

长春白垩纪泥岩风化程度的划分方法

李学颖¹ 孙光¹ 高涛²

(1. 长春市市政工程设计研究院, 吉林长春 130012; 2. 吉林省恒基岩土勘测有限责任公司, 吉林长春 130022)

【摘要】 长春下伏白垩纪泥岩, 属极软岩或软岩, 具有软化崩解的特性。目前, 长春一些建筑工程需要以深层泥岩做为桩基持力层。此类岩石, 国标《岩土工程勘察规范》认为可不进行风化程度的划分, 这种观点与长春工程建设需要及工程经验相悖。吉林省地标《岩土工程勘察技术暂行规定》采用标准贯入试验划分泥岩风化状态, 给出了全风化至中等风化泥岩判定标准, 但标准贯入试验影响因素多, 此方法不适用于深层泥岩。运用剪切波速试验的方法, 提出了长春泥岩风化程度的划分标准, 解决了长春泥岩特别是深层泥岩风化程度划分难题, 经工程检验, 效果良好。

【关键词】 泥岩; 刚度; 质量密度; 风化程度; 剪切波速

【中图分类号】 P 512. 1

【文献标识码】 A

doi: 10. 3969/j. issn. 1007-2993. 2015. 06. 009

Division Method of Changchun Cretaceous Mudstones Weathering Degree

Li Xueying¹ Sun Guang¹ Gao Tao²

(1. Changchun Municipal Engineering Design and Research Institute, Changchun 130012, Jilin, China;

2. Jilin Hengji Geotechnical Investigation Co., Ltd, Changchun 130022, Jilin, China)

【Abstract】 Changchun is underlain by Cretaceous mudstone, belong to the extreme soft rock or soft rock, has the characteristics of softening and disintegration. At present, some construction projects need to use Changchun deep mudstone as pile foundation bearing layer. This kind of rock, national standard "Code for Investigation of Geotechnical Engineering" cannot think of the weathering degree of division, this view is contrary to Changchun engineering construction and engineering experience. Jilin landmark "Geotechnical Engineering Investigation Technology Interim Provisions" of the standard penetration test of mudstone weathered state, gives the whole weathered to medium weathering mudstone criteria, but the influence factors of the standard penetration test is many, so this method is not suitable for deep mudstone. This paper uses the method of shear wave velocity test, proposes the division standard of weathering degree of the Changchun mudstone, especially solves the deep mudstone weathering degree division problems. By the engineering test, the effect is good.

【Key words】 mudstone; stiffness; mass density; weathering; shear wave velocity

0 引言

目前, 长春一些建筑工程的桩基础深度越来越大。例如, 2014 年 6 月建成通车的长泰大桥, 桩长 67 m, 桩端入岩深度 51 m, 设计桩长堪称长春之最。为确定桩端持力层及计算单桩承载力, 需要对下伏泥岩特别是深层泥岩风化程度进行划分。泥岩风化程度如何划分, 国内目前还缺少一个方法简便、可操作性强的标准, 甚至还有不同认识。国标《岩土工程勘察规范》(以下简称岩土规范)认为, 泥岩和半成岩可不进行风化程度划分^[1]。吉林省《岩土工程勘察技术暂行规定》(以下简称地方标准)采用标准贯入试验划分泥岩风化状态^[2], 成为长春目前各类工程

建设广泛应用的唯一标准, 但此方法仅适用全—中等风化泥岩, 且标贯试验影响因素多, 准确度差。因此, 为解决上述工程问题, 必须探索长春泥岩特别是深部泥岩风化程度划分的新方法。

1 长春泥岩的岩性特征

长春第四纪下伏基岩以白垩纪棕红、暗紫红色泥岩、粉砂质泥岩为主要特征, 夹灰绿色泥岩、灰白色粉砂岩及泥质粉砂岩^[3], 粘土矿物成分, 泥质结构, 层理构造, 分布广, 厚度大, 属极软岩, 具有浸水软化崩解特点, 难以测得饱和抗压强度。对于中等风化及其以上泥岩, 工程中常以天然状态代替饱和状态进行单轴抗压试验, 抗压强度一般小于 2 MPa。

作者简介: 李学颖, 1968 年生, 男, 汉族, 吉林长春人, 高级工程师, 从事岩土工程勘察、设计和研究。

E-mail: 718071486@qq.com

2 泥岩风化程度划分方法

2.1 国家标准

岩土规范依据岩石的野外特征以及岩石风化程度参考指标,将岩石的风化程度分为未风化、微风化、中等风化、强风化、全风化五个等级,为了便于比较,将残积土也列入分类表中,具体见规范附录表 A.0.3。

