

桩基础设计中应注意的几个问题

刘红卫

(河北省交通规划设计院)

摘 要:本文对桩基础的承载能力进行了分析,针对《规范》中桩长计算公式进行了分析,同时针对《规范》中未曾深入涉及的负摩阻力和群桩应力现象,进行了较深入的研究,介绍了针对上述影响的计算方法和参考公式。

关键词:单桩承载能力 经验公式 负摩阻力 应力重叠

1 桩基础概述

桩基础作为深基础的一种,它与实体深基础比较,容易适用于不同的施工条件和外荷载情况。通常,当承载力较高的土层埋藏较深,其上为松软土层所覆盖;或河床的冲刷深度较深,以及岩层面很不平整时,均宜采用桩基。但当地基上部为坚实土层,其下为软弱土层时,就不宜采用桩基础,因为打桩后反而把荷载传到下面软弱土层,使基础的沉降增大。

桩基础的作用是将上部结构的荷载,通过较弱地层或水传递到深部较坚硬的压缩性小的土层或岩层,它不仅能有效地利用作用于桩尖的地层阻力和桩周土层的摩阻力来支承竖向荷载和上拔力;还能依靠桩侧土层的侧向阻力支承水平荷载;也可用来减少机器基础的震动和在地震区作为结构的抗震措施。

桩的分类:

(1) 按桩的作用分为摩擦桩(以桩周摩阻力为主)和柱桩(支承桩)(以桩尖支承阻力为主);

(2) 按桩的制作方法分为预制桩和钻(挖)孔灌注桩。

预制桩沉入土中的方法,可以是打入、震入、压入或旋转进入土中。但多以打入土中为主,故又统称打入桩。

打入桩一般用于中密、稍松砂类土和可塑粘性土层;震动下沉桩一般用于砂类土、粘性土和碎石类土;钻孔灌注桩可用于各类土层、岩层,但用于软土、淤泥和可能发生流砂的土层,应注意防止塌孔。挖孔灌注桩一般用于无地下水或少量地下水的土层。

设计一个安全而经济的桩基础,必须分析桩与土的相互作用,了解它的破坏形式。既要检算单

桩的容许承载力,也要检算单桩组成后的群桩桩基的承载力,并估算在荷载作用下桩基发生的水平位移与垂直沉降。即,设计应当符合下列要求:

(1) 对于破坏应当有足够的安全度(对于摩擦桩主要是土体的安全度,对于柱桩主要是桩本身的安全度)。

(2) 应当使位移与沉降适应于上部建筑的正常使用。

2 单桩轴向容许承载力的讨论

2.1 确定单桩轴向容许承载力的各种方法的适用条件

用静载试验方法确定的单桩承载力是较为可靠的,因为静载试验是在施工现场原位进行的,桩的尺寸、构造、入土深度、沉桩方法以及地质条件和荷载性质都接近于实际情况,但由于单桩与群桩的工作条件并不完全相同,利用单桩静载试验需要专门的试验设备,且历时较长,故《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ024-85)(以下简称《规范》)指出“对于特殊大桥,必要时施工前应先做试桩并进行荷载试验”。

经验公式(指《规范》中第4.3.2条的公式)的可靠性,取决于摩阻力和桩尖支承阻力这二个指标的正确性,它们都是根据一定数量的静载试验资料,经统计分析而得,尚能大致符合实际,对于一般工程,可用经验公式进行桩基设计。但经验公式终究是一个为数不够多的静载试验资料的统计平均结果,再加上对土的分类较粗糙,因而不可避免带有局限性,种种试验资料表明,这种公式给出的这二个指标,有时偏离实测值较多,这说明供统计用的资料仍嫌太少,使用时应参照当地的经验进行分析比较,复杂情况,尚需和静载试验加以验证。

现有的打桩(沉桩)公式的计算结果,一般不宜单独的作为设计桩基的依据,这是由于打桩的过程中存在许多复杂的力学问题,现有的打桩公式都未能考虑进去,故必须结合实际经验加以使用,打桩公式的优点是可以根据沉入度指标了解每根桩的承载力,适合于在打桩施工中对每根桩的承载力进行对比检验,也就是说,桩基工程中有几根桩的静载试验资料可作对比标准,则打桩公式就显示出它检验其他桩的承载力的优越性。

用静力或动力触探确定桩的承载力,国内外近年来有很大发展,有许多国家已正式列入规程,预期它能成为一个很有实用价值的方法。

除上述方法外,还有根据土力学理论建立的许多桩的承载力的理论公式,但由于其假定的局限性,往往不能符合复杂多变的实际情况,故在实际工程中很少应用。

2.2 经验公式小评

经验公式的使用很方便,故人们期待它更加完善、准确程度更加提高,重要的一面,显然是积累更多的静载试验资料,来得出更准确的摩阻力和支承阻力指标。然而,桩的破坏机理方面的研究,亦能有助于经验公式的改进,应予以重视。例如,经验公式对摩阻力和支承阻力的安全度的处理不符合桩的实际工作状态。在桩顶荷自零增加至破坏荷载 N_{max} 的过程中,当外荷还不够大、桩与土体之间的相对位移尚小时,外荷主要由摩阻力承担,只是在外荷较大和摩阻力发挥得较充分(例如70%的极限值)以后,支承阻力才开始大量的参与支承外荷的工作,在外荷增加的过程中,摩阻力先达到极限值,支承力后达到极限值。

经验公式的容许承载力 $[N]$ 对极限摩阻力和极限支承力使用相同的安全系数2,这就与桩的实际工作状态不相符合了。举例来说,当摩阻力发挥出其极限值的二分之一时,有可能支承阻力刚刚参与工作,远小于其极限值的二分之一;或者说,当支承阻力发挥出其极极值之一半时,摩阻力可能已接近或达到其极限值。

