

公路路基设计与施工

●●●● 实用技术

GONGLU LUJI SHEJIYUSHIGONG SHIYONG JISHU

主编：孙广建 副主编：赵志平 张金鹏

西安地图出版社

公路路基设计与施工实用技术

主 编 孙广建

副主编 赵志平

张金鹏

西安地图出版社

图书在版编目(CIP)数据

公路路基设计与施工实用技术/孙广建编. —西安:
西安地图出版社, 2006. 7

ISBN 7-80670-962-2

I. 公... II. 孙... III. ①公路路基—设计②公路
路基—工程施工 IV. U416.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 079120 号

公路路基设计与施工实用技术

孙广建 主编

西安地图出版社出版发行

(西安市友谊东路 334 号 邮政编码: 710054)

新华书店经销

周口日报社印务中心印刷

850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 8.5 字数 210 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

印数 0001~2000

ISBN 7-80670-962-2/TU·27

定价: 38.00 元

前 言

随着我国基本建设规模的逐年扩大,公路建设投资的额度也在逐步增加,公路建设遍地开花,公路施工质量逐渐成为人们关注的焦点。影响公路施工质量的因素很多,如工程项目的设计水平、项目所在地的自然条件以及施工单位的技术水平和管理水平等。在同等设计条件下的工程施工质量取决于施工单位的技术力量和管理水平,因此为保证公路施工质量,施工单位应加强自身技术人员的技术培训。针对公路施工的特点以及近几年工程项目的突出问题,我们组织长期从事公路施工技术管理和从事公路施工质量研究的有关专家编写了本教材。

该教材主要从路基的设计出发,结合刚出版的路基设计和施工规范,阐述在各种自然条件下路基设计的设计方法和针对该设计所采取的相应施工方法。在编写过程中力求文字简洁,要点突出,浅显易懂。便于施工单位对本单位的技术人员进行技术培训。它既可以作为高等职业学院的路桥专业学生的教材又可以作为从事公路施工技术人员参考用书。本书第1、2、3章由周口市公路桥梁总公司孙广建编写,第4、5、6章由周口市公路桥梁总公司赵志平编写,第7、8、9章由河南省交通科学技术研究院张金鹏编写。

由于编写者水平有限,加之路基设计和施工设计面广,本书没有详尽路基设计和施工的特殊情况,真诚希望有关专家和学者提出宝贵意见和建议,以便再版时进一步完善。

序

在过去 20 多年间,我国开展了世界上规模最大的公路建设,形成了公路的建设高潮,实现了公路交通的跨越式发展,为促进国民经济健康发展和提高综合国力及人民生活水平做出了重要贡献。然而,在大规模开展公路建设的同时,还应该看到公路路基设计与施工中仍存在一些问題,如:公路路基设计标准不高、路基设计参数取值过分偏重经验、路基平均填土高度取值和路基填料处置不当、软土地基处理方案缺少经济与技术比选、实用的路基施工技术推广应用力度不够等等,公路路基设计与施工实用技术与当前公路交通发展的形势不相适应。

以科学发展观为指导,坚持以人为本,走资源节约型公路交通发展道路,是实现新时期我国公路交通全面协调可持续发展的必由之路,提高公路路基设计与施工水平,降低公路路基造价,是时代对公路建设提出的新课题。公路属线型结构物,公路路基的设计与施工水平在很大程度上决定着公路的建设水平,影响着公路的使用寿命。一般来说,公路损坏先从路基开始或者是由路基病害引起,如:滑坡、塌方、桥头跳车和公路沉降等等。提高公路建设与服务水平首先要从提高公路路基设计与施工技术水平入手,如线型顺畅优美、填筑高度适宜的公路路基设计能保证公路行车的舒适性,实用的路基施工工艺技术能提高路基土石方工程的质量进而保证公路行车的安全性;其次,公路路基的设计与施工工艺在很大程度上还决定着公路建设的总造价。公路路基是公路的重要组成部分,路基填筑需消耗大量的土石资源,通常公路路基造价要占到公路总造价的一字左右,在山区和丘陵地带修建公路所占的比重更高。因此,降低公路总造价要从优化路基设计方案着手,同时考虑采用实用的路基土石方机械化施工工艺方案,据文献资料

