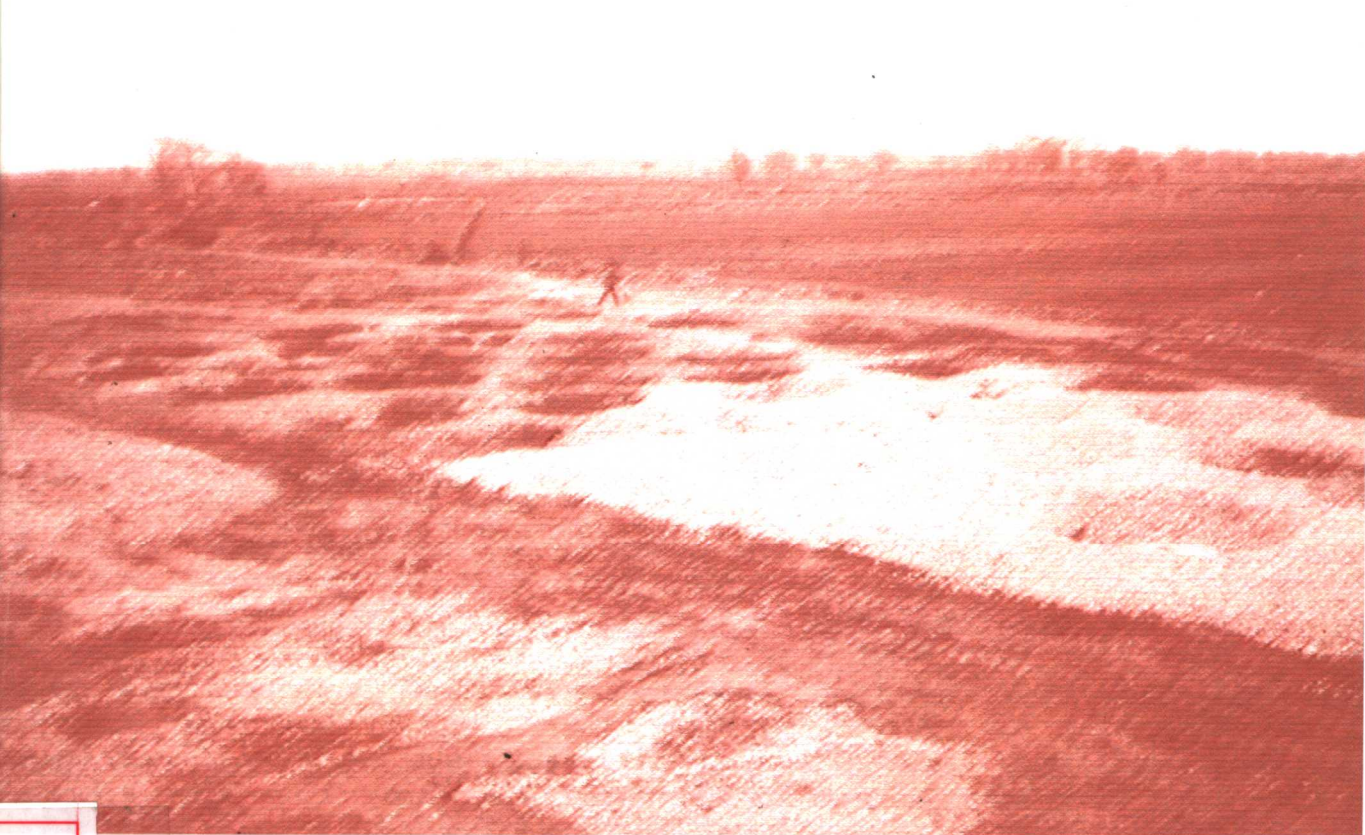


*Theories and methods of the treatment for poor soil
ground under expressway*

高速公路不良地基处理 理论与方法

汪双杰 张留俊 刘松玉 倪一鸿



人民交通出版社

China Communications Press

*Theories and methods of the treatment for
poor soil ground under expressway*

高速公路不良地基处理 理论与方法

汪双杰 张留俊 刘松玉 倪一鸿

黄晓明 倪一鸿 审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书依托工程实例,重点介绍高速公路建设中出现的软土、可液化砂土、膨胀土等几种特殊不良地基对公路工程的危害及处治方法。内容包括:不良地质的特征及基本理论、工程勘察手段与方法、判别参数与标准、处治措施与效果。本书理论与科研试验相结合,经受工程实践并经长期观测检验,具有理论价值和实践应用指导意义。

