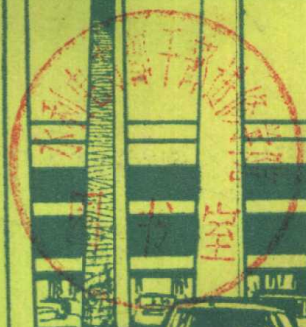


预应力混凝土设计

〔美〕H·尼尔森 著

姚玲森 沈莲芬 合译



人民交通出版社

预应力混凝土设计

〔美〕 H·尼尔森著

姚玲森 沈莲芬 合译

人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

本书原系美国康奈尔大学(Cornell University)教授 H· 尼尔森(H· NILSON)为土木工程系高年级学生编写的《预应力混凝土》教材。

该书概念明确,说理清楚透彻,内容全面,图文并茂。全书共十三章:基本概念、材料、受弯分析、梁的设计、剪力与扭转、应力损失、组合梁、连续梁和刚架、挠曲变形、板、轴向受荷构件、预制构件、应用实例。书中附有设计辅助资料、后张法锚具、国际单位制换算系数和换算公式。

本书适用于土木工程各专业的学生、教师以及工程技术人员参考。

本书一至三章、七至十三章及附录由姚玲森译,四至六章由沈莲芬译、姚玲森校。

预应力混凝土设计

Design of Prestressed Concrete

ARTHUR H. NILSON

Professor of structural engineering

Cornell University

Copyright © 1978 by John Wiley & Sons, Inc.

本书根据美国约翰·威廉父子有限公司1978年版本译出

〔美〕H· 尼尔森 著

姚玲森 沈莲芬 合译

人民交通出版社出版

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: 850×1168 1/32 印张: 18 字数: 456 千

1984年2月 第1版

1984年2月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—9,200 册 定价: 3.30 元



瑞士日内瓦湖的契隆高架桥 (Chillon viaduct)

序 言

虽然早在1886年,美国曾首次提出过混凝土施加预应力的设想,然而至20世纪30年代,由于著名法国工程师欧仁·弗莱西奈(Eugene Freyssinet)的研究,预应力混凝土才真正付诸实现。欧洲在第二次世界大战以后材料严重缺乏时期,弗莱西奈和芬斯特瓦尔德(Finsterwalder)、麦涅尔(Magnel)等其他倡导者论证了这种新颖设计构思的显然可行性,并为后来几年内所兴起的发展奠定了基础。

主要由于经济上的原因,美国曾经沿着与欧洲完全不同的方向来发展预应力混凝土。迄至目前,主要感兴趣的是中小跨径的先张法预制构件,人们能够在大大节省劳动工资费用的情况下大规模生产这种构件。这些构件被用作楼板、屋盖和墙,在新结构中已占有很大的比重,毫无疑问,它们将继续得到广泛的应用。

然而,正在起变化的经济状况在美国的工程实践中产生着重要的变化。建筑工人不再象从前那样短缺。材料价格正在不断上涨,并且出现了对于保护资源的严重关注。在这种情况下,当然工程师们应当考虑更为完善的设计的适用性,这种设计将更加充分地发挥预应力的效力。人们已经知道,对于大中跨度的桥梁、高层建筑、大跨度屋盖以及其他各种结构而言,预应力混凝土目前能成功地与其他结构型式相竞争。

这种实际情况的变化已经要求工程师们扎实地领悟预应力混凝土工作特性和设计的基本原理,不仅能够有效地从现有结构型式选定最佳的型式,而且也能有把握地应用基本概念于罕见的复杂情况。

作者希望这本教材对于增进上述基本原理的理解会起作用。本书是根据整整15年间作者在康奈尔大学(Cornell University)

向土木工程系学生讲授预应力混凝土时所写的一套讲稿逐渐形成的。曾经尽一切努力来保证对于基础力学和工作特性的透彻理解。虽然本书主要用作大学四年级或五年级的教材,然而作者曾特别致力于清晰的、独具特色的文字阐述,以使本书能为那些希望增进这一较新领域的知识的工程师们自学之用。书中材料曾经仔细地与美国实践所遵循的规范和准则协调一致,特别是美国混凝土学会(ACI)建筑规范,以及公路结构所用的美国各州公路与运输工作者协会(AASHTO)规程和铁路结构所用的美国铁道工程协会(AREA)设计手册。

