

# 长安大学研究生学术论文集

## 2017年卷

张永 刘来君 贺炳彦 主编



陕西科学技术出版社



# 长安大学研究生学术论文集

## ! "#\$ 年卷

主 编! 张! 永! 刘来君! 贺炳彦

副主编! 姬国斌! 柳有权! 胡锦涛! 刘! 扬

陕西新华出版传媒集团

陕西科学技术出版社

!! 图书在版编目! %&"数据

!! 长安大学研究生学术论文集 ( /"#\$年卷! 张永" 刘来君" 贺炳彦主编 ( ) ) 西安 #陕西科学技术出版社" !"#\* (+  
!! &-./(\$\*) \$) 01+ /) \$ +1) +  
!!! (" 研\$ # (" 张\$ \$刘\$ %贺\$ & (" 自然科学) 文集\$ 社会科学) 文集' (" 23 \$(+  
! 中国版本图书馆 %& 数据核字% "#\*8第 "/#\$+1号

### 学术论文编辑委员会

!!! 主! 编# 张! 永! 刘来君! 贺炳彦  
副主编# 姬国斌! 柳有权! 胡锦涛! 刘! 扬  
委! 员# 高一博! ! 明辉! 张秀松! 王南南! 王通行  
黄庆庆! 傅! 一! 王长帅! 单金焕! 石大维  
杨光兴! 穆春芳! 梁! 婷! 殷坤" ! 黄! 成  
叶万里! 李院军! 张立凡! 崔雯雯! 王尚凯  
郝玲丽! 肖! 茹!

!!!! 长安大学研究生学术论文集! /"#\$年卷"

---

出 版 者! 陕西新华出版传媒集团! 陕西科学技术出版社  
西安北大街 #35号! 邮编 \$#"###1  
电话%!/ &\*\$ ##\*/3 传真%!/ &\*\$ ##! 1+  
456#! 777(8886(; <  
发 行 者! 陕西新华出版传媒集团! 陕西科学技术出版社  
电 话%!/ &\*\$ #!" "A \*\$ +""###  
印 刷! 长安大学雁塔印刷厂  
规 格! \*\*" <<=# 1" <<! #4 开本  
印 张! 3 0  
字 数! #0 千字  
版 次! !"#\*年 +月第 #版  
! "#\*年 +月第 #次印刷  
书 号! &-./(\$\*) \$) 01+ /) \$ +1) +  
定 价! \$' (" 元

---

!!!! 版权所有! 翻印必究



自行车指路标志视认性与信息条数关系研究!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 邵婷婷!裴!彦!胡章浩"!./#  
单一出口立交指路标志图案适用性研究!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 杨丰羽!刘明阳!杨欣欣"!./#  
基于 12345 单车数据采集的自行车客流预测方法研究!!!!!!!!!!!!!! 张!娜!郑锦男!余静财"!./#  
提供减速信息对车辆到达交叉口碳排放的影响!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 崔力中!李美叶"!./#  
高速公路团雾区交通安全设计!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 庞渊博!雷!鑫"#!#  
基于分布式出行信息的轨道交通出行特征辨识!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 南斯睿!叶荣来"#!#  
喇叭形互通式立交安全性研究!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 雷!鑫!庞渊博"#!#  
标志反光膜逆反射性能评价方法与影响因素分析!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 杨欣欣!刘明阳"#!#  
789 在数字测图中的应用及精度分析!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 殷坤"!陈坤伦!张绍骞"#!#  
差异化锚长组合支护堆载边坡的稳定性研究!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 黄!尧!周雅兰"#!#  
基于新陈代谢, 1!"/#岩溶区桩基承载力预测!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 陈慧芸!高!策"#!#  
基于自适应模糊 .:/ < 控制的 +%\$ 仿真研究!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 王娃子"#!#  
基于驾驶员应激反应的山区公路交通标识优化研究!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 申!科!郭!季!陈!诺"#!#  
基于 = \$\$\$ 1 仿真下停车标志交叉口和让行标志交叉口的延迟分析 ! 周!闯!温超越!吴其琛"#!#  
西安市行人步行速度调查与研究!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 冀永强!孙一帆!汪!杰"#!#  
自卸车举升机构结构优化方法!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 赵媛#!杨光峰!金!京"#!#  
基于 1+8\*+\$\$ \$4 745 与空气弹簧的整车振动模型仿真!!!!!!!!!!!!!! 姜良超!殷凡青!程吉鹏"#!#  
基于主成分聚类算法的电动汽车行驶工况构建!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 吴!岩!卢!羽!李世豪"#!#  
四轮电机电动汽车控制器研究!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 陈!帅!肖!川"#!#  
连续阻尼可调减振器用先导阀的设计与分析!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 曹理想"#!#  
循环球式转向器的结构设计及有限元分析!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 谢宁猛!付!耀"#!#  
基于制动\$转向的智能车辆避碰控制研究!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 阴!培!叶!茂"#!#  
基于模型预测控制的无人驾驶车辆轨迹跟踪问题研究!!!!!!!!!!!!!! 程吉鹏!殷凡青!姜良超"#!#  
基于裸眼 & 技术的汽车室内观后视镜!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 贾大海!李然然"&&#  
驾驶员潜在危险辨识能力培训和评估软件设计!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 赵俊玮"&-#  
面向 ## 年的燃料电池汽车生命周期评价预测!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 丁振森!刘佳慧!陈轶嵩"&&#  
中国城市绿色机动化评价体系及评价模型研究!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 刘佳慧!丁振森!陈轶嵩"&/#  
两档式纯电动汽车再生制动策略仿真分析!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 马金秋!马文晓"&#  
喷油器气隙垫片厚度对电控高压共轨柴油机喷油量的影响!!!!!!!!!!!!!! 何江李!王晓勇"&&#  
基于 +<+ 1\$ 的赛车底盘性能仿真!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 李如雪!温超越"&&#  
基于统计分析的机非冲突数量的预测建模研究!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 刘伟英"9"#  
需求响应式公交优化研究!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 林福海!张长兴"&#  
视错觉减速标线在高速公路弯曲隧道内的设置及应用效果研究!!!!!! 王长帅!邓!雷!贾浩楠"&.#  
基于微观仿真的入口匝道控制算法研究!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 吴!昊!孙一帆!何江李"&)"#



