

DOI: 10.3969/j.issn.1004-4701.2021.03-12

钻孔粘土回填挤密法在汛后处理管涌出险点中的应用

詹旺林¹, 雷声²

(1. 江西省九江市水利电力规划设计院, 江西 九江, 332000; 2. 江西省水利科学院, 江西 南昌, 330029)

摘要: 本文结合工程实例, 提出了对于双层堤基管涌出水点在汛后采用钻孔粘土回填挤密的处理方法恢复其覆盖层, 确保堤基渗流安全. 并提出了钻孔粘土回填挤密法影响范围的计算模型, 为该处理方法的推广应用提供了一定的理论基础.

关键词: 双层结构堤基; 管涌; 汛后处理; 钻孔粘土回填挤密法

中图分类号: TV871.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1004-4701(2021)03-0224-05

0 引言

在汛期, 对于管涌险情的抢护已经有很成熟的经验和方法, 但对于管涌造成土层结构的破坏, 汛后怎样加固处理, 目前的研究成果不是很多.

双层堤基结构在堤防工程中普遍存在, 在汛期高水位长时间的作用下易发生管涌险情, 在汛后必须对其进行加固处理. 采用钻孔粘土回填挤密法施工对场地条件要求不高, 施工简单、成本较低. 因此钻孔粘土回填挤密法针对双层堤基结构, 且相对不透水层较厚的管涌险情的汛后处理具有一定的经济适用性.

1 管涌险情

2016年汛期, 受长江高水位长时间影响, 长江某干堤离堤脚约60m左右的排涝泵站进水渠内出现管涌险情, 渠内水深2.5m左右, 水面不断往外冒黑色细沙, 周边直径3m范围内全是管涌带出来的粉细砂, 形势十分危急.

由于管涌规模较大, 且发展速度较快, 现场抢险人员迅速制订出前期在渗流出口采用袋装碎石压铺土工

布控制险情发展, 待所需抢险物资到位后再填筑反滤围井对渗流出口形成立体防护, 并在离堤脚80m处修建雍水围堰抬高进水渠水位的抢险方案. 经过100多人的抢险队伍10多个小时的不懈努力, 险情得到有效控制, 没有造成大的损失.

经事后调查, 出险原因为电站进水渠内的地质勘探孔封孔质量控制不严, 汛期在长江高水位的作用下, 沿地质钻孔产生渗透破坏, 形成管涌险情.

2 地质概况

工程区地质结构类型为厚盖层双层结构Ⅱ₂类地质结构亚类, 堤基由第四系全新统地层组成^[1,2], 自上至下分别为粘土、淤泥质粘土、粉细砂、粘土、灰岩. 堤内地面高程14.5~16.4m, 堤外漫滩不发育.

(1) 粘土(alQ₄): 黄褐色, 可塑~软塑, 切面光滑, 无摇振反应, 韧性中等, 干强度一般, 层底高程7.70~8.25m.

(2) 淤泥质粘土(alQ₄): 灰黑色, 软塑, 切面光滑, 粘性强, 含腐殖质, 具轻微臭味, 层底高程3.02~5.22m.

(3) 粉细砂(alQ₄): 灰色, 灰绿色, 主要成分为石英, 含少量云母, 夹含粘土薄层, 多呈互层状结构, 级配一

收稿日期: 2021-01-22

项目来源: 江西省水利厅重大科技项目(202124ZDKT30, 202124ZDKT04, 202124ZDKT01).

作者简介: 詹旺林(1972-), 男, 大学本科, 高级工程师.

般,松散~稍密状,饱和,层底高程-15.45~-16.8m。

(4)粘土(alQ₂):棕黄色,硬塑,刀切面光滑,岩芯呈土柱状,局部夹砾石。层底高程-40.76~-29.99m。

(5)灰岩(D₃+C₂):弱风化灰岩:灰白色,隐晶质结构,中厚层构造,节理裂隙较发育,岩质较新鲜,坚硬,锤击声脆,岩溶较发育,溶洞及裂隙全充填粘土层,岩面高程-40.76~-29.99m。

堤基各类土的物理力学参数及渗透性建议值见表1^[9]。

堤基由第四系全新统地层组成,具二元结构,结构类型主要为双层结构(Ⅱ₂类),上部厚粘性土层,下部为粉细砂层,工程地质条件较好。但由于钻探施工时揭穿了堤基上部覆盖层,且钻孔封孔不甚密实,而下部细砂层透水性好,导致钻孔处堤内粘性土盖层有效厚度变薄,在持续高水位条件下,江水势必沿渗流途径较短、覆盖层较薄弱处产生渗透破坏,其渗透变形类型为管涌型。

