

土 木 工 程 施 工

1 土方工程	12
1.1 土方规划	12
1.1.1 土方工程的内容及施工要求	12
1.1.2 土的工程分类和性质	12
1.1.3 土方边坡	15
1.1.4 土方量计算的基本方法	17
1.1.5 场地平整土方量的计算	19
1.1.6 用最小二乘法原理求最佳设计平面	19
1.1.7 土方工程量的计算和调配	20
1.2 土方工程施工要点	22
1.2.1 土方工程施工前的准备工作	22
1.2.2 土壁稳定	23
1.2.3 施工降水	26
1.2.4 流沙防治	32
1.2.5 土方的填筑和压实	32
1.3 土石方工程的机械化施工	34
1.3.1 推土机施工	34
1.3.2 铲运机施工	35
1.3.3 挖掘机（挖土机）施工	35
1.3.4 装载机施工	36
1.3.5 土方工程综合机械化施工	36
1.4 爆破施工	38
1.4.1 炸药	38
1.4.2 爆破漏斗及药量计算	38
1.4.3 爆破方法	38
1.4.4 起爆技术	38
1.4.5 爆破安全措施	39
2 地基与基础工程	40
2.1 地基加固处理	40
2.1.1 地基加固原理	40
2.1.2 地基加固方法	40

2.2 桩基施工	40
2.2.1 钢筋混凝土预制桩锤击施工法	42
2.2.2 静力压桩、振动沉桩、射水沉桩	45
2.2.3 混凝土和钢筋混凝土灌注桩施工	46
2.3 地下连续墙施工	49
2.4 沉井基础	49
2.5 墩基础（人工挖孔桩）	49
3 砌筑工程	51
3.1 砌砖施工	51
3.1.1 材料	51
3.1.2 脚手架及垂直运输	51
3.1.3 砖砌体施工工艺及质量	52
3.1.4 砖砌体冬季施工	52
3.2 石砌体施工	52
3.2.1 材料	52
3.2.2 施工工艺	53
3.2.3 石砌体的质量标准	53
3.3 中小型砌块施工	53
3.3.1 材料	53
3.3.2 砌块施工工艺	54
3.4 拱桥砌体施工	54
4 混凝土结构工程	54
4.1 混凝土结构工程概述	54
4.2 钢筋工程	54
4.2.1 钢筋的种类和性能	55
4.2.2 钢筋的冷加工	55
4.2.3 钢筋焊接	57
4.2.4 钢筋机械连接	62
4.2.5 钢筋的配料及加工	62
4.3 模板工程	62
4.3.1 定型模板和工具式支模	63
4.3.2 现浇结构中常见的模板	64
4.3.3 模板安装质量要求	66
4.3.4 模板设计	66
4.3.5 模板的拆除	67
4.3.6 大模板	67

4.4 混凝土工程	68
4.4.1 混凝土的原材料	69
4.4.2 混凝土的和易性和强度	69
4.4.3 混凝土施工配料	70
4.4.4 混凝土搅拌	70
4.4.5 混凝土运输	72
4.4.6 混凝土成形	74
4.4.7 混凝土养护	78
4.4.8 混凝土质量检查	80
4.4.9 混凝土冬季施工	83
5 预应力混凝土工程	84
5.1 概述	84
5.2 先张法施工	84
5.2.1 台座	85
5.2.2 张拉机具和夹具	85
5.2.3 先张法施工工艺	86
5.3 后张法施工	87
5.3.1 锚具和预应力筋的制作	87
5.3.2 张拉机具和设备	88
5.3.3 后张法施工工艺	88
5.3.4 电热法施工	89
5.4 无粘结预应力混凝土施工	89
5.4.1 无粘结预应力束的制作	89
5.4.2 无粘结预应力束的铺设	90
5.4.3 无粘结预应力束的张拉	90
6 结构吊装工程	91
6.1 起重机械	91
6.1.1 桅杆式起重机	91
6.1.2 自行式起重机	91
6.1.3 塔式起重机	92
6.2 索具设备	92
6.2.1 卷扬机	92
6.2.2 滑轮组	92
6.2.3 钢丝绳	92
6.2.4 横吊梁	92
6.3 单层工业厂房结构吊装	92

6.3.1 构件吊装工艺	93
6.3.2 结构吊装方案	94
6.4 装配式框架结构吊装	95
6.5 大跨度结构吊装	95
6.5.1 分块吊装法	95
6.5.2 整体吊装法	95
6.5.3 高空滑移法	95
6.5.4 整体提升法	95
6.5.5 整体顶升法	95
7 升滑法施工	96
7.1 升板法施工	96
7.1.1 提升设备	96
7.1.2 柱的预制和安装	96
7.1.3 板的制作	97
7.1.4 板的提升	97
7.1.5 提升阶段群柱的稳定	98
7.1.6 升板工艺的发展	99
7.2 升模法施工	99
7.2.1 升模工艺	99
7.2.2 升滑法施工	99
7.2.3 升提法施工	99
7.3 液压滑模施工	100
7.3.1 模板系统	100
7.3.2 操作平台系统	100
7.3.3 液压滑升系统	100
7.3.4 液压滑模的施工	101
7.4 爬升模板	103
7.4.1 爬模模板的组成和原理	103
7.4.2 爬模工艺中的主体施工	105
8 防水工程	106
8.1 屋面防水施工	106
8.1.1 卷材防水屋面	106
8.1.2 涂膜防水屋面	108
8.1.3 细石混凝土刚性防水屋面	108
8.2 地下建筑防水工程	109
8.2.1 卷材防水层	109

8.2.2 水泥砂浆防水层	109
8.2.3 冷胶料防水层	109
8.2.4 防水混凝土	109
8.2.5 堵漏技术	109
9 装饰工程	110
9.1 装饰工程概述	110
9.2 抹灰工程	110
9.2.1 抹灰工程分类	110
9.2.2 一般抹灰	110
9.2.3 机械喷涂抹灰	110
9.2.4 装饰抹灰	111
9.3 饰面板（砖）工程	111
9.3.1 饰面板（砖）材料及其要求	111
9.3.2 饰面板（砖）的施工	111
9.3.3 铝合金饰面板的施工	111
9.3.4 塑料饰面板的施工	111
9.4 裱糊工程	111
9.4.1 裱糊材料及要求	111
9.4.2 裱糊施工	112
9.4.3 裱糊工程的质量标准和检验方法	112
9.5 涂料工程	112
9.5.1 油漆涂料	112
9.5.2 涂料涂饰	112
9.6 刷浆工程	112
10 桥梁结构工程	113
11 施工组织概述	114
11.1 建筑施工的特点	114
11.2 施工组织的基本原则	114
11.3 原始资料调查	114
11.3.1 工程勘察	114
11.3.2 技术经济调查	114
11.4 施工准备工作	114
11.4.1 基础工作准备	114
11.4.2 全工地性施工准备	114
11.4.3 单位工程施工条件准备	114
11.4.4 分部、分项工程作业条件准备	114

11.5 施工组织设计	114
11.5.1 施工组织设计的作用	114
11.5.2 施工组织设计分类	115
11.5.3 施工组织设计的内容	115
11.5.4 施工组织设计的贯彻、检查和调整	115
12 流水施工原理	116
12.1 流水施工概念	116
12.2 流水施工指示图表	116
12.3 流水施工的参数	116
12.4 流水施工分类	116
12.5 流水施工的组织方法	117
12.5.1 固定节拍流水	117
12.5.2 成倍节拍专业流水	117
12.5.3 分别流水（非节奏流水）	117
12.5.4 流水线法	117
12.6 流水施工组织示例	117
13 网络计划技术	118
13.1 网络图的绘制	118
13.1.1 双代号网络	118
13.1.2 单代号网络	118
13.2 网络计划的时间参数计算	118
13.3 双代号时标网络计划	118
13.4 网络计划的优化	118
13.5 网络计划的控制	118
14 施工组织总设计	119
14.1 施工总体方案的制订	119
14.2 施工总进度计划	119
14.3 全工地性施工业务	119
14.4 施工总平面图	119
15 单位工程施工设计	120
15.1 选择施工方案	120
15.2 编制施工进度	120
15.3 设计施工平面图	120
15.4 拟定施工措施	120
15.5 高层建筑施工设计示例	120

土 木 工 程 施 工

绪论

一 研究对象、任务和学习方法

研究对象：

- 1 根据工程技术特点和资源条件，从技术经济角度出发，选择和组合最合理的施工方案的规律； 着眼于技术实现方法的优选
- 2 根据工程技术特点和资源条件，从技术经济角度出发，编制施工组织设计文件并进行动态管理。 着眼于技术实现方法在时间和空间的科学合理的安排

任务：

- 1 了解国家关于基本建设的技术经济政策；
- 2 了解施工技术及其发展；
- 3 掌握工种工程和单体建筑物施工方案的选择和施工组织设计的编制，能独立分析和解决有关施工技术和组织计划问题。

学习方法：

- 1 理解掌握课堂教学的基本内容；
- 2 关注基本建设的方针政策；
- 3 重视实践环节，注意实际经验的积累。

二 我国的基本建设方针和政策

1 控制固定资产投资规模

投资规模大 { 资金需求大 银根松动 利率提高 通货膨胀 投资经济效益差
 生产资料紧张 物价提高 人民生活受影响
 盲目投资多 重复建设 资源的社会效益差

2 基建项目审批制度

是控制基建规模、功能的政府职能作用。不管是什么投资资金来源，均需审批。

3 严格基本建设程序

一方面，是基建审批制度的程序保证；另一方面，体现对基本建设客观规律认识。对国家投资项目，尤其强调通过严格遵守基建程序中的可行性论证，避免比不合理投资项目，造成浪费。

4 实行严格的责任制度——国家投资项目资金有偿使用下的业主负责制

主要指国家投资项目，建设单位对国家计划和财政部门的责任制度。这种项目目前只限于文教卫等非经营产业的公共事业项目，而且融资渠道也越来越多样化。

5 改革基本建设管理体制

建设单位与国家财政之间的承包，从投资包干（资金无偿使用）到拨改贷（建设单位承担投资风险，享受投资效益，走向市场）。

施工单位向建设单位（或业主）的承包，前提是招投标机制，打破传统的地区 and 部门界限，按市场经济方式运作。

施工单位内部管理，如项目经理制等。

其它改革如，建设监理制、改革用工制度、材料供应制度等。

三 我国建筑施工发展概况

建筑技术历史悠久，自古以来，特别是在建筑材料（秦砖汉瓦）、砌体拱结构、古建筑木结构方面，对世界建筑技术有突出的贡献。

清朝鸦片战争后，受西方文化的影响，出现现代建筑材料建成的房屋，开始正规的建筑工程教育，出现了民营的建筑商（营造商）。

解放后 50 年代末，北京十大建筑体现当时的中国建筑水平。

改革开放后，经济发展大大加快，建筑业发展在沿海经济发达地区发展迅速，出现大量现代高层建筑，集中在北京、上海、广州和深圳。

四 施工规范与施工规程（规定）

建筑施工的有关规范均为《××（施工）技术规范》或《××施工及验收规范》等，以 GBJ 编号，是国家标准，分册制定发布，是国家建设主管部门颁布的行政法规。如：

1. 《烟囱工程施工及验收规范》GBJ78 - 85
2. 《人防工程施工及验收规范》GBJ134 - 90
3. 《土方与爆破工程施工及验收规范》GBJ201 - 83
4. 《地基与基础工程施工及验收规范》GBJ202 - 83
5. 《砖石工程施工及验收规范》GBJ203 - 83
6. 《钢筋混凝土工程施工及验收规范》GBJ204 - 83
- 【《混凝土结构工程施工及验收规范》GB50204 - 92】
7. 《钢结构工程施工及验收规范》GBJ205 - 83
8. 《木结构工程施工及验收规范》GBJ206 - 83
9. 《屋面工程施工及验收规范》GBJ207 - 83

10. 《地下防水工程施工及验收规范》GBJ208 - 83
11. 《地面与楼面工程施工及验收规范》GBJ209 - 83
12. 《装饰工程施工及验收规范》GBJ210 - 83
- 【《建筑装饰工程施工及验收规范》JGJ73 - 91】
13. 《制冷设备安装工程施工及验收规范》GBJ66 - 84
14. 《采暖与卫生工程施工及验收规范》GBJ242 - 82
15. 《通风与空调工程施工及验收规范》GBJ243 - 82
16. 《电气装置安装工程施工及验收规范》GBJ232 - 82
17. 《锚杆喷射混凝土支护技术规范》GBJ86 - 85
18. 《地下工程防水技术规范》GBJ108 - 87
19. 《液压滑动模板施工技术规范》GBJ113 - 87
20. 《钢筋混凝土升板结构技术规范》GBJ130 - 90
21. 《组合钢模板技术规范》GBJ214 - 89

其次，《××施工（技术）规程（规定，规范）》是比“施工规范”低一个等级的施工标准文件，一般由各部、委或重要的科研、设计单位编制，报规范管理部门批准或备案后发布试行，为部颁标准，以 JGJ 编号。主要是为了及时推广新结构、新材料、新工艺等制订的标准。有时将设计施工并为一册，制订《××设计与施工规程》。如：

1. 《装配式大板居住建筑设计与施工规程》JGJ1 - 91
2. 《液压滑升模板工程设计与施工规程》
 后晋升为《液压滑动模板工程施工技术规范》GBJ113 - 87
3. 《工业与民用建筑灌注桩基础设计与施工规程》JGJ4 - 80
4. 《中型砌块建筑设计与施工规程》JGJ5 - 80
5. 《高层建筑箱形基础设计与施工规程》JGJ6 - 80
6. 《多层砖房设置钢筋混凝土构造柱抗震设计与施工规程》JGJ13 - 82
7. 《混凝土空心小型砌块建筑设计与施工规程》JGJ14 - 82
8. 《大模板多层住宅结构设计与施工规程》JGJ20 - 84
9. 《V 形折板屋盖设计与施工规程》JGJ21 - 84，等。
10. 《建筑地基处理技术规范》JGJ79 - 91
11. 《钢筋焊接及验收规程》JGJ18 - 84
12. 《钢筋焊接接头试验方法》JGJ27 - 86
13. 《钢管脚手架扣件》JGJ22 - 85

上述标准均为施工技术标准。与此同时，还有一些关于施工管理方面的标准，它们有的是国标，有的是部颁标准。如：

1. 《建筑安装工程质量检验评定统一标准》GBJ300 - 88
2. 《建筑工程质量检验评定标准》GBJ301 - 88
3. 《建筑采暖卫生与煤气工程质量检验评定标准》GBJ302 - 88
4. 《建筑电气安装工程质量检验评定标准》GBJ303 - 88
5. 《通风与空调工程质量检验评定标准》GBJ304 - 88
6. 《建筑安装工程质量检验评定标准》TJ305 - 75
7. 《电梯安装工程质量检验评定标准》GBJ310 - 88
8. 《预制混凝土构件质量检验评定标准》GBJ321 - 90
9. 《建筑机械使用安全技术规程》JGJ33 - 86
10. 《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ46 - 88
11. 《建筑施工安全检查评分标准》JGJ59 - 88
12. 《液压滑动模板施工安全技术规程》JGJ65 - 89
13. 《网架结构工程质量检验评定标准》JGJ78 - 91
14. 《建筑施工高处作业安全技术规范》JGJ80 - 91

当“规程（规定，规范）”与“规范”抵触时，以规范为准。

上述涉及的标准仅是所有规范、规程的举例一部分，主要是当前建筑安装工程使用中使用的重要的规范标准。

1 土方工程

1.1 土方规划

1.1.1 土方工程的内容及施工要求

1 土石方工程的含义

土、石的挖掘、填筑和运输，以及排水、降水和土壁支撑等准备和辅助工程。

2 土方工程的内容

- (1). 平整场地
- (2). 土方开挖和支护
- (3). 土方回填与压实

3 土石方工程施工特点

工程量大，劳动繁重，施工条件复杂。

4 土石方工程施工要求

- (1). 调查工程条件，包括土壤种类和工程性质、工期要求、质量要求、水文地质气象资料等
- (2). 准确施工
- (3). 合理安排施工计划；
- (4). 选择适当的施工方案和适当的机械进行施工，使机械发挥最大的使用效率；
- (5). 合理调配土石方，使总的工程量最少，省工省费用，尽量避免雨季施工；
- (6). 安排一切必要的准备和辅助工程，运输道路、排水、降水、土壁支撑等；
- (7). 对施工可能遇到的问题，如流沙现象、边坡稳定进行技术分析，提出解决措施；
- (8). 安全施工措施；

1.1.2 土的工程分类和性质

不同的土对施工方法、劳动消耗和劳动生产率有直接的影响。不同土的物理力学性能均不同，充分掌握各类土的特性及其对施工的影响，才能选择正确的施工方法。

1 按建筑工程地基土分类

粘性土、砂土、碎石土、岩石、人工填土

1) 粘性土还可细分为：

- a) 按土的粘性分（由于粒径不同）：

现较少 粘土、亚粘土、轻亚粘土（按塑性指数 I_p ： >17 、 $10 \sim 17$ ， $3 \sim 10$ ）；

现通常 粘土、粉质粘土、粉土（按野外鉴别方法观察）与上基本相当

b) 按土的可塑性分：坚硬、硬塑、可塑、软塑和流塑。

2) 砂土还可细分为：

a) 按工程地质特征和土的性质不同（粒径不同），再分：

砾砂 粒径大于 2mm 的颗粒占全重 25 ~ 50%

粗沙 粒径大于 0.5mm 的颗粒超过全重 50%

中砂 粒径大于 0.25mm 的颗粒超过全重 50%

细沙 粒径大于 0.075mm 的颗粒超过全重 85%

粉砂 粒径大于 0.05mm 的颗粒不超过全重 50%

b) 根据含水的饱和度分：稍湿、很湿、饱和。

c) 也可根据孔隙比的大小分：密实、中密、稍密和松散（按标准贯入试验锤击数）；

3) 碎石土还可细分为

a) 按粒径不同：

漂石或块石： 50%以上的颗粒超过 200mm；

卵石（碎石）： 50%以上的颗粒超过 20mm；

砾石（圆砾或角砾）： 50%以上的颗粒超过 2mm。

b) 根据孔隙比的大小分：

密实、中密、稍密和松散；

4)土的颗粒分类

土的颗粒分类

颗粒名称		粒组分界值 (mm)	一般特征
漂石或块石		> 200	透水性很大，无粘性，无毛细水
卵石或碎石		$200 \sim 20$	不能保持水分
圆砾或角砾	大	$20 \sim 10$	透水性大，无粘性，毛细水上升高度不超过粒径大小
	中	$10 \sim 5$	
	小	$5 \sim 2$	
砂粒	粗	$2 \sim 0.5$	易透水，当混入云母等杂质时，透水性减小，而压缩性增加，无粘性，遇水不膨胀，干燥时松散，毛细水上升高度不大，随粒径变小而增加
	中	$0.5 \sim 0.25$	
	细	$0.25 \sim 0.074$	
	极细	$0.074 \sim 0.05$	
粉粒	粗	$0.05 \sim 0.01$	透水性小，湿时稍有粘性，遇水膨胀小，干时稍有收缩，毛细水上升高度较大较快，极易出现冻胀现象
	细	$0.01 \sim 0.005$	
粘粒	粗	$0.005 \sim 0.001$	透水性很小，湿时有粘性、可塑性，遇水膨胀大，干时收缩，毛细水上升高度 2m 左右，但速度较慢
	中	$0.001 \sim 0.0001$	
	细	< 0.0001	

5) 其它

红粘土 碳酸盐类岩石强风化后堆积形成的粘土物质，红色，孔隙比较大，常处于饱和状态，但仍处于硬塑或坚硬状态，浸水体积膨胀，失水而收缩（胀缩性），地基承载力大。

黄土 黄褐二色的混合物，湿陷性，有白色粉末出现在纹理中，有可见大孔隙，浸水崩散，水面有白色液体。

人工填土 杂填土：无固定颜色，有各种杂质，浸水成为淤泥带夹杂。

素填土：由碎石土、砂土、粉土、粘性土等一种或数种组成的土。

冲填土：由水力冲填泥沙形成的填土。

对粘性素填土：

老填土：10 年以上的填粘土和填亚粘土，或 5 年以上的填轻亚粘土

新填土：10 年以下的填粘土和填亚粘土，或 5 年以下的填轻亚粘土

软土 饱和，粘土粒和粉粒组成，含水量大于液限 w_L ，高压缩性，天然孔隙比大于 1，渗透系数小。在静水环境缓慢沉积，经生化作用形成，含有机质。

淤泥和淤泥质土 软土天然孔隙比大于 1.5 时为淤泥。灰黑色有臭味，夹杂池沼中半腐朽的细小动植物遗体，仔细观察为层状。天然孔隙比大于 1.0 并小于 1.5 时，称淤泥质土。

有机质土和泥炭 有机质土为深灰或黑色，有半腐朽的动植物遗体，构造无规律，浸水易变为稀软淤泥，残渣悬浮。粘土中有机质 5% 以上或砂土中有机质 3% 以上为有机质土，25% 以上为泥炭。

2 按土的挖掘难度分类（工程分类）

一～八类土：

松软土、普通土、坚土、砂砾坚土 一类～四类

软石、次坚石、坚石、特坚石 五类～八类

其中：

松软土、普通土 可直接用铁锹开挖，或用机械施工直接开挖；

坚土、砂砾坚土、软石 用镐、撬棍，机械施工应先松土，可能需要爆破；

次坚石、坚石、特坚石 一般需要爆破。

二 土的工程性质

1. 土的可松性

自然状态的土，经开挖后因松散而体积增大，虽经回填夯实，仍不能恢复到原体积。

可松性系数表示：

$$K_s = V_2/V_1$$

$$K_s' = V_3/V_1$$

K_s ：最初可松性系数。松土 1.08~1.17，普通土 1.14~1.24，坚土 1.24~1.30；

K_s' ：最后可松性系数。松土 1.01~1.03，普通土 1.02~1.05，坚土 1.04~1.07；

V_1 ：自然状态下体积；

V_2 ：开挖后松散体积；

V_3 ：回填夯实后体积。

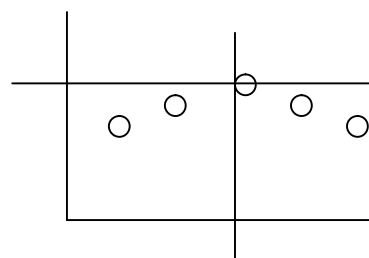
2. 土的压缩性

移挖作填或取土回填，松土经运输、填压后，发生压缩。

$$\text{土的压缩率} = (\rho - \rho_d) / \rho_d \times 100\%$$

ρ 土压实后的干密度

ρ_d 原状土的干密度



对一~三类土，土的压缩率 5~20% 之间，一般可按 10~20% 考虑。

3. 原状土的压实后沉降

$$S = P/C$$

1.1.3 土方边坡

1. 土方边坡坡度和坡度系数

$$\text{坡度} = h/b = 1 : (b/h) = 1 : m$$

其中： $m = b/h$ ，坡度系数。

挖方边坡,应根据土的物理力学性能（内摩擦角、内聚力、湿度、密度）确定，永久性挖方边坡坡度应按设计要求确定。

基坑（槽）和管沟开挖：应有排水设施

2 无支护直立基坑（槽）或管沟土壁

《土方与爆破工程施工及验收规范》GBJ201 - 83 规定，对基坑（槽）和管沟开挖，当：

地下水低于基底；

土壁湿度正常；

敞露时间不长；

土质均匀；

无支撑直立土壁的深度限制为：

密实、中密的砂土和碎石土（砂土填充） 1m

硬塑、可塑的粉土及粉质粘土 1.25m

硬塑、可塑的粘土和碎石类土（粘性土填充） 1.5m

坚硬的粘性土 2m

但应经常检查土壁的稳定情况。

3 深度在 5m 以内的不加支撑的基坑（槽）和管沟边坡的最陡坡度

边坡过陡，可能造成塌方，过平坦则工程量增加，占较多施工场地。

地下水位低于基底（否则，应通过降水方法将地下水位降到基底以下 1~1.5m 以下，并保持到），土质及湿度条件较好时，深度 5m 以内无支护基坑（槽）或管沟，最大允许坡度：

深度在 5m 以内的不加支撑的基坑（槽）和管沟边坡的最陡坡度

土的类别	边坡坡度（高：宽）		
	坡顶无荷载	坡顶有静载	坡顶有动载
中密的砂土	1 : 1.00	1 : 1.25	1 : 1.50
中密的碎石类土（砂土填充）	1 : 0.75	1 : 1.00	1 : 1.25
硬塑的粉土	1 : 0.67	1 : 0.75	1 : 1.00
中密的碎石类土（粘性土填充）	1 : 0.50	1 : 0.67	1 : 0.75
硬塑的粉质粘土、粘土	1 : 0.33	1 : 0.50	1 : 0.67
老黄土	1 : 0.10	1 : 0.25	1 : 0.33
软土（经井点降水后）	1 : 1.00		

注：1 静载和动载距挖方边缘的距离应在 0.8m 以外，堆土或材料高度不宜超过 1.5m；

2 有成熟施工经验时，不受此表限制。

4 边坡开挖

（1）使用时间较长、高 10m 以内的临时挖方边坡坡度

对使用时间较长的临时性挖方边坡坡度，在山坡整体稳定的情况下，如地质条件良好，土质均匀，高度在 10m 以内，坡度应符合以下要求：

使用时间较长、高 10m 以内的临时挖方边坡坡度值

土的类别		边坡坡度（高：宽）
砂土（不包括细砂、粉砂）		1 : 1.25 ~ 1 : 1.50
一般粘性土	坚硬	1 : 0.75 ~ 1 : 1.00
	硬塑	1 : 1.00 ~ 1 : 1.15
碎石类土	充填坚硬/硬塑粘性土	1 : 0.50 ~ 1 : 1.00
	充填砂土	1 : 1.00 ~ 1 : 1.50

注：1 使用时间较长是指超过一年；

2 挖方经过不同类别土层时深度超过 10m 或，边坡可做成折线、台阶形；

3 有成熟施工经验时，不受此表限制。

（2）岩石边坡坡度

岩石边坡允许坡度值

岩石类别	风化程度	允许坡度值（高：宽）	
		坡高 8M 以内	坡高 8 ~ 15m
硬质岩石	微风化	1 : 0.10 ~ 1 : 0.20	1 : 0.20 ~ 1 : 0.35
	中等风化	1 : 0.20 ~ 1 : 0.35	1 : 0.35 ~ 1 : 0.50
	强风化	1 : 0.35 ~ 1 : 0.50	1 : 0.50 ~ 1 : 0.75
软质岩石	微风化	1 : 0.35 ~ 1 : 0.50	1 : 0.50 ~ 1 : 0.75
	中等风化	1 : 0.50 ~ 1 : 0.75	1 : 0.75 ~ 1 : 1.00
	强风化	1 : 0.75 ~ 1 : 1.00	1 : 1.00 ~ 1 : 1.25

（3）路堑边坡坡度

地质条件良好，土质均匀，高度在 18m 以内的路堑边坡坡度可按下表采用：

项目	土或岩石种类	边坡最大高度	路堑边坡坡度
1	一般土	18m	1 : 0.50 ~ 1 : 1.50
2	黄土及类黄土	18m	1 : 0.10 ~ 1 : 1.25
3	砾、碎石土	18m	1 : 0.50 ~ 1 : 1.50
4	风化岩石	18m	1 : 0.50 ~ 1 : 1.50
5	一般岩石		1 : 0.10 ~ 1 : 0.50
6	坚石		1 : 0.10 ~ 直立

1.1.4 土方量计算的基本方法

1 平均高度法

场地中已知施工高度，求填挖土方量。通常采用方格网法，逐格计算，而后

总和。方格的边长应根据地形变化的程度而定，起伏变化多，则边长小。方格网法有可分为“四方棱柱体法”和“三角棱柱体法”。

1) 四方棱柱体的体积计算方法

根据平均中断面近似公式推导来，表 1 - 7。

特点：角点不在一个平面内时，近似应用，地形不平时误差较大。常用方法。

2) 三角棱柱体的体积计算方法

公式 (1 - 6), (1 - 7), (1 - 8)

