

文章编号: 1006 - 2106(2013) 01 - 0015 - 05

阿尔及利亚东西高速公路梅拉尔旁压试验应用^{*}

王哲威 付开隆^{**}

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要: 研究目的: 通过介绍法国梅纳尔旁压试验的试验方法、获取设计参数的原理及利用设计参数进行深基础桩长计算的过程, 以阿尔及利亚东西高速公路一座桥梁工程为例进行计算, 将计算方法及结果与国内常规方法进行比较, 得出旁压试验的优点。希望能够为类似地区的工程项目提供一定的借鉴, 并期望能够在国内工程中被推广。

研究结论: (1) 法国标准规定在施工图阶段进行基础埋置深度计算应采用原位测试数据, 初步设计可用实验室数据, 这和国内有明显的区别, 而标贯、动探、静探等的应用均有较大的局限性, 故旁压试验是本项目取得原位测试数据唯一选择; (2) 旁压试验适用范围广, 具备操作简便、获取参数可靠、计算方法成熟等优点。

关键词: 梅拉尔旁压试验; 深基础计算; 侧摩阻力; 端阻力

中图分类号: **文献标识码:** A

Application of Menard Pressuremeter Test in Construction of East - West Freeway of Algeria

WANG Zhe - wei , FU Kai - long

(China Railway Eryuan Engineering Group Co. Ltd , Chengdu , Sichuan 610031 , China)

Abstract: Research purposes: The introduction is given to the test procedure and the principle of getting the design parameters of Menard Pressuremeter Test and the calculation process of pile length for the deep foundation. The calculation was made for the bridge project of the East - West Freeway in Algeria. And the calculation method and result were compared with the conventional test method used in China to know the merits of the PMT for providing the reference to the similar works and making this test applied widely in China.

Research conclusions: From the analysis it is concluded: (1) The French norm stipulates that the in - situ testing data can be used for calculation of embedded depth of foundation in construction drawing stage , while the laboratory data can be used for the preliminary design. These are clearly different from the domestic practice. The application of the standard penetration , dynamic sounding , static sounding and other techniques has big limitation. So in this project , the pressuremeter test is the only way to get the in - situ data. (2) PMT has a wide applicable range , with the features of easy operation , reliable parameters and mature calculation method.

Key words: Menard Pressuremeter test; deep foundation calculation; lateral friction resistance; end resistance

阿尔及利亚东西高速公路共分东、中、西三段, 总长约 1 216 km, 其中 M1、M2 标段, 起自 BOUIRA 省的 EL - Adjiba 镇(起点里程 PK 243 + 000), 终于 BBA 省 ZENNOUNA 附近(终点里程 PK 279 + 147), 路线长度 52. 638 km。沿线地貌从浅丘逐渐过渡到中低山, 最终

到相对平缓的高原。地层岩性单一, 下伏基岩主要为泥质灰岩, 上覆土层较薄, 仅在河流附近的阶地上沉积较厚。本项目所使用规范为法国规范, 设计审查由法国公司承担。在桥梁下部结构的勘察设计中, 审查专家唯一认可的是使用合格有效的原位测试数据进行计

* 收稿日期: 2012 - 05 - 15

** 作者简介: 王哲威, 1983 年出生, 男, 工程师; 付开隆, 1971 年出生, 男, 高级工程师。

算,这与国内习惯做法有较大的差异。差异主要有两点:一是法国标准规定在施工图阶段进行基础埋置深度计算应采用原位测试数据,初步设计可用室内试验数据,而适用于本区地质特点的原位测试主要有旁压试验和动力触探,但动力触探无法计算侧阻力,故旁压试验是该项目深基础计算中唯一的选择;二是尽管国内也积累了不少利用旁压试验来计算桩侧摩阻力和端阻力的公式,但目前尚未形成一定的体系,现行规范中也未见有明确规定,而法国标准中有成熟的计算公式和图表可以直接求得侧摩阻力和端阻力。在项目初期,我们对法国规范的研究有一定的局限性,仅通过钻探、取样试验以及孔内进行的动力触探、标贯等手段取得设计参数,在中期审查时和法国专家进行了沟通交流后对项目所有的深基础桥梁补充了旁压试验,最终施工图资料顺利通过了法国专家的审查。

