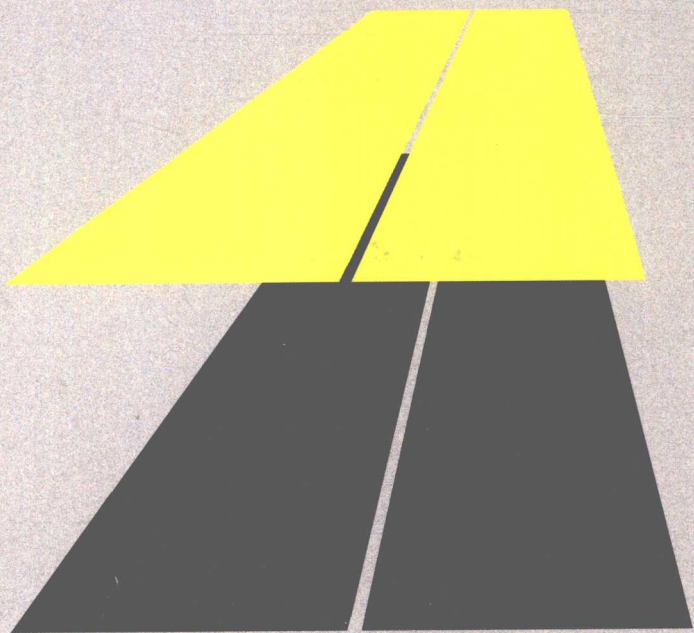


公路地基处理 技术与应用

Gonglu diji chuli jishu yu yingyong

王爱营 崔新壮 朱万生 编著



山东大学出版社

公路地基处理技术与应用

王爱营 崔新壮 朱万生 编著

山东大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

公路地基处理技术与应用/王爱营,崔新壮,朱万生编著.
—济南:山东大学出版,2009.8
ISBN 978-7-5607-3929-8

I. 公...

II. ①王...②崔...③朱...

III. 道路工程—地基处理

IV. U416.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 152153 号

山东大学出版社出版发行

(山东省济南市山大南路 27 号 邮政编码:250100)

山东省新华书店经销

山东恒兴实业总公司印刷厂印刷

850×1168 毫米 1/32 8 印张 210 千字

2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

定价:18.00 元

版权所有,盗印必究

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社营销部负责调换

前 言

公路是线形带状的特殊人工建筑物,不可避免地经过不同的地质地区。我国国土辽阔,在滨海平原,河口谷地等广泛分布着软土地基。一些特殊土质在我国分布也非常广泛,如在黄河三角洲地区,盐渍土的存在成为道路建设中不得不考虑的因素。同时,随着近年来道路网的加密,地下采空区等空洞对道路设计和施工产生了很大影响,如在山东省南部和中部地区,很多高速公路不得不改线或缓建。另外,为了满足道路扩容的要求,道路拓宽改建将成为一种趋势,但如何处理新旧路基的不均匀沉降是一个具有挑战性的课题。因大的地基不均匀沉降引起的桥头跳车问题多年来也一直是道路工作者的研究重点。特殊土质、特殊地质以及特殊路段地基的处理技术若不恰当,将会造成道路开裂甚至垮塌,会对构造物造成不同程度的破坏甚至彻底报废。

本书结合科研课题,有针对性地对某些特殊土质、地质及特殊路段地基的处理技术原理进行较系统的介绍,并通过工程实例进行说明。内容共分十二章。其中第一、二、三章由王爱营撰写,第六、九章由崔新壮撰写,第十一、十二章由朱万生撰写,第四章由王涛撰写,第十章由王兵撰写,第七章和第八章由董琳琳撰写,第五章由车华桥撰写,马成负责书中图片绘制和处理工作。全书由王爱营统校。



本书在编写过程中引用了国内外许多专家学者的研究成果和文献,在此表示衷心的感谢。该书出版还受到国家自然科学基金(50708056)和山东省优秀中青年科学家科研奖励基金(2008BS09015)的资助,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,难免有欠妥甚至错误之处,敬请读者批评指正。

