

高层建筑基础 设计方法的设想

GAOCENG JIANZHU JICHU SHEJIFANGFA DE SHEXIANG

刘岳东 著

云南出版集团公司
云南科技出版社

高层建筑基础 设计方法的设想

刘岳东 著

云南出版集团公司
云南科技出版社
· 昆明 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

高层建筑基础设计方法的设想/刘岳东著. —昆明:
云南科技出版社, 2010. 7

ISBN 978 - 7 - 5416 - 4046 - 9

I. ①高… II. ①刘… III. ①高层建筑—建筑设计—
研究 IV. ①TU972

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 130026 号

云南出版集团公司

云南科技出版社出版发行

(昆明市环城西路 609 号云南新闻出版大楼 邮政编码:650034)

昆明市五华区教育委员会印刷厂印刷 全国新华书店经销

开本:850mm × 1168mm 1/32 印张:3.5 字数:80 千字

2010 年 7 月第 1 版 2010 年 7 月第 1 次印刷

印数:1 ~ 1000 册 定价:15.00 元

前 言

作者已进入 88 岁，离开工作岗位 18 年了，为何要写《高层建筑基础设计方法的设想》呢？简单地说，是因为对高层建筑基础设计现行规范的某些规定有不同意见。较详细地说，缘于对某高层建筑筏形基础开裂原因的分析，引发对规范规定的计算方法有怀疑；再深入考查，觉得规范某些规定确是值得商榷。这是写文章的初意。后来想到基础又该如何设计呢？便再提了一些探索性的建议，所以叫《高层建筑基础设计方法的设想》。

2000 年初，参与某高层建筑筏形基础大范围规律性开裂原因的讨论，据专业质检单位的看法，认为结构受力是开裂的主要原因。而另一单位验算，却认为“地基和基础承载力均满足规范要求”。两种意见是矛盾的。因为设计单位和验算单位都是采用《高层建筑箱形与筏形基础技术规范》（JGJ6-99）5.3.9 条的规定：“筏形基础可仅考虑局部弯曲作用，按倒楼盖法进行计算”。所以不可能从计算方法上找出什么毛病。

经作者改按刚性法计算，则原设计的承载力明显不够，并且从基础裂缝走向分析，也表明倒楼盖法可能就是基础开裂的真正原因。倒楼盖法在力学概念上属超静定结构性质的连续梁法，刚性法属静定结构性质的静定梁法（也称截面法），两者的计算结果，自然大相径庭。至于《99 规范》为何规定“仅考虑局部弯曲作用，按倒楼盖法计算”，另有深层次的原因。

《80 箱基规程》第 4.0.9 条规定：“当上部结构为框架体系时，箱形基础内力应同时考虑整体弯曲及局部弯曲作用。”在力

学概念上属静定梁分析法。但按规程实施以后，据大量工程实测，箱基底板钢筋应力远低于设计应力，解释这一现象成了后来修订规程时的重要问题。曾有多种解释意见，较有影响的论点有：箱基整体挠曲小整体弯矩就小；箱基基底摩擦阻力抵消了箱基整体弯矩的拉力，这些论点都归结为箱基可不考虑整体弯矩。

而认为最有说服力的依据，是北京水规院 9 层框架的箱形基础，未考虑整体弯矩仅按局部弯矩配筋，调查时已 20 余年未发现异常现象，因此《高层建筑箱形与筏形基础技术规范》（JGJ6 - 99）便提出“箱形基础可不进行整体弯矩计算”。

根据当年修订规范时的前因后果，作者对所提依据、论点作了分析。

箱形基础的整体弯矩表现为底板的轴心拉力，底板钢筋与混凝土的受拉应变相同，钢筋与混凝土应力之比，即两者弹性模量之比，相差仅约 10 倍左右，在混凝土开裂之前低应变情况下，钢筋不能充分发挥它的较高应力，这是钢筋应力远低于设计应力的主要原因。

