

套管钻进拔桩法及其工程应用

孙立宝¹, 王云春²

(1. 浙江有色建设工程有限公司天津分公司, 天津 300101; 2. 营口日兴建筑有限责任公司, 辽宁 营口 115009)

摘要:在地下工程施工中经常会遇到被废弃的旧桩基, 如何清除这些废弃桩是确保地下工程顺利施工的关键。简要介绍了废弃桩的拔除机理及拔除方法, 重点对套管钻进法的拔桩工艺、施工机具设备、施工效果以及施工中有问题作了阐述。套管钻进拔桩法具有施工工艺简单、操作方便、施工效率高, 施工效果好(尤其对易断桩的拔出)、费用低等优点, 可广泛应用于桩径 1000 mm 以内废弃桩的拔除施工。

关键词:套管钻进法; 废弃桩; 拔除

中图分类号: TU753.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2009)09-0059-05

Casing Drilling in Abandoned Pile Removing and Its Engineering Application/SUN Li-bao¹, WANG Yun-chun² (1. Zhejiang Nonferrous Construction Engineering Co., Ltd., Tianjin Branch, Tianjin 300101, China; 2. Yingkou Rixing Build Limited Liability Company, Yingkou Liaoning 115009, China)

Abstract: Abandoned pile foundation is constantly encountered during ground engineering construction; these old piles must be removed to insure successful construction of ground engineering. The paper introduced the mechanism and the method of abandoned pile removing, and discussed the technology, equipment, construction effect and some relevant construction problems. Casing drilling in abandoned pile removing has advantages of simple process, convenient operation, high efficiency and good construction effect with low cost, which could be widely applied in abandoned pile removing within Ø1000 mm.

Key words: casing drilling; abandoned pile; removing

0 引言

随着国民经济的快速发展, 城市改造、市政建设、地下空间开发等工程项目不断增加。但在旧城改造和地下构筑物的建设时经常会遇到废弃的旧桩基(如灌注桩、预制桩等)。这些旧桩基已经成为地下工程施工的一大障碍, 必须在地下工程施工前将它们彻底清除。对于地铁、隧道工程更是至关重要, 这些旧桩基成了地铁、隧道等盾构施工机械的最大杀手, 特别是其内部的钢筋结构更具有破坏性。由于这些旧桩基多处在建筑密集区、河道边、地下构筑物附近, 一般埋深较大, 采用常规开挖清除的方法显然是不可行的, 最有效的清除方法是将废弃桩整体或分段拔除。针对深部地下障碍物, 特别是废弃桩的清除技术已成为岩土工程施工方面一项新兴的技术和产业。随着行业的快速发展和科技的进步, 拔桩施工的工艺和机械在不断更新, 拔桩的方法和手段也在不断增加。

1 弃桩拔除的机理与方法

1.1 弃桩拔除的机理

弃桩拔除施工实质上是一个克服桩侧摩阻与桩身自重, 将弃桩拔出地表的过程。由于桩侧摩阻与桩身自重是非常巨大的, 特别是桩侧摩阻, 动辄就是数十上百吨甚至更大, 使用目前常用的起吊设备是无法直接将弃桩拔出地表的, 尤其是没有钢筋笼的素混凝土桩, 在实施拔桩的过程中很容易折断成多节, 从而增加拔除的难度。因此, 在弃桩起拔之前, 必须施用某种适当的方法, 既要做到桩土分离、消弭桩侧摩阻, 又要保证不把桩折断或把已折断的桩控制在可分段拔出的措施内, 确保不给后续施工留下隐患, 然后再使用普通的起吊设备实现将弃桩拔除的目的。

1.2 弃桩拔除的方法评介

根据实施桩土分离的方法与手段的不同, 目前拔桩施工常用的方法有: 套管钻进去土拔桩法、高压旋喷去土拔桩法和振动沉管水力切割去土拔桩法等。实际施工中究竟选用何种方法, 取决于施工场地的周围环境、弃桩桩径桩长、桩身结构、弃桩类型、弃桩穿越土层的特征及施工单位的设备性能和经验等因素。

收稿日期: 2009-03-06; 改回日期: 2009-08-26

作者简介: 孙立宝(1970-), 男(汉族), 黑龙江人, 浙江有色建设工程有限公司天津分公司总工程师, 高级工程师, 岩土工程专业, 从事岩土工程的勘察、设计与施工管理工作, 天津市南开区西马路卫安南里 8-5-501, suntj66@sohu.com。

