混凝土采用：35、50、75、100、150、200、250、300、350 和 400 号。预应力钢筋混凝土采用：150、200、250、300、350 和 400 号。当有充分根据的实验资料时，预应力结构也可以采用 75 和 100 号，以及 500 号的混凝土。

设计多层结构时，容许采用低于 35 号的混凝土，包括大孔混凝土作保温层。在这种场合，受力钢筋要敷设在比较结实的承重层中。

按照轴心抗拉强度 $\bar{R}_p$ ，设计标号规定如下： $P=10$ 、 $P=15$ 、 $P=20$ ；按照抗冻性，分为： $M^*p_3=25$ 、 $Mp_3=35$ 、 $Mp_3=50$ 、 $Mp_3=75$ 、 $Mp_3=100$ 、 $Mp_3=150$ 、 $Mp_3=200$ 、 $Mp_3=300$ 、 $Mp_3=400$ 、 $Mp_3=500$ ；按不透水性**，分为： $B=2$ 、 $B=4$ 、 $B=6$ 、 $B=8$ 、 $B=10$ 、 $B=12$ 。

结构的抗冻性标号和不透水性标号，按其使用情况、建筑区域的负温度值和构筑物等级，根据 СНиП II—21—75 确定。当有侵蚀性介质的时候，混凝土的标号按照不透水性确定，并且要按照 СНиП II—28—73《建筑结构防腐》采取必要的防腐的构造和工艺方法。

对于预应力结构，混凝土的抗压强度设计标号 $\bar{R}$ 和受预压时的立方强度 R_0 ，要依据结构型式、混凝土的品种、被张拉钢筋的级别和直径，以及有无锚具来确定，同时 R_0 值一般应不小于 $0.7\bar{R}$ （表 5）。

预应力结构钢筋保护层用的砂浆设计标号***，应不低于 150 号；孔道灌浆用的砂浆标号，应不低于 300 号。

预应力结构用的混凝土设计

标号 $\bar{R}$ 及混凝土预压时极限抗压强度（立方强度） R_0 。

表 5

配 筋 类 别	$\bar{R}$ (公斤力/厘米 ²) 不 低 于	预压时 R_0 (公斤力/厘米 ²)
1、钢丝配筋结构：		
（1）带锚具的 B—II 级高强光面钢丝	250	200
（2）无锚具的直径在 5 毫米以下的 B—II 级 高强规律变形钢丝	250	200
（3）无锚具的直径在 15 毫米以下的 K—7 级 钢绞线	350	250

* Mp_3 ——混凝土试件在水饱和状态下经受冻融循环的次数；

** B ——试件尚未出现渗漏的极限水压力（公斤力/厘米²）。

*** 《砂浆设计标号》的概念按 СНиП I—B.11—62《建筑砂浆》规定。

续表 5

2、无锚具预应力规律变形钢筋配筋的结构：		
直径为10至16毫米（包括16毫米）的A—Ⅱ和 A—Ⅲ级钢筋	150	100
直径为18至32毫米（包括32毫米）的A—Ⅱ和 A—Ⅲ级钢筋	250	200
直径为10至18毫米（包括18毫米）的 (1) A—Ⅳ和A _T —Ⅳ级钢筋	200	140
(2) A—Ⅴ和A _T —Ⅴ级钢筋	250	200
(3) A—Ⅵ级钢筋	350	250
直径为20毫米以上的 (4) A—Ⅳ和A _T —Ⅳ级钢筋	250	200
(5) A—Ⅴ和A _T —Ⅴ级钢筋	350	250
(6) A _T —Ⅵ级钢筋	400	350
3、多层结构中没有受力钢筋的混凝土层。在 钢筋用厚度不小于15毫米的重混凝土或砂浆保护时	35	25

