

# 颗粒物对风积沙压实特性影响研究\*

舒斌<sup>①</sup> 于进庆<sup>①</sup> 刘桂英<sup>②</sup> 官国琳<sup>③</sup>

(<sup>①</sup>中交第一公路勘察设计研究院有限公司 西安 710075)

(<sup>②</sup>中国地质环境监测院 北京 100081)

(<sup>③</sup>中国地质科学院水文地质环境地质研究所 石家庄 050800)

**摘要** 从颗粒物质的角度探讨了风积沙的压实特性和机理。研究表明,风积沙的重型击实试验曲线呈“双驼峰”形式,表明风积沙具有干压实的特性,水在风积沙的压实过程中扮演着不同的作用;室内振动试验表明振动加速度及振动时间影响着风积沙“巴西坚果效应”与“反巴西坚果效应”之间的转化,从而影响风积沙的振实密度,二者均存在一个产生最大振实干密度的最优值。现场试验通过控制机械参数(振幅 $A=0.4\text{mm}$ ,频率 $f=48\text{Hz}$ ) 在压实5遍的时候,可使压实度达到96.8%,*CBR*值达到25.3,均能满足《公路路基设计规范》要求。

**关键词** 颗粒物 风积沙 压实机理 重型击实 振动压实

中图分类号:TU441 文献标识码:A

## COMPACTION CHARACTERISTICS OF AEOLIAN SAND IN LABORATORY AND FIELD FOR ROAD SUBGRADES

SHU Bin<sup>①</sup> YU Jinqing<sup>①</sup> LIU Guiying<sup>②</sup> GUAN Guolin<sup>③</sup>

(<sup>①</sup>CCCC First Highway Consultants Co., LTD, Xi'an 710075)

(<sup>②</sup>China Institute of Geo-Environment Monitoring, Beijing 100081)

(<sup>③</sup>The Institute of Hydrogeology & Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang 050800)

**Abstract** This paper takes aeolian sand as a kind of granular matter and studies its compaction characteristics in the view of granular material. According to the results of the laboratory compaction tests, a compaction curve is plotted which is quite different from that of clay and looks like a double hump in shape. The two peaks in the curve mean that aeolian sand can be well-compacted whether it is dry or contented some water and water plays different parts in the compaction process. According to the results of vibrating compaction test, it can be known that it is vibration acceleration and vibration time that affect the transform between Brazil-nut effects and anti-Brazil-nut effects, which also affect the compaction density. There are optimization values for both vibration acceleration and vibration time in that condition. A optimized compaction density can be acquired. Also, field compaction tests were carried out (the amplitude of the machine was 0.4mm and the frequency was 48 Hertz). When the roadbed was compacted 5 times, the degree of compaction was 96.8% and the value of *CBR* was 25.3, which are quite acceptable according to the current specifications or design of highway subgrades.

**Key words** Granular matter, Aeolian sand, Compaction mechanism, Weighty tamping, Vibration compaction, Subgrade, Pavement

\* 收稿日期: 2010-04-13; 收到修改稿日期: 2010-05-25.

第一作者简介:舒斌,主要从事道路地质灾害治理及路基路面工程的研究. Email: xianshubin@163.com

## 1 引言

颗粒物质的概念是由 1991 年诺贝尔物理奖得主 De Gennes 提出的,一般是指尺度大于  $1\mu\text{m}$  的大量固体颗粒的集合体,具有“粮仓效应”、“巴西坚果效应”、“挤压膨胀效应”、“呈拱效应”等典型特性<sup>[1]</sup>。风积沙是一种典型的颗粒物质,具有颗粒细、结构松散、天然含水量低、缺乏内聚力等特性,广泛分布于我国  $124.8\text{万 km}^2$  的沙漠上<sup>[2]</sup>。相对于其他路基填料高昂的运输造价<sup>[3]</sup>,风积沙作为路基填料以其储量丰富、取材方便的特点被普遍应用于沙漠公路的建设中。前人对风积沙作为路基填料进行了大量卓有成效的研究<sup>[4-7]</sup>,但是传统的固体力学和流体力学已很难适用于风积沙体系,其工程特性、压实机理及路用性能尚需要更加深入的研究。