1.2.1 套管钻进拔桩法

该法拔桩施工使用的拔桩机是采用工程钻机改装而成的,其传递动力的“钻杆”是钢质套管。钢质套管的直径比弃桩桩径大200~400 mm,钻头是在套管底部焊8~12枚硬质合金钎头而成。实施桩土分离时,将套管中心对准弃桩中心,在拔桩机动力的驱动下,慢慢地向下利用泥浆正循环钻进,直至弃桩桩底。桩土分离完成后,将套管提起,然后将拔桩用钢丝绳有套的一端,用细铁丝固定在套管底部的钻头上,钢丝绳的另一端则挂在钻机的提引器上,同时将套管的提缆钢丝绳挂在吊车的大钩上,在吊车的协助下,将套管与拔桩钢丝绳同步下放,直至套管下达到孔底为止。此时启动拔桩机的卷扬机,将拔桩钢丝绳提起收紧,使其与套管脱离而套住弃桩,待确认弃桩已被套住后,即可开始起拔。当弃桩较长或起拔质量较大时,可在拔出一定长度后将弃桩断开,然后用吊车将弃桩移至指定地点弃置。如此重复上述“套、拔、断、移”作业,直至弃桩一节或多节完全拔出为止。

1.2.2 高压旋喷去土拔桩法

先在弃桩四周,距弃桩外缘20~30 cm,均匀施工4~6根高压旋喷桩,旋切桩周土体,以实施桩土分离,同时喷入膨润土浆以置换旋切土体产生的钻渣,并保护孔壁的稳定与完整。高压旋喷桩施工完成后,使用专用的桩头夹具夹住桩头,用振动锤将弃桩拔出地表。在旋喷桩的摆喷过程中,水压应控制在25~30 MPa,风压控制在6 MPa左右,喷浆压力控制在0.5 MPa,喷射管提升速度控制在10~15 cm/min,浆泵泵量调整为80~100 L/min,膨润土浆密度以 1.4 t/m^3 为宜。该方法总体施工效率不高,施工工艺相对较为复杂,费用较高,对周边环境影响较大,而且桩土分离的彻底程度受地层密实性或可塑性制约较大,一旦桩土分离不彻底,则施工效果明显受影响。

1.2.3 振动沉管水力切割去土拔桩法

使用普通的沉管桩机,用 $\varnothing 600 \sim 800 \text{ mm}$ 厚壁无缝管作沉管,管底安装6~8个高压水喷嘴,通过振击与高压水的切割作用,将沉管沉至弃桩桩底之下,将桩周土剥离,以消弭桩侧摩阻,然后使用夹具将桩头夹住,用振动锤将弃桩拔出地表。沉管下沉过程中,水压 $\leq 25 \text{ MPa}$ 。该方法施工工艺简单,费用也较低,但多适用于桩径 $< 700 \text{ mm}$ 的弃桩,而且对周边环境的影响较大,因此使用不普遍。

上述3种拔桩方法中,套管钻进法以对周边土

体扰动小、无污染,施工工艺简单、操作方便,施工效率高、费用低,对周边环境影响小、适用范围广而成为拔除地下废弃桩的首选方法。此方法已在多个拔桩工程中进行了应用,都取得了较好的工程效果。

2 套管钻进拔桩法工艺流程

套管钻进拔桩法施工工艺流程如图1所示。

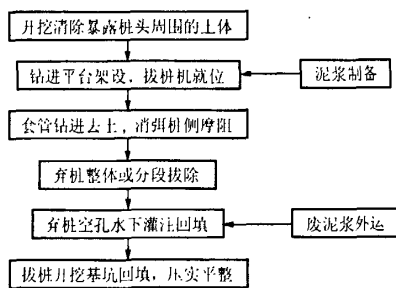


图1 套管钻进拔桩法施工流程图

(1) 拔桩准备: 开挖拔桩区域基坑, 凿除桩顶承台, 暴露出拟拔桩桩头。

(2) 拔桩机就位: 用30工字钢和枕木及铁板架设操作平台并确保其稳定和牢固, 把拔桩钻机在平台上安装就位、调平、对中拟拔桩中心, 作好开钻准备。

(3) 拔桩机钻进去土作业: 选用特制的大于桩径200~400 mm的套管套住拟拔桩, 采用正循环回转钻进及泥浆护壁法, 逐步沿桩头向下钻进, 完全解除桩身周土体对桩身的摩擦力至桩端标高以下1 m左右, 待确定桩身在套管内晃动、且桩可拨动后, 起出全部套管, 准备拔桩。

