

Research on Disposal and Reuse of Grouting from Borehole of Urban Bridge

Chunfeng Xu

Jiangsu Tengda Engineering Testing Co., Ltd, Jiangsu Huaian 223005, China

Abstract: Aiming at the problem of how to deal with a large amount of waste mud produced in the construction of expressway cast-in-place pile, this paper studies the existing waste mud treatment technology in the construction of cast-in-place pile, and proposes to adopt the pressure filtration and solidification treatment technology of urban bridge borehole abandoned slurry, and use the mud solidification and filtration equipment to separate the waste mud from mud cake and tail water. Part of the tail water is injected into the mud pond for recycling, part is reprocessed for agricultural greening and irrigation, etc. The mud cake is recycled and reused, and can be converted into backfill and green soil according to the actual needs of the site, thus solving the problems of large environmental pollution, low utilization rate of waste materials and poor civilized construction in the traditional waste mud treatment process. Finally, In view of the impact of grouting treatment on the environment of urban Bridges, a post-evaluation model of grouting treatment environment is established, which provides a scientific evaluation system for implementing the post-grouting treatment environment evaluation.

Keywords: Cast-in-place pile; Discard pulp; Press filtration curing; Reuse; Environmental governance assessment

城市桥梁钻孔弃浆处置与再利用研究

徐春风

江苏腾达工程检测有限公司 中国·江苏淮安 223005

摘要: 针对高速公路灌注桩施工过程中产生大量废弃泥浆如何处理的问题,研究了现有灌注桩施工中废弃泥浆处理技术,提出采用城市桥梁钻孔弃浆的压滤固化处理技术,利用泥浆固化压滤设备对废弃泥浆进行固液分离处理方法,把泥浆分离出泥饼和尾水,尾水一部分注入泥浆池循环利用,一部分再处理后用于农业绿化灌溉等,泥饼则进行循环再利用,根据现场实际需要可以转换为回填土和绿化土,以此解决了传统废弃泥浆处理过程中环境污染大、废弃材料利用率低,文明施工差等问题,最后,针对城市桥梁钻孔弃浆处治后环境的影响,建立了弃浆处治环境后评价模型,为具体实施弃浆处治环境后的评价提供了一个科学的评价体系。

关键词: 灌注桩; 弃浆处置; 压滤固化; 再利用; 环境治理评价

1 引言

近些年来,随着中国公路基础设施建设规模的进一步扩大,其中大量的道路桥梁建设也随之增加,在道路桥梁施工中,桩基是非常关键的结构,目前大部分桩基施工均采用泥浆护壁成孔灌注桩,泥浆在保护孔壁、平衡地层压力方面起着非常重要的作用。然而在桩基灌注桩钻孔施工过程中将产生大量的泥浆,其数量一般为灌注桩桩基体积的3-5倍之间,这对于施工建设以及环境都造成了很大的压力,特别在城市桥梁钻孔施工中,现有工程大多采用直接外运排放,任

其自然风干,这也进一步造成严重的废弃泥浆污染。而且这种外运直接排放的处理方法,通常需要采用专业车辆进行外运,这使得处理泥浆方式不仅效率较低,影响施工进度,而且泥浆在现场的沉淀池处理,有时泥浆池的泥浆溢出,使施工现场环境恶劣,也易造成的环境污染,这些渗漏废弃的泥浆,造成淹没农田、苗木、堵塞河道等。同时在城市桥梁钻孔施工,这种泥浆外运时车辆运输有时会有泥浆漏洒在城市道路上,这不仅影响市容,也造成交通道路安全隐患,因此研究和探讨城市桥梁钻孔弃浆处置与再利用研究具有重要的现实意义。

