

# 现代 混凝土 叠合 结构

● 周旺华 著

---

---

---

● 中国建筑工业出版社

# 现代混凝土叠合结构

---

周旺华 著

中国建筑工业出版社

(京) 新登字 035 号

图书在版编目 (CIP) 数据

现代混凝土叠合结构/周旺华著. —北京: 中国建筑工业出版社, 1998

ISBN 7-112-03600-3

I. 现… II. 周… III. 混凝土结构-结构计算 N. TU370.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 15508 号

现代混凝土叠合结构是一种集高效预应力混凝土技术、叠合结构技术和经济效益于一体的一种新型结构。本书全面而详细地介绍了叠合结构的计算原理和设计方法, 及现行规范中有关叠合结构的条文与计算公式的依据和应用说明, 并列举各种设计计算实例, 以便设计人员在设计时遵循。书中还重点介绍了高效预应力混凝土在多层及高层建筑中的应用, 高效预应力叠合结构新技术的设计方法和工程应用, 以及经济效益分析。

本书可供工业、民用建筑、桥梁等工程技术人员及大专院校师生参考。

## 现代混凝土叠合结构

周旺华 著

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市云浩印制厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 19 字数: 462 千字

1998 年 9 月第一版 1998 年 9 月第一次印刷

印数: 1—2500 册 定价: 26.00 元

ISBN 7-112-03600-3

TU·2785 (8859)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

## 序 言

叠合结构是将预制与现浇工艺结合产生的一种优越的结构型式，特别在楼盖结构上应用有它比较突出的优点，其效益已为众多工程实践所证实。

叠合结构受力特点是二阶段受力，即第一阶段是施工过程中预制部分先承受施工荷载，第二阶段是预制部分与现浇部分形成整体共同工作阶段，由此引起设计计算上的一些特点，即所谓应力超前（指预制部分）及应变滞后（指后浇部分）。

几年来《混凝土结构设计规范》国家标准管理组组织了五批规范科研课题，第五批课题中就列有叠合结构应用研究课题，周旺华同志担任该课题组组长，不仅在试验室内进行了叠合结构构件试验研究，还进行了多项工程应用，取得较好效益。第三、四批课题中也列有叠合结构受力性能研究课题，进行了许多叠合构件试验，应当说这些试验数据，为我们认识叠合结构性能提供了基础材料，是一份十分可贵的资料。

周旺华同志为首的课题组共同完成了课题研究任务，由周旺华同志所著这本专著对发展叠合结构大有裨益。值得从事叠合结构的设计、研究人员一阅。

关于叠合结构设计方法在国家标准《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)第七章第五节专门列入叠合式受弯构件一节，这是在课题组试验研究基础上，由编制组集体分析加工的结果，且这本标准是强制性标准，当然也是设计者应遵循的准则。然而作为学术问题，我认为应提倡争鸣与讨论，这有利于叠合结构理论的发展。标准规范与学术观点两者有联系，但又有明显差别，希读者阅读此书时，如果发现与规范提法有差异，不必惊异，提倡分析讨论，应用时更应注重书中试验结果，因为试验和实践才是最扎实的基础。

周旺华同志从事叠合结构研究至少有15年以上时间了，表现了一位学者的执著精神，这种敬业态度值得敬佩，他对规范科研与规范编制工作给予的大力支持，在此致以衷心感谢。

中国建筑科学研究院顾问总工程师  
GBJ10-89 规范主要起草人研究员 李明顺  
一九九八年二月十八日

## 前 言

国家 70 年代中期为了编制新的混凝土结构设计规范赶超国际设计先进水平,对规范中的重大问题列出 12 个重点科研课题,进行全方位系统的试验研究,叠合结构是其中第 9 号研究课题。著者有幸担任该课题组科研总负责人,和全组 11 个单位的同志,对“装配整体(叠合结构)梁板设计方法”的课题进行了 4 年系统的试验研究,取得了较好的科研成果。国家编制混凝土结构设计新规范时,著者荣幸地被聘为规范编制组成员,负责叠合结构部分的内容起草和其他方面的评议工作,使得“叠合式受弯构件”的内容系统地反映在新编《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)中。其后,为了使叠合结构的研究紧密结合工程应用,著者又和全组同志对叠合结构斜截面受力性能、连续叠合梁板、叠合框架等进行了三批课题的系统试验研究,时间长达近 20 年。在最后一批课题“叠合结构的推广与应用”研究时,课题组成立了经济实体——武汉鄂洪建筑新技术发展公司。一方面结合科研内容将设计好的现浇结构工程修改为叠合结构工程,从修改设计中节约下的工程费用提取部分设计劳务费资助科研试验,达到以科研养科研的目的;另一方面又从修改的设计中提出新的研究课题,使科研与工程设计融为一体。四年来取得了十分显著的科研成果和丰富的工程实践经验。1996 年 11 月建设部在给规范重点科研课题成果进行总结评议时,对本课题研究成果进行了鉴定,结论是达到了国际先进水平。

本书就是系统地阐述叠合结构科研课题组连续四批课题近 20 年的研究成果,重点是介绍这些科研成果在工程中的应用实例及其取得的经济效益。这些内容可以提高工程技术人员设计叠合结构的胆识,可以起到运用规范过程中“桥”和“船”的作用;可以帮助科研工作者系统了解叠合结构的知识和研究方向。

本书在“混凝土叠合结构”之前,冠以“现代”两字,就是要说明本书介绍的混凝土叠合结构与我国 50~80 年代的混凝土叠合结构,在设计理论、材料选择与施工工艺上已经有了长足的进步,是集高效预应力混凝土技术、叠合结构技术和经济效益于一体的一种新型结构。

本书第二章至第七章,详细介绍了现行规范 GBJ10—89 中有关“叠合式受弯构件”的条文与计算公式的依据和应用说明,并举出了详细的计算示例。这些除使工程技术人员在设计时有所遵循外,还增加了一些近年来研究的新成果,如二次受力叠合式受弯构件的截面内力转移问题,叠合梁的超筋限值问题,斜截面计算公式的进一步简化问题等,可使设计人员、科研人员了解有关叠合结构一些更深层次的知识。

