预应力高强混凝土管桩设计关键技术要点解析

王茹
中冶京诚工程技术有限公司，中国·北京 100176

摘要：预应力高强混凝土管桩（PHC 桩）因其单桩承载力高、施工速度快、质量可控等优势，在我国地基基础工程中应用极为广泛。然而，随着国家标准《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476-2023 的更新实施，以及各地方标准的陆续修订，管桩设计的技术要求日趋严格和细化，设计人员在管桩选型、沉桩控制等方面面临诸多技术难点，亟需系统性的技术梳理与指导。本文以现行国家规范和地方标准为依据，系统论述了管桩设计中的图集选用原则、执行标准的选择策略、沉桩控制方法的适用条件与优先级、试桩与工程桩的关键区别等关键技术问题，有助于设计人员合理选用图集与标准、科学确定沉桩控制方式，从而提高设计质量，保障工程安全。

关键词：预应力高强混凝土管桩；沉桩控制；执行标准

Analysis of Key Technical Points in the Design of Prestressed High-Strength Concrete Piles

Wang Ru
China Metallurgical Jingcheng Engineering Technology Co., Ltd., China Beijing 100176

Abstract: Prestressed high-strength concrete piles (PHC piles) are widely used in foundation engineering in China due to their high single-pile bearing capacity, fast construction speed, and controllable quality. However, with the updated implementation of the national standard "Pretensioned Prestressed Concrete Pipe Piles" GB/T 13476-2023 and the gradual revision of local standards, the technical requirements for pile design have become increasingly strict and detailed. Designers face many technical challenges in pile selection and driving control, requiring systematic technical guidance. This article, based on current national and local standards, systematically discusses key technical issues in pile design, including the principles for selecting standard construction drawings, strategies for choosing applicable standards, applicable conditions and priorities for pile driving control methods, and key differences between trial piles and project piles. It helps designers make reasonable choices of drawings and standards, scientifically determine pile driving control methods, improve design quality, and ensure project safety.

Keywords: Prestressed high-strength concrete piles; Pile driving control; Applicable standards

0 引言

预应力高强混凝土管桩（PHC 桩）自 20 世纪 80 年代引入我国以来，凭借其单桩承载力高、施工便捷、质量稳定、造价经济等显著优势，已在工业与民用建筑、桥梁工程、港口码头、市政基础设施等领域获得广泛应用。尤其在软土地区和高承载力要求场景下，PHC 桩已成为首选的基桩类型之一。随着我国工程建设标准化工作的持续推进，管桩相关的技术标准体系日趋完善。2023 年，国家标准《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476-2023 正式发布实施，对管桩产品的技术指标提出了更高要求。与此同时，广东、湖北、福建等省份也相继修订发布了新版地方标准，形成了国家—行业—地方三级标准体系。然而，标准数量的增加和版本的快速更迭，也给设计人员的标准选用带来了困扰。部分旧版标准（如 JGJ 94-2008）的技术内容已明显滞后，而部分地方标准仍然引用旧版规范，导致设计依据选择出现分歧。

在工程实践中，管桩设计还面临以下典型技术问题：沉桩控制方式选择不当导致截桩过多或承载力不足；试桩入深随意加大致使验证结果偏于不安全等情况。针对上述问题，本文以现行规范为依据，结合作者近年来在多个工程项目中的设计实践，对管桩设计中的图集选用、标准选择、沉桩控制、锤重选型、试桩与工程桩区分等关键技术要点进行系统梳理与深入分析，旨在为设计人员提供具有可操作性的技术参考，助力提高管桩设计质量与工程安全水平。

1 图集依据与管桩规格选用

1.1 国家标准图集的选用

当前，管桩设计最为核心的国家标准设计图集为《先

张法预应力混凝土管桩》23G409。设计人员应特别注意其与现行产品标准《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476-2023 的有效衔接。GB/T 13476-2023 于 2024 年 3 月 1 日起实施，对管桩的混凝土强度、保护层厚度、耐久性指标等提出了更高要求。23G409 图集中涉及的产品技术参数，如与新版国标存在不一致之处，应以国标为准。设计人员在编制设计说明时，应明确注明“管桩产品应符合 GB/T 13476-2023 的要求”，以确保产品采购和质量验收有据可依。

