

高速公路建设

实用新技术

GAOSU GONGLU JIANSHE SHIYONG XINJISHU

高学文 主审



黑龙江省齐泰公路工程建设指挥部 编著

- ◇ 粉砂土路基施工与防护技术
- ◇ 粉砂土路基封层设计施工与检测
- ◇ 大厚度水泥稳定材料全幅一次摊铺技术
- ◇ 水泥稳定级配碎石基层抗裂性能研究与设计
- ◇ 寒冷地区双层沥青混凝土路面配合比设计与施工技术
- ◇ 寒冷地区大跨度预应力混凝土连续箱梁特大桥施工组织设计
- ◇ 大跨度预应力混凝土连续箱梁裂缝控制技术
- ◇ 沥青混凝土桥面铺装早期破损防控技术
- ◇ 高速公路绿化景观设计 & 生态保护
- ◇ 公路交通安全保障新技术
- ◇ 公路线形与设施安全评价技术
- ◇ 高速公路管理、养护及服务房屋建筑设计



人民交通出版社
China Communications Press

Gaosu Gonglu Jianshe Shiyong Xinjishu
高速公路建设实用新技术

黑龙江省齐泰公路工程建设指挥部 编著



人民交通出版社

内 容 提 要

本书共 12 章, 主要内容为: 粉砂土路基施工与防护技术, 粉砂土路基封层设计施工与检测, 大厚度水泥稳定材料全幅一次摊铺技术, 水泥稳定级配碎石基层抗裂性能研究与设计, 寒冷地区双层沥青混凝土路面配合比设计与施工技术, 寒冷地区大跨度预应力混凝土连续箱梁特大桥施工组织设计, 大跨度预应力混凝土连续箱梁裂缝控制技术, 沥青混凝土桥面铺装早期破损防控技术, 高速公路绿化景观设计及生态保护, 公路交通安全保障新技术, 公路线形与设施安全评价技术, 高速公路管理、养护及服务房屋建筑设计。

本书可供公路建设与施工人员使用, 也可供高等院校相关专业师生学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

高速公路建设实用新技术/黑龙江省齐泰公路工程建设指挥部编著. ——北京: 人民交通出版社, 2011. 1

ISBN 978-7-114-08659-5

I. ①高… II. ①黑… III. ①高速公路—道路工程—工程技术 IV. ①U412.36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 256908 号

书 名: 高速公路建设实用新技术

著 作 者: 黑龙江省齐泰公路工程建设指挥部

责任编辑: 韩亚楠

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.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店、交通书店

印 刷: 北京盛通印刷股份有限公司

开 本: 880×1230 1/16

印 张: 15.75

字 数: 480 千

版 次: 2011 年 1 月 第 1 版

印 次: 2011 年 1 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-08659-5

定 价: 68.00 元

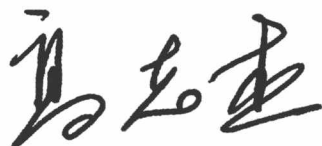
(如有印刷、装订质量问题, 由本社负责调换)

齐泰高速公路是黑龙江省公路建设3年决战的重点项目之一,纵贯于富饶美丽的嫩江平原,全长138.2公里,历经3年的全力攻坚,项目已经正式交工通车。它的建成打通了黑龙江省西部陆路交通大通道,便捷了与内蒙、吉林两省区的区域经济、文化交流,必将为齐齐哈尔市乃至黑龙江省西部地区的经济社会发展提供强有力的支撑。

齐泰高速公路地处我国高纬度寒冷地区,沿线多风沙,填筑材料匮乏,有效施工期短,地质条件差,施工难度大。齐泰高速公路的建设者在3年多的建设历程中敢于迎难而上,善于科研攻关,勇于技术创新,探索总结了一套实用的建设经验;应用推广了多项国内外先进的施工技术和工艺、新型设备和材料,特别是该项目采取的粉砂土施工工艺,路面基层大厚度一次摊铺施工工艺,嫩江特大桥施工组织安排及结构性裂缝和收缩缝控制措施等技术,这些对同类地区高速公路建设具有积极的借鉴作用。

《高速公路建设实用新技术》一书凝聚了齐泰项目建设者的心力和智慧,是对工程实践的分析 and 总结,是对同类地区、相似施工条件下技术难题的破解和研究,是对新技术、新工艺、新材料、新设备的认证和推广。该书具有较强的指导性和实用性,希望能为广大交通建设者提供有益的帮助和借鉴!

黑龙江省交通运输厅 党组书记、厅长



2010年10月

自改革开放以来,我国公路建设蓬勃发展,公路总里程快速增长。进入 21 世纪,中央先后提出西部大开发、振兴东北老工业基地、中部崛起等战略,使公路建设迎来了新一轮发展热潮,截至 2009 年 3 月,我国高速公路总里程已经达到 6.5 万公里,仅次于美国,列世界第二。公路运输业伴随着路网的不断发展和完善而迅猛发展,在各种运输方式的总运量中所占比例逐年提高,对国民经济的贡献越来越大。

国内已建成的高速公路使用状况较好,但应用单一的路面结构形式来应对全国各类交通荷载和气候类型难免顾此失彼。因此,如何对不同区域、不同条件下的高速公路进行施工技术控制是道路工作者亟须解决的问题。

本书依托于黑龙江省齐齐哈尔至泰来高速公路工程建设项目,着重解决不良地质和高寒条件下高速公路及预应力混凝土连续箱梁在设计和施工中遇到的技术难题,其中涉及粉砂土路基填筑与验收,大厚度基层施工,水泥稳定级配碎石材料设计,双层式沥青路面材料设计,大跨度桥梁施工组织设计、裂缝控制和桥面铺装,高速公路生态景观设计,交通安全保障技术,公路线形与设施安全评价,高速公路服务区综合建筑设计。具体研究内容和解决的问题如下:

(1)结合粉砂土材料特点,开展室内试验和铺设试验段,摸索出粉砂土路基压实的一套成功经验;分析粉砂土路基边坡的稳定性,并采取多种防护措施确保边坡稳定。

(2)为解决贝克曼梁验收松散类材料如粉砂土路基弯沉存在的数据不准确、离散性大的问题,在路基顶面铺设多种试验段,通过渗水试验,结合具体路段特点,确定粉砂土路基封层形式;引入便携式落锤式弯沉仪(Portable Falling Weight Deflectometer,简称 PFWD)检测路基弯沉,并与贝克曼梁测得的结果开展对比分析,得到 PFWD 在测量数据上要优于贝克曼梁的结论。

(3)引入大型摊铺机和重型压路机,全幅一次摊铺大厚度水泥稳定基层;检测了施工中的横向离析、纵向离析状况和施工结束后的压实度情况,结果表明全幅一次摊铺技术下水稳材料级配均匀,压实度达标且深度方向上变异小。这一技术是先进结构设计理念 and 重型机械在高速公路建设中的一次有益尝试,它为高速公路的设计和施工带来革新。

(4)针对半刚性基层开裂现象,在水泥稳定碎石级配设计中采用体积设计法,引入“填充系数”的概念,获得满足力学性能要求且收缩性小的抗裂型水泥稳定级配碎石,并将其应用于工程中,通过竣工后沥青路面裂缝调查验证建立的抗裂型水泥稳定级配碎石材料设计方法的合理性。

(5)详细介绍寒冷地区双层沥青混凝土路面配合比设计与施工技术,结合地域特点,

在规范基础上提出调整型工程级配(骨架密实型级配)开展沥青混合料材料设计,铺设实体工程。

(6)以嫩江特大桥为例,对大跨径连续箱梁结构桥梁施工中各工序的流程、关键工序控制进行阐述,为同类型桥梁施工组织设计提供借鉴。

(7)详细调查分析国内预应力混凝土连续箱梁开裂现状,并深入分析其开裂原因。为了控制开裂,设计了高强、低收缩、低徐变的高性能混凝土,提出高性能混凝土的施工工艺,并对一些工序中如何防止箱梁开裂提出了具体的技术措施。

(8)沥青混凝土桥面铺装早期破损防控措施介绍。

(9)从生态平衡角度对于粉砂土路基高速公路绿化工作提出原则、方法和具体的措施,确保生态恢复,人与自然和谐发展。

(10)从特殊标志标线、视觉诱导与提示、交通设施驾驶容错技术等方面介绍了高速公路交通安全保障技术。

(11)从人机工效学角度入手,基于驾驶员心理生理特性,提出公路线形设计要求;基于驾驶员眼动时空特征,依托工程实例,评价交通安全设施的有效性,提出交通设施颜色搭配原则,并对搭配效果进行分析。

(12)从美学和功能角度,介绍高速公路服务区整体布局和设计情况,为服务区建设提供一个参考。

本书由黑龙江省齐泰公路工程建设指挥部集体编著,黑龙江省交通运输厅总工办、哈尔滨工业大学交通与信息工程学院、东北林业大学等知名院校参加了编写。参加编写工作的指挥部人员主要有:田林、杨旭东、房万山、滕书滨、吕剑光、马福泽、张锐锋、夏春梅、吕剑明、齐建军、张佳鹏、郝俊宝、秦英、王丽娜、谭振平、李波、张衍刚、严熙明、姚德金、马霞光、魏巍、袁振、刘妮妮、翟斌、黄财、邱金祥、张海龙、刁业宏、赵永彬、栾卫卫、任杰、高丽娟。黑龙江省交通运输厅总工办、哈尔滨工业大学交通与信息工程学院、东北林业大学等单位参与编写的主要人员有:袁振友、安实、王宗林、冯德成、裴玉龙、杨福琪、王龙、陈晶、程国柱、徐秋江、程培峰、王立军、徐文远、穆丽蔷、宋坤、姜雪昊、曲冰。

本书统稿人:高凌志。

本书撰写过程中得到了黑龙江省交通运输厅、黑龙江省高速公路建设局、黑龙江省公路工程造价管理总站、黑龙江省公路工程质量监督站、黑龙江省交通科学研究所、黑龙江省公路勘察设计院、黑龙江省收费公路管理局、黑龙江省信息通信中心等单位的大力支持,在此向为本书编写工作作出贡献的人士表示衷心感谢。

希望本书可以为同类或相似的高速公路设计和施工提供有益借鉴。

由于时间仓促,作者水平有限,本书有些观点需要进一步讨论,书中难免存在错误与不足之处,望有关专家和学者包涵,并提出宝贵意见。

编著者
2010年9月

Contents

目 录

1 粉砂土路基施工与防护技术	1
1.1 概述	1
1.2 粉砂土性质及工程特点	1
1.3 粉砂土路基施工技术	5
1.4 粉砂土路基边坡稳定性分析	10
1.5 粉砂土路基质量检测与质量控制	14
1.6 粉砂土路基边坡防护措施	17
2 粉砂土路基封层设计、施工与检测	21
2.1 概述	21
2.2 路基土的特性	21
2.3 路基弯沉验收标准	22
2.4 路基封层设计、试验与对比	23
2.5 手持式落锤弯沉仪检测路基弯沉	26
3 大厚度水泥稳定材料全幅一次摊铺技术	39
3.1 概述	39
3.2 需要解决的主要问题	39
3.3 设备要求和碾压工序	39
3.4 施工质量评价与控制	40
4 水泥稳定级配碎石基层抗裂性能研究与设计	45
4.1 概述	45
4.2 水泥稳定材料级配组成设计	45
4.3 碎石级配体积设计法的技术指标	50
4.4 静三轴试验评价碎石级配的结构性	54
4.5 动载试验评价碎石级配的结构性	56
4.6 水泥稳定级配碎石的干缩性能	61
4.7 水泥稳定级配碎石的温缩性能	72
4.8 水泥稳定级配碎石的工程应用	79
4.9 竣工后第一年春季路面裂缝调查	85
5 寒冷地区双层沥青混凝土路面配合比设计与施工技术	89
5.1 概述	89
5.2 结构组合分析与合理厚度	92
5.3 骨架密实型沥青混合料级配设计	93



