

瑞雷波法在强夯地基质量检测中的应用

张瑾,朱伟忠,郑继忠,张虎生

(江西省地质矿产勘查开发局 902 探矿工程大队,江西 新余 338000)

摘要:利用瑞雷波的频散特性、传播速度与岩土物理力学性质的相关特性,检测了格林科尔(南昌)科技园一期工程强夯地基质量,发现的多处低速异常区,其地基土承载力指标未达到设计要求。经钻探取样、轻便触探及土工测试,证实了该方法技术的有效性,其检测结果为地基加固处理提供了技术依据。

关键词:瑞雷波法,强夯地基,质量检测

中图分类号:P631.4;TU47 文献标识码:A 文章编号:1000-8918(2005)03-0279-04

在地面垂直激振将产生弹性波。当弹性波到达波阻抗分界面上时,会产生反射、折射现象,同时产生界面波。我们将沿自由表面传播的波称做表面波,其中必有瑞雷波,它沿介质自由表面传播,在均匀半空间介质中其质点振动的轨迹为逆时针转动的椭圆,且振幅随深度呈指数函数急剧衰减,传播速度略小于横波。

按要求沿测线安置垂直分量检波器拾取瑞雷波,采用地震仪器将其信号接收、放大并记录下来。设其传播速度为 v_R , 频率为 f , 则波长 $\lambda = v_R/f$ 。有关研究表明,瑞雷波具有频散特性,其能量主要集中在地表以下一个波长的深度内,并且大部分能量损失在 $1/2$ 波长的深度内,说明某一波长的瑞雷波传播速度主要与深度小于 $\lambda/2$ 的地层物性有关。于是有人提出用一定波长的瑞雷波速来近似表征深度小于 $\lambda/2$ 地层物性的设想。这一设想得到跨孔地震测量和地震波速测井的佐证,即某一波长(λ)的 v_R 可以近似反映 $\lambda/2$ 深度地基的动力性质。因为其勘探深度 h 约为半个波长 $h = \lambda/2 = v_R/2f$,瑞雷波的频率越低,勘探深度越大。当地下松软地层深度在 $\lambda/2$ 以内时,能够影响瑞雷波传播速度($v_R = \lambda/f$)发生明显变化,即瑞雷波的频散特征变化,利用此特征变化就可以划分不同的地层界面,确定地下松软地层的分布范围及埋藏深度。

1 工作区概况

格林科尔(南昌)科技园一期工程位于南昌市昌北经济技术开发区。拟建工程场地原始地形跨2个地貌单元,南部为剥蚀岗阜,北部为山间洼地。为

满足工程建设需要,已对场地进行了整平处理,南部岗阜挖方深度为 $0 \sim 2$ m,场地东部及北部填土厚度一般 $7 \sim 9$ m,局部最大厚度达 11.5 m。因此,场地地基土大部分为新近填土,主要成分为粉质粘土、砾砂和全风化千枚岩。

为加速填土的固结并提高其承载力,采用强夯加固法进行地基处理,强夯加固地基面积约 25 万 m^2 。强夯地基要求达到的质量标准为:①夯点间地基土的承载力标准值 $f_k > 150$ kPa;②通过夯击次数的调控使填土地基的均匀性获得明显改善,要求 7 m 范围内压实系数大于 0.90 ,上部土层(3 m 以内)压实系数大于 0.95 ;③要求厚度不少于 7 m 的填土达到自重固结的各项物理力学性质指标。

受格林科尔实业发展有限公司委托,我队承接了该强夯地基的质量检测工作,主要方法手段有瑞雷波法、钻探取样与原位测试。通过检测,得出拟建场区内强夯地基承载力标准值、密实度以及强夯地基的处理和质量是否满足要求的结论。

2 检测方法与技术

2.1 瑞雷波检测

使用原长春地质学院制造的 SE4801 型浅层数字地震仪和重庆地质仪器厂生产的面波检波器,按照线距 10 m、道距 1 m、偏移距 2 m、采样间隔 0.5 ms、 12 道双边观测系统接收方式进行数据采集。由人工震源激发瑞雷波,用地震仪记录检波器拾取的瑞雷波信号,然后通过计算分析岩土层波速随深度变化的关系,再根据岩土层波速与其弹性力学或工程特性之间的相关性,获得所需要的岩土层工程力

