

文章编号:1006-2106(2007)12-0044-05

环梁-桁架支撑体系在大型基坑工程中的应用*

唐 虎^{1**} 胡海清² 徐向辉¹ 孙俊岭¹

(1. 铁道第三勘察设计院集团有限公司, 天津 300251; 2. 天津交通建筑设计院, 天津 300201)

摘要:研究目的:北京西站地下行包库是北京西站改扩建工程中的一个重大项目,对整个工程的进度起着控制作用。通过本研究,拟找到一个施工便捷、结构合理的支护体系。

研究方法:根据地质情况、周围环境要求、工程功能、当地的常用施工工艺设备以及经济技术条件综合考虑、因地制宜地选择支护结构的类型。采用理正单元计算、理正整体计算与 SAP84 计算相校核的计算方法,并对极限平衡法和弹性支点法的计算结果进行对比分析。

研究结果:采用人工挖孔桩围护结构+圆形环梁-桁架支撑的支护体系,其结构受力体系合理,便于施工,经济指标合理。

研究结论:圆形环梁-桁架支撑的支护体系结构受力合理,适用于平面尺寸大、长宽尺寸接近、四周地层性质接近、抗力接近的基坑;混凝土圆形环梁结构受压合理,整体稳定性好;桁架体系整体性强,采用钢构件施工速度快;单撑式围护结构可以采用极限平衡法计算。

关键词:北京西站;基坑;环梁-桁架式支撑体系;极限平衡法;弹性支点法

中图分类号:TU323 文献标识码:A

Application of Rounded Ring and Beam-trussed Bracing System in Excavation of Large Foundation Pit

TANG Hu¹, HU Hai-qing², XU Xiang-hui¹, SUN Jun-ling¹

(1. The Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation, Tianjin 300251, China; 2. Tianjin Communication Architecture Design Institute, Tianjin 300201, China)

Abstract; Research purposes: Construction of the underground luggage warehouse in Beijing Xi Station is an important part of reconstruction of Beijing Xi Station, which has significance to the process of the reconstruction, so it is necessary to seek a bracing system with rational structure for rapid reconstruction through doing researches.

Research methods: The rational type of bracing system should be selected according to the geologic conditions, surrounding environmental requirements, project functions and local commonly-used construction technique and facilities as well as technical and economic conditions. The comparison and analysis of the computing results obtained by limiting equilibrium method and elastic fulcrum method are made with logic unit computing, logic united computing and SAP84 computing.

Research results: The bracing system of artificial pile exterior-protecting structure-rounded ring-beam-trussed support is adopted with rational bearing system to the structure, easy construction and rationalization in economy.

Research conclusions: The bracing system of rounded ring beam and trussed beam has the feature of rational bearing to structure and is suitable for supporting the foundation pit with large plane size, quasi-long and wide sizes, quasi-surrounding-stratum nature and quasi-resisting force. The concrete circular ring structure has the feature of rational bearing with good entire stability and the truss system has the feature of good unity. The construction can be

* 收稿日期:2007-11-19

** 作者简介:唐虎,1980年出生,男,工程师。

conducted rapidly with steel component and the limiting equilibrium computing can be adopted to single exterior - protection structure.

Key words: Beijing Xi Station; foundation pit; rounded ring beam and trussed beam bracing system; limiting equilibrium method; elastic fulcrum method

在基坑工程设计中,必须根据地质情况、周围环境要求、工程功能、当地的常用施工工艺设备以及经济技术条件综合考虑而因地制宜地选择支护结构的类型。而支撑体系的布置形式在基坑工程设计中常表现出富有创造性,也是技术含量较高的一项设计。设计人员不但要合理选择支撑材料、支撑体系布置形式,使其综合经济指标得到最大优化,还要使支撑体系受力明确,充分协调发挥各杆件的力学性能,能够在稳定性和控制变形方面满足对周围环境的保护的设计标准要求,同时还要最大限度地方便土方开挖和主体结构快速施工要求。

