

建设工程施工新技术典型案例分析丛书

地基与基础工程

施工新技术

典型案例与分析

◎ 《施工技术》杂志社 组编
张可文 主编

DIJI YU JICHU
GONGCHENG



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

建设工程施工新技术典型案例分析丛书

地基与基础工程施工新技术 典型案例与分析

《施工技术》杂志社 组编
张可文 主编



机械工业出版社

本套丛书编委会名单

主 任

毛志兵：中国建筑工程总公司助理总经理兼办公厅主任

张可文：施工技术杂志社社长、主编

副主任

张同波：青建集团股份公司总工程师

郑 勇：中铁置业集团有限公司董事长

委 员（按姓氏笔画排序）

马哲刚：中国建筑股份有限公司建筑事业部总经理

王卫东：现代集团华东建筑设计研究院副总工程师

马荣全：中国建筑第八工程局有限公司总工程师

王武勤：中国交通建设集团科技部总经理

邓明胜：中建国际工程公司总工程师

冯大斌：中国建筑科学研究院结构所副所长、研究员

冯 跃：北京建工集团有限责任公司总工程师

叶阳升：铁道科学研究院铁道建筑研究所所长

刘洪亮：上海宝冶建设有限公司总工程师

曲 慧：中国建筑业协会建筑防水分会副理事长兼秘书长

张 琨：中国建筑第三工程局有限公司副总经理兼总工程师

张 静：成都建筑工程集团总公司总工程师

张志明：中国建筑第二工程局有限公司副总经理兼总工程师

张其林：同济大学教授，上海同磊土木工程技术有限公司总经理

张晋勋：北京城建集团有限责任公司总工程师

李宏伟：浙江省长城建设集团股份有限公司总工程师

李景芳：中国建筑工程总公司技术中心副主任兼总工程师

李忠卫：中国建筑第八工程局第二建设有限公司总工程师

杨存成：中国安装协会秘书长

杨健康：北京住总集团有限公司总工程师

杨煜：中铁建工集团有限公司总工程师
汪道金：中国新兴建设开发总公司总工程师
邵凯平：浙江一建建设集团公司总工程师
肖星：中国建筑业协会建造师分会秘书长
肖绪文：中国建筑工程总公司技术部总经理
邹超英：哈尔滨工业大学土木工程学院党委书记
陈天民：浙江省建设投资集团有限公司董事、副总经理兼总工程师
陈春雷：浙江省二建建设集团有限公司总工程师
陈国栋：浙江精工钢结构建设集团有限公司副总经理兼总工程师
陈浩：湖南省建筑工程集团总公司副总经理兼总工程师
庞宝根：宝业集团股份有限公司董事长
金伟良：浙江大学结构工程研究所所长、教授、博士生导师
侯兆欣：冶建总院副总工程师兼远达国际工程管理有限公司董事长
胡德均：天津市建工集团总工程师
赵资钦：广东省建筑工程集团有限公司副总经理
赵福明：中国建筑股份有限公司建筑事业部副总工程师
郝玉柱：山西建工（集团）总公司总工程师
郭正兴：东南大学教授
郭彦林：清华大学教授
贾洪：中铁建设集团有限公司副总经理兼总工程师
龚剑：上海建工（集团）总公司副总工程师
彭明祥：中国建筑股份有限公司建筑事业部总工程师
焦安亮：中国建筑第七工程局有限公司副总经理兼总工程师
蒋金生：中天建设集团有限公司总工程师
魏明跃：中国建筑第四工程局有限公司副总经理
糜嘉平：中国模板协会顾问

