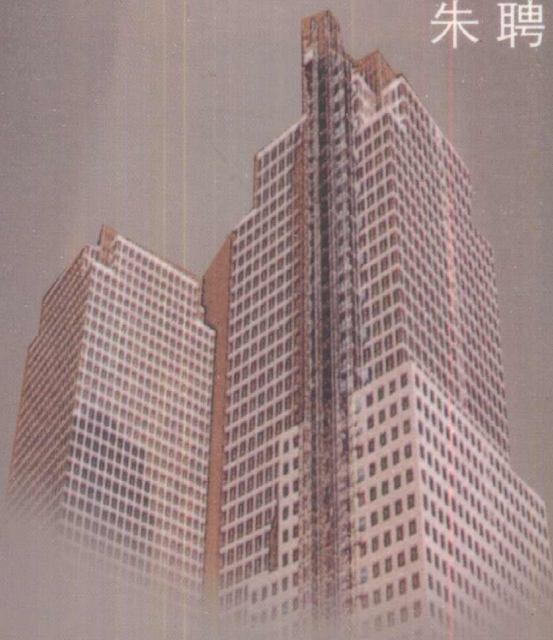


新技术·新方法·新科学知识论丛

混凝土结构设计

—— 实践与探索 ——

朱聘儒 编著



0.4



西南交通大学出版社

587
新技术·新方法·新科学知识论丛

混凝土结构设计

—— 实践与探索 ——

朱聘儒 编著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

混凝土结构设计: 实践与探索 / 朱聘儒编著. —成都:
西南交通大学出版社, 2001.12
(新技术·新方法·新科学知识论丛)
ISBN 7-81057-555-4

I. 混... II. 朱... III. 混凝土结构-结构设计
IV. TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 040866 号

混凝土结构设计

—— 实践与探索 ——

朱聘儒 编著

*

出版人 宋绍南

责任编辑 丁丽波

封面设计 毕雪屏

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行科电话: 7600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbs@center2.swjtu.edu.cn

四川森林印务有限责任公司印刷

*

开本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 15

字数: 351 千字 印数: 1—3000 册

2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 7-81057-555-4/TU · 266

定价: 22.00 元

序 言

很乐意把这本书介绍给高校房建专业的师生以及干实际工作的技术人员，主要因为它是注重实用的书；编写及定稿过程中都考虑到便于初学者理解并学会运用；其特点之一是选编了不少例题，它们对学会具体演算操作富有不小的帮助。

本书作者朱聘儒教授 1951 年毕业于北京大学工学院土木系，其后即到哈尔滨工业大学任教并随前苏联专家学习。他一直主讲钢筋混凝土结构课，也曾为本科或研究生开过不少选修课，教学经验相当丰富。40 多年来他主持或参加过很多大中型结构设计项目，还参与过一些重大事故的善后处理以及某些科研项目的全过程。他经常进行阶段性小结，将新近获得的知识经验和归纳成少数“概念”或“原则”；这些东西对理论联系实际很有用，例如在引用规范条文解决具体问题，它们常有助于迅速抓住关键而防止失误。本书中不少地方提到这类“概念”或“原则”，它们在进行较深入的探索时往往有帮助、有启发。

本书内容大体上就是作者认为大学本科生应该掌握，然而现行教材及中文参考资料中却不易找到的专业知识。它们一部分来自工程实践经验的积累，一部分来自阅读外文书刊的心得体会。

本书共包括 12 个专题。朱教授曾以讲座方式将它们的基础内容在苏州城建环保学院中讲过若干次；当时的对象是城建系毕业班学生和年轻教师。这些讲座颇受欢迎，而且对学生完成毕业设计，对年轻教师写论文都起了一定的指导作用。

