

高等学校试用教材

结构设计原理

(公路工程
桥梁与隧道 专业用)

西安公路学院
南京工学院 合编
河北工学院

人民交通出版社

624661

554

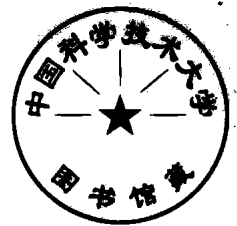
5807

高等学校试用教材

结构设计原理

(公路工程
桥梁与隧道 专业用)

西安公路学院
南京工学院 合编
河北工学院



人民交通出版社

内 容 提 要

本书共分五篇：木结构，钢结构，钢筋混凝土结构，预应力混凝土结构，砖、石及混凝土结构。书中以1974年我国交通部部标准《公路桥涵设计规范》（试行）及1978年《公路预应力混凝土桥梁设计规范》（试行）为主要依据，阐述各种结构的设计原理，其中钢筋混凝土结构按极限状态法计算受弯构件一章，主要参照国家建委颁布的《钢筋混凝土结构设计规范》（TJ10-74）（试行）编写。

本书作为高等学校《公路工程》及《桥梁与隧道》专业试用教材，亦可供公路交通部门有关专业工作人员或业余学习者的参考。

书中总论、木结构、钢结构由西安公路学院金辅琮、毛瑞祥编写；钢筋混凝土结构由南京工学院邵容光、郭永琛编写；预应力混凝土结构，砖、石及混凝土结构由河北工学院陈水华、王康、李远光编写。全书由南京工学院主编。同济大学袁国干、梁惠娟主审。

希望使用本书的单位或个人多多提出改进意见，径寄南京工学院公路工程教研组，以便今后修改。

高等学校试用教材

结构设计原理

（公路工程 专业用）
（桥梁与隧道）

西安公路学院

南京工学院 合编

河北工学院

人民交通出版社出版

（北京市安定门外和平里）

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{8}$ 印张：23.5 字数：587 千

1979年12月 第1版

1979年12月 第1版 第1次印刷

印数：0001—6,550 册 定价：2.40元

目 录

总 论.....	1
----------	---

第一篇 木 结 构

第 一 章 木材.....	8
第一节 木材的力学性能.....	8
第二节 计算用的基本数据.....	15
第 二 章 基本构件计算.....	18
第一节 轴心受拉构件.....	18
第二节 轴心受压构件.....	19
第三节 受弯构件.....	20
第四节 偏心受拉构件.....	24
第五节 偏心受压构件.....	24
第 三 章 构件的结合.....	26
第一节 概述.....	26
第二节 榫结合.....	26
第三节 键结合.....	31
第四节 栓钉结合.....	32

第二篇 钢 结 构

第 四 章 钢材.....	37
第一节 钢的种类与钢材的规格.....	37
第二节 钢材的物理力学性能.....	41
第三节 计算用的基本数据.....	45
第 五 章 钢结构的连接.....	46
第一节 概述.....	46
第二节 焊接.....	47
第三节 铆钉连接.....	55
第四节 螺栓连接.....	66
第 六 章 轴向受力构件.....	72
第一节 概述.....	72
第二节 轴心受拉构件.....	74
第三节 轴心受压构件.....	75

第四节 组合式受压构件	82
第五节 偏心受拉及偏心受压构件	89
第七章 钢板梁	93
第一节 钢板梁的基本构造	93
第二节 钢板梁的截面选择	94
第三节 钢板梁截面沿跨长的变化	99
第四节 翼缘与腹板的连接	101
第五节 钢板梁的拼接	102
第六节 钢板梁的局部稳定性	104

第三篇 钢筋混凝土结构

第八章 钢筋混凝土结构的材料	112
第一节 概述	112
第二节 混凝土的物理——力学性能	113
第三节 钢筋	122
第四节 钢筋与混凝土的共同工作	128
第五节 计算用的基本数据	130
第九章 受弯构件正截面强度计算	135
第一节 概述	135
第二节 受弯构件的工作阶段	139
第三节 受弯构件正截面计算的基本公式	144
第四节 单筋矩形截面强度计算	148
第五节 双筋矩形截面强度计算	160
第六节 T形截面强度计算	163
第十章 受弯构件斜截面计算	170
第一节 钢筋混凝土梁的剪应力	171
第二节 钢筋混凝土梁的主应力	175
第三节 钢筋混凝土梁箍筋和斜筋的设计计算	178
第四节 全梁承载力的校核及构造要求	181
第五节 T形梁梁肋与翼缘相接处直接剪应力验算	186
第十一章 钢筋混凝土受弯构件裂缝与变形计算	187
第一节 受弯构件的裂缝宽度计算	187
第二节 受弯构件的变形(挠度)计算	191
第十二章 受扭及弯—扭构件	197
第一节 概述	197
第二节 受扭构件的主拉应力计算	197
第三节 抗扭钢筋计算	198
第四节 复杂截面的抗扭计算	201
第十三章 轴心受压与轴心受拉构件	202

