

广州新白云国际机场旅客航站楼 后张预应力施工技术

姚进年 文庆辉

【摘要】 预应力混凝土技术的发展, 促使民用建筑中大面积、大空间结构得以广泛采用。广州新白云国际机场旅客航站楼是目前国内最大的航站楼, 它结构新颖, 功能齐全, 外观宏伟。主体结构为超长、大跨度、大面积连续预应力梁板结构, 预应力的设计与施工是本工程的关键所在。本文主要介绍了后张预应力的设计要点和施工工艺。

【关键词】 后张预应力 部分预应力 交叉搭接法 矢高

一、工程概况

广州新白云国际机场航站楼主楼, 长330m, 宽170m, 地下2层, 地上4层, 总建筑面积为147640m², 主体结构形式为钢筋混凝土框架, 屋面为钢管桁架梁承重体系, 全部结构构件按部分预应力混凝土构件进行设计。

首层: 地梁混凝土强度等级为C40, 梁断面为300×500-1000, 每根纵向地梁内配置为1×4U Φ J15.24 无粘结预应力筋, 地梁中预应力筋线形为直线。

二层: 楼板厚为500mm (部分为300mm), 混凝土强度等级为C40, 楼板内配置了双向有粘结预应力筋, 预应力筋锚具形式采用4孔扁锚, 预应力筋线形为抛物线曲线, 二层梁内配置2×7B Φ J15.24 有粘结预应力筋, 全部预应力筋线形为抛物线;

三层: 混凝土强度等级为C40, 梁断面尺寸为(300、1500、2000、2500)×(500、1000)不等, 其中框架梁内配置有粘结预应力筋, 次梁内配置无粘结预应力筋, 预应力筋数量各不相同;

四层: 混凝土强度等级为C40, 部分梁内配置1×4U Φ J15.24 无粘结预应力筋, 预应力筋线形为抛物线。

预应力设计采用ASTM A-416标准, 锚具为I类锚具, 采用OVM系列锚具, 张拉端采用夹片锚, 固定端采用挤压锚; 无粘结预应力筋垫板采用Q235钢制作; 波纹管为镀锌波纹管, 管形分为圆管和扁管; 预应力筋采用Φ J15.24 高强低松弛钢绞线, 其抗拉强度标准值 $f_{ptk}=1860\text{Mpa}$ 。

二、工程特点

1. 本工程为超长、大跨度、大面积连续预应力梁板结构, 预应力设计为部分预应力连续梁板结构, 预应力设计与施工的成败, 直接关系到整个工程的质量与进度。

2. 预应力梁板类型繁多, 施工放样工作量极大; 施工工艺复杂, 施工穿插频繁; 预应力设计粗略, 二次设计工作急待解决。所有这些必须统筹安排, 因此, 施工准备工作是否完备, 将直接影响到主体结构能否顺利进展。

3. 工期紧迫, 工作繁重。预应力施工面临材料集中供应、集中下料、区域集中穿筋、张拉灌浆时间短的情况, 工期压力较大。

4. 施工质量控制难度大, 需对工序安排、工艺设定、材料质量、过程质量、监测质量等方面进行严格的、周详的、高精度、全过程、全方位的控制, 认真安排计划, 落实执行。

姚进林: 柳州欧维姆工程有限公司 工程师
文庆辉: 柳州欧维姆工程有限公司 助工

三、二次设计概述

1、材料

本工程采用 I 类锚具的夹片锚，有粘结预应力筋采用群锚，无粘结预应力筋采用单孔锚，其垫板如图 1 所示。钢绞线采用 $\phi 15.24$ 强度为 1860Mpa 低松弛钢绞线。

