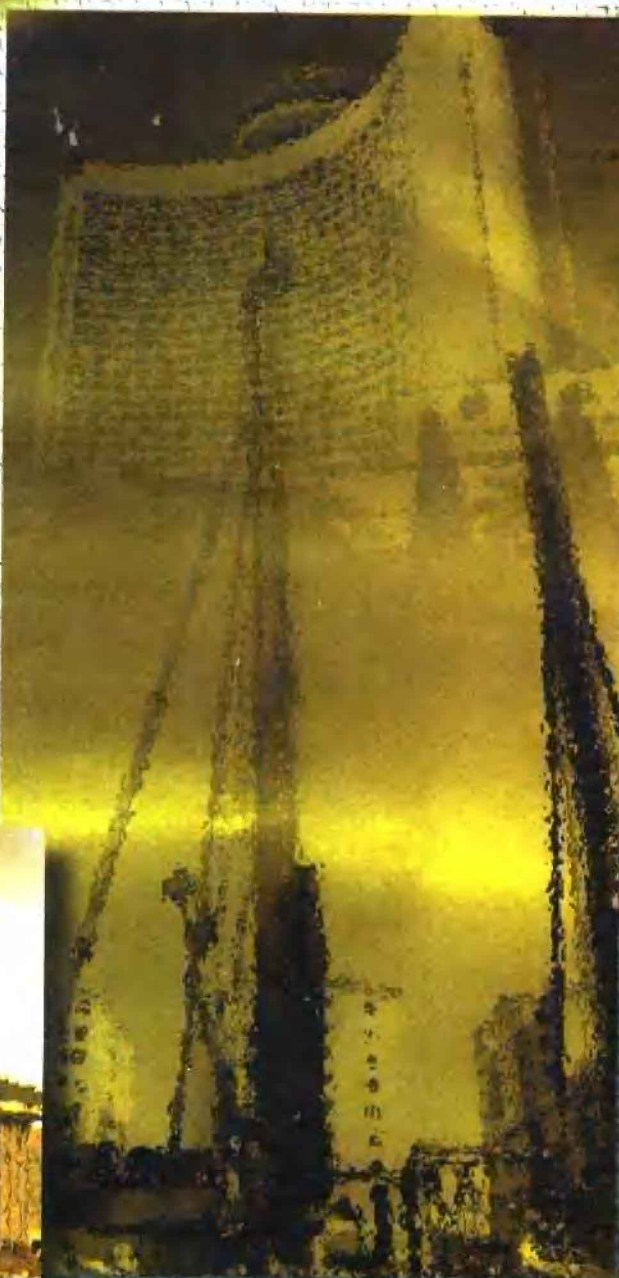
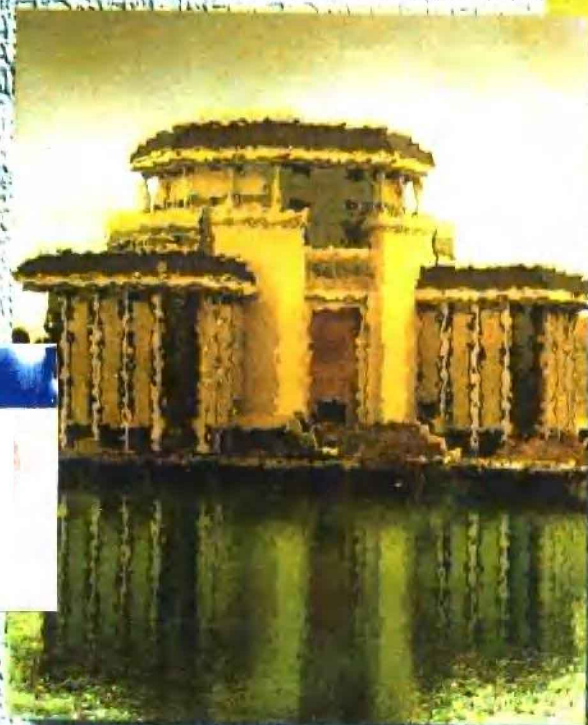


阮起楠 著

# 预应力 混凝土管桩



中国建材工业出版社

# 预应力混凝土管桩

阮起楠 编著



中国建材工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

预应力混凝土管桩/阮起楠著. -北京: 中国建材工业出版社, 2000. 2

ISBN 7-80090-966-2

I. 预… II. 阮… III. ①预应力混凝土管 ②预应力混凝土结构-混凝土桩 N. TU 757. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 69307 号

### 内 容 简 介

预应力混凝土管桩是体现当代混凝土技术进步与混凝土制品高新工艺水平的一种预制混凝土桩。本书作者总结了多年来从事混凝土制品科研、生产,特别是近十年来预应力混凝土管桩生产的实践经验,对国内外预应力混凝土管桩的发展情况作了全面而系统地概述。本书详尽地阐述并介绍了预应力混凝土管桩的分类、原材料选择、制造工艺与设备、结构设计方法、质量检验及常见质量弊病的分析与防治、管桩的储运与施工以及管桩的应用领域等,内容丰富、翔实。本书对预应力混凝土管桩的生产与应用,对我国跨世纪基础设施建设与土木建筑工程,具有指导意义和实用价值。可供从事混凝土制品科研、生产的工程技术人员及土木建筑工程人员阅读和参考。

### 预应力混凝土管桩

阮起楠 著

责任编辑 赵从旭

封面设计 晓 梦

\*

中国建材工业出版社出版

(北京百万庄国家建材局内 邮政编码 100831)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

北京京东印刷厂印刷

\*

开本: 787mm×1092mm 印张: 12.5 字数: 300 千字

2000 年 2 月第 1 版 2000 年 2 月第 1 次印刷

印数: 1—1000 册 定价: 29.00 元

ISBN 7-80090-966-2/TU · 249

# 序 言

改革开放以来,我国经济建设带动了土木建筑工程的迅速发展,大量的高层建筑、大跨度桥梁、高速公路、港口、码头等工程均需要优质的桩基。预制混凝土桩是重要的桩基材料,而预应力混凝土管桩是体现了当代混凝土技术进步与混凝土制品高新工艺水平的一种预制混凝土桩,具有质量保证、植桩方便、耐打性好、施工进度快、桩基抗震性好等优点。因此,近十多年来,预应力混凝土管桩在我国的生产与应用以惊人的速度迅猛发展,生产企业在10年内增加10倍,产量也增加10倍。从地区分布看,已由该产品生产与应用最多的广东省逐步推向长江三角洲与我国沿海、沿江、沿湖地区。现在,年生产能力已达2000万m,具有广阔的发展前景。然而,目前国内尚无有关预应力混凝土管桩产品的技术专著,由于缺少技术指导,有些生产企业产品质量不高,造成了不应有的损失。因此,更需要有一本技术专著来指导该产品的生产与应用,以确保质量并满足工程建设的需要。