表 1 堤基土物理力学性质及渗透性建议值表

岩性	比重	含水量 /%	干重度 / (kN/m ³)	孔隙比	压缩系数 / (MPa ⁻¹)	压缩模量 / MPa	凝聚力 / kPa	内摩擦角 / °	渗透系数 / (cm/s)	渗透允许比降
粘土	2.73	32.2	14.5	0.893	0.52	3.58	16.1	13.9	2.15×10 ⁻⁵	0.4
淤泥质粘土	2.75	43.5	12.5	1.223	0.88	2.53	12.2	7.23	2.15×10 ⁻⁵	0.3
粉细砂	2.72	35	13.6	1.007	0.57	3.2		23.6	9.19×10 ⁻⁴	0.15

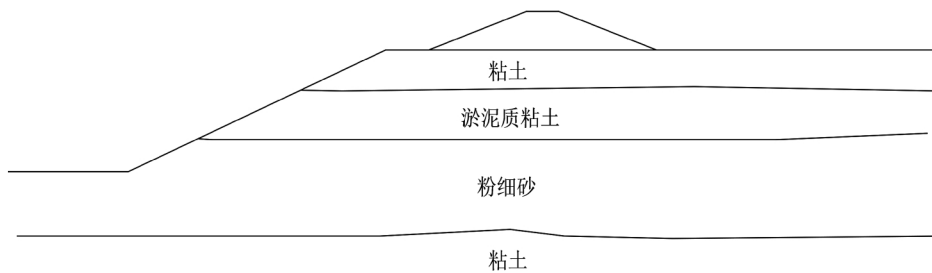


图 1 地质横剖面图

3 挤密桩加固处理方案

由于管涌离堤脚较近,渗透水流带出大量粉细砂和粘土颗粒,周边土体结构遭到破坏,防渗性能被削弱,为了确保堤防安全,在汛后必须对发生管涌的地层进行加固处理。根据方案和经济比较,结合场地地质条件,对管涌周边采用钻孔粘土回填挤密法进行加固处理。

钻孔粘土回填挤密法是通过将管涌点及其周围进行钻孔,将管涌通道及周边钻孔中的土体取出,并在孔内回填粘土球,用穿心锤锤击或静压等方式进行挤密。粘土球在受锤击或静压密实过程中,钻孔周边一定范围内土层受到挤压、扰动和重塑,土中气体溢出,孔周

土体孔隙比减小^[9],从而土体密实度得到提高,覆盖层厚度得到恢复,防渗性能得到增强。

3.1 挤密影响半径 R_m 的理论计算

为了确定钻孔的平面布置形式,必须要知道钻孔粘土回填挤密法对周边的影响范围。为便于建立计算模型进行理论计算,我们定义挤密影响半径为 R_m ,并进行以下几点假设^[5]:

①假设施工完成后 R_0 (挤密钻孔半径) 范围内的土体容重为 γ_0 , 在影响范围 R_m 边界处的容重为周边土壤的天然容重 γ_m 。自 R_0 至 R_m 由内到外土体的容重由 γ_0 线性递减至 γ_m 。

②假设挤密施工前后土壤容重自上至下的变化规律一致,且不考虑施工过程中地表隆起的影响。

③假设钻孔内回填粘土球的质量与钻孔取出土体

质量的比值为 n 。

如图 2 所示,以钻孔中心为圆心,以 R_m 为外边界,沿土柱截取一段单位厚度的圆形微分体。在距钻孔中心 x 处,厚度为 dx 的环形带状土体的容重为 γ_x ,这一数值随着 x 的增加由 γ_0 而线性递减至 γ_m 。根据挤密施工前后微分体内土壤颗粒重量的变化,可列出微分方程如下:

$$\int_{R_0}^{R_m} 2\pi x \gamma(x) dx + \pi R_0^2 \gamma_0 = \pi R_m^2 \gamma_m + (n-1) \pi R_0^2 \gamma_m \quad (1)$$

方程左边为根据上述 3 点假设,利用积分方法计算得出的加固后影响范围内的土体计算重量,方程右边为挤密施工完成后影响范围内的土体的实际重量,理论上两者数值是相等的。

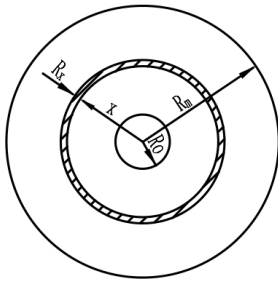


图 2 土体的微分体模型

另外根据上述第 1、2 条假设,加固后影响范围内的容重 γ_x 自 R_0 至 R_m 呈直线变化(见图 3, $R_0 < x < R_m$),可得以下直线方程:

$$\gamma(x) = ax + b \quad (2)$$

式中直线方程的斜率 a 和截距 b 的表达式如下:

$$a = \frac{\gamma_m - \gamma_0}{R_m - R_0} \quad b = \frac{\gamma_0 R_m - \gamma_m R_0}{R_m - R_0}$$

