

强夯法及其在水利工程中的应用

陈鸿飞

(临沂市水利勘测设计院 临沂 276004)

TV223

摘要 简要介绍强夯法的特点及适用情况,并通过工程实例介绍强夯法在水利工程中的应用及强夯法的设计与施工,分析了强夯法良好的技术经济效果。强夯法在水利工程中具有广阔的应用前景。

关键词 强夯法 地基加固 基土 夯击能 水利工程

强夯法也称动力固结法,是由法国工程师梅那于70年代初期提出的。70年代后期强夯法引入我国,并对其进行专门试验研究,因效果显著而被推广使用。目前,强夯法在公路、港口、城建等地基加固处理中已得到广泛应用,显示了多、快、好、省的技术经济效果,取得了良好的社会、经济效益。它具有机具和工艺简单、施工方便、投资省、速度快、效果好等优点,已引起水利工程设计和施工人员的关注。

1 强夯法的设计与施工

强夯法的施工工艺、加固原理及施工程序,国内有关文献、设计规范及地基处理手册已有详细阐述^[1],这里不再详述。

1.1 强夯法的适用范围

强夯法最适宜加固松散的砂类土、湿陷性黄土、地下水位较低的杂填土、壤土、非饱和的粘性土等。对于饱和软粘土地基,强夯法的加固效果尚不肯定,它与地基土、地下水条件以及单位面积输入的夯击能量有关,但在天津新港和厦门特区^[2]的淤泥质基土,亦取得了良好的加固效果;对于厚度不大的软粘土层,其下土层较好时,可采用强夯挤土,在夯坑内填碎石等粗粒料,边夯边填,形成墩

柱,这些墩柱和周围基土构成复合地基。目前,国内外采用强夯法的加固场所可以在陆上、海滩或水下。

1.2 强夯设备的选择

强夯设备主要包括夯锤、起重机、脱钩装置三个部分。

a. 夯锤。目前国内定型生产的夯锤有圆形和方形两种,底面积为 $2 \sim 6 \text{ m}^2$ 。夯锤应根据起重设备、地基土质、加固深度等因素选择。夯锤底面积宜根据地基土类型选择;对于砂性土宜采用较小的底面积;对于粘性土宜采用较大的底面积。

b. 起重设备及脱钩装置。一般采用履带式或轮胎式起重机。当根据地基加固需要,必须采用大型夯锤时,可制作专用起吊三足架或利用两台起重机抬吊夯锤。夯锤通过滑轮组起吊到既定高度后,需通过脱钩装置自动脱钩落锤。目前,国内常用的脱钩装置有两种:一种是利用吊机上副卷扬机的钢丝绳吊起锁卡焊合件,使锤脱落;另一种是采用定高度索的办法来完成脱钩施夯。

1.3 强夯参数的选择

1.3.1 锤重与落距

强夯常用的锤重为 $8 \sim 25 \text{ t}$,落距为 $8 \sim 20 \text{ m}$ 。锤重应根据起吊设备的允许起吊能

作者简介:陈鸿飞,男,工程师,从事农田水利工程设计,曾发表《土坝上游坝址区清淤方法初探》等论文。

力、地基加固深度和落距选择;落距应根据设备允许起吊高度、锤重和地基加固深度选择。夯锤重量 M 、落距 h 及冲量 F 的关系见图 1。由图 1 可知,增大锤重的效果优于增大落距。

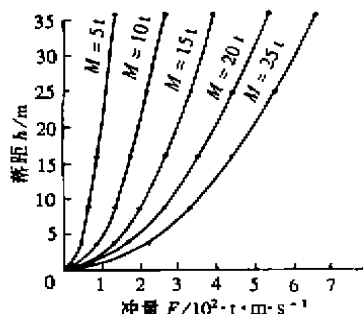


图 1 冲量、锤重、落距关系

1.3.2 最佳夯击能的确定

一般在大面积强夯施工前应先选择一定面积的场地进行典型试验,并及时作好现场测试工作。根据试验区测试的技术数据,结合设计和工程对地基的要求,确定最佳夯击能。对粘性土,由于孔隙水压力消散较慢,可根据孔隙水压力的叠加值达到或接近土的自重压力时来确定最佳夯击能;对于砂性土,由于孔隙水压力增长及消散过程很快(仅几分钟),可根据孔隙水压力增量随夯击次数(夯击能)的增加而逐渐趋于恒定时的夯击能为最佳夯击能。