本书作者是一位高级工程师,也是混凝土制品行业的一位科技专家,从事混凝土制品科技工作已有30多年,在预应力混凝土管桩生产企业工作也有近10年之久,具有丰富的理论知识与生产实践经验。作者根据自己亲身实践的体会编著了此书,在书中详尽阐述并介绍了生产预应力混凝土管桩的分类、原材料选择、制造工艺与设备、结构设计方法、质量检验与常见质量弊病的分析及防治、管桩的贮运与施工以及管桩的应用领域等,内容丰富、全面,对预应力混凝土管桩的生产与应用可起到十分重要的技术指导作用。本书体现了理论联系实际,具有实用性、可读性,是一本精心佳作。相信本书的出版、发行定将对我国跨世纪基础设施建设与土木建筑工程作出应有的贡献。

中国水泥制品工业协会顾问 蒋家奋  
教授级高级工程师

1999年10月



# 前 言

预应力混凝土管桩是主要的水泥制品，也是最重要的桩基材料。与其它桩基础相比较，概括起来它具有工艺简单、质量可靠、造价便宜、检测方便四大方面的诸多优点。因此，预应力混凝土管桩得到建设部和地方建委的肯定与重视，从1993年起，已被建设部列为全国重点推广项目。1976年唐山大地震，1999年台湾南投、台中大地震以及1978年日本宫城大地震、1996年阪神地区大地震后调查表明：预应力混凝土管桩是抗震构件，良好的预应力混凝土管桩基础设计不至于造成建筑物和构筑物的灾难性倾覆、倒塌，故这种桩型应该大力发展。

近10年来，我国预应力混凝土管桩得到迅速发展，现在全国产量约2000多万m，1998年仅广东省就使用预应力混凝土管桩达1100万m，1999年预计亦有增无减。然而，全国发展是不平衡的，“沿海多，内地少；南方多，北方少”。很多厂缺乏技术力量和技术指导；商业竞争造成“鸡犬之声相闻，老死不相往来”。作为水泥制品行业的科技人员，有责任总结经验，交流技术，使这个行业有更大的发展。为此，作者根据多年的工作实践编写此书。由于水平有限，加之时间匆忙，错误、不周之处在所难免，请读者批评指正。

本书出版得到中国新型建筑材料公司秦华虎教授级高级工程师、苏州混凝土水泥制品研究院蒋家奋教授级高级工程师的鼓励和帮助。秦总帮我审阅，蒋总特为本书写序言，对二位良师益友的鼓励和指教深表感谢！本书出版还得到中国建材工业出版社赵从旭编审的热忱支持，使本书能于新世纪来临之际与读者见面。如本书对行业读者有点滴帮助和启发，将是欣慰之事。

阮起楠

1999年10月于汕头

# 目 录

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 序 言 .....                       | I   |
| 前 言 .....                       | II  |
| 第一章 概 述 .....                   | 1   |
| 第一节 国外预应力混凝土管桩发展概况 .....        | 1   |
| 第二节 我国预应力混凝土管桩发展概况 .....        | 8   |
| 第三节 预应力混凝土管桩的分类 .....           | 9   |
| 第四节 预应力混凝土薄壁管桩 .....            | 13  |
| 第二章 原材料 .....                   | 15  |
| 第一节 水泥 .....                    | 15  |
| 第二节 砂、石集料 .....                 | 19  |
| 第三节 高效减水剂 .....                 | 21  |
| 第四节 矿物质粉料 .....                 | 24  |
| 第五节 预应力凹螺纹钢筋、预应力钢丝与冷拔低碳钢丝 ..... | 25  |
| 第三章 预应力混凝土管桩制造工艺 .....          | 29  |
| 第一节 工艺流程及工艺布置评定 .....           | 29  |
| 第二节 混凝土混合料制备与混凝土抗压强度评定 .....    | 35  |
| 第三节 钢筋加工、钢筋骨架制作及预应力张拉 .....     | 51  |
| 第四节 喂料方式 .....                  | 55  |
| 第五节 离心成型 .....                  | 59  |
| 第六节 管桩的养护方式与胶凝材料的水化硬化机理 .....   | 80  |
| 第四章 管桩生产专用设备简介 .....            | 109 |
| 第一节 桩端板及裙板加工 .....              | 109 |
| 第二节 管桩模具 .....                  | 111 |
| 第三节 纵向张拉机 .....                 | 115 |
| 第四节 管桩离心机 .....                 | 115 |
| 第五节 镦头机 .....                   | 117 |
| 第六节 管桩骨架滚焊机 .....               | 118 |
| 第七节 蒸压釜 .....                   | 120 |
| 第八节 管桩抗弯结构试验台 .....             | 122 |
| 第五章 管桩结构设计方法 .....              | 124 |
| 第一节 引用和参考标准、规范、材料强度的取值 .....    | 124 |
| 第二节 管桩桩身竖向承载力设计值 .....          | 126 |
| 第三节 抗裂弯矩验算、极限弯矩验算 .....         | 127 |
| 第四节 螺旋钢筋设计 .....                | 129 |

