

强夯法处理某变电站红砂岩填土地基的试验研究

黄兴怀, 方玉友, 吴志海
(安徽省电力设计院, 安徽 合肥 230601)

摘要:通过对某变电站红砂岩填土地基的强夯试验研究,验证了强夯设计参数,为基础设计提供了依据,并对红砂岩地区采用强夯地基处理技术进行了探讨,供类似工程的设计、施工及检测借鉴参考。

关键词:红砂岩;强夯;静载荷试验;重型动力触探

中图分类号:TU472 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2012)03-0047-04

Experiment Study on Dynamic Compaction Treatment to Red Sandstone Fill Foundation in a Substation/HUANG Xing-huai, FANG Yu-you, WU Zhi-hai (Anhui Electric Power Design Institute, Hefei Anhui 230601, China)

Abstract: The dynamic compaction design parameters were verified by the study on dynamic compaction test of red sandstone fill foundation in a substation, which provided the basis to foundation design. And the study was also made on dynamic compaction treatment applied in red sandstone area, which can be reference to design, construction and test of similar projects.

Key words: red sandstone; dynamic compaction; static loading test; heavy dynamic penetration test

强夯法因其经济易行、效果显著、设备简单、施工便捷、节省材料、适用范围广、施工周期短等突出优点,自20世纪70年代引入我国,得到了广泛应用。国内外对强夯加固碎石土、杂填土、粘性土等进行了大量试验和理论研究,但由于各类土物理力学特性的差异,对不同性质土的强夯具有不同的加固效果,难以形成统一的施工方案。

某500 kV变电站部分地段地势低洼,且分布有一面积达3400 m²的水塘,局部回填土厚度较大,填料主要为红砂岩与粉质粘土等。拟采用强夯技术对填土地基进行处理,以满足建(构)筑物强度及变形要求。为了对红砂岩填土地基的强夯效果进行检测以及对施工设计参数进行验证,进一步优化强夯施工设计和提出更加合理的施工设计参数,我们进行了相关试验工作,并对结果进行了深入研究与分析,以对强夯技术在类似场地的应用提供借鉴。

1 场地岩土工程条件

1.1 地形地貌

该变电站为一个新建变电站。站址区地貌为低山,站内220 kV构架及电容器场地地形起伏较大,呈北高南低,内有1条岗间凹地(小型冲沟)并含有1个水塘和取土坑。根据场地设计标高推算,该地段填土层厚度在4.00~6.45 m之间。

1.2 地层结构

220 kV构架场地岩土层下伏基岩为侏罗系细砂岩和泥岩,上覆盖层为第四系上更新统残坡积、全新统残坡积和冲积层,零星分布填土,部分地段基岩出露。强夯区地层结构为:

①层填土(Q₄^{ml}),灰褐、灰黄、棕黄色,稍密,稍湿,该层在220 kV构架场地内仅分布于水塘塘埂和田埂,一般层厚0.30~0.60 m,局部层厚1.80~2.30 m。

③层粉质粘土(Q₄^{el+pl}),灰褐、褐黄、棕黄色,局部为粘土,含少量氧化铁和铁锰锈斑,有光泽,干强度高,韧性高,无摇震反应,结构稍松散,稍湿,可塑,局部可塑偏硬或可塑偏软状态,层厚0.50~2.80 m。

④层粉质粘土(Q₃^{el+pl}),褐黄、棕黄、棕红色,局部为粘土,含少量氧化铁、铁锰锈斑(结核),局部含少量高岭土团条,结构稍松散,稍湿,可塑偏硬~硬塑状态,层厚0.80~4.90 m。

⑤层红砂岩(J),灰黄、褐黄色,细砂岩与泥岩互层,表层全风化中细砂混粘性土。下部强风化~中风化,在站区均有分布,地势较高处出露。

1.3 岩土工程分析及评价

根据变电站内场地土方平衡原则而确定的场地设计标高估算,220 kV构架场地区填土厚度一般在

收稿日期:2011-08-31

作者简介:黄兴怀(1973-),男(汉族),安徽安庆人,安徽省电力设计院勘测工程部首席专工(岩土)、高级工程师、土木工程注册师(岩土),岩土工程专业,硕士,从事岩土工程工作,安徽省合肥市经济技术开发区繁华大道369号,hxh@ahedi.com.cn。

