

内摇容摇提摇要

本书系现代工程机械系列丛书之一,内容涉及现代压实机械的有关专业和基础知识,包括土壤的压实特性、压实机械的分类与压实性能、各类压实机械的压实原理、现代压实机械的基本构造及其工作原理、现代压实机械的主参数确定与总体设计,不同压路机的使用技术,以及现代压路机的选型与路基、路面的压实技术等。

由于本书内容新,涉及的知识面宽,适用性强,对土建施工单位工程技术人员具有一定的指导作用和参考价值,同时也可用作高等院校相关专业的教材或教学参考书,或作压实机械从业人员的培训教材。

《现代工程机械系列丛书》编委会名单

名誉主任 孙国正(博导)

主任 陈润余

副主任 韩理安 黄家德 杜颖

委员 (以姓氏笔划为序)

邓爱民 尹继 卢毅非 刘永芬 刘家东 刘良臣
许亚楠 孙孝安 张征宇 张连庆 何晨冠 易小刚
陈志霏 罗选民 罗绘 曹惠民

主编 邓爱民 田流 周萼秋

分册主编：

现代铲土运输机械 卢和铭 刘良臣

现代挖掘机械 黄东胜 邱斌

现代压实机械 周萼秋 易小刚 汤汉辉

现代高等级路面机械 田流 邓爱民 曹惠民

现代高等级公路养护机械 田流 邓爱民 曾格吾

现代起重机械 张劲 卢毅非

现代桩工机械 邓明权 陶格兰

现代桥隧机械 段书国 杨路帆

现代非开挖工程机械 邓爱民 肖姣美 田流

现代工程机械液压与液力实用技术 杨国平 刘忠

序 摇 员

长沙理工大学有关学科的骨干教师和行业资深工程技术人员共同编辑了一套现代工程机械系列丛书,其中包括《现代铲土运输机械》、《现代挖掘机械》、《现代压实机械》、《现代高等级路面机械》、《现代高等级公路养护机械》、《现代起重机械》、《现代桩工机械》、《现代桥隧机械》、《现代非开挖工程机械》、《现代工程机械液压与液力实用技术》等 16 部专业著作,由人民交通出版社正式出版。这是我国工程机械行业的一件大喜事!

自从改革开放以来,在社会主义市场经济体制激励下,我国工程机械行业获得了突飞猛进的发展,取得了前所未有的成绩。现已发展成为我国机械工业十大行业之一,并迈入世界工程机械生产大国之列。

工程机械所以能够如此快速发展,首要原因是它们的用途广泛,市场遍布于国民经济各部门,并能够保证各种工程建设实现高速度、高质量和低成本,极大地提高用户的经济效益。根据工程机械行业 30 多年来的发展经验可知,工程机械在国内的重点市场基本分布于以下六大领域:一是交通运输领域,包括公路、铁路以及各种车站的建设;沿海、内河码头建设和起重运输作业;飞机场建设;管道工程建设。二是能源工业领域,包括火力、风力、水力和核电站建设;露天、井下煤矿开发和报废矿区的复垦改造;石油矿的开发、生产和复垦。三是原材料工业领域,包括黑色金属、有色金属、化工原料和建筑材料等系统的各种露天、井下矿山的开发、生产和复垦工程。四是农林水利领域,包括农村经济(农业、农村工业、农村商业、农村交通运输业、农村通信业、农村水利事业等)建设;林业生产,如植树造林、合理采伐、林区筑路、储木场和木材加工厂建设等;水利建设,包括大江大河干流治理,如堤防加固、控制性水利枢纽建设、蓄滞洪区安全设施建设、城市防洪设施建设等以及三峡、南水北调等大型水资源开发利用工程。五是城乡建设领域,包括现有城市扩建和改造、新城市尤其是众多的小城镇建设、广大新农村建设等。六是现代化国防工程建设领域,包括和平时期的国防工程建设和战争条件下的保障工程建设等。

在《中华人民共和国国民经济和社会发展第十个五年规划纲要》中明确提出的加强基础设施建设、实施西部大开发、稳步推进城镇化和实施可持续发展等四大经济发展战略,为工程机械行业提供了商机。也就是说,工程机械六大领域的重点市场,均包含在上述四大经济发展战略所规定的各种建设资金的投入范围之内。因此,我们说工程机械市场不仅广阔,而且持续的时间很长久。

长沙理工大学就是在这样的社会经济背景之下,编辑出版了这套现代工程机械系列丛书。作者选取了市场覆盖面较大的产品进行重点论述,对其结构、工作原理、操纵要点、使用规程、故障诊断、维护保养等各方面的应用技术进行了深入浅出的讲解。书中图文并茂,理论联系实际,内容新颖并具有明显的时代感。丛书的各个分册,在内容上既互相联系,又可独立应用,确实是一套实用性很强的工程机械专业书。