1 旁压试验方法简介

1.1 试验原理

旁压试验是一种现场土壤荷载试验。其方法是在土体里使一圆柱型探头水平向扩张,使孔壁膨胀直至破坏,根据土壤压力和径向位移之间的关系,取得岩土体破坏时的极限承载力 P_L 以及模量 E_m ,并据此计算地基土的桩端阻力 Q_{pu} 及桩侧摩阻力 Q_{su} 。

1.2 适用范围

适用于黏性土、粉土、砂土、碎石土、残积土、极软岩和软岩。

1.3 压力装置

压力装置是试验所必须仪器设备的总称。它包括探头、钻杆、CPV 容器压力控制器和一些连接 CPV 和探头的导管。容器压力控制器包括探头扩张和施压系统、调节指示器、数据储存装置。

1.4 压入方法

首先完成钻探,然后进行 1~n 个压力试验。成孔方法主要有预钻式和自钻式两种。

1.5 试验过程

根据即定程序逐级给孔壁施加均匀的压力,根据所加压力测量探头的膨胀,这样可获得土壤变形特性(旁压模量 E_m)以及断裂特性(极限压力 P_L)。

1.6 压力曲线

压力-体积曲线如图 1 所示。

p 指经过液体荷载、探头外壳固有阻力以及胶膜的校正后探头外侧施加给土体的真实荷载。图 1 中 P_2 值为极限压力 P_L 。

V 是注入探头的液体容量,经过仪器设备的膨胀调节后,在每个压力 p 级的最后进行测量。

其中变形分三个阶段: I 探头壁和土壤接触阶段; II 假弹性阶段; III 塑性变形阶段。

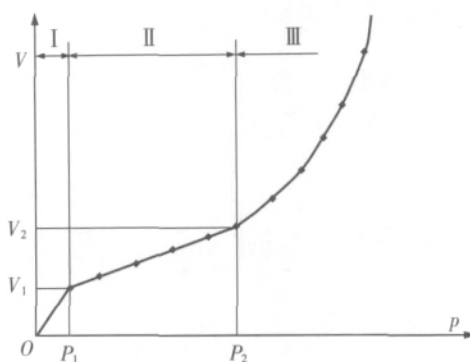


图 1 压力-体积曲线

2 利用旁压试验进行深基础计算的原理

2.1 桩的承载力计算公式

$$Q_u = Q_{pu} + Q_{su} \quad (1)$$

$$Q_{tu} = Q_{su} \quad (2)$$

$$Q_c = 0.5 Q_{pu} + 0.7 Q_{su} \quad (3)$$

$$Q_{pu} = A \times q_u = A \times k_p \times P_L \quad (4)$$

$$Q_{su} = C \cdot \int q_s dz \quad (5)$$

式中 Q_u ——桩基极限承载力(kN);

Q_{pu} ——桩端极限阻力(kN);

Q_{su} ——桩侧极限阻力(kN);

Q_{tu} ——受拉极限荷载(kN);

Q_c ——受压极限荷载(kN);

P_L ——旁压试验获得的极限荷载(MPa);

q_s ——单位桩长的侧摩阻力(MPa);

k_p ——桩端承载力影响系数;

A ——单桩的截面积(m^2),

C ——桩的周长(m)。

2.2 桩端承载力影响系数 k_p 的确定

k_p 值和岩土种类、状态以及是否为挤土桩等相关,通过表 1、表 2 查取。

表 1 桩端承载力影响系数 k_p 值

土壤分类		不挤土桩	挤土桩
细粒土	A	1.1	1.4
	B	1.2	1.5
	C	1.3	1.6
粗粒土	A	1	4.2
	B	1.1	3.7
	C	1.2	3.2
白垩	A	1.1	1.6
	B	1.4	2.2
	C	1.8	2.6
泥灰岩		1.8	2.6
岩石		1.1~1.8	1.8~3.2