5.4	骨架密实型沥青混合料路用性能评价	96
5.5	沥青混合料施工工艺及质量控制	97
6	寒冷地区大跨度预应力混凝土连续箱梁特大桥施工组织设计	100
6.1	工程简介	100
6.2	施工进度计划安排	100
6.3	施工方案及施工方法	105
6.4	工程质量管理及保证措施	136
6.5	安全生产保证体系及保证措施	138
6.6	文明施工及环境保护	140
7	大跨度预应力混凝土连续箱梁裂缝控制技术	143
7.1	概述	143
7.2	箱梁裂缝调查统计分析	146
7.3	箱梁开裂原因分析	150
7.4	箱梁裂缝控制的设计与施工技术	152
7.5	箱梁早期裂缝防治措施	156
8	沥青混凝土桥面铺装早期破损防控技术	165
8.1	概述	165
8.2	桥面铺装主要病害与成因分析	165
8.3	桥面铺装结构与材料方案	166
8.4	桥面铺装施工与技术要求	167
9	高速公路绿化景观设计及生态保护	173
9.1	概述	173
9.2	设计理念	173
9.3	高速公路绿化的生态效益及景观效益	174
9.4	绿化景观需要解决的问题	174
9.5	绿化植被试验选种	175
9.6	绿化景观设计	178
9.7	高速公路生态恢复	182
10	公路交通安全保障新技术	186
10.1	概述	186
10.2	特种标志标线	186
10.3	视觉诱导与提示设施	192
10.4	交通设施驾驶容错技术	202
11	公路线形与设施安全评价技术	208
11.1	人机工效学	208
11.2	基于驾驶员心理生理特性的公路线形安全评价技术	211
11.3	基于驾驶员眼动时空特征的交通设施安全评价技术	221
11.4	基于驾驶员视觉特性的交通设施颜色搭配技术	228
12	高速公路管理、养护及服务房屋建筑设计	234
12.1	概述	234
12.2	基地选址	234

12.3 场地布局的有机整合·····	234
12.4 功能组织的优化创新·····	234
12.5 建筑风格的特色彰显·····	235
12.6 结构、材料与细部 ·····	237
12.7 环境设施的细节关怀·····	237
参考文献·····	239

1 粉砂土路基施工与防护技术

1.1 概述

粉砂土是岩石经过不同程度风化作用的产物,其颗粒组成中,以各种大小砂粒和粉粒占绝对优势,黏粒含量极少,与水的结合能力较弱,当砂粒变细时,毛细作用逐渐显著;当为干砂或含水率很小时,不存在毛细水压力,土体呈现出松散状态,很难碾压成整体。当饱水时,毛细黏聚力逐渐消失,则呈现出很小或无黏聚力的散粒状,不具有塑性或微有塑性,因此用其填筑公路路基面临着许多技术难题。为了解决上述粉砂土路基施工和检测中出现的问题,本书以实际施工为依托,总结了粉砂土的性质及工程特点、粉砂土路基填筑压实施工技术,进行了粉砂土边坡稳定性分析,介绍了粉砂土边坡防护措施和路基质量检测与质量控制技术。

交通是国民经济的基础,全社会对公路的发展十分关注。近年来,我国的公路建设规模迅速扩大,交通状况得到了明显的改善。黑龙江省地处高纬度寒冷地区,受地理位置和气候条件所限,虽然占地面积较大,但是高速公路的建设比沿海发达地区和内地一些省份还明显落后,特别是黑龙江省西北部地区。根据黑龙江省交通发展纲要,在建项目国道 G111 线齐齐哈尔至泰来段(以下简称嫩泰公路)是该省境内 8 条国道干线公路之一,是东北地区的交通枢纽和通向关内的重要通道。

由于公路工程本身是一种线性工程,与其他工程建筑不同,在建设的过程中需要大量的路基填筑材料,目前仍然以素土为主要填筑材料。而我国现有沙漠(地)面积达 168.9 万 km^2 , 占国土陆地面积的 17.6%,从总体来看,土地荒漠化主要分布在东经 $74^\circ \sim 119^\circ$, 北纬 $19^\circ \sim 49^\circ$ 。单就土地沙化而言,截至 2004 年底,全国沙化土地面积为 173.97 万 km^2 , 占国土总面积的 18.12%,分布在除上海、台湾及香港和澳门特别行政区外的 30 个省(自治区、直辖市)的 889 个县(旗、区),这些地区道路建筑材料严重匮乏。

国道 G111 线齐齐哈尔至泰来段位于黑龙江省西部沙地,西邻内蒙古自治区兴安盟,所处区域为北纬 $46^\circ 24' \sim 47^\circ 23'$, 东经 $123^\circ 25' \sim 124^\circ$, 属于中温带半干旱区草原地带,在全国沙漠区划上属于中国北部沙漠治理区东北平原西部沙漠化区,被称为嫩江沙地。沙地分布在沿嫩江干流两侧宽 165km, 长 300km 范围内,形成东北向西南走向的面积约达 27800 km^2 的狭长地带,占全省总面积的 6.1%。