1.2 地方标准图集的适用性

除国家标准图集外，各地方也编制了适用于本地区的管桩设计图集，如中南地区《预应力高强混凝土管桩》20ZG207 等。这类地方图集通常结合了区域地质特点和施工经验，具有一定的实用性。然而，设计人员在引用地方图集时需审慎判断其时效性。以 20ZG207 为例，其编制依据为旧版国标，生效时间早于 GB/T 13476-2023。在新版国标实施后，该图集的适用范围应受到限制，仅可用于设计选型原则、施工工艺要求、质量检验与验收等技术方法的参考，而涉及管桩产品性能的具体参数（如混凝土强度等级、钢筋配置、壁厚等）应以新版国标为依据。

设计人员在图纸中引用图集时，建议按以下原则执行：优先采用 23G409 国标图集作为设计主依据；如需引用地方图集，应明确标注其适用内容仅限于非产品性能类的技术方法，并补充说明产品性能以 GB/T 13476-2023 为准。

2 执行标准的选用策略

2.1 标准选用基本原则

管桩工程设计中，执行标准的选用通常遵循“有地方标准按地方标准，无地方标准按行业标准”的基本原则。这一原则在大多数情况下是合理的，因为地方标准往往更贴近本地区的地质条件、施工习惯和材料供应情况。

然而，管桩工程领域存在一个特殊情况：地方标准数量多、修订周期短，但部分现行地方标准的版本可能相对滞后，未能及时跟进国家标准的最新修订内容。在这种情况下，如果机械地执行“有地方标准按地方标准”的原则，反而可能导致工程依据过时规范进行设计，带来安全隐患或技术不合理的问题。因此，设计人员在实际应用中需要进行审慎判别，综合分析地方标准的技术内容是否与新版国家标准相协调。

2.2 现行主要标准梳理与比较

通过对当前管桩工程领域主要技术标准的梳理，以下几项标准具有较强的适用性和参考价值：

行业标准层面：

《预应力混凝土管桩技术标准》（JGJ/T 406-2017）

《静压桩施工技术规程》（JGJ/T 394-2017）

地方标准层面：

广东省《锤击式预应力混凝土管桩工程技术规程》（DBJ/T 15-22-2021）、湖北省《预应力混凝土管桩和空心方桩技术规程》（DB42/T 489-2026）、福建省《先张法预应力混凝土管桩基础技术标准》（DBJ/T 13-86-2025）

上述三省地方标准虽属区域性规范，但其编制内容详细、技术指标明确，且版本均在新版国标实施前后完成修订，与 GB/T 13476-2023 的协调性较好，具备良好的适用性与参考价值。建议设计人员在工程实践中予以重点参考。

不宜作为主要依据的标准：

《建筑桩基技术规范》（JGJ 94-2008）：该标准颁布时间已近二十年，虽然在我国桩基工程领域影响深远，但其管桩相关技术内容（如锤重选择、贯入度控制等）与当前工程实践已存在明显脱节。因此，JGJ 94-2008 不宜作为管桩设计的主要依据，仅在桩基通用原则方面可作参考。

3 沉桩控制方法

沉桩控制是管桩施工的核心环节，直接关系到桩身完整性、承载力发挥及工程质量。根据沉桩方式不同，可分为锤击法与静压法；根据控制指标不同，可分为桩顶标高控制、桩端进入持力层深度控制、贯入度控制和压桩力控制。以下分别论述各类控制方法的技术要点与适用条件。

3.1 桩顶标高控制（桩长控制）

桩顶标高控制是最为常用且应优先采用的控制方式。该控制方式的含义是：设计桩长确定、管节配桩方案确定后，沉桩时使最后一节桩的桩顶标高与设计桩顶标高（通常为承台底标高 +0.1m）一致。该方式需要进行送桩，施工承台前无需截桩，可直接灌芯并预埋与承台连接的插筋。

3.1.1 桩端持力层顶面较平的情况

当持力层顶面起伏不大于 2m 时，可采用统一的施工桩长。桩长确定原则为：以勘察地质剖面中持力层顶面最低点标高为基准，结合桩端进入持力层的最小深度，计算桩端设计标高，进而反算桩长。

