

# Characteristics and Influencing Factors of Rock-Soil Filled Roadbed Working Area

Shouwei Li<sup>1</sup>, Jianming Hu<sup>2</sup>, Dejing Shi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Highway Administration Bureau of Jinhua, Jinhua Zhejiang

<sup>2</sup>Highway Administration Section of Wuyi, Jinhua Zhejiang

Email: [hanglx.gd@foxmail.com](mailto:hanglx.gd@foxmail.com)

Received: Jan. 9<sup>th</sup>, 2018; accepted: Jan. 23<sup>rd</sup>, 2018; published: Jan. 30<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

China's current codes about the determination method of the subgrade work area lack consideration of the thickness of the subgrade's fill material, traffic load and subgrade moisture content. There is a big limitation. This paper studies the influencing factors of the depth of the subgrade working area in highway. The BISAR 3.0 program is used to calculate the depth of the soil-rock filled subgrade working area in highway under different working conditions. The results show that the depth of the soil-rock filled subgrade working area is larger than that of sandy subgrade and clay subgrade, and it decreases with the increase of soil-rock ratio. The depth of the soil-rock filled subgrade working area is increasing with the increase of the axle load; the linear relationship exists between them. The higher the water content of the subgrade soil, the smaller the depth of the subgrade work area in a certain range. The older version stipulates that the following 0 to 80 cm below the top of the subgrade as a subgrade working area does not apply to all roads; according to the actual conditions of the road, calculating the depth of the soil-rock filled subgrade working area in highway can be more reasonable and ensure the quality of subgrade construction.

## Keywords

Road Engineering, Soil-Rock Filled Subgrade, Subgrade Work Area, Influencing Factors

---

# 土石混填路基工作区的特性及其影响因素

李寿伟<sup>1</sup>, 胡建明<sup>2</sup>, 石德景<sup>2</sup>

<sup>1</sup>金华市公路管理局, 浙江 金华

<sup>2</sup>武义县公路管理段, 浙江 金华

Email: [hanglx.gd@foxmail.com](mailto:hanglx.gd@foxmail.com)

收稿日期: 2018年1月9日; 录用日期: 2018年1月23日; 发布日期: 2018年1月30日

## 摘要

我国现行规范关于路基工作区的确定方法缺乏对路基填料性质,交通荷载及路面结构形式等方面的考虑,存在较大的局限性。基于上述状况研究土石混填路基的路基工作区深度的影响因素。利用BISAR3.0程序计算不同工况下土石混填路基的路基工作区深度。研究结果显示,与砂土、粘土路基相比,土石混填路基的工作区深度较大,其值随土石比增大而减小;土石混填路基工作区深度随着轴载增大而增大,两者呈线性关系;路面结构越完善,土石混填路基工作区深度越小。旧版规范将路基顶面以下0~80 cm部分作为路基工作区不适用于所有公路,根据公路实际工况进行计算能够更合理地确定土石混填路基工作区深度,确保路基施工质量。

## 关键词

道路工程, 土石混填路基, 路基工作区, 影响因素

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着我国公路从城市向山区延伸,本着因地制宜、就地取材的原则,在公路修筑过程中产生的土石混合料也会得到大量利用。旧版规范《公路沥青路面设计规范》(JTGD50-2004)给出了标准轴载作用下沥青路面的路基工作区范围,即自路基顶面至路基内部80 cm深度范围内[1]。在筑路过程中为保证路基的施工质量,需要准确判定路基工作区的深度,同时提高路基工作区的压实度[2]。然而,土石混合料为不同级配组成、岩性土性差距较大的土与石混合而成,由此铺筑的土石混填路基的力学响应及使用性能均表现出一些独有的性质;我国道路交通中重载、超载车辆屡见不鲜,对路基稳定性的要求比以往明显提高;不同路面结构形式也对路基受力会产生较大影响,进而会影响路基工作区深度[3]。因此千篇一律固定路基工作深度为80 cm,显然与实际情况不相符,已很难适应不同工况下的路基设计要求。

鉴于此,本文通过BISAR3.0程序计算在不同的路基填料性质、轴载与路面结构形式的路基力学响应,研究各种工况下土石混填路基工作区深度的变化规律及其影响因素。

## 2. 土石混填路基土性质

本文的试验原料采用取自浙江金华某公路施工现场的土石混合料,外观呈暗红色,开挖得到的土石混合料曲率系数及不均匀系数都在合理的变化范围之内,级配良好;其颗粒组成如表1、物理技术指标如表2所示。该土石混合料的细粒料为砂砾土,粗粒料为石英岩。

