

运用静力触探技术探求水坠坝流态区位置的研究

——以陕西省志丹县前拐沟淤地坝为例

杨森浩¹, 颜婷燕², 安亚明¹, 霍毅¹, 朱首军^{3*}, 白瑶³

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 2. 北京市水土保持工作总站, 北京 100038;
3. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100)

摘要:水坠法修筑淤地坝技术近年来得到了广泛的应用和推广,但流态区的存在使得该技术具有一定的安全隐患,对于流态区位置的探求,常规的土钻法费时费力。以陕西省志丹县前拐沟淤地坝为研究对象,运用静力触探技术,结合 SURFER 软件作图探求流态区位置,并验证坝体稳定性。采用该方法探求水坠坝流态区位置,具有操作简单、快速精确的特点。

关键词:水坠坝;流态区;静力触探

中图分类号:S714.7 文献标志码:A 文章编号:1001-7461(2015)03-0187-04

Seeking the Flow Condition Location of Sluicing-siltation Earth Dam with Cone Penetration Test

——A Case Study of Qianguaigou Sluicing-siltation Earth Dam in Zhidan County of Shaanxi Province

YANG Sen-hao¹, YAN Ting-yan², AN Ya-ming¹, HUO Yi¹, ZHU Shou-jun^{3*}, BAI Yao³

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Beijing Soil and Water Conservation Center, Beijing 100038, China; 3. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Building check dams with sluicing-siltation method was widely used and generalized in recent years. However, there existed potential risk for the existence of flow condition. Much time was wasted to seek the flow condition location with regular soil drilling method. Taking Qianguaigou warping dam in Zhidan County of Shaanxi Province as research object, the cone penetration test was used to seek the flow condition location and verify the stability of dam with the SURFER software. The method adopted in this study is easy to control, quick and accurate.

Key words: sluicing-siltation earth dam; flow condition; cone penetration test

黄土高原地区是我国经济最不发达的地区之一,水土流失极为严重^[1-2]。淤地坝是黄土高原上具有悠久历史的水土保持工程措施,它既能拦泥拦沙,又能够蓄水淤地,增加农民收入,促进生态恢复^[3-4]。水坠法修筑淤地坝技术是20世纪60年代由水枪冲土筑坝方法逐渐发展而来的^[5],因其对施工的要求低,技术简单,易于操作,得到了广泛的应用和推广。但是水坠法筑坝施工期冲填体具有含水率高,强度

小的特点,即使在成坝后数年内,坝体内仍会存在一个含水率大于液限的“流态区”^[6]。“流态区”是指冲填坝体内含水率大于液限的区域。流态区的存在给边埂一个很大的推力,这是水坠坝产生滑坡、鼓肚的主要根源,也是制约水坠坝大面积推广的主要原因。因此,探求水坠坝流态区的位置对于分析坝体稳定与安全具有十分重要的意义。

目前探求水坠坝流态区位置的方法局限于土钻

收稿日期:2015-01-23 修回日期:2015-02-15

基金项目:陕西省水保局重点科研项目(0020701)。

作者简介:杨森浩,男,在读硕士,研究方向:水土保持工程。E-mail:594216310@qq.com

*通信作者:朱首军,男,博士,副教授,硕士生导师,研究方向:水土保持工程、小流域综合治理。E-mail:zhushoujun@nwsuaf.edu.cn

1.2.3 坝体含水率测定试验 水坠法筑坝通常采用碾压法封顶,该坝坝顶存在 4 m 深度的碾压层,碾压层干密度较大,土钻不易取土,且本研究主要对水坠冲填体进行含水率变化分析,故含水率试验应在坝坡上进行。根据前期静力触探试验结果,选取贯入阻力值变化范围大的探测孔,在其附近 20 cm 范围内,选择适宜位置,使用土钻取土,每隔 10 cm 取样,测定不同深度土样质量含水率(烘干法,105~110 °C,烘 10 h),土钻钻探深度不<8 m。本次含水率测定试验实际选取上游坝坡 1 号孔和下游坝坡 1 号孔。