设想学生在此以前已经熟悉了钢筋混凝土工作特性和设计的基本情况。在钢筋混凝土设计中早已遇到的某些基本原理,这里不作详细阐述;对于其他方面的一些原始资料均列出了参考文献。

内容安排都仿照作者的讲课计划。在第一章和第二章介绍了基本概念和材料性质之后,第三章至第五章提出梁的分析和设计。预张拉力的损失在第六章内考虑。可能有争议的是应力损失的分析是否应当放在梁的分析和设计之前,但是作者的结论是:从教学观点上看,早一些在设计工作方面取得进展是有利的。在许多实际情形下,损失不必考虑得比第三章和第四章中更仔细。

挠度分析(第九章)和板的设计(第十章)都是基本内容,应当作为首要的学习课目。然而,教师可能没有时间来讲授组合梁或连续梁(分别为第七章和第八章)。这些章节以及轴向受荷构件(第十一章)的论述可以推迟至稍后讲授,或者通过自学来消化。

已经写出的分别涉及预制结构和应用实例的第十二章和第十三章,可以将其规定为课外读物。

附录A包含各种设计辅助资料。这些资料在所给出的举例和习题方面都是有用的,并且也可以使本书成为对于从事实际工作的工程师有用的案头辅助工具。附录B包括某些常用的后张法体系的工程数据。本书并不企图包罗万象,而只是介绍足够的

资料使能在实际问题中具体拟定构件的尺寸。

提一提本书有关所用到的度量单位是必要的。全国出现了采用国际单位制(SI)的动向。在许多情况下,基础科学和工程科学的课程现在都是用国际制来教学的。有些工业部门已经改过来了。可是,在当前美国的结构工程中,熟悉的“英制”或“通用制”单位几乎仍旧到处在使用。随着设计规范和细则的公制化,至少要好几年才能改成国际单位制。支配着绝大部分美国混凝土设计和施工的美国混凝土学会规范的新版本,仍旧全部用通用制单位书写。

考虑到本教材的使用者可能在先修课程中已经熟悉国际制单位,但不久又将进入流行通用制单位的设计部门,因此著者已作了以下的安排:(1)关于基本性质的所有图和表列资料均用二种单位给出;(2)所有量纲不一致的公式均用通用制单位给出,但在单独的附录C中列出了国际制的换算值;(3)举例都采用通用制单位,而对于原始数据和主要解答都在括号内提供了国际制换算值;以及(4)附录A中的设计辅助资料只用通用制单位给出。这是妥善处理既要鼓励采用明显优越的国际单位制与又要承认今后五至十年内工作实际的可能事实之间关系的合理办法。

著者 H·尼尔森

于纽约 伊瑟克 1978.3

目 录

第一章 基本概念	1
§1 引言	1
§2 举例	6
§3 等效荷载	9
§4 超载性能和抗弯强度	11
§5 部分预应力	13
§6 施加预应力的方法	14
§7 预张拉力的变化	21
§8 荷载、强度和结构安全	23
第二章 材料	32
§1 引言	32
§2 高强度钢材的重要性	33
§3 预应力钢筋的种类	35
§4 非预应力钢筋	38
§5 钢材的应力-应变特性	40
§6 钢材的松弛	43
§7 混凝土的种类	45
§8 单轴受压的混凝土	47
§9 单轴受拉的混凝土	50
§10 双轴受力的混凝土	52
§11 与时间相关的混凝土变形	54
第三章 受弯分析	60
§1 引言	60
§2 符号	61
§3 预张拉力的部分损失	62