第一节	普通箍筋柱	203
第二节	螺旋筋柱(间接箍筋柱)	208
第三节	轴心受拉构件	211
第十四章	偏心受压与偏心受拉构件	212
第一节	偏心受压构件的构造	212
第二节	大、小偏心的划分及纵向弯曲的考虑	213
第三节	矩形截面小偏心受压构件的计算	216
第四节	矩形截面大偏心受压构件的计算	225
第五节	I形、T形和箱形截面偏心受压构件的计算	235
第六节	圆形截面偏心受压构件的计算	238
第七节	环形截面偏心受压构件的计算	247
第八节	特殊形状截面偏心受压构件的计算	252
第九节	矩形截面偏心受拉构件	259
第十五章	极限状态法简介	260
第一节	极限状态法计算的基本概念	260
第二节	受弯构件正截面强度计算	270
第三节	受弯构件斜截面强度计算	272

第四篇 预应力混凝土结构

第十六章	预应力混凝土结构的基本原理与材料	282
第一节	预应力混凝土的基本原理	282
第二节	预应力混凝土构件施加预应力的方法	284
第三节	锚具	285
第四节	预应力混凝土结构的材料	290
第十七章	受弯构件	295
第一节	构造	295
第二节	张拉控制应力及预应力损失	298
第三节	预应力混凝土受弯构件各受力阶段的分析及计算特点	308
第四节	强度计算	312
第五节	应力验算	318
第六节	端部锚固区的验算	323
第七节	变形计算	327
第八节	预应力混凝土梁设计概述	328
第九节	部分预应力混凝土(有限预应力混凝土)及预应力组合梁简介	332
第十节	预应力混凝土受弯构件计算示例	334
第十八章	轴向受力构件	350
第一节	轴心受拉构件	350
第二节	偏心受压构件	350
第三节	偏心受拉构件	353

第五篇 砖、石及混凝土结构

第十九章 砖、石及混凝土结构材料的主要物理——力学性能	354
第一节 砖、石、混凝土结构材料	354
第二节 砌体抗压强度	356
第三节 砌体抗拉、抗弯与抗剪强度	359
第四节 砌体弹性模量与线膨胀系数	361
第二十章 砖、石与混凝土结构的计算	362
第一节 轴心受压	362
第二节 局部承压	362
第三节 直接抗剪	363
第四节 弯曲受拉	363
第五节 偏心受压	364
本书所用单位的单位制换算表	370
主要参考书	370

总 论

一、本课程的任务及与其他课程的关系

《结构设计原理》主要是研究木、钢、钢筋混凝土、预应力混凝土和砖、石及混凝土结构的构件设计原理，包括如何合理选择构件截面尺寸及其联结形式，并根据荷载验算构件的强度、稳定性、刚度和裂缝（钢筋混凝土结构），为今后学习桥梁和其它道路人工构造物的设计打下基础。



图 1

图1所示为一梁式桥，系由桥面板、横梁、主梁、桥墩和桥台等几个主要部分所组成。图2、3所示为拱桥，拱桥则由桥道部分、拱上建筑、主拱圈或桁架拱片、桥墩和桥台等几个主要部分所组成。桥梁或道路人工构造物要受到各种力（车辆荷载、人群荷载、风力以及各部分的自重等）的作用，这些力统称为荷载。建筑物中承受荷载和传递荷载作用的部分叫做结构。结构又是由若干基本构件所组成。如上述的板、梁、柱和拱圈等都是构件，由这些构件组成了各种各样的桥梁或其它道路人工构造物。《结构设计原理》研究的对象，即是这些基本构件。

根据构件受力与变形的特点，可将构件归纳为：受拉构件、受压构件、受弯构件、受剪构件和受扭构件等几种基本形式。在工程实际中，有些构件的受力与变形情况比较简单，有些则比较复杂，可能是几种受力状态的组合。