这些专题的内容彼此独立，故自学时可由任一个专题开始，而讲授几个专题时可用任何先后次序。

然而 12 个专题各有其来由。举例说，作者由东北调动工作到苏州后不久，发现江南的楼房与东北不同，其楼盖结构中常采用悬挑梁；而年轻的技术人员设计悬挑梁往往会有失误，其原因多半由于现行教材中对悬挑梁讲得太少。将这方面的问题和正确的解决方法汇总并进行系统化的表述，便写出专题 1。又如作者对框架—剪力墙体系内二者的协同工作情况用教材中所述分析方法进行深入的多位有效数字的计算研究时，发现有“顶端效应”（即框架与剪力墙间的假想连杆内力，在顶端处数值很大，其下则在相当长一段内连杆内力均接近于零），朱教授认为：“顶端效应”是个有用的概念，并由此出发提出了有实用价值的简化算法，这些便是专题 10 的基本内容。专题 1 属经验小结一类，专题 10 则属钻研理论的心得体会一类。12 个专题中这两类大体上各占一半。

专题 2 中的重点应该是算例及其讨论，它比较实用；但倒商公式的解释可能也很引人注意。就本人所知，倒商公式是前苏联某设计院总工程师倪克勤提出的；当时容许应力法尚通行，估计该式本来是按容许应力法的假定和叠加原理推导出来的。在改用破损阶段法或极限状态法后，此式已不可能用合理方式导出；然而仍有些人沿用此式，并发现按它计算的结果与实验值比较总是偏于安全而且误差不大，因而认为它是个很好的近似公式。本书介绍 Bresler 的解释比较形象化，因而容易理解；它在理论上没有多大问题，不过应该指出：误差不大仍是实际观察后的结论，而非严密分析的结果。

专题 8 即单层厂房的结构选型及布置，是个重要然而要有实践经验才能很好解决的问题。朱教授开讲座时，是结合课程设计题来讲，并举自己经历过的具体例子说明，这样效果较好。但写本专题时不便多举实例，就只能是这样。有时毕业不久的学生在相对偏远地区工

作，那里正要建厂，于是经历虽少也必须承担建厂总工程师的任务而负责解决结构造型及布置问题。这时建议逐条逐句地自学专题8，但不要冒失地作出最后决定。最好只作出初步决定，并拟定一些问题，然后争取机会去大设计院或高校向有经验的人请教。要知道，冒失的决定往往会导致失误，缺乏经验时这是很难免的。若结合你负责的具体工程思考之后，带着问题去请教专家，其效果当比一味读书好很多。

有些专题（3、5、7、12）是我国现行教材中讲得少而外国教材中普遍讲得较多的内容。本书所收的内容考虑到少而精，而且大体上和外国教材中的主要部分相当。

朱聘儒教授和我是1950年夏在山海关桥梁厂和郑州铁路局沿线实习时相识的。当时我带交大唐院桥梁专修科学生实习，北京大学工学院来实习的学生只有2人，就合在唐院实习队中活动。记得当时讨论中朱与其他同学不一样，能由大处着眼谈有关全局的问题。几年后我去哈尔滨工业大学短期进修时与朱接触较多，对他学习深入而认真、作阶段性小结时站得较高、对自己要求较严有深刻印象。后来读过他主编的建筑结构教材（建筑系用），感到写作态度认真，下的工夫很大。

本书定稿阶段朱教授和我合作得较好，两人在重结合实际，力求实用，并努力做到初学者容易理解、容易掌握要点而活用于实践中等等都有共识；讨论中意见不同时也能互相尊重，努力求同存异，找出定稿时宜采用的办法。所以合作是愉快的，我对定稿比较满意。至于它对读者是否如我设想的那样有帮助，那要在几年之后才能知道了。

前 言

本书是由作者近年来开过的若干次专题讲座的内容选编而成的。这些专题并不是什么高精尖的问题，也不是当前很多人钻研的热点问题；它们主要是作者在设计实践中遇到过而且认为对工程师及高年级学生有用的一些专业内容，另有一些是阅读国外教材后认为精彩而且宜于介绍给国内的内容，这些专题基本上都是作者在数学和设计时的实践总结 and 理论探索，它们在学生的毕业设计中已经起了很积极的作用。

作者深知，编写教材确有难处。当各方面看法未趋一致时，往往难于落笔；由于受到多方面的制约，最后往往是偏于传统保守方面而滞后于生产实际的新发展。混凝土结构教材中的设计部分尤其难写，现实是每5年10年就有新东西出现，然而尚未公认其成熟妥善，于是10年20年后也未必能收入正式教材。专题讲座讲义可能是一种目前情况下合用的读物。因为它比较容易灵活安排，其编写中所受的制约亦较少，也许对今后的教材建设也有一定的参考价值，因而也就萌发了作者编写本书的最初动机。