§4	无裂缝梁的弹性弯曲应力	63
§5	容许弯曲应力	73
§6	裂缝荷载	76
§7	抗弯强度	79
§8	全预应力和部分预应力	98
§9	开裂后的弯曲应力和部分预应力梁的强度.....	103
第四章 梁的设计.....		116
§1	设计基本原理.....	116
§2	安全性和适用性标准.....	118
§3	按容许应力的受弯设计.....	119
§4	偏心距沿跨径的变化.....	132
§5	预张拉力沿跨径的变化.....	137
§6	高度受限制的梁.....	139
§7	形状选择和抗弯效率.....	143
§8	标准截面.....	146
§9	承载能力有余的截面.....	147
§10	荷载平衡法受弯设计	151
§11	按部分预应力和极限强度的设计	159
§12	粘结应力、传递长度和发展长度	166
§13	锚固区设计.....	170
§14	裂缝控制.....	178
第五章 剪切与扭转.....		187
§1	引言.....	187
§2	未开裂梁内的剪应力和斜拉应力.....	188
§3	斜裂缝剪力.....	193
§4	腹板抗剪钢筋.....	200
§5	ACI 规范的剪切设计标准.....	204
§6	举例: 腹板剪力钢筋设计.....	211
§7	混凝土结构的扭转.....	215
§8	预应力混凝土的抗扭设计.....	217

§9 扭转和剪切.....	225
§10 举例: 受组合荷载的预应力梁的设计	231
第六章 预张拉力的部分损失.....	238
§1 引言.....	238
§2 损失的综合估值.....	240
§3. 损失值的详细计算.....	242
§4 锚具滑移.....	243
§5 混凝土的弹性缩短.....	244
§6 摩阻损失.....	245
§7 混凝土的徐变.....	249
§8 混凝土的收缩.....	251
§9 钢筋的松弛.....	252
§10 举例: 各种损失计算	253
§11 时间分段法的损失计算	257
第七章 组合梁.....	261
§1 组合结构的类型.....	261
§2 荷载阶段.....	263
§3 截面性质和弹性弯曲应力.....	264
§4 抗弯强度.....	273
§5 水平剪力的传递.....	276
§6 剪力和斜拉力.....	280
第八章 连续梁和刚架.....	284
§1 简支梁与连续性.....	284
§2 预应力筋的形状和布置方式.....	285
§3 预张拉作用的弹性分析.....	291
§4 等效荷载分析法.....	295
§5 举例: 超静定预应力梁.....	297
§6 线性转换.....	301
§7 吻合力筋.....	305
§8 弹性范围内的混凝土应力.....	306

§9 抗弯强度	308
§10 弯矩重分布和极限分析	311
§11 超静定刚架	314
第九章 挠曲变形	321
§1 引言	321
§2 计算原理	323
§3 挠度计算的近似法	327
§4 有效惯性矩	329
§5 应用时段递增的精确计算	330
§6 挠度计算举例	333
§7 组合构件	341
§8 容许挠度	342
第十章 板	346
§1 引言	346
§2 单向板	349
§3 周边支承双向板的受力特性	353
§4 周边支承板的双向荷载平衡	354
§5 不平衡荷载的实用分析	358
§6 双向板的挠度	367
§7 双向板的抗弯强度	371
§8 墙支承双向板的举例	372
§9 预应力无梁平板	377
§10 无梁平板的工作特性	378
§11 平衡荷载阶段	382
§12 等效刚架法	386
§13 无梁平板的抗弯强度	391
§14 无梁平板的剪力	392
§15 非预应力钢筋	401
§16 无梁平板的挠度	403
§17 无梁平板的设计举例	408

第十一章 轴向受荷构件	419
§1 引言	419
§2 预应力柱的工作特性	419
§3 绘制柱子相关图的举例	426
§4 柱内的非预应力钢筋	429
§5 细长柱的工作特性	431
§6 考虑细长度影响的实用方法	436
§7 受拉构件的工作特性	440
§8 预应力混凝土受拉构件工作特性举例	445
§9 受拉构件设计	447
§10 刚架系杆的设计举例	448
第十二章 预制结构	453
§1 引言	453
§2 建筑物的预制构件	454
§3 连接的构造细节	463
§4 连接设计的剪切-摩阻法	470
§5 牛腿	476
§6 升板结构	478
§7 桥梁的标准构件	479
§8 分段预制的桥梁结构	482
第十三章 应用实例	485
§1 引言	485
§2 桥梁	485
§3 薄壳和摺板	494
§4 桁架和空间框架	495
§5 蓄水塔	497
§6 核容器	499
§7 路面	501
§8 海洋结构	502
§9 其他构件	505

§10 塔和柱	510
附录 A 设计辅助资料.....	515
附录 B 后张法锚具.....	527
附录 C 国际单位制换算系数和相应的国际单位制 设计公式.....	554