【作者简介】 徐春风(1975.12—),男,江苏淮安人,高级工程师,交通工程检测。

2 城市桥梁钻孔弃浆常用的处治方法

随着中国高速公路的不断建设,在城市桥梁钻孔弃浆处置也积累了很多经验和方法,也出现了一些较为系统的城市桥梁钻孔弃浆的处理技术,对各种废弃泥浆处理工艺和用于钻孔弃浆固化剂也开展了很多的试验研究,为城市桥梁钻孔弃浆的处理和对环境造成的污染控制提出了一系列新的治理办法和思路。目前城市桥梁钻孔弃浆处理技术主要包括以下几种方法。

2.1 固液分离法

在城市桥梁钻孔弃浆处理过程时,采用一些化学絮凝剂改变泥浆的胶体组织结构,改变泥浆中粘土颗粒的表面状态,增大泥浆中固相部分的体积,使得泥浆固体和液体得到初步固化分离,其中液体部分经过再经过处理达标后排放或再流,固相部分再进一步进行固化处理,这种方法可减少运输和弃浆后续处理费用,方法较为简单高效,实施也较为容易,但弃浆经过这样处理过程容易造成环境的进一步污染,目前容易面临较大的环保压力,并且对分离设备和化学固化剂的成本也投入很高,并且分离效果有限,分离出来的液体部分一般也不能直接排放,需要进一步净化处理达标后才能排放^[1]。

2.2 高速离心脱水

在城市桥梁钻孔弃浆处理过程中,利用专门设备进行高速离心运动,将弃浆进入离心设备后完成脱水过程,脱水后的固体物质进行外运处理,而弃浆离心脱出的水,在进一步处理后可以循环使用,但这种将弃浆高速离心处理的方法,相对整个弃浆处理过程来说效率较低,成本较大,应用较少。

2.3 化学固化后离心脱水

城市桥梁钻孔弃浆经化学固化剂处理后,泥浆固液两相沉淀分离后,继续对分离后的固体部分再通过离心设备进行高速离心脱水,使固化物的含水量进一步降低,该方法虽然比第二种方法效率有所提高,但效率提高有限,而且还需要同样投入专门的离心设备,成本也较大。

2.4 注入地下安全层处理

在城市桥梁钻孔弃浆处理过程中,若条件允许,可以将弃浆注入地下安全地层中,安全地层一般选择地层压力较低,且是周围对地下水等不会渗透的地方。这种方法需要专用注入设备,同时所选择的注入

地下层的限制较多,且有可能污染地下水,故目前采用较少。

3 压滤固化处理技术

城市桥梁钻孔弃浆的处理过程中,目前国内对弃浆固化物的处理方法主要包括坑内直接填埋、工程再回收利用、固化物的无公害处理等,但其中泥浆压滤固化处理技术作为目前一种积极的泥浆处理技术,得到了越来越多的采用,它是在钻孔弃浆中加入外加剂(石灰、絮凝剂等)进行絮凝处理,将经絮凝处理后的泥浆导入到压滤机内进行过滤、物理挤压、气体吹干等操作,最终使浆液压滤成干泥饼一种弃浆处理技术。

弃浆由于是在使用泥浆施工的桩基成孔过程中,钻渣与水形成的废弃浆体,它属于一种胶体,短期内形成,也容易影响周围土壤环境、形成环境安全隐患。而压滤法泥浆固化方法是在城市桥梁钻孔弃浆的处理过程中的一种常用方法,通常采用厢式压滤机处理。

3.1 施工准备

选择合适的厢式压滤机械设备后,完钻孔桩基的施工方案,计算好预处理的泥浆量,确定泥浆池和沉淀循环池的位置,泥浆量池按照桩基工程1到2d所完成的桩孔体积的3倍计算,再乘以充砂土的填充系数,砂性土取1.15,黏土取1.2^[2],并设置好厢式压滤机安放场地,做好场地平整的准备,按要求设置好泥浆固化施工管路。

