

SHANGHAI JIANZHU SHIGONG XINJISHU



上海建筑施工 新技术

上海建工(集团)总公司 编

中国 建 筑 工 业 出 版 社

SHANGHAI



上海建築施工 新技術

—— 建築工程技術 ——

上海建築工程技術出版社

TJ74

2000234

上海建筑施工新技术

上海建工（集团）总公司 编

中国建筑工业出版社

(京)新登字 035 号

图书在版编目 (CIP) 数据

上海建筑施工新技术/上海建工 (集团) 总公司编.
北京: 中国建筑工业出版社, 1999
ISBN 7-112-03925-8

I. 上… II. 上… III. 建筑工程-工程施工-技术-
上海 IV. TU74

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 14274 号

本书总结了上海近几年来在城市地下工程、建筑主体结构、建筑安装及材料与新技术开发方面的经验。写法上以某项建设工程为单元, 重点介绍工程所采用的先进技术的原理、优点及设计施工做法。

本书可供城市工程建设设计、施工人员阅读, 也可作为施工技术人员继续教育和进修提高的教材。

* * *

责任编辑: 袁孝敏

上海建筑施工新技术

上海建工 (集团) 总公司 编

*

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

北京市兴顺印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 35¹/₂ 字数: 859 千字

1999 年 9 月第一版 1999 年 9 月第一次印刷

印数: 1—2500 册 定价: 70.00 元

ISBN 7-112-03925-8
TU·3056 (9290)

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)

《上海建筑施工新技术》编委会

主 编	叶可明		
副 主 编	张福余	居世钰	
执行编委	曹鸿新		
编 委	叶可明	张福余	居世钰
	曹鸿新	蒋正华	

《上海建筑施工新技术》目录

建筑施工技术的现状与展望 (代序)	叶可明 1
-------------------	-------

● 地下工程篇 ●

1. 钻孔灌注桩硬地法施工工艺	23
2. 地下连续墙施工新技术	29
3. 复合式 (三作用型) 深基础结构的研究设计与应用	51
4. 地下结构中心岛法施工技术	65
5. 闹市区超大型深基坑的围护设计和施工	75
6. 地铁隧道旁深基础施工技术——上海广场基础工程围护结构的施工	83
7. 上海信息枢纽大楼超深基础施工	93
8. SMW 工法在环球世界大厦工程中的应用	101
9. 双向复加预应力双钢管支护技术	105
10. 深大基坑的环梁支撑体系	111
11. 特大型基础工程及围护结构施工——金茂大厦地下工程施工技术	122
12. 大体积混凝土施工技术	140
13. 3.8~5.3m 超厚混凝土承台施工及裂缝控制	158
14. 冬季负温情况下特大体积混凝土的浇筑	166
15. 上海高层建筑多层地下室逆作法施工技术	174

● 结构施工篇 ●

16. 架片式组合爬升模板的设计与应用	187
17. 可分段监控荷载的 (DMCL) 整体电动升降脚手	194
18. 液压整体提升式大模板施工技术	207
19. 现浇楼板结构的早拆模施工技术	218
20. 离地 80m 的复式层支模施工技术	224
21. 超高层天桥施工中的模板体系设计与应用	235
22. 无粘结预应力混凝土施工工艺	240
23. 环向预应力工艺的试验与研究	265
24. 大型斜筒体混凝土结构施工技术	270
25. 88 层金茂大厦主体结构的模板系统	278
26. 第三代玻璃幕墙——上海大剧院钢索玻璃幕墙的施工	290

● 建筑安装篇 ●

27. 高层民用建筑的管道施工	301
-----------------	-----

28. 大跨度铝钛合金屋顶网架施工	314
29. 超高空球形钢结构吊装技术的研究	323
30. 450t 钢桅杆天线整体提升安装技术	329
31. 大型桥梁构件吊装中的特殊问题处理	334
32. 钢绞索承重液压提升技术	353
33. 上海大剧院 6075t 钢屋架整体提升施工技术	363
34. 斜拉桥斜拉索施工方法	374
35. 2000m ³ 三带十柱混合式高强钢球罐的设计制作与安装	381

● 特种技术篇 ●

36. 智能建筑中的弱电施工	391
37. 地下长距离顶管施工技术	411
38. 长距离、大直径涵洞的盾构掘进施工	451
39. 盾构掘进参数与地面沉降控制	459
40. 沉井施工技术	465
41. 大型异形沉井在含水砂层中的新颖排水下沉法	481
42. 特大型超深沉井的下沉施工技术——江阴长江公路大桥北锚沉井施工实践	485
43. 钻孔灌注桩施工中机具断落的打捞技术	497
44. 浅海海床水下光（电）缆埋深技术	506

● 建筑材料篇 ●

45. 高炉矿渣微粉混凝土的研究、生产和应用	517
46. 高钙粉煤灰性能及其在泵送混凝土中的应用	537
47. C80 泵送商品混凝土技术	541
48. 高强、高泵程预拌混凝土的配制	546
49. 碎石砂工艺参数及其在混凝土中的应用	551
50. 高性能混凝土材料的发展与展望	555

