

青岛流亭机场国际航站楼及楼前区 地下停车场基坑支护技术

张勇¹, 闫君², 魏一祥²

(1. 泰安市泰山灌浆有限公司, 山东 泰安 271000; 2. 青岛地矿岩土工程有限公司, 山东 青岛 266071)

摘要:青岛流亭机场国际航站楼及楼前区地下停车场基坑支护工程采用高压旋喷止水帷幕、自然放坡、重力式土挡墙和钢筋混凝土排桩支护等综合支护手段,通过监测,基坑开挖后最大变形仅 12.2 mm,是基坑工程理论和实际相结合较成功的实例。介绍了该基坑支护工程的设计计算、施工工艺及监测方案。

关键词:青岛流亭机场;深基坑;基坑支护;止水帷幕;位移监测

中图分类号:TU473.2 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2006)09-0015-04

1 工程概况及环境特征

青岛流亭机场国际航站楼及楼前区地下停车场工程位于流亭机场内原国内航站楼北侧,建成后将与国内航站楼连为一体。根据工程设计需要新建国际航站楼部分地方设地下室 2 层,设计室内坪 -9.70 = 0.90 m,基坑开挖深度 9.70 m;楼前区地下停车场设计室内坪 -6.40 = 4.20 m,基坑开挖深度 6.40 m;地下通道设计室内坪 -7.60 = 3.00 m,基坑开挖深度 7.60 m。本基坑工程按一级安全等级进行支护方案设计,基坑使用时间约 10 个月。

基坑周边可利用场地较大,场区原有建筑物已拆除,除基坑南侧有 2 条道路(2 与 9 号线)、基坑西侧为飞机跑道外,靠近基坑周边没有重要建筑物。

2 场地工程地质条件与水文地质条件

据青岛勘察测绘研究院《青岛流亭飞机场国际候机楼岩土工程勘察初步资料》并结合前期勘察资料,场内岩土层由上而下为:

①素填土,灰黄~灰褐色,粘性土为主,平均厚度 1.0 m, $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$,粘聚力 $c = 10.0 \text{ kPa}$,内摩擦角 $\varphi = 10^\circ$;

②粉质粘土,黄褐~灰褐色,硬塑~可塑,厚度 4.0~6.0 m, $\gamma = 19.9 \text{ kN/m}^3$, $c = 29.6 \text{ kPa}$, $\varphi = 27^\circ$;

③中砂~砾砂,黄~黄褐色,颗粒矿物成分以石英、长石为主,磨圆一般,厚度 0~2.80 m, $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, $c = 0$, $\varphi = 25^\circ$;

④粉质粘土,黄~褐黄色,可塑状态,厚度 0.8

~3.0 m, $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, $c = 18.9 \text{ kPa}$, $\varphi = 20^\circ$;

⑤砾砂,黄褐~棕黄色,平均厚度 13.0 m, $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, $c = 0$, $\varphi = 28^\circ$;

⑥强风化砂岩,紫红色,层厚约 7.0 m。

场区地下水丰富,属第四系孔隙潜水及弱承压潜水,稳定水位为 1.5 m,第③、⑤层为本区主要含水层,其渗透性好。

3 基坑支护设计

根据场地条件和技术要求,国际航站楼西侧有机场跑道、南侧部分地段靠近道路,不允许放坡,须支护开挖,基坑东、北侧放坡空间充足。经充分研究及综合对比,本着安全、经济、可行的原则,确定地下车库与国际航站楼基坑主要采用自然放坡与旋喷桩止水帷幕方案。国际航站楼西侧考虑到基坑靠近机场跑道,不允许放坡,决定采用旋喷桩帷幕与钢筋混凝土桩+锚杆支护方案。对于地下车库南段靠近道路段,采用水泥土重力挡墙进行支护。

3.1 止水帷幕设计

根据勘察资料,基坑位于深厚透水层中,地下水比较丰富且地下水位高(1.5 m 左右),为了保证基坑在开挖后获得干燥的作业空间,必须对地下水进行控制才可保证基础工程的正常施工。对于地下水采取的工程措施有 2 种:一是降低地下水位,二是阻隔堵截地下水进入基坑。控制方法主要有井点降水和止水帷幕 2 种方案。