4.00~6.45 m之间;设计在可研阶段考虑了深基础和强夯地基处理2种方案,经经济技术方案比较,采用强夯处理技术上可行,也更为经济,因此,最终决定采用强夯技术处理220 kV 构架场地区的深厚填土。

2 试夯设计

2.1 试夯区选择

变电站需要采用强夯处理区域中,水塘区为填土厚度最大处,塘底呈平锅底形,因此试夯区就选择

在水塘最深处。如果经试验和检测,试夯区地基强夯效果能满足浅基础设计要求,则整个强夯区地基强夯效果都能满足设计要求。

2.2 试夯区强夯处理厚度及强夯参数选择

考虑到强夯处理一般厚度在4.00~5.00 m,最大处理厚度约6.50 m,因此在选择试夯参数时,要按强夯处理最大厚度为6.50 m考虑,整个强夯区一次强夯完成。参考施工单位机械,采用圆形底面直径2.2 m、质量13.7 t 夯锤,2遍点夯,2遍满夯,试夯有效影响深度估算参数见表1。

表1 试夯有效影响深度估算参数

强夯类型	夯锤重力 W/kN	锤底面直径/m	夯锤落距 /m	不同影响系数的强夯有效影响深度/m		预估地面平均夯沉量/m	预估夯前填土厚度/m	夯点布置形式	夯点间距 /m
				0.5	0.6				
点夯	137	2.20	10	5.90	7.00	0.72	6.50	梅花形	4.00
满夯	137	2.20	6	4.53	5.44	0.72	6.50	锤印搭接	0.10~0.20

2.3 试夯区填料粒径控制

试夯区回填土料为挖方区土石料,考虑到地势较高处③层、④层粉质粘土较薄,回填土成分主要以⑤层红砂岩为主,要求强风化及以上红砂岩填料粒径控制在200~500 mm,粒径>300 mm的填料含量不宜超过全重的10%,粉粒含量宜小于全重的10%,对于粒径500 mm细砂岩填料应破碎。回填前可清除水塘底软土和表层耕土。

2.4 夯点布置

试夯区面积为23 m×23 m,以水塘最深处为中心点。夯点采用梅花形布置,夯点间距4 m,试夯区夯点布置如图1所示。

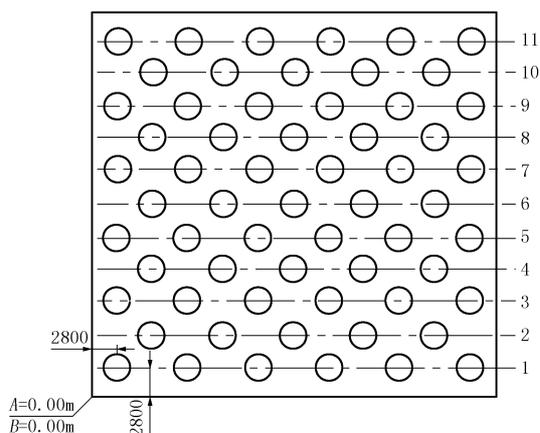


图1 试夯区夯点布置

2.5 强夯工艺

(1)对1、3、5、7、9、11夯线依次进行第1遍强夯;对2、4、6、8、10夯线依次进行第2遍强夯;第3遍为置换夯,夯点位置为220 kV 构架、隔离开关基础;第4、5遍为满夯。

