

# Discussion on the Design for the Expanded-Pier-Foundation

Jinliang Jiang, Xiaohong Xu

Architectural & Research Institute, Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang  
Email: [hjiangjin@163.com](mailto:hjiangjin@163.com)

Received: Sep. 2<sup>nd</sup>, 2015; accepted: Sep. 18<sup>th</sup>, 2015; published: Sep. 23<sup>rd</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

The design for the expanded-pier-foundation has no definition in the current criterion, causing diseconomy or safety loophole. The stress mechanism and demolition of the expanded-pier-foundation in rock foundation and foundation without rock are discussed. It is deemed that the bearing capacity of the expanded-pier-foundation should not be decided simply on the ratio of length to diameter, and it should be confirmed rationally on the soil property. Furthermore, the structural design requirement of independent and pile foundation for the expanded-pier-foundation is proposed.

## Keywords

Expanded-Pier-Foundation, Bearing Capacity, Structural Design

---

# 扩底墩基础设计方法探讨

蒋金梁, 徐晓红

浙江大学建筑设计研究院有限公司, 浙江 杭州  
Email: [hjiangjin@163.com](mailto:hjiangjin@163.com)

收稿日期: 2015年9月2日; 录用日期: 2015年9月18日; 发布日期: 2015年9月23日

---

## 摘要

墩基础的设计方法在现行规范中没有明确的规定, 造成了土木工程设计中的浪费或安全隐患。本文分析

了墩基础在岩石和非岩石地基中的受力机理和破坏模式, 认为不能简单地按墩基础墩径比确定其承载力计算方法, 应根据墩端地基土的特性合理确定, 并提出了墩基础必须满足的独立基础和桩基础的设计构造要求。

## 关键词

扩底墩基础, 承载力, 设计构造

## 1. 引言

大直径挖孔墩基础起源于美国, 日本自 20 世纪 30 年代以来就开始应用, 我国 70 年代最先在沿海一带使用, 至今已有 30 多年历史。由于大直径挖孔扩底墩具有承载力高, 质量易于保证, 施工速度快, 无噪音, 无振动等特点, 在工业与民用建筑工程中得到广泛的应用。目前, 对于墩基础的设计尚无统一的认识, 设计内容和概念不明确, 造成浪费或安全隐患, 本文结合墩基础的破坏模式和受力机理, 拟就墩基础的设计方法和原则作一些分析探讨。

## 2. 墩基础的定义

文 [1] 规定: 桩长小于 6 m 及  $L/D \leq 3$  时按墩基础设计, 但没有明确计算方法。文 [2] 对于大直径墩基础, 其设计原理是按深埋的独立基础进行计算的, 可以不列入桩基范围。文 [3] 将墩基础列为深基础的一种, 是在地下用人工或机械开挖的大直径孔中浇灌混凝土而成的基础, 并指出墩基础由于其直径较一般桩径大, 埋深又比浅基础深, 因此在荷载作用下与土相互作用机理也有其特点, 尤其在墩底有扩大头的情况, 不能简单地套用桩基和浅基础在极限荷载作用下土体破坏的可能模式。文 [4] 指出: 墩基是就地开出的坑孔内浇灌混凝土而成的深基础, 从荷载传递性质来看, 墩基和桩基并无本质的差别。这两类基础的最大区别, 只在于施工方法有所不同而已。从以上文献可以看出, 墩基础从学术概念上来讲, 就是一种深基础, 但其承载力应根据受力模式综合确定, 按桩长来定义墩基础仅是一个工程概念。本文认为文 [1] 仅用桩长来定义墩基础, 而大多设计人员又按照文 [2], 设计原理按深埋的独立基础进行计算, 造成较大的浪费, 构造也不合理。本文从基础破坏模式和构造要求出发, 结合规范有关要求, 探讨墩基础的设计原则和方法。

## 3. 墩基础的受力机理和破坏模式

扩底墩基础下的地基变形和破坏模式既不同于扩展式基础, 也不同于桩基础 [5]。

浅基础破坏模式分为整体剪切破坏、局部剪切破坏和刺入破坏三种; 桩基础则基本上属于整体剪切破坏和刺入破坏。而扩底墩基础在竖向荷载作用下, 地基土以竖向压缩变形为主, 伴随有少量侧向挤压, 即使在大变形时也无连续滑动面, 墩周围表层土更无明显隆起现象, 可归属为局部剪切破坏和刺入破坏。扩底墩承载力以端承力为主, 墩底压密影响深度为两倍扩底直径, 压应力大致以持力层土的内摩擦角向下扩散。扩底端的周围为拉应力区, 荷载大时出现伞形拉裂缝, 而且在扩大头上方有脱空现象。其上土体松胀, 但由于拱作用或土的粘聚力作用而不致塌落。

