



清水混凝土

冯乃谦 (日) 笠井芳夫 顾晴霞 编著

Architectural Concrete



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

清水混凝土

Architectural Concrete

冯乃谦 (日)笠井芳夫 顾晴霞 编著



机械工业出版社
China Machine Press

清水混凝土是指建筑物外表不加任何装饰,完全依靠混凝土本身的面貌作为外立面的一种结构形式。在国外,如日本、美国、加拿大及欧洲诸国等均有广泛和成熟的应有,在倡导低碳经济的今天,这也是建筑结构实现其低碳技术的有效途径之一。

本书介绍了清水混凝土的历史与发展、清水混凝土及其装饰、清水混凝土表面装饰的类型、清水混凝土原材料的选择、清水混凝土的配制、清水混凝土钢筋工程、清水混凝土的模板、清水混凝土的浇筑与养护、清水混凝土表面处理与保护、施工不良的修补和经年劣化的修复、清水混凝土的污染与对策等内容。

本书可供建筑设计、建筑材料及混凝土施工的科研、设计及技术人员使用,对于相关专业的高校师生也有很好的借鉴作用。

图书在版编目(CIP)数据

清水混凝土/冯乃谦,(日)笠井芳夫,顾晴霞编著. —北京:
机械工业出版社, 2011.3
ISBN 978-7-111-33290-9

I. ①清… II. ①冯…②笠…③顾… III. ①混凝土
施工 IV. ①TU755

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第017327号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:薛俊高 责任编辑:薛俊高 责任校对:刘秀丽
封面设计:马精明 责任印制:杨曦
北京京丰印刷厂印刷
2011年3月第1版·第1次印刷
184mm×260mm·23.25印张·573千字
标准书号:ISBN 978-7-111-33290-9
定价:56.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版



冯乃谦，男，1934年出生于广东。1958年毕业于清华大学。清华大学教授、博导。出版著作有《建筑工程材料》、《流态混凝土》、《高强混凝土技术》、《高性能混凝土》、《天然沸石混凝土技术》、《高性能混凝土技术》、《实用混凝土大全》、《混凝土结构裂缝与对策》、《混凝土与混凝土结构的耐久性》；合著有《混凝土力学》、《中国建筑工程材料指南》、《Mineral Admixtures in Cement and Concrete》(ABI Books, 1993) 及《Testing and Quality Control in Cement Industry》(ABI Books 1997)；译著有《钢筋钢筋混凝土结构计算标准及解说》等6种；主编制订行业技术标准2个、专利5项。以中、日、英发表论文260篇。在国内外获奖20多项。日本大学、明治大学客座教授研究员；美国AAAS成员；纽约科学院外籍成员；英国剑桥名人协会会员；北京市政府技术顾问。

前 言

清水混凝土，在国外叫做 Architectural Concrete（建筑艺术混凝土）、Exposed Concrete（暴露表面混凝土），或叫做 Fair Faced Concrete（整形表面混凝土）；在日本叫做“打放しコンクリート”（表面艺术处理混凝土）。人们在建筑设计、材料、施工和维护管理过程中，把钢筋混凝土结构建筑当做一件艺术品，耸立于大自然中，达到艺术性、观赏性和环境协调性；而且随着年代的增加，达到仿古颜色时，其艺术效果也达到了最高境界。这是建筑设计师的梦想，也是倡导低碳经济的今天，混凝土结构外装修低碳技术的有效途径。

但是建筑物外墙在施工过程中易产生一些问题，例如：在模板里的填充状态，及成型后的表面状态是不知道的；混凝土浇筑时由于时间差，有时后浇筑的混凝土和底层混凝土的结合不好，会产生冷接缝等；上、下层混凝土会有色差、麻面；修补时，达到相同的颜色也不容易；长期维护管理工作量大，困难较多等。本书针对清水混凝土的一些基本问题进行了深入的论述，以期从事清水混凝土工程的技术工作者加以参考。