岩石的野外特征包括岩质新鲜程度、结构破坏程度、裂隙发育程度、矿物成分变化、可挖性、可钻性等。这种方法,需要岩土工程师具有丰富的野外工作经验,否则会导致错判。

岩石风化程度参考指标包括波速比 K_V 和风化系数 K_f 。波速比 K_V 为风化岩石与新鲜岩石压缩波速之比,风化系数 K_f 为风化岩石与新鲜岩石饱和单轴抗压强度之比。目前长春最深的基础工程仅涉及到中风化泥岩,缺少新鲜岩石的相关数据,因而这种方法在工程中无法应用。

此外,国家规范提出泥岩常常不存在完全的风化带,划分风化带的意义不大^[1],这种观点与长春工程建设需要和已经取得的工程经验相悖。

2.2 地方标准

吉林省地方标准采用标准贯入试验判定泥岩的风化程度,见表 1。

表 1 标准贯入试验判定泥岩风化程度

风化泥岩的标准贯入锤击数 N	风化程度
20(30) < N ≤ 50	全风化
50 < N ≤ 100	强风化
N > 100	中等风化

注:表中括号内数值为吉林省《静压预应力混凝土管桩基础技术规程》采用的下限值,该规范将 N ≤ 30 的泥岩定为残积土^[4]。

此方法广泛应用于长春中高层民用建筑,为桩基持力层选择、确定桩长及单桩承载力提供技术支持。但是中等风化以下泥岩的风化状态如何判定,地方标准没有给出答案。

工程实践表明,深度略大些的中等风化及其以下泥岩进行标贯试验时,标贯锤均呈反弹状态,标贯试验无法区分中等风化至未风化泥岩的风化状态。此外,泥岩中进行标贯试验,还存在以下突出问题:

1) 作业周期长,劳动强度大,试验后标贯器从泥岩中拔出困难;

2) 影响因素多,试验精度差,缩孔,孔底残渣,落锤速度、探杆直径、钻杆垂直度等都直接影响数据的准确性。

3 剪切波速划分长春泥岩风化带

3.1 理论依据

剪切波速试验是工程勘察中常用的原位测试手

段,其工作原理是以岩土体的弹性特征为基础,通过测定不同岩土层的剪切波传播速度,计算岩土体的动弹性参数,据此判定岩土体的工程性质,为工程设计提供可靠的科学依据,除常用于评价场地土类型及场地类别外,还可以评价地基的刚度 K_Z ^[5],如下式。

$$k_z = \frac{G_d}{1-\nu} \beta_z \sqrt{B_0 L} \quad (1)$$

$$G_d = \rho \cdot v_s^2 \quad (2)$$

式中: K_Z 为地基刚度; G_d 为岩体的动剪变模量; ν 为土层泊松比; β_z 为基础形状修正系数; B_0 为基础宽度; L 为基础长度; ρ 为介质的质量密度; v_s 为剪切波速。

上式,质量密度与岩体破碎程度即完整程度相关;刚度反映了岩体的坚硬程度。通过分析岩体质量密度、刚度与剪切波速的相关关系,可以得出:

1) 岩体风化程度越弱,则岩体风化裂隙越少,质量密度越大,岩体越坚硬,刚度越大;反之,岩体风化程度越强,则岩体风化裂隙越多,质量密度越小,岩体越软弱,刚度越小。

2) 岩体刚度越大,则岩体剪切波速越大;反之,岩体刚度越小,则岩体剪切波速越低。

3.2 工程实例

3.2.1 工程概况

长泰大桥位于长春市区东北部,是长春地标性建筑,总长度 368 m、宽 29 m,属于双塔双索面预应力混凝土特大斜拉桥,主塔为“H”形,高 80 余 m,双向六车道,共三跨,跨径 84+200+84 m,主跨跨越长春东站共计 10 条铁路线,是长春最大的斜拉桥。

场地地层自上而下依次为杂填土、褐黄色粉质粘土及粘土、黄色中粗砂、紫红色泥岩。

桥梁基础采用钻孔灌注桩,主要技术参数见表 2,相关勘探工作量见表 3。

表 2 长泰大桥桩基础主要设计参数

结构	桩径 /m	桩长 /m	桩端入岩深度 /m	桩端持力层	单桩承载力 R_a /kN
主塔	2.0	67.0	51.0	未风化泥岩	24 000
边墩	1.5	48.0	29.0	微风化泥岩	11 000