2、预应力主要施工数据：

a) 张拉控制应力：

$$\sigma_{con} = 0.75f_{ptk} = 0.75 \times 1860 = 1395 \text{Mpa}$$

b) 预应力筋矢高

除特别注明处，预应力筋线形为二次抛物线。

在梁中，反弯点距梁端位置 $0.15L$ ，抛物线方

程为： $y = Ax^2$ 式中：

$$\text{跨中区段 } A = 2h / (0.5 - 0.15)L^2$$

$$\text{梁端区段 } A = 0.15h / 2L^2$$

在板中，反弯点距板端位置 $0.1L$ ，方程作相

应修改： $y = Ax^2$ 式中：

$$\text{跨中区段 } A = 2h / (0.5 - 0.1)L^2$$

$$\text{板端区段 } A = 0.1h / 2L^2$$

据此方程计算出间距 1m 马凳的高度，作为施工控制预应力筋矢高的依据，如图 2。

c) 预应力筋张拉伸长值

i. 理论伸长值

$$\Delta L_p^0 = \frac{F_{pm} L_p}{A_p E_p} \text{ 式中}$$

F_{pm} —预应力筋的平均张拉力 (N)，取张拉端与固定端（两端张拉时，取跨中）扣除摩擦损失后的张拉力的平均值。

L_p —预应力两工作锚板之间的实际长度 (mm)

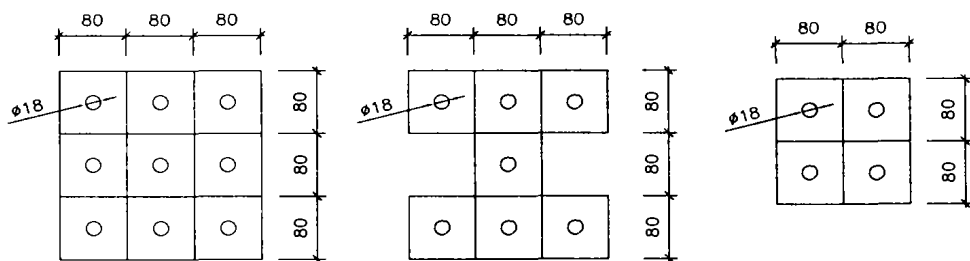
A_p —预应力筋的公称截面积 (mm^2)

E_p —预应力的弹性模量 (N/mm)

