

# 强夯过程中软弱土和橡皮土的处理技术

杨文敬

(唐山博汇建筑工程设计咨询有限公司,河北唐山 063000)

**【摘要】** 分析了地基强夯前软土和强夯过程中局部橡皮土的成因,鉴别方法,总结了多种预防措施和治理方法,可为同类工程提供借鉴和参考。

**【关键词】** 强夯地基;软弱土;橡皮土;成因及防治

**【中图分类号】** TU 472.31

**【文献标识码】** A doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2012.01.005

## Dynamic Consolidation of Soft Soil and Rubber Soil Treatment Technology

Yang Wenjing

(Tangshan Bohui of construction engineering design consulting Limited, Tangshan 063000, Hebei, China)

**【Abstract】** The Analysis over soft soil foundation by dynamic compaction and dynamic compaction process before the local rubber soil genesis havebeen discussed in this paper. Using differential methods the conclude the various preventive measures and diffevent treatment methods Used, The relevant results can be usedas refevence parposes for similar projects.

**【Key words】** soil foundation by dynamic compaction;soft soil ;rubber soil;preventive measures and treatment methods

### 0 引言

伴随现代工业的发展,矿区出现了大量的采矿矿坑和采矿塌陷区,这些场区填方后的地基可以用强夯法进行处理。另外,填海造地工程也可用强夯法。例如,2006年7月开始强夯施工的唐山市曹妃甸工业区,均为吹填砂填海造地工程。

强夯施工前的软弱土和夯后形成局部橡皮土的现象之间可能存在一定联系,如有的夯前软弱土未能做到夯前预处理,地下水位埋深较浅的情况下,夯后极易形成橡皮土。同时,夯前软弱土和夯后橡皮土在治理的方法上,也有相似之处,有些治理方法两者均适用,如换填、预铺碎石垫层、做成强夯置换墩等。

### 1 软弱土的成因和治理措施

#### 1.1 软弱土的形成条件及特点

堆填土方过程中,土质疏松的垃圾土、粉煤灰、有机质含量大的灰渣、含水量较大的粘性土、含大量生活垃圾的杂填土等所堆填形成的均是软弱质的土。这些软弱土可夯性差,强夯中若处理不当,会形成软弱地基,软弱地基在静载试验时沉降相对较大,压缩性比其它地段高,并且不能满足建筑物沉降差和地基承载力的要求。若漏检,还容易形成工程

隐患。

#### 1.2 软弱土可夯性的判定

在强夯实施过程中,通过现场的鉴别,有的土质介于软与不软之间,不易判定,这就需要根据经验,仔细分析,果断处理。

软弱土是否可以采用强夯法进行地基处理的鉴别方法是,在进行了2~3击点夯后,看总夯沉量的大小。例如,点夯过程中,总夯击次数2击则该夯点的总夯沉量就达到了1.5m(见图1)或者夯坑周围出现明显的隆起( $>0.3$ m)现象时,则判定为可夯性差,应先换填一定厚度的碎石矿渣等材料后再进行强夯。



图1 点夯2~3击夯沉量达到1.5m

### 1.3 软弱土强夯前的预处理方法

1)换填:对于鉴别查出不能进行强夯处理或可夯性差的软弱土地段,最好的处理方法就是先挖除,换填为夯实效果较好的碎石土,再进行正常的强夯施工。(见图2)



图2 用碎石先换填软弱土再进行强夯

2)预铺垫层:若下部土质可夯性尚可时,在软弱土上部,预铺50~100 cm的垫层,并将预铺的垫层材料,如建筑砼块、碎石块、矿渣等夯入其下,形成“夯礅+褥垫”组合形式,比向夯坑中填料再夯更经济、效率更高。在夯前填土标高较高条件下,适当提高夯前整平标高,也可起到预铺垫层的作用。

3)做成强夯置换礅<sup>[1]</sup>:土质均匀,夯坑出水不多,夯坑深度超过0.6 m时,应将夯坑内填入较干燥的硬质性的材料,如石粉或碎石,以利于吸收水分,形成排水通道,并且夯入的材料形成强夯置换礅,形成类似于夯扩桩的散体桩。需注意的是,因含有水分粘结成块的粘性土填入夯坑再进行夯入时作用不大,效果不好。