本书可供公路工程勘测、设计、施工和科研技术人员及高等院校公路专业师生学习参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

高速公路不良地基处理理论与方法 / 汪双杰等著.
北京:人民交通出版社, 2004. 10
ISBN 7-114-05289-8

I. 高... II. 汪... III. 高速公路 - 公路路基 - 地基处理 IV. U418.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 101552 号

书 名: 高速公路不良地基处理理论与方法

著 作 者: 汪双杰 张留俊 刘松玉 倪一鸿

责任编辑: 富砚博

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 85285656, 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 18.25

插 页: 2

字 数: 453 千

版 次: 2004 年 10 月第 1 版

印 次: 2004 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-114-05289-8

印 数: 0001—3000 册

定 价: 39.50 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

汪双杰:



男,1962年生,安徽人,中交第一公路勘察设计研究院教授级高级工程师,交通部科技英才,享受国家政府特殊津贴。主要从事公路勘察设计,在高速公路设计理论、特殊土路基修筑技术方面有深入研究。主持过20余项大型公路建设项目的勘察设计、多项部(省)工程科研及交通行业标准规范的编制工作;在国际、国内刊物上公开发表学术论文20余篇,获国家优秀设计奖及部(省)级优秀设计奖、科技进步奖多次。

张留俊:



男,1962年生,河南人,中交第一公路勘察设计研究院教授级高级工程师,交通部优秀科技人才,中国路桥(集团)总公司专家委员会委员。主要从事软土、可液化砂土、膨胀土等不良地基处治设计和研究工作,特别是在软土地基处治理论和方法方面有深入研究,主持过多项高速公路软基处理工程及交通行业标准规范的编制;获国家优秀设计奖及部(省)级优秀设计奖、科技进步奖多项,发表论文30余篇,出版著作2部。

刘松玉:



男,1963年生,江苏人,东南大学教授、博士生导师。主要从事交通土建工程领域的岩土工程研究,特别是在桩基工程、地基处理工程、地下工程与环境等方面有深入研究;在国际、国内学术会议和刊物上公开发表学术论文140余篇,出版5部教材和专著,研究成果5次获江苏省科技进步奖。

倪一鸿:



男,1934年生,山东人,中交第一公路勘察设计研究院教授级高级工程师,国家有突出贡献专家,享受国家政府特殊津贴。长期从事公路工程地质勘察及筑路材料试验研究,主持或参与过40余项大型公路建设项目的勘察、设计与科研,主编多项交通行业标准规范,在软土地基处治方面取得显著成就;公开发表学术论文20余篇,获国家优秀设计奖、国家科技进步奖及部(省)级奖励多项。

前 言

公路是国民经济持续发展的基础,也是衡量一个国家经济实力和现代化水平的重要标志。进入 21 世纪,我国公路建设又迎来了良好的发展机遇,到 2003 年底全国公路通车总里程达 181 万公里,其中高速公路近 3.0 万公里;“五纵七横”3.5 万公里国道主干线将在 2007 年前全部建成;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规划已完成,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。

我国幅员辽阔,东西距离长,南北跨度大,公路建设特别是高速公路建设中,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、路基失稳等现象时有发生,给国家造成巨大损失。随着高速公路网建设的进一步推进,以东南沿海为主的软土地基,以沿黄河中下游故道为主的高地震烈度区液化砂土地基和以丘陵湿润地区为主的膨胀土地基等不良地基,会越来越多地在公路建设过程中出现。由于地质成因、水文条件、气候因素等的地域差异,不良地基对公路影响的差异性亦十分明显。近年来公路工程界广泛吸收国内外经验,在软土地基处治方面开展了大量的试验研究工作。以京津塘、沪宁高速公路为代表的软土地基处治技术取得了许多宝贵经验,并与其他工程借鉴。膨胀土地基对工程的危害已逐步为公路工程界所认识,不少省份结合当地工程实际开展了相关研究,交通部在西部交通科技项目中也列专题进行技术攻关。高地震烈度区液化砂土地基在河南、江苏、山东等省区公路建设中已成为不可忽视的因素,在某种程度上已影响到投资规模。为了摸索经验,各地都开展了这方面的工程实验研究。总的来讲,公路建设虽取得了巨大成绩并积累了经验,但还未取得行之有效的处治办法来确保不良地基路段工程的稳定性和使用效果,一些工程处治措施及处治机理仍在进一步探索研究和不断总结过程中。特别是针对膨胀土和液化砂土地基,从判别标准、方法到处治对策,目前更多地是参照工业与民用建筑或水利工程经验,公路工程界大规模系统深入的试验研究尚处在起步阶段。