介绍,设计方案一般会影响公路造价的70%,施工工艺方案则影响公路造价的30%。我国的基本国情是人口多、资源有限,现阶段公路交通的主要特点是运输需求旺、建设规模大、质量要求高,可以说公路建设既面临难得机遇,同时也存在着资源约束与公路建设发展之间的和谐关系,随着国家高速公路网、干线公路网和农村公路网的全面实施,公路建设方兴未艾,高质量公路建设水平与建设资金不足的矛盾将越来越突出,处理好公路建设面临的问题尤其是保证公路路基设计与施工水平进而提高公路投资效益是参与公路建设的设计与施工人员追求的目标。

当前,公路路基设计与施工水平影响着公路的建设水平,重视公路路基的设计与施工方案,提高公路路基工程的设计与施工质量,在国内外公路行业专家中已初步形成共识。以前,公路建设中往往对路面工程的设计与施工比较重视,路面结构设计方案与路面材料比选和路面施工工艺研究工作进展超前,但是许多公路项目还是在没有达到设计寿命或者刚刚通车不久即发生早期损坏,尽管存在着车辆超载和环境变化等多方面的影响因素,然而却与公路路基设计与施工水平不高是密不可分的,因为公路是由路基和路面两部分组成的,路基是公路的基础部分,工程量大,影响因素更多,施工复杂,质量不宜控制。目前,西方许多发达国家如德国,在公路建设和高速铁路建设时对路基部分的技术要求越来越重视,采用体积指标如压实度、孔隙率和力学指标如动态变形模量 E_{vd} 、静态二次变形模量 E_{v2} 以控制路基的设计与施工质量。另外,从技术与经济比较角度来说,提高路基填筑质量也比单纯提高路面结构承载能力所花费的费用要少且容易做到,其结果是公路的整体承载能力得到了很大提高,所以说保证公路路基设计与施工质量对提高公路建设水平的作用是事半功倍的。

本书的三位作者,常年从事公路建设工作,积累了丰富的公路建设科研、设计和施工实践经验和理论。在本书编写过程中,编者

注重考虑读者对象和面向工程实际,并结合工程实际就公路路基设计与施工实用技术所涉及的问题加以系统阐述,以便为公路建设设计、施工和管理基层人员借鉴和参考。书中疏漏和不足在所难免,读者阅读时请予以批评指正。希望本书的出版,能给广大读者提供有益借鉴,以推动公路路基设计与施工水平的提升。

安惠元

2006年7月23日

目 录

第一章 绪论

第一节	概述	1
第二节	路基土的工程性质	8
第三节	路基干湿类型判定	25

第二章 路基构造

第一节	概述	37
第二节	路基典型横断面形式及其特点	39
第三节	路基的基本构造	48
第四节	路基附属设施及其功能	61

第三章 路基排水设计

第一节	概述	64
第二节	路基常用的地面排水设施	66
第三节	路基常用的地下排水设施	81
第四节	排水系统的综合设计	88

第四章 路基稳定性验算

第一节	概述	92
第二节	高路堤和深路堑的边坡稳定性验算	98
第三节	陡坡路堤的稳定性验算	114
第四节	浸水路堤边坡稳定性验算	118

第五章 路基防护设计

第一节	防护与加固的分类	123
第二节	坡面防护	126
第三节	冲刷防护	133
第四节	湿软地基加固	139

第六章 挡土墙设计

第一节	挡土墙的分类与构造	147
第二节	重力式挡土墙的构造与布置	154
第三节	重力式挡土墙的力学验算	162
第四节	常用的其他形式挡土墙的构造特点	182