于实验室调整工地取得的土石混合料的土石比,在70:30、50:50、30:70等三个不同的土石比下振动成型试件,每个土石比下成型一组5个试件测得到各其CBR值、重度、最佳含水率与最大干密度,得到的试验数据如表3所示。

## 3. 分析方案及参数

### 3.1. 路基应力计算程序

采用BISAR3.0程序计算路基力学响应。单轴双轮的荷载简化分布如图1所示,其中,车轴方向与

**Table 1.** Soil-rock mixture of the particle composition  
**表 1.** 土石混合料的颗粒组成

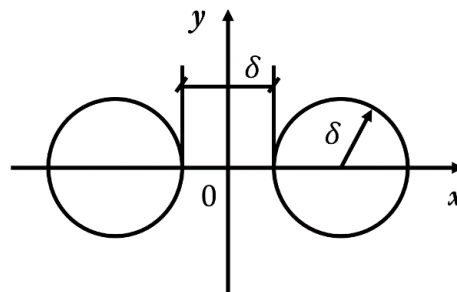
筛孔尺寸/mm	40	20	10	5	2	1	0.5	0.25	0.075
通过率/%	100.0	89.54	73.22	54.45	29.16	21.70	10.99	5.07	1.74

**Table 2.** Measured physical and technical performance of soil-rock mixture  
**表 2.** 土石混合料的实测物理技术性能

	不均匀系数 $C_u$	曲率系数 $C_c$	液限/%	塑限/%	塑性指数
试验结果	13.87	1.44	30	21	9
技术要求	$\geq 5$	1~3	—	—	—

**Table 3.** Measured physical properties of different soil-rock mixture  
**表 3.** 不同土石比土石混合料的实测物理性质

土石比	70:30	50:50	30:70
最佳含水率(%)	10.4	9.1	8.8
最大干密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.08	2.11	2.06
试件 CBR 值(%)	45.33	67.42	85.93
重度( $\text{kN}/\text{m}^3$ )	17.8	18.0	18.1



**Figure 1.** Simplified single-axle load distribution

**图 1.** 单轴双轮荷载简化分布图

$x$  轴方向一致, 行车方向与轴  $y$  方向一致。为了简化计算, 按照规范提出的要求将实际轮载简化为圆形的均布荷载, 当量圆半径按式(1)计算。

$$\delta = \sqrt{\frac{P}{\rho\pi}} \quad (1)$$

式中:  $\delta$  为当量圆半径;  $P$  为轮重;  $p$  为接地压力。

### 3.2. 路基工作区深度的确定方法

目前, 国内外研究中常用的沥青路面公路的路基工作区深度判定依据主要有 3 种: 1) 在路基范围内的某一深度处, 附加应变或附加应力与自重应变或自重应力的比值小于 0.1~0.2 [4], 则该深度范围为路基工作区深度; 2) 在路基范围内某一深度处, 由车轮荷载于路基土引起的轴向应力不大于路基土的屈服强度[5], 则该深度范围为路基工作区深度; 3) 以路基范围内某一深度处附加动应力或附加动应变的绝对值作为判定标准[6]。考察国内外已有研究, 因判定依据 1) 较为简洁有效, 因此本文以在路基范围内, 附

加应力/自重应力  $< 0.1$  作为路基工作区深度的评判标准。

### 3.3. 计算分析参数取值

#### 3.3.1. 不同路基土的参数取值

在实际工程中, 路基土的种类往往与工程所在地的土石性质有关。一般而言砂性土是最优的路基填料, 粘性土也是较为常见。本文选取砂土路基、粘土路基与土石混填路基作比较, 研究不同种类的路基土及不同土石比的土石混合物对路基工作区深度的影响规律。对于已得的土石比分别为 70:30、50:50、30:70 的土石混合物, 采用强度仪法测定其回弹模量。根据工程经验及《公路路基设计规范》JTG D30-2015 [7] 其余两种路基填土计算参数取值如表 4 所示。

#### 3.3.2. 不同交通荷载取值

目前我国规范规定在沥青混凝土路面设计中, 标准轴载为单轴双轮 100 kN, 不同重量的轴载需要等效换算成标准轴载, 轴载换算上限为 130 kN。然而目前我国公路上严重超载车辆屡见不鲜, 甚至超载 200% 的情况也时有发生[8]。为研究不同交通荷载对高速公路土石混填路基工作区深度的影响, 本文分析了 4 种不同轴载作用下土石混填路基工作区深度的变化规律。各种轴载计算参数取值如表 5 所示。