与作者这些专题讲座相配套的讲义曾在校内以铅印本发行。近3年中收集到的反映已不少；一方面作者由此知道了讲义中的一些不足之处，另一方面却也感到它满足了不少人的需求。归纳起来，本书有两点可以算作可取之处：一是安排灵活，各专题互不相关，可前可后，可增可减，可选读其一部分也可以通读，可用作选修课教材，也可用于指导设计；二是各讲的内容有一定深度，往往是一般教材上没有而且又不容易找到恰当的中文参

考资料的问题。因此它在一定程度上能起“补遗”和“解惑”的作用。在补遗方面，大多数是涉及作者个人实践中遇到过的工程问题，它们都是有现实性、时效性和实用性的问题。在解惑方面有的是作者曾因此烦恼过，经过一番探索后，有所体会而基本上解决了的问题；或者是作者个人的学习心得，虽说不上高深，但在理论联系实际、汇总个人体会、力求系统化方面多少能给读者一些启发。

本书共 12 部分，涉及混凝土结构设计中的基本构件、无粘结预应力混凝土、楼盖结构、平板分析、单层厂房结构、多层结构、结构温度内力分析及弹性地基上梁等 8 个方面。在每一讲的前面都有引言，说明问题的由来及意义，以及本讲的主要内容；它们的写法也不一样，有的近于论文，有的近于漫谈、有的类似设计指南、有的以介绍资料为主、有的则例题部分所占比重很大。这不是作者故意写成五花八门的样子，而主要是由专题讲座的内容和意图所决定，当时认为采用某一形式可能对学习和理解效果更为有利。

第 2、7、11、12 讲中例题部分都占相当大的比重。这些例题大多是作者自编自算的，其中凝集了一定的教学经验，因而有很强的可操作性。希望读者重视它们，它们可以加深对理论的领会，可以从中学到运算上的技巧；深入一些思考或模拟演算，还可以触类旁通、举一反三。

第 9、10 两讲内容可能已近于“概念设计”的范畴。作者认为概念设计大致是不通过具体计算而主要凭理性概念及经验共识而进行的一些设计策划及构造。在广泛采用电脑的今天，具体计算已不再是问题关键所在，因此“概念设计”的重要性就突显出来。人的主观能动性往往主要表现在比较成熟优良的“概念设计”上。这是比较新而尚不成熟的领域，需要有人作大胆的探索。

2000 年 8 月，作者在西南交通大学参加第 9 届全国

结构工程学术会议期间，拜访了我的老师黄棠教授并赠本书初稿请提意见，不意他立即鼓励我将该稿早日加工定稿出版，并允诺作序。经黄教授的推荐，书稿得到了西南交通大学出版社的肯定并决定出版。事后，我们师生之间不断有书信往来就书稿交换意见，并于今年3月作者再次赴蓉集中一段时间就教于黄教授而最终定稿。同时，关于本书出版的具体问题，也在西南交通大学出版社的帮助下顺利解决，作者在此向黄教授和西南交通大学出版社致谢并表示敬意。

本书可作专题讲座用，可作为学生补充读物或选修课教材，其中一部分可作为设计资料，也可供教师、工程技术人员及研究生学习提高之用。

“学而不思则罔，思而不学则殆”，愿共勉！并请多加指正。

作者谨以此书的出版纪念我在高校执教的50周年。

2001年春朱聘儒写于苏州城建环保学院

目 录

1 混凝土悬挑梁	1
1.1 概 述	1
1.2 关于悬挑跨度的选定	2
1.3 抗剪承载力验算时用哪个公式	2
1.4 纵筋在自由端的锚固方式及长度	3
1.5 悬挑梁梁端立柱的结构作用	6
1.6 牛腿设计要点	7
2 双向偏心受压及周边配筋柱偏心受压的截面计算	9
2.1 双向偏心受压构件的一般知识	10
2.2 双向偏心受压的基本计算公式	11
2.3 矩形截面周边配筋柱的单向偏心受压计算	15
2.4 算例及小结	18
3 无粘结预应力混凝土及预应力超静定结构的次内力分析	24
3.1 无粘结预应力混凝土的性能特点	25
3.2 无粘结预应力筋对结构产生的等效荷载	27
3.3 预应力作用下超静定结构的次内力分析	30
3.4 设计步骤	37
4 双重井字楼盖设计指南	42
4.1 一般说明	42
4.2 双重井字楼盖的定义及应用	42
4.3 双重井字楼盖的基本尺寸	43
4.4 板及次梁的内力计算	43
4.5 多层框架的内力计算	46