北京西站地下行包库是北京西站改扩建工程中的一个重大项目,对整个工程的进度起着控制作用。为保证北京西站春运,此项目要求在控制工程造价的基础上,地面以下工程设计和施工共约 3 个月完成,确保新建的轨道及站台春运期间投入运营。如何在短时间内平衡安全、施工、造价三方面的问题,成为设计工作的难点。

1 工程概况

北京西站地下行包库位于北京西站南广场,南面为广莲路,北侧紧邻既有线股道,与股道最近处仅 2 m,东侧与建设大厦相邻,距离为 6 m,西侧为恒基物业大楼,周边环境较差。该基坑(见图 1)按一级基坑设计。本工程基坑接近矩形,宽 75.9 m,长 80.9 m,开挖面积约为 6 050 m²,平均深度 11 m,局部深度 15 m。



图 1 正在开挖的北京西站地下行包库基坑

2 工程地质与水文地质

2.1 工程地质

勘察深度范围内(最深 25.00 m)的地层,按成因类型、沉积年代可划分为人工堆积层、新近沉积层和第四纪沉积层、第三纪沉积层四大类,并按岩性及工程特性进一步划分为 5 个高层及亚层。

表层为人工堆积之厚度为 3.00 ~ 7.50m 的房渣土、碎石填土①层,粉质粘土填土、粉质粉土填土①₁层;人工堆积层以下为新近沉积的砂质粉土②层,粉质粘土、粘质粉土②₁层,卵石、圆砾③层,细砂、中砂③₁层;新近沉积层以下为第四纪沉积的卵石、圆砾④层,细砂、中砂④₁层;第四纪沉积层以下为第三纪沉积的砾岩⑤层,如表 1 所示。

表 1 土层指标表

层号	粘聚力 <i>c</i>	内摩擦角 φ	垂直基床系数 <i>K_c</i> /MPa	水平基床系数 <i>K_s</i> /MPa
①	0	10	-	-
① ₁	10	15	-	-
②	18	26	40	40
② ₁	20	15	35	35
③	0	36	65	70
③ ₁	0	34	50	50
④	0	38	65	70
④ ₁	0	34	55	60

2.2 水文地质

地下水类型为潜水,勘测期间,其静止水位埋深为 17.70 ~ 18.90 m,历史最高水位(1959 年)接近自然地面。一些钻孔附近有少量上层滞水,实测的静止水位埋深为 5.70 m。

场地上层滞水水质对混凝土结构及钢筋混凝土结构中的钢筋均无腐蚀性。场地内潜水平埋藏较深,可不考虑其腐蚀性对本工程的影响。

3 支撑体系方案比选

根据本基坑所处的工程地质与水文地质条件和周边环境情况,以及基坑的几何尺寸情况,可供选择的支撑形式如下:

3.1 钢支撑对撑方案

该方案采用型钢网格支撑,在网格节点处需要设置临时立柱支撑。该方案的优点是支撑体系受力明确,有很成熟的设计与施工经验,安全可靠。该方法的不利之处是型钢使用量大,临时立柱工程量大,型钢网格小,施工不够便利,临时立柱过多给底板防水处理增加施工难度。因此本设计未采用该方案。

3.2 锚索方案

该方案是用锚索代替内支撑,对于平面尺寸巨大的基坑是值得考虑的一个方案。其主要优点是取消内支撑,施工场地开阔,工程造价较低。其缺陷是该方案

一般不适合一类基坑,基坑变形较大,一旦发生险情难以控制。由于该基坑周边建筑物基础控制,没有施工锚索的条件,因此未采用该方案。

3.3 环梁-桁架支撑体系方案

该支撑体系利用围护桩顶冠梁和中间 66.2 m 直径环梁为骨架,中间用型钢连接构成桁架支撑体系,竖向设置临时立柱,柱头与平面桁架采用铰接节点。该方案的优点是结构体系受力合理,能够充分利用圆形环梁在等分点径向受压的合理性,有效平衡基坑四周传递土压力;同时,该体系属于刚性支护体系,支撑刚度大,能够有效控制基坑变形,安全稳妥。该方案在施工方面优点是,基坑工作面开敞,便于大型机械施工,施工效率高。该体系工程造价也相对较低。