路线处于松嫩平原的北部,沿线所经地区的土质表层 0~10m 一般为粉砂土(图 1-1)。针对当地砂石材料短缺、道路建筑材料严重匮乏的情况,嫩泰公路设计就地取材,用粉砂土填筑路基,以缓解筑路材料严重匮乏的局面。

故该项目的研究不仅可以降低齐泰公路的工程造价,缩短工期,还有很大的推广前景。因此,研究砂土填筑路基的技术具有重要意义。

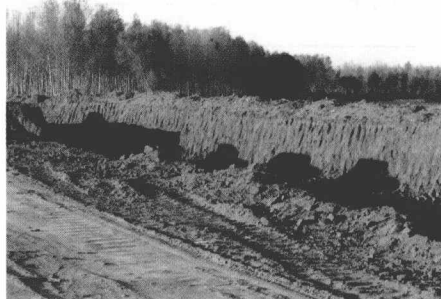


图 1-1 粉砂土的野外景观

1.2 粉砂土性质及工程特点

粉砂土介于细砂和粉土之间,矿物成分主要是大量石英,其次是长石、云母以及少量其他矿物。按我国《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)中关于土体分类,粉砂土的分类标准是指土粒径大于 0.1mm 的颗粒含量不超过总质量 75% 的砂土。为了评价粉砂土作为高速公路路基填料的可行性,下文以齐泰公路三个标段的实际施工情况为依托,深入了解粉砂土的性质及工程特点。

1.2.1 粉砂土的物理性质

1.2.1.1 颗粒组成

土的颗粒组成决定了土的结构特征,是土分类与描述的主要指标。土的粒度成分如何,对土的工程性质有着决定性影响。确定土的颗粒组成的方法有两种:对于粒径大于 0.075mm、小于 60mm 的粗颗粒土,选用筛分法(图 1-2);对于粒径小于 0.075mm 的细颗粒土,需选用沉降分析法(包括密度计法和移液管法)(图 1-3);当土中粗细颗粒兼有,则可同时使用两种方法。表 1-1 为联合使用筛分法和密度计法对三种土样的试验结果。图 1-4 为三种土样的粒径分布曲线。



图 1-2 颗粒分析(筛分法)

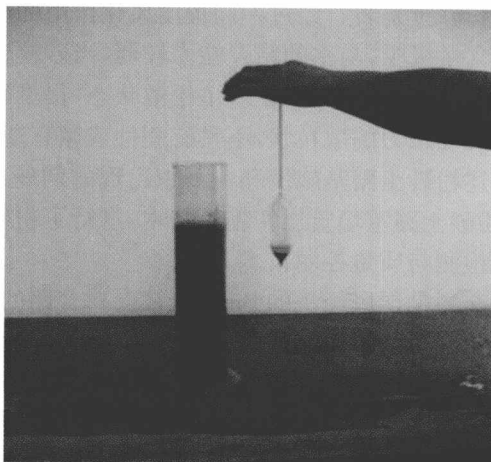


图 1-3 颗粒分析(密度计法)

土的颗粒分析试验结果

表 1-1

土样编号		孔径 $D(\text{mm})$						不均匀系数 C_u	曲率系数 C_c
		2	1	0.5	0.25	0.075	0.002		
小于该孔径土的质量百分率(%)	A1	100	100	99.7	97.6	23.2	3	0.49	1.29
	A2	100	100	99.9	98.7	37	5.5	0.37	1.51
	A3	100	100	99.7	98.9	23.2	3.2	0.50	1.28

根据土的粒径分布曲线,计算粉砂土的两个级配指标(表 1-1):不均匀系数 C_u ,反映大小不同粒组的分布情况, C_u 越大,表示土粒大小分布范围大,土的级配良好。曲率系数 C_c ,描述累计曲线的分布范围,反映累计曲线的整体形状。由表 1-1 和图 1-4 分析可知,齐泰公路三个标段的土颗粒主要集中在 0.25~0.002mm,砂粒含量占总土质量的 60%以上,粉粒含量占 20%~30%,黏粒含量只占到 4%左右,粒径比较均匀,黏粒含量极少,这种颗粒表面活性低、黏性小、松散性强、水稳定性差。同时计算三个标段土样的不均匀系数 C_u 均小于 5,级配曲线不连续,表明三个标段的粉砂土均属于级配不良土。

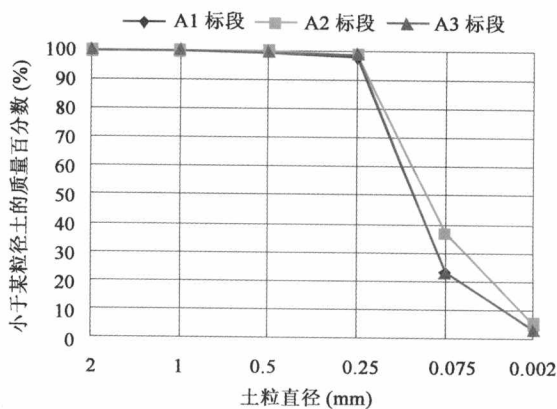


图 1-4 土的粒径分布曲线

1.2.1.2 粉砂土的相对密度

土的相对密度是土的物理性质中三个基本指标之一,是计算孔隙比和评价土类的主要指标。土的相对密度定义为:土在 105~110℃温度下烘至恒重时的质量与同体积 4℃时蒸馏水质量的比值。相对密度测定是按照土粒粒径的不同而采用不同的方法:对于粒径小于 5mm 的土,用比重瓶法进行;对于

粒径大于 5mm 的土,当其中大于 20mm 颗粒含量小于总土质量 10%时,用浮力法进行;当粒径大于 20mm 颗粒含量大于 10%时,用虹吸筒法进行;对粗、细颗粒混合的土,应分别测定粗、细粒土的相对密度,然后取加权平均值。表 1-2 中的比重值为利用比重瓶法测定的结果。多次取样试验发现三个标段的相对密度相差不大。