4.6	框架内力组合及配筋要点	48
5	双向板无梁楼盖设计	51
5.1	概 述	51
5.2	板格的跨度和宽度	55
5.3	双向板板格的板带划分	55
5.4	双向板无梁楼盖实用分析法的基本思路	57
5.5	板、梁、柱的刚度定义及公式	59
5.6	直接设计法的限制条件	66
5.7	总静力设计弯矩/直接设计法	66
5.8	条带的控制截面弯矩/直接设计法	68
5.9	等效框架法	71
5.10	正负设计弯矩在条带截面上的分布	74
5.11	柱(墙)的设计弯矩/直接设计法	77
5.12	无腹筋双向板均匀冲切抗剪设计	78
5.13	双向板腹筋区均匀冲切抗剪设计	80
5.14	板与柱之间的传递弯矩	81
5.15	板与柱之间偏心冲切受剪验算	83
5.16	柱帽及柱上托板的构造	87
5.17	双向板的最小厚度	88
5.18	板的配筋细节	89
5.19	板的开洞	94
6	圆形平板的弹性分析	95
6.1	一般规定	95
6.2	轴对称荷载下圆形平板的内力	96
6.3	微分方程的建立及解	97
7	钢筋混凝土板屈服线理论基础	103
7.1	概 述	103
7.2	基本假定	105
7.3	板的屈服线图式	105
7.4	屈服线上的力矩抗力	107
7.5	虚功原理分析法	107
7.6	平衡分析法	118

7.7	板块角端的节点力 (Nodal Force) 计算	122
7.8	屈服线图式与板内配筋关系的示例分析	128
7.9	角隅影响	134
7.10	小 结	136
8	漫谈单层厂房的结构选型及布置	137
8.1	总 则	138
8.2	折线形屋架的形状和尺寸	138
8.3	屋面板及天沟板	140
8.4	屋架支撑	141
8.5	天窗系统 (略)	144
8.6	山墙扶壁柱系统	144
8.7	基础梁、连系梁及圈梁	145
8.8	吊车梁系统	146
8.9	柱的编号	147
9	结构的温度内力分析	149
9.1	一般概念	149
9.2	排架年温度差引起的内力计算	151
9.3	框架及不等高排架温度内力分析要点	156
10	框架-剪力墙结构的顶端效应及简化算法	161
10.1	计算模式概要	161
10.2	微分方程的解与初步分析	163
10.3	框架-剪力墙结构顶端效应的探讨	165
10.4	简化算法	166
11	框架-壁式框架结构体系	170
11.1	基本思想	171
11.2	壁式框架的基本尺寸	171
11.3	结构体系的层间抗侧力刚度	172
11.4	水平荷载作用下框架-壁式框架结构的 内力及变位计算	174

11.5 算 例	177
12 弹性地基上梁的实用计算	183
12.1 概 述	183
12.2 基本微分方程	184
12.3 受集中荷载作用两侧均为无限长梁的 计算公式	185
12.4 梁端受集中荷载作用且一侧无限长梁的 计算公式	188
12.5 弹性地基上有限长梁的实用计算	190
12.6 简单实用算例	191
12.7 柱下条形基础实用简化计算/ACI 法	201
附录 1 混凝土的徐变系数	208
附录 2 计算系数 k	210
附表 2.1 均布荷载作用下井字梁计算系数 k	210
附表 2.2 集中荷载作用下井字梁计算系数 k	211
附表 2.3 均布荷载作用下十字梁计算系数 k	215
附表 2.4 集中荷载作用下十字梁计算系数 k	216
附录 3 变截面惯性矩系数	217
附表 3.1 变截面惯性矩板的系数 (不带托板)	217
附表 3.2 变截面惯性矩板的系数 (带托板)	218
附表 3.3 变截面惯性矩柱的系数	219
附录 4 ψ 及 ψ' 值	220
附表 4.1 ψ 值表	220
附表 4.2 ψ' 值表	221
附录 5 基床系数 K	223
附录 6 函数 η_1、η_2、η_3、η_4	224
参考文献	227