特点：三角范围内容易保持一个平面，精度较高。

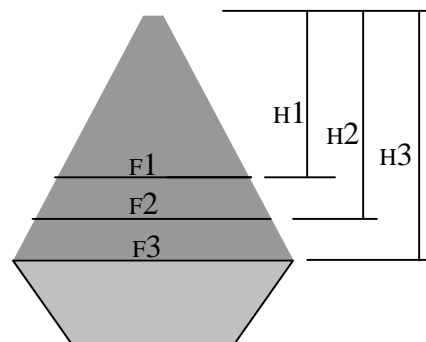
考虑调整前述因素后，填挖方量如有不平衡，应考虑余土或缺土的解决办法，或者调整设计标高后重新计算土方工程量。

2 平均断面法

将复杂的土石方工程的外形划分成若干具有一定几何形状进行计算而后汇总，达到一定的精度要求。

基坑：一般为 2 个平行的平面为底的多面体（拟柱体），

$$V=H/6*(F_1+4F_2+F_3)$$



【推导：假设为台体，即棱线交于空间一点

$$H_1 : H_2 : H_3 = F_1 : F_2 : F_3$$

$$H_1 = (F_1 / F_2) * H_2, H_3 = (F_3 / F_2) * H_2$$

$$H = H_3 - H_1 = ((F_3 - F_1) / F_2) * H_2, H_2 = (F_2 / (F_3 - F_1)) * H$$

$$H_1 = (F_1 / (F_3 - F_1)) * H, H_3 = (F_3 / (F_3 - F_1)) * H$$

$$V = H/3 * (F_3 H_3 - F_1 H_1) = H/3 * (F_3 F_3 - F_1 F_1) / (F_3 - F_1)$$

$$= H/6 * [F_1 + F_3 + (2F_3 F_3 - 2F_1 F_1) / (F_3 - F_1) - F_1 - F_3]$$

$$= H/6 * [F_1 + F_3 + F_3 F_3 - F_1 F_1 - F_1 F_3 + F_3 F_1 / (F_3 - F_1)]$$

$$= H/6 * \{F_1 + F_3 + [F_3(F_3 + F_1) - F_1(F_3 + F_1)] / (F_3 - F_1)\}$$

$$= H/6 * [F_1 + F_3 + (F_3 - F_1) * (F_3 + F_1) / (F_3 - F_1)]$$

$$= H/6 * [F_1 + F_3 + (F_3 - F_1) * (F_3 + F_1) * (F_3 + F_1) / (F_3 - F_1)]$$

$$= H/6 * [F_1 + F_3 + (F_3 - F_1) * (F_3 + F_1)^2 / (F_3 - F_1)]$$

$$\text{又因： } F_2 = 1/2 * (F_3 + F_1), \text{ 即： } 4F_2 = (F_3 + F_1)^2$$

$$\text{所以： } V = H/6 * [F_1 + F_3 + 4F_2]$$

基槽和路堤：用类似方法

$$V=L/6*(F_1+4F_0+F_2)$$

1.1.5 场地平整土方量的计算

1 场地设计标高的确定

平均高度保证挖填平衡。

2 场地设计标高的调整

考虑土的可松性的标高增加。

1.1.6 用最小二乘法原理求最佳设计平面

最佳设计平面：在满足建筑规划、生产工艺和运输、排水等要求的前提下，尽量使总的土方量达到最少。

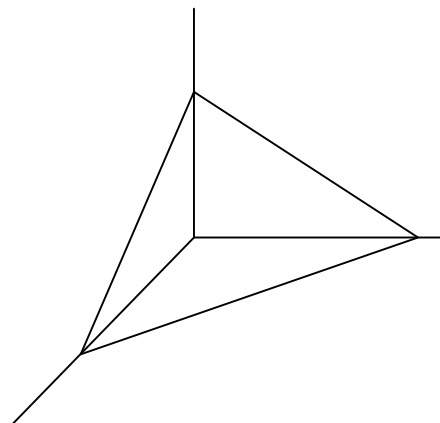
当地形复杂时，可设计为多个设计平面。每个设计平面可用各自的参数表达，如 i_x ， i_y ，和 c 。单平面最佳设计平面的规划是多平面最佳设计平面规划的基础。

设计平面上任一点 i 的标高 $z'_i = c + x_i i_x + y_i i_y$
该点的原地形自然标高为 z_i ，则定义施工高度 H_i 为：

$$H_i = z'_i - z_i = c + x_i i_x + y_i i_y - z_i, (i=1, \dots, n, n \text{ 方格角点总数})$$

$H_i > 0$ 表示填土，反之 $H_i < 0$ 为挖土。 H_i 的加权总和能代表土方填挖的平衡结果，但仍可能有多个解。其中有一个唯一的解还可能使总的填挖量最少。为此，采用最小二乘法，设函数：

$$\begin{aligned} \sigma &= P_1 H_1^2 + P_2 H_2^2 + \dots + P_n H_n^2 = P_i H_i^2 \\ &= P_1 (c + x_1 i_x + y_1 i_y - z_1)^2 \\ &\quad + P_2 (c + x_2 i_x + y_2 i_y - z_2)^2 \\ &\quad + \dots \\ &\quad + P_n (c + x_n i_x + y_n i_y - z_n)^2 \end{aligned}$$



其中， i_x ， i_y ，和 c 是待定的最佳设计平面参数。 P_i 为权数。计算一个网格填挖体积时，土体高度是四个角点的施工高度的平均，所以一般的点被 4 个土柱体引用，设计平面范围边部的网格点被 2 个土柱体引用，角部的网格点被 1 个土柱体引用。故它们的权数分别为 4，2，1。

按照最小二乘法的原理，为了使 σ 最小，令 σ 对 i_x ， i_y ，和 c 的偏导数为零，见式 (1-5)，其中，第 1 个方程中 σ 对 c 的偏导即为 H_i 的加权总和，表示填挖总

量的平衡。整理后得到三元线性的准则方程组，即可解出 i_x ， i_y ，和 c 的最佳解。

$$\left. \begin{aligned} [P]c + [Px] i_x + [Py] i_y - [Pz] &= 0 \\ [Px]c + [Pxx] i_x + [Pxy] i_y - [Pxz] &= 0 \\ [Py]c + [Pxy] i_x + [Pyy] i_y - [Pyz] &= 0 \end{aligned} \right\}$$

式中：

$$\begin{aligned} [P] &= P_i & [Px] &= P_i x_i & [Py] &= P_i y_i & [Pz] &= P_i z_i \\ [Pxx] &= P_i x_i^2 & [Pyy] &= P_i y_i^2 \\ [Pxy] &= P_i x_i y_i & [Pxz] &= P_i x_i z_i & [Pyz] &= P_i y_i z_i \end{aligned}$$

如果在设计时，要求 i_x ， i_y ，和 c 中的 1 个或 2 个参数为确定数，则可将相应参数代入，并将与该参数偏导有关的方程从方程组中剔除即可。

1.1.7 土方工程量的计算和调配

在获得土方设计平面后，找出“零线”，作为挖填区域的界线。然后进行调配方案的确定。

土方调配解决土方填挖的程序，目的是使土方的总运输量【 $m^3 \cdot m$ 】或运输成本（元）最小（考虑了调配区间不同的单价【元 / m^3 】）。

进行土方调配必须综合考虑工程和现场情况、有关技术资料、进度要求和土方施工方法。特别当工程为分批分期施工时，中间的土方堆放和调运问题应当全面考虑，力求避免重复挖运和场地混乱。确定调配原则后，即可进行土方调配工作：

- a. 划分土方调配区；
- b. 计算土方调配区之间的挖运“费用” 调配区间平均运距【 m 】或单位土方运价【(元 / $m^3 \cdot m$)* m 】或单位土方施工费用【元 / m^3 】
- c. 规划确定土方的最优调配方案。

1 土方调配区域的划分，平均运距和土方施工单价的确定

划分调配区的要点：

- (1) 与房屋和构筑物的平面位置相协调，并考虑它们的开工顺序、工程的分期施工顺序；
- (2) 调配区的大小应满足施工主导机械的技术要求。宜与施工段的大小相适应；
- (3) 调配区的范围应与土方工程量的计算用的方格网协调，由若干个方格网组成一个调配区；

(4) 填挖的土方不平衡时,需考虑借土或弃土的地点,被视作一个调配区。

平均运距和土方施工单价的确定:

(1) 平均运距【m】

挖方调配区和填方调配区之间的距离;如需按规定路线运输,应按实际情况进行计算。

(2) 单位土方运价【(元 / m³*m)*m】

简单考虑运输问题时,按单位土方运价考虑,可参考有关预算定额确定。

(3) 单位土方施工费用【元 / m³】

首先根据工程的具体情况,选择最适合的施工机械及其组合。综合考虑土方挖掘和运输等综合费用,简单地可用下式估计:

$$C_{ij} = E_s / P + E_0 / V \quad (1-13)$$

2 用“线性规划”方法进行土方调配的数学模型

表 1 - 2 中填入土方量与“费用”单价。表中有:

$$a_{ij} = b_{ij} \quad (i=1, \dots, m, j=1, \dots, n)$$

c_{ij} 为从 A_i 到 B_j 的“费用” 调配区间平均运距【m】或单位土方运价【(元 / m³*m)*m】或单位土方施工费用【元 / m³】;

x_{ij} 为从从 A_i 到 B_j 的挖填方量。

规划的目标函数:

$$Z = \sum_i \sum_j c_{ij} * x_{ij}$$

x_{ij} 满足下列约束条件:

$$\begin{aligned} \sum_j x_{ij} &= a_i & (i=1, \dots, m) \\ \sum_i x_{ij} &= b_j & (j=1, \dots, n) \\ x_{ij} &\geq 0 \end{aligned}$$

3 用“表上作业法”进行土方调配

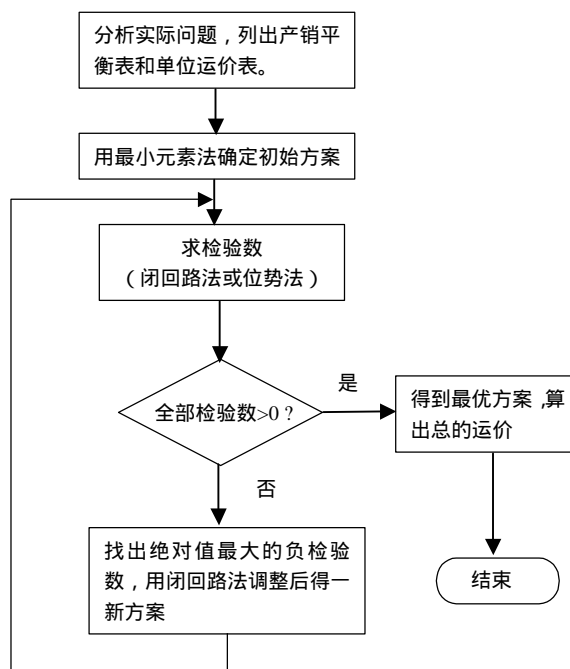
(1) 单位运价表和产销平衡表

(2) 初始方案(最小元素法) 条件: $m+n-1$ 个“非零”变量;“非零”变量不形成闭回路

(3) 空格检验数 闭回路法: 空格闭回路, 唯一。位势法。2 个方法等价。

(4) 调整 最大调整数 = 闭回路中最小变量

(5) 所有检验数 > 0 时，最优，计算总运价。



1.2 土方工程施工要点

1.2.1 土方工程施工前的准备工作

1 清理施工场地、拆迁障碍物

旧有房屋、构筑物、道路、沟渠、管道、电线、电杆、坟墓、树木等；

2 设置排水防洪设施

地表水：积水及雨水

措施：

排水沟 合理布置，截面按需要，一般不小于 $0.5 \times 0.5\text{m}$ ，坡度 0.2% ，

截水沟或排洪沟 山坡地段，截断地表雨水流入施工地段，设在坡地较高

处

挡水堤坝 低洼地施工，场地周围设置，防治雨水流入

3 修筑运输临时道路

场地内施工机械运行的道路，主要干线宜与永久性道路结合修建，一般双车道，宽度不小于 7m 。 20cm 厚碎石或砾石路基，两侧结合设置排水沟，重车下坡行驶。

4 修建临时设施、安装临时水电

搭设临时工棚，修建现场供水、供电、供压缩空气管线。

5 材料、机具的准备，设备试运转

机械设备的维修、检查，运往施工现场。

6 测量、放线

7 土方工程的辅助工作，边坡稳定、基坑支护、降水措施

1.2.2 土壁稳定

1 塌方的原因

- 1) 坡度过大
- 2) 含水量和渗水动水压力作用
- 3) 坑缘荷载

2 防止塌方的技术措施

设置边坡和支撑

(1) 横撑式支撑

土压力按基于经验的简化分布计算，但有时也仍常用传统的线性土压力分布。挡板、枋木和撑木的受力按简支计算，较简单，在此不加赘述。

(2) 板桩支护结构

板桩支护结构的组成：挡墙、支撑。

工程中支护的方法从支护挡墙的类型上分，有：

- 挡土板 + 枋木；
- 钢板桩，或钢板桩的组合应用；
- 钢筋混凝土板桩；
- H 型钢（钢筋混凝土）支柱 + 挡板支护墙；
- 钻孔灌注桩挡墙；
- 旋喷桩帷幕墙；
- 深层搅拌水泥土挡墙；
- 地下连续墙；等。

从挡墙的支撑结构，通常有：

- 水平短撑木支撑；结合挡土板 + 枋木，是基槽、沟槽土壁的常用支护方法，适用沟槽宽度较小的情况。
- 悬臂式挡墙；仅用于锁口钢板桩或 H 型钢（钢筋混凝土）支柱、木挡板支护结构中，适用开挖深度不大于 4m（软粘土、淤泥质土中）。
- 单锚式挡墙；使用最广泛的一种挡墙支护结构形式，开挖深度可达 6m。
- 多层支撑（或拉锚）式挡墙；适用开挖深度和宽度较大的基坑，支撑的层

数和间距按计算确定。当基坑宽度大于 15m 时，基坑中间加支撑立柱，形成空间支撑构架。每一层又是一个平面结构，支撑构件的布置由基坑形状决定。

- 斜柱支撑； 开挖范围较大，不容许设置过多支撑，无设置拉锚的条件。
- 无支撑（无拉锚）自立式挡墙，等 不适用支撑及拉锚的情况下（如基坑面积很大，内部支撑不经济或支撑对内部结构施工有妨碍，墙后又没有条件使用拉锚），开挖深度又超过悬臂式挡墙的适用范围时，采用特殊结构形式构成自立式挡墙。如钢板桩围堰（墩）、格型重力式地下连续墙等。

这些方法，结合其它因素（如逆筑法等），可以产生更多的支护施工方案。

板桩具有挡土和防水的作用。对地下水较高的情况，能增加水的渗流路线，防止流沙现象。是一种广泛使用的挡墙支护结构形式。板桩的形式有钢板桩和钢筋混凝土板桩两大类。前者可拔除重复使用，后者一般不重复使用。

钢板桩常见的有：一字锁口平板桩，槽钢钢板桩、U 字型锁口板桩、Z 字型锁口板桩。目前常用 U 字型锁口钢板桩，又称拉森板桩。

钢筋混凝土板桩通常有矩形和 T 形两种。矩形板桩的边缘有企口，厚度一般 150～450mm，宽度与打桩设备的能力有关，一般常用 500～800mm。T 形板桩由翼缘和肋组成，翼缘边缘厚一般 100～150 mm，有单边企口，宽度可达 1600 mm，肋厚度一般 200～300 mm，宽度 470～750 mm。

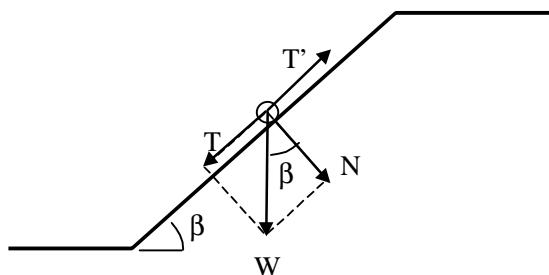
H 型钢（钢筋混凝土）支柱 + 挡板支护墙，实际是板桩支撑的一种变种。挡板可为木板、钢筋混凝土板、或钢木结合板。

对支撑构件或锚杆，钢板桩应有围檩。钢筋混凝土板桩或钢筋混凝土支柱结合挡板的体系应在顶部设一圈梁（或称锁口梁），有时该梁也兼代围檩的作用，否则，支撑应通过专门的围檩传力，或作用在 H 型钢（钢筋混凝土）支柱上。

这些板桩类型的支护结构的计算都是类似的。

3 边坡稳定计算

（1）无粘性土边坡失稳分析



土颗粒重 W ， $N = W \cdot \cos\beta$ ， $T = W \cdot \sin\beta$

$$T' = N \times \tan\varphi = W \cdot \cos\beta \cdot \tan\varphi$$

φ : 内摩擦角 (τ - σ 试验拟合直线的斜角, $\tau = \sigma \cdot \tan\varphi$)

稳定安全系数 $K = T'/T = \tan\varphi / \tan\beta$ 。所以, $\varphi > \beta$ 时, 土坡就是稳定的。

(2) 粘性土边坡失稳分析

粘性土边坡失稳, 是边坡土体沿着一个曲面产生滑动而造成塌方。

在曲面上 (滑动面), 土体应剪切而破坏, 即剪力克服了土的抗剪能力。

曲面的位置与形状与边坡的形式, 土的性状有关。但通常可近似看作圆柱面。

现介绍粘性土边坡用“条分法”稳定的计算:

该方法是 1922 年由瑞典工程师 W. 费兰纽斯 (Fellenius) 提出来的, 具有较普遍的意义, 可以分析比较复杂的情况, 如土质不均匀的土坡等。

“条分法”假设滑动面为圆柱面, 滑弧通过坡脚, 并按平面问题进行计算。即可按土坡的单位长度单独分析。假设无动水压力的影响。

任意选一圆心为 O, 半径为 R 的圆弧为滑动面, 将滑动面以上的土体分为 n 个等宽度的土条。取第 i 个土条进行脱离体分析, 并忽略土条间的相互作用力。

平衡条件下, 可得到滑动面上的剪力和法向正压力

$$T_i = W_i \cdot \sin\alpha_i, \quad N_i = W_i \cdot \cos\alpha_i$$

需要的平衡力矩, 即滑动力矩, 为:

$$\Sigma (M_{滑}) = \Sigma (T_i \cdot R) = R \cdot \Sigma T_i = R \cdot \Sigma (W_i \cdot \sin\alpha_i)$$

土条底面上土的抗剪力矩为:

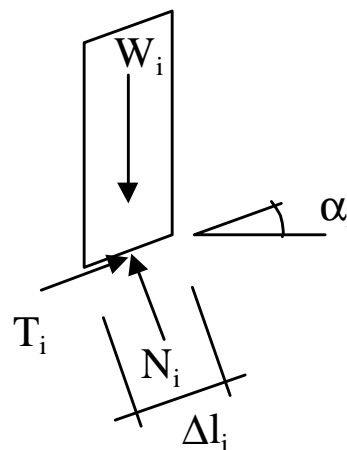
$$\begin{aligned} \Sigma (M_{抗滑}) &= \Sigma (S_i \cdot R) = R \cdot \Sigma S_i = R \cdot \Sigma [(c + \sigma_i \cdot \tan\varphi) \cdot \Delta l_i] \\ &= R \cdot \Sigma (c \cdot \Delta l_i + \sigma_i \cdot \Delta l_i \cdot \tan\varphi) = R \cdot \Sigma (c \cdot \Delta l_i + N_i \cdot \tan\varphi) \\ &= R \cdot \Sigma (c \cdot \Delta l_i + W_i \cdot \cos\alpha_i \cdot \tan\varphi) \end{aligned}$$

整个边坡滑动面的稳定边坡系数 K:

$$K = \Sigma (M_{抗滑}) / \Sigma (M_{滑}) = \Sigma (c \cdot \Delta l_i + W_i \cdot \cos\alpha_i \cdot \tan\varphi) / \Sigma (W_i \cdot \sin\alpha_i)$$

由于 O 点是任取的, 因此需要按此方法对不同选择的 O 点进行试算, 直至达到最小的 K 值时, 达到目标。理论上 $K > 1$ 为边坡稳定的条件。工程上一般取 1.1 ~ 1.5 之间。

由于试算的工作量大, 可以通过计算机手段进行求解。



1.2.3 施工降水

地下水位较高时，开挖基坑必须进行降水。地下水的存在方式有上层滞水、无压力水和承压水三种。

- 上层滞水 地下局部隔水透镜体上部，具有自由水面的地下水。分布范围有限。与气候及季节性密切相关，动态性强。
- 无压力水 地表以下第一个稳定隔水层以上的具有自由水面的地下水，水压等于水头，也称潜水。
- 承压水 充满在两个稳定隔水层中间的含水层中的地下水，承受土层之间一定的静水压力。

其中，工程基础施工中遇到的需要进行降水的情况主要是潜水和承压水的情况。所谓隔水层是指有透水性很低土质形成的土层，如淤泥质粘土等。

（一）集水井降水

也称明沟排水，是现场最普遍应用的一种人工降低地下水位的方法。施工方便，设备简单，可应用于除细砂土以外各种土质的施工场合。

其基本方法是在场地范围内合理布置排水明沟，沿沟每隔遇到距离设一个集水井，让地面水、雨水及地下水汇入排水沟流入集水井，然后用水泵排出基坑。随着基坑挖土的加深，随时加深排水沟和集水井，保持水流的畅通。

明沟排水的施工要点：

- 1 排水沟深度一般 0.4 ~ 0.6m，宽度 $\geq 0.4\text{m}$ ，水沟边坡 1 : 1 ~ 1 : 0.5，纵向坡度最小 0.2 ~ 0.5%。较大基坑的排水沟尺寸可以达到 1.5 × 1.5m。
- 2 集水井沿排水沟每 20 ~ 40m 设置一个，长宽或直径一般应达到 0.6 ~ 0.8m，井应低于排水边沟 1m 左右，可作简易加固。
- 3 排水沟一般设置在开挖基坑的周围一侧或两侧，有时在基坑的中间。排水沟的设置及尺寸应考虑到基坑排水量和对周围邻近建筑物的影响。
- 4 对基坑深度较大，地下水位较高，多层土中上部有透水性较强的土层或上部地下水较旺盛的情况，可在基坑边坡上设置 2 ~ 3 层排水沟，避免上层地下水冲刷边坡造成塌方，同时可减少边坡高度和水泵的扬程。

（二）井点降水

1 井点降水的作用

在基坑开挖深度较大，地下水位较高，土质不好，不宜用明沟排水系统进行降水时，采用井点降水法可以使问题得到解决。土的本构性质复杂，加上地下水的存在和作用，有时容易出现基坑涌水、塌方、管涌、基坑隆起、流沙等现象，见图 1 - 34。井点降水由于能够使基坑施工深度范围内的土层条件改善，为施工过程创造条件，在工程基坑开挖施工中得到广泛的应用。

井点降水，就是在就开挖前，在基坑周围埋设一定数量的降水井，在井中不断抽出地下水，使基坑范围的地下水位下降到基坑底以下，从而消除上述不利工程现象，同时，还能使地基土层应土颗粒自重压缩而更加密实，增加地基土的承载能力。井点降水一般要到基础工程完成以后才能结束。

但是，井点降水使地下水位降低有一个影响范围的问题，所以，在进行降低降水的设计和施工中，应特别考虑到对周围邻近建筑物的影响问题，避免应降水使邻近建筑物产生过多的沉降，特别是不均匀沉降，造成建筑物开裂等损害。

流沙现象的机理：

动水压力 G_D 的作用。

$$G_D = i \cdot \gamma_w$$

临界水力坡度 $i_c = \gamma'_w / \gamma_w$

2 井点降水的种类

井点降水的方法有很多种,主要可分为两类：轻型井点类和管井井点类。井点降水的不同方法的区别主要在于它们的井点的构造、原理、大小等的不同。它们包括：

（1）轻型井点类

一般轻型井点

是最常使用的井点降水方法。即将直径较细的井点管沿基坑四周或一侧，沉入深于坑底的蓄水层内，井孔可钻成或冲成，井点管周围用砂充填，井口用粘土或混凝土封闭。井点管接集水总管，集水总管连抽水设备（真空泵或射流泵）。通过抽水设备不断抽出渗入孔中的地下水，降低施工现场局部范围的地下水位。因此，一般轻型井点又可进一步分为真空泵轻型井点和射流泵轻型井点。

一般轻型井点的特征主要是它的井点管的构造。一般轻型井点的设备将在后面详细介绍。

喷射井点

喷射井点属于轻型井点类。喷射井管的特点是其井管的原理与构造与一般轻型井点井管的不同。喷射井点根据其工作时使用液体或气体的不同，分为喷水井

点和喷气井点两种。其设备主要有喷射井管、高压水泵（或空气压缩机）和管路系统组成。

喷水井管分外管与内管两部分，内管下端装有喷射扬水器，并与滤管相接。在高压水泵的作用下，高压水经进水总管进入内外管之间的环形空间，流向喷嘴，压力水高速喷入与滤管相通的混合室，造成低压或负压将滤管中的地下水带出地面进集水总管排入集水池。池中水部分供高压水泵的工作用水，其它用低压水泵排走。高压水泵一般采用流量为 $50 \sim 80 \text{ m}^3/\text{h}$ 的多级高压泵，能带动 $20 \sim 30$ 根井管。所以喷射井点的管路系统的总管有两种，即进水总管和排水总管。

喷射井管间距一般 $2 \sim 3 \text{ m}$ ，冲孔直径 $400 \sim 600 \text{ mm}$ 。

电渗井点

电渗井点是在一般轻型井点或喷射井点的基础上，对渗透系数很小的土层，为了增加地下水的渗透性，在井点管旁边基坑内侧打入钢筋或钢管作阳极，以井点管作阴极，通以不高于 60 V 的直流电，使土颗粒自阴极向阳极移动（电泳现象），水之阳极向阴极移动（电渗现象），从而增加软土地基的渗水排水性，故名电渗井点。

阳极与阴极距离一般 $0.8 \sim 1.5 \text{ m}$ ，也可成孔埋设。

工作时，为清除由于电解作用产生的气体，这种气体附在电极附近，使土体电阻增大，电能消耗增加，应采用间歇通电法，通电 24 小时后，停电 $2 \sim 3$ 小时后再通电。

（2）管井井点类

管井井点

用钢管或其它材料制成直径 200 mm 以上的滤水井管，下端连 $2 \sim 3 \text{ m}$ 长的过滤部分。将其沉入直径 $400 \sim 500$ 的井孔中，外面充填 $3 \sim 15 \text{ mm}$ 的砾石，井管外面处 0.5 M 内用粘土填充夯实。

用直径 $50 \sim 100 \text{ mm}$ 的胶皮管或钢管作为吸水管伸入滤水井管中，采用离心式水泵将井管中的地下水抽出地面。一般一个井管装置一台水泵，当水泵排水量大于当井管涌水量数倍时，也可另设集水总管，共用一台水泵。

井管井点一般适用于渗透系数大、涌水量大的土层降水。井管井点间距一般 $20 \sim 50 \text{ M}$ ，深度 $8 \sim 15 \text{ M}$ ，井内水位可降低 $6 \sim 10 \text{ M}$ 。也有采用小型的井管降低，最大埋深 $5 \sim 10 \text{ M}$ ，井内水位可降低 $3 \sim 5 \text{ M}$ 。

深井泵井点

当降水深度较大，管井内一般水泵不能满足要求时，可改用深井泵。一般管井直径 300 mm ，内径应大于水泵外径 50 mm 。水泵采用潜水泵或深井泵。

深井较大适用于渗透性大、涌水量大、较深的砂类土类，降水深度可达 $15 \sim$

50m。

(3) 各种井点的适用范围

井点类型	土层渗透系数 (m / d)	降低水位深度 (m)
一级轻型井点	0.1 ~ 80	3 ~ 6
二级轻型井点	0.1 ~ 80	6 ~ 9
电 渗 井 点	< 0.1	5 ~ 6
管 井 井 点	20 ~ 200	6 ~ 10
喷 射 井 点	0.1 ~ 50	8 ~ 20
深 井 泵	10 ~ 80	> 15

(4) 回灌技术

为了减少井点降水对周围建筑物的影响，减少地下水的流失，一般通过在降水区和原有建筑物之间的土层中设置一道抗渗屏幕（抗渗墙）。除设置固体抗渗屏幕外，还可以采用补充地下水的方法来保持建筑物下的地下水位的，即在降水井点系统与需要保护建筑物之间埋置一道回灌井点。