该丛书的读者对象,主要面向在交通、铁道、水利、电力、城建、机场、港口和国防工程等系

统从事基础设施建设的工程技术人员,经过适当取舍还可作为相关专业的教材,也可作为工程机械生产企业工程技术人员从事设计和制造加工的参考书。

谨以上述寥寥数语,作为我向长沙理工大学编辑出版该丛书的祝贺和向广大读者的推荐介绍。

杨红旗

二〇一〇年 八月于北京

序 摇 圆

工程机械是城市建设、交通通信设施建设、农田水利、能源开发和国防建设与维护中不可缺少的施工机具。随着我国东部基础设施的逐步形成和完善,许多基础设施,如道路已进入维护阶段,以及我国西部大开发战略举措的实施,西气东输、西电东送、南水北调、三峡工程、青藏铁路等重大项目的建设,我国对施工机械与维修养护工程机械的需求不断上升。

随着我国对外开放的不断深入与发展,国外工程机械先进产品不断进入我国的施工用户,一方面对施工质量与施工进度的保障起到了良好的作用,另一方面也为国内工程机械厂家带来竞争压力与先进技术,促使国内工程机械与国外工程机械差距不断缩小甚至趋于接近,同时也为国内工程机械厂家带来了良好的效益与市场形象。

该丛书以目前大量使用的国产机型以及大型基础工程中应用面广的进口机型为主,系统全面讲述各类工程机械的结构与工程原理、性能参数与使用技术,充分反映当前工程机械机电液一体化技术与操作使用的便利性和可维修性。

该丛书包括以下 册:

员 现代铲土运输机械》

圆 现代挖掘机械》

猿 现代压实机械》

源 现代高等级路面机械》

缘 现代高等级公路养护机械》

远 现代起重机械》

苑 现代桩工机械》

愿 现代桥隧机械》

怨 现代非开挖工程机械》

员 现代工程机械液压与液力实用技术》

由于各册系分工编写,在内容选择、结构层次、名词术语等方面,难免有不一致的地方;同时,由于时间仓促,以及作者的水平有限,不成熟之处和错误在所难免,我们衷心希望读者指正,并能将意见反馈给我们。

特别鸣谢以下赞助支持单位(排名不分先后):

员 长沙理工大学

圆 长沙建设机械研究院

猿 人民交通出版社

源 中国道路运输协会筑养路机械分会

缘 武汉理工大学

远 长沙中联重工科技发展股份有限公司

苑 陕西建设机械集团股份有限公司

愿 三一重工股份有限公司

湖南浦沅工程机械有限责任公司

莱玛—威猛(中国)有限公司

四川建设机械(集团)股份有限公司

抚顺永茂工程机械有限公司

该套丛书内容新,涉及知识面宽,适用性强,对工程机械用户及其厂家具有一定的指导和参考价值,同时,也可用作高等院校相关专业的教材或教学参考书,还可作为工程机械从业人员的培训教材。

此套丛书的编著过程中参考引用了大量中外文献,在此我们谨向有关部门专家学者表示诚挚的谢意,特别是参考文献中疏于列出的文献,我们表示万分歉意和感谢。

现代工程机械系列丛书编委会

1998年 10月

前 摇 摇 言

压实机械是各类压路机和夯实机械的总称,在我国工程机械行业各大类产品中,占有极其重要的地位。

压实机械主要用于各类土石填方和路面铺筑材料的压实施工作业。现代压实机械在传统压实机械的基础上,不断更新压实理论,应用先进的电子液压控制技术,已逐步实现对技术作业参数的自动化和智能化控制,有效地提高了压实性能、压实质量和压实生产效率。现代压实机械已成为各类基本建设基础工程施工、确保基础工程压实质量的不可缺少的重要施工设备。

我国压实机械制造行业发展迅速,特别是近 15 年来,通过技术引进和技术改造,加快了新产品的研究和开发,一系列具有国际先进水平的现代压实机械相继问世。目前,我国已拥有徐州工程机械制造厂、洛阳建筑机械厂、三明重型机器厂、江麓浩利工程机械有限公司、三一重工、山推工程机械股份有限公司、陕西中大机械集团有限责任公司等 100 多家压实机械生产制造企业。其中,徐州工程机械制造厂是徐州工程机械集团有限公司的核心企业之一,也是我国最大的压实机械制造企业和出口基地,其压路机的年产量已达 1000 多台。洛阳建筑机械厂是我国最早生产制造压路机的厂家,近期为配合西部开发推出了“西北王”压路机系列产品,该系列产品融国际先进技术和“洛建”创新成果于一体,特别适合在沙漠等恶劣自然气候条件下压实施工作业。三一重工是我国工程机械行业的后起之秀,三一重工股份有限公司近年生产制造的“三一”系列压路机,集世界先进技术于一体,其主要元件均选用世界著名品牌,是国内惟一采用计算机控制的流水装配线生产的现代压实机械。

据统计,我国压路机的年产量已达 1000 多台左右,约占世界压路机总产量的 15%,已成为压路机的生产大国。

近年来,随着国民经济持续稳定地增长,国家进一步加大对中、西部基础设施投资的力度。以公路建设为重点的交通基础设施的建设,为我国压实机械的生产开辟了巨大的潜在市场。为了提高市场的竞争力和占有率,我国压实机械制造行业已加快现代化的进程,各生产企业正在不断更新自身的系列产品,压路机的技术性能不断完善和提高,其设计和制造技术已接近或达到国际先进水平。国产压路机除基本满足国内市场需要外,部分产品还远销包括美国、加拿大、英国、意大利和日本等工业发达国家在内的 100 多个国家和地区,其出口数量正在逐年增长。

