

建筑科学研究报告

REPORT OF BUILDING RESEARCH

1983

No. 08

无 粘 结 预 应 力 井式梁板悬挂夹层升板结构体系 成 套 技 术

Lift-Slab Structural System of Unbonded
Post-Tensioned Grid Slab With a Suspended Mechanical
Equipment Mezzanine

中 国 建 筑 科 学 研 究 院
CHINESE ACADEMY OF BUILDING RESEARCH

提 要

无粘结预应力井式梁板悬挂夹层升板结构,是近年来多层厂房建筑体系研究中提出的一种新结构体系。它由与钢筋混凝土模壳迭合而成的无粘结预应力井式梁板、悬挂钢筋混凝土薄板和柱构成,采用悬挂薄板与井式梁板整体提升的施工方法。这一结构体系的主要特点是:节省建设用地,柱网尺寸灵活,结构刚度较好,楼板开孔和留洞方便,技术夹层使用方便,厂房地内部平整美观,以及综合技术经济指标较好,可用于轻工、仪表、纺织、电讯等行业的多层厂房。

本成套技术是在试验研究和总结工程实践基础上编写的。内容包括设计计算方法、结构构造、施工工艺、机具设备及施工操作规定等,文中并附有计算例题。可供设计和施工单位使用、参考。

参加单位和主要成员:

中国建筑科学研究院结构所:

无锡市建筑工程公司:

无锡市建筑设计室:

江苏省建筑科学研究所:

丁培炎

蔡鲁生

肖衍芳

张振儒

董 伟

缪雪荣

参加工作的还有:

中国建筑科学研究院结构所:

无锡市第三建筑工程公司:

无锡市建筑工程公司:

庄志成

杨位清

朱增光

注:无锡市建筑工程公司现已分为无锡市建筑工程公司和无锡市第三建筑工程公司

Lift-Slab Structural System of Unbonded Post-Tensioned Grid Slab with a Suspended Mechanical Equipment Mezzanine

Abstract

The unbonded post-tensioned concrete grid slab with a suspended mechanical equipments mezzanine using lift-slab method is a new structural system which has been studied and carried out in recent years for multi-storey factory buildings. The new system consists of unbonded post-tensioned concrete grid floor cast with pan forms, reinforced concrete suspended mezzanines lifted simultaneously with grid floor, and precast columns. The characterizations of this structural system are saving the construction field, flexibility in the arrangement of columns grids, increasing the rigidity of over-all structural system, and convenience in providing openings in the slabs with better appearance inside and the total constructional cost is lower. This structural system can be applied to multi-storey factory buildings, such as textile mill buildings, instrument buildings, and light industry buildings etc.

This paper is worked out on the basis of the results from experimental investigations and practical experiences, including design method, detailed requirements, construction techniques, equipments and machines and provisions for construction practice. Besides, an example of calculation is presented. It can be used as a guide or a reference for the designers and construction engineers.

前 言

随着国民经济的发展,工业建设——特别是轻纺工业得到了迅速的发展,新建工程和扩建、改建工程大量增加,建设用地矛盾较为突出,设计要求尽量采用多层厂房;同时,由于工业技术的不断改进,要求厂房建筑具有较大的跨度和比较灵活的柱网尺寸,以适应各种生产工艺的需要,因此,迫切需要研究新的多层工业厂房结构型式。根据“全国工程建设科学技术发展计划”的要求,中国建筑科学研究院结构所、无锡市建筑公司、无锡市建筑设计室、江苏省建筑科学研究所等单位,共同开展了多层工业厂房建筑体系的研究,以探求新的结构型式和相应的施工技术。

在调查研究和深入分析目前国内几种结构型式和施工技术的基础上,提出了无粘结预应力井式梁板悬挂夹层升板结构新体系,并先后在试验室和中间试验建筑(建筑面积为1000米²),对“体系”的结构性能、结构设计、结构构造、无粘结预应力工艺、材料和设备、整体提升工艺、大吨位提升设备等进行了全面的试验和研究,取得了大量的数据和资料。此后,又通过试点工程(建筑面积为30000米²,第一期工程为18000米²)的设计与施工,进一步改进了设计方法、施工工艺和机具设备,取得了较好的综合技术经济效果,通过投产使用,也取得了较好的使用效果。