本书第八章第九章和第十一章介绍了连续叠合梁板在垂直荷载和低周反复荷载作用下的受力性能和破坏机理。第一次解决了二次受力叠合连续梁的支座弯矩调幅问题以及叠合面在地震作用下共同工作的可靠性问题,为这种结构在地震区的应用,提供了更可靠的依据。

本书第十章介绍了高效预应力混凝土叠合结构在多层及高层建筑中的应用,其中包括

采用高强度等级混凝土、高强度钢材、选用经济截面和采用国内尚未采用的倒 T 形带肋薄板（跨中可不设临时安装支撑）。运用这些知识，可以把高效预应力技术和装配式结构的许多优势广泛地引用到多层与高层工业与民用建筑中来，能降低工程造价，减少施工劳动强度和缩短工期。从已建成的叠合结构工程来看，一般比现浇钢筋混凝土结构能降低工程造价 10% 以上，提前工期 1/4 以上。

本书第十二章介绍叠合结构科研组对叠合框架的试验研究，虽然试验数量有限，但通过计算机的模拟试验计算，也可清晰地看出这种结构的受力性能和破坏机理，为这种结构的设计提供可靠的依据和方法。

我国 70 年代前后在多层工业厂房中采用的装配整体叠合框架结构，是后期研究的基石。但由于当时此项科研还处于萌芽阶段，因此，在计算理论方面缺乏可靠的试验依据。特别是某些计算公式和超静定叠合结构的调幅方法与现行规范和规程不符。尽管如此，它在叠合框架结构布置原则、计算方法、节点构造等方面，还是具有重大参考价值。因此著者特在本书中，根据现行规范及研究成果将其作适当的修正，供设计者参考。

本书研究成果系著者与叠合结构科研专题组的同志共同完成的，由于人数太多，在此未能一一列出，但书中已引用的论点，在参考文献中均已列出，特此声明，并致歉意。

本书在立题和撰写过程中得到中国建筑科学研究院总工程师李明顺教授级高工和结构所白生翔教授级高工的鼓励和支持，其中第二章部分内容承蒙他们在百忙中认真审阅并提出许多宝贵意见，著者在此向他们致以衷心谢意。

武汉城建学院建筑设计研究院仍雨林高级工程师、武汉民用建筑设计院周晓芬工程师，除参加本书内容的科研、工程设计外，还积极参加了本书的资料搜集和制图等工作，对本书稿的完成作出了重要的贡献，特在此致以谢意。

本书由于时间紧迫，组稿仓促，书中有些论点尚推敲不够，错误之处在所难免，希望读者批评指正。

# 目 录

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| 序 言                                     |    |
| 前 言                                     |    |
| 第一章 概 论                                 | 1  |
| 第一节 混凝土叠合结构在国内外的的发展概况                   | 1  |
| 一、混凝土叠合结构在国外的的发展概况                      | 1  |
| 二、混凝土叠合结构在国内的发展概况                       | 5  |
| 第二节 混凝土叠合式装配整体结构的优缺点                    | 11 |
| 第二章 简支叠合式受弯构件的试验研究和受力性能分析               | 12 |
| 第一节 前 言                                 | 12 |
| 第二节 科研试验简介                              | 15 |
| 第三节 二次受力叠合式受弯构件的“应力超前现象”和受压区混凝土“应变滞后”现象 | 16 |
| 一、试件破坏荷载及破坏特征                           | 16 |
| 二、叠合梁受拉钢筋的“应力超前”现象                      | 20 |
| 三、后浇混凝土的“受压应变滞后”现象                      | 21 |
| 第四节 叠合式受弯构件正截面弯矩的转移                     | 24 |
| 一、前 言                                   | 24 |
| 二、“荷载预应力”的产生由来及发展过程                     | 24 |
| 三、叠合式受弯构件的截面内力转移                        | 27 |
| 四、截面内力转移系数 $\alpha$ 的计算                 | 28 |
| 五、对规范叠合式受弯构件一节中有关 $\beta$ 值计算公式的简介      | 37 |
| 第三章 叠合梁的正截面受弯承载力计算                      | 42 |
| 第一节 试验分析                                | 42 |
| 一、前 言                                   | 42 |
| 二、叠合梁跨中截面的应变分布                          | 42 |
| 三、叠合梁受压区混凝土的极限压应变                       | 42 |
| 四、叠合梁在破坏极限状态下的应力和应变图形                   | 43 |
| 五、叠合梁混凝土受压区应力图形特征系数的确定                  | 44 |
| 第二节 叠合梁的承载能力计算                          | 45 |
| 一、基本假定                                  | 45 |
| 二、关于叠合梁承载力计算方法                          | 45 |
| 第三节 叠合梁的配筋界限值                           | 46 |
| 一、“适筋”与“超筋”界限值                          | 46 |
| 二、“适筋”与“少筋硬化”及钢丝拉断界限值                   | 51 |
| 第四节 叠合梁在使用状态下受力钢筋应力的控制                  | 53 |
| 一、使用状态下叠合梁受力钢筋应力的计算                     | 53 |
| 二、使用阶段叠合梁受力钢筋应力限制值 $[\sigma_s]$ 的确定     | 54 |