作 者

2009年8月

目 录

第一章 绪 论	(1)
1.1 公路地基处理的目的和意义	(3)
1.2 公路地基处理技术的发展	(5)
1.3 公路地基土的分类	(7)
1.4 公路地基处理方法分类及选择	(10)
1.4.1 公路地基处理方法的分类	(10)
1.4.2 公路地基处理方法的选择	(12)
第二章 公路地基处理的试验与检验方法	(14)
2.1 室内土工试验	(14)
2.2 地基变形观测	(15)
2.2.1 水准点的布设及观测	(15)
2.2.2 沉降观测	(16)
2.2.3 水平位移观测	(21)
2.3 孔隙水压力观测	(24)
2.3.1 孔隙水压力计的选择与埋设	(25)
2.3.2 观测及资料整理	(26)



第三章 软基处理的设计与计算	(28)
3.1 软弱土的工程特性	(28)
3.2 地基沉降计算分析	(29)
3.2.1 理论公式法	(30)
3.2.2 仿真计算分析法	(36)
3.2.3 反演预测分析法	(38)
3.3 路堤稳定计算分析	(39)
3.3.1 条分法	(40)
3.3.2 强度折减法	(44)
第四章 换土垫层法	(47)
4.1 压实原理	(47)
4.2 垫层设计	(49)
4.3 垫层施工和质量检测	(53)
4.3.1 垫层施工	(53)
4.3.2 质量检测	(54)
4.4 工程实例	(55)
4.4.1 工程概况	(55)
4.4.2 换填方案	(56)
4.4.3 施工期沉降要求	(61)
4.4.4 现场观测	(61)
第五章 排水固结法	(65)
5.1 排水固结法原理	(67)
5.2 排水固结法的设计与计算	(70)
5.2.1 有关砂井的计算	(72)
5.2.2 地基抗剪强度增长的预计	(79)

5.2.3 稳定性分析	(81)
5.2.4 沉降计算	(84)
5.3 排水固结法施工工艺与质量检验	(85)
5.3.1 施工工艺	(85)
5.3.2 质量检验	(91)
5.4 工程实例	(92)
5.4.1 工程地质情况	(92)
5.4.2 地基处理方案	(93)
5.4.3 现场检测	(95)
第六章 强夯法	(97)
6.1 加固机理	(98)
6.2 强夯设计	(106)
6.2.1 有效加固深度	(106)
6.2.2 夯击次数	(106)
6.2.3 夯击遍数及其间隔	(107)
6.2.4 夯击点的布置	(107)
6.3 强夯施工与质量检验	(108)
6.3.1 强夯施工	(108)
6.3.2 质量检验	(110)
6.4 工程实例	(110)
6.4.1 工程概况	(111)
6.4.2 强夯方案与工艺	(112)
6.4.3 试夯结果	(115)
6.4.4 强夯的注意事项	(120)
第七章 复合地基处理	(123)
7.1 复合地基设计	(124)

7.1.1	复合地基承载力计算	(125)
7.1.2	复合地基的沉降计算	(127)
7.2	复合地基优化设计	(130)
7.3	粉喷桩	(132)
7.3.1	粉喷桩加固机理	(133)
7.3.2	粉喷桩设计	(134)
7.3.3	粉喷桩复合地基施工及质量控制措施	(139)
7.3.4	粉喷桩在道路工程中的应用	(142)
7.4	CFG 桩设计与施工	(144)
7.4.1	CFG 桩的作用机理	(145)
7.4.2	CFG 桩复合地基的设计	(147)
7.4.3	CFG 桩的施工	(152)
7.4.4	CFG 桩在道路工程中的应用	(154)
7.5	预应力管桩	(156)
7.5.1	管桩加固机理	(157)
7.5.2	管桩设计	(157)
7.5.3	管桩施工	(160)
7.5.4	管桩在道路工程中的应用	(160)
第八章	加筋法	(164)
8.1	加筋法加固原理	(165)
8.1.1	摩擦加筋原理	(165)
8.1.2	准黏聚力原理	(167)
8.2	加筋设计	(169)
8.2.1	地基加筋	(169)
8.2.2	路堤加筋	(172)
8.3	现场施工和质量检验	(174)
8.3.1	加筋施工	(174)

