

大跨预应力混凝土简支反梁大肋板组合结构施工技术

——张家港职业高级中学报告厅——

蒋应龙 张逸青

【摘要】本文介绍大跨度预应力混凝土简支反梁大肋板组合设计特点，施工关键技术，以及技术经济评价。

【关键词】铰支座 反梁悬挑结构 倒链葫芦 曲线失高 大肋板

一、结构工程概况

张家港职业高级中学报告厅工程建筑面积约1300m²，平面尺寸36×36.8m，开间9m跨度27m，两边各外挑3m，建筑总标高8.1m，面板采用3×3m模数的肋梁楼板体系，并设置5根预应力混凝土大梁通过柱子把荷载传递给地基，预应力大梁断面1800×550mm，内配4-12φ^j15.2钢绞线，边跨预应力大梁断面1800×400mm，内配4-6φ^j15.2钢绞线，钢绞线采用高强低松弛强度等级均为1860MPa的钢绞线，混凝土设计强度等级C40，该工程结构工艺比较新型，系国内现代化

的大型报告厅之一，其剖面示意图如图1。本文介绍该工程结构特点、施工要点以及技术效果。

二、结构设计特点

本工程由南京大学建筑规划设计院设计，综合了国内高校同类建筑的结构工艺特点，加以创新，层盖结构采用大跨度大吨位预应力混凝土框架梁作为屋面结构支承体系，屋面采用肋形楼板体系，并采用铰结点支座。部分反梁，外挑预应力混凝土梁等技术，有效的提高结构的承载能力和抗裂度，使报告厅空间宽广明亮，主要特点如下：

2.1 铰结点支座

本工程柱顶标高达+6.3m，预应力混凝土框架梁跨度27m，加上两端外挑各3m，屋盖自重大，因此为了减轻荷重以及大吨位预应力混凝土对柱端产生的弯矩，对梁和柱之间采用了铰支座简支梁结构，尽管跨中弯矩有所增大，但可通过施加预应力得到平衡，从而使柱子断面得到了有效控制，柱子断面尺寸为900×600mm，铰支座采用弧形钢板板式支座其形式如图2。

2.2 反梁悬挑结构

预应力混凝土大梁高出屋面230—500mm，与面板肋梁组成主次结构，屋面刚度好，并有效的提高了室内空间高度，在横断面上，采用肋板结构起坡，预应力混凝土梁不起坡，施工方便，预应力混凝土梁两端延伸分别外挑达3m，外挑梁部

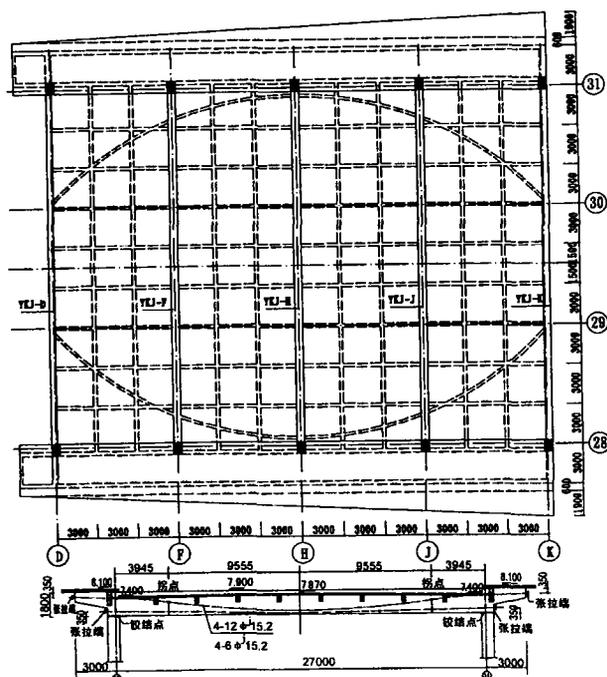


图1 报告厅剖面平面布置图

蒋应龙：江苏新筑预应力工程有限公司

分采用变截面,截面尺寸中跨 $550 \times 1200 \sim 700\text{mm}$,边跨 $400 \times 1200 \sim 700\text{mm}$,结构合理,对柱顶偏心荷重起到部分平衡作用。

2.3 肋梁面板体系

屋面开间 $9\text{m} \times$ 跨度 27m ,共有4跨,按常规主次梁板设计很不经济, 9m 的次梁其高度一般在 $70 \sim 90\text{cm}$ 左右,本工程采用了 3m 模数的大肋板,肋梁高度 600mm ,宽 250mm ,板厚 100mm ,面板折算厚度 200mm ,对这种大跨径、大开间的屋面板来说是十分经济的,和装配式屋面板相比减少了构件制作、运输、安装等工序,且自重轻,结构抗震性能、刚度好,便于支模等特点。