3.1.2 桩端持力层起伏较大的情况

当持力层顶面起伏在 2m 至 5m 之间时，仍可采用桩顶标高控制，但需以最低点标高为基准统一确定桩长。若不同区域持力层顶面高差相差较大，可分区确定施工桩长（即设计桩长）。各分区内桩长统一，便于批量订货和施工

组织。

3.1.3 桩顶标高控制的转化条件

值得特别指出的是，当工程桩设计要求桩端进入持力层的深度不小于某一数值（如 L_3），且施工过程中桩端较易进入该持力层时，桩长控制方式可转换为以桩顶标高控制为主。若施工场地地面标高与设计桩顶标高相差较小，则所有工程桩均可通过送桩方式沉至桩顶设计标高，无需截桩。

3.2 桩端进入持力层深度控制

当持力层顶面起伏较大（超过 5m）或地质条件复杂、难以采用统一桩长时，宜采用桩端进入持力层深度控制。需指出的是，当持力层顶面高差超过 5m 时，管桩的适用性本身应进行专项论证，因为过大的高差可能导致桩长差异过大、沉桩困难或承载力不均匀。

该控制方式的操作要点为：桩尖接触持力层顶面后，沉桩进尺速度会明显下降（锤击法表现为贯入度降低，静压法表现为油压表读数上升），此时继续沉桩，待下沉高度达到桩尖高度后开始累计桩端进入持力层的下沉量，累计下沉量达到设计深度后停锤或停压。若最后一节桩顶沉至接近作业面时入深尚未满足要求，应以送桩器继续送桩，直至满足为止。该方式下，施工桩长大于设计桩长，不可送桩至设计标高，施工承台前需截桩。设计图纸中应分区确定施工桩长，并明确截桩范围。

3.3 贯入度控制（锤击法）

贯入度控制适用于锤击法沉桩，仅在桩顶标高控制或入深控制无法实现时作为辅助判定手段。

3.3.1 桩顶标高控制前提下的贯入度控制

当设计要求桩顶标高控制，但沉桩过程中出现沉桩困难，桩身仅有微量下沉或基本不下沉，导致桩顶未能达到设计标高时，可采用贯入度控制作为补充。收锤控制标准为：锤击“三阵”，每阵 10 击，每阵贯入度控制在 20mm/10 击～50mm/10 击。其中，下限值 20mm/10 击不得小于，上限值宜结合地区工程经验并通过现场试桩确定。

3.3.2 桩端入深控制前提下的贯入度控制

当设计要求入深控制，但沉桩过程中入深尚未满足要求而沉桩已极为困难时，同样以“三阵”贯入度作为收锤依据。

需要特别强调的是，部分标准中规定了锤击沉桩时每根桩的总锤击数或最后 1m 锤击数的上限值，这些规定系针对施工操作制定，而非设计图纸的设计规定。在实际工程中，只要沉桩过程中桩身不发生开裂或破坏，即可认为满足施工质量要求。因此，设计图纸中无需对总锤击数或最后 1m 锤击数作出具体限制，该类参数应由施工单位根据现场情况、设备性能及地区经验综合控制。

3.4 压桩力控制（静压法）

压桩力控制适用于静压法沉桩，其核心在于合理确定各项压桩力参数之间的关系。

3.4.1 压桩力的层次与关系

压桩力可分为以下四个层次：

（1）压桩机最大压桩力：设备的上限能力，由施工单位根据工程条件（桩径、承载力要求、持力层特征）选型确定。

（2）桩身允许抱压压桩力：由桩身强度决定的限值，由设计单位根据桩身混凝土强度、截面尺寸等计算提供。

（3）沉桩过程压桩力：随土层软硬变化而动态波动的压桩力，其最大值不得超过桩身允许抱压压桩力。

（4）终压力：停压时的力值，由施工单位根据入深、桩顶标高和现场情况确定。

上述各力的约束关系为：压桩机最大压桩力 ≥ 桩身允许抱压压桩力 ≥ 沉桩过程压桩力；终压力 ≤ 桩身允许抱压压桩力，沉桩困难时二者相等。

3.5 沉桩控制原则的综合说明

综合以上分析，管桩沉桩控制应遵循以下原则：

（1）主次关系明确：“为主”指正常情况下应优先采用并作为主要判定依据的控制标准；“为辅”指仅在出现异常情况时作为补充判定依据。应优先采用桩顶标高控制（包括桩长控制、桩端标高控制），该方式施工桩长确定、便于订货与施工组织、现场操作明确、适用性广，是最为简便可靠的控制方式。