高清遥感影像阴影区域自动识别与检测方法!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 朱莹莹!程贝贝!刘!冰"(&#  
房地产价格因素相关性分析

!!! 以临汾市华远名邸住宅小区为例!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 李换换!张!艳"O##  
基于水力模型的多因子水质监测点优化布置方法研究!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 涂!杰"O"#  
竖向套管式深埋管换热特性的数值研究!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 黄可钦!张立杰!官燕玲"(!#  
黄土团块级配对其压实性能影响的试验研究!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 马建平!孔德泉!石!坚"((-#  
配水管网中浊度的因素分析及其模型的初步建立!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 杨!军!张!凯!刘翔翔"("##  
结冰过程对呼伦湖富营养化程度的影响!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 张!震!王鹏立"("-#  
硅灰对混凝土阻尼性能影响试验研究!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 卢!东!王帅飞!官!月"(-)#  
, , %&对强化处理再生骨料混凝土耐久性能的影响研究!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 王帅飞!卢!东!赵!成"(')#  
教学楼建筑绿色改造技术探析!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 陈香媛"(')#  
交通限行背景下多目标城市配送路径优化研究!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 刘彤彤!田爱玄"(')#  
政治冲击!反腐强度与企业创新效率实证研究!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 郭慧婷!郭一帆"()#  
"营改增"对房地产企业税负影响及税务筹划研究!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 张彤彤"(/)#  
基于人因工程的家庭轿车行车安全分析!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 朱!瑜!姚园园!张!媛"'"&#  
高技术上市公司: /乘数的多元回归模型与应用!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 杨正川"'"#  
一维非线性应力波传播特性的数值分析!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 刘亚红!张伟伟"!'##  
城市社区网格化管理存在的问题及改进策略探讨

!!! 以湘潭吉利社区为例!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 王春梅"!'#  
"互联网O#在地方政府形象塑造中的作用

!!! 基于天津市的实证分析!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 王琳慧"###  
关于促进农村被征地拆迁农民就业的路径探讨

!!! 以山西省吕梁市霜雾都村为例!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 郝玲丽"##  
浅析思想政治教育对大学生就业的影响!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 李文龙"(&#  
伦理学视角下的网络道德绑架现象!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 陈!倩"(&#  
统一战线助推脱贫攻坚的路径探析!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 王!瑞"(&#  
霍布斯\$利维坦%中的国家学说浅析!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 沈轩羽"")&#  
大数据背景下高校家庭经济困难学生精准资助模式探究!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 翟思阳"")-#  
海尔布隆纳马克思主义唯物史观的理论反思!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 金!迪"(!#  
消费社会下化妆品广告仿拟分析!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 闫慧峰"((#  
8P&B6>Q& >Q&A +>F&A: 2T& \$2R'8#!' D#!"!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 张!鑫"(/#  
+AQ&A: 2Y 7&P>T&N6: F2A2?A: 4A JAR&P 7&Q&N6 C&Q7&A! !!!!!!!!!!!!!!!!!!!!! 殷春叶"'"#



程应用提供正确的理论指导!