#### 3.3.3. 不同路面结构层组合与参数取值

一般而言, 高等级公路的路面结构相较于低等级公路会更加完善, 为研究路面结构形式对沥青路面公路的土石混填路基工作区深度的影响规律, 本文选取四种等级公路的典型路面结构进行计算。根据《公路沥青路面设计规范》(JTG D50-2017) [9] 工程经验及实测结果, 各种等级典型路面结构层组合及计算参数取值如表 6 所示。

## 4. 结果及讨论

### 4.1. 不同路基土的影响分析

经计算, 位于路基顶面以下, 砂土路基、粘土路基和不同土石比的土石混填路基在标准轴载的作用下, 附加应力与自重应力比值的变化曲线如图 2 所示。不同土质路基的路基工作区深度如图 3 所示。

由图 2、图 3 可知, 相比粘土路基和砂土路基, 土石混填路基的路基工作区深度较大。土石混填路基的路基深度与土石比明显相关, 土石比越大, 路基工作区深度越小。这是不同路基土的重度与回弹模

**Table 4.** Different types of subgrade fill calculation parameters

**表 4.** 不同种类路基填土计算参数取值

路基种类	砂土路基	粘土路基	土石混合物路基		
			土:石 = 70:30	土:石 = 50:50	土:石 = 30:70
回弹模量(MPa)	120	95	254	327	382
重度(kN/m <sup>3</sup> )	19	21	17.8	18.0	18.1

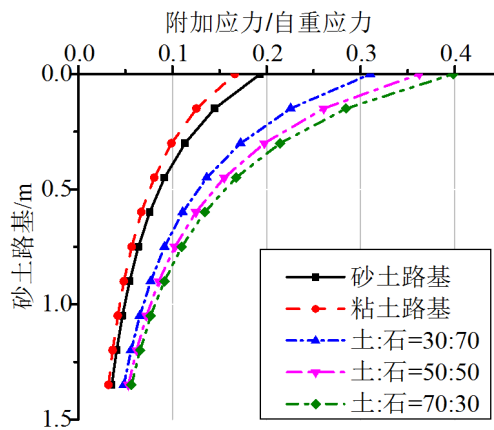
**Table 5.** Each axis carries the parameter value

**表 5.** 各轴载计算参数取值

荷载参数	轴载(kN)			
	100	130	160	200
当量圆半径(cm)	10.65	11.45	12.26	13.04
双圆中心距(cm)	15.98	17.18	18.40	19.56

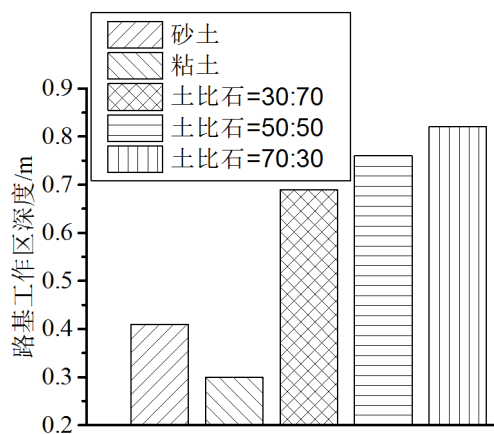
**Table 6.** Various levels of typical pavement structure layer combinations and parameter values  
**表 6.** 各种等级典型路面结构层组合及参数取值

层位	高速公路		一级公路		二级公路		三级公路		泊松比	重度
	结构	模量	结构	模量	结构	模量	结构	模量		
上面层	4 cm 细粒式 沥青混凝土	9500 MPa	4 cm 细粒式 沥青混凝土	9000 MPa	4 cm 细粒式 沥青混凝土	9500 MPa	4 cm 细粒式 沥青混凝土	9000 MPa	0.25	23 kN/m <sup>3</sup>
中面层	6 cm 中粒式 沥青混凝土	11,000 MPa	6 cm 中粒式 沥青混凝土	10,000 MPa	6 cm 中粒式 沥青混凝土	11,000 MPa	6 cm 中粒式 沥青混凝土	10,000 MPa	0.25	23 kN/m <sup>3</sup>
下面层	8 cm 粗粒式 沥青混凝土	10,000 MPa	8 cm 粗粒式 沥青混凝土	9500 MPa	-	-	-	-	0.25	23 kN/m <sup>3</sup>
基层	38 cm 水泥 稳定碎石	23,000 MPa	32 cm 二灰 稳定碎石	20,000 MPa	20 cm 水泥 稳定碎石	23,000 MPa	15 cm 水泥 稳定碎石	20,000 MPa	0.25	22 kN/m <sup>3</sup>
底基层	20cm 二灰土	6000 MPa	20 cm 二灰土	5500 MPa	20 cm 二灰土	5500 MPa	20 cm 二灰土	5000 MPa	0.25	20 kN/m <sup>3</sup>
路基	土石混合物 土:石 = 50:50	327 MPa	土石混合物 土:石 = 50:50	327 MPa	土石混合物 土:石 = 50:50	327 MPa	土石混合物 土:石 = 50:50	327 MPa	0.40	18 kN/m <sup>3</sup>