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 第五节 叠合梁承载能力的简化计算方法 .....                                      | 55 |
| 第六节 本书叠合梁承载力计算方法的特点 .....                                     | 56 |
| 第四章 叠合梁斜截面承载力计算 .....                                         | 57 |
| 第一节 叠合梁斜截面的试验研究分析 .....                                       | 57 |
| 一、前 言 .....                                                   | 57 |
| 二、叠合梁斜截面破坏形态和机理分析 .....                                       | 57 |
| 三、叠合简支梁截面的剪应力重分布探讨 .....                                      | 59 |
| 第二节 叠合梁的斜截面承载力计算 .....                                        | 61 |
| 一、现行规范(GBJ10—89)对叠合梁斜截面承载力计算的规定 .....                         | 61 |
| 二、著者对叠合梁斜截面承载力计算方法的探讨 .....                                   | 61 |
| 第五章 叠合式受弯构件的叠合面抗剪强度 .....                                     | 64 |
| 第一节 叠合面抗剪强度的试验研究与分析 .....                                     | 64 |
| 一、国内外在叠合面抗剪研究的概况 .....                                        | 64 |
| 二、叠合面破坏特点与抗剪机理分析 .....                                        | 67 |
| 第二节 叠合面受剪承载力计算 .....                                          | 69 |
| 一、计算方法研究情况简介 .....                                            | 69 |
| 二、我国现行规范对叠合面的计算方法 .....                                       | 73 |
| 三、著者对叠合面计算公式的诤议 .....                                         | 75 |
| 第六章 叠合式受弯构件使用极限状态的计算 .....                                    | 76 |
| 第一节 抗裂度验算 .....                                               | 76 |
| 一、国内外对抗裂度研究简介 .....                                           | 76 |
| 二、叠合结构专题科研组对抗裂度计算的研究 .....                                    | 77 |
| 三、现行规范《混凝土结构设计规范》GBJ10—89 的抗裂度计算方法 .....                      | 82 |
| 第二节 裂缝宽度验算 .....                                              | 83 |
| 一、应力超前控制 .....                                                | 83 |
| 二、裂缝宽度验算 .....                                                | 83 |
| 第三节 变形计算 .....                                                | 84 |
| 一、钢筋混凝土叠合构件 .....                                             | 85 |
| 二、不出现裂缝的预应力混凝土叠合构件 .....                                      | 85 |
| 三、允许出现裂缝的预应力混凝土叠合构件 .....                                     | 85 |
| 四、叠合式受弯构件在荷载的短期效应组合作用下,并考虑荷载长期效应组合影响的<br>长期刚度 $B_L$ 的计算 ..... | 86 |
| 五、叠合构件负弯矩区段第二阶段的短期刚度 .....                                    | 86 |
| 六、预应力叠合构件的实际挠度 $f_L$ 计算 .....                                 | 86 |
| 第四节 叠合构件的构造要求 .....                                           | 87 |
| 第七章 叠合式受弯构件设计的一般规定和计算示例 .....                                 | 88 |
| 第一节 设计的一般规定 .....                                             | 88 |
| 第二节 钢筋混凝土叠合梁的计算实例 .....                                       | 89 |
| 一、已知材料指标及规范规定指标 .....                                         | 89 |
| 二、荷载及荷载效应计算 .....                                             | 90 |
| 三、对预制构件进行施工阶段的验算 .....                                        | 91 |
| 四、对叠合构件进行截面设计 .....                                           | 91 |

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| 五、钢筋应力及裂缝宽度验算 .....                     | 93  |
| 六、变形计算 .....                            | 94  |
| 第三节 预应力混凝土叠合梁的计算实例 .....                | 95  |
| 一、已知材料指标及规范规定指标 .....                   | 95  |
| 二、荷载及荷载效应计算 .....                       | 96  |
| 三、对预制构件进行施工阶段的验算 .....                  | 96  |
| 四、对叠合构件进行截面设计 .....                     | 97  |
| 五、抗裂度计算 .....                           | 98  |
| 六、钢筋应力及裂缝宽度验算 .....                     | 101 |
| 七、变形计算 .....                            | 102 |
| 第八章 钢筋混凝土及预应力混凝土叠合连续梁的试验研究、计算           |     |
| 原理及设计实例 .....                           | 104 |
| 第一节 正截面受力性能的试验研究与设计方法 .....             | 104 |
| 一、前 言 .....                             | 104 |
| 二、试件设计、制作和试验情况简介 .....                  | 105 |
| 三、试验结果 .....                            | 106 |
| 四、受力性能分析 .....                          | 119 |
| 五、叠合连续梁结构内力重分布及弯矩调幅 .....               | 123 |
| 六、钢筋混凝土及预应力混凝土叠合连续梁正截面受弯承载力的计算 .....    | 129 |
| 七、钢筋混凝土及预应力混凝土叠合连续梁使用性能的计算 .....        | 129 |
| 第二节 斜截面受力性能的试验研究与设计方法 .....             | 131 |
| 一、前 言 .....                             | 131 |
| 二、试件设计、制作和试验情况简介 .....                  | 131 |
| 三、试验结果 .....                            | 132 |
| 四、钢筋混凝土及预应力混凝土叠合连续梁斜截面受力性能分析 .....      | 135 |
| 五、破坏机理分析 .....                          | 138 |
| 六、二次受力钢筋混凝土叠合连续梁的斜截面应力重分布 .....         | 140 |
| 七、钢筋混凝土及预应力混凝土叠合连续梁斜截面和叠合面受剪承载力计算 ..... | 141 |
| 第三节 预应力混凝土叠合连续梁设计实例 .....               | 143 |
| 一、设计资料 .....                            | 143 |
| 二、荷载计算 .....                            | 143 |
| 三、内力计算 .....                            | 144 |
| 四、安装阶段验算 .....                          | 147 |
| 五、对跨中叠合截面承载能力的验算 .....                  | 147 |
| 六、计算支座叠合截面的配筋 .....                     | 147 |
| 七、叠合梁斜截面抗剪计算 .....                      | 148 |
| 八、抗裂度验算 .....                           | 150 |
| 九、内支座裂缝宽度验算 .....                       | 153 |
| 第九章 预应力混凝土叠合连续板的试验研究、计算原则与设计方法 .....    | 154 |
| 第一节 预应力混凝土薄板叠合连续板的试验研究成果与计算实例 .....     | 154 |
| 一、叠合连续板的试验研究 .....                      | 154 |
| 二、预应力混凝土薄板叠合连续板的设计实例 .....              | 159 |