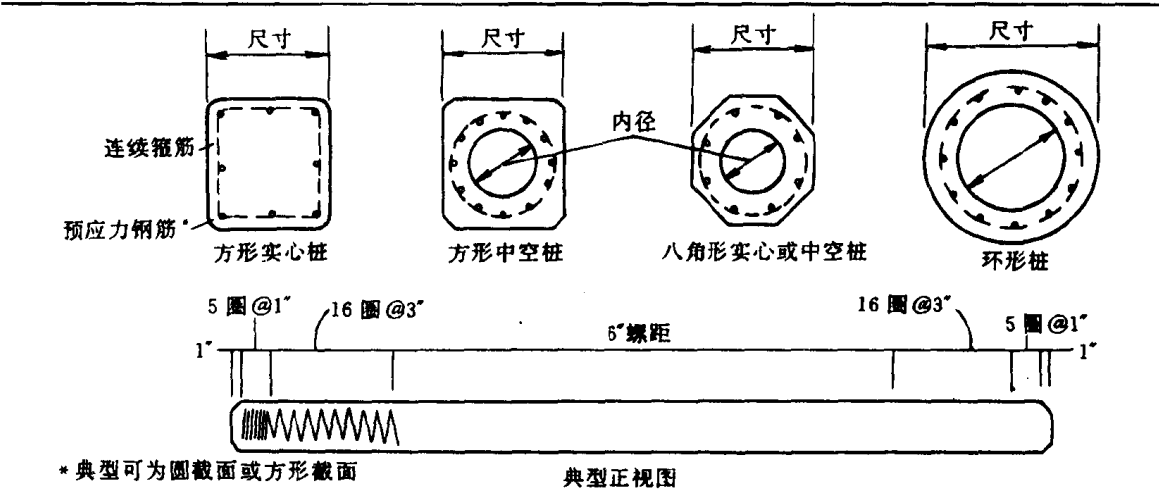
|             |                                        |            |
|-------------|----------------------------------------|------------|
| 第五节         | 抗剪强度计算和轴力作用下抗裂弯矩计算·····                | 131        |
| 第六节         | 钢纤维增强预应力管桩·····                        | 131        |
| <b>第六章</b>  | <b>管桩质量检验要点及常见质量弊病分析与防治·····</b>       | <b>136</b> |
| 第一节         | 工艺过程质量监控要点·····                        | 136        |
| 第二节         | 常见质量问题分析及防治·····                       | 140        |
| 第三节         | 管桩的环裂与纵裂·····                          | 143        |
| 第四节         | 管桩的结构检验·····                           | 148        |
| <b>第七章</b>  | <b>管桩的储运与施工·····</b>                   | <b>158</b> |
| 第一节         | 运输与堆放要求·····                           | 158        |
| 第二节         | 植桩方法概述·····                            | 159        |
| 第三节         | 柴油锤打桩机施工注意事项·····                      | 163        |
| 第四节         | 静压法施工·····                             | 168        |
| 第五节         | 工地检验·····                              | 170        |
| <b>第八章</b>  | <b>管桩的应用领域及工程范例·····</b>               | <b>173</b> |
| 第一节         | 管桩的应用领域·····                           | 173        |
| 第二节         | 工程范例五则·····                            | 178        |
| <b>附录 1</b> | <b>预制混凝土桩发展大事记 40 条 ·····</b>          | <b>182</b> |
| <b>附录 2</b> | <b>中国水泥制品工业协会预制混凝土桩专业委员会会员名单 ·····</b> | <b>184</b> |
| <b>参考文献</b> | <b>·····</b>                           | <b>189</b> |

# 第一章 概 述

## 第一节 国外预应力混凝土管桩发展概况

预制混凝土桩是重要的桩基材料，也是重要的水泥制品。预制混凝土桩基工程与一般基础工程相比，具有桩材质量好、施工快、工程地质适应性强、场地文明等优点，被广泛应用于各类建筑物和构筑物的基础工程上，如高层建筑、公共建筑、一般工业与民用建筑、港口、码头、高速公路、桥梁、重型机床、仓库、护岸等领域。回顾它的发展历史，桩在神圣罗马时期已开始应用，那是木短桩。1894 年 Hennebique 发明了预制混凝土桩。1906 年，出现了采用配螺旋筋的混凝土桩，桩的形状开始设计并使用三角形、正方形、六角形、八角形。1915 年，澳大利亚人 W·R·Hume 发明了用离心密实混凝土的成型方法，很快用来制造环形管桩、圆锥形桩、竹节形桩及各种管子和混凝土电杆。目前，离心成型的管桩已成为预制混凝土桩中最重要，最活跃部分。除实心 and 空心混凝土桩外，还有混凝土板桩和钢管混凝土桩。表 1-1 为美国预应力混凝土桩的形式、尺寸和相关长度（12~43m）。

表 1-1 预应力混凝土桩的截面性能和容许使用荷载



| 尺 寸<br>(in) | 内 径<br>(in) | 截 面 性 能                   |              |                             |                             |              |             | 容许轴心实用荷载 <sup>(2)</sup> |       |       |       |
|-------------|-------------|---------------------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------|-------------|-------------------------|-------|-------|-------|
|             |             | 面 积<br>(in <sup>2</sup> ) | 重 量<br>(plf) | 惯 性 矩<br>(in <sup>4</sup> ) | 截面 模数<br>(in <sup>3</sup> ) | 回转半径<br>(in) | 周 长<br>(ft) | $f_c$                   |       |       |       |
|             |             |                           |              |                             |                             |              |             | 5,000                   | 6,000 | 7,000 | 8,000 |
| 方 形 桩       |             |                           |              |                             |                             |              |             |                         |       |       |       |
| 10          | 实心桩         | 100                       | 104          | 833                         | 167                         | 2.89         | 3.33        | 73                      | 89    | 106   | 122   |
| 12          | 实心桩         | 144                       | 150          | 1 728                       | 288                         | 3.46         | 4.00        | 105                     | 129   | 152   | 176   |



