

76-80

电渗—强夯综合法
加固软弱地基的实践

TU753-8

赵建国 朱文凯

(国家建材地质勘察中心广东总队·广州江村)

A

以珠海市红旗 11 万 V 变电站场地软土加固处理工程为例,阐述了电渗—强夯综合法对软土的加固机理。即电渗快速静态降水,静力固结与强夯振动冲击动态疏干,动力固结密实有机结合,提高软土的抗剪力和承载力。剖析了凿井(施工)质量对加固效果的影响,提出了保证施工质量的技术措施。

关键词 电渗, 强夯, 综合加固 质量 效果

软土地基 ✓



勘察施工

电渗—强夯综合法是将电渗降水固结技术和强夯密实加固方法相配合,以达到加固软弱地基的目的。

早于 1906 年俄国学者列斯(Ф. Ф. Перс)就发现了土的电动现象。50 年代以后,苏、美学者相继对电渗技术做了理论研究,并用于工程。如在墨西哥地铁工程的火山灰质软粘土层中成功地使用了电渗降水技术。50 年代末,我国同济大学、广东工学院等开始研究电渗用于工程,解决了宝山钢厂铁水包基坑开挖、上海真北立交基础施工等难题,完成了海口市龙珠大厦地下室,珠江发电厂泵房和存渣池的开挖、边坡支护、软基加固施工任务。

强夯法处理地基自 60 年代末法国 Mendrd 技术公司首创后,国内外已广泛用该技术加固碎石土、砂土、粘性土、杂填土、湿陷性黄土等各类深层软弱地基。它的成功,已见于多项工程实例中。它不仅能提高基础的地耐力,减少沉降量,还改善其抗震动、抗液化能力,消除湿陷性。

这两者既可单独加固,又可配合,更快、

更好地提高软基承载力,减少其沉降量。即先用电渗快速将土层含水量降到 50% 以下,再强夯密实,改善土体组分、结构、大幅度增加地耐力、降低其压缩性,达到优质、高效、经济的处理效果。

1 加固机理

众所周知,粘性土的抗压和抗剪能力、压缩性等均随其含水量的增大而变差。如珠江三角洲的厚层淤泥因含水量高于 73%,其抗压强度仅是含水量为 10% 的粘性土的 $1/10 \sim 1/8$,为 35kPa,且孔隙比大于 2.3,压缩系数大于 2.3 MPa^{-1} 。所以,疏干淤泥中的水,使土体在自重或动、静荷作用下密实固结,缩小孔隙体积,降低孔隙比,消散超静孔隙水压力,使其各项力学指标好转,充分利用粘土本身固有承载力,实现加固软弱地基的目的。

工程界静态疏干饱和软粘土中含水而使之固结的方法很多,如堆载预压法、降水预压法、真空预压法、砂井堆载预压法等,后者按竖向排水体的不同又分为塑料排水板预压法和砂井(普通砂井和袋装砂井)预压法等。但

本文 1993 年 11 月收到,王梅编辑。

上述各法仅能排出粘土中部分自由水,难以抽出粘土的结构水,因此只能缓慢长时降水(一个疏干固结周期往往长达1~3年),难以适应需要。

如向土层施加直流电场,利用电能及电泳、电渗破坏土中各种水与土粒的吸附结合,使自由水、弱结合水和结构水集汇阴极并被抽走,实现快速降水。此法每个排水周期仅7~10天。

为此,在土中插入阴(负)、阳(正)电极并通直流电,带负电的土粒向正极移动,带正电的水分子与带负电的土粒分离(结合力被破坏),并向阴极集汇,呈现电泳和电渗,产生电渗流及与之反向的水力渗流。(图1)。若不断抽走汇集阴极板的水,电渗流及渗透流得以建立存在。土中自由水、弱结合水、结构水的排出使土疏干,并让出所占据的空间,土粒在自重或附加应力等静荷作用下产生静力固结沉降,土中空隙减小,压缩性降低。阳极(钢、铝)被电蚀,进入土中的金属离子与 OH^- 等阴离子结合成胶凝,亦能粘连土粒,所以,其加固土体的技术特点是以物理固结为主,伴以物理化学固化,改变与强化土体结构,从而改善土体物理力学性能,充分发挥其固有能