表 3 长泰大桥相关勘探工作量

结构	(钻孔数量 /深度)/ (个/m)	波速测试 深度/m	标贯数量/次	抗压强度 试验/组
主塔	17/80	71.0	86	290
边墩	4/60	60.0	38	155

3.2.2 剪切波速划分泥岩风化程度的标准

以 ZK3 孔为例,分析 ZK1、ZK3、ZK7、ZK11

四个孔波速实测数据(略)及波速成果曲线图可发现,剪切波速值 v_s 在 300、500、700、1000 m/s 附近有较为明显的界限特征,见图 1。

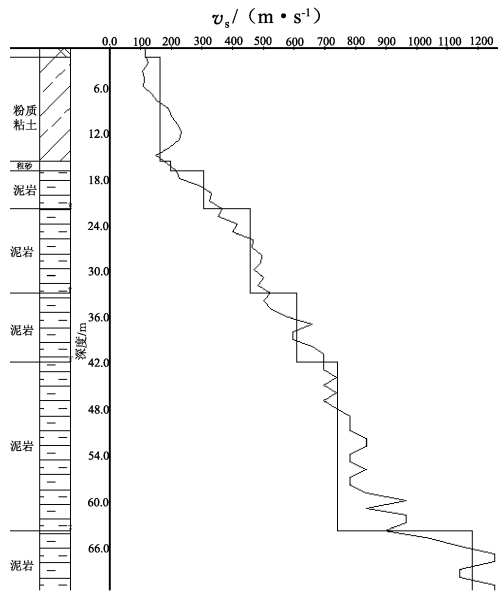


图 1 ZK3 号钻孔波速测试成果曲线

现场岩芯钻探及岩芯描述结果,表现出剪切波速在上述界限值内的风化泥岩具有如下岩性特征,见表 4。

表 4 剪切波速反映的泥岩岩性特征

剪切波速 $v_s/(m \cdot s^{-1})$	野外特征	标准贯入锤击数 $N/(击/30cm)$
$v_s \leq 300$	结构完全破坏,呈可一硬塑粘土状	39.6
$300 < v_s \leq 500$	结构大部分破坏,岩芯呈碎块状	88.6
$500 < v_s \leq 700$	结构部分破坏,岩芯呈短柱状—长柱状	204.0/反弹
$700 < v_s \leq 1000$	结构基本完整,岩芯较完整,锤击声较清脆	反弹
$v_s > 1000$	结构完整,岩芯完整,锤击声清脆	反弹

表 4 界限值内泥岩野外特征与岩土规范及地方标准有关泥岩风化带划分标准吻合,据此确定剪切波速划分泥岩风化程度标准,见表 5。

表 5 剪切波速判定泥岩风化程度

剪切波速 $v_s/(m \cdot s^{-1})$	风化程度
$v_s \leq 300$	全风化
$300 < v_s \leq 500$	强风化
$500 < v_s \leq 700$	中等风化
$700 < v_s \leq 1000$	微风化
$v_s > 1000$	未风化

3.2.3 剪切波速与泥岩主要物理力学指标对应关系

根据数理统计结果,剪切波速与泥岩的主要物理力学性质同样存在一定的相关关系,见表 6。受文章篇幅所限,仅将统计结果列出,不做进一步分析。

表 6 剪切波速与泥岩主要物理力学指标对应关系

剪切波速 $v_s/(m \cdot s^{-1})$	天然密度 $\rho/(g \cdot cm^{-3})$	单轴抗压强度 f_{rk}/MPa			软化系数	弹性模量 E/MPa
		天然	干燥	饱和		
$v_s \leq 300$	2.22	0.88				
$300 < v_s \leq 500$	2.25	1.65				
$500 < v_s \leq 700$	2.29	2.85	4.22	0.65	0.15	223.7
$700 < v_s \leq 1000$	2.31	3.80	12.40	3.10	0.25	232.7
$v_s > 1000$	2.35	7.01	16.77	5.03	0.30	252.8

注:表中未提供数据系无法测定

3.2.4 风化系数计算

据表 6,以饱和单轴抗压强度平均值计算本工程泥岩风化系数,计算结果见表 7。计算结果表明,长春中等风化—微风化泥岩风化系数比岩土规范规定的下限值略低。

表 7 场地泥岩的风化系数

剪切波速 $v_s/(m \cdot s^{-1})$	风化程度 (剪切波速法)	风化系数 K_f	风化系数范围值 (岩土规范)
$500 < v_s \leq 700$	中等风化	0.32	0.4~0.8
$700 < v_s \leq 1000$	微风化	0.71	0.8~0.9
$v_s > 1000$	未风化	1.00	0.9~1.0