续表 1-1

| 尺寸<br>(in) | 内 径<br>(in) | 截 面 性 能                   |              |                             |                             |              |             | 容许轴心实用荷载 <sup>(2)</sup> |       |       |       |
|------------|-------------|---------------------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------|-------------|-------------------------|-------|-------|-------|
|            |             | 面 积<br>(in <sup>2</sup> ) | 重 量<br>(plf) | 惯 性 矩<br>(in <sup>4</sup> ) | 截面 模数<br>(in <sup>3</sup> ) | 回转半径<br>(in) | 周 长<br>(ft) | $f_c$                   |       |       |       |
|            |             |                           |              |                             |                             |              |             | 5,000                   | 6,000 | 7,000 | 8,000 |
| 14         | 实心桩         | 196                       | 204          | 3 201                       | 457                         | 4.04         | 4.67        | 143                     | 175   | 208   | 240   |
| 16         | 实心桩         | 256                       | 267          | 5 461                       | 683                         | 4.62         | 5.33        | 187                     | 229   | 271   | 314   |
| 18         | 实心桩         | 324                       | 338          | 8 748                       | 972                         | 5.20         | 6.00        | 236                     | 290   | 344   | 397   |
| 20         | 实心桩         | 400                       | 417          | 13 333                      | 1 333                       | 5.77         | 6.67        | 292                     | 358   | 424   | 490   |
| 20         | 11          | 305                       | 318          | 12 615                      | 1 262                       | 6.43         | 6.67        | 222                     | 273   | 323   | 373   |
| 24         | 实心桩         | 576                       | 600          | 27 648                      | 2 304                       | 6.93         | 8.00        | 420                     | 515   | 610   | 705   |
| 24         | 12          | 463                       | 482          | 26 630                      | 2 219                       | 7.58         | 8.00        | 338                     | 414   | 491   | 567   |
| 24         | 14          | 422                       | 439          | 25 762                      | 2 147                       | 7.81         | 8.00        | 308                     | 377   | 447   | 517   |
| 24         | 15          | 399                       | 415          | 25 163                      | 2 097                       | 7.94         | 8.00        | 291                     | 357   | 423   | 488   |
| 30         | 18          | 646                       | 672          | 62 347                      | 4 157                       | 9.82         | 10.00       | 471                     | 578   | 685   | 791   |
| 36         | 18          | 1 042                     | 1 085        | 134 815                     | 7 490                       | 11.38        | 12.00       | 761                     | 933   | 1 105 | 1 276 |

## 八 角 形 桩

|    |     |     |     |        |       |      |      |     |     |     |     |
|----|-----|-----|-----|--------|-------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| 10 | 实心桩 | 83  | 85  | 555    | 111   | 2.59 | 2.76 | 60  | 74  | 88  | 101 |
| 12 | 实心桩 | 119 | 125 | 1 134  | 189   | 3.09 | 3.31 | 86  | 106 | 126 | 145 |
| 14 | 实心桩 | 162 | 169 | 2 105  | 301   | 3.60 | 3.87 | 118 | 145 | 172 | 198 |
| 16 | 实心桩 | 212 | 220 | 3 592  | 449   | 4.12 | 4.42 | 154 | 189 | 224 | 259 |
| 18 | 实心桩 | 268 | 280 | 5 705  | 639   | 4.61 | 4.97 | 195 | 240 | 284 | 328 |
| 20 | 实心桩 | 331 | 345 | 8 770  | 877   | 5.15 | 5.52 | 241 | 296 | 351 | 405 |
| 20 | 11  | 236 | 245 | 8 050  | 805   | 5.84 | 5.52 | 172 | 211 | 250 | 289 |
| 22 | 实心桩 | 401 | 420 | 12 837 | 1 167 | 5.66 | 6.08 | 292 | 359 | 425 | 491 |
| 22 | 13  | 268 | 280 | 11 440 | 1 040 | 6.53 | 6.08 | 195 | 240 | 283 | 328 |
| 24 | 实心桩 | 477 | 495 | 18 180 | 1 515 | 6.17 | 6.63 | 348 | 427 | 506 | 584 |
| 24 | 15  | 300 | 315 | 15 696 | 1 308 | 7.23 | 6.63 | 219 | 268 | 318 | 368 |

## 环 形 桩

|    |    |       |       |         |        |       |       |     |       |       |       |
|----|----|-------|-------|---------|--------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|
| 36 | 26 | 487   | 507   | 60 007  | 3 334  | 11.10 | 9.43  | 355 | 436   | 516   | 596   |
| 42 | 32 | 581   | 605   | 101 273 | 4 823  | 13.20 | 11.00 | 424 | 520   | 616   | 712   |
| 48 | 38 | 675   | 703   | 158 222 | 6 592  | 15.31 | 12.57 | 493 | 604   | 715   | 827   |
| 54 | 44 | 770   | 802   | 233 373 | 8 643  | 17.41 | 14.14 | 562 | 689   | 816   | 943   |
| 66 | 54 | 1 131 | 1 178 | 514 027 | 15 577 | 21.32 | 17.28 | 826 | 1 013 | 1 199 | 1 386 |

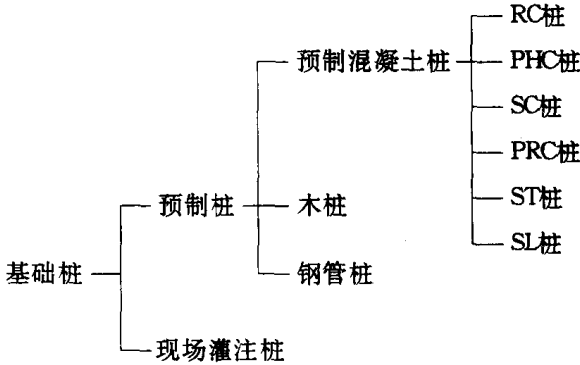
注：(1) 尺寸形状可由制造者改变，但需与截面性能变化相一致。

(2) 容许荷载以  $N = A_c (0.33f_c - 0.27f_{pc})$  计算， $f_{pc} = 700\text{psi}$ ，有效混凝土强度由生产者检验。

日本、美国、加拿大、意大利、英国、荷兰、德国、新西兰、俄罗斯是研究、生产、使用混凝土桩较多的国家。80年代末起，发展中国家，如中国、马来西亚、菲律宾对预应力混凝土管桩的生产应用也普及起来，而且起步较高。总的来看日本是岛国，且人多地少，工业发达又处在地震带，因此，他们对预制混凝土桩的研究、设计、施工、应用下过很大功夫，取得丰富经验，是当今世界混凝土桩方面技术领先国家，1996年12月中国水泥制品工业协会曾组团赴日本考察日本水泥制品，特别是预应力混凝土管桩的发展现状，日本的经验可供我们借鉴。