连云港至徐州高速公路是连霍国道主干线江苏境内段,从东海之滨的港城连云港港口到苏皖两省交界,沿途经过海积平原,故黄河泛滥冲积平原及鲁西南低山丘陵区,东段分布大面积高含水量滨海相软土;中段分布可液化砂土及砂土、软土交互地层,公路跨越 7~8 度地震烈度带;西段山前阶地、坡地集中分布膨胀土。江苏省高速公路建设指挥部非常重视工程质量,针对公路沿线特殊不良地基,组织设计、施工、高等院校等单位,依托项目开展工程科研,取得了丰富翔实的试验数据,提出了合理可行的处治对策,设计研究成果无论是在理论上还是在实践上都有许多新的突破。

本书以连徐高速公路为实例,以勘测设计资料为基础,全面阐述项目工程地质、水文地质背景,系统介绍针对工程中遇到的软土、可液化砂土、膨胀土等特殊不良地基开展的科研试验及研究成果,同时也将工程中出现的问题以及为实践证明成功的工程措施介绍给广大读者作为借鉴。通过分析对比国内外相关研究资料及工程经验,使笔者对几种特殊不良地基的特性规律有了新的认识。

本书受中国路桥(集团)总公司中交第一公路勘察设计研究院科研基金资助,由汪双杰组织撰写。第一章、第五章由汪双杰撰写,第二章由倪一鸿、汪双杰撰写;第三章由张留俊撰写;第四章由刘松玉撰写。全书由汪双杰负责统稿,各章节均通过作者相互阅审并提出修改意见,并先后经东南大学黄晓明教授、中交第一公路勘察设计研究院倪一鸿教授级高工审定。

本书撰著过程中得到了参与相关设计科研的同志的大力支持与帮助,为本书提供了许多宝贵资料,在此一并致谢。特别感谢江苏省高速公路建设指挥部在本项目设计、研究中给予的指导与支持。鉴于编者水平有限,疏漏或错误之处,敬请读者批评指正。

目 录

第一章 概述	1
第一节 工程概况	1
第二节 公路沿线自然地理	3
一、地形	3
二、区域地质	3
三、气象水文	4
第三节 不良地基及处治对策研究	5
一、不良地基	5
二、处治对策研究	6
第二章 地质勘察	7
第一节 勘察技术要求	7
一、勘察依据的主要规程、规范与其他指导性文件	8
二、勘察大纲的技术要求	9
三、各项工程类别勘察的技术要求	10
四、路基工程地质勘察基本技术要求	14
五、桥位选择基本技术要求	18
第二节 勘察方法和手段	20
一、技术准备阶段收集与分析资料	20
二、工程地质调查与测绘	22
三、工程地质勘探	23
第三节 室内试验	33
一、对取土结构状态的要求	33
二、取土试样数量的要求	35
三、土样的密封、包装和运输	37
四、室内试验	37
第四节 路线工程地质综述	59
一、地层岩性	59

二、水文地质条件·····	61
三、工程地质分区与评价·····	64
四、岩土体工程地质性质与评价·····	66
参考文献·····	76
第三章 软土地基处治 ·····	77
第一节 绪论·····	77
第二节 软土地基分布及软土特征·····	78
第三节 设计原则与方法·····	81
一、设计原则·····	81
二、设计方法·····	86
第四节 处治方案设计·····	97
一、概述·····	97
二、地基处治设计·····	101
第五节 处治方案施工·····	104
第六节 施工观测与沉降预测·····	109
一、施工观测·····	109
二、沉降预测·····	113
三、沉降稳定时间的确定·····	116
第七节 粉体搅拌桩施工问题研究·····	117
一、概述·····	117
二、地质及地基情况调查·····	118
三、处理方案设计·····	121
四、粉体搅拌桩试桩·····	122
五、后期粉体搅拌桩实施效果·····	123
第八节 抗滑桩与粉喷桩联合加固软土地基·····	125
一、概述·····	125
二、抗滑桩设计方面的几个问题·····	126
三、设计计算示例·····	128
四、抗滑桩适用条件·····	131
参考文献·····	131
第四章 可液化地基处治 ·····	133
第一节 绪论·····	133
第二节 高速公路地基液化实用评价方法·····	134