土的基本物理性质试验结果

表 1-2

土 样 编 号	天然含水率 w_0 (%)	天然密度 ρ_0 (g/cm ³)	天然孔隙比 n	相对密度 G_s
A1	8.4	1.72	0.611	2.604
A2	9.2	1.81	0.555	2.619
A3	8.0	1.69	0.640	2.605

1.2.1.3 粉砂土的水理性质

根据土力学定义,液限 w_L 为土体由可塑性状态转化到流动状态的界限含水率;塑限 w_P 是土体由塑性状态转化到半固体状态的界限含水率。塑性指数 I_p 是土从液限到塑限含水率的变化范围($I_p = w_L - w_P$),其大小往往随着黏粒含量的增加而增大,随着砂粒含量的增加而减小。本书对三种土样采用液、塑限联合测定法进行了试验,在重复多次试验后得出最终结果见表 1-3。

土的液塑限试验结果

表 1-3

土 样 编 号	液限 w_L (%)	塑限 w_P (%)	塑性指数 I_p
A1	22.7	16.9	5.8
A2	24.1	19.2	4.9
A3	24.6	18.0	6.6

在粉砂土的液、塑限试验操作过程中存在很多问题:在测定其液限附近的 a 点时,土样处于饱和状态,将土样分层装入土杯,用力压密的过程中,会出现土杯内部土样含水率较小而表面不断泛水,含水率沿竖向分布不均匀的液化现象;在圆锥仪压力作用下土体会因压缩而隆起,圆锥仪下沉很久不能稳定,而在确定入土深度时,也只能以土样的最低表面作为圆锥刻度线的参照面,所以试验测得的液限比实际的液限大;同时当土样中的含水率稍加改变,圆锥仪入土深度变化很大,且两次入土深度也相差很大,造成液限试验很难成功(图 1-5)。

其次,假塑性现象也常常造成粉砂土塑限附近的 c 点测定值偏大。土的可塑性是与黏土颗粒表面活性有关的一种现象,即黏粒含量越多,土的分散程度越高,亲水性矿物含量越多,水膜厚度越厚,水膜持水量就相应增加,液限、塑限、塑性指数随之增大,这就是可塑性机理。但对粉砂土而言,黏粒含量非常少而塑限却偏高,其主要原因与其土中活跃的毛细现象产生的假凝聚力有关。即在测定粉砂土塑限附近的 c 点时,土中含有少量的水分,造成两个土粒的接触面间存在一定的毛细水,在潮湿的粉砂土中,由于土粒表面的湿润作用,使毛细水形成弯面,在水和空气的分界面上产生的表面张力将对土粒产生一种向内的、使相邻土粒挤密的毛细压力,由于毛细压力的存在,增加了颗粒间错动的摩阻力,使土体产生微弱的内聚力,即假塑性现象。所以当测定 c 点时,毛细压力使土粒聚合在一起,来保持土样的完整性,使土样呈现假塑性,此时所测得的含水率大部分为毛细持水量,而并非土样真正的塑限含水率,因此,试验所测得的塑限比实际值大。

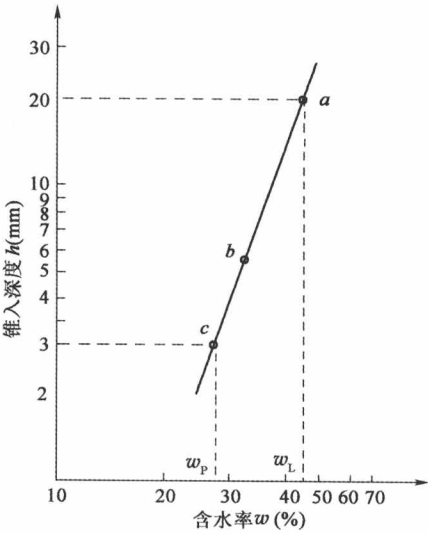


图 1-5 锥入深度与含水率关系曲线图



与液限的增大相比,塑限的增大程度并没有液限明显,所以塑性指数 I_p 也偏大。因此,粉砂土的液限、塑限及塑性指数多呈较高的变异性,只能表示土的粗细和分散性,不适宜评价该类土的工程性质。其塑性指数 I_p 的大小也不能正确地反映其黏性大小,不能用塑性指数来判别粉砂土黏粒含量的大小。

1.2.2 粉砂土的工程性质

1.2.2.1 粉砂土的压实特性

压实是指采用人工或机械的手段对土体施加夯压能量(如打夯、碾压、振动碾压等方式),使土颗粒重新排列压实变密。外部的夯压功能使土在短时间内达到新的结构强度,包括增强粗粒土之间的摩擦和咬合,以及增加细粒土之间的分子引力,使路基或路面材料增加单位体积内固体颗粒的数量,减少孔隙率而使固体密度达到较好的效果。研究土的压实特性常用的方法有现场填筑试验和室内击实试验两种。通过击实试验,并结合粉砂土的粒度成分曲线探讨粉砂土的压实特性。

依据《公路土工试验规程》(JTGE40—2007),齐泰公路对三种代表性土样进行室内标准重型击实试验,结果见表1-4。

土的标准击实试验结果

表 1-4

土样编号	最佳含水率 w_0 (%)	最大干密度 ρ_{dm} (g/cm ³)	细粒组含量 (%)	黏粒含量 (%)
A1	10.6	1.79	23.2	14.9
A2	12.8	1.87	37.0	18.2
A3	10.6	1.75	23.2	14.8