若采取降低地下水方案,场区含水层厚度大、地

收稿日期:2006-02-16

作者简介:张勇(1974-),男(汉族),山东泰安人,泰安市泰山灌浆有限公司助理工程师,岩土工程专业,从事岩土工程勘察、地基与基础工程施工、深基坑支护设计与土坝堤防基础灌浆施工工作,山东省泰安市泰佛路 3 号,13515380659。

下水位高、渗透性强,抽水工作量非常大,再加上基坑周围机场跑道、候机亭等对地面沉降控制比较严格,不允许大范围大量抽水,故本基坑不能采用降水方案。

根据基坑条件需采用止水帷幕才能确保基础工程正常施工。采用高压喷射注浆法(旋喷)止水方案较安全、可行。设计参数如下:旋喷桩径 1400 mm,桩间距 1100 mm,固化剂采用 P. O 32. 5R 普通硅酸盐水泥,水灰比 1 ~ 0. 8,每延米水泥用量 < 500 kg。帷幕深度以进入基岩 0. 5 m 为终孔原则。

3.2 自然放坡段方案

基坑东、北侧基本无建筑物,放坡空间充足,按自然放坡设计。基坑开挖深度内主要为粉质粘土和中砂~砾砂,由于基坑已做帷幕止水,帷幕内砂土中水压力不考虑,当坡脚为 45°时,采用瑞典条分法计算稳定安全系数 $K = 1. 21$ 。

只要坡面不滑动,边坡就能保持稳定,为防止降雨冲刷坡面,坡面喷射强度为 C20 的细石混凝土,厚度 80 mm,其中配置 $\text{Ø}6@250$ 的钢筋网片,沿土钉方向横向布置 2 道 $\text{Ø}14$ mm 的加强筋。见图 1。

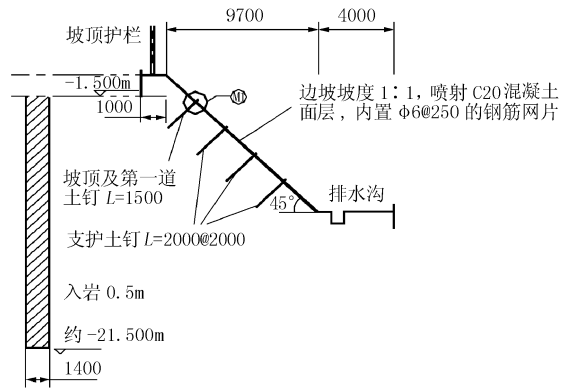


图 1 自然放坡支护剖面图

3.3 钢筋混凝土桩 + 锚杆支护方案

国际航站楼西侧不允许放坡,基坑边坡必须采取支护才能保证安全,经多方技术论证后认为,采用变形较小的钢筋混凝土桩支护比较安全。由于基坑深度较大,若采用悬臂支护,桩径和入土深度均较大,工程造价高,经对其多次优化设计后,决定采用在桩顶以下 2. 5、5. 5 m 处布置 2 排锚杆的桩锚结合支护方案(见图 2),支护设计采用多道支撑桩锚结合分段等值计算。