在上述试验研究的基础上,并总结了试点工程和其他工程的设计和施工的实践经验,编写了“无粘结预应力井式梁板悬挂夹层升板结构体系成套技术”,作为这一“结构体系”的综合性技术文件,并于一九八一年十一月由国家建工总局委托中国建筑科学研究院、江苏省建工局共同主持进行了技术鉴定。鉴定意见认为:“无粘结预应力井式梁板悬挂夹层升板结构体系,在国内首次研究应用了以沥青为涂料的,成束配筋的无粘结预应力井式梁板,以及采用了整体提升工艺的多点悬挂薄板夹层,并提供了较为完整、较为成熟的结构和施工成套技术。该结构体系,适合我国国情,具有国内先进水平,可供多层工业厂房选用”。

一. 概述.....	(1)
二. 结构形式及基本尺寸.....	(3)
三. 井式梁板结构的内力分析.....	(6)
四. 井式梁板的截面计算.....	(9)
五. 预应力井式梁板的结构构造.....	(14)
六. 柱、柱帽及模壳的设计.....	(16)
七. 悬挂夹层板的计算及构造.....	(18)
八. 施工工艺.....	(21)
附录一: 无粘结预应力井式梁板及夹层板计算例题.....	(30)
附录二: 涂包机总装图.....	(41)

无 粘 结 预 应 力

井式梁板悬挂夹层升板结构体系

成 套 技 术

一. 概 述

无粘结预应力井式梁板悬挂夹层升板结构体系, 综合地采用了新结构、新技术、新工艺, 性能良好, 技术先进, 施工方便。工程实践表明, 这是近年来形成的一种适用于多层工业厂房的新结构体系(图1, 2)。

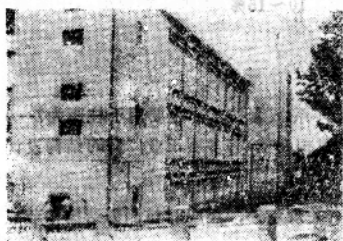


图1. 试点工程立面

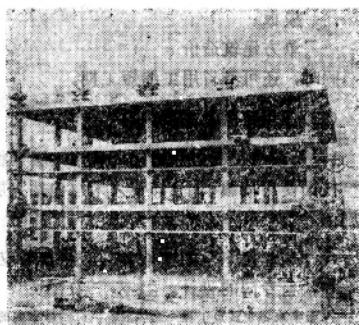


图2. 结构概貌

(一) 无粘结预应力井式梁板悬挂夹层升板结构体系的特点。

1. 节省建设和施工用地。对现有企业在原有厂区进行扩建、改建尤为有利。
2. 建筑平面及柱网尺寸比较灵活, 可以较好地适应多种生产工艺的要求。
3. 柱网尺寸较大, 便于设备的灵活布置, 也有利于生产工艺的革新、改造。
4. 无粘结预应力井式梁板(图3)的结构高度较小、刚度较大, 且具有良好的抗裂性能。

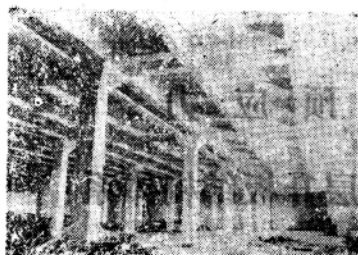


图3. 井式梁板

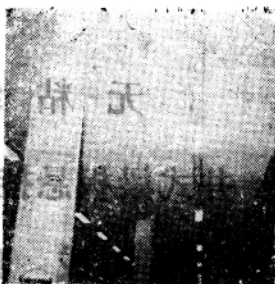


图4. 悬挂夹层

5. 利用提升工艺的特点, 采用悬挂式薄板作为技术夹层板, 并与井式梁板整体提升, 一次形成了夹层和平顶, 简化了施工程序。与其它梁板结构相比, 净空较大, 自重较轻、底面平整、整洁美观(图4)

6. 井式梁板井格较大, 允许在楼盖上开较大的孔洞, 可以满足工艺留孔的要求。

7. 综合技术经济效果好*, 与其它结构形式相比, 可节省:

钢材	10%左右
水泥	5%左右
模板	80%以上
单方建筑造价	10~15%

同时, 还可节省用工缩短工期。

(二)应用范围及主要内容

1. 无粘结预应力井式梁板悬挂夹层升板结构体系成套技术, 主要用于柱距为7—9米**楼面使用荷载小于 $1.5\text{吨}/\text{米}^2$ (包括夹层的荷载和自重)的多层工业厂房的结构设计与施工。

本“成套技术”如在地震区应用, 除应参照有关规定外, 还应对抗测力结构和节点构造等进行专门的设计。

• 数字来源于试点工程—无锡国棉一厂纺纱车间的统计资料。该车间柱网为 $7 \times 8.7\text{米}$, 三层, 荷载为 $1.25\text{吨}/\text{米}^2$, 建筑面积为 18000米^2 (不计技术夹层面积)。

井式梁板: 钢材用量 28.5公斤/米²
混凝土折算厚度 25厘米/米²

技术夹层板: 钢材用量 14公斤/米²
混凝土折算厚度 8厘米/米²

单方建筑造价 (未包括地基处理) 146元/米²

平均用工量 2.61工一日/米²

主体结构(主厂房及辅房)工期为10个月

• 目前国内提升设备的能力一般为30吨(组合后可达60吨), 因此, 就提升设备能力而言, 本“成套技术”的使用范围只能局限于柱距为7~9米的厂房。当有悬挂夹层时, 柱网区格的面积一般不宜大于 65米^2 , 当无悬挂夹层时, 柱网尺寸可以适当扩大。

2. 本“成套技术”提供了有关设计与施工的技术资料, 主要内容有:

结构形式及基本尺寸;

井式梁板结构的内力分析和截面设计方法;

悬挂夹层板的设计计算方法;

结构的构造措施;

无粘结预应力施工技术及设备;

提升工艺。

(三) 编制依据

1、本“成套技术”是在进行了一系列有关技术关键问题的试验、研究基础上, 又通过1000米²试验建筑的综合性试验, 并总结了试点工程的施工实践经验和其它一些工程的设计、施工经验而编制的。

2、本“成套技术”的编制, 参照了以下的规范和规定:

《工业与民用建筑荷载规范》TJ9—74(试行);

《钢筋混凝土结构设计规范》TJ10—74(试行);

《钢筋混凝土工程施工及验收规范》GBJ10—65(修订本);

《升板建筑结构设计及施工暂行规定》(以下简称升板规定);

《升板建筑结构设计及施工暂行规定》的补充规定(以下简称补充规定);

《钢筋混凝土高层建筑结构设计与施工规定》JZ102—79。

在编制中, 还参考了美国《钢筋混凝土结构规范》(ACI318—77)。

二、结构形式及基本尺寸

(一) 结构形式

无粘结预应力井式梁板悬挂夹层升板结构体系是由无粘结预应力井式梁板、悬挂式钢筋混凝土薄板和钢筋混凝土柱组成的升板结构(图5)。

无粘结预应力井式梁板为预制钢筋混凝土大模壳与现浇混凝土形成的叠合式梁板结构(图6), 由双T形截面的主梁(沿柱轴线)、单T形截面的次梁和双向多跨连续板组成。主、次梁均采用相同高度(图7)。主梁为无粘结预应力连续梁。次梁根据跨度、荷载, 可以采用钢筋混凝土连续梁或无粘结预应力连续梁。