|                                                  |     |
|--------------------------------------------------|-----|
| 第二节 预应力混凝土空心板叠合连续板的试验研究成果与设计实例 .....             | 167 |
| 一、空心板叠合连续板的试验研究 .....                            | 167 |
| 二、预应力混凝土空心板叠合连续板的设计实例 .....                      | 171 |
| 第十章 高效预应力混凝土叠合结构在楼盖中的应用 .....                    | 180 |
| 第一节 工程结构修改情况简介 .....                             | 180 |
| 一、本工程原设计简介 .....                                 | 180 |
| 二、本工程修改情况简介 .....                                | 181 |
| 三、修改方案的优点 .....                                  | 181 |
| 第二节 主要构造特点及设计方法 .....                            | 181 |
| 一、结构主要构造特点 .....                                 | 181 |
| 二、设计方法要点 .....                                   | 184 |
| 第三节 高效预应力混凝土叠合楼盖预制构件的计算 .....                    | 185 |
| 第四节 叠合楼盖及预制构件的检验 .....                           | 193 |
| 一、叠合楼盖的检验 .....                                  | 193 |
| 二、预制构件的检验 .....                                  | 195 |
| 第五节 工程施工后对修改设计的一些体会 .....                        | 195 |
| 第六节 经济效益分析 .....                                 | 196 |
| 第十一章 低周反复荷载下钢筋混凝土叠合梁、板受力性能的试验研究<br>与抗剪设计方法 ..... | 197 |
| 第一节 钢筋混凝土叠合连续梁在低周反复荷载下<br>受剪性能的试验研究 .....        | 197 |
| 一、试件和试验方法 .....                                  | 197 |
| 二、试验结果及分析 .....                                  | 198 |
| 三、斜截面受剪承载力 .....                                 | 200 |
| 四、叠合面受剪承载力 .....                                 | 201 |
| 第二节 低周反复荷载下叠合板受力性能的试验研究 .....                    | 202 |
| 一、试件和试验方法 .....                                  | 202 |
| 二、斜截面受剪性能 .....                                  | 205 |
| 三、受弯性能 .....                                     | 205 |
| 四、叠合面受剪性能 .....                                  | 205 |
| 五、几点初步结论 .....                                   | 206 |
| 第十二章 叠合式混凝土框架结构的试验研究、设计原理与计算方法 .....             | 207 |
| 第一节 混凝土叠合框架的试验研究 .....                           | 207 |
| 一、试验研究的思路简介 .....                                | 207 |
| 二、试件设计及试验简介 .....                                | 208 |
| 三、试验结果及分析简介 .....                                | 209 |
| 四、受力性能分析 .....                                   | 214 |
| 五、叠合框架梁的截面内力重分布 .....                            | 217 |
| 六、叠合框架的结构内力重分布 .....                             | 219 |
| 七、叠合框架的弯矩调幅计算 .....                              | 223 |
| 八、叠合框架柱及梁柱节点的受力与变形特性 .....                       | 226 |
| 九、叠合受弯构件在单调荷载下的延性 .....                          | 226 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 十、边节点负弯矩钢筋的锚固性能 .....       | 227 |
| 十一、著者对叠合框架试验研究的几点初步建议 ..... | 229 |
| 第二节 混凝土叠合框架结构的布置 .....      | 229 |
| 一、布置的一般原则 .....             | 229 |
| 二、承重装配整体式(叠合)框架结构 .....     | 230 |
| 第三节 装配整体叠合式框架结构的计算 .....    | 234 |
| 一、一般原则 .....                | 234 |
| 二、框架的内力分析 .....             | 234 |
| 三、叠合铰接框架的计算 .....           | 242 |
| 第四节 构件设计 .....              | 247 |
| 一、框架柱 .....                 | 247 |
| 二、框架叠合梁 .....               | 247 |
| 三、预制槽形板叠合板 .....            | 249 |
| 四、构件吊装验算 .....              | 250 |
| 第五节 接头设计 .....              | 254 |
| 一、前 言 .....                 | 254 |
| 二、节点设计的一般规定 .....           | 254 |
| 三、对房屋结构设计的要求 .....          | 258 |
| 四、柱与柱的连接 .....              | 260 |
| 五、柱与梁的连接 .....              | 266 |
| 六、主梁与次梁的连接 .....            | 276 |
| 七、次梁与次梁及板与板的连接 .....        | 280 |
| 八、节点连接计算实例 .....            | 281 |
| 参考文献 .....                  | 289 |

# 第一章 概 论

混凝土叠合结构是在预制构件上加浇一层现浇混凝土而形成的一种装配整体式结构（欧美称组合结构 Composite Structures）。这种结构具有整体刚度好、抗震性能优越（与装配式结构比较），节省三材、施工简便且能缩短工期（与整浇结构比较）等优点，在各国工程建设上的应用数量逐年增加，应用范围不断扩大，大力研究与发展这类结构是当前国际上的一个重要趋向。

## 第一节 混凝土叠合结构在国内外的概况

整浇式钢筋混凝土结构是钢筋混凝土结构的最早型式，众所周知，这种结构虽有整体性好刚度大的优点，但相应也有很多重大缺点。如费工大、费木料多、施工周期长、生产较难工业化等。因此随着建筑施工的发展，人们逐渐将整浇式钢筋混凝土结构部分发展成装配式钢筋混凝土结构。装配式结构可使建筑构件工业化（设计标准化、制造工业化、安装机械化）；制造不受季节限制，能加快施工进度；还可提高构件质量、免去大部分模板支撑，因而节约木料或钢材。但是这种结构的致命缺点是整体性差，不利于抗震，此外抗渗性也差。1976 年的唐山大地震，装配式结构几乎全部倒塌，因此在地震区，人们对装配式结构房屋视为畏途。就是非地震区的多层工业厂房如造纸厂、糖厂、酒厂等，为了抗渗，仍然采用整浇式结构。这说明整浇式结构和装配式结构都有它不可忽视的优点和缺点，因此人们也就想到了取二者之长而舍其短发展混凝土叠合结构（装配整体式结构型式之一）。下面介绍这种结构的应用情况。

