

建筑科学研究报告

REPORT OF BUILDING RESEARCH

1982

No. 6

装配整体式单层工业厂房建筑 体系的研究与设计

The Experimental Study and Design of Precast-monolithic
Building System for Single Story Industrial Buildings

中国建筑科学研究院
CHINESE ACADEMY OF BUILDING RESEARCH



提 要

本文介绍了一种通过现浇将屋面板与屋架装配成整体、改革天窗、屋架与柱子连接采用双支承板节点等措施,从而提高其抗震能力的单层工业厂房建筑体系。这种建筑体系已在唐山地区采用,经过二万多平米的工程实践和有关单位鉴定,证明这种建筑体系是我国当前条件下,使用在较强烈地震区的较好结构形式之一。

文中对这种结构的设计原则和计算方法,以及屋面板、屋架和双支承板节点的试验结果均作了较详细的介绍。

研究协作单位和主要参加者

中国建筑科学研究院建筑标准设计研究所: 陈幼璿 都煥文 庄国伟 李九钧

周巧仙 黄际洸

(张祥莹 谢明星 谈怀忠 金志勋)

国家建工总局第二工程局: 张承复 黄懋炎 张金龙 王瑞中

执笔人: 陈幼璿



0412461

The Experimental Study and Design of Precast-monolithic

TU-11 Building System for Single Story Industrial Buildings

6

81.6

Abstract

This paper introduces a building system for single story industrial buildings having improved earthquake resistance. The measures taken are: a roof structure of precast slabs and trusses made monolithic by grouted joints, lightweight monitors, and double bearing plates at truss and column connections. This building system is being used in the reconstruction of Tangshan, and there are more than 20,000m² of its completed. Evaluation on its performance reaches the conclusion that under the present condition in China, this system is one of the most adequate for strong intensity earthquake regions.

This paper presents the principles of structural design and method of calculation, as well as the experimental results of roof slabs, trusses and connections between truss and column.

(1) The experimental results of roof slabs, trusses and connections between truss and column.

(11) The experimental results of roof slabs, trusses and connections between truss and column.

(12) The experimental results of roof slabs, trusses and connections between truss and column.

(13) The experimental results of roof slabs, trusses and connections between truss and column.

目 录

一、前言	(1)
二、设计原则	(19)
三、具体措施	(1)
(一) 结构选型	(1)
(二) 适用范围	(3)
(三) 定位轴线	(4)
(四) 主要构件	(4)
四、结构试验	(7)
(一) 屋面板	(7)
(二) 屋架	(8)
(三) 结合面	(10)
(四) 屋架和柱子连接节点	(11)
五、结束语	(21)
参考文献	(22)

装配整体式单层工业厂房建筑 体系的研究与设计

一、前 言

装配整体式单层工业厂房建筑体系,是为唐山地区建设中、小型单层厂房使用而研究设计的,同时也适用于其它八度地震区。为完成这项任务,自1978年春开始,进行了震害调查、方案比较、结构试验、研究设计、工程试点等一系列工作。迄今在唐山地区已建成两万多平方米厂房,正在施工中的厂房也有两万多平方米。1981年10月上旬,在唐山市召开的技术鉴定会议认为,该体系是供较强烈地震区使用的、较好的抗震结构形式之一,施工方便,综合技术经济效果较好。

二、设计原则

本体系研究设计时力图做到下述四点要求:

- (一) 确保厂房结构至少具有八度地震区的抗震安全;
- (二) 结构形式应符合我国当前建筑材料供应情况和施工技术装备实际;
- (三) 定好建筑参数,使能满足大量中、小型厂房工艺要求,做到适用性大;
- (四) 采用的构件类型要少,尽量选用标准构件,新增构件要求外形简单并利于采用灵活拼装钢模。

三、具体措施

(一) 结构选型

目前常用的单层工业房屋盖系统大致有三种类型,即轻型屋盖、钢筋混凝土板架合一屋盖和预制钢筋混凝土梁、板装配式屋盖。众所周知,轻型屋盖具有良好的抗震性能,但目前其材料供应困难且造价高,难以大面积推广使用。钢筋混凝土屋盖有双T板、V型折板和马鞍形壳板三种型式,其中以马鞍形壳板建筑抗震性能最佳,但设计和施工经验不多。这种屋盖类型由于其整体性好,具有较好的抗震性能,故其经济指标也略优于装配式屋盖。但这类屋盖要求较大的起重运输工具,故其抗震性能不能充分利用现有的施工技术装备。如采用它,势必影响唐山建设进度。传统钢筋混凝土梁、板装配式结构,在唐山地震中遭到严重破坏,即使在八度地区屋盖也有倒塌的,不宜用于较强烈地震区。