（2）贯入度与压桩力控制的定位：仅适用于沉桩过程中无法继续贯入、需辅助判断是否达到承载要求的异常情形。该方式下施工桩长不确定、必然需截桩，且现场判定困难，不宜作为常规主要控制标准。

（3）设计图纸的编写建议：应明确标注以何种控制方式为主，辅助控制方式的适用条件应清晰界定，避免将辅助方式误写为主要控制依据。

4 锤击法沉桩锤重特点

4.1 锤型选择

PHC 管桩锤击沉桩传统上主要采用柴油锤施工。近年来，液压锤在工程中的应用也逐渐增多。液压锤相较于柴油锤，在穿越硬土层及进入硬持力层时具有更优的沉桩性能，其打击能量传递更为平稳，对桩身冲击损伤的风险

也相对较低。对于桩端需进入强风化岩层或密实砂层的工程，液压锤是值得考虑的优选方案。

4.2“重锤低击”原则

工程中常提及的“重锤低击”原则，系针对柴油锤而言。其中，“重锤”指冲击体质量较大，其与柴油锤型号相对应（如 50 锤表示冲击体质量为 5t）；“低击”指冲击体下落冲程较小。

4.3 现行规范适用性说明

《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 附录 H 中关于锤击沉桩锤重选择的规定，与当前市场实际情况已存在较大差异。因此，设计人员在编写设计图纸时，不应机械照搬 JGJ 94-2008 中的锤重推荐值，应结合当地设备市场供应情况和工程经验合理确定锤重要求，或在图纸中仅提出“施工单位应根据工程条件选用合适锤型，遵循重锤低击原则”，将具体选型交由施工单位根据设备情况确定。

5 试桩与工程桩的区别

试桩是验证设计参数和施工工艺的重要手段，但其设计与工程桩存在本质区别，设计图纸中应予以明确区分，不得混同。

5.1 设计说明的区别

试桩与工程桩的设计说明在主体内容（如桩型、桩径、混凝土强度等级、配筋要求等）上基本相同，但在关键控制指标上存在本质区别。例如，贯入度在试桩阶段需通过试验确定，是一个待求的未知量；而工程桩施工时该值已经试桩确定，应作为已知的控制指标写入图纸，不宜再以“待定”方式表述。设计人员应分别编制试桩说明和工程桩说明，避免混淆。

5.2 桩端进入持力层深度的不同要求

工程桩要求桩端进入持力层的深度“不应小于”某一规定值（如不应小于 2m），且该深度宜大不宜小—2.5m、3m 乃至更大深度均为可接受。在某些情况下，为避免截桩，施工中可适当增加沉桩深度，使桩端进入持力层达到 3m、4m 等，仍属可行。

然而，试验桩的桩端进入持力层深度不得“多多益善”。这是一个极易被忽视但至关重要的原则。若工程桩要求入深不小于 2m，而试验桩按 5m 执行，则属于严重不当。这种做法的危害在于：试验桩因入深过大，其端阻力被过度发挥，承载力验证结果偏于不安全，可能出现试验桩满足设计要求而工程桩（入深仅 2m）无法满足的严重后果。因此，试验桩的入深应严格按设计要求执行，不得随意加深。

5.3 试桩定位与图纸信息要求

为确保试验结果的代表性和可靠性，试桩应优先选择布置于勘察钻孔点位附近，使试桩处的地质条件与勘察资料有良好的对应关系。

设计图纸中应明确标注试验桩的桩长，并在设计说明中单独强调：“试验桩必须严格遵循设计桩长进行施工，不得擅自增减。”

6 结论与建议

本文基于现行国家规范、地方标准与工程实践，对预应力高强混凝土管桩设计中的图集选用、标准选择、沉桩控制、锤重选型、试桩与工程桩区别等关键技术要点进行了系统梳理与分析，主要结论与建议如下：