三、主要施工技术

3.1 模板与支撑系统

本工程屋盖支撑系统采用钢管组合扣件排架支撑系统,由于屋盖支撑高度较高,排架的稳定和刚度是至关重要的,支撑的布置应保证设备和结构自重以及施工荷载,包括:风、雪、雨、尘等环境荷重,并有一定安全储备,因此通过验算,排架支撑在基础上,设置了四道水平系杆和两道剪刀撑,步距控制在 $1.5 \sim 1.8\text{m}$,满堂脚手连结外脚手,包围柱子,以增强整体稳定,同时立杆均设置成双杆扣件支撑,间距 $40 \sim 60\text{cm}$,预应力混凝土大梁下支撑间距适当加密,一般控制在 40cm 左右,以减少施工荷重下支撑沉降量,影响工程质量,预应力梁的支撑和次梁肋板的支撑在构造设置上应能分开,以便在张拉时适当松开次梁支撑给预应力混凝土梁一定荷载,减少预应力张拉

阶段不必要的反拱值,预应力梁模的起拱值取跨度的 $1 \sim 1.2\%$,所有梁底横杆设置双扣件,确保水平标高,侧模用穿墙拉结螺栓方木斜撑固定,梁模采用定型小钢模拼装,板模采用木质胶合板。

3.2 铰结点支座安装

铰结点支座弧形压板的制作应采用机加工,弧芯应是实芯的,正确的加焊在平整的铁板上,焊接时对称逐步加焊,防止铁板变形,焊接质量(包括焊脚)均应可靠,安装时在支座处应正确安置网片,本工程上下各设置三片 $4 - \phi 12 @ 100$ 双向钢筋组成的网片,以承受支座荷载下梁、柱接触面中局部承压的需要,下部的弧形压板应在柱子浇筑前正确的安置在 $+6.07\text{m}$ 标高的柱顶,并把弯脚加焊在柱筋骨架上,支座铁板下的混凝土应绝对密实,可采取铁板四周混凝土略高于板面防止凝固后收缩板底产生空隙,也可在预应力混凝土中参加少量微膨剂,上部的压板加焊在梁的骨架上,其中心线和位置应和下部弧形压板相应的位置对正,上、下两块承压板应平行,柱顶加贴的沥青木屑板隔离,由于沥青木屑板强度低,靠弧形压板支承点支撑施工荷重难以稳定,可设置临时支撑点。

3.3 非预应力筋与预应力筋组合排列

梁筋的排列以非预应力筋避让预应力筋为原则,本工程采用铰支座后,避免了柱筋对预应力筋位置的影响,但大跨度预应力混凝土梁非预应力筋相对配筋量仍多,因此施工前仍需进行实样

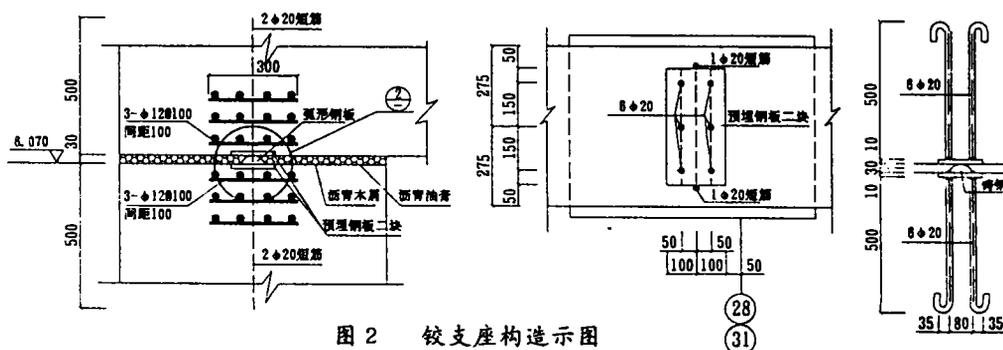


图2 铰支座构造示意图

排列，排列以确保预应力筋轴线标高，并在不影响结构情况下，调正非预应力筋位置，同时考虑锚筋、附加筋、主次梁交接以及插筋位置等因素对预应力筋的影响，排列后的翻样图应经设计审定，本工程排列断面如图 3。

