

可拆式钢筋桁架模板力学性能试验研究

史庆轩¹, 杨超望²

(西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 通过对连接件与可拆式钢筋桁架模板在施工阶段下的力学性能试验研究, 研究表明大跨度可拆式钢筋桁架模板需要施加临时支撑, 建议采用连续梁模型计算和施工; 试件破坏过程由变形控制, 而非承载力控制; 上弦钢筋直径和试件尺寸对试件的承载力和变形产生影响; 并对连接件的承载力进行相应的修正, 得到连接件的设计值; 利用可拆式钢筋桁架模板可以大大减少支模工程量, 加快施工进度, 与其他楼板体系相比具有经济、节能环保的优势。

关键词: 连接件; 可拆式模板; 钢筋桁架; 承载力

中图分类号: TU317⁺.2

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2017)01-0001-07

Experimental research of mechanical behaviors of detachable formwork with steel bar trusses

SHI Qingxuan¹, YANG Chaowang²

(School of Civil Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech. Xi'an 710055, China)

Abstract: Mechanical behaviors of connectors and detachable formwork with steel bar trusses under construction stage are analyzed by the test. The results show that large span detachable template with steel bar trusses need to impose temporary support, for which the model of continuous beam is suggested for calculation and construction. Corresponding advice is proposed for acquiring the design value of the maximum length of no-support. The specimens' failure process should be controlled by deformation rather than bearing capacity. Upper chord bar diameter and specimens' size have effect on the load-carrying capacity and deformation of the specimens, which help amend the load-carrying capacity of connectors and getting fitting design value. Using detachable template with steel bar trusses can cancel the formwork engineering, and greatly speed up the construction progress. Compared with other slab system it has the advantage of economy, environmental protection and energy saving.

Key words: connectors; detachable formwork; steel truss; load-carrying capacity

目前, 工程中常采用的钢筋桁架楼板体系, 是利用上下层纵向钢筋与弯折成形的腹杆钢筋焊接, 再将钢筋桁架整体与压型钢板或镀锌钢板连接, 组成一个施工阶段能够承受湿混凝土和施工荷载的结构体系; 正常使用阶段, 钢筋桁架作为混凝土板的配筋, 能够承受使用荷载。这样既能够保留传统楼板体系的优势, 又能够有效地规避其不足之处。与此同时, 北京多维联合集团所研发的“可拆式钢筋桁架模板”, 是将上述钢筋桁架楼板底部的压型钢板或镀锌钢板替换为木塑模板, 再利用特制的连接件将木塑模板与钢筋桁架连接, 从而成为一个组合楼板。该楼板具有自重减轻, 制作简便, 实现构件生产“工厂化”, 施工方便等特点, 组合楼板示意图如图 1 所示。在施工阶段,

直接铺设到梁上就可浇筑混凝土, 承受混凝土自重以及施工荷载, 并且还可为梁柱构件提供侧向约束; 由于螺丝可以拆卸, 正常使用阶段可以从容地将模板拆卸, 达到“可拆式”的效果, 该模板可反复使用多达 30 次。由此可见, 该新型楼板更加节能、环保、经济, 在实际工程中应用更具有现实意义。