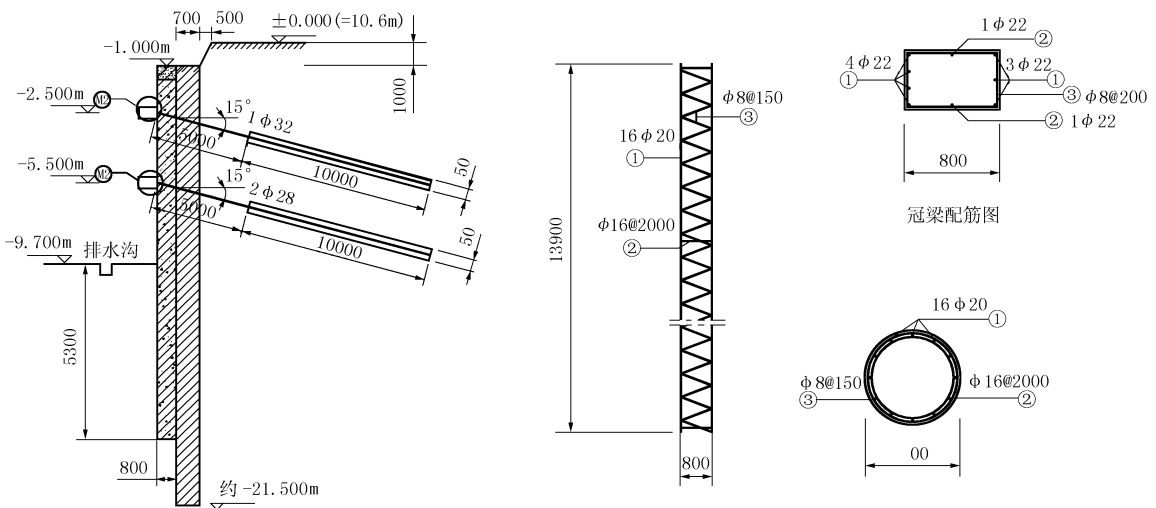


图 2 钢筋混凝土桩 + 锚杆支护剖面图

3.3.1 土压力计算

主动、被动土压力强度计算公式为:

$$\begin{aligned} \sigma_a &= \gamma h K_a - 2c \sqrt{K_a} \\ \sigma_p &= \gamma h K_p - 2c \sqrt{K_p} \\ K_a &= \left[\frac{\cos \varphi}{\sqrt{\cos \delta} + \sqrt{\sin(\varphi + \gamma) \sin \varphi}} \right]^2 \quad (1) \\ K_p &= \left[\frac{\cos \varphi}{\sqrt{\cos \delta} - \sqrt{\sin(\varphi + \gamma) \sin \varphi}} \right]^2 \end{aligned}$$

式中: σ_a ——主动土压力; σ_p ——被动土压力;

γ ——土的重度; K_a ——主动土压力系数; K_p ——被动土压力系数; δ ——桩与土的摩擦角; φ ——土的内摩擦角。

δ 一般可在 $0 \sim 2\varphi/3$ 内取值。

3.3.2 多道锚杆护坡桩设计

采用分段等值梁法对每一段开挖,将该段桩的上部支点和插入段弯矩零点之间的桩作为简支梁进行计算,上一段梁中计算出的支点反力假定不变,作为外力来计算下一段梁中的支点反力。这种方法考虑了实际施工情况。计算步骤为:第一次开挖至第

二层锚杆处,各点对土压力零点取矩,可求出所需锚杆拉力,依次类推即可求出其它锚杆拉力。

根据各土层主动土压力、被动土压力及水压力对零点的力矩,用安全系数公式:

$$K = M_p / [M_a + (M_a - M_w)] \quad (2)$$

$$t = t_0 + k_s(t_0 - z_0)$$

式中: M_p ——被动土压力及锚杆力对桩底的弯矩(其中锚杆力由等值梁法求得); M_a ——主动土压力对桩底的弯矩; M_w ——水压力对桩底的弯矩; K ——安全系数; t ——实际嵌固深度; t_0 —— $K=1$ 时的嵌固深度; k_s ——经验嵌固深度系数,对一、二、三级基坑分别取 1.2、1.15、1.10; z_0 ——土压力零点距坑底距离。

计算桩嵌入深度,并计算最大弯矩。计算时,先计算 $K=1$ 的嵌固深度(t_0),按上式计算实际嵌固深度 t 。

设锚杆与桩的交点为 O ,作用在桩上的土压力对 O 点的力矩平衡条件可写为:

$$\frac{2}{3}P_a(h+d-a) = \frac{P_p}{F}(h + \frac{2}{3}d - a) \quad (3)$$

式中: P_a ——主动土压力; P_p ——被动土压力; F ——安全系数; d 、 a ——分别为桩贯入深度及锚定点距地面距离。

方程解法采用 Newton - Raphson 法。根据(3)式确定桩贯入深度 d (对锚固点取矩),锚杆拉力由水平力的平衡条件求出。

3.3.3 桩配筋计算

由平衡条件得到:

$$f_{cm}bx = f_yA_s$$

$$f_{cm}bx(h_0 - 0.5x) = f_yA_s(h_0 - 0.5x) \quad (4)$$

$$M = f_yA_s(h_0 - 0.5x)$$

式中: M ——设计弯矩; f_{cm} ——混凝土弯曲抗压设计强度; f_y ——钢筋抗拉设计强度; A_s ——受拉钢筋面积; b ——矩形截面宽度; x ——截面受压区高度; h_0 ——截面有效高度。

