

文章编号: 1005-0523(1999)02-0034-06

钻冲孔灌注长桩受力性能和竖向承载力设计值的确定

白智强

(铁道部隧道工程局勘测设计院, 河南 洛阳 471009)

摘要: 分析了钻、冲孔灌注长桩在垂直荷载作用下的受力特性, 对其竖向承载力设计值的确定进行探讨, 并指出存在“第4拐点”的可能, 最后就如何提高单桩承载力提出了建议¹⁹。

关键词: 钻、冲孔灌注桩; 受力性能; 承载力分析

中图分类号: TU 473

文献标识码: A

0 引言

在进行钻、冲孔灌注长桩的设计时, 一般应作静载试验¹⁹。下面根据笔者设计的工程试桩资料 and 收集到的其它工程的静载试验资料, 就这类长桩在垂直荷载作用下的受力性能和竖向承载力设计值的确定作一些分析和探讨¹⁹。

本文收用的 1~7 号试桩分别属于 5 个不同的工程¹⁹。各桩混凝土标号除 1、5 号为 C25 外, 其余均为 C20¹⁹。设计桩径 1~5 号桩为 0.8 m, 6、7 号桩为 0.7 m¹⁹。

1 试验结果

各试桩的试验结果如图 1~3 所示⁽¹³⁾。

从图 1 可知, 在 $N-H$ 曲线中桩顶荷载达到极限时即为单桩竖向极限承载力标准值, $P_{\text{极}} = P_{\text{pk}} + Q_{\text{sk}}$, 桩埋深为零处桩轴力 N 等于桩顶荷载 P , 桩端处桩轴力 N 等于端承力 Q_{pk} ⁽¹³⁾。

比较分析各图表, 可得出以下结论:

- 1) 桩轴力沿桩深方向由最大值 P_{max} 降至最小值 Q_{sk} , 因此, 在不考虑负摩擦的情况下, 桩最大轴力在桩顶;
- 2) 各土层的最大摩阻力并不同时出现;
- 3) 端承力占总反力的比例很小;
- 4) 最大摩阻系数出现的时机不同, 因此, 某几层土体摩阻力达到最大时, 整根桩的摩阻力并未达到最大, 它继续增加, 直到最后一个土层达到其最大摩阻力, 总摩阻力才达到最大值, 随