墩基础的竖向承载力主要由墩底土层承载力决定, 勘察报告一般提供墩端地基承载力和墩端阻力, 而且两者相差一般较大, 究竟取何值, 一直困扰设计人员。本文分岩石和非岩石土层, 从墩基础破坏模式来探讨其取值的合理性。

### 1) 非岩石土层的地基承载力和桩端阻力

非岩石土层中的桩端阻力和桩侧阻力存在着“深度效应”的作用,也就存在着桩端阻力和桩侧阻力的“临界深度”的问题。当基础相对埋深 $L/d$  ( $L$ 为墩长,  $d$ 为墩身直径)较大时,基底以下的塑性变形区逐渐向基底以上扩展。当相对埋深很大时,连续破坏面为一梨形封闭区。从破坏模式来看,墩端的极限承载力,不但与桩端下一定深度内的土有关,而且也受到桩端以上一定深度厚度内土的影响,桩端要进入持力层一定的深度,才能保证连续破坏面为一梨形封闭区,并埋于土中而不冒出地面,此时可按桩基设计;否则,连续破坏面不能封闭而反映到地表面,使地面形成隆起,桩端土层不能充分发挥竖向承载力的作用而使墩丧失稳定性,此时其承载力应取土层地基承载力。

## 2) 岩石土层的地基承载力和桩端阻力

岩石地基中的墩基础又称嵌岩墩,嵌岩墩的特点是墩和岩体连接成一个受力整体。

由于岩石土层岩体强度超过桩身混凝土强度,墩基础承载力一般由桩身强度控制。一般认为,对于工业与民用建筑来说,岩石地基的承载力与基础埋深和底面尺寸无关,文[5]规定,当桩端无沉渣时,桩端岩石承载力特征值和基础岩石地基承载力特征值都是按岩基载荷试验方法或者可根据室内饱和单轴抗压强度计算而确定的,岩石地基中同层次、同位置、同面积的桩端岩石承载力和岩石基础的地基承载力是相同的。岩石地基上的桩端承力和埋置深度无关,不存在天然土层中的桩的“深度效应”问题,只存在和岩石风化程度、岩石构造和岩石完整性等有关的问题。

## 4. 墩基础的竖向承载力

确定墩基础竖向承载力最好通过静载试验确定的,但此方法时间长、费用高。目前,墩基础设计所采用的计算方法均属于近似法即采用经验公式计算,其计算结果与实际受力情况有一定的差异。评定分析扩底墩基础的承载力,可参照别列赞采夫模型试验结果:该试验结果用相对埋深 $H/B$ 将基础划分为特浅埋基础( $0 \leq H/B \leq 0.5$ )、浅埋基础( $0.5 \leq H/B \leq 1.5 \sim 2.0$ )、深埋基础( $H/B > 1.5 \sim 2.0$ )和特深埋基础( $H/B > 3 \sim 4$ )。由于上覆土体的超载影响,地基极限承载力随 $H/B$ 的增加而增大。扩底墩基础多在 $2 \leq H/B \leq 4$ 范围内,说明其承载力介于浅基础与桩基础之间,当墩基础与深基础和桩基础的界限不明确时,应分别按深基础和大直径桩基础计算承载力,承载力宜通过分析勘察报告提供土层承载力和桩端阻力综合确定。

### 4.1. 按深基础计算墩基础竖向承载力

墩基础的竖向承载力按文[6]式 5.2.4 计算确定,即

$$f_a = f_{ak} + \eta_b \gamma (b - 3) + \eta_d \gamma_m (d - 0.5)$$

式中:  $f_a$ ——修正后的墩底持力层的地基承载力特征值;

$f_{ak}$ ——墩底持力层的地基承载力特征值;

$\eta_b, \eta_d$ ——基础宽度和埋置深度的地基承载力修正系数,按基底下土的种类确定;

$\gamma$ ——基础底面以下土的重度( $\text{kN}/\text{m}^3$ ),地下水以下取浮重;

$b$ ——基础底面宽度(m),当基础底面宽度小于3m时按3m取值,大于6m时按6m取值;