我们分析造成传统钢筋混凝土梁、板装配式结构倒塌的原因,主要是厂房结构整体性差,各预制构件间连接薄弱,设计施工在这些薄弱环节存在一定的缺陷,以及某些构造上的不合理,而不是屋面板或屋架构件本身的抗震强度不足。另外,就一般中、小型厂房来讲,屋盖被震塌,也不是由于重屋盖地震力大这一因素造成的,尽管地震力大是个不利因素,但因重屋盖产生的地震力还是有限的。只要各构件间连接节点构造合理,并且经过抗震设计,还是能够保障抗震安全的。采用预制装配式屋盖的厂房,由于其加固后屋面板和屋架连接质量及屋盖整体刚

度均良好，在较强烈地震作用下未被震坏的情况也是有的。唐沽船厂船体车间就是一个很好的实例，从正面证实了以上的分析。

基于上述的认识，我们针对原来屋面板和屋架焊接质量不易保证又无法检查，而且靠焊接传力应力集中容易引起局部破坏，以及屋架端部高度大，对传力不利等缺点，改用通过现浇将屋面板和屋架连成整体的装配整体式屋盖，同时对天窗型式和柱顶连接节点等也进行了改革。具体做法是：

1. 采用装配整体式屋盖结构

其构造为将原预应力钢筋混凝土大型屋面板的两端横肋往内移，仅以两纵肋作为支点，搁置在屋架上弦上，屋面板顶面和屋架上弦均伸出钢筋，并和附加钢筋绑成骨架，沿屋架上弦屋面板两端横肋间现浇不低于200号细石混凝土（详见图1）。同时沿屋盖外侧设置现浇钢筋混凝土边框，用同样标号混凝土浇筑。这样就增强了屋面板和屋架的连接，整个屋盖系统形成良好的刚性整体，均匀传递地震力。

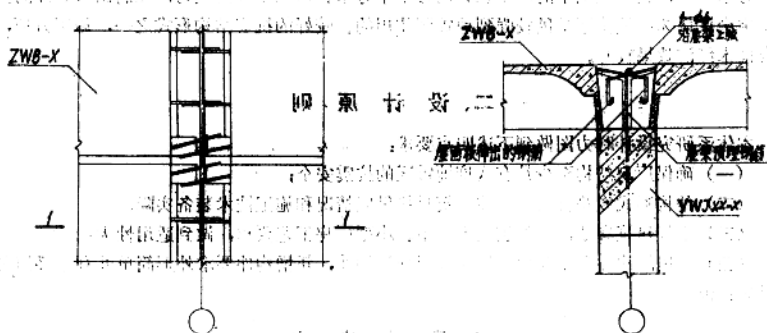


图 1

（图 1-1）

同时，将屋架上弦设计成变坡度的，即跨中坡度为1:10，两端为1:5。这样一方面大大地降低了屋架的高度，从而减小了纵向地震倾覆力矩，另一方面当屋面板和折线形的屋架上弦连成整体后，整个屋盖具有良好的空间刚度，增强了屋盖的抗震稳定性。

装配整体式屋盖除有上述良好的抗震性能外，还具有下述优点：

- (1) 以一般钢材和水泥、砂砾为主要建筑材料，材料供应有保证，并且比较经济。
- (2) 所采用的构件形式及其单个重量，以及施工安装方法等和传统的预制装配式结构基本相同，可以利用现有的施工技术借鉴以往丰富的实践经验，能达到投资少上马快的目的。
- (3) 没有屋盖支撑，减少了屋面板和屋架的焊接点，节约了钢材，减少了焊接量，加快了吊装进度。因此，虽然增加了现浇混凝土等工作量，但总的来讲和传统的装配式结构相比，施工上并不增加工作量。

(4) 提高了屋面板和屋架的承载能力。

2. 改革天窗

以轻型天窗代替传统的钢筋混凝土门形天窗。传统门型天窗属于屋顶局部突出部件，由

于地震时“鞭梢”效应，作用力很大，加上天窗屋面重、重心高，天窗架本身平面外刚度小等不利因素，在6度、7度地震区就有破坏的实例，8度地震区则更为严重，并且往往由于天窗架被震倒，而将屋盖砸塌。同时这种形式的天窗，采光性能也不太好。我们采用固定平天窗，活动挡风板平天窗，折线型通风天窗和点式折线型通风天窗，以代替传统门型天窗。