第三节 处治方案设计	138
一、高速公路可液化地基处理设计原则	138
二、强夯法处治设计	138
三、干振碎石桩处治设计	145
第四节 强夯法加固技术试验研究	155
一、试验概况	155
二、各试夯区工程地质条件与液化势评价	160
三、单点夯试验成果	165
四、试夯区试验结果	169
五、影响强夯法处理效果的因素	171
六、强夯振动影响与建筑物安全距离	181
第五节 干振碎石桩加固技术试验研究	184
一、试验概况	184
二、干振碎石桩施工对土层的振动效应	188
三、干振碎石桩加固液化地基效果	193
四、影响干振碎石桩加固效果的因素	196
五、碎石桩复合地基承载力与变形特性	198
第六节 瞬态瑞利波法检测技术研究	200
一、SASW 法的原理与特点	200
二、地基液化势的 SASW 法评判	210
三、SASW 评价强夯法处理效果	210
四、液化地基干振碎石桩加固效果 SASW 法评价	222
五、瑞利波速与岩土物理力学性质关系统计	228
参考文献	237
第五章 膨胀土地基与路堤处治	239
第一节 绪论	239
第二节 膨胀土分布特征	240
一、连徐高速公路膨胀土分布特征	240
二、连徐高速公路膨胀土物理、力学指标及膨胀潜势	241
三、掺加石灰控制膨胀土含水量效果	241
第三节 试验工程及膨胀土路基受水特征	242
一、取土场的选择	242
二、路基土的处治与压实	243
三、路基排水与防护设计	244

四、施工控制	244
五、石灰改性膨胀土路基受水特征	245
第四节 膨胀土判定方法与标准	246
一、膨胀土及其判定的意义	246
二、判定方法与标准	246
第五节 膨胀土处治室内试验研究	251
一、土场土样膨胀潜势	251
二、石灰改性试验	256
第六节 现场路基测试研究	260
一、现场钻孔	260
二、路基现状测试	265
三、路基受水后膨胀潜势再评价	268
四、主要结论与建议	272
第七节 膨胀土路基处治设计及施工	273
一、膨胀土处治方法选择	273
二、路基排水与防护	274
三、路基施工	279
参考文献	282

第一章 概 述

第一节 工程概况

连云港至霍尔果斯公路,自东至西横贯我国腹部,是国家规划建设“两纵两横”国道主骨架的重要组成部分,与陇海兰新铁路共同构成我国东西部陆路大通道。连(云港)徐(州)高速公路是连霍公路的东龙头段,位于江苏省北部地区,东起东海之滨的连云港市,西至徐州市西南隅之苏皖省界老山口,经灌云县、东海县、新沂市、邳州市、铜山县等市(县),全长约237km,与南北向同江~三亚、北京~上海、北京~福州三条国道主干线公路,及南京~连云港、南京~宿迁~徐州二条省道干线公路相联结,担负着我国中西部地区出海通道及东西部交通之重任,对构筑江苏省高速公路骨架网络,加快苏北地区经济发展,改善连徐经济带投资环境具有深远的意义。

连徐高速公路全线按全封闭、全立交、双向四车道高速公路标准建设,设计车速120km/h,桥涵设计荷载标准为汽车—超20级、挂车—120,路基宽度28m。工程征用土地约15.7km²(23500亩),路基土石方约4400万m³,桥涵362座,约33000延米,互通立交11处,分离立交38处,通道250道,涵洞468道,收费、通信、监控照明、安全、绿化及服务设施等同步建设。连徐高速公路工程分两阶段实施,一期工程总里程约94km,分为东西两段,其中东段起自连云港市境内与南京~连云港高速公路相交所设宁海互通立交,止于新沂市境内与北京~上海高速公路相交所设新沂枢纽互通立交,长约75km;西段起自铜山县境内与104国道相交所设潘塘互通立交,止于苏皖省界与连(云港)霍(尔果斯)公路安徽段相接,长约19km。一期工程1997年3月先期开工建设液化砂土地基及软土地基试验段,1998年底工程全面开工,2001年11月底建成通车。二期工程总里程约143km,亦分为两段,其中东段起自路线起点连云港市墟沟镇,西接一期工程的宁海互通立交,长约29km;中段东接一期工程新沂枢纽互通立交,西接一期工程潘塘互通立交,长约114km。二期工程1999年5月全面开工,2003年6月建成通车。