收稿日期: 1999-01-26; 修订日期: 1999-05-01

作者简介: 白智强(1958-), 男, 回族, 河南宁陵人, 铁道部隧道工程局勘测设计院工程师

后就开始缓慢降低⁽¹³⁾这个最大值就是通常所说的极限摩阻力⁽¹³⁾

因此,总摩阻力达到极限时,各土层的摩阻系数并不都等于最大摩阻系数⁽¹³⁾

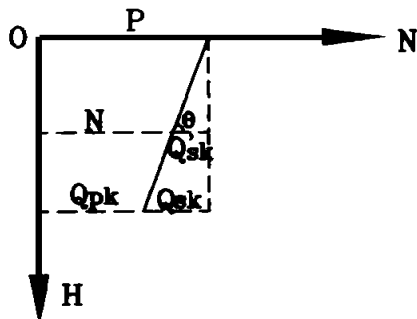


图 1

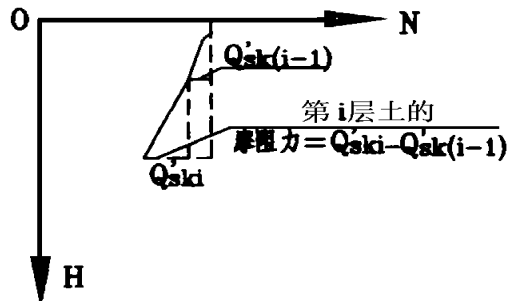
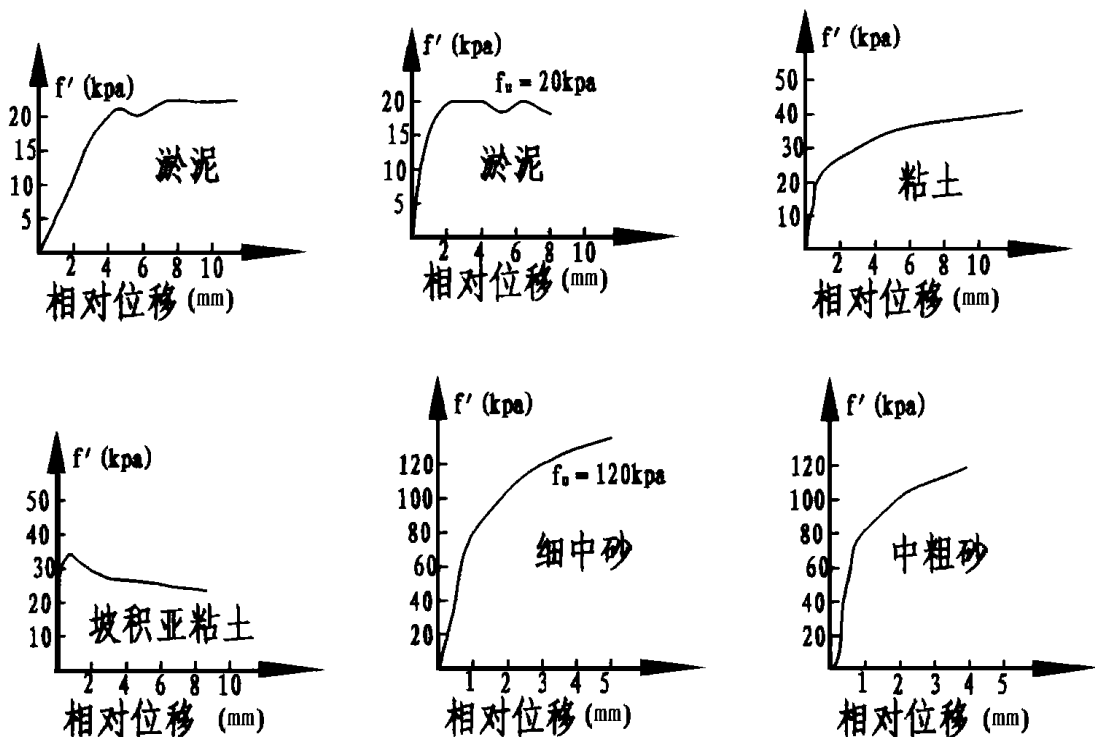


图 2

图 3 柱周摩阻力 f' 与桩土相对位移关系

2 长桩的受力机理

长桩受力如图 4 所示⁽¹³⁾

图中, P 为外荷, Q_k 为总摩阻力, Q_{sk} 为端承力, E_B 、 E_C 分别为沉渣和坑底土层的压缩模量⁽¹³⁾
 ΔA 、 ΔB 、 ΔC 分别为桩身压缩变形、沉渣压缩变形、以及坑底土层压缩变形, 桩顶总沉降用 S 表

示⁽¹³⁾沉渣侧壁摩阻力很小,忽略不计⁽¹³⁾

坑底土层有坚硬和软弱两种,前者为端承摩擦桩,后者为摩擦桩,下面分别论述⁽¹³⁾

2.1 端承摩擦桩的受力机理

首先明确极限荷载的定义⁽¹³⁾它分为 2 种,一是一定的变形限值对应的外荷;二是外荷作用下无限小的外荷增量导致无限大的沉降增量,该外荷即为极限荷载⁽¹³⁾

为了解桩受力的全过程,暂不考虑变形限值⁽¹³⁾

当极限荷载产生是由于桩身材料的原因时,显然桩身强度屈服极限就是桩的受荷屈服极限⁽¹³⁾

当桩达到极限是由于坑底坚硬土层屈服时,外荷 P 由零增至极限的过程由于坑底沉渣质量的好坏而不同,具体地说:

1) 当沉渣质量差(厚、软且松散)时,可分为以下 5 个阶段,如表 1 所示:

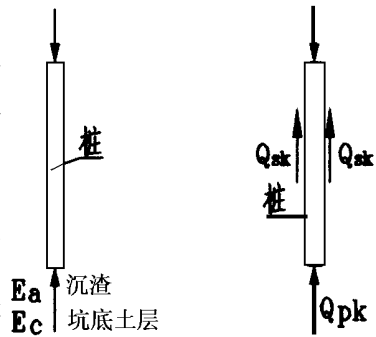


图 4 长桩受力图

表 1 沉渣质量差时端承摩擦桩受力机理

	P	Q_{sk}	Q_{pk}	ΔA	ΔB	ΔC	结 论
第 1 阶段	$0 \rightarrow P_1$	$0 \rightarrow Q_{sk1}$ ($Q_{sk1} \approx 0$)	≈ 0	$0 \rightarrow \Delta A_1$	≈ 0	≈ 0	外荷全部由摩阻力平衡, $P_1 = Q_{sk1}$, 桩顶位移全部由桩身压缩产生的
第 2 阶段	$P_1 \rightarrow P_2$ ($P_2 = Q_{pk2} + Q_{sk, max}$)	$Q_{sk1} \rightarrow Q_{sk, max}$	$0 \rightarrow Q_{pk2}$	$\Delta A_1 \rightarrow \Delta A_2$	$0 \rightarrow \Delta B_2$	$0 \rightarrow \Delta C_2$	1) 沉渣逐渐挤密 ⁽¹³⁾ 各土层先后不同地达到最大摩阻力, 3) 桩顶总变形 $S = \Delta A_2 + \Delta B_2$, 增长缓慢
第 3 阶段	$P_2 \rightarrow P_3$	$Q_{sk, max} \rightarrow Q_{sk3}$	$Q_{pk2} \rightarrow Q_{pk3}$	$\Delta A_2 \rightarrow \Delta A_3$	$\Delta B_2 \rightarrow \Delta B_3$	$\Delta C_2 \rightarrow \Delta C_3$	在外荷不变或略有增长的情况下, ΔA_1 基本不变, ΔB 急剧增长, ΔC 略有增长, 摩阻力有所下降
第 4 阶段	$P_3 \rightarrow P_{极}$	$Q_{sk3} \rightarrow Q_{sk4}$	$Q_{pk3} \rightarrow Q_{pk, max}$	$\Delta A_3 \rightarrow \Delta A_4$	$\Delta B_3 \rightarrow \Delta B_4$	$\Delta C_3 \rightarrow \Delta C_4$	$P-S$ 曲线越过第 3 拐点到达第 4 拐点, ΔA_1 增长慢, ΔB 、 ΔC 急剧增长, $P_{极} = Q_{pk} + Q_{sk4}$ ($Q_{sk4} \leq Q_{sk, max}$)
第 5 阶段	$P_{极} \rightarrow P_{极} + \Delta P$	$Q_{sk4} \rightarrow Q_{sk5}$	$Q_{pk, max} \rightarrow Q_{pks}$	$\Delta A_4 \rightarrow \Delta A_5$	$\Delta B_4 \rightarrow$ 陡降	$\Delta C_4 \rightarrow$ 陡降	当外荷超过 $P_{极}$ 时, $P-S$ 曲线超过第 4 拐点陡降, 坑底土层屈服, 桩失效

2) 当沉渣质量好(薄、硬且密实)时,可分为以下 3 个阶段⁽¹³⁾

第 1 阶段,与沉渣质量差时的第一阶段相同⁽¹³⁾

第 2 阶段,前期亦与沉渣质量差时相同,但沉渣已经逐渐挤密,总摩阻力 Q_{sk} 增至 $Q_{sk, max}$ 后有所回落,卸掉的荷载由端承力承担⁽¹³⁾ $P-S$ 曲线后期比前期稍陡,但总的来说仍很平缓,直到第 2 拐点⁽¹³⁾

在第 2 拐点处, P_2 即为 $P_{极}$, Q_{pk2} 即为 $Q_{pk, max}$, $P_{极} = Q_{pk, max} + Q_{sk2}$, $Q_{sk2} \leq Q_{sk, max}$ ⁽¹³⁾

