

公路桥梁钻孔桩

上册



人民交通出版社

12789

U443.15

0332:1

公路桥梁钻孔桩

上 册

交通部科学研究院

河南省交通局

吉林省交通局

湖南省~~省~~交通局~~人~~编写组编著

陕西~~省~~交通~~局~~

贵州~~省~~交通局

人 民 交 通 出 版 社

1978·北京

内 容 提 要

本书是根据我国公路部门在钻孔桩的设计、试验和施工中积累的经验及取得的主要科研成果而编写的，分为上、下两册。上册介绍设计理论，计算公式及图、表，荷载试验方法并附有较详细的设计计算例题。下册介绍施工方法及所使用的钻孔机械性能。

本书可供从事桥梁设计、施工和科研工作的工人、技术人员使用和有关院校师生参考。

公路桥梁钻孔桩

上 册

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第006号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张：11.625 插页：2 字数：253千

1978年9月 第1版

1978年9月 第1版 第1次印刷

印数：0001—15,500册 定价(科三)：0.95元

前 言

我国公路桥梁中所应用的钻孔桩是广大建桥工人和贫下中农在社会主义建设总路线的光辉照耀下，在1958年大跃进的群众运动推动下，遵照毛主席“独立自主、自力更生”，

“走自己工业发展道路”的教导，在生产实践的基础上，经过反复实践，试验研究成功的。其施工方法是从群众实践中来的，具有设备简单、施工容易、投资省、变水下作业为水上作业等优点；符合我国的实际情况。因此，研制成功后便在公路桥梁建设中得到了迅速推广，并在加快桥梁建设速度、节省建桥投资方面起到了很大的作用。目前，钻孔桩已在我国桥梁建设中普遍推广并有了新的发展。

近十几年来，特别是无产阶级文化大革命以来，我国各有关部门在推广和应用钻孔桩的过程中，又进行了大量的科学实验，积累了丰富的经验。按照“土洋结合”、“两条腿走路”的方针，总结和研制了多种行之有效的、符合我国实际情况的施工工艺和机具设备，在大量试桩资料的基础上，打破洋框框，建立了我国自己的、符合钻孔桩实际受力特征的摩擦桩垂直承载力和水平承载力计算方法和参数，使钻孔桩的施工技术和设计方法有了进一步的发展。

但是，长期以来这些丰富的实践经验缺乏全面系统的总结。根据生产上的迫切需要，交通部下达了总结钻孔桩设计和施工经验的任务。经过几年来搜集全国大量实践资料并进行了补充重点试验，在分析研究、总结提高的基础上，编写了本书。

本书包括施工、设计和试验三部分。施工部分介绍各种成孔方法和灌注水下混凝土的经验；几种钻孔机具的性能及使用方法；概述在特殊情况下（深水、斜桩、长桩）的施工经验，规定了质量检查的要求和方法。设计部分概述公路桥梁钻孔桩基础的结构型式和适用范围；介绍根据我国试验资料制订的垂直承载力和水平承载力的计算方法和参数并附有计算系数表。试验部分介绍各种静载试验方法，测试仪器的性能和使用方法以及试验资料的整理方法。

本书是开展社会主义协作，实行群众路线的成果；编写中体现了工人、干部、技术人员和施工、设计、科研三个三结合。担任主要编写工作的单位有交通部科学研究院和河南、吉林、湖南、陕西、四川等省交通局，由交通部科学研究院负责总编。参加部分章节编写的单位有山东、江苏和辽宁省交通局，江苏盐城地区交通局，湖北省交通局，交通部第一、二公路工程局和交通部公路规划设计院以及其他一些省交通局也提供了有关的资料。本书中还引用了铁路、水利、航务和城建部门的有关资料。编写过程中，曾到部分省交通局和有关部门约八十多个单位征求了三结合的工人、干部、技术人员的意见，对初稿作了修改。在此对各提供资料和意见的单位表示感谢。

我国幅员辽阔，各地的自然条件相差很大，施工条件也不尽相同，所以需要密切结合具体情况来应用本书的经验。由于我们水平有限，搜集资料和意见又不够全面，书中的错误和缺点在所难免，欢迎读者批评指正。