#### 4)强夯后进行补强处理

若夯前未能对局部是否为软弱土做出可夯性的准确判断,并在夯前采取有效措施,则只能在夯后形成软弱土或橡皮土后,检测查出后再做换填补强处理。这种情况下,会延误一定的工期并造成建设单位对施工单位产生误解和不满的情况。补强方法一般采用局部换填法。换填的部分应分层压实或夯实。

这里需说明的是,夯前填土中的有些局部不良条件不容易被发现,因此,负责现场施工的技术人员要注意观察,及时发现问题并向建设单位说明。

## 2 橡皮土的形成与防治

### 2.1 橡皮土的形成机理、特点和鉴别方法

#### 1)橡皮土的形成机理

橡皮土又称弹簧土,是由含有一定的粘粒成份和水分的土体,在反复的外压力作用下,原状土被扰

动,颗粒之间的毛细孔遭到破坏,水分不易渗透和散发,降低了土体的强度并使之有传到地面的应变(隆起)而产生的类似于“橡皮弹性”状态的土层称为橡皮土。简而言之,橡皮土是由于土料中的含水量高于规定压实度所需含水量而产生的无法压实的粘性土体。含水量的大小主要取决于地下水位的高低、夯区内场地土受水体补给情况等因素。施工中反复的外力可以是装载机碾压、夯锤落下等冲击力等。

#### 2)橡皮土的特点

①由于原状土被扰动,颗粒之间的毛细孔遭到破坏,水分不易渗透和散发。②强夯形成橡皮土后,不能进一步夯实,并且会越夯越软,夯击能大部分损失在侧向隆起中,对深部的传递挤密很小,其承载力特征值一般小于80 kPa。③地基受外荷载( $f_{ak} = 60 \sim 100$  kPa)后,下沉量较大,若不处理容易引起建筑物的不均匀沉降。基于以上特点,形成橡皮土后,必须进行处理。

#### 3)橡皮土外观上鉴定的方法

①推土机、挖掘机、履带吊、重型卡车等在强夯后的场地作业、行走过程中,仔细观察其下部土的状态,若土层随设备行走或者挖掘机作业时,其下部土层明显呈橡皮状的弹性晃动,具有这些特征的土层,均是强夯后形成了橡皮土。②用挖掘机换填过程中,可用铲斗垂直插向地基土,若有颤动,则说明是橡皮土。③夯前标高的设计上也可在一定程度上影响到对橡皮土准确发现和鉴别。例如:夯后需要再开槽0.5~1.0 m深度的,通常不易发现强夯过程中形成的橡皮土。而夯后直接夯至基础底标高的,可以形成橡皮土后立即得到验证。但直接夯至基础底标高的,还需诸多条件,如:土质不能过于松散,如粉细砂最好夯后开槽处理。

### 2.2 强夯过程中橡皮土的形成条件

#### 1)场区存在含水量大的粘质填土

这里所说的粘质填土,就是含有一定量的粘性土的填土。若地下水位位于松散状态的粘质填土之中,则其形态类似于地下储水的构造物,即使地下水位离起夯面很大如3.0 m、夯坑无少量出水或变湿的迹象,也可在起夯面以下2.0~4.0 m处形成深部橡皮土。例如,杂填土下部2.5 m以下靠近水位的部位若有较软弱的粘质土,在夯击能量2 200 kN·m条件下,也可形成橡皮土引起地面明显隆起和下部整体变软等。含水量不大的粘质填土,含有粘粒成分不大,强夯引起的超孔隙水压力也不会太大,不易形成橡皮土。上覆为碎石土(煤研

石、炉渣、块状的建筑垃圾),下伏为原状粘性土地层的场地条件下,即使地下水位离起夯面很少如1.0 m,夯坑存在超过1/5夯坑容积的出水,也不会形成橡皮土。

#### 2)含粘性土的填土面以下存在局部储水结构

如果地下水位以下存在粉煤灰坑、位于填土中水位面附近的树根、树枝等杂物,这些储水空间的存在,强夯过程中,会造成地下水汇集其中,从而泡软周围的粘质土或直接形成软弱土。因这些局部储水结构物强夯前及强夯过程中不易被发现,则只能在强夯过后形成橡皮土的地段发现了之后再行换填处理。(见图3)