建筑施工技术的现状与展望（代序）

叶可明^①

一、建筑业及建筑施工的特点

建筑业是一个古老的行业。人类进入文明社会以来，建筑业不仅提供了人类“衣、食、住、行”四大基本需求中的“住”，也是实现“衣、食、行”的先导产业。及至现代，建筑业更成为社会进步的标志性产业。目前，我国建筑业在国民经济五大物质生产部门中，年产值仅低于工业、农业，而高于运输业和商业，位居第三。建筑业生产增加值近3600亿元，占国内国民经济生产总值的6.2%。从业人口3200万人，占全国总劳动力的5%，加上建筑业的先导性与带动性，建筑业已成为我国社会支柱性的产业。建筑业的产品是庞大的建筑物。因此，建筑业产品与工业产品相比，具有迥然不同的特殊性。

其一，人类社会对物质的需求虽然是多种多样的，但是对一件用品如电视机、汽车等，总是可以组成若干类型后再统一规格大批量组织生产，唯独建筑产品（除工房与标准厂房外）各有造型与风格要求。因建筑产品不是建筑商预先设计好生产销售的，而是按业主对功能要求设计的，特别是一些公共性的城市标志性建筑，建筑师们更要独具匠心，设计出成为历史象征的丰碑。故建筑产品的差异是一切产品之最，建筑物的单一性决定了建筑施工没有固定不变的模式。

其二，工业产品一般都是在固定的生产地点生产或组装成产品后运输销售给使用者的，唯独建筑产品是固定不动的，称为建筑物，它建造在一个选定地点，通过建筑施工过程将物资与活劳动，凝固成设想的建筑产品供人们享用，产品的固定性决定了建筑施工的从属地位。建筑施工不能自己设计一个理想空间，选定一套工艺稳定地组织生产，而是服从产品设定地点的需要，不断地按工程要求，流动设备与人员，使自己的生产最有效地适应工程特定的空间，包括环境、交通、气象、地质等。因地制宜，是建筑施工的基本原则。

其三，没有一种工业产品可与建筑产品比体量。一幢大楼几百米高，几十万平方米，生产一个产品要动用成百上千台设备与成千上万名员工，从开工到竣工，少则数月，多达几年。其生产过程是通过不断变换的人流将物资有机地凝聚成逐步扩大的产品，而最终产品是一个需要符合一系列功能的统一体，所以建筑产品的生产是一个“多维”的系统工程。人、机、物在产品所给定的空间与时间中被调度安排，选择是否得当将直接影响着效率、效益与产品的质量。建筑施工必须把握施工方案多样性的特点，经过科学论证选取最佳方案，好、快、省地完成建筑产品。

由于建筑产品单一、固定与庞大的特性，决定了建筑施工的复杂性，没有统一的模式

① 叶可明：中国工程院院士、上海建工集团副总裁、顾问总工程师、教授及高级工程师。

与章法。建筑施工技术必须兼顾天时、地利、人和，因时、因地、因人制宜，充分认识主客观条件，选用最合适的方法，经过科学组织来实现施工。所谓的建筑施工也就是施工技术加施工管理，其中施工技术一般就是指完成一个主要工序或分项工程的单项技术，施工管理则是优化组合单项技术，科学地实施物料与劳动的结合，最终形成建筑产品。技术是生产力，管理也是生产力，二者是同样重要的。因为没有科学的组织管理，技术效果不能发挥；而没有先进技术，管理也就没有了基础，两者是相辅相成的。

二、现代施工技术概述

第二次世界大战前后，美国纽约和芝加哥、日本东京、香港、马来西亚等国家和地区兴建了一系列高层及超高层建筑，在钢结构与混凝土结构技术上，创造了新的辉煌，形成了包含现代科技的一系列施工新技术。改革开放以后的中国，建筑业更是有了突飞猛进的发展，据不完全统计，近十几年我国已建成高层建筑 7000 多幢，建筑面积达 1.3 亿 m^2 。其中具有代表性的建筑如：深圳地王大厦 81 层、高 325m，广州中天广场 80 层、高 322m，上海金茂大厦 88 层、高 420.5m。在其他建筑方面：上海杨浦大桥 602m 一跨过江，在叠合斜拉桥类型中为世界第一；上海东方明珠电视塔高 468m，居世界第三；目前正在施工中的江阴长江大桥悬索桥为世界特大跨度桥梁之一，其中锚墩沉井长 70m、宽 50m、深 58m，为世界之最；在水利工程方面有长江三峡、黄河小浪底工程的建设。交通运输方面新增铁路 3000km，建成了京九、宝中、南昆等技术复杂的新干线；还有北京、上海地铁的部分建成；高等级公路在“八五”期间新增 8000km；新建港口 170 个泊位；还建成大批的现代化工厂等。工程数量之多，技术复杂是空前的。正是由于工程建设的促进，中国的施工技术已有一些项目赶上或超过发达国家，在总体上也正在接近发达国家水平。下面以上海工程为主体简述现在常用的施工技术。

（一）基础工程施工技术

1. 人工地基施工技术

（1）地基加固：有换土、预压、强夯、水泥土旋喷、深层搅拌技术等。

（2）承载桩：有渣土桩、水泥土桩、木桩、混凝土桩（混凝土预制桩、预应力管桩、现浇灌注桩）、钢桩（钢管桩、H 形钢桩）、特殊桩（成槽机施工的巨形桩、扩头桩）等。

1) 目前我国施工的灌注桩最大直径达 3m，深度达 104m，工艺上可加注浆。国外有的更大，还可以扩大头部；如果用连续墙成槽机做巨型现浇灌注桩，还可以做更大更深，例如日本的水平多轴式回转钻机（EM 型），成桩壁厚 1200~3200mm，深度达到 170m。