### 一、混凝土叠合结构在国外的概况

国外在 20 世纪 20 年代开始把混凝土叠合结构用在桥梁上<sup>[2]</sup>，40 年代开始用在房屋建筑上，50 年代在建筑上得到较大发展。最初的混凝土叠合结构是钢梁与现浇混凝土板的组合，也有采用木梁和现浇混凝土板组合的，以后发展为预制钢筋混凝土构件与现浇板的组合和预应力混凝土构件与现浇板的组合，下面就这种结构在民用房屋和工业厂房中的应用分别加以介绍。

#### 1. 在民用房屋方面的应用情况

在民用房屋方面，国外 50 年代用得较多的是一种以工业生产的预应力棒及预应力薄板作为配筋构件，在其上面浇低强度混凝土，称为综合结构（图 1-1-1 b、c、d、e、f、g）。

此外还可以用预应力棒及薄板制造大型构件，如格式柱、屋架梁、大梁及基础等<sup>[3]</sup>。这种结构重量轻，运输方便，并且灵活性大，可以制造各种类型的结构，因此波兰称它为“万能构件”。国外在 50~60 年代，这种结构用得很普遍，但是这种结构的现浇混凝土用量仍然嫌大，因此在 70 年代以后就采用得较少了。此外波兰还采用一种称作 DMSZ 式的叠合结构楼面，即用预应力小梁作装配式承重构件，在小梁中搁预制粘土空心砌块，再在上面浇整体混凝土，使三者共同工作，取得了很好的经济效果。英国在居住房屋、学校医院中广泛采用一种“什塔尔唐”系统叠合结构楼面（图 1-1-2a、b），在特制的粘土空心砌块中加预应力，形成

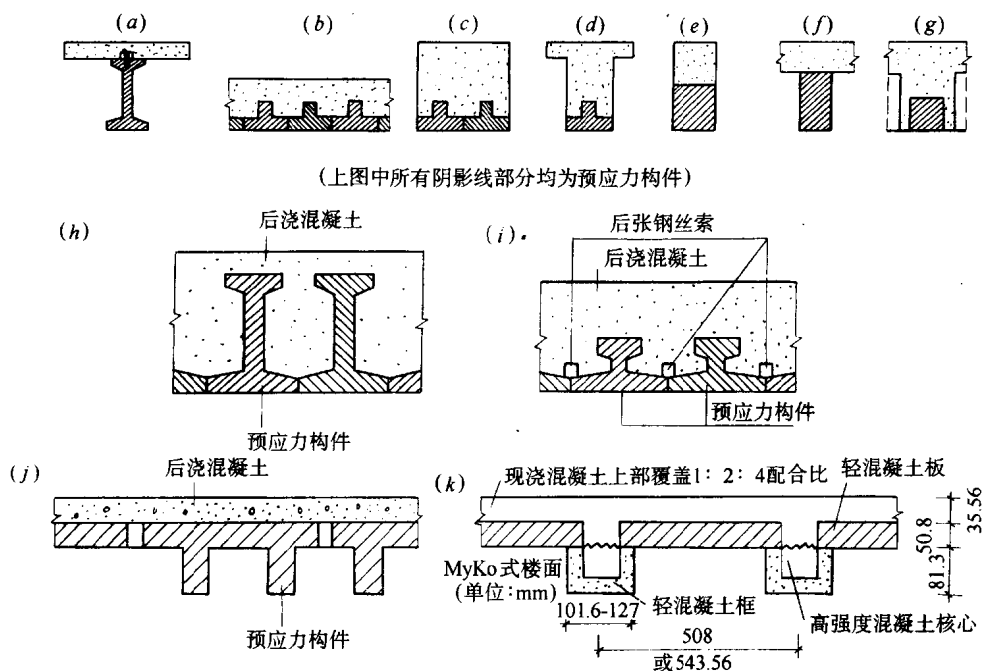


图 1-1-1 国外几种常用混凝土叠合式装配整体结构或构件的截面型式

注：图 1-1-1 示几种国外常用的混凝土叠合式装配整体结构或构件的截面型式，大都经过试验和实践检验，证明预制和现浇混凝土共同工作良好。其中图 1-1h 和 i 两种型式，系桥梁结构上所常采用的混凝土叠合梁桥截面。

梁式装配承重构件，在其上面搁置混凝土空心块，然后再在其上浇制现浇混凝土形成一整体。这种结构的最大特点是，与全部装配式预应力结构比也能节约钢材。英国混凝土有限公司还制作了一种“比藏”式预应力板（即预应力混凝土薄板），这种板在施工时被用作模板，在混凝土叠合式楼盖使用时则用作受拉区，这种楼盖的新旧混凝土结合，用特制成的一种“燕尾”型沟槽来保证<sup>[3]</sup>（图 1-1-3）。此外，英国还采用过一种 MyKo 式楼面，用轻混凝土制作槽形框架梁，上搁轻混凝土板，在槽形框架梁中浇捣部分高强度混凝土，然后再在板、梁上面现浇一层混凝土形成整体（见图 1-1-1k）。这种楼面也有较好的经济效果。以上介绍的混凝土叠合式结构，虽已应用多年，但其设计思路，至今还有很好的参考价值。

60 年代初期前苏联应用这种预应力薄板制作混凝土叠合式装配整体楼盖，不用沟槽，单靠板上部表面的人工粗糙面所获得的粘结力和摩擦力，来保证新旧混凝土的共同工作，其整体部分为陶粒混凝土，强度等级为 C7.5~C10，试验证明也是完全可靠的，并

