

文章编号: 1000-7598 (2010) 09-2823-06

堆场疏浚淤泥含水率分布规律调查研究

汪顺才¹, 张春雷¹, 黄英豪², 刘青松², 赵 干², 朱 伟^{1,2}

(1. 河海大学 环境学院, 南京 210098; 2. 河海大学 岩土工程科学研究所, 南京 210098)

摘 要: 堆场淤泥的沉积、固结过程直接影响到后续淤泥的处理方法和经济成本。通过在南水北调东线白马湖现场使用绞吸式挖泥船疏浚白马湖底泥, 吹淤进入堆场, 研究了堆场内淤泥含水率随时间、沿程和堆场深度上的变化规律。结果表明, 堆场内疏浚淤泥含水率随时间逐渐降低, 随沿程逐渐升高, 130 d 后吹淤口处含水率降低到 20%~50%之间; 160 d 后, 距离吹淤口 100 m 距离吹淤口 200 m 处和处含水率维持在 100%~150%和 100%~170%之间; 随深度逐渐降低, 到 40 cm 深时, 含水率降低减缓, 维持在 140%左右; 疏浚泥中黏粒含量随着距离吹淤口距离的增大而增多, 随着深度的加深而减小, 疏浚泥的渗透系数随着距离吹淤口距离的增大而减小, 随深度的加深而增大。

关 键 词: 疏浚; 淤泥; 含水率; 渗透系数

中图分类号: X 705; X 524

文献标识码: A

Study of diversification of water contents in dredged sediment storage yard

WANG Shun-cai¹, ZHANG Chun-lei¹, HUANG Ying-hao², LIU Qing-song², ZHAO Gan², ZHU Wei^{1,2}

(1. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Geotechnical Research Institute, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Dredged sediment sedimentation and consolidation progress in the storage yard directly affects the subsequent disposal method and cost. This research relying on the east line of South-to-North Water Transfer Project, the fine sediments were dredged from Baima Lake to the nearer storage basin with a cutter suction dredger. The rules of water contents changing with the deposit time, space and the depth of the storage yard were studied. Results showed that the water content of the dredged sediment was reduced gradually with time and increased with the distance. The water content in the entrance was 20%-50% after 130 days; after 160 days, 100%-150% at 100 m away from the entrance, and 100%-170% at 200 m away from the entrance. The water content of the dredged sediment was reduced gradually by the depth of the storage yard, the water content was achieve to 140% when the depth of the dredged sediment was 40 cm. The clay content of dredged sediment was increased with the distance of the entrance and reduced by the depth of the storage yard. The permeability coefficient of the dredged sediment was reduced with the distance of the entrance and increased with the depth of the storage yard.

Key words: dredging; sediment; water content; permeability coefficient

1 引 言

随着工农业和城市的发展, 河航道疏浚清淤在基础设施建设中占据重要地位, 加大清淤挖沙力度, 提高河航道排灌、泄洪及航运能力, 改善水体环境已成为刻不容缓的重要任务^[1]。据调查^[2], “九五”期间, 我国黄河、淮河、辽河、海河、太湖、洞庭湖、鄱阳湖等重点流域的清淤工作量约为 7 亿 m³, 预计 2001—2010 年在上述流域计划清淤 26 亿 m³,

平均年计划清淤量超过 2 亿 m³。南水北调东线江苏段也涉及到许多河道清淤^[3], 如三阳河、潼河河道工程涉及疏浚开挖河道 44.25 km, 金宝河道工程涉及疏浚开挖河道 23.8 km, 高水河河道疏浚 3.3 km。清淤是将河道、湖泊等的淤泥从水底切削、收集、抽取、输送至特定的地区集中进行处理的全过程^[4]。如何进行清淤、清出的淤泥如何处理? 是当今工程界非常关心的问题, 开展我国河航道清淤治本及相关问题的研究势在必行。

收稿日期: 2009-06-18

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(No. 2009B17914); 海洋公益性行业科研专项经费项目(No., 200705006); 水利部公益性行业科研专项经费项目资助(No. 200701045, No. 200801065); 河海大学自然科学基金资助项目(No. 2008427611)。