**Figure 2.** Different soil subgrade stress and self-weight stress ratio

**图 2.** 不同土质路基附加应力与自重应力比值变化图



**Figure 3.** Subgrade working area depth of different soil subgrade

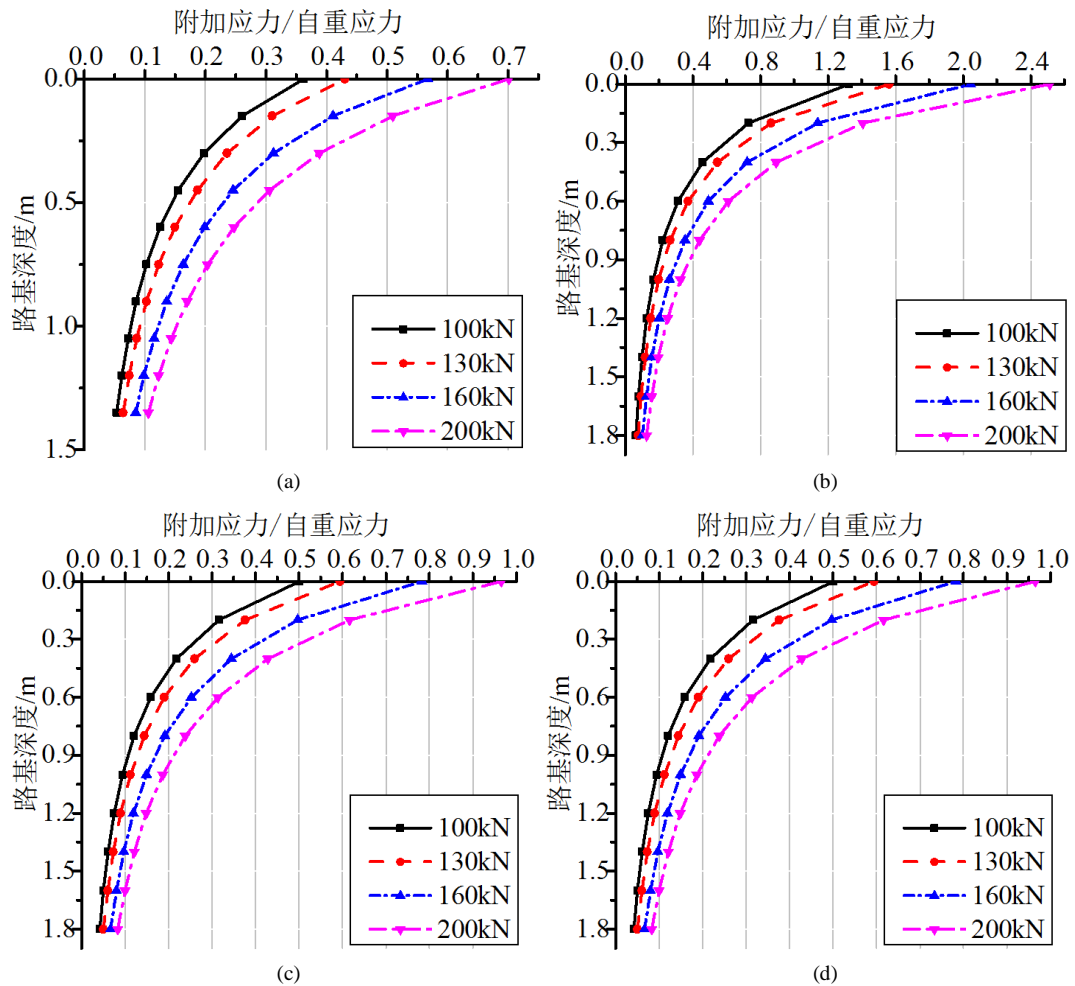
**图 3.** 不同土质路基的路基工作区深度

量不同所致。路基土重度越大，自重应力越大。在附加应力不变的情况下，附加应力与自重应力的比值越小，路基工作区深度越小。而粘性土重度较大，土石混合物重度最小，因此土石混填路基的路基工作区深度相对较大。路基土的回弹模量越大，路基本身刚度越大，会影响从路面上部结构传递而来的各种荷载与路基土的变形在路基范围内的传播与分散，使其路基工作区深度加大[10]。在本文选取的几种路基土中，粘土路基的回弹模量最小，砂土路基居中，土石混填路基最大，且土石比越小，路基回弹模量越大，一定程度上导致了上述结果的出现。

#### 4.2. 不同轴载及路面结构形式的影响分析

经计算，不同路面结构的公路在四种轴载的作用下，路基顶面以下附加应力与自重应力的比值在不同路基深度的变化曲线如图4所示。不同轴载在不同公路等级典型路面结构下土石混填路基工作区深度如表7所示。

经拟合，4种轴载作用于不同路面结构下的土石混填路基工作区深度变化趋势如图5所示。4种路面结构形式公路在不同轴载作用下土石混填路基工作区深度对比如图6所示。

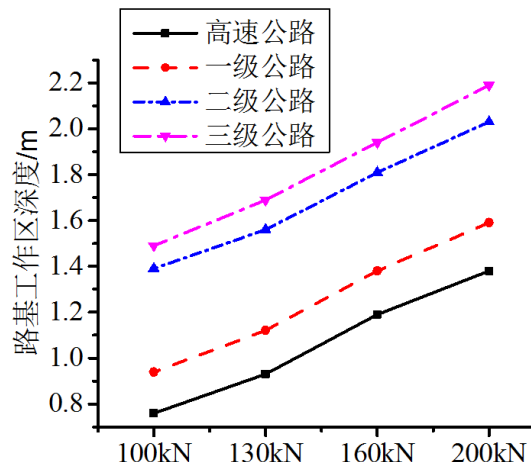


**Figure 4.** Various types of pavement structure under different shaft subgrade stress and self-weight stress ratio changes: (a) Highway; (b) First-class road; (c) Second-class road; (d) Third-class road

**图 4.** 各种路面结构形式不同轴载下路基附加应力与自重应力比值变化图。(a) 高速公路；(b) 一级公路；(c) 二级公路；(d) 三级公路

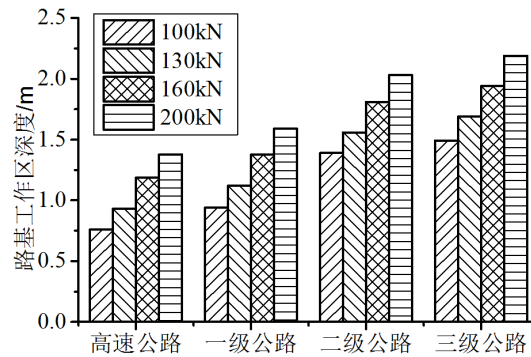