《现代压实机械》系现代工程机械系列丛书之一,全书共分八章:第一章主要介绍和分析压实路基路面施工中的重要性及其土壤的压实特性;第二章介绍压实机械的发展与分类,以及各类压实机械的压实性能;第三章、第四章、第五章、第六章、第七章分别介绍各类现代压实机械典型机种的基本构造、工作原理、主参数的确定与总体设计计算方法,以及各类压实机械的使用技术;第八章介绍现代压路机的选型与路基路面的压实技术。

该书内容新颖丰富,涉及面广,是一部现代压实机械综合性较强的专业著作。书中所介绍的典型现代压实机械已在国内一些施工单位使用,技术性能先进,适应性强。该书的出版,为国内各土建施工单位进行机械化压实施工作业提供了一套较为完整的技术指南。该书还可供

有关科研设计部门、生产企业的工程技术人员参考,也可作高等院校相关专业的专业教材或教学参考书。

该书在编写过程中,曾得到三一重工股份有限公司和三一重工研究院李冰院长的鼎力相助和支持,同时也得到徐州工程机械制造厂的关心和帮助,在此一并致谢。

由于编写时间较为仓促,书中不当之处在所难免,还望读者多多指正。

周萼秋

圆田特惠

目摇摇录

第一章摇压实的物理力学特性	员
摇第一节摇概述	员
摇第二节摇压实在基础设施施工中的重要性	员
摇第三节摇压实的物理过程及力学特性	远
第二章摇压实机械的发展与分类	圆原
摇第一节摇压实机械的发展与现代压实技术	圆原
摇第二节摇压实机械的分类与压实性能	圆怨
第三章摇静力式压路机	猿缘
摇第一节摇静力式压路机的类型与特点	猿缘
摇第二节摇静力式压路机的基本构造及工作原理	猿苑
摇第三节摇主参数的确定与总体设计	缘
摇第四节摇静力式压路机的使用技术	苑
第四章摇轮胎压路机	苑
摇第一节摇轮胎压路机的特点与压实特性	苑
摇第二节摇轮胎压路机的总体构造与工作原理	苑
摇第三节摇自行式轮胎压路机主参数的确定与牵引计算	愿
摇第四节摇自行式轮胎压路机的使用技术	愿
第五章摇振动压路机	怨
摇第一节摇振动压实理论	怨
摇第二节摇振动压路机的类型与特点	员园
摇第三节摇现代振动压路机的构造与控制技术	员远
摇第四节摇振动压路机主参数的选择与确定	员园
摇第五节摇振动压实应用技术	员缘
摇第六节摇振动压路机的常见故障分析与故障排除方法	员远
摇第七节摇国产振动压路机产品目录及其主要技术性能参数	员猿
第六章摇振荡压路机与冲击式压路机	员苑
摇第一节摇振荡压路机	员苑
摇第二节摇冲击式压路机	员圆
第七章摇夯实机械	员愿
摇第一节摇概述	员愿
摇第二节摇几种典型夯实机械的结构及工作原理	圆园
摇第三节摇夯实机械的使用技术	圆远
第八章摇现代压路机的选型与路基路面压实技术	圆怨
摇第一节摇压路机的选型	圆怨
摇第二节摇路基及基层的压实技术	圆远
摇第三节摇沥青路面的压实技术	圆原
参考文献	圆苑

第一章 摇压实的物理力学特性

第一节 概 述

现代土建工程,包括城市道路与公路工程、铁道工程、港口、机场工程、水电工程和国防工程等基础设施工程,都是在原始地面的基础上,自下而上逐层铺筑起来的结构层。这些结构层除了承受固定荷载(即永久性荷载)的作用外,还要承受流动性变荷载的作用。此外,其基层和面层还常年受到日晒、雨淋、风雪和冰霜等自然气候的侵蚀,甚至遭受洪水、干旱、台风、地震等自然灾害的破坏和影响。日久,基础结构层将出现下沉、裂纹、错台、崩溃甚至塌方等严重隐患和事故。公路的基层如果存在隐患,必将加快路面的早期破坏,导致路面出现沉陷、波浪、拥包、断裂、翻浆、啃边等病害。路基和路面的早期损坏,必将降低运输效率,提高运输成本,严重时危及行车安全,诱发交通事故。

现代交通运输具有高速度、高密度、重荷载的特点。随着现代交通流量和集装箱等大吨位载重车辆的与日俱增,现代交通运输对行车结构层的要求也越来越高。为了改善和提高路面行车条件,确保车辆行驶安全,路面必须保持足够的强度、刚度、平整度和必要的粗糙度。同时,各结构层必须达到设计规定的密实度,确保结构层的水稳定性,保持和稳定结构层经常处于最佳含水量状态。