第一作者简介: 汪顺才, 男, 1971 年生, 博士, 主要从事固体废物处理处置及资源化利用方面的研究。E-mail: wshcai@hhu.edu.cn

国外发达国家对清淤、淤泥的脱水处理以及脱水后淤泥的综合利用进行了广泛深入研究,并形成产业^[4]。国外淤泥脱水方法大致有以下几种:固化处理、分级压榨脱水、移动式连续脱水和高压脱水。

目前国内清淤(疏浚吹填)行业中对耙吸式、绞吸式等挖泥船得到的淤泥主要采取堆泥场的方式进行处理。淤泥的脱水是自然风干,该法占地而积大,脱水时间长,受污染淤泥还易产生二次污染^[5-13]。但是,自然风干过程中疏浚泥含水率变化规律及其影响因素研究较少,只有了解了疏浚泥含水率变化规律及其影响因素,才能有目的对疏浚泥进行处理,为解决河道整治工程中的疏浚泥处理及征地问题提供理论支撑。

2 研究背景及地点

2.1 研究背景

研究依托于南水北调东线江苏段的河道淤泥疏浚工程,针对江苏省南水北调工程科技创新项目“堆场淤泥固化周转使用技术及工程应用研究”中的堆场疏浚泥含水率变化规律研究,在白马湖穿湖段工程的3号堆场中进行,为解决河道整治工程中的疏浚泥处理及征地问题提供理论支撑。取样点布置如图1所示。

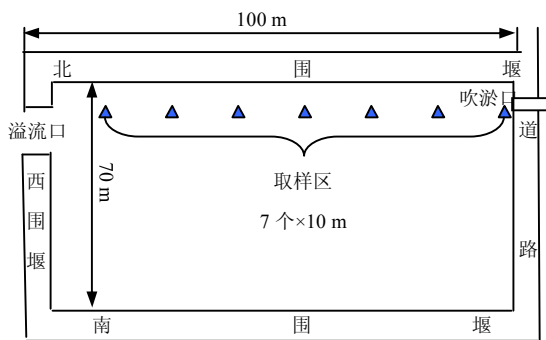


图1 取样点布置图

Fig.1 The arrangement plan of the sample dot

3 试验材料和方法

3.1 试验材料

淤泥基本性质指标见表1, 颗分曲线见图2。

表1 淤泥基本性质

Table 1 The basic properties of dredged sediment

含水率/%	密度/(g/cm ³)	土粒相对密度	孔隙比	黏粒含量/%
36.9	1.15	2.65	9.8	33
有机质/%	塑限/%	液限/%	塑性指数	pH
2.8	38	89	51	6.9

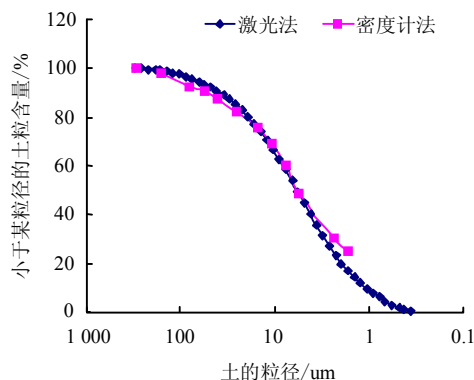


图2 疏浚泥颗粒分析曲线

Fig.2 The distribution curve of the grain of the dredged sediment

3.2 试验仪器

试验仪器包括取泥器: 自制, 见图3; 烘箱: 国产鼓风式电烘箱 0~300 ℃; 天平: 称量 2 000 g, 感量为 0.01 g; 激光粒度仪: Mastersizer 2000。



图3 疏浚泥取样器

Fig.3 The sampler of dredged sediment

3.3 试验方法

利用自制的取泥器从堆场进行取样, 取出的柱状样进行分段(按 5 cm 间距进行)处理, 并用塑料袋封装, 然后进行室内含水率试验和颗粒分析试验。含水率试验和颗粒分析试验参见《土工试验方法标准》^[14]。

