

文章编号: 1002-0268 (2000) 05-0006-03

粉喷桩加固软土地基施工质量控制

白宝玉¹, 戴文亭¹, 陈兆华²

(1. 吉林工业大学, 吉林 长春 130025; 2. 吉林省交通厅, 吉林 长春 130012)

摘要: 借鉴沪宁高速公路无锡段 C₁₄标粉喷桩施工经验, 介绍粉喷桩加固软土地基施工的质量控制, 包括合理选用搅拌头组合形式, 加固料(水泥)输出量控制, 混合土搅拌效果控制和在施工工艺上采取措施等。

关键词: 粉喷桩; 软土地基; 质量控制

中图分类号: U416

文献标识码: A

The Quality Control in the Construction of Spurting Pile to Strengthen Soft Soil Foundation

BAI Bao-yu

(Jilin University of Technology, Jilin Changchun 130025, China)

Abstract: Using the construction experience of spurting pile in Hu Ning freeway Wu Xi C₁₄ bid section for reference, this paper introduces the quality control in the construction of spurting pile to strengthen soft soil foundation, including to select a combination shape of stirring head reasonably, the export measure control of the strength material (cement), the stir effect control of the mixed soil and to take measures in the construction technology, etc.

Key words: Spurting pole; Soft soil foundation; Quality control

0 前言

在高速公路建设中, 不可避免地会遇到软土地基问题。软土地基孔隙比大、含水率高, 地基承载力常常不能满足工程设计要求。特别是在桥头两侧, 由于地基沉降的差异, 往往会形成梯次, 当车辆通过时产生跳车现象, 轻者影响行车舒适感, 重者可能出现安全问题。为此, 必须对软土地基进行适当处理。

处理软土地基有多种方法, 粉喷桩加固软土地基是其中之一。粉喷桩施工采用粉体喷搅法技术, 这种新型技术自 1985 年起在我国逐步扩大使用。粉体喷搅法通过专用深层搅拌机将粉状加固料用压缩空气喷入地基深部, 凭借搅拌机搅拌头叶片的回旋作用与原位软土进行强制搅拌混合, 吸收地下水, 并使加固料与软土之间产生一系列物理、化学作用, 从而形成具有整体性、水稳性和一定强度的柱状加固体——粉喷桩, 使之与软土地基一起组成复合地基, 以提高地基

承载力, 减少沉降。

沪宁高速公路全线处于长江三角洲湿热低洼多雨地区, 其无锡段 C₁₄标的地基除具有高压缩性特点外, 本身还含有大量的水分。该标段经过试验分析, 采用粉喷桩加固软土地基方法, 取得了满意的效果。本文借鉴该标段粉喷桩施工经验, 介绍粉喷桩加固软土地基施工的质量控制。

1 合理选用搅拌头组合形式

粉喷桩施工需用粉喷式深层搅拌机、空压机和发电机, 其中深层搅拌机是粉喷桩施工的关键设备。保证和提高粉喷桩质量的重要因素之一, 是合理选用搅拌机搅拌头的组合形式。

合理选用搅拌机搅拌头组合形式, 一是指搅拌头的叶片组合形式。搅拌头的叶片组合形式对加固料和地基原土的搅拌效果有很大影响。当搅拌头为相同叶片组合时, 叶片的回转速度越快, 搅拌效率越高; 而

在回转速度一定的情况下，搅拌叶片越多，则搅拌效果越好。所以，为保证搅拌效果，在大部分搅拌机的搅拌头部都装有多层搅拌叶片。图 1 是用于粉喷桩施工的单轴式搅拌机搅拌头，它除了具有两片互成 180° 的麻花状叶片外，还增设了两组副叶片，该叶片可将土体粉碎得更细，便于加固料与原土充分、均布拌合。单轴式搅拌头转动力矩相对较小，对具有高压缩性、含水量大的淤泥类土比较适用，作业效率也较高。图 2 是双轴式搅拌机搅拌头，它的旋转半径及转动力矩都较大，不仅适用于孔径较大的淤泥类土的粉喷桩施工，而且也适用于压缩性及含水量相对于淤泥类土偏小的软粘性土的粉喷桩施工，同时，施工深度也较单轴式增大。施工时具体选用哪种叶片组合形式，主要应以施工点的地理条件为主，包括软土的类型及施工深度，同时考虑设备调运、电力配备、辅助技术和经济等因素。