固定平天窗，实际上就是在屋面板上开洞，其本身和屋盖连成一体。后三种形式的天窗均为钢天窗架，石棉瓦屋面。整个天窗架高度比门型天窗低，而且重量也轻得多，可以消除传统门型天窗所造成的震害。

3. 改革柱顶连接

屋架和柱子连接改用双支承板节点。在传统装配式排架结构中，屋架和柱子连接节点的处理往往不符合铰接的要求，加上没考虑在较强烈地震作用下，适应排架产生大变形和承受局部附加应力的要求，因此在地震冲击下，由此引起节点和与其相关连的屋架端头和柱顶破坏的实例也不少，尤其是在柱间支撑部位情况更为严重。双支承板节点纵横两向均具有良好的延性，并且使屋架和柱子间转动较为自由，能适应排架大变形，因而可避免屋架和柱子连接处的震害。同时这种节点也会减小屋盖系统作用在柱上的地震力，有利于整个厂房抗震。虽然我国抗震规范(TJ11—78)规定，设计烈度为7、8度时，屋架和柱子的连接可用螺栓，但我们认为双支承板节点花钱不多，抗震效果好，在8度地震区也宜采用。

本体系中双支承板的厚度，上板为12mm，下板为10mm；上板和屋架端头焊接，下板和柱顶焊接，两板之间于挑出端部处用M25螺栓连接（详见图2）。

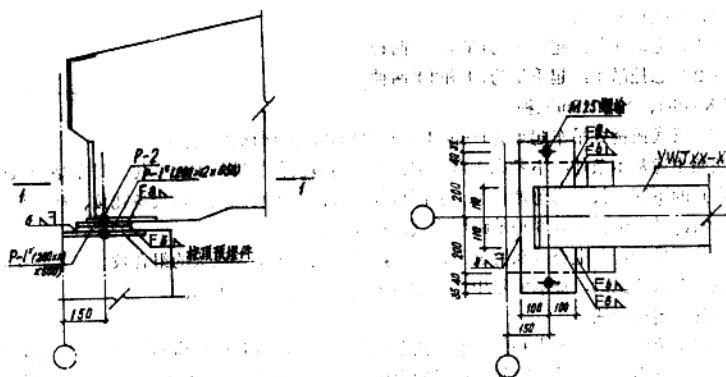


图 2

4. 围护墙以采用预制保温墙板为主

当采用砖砌体时，则应加强墙体和主体结构的拉锚，增设圈梁，保证墙体的抗震稳定性。本体系横剖面示意图见图3。

(二) 适用范围

本体系采用如下基本数据：

1. 跨度12m、15m、18m三种。

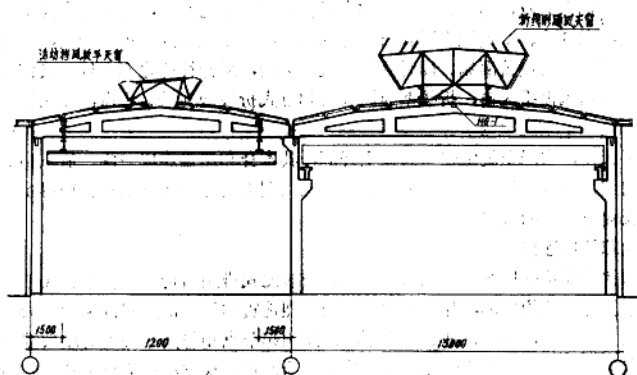


图 3

2. 柱距6m。当中间柱用木柱网时，边柱为6m柱距，中间柱为12m柱距。
3. 适用于设计烈度小于或等于8度的地震区。
4. 自然条件：基本风荷载为 35 Kg/m^2 ，基本雪载为 30 Kg/m^2 。
5. 屋面荷载：屋架以上的荷载按照 250 Kg/m^2 、 300 Kg/m^2 和 350 Kg/m^2 三种考虑。施工活荷载按 50 Kg/m^2 考虑。

6. 悬挂运输设备

- (1) 电动葫芦：起重量为1T和2T两种。
- (2) 悬挂吊车：起重量为1T和2T两种。

LK=6m、9m和12m三种。

7. 梁式或桥式吊车起重为1~30T，轨顶标高、柱顶标高等详见表1。

按照上述基本条件，不考虑天窗类型、悬挂运输设备悬吊位置的变化、吊车型号（梁式或桥式）的不同，仅考虑跨度种类、屋面荷载等级、吊车及悬挂运输设备吨位、柱顶标高等基本参数，就可组合成576种单跨厂房（详见表2）。

