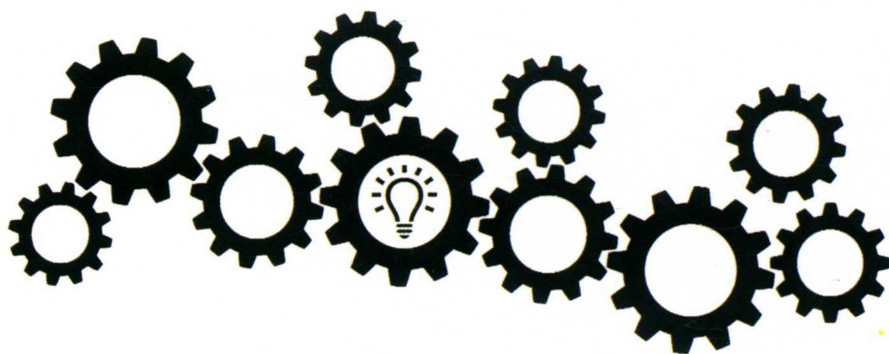


# 建筑业 10 项新技术

## (2017 版) 应用指南

本书编委会 编写



中国建筑工业出版社

# 建筑业 10 项新技术 (2017 版) 应用指南

本书编委会 编写

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

建筑业 10 项新技术 (2017 版) 应用指南/《建筑业 10 项新技术 (2017 版) 应用指南》编委会编写. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 5

ISBN 978-7-112-22067-0

I. ①建… II. ①建… III. ①建筑工程-新技术应用-指南 IV. ①TU-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 063992 号

本书是为了配合《建筑业 10 项新技术 (2017 版)》的推广应用而编写的, 主要内容包括: 地基基础和地下空间工程技术, 钢筋与混凝土技术, 模板脚手架技术, 装配式混凝土结构技术, 钢结构技术, 机电安装工程技术, 绿色施工技术, 防水技术与围护结构节能, 抗震、加固与监测技术, 信息化技术。本书详细介绍了各项技术的国内外发展概况、技术的基本原理、主要技术内容与特点、技术指标与技术措施 (部分含设计计算内容)、适用范围与应用前景、典型工程与应用实例、经济效益与社会效益分析等内容。

本书可供建筑施工技术人员、建筑工程设计人员、科研人员及建筑工程管理人员参考使用。

\* \* \*

责任编辑: 杜洁 王磊

责任校对: 李欣慰

## 建筑业 10 项新技术 (2017 版) 应用指南

本书编委会 编写

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 42½ 字数: 1058 千字

2018 年 11 月第一版 2018 年 11 月第一次印刷

定价: 139.00 元

ISBN 978-7-112-22067-0

(31877)

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)

# 《建筑业 10 项新技术 (2017 版) 应用指南》 编 委 会

主 编：王清勤 赵基达

副主编：张靖岩

委 员：(按章节排序)

高文生 赵基达 高 峰 王晓锋 李景芳 吴月华  
单彩杰 曲 慧 姚秋来 杨富春

顾 问：(按姓氏笔划排列)

马荣全 毛志兵 叶浩文 冯 跃 李久林 杨健康  
张 琨 张同波 张希黔 苗启松 胡德均 高 杰  
高承勇 龚 剑 谢鸿卫 戴立先

参加本书编写的人员如下：

各章编写人员 (每章第一人为该章召集人)

第 1 章 高文生 王曙光 吴春林 张东刚 王也宜 衡朝阳  
肖大平 于东健 周 智 李耀良 王理想 陈 辉  
陈 驰 黄江川 王佳杰 吴 斌 邹 峰 卢秀丽  
杨宇波 程 岩

第 2 章 赵基达 冯大斌 冷发光 刘子金 朱爱萍 王晓锋  
王永海

第 3 章 高 峰 张良杰 杨少林 石亚明 杨棣柔 吴亚进  
牛 潮 姜传库 刘建国 黄玉林 杨 波 陈 伟  
洗汉光 王祥军 杨秋利 胡 健 陈铁磊 廖 娟  
张志明 李加存