(4) 弃桩拔除: 用特制的送绳器把钢丝绳套送至桩端下部套紧, 用钻机提引器起吊钢丝绳拔桩, 弃桩较长或起拔质量较大时可用吊车配合。当弃桩无法一次全部拔出时, 可截断分节拔出。弃桩截断前, 在截断位置上方, 须用另一根拔桩钢丝绳将弃桩上部套住, 再用风枪和气焊将桩身上部断开, 然后移走弃置, 如此往返分段拔出全部废弃桩。

(5) 空孔水下灌注回填: 向孔内下灌注导管, 采用水下灌注方式向孔内灌注低标号水泥砂浆或混合料进行空孔回填, 直到回填料灌注到孔口为止, 该拔桩工序结束。

(6) 基坑回填压实平整: 将拔桩施工遗留下来的基坑用素土或灰土回填压实。

3 套管钻进法施工机械设备

套管钻进法拔桩施工主要机械设备有拔桩机、

汽车吊、空压机及拔桩专用套管、钻头、变径接头等。

3.1 拔桩机

目前国内尚无定型的专用拔桩机,只能采用大口径工程钻机进行改装。比较适用的是连云港黄海机械厂有限公司生产的 GM-20 型工程钻机。GM-20 型工程钻机的扭矩和卷扬机提升能力都比较大,该钻机设计最大扭矩为 $36 \text{ kN} \cdot \text{m}$,卷扬机的最大提升能力为 270 kN 。实际拔桩施工中,通过计算可知,当桩径为 1000 mm 、桩长为 27 m 时,回转阻力矩为 $35.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$,弃桩起拔质量为 23.3 t (当弃桩桩径 $< 1000 \text{ mm}$ 时,可以加大桩长),可见选用 GM-20 型工程钻机进行改装是可以承担一般弃桩的起拔任务的。GM-20 型工程钻的动力头距操作台板高度较大,可直接在动力头下方进行主钻杆与变径接头的连接分离,因此在钻进过程中,套管的升降与加卸都比较方便。

通过该钻机改装的拔桩机(见图 2),已在多个拔桩工程中进行了应用,都取得了较好的施工效果。

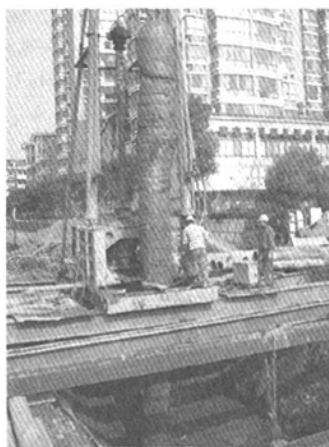


图 2 改装后的 GM-20 型拔桩钻机

3.2 套管

套管(见图 3)的用途与普通工程钻机的钻杆一样,在钻进过程中传递动力,在拔桩施工中还可以作为送绳器,将拔桩钢丝绳送到孔内预定的位置。

套管是用壁厚 12 mm 的高频螺纹焊管制作而成,套管直径比弃桩直径大 $0.2 \sim 0.4 \text{ m}$ 。套管长 3.0 m ,辅助套管长 1.5 m ,套管采用法兰接驳。在套管上法兰下方 0.5 m 处,沿套管外壁用 $\varnothing 25 \text{ mm}$ 圆钢焊一圈卡箍,当钻机操作台板闭合时,卡箍将套管卡住,以便套管装拆操作。

3.3 钻头

与套管一样,用壁厚 12 mm 的高频螺纹焊管制

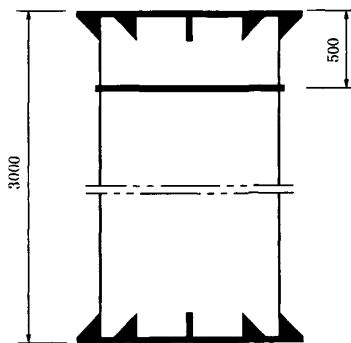


图 3 套管示意图

成(见图 4),其直径与套管相同,钻头底部焊有 $8 \sim 12$ 枚硬质合金钎头,并开有 $2 \sim 3$ 个三角形水口,水口底宽 $10 \sim 15 \text{ cm}$,高 $15 \sim 20 \text{ cm}$ 。钻头外壁焊有四组硬质合金刀排,其作用是在钻进过程中保护法兰免受磨损,并在套管与周围土体之间形成一个环形空间,以便泥浆的循环与流动。