表 2 土壤分类表

土壤分类		状态	旁压极限荷载 P_L /MPa	动探贯入阻力 q_c /MPa
细粒土	A	软塑	<0.7	<3.0
	B	可塑	1.2~2.0	3.0~6.0
	C	硬塑	>2.5	>6.0
粗粒土	A	松散	<0.5	<5.0
	B	中密	1.0~2.0	8.0~15.0
	C	密实	>2.5	>20.0
白垩	A	软	<0.7	<5.0
	B	风化	1.0~2.5	>5.0
	C	密实	>3.0	—
泥灰岩	A	软	1.5~4.0	—
	B	硬	>4.5	—
岩石	A	风化	2.5~4.0	—
	B	破碎	>4.5	—

2.3 单位桩长的侧摩阻力 q_s 值的确定

q_s 值和岩土种类、状态及桩基施工方法等相关，通过图 2、表 3 查取。

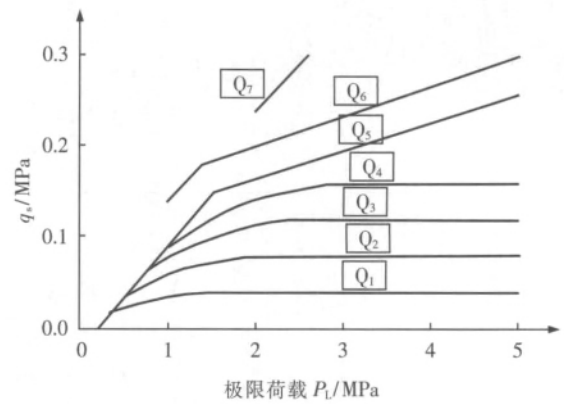


图 2 单位桩长上侧摩阻力极限值的曲线

表 3 q_s 值设计曲线的选择

	细粒土			粗粒土			白垩			泥灰岩		岩石
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	—
干钻孔桩	Q ₁	Q ₁ 、Q ₂ ⁽¹⁾	Q ₂ 、Q ₃ ⁽¹⁾	—			Q ₁	Q ₃	Q ₄ 、Q ₅ ⁽¹⁾	Q ₃	Q ₄ 、Q ₅ ⁽¹⁾	Q ₆
泥浆护壁钻孔桩	Q ₁	Q ₁ 、Q ₂ ⁽¹⁾		Q ₁	Q ₂ 、Q ₁ ⁽²⁾	Q ₃ 、Q ₂ ⁽²⁾	Q ₁	Q ₃	Q ₄ 、Q ₅ ⁽¹⁾	Q ₃	Q ₄ 、Q ₅ ⁽¹⁾	Q ₆
套管钻孔桩(回收管)	Q ₁	Q ₁ 、Q ₂ ⁽³⁾		Q ₁	Q ₂ 、Q ₁ ⁽²⁾	Q ₃ 、Q ₂ ⁽²⁾	Q ₁	Q ₂	Q ₃ 、Q ₄ ⁽³⁾	Q ₃	Q ₄	—
套管钻孔桩(损坏管)	Q ₁			Q ₁		Q ₂	(4)			Q ₂	Q ₃	—
人工挖孔桩 ⁽⁵⁾	Q ₁	Q ₂	Q ₃	—			Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆
钢管桩	Q ₁	Q ₂		Q ₂		Q ₃	(4)			Q ₃	Q ₄	Q ₄
预制混凝土桩	Q ₁	Q ₂		Q ₃			(4)			Q ₃	Q ₄	Q ₄
沉管灌注桩	Q ₁	Q ₂		Q ₂		Q ₃	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₃	Q ₄	—
打入灌注桩	Q ₁	Q ₂		Q ₃		Q ₄	(4)			Q ₃	Q ₄	—
低压压注桩	Q ₁	Q ₂		Q ₃			Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅		—
高压压注桩 ⁽⁶⁾	—	Q ₄	Q ₃	Q ₅		Q ₆	—	Q ₅	Q ₆	Q ₆		Q ₇