内蒙古自治区沿黄一级公路独贵塔拉至巴拉贡段横贯库不齐沙漠北缘,其中尤以 K329+100 ~ K402+000 段大漠纵横,风积地貌最为典型(如图



图 1 风积沙地貌

Fig. 1 Aeolian landforms

1)。为保证风积沙路基的施工质量,我们对现场取样风积沙进行了一系列的试验和分析,以期沙漠公路建设中风积沙作为路基填料提供一些借鉴和思考。

## 2 风积沙原材料

为保证取样的代表性,我们在沿黄一级公路 12 标段(K357+000 ~ K373+000) 18km 的范围内随机取样,并按照《公路土工试验规程(JTGE40-2007)》进行颗粒分析试验、天然含水率试验、密度试验,试验结果见表 1,表 2。

表 1 颗粒分析试验结果

Table 1 The results of granulometric analysis

编号	粒径/mm 及百分含量/(%)					
	<0.075	0.075 ~ 0.1	0.1 ~ 0.25	0.25 ~ 0.5	0.5 ~ 1	>1
1	0	26.1	70.2	2.5	1.3	0
2	0	28.9	67.7	1.8	1.6	0
3	0	27.6	66.9	3.3	2.1	0.1
4	0	26.5	69.3	2.4	1.8	0
5	0	25.3	71.8	1.7	1.2	0

表 2 原材料试验综合结果

Table 2 Synthetical results of the laboratory tests

样品编号	1	2	3	4	5	均值	变异系数 $\delta$
含水率 $\omega$ (%)	3.23	3.17	2.98	3.07	2.82	3.05	0.05
密度 $\rho$ / $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	1.46	1.41	1.47	1.43	1.51	1.46	0.02
不均匀系数 $C_u$	1.81	1.57	1.64	1.70	1.53	1.65	0.07
曲率系数 $C_c$	1.05	1.03	1.06	1.01	1.09	1.05	0.02

从表 1、表 2 的试验结果可知:风积沙级配很差,颗粒粒径主要集中在  $0.075 \sim 0.25\text{mm}$  的范围内,不含黏土及砾石成分,按公路路基土分类标准应定义为细沙;天然含水率很低,约  $2\% \sim 4\%$ ;天然密度  $1.4 \sim 1.5\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。原材料试验的基本指标在整个标段范围内变异系数均低于 0.1,按照《岩土工程勘察规范》对岩土参数的变异性等级划分标准属于“很低”的等级<sup>[8]</sup>,表明风积沙的工程性质在整个标段内可以认为是相同的。

## 3 室内试验

### 3.1 重型击实试验

试验按照《公路土工试验规程(JTGE40-2007)》进行,得到风积沙击实曲线(图 2)。从图 2 可以看出,风积沙的击实曲线为“双驼峰”曲线,干密度随含水量的变化出现两个峰值,表现出干压实特性,迥异于黏土材料的单峰值曲线。风积沙在干燥状态下,可以得到较大的干密度(约  $1.648\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ );随着含水量的增加,干密度迅速下降,在含水量 4.1% 时达到最小的干密度( $1.535\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ );随着含水量的继续增加,干密度也随着增大,在含水量 9.8% 时达到最大的干密度( $1.683\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ );此后,含水量增加,干密度呈现逐渐下降的趋势,在含水量 14% 时干密度为  $1.657\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。