**Table 7.** Calculation results of working area depth of soil-rock mixture subgrade  
**表 7.** 土石混填路基工作区深度计算结果

公路等级	轴载			
	100 kN	130 kN	160 kN	200 kN
高速公路	0.76 m	0.93 m	1.19 m	1.38 m
一级公路	0.94 m	1.12 m	1.38 m	1.59 m
二级公路	1.39 m	1.56 m	1.81 m	2.03 m
三级公路	1.49 m	1.69 m	1.94 m	2.19 m



**Figure 5.** The variation of depth of working area of soil-rock mixed embankment under different pavement structure is carried by each axle

**图 5.** 各轴载在不同路面结构下土石混填路基工作区深度变化趋势



**Figure 6.** Depth change trend of working layers of roadbed in roadbed with different pavement structure

**图 6.** 不同路面结构土石混填公路路基工作区深度变化趋势

#### 4.2.1. 不同轴载的影响分析

由图 5 可知，不论是何种路面结构，土石混填路基工作区深度随着轴载增大而增大，两者呈线性关系。而且不同的路面结构的增长速率相当。

根据表 7 的结果，仅当轴载为 100 kN，路面结构为高速公路典型结构时，土石混填路基工作区深度

为 72 cm, 小于规范给出的路基工作区的范围。而部分工况甚至达到了规范规定范围的 200% 以上。对于重载交通, 过大的轴载会使得土石混填路基工作区深度迅速增大, 现行规范给出的范围已经不能适应其工程要求。因此, 建议无论是对何种公路等级, 计算土石混填路基工作区深度时都要考虑公路所要承受的交通荷载, 根据其轴载谱合理确定路基工作区深度。

