

用于闸基防渗深层搅拌桩墙的渗透特性

赵 坚¹, 张 松², 赵连庆², 张祝添¹, 速宝玉¹

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏南京 210098; 2. 扬州勘测设计研究院, 江苏扬州 225002)

摘要 通过对某工程采用的深层搅拌连续桩墙的抗渗试验, 认为桩机喷头喷浆不均匀、叶片搅拌不均匀、上下进尺不均匀等是导致深层搅拌连续桩墙整体防渗能力降低的主要原因, 提出“双排套打”或“多排套打”是目前用深层搅拌桩进行闸基防渗加固的较好措施之一。

关键词 试验 地基 渗流 搅拌桩

中图分类号: TV640.31

文献标识码: A

文章编号: 1000-1980(2000)02-0054-05

将用于软基加固的深层搅拌桩技术^[1,2]移植到水利工程中进行地下防渗墙建筑, 是近几年刚起步开展的工作。与混凝土防渗墙相比, 建搅拌连续桩墙成本只占其总造价的 1/3 ~ 1/4, 施工设备及工艺也不复杂, 因此, 在目前水利建设任务繁重且建设资金不足的情况下, 很多工程都选择了这种技术进行江湖堤坝的堤身、堤基和水闸、船闸闸基等的防渗处理。

搅拌桩加固地基是通过每一个独立桩组成的桩群来实现的^[1,2], 而要用于截断渗流通道, 防止地基渗透变形, 则需要建立连续完整的桩墙, 从这个意义上讲, 用搅拌桩防渗比加固地基要求更高, 难度也大。因为, 若形成不了封闭完整的防渗连续桩墙, 防渗效果会大打折扣, 甚至有可能产生有利于渗透变形发生的条件, 如存在着可使渗流集中通过的断桩区域等。可见, 用于地基防渗, 不能是简单的方法移植, 而是要结合渗流特点、防渗要求和实际运用情况, 在设计、施工等方面提出更符合实际应用的要求。鉴于目前对深层搅拌桩用于地下防渗处理缺乏系统研究, 本文结合某船闸闸基防渗加固工程, 通过对现场和室内搅拌桩样的试验, 对影响深层搅拌连续桩墙防渗能力和提高桩墙质量需要采取的措施进行了分析。

1 工程简况及桩样情况

某船闸位于某内河入江口处冲积滩上, 70 年代修建。经 20 多年运转, 特别是在 98 大洪水期间, 暴露了不少危及闸身安全隐患, 如闸身移位、闸基管涌等。98 大洪水后, 决定对该闸进行全面改造, 其中在闸基选择深层搅拌桩作悬挂式防渗连续桩墙。桩墙深入地基至④土层(图 1(b)), 平均长度 12 m, 采用湿喷双排套打, 水泥掺合比 $a_w = 16\%$ ($a_w =$ 单位体积水泥用量/单位体积土重)。双排桩墙厚 60 cm 左右, 桩与桩之间搭接长度不小于 30 cm, 每个桩上下重复搅拌 2 次。为了避免桩墙凝固后给取样带来的难度, 现场取样工作在成桩 24 h 后进行。采用随机选点方式, 在船闸上闸首左侧按图 1(a) 位置取出不同高程的 20 个样本。桩样经密封处理后放置于室内养护。

为了与现场桩样作试验对比, 按水泥掺合比 12%, 14% 和 16% 分别用现场③, ④, ⑤层 3 类土料制成多组室内试样, 并在与现场桩样相同条件下养护。

以现场和室内桩样的外观特征作为判断桩样样质优劣的依据。桩样样质是指闸基原状土按一定掺合比加入水泥并经现场机器搅拌或室内拌制形成的水泥石土质量。

表 1 是图 1(b) 所示位置 2 个现场桩样样质外观描述统计, 其中, 外观描述档次依据每个桩样外观特征反映的水泥含量多少而定。如“正常”, 指桩样水泥用量与 16% 水泥掺合比要求的水泥数量基本接近, 且分布均匀; “超过”, 指水泥掺合比大于 16%; “不足”或“极少”, 指水泥含量不足或很少, 且分布不均。由该表可见, 在同一取样点上, 沿不同深度的桩质差异明显, 在不同取样点相同深度上, 桩质也不完全一致, 1 号桩样桩质总