根据上式，计算出各束预应力筋的理论伸长值。

ii. 实际伸长值

张拉施工时，实际伸长值的测量，宜在初应



小垫板之间采用点焊连接

图 1 9 孔、7 孔、4 孔垫板示意图

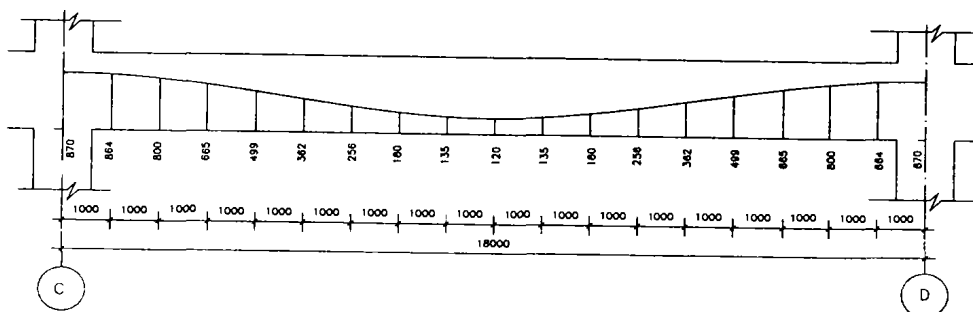


图 2 T-3KL1-2 预应力筋控制点矢高图

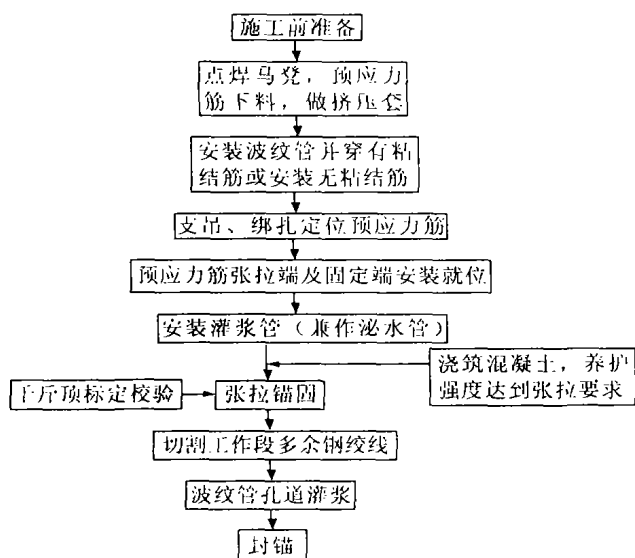
力为张拉控制力的10%左右开始测量,分级记录。

其值可按式确定:

$$\Delta L_p^0 = \Delta L_{p1}^0 + \Delta L_{p2}^0$$

式中, ΔL_{p1}^0 : 0-10%初应力的推算伸长值,可根据弹性范围内张拉力与伸长量值成正比关系推算确定。 ΔL_{p2}^0 : 初应力至最大张拉力之间的实测伸长值。

3、施工流程



4、预应力结构布置:

梁内锚具主要采用9孔以下各类锚具,以求梁内预应力筋贯穿,且能较顺畅穿过普通钢筋间隙。板内采用4孔扁锚。

梁内预应力筋的连续采用交叉搭接法。

预应力筋在柱、梁支座处搭接,搭接长度满足设计要求。在搭接处,采用增设加厚板的方法对局部进行加强,以免造成预应力筋锚固端局部破坏,预应力筋就锚固于加厚板中或梁的端部。无粘结预应力筋伸出加厚板的板面,在板面进行单根张拉;有粘结预应力筋束水平伸出加厚板,在加厚板的一端进行整体张拉,因此,在有粘结预应力束加厚板的后面,必须预留一个洞口以便整体张拉,待张拉灌浆完毕后,再对洞口进行浇筑,详见图3。

5、张拉灌浆要求:

张拉程序: 0 → 10% 6 con (初应力) → 100% 6 con (设计应力) → 103% 6 con (超张拉) $\xrightarrow[3\text{min}]{\text{持荷}}$ 锚固

混凝土张拉强度为设计强度的90%。

梁的张拉顺序为先次梁后主梁,先张拉每区中央位置的预应力梁,后对称张拉每区两侧的预应力梁,每条梁内的预应力筋张拉顺序为两侧对称张拉。

有粘结预应力梁张拉完毕,先观察12小时,48小时内完成灌浆工作。

水泥浆采用525#普通硅酸盐水泥,水灰比为0.43,灌浆压力为0.5Mpa,

6、锚具封闭要求

预应力筋张拉完后,将外露的钢绞线切断,锚具外露钢绞线长度不小于30mm,留有穴模的锚固区用C40细石混凝土密封。

四、施工工艺

1、施工准备

组织健全的管理机构;二次工艺设计;图纸会审;材料、设备进场。

2、下料

(1)根据施工现场实际情况,在大楼附近确定一块下料场地,下料场地清理平整,无堆积杂物,

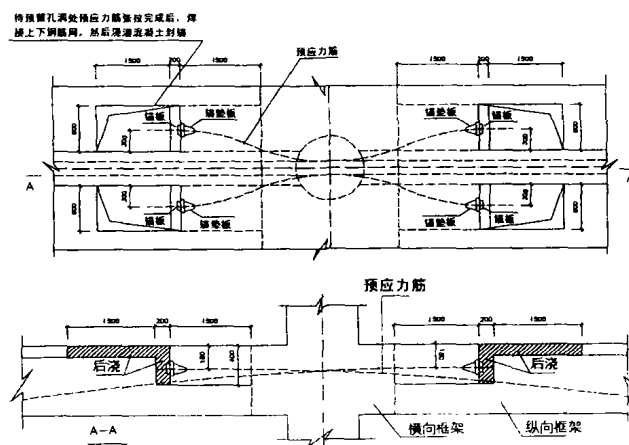


图3 框架张拉端节点大样图

面上铺一层彩条布以保护钢绞线HDPE护套不受损伤。

(2) 下料长度的确定: $L = \text{两锚垫板外侧之间的曲线长度} + \text{锚具厚度} + \text{工作长度}$ (工作长度有粘结筋每端预留 80mm, 无粘结筋每端留 40mm)。

