

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.02.051

# 软土地基促渗技术试验研究与分析

田健君

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市200092]

**摘要:**我国软土分布广泛,考虑充分发挥软土地区特点,取长补短,开展促渗技术研究。通过室内模型试验,研究了不同砂井半径、砂井深度、砂井水量对浸润水头线的影响,同时基于试验工况,开展了促渗公式模拟与解析研究,结果与试验拟合较好。最后,基于以上分析计算,对实际工程淹没水位进行了演算,配合促渗技术,给出了灌木、乔木等植物的选择建议,可供类似工程参考。

**关键词:**软土地基;促渗技术;植物选择

**中图分类号:** TU471.8

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-7716(2021)02-0189-04

## 0 引言

我国软土分布广泛,北至连云港,途径江苏、上海、浙江、福建,南至广东一带,均有片状、线状或零星出现,从建设的主要技术措施来看,软土地区对滞、净、用的影响不大<sup>[1-3]</sup>。软土地区适当建设生物滞留池等设施,可以有效延缓径流峰现时间;污水处理设施及管网,河道和生态缓坡可以有效减少面源污染,改善城市水环境<sup>[4-5]</sup>。

软土地区对海绵城市建设的排、渗和蓄作用比较明显,显然软土地区渗透系数低,不利于源头减少雨水径流,但有利于雨水的调蓄。因此考虑充分发挥软土地区特点,取长补短,减少雨水入渗量,增加调蓄量,可以充分利用雨水资源,化劣势为优势,发挥软土地区海绵城市建设的保水储水用水作用<sup>[6-8]</sup>。

基于以上背景,针对软土地基下渗困难、蓄水较好的现实情况,如能研发海绵复合地基技术,利用具有海绵功能的桩基,一方面可以充分发挥保水储水作用,另一方面通过周边促渗和植物根系作用,使储蓄的水分可被人行道、绿化带、公园、绿地等场所绿植使用,做到保水储水用水功能的最大化。因此开展促渗技术研究很有必要。

## 1 试验材料选用

经过调研,对可能的保水材料进行饱和含水率测定,并测定其渗透系数,选择饱和含水率高、渗透

系数相对小的填料作为保水材料。

测定发现,蛭石、珍珠岩、火山岩等含水率在100%以上,具有作为保水材料可行性;同时考虑到软土地基促渗的实施可行性,采用水处理立体网包括保水材料的方式,将保水材料立体投放,以充分发挥保水作用,作为砂桩海绵扩大头。

## 2 试验设计

软土地基促渗技术开发可以借鉴地下水取水构筑物管井的设计与水力计算。管井水力计算是在已知水文地质等参数条件下,通过计算管井在出水量情况下周边水位降落值,或者在给定出水量和地质参数条件下,计算管井的可能水位降落值。

与之相反,利用管井注水,在保水材料良好的保水性能条件下,由于软土地区土层渗透系数小,一般渗透系数为 $10^{-7} \sim 10^{-8}$  cm/s,因此水分主要向周边方向渗透,在已知管井水位的前提下,可以结合周边水位地质参数条件,计算周边黏土水位线高度,再根据高度选择适宜的根系植物,通过植物的吸水作用,促使砂井内水分利用。

主要验证试验装置如图1所示,砂井开孔放入试验装置内,砂井以下的软土底层内含1 m黏土层。

采用模型试验,研究不同半径、深度、形式的砂井对促渗的影响,记录分析水位浸润测试结果,基于模型试验结果进行理论推导,进一步确定促渗技术参数。

## 3 试验结果分析

### 3.1 不同半径对浸润水头线的影响

在模拟砂井0.5 m处,测定浸润水头线,利用不

收稿日期:2020-04-09

作者简介:田健君(1989—),男,硕士,工程师,从事道路材料、路面设计等工作。



(a)砂井 (b)试验装置外形

图1 砂井模拟试验装置图

同直径的砂井模型向土壤渗水,得到不同直径下的浸润水头线,见表1。

表1 砂井半径对浸润水头高度的影响

$r$	$Y$
0.30	0.94
0.25	0.90
0.20	0.88
0.15	0.85
0.10	0.84

由表1可以看出,试验过程中,砂井半径较大,整体装置偏小。在总流量一定的情况下,半径大,0.5 m测定位置距离砂井距离较近,浸润水头线较高;半径小,距离砂井距离较远,浸润水头线较低。