结合基坑周边环境、工程工期和工程的自身特点,通过方案比选,最后决定采用环梁-桁架支撑体系。桁架底标高比结构主体顶板高出 500 mm,待顶板全部施工完并达到预期强度后,再拆除基坑的支撑体系,以确保工程安全。

4 环梁-桁架支撑体系设计参数确定

由于上层滞水很少,地下潜水埋藏较深,可不考虑水对基坑的影响。基坑围护桩采用直径 1 m 挖孔桩,间距 1.4 m,共 222 根,其中 13.4 m 桩 109 根,14.4 m 桩 113 根,嵌固深度为 5 m ($F=1.5$)。经方案比较,采用一道大直径钢筋混凝土环梁和双工字钢腹杆边桁架,承重立柱为角钢焊接钢格构柱。经结构计算,确定环梁截面为 1 400 mm × 900 mm,中心直径为 66.2 m,双工字钢由 600 × 200 × 10 × 15、500 × 200 × 9 × 14、650 × 250 × 10 × 14 3 种截面组成,桩顶冠梁为 1 400 mm × 900 mm,钢格构柱为 600 mm × 600 mm,由 4 根 L180 mm × 12 mm 角钢焊接而成,缀板为 -500 mm × 300 mm × 10 mm,中心间距 800 mm。格构柱共 24 根,其中环梁上按环梁和钢撑的交点并躲开底梁、顶梁位置,较均匀布置 16 根。如图 2、图 3 所示。

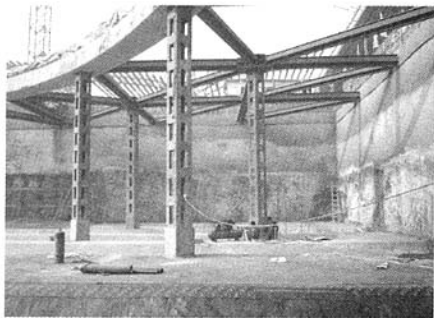


图2 开挖完的基坑支护结构

万方数据

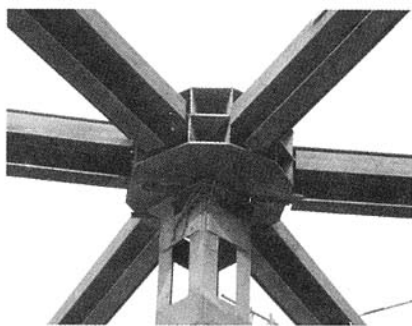


图3 钢支撑节点

5 结构分析计算

5.1 荷载计算

5.1.1 土层产生侧压力,无水压作用

$$e_{ajk} = \sigma_{ajk} K_{ai} - 2c_{ik} \sqrt{K_{ai}} \quad (1)$$

$$K_{ai} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_{ik}}{2} \right) \quad (2)$$

$$e_{pij} = \sigma_{pij} K_{pi} + 2c_{ik} \sqrt{K_{pi}} \quad (3)$$

$$K_{pi} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi_{ik}}{2} \right) \quad (4)$$

5.1.2 地面超载引起的侧压力

综合考虑施工机械、器具、人员引起地面超载和基坑边建筑物基础的超载,按地面 20 kPa 满布荷载计算。

5.2 嵌固深度计算

对于单点支护结构,由于结构的平衡是依靠支点及嵌固深度两者共同支持,必须具有足够的嵌固深度以形成一定的反力保证结构稳定。假设支撑具有足够的刚度,按下式计算围护结构的整体稳定(见图 4):