3.4 预应力筋曲线矢高施工图

预应力筋曲线矢高由预留孔的中心轴来定位，本工程采用预埋金属螺旋波纹管成孔，因此，事先应计算出预埋金属螺旋波纹管管底铺设标高，即支架筋烧焊位置，而一般设计图纸仅提供最高点、最低点、反弯点的标高尺寸，施工时应根据实际支点位置计算出相应的支点标高，预应力筋

的轴线标高可采用二次抛物线公式： $Y=AX^2$ 计算，步骤如下：

(1) 首先根据某段抛物线的最高、最低点推算出该抛物线公式的常数 a

$$A = \frac{y-b}{x^2} \quad (1)$$

(2) 根据抛物线的常数 a 和座标水平距离计算对应的曲线矢高

$$Y = AX^2 + b \quad (2)$$

Y — 梁底至预应力筋轴线的座标竖向距离 (mm)

A — 抛物线的常数 A

X — 距抛物线最低点的水平距离 (mm)

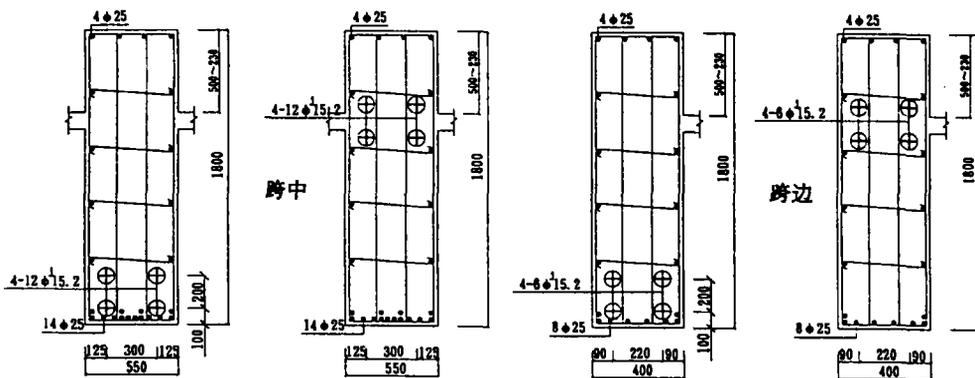


图 3 非预应力筋与预应力筋组合排列图

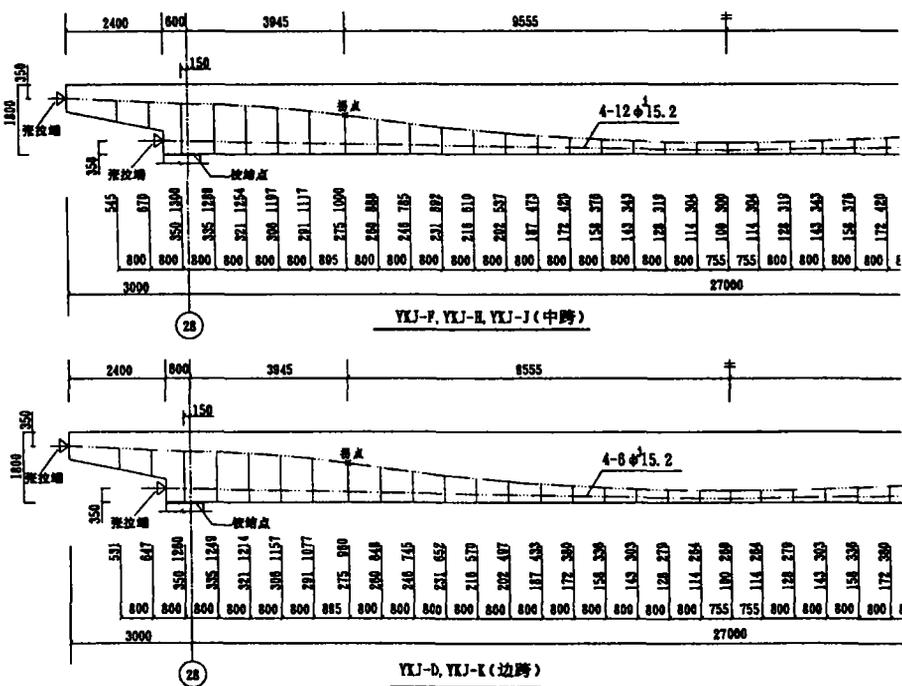


图 4 预应力筋曲线矢高图

b—抛物线最低点至预应力筋轴线的座标竖向距离 (mm)