另外,桩尖沉入持力层的深度不同,其支承阻力是不同的,如图1所示;以及持力层下的软弱土层对土的支承阻力的影响等(如图2),在公式中均未得到全面反映。这样,有时在设计中容易造成浪费或不安全。

还有桩底支承(或嵌入)在岩层上的支承桩,

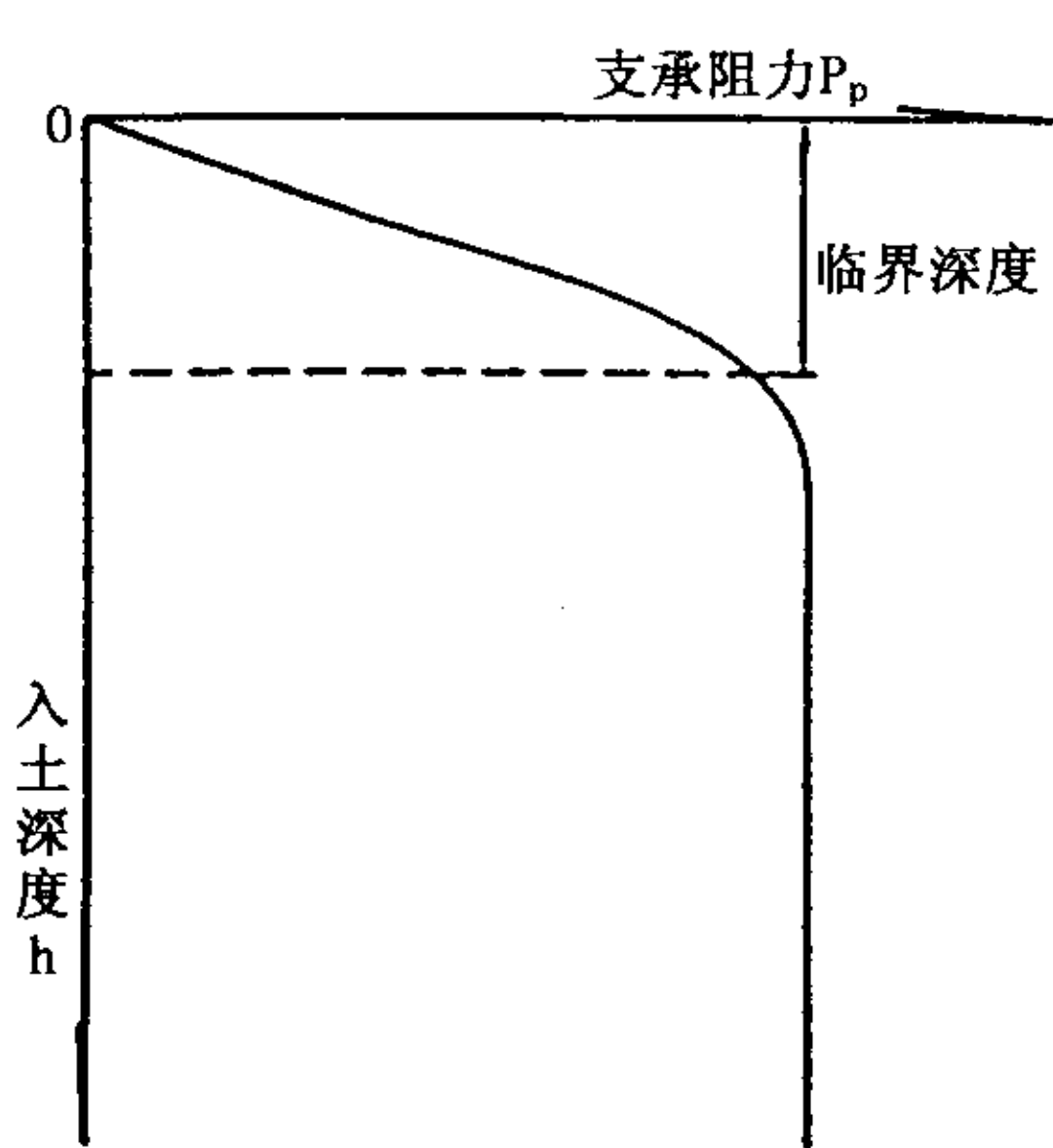


图1 均匀砂土中 P_p 极值随深度的变化

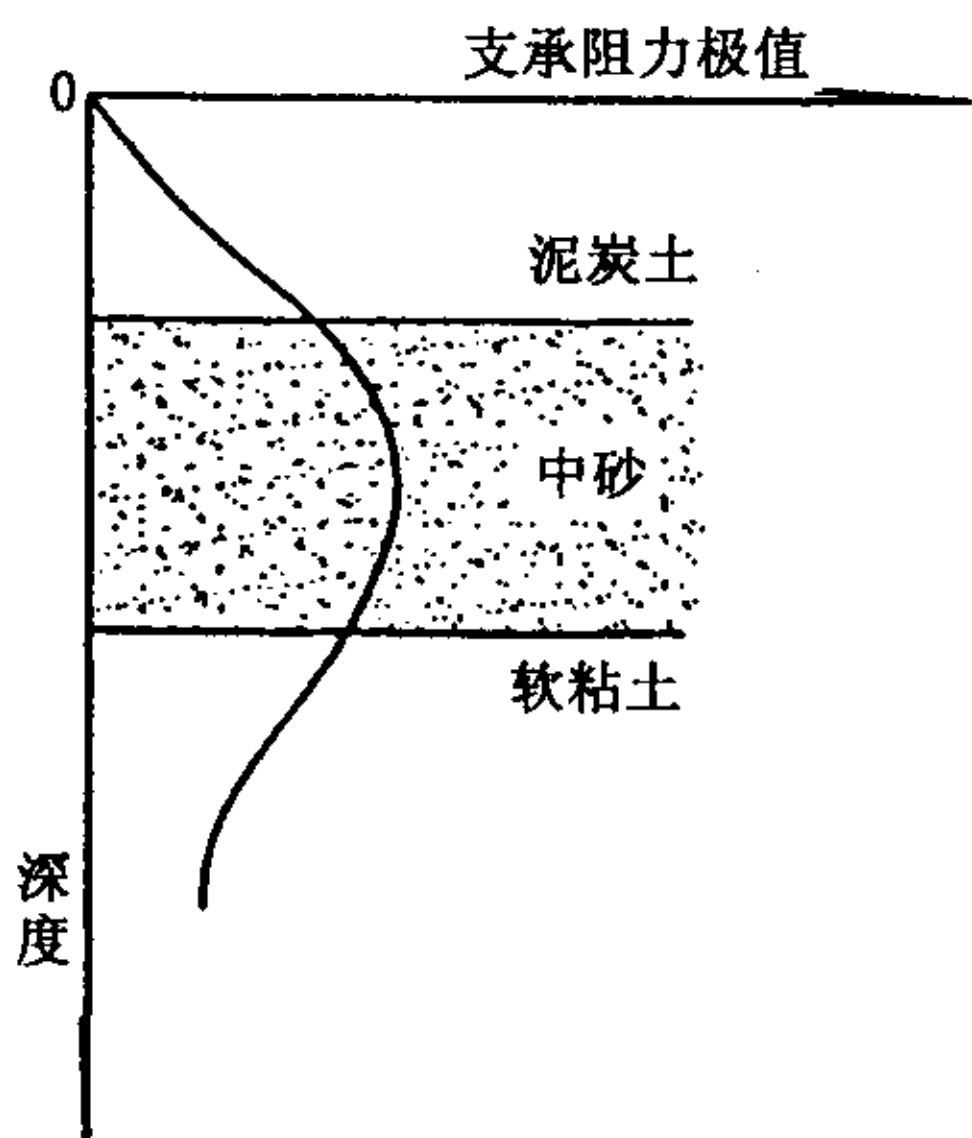


图2 三层地基支承阻力极值随深度的变化

略去桩周土的摩阻力不计,有时也是不恰当的,因为即令岩层变形极小,桩身也有压缩变形,从而引起桩周摩阻力的发挥,何况软质岩还会有一定的压缩量,前已说过,桩周的摩阻力的充分发挥,所需相对位移的量级并不大(6~9 mm),有些支承桩的实测资料表明,在设计荷载作用下,往往桩周摩阻力所占外荷的比例还是不小的,特别是长桩更是如此。因此,不分别情况而笼统地略去摩阻力不计,是不恰当的,特别是 $R < 5 \text{ MPa}$ 的软质岩上的支承长桩,按公式计算容许承载力会低于中等土层中的计入摩阻力时的容许承载力。这显然违背了人们的工程实践知识。

因此,在设计桩基时,应结合场地土的特性,具体分析,不能一律简单地按《规范》给定的经验公式去计算。设计人员应具备分析具体问题的能力。

2.3 关于负表面摩擦力问题

2.3.1 负摩阻力及其产生的条件

作用于桩侧的摩擦力的方向取决于桩和其周围地基土的相对位移情况。如桩的沉降大于地基土的沉降时,地基土对桩侧表面就会产生向上作

用的摩擦阻力,这个力对桩起支承作用,称为正表面摩擦力,即我们常说的桩侧摩阻力;反之,当地基土的沉降大于桩的沉降时,则地基土对桩侧表面就会产生向下作用的摩擦阻力,这个力称为负表面摩擦力(或负摩阻力),见图3。在大多数情况下,桩受到的是正表面摩擦阻力作用,只有在桩周地面造成较大沉降的情况下,桩才会受到负表面摩擦力的作用。

