

结构工程师

结构工程师：

是理论与实践并重的学术性丛刊，以广大土木建筑工程设计、科研、施工的结构工程师为主要读者对象，也是未来的工程师——大学生和研究生以及教师的良好读物。

结构工程师：

提供当前工程界关心的信息，刊登国内外有特色的工程总结、计算机应用、设计规范修订的讨论、最新科研成果、设计参考资料、施工中遇到的结构问题、书评、国内外学术动向等。

结构工程师：

欢迎全国结构工程师订阅与投稿。举凡房屋、桥梁、地下、海洋、能源等各类结构和地基基础、抗震工程、抗风工程及有关的应用力学等方面，都欢迎来稿。

结构工程师：

由同济大学、中国桥梁及结构工程学会、上海市土木工程学会、上海市建筑学会、上海市力学会联合主办，拥有雄厚的智力资源。

结构工程师：

聘请 王达时、刘作霖、孙更生、孙 钧、朱伯龙、朱振德、李国豪
汤纪鸿、郑大同、周礼庠、金成棣、居培荪、钦关淦、俞调梅
俞载道、徐次达、徐植信、翁智远

等为顾问。除常务编委外，由方世敏、甘兰春、任潮军、孙良宏、严宗德、沈祖炎、张连生、张祖巡、赵锡宏、胡学仁、胡瑞华、唐德璋、陶令申、黄鼎业等为编委。（以姓氏笔划为序）

《结构工程师》编辑部

主 编：蒋大骅

常务编委：王 溥 许惟阳 余安东 李治汎 陈寿华 林元培
项海帆 张相庭 侯学渊（以姓氏笔划为序）

责任编辑：司徒妙龄 方 芳 周振毅

编辑 《结构工程师》编辑部
（同济大学出版社内）

主办 同济大学、中国桥梁及结构工程学会
上海市土木工程学会、上海市建筑学会、
上海市力学会

出版 同济大学出版社
（上海四平路 1239 号）

印刷 同济大学印刷厂

发行 新华书店上海发行所

出版日期 1985 年 10 月第 1 版

1985 年 10 月第 1 次印刷

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 5

统一书号 15335·014

科技新书目 107—239

定价 0.75 元

结 构 工程师 (丛刊)

1
1985

• 设计方法研究 •

- 上海地区高层建筑中如何合理选用桩的长度.....徐鼎新(2)
管道支架的合理设计.....高清华(12)

• 结构分析 •

- 框架剪力墙结构的形变迭代法.....朱扬先(21)
高层建筑侧向力分配的实用算法.....严庆征 何宝虹(32)
水电站地下厂房粘弹塑性分析与程序设计
.....孙 钧 张玉生(41)

• 工程抗震 •

- 南黄海地震对上海砌体房屋的影响
.....朱伯龙 吴明舜 程才渊(50)
框架抗震变形能力实用计算方法
.....余安东 张国峰 马云凤 赵建卫(57)
悬浮体系斜张桥的近似抗震计算
.....项海帆 李瑞霖 杨昌众(64)

• 工程介绍 •

- 上海联谊大厦工程简介.....胡其昌 杨莲成(70)
美国得奖工程的介绍.....蒋大骅(73)

• 简 讯 •

- 最近二次国际大跨和空间结构会议简况.....胡学仁(78)
同济大学岩土工程情报资料站介绍.....徐 和(79)
国际会议简讯.....(80)

封面: 上海联谊大厦结构外形

封底: 迪斯奈世界的E PCOT 中心

告 读 者

为了贯彻执行国务院 1984 年 2 月 27 日发布的《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》，本刊将逐步开始使用法定的计量单位。为此，请广大读者和作者给予积极支持。今后向本刊投稿请务必采用法定计量单位。在公式图表和文字叙述中表达量值时，一律采用单位的国际符号，不用单位的中文符号。为了方便现将《建筑结构常用并将逐步取消的单位制单位与法定单位制单位换算关系表》登载（见封 3），供大家参考。

《结构工程师》编辑部

结 构 工程师 (丛刊)

• 设计方法研究 •

- 上海地区高层建筑中如何合理选用桩的长度……徐鼎新(2)
管道支架的合理设计……高清华(12)

• 结构分析 •

- 框架剪力墙结构的形变迭代法……朱扬先(21)
高层建筑侧向力分配的实用算法……严庆征 何宝虹(32)
水电站地下厂房粘弹塑性分析与程序设计
……孙 钧 张玉生(41)

• 工程抗震 •

- 南黄海地震对上海砌体房屋的影响
……朱伯龙 吴明舜 程才渊(50)
框架抗震变形能力实用计算方法
……余安东 张国峰 马云凤 赵建卫(57)
悬浮体系斜张桥的近似抗震计算
……项海帆 李瑞霖 杨昌众(64)

• 工程介绍 •

- 上海联谊大厦工程简介……胡其昌 杨莲成(70)
美国得奖工程的介绍……蒋大骅(73)

• 简 讯 •

- 最近二次国际大跨和空间结构会议简况……胡学仁(78)
同济大学岩土工程情报资料站介绍……徐 和(79)
国际会议简讯……(80)

封面：上海联谊大厦结构外形

封底：迪斯奈世界的E PCOT 中心

告 读 者

为了贯彻执行国务院 1984 年 2 月 27 日发布的《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》，本刊将逐步开始使用法定的计量单位。为此，请广大读者和作者给予积极支持。今后向本刊投稿请务必采用法定计量单位。在公式图表和文字叙述中表达量值时，一律采用单位的国际符号，不用单位的中文符号。为了方便现将《建筑结构常用并将逐步取消的单位制单位与法定单位制单位换算关系表》登载（见封 3），供大家参考。

《结构工程师》编辑部

上海地区高层建筑中 如何合理选用桩的长度

徐鼎新

前 言

近年来,上海地区的高层建筑发展很快,而高层建筑的基础型式也较多。有的采用补偿式箱形基础,有的用桩基,也有用筏基加桩基、箱基加桩基等型式。至于桩的设计与持力层的选择也有多种情况:有以浅埋于地表下的砂层为持力层的短桩(约8米长),有以暗绿色亚粘土硬层为持力层的中长桩(长度约在25米左右),也有以深埋于地表下的砂层为持力层的长桩(长度约在28米以上)。1984年上海还出现了55米长的钢管桩和60米长的高强预应力混凝土空心方桩,这样的桩称得上是超长桩了,虽然目前用得不多,但是今后上海要建40层以上的超高层建筑的话,桩基础必定要向长桩、超长桩方向发展。过去,上海地区采用的桩基,绝大多数是把暗绿色硬土层作为持力层,桩长一般约为25米左右,由于房屋建成后,使用情况较好,设计人员采用这种中长桩后也就比较放心,在很长一个时期以来,中长桩型式逐渐成为传统的做法,也可说它在设计人员的思想上形成了较为固定的概念。另外还有一

种概念,认为桩基造价比箱形基础高。其实不然,实践证明,有些工程桩基的造价与箱形基础的造价基本相同,但是桩基的沉降量要小得多,这对邻近房屋的影响来说确实至关重要。特别是在上海市区房屋密集的情况下要新建较高的大楼,采用桩基是有现实意义的。当然,在打桩过程中的振动影响,土壤的排挤等可对邻近房屋造成损坏,但可预先采取措施来消除或减小至最低限度内。近年来,随着科学技术的发展,我国的钻探设备能力与打桩设备能力都有所改进与提高,钻探深度与打桩的深度都在增加。某些工程就采用穿透暗绿色硬层并进入其下卧的粉砂层或者是褐黄色亚砂土的长桩(28米以上),已经取得了显著的经济效益,使用情况也很好。这种长桩也就越来越引起设计人员的兴趣和重视,并予采用。