4 试验结果及分析

4.1 时间对堆场疏浚泥含水率影响

南水北调东线一期工程淮安四站输水河道工程淮安实施段于 2007 年 2 月 25 日开始吹淤, 白马湖底泥通过绞吸式挖泥船进行疏浚, 疏浚泥通过管道输送到研究堆场, 吹淤于 2007 年 3 月 15 日结束。

为了探究堆场含水率的变化规律, 定期从堆场中取出疏浚泥进行含水率检测, 堆场疏浚泥含水率随时间变化规律如图4所示。

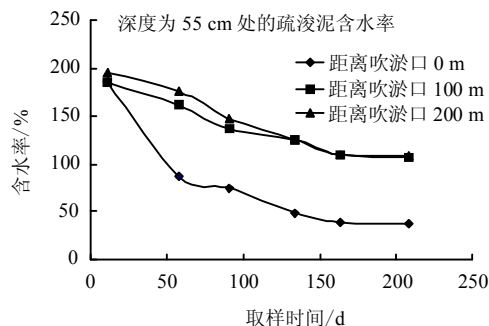


图4 堆场疏浚泥含水率随时间变化曲线

Fig.4 Water content of dredged sediment distribution by the time of the store yard

从图4可以看出,随着时间的延长,堆场疏浚泥含水率呈2阶多项式降低趋势,可用式(1)~(3)表示堆场疏浚泥含水率与时间的关系。根据式(1)和式(3),只需经过几组疏浚泥含水率试验确定出2阶多项式参数,用来预估堆场疏浚泥在某时间的含水率。

距离吹淤口 0 m,

$$\left. \begin{aligned} y &= 0.0056x^2 - 1.8896x + 195.65 \\ R^2 &= 0.9661 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

距离吹淤口 100 m,

$$\left. \begin{aligned} y &= 0.0015x^2 - 0.7452x + 194.26 \\ R^2 &= 0.9859 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

距离吹淤口 200 m,

$$\left. \begin{aligned} y &= 0.0015x^2 - 0.8062x + 208.74 \\ R^2 &= 0.9749; y = ax^2 + bx + c \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中: y 为堆场疏浚泥含水率; x 为时间 (d); a 、 b 、 c 为 2 阶多项式参数; R^2 为相关系数。

从图4还可以看出,堆场疏浚泥含水率随时间逐渐降低,一定时间后疏浚泥含水率变化不大,130 d后吹淤口处含水率维持在 20%~50%之间,160 d后距离吹淤口 100 m 处含水率维持在 100%~150%之间,距离吹淤口 200 m 处含水率维持在 100%~170%之间。因为在吹淤过程中湖底底泥经疏浚被充分分散,进入堆场后疏浚泥开始沉积,沉积的过程中较大颗粒的沉积较快,较小的颗粒沉积较慢,疏浚泥的粒径随着距离吹淤口距离的增加呈逐渐减小的趋势,造成疏浚泥的渗透系数随着距离吹淤口距离的增加而逐渐减小。在自重固结作用下,随着距离吹淤口距离的增加,排水能力逐渐减弱,因而

造成在相同时间内,疏浚泥含水率随距离吹淤口距离的增加而升高。同时,疏浚泥的粒径随着深度的增加呈逐渐增大的趋势,造成疏浚泥的渗透系数随着深度增加而增大,在自重固结作用下,随着深度的增加,排水能力逐渐增强,因而造成在相同时间内,疏浚泥含水率随着深度的增加而减小。