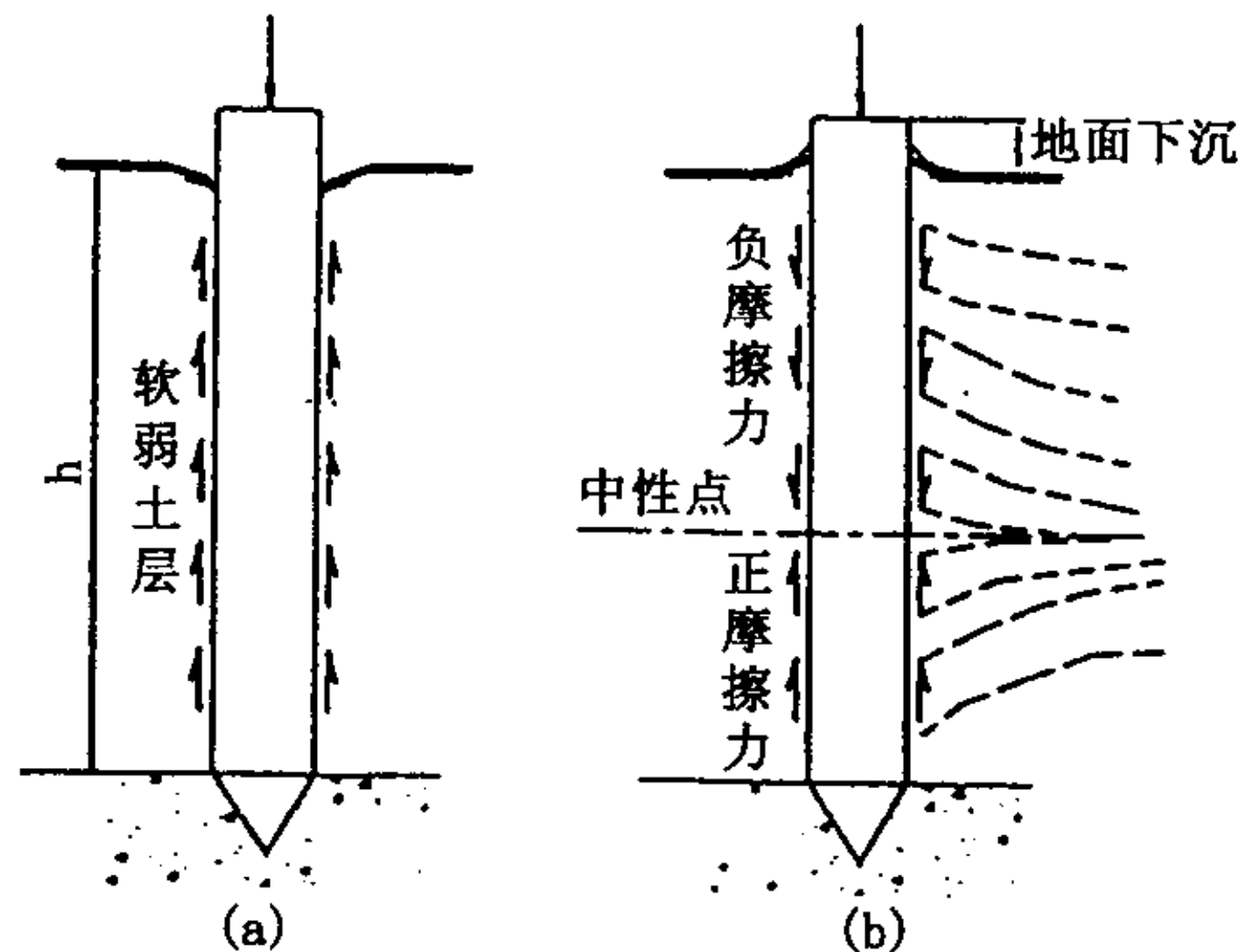


图3 桩的表面正摩擦力与负摩擦力

土通过负表面摩擦力对桩施加的总的向下的拉力称为下拉荷载 R_n ,对桩来说下拉荷载是由桩承担的附加荷载,在某些情况下,下拉荷载的数值极为可观,如果在桩的设计中未作适当考虑,就有可能使桩负荷过大,造成桩基沉降过大。《规范》中第4.3.1条指出“在软土层较厚,持力层较好的地基中,桩基计算应考虑路基填土荷载或地下水位下降所引起的负摩阻力的影响”。但就具体计算负摩阻力的方法,没有明确指出。

当桩埋设在下列的地基中时,就有可能使桩受到下拉荷载的作用,设计时应加以考虑。

- (1) 在未固结的软土或新填土中,由于土层的自重固结而产生地面沉降。
- (2) 桩侧软土层层面荷载有竖向荷载作用(例如桥头路基)而造成地面沉降。
- (3) 场地地下水大量抽降(或自然降落),造成上部软土层的地面沉降。

2.3.2 中性点及其估定方法

如前面分析可知,土与桩的相对位移情况决定作用于桩侧面的摩擦力方向,桩的竖向位移与桩周基土内的竖向位移相等之处,即为中性点位置,如图3(b)所示,中性点以上的桩段受到负表面摩擦力作用,中性点以下的桩段受到正表面摩擦力作用。

按图4,如果地面沉降 S_d 为一定值,则当桩

底端沉降量 S_g 及桩身弹性压缩量 S_e 减小时,中性点就向下移,下位荷载 R_n 增大;反之,当 S_d 、 S_g 增加时,中性点就向上,下拉荷载减小。可见桩尖持力层的刚度(即 S_g 大小)影响中性点的位置,也影响下拉荷载数值的大小,因此,当按变形控制设计桩基时,根据构造物的要求,合理地确定桩基容许沉降量值(不宜过小),对控制下拉荷载的大小,充分发挥桩的承载能力,有着重要的意义。