由此可推知，如组合成双跨及三跨厂房，那将是一个更为巨大的组合数。可见这个体系适用范围是很广泛的，能够满足中、小型各种机械厂房的工艺要求。

(三) 定位轴线

厂房定位轴线，基本上和传统装配式单层厂房相同，仅将厂房横向轴线改为一律取柱子中心线。即临山墙和伸缩缝跨间，柱子间距仍保持标准柱距(6m)不变，在伸缩缝处另加900mm的插入距（详见图4）。

所以作这样处理，是为了保证屋盖系统便于装配成整体，并且可以减少屋面板、墙板和柱间支撑等的规格型号，简化墙板在山墙处的连接构造。

(四) 主要构件

本体系设计除了主要着重于改善构件间的连接构造，提高连接节点的抗震强度和延性，提高整个结构的整体性，增强其抗震能力外，对于构件，则考虑尽量减少类型，多选用现行的标准构件。新设计的构件，力求外形简单，便于使用灵活拼装定型钢模，便于施工。因此

表 1

吊车起重量 (T)	轨顶标高 (m)	牛腿标高 (m)	柱顶标高 (m)	柱子截面尺寸 (mm)
1、2、3	4.8	4.2	6.6	□400×500
	5.4	4.8	7.2	
	6.0	5.4	7.8	
	6.6	6.0	8.4	
1、2、3	7.2	6.6	9.0	□400×700
	7.8	7.2	9.6	
5、10	6.0	5.1	8.4	□400×700
	6.6	5.7	9.0	
	7.2	6.3	9.6	
	7.8	6.9	10.2	
	9.0	8.1	11.4	
15、20	7.2	5.7	9.6	□400×300
	7.8	6.3	10.2	
	9.0	7.5	11.4	
	10.2	8.7	12.6	
30	7.8	6.6	10.8	□400×300
	9.0 (m)	7.8	12.0	□400×900
	10.2	9.0	13.2	

表 2

起重设备名称及吨位	脚 座 数	荷载等级数	柱顶标高数	组 合 数
无吊车	3	3	5	45
电葫芦1T, 2T	3	3	5	90
悬挂吊车1T, 2T	3	3	5	90
吊车1、2、3T	3	3	6	162
吊车5T, 10T	3	3	5	90
吊车15T, 20T	3	3	4	72
吊车30T	3	3	3	27
合 计				576

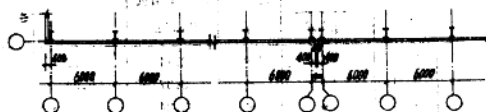


图 4

整个体系除了屋面板、屋架、托架和天窗架系专门设计外，其余均选用标准构配件。

1. 预应力钢筋混凝土屋面板(TGA-1);

本屋面板的外形基本上和全国通用图《1.5×6米预应力钢筋混凝土屋面板G410》相同，仅将板面 8 ϕ 4 纵向筋伸出，并把两端横肋内移 80mm，屋面板成担架状。端横肋下挂有作为模板用的薄板，便于二次浇筑混凝土。

根据试验证实，装配整体后屋面板的承载能力会有所提高，所以我们将《TAG-1》中板的承载能力较《G410》中同样配筋板的承载能力提高了 40 Kg/m²，这样不少厂房就可以选用比《G410》低一级承载能力的屋面板。

根据唐山市第一建筑公司和国家建工总局第二工程局，分别将原《G410》屋面板的钢模和预应力钢筋混凝土胎模修改成为本屋面板模板的经验，说明对原有模板的改制工作量并不大。

《TAG-1》图册还包括了配套使用的采光板、嵌板、檐口板和天沟板等。

2. 预应力钢筋混凝土屋架(TAG-2);

本屋架的外形见图3所示。

本屋架的特点是：

(1) 屋架全高比现有各类型的屋架或屋面梁都低，特别是端部更低得多（详见表3），抗震稳定性好，同时也减小了厂房建筑体积，节约了围护墙用料和能源消耗。

屋架高度比较表（跨度18m）

表3

部 位	本体系屋架 (m)	薄腹梁 (m)	折线型屋架 (m)	拱 架 (m)	下沉式拱架 (m)
端 部	0.6	1.105	1.80	0.6	0.6
中 间	1.75	1.93	2.98	2.6	2.4