日本的发展过程是：1934年开始制造离心混凝土管桩（RC）。1962年日本又开发了预应力混凝土管桩（PC）。开发初期用先张法和后张法同时生产PC桩，后来以先张法生产工艺为主。1968年制定了JISA 5335《先张法离心预应力混凝土管桩》标准。由于异型预应力钢筋（VLBON）的开发应用进一步促进了PC管桩的发展，60年代末至70年代日本又开发了预应力离心高强混凝土管桩（PHC桩），1982年制定了JISA 5337《先张法离心高强混凝土管桩》标准，并于1993年对该标准进行了修订。据日本通产省调查统计资料表明，1965~1992年日本各种管桩年产量在200~800万t之间。PHC管桩开发以来，由于其优良的质量及多变的适应能力，产量猛增。1991年达到最高峰，全国各种桩产量达790万t（合成 $\phi$ 500桩2300万m）。90年代初由于日本经济受到世界经济波动影响，建筑市场需桩量大幅度下降，1994年到了最低谷，全国产量540万t；1995年1月17日日本南部阪神强烈地震后，日本管桩及电杆协会对地震建筑物的基础进行了调查，发现建筑物的基础除了使用管桩以外都受到了不同程度的破坏，尤其是现场灌注桩破坏率很高。同时也表明了PHC管桩在抗震方面有很大的优势，这也是1995~1996年日本管桩产量回升的主要原因。在日本现在各种基础都大量应用管桩，无论是市内建设或市郊建设在用桩上都有一套比较好的施工方法来支持，从建筑要求、环境保护、施工质量、施工安全、企业效益等方面进行综合考虑制定可行的施工方案，这也为管桩可以很好应用得到了保障。

日本现在基础桩基本为二大部分：预制桩、现场灌注桩。



预制管桩基本分六大类：

(1) RC桩，即离心钢筋混凝土管桩 Reinforced Spun Concrete Pile

桩径：250~600mm

混凝土强度等级：C40

用途：一般土木工程建筑物

- (2) PHC 桩, 即先张法离心高强预应力混凝土桩 Pretensioned Spun High Strength Concrete Piles

桩径: 300~1000mm

混凝土强度等级: C80~C85

有效压应力: A 型 4.0MPa B 型 8.0MPa C 型 10.0MPa

用途: 各种土木工程建筑物; A 型主要用于承担垂直荷载的建筑物; B 型、C 型: 主要用于承担垂直及水平荷载的建筑物。

- (3) SC 桩, 即钢管离心混凝土桩 Steel Composite Concrete Pile

桩径: 300~1000mm

钢管厚: 4.5~19mm

混凝土强度等级: C80

用途: 因为其抗弯性能良好, 故用于抗水平力要求高的建筑, 从经济角度出发可与 PHC 管桩组合作为上节桩用。

- (4) PRC 桩, 即先张法离心高强预应力钢筋混凝土桩 Pretensioned and Reinforced Spun High Strength Concrete Piles

桩径: 300~1000mm

混凝土强度等级: C85

有效预压应力: 4.0MPa

非预应力钢筋:  $\phi 10 \sim \phi 25$  6~19 根

用途: 抗弯性能介于 PHC 桩与 SC 桩之间, 可根据设计条件、需要选用。

- (5) ST 桩, 即变截面桩 Step Taper Piles

桩径: 300 (350) ~900mm (1000mm)

混凝土强度等级: C80~C85

有效预压应力: A 型: 4.0MPa B 型: 8.0MPa C 型: 10.0MPa

用途: 可根据土层物理力学性能利于扩径部分的承载力, 提高整根桩的承载力, 在建筑物中与 PHC、SC、PRC 桩组合使用。

- (6) SL 桩, 即降低负摩擦桩 Slip Layer Piles

桩径: 300~1000mm

混凝土强度等级: C80~C85

有效预压应力: 同 PHC 桩, 在 PHC 桩表面涂厚度为 6mm 沥青及表面保护层

用途: 针对某些特殊地质条件下由于建筑物地质温度及下降量产生负摩擦而设计的降低负摩擦桩。

以 1995 年为例, 日本全国 78 个公司 (127 个工厂) 共生产管桩 566.8 万 t。其中: PHC 管桩 536 万 t, 占 94%; PRC 管桩 10.7 万 t, 占 2%; SC 桩 16.2 万 t, 占 3%; RC 桩 3.9 万 t, 占 1%。前十位大公司生产总额占全国管桩产量的 55%, 如表 1-2 所示。

70 年代日本又研制开发了加压成型的非压蒸养护的三种预应力高强混凝土板桩, 并统一列于日本的 PHC 标准中 (JIS A5337)。这种板桩已用于不同的结构工程如: 挡土墙、护壁堤、堤防与码头等工程。与钢板桩相比, 即可节约大量的钢材, 还具有较好的耐久性。不施加预应力时板桩混凝土强度等级为 C60, 若施加预应力的板桩则强度为 C70。

表 1-2 日本前十位大公司生产管桩量

| 产量 (万 t)<br>占比例 (%) | 旭化成              | 日本<br>混凝土<br>公 司 | 大 同<br>混凝土<br>公 司 | 浴积产              | 前田制<br>管公司       | 日本休<br>漠公司       | 车 扇<br>フサム       | 大 洋<br>混凝土<br>公 司 | 日 本<br>高 压        | 丸 玉               |
|---------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1991 年              | $\frac{74}{9.4}$ | $\frac{74}{9.4}$ | $\frac{63}{8.0}$  | $\frac{46}{5.4}$ | $\frac{42}{5.4}$ | $\frac{38}{4.7}$ | $\frac{31}{4.2}$ | $\frac{3.0}{4.2}$ | $\frac{2.5}{2.9}$ | $\frac{2.0}{2.3}$ |
| 1995 年              | $\frac{58}{9.9}$ | $\frac{44}{7.8}$ | $\frac{46}{8.1}$  | $\frac{34}{6.0}$ | $\frac{26}{4.9}$ | $\frac{30}{5.3}$ | $\frac{19}{3.9}$ | $\frac{22}{3.9}$  | $\frac{16}{2.8}$  | $\frac{17}{3.0}$  |

注：1 万 t 合成  $\phi 500$  管桩 28572m。

混凝土板桩有三种截面形式：(1) 平板桩；(2) 槽形板桩；(3) 波形板桩（或称 U 形板桩），如图 1-1 所示。板桩宽一般 1000mm，厚 6~12cm，长 3~21m 共 26 个规格。1993 年日本已颁布了《混凝土板桩》的工业标准 JIS A5334。