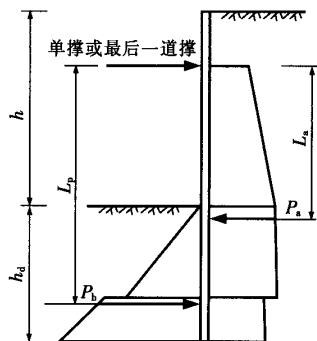


图4 整体稳定计算简图

$$F = \frac{P_p L_p}{P_a L_a} \geq (1.05 \sim 1.2) \text{ 且 } h_d \geq 0.3h \quad (5)$$

由于地下水埋藏较深,基坑下基本为卵石和圆砾,

故基坑的抗隆起、抗管涌和稳定的其它指标不用计算。

5.3 支护体系构件计算

5.3.1 计算方法

采用理正整体计算与 SAP84 程序计算相比较核。由理正单元计算得出围护结构每延米传力指标,并加载于 Sap84 支撑体系平面模型上用于复核理正整体计算结果。由于单元计算与整体计算都采用理正软件,故采用手算方式复核理正单元计算结果。

根据受力条件,分段按平面问题计算。按静力平衡条件计算支点力、截面弯矩、剪力。

基坑底面以下支护结构零点位置至基坑底面的距离 h_{cl} 按下式确定(见图 5):

$$e_{alk} = e_{plk} \tag{6}$$

支点力 T_{cl} 按下式计算:

$$T_{cl} = \frac{h_{al} \sum E_{ac} - h_{pl} \sum E_{pc}}{h_{Tl} + h_{cl}} \tag{7}$$

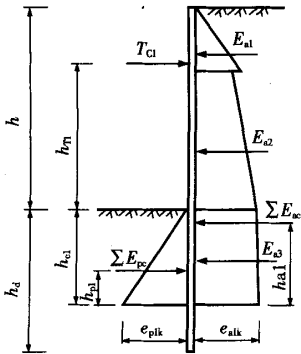


图 5 单层支点支护结构支点力计算简图

5.3.2 计算结果

表 2 理正软件和 sap84 软件计算结果比较(标准值)

	理正计算结果	sap84 计算结果
围护结构每延米传力/kN	324	325(手算)
冠梁剪力/kN	1 472	1 481
冠梁弯矩/(kN·m)	1 812	2 017
圆环梁轴力/kN	9 197	9 997
圆环梁剪力/kN	169	171
圆环梁弯矩/(kN·m)	489	752
撑最大压力/kN	2 342	2 720
撑最大拉力/kN	556	800
桩最大弯矩/(kN·m)	1 429	1 431
桩顶最大位移/mm	15	16

表 2 中所列的弯矩、剪力均为水平方向的力学指标。由于受底、顶梁的位置的影响,立柱的布置受到限制。由立柱的布置产生杆件的竖向弯矩和剪力不能忽视。

单元计算中,采用极限平衡法和弹性支点法的计算结果如表 3 所示。

表 3 极限平衡法和弹性支点法(m 法)单元计算结果对比(标准值)

	极限平衡法	弹性支点法
围护结构每延米传力/kN	326	316
桩顶最大位移/mm	-	13
桩最大弯矩/(kN·m)	1 395	1 320
桩最大剪力/kN	488	475

竖向荷载除结构的自重外,还考虑了 4 kN/m² 的施工荷载。由于理正软件整体计算中不考虑竖向荷载,经 sap84 计算,圆环梁的最大弯矩为 -1 308 kN·m, 736 kN·m,最大剪力为 445 kN。

sap84 计算模型及环梁详细轴力计算结果如图 6、图 7、图 8 所示。

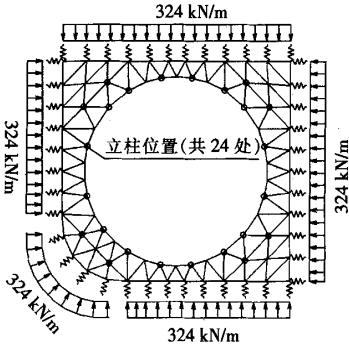


图 6 Sap84 计算模型

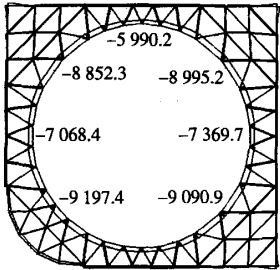


图 7 理正整体计算轴力图(标准值)(单位:kN)