实践证明,按照高标准对路基和路面进行压实,是提高各结构层的密实度和密实度的均匀度,确保路基、路面具有足够的强度和稳定性的一项最有效的技术措施。

第二节 摇压实在基础设施施工中的重要性

各类土建工程的基础结构层和面层,是分别利用从地表上剥离下来的自然土石方或特种材料通过加工而形成的混合料铺筑而成的。土石方或混合料在摊铺后基本上呈自然松散状态,孔隙大、密度小,含水量得不到有效控制,抗渗透能力差,容易沉陷,承载能力低。只有采用机械方式对各结构层进行分层压实,即利用机械自重或产生某种诱发力对被压材料重复作用,才能排除工作介质(路基或路面铺筑材料)内的空气和多余水分,迫使被压材料的固体颗粒相互错位并重新楔紧,提高结构层的密实度。对结构层进行有效压实,使之达到规定的密实度,可最大限度地提高路基和路面的强度和刚度,提高水稳定性和抗渗透能力,从而提高其承载能力,延长道路使用寿命,降低维修费用。

在缺乏压实机械的年代,人们普遍采用人力夯实、利用人力或畜力拖动石碾碾压,或者依靠土壤自然沉陷、利用行车碾压的方式来提高公路路基的密实度,但这些原始压实方法都无法得到理想的压实效果。此类压实方法只能用于修筑低等级或等外级公路,而且基层和路面早期损坏严重,维修费用高。

经验证明,人力压实效果差主要存在以下几个方面的原因:

员 压实力小, 压实力有效作用深度浅。深层孔隙内的空气无法排出, 浅层内的空气排除不干净, 孔隙率偏高, 密实度低。

圆 利用人力压实或采用行车碾压, 压实力作用很不均匀, 因而密实度的均匀度较差, 造成结构层的承载能力差异较大。尤其采用自然沉陷的方式来提高密实度, 其效果更差, 土基的强度比人力压实的强度还低。

猿 人力压实无法严格控制土体内的含水量, 其防渗透能力和气候稳定性均难以达到要求。

路基层路面过早损坏的原因较多, 除了施工和运输管理方面的原因、不可抗拒的自然灾害原因外, 由于施工工艺和施工技术达不到施工规范的要求, 造成工程质量低劣, 也是一个十分重要的原因。其中, 土基是否分层压实, 是否按施工规范要求进行充分和有效压实, 往往是造成路面出现早期病害, 甚至严重损坏的主要原因之一。

由于忽视压实质量, 导致路面过早损坏而造成严重经济损失的实例, 近年来在国内时有发生, 必须引起施工部门的高度重视。

从 员 年 员 月我国首条高速公路——沪(上海)嘉(嘉定)高速公路开通以来, 到 圆 年, 全国高速公路通车里程已达 员 万 哩, 列世界第二位。这表明, 我国高速公路虽起步较晚, 但发展很快。相对而言, 我国公路总里程、国道公路里程和高速公路里程与发达国家相比, 仍有很大差距。比如美国, 国土面积略小于我国, 但等级公路里程是我国的 远倍, 高速公路里程为我国的 缘倍多。目前, 我国公路总通车里程已达 员 万 哩, 制约国民经济发展的“瓶颈”状况虽已得到初步缓解, 但公路密度仍然偏低, 全国公路网密度仅为 员 哩/平方公里, 地区间的发展也极不平衡, 东部地区与中、西部地区公路交通发展差距扩大的趋势未能从根本上得到扭转。至今, 我国尚未形成全国性和区域性高速公路网络, 大部分国道路段混合交通依然严重, 通行能力较低。尤其是西部地区, 不通公路的乡镇、行政村分别占全国总数的 愿 和 缘, 不少县乡公路行车条件差, 抵抗各种自然灾害的能力弱, 严重地制约了干线公路网的功能与作用的发挥。

“九五”期间, 公路建设总投资成倍增加, 公路建设速度加快, 但一些工程的质量令人堪忧。在新建和改建的一、二级公路和高速公路中, 有相当一部分路面出现过早破坏现象。有的公路交付使用不到一年, 路面就损坏近 圆 缘。有的路面不堪重负, 前修后坏, 严重地影响了畅通安全工程。

工程实践经验证明, 高标准、高质量的土建基础工程, 特别是公路工程, 必须严格进行施工管理、质量监督管理和质量检验, 同时要强调按我国公路工程采用的重型压实标准, 对路基、底基层、基层和面层进行标准压实的重要性, 确保各结构层达到压实度的要求。

各施工单位必须配备(或租赁)各类相应的压实机械, 合理选型, 正确应用压实技术, 实施机械化配套压实作业, 才能加快工程进度, 提高压实效果和工程质量。

机械压实可较快地使路基和路面各结构层的材料达到足够的密实度。这对提高路基、路面的整体质量具有十分重要的意义。压实可以充分发挥路基土石方和路面材料的强度, 可以减少路基、路面在行车荷载作用下产生永久形变, 还可以增加路基土和路面材料的不透水性和强度稳定性。压实的这些作用, 对于增强道路路面的使用性能和延长道路路面的使用寿命是非常重要的。路基、底基层、基层或面层材料压实不足, 在使用过程中, 路面上就可能产生车辙、裂缝、沉陷和水损坏, 也可能使整个路面产生剪切破坏。