3.2 泥浆生成及循环使用

在城市桥梁桩基钻孔施工过程中,常规灌注桩采用制浆护壁施工,利用泥浆的循环运动,将灌注桩成孔过程产生的泥土渣石等通过泥浆运动把它们携带出来流到泥浆沉淀池中,在这个泥浆的形成过程中,使泥浆中泥土和水混合使其中的黏度、密度、含砂率达到一定的比例,从而满足一方面使泥浆能够裹带泥沙,另一方面使泥浆能够保护桩孔壁以及冷却设备的钻具的目的。在钻孔过程中产生的泥浆除了满足钻孔泥浆的循环运动过程,多余泥浆则需进行排放和固化处理。在城市桥梁钻孔施工过程中,一般产生的泥浆流放至泥浆池进行沉淀处理,泥浆在排放过程中流动并通过沉淀池沉淀后,低浓度泥浆流向桩基循环池进行重复循环使用。

3.3 泥浆的固液分离

泥浆与固化剂（生石灰、絮凝剂等）在集浆池内经过混合搅拌充分融合后，通过泥浆水池输送至压滤机进行压滤，并根据不同型号的压滤机操作进行进料控制。在压滤机进料泵的作用下泥浆通过压滤机的进料口流入压滤机滤室，并通过压滤机对泥浆进行过滤过程中，泥浆在压滤机中完成固液分离，其中泥浆的固相部分留在压滤机滤室内形成泥饼留待处理，液相部分以清水排出。

3.4 清水过滤及泥饼出料

城市桥梁钻孔弃浆通过压滤机处理后，泥浆中的液相部分以清水形式从压滤机滤板侧边流向水槽，然后排放到清水池中进行后续的循环利用，而泥浆中的固相部分经压滤机固化形成泥饼后落入其中的泥饼堆放场地，以便定时清运。施工时应根据施工进度和工程量情况确定压滤速度和卸泥速度，其中压滤机压滤速度主要由其卸泥速度决定。如一台1500型液压厢式压滤机，其滤室的容积为8m³，一次工作一小时可处理固化处理22.5m³泥浆，产生7.5m³泥饼^[3]。

3.5 泥饼及清水处理

城市桥梁钻孔弃浆经过压滤机上述固化处理后，每日形成的泥饼应集中堆放，按时处理，通过清运车辆运至场外，这些泥饼也可以通过其它方式进行再利用。压滤机固化处理后的液相部分排出后，通过适当的水处理措施后排放至清水池，继续用于桩基循环池进行循环施工使用，但固化处理的废水不能直接排放或用于农业土壤灌溉，必须进一步通过水处理后才能有序排放。

4 弃浆固化后再利用

高速公路灌注桩废弃泥浆固化产物再利用技术，满足废弃泥浆无污染排放的环境需求，相比传统废弃处理方法具备环保、高效、降低成本等优势，因此有必要在实际桩基施工中，研究废弃泥浆固化技术和产物再利用技术，这一方面可以满足现场文明施工，另一方面也可以提高废材再利用率，间接节约土地资源和施工成本，符合绿色化施工要求^[4]。

4.1 固化物的直接回填处理

城市桥梁钻孔弃浆通过压滤机处理后，将弃浆固化物放入的储存坑中，弃浆及固化物经过充分的沉淀和分离后，其中上面的液体部分排放重新利用，而其

中固体沉淀物自然风干后，在储存坑内就地填埋后，表面进行绿化处理，比如选择种草、植树等。另外弃浆及固化物的塑性指标和含水量与附近河塘底基土壤相近时也可采用袋装充填，袋装土袋进行河塘基底处理时，土袋处理厚度不大于50cm，并应采用木桩或其它固定措施防止土袋滑移。固化物装袋也可用于一些临时水利或水系改造的筑坝工程、堤坝加固工程以及一些防洪工程，或者用于非浸水重力式挡墙及非浸水混凝土轻型挡墙的基底回填土的填筑施工等^[5]。

4.2 固化物的工程再利用

城市桥梁钻孔弃浆的固化处理时，经压滤固液分离后的钻渣、土石泥沙等可被循环再利用，若工程施工地点相距较近时，可将泥浆运往另一施工地点继续使用。

4.3 固化物的农业及绿化利用

城市桥梁钻孔弃浆的固化物处理时，利用化学固化外加剂方法和利用泥浆固化设备结合，使得泥浆中的固化物最大程度的固化，达到一定强度可以适合植被生长的绿化土壤后，可用于后期绿化工程施工。该固化处理方法可以大大减少城市桥梁钻孔施工对生态环境的影响，固化后的产物无公害处理后可以再次利用。