对于一个具体的高层建筑来说,要考虑其所处场地的具体地质情况,其沉降对邻近房屋的影响,以及其他条件和要求,通过综合分析以后,才能判断采用哪一种基础型式(包括桩基及桩的长度等)为最合适。特别是上海属软土地区,有些工地的地质情况较复杂,仅就桩基来说,如何选择最合理的桩长,确实是一个很重要的问题,也是值得设计人员深入研究的问题。

一、上海地区可以作为桩基 持力层的土层分布概况

设计方法研究



* 徐鼎新: 同济大学

在上海市区内,较多地区的地表下 25 米左右处有一层暗绿色亚粘土层(即俗称硬土层),按传统做法都将该层作为桩的持力层,桩尖穿过很厚的淤泥质粘土或淤泥质亚粘土后进入暗绿色硬土层内一定的深度。有的地区在暗绿色硬土层下尚下卧一层粉砂层,这对上海高层建筑采用桩基的工程来说,是一层很好的持力层。有的地区则没有或者仅有很薄的一层不能作为持力层的暗绿色硬土层,而在地表下 50 米处则出现了可以作为持力层的细粉砂层。有的地区,在暗绿色亚粘土下,尚下卧一层草黄色、褐黄色亚粘土,再下面是粉砂层。又如在虹桥宾馆的场地内,在地表下 60 米深处才见到暗绿色亚粘土。此外,上海部分地区内,在地表下 8 米左右就出现很厚的(8 米至 9 米)砂层,而同时在该处地表下 25 米左右处又出现了暗绿色硬土层。由此可见,上海软土地层的构成状况还是较复杂的。

二、持力层的选择实例介绍

永兴路 20 层高层住宅地质情况

表 1

序号	土层名称	地层起止深度 (米)	压缩系数 α_{1-2} (平方厘米/公斤)	压缩模量 E_{1-2} (公斤/平方厘米)	含水量 W%	孔隙比 e
0	填土	0~1.0				
1	褐黄色亚粘土(中等压缩)	1.0~3.0				
2	褐灰~灰轻亚粘土(中等压缩)	3.0~7.5	0.043	48.1	40	1.14
3	灰色粉细砂(中密)	7.5~16.5	0.0135	131.8	23.8	0.815
4	灰色亚粘土(中等压缩性)	16.5~25	0.046	43.78	35.7	1.034
5	暗绿色粘土(中等压缩性)	25~29	0.0173	95.6	25	0.703
6	褐黄色亚砂土(中密)	29~42.5	0.016	119.3	33.2	0.939

由表 1 可知,永兴路工程在地表下约 7.5 米处有一层厚度达 9 米的灰色粉细砂(中密),内摩擦角 $\phi = 26^\circ$,静力触探的结果表明:该层的比贯入阻力平均值 $\bar{P}_s$ 为 70,而第 5 层的暗绿色粘土(即俗称硬土层)的比贯入阻力平均值 $\bar{P}_s$ 仅为 20。因此,9 米厚的这一层浅埋灰色粉细砂对桩来说是一层不可多得的很好的持力层。经研究,设计人员就摒弃了把桩打至暗绿色粘土层的传统做法,决定采用打入该处粉砂层内 2.5 米深的短桩。桩的几何尺寸为 $450 \times 450 \times 800mm$ 。

如果在一个工地上,既有暗绿色硬土层又同时在其下还有粉砂层,或者,有浅埋的粉砂层的同时又在其较深处(约地表下 25 米左右)有着暗绿色硬土层时,那末,对整个工程来说,选择最合适的桩长是一个很重要的设计原则问题,它既对工程造价与施工工期有很大影响,对整个建筑物的整体稳定、沉降量、安全度、以及对相邻房屋的影响等,都起着很大的作用。仅就造价来说,实践证明,在一幢万余平方米的高层住宅的工程造价中,桩基部分的造价可占总造价的 15% 左右。可见桩基持力层的选择与桩基的设计合理与否,对总的造价来说,影响很大。

今将上海地区近年来已建成的工程中采用不同持力层的桩基情况概略地介绍于后:

1. 桩类以浅层砂土为持力层的例子
(短桩)

上海民用建筑设计院设计的永兴路 20 层高层住宅采用短桩方案。其地质情况见表 1。

同时由于该层下面尚有一层压缩性较大的灰色亚粘土,其厚度也达到 8.5 米,估计建筑物建成后,沉降会大一些,因此,设计人员在决定房屋的室内外标高差的时候,已经考虑到这一因素而予放大。

在决定永兴路高层住宅采用短桩的方案时要考虑的问题是:(1)单桩承载力的确定;(2)最终沉降量的控制值;(3)整个房屋沉降是否均匀等。

单桩承载力的确定与最终沉降量的控制值都可通过试桩结果来判断,设计人员也确

实是这样做的。要保持整个房屋的均匀沉降还得从地质资料、上层结构布局、结构刚度、荷载分布等各方面来全面地加以考虑并采取有效的措施来加以保证。实践证明,原设计在上述各方面都考虑得较好。

2. 桩尖穿过浅层砂土(或无浅层砂土),以暗绿色亚粘土为持力层的例子(中长桩)

上海工业建筑设计院设计的隐砂路万吨冷库工程:在该工程场地范围内,地表下约6至9米处卧有一层厚度为4.7至6.4米的淤泥质亚砂土、粉砂层(含水量为29.4%,孔隙比为0.87,压缩系数 $\alpha_{1-2}=0.014$)。但在地表下24米左右出现暗绿色硬土层(厚度为0.6~0.7米),在其下又有一层厚度为2.3~2.7米的褐黄色亚粘土硬土层。设计人员采用截面为450×450mm、长度为24200mm的钢筋混凝土桩(混凝土标号为300号)。由于事先对该处浅层的粉砂层的阻力估计不足,以至打桩时发生麻烦。共有77根桩被打断。原因很多,其中最主要的原因之一是浅层砂的厚度较厚,且比较均匀,因此要把桩打穿这层砂层在当时是有困难的。另外,由于砂层浅,当桩打入该层时,露在地面以上的桩身还很长,以至桩的细长比较大,桩

的承载能力大为降低,加上桩本身的制作质量又有欠缺,在10吨汽锤的打击下,桩就发生断裂。根据当时断桩情况来看,发生断桩时桩尖已快穿过砂层。由静力触探资料查知该处浅层砂的比贯入阻力 P_s 的平均值为60至65公斤/平方厘米(根据有关人员提供情况,发生断桩处的 P_s 值已达到75 kg/cm²)。从这个工程的情况来看,该处浅层砂的比贯入阻力 P_s 值较高,比一般暗绿色硬土层的 P_s 值高出一倍以上,也就向设计人员提出一个问题,即象这样厚度的浅层砂层是否也可以被用作桩的持力层呢?如果可以的话,桩的长度可以大大缩短,至于这种短桩最终的沉降量的估算与控制,承载力的选用都是可以通过试桩情况来加以解决的,根据永兴路高层住宅的经验,这个问题是值得探讨的。

为了说明问题,再介绍一个例子,即上海市民用建筑设计院设计的乌镇路20层住宅,它和永兴路的20层高层住宅的建筑设计完全一样。虽然两者相距仅300米左右,可是由于地基的不同情况而采用了不同的桩基设计。两者地质土层分布虽相近,但经过仔细分析后,发现两处同样是砂层,但它们的物理一力学指标却有很大区别。今将乌镇路高层(20层)地质资料摘录于表2内,以资比较。