第 4 章 王晓锋 蒋勤俭 田春雨 赵 勇 高志强 钱冠龙  
樊 骅 李 浩 谷明旺 汪 力 姜 伟 赵广军  
张渤钰 周丽娟

- |      |                          |                          |                   |                   |                   |                   |
|------|--------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 第5章  | 李景芳<br>陈志华<br>余玉洁<br>李北超 | 戴立先<br>李海旺<br>李浓云<br>陈利敏 | 李久林<br>韩建聪<br>孙朋  | 韦疆宇<br>朱邵辉<br>李锦丽 | 曾志攀<br>余永明<br>邱德隆 | 郭满良<br>赵娜<br>赵宇新  |
| 第6章  | 吴月华<br>任长宁<br>芮立平<br>余雷  | 徐义明<br>王红静<br>陈晓文<br>倪志海 | 陈静<br>冯凯<br>宋志红   | 任俊和<br>严文荣<br>梁刚  | 王升其<br>刘杰<br>余雷   | 周卫新<br>张勤<br>任长宁  |
| 第7章  | 单彩杰<br>冯大阔<br>陈波         | 蒋立红<br>杨香福<br>王涛         | 段恺<br>杨升旗<br>汤德芸  | 石云兴<br>张燕刚<br>刘会超 | 刘嘉茵<br>司金龙        | 杨均英<br>张静涛        |
| 第8章  | 曲慧<br>刘文利                | 吴小翔<br>赵力                | 董宏<br>李建军         | 李良伟<br>王晓锋        | 李光球<br>单彩杰        | 黄春生<br>程岩         |
| 第9章  | 姚秋来<br>韦永斌               | 常乐<br>赵伟                 | 聂祺<br>杨光值         | 唐曹明<br>潘鸿宝        | 李瑞峰<br>张靖岩        | 张荣强<br>张鑫         |
| 第10章 | 杨富春<br>张义平<br>高峰<br>常成一  | 王静<br>黄炜<br>黄从治<br>杜劲峰   | 谭丁文<br>苑玉平<br>肖新华 | 王兴龙<br>颜炜<br>王威   | 刘刚<br>王剑涛<br>王海涛  | 曾立民<br>张臣友<br>张志刚 |

## 秘 书 组

组 长：程 岩

组 员：(按章节排序)

王曙光	王永海	石亚明	周丽娟	李锦丽	陈 静
杨升旗	李良伟	张荣强	谭丁文		

主要参编单位 (按章节排序)

指 导 住房和城乡建设部工程质量安全监管司

第1章 中国建筑科学研究院有限公司

建研地基基础工程有限责任公司

上海市基础工程集团有限公司

- 第2章 中国建筑科学研究院有限公司  
建研科技股份有限公司  
建研建材有限公司  
国家建筑工程技术研究中心
- 第3章 中国模板脚手架协会  
中国建筑股份有限公司技术中心  
湖南金峰金属构件有限公司  
广东奇正模架科技有限公司  
北京星河模板脚手架工程有限公司  
上海建工集团股份有限公司  
深圳市同力德金属制品有限公司  
湖南中铁五新钢模有限责任公司  
涿州市三博桥梁模板制造有限公司  
浙江凯雄科技有限公司
- 第4章 中国建筑科学研究院有限公司  
北京预制建筑工程研究院有限公司  
建研科技股份有限公司  
同济大学  
中国建筑标准设计研究院有限公司  
中冶建筑研究总院有限公司  
宝业集团股份有限公司  
中建一局集团建设发展有限公司  
深圳现代营造科技有限公司  
建筑工业化产业技术创新战略联盟
- 第5章 中国建筑股份有限公司技术中心  
中建钢构有限公司  
北京城建集团有限责任公司  
北京城建勘测设计研究院有限责任公司  
中国建筑一局(集团)有限公司  
福建省建筑设计研究院  
深圳建筑设计研究总院  
天津大学  
太原理工大学

- 第 6 章** 中国建筑股份有限公司  
中建安装工程有限公司  
上海市安装工程集团有限公司
- 第 7 章** 中国建筑股份有限公司  
北京中建建筑科学研究院有限公司  
中国建筑第八工程局有限公司  
中国建筑第七工程局有限公司  
中国建筑第二工程局有限公司  
中建一局集团第五建筑有限公司  
中国建筑第八工程局有限公司华北分局  
中建二局第一建筑工程有限公司  
中国建筑第二工程局有限公司东北分公司  
中国建筑第二工程局有限公司北京分公司
- 第 8 章** 中国建筑业协会建筑防水分会  
苏州市建筑科学研究院集团股份有限公司  
中国建筑科学研究院有限公司  
中国建筑股份有限公司
- 第 9 章** 中国建筑科学研究院有限公司  
国家建筑工程质量监督检验中心  
中国建筑股份有限公司技术中心  
北京发研工程技术有限公司  
中国建筑技术集团有限公司  
山东建筑大学  
住房和城乡建设部防灾研究中心
- 第 10 章** 中国建筑股份有限公司  
中国建筑科学研究院有限公司  
中国中铁股份有限公司  
中国铁建股份有限公司  
中国电力建设股份有限公司  
中国建筑第三工程局有限公司  
中国建筑第八工程局有限公司  
中建钢构有限公司  
中国建筑一局(集团)有限公司  
中国建筑第二工程局有限公司