混凝土悬挑梁

引 言

在楼房建筑中，经常会遇到悬挑梁，采用它可以在房屋基础不超过市政红线的前提下，为房屋上部争取到相当多的使用空间。有时为了建筑造型或遮阳避雨等需要，也以采用悬挑结构为宜。

悬挑梁本是最简单的基本构件，与简支梁有许多相同之处，故混凝土结构教材往往在细讲简支梁和连续梁的构造和计算之后，便将悬挑梁一带而过。但作者近年来通过设计实践和咨询服务，深感悬挑梁也有其独特的问题，处理它们时需要对《混凝土结构设计规范》有深入的理解并能灵活应用，如果机械地套用设计简支梁时常用的办法，往往会有所失误，甚至造成事故。这些问题大致有以下几个方面：

- ① 综合考虑建筑和结构设计的需要而选定悬挑跨度。
- ② 抗剪承载力验算中选用哪个公式？
- ③ 悬挑梁上部纵筋的锚固方式及锚固长度。
- ④ 悬挑梁梁端处立柱的结构作用。
- ⑤ 牛腿的设计特点。

1.1 概 述

在南方各地，房屋二层以上部分经常有外挑做法。外挑就需要采用悬挑梁结构，它可以悬空挑出市政红线之外，使得房屋增加相当可观的使用空间。在地价昂贵的繁华地区，悬挑梁结构更有现实的经济意义。一个 $20\text{ m} \times 50\text{ m}$ 的建筑平面，如果沿长边前后各挑出 2.5 m ，建筑面积可以增加 $1/4$ 。悬挑楼盖与地面之间都是开敞的，无外柱，不影响人们的视线和活动。此外，如阳台、外廊、雨蓬等等部位，也都需要做成悬挑结构。

在地震区采用悬挑结构宜慎重,如果一侧外挑,楼房二层以上的质量重心与底层抗推力结构(如柱群及抗剪墙体等)的抗推刚度中心之间有很大的偏心距,在纵向地震荷载作用下,房屋有不小的受扭反应,设计时如果没有专门考虑的话,地震时底层结构恐难以支持。悬挑楼盖在寒冷地区也很少应用,主要因为最下一个悬挑层楼面的表面温度低,不利于人的健康,热功维护不好的话,还会出现地面结露或结霜现象。

1.2 关于悬挑跨度的选定

房屋中的悬挑梁跨度首先应由建筑需要考虑,如果仅仅是为了在外墙面上构成横向条形窗,悬挑跨度取等于墙厚足矣,那就是牛腿。如果设计成悬挑外廊,大约挑出 1.2~1.5 m。如果悬挑跨度达到 2~2.5 m,挑出的空间基本上能满足内部使用布置的要求,它与未挑出的空间在感观上已经融为一体,这时悬挑的经济效益十分可观。

从结构方面考虑,除了砖混结构悬挑梁有时是直接嵌固在(横)墙内之外,在框架结构中,悬挑梁往往都是内部主跨梁往外的延伸。从受力角度分析,悬挑梁根部截面的弯矩很大,在均布荷载作用下,其弯矩等于 2 倍悬挑跨度的简支梁最大弯矩;在集中力作用下,其弯矩等于 4 倍悬挑跨度的简支梁最大弯矩;即一个 8 m 跨跨中受集中力作用的简支梁,如果用于梁端作用同样集中力的悬挑梁,在截面相同的情况下,其悬挑跨度仅为 2 m,所以在遇到悬挑跨度很大的时候就应注意它在强度及刚度方面的可行性。一般认为,悬挑梁的悬挑跨度 a 与房屋内部主跨梁的跨度 l 大小有关,也和悬挑端集中力的相对大小有关。经分析,如果 $a \leq 0.2l \sim 0.4l$,则悬挑梁根部截面弯矩一般不会大于主跨梁的控制截面最大弯矩,当梁上仅有均布荷载作用时, a 取大值,当梁端上又有可观的集中力作用时, a 取小值。实践中并不要求悬挑梁根部弯矩值一定要小于主跨梁的控制弯矩,稍为突破上述 $0.2l \sim 0.4l$ 的范围也是容许的,提出它只是为了在初步设计时先作一个可行性论证,以便在截面设计时能顺利通过。