能或势能的夯锤,对土体产生瞬时、局部的冲击和振动力,使土体内部应力呈三向不均状态,加之反复地加荷、卸载的疲劳作用,土体极易局部液化,产生树枝状裂缝,迫使超静孔隙水压力升高,促使自由水、弱结合水沿各种排水通道快速排走,导致非饱和土的土粒(特别是深层的)挤密、振实、令其结构高度集中、孔隙比减少,压缩性降低,产生动态疏干及动力固结沉降。显然它也是一种以物理方式加固土体的方法,但它要求土体含水量低于液限呈非饱和土,否则强夯仅使饱和土体液化、流变、结构被严重破坏,呈触变状态而不能密实土体,反而降低承载力,所以,将它与电渗法相配合,扬长避短,即电渗为强夯的成功提供条件和保证,后者进一步扩大前者的成果,使排水固结的时间缩短。

由于综合法的实质是以静、动态排水固结疏干土体,使之改变其物理组分和结构,充分发挥其固有的能力,并未加入任何人工材料(添加剂、胶凝、骨料、支承材料、水泥浆(粉)、生石灰粉、水玻璃、聚合物、块(碎)石、混凝土构筑物、砂),故其处理费用低、无污染、噪音低、工期短,特别适用于加固要求地耐力不大、下伏土层深且厚的大面积场地。

2 电渗—强夯综合法的施工

国内用电渗—强夯综合法加固软基的工程不多,本文通过分析珠海红旗11万V变电站场地软弱地基加固处理实例,对在饱和软土地基进行电渗—强夯综合法加固处理施工予以探讨。

2.1 工程概况

该变电站占地 5600m^2 ,分为主控楼、变压器区(重荷区)和构架区(轻荷区),各占地 2800m^2 (图2)。

2.2 地质条件

该场地下伏地层自上而下分别为:

0~1.5m 耕植土层,黑色,富含植物根;
1.5~19.5m 为淤泥,灰黑色,含水量 $65\%\sim$

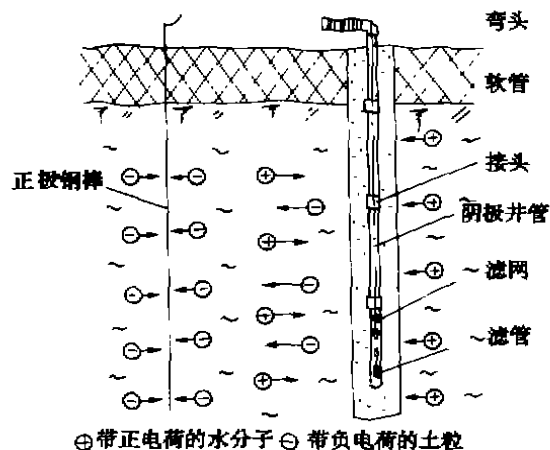


图1 电渗原理示意图

强夯是利用具有 $1000\sim 3000\text{kNm}$ 机械

73%,孔隙比 1.8~2.3,压缩系数 2~2.3MPa⁻¹,抗压强度 35kPa;19.5m 以下为花岗岩强风化层。

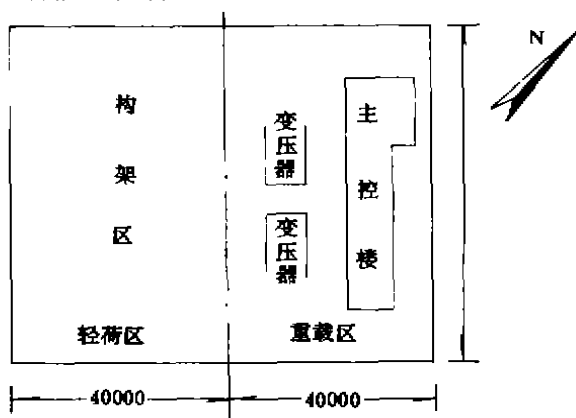


图2 珠海红旗 11 万 V 变电站建筑物分布图

2.3 技术要求

场地加固后 0~3m 范围地耐力 $\geq 150\text{kPa}$,后期沉降值 $<10\text{cm}$ 。

2.4 施工过程

加固处理施工的工序如下:

(1)了解场地工程水文地质条件,特别是待加固处理层位物理力学性质,进行详细和必要的勘察钻探,取土、水样,原位测试等工作。

(2)全场地填土、铺砂垫层,作用有 4:成为堆载预压载体;引出高于地下静止水位及地表的地下水并迅速排走;淤泥排水的横向通道;使场地到预定标高。按设计用插板机打设塑料排水板,作为堆载预压时淤泥层的竖向排水体和强夯时消散孔隙水压力通道。