# 前 言

近年来，建筑业已逐渐成为我国国民经济的支柱产业，在推动经济建设高速发展中具有非常重要的地位和作用。《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》在“城镇化与城市发展领域实施情况中期评估报告”中指出，经过大量的工程实践，我国工程技术自主创新能力不断增强，建筑业技术不断向国际先进水平逼近，建筑节能与绿色建筑发展业绩突出，建筑业信息化领域整体水平稳步提高。但是建筑工程技术创新发展仍面临着创新动力不足、新技术应用不足、建筑业转型升级的技术支撑不足等亟待解决的问题。

新型城镇化建设对我国建筑工程技术创新发展提出了更高的要求，集约、智能、绿色、低碳的建筑工程技术创新显得更为重要。为推进建筑业技术进步，提高行业整体素质，住房和城乡建设部先后组织编制了《建筑业10项新技术》1994版、1998版、2005版和2010版。2016年3月，住房和城乡建设部工程质量安全监管司组织中国建筑科学研究院有限公司、中国建筑股份有限公司、中国模板脚手架协会、中建股份技术中心、中国建筑业协会建筑防水分会等数十家单位的百余位专家对10项新技术进行了修订。

修订后的《建筑业10项新技术（2017版）》包括10个大项107项技术，10个大项技术包括：地基基础和地下空间工程技术，钢筋与混凝土技术，模板脚手架技术，装配式混凝土结构技术，钢结构技术，机电安装工程技术，绿色施工技术，防水技术与围护结构节能，抗震、加固与监测技术，信息化技术。该版本以房屋建筑为主，适当考虑交通、市政等其他领域的需求，涉及的新技术覆盖范围大，每项技术具有先进性、适用性、成熟性与可推广性的特点，代表了现阶段我国建筑业技术发展的最新成就。

本书配合《建筑业10项新技术（2017版）》的推广应用而编写，详细介绍了各项技术的发展概况、技术内容、技术指标、适用范围、工程案例等内容。由于编写时间较为仓促，不足之处在所难免，希望业内人士和使用单位提出宝贵意见。各单位在使用过程中需要进一步了解的内容，请与各咨询单位或总协调单位中国建筑科学研究院有限公司（北京市朝阳区北三环东路30号新科研大楼A座16层科技处，100013）联系。

本书在编写过程中参考了相关的书籍、报刊等文献资料，未能在参考文献中全部列出，对于这些作者的贡献，在此表示由衷的感谢。



# 目 录

<b>1 地基基础和地下空间工程技术</b> .....	1
1.1 灌注桩后注浆技术 .....	1
1.2 长螺旋钻孔压灌桩技术 .....	6
1.3 水泥土复合桩技术 .....	9
1.4 混凝土桩复合地基技术 .....	13
1.5 真空预压法组合加固软基技术 .....	20
1.6 装配式支护结构施工技术 .....	27
1.7 型钢水泥土复合搅拌桩支护结构技术 .....	32
1.8 地下连续墙施工技术 .....	41
1.9 逆作法施工技术 .....	52
1.10 超浅埋暗挖施工技术 .....	67
1.11 复杂盾构法施工技术 .....	71
1.12 非开挖埋管施工技术 .....	77
1.13 综合管廊施工技术 .....	89
<b>2 钢筋与混凝土技术</b> .....	99
2.1 高耐久性混凝土技术 .....	99
2.2 高强高性能混凝土技术 .....	105
2.3 自密实混凝土技术 .....	110
2.4 再生骨料混凝土技术 .....	115
2.5 混凝土裂缝控制技术 .....	117
2.6 超高泵送混凝土技术 .....	127
2.7 高强钢筋应用技术 .....	132
2.8 高强钢筋直螺纹连接技术 .....	139
2.9 钢筋焊接网应用技术 .....	148
2.10 预应力技术 .....	156
2.11 建筑用成型钢筋制品加工与配送技术 .....	164
2.12 钢筋机械锚固技术 .....	167
<b>3 模板脚手架技术</b> .....	175
3.1 销键型脚手架及支撑架 .....	175
3.2 集成附着式升降脚手架技术 .....	179
3.3 电动桥式脚手架技术 .....	185
3.4 液压爬升模板技术 .....	189
3.5 整体爬升钢平台技术 .....	194