(2)点夯和置换夯收锤标准为10击且最后2击平均夯沉量 ≤ 60 mm,在达到收锤标准时,夯坑底标高应 ≥ -1.0 m。

(3)满夯夯点锤印应搭接10~20 cm。

(4)点夯前应进行第一次场地整平,置换夯前应进行第二次场地整平,满夯前应进行第三次场地整平,三次整平的标高均应为25.80 m。

3 试验手段与试验成果分析

3.1 静载荷试验成果分析

根据有关规程规范要求及上部建(构)筑物的特点综合考虑,强夯地基检测采用浅层静载荷试验,实际共进行浅层平板载荷试验3个,考虑到工期等因素,试夯区在强夯完成15天后进行试验检测,试验坑底标高按设计地面高程取不同深度进行试验。

按《建筑地基基础设计规范》(GB 50007-2002)附录C的有关规定,采用慢速法加载,最大加载值为360 kPa。试验结果表明,终止加载后,承压板四周均未出现裂缝或隆起现象,从 $p-s$ 曲线(图2)看,曲线比较平滑,呈缓变型,与常规静载荷试验 $p-s$ 相比,其前几级加载下沉量较大,曲线不仅没有向下加速沉降之势,反而在尾部有向上翘起,这说明了随着加载的增大,浅层得到了进一步的压实。考虑到变形及 $p-s$ 、 $s-\lg t$ 曲线上没有明显的拐点, $s-\lg p$ 曲线上没有明显的第二拐点,因此在 $p-s$ 曲线上按 $s/d=0.01$ 取值,取沉降量为8.00 mm对应的 p 值分别为200、153及185 kPa,平均为180 kPa,取地基承载力特征值为160 kPa,地基变形模量值为11.50 MPa。由于强夯地基为人工回填土,回填土料

为挖方区土石料,回填土料具有不均性,点夯虽达到收锤标准,其强度和密实度也存在差异,从 $p-s$ 曲线也可见,曲线的曲率变化较大,同为 360 kPa 的荷载,沉降变化较大,最小为 12.91 mm,最大达到 18.93 mm,说明红砂岩填土地基经强夯加固后地基土具有一定的不均性。

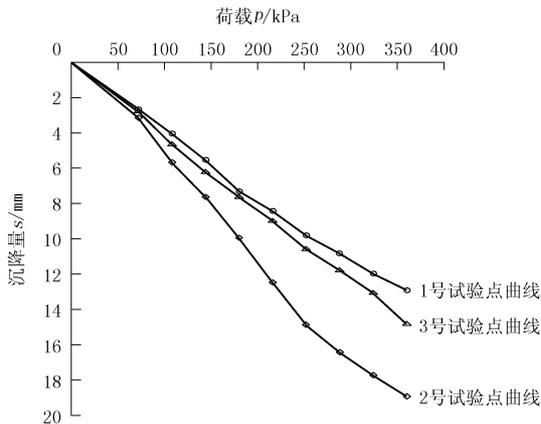


图2 静荷载试验 $p-s$ 曲线

3.2 动力触探检测

为直接检测试夯效果,我们在试夯区布置多个钻孔,进行夯前与夯后重型动力触探试验。动探测试自 1 m 以下连续测试至原状土层。其中 SQ1、SH3 及 SQ2、SH4 夯前与夯后动探测试对比曲线见图 3、图 4。

在间歇期为 7~15 天时,通过重型动探 $N_{63.5}$ 夯前夯后测试击数及对比,并通过钻探取心鉴定:填料主要为粉质粘土的,夯前动探击数一般在 0.5~2.0 击之间,夯后动探击数一般在 3~5 击,部分大于 5 击;夯后击数比夯前击数总体提高 3~6 倍,局部提高更多。填料主要为全~强风化岩石的,夯前动探击数一般在 3~6 击,少量大于 6 击,夯后动探击数一般在 6~12 击,部分大于 12 击或更高;夯后比夯