光弹试验的研究发现,颗粒物质内部的应力分

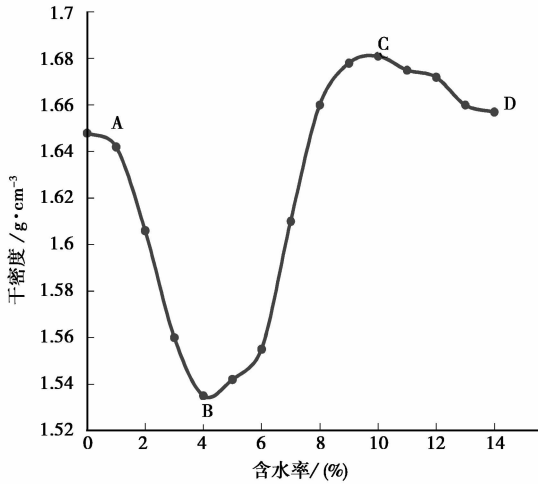


图2 含水率对干密度的影响

Fig. 2 Influence of water contents on dry density

布呈网状非均匀分布<sup>[10]</sup>。风积沙在干燥状态下,结构松散,内聚力几乎可以忽略,颗粒之间的接触类似齿轮之间的相互咬合<sup>[9]</sup>。干燥的风积沙在击实过程中,主要是克服颗粒之间的咬合摩阻力使颗粒重新排列。

颗粒物质的理论认为,颗粒表面粗糙度的降低将使表面张力的作用相对增大<sup>[11]</sup>。在AB段,随着含水量的增加( $\omega \leq 4.1\%$ ),颗粒表面产生的薄层水膜使颗粒表面粗糙度降低,颗粒与颗粒之间存在不可忽视的表面张力(类似两片中间沾水的玻璃),增加了颗粒之间相互移动的阻力,有关学者在相关研究中将这一现象归结为“假黏聚力”<sup>[5]</sup>。在含水率 $\omega < 4.1\%$ 的条件下对风积沙进行压实,需要克服颗粒之间的陡然增大的表面张力,以及颗粒之间的固有的咬合摩阻力,风积沙颗粒的移动要克服更多的能量,因而风积沙更难以压实。这种情况在B点( $\omega = 4.1\%$ )时达到顶峰,此时孔隙中未出现自由的孔隙水。

在BC段,击实过程中孔隙中开始出现孔隙水。孔隙水的出现一方面使颗粒间的表面张力迅速消失;另一方面,颗粒物质的风积沙作为一种耗散体系<sup>[11,12]</sup>限制了击实能量在风积沙中的传播范围,而孔隙水的出现使击实能量通过孔隙水压力的方式在风积沙中的传播范围更大。这两方面的作用使得风积沙随着含水量的增加而变得更易压实,并在C点( $\omega = 9.8\%$ )时得到一个最佳含水量和最大干密度。

在CD段,随着孔隙水的增加,风积沙体系中空气所占的体积也在趋于最低限度,击实过程中风积沙趋于饱和,孔隙水压力升高更为显著,抵消了部分

击实功,因此导致在相同的压实功下,干密度反而降低。

### 3.2 振动实验

试验振动台振幅0.3~0.6mm,频率30~60HZ,台面尺寸1×1m<sup>2</sup>;试验原材料为干燥的风积沙。

#### 3.2.1 振动加速度

目前,国内对风积沙振动压实的研究多集中在单一地分析振幅、频率等某一振动参数对压实效果影响<sup>[14-16]</sup>。颗粒物质的研究<sup>[13,17,18]</sup>表明,约化振动加速度 $r$  ( $r = A(2\pi f)^2/g$ ,无量纲,其中 $A$ 为振幅, $f$ 为频率, $g$ 为重力加速度)能更好地反映振动条件下颗粒的状态,并进而影响颗粒的振实密度。因此我们着重研究了不同振幅、频率组合条件下不同振动加速度对风积沙振实密度的影响。图3反映了不同振动加速度条件下风积沙的振实情况。

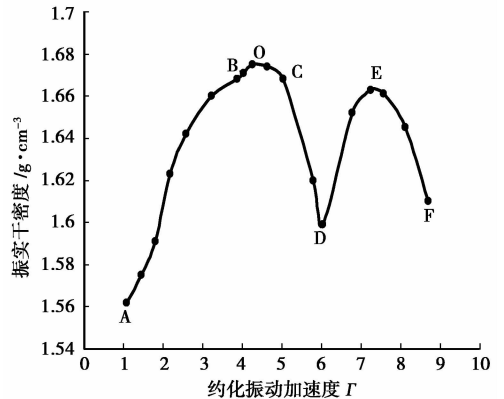


图3 约化振动加速度与干密度的关系

Fig. 3 The relation between vibration acceleration and dry density

在ABOC段( $1.08 \leq r < 5.03$ ),大颗粒游离初始位置,风积沙体系中出现新的孔隙,小的颗粒填充于这些孔隙之间并向下运动,当体系再次达到稳定结构的时候,小颗粒向下运动结束,这一阶段为颗粒物质的“阻碍巴西坚果效应”;其中,在BOC段( $A = 0.3 \sim 0.6\text{mm}$ ,对应 $f$ 为40~50Hz)风积沙达到较大的振实密度,在O点, $A = 0.4\text{mm}$ , $f = 48\text{Hz}$ 时达到最大的振实密度 $1.674 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,此时,小颗粒最大程度地填充于大颗粒的孔隙中。