3.6	组合铝合金模板施工技术	196
3.7	组合式带肋塑料模板技术	200
3.8	清水混凝土模板技术	204
3.9	预制节段箱梁模板技术	209
3.10	管廊模板技术	214
3.11	3D 打印装饰造型模板技术	220
<b>4</b>	<b>装配式混凝土结构技术</b>	<b>224</b>
4.1	装配式混凝土剪力墙结构技术	224
4.2	装配式混凝土框架结构技术	229
4.3	混凝土叠合楼板技术	234
4.4	预制混凝土外墙挂板技术	244
4.5	夹心保温墙板技术	251
4.6	叠合剪力墙结构技术	264
4.7	预制预应力混凝土构件技术	270
4.8	钢筋套筒灌浆连接技术	274
4.9	装配式混凝土结构建筑信息模型应用技术	287
4.10	预制构件工厂化生产加工技术	301
<b>5</b>	<b>钢结构技术</b>	<b>310</b>
5.1	高性能钢材应用技术	310
5.2	钢结构深化设计与物联网应用技术	313
5.3	钢结构智能测量技术	319
5.4	钢结构虚拟预拼装技术	326
5.5	钢结构高效焊接技术	334
5.6	钢结构滑移、顶（提）升施工技术	342
5.7	钢结构防腐防火技术	353
5.8	钢与混凝土组合结构应用技术	360
5.9	索结构应用技术	369
5.10	钢结构住宅应用技术	375
<b>6</b>	<b>机电安装工程技术</b>	<b>382</b>
6.1	基于 BIM 的管线综合技术	382
6.2	导线连接器应用技术	386
6.3	可弯曲金属导管安装技术	393
6.4	工业化成品支吊架技术	398
6.5	机电管线及设备工厂化预制技术	400
6.6	薄壁金属管道新型连接安装施工技术	403
6.7	内保温金属风管施工技术	406
6.8	金属风管预制安装施工技术	411
6.9	超高层垂直高压电缆敷设技术	418
6.10	机电消声减振综合施工技术	423

6.11	建筑机电系统全过程调试技术	427
<b>7</b>	<b>绿色施工技术</b>	<b>433</b>
7.1	封闭降水及水收集综合利用技术	433
7.2	建筑垃圾减量化与资源化利用技术	436
7.3	施工现场太阳能、空气能利用技术	440
7.4	施工扬尘控制技术	446
7.5	施工噪声控制技术	450
7.6	绿色施工在线监测评价技术	453
7.7	工具式定型化临时设施技术	463
7.8	垃圾管道垂直运输技术	469
7.9	透水混凝土与植生混凝土应用技术	473
7.10	混凝土楼地面一次成型技术	484
7.11	建筑物墙体免抹灰技术	487
<b>8</b>	<b>防水技术与围护结构节能</b>	<b>495</b>
8.1	防水卷材机械固定施工技术	495
8.2	地下工程预铺反粘防水技术	501
8.3	预备注浆系统施工技术	504
8.4	丙烯酸盐灌浆液防渗施工技术	508
8.5	种植屋面防水施工技术	512
8.6	装配式建筑密封防水应用技术	517
8.7	高性能外墙保温技术	520
8.8	高效外墙自保温技术	524
8.9	高性能门窗技术	526
8.10	一体化遮阳窗	537
<b>9</b>	<b>抗震、加固与监测技术</b>	<b>542</b>
9.1	消能减震技术	542
9.2	建筑隔震技术	554
9.3	结构构件加固技术	565
9.4	建筑移位技术	576
9.5	结构无损性拆除技术	581
9.6	深基坑施工监测技术	588
9.7	大型复杂结构施工安全性监测技术	593
9.8	爆破工程监测技术	597
9.9	受周边施工影响的建(构)筑物检测、监测技术	600
9.10	隧道安全监测技术	605
<b>10</b>	<b>信息化技术</b>	<b>612</b>
10.1	基于BIM的现场施工管理信息技术	612
10.2	基于大数据的项目成本分析与控制信息技术	617
10.3	基于云计算的电子商务采购技术	620

---

10.4	基于互联网的项目多方协同管理技术·····	628
10.5	基于移动互联网的项目动态管理信息技术·····	633
10.6	基于物联网的工程总承包项目物资全过程监管技术·····	640
10.7	基于物联网的劳务管理信息技术·····	645
10.8	基于 GIS 和物联网的建筑垃圾监管技术 ·····	652
10.9	基于智能化的装配式建筑产品生产与施工管理信息技术·····	664