### )! 试验原材料

#### )B! 沥青

本次试验采用克拉玛依石化公司生产的适用于气候分区为! \$# 的 H 级%&! 基质沥青制备聚氨酯改性沥青"试验前首先对该基质沥青的各项性能指标进行测试"测试指标均符合要求!

#### )B! 聚氨酯

聚氨酯属于树脂类聚合物"分子结构中含有氨基甲酸酯基团# SJ! OTT" B' 其是一种高分子材料"可与沥青发生固化反应"以赋予基质沥青优良的物化性能"改性后的沥青具有良好的耐候而不老化性能%高温稳定性%抵抗塑性变形的能力及与集料良好的黏附性能! 试验选用的聚氨酯具体物性指标如表! !

表!! 聚氨酯各物性指标

指标名称	指标值
固形份	#&U! \$V
黏度	#&#! ' \$M &C&P
模量	#&U# \$K&+)
断裂强度	#) &&K&+)
断裂伸长率	#' R&V

#### )B! 集料

集料是沥青混合料的重要组成部分"试验采用玄武岩为粗集料"石灰岩为细集料"矿粉作为填料! 各档集料的技术性能指标测试结果均满足'公路工程集料试验规程(的要求!

### #! 混合料配合比设计

#### #B! 矿料级配设计

试验采用工程中常用的 HQ! # 级配"矿料级配如表) !

表) ! 矿料级配

筛孔尺寸&+ +!	!!	!#B!	" BR	(BR	)B!	!B!	&B!	&B!	&BR	&BR	矿粉
级配上限&V	!&&	!&&	.R	'!	R&	#!	.)!	)&	!R	.!	. B&
级配下限&V	!&&	"&	'!	#!	)(!	!R	!&	%	R	(!	(B&
调整级配&V	!&&	"R	% B&	'&	((BR	)' B&	)!!	!R&	.!	'!	R&

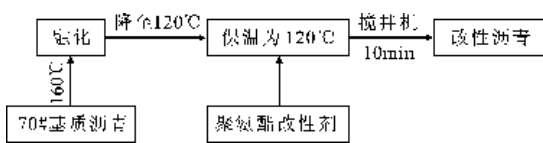
#### #B! 最佳沥青用量的确定

按照规范要求"采用马歇尔法对各沥青混合料进行配合比设计"确定最佳油石比为 (BV!

### (! 聚氨酯改性沥青

#### (B! 制备工艺

改性沥青的制备可分为溶胀%剪切和发育# 个微观过程! 由于本次试验选用的聚氨酯为热固性材料"其在温度较高的条件下将会产生固化现象"为了成功制备出聚氨酯改性沥青"需要先确定出合适的搅拌温度和搅拌时间! 通过前期大量试验尝试"决定先采用搅拌温度!)&\* % 搅拌时间!R+,- 制备聚氨酯改性沥青"然后通过试验确定最佳的搅拌温度和搅拌时间"其制备工艺如图!!



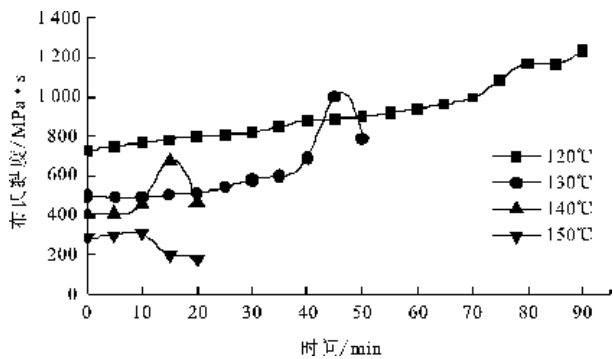
图!! 聚氨酯改性沥青制备工艺

#### (B! 搅拌温度的确定

试验通过研究不同温度下体系黏度随时间的

变化规律"确定制备聚氨酯改性沥青所需的合理搅拌温度! 具体过程为分别在!)&\* %&#&\* % !(&\* 和!R&\* 搅拌温度条件下制备)&V 和 (&V 两种掺量的聚氨酯改性沥青"制备完成后"采用布氏黏度计测定放置不同时间的黏度"通过数据分析得出合理的搅拌温度! 经测定"含)&V 和 (&V 的聚氨酯不同温度下布氏黏度随时间的变化规律如图)!