本书由冯乃谦教授主笔，与日本大学名誉教授笠井芳夫及中建总公司教授级高工顾晴霞协作共同完成。书中有关日本的参考文献大部分是笠井芳夫先生提供的。笠井先生把其团队共同写作未出版的清水混凝土书稿送给了冯乃谦教授，使该书的写作有了重要的参考。很多图片也引自该书稿。特此对笠井芳夫教授及其团队的同人表示衷心的感谢。顾晴霞教授结合自己的工程实际，编写了清水混凝土的钢筋、模板、混凝土施工浇筑与养护等章节，理论与实践相结合，会给读者带来更有益的参考。

袁世伟、胡塵、高育欣和任志平等同志，结合自己对清水混凝土施工应用的丰富经验，编写了或参与编写了清水混凝土工程实例的有关内容。全书由冯乃谦校核修订脱稿。

我国改革开放以来，规模最大的清水混凝土工程是联想（北京）生产基地的清水混凝土。该群体的建筑面积近10万 m^2 ，清水混凝土外立面面积3万 m^2 ，建成使用后，对国内清水混凝土技术的发展起到推动的作用。中建总公司在清水混凝土的施工应用方面，率先走在了国内企业的前面，也给本书的编写输送了更丰富的参考内容。

清水混凝土从设计、材料与施工及维修管理，仍存在许多问题让人们去思考、去解决；本书也会存在差错与不足，热忱地欢迎来自各方面读者的批评与帮助。

冯乃谦

2011.1

目 录

前言

第1章 清水混凝土的历史与发展	1
1.1 水泥的发明与混凝土技术的发展	1
1.2 中国的清水混凝土技术	1
1.3 日本清水混凝土技术的历史与发展	26
1.4 其他国家的清水混凝土技术	44
1.5 本章结束语	48
第2章 清水混凝土及其装饰	49
2.1 外墙装饰的功能与选择	49
2.2 色彩的选择	54
2.3 质感	62
2.4 图案造型	65
2.5 内墙装饰的功能	67
2.6 顶棚装饰的功能	70
2.7 建筑饰面的选择	74
2.8 建筑饰面的耐久性	75
2.9 清水混凝土装饰的优劣	80
第3章 清水混凝土表面装饰的类型与工法	83
3.1 表面平滑的装饰	83
3.2 表面带有图样的装饰	93
3.3 表面立体图案的装饰	98
3.4 表面加工的装饰	100
3.5 特种树脂装饰模板的清水混凝土饰面	103
3.6 预制模板的清水混凝土装饰	115
3.7 小结	117
第4章 清水混凝土原材料的选择	118
4.1 清水混凝土饰面与材料	118
4.2 水泥	119
4.3 矿物质掺合料与有机掺合料	124

4.4	混凝土化学外加剂	148
4.5	骨料的选择	165
第5章 清水混凝土的配制		167
5.1	配合比条件	167
5.2	高流态混凝土	173
5.3	泵送与混凝土	177
5.4	泵送清水混凝土施工应用实例	179
5.5	其他强度等级的清水混凝土配合比	183
第6章 清水混凝土结构的钢筋工程		184
6.1	钢筋和混凝土的共同工作	184
6.2	钢筋材料	185
6.3	混凝土结构的钢筋保护层	187
6.4	钢筋的连接	189
6.5	钢筋制作	192
6.6	钢筋绑扎	194
6.7	成品保护	196
第7章 清水混凝土的模板		197
7.1	基本要求	197
7.2	模板材料	197
7.3	模板设计的一般原则	199
7.4	普通清水混凝土的模板配制	201
7.5	饰面清水混凝土的模板配制	203
7.6	装饰清水混凝土的模板	207
7.7	模板制作	208
7.8	模板的运输、储存和安装	209
7.9	模板的拆除与保护	212
第8章 清水混凝土的浇筑与养护		213
8.1	原材料	213
8.2	配合比优化	216
8.3	清水混凝土的制备	217
8.4	预制清水混凝土构件浇筑	218
8.5	现浇清水混凝土结构	221
8.6	清水混凝土的裂缝控制	228
8.7	清水混凝土的养护和成品保护	230
8.8	冬期施工	230
8.9	清水混凝土质量验收标准	230
8.10	修补和涂装	232