但当时对钢筋实测应力偏低误认为是多算了箱基的整体弯矩。

后来发现北京水规院箱基不考虑整体弯矩，仅按局部弯矩配筋，并未出现异常现象。实际上不是没有整体弯矩，而是整体弯矩转化为轴心拉力后，已由箱基底板混凝土的拉力承担，所以不考虑整体弯矩配筋也没有安全问题。

但是这一现象又被进一步误认为实践证明高层建筑基础不存在（或可不考虑）整体弯矩。

而某高层建筑筏形基础的整体弯矩所表现的基础一边受拉，基础边缘混凝土是不能承担受拉的，所以筏形基础实际存在的整体弯矩不配置相应的钢筋，故基础开裂不可避免。

由于错综复杂的原因，设计指导思想出现了混乱。本文在分

析了某高层建筑筏形基础开裂原因之后，觉得规范的某些论点需要加以澄清、梳理。

关于柱下条形基础的计算方法：基础上的柱荷载为已知，按静力平衡条件从理论上可以确定基底的平衡反力，这样的基础梁就是静定梁，应按静定梁法计算基础的内力（建筑地基基础 89 规范虽按连续梁计算，但规定基础梁端部应向外伸出）。美国规范的刚性法就是静定梁法；《80 箱基规程》的箱基内力计算也是静定梁法；传统的弹性地基梁法从来都是静定梁法。而楼面梁只知道楼面荷载，各柱的支承力都是未知数，所以楼面梁是超静定结构，应按连续梁计算。把基础梁当作倒置的楼面连续梁计算，是力学概念的错误，也是某高层建筑筏形基础开裂原因的要害。

静定梁法为什么要分为局部弯矩与整体弯矩呢？箱形基础是由楼板受压、基础受拉的整体结构，但基底反力只作用于底板，需要先按连续梁法将基底反力集中到箱基的柱脚，这时底板的弯矩就称为局部弯矩。柱脚处的集中反力与柱压力有差值，按这差值计算的弯矩就是箱基的整体弯矩。《80 箱基规程》规定箱基内力应同时考虑整体弯矩与局部弯矩，才算是箱基完整的设计弯矩。也是按静定梁法计算的弯矩。按倒梁法计算弯矩只考虑了局部弯矩，丢掉了整体弯矩，违背了按两步计算的原意，这是某高层建筑筏形基础开裂的又一关键性问题。

计算理论是技术规范的灵魂。从某高层建筑筏形基础设计对《99 规范》的实践检验，认为原规范是有一些值得商榷的问题。趁规范修订，提出一些意见，希望给予批评指正。

撰写本文的客观条件感到是孤独的。所幸趁假日觅便找儿女商量、协助，昆明理工大学潘文教授提供资讯，交流意见。他们，以及一些曾经关怀、帮助过我的人们，在此表示由衷的感谢。

目 录

1	某高层建筑基础开裂现象的初步分析	(1)
1.1	基础开裂实况	(1)
1.2	开裂现象的初步分析	(2)
2	高层建筑基础设计方法待商讨的一些问题	(10)
2.1	静定梁法与倒楼盖法 (或称倒梁法)	(11)
2.2	基础梁的局部弯矩与整体弯矩	(12)
2.3	基础梁 (板) 的弯曲与弯矩	(13)
2.4	基础梁的沉降与挠曲	(15)
2.5	基础和上部结构的刚度与强度	(16)
2.5.1	关于刚性基础、剪力墙建筑的基础与框架建筑的 基础的内力分析	(16)
2.5.2	基础与上部结构的综合刚度对地基变形与基底 反力的影响	(16)
2.5.3	上部结构刚度对基础内力分析的影响	(17)
2.6	关于地基均匀、荷载均匀、基础与上部结构刚度较好, 高层建筑基础可仅考虑局部弯矩的规定	(17)
2.7	基础梁相当于倒置楼面连续梁问题	(18)
2.8	由倒梁法 (倒楼盖法) 衍生的调整倒梁法	(19)