为使该新型钢筋桁架楼板体系能够得到推广和使用, 需要借鉴相关的钢筋桁架楼板的研究经验, 对此进行基础性的研究, 以此提供理论依据。

其中童根树^[1-2]所研究的“自承式钢筋桁架楼承板”, 为钢筋桁架楼板的实际施工与设计提供理论依据; 赵磊^[3]在总结国内外受弯刚度计算理论的

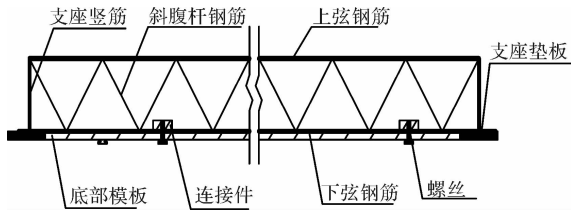


图 1 可拆式钢筋桁架模板示意图

Fig. 1 Diagram of detachable formwork with steel bar trusses

基础上,设计自承式钢筋桁架混凝土板短期刚度计算公式;完海鹰^[4]探究楼板底部的压型钢板对于整体承载力的影响,结果表明:弹性阶段,有无钢板对钢筋桁架楼板的受力影响不大,但进入弹塑性阶段后,钢板的参与对于承载力、刚度以及开裂荷载具有显著作用;张晓阳^[5]研究钢筋桁架组合楼板的刚度影响因素,结果表明:钢板的参与与否以及钢筋桁架高度对于楼板刚度有着重要的影响;马兰^[6-7]研究钢筋桁架混凝土叠合板的基本力学性能,分析表明:叠合板的刚度和承载力不仅满足要求,而且还具有较高的安全储备,腹杆钢筋对于整体受力几乎无影响,只需满足上弦钢筋稳定的构造要求即可;卢逢煦^[8]研究钢筋桁架式夹芯混凝土板的整体受力性能,进行开裂状态以及极限状态的内力分析与理论计算,孙磊^[9]主要研究钢筋桁架楼板的承载力,并给出修正后正截面的受弯承载力计算公式,探讨承载力的影响因素,参考上述以及其他研究成果^[10-11]的基础上,进行可拆式钢筋桁架模板的相关力学试验,由此得到可拆式钢筋桁架模板的基本力学性能。

1 试验概况

1.1 试件设计

试验共设计了适用不同钢筋直径的连接件共 18 个试件,以及两组不同尺寸共 20 个可拆式钢筋桁架模板试件,具体的试件尺寸及试件构造见表 1 和图 2~3。钢筋桁架采用 HRB400,腹杆钢筋直径为 6 mm, $f_y = 495 \text{ N/mm}^2$,上下弦分别采用直径为 8、10、12 mm 的不同钢筋组合,其中 8 mm 钢筋, $f_y = 506.7 \text{ N/mm}^2$, 10 mm 钢筋, $f_y = 493.3 \text{ N/mm}^2$, 12 mm 钢筋, $f_y = 463.3 \text{ N/mm}^2$ 。钢筋的弹性模量均为 $E_s = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$;连接件的静曲强度为 27 N/mm^2 ,弹性模量 $E = 1\,612 \text{ N/mm}^2$ 。

表 1 试件尺寸

Tab. 1 Specimens dimensions

组号	试件编号	实际长度 /mm	计算跨度 /mm	钢筋直径 /mm	试件 个数
1	A1~A12	900	800	8-8-8	3
				10-8-8	3
				10-10-10	3
				12-12-12	3
2	B1~B8	3 200	3 000	8-8-8	2
				10-8-8	2
				10-10-10	2
				12-12-12	2

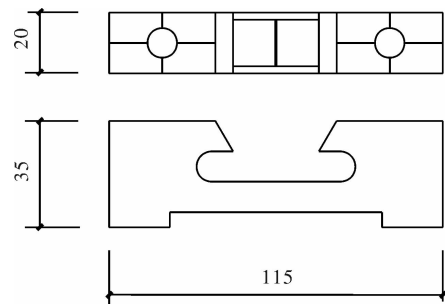
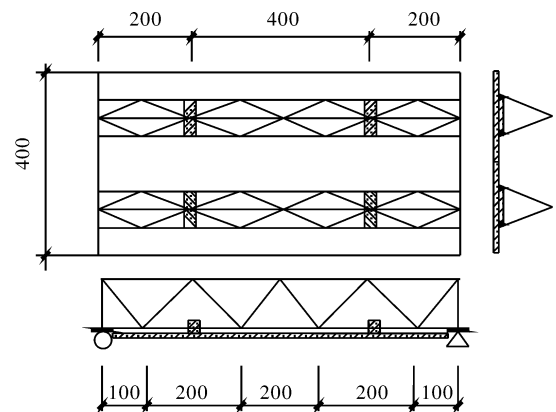
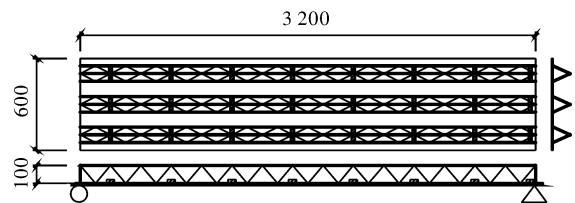