注： 1、混凝土受预压时的立方强度 R_0 是边长为15毫米的混凝土立方试块的强度。
2、对于进行疲劳计算的结构，本表第一条(1)~(3)和第二条(1)、(2)及(4)规定的混凝土设计标号及 R_0 的最小值至少应增大25号。3、设计某些类型的结构时，如有试验依据，可将混凝土的设计标号降低一级（50公斤力/厘米²），但 R_0 值应当不低于抗压强度的80%。例如，对于下列预应力构件：①居住与公共建筑用的跨度6.5米以下的空心板，按第二条(2)项配筋时，混凝土标号与 R_0 可按本表第二条(1)项规定采用；②第二条(2)项所列的轻骨料混凝土结构，可采用150号混凝土，这时 R_0 值应不低于120公斤力/厘米²；③用规律变形高强钢丝配筋的且在传递预压应力范围内带有内锚具的构件，可采用200号混凝土，这时 R_0 值应不低于140公斤力/厘米²。4、对于标号超过表中所列最小值的结构，混凝土受预压时的立方强度等于设计标号的70%，如果经计算证明，可以不低于50%，但应不小于表中所列之值。

对于截面尺寸按强度计算确定的钢筋混凝土承重受压构件，混凝土的设计标号建议采用不低于100号；而用于围护结构的非承重构件，宜采用不低于35号的混凝土。用于承受荷载大的结构（多层房屋底层的柱子，承受很大吊车荷载的工业厂房柱子等），混凝土的设计标号宜采用不低于300号，同时，应当采用石英砂作细骨料。

对于断面尺寸由强度计算确定的钢筋混凝土受压构件，不宜采用气泡混凝土，而采用珍珠岩砂混凝土。珍珠岩混凝土，不论其砂的品种是什么，只能在有专门试验依据时才可采用。

轻混凝土的主要性能和指标

设计轻混凝土和钢筋轻混凝土结构时，应当考虑以下指标：1、标准和计算强度指标（棱柱强度和轴心抗拉强度），这些指标是考虑结构或构筑物的工作条件、混凝土的作业条件、荷载作用持续时间、加荷期限和混凝土的强度随着时间增长的可能性、荷载的多次重复、结构加荷速度、温度作用和温度作用持续时间的影响等而规定的。2、变形指标（弹性模量、压缩和拉伸极限变形、徐变和收缩）。3、热物理性能（热工特性，物理性能，含水性能）。

强度指标。按照现行ГОСТ和规程进行试验确定的标准强度，是材料受力强度的主要指标。

混凝土的标准强度：1、极限抗压强度（立方强度）— R_{II} ；2、极限轴心抗压强度（棱柱强度）—— $R_{np II}$ ；3、极限轴心抗拉强度—— $R_p II$ （大孔混凝土除外）。

按照CHHII I—21—75，标准极限抗压强度

$$R_{II} = \bar{R} (1 - 1.64 \bar{C}_v) \quad (1)$$

式中 $\bar{R}$ —混凝土抗压强度设计标号； $\bar{C}_v$ —混凝土强度变异系数，等于0.135。

轻骨料混凝土的棱柱强度与立方强度之比取

$$\frac{R_{np II}}{R_{II}} = 0.77 - 0.0001 \bar{R} \quad (2)$$

但不小于 $0.72 R_{II}$ 。

混凝土标准极限轴心抗拉强度 $R_p II$ ，在不检验混凝土抗拉强度的场合，可依据混凝土抗压强度设计标号采取。在按照CHHII I—B.3—62及相应的ГОСТ确定混凝土的轴心抗拉强度设计标号（用具体试验验证强度）时，混凝土的轴心抗拉强度为：

$$R_p II = \bar{R}_p (1 - 1.64 \bar{C}_v) \quad (3)$$

式中 $\bar{R}_p$ —混凝土轴心抗拉强度设计标号。

$\bar{R}_{np II}$ 和 $R_p II$ 值列于表6。

混凝土的计算强度是用抗压安全系数 $K_{\delta c}$ 和抗拉安全系数 $K_{\delta p}$ （表7）除以标准强度而得的商，在许多场合，还要乘以主要的工作条件系数。

按第一种极限状态计算混凝土和钢筋混凝土结构时，混凝土和钢筋混凝土的计算强度值按照表8采用，并按下述情况下乘以混凝土的工作条件系数 m_6 （表9）。

轻骨料混凝土的标准强度（公斤力/厘米²）
与抗压强度设计标号R的关系〔29〕

表 6

强度类别	混凝土品种	混凝土抗压强度设计标号R										
		25	35	50	75	100	150	200	250	300	350	400
轴心受压 (棱柱强度) $R_{np \text{ II}}$	轻骨料混凝土	15	21	30	45	60	85	115	145	170	200	225
轴心受拉 $R_p \text{ II}$	石英砂轻骨 料混凝土	2.3	3.1	4.2	5.8	7.2	9.5	11.5	13	15	16.5	18
	粗细轻骨料 混凝土	2.3	3.1	4.2	5.7	7.1	9.5	11	12	13	14	14.5