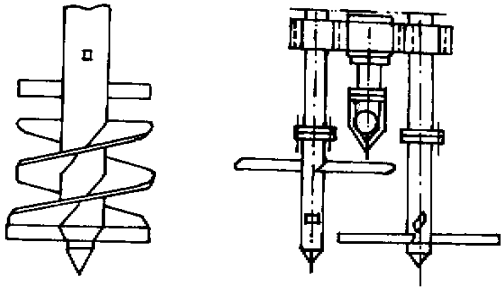


图 1 粉喷式单轴搅拌头 图 2 粉喷式双轴搅拌头

合理选用搅拌机搅拌头组合形式，二是指粉喷式搅拌头的喷出口位置。粉喷式搅拌头喷出口位于叶片上与位于中心轴上，加固料沿桩横截面方向喷射效果不同。当喷出口位于叶片上时，加固料沿桩横截面方向分布呈外密中疏现象，成桩直径越大，这种现象越明显。而且，搅拌机下钻时搅拌头喷出口容易堵塞，只能用纯水水泥粉作加固料。当喷出口位于中心轴上时，在粉喷压力作用下，沿桩横截面方向加固料分布基本均匀，成桩直径在 1m 以内，这种优越性表现尤为突出。并且，粉喷时除了使用水泥外，还可以用其它工业废料，如粉煤灰等粗粒物质。所以，为保证喷射效果，粉喷式搅拌头的喷出口通常位于中心轴上。只有对于成桩直径较大（大于 1m）的粉喷桩，为增加加固料沿成桩横截面分布的均匀度，可同时在搅拌头中心轴上和叶片上设喷出口，采用管喷和叶喷相结合的施工方法。但施工时粉喷压力应适当提高，以防止堵管和粉喷困难。

粉喷式搅拌机搅拌头组合形式的优劣关系到成桩

质量的好坏，同时也影响到转矩的大小。因此，选用搅拌头组合形式应按优化设计的原则，使其满足转速快，转矩大，粉喷搅拌均匀的要求。此外，搅拌头叶片组合形式还应保证搅拌头反向旋转提升时对桩体混合土有压实作用，使灰土不向地面翻开，从而保证桩体的密度和强度。

2 加固料（水泥）输出量控制

复合地基中水泥含量的多少是影响地基承载力的关键因素。通常，水泥含量越高，复合地基的无侧限抗压强度越高。为此，在粉喷桩加固软土地基的施工中，应根据粉喷桩承载力的特点控制水泥输出量，以提高粉喷桩成桩质量。

应该提出，控制水泥输出量不能一概采用加大单桩水泥消耗总量的办法。这样，不但缺乏科学性，而且还会导致水泥沿成桩轴向分布远离实际要求现象，影响成桩质量，并造成浪费。

为控制水泥输出量，对于直径一定的粉喷桩来说，粉体发送器单位时间内粉体喷出量应由下式确定

$$q = \pi \frac{D^2}{2} v \cdot \rho \cdot a_w = \frac{\pi}{4} D^2 v \cdot \rho \cdot a_w$$

式中， q ——加固料的喷出量，t/min；

ρ ——软土的容量，t/m³；

a_w ——水泥渗入比，由设计确定；

v ——钻头提升速度，m/min；

D ——钻头直径，m。

除选择合适的粉体喷出量外，同时还必须控制加固料输送系统的风压及风量的大小。风压及风量的大小取决于现场施工的深度，搅拌头的组合形式，粉喷口的直径和数量，以及搅拌头提升速度等。风压、风量过小，则孔深时送粉困难，喷粉口容易堵塞；当粉体喷出量较大时，水泥携带能力欠佳。而风压过大，则容易将粉体喷向地表，导致成桩时水泥沿桩体轴线方向分布不均匀。控制加固料输送系统风压及风量的大小，对于提高粉喷桩施工质量十分重要。为保证桩体不同深度加固料含量相同，应使风压及风量随孔深逐渐加大，以抵消围压逐渐增大的影响，保持粉喷口内外压力差为一恒值。这需要通过理论分析和施工前试验桩施工予以确定。

3 混合土搅拌效果控制

混合土的搅拌效果，直接影响混合土抗压强度。一般情况下，加固体破碎得越细，加固料与土体搅拌得越充分，加固料分布越均匀，则混合土的无侧限抗

压强度就越高。又由室内试验得知,在混合土搅拌初期,其强度增加很快。而经过一定的时间后,随着混合土搅拌时间的延长,混合土的强度几乎无变化。这表明混合土的强度还与混合土搅拌次数有关。为保证混合土的抗压强度,混合土的搅拌效果与搅拌次数都应受到控制。