4.2 沿程距离对堆场疏浚泥含水率影响

为了考察沿程距离对疏浚泥含水率的影响,在堆场中设置了 7 个取样点进行含水率检测和颗粒分析,试验结果如图 5~8 所示。从图 5 可以看出,疏浚泥含水率随着距离吹淤口距离呈 3 阶多项式升高趋势,可以用式 (4) 表示堆场疏浚泥含水率与距离吹淤口距离的关系。根据式 (4),只需经过几组疏浚泥含水率试验确定出 3 阶多项式参数就可以用来预估堆场疏浚泥在某处的含水率。

$$\left. \begin{aligned} y &= -0.0014x^3 + 0.1599x^2 - 2.8998x + 45.307 \\ R^2 &= 0.9919; y = ax^3 + bx^2 + cx + d \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中: y 为堆场疏浚泥含水率; x 为距离吹淤口距离 (m); a 、 b 、 c 和 d 为 3 阶多项式参数。

从图 5 还可以看出,堆场疏浚泥含水率随距离吹淤口距离的增加而升高,距离吹淤口 50 m 后,疏浚泥含水率维持在 140%左右。因为疏浚泥在沉积的过程中,较大颗粒的沉积较快,较小的颗粒沉积较慢,疏浚泥的粒径随着距离吹淤口距离的增加呈逐渐减小的趋势,造成疏浚泥的渗透系数随着距离吹淤口距离的增加而逐渐减小,在自重固结作用下,随着距离吹淤口距离的增加,排水能力逐渐减弱,因而造成在相同时间内,疏浚泥含水率随距离吹淤口距离的增加而升高。

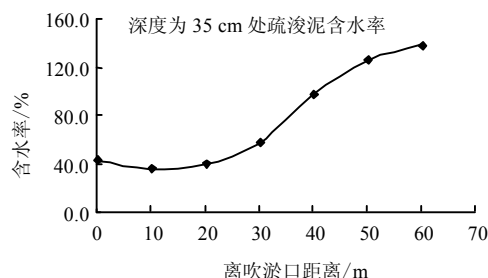


图5 堆场疏浚泥含水率随距离变化曲线

Fig.5 Water content of dredged sediment distribution by the distance of the store yard

为了明确疏浚泥含水率随着距离吹淤口距离变化规律的机制,对距离吹淤口不同距离的疏浚泥进

行颗粒分析,疏浚泥颗粒分析曲线如图6、7所示。从图6、7可以看出,随着距离吹淤口距离的增大,疏浚泥中黏粒含量逐渐增多;根据哈臣^[15]提出的经验关系式 $k(\text{cm/s})=d_{10}^2$ 及图8可知,疏浚泥中 d_{10} 随着距离吹淤口距离的增大而减小,因而疏浚泥的渗透系数随着距离吹淤口距离的增大而减小;在自重固结作用下,随着距离吹淤口距离的增加,排水能力逐渐减弱,造成在相同时间内,疏浚泥含水率随距离吹淤口距离的增加而升高。

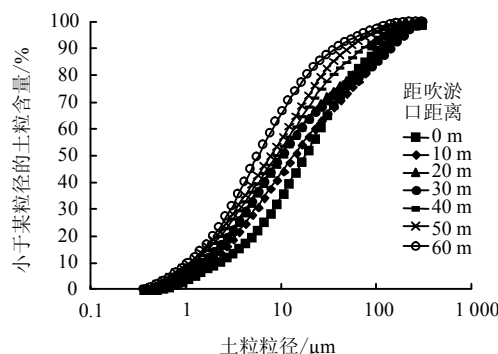


图6 堆场疏浚泥颗分随距离变化曲线

Fig.6 Curves of dredged sediment distribution with the distance of the storage yard

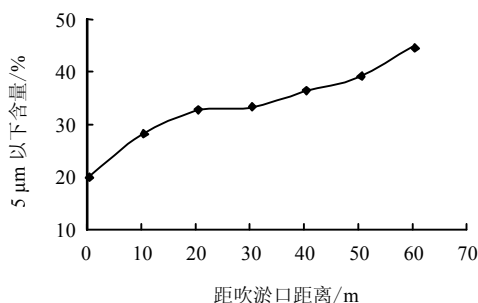


图7 黏粒含量随距离变化曲线

Fig.7 Changing curve of clay content of dredged sediment with the distance of storage yard