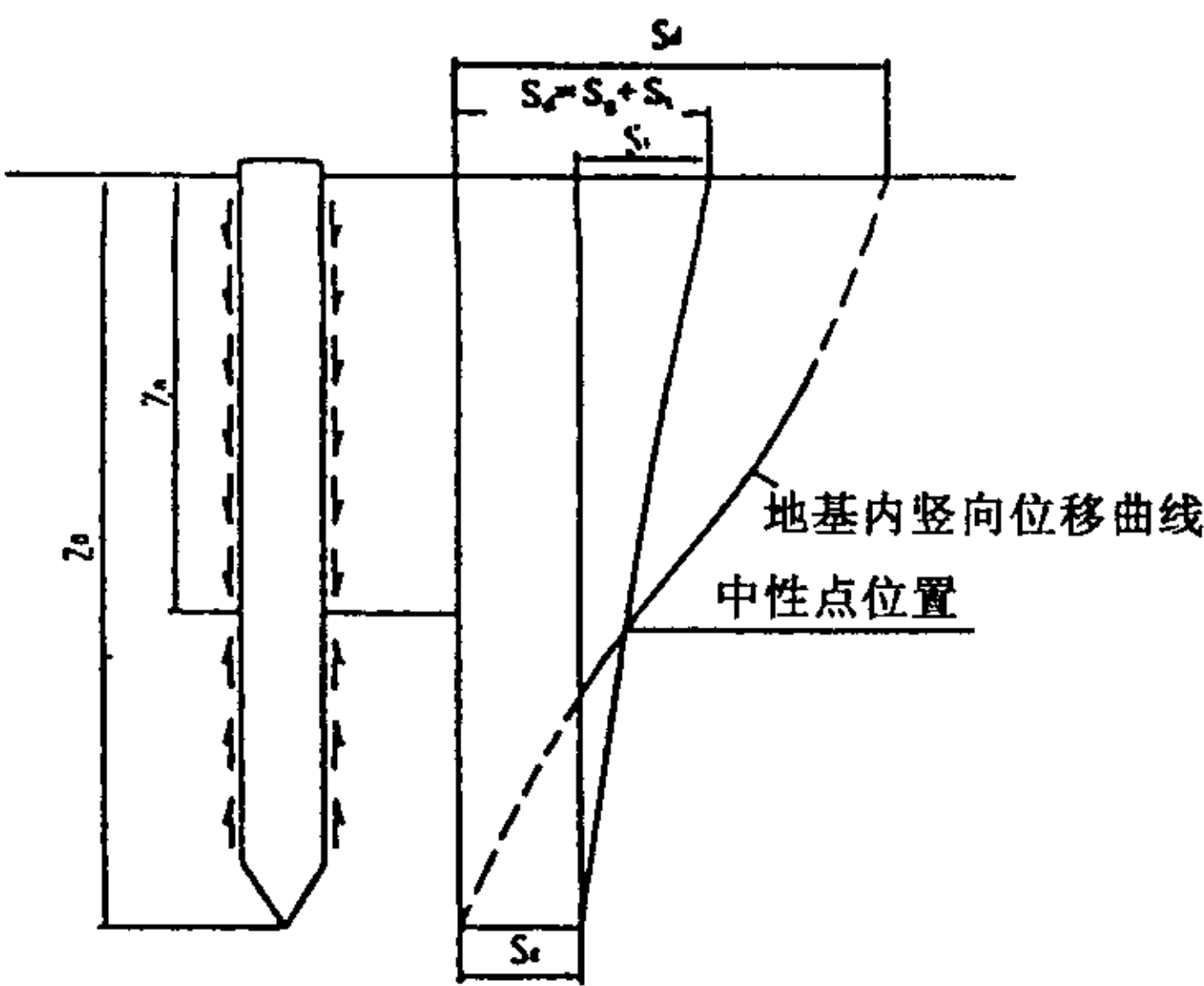


图4 中性点位置

中性点位置的确定,目前在实用上常参照已有的实践经验估定。对柱桩可参考表1。

表1 Z_n/Z_0 比值

桩类别	持力层			
	粘性土、粉土	中密砂层	砂砾层、卵石	岩层
打入桩	0.5~0.6	0.8	0.9	1.0
灌注桩	0.5~0.6	0.8	0.8	0.8

表中: Z_0 ——软压缩土层的厚度(桩周沉降变形土层下限深度)

Z_n ——中性点的估计深度

对摩擦桩则建议采用 $Z_n/Z_0=0.7\sim0.8$ 。

2.3.3 负表面摩擦力的计算

研究桩的负摩阻力,与正摩阻力一样,实质上也是研究土沿桩身的极限抗剪强度或土与桩的粘着力问题,但这个问题很复杂:桩基沉降以及地面沉降的大小、沉降速率、稳定历时等都对负摩阻力的大小有影响。由于地面沉降及桩的沉降都随时间而变化,所以桩与土间的相对位移值也不断变化,因此负摩阻力分布及变化也更为复杂。

在设计桩时,有必要确定负表面摩擦力的最大值,以此求出下拉荷载 R_n 作为作用于桩上的附加荷载。(因为,只要相对位移大约在 $6\sim9\text{ mm}$ 之间,桩与土的摩擦力便可充分发挥,而在产生较大地面沉降地区的桩基工程中,这个条件很容易达

到)

目前比较常用的计算负表面摩擦力的半经验公式是:

$f_n = \beta \times \sigma_v$

式中: σ_v ——上覆土层有效垂直压应力

β ——折减系数(该公式的作者通过一些实例反算得)

在粘土中 $\beta = 0.2 \sim 0.25$

在粉土中 $\beta = 0.25 \sim 0.35$

在砂土中 $\beta = 0.35 \sim 0.5$

有资料采用下面的数据:

在饱和粘土中 $\beta = 0.15 \sim 0.25$

在粘性土、粉土中 $\beta = 0.25 \sim 0.40$

在砂土中 $\beta = 0.35 \sim 0.5$

在自重湿陷性黄土中 $\beta = 0.20 \sim 0.35$

并认为 β 值随土的塑性降低而增大, β 与桩长无关, 但随桩材的粗糙程度增大而增大。有了负摩阻力的计算, 从而下拉荷载 R_n 可由:

$R_n = u \int_0^{Z_n} f_n dZ$ 而得:

式中: u ——桩的周长

Z_n ——中性点的估计深度

软土地区做桥台桩基时, 可事先填筑路基预压, 以减少产生负表面摩擦力的可能性。

3 摩擦桩群桩的应力重叠现象、承载力和沉降的考虑

桩基是由多根桩(群桩)组成, 对于柱桩, 由于桩尖下压力分布面积很小, 各桩底的压力不相互重叠, 各自单独作用, 可以认为群桩承载力等于各单桩的承载力之和(图 5), 其沉降也几乎与各个单桩相同; 摩擦桩在垂直荷载作用下, 群桩的作用和单桩相比就不同了, 图 6 表示的是单桩和群桩在桩尖平面处应力分布示意图。由于摩擦桩主要靠表面摩擦将外荷载传递给土体, 因此桩底的应力分布较柱桩有所扩散。因此, 群桩中各桩传递的应力相互重叠, 致使群桩桩尖处土层受到的压力要比单桩大, 而影响范围要比单桩深(图 7)。