本套丛书编写人名单

主 编：张可文

参 编：闫继红 梅 阳 王云燕 陈 娜 周 巍 张礼庆 李 鑫
王 露 王向珍

前言

改革开放三十多年来，随着我国经济的稳步增长、科学技术的飞速发展，国内建筑业不断发展壮大，成绩斐然。

随着建筑业产业规模、产业素质的发展和提高，我国建筑业和房地产业对国民经济的拉动作用不断增强，已经成为国民经济的重要支柱产业，为社会提供了大量的就业机会，也为社会创造了巨大财富。此外，中国建设行业的工程设计和建造水平不断提高，尤其是以青藏铁路、长江三峡大坝、西气东输、北京2008奥运会、上海世博会、广州亚运会等重大工程项目为载体，一批设计、建造技术达到了国内领先水平，甚至跻身世界先进行列。但从整体上看，目前我国建筑技术水平与发达国家相比还有一定差距，建筑行业属传统的劳动密集型产业，粗放型经济增长方式没有得到根本性的改变。为此，应当紧紧依靠科技进步，将科学的管理和大量技术先进、质量可靠的科技成果广泛地应用到工程中，应用到建设行业的各个领域。

作为建设行业的国家级期刊，《施工技术》杂志紧密结合建设行业，传播和交流国内外先进施工技术和经验，坚持报道前沿技术和重大工程。此次杂志社借助自身优势，组织编写了这套《建设工程施工新技术典型案例分析丛书》。丛书共分六本，包括：《地基与基础工程施工新技术典型案例与分析》、《钢筋混凝土工程施工新技术典型案例与分析》、《钢结构与索膜结构工程施工新技术典型案例与分析》、《建筑防水工程施工新技术典型案例与分析》、《路桥与隧道工程施工新技术典型案例与分析》、《结构检测·鉴定·加固工程施工新技术典型案例与分析》。

本丛书主要涵盖了近年来土木工程领域中所涌现出的施工新技术、新工艺、新设备，结合案例进行分析，对施工现场节约工期、提高质量、降低成本、保证安全有显著的借鉴意义，对推动行业的技术进步有积极的促进作用。本丛书可供工程技术人员、科研学者阅读，也可供高校土木工程专业作为教材学习。

在本丛书的编写过程中，得到了《施工技术》编委会的大力支持，特别是王梦恕院士、叶可明院士、陈肇元院士、沈世钊院士、许溶烈先生、杨嗣信先生等给予的指导与帮助，在此表示感谢，并特别感谢《施工技术》杂志社全体员工为本书编写工作所付出的辛劳与努力。

目 录

CONTENTS

前 言

第一章 地基与基础工程概述 1

1.1 术语 1

1.2 地基分类 2

1.3 基本规定 4

1.4 施工方法 6

第二章 地基与基础工程施工技术与案例分析 7

2.1 场地平整 7

2.1.1 场地平整工程机械化施工技术概述 7

2.1.2 场地平整机械化施工技术典型案例 8

2.2 地基处理 12

2.2.1 HEC 土体固结剂处理软土地基技术与案例分析 12

2.2.2 真空预压地基加固施工技术与案例分析 16

2.2.3 强夯施工技术与案例分析 20

2.2.4 土工合成材料地基施工技术与案例分析 25

2.2.5 换土垫层地基处理技术与案例分析 29

2.2.6 锚杆施工技术与案例分析 34

2.3	土方开挖	45
2.3.1	软土基坑开挖技术与案例分析	45
2.3.2	深基坑土方开挖施工技术与案例分析	57
2.4	基坑工程	69
2.4.1	基坑支护施工技术与案例分析	69
2.4.2	基坑降水技术与案例分析	128
2.4.3	基坑施工技术与案例分析	139
2.4.4	基坑监测技术与案例分析	161
2.5	土方回填	173
2.5.1	基坑土方回填概述	173
2.5.2	特殊要求的基坑回填技术案例分析	173
2.6	桩基工程	177
2.6.1	长螺旋钻机成孔人工扩底灌注桩施工技术与案例分析	177
2.6.2	钻孔灌注桩施工技术与案例分析	182
2.6.3	冲孔灌注桩施工技术与案例分析	218
2.6.4	后压浆水泥粉煤灰碎石桩施工技术与案例分析	224
2.6.5	套管咬合桩施工技术与案例分析	229
2.6.6	大直径人工挖孔桩施工技术与案例分析	235
2.7	事故处理	242
2.7.1	整体上浮处理技术与案例分析	242
2.7.2	人工挖孔桩基础质量事故处理技术与案例分析	249
2.7.3	失效止水帷幕的注浆修复技术与案例分析	255