# 1 地基基础和地下空间工程技术

## 1.1 灌注桩后注浆技术

### 1.1.1 发展概述

早在 20 世纪 60 年代初,国外就开发出解决灌注桩桩底沉渣和桩身泥皮的后注浆技术。国外的桩底后注浆装置大体可分为以下几种:预埋于桩底的装有碎石的预载箱、注浆腔、U 形管阀。桩侧后注浆装置为设置于钢筋笼上的带套袖阀的钢管。国外灌注桩后注浆技术的特点是工艺复杂,附加费用高,桩侧注浆需在成桩后 2d 内通过高压射水冲破混凝土保护层来实施。1983 年,第八届欧洲土力学与基础会议论文集中有灌注桩后注浆技术论文若干篇<sup>[1,2]</sup>。

我国关于灌注桩后注浆的最早报道,是交通部一航局设计院 1974 年在天津塘沽采用氰凝固结桩端土的试验。20 世纪 80 年代初,北京市建研所等在灌注桩桩底设置隔离板,采用 PVC 管作为注浆管进行后注浆试验。上述两单位的技术当时是在干作业灌注桩中试验和应用的,因此注浆阀无需具备抵抗泥浆和静止水压力的功能,且桩长较短,相对简单。20 世纪 90 年代初,在徐州和郑州地区有关于后注浆技术应用于泥浆护壁灌注桩工程的报道,前者是将 2 根注浆管埋设在桩底虚土的碎石中,先由一管注入清水,由另一管排除泥浆,随后注入水泥浆,其承载力增幅较小,后者由西南交通大学岩土所与郑州铁路局郑州设计院进行的某桥梁桩基注浆试验<sup>[3,4]</sup>,是在桩底设置橡胶囊,由带钢球的单向阀钢管与注浆腔相连,成桩后向囊中注浆,其加固机理主要靠注浆囊的膨胀压密和扩底作用,同时应用套管法于成桩后 12h 内冲破混凝土保护层实施桩侧注浆的试验。总的说来,上述国内灌注桩后注浆装置与国外技术类似,安装较复杂,成本高,且与桩体施工有一定程度交叉。

中国建筑科学研究院地基基础研究所 20 世纪 90 年代中期研究开发的灌注桩后注浆技术,其预置注浆阀和注浆管构造简单、安装方便、成本较低、可靠性高;注浆时间限制小,不与成桩作业交叉,不破坏桩身混凝土;注浆模式、注浆量可根据土层性质、承载力增幅要求进行调控;注浆装置中的钢管可与桩身完整性检测管结合使用、注浆导管等强度取代纵向钢筋,降低后注浆附加费用。1999 年中国建筑科学研究院制定了该技术的企业技术规程,目前该技术已获两项国家实用新型专利(专利号:ZL94222930.4;ZL95207690.X)和两项发明专利(专利号:ZL94116598.1;ZL00100760.2),并被原建设部定为国家级工法[工法名称:灌注桩后压浆(PPG)工法、批准文号:建建[2000]45 号、工法编号:YJGF04-98]<sup>[5,6]</sup>。

目前,灌注桩后注浆技术已在国内广泛应用,具体工艺方法上差异较大,施工及验收标准也不统一,该技术的应用有待进一步规范化管理。

### 1.1.2 技术内容

灌注桩后注浆 (post grouting for cast-in-situ pile, 简写 PPG) 是指在灌注桩成桩后一定时间内, 通过预设于桩身内的注浆导管及与之相连的桩端、桩侧注浆阀注入水泥浆, 使桩端、桩侧土体 (包括沉渣和泥皮) 得到加固, 从而提高单桩承载力, 减小沉降。灌注桩后注浆是一种提高桩基承载力的辅助措施, 而不是成桩方法。后注浆的效果取决于土层性质、注浆的工艺流程、参数和控制标准等因素。

灌注桩后注浆提高承载力的机理: 一是通过桩底和桩侧后注浆加固桩底沉渣 (虚土) 和桩身泥皮; 二是对桩底和桩侧一定范围的土体通过渗入 (粗颗粒土)、劈裂 (细粒土) 和压密 (非饱和松散土) 注浆起到加固作用, 从而增大桩侧阻力和桩端阻力, 提高单桩承载力, 减少桩基沉降。

桩侧、桩底后注浆装置构造简单、便于操作、适用性强、可靠性高、附加费用低、不影响桩基施工流程等。在优化注浆工艺参数的条件下, 可使单桩竖向承载力提高 40% 以上, 粗粒土增幅高于细粒土, 桩侧、桩底复式注浆高于桩底注浆; 桩基沉降减小 30% 左右。可利用预埋于桩身的后注浆钢导管进行桩身完整性超声检测, 注浆用导管可取代等承载力桩身纵向钢筋。

### 1.1.3 技术指标

(1) 后注浆装置的设置应符合下列规定:

① 后注浆导管应采用钢管, 且应与钢筋笼加劲筋焊接或绑扎固定, 桩身内注浆导管可取代等承载力桩身纵向钢筋。

② 桩底后注浆导管及注浆阀数量宜根据桩径大小设置, 对于  $d \leq 1000\text{mm}$  的桩, 宜沿钢筋笼圆周对称设置 2 根; 对于  $d \leq 600\text{mm}$  的桩, 可设置 1 根; 对于  $1000\text{mm} < d \leq 2000\text{mm}$  的桩, 宜对称设置 3~4 根。

③ 对于桩长超过 15m 且承载力增幅要求较高者, 宜采用桩底桩侧复式注浆。桩侧后注浆管阀设置数量应综合地层情况、桩长、承载力增幅要求等因素确定, 可在离桩底 5~15m 以上, 每隔 6~12m 于粗粒土层下部设置一道 (对于干作业成孔灌注桩宜设于粗粒土层中上部)。

④ 对于非通长配筋的桩, 下部应有不少于 2 根与注浆管等长的主筋组成的钢筋笼通底。

⑤ 钢筋笼应沉放到底, 不得悬吊, 下笼受阻时不得撞笼、墩笼、扭笼。

(2) 后注浆管阀应具备下列性能:

① 管阀应能承受 1MPa 以上静水压力; 管阀外部保护层应能抵抗砂、石等硬质物的刮撞而不致使管阀受损。

② 管阀应具备逆止功能。

(3) 浆液配比、终止注浆压力、流量、注浆量等参数设计应符合下列规定:

① 浆液的水灰比应根据土的饱和度、渗透性确定, 对于饱和土宜为 0.5~0.7, 对于非饱和土宜为 0.7~0.9 (松散碎石土、砂砾宜为 0.5~0.6); 低水灰比浆液宜掺入减水剂; 地下水处于流动状态时, 应掺入速凝剂。

② 桩底注浆终止工作压力应根据土层性质、注浆点深度确定, 对于风化岩、非饱和黏性土、粉土, 宜为 5~10MPa; 对于饱和土层宜为 1.5~6MPa, 软土取低值, 密实黏性

土取高值；桩侧注浆终止压力宜为桩底注浆终止压力的 1/2。

③ 注浆流量不宜超过 75L/min。

④ 单桩注浆量的设计主要应考虑桩的直径、长度、桩底桩侧土层性质、单桩承载力增幅、是否复式注浆等因素确定，可按下式估算：

$$G_c = a_p d + a_s n d$$

式中  $a_p$ 、 $a_s$ ——分别为桩底、桩侧注浆量经验系数， $a_p = 1.5 \sim 1.8$ ， $a_s = 0.5 \sim 0.7$ ；对于卵、砾石、中粗砂取较高值；

$n$ ——桩侧注浆断面数；

$d$ ——桩直径 (m)；

$G_c$ ——注浆量，以水泥重量计 (t)。

独立单桩、桩距大于  $6d$  的群桩和群桩初始注浆的部分基桩的注浆量应按上述估算值乘以 1.2 的系数。

⑤ 后注浆作业开始前，宜进行试注浆，优化并最终确定注浆参数。

(4) 后注浆作业起始时间、顺序和速率应按下列规定实施：

① 注浆作业宜于成桩 2d 后开始。注浆作业离成孔作业点的距离不宜小于 8~10m。

② 对于饱和土中的复式注浆顺序宜先桩侧后桩底，对于非饱和土宜先桩底后桩侧，多断面桩侧注浆应先上后下，桩侧桩底注浆间隔时间不宜少于 2h。

③ 桩底注浆应对同一根桩的各注浆导管依次实施等量注浆。

④ 对于桩群注浆宜先外围，后内部。

(5) 当满足下列条件之一时可终止注浆：

① 注浆总量和注浆压力均达到设计要求；

② 注浆总量已达到设计值的 75%，且注浆压力超过设计值。

(6) 出现下列情况之一时应改为间歇注浆：

① 注浆压力长时间低于正常值；

② 地面出现冒浆或周围桩孔串浆。

采用间歇注浆时，间歇时间宜为 30~60min，或调低浆液水灰比。

(7) 后注浆施工过程中，应经常对后注浆的各项工艺参数进行检查，发现异常应采取相应处理措施。

(8) 后注浆桩基工程质量和验收应符合下列要求：

① 后注浆施工完成后应提供下列资料：水泥材质检验报告、压力表检定证书、试注浆记录、设计工艺参数、后注浆作业记录、特殊情况处理记录。

② 承载力检验应在后注浆 20d 后进行，浆液中掺入早强剂时可提前进行。

③ 对于注浆量等主要参数达不到设计时，应根据工程具体情况采取相应措施。

(9) 承载力估算

① 灌注桩经后注浆处理后的单桩极限承载力，应通过静载试验确定，在没有地方经验的情况下，可按下式预估单桩竖向极限承载力标准值。

$$Q_{uk} = U \sum \beta_{si} \times q_{sik} + \beta_p \times q_{pk} \times A_p$$

式中  $q_{sik}$ 、 $q_{pk}$ ——极限侧阻力标准值和极限端阻力标准值，按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 或有关地方标准取值；

