

SHIXIANXINGTUDIQU
RENGONGDIJIGONGCHENG

湿陷性土地区人工地基工程

勘察、设计、施工与检测指南

○ 朱沈阳 李青海 邢心魁 主编

西北大学出版社



湿陷性土地地区人工地基工程 勘察、设计、施工与检测指南

主 编 朱沈阳 李青海 邢心魁

江苏工业学院图书馆
藏书章

西北大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

湿陷性土地地区人工地基工程勘察、设计、施工与检测指南 / 朱沈阳等主编. — 西安: 西北大学出版社, 2005.10
ISBN7-5604-2074-5

I. 湿... II. 朱... III. ①人工地基-地质勘探-指南 ②人工地基-建筑设计-指南
③人工地基-工程施工-指南 ④人工地基-检测-指南 IV. TU472-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第109963号

湿陷性土地地区人工地基工程勘察、设计、施工与检测指南

主 编 朱沈阳 李青海 邢心魁

出版发行 西北大学出版社
社 址 西安市太白北路 229 号
电 话 029-88302590
邮政编码 710069
经 销 新华书店
印 刷 陕西向阳印务有限公司
版 次 2005 年 10 月第 1 版
印 次 2005 年 10 月第 1 次印刷
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 15.5
字 数 370 千字
书 号 ISBN 7-5604-2074-5/TU·2
定 价 50.00 元

本书编委 (以姓氏笔画为序)

- 王 军 西北综合勘察设计研究院
王成杰 中国有色金属工业西安勘察设计研究院
王建平 西安建筑科技大学
叶柱才 西安中勘有限责任公司
朱兴朝 西安中冶力达探测技术有限公司
朱沈阳 陕西省建设工程质量安全监督总站
朱武卫 陕西省建筑科学研究设计院
邢心魁 西安建筑科技大学
刘学峰 西北综合勘察设计研究院
刘建雄 西安中冶力达探测技术有限公司
李青海 西北综合勘察设计研究院
李 锐 陕西西部建筑工程检测有限责任公司
李耕田 西安中勘有限责任公司
邱祖全 中国有色金属工业西安勘察设计研究院
陆 平 中国有色金属工业西安勘察设计研究院
沈 军 煤炭研究总院西安分院
张 军 中国有色金属工业西安勘察设计研究院
张明银 煤炭研究总院西安分院
张银辉 信息产业部电子综合勘察研究院
张继文 机械工业勘察设计研究院
张 洛 陕西西部建筑工程检测有限责任公司
杨 震 西安建筑科技大学
范春林 铁道部第一设计院西安分院

畅亚文	中铁一局中心实验室
胡庆勋	中铁一局中心实验室
胡双节	机械工业勘察设计研究院
赵瑞青	中国有色金属工业西安勘察设计研究院
姚克俭	机械工业勘察设计研究院
秦玉虎	中煤集团西安设计院
董军峰	陕西地矿第二工程勘察院

序

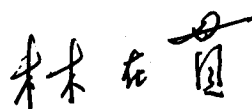
岩土工程是一门实践性非常强的工程学科。它的诞生是科学的测试、检测与监测的结果，而它的发展更有赖于科学的测试、检测与监测资料的积累与分析。作为岩土工程最主要的、最活跃的组成部分之一的岩土测试、检测与监测，包括城市、公路、铁路、港口、工矿建设等在内的地基与基础工程当然不能例外。无论是新方法的诞生和完善，还是它们在设计、施工中的正确使用和质量控制保证，均离不开事先、事中与事后的测试、检测与监测。可以说，没有科学的、系统的地基与基础的测试、检测与监测，就不会有地基与基础工程的成功与发展、进步。

从全局的、长远的观点来看，国家的建设规模是会不断增大的。与之同时，荷载与变形、功能与效益对地基的要求必然会相应地不断提高。面对新的需要，被称之为“人工地基”的经过强化（加固）处理、置换处理或复合处理等工法和各种桩基工程法被愈来愈多地采用，其种类、数量与精度、深度要求不断提高。这种发展非常迅速。以西安地区而言，在20年前，最常用的“人工地基”工法只有垫层地基与（土）灰土挤密桩地基，桩基是极个别的。20年后的今天，可供比选采用的“人工地基”与桩基工法已愈20种，而且新的工法还在涌现，经受着设计、施工的实践检验与选择。可以预计，几年之后，在陕西省与西安市，可供比选的“人工地基”与桩基工程上的工法将超过30余种。