第 1 章

地基与基础工程概述

建筑物的稳定取决于基础和地基的强度和稳定性，关键在于地基与基础对建筑物的适宜性。也就是要根据建筑物的类型及对地基的不同要求，覆盖层地基和岩基各自的不同特点，合理选择最优的地基处理方案，保证建造的基础和地基满足运用要求，这需要勘察、设计和施工等各方面的共同努力。

1.1 术语

1. 地基

承受建筑物荷载的岩土（包括基础下的和基础周围的）。按地质情况分类，有土基（又称覆盖层地基）和岩基；按设计施工情况分类，有天然地基和人工地基之分。不需要通过人工处理来改善原来的物理力学性能，就能满足设计要求的称为天然地基，否则属于人工地基。

2. 地基持力层

位于基础下的第一层岩土。

3. 建基面

持力层顶面。

4. 下卧层

持力层下的岩土层。

5. 基础

建筑物与岩土直接接触的支承体。基础是建筑物的组成部分，其作用是将上部结构荷载进行扩散，减小应力强度并传给地基。

1.2 地基分类

1. 土工合成材料地基

在土工合成材料上填以土（砂土料）构成建筑物的地基，土工合成材料可以是单层，也可以是多层。一般为浅层地基。

2. 重锤夯实地基

利用重锤自由下落时的冲击能来夯实浅层填土地基，使表面形成一层较为均匀的硬层来承受上部载荷。

3. 强夯地基

工艺与重锤夯实地基类同，但锤重与落距要远大，于重锤夯实地基。

4. 注浆地基

将配置好的化学浆液或水泥浆液通过导管注入土体孔隙中，与土体结合，发生物化反应，从而提高土体强度，减小其压缩性和渗透性。

5. 预压地基

在原状土上加载，使土中水排出，以实现土的预先固结，减少建筑物地基后期沉降和提高地基承载力。按加载方法的不同，分为堆载预压、真空预压、降水预压三种不同的预压地基方法。

6. 高压喷射注浆地基

利用钻机把带有喷嘴的注浆管钻至土层的预定位置或先钻孔，后将注浆管放至预定位置，以高压使浆液或水从喷嘴中射出，边旋转边喷射的浆液使土体与浆液搅拌混合形成一固结体。施工采用单独喷出水泥浆的工艺，称为单管法；施工采用同时喷出高压空气与水泥浆的工艺，称为二管法；施工采用同时喷出高压水、高压空气及水泥浆的工艺，称为三管法。

7. 水泥土搅拌桩复合地基

利用水泥作为固化剂，通过搅拌机械将其与地基土强制搅拌，硬化后构成的地基。

8. 土与灰土挤密桩地基

在原土中成孔后分层填以素土或灰土，并夯实，使填土压密，同时挤密周围土体，构成坚实的地基。

9. 水泥粉煤灰碎石桩复合地基

用长螺旋钻机钻孔或沉管桩机成孔后，将水泥、粉煤灰及碎石混合搅拌后，泵压或经下料斗投入孔内，构成密实的桩体。

10. 锚杆静压桩

利用锚杆将桩分节压入土层中的沉桩工艺。锚杆可用垂直土锚或临时锚在混凝土底板、承台中的地锚。

11. 灰土地基

将基础底面下要求范围内的软弱土层挖去，用一定比例的石灰与土在最优含水量的情况下充分拌和，分层回填夯实或压实而成，使之成为具有一定强度、水稳性和抗渗性的地基。

12. 砂和砂石地基

采用砂或砂砾石（碎石）混合物，经分层夯（压）实作为地基的持力层，提高基础下部地基强度，并通过此层的压力扩散作用减少变形量。同时，此层可起排水作用，下层基地中孔隙水可通过此层快速排出，能加速下部土层的沉降和固结。