第 3 阶段:坑底土层屈服, $P-S$ 曲线超过第 2 拐点陡降⁽¹³⁾

第 2 种情况与第 1 种情况的最大区别在于没有第 3、第 4 拐点⁽¹³⁾但到底属于哪一种情况,

可根据第 2 拐点处端承力的大小来判断⁽¹³⁾两种情况下的 $P-S$ 曲线如图 5、图 6 所示⁽¹³⁾

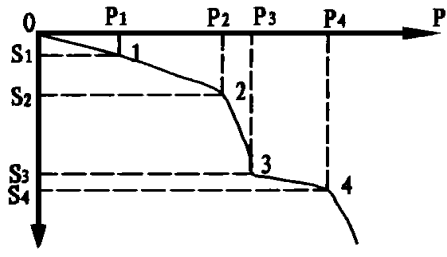


图 5 第 1 种情况 $P-S$ 曲线

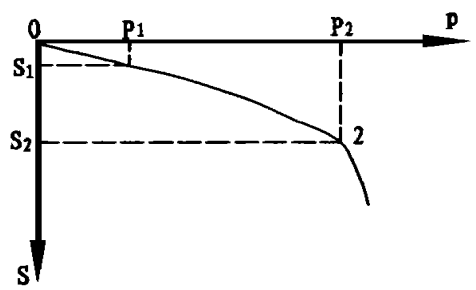


图 6 第 2 种情况 $P-S$ 曲线

上述阶段的划分不是绝对的,时常相互交叉,难以分清到底属于哪一个阶段,但根据上述划分可对长桩受力作定性的分析⁽¹³⁾

2.2 摩擦桩的受力机理

不难理解,摩擦桩的 P 由 $0 \rightarrow P_{\text{极}}$ 的过程就是端承摩擦桩沉渣质量差时的前 2 个阶段所经历的过程,所不同的,一是 $P_{\text{极}} = Q_{\text{sk,max}}$,它所对应的 $P-S$ 曲线上的拐点即为第 2 拐点,超过此拐点, $P-S$ 曲线便进入陡降段,桩随之失效;二是整个第 2 阶段所产生的桩端沉降比端承摩擦桩大⁽¹³⁾

3 单桩竖向承载力设计值的确定

众所周知,钢筋混凝土灌注桩的单桩容许承载力取决于地基强度、桩身强度、变形限值 3 个因素⁽¹³⁾下面分别讨论(在分析一个因素时撇开另外两个因素不谈)⁽¹³⁾

3.1 桩身强度

在实际工程中,桩身强度往往成为单桩承载力的控制因素,如本文的 6 号试桩实际单桩承载力都是由桩身强度决定的,但是桩身质量在设计时却是无法预估的,这就造成一个矛盾;采用计算值怕不安全,为安全而人为降低单承力又担心浪费过大⁽¹³⁾对此,笔者认为,桩身质量是可以通过严格施工管理来控制的,因此设计时可直接取用计算值,同时对施工质量提出严格要求,最后再根据试验结果调整单桩承载力⁽¹³⁾

3.2 变形限值

建筑桩基技术规范 JGJ94-94 规定,根据沉降量确定极限承载力,对于缓变形 $Q-S$ 曲线一般可取 $S = 40 \sim 60 \text{ mm}$,对应的荷载,对于大直径桩可取 $S = 0.03 D \sim 0.06 D$ 所对应的荷载值;对于细长桩可取 $S = 60 \sim 80 \text{ mm}$ ⁽¹³⁾

但是,若沉渣厚度按建筑桩基技术规范 JGJ94-94 规定,端承摩擦桩沉渣厚度应控制在 100 mm 以内,那么在摩阻力尚未完全克服时坑底持力层难以参加工作,外荷绝大部分是由摩阻力抵抗,一旦摩阻力被克服,由于沉渣压缩,桩顶总沉降就会很容易地超过规范 JGJ94-94 规定的限值,坑底土层的强度才发挥了很小的一部分⁽¹³⁾从现在的施工技术来看完全可以将沉渣厚度控制在很小的范围内,如 1.5 号桩所属工程的沉渣厚度大多控制在 5 cm 之内⁽¹³⁾因此,为了充分发挥地基强度,希望在修订新的灌注桩规范时对沉渣厚度能够提出严格的限值⁽¹³⁾

还有一种看法就是长桩受力其摩阻力是主要的,端承力很小,因此可不管沉渣质量,按摩擦桩考虑^[13]这种看法,是由于在严格的变形限制下端承力确实很小^[13]当变形限制放宽以后,这种看法就不尽合理了^[13]

3.3 地基强度

地基强度的确定,则有以下 2 种方法^[13]

1) 试验确定

规范规定,当根据静载试验确定单桩竖向极限承载力标准值时,基桩的竖向承载力设计值为: $R=Q_{sk}/\gamma_{sp}$,此处 $Q_{sk}=P_{\text{极}}$ ^[13]