3.3.4 锚杆设计计算

3.3.4.1 锚杆截面积 A_p

$$A_p + K_bSR_D / (\sigma_p \cos\alpha) \quad (5)$$

式中: K_b ——锚杆面积安全系数; R_D ——所需锚杆拉力; σ_p ——锚杆抗拉强度; α ——锚杆与水平线的夹角; S ——桩距。

3.3.4.2 锚杆自由段长 L_f

$$L_f = (H + A - G) \frac{\cos(45^\circ + 0.5\varphi)}{\sin(135^\circ - \alpha - 0.5\varphi)} \quad (6)$$

式中: H ——开挖深度; A ——土压力零点距坑底距离; G ——锚杆深度。

3.3.4.3 锚杆锚固段长度 L_m

$$L_m = K_m R_D / (F_u \cos\alpha) \quad (7)$$

式中: K_m ——锚杆锚固长度安全系数; F_u ——极限锚固力, $F_u = \pi D_r q_s$; D_r ——锚固体直径; q_s ——土与锚固体间粘结强度; α ——锚杆与水平线的夹角,取 $15^\circ \leq \alpha \leq 35^\circ$ 。

3.3.4.4 桩锚设计参数

设计桩径 $D=0.8$ m,桩距 1.2 m,桩身混凝土标号 C25,主筋 $\varnothing 20$,加强筋 $\varnothing 16$,绕筋 $\varnothing 8$ 。锚杆第一排水平间距 2.4 m,长度 15 m,2 $\varnothing 28$ 钢筋,锚杆与水平线夹角取 15° ,孔径 130 mm;第二排间距 2.4 m,长度 15 m,2 $\varnothing 28$ 钢筋,锚杆与水平线夹角取 15° ,孔径 130 mm(详见图 2)。

3.3.5 钢筋混凝土灌注桩的选择

普通泥浆护壁钻孔桩是常用的方法,但因为存在泥浆污染、成桩速度慢、占用场地、挖土工作不易穿插进行等缺点。因此本基坑宜选用具有施工方便、噪声低、钻进速度快、施工现场文明、施工效率高、工期短等优点的长螺旋钻孔压灌超流态混凝土桩施工工艺,该工艺为我国近几年来刚发展起来的新工艺,在青岛地区有多处成功的施工实例。该设备较其他钻孔施工设备有如下优点:

- (1) 不受地下水位限制,穿透硬土层能力强;
- (2) 排土成桩工艺,不易产生断桩、缩径、塌孔等质量问题,桩体质量好;
- (3) 施工中不需泥浆护壁,不用排污,施工现场文明;
- (4) 螺旋钻成孔混凝土及水泥浆的拌和与泵送等一条龙施工,效率高、速度快,尤其适合于大型工程施工场地作业等。

3.4 水泥土墙支护方案

地下停车场南侧靠近道路,该段采用重力式挡墙支护,该段设计 2 排旋喷桩与止水帷幕搭接,墙宽 3.6 m,墙嵌固深度为 6.0 m(详见图 3、图 4)。

3.4.1 稳定性验算

3.4.1.1 抗倾覆稳定性验算

根据计算,抗倾覆稳定性系数 $K_s = 1.813 \geq 1.2$,满足规范要求。

3.4.1.2 抗滑移稳定性验算

抗滑移稳定性系数 K_h 按下式计算:

$$K_h = (W\mu + E_p) / (E_a \gamma) \quad (8)$$

式中: W ——每延米墙体自重; μ ——岩土对墙体摩

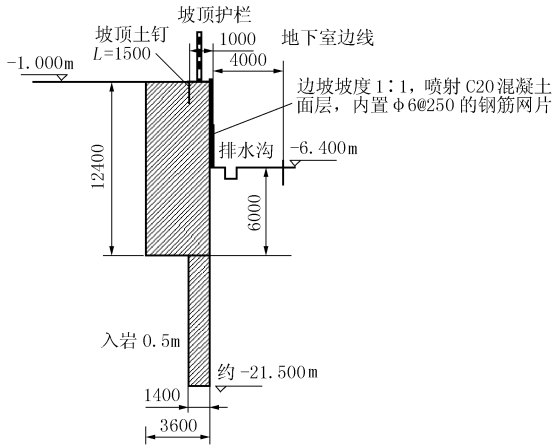


图3 支护剖面图

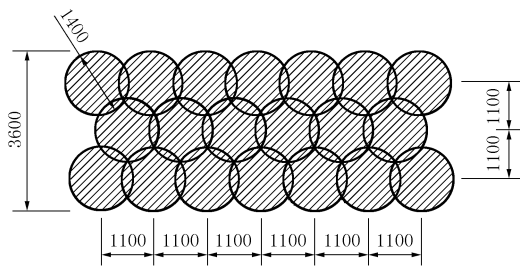


图4 支护/帷幕大样图

4.2 基坑变形

为了确保基坑支护结构、边坡的安全,在基坑施工过程中,对边坡进行综合监测。监测点的设置在基坑变形最大的坡顶,共设置20处,观测频率一般1~2天/次,每层土开挖前后必须观测,变形异常或雨季、爆破等特殊情况下加密观测频率,监测平面布置详见图5。经160多天监测,本工程最大位移为12.2 mm,并在雨季经受住了大雨的考验,保证了工程施工的安全。

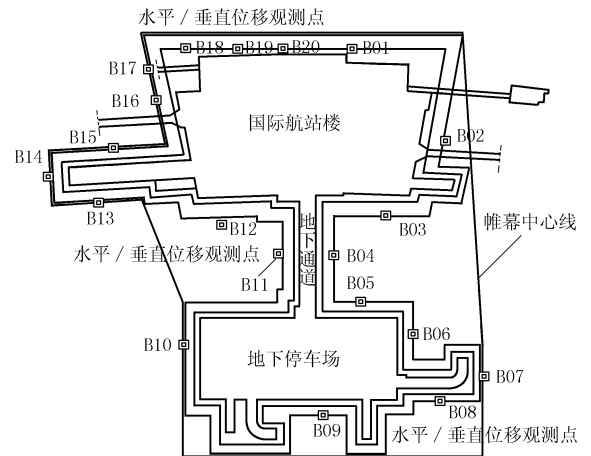


图5 位移观测点平面布置图

擦系数; E_p ——被动土压力; E_a ——主动土压力; γ ——土的重度。

经计算得: $K_b = 2.019$, 满足规范要求 ($K_b \geq 1.2$)。

3.4.1.3 整体稳定验算(见表1)

表1 整体稳定性验算结果表

| 方法名称 | 安全系数 计算结果 | 安全系数最 低限值 K_s | 是否满足 安全要求 |
|-----------------|--------------|-----------------------|--------------|
| Prandtl(普朗德尔) | 3.12 | $\geq 1.1 \sim 1.2$ | 满足 |
| Terzaghi(太沙基)公式 | 2.98 | $\geq 1.15 \sim 1.25$ | 满足 |

3.4.2 墙身强度验算

采用弹性法计算,结果显示墙身压应力最大值 $\sigma_{\max} = 0.96 \text{ MPa} < [\sigma_c] = 5.00 \text{ MPa}$, 满足墙身抗压强度要求;采用弹性法计算,结果显示墙身拉应力最大值 $\sigma_{\max} = 0.35 \text{ MPa} < [\sigma_t] = 0.75 \text{ MPa}$, 满足墙身拉压强度要求。

4 施工效果检查

4.1 止水帷幕

整个旋喷帷幕施工结束后,沿帷幕轴线方向进行了部分断面开挖,开挖断面显示桩体搭接良好,墙体最厚处达1.8 m,最薄处也有1.4 m。基坑开挖后,坑内干燥,防渗帷幕墙无一处漏水,防渗效果良好。

5 结语

(1)本工程根据基坑深度,周边环境及地质情况,按照经济安全、节省工期的原则,分段采用合理的支护方案进行支护,工程实践证明,所选择的支护体系是合理可行的,效果是明显的。

(2)该基坑周长1200 m,土石方30多万立方米,支护工程总造价为660万元,由于合理利用了放坡条件,比单纯桩锚体系节约投资300万元;该支护工程总工期79天,比原计划提前11天完成;基坑开挖后坑内干燥,最大位移为12.2 mm,并在雨季经受住了大雨的考验,保证了工程施工的安全。

(3)随着城市的发展,深基坑支护技术的前景广阔,该工程的成功,丰富了青岛地区深基坑支护结构设计和施工经验,必将产生良好的社会效益和经济效益。

参考文献:

- [1] JGJ 120-99, 建筑基坑支护技术规程[S].
- [2] GB 50007-2001, 建筑地基与基础设计规范[S].
- [3] 徐至钧,等. 高压喷射注浆法处理地基[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [4] JGJ 79-2002, 建筑地基处理技术规范[S].
- [5] GB 50330-2002, 建筑边坡工程技术规范[S].