(2) 屋架下弦为直线形，适合于先张法或后张法预应力钢筋的张拉。

(3) 屋架外形简单。各种跨度屋架断面宽度都一样，一律为 220 mm，屋架端部点形状也一样，端部高度均为 600 mm。有利于采用灵活拼装钢模，并能重叠生产，施工制作方便。

(4) 整个屋架建筑造型显得轻巧美观。

(5) 技术经济指标较好（详见表4）。

屋架技术经济指标比较表

表4

跨 度	项 目	自 重		荷 载 Kg/m ²	混凝土用量 Cm ³ /m ²	钢 材 Kg/m ²	支撑用钢材 Kg/m ²	混 凝 土 标 号
		T	Kg/m ²					
18 m	本体系屋架	6.60	84	300	2.44	3.77		400*
	薄腹梁(G414)	9.11	84	"	3.37	5.95		"
	折线型屋架(G415)	6.05	58	"	2.24	4.44	0.66	300*
15 m	本体系屋架	5.54	62	300	2.46	3.49		300*
	薄腹梁(G414)	5.95	66	"	2.64	5.59		400*
	折线型屋架(G314)	4.57	51	"	2.03	4.56	0.66	300*

四、结构试验

(一) 屋面板

装配式整体前和装配式整体后屋面板力学性能改变情况见图5。

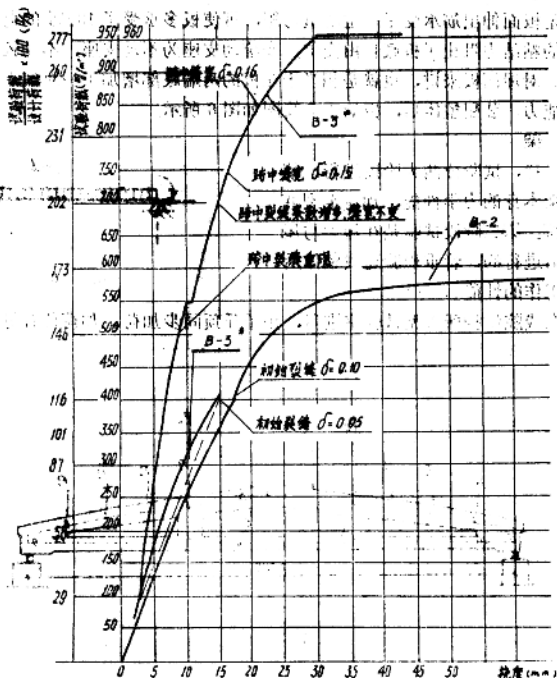


图 5

试验板预应力主筋和支座等情况见表5。

表 5

板 号	陶粒混凝土标号		预 应 力 主 筋	试验时板支承情况	备 注
	设 计	实 际			
B-2	300	300	φ16	简 支	B-3*与B-3△系同一块板分 两次试验。
B-3*	250	300	φ16	简 支	
B-3△	250	300	φ16	简 支	

B-3[△]板当加荷到设计荷载的277%时,在屋面板两端支座处突然发出断裂响声,二次混凝土和试验台座结合处被拉开,出现通长水平裂缝,二次混凝土被推出3~5毫米,板面φ¹⁴锚固筋在板端和二次混凝土结合处有缩径现象。在断裂响声后,板跨中挠度随即急骤增加,

接着破坏。

由图 5 可看出, 装配整体后, 板的强度、刚度和抗裂度均有明显提高, 结合其破坏机理, 足以说明, 构件伸出钢筋和二次浇筑混凝土是能够将屋面板和屋架连成整体的。

屋面板装配整体后承载能力提高的原因, 是由于这时屋面板比其简支时, 支座处增加了两个约束。一是板面伸出筋承受了一定的负弯矩, 可使板多承受了 132% 的荷载; 二是二次混凝土和台座的粘结力阻止了板底自由变位, 变滚动支座为不动支座, 不动铰支座约束了板底两端的变位。对屋面板来讲, 也就是相当于在板的两端底部增加了一对偏心压力, 从而提高了板的承载能力。装配整体后, 板的受力简图如图 6 所示。

(二) 屋架

和屋面板一样, 试验分两大阶段进行, 第一阶段检验屋架本身的力学性能, 加荷至裂缝出现, 随即卸荷。第二阶段试验是在屋架与屋面板装配整体后进行的, 着重检验连成整体后的效果及共同工作的性能。