2 结果与分析

2.1 选用液性指数来判别粘性土的软硬程度

常规土工试验结果显示,筑坝土料液限含水率 $\omega_L = 27.89\%$,塑限含水率 $\omega_p = 17.05\%$,塑性指数 $I_p = 10.84$,属低液限粘土。《土力学》^[14]中常采用液性指数 I_L 来判别粘性土的软硬程度。

表 1 粘性土的状态

Table 1 The status of cohesive soil

状态	坚硬	硬塑	可塑	软塑	流塑
液性指数	$I_L \leq 0$	$0 < I_L \leq 0.25$	$0.25 < I_L \leq 0.75$	$0.75 < I_L \leq 1$	$I_L > 1$

注: I_L 为液性指数。

表 2 单桥触探参数判别土的塑性状态(规程建议值)

Table 2 Single bridge cone penetration parameters used to distinguish the status of soil plasticity (advised value)

I_L	0	0.25	0.50	0.75	1
$P_s/(MPa)$	5~6	2.7~3.3	1.2~1.5	0.7~0.9	<0.5

为探求不同深度土层含水率与比贯入阻力值是否具有相关性及其显著性水平,运用 SPSS 软件验证二者之间的 Pearson 相关系数为 0.751^{**} ,表示不同深度土层含水率与比贯入阻力值相关性达到了极显著水平($p < 0.01$)。

由图 2 可见,比贯入阻力与含水率呈现幂指数关系,拟合方程为:

$$y = 0.018x^{-2.72} \quad (2)$$

式中, y 为比贯入阻力值, x 为土样含水率,相关系数 $R^2 = 0.888$ 。

将常规土工试验所得该土料液塑限数据带入式 1,可求得该土料液性指数各临界值所对应的土料含水率值,再将含水率值带入式 2,得到可判别土的塑性状态的单桥触探参数(表 3)。

表 3 与表 2 中数据对照可见,实测的单桥静力触探参数与规程建议值在 $I_L \leq 0.25$ 时相差较大,而在 $I_L > 0.25$ 时相差不大,造成这种现象的原因可能

$$I_L = \frac{\omega - \omega_p}{\omega_L - \omega_p} \quad (1)$$

式中, ω 为天然含水率。

按照表 1 的标准可判别天然粘性土的软硬程度。

采用上述标准判别粘性土软硬程度相对于重塑土是合适的^[14],而相对于原状土则偏于保守。而水坠坝坝体作为一种重塑后的粘性土,适宜采用上述标准进行判断。

2.2 比贯入阻力值与液性指数的关系研究

依据《铁路工程地质原位测试规程》(TB10018-2003)^[15],结合各地区实际情况,使用表 2 判别土的塑性状态,其中 I_L 为液性指数, P_s 为比贯入阻力值。该表中数据具有一定的参考价值。

将探求不同深度土层含水率与比贯入阻力值是否具有相关性及其显著性水平,尝试建立二者之间的相关关系,以此推算出与粘性土软硬程度各状态相对应的比贯入阻力值,并将其与表 2 分析对照,得到适宜于该坝、该地区使用的单桥触探参数。

是对于水坠坝来说,由于采用泥浆冲填,自然排水固结的筑坝方式,随着含水率的减小,坝体的强度增加缓慢,也就是说水坠冲填体整体强度较为均一,这种现象比较符合水坠坝的实际情况,故本研究采用表 3 中数据进行坝体各位置软硬程度分析。

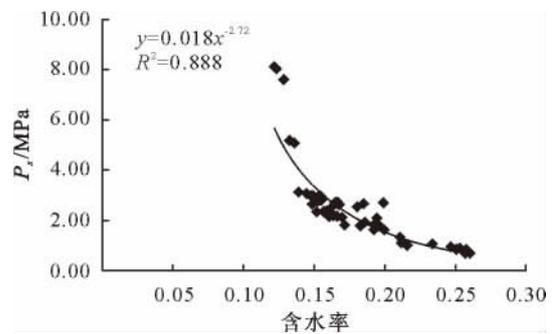


图 2 比贯入阻力值随含水率变化规律

Fig. 2 The relationship between specific penetration resistance values and soil water content

表 3 单桥触探参数判别土的塑性状态(实测值)