第七章 路基施工放样

第一节	路基施工的基本方法	198
第二节	施工准备	202
第三节	施工放样	205

第八章 土质路基施工

第一节	路基填筑	228
第二节	路堑开挖	232
第三节	路基压实	237
第四节	路基整修、检查验收与维修	242

第九章 石质路基施工

第一节	爆破作用原理及爆破器材与方法	246
第二节	工程中各种爆破的应用	251
第三节	爆破施工注意事项	262

第一章 绪 论

第一节 概 述

一、路基工程的特点

路基是公路工程的重要组成部分，是路面的基础。路基质量的好坏，将直接影响到路面的使用质量。实践证明，路面的损坏往往与路基排水不畅、压实度不够、强度低等有直接关系，而且路基损坏后，修复的难度大、费用高。由此可见，保证路基的稳定性对维护路面的使用质量有不言而喻的重要性。其次，路基工程数量大、耗费劳动量大、涉及面广、投资大。以平原区为例，平均每千米土石方数量约为 12 000 立方米，山岭区平均每千米约为 40 000 立方米，路基修建投资约占公路项目总投资额的 40%。再次，路基施工改变了公路沿线原有的自然状态，挖填借弃土石方涉及工程所在地的生态平衡、水土保持和农田水利。此外，路基后期使用养护期较长。因此路基设计是一个系统工程，其设计和施工应严格按照交通部颁布的有关路基设计和施工的规范和标准，并结合路基所属的自然条件，因地制宜地进行精心设计、精心施工，以确保路基具有足够的强度、稳定性，根据实际条件考虑工程的经济性，并综合考虑路基的养护、路基的绿化，以加强对社会环境和生态环境的保护。

二、路基工程与相关工程项目的关系

(一)路基设计与路线设计的关系

公路平纵横线形的确定,不能仅仅考虑线形的优劣,必须同时考虑路基的稳定条件、工程施工的难易、土石方数量的大小和占用农田多少等因素。特别是路线通过山岭地区的工程困难地段或不良地质地段,更需要注意路线路基的协调配合。因此,路基设计与路线设计是相辅相成的。合理选定平面线位,可以避开地质不良地段和工程数量巨大地段,保证路基稳定的同时又减少工程数量,节约工程投资;在路线线位受地形条件约束较大时,譬如难以绕避地质不良地段和工程数量巨大地段,可以通过合理的路基设计,做出恰当的处理。

(二)路基工程与路面的关系

路基的强度和稳定性是保证路面强度和稳定性的基本条件,提高路基的强度与稳定性,可以减小路面的厚度、降低路面的造价。特别是当前公路交通量迅速增长,公路等级需要提高,采用高级路面的公路势必增加,从而对路基强度与稳定性的要求就更高。因此路基设计应与路面设计综合考虑。

(三)路基工程与桥涵工程的关系

桥头引道路基同桥位选设和桥梁孔径关系密切,其勘测与设计两者应相互配合。路基与涵洞等结构物也应该恰当配合。所以在路线纵断面设计时,应慎重考虑路基与桥涵在平面布置和标高协调等方面的关系。处于河滩的桥头引道路基还应进行路基的稳定性设计和验算。

三、影响路基稳定性的因素

路基是一种暴露在自然环境中为满足一定功能和使用要求而修筑的人工结构物。在天然地面修筑的结构物改变了原有的地面平衡状态,加上大气温度、降水和湿度的影响,结构物内部的物理力学性质将发生改变,使其处于一种不稳定的状态。而路基结构物保持设计所要求的几何形状和物理力学性质不变的特性称为路

基的稳定性。所以其强度和稳定性取决于其所处的地理环境和设计施工质量的好坏。因此在进行路基设计前,应深入调查公路沿线的自然条件,从整体到局部,从全线所属区域到具体路段收集地质资料和气象资料,并据此研究分析有关的自然因素变化规律,以及其对路基强度和稳定性的影响,从而采取适宜的工程技术措施,以进行正确的设计、施工和养护。

(一)影响路基稳定性的自然因素

1. 地形条件

在山岭区进行公路平面线形选线设计时,由于受地形条件的限制,为满足相应的技术指标和线形协调条件,平面调整线位的空间相对较小,容易忽视地形对后期路基设计的影响。后期路基设计时很容易出现排水设计困难,雨季到来时由于排水不畅容易导致路基的强度和稳定性降低,出现路基沉降变形,受地面径流冲刷,出现山体滑坡或边坡滑塌使路基失稳。在平原地区,由于平面线位布设的灵活性较大,容易满足平面线形指标,但由于地势平坦,降雨容易积聚,地下水位较高,使路基湿软,失去承载力。因此路基需要满足一定的最小填土高度,特别是平面线位通过低洼地带,路基的稳定性受地下水影响较大。

2. 气候条件

气候条件包括气温、降水、湿度、冰冻深度、日照时间、年蒸发量、风向和风力等,这些都会影响到路基的水温状况。在路线选线和路基设计时应特别注意。

3. 水文和水文地质条件

水文条件包括地面径流、河经常水位、洪水位、河道排泄条件、地面有无积水、积水期的长短以及河岸的冲刷和淤积情况等。水文地质条件包括地下水位、地下水移动情况、有无泉水、层间水等。所有这些都会影响路基的稳定性,如设计和施工处理不好,就会导致路基使用阶段出现病害。