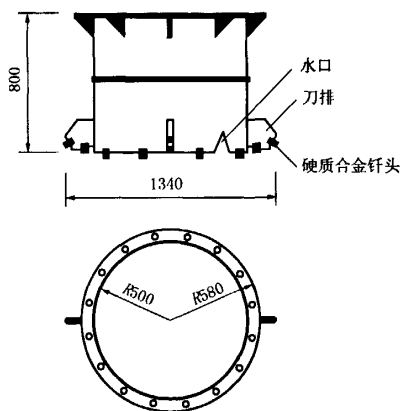


图 4 钻头示意图

3.4 变径接头

变径接头(见图 5)的用途是连接套管与钻机主钻杆。变径接头法兰同套管和主钻杆法兰相同。

3.5 喇叭筒

喇叭筒(见图 6)的用途主要是扶正断桩。采用套管钻进法拔桩时,其成孔直径一般要比弃桩直径大 0.5 m 左右,当孔内出现断桩时,多数情况下断桩总是斜倚孔壁,此时如果使用的是普通套管钻头,由于断桩的阻碍,套管无法下到孔底,从而就无法进行加套管操作。采用喇叭筒则比较容易通过断桩部位,可以使套管下到孔底,进行加管操作或对断桩底部进行套拔。

喇叭筒是用 12 mm 厚的钢板卷制而成,其上口径与套管直径相同,采用法兰与套管连接,下口直

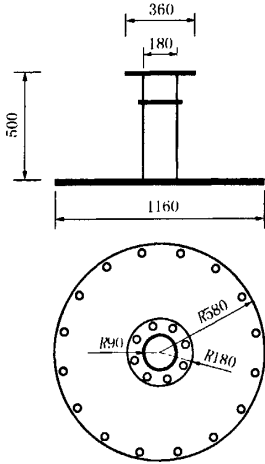


图5 变径接头示意图

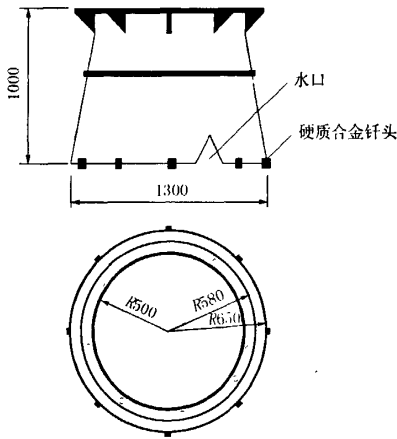


图6 喇叭筒示意图

径与成孔直径相同。喇叭筒的底端也焊有8~12枚硬质合金钎头,其水口的尺寸和位置与钻头一样。

4 套管钻进法施工应注意的事项及若干问题的探讨

4.1 钻机的就位、对中与调平问题

采用套管钻进法施工,在开孔前必须对钻机进行仔细认真的对中与调平,这是保证拔桩施工顺利进行的基础。但是,由于弃桩总是存在一定的垂直度偏差,同样在进行钻机的对中与调平工作中,也总是有一定的误差,因此几乎所有拔出的弃桩都有被“啃蚀”的痕迹,只是程度不同而已。当弃桩的垂直度偏差与钻机的对中对平误差都比较小时,弃桩与套管间整合度较高,这时弃桩被“啃蚀”的程度比较轻微,即使弃桩与套管之间有不大的交角,通过钻机的自动适应机制的调整,也能保证钻进施工的顺利进行。但当弃桩的垂直度偏差较大时,如沉管桩、预

制桩等,如果仍拘泥于对中、调平,则对拔桩施工非但无益,甚至有害,有可能导致严重的“啃桩”,甚而将弃桩啃断。这时应该根据“啃桩”情况判断弃桩的垂直度偏差,适时地调整钻机的位置与姿态,使套管与弃桩间达成整合,避免出现弃桩被啃断的情况。