学参数。

根据现场采集的瑞雷波数据,采用瑞雷波分析软件计算获得频散曲线,再进行反演解释得到各岩土层速度 v_{Ri} 、层厚度 h_i 参数(表1、2)。

表1 二线波速统计 m/s

点号	h_i/m							
	1	2	3	4	5	6	7	8
5	155	166	192	279	279	279	279	279
6	121	150	154	267	441	441	441	441
7	174	258	258	511	511	511	511	511
8	273	273	407	407	552	552	552	642
9	142	199	199	353	353	353	527	527
10	105	100	100	100	113	113	395	395
11	128	128	113	113	113	140	242	242
12	128	128	128	149	149	154	158	311
13	151	174	174	196	196	625	625	625
14	163	165	165	191	655	655	655	655
15	143	196	196	340	391	391	672	672
16	170	229	246	246	246	258	258	453

表2 三线波速统计 m/s

点号	h_i/m							
	1	2	3	4	5	6	7	8
5	138	152	176	176	198	198	352	352
6	139	162	162	162	223	223	223	223
7	114	160	160	227	227	275	275	275
8	165	211	260	394	394	394	725	725
9	162	162	213	238	238	284	284	284
10	101	101	114	114	114	119	119	119
11	134	134	131	131	157	157	157	157
12	136	161	162	162	185	185	320	320
13	157	172	172	244	347	347	596	569
14	150	195	201	201	201	699	699	699
15	149	208	208	208	208	692	692	692
16	168	202	235	294	294	412	412	412

将瑞雷波数据与场地内其他测试结果进行统计分析,得出瑞雷波速度 v_R 与地基承载力标准值 f_k 的经验公式为

$$f_k = 2.777 v_R^{0.796}$$

采用上述公式计算得出的瑞雷波波速与标准承载力关系见表3。

表3 瑞雷波速与承载力关系

$\frac{v_R}{m \cdot s^{-1}}$	$\frac{f_k}{kPa}$						
100	108	200	118	300	260	400	327
110	117	210	196	310	267	410	333
120	125	220	203	320	274	420	340
130	133	230	210	330	280	430	346
140	141	240	218	340	287	440	353
150	150	250	225	350	294	450	359
160	157	260	232	360	300	460	365
170	165	270	239	370	307	470	372
180	173	280	246	380	314	480	378
190	181	290	253	390	320	490	384

按设计要求,本次强夯地基处理后的地基土的承载力标准值 f_k 必须大于 150 kPa。根据表3数据,我们初步认为 $v_R > 150$ m/s 的测点(段)基本满足设计承载力指标,而 $v_R < 150$ m/s 的测点(段)则未达到设计要求,是松软地层的反映。

由表1、表2 分别很直观地显示了场区内2线、3线的瑞雷波波速随深度变化的情况。2线的10~11号点在6m以上、12号点在5m以上,3线的10号点在9m以上、11号点在4m以上的波速均较低 $v_R < 150$ m/s。同时,在邻线的9~11号点,也存在波速较低的现象。波速异常情况在测线断面波速色谱图中也有清晰的反映(图1)。根据以上资料,将1~10线上出现的低速异常现象进行综合分析、对比,圈定出了低速异常区(图2),明确指出该异常区的地基虽然经过了强夯处理,但改善程度不大,在深度6m(个别8m)以上仍存在着松软地基,未达到设计要求的承载力指标,应进行加固处理。

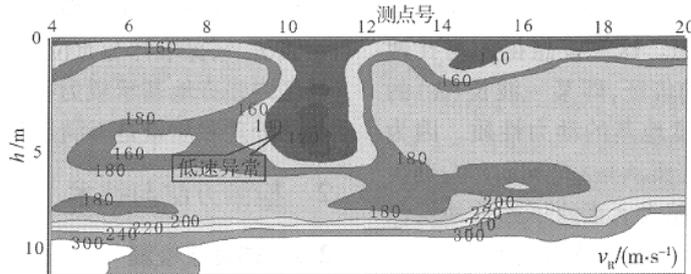


图1 场区测线断面波速色谱

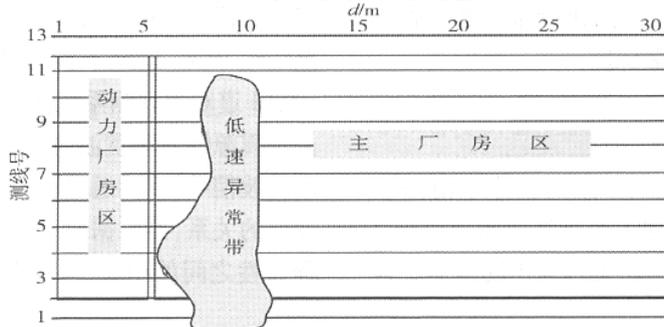


图2 测线布置与低速带异常位置

2.2 钻探取样与原位测试

为了验证瑞雷波检测方法的实际应用效果,同时通过统计分析建立瑞雷波波速与地基土物理力学参数之间的相关关系,在检测区内共布设了 52 个钻孔(其中异常区布钻孔 8 个),并在孔内进行了 134 次轻型触探试验和采取了 110 组土样进行室内土工试验。