目 录

上 册

前 言

公路桥梁钻孔桩发展概况

一、钻孔桩的产生与发展.....	1
二、钻孔桩的优缺点.....	2
三、钻孔桩的应用概况和适用范围.....	6

钻孔桩的设计计算和试验

第一章 基础、墩台的型式和构造设计.....	9
第一节 基础和墩台的型式.....	9
第二节 构造设计.....	15
第二章 单桩承载力的计算和研究.....	21
第一节 钻孔桩的特性.....	22
第二节 单桩垂直承载力的计算.....	24
第三节 单桩水平承载力的计算.....	58
第三章 钻孔桩基础的设计计算.....	84
第一节 荷载、外力及其分配.....	84
第二节 单排桩基的计算.....	99
第三节 群桩基础的计算.....	113
第四节 墩(台)和单桩的验算.....	144
第四章 设计计算例题.....	168

第一节	竖直桩组成的桥墩群桩基础设计计算	168
第二节	斜桩组成的桥墩群桩基础计算	193
第三节	桥台基础计算	200
第四节	单排桩基计算	212
第五章	钻孔桩承载力试验	216
第一节	试验计划	217
第二节	单桩垂直静载试验	223
第三节	单桩水平静载试验	241
第四节	试验设备	251
第五节	土的试验	283

附 录

一、用有限单元法计算单桩水平承载力	285
二、桩底为普通土时, 计算桩的内力和变位的无因次系数表 (表(一)-1 至表(一)-12)	301
三、桩底嵌入基岩时, 计算桩的变位和内力的无因次系数表 (表(二)-1 至表(二)-12)	315
四、桩底为普通土时, 计算桩顶变位的无因次系数表(表(三)-1至表(三)-3)	328
五、桩底嵌入基岩时, 计算桩顶变位的无因次系数表(表(四)-1至表(四)-3)	334
六、土的分类	340
七、地基土的平均物理-力学特征	346
八、车辆荷载和人群荷载	347
九、等跨度等截面双悬臂连续梁影响线坐标值 (一)两跨连续梁	353

(二)三跨连续梁·····	355
十、框架内力计算公式汇总表·····	357
十一、常用钢筋截面积与重量表·····	359
十二、试桩静载试验记录表格式·····	360
(一)位移记录表·····	360
(二)千分表测应变记录表·····	361
(三)电阻应变片测应变记录表·····	362
(四)钢弦式压力盒记录表·····	362
(五)差动电阻式钢筋计记录表·····	363

公路桥梁钻孔桩发展概况

一、钻孔桩的产生与发展

在毛主席革命路线的指引下,在1958年大跃进的推动下,河南省交通部门的广大建桥工人发扬敢想敢干的革命精神,把贫、下中农在生产中创造的人力打井锥具应用到桥梁基础施工中。通过工人、干部、技术人员和施工、设计、科研两个三结合,坚持实事求是的科学态度,进行了大量的试验研究,并于1963年试制成功具有我国自己特点、使用简便锥具施工的钻孔灌注桩,为公路桥梁工程找到了一种符合多快好省的新型基础,成为公路桥梁基础的一项重大技术革新。

这个新工艺首先在河南省安阳地区王庄试验成功。在砂粘土、粘砂土和粘土中用内黄锥钻孔灌注混凝土的16根桩的静载试验和开挖检验,肯定了这种新工艺是可行的,桩的质量和承载力都能满足公路桥梁的要求。1963年冬首次在安阳冯宿桥的两座桥台中采用了钻孔灌注桩基础,经检查使用情况良好。此后,在河南竹竿河和白河两座大桥上扩大应用,愈益显示出它的优越性。因此,得到了许多生产部门的重视和支持。在湖南、黑龙江、内蒙等省、区交通部门和交通部第一公路工程局相继采用,有关的科学实验也随着积极开展起来。

1965年4月,交通部在河南省南阳市召开了钻孔桩技术鉴定会议,认为“钻孔桩是我国当前条件下一种有广大群众基础的多快好省的公路桥梁基础施工方法,同时也是一项重

大的技术革新。”决定在公路桥梁上全面推广，使钻孔桩获得大规模的发展，改变了公路桥梁基础施工的面貌。在党的关怀和广大建桥工人的精心培育下，这个新工艺正以强大的生命力蓬勃地向前发展。