$\gamma_m$ ——基础底面以上土的加权平均重度( $\text{kN}/\text{m}^3$ ),位于地下水位以下的土层取有效重度;

$d$ ——为基础埋置深度,一般自室外地面标高算起。

### 4.2. 按大直径桩基础计算墩基础竖向承载力

墩基础竖向承载力按文[7]式 5.3.6 计算确定,即

$$R_a = Q_{uk} / 2$$

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum \psi_{si} q_{sik} l_i + \sum \psi_p q_{pk} A_p$$

$R_a$ ——单桩竖向极限承载力标准值, /kN;

$Q_{uk}$ ——单桩竖向极限承载力标准值, /kN;

$Q_{sk}$ ——总极限侧阻力标准值, /kN;

$Q_{pk}$ ——总极限端阻力标准值, /kN;

$u$ ——桩身周长, /m;

$q_{sik}, q_{pk}$ ——桩侧第  $i$  层土极限侧阻力标准值、桩端极限端阻力标准值, /kPa;

$\psi_{si}, \psi_p$ ——大直径桩侧阻力、端阻力尺寸效应系数。

按以上两种方法计算的墩基础承载力, 由于墩端土层的承载力取值不同造成两者承载力相差较大。

### 4.3. 墩基础的有效摩阻长度

从有扩大头墩基础的受力模式来看, 扩底端的周围为拉应力区, 荷载大时出现伞形拉裂缝, 而且在扩大头上方有脱空现象, 墩基础扩大头以上一定范围的土层不能为墩基础提供侧阻, 因此, 扩底墩的有效摩阻长度应比墩身长度适当减小, 减小长度按文 [3] 一般取  $1.0 \sim 2.0d$  ( $d$  为墩身直径)。

### 4.4. 桩侧阻力、端阻力尺寸效应系数

墩基础应参考大直径桩进行设计, 当墩端持力层为非岩性土层时, 其静载实验 Q-S 曲线均呈缓变型, 反映出其端阻力以压剪变形为主导的渐进破坏, 桩侧桩成孔后产生应力释放, 孔壁出现松弛变形, 导致侧阻力有所降低, 侧阻力随桩径增大呈双曲线减小 [6], 因此, 大直径墩基础承载力应考虑墩端阻力和墩侧阻力尺寸效应折减系数。

桩侧阻力、端阻力尺寸效应系数不仅与土性特征有关, 还分别与桩身直径和扩底端直径有关。如表 1。

## 5. 墩基础的其他设计内容

- 1) 墩身混凝土强度应满足桩的承载力设计要求。应符合文 [6] 第 5.8.2 的要求, 即

$$N \leq \psi_c f_c A_{ps}$$

式中:  $N$ ——荷载效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值, kN;

$\psi_c$ ——基桩成桩工艺系数, 干作业非挤土灌注桩:  $\psi_c = 0.9$ ; 泥浆护壁和套管护壁非挤土灌注桩:  $\psi_c = 0.7 \sim 0.8$ ;

$f_c$ ——混凝土轴心抗压强度设计值,  $\text{N}/\text{mm}^2$ ;

$A_{ps}$ ——桩身截面面积,  $A_{ps} = \frac{\pi d^2}{4}$ ,  $d$  为桩身直径。

- 2) 墩基础扩大头处的受冲切承载力

墩基础通过桩身将上部荷载传至扩大头, 扩大头的直径一般比桩身直径大的多, 因此在墩基础变阶处, 应按扩展基础的要求验算抗冲切和抗剪承载力。分别符合 [7] 第 8.2.8 条和 8.2.9 条的有关要求。

- 3) 当墩基础的混凝土强度等级小于其上部的柱的混凝土强度等级时, 尚应按 [8] 的有关规定验算墩基础顶面的局部受压承载力。

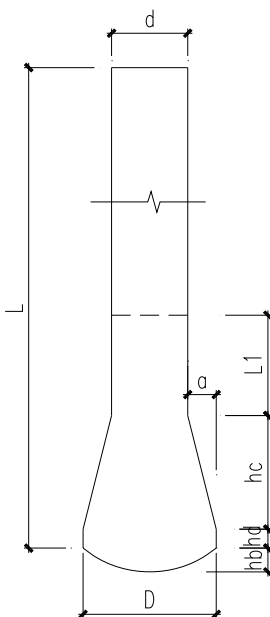
- 4) 当墩基础受力层范围内存在软弱下卧层时, 应按 [7] 第 5.2.7 条进行验算。