在荷载作用下，构件受力产生变形，并且存在着破坏的可能性。但是构件的本身具有一定抵抗变形和破坏的能力，即“承载能力”。构件承载能力的大小与构件的材料性质、几何

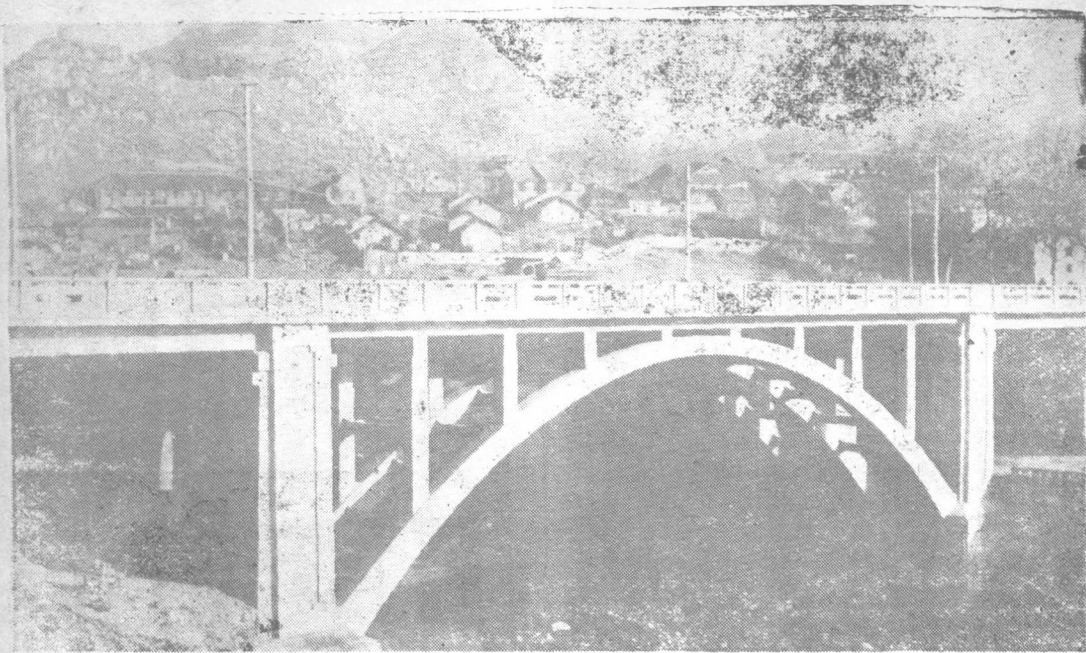


图 2

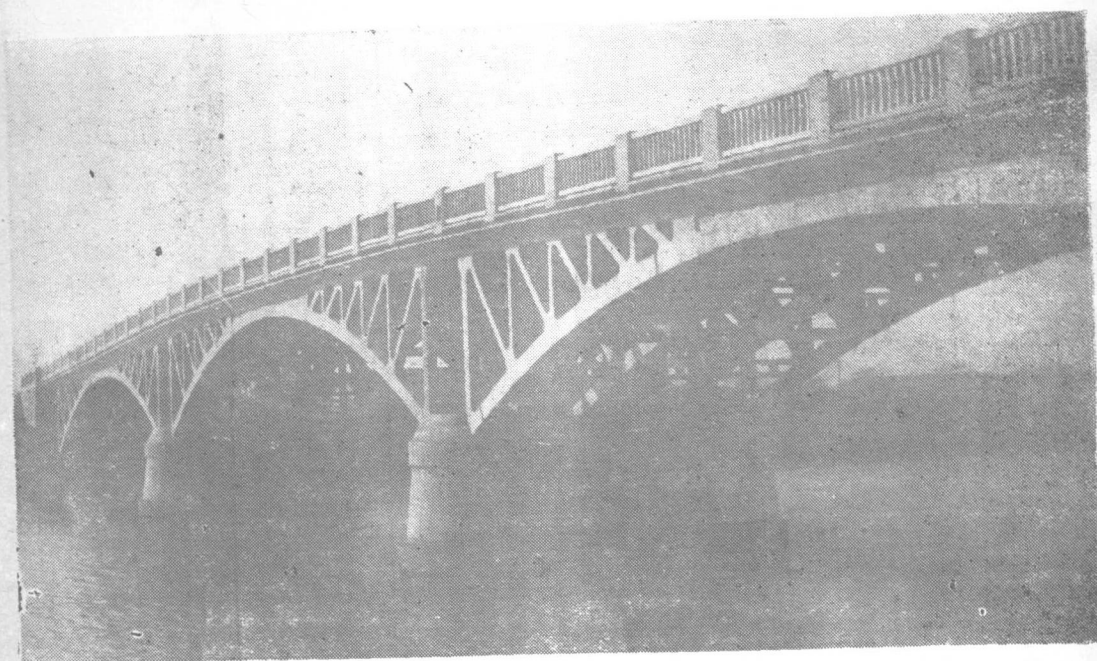


图 3

形状、尺寸、受力性质、工作条件、构造情况以及施工质量等有关。在结构设计中，当其他条件已经确定时，如果把构件的截面设计得过小，构件的承载能力小于所承受的荷载，则结构将因产生过大的变形而不能正常使用、或因材料强度不够而导致破坏。如果把截面设计得过大，构件的承载能力过分地大于所承受的荷载，又会造成人力、物力上的浪费。为此，研究如何正确地处理好荷载与承载能力之间的关系，即是本课程的主要任务。

《结构设计原理》是一门重要的技术基础课。它是在《道路建筑材料》、《材料力学》等先修课的基础上,结合构件在桥梁等工程结构中的实际工作特点来研究的,并以交通部标准《公路桥涵设计规范》(试行)(以后简称《桥规》)和交通部标准《公路预应力混凝土桥梁设计规范》(试行)(以后简称《预规》)为主要依据。学习本课程时,要学会分析和判断构件的受力特点,建立符合实际的力学计算图式。但由于建筑材料的不同,材性各异等原因,往往要依赖于科学实验的结果,因此,不可避免地在计算中要出现一些半理论半经验的计算公式。此外,本课程的另一特点是设计的多方案性。在保证结构设计基本要求的前提下,答案常常不是唯一的,而且设计也不是一次就能成功的,往往需经过几次修改,反复验算而成。这些特点都是在已学课程中所未曾遇到过的问题,必须很好的认识它,才能很好地掌握这门学科。

