

文章编号: 1005—0523(2002)03—0049—04

现行嵌岩桩竖向承载力计算模式分析

陶 林

(重庆铁路分局 重庆建筑段, 重庆 400053)

摘要:通过对 GBJ7—89、JGB94—94、KTK024—85、TBJ2—85 四种规范计算嵌岩桩竖向承载力的分析,证明 JGB94—94 中嵌岩桩计算模式是比较科学合理、经济安全的。

关 键 词:嵌岩桩;承载力;计算;分析
中图分类号:TU **文献标识码:**A

0 前 言

嵌岩桩竖向承载力的研究是建筑物桩基技术中的一项重要课题,虽然近年来该课题已取得了较大进展,其成果也被有关新规范采用,但嵌岩桩作为新概念,其成果也被有关新规范采用,但嵌岩桩作为新概念,在理论上仍需不断完善、补充.本文就现行规范中有关嵌岩桩竖向承载力进行了分析和讨论.

单桩竖向承载力的确定方法通常有原型试验法、静力学算法、原位测试法、经验法等四种.经验法是根据静力试桩结果与桩侧、桩端土层的物理力学性能指标进行统计分析,建立桩侧阻力、桩端阻力与物理力学性能指标间的经验关系,利用这种关系预估单桩承载力.该方法简便而经济,但由于各地区地质情况不同,加之成桩质量有一定变异性,经验法预估承载力的可靠性相对较低.然而该法用于地区性规范的可靠性是较高的.所以经验法确定单桩承载被引入一些国家标准、行业标准或地区标准中,用于桩基的初步设计和非重要工程的设计,或作为多种方法综合确定单桩承载力依据之一,也有的规定在无条件进行静载试桩的情况下应用这种方法确定单桩承载力.现就目前现行规范中

有关嵌岩桩竖向承载力计算进行分析和评价,为寻求较完善合理的计算模式开拓思路.

1 《建筑地基基础设计规范》中的方法

《建筑地基基础设计规范》GBJ7—89 规定嵌岩灌注桩承载力按端承桩设计,即:

$$R_K=q_p \cdot A_p \tag{1}$$

式中: R_K —单桩的竖向承载力标准值
 q_p —桩端岩石承载力标准值,可按地区经验确定
 A_p —桩身的截面面积

此规范中,桩的承载力仅考虑端承力一项,忽略了桩侧阻力的作用,显然不合理,同时也与目前的嵌岩桩承载性状不同.此外,其中的端承力指标 q_p 在规范 GBJ7—89 中规定应根据岩石强度及施工条件确定,当桩底与岩石间无墟土存在时,可按规范第 3.2.5 条确定,即

$$f=\psi f_{rk} \tag{2}$$

式中: f —桩端岩石承载力设计值(同式的 q_p);
 ψ —折减系数.根据岩石情况取值,在中风化岩石中 $\psi=0.17\sim0.25$;
 f_{rk} —岩石饱和单轴抗压强度标准值.

就式(1)承载力指标 q_p 而言,显得有文章可做,因为 f_{rk} 本身就是可靠度 $p=95\%$ 时的标准值,又是由单轴试验得来的.如果桩的安全系数 $k=2$,则一般情况下 ψ 取 0.5 左右就可以了.而桩在受力时,桩端基岩处于三向应力状态, ψ 可以比 0.5 取得更高些,即使考虑桩端沉渣算少量虚土的影响,取 $\psi=0.5$ 也不为过,所以计算值很难反映嵌岩桩桩基的实际承载力,并且随着嵌岩深度的增加差距拉大,计算值显得过小,有时还会出现嵌岩石的桩基承载力计算值比不嵌岩时反而小的不合理现象.总之,上述只考虑桩端阻力的嵌岩灌注桩承载力的计算模式是值得进一步探讨的.式(1)只符合支承于基岩表面的短桩的承载力性状,而与长径在较大的嵌岩灌注桩的承载力性状差异较大.

2 《建筑桩基技术规范》中的方法

《建筑桩基技术规范》JGJ94—94 采用可靠性理论为基础的概率极限状态设计方法,以可靠指标 β 度量桩基的可靠度,按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计.规范给出的嵌岩桩单轴极限承载力标准值计算模式为,承载力一般由桩周土总侧阻力 Q_{sk} 、嵌岩段总侧阻力 Q_{rk} 、总端阻力 Q_{pk} 三部分组成,并分别为系数 ζ_s 、 ζ_r 、 ζ_p 的函数.即:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{rk} + Q_{pk} \quad (3)$$

$$Q_{sk} = \mu \sum_{i=1}^{i=n} \zeta_{si} q_{sik} L_i \quad (4)$$

$$Q_{rk} = \mu \zeta_{rc} f_{rc} h_r \quad (5)$$

$$Q_{pk} = \zeta_p f_{rc} A_p \quad (6)$$

式中: Q_{uk} —单桩竖向极限承载力标准值.

