

钢筋混凝土及砖石结构学

(下册)

杨宏标 编
徐积善 审

北京科学技术出版社

钢筋混凝土及砖石结构学

(下册)

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

·昌平北七家印刷厂印刷

787×1092毫米16开本1325印张321千字

1989年3月第一版 1989年3月第一次印刷

印数1—8300册

ISBN7-5304-0427-X/T·79

定价:5.00元

目 录

第二篇 预应力混凝土结构	1
第一章 材 料	2
§ 1 预应力筋	2
§ 2 混凝土	5
第二章 基本概念	12
§ 1 定义与原理	12
§ 2 设计方法	15
§ 3 检验等级	17
§ 4 施加预应力方法	18
§ 5 预张拉力的变化	20
§ 6 截面性质	21
§ 7 锚下张拉控制应力 σ_k 值	22
§ 8 预应力损失计算及其组合	22
§ 9 荷载阶段	30
第三章 梁的分析	36
§ 1 分析内容及梁的受力阶段	36
§ 2 强度验算	37
§ 3 应力验算	48
§ 4 局部承压验算	55
§ 5 挠度验算	60
第四章 梁的设计	66
§ 1 概 述	66
§ 2 常见截面形式及其主要尺寸	66
§ 3 截面效率指标	68
§ 4 按弹性阶段估算预应力钢束	69
§ 5 按强度极限状态估算钢丝束	71
§ 6 预应力筋(钢丝束)布置	74
§ 7 预应力混凝土简支梁设计实例	81
第五章 部分预应力混凝土梁	111
§ 1 概 述	111
§ 2 计算要点	112
§ 3 设计步骤	126
§ 4 构造要点	126

第六章 组 合 梁	141
§ 1 组合结构类型	141
§ 2 荷载阶段	142
§ 3 截面性质	143
§ 4 正应力验算	144
§ 5 结合面水平抗剪强度	150
第三篇 圬工结构	154
概 述	154
第一章 材 料	155
§ 1 材料种类	155
§ 2 材料的力学指标	156
第二章 砌 体	157
§ 1 砌体种类	157
§ 2 砌体强度指标	158
第三章 构件计算	160
§ 1 圬工构件计算原则	160
§ 2 轴心受压构件	160
§ 3 偏心受压构件	161
§ 4 直接受剪构件	163
§ 5 受弯构件	163
§ 6 构件局部承压	164
附录 1 冷加工钢筋的技术性能	170
附录 2 预应力施工设备	171
附表 1 国产建筑钢筋一览表	178
附表 2 热轧钢筋的化学成份 (%)	181
附表 3 混凝土的设计强度和标准强度	181
附表 4 混凝土的弹性模量	181
附表 5 (A) 钢筋的设计强度和标准强度	181
附表 5 (B) 钢丝的设计强度和标准强度	182
附表 6 钢筋的弹性模量	183
附表 7 钢筋最小锚固长度 l_m	183
附表 8 绑扎骨架和绑扎网中受力钢筋搭接时的最小搭接长度 l_a	183
附表 9 钢筋焊接接头焊缝长度表	184
附表 10 搭接长度区段内受力钢筋接头面积的最大百分率	184
附表 11 钢筋保护层厚度及净距	184
附表 12 光面圆钢筋的截面面积、重量及极限长度	185
附表 13 各种钢筋间距时每米板宽中的钢筋截面面积	186
附表 14 ξ 、 A_0 、 ρ_0 系数表	187
附表 15 A_0 与 ξ 值计算表	188