在CD段( $5.03 \leq r < 6.04$ ),短时间内形成大量孔隙,小颗粒落到风积沙体系底部,较大的颗粒留在顶部,即为颗粒物质的“巴西坚果效应”;由于振动产生的这种分层效应,使粒径近于相同的颗粒堆积在一起形成对每一层而言的最差级配,风积沙体系

松散,并在 D 点处达到一个干密度的极小值  $1.599 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。

在 DE 段( $6.04 \leq r < 7.24$ ),随着振动加速度的增大,小颗粒开始通过大颗粒的孔隙向上运动,并重新填充于大颗粒的孔隙之间,类似于 ABOC 段的“阻碍巴西坚果效应”,不同的是此时小颗粒向上运动,并在 E 点  $r = 7.24$  时得到一个振实密度的极大值  $1.663 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,但低于 O 点的振实密度。

在 EF 段,随着  $r$  的继续增大,小颗粒继续向上运动,并最终分布在风积沙体系的上部,而大颗粒分布在底部,形成颗粒物质的“反巴西坚果效应”;同理,由于振动产生的这种分层效应,使风积沙的振实密度降低。

### 3.2.2 振动时间

我们选择  $A = 0.4 \text{ mm}$ ,  $f = 48 \text{ Hz}$  的振动参数,记录了 180s 时间段内风积沙的密度变化,试验结果如图 4:

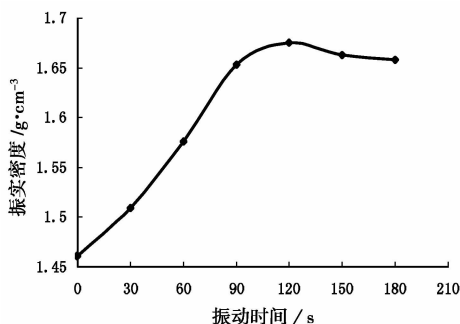


图 4 振动时间对振实密度的影响

Fig. 4 Effects of vibration time on compaction density

从图 4 可以看出,振实密度一开始随振动时间的增加而迅速增大,至 120s 左右达到最大的振实密度  $1.674 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ;此后,随着振实时间的增加,振实密度开始逐渐降低。颗粒物质的挤压膨胀效应表明,已经达到紧密排列的颗粒物质在任何外在作用下都会发生体积膨胀。已经达到最大振实密度的风积沙继续振动,体积会增大,从而导致干密度的下降。

## 4 现场压实试验

水在风积沙的压实过程中扮演着不同的作用,风积沙的重型击实试验表明风积沙具有干压实特性。在试验过程中得到的最优含水率 9.8% 条件下虽然能得到略高于干压实的最大干密度

( $1.683 \text{ vs } 1.648 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ),但考虑到沙漠地区干旱、缺水的自然条件及在拌合过程中水分的强烈蒸发导致的不确定性,我们对全线的风积沙路基采用干压实的施工工艺。

通过振动试验我们能得到高于干压实条件下重型击实的风积沙最大干密度 ( $1.674 \text{ vs } 1.648 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ),袁玉卿<sup>[15]</sup>等人的研究表明配重条件下的振动能得到更大的干密度。因此,我们在施工过程中选择重型振动压路机而非重型静碾压路机对风积沙路基进行压实。

室内振动试验结果表明,风积沙路基的压实效果与振动加速度(频率、振幅)、振动时间有密切关系。在现场施工压实过程中,我们对压路机的参数选择为:频率  $f = 48 \text{ Hz}$ ,振幅  $A = 0.4 \text{ mm}$ ,振动压实速度控制在  $4 \sim 5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。在振动压实前,先用履带式挖掘机进行整平。通过压实遍数来控制振动时间,12 标段某一工程段的振动压实结果(5mm 时的压实度  $K$  与 CBR 值)如图 5 和图 6 所示。