3.2.5 现场施工情况

施工设备采用旋挖钻机,根据桥梁左侧 27 号墩 9 号桩施工记录,计算成孔速率见表 8。

表 8 泥岩旋挖钻机成孔速率

风化程度	泥岩厚度/m	钻进时间/h	成孔速率 $/(m \cdot h^{-1})$
全—强风化	14.5	5.4	2.68
中等风化	15.0	6.1	2.45
微风化	17.0	12.1	1.40
未风化	4.3	8.9	0.48

表中,未风化及微风化泥岩成孔速率明显低于全—中等风化泥岩,据现场调查,自微风化泥岩开始,成孔难度明显增大,故而采用了二次扩孔的施工工艺,施工情况与风化带划分基本吻合。

3.3 剪切波速划分泥岩风化程度的优点

工程实践表明,利用剪切波速判定泥岩风化状态具有以下优点:

1)震源采用孔内激发,测试数据由计算机自动采集,测试点间距 1 m,根据需要,测试间距可进一

步缩小,因此,试验数据精度高。

2)仅需要增加部分测试深度,即可达到在评价场地土类型及场地类别的同时,又可以完成泥岩风化带的划分,实现一孔多用。

3)波速曲线图由计算机自动绘制,清晰直观,使用方便。

4 结论

1)长春泥岩具有一定的风化规律,其风化程度划分对工程建设具有重要意义。

2)剪切波速试验划分长春泥岩风化带,方法可靠,行之有效。与岩芯钻探及标贯试验相互配合,其划分结果会更加准确。

3)不同地区泥岩可能会存在不同的差异,故上述方法仅供其他地区参考。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国国家标准. GB 50021—2001 岩土工程勘察规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [2] 吉林省地方标准. DB22/T367—2004 岩土工程勘察技术暂行规定[S]. 长春:吉林省建设厅,吉林省质量技术监督局. 2004.
- [3] 东北地区区域地层表吉林省分册 [M]. 北京:地质出版社,1978.
- [4] 吉林省地方标准. DB22/T497—2010 静压预应力混凝土管桩基础技术规范[S]. 长春:吉林省住房和城乡建设厅,吉林省质量技术监督局,2010.
- [5] 工程地质手册(第四版) [M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.

收稿日期:2015-06-30

(上接第 310 页)

3 结论

1)基于桩在竖向荷载作用下,桩截面的轴力随桩入土深度而衰减规律,提出了桩在竖向荷载作用下桩截面的轴力分布函数表达式,轴力分布函数与桩的长径比、端阻分担比有关。

2)通过对钻孔灌注桩在竖向荷载作用下的承载特性的规律分析,实测轴力与由轴力分布函数计算的轴力对比,由桩轴力分布函数计算的桩截面的轴力与实测结果规律一致,当荷载水平较低时,计算结果误差较大,当荷载达到极限值时,误差明显降低。当试桩达到极限状态时,试桩 A、B 和 C 的轴力分布的计算值与实测值的相对误差的最大值分别为 -16.55%、-5.58% 和 9.37%。

3)基于桩的轴力分布函数计算出桩侧阻力随桩的入土深度的分布,进而确定不同荷载水平下的总侧阻和总端阻,确定单桩的极限荷载,计算结果与试验结果较为符合。当荷载达到极限值时,试桩 A、B 和 C 侧阻力最大值的计算值与实测侧阻力最大值

相比误差不超过 2%;总端阻计算值与实测值的相对误差分别为 -7.41%、3.344% 和 -5.84%。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国行业标准. JGJ 94—2008 建筑桩基技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [2] 何凯. 桩后压浆灌注桩的技术分析[J]. 南昌航空工业学院学报(自然科学版),2002,16(1).
- [3] 任文峰. 桩端后压浆桩承载力试验研究[D]. 长安大学硕士学位论文. 2005.
- [4] Seed, H. B. and Reese, L. C., The Action of soft Clay Along Friction Piles[J]. ASCE, Transactions, 1957.
- [5] Kezdi, A., The bearing capacity of piles and pile groups, Proceedings, 4th international conference on soil mechanics and foundation engineering, London, 1957.
- [6] 梁金国. 后压浆旋挖钻孔灌注桩单桩竖向承载力分析[J]. 岩土工程技术, 2008, 22(3):140-144.

收稿日期:2015-09-08