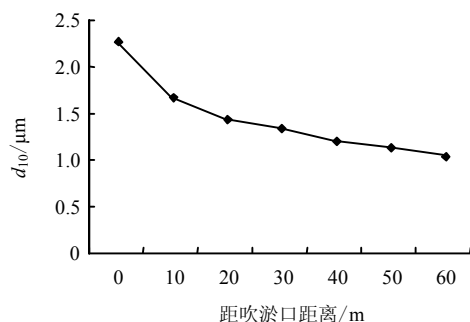


图8 d_{10} 随距吹淤口距离的变化曲线

Fig.8 The curve of d_{10} distribution with the distance of the storage yard

4.3 深度对堆场疏浚泥含水率影响

图9显示堆场疏浚泥含水率随深度呈对数关系,可以用式(5)表示堆场疏浚泥含水率与深度的关系。根据式(5),只需经过几组疏浚泥含水率试验确定出对数关系的参数就可以用来预估堆场疏浚泥在某深度的含水率。

$$\left. \begin{aligned} y &= -18.943 \ln(x) + 212.63; R^2 = 0.971 \\ y &= a \ln(x) + b \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中: y 为堆场疏浚泥含水率; x 为深度 (cm); a 和 b 为对数关系式参数。

从图9还可以看出,堆场疏浚泥含水率随深度逐渐降低,到40 cm时含水率降低减缓,几乎不变,维持在140%左右。这是由于疏浚泥颗粒在沉积的过程中,较大颗粒的沉积较快,较小的颗粒沉积较慢,疏浚泥的粒径随着深度的增加呈逐渐增大的趋势,造成下部疏浚泥的渗透系数逐渐增大。另一方面,随着深度的增加,下部淤泥的附加应力逐渐增加。二者的共同作用下使一定深度以下淤泥的固结度逐渐增加,含水率逐渐减小。

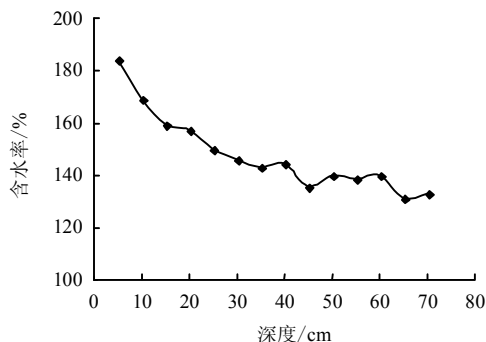


图9 堆场疏浚泥含水率随深度变化曲线

Fig.9 Water content of dredged sediment distribution with the depth of storage yard

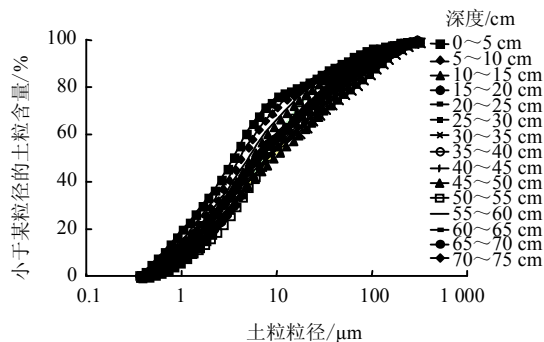


图10 淤泥颗粒分析曲线

Fig.10 The distribution curves of grain of dredged sediment

为了明确上述原理,对不同深度的疏浚泥进行颗粒分析,疏浚泥颗粒分析曲线如图10~12所示。

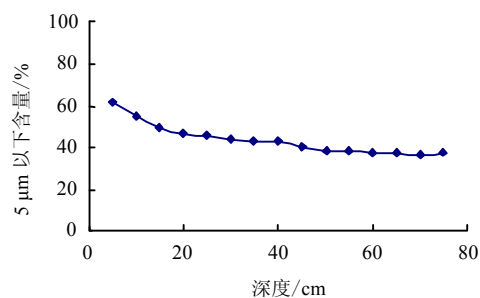
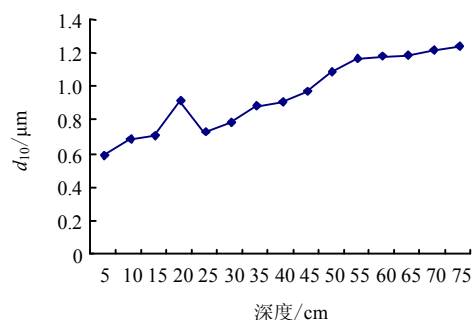