在降水的同时，通过回灌井点向土层中灌入足够的水，使降水井点的影响半径不超过回灌井点的范围。

回灌井点系统的工作恰恰与抽水井点系统相反，在土层中形成一个倒转的降落漏斗。回灌水量也应按水井理论进行计算。一般通过架设回灌水箱的高度的办法提高回灌水压力。回灌井点与降水井点应同时工作或同时停止。

3 一般轻型井点技术

(1) 一般轻型井点的设备

由管路系统和抽水设备组成。

管路系统，包括：滤管、井点管、弯联管和排水总管

滤 管 直径 38 ~ 55 的钢管，管壁上钻直径 12 ~ 18 的孔呈梅花形分布，滤孔面积为滤管表面积的 20 ~ 25%，900 ~ 1700 长。管壁外包裹两层滤网，内层细滤网 30 ~ 50 孔/cm 的黄铜丝布或生丝布，外层粗滤网 8 ~ 10 孔/cm 的铁丝布或尼龙丝布。为避免滤孔淤塞，管壁与滤网间用铁丝螺旋形缠绕隔开，滤网外再围一层 8 号粗铁丝保护网。滤管下端卡入一锥形铸铁头，上端与井点管相连。

井点管 与滤管钢管直径相同的钢管，长度 5 ~ 7m，上端用弯联管与总管连接。

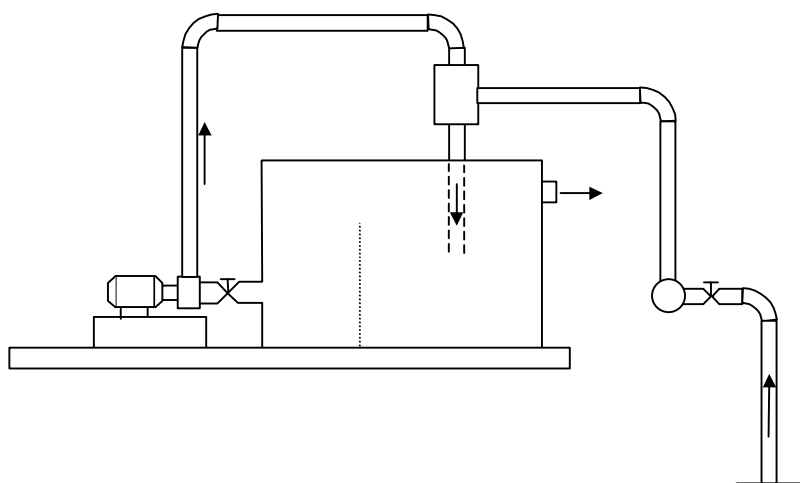
弯联管 胶皮管、塑料透明管或钢管制成，直径 38 ~ 55mm。为便于检修井点，

每个弯连管均应装设阀门。

总管 集水总管一般用 100~127mm 的钢管连接而成，作为成套设备，每节长度 4m，每隔 0.8~1.6m 有一个接头可连接到井点管。

抽水设备，一般为以真空泵为主组成的一套定型抽水机组，有时也可简单地用以射流泵为主组成抽水设备。因此分为真空泵轻型井点和射流泵轻型井点。射流泵机组重量、体积均较小。真空泵机组的工作原理见教材图 1-29。射流泵的工作原理图见图 1-35。

一套抽水设备的负荷长度约 100~120m。



(2) 轻型井点的布置和计算

井点系统的布置，应根据基坑大小、深度、土质、地下水位与流向、降水深度要求等综合决定。

I. 平面布置

基坑宽度小于 6m，时，可单排线状布置，在地下水流向的上游；
 宽度大于 6m 或土质不良，可用双排线状布置；
 面积较大的基坑，宜环状布置，或 U 状布置，以利挖土时的运输车辆进出；
 井管距坑壁 0.7~1.0m，以防局部发生漏气。

II. 高程布置

轻型井点的降水深度在管壁处一般可达 6~7m，井点管需要的埋设深度 H

$$H = H_1 + h + i \times L \quad \text{式中变量含义见教材中式 (1-20)}$$

H 不应超过 6~7m，否则应降低系统埋置深度。甚至考虑采用二级井点。

III. 总管及井点管数量的计算

轻型井点系统的设计，除系统的布置外，还需确定井点的数量、间距、井点设备的选择等。其中井点的数量是设计计算的主要内容，它与井点涌水量的计算密切相关。

井点系统的涌水量按水井理论进行计算。

根据井点埋设深度与地下水的情况及关系的不同，井点可分为：

- 无压完整井
- 承压完整井
- 无压非完整井
- 承压非完整井

涌水量的计算：Dupuit 水井理论。

井点管数量与间距：

单根井点管的最大出水量 q 经验公式：

$$q = 65\pi dL \times \sqrt[3]{K}$$

井点最少数量：

$$n' = Q / q$$

一般井点管数量：

$$n \geq 1.1 \times n'$$

以上公式中，长度单位为 m ，渗透系数单位为 m/d 。

井点管间距应大于 15 倍井点管直径，并符合总管接头的间距（0.8m、1.2m、1.6m 等）

4 轻型井点的施工

包括：准备工作、井点系统的埋设、使用和拆除。

准备工作：

井点设备、动力、水源及必要材料的准备，排水沟的开挖，附近建筑物标高观测以及防止附近建筑物沉降的措施。

井点系统的埋设：

先排放总管，再埋设井点管，用弯联管将井点管与总管接通，然后安装抽水设备。

井点管的埋设一般用水冲孔法进行，分为冲孔与埋设两个过程。冲孔时，先

用起重机将冲管吊起并插在井点的位置上，开动高压水泵利用压力水将土冲松，边冲边沉管。冲孔直径一般 300mm，布置井管四周的砂滤层厚度，冲孔深度应比滤管底深 0.5 左右。冲孔完成后立即拔出冲管并插入井点管，迅速填灌砂滤层至滤管顶 1 ~ 1.5m，以保证水流畅通。井点填砂后，应用粘土封口，以防漏气。

使用和拆除：

安装完成后应进行试抽，如有堵塞现象，可用高压水反冲或重新埋设。井点运行后要求连续工作，应准备双电源。

地下构筑物竣工并进行回填后，方可拆除井点系统。拔除井点管通常借助于起重机、倒链葫芦加扒杆等。井点拔除后应用砂或土填塞，对地基有防渗要求时，地面下 2m 应用粘土填实。

1.2.4 流沙防治

1 流沙现象及其危害

沙随地下水的流动，无承载力。

2 流沙现象的产生原因

动水压力

3 流沙防治

1) 枯水期施工

2) 围护结构改变渗流方向，增加渗流路径，减少水头梯度。

3) 水下挖土作业

4) 人工降水

5) 抛石重压

1.2.5 土方的填筑和压实

1 土料的选择与处理

有机质土、水溶性土、泥炭和淤泥、过粘的土及粉性土，因难以压实，一般不宜用作填土。

同类土优先。渗透性良好的土填在下层。一般情况下，填土应符合以下规定：

- (1) 碎石类土、砂土和爆破石渣可用于表层下的填土（粒径不大于 2/3 每层铺厚）
- (2) 含水量符合压实要求的粘性土，可用于填土
- (3) 碎块草皮和有机质含量大于 8% 的土，仅用于无压实的填方
- (4) 淤泥和淤泥质土，一般不用作填土，但在软土或沼泽地区，经过处理含水量符合压实要求，可用于填方中的次要部位。

2 填土方法

人工填土或机械填土。填土必须分层进行，并逐层压实。

3 压实方法

填土的压实方法有碾压、夯实和振动夯实等几种。

(1) 碾压

碾压适用于大面积填土。碾压机械主要有平碾、羊足碾和汽胎碾。

平碾，即压路机。适用于较薄的填土或表面压实、平整场地、修筑堤坝及道路工程。是应用最广泛的大面积填土压实机械。

羊足碾，在滚轮表面装有许多羊足样滚压件，羊足高度约为滚轮直径的 $1/5 \sim 1/8$ ，需机械牵引。滚筒内按需要可装水或砂等。压实效果及深度较同重量的平碾高。适用于中等深度的粉质粘土、粉土、黄土等，且含水量适当。对干砂、干硬土块及石渣等压实效果不佳，不宜使用。还有一种带槽碾的特点及适用范围与羊足碾相似。

汽胎碾，通过轮胎的压力进行碾压，较少采用。但有时利用土方运输车辆进行碾压，效果较好而且经济，但不宜大面积靠车辆碾压。且需要较好地进行规划。

(2) 夯实

主要用于小面积填土作业。作用深度大。小型的夯实机械有冲击式和振动式之分，主要有内燃打夯机、电动立夯及蛙式打夯机。由于其轻便，在工程中应用很广，适用于基坑沟槽及各种零星分散、边角部位的小型填方的夯实作业。

(3) 振动压实

振动夯实主要用于压实非粘性填土，如砂、石等，能较好地增加填土密实度。机械如振动夯实机等。利用振动作用增加密实度是填土作业中常用的方法，如：一般的压路机均有静力档和振动档，在道路工程的片石路基压实施工中通常进行振动压实。

(4) 其它方法

对特厚的土层，可以常用重锤夯实或强夯等方法。

4 填土压实的影响因素

填土压实的质量与许多因素有关，其中主要影响因素为：压实功、含水量每层铺土厚度。

压实功的影响 见图 1 - 61

含水量的影响 最佳含水量，控制在 $-4\% \sim +2\%$ 范围内，见图 1 - 62

铺土厚度的影响 应小于作用深度。有最优（经济）铺土厚度问题，即使土方压实，机械功耗最少。平碾 300，羊足碾 500，小型打夯机 400，人工打夯 200

5 填土压实的质量检查

土的密实度是填土压实质量的主要指标，用压实系数 λ_0 表示。压实系数是土的设计干重度与最大干重度的比值。最大干重度在试验室中通过击实试验得到，对应于一个最佳含水量。最佳含水量是现场压实施工中对场地填土含水量的一个指导。实际干容重通过现场取土在试验室测定。取土的方法一般采用环刀法。

规范规定填土的一般压实系数要求见下表：

结构类型	填土部位	压实系数
砌体承重结构和框架结构	在地基主要持力层范围内	>0.96
	在地基主要持力层范围以下	$0.93 \sim 0.96$
简支结构和排架结构	在地基主要持力层范围内	$0.94 \sim 0.97$
	在地基主要持力层范围以下	$0.91 \sim 0.93$
一般结构	基础四周或两侧一般回填土	0.90
	室内地坪、管道地沟回填土	0.90
	一般堆放物件场地回填土	0.85

作为地基填土，压实后的含水量应控制在最佳含水量的 $-2\% \sim +2\%$ 范围内。

1.3 土石方工程的机械化施工

建筑工程中，对小型基坑（槽）、管沟或少量零星土方采用人工开挖外，较大工程量一般均采用机械开挖，采用先进的施工方法。

土方工程的施工过程包括土方开挖、运输、填筑与压实等。

1.3.1 推土机施工

适于开挖一～三类土。经济运距 100m 以内，效率最高 60m。上下坡坡度不得超过 35° ，横坡不得超过 10° 。

1) 机械特征

操作灵活，运转方便，需工作面小，可挖土送土，行驶速度快。

2) 作业特点

1 平推；2 运距 80m 内的堆土；3 开挖浅基坑；4 回填、压实；5 助铲；6 牵引

3) 适用范围

1 找平表面，平整场地；2 短距离移挖作填、回填压实；3 开挖深不大于 1.5m

的基坑；4 堆筑高 1.5m 以内的路基堤坝；5 拖羊足碾

4) 辅助机械

土方挖运出需配备装土、运土机械；推挖三～四类土需用松土机械预松土

5) 提高生产效率措施

1 槽形推土；2 下坡推土；3 多刀送土；4 并列推土

1.3.2 铲运机施工

适于开挖一～三类土。分自行式和拖式。前者经济运距 800～3500m，效率最高 800～1500m；后者经济运距 80～800m，效率最高 200～350m。作业面坡度 20° 以内。

1) 机械特征：

操作简单灵活，不受地形限制，不需特设道路，能独立工作，不需其它机械配合能完成铲土、运土、卸土、压实等作业，行驶速度快，生产效率高

2) 作业特点

1 大面积整平；2 开挖大型基坑；3 大运距范围内的挖运土；4 填筑路基、堤坝；5 回填压实土方

3) 适用范围

1 大面积场地整平压实；2 运距 100～800m 的挖运土方

4) 辅助机械

开挖坚土时需用推土机助铲；开挖四类土时需用松土机械预松土

5) 提高生产效率措施

1 下坡铲土；2 跨铲法；3 交错铲土法；4 助铲法

1.3.3 挖掘机（挖土机）施工

现代挖掘机已较少机械式，一般均为液压式。根据挖铲不同，主要有正铲、反铲和抓铲挖掘机。

1) 机械特征

正铲 装车轻便灵活，回转移位方便，能挖掘坚硬土层，易控制开挖尺寸，工作效率高

反铲 操作灵活，挖土、卸土均在地面作业，不用开辟运输道路

抓铲 钢绳牵拉，灵活性较差，工效不高，不能挖掘坚硬土

2) 作业特点

正铲 1 开挖停机面以上土方；2 挖土高度 1.5m 以上；3 可装车外运

反铲 1 开挖停机面以下土方；2 挖土深度随装置而定；3 可装车和甩土

抓铲 1 开挖直井或沉井土方；2 可装车和甩土；排水不良也能开挖

3) 适用范围

正铲 1 大型场地整平土方；2 大型管沟和基槽；3 独立基坑；4 边坡开挖

反铲 1 管沟和基槽；2 独立基坑；3 边坡开挖

抓铲 1 深基坑、基槽；2 水中挖取土；3 桥基、桩孔挖取土；4 散装材料装车

4) 辅助机械

正铲 土方外运应配备自卸汽车；工作面应有推土机配合平土或集中土方

反铲 土方外运应配备自卸汽车；工作面应有推土机配合

抓铲 土方外运时按运距配备自卸汽车

1.3.4 装载机施工

适于装载松软土和散料，对表层松土也可自行掘起。分轮胎式和履带式。前者允许场地内较短的运距；后者一般不用于直接的运输。

1) 机械特征：

操作灵活，回转移位方便，可装卸土方和散料，行驶速度快，可进行表层土的松软，剥离、整平

2) 作业特点

1 开挖停机面以上的土方；2 轮胎式只能装松散土方，履带式可装普通土方；

3 要装车运走

3) 适用范围

1 外运多余土方；2 履带式改换挖斗时可用于开挖

4) 辅助机械

土方外运应配备自卸汽车；工作面需经常用推土机平整，并推松土方

1.3.5 土方工程综合机械化施工

土方工程施工中选择施工机械，应根据机械的性能和适用范围，和土方工程任务特点决定。要点：

1 选择土方机械的依据

土方施工的机械选择是相对的。对同一种情况，完全可能有多种机械选择组合。选择的目的是在特定工期要求下，在机械资源许可的条件下，完成特定工程量的施工费用较少。

(1) 土方工程的类型及规模

土方施工面积大，地形较平，土的含水量适当，运距中等（尚不需要汽车运输 1km 以内）时，采用铲运机。地形起伏较大，挖土高度 3m 以内，运距 1km 以内，工程量集中时，可以采用：

挖土机 + 自卸汽车

推土机 + 漏斗 + 自卸汽车

推土机 + 装载机 + 自卸汽车

短距离移挖作填，或土方回填作业时，如有一定距离，宜采用推土机，距离短可用挖土机直接完成。

(2) 地质、水文及气候条件

考虑土的类别、土的含水量、地下水条件等。土的含水量较小时，机械可在基底作业，可按基坑深度选用推土机、铲运机或挖土机进行挖土，配合汽车外运土方。地下水位较高，宜在基坑上边作业，采用反铲或抓铲挖土机配合汽车。土的含水量较高时应首先采取措施降低土的含水量。

(3) 机械设备条件

土质坚硬时，需松土机械配合。

(4) 工期要求

按上述条件进行机械选择的问题可用线性规划的数学模型表达和求解。但因过于理论化，实际工程中很少按此方法来进行机械选择，暂略不作介绍。

2 挖土机与运土车辆的配合

土方机械选择组合时，如仅从机械能力而论，总的作业效率（生产率）取决于生产率最低的机械。在此，以挖土机与运土车辆的配合为例进行说明。挖土机一般不负责土的运输，需要汽车负责运输。

仅考虑挖土机的技术性能，则每台班的生产率如式（1 - 59）计算

该生产率应与运输汽车的生产率配合才能使机械组合发挥最高生产效率。后者又取决于汽车载重量及间隔频率。从挖土机角度看，汽车载重量越大越好，这样在运输上所时间比例可以尽量降低；从汽车角度看，载重量大，台班费用高，但使用次数少；反之也然。一般情况下，汽车载重量宜为每斗土重的 3 ~ 5 倍。选

定汽车载重量后，车辆的匹配数量可按式（1-60）确定。其中 t_1 可通过汽车载重量计算， t_2 则与挖运机械布置和道路情况有关。

1.4 爆破施工

石方工程中常用爆破。此外，施工现场清除障碍，或拆除旧建筑物也都常用爆破方法。

爆破的作用圈 压缩圈（破碎圈） 破坏圈（松动圈） 震动圈

1.4.1 炸药

1.4.2 爆破漏斗及药量计算

抛掷爆破时：

爆破漏斗、标准抛掷漏斗 漏斗状爆破坑。爆破坑半径与深度相等时，的爆破坑为标准抛掷漏斗。当爆破力大于标准抛掷漏斗的药量时，半径大于深度，为加强抛掷漏斗；反之为减弱抛掷漏斗。

最小抵抗线 药包到临空面的垂直距离方向是最小抵抗力方向，药包到临空面的垂直距离即最小抵抗线

炸药量计算：按标准抛掷漏斗需药量和标准炸药（1号露天硝铵炸药）为前提

$$Q = qV = qW^3$$

q 单位立方炸药量，按土的类别（一到八类）确定

V 标准抛掷漏斗内的土石方量（ W^3 ）

W 最小抵抗线

Q 炸药量

对其它情况：

用其它炸药： $Q = qW^3e$ e 其它炸药的换算系数

要求加强漏斗： $Q = (0.4 + 0.6n^3) qW^3e$ n 爆破作用指数

松动土石方： $Q = 0.33 qW^3e$

内部爆破： $Q = 0.2 qW^3e$

除单孔药量外，在工程中还经常应考虑一次爆破的规模，即一次用药总量。它与保护距离、介质安全振动深度特征等因素有关。

1.4.3 爆破方法

浅孔爆破、定向爆破、光面爆破、静态爆破

1.4.4 起爆技术

略。

1.4.5 爆破安全措施

技术措施

管理措施

2 地基与基础工程

2.1 地基加固处理

采用天然地基和浅基础时，可对地基进行加固处理。优点是费用低廉，施工方便。

2.1.1 地基加固原理

软弱地基，通常是由于土质含水量过高、压缩性过大，致使承载能力不足。地基加固无非就是采用降低土中含水量、压实土体增加土的密实度、化学凝固，甚至进行土层置换来实现增加土的承载能力。

为了在天然地基上实现建筑或构筑物，除了地基加固措施外，还应从上部建筑或构筑物的结构形式、防不均匀沉降措施、和施工方法角度采取相应的合理措施。

2.1.2 地基加固方法

挖：向下寻求较好的承力土层；

填：在较软弱土层上填筑好土层，如三合土、好的粘土夯实、石粉灌水作业等；

换：土层置换；

夯：用夯土机具加速土的固结，增加密实度；

压：机具碾压，或堆载预压结合土层排水措施；

挤：利用打入桩管，进行填充结合排水；

拌：旋喷或深层搅拌，利用化学作用凝固软弱土层，提高承载力。

2.2 桩基施工

桩基础是一种常用基础形式。当天然地基土质不良，无法满足建筑物对地基变形和强度要求时，常常用桩基础。

桩的分类：

1 按桩的制作材料分类

砂桩 用带桩头（桩靴）的钢管打入要求深度，边灌入中粗砂边拔钢管。作用为挤密土体、排水固结、加固地基，提高复合地基承载能力。

碎石桩（或灰土桩） 与砂桩原理、作用和施工方法相似。拔管时利用振动以使土石料密实。

木桩 采用挺拔的松木或杉木，地下水位高时需经防腐处理。现基本不用。

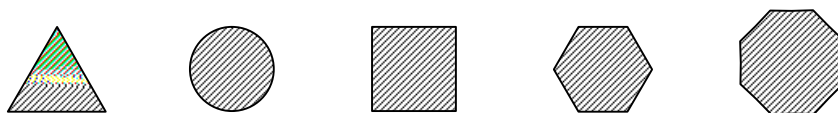
钢筋混凝土桩 如常见的预应力钢筋混凝土桩、预制钢筋混凝土桩、灌注桩、挖孔桩等。强度高、耐腐蚀、价格低、制作方便，得到广泛使用。

钢桩 由钢板和型钢制成，常见的有各种规格的钢管桩、工字型钢桩和 H 型钢桩等。材料强度高、搬运堆放方便不易损坏、容易截接、桩身表面积大

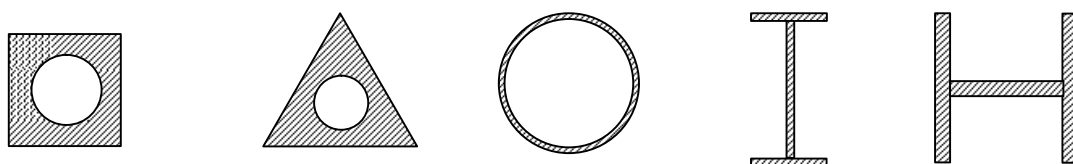
而截面积小，沉桩时贯穿能力强且挤土影响小。但价格昂贵，耐腐蚀性较差，应用上有局限。

2 按桩的截面形状分类

实腹型桩



空腹型桩



3 按桩的受力方式分类

- | | |
|-----|--|
| 摩擦桩 | 桩上荷载由桩四周摩擦力或由摩擦力和桩尖阻力共同承受。以控制入土标高为主，控制贯入度为参考 |
| 端承桩 | 桩上荷载由桩尖阻力承受。以控制贯入度为主，控制入土标高为参考 |
| 锚固桩 | 承受抗拔力和水平力。以控制入土标高为主。 |

4 按桩的作用分类

- | | |
|---------|-------------------------------|
| 工程支承桩 | 承受上部结构传递下来的竖向荷载，起支承作用。 |
| 复合地基处理桩 | 为了改善桩周土体的承载力，起地基加固作用。 |
| 临时支撑桩 | 为了满足施工过程中必需的支撑条件，但又不需要永久保持的桩。 |

5 按桩的制作方法分类

- | | |
|-----|---|
| 预制桩 | 在工厂或施工现场预先将桩制作成，采用锤击打入、静力压入或振入的方法将桩沉入土中。 |
| 灌注桩 | 在施工现场规定的桩位处成孔，然后向孔内灌注混凝土而成，大多数加有钢筋。按成孔方法分为沉管灌注桩、钻孔灌注桩、人工挖孔灌注桩、液压套管护壁灌注桩（套管成孔灌注桩）。按成孔环境分为泥浆护壁和干作业两种。 |

6 常见桩种及其特点

常见桩种及其特点

序号	桩的种类	优点	缺点
1	钢筋混凝土预制桩	1 制作方便 2 质量可靠 3 材料强度高 4 耐腐蚀性强 5 承载力高 6 价格较低	1 沉桩有明显的挤土现象 2 贯穿厚砂层或硬土层困难 3 截面截割困难 4 桩截面有限
2	预应力钢筋混凝土管桩	1 材料强度高 2 耐腐蚀性强 3 沉桩挤土影响较小（开口） 4 价格稍高	1 制作工艺复杂，需专门生产设备 2 缺少大直径管桩 3 需高强预应力钢筋（丝）
3	钢管桩	1 材料强度很高 2 沉桩挤土影响最小 3 桩径与桩长可任选 4 桩长截接方便 5 贯穿土层能力强	1 价格昂贵 2 耐腐蚀性差，易锈蚀 3 锤击沉桩噪声很大
4	钻孔灌注桩	1 无噪声、无振动、无挤土影响 2 钢材最省 3 可完成大直径大深度的单桩 4 可配合逆筑法施工	1 成孔速度慢 2 采用泥浆护壁时，有费泥浆需处理 3 桩身强度比预制桩低 4 质量较难控制，目前监测工作麻烦
5	挖孔桩	1 施工方便简单 2 质量检查方便 3 单桩承载力高 4 土方容易处理 5 无噪声、无振动、无挤土影响 6 施工设备简单 7 可多根桩同时施工	1 人工挖孔易发生事故 2 对流砂层的土质施工困难

2.2.1 钢筋混凝土预制桩锤击施工法

（一）钢筋混凝土预制桩的制作、起吊、运输和堆放

钢筋混凝土预制桩如果在起吊、运输和堆放的过程中操作不当，容易造成桩身因受弯作用过大而产生横截面开裂。因此，有必要对桩在制作、起吊、运输和堆放的过程进行控制。

1 制作

- 要求预制场地平整夯实；
- 叠浇法施工时不宜超过 3~4 层；
- 相邻桩达到 30% 设计强度后才能浇灌新的桩体；

- 禁止采用快速脱模方法施工；
- 严格控制模板和钢筋的施工几何误差及混凝土配合比误差；
- 从桩顶往桩尖方向连续浇灌混凝土，不得中断；
- 必须保证桩间隔离层，严防相互粘连。

2 吊运

当桩身混凝土强度达到 70% 设计强度时方可起吊，达到 100% 时才能运输。

桩运输的运距不大时，可在桩下垫以滚筒用卷扬机拖拉。当运距较远时，可采用具有弹簧和转盘的平板车，桩身下垫以木块，保持平稳，避免振动。

对 18m 以上的桩应以 3 点起吊，18m 以下的桩可以用 1 点或 2 点起吊。吊点的位置及程序必须按照有关规定。

（二）打桩设备

1. 桩锤

a) 落锤

以人力或机械方法将桩锤提升，然后令其自由下落，利用锤的自重及其冲击力夯击桩顶，落锤一般用电动机或机动卷扬机提升，设备简单，节省能源、能随意调节落锤高度。但易使桩顶损坏、沉桩效率低。

适宜打入各种品种的预制桩。

b) 柴油锤

分导杆式和筒式柴油锤两种，一般通常指筒式柴油锤。筒式柴油锤实际是一个很大的汽缸，它利用柴油燃爆推起活塞柱，自动落下时实现夯击作用，使桩沉入土中。

能打各种类型的预制桩，通常配以专用机架工作，沉桩效率高，燃料消耗少。但不宜在过硬或过软的土中打桩。工作时的落距能随桩的入土快慢而自行调整，入土速度慢，锤的落距就大。

c) 蒸汽锤

分单动汽锤和双动汽锤。汽锤利用蒸汽或压缩空气的压力将锤体上举，然后令锤下冲，夯击桩顶。单动汽锤在锤体下降过程仅靠自重，双动汽锤在下降过程中受到蒸汽向下的动力。

宜于打各种类型的预制桩，可用于各种土壤。必需具备汽源，如用锅炉，煤耗大，有空气污染。单动汽锤每次夯击需专人控制排气阀，落距在一定范围内可调整。双动汽锤的落距具备不变，不需人控制，可用于拔桩。

d) 液压锤

利用液压推动被密闭在锤壳体内的锤芯活塞柱，令其上升后下落，冲击桩头，

并通过压缩的 N 气对桩头施加压力，使其对桩的施压过程延长。往复工作下，实现夯击作用，将桩沉入土中。

宜于打各种类型的预制桩。打桩噪音小，无污染，适于城市环保要求高的地区作业。能源消耗最小。设备复杂造价高。

2. 桩架

桩架主要由底盘、导向杆（龙门）、斜撑、滑轮组、动力设备等组成，其功能应包括沉桩导向、吊锤、吊桩、吊射水管、配重加压和拔管等。桩架可用钢或木制成。高度按需要分节组装。

对桩架作分类时，有的无导杆，有的导杆落地，有的导杆不落地。有的无轮靠起来滑移或非固定滚轮，有的有固定式滚轮，有的靠轮胎滚轮移动，有的靠液压步履机构移位，有的具有履带式行走机构。