注：1、除第四章指出的外，本表所列的 $R_{np \text{ II}}$ 和 $R_p \text{ II}$ 值，计算中采用的混凝土工作条件系数 $m_6 = 1$ 。2、用膨胀珍珠岩砂和粒状矿渣砂制备的混凝土，其标准强度值要比表中所列值降低15%。3、用矿渣浮石砂制备的矿渣浮石混凝土， $R_p \text{ II}$ 值同用密实砂制备的混凝土一样采用。

计算混凝土和钢筋混凝土结构的强度时，对混凝土抗压和抗拉计算强度，要引入一个工作条件系数 m_6 ，该系数考虑计算内力作用的可能持续时间和混凝土强度随着时间而增长条件的影响。工作条件系数 m_6 取值如下：在考虑恒载、活荷载和其他荷载作用时，《累计作用时间短》的荷载*（见CH_{II} II—6—74）除外，密实轻骨料混凝土的工作条件系数取0.85，大孔和气泡混凝土取0.75；当考虑《累计作用时间短》的荷载中一种荷载时，在任何情况下均取1.1。

混凝土强度的变异系数 C_v
和抗压、抗拉安全系数 K_{6c} 、 K_{6p}

表 7

混凝土品种	C_v (%)	K_{6c}	按第一种极限状态计算时， K_{6p}		按第二种极限状态计算时 和 K_{6c} K_{6p}
			抗压强度设计标号用	轴心抗拉强度设计标号用	
轻骨料混凝土	0.135	1.3	1.5	1.3	1

* 《累计作用时间短》的荷载的特点是，在构筑物使用期间，这些荷载达到计算值时的累计作用时间很短，其中有：风荷载、考虑在每一跨中有两台吊车（悬挂吊车在每一条线上有两台吊车）同时工作且带最大轮压的吊车荷载（重级工作制吊车荷载除外）、特殊荷载。

混凝土的计算强度（公斤力／厘米²）
与混凝土抗压强度设计标号R的关系〔29〕

表 8

强度类别	混凝土品种	混凝土的抗压强度设计标号 R											
		15	25	35	50	75	100	150	200	250	300	350	400
轴心受压 (棱柱强度) R_{np}	轻骨料混凝土	—	12	16	23	35	45	70	90	110	135	155	175
	大孔混凝土	4	6.5	9	13	19	26	—	—	—	—	—	—
轴心受拉 R_p	石英砂轻骨料 混凝土	—	1.5	2.1	2.8	3.8	4.8	6.3	7.5	8.8	10	11	12
	粗细轻骨料 混凝土	—	1.5	2.1	2.8	3.8	4.8	6.3	7.1	7.8	8.5	9.1	9.6

注：1、本表所列的 R_{np} 和 R_p 值，必要时应按表 9 中的数据乘以混凝土的工作条件系数 m_{σ} 。2、对用膨胀珍珠岩砂和粒状矿渣砂制备的混凝土，其计算强度要比表中所列值低15%。3、对用矿渣砂制备的矿渣浮石混凝土， R_p 值同用密实砂制备的混凝土一样采用。

混凝土的工作条件系数值

表 9

决定混凝土工作条件系数的因素	符号	系数值
1. 荷载作用持续时间		
1) 考虑恒载和活荷载时（不包括作用时间比较短的荷载——吊车荷载、风荷载、制作运输中产生的荷载，以及由沉陷性土壤和永冻土变形引起的特殊荷载）：		
露天自然硬化的轻骨料混凝土（CHH II—A·6—72《建筑气候学和地球物理学》规定的A—IV类地区除外）	$m_{\sigma 1}$	1.0
热养护的和在A—IV类地区及采暖房间条件下自然硬化的轻骨料混凝土		0.85
气泡和大孔轻骨料混凝土		0.75
2) 考虑恒载和活荷载时（包括作用时间比较短的荷载——见本表1项），以及特殊事故荷载		1.1
2. 荷载多次重复	$m_{\sigma 2}$	见表11
3. 冻融交替	$m_{\sigma 3}$	见表10
4. 结构预压阶段的计算	$m_{\sigma 4}$	1.2
5. 混凝土结构	$m_{\sigma 5}$	0.9

