昌平泵站调蓄池工程大型深基坑临时栈桥的设计与施工

任东辉[1]， 高丕勤[2]

（1 同济大学结构工程与防灾研究所，上海 200092；2 上海市政工程设计研究院，上海 200092）

[摘要] 在大型深基坑开挖过程中，常需要利用基坑的支护结构，建造用于方便现场车辆交通及基坑施工的栈桥。栈桥可以有多种结构形式，较为常见的一种是以基坑的混凝土支撑为主梁，以现浇混凝土板为桥面板的栈桥。这种栈桥的上部结构需要经过仔细计算和设计。以一个实际工程为例，应用ANSYS软件，建立栈桥的结构模型，详述了各相关部分的设计与验算方法，指出栈桥施工应注意的一些问题。分析表明，栈桥不会对支撑结构的受力性质产生过大的影响，可因地制宜地进行设计应用，优化基坑的施工过程。

[关键词] 深基坑；栈桥；支撑；桥面板

Design and construction of a temporary trestle bridge spanning a deep foundation pit in Changping pump station storage pool project

Ren Donghui[1], Gao Piqin[2]

(1 Research Institute of Structural Engineering and Disaster Reduction, Tongji University, Shanghai 200092, China;
2 Shanghai Municipal Engineering Design Institute, Shanghai 200092, China)

Abstract: During the excavation of a large and deep foundation pit, a trestle bridge is usually needed to build to facilitate the on-the-spot transportation and the foundation pit construction by virtue of the support structure of the pit. The bridge can be of many different structures, a common one of which is using the concrete support of the pit as its girder and cast-in-situ reinforcement concrete plates as its decks. The superstructure of this kind of bridge needs careful calculation and design. This article takes an actual project as an example, builds the structural model of a trestle bridge using FEM software ANSYS, and recounts the design and checking approach of each correlative part. In the end, some problems about the trestle bridge construction that should be paid attention to are also pointed out. Analysis shows that trestle bridge will not affect the mechanical property of the support structure so much. Therefore appropriate trestle bridges should and could be designed and applied according local conditions to optimize the construction process of foundation pits.

Keywords: deep foundation pit; trestle bridge; support; bridge deck

1 引言

在大型基坑开挖施工中，常需要在基坑上方架设临时栈桥，这样既可以缓解现场的交通压力，又能够方便基坑中央的吊装及取土施工。视基坑尺寸及支护结构的不同，基坑栈桥可以采用钢结构简支梁、混凝土简支梁、利用基坑混凝土支撑的连续梁等不同种类的结构。论述的栈桥即为利用混凝土支撑进行建造的。

基坑内一般布满钻孔灌注桩，部分桩身内加入钢格构柱作为基坑支护结构的竖向承重体系。在基坑开挖过程中，格构柱会与水平面内的混凝土支撑连接。施工栈桥便是以钻孔桩为基础，以格构柱为立柱，以混凝土支撑以及现浇板为桥面结构的临时简易桥梁。混凝土支撑与周边结构整体浇筑，结构较为稳定。整个栈桥除桥面板外，基本不增加其他材料。在上海地铁6号线主题公园站基坑施工中曾进行过类似的应用，文[5]，[6]也记载了在一些基坑工程中的应用。

与建成后的主体结构相比，栈桥使用阶段作用于立柱桩的荷载要小得多，因而栈桥的下部结构一般不需验算。主要探讨栈桥上部结构的计算分析。

2 工程概况

昌平泵站调蓄池工程基坑面积约2 100m^2，平面形状近似为直角梯形，主长62.2m，主宽36.4m。基坑开挖深度18.0m，坑中部坑中坑再落深2.5m。基坑围护结构采用的是厚1m、深35m的地下连续墙（柔性接头），入土深度16.5m。支撑体系由自上而下的四道混凝土支撑组成，混凝土支撑的平面结构如图1所示。栈桥计划架设在第一道混凝土支撑轴⑤～⑦之间。

作者简介：任东辉（1980-），男，工学硕士，通信地址：上海市逸仙路388号上海勘测设计研究院建筑市政设计分院，邮编：200434。

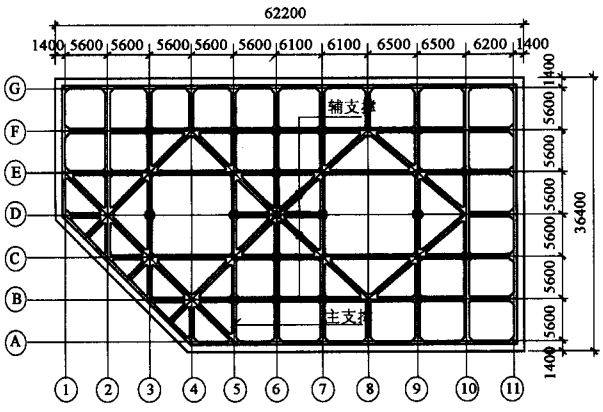

图 1　基坑支撑平面

3　设计计算

3.1 构造与荷载

根据现场情况，拟定采用厚 0.25m 的桥面板。计算时，车辆荷载分项系数取 1.4，动力系数取 1.2。吊车的履带间距按 2.5m 计，土方车或混凝土搅拌车的轮距按 1.8m 计。结构自重分项系数取 1.2。根据结构具体尺寸建立计算模型，并对各工况做相应分析。其中，栈桥部位的三根纵向主支撑截面尺寸为 600 × 1 500，横向辅支撑尺寸为 600 × 800。根据上述参数用 ANSYS 软件建立起结构的计算模型，如图 2 所示。分析支撑内力时，采用 Solid45 单元；分析栈桥面板的内力时，采用 Plane42 单元。

3.2 主支撑内力计算

对于主支撑，取吊车与土方车并行于栈桥上时的工况（见图 3，图中的数值为应力，单位为 N/mm²，图 4，5 同）。可以求得 5m 区格长度范围内跨中最大弯矩为 202.4kN·m，端部弯矩为 426.6kN·m。

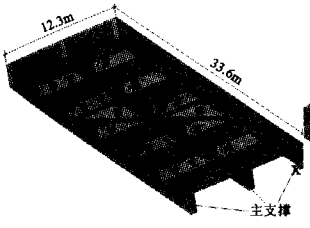

图 2　栈桥上部结构三维模型

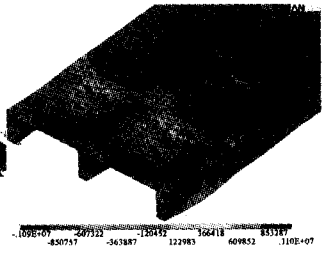

图 3　主支撑应力计算工况图

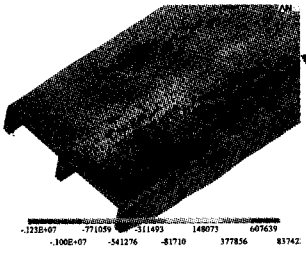

图 4　辅支撑应力计算工况图

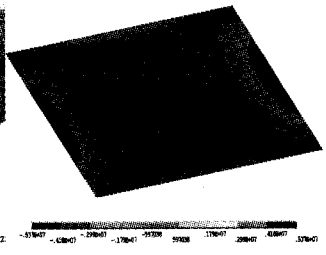

图 5　栈桥面板应力图

3.3 辅支撑内力计算

对辅支撑，取两辆车停于栈桥同一侧时的工况（见图 4）。可求得 5m 区格长度范围内跨中最大弯矩为 201.2 kN·m，端部最大弯矩为 227.6 kN·m。

3.4 栈桥面板的内力计算

对栈桥面板，取吊车位于区格中时的工况，采用板单元建立模型（见图 5）。可求得板边最大弯矩约为 55.8kN·m，板中部最大弯矩约为 29.7kN·m。

3.5 栈桥配筋计算

栈桥面板为厚 250mm 的现浇混凝土板，混凝土为 C30。在变化的车辆荷载作用下，板的正负弯矩分布复杂。考虑到施工的方便，决定采用双排双向配筋，纵向钢筋受力中心至板厚的边缘距离取 4cm。钢筋的强度取 360N/mm²。按照《混凝土结构设计规范》中公式 7.2.5 进行配筋计算：

$$M_u = f_y A_s (h - a_s - a_s') \tag{1}$$

式中，a_s，a_s'分别为受拉区、受压区纵向钢筋受力中心至受拉、受压边缘的距离。可求得单位宽度（1m）内的钢筋面积为 $A_s = 9.13\text{cm}^2$。

现场支撑施工中多用直径 20mm 的钢筋，故采用此种直径的钢筋。为了正常地分担内力，钢筋间距不宜过稀，取为 20cm。此时单位宽度内钢筋总面积为 15.7cm²，满足要求。

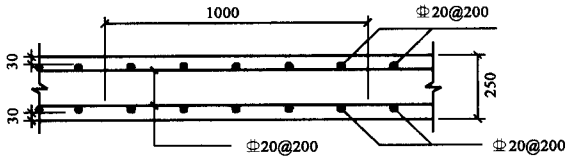

图 6　栈桥混凝土面板配筋图/mm

4　混凝土支撑受力验算

栈桥投入使用后，混凝土支撑将受到弯矩和轴力的共同作用。由计算分析可知为小偏心受压，按照规范 7.3 节中相关公式计算所得结果见表 1。

混凝土支撑验算结果　　**表 1**

混凝土支撑	主支撑（600 × 1 500）	辅支撑（600 × 800）
最大计算弯矩/kN·m	426.6	227.6
计算弯矩作用下轴向承载力/kN	11 409.8	6 792.4
实测轴压力/kN	2 627.197	1 035.783
结果	满足	满足

5　栈桥施工及使用

栈桥面板钢筋应与纵向混凝土支撑顶部的钢筋有效连接在一起，保证混凝土板为四边固接。

在浇筑混凝土时，即开始设置栏杆。在距支撑边

（下转第 90 页）

三参数模型各控制参数　　表 4

试件编号	初始刚度 R_{ki} /10^3kN·m/rad	极限弯矩承载力 M_u/kN·m	M_u/R_{ki}	形状系数 n
BASE	8.11	473	0.005 832 3	1.507 64
BOLT2	8.14	473	0.005 810 8	1.505
BOLT5	8.30	473	0.005 698 8	1.493 58
WEP2	8.41	473	0.005 624 3	1.485 59
PZ2	7.44	429.5	0.005 772 4	1.501 37
PZ5	7.44	429.5	0.005 772 4	1.501 37
CF4	8.34	473	0.005 671	1.490 62
SEP2	6.30	273.5	0.004 34	1.328 4
SEP4	8.122	466.5	0.005 743 5	1.498 3

其中 $M_u = \min(M_i), i = 1, \cdots, 5$。

将其按照三参数模型绘成曲线如图 6 所示，图中 M_{pb}为梁的塑性弯矩承载力。其他几个试件采用式(15)的计算结果与文[3]的仿真试验结果亦有如图 6 所示的良好的拟合性。

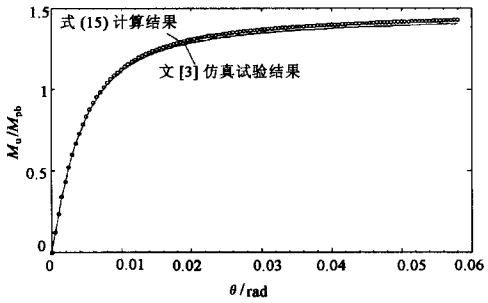

图 6　试件 BOLT2 的 M-θ 曲线

5　结论

采用三参数方程式(18)可以很好地模拟和预测出外伸端板连接节点的 M-θ 曲线，其中，M_u 取五种可能出现破坏模态的最小值，节点的初始刚度按式(11)计算。当得到 M-θ 曲线的三参数模型后，就可按照下式计算连接节点的连接刚度：

$$R = \frac{dM}{d\theta} = \frac{0.998R_{ki}}{\left[1 + \left(\frac{0.998R_{ki}\theta_r}{M_u}\right)^n\right]^{(n+1)/n}} + 0.002R_{ki} \quad (19)$$

将式(19)的计算结果代入按照杆件的刚度矩阵，再组成结构总体刚度矩阵，就可分析此种连接节点对结构的承载力的影响。

参　考　文　献

[1] FRYE M J, MORRIS G A. Analysis of flexibly connected steel frames [J]. Canadian Journal of Civil Engineers, 2001, 21(3): 280-291.

[2] 陈惠发.钢框架稳定设计[M]//周绥平译.上海:世界图书出版公司,1999.

[3] 郭兵.钢框架梁柱端板连接在循环荷载作用下的破坏机理及抗震对策[D].西安建筑科技大学,2002.

[4] PETER P T C, CHAN S L. Vibration and deflection characteristics of semi-rigid jointed frames[J]. Engineering Structures, 1997, 19(12): 1001-1010.

[5] SHI Y J, CHAN S L. Modeling for moment-rotation characteristic for end-plate connections[J]. J. of Structural Engineering, 1996, 122 (11): 1300-1306.

[6] Eurocode 3: Design of Steel Structures[S]. European Committee for Standardization, 1992.

[7] L.SIMES DA SILVE etc. Post-limit stiffness and ductility of end-plate beam-to-column steel joints[J]. Computer and Structures, 2002, 80: 515-531.

[8] CHEN W F. Practical Analysis for Semi-Rigid Frame Design [M]. World Scientific, 1999.

[9] Eurocode 3: Deisgn of Steel Structures[S] European Committee for Standardization, 1992.

[10] 李国强,沈祖炎.钢结构框架体系弹性及弹塑性分析与计算理论[M]. 上海:上海科学技术出版社,1996.

[11] 粟一凡.材料力学[M].北京:高等教育出版社,1986.

(上接第 49 页)

缘 10cm 处，将直径 48mm 的钢管插入混凝土中作为栏杆柱。钢管插入深度约为 20cm，间距为 1.5m。务必保证钢管垂直于桥面。混凝土养护好后，立即搭设防护栏。防护栏上横杆距桥面高为 1.1m，下横杆距桥面高为 0.6m，自上而下用安全绿网封闭。

浇筑混凝土后，栈桥表面应自中央往两侧(直到混凝土支撑边缘)做成 1.5%横坡，以利于排水。

在栈桥投入使用后，要严格控制栈桥上的荷载，严禁超载，以确保栈桥和基坑的安全。

6　结论

1) 当基坑第一道支撑为钢筋混凝土支撑，且与地面基本位于同一标高时，可考虑利用混凝土支撑作为主梁架设栈桥。

2) 当栈桥仅供小型吊车及土方车或混凝土搅拌车通行时，对于支撑内力的增加影响有限。但是如有必要，也可以增强栈桥处支撑的截面。

3) 栈桥板的配筋宜采用双面双向配筋，以适应频繁变化的车辆动荷载，并简化设计分析与施工。

4) 因地制宜地进行施工栈桥的设计和建造，可节省施工费用和工期，最大限度地优化施工组织设计。

参　考　文　献

[1] 上海市工程建设规范.DGJ08—61—97 基坑工程设计规程[S].

[2] GB50010—2002 混凝土结构设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.

[3] 秦四清,等.深基坑工程优化设计[M].北京:地震出版社,1998.

[4] 尚晓江,邱峰,等. ANSYS 结构有限元高级分析方法与范例应用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2006.

[5] 杨根良,华锦耀. 深基坑中施工栈桥的应用[J]. 浙江建筑,2007,24(3):3.

[6] 孙仓龙,徐伟. 施工栈桥在超大型基坑土方开挖工程中的应用形式与设计分析[J]. 建筑施工,1999,21(4).