4. 土的分类

土是建筑路基和路面的基本材料,并影响到路基的形状、尺寸和强度。土的性质,视其类别而定,不同的土具有不同的工程性质。

土颗粒粒径大小影响路基的水稳状况。一般毛细水上升高度与毛细管直径(或土粒粒径)成反比;上升速度与毛细管直径(或土粒粒径)成正比。土的粒径愈细(阻力愈大),上升速度愈缓。另外,毛细管直径愈细,毛细水的冻结温度则愈低。因而土在零下温度时,毛细水仍能移动,促使水分积聚,进而发生冻害。地下排水和浸水路堤,要根据土的渗透性或渗透系数进行设计。一般粒径较粗的土其渗透系数较大,粒径较细的土其渗透系数较小。具有竖向结构的大孔土(如黄土),竖向渗透系数较水平向为大;具有水平层理的土,水平向渗透系数较竖向为大。土经过充分压实,孔隙减小,透水性也因而降低甚至可能不透水。故充分压实的黏土层,特别是用重黏土时,可以起隔离层的作用。

土的强度,沙粒成分多则以摩擦力为主,强度高,受水的影响小,但施工时不易压实和成型。较细的沙,在渗流情况下,容易流动,形成流沙。黏土颗粒成分多则以黏聚力为主。水分增大,黏聚力降低。粉性土毛细作用强烈,路基的强度和承载力随毛细水上升,湿度增大而降低。在负温度坡差作用下,水分通过毛细作用移动并积聚,使局部土层湿度大幅度增加,造成路基冻胀,导致路基翻浆。

5. 地质条件

沿线的地质条件,如沿线岩石种类及风化程度,岩层走向、倾向和倾角、层理、厚度、节理发育程度,以及有无断层、不良地质现象(岩溶、冰川、泥石流、地震)等,都对路基稳定性有一定的影响。

6. 植物覆盖

植物覆盖影响地面径流和导热情况,从而在一定程度上影响路基水温情况的改变。

(二)影响路基稳定性的人为因素

1. 荷载作用

荷载作用包括静载、活载及其大小和重复作用次数。

2. 路基结构

包括路基填土或填石的类别与性质,路基形式,路面等级与类型。排水结构物的设置等。

3. 施工方法

包括是否分层填筑、压实是否充分和压实的方法等等。

4. 养护措施

包括一般措施及在设计、施工中未及时采用而在养护中加以补充的改善措施。

此外还有沿线附近的人为设施如水库、排灌渠道、水田,以及人为活动等。

由于路基水温情况的变化与自然因素和人为因素密切相关,因而路基水温情况,不仅地区之间和路段之间有差别,而且路基与原有地面及周围地面之间也有差别。这些差别,服从于同一公路自然区划一般温度和湿度的规律性变化。因此,设计者的重要任务,是针对这种差异和变化,做出正确的设计。

总之,路基的水温情况,与前述自然因素及人为因素密切相关。因此,路基设计时应掌握沿线的温度和湿度变化规律,因地制宜地采用相应的调节水温情况的措施,以保证路基具有足够的强度与稳定性。

四、路基设计和施工新工艺

自 20 世纪 80 年代以来,我国公路建设事业蓬勃发展,我国广大公路工程科技工作者,学习国外公路建设的先进经验技术,

并结合我国实际和建设需要，刻苦钻研，反复实践，在路基设计和施工技术方面取得了突破性的进展，积累了丰富的经验。先进的勘察、测试手段和电子计算机的应用为公路路基的设计提供了可靠的技术支持，公路路基综合稳定技术的研究列入了“七五”国家重点科技项目（攻关），并已通过科技成果鉴定，为生产实践所应用。岩土工程技术的发展，对软土、膨胀土、冻土、盐渍土、黄土等路基的工程治理，对不良地质地段，如滑坡、坍塌、泥石流的防治都有了新的突破。同时高路堤，深路堑的设计也取得了许多的经验。由于工程实践的需要，许多可用于路基工程的新材料，如土工织物、土工格栅、高强度塑料网、塑料排水板、软硬塑料排水管、加劲软式透水管、轻质填筑路基材料（EPS等）、土壤固比剂（NCS等）、草皮植生带；新技术方法，如深层搅拌、支挡技术、加筋技术、锚固技术、喷锚支护、网箱席垫、粉煤灰路堤、平孔排水等得到了充分的开发和应用。在设计与施工规范的制订和修订方面，也有了很大的进展，新的《公路路基设计规范》（JTJ013—95）、《公路路基施工技术规范》（JTJ033—95）、《公路土工试验规程》（JTJ051—93）、《公路加筋土工程设计规范》（JTJ015—91）、《公路粉煤灰路堤设计与施工技术规范》（JTJ016—93）、《公路软土地基路堤设计与施工规范》（JTJ017—96）、《公路工程质量检验评定标准》（JTJ091—94）、《公路排水设计规范》（JTJ018—97）已颁布实施。目前正在制订用于路基设计的规范还有：《公路挡土墙设计与施工技术规范》、《公路勘测规范》等。上述的各个方面，对高速公路路基设计与施工的技术进步和提高路基工程设计与施工质量都起到了巨大的促进作用。路基设计和施工的系列成果可以概括为以下几方面。