2) 钢管桩：一般钢管桩直径约 600~900mm，在上海常用深度达到土质的 7—②层，约 50~60m，而上海金茂大厦管桩达到土质的 9—②层，深度达 83m，直径 900mm，最大桩锤 30t。

2. 基坑支护技术

基坑支护广义上包括挡土结构、防水帷幕、支撑技术、降水技术及环境保护技术等方面。

（1）挡土结构

1) 重力坝式：用深层搅拌、旋喷等工艺形成的水泥土重力坝形式，作为挡土、隔水，可不用支撑，上海博物馆工程基坑就采用该类型挡土结构，深度达到 9.8m（图 1）。

2) 各种板桩：有木板桩、钢筋混凝土板桩、钢板桩，主要作挡土用，同时也起一定

的隔水作用。

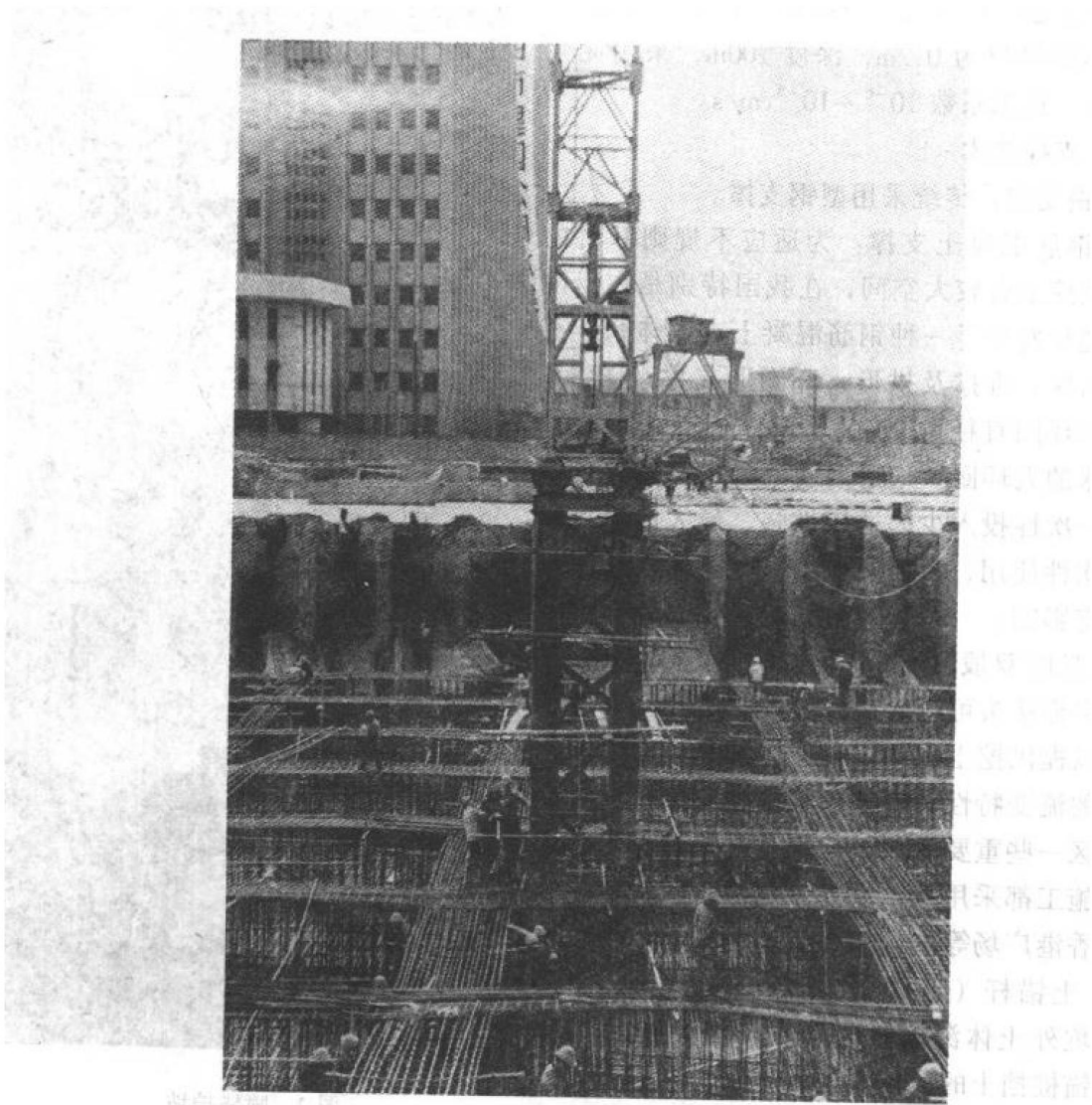


图 1 上海博物馆工程重力坝式挡土结构

3) 钢筋混凝土地下连续墙：这种工艺在世界上已经有 50 年历史，可以挡土和隔水，有现场浇筑与成槽后插入预制地下墙两种。对于现场浇筑地下墙，我国已做到深度 60m，有的国家已经在考虑生产成槽能力 200m 以上的水平多轴式回转钻机，壁厚可达到 4m；预制地下墙在上海明天广场工程中深度可达 30m。