从沉降的角度来分析, 当单桩和群桩中各桩都承受相同荷载 N 时, 很明显, 群桩的沉降要比单桩的大许多。也就是说, 如欲使群桩的沉降小到与单桩的沉降相同, 则必须减少群桩的桩顶荷载。因此, 群桩中各桩的承载力就少于单桩了。可以用

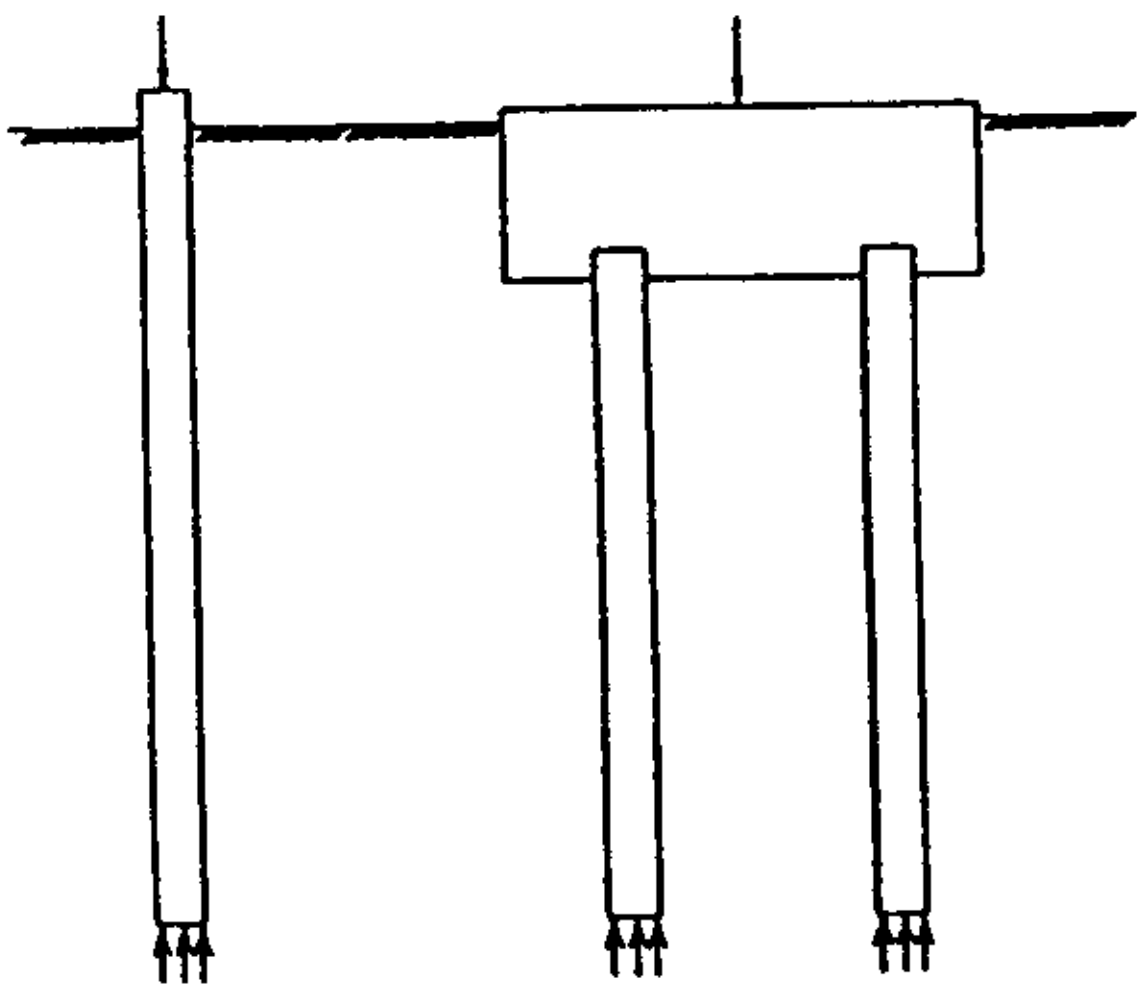


图 5 柱桩桩尖平面的应力分析

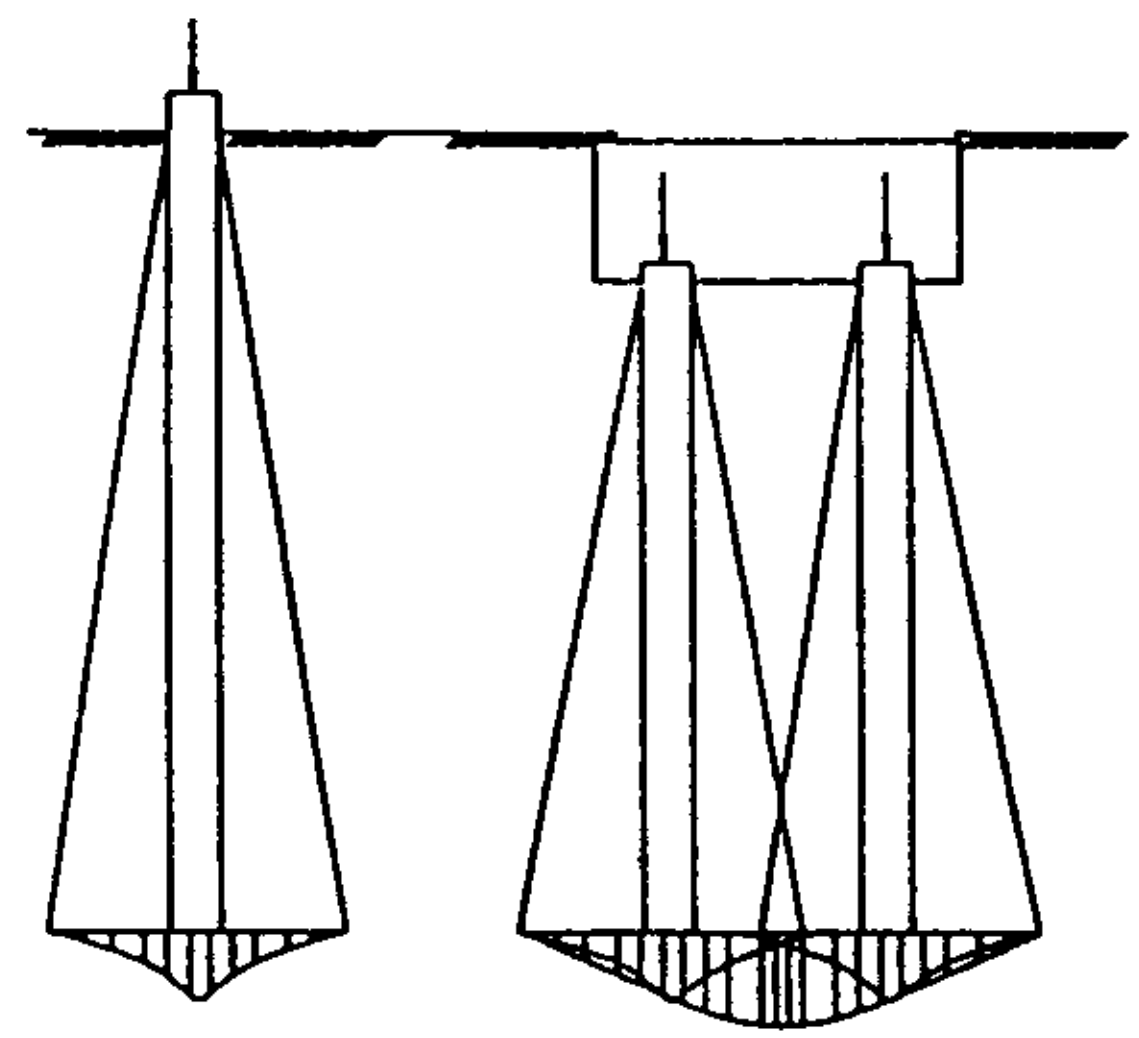


图 6 摩擦桩桩尖平面的应力分布

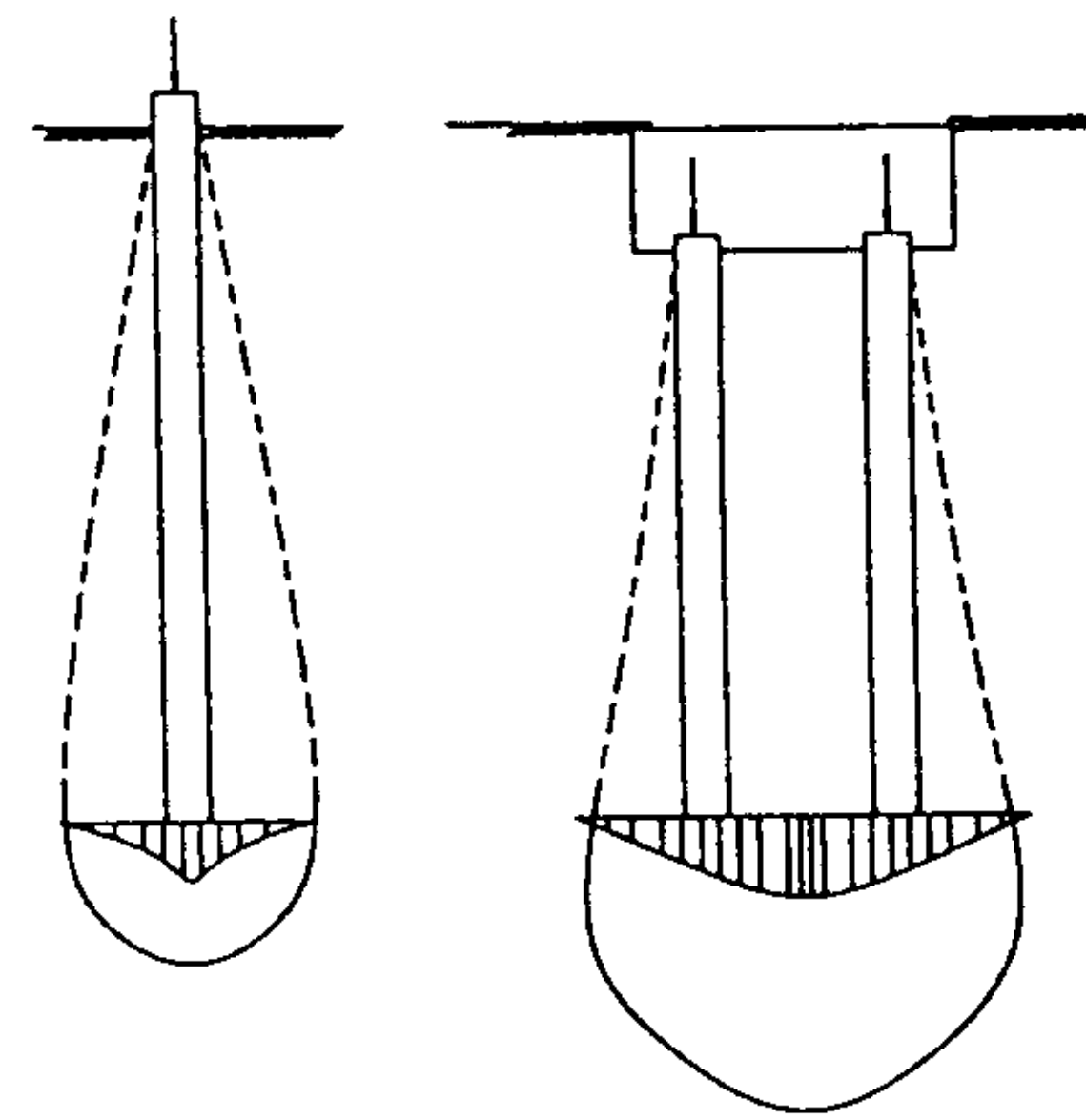


图 7 群桩和单桩应力传布深度比较

下式表达:

$N_{群} = \eta \times n \times N_{单}$

式中: $N_{群}$ ——群桩极限承载力

$N_{单}$ ——独立单桩极限承载力

n ——一个桩列中的桩数

η ——群桩效率折减系数(按下式计算)

$\eta = 1 - \frac{tg^{-1}(d/s)}{90} \times [(n-1)m + (m-1)n] / mn$

式中: d ——桩的直径

s ——桩的中心距

$tg^{-1}(d/s)$ ——以度计

m ——群桩中桩列的数目

显然,桩距愈大(例如大于6倍桩距),这种应力重叠现象将较小,桩距愈小(例如小于3倍桩距),这种应力重叠现象愈严重。在一般桥梁桩基设计中,不会使桩距过大,以致使承台平面尺寸过大,从而增加圬工数量甚至造成施工上的困难,所以,桥梁桩基的摩擦桩群桩,多是处于严重应力重叠状态。因此,在设计群桩时,应考虑群桩的应力重叠现象。