附表16	混凝土受压区高度界限系数 ξ_{lj}	189
附表17	纵向受拉钢筋最小配筋率	189
附表18	最小配箍率 μ_{kmin} 和最大箍筋间距 S_{kmax}	189
附表19	弯钩增长表	189
附表20	钢筋弯折长度折减表	190
附表21	抗扭惯性矩系数 k	191
附表22	钢筋混凝土构件的纵向弯曲系数 φ	191
附表23	T形截面系数 γ 值	191
附表24	轴心受压构件的计算长度 l_0	191
附表25	圆形截面偏心受压构件强度计算系数	192
附表26	钢筋混凝土构件最大裂缝宽度容许限值 $[\delta_f]$	193
附表27	钢筋混凝土梁容许挠度限值 $[f]$	193
附表28	预应力混凝土结构锚下张拉控制应力 σ_k	193
附表29	系数 k 及 μ 值	193
附表30	计算预应力钢筋与管道壁的摩擦引起的应力损失时可按下表计算 $1 - e^{-(\mu c + k l)}$ 值	194
附表31	一个锚具变形, 钢筋回缩和一个接缝压密值	194
附表32	预应力混凝土施工和使用阶段容许应力限值	194
附表33	预应力钢筋锚固长度 l_m	195
附表34	预应力钢筋传递长度 l_t	195
附表35	各种线形预应力筋在预拉力作用下跨中挠度 f 值	196
附表36	梁的最大弯矩 M_{max} 和跨中、悬臂端挠度系数 α	197
附表37	截面效率指标 ρ_m	198
附表38	部分预应力混凝土结构(B类)最大裂缝宽度限值	198
附表39	部分预应力混凝土结构(B类)混凝土容许名义拉应力	198
附表40	部分预应力混凝土结构(B类)混凝土容许名义拉应力 力构件高度修正系数	199
附表41(A)	砖、石和混凝土材料及其砌筑砂浆的最低标号	199
附表41(B)	石料标号的换算系数	199
附表42	砖石及混凝土材料抗冻性指标	199
附表43(A)	石料极限强度	200
附表43(B)	混凝土极限强度	200
附表44(A)	砖石及混凝土预制块砌体抗压极限强度	200
附表44(B)	小石子混凝土砌片、块石砌体极限强度	201
附表44(C)	片石混凝土砌体极限强度	202
附表45(A)	砖石及混凝土预制块砌体极限强度	202
附表45(B)	规则块材直接抗剪极限强度	202
附表46(A)	混凝土、砖石及混凝土预制块砌体的弹性模量	203
附表46(B)	水泥砂浆砌筑的各种圬工材料线膨胀系数 α	203

附表47 γ_m 值203

附表48 圬工结构中心受压构件纵向弯曲系数 φ 204

附表49 容许偏心距 e_0 203

附表50 纵向受拉钢筋最小配筋率(%)205

附表51 摩擦系数 μ 205

附表52 法定计量单位及其与公制单位的换算表205

主要参考书目206

第二篇 预应力混凝土结构

问题的提出

因混凝土抗拉性能很差，使钢筋混凝土结构存在两个不能解决的问题：一是需要带裂缝工作。裂缝的存在，不仅使构件刚度下降很多，而且对于某些使用上需要严格限制裂缝开展宽度或不允许出现裂缝的构件，则无法满足要求；二是为保证结构耐久性，必须限制裂缝宽度，这就使高强度钢筋和高标号混凝土不能充份发挥其作用。当然，为克服上述二个问题，亦可随使用荷载增加相应增大构件截面尺寸和用钢量，以控制裂缝出现或其开展宽度，减少挠度，但这样做既不经济，势必增加自重。特别随跨径增大，将使自重所占比例越来越大，从而使钢筋混凝土结构的使用范围受到很大限制。为此，在长期的生产实践和科学实验中，为解决上述问题，而创造了预应力混凝土结构。随着钢筋强度和混凝土强度的不断提高，这种结构愈来愈发挥其优越性。

1. The first part of the paper is devoted to the study of the properties of the function $f(x)$ defined by the equation

$$f(x) = \int_0^x f(t) dt$$

It is shown that the function $f(x)$ is continuous and differentiable on the interval $[0, 1]$. The derivative of the function is equal to $f(x)$ itself. This means that the function satisfies the differential equation $f'(x) = f(x)$. The general solution of this equation is $f(x) = Ce^{x-1}$, where C is an arbitrary constant. By using the condition $f(0) = 0$, we find that $C = 0$. Therefore, the function $f(x)$ is identically zero on the interval $[0, 1]$.

第一章 材 料

§ 1 预 应 力 筋

一、预应力混凝土结构对预应力筋的要求

1. 强度要高。在预应力混凝土结构中，预应力钢筋的张拉应力在构件的整个制作和使用过程中，会出现各种应力损失，这些损失之总和很大，象T型刚构桥，有些总损失可达400~500MPa，约为张拉控制应力的35~40%，若所用强度不高，则在张拉时在钢筋中建立的预应力甚至会损失殆尽，起不到预应力混凝土结构的目的；

2. 要有较好的塑性和良好的加工性能。钢材强度愈高，拉断时的延伸率愈小，即塑性愈低，钢材塑性太低时，特别当处于低温和冲击荷载条件下，就有可能发生脆性断裂。另外，为保证构件在破坏之前有较大的变形能力，还要求预应力筋有足够的塑性性能。良好的加工性能即焊接性能好；以及采用镦头锚具时，钢筋头部镦粗后不影响原有的力学性能等；