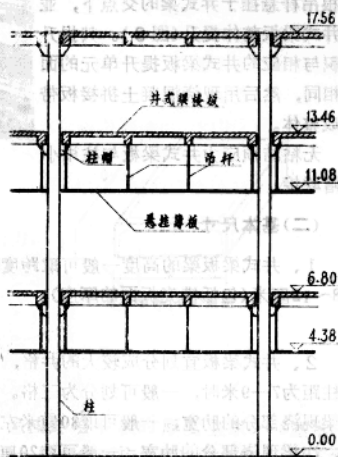


图5. 试点工程结构剖面

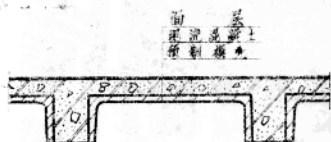


图6. 叠合式梁板

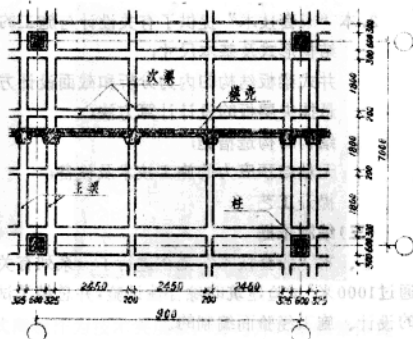


图7. 结构平面

主梁的无粘结预应力筋为多波连续配筋,采用 $7\phi 14$ 钢绞线或 $\Phi 12$ 的冷拉Ⅱ级光圆钢筋成束(5~6根)地配置于梁中(图8)。预应力筋束采用涂料和外包塑料布作为防锈剂和隔离层,用JM-12型锚具锚固,并用后浇混凝土保护。

当结构平面划分为几个提升单元时,井式梁板的各提升单元提升就位后,用普通钢筋混凝土现浇拼接板带将其联接成整体。

悬挂夹层为钢筋混凝土平板,用多根吊杆悬挂于井式梁的交点下,并与井式梁板整体提升(图9)。其提升面积与相应的井式梁板提升单元的面积相同,然后用现浇混凝土拼接板带联成整体。

无粘结预应力井式梁板与柱用小柱帽联接。

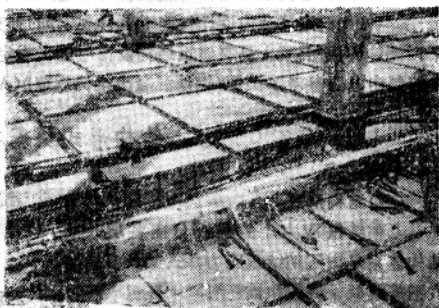


图8. 无粘结预应力筋束的布置

(二)基本尺寸

1、井式梁板梁的高度一般可取跨度的 $1/18 \sim 1/20$ (表1);板厚可根据具体情况取用8~12厘米(包括模壳板面的厚度)。

2、井式梁板宜划分成较大的井格,当柱距为7~9米时,一般可划分为三格。主梁现浇部分的肋宽,一般可取30厘米左右,次梁现浇部分的肋宽,一般可取20厘米左右。

井式梁板梁的高度 (单位:厘米) 表1

柱距(m)	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0
7.0	40	40	40	45	50
7.5		40	45	45	50
8.0			45	45	50
8.5				50	50
9.0					50



图9. 井式梁板与夹层板整体提升

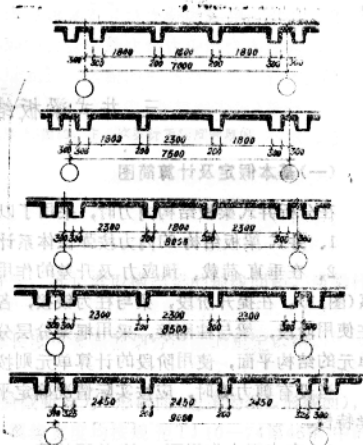


图10. 定型预制模壳在不同柱距中的布置

3、预制钢筋混凝土模壳，根据井式梁板梁的高度、分格，以及生产运输条件和定型化生产的要求，其尺寸一般可取长为180~245厘米；高为35~45厘米；板厚为3~4厘米；平均肋宽为4厘米。图10、表2是柱距为7.0、7.5、8.0、8.5以及9.0米时模壳的布置及型号、尺寸。当柱距为其它尺寸时，仍可采用相近尺寸的模壳，排列后与柱距之间的尺寸差异，以井式梁现浇部分的混凝土宽度调整。