不但如此，地基与基础测试内容正在摆脱主要限于现况和结果的状况。检测过程中工程对象的表现和性状变化以及工程后效的长期观测，即岩土工程检测已日益受到重视，并愈来愈多地被纳入检测方案、计划之中。工程实践与科学探究的结合，必将有利于地基与基础技术水平的提高，充实、深化信息化设计与施工的内容，将有助于取得更好的整体效益。

本书编著者通过多年实践及其中的正反两方面的教训，深刻地意识到了上述的规律与道理。为了巩固已有成就，推动地基与基础的测试、检测与监测技术水平的

提高、完善,为岩土工程学科的继续发展积累所需要的科研数据,编著了这本《湿陷性土地区人工地基工程勘察、设计、施工与检测指南》,相信它将受到在各种工程领域从事岩土工程勘察、设计、施工、测试、检测与监测的广大工程技术人员的欢迎;对岩土工程科研与教学工作者亦将具有显著的参考价值或提供有力的借鉴。本书的编写是初次尝试,缺点、错误与不完善的地方在所难免。恳请读者随时反馈各种意见与建议,以利此书不断完善。



2005年6月

前 言

陕西省地域辽阔, 境内不同成因的地貌单元众多, 由陕北的黄土高原到关中的断陷盆地和秦岭北麓的各种山前冲洪积扇, 再到秦岭、巴山间的山间盆地沉积物。地基土有不同成因的黄土、饱和砂土、淤泥质土、膨胀土、填土等。目前, 陕西省内地基处理种类繁多, 新的地基处理工艺仍在不断出现。

目前采用的地基处理方法主要有换填垫层法、强夯法、振冲法、砂石桩法、水泥粉煤灰碎石桩法、夯实水泥土桩法、水泥搅拌法、高压喷射注浆法、石灰桩法、灰土挤密桩法及土挤密桩法、夯扩体桩法、灰土井桩法等, 已列入现行的相关规范之中。此外, 出现的新工艺有后压浆法、DDC 工法 (原称渣土桩法)、支盘桩 (又称竹节桩法) 等。

一般来说, 经处理后的各类人工地基工程质量现状, 大多数能满足设计意图及使用要求。但陕西省每年经过检测的人工地基工程中, 约有 10% 的项目不能满足设计使用要求, 均需要经二次加固补强处理或改变上部结构要求后才能投入使用。这就造成了很大的质量安全隐患及投资浪费。在地基处理方法的选用中也出现了不考虑地质条件及建筑物使用功能、结构类型, 不进行具体分析而随意采用了不恰当的地基处理方法的现象; 在地基施工企业中, 由于种种原因存在着队伍庞杂、资质等级不一、技术素质参差不齐的现象, 非法挂靠等现象也较为严重; 企业的质量管理体系不健全、质量控制点的设置不合理而造成质量水平波动较大, 甚至是同一工程中, 不同班组、不同时间的施工质量差异也较大, 施工资料记录不规范、不全面, 真实性及可靠性较差, 以至于工程发生事故后查找原因和补救措施时比较困难。加之存在施工用图纸未经审查便交付施工, 企业、监理及政府监督工作未介入管理的现象依然存在, 更加剧了这种现象。相信随着建设法规的不断完善以及新规范、新标准的实施和政府监管力度的加大, 这种现象会逐步减少。

每一种类型的人工地基应用的成败及质量的优劣往往取决于多方面的因素。为了总结前人的经验教训, 汇集各方成果, 我们编写了这本《湿陷性土地区人工地基工程勘察、设计、施工与检测指南》。本书在每一章节中对失败的地基工程举 2~4 个实例, 成功的举 1~2 个实例, 试图说明如下道理: 任何一个地基处理的成败都与多