4) 就地灌注排桩：用人工开挖就地灌注成桩，并做成连续排桩，可起到地下连续墙一样的作用，但由于接槎不可能密贴，只能起挡土作用。

5) 劲性水泥土桩（SMW 工法）：在水泥土排桩内插入型钢，以型钢受力，水泥土作为隔水帷幕。如上海静安寺环球广场、东方明珠二期工程等基坑支护即应用该技术，此法在日本使用较多。

6) 其他挡土结构：有喷锚护坡（图 2）、钢桩插板等。

(2) 隔水帷幕

有水泥土排桩、注浆帷幕、薄型地下连续墙等。日本最近制成称之为 TRUST-21 型的成槽机，成槽最小壁厚仅为 0.2m，深度 200m，采用泥浆固化成壁，透水系数 $10^{-6} \sim 10^{-8} \text{ cm/s}$ 。

(3) 支撑技术

1) 钢支撑：传统采用型钢支撑。

2) 钢筋混凝土支撑：为适应不规则基坑的体形并使挖土有较大空间，在我国特别是在上海地区创造与发展了一种钢筋混凝土支撑体系，有对撑、角撑、排撑及拱形、环圈形支撑（图 3）。上海最大环圈直径达 92m，天津也正在施工直径一百余米的大环圈。采用钢筋混凝土支撑体系的优点是一次性投入少、适应性强，最大的缺点是只能一次性使用，社会资源浪费大，爆破拆除时对环境有影响。

3) 双向双股复加预应力钢管支撑（图 4）：双股井字形接头可以解决传统的钢支撑空间小的缺点，以提供挖土方便。双向施加预应力还可以针对土的流变特性，复加预应力控制变形，因此上海地区一些重要地段，特别是在地铁隧道边的深基坑施工都采用此法。如上海时代广场、中环广场、香港广场等。

4) 土锚杆（土钉）拉锚：在挡土结构处侧向向基坑外土体深部打入锚杆，可以加预应力，以达到锚桩挡土的目的。这种方法一般适用于土质较好的大型深基坑。

(4) 降水技术

地下水位较高的上海地区，较深的基坑都需要采取降水措施，常用的有：①轻型井点，可深至 3~7m；②喷射井点，可深至 7~15m；③深井及加真空深井，可深至 10m 以下；④大口径明排水管井，在土质好的北京等地区常有应用。

(5) 环境保护技术

1) 井点回灌技术：目的是控制基坑外的水位，防止坑外管线、道路、建筑物产生固结沉降。

2) 堵漏技术：目的是控制向基坑内渗水，有各种即时堵漏及注浆技术。

3) 信息监测与信息化施工技术：基坑支护的应力应变计算往往由于参数选取不准，有时计算值只能是一个参考值。为保护环境，须在工程进行中监测即时变形，并采取可靠的即时加固措施，以防事故发生。目前随着工程规模增大及环境保护意识的加强，上海地区的监测技术发展很快，开始应用计算机，可以提供施工过程中支护体系及环境的受力状态及变形数据。由于信息技术及各种加固技术的提高，已经可以实现毫米级的变形控制，