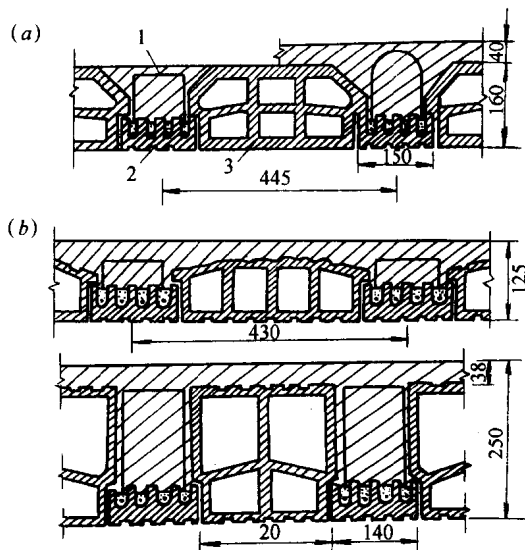


图 1-1-2 配有钢弦陶制构件的装配整体式楼盖

a—瑞士所采用的“什塔尔唐”式结构；

b—英国所采用的“什塔尔唐”式结构；

1—整筑混凝土；2—预应力构件；3—空心陶块

且这种结构成功地应用在前苏联南方地区的抗震结构上<sup>[4]</sup>。70年代法国和西德广泛采用这种预应力薄板来制作混凝土叠合式装配整体楼盖,在新旧混凝土间配制抗剪力钢筋,以保证共同工作,他们进行了较系统的试验研究工作,并提出了设计施工规程<sup>[5][56][78]</sup>。

近年来日本熊谷组公司新开发了一种钢筋混凝土结构(施工合理化)半预制结构体系<sup>[7]</sup>(即混凝土叠合结构),是用口字型半预制柱与U型半预制梁等构成,并使用市场供应的兼作楼板的半预制板(即预制叠合板),在现场经浇筑混凝土,再形成整体结构。

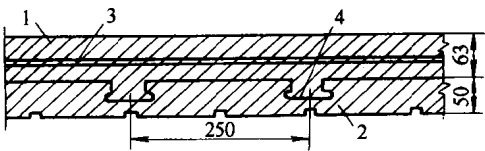


图 1-1-3 “比藏”型装配—整体式楼盖  
1—现筑混凝土; 2—预应力构件;  
3—间距为 0.6m 和直径为 6cm 的钢筋;  
4—“燕尾”形沟槽

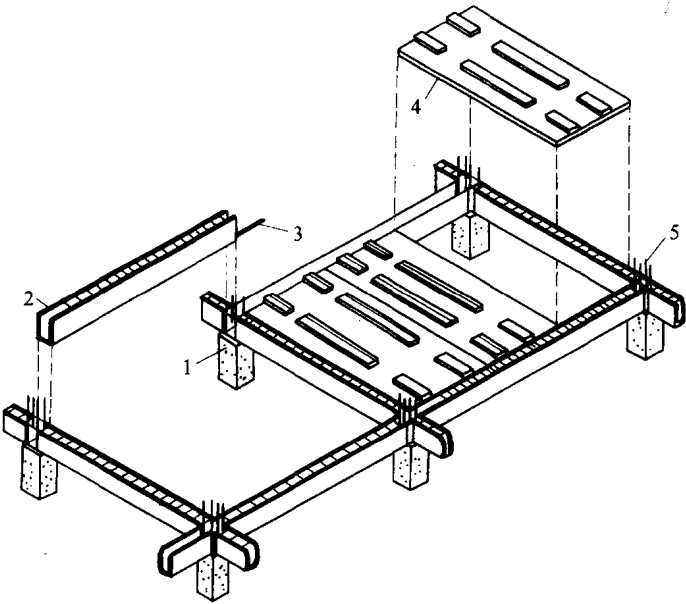


图 1-1-4 半预制结构体系与半预制柱  
1—半预制型空心柱; 2—U 型预制; 3—下端搭接钢筋; 4—叠合楼板; 5—柱钢筋  
注: 垂直分开浇筑

如图 1-1-4 所示,工厂生产的口字形中空构件(采用离心法生产,主筋与箍筋均配制其内),与 U 字形梁构件(下端主筋与箍筋也配置其内)组合形成了结构体。其施工顺序是:①安装口字中空柱,插入钢筋搭接接头的钢筋,浇筑混凝土;②在柱子之间设置 U 字形梁;③设置半预制楼板,用压接或机械式接头连接梁上端主筋,并配置楼板上端钢筋,再浇筑梁板上层混凝土,如此反复作业,即形成建筑物的主体结构。

采用这种结构体系具有以下优点:①由于施工的合理化,结构工程的施工工期,与现浇混凝土结构相比可缩短 40%;②由于采用了半预制构件,因而可大幅度地削减模板工程的劳动量;③多采用钢筋搭接接头,大部分钢筋均配置在半预制构件内,只需配置梁、板上端钢筋,节约了大量的钢筋现场制作工作量;④与以往的预制构件相比,半预制构件大为减轻,起重、运输设备可小型化,因而可降低成本;⑤大幅度减少胶合板作模板的用量;⑥与原有模板工程相比,可以大量节约穿墙定位螺栓、支撑等辅助器材。