体比 2 号好。

与现场桩样相比,室内试样由于是在对土料重量、掺入水泥用量、含水量等参数作严格控制下拌制而成,所以,各层土的桩样样质均为“正常”,外观具有典型水泥土特征。

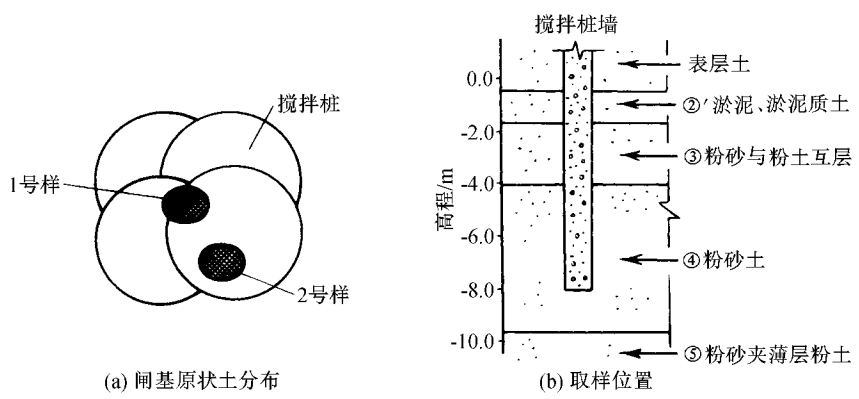


图 1 现场闸基土料分层及取样位置
Fig.1 Local soil bed and sampling position

表 1 桩样取样高程、外观描述及渗透系数试验值

1 号桩芯(水泥设计掺和比 16%)				2 号桩芯(水泥设计掺和比 16%)			
取样高程 /m	所属 土层	桩样 外观描述	试验渗透系数 k /($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)	取样高程 /m	所属 土层	桩样 外观描述	试验渗透系数 k /($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)
0.5~0.0	表层	不足	1.30×10^{-6}				
0.0~-0.2	表层	正常	7.00×10^{-7}				
-0.2~-0.6	表层	正常	1.37×10^{-7}	-0.2~-0.6	表层	正常	2.00×10^{-7}
-0.6~-1.0	②'	正常	2.25×10^{-7}	-0.6~-1.0	②'	极少	
-1.0~-1.5	②'	超过	8.31×10^{-9}	-1.0~-1.5	②'	不足	6.24×10^{-6}
-1.0~-1.5	②'	极少					
-1.5~-2.0	③	正常	1.28×10^{-7}	-1.5~-2.0	③	不足	4.11×10^{-6}
-1.5~-2.0	③	不足	8.62×10^{-6}				
-3.0~-3.5	③	极少	3.52×10^{-4} *	-3.0~-3.5	③	不足	5.04×10^{-6}
-3.5~-4.0	③	超过	8.48×10^{-9}	-3.5~-4.0	③	正常	3.25×10^{-7}
-8.0~-8.5	④	超过	7.12×10^{-9}	-8.0~-8.5	④	极少	2.86×10^{-4} *
-8.5~-9.0	④	超过	8.94×10^{-9}	-8.5~-9.0	④	正常	1.82×10^{-6}

* 原状土层渗透系数。

2 桩样抗渗试验

2.1 试验装置

桩样抗渗试验在自制的 KS—50B 多功能高压渗透仪上进行。该仪器额定最大水压力 6 MPa,管路、阀门、仪器筒安全系数为 10。压力水库有两个连续交替不断供水的高压水箱,压力通过外接高压氮气瓶供给。试验压力可长时间维持稳定,压力读数刻度 0.1 MPa,图 2 为该试验仪器的结构。

试验时,首先在图 2 所示试验筒两端施加 0.1 MPa 压力,稳定维持 8 h,若桩样无出水现象,再继续逐级加压,每级 0.1 MPa,直至试样下游端出水。用出水时的流量和对应的压力值,可按下式算出试样的渗透系数 k :

$$k = \eta_r \frac{QL}{A\Delta H}$$

式中 : k ——试样渗透系数,cm/s ; η_r ——温度修正系数 ; Q ——

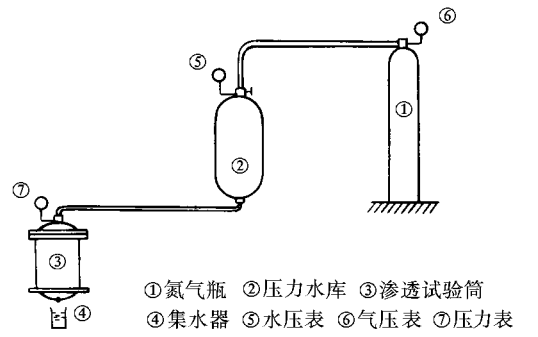


图 2 KS—50B 多功能渗透仪结构
Fig.2 Structural diagram of KS—50B multifunctional permeameter

通过试样断面 A 的渗透流量, cm^3/s ; A ——试样断面积, cm^2 ; L ——试样渗径长度, cm ; ΔH ——压力水头, cm .