4.2 拔桩施工中泥浆的制备问题

泥浆在拔桩施工中除了保护孔壁、防止孔壁坍塌,将钻进过程中产生的钻渣携排出孔外、冷却钻具、延长钻具使用寿命,还可以大大减轻弃桩的起拔质量,使拔桩变得比较容易。在整个拔桩施工中,必须保持泥浆的优良性能,根据经验,泥浆密度应控制在 1.4 t/m^3 左右,粘度 $30 \sim 32 \text{ s}$,含砂率 $< 8\%$,胶体率 $> 85\% \sim 90\%$ 。特别需要注意的是在进行弃桩套拔作业时,随着弃桩不断地被拔起,孔内的泥浆面随之不断下降,从而使泥浆面以上的孔壁处于失稳状态,为防止孔壁坍塌,必须及时地进行补浆。

4.3 封孔回灌的问题

回灌封孔的目的是保证周围土体的稳定性,同时防止盾构等地下工程施工机械穿越过程中,实施同步注浆时,水泥浆液沿桩孔上串,导致地表出现冒浆冒泡现象,造成地表环境污染。弃桩拔出后一般在原桩孔处回填低标号水泥砂浆或混合料(粉煤灰/粘土、水泥、砂),回填的水泥砂浆或混合料由于处于水位之下,要达到设计强度周期较长,根据以往施工经验,盾构机在拔桩回填一个月后进行穿越仍然可能出现冒浆冒泡现象,因此建议在拌制回填料时,掺入适量的早强剂。封孔回灌用的水泥砂浆或回填料的强度不宜过高,砂浆强度以 $\text{M}0.5 \sim 1.0$ 为宜,否则将会给盾构穿越施工增加困难。

4.4 断桩的处理问题

拔桩施工中,弃桩出现断裂是常有的事,特别是在沉管与预制桩拔桩施工中,更不鲜见。出现断桩的原因有:(1)弃桩桩身砼的质量较差,由于钻进施工中扰动造成断桩,甚至是桩身完全被破碎;(2)预制桩接桩部位出现断桩;(3)当弃桩桩身为二元结构时,在钢筋砼结构与素砼结构的界面附近为应力集中区,容易出现断桩;(4)少数弃桩垂直度偏差较大,在钻进过程中被“啃断”。不论是什么原因造成的断桩,都必须对它们进行处理。断桩的处理方法有:多次套拔法、沉桩法、破碎法、锤击法等。

4.4.1 多次套拔法

顾名思义,就是多次重复弃桩的套拔作业,直至所有断桩全部拔出。当断桩长度较长(大于 2.0 m),且桩身完整时,该方法能取得较好的效果。

4.4.2 沉桩法

当断桩长度 $<2.0\text{ m}$,采用多次套拔法不能奏效时,可以采用沉桩法处理。即用套管超深钻进,将弃桩底部的土层掏空使断桩下沉,直至断桩桩头标高低于盾构外轮廓底标高为止。该方法对于桩径 $\leq 800\text{ mm}$ 的弃桩,处理效果较好,弃桩桩径 $>800\text{ mm}$ 时,由于桩底土层不易掏空,因此处理的效率低,效果也较差。

4.4.3 破碎法

当断桩长度 $<1.5\text{ m}$ 且桩身混凝土质量较差,桩身又不完整时,可在套管内用 $\varnothing 400\text{ mm}$ 的筒式钻头将断桩彻底钻碎予以消灭。

4.4.4 锤击法

用冲锤将断桩砸碎,并将桩身砼碎块挤入周围的土层中去。当断桩桩身为钢筋砼结构时,应经常用磁铁将孔内的钢筋吸出。

在上述各种断桩处理方法中,应首选多次套拔法,该方法处理彻底干净,不留后患,其他方法只有在多次套拔法失效后才考虑选用。锤击法要慎用,因为该法处理往往不够彻底,容易留有隐患。

4.5 弃桩起拔质量的问题

弃桩的起拔质量是一个变数,当弃桩完全处于泥浆面以下时,可按浮重计算,一旦弃桩露出泥浆面起拔质量将加大,如桩径为 1000 mm 的弃桩每提升 1.0 m ,起拔质量将增加 1.1 t (泥浆密度为 1.4 t/m^3 时),由此可见,在弃桩起拔之前,应当对弃桩的起拔质量和露出泥浆面高度进行计算,避免出现起拔质量大于拔桩钻机最大提升能力的情况,如果出现了这种情况只能借助于吊车才能继续起拔。拔桩是一项高风险的作业,在开始起拔前要仔细检查各种吊具是否完好,如有磨损应坚决地予以更换,作业开始后应密切注意钢丝绳与塔架的受力情况,以确保拔桩施工的安全进行。