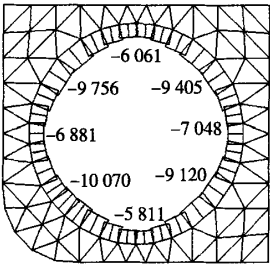


图 8 Sap84 计算轴力图(标准值)(单位:kN)

截面内力及支点力设计值按规程规定,采用 $S =$

1. $25S_e, \gamma_0 S_e \leq R, S_e$ 为结构内力及支点力计算值。

桩采用沿周边均匀配置纵向钢筋的形式,以便于施工。

立柱按格构式压弯构件进行计算,设计轴力 1 134 kN (sap84 计算得到),考虑施工中偶然荷载 $250 \text{ kN} \cdot \text{m}$,等效弯矩系数 β_{mx} 取 1。计算最大强度应力为 $137 \text{ N} \cdot \text{mm}$,最大稳定应力为 $150 \text{ N} \cdot \text{mm}$ 。

6 建议

6.1 在确定中间环梁布置的直径时发现,直径越大,支撑体系的刚度越小,基坑的变形越大,且与圆环梁相切的位置变形最大,基坑角部变形较小,但支撑体系造价相对较小。所以在确定方案之前,应通过计算,综合工程造价、进度、基坑允许变形等多方面因素,确定圆环梁布置直径。

6.2 与水平的规则桁架相比,冠梁相当于桁架的上弦杆,圆环梁相当于桁架的下弦杆,而钢支撑相当于桁架的腹杆。冠梁利用自身的抗剪能力和轴向力实现对桩顶的水平约束,而圆环梁仅靠自身的轴力来实现对支撑力的抵抗,靠自身的封闭来实现受力自平衡。在计算的时候,一定要注意保证冠梁的受剪承载力和圆环梁的受压承载力。

6.3 腹杆布置时应注意腹杆长度和间距的取值。长细比过大,支撑容易失稳,实现起来也不经济;间距过大,会使冠梁产生很大的剪力,过小,影响工程造价和施工的进度。

6.4 在桁架结构中,一般都会有一些腹杆会出现拉力,这与地铁车站长条型基坑中普遍采用的钢撑对称受力是不同的,设计时应特别注意这些杆件和节点的设计。

6.5 立柱布置应在避开底、顶梁的基础上尽量均匀,以减少竖向荷载作用下产生的弯矩。

6.6 设计中应该适当考虑由于不对称荷载引起的支护结构受力的不利影响。

6.7 施工挖土应按从中心到外围的次序进行,充分利用时空效应来控制基坑变形。

7 结论

(1) 理正整体计算得出的内力比 sap84 平面计算的内力偏低,原因是理正整体计算采用的是弹性支点法,而 sap84 为极限平衡法。在单道支撑围护结构单元计算,弹性支点法和极限平衡法得出的结果差别不大,通过试算,若为多道支撑,则计算结果差别较大。单撑式围护结构可以采用极限平衡法计算。

(2) 圆形环梁-桁架支撑的支护体系结构受力合理,适用于平面尺寸大、长宽尺寸接近、四周地层性质接近、抗力接近的基坑。

(3) 圆环梁轴力很大,用混凝土结构能很好的保证结构的整体稳定,也没有钢结构局部失稳的问题。腹杆用钢结构,能加快施工速度,也使支撑的交点得到很好的处理和简化,避免了钢筋混凝土支撑节点钢筋密集,混凝土浇筑质量难以保证的缺点。

参考文献:

- [1] JGJ 120—99,建筑基坑支护技术规程[S].
- [2] GB 50010—2002,混凝土结构设计规范[S].
- [3] GB 50017—2003,钢结构设计规范[S].
- [4] 夏明耀. 地下工程设计施工手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [5] 龚晓南. 深基坑工程设计施工手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1998.
- [6] 刘建航. 基坑工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1997.