2.9	倒梁法、静定梁法与弹性地基梁法计算结果的比较	(21)
2.10	箱形基础基底摩擦阻力抵消基础整体弯矩问题	(23)
2.11	箱形基础实测钢筋应力偏低的原因	(23)
2.12	解释水规院住宅箱基只按局部弯矩配筋基础不裂， 而某高层建筑筏基仅按局部弯矩配筋却大范围开裂	(25)
2.13	对两项类似工程的筏形基础采用不同方法设计 效果的比较	(26)
3	高层建筑基础与上部结构共同工作	(29)
3.1	基础与上部结构共同工作的机理	(29)
3.1.1	基础与上部结构共同工作计算实例	(29)
3.1.2	基础与上部结构共同工作机理的启示	(36)
3.2	基础与上部结构共同工作小结	(38)
4	高层建筑基础基底反力问题	(40)
4.1	按弹性地基梁法确定的基底反力与实测反力计算 的基础弯矩比较	(41)
4.2	地基与基础以上结构共同工作对基底反力分布 规律的影响	(42)
4.3	高层建筑筏形基础和箱形基础基底反力分 布规律的相似性	(43)
4.4	高层建筑基础基底反力的计算	(44)
4.4.1	利用角点法计算地基沉降，求基底反力系数	(45)

4.4.2	利用沉降影响系数计算地基沉降, 求基底反力系数	(45)
4.4.3	探索基底反力计算法的初步总结	(51)
4.5	实测建筑基础基底反力	(53)
4.5.1	北京中医院病房楼实测基底反力 (“钱书” P_{92} 、 P_{94})	(53)
4.5.2	北京建国门外16号公寓实测基底反力 (“钱书” P_{237})	(55)
4.5.3	北京国际饭店实测基底反力 (“钱书” P_{308})	(56)
4.5.4	上海康乐路12层住宅实测基底反力 (“钱书” P_{286})	(58)
4.5.5	上海胸科医院外科大楼实测基底反力 (“钱书” P_{290})	(59)
4.5.6	河南某高层办公楼实测基底反力 (“钱书” P_{305} 、 P_{306})	(61)
4.5.7	上海某高层住宅短桩箱基实测基底反力	(65)
4.6	实测基底反力讨论	(68)
4.6.1	基底反力呈抛物线形或马鞍形分布的分析	(68)
4.6.2	对基础基底反力呈现马鞍形分布的讨论	(69)
4.6.3	施工初始阶段, 基底反力比较均匀的原因	(70)
4.6.4	地下室外壁与基坑回填土的摩擦阻力	(71)

4.6.5	按实测基底反力编制“基底反力系数” 的适用范围	(72)
4.6.6	对过软、过硬地基不宜采用基底反力系数	(73)
5	高层建筑基础设计方法的设想	(75)
5.1	考虑高层建筑基础设计方法的思路	(75)
5.2	高层建筑基础设计一些理论问题的梳理与归纳	(77)
5.3	高层建筑基础设计计算方法的安排	(81)
5.3.1	计算单元的确定	(81)
5.3.2	“基础结构层”的设计	(81)
5.3.3	建筑地基支承力的确定	(83)
5.4	“基础结构层”演算实例分析	(84)
5.4.1	弯矩图 (b) A 柱弯矩产生水平力	(86)
5.4.2	楼面梁增加的弯矩	(86)
5.4.3	基础梁的弯矩与轴力	(86)
5.4.4	基础梁的剪力	(87)
5.4.5	“基础结构层”的变形	(87)
5.4.6	“基础结构层”与其他基础设计方法的比较	(88)
6	结 论	(90)
附录	沉降影响系数 K	(93)
	主要参考文献	(99)