参考其他资料,对  $Y^2 \propto \ln \frac{1}{r}$  进行相关度分析。如图2所示,得到砂井水量与水头线平方更接近,  $R^2$  为0.85。可见,半径与水头线高度的平方呈现指数关系。这是因为该试验中水头线高度高出地下水位,因此可以加速渗流过程,即砂井半径越大,水头高度越大,渗流速度越快。

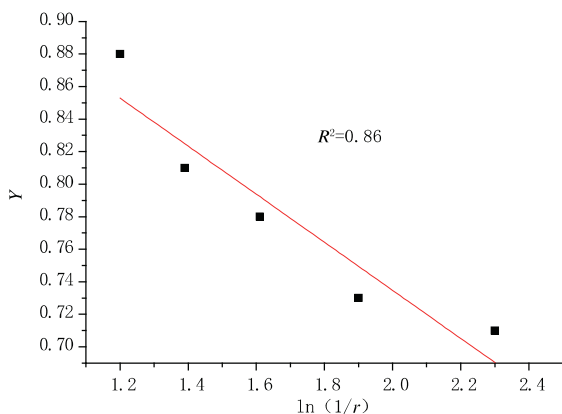


图2 砂井半径与水头线关系拟合

### 3.2 不同砂井深度对浸润水头线的影响

利用砂井模型在不同高度促渗,得到0.5 m处浸润水头线,在土壤均值条件下,在不同高度促渗,等于模拟不同管井深度。在模拟砂井0.5 m处,测定浸润水头线,利用不同直径的砂井模型向土壤渗水,得到不同直径下的浸润水头线,见表2。

表2 管井深度对浸润水头高度的影响

$H$	$Y$
0.60	0.50
0.68	0.70
0.40	0.72
0.20	0.83
0.10	0.89

由表2可知,管井越深,浸润水头线越高,此外,管井深度与促渗水量有关,为了尽可能提高促渗井的促渗作用,应该尽可能往砂井多注水,以提高砂井周围的水头线。但砂井深度过高,会提高造价成本。砂井过浅,主要会影响砂井促渗流量。

参考其他资料,对  $Y^3 \propto \frac{1}{H}$  进行相关度分析。如图3所示,得到砂井深度与水头线三次方负相关,  $R^2$  为0.91。根据达西渗透定律,较大的水力梯度可以加速渗流过程,所以管井越深,水头高度越大,渗流速度越快。

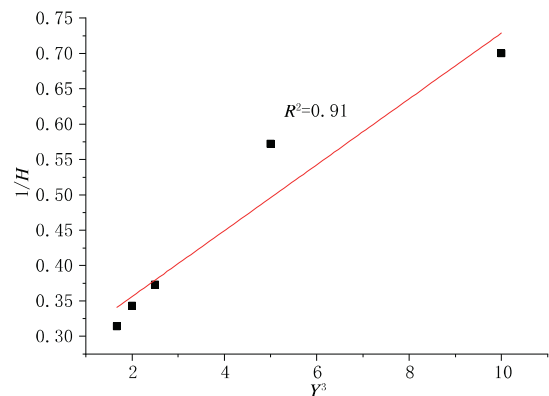


图3 砂井深度与水头线关系拟合

### 3.3 砂井水量对浸润水头线的影响

在模拟砂井0.5 m处,测定浸润水头线,改变不同砂井水量,浸润水头数据见表3。

由表3可知,水量越大,浸润水头线越高,因此为了发挥促渗井的促渗作用,应该尽可能往砂井多注水,以提高砂井周围的水头线。参考其他资料,以  $Q$  为横坐标,  $Y^2$  为纵坐标(见图4),得到砂井水量与水头线平方更接近,  $R^2$  为0.90,即砂井水量越大,水头线越高,井内下渗速度越快。