2.2.1 钻探取样现场鉴定

钻探揭示:①非异常区的土层较密实,岩芯呈柱形,可塑—硬塑状;异常区的土层较疏松,岩芯易散,仅少量呈短柱状,土呈可塑状。②非异常区钻进速度较慢,孔壁稳定;异常区钻进速度较快,孔壁有坍塌现象。③非异常区的钻孔中无岩土碎块,能长时间保持清爽;异常区的钻孔中则有许多因孔壁坍塌的岩土碎块,甚至在短期内钻孔变形。

2.2.2 轻型触探试验

在所有验证钻孔中,均做了轻型触探试验。在垂向上将地基土划分为 0~3 m、3~7 m 和 7 m 以下 3 个层次,对轻型触探数据进行统计、修正后的击数分别对应为:非异常区 41 击、39 击和 32 击,按《建筑地基基础设计规范》(GB7-89)查表可知,其相应承载力标准值为 160、157.5、141.5 kPa,非异常区反映了随着深度增加,强夯效果逐渐减弱。而异常区则从上到下都较非异常区低,修正后的击数最大只有 29 击,对应承载力标准值为 133 kPa,未达到设计要求。

2.2.3 室内土工试验

根据室内土工试验结果,计算出非异常区的压实系数分别为 0~3 m 0.96,3~7 m 0.95,7 m 以下为 0.94,达到设计要求。而异常区的压实系数都较低,7 m 以上均 < 0.9,未达到设计要求。通过钻探取样现场鉴定、轻便触探和室内土工试验结果,证实了瑞雷波测试结果反映出的异常区确实存在。

为了查明形成该异常区的原因,我们对场区内地基土的含水量指标进行了分析。异常区内土层含水量为 23.4%~30.4%,平均 26.1%,大大高于非异常区的含水量指标(22.8%)和击实试验所得最优含水量指标(18.2%~22.6%)。经查阅回填施工记录后分析,该区块回填施工时恰逢雨季,回填土成分又多为渗透性较差的粉质粘土,土中水分不易排出,造成该区域土层含水量较大,从而形成俗称的“橡皮土层”,致使强夯施工的效果大大降低。找到了问题的症结所在,经有关方面会同协商后,对该异常区采取了压密注浆的方式进行加固处理,处理后经检测表明取得了较好的效果。

3 几点认识

利用瑞雷波的频散特性以及其波速与横波波速的相关特性,可以解决如下几方面的浅层工程地质问题:

(1)瑞雷波波速的大小直接反映了地层的“软、硬”程度,利用其波速可以对第四系进行层位划分,确定地基的持力层。同时,地层中的低速带对应的是软弱夹层,它对建筑物易造成危害,通过计算又可方便地圈定出软弱层的埋深及范围。

(2)软地基通常采用机械强夯、挤密置换、化学处理等手段来进行加固变“硬”。瑞雷波法评价加固效果,是通过实测地基加固前后的波速差异,得到岩土体在垂向上物理力学性质的改善程度,同时,对处理后场地在水平方向的均匀性做出评价,并确定加固处理所影响的深度和范围。

(3)波速的大小与介质的物理力学参数,如密度、剪切模量、压缩模量、泊松比等,密切相关。通过对实测资料的反演拟合,可很方便地得到岩土层的横波速度、纵波速度、密度等参数,进而求取其他参数,做岩土工程测试。

(4)当瑞雷波勘探深度与埋设物的深度相当时,频散曲线将出现异常跳跃,通过计算可得出其埋深及分布范围,进行地下洞穴及埋设物探测。

(5)瑞雷波法还可以用于道路无损检测,饱和砂土层的液化判别、基岩的完整性评价、场地土类别的划分、滑坡调查、堤坝危险性预测,桩基入土深度探测等。

综上所述,瑞雷波法可用于解决诸多工程地质问题,它不仅具有较高的分辨率和准确度,而且要求的场地条件不苛刻,参与工作人员少,探测速度快,资料现场处理,成果交付及时。作为一种新的地球物理探测法,它以省时、省力、省费用而受到工程基础建设部门的关注和肯定。