1.3.3 夯击遍数的确定

夯击遍数一般为 2~6 遍。对于砂性土,夯击遍数可少些;对于粘性土,特别是淤泥质土,夯击遍数要求多些,如天津新港软土 1978 年的试验区夯 3 遍,秦皇岛细砂夯 2~3 遍,上海软粘土夯 5 遍,临沂市小埠东闸基中粗砂夯 2 遍(最后一遍为满夯整平)。

1.3.4 相邻两遍夯击之间的间歇时间

强夯引起很高的孔隙水压力,在下一遍夯击前应保持足够的间歇时间,使孔隙水压力消散。一旦孔隙水压力消散或大部分消散即可进行下一遍作业。因此,应根据土质情况确定间歇时间:对砂性土孔隙水压力消散只需 3~4 min,可连续夯击作业;对软粘土一般不少于 4 个星期。

1.4 强夯施工注意事项

强夯施工除应按规范规定的程序施工外,还应注意以下几点。

a. 对砂性土,为降低地下水位,应在加固区周围设排水沟;对粘性土,宜设置水平或竖向碎石等粗砾料排水通道,以提高强夯效果。

b. 夯击时落锤要保持平稳,夯位应准确,连续作业时若发现夯坑底面倾斜,应及时找平或回填夯坑。

c. 及时排除坑内积水,以利于孔隙水压力消散和进行下一遍施夯。

d. 加固区距周围建筑物距离小于 10 m 时应采取防震措施,如开挖防震沟等,以免对建筑物产生不利的震动影响。

e. 夯击前后对地基土的各项指标须进行原位测试,以便随时检查强夯结果。

f. 及时监测和质量检查。

2 强夯法的技术经济分析比较

2.1 加固费用分析比较

文[3]对常用各种软基加固方法的费用进行了统计分析,强夯、砂井预压、挤密砂桩、钢筋混凝土桩和化学拌合法的造价比分别为 0.3,1.0,2.0,4.0 和 4.0。

2.2 加固效果

根据实验资料,素填土夯击前后静探结果表明,比贯入阻力 P_s 值提高 1.2~2.5 倍;动探结果表明,标准贯入击数, $N_{63.5}$ 值增大 2.0~3.0 倍。夯击前后素填土的物理力学指标变化见表 1^[2]。

表 1 素填土夯击前后物理力学指标变化

指标	含水量 $w(\%)$	孔隙比 e	压缩系数 $\alpha_{1-2}/\text{MPa}^{-1}$	压缩模量 E_s/kPa	承载力 R/kPa
夯 前	31	0.918	0.90	3840	80~100
夯 后	25	0.683	0.22	7650	7160
增值(%)	-24	-34.4	-127	+99	+66~100

采用强夯法加固地基的已建工程建筑物地基沉降观测结果表明,地基沉降量较小,不均匀沉降可忽略不计,使用正常,效果良好。

3 工程实例

临沂市小埠东拦河枢纽工程位于临沂市

郊沂河上,是具有灌溉、发电、城市供水及游乐开发等多种用途的综合性水利枢纽工程,总投资5900多万元。由橡胶坝、调节闸、泵站、电站、引水闸及桥头堡等单项工程组成;东西偏泓各设5孔提升式平面钢闸门调节闸,闸门尺寸10 m×15 m;中间有16节橡胶坝,每节净宽70 m,坝高3.5 m。两岸均设有泵站、桥头堡及引水闸,东岸还设电站一座。工程平面布置见图2。