1.3 抗剪承载力验算时用哪个公式

设计计算悬挑梁时,有两点需要注意:一是悬挑梁端一般均有集中力作用,而且集中力可能较大;另一点是纵向钢筋的锚固问题。本节仅讨论第一点,第二点将留待下节分析。

正因为悬挑梁端一般均有集中力作用,如墙重或栏杆重等,如果集中力产生的剪力占总剪力的 75% 以上的话,梁的抗剪承载力就应该按规范公式(4.2.3-4)计算,即

$$V \leq V_{cs} = \frac{0.2}{\lambda + 1.5} f_c b h_0 + 1.25 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad (4.2.3-4)/\text{规范}$$

此处可取 $\lambda = \frac{a}{h_0}$; 一般情况下 $\lambda \geq 3$, 按规定取 $\lambda = 3$ 计, 有 $\frac{0.2}{\lambda + 1.5} = \frac{0.2}{3 + 1.5} = 0.044$, 上式可写成

$$V \leq V_{cs} = 0.044 f_c b h_0 + 1.25 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad (4.2.3 - 4a) / \text{规范}$$

而以均布荷载剪力为主的梁，其抗剪承载力计算公式为

$$V \leq V_{cs} = 0.07 f_c b h_0 + 1.5 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 \quad (4.2.3 - 2) / \text{规范}$$

两式相比，前者第一项低 37%，第二项低 17%。可见在集中力很大时若不慎用错公式，可能导致严重后果。

1.4 纵筋在自由端的锚固方式及长度

1.4.1 锚固的弯折方式

悬挑梁纵筋在梁的上部，由于其下部混凝土沉淀和离析泌水的结果，纵筋下面有酥松的薄弱层，纵筋与混凝土的粘结强度比放在梁下部时低，约为底部钢筋粘结强度的 80% 左右，所以纵筋在自由端处要锚固好。

工程上有图 1.1 所示的几种纵筋端部弯折锚固方式。

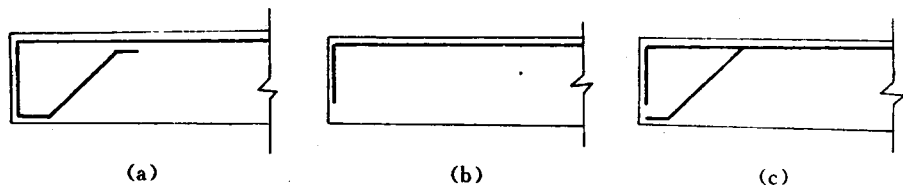


图 1.1 纵筋端头锚固
(a) — 欠妥的；(b) (c) — 正确的

图 (a) 方式：这种方式虽然安全可靠，但钢筋弯折费工，用钢量相当大。由于弯折斜筋右上端水平段锚固在梁的受拉区，弯筋不能很好地起吊筋作用，它类似于“浮筋”。这种方式只是在少数个别地位被采用。

图 (b) 方式：这是一种工程上较常用的方式，全部纵筋在梁端直钩下弯，省工省料，锚固工作可靠，可惜梁端无吊筋，必要时只能用附加箍筋来代替。

图 (c) 方式：这是中国建筑标准设计研究院采用的一种方式^[2]，因为梁端附近弯矩较小，将部分纵筋下弯成弯折筋是可行的，弯筋在下端的水平段是锚固在梁的受压区，锚固工作可靠，弯筋可以起到吊筋作用，所以应优先采用这种方式。

应该指出，在普通钢筋混凝土楼盖中，次梁与主梁的连接点位于主梁下部，是在主梁跨中的正弯矩受拉区，是带有裂缝的松散段，所以一定要用吊筋将次梁吊住，并且要求吊筋的锚固落实在主梁的受压区内。而对于悬挑梁，虽然次梁与它的连接点也在梁的下部，但该处是悬挑梁的受压区段，实体性很好，故一般可不设吊筋，所以图 (b) 方式也是一种很好的方式。