屋架试验在我院结构所大型试验室进行, 用千斤顶同步加荷。加荷位置见图 7。加荷程序见图 8。

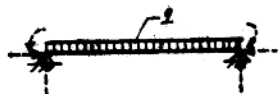


图 6

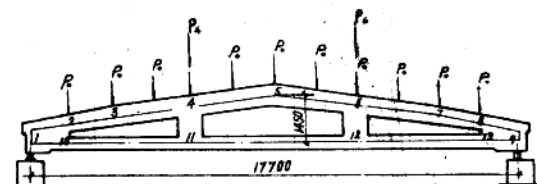
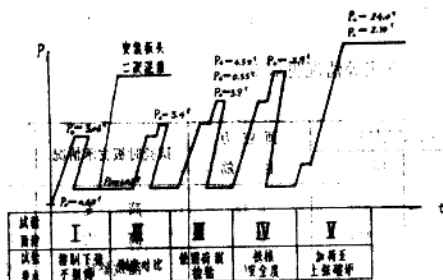


图 7



装配整体前后, 屋架挠度和裂缝变化情况见表 6 和图 9。

表 6

试验阶段	相应荷载 (T)	跨中挠度 (mm)	下弦裂缝宽度 (mm)	附 注
I	$P_0=3.06$	10.65	0.03	装配整体以前, 出现第一条裂缝
II	$P_0=3.06$	12.27	0.01	装配整体以后, 出现第一条裂缝
III	$P_0=3.90$	$15.2 \left(= \frac{l}{1185} \right)$	0.02~0.03	
IV	$P_0=3.90$ $P_1=4.39$ $P_2=0.05$	$18.4 \left(= \frac{l}{963} \right)$	0.06	
V	$P_0=5.98$	跨中挠度发展较快, 挠度值约25.3		裂缝台阶挠度
VI	$P_0=6.18$	41.17	0.10	屋面板与屋架上弦结合面开始剪移
VII	$P_0=2.10$ $P_1=24.0$	此时最大挠度达 89.05	0.15	屋架上弦破坏
试验前	$P_0=0.55$	跨中最大反挠度 41.25		屋架自重挠度

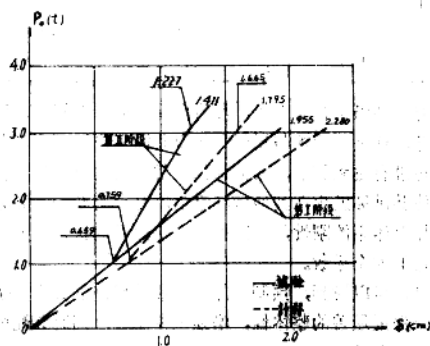


图9 屋架下弦①节点挠度平均值

上述试验结果表明, 装配整体后屋架为空腹能得到较大改善, 刚度增加了2.28倍, 抗裂度为0.83, 增加了1.2倍。以下弦顶应力达到极限来推算, 屋架安全度为1.76。从刚度增加值可推知, 装配整体后屋面板端部(不管25 mm厚的面板在内)可以参与屋架上弦共同工作。

屋面板和屋架上弦结合面裂缝发展情况见表7。试验屋架结合面北半跨为光面结合, 南半跨上弦顶面曾用小锤打麻(麻面深2~3 mm)。

表 7

序号	试验阶段	裂缝特征	相应荷载	特征描述	附注
1	N	北端结合面 裂长5M	$P_0=6.18t$	北端结合面突然剪移裂缝 剪移位最大 0.945mm	开裂突然, 并 伴有巨响声
2	V	南端第一块板 结合面错裂	$P_0=2.10t$ $P_4=5.0t$	剪移位约 0.09 mm	
3	V	南端第二块板 结合面错裂	$P_0=2.10t$ $P_4=15t$	第一块板处剪移位 0.315mm	
4	V	全部结合面 错裂开	$P_0=2.10t$ $P_4=18t$	最大剪移位 1.98mm	

根据试验屋架的抗剪移能力, 推算出在相同结合面条件下实际屋架的抗剪能力列于表 8。

表 8

屋架类型 (屋面荷载)	350Kg/m ²	300Kg/m ²	250Kg/m ²	试验屋架
出现剪移裂缝的荷载	7.97t	6.843t	6.843t	6.18t
标准荷载	3.71t	3.258t	2.808t	3.90t
抗剪移安全度 KV	1.91	2.10	2.44	1.58
与试验屋架安全度比	1.21	1.33	1.54	1.00