乌镇路20层高层住宅地质物理一力学指标摘录

表2

序号	土层名称	地层起止深度 (米)	压缩系数 α_{1-2} (平方厘米/公斤)	压缩模量 E_{1-2} (公斤/平方厘米)	含水量 W%	孔隙比 e
0	填土	0~1.5				
1	灰色亚粘土(中等压缩性)	1.5~5.2	0.032	62.5	38.1	1.06
2	灰色亚砂土(松散)	1.5~10.4	0.029	72.1	34.3	0.995
3	灰色亚粘土(中等压缩性)	7.0~9.3	0.021	90.2	32.5	0.93
4	灰色粘土(流塑、高压缩性)	9.3~21.7	0.085	28.7	46.5	1.283
5	灰色亚粘土(中等压缩性)	19.8~25.7	0.034	56.9	33	0.977
6	暗绿色粘土(中等压缩性)	25.7~29.4	0.019	87.6	22.2	0.667

从表2中可看到,乌镇路20层高层住宅的工地上,在地表下5.2米深处有一层厚度9米的灰色亚砂土,它虽然是砂土,但呈松散状,其压缩系数(0.029)亦较高,压缩模量在砂性类土中亦是较低的,含水量也高,

孔隙比也较大,相比之下,在地表下约26米处的一层暗绿色粘土的物理一力学指标比浅层的灰色亚砂土的情况要好得多(见表2)。因此,设计人员就没有利用浅层的亚砂土,而是采用打入暗绿色粘土层内的中长桩。根

据暗绿色粘土层的埋深不同, 桩的几何尺寸共选用 $450 \times 450 \times 24500\text{mm}$ 与 $450 \times 450 \times 25500\text{mm}$ 两种规格。

虽然乌镇路高层采用传统的中长桩做法, 但要考虑的问题是如何把桩打穿 9 米厚的灰色亚砂土层。正如前述, 这层砂土虽然较松散, 但厚度却很厚, 要打穿这层土存在一定难度。在上海某些工程中遇到浅层砂时, 往往发生桩被打断的情况 (如隐砂路万吨冷库工程就有此经验教训), 使工程进度受到影响, 甚至要修改原有设计。当时乌镇路高层住宅采用 K35 型柴油锤就顺利地把桩打穿这样厚的砂土层, 并达到设计标高。这对以后桩基的设计是有参考价值的。

另外, 再介绍一个类似的实例, 即华东建筑设计院设计的上海市第二建筑工程公司四平路高层住宅, 采用的是 $450 \times 450 \times 26000\text{mm}$ 中长桩, *300 级混凝土。该场地在地

表下 6 米处出现 6 米厚的砂层 ($W = 33.5\%$, $e = 0.99$, α_{1-2} 缺, $E_{1-2} = 94.5\text{kg/cm}^2$, $\phi = 25^\circ$, $\bar{P}_s = 61.8\text{kg/cm}^2$), 该工程于 1983 年 8 月 8 日开始打桩, 当时采用 K35 柴油机锤, 起初还较顺利, 及至 1983 年 8 月 25 日发生桩打不下去并有 4 根桩被打断的情况。经有关各方开会研究, 决定改用 K-45 柴油机锤打桩, 就非常顺利地把其余的桩都打至设计标高, 每根桩的总锤击数约在 1000 次以下。因此, 从上列两个例子来看, 浅层砂能否被打穿, 要看桩本身的设计与施工质量、砂层厚度及其物理—力学指标如何、比贯入阻力 P_s 值的大小如何, 柴油机锤的吨位选用是否适当。

现在把穿过浅层砂层而打入暗绿色硬土层的几个工程的地质概况与使用的打桩机及锤的型号归纳于表 3 中, 俾作参考。

表 3

工程名称	被打穿的浅层砂层		砂层的物理—力学指标					采用的打桩机与落锤型号
	天然地面下起止深度 (米)	厚度 (米)	含水量 $W\%$	孔隙比 e	压缩系数 α_{1-2} (平方厘米/公斤)	内摩擦角 ϕ	比阻力贯入 $\bar{P}_s$	
隐砂路冷库	起 5.13~7.31 止 11.88~12.91	4.70~6.4	29.4	0.87	0.014	26.5	65 (75)	10 ⁺ 蒸汽锤
乌镇路高层	1.5~10.4	8.9	34.3	0.995	0.029			K35 柴油机锤
上海市第二建筑工程公司四平路高层住宅	6	约 6 米	33.5	0.99		25	61.8	先用 K35 柴油机锤, 部分桩被打断, 未能穿过砂层, 后改用 K45 柴油机锤桩全部被打至设计标高

注: () 中数字系由有关人员提供。

由于地质情况复杂多变, 取土样时的操作情况又会直接影响到土壤的物理—力学指标, 桩的混凝土标号及其实际的制作质量等因素, 都会在把桩打入砂层的过程中有所反映, 但其中最主要的因素应该是砂层本身的厚度、埋深、与其物理—力学指标。特别是目前已有静力触探的手段, 较能准确地反映出土壤的性质, 从而可以判断采用哪种类型打桩机与落锤吨位来把桩打穿砂层。表 3 中资料只能提供一些线索而已, 尚须大量地积累有关的数据与实践经验, 俾可指导今后的桩基设计。

目前, 永兴路 20 层高层住宅与乌镇路 20 层高层住宅都已建成, 情况良好。根据上海

市民用建筑设计院冯克康工程师提供的情况: 截至 1984 年上半年为止, 采用短桩的永兴路高层住宅的总沉降量最大约 18 厘米; 采用中长桩的乌镇路 20 层高层住宅的总沉降量为 9 厘米。当时设计人员考虑到两者地基情况的不同, 采用不同的桩基设计, 并在决定这两幢房屋的室内标高差的时候也取了不同数值。永兴路高层的室内外标高差定为 1.4 米 (考虑到浅埋砂土层下的弱卧层影响), 而乌镇路高层的室内外标高差定为 1.2 米。可见, 实际情况符合原来的估计。

3. 桩尖穿过暗绿色亚粘土 (硬层) 并进入其下卧层粉砂的例子 (长桩)

某些工地的地表下24~25米处确有暗绿色硬土层,并在其下还有粉砂层或者褐黄色亚砂土之类的土层。由于暗绿色硬土层的物理—力学指标不是很好且其厚度也不太厚,譬如说约4米左右,若按一般把暗绿色硬土层用作桩的持力层的传统做法,则桩的承载能力就较低,有时会导致基础承台变成筏基,桩的根数既多又密,还会发生桩打不下去的困难,并造成设计上的不经济。假如把桩加长4米~5米后打穿这层暗绿色硬土层并进入到砂层内一定的深度时,已有的试桩经验证明,桩的承载力可大大提高,甚至可以提高一倍或一倍以上。在这种情况下,桩的根数大为减少,原来的多排群桩可改为单排桩,承台结构型式与尺寸亦随之改变,从而节约大量的混凝土,钢筋用量在某些情况下也有可能节约。同时,那种由于桩数太多而发生桩打不下去的困难情况几乎可以避免;打桩的工作量与施工工程量都大为减少,工期可以缩短,桩的堆放场地也可缩小,还节约了很大一部分工程造价。此外,房屋建成后,长桩总的沉降量也将较一般中长桩的沉降量小,因此产生了很好的经济效益。长白新村高层住宅的桩基设计就是这样一个很好的例子。

今再介绍其他几个长桩实例的情况如下:

上海工业建筑设计院设计的上海农资公司化肥仓库(在吴泾)。第一次桩基设计是把地表下24米处的暗绿色亚粘土(硬层)作为持力层的。选用 $450 \times 450 \times 25300\text{mm}$ 中长桩。可是这层暗绿色亚粘土在其同类土中相比较的话,其压缩系数较高,孔隙比也较大。因此,这时相应的单桩容许承载力较低, $N_{容许} = 80$ 吨/根。当时整个工程的桩的总根数是较多的。后设计人员与基础公司结合,建议桩尖置于粉砂层上,以提高承载力。经过分析比较,改用 $450 \times 450 \times 32200\text{mm}$ (分两节)长桩,将桩打穿暗绿色硬土层并进入砂层70厘米深,单桩容许承载力取用135吨/根。比原来提高了70%。这样一来,在一般情况下,每根柱下只有2根(纵向边柱下)或3根桩(中柱下),因而取得了较为经济的效果。

类似上述情况,把桩打穿暗绿色亚粘土或褐黄、褐灰亚粘土或粘土层并进入粉砂层的工程还有上海金山石油化工总厂化工一厂

常压塔,金山石油化工总厂塑料厂,长白新村西区、部分中区与东区的高层住宅(包括无砂混凝土高层住宅)等工程。现将这几个工程的土层的部分物理—力学指标、所用桩长、打桩机及锤的型号等情况列于表4内,以供参考。

三、目前采用长桩的可行性

采用长桩,优点不少。但是对于打桩设备的能力,制桩质量等方面都提出更高的要求,就目前上海打桩单位所拥有的打桩设备,以及施工质量所达到的水平而言,在长白新村高层、虹桥宾馆、联谊大厦(钢管桩)、华亭饭店等工程中,已经显示了上海地区高层建筑采用长桩(约30米)及超长桩(60米)完全是可能的。一般30米左右的长桩,不必采用很大的打桩机,但应根据被打穿的暗绿色亚粘土或亚砂土的土层厚度及相应的比贯入阻力值 P_s 的大小来决定打桩机的型号及锤重。今收集到上海采用长桩的一些工程的被打穿的硬土层或亚砂土的比贯入阻力值与相应的打桩机型号及锤重情况列于表5内,以供今后需要采用长桩及超长桩的工程有所参考。

四、中长桩(传统做法)和长桩的经济比较

今选用长白新村西区15层曲尺形高层住宅(包括半地下室)的实例来说明问题。

该高层的结构体系为纯框架结构。总高度为地面以上41.90米,局部为43.74米。建筑面为13156平方米。初步设计时,对基础设计进行了方案比较,最后决定采用以暗绿色亚粘土为持力层的桩基方案,桩尖设在绝对标高-22.67米处,桩长23.8米。桩截面为 $450 \times 450\text{mm}$ 。单桩容许承载力为68吨/根(按上海市地基设计规范与静力触探公式两种方法估算)。即使以单桩容许承载力为70吨/根来计算,每榀标准框架共需16根桩。桩位布置图见图1(a)。显而易见桩的根数较多,桩承台的尺寸亦较大。当时希望能将桩的承载力提高以减少桩数。这可有两条途径,其一是增大桩的截面,亦即增加桩的周长;其二是增长桩的长度。第一种方法

钢筋混凝土桩打穿暗绿色粘土层并进入粉砂层的工程实例及地质情况

表 4

工程名称	土层名称	土层厚度 m	桩尖进入深度 m	含水量 $W\%$	容重 γ g/cm^3	比重 G	孔隙比 e	塑性指数 I_p	压缩系数 a_{1-2} cm^2/kg	压缩模量 E_s kg/cm^2	内摩擦角 ϕ°	内聚力 c kg/cm^2	$P_{1/4}$ t/m^2	桩几何尺寸 的 $b \times h \times l$ (mm)	锤的型号及吨位
上海农资公司 化肥仓库 (吴泾)	暗绿色亚粘土	2.2~4	打穿	24.8	1.94	2.72	0.75	17	0.024		9.5	0.43	22	$450 \times 450 \times 32200$	10 ^t 蒸汽锤
	草黄亚粘土	4	打穿	26	1.93	2.72	0.78	12.1	0.02		19	0.027	20		
	粉砂(持力层)		0.70	33			0.97		0.018						
上海金山石油 化工总厂化工 一厂常压塔	暗绿色亚粘土	1.8	打穿	33.7	1.87		0.95	14.9	0.026					$450 \times 450 \times 32500$	10 ^t 蒸汽锤**
	黄褐色轻亚粘土*	2.7	打穿	34	1.83		0.97	9.1	0.015						
	灰色粉砂(持力层)	9.5	1.0	30.6	1.82		0.89				26				
金山石油化工 总厂塑料厂	灰绿色亚粘土	1.2	打穿	25.4	2.02		0.7	19	0.017					$450 \times 450 \times 31000$	10 ^t 单动蒸汽锤**
	褐黄色轻亚粘土*	3.66	打至底层												
	粉砂(持力层)			30.3	1.87		0.87		0.012						
长白新村西区高 层住宅(15层)	暗绿色亚粘土	3.5~4.4	打穿	23.6	1.98		0.70		0.024	70.8	12	0.27	19	$450 \times 450 \times 28200$	IDH45 柴油机锤
	褐黄、褐灰亚粘土~轻亚粘土夹薄层粉砂(持力层)	5.8~8.7	0.6	30.2	1.89	2.71	0.87	10.3	0.015	125	21	0.08	14=[R]		
	暗绿色亚粘土	1.85~3.0	打穿	23.7	1.99	2.72	0.69	13.8	0.025	66	12.5	0.28	18		
长白新村中区 高层住宅*7房 (12层)	草黄褐黄亚粘土	2.8~4.4	打穿	25	1.97	2.72	0.73	13.5	0.019	97	19	0.15	20	$450 \times 450 \times 27700$	10 ^t 蒸汽锤 B20*
	灰~青灰亚粘土~轻亚粘土夹薄层粉砂(持力层)	5.75~7.90	0.6	29.2	1.91	2.71	0.83	9.3	0.018	117	21	0.07	14=[R]		

* 该黄褐色轻亚粘土夹有亚砂土及粉砂。

** 该 10^t 单动蒸汽锤活动部分为 8.5'。

[R]——地基土强度 (t/m^2)。

被打穿的土层的比贯入阻力值与相应的打桩机型号及锤的吨位 表5

工程名称	被打穿的土层名	土层厚度 m	比贯入阻力值 P_s kg/cm^2	桩的几何尺寸 mm	打桩机型号及锤的 吨位 t
上海农资公司 化肥仓库 (吴泾)	暗绿色亚粘土	2.2~4	25	450×450 ×32200	10t 蒸汽锤
	草黄亚粘土	4	30~40		
上海金山石油化工 总厂化工一厂 常压塔	暗绿色亚粘土	1.8	45	450×450 ×32500	10t 蒸汽锤 (活动部分 8.5t)
	黄褐色轻亚粘土 夹亚砂土及粉砂	2.7	110		
金山石油化工总厂 塑料厂	灰绿色亚粘土	1.2	35	450×450 ×31000	10t 蒸汽锤 (活动部分 8.5t)
	褐黄色轻亚粘土 夹亚砂土及粉砂 (桩尖打至层底)	3.66	90		
长白新村西区高层住宅 (15层)	暗绿色亚粘土	3.5~4.4	21.8~26	450×450 ×28200	IDH45 柴油机锤
长白新村中区 高层住宅 *7 房 (12层)	暗绿色亚粘土	1.85~3.0	23.1(场区平均值)	450×450 ×27700	10t 蒸汽锤
	草黄、褐黄亚粘土 (夹砂)	2.8~4.4	31.3(场区平均值)		
虹桥宾馆	灰色亚砂土	约4(深50m)	74.9~112.4	500×500 ×60000	MH 7.2B 型