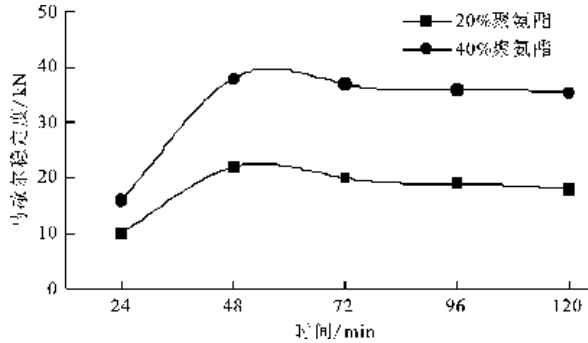
!! 由图)< 知"温度为!)&\* 时"改性沥青黏度在整个试验过程中缓慢增大"而温度为!#&\* % !(&\* 和!R&\* 时"黏度在到达某一时刻时出现急



图!&含)&V 聚氨酯



等同于聚氨酯固化完成所需的时间!因此在养生温度为!) &\* 的条件下!可通过混合料的力学强度的大小来衡量混合料的养生时间是否足够" 本次试验通过成型马歇尔试件!分别测定含) &V和 (&V的聚氨酯改性沥青混合料其马歇尔稳定度与养生时间之间的关系!以确定合理的养生时间" 试验测定结果如图R"



图R! 混合料马歇尔稳定度与养生时间间的关系!! 由图R知!在!) &\* 的养生温度条件下!两种不同掺量的聚氨酯改性沥青混合料其马歇尔稳定度指标值在成型之后的(. / 内上升速度较快!强度平均增长率分别达到了 &BR&KS# / 和

表#! 不同混合料的车辙试验结果

名称	(R+,- 变形量#++!	' &+,- 变形量#++	动稳定度#次#++
%&! 基质沥青	R&B'!	R&B" #	) #R
#VPIP 改性	! B&!	! B'!!	%&R
) &VMG 改性	! B&R#	! B&(!	!)(%)
#&VMG 改性	&B%!!	&B)!!	!#'(.
(&VMG 改性	&B.(!	&B) (!	!R%'

!! 由表#知!聚氨酯改性剂对混合料高温性能的改善较PIP显著!并且随聚氨酯含量的增大!混合料高温性能逐渐提高" 原因是聚氨酯分子结构中含有较多极性强的低聚物多元醇软段!固化后!这些软段可赋予基质沥青良好的力学性能!从而促使沥青混合料良好的高温抗车辙性能"

表(! 不同混合料低温小梁弯曲试验结果

名称	最大荷载均值#S	抗弯拉强度均值#NM&	最大弯拉应变均值#!#	弯曲劲度模量均值#NM&
%&! 基质沥青	% " B'!!	%(B))!	) & %B #R	#R). R.'
#VPIP 改性	!!.. B&R	! &B&#!	)") &B) #	# &B(&
) &VMG 改性	' ' &B' )!	RB.)!	# # B'!!	!. %&B%)
#&VMG 改性	RR( B) &	( B#!)	# & B) %	!)' ( B& %
(&VMG 改性	R) %R' "!	( B&B&!	() R B&R!	!! &B&R'

!! 由表(知!聚氨酯改性剂对混合料低温性能的改善较PIP显著!并且随聚氨酯含量的增大!混合料低温性能逐渐提高!其中 (&V聚氨酯改性沥青混合料的低温性能最优" 综上!聚氨酯改性

&B) KS# /!(. / 后二者的马歇尔稳定度均有一定程度的下降且趋于平稳!这说明聚氨酯在固化过程中!沥青混合料的强度逐渐形成!在第(. / 左右!聚氨酯基本完成了固化!混合料的力学强度已达到最大值!而当养生时间大于(. / 后!已固化的聚氨酯在高温条件下可能存在少部分与基质沥青分离现象!导致聚氨酯改性沥青性能下降!故聚氨酯改性沥青混合料的养生时间确定为(. /"

' ! 聚氨酯改性沥青混合料性能分析

按照上述原材料 \$ 料级配 %&O! # &S 最佳沥青用量 %B V & 和混合料养生时间的要求!本文选择了) &V \$ &V 和 (&V 聚氨酯改性沥青混合料 \$ %&! 基质沥青混合料以及 #VPIP 改性沥青混合料!分别对这R种混合料相关性能指标进行比较研究!以评价聚氨酯改性沥青混合料的路用性能"