(3) 下料时采用钢尺测量并设定长度标记, 用砂轮切割机切断钢绞线, 按其长度分类堆放, 并打上标识。

(4) 固定端的挤压: 做挤压套时, 油泵油压表读数在 20—35Mpa 之间, 如有低于 20Mpa 时, 应切除, 重新挤压。

(5) 将下好的预应力筋分类编号成盘存放。

(6) 将下好并已成盘的预应力筋用塔吊吊到工作楼面。

3、安放波纹管

在预应力梁的普通钢筋笼绑扎好以后 (梁一侧模板不封), 把波纹管穿入钢筋笼中平放在钢筋笼底, 暂不固定, 波纹管规格必须与锚具匹配。

4、穿束

(1) 穿有粘结钢绞线时, 用胶布包好钢绞线穿入头端部, 以防在穿入过程中损伤波纹管, 当为单端张拉时, 应把承压锚垫板先穿入钢绞线, 钢绞线从固定端往张拉端方向穿入, 固定端垫板距约束圈的距离满足最少间距的要求。

(2) 在梁中采用无粘结预应力时, 在次梁钢筋笼绑扎好及铺放板中下皮钢筋后, 即可穿入无粘结钢绞线。

(3) 板中下皮普通钢筋绑扎定位后, 即可铺放板预应力钢筋并绑扎固定。

5、支吊、绑扎定位预应力钢筋

(1) 本工程预应力钢筋位置按图纸给出的预应力线型确定。梁板中预应力伸入支座的部分为直线段。除设计图纸特殊注明外, 所有的曲线预应力的线型均为二次抛物线。

(2) 预应力筋保护层厚度应大于等于 25mm, 凸

出式锚固端的保护层厚度不应小于 50mm。

(3) 支承波纹管的钢筋支架的直径不宜小于 $\Phi 10$ 并与梁箍筋焊接或用 14 号铁丝绑扎牢固, 钢筋支架间距 1m。

(4) 无粘结筋在最高点、最低点和反弯点处均进行支吊, 以保证其位置、高度的准确性。最高点、最低点可分别与非预应力上筋和下筋绑扎固定, 板中反弯点可用不小于 $\Phi 10$ 的横向马凳进行支撑固定, 梁中反弯点可用不小于 $\Phi 6$ 的钢筋焊接在梁箍筋上进行支承固定。

(5) 预应力筋采用均匀布束, 每束预应力筋中的各根钢筋应保持平行走向, 不得相互扭绞。

(6) 在布筋过程中, 应严格防止预应力波纹管破损, 如发现有破损应及时用粘胶带缠裹密实, 同时波纹管的接头处也应用粘胶带缠裹密实以防止漏浆。在铺设无粘结筋之前应仔细检查外皮有无破损, 如发现破损可用水密性胶带进行缠绕修补, 胶带搭接宽度不应小于胶带宽度的 1/2。

6、锚垫板安装就位及安装螺旋筋或钢筋网片

(1) 固定锚垫板时, 锚垫板应与预应力筋垂直, 且不能超出模板安装面, 锚垫板用 4 根钢筋穿过四个角的固定孔与梁、板主筋焊接在一起。

(2) 固定端承压板下应放螺旋筋 (单孔螺旋筋采用 $\Phi 8$ 钢筋绕制, 并不小于 4 圈); 螺旋筋应与承压板点焊固定。

(3) 张拉端承压板后放置螺旋筋, 当梁、柱处钢筋较密, 预应力螺旋筋放置困难时, 可用钢筋网片代替, 网片采用 $\Phi 12$ 钢筋, $\text{@}70 \times 70$ 点焊或绑扎, 每端 4 片, 钢筋网片面积不得小于承压板的面积。