群桩容许承载力的检算在目前多是将桩基当作一个实体基础而检算其地基容许承载力。可按照《规范》第4.3.9条的规定计算。检算群桩沉降时,同样将群桩作为一个实体基础,按浅基础的沉降计算步骤计算其沉降量;并应满足《规范》第3.3.3条的规定。

综上,设计人员在设计桩基时,应正确理解经验公式的来源和含义,对于明显不符合式推导的

土层,提出新的分析方法;应完整理解地质部门提供的钻孔资料,了解整个地质的全貌,切忌以点盖全。应有对钻孔资料提供的数据有分析的能力;在计算易产生负摩阻力的桩基础和群桩基础(包括单排桩)时,计算桩长时,必须计算其影响的大小,如果仅仅任计算的结果,简单地增加桩长,大部分时候,是浪费的,但有时却是不安全的,这样就会使得桩基产生沉降,严重时影响上部结构的使用和安全。由于桩基础的特殊性(一般埋置较深),在其沉降后,相对来说,处理难度会大大增加。一般采用在桩周或桩尖处,压筑水泥或化学浆的办法,提高桩周与土体的摩阻力,增加桩尖处土体的应力值,甚至当应力值足够大时,可使桩向上位移。但处理工艺和难度相当大。故在设计桩基础时,桩长的计算应引起设计人员的重视。

(收稿日期:2000-11-15)

《城市道桥与防洪》编辑部关于开展

企事业单位广告及宣传报道专稿业务的启事

本刊为中国土木工程学会市政工程分会和中国勘察设计协会市政设计分会的刊物。主管单位是建设部,主办单位为上海市政工程设计研究院。本刊为适应我国信息化建设需要,扩大作者与读者的学术、技术交流渠道,促进各企事业单位与用户的联系,已加入《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”。