公路施工实践证明, 对路基进行必要的碾压, 达到要求的高密实度后, 在公路使用过程中路堤沉陷将控制在规范范围, 因而可以立即在这种路堤上铺筑任何类型的路面。例如, 国外采

用机械化进行路基、路面施工时,通常采用大流水作业的施工方法。路基在前面施工,相隔一定距离(如 10m)在完成的路基上铺筑底基层,再相隔一定距离(如 10m)在完成的底基层上铺筑基层,再相隔一定距离在完成的基层上铺筑面层。这样一个工序紧接一个工序向前推进,既加快了工程进度,同时也能确保工程质量,还可避免不必要的浪费,节约工程投资。因此,采用高标准的机械压实,就可以大大加速公路建设,使公路能尽早投入使用。

总之,机械压实的主要任务是,在路堤施工过程中保证路堤达到要求的密实度,以便可以在路堤上立即铺筑各种路面,而且铺成的路面是高强度的。路基路面在使用过程中不会由于进一步压实而产生有害的形变。

路基和路面是公路和城市道路的主要结构层,如何提高路基和路面结构层的压实质量,是防止和避免路基和路面早期损坏值得研究和思考的一个重要课题。下面分别从路基和路面的工程实践出发,分析和讨论压实在路基和路面施工中的重要作用。

一、路基压实的重要性

早在 1954 年 8 月,交通部曾给各省(自治区)市交通厅(局)下文,要求在新建、改建一、二级公路时贯彻执行重型压实标准,此后在开始设计和施工高速公路时,明确规定,对路基和路面(指底基层和基层)都采用重型压实标准。这些规定很快被纳入交通部发布的有关设计和施工规范中。自那时起,凡严格执行规范施工的高等级公路,路面很少产生早期损坏现象,取得了巨大的技术经济效益。尽管如此,仍有少数高速公路建成通车不久(在非软土地段上)就产生了由于路基压实不够引起的早期损坏现象。

路基不均匀固结沉陷而导致路面局部沉陷

某高速公路通车后,由于路堤的压实度不够,产生不均匀沉陷,使一侧局部路面明显下沉。摇摇

某高速公路有约 100m 长的填土路堤,由于路堤的压实度不够等原因,沥青路面完成后,在正式通车之前,路堤就产生较大固结形变。为了恢复路面的纵坡,在上又铺筑了厚 10cm 和 10cm 以上的沥青混凝土。

路基不均匀固结沉陷而导致路面产生纵向裂缝

某高速公路的路堤填土高度虽属一般,但压实度较差。通车后,由于在路基和路面的恒载以及外界因素作用下,路基产生横向不均匀的固结形变并继续压密,导致沥青路面产生纵向裂缝。轻者,中央分隔带每侧有一条十几米到几十米长的纵向裂缝;重者,中央分隔带每侧有两条、甚至三条长短不一的纵向裂缝。而且,纵向裂缝在该高速公路的路堤上比较普遍,成为最严重的损坏现象。

某高等级公路在路堤两侧有挡土墙的路段上,纵向裂缝较其他路段上更为严重。显然,靠近挡土墙的填土压实度更差。纵向裂缝往往伴随着沥青路面横向不均匀沉陷。

地基处理不好和压实不够导致路面产生纵向裂缝

某高速公路局部路段下的土质地基未进行处理和认真压实,通车后,由于农田灌水和降水侵入路堤下的地基,导致路堤横向产生不均匀沉陷,边部沉陷多,中部沉陷少,从而路面产生纵向裂缝。

上述纵向裂缝在其他高等级公路上也有发生。例如,在一条整体工程质量都属一流的高速公路上也有部分填土路段(主要是填土高度 10m 以上的路段)上,中央分隔带两侧的沥青路面产生了 1~2m 长度不一的纵向裂缝。

纵向裂缝有两种形式：一种是沥青面层表面出现的裂缝，这是常见的纵向裂缝；另一种是沥青面层表面呈现员-圆条宽源-缘皂，深数毫米的凹槽。将凹槽挖开，可见基层表面有较宽的裂缝。实际上是：由于气温较高，沥青混合料变软，在行车荷载反复作用下，部分沥青混合料被压挤入基层的裂缝中，同时表层裂缝两侧沥青混合料必须拉伸以弥补裂缝的宽度，从而在裂缝上方形成数厘米宽的凹陷。

某山区高速公路的一些高填方填石路堤，在铺筑沥青路面之前就产生了严重纵向裂缝。虽然采取了处理措施，甚至用压力灌水泥浆，路面完成通车后又产生了严重纵向裂缝。

上述早期损坏现象表明，路基层压实到规定压实度，并尽可能超过规定的压实度，对避免路面产生早期损坏具有十分重要的意义。应该采取多种措施保证路基的压实度。

当前压实机械的品种多，压实能量大，大大超过了 员世纪 缘年代中期的水平。只要重视压实和认真管理，使路基达到更高的压实度是完全可能的。例如，京津塘高速公路北京段长猿源缘皂，由三个施工单位负责施工。根据监理部门公布的资料，其路基压实度的统计特性完全符合压实规范要求（见表 员圆）。