种因素有关,涉及勘察、设计、施工、检测、管理与使用的各个环节等;一个好的设计方案是建立在勘察报告结论准确、完整基础上的,如果勘察报告失真,便不能保证设计方案选用的准确合理;同时,再好的设计方案也需要具有良好素质的施工单位、完善的质量保障体系及措施来保证、实施;同时,一个稍有欠缺的勘察设计方案,也可通过高水平的施工单位根据对现场实际情况的变化来调整施工参数予以弥补,最大限度地接近质量标准,减少投资损失。

本书较全面系统地总结了陕西省境内各种地基类型在勘察、设计、施工、管理等方面成败的经验教训。为了更好地阐明编者观点,警醒业者,对失败的事例多举了一些,也作了稍多的分析,其目的是从对失败例子的剖析中,让从事岩土工程勘察、设计、施工、检测、监理与监督的人员都能从中吸取教训,从而保证工程质量及投资效益。这也是编写本书的真正目的。

本书由陕西省多年从事地基检测、具有一定理论水平及实践经验的专业技术人员执笔、审阅,具有较高的业务理论水平和参考价值,所选失败实例都有一定的代表性,对其失败原因进行了深刻的、具体的分析,相信对从事人工地基勘察、设计、施工、监理、检测与监督的工作者都会有一定的帮助。

全书共分 16 章,每一种处理方法列为 1 章。前 15 章的内容由以下几个方面组成:①该处理方法的适应范围及特别注意事项;②该方法在勘察、设计、施工与检测时应注意的问题;③该方法的检测方法及使用标准;④该方法在不同工艺、地貌情况下常见的质量事故及原因分析;⑤该方法工程实例中分别有 1~2 个成功及 2~4 个失败的工程实例,并着重对失败的工程进行了分析总结,让从事勘察、设计、施工、检测、监理与监督人员了解应注意的事项,从中吸取教训,从而保证工程质量及投资质量。第 16 章专门列入了各种测试规程,供相关人员参考。

本书具体编写、审阅分工如下:第 1 章由胡庆勋、畅亚文编写,朱沈阳审阅;第 2 章由朱武卫编写,李青海审阅;第 3 章由秦玉虎编写,朱沈阳审阅;第 4 章由张银辉编写,李青海审阅;第 5 章由刘建雄、朱兴朝编写,朱沈阳审阅;第 6 章由王军编写,邢心魁审阅;第 7 章由沈军、张明银编写,朱沈阳审阅;第 8 章由李耕田、叶柱才编写,李青海审阅;第 9 章由刘学峰编写,邢心魁审阅;第 10 章由王成杰编写,李青海审阅;第 11 章由王建平编写,张军审阅;第 12 章由张洛、李锐编写,朱沈阳审阅;第 13 章由张继文、胡双节、姚克俭、杨震编写,邢心魁审阅;第 14 章由邱祖全编写,邢心魁审阅;第 15 章由董军峰编写,朱沈阳审阅;第 16 章由陆平、赵瑞青编写,张军审阅。

由于该书内容广泛,涉及岩土工程的各个专业、许多专门问题(例如,复合地

基桩长的合理选择、饱和土中挤土桩的承载力确定及随龄期的增长情况、复合地基褥垫层的厚度等问题的见仁见智等), 再加之我国规范的系统性较差, 不同规范标准之间存在着理论、概念模糊和计算方法的不全面和不准确的问题; 设计理论与方法是各行其是, 各个规范标准之间既无法衔接, 计算的结果也无法比较, 有些问题在学术界和工程界还有不同观点。限于编者的水平和力量, 可能表述得不十分准确和完整。编写专业性强、要求高的书, 对我们来说, 尚属首次, 由于缺乏经验, 加之编写人员中多为检测人员, 缺乏设计及施工人员, 错误和不妥之处一定不少, 恳请读者指正, 以便再版时补充和完善。