1 某高层建筑基础开裂现象的初步分析

1.1 基础开裂实况

该工程平均约 25 层，局部高 28 层，基底东西向轴线长 75.5m，南北向宽 33.3m，基础采用振动沉管灌注桩加梁板式筏形基础，基本上为均匀布桩。筏基底板厚一般 600mm，双向主肋梁 1400mm × 2300mm，跨度一般为 8.4m。跨中设次肋梁 600mm × 2180mm，主次肋梁相间布置成井格式，形成 4200mm × 4200mm 井坑式四边形底板。

工程于 1997 年 11 月开工，1998 年 6 月施工基础，12 月施工至 12 层时，发现基础底板局部渗漏、开裂。1999 年 4 月，主体结构完工时，底板大面积开裂、渗漏。1999 年 7 ~ 12 月，部分基础梁端部也出现规律性斜裂。为评估建筑安全，委托专业机构进行了质量检验，关于底板和基础梁开裂情况，2000 年 5 月提出了报告，现摘要如下：

底板几乎 100% 存在裂缝、渗水、漏水现象，缝宽在 0.05 ~ 0.45mm 之间。肋梁裂缝，主要在南北向梁中部 B、C 支点处，几乎所有地梁都存在斜向裂缝，裂缝成 45° ~ 60° 角自底向上延伸，缝宽 0.05 ~ 0.35mm，具有弯剪受力特征。另外还有竖向裂缝，但报告未作为重点描述。

关于开裂原因，报告指出：底板早期（12 层时）裂缝，砼收缩及温度变化是主要原因，后期结构受力及差异沉降，对板体大量开裂起了主导作用。肋梁斜向裂缝，结构受力是主要原因，

砼收缩、温度应力及地基差异沉降起了促进作用。报告除了提到砼收缩、温度应力和差异沉降一般性原因外，特别值得注意的是提出“结构受力”是本工程梁板大量开裂的主要原因。

但是质检报告却又称：“大厦复合桩基承载力和基础梁板承载力，分别按现行规范及考虑桩、基、土与上部结构共同工作两种情况进行了计算分析。结果表明：前者，地基和基础承载力均满足规范要求；后者，在满负荷情况下与核心筒相交的个别（两处）横向地梁弯矩和剪力显著增大，截面承载力不满足要求。”表明按规范验算，并未能证明“结构受力”是基础梁板大规模规律性开裂的主要原因。

原设计单位也再次按倒楼盖法验算了底板的配筋，板底平均反力 42.9kN/m^2 ，换算为计算值 525kN/m^2 ，四边固定板板跨中心距 4.2m ，取计算跨 3.6m ，最大负弯矩 $349\text{kN}\cdot\text{m}$ ，需钢筋 2177mm^2 ，实配筋 2683mm^2 ；最大正弯矩 $139.5\text{kN}\cdot\text{m}$ ，需钢筋 857mm^2 ，实配筋 1570mm^2 。

配筋已有较大富余，质检复核，板需要的钢筋比手算还要少。都说不清楚开裂原因。并且施工到 12 层时荷载只相当于总荷载的一半，底板就出现渗漏开裂，更难作出解释。

1.2 开裂现象的初步分析

本工程南北向主梁（轴线上）11 根，次梁 8 根，共 19 根，质检报告称：“几乎所有地梁都存在斜向裂缝”，实际统计 19 根梁中 17 根剪切斜裂。而 11 根主梁中有 10 根弯矩直裂，质检报告正文虽未提到，但质检报告 $P_{15\sim 22}$ 提供了梁板裂缝图，主次梁开裂的约 90%。现摘录部分梁板裂缝图见图 1-1、图 1-2，如后。从基础开裂范围和严重程度来看，不能不引起警觉。