$U$ 、 $A_p$ ——桩身周长和桩底面积；

$\beta_{si}$ 、 $\beta_p$ ——侧阻力、端阻力增强系数，可参考以下取值范围  $\beta_{si}$ ：1.2~2.0； $\beta_p$ ：1.2~3.0；细颗粒土取低值，粗颗粒土取高值。

② 在确定单桩承载力设计值时，应验算桩身承载力。

#### 1.1.4 适用范围

灌注桩后注浆技术适用于除沉管灌注桩外的各类泥浆护壁和干作业的钻、挖、冲孔灌注桩。当桩端及桩侧有较厚的粗粒土时，后注浆提高单桩承载力的效果更为明显。

#### 1.1.5 工程案例

北京首都国际机场扩建工程位于现机场东侧，主要包括新的3号航站楼（T3航站楼，建筑面积54万 $m^2$ ）、楼前交通中心（GTC，建筑面积30万 $m^2$ ）和一条可起降空中客车A380的新跑道。扩建工程为2008年奥运会配套的国家重点工程，总占地面积20000亩，预算总投资194亿元。

建筑场地50m深度范围内，除人工填土外，主要为第四纪沉积层的粉质黏土、黏质粉土、黏土、砂质粉土、粉细砂及中粗砂等，在垂直方向上形成多次沉积韵律。按土层的物理力学性质及工程特性可划分为15个大层及亚层，各层的主要土性指标见表1.1-1，土层剖面见图1.1-1。

地质剖面及主要土性指标

表 1.1-1

编号	土层名称	平均层厚 (m)	含水量 (%)	天然密度 ( $g/cm^3$ )	$c$ (kPa)	$\phi$ ( $^\circ$ )	压缩模量 (MPa)	侧摩阻标 准值(kPa)	端阻力标 准值(kPa)
1	填土	1.2	16.3	1.94	—	—	4.8	—	—
2	粉质黏土	2.1	25.0	1.96	25.0	10	6.0	35~40	—
3	粉质黏土	3.8	26.2	1.93	18.0	12	7.5	45~55	—
4	粉质黏土	3.1	25.5	1.98	26.0	9	6.3	50~60	—
5	细砂	4.6	25.6	1.95	0.0	30	30.0	55~65	—
6	黏质粉土	3.0	21.8	2.03	13.0	8	15.0	55~65	—
7	细砂	5.6	23.5	1.96	0.0	35	40.0	60~75	800~1000
8	粉质黏土	6.8	19.9	2.06	—	—	15.4	60~80	—
9	细中砂	5.0	21.1	2.08	—	—	50.0	65~75	800~1200
10	粉质黏土	7.2	22.2	2.02	—	—	18.2	70~80	—
11	细中砂	6.9	29.9	1.93	—	—	61.7	65~80	1400~1600
12	黏土	6.7	28.4	1.94	—	—	16.0	75~85	—
13	细砂	6.5	32.5	1.91	—	—	71.7	75~90	1400~1600
14	粉质黏土	22	21.5	2.07	—	—	18.9	—	—
15	细中砂	19.2	—	—	—	—	75.0	—	—

根据航站楼上部结构形式、荷载分布及场地工程地质与水文地质条件，航站楼采用泥浆护壁钻孔灌注桩基础，并采桩底、桩侧后压浆工艺改善成桩质量，提高桩基承载力，减少桩基沉降。

三号航站楼共有基桩18000余根，原设计的普通灌注桩，桩长在30~62m之间，桩径0.8~1.5m，混凝土总方量约47.63万 $m^3$ ；采用后压浆灌注桩优化方案，桩长可缩短为28m左右，总混凝土方量减少为25.6万 $m^3$ ，与原方案相比节省约46%。在考虑后压浆的增加费用后，桩基造价可节省约34%，达1.5亿元。