3. 与混凝土有较好的粘结力。特别是在先张法构件中，预应力筋与混凝土之间必须有较高的粘结自锚强度，对一些高强度的光面钢丝，必要时就要加工成刻痕钢丝，或制成钢绞线，以增加其表面粘结力。

二、预应力筋种类

国内常用几种预应力筋如下：

1. 冷拉热轧钢筋

它是对热轧低合金钢筋经冷拉后得到，有冷拉Ⅱ级、冷拉Ⅲ级、冷拉Ⅳ级。还有对热轧低碳钢5号钢进行冷拉而得到的冷拉5号钢筋。

其中，冷拉Ⅳ级钢筋一般情况下使用情况良好。但有些因碳、硅含量较高，可焊性较差，在施工中应注意选用合适的焊接工艺。为此，目前钢厂用热轧方法直接生产一种表面无纵肋的螺纹钢筋，可采用螺丝套筒进行钢筋接长，而不必焊接（图2.1.1），施工较方便，需多用一些钢材。

公路桥梁中主要采用冷拉Ⅳ级钢筋作为主筋；对于次要预应力筋（如竖向或横向）可采用冷拉Ⅲ级钢筋；对于冷拉Ⅱ级和冷拉5号钢筋，因其强度低，一般应用甚少。

2. V级钢筋

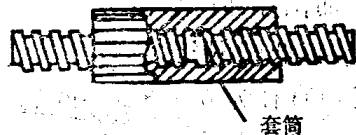
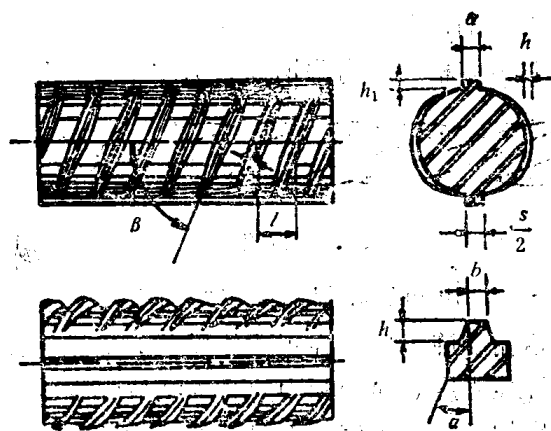


图 2.1.1 螺纹钢筋的套筒连接

它是由热轧Ⅳ级钢筋经调质热处理而成。先经加热至900℃左右，并保持恒温，然后淬火，以提高钢筋抵拉强度，后再经450℃左右的中温或低温回火处理，以改善其塑性性能。这种钢筋强度高，强性模量高而松弛小，其直径为6~10mm，以盘圆供应。可直接用于预应力混凝土结构中，免去冷拉、对头焊接，有利施工。

3. 高强钢丝

它是由高碳镇静钢轧制盘圆后，经冷拔而成，故又称碳素钢丝。我国生产的碳素钢丝直径为2.5、3.0、4.0、5.0mm，直径愈细，强度愈高。如需增加其表面粘结力，可向钢厂订货时要求在其表面“刻痕”而成刻痕钢丝。

高强钢丝在预应力混凝土结构中应用广泛。在小型先张法构件中，以单根平行布置。在后张法构件中，可以成束布置，每束24根钢丝较多见，但也有采用8根一束，甚至50~60根一束（图2.1.2）。