京津塘高速公路北京段路基压实度统计特性

表 员圆

施工 单位	要求压实度 (豫)	灶	运 (豫)	运 (豫)	运 (豫)	杂 (豫)	悦 (豫)	小于 怨缘 的点
一	≥ 怨缘	员源	员圆缘	员源	怨缘	员缘	员缘	员
二		员远	怨缘	员缘	怨缘	员缘	员缘	源
三		缘	怨缘	员缘	怨缘	员源	员缘	园

摇摇京津塘高速公路北京段的生产实践证明，只要认真管理，土路基的压实度完全可能超过规范中规定的 怨缘的要求。实际上，北京段路基的压实度已达到 怨缘以上。

源构造物两头路基沉陷导致“桥头跳车”

构造物两头由于路堤压实度不够逐渐沉陷产生的桥头跳车现象，几乎在每条高速公路上都有，只是数量多少和程度轻重的差别。在软土地段上，这种桥头跳车现象最为严重。在非软土地段上，桥头跳车现象发展较缓慢。有的高速公路通车后的前二三年无明显桥头跳车现象，三年以后才逐渐产生明显的桥头跳车现象。

某高速公路，由于地基未认真处理以及路堤压实度不够，通车一年后，为了处理产生的局部沉陷形变，采用了局部全幅铣刨和重铺表面层措施。在 愿皂长的中央分隔带一侧路段上共重铺表面层 员缘小块，使路面平整度显著下降。其中 缘皂在构造物的两头。

构造物两头路基沉陷是由两个因素造成的，一是由于填土较高又不易压实，使填土的压实度较差，路面完成通车后，压实度不足的填土在行车荷载和路面及路基的恒载作用下逐渐产生固结形变。二是原先无荷载作用的地基，在较高填土和路面恒载作用下逐渐产生固结形变。在非软土地段上，第二个因素产生的永久形变可能较小。在软土地段上，第二个因素产生的永久形变往往是主要的，而且产生得较快、形变量大且延续时间长。例如，沪嘉高速公路于 员缘年 员月底通车后，到 员缘年 员月的 远年期间，先后 源次用沥青混凝土贴补找平来解决由于软土地基沉陷而造成的桥头跳车现象。虽然开放交通已整整 远年，却还有个别软土地段未达到稳定状态，直到 愿年后软土地基才完全稳定。某一构造物一端的邻接路面，由于多次用沥青混凝土找平，其厚度竟接近 员圆皂。

因此，针对引起桥头跳车现象的原因，特别是主要原因，要采取相应的技术措施。近两年来，有些高速公路的构造物两头，从原地面往上就用石灰土填筑。石灰土结硬形成整体后，本
源

身不再会产生固结形变,它可以消除第一个因素引起的永久形变。应该说这是一种良好的措施。在有条件的地方,如能采用质量较轻的整体性材料(如石灰粉煤灰土或石灰粉煤灰),将有利于减小原地基的固结形变。

我国高速公路路线凡遇软土地段都采取了相应的措施。一是按排水固结原理采取袋装砂井(早期用得较多)或塑料排水板。二是按桩基原理采取粉喷桩等。为减轻和解决软土地段的沉降问题,花了相当大的经济代价。但实践证明,由于软土地基沉降引起的早期路面不平整(特别是构造物两头)在多数高速公路上并没有解决。虽然造成这种现象的原因可能是塑料排水板或粉喷桩没有打穿软土层,但其关键原因却是软土地段上路基加载(或超载)预压的时间过短。我国的高速公路建设,往往一旦开工就要求提前完成任务,而软土地基的沉降需要一定的时间,否则沉降就稳定不了。因此,保证合理的工期,让软土地基在加载(或超载)预压情况下有更长的时间固结沉降,是至关重要的。

国外,如德国等,在软土地基上的路段,缘年以内不铺正规路面,缘年以后,才开始铺筑正规路面。这是一种明智的减少资金浪费的好办法。无视客观现实,一次铺足预定厚度的沥青面层,既解决不了软基沉降引起路面产生不平整,又浪费了很多来之不易的资金。

缘路面产生结构性破坏

个别高速公路的局部较高填土路段,由于压实度较差使半刚性路面的承载能力明显低于其他路段。在 100KN 轴载下,路表 100KN 荷载下的代表弯沉值高达 10mm 左右,约为其他路段的 10 倍(半刚性基层施工质量较差也是原因之一)。通车不久,路面就产生结构性破坏。

二、沥青路面压实的重要性

有效压实可避免沥青面层的坑洞

沥青面层的压实度不足,使沥青混凝土的空气体积率加大。沥青混凝土的空气体积率愈大,其透水性也愈大,水愈容易进入沥青混凝土内部并透过沥青面层到达半刚性基层顶部。在高速行车作用下,滞留在沥青混凝土层内的自由水,将产生反复作用的动水压力。动水较易使沥青剥落并唧出到路表,使沥青面层产生坑洞。某高速公路通车已超过 10 个月,一次大雨后,在某一合同段沥青面层产生了很多坑洞。大部分坑洞发生在表面层,仅少部分坑洞深入中面层。该段表面层沥青混凝土马歇尔试验的空气体积率为 10% 左右,与其他合同段相同(占该高速公路的绝大部分)。中面层是 $AC-20$ 型沥青混凝土也与其他合同段相同。