（1）图集与标准选用方面：应以 23G409 国标图集为基础，结合新版 GB/T 13476-2023 产品标准进行设计。地方标准应审慎判别时效性，优先参考广东、湖北、福建等新编地标，JGJ 94-2008 因技术内容滞后，不宜作为管桩设计的主要依据。当地方标准与国家标准存在冲突时，应以科学态度判别，必要时组织专家论证。

（2）沉桩控制方式方面：应优先采用桩顶标高控制（桩长控制），该方式施工桩长确定、配桩方便、无需截桩。贯入度控制与压桩力控制仅作为辅助手段，不宜写入图纸作为主要依据。设计图纸中应明确主次关系，辅助控制方式的适用条件应清晰界定。

（3）试桩与工程桩区分方面：试桩入深不得大于工程桩要求，不得“多多益善”。试桩图中应附带勘探孔信息，确保试验结果的可靠性。设计图纸中应分别编制试桩说明和工程桩说明。

综上，管桩设计是一项涉及标准选用、岩土判断、结构计算和施工组织的综合性技术工作。设计人员应在准确把握规范要求的基础上，结合工程具体条件，合理选用设计参数和控制标准，方能确保工程安全、经济、可靠。

参考文献：

[1] 中国建筑标准设计研究院. 先张法预应力混凝土管桩 : 23G409[S]. 北京 : 中国计划出版社，2023.

[2] 国家市场监督管理总局，国家标准化管理委员会. 先张法预应力混凝土管桩 : GB/T 13476-2023[S]. 北京 : 中国标准出版社，2023.

[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 预应力混凝土管桩技术标准 : JGJ/T 406-2017[S]. 北京 : 中国建筑工业出版社，2017.

[4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 静压桩施工技

术规程 : JGJ/T 394-2017[S]. 北京 : 中国建筑工业出版社，2017.

[5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑桩基技术规范 : JGJ 94-2008[S]. 北京 : 中国建筑工业出版社，2008.

[6] 广东省住房和城乡建设厅. 锤击式预应力混凝土管桩工程技术规程 : DBJ/T 15-22-2021[S]. 广州 : 广东省建设科技与标准化协会，2021.

[7] 湖北省住房和城乡建设厅. 预应力混凝土管桩和空心方桩技术规程 : DB42/T 489-2026[S]. 武汉 : 湖北省建设工程标准定额管理总站，2026.

[8] 福建省住房和城乡建设厅. 先张法预应力混凝土管桩基础技术标准 : DBJ/T 13-86-2025[S]. 福州 : 福建省工程建设科学技术标准化协会，2025.

[9] 江苏省住房和城乡建设厅. 预应力混凝土管桩基础技术规程 : DGJ32/TJ 109-2010[S]. 南京 : 江苏省工程建设标准站，2010.

[10] 辽宁省住房和城乡建设厅. 预应力混凝土管桩基础技术规程 : DB21/T 1565-2025[S]. 沈阳 : 辽宁省建设标准设计研究院，2025.

[11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 工业建筑防腐蚀设计标准 : GB/T 50046-2018[S]. 北京 : 中国计划出版社，2018.

[12] 中国建筑科学研究院. 混凝土耐久性检验评定标准 : JGJ/T 193-2009[S]. 北京 : 中国建筑工业出版社，2009.

[13] 国家市场监督管理总局，国家标准化管理委员会. 混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准 : GB/T 50082-2024[S]. 北京 : 中国标准出版社，2024.

[14] 中华人民共和国工业和信息化部. 预应力混凝土薄壁管桩 : JC/T 888-2023[S]. 北京 : 建材工业出版社，2023.

[15] 中南地区工程建设标准设计办公室. 预应力高强混凝土管桩 : 20ZG207[S]. 武汉 : 中南标准设计图集发行站，2020.

作者简介：王茹自 2013 年参加工作以来，先后参与多项大型住宅小区、商业综合体及工业厂房的桩基础设计工作，在预应力混凝土管桩应用领域积累了较丰富的工程实践经验。近年重点关注管桩设计标准的更新与应用、沉桩控制技术的优化及耐久性设计等方向。本论文系结合自身设计实践，在总结多个工程案例基础上撰写完成。