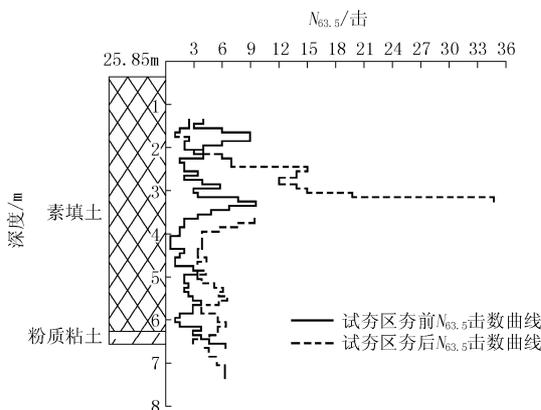


图3 SQ1 与 SH3 强夯前后 $N_{63.5}$ 击数曲线对比

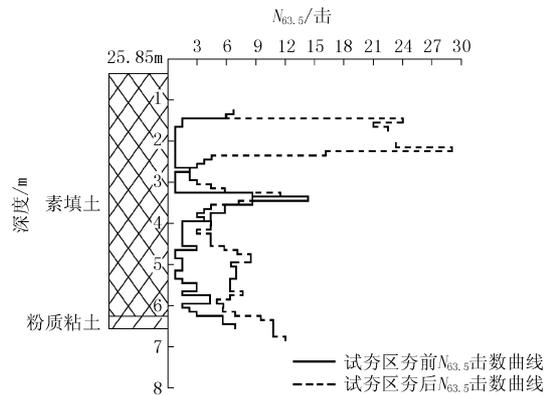


图4 SQ2 与 SH4 强夯前后 $N_{63.5}$ 击数曲线对比

前击数总体提高 2~3 倍,碎石层较厚处提高更大。考虑到填料的不均匀性,不能给一个定量提高值,但总体趋势是夯后的密实度有较大程度的提高。

3.3 振动检测

本强夯场地临近建筑物为居民民房,主要为 2~3 层楼房,少量土坯房,强夯场地边界距民房最近距离约 110 m。强夯施工所产生的振动及噪声,对临近建筑物是否会产生有害的影响?是否需要采取防振或隔振措施?等等这些是评价强夯地基处理技术是否适用的一个重要参数。因此在试夯时布置了 2 个测试点以评估其可能对临近建筑物产生的不利影响,试验数据如表 2。

表2 振动检测试验

测点	振动速度/($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$)			振动加速度/dB		
	垂直	水平	水平	垂直	水平	水平
1	0.02	0.04	0.02	53.8	50.0	49.8
2	0.05	0.09	0.06	59.7	55.4	57.6

因此,无论是实测振动速度还是振动加速度都远小于安全评估规定。不需要采取相应的防振或隔振措施。

4 结语

本工程已建成安全运行近 2 年,从沉降观测结果看,本工程采用强夯地基处理技术取得了成功;该技术也得到了推广应用。但在个别工程中,强夯技术加固红砂岩填土地基也暴露出一些问题,需要在将来的工作中做进一步的研究与探讨。

(1)《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2002)对强夯处理碎石土,碎石含量并未做明确的限制与规定,从经验与定性上看,应该说土石结合的填土地基强夯加固效果比纯粹的素土回填或纯粹的碎石土回填地基好,粒径级配良好的填料比粒径均匀的填

料加固效果好。从山区工程来看,可能回填的绝大部分为开方的碎石,强夯的效果及应用条件需要做进一步的研究。有资料提出对红砂岩采用预处理的方式,从而减少其水活性,并形成一定的级配,在工程工期要求不紧、有一定堆放场地的工程可考虑采用。

(2)强夯填料级配、最大限制粒径问题,建筑地基处理技术规范仅对强夯置换墩体最大粒径有限制,要求大于300 mm的块石总量不超出填料总量的30%,以免因级配不良或块石过多过大,易造成墩中留下孔隙,在后续施工及建(构)筑物使用中使墩间土挤入孔隙,造成下沉的增加。以此类推,强夯加固碎石土更应对级配及块石最大粒径进行限制。因此需对爆破石料进行二次破碎,考虑到现场施工条件,如何控制填料级配及最大限制粒径是个问题。