13. 碎石和矿渣地基

碎石和矿渣地基是用自然级配的碎石或破碎矿渣经分层夯（压）实作为地基的持力层，以此来处理软弱地基，以收到提高地基强度、减少下部软弱下卧层土的附加应力，加速下部土层的固结和沉降的效果。

14. 振冲地基

分为振冲置换和振冲密实法两类。前者采用振冲器水冲成孔，填以碎石（或砂砾）材料，通过振冲器的水平及垂直振动来振密填料和形成桩体，与地基土构成复合地基，使地基承载力提高，沉降量减少。



15. 粉煤灰地基

用火力发电厂的工业废料——粉煤灰作为处理软弱土层的换填材料。

16. 夯实水泥土桩复合地基

用洛阳铲、长螺旋钻、锤击沉管或振动沉管成孔，在孔内分层回填拌和均匀的水泥和土的混合料，经夯实成桩，与桩间土共同组成复合地基。

17. 砂和砂石桩地基

砂和砂石桩地基统称为砂石桩地基，系用振动、冲击或水冲等方式在软弱地基中成孔后，再将砂或卵石（或砾石、碎石）挤压入土孔中，形成大直径的砂或砂卵石（或碎石）构成的密实桩基。

18. 静力压桩

通过静力压桩机以压桩机自重及桩架上的配重施以反力将预制桩压入土中的一种沉桩工艺。

19. 先张法预应力管桩

先张法预应力管桩是采用先张法预应力工艺和离心成型法制成的一种空心筒体细长的混凝土预制构件，主要由圆筒形桩身、端头板和钢套箍等组成。

20. 混凝土预制桩

在施工现场或构件场预制，用打桩机打入土中，然后再在桩顶浇筑钢筋混凝土承台。

21. 钢桩

包括钢管桩、型钢桩等。钢管桩采用工厂生产的螺旋焊接钢管打（沉）入土中成桩。型钢桩采用钢厂生产的热轧 H 型钢打（沉）入土中成桩。

22. 混凝土灌注桩

在现场用机械或人工成孔，在孔内放钢筋笼，灌注混凝土成桩。

1.3 基本规定

1) 地基基础工程施工前，必须具备完备的地质勘察资料及工程附近管线、

建（构）筑物和其他公共设施的构造情况，必要时应进行施工勘察和调查，以确保工程质量及临近建筑的安全。

2) 施工单位必须具备相应专业资质，并应建立完善的质量管理体系和质量检验制度。

3) 从事地基基础工程检测及见证试验的单位，必须具备省级以上（含省、自治区、直辖市）建设行政主管部门颁发的资质证书和计量行政主管部门颁发的计量认证合格证书。

4) 地基基础工程是分部工程，如有必要，根据现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》（GB 50300—2001）规定，可再划分若干个子分部工程。