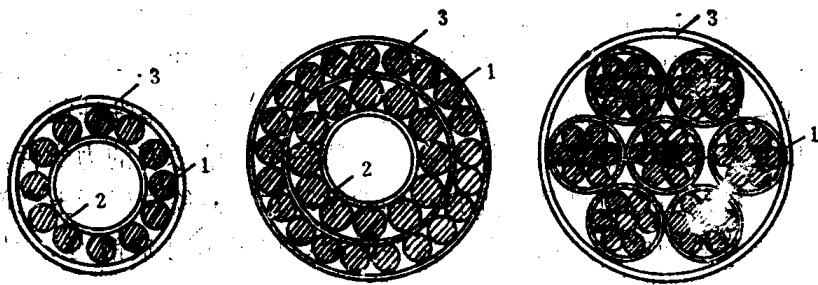


图 2.1.2 钢丝束的形式
1—钢丝 2—芯子 3—绑扎铁丝

4. 钢绞线

它由多根平行高强钢筋以另一根直径稍粗的钢丝为轴心，沿同一方向扭绕，并经低温回火处理而成（图2.1.3）。其规格有3、7、19股等，而最常用是7股钢绞线。如7φj2.5钢绞线，亦可表示为φj7.5，是由6根直径为2.5mm的高强钢丝，围绕一根直径为2.61~2.70mm的高强钢丝扭转而成。钢绞线与混凝土粘结较好，且比钢筋或钢丝束柔软，便于运输和施工。但在正式使用前，需进行预拉，以减少其松弛损失。预拉应力值可采用钢绞线标准强度（即冶标中的公称抵拉强度）的85%，持荷5分钟，然后再放松。使用钢绞线不但增加了施工工序，而且对锚具的要求也较高。

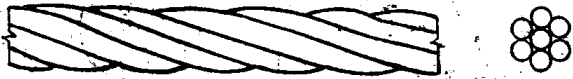


图 2.1.3 钢绞线

钢绞线既可多根平行布置，数量多时亦可成束布置。在我国桥梁工程中仅铁路桥梁用得较多些，而国外却用得很多。

5. 冷拔低碳钢丝

它是由直径为6~8mm的盘圆热轧Ⅰ级钢筋经多次冷拔而成。直径可达3~5mm。其强度比原来显著提高，节省钢材，原料来源容易，加工工艺也较简单。但其塑性很差，一般在破坏前变形不大，没有预兆，呈脆性破坏。故多用于次要或小型构件，此时则较经济。

关于预应力混凝土结构中所用非预应力筋（普通钢筋）为：Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级、5号钢等热轧钢筋。

热轧钢筋及冷拉热轧钢筋均为软钢。因为它们有明显屈服台阶，强度相对讲一般较低，而伸长率较大，有良好的塑性，质地较柔软，故称之为软钢。

热处理Ⅴ级钢筋、碳素钢丝及冷拔低碳钢丝均为硬钢。因为它们没有明显屈服点，以条件流限 σ_s 作为其强度的控制值，以使受力时不致产生过大的塑性变形。强度相对讲很高，而塑性差、伸长率很小，质地硬脆。故称之为硬钢。

关于钢筋冷加工（冷拉、冷拔）特性见附录一。

三、钢筋的松弛

把钢筋张拉到一定的应力值后，将其长度固定不变，则钢筋中的应力会随时间的延长而降低。此种现象称之为钢筋的松弛，或应力松弛。它有如下特点：

1. 钢筋初拉应力愈高，其应力松弛也愈大，当初拉应力超过弹性极限后，由松弛引起的应力损失，其增长速度比初拉应力的增长速度更快；

2. 钢筋松弛量大小与钢筋的品质有关，一般热轧钢筋较碳素钢丝小，而钢绞线则比单根高强度钢丝为大；

3. 钢筋的松弛，在承受初拉力的初期发展最快，第一小时内松弛量最大，24小时内完成约50%以上，几乎是以递减速率而延续数年，甚至在7—8年后仍可测到松弛的影响；

4. 若在短时间内，用超过设计初拉应力5~10%的应力进行张拉（简称超张拉），并保持数分钟，然后降回到设计拉应力值，则可使构件中由钢筋松弛而引起的应力损失减少约40~50%；

5. 钢筋松弛还将随温度的升高而增加，这对蒸汽养护的预应力混凝土构件将有所影响。

§2 混 凝 土

一、预应力混凝土结构对混凝土的要求

1. 强度要高。好处是：（1）可与高强度钢筋相适应，保证钢筋充分发挥作用，并能有效地减小构件截面尺寸及减轻自重；（2）为满足锚固预应力筋的要求，也需求使用高标号混凝土。先张法构件主要靠粘结力锚固，高标号混凝土粘结力高，可保证锚固牢靠。后张法构件锚头附近混凝土的局部应力很高。也需要高强度混凝土才能承受；（3）预应力混凝土梁各个部位均可能出现较大的压应力，高标号混凝土的抗压强度能得到充分发挥。故《桥规》规定，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、钢绞线、热处理Ⅴ级钢筋作预应力筋时，混凝土标号不宜低于40号。