2.2 试验结果分析

2.2.1 现场桩样渗透系数分析

现场桩样经渗透试验所得的渗透系数见表 1. 表中数据表明, 在原状土中掺入一定比例水泥, 经搅拌混合, 形成的连续桩样透水性比原状土有明显降低, 除个别桩段含水泥量“不足”, 渗透系数接近原状土外, 大部分桩段的渗透系数数量级都在 $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 以下, 个别达到 $1 \times 10^{-9} \text{cm/s}$, 其中桩质为“正常”和“不足”的试样均在 0.1 MPa 压力下 8 h 以内出水, 水泥用量“超过”的桩样, 试验压力高于 1.0 MPa. 试验数据反映最为明显的特点是: (a) 桩墙的渗透系数随着水泥用量的增加而减少, 水泥掺入比超过 16%, 经充分搅拌, 桩样渗透系数可达 $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 数量级以下; (b) 同一桩样上, 渗透系数值离散度较大, 有的桩段渗透系数接近原状土, 有的则几乎与混凝土一样 ($1 \times 10^{-9} \text{cm/s}$); (c) 同一高程上, 大部分前后桩段的渗透系数值不相同, 基本为“优劣”搭配; (d) 图 1(a) 中 1 号位置桩样的平均渗透系数小于 2 号位置的.

影响桩样渗透系数大小的因素很多, 其中水泥掺含量多少最为主要. 这里所说的水泥掺含量具有两方面的含义: 一是设计取值; 二是现场施工值. 设计取值只需根据现场原状土性质、水泥品种和需要桩墙达到的防渗效果等条件即可确定. 而现场施工值则是一个动态数, 它会敏感地受到诸如施工设备状态、搅拌工艺选择、工人操作水平等因素的影响, 围绕设计取值作不同大小振幅的变化. 由此可见, 加强施工值控制, 使其只产生较小的振幅, 接近或达到设计值, 是保证搅拌桩形成完整防渗能力的关键. 表 1 现场桩样渗透系数试验值已经说明, 可能使得桩墙完整防渗能力降低. 施工值不达标的原因是沿桩墙深度或长度上存在一定数量的断桩段, 即水泥掺含量“不足”或“极少”处, 而断桩段的产生与搅拌机喷头喷浆不均匀、叶片搅拌不均匀、桩机上下进尺速度不均匀等有着密不可分的关系. 喷头喷浆和桩机上下进尺不均, 使得沿桩深各个高程上的土团内水泥含量出现差异, 含有较多水泥的土团, 渗透性会明显降低, 而喷入水泥量不足的, 则其防渗能力可能满足不了设计要求. 叶片搅拌不均, 一方面会使土与水泥不能充分地混合, 另外会在桩段中留下较多的未被粉碎的大小土团, 从而影响土颗粒在水泥水解渗透作用下对其渗透性乃至强度性质的改变. 所以, 完善搅拌桩施工设备, 加强施工过程中的质量管理, 是用深层搅拌桩作防渗加固的重要基础和条件.

2.2.2 室内试样渗透系数分析

室内试验用现场③, ④, ⑤层土料作母料, 按 12%, 14% 和 16% 水泥掺合比制成. 全部试样都在 0.1 MPa 压力下以“冒汗”形式出水, 测得的各组渗透系数见表 2. 由表 2 可知: (a) 各层土料掺入一定比例水泥后, 其抗渗性有较大幅度的提高, 渗透系数值可达 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$, 全部样质与现场桩样“正常”一样. (b) 同一土料按 12%, 14% 和 16% 水泥掺合比制成的试样渗透系数差别不明显, 数值差在 10 倍以内. 与现场桩样相比, 室内试样经过充分搅拌, 试样中水泥分布均匀, 因此, 渗透系数无离散现象. (c) 由于③, ④, ⑤层主要为粉砂和粉土, 天然渗透系数之间也只有 5 倍左右差异 (表 1), 所以按相同水泥掺合比制成的试样渗透系数没有明显差别. (d) 在原状土中掺入一定比例水泥后, 水泥中物质与原状土产生各种化学反应, 使原状土的结构和特性出现变化, 强度和渗透性发生改变. 从图 3 可见, 不同原状土料掺入水泥后, 渗透系数的改变量与水泥掺入比大小有直接关系, 水泥用量越多, 渗透系数越小. 但渗透系数随水泥用量的变化不呈线性关系. 从本次试验情况看, 在水泥掺合比 12% ~ 14% 区间, 渗透系数变化幅度较大, 其中以⑤层最明显.

