

电阻率法在岩土工程中的应用

严明良

(南京工业职业技术学院, 江苏 南京 210016)

摘要:介绍水泥土的电阻率特性及测试原理.在室内进行了不同水泥掺入比、不同养护期的水泥土的电阻率和无侧限抗压强度的测试,对电阻率与水泥掺入比及无侧限抗压强度进行回归分析,分析表明电阻率与水泥掺入比及无侧限抗压强度具有良好的线性关系.

关键词:电阻率;伏安法;电桥法;水泥土

中图分类号:TM152;TU52

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2004)02-0039-02

电阻率是表征物质导电性的基本参数,某种物质的电阻率实际上就是当电流垂直通过由该物质所组成的边长为1m的立方体时所呈现的电阻.显然,物质的电阻率值越低,其导电性就越好.电阻率的测定方法通常有伏安法和电桥法.

从实测结果对比分析来看,电桥法测定的电阻率精度较伏安法高.根据有关工程实际需要,笔者将电桥法有关设备进行适当的改进,并应用到非金属材料电阻率特性的测试分析与研究中.

1 水泥土的电阻率特性与测试原理

1.1 水泥土的电阻率特性

任何材料都有电阻率,土作为一种材料也必然具有其电阻率的特性,已有研究成果表明,利用电阻率可以进行土性的分类和识别.天然状态下的土层具有非常复杂的结构与组成,为研究的方便可近似把土层模型看成是由两相介质组成的,即由土颗粒骨架(固相)和孔隙水(液相)所构成(图1).不仅组分不同的土体有不同的电阻率,即使组分相同的土层,也会由于结构及含水量的不同而使电阻率在很大的范围内变化.影响土层电阻率的因素除了和组分有关外,还和其他因素有关,如土层的结构、构造、孔隙度及含水量等.一般来说,结构致密的土层孔隙度较小,含水量也较少,因而电阻率较高;反之,结构疏松,孔隙度较大,含水量也较多,电阻率较低.软土的电阻率计算公式为^[1]

$$\rho_{sw} = \left(\frac{1}{\rho_s} \frac{1}{1+e} + \frac{1}{\rho_w} \frac{e}{1+e} \right)^{-1} \quad (1)$$

式中: ρ_{sw} 为软土的电阻率; ρ_s 为土颗粒的电阻率; ρ_w

为孔隙水的电阻率; e 为软土的孔隙比.

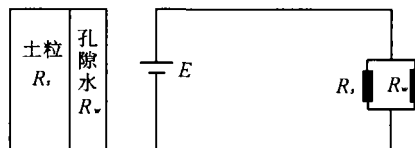


图1 软土的电阻率计算示意图

采用搅拌桩加固软土后,天然状态的土变成水泥土,由于土粒(固相)是不可压缩的,水泥与软土搅拌处理后,水泥所占的体积是原来土层孔隙体积的一部分,水泥搅拌后孔隙比减小,因此水泥土的结构模型可用图2来表示.水泥土的电阻率可由式(2)计算^[1]:

$$\rho_{sg} = \left(\frac{1-\sigma}{\rho_{sgs}} + \frac{\sigma}{\rho_{sgp}} \right)^{-1} \quad (2)$$

其中

$$\rho_{sgs} = \left[\frac{1}{(1+e) \left(1 - \frac{\lambda}{100} \right)^2} \frac{1}{\rho_s} + \left(\frac{1}{1 - \frac{\lambda}{100}} - \frac{1}{(1+e) \left(1 - \frac{\lambda}{100} \right)^2} \right) \frac{1}{\rho_w} \right]^{-1} + \frac{\lambda}{100} \rho_g \quad (\text{串联})$$

$$\rho_{sgp} = \left[\frac{1}{1+e} \frac{1}{\rho_s} + \left(\frac{e}{1+e} - \frac{\lambda}{100} \right) \frac{1}{\rho_w} + \frac{\lambda}{100} \frac{1}{\rho_g} \right]^{-1} \quad (\text{并联})$$

式中: ρ_{sg} 为水泥土的电阻率; ρ_{sgs} 为串联模型水泥土的电阻率; ρ_{sgp} 为并联模型水泥土的电阻率; σ 为水泥土中并联模型所占的比例; ρ_g 为水泥的电阻率; λ 为水泥掺入比, $\lambda = n\alpha$, n 为孔隙率, α 为水泥粉所占孔隙中的体积比.