' B! 高温稳定性

采用车辙试验对混合料的高温性能进行评价!各种沥青混合料动稳定度试验结果如表#"

' B! 低温抗裂性

结合实际试验条件 \$ 试验实现的难易程度以及试验结果的准确性等综合考虑!本次试验采用低温小梁弯曲试验评价沥青混合料的低温抗裂性能!R种沥青混合料的低温弯曲试验结果如表("

沥青混合料同时具有良好的低温抗裂性能"

' B#! 水稳定性

采用浸水马歇尔试验分别评价R种混合料的水稳定性" 试验时!首先分别成型五种混合料的

标准马歇尔试件各两组!每组(个试件!待养生完成后!分别将各混合料的两组试件均置于' &\* 恒温水槽中!一组恒温 #&t, - !另一组恒温 (. /!分

别测试马歇尔稳定度!并计算浸水残留稳定度!以评价混合料的水稳定性" 试验结果如表R"

表R! 各沥青混合料水稳定性试验结果

名称	马歇尔稳定度#KS	浸水马歇尔稳定度#KS	残留稳定度#V	技术要求#V
%& 基质沥青	!&B!	" R!	&B'	\$%R
#VPI P 改性	!) R!	!! B!	&B!	\$ &
)&VMG 改性	)) B!	!. B!	&B!	\$ &
#&VMG 改性	)' B!	)! R!	&B)	\$ &
(&VMG 改性	#&B!	)RB!	&B(	\$ &

!! 由表R知R种不同混合料的水稳定性均可满足相关技术要求!#VPI P 改性沥青混合料的水稳定性最优!聚氨酯改性沥青混合料的水稳定性较基质沥青混合料均有不同程度的降低!且)&V 聚氨酯改性沥青混合料降低的程度最大!这说明聚氨酯改性剂的加入对混合料抗水损害性能不利"

## % 结论

本文对聚氨酯改性沥青制备时的搅拌温度和搅拌时间仅行了分析!且以该改性沥青为胶结料!制备 HO!# 型级配的混合料!首先对该混合料的养生温度和养生时间进行了确定!然后对其路用

性能进行了研究" 主要得出以下结论\$

%&通过布氏黏度和荧光显微镜照片分析!聚氨酯改性沥青制备时的搅拌温度和时间分别确定为!) &\* 和!&t, - "

%&通过马歇尔稳定度指标和养护时间的关系曲线分析!聚氨酯改性沥青混合料的养护温度和时间分别为!) &\* 和(. /"

%&较基质和#VPI P 改性沥青混合料!聚氨酯改性沥青混合料的高低温性能均有显著提高!但其抗水损害性能有不同程度的降低!实际使用时需要采取添加抗剥落剂等技术措施以确保聚氨酯改性沥青混合料的抗水损害性能"

## 参考文献

- '( ! 侯全均!乔峰B基质沥青与PI P 改性剂对改性沥青性能影响浅析'X(B公路交通科技%应用技术版&) &#!% ! &\$ " %&B
- ) ( ! 张永辉BPI P 改性沥青和橡胶粉改性沥青机理及路用性能研究'Y(B长安大学!) &RB
- '# ( ! 孙艳娜!李立寒B几种改性沥青黏弹性与高温性能的评价与分析'X(B公路工程!) && !%& &\$% # B
- '( ! Q- !Z/< A! J<- ,< [ < A! X- 74 A! \< 1! Z/< 9- A! ] 1; ! ^; !] < ABJ, A! 54+ 942- 5 24942712+< ?4! 17PI PI+ 13743 E 1\$< 9/< 5'X(BOI- >R 75 1- !< 3I! ;, : 3- A! N- 542<>!) &% ! (( \$" %! &RB
- 'R( ! \_- 542B < 142 < 5BP, +; : 5- 4! ;> 1, 527?< 5 1- !< 334, 527?< 5 1- !, - !< !PI Q@51< !+ 13743! 8: 43 2- A! 2445! @< 542 545+ 4 5'X(BH2?/ 64! 17' - 62! + 4 5: !M2545 1- !) &#! # %&\$ #&#! B
- " ( ! 谢光宁BPI P 改性沥青生产加工技术研究'H(B中国公路学会养护与管理分会B中国公路学会养护与管理分会第六届学术年会论文集%上卷&O(B中国公路学会养护与管理分会!) &' \$# 9) ( ) B
- '%( ! 牛冬瑜!韩森!陈凯 等B加工工艺关键参数对PI P 改性沥青性能影响'X(B长安大学学报%自然科学版&) &(!%#& &\$ %!' B
- '( ! 王静B橡胶粉改性沥青的室内加工工艺研究'Y(B长安大学!) &&B
- " ( ! Z/1- AM- A! ]< 1! N4 A! a [ ! 4! a; ! Z/4 ! I 4! O/4 ! Q! - A! J, ; ! Z/< ABH> 5 38 179! 8 25/< 42 EE4! ?1+ 9! 54 + 13743! < 9/< 5! +, 5 24'X(BH36< ?43! N- 542<>!) Q! 42?/!) &(! #) ' %(! &\$#) (#) . B
- '! & ( Y) H A! 1! \, < ?1+ 1! F/1+ ! S, ?/1< > ! a! !M245! Y- 634BI, 5 + 4! > 5E, ; D3E: < 5\$< 9154 5< !> 1; 5 1- ! 7122: @< 8 527K! E43'X(BOI- >R 75 1- !< 3I! ;, : 3- A! N- 542<>!) &' ! !) ( \$! ! . \$!) ' B
- '! ! ( M588! \_ 1978B K! F< +< 2! Q: 61\$ O! 224! > ! H2< 5< ! ?4D! X- ; > D! Y- 55 BP8 5/4; > < 3?/< 2?542< 5 1- ! 179! 8 ; 25/< 44< 5! + 42! @5! > 4, ; 9213 75! 1E5, - 4372! + 19! 8 25/< 4248, - A'X(B' ; 2194- !M! 8+ 42X! ; 2< !) &' ! . R\$) \$#%B
- '( ! ( 陈利东!李璐!郝增恒B聚氨酯\$环氧树脂复合改性沥青混合料的研究'X(B公路工程!) &#!% &\$!(9) ! . B