- 5) 当墩基础端部为非岩石时, 应验算墩基础沉降, 沉降验算应按 [7] 第 5.3 节的有关规定计算。

**Table 1.** The size effect coefficient of large diameter piles  
**表 1.** 大直径灌注桩尺寸效应系数

土类型	黏性土、粉土	砂土、碎石类土
桩侧阻力尺寸效应系数 $\psi_{si}$	$(0.8/d)^{1/5}$	$(0.8/d)^{1/3}$
桩端阻力尺寸效应系数 $\psi_p$	$(0.8/D)^{1/4}$	$(0.8/D)^{1/3}$

注：表中  $d$  为桩身直径， $D$  为扩底直径。



**Figure 1.** Structure of pier foundation  
**图 1.** 墩基础构造

## 6. 墩基础的相关构造要求

如 图 1，墩基础介于独立基础和桩基础之间，其构造要求应同时满足两者要求。

1) 墩身最小直径不应小于 0.8 m，扩底端直径与桩身直径之比  $D/d$ ，应根据承载力要求及扩底端侧面和桩端持力层土性特征以及扩底施工确定，一般要求尽量发挥桩身承载力，挖孔墩不应大于 3，钻孔墩不应大于 2.5。

2) 扩底端侧面的斜率应根据实际成孔及土体自立条件确定， $a/h_c$  可取 1/4~1/2，砂土可取 1/4，粉土、黏性土可取 1/3~1/2。

3) 扩低端底面在非岩性土中宜呈锅底形，矢高  $h_b$  可取  $(0.15\sim 0.20)D$ 。

4) 扩底端侧面与锅底端部交接处宜采用竖直段  $h_d$  过渡，其长度约为 0.2 m，确保混凝土浇注质量和桩端承载力。

5) 因墩基础承载力较高，墩基础宜采用一柱一墩，部分荷载较大柱下也可采用多墩，墩间间距应同时满足：墩身中心间距应大于  $3d$ ，而扩底墩中心间距应大于  $1.5D$  及净距大于 1.5 米。

6) 墩基础进入持力层的深度  $h$  宜按桩基础控制，应根据土质按下列要求确定：粘性土、粉土不宜小于  $2d$ ，砂土不宜小于  $1.5d$ ，碎石类土不宜小于  $1d$ ，嵌岩桩不宜小于  $0.4d$  且不小于 0.5 m。当存在软弱下卧层时，桩端以下硬持力层厚度不宜小于  $3d$ 。

7) 采用墩基础时，宜在墩顶采用墩帽，且在墩帽间设置连系梁，以增加基础的整体刚度。

## 7. 结束语

扩底墩基础的受力机理和破坏模式与天然地基和桩基础不完全相同, 其承载力和构造应根据墩端土层特性合理确定。

1) 扩底墩基础的承载力计算方法不应按工程意义的墩径比简单确定。岩石地基的承载力与基础埋深和底面尺寸无关, 非岩石地基土应分别按独立基础和桩基计算, 合理确定其承载力。

2) 若按桩基础确定其承载力时, 其桩身和扩底端均应满足桩间距要求。当持力层为非岩性地基时, 应考虑墩端阻力和墩侧阻力的尺寸效应折减系数。

3) 墩身应同时满足独立基础和桩基础有关承载力和构造要求, 特别应注意验算扩底端的抗冲切和抗剪承载力。

## 参考文献 (References)

- [1] 中国建筑标准设计研究院 (2010) 全国民用建筑工程设计技术措施(2009)——结构(地基基础). 中国计划出版社, 北京.
- [2] 编委会 (2012) 建筑地基基础设计规范理解与应用. 中国建筑工业出版社, 北京.
- [3] 陈仲颐, 叶书麟 (1995) 基础工程学. 中国建筑工业出版社, 北京.
- [4] 华南工学院四校, 合编 (1981) 地基与基础. 中国建筑工业出版社, 北京.
- [5] 张聚山, 王俊林 (1996) 扩底墩基础设计与分析. *岩土工程学报*, **3**, 67-73.
- [6] (2008) JGJ94-2008 建筑桩基技术规范. 中国建筑工业出版社, 北京.
- [7] (2011) GB5007-2011 建筑地基基础设计规范. 中国建筑工业出版社, 北京.
- [8] (2010) GB5010-2010 混凝土结构设计规范. 中国建筑工业出版社, 北京.