(编辑 马 丽 张 滨)

作者：[唐虎](#)，[胡海清](#)，[徐向辉](#)，[孙俊岭](#)，[TANG Hu](#)，[HU Hai-qing](#)，[XU Xiang-hui](#)，[SUN Jun-ling](#)
作者单位：[唐虎, 徐向辉, 孙俊岭, TANG Hu, XU Xiang-hui, SUN Jun-ling \(铁道第三勘察设计院集团有限公司, 天津, 300251\)](#)，[胡海清, HU Hai-qing \(天津交通建筑设计院, 天津, 300201\)](#)
刊名：[铁道工程学报](#) [ISTIC](#) [PKU](#)
英文刊名：[JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年，卷(期)：2007, 24 (12)
被引用次数：1次

参考文献(6条)

1. [JGJ 120-1999. 建筑基坑支护技术规程](#)
2. [GB 50010-2002. 混凝土结构设计规范](#)
3. [GB 50017-2003. 钢结构设计规范](#)
4. [夏明耀 地下工程设计施工手册](#) 1999
5. [龚晓南 深基坑工程设计施工手册](#) 1998
6. [刘建航 基坑工程手册](#) 1997

本文读者也读过(10条)

1. [陈新, 彭辉敏, CHEN Xin, PENG Wei-min 某大厦扩建工程的基坑支护设计和施工\[期刊论文\]-南昌水专学报](#) 2000, 19 (2)
2. [冯谦, 章光, FENG Qian, ZHANG Guang 联合支护体系在深基坑工程中的应用研究\[期刊论文\]-地下空间与工程学报](#) 2007, 3 (1)
3. [陈维荣, 曾莹, 曾娜, 曾孟群 45层大厦深基坑开挖与支护\[期刊论文\]-南昌航空大学学报 \(自然科学版\)](#) 2009, 23 (3)
4. [高华东 北京某深基坑开挖监测实例\[会议论文\]-2006](#)
5. [陈浩生, 戴务进 北京国贸二期工程深基坑的监测及分析\[会议论文\]-1998](#)
6. [曹卫平, 张天航, 陈涵, 陈玲霞, CAO Wei-ping, ZHANG Tian-hang, CHEN Han, CHEN Ling-xia 明挖地铁车站基坑与既有盾构隧道复合变形的有限元数值模拟\[期刊论文\]-华北水利水电学院学报](#) 2007, 28 (2)
7. [雷元新, 胡勇前, 黄胜文, 陈伟, LEI Yuan-xin, HU Yong-qian, HUANG Sheng-wen, CHEN Wei 非对称荷载下隧道基坑的明挖法施工监测与优化\[期刊论文\]-佛山科学技术学院学报 \(自然科学版\)](#) 2007, 25 (4)
8. [陈昌文, 刘勇健, 王维成, Chen Chang-wen, Liu Yong-jian, Wang wei-cheng 复合土钉墙在某基坑支护结构中的应用\[期刊论文\]-广东工业大学学报](#) 2009, 26 (2)
9. [谢峰, 曲向渊, 郭少林, Xie Feng, Qu Xiangyuan, Guo Shaolin 条桩综合护坡体系在基坑支护施工中的应用\[期刊论文\]-太原理工大学学报](#) 2000, 31 (4)
10. [王元湘, Wang Yuanxiang 关于深基坑支护结构计算的增量法和总量法\[期刊论文\]-地下空间](#) 2000, 20 (1)

引证文献(1条)

1. [詹素华, 陈书申 论准椭圆形环撑中对撑控制变形的作用\[期刊论文\]-福建建设科技](#) 2009 (1)

引用本文格式：[唐虎, 胡海清, 徐向辉, 孙俊岭, TANG Hu, HU Hai-qing, XU Xiang-hui, SUN Jun-ling 环梁-桁架支撑体系在大型基坑工程中的应用\[期刊论文\]-铁道工程学报](#) 2007 (12)