无产阶级文化大革命是使我国社会生产力发展的一个强大的推动力。无产阶级文化大革命以来，钻孔桩的施工和设计水平有了很大的提高。在钻孔机械方面，新制成反循环桥用钻机、爬杆式回转钻机、钻孔冲抓机和自动冲抓锥，改进了牙轮钻头，机具的配套程度也在不断提高。在钻进技术方面，总结出在各种不同地质中采用多种钻头的钻孔方法，大大加快了钻进速度，基本上解决了钻斜孔、深孔和嵌岩桩以及清孔、深水中施工等复杂的问题；旧桥基础的加固也成功地应用了钻孔桩。有的地区还在岸滩桥墩中应用过素混凝土钻孔桩。在设计计算方面，在分析、探索我国的大量试桩资料的基础上，制订出了适合钻孔桩特点的垂直承载力和水平承载力的计算方法和参数，使计算结果更为符合实际。在试验技术方面，不断丰富和提高了测量桩内应力和变形的办法，在试桩中埋设了各种电测仪表，获得了宝贵的第一性资料，为施工、设计的进一步改进提高，提供了重要的依据。

二、钻孔桩的优缺点

应用各种钻孔机具在地基土中通过泥浆或清水护壁（个别情况下为干钻施工），钻成一定直径和深度的孔，然后在孔中吊装钢筋骨架并灌注混凝土，这样建成的桩叫做钻孔灌注桩。从多年使用的经验来看，钻孔灌注桩（以下简称钻孔桩）有如下一些主要优点：

适应性较广。对包括基岩和漂、卵石在内的多种土和各

种型式的桥梁都可应用，在深水中也可施工。

施工设备比较简单，易于制造（如机动爬杆锥和人力旋转锥等），某些地质钻机也可应用，一般来说所需的大型设备较少，且可土洋结合，所以工程容易上马，有利于用打人民战争的方式修建桥梁。

墩台型式比较简单，一般可采用单排桩基，不必设置承台，基本上避免了水下作业，施工方便，减轻工人的劳动强度，工程进度较快。

造价较低，节约建设投资。

在钻孔过程中，能够进一步查核地质情况，可根据地层构造和设计要求，选定适当的桩长和桩径，桩可长可短，可粗可细，应用上比较灵活，且不受运输和起重条件的限制。

以上这些优点对于加快我国桥梁建设速度和完成“改渡为桥”的任务，有着重要的意义。

公路桥梁采用钻孔桩基础后，建桥速度有了显著的提高。例如湖北省某桥11座墩台钻孔桩基础只用了8天便全部建成。该省由于采用了钻孔桩基础，一年中可建成总长1万米以上的公路桥梁，这在采用钻孔桩之前是达不到的。河南省的一座桥梁全长403.6米，上部造构为预制T梁，有18个墩台钻孔桩基础（砂砾、卵石地基），在4个月内全部竣工。采用钻孔桩基础后，桥梁造价也有较大的降低，与沉井或打入桩基础相比，钻孔桩基础可节省造价 $1/2 \sim 2/3$ 。一般说，下部构造的造价已降为全桥造价的 $1/3$ 左右。

钻孔桩的主要缺点有：现场作业较多，不利于预制装配施工。采用人力旋转锥时，要用较多的劳动力，劳动强度也较大。成桩后不易进行质量检查。施工技术上还有一些困难问题如坍孔、清孔等尚未完全解决。

钻孔桩基础同其他一些型式基础的比较如表绪-2-1，可

表绪-2-1

基础型式 比较项目	明 挖	沉 井	打 入 桩	管 柱	钻 孔 桩
适 用 范 围	土质较好且冲刷不深时比较经济合理。但当水较深，覆盖层较厚，挖方和抽水量很大时，此方案易受洪水威胁，且不经济。	各种土层都能适应，深水中也能施工，但当沉井需凿岩或奠基在倾斜岩面时，施工较困难。完工后，受洪水威胁。它的刚度较大，对剧烈的漂浮物的冲击力较大的抵抗力。	当设计要求的桩径，桩长不大时，与钻孔桩的适用范围基本相同。但在坚实土层如卵石、漂石中，打入桩易打断打裂不宜采用。当用小的打入桩群桩时，需设置较大桩的承台，故不如钻孔桩合理。	管柱的直径较大，强度和稳定性都较高，适用于承载力要求较高的基础。适用于各种土层，施工时没有坍孔之患。	各种土层都能应用，适用范围比其他型式的基础都广。墩台的构造简单，可用于多种桥型。
使 用 设 备	主要使用抽水机和筒单挖土工具，设备不复杂。	主要使用抽水机、挖土工具和抓斗等，设备不复杂。但当水文地质复杂时，需要高压水泵、空压机、吸泥机、潜水工等设备、人员。为了纠偏，还要用其他一些设备。	打桩设备比较复杂，工程艰阻时，需要重锤、高桩架、高压水泵、空压机和捞铲等。	加工制造管柱的设备比较复杂。下沉管节要用较大功率的震动打桩机，还需要较大能力的起吊工具。	可用简便的人力回转施施工，小型的地质钻机也可使用。有些专用钻机施工单位也可自制，施工设备比较简单，也容易解决。