8.3.2 质量检查	(176)
8.4 应用实例	(177)
8.4.1 工程概况	(177)
8.4.2 土工格栅	(177)
8.4.3 施工方案	(177)
第九章 道路拓宽地基处理技术	(179)
9.1 不均匀沉降处理技术	(179)
9.2 新旧路基结合部的拼接技术和施工工艺	(184)
9.2.1 新旧地基结合部位的拼接技术	(184)
9.2.2 新旧路基拼接的施工工艺	(190)
9.3 加宽路基允许工后沉降和新旧路基不均匀沉降 的控制标准	(191)
9.4 工程实例	(192)
9.4.1 沈大路改建	(192)
9.4.2 威乳路改扩建	(195)
第十章 桥头引道路堤地基处理	(203)
10.1 桥头跳车的危害	(203)
10.2 桥头跳车的原因	(205)
10.3 桥头跳车处理方法	(207)
10.3.1 地基加固处理	(207)
10.3.2 路堤填料的选择与压实	(208)
10.3.3 设置搭板	(209)
10.3.4 设置完善的排水设施	(210)
10.3.5 桥头路面设置特殊结构处理	(210)



第十一章 采空区地基处理	(212)
11.1 采空区的破坏及对路基的影响.....	(213)
11.2 采空区公路的选线原则及勘察要点.....	(215)
11.3 采空区处治设计.....	(216)
11.3.1 采空区处治方案选择.....	(216)
11.3.2 采空区处治范围及要求.....	(218)
11.3.3 采空区处治方法.....	(219)
11.3.4 采空区路基设计.....	(224)
11.4 采空区路基路面稳定性评价标准.....	(227)
第十二章 盐渍土地基处理	(230)
12.1 盐渍土的分类及特点.....	(230)
12.1.1 盐渍土的分类.....	(230)
12.1.2 盐渍土的特点.....	(231)
12.2 盐渍土的危害和处理办法.....	(232)
12.2.1 盐渍土的危害.....	(232)
12.2.2 盐渍土地地区公路路基常用处理方法.....	(235)
12.3 施工要求.....	(237)
12.3.1 路基的填筑与压实.....	(237)
12.3.2 隔断层施工.....	(238)
参考文献	(240)

第一章 绪 论

自 20 世纪 30 年代美国及德国开始兴建,至 50 年代世界各国大力发展高速公路以来,目前,在全世界 60 多个国家共修建高速公路 14 万公里,公路客货运输比例大大增加,甚至超过了铁路。我国在 80 年代中期确立了发展高速公路的方针,1984 年开工建设大陆第一条高速公路——沪嘉高速公路并于 1988 年建成通车,之后,沈大、京津塘、沪宁高速公路相继建成投入使用,至 2003 年底,全国通车里程达 181 万公里,其中高速公路近 3.0 万公里;2007 年底已全部建成“五纵七横”3.5 万公里国道主干线,已完成规划包括“五纵七横”在内的 7 射、9 纵、18 横总规模 8.2 万公里的国家高速公路网,加上东部加密、中部联网、西部连通和东北振兴等区域高速公路,我国高速公路总里程将达到 8.5 万公里,到时高速公路将覆盖全国 20 万以上人口的中等城市。图 1.1 为我国高速公路干线网简图。

我国幅员辽阔,东西距离长,南北跨度大,公路建设中因地质问题特别是地质灾害和特殊不良地基引起的公路病害、路基失稳等现象时常发生,给国家造成巨大损失。由于地质成因、水文条件、气候因素等地域差异,不良地基对公路影响的差异性十分显著。近年来公路工程界广泛吸收国内外经验,在公路地基处治方面开展了大量试验研究工作。