1.2 测试原理

基于上述理论,选用一种高精度电阻箱,同时备

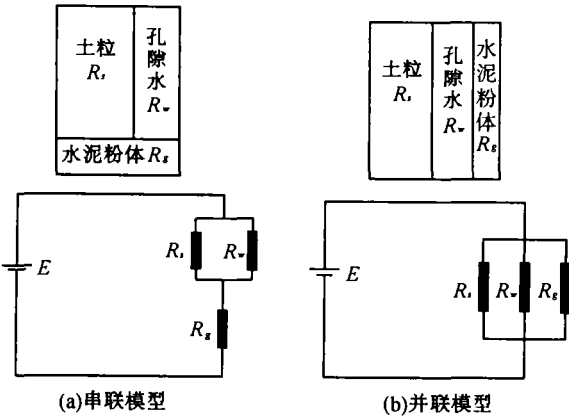


图 2 水泥土的电阻率计算示意图

有直流电源及微安表等设备对水泥土样进行电阻率测试.电阻率测试原理电路示意图见图 3.土或水泥土的电阻率的测试与一般金属材料的电阻率的测试有所不同,因为土或水泥土样的结构变异较大.另外,土中含盐浓度与土中水分的不同,对电阻率也有较大的影响,电阻率的大小可由精度很高的微安表间接地反映出来.

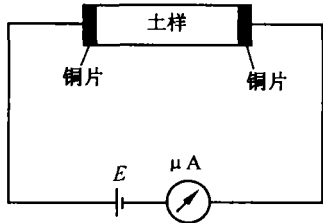


图 3 电阻率测试原理电路图

2 应用实例

2.1 水泥土电阻率测试

各种材料的电阻率不同,主要是由于材料的成分、结构等方面的差异引起的.对水泥土来说不同掺合比的水泥土样,必然存在结构上的差异,在进行电阻率法研究的过程中,首先进行了不同掺合比的水泥土样的电阻率测定工作,为电阻率法在水泥粉喷桩质量检测中的应用奠定基础.试验选用了某高速公路软土地基的水泥粉喷桩施工试验区 2~3 m,4~5 m,8~9 m 深度处的扰动土,分别制备了水泥含量 8%,10%,12%,15% 掺合比的水泥土样,上述 3 个深度处的扰动土的原始含水量分别为 54.6%,60.6%,64.3%.水泥土样制好后养护了 10 d,20 d,34 d,分别进行了电阻率和无侧限抗压强度的测定,测试结果见表 1.水泥土样养护 10 d 后电阻率与水泥掺合比及无侧限抗压强度的回归分析式为

$$\rho_s = 0.49 + 0.0015q_u + 0.1a_w \quad (3)$$

式中: q_u 为无侧限抗压强度; a_w 为水泥配比.