应该看到这些裂缝全部沿结合面发生, 没有向屋架或屋面板方向发展, 说明结合面的抗剪移强度低于构件本身, 这是屋面板与屋架间赖以共同工作的薄弱环节, 而且本试验结合面破坏时屋架下弦主筋也没有达到流限, 其他部位也都没有明显的破坏特征。因此适当加强结合面抗剪移的能力, 使其破坏发生在其他破坏之后, 是很必要的。如果从保证屋面板与屋架共同工作及保证整个屋盖体系的刚性, 藉以提高厂房体系的抗震性能出发, 则结合面的抗剪移能力还必须留有一定的安全系数。

分析以上试验结果, 可以看到, 预制构件在连接处现浇混凝土, 是能够互相连成一起, 连接也是可靠的, 可以保证屋盖的整体性, 增强整体刚度。同时装配整体后, 也提高了各构件本身的强度、刚度和抗裂度。

(三) 结合面

通过以上的试验和分析可以看到, 装配整体式钢筋混凝土结构能否确保其整体性, 其结合面能否可靠地传递剪力是个关键问题。加强结合面抗剪强度的措施, 一般除了穿过结合面配置一定数量的钢筋外, 还将结合面凿成粗糙面或做成凹凸齿槽。国内外对粗糙结合面的抗剪强度已作了较深入的研究, 而对齿槽抗剪性能的研究则不多。为了便于施工, 保证质量, 装配整体式单层工业厂房建筑体系的屋盖系统采用了齿槽结合形式。我们对齿槽的抗剪性能进行了试验研究。以确保装配整体后屋面板和屋架能共同工作。

为了研究各因素对齿槽结合面的影响, 我们选用了六种含钢率、光面有粘结结合、齿槽有粘结结合和无粘结结合、五种断面形式的齿槽和两种齿槽面积与全结合面的面积比等因

素, 组合成七组共21个试件, 进行试验。

分析试验结果可知, 影响结合面抗剪强度的主要因素, 除了混凝土标号外, 还有下列几个方面:

1. 粘结: 有粘结试件的抗剪强度比无粘结试件的抗剪强度平均高出 9.2 kg/cm^2 。
2. 含钢率: 抗剪强度随含钢率变化的情况见表9。

表9

含钢率 (%)	0.071	0.152	0.214	0.228
抗剪强度平均增长值 (kg/cm^2)	6.9	6.1	14.3	11.0

3. 齿键形式: 从结合面受剪破坏机理可以看到, 齿深、齿宽和齿键传力侧面的坡度对齿键的抗剪强度都有影响。设计齿键时应注意选择合适的参数, 使其处于最佳状态。限于篇幅, 在此不作较详细的分析讨论。

关于齿键结合面的抗剪强度: 试验结果表明, 只要很好考虑上述三方面因素, 设计得当, 带齿键的结合面是能够可靠传递剪力的。当混凝土标号 $\geq 200^{\#}$ 时, 结合面的抗剪强度 $\geq 29 \text{ kg/cm}^2$ (三种齿键结合面抗剪强度为 31.5 、 31.9 、 29.2 kg/cm^2 , 平均为 30.9 kg/cm^2)。

对比国内有关结合面抗剪试验资料, 可看出带齿键结合面抗剪强度的离散, 比一般结合面的小, 具有较大的安全度。同时也便于施工。

关于齿键结合面设计的几点建议:

(1) 二次浇筑混凝土的标号应不低于 $200^{\#}$ 。

(2) 穿过结合面配置一定数量的钢筋, 将会提高结合面的抗剪强度, 也会提高其抗裂延性。但过多的配筋率将是不经济的, 一般采用 0.2% 的配筋率较为恰当。钢筋的锚固长度应大于 $10d$, 光面钢筋末端要做弯钩。

(3) 结合面的抗剪强度可按 29 kg/cm^2 考虑。

(4) 齿键的深度一般以 $15 \sim 20 \text{ mm}$ 为宜。

(5) 齿键的宽度一般为齿深的 $3 \sim 4$ 倍为宜。

(6) 为了便于施工脱模, 可将齿键侧面做成斜面, 坡度一般以 $1:10$ 为宜。

(7) 后浇混凝土齿键和预制构件混凝土齿键的面积比, 一般为 $1:1$ 。如后浇混凝土齿键面积所占的比例过小, 则不会发挥齿键的作用。为了增强后浇混凝土齿键的抗剪能力, 也可根据新旧混凝土的标号比例, 适当调整这两者齿键的面积比例。