不合算,理由是:以 450×450mm 的桩为例,当将断面增大为 500×500mm 时,周长仅增加 11%,这意味着桩的承载力中的摩阻力部分可以增加 11%,而截面积增加了 23.5%后,桩的尖端承载力部分也就可以增加 23.5%。上海地区打入式钢筋混凝土桩的尖端承载力一般只占桩的总承载力的 30% (长白新村工程亦然)。因此,桩的断面增大后,桩的总承载力只提高 14.8%,而混凝土的体积 (仅桩本身) 将增加 23.5%。显然非上策也。第二种方法即增加桩的长度来提高桩的承载力,一般来说是较为合理的。根据经验,当桩在暗绿色的硬土层内的长度 (中长桩) 增加 4 至 5 米时,桩的承载力可提高 50% 以上,而桩的混凝土用量仅增加约 16%~20%。

如果桩因加长后又进入砂层 (它就在暗绿色硬土层下) 内一定深度时,桩的总承载力可增加将近一倍或一倍以上。当然,这还得看持力层 (砂层) 的厚度及其下卧层的情况如何,才能判断这一途径的可能性和经济合理性。根据长白新村西区补钻的静力触探资料,证实暗绿色亚粘土下面约有 9 米厚的砂土层,其上半部的平均比贯入阻力 $\bar{P}_s$ 值达到 72.5~104.1 kg/cm^2 ,下半部的 $\bar{P}_s$ 值为 117.9~137.8 kg/cm^2 。根据 1984 年 5 月同济大学土力学基础工程教研室等五个单位合作的科研报告《静力触探估算打入桩的单桩承载力》中的方法估算出几种单桩的极限承载力 $N_{极}$ 以及各桩的压强比如表 6 所示。

表6

450×450mm 方桩	混凝土体积 (m^3)	$N_{极}$ (单桩极限承载力) $t/根$	α (压强比) (单位体积混凝土所 承载的极限压力值) t/m^3
桩长 24 米 (进入暗绿色硬土层)	4.80	170	36
桩长 28 米 (进入粉砂层)	5.60	293~314	52~55
桩长 29 米 (进入粉砂层)	5.80	323~347	56~60

目前,在工程设计中常以压强比(桩的极限承载力/桩的混凝土体积)来评价桩的经济与否。压强比值越高,则桩的设计越经济。从表6所列的数字中可以看出,以桩长29米的压强比为最高,约为中长桩(24米)的压强比的1.57至1.68倍,而长桩的混凝土体

积仅为中长桩的1.21倍,可是其极限承载力却提高1.9至2.04倍。因此,结合实际情况设计了两种长桩及基础方案(见图1b,与c)并与原来的中长桩方案(图1a)进行了比较。

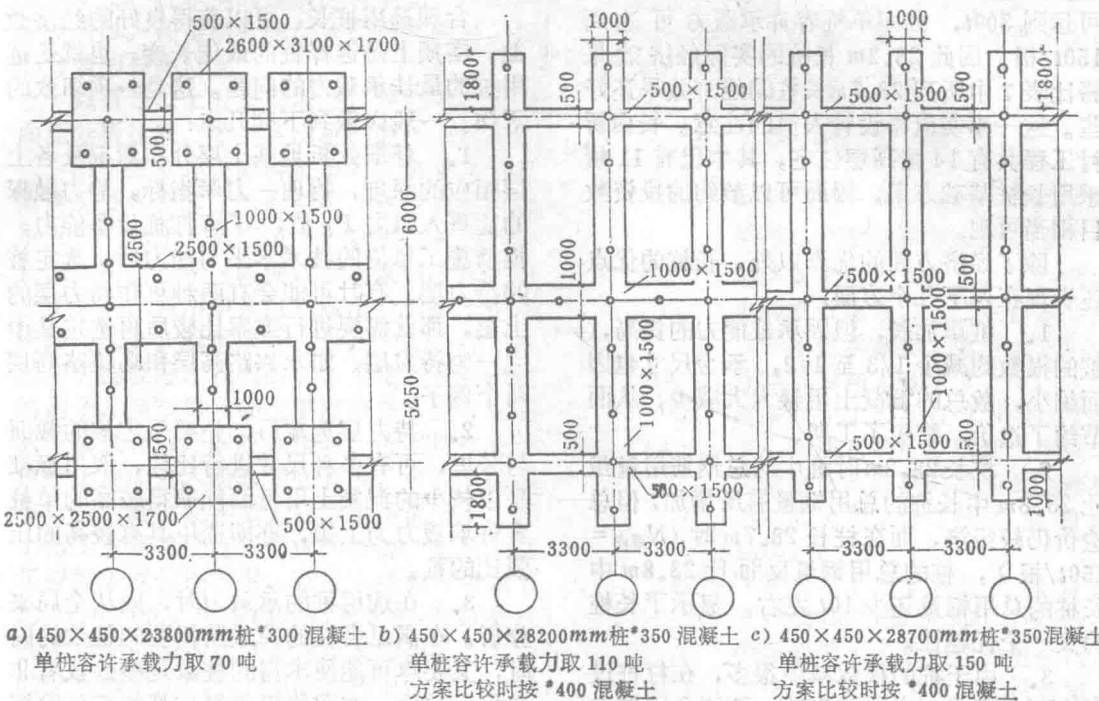


图1 基础方案示意

经济分析比较的结果可详见表7。

长白新村西区曲尺型高层住宅三种桩长的基础设计方案的经济比较 表7

图1a方案 桩长23.8米 N容许=68~70吨(*300混凝土)	图1b方案 桩长28.2米 N容许=110吨(*350混凝土)	图1c方案 桩长28.7米 N容许=150吨(*350混凝土)
桩和基础总造价(元/幢)	桩和基础总造价(元/幢)	桩和基础总造价(元/幢)
533,252元/幢	412,017元/幢	320,792元/幢

- 注: 1. 表中28.2米与28.7米长的桩,设计要求为*300混凝土,但为了保证桩能打穿硬土层,应基础公司要求而提高为*350混凝土。由于目前概算中无350混凝土的单价,故用*300混凝土与*400混凝土两者单价之平均值计算。
2. 28.2米与28.7米长桩的钢筋用量超过概算定额,该部分超钢筋量的费用已计入该两种桩的单价中去。钢材价格按670元/吨计。
3. 在施工图设计时,已发现方案1b,1c中的桩承台梁的宽度可以减小为900mm,如取用此值的话,造价还可进一步节约。

从图1所示的基础设计方案与表7所列的数字中可以看出经济效果最佳的是28.7m长桩(单桩容许承载力N=150t/根),其次是28.2m长桩(单桩容许承载力N=110

t/根)。但从实际的两根 28.2m 长桩试压结果来看,一根压至 228.6t 时沉降量为 2.698 cm,卸载后总回弹 1.062cm。另一根压至 230t 时沉降量为 1.765cm,情况良好。由于未继续将桩压至破坏,所以最终单桩极限承载力未能获得。即使如此,从上述试桩结果根据经验来推算 28.2m 长桩的极限承载力已达到 300t,亦即单桩容许承载力可达到 150t/根。因此 28.2m 长桩的实际经济效果将比表 7 中所列 28.7m 长桩的经济效果还好些。这一事实值得设计人员的注意。长白新村工程共有 14 幢高层住宅,其中已有 11 幢采用长桩基础方案,因而可以节约的投资数目相当可观。

除了经济方面的优点以外,长桩的优点还表现在以下几个方面:

1. 桩虽加长,但因承载能力的提高,桩的根数约减少 1/3 至 1/2,承台尺寸也因而缩小,故总的混凝土用量大大减少,从而节约了造价,缩短了工期。

2. 桩长 28.2m 时桩中的总钢筋用量虽比 23.8m 中长桩的总用钢量有所增加,但总造价仍较经济,而在桩长 28.7m 时 ($N_{容许} = 150t/\text{根}$),桩的总用钢量反而比 23.8m 中长桩的总用钢量还少 10t 左右。显示了长桩的又一个优越性。

3. 由于桩的根数减少很多,在打桩过程中可以不必考虑群桩影响,即不会因桩太密而发生桩打不下去的麻烦。长白工程已经顺利打入 2280 根长桩 (28.2m 长) 的实践,充分证明了这一点。

4. 由于桩尖进入深层粉砂层或砂土层,根据上海已往经验,房屋建成后的总沉降量比之以暗绿色硬土层为持力层者要小,而且稳定得也较快。

5. 采用长桩后,桩的根数减少,还可采用施工单位所欢迎的条形基础,即在条形基础下设置单排桩的形式,这就可以简化模板。在打桩过程中,土的水平挤动也较小,故桩位偏差 (特别是垂直于基础梁轴线的偏差) 一般都小于规范允许值 (10cm)。打桩人员若在这方面能认真对待,并积累一定的经验而能掌握其中规律,则将来对于单排桩的设计可望使桩垂直于承台梁轴线的偏差控制在 5cm 以下,笔者认为是不可能的,而当个别地方发生较大偏差时,则可个别处理。诚然,这对打桩人员提出了较高的、但可做到

的要求。不过,这种偏差如能减少,则设计基础梁时理应考虑由于桩位偏差而产生的扭矩就可减少 50%,又可进一步节约造价。因此,这个问题是值得探讨的。

五、合理选用桩长

合理选用桩长,可以获得良好的经济效益。实质上是选择桩的最佳长度,也就是选用桩的最佳承载力的问题。这是一项细致的工作。一般应做到下列几点:

1. 仔细分析地基土层分布情况及各土层相应的深度,物理—力学指标,静力触探的比贯入阻力 P_s 值,了解打桩设备能力,摸清施工单位的技术水平与能力后,选定桩的持力层。有时可能会有两种可作持力层的土层,那就需要进行方案比较后再选定其中之一为持力层。如永兴路高层和乌镇路高层两个例子。

2. 持力层选定后,先要假定桩的截面与长度,可有多种尺寸进行比较,取用标准是以较少的混凝土用量而能获得较高的单桩容许承载力为上策,亦即选用具有较高的压强比的桩。

3. 在选用桩的承载力时,应从全局来分析。在满足各柱的荷载所需要的桩数的同时,又要尽可能使求得的桩数是整数或者非常接近整数,亦即使得每根桩都能充分发挥作用,避免有过多的储备,然后再定出最适当的桩长。特别是采用长桩方案时,单桩容许承载力往往在 100t 以上,每根柱下多用或少用一根桩都会有较大出入,如果能做到大部分柱下的桩都被充分利用,只是个别柱下的桩有过多的储备,仍不失为经济的基础方案,如图 1c 中长白新村的长桩设计方案。

4. 从上海现有高层住宅的层数 (约 15 层)、模数 (3.3m 开间) 来看,以框架为例,如能做到边柱下的桩数为 2~3 根,中柱下的桩数为 3 至 4 根,最多不超过 5 根,这样就完全有可能采用狭长的条形基础与单排桩的形式,从而可以取得很好的经济效果 (见图 1b, 与 c)。

5. 长度 30m 以内的桩,如在工地上进行制作,尽可能不要分段。从曲阳新村、长白新村等工地制作长桩的质量来看,在技术上是完全可以做到满足设计要求的。如果采用要穿过暗绿色硬土层或浅层砂土 (厚度较

厚且很均匀时)的桩,为保证桩能顺利打入,桩身最好不做接头。如做接头,宜做钢板接头。做了接头后,施工电焊工作量增加,打桩程序增多,每焊一个钢板接头约需一小时,总的用钢量将比整根桩有所增加,接桩时的施工偏差也较难控制,每一接头工料费为255元,桩本身的造价亦将增加。在必须设接头时,还得结合硬层或砂土的标高,定出合适的接头位置。

只有当以上五点都能经过仔细考虑并全面地分析比较,才能定出桩的最佳长度来。

不应孤立地说哪种桩最好。必须遵循具体情况要作具体分析的原则。该用短桩的就用短桩(如永兴路高层),该用长桩的就用长桩(如长白新村高层,上海农资公司化肥仓库等),该用中长桩的就用中长桩(如乌镇路高层)。所谓最好,是在一定条件下经过分析比较后才找到的。本文提到长白新村的例子,当暗绿色硬土层厚度在3至5m而其下面又有较好的粉砂层时,选用打穿暗绿色硬土层而进入粉砂层的长桩,可以节约很多投资,是有现实意义的。顺便说一下,据上海工业建筑设计院提供的情况,电信大楼工程如采用长桩方案,就桩本身而言可以节约27.6万元,但考虑到如用长桩,在打桩过程中可能引起邻近重要建筑物的损坏,节约的投资恐怕还抵不上赔偿的费用,所以最后采用了较短的30米长桩。近年来华东电力设计院设计的电厂基础都是采用进入砂层的长桩(29至30m),这种倾向值得引起注意。

在设计长白新村桩基时,进行了调查研究,曾得到同济大学土力学基础工程教研室赵锡宏、陈强华、朱百里、钱宇平等老师,

华东电力设计院陈继成、陈国铨等同志与工人老师傅们,上海工业建筑设计院任潮军、许鸿笙、胡精发、陈宗梁、潘祖珉、沈慧、杨思政、张国有、陈坚峰、俞有伟等工程师,上海民用院冯克康工程师,上海勘察设计院虞九如、姚志甫等工程师,上海基础工程公司尤基中、季敏华、鲍林根等工程师的大力支持并提供有关数据与情况,在此表示深切的谢意。

参 考 文 献

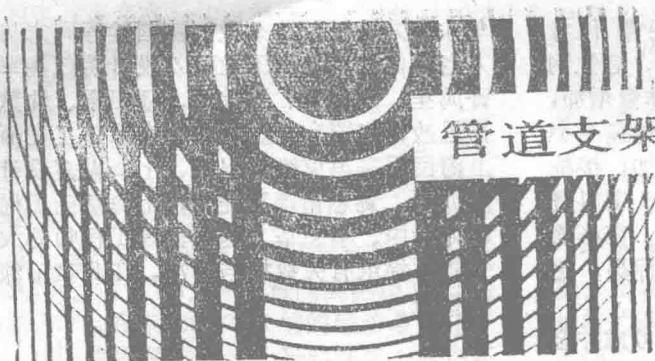
1. 同济大学土力学基础工程研究部室,六机部勘测公司,水利电力部华东电力设计院,上海市城建局设计室等。静力触探预估打入桩单桩承载力。同济大学科学技术情报站1982,9
2. 同济大学土力学基础工程教研室。南通农药厂亚磷酸三甲酯车间预制打入桩单桩静荷载试验报告。同济大学科学技术情报站1983,7
3. 同济大学土力学基础工程教研室,水利电力部华东电力设计院,中国船舶工业总公司勘测公司,上海市市政工程设计院等。静力触探估算打入桩的单桩承载力(单用探头)。同济大学科学技术情报站
4. 上海工业建筑设计院。农资公司化肥仓库桩基处理。1980,5

(上接20页)

6. Тартаковский Г. А. Новая система сооружения трубопроводов в виде провисающих нитей. Москва 1961
7. 高清华。双向受弯钢筋混凝土矩形截面梁正截面强度实用算法。建筑技术通讯—建筑结构1982,6
8. 高清华。双向受弯钢筋混凝土矩