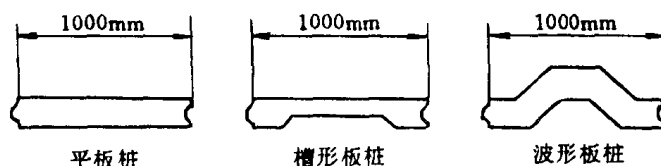


图 1-1 板桩截面形状

这种板桩制造时机械压力值  $1000\text{kgf/cm}^2$ ，加压后不经预养即放入  $100^\circ\text{C}$  蒸汽养护室中，2h 即脱模，再经  $21^\circ\text{C}$  水养 7~14d 即可。

钢管混凝土桩的研究开发比板桩早，1985 年日本已形成工业性生产的有直径 1000~1500mm，长 15~20m，桩心混凝土强度 C50、C80 成型方法多是离心法。美国与新西兰还有用震动成型的实芯混凝土钢管桩，长度 12.2~36.6m。钢管混凝土桩的力学性能优于一般的预应力高强混凝土桩，但成本较贵，宜用于重要的特种工程上，经济技术指标将仍为合理。

70 年代，前苏联钢纤维钢筋混凝土桩进行较多的研究与使用。试验表明：掺有钢纤维的桩头比一般混凝土桩头抗冲击能力提高 2.7~8.3 倍，比钢筋混凝土桩提高 1~4 倍。列宁格勒某工地使用  $350\text{mm} \times 350\text{mm}$ 、长 12m 的钢筋混凝土桩 79 根，其中 69 根只打深 3~7m，因桩头破坏而未打入设计深度，钢纤维桩则根根打入设计高程而未有破坏。另一工地用长 14m 桩 120 根，桩头长 0.4m 一段掺入  $80\text{kg/m}^3$  钢纤维，结果全部桩都打到设计高程。列宁格勒某单位 1982 年至 1983 年间在 42 个工程中采用 11650 根钢纤维混凝土桩，既有桩头、桩尖掺钢纤维局部增强的桩，亦有全钢纤维混凝土桩，其中桩头钢纤维掺量  $80\sim 120\text{kg/m}^3$ ；桩身掺量  $40\text{kg/m}^3$ ，全部桩打入设计深度，桩头无一损坏。

预制桩的发展与植桩施工机械发展是相辅相成、相互促进的，这是桩基工程发展的前提和保障。远在神圣罗马时代，就有人力和畜力打桩机。1765 年英国人瓦特发明了蒸汽机，而后在预制混凝土桩还尚未开发前，James Nasmyth 就发明打木桩用的蒸汽锤，于 1845 年首次在美国海军的德文港码头建设上使用。1938 年德国的 Delmag 公司首先开发了柴油打桩机，1934 年前苏联开发了打板桩用的机械震动打桩机。为了克服打击法、震动法产生的噪音、废气对城市环境的影响，近年来又发明了静压法、预钻工法、中掘工法等先进施工技术。由于日本预制混凝土桩系列品种多，应用普遍，因此，在桩的施工方法上也堪称一流（见表 1-3），施工方面不是本节重点，仅作一般介绍。

表 1-3 日本的代表性桩

| 施工法<br>分 类     | 施工法               | 装设法                                                                                                                                    | 桩 径<br>长 度                     | 适 用<br>地 质 | 施 工 概 要                                                                                                                                                    |
|----------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 打击工法<br>(认可工法) | 油压锤桩<br>头打击法      | 打 击                                                                                                                                    | $\phi 300 \sim 600$<br>max60m  | 砂 砾        | 替代柴油锤的低公害直打锤<br>由锤的自由降落, 经油压将打击力传至桩头, 打击力<br>可持续较长的时间, 因此噪音振动可以降低                                                                                          |
|                | 预挖桩尖<br>靴打击法      | 打击桩尖<br>可 动 靴                                                                                                                          | $\phi 350 \sim 800$<br>max50m  | 砂 砾        | 用螺旋钻开挖至支持层, 桩尖部先装可动桩靴, 插入<br>桩, 利用桩内空间, 用下降锤打击桩靴 (打底打击工<br>法)。                                                                                             |
| 埋设工法<br>认可工法   | 掏挖桩尖<br>扩大固定<br>法 | 用螺旋钻<br>掏挖                                                                                                                             | $\phi 450 \sim 800$<br>max70m  | 砂 砾        | 桩尖装置有效支持器, 由桩中空部份用螺旋钻开挖,<br>使桩下降至预定位置, 再由桩尖向下面挖 1m, 从螺旋<br>钻底部以高压喷射 ( $180 \sim 220 \text{ kg/cm}^2$ ) 水泥浆并将螺<br>旋钻上提, 制造桩尖扩大基础。桩尖底部起 1.5m 内<br>中空部份亦灌填水泥浆 |
|                | 掏挖旋转<br>压入        |                                                                                                                                        | $\phi 300 \sim 600$<br>max45m  | 砂 砾        | 桩尖部装开挖器, 由桩中空部插入钻杆, 转动开挖器<br>开挖, 桩体也旋转贯入, 开挖时需由开挖喷出水 ( $5 \sim$<br>$10 \text{ kg/cm}^2$ ) 使开挖容易。压入持力层后, 喷射水泥浆<br>使桩尖部固结                                    |
|                | 预挖桩尖<br>扩大固定<br>法 | 用预挖法<br>将桩尖底<br>部扩大固<br>结                                                                                                              | $\phi 300 \sim 800$<br>max70m  | 砂 砾        | 沿着桩的孔壁装设圆筒及土砂搅拌杆, 用专用钻杆,<br>由桩尖喷出水或开挖液, 使孔内地质泥化, 沿正确位<br>置预挖, 尽量使排土量减少, 完成开挖孔, 桩尖装特<br>殊切挖刀使桩旋转下降                                                          |
|                | 预挖旋转              | 在水泥浆<br>体中旋转<br>桩并压入                                                                                                                   | $\phi 300 \sim 1200$<br>max70m | 砂 砾        | 用土砂搅拌杆与切挖板使土泥化, 开挖至规定深度。<br>土壤水泥形成后, 夹住桩头旋转 (只正转) 并压入至<br>规定位置, 使土变成土壤水泥, 所以排土量少                                                                           |
| 一般工法           | 水泥浆               | 预 挖                                                                                                                                    | $\phi 300 \sim 600$            | 砂 砾        | 用螺旋钻先挖桩孔, 插入桩, 桩尖及桩周面灌填水泥<br>浆                                                                                                                             |
|                | 中间掏挖              | 桩内部螺<br>旋钻                                                                                                                             | $\phi 300 \sim 800$            | 砂 砾        | 桩内空部插入螺旋钻, 由桩尖开挖, 土经桩内排出, 并<br>压入至规定位置, 桩尖及桩周灌填水泥浆                                                                                                         |
|                | 柴油锤               | 直接打击                                                                                                                                   | $\phi 300 \sim 600$            | 砂 砾        | 传统使用方法, 锤重一般使用 2.2~7.5t                                                                                                                                    |
| 备 注            |                   | 注: (1) 桩尖支持力公式 打击桩 $R_u = a \cdot N \cdot A_p$ ( $a=30$ ) $A_p$ = 桩阻力断面积<br>埋设桩 $R_u = a \cdot N \cdot A_p$ ( $a=25$ ) $R_u$ = 桩尖极限支持力 |                                |            |                                                                                                                                                            |

