

· 陆域形成与地基处理 ·



抛石挤淤技术在软土地基围堤工程中的应用

黄东海

(中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120)

摘要: 抛石挤淤的适用范围一直被认为只局限于厚度较小的淤泥地基。但在很多工程实践中, 抛石挤淤还经常用于厚度较大的淤泥地基处理。结合工程实例对抛石挤淤堤的加固机理、设计计算、施工控制、观测检测等各方面进行了详细的论述, 可供类似工程设计与施工参考。

关键词: 围堤; 软土地基; 抛石挤淤

中图分类号: TU 447

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)12-0126-04

Application of rockfill dumping in soft soil dike engineering

HUANG Dong-hai

(Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

Abstract: The application scope of rockfill dumping has been confined to the thinner mud foundation, however, in many of the works in practice, rockfill dumping is also often used in thick mud foundation treatment. This paper, as an example of a dike project, discusses the rockfill dumping of reinforcement mechanism, design calculations, construction control, observation and detection, etc., and the result may serve as reference for the design and construction of similar projects.

Key words: dike; soft soil; rockfill dumping

我国沿海港口中普遍存在厚度达3~20 m的淤泥或淤泥质土, 其主要特点是: 天然含水量高, 孔隙比大, 在荷载作用下易发生沉降变形; 软土的抗剪强度低, 地基承载力低, 在荷载作用下易产生侧向变形。因此, 在这些软土地基上修筑围堤, 在天然地基承载力和变形均不能满足使用要求的情况下, 水运行业通常采用抛石挤淤、爆破排淤填石或排水固结法进行地基处理。

在水运工程标准体系中, 对爆破排淤填石和排水固结法地基处理已经有相应的规范或条文进行详细规定, 而对抛石挤淤却描述甚少, 有关地基处理的文献^[1]中也很少见到有关这方面的理论研究。工程实践中, 抛石挤淤却是遇到的比较多的一种地基处理方法, 而且还经常用于厚度较大

的淤泥地基的处理。因此本文将结合一个工程实例对抛石挤淤堤的加固机理、设计计算、施工控制、观测检测等各方面进行详细的论述。

1 抛石挤淤的加固机理

抛石挤淤法是通过向淤泥表面大量集中抛填石料, 依靠填筑体的自重, 挤开淤泥, 强制置换饱和软土的地基处理方法。它的实质就是用石头来转换淤泥, 是一种置换的方法。但与一般换填方法相比, 抛石挤淤不必清淤, 强迫换土, 施工简便迅速, 既保证了地基承载力的要求, 又解决了淤泥倒运和堆放问题, 是一种相对简单、迅速、方便的施工方法。

在实际应用中, 抛石挤淤法又分为散式挤淤

收稿日期: 2012-10-10

作者简介: 黄东海(1974—), 男, 高级工程师, 从事水运工程和水利工程的设计研究。

和整式压载挤淤。散式挤淤是指在依靠单块块体的自重或借助外力，使抛填体沉入淤泥中，形成以块石为骨架中间充满淤泥的复合地基。散式挤淤抛填体必须下沉到硬土层，否则难以形成稳定的置换地基。整式压载挤淤的填筑体则是整体沉入淤泥中，除泥石交界面外，填筑体内部不混有淤泥。整式压载挤淤法具有结构整体性好、承载力高、稳定性强等优点，对较重要的工程多为整式压载挤淤。

在受力分析上，抛石挤淤表现为土体的整体剪切破坏：当集中向淤泥表面大量堆载的瞬间，淤泥中的孔隙水还来不及排出，全部压力的增量完全由孔隙水来承担，地基土颗粒间的压力即有效压力并没有发生变化，地基土的抗剪强度在一定的时间内不但没有提高，还会因堆载施工的扰动而下降。因此，当填筑体在地基中所产生的附加应力达到土的不排水强度时，土体将产生整体剪切破坏。土体中将产生连续的滑动面，填筑体下的淤泥被强制挤向两侧，向上翻涌和隆起。同时填筑体挤开淤泥下沉至一定深度，与周围土体形成新的极限平衡状态。

2 抛石挤淤的处理深度

根据港口工程地基规范^[2]，抛石挤淤一般适用于淤泥或流泥小于5 m的地基。在公路工程相关标准^[3]中也指出，当软土厚度小于3 m，表层无硬壳，呈流动状态，排水困难，石块易于取得的条件下，可采用抛石挤淤方法，因此抛石挤淤法属浅层地基处理范畴。但也由于规范的限制，抛石挤淤的适用范围被认为只局限于厚度较小的淤泥地基。但在很多工程实践中^[4]，抛石挤淤还经常用于厚度较大的淤泥地基处理。

1) 一般影响因素。

抛石挤淤的过程是淤泥地基不断失稳的过程，抛石的速率越快，淤泥的滑动面就越深，残留的淤泥就越少，因此，抛石的速率对挤淤效果非常重要。此外，淤泥的性质和堆填的高度对挤淤深度也影响很大，淤泥的液性指数越大、填筑体堆得越高，抛石的下落距离就越长，相应抛石

挤淤的处理厚度也越大。

一般情况下，利用填筑体自身的重力置换3 m以内的淤泥是可行的，但若淤泥厚度超过3 m，填筑体一般无法接底，使围堤成为悬浮式结构，不利于堤身稳定。因此，必须根据残留淤泥的厚度及埋深等情况，采用强夯、强夯置换、反压护脚或部分清淤等方法对抛石区进行处理，以加强堤身安全，降低工后沉降。

2) 车辆碾压作用。

当淤泥厚度在3~5 m时，在利用填筑体自身重力置换2~3 m淤泥后，底部还残留1 m左右的淤泥。这些薄层淤泥在填石自重预压作用下，填石之间的缝隙使底部淤泥有一个固结排水的过程，可明显改善残留薄层淤泥的性质。同时运输车辆还对填筑体也起到振动碾压作用，使填筑体在压实的同时，下卧淤泥由于受振动、挤压、扰动等原因，土的结构产生破坏，强度降低，碎石被挤入后，土体颗粒重新调整，孔隙水通过碎石排出，薄层淤泥性质可得到进一步改善。

3) 强夯置换处理。

对于高滩堤段5~7 m的淤泥地基，在利用石料自重进行初步挤淤后，由于残留淤泥厚度还比较大（约2~4 m），此时可采用强夯置换的方法进行加固。即在抛石挤淤和整平碾压后，采用点夯，对置换的粗骨料进行强夯，在压缩、密实填料的同时排开淤泥，夯入块石等粗骨料形成强夯置换墩。墩柱底端穿透淤泥层，起到挤密、承力和排水固结作用，并与周围的夯间土形成复合地基，提高地基强度，改善排水条件。

强夯施工参数应根据现场试夯或当地经验确定，对于有效加固深度为7~9 m的地基，其强夯施工参数一般为：单击夯击能3 000~5 000 kJ，夯点间距4~8 m，点夯遍数至少4遍，最后进行1遍低能量满夯。点夯施工时宜采用夯锤边强夯、边填石料、边挤淤的方法，在地基中形成碎石墩体。夯点顺序为打一跳一，2遍间隔时间7 d以上。

4) 反压+超载。

对于低滩堤段5~7 m的淤泥地基，在利用石料自身重力进行初步挤淤后，不仅残留淤泥较厚、

填筑体厚度也超过强夯置换的能力。为保证堤身安全稳定,此时可采取加大镇脚反压的措施,若围堤残余沉降也不能满足使用要求,还需采取超载预压或延长堤身沉降期等措施。

一般来说,对于低潮不出露的堤段,若淤泥厚度达5 m以上,抛石挤淤时由于堤身超过临界高度,必须在堤身两侧采取反压措施,使围堤下的淤泥向两倒隆起的趋势得到平衡,从而保证堤身的稳定性。反压棱体的高度一般为堤高的1/2~1/3,宽度可根据边坡稳定计算确定,一般为3~15 m。反压棱体需与堤身施工同时进行,并在堤身达临界高度前将反压棱体施工完成。

5) 清淤+挤淤。

对于软土厚度在7 m以上的抛石挤淤堤,加强反压虽然可以解决堤身稳定问题,但由于残留淤泥超过4 m以上,其压缩量是相当可观的,即使采取超载预压、延长堤身沉降期等措施,其工后沉降还是不能满足使用要求(一般要求在30~50 cm以内)。此时可先挖除一部分淤泥,使剩余淤泥

不超过3~4 m后,再进行抛石挤淤。当然这种方法的处理厚度并不是无止境的,一般来说,当淤泥厚度超过10 m后,需要挖除超过7 m的淤泥,此时工程费用已不再经济。

3 某工程实例的设计情况

某海港围堤工程,水位、波浪设计重现期为50 a一遇,围堤总长1 880 m,沿堤滩面高程约-1.1~-3.3 m,设计高水位为2.08 m,堤顶高程5.3 m,堤内陆域回填高程3.4 m。围堤地基上部为1.3~21 m淤泥、淤泥质黏土,下部为黏土、粉质黏土和灰岩。软土的天然含水量约50%,孔隙比约1.4,液性指数1.2~1.5,压缩系数大于1.0 MPa⁻¹,十字板强度约15 kPa。在技术经济上进行比较后,设计推荐采用抛石斜坡堤结构。对于围堤的地基处理,软土厚度大于5 m的堤段采用排水固结方案,软土厚度小于5 m的堤段采用抛石挤淤方案。本文重点是对其中的抛石挤淤堤进行详细介绍。

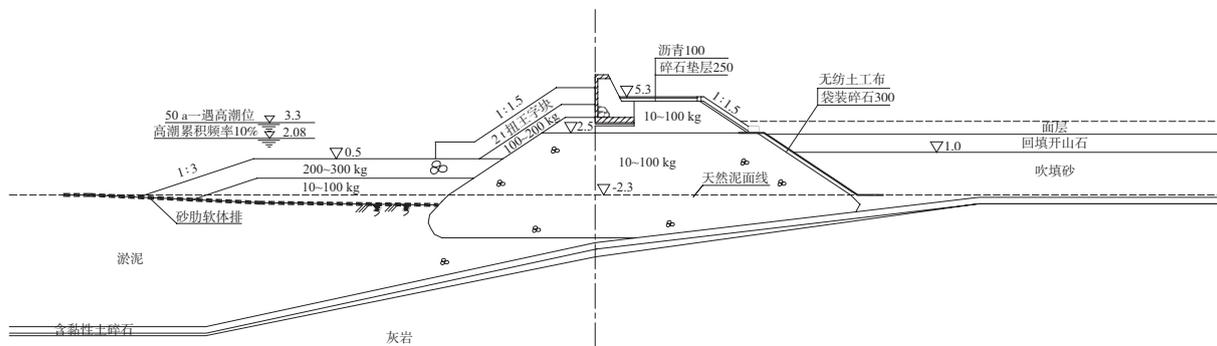


图1 抛石挤淤堤典型段断面

1) 抛石挤淤深度计算。

挤淤深度一般按抛石层底的压力和软土层的地基承载力相平衡的原理进行计算,即不断增加挤淤深度,按公式 $\sigma_z + \sigma_{cz} \leq f$ 验算软弱下卧层的地基承载力,直至满足为止,但这种方法不仅计算过程繁杂,而且计算结果不够精确。因此本文采用杨光熙推导得到的整式挤淤填筑体厚度 H 与在淤泥中下沉深度 D 的关系公式^[5]进行计算。

$$H = \frac{2\pi C_u + 2\rho_s g D}{\rho g} + \frac{(4C_u + 2\rho_s g D)D}{\rho g [t(\sqrt{2} + 1)]} + \frac{2\rho_s g D^3}{3\rho g [t(\sqrt{2} + 1)]^2} \quad (t \leq \frac{B}{\sqrt{2} + 1}) \quad (1)$$

$$H = \frac{(2 + \pi)C_u + 2\rho_s g D}{\rho g} + \frac{(4C_u + 2\rho_s g D)D}{\rho g B} + \frac{2\rho_s g D^3}{3\rho g B^2} \quad (t > \frac{B}{\sqrt{2} + 1}) \quad (2)$$

式中: t 为淤泥深度; B 为填筑体宽度; C_u 为淤泥十字板抗剪强度; ρ_s, ρ 为淤泥、填筑体密度。

本工程堤身填筑体高出滩面高程约6.5 m,则填筑体厚度 H 与在淤泥中下沉深度 D 的关系也要满足公式

$$H = 6.5 + D \quad (3)$$

由此结合杨光熙公式即可算出挤淤深度 D 。鉴于解三次方程式有一定难度,可用作图法进行

计算。

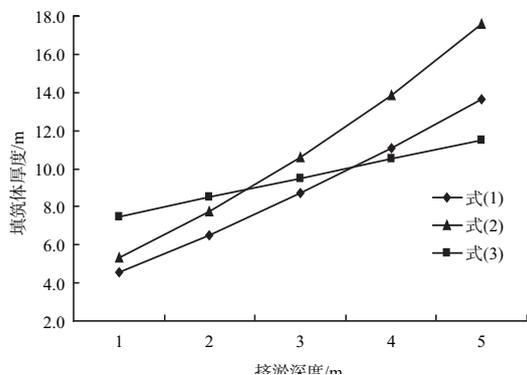


图2 抛石挤淤深度计算结果

从图2可以看出, 式(1)或(2)与式(3)交点的x轴坐标即为挤淤深度, 因此本工程的计算挤淤深度约为2~3 m左右。

2) 堤身稳定加固措施。

根据上述挤淤深度计算结果, 软土厚度5 m时, 直接抛石挤淤后填筑体下还留有1~2 m淤泥, 这对堤身的整体稳定十分不利, 因此还必须采取其他加固措施。本工程考虑方便顺接排水固结堤段, 采用了与排水固结堤段一样的加强堤脚反压的措施, 即在临海侧堤脚处设置约3 m厚(即提高的1/2~1/3) 15 m宽的抛石护脚, 以防止在陆域回填时堤身向外滑动。同时运输车辆也对填筑体起到一定的振动挤密作用, 使堤心石充分挤填到软土中, 形成泥石混合层, 以提高地基承载力, 减少沉降。此外抛石堤本身也具有良好的透水性, 可加速地基固结, 恢复和提高土体结构强度。经计算, 边坡稳定系数 $F_s > 1.15$ 和工后沉降 $S_r < 30$ cm, 均满足有关规范要求。

4 工程施工应用情况

本工程围堤就地取材, 采用附近爆破开山石筑堤, 施工顺序根据设计要求为抛石挤淤→外侧反压→内侧反滤→堤后吹填→分层加高→路面结构。主要施工机械有挖掘机、装载机、自卸汽车、推土机、压路机等。

1) 抛石挤淤。采用自卸汽车抛填, 推土机整平, 纵向由山脚向海侧推进, 横向从堤中部向两侧成等腰三角形向前抛填, 使淤泥向两侧挤出。

考虑本工程淤泥厚度较大, 为增加挤淤作用力, 在大堤抛填过程中采用超高抛填、高潮平抛、低潮斜推的施工工艺, 即每次堤头抛填高度超过海面2~3 m, 使堤头沉降2~3次后, 再向前循环推进, 每天推进量控制在10 m以内。

2) 超载预压。每天抛填结束前在堤前5~7 m范围内堆积1~2 m高石料进行压载, 迫使淤泥被充分挤开, 次日再用推土机把压载石料推掉, 继续抛填, 如此反复循环直至此部分围堤完成。

3) 顶面整平。抛石挤淤断面整体成型(达到设计高水位以上)后, 以每100 m为一个作业段, 采用5~15 cm小石块整平顶面, 然后用推土机或压路机反复碾平, 以利于自卸汽车的行驶。同时通过运输车辆的反复碾压改善抛填体下剩余淤泥的性质, 以提高地基强度, 减少沉降。

4) 外侧反压。先铺设加筋软体排, 再利用低潮陆上推填反压棱体, 低潮无法施工的部位, 则可利用船机乘高潮抛填。抛填完成后的反压棱体高程应预留足够的沉降。

5) 分层加高。在外侧反压、内侧吹填后再继续分层加高围堤, 每层厚度约0.5~1.0 m。并在上部堤身施工过程中, 加强对堤身的沉降及位移的观测, 如发现堤基沉降量达到15 mm/d, 或侧向位移量达到5 mm/d时, 应立即停止填筑。分层填筑应慢而均匀, 待观测数据基本稳定后, 方可进行下一层抛石填筑。

6) 路面结构。堤基预留沉降期为6个月, 以确保路面施工前路基沉降基本趋于稳定, 且要求路基每月沉降值小于5 mm时, 方可进行路面的施工。施工时, 先铺设粉煤灰三渣和碎石垫层, 分层碾压厚度控制在20 cm, 填筑碾压时注意含水量的压实度, 保证每层压实度不小于95%, 然后再铺设沥青路面。

5 观测和检测措施

为保证工程质量, 在施工过程中不仅要控制填料的质量和填筑的方法, 还要做好挤淤深度、落底情况、沉降稳定和承载能力等观测和检测工作。

(下转第143页)