图 2 连接件

Fig. 2 Connectors



(a) A1~A12



(b) B1~B8

图 3 可拆式钢筋桁架模板尺寸

Fig. 3 Dimensions of detachable formwork with steel bar trusses

1.2 试验加载方式和测点布置

本次试验参考相关规范^[12],选用简支梁加载方案,针对不同尺寸的试件,采用不同加载方式:(1)第一组试件(A1~A12)由于试件尺寸较小,不

便于在组合楼板上施加均布荷载, 因此采用等效集中力模拟均布荷载; 防止局部荷载过大而引起整体受力不均匀, 在长跨和短跨的八分点位置, 用竖杆撑起四个托板, 再采用二级分配梁系统将千斤顶施加荷载施加于托板; (2) 第二组试件(B1~B8)将荷重块直接均匀铺设在楼承板上以模拟均布荷载; (3) 为了准确模拟出连接件的受力特性, 设计了一套加载装置, 连接件下部与 T 型钢板通过螺丝连接, 再将钢筋放置于连接件内并穿过 U 型钢板的预留洞口, U 型钢板上部焊接螺杆, 试验时上端螺杆被加紧固定, 通过电子万能试验机牵拉下端 T 型钢板, 加载装置示意图以及加载现场见图 4 所示。

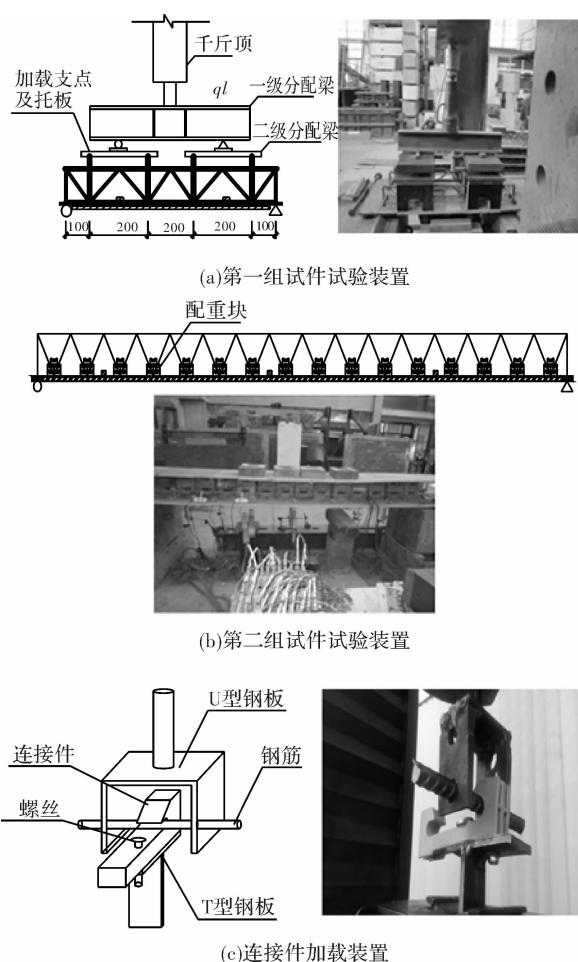


图 4 加载装置

Fig. 4 Loading device

对于不同尺寸的试件, 测点按以下方式布置:

(1) 第一组试件中钢筋桁架的弦杆和腹杆分别布置相应的应变片, 以测量不同受力阶段的钢筋应力变化; 在计算跨度三分点处分别布置位移计, 以测得试件的整体变形, 测点布置见图 5(a) 所示;

(2) 第二组试件中在钢筋桁架上布置应变片, 考虑到试件的内力分布, 跨中附近的钢筋桁架弦杆和

腹杆上多布置应变片, 在端部布置较少的应变片; 在板跨跨中、四分点及八分点处共布置 7 个位移计以测得不同位置处的挠度, 同时在连接件上布置 5 个位移计以测得连接件与钢筋的相对滑移, 具体的测点位置, 见图 5(b) 所示。