参考文献:

- [1] 陈仲侯,傅唯一.浅层地震勘探[M].成都:成都地质学院出版社,1986.
- [2] 王振东.浅层地震勘探应用技术[M].北京:地质出版社,1988.
- [3] 胡晓光.浅层地震在不同地区进行工程地质勘察的应用特点[J].物探与化探,1994,18(3):161-165.
- [4] 崔占荣,张世洪,张俊喻.瞬态瑞雷波勘探中一些问题的讨论[J].物探与化探,1995,19(5):267-274.
- [5] 刘云祯,王振东.瞬态面波法的数据采集处理系统及其应用实例[J].物探与化探,1996,20(1):28-34.
- [6] 李海.瑞雷面波技术在铁路上的应用[J].物探与化探,2002,

26(2):160-162.

[J].物探与化探,2004,28(1):82-84.

[7] 杨勤海,李洪涛,吴悦.瑞利波勘探技术在水库勘察中的应用

THE APPLICATION OF THE RAYLEIGH WAVE TO THE QUALITY INSPECTION OF THE FOUNDATION TREATED BY DYNAMIC CONSOLIDATION

ZHANG Jin ZHU Wei-zhong ,ZHENG Ji-zhong ,ZHANG Hu-sheng

(No. 902 Prospecting Engineering Party , Jiangxi Bureau of Geology for Mineral Exploration and Development , Xinyu 338000 , China)

Abstract : The Rayleigh wave technique is a new geophysical method for locating rock and soil. With its dispersion characteristics , speed of propagation and physical-mechanic properties , it can solve many engineering geological problems. This paper describes the utilization of this method in the quality inspection of the foundation treated by dynamic consolidation in No. 1 construction site of Green-Cool (Nanchang) Science and Technology Yard. Some anomaly zones of low speed were found. It is pointed out that the foundation soil bearing capacity doesn't meet the designed requirements and hence some proper measures should be taken to strengthen the capacity. The effectiveness of the method has been proved by coring , light trigger exploration and civil engineering test.

Key words : Rayleigh wave foundation treated by dynamic consolidation quality inspection

作者简介:张瑾(1982-)女,江西樟树人,汉族,大学本科,助理工程师,从事工程物探工作。

企业宗旨 :一流的工艺技术、一流的产品质量、一流的工作效率、一流的服务承诺

重庆奔腾数控技术研究所 重庆万马物探仪器有限公司

重庆奔腾数控技术研究所是成立于1994年7月的民营股份制企业,位于重庆市高新技术产业开发区,主要从事地球物理勘探仪器和摩托车相关生产测试设备的研发营销。2002年7月,为塑造地球物理勘探仪器品牌而建立了全资子公司——重庆万马物探仪器有限公司,子公司主要从事地球物理勘探仪器的生产、营销及售后服务。2003年5月成立的重庆北斗钻机有限公司是研究所控股的合资公司,主要从事锚杆锚索全液压工程钻机的研发营销。企业现有员工80人,其中中高级技术人员45人。

目前生产的地球物理勘探仪器有交直流电法仪、工程地震仪、声波仪、放射性仪器4大系列20余种型号及各种配件,企业已成为国内地球物理勘探仪器品种最齐全、系列化程度最高、市场规模最大的研发制作营销中心之一。摩托车相关生产测试设备有绕线机、各种电装品测试设备两大系列10余种型号及各种配件。研究所同各大专院校、公司保持着密切的科研合作与交流。现为中国地质学会地球物理勘探专业委员会会员、中国水利电力科技信息网会员。企业与时俱进的开拓精神、实事求是、精益求精的科学态度、对外诚信良好的合作关系,促进了企业产品技术不断提高,各项管理体系不断完善,保证了企业研发营销的产品的技术先进性、高稳定性、高可靠性,最终使企业研发生产的产品成为国内用户到国外做工程和办厂的最佳选择,并陆续向国外出口仪器设备。企业于2003年6月通过中国质量认证中心ISO9001:2000质量管理体系认证。

服务理念:客户需求是我们的最高追求,客户满意是我们的最大心愿

地址:重庆市九龙坡区石杨路21号金华大厦A11-4
销售电话:023-68607324 68613219 68607644
图文传真:023-89089485
销售部邮箱:zhang@cqbtsc.com.cn

邮政编码:400039
技术支持:023-89086011 89086223-801、802、803
网址: http://www.cqbtsk.com.cn
技术部邮箱: support@cqbtsk.com.cn