图3 形成橡皮土后换填挖出的由树根、杂草形成的储水构造物

3)因降雨、地表水或填土堆填后未充分晒干的可塑—硬塑状态较纯的粘性土,若在地表以下0~1.0 m,强夯后肯定会形成橡皮土。

#### 4)局部存在软弱的淤泥

①沿海地区在吹填砂方法填海造地过程中,因吹填的砂土中含泥,吹填的过程中,砂粒下降快,而造成吹填砂流最后汇合地段浮泥的集中而形成吹填砂土中的淤泥堆积。

②若在原来存在积水的水池中进行填土,因坑底存在淤泥,在填方的过程中,由于挤压流动而局部集中,则淤泥可能会在填土之中聚集成局部软弱土。这些存在淤泥的地段,由于范围较小,在强夯施工前不易查出,但强夯后肯定会形成局部较软的橡皮土。一般在强夯后才容易发现,只能发现后进行换填再实施补充强夯。

### 2.3 橡皮土的预防和治理方法

防治橡皮土应以防为主,而防治的最佳时机是在出现将要形成橡皮土的迹象时,立即采取措施。若形成橡皮土后再采取治理方案,其处理工程量、工期、处理成本等不利因素的影响要远大于排水、挖土换填或强夯置换的费用。

在强夯施工过程中,夯第一遍后要检查夯坑,之后再行整平。夯坑出水时,应果断处理,若需排水则一定要及时,以防推土机推平过程中,造成干燥的土浸水变湿进而形成橡皮土。

治理橡皮土是降低含水量或加入粗粒材料减少粘粒含量的过程。主要的治理方法有以下9种。

#### 1)换填干土

粘质土或杂填土夯坑出水时,要立即排水,并换填夯坑内的软土。有些形成橡皮土的地段,点夯夯坑深度小于0.6 m,无法采用强夯置换法治理橡皮土,只能采用形成橡皮土后再进行换填干砂土、碎石土的方法。换填后的地段,要进行重新夯实,也可以采用其它的压实机械进行压实。

换填机械采用挖掘机,效率较高,用挖掘机挖出需换填的土,既排除了夯坑挤出的水,又挖出了夯坑周边从地下挤入水而浸湿变软的土层。当夯坑周围有可置入的干土时,挖掘机换填效率会更明显,同时还可以减少换填区域的夯击遍数、提高工作效率。

换填的土最好干燥一些,以吸收一部分挤上来的水分。出水少时,可换填石粉、吸水性强的干土、砂岩、灰岩碎块等。如果条件允许,换填土最好采用碎石土、级配碎石、石粉、自燃后的红煤矸石(性质稳定,不易崩解,无膨胀性)等。

出水量较大时,则要求必须在场地1 m厚度范围内换填石料,如碎石、石渣等,夯后具有较好的容水性,有利于孔隙水的消散。

当橡皮土形成后,若面积较大,并且不能行走履带式吊车进行强夯时,则必须用挖掘机换土后再强夯。若面积小,用强夯点夯方法可以夯出夯坑的情况下,在夯坑内填石料或含水量适合于夯实的干土。

在平夯后或开槽的地基中形成橡皮土后,在换填过程中,可用挖掘机的铲斗垂直地插向地面,看是否产生震颤的现象,以探测橡皮土的范围和深度。

#### 2)预铺垫层

对软弱饱和土或地下水位浅(<2.5 m)时常需在地面铺设一层碎石、砂砾石、砂质素填土等可夯性较好的材料,厚度一般为50~150 cm。

预铺垫层有以下几个作用<sup>[2]</sup>:①可形成一覆盖压力,减小夯坑周围坑侧土向上的隆起,下部的粘性土土层在一定程度上失去向上的应变空间,无法形成橡皮土,使夯坑周围土得到加固;②在软弱土中夯击后能形成强夯置换墩,增加土层的透水性,从而有助于增大强夯的影响深度;③作为坑底土孔隙水压力的消散通道和排水通道、储水空间,加快坑底土孔

隙水压力的消散。

垫层材料宜采用粗颗粒的碎石、矿渣、砂砾石等。对处理土层为饱和砂、软土,强夯后的坑底易形成涌土涌砂时,垫层材料不宜用砂,以免涌水冲蚀坍塌。

### 3) 夯坑排水

夯坑出现出水现象时,存在粘性土的情况下,则容易形成橡皮土。若夯坑出水量大于夯坑容积的1/5时,必须先排水,再填石料。

### 4) 夯坑内填石料

若第一遍夯击时,夯坑出水或下部粉质粘土出现橡皮土迹象、夯坑周边土质渗水、湿度变大等情况,应在夯坑内填石料,继续进行点夯,形成强夯置换做成置换墩。

夯坑内加入石料之后,并在原点夯位置增加一遍点夯的夯击遍数。夯坑内加入的石料可以是块石、碎石(可含有石粉)等粗粒材料,以利于做成排水通道,防止在夯第二遍时,地下水大量地进入夯坑周围的粘性土中。粘性土以下的粗粒材料转化为强夯置换法,夯入的粗粒材料成为强夯置换墩。红粘土、残积土等土层遇水易形成橡皮土,若发现该类粘性土夯坑底有挤上的孔隙水或坑底含水量增大时,应采用粗砂、石屑、石粉、碎石等较硬的材料填入夯坑,并增加夯击遍数。