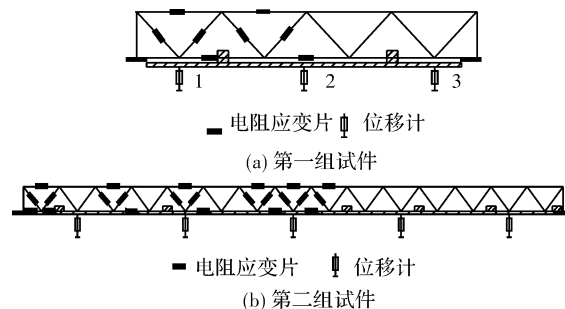


图 5 位移以及钢筋应变测点布置

Fig. 5 Position of measuring points and strain gages in reinforcing bars

2 试验结果及分析

2.1 破坏特征

从试验的观测过程中可以清楚地看到: 相同组别的试件破坏特征基本相似, 因此对于不同组别试件分别选择典型的破坏特征进行描述。

(1) 第一组钢筋桁架模板: 以 A-4 试件为例, 当加载等效集中力较小时, 试件无明显变形; 当等效集中力达到 8 kN 后, 跨中位移增大较快, 连接件产生变形, 下弦钢筋逐渐从连接件中滑出; 当等效集中力达到 9.28 kN 时, 连接件破坏或与钢筋完全脱落, 致使构件丧失承载力, 底部模与板端部钢板相互错开, 加载点变形较大, 钢筋无任何屈曲变形现象。破坏形态如图 6 所示。

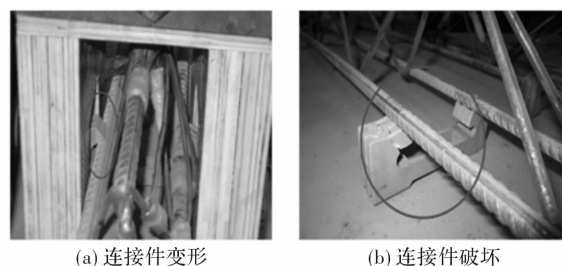


图 6 试件 A-4 各阶段破坏形态

Fig. 6 Failure pattern of A-4

(2) 第二组钢筋桁架模板: 以 B-4 试件为例, 当荷载达到 4 kN 之前, 试件无明显明显变形; 继续施加荷载至 7.2 kN 时, 跨中上弦钢筋出现明显变形; 加载到达 8.32 kN 时, 跨中三根上弦钢筋突然同时受压屈曲试件整体失稳破坏, 下弦钢筋和腹杆钢筋均无明显变形, 破坏过程急为突然, 毫无预兆, 试件变形较大。楼承板即使发生很大程度的弯曲但未出现劈裂, 连接件性能完好, 其

与钢筋无明显滑移现象。破坏形态如图 7 所示。

(3)连接件:以适用钢筋直径为 10 mm 的试件为例,当荷载达到 0.2 kN 之前,试件无明显变形;继续施加荷载至 0.4 kN 时,试件出现变形或裂纹,之后试件变形随着荷载增大随之增大,当荷载达到 1.51 kN 时,试件破坏或与钢筋脱落而丧失承载力。破坏形态如图 8 所示。