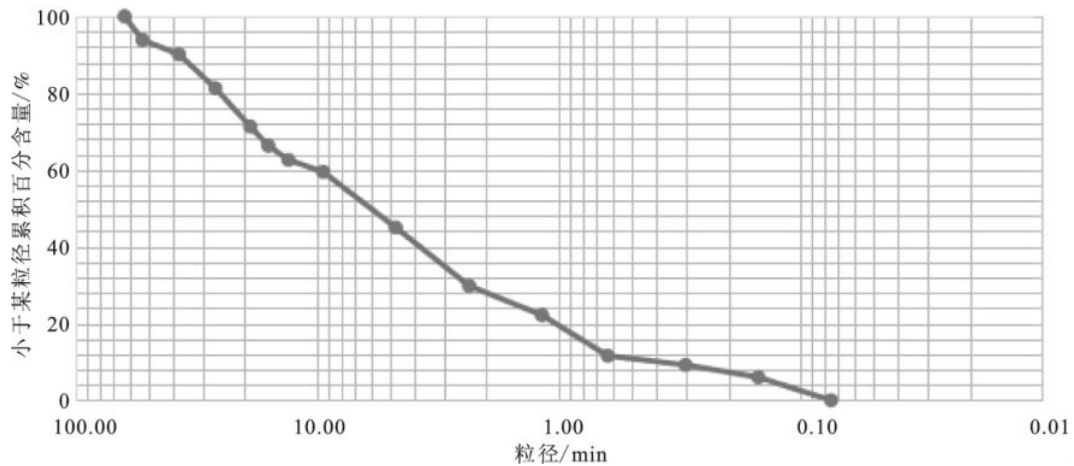
观力学特性是十分必要的!

## !! 小型承载板试验

### ! B! 试验仪器及材料

参照) && 版 "岩土工程勘察规范 # \$ \ I R && ! ) && % 中规定 & 浅层平板载荷试验 ' 试坑尺寸大小应是承载板直径的 # 倍! 因在本次试验中采用的是直径) & + 的刚性承载板' 所以试筒直径为' & + ' 高度为' R + !

试验千枚岩选自(十天)高速安康东段挖方弃



图!! 土料的级配曲线图

表!! 千枚岩填料含石量RRV的级配组合颗粒组成! 单位"KA#

筛孔尺寸*+ +!	R#	#%&R	)' BR	!"	!!	!#B!	" BR	( BR	) B!	! B!	&BR
含石量*KA	!" BR#	!! BR	)%B!	# BR	!RB	!! BR	" B!	(RB%	(%B%	)#B!	!. B&

### ! B! 试验流程

将试验所需设备及材料准备妥当' 用千斤顶至预压 &BRNM ' 稳压! +, - ' 使承载板与填料紧密接触' 检查百分表工作状态是否正常' 放松千斤顶油门卸载! +, - 后' 记录数据为初始值! 之后用千斤顶加载' 采用逐级加载卸载法' 用 FXJ (H 荷载传感器及 F] RY\*H 数字显示仪控制加载量' 荷载小于 &B NM 时' 每级增加 &B NM ' 以后每级增加 &B NM 左右! 每次加载至预定荷载 \$ 后' 稳定! +, - ! 实验完成后进行回弹变形曲线的处理!