水泥土样养护 20 d 后电阻率与水泥掺合比及无

侧限抗压强度的回归式为

$$\rho_s = 1.49 + 0.0016q_u + 0.14a_w \quad (4)$$

水泥土样养护 34 d 后电阻率与水泥掺合比及无侧限抗压强度的回归式为

$$\rho_s = 0.94 + 0.0016q_u + 0.19a_w \quad (5)$$

表 1 水泥土样电阻率与无侧限抗压强度测试结果

深度 /m	掺合比 /%	电阻率/($\Omega \cdot m$)			抗压强度/kPa		
		10 d	20 d	34 d	10 d	20 d	34 d
2~3	8	1.88	2.73	3.70	318	450	760
	10	2.22	2.96	4.43	412	601	810
	12	2.68	3.81	5.40	556	968	1310
	15	2.83	4.83	6.57	598	1224	1552
4~5	8	1.59	2.58	3.29	120	243	318
	10	1.74	2.59	4.05	310	432	657
	12	2.32	3.56	4.78	480	743	995
	15	3.07	4.55	5.98	580	938	1172
8~9	8	1.33	2.28	2.66	100	205	256
	10	1.42	3.19	3.50	203	421	650
	12	2.36	3.41	4.35	490	694	893
	15	2.66	4.29	5.37	470	786	1060

从回归分析的结果来看,电阻率与水泥掺合比及无侧限抗压强度呈良好的线性关系,表明电阻率与水泥掺合比及抗压强度均成正比.

2.2 测试结果分析

a. 水泥土的电阻率与龄期的关系.图 4 为深度 2~3 m 处水泥土电阻率及抗压强度与龄期的关系曲线(图中曲线 1,2,3,4 分别为水泥掺合比为 8%,10%,12%,15% 时的曲线),这表明水泥土的电阻率及抗压强度随着龄期的增加而增加,与实测情况一致.

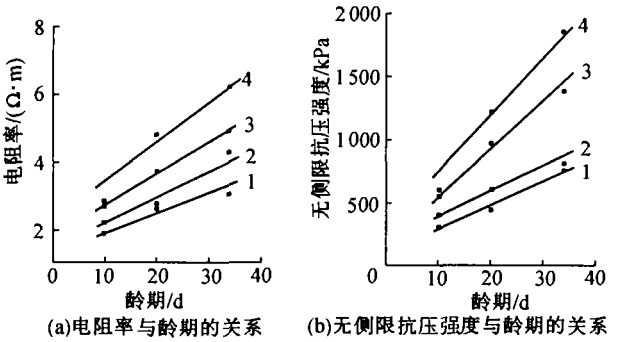


图 4 水泥土的电阻率及无侧限抗压强度与龄期的关系

b. 水泥土的电阻率与含水量的关系.从测试的结果来看,同一掺合比的水泥土的电阻率在 2~3 m 深度处最高,4~5 m 深度处次之,8~9 m 深度处最低.分析其原因可以发现 2.5 m 深度处的扰动土的含水量相对最低,4~5 m 深度处次之,8~9 m 深度处相对最高,土中含水量越高其电阻率越低,因为含水量高离子浓度相对也就高,其导电性能就越好.因此在进行有关电阻率测试的过程中应考虑含水量的影响,不同地区不同深度的水泥土其电阻率有一定的差异.

(下转第 50 页)

方差 17.5 kPa; 预压前后静力触探比贯入阻力 P_s 分别为 221 kPa 和 1409 kPa (- 0.6 ~ - 5.4 m 深度范围内的平均值). 十字板剪切试验和静力触探试验结果曲线见图 5 和图 6.