Table 3 Single bridge cone penetration parameters used to distinguish the status of soil plasticity (measured value)

I_L	0	0.25	0.50	0.75	1
P_s/MPa	2.21	1.48	1.04	0.77	0.58

考虑到实测的单桥静力触探参数与规程建议值在 $I_L > 0.25$ 时相差不大,流态区的位置为 $I_L > 1$ 的区域,所以,对于流态区的位置的探求也可直接应用规程建议值(表 2)。

2.3 绘制坝体软硬状态分区图并分析坝体流态区位置

以下游坝坡铺底高程处为原点,由南向北方向为 X 轴,垂直于地面方向向上为 Y 轴,在 SURFER8.0 软件中,为每一个探测点的每一个比贯入阻

力值赋予位置坐标,选用克里格方法进行网格化,输出等值线图(图 3)。将等值线数据设置为表 3 中的临界比贯入阻力值,并进行相应的颜色填充,得到坝体软硬状态分区图(图 4)。

由图 3 可见,比贯入阻力值等值线在两侧坝坡、坝顶处分布密集,说明两侧坝坡、坝顶均采用碾压施工,比贯入阻力值较大。坝体中央部分等值线分布稀疏,且基本在 1.5~2.5 MPa 之间,说明水坠冲填坝体部分施工质量良好,坝体均匀。

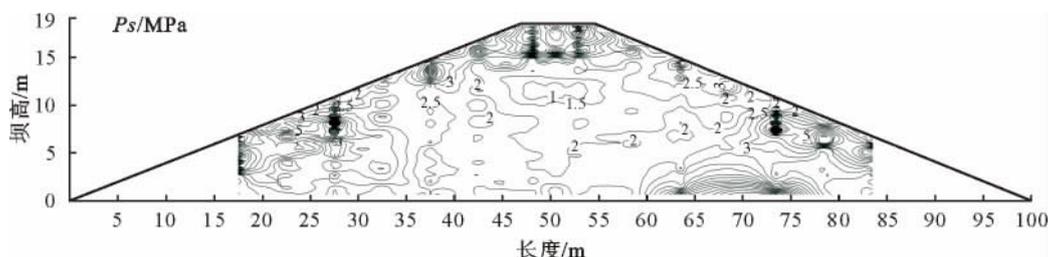


图 3 比贯入阻力等值线

Fig. 3 The specific penetration resistance isopleth map

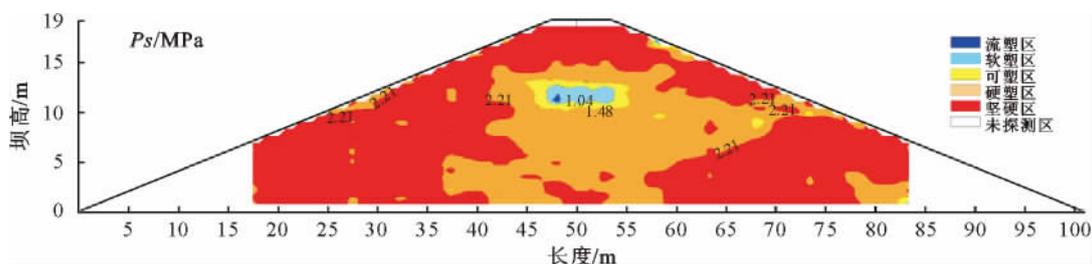


图 4 坝体软硬状态分区图

Fig. 4 The zone chart of dam hardness status

由图 4 可见,坝体中流塑区很小,根据式 1 和表 1 可知,流塑区是含水率大于液限的区域,即“流态区”,该水坠坝经过 2 a 的脱水固结,坝体流态区已经基本消散。坝体中软塑区和可塑区的面积也相对较小,大致位于坝高 11~13 m 处,中心位置与坝高之比为 0.63,且该区域没有发生明显的偏移,软塑区与可塑区由流态区经脱水固结发展而来,据此我们可以推测出施工过程中,坝体流态区位置较高,且未向两侧坝坡移动,无安全隐患。坝体中硬塑区面积较大,基本位于坝体的中央。坝体中坚硬区面积最大,将其余区域“包裹”其中,起到了良好的稳定坝体的作用。