从整体来看,A2标段的最大干密度最大,细粒组含量也比A1和A3标段多,这充分说明了最大干密度和细粒组含量的关系最为密切,即细粒组的含量能提高粉砂土的最大干密度;另外,粉砂土中黏粒含量的多少对最大干密度的影响是仅次于粒度成分的,粉砂土的颗粒分析试验结果中,A2标段的黏粒含量最大,A1和A3标段相差不大,均较A2标段含量少,即黏粒含量也能够提高粉砂土的最大干密度。

相比较三个标段的最佳含水率,得出相同结论,即细粒组含量和黏粒含量也能够提高粉砂土的最佳含水率。从粉砂土的击实试验结果可以看出,细粒组含量对粉砂土的压实有较大的影响:A2标段的细粒组含量最高,其击实曲线离饱和曲线最近,而A1和A3标段细粒组含量较少,其击实曲线离饱和曲线相对较远,说明粉砂土中细粒组含量越多,其压实性能就越好。

1.2.2.2 粉砂土的抗剪强度特性

土的抗剪强度是指土体对于外荷载所产生的剪应力的极限抵抗能力。在外荷载作用下,土体将产生剪应力和剪切变形,当土中某点由外力所产生的剪应力达到土的抗剪强度,发生土体的一部分相对于另一部分滑动时,便认为该点发生了剪切破坏。工程实践和室内试验都证实了土是由于受剪而产生破坏,剪切破坏是土体破坏的主要原因,因此,土的强度主要由土的抗剪强度决定。

粉砂土的抗剪强度受颗粒的粒度成分、颗粒形状、含水率、物质成分、密实程度等多种因素的影响,通过直接剪切试验,结合粉砂土的粒度成分曲线和击实试验结果,可以系统研究粉砂土的抗剪强度特性与粒度成分、压实度的规律,为工程应用提供可靠的参数。直接剪切试验目前依然是室内土体抗剪强度最基本的测定方法。其原理是在不同的垂直压力 σ 作用下,施加水平剪切力进行剪切,求得破坏时的剪应力 τ ,然后根据库仑定律确定抗剪强度参数 τ_f 。

根据粉砂土的标准击实试验结果(表1-4),考虑路基施工实际质量要求,在最佳含水率条件下,将干密度分为三种,即压实度分别控制为93区、94区、96区的干密度,制备三种干密度的剪切试件,进行直接剪切试验,试验结果如图1-6、图1-7所示。其中不同干密度的剪切试件是通过小型击实锤击实得到。

从图1-6、图1-7可以看出:粉砂土的黏聚力 c 和内摩擦角 φ 值在最佳含水率条件下,随着压实度

(干密度)的增大而增大。主要原因在于:干密度越大,土粒间的距离就越小,水膜越薄,电分子引力越大,黏聚力就越大,则颗粒之间的咬合作用越强,内摩阻力就越大。依据库仑定律,土的抗剪强度是由黏聚力和内摩阻力两部分构成,所以在相同的竖向应力 σ 作用下,粉砂土的抗剪强度同样会随着压实度的增大而增大,两者之间存在正比例的关系。因此,适当提高粉砂土的压实度能有效提高粉砂土的抗剪强度。

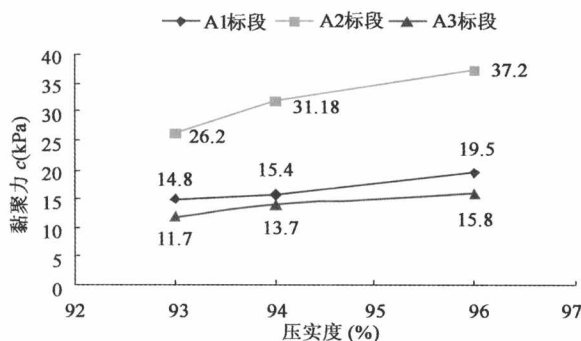


图 1-6 黏聚力与压实度关系曲线图

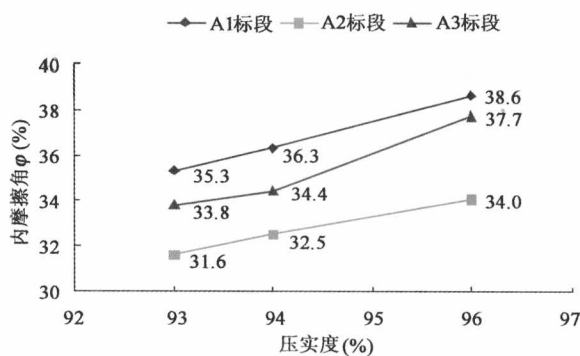


图 1-7 内摩擦角与压实度关系曲线图

粉砂土的土样中粗颗粒含量多的,内摩擦角大。由颗粒分析试验和直接剪切试验可以看出,A1 标段的土样中粗粒组含量较多,内摩擦角较大,分析其原因在于粗颗粒含量多,增加颗粒间的接触面,颗粒间的摩擦力和嵌锁力随之增大,故而内摩擦角增大。

对于黏聚力来说,则和内摩擦角的规律相反,A2 标段中细粒组含量较多,黏聚力较大,分析认为细粒组含量大,颗粒间的距离减小,分子引力增大,黏聚力增大。

1.3 粉砂土路基施工技术

1.3.1 粉砂土路基填筑压实施工技术

粉砂土的天然含水率低,塑性小,水分散发快,压实后土体松散不板结,不易碾压成型,且成型的路基随着水分的蒸发散失,在随后施工车辆的反复作用下,产生较深的车辙,使施工现场显得异常混乱,目前仍没有有效的控制措施。粉砂土压实质量的好坏,关键问题是压实施工技术,其中主要影响因素有:土质、土的含水率、压实厚度、压实机械、碾压遍数等。结合齐泰公路粉砂土路基施工的工程实际,通过在 A1、A2、A3 标段铺筑试验路,探索粉砂土路基合理的压实厚度、碾压变数以及压实机械,为粉砂土路基施工提供参考依据。