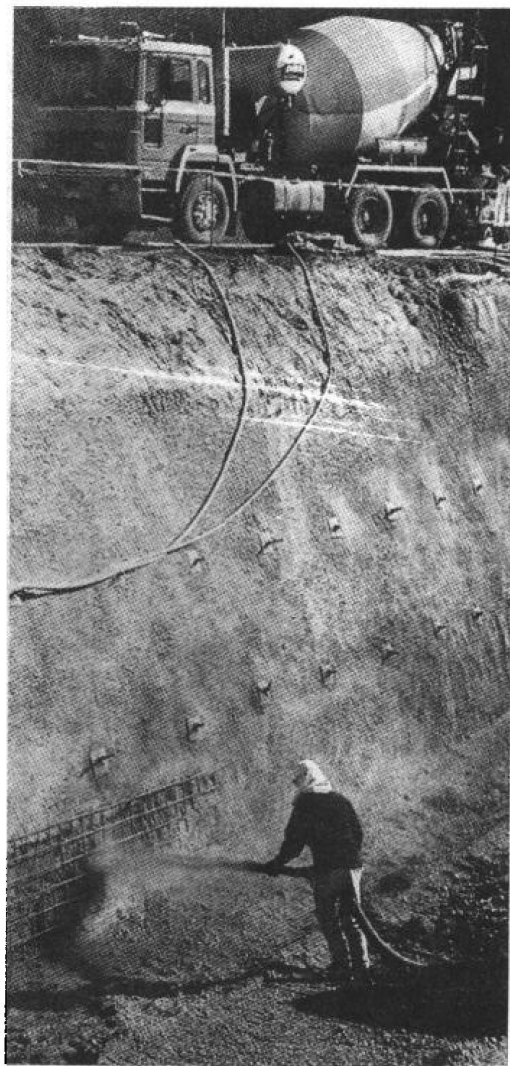


图 2 喷锚护坡



图3 排架及拱形支撑

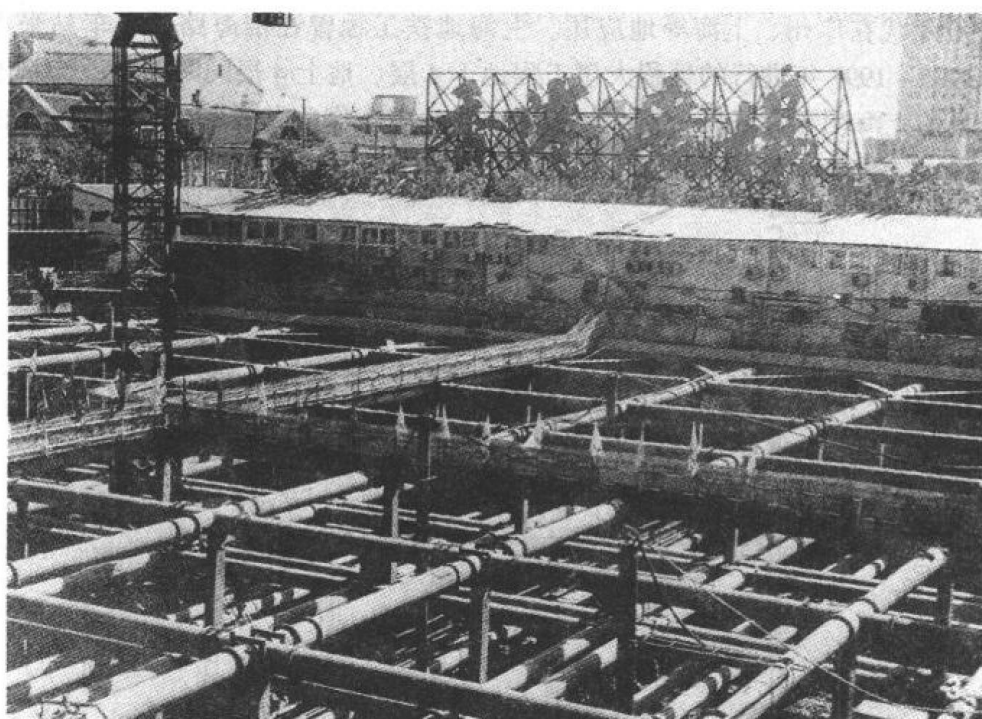


图4 双向双股复加预应力钢管支撑

如香港广场工程对附近地铁隧道变形控制在7mm之内，时代广场工程对红线附近30年代的900mm直径自来水管变形控制在几毫米之内。

4) 调节变形的技术手段：可以在基坑内外进行双液快硬注浆；可以对支撑施加预应力，或增加支撑；也可以调整挖土速度及支撑施工的程序。即，充分考虑土体变形的时空效应以速度减少变形。

3. 大体积混凝土施工技术

建筑构件三个方向的最小尺寸超过 800mm 的混凝土施工，称为大体积混凝土施工。由于水泥在水化过程中发热，引起混凝土构件在升、降温过程中，因各部位温差应力加上混凝土本身的收缩等因素，易产生危及结构安全的裂缝。过去，大体积混凝土施工是一个重大技术问题，20 多年前，南京梅山铁矿高炉基础浇筑时曾因温度裂缝出现质量问题，但自从宝钢转炉基础 7200m³ 一次浇捣无裂缝获得成功后，上海地区大体积混凝土施工技术开始有了新的飞跃，其中主要采取了四类措施：(1) 减少混凝土本身发热量；(2) 内降温、外保温，运用信息监测技术，及时调整和控制构件内外部分的温差在 25℃ 之内；(3) 延长并做好养护工作；(4) 尽可能科学地组织施工，提高浇筑强度。

目前上海地区大体积混凝土施工水平为：最大基础厚度 6m；最高的混凝土强度等级 C50；最大一次浇捣混凝土量为 24000m³；最高浇筑强度 660m³/h。上海虹桥世贸商城工程共启用 20 辆泵车、200 辆搅拌输送车、10 个集中搅拌站同时供应商品混凝土，其规模与水平为世界之最。

4. 逆作法施工技术

逆作法是基础与上部结构同时施工的先进工艺，有减少和取消临时支护措施，降低成本及大大加快施工速度等优点，70 年代前后被一些发达国家采用。我国于 80 年代进行研究试验，90 年代在广州、上海等地应用。上海地铁工程曾在淮海路 3 个车站采用半逆作法施工，1995~1997 年进行的恒积大厦工程地下 4 层、地上 4 层同时完成，为全逆作法施工典型。目前上海明天广场正为更大规模的逆作法施工工作前期准备。逆作法施工的工序如图 5 所示。