### ) ! RRV 含石率千枚岩颗粒级配下的颗粒流数值模拟

#### ) B! 颗粒流方法

MCO<sup>Y</sup>是G&&?< 公司研发' 基于MBHQ - 3: 和 TBYB B?&?K 提出的模拟球形颗粒运动与相互作用的细观离散单元法<sup>R'</sup> ' 是一种模拟固态力学和颗粒流方面复杂问题的有效工具! 颗粒流模

料' 根据土料的级配曲线图 \$ 如图! 所示% 以含石率 RRV 组的级配组合为基准' 曲率系数! 为 ! B: ' 不均匀系数! # 为) ( B# ' 试样的基本物理参数如下 & 最大干密度) BHR A\*?+ #' 含水率为 RV ' 粒径范围集中在 &BR " R# + + ' 满足 " 公路路基施工技术规范 # \$ F \ C & + ) && % 中最大粒径不超过! && + + 的要求! 根据级配组合曲线要求换算得到含石率为 RRV 的千枚岩填料的级配组合颗粒组成' 如表! 所示!

型中颗粒之间的相互关系由接触本构模型来决定' MCO 中内置有多种接触模型' 比如平行黏结模型、接触黏结模型和滑动模型! 颗粒流模拟方法通过简单的岩石材料力学性质试验获得宏观力学参数' 建立相应的简单力学性质试验的颗粒流数值模型' 通过对试验结果的比较和调整来标定数值试验所需的细节参数!

颗粒流方法以牛顿第二定律与力 + 位移定律为基础' 对模型进行循环计算! 在 MCO 计算循环过程中' 采用显式时步循环运算规则' 重复应用运动定律于颗粒上' 和力 + 位移定律于接触上' 并且不断更新墙体位置! 颗粒与颗粒间的接触或颗粒与墙体之间的接触' 在计算过程中自动形成或破坏!

#### ) B! 模型的建立

结合室内试验情况' 本次 MCO<sup>Y</sup> 模拟的模型尺寸为宽 W 高 d' && + + WRR& + + ' 设置墙体的刚度远大于颗粒刚度! 然后在墙体区域内按试验测

得的土颗粒级配采用圆球代替土颗粒!模拟时球的最大直径  $\%_{\leftarrow} d R\#++!$  最小直径  $\%_{\rightarrow} d \&B\%R++!$  假设颗粒为刚性" 设置颗粒的密度#摩擦系数#法向刚度#切向刚度#法向粘结强度和切向粘结强度!颗粒直径范围的质量比 $\$%$ " 试验时!通过指定顶部和底部约束速度来对样品应变控制的方式进行加载" 在测试的各个阶段中!通过数值伺服机制&通过  $COPI$  函数执行'对左右两边的约束进行自动控制!通过综合所受的力以宏观的方式决定样品的应力应变" 双轴计算模型的二维图像如图) 所示"

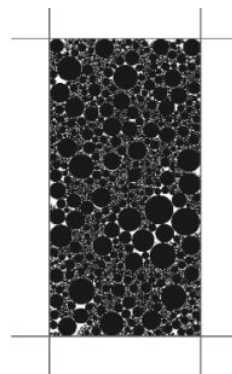
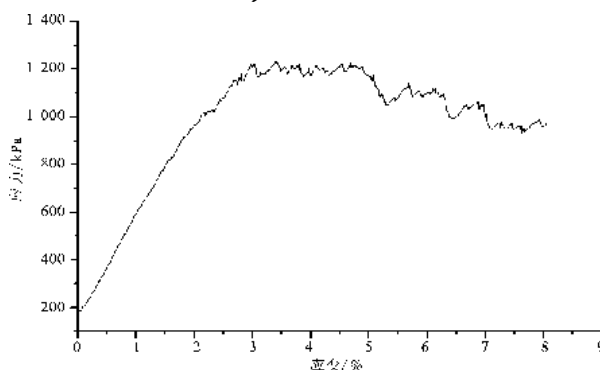