本工程根据施工方案采用 $\phi 12$ 钢筋作为支架筋, 每间隔 800mm 设置一道, 经计算绘制的曲线矢高图示如图 4, 经实践可以正确指导施工。

3.5 预应力施工工艺

3.5.1 工艺流程如图 5

3.5.2 大吨位锚固体系

预应力混凝土大梁最大配制 4-12 $\phi 15.2$ 钢绞线, 钢绞线抗拉强度标准值 $f_{ptk}=1860N/mm^2/MP$ 施工中超张 3%, 实际张拉控制应力 $\sigma_{con}=1341N/mm^2$, 每束预应力钢绞线张拉力 $P=2253KN$, 张拉理论伸长值为 226mm, 因此, 选用 OVM 系列自锚式夹片锚具, 配套以 YWC250 型穿心式千斤顶和配套的 ZB4-500 电动高压油泵作为张拉机具, UBJ-2 型挤压式灰浆泵作为灌浆机具, 施工中必须满足所选机具张拉时最小工作面的需要, 表 1、表 2 列

出了本工程所用张拉机具和锚固体系的有关参数, 可参考。

3.5.3 工序配合要点

预应力专项工序一般穿插在其它工序中进行, 多工种的交叉作业措施如下:

(1) 预应力筋的下料制束在工厂完成, 不占用施工场地, 减轻了现场施工压力, 根据施工环节, 波纹管、埋件、螺旋筋和预应力成型钢绞线束、锚具张拉设备分阶段进场, 确保了预应力专业穿插施工的需要, 并和其它工序紧密搭接, 有效的缩短了工期。

(2) 预应力混凝土大梁钢筋骨架基本成型后, 预应力专业工种进场按孔道曲矢标高翻样图烧焊支架筋和安装金属螺旋波纹管, 由于梁高达 1.8m, 操作只能在侧面, 因此梁测模必须在金属螺旋波纹管安装且灌浆孔引出屋面后进行, 穿束在螺旋筋、喇叭管安装固定后进行, 最后封闭端

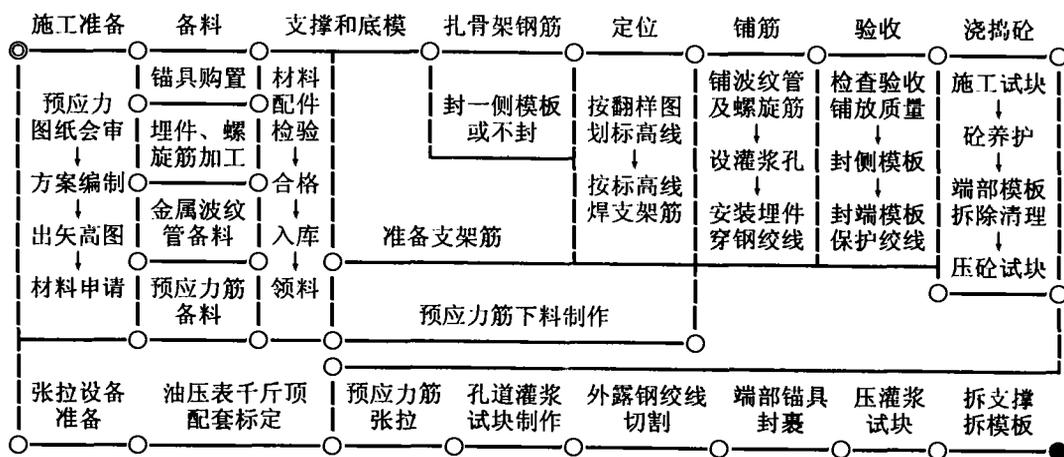


图 5 预应力混凝土工艺流程图

表 1 预应力张拉机具有关规格参数表

张拉机具名称	外型尺寸 (mm)	重量 (kg)	额定压力 (MPa)	行程 (输距) mm	张拉/回程活塞面积 mm ²
YCW250 千斤顶	490 × ϕ 380	273	54	200	452.39/215.98
ZB4-500 油泵	745 × 494 × 1052	120	50	200	
UB2 灰浆泵	1300 × 780 × 800	270	1.0~1.5	80000	

表 2 预应力锚具、承压板、螺旋筋规格参数表

锚具型号	锚具尺寸 (mm)		锚垫板尺寸 (mm)			螺旋筋尺寸 (mm)			
	外径	厚度	长度	宽度	垫板厚	筋径	螺径	螺距	圈数
OVM15-6、7	$\phi 135$	60	200	200	30	$\phi 14$	220	60	6.0
OVM15-12	$\phi 175$	70	270	250	40	$\phi 18$	310	60	7.0