续表 9

6. 出厂含水率较高的多孔混凝土		
含水率在25%以上的石英砂多孔混凝土	m_{σ_5}	0.8
含水率在35%以上的粉煤灰多孔混凝土		0.9
7. 当垂直浇灌的混凝土, 浇灌层高度超过1.5米时		
轻骨料混凝土	m_{σ_7}	0.85
气泡和大孔轻骨料混凝土		0.8
8. 浇灌截面长边小于30厘米的现浇混凝土及钢筋混凝土柱	m_{σ_8}	0.85
9. 接缝厚度小于构件截面最小边1/5和小于10厘米的装配式构件接头	m_{σ_9}	1.15
10. 蒸压处理的轻骨料混凝土构件	$m_{\sigma_{10}}$	0.85

注: 1、本表1、2、5、6条工作条件系数用于计算混凝土的计算强度 R_{np} 和 R_p 。其他条只用于计算 R_{np} 。2、当考虑表的第1和第2条的工作条件系数之一时, 另一个工作条件系数不予考虑, 其余的系数相互无关。3、进行结构的预压阶段的计算时, 系数 m_{σ_1} , 不予考虑。

如果结构用于适宜于混凝土强度增长的条件中(室内空气的相对湿度不低于40%或露天, 中亚细亚共和国除外), 在考虑恒载和活载, 而不考虑《累计作用时间短》的荷载时, 自然硬化的混凝土的工作条件系数可取 $m_{\sigma_1} = 1$ 。

计算经常或偶然处于水饱和状态, 或受冻融交替作用的混凝土和钢筋混凝土结构的强度时, 混凝土的计算抗压强度 R_{np} , 要乘以工作条件系数 m_{σ_3} , 该系数与结构的使用状态和室外空气计算温度有关, 系数 m_{σ_3} 值按表10确定。

计算钢筋混凝土结构的疲劳强度及多次重复荷载作用下裂缝形成时, 混凝土的计算强度 R_{np} 和 R_p 值, 要乘以系数 m_{σ_2} , 该系数与混凝土的品种、含水率及应力循环不对称系数(循环特性)有关:

$$\rho_{\sigma} = \frac{\sigma_{\sigma, \text{мин}}}{\sigma_{\sigma, \text{макс}}} \quad (4)$$

式中 $\sigma_{\sigma, \text{мин}}$ 和 $\sigma_{\sigma, \text{макс}}$ — 分别为混凝土的最小和最大应力值(见第三章)。系数 m_{σ_2} 值按表11采用。当计算中考虑 m_{σ_2} 时, 系数 m_{σ_1} 不予考虑。

只有在有可靠的试验数据时, 才容许采用矿渣浮石混凝土、珍珠岩混凝土、珍珠岩砂轻骨料混凝土, 以及气泡混凝土制作需进行疲劳验算的钢筋混凝土结构。

受冻融交替作用混凝土
的抗压工作条件系数〔29〕

表10

结构使用条件	室外空气计算温度 (℃)	系数 m_{σ} 值	
		重混凝土	轻骨料混凝土
水饱和状态下冻融交替作用	低于-35	0.70	0.80
	低于-20, 但不低于-35	0.85	0.90
	低于-5, 但不低于-20	0.90	1.0
	-5以上	0.95	1.0
偶然水饱和状态下冻融交替作用	低于-35	0.90	1.0
	低于-35以上	1.0	1.0

多次重复荷载作用下不同应力
循环不对称系数 ρ_{σ} 的混凝土工作条件系数 m_{σ_2} 值

表11

混凝土品种	含水状态	不同 ρ_{σ} 值的 m_{σ_2}						
		0~ 0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
轻骨料混凝土	自然含水状态	0.60	0.70	0.80	0.85	0.90	0.95	1.0
	水饱和状态	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85	0.95	1.0