图 11 黏粒含量随深度变化曲线

Fig.11 Changing curve of clay content of dredged sediment with depth of storage yard

图 12 d_{10} 随深度的变化曲线Fig.12 Changing curve of d_{10} distribution with the depth of storage yard

从图 10~12 还可以看出,随着堆场深度的加深,疏浚泥中黏粒含量逐渐降低, d_{10} 逐渐增大,到 55 cm 时,疏浚泥中粘粒含量和 d_{10} 随深度几乎不变,验证了上述机制。由于疏浚泥细颗粒大部分分布在浅层中,致使浅层疏浚泥的渗透系数较小,排水固结困难。若需处理堆场疏浚泥,降低疏浚泥的含水率,则需改善浅层疏浚泥的渗透系数,加速排水固结。

5 结 论

(1) 堆场疏浚泥含水率随着时间的延长逐渐降低,一定时间后疏浚泥含水率不再变化。130 d 后吹淤口处含水率维持在 20%~50%之间,160 d 后距离吹淤口 100 m 处含水率维持在 100%~150%之间,距离吹淤口 200 m 处含水率维持在 100%~170%之间。

(2) 疏浚泥含水率随着距离吹淤口距离的增加而升高,距离吹淤口 50 m 后,疏浚泥含水率维持在 150%左右;疏浚泥中黏粒含量随着距离吹淤口距离的增大而增多,疏浚泥的渗透系数随着距离吹淤口距离的增大而减小。

(3) 堆场疏浚泥含水率随深度逐渐降低,到 40 cm 时含水率降低减缓,几乎不变,维持在 140%

左右;疏浚泥中黏粒含量随着堆场深度的加深逐渐降低,疏浚泥的渗透系数随着堆场深度的加深而增大。

(4) 为了资源化利用堆场疏浚泥,必须降低疏浚泥含水率,改善疏浚泥的渗透系数,加速排水固结。

参 考 文 献

- [1] 姬凤玲,朱伟,张春雷.疏浚淤泥的土工材料化处理技术的试验与探讨[J].岩土力学,2004,25(12):1999—2002.
JI Feng-ling, ZHU Wei, ZHANG Chun-lei. Study of treatment technology of dredging sludge with geosynthetizing method[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2004, 25(12): 1999—2002.
- [2] 乔世珊.挖泥船的选型探讨[J].水利电力施工机械,1996,18(4):3—9.
QIAO Shi-shan. The principle of dredge model selection[J]. *Construction Machinery for Hydraulic Engineering & Power Station*, 1996, 18(4): 3—9.
- [3] 南水北调东线第一期工程可行性研究报告,南水北调东线江苏水源有限责任公司,2005.
- [4] 许平增.城市清淤设备淤泥脱水技术的探讨[J].建设机械技术与管理,2004,17(3):64—66.
XU Ping-zeng. Exploration on water-deprivation technology for urban silt removal equipments[J]. *Construction Machinery Technology & Management*, 2004, 17(3): 64—66.
- [5] 霍守亮,席北斗,荆一凤,等.环保疏浚底泥干化技术研究[J].环境工程,2007,25(5):72—75.
HUO Shou-liang, XI Bei-dou, JING Yi-feng, et al. Research on dredging sludge dewatering technologies for environmental dredging[J]. *Environmental Engineering*, 2007, 25(5): 72—75.
- [6] 刘爱菊,孔繁翔,史小丽,等.底泥疏浚对湖泊沉积物的生态毒性效应的影响[J].中国环境科学,2006,26(5):565—569.
LIU Ai-ju, KONG Fan-xiang, SHI Xiao-li, et al. Influence of sediment dredging on the ecotoxic effect of lake sediments[J]. *China Environmental Science*, 2006, 26(5): 565—569.
- [7] 吴永红,胡俊,金向东,等.滇池典型湖湾沉积物氮磷