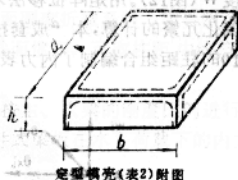
预制钢筋混凝土定型模壳 (单位: 厘米) 表2

型 号	a	b	h		
			I	II	III
FA-	1	180	180	35(32)	
	2	180	230	35(32)	40(37)
	3	180	245		40(37) 45(42)
	4	230	230		40(37) 45(42)
	5	230	245		40(37) 45(42)
	6	245	245		45(42)
FB-	1	180	60	35(32)	40(37) 45(42)
	2	230	60	35(32)	40(37) 45(42)
	3	245	60		40(37) 45(42)

注: 括号中的模壳尺寸用于现浇层为8厘米的井式梁板

4、根据夹层吊杆间距、荷载和构造要求，悬挂夹层平板的厚度宜取6~8厘米。

5、当结构的平面需要划分为数个提升单元时，应考虑预应力筋束的长度(一般不宜大于40米)和跨数(一般不宜超过4跨)。



定型模壳(表2)附图

三、井式梁板结构的内力分析

(一)基本假定及计算简图

在分析井式梁板结构内力时,采用了以下的基本假定:

1、井式梁板结构的内力按弹性体系计算。

2、在垂直荷载、预应力及升差的作用下,井式梁板简化为支承于柱的平面正交梁系(图11)。在提升阶段,梁与柱为铰接,各提升单元的每层楼板均作为单独的计算单元在使用阶段,梁与柱刚接,采用框架分层分析法的方法进行分析。对于划分为几个提升单元的结构平面,使用阶段的计算单元则按拼接后的整体考虑。

当设有剪力墙时,应按实际情况确定平面正交梁系的支承条件和有关杆件的截面力学特性。

3、在水平力作用下,结构可按等代框架进行分析。当设有剪力墙时,按等代框架—剪力墙体系进行分析。

(二)平面正交梁系的计算方法和主要参数

1、分析平面正交梁系时,选定—X、Y轴分别与梁轴线平行的直角坐标系,并将梁系划分为若干个梁杆元,其两端的节点均考虑三个变位量:绕X轴的转角 θ ,绕Y轴的转角 θ ,和沿Z轴方向的挠度W(图12)。用矩阵位移法求出各节点的变位值后,即可求得各梁杆元的内力。

为简化冗繁的计算,本“成套技术”编制了《平面交叉梁系通用计算程序(PGRD)》,并按图10的柱距组合编制了内力表。

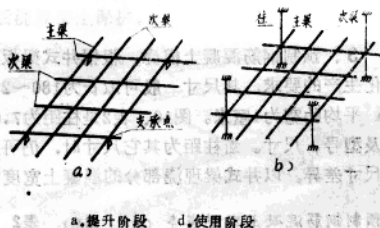


图11 井式梁板的计算简图

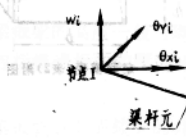


图12. 梁杆元及节点变位示意图

2、计算跨度:主、次梁的计算跨度均取横向主梁的净距加横向主梁的一个肋宽(图13)。



图13. 主、次梁计算跨度的取值

3、梁杆元长度:

(1) 每根梁被横向的梁分割为若干个梁杆元, 其长度取横向梁的轴线间距。当梁杆元长度相差很小时, 可近似地取相等的数值。

(2) 在计算使用阶段的内力时, 柱的计算长度可参照框架分层法的规定取用。

4、截面力学特征:

(1) 井式梁板结构中, 主、次梁梁杆元的横截面均为T形截面(边梁为倒L形截面), 其肋宽及翼缘高度均应包括预制模壳的尺寸。翼缘宽度均按规范TJ 10—74第45条中的规定计算, 此时梁的跨度取图13所示的计算跨度。

当楼板上留有较大的孔洞时, 孔洞四周梁杆元的截面力学特征应按实际情况计算。

主、次梁杆元的抗弯刚度均乘以0.85的折减系数。

(2) 主、次梁杆元截面的抗扭刚度 GJ_k , 按矩形分块法计算, 乘以0.85的折减系数。

(3) 梁杆元的剪切变形一般可忽略不计, 此时抗剪刚度可视为无穷大。

(4) 柱杆元只考虑双向抗弯刚度, 不考虑柱的剪切和轴向变形。

(三) 水平力作用下的计算方法和主要参数

1、在水平力作用下, 柱和剪力墙的内力和框架节点变位可参照《开板规定》和《补充规定》, 采用等代框架法或作为等代框架——剪力墙体系进行计算。此时, 框架的计算跨度取柱距; 柱计算高度: 楼层取层高; 底层取自基础顶面至楼层梁轴线的高度。