过去用于打木桩的木桩架现在已基本不见使用。无导杆的桩架一般只用于振动锤沉桩作业。现在常见的有：

a). 滚筒钢桁架直式桩架（钢桁架直立，无斜撑）

行走靠两根钢滚筒在垫木上滚，龙门的钢桁架上下部尺寸基本相同。结构简单，制作容易，但方向移动困难。适用于打预制桩、灌注桩等。在深圳地区常见。

b). 柴油打桩机桩架（简单的三角桁架）

是专为配备柴油打桩锤的桩架，结构较简单，可以采用多种行走方式，导架有固定的和可倾斜的两种，后者可用于沉斜桩。

c). 多能桩架

多能桩架的机动性和适应性很大，可作 360 度回转，导架可以伸缩和前后倾斜，底盘下装有铁轮在轨道上行走。无钢桁架，有导杆和撑杆。适用于各种预制桩及灌注桩。

d). 履带式桩架

实际上是由履带式起重机的主体与导杆支撑式桩架结构组合而成，因而机架移动与转向最灵活，移动速度快。桩架的移动只需驾驶员单独操作即可。适用于各种预制桩及灌注桩。

3. 动力装置

蒸汽锅炉，卷扬机

（三）打桩施工

A. 打桩前的准备工作

- 根据设计图纸、工程地质、水文情况、地形地貌、地下探测、试桩和施工条件等资料，确定打桩方案。包括：施工方法；需要机具；打桩顺序；施工平面布置；制作、运输和堆放；质量安全措施；劳动组织及材料、水电供应等。
- 清除地上地下的障碍物。
- 平整施工场地，设置排水沟，修建临时设施，安装施工水电设施。
- 定位放线。控制点应设在打桩影响范围外，水准点不少于 2 个。

B. 打桩顺序

为了减少打桩时由于对土体产生的挤压而影响已经打入桩的影响。桩距越小，挤压作用越大。

C. 打桩方法

就位

施打

送桩

接桩

D. 打桩质量控制

放线要求轴线误差 20mm 以内，单排桩轴线误差控制不大于 10mm，并要求经常复合。

打桩的质量包括定位偏差、贯入度、沉桩标高，以及桩的损坏程度。

桩的垂直度最大允许误差 1%。定位偏差一般 $1/2 \sim 1$ 个桩的直径或边长，具体应参考有关规定。桩的制作偏差控制也参见有关规定。

2.2.2 静力压桩、振动沉桩、射水沉桩

(一) 静力压桩

利用桩架的自重和压重，将桩压入土中。

(二) 振动沉桩

利用振动（冲击）沉桩锤，电力驱动偏心块，引起激振，通过刚性连接的的夹钳或桩帽，传到桩顶，克服桩体与周围土层间的摩擦力，并使底部土体松动，使桩沉入土中。

最宜于打钢板桩、钢管桩。宜用于砂土、塑性粘土、松软砂粘土、黄土和软土，不宜用于砾石、卵石夹砂和紧密粘土中。在软土地基中沉桩效率尤其高。在卷扬机的配合下，能拔钢板桩和钢管桩。施工操作安全方便。需有足够的电源和电气设备。但施工时有油烟排放的污染。

（三）射水沉桩

在沙土或碎石土层中进行打桩施工时，在桩尖部位喷射高压水流，增加打桩沉桩效率。

2.2.3 混凝土和钢筋混凝土灌注桩施工

直接在桩位上就地成孔，然后在孔内灌注混凝土或钢筋混凝土而成。

各种成孔灌注桩的区别主要在于成孔的方法不同，但是不同成孔方法的采用也是因为不同的土质和地下水条件，和一定的技术经济因素决定的。

灌注桩的成孔分类主要有泥浆护壁成孔、干作业成孔、套管成孔和爆扩成孔，它们的适用范围如下表：

序号	项目		适用范围
1	泥浆护壁成孔	冲抓冲击水文地质回转钻	碎石土、砂土、粘性土及风化岩
		潜水钻斗式钻	粘性土、淤泥、淤泥质土及砂土
2	干作业成孔	螺旋钻	地下水位以上的粘性土、砂土及人工填土
		钻孔扩底	地下水位以上的坚硬、硬塑的粘性土及中密以上的砂土
		机动洛阳铲（人工）	地下水位以上的粘性土、黄土及人工填土
3	套管成孔	锤击或振动	可塑、软塑、流塑的粘性土，稍密及松散的砂土
		旋入（Benote）	各种复杂土层
4	爆扩成孔		地下水位以上的粘性土、黄土、碎石土及风化岩

（一）干作业成孔灌注桩

适用于地下水位低，在成孔深度内无地下水的土质，无需护壁可直接取土成孔。常用螺旋钻机，或机动洛阳铲成孔。

广义地讲，钻孔灌注桩是以冲、抓、钻、挖等各种不同的方法，按设计要求的桩径与桩长在地层中成孔，然后灌注混凝土或钢筋混凝土而成的桩型。特点是施工无振动，无挤土作用。

钻孔灌注桩可以分为湿作业和干作业两种，湿作业要求泥浆护壁及浇筑水下混凝土。在此主要指干作业成孔。一般而言，干作业成孔时，以螺旋钻成孔较有代表性。

螺旋钻成孔是利用动力旋转钻杆，使钻杆的螺旋叶片前端的钻头旋转削土，被切的土块随钻头旋转，并沿螺旋叶片上升而被推出孔外。是干作业成孔的主要方法。

根据机架的不同，钻机的外形虽然可能有所区别，但钻进成孔的原理是相同

的。成孔直径一般 300 ~ 400mm，最大的也可达到 800mm。深度 8 ~ 12m。适用于地下水位以上的均质粘性土、砂土及人工填土，不宜用于地下水位以下的土层成孔作业及淤泥质土。

根据不同需要，可以采用锥式钻头（粘土）、平底钻头（松散土层）或耙式钻头（适用于穿透杂填土层，能碎砖）。

为提高单桩承载力，还能在非全螺旋的钻杆上安装可张开的扩孔刀片，在规定位置上扩孔，使形成葫芦桩。或在钻杆端部设扩孔装置。扩孔直径为桩身直径的 2.5 ~ 3.5 倍，最大可达 1.2m。扩底桩的单桩承载力比同直径桩大一倍以上。

（二）泥浆护壁成孔灌注桩

泥浆护壁成孔是用泥浆保护孔壁，防止坍塌和排出土渣而成孔。成孔机械通常有回转钻机、潜水钻机、冲击钻等。

（1）回转钻机成孔

回转钻成孔应用于地下水位以下土层进行成孔。

由于在地下水位以下作业，地下水的渗流易造成塌孔，因此需要泥浆护壁。在粘土中钻孔，可采用清水钻进，自造泥浆；在砂土中钻孔，则应注入用膨润土制备的泥浆。泥浆比重大于水，约 1.1 ~ 1.4，注入的泥浆较轻，排出的泥浆由于有较多的含泥沙量而比重较大。通过泥浆的循环将钻下的土带出孔。用泥浆泵将泥浆通过注浆管压入孔底钻头上方，将带渣泥浆压出到沉淀池，称为正循环排渣法。通过排渣管直接在钻头上方吸出带渣泥浆称为反循环排渣法。

钻孔时，一般均应埋设护筒。护筒的作用是固定桩孔位置，保护孔口，维持泥浆液面稳定，并兼有导向作用。护筒一般为钢或混凝土，内径约大于钻头直径 100mm。埋设深度视地下水位及泥浆液面高度而定（侧面开用 1 ~ 2 个溢浆口），粘性土中不少于 1m，砂性土不少于 1.5m，高出地面 300 ~ 400mm。

（2）潜水钻机成孔

潜水钻成孔与回转钻机成孔相似，特点是将电机、变速机构加以密封，并同底部钻头连接在一起，组成一个专用钻具，可潜入孔内水下作业。钻头一般采用笼式钻头，换用适用的钻头后，也可钻入岩层。通常钻孔直径 600 ~ 1500mm，常见 1250mm。钻孔深度可达 50m。

（3）冲击钻成孔

用冲锥式钻头，提升一定高度后利用重力势能破碎桩孔中岩土，用掏渣筒掏出碎渣。

（三）套管成孔灌注桩（沉管灌注桩）

沉管灌注桩是套管成孔的主要桩型。

沉管灌注桩是利用锤击打桩法或振动方法，将带有钢筋混凝土桩尖或活瓣式桩靴的钢管桩沉入土中，然后灌注混凝土或钢筋混凝土并拔管而成。采用振动沉

管时，称振动沉管灌注桩。采用锤击沉管时，称为锤击沉管灌注桩。锤击沉管灌注桩在深圳地区应用非常广泛。

（1）锤击灌注桩

施工时，钢管桩下套预制的钢筋混凝土桩尖，上端套上桩帽。桩尖应首先在桩位处预先放置，钢管及桩帽吊立就位后开始施打。遇到孤石、砂层等土中障碍时，沉管困难，这时应采用重锤低击的方式。收锤以贯入度和设计沉桩标高控制。沉管到位后即通过桩帽边的漏斗灌入混凝土。然后开始拔管，拔管速度不能过快，边拔边密频低锤振动，边继续灌入混凝土。同时探测混凝土下落扩散情况。到一定高度时吊放钢筋笼，然后继续灌入混凝土直至全管拔出为止。

锤击灌注桩的打桩顺序要特别注意避免由于挤土作业损坏附近尚未达到一定强度的桩体。因此规定桩距在 $5d$ 或 $2m$ 以内时，应跳打。达到 50% 强度后，才能进行中间桩位的插打。

为了提高桩的质量和承载能力，有时采用复打，形成扩大灌注桩。复打要求中心重合，并在第一次灌注的混凝土初凝前进行。

锤击灌注桩适用于一般粘性土、淤泥质土、砂土和人工填土地基。

（2）振动灌注桩

振动沉管时，采用活瓣桩靴。沉管过程中，桩靴的活瓣合拢避免过量泥浆或砂水漏入。拔管时活瓣张开，混凝土可流出。拔管和浇筑过程用反插法能使桩的截面增大，混凝土质量提高，提高承载力。

振动沉管灌注桩的中心距不宜小于桩管直径的 4 倍，相邻的桩施工时，其间隔时间不得超过水泥的初凝时间，中间需停顿时，应将桩管在停歇前先沉入土中。

振动沉管灌注桩适用于稍密及中密的碎石土地基。由于振动使土层受到扰动，会大大降低地基强度，因此，当在软粘土和淤泥质土地基施工时，土层最少养护一个月，砂层和硬土层需养护半个月，土层才能恢复强度。

振动灌注桩可采用单打法、反插法、复打法施工。

（3）套管成孔灌注桩易产生的质量问题及处理

- a) 断桩
- b) 缩颈
- c) 吊脚桩
- d) 桩靴进水进泥

（四）爆扩灌注桩

用洛阳铲或钢钎等工具，按设计要求深度先打导孔，直径在土质较好时为 $40 \sim 70mm$ 。土质较软、地下水位较高、容易从事缩颈时为 $100mm$ 。导孔上口挖成喇叭型，然后根据不同土质在孔中放入不同直径的条形药包，药包直径、炸药用量需经试爆或有关经验数据决定。每 $50 \sim 100cm$ 放一个电雷管。引爆后即形成直径为 $300 \sim 550mm$ 的爆扩桩孔。然后用同法于孔底放入药包，灌入第一次混凝土，再次

爆扩形成爆扩桩头。也可以在第一次爆扩成孔时在最下面增加药量，直接形成爆扩头。

形成爆扩头的方法也可应用于钻孔灌注桩的施工中。

爆扩桩成孔应注意，相邻爆扩桩的扩大头在同一标高时，当桩距大于等于扩大头直径的 1.5 倍时，可采用单爆方式。否则应采用联爆方式，并应增加第一次混凝土量。相邻爆扩桩的扩大头不在同一标高时，引爆顺序应先浅后深，否则会使相邻桩产生变形、弯曲、缩颈、断裂等现象。串联桩的爆扩与浇筑混凝土应逐段先下后上进行。

爆扩桩浇筑混凝土的要求与钻孔灌注桩类似。

6 混凝土浇筑

成孔后应当立即尽快吊入钢筋笼，并浇灌混凝土。在湿作业的情况下需要进行水下混凝土浇筑工艺。

干作业时，混凝土从吊挂的吊桶内注入，一般深度大于 6m 时，靠混凝土下冲力自身砸实，浅孔中应分层（0.5 ~ 0.6m）浇筑，用长杆插捣或振动器振动密实。混凝土的塌落度粘性土 5 ~ 7cm，砂土 7 ~ 9cm，黄土 6 ~ 9cm。混凝土不低于 C15。

湿作业时采用水下混凝土工艺，用混凝土导管伸入孔底压出混凝土，导管的混凝土出口始终低于水下混凝土面的 0.5m 左右，导管边上下振动边上提，边注入混凝土，同时将泥浆排挤出桩孔。混凝土最上面的 0.5m 将来需凿除。水下混凝土工艺具体在第三章中介绍。

2.3 地下连续墙施工

地下连续墙的特点：挡土、挡水、施工无振动、噪音低、适用性广，但成本高、施工技术要求高、需专用设备、泥浆易造成污染。

一 地下连续墙的施工过程

二 地下连续墙的施工工艺

2.4 沉井基础

见图 2 - 27~图 2 - 29。

2.5 墩基础（人工挖孔桩）

人工深挖桩孔，然后浇筑混凝土或钢筋混凝土形成灌注桩的施工工艺。在挖孔过程中，每挖一段，作一段护壁，然后循环往复进行，直至达到设计深度的持力层。其特点有：

1) 施工机具操作简单，占用施工场地小。不需大型机具，一般用锹、镐、钎、锤、

风镐等简单工具；

- 2) 对周围建筑物无影响，桩质量可靠；
- 3) 可全面开展，有利于缩短工期，造价较低；
- 4) 适用于土质较好，地下水较少的粘性土层，特别适用于黄土。可用于高层建筑、水工结构作桩基，作支承、抗滑、挡土之用。对软土、流砂、地下水位较高、涌水量大的土层不宜采用；
- 5) 施工中应特别注意安全措施，如通风、围栏、低压照明、等；
- 6) 当有可能产生流砂现象时，应采用适当的降水措施，使地下水位在桩孔底下 50cm 左右处；
- 7) 混凝土护圈的施工，应在挖出一定孔深后，当天支模并建筑混凝土。护圈一般每节 50 ~ 90cm 高，15 ~ 20cm 厚。为加强护圈的稳定性，在节间插以直钢筋；
- 8) 挖至岩层时，应立即钻探 4.5m，取样化验，确保桩底按设计要求准确座落于微风化层；
- 9) 桩孔底部可以人工扩孔，清除碎岩杂物后及时验收，尽快浇筑混凝土。

3 砌筑工程

3.1 砌砖施工

3.1.1 材料

普通粘土砖（烧结普通砖）和承重粘土空心砖：粘土经坯料制备，高温烧结而成。

普通粘土砖的强度等级有 MU30、MU25、MU20、MU15、MU10、MU7.5；

承重粘土空心砖的强度等级有 MU20、MU15、MU10、MU7.5。数字表示 5 块平均值最低要求。

蒸压灰砂砖：以石灰、砂为主要原料、经坯料制备、压制成型、蒸压养护而成。

强度等级有 MU20、MU15、MU10。

粉煤灰砖：以粉煤灰、石灰为主要原料，掺加适量石膏和骨料、经坯料制备、压制成型，高压或常压养护而成。强度等级有 MU15、MU10、MU7.5。

炉渣砖：以煤燃烧后的残渣为主要原料，加入适量的石灰和石膏，经原料加工。

混合料制备、砖坯成型和蒸汽养护而成。强度等级有 MU20、MU15、MU10。

普通标准砖规格：240 × 115 × 53

多孔砖规格：190 × 190 × 90

砌筑砂浆用水泥、石灰膏、砂、水按一定比例搅拌而成。强度等级有 M15、M10、M7.5、M5、M2.5、M1 和 M0.4。

3.1.2 脚手架及垂直运输

1 脚手架

a) 立杆式脚手架：竹木（绑扎）、钢管（扣件连接、承插式连接、螺栓连接）

组成：

立杆（立柱）：单立杆、双立杆

大横杆（纵向水平杆）

小横杆（横向水平杆）

剪刀撑（斜撑）

联墙杆（7m 以上且不设抛撑时）

抛撑

水平斜拉杆（与联墙杆同高度）

扫地杆（地面挖坑困难，或土质松软立杆埋深不够时）

顶撑（仅用于竹木脚手架）

脚手板

b) 门式脚手架

c) 悬吊脚手架

结构中预埋挂环或卡箍等挂置点，挂架的挂钩与挂置点挂接。可用于高层建筑外装修工程。

小型吊蓝：常用于局部外墙装修

d) 挑梁式脚手架

结构中预埋件支承型钢横梁和三角支承架。上设钢管立杆式脚手架。是高层建筑施工中较常采用的外脚手架方式。

桁架式工作台：主要用于工业厂房或框架结构建筑的围护墙砌筑

2 砌体工程垂直运输

砖的运输要防治破损，砂浆的运输要避免分层离析。

钢井架

附壁式升降机

混凝土提升机（斗）：黄架

龙门架

3.1.3 砖砌体施工工艺及质量

1 一般要求

品种、标号符合设计要求。

烧结砖砌筑前浇水湿润，凝结砖一般不浇水。

2 施工工艺

砖墙砌筑包括的工序：抄平、放线、摆砖、立皮数杆、挂水平准线、铺灰砌砖、勾缝，等。

3 质量要求

横平竖直

砂浆饱满：灰缝的饱满度 $\geq 80\%$ ；灰缝厚度 $10 \pm 2\text{mm}$

组砌得当：错缝，顺丁砌法

接搓可靠：斜搓、直搓 + 拉结筋

3.1.4 砖砌体冬季施工

（略）

3.2 石砌体施工

3.2.1 材料

毛石：可分乱毛石和平毛石。

料石：料石是经人工加工成规则形状的石料。根据加工面的平整程度分为细料石、半细料石、粗料石和毛料石。

石料密度不大于 1800kg/m^3 者为轻石，否则称重石。

石料的强度等级有：MU100、MU80、MU70、MU60、MU50、MU40、MU30、MU20、MU15。

3.2.2 施工工艺

1 毛石基础施工

材料新鲜、坚硬、无裂纹，块径 $200 \sim 400\text{mm}$ ，M2.5 或 M5 纯水泥砂浆砌筑。

首批座浆，大面超下。二层以上可铺砌，错缝卧砌，大小搭配，厚度方向要拉结。

2 石墙施工

砌筑，勾缝

3 挡土墙

特点：分层找平，丁顺相间，控制墙面灰缝；收坡并留泄水孔

3.2.3 石砌体的质量标准

见表 3.3 ~ 3.4

3.3 中小型砌块施工

3.3.1 材料

粉煤灰硅酸盐密实中型砌块（简称粉煤灰砌块）：以粉煤灰、石灰、石膏等为胶凝材料，煤渣或高炉矿渣、砂石或人造轻骨料等为骨料，按一定比例配合，加水搅拌成型、蒸汽养护而成。强度等级有 MU15 和 MU10。长度最大为 1180，最大厚度 240，高 380。

普通混凝土空心中型砌块（简称混凝土空心中型砌块）：以普通混凝土为原料，机械成型、养护而成的薄壁空心墙体构件。其混凝土材料强度等级有 C25、C20、C15 和 C10。规格和形状根据具体条件确定。长度最大可达 2000 多，最大高度 800 左右，厚度常见 180 或 200。

废渣混凝土空心中型砌块：利用工业废渣（煤矸石、粉煤灰、炉渣）为作为骨料，配合一定的石灰、石膏混合磨细作为胶凝材料，经搅拌成型和养护而成。其使用条件除强度根据相应的数据和试验资料外，其它可结合当地实践经验，参照混凝土空心中型砌块有关规定。根据废渣的不同，有煤矸石混凝土空心中型砌块、粉煤灰硅酸盐空心中型砌块和沸腾炉渣混凝土空心中型

砌块。

普通混凝土空心小型砌块：工艺与混凝土空心中型砌块相同。规格最大长度 390，高度宽均为 190。承重砌块分为 MU10、MU7.5、MU5 和 MU3.5 四个强度等级。

3.3.2 砌块施工工艺

1 中小型砌块的规格和砌块的排列

砌块墙吊装砌筑前应绘制砌块排列图，指导吊装砌筑施工和准备砌块。排列时应避免通缝，错缝搭接长度不少于块高的 $1/3$ 及 150mm，搭接不足时在水平灰缝内设钢筋网片。通常用钢锯切割砌块。灰缝一般比砖砌灰缝厚。

2 中小型砌块墙的安装砌筑

砌块吊装砌筑的主要工序：铺灰、砌块吊装就位、校正、灌缝、镶砖。

3 砌块砌体质量要求

见表 3.5

3.4 拱桥砌体施工

（略）

4 混凝土结构工程

4.1 混凝土结构工程概述

混凝土结构工程是指按设计要求将钢筋和混凝土两种材料，利用模板浇筑而成的各种形状和大小的构件或结构。混凝土是由胶结料、骨料、水和外加剂按一定比例拌合而成的混合物，经硬化后所形成的人造石。素混凝土属于脆性合成材料，与钢筋共同工作后，称为钢筋混凝土。钢筋混凝土在适当设计的前提下，具有很好的结构工作性能。

钢筋混凝土工程在建筑施工中，一般属于主体施工的范围，它通常需要最大量的人力和材料资源，施工期在全部工期中所占比例也很大。因此无论在人力、物力和对工期的影响方面都占有非常重要的影响。

钢筋混凝土工程包括钢筋工程、模板工程、混凝土工程，对不同的环境和工艺，它们又各自有不同的特点。与一般的现浇钢筋混凝土工艺相比，如预应力工艺、高层泵送混凝土、爬升大模板等，都是在特定要求下的特定工艺和技术。与钢筋混凝土工程有关的新技术比较丰富，且发展较快。

4.2 钢筋工程

4.2.1 钢筋的种类和性能

钢筋混凝土工程中常用的钢材种类：钢筋和钢丝

钢筋：低碳钢（Q235）、普通低合金钢（Mn, Ti, V）。如：II 级的 20MnSi, 20MnNB；III 级的 25MnSi；IV 级的 40Si₂MnV, 45SiMnV, 45Si₂MnTi 等。

钢筋分为 I~V 级，其中 I~IV 为热轧钢筋，V 级钢筋还需经过特殊的热处理，现称为热处理钢筋。一般工程中通常用的钢筋为 I~II 级钢筋。I 级钢筋又称光圆钢筋，II 级以上有螺纹或人字纹。I 级钢筋最细为 6，II、III 级钢筋最细为 8，IV 级钢筋最细为 10。10 以下的 I 级钢筋以圆盘交付。以直条交付的钢筋最长 12m。

钢丝：有刻痕钢丝、碳素钢丝和冷拔低碳钢丝三种，冷拔低碳钢丝又分为甲级和乙级，甲级可用于预应力工程。直径 3~5mm，以圆盘交付。

钢筋的力学性能：主要包括，屈服强度、抗拉强度、伸长率、冷弯性、可焊性等指标。

钢筋的加工的方式：主要包括，冷拉、冷拔、调直、剪切、墩头、弯曲、焊接、绑扎等。此主要介绍钢筋的冷拉、冷拔等车间冷加工及钢筋连接。

4.2.2 钢筋的冷加工

（一）钢筋冷拉

钢筋冷拉，是在常温下对钢筋进行拉伸，拉应力超过钢筋的屈服强度，产生塑性变形，以提高强度，调直钢筋。冷拉可以应用于 I~IV 级钢筋，冷拉钢筋的标识是在其直径符号上标注 L 字符的上标。

1 冷拉原理

钢筋拉伸试验的应力应变曲线见图 3-1。

冷拉过程	拉应力超过屈服强度一定程度后释放拉力
变形硬化	冷拉后立即再拉的应力应变关系表现出屈服点提高，但塑性减少
时效作用	冷拉后，经过一定时间，应力应变关系表现出屈服点进一步提高。完成时效所需的时间根据钢筋种类和温度有关。I、II 级钢筋常温下的需 15~20 天（自然时效），增加温度可显著缩短时效完成时间。

2 冷拉控制

冷拉的实施通过冷拉应力或冷拉率进行控制，但是对预应力钢筋或生产批次不清楚的热轧钢筋，应采取冷拉应力控制。无论是冷拉应力或冷拉率控制，都对

该两个指标有所要求，区别只是以冷拉应力控制为主，或以冷拉率控制为主。

冷拉应力控制 在控制冷拉应力的同时，冷拉率不应超过相应的规定数值，否则说明钢筋的屈服点过低或塑性发展太快，材质不良，对结构不利。

钢筋冷拉应力控制参数

钢筋级别		冷拉控制应力(N/mm^2)	最大冷拉率 (%)
I 级钢筋 $d \leq 12$		280	10.0
II 级	$d \leq 25$	450	5.5
	$d = 28 \sim 40$	430	
III 级 $d = 8 \sim 40$		500	5.0
IV 级 $d = 10 \sim 28$		700	4.0

冷拉率控制 是通过冷拉率间接控制冷拉应力，因此冷拉率的控制值应由试验确定，实测 4 个以上试件。考虑到按冷拉率控制的冷拉过程达到的冷拉应力的概率分布，为了达到 95% 的保证率，测定冷拉率控制下的与标定冷拉率对应的冷拉应力，大于冷拉应力控制下的冷拉应力。

钢筋冷拉率测定控制参数

钢筋级别		冷拉应力 (N/mm^2)
I 级钢筋 $d \leq 12$		320
II 级	$d \leq 25$	480
	$d = 28 \sim 40$	460
III 级 $d = 8 \sim 40$		530
IV 级 $d = 10 \sim 28$		730

注：按表中应力测定的平均冷拉率低于 1% 时（屈服强度偏高），工程中仍应按 1% 进行冷拉。

3 冷拉设备

一般采用卷扬机结合滑轮组，或长冲程液压千斤顶作冷拉加力设备，后者是近年开始有所采用的方法。见图 4 - 3。

- 1) 卷扬机与滑轮组或长冲程液压千斤顶
- 2) 钢筋夹具：楔块式，月牙式、偏心式、槽式
- 3) 测力器：弹簧测力器，液压千斤顶，电子拉力传感器加电子秤
- 4) 地锚（适用于施工现场进行卷扬机冷拉）或台座（适用于构件厂车间冷拉）

（二）钢筋冷拔

冷拔是使直径 10mm 以下的 I 级低碳钢筋通过拔丝模进行强制拔细，冷拔后的钢丝称冷拔低碳钢丝。冷拔钢丝的标识是在其直径符号上标注 b 字符的上标。根据冷拔后钢丝的力学性能分为甲级和乙级，分别用于预应力钢筋（丝），或焊接钢筋网、焊接骨架、箍筋、构造钢筋等。

冷拔低碳钢丝的性能

钢丝级别	直径 (mm)	抗拉强度 f_u (N/mm ²)		伸长率 δ_{100} (%)	反复弯曲 (180°) 次数
		I 组	II 组		
		不 小 于			
甲级	5	650	600	3	4
	4	700	650	2.5	4
乙级	3~5	550		2	4

主要冷拔设备：

- 1 拔丝机
- 2 拔丝模
- 3 剥壳装置：剥除氧化铁层

4.2.3 钢筋焊接

钢筋的连接方法：绑扎，焊接，冷压，螺旋连接。

焊接的优点：连接性能好，效率高，经济性好。应优先采用。从原理上分为压焊（如：闪光对焊、电阻点焊、气压焊）和熔焊（如：电弧焊、电渣压力焊、埋弧压力焊）。

钢材的可焊性，包括：

工艺可焊性 焊接性能，指在一定焊接工艺条件下焊接接头中出现各种裂纹等工艺缺陷的敏感性及可能性。

使用可焊性 是指在一定焊接条件下焊接接头对使用要求的适应性，以及影响使用可靠性的程度。

钢材可焊性用碳当量来估计

$$C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15 \quad (\%)$$

或简化 $C_{eq} = C + Mn/6 \quad (\%)$

$C_{eq} < 0.4\%$ 时，钢材的淬硬倾向不大，焊接性能优良

$C_{eq} = 0.4 \sim 0.6\%$ ，钢材的淬硬倾向增大，焊接性能较差

$C_{eq} > 0.6\%$ ，钢材的淬硬倾向强，焊接性能差（难焊）

热轧钢筋的碳当量

级别	钢号	Ceq (%)	可焊性
I	Q235	0.21 ~ 0.33	焊接性能良好。
II	20MnSi	0.37 ~ 0.52	焊接性能较差，焊接时需采取预热、控制焊接规范等工艺措施。
	20MnTi	0.37 ~ 0.52	
	21MnV(N)	0.39 ~ 0.51	
III	25MnSi	0.40 ~ 0.57	一般不允许采用电弧焊；如采用闪光对焊，需采用较高的预热温度、焊后热处理和严格的工艺措施。
IV	40Si2MnV	0.48 ~ 0.63	
	45SiMnV	0.57 ~ 0.75	
	45SiMnTi	0.53 ~ 0.68	