发生上述路面早期损坏现象后,在该段硬路肩上取表面层钻件,用不严密的水中称重法测得其空气体积率为 10% ,如用较严密的蜡封法测量其体积再计算空气体积率,则空气体积率将超过 10% 。因此,表面层的实际压实度不到 10% 。在局部沥青混凝土不均匀处,其空气体积率可能更大。由于中面层的压实度较好但平整度较差,所以雨水主要存留在表面层沥青混凝土中,导致表面层很快产生坑洞。在中面层沥青混凝土局部不均匀处,特别是局部偏低洼处,雨水滞留在中面层内,导致中面层与表面层一起产生坑洞。

在某段,由于路面有纵向裂缝,雨水从裂缝进入面层下部并滞留在底面层沥青混凝土内,在高速行车荷载作用下,使底面层沥青混凝土局部松散。

有效压实可避免动水冲刷、唧浆和坑洞

一旦降雨,雨水从沥青面层渗入并滞留在面层与基层的交界面上。在高速行车荷载作用下,动力冲刷基层混合料中的细料,形成白色灰浆并被唧出表面,使沥青面层局部形成网裂和形变。这种破坏作用与动水使沥青剥落的破坏作用相结合,使沥青面层发生唧浆的同时产生

坑洞。由洞中抛出散落在硬路肩上的沥青混凝土碎石,竟被冲刷干净,无一点残留沥青。这种沥青路面损坏现象来得早,来得快,一次降雨就可能发生。例如,某高速公路沥青路面于年底前突击抢工完成,到第二年缘月一次降雨后,路面就产生冲刷、唧浆和坑洞,到雨季产生了相当多的唧浆和坑洞。半刚性基层质量不好,虽是产生这种严重早期损坏现象的主要原因,但沥青混凝土(表面层 粤港粤底面层 粤港粤面层)的空气体积率大、易透水也是主要原因之一。当然,雨水不只是从沥青面层渗入(沥青面层使用初期空气体积率较大,不可避免地会渗水),还可能通过其他途径进入到面层和基层交界面上。

在我国不同地区的高速公路上,都发生过类似的路面早期损坏现象,特别在南方多雨地区这种损坏现象更为严重。

上述现象表明,为减少或防止这种损坏现象,还需要对沥青混合料和面基层提出一定的要求:

(员)沥青面层的各层都采用空气体积率小的沥青混凝土,同时增大压实度要求,减小现场沥青混凝土的空气体积率(如仅达 远豫~苑豫)和透水性。

(圆)严格控制半刚性基层混合料中的粉粒含量,增加混合料强度,同时严格工艺水平和进行认真的质量管理,提高半刚性基层混合料的抗冲刷能力。

(猿)在多雨地区,在基层与面层之间设置排水层,在其他地区可设置防水层。

(源)提高沥青混凝土的均匀性。

第三节 摇压实的物理过程及力学特性

土石方和路基、路面铺筑材料的压实过程是一个物理过程。土石方、路基和路面材料是由固相、液相和气相所构成的三相体。其固相呈颗粒状,液相和气相(即水和空气)填充于固体颗粒的孔隙内。

土壤的结构如图 员圆所示。

在单元土体内,孔隙体积所占土体总体积的百分比,称之为孔隙率。孔隙中的一部分被水填充,土体内所含水的体积占孔隙体积的百分比称为饱和度。空气和水所占的体积与固体颗粒所占体积之比则称为空隙比。孔隙率 灶 饱和度 悦 和空隙比 藻 分别由式(员圆)、式(员圆)和式(员圆)求得:

$$\begin{aligned} \text{灶} &= \frac{V_v}{V} \times 100\% \\ \text{悦} &= \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \\ \text{藻} &= \frac{V_v}{V_s} \end{aligned}$$

式中: V_v ——水和空气所占体积;
 V ——土体总体积;
 V_w ——水分所占体积;
 V_s ——固体颗粒所占体积。

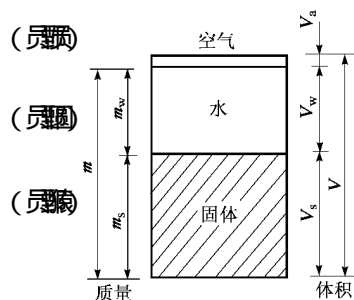


图 员圆 摇土土壤结构示意图

当土体的饱和度达到百分之百时,即意味着土体中的孔隙已全部被水占满,此时土体内已无空气体积,土体则处于“饱和状态”。

土壤或混合铺筑材料中固体颗粒的粒度和含水量差异较大,其机械性能差异也较大。为 远

了改善和提高基层和路面的物理机械性能,通常采用不同粒径的固体骨料、自然黏土、粉料(石灰、水泥或矿粉)、沥青等材料,通过计量配比,均匀拌和,形成稳定土或混合料等铺筑材料,以提高路基、路面的强度和稳定性。