5 弃浆处治环境后评价

5.1 环境治理评价模型

基于绿色生态理念，城市桥梁施工中钻孔弃浆经处理后可有效地降低对周边环境的影响，为了评价弃浆处治后对环境的影响，本研究构建了直觉模糊集topsis泥浆处治环境绿色评价模型，该模型包括措施处理效果、措施生态影响及废弃物回收再利用等三项一级指标，如下图1所示。

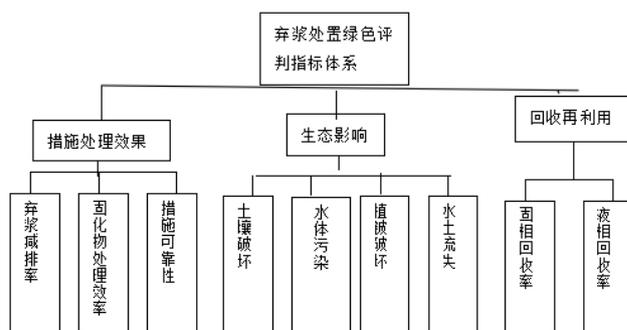


图1 弃浆处治绿色评判指标体系

5.2 评价指标权重的确定方法

构建环境绿色评价模型时,需要确定评价模型中的各级指标权重,这里采用一种评价的直觉模糊集topsis方法,具体方法如下:

邀请 n 位专家对环境治理后评价模型中各指标,评估它们在同一层次的重要性程度,各项指标从0~10分进行权重打分,这些指标的打分构成初始评判集 $(a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_n)$,再对评判集数据从大到小排序,即 $b_0 \geq b_1 \geq b_2 \geq \dots \geq b_j \geq \dots \geq b_{n-1}$,从而得到一个评判集 $(b_1, b_2, \dots, b_j, \dots, b_n)$,其中评判集数据 b_i 的权重 θ_{j+1} 可由数 C_{n-1}^j 来确定,由下面公式所示,且 $\sum_{j=0}^{n-1} \theta_{j+1} = 1$ 。

$$\theta_{j+1} = \frac{C_{n-1}^j}{\sum_{k=0}^{n-1} C_{n-1}^k} = \frac{C_{n-1}^j}{2^{n-1}}, j = 0, 1, 2, \dots, n-1$$

式中,

θ_{j+1} ——数据 b_j 的权重;

C_{n-1}^j ——组合数

权重 θ_{j+1} 依次对评判集数据加权后,可得到各层次评价指标的绝对权重 $\overline{\omega}_i$,见下面公式。

$$\overline{\omega}_i = \sum_{j=0}^{n-1} \theta_{j+1} b_j, i = 1, 2, \dots, m$$

式中:

$\overline{\omega}_i$ ——绝对权重

m ——指标因素的个数。

计算指标因素的相对权重 ω ,如下面公式所示。

$$\omega_i = \frac{\overline{\omega}_i}{\sum_{i=1}^m \overline{\omega}_i}, i = 1, 2, \dots, m$$

式中:

ω_i ——指标因素的相对权重;

$\overline{\omega}_i$ ——绝对权重;

m ——指标因素的个数。

确定专家评价指标数据后,再进行定性指标的模糊评价,将专家评价数据与计算得到的确定指标评价数据进行数据集结,成为治理评价模型的模糊评价矩阵,然后将模糊评价矩阵中各项指标数据量进行加权

处理,就得到治理的加权模糊集评价矩阵 R ,见以下公式。^[6]

$$R = \begin{pmatrix} (u_{11}, v_{11}) & \dots & (u_{1n}, v_{1n}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (u_{m1}, v_{m1}) & \dots & (u_{mn}, v_{mn}) \end{pmatrix}$$