5) 施工过程中出现异常情况时，应停止施工，由监理或建设单位组织勘察、设计、施工等有关单位共同分析情况，解决问题，消除质量隐患，并形成文件资料。

6) 一般规定。建筑物地基的施工应具备下述资料：

① 岩土工程勘察资料。

② 邻近建筑物和地下设施类型、分布及结构质量情况。

③ 工程设计图样、设计要求及需达到的标准、检验手段。

④ 砂、石子、水泥、钢材、石灰、粉煤灰等原材料的质量、检验项目、批量和检验方法，应符合国家现行标准的规定。

⑤ 地基施工结束，宜在一个间歇期后进行质量验收，间歇期由设计确定。

⑥ 地基加固工程应在正式施工前进行试验段施工，论证设定的施工参数及加固效果。为验证加固效果所进行的载荷试验，其施加载荷应不低于设计载荷的两倍。

⑦ 对灰土地基、砂和砂石地基、土工合成材料地基、粉煤灰地基、强夯地基、注浆地基、预压地基，其竣工后的结果（地基强度或承载力）必须达到设计要求的标准。检验数量，每单位工程不应少于3点； 1000m^2 以上工程，每 100m^2 至少应有1点； 3000m^2 以上工程，每 300m^2 至少应有1点，每一独立基础下至少应有1点，基槽每20延米应有1点。

⑧ 对水泥土搅拌桩复合地基、高压喷射注浆桩复合地基、砂桩地基、振冲桩复合地基、土和灰土挤密桩复合地基、水泥粉煤灰碎石桩复合地基及夯实水泥土桩复合地基，其承载力检验，数量为总数的 $0.5\% \sim 1\%$ ，但不应小于3处。有



单桩强度检验要求时，数量为总数的 0.5% ~ 1%，但不应少于 3 根。

⑨ 其他主控项目及一般项目可随意抽查，但复合地基中的水泥土搅拌桩、高压喷射注浆桩、振冲桩、土和灰土挤密桩、水泥粉煤灰碎石桩及夯实水泥土桩至少应抽查 20%。

1.4 施工方法

地基处理属隐蔽性工程，必须根据建筑物对地基的要求认真分析地质条件，进行技术经济比较，选择技术可行、效果可靠、工期较短、经济合理的施工方案。主要有：清基开挖（满足强度、均匀要求）、置换回填（满足强度、均匀、防渗要求）、固结灌浆（满足加固、防渗要求）、帷幕灌浆（满足防渗要求）、接触灌浆（满足抗滑、防渗要求）、岩体锚固（满足加固要求）、砂砾层灌浆（满足加固、防渗要求）、地下连续墙（满足防渗、加固要求）、砂土振冲挤密（满足加固要求）、黏土振冲置换（满足加固要求）、土工合成材料防渗墙（垂直铺塑）。

第2章

地基与基础工程施工新技术典型案例与分析

2.1 场地平整

2.1.1 场地平整工程机械化施工技术概述

1. 场地平整的概念

场地平整就是将天然地面改造成工程上所要求的设计平面，由于场地平整时全场地兼有挖和填，而挖和填的体形常不规则，所以一般采用方格网方法分块计算解决。平整场地前应先做好各项准备工作，如清除场地内所有地上、地下障碍物；排除地面积水；铺筑临时道路等。

选择场地设计标高的原则是：

1) 在满足总平面设计的要求，并与场外工程设施的标高相协调的前提下，考虑挖填平衡，以挖作填。

2) 如挖方少于填方，则要考虑土方的来源；如挖方多于填方，则要考虑弃土堆场。

3) 场地设计标高要高出区域最高洪水位，在严寒地区，场地的最高地下水位应在土壤冻结深度以下。

2. 施工机械选择

根据具体施工条件、运输距离以及填挖土层厚度、土壤类别进行下列选择：

- 1) 运距在 100m 以内的场地平整以选用推土机最为适宜。
- 2) 地面起伏不大、坡度在 20° 以内的大面积场地平整，当土壤含水量不超过 27% 且平均运距在 800m 以内时，宜选用铲运机。
- 3) 丘陵地带，土层厚度超过 3m，土质为土、卵石或碎石渣等混合体，且运距在 1.0km 以上时，宜选用挖掘机配合自卸汽车施工。
- 4) 当土层较薄，用推土机堆积时，应选用装载机配合自卸汽车装土运土。
- 5) 当挖方地块有岩层时，应选用空气压缩机配合手风钻或车钻钻孔，进行石方爆破作业。