编 者

2005 年 8 月

目 录

第 1 章 换填法	/1
1.1 概 述	/1
1.2 勘察时注意的事项	/1
1.3 设计时注意的事项	/2
1.4 施工阶段注意的事项	/3
1.5 检测阶段注意的事项	/3
1.6 检测方法及使用标准	/4
1.7 常见质量事故及原因分析	/5
1.8 工程实例	/5
第 2 章 强夯法及强夯置换法	/7
2.1 概 述	/7
2.2 适用范围	/8
2.3 勘察、设计、施工时注意的事项	/9
2.4 质量检测	/12
2.5 常见质量事故及原因分析	/13
2.6 工程实例	/14
第 3 章 振冲法	/18
3.1 原 理	/18
3.2 振冲设备	/19
3.3 适用范围	/20
3.4 勘 察	/21
3.5 设 计	/22
3.6 施 工	/24
3.7 质量检测与评价	/26
3.8 工程实例	/29
第 4 章 砂石桩法	/34
4.1 概 述	/34
4.2 勘 察	/34

4.3 设计	/35
4.4 施工	/36
4.5 质量检测	/38
4.6 工程实例	/39
第5章 水泥土搅拌法	/50
5.1 概述	/50
5.2 方法原理及适用范围	/51
5.3 勘察时注意的事项	/54
5.4 设计	/55
5.5 施工	59
5.6 质量检测	/61
5.7 工程实例	/63
第6章 灰土挤密桩法及土挤密桩法	/75
6.1 概述	/75
6.2 勘察、设计、施工中注意的事项	/75
6.3 检测标准及检测方法、数量	/78
6.4 常见质量问题及原因分析	/79
6.5 工程实例	/80
第7章 高压喷射注浆法	/86
7.1 概述	/86
7.2 使用范围	/86
7.3 勘察时注意的事项	/87
7.4 设计时注意的事项	/87
7.5 施工中注意的事项	/88
7.6 质量检验注意的事项	/89
7.7 常见质量问题及解决措施	/91
7.7 工程实例	/91
第8章 水泥粉煤灰碎石桩 (CFG) 法	/97
8.1 概述	/97
8.2 勘察、设计、施工与检测应执行的标准	/98
8.3 设计	/98
8.4 施工	/101
8.5 质量检验	/104
8.6 施工验收	/106

8.7 工程实例	/106
第9章 孔内深层强夯 (DDC) 法	/110
9.1 概 述	/110
9.2 设 计	/110
9.3 施 工	/111
9.4 质量检测	/113
9.5 常见的工程质量问题	/114
9.6 工程实例	/115
第10章 复合载体夯扩桩	/123
10.1 概 述	/123
10.2 勘察、设计、施工中注意的事项	/124
10.3 检 测	/126
10.4 施工中常见质量问题及处理措施	/128
10.5 工程实例	/128
第11章 沉管灌注桩	/133
11.1 概 述	/133
11.2 适用条件及注意事项	/133
11.3 检测方法及使用标准	/135
11.4 质量事故及原因分析	/137
11.5 工程实例	/139
第12章 静压预制桩	/147
12.1 概 述	/147
12.2 勘察、设计、施工、验收及检测中注意的事项	/148
12.3 检测方法及使用标准	/151
12.4 常见质量事故及原因分析	/152
12.5 工程实例	/158
第13章 钻孔灌注桩	/179
13.1 概 述	/179
13.2 勘察、设计、施工及检测中注意的事项	/181
13.3 检测方法及标准	/185
13.4 常见质量事故	/193
13.5 工程实例	/194

第 14 章 人工挖孔灌注桩	/205
14.1 概 述	/205
14.2 勘 察	/205
14.3 设 计	/206
14.4 施 工	/206
14.5 检测方法及使用标准	/210
14.6 工程实例	/211
第 15 章 灰土井桩	/215
15.1 概 述	/215
15.2 勘察、设计、施工、检测时注意的事项	/215
15.3 检测依据的标准及检测方法	/216
15.4 常见质量事故及原因分析	/217
15.5 工程实例	/218
第 16 章 有关检测标准	/222
附录 A 复合地基载荷试验要点	/222
附录 B 平板载荷试验要点	/223
附录 C 深层平板载荷试验要点	/224
附录 D 单桩竖向抗压静载试验要点	/224
附录 E 单桩竖向抗拔静载试验要点	/226
附录 F 单桩水平静载试验要点	/227
附录 G 单桩浸水静载试验要点	/229
附录 H 锚杆试验要点	/229
附录 I 混凝土桩桩头处理	/231
参考文献	/233