表 2 室内试样渗透系数

Table 2 Permeability coefficient of laboratory samples

③层		④层		⑤层	
水泥掺合比/%	渗透系数/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	水泥掺合比/%	渗透系数/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	水泥掺合比/%	渗透系数/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
12	3.43×10^{-7}	12	7.95×10^{-7}	12	1.17×10^{-6}
14	2.23×10^{-7}	14	4.41×10^{-7}	14	3.61×10^{-7}
16	1.92×10^{-7}	16	1.29×10^{-7}	16	2.64×10^{-7}

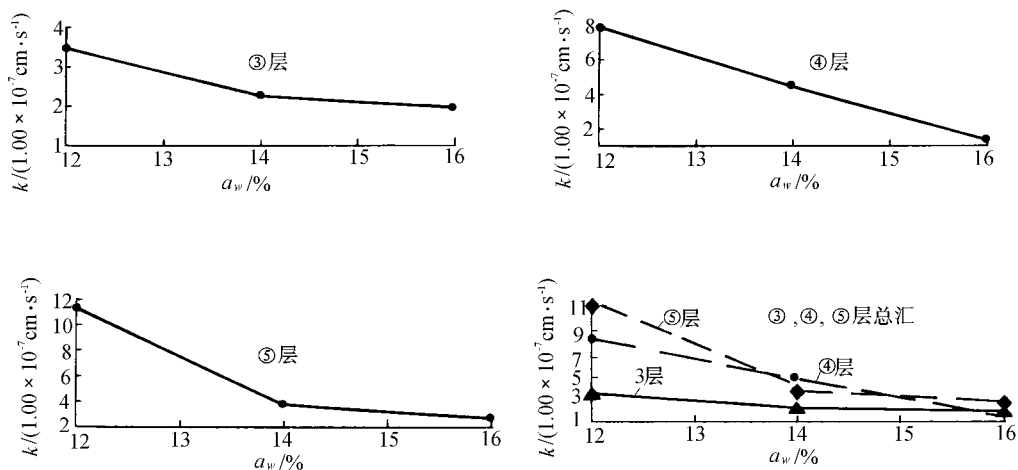


图 3 ③,④,⑤层土料渗透系数室内试验曲线($a_w = 12\%, 14\%, 16\%$)

Fig.3 Test curve of permeability coefficient of bed soil of layers ③,④,and ⑤($a_w = 12\%, 14\%, 16\%$)

3 深层搅拌连续桩墙应用评价

通过对现场和室内桩样的渗透性试验,笔者认为,从防渗能力上看,用深层搅拌桩技术构筑地下桩墙,只要水泥掺合比超过一定值(如 14%),完全可以达到小于 $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 的渗透系数,而要使桩墙在结构上保持连续,渗透性上保持一致,必须解决好几个施工环节:(a)桩机喷头均匀喷浆;(b)钻机均匀进尺;(c)叶片均匀搅拌.显然这三个均匀有一项做得不好,或不到位,就会有断桩、水泥结团、渗透系数不达标等影响连续桩墙整体防渗能力的现象出现.从实际工程具体条件看,要严格做到这三个均匀,至少目前还存在一定难度.因此,在对施工的现场条件、设备工况、人员素质等方面作出应有的要求和保证的同时还须采取其它的补救控制措施.本次试验所涉及的工程采用了“双排套打”方法,收到了较好的效果.

“双排套打”即是在土基中连续套打两排连续桩墙,其中左右桩、前后桩均用嵌套方式连接.从表 1 现场取样试验结果看,“双排套打”至少具有如下几个优点:(a)“双排套打”形成的连续桩墙,在同一高程,前后桩墙的桩质不同,可以做到优劣互补,从而弥补单排套打可能产生的断桩;(b)套打使得两个单桩嵌套连接区域比不连接区域有更多的喷浆和搅拌机会,使由于设备条件或人员素质等因素造成的桩质下降问题在这里得到较好的解决;(c)“双排套打”形成的桩墙,其厚度比一般纯混凝土桩墙要大,尽管渗透系数不及混凝土小,但厚度上的优势,一定程度上抵消了这一不足,从价质比看,“双排套打”在满足工程要求前提下,明显占优.从表 1 不难看出,用“双排套打”仍然有前后桩样桩质都为“不足”或“极少”的不合格桩段存在,因此,若将套打排数再增加 1~2 排,则会使桩墙的完整性更好地得到保证.笔者建议,当在一些重要工程中用深层搅拌连续桩作防渗加固时,可考虑将套打的排数增至 3 排以上,即用“多排套打”.