根据选用材料的不同,结构可分为:木结构、钢结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和砖、石及混凝土结构。其中钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和砖、石及混凝土结构等是目前我国公路桥涵与道路人工构造物广泛采用的结构,而木结构和钢结构,由于木材和钢材的用途甚广,但是目前我国木材资源不多,钢产量也很少的情况下,为了节省木材和钢材,在公路建设中采用木桥和钢桥很少,但在一些辅助性的临时工程中和在特殊情况下仍然可能使用木结构和钢结构。随着钢铁工业的不断发展,钢结构在公路工程结构中的应用,必然会有着广阔的前途,因此,对这方面的知识也必须有所了解。

二、各种材料结构的特点及其使用范围

(一)各种材料结构的比较

对于木、钢、钢筋混凝土、预应力混凝土和砖、石及混凝土等各种材料结构的优缺点,可以根据下列几个基本指标进行比较。

1.结构重量:从构件满足承载能力的角度来衡量结构的重量时,习惯上是用材料的容重 γ 与容许应力 $[\sigma]$ 之比来作比较,钢材的比重虽大,但容许应力最高,故单位应力的比重最轻,如果以钢结构的重量为1,则其他结构的重量大致为,受压结构:木1.5~2.4,钢筋混凝土3.8~11,砖石9.2~28;而受弯结构则:木1.5~2.4,钢筋混凝土3~10,预应力混凝土2~3。一般说来,结构自身的重量越轻,结构的跨越能力就越大。

2.使用:从结构的刚度、耐久性以及耐火性等方面来比较,以石砌和混凝土圬工结构为最好,钢筋混凝土和预应力混凝土结构次之,钢结构的耐火性则较差,而木结构则是一种可燃的结构。此外,钢、木结构都是抗腐蚀较差的结构,为了延长其使用寿命,养护和维修费用均较其他结构为高。

3.建筑速度:砖、石、混凝土和钢筋混凝土结构较易就地取材;钢、木结构易于快速施工;钢结构、装配式钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构可以工业化成批生产;就地浇筑的钢筋混凝土和预应力混凝土结构,以及砖石混凝土结构常受施工季节的影响,施工工期一般也较长。

(二)各种结构的使用范围

1.木结构:主要用于临时性的桥涵工程以及小规模工业与民用建筑物中;在开挖隧道、修建桥梁时常被用作模板和支架、施工时用的工棚和便桥等。因而作为临时性结构来说,其应用范围是很广泛的。

2.钢结构:由于钢材具有材性均匀、强度高、结构重量轻、构件截面积可以做得很小等

优点，故更适用于跨度大或者高大的结构物，如特大跨径的桥梁及桥梁施工中的临时结构物、高层房屋骨架、高塔和支座等，也可用于储油库、水工结构及高炉等要求防渗漏的结构物。

3.钢筋混凝土结构：由于钢筋混凝土结构具有取材容易、耐久性好、刚度大及适应性强等优点，其应用范围非常广泛，如各种桥梁、涵洞、挡土墙、水工结构物及工业与民用建筑物等。采用装配式钢筋混凝土结构，更能提高结构物的质量。但是，普通钢筋混凝土结构的缺点是截面大、自重大，在正常使用条件下，由于混凝土的抗拉强度低，所以在混凝土的受拉区总不免要出现裂缝，这就影响了某些结构（例如水池）的使用，同时也限制了高强度材料的使用。

4.预应力混凝土结构：由于混凝土被施加了预应力以后，构件在正常使用情况下，截面上可以不出现或只出现很小的拉应力，推迟了裂缝的发生，高强度钢材和高标号混凝土在结构中能充分地发挥作用，因此，这种结构近年来发展很快，已成为一种适应范围更广的结构。

5.砖、石及混凝土结构：在主要承受压力的构件中，砖、石及混凝土结构的使用最为广泛，常用在拱圈、墩台、基础、承重柱和挡土墙等结构中。

总之，各种材料的结构都有其一定的使用范围，因此在选择建筑结构的材料时，应该不但对结构的要求作种种考虑，同时还应结合施工条件、就地取材和运输起重等问题，根据当时当地的具体情况，作具体的分析。

三、建筑结构设计的基本要求

桥梁及其他道路人工构造物应根据所在公路的使用任务、性质和将来发展的需要，按照适用、经济、安全和适当照顾美观的原则进行设计。也要根据因地制宜、就地取材、便于施工和养护的原则，合理地选用适当的结构型式。

因此，在设计结构物时，应考虑权衡各有关方面的要求，并根据有关的技术标准和设计规范进行设计。对于创新的结构，应作必要的科学实验。

结构物必须在其使用期间内，保证质量可靠、使用安全。要求结构物的整体及其各个组成部分的构件在使用荷载作用下具有足够的强度、稳定性、刚度和耐久性。强度要求是指结构物在使用荷载作用下，在结构的各部件及其联结中所产生的应力均不应超过容许值。稳定要求是指整个结构物及其所有构件，在计算荷载作用下都处于稳定的平衡状态。结构物的刚度要求是指在规定计算荷载作用下，结构物不得产生过大的变形，以致影响结构的正常使用或造成施工安装中的困难，或引起结构物的过大振动而导致破坏。结构物的耐久性则要求结构在正常的使用年限内不得因荷载的反复作用而过早发生破坏或产生过大的裂缝而影响结构物的寿命。