(4) 张拉端锚垫板最小间距应考虑张拉时以及配套机具所需的工作空间。

(5) 穴模的位置和尺寸应严格控制, 并固定好, 张拉端应用棉纱封堵, 固定端用水泥封堵, 以免水泥浆漏进波纹管。

7、安装灌浆管

(1) 有粘结筋张拉端的铸铁喇叭口设有灌浆孔。

(2) 有粘结筋的张拉端和固定端在距柱内侧 100mm 处分别设置灌浆孔和排气孔, 中间支座处设泌水管。在波纹管上开口, 插入 6" 硬塑管并在灌浆管与波纹管连接处用胶布封堵, 以免漏浆, 排气管伸出梁板面长度 30cm 以上。

8、张拉施工

(1) 张拉设备应进行配套校验, 压力表的精度不低于 1.5 级, 校验张拉设备用的压力试验机精度不得低于 +2%, 校验时千斤顶活塞的运行方向应与实际张拉工作状态一致; 张拉设备的使用校验期限, 不得超过 6 个月, 当张拉设备出现异常现象时或千斤顶检修后, 应重新校验。

(2) 张拉条件: 混凝土张拉强度为设计强度的 90%, 即混凝土应达到 90% 设计强度后方可张拉预应力筋。

(3) 张拉前应清理承压板面混凝土等杂物, 检查承压板面的混凝土质量。

(4) 预应力筋的张拉控制应力为: 单根钢绞线的张拉控制力 $N_{con}=195.3\text{KN}$; 单根张拉或整体张拉则由此计算出相应的油压。所有预应力筋均超张拉 3%。

(5) 预应力张拉采用应力应变双控的方法, 以应力控制为主, 用应变 (伸长量) 进行校核。张拉时实际伸长量超过理论伸长量比较, 无粘结筋允许偏差 $\pm 5\%$, 有粘结筋允许偏差 $\pm 6\%$, 否则应停止张拉, 待找出原因进行处理后方可继续张拉。

(6) 在进行预应力张拉过程中严格做好记录工作, 除记录伸长值数据外尚应记录下预应力筋断丝、断束及混凝土局部破损等情况, 发生严重问题及时通知设计单位进行处理。

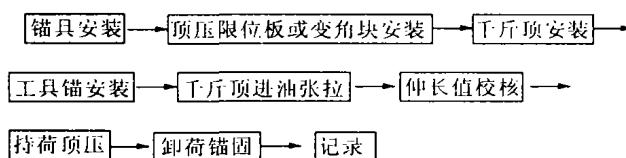
(7) 对有粘结筋的张拉尚有以下要求

a) 采用整束张拉的方法, 不得单根进行张拉。

b) 对两端张拉的预应力筋可用一台千斤顶在一端张拉至张拉控制力再在另一端补足。但对于长度超过 30m 的预应力筋宜用两台千斤顶在两端同时进行张拉。

c) 预应力筋张拉完成后应静停 12 小时进行观察, 如未发现问题则应在 72 小时之内进行孔道灌浆以防预应力筋锈蚀或松弛。

d) 整体张拉施工工艺如下



9、孔道灌浆

(1) 孔道灌浆采用 425R 普通硅酸盐水泥拌制, 水灰比 0.43, 并掺入 6% 膨胀剂, 0.8% 减水剂, 灌浆用水采用自来水。

(2) 搅拌水泥浆时应先把水加入搅拌机, 开动机器后, 加入水泥和外加剂, 材料计量应以水泥重量 50kg 的整数倍数计算水量和外加剂用量; 搅拌水泥浆时间应不间断, 当灌浆过程短暂停顿时, 应让水泥浆在搅拌机和灌浆泵内循环流动。水泥浆自调制至压入管边的时间间隔不得大于 40 分钟。