式中:

u ——二级指标代号;

v —— $(u_{ij}, v_{ij}) = [u_j w_j, v_j + (1-w_j) - v_j(1-w_j)] i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$

w ——权重代号。

其中,

为了确定治理评判指标的模糊评判集的正向和负向最优解,取评判模糊集的正最优解 A^+ 和负最优解 A^- 分别如下公式所示。

$$A^+ = (a_1^+, a_2^+, \dots, a_n^+)$$

$$A^- = (a_1^-, a_2^-, \dots, a_n^-)$$

式中:

A^+ ——模糊集的正最优解;

A^- ——模糊集的负最优解;

其中, $a_j^+ = (1, 0, 0), a_j^- = (0, 1, 0)$ 。

计算治理评判体系中各项指标中评判模糊集正向与负向最优解的距离,如下公式所示。

$$d_i^+ = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n [(u_{ij} - u_j^+)^2 + (v_{ij} - v_j^+)^2 + (\pi_{ij} - \pi_j^+)^2]}$$

式中:

d_i^+ ——模糊集正向最优解距离。

$$d_i^- = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n [(u_{ij} - u_j^-)^2 + (v_{ij} - v_j^-)^2 + (\pi_{ij} - \pi_j^-)^2]}$$

式中:

d_i^- ——模糊集负向最优解距离。

得到综合评价指数,如下面公式所示。

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}, (i = 1, 2, \dots, m)$$

式中:

C_i ——各方案的综合评价指数;

d_i^+ ——模糊集正向最优解距离。

d_i^- ——模糊集负向最优解距离。

根据上述评估模型,采用模糊评判的方法确定评判指标权重,得到弃浆处理措施评价的最终数据。

5.3 措施处理效果

措施处理效果指标包括弃浆减排率、固化处理效率和措施可靠性三项二级指标,其中弃浆减排率 ω 计

算见下面公式所示，高速公路及一级公路弃浆减排率应不小于95%，其他公路弃浆减排率不应小于92%。^[7]

$$\omega = \frac{Q_T - Q_S}{Q_T} \times 100\%$$

式中，

ω ——弃浆减排率，单位百分率(%)；

Q_T ——施工产生的弃浆总量，单位立方米(m³)；

Q_S ——未进行固化处理的弃浆数量，单位为立方米(m³)。

弃浆固化处理效率是指单次固化处理浆体量与固化措施处理的周期之比，用处理效率隶属度 u 表示，计算见公式。高速公路及一级公路弃浆处理效率隶属度应不小于0.9，其他公路弃浆处理效率隶属度不应小于0.85。

$$u = u_2 - \frac{u_2 - u_1}{T_q - T_{\min}} \times T$$

式中，

u ——处理效率隶属度；

u_1 ——在要求的工期和固化处理方量下处理效率隶属度，取极限低值，建议为0.6；

u_2 ——在极限短的工期内和要求固化处理方量下处理效率隶属度，取最大值，为1.0；

T_q ——表示要求工期，单位天(d)；

T_{\min} ——表示极限短的工期，单位天(d)；

T ——表示实际工期，单位天(d)。

固化措施的可靠性是指经压滤固化处理后，泥浆及固化物对生态环境的影响程度，共分4级。见表1。

表1 弃浆压滤固化措施可靠性分级表

分级	指标要求	适用的公路等级	分级	指标要求	适用的公路等级
I	固液分离后，水质达到一级排放要求，固体物中重金属元素含量符合农业用地要求，弃浆减排率达98%以上。	高速公路、独立大桥、改扩建工程、航道水运工程	III	固液分离后，水质达到二级排放要求，固体物中重金属含量高于农业用地限值的20%以内，弃浆减排率大于85%	二级公路
II	固液分离后，水质达到一级排放要求，固体物中重金属元素含量符合农业用地要求，弃浆减排率大于95%。	一级公路	IV	固液分离后，水质达到二级排放要求，固体物中重金属含量高于农业用地限值的20%以上，弃浆减排率小于85%	其他公路