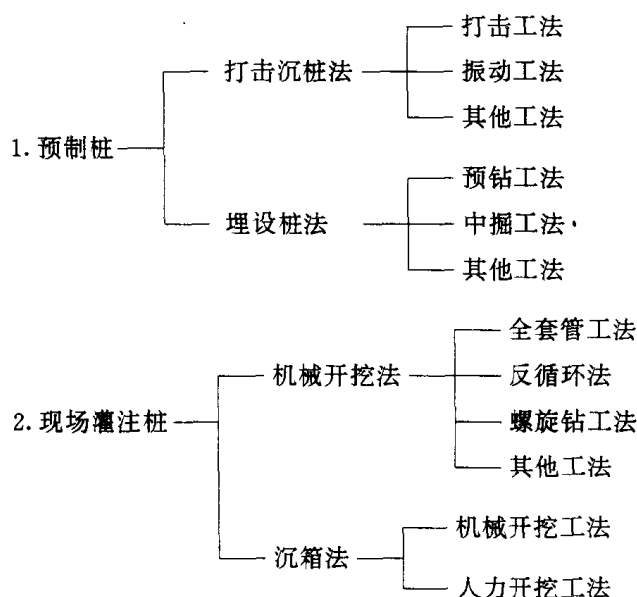
# 施工法与评价

| 噪音、振动标准 |       | 支持力及支持力系数<br>( $\alpha$ )                                        | 标准施工能率<br>(m/d)      | 标准<br>打击费    | 施工管理<br>难易度 | 综合<br>评价 |
|---------|-------|------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------|-------------|----------|
| 噪 音     | 振 动   |                                                                  |                      |              |             |          |
| 54~69   | 72~78 | 由下陷量, 反弹量, 可适用动的公式 $\alpha=30$                                   | 250~300m<br>(1.0)    | 2.0<br>(2.3) | 很适合         | 很适合      |
| 65~74   | 61~64 | 用打底法浆桩尖靴打入持力层后用水泥浆将桩体与桩靴等连结, $\alpha=30$<br>适用动的支持力公式            | 130~160m<br>(0.75)   | 3.0<br>(3.5) | 稍适合         | 稍适合      |
| 60~70   | 40~45 | 用螺旋钻, 在桩尖以高压喷射水泥浆在桩尖制造扩大球状基础 $\alpha=25$                         | 120~180m<br>(0.8)    | 4.0          | 很适合         | 很适合      |
| 55~65   | 40~45 | 由桩尖的开挖器喷射水泥浆固结桩尖 $\alpha=25$                                     | 120~180mm<br>(0.8)   | 4.0          | 很适合         | 稍适合      |
| 55~65   | 40~45 | 用扩大钻头使桩尖部扩大, 喷射水泥浆, 制造扩大球状基础 $\alpha=25$                         | 160~220m<br>(0.7)    | 3.5<br>(3.8) | 稍适合         | 稍适合      |
| 55~65   | 40~45 | 土壤水泥的强度大, 摩擦支持力也大, 桩尖设有扩大, 无崩坏部分, 桩尖支持力, 考虑桩尖插入部分的效果 $\alpha=20$ | 130~200m<br>(0.8)    | 3.5<br>(3.5) | 很适合         | 很适合      |
| 55~65   | 40~45 | 桩尖部喷出水泥浆, 固结桩的根部 $\alpha=20$                                     | 180~200m<br>(0.7)    | (4.0)        | 稍适合         | 稍适合      |
| 55~65   | 40~45 | 桩尖部喷出水泥浆固结 $\alpha=20$                                           | 125~150m<br>(0.5)    | 4.5          | 稍适合         | 稍适合      |
| 90~110  | 80~90 | 直接打击 $\alpha=35$                                                 | 250~300m<br>平均 (1.0) | 平均<br>(1.0)  | 稍适合         | 很适合      |

(2) 括弧内数值系以柴油锤为 1 时的比值



日本各种桩基基础年用桩量大约 2000 万 m 左右,其中管桩用量最大,这与其有一整套完整的施工方法有关,在不同的地质条件、施工场地选用不同的施工法,优先选用预制桩,其次才考虑现场灌注桩达到设计要求。



日本代表性预制桩施工法与评价见表 1-3。

## 第二节 我国预应力混凝土管桩发展概况

40 年代,铁道部北京丰台桥梁厂曾少量生产过直径 400mm 钢筋混凝土离心管桩。该厂又于 1966 年开始研制用  $\phi 7$  高强钢丝为主筋制造直径 550mm 预应力混凝土管桩,获得成功并生产至今。60 年代末为建设南京长江大桥需要,大桥工程局三处也开始生产预应力混凝土管桩至今。

1984 年广东省构件公司与广东省基础公司、广东省建筑科学研究所合作首先研制现代形式的预应力混凝土管桩(以往是法兰接口,现为焊接驳接),并于 1987 年通过广东省建委组织的技术鉴定。继广东省构件公司之后,在改革开放大好形势激励下,经济建设迅速发展促进管桩行业发展,全国又一批管桩厂相继诞生。如:南方管桩厂、上海三航局混凝土预制厂、番禺桥丰水泥制品公司、广东省七建管桩基础公司、鸿运管桩厂、宏基管桩厂、鸿业管桩厂、羊城管桩厂等。