部模板, 保护外露钢绞线。

(3) 用于固定模板的对拉螺栓必须避让金属螺旋波纹管, 因此模板的设计和施工中, 应结合预应力筋实际矢高翻样图, 避让预应力孔道的原则, 对穿梁螺栓进行组合排列, 以确保波纹管完好, 灌浆通畅。

(4) 主体脚手搭设时应考虑预应力工作面和张拉空间要求, 立杆、横杆, 水平杆, 剪刀撑以及其它杆件应避让张拉端, 留出张拉时千斤顶组装位置和张拉距离, 避免脚手架的二次改制, 加快工期, 降低成本。

(5) 预应力混凝土梁体量较大, 因此按主次梁和边梁组成流水区, 以保证专业工序和其它工序作业面不受干扰的安全环境, 有利工程质量和进度以及成品保护。

四、主要技术措施

4.1 增强型扩径金属螺旋波纹管

本工程采用 $\phi 90$ 波纹管, 曲线长度达 35m, 按普通波纹管难以承受集束钢绞线穿孔以及预应力混凝土浇筑过程中的冲击力, 任何部位的渗浆将产生难以处理的质量问题, 因此采取如下措施。

(1) 采用增强型金属波纹管用于卷制波纹管的钢带原材料厚度由 0.25mm 提高至 0.35mm, 波纹管制作时咬口适当加宽, 以增强刚度、抗弯曲强度和抗渗透能力, $\phi 90$ mm 的管径给预应力钢绞线束周边留出了约 10~12mm 空隙, 确保穿束顺利。

(2) 集束预应力筋逐根穿孔

预应力钢绞线束最大每束 12 根, 自重 500~600kg 加上超长孔道摩擦力, 成束穿导比较困难, 需要笨重的设备, 因此改用单根钢绞线逐根人力穿导的方法, 这种方法, 既方便又减轻了管壁冲击力, 穿筋时加套子弹头套管导向, 本工程没有任何因穿束而损坏金属波纹管的现象。

(3) 分段助力推进穿孔

在相应区间的接管部位旋套一根 1~1.5m 的套

管, 旋在主管上, 空出位置, 穿束时在该部位用人力因势利导, 俗称“助力推进”, 效果显著, 穿束顺利, 穿束完成后把套管反向旋出复位连接即可。

4.2 预埋件倒链葫芦千斤顶就位方法

下部预应力束的张拉受变截面挑梁的阻挡, 千斤顶无法悬挂就位, 给张拉带来困难, 常规的做法是在上部屋面留置 800×1200 mm 的预留孔, 这样给施工带来麻烦, 需要留置后浇带、切断钢筋、钢筋复位、二次浇筑混凝土等工作, 本工程采取了在梁端屋面板底加设埋件悬倒链葫芦, 调节千斤顶高度的方法 (如图 6), 较好的解决了上述问题。

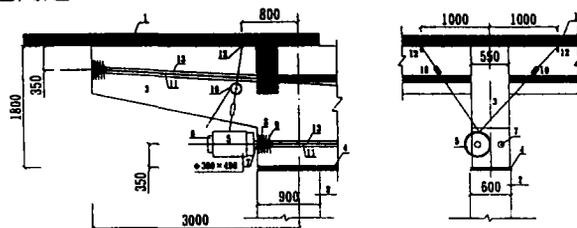


图 6 预埋件倒链悬挂千斤顶的方法

1、面板 2、柱子 3、预应力大梁 4、支座 5、千斤顶
6、工具锚 7、锚具 8、喇叭管 9、螺旋筋 10、倒链
11、预应力钢绞线 12、埋件 13、波纹管

五、施工测试及技术经济分析

5.1 本工程预应力混凝土大梁起拱值约 1.2% (32.4m), 实测预应力最大反拱值 10mm (\uparrow) 支撑拆除后自重挠度约 14~15mm, 实际挠度在 4~5mm, 预应力效果十分明显, 在使用中没有发现可见裂缝, 结构性能良好。

5.2 铰结点支座有明显的位移、最大达 5mm, 柱顶位移微小, 几何接近零, 铰支简梁设计是成功的。

5.3 屋盖结构混凝土平均厚度为 27cm, 对这种大跨度、大开间结构屋盖结构来说是十分经济的。

5.4 采用大跨度、大吨位预应力混凝土部分反梁结构, 有效的降低了梁高, 增加了室内净空高度约 600mm, 综合效果十分显著。