1.3.1.1 粉砂土路基施工现场试验方案

对于一般的路基用土施工,采用 20cm 的压实厚度和常规的压实机械就能够满足质量要求,但对于粉砂土这种级配不良的特殊材料,如果采用一般的压路机和常规的压实厚度进行施工,其压实质量很难持久保持。

方案一:分别在齐泰公路 A1、A2、A3 标段铺筑 20cm、30cm、35cm 三种压实厚度的试验路,每种压实厚度均铺筑 100m 长,压路机只选用 20t 重的一种振动压路机进行碾压,分析粉砂土路基在同一吨位振动压路机条件下,压实度与压实厚度、碾压遍数的关系,总结粉砂土路基合理的压实厚度和碾压遍数。

方案二:在 A3 标段范围内,铺筑上述三种压实厚度的试验路,每一种压实厚度分别采用 20t 和 14t 重的两种振动压路机进行独立碾压,分析不同压实厚度上两种不同的振动压路机对压实度的影响,研究选用粉砂土路基施工经济、有效的压实机械。

1.3.1.2 含水率的控制

含水率的控制对粉砂土路基施工至关重要。粉砂土有较大的天然密度和孔隙比,比较好的透气性



和透水性,导致水分蒸发快,天然含水率较低,土中水的吸附能力小,颗粒分散,碾压时很容易出现起皮现象。因此,在粉砂土路基施工时,要想在最佳含水率条件下达到最佳的压实效果,就必须做好补充水分和防止水分快速散失的工作。建议在每层施工前,控制土体含水率高于最佳含水率两个百分点的条件下碾压。

1.3.1.3 压实工艺流程

(1)底层准备工作。施工前应对底层成型路基进行检查,确保没有任何松散材料和软弱点,其平整度和压实度应符合规范要求,对于压实度不满足规范要求或出现的松散和车辙,应进行洒水复压。

(2)进行施工测量放样与包边土填筑。按照设计路线进行放线,定出路基边线,填筑超出路基宽度1.5m宽的黏土包边,防止粉砂土路基碾压造成路基弯坡;按照预定的压实厚度进行高程放样。

(3)粉砂土的运输与填筑。采用挖掘机取土,自卸汽车运土将粉砂土运送至施工路段,如图1-8a)所示。采取横向上土的方式减少自卸汽车对下一层路基造成的破坏。

(4)推土机粗平、平地机精平。对运送至施工路段的粉砂土,采用推土机配合平地机按照放样高程和宽度调平;试验段的摊铺使用了SD16推土机和PY180平地机进行调平,如图1-8b)、c)所示。

(5)粉砂土的碾压。对整平后的粉砂土利用振动压路机进行碾压,如图1-8d)所示。碾压时,相邻两次的轮迹重叠轮宽的1/3,当轮迹布满整个作业面为1遍。由于粉砂土的透水性好,水分散发快,在碾压过程中,含水率随着碾压的进行而减小。因此,当路基表面出现干燥、碾压松散时,应进行洒水以保证含水率在最佳含水率附近。碾压效果如图1-8e)所示。



a)



b)



c)



d)



e)

图1-8 压实工艺流程

a)挖掘机取土;b)推土机粗平;c)平地机精平;d)压路机压实作业;e)碾压完成后效果

1.3.1.4 试验结果与分析(方案一)

方案一压实试验结果见表 1-5。

方案一压实试验结果 表 1-5

碾压遍数	碾压厚度	20cm			30cm			35cm		
		A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
2		92.2	92.8	92.6	92.5	92.5	92.8	—	—	—
4		94.0	94.1	94.1	95.1	94.5	95.1	92.6	91.3	92.8
6		96.1	96.4	96.4	96.7	96.5	96.6	95.0	94.7	94.8
8		—	—	—	97.7	95.2	96.1	96.8	96.5	97.0
10		—	—	—	—	—	—	98.1	95.8	96.1

通过对比分析 20cm、30cm、35cm 三种压实厚度的试验数据可知:20cm 的压实厚度对各个压实区域压实质量均能满足要求,但其厚度相对较薄,在施工车辆的反复作用下,表层的土体会发生松散,产生较深的车辙,路基强度的整体性难以保证,因此不建议采用。30cm 压实厚度的试验路试验结果与 20cm 相同,由此说明 30cm 压实厚度经济上优于 20cm。再对比压实厚度为 30cm 和 35cm 的试验路,35cm 相对于 30cm 只增加了 5cm,各压实区域的碾压遍数却需要再增加两遍,因此从经济方面来看,30cm 碾压厚度更为合理。

1.3.1.5 试验结果与分析(方案二)

由图 1-9、图 1-10 可以看出,对于压实度要求为 96% 的压实区域,20t 重的压路机进行一定的碾压遍数,使压实质量能满足要求,而 14t 重的压路机,不论采用何种碾压遍数,压实度均不能满足要求。对于压实度要求为 94%、93% 的压实区域,虽然两种压路机进行一定的碾压遍数,压实质量都能满足要求,但在不同压实厚度上进行相同的碾压遍数,14t 重压路机的压实度要比 20t 重压路机的压实度低很多;并且对于相同的压实厚度,前者要比后者多碾压 1~2 遍才能满足压实度的要求。因此,对于粉砂土路基施工,小吨位的振动压路机压实质量难以满足要求,且经济上不合理,建议使用大吨位的振动压路机。