Q_{sk} 、 Q_{rk} 、 Q_{pk} —分别为土的总极限侧阻力、嵌岩总极限侧阻力、总极限端阻力标准值.

ζ_{si} —覆盖层第 i 层土的侧阻力发挥系数,当桩的长径比不大,桩端置于新鲜或微风化硬质岩中且桩底无沉渣时,对于粘性土、粉土取时 $\zeta_{si}=0.8$,对于砂类土及碎石类土,取 $\zeta_{si}=0.7$.对于其它情况取 $\zeta_{si}=1$.

q_{sik} —桩周第 i 层土的极限侧阻力标准值,根据成桩工艺按(3)取值.

f_{rc} —岩石饱和单轴抗压强度标准值.对于粘土质岩取天然湿度单轴抗压强度标准值.

h_r —桩身嵌岩(中等风化、微风化、新鲜基岩)深度超过 $5d$ 岩层表面倾斜时,以坡下方的嵌岩深度为准.

ζ_s 、 ζ_p —嵌岩段侧阻力和端阻力修正系数.与嵌岩径比 h_r/d 有关,按表 2-2 采用.

JGJ94—94 规范所列经验法的特点是:

1) 关于上覆土层侧阻力问题,突破以往凡嵌岩桩必为端承桩,凡端承桩均不考虑土层侧阻力的概念,通过荷载传递测试,表明一般情况上下覆土层的侧阻力是可以发挥的,从而根据不同情况计入了土层侧阻力发挥系数 ζ_{si} .

2) 关于嵌岩段侧阻力问题.当桩端嵌入基岩一定深度,荷载先通过侧阻力传递于嵌岩段侧壁,在产生一定变异后一部分荷载才传递到桩底,由于嵌岩段的侧阻力是是非均匀分布的,因此引入了侧阻力修正系数 ζ_s .

3) 关于嵌岩桩端阻力问题,试验结果表明,传递到桩端的应力随嵌岩深度增大而递补减.当嵌岩深度达到 $5d$ 时,传递到桩端的应力接近于零,因而引入端阻力修正系数 ζ_p ,这说明桩端嵌岩深度一般不必过大,超过某一界限并无助于提高竖向承载力.

4) 关于嵌岩桩单桩竖向极限承载力规范计算式验证,为验证该计算式的可靠性.从国内外收集到两百多桩的根破坏性桩资料中筛选 63 根资料完整的试桩进行统计计算(如表 1 所示),将计算式的计算结果与实测根限承载力之比(简称计试比 S)作为随机变量进行统计分析,其频数分布如图 1,从图中可看出绝大部分计试比 S 的值落在 1.0 左右,经统计分析, S 的平均值为 0.9851,说明计算结果较实测值略偏小,这也是工程必需的.统计分析的标准差为 0.1246.变异系数为 0.1265,由于式(3)属首次编入规范,为使大面积应用时有更多的安储备,在编制规范时,人为地将嵌岩桩侧阻力端阻力修正系数适当降低,以使计算值绝大部分小于实测值.

5) 岩石单轴抗压强度的取值.我国有关岩石质量指标自 50 年代起均参照前苏联的有关技术法规和标准,规定岩石的质量指标采用饱和条件下的单轴抗压强度.采用以概率统计理论为基础的极限状态设计方法后,所有的计算参数都要通过概率统计与分析后才能应用.如果仍然采用饱和状态下的岩石单轴抗压强度,将给参数的统计带来麻烦.对于软质岩,岩样在饱和过程中将可以有部分产生崩解,以致无法合理统计.目前,国际上许多国家都采用天然湿度条件下的抗压强度作为岩石质量指标,为了与国际接轨,也为了便于采用以概率统计理论为基础的极限状态设计方法,采用天然湿度条件下的岩石单轴抗压强度作为

岩石质量为指标更为合理. 规范的计算式中考虑了软质岩的问题, 尚显不足.