第1章 换填法

1.1 概 述

换填法是先将基础底面以下一定范围内的软弱土层挖去,然后回填强度较高、经济性好、压缩性较低并且没有侵蚀和污染的材料,再分层压实,用其作为地基持力层的一种地基浅层处理方法。换填法适用于湿陷性土地区及浅层软弱地基及不均匀地基的处理。

根据使用材料划分,换填法有灰土垫层(2:8灰土、3:7灰土)、中粗砂垫层、碎石或卵石土垫层、素土垫层、水泥土垫层、三合土垫层、石屑垫层、矿渣垫层、加筋(加土工合成材料)土垫层等。陕西省主要以灰土垫层、砂石垫层使用最为广泛。

由于换填法处理地基可就地取材,不需要特殊的机械设备,施工简便,既能缩短工期,又能降低造价,因此得到普遍的应用。陕西省黄土和石灰的资源丰富,物美价廉,灰土垫层常作为地基浅层处理的首选方案,但在土壤含水量过高或地下水位埋藏较浅的地方一般不适用。在榆林地区,因地制宜常采用砂垫层,并常用水坠法施工工艺。对于各种垫层,均需特别注意,本方法适宜于处理湿陷性土和浅层软弱地基及不均匀地基,对于厚层软弱地基和有下伏软弱层的地基一般不适用,若在此地基情况下使用,必须进行软弱下卧层承载力、变形等验算。另外,砂石垫层透水性强,故在湿陷性土地禁止采用。

1.2 勘察时注意的事项

岩土工程勘察工作是一切建设工程工作的基础,能否选定合理、正确、成功的地基处理方案关键在岩土工程勘察。对于可能采用换填法处理的场地,要求勘察工作必须查明待换填土层的分布范围和埋深;评价垫层以下软弱下卧层的承载力和抗滑稳定性,估算建筑物的沉降量(一般来说,高层或桩基工程才进行沉降验算);评价换填材料对地下水的环境影响;对换填施工过程应注意的事项提出建议[例如,基坑的开挖、降水及坑壁支护以及对周边建(构)筑物的影响评价]。岩土工程勘察报告须提供该地基采取换填法进行处理充分且必要的条件,如换填材料的最优含水量、最大干密度。勘察报告应明确地基土的类型,即软弱土层、湿陷性黄土的范围、厚度、分类、等级;场地内有无下卧软弱层;透镜体;地下水位及地下水位升降变化情况;原始地貌单元追溯;微地貌研究;场地环境等等。选用勘探手段时切忌单一或深度不够:如在陕南的冲洪积扇地貌中不能仅用静力触探作为唯

一的勘探手段,这样易将粗颗粒的薄夹层或透镜体当作持力层;在商洛地区多次发生基坑开挖后发现原定碎石持力层不能使用又回填后采用桩基的现象,还有导致建筑物开裂的现象;在湿陷性黄土场地上应有一定数量和深度的探井来保证取土质量,进而评价湿陷性土层厚度及湿陷等级、场地类型,在湿陷性场地多次发生换填厚度及外放尺寸不够的现象,进而威胁建筑物安全。

1.3 设计时注意的事项

仔细阅读岩土勘察报告,对岩土工程勘察报告的质量有基本的评估,特别注意不能使用未进行审查的岩土工程勘察报告,否则不仅勘察质量没有保证,而且还导致设计人员有违反“强制性条文规定”之嫌疑。认真正确地使用勘察报告,对勘察报告结论建议予以关注,以岩土工程勘察报告为确定地基处理方案的依据。设计人员还应注意该工程场地地质情况的特殊性,分析地质情况是否换填法处理地基的使用范围,正确确定处理外放尺寸与处理厚度等参数,既要考虑附加应力扩散,又要满足侧向防水的要求,从而选定最佳地基处理方案。同时,设计人员应熟悉换填法施工工艺,吸收当地地基处理经验,从场地环境、施工条件、建筑物使用环境及功能出发,既要尊重规范,又不能死搬硬套规范,做到因地制宜,节约投资,确保安全。在非湿陷性土层场地要注意换填厚度的附加应力扩散作用,此点可按《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002) 5.2.7 条之规定进行验算;在湿陷性场地一定要注意外放宽度,保证附加应力扩散及侧向防水,换填厚度要保证自重压力与附加压力之和小于持力层湿陷起始压力等,保证地基遭水浸泡时的安全。