第一章 基本概念

§1 引言

概括地说，预加应力可以解释为：在所要求的设计荷载作用之前，在结构上预先加载，用这样的方法来改善结构总的工作性能。虽然预加应力的原理和技术已经应用于很多类型和材料的结构，但是最普遍的是用于设计混凝土结构。

混凝土基本上是受压材料，它的抗拉强度要比抗压强度低很多，因而在许多情形下在设计中完全不计抗拉能力。所以，对混凝土预加应力，本质上就是在作用预期的设计荷载之前施加压力荷载，以使不然会出现的拉应力得以减小或被消除。

事实上，最初关于预应力混凝土的概念是在梁内加入足够的轴向预压应力，以使在受荷构件内消除混凝土中的全部拉应力。然而，随着对于这种较新结构型式的知识的增长，现在已经很清楚，这种观念是不必要的限制，而且在目前的设计实践中混凝土的拉应力，甚至于一定限度的裂缝也是被容许的。借助改变预压应力的大小，可以将裂缝的数量和宽度限制至所希望的程度。同样重要的是构件的挠度可以得到控制。甚至梁可以设计成在规定的预应力与外荷载的组合下具有零挠度。在改善使用性能的意义上来讲，这样的部分预加应力，不仅比普通钢筋混凝土结构，而且比原来的全预应力方式，都显示出重要的改进。全预应力方式虽然消除了使用荷载下的裂缝，但往往产生麻烦的上拱度。

诚然，预加应力已经获得其重要的地位不仅仅是由于改善了的使用性能。通过在使用荷载下对于裂缝和挠度的控制，预加应力就有可能应用经济有效的高强钢筋和高强混凝土。

普通钢筋混凝土梁内的裂缝宽度大体上与受拉钢筋的应力成

正比，由于这一原因，钢筋应力必须限制至远低于在其他情况下可能采用的数值。在预应力混凝土梁内，由于钢筋被锚固于混凝土之前以及构件承受荷载以前钢筋已受到大部分的应变，故很高的钢筋应力并不伴随着宽的混凝土裂缝。

普通钢筋混凝土梁的挠度也直接与应力相关。如果容许很高的应力，则随着混凝土和钢筋产生的大的应变必然会导致构件各横截面显著的转动，这就直接转化成大的挠度。通过预张拉预应力梁的高强钢筋，就避免了要不然会发生的大的转动和挠度。而且，对于给定的截面尺寸来说，基本上无裂缝的混凝土构件的刚度，要比当裂缝容许达到钢筋混凝土结构一般限度时的来得大。

所以，预应力混凝土之具有魅力，不仅是由于通过控制裂缝和挠度改善了使用荷载下的工作特性，而且是因为它可以利用有效的高强度材料。可以使用小而轻的构件。恒载与活载之比得以减小，跨度就可增大，从而可能应用混凝土结构的范围也就大大地扩大。

著名的法国工程师欧仁·弗莱西奈首先认识到预加应力使混凝土结构的工作性能得到引人注目的改善。早在1911年他就研究了混凝土收缩和徐变与时间相关的作用，这一研究使他认识到要应用初始应力很高的钢筋来对混凝土构件施加预应力的重要性。1940年他就介绍了一种楔块锚固高强钢丝束的预加应力体系，这是一种现在仍旧广泛应用的具有很大现实意义的构造装置。

图1.1和1.2表示在法国露占西（Luzancy）跨越马恩河（Marne）的著名桥梁，它显示了某种创新和大胆，这是弗莱西奈后期设计的典型代表。这座建于1941年的非常平坦的双铰门式刚架结构，其跨度为180英尺，跨中梁高只有4.17英尺，跨度与梁高之比为43。为了补偿收缩和徐变作用，此桥的铰支座还设有调节装置。

工字形的桥梁块件是预制的。首先浇灌翼缘，并且翼缘用钢丝相连接，在浇灌腹板之前借将翼缘相互顶开的方法张拉钢丝。当腹板被浇灌之后，就放松顶力而对腹板施加预压应力，以此来