日本除开发了上述半预制结构体系外，市场上还采用了多种型式的 PC 叠合板构件。现在介绍两种典型的 PC 叠合板的剖面图和安装图（图 1-1-5）。

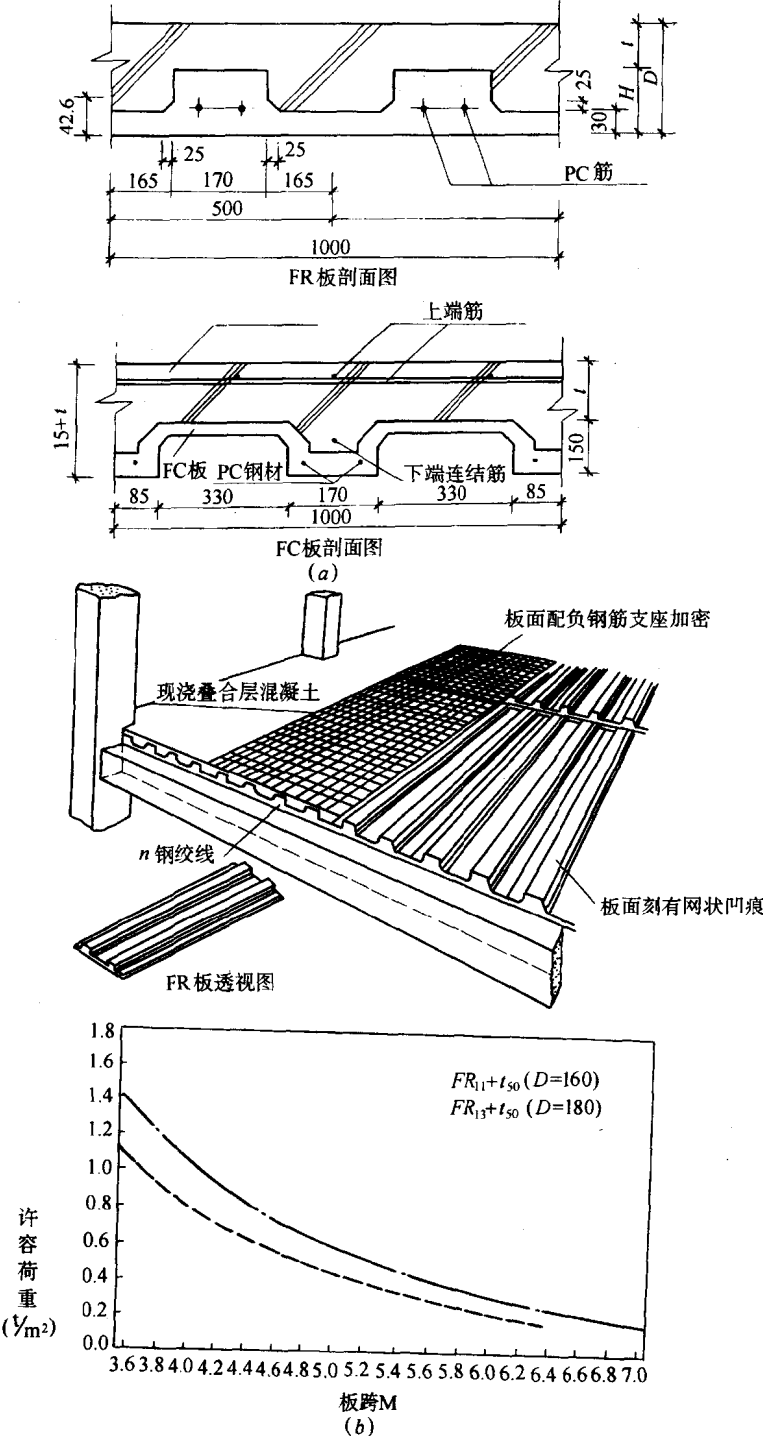


图 1-1-5 日本的两种典型 PC 叠合板的剖面图和安装图  
(a) 两种 PC 叠合板的剖面图；(b) 叠合板的安装图

日本的 PC 叠合板广泛用于工业厂房、公共建筑和多层及高层建筑，特别是用在高层建筑楼盖结构上可以显示出许多优点。楼面结构整体性好，可以用于地震区，甚至是强地震区；楼面现浇层可以预埋各种管线，有利于安装工程施工；作为预制构件，可实现无支撑施工，板跨大，省略施工模板；现场有良好的作业区，实现文明施工。作者认为，日本的叠合板构件断面型式是比较好的，能跨越较大跨度而不用跨中设置支撑，这点值得我们在设计中很好借鉴。

## 2. 在工业房屋方面的应用情况

在多层和单层工业厂房方面，国外在 50 年代即开始采用混凝土叠合式整体结构，60 年代得到较大发展，70 年代以后向着构件定型化、体系化方面前进。在多层工业厂房楼盖方面，国外一般采用下述两种型式：①梁板预制再在其上浇整体部分混凝土，英、法、意大利采用这种混凝土叠合式装配整体楼盖的很多。②梁预制板全部现浇，例如波兰在 6m 的预应力梁上现浇 7~10m 厚的混凝土板，两者用从预应力梁上伸出钢筋来联系[图 1-1-1a]，它能承受很大的活荷载（10kN/m、15kN/m、20kN/m）。在装配整体式房屋的节点，柱子与横梁、系梁的联系方法，国外大多采用整体现浇联接和在柱子中开槽联接的型式。但前苏联的节点多采用明牛腿式；美国的节点多采用柱边缩颈式<sup>[8]</sup>。此外也有采用预应力摩擦联接者，型式很多，各有优缺点。在抗震和抗振方面都取得较好的效果。

60 年代国外在单层工业房屋盖方面采用叠合结构方案的也不少。如混凝土叠合式装配整体薄壳屋盖、折板屋盖以及薄腹梁、大屋面板混凝土叠合式装配整体屋盖等，都具有较好的整体性。

以上介绍的是混凝土叠合式装配整体结构在国外的概况，下面介绍这种结构在国内的发展概况。

## 二、混凝土叠合结构在国内的发展概况

1. 民用房屋方面：我国从 1957 年开始生产预应力棒、预应力薄板和双层空心板等装配整体式构件<sup>[3]</sup>，首先应用在民用建筑上。1961 年同济大学朱伯龙同志等研制了一种装配整体式密肋楼板，预制部分为 I 字型小梁与薄板，面层为现浇混凝土，天花平顶为预制薄板放在 I 字小梁下部翼缘上<sup>[9]</sup>。这种楼板的特点是：经济指标好（节省三材、造价低），构件轻，施工制作都很方便。经过试验，预制部分和现浇部分能很好共同工作，是一种较好的楼面结构型式。国内高层建筑首次采用混凝土叠合式装配整体结构的是北京民族饭店和北京民航局办公大楼（高 15 层）<sup>[10]</sup>，这些高层建筑的特点是预制墙板与承重构件的连接占了一定的比重，因而自有其特殊的节点处理型式，梁柱接头采用暗牛腿式，柱与柱钢筋接头采用熔杯接合，是一种比较可靠的接头，只是用钢量稍大。70 年代我国预应力混凝土预制小梁与现浇板相结合的混凝土叠合式屋面得到发展，先后在天津、浙江、广东等省市建造了一批采用这种结构的房屋，经济效果很好，1975 年浙江省标准设计站出版了预应力混凝土预制小梁与现浇板叠合的屋面图集（浙 G103.103-1）。80 年代随着我国经济体制的改革，旅游事业得到蓬勃发展，各大城市的高层建筑如雨后春笋，这些高层建筑的楼屋面，由于抗震的需要，大部分采用了现浇结构，但也有相当多一部分采用装配整体叠合板结构。从 1975 年到 1995 年国内全部或部分采用叠合结构的近 30 个工程（不完全统计），有多层公共建筑，也有高层建筑。自 80 年代起，叠合结构就已开始应用于高层建筑楼盖结构之中，如北京国际大厦（33 层，高 101m）、西苑饭店（29 层，高 96m）、昆仑饭店（30 层，高 99.9m）、武汉金源世界中心（28 层，高 97.5m）、武汉友谊大厦（33 层，高 105m）等共 20 多栋<sup>[11]</sup>。

我国一些小城市,在民用建筑中,由于抗渗和运输安装的需要,抛弃了传统的空心板楼屋面,而采用了装配整体预应力混凝土叠合板楼屋面,不仅加快了施工速度,而且改善了屋面的防水,取得了很好的经济效果。仅汕头市饶平县就采用了这种结构达40万 $\text{m}^2$ 。此外,四川成都市和广西南宁市也大量地采用了预应力薄板和预应力空心板与现浇混凝土叠合的装配整体楼屋面,目前这种结构的应用正方兴未艾。中国建筑技术研究院标准所已编制了这种结构的标准图集,为更广泛地推广这种结构创造了条件<sup>[12]</sup>。

2. 在工业房屋方面,1958年预应力叠合式吊车梁在我国得到积极推广,1959年一机部一院出版了这种构件的标准设计图。桂林橡胶工业设计研究院,从1962年起至70年代末,共设计了40多个装配整体式多层工业厂房,采用了一些比较新型的构造方案。其特点是采用杯口接头,用预应力高强钢丝配筋的四层叠合框架及用预应力芯棒配筋的楔形铰接框架,为在多层工业厂房中推广预应力结构有所前进。前一种结构经济指标好,取消了节点焊接,简化了梁柱节点构造,当有高强度钢丝时可以推广采用。后者经济指标亦好,当柱为一整体构件,取消了梁柱连接的节点处理,取消了钢筋剖口焊接,构件可叠模生产。这两种结构有可能成为较好的装配整体叠合式结构型式之一<sup>[13]</sup>。我国有色冶金多层工业厂房,从1964年起开始广泛采用装配整体混凝土叠合式结构,如熔炼、烧结、电炉、干燥和煤气站、铜电解、材料库等多层工业厂房以及料仓、水池等特种结构都大量采用了这种结构<sup>[14]</sup>。因而加快了建设速度,减轻了劳动强度,节省了三材,取得了很好的经济效果。轻工业部各设计院在设计造纸厂、酒厂、糖厂等轻工业厂房时,为了满足生产的要求,也广泛地采用了装配整体混凝土叠合结构,积累了很丰富的设计经验<sup>[15]</sup>。

1972年辽宁工业设计院在设计本溪钢铁公司120t氧气顶吹转炉炼钢车间,采用了装配整体混凝土叠合式结构,取得完全成功<sup>[17]</sup>,为重工业厂房采用这种结构摸索了经验。1977年国家建委建筑科学研究院与无锡市建筑构件厂试验成功用冷拔低碳钢绞线生产预应力叠合式梁板<sup>[16]</sup>,为这种结构扩大了钢材品种,增加了结构型式。此外北京、上海等地的水产冷库都采用了混凝土叠合式装配整体的无梁楼盖<sup>[18]</sup>,也取得了节约三材、加快建设速度的很好效果。1983年四川省电力设计院在四川省云阳县和南川县各设计一个 $2\times 3000\text{kW}$ 的坑口火电厂。由于该两地处处于川东偏僻的山区,采用装配式结构,缺乏起重大的吊装设备;采用现浇结构,则缺乏木料,于是他们采用了叠合梁板、现浇框架的装配整体结构体系,成功地解决了上述困难问题<sup>[19]</sup>,并取得了很好的经济效果。图1-1-6是南川火电厂工程叠合结构实录。

90年代这种结构体系又发展成高效预应力混凝土叠合结构,它是混凝土叠合式装配整体结构的一种较好型式。这种结构是利用高强度钢丝和高强度等级混凝土,经工厂化制作的预应力薄板和预应力空腹梁,运至工程现场与现浇柱组合安装后,再在其上现浇一层混凝土,使其共同粘结而形成的新型装配整体超静定结构<sup>[23]</sup>。见图1-1-7。

这种结构具有与现浇结构基本相同的整体性,它可应用于多层工业厂房及高层房屋建筑的楼盖和屋盖,它具有施工方便、节省三材、降低造价、缩短工期、提高工程质量等优点,是一种综合经济效益非常显著的理想结构型式。

下面简介我国在单层厂房屋盖的发展概况。

在80年代以前,我国在单层工业厂房屋盖的结构型式上多数为板、梁或板、架预制装配式结构。其板、梁或板、架的连接通常采用三点焊接的连接方法。1976年我国发生了唐山大地震,大型屋面板与屋架、屋面梁焊接的单层工业厂房遭到了大量破坏,其原因很大