(3) 将灌浆机出浆口与孔道相连, 保证密封, 开动灌浆泵注入压力水泥浆, 从近到远逐个检查出浆口, 待出浓浆后, 逐一封闭, 待最后一个出浆孔出浓浆后, 封闭出浆口, 继续加压至 0.5Mpa (当输浆管长度大于 30m 时应相应提高压力 0.1~0.2Mpa), 封闭进浆孔阀门, 待水泥浆凝固后, 再拆卸连接头, 即时清理。

(4) 灌浆应缓慢均匀地进行, 不得中断, 并应排气通顺。如遇孔道堵塞, 必须更换灌浆口, 且必须将第一次灌入的水泥浆排出, 以免两次灌入的水泥浆之间有气体存在。

10、锚头端部封堵处理

(1) 预应力筋锚固后的外露部分采用砂轮切割机切割, 其外露长度不小于 30mm, 严禁采用电弧切割。

(2) 将张拉端及周围清理干净。张拉端封锚, 留有穴模的锚固区用 C40 细石混凝土密封, 对留有后浇带的锚固区采取二次浇筑混凝土的方法封锚。

五、施工控制要点

1. 千斤顶及其配套的油压表要一一对应, 且校验期不得超过规定。

2. 挤压套的挤压过程必须符合有关的技术要求。

3. 波纹管的埋设必须控制最高点及最低点符合设计要求, 各节段须用平滑曲线进行过渡。

4. 预应力筋穿束不得相互扭绞, 锚垫板的定位必须与预应力筋束垂直。

5. 张拉前, 须有混凝土试块强度报告, 强度应达到设计要求后方可开始张拉。

6. 预应力筋的张拉管理, 采用应力控制, 伸长值校核进行双控。

7. 波纹管的孔道灌浆必须严格按照浆料的配合比进行搅拌, 灌浆作业从一端往另一端进行, 待出浆口出浓浆时即可关闭排气管, 同时做好灌浆施工记录。

8. 预应力灌浆时应按要求做好试块, 现场养护好后试压, 强度应达到规范要求。

9. 锚头的封堵处理必须密实可靠, 以防预应力筋和锚头腐蚀生锈, 导致预应力失效。

10. 做好各施工工序的施工记录, 并对该分项工程进行质量评定。

11. 施工现场的复杂性决定了不可能完全依照原有设计图纸进行施工, 必须根据实际情况, 找出有效的解决问题的方案, 提请相关部门审批。如预应力与普通筋之间出现不可调和的矛盾, 则应以预应力为主。

12. 严格质检程序: 制定严密的质检程序, 并严格按照程序办事, 保证施工质量。

13. 加强安全管理: 进入现场应戴安全帽, 防止高空坠物; 高空作业要系安全带, 高空平台要有安全网; 不得采用电弧切割预应力筋, 以免夹片受热失效, 飞出打伤人; 张拉时, 千斤顶两端不允许站人; 灌浆作业时, 操作人员应配戴防护用品, 以免水泥浆喷出伤害眼睛。

六、结束语

目前, 航站楼主体工程已完工, 总重超过 500 吨的钢管桁架提升系统在三楼楼面来回行走, 主体结构丝毫不损, 经受住了巨大的考验, 实践证明, 在本工程中预应力设计与施工是很成功的。

近几年来, 在民用建筑中我国已经大量采用了预应力技术, 这就使得我们可以建造出大面积、大跨度、大空间的多高层建筑和巨型建筑, 它不但大大降低了工程造价, 缩短了工期, 还提高了使用功能, 使得建筑物更加美观。随着生活水平的日益提高, 人们期待着与他们朝夕相处的民用建筑更加美观、经济, 功用也更加齐全, 采用预应力技术的大跨度、大空间结构的民用建筑将是人心所向、大势所趋, 预应力技术将被广泛采用并将迅速发展。

参考文献:

- (1)《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204—2002
- (2)《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ/T92—93
- (3)《后张预应力混凝土施工手册》中国建筑工业出版社