我国沿海诸省,除山东部分地段外,大部分为泥质海岸,土层

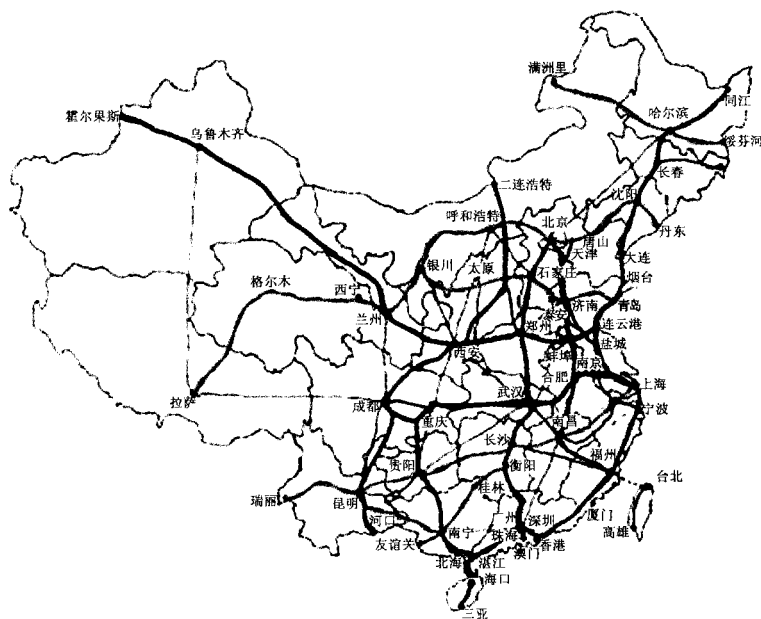


图 1.1 我国高速公路干线网

多为淤泥、淤泥质黏土、淤泥质亚黏土及泥混砂层,属于饱和的正常压密软黏土。这种土类压缩性高(沉降量大),排水固结慢,地基稳定性差。

在我国长江、淮河流域,还经常分布有膨胀土、液化地基等,这些软弱地基、特殊地基的存在常导致高等级公路质量问题,往往是高等级公路设计、施工的关键问题。

随着现代工业科技的发展,在公路建设中已有越来越多的地基处理技术在各项实际工程中得以应用、推广,尤其在近几十年以来,各种新的工艺更是层出不穷。一方面,大量现场的应用成果为该领域的研究提供了许多宝贵的实践经验;另一方面,随着理论研究的不断深入,让我们对于多种地基处理的原理有了更清晰的认

识,进而为工程方案的选择、设计及施工应用提供了可靠的理论基础。正是出于这两个方面的互相促进,使得现代公路地基处理技术得到了前所未有的发展。

1.1 公路地基处理的目的和意义

地基处理是采取各种地基处理方法以改善地基条件,其目的的一般是为了解决以下三个方面的问题:

(1)强度及稳定性问题。若地基的抗剪强度不足以承受路堤及路面外荷载时,地基可能会产生局部或整体剪切破坏,造成路堤塌方、失稳,桥台破坏。

(2)沉降变形问题。当地基在上部荷载及外载作用下产生过大的沉降变形时,会影响道路的正常使用的。特别是产生过大的不均匀沉降时,路面会开裂破坏,构造物与路堤衔接处不均匀沉降,引起桥头跳车,涵身、通道凹陷,沉降缝拉宽而漏水,路面横坡变缓、积水等。

(3)地震、车辆震动等动力荷载可能引起地基土特别是饱和无黏性土的液化、失稳及震陷等。另外,由于外界水循环变化、温度变化等引起的管涌、冻融等也可能引起地基强度和变形的显著变化,从而影响道路的正常使用的。

当道路工程特别是高等级公路工程中遇到上述问题之一时,轻则影响行车的舒适性和安全性,重则引起路基垮塌等重大灾难。如日本常磐高速公路神田桥从1986年9月20日通车后,19个月中平均每月修补一次错台,严重影响了路面质量和通行能力;我国沪嘉高速公路通车4~5月后桥头错台达7~8厘米,使行车速度大为下降;江苏宁连一级公路,由于软基沉降等问题,使路面开裂、桥头错台,通车几年来一直小修不断。由于软土地基设计不力,2004年罗源至长乐高速公路发生特大坍塌,造成100余米的路基