为了满足上述要求，结构物的所有构件及其联结都必须进行设计和验算。但是只通过计算还不能保证解决所有构造上的问题，因此常需对结构工作作总体的考虑，如根据材料性质、受力情况、使用条件、施工要求等作综合分析，采取构造措施，确定构件的形状和尺寸等。

要保证结构的质量和安，并不意味着唯有扩大“安全系数”，才能使结构“保险”。而是要求我们深入生产实际，认真调查研究，做到精心设计、精心施工，牢记节约是社会主义经济的基本原则之一，在保证必要的安全度上，尽可能地节约人力、物力、财力和时间，

使结构物的设计尽可能地经济合理。结构物的经济合理性也不单纯是结构设计的问题，而且与制造、运输安装、维修和养护等各个环节都有关系，而且是彼此互相联系，互相制约的，为此就要求我们在选择结构材料、结构体系、结构形式、主要尺寸及其施工方案等各个方面，应根据具体情况，经过认真分析比较以后再加以确定。

进行结构设计应注意根据我国的资源特点，尽可能地采用适合当时当地具体情况的新材料，新工艺，新技术；对于结构构件尽量做到定型化、装配化和工业化，实现优质、高产、低消耗，这是我们必须努力的方向。

四、结构计算方法简介

一般说来，工程结构在荷载作用下可分为两个工作阶段，当荷载不大时，结构物处于弹性工作阶段；当荷载增大到一定程度时，则位于最不利截面处的部分材料处于塑性工作阶段，而结构的其它绝大部分仍处于弹性工作阶段，这个阶段往往要继续到结构失去承载能力为止，这个阶段称为弹塑性阶段。材料处于弹性工作阶段时，由荷载所引起的变形在荷载除去后基本上可全部恢复，其应力与应变关系接近于正比关系。而材料处于弹塑性工作阶段时，荷载所引起的变形在除去荷载后并不能完全恢复而留有一部分残余变形（即塑性变形），应力与应变关系不再保持正比关系。

由于材料有两个工作阶段，反映到结构计算方法上在我国目前有三种计算方法，即按容许应力法、按破坏阶段法和按根限状态法。

按容许应力法计算时，是将具体的结构材料视为理想的匀质弹性体，采用平面变形的假定及应力与应变成正比的假定，从而应用《材料力学》中的计算公式求出构件截面的最大应力，并使其小于某一考虑了安全储备后的容许应力值，例如在受弯构件计算时可取下列表达式：

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W} \leq [\sigma] = \frac{R}{K} \quad (1)$$

式中： $\sigma_{\max}$ ——构件截面的最大计算应力；

M ——构件截面的计算弯矩；

W ——计算截面的截面抵抗矩；

$[\sigma]$ ——容许应力；

R ——材料的标准强度；

K ——安全系数。

由上式可以看出，按容许应力法计算的假定只有在荷载较小时才是正确的，但与接近破坏时的实际应力分布情况是不相符的。

按破坏阶段法计算时，则不再采用匀质弹性体的假定，而是反映了结构临近破坏前的弹塑性工作阶段。此时，最不利截面上的部分材料已进入塑性工作阶段，而结构的其余部分还处于弹性工作阶段。因此，应力分布曲线一般总有一段是曲线形，不再完全是三角形了。受弯构件计算时的表达式为：

$$KM \leq M_p \quad (2)$$

式中： K ——内力安全系数；

M ——计算弯矩；

M_p ——构件破坏前截面所能抵抗的最大弯矩值，即破坏弯矩。

由上式可以看出,按破坏前的弹塑性工作阶段计算时,是根据实际破坏试验的结果,然后拟定计算应力图形及计算公式。

按极限状态法计算时,是规定三种极限状态作为计算的标准。第一种极限状态即承载能力的极限状态。要求考虑结构的强度、稳定、疲劳等问题,在计算结构的强度和稳定的极限状态时,取其结构破坏前的弹塑性工作阶段;在计算疲劳时则不考虑材料的塑性。结构达到承载能力的极限状态时,即意味着结构物破坏或发生很大的残余变形,使结构不能再继续使用。第二种极限状态即按变形的极限状态。当结构达到这种极限状态时,由于变形或振动过大而使结构物不能再继续正常地使用。第三种极限状态即按裂缝的形成或开展的极限状态。当结构达到这种极限状态时,由于形成裂缝而使结构(如水池与水管等)漏水或漏气而不能继续正常地使用;或由于裂缝开展宽度超过一定限制而钢筋外露(钢筋混凝土)有锈蚀的危险,不能保证结构物长期使用。计算结构的变形或裂缝的宽度时,则取结构在正常使用荷载下的弹性工作阶段。总之,必须通过计算来保证结构不致达到上述的任一种极限状态,从而保证结构物的正常使用。

按极限状态法计算时,分别引入了超载系数(由于荷载的变异,实际荷载有超过或小于标准荷载的可能性,某些荷载还会有一定的发展等)、匀质系数(由于材料机械性能的差异,使用的材料与计算时所取的材料标准强度可能不符等)和工作条件系数(由于个别构件上局部应力集中的影响,构件几何尺寸的可能误差,计算时所取的结构简化计算图式与实际情况的出入和计算的不精确性等)。