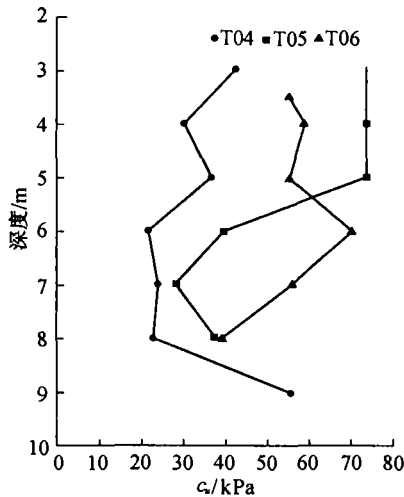


图 5 加固后十字板抗剪强度 ~ 深度关系曲线

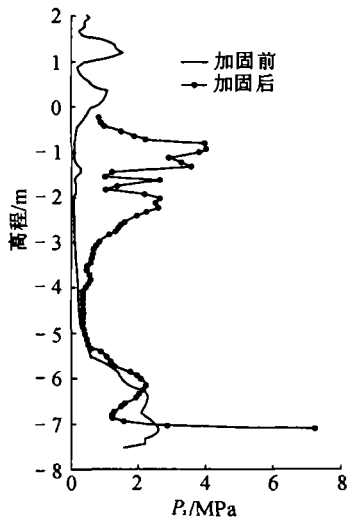


图 6 加固前后比贯入阻力 ~ 深度关系曲线

由试验结果可以看出, 经过真空预压加固处理以后, 淤泥质土层的抗剪强度得到了显著的提高, 达到了原来值的 2.88 倍, 并大于设计推算值, 可以满足渠堤稳定要求. 从试验结果曲线可以看出, 经过加固后上部 5 m 土层强度增长显著, 但下部强度迅速衰减, 增长不显著.

6 结 语

- a. 本工程的深厚淤泥质土层经过真空预压处理后, 抗剪强度指标得到显著提高, 满足了渠堤的稳定要求.
- b. 在塑料排水板真空预压加固处理中, 水平径向固结度远大于竖向固结度, 土体固结主要靠径向排水固结. 因此, 采用合理的密集布置可以获得比较

好的技术经济效果.

- c. 施工过程中注意加强气密性检查和修补是保证预压效果的重要环节.
- d. 在打插排水板的过程中, 欠固结土在自重作用下固结所引起的沉降以及施工机具对土体扰动导致的沉降比较大, 对这种沉降应该引起足够的重视.

参考文献:

[1] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算[M]. 第二版. 北京: 中国水利电力出版社, 1996. 464 ~ 482.
(收稿日期: 2003-04-21 编辑: 傅伟群)

(上接第 40 页)

c. 水泥土的电阻率特性的应用. 水泥粉喷桩加固地基处理其实质就是利用水泥大量吸水与土颗粒发生水解、水化反应进行阳离子交换等, 使水泥土形成具有整体性、水稳性和一定强度的水泥土柱体(即粉喷桩), 同时水泥土的电阻率也发生相应的变化, 对同一根粉喷桩而言, 不同深度处的水泥含量不同其电阻率也就不同, 在粉喷桩加固区同一深度处不是同一根桩因施工差异导致水泥含量不一样, 其电阻率也不同. 我们可以根据水泥土电阻率的这一特性进行室内水泥土的电阻率测定或进行水泥粉喷桩芯样的电阻率的测定, 快速检测施工质量, 将电阻率法推广应用到土木工程的质量检测中.

3 结 论

- a. 电桥法具有测试精度高、测试简便的特点, 很容易推广到非金属材料的电阻率测试中.
- b. 水泥土的电阻率测试的工程实例表明, 电桥法完全能够适用于水泥土的电阻率特性的测试和其它土类电阻率的测试.
- c. 水泥土的电阻率和抗压强度与水泥掺合比都成正比, 随着龄期的增加而增加.
- d. 含水量对水泥土的电阻率有较大影响, 含水量越高电阻率越低.

参考文献:

[1] Komine H. Estimation of chemical grout void filling by electrical resistivity[A]. Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics Proceedings[C]. GT Division/ASCE, 1992. 372 ~ 383.
[2] Komine H. Estimation of chemical grouted soil by electrical resistivity[J]. Ground Improvement, 1997(1): 101 ~ 113.
[3] Olivar A L, De Lima, Mukul M. A grain conductivity approach to shaly sandstones[J]. Geophysics, 1990, 55(10): 1347 ~ 1356.
[4] 缪林昌, 刘松玉. 水泥土的电阻率特性研究[J]. 工程勘察, 2000(5): 21 ~ 26.

(收稿日期: 2003-05-01 编辑: 张志琴)