- 化学特性及疏浚层推算[J]. 环境科学, 2005, 26(4): 77—82.
- WU Yong-hong, HU Jun, JIN Xiang-dong, et al. Chemical characteristics of nitrogen and phosphorus in the sediments of the typical bays in Dianchi lake and calculation of their dredging layers[J]. **Environmental Science**, 2005, 26(4): 77—82.
- [8] 苏德纯, 胡育峰, 宋崇渭, 等. 官厅水库坝前疏浚底泥的理化特征和土地利用研究[J]. 环境科学, 2007, 28(6): 1319—1323.
- SU De-chun, HU Yu-feng, SONG Chong-wei, et al. Physicochemical properties of Guanting reservoir sediment and its land application[J]. **Environmental Science**, 2007, 28(6): 1319—1323.
- [9] KIM L H, EUI SO C, MICHAEL K. Sediment characteristics, phosphorus types and phosphorus release rate between river and lake sediments[J]. **Chemosphere**, 2003, 50: 53—61.
- [10] LOGEN T J, HARRISON B J. Physical characteristics of alkaline stabilized sewage sludge(N-Viro soil) and their effects on soil physical properties[J]. **Environ Qual**, 1995, 24: 153—164.
- [11] SU D C, WONG J W C. The growth of corn seedling in alkaline coal fly ash stabilized sewage sludge[J]. **Water, Air and Soil Pollution**, 2002, 133: 1—13.
- [12] SU D C, WONG J W C. Chemical speciation and phytoavailability of Zn, Cu, Ni and Cd in soil amended with fly ash-stabilized sewage sludge[J]. **Environmental International**, 2003, 29: 895—900.
- [13] WAUER G, GONSIORCZY K T, KRETSCHMER K, et al. Sediment treatment with a nitrate storing compound to reduce phosphorus release[J]. **Water Research**, 2005, 39(3): 494—500.
- [14] 中华人民共和国水利部. GB/T50123—1999 土工试验标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 1999.
- [15] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.

岩土塑性力学

著译者: 郑颖人等 版次: 第一版 出版时间: 2010—5 开本: 16 开本 页数: 430 装帧: 精装

出版单位: 中国建筑工业出版社 标准书号: ISBN9787-112-11668-3 定价: 69.00 元

【内容简介】本书是一本比较系统和实用的岩土塑性力学基本理论的基础理论著作,也是一本具有较多原创性论著的学术著作。本书以系统阐述岩土塑性基本理论、岩土类材料实用建模方法与极限分析方法为目的,并适用于作为研究生教材与参考书。因而要求既能提供反映岩土类摩擦材料力学特征与变形机制的塑性理论,而区别于经典塑性理论;又能较系统、简明地阐明岩土塑性力学原理。

【读者对象】本书适用于土建类建筑工程专业及岩土工程设计科研人员。

【目 录】第一章概论;第二章应力与应变;第三章岩土弹性力学与弹性变形能;第四章屈服条件与破坏条件;第五章塑性位势理论;第六章加载条件与硬化规律;第七章弹塑性本构关系;第八章 加卸载准则;第九章应变空间中表述的弹塑性理论;第十章考虑应力主轴旋转的广义塑性力学;第十一章岩土非线性弹性模型;第十二章岩土弹塑性静力模型;第十三章土的动力模型;第十四章平面应变极限分析理论;第十五章经典塑性平面应变问题应力场的滑移线解答;第十六章广义塑性平面应变问题应力场的滑移线解答;第十七章经典塑性中的极限分析定理;第十八章经典塑性与广义塑性中极限分析的上限法;第十九章有限元极限分析法及其应用。参考文献。附录。名词索引。外国作者中译名。著者简介。

(信息来源: 中国建筑书店)