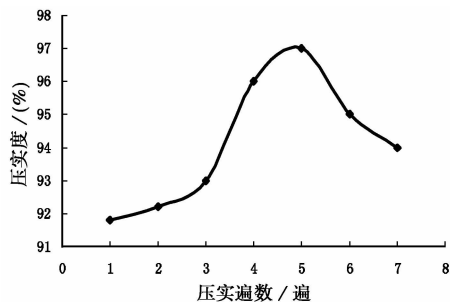


图 5 压实遍数与压实度的关系曲线

Fig. 5 Curve of compaction times and compaction degree

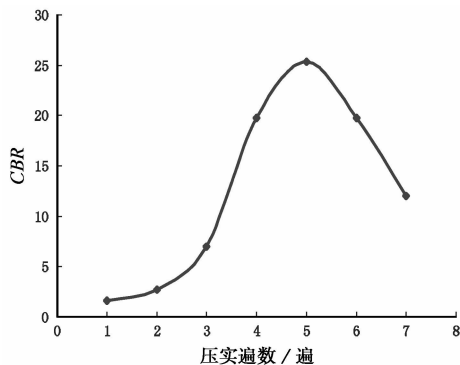


图 6 压实遍数与 CBR 值的关系曲线

Fig. 6 Curve of compaction times and CBR

从图 5 和图 6 可以看出,压实度  $K$  和 CBR 值在初始阶段均随着压实遍数的增加而迅速增大,在压实 5 遍后二者均达到最大值  $K_{\max} = 96.8$  和  $CBR_{\max} =$

25.3。此后,继续增加压实遍数,二者均呈下降趋势,这与室内振动试验振动时间对振实密度的影响规律一致,说明风积沙在一定的振动时间内能达到最佳的压实效果,如果超过这一时间,会破坏已经产生的密实结构,产生“过振”现象,导致压实度和 CBR 值的下降。

## 5 结 论

将风积沙作为一种颗粒物质看待,并运用颗粒物质的相关理论能更好地解释风积沙在压实过程中表现的工程特性和压实机理。本文的研究表明:

(1) 风积沙具有干压实特性,水在风积沙的压实过程中扮演着不同的作用。

(2) 振动加速度与振动时间影响着风积沙“巴西坚果效应”与“反巴西坚果效应”的转化,进而影响风积沙的压实密度,二者均存在一个产生最大振实干密度的最优值。

(3) 现场压实试验表明,通过控制振动压路机的相关参数和压实遍数,风积沙路基可以达到最优的压实效果。

(4) 风积沙的振动试验多停留在唯象的描述上,其机理需要从颗粒物质内部应力的分布与传递、自振周期等多个角度进行进一步的探索。

## 参 考 文 献

- [1] P. G. de Gennes. Granular matter: A tentative view. *Reviews of Modern Physics*, 1999, **71**(2): S374 ~ S382.
- [2] 中国西部环境与生态科学数据中心. 中国沙漠 10 万分布图集介绍[M]. 2006, 8.  
China Environment and Ecological Science Data Center. Introduction of Distribution Atlas of Desert, 100 000 to 1. 2006, 8.
- [3] 郭建军, 牛玺荣. 沙漠公路路基设计浅论[J]. 山西建筑, 2007, **1**: 332 ~ 333.  
Guo Jianjun, Niu Xirong. On the design of highway subgrade in desert. *Shanxi Architecture*, 2007, (1): 332 ~ 333.
- [4] 彭世古, 陈晓光. 沙漠地区公路设计、施工与环保养护[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.  
Peng Shigu, Chen Xiaoguang. The Design and Construction and Environmental Protection of Highway in Desert. Beijing: China Communication Press, 2004.
- [5] 新疆交通科学研究所. 沙漠地区公路建设成套技术论文集[M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.  
Xinjiang Traffic Science Institute. Papers on Complete Sets of Highway Construction Technology in the Desert. Beijing: People's Traffic Press, 2006.
- [6] 张志辉, 李志勇, 彭帝, 等. 风积沙作为路基填料的静力特性研究[J]. 岩土力学, 2007, (12): 2511 ~ 2516.  
Zhang Zhihui, Li Zhiyong, Peng Di, et al. Study of static property of Aeolian sand used as roadbed. *Rock and Soil Mechanics*, 2007, (12): 2511 ~ 2516.
- [7] 杨振茂, 侯永峰, 孔恒, 等. 风积沙的压实特性与循环荷载下变形性状的试验研究[J]. 中国公路学报, 2002, (1): 8 ~ 10.  
Yang Zhenmao, Hou Yongfeng, Kong Heng, et al. Compaction property of aeolian sand and its deformation behavior under cyclic loading. *China Journal Of Highway And Transport*, 2002, (1): 8 ~ 10.
- [8] 中华人民共和国建设部. GB500212001 岩土工程勘察规范(2009 年版)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.  
Construction Ministry of PRC. GB 500212001 Code for Investigation of Geotechnical Engineering (Published in 2009). Beijing: China Architecture and Building Press, 2009.
- [9] 张忠政, 胡林. 颗粒物质表面摩擦性质研究[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2008, **31**(4): 543 ~ 546.  
Zhang Zhongzheng, Hu Lin. Frictional property on the granular materials surface. *Journal of Shanxi University (Nat. Sci. Ed)*, 2008, **31**(4): 543 ~ 546.
- [10] Wittmer J P, Claudin P, Cates M E, et al. An explanation for the central stress minimum in sandpiles[J]. *Nature*, 1996, **382**: 336 ~ 338.
- [11] 王闯, 翟文杰. 考虑双电层作用的电化学边界摩擦模型[J]. 润滑与密封, 2004, (3): 31 ~ 32.  
Wang Chuang, Zhai Wenjie. An electrochemical boundary friction model considering the effect of electric double layer. *Lubrication Engineering*, 2004, **5**(3): 31 ~ 32.
- [12] 陆坤权, 刘寄星. 颗粒物质(上)[J]. 物理, 2004, **33**(9): 625 ~ 635.  
Lu Kunquan, Liu Jixing. Static and dynamic properties of granular matter( I ). *Physics*, 2004, **33**(9): 625 ~ 635.
- [13] 陆坤权, 刘寄星. 颗粒物质(下)[J]. 物理, 2004, **33**(10): 713 ~ 721.  
Lu Kunquan, Liu Jixing. Static and dynamic properties of granular matter( I ). *Physics*, 2004, **33**(10): 713 ~ 721.
- [14] 姬建锋, 陈忠明, 凌国琪. 风积沙最大干密度确定方法的研究[J]. 西北公路, 2004, (4): 1 ~ 4.  
Ji Jianfeng, Chen ZhongMing, Ling Guoqi. Experimental study on maximum dry density of aeolian sand. *Northwest Road*, 2004, (4): 1 ~ 4.
- [15] 袁玉卿, 王选仓. 风积沙压实特性试验研究[J]. 岩土工程学报, 2007, **3**(29): 360 ~ 365.  
Yuan Yuqing, Wang Xuancang. Experimental research on compaction characteristics of aeolian sand. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2007, **3**(29): 360 ~ 365.
- [16] 陈忠达, 李万鹏. 风积沙振动参数及振动压实机理[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2007, **1**(27): 1 ~ 6.  
Chen Zhongda, Li Wanpeng. Vibratory parameters and vibratory compacting mechanism of aeolian sand. *Journal of Chang'an University (Natural Science Edition)*, 2007, **1**(27): 1 ~ 6.

- [17] 汤燕, 胡林, 吴宇, 等. 振动条件下颗粒的分离现象[J]. 大学物理, 2008, 27(6): 42~47.  
Tang Yan, Hu Lin, Wu Yu, et al. Size separation in vibrated granular matter. College Physics, 2008, 27(6): 42~47.
- [18] 姜泽辉, 刘新影, 彭雅晶, 等. 竖直振动颗粒床中的倍周期运动[J]. 物理学报, 2005, 54(12): 5692~5698.  
Jiang Zehui, Liu Xinying, Peng Yajing, et al. Period doubling mo-

tion in vertically vibrated granular beds. Acta Physica Sinica, 2005, 54(12): 5692~5698.