形截面梁强度实用算法。上海化学工业设计院资料1977

9. 高清华。钢筋混凝土双向偏心受压构件的设计。上海土木工程学会工程结构学术委员会年会论文选编1984
10. 高清华。钢筋混凝土柱基的设计。上海土木工程学会工程结构学术委员会年会论文选编1984



管道支架的合理设计

—— 高清华 ——

随着工业建设的迅速发展,室外架空管道工程的规模和型式及其在建设投资中占的比重均起了巨大的变化。因此,管道支架(简称管架)作为一种特种结构逐渐引起设计人员的重视,而如何合理地设计管架便成为一个需要研究和解决的课题。鉴于目前有关这方面的资料较少,有的还停留在50—60年代水平,有的则存在这样那样的问题。本文拟就目前比较普遍存在的几个影响管架合理设计的主要问题提出合理解决的办法。

一、管架及其结构体系

管架通常是对架空管道工程中除管道外的全部结构的总称。管架与管道一般由管道支座(又称管座、支座、或支托)连接,组成整个架空管道结构体系。在设计中长期存在下列两个问题,影响管架的合理设计:

1. 管架结构体系与结构分析

架空管道工程长期来分成管道与管架两部分分别由管道工艺和管架结构两个专业设计,而管道支座则在不同的设计部门有不同的分工(有的属管道工艺专业,有的属结构专业)。这种分工带来了结构体系的分割,造成结构分析不合理。

架空管道工程的结构体系,和其它结构一样,是由跨越、支承和基础三部分组成。管道(指金属管道或非金属管道的支托纵梁)本身是跨越部分中的一个重要构件,因为它参与内力传递,影响整个结构体系的内力分析。

在上述分工的情况下,管道专业进行管道内力分析时往往仅考虑其支座的性质(固

定或活动)而不考虑管架的型式带来对内力分析的影响;结构专业进行管架内力分析时虽然不再象从前那样简单地将管道作为荷载、管架作为承重结构,而认识到“管道在一定程度上也是支持管架的”^[1]、“也是管架的支承构件”^[2],但是在结构分析时往往仍取管道专业按上述考虑方法提出的荷载值。

要取得符合实际的、合理的结构内力分析,必须对整个结构体系作全面考虑,确定结构模型,然后进行结构分析。目前已有些设计单位从管道工艺专业与管架结构专业相互渗透、共同确定方案和分析内力发展到由一个专业(对重要的架空管道工程)作整体结构分析。

2. 管座与管架

管道工艺专业在设计架空管道时(起先是设计室内架空管道)是以单根管道为对象,根据某支承点(管座)在温度变化时是否允许所联接的两部分(管道与管座下的横梁)间有相对位移以及该横梁有绝对位移,将管座分成固定(可为固接或铰接)和活动(可为滑动、滚动、或摆动等)两大类;前者不允许有相对位移及绝对位移。管架设计则是以整个结构体系为对象,管架柱根据柱顶在水平荷载(管道支座传来的推力)作用下有无超过限值的绝对位移—不允许有位移是不现实的一而分为刚性管架柱和非刚性(柔性、铰接等等)管架柱。管道工艺专业习惯于将管座—有时连同其支吊附件—称为“管架”;至今仍以管座、支吊架、和管架三者作为同义词(例如,管道专业的“管架图集”)。有些管架设计者和一些资料^{[1][2]}则将上述指单根管道的管座的“固定管架”、

* 高清华:上海医药设计院

“活动管架”的概念和名称照搬到管架柱上来应用；也有从结构上柱顶承受纵向水平推力的情况出发，在柱顶带有纵向连系杆件的管架结构中，将承受全部水平荷载的刚性管架柱称为“固定管架”，其余的称为“活动管架”（即仅承受垂直荷载和横向水平力而不承受纵向水平力，因纵向水平力已由柱顶连系杆传到上述刚性管架柱）。这种长期而较普遍存在的管座与管架混淆情况如不澄清必然影响管架的合理设计：

（1）在独立管架柱（即柱顶处无纵向联系杆件而柱子与基础刚接者）中，刚性管架柱顶横梁上可设置固定管座或活动管座，而非刚性管架柱顶横梁上只可设置活动管座。因此：

1）同样的一个刚性管架柱可以适用于有少量大管道在其顶上横梁处集中设置活动管座，亦可以适用于较多小管道在其上集中设置固定管座（或大部分在其上设置固定管座）。该管架柱并不会因其上设置的管座不同而有所变化，因而将其称为“固定管架”或“活动管架”在结构上毫无意义。

2）如在某一个刚性管架柱顶横梁上有两根完全相同的管道，一根在其上设固定管座而另一根设活动管座。此时如称该管架柱为“固定管架”并不影响管道工艺专业称后者在该处的“活动管架”，从而发生同一处两种截然不同的称法。

（2）在柱顶带有纵向连系杆件的管架柱中

1）当有集中承受纵向水平推力的刚性管架柱时，那些不承受纵向水平推力的“活动管架”顶上可能设置固定管座，亦可设置活动管座，管座不同而管架柱完全一样且纵向无位移，这种上设固定管座而又无位移的管架柱如何能称之为“活动管架”呢？

2）当没有集中承受纵向水平推力的刚性管架柱时，一个温度缝区间内几根管架柱都一样，组成纵向排架分担该区段内的总的纵向水平推力而柱顶位移在允许范围内（均为刚性柱）；此时有的柱顶有固定管座，有的则设活动管座，这种受力一样的管架柱实无必要去跟其上的管座称为“固定管架”或“活动管架”。

综上所述，管道工艺专业所称的“固定管架”、“活动管架”与作为特种构筑物的室外管架在概念上和内容是截然不同的；

从结构上来看管架柱不应分为固定和活动，更不应照搬这种称法。管架作为结构体系应根据其结构特性来分类，而管架柱则应根据其受力与位移情况来确定采用刚性柱或非刚性柱。

二、管架的结构型式与结构模型

1. 结构型式分类（图1）

管架结构型式分类与其它结构的型式分类一样，以能反映出结构特征、便于结构分析为原则。以往管架型式分类的方法很乱，标准不统一也不科学，既不能反映结构特征与结构模型又不能包罗目前所有的管架型式。为此特提出以跨越特征为依据的结构型式分类方法：将管架分成三大类、每类三种、共九种型式，如表1所示。

