

深基坑对渗流稳定的影响分析

史常乐^{1*}, 刁婧¹, 张峰², 李明生¹

¹长江水利委员会水文局长江下游水文水资源勘测局, 江苏 南京

²河海大学力学与材料学院, 江苏 南京

收稿日期: 2026年1月19日; 录用日期: 2026年2月15日; 发布日期: 2026年4月30日

摘要

过江通道两侧的工作井及接收井多为深基坑, 须分析深基坑的存在对邻近堤防渗透稳定的影响。以南京段某一深基坑为例, 采用有限元法建立渗流计算模型。根据《堤防工程设计规范》中有关要求, 考虑设计洪水水位工况下进行渗透稳定计算。计算结果表明: 断面逸出点均在背水坡坡脚处, 须做好排水设施, 逸出点高程在6.8~6.9 m之间, 深基坑离水域越近对堤防渗透稳定越不利。

关键词

渗流分析, 深基坑, 有限单元法, 水力坡降, 出逸点高程

Analysis on the Influence of Deep Foundation Pit on Seepage Stability

Changle Shi^{1*}, Jing Diao¹, Feng Zhang², Mingsheng Li¹

¹Lower Changjiang River Bureau of Hydrological and Water Resources Survey, Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission, Nanjing Jiangsu

²College of Mechanics and Materials, Hohai University, Nanjing Jiangsu

Received: January 19, 2026; accepted: February 15, 2026; published: April 30, 2026

Abstract

The working wells and receiving wells on both sides of the river-crossing channel are mostly deep foundation pits. It is necessary to analyze the influence of the existence of deep foundation pits on the seepage stability of adjacent embankments. Taking a deep foundation pit in the Nanjing branch as an example, a seepage calculation model was established by using the finite element method. According to the

作者简介: 史常乐(1989-), 女, 河南新乡人, 工程师, 硕士, 主要从事水资源管理及工程泥沙研究。

*通讯作者 Email: carolhappyshi@163.com

文章引用: 史常乐, 刁婧, 张峰, 李明生. 深基坑对渗流稳定的影响分析[J]. 水资源研究, 2026, 15(2): 196-201.

DOI: 10.12677/jwrr.2026.152023

requirements of the Design Code of levee project, and considering the design flood level under the condition of seepage stability calculation, the analysis shows that the cross-section escape points are on the back slope foot water and should be well drained. The escape point height is between 6.8~6.9 m, and the closer the deep foundation pit is to the water, the more unstable is the levee seepage.

Keywords

Seepage Flow Analysis, Deep Foundation Pit, The Finite Element Method, Hydraulic Gradient, Escape Point Elevation

Copyright © 2026 by author(s) and Wuhan University & Bureau of Hydrology, Changjiang Water Resources Commission. This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

渗流计算分析是危险性较大的分部分项工程建设中的重要组成部分,通过核算工程在设计水位下的浸润线、出逸点高程、出逸比降、渗流量等水力要素[1],确保工程的安全与稳定。其中出逸比降的大小可用以评价抗渗透稳定性的定量指标,结合渗流稳定计算分析情况需考虑是否采取必要的防渗排水措施。

19世纪中期由法国学者 Darcy 提出渗流理论,通过大量实验解释了渗流速度与水力坡降成正比关系[1]。而后百家齐鸣大量国内外学者对渗流理论进行研究,Zienkiewicz O. C.等[2]运用复变函数将渗流理论进一步研究。Huang T. K. [3]将渗流场用有限元进行离散,进而求解渗流场中关键的物理量。

20世纪以来,有限元方法被广泛应用于渗流分析计算。谷黎明等[4]用有限元软件对淤地坝防渗加固改造工程计算出了最优工程方案。尹鹏博等[5]采用 ADINA-T 模块对坝基进行渗流分析。马洪图[6]基于 ANSYS 有限元平台分析了一均质土石坝在不同工况下的稳定性及渗流特性。上述研究采用的有限元软件存在建模复杂,针对性不强的缺点,本文采用河海大学工程力学研究所研发专用于解决稳定、非稳定饱和渗流场问题的软件,能较好地解决多层地基、复杂断面情况的渗流场分析问题。

2. 模型建立

2.1. 计算原理

渗流稳定分析计算采用有限元求解渗流控制方程,对于稳定渗流,符合达西定律的非均各向异性二维渗流场,水头势函数满足微分方程[7]

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) + Q = 0 \quad (1)$$

式中 $\Phi = \Phi(x, y)$ 为水头势函数,为带求(待求)函数; x, y 为平面坐标; K_x, K_y 分别为 x, y 方向的渗透系数; Q 为内源。渗流计算的边界条件如下:

① 上游边界水头已知

$$\Phi = \Phi_n$$

② 出逸边界水头和位置高程相等

$$\Phi = z$$

③ 在某边界上渗流量 q 已知

表 1. 渗流计算断面的渗透指标

材料名	$K_x(\text{m/s})$	$K_y(\text{m/s})$	给水度
①-1 杂填土	3.0×10^{-6}	3.0×10^{-6}	0.0329
①-2 素填土	5.0×10^{-7}	5.0×10^{-7}	0.0094
②-1 粉质黏土	3.0×10^{-8}	3.0×10^{-8}	0.0004
②-2(淤泥质)粉质黏土	8.0×10^{-8}	8.0×10^{-8}	0.0014
②-2a 黏质粉土	3.0×10^{-7}	3.0×10^{-7}	0.0060
②-3 粉砂	6.0×10^{-4}	6.0×10^{-4}	0.1977
②-4 粉质黏土	5.0×10^{-8}	5.0×10^{-8}	0.0008
②-5 粉砂	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	0.1331
②-5a 粉质黏土	5.0×10^{-8}	5.0×10^{-8}	0.0008
②-6 粉质黏土	3.0×10^{-8}	3.0×10^{-8}	0.0004
②-6a 中砂	3.0×10^{-4}	3.0×10^{-4}	0.1727
③-1 粉细砂	2.0×10^{-4}	2.0×10^{-4}	0.1580
③-2 粉土夹粉砂	2.0×10^{-5}	2.0×10^{-5}	0.0797
④-1 中粗砂混卵石	7.0×10^{-4}	7.0×10^{-4}	0.2032
④-1a 粉质黏土	5.0×10^{-8}	5.0×10^{-8}	0.0008
⑤-1 强风化泥岩	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	0.0601
⑤-2 中风化泥岩	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	0.0601
防洪墙	1.0×10^{-10}	1.0×10^{-10}	0.329

3. 模型计算

3.1. 计算方案及成果

根据《堤防工程设计规范》(GB50286-2013) [9] 9.1.2 条, 土堤渗流计算应进行下列计算:

1) 应核算在设计洪水或设计高潮持续时间内浸润线位置, 当在背水侧堤坡溢出时, 应计算出逸点的位置、逸出段与背水侧堤基表面的出逸比降。

2) 当堤身、堤基土渗透系数大于或等于 $1 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 时, 应计算渗流量。

3) 应计算洪水或潮水水位降落时临水侧堤身的自由水位。

对于第 1 条, 由于拟建工作井处的背水坡未护砌, 仅采用草皮护坡, 可能存在背水坡渗透破坏问题, 本次重点针对此条进行验算。

对于第 2 条, 根据本工程地勘报告, 由于工程区域土层的渗透系数小于 $1 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 数量级, 故无需进行渗流量计算。

渗流分析主要内容: ① 根据浸润线计算结果, 判断是否需要岸坡采取防渗措施; ② 根据出逸坡降的大小, 判断表层土是否发生渗透变形。

综上, 本文渗流计算工况为: 堤外为设计洪水位 8.82 m 时, 背水坡的渗流稳定。该工况下, 背水侧水位取为与地表相平。模型计算见表 2。

表 2. 计算工况及结果

工况	出口水力坡降	渗流量(m ³ /s)	渗流量(m ³ /d)	浸润点高程(m)
工程前	0.301	3.09×10^{-6}	0.27	6.84
工程后	0.324	2.80×10^{-6}	0.24	6.89
工程后右移 10m	0.322	2.65×10^{-6}	0.23	6.89
工程后左移 10m	0.319	3.01×10^{-6}	0.26	6.88