当地基受力层范围内有软弱下卧层时,应按下式验算:

$$p_z + p_{cz} \leq f_{az} \quad (1-1)$$

式中 p_z ——相应于荷载效应标准组合时,软弱下卧层顶面处的附加压力值 (kPa);

p_{cz} ——软弱下卧层顶面处的自重压力值 (kPa);

f_{az} ——软弱下卧层顶面处经深度修正后地基承载力特征值 (kPa)。

对条形基础和矩形基础,上式中的 p_z 值可按下列公式简化计算:

条形基础

$$p_z = \frac{b(p_k - p_c)}{b + 2z \tan \theta} \quad (1-2)$$

矩形基础

$$p_z = \frac{lb(p_k - p_c)}{(b + 2z \tan \theta)(l + 2z \tan \theta)} \quad (1-3)$$

式中 b ——矩形基础或条形基础底边的宽度 (m);

l ——矩形基础底边的长度 (m);

p_c ——基础底面处土的自重压力值 (kPa);

z ——基础底面至软弱下卧层顶面的距离 (m);

θ ——地基压力扩散线与垂直线的夹角。

1.4 施工阶段注意的事项

施工阶段首先应利用基坑开挖的有利条件,做好施工验槽工作,验槽应由勘察、设计、监理、监督人员共同参加并签字盖章,对地层土质情况进行现场确认,对平面位置、场地标高,特别是对问题坑及异常情况的处理应有设计人员提供正式方案;同时设计人员有责任对边坡的支护提供方案。根据验槽结果可以对勘察时点上的工作进行全面的核对,并对勘察设计工作中的缺陷进行补救,必要时应进行补勘工作或更改设计方案。换填法施工中首先必须熟悉并认真执行施工规范,准确选定施工控制参数。具体施工中主要应对所需材料质量、拌和质量、压实质量、施工程序等做好安排、控制、计量及记录,保证施工记录规范、真实。对施工过程中发现的地质情况异常,一定要及时与设计单位联系,必要时进行补充勘察,以查明情况,修正设计方案,调整施工参数,避免造成大的损失。对于灰土施工主要是保证灰、土及灰土的拌和、碾压质量,自控手段采用环刀试验时一定要注意取样部位及压入方式,切忌用重锤砸入。目前出现压实系数大于1的情况可分为以下几种:

(1) 含灰量不够,因为土比灰重,所以,所测容重较大。

(2) 实际碾压能量比室内击实试验大。

(3) 现场试验方法不当,取环刀时采用锤击的方法。

压实系数小于1的情况可分为以下几种:

(1) 灰比过大(这种情况对实际工程是否有利尚存在争议)。

(2) 实际碾压能量比室内击实试验为小。在目前还应注意确定最大干密度时实际击实能量与室内试验的相匹配问题,否则就会导致施工质量情况不清、结论不明,使各方面发生不必要的纠纷。对砂石垫层的主要问题是最佳级配问题,只有在最佳粒径组合情况下砂石才能达到密实。上述两种情况均要进行平行试验,在满足误差要求的时候才能取其平均值作为试验结果。

1.5 检测阶段注意的事项

检测工作是保证垫层法施工质量最后一道防线。尤其对换填法施工,静载试验是规范强制性条文要求的检测项目,但静载试验结果反映的深度是有限的,平面上的代表性也是有限的。要想全面、正确反映地基处理质量情况,应收集完整的地质资料、设计文件及施工记录,并进行认真分析研究、去伪存真及数据计算等工作。尤其要对地质资料进行实际核查,必要时从地基处理方案、材料设备、施工工艺等方面进行深入细致的研究,全面把好施工质量评价关。同时检测工作必须严格按照规范规定进行,杜绝因价格问题减少抽样比例,降低标准。

在不同地域、不同地貌单元进行勘察、设计、施工与检测时,均应关注其特殊情况。关中地区须对地基下卧软弱层、地下水位及土壤含水量彻底查明,做到心中有数。特别是