1991~1995 年是我国建立管桩厂最多的时期,现已有管桩厂 70 多家,与此同时,还发展了一批凹螺纹预应力钢棒厂、高效减水剂厂、磨细石英砂厂和管桩生产专用设备制造厂,形成一支强大的行业队伍。70 多家管桩厂中,起步较高,绝大多数生产 PHC 管桩,少部分生产 PC 管,现年生产能力约 2000 万 m,规格品种 366 个,基本上满足使用要求,对于大直径管桩尚待进一步开发。在分布上,主要在珠江三角洲(广东省)约 40 多家、长江三角洲(上海市及江浙二省)约 20 多家、其他地区约 5~6 家。全国凹螺纹预应力钢筋生产线有 25 条,其中 9 条生产线是从法国(从 OTT 公司引进 7 条)、德国(1 条)、日本(1 条)引进的,总生产能力为 200 多万 t。主要分布在津唐地区,其次是江苏、浙

江和广东省。可供 PHC 管桩生产用的高效减水剂企业也约有 20 余家，除部分管桩厂用日本花王公司上海生产的 MD-100 外，其他厂均用国产的 FDN-5、UNF-5、XP-I、XP-II、FS 等，如同凹螺纹预应钢筋一样，目前均供大于售。管桩生产专用设备，如离心机、管桩模、滚焊机、镦头机、蒸压釜、切断编组机、张拉机、搅拌系统等国内都能制造，并几乎集中在江苏省，所以国内管桩厂除前期少数厂引进日本、韩国设备外，绝大多数管桩厂设备都是国产化的，也能满足生产要求，少量设备还出口到东南亚国家。

1992 年，我国制订了国家标准 GB13476-92《先张法预应力混凝土管桩》。

1994 年成立中国水泥制品工业协会预制混凝土桩专业委员会，现已有会员 100 个，并办有《预制混凝土桩》专业刊物。

广东省是管桩厂最多、使用管桩最多也最为普遍的省份，早在 1991 年广东省建委便组织制定了省标 DBJ15-201-91《建筑地基基础施工及验收规程》，将预应力混凝土管桩编入标准内。1995 年又组织了有关科研、设计、管桩厂及施工单位编写了《预应力混凝土管桩基础技术规程》(DBJ/T15-22-98)。

建设部自 1993 年起，已将“高强度预应力混凝土管桩”列入重点推广项目。

1998 年全国约生产预应力混凝土管桩 2000 万 m，其中广东省占 70%。我国现已研制成功  $\phi 1000 \times 30\text{m}$  预应力高强混凝土管桩（上海三航局预制厂）；掺电厂粉煤灰和磨细石英砂应用； $\phi 1200 \times 28\text{m}$  大型滚焊机（南京水泥制品机械厂研制，出口至马来西亚）及静压桩机的推广应用等；浙江省推广应用薄壁 PC 管桩已有十多年历史，并有地方法规，独具一格。根据行业的发展，1998 年还对国标 GB13476-92 进行修订，现修订后的 GB13476-1999 即将实施，相信在不久的将来我国管桩行业将会更加健康发展，新材料、新工艺、新产品、新机械、新的施工方法会不断涌现，达到先进国家水平。

### 第三节 预应力混凝土管桩的分类

在我国，后张法预应力管桩、预应力混凝土板桩尚未开发；钢管混凝土管桩尚属研制阶段；钢纤维混凝土桩也小批量试用（多是现浇方桩），这里分类仅以国标 GB13476-1998 为依据。

#### 1. 产品品种

管桩按混凝土强度等级分为预应力混凝土管桩（代号 PC）和预应力高强混凝土管桩（代号 PHC）。预应力混凝土管桩的离心混凝土强度等级不得低于 C50 级；预应力高强混凝土管桩的离心混凝土强度等级不得低于 C80 级。因此，区分 PC 桩与 PHC 桩仅仅是桩的离心混凝土强度。对于几何尺寸、抗弯等级相同时，PC 和 PHC 仅反应承载能力大小。

#### 2. 产品规格

管桩按外径分为 300、350、400、450、500、550、600、800 和 1000mm，长度 7~15m，管桩基本尺寸见表 1-4，其结构形状见图 1-2。

表 1-4 管桩的基本尺寸

| 外径 $D$<br>(mm) | 最小壁厚 $t_{\min}$<br>(mm) |     | 型 号 | 长 度 $L$<br>(m) |   |   |    |    |    |    |    |    |
|----------------|-------------------------|-----|-----|----------------|---|---|----|----|----|----|----|----|
|                | PC                      | PHC |     | 7              | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 300            | 60                      | 60  | A   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | —  | —  | —  | —  |
|                |                         |     | AB  | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | —  | —  | —  | —  |
|                |                         |     | B   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | —  | —  | —  | —  |
|                |                         |     | C   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | —  | —  | —  | —  |
| 350            | 65                      | 60  | A   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | —  | —  | —  | —  |
|                |                         |     | AB  | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | —  | —  | —  | —  |
|                |                         |     | B   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | —  | —  | —  | —  |
|                |                         |     | C   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | —  | —  | —  | —  |
| 400            | 75                      | 65  | A   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | —  | —  | —  |
|                |                         |     | AB  | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | —  | —  | —  |
|                |                         |     | B   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | —  | —  | —  |
|                |                         |     | C   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | —  | —  | —  |
| 450            | 80                      | 70  | A   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | —  | —  | —  |
|                |                         |     | AB  | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | —  | —  | —  |
|                |                         |     | B   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | —  | —  | —  |
|                |                         |     | C   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | —  | —  | —  |
| 500            | 90                      | 80  | A   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |
|                |                         |     | AB  | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |
|                |                         |     | B   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |
|                |                         |     | C   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |
| 550            | 90                      | 85  | A   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |
|                |                         |     | AB  | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |
|                |                         |     | B   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |
|                |                         |     | C   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |
| 600            | 100                     | 90  | A   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |
|                |                         |     | AB  | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |
|                |                         |     | B   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |
|                |                         |     | C   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |
| 800            | 120                     | 110 | A   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |
|                |                         |     | AB  | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |
|                |                         |     | B   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |
|                |                         |     | C   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |
| 1000           | 140                     | 130 | A   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |
|                |                         |     | AB  | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |
|                |                         |     | B   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |
|                |                         |     | C   | ○              | ○ | ○ | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |

注：(1) 根据供需双方协议，也可生产长度小于 7m 或大于 15m 的管桩。

(2) 小于规定壁厚为薄壁管桩，由企业或地区参照本标准制订标准。