本刊欢迎国内外各有关企事业单位前来刊登广告及发表宣传报道专稿。

收费标准:

(1)广告:彩色封二、封三、中心页每版(16K、下同)收8000元;彩色插页每版收5000元;黑白插页每版收3000元。

(2)宣传报道专稿:两版(3000字)以内收3000元,每增加一版(1500字)以内加1000元。

“城市道桥与防洪”投稿须知

1. 来稿请署作者真实姓名、工作单位、职务、职称及详细通讯地址、邮编、电话。
2. 文章须写出摘要(100字左右)、关键词(3~8个),正文一般控制在3000~4500字左右。文章题目、摘要、关键词、作者单位,最好有英文译文。
3. 插图清晰,数量尽量少,写出图名,一般要简单示意图,大小适当(少占版面);表中各种量及计量单位一定要填满。
4. 计量单位及表示符号一律按《中华人民共和国法定计量单位》规定;专业术语、各种物理量及参数等,使用现行的国家标准、行业标准和规范,且忌用多个字母构成一个量的符号。
5. 文章内容涉及到国家标准、行业标准、规范规程时,请注意:一定要用新标准、新规范、新规程。
6. 凡撰写工程技术总结的文章,望能提供1~3幅彩色工程照片。
7. 稿件文责由作者(第一作者)自负;对刊用稿件,本刊有权作文字性修改和删节,如不同意,请首先声明。不刊用的稿件,不退稿,请作者自行留底。
8. 因本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”。作者不同意将文章编入该数据库,请投稿时声明。