（一）公路自然区划

我国幅员辽阔，各地自然条件和道路的工程性质差异很大。

为此将自然条件大致相近者划分为区,在同一区划内从事公路规划、设计、施工、管理时,有许多共性因素可以相互参照。我国现行的《公路自然区划标准》分三级区划,一级区划是根据地理、地貌气候、土质等因素将我国划分为7个大区,二级区划以气候和地形为主导因素,三级区划以行政区域作为界限。

(二)土的工程分类

土是填筑公路路基的主要材料,由于天然成因的差异,不同的路基土表现出截然不同的工程特性。我国依据土颗粒组成特征、土的塑性指标(塑限、液限和塑性指数)、土中有机质存在情况,将公路用土按不同的工程特性划分为巨粒土、粗粒土、细粒土和特殊土四大类,并细分为11种。确认土的类别需用标准的仪器,按统一的规程进行测试界定。为了在野外勘察中能对不同土类作鉴别,系统地总结了“简易鉴别、分类和描述”的方法与细节。

(三)路基强度与稳定性

路基作为路面结构的基础应具有足够的强度和稳定性,我国较早就确定以弹模量作为评价路基强度与稳定性的力学指标,并形成了成套的室内外试验标准方法与仪器。为了在施工中以物理量指标控制工程质量从而保证达到规定的强度指标,广泛开展了不同土种的最佳含水量与最大密实度相关关系的研究,并且统一以重型击实试验法作为基本控制标准。为了提高路基的强度与稳定性,根据不同类别土壤的特性,研究了粒料加固、石灰加固、水泥加固、专用固化剂加固等行之有效的技术措施。在多年冻土地区、膨胀土地区、沙漠地区、黄土地区、盐渍土地区等特殊地区,通过研究采用各种有效技术修建公路路基取得了十分宝贵的经验。

(四)高路堤修筑技术与支挡结构

为了提高高路堤路基的稳定性,研究提出的技术措施包括减轻路堤自重,采用轻质粉煤灰,或采用轻质塑料块修筑路基;修筑

轻型路基支挡结构,特别是加筋土挡墙的研究和工程建设在我国取得了许多成果。例如条带加筋、网络加筋、土工织物加筋等均取得良好效果。

(五)软土地基稳定技术

在软土地基上修筑路基路面,天然地面的自然平衡状态将发生改变,在很长时间内路基将处于不稳定状态。为此广泛研究了软土的调查与判别方法,改变软土性质的技术措施,如沙井或塑料板排水固结法;沙层排水加载预压法;无机结合料深层加固法等。

(六)在力学分析的研究方面,通过现场跟踪观测与建立预测分析模型,来预估与控制软土地基加固后的工后沉降,从而提高路基的稳定性。

(七)岩石路基爆破技术

利用爆破技术开山筑路在我国有悠久的历史。但是在最近几十年中我国在山区筑路工程中有新的发展,创造了系统的大爆破技术,每次总装炸药量多达数十吨,一次爆破可清除岩石数十万立方米。大爆破以现代爆破理论为基础,事先进行周密的勘测与调查,经过精心设计的大爆破不仅能降低造价,缩短工期,而且能够使爆破后形成的坡面状况十分接近路基横断面设计要求。

第二节 路基土的工程性质

一、路基土的分类

自然界的土是在各种不同成土环境里形成的,其组成、结构、成分以及物理、水理、力学性质千差万别,再加之成土作用所经历的时代也有长短,因而土的种类繁多。在工程建设中为了正确评