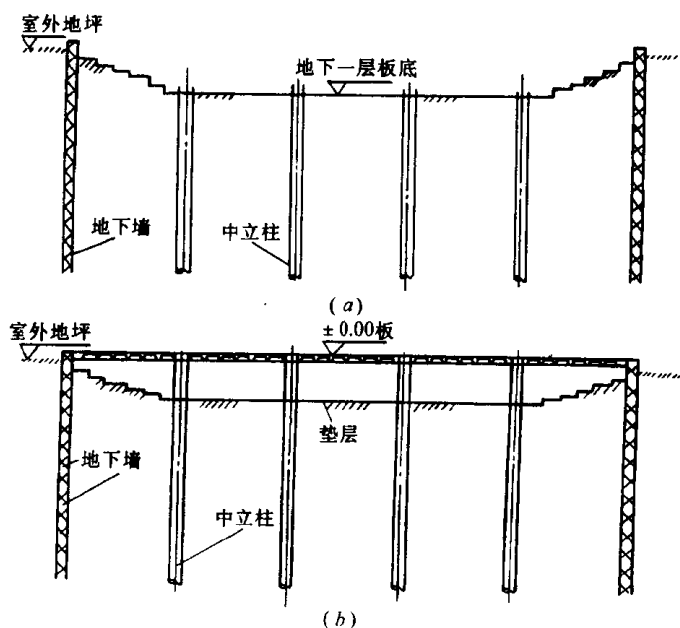


图 5 逆作法施工工序 (一)

(a) 做围护和支承柱，盆式开挖一层土；(b) 施工 ±0.00 楼面

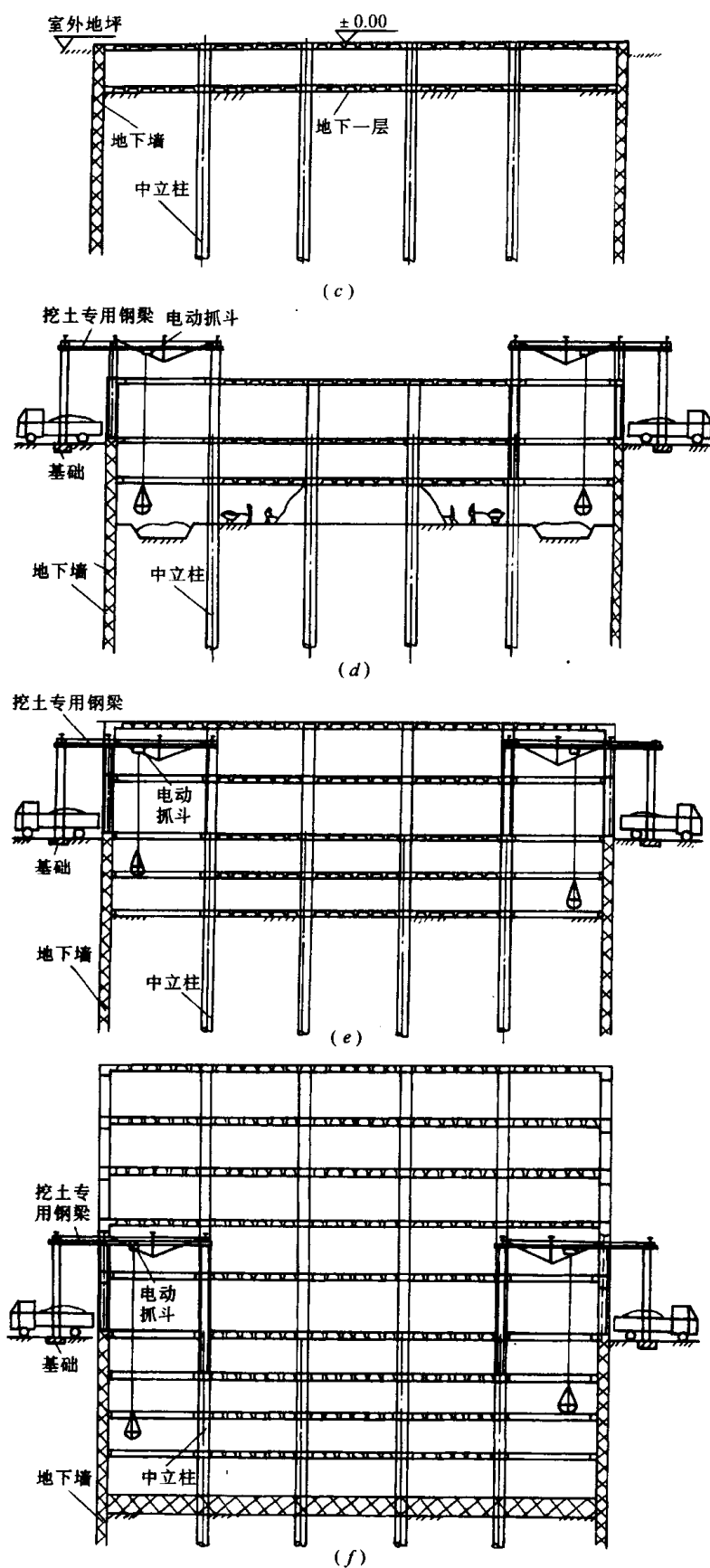


图5 逆作法施工工序(二)

(c) 施工地下一层楼板; (d) 施工上部一层结构、地下二层挖土;
(e) 上部三层结构施工、地下二层浇楼板 (重复上述施工步骤); (f) 底板浇筑

逆作法施工的关键技术是：

- (1) 用地下连续墙作为永久地下室外壁；
- (2) 对建筑主体结构柱子下的承载桩，在成桩过程中要预先增加型钢支柱；
- (3) 先施工地面板，支承在型钢支柱与地下墙上，此地面板又是在挖土过程中对地下墙的支撑；
- (4) 在地下室最下部底板施工前，上部结构施工高度要控制在钢支柱桩的安全承载力之内；
- (5) 各支柱及地下墙在施工过程中的沉降差要控制在结构允许范围之内；
- (6) 施工有顶盖的地下部分要保证安全与一定的效率。