按行政区域,连徐高速公路路基、桥涵工程分A、B、C、D、E五个大段落,A段为连云港市(灌云县)段,设计施工划分为A₁~A₁₁计11个标段;B段为东海县段,设计施工划分为B₁~B₁₁计11个标段;C段为新沂市段,设计施工划分为C₁~C₁₁计11个标段;D段为邳州市段,

设计施工划分为 $D_1 \sim D_6$ 计 6 个标段; E 段为徐州市(铜山县)段,设计施工划分为 $E_1 \sim E_{11}$ 计 11 个标段,详见表 1-1。

连徐高速公路标段划分表

表 1-1

标段 编号	起讫桩号	长度 (km)	备 注	标段 编号	起讫桩号	长度 (km)	备 注
A_1	K0+000~(左幅 K4+722,右幅 K4+735)	6.310	长链 59.63m	C_4	K105+950~K108+560	2.61	
A_2	(左幅 K4+722,右幅 K4+735)~K6+250		含新墟路 互通立交	C_5	K108+560~K113+400	4.84	
A_3	K6+250~K14+500	6.070	短链 2179.77m	C_6	K113+400~K120+000	6.60	
A_4	K14+500~K19+000	4.500	含大岛山主 线收费站	C_7	K120+000~K128+100	8.10	
A_5	K19+000~K23+000	4.000		C_8	K128+100~K136+200	8.10	
A_6	K23+000~K26+600	3.600		C_9	K136+200~K138+150	1.95	
A_7	K26+600~K31+200	4.245	含妇联河、烧 香河大桥、短链 354.74m	C_{10}	K138+150~K144+500	6.35	
A_8	K31+200~K33+200	2.000		C_{11}	K144+500~K151+040	6.539	短链 1.12m
A_9	K33+200~K36+850	3.650		D_1	K151+040~K153+100	2.060	
A_{10}	K36+850~K40+400	3.550		D_2	K153+100~K156+000	2.900	
A_{11}	K40+400~K44+518.6	4.119	长链 1458.65m	D_3	K153+000~K163+500	7.500	
B_1	K43+060~K47+350	4.290		D_4	K163+500~K170+800	7.300	
B_2	K47+350~K47+950	0.600		D_5	K170+800~K178+300	7.500	
B_3	K47+950~K55+050	7.100		D_6	K178+300~K185+800	7.500	
B_4	K55+050~K60+700	5.650		E_{11}	K185+800~K192+800	7.000	
B_5	K60+700~K61+100	0.400		E_{10}	K192+800~K201+500	8.700	
B_6	K61+400~K66+100	5.000		E_9	K201+500~K210+489.01	8.989	短链 2210.99m
B_7	K66+100~K71+640	5.540		E_8	K212+700~K218+200	5.500	
B_8	K71+640~K72+830	1.190		E_7	K218+200~K220+800	2.600	
B_9	K72+830~K77+700	4.870		E_6	K220+800~K222+400	1.600	
B_{10}	K77+700~K82+400	4.700		E_5	K222+400~K227+400	5.000	
B_{11}	K82+400~K87+672	5.272		E_4	K227+400~K232+550	5.158	长链 8.28m
C_1	K87+672~K91+240	3.568		E_3	K232+550~K234+310	1.760	
C_2	K91+240~K98+200	6.960		E_2	K234+310~K238+320	4.010	
C_3	K98+200~K104+650	6.450		E_1	K238+320~K240+010.30	1.690	
纳入 沂淮	K104+650~K105+950	1.300					

第二节 公路沿线自然地理

一、地形

公路所经地区地貌单元为鲁南低山丘陵南缘的侵蚀残丘和黄海准平原过渡地带,其中少数零散突起的低山丘陵,其基岩沿低山残丘裸露。总的地势特征为东低西高、南低北高,由西北向东南缓和倾斜,从连云港滨海海拔 2m 左右向西逐渐升高至路线终点徐州平原海拔 30~61m。路线东西两端分布有云台山(海拔 625m)、锦屏山(海拔 428m)、黄山、焦山等低山丘陵;在路线中段零散分布剥蚀残丘和低山丘陵。公路大部分位处海积及冲海积平原,自东向西连邳港至东海县东部为滨海海积平原和冲海积平原;东海县中、西部至新沂市东郊为剥蚀准平原;新沂市东至邳州市中部为沂沭河冲积平原;邳州西部至徐州老山口为黄泛冲积平原和丘陵的山间盆地。

二、区域地质

1. 地质构造

工程所处地区大地构造单元由三大地块构成,即胶辽断块的南端——苏鲁断块、冀鲁断块的南端——徐淮断块,以及两断块间的结合带——郯庐断裂带的郯城宿迁段构成。三者均属于一级大地构造单元华北断块区的一部分,详见图 1-1。