表3 水量对浸润水头高度的影响

Q	Y
0.50	0.78
0.40	0.69
0.30	0.56
0.20	0.45
0.10	0.30

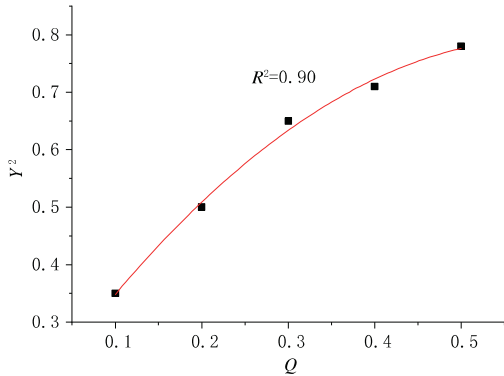


图4 砂井水量与水头线关系拟合

### 3.4 注水试验案例分析

将砂井开孔放入图1的试验装置内,砂井以下的软土底层内含1m黏土层,分别在不同砂井半径、砂井深度和砂井水量条件下向砂井内自流注水,在控制水头高度一定时,考察水量下渗情况。

根据达西渗透定律:

$$V = \frac{Q}{A} = ki \quad (1)$$

式中:V为渗流速度;Q为单位时间渗透量;i为水力梯度;k为渗透系数。当水力梯度i较大时,渗流速度加快。本文研究中的水头线高度高出地下水位,可以加速渗流过程。而砂井半径、砂井深度和水量均与浸润水头线高度呈正相关关系,所以三个参数也与砂井的下渗速度成正相关。因此增加砂井的半径、高度及水量可以提升砂井的促渗作用。

### 4 砂井促渗公式模拟与解析

与利用管井抽水相反,在材料的良好保水性能条件下,由于软土地区土层渗透系数小,因此水分主要向周边方向渗透,在已知管井水位的前提下,可以结合周边水位地质参数条件,计算周边黏土水位线高度,再根据高度可以选择适宜的根系植物,通过植物的吸水作用,促使砂井内水分利用。

促渗试验可以近似为潜水完整井注水试验的逆过程,类同无压含水层完整井的计算。

假设隔水底板水平,抽水前潜水面水平,含水层

等厚。抽水时应用裘布衣假设,即近似认为水流是水平的,过水断面为同心圆柱面,通过各过水断面的流量相等并且等于水井的抽水量。

由方程

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{W}{K} = \frac{\mu}{K} \frac{\partial H}{\partial t} \quad (2)$$

如果没有渗流,则W=0。稳定流则化为柱坐标,

则 $\frac{\partial H}{\partial t} = 0$ ,如取隔水底板为基准面,式(2)成为式(3):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h \frac{\partial H}{\partial y} \right) = 0 \quad (3)$$

将式(3)线性化,得式(4):

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} (h^2) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} (h^2) = 0 \quad (4)$$

式中:h为潜水含水层厚度。

根据初始水文条件:

$$x=r_0, y=h_0$$

$$x=R, y=H$$

得式(5):

$$Q = \frac{\pi K (y^2 - h_0^2)}{\ln \frac{x}{r_0}} \quad (5)$$

求解过程如下:

$$Q = \frac{\pi K [(y+h_0)^2 - h_0^2]}{\ln \frac{x}{r_0}} \quad (6)$$

进一步求解为

$$Q = \frac{\pi K [(y+h_0)^2 - h_0^2]}{\ln \frac{x + \frac{R}{2}}{r_0}} \quad (7)$$

函数优化如下:

$$Q = \frac{\pi K [(y+h_0)^2 - h_0^2]}{\ln \frac{-x + \frac{R}{2}}{r_0}} \quad (8)$$

进一步迭代参数:

$$Q = \frac{\pi K [(y+h_0)^2 - h_0^2]}{\ln \frac{R-x}{r_0}} \quad (9)$$

进一步简化为

$$Q = \frac{\pi K y (y+2H-2S_0)}{\ln \frac{R-x}{r_0}} \quad (10)$$

式中:r<sub>0</sub>为井的半径;S<sub>0</sub>为储水高度;H为最大取水深度;R为最大影响半径;K为渗透系数。

对于最大取水深度H,对于植物而言,直根系对轴向水分利用起到关键作用,一般直根系入土较深,

其侧根在土壤中的伸延范围也较广。一般来说,轴根系的深入土壤的深度大于须根系,一般木本植物的根深达10~12 m。而生活在沙漠地区的骆驼刺可深入地下20 m,以吸收地下水。单子叶植物如禾本科植物,其须根入土只有20~30 cm。