1. 闪光对焊

1) 原理和概念

原理：利用对焊机在低电压强电流下使两段钢筋接触通电，电流在钢筋端头间做功对钢筋加热达到一定温度，进行加压顶锻使钢筋端头连接在一起。

闪光：接电情况下，钢筋端部接触面较小，电流密度大而加热区域集中，造成金属高温熔化并产生金属蒸汽飞溅，形成闪光现象。刚接触时闪光最显著。

预热：使接头反复闭合和断开，形成断续闪光，使钢筋加热。

顶锻：在钢筋接头充分加热并已经过闪光闪去不平整及装置部分后，使用大力将钢筋端头锻压在一起，高温高压下，钢分子互相渗入对方而连接。分为有电顶锻和无电顶锻。

2) 焊接工艺

连续闪光焊 宜用于直径较小的 I~III 级钢筋，钢筋直径不超过 25。

预热闪光焊 预热使钢筋接头部分有较多的热扩散区，一定程度上可减少热影响不均匀性及热淬现象。适用于钢筋直径较大的对焊。

闪光 预热 - 闪光焊 适用于钢筋端部不平整的大直径钢筋对焊。

IV 钢筋这样的高强度等级的钢筋，由于有较强的热淬倾向和较差的可焊性，应加大夹钳间通电部分的热量扩散区，加大电流，并在对焊完成、稍冷却后作脉冲式通电热处理，进行高温回火，使接头区热应力较少或消除，顶锻处钢结晶分布优化。

烧化留量 为闪光过程中烧化的钢筋而预留的长度，因此有一次烧化留量和二次烧化留量之分。

预热留量 为预热（反复间歇闪光）过程中烧化的钢筋而预留的长度。

顶锻留量 为顶锻过程锻压而预留的长度。

3) 焊接设备

闪光焊机，起夹紧钢筋并对齐，提供电流，进行顶锻的专用设备。分手动和自动两种。功率 75 ~ 150KW。

4) 焊接参数

包括：调伸长度，闪光留量（烧化留量），顶锻留量，顶锻速度，顶锻压力，变压器级数，预热留量、预热频率等。

5) 注意事项

- a. 应进行焊接接头的力学性能试验，拉伸和冷弯。同一班次，同一焊工按同一套焊接措施完成的每 200 个接头为一批，取拉伸和冷弯试样各 1 组，每组 3 个。调换焊工时应进行试焊，试验合格后才能成批焊接。外观焊接质量的检查率为 10%。
- b. 焊接场地应有防风防雨措施，以免接头过快冷却发生脆裂。
- c. 由于一般焊机的功率限制，经验证明最大焊接钢筋直径为 35mm。更大直径的钢筋（38 和 40）连接需要用其它方法，如冷压，螺旋连接等。

2. 电阻点焊

1) 基本原理

原理：横向尺寸较小的钢丝、钢筋或钢板需横向焊接时，利用点焊机的两个电极对被焊物件进行夹紧并横向通电，产生强大的电流加热焊接电极之间的焊接对象局部范围，使其熔化，相互压入，冷却后重新结晶连接。

2) 焊接工艺

包括预压、加热熔化、冷却结晶三个阶段。加热熔化阶段包括两个过程：在通电开始一段时间内，接触点扩大，金属因加热而膨胀，在焊接压力的作用下，焊接处金属出现塑性变形，并挤向工件间缝隙中；继续加热后，开始出现熔化点，并逐渐扩大成所需要的核心时切断电流。点焊压入尺寸一般为较小焊接横向尺寸的 30 ~ 45%。主要用于钢筋网和钢筋骨架的制作焊接等场合。

3) 焊接设备

点焊机，分单点或多点；可以由电动或气压传动进行预压。

4) 焊接参数

根据焊接钢筋的直径、等级及焊机性能，合理选择焊机变压器级数、焊接通电时间和电极压力。此外，在焊接过程中应保持一定的预压时间和锻压时间。

5) 质量检验

同一类型的制品，每 200 个同类接头为一批，取试样 1 组，每组 3 个。热轧钢筋焊点作抗剪试验一组，冷拔钢丝加试一组抗拉试验。外观焊接质量的检查一般按同一类型每批检查 5%，梁、柱、桁架等重要构件为 10%。

3. 电弧焊

1) 基本原理

原理：利用电弧焊机（俗称电焊机）使焊条与焊件之间产生高温电弧，使焊条和电弧燃烧范围内的焊件溶化，凝固后形成焊缝或接头。

〔 另：埋弧焊的原理与电弧焊相似，有半自动焊机和自动焊机两种。焊丝与焊剂分离交付。埋弧焊一般用于钢结构板件之间的焊接 〕

2) 接头形式

搭接焊，帮条焊，坡口焊

3) 焊接设备

弧焊机，弧焊机有交流和直流之分，常用交流弧焊机。

交流电焊机（型号 BX 系列） 结构简单，价格低廉，维护方便。功率 20 ~ 42KW

直流电焊机（型号 AX 系列） 电流稳定，焊接质量高。功率 14 ~ 26KW

电弧焊接时使用焊条规定 ($\sigma_{u,min}$ kgf/mm²)

项次	焊接形式	钢筋级别		
		I 级钢筋	II 级钢筋	III 级钢筋
1	搭接焊、帮条焊	E43 × ×	E50 × ×	E50 × × E55 × ×
2	坡口焊	E43 × ×	E55 × ×	E55 × × E50 × ×

4) 质量检验

应进行焊接接头的力学性能试验。每层楼 300 个接头为一批，取试样 1 组，每组 3 个，进行拉伸试验。外观焊接质量的检查率为 100%。

4. 电渣压力焊

1) 基本原理

原理：利用电流通过渣池产生的电阻热将钢筋端部熔化，然后施加压力使钢筋焊合。此种焊接方法比电弧焊容易掌握，工效高，成本低，工作条件好，宜用于现浇钢筋混凝土结构中的竖向钢筋的现场焊接。

2) 焊接工艺

包括引弧、电弧、电渣和顶压过程，可分为手动和自动两种。

手工电渣压力焊：采用直接引弧法：先将上钢筋与下钢筋接触，通电后，将上钢筋提升 2~4mm 引弧，令电弧继续稳定燃烧，随着钢筋的熔化，上钢筋逐渐插入渣池中，电弧熄灭，转为电渣过程，焊接电流通过渣池而产生大量的电阻热，使钢筋端部继续熔化，到一定程度后，在断电的同时，迅速进行顶压，持续几秒钟后松开操纵杆。焊剂采用 431 焊药。

自动电渣压力焊：采用铁丝圈引弧法，铁丝圈高 10~12mm，焊接过程自动控制。

3) 焊接设备

手工电渣压力焊设备包括：焊接电源（通常为 BX₂-1000 交流焊机）、控制箱、焊接夹具和焊剂盒。

自动电渣压力焊设备增加了一套焊接机头（包括电动机、减速箱、凸轮、提升杆等）装置。

4) 焊接参数

包括：渣池电压、焊接电流、焊接通电时间等。

5) 质量检验

现浇结构中，每一楼层每 300 个同类接头为一批，取试样 1 组，每组 3 个，进行拉伸试验。外观焊接质量的检查率为 100%。

5. 气压焊

1) 基本原理

原理：用氧-乙炔火焰对钢筋端部加热到塑性状态，并施加一定的压力使两根钢筋焊合。设备简单，操作方便、质量好，成本低，适用于各种位置的钢筋焊接；但对焊工要求较高，焊接前对钢筋端面处理要求高。

2) 焊接工艺

钢筋端面应用砂轮锯下料，端面要平整见新，端面附近 50~100mm 范围内保持无污染、铁锈。端面处理后用卡具将钢筋对正夹紧。焊接过程包括预压、加热和压接过程。

3) 焊接设备

气压焊设备包括：氧、乙炔供气设备、加热器（多火口烤枪）、加压器（脚踏液压泵、油管、油缸）和钢筋夹具等。

4) 焊接参数

包括：加热温度、火焰功率与性质、挤压力等。

5) 质量检验

一般结构施工中，每 200 个同类接头为一批，取试样 1 组，每组 3 个，进行拉伸试验。外观焊接质量的检查率为 100%。

4.2.4 钢筋机械连接

钢筋机械连接包括挤压连接和锥螺纹套管连接。

1. 钢筋挤压连接（套筒冷压连接）

适用于变形钢筋，一般用于大直径钢筋连接。利用液压驱动的挤压机使特制的钢套筒产生横向塑性变形，与钢筋紧密咬合。

2. 钢筋锥螺纹套管连接

钢套筒内用专用机床加工锥形内螺纹，钢筋段部加工锥形外螺纹，用扭矩扳手拧紧。

4.2.5 钢筋的配料及加工

1 钢筋配料

对钢筋的种类、数量、下料长度等进行统计，为钢筋加工进行准备。下料长度中应考虑钢筋勾头和弯曲加工的影响。对需要钢筋代换的，需根据设计准则计算决定，并经设计人确认。

2 钢筋加工

调直、除锈、切断、弯曲

3 钢筋绑扎和安装

焊接或现场绑扎。焊接连接或绑扎连接的钢筋在同截面中的数量应符合施工规范的限制要求。钢筋的安装时，保护层用砂浆垫块绑扎在钢筋上，置于钢筋和模板之间。

4.3 模板工程

模板工程，是混凝土成型施工中的一个十分重要的组成部分。模板工程的费用往往超过混凝土的费用，甚至超过混凝土和钢筋费用的总和。因此，设计混凝土结构的模板工程时，充分考虑模板工程的技术经济综合指标。

模板系统的组成：模板、支撑、紧固件

模板的技术经济要求：

- 保证工程结构和构件各部分形状、尺寸和相互位置的准确；
- 具有足够的强度、刚度和稳定性，能可靠地承受施工过程中产生的荷载；
- 构造简单、装拆方便，便于钢筋的绑扎与安装，和混凝土的浇筑及养护等工艺要求；
- 接缝严密不漏浆；
- 因地制宜，就地取材，周转次数多，损耗少，成本低。

4.3.1 定型模板和工具式支模

模板的种类：

按模板型式不同，分：整体式模板、定型模板、工具式模板、翻转模板、滑动模板、胎模等。

按材料不同，分：木模板、竹编压模模板、钢木模板、钢模板、铝合金模板、塑料模板、玻璃钢模板等。

1 定型模板

按一定模数预制的工具式模板，具通用性，根据工程构件尺寸组合拼装灵活使用。局部可与木模板配合。

(1) 钢定型模板

工具式模板，由板块、角模、支撑和连接件组成。

轻便灵活、拆装方便、板块小。

板块：

面板：2.3、2.5 或 2.8mm 厚钢板

肋：55×3mm 截面的扁钢

制作：轧制或焊接

板块模数：长度 1500, 1200, 900, 750, 600, 450mm；宽度 300, 250, 200, 150, 100mm，不足模数的用木材补缺。

安装连接：板块边框有固定间距的连接孔，用特定的连接件连接。

板块代号：P××××

角模：

用于角部混凝土的模板过渡或模板连接，代号为 Y、E 或 J

(2) 钢木定型模板

板块由钢框和可更换的木胶合板或竹胶合板组成，与组合钢模板有相同模数。最大长度 2400mm，最大宽度 1200mm。重量更轻，表面光滑。连接件与钢模板通

用。

2 工具式支模

常见支承件：支撑桁架、钢管顶撑、工具式柱箍、 型卡具

4.3.2 现浇结构中常见的模板

尽管从环保的意义考虑，国家推行定型组合钢模板，但目前木模板仍然是广泛采用的模板材料之一，尤其是当在小型工程中应用时，较多采用木模板。

木模板传统采用实木板条在专门加工场地拼成模板拼板（用木拼条连接），作为基本单元，然后再在现场组装应用。为保证模板干缩时缝隙均匀，板条宽度限制不超过 200mm，但梁底模板宽度没有限制。

目前，木模板中较广泛地采用了防水多层胶合木模板，模板宽度不受限制。

1 基础模板

阶梯型独立基础模板：

在混凝土垫层上支模，第一阶（下阶）侧板通过撑木支承于木桩或稳固的土壁上。第二阶（上阶）侧板通过轿杠木支承于第一阶侧板上。对有杯口的基础，用轿杠木将杯芯模板支承于第二阶侧板上。

条形基础模板：

第一阶在土质较好时可利用原土削平，不支立模板；土质不好，则可将侧模支承于基槽边的土壁上。上阶利用基槽采用吊模板。也有分作上下两截施工的，节约了木料与木工，但对有钢筋混凝土梁的，因增加了一条施工缝，不宜采用。

2 柱模板

一般用两块相对的长柱头板夹在另两块柱头板之间拼成，或用两块柱头板加两面门子板（交叉出头，便于拆卸及工人攀爬）。也有利用短料横板加长枋木作为柱头板的方法。

为了防止混凝土侧压力造成柱模爆裂（爆模），在柱模外面每隔 500～1000 加柱箍，通常柱模下部侧压较大而柱箍可较密。

柱模下端应设底部木框（小方盘），钉在底部混凝土上，用以固定柱位。柱模下端应设检查清理孔，预备盖板在浇混凝土前清理后封盖固定。对柱子较高的情况，如果没有适当的混凝土下料斗而避免混凝土离析的手段，应考虑柱模板侧面每隔 2m 开设浇筑孔，其作法与清理口类似。

圆柱木模板用竖直狭条模板和圆弧档做成两个半片组成，直径较大的可做成三片以上。圆柱钢模一般用薄钢板加角钢圆弧档做成。

3 梁模板

梁模板由底板加两侧板组成，一般有矩形梁、T型梁、花篮梁及圈梁等模板。梁底均有支撑系统，采用支柱（琵琶撑）或桁架支模。

矩形梁、T型梁：侧模的侧压力主要通过斜撑支撑在琵琶撑的横梁上。下面纵向有夹条。

花篮梁：与T型梁模板的主要区别在于在设计时要考虑其承载能力，使能承载预制楼板重量、混凝土重量和施工荷载。

深梁：梁高造700mm以上，单用斜撑及夹条不能支承混凝土侧压力。因此，常在梁的中部用铁丝穿过横档对拉，或用螺栓将两侧模板拉紧（对拉螺栓），防止模板下口向外爆裂及中部膨胀（胀模）。对深梁，可先绑扎梁的钢筋，后封梁的侧模板。

圈梁：用墙的砌筑面作为底模。侧模的支撑采用“挑扁担法”或“倒卡法”（用钢卡具或木制卡具 梁托板倒转）。

4 板模板

（1）有梁楼板模板

一般支模方法：

搭设支架（满堂撑 琵琶撑、钢管支架、门架系统等）；

铺设梁底模；

（梁较大时，绑扎梁钢筋）

安装梁侧模（侧包底）；

支撑上架设搁栅，铺设楼板模板。

有关名词：楼板模板、梁侧模板、搁栅、横档、牵杠、夹条、短木撑、牵杠撑、支柱（琵琶撑）

井字梁较密时，可采用双层模板法 梁底满铺、绑扎梁钢筋、安装开口盒胎模。

（2）无梁楼板模板

无梁楼板模板应用于无梁楼板体系。无梁楼板模板的铺板、搁栅、牵杠与支架等有梁楼板模板相同。柱帽为截锥体（方形或圆形），柱帽模板的下口牢固地与柱模板相接，上口与楼板模板镶平接牢。

5 墙体模板

墙体模板一般由侧板、立档、横档、斜撑、水平撑、撑木垫板、木桩等组成。

为了保持墙的厚度，墙板内加撑头或对拉螺栓，防水混凝土则加有止水板的对拉螺栓。

6 楼梯模板

- I 架设楼梯梁及梯板底模（方法与有梁楼板模板方法类似，但斜板下支架加强用牵杠拉结）；
- I （绑扎钢筋）
- I 安装外帮侧板及其短木立档和斜撑；
- I 安装踏步侧板及斜搭头木。有的设置反扶梯基、吊木及其斜撑，以固定踏步侧板。

4.3.3 模板安装质量要求

见表 4.26 和表 4.27。

4.3.4 模板设计

1 荷载

1) 模板及支架自重

2) 混凝土重量

估计， $24 \sim 25 \text{KN/m}^3$ 。

3) 钢筋重量

估计，楼板 1.1KN/m^3 ，梁 1.5KN/m^3 。

4) 施工人员设备重量

计算模板及其支承小楞：分布荷载 2.5KN/m^2 或集中荷载 2.5KN

计算支承小楞的支承构件：分布荷载 1.5KN/m^2

计算支架立柱及其它支承构件：分布荷载 1.0KN/m^2

5) 振捣荷载

对水平面模板： 2.0KN/m^2

对垂直面模板： 4.0KN/m^2

6) 新浇筑混凝土侧压力

与很多因素有关。如混凝土的配合比、混凝土浇筑速度、混凝土温度、振捣方式、构件厚度等。

$$P = \gamma H$$

$$P = 0.22 \gamma t_0 K_1 K_2 V^{1/2}$$

其中：

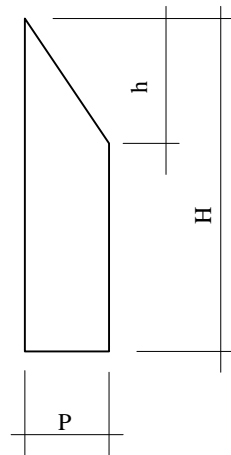
γ 混凝土的重力密度，取 $24 \sim 25 \text{KN/m}^3$

t_0 新混凝土的初凝时间，按实测确定

V —— 混凝土浇筑速度 m/h

K_1 —— 外加剂影响修正系数，有缓凝剂为 1.2

K_2 —— 塌落度影响修正系数， $<30\text{mm}$, 0.85; $50 \sim 90\text{mm}$, 1.0; $110 \sim 150$, 1.15



混凝土侧压力的计算分布图形为梯形。

7) 倾倒混凝土时产生的荷载

8) 风荷载

按荷载规范取值。抗倾覆稳定验算的安全系数取不小于 1.15。

以上荷载并不可能都同时达到最大值，因此可按表 4.30 和表 4.31 对各荷载计算的内力进行组合。

2 计算规定

强度计算时，考虑安全等级为第三级（相当于强度取值提高 10%）。

刚度计算时，允许的变形值：

结构表面外露构件的模板 1 / 400

结构表面隐蔽构件的模板 1 / 250

支架变形 1 / 1000

4.3.5 模板的拆除

拆模时间混凝土应达到的标准强度百分率 50%~100%(底模)，表 4.32

估计式： $\% = \log D / \log 28$

4.3.6 大模板

在墙体规格一致性较好的情况下，为了提高模板工程的效率和工业化程度，采用的大规模工具式墙模板系统，经常应用于高层建筑的剪力墙和筒体墙的现浇施工。

一块大模板由面板、加劲肋、竖楞、支撑桁架、稳定机构组成，见图 3 - 20。

面板要求平整、刚度好。平整度按抹灰质量要求，可用钢板或胶合板，需根据加劲肋的布置进行计算。

加劲肋是面板的支承，可单向布置（水平向）或双向布置，用角钢或槽钢，按连续梁计算。

竖楞（竖肋）承受来自加劲肋的水平力，同时也是穿墙螺栓的固定支点，用双槽钢做成。

支撑桁架通过螺栓与竖楞相连。支撑桁架可以三角形或平行弦式。竖楞上部设操作平台，通过平台架支承在竖楞上（可与支撑桁架成为一体）。支撑桁架与操作平台可以拆卸，使模板可以重叠平放，便于运输。

在墙角，通常采用小角模连接两块大模板（图 3 - 19），有时也用大角模。

对外墙的外模，常将外模支承在固定于下层外墙（预留固定用孔洞）的支撑架上。或采用悬挑结构，将外模通过悬挑横梁支承于内墙模板上端。

大模板之间仍采用穿墙螺栓拉结，面板须涂覆脱模剂，如废机油等。

4.4 混凝土工程

混凝土是以胶凝材料、水、粗骨料、细骨料，必要时掺入化学外加剂和矿物质混合材料，按适当比例配合，经过均匀搅拌、密实成形及养护硬化而成的人工石材。混凝土可按以下进行分类：

按胶凝材料分：

无机胶凝材料混凝土，如水泥混凝土、石膏混凝土、水玻璃混凝土等；
有机胶凝材料混凝土，如沥青混凝土、聚合物混凝土等。

按质量密度分：

特重混凝土（质量密度 2700 kg/m^3 以上，含有重骨料如钢屑、重晶石等）；
普通混凝土（质量密度 $1900 \sim 2500 \text{ kg/m}^3$ ，以普通砂石为骨料）；
轻混凝土（质量密度 $1000 \sim 1900 \text{ kg/m}^3$ ）；
特轻混凝土（质量密度小于 1000 kg/m^3 ，如泡沫混凝土、加气混凝土等）。

混凝土按使用功能分：

结构混凝土	保温混凝土	耐酸混凝土	耐碱混凝土
耐硫酸盐混凝土	耐热混凝土	防水混凝土	水工混凝土
海洋混凝土	防辐射混凝土	等	

混凝土按施工工艺分：

普通浇筑混凝土 离心成型混凝土 喷射混凝土 泵送混凝土 等

混凝土按配筋情况分：

素混凝土	钢筋混凝土	劲性钢筋混凝土	钢丝网水泥
纤维混凝土	预应力混凝土	等	

混凝土按拌和料的流动度分：

干硬性混凝土	半干硬性混凝土	塑性混凝土	流动性混凝土
大流动性混凝土 等			

一般工业与民用建筑中采用以无机胶凝材料水泥为主的混凝土工程。

混凝土工程包括配料、搅拌、运输、浇筑、养护等过程。

混凝土工程质量要求：外形、强度、密实性、整体性。

4.4.1 混凝土的原材料

水泥混凝土的原材料：水泥、砂（细骨料）、石（粗骨料）、水、外加剂（防水剂、减水剂、缓凝剂、速凝剂、早强剂、抗冻剂、加气发泡剂，等）、外掺料（粉煤灰，等）。

1. 水泥

水泥的性能：强度、早期强度、凝结时间、水化热、安定性、抗侵蚀，等。

2. 砂

砂的性能指标：细度模数、孔隙率、坚固性、有害杂质含量（泥、云母、硫酸根离子、氯离子、有机物，等）。

3. 石

碎石或卵石。石子的性能指标：外形、级配、最大粒径、有害杂质。

4. 水

限制不利水泥的化学物理性能的杂质。

5. 外加剂

常用的外加剂：

- 1) 减水剂：增加水泥及骨料颗粒表面活性
- 2) 早强剂：加速硬化过程，提高早期强度。可能含有害酸根离子
- 3) 速凝剂：成形后快速凝结并获得初期强度。
- 4) 缓凝剂：增加混凝土运输、浇筑过程的初凝前可作业时间。
- 5) 加气剂：产生微气泡，提高和易性、抗冻、抗渗性能。常见铝粉
- 6) 防水剂：增加混凝土的密实性
- 7) 抗冻剂：保持水泥在 0° 以下的凝结硬化性能。

4.4.2 混凝土的和易性和强度

1 混凝土的和易性——施工作业中的物理性质

包括三个方面：流动性、粘聚性、保水性

和易性的现场判断：塌落度

2 混凝土的强度——施工作业后的物理性质

混凝土抗压强度：标准试验 150mm 立方试块，标准养护条件下（ $20 \pm 3^{\circ}$ ，相对湿度 90%）28 天抗压试验强度。

混凝土强度的影响因素：骨料、水泥标号、水灰比、作业过程、龄期、养护条件。

3 混凝土的其它性质——使用过程中的适用性能和耐久性能

抗渗性、抗冻性、耐热性、胀缩性

4.4.3 混凝土施工配料

1 施工配合比的换算

混凝土的配制表现在其配合比。混凝土的配合比是指在配制混凝土时的水、水泥、细骨料、粗骨料、和添加剂的相对比例。

混凝土的施工配合比，应保证结构设计对混凝土强度等级要求，及施工对混凝土和易性的要求。必要时，还应符合抗冻性、抗渗性等要求。在此前提下，应减少水泥的用量。

在理论配合比的基础上考虑粗细骨料中的含水修正施工中的配合比。施工配合比需根据情况的改变经常进行调整。

2 施工配料

根据施工配合比，确定每盘搅拌作业的配料数量。

3 混凝土施工配制强度

为了达到 95% 的保证率（强度标准值），混凝土的配制强度（即配制强度目标值）应按下式计算：

$$f_{cu,o} = f_{cu,k} + 1.645s$$

其中，当施工单位有近期混凝土强度的统计资料时， s （施工单位强度标准差）取：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i} - m_{fcu})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^2 - n m_{fcu}^2}{n-1}} \quad (n \geq 25)$$

且取 s 不低于：2.5 N/mm²（对 C20 和 C25）

3.0 N/mm²（对 C30 以上）

此处， n 为统计周期内的试件组数； m_{fcu} 为 n 组混凝土试块的平均强度。

当无近期混凝土强度的统计资料时，按全国统计数据取值。

4.4.4 混凝土搅拌

1 搅拌机的选择

常用的混凝土搅拌机按其搅拌原理主要分为自落式搅拌机和强制式搅拌机两类。搅拌机规格以干料容量（L）表示。估算搅拌机的产量时，可乘以 0.55 ~ 0.72 的出料系数，通常出料系数可取 0.66。

1) 自落式搅拌机

这种搅拌机的搅拌筒是横卧放置的，搅拌筒内壁焊有弧形叶片，搅拌筒旋转时，叶片不断将物料提升到一定高度，然后自由下落使物料相互穿插、翻拌、混合而达到均匀。多用于搅拌塑性混凝土和低流动性混凝土。特点是筒体和叶片磨损较少，易于清理，但动力消耗大，效率低，对骨料有较大磨损。其中鼓筒式由于搅拌效果不够强烈，已停止生产，但在施工中仍有广泛应用。双锥式搅拌机由于搅拌过程中能产生轴向搅拌作用，搅拌效果强于鼓筒式。一般规格有 200L ~ 400L（移动式）和 800L（固定式）。

2) 强制式搅拌机

强制式搅拌机常见为立轴放置。但也有卧轴式，是较新型的机型。筒内有 1 ~ 2 组叶片，搅拌时叶片绕周旋转，将物料强行搅拌至均匀。这种搅拌机搅拌作业强烈，适宜于搅拌干硬性混凝土和轻骨料混凝土，也可用于搅拌低流动性混凝土，具有搅拌质量好、搅拌速度快、生产效率高、操作简便等优点。但机件磨损严重，一般需要耐磨材料做内衬，多用于集中搅拌站或预制厂。强制式搅拌机的规格通常比自落式搅拌机大。

2 搅拌制度的确定

搅拌制度是指为了保证混凝土拌和物的质量，确定的搅拌转速、搅拌时间、投料顺序和进料容量、配合比控制等规定。

1) 搅拌转速

影响搅拌效果。

2) 搅拌时间

从原料全部投入搅拌机时起，至混凝土拌和料开始卸出时止，所经历的时间称为搅拌时间。通过充分搅拌，应使混凝土的各种组成材料混合均匀，颜色一致；高强度等级混凝土、干硬性混凝土尤其应严格执行。搅拌时间随搅拌机的类型及混凝土拌和物的和易性的不同而异。在生产中，应根据混凝土拌和物要求的均匀性、混凝土强度增长的效果及生产效率几种因素，规定合适的搅拌时间。一定程度上延长搅拌时间能使混凝土的强度提高，但过长的搅拌时间可能造成粗骨料的脱角、破碎，影响混凝土质量。加气混凝土则易造成含气量下降。混凝土搅拌的最短时间应符合表中规定。

混凝土搅拌的最短时间（秒）

混凝土塌落度 (mm)	搅拌机类型	搅拌机出料量 (L)		
		<250	250 ~ 500	>500
≤30	自落式	90	120	150
	强制式	60	90	120
>30	自落式	90	90	120
	强制式	60	60	90