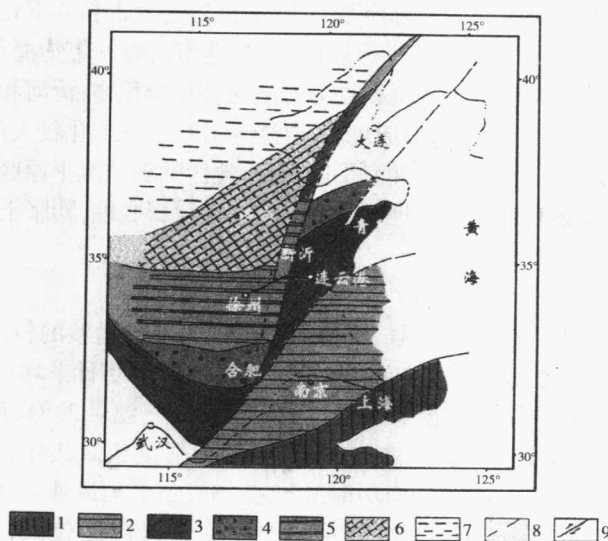


图 1-1 区域大地构造位置图

1-江南隆起带;2-下扬子褶皱带;3-大别—胶南隆起带;4-合肥凹陷带;5-淮阳地块;6-鲁西隆起带;7-黄骅凹陷带;8-构造单元界线;9-郯庐断裂带

2.地震

根据 1990 年国家地震局编制的地震烈度区划图,按 50 年超越概率为 10% 时,连云港至东海淋头河为 VII 度区,淋头河西至邳州西为 VII 度区,邳州西至徐州东(K204+500)为 VII 度区,徐州东至路线终点为 VI 度区,详见图 1-2。

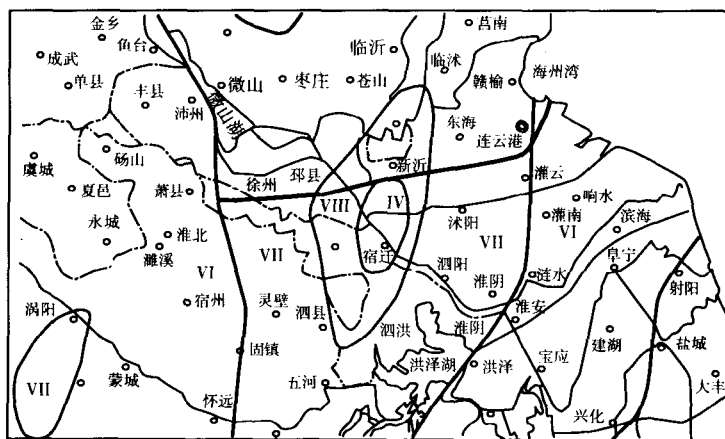


图 1-2 连徐地区地震烈度区划

3.地质及岩性

海泗断裂带东侧地层为武陵期混合花岗岩,中元古界海州群变粒岩、石英片岩,组成了锦屏山和云台山山体;海泗断裂带西侧至郯庐断裂带间,地层为太古界~下元古界胶东群片麻岩和五台期超基性岩、榴辉岩等;平原、准平原地区,连云港市沿海一带为海相沉积地层,分布有厚层状软土;东海县蔷薇河两侧全新统沉积层为海陆交替相堆积物;沂河和黄河故道两侧为河相冲积物,因河流的交替侵蚀与堆积,形成地层层位不稳定、岩性变化较大的特点,断裂分布有软土和可液化砂土地层;连云港地区的冲海平原、新沂地区的剥蚀准平原区高液限粘土地层中广泛分布膨胀土,徐州地区丘陵山间盆地 Q_2 、 Q_3 老粘土多具膨胀性,膨胀土连续分布。

三、气象水文

连徐地区属暖温带半湿润季风气候,具有海洋性向大陆性过渡的特点。气候温和,四季分明,雨量较充沛。年平均气温 14℃左右,七、八月份最热,历年日平均最高气温达 37℃,极端最高气温 43.3℃,日平均最低气温 - 12.5℃,极端最低气温 - 23℃,最大冰冻深度 15 ~ 33cm;年平均降雨量徐州 863mm,连云港 903mm,夏秋季雨量相对集中,易出现暴雨形成水灾,区内日最大降雨量 400mm,连续降雨历时最长者 15d;年平均风速 3.3m/s,历年最大风速 16m/s,全年以东北风为主;历年最大积雪深度 15cm。该区湿度较高,年平均相对湿度在 75%左右,最小相对湿度 62%,最大相对湿度达 80%左右。