续表缩-2-1

基础型式 比顶较目	明挖	沉井	打入桩	管柱	钻孔桩
工程材料	承台以下一般不用工程材料。	沉井的体积大,还要封底,全部圯工体积往往达钻孔桩的三、四倍之多,刃脚须用较多的钢材。	钢筋用量较多,但水泥用量可能比钻孔桩少些。	钢筋和管节接头用钢材数量较多。水泥用量可能比钻孔桩少些。	钢筋用量较少,水泥用量比打入桩或管柱略多。施工用木材比较少。
工程造价	比较低。	比较高,可达钻孔桩造价的二、三倍。	比较高,有时可达钻孔桩造价的一倍甚至二倍。	比较高。	比较低。据统计,钻孔桩作为下部构造的总造价只占全桥总造价的1/4甚至更少。
工程进度	浅基明挖时,速度较快。但水深时工程进度较慢。	采用现浇沉井时,需有混凝土养生期,工程进度较慢。一座沉井基础往往需施工一个月到几个月,如遇沉井底要凿岩,工程进度更慢。	遇坚实地层,打桩困难,工程进度很慢。当采用群桩基础时,工程量较大,工程进度很慢。	管桩下沉很深时,阻力大,下沉速度受到影响。	钻孔桩施工进度一般很快。由于设备易解决,减少水下作业,减少了工程量,所以建桥的进度很快,一座墩台基础往往只要几天到十余天就可完工。一座数百米长的大桥有在三、四个月内全部完成的实例。

供选择方案时参考。由于影响桥梁施工、造价和工期的因素很多,对问题要作具体的分析和比较,本表仅作概略的说明。

三、钻孔桩的应用概况和适用范围

(一)应用概况

目前全国绝大多数省、区的公路部门都已广泛地采用了钻孔桩。据河南、山东、湖北、辽宁、江苏、吉林、陕西、黑龙江、福建、湖南和四川十一个省的不完全统计,修建的钻孔桩长度在40万延长米以上。铁路、航务、水利、工业和民用建筑以及林业、煤建等工程部门也已大量采用。

钻孔桩适用于多种型式的桥梁上部构造。梁式桥采用钻孔桩基础最为普遍,多用单排桩基,也有采用单柱桩基的。

双曲拱桥是具有我国独特民族风格的一种良好桥型。江苏、河南、湖南、湖北和山东等省修建了大量的单排钻孔桩基础的双曲拱桥,且在设计时考虑拱、墩的联合作用(连拱)来减少桩基的数量,取得了较好的技术经济效果。在双曲拱桥中,低承台桩基和高承台桩基两种形式都有采用,不少的桥墩高度为15~20米。软土中的双曲拱和桁架拱桥已采用了斜钻孔桩基础。二铰板拱也常用钻孔桩基础。实践证明,对水平推力较大且对变位有严格要求的拱式上部构造,钻孔桩仍是一种切实可行的基础形式。

T型刚构是我国公路桥梁上近来采用较多的一种桥型,它的墩台基础承受的荷载比较大。不少应用钻孔桩作基础的T型刚构桥采用了高承台桩基,桩的自由长度有达到20米左右的,有的桥采用嵌岩钻孔桩,有的在承台中埋设了锚头,供对桥墩施加竖向预应力。由于目前钻孔桩已有较大的直径,具有较大的承载能力和刚度,所以颇为适合于荷载较大

且受有弯矩作用的T型刚构基础使用。

连续钢桁架桥在跨越黄河的公路大桥上曾数获应用。其中一座四孔各112米跨径的连续钢桁架,采用了直径1.5米、最长达107米的钻孔桩,按高承台桩基设计。修建以来,这些大桥的使用情况良好,表明钻孔桩完全可以满足连续式上部构造的使用要求。