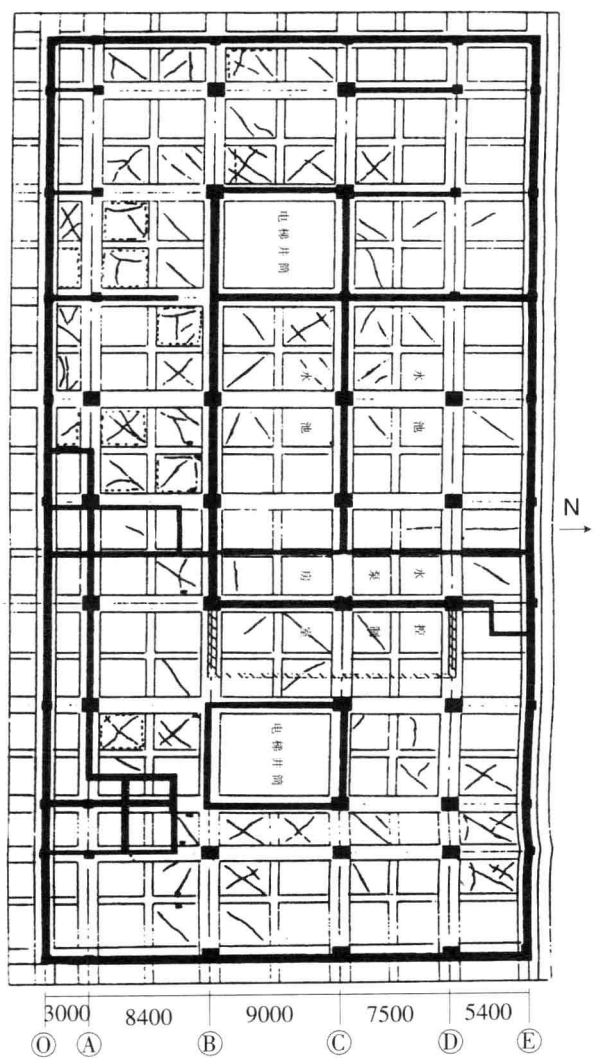


图 1-1 基础底板裂缝示意图

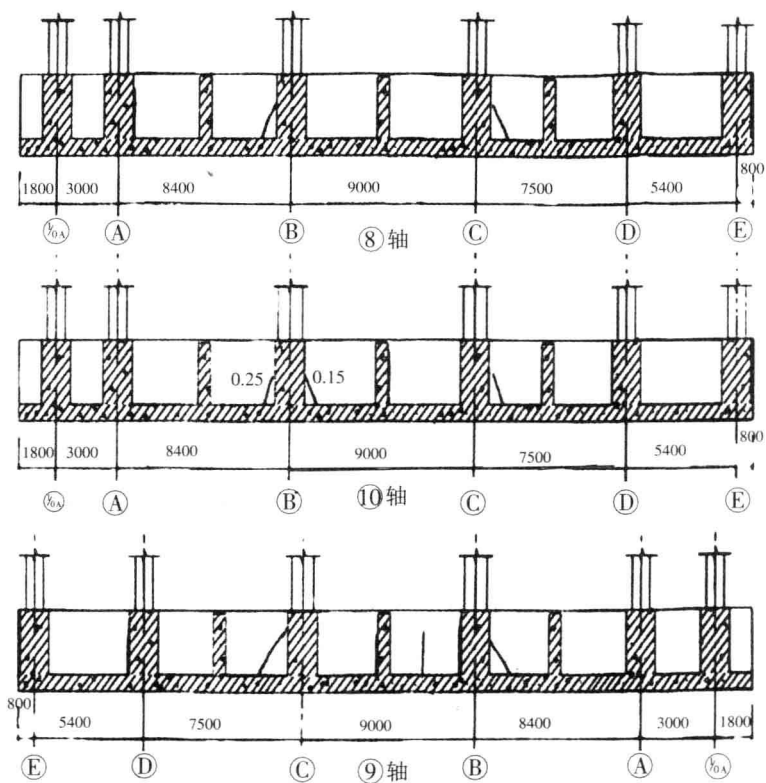


图 1-2 基础肋梁裂缝示意图

设计单位说明：“基础梁及底板的计算假定为倒梁楼盖，根据 PM、TAT 软件计算取值配筋。”委托某专业机构验算结果称：“……地基和基础承载力均满足规范要求。”而质检称基础开裂主要原因是“结构受力”的结果，为什么验算承载力已满足规范要求却开裂，开裂原因是“结构受力”，承载力验算却满足要求，不是相互矛盾吗？为了从计算方法上探讨基础开裂原因，曾按美国刚性（板）法进行了计算。