(四) 屋架和柱子连接节点

为探讨适用于强震地区单层厂房屋架和柱子连接节点的构造方案, 我们就国内常用的焊接节点、螺栓节点和新近引进的双支承板节点这三种连接方案, 并结合采用不同尺寸的柱顶板。不同直径和数量的锚固筋以及不同的柱子箍筋, 设计制作了多种梁、柱构件, 分成 14 组。模拟排架受力情况。进行横向和纵向水平反复加荷试验。着重研究在强烈地震作用下, 排架发生较大侧移时 (即在弯矩与剪力共同作用下), 这三种节点的变形情况和破坏机理。

横向水平反复加荷试验的试件布置和加荷方式见图 10 示意。加荷制度见图 11 示意。试验结果见表 10, 其骨曲线见图 12, 排架水平力—侧移曲线见图 13a, 图 13b。

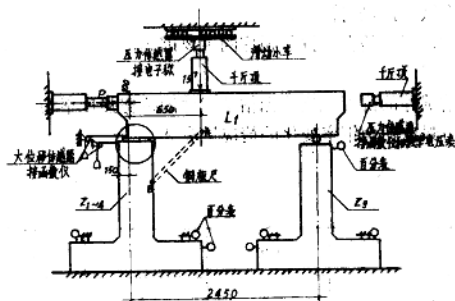


图 10

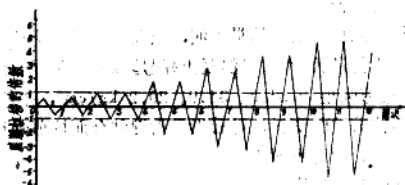
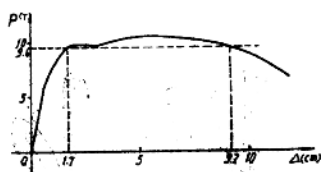


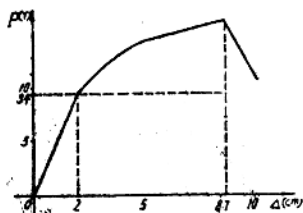
图 11

表10

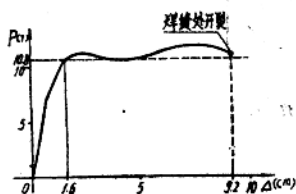
节点连接方式		焊 接			螺 栓		双 支 承 板	
试 件 编 号		焊—Z ₁	焊—Z ₂	焊—Z ₁₀	螺—Z ₃	螺—Z ₄	双—Z ₁	双—Z ₂
反复加载次数 (周)		9.5	9	9.5	9.5	10	12	10
水平力(T)	测 值	10.9	11.4	7.8	10.0	14.8	10.6	12.4
	平均值	10.0			12.4		11.5	
柱顶水平位移 (mm)	测 值	92	82	71	115	106	136	124
	平均值	82			111		130	
梁柱间转角 (度)	测 值	2°13'9"	1°55'42"	1°47'1"	2°49'30"	3°16'3"	3°22'41"	3°20'52"
	平均值	1°59'37"			2°58'30"		3°21'47"	
梁底柱顶同相 对位移(mm)	测 值	2.5	8.0	3.0	14	12	13	19
	平均值	3.0			13		19	
节点破坏情况		梁底两侧与垫板焊接处破坏			螺栓弯曲	同 左	没破坏且无明显残余变形	同 左



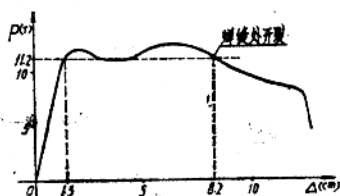
螺—Z₃



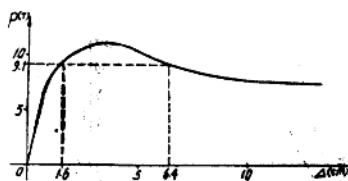
螺—Z₄



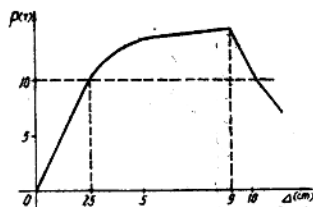
焊—Z₁



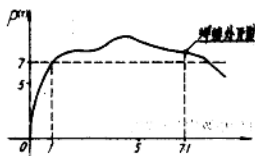
焊—Z₂



双—Z₁



双—Z₂



焊—Z₁₀

图12 骨曲线