5.4 生态影响

弃浆处理的生态影响指标包括土壤破坏、水体破坏、水土流失及植被破坏等4项二级指标。弃浆处理地土壤破坏、水体破坏、水土流失以及植被破坏等按表2的标准进行评价。

表2 生态影响评价标准

分级	土壤破坏	水体破坏	水土流失	植被破坏
I——几乎无影响	减排率达92%以上；固化物中重金属等有害物质含量轻微，符合GB 15618中污染风险管控值的要求	固液分离后，排放水达到一级排放标准	固化物或排放的泥浆性质稳定，无较大的流动性	排放的泥浆不对植被造成破坏
II——轻微影响	减排率达80%以上，固化物符合GB 15618中污染风险管控值的要求	固液分离后，排放水达到一级排放标准；水中悬浮物含量不超过6%	固化物或排放的泥浆性质基本稳定，长期情况下在自然水系条件下易流失	排放的泥浆或固化物影响部分草生植物有影响
III——较大影响	减排率达60%以上，固化物中重金属超过GB 15618中污染风险管控值要求的10%以内	固液分离后，排放水达到二级排放标准；水中悬浮物含量不超过20%	固化物或排放的泥浆性质不稳定，易冲刷流失	固化物中含有重金属超标，使部分植物遭到破坏
IV——严重影响	减排率低于60%，固化物中重金属超过GB 15618中污染风险管控值要求的10%以上	固液分离后，排放水未达到二级排放标准或水中悬浮物含量超过20%；或未经固液分离处理的泥浆直接排放。	固化物或排放的泥浆性质不稳定，冲刷流失严重	固化物中含有重金属超标，使植物遭到破坏

5.5 回收再利用

回收再利用包括固相回收率和液相回收率两项二级指标。固相回收率是经压滤固液分离后的钻渣、土石泥沙等被利用的总数量与可回收弃浆中固体颗粒总方量之比。液相回收率是经压滤固液分离后满足排放或利用水的数量与分离前计算得出的水的数量之比。

6 结语

高速公路灌注桩废弃泥浆固化产物再利用技术，解决了高速公路灌注桩施工过程中产生大量废弃泥浆如何处理的问题，特别是针对现有灌注桩施工中废弃泥浆固化处理问题，提出了采用城市桥梁钻孔弃浆的压滤固化处理技术，利用泥浆固化压滤设备对废弃泥浆进行固液分离处理，分离出泥饼和尾水，尾水一部分注入泥浆水池循环利用，一部分再处理后用于喷淋降温、结构养护、绿化灌溉，泥饼则进行循环再利用，根据现场实际需要可以转换为回填土和绿化土，以此解决传统废弃泥浆处理过程中环境污染大、废弃材料利用率低，文明施工差等问题。

参考文献

- [1] 胡军, 王宝德, 隋杰明, 等. 国家会展中心(天津)工程废弃泥浆固化分离处理技术[J]. 施工技术, 2020, 49(22): 111-113.
- [2] 郑超, 王健青, 李奉南, 等. 钻孔灌注桩泥水分离技术的应用[J]. 建筑施工, 2021, 43(10): 2019-2022.
- [3] 周莉, 闫相明, 周星中. 应用厢式压滤机进行桩基废弃泥浆固化处理[J]. 建筑施工, 2021, 43(04): 668-670.

-
- [4] 王铭祥;陈庆罡;麻兴,等.压滤式泥浆脱水机在桩基工程中的综合应用分析[J].工程建设与设计.2019,(03):187-189.
- [5] 吴尚东,陈权盛,吴鸿,等.废弃泥浆的固化处理及路用性能研究[J].公路交通技术.2021,37(04):70-75.
- [6] 王文丽.废泥浆固化技术在公路工程的应用[J].交通世界.2021,(20):67-68.
- [7] 董娅玮.废弃钻井泥浆固化处理技术研究[D].长安大学.2009.