2、在计算水平荷载作用下的内力时, 梁、柱截面刚度折减系数, 可参照《开板规定》和《补充规定》的有关条文取用。此时, 框架梁的截面惯性矩, 可取柱距中线范围内梁板全截面的惯性矩乘以0.75折减系数。

3、将上述等代框架法算出的框架梁端的内力, 按主、次梁的刚度比例进行分配, 分配时次梁的刚度应乘以0.8的折减系数, 即可得出井式梁板在水平荷载下的内力。

(四) 荷载处理方法

1、板面均布荷载按三角形或梯形面积分别作用在板边的梁杆元上。梁杆元两边荷载不对称时, 应考虑扭矩的作用。主梁两肋间板面上的均布荷载, 视为均布线荷载作用于主梁梁杆元上。

2、悬挂夹层板的均布荷载, 按每根吊杆分担的面积, 化为集中力作用于井式梁的交点上。

3、预应力筋束的合力对井式梁板的弯曲作用，按作用于各梁杆元上的预应力首力矩考虑，其数值为预应力合力乘以合力的偏心距。

预应力合力对杆件产生的轴力，可近似地假定只作用在有预应力筋的梁上。

4、升差(包括搁置差)作为节点已知位移考虑。

5、水平荷载的处理与一般多层厂房相同。

(五)柱和剪力墙的内力计算

1、轴力：

柱和剪力墙的轴力由下列三项组成：

(1)自重：柱和剪力墙自重。

(2)垂直荷载引起的轴力：当采用平面正交梁系计算简图时，与柱节点相交的梁杆元端剪力之和即为该层楼面在柱中引起的轴力。也可近似按柱距中线范围内面积上的荷载计算柱的轴力。

当没有剪力墙时，与剪力墙相交的梁杆元端剪力之和，即为该层楼面在剪力墙中引起的轴力。

(3)水平荷载引起的轴力。此项轴力是由等代框架法或按等代框架——剪力墙体系算出的。

2、弯矩

柱和剪力墙的弯矩由下列两项组成：

(1)使用荷载下的柱端弯矩：按平面正交梁系的简图分层计算井式梁板的内力得到，但应将在上下分层计算中所得的同一截面弯矩进行叠加。

当没有剪力墙时，尚应考虑墙边柱的轴力换算到剪力墙截面重心位置时产生的弯矩。

(2)在水平荷载作用下的弯矩：可直接用等代框架法算得。

(六)内力组合

各计算阶段中各截面的内力应按实际情况进行组合。

1、提升阶段的内力组合应包括：

(1)结构自重(包括悬挂夹层板)；

(2)施工荷载；

(3)提升差异引起的内力。其中(1)、(2)两项应乘以动力系数1.2。

2、使用阶段的内力组合应包括：

(1)结构自重(包括悬挂夹层板)；

(2)就位差异；

(3)使用荷载(包括夹层板的使用荷载)；

(4)水平荷载引起的内力。

内力组合时应考虑相应的组合系数。

四、井式梁板的截面计算

(一)无粘结预应力主梁计算

关于无粘结预应力构件的设计计算,在我国现行规范中尚无明确的规定。现根据试验研究结果和工程实践经验,并参考国内、外的有关规范和资料,采用了以下的计算方法、计算公式和有关参数。

1.基本规定

(1)无粘结预应力主梁应进行抗裂度和强度计算。

(2)井式梁的截面尺寸如能符合本“成套技术”建议的高跨比,井式梁板的刚度一般可满足设计要求。

(3)计算中应考虑预应力力弯矩对截面抗裂性和强度的影响。

(4)不考虑塑性内力重分布对承载能力的影响。

(5)截面计算时,梁截面尺寸取值与内力分析时相同。

(6)预应力钢筋用量按抗裂度要求确定,并假定预应力合力仅作用在施加预应力的梁上,忽略其对相邻构件的影响。

(7)无粘结预应力筋的设计强度一般可取有粘结预应力筋设计强度的80%,也可参照表3进行计算。

式中:

μ ——预应力筋配筋率,计算时,跨中按T形截面,支座按矩形截面计算;

σ_y ——预应力筋的有效预应力;

R ——混凝土立方强度;

R ——无粘结预应力筋的设计强度。

(8)在截面强度计算时,应计入非预应力钢筋的数量。为限制裂缝的宽度,在截面受拉区应配置有粘结非预应力钢筋,其数量应不少于毛截面受拉区面积的0.4%。

2.安全系数

无粘结预应力主梁的强度和抗裂安全系数如表4,其它安全系数可按规范TJ10-74表(11)的规定采用。

3.预应力筋束的曲线形状及保护层

由于井式梁板的主梁弯矩图形基本为折线形,因此,预应力筋束也按折线形布置(图14)。

表3

$\frac{0.95\mu \times \sigma_y}{R}$	$\frac{R_y}{\sigma_y}$
0.025	1.34
0.05	1.32
0.10	1.26
0.15	1.20
0.20	1.16

注:表3适用于高跨比为 $\frac{1}{16} \sim \frac{1}{20}$ 的梁
(此表摘自英国CP110规范)

表4

	抗裂安全系数K	强度安全系数K
使用阶段	$1.15 \times 1.05 = 1.21$	1.5
提升阶段	$1.15 \times 0.9 = 1.04$	$1.5 \times 0.9 = 1.35$

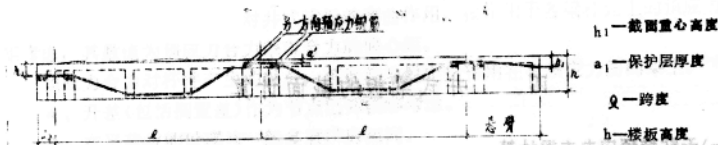


图14. 无粘结预应力钢筋曲线形状

在满足保护层要求的条件下，预应力筋束在支座和跨中都应具有最大的偏心距，而在梁端部的预应力筋束应基本位于截面的重心线上，也可略高于重心线，以抵消部份端支座的负弯矩。

在双向预应力筋相交的支座处，宜将内力较大方向的预应力筋布置在截面的外侧，使其具有较大的偏心距。

无粘结预应力筋的混凝土保护层，与有粘结预应力筋的混凝土保护层相同。净保护层一般可取2.5厘米，也可参考表5选用适当的保护层厚度。

表5

防火等级(小时)	0.5	1	1.5	2	3	4
保护层(厘米)	2.0	2.5	3.5	3.8	5.0	6.5

注：摘自澳大利亚VSL体系

4. 预应力损失值计算

预应力损失值按规范TJ10—74第95~98条的规定计算。

(1) 计算预应力筋束由于锚具变形引起的预应力损失 σ_{s1} ，按下式计算。

$$\sigma_{s1} = \frac{\lambda}{L} E_g \quad (1)$$

式中

λ ——张拉端锚具变形值，对于JM—12锚具，其变形值可取：

钢绞线 $\lambda = 5$ 毫米；

Ⅱ级钢筋 $\lambda = 3$ 毫米；

L ——张拉端至锚固端之间的距离(以毫米计)；

E_g ——钢筋的弹性模量。

(2) 无粘结预应力筋与混凝土之间因摩擦引起的预应力损失 σ_{s2} ，按下式计算：

$$\sigma_{s2} = \sigma_k \left(1 - \frac{1}{e^{Kx + \mu\theta}} \right) \quad (2)$$

式中

σ_k ——预应力筋的张拉控制应力；

K ——考虑预应力筋束(每米)局部偏差对摩擦影响的系数，可取0.003；

μ ——预应力钢筋束与孔道壁的摩擦系数，当涂包材料和施工工艺符合本“成套技术”要求时，可采用以下数值：

钢绞线

$$\mu = 0.25,$$

光圆钢筋

$$\mu = 0.20,$$

X——从张拉端至计算截面的预应力筋束长度(以米计);