采用后压浆工艺后，桩长减短，可避免施工十分困难的45~60m的超长桩，在保证



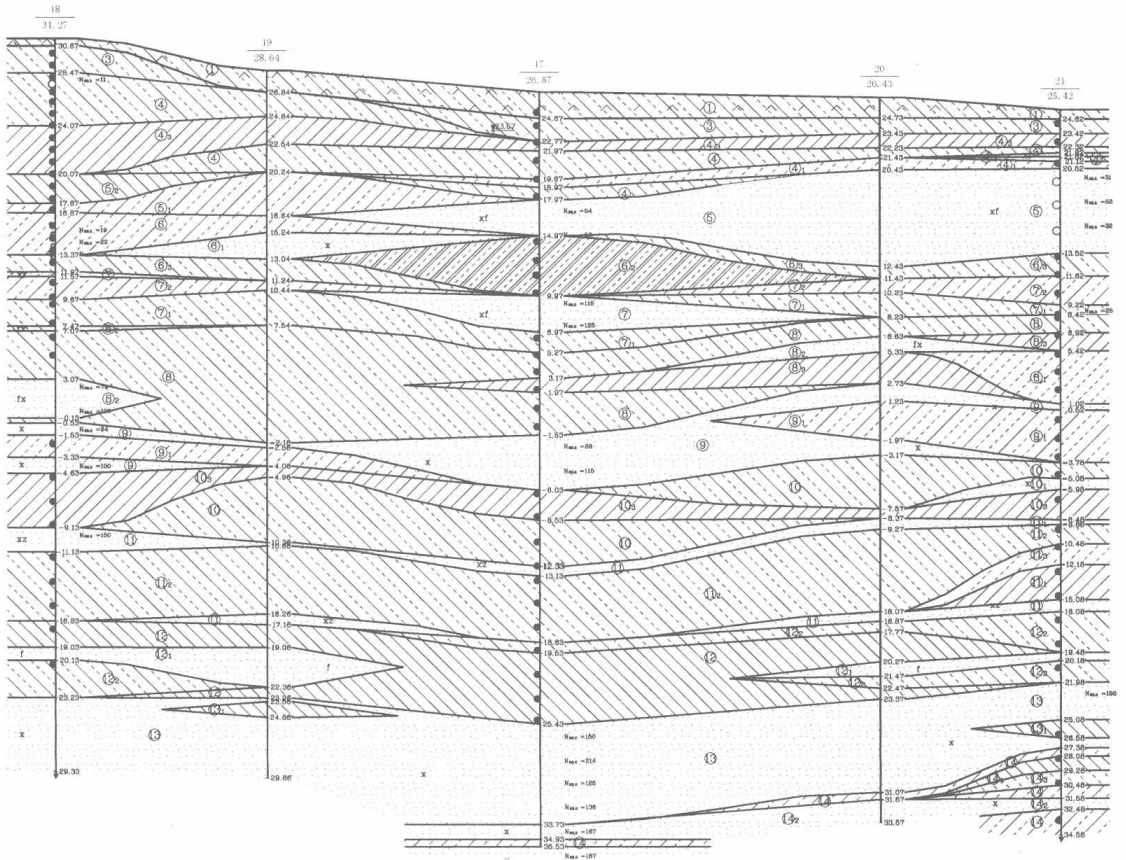


图 1.1-1 土层剖面图

桩基质量的同时，缩短了成桩时间。后压浆施工与灌注桩施工独立进行，无相互干扰，由于灌注桩工程量大幅减少，在投放相同设备的条件下，工期大为缩减。保守估计，经优化设计，首都机场三号航站楼桩基工程可缩短工期约 4 个月。可见，采用后压浆工艺的间接效益也是相当显著的。

### 参考文献

- [1] Deere D. U., Lombardi G.. Grout Slurries—Thick or Thin. *Dam Grouting*, ASCE, May 1985: pp. 156-164.
- [2] The Eighth European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1983 May 23-26 Helsinki, Finland.
  - (a) M. Bustamante. Grouting: A Method Improving the Bearing Capacity of Deep Foundation.
  - (b) M. Stocker. The Influence of Post-Grouting on the Load-Bearing Capacity of Bored Piles.
  - (c) G. S. Little John, Improvement in Base Resistance of Large Diameter Piles Foundation in Silty Sand.
  - (d) B. Cernak, Large Diameter Bored Piles with Injected Toe in Danube Gravel.
- [3] 傅旭东, 赵善锐. 钻孔桩压力灌浆提高承载力的试验研究 [M] // 刘金砺. 桩基工程技术. 北京: 中国建材工业出版社, 1996.
- [4] 乔景川, 崔玉惠. 钻孔灌注桩提高承载力的压力灌浆施工工艺 [M] // 刘金砺. 桩基工程技术. 北京: 中国建材工业出版社, 1996.
- [5] 刘金砺, 祝经成, 高文生等. 泥浆护壁灌注桩后压浆成套技术. 中国建筑科学研究院报告, 1997.