注: (1) —灌注前经锤孔和开槽; (2) —较长的桩(超过 30 m); (3) —干钻, 不旋拧套管; (4) —对于法国白垩, 某些桩的侧摩阻力可能较小, 应针对不同情况进行专门研究; (5) —没有管子和套管(孔壁粗糙); (6) —低流量重复和选择性的进行注浆。

3 应用实例

3.1 工程概况

中心里程为 PK 247 + 802, 跨越市镇公路, 是一预制梁桥, 长 232.6 m, 宽 27.5 m, 包括 6 个桥跨。

3.2 勘察方法及完成工作量

钻探为主, 查清了地层结构, 共实施 8 孔;

旁压试验, 共实施 3 孔, 并利用临近段具同类地质条件的 1 孔;

室内试验, 共取得 20 组土样, 7 组岩样, 1 组水样。

3.3 工程地质条件

工程地质纵断面缩图清楚地显示了各岩土分层及厚度, 如图 3 所示。

共分布有 6 种岩土层, 分别是:

(4) 含砾黏土, 硬塑, 分布于沟心表层, 厚 3 ~ 6 m;

(7) 砂质卵石土, 一般密, 分布于沟心表层之下,

厚约 4 m;

(9) 含砾黏土, 浅黄色, 硬塑, 分布于高阶地上, 厚 10 ~ 20 m;

(10) 粉质卵石土, 灰色, 密实, 常与 < 9 > 互为夹层, 厚 2 ~ 4 m;

(11-2) 泥质灰岩, 黄灰色, 强风化(W₃), 岩层较破碎, 厚 2 ~ 4 m;

(11-3) 泥质灰岩, 灰色, 中风化(W₂), 岩层较完整。

地下水主要为赋存于砂卵石层中的孔隙水, 以及基岩裂隙水, 有 A2 类腐蚀性(中等结晶类腐蚀) 。

3.4 计算过程及结果

选取左 1 桩基进行计算。

3.4.1 桩的各种参数

桩径 $D=1.4$ m, 周长 $C=4.4$ m, 截面积 $A=1.54$ m², 采用人工挖孔桩。

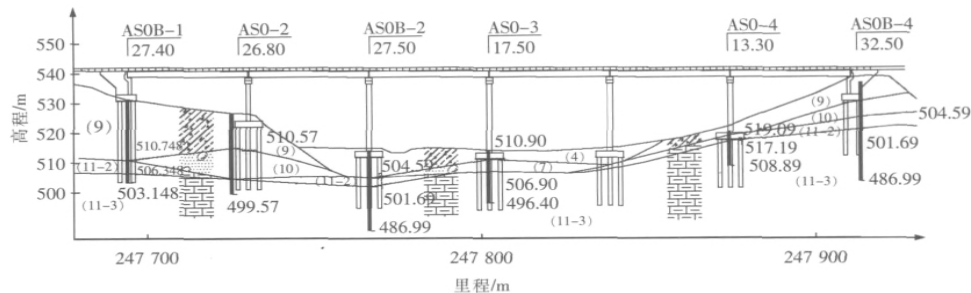


图 3 PK 247 高架桥工程地质纵断面缩图(单位:m)

注: (4) Q_4^{dpl} 含砾黏土; (7) Q_4^{dpl} 砂质卵石土; (9) Q_3^{dpl} 含砾黏土;
(10) Q_3^{dpl} 粉质卵石土; (11-2) K_1 泥质灰岩强风化层; (11-3) K_1 泥质灰岩中风化层

3.4.2 旁压试验参数

P_L 参数统计如表 4 所示。

表 4 P_L 参数统计表

岩土名称及代号	统计个数 n /个	P_L 值/MPa				
		最大值	最小值	平均值	标准值	推荐值
含砾黏土(9)	11	2.09	0.8	1.55	1.32	1.3
泥质灰岩强风化层(11-2)	8	4.54	0.9	2.78	1.99	2.0
泥质灰岩中风化层(11-3)	14	8.77	5.2	7.86	7.35	5.0