在粉喷桩的施工中,是用调节搅拌轴的回转速度来控制混合土的搅拌效果,不致于因搅拌轴的回转速度过快而使混合土搅拌得不均匀,因过慢又影响搅拌效率。最佳回转速度通过试验施工获得。施工中搅拌次数控制主要是通过控制回转速度和搅拌头的提升速度来进行。为了使混合土搅拌均匀,沪宁高速公路无锡段 C₁₄标在粉喷桩加固软土地基的施工中,采取了 1/3 桩长复搅的措施,在 1/3 桩长内将所需的加固料分成两次喷入,使搅拌效果达到最佳。

粉喷桩施工完后,对于是否搅拌均匀,主要通过以下检验:

- 1. 检查施工记录。重点检查搅拌深度、加固料喷入的连续性、单桩喷入总量及每米喷入量。
- 2. 开挖检验。在已完成的工程桩中按 2% 比例随机开挖抽检,开挖深度 0.5 ~ 1.0m,主要检查混合土混合程度及桩头强度。
- 3. 取芯抽样检验。在成桩 28 天后,按 2% 比例随机抽检,从桩顶以下按 0.5m, 1m, 1.5m 截取 3 部分制作试块,进行无侧限抗压强度试验。另外,有条件的应做单桩承载力检测,频率可按 1% 随机抽样。

4 在施工工艺上采取措施

为保证工程质量,粉喷桩施工应有合理的施工程序,并且应根据各粉喷桩施工点的地质条件和综合情况,在施工工艺上采取相应的措施。

粉喷桩施工按图 3 所示的程序进行。

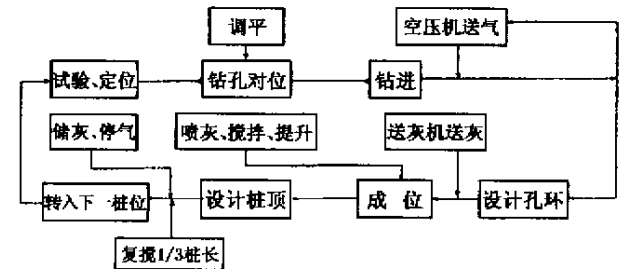


图 3 粉喷桩施工程序图

借鉴沪宁高速公路无锡段 C₁₄标粉喷桩施工经验,为保证工程质量,需要在施工工艺上采取以下必要措施:

- (1) 各施工点开工前应认真做好工艺性试验,以便了解各施工点的施工条件和确定成桩的技术参数。
- (2) 严格控制粉喷桩的桩位偏差。各控制桩均由专业测量技术人员放样。对于在曲线上的桥涵构造物引道地基加固工程,当采用以折线代替圆曲线放样时,桩位偏差应不大于 1cm。
- (3) 严格控制喷灰量,认真贯彻执行喷灰量偏差不大于 7% 的要求。
- (4) 采用水平尺沿垂线方向严格控制搅拌机钻杆的倾斜度,以满足钻杆倾斜度偏差小于 1% 的要求。
- (5) 严格控制桩长及桩径。施工中搅拌机钻头直径大于 50cm 时,桩长要大于设计桩长。
- (6) 为加强桩身上部强度,使其符合应力传递规律,在桩身上部 1/3 桩长范围内均应复搅一次。
- (7) 按设计要求,严格控制停灰面,为桥涵构造物的后期施工提供便利条件。

5 结束语

影响粉喷桩加固软土地基施工质量的因素很多,搅拌机搅拌头的叶片形式,加固料(水泥)输出量,混合土的搅拌效果和施工工艺措施等是其中较为重要的因素。沪宁高速公路无锡段 C₁₄标在粉喷桩施工中严格控制这些影响施工质量因素,既保证了软土地基的加固质量,提高了工作效率,同时也保证了施工的经济性。

目前,尽管已有多种方法处理软土地基,但在我国高速公路建设中采用粉喷桩加固软土地基的实践相对来说并不多见,还缺乏施工方面经验。本文借鉴沪宁高速公路无锡段 C₁₄标粉喷桩施工经验,介绍的粉喷桩加固软土地基施工质量控制,对于以后相关工程提高质量具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 交通部.公路软土地基路堤设计与施工技术规范[S].北京:人民交通出版社,1996.
- [2] 交通部第二公路勘察设计院.路基(第二版)[M].北京:人民交通出版社,1997.