断裂,外移下陷约 10 米,致使道路完全瘫痪,严重影响了道路的安全运营,造成很大的经济损失,如图 1.2 所示。2006 年 3 月 27 日下午 4 时 45 分,由于地基水文地质灾害,太原到旧关高速公路寿阳段发生严重塌陷,路面整体沉陷,路基向外滑移,塌陷处长 130 米,宽 12 米,深 8.5 米,严重影响了车辆通行,如图 1.3 所示。



图 1.2 罗长高速公路垮塌图



图 1.3 太旧高速公路垮塌图

鉴于以上问题,地基处理的目的是利用夯实、置换、排水固结、加筋和热力学等方法对地基进行加固,以改善地基土的剪切性、压缩性、振动性和特殊地基的特性,使之满足道路工程的要求。显然,对于交通量大、养护难的高等级公路,地基处理的恰当与否直接关系到工程质量、投资和进度。因此,地基处理对节约基本建设投资,保证公路正常营运具有重要意义。

1.2 公路地基处理技术的发展

地基处理技术在我国的应用可以追溯到很久以前,我国在秦汉以前就开始应用灰土垫层进行地基处理。随着土工工程的发展,地基处理技术也在不断的发展。工程建设的需要极大地促进了地基处理技术的发展,现代地基处理技术是伴随现代化建设而发展起来的。表 1.1 给出了几种地基处理技术在我国应用的最早年份。

表 1.1 部分地基处理方法在我国用于最早年份

地基处理方法	年份	地基处理方法	年份
普通砂井法	20 世纪 50 年代	土工合成材料法	20 世纪 70 年代
真空预压法	1980 年	强夯置换法	1988 年
袋装砂井法	20 世纪 70 年代	EPS 超轻质填料法	1995 年
塑料排水带法	1981 年	低强度桩复合地基法	1990 年
砂桩法	20 世纪 50 年代	刚性桩复合地基法	1981 年
土桩法	20 世纪 50 年代	锚杆静压桩法	1982 年
灰土桩	20 世纪 60 年代	掏土纠倾法	20 世纪 60 年代初
振冲法	1977 年	顶升纠倾法	1986 年
强夯法	1978 年	树根桩法	1981 年
高压喷射注浆法	1972 年	沉管碎石桩法	1987 年
浆液深层搅拌法	1977 年	石灰桩法	1953 年
粉体深层搅拌法	1983 年		



从表 1.1 可以看出,大部分地基处理技术在改革开放以后发展或引进的。近十几年来,我国基础建设规模不断扩大,其建设规模及速度前所未有的,老方法得到改进,新方法不断涌现。在 20 世纪 60 年代中期,从如何提高土的抗拉强度这一思路中,发展了土的加筋法;从如何有利于土的排水和固结这一基本观点出发,发展了土工合成材料、砂井预压和塑料排水带,从如何进行深层密实处理的方法考虑,采用加大击实功的措施,发展了强夯法和振动水冲法等。

同时已有的地基处理技术得到发展,如施工机具、工艺的改进,使地基处理能力提高,高含水量软黏土地基处理方法例如静动力排水固结法的发展就是一个例证。

随着地基处理技术的发展和各种地基处理方法的推广和使用,复合地基概念在土木工程中得到愈来愈多的应用。工程实践要求加强对复合地基基础理论的研究,然而对复合地基承载力和变形计算理论的研究还很不够,复合地基理论正处于发展中,还很不成熟。

目前地基处理已成为土力学与岩土工程领域的一个主要分支学科,国际土力学与岩土工程协会下设有专门的地基处理学术委员会。中国土力学与岩土工程学会 1984 年设立了地基处理学术委员会,并于 1986、1989、1992、1995、1997、2000 年分别召开了六届全国地基处理学术讨论会。1988 年编著出版了《地基处理手册》,1990 年又开始出版了《地基处理》杂志,提供了推广和交流地基处理新技术的园地。我国建设部已颁发了《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-91),交通部 1997 年颁发了《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》,对公路工程中软土地基处理设计、施工起到了重要指导作用。此外,针对湿陷性黄土、膨胀土等也已出版了相应的专门规程。

总体来说,近十几年来对各种地基处理方法的适用性和优缺