2. 匀质性要较高。因预应力混凝土结构中产生高应力情况较多，活载小时或大时截面上都有高应力区，应要求混凝土有较高的匀质性。故施工时必须建立严格的质量检验制度；

3. 要快硬、早强。以便能提前传力锚固，从而加速台座周转，加快施工速度，提高设备周转率。此方法很多，如采用蒸汽养护、使用早强快硬水泥等；

4. 收缩和徐变要小，以减少预应力损失。

二、混凝土收缩与徐变变形

混凝土在结硬过程中会产生收缩变形,若混凝土长期受预压应力,会产生徐变变形。其收缩与徐变变形均使构件缩短,因而将引起预应力筋中的预拉应力降低。收缩与徐变值愈小,此预应力损失值也就愈大。这对预应力混凝土结构是很不利的。故在其设计与施工中,应尽量设法减少混凝土的收缩与徐变,并应较准确地确定它们的数值。

(一) 混凝土的收缩变形

普通混凝土的硬化收缩应变,属体积应变,随时间延长而增加。一般第一年内可达 $\varepsilon_k = (150 \sim 400) \times 10^{-6}$,一年后仍有所增加。混凝土浇筑后初期,收缩应变值较大,头一周可达 $0.25\varepsilon_k$,头第二周可达 $(0.3 \sim 0.4)\varepsilon_k$,第一个月后约为 $0.5\varepsilon_k$,三个月后即可达 $(0.7 \sim 0.8)\varepsilon_k$ 。《桥规》对预应力混凝土构件规定,在不要求十分精确时,对于硅酸盐水泥配制的中稠度混凝土其收缩应变终值 $\varepsilon(t_\infty, \tau)$ 可由表2.1.2查取,而收缩应变 $\varepsilon(t, \tau)$ 随时间的发展与其最终值的比值 β ,可按(图2.1.9)中曲线估计。

混凝土收缩变形与很多因素有关:

- (1) 水泥用量。水泥用量越多,收缩应变越大,水灰比越大,收缩值也越大;
- (2) 水泥品种。高标号水泥的收缩量较大;
- (3) 骨料品质。骨料的弹性模量大,则收缩小;
- (4) 养护条件。在混凝土结硬时,周围环境湿度大时,则收缩小,故蒸汽养护的收缩值要比自然条件下的养护时小;
- (5) 制作条件。混凝土震捣越密实,收缩值越小;
- (6) 工作环境。构件工作环境的湿度大时,则收缩值小;
- (7) 构件体积与表面积之比值大时,则收缩值小。

(二) 混凝土的徐变变形

1. 徐变概念

混凝土在长期压应力作用下,其应变随时间在继续增长的现象称之为徐变。图2.1.4是混凝土试件在长期压力作用下,变形与时间的关系曲线。在加荷的瞬间,试件就有一个称为混凝土的初始瞬时变形。当荷载保持不变,在其持续作用下,变形会随时间不断增长。试验研究指出,混凝土的最终总变形,可达初始瞬时变形3~4倍,即最终徐变变形量可达初始瞬时变形的2~3倍。若到时间为 t_1 时,把荷载卸去,变形即会恢复一部分,如图2.1.4中虚线所示。在卸荷瞬间,变形急速减少的部分是由混凝土弹性影响引起的,故它属弹性变形,卸荷之后在 t_1 与 t_2 一段时间内,变形还可逐渐恢复一部分,称为徐回,剩下的变形不能再恢复,称为永久变形。

试验表明,影响混凝土徐变因素很多,主要有:

- (1) 与加载应力大小有关。一般认为,压应力低于 $0.5R_c$ 时,徐变与应力呈线性关系,这种应变称之为线性徐变。当压应力大于 $0.5R_c$ 时,则徐变变形与应力不再呈线性关系,此时称之为非线性徐变。在这种情况下,在持续高压应力作用下,徐变急剧增加并不再收敛,呈现非稳定徐变形象,从而导致混凝土的破坏。故在使用期间,当混凝土经常处于不变的高压应力状态下是不安全的,需要特别注意。图2.1.4所示即为线性徐变。它的前期徐变较大,在六个月中已完成了全部徐变的70~80%,一年后变形即趋于稳定,三年左右徐变就

基本完成；

(2) 与加载龄期有关。加载龄期越早，徐变越大；

(3) 与周围湿度有关。外界相对湿度越低，混凝土的徐变就越大，这是因为在总徐变值中，还包括由于混凝土内部水份受到外部压力后，向外逸出而造成的徐变。外界湿度愈低，水份愈易外逸，徐变就愈大，反之则小；