按静载试验确定承载力,则 $P_{\text{极}}$ 即为前述第 4 或第 2 拐点对应的 P 值^[13]如前所述,对于摩擦桩, $P_{\text{极}}=Q_{sk}$,对于端承摩擦桩, $P_{\text{极}}=Q_{pk}+Q_{sk2}$ ^[13]按此方法,只要按静载试验给出 $P-S$ 曲线,求出前述第 4 或第 2 拐点对应的 P 值,就可很容易地求得单桩竖向的承载力设计值,作为设计依据,或对工程桩的承载力进行抽样检验或评价,此结论曾在笔者所做的几个工程中应用,与规范 JGJ94-94 按沉降量计算的数据相对照,结果表明:前者更能发挥端承摩擦桩的端承力^[13]

2) 公式法

初步设计时估算单桩承载力的公式很多,常用的有灌注桩规范、公路桥涵规范、铁路桥涵规范等^[13]此处不再一一赘述^[13]

4 提高单桩垂直承载力的措施

提高单桩承载力主要体现在确保施工质量上,尤其是泥浆质量方面,具体可采取以下措施:

- 1) 先试成孔,摸清成孔规律,找到最佳的泥浆稠度和合理的施工方法,并通过静载试验的检验(动载试验可作为辅助检测措施),然后再大面积施工^[13]
- 2) 施工完后用动测法逐根检测各桩,确保各桩安全可靠^[13]
- 3) 注意泥浆稠度,既要防止塌孔,又要减轻桩周泥浆的“涂抹”作用^[13]
- 4) 严格控制桩身混凝土质量,导管一定要按规定伸入混凝土内^[13]
- 5) 确保沉渣厚度 ≤ 10 cm,最好控制在 5 cm 以内^[13]
- 6) 适当加大桩长^[13]用此办法提高单桩承载力,往往能得到很好的经济效果^[13]

5 结 论

1) 端承摩擦桩在撇开桩身强度、变形限值的前提下,其外荷由零至极限的过程随着沉渣质量的好坏不同而不同^[13]当沉渣质量好时,这一过程可分为 3 个阶段, $P-S$ 曲线上有 2 个拐点,第 2 拐点对应的外荷即为地基强度的极限^[13]当沉渣质量差时,这一过程可分为 5 个阶段, $P-S$ 曲线上有 4 个拐点,第 4 拐点对应的外荷才是地基强度的极限^[13]

2) 材料强度是确定的,但桩身质量的好坏却决定材料强度的发挥程度^[19]

3) 沉渣质量好坏是影响桩顶总沉降的最主要因素^[19]沉渣厚度可以而且应该控制在 5 cm

以内,由此可大幅度提高地基强度的利用程度¹⁹。

4) 一定深度处土层的地基强度是确定的,但作为端承力,其发挥程度则直接取决于变形限值和沉渣质量¹⁹。

5) 长桩受力摩阻力是主要的,一般在60%以上¹⁹。

6) 灌注桩容许单桩承载力主要取决于施工质量¹⁹。因此,改进施工方法,提高施工质量,就成为提高灌注桩单桩承载力最重要措施¹⁹。

本文是根据长桩的试桩资料进行分析的,上述结论是针对长桩而言¹⁹。但是笔者认为有些结论也适用于短桩,如第4拐点的存在等¹⁹。只是由于没有短桩的试验资料,这里暂且不谈¹⁹。

[参 考 文 献]

[1] 顾晓鲁等著¹⁹地基与基础(第2版)[M]¹⁹。北京:中国建筑出版社,470~490

[2] 沈保汉¹⁹桩基基础测试设计和施工[J]¹⁹。工业建筑,1991,(11):13~18

Determination of Mechanical Properties of Drilled and Surged Pouring Deep Piles as well as Designed Value of Vertical Bearing Capacity

BAI Zhi-qiang

(Surrey and Design Institute, Tunnel Engineering Bureau, Ministry of Railways, Luoyang 471009, China)

Abstract: Mechanical properties of drilled and surged pouring deep piles under the effect of vertical load are analyzed in this article, the determination of designed value of vertical bearing capacity is also discussed. The author not only puts forward different opinions upon technical JGJ⁹⁴ of building pile foundation and some popular viewpoints but also points out the possibility of the existing of "the fourth bend point", at last, suggestions

Key words: drilled deep piles; effect of vertical load; bearing capacity