土壤的级配成分和级配质量,不仅影响铺层的物理性能,还直接影响压实效果。级配好的铺筑材料应是小颗粒骨料填满大颗粒之间的孔隙,经压实后能形成比较均匀、趋于稳定的铺层。级配料中的含水量应接近最佳含水量,特别是黏土材料,当含水量处于最佳状况时,压实效果最好。压实低于最佳含水量的黏土材料时,则要使用更大的压实力,用以克服土粒之间的抗剪切强度,确保所需要的密实度。为了保证压实效果,还要限制铺层的压实厚度,使之与压实力的传播深度相适应。

不同的土质和被压材料,有着不同的物理性能,应选用不同类型的压实机械进行压实,才能获得最佳压实效果。不同的压实作业项目,对压实功能的大小也有不同的要求,根据压实作业项目的性质,合理选用不同类型的压实机械和压路机的作业参数,是保证压实质量和提高压实效率的重要前提条件。

一、压实的物理过程

土壤由各种大小颗粒和水分混合而成,在大小颗粒之间存在孔隙和空气。土壤的物理力学性能与其颗粒大小、级配情况、含水量及其内力等有着密切的关系。土壤的物理力学性能是研究土石方压实方法、压实能量消耗形式的主要依据。

土壤的物理力学性能

为了研究压实机械的夯实板或碾压轮与土壤相互作用的过程,充分利用压实能量,提高压实效果和压实质量,必须了解土壤的物理机械性能。

土的粒度、成分与分类

土是由各种不同大小颗粒的矿物质所组成的,其粒径差异甚大。为了区分不同颗粒的土壤性质,通常按颗粒大小加以归类(见表 1-1)。

土的质点颗粒大小分类 表 1-1

质点名称	颗粒直径(μm)	质点名称	颗粒直径(μm)
块石	2000	砂土	0.075-2.0
卵石、碎石	0.075-2000	粉土	0.075-0.25
砾石	0.25-2000	黏土	0.002-0.075

土壤各类质点含量的相对比例对土壤的物理机械性质有很大影响。根据土壤各类质点含量所占的百分比作为土壤分类的标准,称为土壤的质地分类。

土壤中的黏土质点多少决定了地面的附着能力,因此地面也可以按黏土质点的含量多少来分类。土的质地分类见表 1-2

土的质地分类 表 1-2

分类名称	0.075-0.25mm 颗粒含量 (重量百分比)	0.25-0.075mm 颗粒含量	0.075-0.002mm 颗粒含量	塑性指数
砾石质土类	20	—	—	—
砂土类	75	—	0-15	1-10
亚砂土类	75	15-20	15-10	10-15

分类名称 \ 分类指标	跃圆砾土颗粒含量 (重量百分比)	园砾土-园砾土 颗粒含量	约园砾土-园砾土 颗粒含量	塑性指数
粉土类	约园	约园 约园	猿-园 园-猿	员-苑 员-苑
亚黏土类	约园	跃园	园-猿	苑-员
黏土类	约园	约园	跃园	跃苑

摇摇圆土壤的基本物理性质：

土壤的物理状态可用不同的参数表示，其中与机械作业、行驶有关的参数有：

(员)土壤的含水量 宰

土的含水量是指土壤孔隙内所含水分的质量与土颗粒烘干至恒重时的质量之百分比，即 摇摇

$$\text{宰} = \frac{\text{早} - \text{早}_0}{\text{早}_0} \times 100\%$$

式中：早——干土的质量；

早₀——土壤孔隙内水的质量。

(圆)土壤的可塑性

土壤在湿润状态下受外力作用改变原来形状，并在外力消失后长久保持这一形状不变的特性称为土壤的可塑性。通常，黏性土属于可塑性土，而砾石和砂则为非塑性土。

含水量对黏性土的可塑性影响很大。土壤开始呈现可塑状态的含水量称为可塑性下限（也称塑限）。当可塑状态开始消失，土壤开始流动变形时的含水量则称为可塑性上限（也称液限）。塑性下限与塑性上限之差称为塑性指数 隅：

$$\text{隅} = \text{宰}_{\text{液}} - \text{宰}_{\text{塑}}$$

式中：宰_液——可塑性上限；

宰_塑——可塑性下限。

由图 员圆可知，黏性土随其含水量的变化呈现不同的物理状态。当含水量小于塑性下限（塑限）宰_塑时，塑性土将失去压延性而成为硬性土；当含水量大于塑性上限（液限）宰_液时，黏性土将会呈现流动状态，成为流动性土。

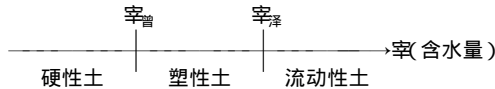


图 员圆 黏性土的三种物理状态

表 员圆说明了各类土的塑性指数范围。根据塑性土的塑性上下限区间大小，可分为高塑性土、塑性土和低塑性土。

各类土的塑性指数范围

表 员圆

土的种类	黏土(高塑性土)	亚黏土(塑性土)	亚砂土(低塑性土)	砂土(非塑性土)
隅	跃苑	苑-员	员-苑	约员

摇摇(猿)土壤的收缩性与膨胀性

土壤的收缩和膨胀特性一般是指土壤吸水和失水的特性。在变负荷的作用下，土壤同样会表现出这种特性。如车轮沿地面滚动，受力土壤气孔中的水分受到挤压，由一些气孔流向另