注：1 掺有外加剂时，搅拌时间适当延长。

2 全轻混凝土、砂轻混凝土搅拌时间应延长 60 ~ 90s。

3 采用其它形式的搅拌设备时，按设备说明或经验确定。

不应通过采用超过搅拌机说明书规定的回转速度进行搅拌以缩短搅拌时间。过快的回转速度可能反而使搅拌效果严重降低。

3) 投料顺序

一次投料法：石子→水泥→黄砂。

两次投料法：砂、石加部分水搅拌→加水泥、水完成搅拌。

4) 进料容量

进料容量/筒体容量 = 0.22 ~ 0.40。每盘进料容量不得超过标准容量的 10%。

5) 配合比控制

应严格掌握混凝土材料配合比。必要时在搅拌机旁边挂牌公布，便于检查。

混凝土原材料按重量计的允许偏差，不得超过下表的规定：

混凝土组分称量的允许偏差（%）

材料名称	允许偏差	备 注
水泥、混合材料	± 2	1 各种衡器应定期校验，经常保持准确。 2 骨料含水量应经常测定。雨天施工，应增加测定次数。
粗、细骨料	± 3	
水、外加剂	± 2	

4.4.5 混凝土运输

1 混凝土运输的基本要求

1) 保证混凝土的运输量

2) 保证运输时间不影响初凝前完成浇筑作业

3) 运输，包括浇筑前的过程中，保持其匀质性，做到不分层、不离析、不漏浆。

混凝土运至浇灌地点时，应具有规定的塌落度。运送至浇灌地点如发现有离析现象，必需在浇筑前进行二次搅拌。

2 混凝土运输机具

1) 手推车

是施工工地普遍使用的水平运输工具。适用一般地面水平运输，也能与塔吊、井架配合使用。

2) 机动翻斗车

柴油机装配而成，车前装有 400L、载重 1000kg 的翻斗。轻便灵活、结构简单、转弯半径小、速度快、能自动卸料。适用于短距离水平运输混凝土及砂石等散装材料。

3) 井架运输机

是用于混凝土浇筑时的垂直运输机械。由井架、台灵扒杆、卷扬机、吊盘等组成，具有一机多用、构造简单、装拆方便等优点。起重高度 25 ~ 40m。

4) 混凝土提升机（斗）

华南地区又称“黄架”，它是在传统钢井架基础上改装而成，是主要用于供快速输送大量混凝土的垂直提升设备。它由钢井架、混凝土提升斗、高速卷扬机等组成，提升速度可达 $50 \sim 100\text{m/min}$ 。当混凝土提升到施工楼层后，卸入楼面受料斗或平台，再采用其它楼面水平运输工具（如手推车等）运送到施工部位。一台混凝土提升机两个侧面可安装各一个提升斗。对高层建筑，在缺乏其它高效能机具的情况下，是经济适用的混凝土垂直运输机具。

5) 塔式起重机

分行走式、附着式和内爬式三种。是主要用于大型建筑和高层建筑的垂直运输设备。利用塔式起重机与其它浇灌斗机具相配合，可很好地完成混凝土的垂直运输任务。

6) 混凝土搅拌运输车

混凝土搅拌运输车是一种长距离输送混凝土的高效能机械，它将运输混凝土的搅拌筒安装在汽车底盘上，而以混凝土搅拌站生产的混凝土拌和物灌入搅拌筒内，直接运至施工现场，供建筑需要。在运输途中，混凝土搅拌筒始终在作慢速转动，从而使筒内的混凝土拌和物可连续得到搅拌，保证在运输途中不致产生离析现象。运输距离很长时，也可将混凝土干料装入筒中，在运输途中加水搅拌，能减少长途运输引起的塌落度损失。一般混凝土搅拌运输车的额定装料容量 $2 \sim 6\text{m}^3$ 。

混凝土应以最少的转载次数、最短的时间，从搅拌地运至浇筑地点。混凝土从搅拌机中卸出后到浇筑完成的延续时间应符合表 3 - 11 的规定。

7) 混凝土泵和输送管道

混凝土泵有活塞泵、气压泵和挤压泵等几种不同的构造和输送形式，目前应用较多的是活塞泵。活塞泵按其构造原理的不同，又可分为机械式和液压式两种。较先进的液压活塞式混凝土泵是目前最常见的机型。

将液压活塞式混凝土泵安装在汽车底盘上，称为混凝土汽车泵，这种汽车泵一般都附带装有全回转三段折叠臂架式的布料杆。混凝土泵车的输送能力一般为 $80\text{m}^3/\text{h}$ ；在水平输送距离为 520m 和垂直输送高度为 110m 时，输送能力为 $30\text{m}^3/\text{h}$ 。

固定式混凝土泵使用时，需用汽车将其拖带至施工地点，然后进行混凝土输送。它具有输送能力大，输送高度高等特点，一般最大水平输送距离为 $250 \sim 600\text{m}$ ，最大垂直输送高度为 150m ，输送能力为 $60\text{m}^3/\text{h}$ 左右，适用于高层建筑的混凝土输送。

混凝土输送管道用钢管制成，管径通常有 100mm 、 125mm 、 150mm 等几种，标准管长 3m 配有 90° 、 45° 、 30° 、 15° 等不同角度的弯管。

混凝土输送管直径选用表

输送管直径 (mm)	骨料最大粒径 (mm)
100	$5 \sim 25$

125	5 ~ 40
150	5 ~ 40

泵送混凝土的骨料较小，砂率较高，水泥用量较大，允许塌落度较大。

4.4.6 混凝土成形

1 混凝土浇筑

混凝土浇筑的目标，是要保证混凝土的均匀性和密实性，保证结构及构件的整体性、尺寸准确、预埋件位置正确，要求拆模后混凝土表面要平整、光洁。

1) 准备工作

2) 一般要求

Ⅰ 初凝前完成浇筑

Ⅰ 合理的浇筑顺序

Ⅰ 控制落差或采取措施

自由倾下高度不超过 2m，竖向结构不超过 3m，否则采用溜槽、串筒等。竖向结构浇筑高度应遵守：柱子分段浇筑，断面 40cm 以下有交叉箍筋，每段高度不应大于 2m。边长大于 40cm 且无交叉箍筋时，每段高度可放到 3.5m。采用串筒导送混凝土时，浇筑高度不受限制。

Ⅰ 竖向构件结合部位砂浆过渡

分层施工开始浇筑上一层柱时，底部应先填以 5 ~ 10cm 厚的砂浆，砂浆配比等同与混凝土的砂浆成分相同的水泥砂浆，以避免底部出生蜂窝现象。柱底板面应事先凿毛。

Ⅰ 塌落度控制

见表 4.44。

Ⅰ 分层浇筑

为保证捣实质量，应分层浇筑，每层厚度 15 ~ 30cm，见表 4.45。

Ⅰ 连续作业，控制间歇时间，不留冷缝

浇筑混凝土应连续进行。如必需间歇，其间歇时间应尽可能短，并应在前层混凝土凝结之前，将次层混凝土浇筑完毕，否则称为形成“冷缝”。间歇的最长时间按水泥品种及混凝土凝结条件确定，并不得超过下表规定，否则应设置施工缝。

因技术或组织上的原因不能连续浇筑时，停顿时间超过混凝土的初凝时间，应事先确定在适当位置留置施工缝。

浇筑混凝土的最长间歇时间

强度等级	气温	
	≤25	>25

$\leq C30$	3.5h	3h
$> C30$	3h	2.5h

I 施工缝的留置

按分层分段施工，水平方向以结构平面的伸缩缝分段，必要时设置施工缝；垂直方向按结构层次分层。在每层中先浇柱，后浇梁和板。施工缝是结构的薄弱环节，应留在结构受力较小的部位，同时考虑施工的方便性。

(a) 柱子

留在基础顶面、梁或吊车梁牛腿的下面、吊车梁的上面、无梁楼盖柱帽的下面。

(b) 梁

与板整浇的大断面梁（高于 1m 以上），留在板底以下 20 ~ 30cm 处。

(c) 单向板

留在平行于短边的任何位置。

(d) 有主次梁的楼板

混凝土顺着次梁浇筑，施工缝留在次梁跨度的中间 1/3 范围内。

(e) 墙

门洞过梁跨中 1/3 跨度范围内，或纵横墙的交接处。

(f) 双向板、大体积混凝土结构、拱、壳、多层刚架、水池、斗仓等复杂结构

按设计预期设置施工缝。

I 初凝后防止振动，终凝后达到 1.2Mpa 可以上人。

普通混凝土达到 1.2N/mm² 强度所需龄期参考表

外界温度	水泥	混凝土强度等级	期限(h)	外界温度	水泥	混凝土强度等级	期限(h)
1 ~ 5	普通 425	C15	48	10 ~ 15	普通 425	C15	24
		C20	44			C20	20
	矿渣 325	C15	60		矿渣 325	C15	32
		C20	50			C20	24
5 ~ 10	普通 425	C15	32	15 以上	普通 425	C15	20 以上
		C20	28			C20	20 以上
	矿渣 325	C15	40		矿渣 325	C15	20
		C20	32			C20	20

注：水灰比，普通水泥 0.65 ~ 0.8，矿渣水泥 0.56 ~ 0.68

I 注意预留预埋

I 防止走筋、走模、爆模、胀模、漏浆、初期沉实收缩拉裂

如：一排柱浇筑混凝土时，应从外向内对称地顺序浇筑，减少模板变形的影响。浇筑混凝土的过程中，应保证保护层厚度及负筋高度。同时浇筑柱和梁板，

也应在柱浇筑后 1 ~ 1.5 小时后，待柱模板内混凝土拌和物初步沉实，再浇筑梁板。

3) 框架结构浇筑

基础、柱、梁板、墙体、楼梯

4) 大体积混凝土浇筑

大体积混凝土结构主要用于工业建筑中的大型设备基础和高层建筑中的基础底板或桩基承台，厚度 1.5M，长度宽度较大，荷载大，整体性要求高，一般不宜设置施工缝。但是由于水泥水化热的影响（内外温差高于 25 ），大体积混凝土又容易产生裂缝。

（一）大体积混凝土产生裂缝的机理

- （a）混凝土凝结过程中，由于水化热的散热条件差，内外温差大，表面产生拉应力；
- （b）散热过程中混凝土的整体性收缩，受约束时产生贯通裂缝。

（二）大体积混凝土的浇筑方案

- （a）全面分层
适用于结构的平面尺寸不太大的情形。
- （b）分段分层
适用于厚度不大，而面积或长度较大的情形。
- （c）斜面分层
适用于结构的长度超过厚度的三倍的情形，振捣从下端开始逐渐上移。

（三）避免大体积混凝土裂缝的措施

- （a）选用水化热较小的水泥；
- （b）采用较好混凝土配合比减少水化热及减少混凝土收缩性。如：采用添加剂（如减水剂）提高塌落度而减少用水量；提高骨料粒径；采用外掺剂（如粉煤灰）降低水泥用量；
- （c）混凝土拌和物中掺冰，或使混凝土浇筑在较低温度下进行，混凝土最高浇筑温度不宜高于 28 ；
- （d）降低浇筑速度和减小混凝土浇筑层厚度。但为了保证混凝土的整体性，，则要求保证使每一层混凝土在初凝前就被上一层混凝土覆盖并捣实为整体。为此，混凝土的最小浇灌量（浇筑强度）见式（4.11）；
- （e）及时排除泌水；
- （f）浇筑完成后，采取混凝土表面的保温养护措施；
- （g）必要时，根据设计，有组织地设置后浇带。

5) 水下浇筑混凝土

水下混凝土采用导管法施工。导管直径 250 ~ 300mm，每节长度 3m，导管锁口连接。导管用起重设备吊住，可以升降。

浇筑前，导管下口先用木制球形塞堵塞（球胆）或圆柱形混凝土隔水塞用铁丝吊住，内灌一定混凝土将导管下沉到距底部约 300mm 高度处剪断吊铁丝进行浇筑，此后连续不断地均衡浇筑混凝土，同时将导管上下升降，并根据混凝土面的上升慢慢提起导管。

开导管浇筑首批混凝土时，首批混凝土量应经过计算，以保证完全排出导管内泥浆达到内外压力平衡，并使导管出口埋深不小于 0.8m，防治泥浆卷入混凝土中。一般混凝土导管下口应埋入混凝土面（埋入深度）1 ~ 1.5m（见表 4.47），并保持一定的超压力值。

$$P = H_c \cdot \gamma_c - H_w \cdot \gamma_w \geq 80 \text{ kN/M}^2$$

6) 防水混凝土浇筑

2 混凝土成形方法

混凝土经密实成型才能使混凝土保证具有要求的外形和内部密实度，混凝土的捣实程度与混凝土的强度、抗冻性、抗渗性、耐久性有直接的关系。

混凝土的密实成型途径：可分为插捣、振捣、增加拌和物流动性（加水或减水剂）

1) 振捣法

强迫振动下液化，排除气体，消除空隙，相互填充，使骨料和水泥浆之间得到致密排列。

内部振动器 插入式振捣器（振捣棒），插入下层未初凝的混凝土中 50 ~ 100mm，快插慢提。

外部振动器 附着式振捣器

表面振动器 平板振捣器

振动台

2) 挤压法

不变截面预制构件的工业化生产工艺。

3) 离心法

管件预制工业化生产工业。

3 混凝土真空吸水

利用真空负压，将大灰水比混凝土拌合物中的水从刚成型的混凝土拌和物

中吸出，同时使混凝土密实的一种成型方法。可分为混凝土表面真空作业和内部真空作业。在一般工程中较少应用。

4.4.7 混凝土养护

混凝土凝结硬化，是因为水泥水化作用的结果，与温度和湿度条件有关。

1 混凝土养护原理

1) 混凝土出现脱水现象的原因

干燥，使混凝土中的水分迅速蒸发，水化反应不能完全完成，降低混凝土强度并收缩。

2) 混凝土出现干缩裂纹的原因

干缩裂纹是混凝土形成裂纹的原因之一。保水并使水化作用完成，能有效减少干缩倾向。

2 混凝土养护方法

(1) 自然养护

a 覆盖浇水养护

利用平均气温高于 +5 的自然条件，用适当的材料对混凝土表面加以覆盖并浇水，使混凝土在一定的时间内保持水泥水化作用需要的适当温度和湿度条件。

常见的覆盖材料有草袋、草帘、麻袋、锯末、铺砂，或因地制宜采用的可吸水材料，等。

大面积结构，如地坪、楼板、屋面等可采用蓄水养护。贮水池一类工程可与拆除内模，混凝土达到一定强度后注水养护。

b 塑料薄膜养护

塑料薄膜养护是将塑料溶液喷洒在混凝土表面上，溶液挥发后，塑料与混凝土表面结合成一层薄膜，使混凝土表面与空气隔绝，封闭混凝土中的水分不再被蒸发，而完成水化作用。这种养护方法一般适用于表面积较大的混凝土施工和缺水地区。

另一种方法是用塑料薄膜卷材（塑料布）覆盖于新混凝土表面，沿长度方向搭接，并用砂、土等材料压边，虽不能杜绝水分蒸发，但可以限制水分的大量蒸发，并起到保护混凝土表面温度的作用。塑料溶液通常如“过氯乙烯养生液”及“氯乙烯-偏氯乙烯养生液”，它们都是一种树脂类乳液。喷洒的作业用空气压缩机、高压容罐和喷枪进行。

c 养护时间

高于 +5 的自然温度条件下，对于一般性混凝土应在浇筑后 10~12 小时（炎夏时可缩短至 2~3 小时），对干硬性混凝土应在浇水后 1~2 小时内，就用适当材料进行覆盖，并及时浇水养护以保持混凝土具有足够湿润状态。混凝土浇水养护期可参照下表。

分 类		浇水养护时间 (d)
拌制混凝土的水泥品种	硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥	不少于 7 天
抗渗混凝土 混凝土中掺用缓凝性外掺剂		不少于 14 天

注：1 如平均气温低于 +5℃ 时，不得浇水；

2 采用其它品种水泥时，混凝土的养护，应根据水泥技术性能确定；

3 混凝土的表面不便浇水和使用塑料布养护时，应喷涂保护层（如薄膜养生液等），以防止混凝土内水分蒸发；

4 大体积混凝土的养护，应根据气候条件采取控温措施，并按需要测定浇筑后的混凝土表面和内部温度，使温度控制在设计要求的温差以内；当设计无要求时，温差不宜超过 25℃。

已浇筑的混凝土强度达到 1.2N/mm^2 以后，始准许在其上来往行人和安装模板及支架。

（2）蒸汽养护

蒸汽养护是缩短养护时间的有效方法之一。混凝土在较高温度和湿度条件下，可迅速达到要求强度。

蒸汽养护分 4 个阶段：

静停阶段

指浇筑完毕后升温前先放置一段时间，主要为了增强混凝土对升温阶段较高破坏作用的抵抗能力，一般为 2~6 小时（干硬性混凝土 1 小时）。

升温阶段

温度过于急速上升，会使混凝土表面因体积膨胀太快而产生裂缝。一般控制升温速度为 $10\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ ，干硬性混凝土为 $35\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ 。

恒温阶段

是混凝土强度增长最快的阶段。恒温的温度随水泥品种不同而不同。普通水泥的养护温度不得超过 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，矿渣水泥、火山灰水泥可提高到 $90\sim 95\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。一般恒温时间 5~8 小时，相对湿度 90~100%。

降温阶段

在降温阶段，混凝土已经硬化，如降温过快，混凝土将产生表面裂缝。一般混凝土构件横向尺寸在 10cm 左右时，降温速度不大于 $20\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C/h}$ 。出槽构件温度与室外温度温差不得大于 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，当室外为负温度时，温差不得大于 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

（3）热模养护

将蒸汽通在模板内进行养护。

(4) 太阳能养护

用透光材料搭设的养护棚(罩),直接利用太阳能加热养护棚内的空气,使棚内混凝土能在足够的温度、湿度下进行养护,获得早强。

前述混凝土表面覆盖塑料薄膜的方法实际上也是利用了自然条件下的加热养护手段。在寒冷地区业常采用黑色薄膜,上面还可再覆盖一层气垫薄膜。试验说明,气温在 20℃ 时,只盖一层薄膜,养护最高温度达 65℃,混凝土构件在 1.5~3 天内达到设计强度的 70%,缩短养护工期 40% 以上。

4.4.8 混凝土质量检查

混凝土的质量检查包括拌制、浇筑过程中的质量检查,和养护后的质量检查。

拌制过程的质量检查主要控制混凝土拌和物的材料质量、配合比控制和拌制工艺过程(如搅拌时间)控制。混凝土拌制过程的材料及配合比检查,每一工作班次应不少于 2 次,混凝土搅拌时间随时检查。

浇筑过程的控制主要是在浇筑现场的塌落度检查和振捣控制。混凝土浇筑过程的塌落度检查也应每一工作班次不少于 2 次,混凝土配合比改变时重新计算班次。

养护后的混凝土检查主要通过外观检查和混凝土试块试验进行。如有特殊要求,还应进行混凝土抗冻性试验和抗渗性试验。

1 混凝土外观检查

2 混凝土强度检验

(1) 试块的留置

评定混凝土强度的试块应在浇筑处或制备处随机抽样留置,不应加以选择。试块的取样数为:

- (a) 每拌制 100 盘且不超过 100m³ 的相同配合比的混凝土,取样不得少于 1 组;
- (b) 每工作班拌制的相同配合比的混凝土不足 100 盘时,取样不得少于 1 组;
- (c) 现浇楼层,每层取样不得少于 1 组;
- (d) 若有其他需要,如需通过试验得到早期强度时,应按需要增加试块组数,试块的养护应与现场结构的养护条件相同。
- (e) 每组试块包括三个试块。

(2) 每组试件的强度(代表值)

按《混凝土强度检验评定标准》(GBJ107 - 87),混凝土的强度合格条件评定应首先确定每组混凝土试块的强度代表值。

每组试件的强度代表值的确定:

- a. 取 3 个试块强度的算术平均值作为每组试块的强度代表值;
- b. 当一组试块中强度的最大值或最小值与中间值之差超过中间值的 15% 时,以中

间值作为该组试块的强度代表值；

- c. 当一组试块中强度的最大值和最小值与中间值之差均超过中间值的 15% 时，该组试块的强度不应作为评定的依据。

(3) 同一验收批的强度

混凝土强度按批进行检验验收，称为验收批。同一验收批混凝土应由按设计的强度等级相同，龄期相同以及生产工艺和配合比基本相同的混凝土组成。现浇工程还应按单位工程划分验收批。

一个验收批的混凝土强度，应由与这样的分部分项工程对应的该验收批所有混凝土试块组的强度代表值评定。

- a. 当有稳定的生产条件和较长的生产时间时——适用于专业生产混凝土的企业的混凝土质量评定

由连续三组试块代表一个验收批，其强度必须同时满足以下条件：

$$\begin{aligned} m_{f_{cu}} & \geq f_{cu,k} + 0.7 \sigma_0 \\ f_{cu,min} & \geq f_{cu,k} - 0.7 \sigma_0 \end{aligned}$$

并且，当混凝土强度等级不高于 C20 时，尚应满足：

$$f_{cu,min} \geq 0.85 f_{cu,k}$$

当混凝土强度等级高于 C20 时，尚应满足：

$$f_{cu,min} \geq 0.90 f_{cu,k}$$

式中：

$m_{f_{cu}}$ —— 同一验收批混凝土立方体抗压强度的平均值 (N/mm^2)；

$f_{cu,k}$ —— 混凝土立方体抗压强度标准值 (N/mm^2)；

σ_0 —— 按验收批计的混凝土立方体抗压强度的标准差值 (N/mm^2)；

$f_{cu,min}$ —— 同一验收批混凝土立方体抗压强度的最小值 (N/mm^2)；

其中， σ_0 应根据前一检验期（不超过 3 个月）同品种混凝土试块的强度数据（不少于 15 批），按下式计算：

$$s_0 = \frac{0.59}{m} \sum_{i=1}^m \Delta f_{cu,i}$$

式中：

$\Delta f_{cu,k}$ —— 第 i 批试块混凝土立方体抗压强度中最大值和最小值之差；

m —— 用以确定该验收批混凝土立方体抗压强度标准差的数据总批数，即前一检验期的同品种混凝土的立方体抗压强度数据总批数。

- b. 当混凝土数据不能满足上述的长期和稳定的生产条件或无足够数据强度标准差时——适用特定工程项目的现场搅拌混凝土质量评定

一个验收批的试块组数应满足 $n \geq 10$ 组，验收批的混凝土强度必须同时满足：

$$\begin{aligned} m_{fcu} - I_1 S_{fcu} &= 0.9 f_{cu,k} \\ f_{cu,min} &= I_2 f_{cu,k} \end{aligned}$$

其中：

S_{fcu} 为同一验收批混凝土立方体抗压强度的标准差 (N/mm²)：

$$S_{fcu} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,i} - m_{fcu})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^2 - n m_{fcu}^2}{n-1}} \quad (n \geq 10)$$

且当 $S_{fcu} \leq 0.06 f_{cu,k}$ 时，取 $S_{fcu} = 0.06 f_{cu,k}$

$f_{cu,i}$ —— 第 i 组混凝土立方体抗压强度代表值 (N/mm²)；

n —— 一个验收批的混凝土试块组数。

I_1, I_2 —— 合格判定系数，见表 4.51

c. 对零星的混凝土

可采用非统计方法进行评定。此时，验收批的混凝土强度必须同时满足：

$$\begin{aligned} m_{fcu} &= 1.15 f_{cu,k} \\ f_{cu,min} &= 0.95 f_{cu,k} \end{aligned}$$

d. 其他检测方法

钻孔取芯，超声探测，无损回弹等方法。

3 混凝土的缺陷处理

(1) 缺陷分类及产生原因

- (a) 麻面
- (b) 露筋
- (c) 蜂窝
- (d) 孔洞
- (e) 缝隙及夹层
- (f) 缺棱、掉角
- (g) 裂缝
- (h) 强度不足

(2) 缺陷处理

- (a) 表面抹浆修补
- (b) 细石混凝土填补

(c) 环氧树脂修补

4.4.9 混凝土冬季施工

略。

5 预应力混凝土工程

5.1 概述

一 预应力混凝土的特点

预应力技术的应用，使高强度钢材在混凝土构件中的有效应用成为可能，并能有效地减少构件的受力变形，提高构件刚度。

二 预应力筋的种类

预应力混凝土用的钢材种类有：冷拔低碳钢丝、冷拉 II~IV 级钢筋、碳素钢丝、钢绞线、热处理钢筋及精轧螺纹钢筋等。

冷拔低碳钢丝和冷拉钢筋：在钢筋工程中已有介绍。

碳素钢丝（又称高强度钢丝或预应力钢丝）：高碳钢圆盘条经淬火、酸洗、拉拔、回火制成，用于先张法预应力混凝土构件中。为提高与混凝土的粘结性能，钢丝表面有的经过刻痕处理。预应力钢丝按交货状态，分为冷拉钢丝（ $\sigma^b_{3\sim5}$ ）、矫直回火钢丝（ $\sigma^b_{3\sim5}$ ）和刻痕钢丝（ σ^b_{5} ）。

钢绞线：一般由 7 根钢丝在绞线机上以一根钢丝为中心，其余 6 根围绕着进行螺旋状绞合，再经低温回火制成。公称直径 9、12、15mm。是当前最广泛使用的后张法预应力钢材。

热处理钢筋：由普通热轧中碳低合金钢筋经淬火和回火的调质热处理制成。钢筋表面有凸起月牙纹。这种钢筋具有高强度、高韧性和高粘结性等优点。成品钢筋以直径 2m 的弹性圆盘交付，开盘后自行伸直，长度 100~120m。规格有 6、8.2、10mm 直径。

精轧螺纹钢筋：用热轧方法在整根钢筋表面轧出不带纵肋的螺纹（凹或凸螺纹），可用螺纹连接，无需焊接。有直径 25 和 32 两种规格。

三 对混凝土的要求

混凝土强度较高，一般不低于 C30。对采用的预应力筋强度高时（如碳素钢丝、钢绞线、热处理钢筋时），不低于 C40。特别强调混凝土对钢筋不能有腐蚀性。

四 预应力的施加方法

先张法----后张法

有粘结----无粘结

机械张拉----电热张拉

5.2 先张法施工

先张法是在浇筑混凝土构件前，张拉预应力钢筋（丝），将其临时锚固在台座（在固定的台座上生产时）或钢模（机组中流水生产时）上，然后浇筑混凝土构件，待混凝土达到一定（约 75% 标准）强度，使预应力钢筋（丝）与混凝土之间有足够粘结力时，放松预应力，预应力钢筋（丝）弹性缩回，借助混凝土与预应力钢筋（丝）之间的粘结，对混凝土产生预压应力。

先张法施工设备包括台座、张拉机具和夹具等。

5.2.1 台座

台座的组成：台面、横梁、承力结构。

1 墩式台座

适用于预应力较小，离台面靠近的板类构件预制。

（1）台面

长度等于构件长度的整数倍加一定的操作长度；宽度与构件的宽度；厚度由强度验算决定。

（2）横梁

用于沿台座宽度方向分布锚固预应力钢筋。

（3）承力构件

混凝土墩及其牛腿，用于支承横梁。

（4）台座的验算

倾覆稳定性，安全系数不小于 1.5；

抗滑移能力，安全系数不小于 1.3；

台面强度按轴心受压计算。

2 槽式台座

适用于预应力较大，离台面距离较大的梁、柱类构件预制。

槽形截面，可承受较大的张拉力和倾覆力矩。槽壁实为矩形截面卧柱与台面共同作用，其上加砌矮砖墙，加盖后可进行蒸汽养护。台座中间部分类似偏心受力杆，台杆可分段浇筑，中间的称为传力柱，两端的为张拉端柱。