3.1 工程地质条件

河床覆盖层为一套河流相冲(洪)积物,厚度为8~12 m,主要以细砂、中砂、粗砾砂和亚粘土为主。冲积覆盖层垂直分选性明显:上层为细砂,厚1~3 m;第二层为中砂,厚1~4 m;第三层为粗砾砂,厚0.2~9.7 m;第四层为亚粘土层,厚0.4~11.6 m;第五层为基岩。枢纽工程地质情况见图3。

据山东省水利科学研究所土工试验成果,河床覆盖层结构松散,级配不良,相对密度仅为0.21~0.42。东调节闸地基下伏亚粘土楔形夹层,埋深0.5~10 m,造成闸基均匀性较差。根据临沂市水利水电基础处理工程公司提供的钻探资料,部分测点的标准贯入击数 $N_{63.5}$ 仅为6~8击。因此,闸、坝地基不但结构松散、承载力较低,有地震液化可能,而且均匀性差,易发生不均匀沉降,需对地基进行加固处理。

3.2 加固方案比较

根据北京市长白河上三座橡胶坝地基加固处理的经验,结合该工程具体的地质条件和工程要求,经过多方案技术经济分析论证,最后采用强夯法对地基进行加固处理,各方案的投资及工期见表2。

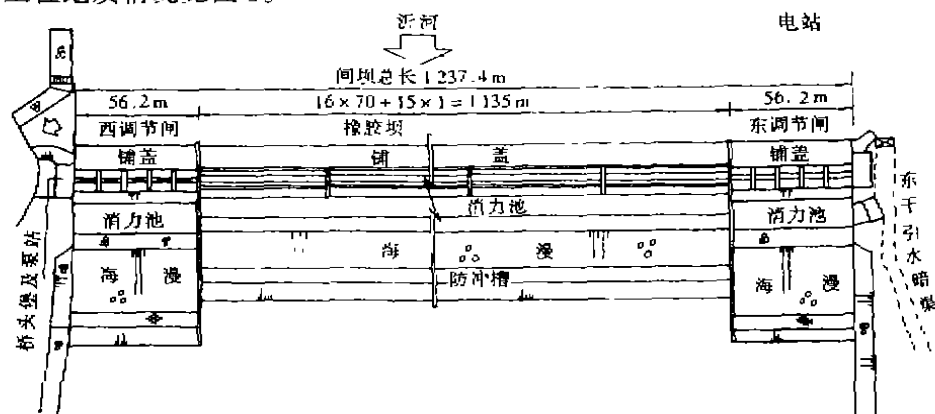


图2 枢纽工程平面布置

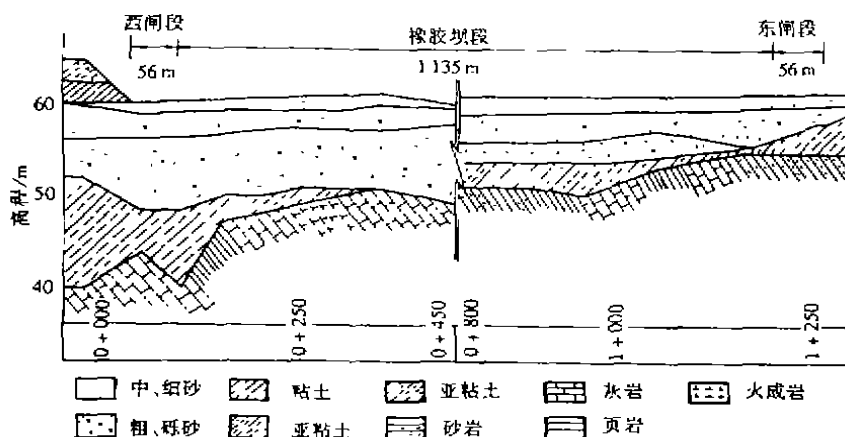


图3 工程地质剖面

表2 地基加固方案比较

方 案	投资/万元	工期/d
翻挖碾压法	339	50
碎石短桩垫层法	257	55
爆破法	105	30
振冲法	211	40
强夯法	80	25

从表2可知,强夯法的加固费用仅为翻挖碾压法的24%,也大大小于其它方法的加固费用,且工期短,质量有保证,从而大大加快了施工进度,保证了安全渡汛。

3.3 强夯施工

根据设备条件选用锤重分别为15t和10t的两种夯锤,落距均为10m,夯锤底面积为3m²。设计加固深度为6m,加固范围为闸、坝底板外形轮廓四边各加6m。夯点采用梅花形布置,间距为3m,施工顺序由东向西逐点夯击连续作业。第一遍为点夯:15t锤每点夯10次;10t锤每点夯15次。单击夯击能为150t·m,单点夯击能为1500t·m,平均夯击能为166t·m。第二遍为低能力的“搭夯”(也称满夯),将夯坑填平后“锤印”彼此搭接,落距4~6m,将夯面夯平为宜。

3.4 加固效果