图1.1 在露占西跨越马恩河跨度为180英尺的桥梁，弗莱西奈设计，建于1941年

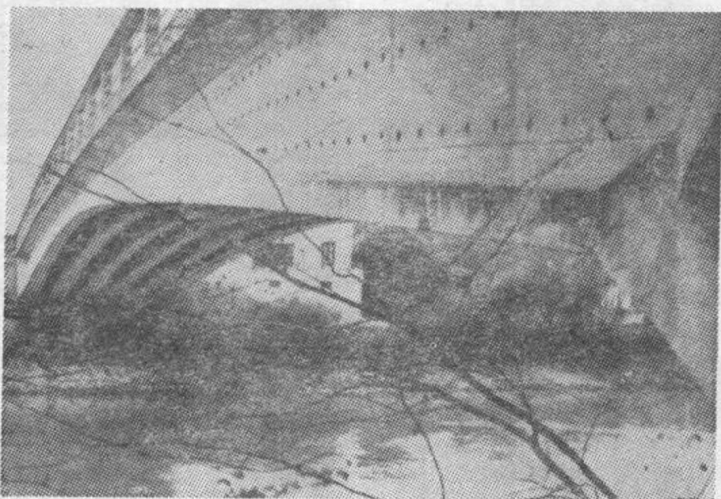


图1.2 露占西桥概貌

抵消荷载引起的斜拉应力。然后将一些单独块件装配成较大的组件，再用缆索起重机将它们安装就位，进而整个结构就用后张法张拉。这座结构，以及在同一地区的另外五座接近相同的桥跨，为目前广泛应用的分段预制桥梁提供了范例。

预应力已经被非常有利地应用于各种各样的场合，其中有一些可用下面的照片加以说明。图1.3表示支承楼板的预制“双T”梁的应用，净跨度约为20英尺。端支承采用了跨越窗户的L形截面预制梁，它也是预应力的。这样的装配式预应力结构在整个美国已得到广泛应用。

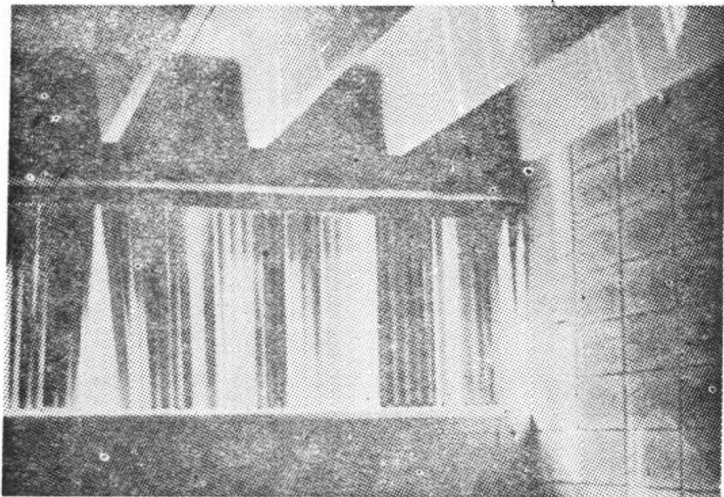


图1.3 装配式预应力双T形楼板梁

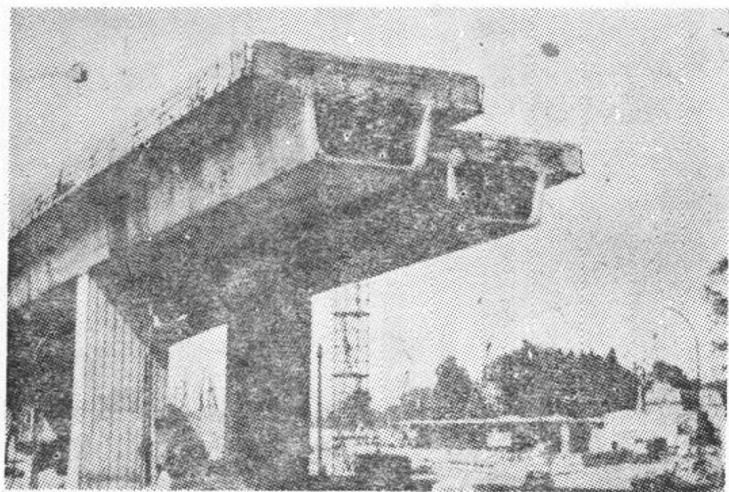


图1.4 应用分段悬臂浇筑法施工中的一对箱梁桥