图) ! 计算模型

3) B! 细观参数的确定

为了使数值模拟效果与实际室内试验更为接近!采用与室内试验基本一致的颗粒级配及试样尺寸" 经过大量试算!反复调整颗粒细观参数!本次模拟中力学参数的量纲遵循表) 的量纲设置!选定与模拟材料宏观力学特性的参数相对应的  $MOO^Y$  数值模型的细观参数如表# 所示"



图#! FRV含石率的应力\$应变曲线

表) ! 模型量纲设置

物理量	长#宽	颗粒密度	作用力	应力	重力加速度	颗粒刚度	粘结强度
单位	+	$K\& +\#$	S!	M!	+(>!	S( +!	S( +

表#!  $MOO^Y$ 数值模型的细观力学参数

墙刚度(S( +	孔隙率	颗粒摩擦因数	颗粒切向刚度(S( +	颗粒法向刚度(S( +
! W! &!	$\&B\&\#$	$\&B\%$	$R\&B\% \&!$	! B\% &!

!! 此处不考虑模型墙与颗粒间的摩擦力!故墙与土体间的摩擦系数为  $\&$ "

#! 模拟结果分析

#B! 回弹模量比较

由  $RB\&$  版的  $MOO^Y$  可以通过编码程序直接获得回弹模量的参数值" 由模拟可得!当含水率为  $RV$  时!  $FRV$  含石率颗粒级配下的回弹模量值为  $\# B\% N\%K$ " 而小型承载板试验求得的回弹模量为  $\# B\% N\%K$ ! 两者十分接近!所以  $MOO$  可以很好地将宏观试验结果通过模拟直观的得到!减少人为试验误差和计算误差!有很好的指导意义"

#B! 应力\$应变曲线模拟分析

$FRV$  含石率颗粒级配下的含石率试验模拟的

曲线如图# 所示" 可以看出!此次模拟很好的表现了在  $FRV$  含石率颗粒级配下的应力应变的变化!且有明显的塑性变形" 当曲线达到峰值后!应力\$应变曲线出现波动的现象" 这是由于试样达到峰值强度后!试样内部的颗粒进行重新排列#内部应力分布不均导致的"

模拟发现!曲线的峰值强度#弹性模量等的变化与数值模型中微观参数的变化有着密切的联系" 模型中摩擦系数的大小决定着峰值强度的高低!并且随着摩擦系数的增大而增大" 而法向刚度  $\&$  和切向刚度  $\&$  主要影响弹性模量的大小"

#B! 颗粒位移运动和接触力分布变化分析

$MOO^Y$  认为!土的宏观变形不是由于土颗粒自身的变形!而是由于颗粒间位置变化引起的 $\%&!!$



板试验宏观现象较为一致!符合应力\$应变曲线的规律!也较好地体现了千枚岩细观颗粒的移动情况及接触力的分布特征!较好地验证了颗粒流数值模拟试验的有效性"

以直接模拟风化千枚岩填料的宏观试验!可为风化千枚岩的基佗试验模拟提供基础!今后还需在不同细观参数#颗粒级配#孔隙率分布等诸多方面作进一步的研究"

本文作为初步探讨!可以证明运用MCO<sup>Y</sup>可

参考文献

\$% Q-3: !MH!P3?KI'TYaBH3>254-; +42?< !+ 134!712A2-; :<2<>>4+E, 4B\4154/-, e; 4! !"% !)" &' ((% RB

\$% 蒋明镜!陈贺!刘芳B岩石微观胶结模型及离散元数值仿真方法初探\$%B岩土力学与工程学报!) &#!# &' (!' B

\$% OJ' S\!] !M' SH\_HFH] ! I TaFTS !N!YBY,>25444+45> +; :<5 1-! 17?2 >/<E4>1: \$%B\4154/-, e; 4! )&&#! R#&% (' ##\$ (! B

\$% 耿丽!黄志强!苗雨B粗粒土三轴试验的细观模拟\$%B土木工程与管理学报!) &! !). &' () (9)" B

\$% 郭庆国B关于粗粒土抗剪强度特性的试验研究\$%B水利学报!!". %R(' &%) B

\$% 5>?<!O1- >; 5- A!\2!; 9BMCO<sup>Y</sup> &25? 471@?134, -!) 3+4 > 1->' ;>2>A, 345Q%BN-- 491:> (5>?<!O1- >; 5, - A!\2!; 9!) && () B

\$% 吴谦B软黏土的结合水对其次固结和长期强度的影响及机理研究\$%B吉林大学!) &RB

\$% 李识博!王常明!马建全等B陇西黄土三轴剪切过程微观变化研究\$%B岩土力学学报!) &#!# (&' (#)" ##&RB