#### 4.2.2. 不同路面结构的影响分析

由图 6 可知, 路面结构越完善, 土石混填路基工作区深度越小。这是由于完善的路面结构使路面整体刚度较大, 能承受更多的荷载作用, 同时更好的分散交通荷载, 减轻路基负担[11]。低等级公路不但路面厚度较小, 在设计施工过程中采用的标准也相对较低, 导致路面整体刚度较小, 路基需要承受更大的荷载应力, 土石混填路基工作区深度也会相应增大[11]。不仅如此, 高速公路与一级公路的土石混填路基工作区深度比较接近, 但二级公路与三级公路的土石混填路基工作区深度比相以上等级公路增长幅度较大。这是由于路面结构的变化较大所致。高速、一级公路的沥青面层厚度较大, 二、三级公路沥青面层仅有两层, 厚度较小。相比高等级公路, 低等级公路路面基层、底基层的回弹模量也相对较低[12] [13]。因此在相同的轴载作用下, 低等级公路的土石混填路基工作区深度比高等级公路有较大增长。

### 5. 结论

本文通过对不同工况下的高速公路土石混填路基工作区深度的分析, 得出以下结论:

1) 不同土质路基的工作区深度不同。在相同的条件下, 土石混填路基的工作区深度相对较大, 粘土路基的工作区深度最小, 土石混填路基的工作区深度随土石比增大而变小。

2) 轴载越大, 土石混填路基工作区的深度越大。两者呈线性关系。对于标准轴载, 现行规范给出的路基工作区深度范围是合理的。但对于重在交通现行规范给出的范围已经不能适应其工程要求。

3) 当路面结构较完善时, 土石混填路基工作区深度较小。低等级公路的土石混填路基工作区深度比高等级公路更大。因此, 完善的路面结构可以有效降低土石混填路基工作区深度。

4) 由于路基填土材料性质、交通荷载及路面结构形式均对高速公路土石混填路基工作区深度有一定影响, 旧版规范中将路基顶面以下 0~80 cm 部分作为路基工作区并不适用于所有公路, 根据不同公路各自的工况进行计算能够更合理地确定土石混填路基工作区深度, 从而减少路面病害的产生。

### 基金项目

浙江省交通科技项目, 浙中西部地区土石混填路基修筑技术研究(2016-2-18); 中央高校基本科研业务费专项资金(310821172008 & 310821171018)。

### 参考文献 (References)

- [1] 中交第二公路勘察设计研究院. 公路路基设计规范(JTG D30-2004) [S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [2] 刘丽. 上海重载道路路基工作区深度的计算分析[J]. 中国市政工程, 2012(3): 1-3.
- [3] 孔令赏, 张焱, 陈骏. 路基工作区深度及路面扩散效应分析[J]. 现代交通技术, 2014, 11(3): 1-4.
- [4] 黎冰, 高玉峰, 魏代现, 等. 车辆荷载的影响深度及其影响因素的研究[J]. 岩土力学, 2005(s1): 314-317.
- [5] 赵官胜. 重载交通下等级路路基工作区深度的研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2009.
- [6] 仇敏玉, 俞亚南. 道路行车荷载影响深度分析[J]. 岩土力学, 2010, 31(6): 1822-1826.
- [7] 中交第二公路勘察设计研究院. 公路路基设计规范(JTG D30-2015) [S]. 北京: 人民交通出版社, 2015.
- [8] 李聪, 官盛飞. 沥青路面路基工作区深度分析[J]. 交通科学与工程, 2011, 27(2): 11-15.



- [9] 中交路桥技术有限公司. 公路沥青路面设计规范(JTG D50-2017) [S]. 北京: 人民交通出版社, 2017.
- [10] 周正峰, 苗禄伟, 孙超. 基于应变的路基工作区深度及其影响因素分析[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2016, 40(1): 41-44.
- [11] 覃绮平. 土基回弹模量影响因素及其相关关系研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2005.
- [12] 秦健. 路基工作区深度及其影响因素研究[J]. 城市道桥与防洪, 2013(10): 104-107.
- [13] 文畅平. 路基填筑碾压工艺及质量控制的研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2005.

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3431, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [ojtt@hanspub.org](mailto:ojtt@hanspub.org)