3 结论

首次将静力触探技术应用于水坠坝研究中。该技术为探求水坠坝流态区提供了新途径,与传统的土钻法相比较,省去了大批量冗繁的土壤样品取样以及含水率测定工作,且操作简单、快速精确。

运用该技术对前拐沟水坠坝流态区进行探求,得到前拐沟水坠坝经过两年时间的脱水固结,坝体

内流态区已基本消散完全,坝体较软的区域分布于坝体中央,无明显偏移,无安全隐患。

对于水坠坝流态区位置的探求,可以直接应用《铁路工程地质原位测试规程》(TB10018-2003)中建议的数据,与实测值相差不大。

将该技术应用于水坠坝质量评价方法中可补充完善现有的水坠坝质量评价方法。

参考文献:

- [1] 张胜利,庄世宏,杨开宝.黄土高原地区水土流失治理之我见[J].西北林学院学报,2003,18(1):46-48.
ZHANG S L, ZHUANG S H, YANG K B. Opinions on soil and water loss controlling in the Loess Plateau Region[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2003, 18(1): 46-48. (in Chinese)
- [2] 郝明德,党廷辉.黄土高原沟壑区生态环境建设与农业持续发展研究[J].西北林学院学报,2003,18(1):67-70.
HAO M D, DANG T H. Study on construction of eco-environment and agricultural sustainable development in highland and gully region on the Loess Plateau[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2003, 18(1): 67-70. (in Chinese)

(下转第 196 页)

参考文献:

- [1] 丛欣. 重瓣榆叶梅的绿枝扦插繁殖研究[J]. 园艺学报, 1991, 18(3): 278-280.
CONG X. Studies of the reproduction of green branch cutting of *Prunus triloba* Lindl. var. Plena [J]. Acta Horticulturae Sinica, 1991, 18(3): 278-280. (in Chinese)
- [2] 何秀贞, 郭元平, 罗玉杰. 榆叶梅蛋白质的提取与分析[J]. 中国林副特产, 1997(1): 27-28.
- [3] 李波, 罗心玲, 甘纯砚. 花粉提取液中蛋白质的分子量分布测定[J]. 日用化学工业, 1988(6): 28-30.
- [4] 胡苗苗, 杨海霞, 曹炜, 等. 植物蛋白质资源的开发利用[J]. 食品与发酵业, 2012, 38(8): 137-140.
- [5] 焦立新, 张云峰, 贺丹, 等. 一种念珠菌蛋白质的提取方法[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2007, 11(8): 1540-1541.
- [6] STEAD D, FIBDON H, YIN Z, *et al.* Proteomic changes associated with inactivation of the *Candida glabrata* ACE2 virulence-moderating gene[J]. Proteomics, 2005, 5(7): 1838-1848.
- [7] 吕微, 蒋剑春, 徐俊明. 蛋白质提取及分离纯化研究进展[J]. 精细石油化工进展, 2010(11): 52-58.
- [8] 范文, 伊爱芹, 陈媛梅. 杨树芽和芽胶中化学成分的分析[J]. 林业科技开发, 2009, 23(1): 32-35.
- [9] 金虹. 豌豆蛋白质提取工艺的优化[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(9): 2199-2201.
- [10] 王朝瑾, 马红青, 袁金凤, 等. 月桂树叶中蛋白质的提取工艺研究[J]. 分析测试报, 2006(Supp. 1): 103-105.
- [11] 阚欢, 李贤忠, 陆斌. 辣木叶蛋白质提取工艺研究[J]. 西部林业科学, 2007, 36(1): 106-108.
- [12] 陈蕾, 于娟, 李晓蕙, 等. 超声法提取骆驼蒿总生物碱的工艺研究[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(3): 158-162.
CHEN L, YU J, LI X H, *et al.* Ultrasonic wave aided extraction of total alkaloids from *Peganum nigellastrum* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(3): 158-162. (in Chinese)
- [13] 王娜, 褚衍亮, 李静, 等. 樟树叶蛋白提取工艺及四季含量动态分析[J]. 北方园艺, 2011(7): 51-54.
- [14] 袁坤, 王明麻, 黄敏仁. 一种适合杨树叶片的蛋白质提取方法[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2007, 31(3): 119-121.
YUAN K, WANG M X, HUANG M R. A method suitable for protein extraction of poplar leaves [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2007, 31(3): 119-121. (in Chinese)
- [15] 李梦琳, 王亚东, 林梦, 等. 构树叶蛋白质的提取研究[J]. 资源开发与市场, 2013(12): 1057-1059.
- [16] 何美军, 廖朝林, 王华, 等. 野葛叶蛋白质提取工艺研究[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(11): 2298-2300.
- [17] 刘婷, 金瑞. 超声波法提取西洋参多糖的工艺研究[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(3): 174-177.
LIU T, JIN R. Technology of ultrasonic wave assisted extraction of polysaccharides from *Panax quinque Folium* [J]. Journal of Northwest forestry University, 2014, 29(3): 174-177. (in Chinese)
- [18] 王明娟, 季孔庶. 珍珠黄杨叶片的蛋白质提取方法探讨[J]. 基因组学与应用生物学, 2009, 28(1): 105-108.
- [19] ZHANG C, SANDERS J P M, BRUINS M E. Critical parameters in cost-effective alkaline extraction for high protein yield from leaves [J]. Biomass and Bioenergy, 2014, 67: 466-472.
- [20] 金会鑫, 谢寿安, 史睿杰, 等. 不同方法提取蝉蜕虫蛋白质效果比较[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(6): 128-130.
JIN H X, XIE S A, SHI R J, *et al.* Comparison of chemical extraction methods of the proteins from the larva of *Cryptotympana pustulata* [J]. Journal of Northwest forestry University, 2012, 27(6): 128-130. (in Chinese)
- [21] 刘长付, 陈媛梅. 超声波法提取西红柿中类胡萝卜素的工艺优化[J]. 食品工业, 2013(8): 76-80.
- [3] 颜婷燕, 张武俊, 许怀东, 等. 中粉质壤土泥浆泵法修筑淤地坝人工排水管网布设优选研究[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(5): 53-58.
YAN T Y, ZHANG W J, XU H D, *et al.* Optimization of the layout of pipe drainage for building check dam using mud pump in middle silt loam area [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(5): 53-58. (in Chinese)
- [4] 曹文洪, 胡海华, 吉祖稳. 黄土高原地区淤地坝系相对稳定研究[J]. 水利学报, 2007, 38(5): 606-610.
CAO W H, HU H H, JI Z W. Study on relative stability of check dam system [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(5): 606-610. (in Chinese)
- [5] 郑新民, 王英顺. 水坠坝设计与施工[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2006.
- [6] 方开泽, 高新科. 水坠坝冲填体二维非线性固结问题[J]. 人民黄河, 1981(5): 40-44.
- [7] 王钟琦. 我国的静力触探及动静触探的发展前景[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(5): 517-522.
WANG Z Q. The Chinese CPT and the prospect of penetration tests [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2000, 22(5): 517-522. (in Chinese)
- [8] 康晓娟, 李波. 国外静力触探技术发展现状及未来趋势[J]. 岩土工程界, 2008, 11(5): 63-65.
- [9] 马海鹏, 陈祖煜, 于沐. 上海地区土体抗剪强度与静力触探贯入阻力相关关系研究[J]. 岩土力学, 2014, 35(2): 536-542.
- [10] 中华人民共和国水利部. 水利水电工程天然建筑材料勘察规程(SL251-2000)[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑工程地质勘探与取样技术规程(JGJ/T87-2012)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [12] 中华人民共和国水利部. 土工试验规程(SL237-1999)[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [13] 中国工程建设标准化委员会. 静力触探技术标准(CECS04: 88)[S]. 北京: 中国工程建设标准化委员会, 1988.
- [14] 张克恭, 刘松玉. 土力学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [15] 中华人民共和国铁道部. 铁路工程地质原位测试规程(TB10018-2003)[S]. 北京: 中国铁道出版社和铁路工程技术标准所, 2003.

(上接第 190 页)