

文章编号 :1006 - 2106( 2007 )04 - 0020 - 04

# 基于共同作用的大型筏形基础设计研究<sup>\*</sup>

董秀竹 张晨明<sup>\*\*</sup>

( 铁道第三勘察设计院集团有限公司 , 天津 300142 )

**摘要** :研究目的 :基于地基基础与上部结构的共同协调作用 ,考虑地基基础变形对上部结构受力与变形的影响 ,及上部结构对基础内力和变形的作用 ,研究大型筏形基础的设计。

**研究方法** :借助于大型有限元计算程序 MIDAS ,建立地基、基础及上部结构的三维空间模型 ,采用弹性地基梁法 ,用弹簧模拟地基作用 ,对整个结构进行计算分析。

**研究结果** :从计算结果可以看出 ,考虑地基、基础和上部结构的共同作用 ,计算所得筏板基础的沉降规律及内力分布规律与筏板实际变形及受力情况相吻合。

**研究结论** :将地基、基础和上部结构结合起来 ,考虑三者的相互作用、相互影响 ,根据共同作用的计算结果进行筏形基础设计的方法是可行的。

**关键词** :筏形基础设计 ;共同作用 ;弹性地基梁 ;Winkler 假定

**中图分类号** :TU471.1<sup>+</sup>5      **文献标识码** :A

## Research on Design of Large - sized Raft Foundation Based on the Interaction of Ground , Foundation and Structure

DONG Xiu - zhu , ZHANG Chen - ming

( The Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation , Tianjin 300142 , China )

**Abstract** :**Research purposes** : It is necessary to make research on the design of large - sized raft foundation because of the interaction of ground , raft foundation and structure , the influences on the stress and deformation of upper structure by the deformation of subgrade foundation , and the effect on the internal force and deformation of foundation by upper structure.

**Research methods** : The calculation and analysis were made for the entire structure by adopting three - dimensional space model for subgrade , foundation and upper structure with the aid of large finite element MIDAS program and elastic foundation beam method to simulate the effect on the foundation with spring.

**Research results** : The calculation results show that the computed settlement regulation and distribution regulation of internal force of raft foundation are matched with the actual deformation and stress of raft foundation.

**Research conclusions** : The analysis results show it is feasible to design a raft foundation by taking the interaction of subgrade , raft foundation and structure into account.

**Key words** : raft foundation design ; interaction of subgrade , foundation & structure ; elastic foundation beam ; Winkler hypothesis

建筑结构属于地基、基础和上部结构共同作用体 , 荷载通过上部结构传给基础 , 继而传递给地基 , 同时基

础承受地基反力作用 , 基础通过协调变形又影响着上部结构内力的分布。但在以往常规设计中 , 通常将上

<sup>\*</sup> 收稿日期 :2007 - 02 - 27

<sup>\*\*</sup> 作者简介 :董秀竹 , 1974 年出生 , 女 , 工程师 ; 张晨明 , 1978 年出生 , 男 , 工程师。

部框架结构与基础分成2个部分,视上部结构为柱脚固结的独立体,单独进行计算,视基础为刚体,不考虑基础变形对上部结构的影响。对于基础设计,将计算所得上部结构柱脚内力传递至基础上,计算基础的受力情况,据此进行基础设计。但结构的实际受力情况并非如此,采用这种计算模式忽略了地基、基础和上部结构间的相互影响、协调作用,使得计算结果与结构实际受力及变形并不相符,甚至差异较大,从而导致设计方案偏于不安全或不经济。故本文以北京南站大型枢纽工程为例,探讨基于地基基础与上部结构共同作用的筏板基础设计,为以后类似工程的基础设计提供经验。

## 1 工程概况

北京南站工程是对原北京南站的改建和扩建,主体站房包括铁路综合站房、地下换乘大厅、地下小汽车库、高架环形桥和构成站房整体屋盖的站台雨篷。改扩建后的北京南站作为大型的综合交通枢纽,承担着普速铁路、京津城际和京沪客运专线,地铁4号线、14号线,及市郊铁路和公交、出租等市政交通运输。

站房主体结构包含地下三层、地上二层。地上一层为钢框架结构,二层为钢结构刚架。地下部分主体结构采用全现浇的钢筋混凝土框架结构。地下一层基础直接持力层土质为新近沉积的细砂③<sub>1</sub>层、圆砾③层、第四纪沉积的粉质粘土④层、粘质粉土④<sub>1</sub>层、粘土④<sub>2</sub>层;地下二层的持力层为卵石⑦层;地下三层结构分为三块,其中二块基础的埋深为26 m,另外一块基础埋深为28 m,埋深26 m基础的地基持力层为卵石⑦层、局部粉质粘土⑧层,埋深28 m基础的地基持力层为粉质粘土⑧层、粉土⑧<sub>2</sub>层、中粗砂⑨<sub>1</sub>层、粉细砂⑨<sub>2</sub>层。结合地基土层分布及上部结构荷载作用情况,经分析研究,地下一层至地下三层结构的基础均选用筏形厚板基础形式。下面以地下一层局部基础计算为例,分析地基、基础和上部结构共同作用情况下的基础沉降及基础内力。

## 2 地基模型

将地基、基础和上部结构结合起来进行整体计算,地基模型的选择是非常重要的,如何选择一个合理的地基模式,以尽可能真实地反映地基土体的实际性能,对整个结构的受力和变形有着显著影响。

前人对土体的本构关系已有了相当的研究,纵观国内外的研究成果,土体本构关系大致包含如下几类<sup>[1-4]</sup>:

### 2.1 线弹性模型

线弹性模型包含2种计算模型:Winkler地基模型

和半无限空间理想弹性模型。

### 2.2 非线性弹性模型

非线性弹性模型中以Duncan-Chang双曲线模型(亦称为E- $\nu$ 模型)为代表,此外还包括Domaschuk-Valliappan模型(即K-G模型)、南京水利科学研究院沈珠江提出的非线性模型等。

### 2.3 弹塑性模型

对于弹塑性模型,国内外学者对其研究较多。其中剑桥模型是当前应用最为广泛的模型之一。1963年,英国剑桥大学Roscoe及其同事基于正常固结土和超固结土试样的排水和不排水三轴试验,提出了土体临界状态的概念,并在试验基础上,再引入加工硬化原理和能量方程,提出了剑桥模型,这个模型从实验和理论上较好地阐述了土体弹塑性变形特性,尤其考虑了土的塑性体积变形。但剑桥模型不能很好地反映剪切变形,1965年,Burland通过研究剑桥模型屈服曲线和临界状态线交点和正常固结线交点的变形情况,根据能量方程,重新推导出剑桥模型的屈服曲线,提出了新的模型,即修正剑桥模型。之后,Roscoe和Burland对他们自己的观点进行了修正,进而发展为双屈服面的剑桥模型。

1975年,Lade与Duncan根据砂土的真三轴试验结果,提出了一种适用于砂类土的弹塑性模型,即Lade-Duncan模型,但由于该模型参数较多,并且没有充分考虑体积变形等缺陷,Lade等人又对其进行了改进,相继提出了Lade双屈服面模型、Lade封闭型单屈服面模型。

此外,Desai等人于1984年提出了封闭型单一屈服面模型,南京水利科学研究院沈珠江等人提出了适用于软粘土的双屈服面弹塑性模型,简称“南水”模型。

### 2.4 粘弹性模型

在循环荷载作用下,土体会表现出明显的非线性和滞后性,粘弹性模型能够很好地反映土体动应力-动应变的非线性和滞后性。Seed于20世纪60年代提出了等效线性粘弹性模型,Finn于1977年提出了粘弹性非线性模型,国内沈珠江也提出了类似的模型。

虽然前人对土体本构模型研究较多,但在实际工程中地基与基础共同作用计算方面尚处于研究阶段。目前,弹性地基梁法较为广泛地应用于地基和基础设计。弹性地基梁法认为梁板和地基都是弹性体,梁板受外荷载作用后发生弯曲变形,地基受压产生相应的沉降,而梁板与地基紧密接触,它们的变形与沉降是一致的,据此以计算地基反力和梁板的内力。弹性地基梁理论有2种计算假定:即Winkler假定和半空间

理想弹性体假定。Winkler 假定适用于地基土层(压缩层)很薄的情况,当地基土层很厚时,则要假定地基是半无限大理想弹性体。但由于 Winkler 假定计算比较简单,在工程实际中,即使地基的可压缩土层较厚,也常常采用 Winkler 假定<sup>[1]</sup>。本文计算采用了 Winkler 假定,利用若干个互不相关的弹簧体系来模拟地基对基础的作用,考虑地基、基础与上部结构的共同协调作用进行整体计算。

所谓 Winkler 假定,是指基础底面上任一点所受的压力与地基在该点的沉降成正比,即

$$p=ks$$

(1)

式中  $p$ ——基底沉降(kPa);  
 $s$ ——沉降量(cm);  
 $k$ ——基床系数(kPa/cm),即引起单位沉降量所需作用于基底单位面积上的力。

应用 Winkler 假定计算基础沉降,基床系数  $k$  的选取正确与否直接关系到地基反力和梁板的内力计算是否正确合理,关系到底板的尺寸和配筋量的确定,并将会影响上部结构的内力分布。根据北京南站地质详勘报告并综合考虑基础下方土层分布情况,经研究取地下一层基础下方地基的等效基床系数为 40 MPa/m。

3 计算结果及分析

本文以北京南站 II-1 区结构为例,分析地基、基础和上部结构共同作用下筏形基础的沉降及内力。II-1 区基础形状如图 1 所示,该区地上二层、地下一层,基础埋深约 14.0 m。图 2 为 II-1 区的地层分布,图中长横线为基础底面所处位置,可以看出,与基础底板相邻的土体为较薄的粉质粘土④层、粘土④<sub>2</sub>层、细砂⑤<sub>2</sub>层及圆砾⑤<sub>1</sub>层,下面是较厚的卵石⑤层和卵石⑦层,在⑤层和⑦层之间夹杂着较薄的粉质粘土⑥层、砂质粉土⑥<sub>1</sub>层和细砂⑦层。柱轴网间距东西向 13.5 m,南北向 20.6 m,柱子分布详图如图 3 所示,筏板厚 2.0 m。

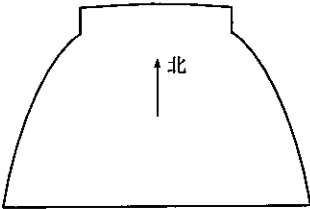


图 1 北京南站 II-1 区基础形状

计算采用大型有限元程序 MIDAS 软件的 GEN 模块进行三维空间分析,建立了基础与上部结构的共同模型,并用弹簧模拟地基作用,计算结果如图 4~图 8 所示。

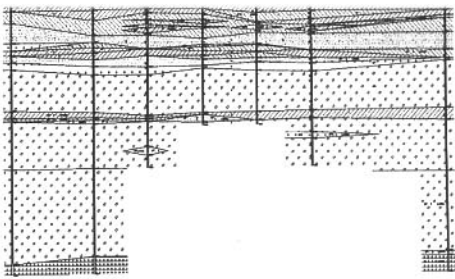


图 2 II-1 区地层分布

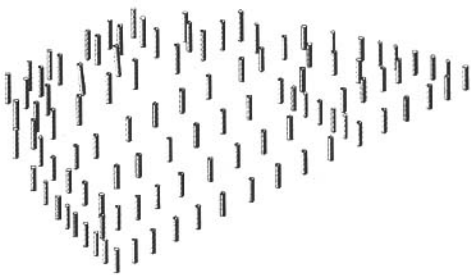


图 3 北京南站 II-1 区地下一层柱子分布图示

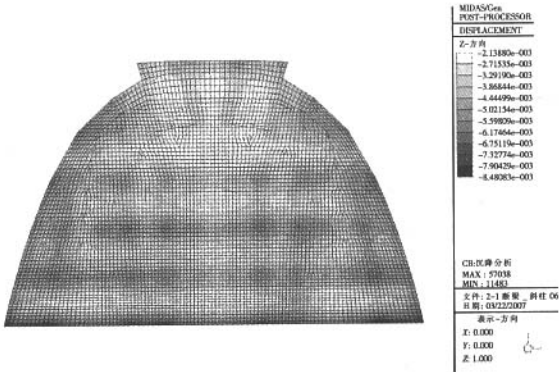


图 4 筏板沉降云图

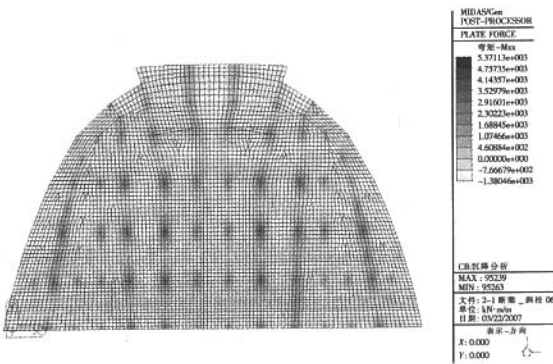


图 5 筏板东西向弯矩云图

图 4 为筏基的沉降云图,由图可见,基础沉降不大,且整体分布较均匀,差异沉降较小,最大沉降量为 8.48 mm,最小沉降量为 2.14 mm,最大沉降差为

6.34 mm 满足设计要求。分析可知 ,由于基础埋置较深 ,刚度较大 ,且基底以下土层基本以砂卵石层为主 ,压缩性土层——粘性土及粉土层较薄 ,故基础沉降和差异沉降均较小。

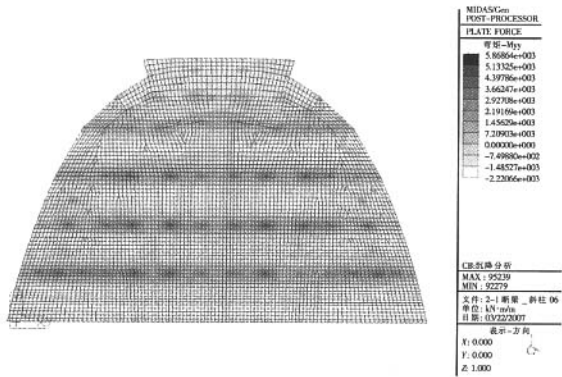


图 6 筏板南北向弯矩云图

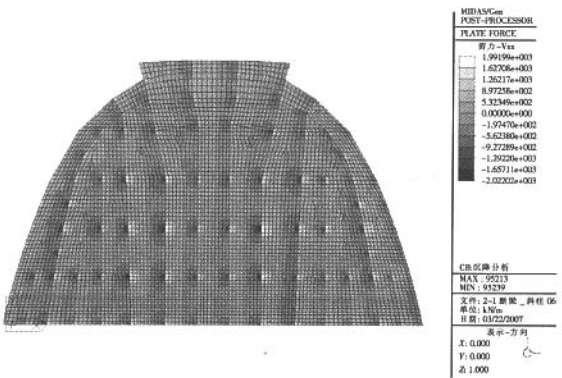


图 7 筏板东西向剪力云图

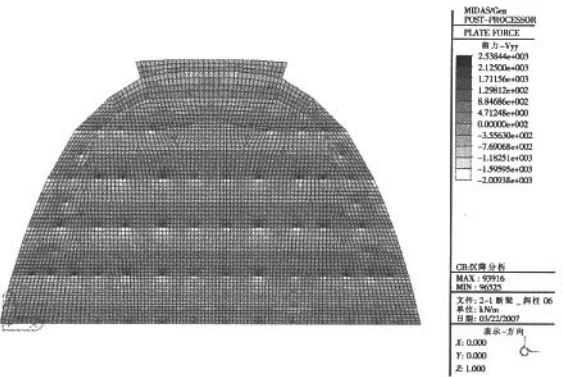


图 8 筏板南北向剪力云图

图5和图6分别为基础筏板东西向和南北向的弯矩云图。可以看出 ,筏板弯矩无论是东西向还是南北向均在柱下出现最大正弯矩(迎土侧) ,东西向最大弯矩为5 371.5 kN · m/m ,南北向最大弯矩为5 869.1kN · m/m ,在跨中出现最大负弯矩(背土侧) ,东西向最大负弯矩为-1 380.9 kN · m/m ,南北向最大负弯矩为-2 220.5 kN · m/m。由计算结果还可以看出 ,由于东西向柱跨小于南北向柱跨 ,相应东西向的最大正弯矩和最大负弯矩均小于南北向的最大正弯矩和最大负弯矩。

图 7 和图 8 分别为基础筏板东西向和南北向的剪力云图 ,可以看出 ,由于上部荷载较大 ,柱轴力相应也较大 ,导致柱下筏板剪力较大 ,跨中剪力相对较小 ,东西向剪力最大值为 2 022.1 kN/m ,南北向剪力最大值为 2 538.7 kN/m ,与弯矩值分布规律一致 ,也是南北向剪力值大于东西向剪力值。

由图 5 ~ 图 8 还可看出 ,筏板弯矩及剪力呈东西对称 ,这与结构的对称性及上部荷载的对称分布有关。另外 ,经分析可知 ,由于南北向柱跨大于东西向柱跨 ,故筏板东西向的内力值相应小于南北向的内力值。

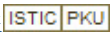
4 结论

上述分析表明 ,将地基、基础与上部结构结合起来进行结构分析 ,考虑三者的相互影响 ,计算所得到的筏板内力与其实受力情况是相吻合的。从而说明 ,考虑地基、基础与上部结构的共同作用 ,将三者同时建模进行结构分析 ,根据整体模型的计算结果进行基础设计 ,这种方法是可行的。

参考文献 :

[ 1 ] 钱家欢 ,殷宗泽. 土工原理与计算[ M ]. 北京 :中国水利水电出版社 ,1996.  
[ 2 ] 郑颖人. 岩土塑性力学原理[ M ]. 北京 :中国建筑书店有限责任公司 ,2002.  
[ 3 ] Lade P. V. & Duncan J. M. Elastoplastic stress - strain theory for cohesionless soil[ J ]. Journal of Geotechnical Eng. Division , ASCE ,1975 ,101 :1037 -1053.  
[ 4 ] 黄文熙. 土的弹塑性应力 - 应变模型理论[ M ]. 北京 :清华大学出版社 ,1978.

( 编辑 马 丽 张 滨 )

作者: 董秀竹, 张晨明, [DONG Xiu-zhu](#), [ZHANG Chen-ming](#)  
作者单位: 铁道第三勘察设计院集团有限公司, 天津, 300142  
刊名: 铁道工程学报   
英文刊名: JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY  
年, 卷(期): 2007, 24(4)  
被引用次数: 2次

## 参考文献(4条)

1. 钱家欢;殷宗泽 [土工原理与计算](#) 1996
2. 郑颖人;沈珠江;龚晓南 [岩土塑性力学原理](#) 2002
3. Lade P V;Duncan J M [Elastoplastic stress-strain theory for cohesionless soil](#) 1975
4. 黄文熙 [土的弹塑性应力-应变模型理论](#) 1978

## 本文读者也读过(10条)

1. 张鹤年. 宰金珉. 刘松玉. [Zhang He-nian. Zai Jin-min. Liu Song-yu 上部结构与桩筏基础共同作用的非线性分析](#) [期刊论文]-[工程抗震与加固改造](#) 2006, 28(4)
2. 赖伟. 熊峰 [上部结构、拱式基础与土共同作用分析研究](#) [期刊论文]-[岩土工程学报](#) 2002, 24(4)
3. 牛安勇 [浅析上部结构与地基基础的共同作用](#) [期刊论文]-[科技资讯](#) 2007(30)
4. 冯志新. 王强. 翟华. 姚大鹏 [平板式筏基受冲切承载力验算的简化计算](#) [期刊论文]-[沈阳建筑大学学报\(自然科学版\)](#) 2004, 20(4)
5. 朱球. 谢梁军 [高层建筑与桩土共同作用的抗震性能探讨](#) [期刊论文]-[中国房地产业](#) 2011(5)
6. 蒋建平. 高广运. 汪明武 [高层建筑桩筏基础工作性状研究](#) [期刊论文]-[勘察科学技术](#) 2004(5)
7. 熊仲明. 俞茂宏. 赵鸿铁 [高层建筑上部结构-桩-土共同作用特性的分析与研究](#) [期刊论文]-[工业建筑](#) 2002, 32(12)
8. 杨振宇. [Yang Zhen-yu 浅析基础与上部结构共同作用的相互影响](#) [期刊论文]-[重庆建筑](#) 2005(12)
9. 谢晨智. 何世秀. [Xie Chenzhi. He Shixiu 地基、基础与结构共同作用效应的非线性研究](#) [期刊论文]-[中国水运\(学术版\)](#) 2006, 6(9)
10. 何春保. 蔡健. 林凡. [He Chun-bao. Cai Jian. Lin Fan 上部结构、十字交叉梁基础和地基共同作用的分析](#) [期刊论文]-[华南理工大学学报\(自然科学版\)](#) 2006, 34(7)

## 引证文献(2条)

1. 张晨明. 董秀竹. 王欣 [于家堡枢纽站房南段地下结构体系研究](#) [期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2012(6)
2. 张建新. 孙俊岭. 王坤 [基础与结构共同作用在虹桥枢纽中的应用分析](#) [期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2011(8)

引用本文格式: 董秀竹. 张晨明. [DONG Xiu-zhu. ZHANG Chen-ming 基于共同作用的大型筏形基础设计研究](#) [期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2007(4)