按第一种极限状态(承载能力极限)计算时的表达式为:

$$\Sigma nN^b \leq \Phi(S; K_1 R_1^b, m_1, \dots; K_2 R_2^b, m_2, \dots) \quad (3)$$

式中: nN^b ——超载系数乘以标准荷载引起的内力;

$K_1 R_1^b, K_2 R_2^b$ ——材料的匀质系数乘以标准强度,即为计算强度;

S ——构件截面的几何特性(如截面积、截面模量等);

m_1, m_2 ——工作条件系数;

Φ ——表示随具体结构而定的一种函数符号。

按第二种极限状态(变形的极限)计算时,其公式为:

$$\Delta \leq f \quad (4)$$

式中: Δ ——根据标准荷载求得的结构变形值;

f ——结构变形的极限容许值。

按第三种极限状态(裂缝的形成或开展的极限)计算时,其公式为:

$$e \leq e^l \quad (5)$$

式中: e ——根据标准荷载求得的裂缝开展宽度;

e^l ——裂缝宽度的极限容许值。

按容许应力法计算时,在结构安全度的处理上仅仅是对材料采用了一个总的安全系数 K (即材料的标准极限强度与容许应力的比值),不能够正确地反映各种实际因素(如荷载变异、材料的不均匀等)的影响;而且当构件接近于极限破坏时,截面上的实际应力图形已经发生了变化。因此,所采用的安全系数 K ,并不能说明容许应力增大 K 倍后,结构就要破坏,因而安全系数 K 也就没有明确的物理意义,而只能凭经验估定。

按破坏阶段法计算时,所采用的安全系数 K 规定为构件破坏时的内力与使用阶段外荷载所引起的内力的比值。安全系数说明当内力增大 K 倍以后,结构物就要破坏,因此,它有比

较明确的物理意义。

按破坏阶段法计算与按容许应力法计算的区别，是前者更多更广泛地利用了实验资料，并考虑了材料的塑性性质，可以节省材料；但是，按破坏阶段法的计算还是采用了一个单一的安全系数，具有按容许应力法计算一样的类似缺点，未能全面考虑影响安全的各种因素。此外，按破坏阶段法计算也不能给出在使用阶段下截面内的实际应力情况。

应当指出，按破坏阶段法计算的安全系数值不能直接与按容许应力法计算时的安全系数相比较，因为两者的含义是不同的。

按极限状态法计算是分别按照结构的承载能力、稳定性、刚度和裂缝开展等限制结构正常使用的极限状态来计算，并且考虑了影响安全的各个具体因素，因此比按破坏阶段法计算考虑得更为全面。可以保证结构不致破坏或影响结构的正常使用。

按极限状态法较能正确地反映实际应力分布情况，并通过安全系数提供较可靠的安全度。能根据所考虑的问题（承载能力、疲劳强度、变形、裂缝）而按照相应的应力图形进行计算；因而能更好地反映构件的实际工作情况。而且超载系数和材料匀质系数值可用数理统计法确定，相对地有较可靠的科学根据。这种计算方法虽较繁琐，但比较合理。为了计算上的方便和考虑到以往的习惯，目前建委规范中则采用了“三系数分析、单系数表达”的极限状态算法。

按容许应力法计算虽然存在着上述的一些缺点，但因结构在正常使用情况下一般都处于弹性工作阶段，因而在一定程度上还能反映结构的实际工作情况，而且这个方法已经过了长期的实践验证，安全系数也作了调整，仍是偏于安全的。但由于桥梁结构是一种常年暴露在野外的结构，而且所承受的荷载较大，使用中又要受到疲劳和冲击作用，更由于我国目前对桥梁按极限状态法计算的研究还不够充分，因此，现行的《桥规》所规定的设计计算方法仍然是采用容许应力法为基础的。

第一篇 木 结 构

木结构是以木材为基本材料，并用少量铁件组成的结构物。

由于木材是一种天然生长的建筑材料，而且采伐加工简单，所以在原始社会就已被广泛地应用于建筑方面。我国劳动人民在利用木材建筑结构物方面有着悠久的历史，几千年来创造了许多宏伟的木建筑物，有些保持至今仍然完好。

随着社会主义建设事业的发展，木材的用量越来越大，它不仅是一种重要的建筑材料，而且也是重要的化工原料。因此，合理地选材及节约木材是非常必要的。

由于木结构轻便，拼装和拆卸比较简单，因而至今在公路桥隧工程中仍被广泛地应用于桥梁的模板及支架、隧道的支撑、临时工棚、起重设备、以及施工便桥和脚手架等。

桥隧工程中所用的木材主要为针叶类树，因为针叶类树树干平直，纹理顺直，节疤较少，且木质比较柔韧而富有弹性。阔叶类树的木质较硬，强度较高，多用做木键、垫块等小件。

木材可分为原木（圆木）、削平原木和成材三种。天然生长的原木根部较粗，梢部较细，呈平缓的圆锥体，这种原木直径的变化率称为原木的锥度，在计算中，应按当地实际资料采用，当缺乏资料时，《桥规》规定可按每米0.9厘米的变化率采用。