1.4.2 关于锚固长度的规定

规范中不同条款对锚固长度有不同定义, 一个叫 l_a , 一个叫 l_{as} 。规范第 6.1.4 条规定: “当计算中充分利用纵向受拉钢筋强度时, 其锚固长度不应小于表 6.1.4 规定的值”。例如 C₂₅ 混凝土中的 II 级钢筋, 表 6.1.4 规定的最小锚固长度 $l_a=35d$, 这是一个不小的值。事实上, 图 1.2 所示的端点处, 纵向钢筋不是计算中充分利用其受拉强度的, 这条规定不该用于图 1.2 所示的自由端, 而是适用于悬挑梁的根部, 该处纵筋在计算中是充分利用其受拉强度的, 因而纵筋伸入根部的最小锚固长度为 l_a , l_a 查表 6.1.4。参考规范中图 7.2.3, 有图 1.2 的做法, 埋入的纵筋能全部直线伸入更好。

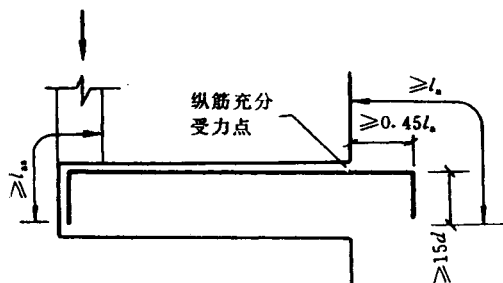


图 1.2 钢筋的锚固长度 l_a 及 l_{as}

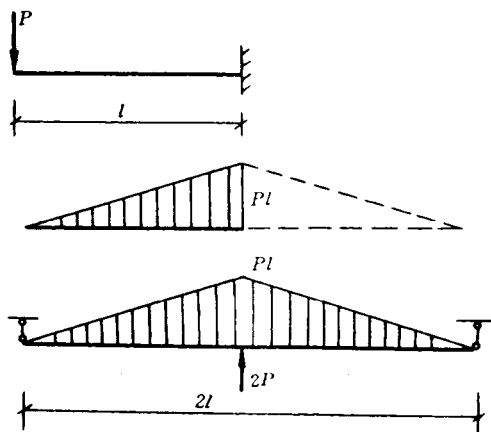


图 1.3 悬挑梁化成等价简支梁

那么, 悬挑端与什么等价呢? 由图 1.3 可知, 端点受 P 作用且挑出跨度为 l 的悬挑梁等价于跨度为 $2l$ 且跨中受 $2P$ 作用的简支梁, 则悬挑端将等价于简支梁的倒支座。规范第 7.2.2 条规定, 钢筋混凝土简支梁下部纵向受力钢筋伸入梁支座范围内的锚固长度 l_{as} 应符合下列条件:

- ① 当 $V \leq 0.07f_c b h_0$ 时, $l_{as} \geq 5d$
- ② 当 $V > 0.07f_c b h_0$ 时, $\begin{cases} \text{月牙钢筋} & l_{as} \geq 12d \\ \text{光面钢筋} & l_{as} \geq 15d \end{cases}$

所以, 悬挑梁自由端的纵筋锚固长度应该以 l_{as} 定义。考虑到上部钢筋与混凝土的粘结强度比下部钢筋的低, 建议锚固长度取用 $1.25l_{as}$, 这样 $\phi 25$ 钢筋在自由端处的锚固长度将等于 $1.25 \times 12 \times 25 = 375 \text{ mm}$, 构造上毫不困难。

1.4.3 斜截面抗弯承载力分析

梁因锚固长度不足而发生的破坏是斜截面受弯破坏。锚固受力分析实质上是斜截面受弯分析。在斜截面受弯状态下, 箍筋受力可以减轻纵筋端部锚固负担, 当构造上实在难以满足锚固长度要求时, 可考虑在梁端附近增设箍筋来补偿。

见图 1.4 所示, 设自由端产生一条弯矩斜裂缝, 斜裂缝水平投影长为 c , 根据图 1.4 (b) 所示的