4.6 素混凝土桩易折断的问题

为解决素混凝土桩抗拔力小且在实施桩土分离时易折断、很难整体拔出的难题,根据已被广泛应用的扩底钻头之逆原理,专门设计研制了一种可变(内)径钻头。该钻头的特点是:钻头下端镶嵌安装有4块弹簧钢板,钻机正转时钻头内通径不变,反钻时4块弹簧钢板水平伸向套管内,钻头的内通径就立即变小。在实施桩土分离的过程中,如桩身混凝土很不完整或折断成多节且不易分段拔出时,可让钻头一直钻到桩底标高以下,停水干钻 0.5 m 使桩端底部形成土柱体,在泥浆浮力的暂时支撑下土桩

体不会立即下沉,然后马上停机反钻 $360^\circ\sim 720^\circ$,待确认弹簧钢板向套管内打开并兜住桩尖且钻机负荷明显加大时,停钻拔管,在拔出套管的同时,分段拔出素混凝土桩体。

5 主要施工案例

5.1 南京地铁二号线工程

南京地铁二号线TA07标的秦淮河两岸、汉中门大街的华苑居民小区、水西门大街的金基花园、原江苏省皮革检验站遗址以及TA03标雨润路桥等地段,都遇到了地面废弃建(构)筑物遗留的桩基工程,其中需要拔除的弃桩总数在160根以上。桩型有沉管桩、预制桩、钻孔灌注桩等,桩径 $0.6\sim 1.0\text{ m}$,桩长 $18\sim 30\text{ m}$ 不等。采用套管钻进法进行拔桩施工,都取得了较好的工程效果,大大节约了工程造价。

5.2 天津津滨轻轨中山门西段工程

天津津滨轻轨中山门西段为地下暗挖工程,盾构施工底至地面高度基本在 24 m 以内。施工经过有原惠森花园五号楼下的CFG桩60根,桩径 430 mm 、桩长 17.4 m ,原河东供热站锅炉房的钢筋混凝土钻孔灌注桩10根,桩径 450 mm 、桩长 17.7 和 21.5 m ,该段区域内的弃桩都需要进行拔除处理。十一路经路站已拆除的河东文化馆下面的振动沉管灌注桩(桩径 500 mm 、桩长 16 m 、数量14根)因影响地下连续墙施工,也需要同期作拔出处理。总共需要处理的弃桩为84根,均采用了套管钻进法进行弃桩拔除。处理后,为保证盾构推进过程中的安全和后序工程的顺利实施,弃桩拔出后按要求在原桩孔回填了粉煤灰、水泥、砂的混合料(水:粉煤灰:水泥:砂配比 $=1:0.88:0.16:1.2$)。

6 结语

通过近几年在地铁、轻轨及其它工民建项目上的拔桩施工实践和几种拔桩方法的对比应用来看,套管钻进拔桩法具有施工工艺简单、操作方便、安全高效、费用低、施工效果好等优点,且对周边环境影响小,适用范围广,是一种先进实用的拔桩方法,可广泛应用于废弃桩的拔除施工,相对应的拔桩机械还有待于进一步去改善与研究。就目前的情况来看,拔桩施工还是一项新的业务领域,虽然早有成功的实例,但大量地进入工程实践,还是近两年来的事,因此还有很多东西需要学习和探索。

(下转第51页)