(二) 上部结构施工技术

结构施工技术范围很广，包括砖结构、木结构、钢结构、钢筋混凝土结构及其他特种结构，下面仅介绍当前钢筋混凝土结构中的模板、钢筋、混凝土以及结构吊装的先进水平及先进工艺技术。

1. 钢筋混凝土工程模板技术

我国自 70 年代开始引进日本钢管脚手架与组合钢模板技术，80 年代后期逐步发展成自己的型钢骨架加大型贴面模板。各种新型的平面模板体系，有传统的支架模板以及改进了的台模、飞模、排架式快拆模体系、独塔式快拆模体系等。

各种竖向模板与脚手体系如下：

(1) 爬模体系。上海市四建公司最早将直爬模板使用于共和新路工房，以后大量推广应用于高层建筑，如上海商城等工程（图 6）。斜爬模为黄浦江上 3 座大桥的桥塔及武汉、广东几座斜拉桥所采用。其原理是利用模板与爬架交替支承在结构上，并用简易起重设备交替上升安装支架与模板。

(2) 滑模体系。滑模是相对成熟和比较老的施工技术，在烟囱等筒体上早有应用，以后又在高层建筑的剪力墙、框架上应用。滑模又分直接滑模浇捣与滑框倒模等工艺，上海康乐路高层住宅、徐家汇漕溪路 9 幢高层住宅均为早期的滑模施工建筑。北京、天津电视塔为滑模最高的筒体结构；武汉国贸大厦是墙柱梁整体滑升的最大滑模工程，平台面积达 2300m²，结构高度为 200m。

(3) 液压整体提升模板体系。滑模的缺点是每次只能滑升若干厘米，混凝土要连续浇捣，混凝土结构体与模板一直在相对运动，所以混凝土表面容易出现横条纹甚至被拉裂，施工安排也比较繁琐。近年来在原滑模技术的基础上有所改进，原滑模动力体系仅作为提升设备，并加强支柱的力量，将模板做成整体，从而使模板可每层一次整体提升到位，混凝土分层浇筑。此法克服了原滑模的缺点，上海市七建公司因此技术获上海市发明一等奖。该技术在环球广场与浦东金融大厦工程中应用取得了成功。

(4) 分块提升式大模板。作为一种专用模板体系，如德国的 PERI，在国外使用很多，该模板体系支承在已完成的结构上，由专用液压机进行自升，技术较先进，但价格较贵，马来西亚吉隆坡双塔大厦工程就应用了该项技术。

(5) 升板机整体式提升模板脚手体系。这是利用升板机较大的提升能力，借助结构自身强度，提升钢制平台，而模板与脚手架就悬挂在钢平台上，随结构的上升而上升，是一种比较经济高效的模板体系。70 年代，上海五建公司就曾在江湾冷库工程上采用，以后

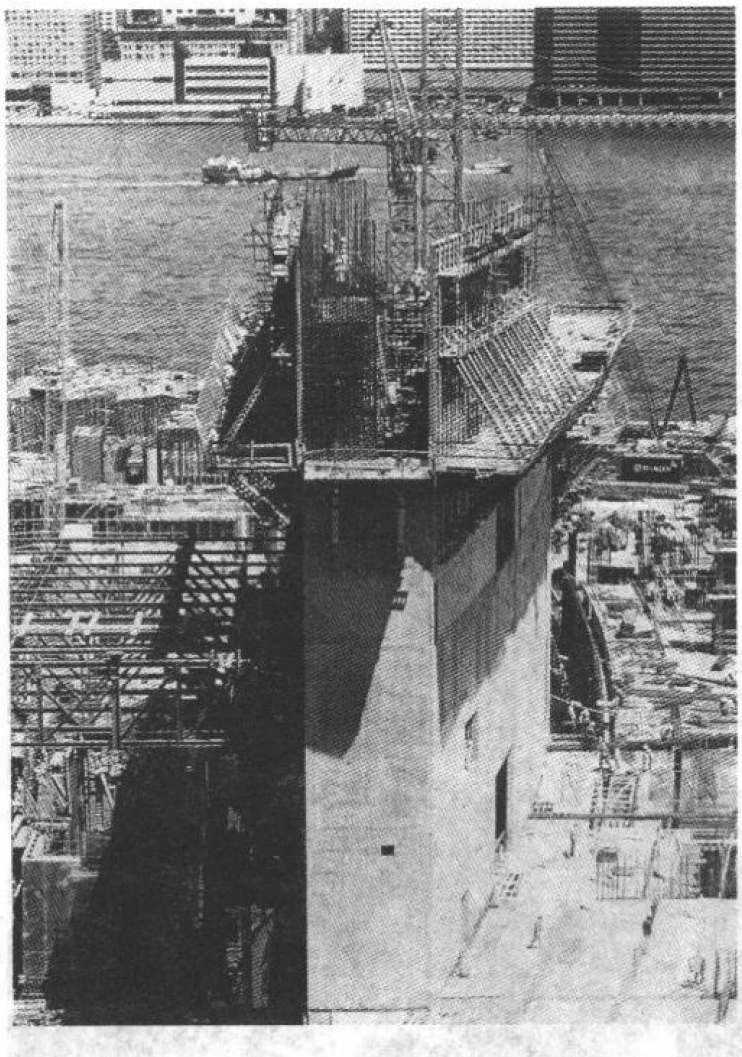


图6 直爬模

在陆家嘴沪办大楼、东方明珠电视塔、88层金茂大厦等工程上采用，最高速度达一个月13层，这种体系快速、安全、经济，其成本仅是德国 PERI 液压提升模板的十分之一（图7~8）。