- [19] 孙其诚, 王光谦. 颗粒物质力学导论[M]. 北京: 科学出版社, 2009.  
Sun QiCheng, Wang GuangQian. Introduction to the Mechanics of Granular Material. Beijing: Science Press, 2009.

## 2010 年全国工程地质学术会议 (第二号通知)

### 会议主办单位

中国地质学会工程地质专业委员会

### 会议承办单位

福州大学(环境与资源学院、紫金矿业学院)  
福建省土木建筑学会

### 会议主题及议题

会议主题: 工程地质与海西建设

具体议题包括:

- 工程地质环境与城市发展
- 风化岩残积土及软土的工程性质及处理
- 隧道、地铁等地下空间开发中的工程地质问题
- 复杂气候环境下地质灾害及其防治
- 边坡与基坑工程
- 工程地质勘察、测试、监测与物探新技术
- 资源能源开发的工程地质问题
- 工程地质教育与人才培养

### 大会议时间与地点

会议将于2010年11月17日~11月19日在福州怡山大廈(福州大学学术交流中心)召开。

其中: 11月17日全天报到(工程地质专业委员会委员、IAEG会员请于11月16日报到, 17日开专委会及IAEG联席会议); 11月18日~11月19日学术大会; 11月20日~22日会后工程地质考察。。

### 大会学术报告初步议程

最终议程在会议注册时确定。大会特邀学术报告, 每人报告25分钟。分组报告请作者踊跃报名, 每人报告15分钟。

### 会议费用

1、会议代表注册费800元(含会议全部资料及大会期间活动内容), 在校学生400元(凭学生证)(仅包括会议论文集、参加大会和各分会, 含餐费), 陪同代表400元(含宴会等)。

2、住宿费: 福州怡山大廈(三星级)、福州凤凰假日酒店(三星级)、福州空军招待所可供选择。标准双人间250~300元/间/天, 以及150~180元/天左右。

### 会议考察路线

线路一: 武夷山丹霞地貌考察(世界自然遗产及世界文化遗产)  
线路二: 土楼工程建筑考察(世界文化遗产)

线路三: 厦门海岸地貌及漳州滨海火山地质考察

线路四: 台湾海岸地貌考察(报名及相关咨询: 报名截止日期9月30日, 自行办理通行证, 务必在10月30日之前用EMS把通行证及相关资料寄至福州东大路73号(原东湖宾馆内)陈菁(收)。报名及咨询负责人陈菁 电话0591-87664125, 13905929557)

(注: 报名时请说明“福州工程地质会议代表”, 组织与费用由会务组联系旅行社具体组织和安排, 费用根据当时的情况确定, 费用自理)。

### 会议交通

(1) 飞机: 福州长乐国际机场乘机场大巴至终点站阿波罗大酒店, 票价约20元, 行程约1h。到阿波罗大酒店出租车直接可达怡山大廈, 路程约5km。如果直接在机场打的直接到达怡山大廈, 费用约120元。

(2) 火车: 出火车站可直接打的至怡山大廈, 路程约9km, 费用约25元。

(3) 公交车: 5路(火车站-洪山西客站)、55路(火车站-省中医学院新区)22路(火车站-农林大学)均到茶园山小学站下车, 下车后往前走30m至工业路口左拐, 再走100m达怡山大廈。

### 会议秘书组及联系方式

大会秘书组联系方式:

福建省福州大学旗山校区环境与资源学院资源与城乡建设系 邮政编码: 350108

联系人: 樊秀峰(13960883269)

王浩(13850112066)

电子信箱: geo2010@126.com

geo2010@163.com

传 真: 0591-22866070

大会网站: <http://er.fzu.edu.cn/Geo2010.jsp>

### 会议回执

会议回执请于2010年11月5日前反馈大会秘书处。

中国地质学会工程地质专业委员会  
福 州 大 学  
福 建 省 土 木 建 筑 学 会

2010年8月10日