(3)按设计布置的井点,用 XJ-100 型钻机钻凿电渗沙井,放入滤料(中粗砂)和抽水井管(阴极)。

(4)按设计布置的极点,打设电渗阳极。

(5)连接抽水管线,先行抽出淤泥间自由水。

(6)连接电极和直流电源,进行电渗作业。

(7)按设计布置的夯点先行试夯,并按试夯决定的强夯参数进行跳夯、插夯和满夯。

(8)在各施工阶段,用 XJ-100 型钻机钻凿一批勘察孔、原位测试孔、取样孔和埋设仪表孔,进行勘察、取样、3 种原位测试,埋设测试仪表。了解场地加固处理过程中,地基的物理、力学性能指标的变化,提供其地耐力值和沉降量计算参数,电渗、强夯作业参数,严格控制施工质量。

2.5 加固效果

表 1 地基土物理力学指标对比表

阶段	承载力 f_k (kPa)	含水量 W (%)	抗剪强度 $C\phi$ (kPa)	孔隙比 e	压缩系数 a_r (MPa ⁻¹)	压缩模量 E_s (MPa)	内聚力 C (kPa)
处理前	35	60.9	24.02	1.86	1.56	1.52	4.78
处理后	160	51.9	31.36	1.40	0.98	2.12	8.23
对比(%)	+357	-15	+31	-25	-37	+39	+72

注:对比中(+)为升,(-)为降。

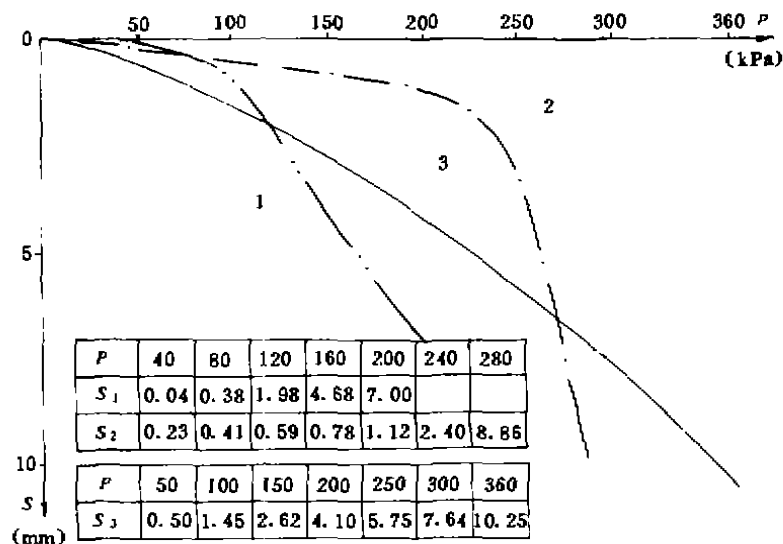
最终测试数据见表 1,图 3 场地经插塑料排水板、电渗和强夯综合处理后,经各种现场检测和室内试验,各项指标均达到或超过设计要求,地基容许承载力超过 150kPa,(表列 f_k 值 160kPa 是本队自测,建设单位委托中国建筑科学研究院珠海科研设计部实测为 180kPa),在使用荷载下,计算后期沉降量小于 9cm,均满足设计单位及使用单位的技术要求。

2.6 经济效益对比

表 2 11 万 V 变电站场地加固费用对比

地名	加固方法	费用(万元)	比价(%)
南屏	锤击沉管桩	140	100
平沙	深层搅拌桩	120	86
红旗	电渗—强夯	80	57

建设单位(珠海市供电局)1992 年曾委托不同的施工单位,用 3 种加固软基的方法,对 3 个地质条件类似,上部建筑和技术要求相同的变电站场地予以加固。其费用对比见表 2。

图3 场地处理前 $P-S$ 曲线图

3 电渗沙井质量对加固效果的影响

电渗沙井是用各种钻凿方法及相应的机械,在待处理土体中凿出直径 $\geq 200\text{mm}$ 的直井,井深按要求而定,到预定深度,下入阴极抽水井管和滤料(中粗砂),结构见图1。在电场、压力场作用下,淤泥中的自由水、弱结合水和结构水渗入沙井并汇聚阴极井管底部,且被吸入管内抽出井外,持续建立电渗流和渗透流,使淤泥含水量降低,土粒在自重及堆载下固结。当其含水量低于50%,在强夯的冲击和振动下,粘土进一步动态疏干和动力固结,从而提高地耐力,消除湿陷性,改善抵抗震动液化能力。再者,该沙井不论是电渗前或后,都是堆载静态疏干软土的竖向排水体,并成为强夯时消散孔隙水压力和排出地下水通道。但如果沙井质量低劣,以致难以从沙井中抽出水,电渗流和渗透流无法持续,粘土中的水难以疏干,同时,电渗流所聚汇于阴极的水亦无法外排,导致阴极沙井外侧土桩软化,成为过饱和流塑水柱,反而变成基础的软弱点。