θ ——从张拉端至计算截面处各段曲线预应力筋的切线夹角总和(以弧度计)。

(3) 钢筋的应力松弛 σ_{s4} , 按规范TJ10—74表20取用。

(4) 混凝土收缩徐变引起的预应力损失 σ_{s5} , 按规范TJ10—74第98条计算, 但不考虑自重的影响。

(5) 由于预压应力较小, 可忽略不计预应力筋束因分批分束张拉引起的混凝土弹性压缩对张拉力的影响。

5. 正截面抗裂度计算

(1) 张拉控制应力 σ_k : 按规范TJ10—74第90条取用。

对于钢绞线, $\sigma_k = 0.65 \sim 0.70 R$

对于冷拉Ⅲ级钢, $\sigma_k = 0.85 \sim 0.9 R$

其中 R 为无粘结预应力钢筋标准强度, 取值与有粘结预应力钢筋相同。

(2) 计算公式

无粘结预应力主梁正截面抗裂度, 按规范TJ10—74的公式计算:

$$K_t \sigma \leq \sigma + \gamma R_t \quad (3)$$

上述公式可改写为(4)或(5)式:

$$K_t \leq \frac{N \left(-\frac{M_z}{W} + \frac{1}{A} \right) + \gamma R_t}{\frac{M}{W}} \quad (4)$$

$$N_t \geq \frac{\frac{K_t M}{W} - \gamma R_t}{\frac{M_z}{W} + \frac{1}{A}} \quad (5)$$

式中:

N ——扣除全部预应力损失后的有效预拉力;

K_t ——正截面抗裂安全系数;

M ——提升或使用阶段的弯矩;

M_z ——单位预拉力作用下的综合弯矩;

W ——毛截面受拉边缘的弹性抵抗矩;

A ——毛截面面积;

R_t ——混凝土抗裂设计强度;

γ ——截面弹塑性抵抗矩与弹性抵抗矩的比值;

预应力钢筋面积按下式计算

$$A_s = \frac{N_p}{(\sigma_k - \Sigma \sigma_s)} \quad (6)$$

式中

A_s ——预应力筋面积；

$\Sigma \sigma_s$ ——总的预应力损失；

σ_k ——张拉控制应力。

(3) 计算步骤

• 通过内力分析可得出计算截面在单位预拉力作用下的综合弯矩 M_z 。

• 根据 M_z 和抗裂安全系数 K_1 按公式(5)计算所需的有效预拉力 N_{p1} 。

• 初步假定预应力总损失值 $\Sigma \sigma_s$ 为 2500~3000 公斤/厘米²，将 N_{p1} 和 $\Sigma \sigma_s$ 代入公式

(6)，计算预应力筋的面积 A_{s1} 。

• 根据 A_{s1} 计算各项预应力损失值及有效预应拉力 N_p 。

• 将 N_p 、 M_z 再代入公式(4)，计算抗裂安全系数 K_1 。

• 若计算的 K_1 不能满足设计要求，应进一步调整预应力钢筋面积，并按上述步骤重复计算，直至抗裂安全系数 K_1 满足设计要求。

6. 正截面强度计算

正截面强度计算应考虑预应力引起的次弯矩的影响。

预应力筋的设计强度按前述基本规定取用，非预应力钢筋设计强度按规范 TJ10—74

取用。

无粘结预应力主梁正截面抗弯强度应满足下式要求：

$$K \leq \frac{[M] \pm M_s}{M} \quad (7)$$

式中的符号，在支座截面取加号，跨中截面取减号。

式中：

K ——正截面抗弯强度设计安全系数，按表(4)采用；

$[M]$ ——正截面抗弯强度，按规范 TJ10—74 第 102 条至 105 条的预应力受弯构件强度计算公式进行计算；

M ——提升或使用阶段的弯矩；

M_s ——预应力次弯矩，按下式计算；

$$M_s = |M_z - N_p \cdot e|$$

M_z ——预应力综合弯矩；

e ——预应力筋束重心至截面重心轴之间的距离。

当强度计算不能满足设计要求时，可增加非预应力钢筋的数量。

7. 提升阶段的验算

提升阶段的截面应力，按规范 TJ10—74 的规定进行验算控制，并按规定设置构造钢筋。

8. 斜截面抗剪强度及抗扭强度的计算