注: 1. 统计时已经剔除了异常值; 2. P_L 值大于 5 MPa 时, 取计算模型的极限值 5 MPa。

3.4.3 q_s 、 K 值

(9) 层含砾黏土对应的 P_L 推荐值为 1.3 MPa, 根据表 2 得到土体的状态为 B(可塑), 根据表 3 得到桩侧极限阻力曲线应选 Q_2 , 根据图 2 得到对应的 q_s 值为 0.06 MPa。

(11-2) 层泥质灰岩强风化层对应的 P_L 推荐值为 2.0 MPa, 根据表 2 得到土体的状态为 A(软), 根据表 3 得到桩侧极限阻力曲线应选 Q_4 , 根据图 2 得到对应的 q_s 值为 0.11 MPa; 根据表 1 得到对应的 k_p 值为 1.1。

(11-3) 层泥质灰岩中风化层对应的 P_L 推荐值为 5.0 MPa, 根据表 2 得到土体的状态为 B(软), 根据表 3 得到桩侧极限阻力曲线应选 Q_5 , 根据图 2 得到对应的 q_s 值为 0.16 MPa; 根据表 1 得到对应的 k_p 值为 1.2。

3.4.4 桩长计算过程

选取 0# 台的左 1 桩进行计算, 桩长按照 22 m 和 25 m 分别进行试算, 通过下述计算过程可以看出桩长为 20 m 时无法满足正常使用状态, 而桩长 25 m 时可以满足各种荷载下的要求, 至此本桩下部设计完成。计算过程如表 5、表 6 所示。

表 5 承载力计算表

分层代号	岩土名称	桩长/m	旁压极限压力 P_L /MPa	单位桩长侧 摩阻力 q_s /MPa	桩端承载力 影响系数 k_p	Q_{su} /kN	Q_{pu} /kN
(9)	含砾黏土	19.8	1.30	0.06	—	5225	—
(11-2)	泥质灰岩强风化层	2.2	2.00	0.11	1.1	1 064	3 387
		4.5	2.00	0.11	1.1	2 177	—
(11-3)	泥质灰岩中风化层	0.7	5.00	0.16	1.2	493	9 236

表 6 桩长计算表

N_0		ELU(承载力极限状态)		ELA(偶然荷载)		ELS(正常使用状态)	
		N_{max} /kN	N_{min} /kN	N_{max} /kN	N_{min} /kN	N_{max} /kN	N_{min} /kN
各种荷载组合		6 419	3 179	5 772	1 305	5 172	2 332
$Q_u/1.4$	25 m 桩	12 237	12 237	—	—	—	—
	22 m 桩	6 912	6 912	—	—	—	—
$Q_u/1.2$	25 m 桩	—	—	14 276	—	—	—
	22 m 桩	—	—	8 063	—	—	—

续表 6 桩长计算表

N_0		ELU(承载力极限状态)		ELA(偶然荷载)		ELS(正常使用状态)	
		N_{\max}/kN	N_{\min}/kN	N_{\max}/kN	N_{\min}/kN	N_{\max}/kN	N_{\min}/kN
$Q_{tu}/1.3$	25 m 桩	—	—	—	6 073	—	—
	22 m 桩	—	—	—	4 838	—	—
$Q_c/1.4$	25 m 桩	—	—	—	—	7 246	7 246
	22 m 桩	—	—	—	—	4 354	4 354
是否通过	25 m 桩	是	是	是	是	是	是
	22 m 桩	是	是	是	是	否	是

4 与国内计算方法的比较

(1) 根据交通部颁《公路桥涵地基与基础设计规范》规定, 桩端阻力容许值计算公式为:

$$Q_p = C_1 \times A_p \times f_{rk} \tag{6}$$

其中 C_1 为端阻力发挥系数, 取 0.6, 中风化层乘以 0.75 的折减系数; 桩的截面积为 A_p 为 1.54 m^2 ; 室内试验取得的单轴极限抗压强度在 9.29 ~ 11.68 MPa 之间, 取 10 MPa。计算得到桩端阻力容许值为 6 930 kN。