削平原木是把原木在一面削平，或两面削平，或四面削平。木结构中采用这种木材的地方很多，但原木经切削后，不仅增加了加工工作量和减小了截面尺寸，而且因木材纤维被截断要影响木材的强度，因此应尽量避免不必要的切削。

原木的直径以小头直径为标准，以2厘米为进位。原木的长度以0.2或0.5米进位。

成材包括板材与方材，凡宽度为其厚度的三倍或三倍以上者为板材，宽度不足厚度的三倍者为方材。

木材因受到自然生长条件的限制，不但木材的匀质性很差，各部分强弱不等，并且还有大量的天然疵病（如节疤、斜纹、歪扭、裂缝等）散布在各个部位。因此木材力学性能的变化幅度很大，耐久性也差。在设计木桥涵、各种施工用的木支架和木模板时，应根据就地取材、因地制宜的原则，遵照国家关于节约木材指示的精神，在保证质量、安全使用的前提下，合理地采取处理木材缺陷的措施，尽可能地提高木材的利用率。

第一章 木 材

第一节 木材的力学性能

一、拉、压、弯、剪、承压、持久强度

木材是由具有纵向细长的空腔和厚壁的纤维体的梭状细胞组成的（图1-1）各向异性材料，木材的异向性不仅影响其物理性质，而且也影响其力学性能。木材各方向的强度依外力

与木纹所成角度的大小而异。构件受压时，顺纹强度最大，横纹强度最低，外力与木纹成角度时，其强度介于二者之间。切向与径向的强度也有些小的区别。

此外，木材生长的自然条件（土质、气候）、木材在树干上的部位、温度、湿度等也直接影响到木材的力学性能。同时在木材的生长和使用过程中，不可避免地会产生某些与木材正常组织相异的部分，如木节、斜纹及裂缝等疵病；由于这些疵病的存在，使木材的力学性能产生显著的变化。因此，通常采用没有疵病的清材制成标准小试件，在试验机上测得的强度值，折算成含水量为15%时的强度作为标准强度。而对其他不符合标准条件的各种因素则考虑相应的系数进行修正。现将木材的各种力学性能分述于下。

（一）木材受拉

木材顺纹受拉时，应力与应变曲线见图1-3。由曲线可见木材受拉时在破坏前的变形是较小的，它属于脆性破坏。

松、杉受拉极限强度为700~1000公斤力/厘米²（68600~98000千帕），弹性模量 $E = 1.1 \times 10^5 \sim 1.4 \times 10^5$ 公斤力/厘米²（ $10.78 \times 10^4 \sim 13.72 \times 10^4$ 千帕）。

木材横纹受拉时，强度很低，仅为其顺纹受拉极限强度的2.0~2.5%。

试验证明：疵病使木材受拉强度降低很多，且使其脆性破坏更加显著，其中尤以木节和斜纹的影响最大。在无斜纹的试件中，沿木纹产生的裂缝对强度无显著影响。

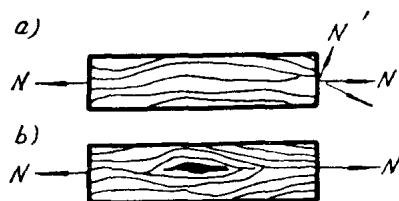


图1-2 斜纹和木节对木材受拉强度的影响
a)斜纹；b)木节

由于斜纹的存在，使轴心拉力 N 产生横纹受拉分力 N' （图1-2,a），因而降低了木材受拉强度。

木节对木材受拉强度也有很大影响，因为木节与其周围木质之间的结合很差，使构件截面有类似孔洞的削弱，且在削弱处产生应力集中，因此增加了木材的脆性，降低了木材的受拉强度，同时，由于木节破坏了木材的正常组织，在木节附近木纹倾斜，产生了局部斜纹，因而促使木材的强度更加降低（图1-2,b）。木节愈大，强度降低愈多，位于构件截面边缘的木节较位于中间时更为不利。当截面有孔洞或槽口削弱时，由于这些地方有应力集中，因而使受拉构件的工作条件更为不利。

（二）木材顺纹受压

木材顺纹受压时，应力与应变的关系曲线见图1-3。在破坏前木材有显著的塑性变形阶段，松木的受压极限强度平均值为400公斤力/厘米²（ 3.92×10^4 千帕）。弹性模量大致与受拉相似，即 $E = 1.1 \times 10^5 \sim 1.4 \times 10^5$ 公斤力/厘米²（ $10.78 \times 10^4 \sim 13.72 \times 10^4$ 千帕）。木材顺纹受压时，其比例极限也不十分明显，一般取极限强度的0.5倍。