根据山东省水利工程质量检测中心提供的《临沂市小埠东拦河闸改建工程坝基(桩号0+100~0+800段)强夯加固质量检测报告》,经强夯加固后,基土各项物理力学指标均有明显改善,地基的均匀性普遍提高,承载力均大于250kPa。覆盖层标准贯入击数 $N_{63.5}$ 均普遍增大,相对密度 D_r 均大于0.7;

下伏亚粘土夹层强度明显提高。整个地基完全满足设计使用及上部结构物的承载和变形要求。基土夯击前后标贯及相对密度变化情况见表3。

表3 标贯试验成果摘录(0+280断面)

测点	深度/m	夯击前		夯击后		增 值	
		SPT/击	相对密度	SPT/击	相对密度	SPT/击	相对密度
1	0.5	5	0.45	13	0.73	8	0.28
2	1.5	8	0.57	15	0.73	7	0.15
3	2.5	9	0.58	17	0.74	8	0.16
4	3.5	11	0.60	18	0.75	7	0.15
5	4.5	12	0.61	19	0.74	7	0.13
6	5.5	13	0.62	24	0.76	11	0.14

摘自山东省水利工程质量检测中心《临沂市小埠东拦河闸改建工程坝基(桩号0+100~0+800段)强夯加固质量检测报告》。

4 结 语

工程实践表明,强夯法是一种快速、经济、有效的地基加固处理方法,必将在水利工程地基加固处理中得到广泛应用。但对饱和软粘土的加固效果,目前尚不能充分肯定,理论上也需进一步完善,使用时应灵活掌握。

参考文献

- 1 孙更生,郑大同.软土地基与地下工程.北京:中国建筑工业出版社,1984.387~405
- 2 吴达人.强夯法在厦门软基加固处理中的应用.见:中国土木工程学会第五届土学及基础工程学术会议论文集.北京:中国建筑工业出版社,1990.515~521
- 3 常士骧.工程地质手册.北京:中国建筑工业出版社,1992.864~867

(收稿日期:1996-04-29 编辑:张志琴)

·简 讯·

▲阿根廷1996年11月降低电价26%。降价的原因可能是由于消费者用电量较小而电力供过于求。目前阿根廷的发电量过剩约1200MW,其中大部分是由在巴拉那河新建的Yacyrete电站部分投入运营所提供的。

▲最近,在尼泊尔加德满都召开的为期3天的“南亚照明和电气化会议”,就建立泛亚电网一事进行了磋商。这个地区性的电网拟覆盖南亚地区合作协会的成员国:印度、巴基斯坦、缅甸、尼泊尔和锡兰。与会代表讨论了公共照明和电气化标准,并通过了会议主要内容纪要。尼泊尔代表赞同泛亚电网这一新概念,并认为这将有助于这些国家电力交流和提高这一地区供电系统的效率和可靠性。

(熊莉芸供稿)