在出水量较多的条件下,排水后,应在第二遍的夯坑内同样填料,若不填时,水会过分集中在第一遍的夯坑内,因需要储入的水量增大而引起容水能力不足时,容易把夯坑周围的土浸湿而形成橡皮土,也可能在整平场地后因粘性土面积大,极易在推平后形成橡皮土。

### 5) 掺入石灰

砂性土混有粘性土地基形成橡皮土后,可将其翻开并搅碎,用掺入石灰粉。石灰是氧化钙(生石灰)和氢氧化钙(消石灰)的统称。不论生石灰、消石灰,水化后和粘性土中的主要成分二氧化硅或三氧化二铝以及三氧化二铁等物质结合,即可生成胶结体的硅酸钙、铝酸钙以及铁酸钙,将土胶结起来,使灰土有较高的强度和抗水性。灰土逐渐硬化,增加了土壤颗粒间的附着强度。

石灰与土不仅发生了一系列物理力学作用,还发生了一系列的化学与物理化学作用,如:①离子交换作用;②碳酸化作用;③结晶作用;④火山灰作用等,这一系列作用发生的同时,形成了灰土的强度。

强度形成初期主要表现为土的结团、塑性降低、

最佳含水量的增大和最大干密度的减小等;后期主要表现为结晶结构的形成,从而提高其板体性、强度和稳定性。

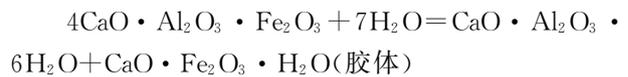
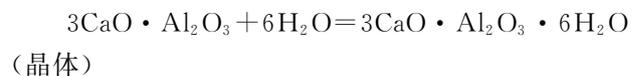
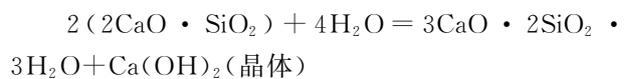
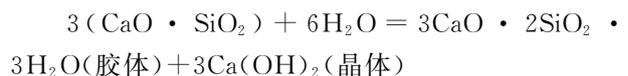
### 6) 掺入水泥粉

在水泥粉加固强夯后变软的粘性土过程中,由于水泥掺量较小,水泥的水解和水化反应完全是在具有一定活性的介质—土的围绕下进行,所以水泥加固土的强度增长过程比混凝土为缓慢。

加固机理为水泥与土料(粘土矿物主要成分为二氧化硅及三氧化二铝)发生化学反应同时吸收土中水分,生成具有一定强度和水稳定性的硅酸钙。主要的反应过程如下<sup>[3]</sup>:

#### ① 水泥自身的水解和水化反应

普通硅酸盐水泥主要是氧化钙、二氧化硅、三氧化二铝、三氧化二铁及三氧化硫等组成,用水泥加固软土时,水泥颗粒表面的矿物很快与软弱土中的水分发生水解和水化反应,生成氢氧化钙、含水硅酸钙、含水铝酸钙及含水铁酸钙等化合物。反应化学式主要有:



所生成的氢氧化钙、含水硅酸钙能迅速吸收土中的水,使水泥颗粒表面重新暴露出来,再与水发生反应,这样周围土中的水迅速减少,降低了软弱土中的含水量,增强了土体的强度。

#### ② 粘土颗粒与水泥水化物的作用

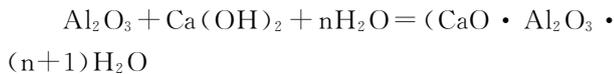
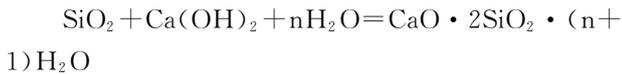
当水泥的各种水化物生成后,有的自身继续硬化,形成水泥骨架;有的则与其周围具有一定活性的粘土颗粒发生反应。主要反应过程有以下两个:

a. 离子交换和团粒化作用:粘土和水结合时就表现出一种胶体特征,如土中含量最多的二氧化硅遇水后,形成硅酸胶体微粒,其表面带有阳离子  $\text{Na}^+$  或钾离子  $\text{K}^+$ ,它们能和水泥水化生成的氢氧化钙中钙离子  $\text{Ca}^{++}$  进行当量吸附交换,使较小的土颗粒形成较大的土团粒,从而使土体强度提高。