经计算，计算断面在设计洪水水位下的渗流场等势线分布如图 2。

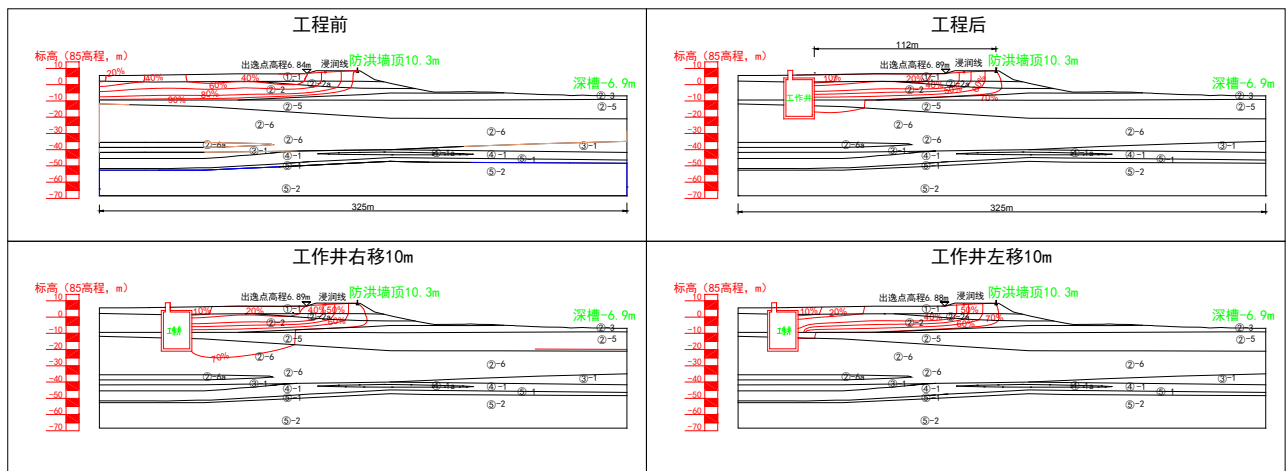


图 2. 计算断面设计洪水工况渗流计算结果图

3.2. 渗流计算成果分析

水力坡降是渗流分析重点关注的计算指标，叶健等[11]专门对坡脚最大水力坡降奇异性进行研究，本文采用的有限元法建立的渗流分析计算模型并通过李炳华[12]等所研究的方法对计算结果整理得到本次模型计算的出逸处比降。结果显示现状计算断面在设计洪水水位下的背水坡出逸处最大水力比降为 0.324，而根据地勘成果，杂填土的渗透变形型式为流土，允许水力比降为 0.40。因此，长江右岸大堤现状水力比降符合规范要求且有一定富余。

参与计算的其余 3 个工况，出逸段的渗透坡降均小于 0.40，满足渗透稳定要求。由计算结果分析，工作井的存在对计算断面的渗透稳定是不利的，主要原因是由于工作井的修建导致该处渗流阻断，造成工作井临堤防处渗流浸润线一定程度上壅高，江堤背水侧出逸点增高，出逸比降也变大，同时工作井离水域越近对渗透稳定越不利。渗透逸出点最可能发生在坡脚处，需做好排水措施。

4. 结论

- 1) 以工作井为例，通过有限元法建立渗透稳定计算模型。结合《堤防设计规范》中渗透稳定中的有关规定选取设计洪水水位工况进行计算分析。
- 2) 计算工况下均满足渗透稳定要求，且工作井离水域越远渗透稳定越安全。
- 3) 工作井的存在提高了堤防浸润线出逸点的高程，增大了背水坡出逸处的渗透比降，出逸点均在背水坡坡脚处，须对背水坡坡脚做好排水设施。

参考文献

- [1] 毛昶熙. 渗流计算分析与控制[M]. 第2版. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
- [2] ZIENKIEWICZ, O. C., ZHU, J. Z. and WU, J. Superconvergent patch recovery techniques—Some further tests. Communications in Numerical Methods in Engineering, 1993, 9(3): 251-258. <https://doi.org/10.1002/cnm.1640090309>
- [3] HUANG, T. K. Stability analysis of an earth dam under steady state seepage. Computer & Structures, 1996, 58(6): 1075-1082. [https://doi.org/10.1016/0045-7949\(95\)00230-8](https://doi.org/10.1016/0045-7949(95)00230-8)
- [4] 谷黎明, 郝瑞霞. 基于 AutoBank 的苏家庄淤地坝防渗改造及渗流分析[J]. 水电能源科学, 2019, 37(7): 58-61.
- [5] 尹鹏博, 亢晓龙, 李璞媛. 有限元法在坝基渗流分析中的应用[J]. 河南水利与南水北调, 2019, 48(3): 59-61.
- [6] 马宏图. 基于 ANSYS 的阁山水库土石坝稳定性及渗流分析[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2018.
- [7] 朱伯芳. 有限单元法原理与应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998: 45-60.
- [8] 顾慰慈. 渗流计算原理及应用[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2000.
- [9] GB50286-2013 堤防工程设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2013.
- [10] GB50487-2008 水利水电工程地质勘察规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2009.
- [11] 叶健, 秦忠国, 万乾山. 关于坡脚水力坡降奇异性的研究[J]. 水利学报, 2002(2): 75-78.
- [12] 李炳华, 孙德才, 程博, 等. AutoBank 软件在渗流稳定应用中的探讨[J]. 绿色环保建材, 2020(11): 167-168.