所以,沙井质量高低直接关系到加固处理的成败。但用XJ-100型钻机钻凿沙井时,由于淤泥含水量高、压缩比高、强度低、触

变和流变性显著,呈软塑,往往一提钻具,井壁就流变失稳、坍塌,使下入的井管滤眼堵塞,无法抽水,亦难以将滤料下入井底。为此,采用套管跟管护井,下入井管(阴极)和滤料后,才拔出护管,并认真冲净井底泥团、沉渣,将井管坐正于沙井中央,以保证成井率。当然,也可用其他的施工方法(长、短螺杆钻,震动钻,水枪)进行跟管凿井,提高工效和保证成井质量。由于注意了沙井质量,保证了加固处理效果和工程质量,使场地加固指标达到技术要求。

4 小结

(1)电渗—强夯综合法是以物理加固为主,并以充分发挥土体本身潜力为辅,静动配合,取得较好的技术效果、时间效应和经济效益。适宜加固整体面积大、承载力 180kPa 左右、下伏软土层深而厚的场地。

(2)该法加固机理是利用电渗和井点预压降水技术,快速静态疏干和静力固结,使土体含水量快速降到50%左右,成为非饱和土,再以夯锤的势能冲击振动,动态排水进一步降低含水量,并动力固结密实,使其压缩性降低,抗剪能力和承载力提高。

(3)该综合法可把高含水量、高压缩性、

高孔隙比、低强度的软弱土层的地耐力提高到近 5 倍;含水量降低了 15%;剪切强度提高到 130%;后期沉降量可控制在要求范围内,是一种快速、无污染、低噪、经济的软土加固技术,在沿海、沿江、沿湖地域有广阔的推广使用前景。

(4)影响电渗—强夯综合法施工质量的因素颇多,须加注意,其中最关键为沙井的质量。它直接影响电渗排水的成败,间接影响强夯施工参数的确定及强夯的加固效果。所以要严格保证沙井的成井质量。

(5)施工过程的每一环节,要配以相应的监测技术和仪器,以保证施工质量达到技术

要求。其中排水量统计、沉降值观测和孔隙水压力监控至关重要。

(6)场地处理前后,均应实施勘察、取样和原位测试等作业,以保证加固处理设计、施工的顺利进行和成功。

参考文献

- 1 地基处理手册编写委员会. 地基处理手册. 北京:中国建筑工业出版社,1988.
- 2 华南工学院,南京工学院,浙江大学,湖南大学. 地基与基础. 北京:中国建筑工业出版社,1981.
- 3 叶书麟. 地基处理. 北京:中国建筑工业出版社,1988.
- 4 罗炳生,黄安仁. 珠江三角洲软土电渗的理论与实践. 广东省岩石力学与工程学会岩土工程委员会,1991.

A Practice Consolidating Soft Formations with an Electric Osmosizing—strong Ramming Composite Method

Zhao JIanguo

Zhu Wenkai

Exemplified by a reinforcing project of soft formations at the construction site of the Red Flag transformer substation (11 million volts) in Zhuhai City, the author elaborates the mechanism of consolidating formations with an electric osmosizing—strong ramming composite method, which consists of fast falling down the water level statically by electric osmosizing, consolidating soft formations under static pressures, vibration—percussing through strong ramming to make the formations dried up dynamically, dynamic consolidating and densifying them to increase their antishearing stress and bearing power. The influence of sinking qualities on reinforcing effects is analysed and the technical measures to guarantee the construction qualities are also proposed in this paper.

国内金刚石及金刚石砂轮主要出口地

1991 年国内人造金刚石出口主要市场为印度尼西亚,为 284 万美元,占 40.1%,以前我国人造金刚石从未出口到印度尼西亚市场;其次是香港,为 213 万美元,增长 31.6%,占出口额的 30.1%;再次为美国和西德。

金刚石砂轮出口量为大幅度增加,主要是日本,比上年增加 368.2%,占出口额的 35.7%,其次为香港,占 29.7%,比上年增长 155.8%。

(转自《工业金刚石通讯》,1993, No. 5)