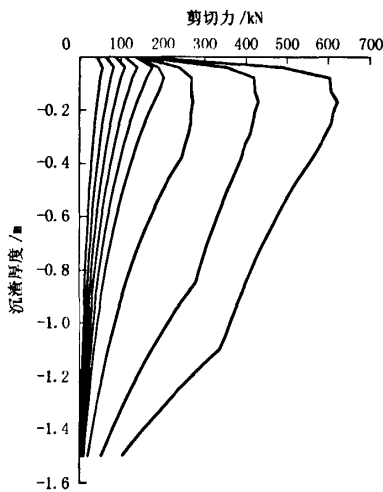


图10 嵌岩段沉渣部分侧向力分布曲线

4.3 桩端阻力与总侧阻力

图11表示了桩底沉渣对桩端阻力发挥的影响。

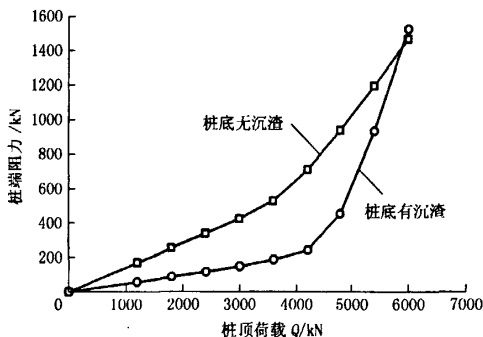


图11 沉渣对桩端阻力影响曲线

从图11中可以看出,在相同荷载作用下,桩底沉渣使得加载初期的桩端阻力降低,桩端阻力损失达66%,随着荷载的增大有无沉渣时的桩端阻力差值开始变大,但桩端阻力损失率基本不变,当荷载达到4200 kN时,差值达到最大,随着荷载的继续增大,这时桩侧摩阻力开始发挥到极值,无法再分担上

部荷载,使得上部荷载大部分开始转化为桩端阻力,使得有无沉渣时的桩端阻力差值开始缩小,桩底沉渣开始发生塑性变形,当沉渣无法再承担荷载时,其将上部受力直接传递给桩周土体,桩端阻力差值进一步缩小,并开始超过原无沉渣作用时的桩端阻力。

5 结论

(1)有限元计算结果与实测结果的对比分析表明,有限元计算结果的荷载-沉降曲线拟合程度能够反映实测的计算结果,表明有限元模型的建立是正确的。

(2)基于有限元计算结果分析可知,由于嵌岩段部分被沉渣所填充大大降低了桩的极限承载力,损失约35%。

(3)无沉渣时即桩在正常发挥作用时,很大一部分上部荷载由嵌岩段侧阻所承担,由于桩底沉渣的存在而使这一部分荷载的承担大大降低,从而降低了极限承载力,并增大了桩顶沉降。

(4)由于桩底沉渣的存在,桩端阻力降低,桩端阻力损失率达66%;桩侧摩阻力承担了上部荷载的90%~95%以上。

由以上结论可见,沉渣的影响对嵌岩钻孔灌注桩承载性状的影响是很大的,因此,在施工期间应尽可能的控制桩底沉渣的厚度。

参考文献:

- [1] 刘金砺. 桩基工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996.
- [2] 刘金砺. 桩基础设计与计算[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
- [3] 董志高, 吴敏敏, 蒋小欣, 等. 某水利枢纽基坑降水开挖有限元分析研究[J]. 勘察科学技术, 2006, (1): 20-23.
- [4] Menerey. Ph., and K. J. Willom. Triaxial Failure Criterion for Concrete and its Generalization[J]. ACI Structural Journal, 1995 (92): 311-318.
- [5] 洪连明. 高压环喷拔桩工艺在老楼桩基础清障中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2004, 31(6): 30-31.
- [6] 翁奔哲, 沈金海. 全套管设备在拔桩施工中的应用[J]. 浙江建筑, 2006, 23(7): 56-58.
- [7] 曹玉忠, 刘建国, 徐东. 套管法拔桩施工对邻近箱涵的影响分析[J]. 城市轨道交通研究, 2007, (8): 70-71.
- [8] 焦卫峰. 渤海石油输灰码头改造钢管桩拔除施工[J]. 中国港湾建设, 2006, (1): 56-58.
- [9] 卓发成. 无损拔桩施工技术的应用[J]. 施工技术, 2003, 32(8): 46-47.
- [10] 杨石飞, 顾国荣, 王福林. 深层清障技术纵论[J]. 地下空间与工程学报, 2008, (2): 387-391.
- [11] 武钢. 对桩拔除工程中若干问题的探讨[J]. 科技情报开发与经济, 2008, 18, (22): 210-211.
- [12] 辜思达, 黄威然, 米晋生. 侵入地铁隧道的预应力管桩拔除施工技术[J]. 广东土木与建筑, 2005, (6): 43-44.
- [13] 张政, 钟巍健, 赵达峰. 钢筋混凝土钻孔灌注桩拔除施工技术[J]. 建筑施工, 2005, 27(12): 17-18.

(上接第63页)

参考文献: