

doi: 10.6053/j.issn.1001-1412.2015.03.021

沈阳高铁站房便线两侧基坑的支护方案对比

于志华,宗士昌,孙 剑,张 娇

(北京爱地地质勘察基础工程公司,北京 100144)

摘要: 文章研究了新建沈阳南站站房内高铁便线两侧基坑开挖问题。建立了有限元开挖模型,模拟分层开挖、分层支护后的高铁轨道底部的变形,结合理正深基坑支护结构设计软件,采用数值模拟软件计算,从高铁轨道下方的沉降量、基坑的稳定性、施工难度、工期方面对2种基坑支护方案做比较,最终确定方案一为基坑支护方案,为今后类似工程的设计、施工等提供一些参考。

关键词: 高铁轨道;人工挖孔桩;数值模拟;水平位移;沉降;辽宁省

中图分类号: P642;U213.15 **文献标识码:** A

0 引言

随着我国高速铁路客运专线大规模的建设,大型综合交通枢纽不断涌现。现代大型综合交通枢纽的建设趋势是地上、地下立体发展,并综合规划设计周围配套客货运输系统。而开发综合交通枢纽的地下空间,有利于提高其运输的能力和效率。为了修建大型综合交通枢纽核,一般要修建高铁正线和便线2条轨道,由此导致高铁站房与高铁轨道之间基坑的开挖难度加大,且高速动车组列车对既有高铁轨道变形的要求也越来越高。新建沈阳南站站房内高铁便线两侧基坑的开挖施工,既要保证运营安全,又要保证工程顺利展开,国内尚无类似基坑支护方式,本文研究了该站工程基坑的支护方案,将对以后类似工程具有较大借鉴价值。

1 工程概况

新建沈阳南站位于沈阳市苏家屯,其工程总体实施方案为:为配合哈大正线、便线之间的顺利过渡,沈阳南站基坑分4个区域施工:①哈大高铁在哈大正线通过,则施工哈大便线临时路基,即施工东站

房A区基坑及主体结构、西站房B区基坑及主体结构;②待哈大便线路基修好后,将正线处运行的高铁车辆调至哈大便线上运行,施工中央站房C区基坑及主体结构;③待C区主体结构完工后,将哈大高铁车辆由便线处调至哈大正线上运行,最后施工中央站房D区的基坑及主体结构(图1)。

目前,东西站房A、B区主体结构已封顶,中央站房C区已施工至高架层,哈大线高铁车辆在哈大临时便线处通过,通过时速为80 km/h。原计划是将哈大正线处站房修建完,再施工最后的D区基坑及主体结构。由于工期缩短,须提前修建中央站房D区的部分主体结构,从而加大了高铁便线附近的工作面,需要在高铁便线两侧进行基坑支护。哈大高铁便线处每天通过10余趟高铁,为压缩高铁便线轨道所占用空间,对高铁便线护坡工作要求非常严格,高铁便线两侧基坑开挖后,必须保证目前正在运营的高铁便线轨道的沉降满足高铁运营的要求。该工程施工工期紧,难度大,国内尚无类似基坑支护方式可借鉴。

施工区地层情况:①填土层:黄褐色-灰褐色,稍湿,含碎石块、碎砖块及少量生活垃圾,主要由黏性土组成,层厚2.5~4.3 m;②粉质黏土层:褐黄色-灰褐色,硬塑,摇振反应无,稍有光泽,干强度中等,韧性中等,含少量锈斑,层厚7~8 m;③细-粗砂层:黄褐色,中密,湿,主要由石英、长石组成,含约5%

收稿日期: 2015-01-30; 责任编辑: 赵庆

作者简介: 于志华(1986—),男,工程师,硕士研究生,研究方向为岩土工程勘察设计与施工。E-mail:183707184@qq.com

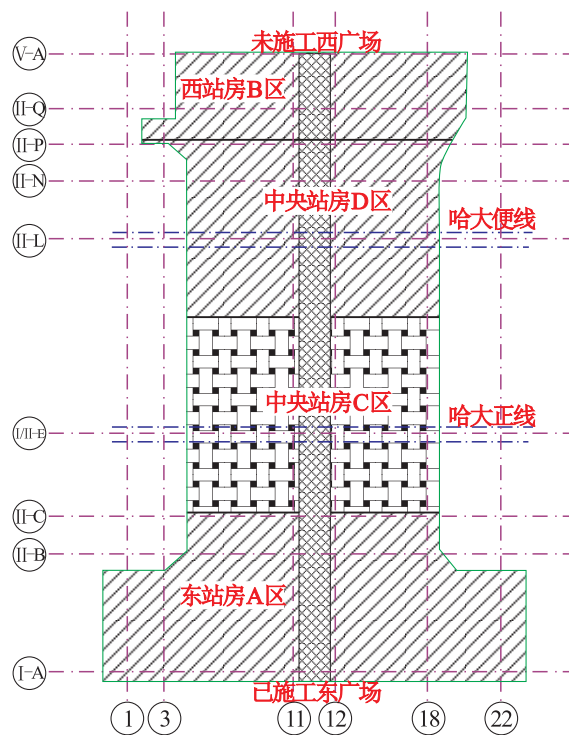


图 1 高铁站房及高铁轨道位置

Fig. 1 Map showing location of the building of Shenyang high speed railway station and the rail

的卵石及少量黏性土,厚 5~7 m;④圆砾层:灰黄色,稍密,稍湿-饱和,由结晶岩组成,岩块坚硬,含少量黏性土,层厚 5.0~10.0 m。

2 基坑支护方案设计

目前,为保证高铁便线的正常运营,基坑开挖后高铁轨道的垂直变形须 $<4\text{ mm}$ 。而垂直变形 $>4\text{ mm}$,达到安全预警值;垂直变形 $>6\text{ mm}$,达到安全报警值,就得停止高铁的运营。为此,据本公司多年的设计及施工经验,决定采用“人工挖孔桩+预应力锚杆”的方式对基坑进行支护,高铁便线两侧基坑开挖后相当于在中间形成一个土台,高铁便线在土台中部运行。

本工程设计了以下 2 套基坑支护方案。

(1)方案一:采用桩锚支护,沿高铁便线布两排人工挖孔桩,桩内径 1.0~1.2 m,桩外径 1.2~1.4 m;西侧护坡桩距离 II-K 轴 4.2 m,东侧护坡桩距离 II-M 轴 4.1 m,桩间距 1.5 m,桩身通常配置 16 根直径 28 mm 的热轧螺纹钢筋,竖向布 5 道锚杆,前 2 道锚杆采用对拉方式,基坑开挖后在中部形成

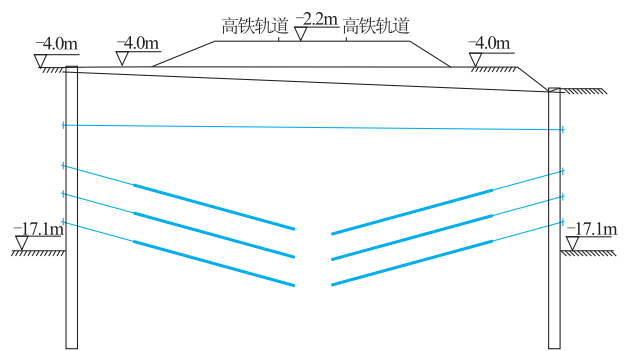


图 2 方案一剖面图

Fig. 2 Section of the first scheme

表 1 方案一锚杆设计参数

Table 1 Parameter of anchor bolt design in the first scheme

锚杆位置/m (桩顶以下)	锚杆倾 角/(°)	水平间 距/m	锚杆长 度/m	锚杆配筋	轴力标准 值/kN
-0.3	2.5	4.5	36	6d15(7Φ5)	654
-3.0	0.6	2	36	6d15(7Φ5)	750
-6.0	15	1.5	17	3d15(7Φ5)	202
-8.0	15	1.5	17	3d15(7Φ5)	342
-10.0	15	1.5	17	4d15(7Φ5)	419

35.9 m 宽土台(图 2,表 1)。

(2)方案二:采用桩锚支护,沿高铁便线布两排人工挖孔桩,桩内径 1.2~1.4 m,桩外径 1.4~1.6 m;西侧护坡桩距离 II-K 轴 11.2 m,东侧护坡桩距离 II-M 轴 11.0 m,桩间距 2 m,桩身通常配置 16 根直径 28 mm 的热轧螺纹钢筋,竖向布 4 道锚杆,4 道锚杆全部采用对拉方式,基坑开挖后在中部形成 21.9 m 宽土台(图 3,表 2)。

3 数值模拟

高铁便线两侧同时开挖深基坑,目前国内外无类似工程。为更好地了解深基坑施工开挖过程中高铁轨道的沉降变形,利用 Midas/GTS 有限元软件对 2 种支护方案的开挖过程进行数值模拟计算,通过建模模拟高铁轨道下方的受力和变形情况,并对 2 种方案加以比较。

3.1 基坑有限元模型

(1)有限元模型的建立。对高铁便线两侧基坑建模进行计算分析,由于基坑长度较长,建模时应尽量将实际工程简化,利用有限元模型的主要因素,以便于模型简化。参考国内外相关文献,深基坑开挖影响范围宽度为基坑深度的 3~4 倍,开挖影响深度

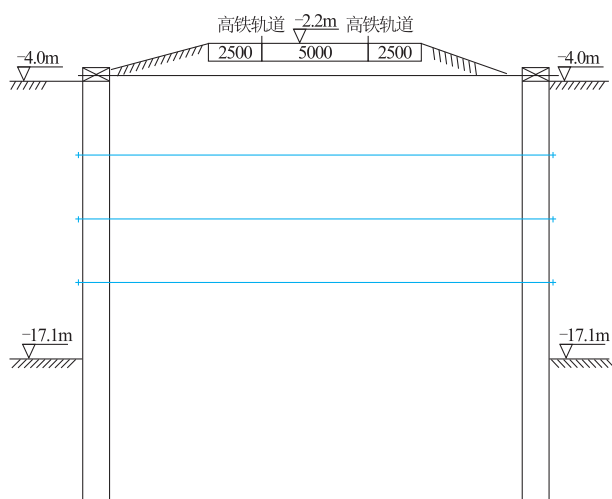


图3 方案二剖面图

Fig. 3 Section of the second scheme

表2 方案二锚杆设计参数

Table 2 Parameter of anchor bolt design in the second scheme

锚杆位置/m (桩顶以下)	锚杆倾 角/(°)	水平间 距/m	锚杆长 度/m	锚杆配筋	轴力标准 值/kN
-0.3	0	4.5	22	6d15(7Φ5)	750
-4.1	0	2	22	6d15(7Φ5)	750
-7.1	0	2	22	6d15(7Φ5)	750
-10.1	0	2	22	6d15(7Φ5)	750

为基坑深度的2~4倍。本工程所建立的有限元模型的宽度约为最大开挖深度的4倍,深度约为最大开挖深度的2倍。模型的基本尺寸为长×宽×高=120 m×115 m×30 m。

(2)模型单元及边界条件。本工程计算模型共分为23 410个单元,21 889个节点。基坑模型的边界条件是模型顶部为自由边界,模型的四周采取法向约束,基坑底部为固定端约束。西侧超载按90 kPa考虑,东侧超载按120 kPa考虑。

(3)模型计算的主要参数。本工程地层分层较多,为简化模型,将工程的地层简化整理后,分为4大层,具体土层计算参数见表3。采用桩结构单元模拟人工挖孔桩,采用壳结构单元模拟桩间挂网喷射砼面层,人工挖孔桩及桩间面层计算参数见表4。采用锚索结构单元模拟锚杆,根据不同部位实际锚杆的长度将锚杆划分为不同的锚杆构件,锚杆计算参数见表5。

3.2 模型求解计算

高铁便线两侧基坑采用分步同时开挖的方式。分步开挖分步支护,先支护,后开挖,支护添加锚杆

表3 土层计算参数

Table 3 The calculation parameters of earth layers

层号	土层名称	厚度/ m	密度/ (kg·m ⁻³)	黏聚 力/kPa	内摩 擦角/ (°)	弹性模 量 E (kPa)	泊松 比 ν
1	填土	3	1920	15	15	16e3	0.33
2	粉质黏土	7	1990	20	15	42e3	0.31
3	细砂-中砂	7	2070	0	30	110e3	0.23
4	圆砾	13.00	2100	0	35	140e3	0.18

表4 人工挖孔桩和桩间面层计算参数

Table 4 The calculation parameters of manual excavation pile hole and the inter-pile surface layers

类型	材料/m	直径/厚 度/mm	EA/ (10 ⁶ kN·m)	EI/ (10 ⁵ kN·m)	泊松 比 ν
护坡桩	C25 钢筋砼	1000	8.20	2.05	0.2
面层	C20 喷射砼	100	2.58	0.023	0.2

表5 锚杆计算参数

Table 5 The calculation parameters of anchor bolt

类型	材料/m	孔径/mm	EA(锚固段) (10 ⁶ kN·m)	EA(自由段) (MN)
锚杆	1860 钢绞线	150	3.6	88

后,Midas/GTS 软件会重新计算,重新求解支护体系及高铁轨道的内力和变形,同时实现模拟开挖与建模的内力计算。先对方案一按下列步骤进行数值模拟。

(1)创建基坑开挖模型,施加基坑边界条件,模型顶面的应力边界条件,模型底面和侧面的位移边界条件,之后进行土体的自然固结计算。

(2)消除上部土体自然固结过程中所产生的位移和速度,添加第一道锚索结构单元,之后添加桩结构单元、梁结构单元,创建该层腰梁,设置锚头与腰梁刚性连接,创建超前支护体系人工挖孔桩模型,求解平衡。

(3)设第一层开挖区(模块1)为零模型,之后添加第二道锚索结构单元并添加预应力;添加桩间喷射砼壳结构单元,创建第一层开挖层面板层,然后求解平衡,计算当前开挖步的应力和位移情况。

(4)设第二层开挖区(模块2)为零模型,添加第三道锚索结构单元,创建该层锚杆,并施加预应力;添加梁结构单元,创建该层腰梁,设置锚头与腰梁刚性连接;添加壳结构单元,创建该层面板层,然后求解平衡,计算当前开挖步的应力和位移情况。

(5)按照分步开挖支护施工顺序,从第三层开挖开始重复(3)、(4)继续计算,直至第4步开挖完毕,

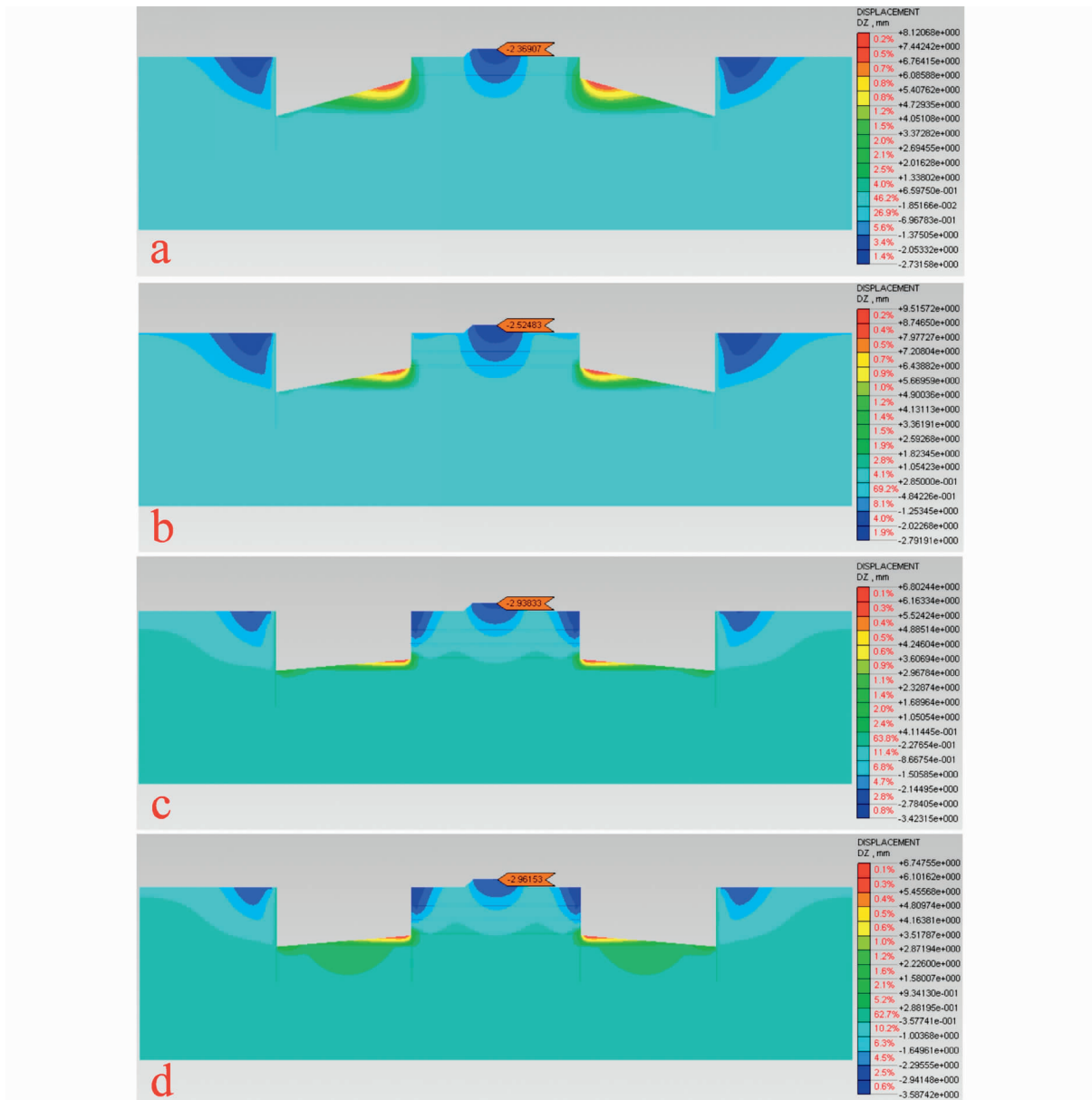


图 4 方案一的分步开挖计算模型图

Fig. 4 The calculation model of the stepped excavation in the first scheme

a. 第一步; b. 第二步; c. 第三步; d. 第四步

求解平衡,得到高铁轨道底部及基坑周边的最终应力和位移情况。方案一的分步开挖计算模型见图 4。

随着基坑开挖,护坡桩后的地表及高铁轨道正下方的沉降幅度与影响范围随之增大。由于人工挖孔桩的超前支护,有效地减少了支护坡面附近土体的沉降变形,并且混凝土面层自身也具有一定的黏结强度和抗弯刚度,再加上锚杆的锚固力,三者联合对支护坡面附近土体起到了一定的支撑作用。基坑模型开挖完成后,两排护坡桩之间的土体及高铁轨道正下方的沉降量见图 4d,基坑开挖后,基坑底原

土体平衡应力场遭到破坏,卸荷后基底回弹,随基坑内外土面高差不断增大,坡脚处下土层受到的侧向力增大,从而使基坑底部隆起。坡脚处隆起变形量较大,最大隆起量约 6.75 mm,坑底中部隆起变形量较小。随着开挖深度的加大,高铁轨道底部的沉降量越来越大,到第四步开挖后,高铁轨道正下方的沉降量为 2.96 mm。

对方案二重复上述步骤进行数值模拟,结果表明,最后一步开挖后,高铁轨道正下方的沉降量为 8.3 mm。

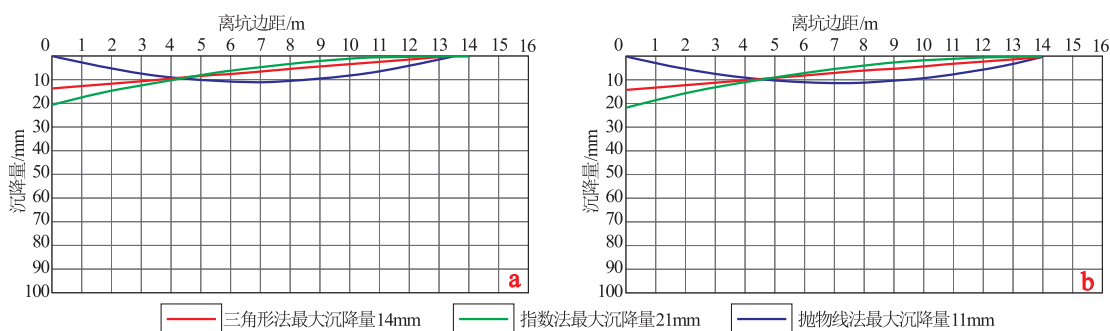


图5 方案一(a)和方案二(b)的沉降图

Fig. 5 Map showing the subsidence of the first scheme(a)and secont scheme (b)

4 方案比选

从利用理正深基坑软件的整体稳定性、通过Midas/GTS数值模拟、理正验算的高铁轨道下方的沉降、从工期及施工难度等方面对2种方案进行对比,最终确定基坑支护方案采用方案一。

4.1 整体稳定性

利用理正深基坑支护结构设计软件验算基坑开挖后的稳定性,方案一的整体稳定安全系数为1.848,方案二为1.65,整体稳定性方面方案一优于方案二。

4.2 沉降

(1)由Midas/GTS数值模拟结果可知,方案一高铁轨道下方的沉降最大值约为2.96 mm,小于安全预警值(4 mm),没有影响高铁正常运营。方案二高铁便线下方的最大沉降约8.3 mm,超过了安全报警值(6 mm),不能满足高铁正常运营对沉降的要求。

(2)利用理正深基坑支护结构设计软件验算基坑开挖后的沉降量,方案一的高铁轨道下方的沉降最大值约2.5 mm(图5a),方案二的高铁轨道下方的最大沉降约6.7 mm(图5b),从高铁轨道对沉降的要求考虑,方案一能满足沉降要求,方案二不能满足沉降要求。

4.3 工期

方案一的前两道对拉锚杆可在人工挖孔桩成桩之前采用普通锚杆钻机成孔,每排锚杆施工工期约7天,工期较快;而方案二由于离高铁便线较近,须在人工挖孔桩成桩之后再施工锚杆,需要采用定向专用钻机施工,该钻机施工速度较慢,每台钻机每天可施工2~3根锚杆,每排锚杆施工工期15~20天,工期

方面方案一要比方案二节省30天。

4.4 施工难度

方案二采用专用定向钻机成孔过程中,需要向高铁防护网内伸入探棒进行导向,探棒导向信号有可能对高铁信号产生干扰,故操作上需要高铁运营部门的许可,困难较多。

5 结论

(1)通过Midas/GTS数值模拟及理正验算,高铁轨道的沉降量以及工程的整体稳定性、工期要求、施工难度方面,方案一均优于方案二。

(2)三维模型数值计算出的高铁轨道的最大沉降量为2.96 mm,理正软件验算的为2.5 mm,两者相差不大。而数值模拟对坡顶位移和坡底的隆起变形均有记录,结果直观明了,因此验证运用Midas/GTS创建的三维数值模型是合理有效的。

参考文献:

- [1] 张国亮. 紧邻既有地铁车站深基坑工程稳定与变形特性研究[D]. 长沙:中南大学,2012.
- [2] 张新东. 邻近铁路深基坑支护结构及路基安全性控制研究[D]. 北京:北京工业大学,2012.
- [3] 程琪,刘国彬,张伟立. 上海地区地铁超深基坑及深基坑变形有限元分析[J]. 地下空间与工程学报,2009,5(S2):1497-1502.
- [4] 李科志. 超深基坑开挖地层变形控制措施和工程实践[D]. 成都:西南交通大学,2012.
- [5] 李林. 下穿既有深基坑开挖数值模拟与实测研究[D]. 长沙:中南大学,2013.
- [6] 秦日松. 深基坑工程由施工引起的基坑变形控制及预测研究[D]. 天津:天津大学,2011.

Comparison of support schemes of foundation ditch on either sides of temporary railway in building of the Shenyang high speed railway station

YU Zhihua, ZONG Shichang, SUN Jian, ZHANG Jiao

(Beijing Aidi Foundation Engineering Co., Beijing 100144, China)

Abstract: This paper deals with the problems of excavation of foundation ditches on either sides of temporary railway in the building of the Shenyang high speed railway station. The excavation model of the finite element is built to simulate bottom deformation of the rail after layered excavation and support. Combined with Lizheng software of structural design of deep foundation ditch support the numerical simulation software is used to make calculation. According to subsidence amount, stability of the excavation ditch, difficult degree of the operation and the duration two schemes are designed and compared. At last the first scheme is selected. The further similar project could refer to its design and operation.

Key Words: rail of the high speed railway; manual excavation of pile hole; numerical simulation; horizontal shift; subsidence; Liaoning province