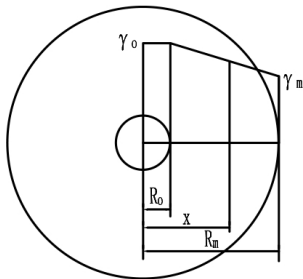


图 3 土体的容重变化模型

把线性方程 $\gamma(x) = ax + b$ 代入微分方程(1)得:

$$\begin{aligned} & \int_{R_0}^{R_m} 2\pi x(ax+b) dx = \pi R_m^2 \gamma_m + (n-1) \pi R_0^2 \gamma_m - \pi R_0^2 \gamma_0 \\ & \pi \left(\frac{2}{3} a R_m^3 + b R_m^2 \right) - \pi \left(\frac{2}{3} a R_0^3 + b R_0^2 \right) = \pi R_m^2 \gamma_m + (n-1) \\ & \pi R_0^2 \gamma_m - \pi R_0^2 \gamma_0 \\ & \frac{\pi}{3} \left(\frac{\gamma_0 - \gamma_m}{R_m - R_0} \right) R_m^3 = (n-1) \pi R_0^2 \gamma_m + \frac{\pi}{3} \left(\frac{\gamma_0 - \gamma_m}{R_m - R_0} \right) R_0^3 \\ & \frac{\pi}{3} \left(\frac{\gamma_0 - \gamma_m}{R_m - R_0} \right) (R_m^3 - R_0^3) = (n-1) \pi R_0^2 \gamma_m \\ & R_m^2 + R_0 R_m + R_0^2 - \frac{3(n-1) R_0^2 \gamma_m}{\gamma_0 - \gamma_m} = 0 \\ & R_m = \frac{-1 + \sqrt{1 - 4 \left(1 - \frac{3(n-1) \gamma_m}{\gamma_0 - \gamma_m} \right)}}{2} R_0 \end{aligned}$$

根据以往施工经验, n 一般取值为 2.0~3.0, 本次取值为 2.5。采用冲击法回填 γ_0 的取值可达到 $(1.2 \sim 1.5) \gamma_m$, 当采用静压法回填时 γ_0 的取值可取 $(1.1 \sim 1.3) \gamma_m$ 。本次地下水位以下采用静压法回填, 地下水位以上采用冲击法回填, 综合取值 $\gamma_0 = 1.25 \gamma_m$, 经计算 $R_m = 3.65 R_0 = 237 \text{mm}$ 。

3.2 挤密影响半径 R_m 的建议取值

由于 R_m 的计算结果是基于上述 3 点假设的基础上, 事实上土体的压缩及对周边土体的挤压效果受土体的颗粒组成、土壤的含水量、土层深度和施工质量的影响, 为了工程安全, 在实际应用中对挤密影响半径 R_m 应适当进行折减, 综合考虑土壤的性质和施工工艺, R_m 可在 $1.5 R_0 \sim 2.5 R_0$ 之间选用, 本工程选用 $R_m = 2.0 R_0$, 地质钻孔半径 65mm, 则单孔挤密影响半径 R_m 取 130mm。

4 挤密桩布置

原地质钻孔封孔质量控制不严, 是产生管涌的主因, 为保证处理效果, 为此在出险的地质钻孔上布置 1 个回填挤密孔, 以其为圆心在其周围布置 2 圈回填挤密孔。

根据单孔挤密影响半径 130mm 进行布置, 第一圈挤密孔布置在半径为 230mm 的圆周上, 共布置 6 个回填挤密孔, 第二圈挤密孔布置在半径为 400mm 的圆周上, 共布置 12 个回填挤密孔, 钻孔处理深度至砂层顶面。钻孔分 2 序施工, 并按先外圈后内圈的顺序作业(见图 4)。施工完成后, 在管涌出险点周边半径 520mm

范围内的土体得到密实加固,覆盖层得到了恢复。

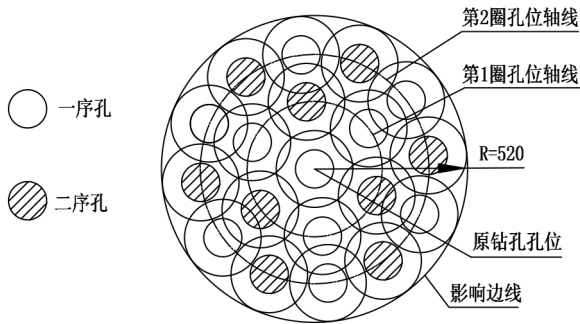


图 4 挤密施工布孔图

5 施工方法及要求

钻孔粘土回填挤密法主要工序有:放样定孔位、钻机就位、钻孔、分层回填挤密等。使用地质钻机泥浆护壁钻进,孔径 130mm^[6]。钻孔有效深度严格按设计要求控制,孔斜率不大于 1%。

成孔后下套管以保护孔壁,同时应将套管螺纹上满上紧,防止套管掉入孔内。套管下入后,再用钻具进行一次扫孔,把在下套管时从孔壁上刮下来的泥土扫除干净,并注意不要因扫孔造成套管脱落。用清水置换钻孔内浓泥浆,直至认定泥球能顺利下沉到预定位置。成孔后,往钻孔中投入泥球。泥球粘粒含量应大于 30%,塑性指数应大于 17,干密度不小于 1.4g/cm³,直径为 2~2.5cm。

地下水位以上采用冲击法回填^[7],地下水位以下或 10m 以下孔段采用静压法回填,使其压实为 0.3m。每 0.3m 投入的粘土球的质量一般为 2.5 倍取出土的质量,如表 2 所示,且不小于 14.0kg/0.3m。

6 处理效果

采用钻孔粘土回填挤密处理后,产生管涌的地质钻孔内粉细砂及部分反滤材料基本得到清除,且通过回填挤密之后,孔周土体孔隙比减小,从而土体密实度得到提高,覆盖层厚度得到恢复,防渗性能得到增强。

2016 年 7 月 6 日发生泡泉时长江水位为 21.38m (吴淞高程,下同),同年 11 月挤密加固施工完成。经过近几年特别是 2020 年长江最高水位 22.81m 长时间的检验,周边区域未出现管涌等渗透险情,证明处理效果良好。

7 结 语

双层堤基结构在堤防工程中普遍存在,在汛期高水头的作用下,下游堤基承受压力水头的作用,当压重大于承压水头的时候,堤基渗流维持稳定状态。当相对不透水层遭到破坏或削弱后,承压水头大于所需压重,就会发生管涌或流土破坏,一旦形成稳定的渗流通道,就会带出大量的土壤颗粒,通道周边的土体在应力的作用下,土体结构重新调整,土体的孔隙比增大,渗透系数降低,如果汛后不能对出险通道进行有效处理,在下一个汛期出险的可能性大大增加。

对覆盖层比较薄的堤段,可以采用开挖回填粘土的处理方式。但当覆盖层较厚时,开挖回填工作量较大,且开挖过程影响堤防的稳定,既不经济也不安全。采用高喷处理效果也较好,但是高喷施工要求的条件较高,当工程量较小时,单位成本特别高,很难有施工单位愿意进场施工。而采用钻孔粘土回填挤密法施工对场地条件要求不高,施工简单、成本较低。因此钻孔

表 2 各土层投入粘土球的质量

土层	干密度 / (g/cm ³)	孔体积 / (m ³ /0.3m)	取土质量 / (kg/0.3m)	计算回填泥球质量 / (kg/0.3m)	设计回填泥球质量 / (kg/0.3m)
粘土	1.45	0.004	5.8	14.5	14.5
淤泥质粘土	1.25	0.004	5	12.5	14
粉质粘土及粉砂互层	1.4	0.004	5.6	14	14

粘土回填挤密法针对双层堤基结构,且相对不透水层较厚的管涌险情的汛后处理具有一定的经济适用性。

参考文献:

- [1] 崔冠英,潘品蒸. 水利工程地质[M]. 水利电力出版社,1985.
- [2] GB50487-2008. 水利水电工程地质勘察规范[S].
- [3] 黄文相,高鸿. 九江市城西港区江边河 1#、4# 钻孔泡泉地质勘察报告[R]. 九江:九江水利电力规划设计院,2017,12-15.
- [4] 史如平,韩选江. 土力学与地基工程[M]. 上海交通大学出版社,1990.
- [5] 刘根芳. 对沉桩施工土壤挤密半径的分析 [J]. 建筑机械化,1995(02):5-8.
- [6] 李相然,赵春富,张绍河. 地下与基础工程防渗加固技术[M]. 中国建筑工业出版社,2005.
- [7] 叶树麟,韩杰,叶观宝. 地基处理与托换技术[M]. 中国建筑工业出版社,1997.

编辑:张绍付

Application of extrusion method of using drilling and clay backfill in piping dangerprocessing after flooding

ZHAN Wanglin¹, LEI Sheng²

(1. Jiujiang Water Conservancy and Electric Power Planning and Design Institute of Jiangxi Province, Jiujiang 332000, China; 2. Jiangxi Academy of Water Science Engineering, Nanchang 330029, China)

Abstract: According to the piping in two-stratum dike foundations, this paper puts forward a extrusion processing method of using drilling and clay backfill to recover the overburden and ensure seepage safety of dike foundations combined with practical work. In addition, this paper also puts forward a calculation model, which can reflect the influence scope of above method. It could provide some theoretical basis for piping processing method.

Key words: Two-stratum dike foundations; Piping; Processing after flood period; Extrusion processing method of using drilling and clay backfill

翻译:詹旺林