美国《基础工程手册》（中译本）P₇₂₈，介绍美国对筏形基础常用的设计法为刚性（板）方法，我国习惯上称静定梁法（如《80 箱基规程》4.0.9 条：M——可按静定梁分析），它与倒楼盖法（或称倒梁法）的主要差别是：静定梁法包括了考虑基础梁的整体弯矩与局部弯矩，而倒楼盖法只按连续梁法考虑基础的局部弯矩，这也就是现行设计规范《高层建筑箱形与筏形基础技术规范》5.3.9 条规定的：“筏形基础可仅考虑局部弯曲作用”的设计方法。按静定梁法验算结果表明：几乎所有梁板计算内力都超过了原设计的设计承载能力，并且在验算截面相应地出现了不同程度的结构裂缝，这岂不是表明：高层建筑基础不考虑整体弯矩仅按倒楼盖法考虑局部弯矩，可能就是基础梁板开裂的真正原因吗？

按刚性（板）法（即静定梁法）计算过程如下（根据设计提供资料）：按图 1-3 计算，全部荷载 296422kN，南北长 30m（DE 段仅有地下室，故未计入），平均 9880kN/m。设计为均匀布桩，简化为均匀地基考虑。荷载向“0”轴（南边）偏心 1.7m，25.2m 宽条带沿长向的最大与最小地基反力：

$$P = 9880 \left(1 \pm \frac{6 \times 1.7}{30} \right) = \frac{13240}{6520} \text{kN/m}, \text{ 计算草图见图 1-4.}$$

计算 B 截面及 C 截面的总剪力与弯矩：

B 截面总剪力 65637kN；B 截面总弯矩 161208kN·m。

C 截面总剪力 46704kN；C 截面总弯矩 155329kN·m。

剪力按主次肋梁面积分配：主梁 3.22m^2 ；次梁 1.308m^2 。

弯矩按梁板惯性矩分配：主梁 1.4195；次梁 0.518；板 0.018。

B 截面剪力分配结果 $Q_{\text{主}} = 15558\text{kN}$ ； $Q_{\text{次}} = 6336\text{kN}$ 。

B 截面弯矩分配结果 $M_{\text{主}} = 37160\text{kN}\cdot\text{m}$ ； $M_{\text{次}} = 13560\text{kN}\cdot\text{m}$ ； $M_{\text{板}} = 471\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

C 截面剪力分配结果 $Q_{\text{主}} = 11100\text{kN}$ ； $Q_{\text{次}} = 4508\text{kN}$ 。

C 截面弯矩分配结果 $M_{\text{主}} = 35805\text{kN}\cdot\text{m}$ ； $M_{\text{次}} = 13065\text{kN}\cdot\text{m}$ ； $M_{\text{板}} = 454\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

由于以上计算都是采用原来提供的荷载标准值，与结构承载能力比较时，表 1-1 中数字已乘 1.25 化为计算值。

表 1-1 计算值与结构承载力允许值对比表

对比内容			计算值	允许值	结构受力表现
③轴截面计算结果	主梁	剪力	19447	14840	③④⑤轴梁均有斜裂
		弯矩	46430	21729	③④⑤轴梁 ③轴外有直裂
	次梁	剪力	7920	5151	2 根梁斜裂
		弯矩	16950	9341	质检报告未描绘
	底板	弯矩（整）	589		
		弯矩（局）	349		
		合计	938	449	几乎全部开裂漏水