在深水中,多年来也成功地修建了许多钻孔桩基础,为今后进一步完成改渡(口)为桥的任务积累了经验。在旧桥基础加固和船闸或水闸工程中,钻孔桩也有良好的使用前景。

(二)适用范围

1. 水深和流速

钻孔桩在岸滩和浅水中都可施工应用,在深水中也已修建了很多的钻孔桩基础,目前在9米以下的水深中已有成功的施工经验。

湖北省的一座大桥,其中一桥墩水深9米,用筑砂土岛的方法施钻了43米长的钻孔桩,没有发现坍孔。还有其他几座大桥在5~6米深水中是用筑岛法建成钻孔桩基础的。

搭支架设置护筒是深水中常用的一种钻孔施工方法,在3米/秒流速和5~8米的水深中,这个方法已得到了广泛的应用。

2. 承压水和潮差

在有承压水的地层中也可应用钻孔桩。湖南某桥地基中5米厚的流砂层有水头高度为1.4米(高出河水面)的承压水,用提高护筒内水头的方法,施钻成了14米深的钻孔。湖北省某桥发现有水头高度为2.5米的承压水,也是用加高护筒内水头的办法来钻孔的。

潮水的涨落会给钻孔施工带来困难。为了稳定护筒内的水头高度,采用了自动稳定水头的装置,可使钻孔施工不间

断地进行。辽宁省和福建省分别在 4.5 米和 5~6 米潮差的情况下完成了钻孔桩施工。

3. 适用的土类

钻孔桩在多种土类中都可应用，可根据不同的土类选择适当的成孔方法。

根据目前的实践，在软塑到硬塑的粘性土、坚硬粘土、粉砂、细砂、中砂、粗砂（包括流动性较大的所谓流砂）、砾砂、砾石、卵石（紧密到松散）、漂石和基岩中都已使用了钻孔桩基础。某铁路大桥还采用钻孔桩解决了基础穿过溶洞的困难。

软土的抗剪强度很低，据目前的施工经验，当软土的内摩擦角 $\phi \leq 12^\circ$ 时，常易发生坍孔。但江苏省在斜钻孔施工时发现 $\phi = 8^\circ \sim 16^\circ$ ，塑性指数为 14~22 的软土并无坍孔，而 $\phi = 19^\circ$ ，塑性指数为 10 时却坍了孔，因此认为塑性指数也是一个判别的条件。在内摩擦角或塑性指数很低的软土中是否采用钻孔桩及如何护壁，宜通过试钻决定。

4. 桩的类型

钻孔桩可作成摩擦桩，也可作成嵌岩桩。不嵌入基岩而仅支承于岩面的则成为柱桩。还可根据设计需要建成斜钻孔桩，斜度可达 1:5（水平：垂直）或更斜。

摩擦桩是公路桥梁最常用的一种桩型，目前摩擦桩的最大桩长为 107 米。在覆盖层较浅且易受冲刷的地方，嵌岩桩最为适用。在抵抗水流冲刷能力差的风化性软岩中，桩的嵌岩深度有达到 8~9 米甚至 15 米的。在硬质石灰岩、夹云母千枚岩和风化片麻岩中，也有修建嵌岩深度达 2~3 米的嵌岩桩。还有位于软岩上的旧桥基础，因受冲刷淘空，采用钻孔机具紧靠旧桥基周缘建成一圈净距 10 厘米的护基嵌岩桩的实例。

钻孔桩的设计计算和试验

第一章 基础、墩台的型式和构造设计

第一节 基础和墩台的型式

设计钻孔桩基础和墩台时，应根据上部构造和荷载的要求，结合桥址的水文、地质、地形条件及航运、水利要求和施工条件、施工队伍的情况，选用结构简单、水下作业少的基础和墩台型式。在可能的情况下，应尽量选用单排桩基，少用或不用位于水中承台的型式。

在确定基础和墩台型式时，要贯彻“备战、备荒、为人民”和多快好省的方针，深入进行调查研究和方案比较。

为便于设计参考，现把公路桥梁中应用较多的基础和墩台型式介绍于后。

一、基础型式

常用的有：单柱式桩基（见图 1-1-1）、单排桩基（见图 1-1-2）、群桩基础（见图 1-1-3（a）、（b））。

群桩基础中，基桩可按行列式或梅花式排列；可采用垂直桩也可采用斜桩或两者组合。一般情况下，基桩应与桥中心轴对称排列，且在同一个基础中不宜使用直径、长度和材料差异太大的基桩。

群桩基础的承台位于地面或冲刷线以上者称为高承台桩基，以下者则称为低承台桩基。