(2) 根据交通部颁《公路桥涵地基与基础设计规范》规定, 桩侧阻力容许值计算公式为:

$$Q_s = u \sum_{i=1}^m c_{2i} h_i f_{rki} + \frac{1}{2} \xi_s u \sum_{i=1}^n l_i q_{ik} \tag{7}$$

其中 μ 为桩身周长, 取 4.4 m; C_2 为基岩侧阻力发挥系数, 取 0.05; h_i 取 0.7 m; ξ 为覆土侧阻力发挥系数, 取 0.8; (9) 层、(11-2) 层的 l_i 值分别为 19.8 m、4.5 m; (9) 层、(11-2) 层的 q_{ik} 值分别取 70 kPa、150 kPa。计算得到桩侧阻力容许值为 5 167 kN。

(3) 用旁压试验计算得到的桩端阻力极限值为 9 236 kN, 根据法国规范规定取安全系数 1.4, 得到容许值为 6 597 kN; 桩侧摩阻力极限值为 7 895 kN, 除以 1.4, 得到容许值为 5 639 kN。

由以上对比结果看出旁压试验计算得出的桩端阻力略低于实验室试验计算结果; 旁压试验计算得出的桩侧阻力略高于实验室试验计算结果。两者的合力基本一致。

5 结论

通过对梅拉尔旁压试验进行侧摩阻力和端阻力计算的介绍, 并通过实例计算和国内计算方法的技术比较, 得出旁压试验具有以下优点。

(1) 适用范围广: 适用于各种土层和软质岩。另外, 根据图 2 可看出 P_L 最大可取 5 MPa, 在岩石中极限承载力 P_L 一般在 5 MPa 之上, 取极限值 5 MPa 亦可进行计算。

(2) 国内桥梁的嵌岩桩桩端承载力采用单轴饱和

极限抗压强度试验(黏土质岩用天然指标)计算得到, 但现实中有些岩性可能为薄层状或者节理裂隙、微裂隙发育, 存在取样困难、无法制样、或者所做试验与现场实际指标相去甚远等问题。当出现以上情况时, 利用旁压试验可作为有效的一种补充解决手段。

(3) 利用旁压试验既能够反映岩土体的整体力学指标趋势, 又能反映岩体中特殊夹层等情况。

(4) 该方法操作简便, 获取参数可靠, 计算方法成熟, 适用性强。

参考文献:

[1] NF P94—110, 梅纳尔旁压试验[S].
NF P94—110, The Pressuremeter Test of Menard[S].
[2] JTG D63—2007, 公路桥涵地基与基础设计规范[S].
JTG D63—2007, Code for Design of Ground Base and Foundation of Highway Bridges and Culverts[S].
[3] 韩信. 阿尔及利亚东西高速公路工程地质勘察研究[J]. 铁道工程学报, 2012(1): 11-16.
Han Xin. Research on Engineering Geologic Investigation of Algeria East - West Highway[J]. Journal of Railway Engineering Society 2012(1): 11-16.
[4] 石祥锋, 汪稔, 张家铭, 等. 旁压试验在岩土工程中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2004(S1): 4442-4445.
Shi Xiangfeng, Wang Ren, Zhang Jiaming, etc. Application of Pressuremeter Tests in Geotechnical Engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2004(S1): 4442-4445.
[5] 罗晶. 利用旁压试验确定地基土承载力和模量[J]. 水文地质工程地质, 2001(10): 38-40.
Luo Jing. Deducing Foundation's Bearing Capacity and Modulus Using Pressuremeter Test's Data[J]. Hydrogeology and Engineering Geology 2001(10): 38-40.
[6] 彭柏兴. 旁压试验确定单桩承载力的方法和应用[J]. 西部探矿工程, 1998(2): 24-26.
Peng Baixing. The Method and Use for Pressuremeter Tests to Determine the Capacity of Single Pile[J]. West - China Exploration Engineering, 1998(2): 24-26.