5.2.2 张拉机具和夹具

预应力钢丝、预应力钢筋和预应力钢绞线的张拉采用不同的张拉机具和夹具。

1 钢丝的夹具和张拉机具

（1）钢丝的夹具

a. 锚固夹具

预应力钢丝中的冷拔低碳钢丝和碳素钢丝采用锥销类夹具。前者采用圆锥齿板式夹具，锚塞顺齿；后者采用圆锥齿槽式夹具，锚塞倒齿。

锚塞的自锁：锚塞加力打入后，预应力钢丝未加拉力时，不会弹出。

锚塞的自锚：提供阻止预应力钢筋（丝）滑出。

b. 张拉夹具

张拉时夹持钢丝的张拉夹具，要求简单可靠、使用方便。常用的有钳式夹具和偏心式夹具。

（2）钢丝的张拉机具

机组流水施工的钢模上进行张拉时，同时多根张拉，一端用墩头锚固，另一端用油压千斤顶进行张拉。

台座上生产预应力构件多为单根张拉，因此张拉力小，可用小型卷扬机张拉。电动螺杆张拉机常用于预制厂的长线台座上张拉预应力钢丝，带有轮子，移动方便。

2 钢筋的夹具和张拉机具

（1）钢筋的夹具

单根墩头锚（夹）具及其连接头：

套筒夹片式夹具：圆套筒两片式、圆套筒三片式、方套筒两片式

其它：螺丝端杆、墩头锚

（2）钢筋的张拉机具

一般为长线台座上的单根张拉施工，小直径（12 以下）钢筋采用卷扬机或电动螺杆张拉机。多根钢筋同时张拉时，采用四横梁式成组张拉装置。

大直径（12 ~ 20）钢筋采用穿心油压千斤顶。

3 单根钢绞线的夹具和张拉机具

（1）单根钢绞线的夹具

在圆套筒与夹片之间，增加一层对开两片式退楔片。

（2）单根钢绞线的张拉机具

一般为长线台座上的单根张拉施工。采用穿心油压千斤顶。

5.2.3 先张法施工工艺

1 预应力筋的张拉

超张拉：减少松弛造成的预应力损失，超张拉 3% ~ 5% 的张拉控制应力。为了保证预应力筋的安全及不至过于接近屈服强度，规定对冷拉 II ~ IV 级钢筋，最大超张拉力不得大于屈服强度 f_y 的 95%；炭素钢丝、刻痕钢丝、钢绞线不得大于抗拉标准强度的 80%；热处理钢筋、冷拔低碳钢丝不得大于抗拉标准强度的 75%。张拉后的实际预应力值偏差不得大于 $\pm 5\%$ 。为减少预应力的松弛损失，采用超张拉力的张拉程序：

张拉程序： 0 105% σ_{con} 持续 2 分钟 σ_{con}

或 $0 \sim 103\% \sigma_{\text{con}}$

σ_{con} —— 预应力筋的张拉控制应力，由设计确定。

多根张拉时，可采用钢丝测力计检查钢丝的应力值。

2 混凝土的浇筑与养护

除了预应力筋的松弛，混凝土的收缩和徐变也是造成预应力损失的主要原因。收缩和徐变与水泥品种、混凝土配合比、振动成型等因素有密切的关系。

此外，在混凝土未达到规定的强度前，不得碰撞预应力筋，以免造成预应力的损失。

台座张拉的预应力混凝土需进行湿热养护时，应采取措施减少温差引起的预应力损失。因为温升后的膨胀情况下混凝土凝结，预应力的损失将不能恢复。故最高允许的养护温度应根据设计规定的允许温差决定。混凝土强度达到一定强度后，则可不受设计规定的温差限制。

机组流水生产制作预应力构件时，温差不会引起预应力损失。

3 预应力筋的放张

混凝土强度达到标准强度的 75% 后，可放松预应力筋。预应力筋少时，可逐根放松；预应力筋较多时，应同时放松，松弛横梁进行。

5.3 后张法施工

后张法——即在构件制作时，在放置预应力钢筋的部位预先留有孔道，待混凝土达到规定强度后，孔道内穿入预应力筋，并用张拉机具夹持预应力筋将其张拉至设计规定的控制预应力，然后借助锚具将预应力筋锚固在构件端部，最后进行孔道灌浆（或不灌浆）。

在后张法施工中，锚具永久性地留在构件上，成为预应力构件的一个组成部分，不能重复使用。因此，在后张法施工中，必须有与不同预应力筋配套的锚具，和张拉机具。后张法用于现场生产大型预应力构件等，或作为一种拼装手段。

5.3.1 锚具和预应力筋的制作

1 单根预应力筋的锚具及制作锚具

1) 锚具

张拉端：螺丝端杆锚具，螺丝端杆与预应力钢筋对焊，用螺母紧固，见图 5.12。

固定端：帮条锚具，三根帮条与预应力钢筋端部焊接，帮条内端与一衬板焊接。见图 5.13。

墩头锚具：见图 5.14。

精轧螺纹钢筋螺母锚固：见图 5.15。

2) 预应力筋制作

下料、对焊、冷拉

2 钢筋束、钢绞线束预应力筋的锚具及制作锚具

1) 锚具

JM 型锚具：用于锚固 3~6 根成束的单根直径 12mm 钢筋束和钢绞线束，夹片分离。见图 5.16。

XM 型锚具：成组并单根地锚固 12mm 直径钢绞线或钢筋束，由锚塞和锚环夹紧预应力钢筋和钢绞线。见图 5.17。

2) 预应力筋制作

冷拉、下料、编束

3 钢丝束预应力筋的锚具及制作锚具

1) 锚具

钢质锥形锚具，见图 5.18。

钢丝束墩头锚具，见图 5.19、图 5.20、图 5.21、图 5.22。

锥形螺杆锚具：

2) 预应力筋制作

下料、编束（衬环）

5.3.2 张拉机具和设备

后张法用张拉设备主要由液压千斤顶、高压油泵、油管组成。

1 液压千斤顶

拉杆式千斤顶（YL）：适用于螺丝端杆锚具，见图 5.23。

穿心式千斤顶（YC）：适用于 JM 型和 XM 型锚具的小直径预应力筋束，见图 5.24。

锥锚式双作用千斤顶（YZ）：用于钢质锥形锚具的钢丝束，见图 5.25。

2 电动高压油泵

见图 5.26。

3 千斤顶校验

确定油压表与张拉力之间的关系。

5.3.3 后张法施工工艺

1 孔道留设

1) 钢管抽芯法

2) 胶管抽芯法

3) 预埋波纹管成孔

2 预应力筋的张拉

1) 张拉时的混凝土强度

不低于标准强度的 75%。

2) 张拉程序

减少预应力损失，保持预应力的均衡减少偏心。

3 孔道灌浆

增加耐久性。用强度不低于 20Mpa 的水泥浆或水泥砂浆灌浆，可掺加一定的膨胀剂（如铝粉或木质素磺酸钙）。灌浆前，用压力水冲洗预应力钢筋孔。灌浆时，应保证孔中空气的排出。对不掺外加剂的水泥浆，可采用二次灌浆法提高密实性。

5.3.4 电热法施工

利用热胀冷缩的原理，在钢筋上通电使之热胀伸长，待达到要求的伸长值时锚固，随后停电冷缩，使混凝土产生预压应力。

电张法具有设备简单、操作方便、无摩擦损失、便于高空作业等优点，但具有耗电大，用伸长值控制应力不易准确（因材质不匀），成批生产尚需校核的缺点。详略。

5.4 无粘结预应力混凝土施工

无粘结预应力混凝土工艺，是后张法预应力混凝土的新工艺。它在预应力钢筋的表面涂刷防腐剂并进行包裹保证耐久性。先布置预应力钢筋，后浇筑混凝土，最后进行张拉，故不进行灌浆。锚固端应有严格的密封防护措施，严防水汽进入锈蚀预应力筋。

5.4.1 无粘结预应力束的制作

无粘结预应力束由预应力钢丝、防腐涂料和外包层、锚具组成。

1 预应力筋

用钢绞线，或 7 根高强钢丝的钢丝束。

2 防腐涂料

要求具有较好的物理性质温度稳定性、化学性质稳定、无腐蚀性、不透水不吸水、有良好防腐作用、具有润滑性能。

3 预应力筋外包层

要求有一定抗拉强度和密封性能、良好的物理化学稳定性、有韧性和耐磨、无腐蚀性、能保护施工过程中对预应力筋的损伤。

4 无粘结预应力束的制作

一般有缠纸工艺和挤压涂层工艺，见图 5.35。

5.4.2 无粘结预应力束的铺设

用钢筋马凳或支撑钢筋控制曲线矢高，绑扎。

5.4.3 无粘结预应力束的张拉

与后张法相同，一般 $0 \leq \sigma \leq 103\% \sigma_{\text{con}}$ ，两端张拉，重复张拉

锚头端部处理：锚头内孔注浆或注油脂，外部细石混凝土封闭。

6 结构吊装工程

6.1 起重机械

结构吊装工程常用的起重机械：

桅杆式起重机

自行杆式起重机

履带式起重机

汽车式起重机

轮胎起重机

塔式起重机

6.1.1 桅杆式起重机

1 类型和构造

1) 独脚扒杆

由扒杆、起重滑轮组、卷扬机、缆风绳和锚碇组成，见图 6.1。扒杆有一定倾角，不大于 10° 。其稳定主要依靠缆风绳的约束，缆风绳辐射方向设置 6~12 根，与地面夹角 $35^\circ \sim 45^\circ$ 。

扒杆的材料或形式可分为木（扒杆高度可达 8~15m，适用起重量 3~10 吨）、钢管（扒杆高度可达 30m，适用起重量 10~20 吨，最大可达 45 吨）、钢格构式（扒杆高度可达 75m，起重量可达 100 吨）。

2) 人字扒杆

由两根扒杆在上端铰接而成，顶部相交为 $20^\circ \sim 30^\circ$ 角。扒杆平面倾角不大于 1:10。缆风绳受力主要在垂直于扒杆平面的方向。如图 6.2。

3) 悬臂扒杆

依靠垂直的独脚扒杆，在其中部安装起重吊臂机构，有较大的起重半径，如图 6.3。吊臂机构可回转和升降，吊臂可变倾角。

4 牵缆式桅杆起重机

依靠垂直的独脚扒杆，在其底部安装起重吊臂机构，有更大的起重半径，如图 6.4。吊臂机构可回转，起重臂可变倾角。

6.1.2 自行式起重机

1 履带式起重机

1) 履带式起重机的构造与特点

构造：底盘（行走机构、回转机构）、机身、起重臂，图 6.5。

主要技术性能参数：起重量 Q 、起重高度 H 、回转半径 R

起重量及起重高度曲线，图 6.6。

2) 履带式起重机的稳定性验算

安全系数：

考虑吊装荷载及附加荷载时：不小于 1.15

附加荷载 地面倾角的因素、风荷载、重物下降停止的冲击、起重机回转离心作用。

仅考虑吊装荷载时：不小于 1.4 一般的验算项目

2) 汽车式起重机

把起重机构按照在通用或专用汽车底盘上的全回转起重机，桁截面吊臂可分节伸缩，机械传动或液压传动，图 6.9。

3) 轮胎起重机

把起重机构按照在加重型轮胎和轮轴组成的特制底盘上的全回转起重机，桁架式吊臂，可变仰角，图 6.10。

6.1.3 塔式起重机

1 轨道式塔式起重机，图 6.11 ~ 图 6.13。

2 爬升式塔式起重机，图 6.14，爬升过程图 6.15。

3 附着式塔式起重机，图 6.16，自升过程图 6.17。

6.2 索具设备

6.2.1 卷扬机

快速卷扬机：4 ~ 50 KN

慢速卷扬机：20 ~ 200 KN

6.2.2 滑轮组

6.2.3 钢丝绳

6.2.4 横吊梁

6.3 单层工业厂房结构吊装

单层工业厂房的主要承重构件主要由基础、柱、吊车梁、屋架、天窗架、屋

面板等组成，除基础在施工现场现浇外，其它多采用装配式钢筋混凝土预制构件。大型构件在现场预制，其它构件在工厂生产运输到现场吊装。

吊装前的准备工作：

- 1 场地清理与道路铺设
- 2 构件的复查和清理
- 3 构件的弹线与编号
- 4 钢筋混凝土杯形基础的准备工作
- 5 构件运输
- 6 构件堆放
- 7 构件的吊装临时加固

6.3.1 构件吊装工艺

1 柱的吊装

(1) 基础准备

(2) 绑扎

柱的绑扎方法、绑扎位置和绑扎点数，要根据柱的形状、断面、长度、配筋和起重机性能等确定。要防止柱在吊装过程中因受力使用状态下的不同而造成损坏。有单点起吊（小型柱）和多点起吊（重型柱和细长柱等）。绑扎点的柱截面应在实处。

根据柱起吊后柱身是否垂直，可分为直吊法和斜吊法。采用相应的直吊绑扎法和斜吊绑扎方法。

(3) 柱的吊升

分为单机吊装和多机抬吊。

单机吊装的旋转法和滑行法进行吊升。

旋转法：三点共圆和两点共圆。

滑行法：绑扎点靠近基础杯口，绑扎点和基础杯口两点共圆。

(3) 对位和临时固定

落钩前的对位和落钩后的临时固定（楔块），上端缆风绳拉结。

(4) 校正与最后固定

校正：平面对位轴线的位移、标高和垂直度的校正。

最后固定：细石混凝土捣固密实，两次浇捣。

2 吊车梁的吊装

吊车梁的吊装在柱吊装完成后，接头混凝土达到 70% 设计强度后进行。对称绑扎，吊钩对准重心，吊装过程中构件保持水平。吊车梁的定位校正屋盖结构构件校正和最后固定后进行。校正的内容包括位移、标高和垂直度。

3 屋盖的吊装

(1) 屋架吊装

a 绑扎与扶直堆放

吊点的数量及位置，与屋架的型式和跨度有关，应经设计计算确定。对称于重心进行绑扎。需要减少吊索高度时，可采用横吊梁。因屋架的平面外刚度和强度低，吊装过程中应绑扎加劲构件进行临时固定。

屋架扶直过程中因自重作用承受平面外的力，容易发生杆件损坏。因此应进行吊装应力的验算，必要时应采取临时加固措施。

正向扶直和反向扶直

堆放：安装起吊前的位置，侧立斜靠

b 吊升、对位、临时固定、校正、最后固定

吊升对位后需进行临时支撑固定。侧向支撑在屋架上弦。

垂直偏差：上弦跨中对通过两个支座中心的垂直面的偏差。用经纬仪检查屋架垂直度偏差。校正后将屋架支座钢板与柱端钢板焊接固定。

(2) 天窗架、屋面板的吊装

天窗架吊装的绑扎方法与屋架相似。

大型屋面板的一钩多挂。

6.3.2 结构吊装方案

1 起重机的选用

起重量

起重高度

起重半径

最小杆长

2 结构吊装方法

1) 分件吊装法

起重机沿厂房多次开行，每次开行吊装一种或几种构件。

2) 综合吊装法

起重机在厂房内一次开行中，顺序吊装完各柱间距内的各种类型构件。

3 起重机的开行路线及停机位置

4 构件的平面布置和运输堆放

1) 现场预制构件的平面布置

规划布置的原则：便于施工，提高劳动生产率

2) 吊装前的构件堆放

主要指柱子吊装完成后，屋架和吊车梁的吊装前堆放。屋架扶直后支撑堆放。

6.4 装配式框架结构吊装

1 吊装机械的选择与布置

2 结构吊装方法与吊装顺序

6.5 大跨度结构吊装

平面结构：桁架、刚架、拱架

空间结构：网架、薄壳、悬索

6.5.1 分块吊装法

分割后分别吊装，可以支设临时支撑。

6.5.2 整体吊装法

就地错位安装，提升到高度后进行水平移动。

6.5.3 高空滑移法

有连续支承边缘时，设置轨道和小车，分条吊升后水平滑动，然后就位。

6.5.4 整体提升法

结合升板法或滑模施工的机械，多点整体提升。

6.5.5 整体顶升法

在临时搭设的刚架上，利用液压千斤顶逐级顶升。要求顶升过程同步进行。

7 升滑法施工

7.1 升板法施工

用于建造多层钢筋混凝土无梁楼盖体系的一种施工方法。

升板法施工的特点：完成基础和立柱以后，利用地面层叠浇筑楼板和屋面板，节约大量模板，减少高空作业，减少劳动强度，节约施工场地。屋面板和楼板从地面开始提升到设计高度使用专门的提升机，不需大型起重机械。

升板过程可以根据工程的场地和设备条件采用预制钢筋混凝土柱或现浇劲性钢筋混凝土柱，一般采用预制钢筋混凝土柱。为了减少一次提升整个楼板的困难，一般将楼板在平面内划分为几个板块，当都提升到设计高度后，用后浇板带连结。

对采用预制钢筋混凝土柱时，升板法所施工过程为：挖土→杯形基础现浇→回填土→预制柱子→吊装预制柱→浇筑混凝土地坪→叠浇钢筋混凝土楼板和屋面板→安装提升设备→提升屋面板和楼板→节点的固定并浇筑柱帽→后浇板带混凝土→围护结构施工→装修工程。

7.1.1 提升设备

提升设备：提升机——我国广泛采用电动螺旋千斤顶提升机，一般即称为升板机。

提升机原理：电动机的动力通过齿轮箱变速传动和蜗轮蜗杆传动，驱动螺母相对螺杆旋转，实现螺杆带动提升架（杆）的升降或提升机本身的爬升或下降。

7.1.2 柱的预制和安装

柱除了在提升过程的各个阶段用于支承设计高度处楼板的重量外，还是提升楼板的承重骨架和导向杆，要求有较高的几何精度，要求截面尺寸偏差小于 $\pm 5\text{mm}$ ，侧向弯曲小于 10mm 。

柱上的预留就位孔是保证楼板标高的关键，要求孔底标高偏差不超过 $\pm 5\text{mm}$ ，并且平整，定位准确。除此以外，柱上还设有停歇孔，用于在提升过程中悬挂提升机组和楼板中途停歇时作为楼板的临时支承位置。停歇孔应尽量与就位孔合一，如不能合一，则需间距 300mm 以上，避免柱截面过度削弱。在就位孔下的柱帽位置留有传递剪力的齿槽，在齿槽拆模及提升过程中应避免损坏。

柱的吊装方法与一般相同。但吊装前应对柱身上的凸出处作凿平处理，避免卡板。柱的吊装定位要求严格。柱子过长时，可进行接柱施工。可在屋面板提升到下节柱顶后，在下节预制柱上接现浇柱、预制柱或劲性配筋柱。接柱混凝土达到设计强度 85% 以上后，方可利用上节柱继续提升屋面板或楼板。

7.1.3 板的制作

1 地坪的处理（胎模）

升板法施工以地坪作为胎模浇筑第一层板，在第一层板上再叠层浇筑各层楼板及屋面板。胎模的垫层应分层夯实，要求均匀密实，防止下沉。胎模的面层应平整光滑，提升架位置的胎模标高偏差不超过 $\pm 2\text{mm}$ 。胎模设伸缩缝时，伸缩缝与楼板接触处应作特殊隔离处理，防止板受温度影响出现裂缝。

2 隔离层

板与胎模之间和板与板之间必须做隔离层。隔离层材料必须具有耐磨性、防水性，且易于清除。可采用涂刷或铺贴式的材料。

涂刷材料隔离层有以下几种：

皂脚滑石粉涂料：1 份液体皂脚与 2 份水混合，加热到 100°C ，使皂脚溶化，冷凝。使用时，稍加热并掺入适量滑石粉。为防雨天冲刷，可覆涂一层纯水泥或石灰保护层。

纸筋石灰涂料：将抹灰用的纸筋石灰加水调稀涂刷。

粘土石灰涂料：粘土、石灰、滑石粉、肥皂粉按 3 : 1 : 0.5 : 0.075 加水拌和而成。

柴油石蜡涂料：柴油、石蜡、滑石粉按 1 : 0.2 : 0.8 混合均匀。

其它：乳化机油、树脂涂料、过氯乙烯涂料。

铺贴式材料隔离层常常用油纸、塑料薄膜等。

7.1.4 板的提升

在提升前做好充分准备工作和检查工作以外，提升施工过程中，主要控制板的提升差异，和柱的稳定性及竖向偏差。

1 提升准备和试提升

避免板层间的吸附力，先边上提升。完全脱离后调平。再开始正式提升。

2 提升程序

提升程序应事先经过设计计算，以考虑和保证施工阶段的柱的稳定性。见图 7.5。

3 提升偏差控制

板的提升偏差不超过 10mm ，就位偏差不超过 5mm 。提升偏差使板内产生弯矩，严重时造成楼板开裂。同时，提升差异也造成提升机受力不均匀，个别提升架承受过大载荷，易发生故障，增加螺杆磨损。提升差异有初始差异、提升同步差异和搁置就位差异。

目前采用的升差控制方法主要采用标尺法，见图 7.6。此方法自动化和控制的实时性不够，需要人工密切跟踪。为便于减少升差造成的不利，可以根据结构的

平面布置和提升设备的数量划分板的提升单元，一个提升单元范围内以不超过 24 根柱子为宜，且不宜为狭长形板块。提升单元之间为后浇板带。后浇板带可在升板就位后用吊模现浇完成，通常带宽为 1 ~ 1.5m。

4 板的固定

板提升到设计标高就位时，应尽可能减少搁置就位差异，可用不超过 5mm 的垫铁进行调整。

1) 后浇柱帽节点

是常见的升板节点。板搁置在承重销上就位后，通过板面的预留孔，灌注混凝土，形成后浇的柱帽。柱帽区有抗剪槽口。柱帽中配以架立钢筋和箍筋，架立钢筋与柱主筋焊接。板面与柱边通过预埋件焊接连接。

2) 承重销节点

用加强的型钢或焊接的工字钢插入柱的预留就位孔作为承重销，以销的悬出部分支承平板。板与柱之间另用楔铁楔紧焊牢，并且板面与柱边通过预埋件焊接连接，使连接能传递弯矩。柱就位孔的底部应设置钢筋网片，以提高局部承压强度。

3) 剪力块节点

板下面处采用机加工斜口楔铁作为板柱之间的传力构件，并且板面与柱边通过预埋件焊接连接。

7.1.5 提升阶段群柱的稳定

1 稳定验算

提升状态中，无柱帽固定连接时，计算简图见图 7.8。具体计算从略，可见《钢筋混凝土升板结构技术规范》GBJ130 - 90。

2 稳定措施

- (1) 四层以上的升板，提升过程中，最上两层板至少有一层板交替与柱楔紧，并应尽早与柱形成刚接。
- (2) 采用柱顶式提升时，应利用柱顶间的临时走道将各柱顶连接稳固。
- (3) 柱安装时，边柱的停歇孔应与板边垂直，相邻排柱的停歇孔应相互垂直。
- (4) 对设有电梯井、楼梯间等筒体的升板结构，其筒体宜先施工。五层或 20m 以上的升板结构，在提升和搁置时，至少有一层板与先行施工的抗侧力结构有可靠的连接。
- (5) 提升阶段当风力大于验算取值时，应停止提升，并采用有效措施将板临时固定：如加柱间支撑、嵌木楔、与相邻建筑物连接等。

(四) 工具柱集层升板法的施工工艺

采用钢工具柱，将已经叠层浇筑的各层楼板提升到最下一层板的安装位置以上高一点的地方，在工具柱上进行临时固定，然后安装最下层的承重墙板或砌筑承重砖墙，上面座浆，放下一层楼板就位。然后再集层提升其余各层板和安装（砌筑）承重墙，直至安装完成屋面板。最后从上面拆除工具柱和提升机。见图 6 - 72。

7.1.6 升板工艺的发展

1 集层升板带墙板施工工艺

墙板在楼板之间横卧预制。工具柱设在外围，工具柱间支承珩架，珩架下悬挂吊杆。交替叠层预制的墙板与楼板共同集层提升，提升同时墙板被提升成直立状态。然后就位、灌缝、固定。

2 升层法施工工艺

略。

7.2 升模法施工

7.2.1 升模工艺

升模法施工，采用劲性配筋柱，则可利用格构式劲性柱和升板机类似的提升设备进行提升，顶板下面悬吊墙、柱、梁模板，见图 7.11。

也可以在顶板上的每一个柱位置处，安装一个井架，井架上固定柱模板，并设置平台，模板可吊于平台桁架下。顶层板提升前，提前浇筑柱混凝土，待达到计算要求强度（15MPa）后，可在柱上悬挂提升机，承担全部施工荷载。每提升一次顶板，在井架中接长一段柱钢筋并浇混凝土。这样不断接高混凝土柱，逐步提升楼板。

7.2.2 升滑法施工

升滑法是当升板结构中同时采用现浇混凝土墙体时，将滑模法和升板法施工结合起来的一种施工工艺。利用升板机通过工字钢悬挑梁与滑模的提升架相连，在升板的过程中同时将墙体模板向上提升。同时，被提升的板作为墙体施工的操作平台。见图 7.13。

7.2.3 升提法施工

升提法施工的特点，是浇筑一个提升高度的墙体混凝土，待混凝土达到脱模强度后，开启模板，使模板脱离混凝土墙体，再把屋面板升一个提升高度，然后停歇，固定模板，再浇混凝土。

升提法施工的模板构造和组装与升滑法基本相同。由于工艺的需要，需要有

脱模开启装置，一般在模板上部安装一个松紧螺栓，作为上端的开启装置。模板下部设一道对销螺栓，待混凝土达到脱模强度后，抽出对销螺栓，下端模板自行开启。见图 7.14。

7.3 液压滑模施工

适用于水平截面不变化或变化简单的高耸构筑物的现浇施工。其特点，是在构筑物或建筑物底部，沿周边组装高度 1.2m 左右的滑升模板，随着模板内不断地分层浇筑混凝土，用液压提升设备使模板不断地向上滑升，直到需要的高度为止。滑模广泛应用于剪力墙体系及筒体体系的高层建筑钢筋混凝土墙施工，以及烟囱、筒仓、竖井等工程中。

滑模施工可节约模板和支撑材料，加快施工速度，结构整体性好。但一次性投资多，对施工工艺控制要求高，对建筑物立面及截面变化有一定限制。

滑升模板由模板系统、操作平台系统和液压滑升系统三部分组成。见图 7.15。

7.3.1 模板系统

模板系统包括模板、围圈、和提升架。围圈在模板外侧，按建筑物所需要的结构形状组成闭合式上下各一道，用以固定模板的几何形状，所以需要足够的强度和刚度，其截面由计算决定，一般为 $L75 \times 6$ ，[8 或 I10 截面，上下两道围圈之间一般加斜撑与直撑形成桁架式，形成整体。围圈支承于提升架的内短挑梁上并用挂勾的方式固定。模板用挂勾的方式固定在围圈上。提升架的作用是防止模板和围圈的侧向变形，在滑升过程中将全部垂直荷载传递给千斤顶（千斤顶传递给支承杆），同时把模板系统和操作平台系统连成一体。通用提升架一般有“开”形（格构式立柱）和钳形（平面桁架式立柱）两种。为了使提升架有足够的刚度，一般采用双梁式。为了减少滑升时的摩阻力，模板安装成上口小、下口大的倾斜度，单面倾斜度为 $0.2 \sim 0.5\%$ ，以模板上口向下 $2/3$ 模板高度处的净间距为结构截面的厚度。

7.3.2 操作平台系统

操作平台系统包括操作平台、内外吊脚手架等。操作平台即工作平台，是绑扎钢筋、支设模板、安装预埋件和浇筑混凝土的场地。液压控制机械设备一般设置在操作平台的中央。平台铺板下有平台桁架（用于分块式操作平台）或纵横连续梁（用于整体式操作平台），它们连接于提升架或围圈。外墙的外侧设斜撑的外挑架。内外吊脚手架挂在提升架和操作平台桁架上或提升架和外挑架上。吊脚手架主要用于结构脱模后混凝土表面的修饰、质量检查、模板调整和拆除等工作，内外吊脚手架外侧均应设防护栏杆及防护网。

7.3.3 液压滑升系统

液压滑升系统包括支承杆、油压千斤顶、油压管路及阀系和控制设备。支承

杆又称爬杆，一般用 25 的圆钢筋制成，采用冷拉法预先调直，加工长度一般为 3~5m。为避免所有支承杆需同时接长，对第一批插入的支承杆应有四种以上的长度。支承杆的连接可采用丝扣连接、榫接或坡口焊接。采用工具式支承杆时，应在支承杆外加设内径大于支承杆直径的套管，套管上端与千斤顶相连，可随千斤顶不断爬升，在混凝土内形成管孔，以便最后拔出支承杆。支承杆的允许承载力可用式 3-2 计算。支承杆通过门窗洞或无墙的楼层时，需特别加以加固（加横向水平支撑作用）。专用的穿芯油压千斤顶、油压管路及阀系和控制设备均是定型产品，在此略去不作介绍。