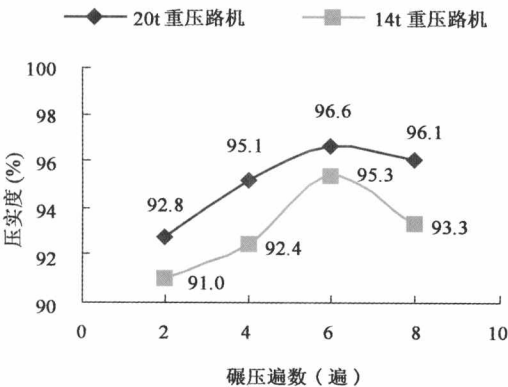


图 1-9 压实厚度 30cm 试验结果

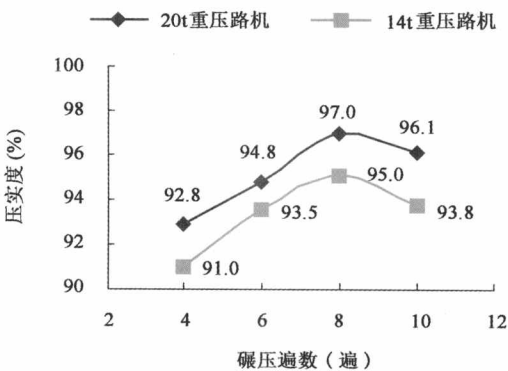


图 1-10 压实厚度 35cm 试验结果

综上所述,在粉砂土填筑路基施工中,应采用 20t 重的振动压路机进行碾压;同时,依靠增加压实厚度减缓水分散失的方法也是可行的。通过对比分析四种压实厚度的试验路段数据可知,30cm 的压实厚度最为合理,其碾压工艺为:对 96 区静压 1 遍,振压 6 遍合格,对 94 区静压 1 遍,振压 4 遍合格,对 93 区静压 1 遍,振压 3 遍合格。

1.3.1.6 粉砂土路基压实影响因素分析

(1) 颗粒级配

压实过程就是土体颗粒进行重新排列,趋于密实的过程。即土颗粒在外力的作用下,由于土中水的



润滑作用,致使土颗粒之间的阻力减小而产生错动,相对位置发生变化,孔隙中的气体被挤出,较小颗粒填充大颗粒组成的孔隙,水分填充较小颗粒的孔隙,从而达到土体被压密的效果。但对于粉砂土这种单一颗粒的土体,由于缺少较小颗粒,因而压实困难。建议通过增加细颗粒土体的方法改善其颗粒级配,增强压实效果。

(2) 含水率

由击实试验可知,对一般路基施工,控制土体的含水率在最佳含水率 $\pm 2\% \sim \pm 3\%$,其干密度接近于最大干密度,压实效果较好。但对于粉砂土而言,由于其天然密度和孔隙比较大,透气性和透水性较好,导致水分蒸发快,含水率较低,压实效果较差。建议粉砂土施工前,控制土体含水率高于最佳含水率两个百分点的条件下碾压,以补充快速散失的水分,保证压实质量。

(3) 压实厚度

从压实度的角度出发,对某一确定的压路机,薄铺层的土层较厚铺层的土体易于获得高的压实度。但由于粉砂土颗粒分布不均匀,黏粒含量极少,压实厚度较薄时,在施工车辆的反复作用下,表层的土体会发生松散,产生较深的车辙,路基强度的整体性难以持久保持,建议适当提高压实厚度保证施工质量。

(4) 碾压遍数

路基压实施工时,松散的土体随着碾压遍数的增加,压实度会随之增大,但当压实度达到某一程度时,碾压遍数再增加,一般对土体压实度的增加帮助不大。对于粉砂土甚至有可能在过多的碾压遍数后,在碾压表面土层发生开裂,引起压实度的降低(图 1-9、图 1-10)。

1.3.2 粉砂土路基施工检测工艺

以下结合齐泰公路工程实例,针对粉砂土路基填筑的施工难度和实际特点,总结了符合粉砂土路段的“40 字施工方针”,即“黏土包边、半幅施工、填前复压、渠化运输、横向卸土、十米挂线、小段成型、洒水喷淋、机群作业、跟踪检验”。根据跟踪观察和试验检测的结果,该方法使用效果较好,可以考虑推广。

(1) 黏土包边

用于包边的土质必须经检测满足黏土的指标要求;按设计要求的宽度、高度分层填筑;与路基填料同层碾压,压实指标执行同层路基压实度标准,必要时可考虑掺灰,压实度检测不合格则不允许进行下一步施工;包边土施工应留有泄水槽,泄水槽进出水口用袋装黏土码砌,两侧用黏土压实,包边土采用人工配合推土机摊铺,推土机排压,平地机进行精平,精平后挂线人工进行切槽,槽壁要齐、直、顺,见图 1-11。

(2) 半幅施工

为保证路基填筑施工不影响主线贯通,有效地控制分层填筑厚度,确保施工现场井然有序,根据路基填筑先导段施工总结,必须按照横断面半幅分成水平层次逐层向上填筑施工,严禁同一段落全幅施工,施工时按中线将残料收回、缺口补齐,保证中线位置顺直、平整、厚度一致,见图 1-12。

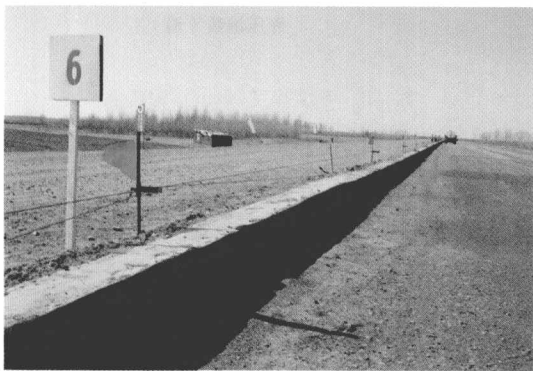


图 1-11 黏土包边



图 1-12 半幅施工