变形指标。混凝土和钢筋混凝土结构的变形分两种：受力变形——在外荷载作用下产生的变形；自变形（自然发生的）在周围介质（温度、湿度、水泥放热等）作用下产生的变形。

具有特殊性能和结构的轻混凝土，其变形指标值与重混凝土的指标值差别很大。

初始弹性模量 E_{σ} 是混凝土受压变形的主要特性。初始弹性模量是应力 $\sigma = 0.3R_{np}$ Ⅱ时标准应力 σ 与相对应应变 ε 的比值。

轴心受拉初始弹性模量 E_p 取值与受压时相同。 E_{σ} 值与混凝土的抗压强度设计标号及容重的关系列于表12。

轻混凝土的**剪切模量**

$$G_{\sigma} = \frac{5}{12} E_{\sigma} \quad (5)$$

该式导自弹性理论的下列著名的关系式

$$G = \frac{E}{2 \times (1 + \mu)} \quad (6)$$

式中 μ —横向变形初始系数（泊松比），轻混凝土等于0.2。

应当指出，测定轻混凝土的 G_0 和 μ 的试验做的很少，因此， $C_{H\Pi}$ 容许按照试验资料取值。

轻骨料混凝土（包括气泡轻骨料混凝土）的
初始弹性模量（公斤力/厘米²）与容重的关系〔29〕

表 12

容 重 (吨/米 ³)	$E_0 \times 10^3$ ，当混凝土的设计标号R为										
	25	35	50	75	100	150	200	250	300	350	400
0.8	30	35	40	50	—	—	—	—	—	—	—
1.0	40	45	50	60	65	—	—	—	—	—	—
1.4	—	—	75	85	95	105	115	125	135	145	—
1.8	—	—	—	110	120	135	150	165	175	185	190
2.2	—	—	—	—	—	170	185	200	215	225	235

注：1、本表列出了表 4 所列标准容重的混凝土的初始弹性模量。2、矿渣浮石混凝土的 E_0 值要增大20%。3、用松散容重小于300公斤/米³的膨胀珍珠岩砂制备的混凝土，采用表列的 E_0 值时，要乘以0.85的系数。4、大孔混凝土，采用表列 E_0 值时，要乘以0.6的系数。

密实轻混凝土的极限压缩率 ϵ_0^{max} ，与很多因素有关，波动范围很大。根据试验资料〔1、3、20、24〕，当棱柱体在短时间荷载作用下，加荷阶段持续五分钟轴心受压时 ϵ_0^{max} 为：矿渣浮石及烧结料混凝土为1.2~1.9毫米/米；250号以下的粘土陶粒混凝土为1.6~2.1毫米/米；300~400号粘土陶粒混凝土为2.2~2.9毫米/米；150号以下的粘土陶粒珍珠岩混凝土为2.5毫米/米；200~300号的粘土陶粒珍珠岩混凝土为2.75~3毫米/米。可以看出， ϵ_0^{max} ，随着混凝土强度的提高而增大，并与骨料的变形有关。

密实轻混凝土的极限拉伸率 ϵ_0^{pmax} 在计算钢筋混凝土构件的抗裂性时，决定着钢筋的利用程度。它同样与许多因素有关，波动在0.1~0.35毫米/米之间。试验结果确定〔1、3、23、25、〕，与同等强度的重混凝土相比，结构用轻混凝土的极限拉伸率较高，轻混凝土的极限拉伸率平均为0.2毫米/米，而重混凝土只有0.1~0.15毫米/米。

各种轻混凝土（特别是气泡混凝土和多孔砂混凝土）的徐变因骨料不同而不一样，大多数情况下都比重混凝土的徐变大。随着混凝土标号的提高（300号以上），徐变的相对变形变小，接近于同等强度的重混凝土。

徐变变形接近完全稳定时的极限徐变量对于实际计算有很大意义。极限徐变量是徐变变形与长期作用的应力值之比

$$C'_{(t)} = \frac{\epsilon_n(t)}{\sigma_0} \quad \text{厘米}^2/\text{公斤力} \quad (7)$$

轻骨料混凝土的徐变量 C' 的最终值列于表13。