(3)如何考虑雨水的入渗对强夯后地基的影响问题。对于红砂岩强夯后地基而言,由于级配不良、存在大粒径块石的情况,会造成2种不良状况:①局部积水情况,考虑到红砂岩具有遇水软化的特点,会造成地基强度的下降;②雨水的入渗,会带走一些细颗粒,时间长了,会否形成渗流通道?两种状况均可能造成地基不均匀沉降。有资料认为只要施工质量达到设计要求,表层会形成隔水层。笔者认为,隔水

层应与红砂岩的成分相关,泥质胶结可以形成隔水层,砂岩则可能很难以形成这种隔水层。在降水丰富地区是否需采用粘性土覆盖尚需要研究。

(4)对红砂岩强夯地基的试验检测问题。我们采取了静载荷试验、重型动力触探等试验检测手段,由于静载荷试验仅能反映浅层地基的强度变形情况,而重型动力触探手段由于填料的不均匀,造成数据离差较大,因此只能定性评价总体比夯前击数有提高,但难以定量分析。文献[3]提出采用剪切波检测方法,需要进行进一步总结。总体感觉没有较好的试验检测手段,特别是涉及到强夯地基的不均匀性检测问题。

参考文献:

- [1] 罗恒,等.红砂岩碎石土高填方路基强夯加固时的动应力扩散及土体变形试验研究[J].岩石力学与工程学报,2007,26(S1).
- [2] 谢海涛.红砂岩碎石土填料室内强夯模型试验[J].湖南交通科技,2010,36(2).
- [3] 段仲沅,等.强夯处理红砂岩碎(块)石填土地基检测方法探讨[J].土工基础,2009,23(1).
- [4] 杨建华,等.红砂岩填石路基强夯处理的试验研究[J].武汉理工大学学报,2008,30(3).
- [5] 曾中林,李亮.红砂岩强夯特性试验研究[J].路基工程,2007,(2).

(上接第39页)

7 结语

通过该工作区30多个钻孔(方位角182°,倾角80°),1万多米钻探工作量的施工证明:

(1)在沉积岩地层中采用绳索取心钻进技术,钻孔质量好,钻进效率高,劳动强度低。我队最大提钻间距达285.47 m。其工艺优势明显。

(2)在软岩中钻进斜孔,关键在于对钻井液的选择及维护。该工作区通过对所述3种钻井液综合使用,在钻进过程中未出现塌孔、缩径等不良现象,基本实现了全孔裸孔安全钻进。终孔后测井显示:孔内干净,上下探管自如,无塌孔、扩径、缩径等现象。从物探测井曲线上看,钻孔孔径基本一致并保持完整。尤其是水玻璃钻井液具有较强的护壁、护心能力,在松散砂岩及煤层取心钻进时,钻井液包裹在岩心表面,形成一层良好的保护膜,起到了护心的作用,从而使得岩(矿)心的采取率较高。平均全孔岩心采取率达80%以上。

实践证明,在沉积岩软岩地层中采用绳索取心钻进技术进行斜孔钻探施工,同样可达到钻孔质量好,钻进效率高,劳动强度低等目的。但是,必须重视对钻孔护壁堵漏技术和钻井液的研究应用,只有灵活掌握和使用好与地层相适应的钻井液,并在必要时辅助使用套管护壁,才可取得满意的钻探施工效果。

参考文献:

- [1] 陈尔志,陈礼仪,向昆明,等.高密度低失水泥浆体系在煤田绳索取心钻探中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(2):15-18.
- [2] 孙德学,陈伟,张元清,等.沉积岩松软地层深孔绳索取心钻探技术实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(1):16-19.
- [3] 曾祥熹.钻孔护壁堵漏与减阻[M].北京:地质出版社,1981.
- [4] 吴隆杰.钻井液处理剂胶体化学原理[M].北京:地质出版社,1992.
- [5] 王文臣.钻孔冲洗液与注浆[M].北京:冶金工业出版社,1996.