由于木材在顺纹受压时，塑性变形较大，应力集中现象不很严重，所以木节和局部削弱对受压强度的影响较小。

（三）木材受弯

木材的弯曲试验说明，在受弯构件截面上法向应力的分布，只在加载的开始阶段才是直

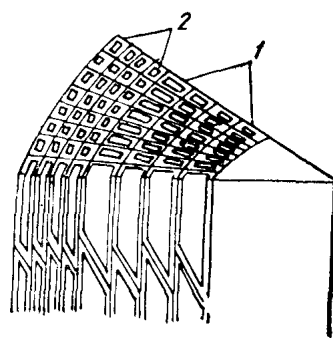


图1-1 针叶树木质细胞的排列位置
1-早材；2-晚材

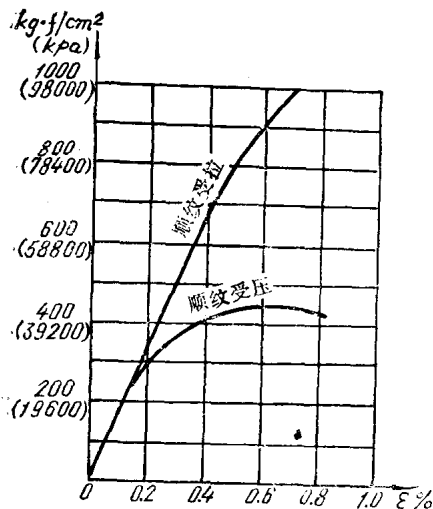


图1-3 木材受拉及受压应力应变曲线

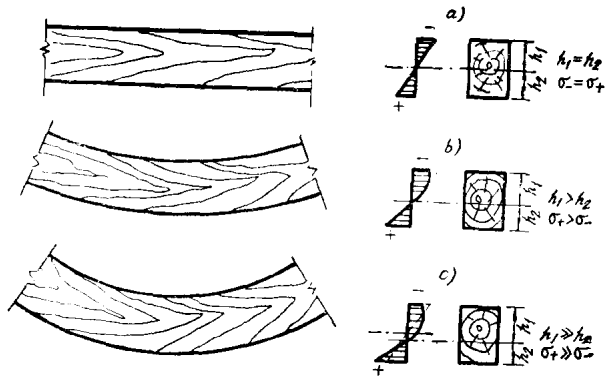


图1-4 荷载增加到破坏为止受弯木构件内的应力图

线分布 (图1-4,a); 当弯矩增大时, 受压区域开始产生塑性变形, 因而在截面的受压区应力图是一曲线, 在受拉区域仍接近直线 (图1-4,b); 当继续加载到临近破坏阶段, 受压区塑性充分发展, 压应力图更为弯曲, 而在受拉区的应力图略显微弯 (图1-4,c); 在加载过程中, 由于受压区的塑性变形发展, 压应力的增长速度较拉应力慢, 中性轴不断向受拉区方向移动, 受拉面积不断减小, 破坏先发生于受拉纤维的断裂, 接着受压纤维发生绉褶。

木材的受弯极限强度系根据破坏时的弯矩 M_P , 假定按材料力学公式 $\sigma = \frac{M_P}{W}$ 算出的“名义强度”, 与木材破坏阶段的真实应力是有出入的, 即算出的受弯极限强度, 比实际的边缘极限压应力要大, 而比实际的边缘极限拉应力要小 (图1-4,c)。因此, 木材的受弯极限强度界于受拉和受压之间, 松、杉的受弯极限强度为 $650 \sim 1000$ 公斤力/厘米² ($6.37 \times 10^4 \sim 9.80 \times 10^4$ 千帕), 受弯弹性模量大致与顺纹受拉和顺纹受压相同, 一般为 $0.9 \times 10^5 \sim 1.4 \times 10^5$ 公斤力/厘米² ($8.82 \times 10^8 \sim 13.72 \times 10^8$ 千帕)。

疵病对受弯强度的影响, 依其疵病在构件中所处的位置不同而异。木节在受拉边缘时影响最大。所以在使用中, 应将木节的一边作为受压部分, 以减少不利的影响。

(四) 木材受剪

木材受剪时可分为三种情况, 即顺纹受剪 (图1-5,a)、横纹受剪 (图1-5,b) 和截纹受剪 (图1-5,c)。

顺纹受剪是木结构中最常遇到的情况。含水量15%的松木标准试件, 其顺纹受剪极限强度的平均值是 $60 \sim 70$ 公斤力/厘米² ($5.88 \times 10^3 \sim 6.86 \times 10^3$ 千帕)。

横纹受剪极限强度比顺纹的低, 平均为 30 公斤力/厘米² (2.94×10^3 千帕)。木材截纹受剪的极限强度很高, 平均达 280 公斤力/厘米² (2.74×10^4 千帕)。在简支木梁结构中, 往往是横纹承压和弯曲起控制作用, 故对截纹受剪可不必验算。

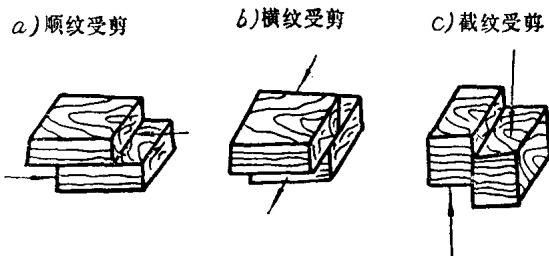


图1-5 木材受剪