4 结 束 语

用深层搅拌桩建地下连续防渗桩墙或堤坝防渗体,只要把好施工过程中的喷浆和搅拌等质量关,再配上多排套打措施,完全可以以较小的水泥掺合比达到实际工程的要求.当然,要把这个技术应用好,除了加强施工过程管理之外,还应在施工前按设计要求做一定数量的试验桩,通过取样观察和试验,对可能影响到设计指标实现的因素作出评估,从中找出影响较大或不可克服的不利因素,并针对性地提出调整措施.

参考文献:

[1] 段新胜,顾湘. 桩基工程[M]. 武汉: 中国地质大学出版社,1998. 98~102.
[2] 冶金工业部建筑研究总院. 地基处理技术[M]. 北京: 冶金工业出版社,1991. 73~120.

Permeability Characteristics of Deep-Agitated Pile Wall Used for Anti-seepage of Sluice Base

ZHAO Jian¹, ZHANG Song², ZHAO Lian-qing², ZHANG Zhu-tian¹, SU Bao-yu¹

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China ;

2. The Acaedeme of Yangzhou Reconnaissance Desing, Jiangsu Province, Yangzhou 225002, China)

Abstract From the permeability test of deep-agitated pile wall used for anti-seepage of the sluice base, it is realized that uneven guniting, agitating and up-down speed of agitating machine increase the permeability of deep-agitated pile walls. It is proposed that the double-row piling or multi-row piling is one of the best methods to increase the anti-seepage ability of the sluice base.

Key words test base seepage calculation deep-agitated pile

深切缅怀顾兆勋教授

中国共产党优秀党员,原华东水利学院(现河海大学)河川系创始人、名誉系主任、教授、博士生导师,九三学社社员,我国著名水利专家、教育家顾兆勋同志因病医治无效,不幸于2000年2月20日1时20分在南京逝世,享年92岁。

顾兆勋教授1908年3月24日出生于北京,1932年毕业于唐山交通大学。毕业后在杭江铁路局及京沪、沪杭甬铁路局任职。1935年9月至1939年7月任教于上海交通大学。1940年在英国曼彻斯特大学获博士学位。在中国处于抗日战争最艰难的时候,毅然回国工作。先后在四川省水利局、中央水利实验处等单位任研究员。1942年3月至1949年4月任中央大学水利系教授,其中1943年至1944年任水利系系主任。1949年4月至1952年7月任南京大学工学院水利系教授。

1952年在全国高等学校院系调整时他接受组织的安排,承担起参与创建新中国第一所水利类高校的重任,并长期担任华东水利学院河川系系主任,是学院的主要开创者之一。他勤勤恳恳为我国水利教育事业无私奉献了一生,他兢兢业业为学校的建设和发展做出了巨大的贡献,为我国水工专业和水工学科的建设与发展做出了巨大的贡献。

顾兆勋教授在从事教育工作期间,先后兼任过华东水利学院学术委员会委员、南京水利科学研究所(现南京水利科学研究院)学术委员会委员、中国水利学会常务理事和名誉理事、江苏省水利学会常务理事、中国土木学会理事。他衷心地拥护党、热爱党、忠诚党的教育事业,并在1956年3月光荣地加入了中国共产党。

顾兆勋教授长期致力于水工水力学学科的教学和科研工作,先后编写过《水力学》、《水工建筑物》等教材,组织翻译了俄文版《水工手册》、主译了英文版《土石坝工程》,还主编了《水工设计手册》、《水利工程辞典》等书。这些教材、专著、译著为水工专业人才的培养及科研、生产发挥了重大作用。

顾兆勋教授在长达数十年的教育生涯中理论联系实际,亲自参与了许多重要水利工程建设的研究,为我国水利事业的发展作出了贡献。他学识渊博、造诣高、治学严谨、一丝不苟、忘我工作、无私奉献,培养了一批高质量的水利人才。长期以来,他言传身教、勤奋朴实、精益求精,培养和形成的优秀教风和学风,使我校的水工学科长期居于国内前列。

顾兆勋教授为人正直、工作勤恳、平易近人,既不为名又不为利,艰苦奋斗、教书育人,深受广大师生的敬重和爱戴。他的一生是无私奉献、不断奋斗的一生。他的逝世是我国教育界、水利界和河海大学的重大损失。他满腔的爱国热情、精湛的专业理论,广博的科学和文学知识,优秀的师风师德和严谨的治学作风将永远激励我们继往开来!