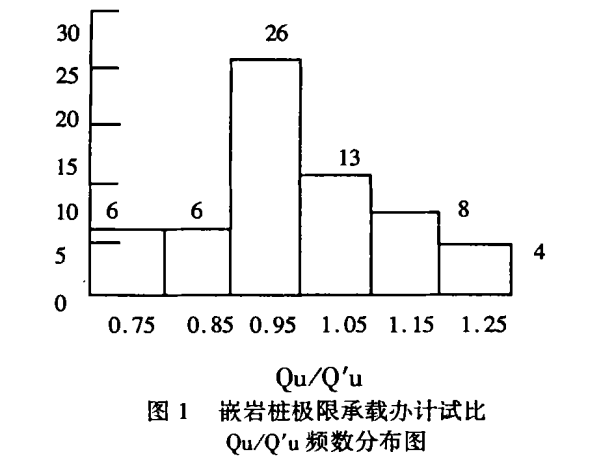


图 1 嵌岩桩极限承载力办试比 $Q_u/Q'u$ 频数分布图

表 1 极限侧阻力标准值 q_{sik} (kPa)

土的名称	土的状态	水下钻孔桩	干作业钻孔桩
填土		18—26	18—26
淤泥		10—16	10—16
淤泥质土		18—26	18—26
粘性土	$I_L > 1$	20—34	20—34
	$0.75 < I_L \leq 1$	34—48	34—48
	$0.5 < I_L \leq 0.75$	48—64	48—64
	$0.25 < I_L \leq 0.5$	64—78	64—78
	$0. < I_L \leq 0.25$	78—88	78—88
红粘土	$I_L \leq 0$	88—98	88—98
	$0.7 < \alpha_w \leq 0.27$	12—30	12—30
	$0.5 < \alpha_w \leq 0.27$	30—70	30—70
粉土	$e > 0.9$	22—40	22—40
	$0.75 \leq e \leq 0.9$	40—60	40—60
	$e \leq 0.75$	60—80	60—80
粉细砂	精密	22—40	20—40
	中密	40—60	40—60
	实密	50—72	50—72
中砂	中密	50—72	50—72
	实密	72—90	72—90
粗砂	中密	74—95	74—95
	实密	74—95	74—95
砂砾	中密、密实	116—135	110—130

表 2 嵌岩段侧阻和端阻修正系数

嵌岩深径比 h_r/d	0.0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	≥ 5.0
侧阻修正系数 ζ_s	0.000	0.025	0.055	0.070	0.065	0.062	0.050
端阻修正系数 ζ_p	0.500	0.500	0.400	0.300	0.200	0.100	0.000

注: 当嵌岩段为中等风化岩时, 表中系数以 0.9 折减.

中国知网 <https://www.cnki.net>

表 3 试桩分布区域表

试桩地点	四川	湖南	广东	贵州	云南	浙江	福建	山东	新加坡	加拿大
桩数	16	9	5	3	2	11	5	4	4	4

3 《公路桥涵地基与基础设计规范》中的方法

我国交通部部颁标准《公路桥涵地基与基础设计规范》JTJ024—85 中对于支承在基岩内的钻(挖)孔桩、沉桩和管桩的单轴受压容许承载力 $[P]$, 可按下式计算:

$$[P] = (C_1 A + C_2 U h) R_a \quad (7)$$

式中: $[P]$ —单桩轴向受压容许承载力, 当荷载组合Ⅱ或组合Ⅲ或组合Ⅴ作用时, 可提高 25%;

R_a —天然湿度的岩石单轴极限抗压强度, 试件直径为 7cm~10 cm, 试件高度与试件直径相等;

h —桩嵌入基岩深度, 不包括风化层;

U —桩嵌入基岩部分的横截面段长, 对于钻孔桩和管桩按设计直径采用;

C_1 、 C_2 —按清孔情况、岩石破碎程度等因素而定的系数, 按表 4 采用.

表 4 系数 C_1 、 C_2 值

条件	C_1	C_2	备 注
良好的	0.6	0.05	1、当 $h \leq 0.5$ m 时, C_1 采用表列数值的 0.75 倍, $C_2 = 0$; 2、对钻孔桩, 系数 C_1 、 C_2 值可降低 20% 采用
一般的	0.5	0.04	
较差的	0.4	0.03	

《公路桥梁地基与地基设计》JTJ024—85 所系列经验法的特点:

1) 公式(7)是我国交通部门嵌岩桩设计中较广泛采用的计算式.

2) 不计覆盖土层的侧阻力.

3) 对嵌岩桩的性状认识不中.