公路所经水系、流域以废黄河(黄河故道)为界,废黄河以西属淮河干流流域,以东属沂沭泗流域。废黄河是历史上黄河长期夺泗、夺淮入海留下的黄泛故道,西起河南兰考三义

寨,于江苏滨海县大淤尖入黄河,全长 740km,淤积严重,其中徐州以下河段河床高出地面 4~6m,形成一段悬河,自成独立水系,也是沂沭河流与淮河干流流域的分水岭。沂沭泗流域系沂河、沭河、泗河三条水系的总称,位于黄河与废黄河之间,北以沂蒙山为分水岭,南以废黄河与淮河干流水系相隔,有大、中河流及主干渠道约 60 条相互沟通。其中连云港海州以东盐田区地表水矿化度高,pH 值较大,为微咸水~咸水;地下水埋深 0.7~1.5m,矿化度高,水质较差。中部剥蚀准平原区,地下水位 0.4~2.5m,地表、地下水均为淡水,部分河流污染严重。徐州三堡一带埋深 80cm 以下有岩溶水分布,多见出露,为良好淡水。

第三节 不良地基及处治对策研究

一、不良地基

连徐高速公路自东向西由海积、冲海积平原向鲁南剥蚀准平原过渡,其间黄河数次改道形成河相冲积平原,地层由最年轻的近海浅滩滨海相淤积层、黄河平原区沉积较厚的第四纪松散饱和各类低液限粉土、粉质土及砂类土,到徐州一带山间盆地长期物理风化沉积的饱和粘土,地理空间、时间跨度大,地质条件复杂,加之沿线地下水位高,地震基本烈度处于 VII~VIII 度区,这就构成了沿线不良地基的基本条件。连徐高速沿线分布滨海相软土、可液化砂土及砂土与软土交互地层、膨胀土、盐渍土及岩溶等不良地基,尤以软土、可液化砂土、膨胀土为甚。

软土地基的分布里程为 K0+000(A₁ 标段)~K52+000(B₃ 标段),处理长度约 37km。临近黄海段,受海侵、海退影响,形成厚度达 3~16m 的淤泥质软土,含水量高(54.0%~85.8%)、孔隙比大(1.55~2.40)、压缩系数大(1.55~2.97MPa⁻¹)、抗剪强度低(2~17kPa),软土上覆低液限粘土硬壳层薄(0.5~3.5m),其物理力学指标之差为国内高速公路所未见。

可液化砂土地基或可液化砂土与软土互层地基分布里程为 K15+000(D₁ 标段)~K196+000(E₁₀ 标段)及 K213+000(E₈ 标段)~K232+000(E₄ 标段),总长约 67km。特别是 D₁ 标段~E₁₀ 标段,可液化砂土层内又分布有连续的透镜状饱和软粘土,软土底面层位基本位于地表下 10m 以内,该层天然孔隙比较大(1.06~1.54),抗剪强度低(4~16kPa),且触变性大、压缩性高(0.53~1.28MPa⁻¹)。受可液化砂土、软土两种不良土类力学指标的共同影响,本段地基工程地质强度低、可压缩性大。由于高速公路路基宽、路堤高,填土自重大,在 VII~VIII 度地震裂度区,可液化砂土及软土对路基稳定性影响不容低估,而如此长距离大范围处理此类不良地质,在国内高速公路也是绝无仅有的。

膨胀土在全线多呈不连续的岛状或“鸡窝状”分布,只有 E 合同段比较集中,且膨胀性质和态势较其他段落明显,分布里程为 K212+700(E₈ 标段)~K238+300(E₂ 标段)。按自由膨胀率、液限、粘土颗粒含量判定具中弱膨胀潜势,但按胀缩总率属强膨胀土,其中 E₂ 标段(K234~K238)4km 膨胀态势显著。由于高速公路路基所需填料量大,地下水位较高(0.8m),

施工期降雨对路基强度及稳定性影响如何,是高速公路建设中碰到的全新课题。

二、处治对策研究

上述典型不良地基的存在,给设计和施工带来了许多技术上的难题。在对不良地基的处治过程中,设计、研究人员结合工程实际开展了大量的科研工作,如高含水量条件下粉喷桩施工工艺及检测方法的研究,强夯法处治可液化砂土地基研究,改性膨胀土填自由式路基受水特性研究等。通过这些研究,成功地解决了连徐高速公路建设中的具体问题,形成了本项目的关键技术。