(4) 与构件外形尺寸有关。构件外形尺寸愈大，内部湿度愈接近饱和，故其徐变愈小，相反，小构件的徐变则较大；

(5) 与混凝土组成有关。水泥用量越多，水灰比越大，则徐变也越大。骨料越坚硬，徐变越小。还有水泥品种、构件制作方法及养护条件，配筋量多少等都对徐变有影响。

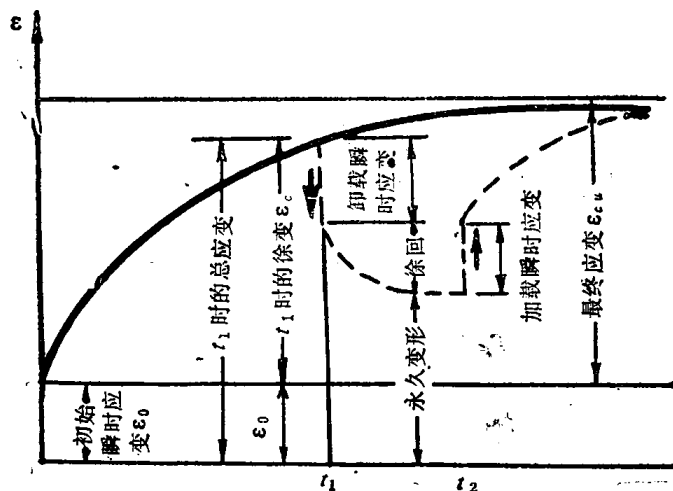


图 2.1.4

2. 徐变值估算

由于影响徐变的因素很多，精确估算比较困难，尤其在露天环境下工作的桥梁结构物，影响徐变的因素就更为复杂，故《桥规》采用徐变系数 φ 来综合地考虑前述各因素，进行徐变值的估算。

在桥梁结构中，混凝土所承受的压应力一般都在 $\sigma_a \leq 0.5R_a$ 范围之内，故不会因徐变而造成破坏。但在预应力混凝土结构中，进行予应力损失计算及其梁挠度计算，都要用到线性徐变值的计算，这里，根据《桥规》建议，介绍其计算方法。

徐变系数 φ 意义为：

$$\varphi = \frac{\epsilon_x}{\epsilon_j}$$

式中 ϵ_x ——所计算的徐变应变值；

ϵ_j ——加载时（ σ_a 作用下）的弹性应变值；

φ ——徐变变形与弹性变形的比值，一般称为徐变系数。

显然，由上式若知道 φ ，即可得到在 σ_a 作用下的徐变应变值 ϵ_x 。关于徐变系数 φ 的计算有如下两种方法：

(1) 公式法

徐变系数可按下列公式计算：

$$\varphi(t, \tau) = \beta_a(\tau) + 0.4\beta_l(t-\tau) + \varphi_f[\beta_f(t) - \beta_f(\tau)] \quad (2.1.1)$$

式中 t ——所要求徐变系数时的混凝土龄期;

τ ——混凝土加载时的龄期;

$$\beta_a(\tau) = 0.8 \left[1 - \frac{R(\tau)}{R_\infty} \right]$$

$\beta_a(t-\tau)$ ——随时间而增长的滞后弹性应变, 其值可由(图2.1.5)查取;

$\frac{R(\tau)}{R_\infty}$ ——混凝土龄期为 τ 时的强度 $R(\tau)$ 与最终强度 R_∞ 之比, 可由(图2.1.6)查取;

φ_f ——塑流系数, $\varphi_f = \varphi_{f1} \cdot \varphi_{f2}$;

φ_{f1} ——依周围环境而定的系数, 由表2.1.1查取;

φ_{f2} ——依理论厚度 h 定的系数, 由(图2.1.7)查取, 而 h 按下式确定: $h = \lambda \frac{2A_h}{u}$

λ ——依周围环境而定, 由表2.1.1查取;

A_h ——构件混凝土截面积;

u ——与大气接触的截面周边长度;