总之, JTJ024—85 规范在传统概念下的嵌岩桩规范经验公式中计算结果是与实际不相符的.

4 《铁路桥涵设计规范》中的方法

《铁路桥涵设计规范》TBJ2—85 是我国铁道部颁标准, 其中规定支承于新鲜岩石层上与嵌入新鲜岩石层内的钻(挖)孔灌注桩的轴向容许承载务

$$[P] = R (C_1 A + C_2 U h) \quad (8)$$

式中: $[P]$ —桩的容许承载力;

R —岩石试块单轴抗压极限强度(天然湿

度下试件直径为 7cm~19 cm,试件的高度与试件的直径相等;
A—桩底面积;
U—嵌入岩石层内的桩孔周长;
h—自新鲜岩面(平均高程)算起的嵌入深度;

C₁、C₂—系数,根据岩石层破碎程度和清底情况规定,按表 2.4—1 采用.注意,表 4—1 中的 C₁ 和 C₂ 值小于管桩设计采用值,因为钻孔灌注桩桩底的施工条件比管桩桩底的施工条件差.挖孔灌注桩近似采用表 5 是偏安全的.

表 5 系数 C ₁ 、C ₂ 值			
岩石层破碎程度及清底情况	C ₁	C ₂	备 注
良好	0.6	0.05	当 $h \leq 0.5\text{m}$ 时, C ₁
一般	0.5	0.04	应乘以 0.7, C ₂ 应
差	0.4	0.03	采用

这里采用的计算方法基本上与《公路桥涵地基与基础设计规范》JTJ024—85 相同,所以其特点也与前者一样.

5 结 论

我国现行的关于嵌岩灌注桩承载力的计算模式大体可分成三类:

1) 只计算桩端阻力,其端阻力的确定方法是将岩石饱和单轴极限抗压强度(新鲜基体、微风化、中

风化岩)乘以某一折减少系数.
2) 只计嵌岩部分的侧阻力和桩端阻力,不计覆盖土层的侧阻力.这类方法流行于桥基设计,主要可能是考虑到冲刷的影响而忽略全部土层的侧阻力.

3) 综合考虑了嵌岩灌注桩的长径比、覆盖土层性状、嵌岩段岩性、施工工艺等因素,按桩周土总侧阻力、嵌岩段总侧阻力和总端阻力三部分合成单桩极限承载力.这种计算模式体现了我国 90 年代嵌岩桩的最新研究成果和设计思想,也代表了嵌岩规范方法的国际先进水平.这类规范有:《建筑桩基技术规范》(JGJ94—94).

按以上三类计算模式进行的实例计算,并与试验成果进行了对照.相应的试桩成果参见表 6.

通过试桩成果,特别是加载时桩顶及桩沉降情况,可以看出规范 GBJ7—89 及 JTJ024—85 的计算数据均与实际情况不吻合.因为这些计算结果中,桩端阻力占了设计承载的很大一部分甚至全部,但实际上桩底有 20 mm 沉渣,且加载达 9 450 kN 时,桩底沉降量仍为零,这足以说明这部分荷载基本上全部由桩在土层段的摩阻力及及嵌岩段的侧阻力承担.而在规范 JGJ94—94 的计算结果中,土层段的嵌岩段的总侧阻力为 8 775 kN,极限承载力为 10 193 kN,这即比较符合实际,同时也留有一定富余量,所以说,JGJ94—94 中嵌岩桩计算模式是比较科学合理和经济安全的.

注:本试验结果来自重庆建筑大学嵌岩桩课题研究组.

表 6 静载试桩成果表

桩径 (mm)	设计极限承载 (kN)	试验最大 荷载 (kN)	桩顶沉降 (mm)	桩底沉降 (mm)	桩底沉渣厚 (mm)	桩端嵌入中 风化层厚度 (m)	估算极限 承载力 (kN)	嵌岩段 岩石情况
1 000	10 500	9 450	6.87	0	20	3.05	11 500	较完整

Analysis of the Current Rock Pile Vertical Bearing Capacity's Computation Model

TAO Lin

(Chongqing Construction branch, Chongqing Railway Bureau, Chongqing 400053, China)

Abstract: According to the four standards GBJ7-89, JGB94-94, JTJ024-8 and TBJ2-85, by accounting and analyzing the current rock pile vertical bearing capacity, it is proved that the rock pile bearing capacity's computation model in the standard JGB94-94 is scientific, economical and safe.

中国知网 <https://www.cnki.net>
Key words: rock pile; bearing capacity; computation; analysis