连云港段海相软土地基沉降量大,含水量高,排水固结十分缓慢,地基稳定性极差,为检验设计参数,利用 $A_8 \sim A_{11}$ 标段作为试验路段开展了粉喷桩(水泥搅拌桩)试验研究。 $A_4 \sim A_5$ 标段施工期出现粉喷桩成桩质量差、路基滑移问题,针对这一情况,工程技术人员通过试验研究,采用加大喷粉量(水泥用量)、分段复搅、气固双控等措施解决成桩后的质量问题;桩后质量检测除采取取芯、标贯方法外,在国内首次采用 $\phi 2.9\text{m}$ 大型承载板检测三桩复合地基承载力;对软土进行分类研究,通过室内试验及软土地基路段路基沉降观测,研究高含水量海相软土力学特征、变形特征,修正软土加固方案、设计施工参数,为国内高速公路软土处治探索新途径。

连徐高速公路可液化砂土地基处治规模大、里程长,开了江苏省公路建设历史之先河,无论是强夯法处治还是干振碎石桩处治,在国内公路界如此大规模应用也尚无先例。为完善公路工程抗震设计理论和可液化砂土地基处理设计、施工理论与方法,选择 4 个试验路段、14 个试验区对强夯最佳夯击能、间歇时间、检测手段及干振碎石桩施工工艺、影响范围、检测技术等进行研究,其中 SASW 法检测强夯法处理可液化砂土地基效果在国内系首次采用。

膨胀土地基或采用膨胀土填筑路基都是工程界必须认真对待的问题。膨胀土因其粘粒成分主要由亲水性强的蒙脱石或伊利石等矿物组成,具有显著湿胀干缩并反复变形的工程特性。受自然地理、气候影响,连徐高速公路连续 4km 膨胀土路基施工无法避开降雨天气,为此选择代表性路段 1200m,按室内试验研究采用石灰改性膨胀土填筑路基,开展膨胀土综合判别方法研究、膨胀土综合处治技术研究,特别是依托实体工程针对高速公路开展自然受水条件下高压实度膨胀土受水特性研究,拓宽膨胀土工程研究领域,对膨胀土地区公路建设具有现实意义。

第二章 地质勘察

第一节 勘察技术要求

连云港至徐州高速公路的工程地质勘察是为了查明本工程项目的地质、地理环境特征,对地形、地质和水文等场地要素做出分析、评价和建议,为地基处理、地基基础设计和施工提供详细的地基土的结构组成与分布,各土层的物理力学性质、持力层的变形和承载力、变形模量等岩土设计参数,以及不良地质现象的分布与防治措施,特别是软土、膨胀土、可液化土、盐渍土等处治措施,以达到确保高速公路建设的顺利进行,以及建成后能安全、舒适和正常使用的目的。

工程地质勘察的主要内容包括:

- (1)工程地质的调查与测绘;
- (2)勘察与取样;
- (3)原位测试;
- (4)必要的监(观)测;
- (5)室内物理力学试验与现场原位测试;
- (6)室内外测试资料统计分析;
- (7)对取得的成果资料进行整理与作出评价;
- (8)编制工程地质勘察报告,提出地勘结论与建议。

工程地质勘察工作运作的一般程序如图 2-1 所示。

连云港至徐州高速公路从 1993 年 6 月开始进行预、工可研究,到 1998 年 8 月完成全线施工图设计,历时 5 年,其间技术标准、建设规模和工程方案均进行过多次较大幅度的调整,直到 1997 年 9 月按最后调整的标准完成一期工程的施工图设计,1998 年 8 月完成了一期工程所有施工图设计文件。最终连徐高速公路按照行政区划分为 A、B、C、D、E 五段,全线划分为 49 个标段,其中连云港市境内为 $A_1 \sim A_{11}$ 标,东海县境内为 $B_1 \sim B_{11}$ 标,新沂市境内为 $C_1 \sim C_{11}$ 标,邳州市境内为 $D_1 \sim D_6$ 标,徐州铜山市境内为 $E_1 \sim E_{11}$ 标,全部标段分两期实施。

全线的工程地质勘察工作,随着勘察设计的阶段的不同,设计技术标准、建设规模和工程方案的多次、较大幅度的调整,以及结合全线行政区划配合设计,进行了相应的工程地质