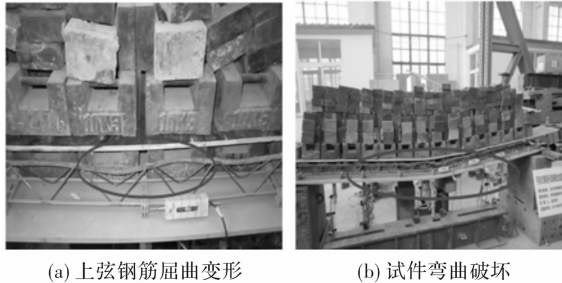


图 7 试件 B-4 各阶段破坏形态

Fig. 7 Failure pattern of B-4

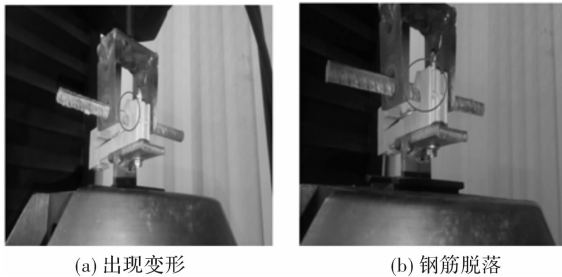


图 8 连接件破坏形态

Fig. 8 Failure pattern of connectors

通过上述试验现象可以看出:(1)试验中连接件经历弹性阶段、试件开裂、试件破坏,承载力迅速下降的过程;(2)第一组钢筋桁架模板采用简支梁加载,加载点在四分点处,从受力角度讲,跨中仅受到最大弯矩的作用,而加载位置不仅受到最大弯矩作用,还受到直接荷载作用,因此其纯弯段靠近连接件位置处更易发生破坏,这也与试验破坏形态相一致,最终因连接件破坏致使试件丧失承载能力;(3)第二组钢筋桁架模板破坏为跨中上弦钢筋屈曲破坏,整个试件为弯曲破坏,与力学模型预计破坏形态相一致,但破坏时具有突发性。在实际工程中应避免这种现象发生,可采取设置临时支撑的方法进行加固。

2.2 承载能力

通过连接件拉伸试验,测得连接件的极限承载力平均值,结果见表 2 所示;测试可拆式钢筋桁架模板施工阶段下的极限荷载平均值 P_u ,与施工荷载 S 对比,施工荷载考虑实际施工过程中试件的自重、混凝土自重以及施工人员与设备的自重,从而验证可拆式钢筋桁架模板是否满足施工阶

段承载力要求,具体结果见表 3。

表 2 连接件承载力

Tab. 2 Load bearing capacity of connectors

适用钢筋直径/mm	极限承载力/kN
8	1.57
10	1.18
12	1.24

表 3 可拆式钢筋桁架模板荷载实测值

Tab. 3 Load values of detachable formwork with steel bar trusses

组别	钢筋直径/mm	极限荷载/ P_u /kN	极限荷载集度/ q_u /kN·m ⁻²	施工荷载理论值/ S /kN·m ⁻²	q_u/S
A	8-8-8	8.41	26.28	5.31	4.95
	10-8-8	9.14	28.56		5.38
	10-10-10	9.19	28.73		5.41
	12-12-12	8.30	25.95		4.89
B	8-8-8	4.65	2.58	5.31	0.49
	10-8-8	8.45	4.69		0.88
	10-10-10	7.85	4.36		0.82
	12-12-12	17.15	9.53		1.79

从表 2 中可知:连接件承载力随着适用钢筋直径的增加而降低,这主要是由于不同适用钢筋直径连接件的破坏形态不同导致;适用钢筋直径较小的连接件破坏形态为钢筋挤压连接件致使连接件卡槽处出现纹断裂;而钢筋直径较大的连接件最终破坏形态为钢筋脱落,连接件只有较大变形,但未出现开裂以及断裂现象。

由表 3 中可知:(1)第一组试件满足施工阶段荷载要求,试件极限荷载为施工荷载的 5.16 倍左右;第二组试件钢筋桁架为 12-12-12 的钢筋组合满足施工阶段承载力要求,其他试件均不满足,因此需要对试件进行加固处理;(2)第一组不同试件的承载力的差别在 1.2%~9.6%之间,考虑到试验中存在的误差影响,进而可以判断试件的承载力主要与连接件强度有关,与上下弦纵向钢筋直径无关;对比第二组中不同钢筋直径试件的承载力可以清楚地发现,承载力主要与上弦纵向钢筋直径有关,这也与试件的破坏形态一致;当对于极限承载力要求不是很高时,10-8-8 组合钢筋桁架最为经济合理。