第9章 清水混凝土的表面处理与保护	234
9.1 为长寿命的清水混凝土结构而进行的表面处理与保护	234
9.2 表面处理与保护的设计	239
9.3 表面处理及保护材料施工方面的注意事项	240
9.4 清水混凝土表面处理及保护实例	243
9.5 表面处理与保护工法的展望	248
9.6 超耐久性保护工法及低污染、超耐久性表面保护工法	248
第10章 清水混凝土的耐久性	251
10.1 清水混凝土结构耐久性的特殊性	251
10.2 碳化对清水混凝土引起的劣化作用	252
10.3 冻害引起的劣化	256
10.4 盐害对清水混凝土的劣化破坏与对策	268
10.5 硫酸盐腐蚀与清水混凝土劣化	289
10.6 碱骨料反应与对策	295
10.7 日本建筑学会耐久性指南(草案)与说明	302
10.8 日本土木学会技术标准中关于耐久性的查对	303
10.9 结束语	306
第11章 施工不良的修补和经年劣化的修复	307
11.1 修补工法的特别注意事项	309
11.2 脱模时出现清水混凝土表观不合适的修补工法	309
11.3 经年劣化的修复	312
11.4 电化学防腐蚀工法	318
第12章 清水混凝土的污染与对策	329
12.1 污染及其评价	330
12.2 防止污染的对策	335
12.3 乱写乱画与清除方法	337
12.4 清水混凝土表面锈汁的污染与对策	342
第13章 工程应用实例——高性能白色清水混凝土	344
13.1 白色清水混凝土的应用现状	344
13.2 白色清水混凝土的原材料	344
13.3 白色清水混凝土的力学性能	346
13.4 白色清水混凝土的工作性能	349
13.5 白色混凝土的水化热升温试验	351
13.6 白色清水混凝土的耐久性能	352
13.7 白色清水混凝土的颜色	357
13.8 白色清水混凝土的生产应用性试验研究	358
13.9 结语	359
参考文献	360

第 1 章 清水混凝土的历史与发展

把清水混凝土的最初应用，回归到哪一个时期是相当困难的。但我们可以追溯到水泥的发明和混凝土的初期应用，就可以更深入地了解水泥混凝土技术的发展，了解到清水混凝土的发展。

1.1 水泥的发明与混凝土技术的发展

1824 年，英国的约瑟夫·阿斯普丁（Joseph Aspdin）发明了波兰特水泥（Portland Cement）。波兰特水泥能将砂石粘结在一起，变成人造石。开创了现代混凝土技术的新时代。1835 年，英国建造了全混凝土的房屋，这可以认为是最早的清水混凝土建筑了。

由于混凝土的抗拉强度低，制作构件承受弯矩和拉力时，很容易断裂，限制了素混凝土结构的应用范围。19 世纪中叶，开展了钢筋混凝土的研究，到了 1880 年左右，钢筋混凝土材料在建筑工程上应用，奠定了科学的理论基础。一些隧道桥涵都采用清水钢筋混凝土结构。如瑞士圣哥达隧道北口的线路及中国成昆线一线天两隧道拱桥（图 1-1a、b）。

钢筋混凝土虽然克服了抗拉强度过低的弱点，但在钢筋混凝土构件的受拉区却又难于避免产生裂缝，从而会降低结构的抗渗性和耐久性；因此，有人又进一步研究了预应力钢筋混凝土，以消除混凝土结构受拉区的裂缝，并于 1928 年获得了成功，预应力混凝土桥梁得到了大量的推广和应用，如图 1-1c、d 所示。

与此同时，很多钢筋混凝土的高层与超高层建筑也纷纷建成。如 1931 年建成的美国纽约帝国大厦，高 378m，102 层，综合地代表了 20 世纪 30 年代建筑科学技术的发展水平，如图 1-1e 所示。