R可根据水文地质勘察资料确定,最好通过现场注水试验和水文地质条件相似地区水井的长期观测资料确定。无上述条件时,可以根据渗透系数选择确定。

根据公式代入本文试验条件,得到与实际测定数据的拟合情况,如图2~图4所示,拟合情况较好。

### 5 软土地基促渗植物选择

对实际工程进行演算如下:

对于直径0.4 m的促渗井,影响半径为25 m,渗透系数选择1 m/d,管井深度选择5 m,为了安全性考虑,注水井深为5 m,降雨强度Q选择为5 m<sup>3</sup>/d,得到浸润水头,见表4。

表4 软土地基淹没水位

距离/m	水透数值	水位埋深/m
2	3.02	1.98
5	2.55	2.45
10	2.34	2.66
15	2.21	2.79

由表4可以看出,利用促渗井,周围2 m处的水位深度埋深为2 m,15 m以外埋深为2.8 m,因此促进周围需要选择深根系植物,单纯草本植物无法利用促渗井的水分。促渗井只能起到储水作用,需要种植灌木和乔木才能发挥软土地基的促渗作用。合适软土地基的乔木和灌木选择与配置如下:

乔木的选择与配置:可分段栽植少量耐涝、耐旱、抗污染的乔木,同时可选择观赏价值高的树种点缀整体景观。此外,乔木的栽植不能影响交通,应选择分枝点较高的树种。上海地区可选用如水杉、池

杉、落羽杉、垂柳、意杨等。

灌木的选择与配置:灌木与乔木及地被搭配种植形成复层植物群落景观,应选择根系发达、抗雨水冲刷、耐旱的种类。上海地区可选用如雀舌黄杨、小叶黄杨、夹竹桃等。

### 6 结语

通过对软土地基促渗砂井进行模拟试验、分析计算,得出以下结论:

(1)在总流量一定的情况下,半径大,0.5 m测定位置距离砂井距离较近,浸润水头线较高;半径小,距离砂井距离较远,浸润水头线较低。

(2)管井越深,浸润水头线越高。水量越大,浸润水头线越高。

(3)促渗井周围需要选择深根系植物,单纯草本植物无法利用促渗井的水分。可分段栽植少量耐涝、耐旱、抗污染的乔木,上海地区可选用如水杉、池杉、落羽杉、垂柳、意杨等。灌木应选择根系发达、抗雨水冲刷、耐旱的种类,上海地区可选用如雀舌黄杨、小叶黄杨、夹竹桃等。

#### 参考文献:

[1] 成旭辉.公路工程软土地基处理技术[J].交通世界,2019(20):66-67.  
 [2] 汪亚敏.市政道路软土路基施工处理技术探究[J].绿色环保建材,2019(9):100,102.  
 [3] 康帅.袋装砂井处理软土地基固结沉降的研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2007.  
 [4] 韩松磊,李田,时珍宝.低影响开发设施提高上海建成区排水能力的模型研究[J].给水排水,2016,52(10):52-56.  
 [5] 王静.基于SWMM模型的山地城市暴雨径流效应及生态化改造措施研究[D].重庆:重庆大学,2012.  
 [6] 赵春雷.袋装砂井处理软土地基固结沉降的研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2007.  
 [7] 赵飞,张书函,陈建刚,等.透水铺装雨水入渗收集与径流削减技术研究[J].给水排水,2011,47(S1):254-258.  
 [8] 孟莹莹,王会肖,张书函,等.基于生物滞留的城市道路雨水滞蓄净化效果试验研究[J].北京师范大学学报(自然科学版),2013,49(Z1):286-291.

~~~~~  
 (上接第185页)

(3)就地冷再生技术相比于传统的铣刨重铺技术,费用减少约70%,能源消耗节约72%,二氧化碳当量排放减少约64%,具有显著的经济效益和社会效益。

#### 参考文献:

[1] JTG E20—2019,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

[2] 曹丽萍,王兴隆,谭忆秋.乳化沥青冷再生混合料初期性能评价[J].石油沥青,2007,21(1):29-33,61.  
 [3] 董泽蛟,谭忆秋,曹丽萍.乳化沥青冷再生混合料的室内设计与性能评价研究[J].公路交通科技,2006,23(2):43-47,62  
 [4] JTG/T 5521—2019,公路沥青路面再生技术规范[S].  
 [5] 严金海.沥青路面冷再生设计方法及性能评价[D].江苏南京:东南大学,2006.