2. 钢筋施工技术

(1) 钢筋点焊网片

由钢筋工厂生产焊接卷网，在施工现场进行钢筋焊接骨架整体安装。

(2) 钢筋接头

有长度搭接、绑条焊接、对焊、电渣焊、压力焊接、套筒冷压接、套筒斜螺纹连接、可调螺纹连接等多种方式。这里特别要提出的是直螺纹等强接头，它利用加工过程使钢筋螺纹接头强度提高，可以保证接头强度超过母材，使接头位置与数量不受限制。

(3) 预应力技术

预应力技术早在30年代已有方案提出，到50年代在世界上开始推广，此项技术使钢筋与混凝土充分发挥各自特性达到结构的最佳组合，以提高结构刚度和抗裂性能，减小结构物断面。现在在一些大型大跨度的钢筋混凝土结构工程上几乎均采用预应力技术。按预

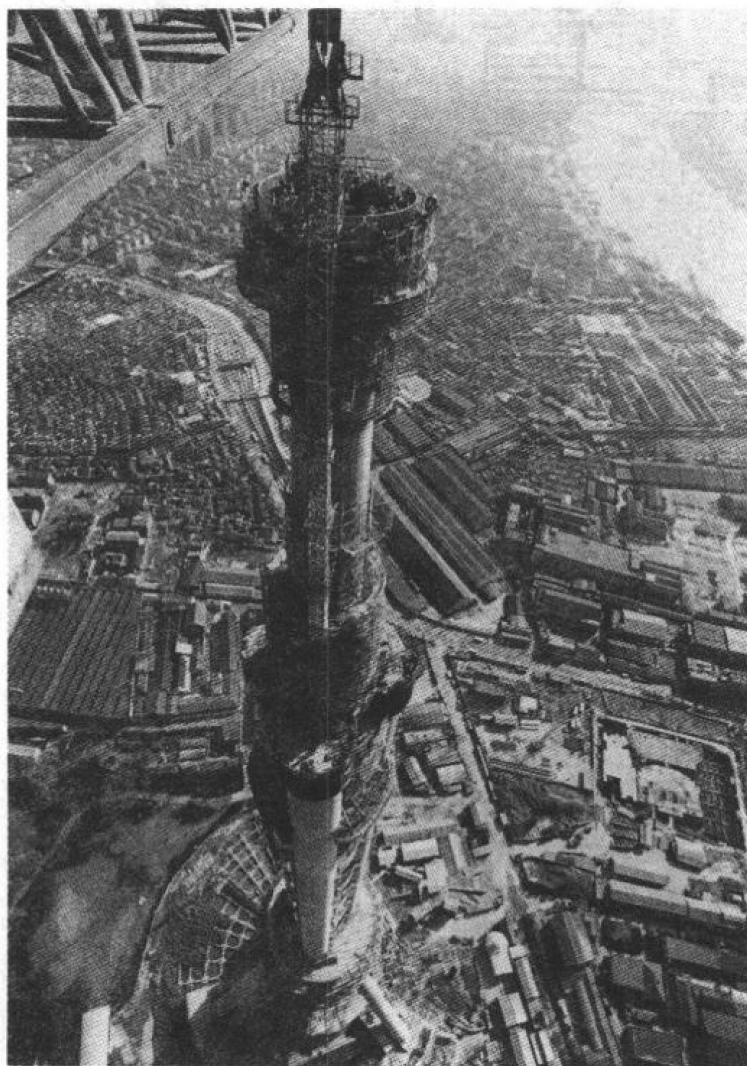


图7 施工中的东方明珠电视塔

应力施加时间分，可分为先张法与后张法；按混凝土的连接程度分有粘结和无粘结两种；按预应力施加程度分为预应力结构及部分预应力结构。以上海地区为例，上海东方明珠电视塔竖向预应力连续长度为 300m，南浦大桥大梁的水平方向预应力一次张拉长达 100m，上海国际航运大厦基础地下室采用了无粘结钢绞线预应力结构等。

3. 混凝土技术

近百年来，混凝土结构主宰了土木建筑业，没有一个重大工程可以离开混凝土。混凝土技术随建筑业的发展而发展，特别是近年发展得更快。

(1) 混凝土组分的发展

混凝土已在一般的水泥（胶凝料）、砂子（细骨料）、石子（粗骨料）加水的组分基础上，增加了很多新的品种。

1) 增加掺合料：粉煤灰（可改善混凝土性能）、磨细矿渣粉（可提高强度，改善性能）；

2) 掺加化学外加剂：可适应减水、快硬、增塑、增稠、缓凝、抗冻、可泵送、自密