水泥水化生成的凝胶粒子的比表面积约比原水泥颗粒大 1 000 倍,因而产生很大的表面能,有强烈的吸附活性,能使较大的土团粒进一步结合起来,形

成水泥土的团粒结构,并封闭各土团的空隙,形成坚固的联结,从宏观上看也就使水泥土的强度大大提高。

b. 硬凝反应:随着水泥水化反应的深入,溶液中析出大量的钙离子,当其数量超过离子交换的需要量后,在碱性环境中,能使组成粘土矿物的二氧化硅及三氧化二铝的一部分或大部分与钙离子进行化学反应,逐渐生成不溶于水的稳定结晶化合物,增大了水泥土的强度。



材料的选用:普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥和火山灰质硅酸盐水泥都可用于改良土,但应选用终凝时间较长(宜在6h以上)的水泥。快硬水泥、早强水泥以及因受潮变质的水泥不应使用,宜采用标号较低(如32.5#)的水泥。

#### 7) 增加消散时间

增加粘性土每遍夯击之间的间隔时间,使超静孔隙水压力得到充分的消散,并大大增加地基强度。例如,天津静海某软土地区的强夯工地,原为一水池抽水后回填素土形成。第一遍点夯2~3击,因含水量较大,地面隆起在0.3m以上,说明地面以下0至3.0m左右深度范围内均已产生了橡皮土。因此,夯完第一遍后,先不推平,间隔约20天左右,坑底土充分晾干后,再推平和夯击下一遍,解决了软粘性土的强夯橡皮土问题。

若地面隆起不大时,间隔时间宜大于14天,规范规定为14~28天。形成橡皮土后,应及时停止无效的夯击,并防止施工机械的反复碾压扰动,以防继续变软。增加每遍夯击之间的间隔时间的处理方法适用于强夯工程量大,每遍的夯击周期较长的情况,该处理方法的成本是最低的,在工期允许时,宜优先采用;若强夯面积小(<20000 m<sup>2</sup>)或工期短(<30天),则不能适用。

#### 8) 人工降低地下水位

在强夯场地周边预先用挖掘机挖2~4m深的排水沟或打降水井,用潜水泵或真空泵长期泵水,降低整个强夯场地内的地下水位,以利于含粘性土场区的强夯。排水沟可以是每30~40m宽为一条带进行开挖。夯坑底面与地下水的最小距离(如砂土为2.0m)大于某一允许的数值时,地下水就不会挤到夯坑内了,产生橡皮土的可能性大大减小,并减少了排水的时间加快了工期。

#### 9) 降雨或地表积水形成的表层橡皮土的防治

若点夯后夯坑深0.5~0.8m之间,未平夯前有连续降雨,可能会形成表层1.0m范围内的橡皮土。针对这种情况,可采取以下几种防治措施:①尽量避开雨季施工;②形成橡皮土后,立即换填后再重新夯实;③增加消散时间以利于水分的蒸发;④夯前增加整平标高,以利于场地积水的排出;⑤开槽后局部换填。

### 3 结 语

1) 在进行强夯地基处理的过程中,软弱土和橡皮土的处理必须按照其特有的客观规律进行,否则可能会增加工程的造价,甚至达不到预期的处理效果。

2) 本文对软弱土的处理和橡皮土的防治方案进行了专门的总结和归纳,以便于岩土工作者处理该类问题时,很方便地找出针对性的处理方案,力争做到经济合理。本文中提到的一些理论和经验,供岩土工作者参考。

#### 参 考 文 献

- [1] 中国建筑科学研究院. JGJ 79—2002 建筑地基处理技术规范[S]. 2002.
- [2] 手册编委会. 地基基础工程施工过程控制与质量验收要点对照使用手册(上册)[M]. 哈尔滨:黑龙江文化音像出版社,2004:133.
- [3] 曹名葆. 水泥土搅拌法处理地基[M]. 北京:机械工业出版社,2004:9-11.

收稿日期:2011-10-13