清水混凝土的建筑结构大量应用还是在二次世界大战以后。由于二战的破坏，需要建造大量的住宅和校舍，以满足当时人们的迫切需要。如 1947—1952 年间，法国建筑家 Lugol 设计建造了大片的清水混凝土住宅，以满足当时许多无家可归的人群的住宿问题。当时的清水混凝土完全出于经济、省钱和施工快捷考虑，没有考虑到清水混凝土表面的装饰问题。例如日本大学生工学部的建筑学科馆、机械工学科馆都是清水混凝土结构。建成后 30 年左右，建筑学科馆因钢筋锈蚀，墙面严重开裂，成为危险房屋，已推倒重盖。机械工学科大楼也一样，建成后经 30 年，表面严重污染，内部钢筋锈蚀，也已推倒重建。日本大学生工学部新、老清水混凝土大楼对比如图 1-1f、g。

由此可见，清水混凝土随着混凝土技术、经济发展以及人们的需求而在不断提高。

1.2 中国的清水混凝土技术

中国的水泥工业始于 1906 年。在唐山建造的中国第一个水泥制造所，称之为“启新”水泥厂。年产水泥约 4 万吨。1949 年全国解放时，水泥总产量也不过 66 万吨。19 世纪末 20

世纪初,在上海等沿海城市的个别建筑物中,部分采用了钢筋混凝土楼板。1908年建造的上海电话公司是中国最早的钢筋混凝土框架结构。1949年后,混凝土结构在各种工程中得到了广泛应用。

1.2.1 1949 年到 1980 年（改革开放初期）

在这一时期,中国的水泥混凝土工业主要以学习前苏联为主,房屋建筑及工业建筑的结构构件都为工厂化生产。当时的北京第一建筑构件厂是中国规模最大的;在生产初期,主要生产大型屋面板,如单层工业厂房中,一般采用 $1.5\text{m} \times 6.0\text{m}$ 的槽形板;工业建筑的墙板一般采用槽形板,其尺寸根据网柱确定,一般为 $(1.2 \sim 1.5)\text{m} \times 6\text{m}$,即为无装饰的清水混凝土表面。除上述混凝土预制品外,还生产楼梯板、阳台板、隔墙板及其他小型板材。图 1-1h 为当时北京市第一建筑构件厂之一角。

在房屋建筑中,主要有墙板、楼板和屋面板。装配式大板建筑是用预制的内外墙板、楼板、屋面板及其他预制构件装配而成,如图 1-1i 所示。其内外墙板多为一开间一块,但也有二开间甚至三开间一块的。外墙板一般为自承重,兼有隔热、防水及装修等多种功能。生产多采用固定式平模、平模流水和机组流水等工艺,同时采用多种方式使外饰面达到装饰要求。与此同时,还有预制的盒子结构的装配式房屋,如图 1-1j 所示。平模生产墙板如图 1-1k 所示。

在这一时期,还有在工厂预制的仿蘑菇石装饰的房屋外墙及住宅楼装饰混凝土阳台板等,如图 1-1l 所示。



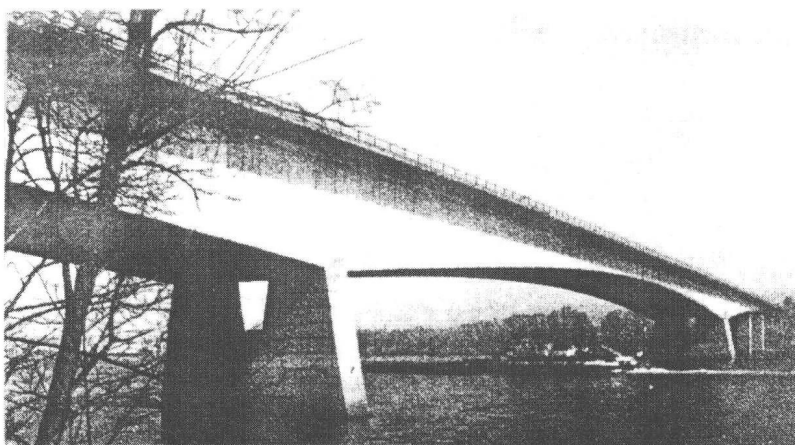
a)

图 1-1

a) 瑞士圣哥达隧道北口线路的清水混凝土桥涵



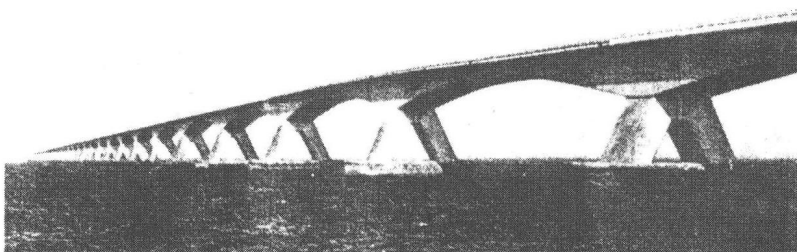
b)



c)

图 1-1 (续一)

b) 中国成昆线两隧道间拱桥 c) 德国本多夫预应力混凝土公路桥 (清水混凝土)



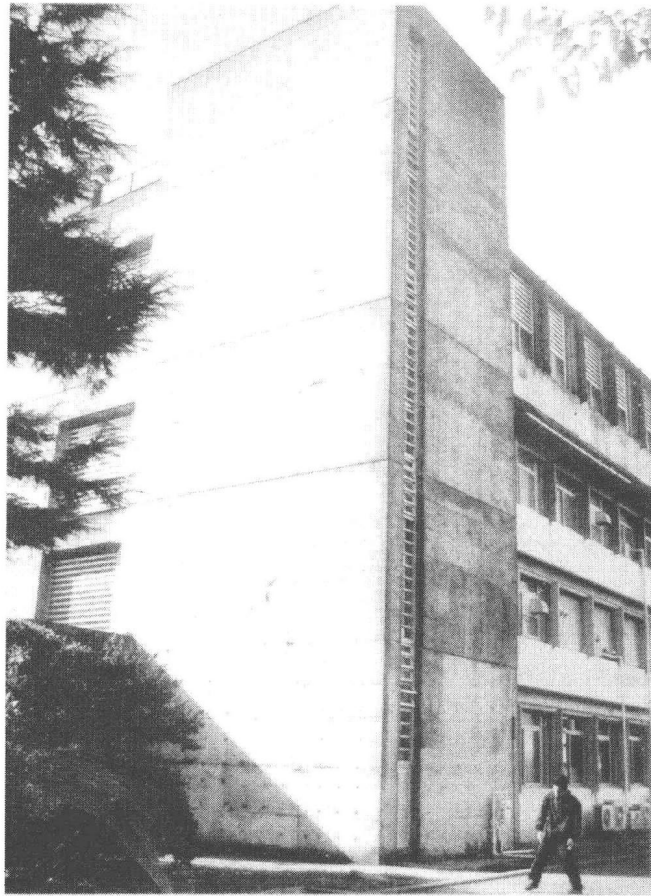
d)



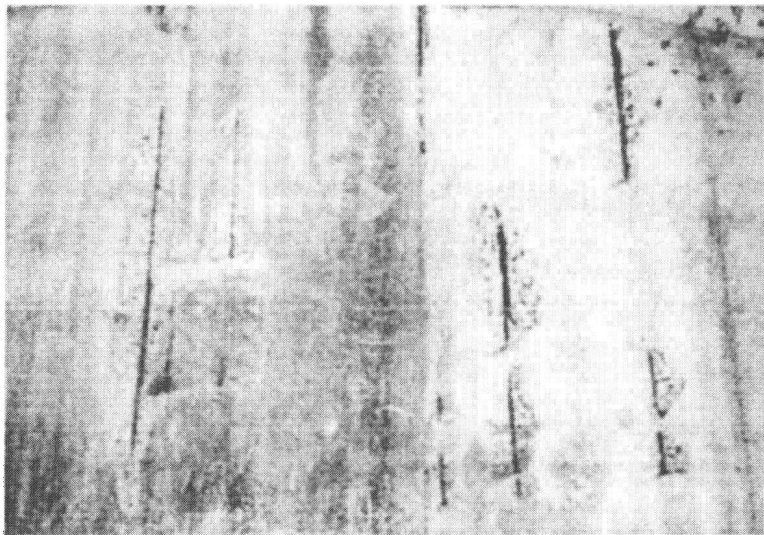
e)

图 1-1 (续二)

d) 荷兰东斯海尔德桥，预应力混凝土公路桥 e) 美国纽约的帝国大厦及其周边的清水混凝土建筑



f₁)



f₂)

图 1-1 (续三)

f₁) 日本大学生工学部机械工学科馆清水混凝土 f₂) 竣工 37 年后墙面

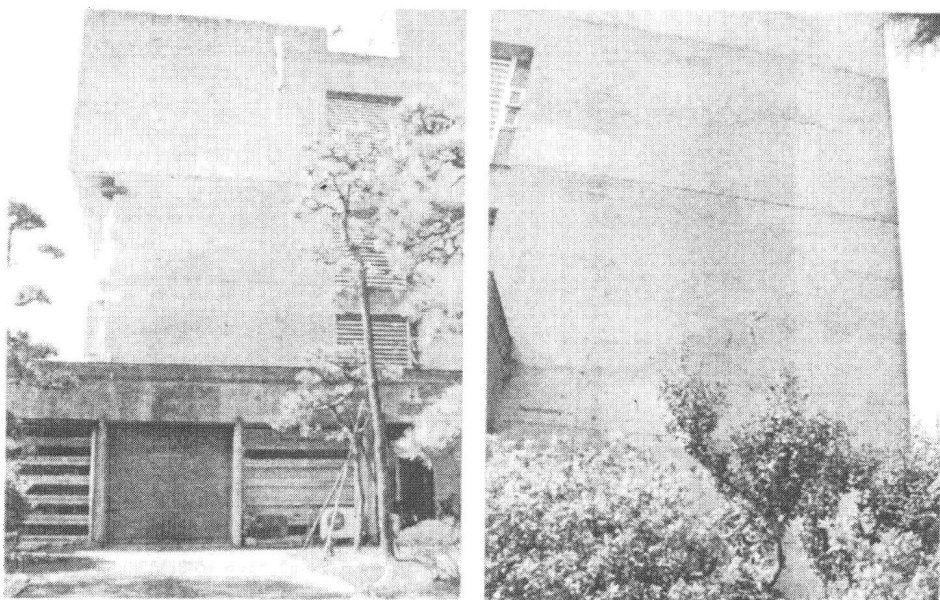
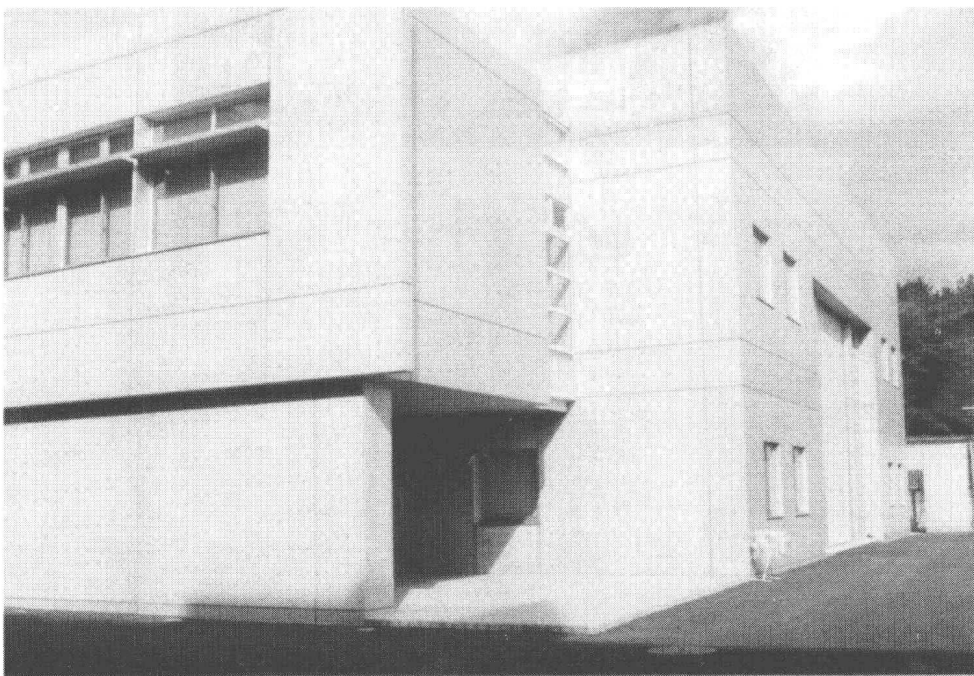
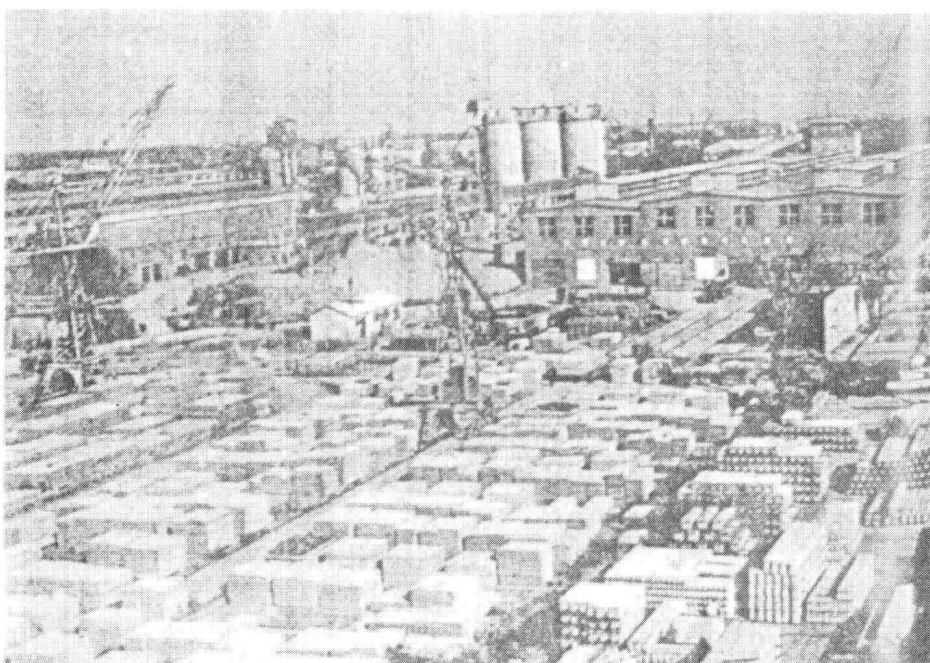
g₁)g₂)

图 1-1 (续四)

g₁) 日本大学 12 号馆 (竣工后 37 年)g₂) 2005 年左右建成的建筑学科馆清水混凝土墙面达到了很高雅的装饰效果



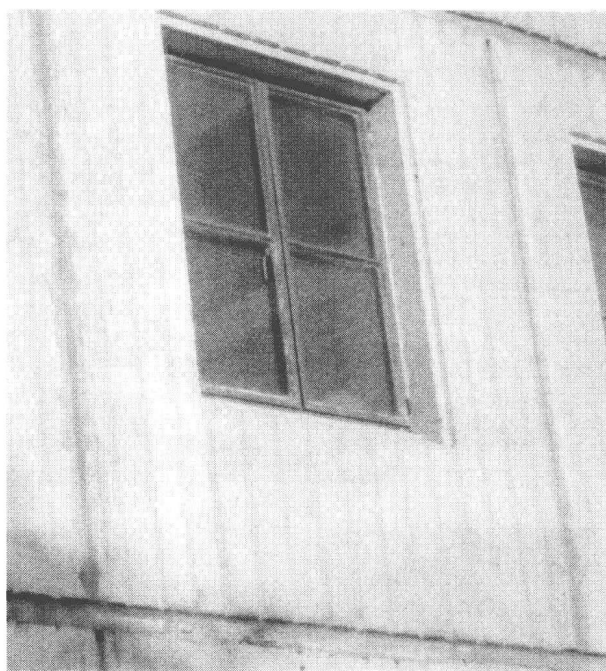
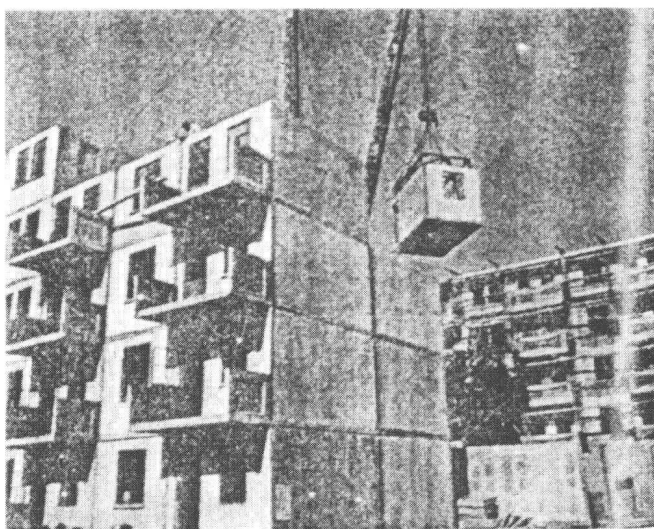
h)



i)

图 1-1 (续五)

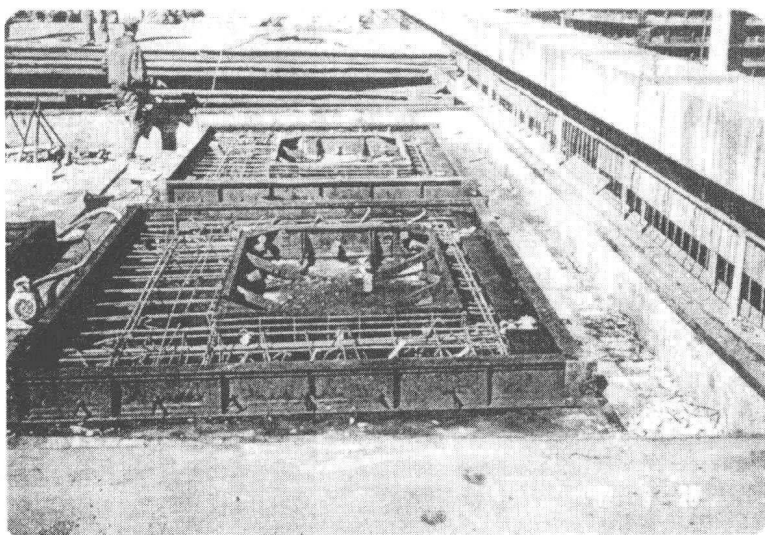
h) 北京市第一建筑构件厂之一角 i) 预制外墙板组装的清水混凝土住宅

i₂)

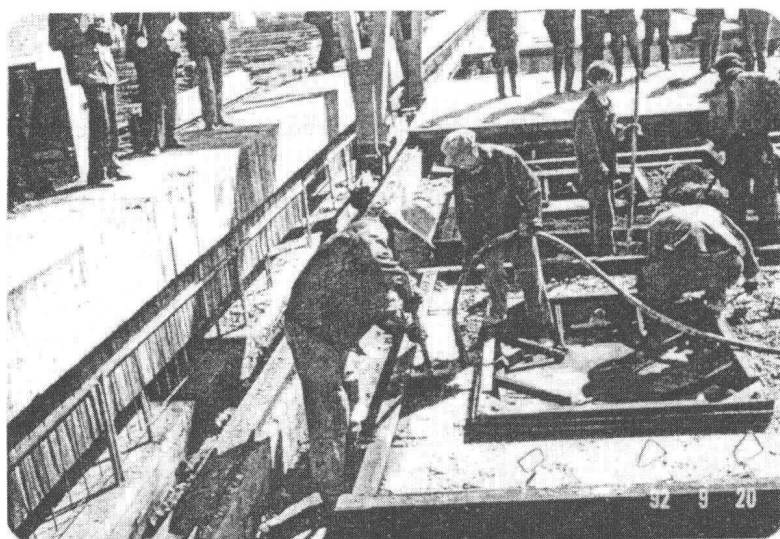
j)

图 1-1 (续六)

i₂) 墙面放大 j) 盒子结构房屋的吊装组合



k₁)



k₂)

图 1-1 (续七)

k₁) 模板及钢筋安放到位 k₂) 浇筑混凝土及振动成型