结构型式确定后便可根据三个组成部分（跨越、支承、基础）之间符合管道工艺要求的连接情况（刚接、铰接、摩擦、滚动等等）确定整体结构模型，然后进行内力分析。

2. 结构型式的选择

结构型式应经技术经济上综合研究分析后确定。设计时应注意下列几点：

（1）选型应根据需要与可能而不是“为选型而选型”——以往在设计中这方面的教训不少，例如：

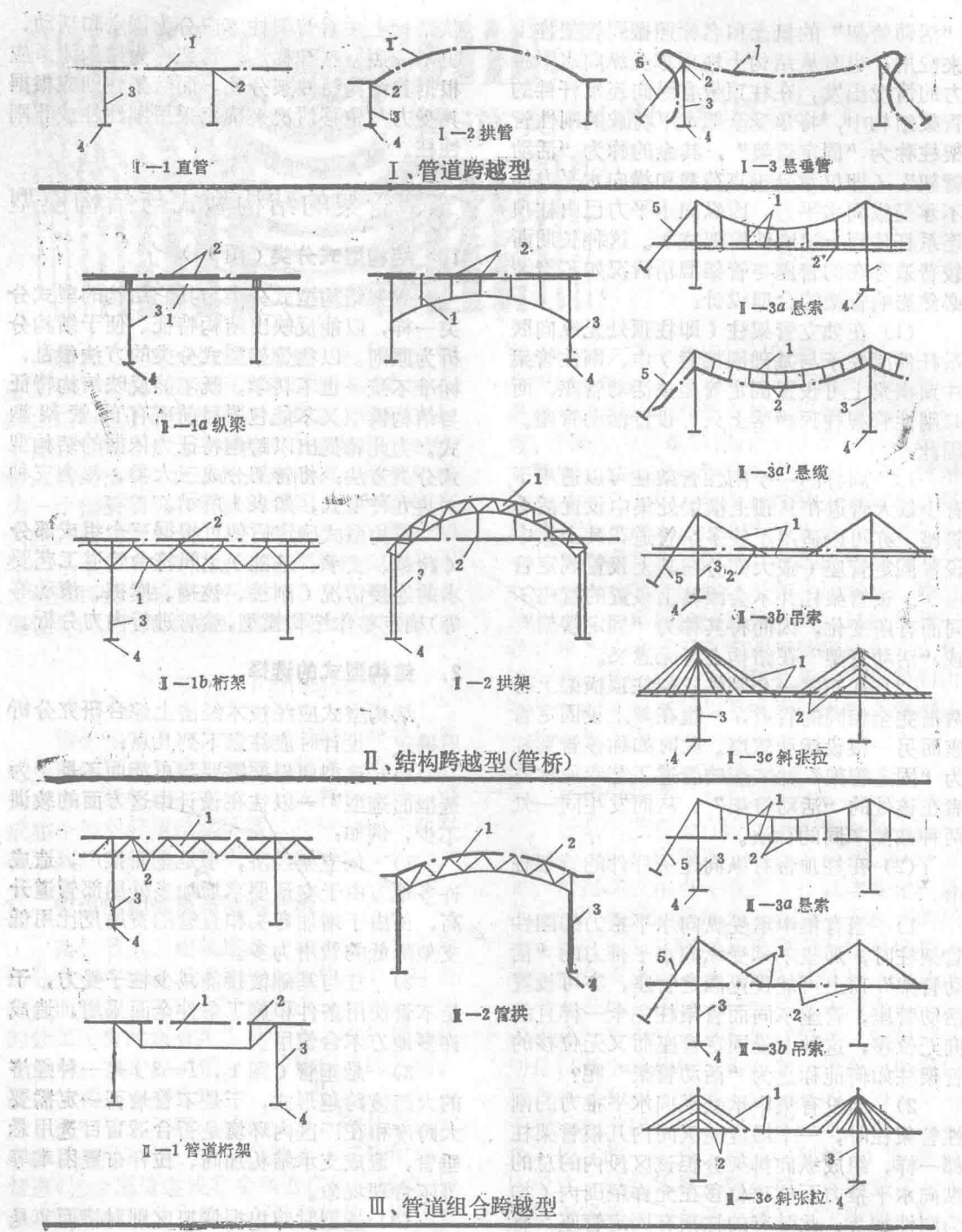
1）低支架经济，于是全面推广，造成许多地方由于交通要求增加多处局部管道升高，使由于增加弯头和直管的费用反比用低支架降低的费用为多。

2）柱与基础铰接能减少柱子受力，于是不管使用条件和施工条件全面采用，造成许多地方不合使用。

3）悬垂管（图1，I—3）是一种经济的大跨度跨越形式，于是不管是否一定需要大跨度和在厂区内环境是否合适盲目选用悬垂管，造成支承结构加高、拉杆布置困难等等不合理现象。

（2）选型时应根据情况区别对待而不是“一刀切”——项架空管道工程中各区段管道情况（管径、数量、介质等）和周围环境不同，应分别情况选用各种合适的管架型式和高度而不是全部统一用一种型式以免造成浪费。

（3）选型时应与各有关专业共同研究、



1—跨越 2—管座 3—支承 4—基础 5—拉杆 — — — 管道

图 1 常见的管架形式

结构轴 线型式	结构模型	分 类 名 称		
		I 管 道 跨 越	II 结 构 跨 越	III 管 道 组 合 跨 越
		跨 越 特 征		
		管道本身即为跨越结构 管道未安装前不形成结构 体系	管桥为跨越结构 结构体系的形成不取决于 管道是否安装	管道与结构构件组合成跨 越结构 结构体系与接管于拼装后 同时完成
1. 直 线 型	跨越与支承结构组成排架	架空管道工程中使用最广泛 的直管跨越与支承结构铰 接或摩擦接点 (I—1)	常用的纵梁式可为梁或平 行弦桁架与支承结构铰 接 (I—1)	管道与结构构件组合成桁 架与支承结构铰接 (II—1)
2. 拱 型	定跨拱或变跨刚构, 视支 承结构的刚度而定	管道预制成拱形 (拱轴通 常为圆弧形) 安装后成 无铰拱 (I—2)	管桥为拱形桁架 (可为无 铰拱、双铰拱、或三铰 拱), 管道为直线敷设 (II—2)	组合桁架为拱形桁架, 管 道为其上弦或下弦 (一 般为无铰拱) (II—2)
3. 悬 垂 (吊) 型	铰接支承在支承结构 (塔 架) 上的悬垂结构或悬 吊 (包括斜张拉) 结构	管道可为直管或预先成型 (视跨径比而定) 安装 后成悬垂线型 (I—3)	(a) 悬索桥 } 管道为直 (b) 悬吊桥 } 线敷设 (c) 斜张拉 } (a') 悬缆式—管道与钢 缆平行 (II—3)	(a) 悬索式 (b) 悬吊式 (c) 斜张拉式 管道即为“桥面”, 直线敷设 (II—3)

协调配合而不是先布置后选型—选型与布置有密切关系。以平面布置为例, 靠近道路的一排管架柱 (以下简称外排柱) 离道路边的尺寸是个关键。有些总图设计人员只考虑了道路直线段跨越道路的跨度可小, 将外排柱尽量靠近道路边 (满足规范允许最小净距 1m 的

规定), 如图 2 中 $ABCD$ 及 EF , 外排靠近道路边 CD 跨度压缩到了最小, 但 AB 及 EF 跨度都需大到“路宽 + $2R$ ”, 否则在转角上离道路边净距不能满足规范要求。如将布置移到 $LMNP$ 及 MQ 位置则虽然 NP 跨度增大了, 但 LM 及 MQ 跨度减小, 可与 NP 取同一跨度、选同一结构型式, 且 M 柱可在交错处合用。由此可见布置应从道路交叉口处先考虑, 同时确定位置和型式。

三、管道跨越型管架的结构计算

1. 直管跨越 (图 1, I—1)

直管跨越是架空管道工程中最常用的一种型式。设计中有下列问题需注意改进:

(1) 管道伸缩变形的影响—管道在伸缩时由于伸缩节回弹力和活动管座处的摩擦阻力的存在使管道产生压力或拉力, 从而产生变形。这些影响结构体系内力的因素设计中应予考虑。

(2) 固定管座处支承结构变位的影响—固定管座处的支承结构的绝对位移不是象计算时所假定为零, 从而对内力起了调节作用。

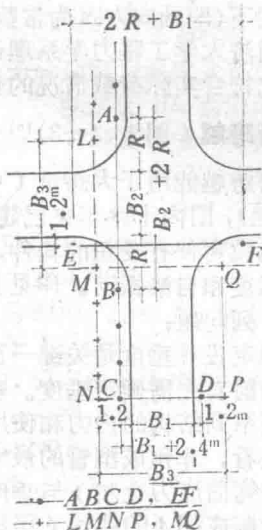


图 2