7.3.4 液压滑模的施工

楼板与墙的连接一般分为预制安装和现浇两种。

1 预制楼板的安装

一般分为滑空安装法、牛腿安装法及平接法。

(1) 模板滑空，安装预制板

将承重墙的混凝土浇灌到楼板底标高时，停止浇灌，滑空（至超过楼板厚度 10~15cm）；非承重墙继续浇灌到至一定高度，使这部分模板仍固定在墙上，保证操作平台稳定和模板不产生偏位（必要时加缆风绳）。移去部分操作平台，在墙上铺一层找平层，吊装楼板（吊装时要求墙体达到 2N/mm^2 ）。吊装完成后板面至滑模下口的空隙用小模板封堵，可以继续墙体的滑模施工。

楼板有时采用卡口楼板，将预埋在墙内的钢筋预制楼板的钢筋焊接后支模，二次浇灌混凝土。

(2) 加牛腿安装法

可分为钢牛腿或钢筋混凝土牛腿，用以承托楼板。

如采用钢牛腿，当墙体滑升到接近楼板的牛腿安装高度时，放入预埋件，待墙体滑升上去后，将埋件表面清理，烧焊钢牛腿，然后吊装楼板。

如采用钢筋混凝土，当墙体滑升时，在楼板标高埋设若干木盒，待墙体滑升上去后，利用预留洞穿过钢筋连接两边牛腿。架设牛腿模板后浇灌混凝土，达到一定强度后吊装楼板；也可先吊装楼板，牛腿与板缝一次浇灌，但牛腿模板应继续承载力验算。

(3) 平接法

滑模墙体时留穿墙孔。滑模上升到上一层时，靠承重墙水平架设一条约 20cm 宽的模板，模板面与穿墙孔底面平，下设牢固支撑。将混凝土空心楼板吊入就位，两端上下板钢筋均需预留出足够长度。通过穿墙孔将相邻楼板的钢筋连接。现浇混凝土补平楼板与穿墙孔，一部分混凝土灌进空心楼板孔内约 10~15cm，完成连接。

2 现浇楼板的施工

主要有“滑一浇一”逐层支模法、“滑三跟一”支模法，和降模施工法。

(1) 降模施工法

墙体滑模施工时，在承重墙的每层楼板标高处，都要预留梁端的搁置孔洞，以及在混凝土墙体上部四角和墙体适当地方预留吊挂楼板模板用临时悬臂短横梁的孔洞。墙体滑升到顶后，利用滑升模板的操作平台改装为楼板底模。插入临时悬臂短横梁焊牢后，在四角和墙体适当地方用特殊的吊杆吊住楼板底模，成为降模。

在降模改装完成后，在其上面按设计要求绑扎钢筋、浇灌梁和楼板混凝土。达到一定强度后，在四角吊点出安装移动式降模小车，承受所有降模重量，放松吊杆。用降模小车上的卷扬机通过楼板上预留的孔洞，将一间房间的楼板模板徐徐下降到下一层楼板标高处，然后接长吊杆重新吊住降模，调整降模平整度后，将降模小车卷扬机的拉力释放，形成这一层的楼板模板。降模形成转移到其它各相邻房间逐间降下楼板模板。依次逐层下降，直至在底层拆卸出去。

对于高层建筑，为了避免无水平连接的墙体过高，在滑升到一定层次时，就在底层组装一套降模用楼板模板，在操作平台上将各房间的楼板模板吊上去，吊装在中间层预先设置的悬挑短横梁上，逐层向下降模施工楼板。同时滑模继续向上滑升施工墙体。

(2) “滑一浇一”逐层支模法

是一种常见的普通支模方法。关键是整栋浇筑的滑升模板要滑升到楼板面10cm以上，这时千斤顶下口距离墙面混凝土高度将达到1.8m以上，支承杆的稳定承载能力要经过仔细验算。外模应加长30cm包住外墙，内墙模板有计划安排地设计一部分加长以夹住已浇筑的混凝土墙体，加强整个模板系统和操作平台的稳定。因而局部楼板会留出一部分孔洞，待滑升后补浇平整。

从下层楼板上设立支撑系统和现浇梁和楼板模板，保证钢筋后浇楼板混凝土。板面至滑模下口的空隙用小模板封堵，可以继续墙体的滑模施工。

(3) “滑三跟一”支模法

这是快速施工的一种方法。使墙体不断向上滑升，预留楼板插筋和梁端孔洞，在内吊脚手下面，加吊一层满堂轻质铺板及安全网。当墙面滑出一层后，在内吊脚手架上将预留的楼板插筋扳出来，下面开始架设楼板模板、绑扎钢筋及安装管线。但墙体滑升到第三层时，即浇捣第一层楼板。以后，楼板和墙体的施工层层紧跟。由于墙体的滑升速度较快，因此要求楼板施工的速度要紧跟。

3 滑框倒模工艺

围圈内侧增设可支撑模板的竖向滑道，滑道和提升系统一起滑升，模板可以暂时不动。等滑道滑出模板，再拆除模板，倒到滑道上重新安装插入施工。减少了滑升等待混凝土带模板硬化时间，减少了滑升阻力，减少墙板混凝土被拉裂的可能性，提高了混凝土墙板的表面质量。但由于增加了操作工序，一般在发生滑

模施工困难的时候采用。

7.4 爬升模板

现浇混凝土施工用爬升模板是一种较新型的施工技术。我国 1978 年开始引进，对一些外墙立面形态复杂、采用艺术混凝土或不抹灰饰面混凝土、垂直偏差控制要求较严的高层建筑，取得了较好的效果。因其具有诸多优秀的特点，得到了普遍使用。

爬升模板在高层建筑施工中的特点：

- 模板在每个楼层间翻转靠自行爬升，不需起重机械；
- 大风对爬模施工影响较小；
- 施工工期较易控制；
- 爬升动作平稳，工作安全可靠；
- 模板安装时其位置和尺寸可校准到较高精度；
- 可整体爬升，有滑模的长处；
- 一次可浇筑一个楼层的墙体混凝土，具有大模板的长处；
- 施工过程中模板和爬架的爬升、校正、安装等工序，可与一个楼层的其它工序在时间上平行搭接作业，并且大多数情况下不在关键线路上，因而能有效缩短施工工期。

7.4.1 爬模模板的组成和原理

1 爬升模板的组成

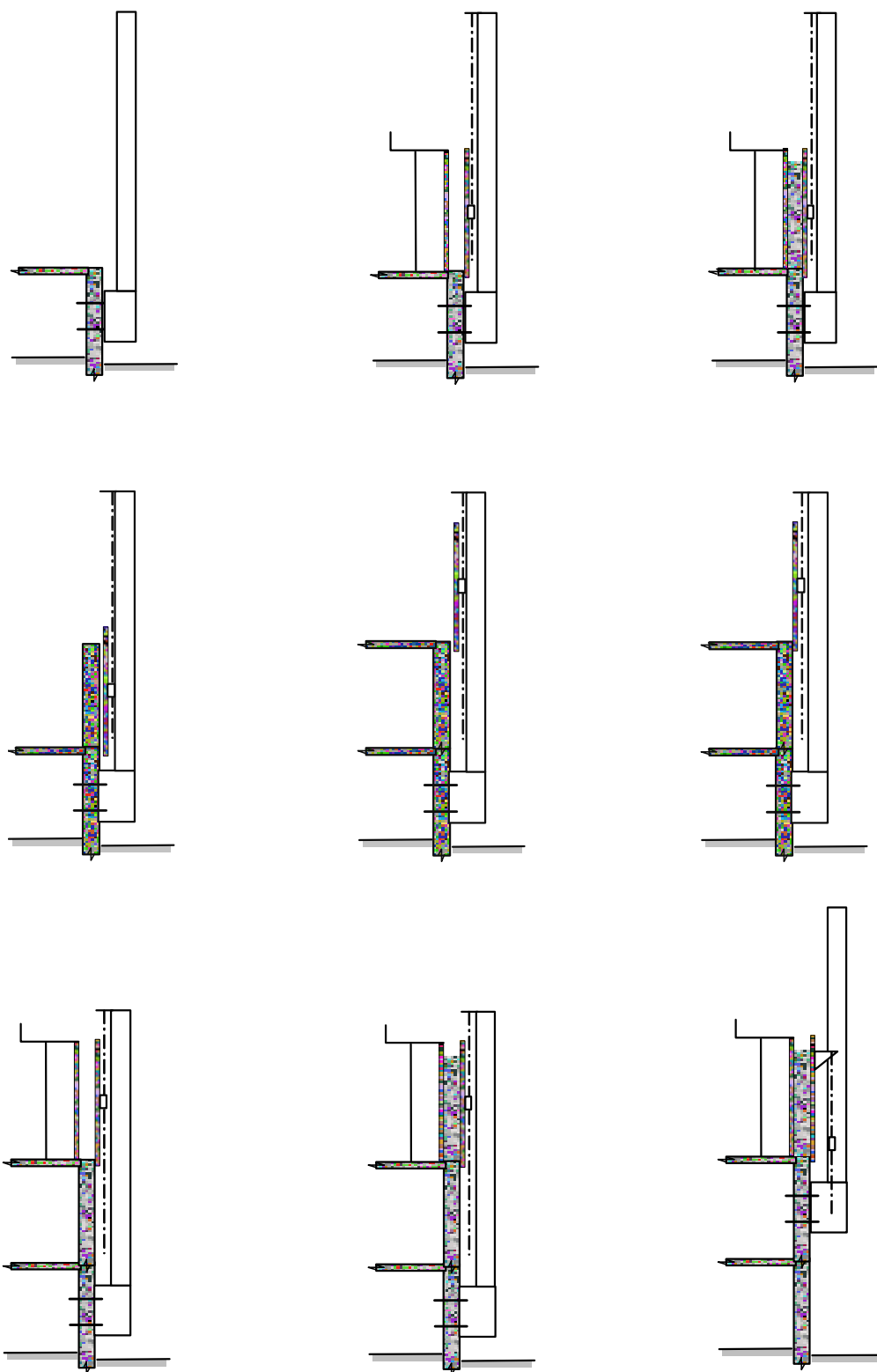
爬升模板由模板、爬架和爬升设备三部分组成。

模板与大模板相似，能在爬升设备作业下自行爬升或下降。模板的高度一般为一个楼层高度，宽度视一片墙的宽度或施工段划分而定。可以是一个开间、一片墙或一个施工段的宽度。

爬架由支承架和附墙架两部分组成。爬架用连接螺栓附着于下面一层已具有一定强度的钢筋混凝土墙体上，通过爬升设备支承模板并爬升模板。当爬架本身需要爬升时，反过来需以通过穿墙螺栓拉结的模板作为爬架的支承，用爬升设备爬升。

爬升模板的设备是支承模板和使模板升降的动力装置。当爬升爬架时，爬升爬架的设备是支承爬架并使爬架升降的动力装置。爬升设备一般为环链手拉葫芦或与滑模施工中一样的穿芯油压千斤顶，根据需求和装备条件选用。

2 爬升原理



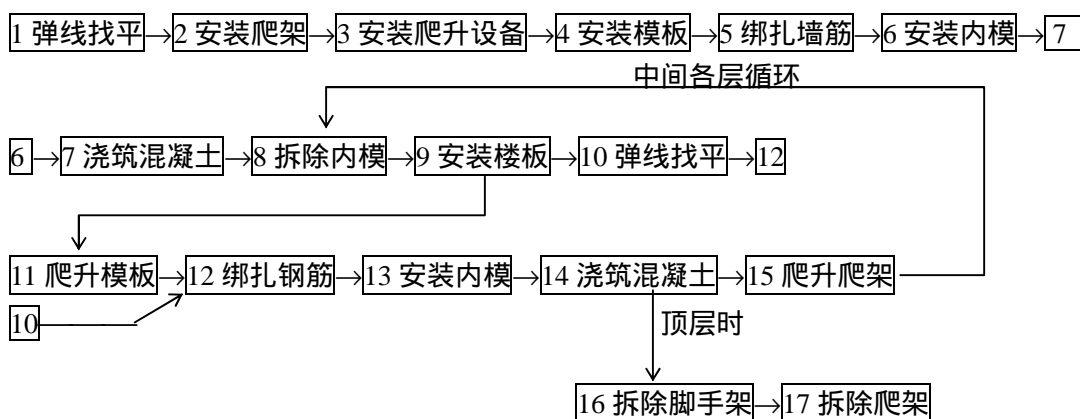
钢结构高层浇筑也有现浇钢筋混凝土剪力墙和电梯井，它们跟随在钢结构吊装后浇筑，可用爬升模板施工。如果剪力墙或电梯井壁离开钢结构框架不远时，

模板的支承可直接利用钢梁或钢柱作支承，省去支承架。这样就简化了爬模系统，减少爬架并且不须爬架爬升工序，提高工效和降低成本。

此种方法适用于钢结构、预制钢筋混凝土结构的后浇外剪力墙和电梯井壁。

7.4.2 爬模工艺中的主体施工

1 采用预制楼板



8 防水工程

8.1 屋面防水施工

屋面工程是房屋建筑的一项重要分部工程。直接影响到房屋的使用性能。

屋面的种类有：瓦屋面、波形瓦屋面、混凝土构件自防水屋面、现浇钢筋混凝土防水屋面（刚性防水屋面）、卷材防水屋面（柔性防水屋面），等。

8.1.1 卷材防水屋面

1 卷材屋面的防水要求

- (1) 耐久性：大气稳定性。
- (2) 耐热性：温度稳定性。
- (3) 耐重复伸缩；温差作用下，卷材随基层发生反复的热胀冷缩变形，使卷材发生龟裂。卷材应具有足够的抗拉强度和延伸率。
- (4) 保持卷材防水层的整体性：卷材防水层作为整体（不仅是卷材本身）的防水性。
- (5) 保持卷材与基层的粘结：防止卷材防水层起鼓或剥离。

2 防水材料

(1) 卷材

沥青卷材（油毡）

纸质胎芯浸渍沥青（常用沥青卷材）

植物纤维或人造纤维胎芯浸渍沥青

无胎改性沥青

合成高分子树脂卷材

再生橡胶或合成橡胶卷材

(2) 沥青

分为石油沥青（石油中提炼）和焦油沥青（煤中提炼），性质不同，不能混合使用。施工时应注意沥青的来源、品种和标号等。

沥青的主要物理性能：

- Ⅰ 稠度：沥青的软硬、稀稠的程度。液体状用粘滞度表示，固体状用针入度表示。
- Ⅰ 粘结力：沥青的粘结能力。
- Ⅰ 塑性：即沥青的柔韧性。与温度和沥青膜厚度有关。以伸长度（延伸度）表示。
- Ⅰ 温度稳定性（耐热性）：沥青由固态变为一定流动性膏状时的温度，用软化点表示。沥青应具有较高的大气稳定性。
- Ⅰ 大气稳定性（耐久性）：沥青随时间的延长而逐渐老化。为了延长其使用寿命，沥青要求有较好的大气稳定性。
- Ⅰ 闪点：开始出现闪火现象时的温度称为闪点。它是保证安全施工的温度控制指

标。

I 不透水性：不透水的性能。

沥青的技术质量指标：针入度、延伸度、软化点、溶解度、闪点

目前，我国确定沥青的牌号的标准是按针入度划分的。以前按软化点划分。

石油沥青新旧牌号对照表

旧牌号	按软化点	0	1	1	2 甲	2 乙	3 甲	3 乙	4 甲	4 乙	5
新牌号	按针入度	200	180	140	100 甲	100 乙	60 甲	60 乙	30 甲	30 乙	10

(3) 沥青胶（玛啼脂）

沥青溶化熬制脱水后，制成的热作业胶结材料。为了提高沥青的耐热性、韧性、粘结力和抗老化性能，可掺入适当的填充材料，成为玛啼脂。

(4) 冷底子油

沥青与轻柴油、煤油或汽油溶剂混合溶化而成，一般要求沥青先加热溶化脱水。用于冷作业条件下涂刷在其它材料（基层）的表面，便于卷材粘贴。根据溶剂的不同，具有不同的挥发性。

(5) 辅助（胶结）材料

粘结剂：用于粘贴合成高分子卷材。因卷材性能不同，所用粘结剂各异。

沥青砂浆（油砂）：为增加油毡与找平层的粘结能力，和避免油毡起鼓，或冬季施工为了加快工程进度，用于找平基层的，由热沥青与砂及粉料拌和后的热作业砂浆。粉料基本常用上述沥青胶结材料的粉性填充材料。

稀释剂：配制冷底子油或冷沥青胶结材料的溶剂：轻柴油、煤油、汽油、苯类等。各种溶剂均具有不同程度的挥发性和易燃性。

填充材料：配制卷材屋面用的沥青胶结材料的填充材料。有：石棉、滑石粉、云母粉、粉煤灰、石棉粉等。

3 卷材防水层施工

(1) 卷材屋面的构造

一般用胶结材料粘贴卷材进行防水的屋面，其构造层次可参见图 8.1。具体施工有哪些层次，根据设计要求而定。

其中油毡防水层，一般采用三层沥青两层油毡，交替粘贴胶结而成，称“两毡三油”，上粘铺“绿豆砂”保护层。

(2) 基层处理

要求基层平整、干净、干燥。设置分格缝。

(3) 卷材铺贴

铺贴要点：

- u 粘结剂应与卷材相容。
- u 铺贴方向应考虑到屋面的坡度和坡向，搭接处应符合规定，见图 8.2。
- u 粘结剂可以采用满铺、点铺、条铺。在铺贴第一层油毡时，如基层干燥有困难，常采用空铺（点铺或条铺）法施工和排气屋面的做法。
- u 先进行落水口，泛水等细部铺贴，要求满铺。然后铺贴大面。
- u 首层卷材铺贴完成后，继续铺贴上层卷材。
- u 面层撒砂保护。

常见问题：起鼓、开裂、流淌、老化；后果造成屋面漏水。

8.1.2 涂膜防水屋面

常见构造常见图 8.3。

1 嵌缝施工

一般为热作业。

2 防水涂料施工

分为薄质涂料和厚质涂料。

常见薄质涂料有：聚氨脂防水涂料、丙烯酸乳液、橡胶沥青乳液等。

常见厚质涂料有：各类乳化沥青添加填料（石灰、膨润土等）的冷作业涂料、水泥基黑豹，等。

8.1.3 细石混凝土刚性防水屋面

1 屋面构造

通常为 40mm 厚 C20 以上的细石混凝土，配双向 4mm 直径，间距 100～200mm 的钢丝网片，用于防裂。

2 施工工艺

（1）分割缝

间距不大于 6m，结合可能出现裂缝的薄弱处设置。钢丝网断开。

（2）细石混凝土防水层施工

施工要点：

- l 与基层隔离
- l 钢丝网片应设在中部
- l 用平板振动器振捣密实，表面抹平，收水后二次压光
- l 良好的养护措施，防止硬化前脱水收缩裂缝
- l 油膏嵌缝

8.2 地下建筑防水工程

地下工程常见防水方法：防水混凝土、有组织排水、表面防水层处理

8.2.1 卷材防水层

1 外防外贴

见图 8.6。

2 外防内贴

见图 8.7。

3 铺贴要求及结构缝处理

见图 8.8 和图 8.9。

8.2.2 水泥砂浆防水层

水泥砂浆和纯水泥浆交替抹压涂刷 4~5 层。

1 材料要求

水泥不低于 325，严格控制砂的含泥量。配合比按专门规定或经验。

2 水泥砂浆防水层施工

见图 8.10。

8.2.3 冷胶料防水层

新型双组份橡胶沥青乳液，施工前配合，冷作业。

8.2.4 防水混凝土

1 防水混凝土的性能与配制

通过配合比控制或掺外加剂进行配制。通常采用的外加剂有：减水剂、加气剂、防水剂、膨胀剂。

2 防水混凝土的施工

- Ⅰ 混凝土墙体模板拉结条一次使用，之间设止水板
- Ⅰ 保护层不少于 30mm
- Ⅰ 钢筋绑扎等作业中不允许钢筋或铁丝与模板直接接触
- Ⅰ 严格混凝土浇筑时的振捣和浇筑后养护，湿润时间不少于 14 天
- Ⅰ 施工缝处设止水带或止水槽等，见图 8.11。

8.2.5 堵漏技术

1 快硬水泥胶浆堵漏

孔洞堵漏、裂缝堵漏

2 氰凝灌浆堵漏

9 装饰工程

9.1 装饰工程概述

装饰工程作业方法种类繁多，从基本类型分，有：结构饰面合一、抹灰、饰面、裱糊、涂料（包括喷涂、滚涂、弹涂等）、刷浆，以及隔断、吊顶、门窗、玻璃、罩面板、花饰安装等。

功能、观感、环保、方便施工作业等，是装饰工程的主题。

9.2 抹灰工程

9.2.1 抹灰工程分类

见图 9.1。

9.2.2 一般抹灰

一般抹灰按使用要求、质量标准和操作工序不同，可分为普通抹灰、中级抹灰和高级抹灰。常用材料石灰膏的熟化时间：15 天，罩面 30 天

普通抹灰：底面各一层，分层赶平修整。

中级抹灰：底面各一层，中间一层，分层赶平修整，表面压光。

高级抹灰：底面各一层，中间若干层，分层赶平修整，棱角找方，表面压光。

1 基层处理

清理，创造牢固结合条件，同时做好覆盖变材料结合处的丝网、护角等。

2 底层

起与基层牢固结合作用，并基本找平。先标志后标筋。砌体充分沉实后抹灰。

3 中间层

基层干燥后施工，起找平作用，多层中间层时，互相之间应有良好结合。

4 面层

较薄，通常以刮的方式施工。确保施工后表面的平整性和装饰效果。

常见抹灰做法见表 9.1 和表 9.2。

9.2.3 机械喷涂抹灰

利用空压机和喷枪，将灰浆泵提供的灰浆喷在墙面。通常可以施工底层或中间层。在需要时，可以进行面层喷浆施工。

喷涂设备及其流程见图 9.6 和图 9.7。

9.2.4 装饰抹灰

- 1 水刷石
- 2 水磨石
- 3 斩假石
- 4 干粘石
- 5 拉毛灰和洒毛灰
- 6 喷涂饰面
- 7 滚涂饰面
- 8 弹涂饰面

9.3 饰面板（砖）工程

9.3.1 饰面板（砖）材料及其要求

装饰板材种类多，发展快。常见的有：天然石材、人造石材、金属饰面板、塑料饰面板（或金属塑料复合饰面板材），和不同规格和等级的饰面砖材料。

9.3.2 饰面板（砖）的施工

1 饰面板（砖）的胶粘法施工

2 饰面板（砖）的常规施工方法

1) 小规格饰面板（砖）多常用镶贴法。板材充分浸水，水泥砂浆打出底层后，找规矩，弹线，水泥净浆粘贴。

2) 大规格板材施工

湿法工艺、干法工艺

9.3.3 铝合金饰面板的施工

放线、连接件固定、骨架安装和固定、饰面板安装和固定、收口构造。

9.3.4 塑料饰面板的施工

塑料贴面材料的施工主要使用胶粘剂施工。

9.4 裱糊工程

9.4.1 裱糊材料及要求

常用材料：普通壁纸、塑料壁纸、玻璃纤维墙布、无纺墙布。

9.4.2 裱糊施工

9.4.3 裱糊工程的质量标准和检验方法

参见表 9.7。

9.5 涂料工程

9.5.1 油漆涂料

1 常用油漆

2 油漆施工

9.5.2 涂料涂饰

1 外墙涂料

2 内墙涂料

9.6 刷浆工程

略。

10 桥梁结构工程

暂略。

11 施工组织概述

11.1 建筑施工的特点

工程对象（建筑产品）固定，生产资料（资源）流动，需要空间和时间的合理安排。生产周期长，综合性强，技术间歇性强，露天作业多，受自然条件影响大，产品单一性，工程性质复杂，施工组织复杂，资源种类多，协作配合要求高。

为了有针对性、有计划地处理和解决这些在施工中遇到的组织和协调问题，以达到优质、高效、经济的效果，需要进行施工的组织设计，对施工过程的时间及流程安排、施工作业特点难点技术措施和方案、施工人力、机械和材料等资源的计划管理、施工现场的使用管理、施工安全措施，等问题，进行前瞻性的计划和论证，作出准确的决策，有效、科学地组织施工。

11.2 施工组织的基本原则

11.3 原始资料调查

11.3.1 工程勘察

11.3.2 技术经济调查

11.4 施工准备工作

11.4.1 基础工作准备

11.4.2 全工地性施工准备

11.4.3 单位工程施工条件准备

11.4.4 分部、分项工程作业条件准备

11.5 施工组织设计

11.5.1 施工组织设计的作用

施工组织设计是用以指导施工组织与管理、施工准备与实施、施工控制与协调、资源配置与使用等全面的技术、经济文件；是对施工活动的全过程进行科学管理的重要手段。

施工组织设计反映施工队伍及其施工项目管理人员的技术、经济、管理能力，

是提供施工企业竞争力的重要途径。

11.5.2 施工组织设计分类

- 1 施工组织总设计
- 2 单位工程施工组织设计
- 3 分部分项工程施工作业设计

11.5.3 施工组织设计的内容

1. 工程概况
2. 施工部署及施工方案
3. 施工进度计划
4. 施工平面布置
5. 主要技术经济指标

11.5.4 施工组织设计的贯彻、检查和调整

12 流水施工原理

12.1 流水施工概念

- 1 依次施工
- 2 平行施工
- 3 流水施工

流水施工作业是将施工对象（拟建工程）在平面或空间上划分为若干个工程量基本相等的施工段落，并使其每个施工过程都由相应的专业工作队在同一时间内，不同空间上完成其施工任务，达到有节奏的均衡施工的目的。

流水施工作业根据使用对象的不同，可分为分项工程、分部工程、单位工程、建筑群体工程流水施工。

12.2 流水施工指示图表

水平图表：横坐标表示持续时间，纵坐标表示工程项目或施工段的编号，如图 10-2(a)；或纵坐标表示施工过程及专业工作队名称或编号，横道上的各段表示工程项目或施工段的编号。

垂直图表：横坐标表示持续时间，纵坐标表示工程项目或施工段的编号，图中各斜线表示各施工过程或专业工作队在各施工段的流水工作过程。

12.3 流水施工的参数

1 施工过程数 n

在组织流水施工时，用以表达流水施工在工艺上开展层次的有关过程，称为施工过程，记为 n 。

2 施工段数 m

在组织流水施工时，把施工对象（拟建工程）在平面或空间上划分为若干个工程量基本相等的施工段落。

3 流水节拍 t_i

一个施工过程（专业工作队）在各个施工段完成其工作所需要的持续时间。

4 流水步距 K

两个相邻施工过程（专业工作队）先后进入同一施工段开始施工的时间间隔。

5 流水施工工期 T

流水施工开始到结束的全长时间。

12.4 流水施工分类

12.5 流水施工的组织方法

12.5.1 固定节拍流水

各施工过程不但是节奏专业流水，而且其在各施工段上的流水节拍相同，称为固定节拍的专业流水施工。

12.5.2 成倍节拍专业流水

各施工过程在各施工段上的流水节拍均为它们最大公约数的倍数，称为成倍节拍专业流水。

1 一般成倍节拍专业流水

按照工艺要求，且各施工过程只有一个施工工作队，将使施工段中出现间歇，工期的安排相应增加。

2 加快成倍节拍流水

为了加快施工进度，可以对每施工段的施工过程节拍较长的情况，增加施工作业队，使各施工段的施工作业按多个施工作业队进行流水施工，缩短了重工期。

12.5.3 分别流水（非节奏流水）

12.5.4 流水线法

12.6 流水施工组织示例

13 网络计划技术

13.1 网络图的绘制

网络绘图规则及其简介。

13.1.1 双代号网络

13.1.2 单代号网络

13.2 网络计划的时间参数计算

基本概念

13.3 双代号时标网络计划

基本概念

13.4 网络计划的优化

工期优化

资源优化

费用优化

13.5 网络计划的控制

基本概念

14 施工组织总设计

14.1 施工总体方案的制订

14.2 施工总进度计划

14.3 全工地性施工业务

14.4 施工总平面图

15 单位工程施工设计

15.1 选择施工方案

15.2 编制施工进度

15.3 设计施工平面图

15.4 拟定施工措施

15.5 高层建筑施工设计示例