2.1.2 场地平整机械化施工技术典型案例

技术名称	场地平整工程机械化施工技术
工程名称	香港佐敦谷场地平整工程
施工单位	中国建筑工程（香港）有限公司
工程概况	佐敦谷位于香港九龙市区，北有新清水湾道，西有观塘道，南有彩云道及地下基础设施环绕工地，九龙地铁观塘线隧道从工地西南部通过，周边高楼林立。该场地平整工程共有 883 万 m^3 的土石方需要开挖并运送到旧启德机场，其中 700 多万 m^3 的 III、IV 和 V 类中风化~弱风化花岗岩需爆破才能实现机械开挖和转运。工程总造价 13.38 亿港元

工程内容

- 1) 开挖土石方共 883 万 m^3 ，其中泥土约占 183 万 m^3 ，岩石约占 700 万 m^3 。
- 2) 安装夹石机及筛分系统，将岩石碎至块度 $< 300\text{mm}$ 及满足 6 类不同规格要求。
- 3) 开挖及破石后将岩土运至旧启德机场，再用趸船运往不同地点。
- 4) 建造约 1.4km 长的带运输系统及于启德机场建造储料系统。
- 5) 建造约 90m 的行人隧道。
- 6) 建造共 9 幅的挡土墙，包括钻桩挡土墙及加筋挡土墙。

- 7) 建造地下箱涵约 750m。
- 8) 建造区内道路及有关排水、供水及其他公共事业设施。
- 9) 开挖后斜坡的排水、稳固及绿化工作。
- 10) 改善现有佐敦谷及彩云道一带的路口交通设施。

工程总造价达 13.38 亿港元,工期为 1 446d,另外 365d 为绿化施工期,整项工程分 7 个区按不同工期交付业主。工程完工后将提供约 19hm^2 的土地作为兴建公营、私人屋苑及相关的配套设施,以供 3.5 万人居住。

工程难点

工程环境条件极其复杂,下有九龙最主要的地铁隧道贯穿工地,最深开挖处距隧道顶仅 3m,场地周围建筑、道路和管线密集;场地平整工程量大,在市区内进行爆破、机械开挖的工程量大达 900 万 m^3 ;根据业主分阶段验收原则,造成工程施工作业顺序颠倒,尤其在施工后期,开挖场地越来越狭窄,给后期施工带来极大不便。

施工工艺

除垃圾处理外,工地内的爆石等必须经带夹石机系统转运至旧启德机场跑道。项目采取大规模土石方机械化挖运(自卸汽车)+固定式破碎机+带运输系统相结合的施工工艺流程,即落块度 $< 1.0\text{m}$ 直径的爆石入夹石机→经夹石机破碎,岩石材料块度 $0 \sim 400\text{mm}$ →经筛分系统将碎石材料分成 4 类不同规格料堆→经振动筛配料系统制作 6 种不同规格的石料→落石料至 1.4km 长的带运输系统入机场料仓→料仓落石料至自卸车转运至趸船运走。

施工要点一

设备选型:

1) 根据合同分期竣工的特点,工程最短工期 511d,最长 1 446d。经计算,工地平均岩土开挖 $7\,000 \sim 8\,000\text{m}^3/\text{d}$,高峰开挖 $15\,000\text{m}^3/\text{d}$ 。基于工地每日开挖量和周边环境条件,确定硬岩爆破台阶高度不能低于 10m,最大不能高于 16m,爆破钻孔机械选择 Atlas Copco D7 系列钻机,钻头直径分别为 50mm、76mm、89mm 3 种系列;爆破用爆炸品采用 DYN0 炸药公司的地面单孔微差起爆控制技术。由于采用高台阶控制爆破技术,爆堆高度较高,挖掘机械要发挥最大效率,故必须选择单斗开挖 $3 \sim 4\text{m}^3$ 的大型挖掘机械,如美国 Caterpillar 公司生产的 CTW 385BC 系列,自