$\beta_f(t), \beta_f(\tau)$ ——随混凝土龄期而增长的滞后塑性应变, 与理论厚度 h 有关, 可由

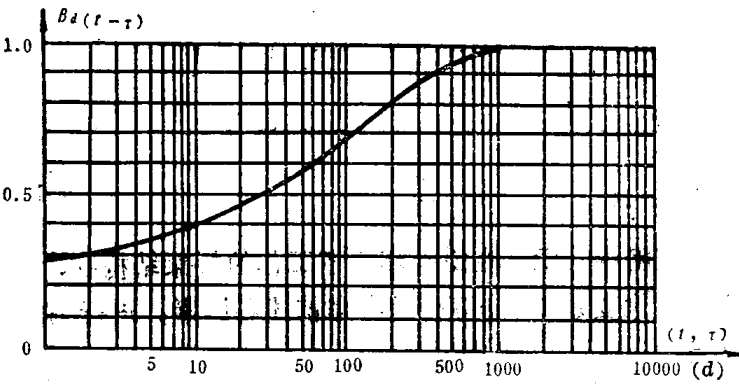


图 2.1.5 随时间而增加的滞后弹性应变

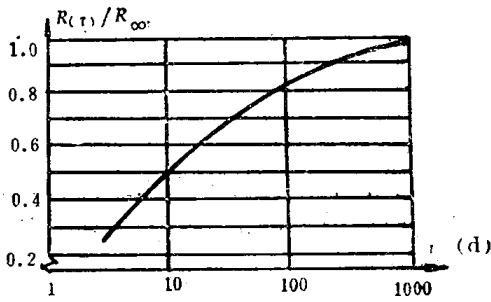


图 2.1.6 混凝土龄期与强度

表 2.1.1 徐变基本系数

环境条件	相对湿度	系 数	
		φ_{f1}	λ
冰 中		0.8	30
很潮湿的大气	90%	1.0	5
野外一般条件	70%	2.0	1.5
很干燥的大气	40%	3.0	1.0

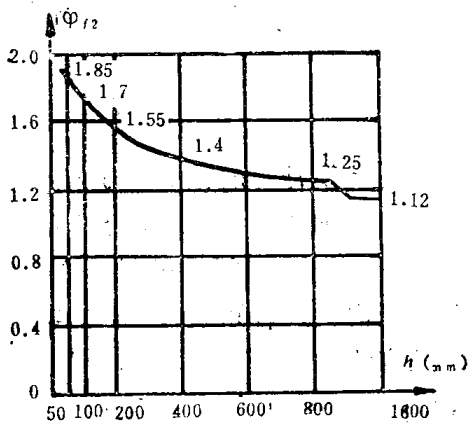


图 2.1.7 理论厚度对徐变系数影响

(图2.1.8)查取。

(2) 近似查表法

不要求十分精确时,混凝土最终徐变系数 $\varphi(t_{\infty}, \tau)$ 可采用表2.1.2的数值。该表适用于硅酸盐水泥配制的中等稠度的普通混凝土。混凝土的徐变系数 $\varphi(t, \tau)$ 随时间的发展与其最终值的比值 β ,可按(图2.1.9)中的曲线来估计。

例2.1.1 某预应力混凝土矩形截面梁,截面尺寸为 $25 \times 70\text{cm}$ 。相应于混凝土设计标号 R 的90%时施加预压力。该构件位于野外一般条件地区,相对湿度为70%。试求该截面:

(1) 最终徐变系数 $\varphi(t_{\infty}, \tau)$;

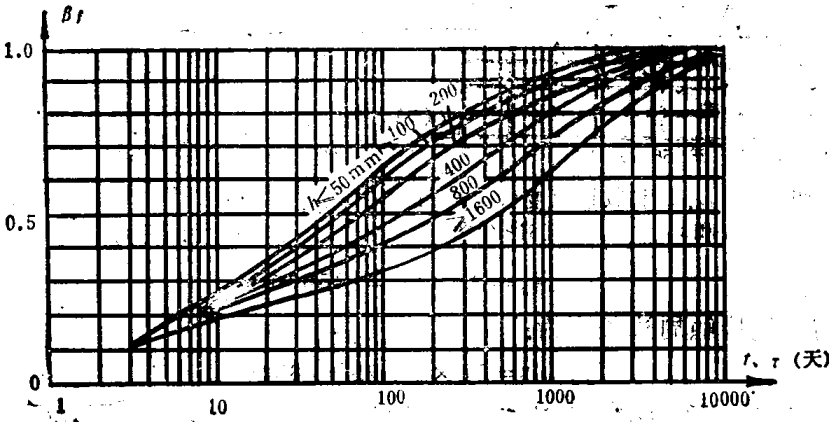


图 2.18 随混凝土龄期而增长的塑性应变

(2) 该梁浇筑100天时的徐变系数 $\varphi(t_{100}, \tau)$

解: 由式(2.1.1), 加载龄期 τ , 相应于混凝土设计标号 R 的90%时, 为徐变系数终值 $\varphi(t_{\infty}, \tau)$ 和收缩应变终值 $\epsilon(t_{\infty}, \tau)$

表 2.1.2

大 气 条 件		相 对 湿 度 75%		相 对 湿 度 55%	
项 目	构件埋 受荷 时混 凝土 龄期	$\frac{2A_h}{u}$ (cm)		$\frac{2A_h}{u}$ (cm)	
		≤ 20	≥ 60	≤ 20	≥ 60
徐变系数 $\varphi(t_{\infty}, \tau)$	3~6	2.7	2.1	3.8	2.9
	7~60	2.2	1.9	3.0	2.5
	>60	1.4	1.7	1.7	2.0
收缩应变 $\epsilon(t_{\infty}, \tau)$, 10×10^{-3}	3~6	0.26	0.21	0.43	0.31
	7~60	0.23	0.21	0.32	0.30
	>60	0.16	0.20	0.19	0.28

$$0.9R = R \frac{\lg \tau}{\lg 28}$$

得

$$\tau = 21 \text{ 天}$$

若要求最终徐变系数, 则 $t \rightarrow \infty$ 。100天时徐变系数, 则 $t = 100$ (天)。

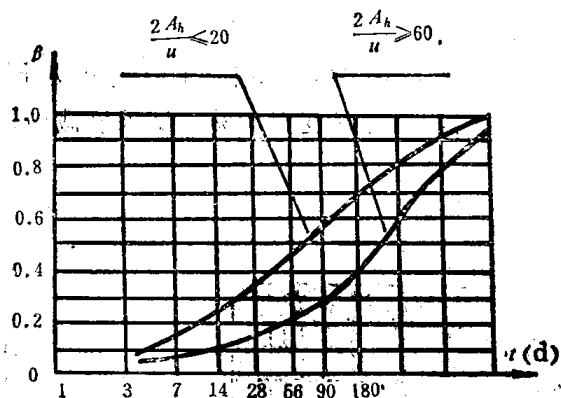


图 2.1.9 徐变系数 $\varphi(t, \tau)$ 和收缩应变 $\epsilon(t, \tau)$ 与其最终值 $\varphi(t_{\infty}, \tau)$ 和 $\epsilon(t_{\infty}, \tau)$ 比值 β 选线图

(1) $\varphi(t_{\infty}, \tau_{21})$ 时:

由 (图 2.1.6), 得:

$$\frac{R(t_{\infty})}{R_{\infty}} = 0.67$$

$$\text{则 } \beta_{a(t_{\infty}, \tau_{21})} = 0.8(1 - 0.67) = 0.264$$

由 (图 2.1.5) 得:

$$\beta_{a(t_{\infty}, \tau_{21})} = 1.0$$

由表 2.1.1 得:

$$\varphi_{f1} = 2.0 \quad \lambda = 1.5,$$

该截面面积为:

$$A_h = 25 \times 70 = 1750 \text{ cm}^2,$$

该截面与大气接触周边长度为:

$$u = 70 \times 2 + 25 = 165 \text{ cm}$$

这里, 计算 u 时, 考虑截面顶边有桥面板严密复盖, 故该边长 25 cm 不计入之内。

该截面理论厚度为:

$$h = \lambda \frac{2A_h}{u} = 1.5 \times \frac{2 \times 1750}{165} = 31.82 \text{ cm} \\ = 318.2 \text{ mm}$$

由 (图 2.1.7) 得:

$$\varphi_{f2} = 1.471$$

则

$$\varphi_f = \varphi_{f1} \cdot \varphi_{f2} = 2.0 \times 1.471 = 2.942$$

根据 $h = 318.2 \text{ mm}$ 和 $\tau = 21$ 天, $t \rightarrow \infty$, 由 (图 2.1.8) 可得:

$$\beta_{f(t_{\infty}, \tau_{21})} = 0.30 \quad \beta_{f(t_{\infty})} = 1.00$$

于是由式 (2.1.1):

$$\varphi(t_{\infty}, \tau_{21}) = 0.264 + 0.4 \times 1.0 + 2.942 \times (1 - 0.3) = 2.723$$

(2), $\varphi(t_{100}, \tau_{21})$ 时:

根据 $t - \tau = 100 - 21 = 79$ 天, 由图 2.1.5 得:

$$\beta_{a(t_{100}, \tau_{21})} = 0.65$$

该构件在浇筑混凝土后 100 天时, 考虑到截面四周都与大气接触, 则

$$u = 70 \times 2 + 25 \times 2 = 190 \text{ cm}$$

该截面理论厚度为:

$$h = \lambda \frac{2A_h}{u} = 1.5 \times \frac{2 \times 1750}{190} = 27.63 \text{ cm} = 276.3 \text{ mm}$$

由 (图 2.1.7) 得:

原
书
缺
页