2.3 挠度变形

根据试验中测试出各个试件的荷载与挠度平均值,可做出连接件与可拆式钢筋桁架模板的荷载-挠度曲线,如图 9 所示。

从图 9 中可见:(1)连接件基本都经历弹性、弹塑性以及塑性阶段,出现的荷载陡增这主要是因为钢筋与连接件即脱落或连接件卡槽出现较大

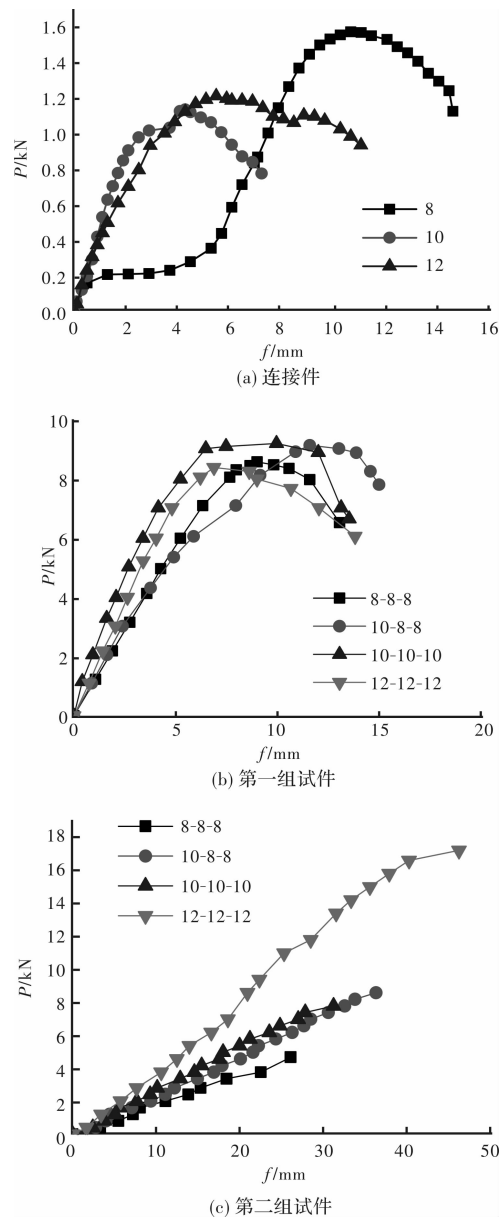


图 9 荷载-跨中挠度曲线

Fig. 9 Load-midspan deflection curves

开裂变形, 但适用钢筋直径为 8 mm 的连接件与其他两种不同是出现了平滑段, 主要原因是由于前者卡槽处逐渐开始出现开裂, 这也与试验现象一致; (2) 相同尺寸的钢筋桁架模板试件曲线形式基本相同; 不同的试件尺寸造成相同钢筋直径组合桁架试件的整体刚度差别较大, 以及两者受力机制的不同, 从而导致不同尺寸试件的曲线形式截然不同; 第一组试件中曲线拐点意味着连接件出现较大变形或者与钢筋即将脱落; 第二组试件随着钢筋直径增加, 试件的整体抗弯曲刚度随之增大, 相同荷载下的跨中挠度减小, 受弯承载力增大. 可见试件的尺寸以及钢筋桁架的钢筋直径对于试件的承载力以及变形具有重要影响.

施工阶段不仅要满足承载力的要求外, 还需

进一步满足挠度变形限值的要求, 因此有必要分析可拆式钢筋桁架模板的挠度变形, 以及在达到挠度变形限值要求时的荷载值. 根据《组合楼板设计与施工规范》(CECS 273-2010)^[13] (简称组合楼板规范) 要求, 可拆式钢筋桁架模板在自重及施工活荷载作用下的挠度限值为 $\min(L/180, 20)$. 根据试件的挠度限值, 从其荷载位移曲线上可得到不同跨度钢筋桁架模板在达到变形限值要求时的荷载值, 具体计算结果见表 4.

表 4 挠度验算

Tab. 4 The deflection calculation

组别	钢筋直径 /mm	变形限值 /mm	变形限值对应荷载 P/kN	极限荷载 P_u/kN	P/P_u /%
A	8-8-8	4.44	5.02	8.41	59.7
	10-8-8		5.06	9.14	55.4
	10-10-10		7.18	9.38	76.5
	12-12-12		6.18	8.30	74.4
B	8-8-8	16.67	2.96	4.65	63.7
	10-8-8		3.92	8.45	46.4
	10-10-10		4.45	7.85	56.7
	12-12-12		6.77	17.15	39.5

从表 4 可以看出: 小跨度试件达到变形限值时的荷载值是其承载力的 65% 左右, 而大跨度试件达到变形限值时的荷载值是其承载力的 50% 左右, 均小于试件的承载力, 可见可拆式钢筋桁架模板在施工荷载作用下的破坏通常是由其变形控制的, 而并非其强度. 因此在施工阶段需对于可拆式钢筋桁架模板进行支撑加固.

2.4 钢筋应变

荷载 P -跨中纵向上弦钢筋应变曲线见图 10 所示.

由图 10 可见: (1) 第一组试件钢筋应变均分为三个阶段, 即弹性阶段、弹塑性阶段、塑性阶段, 且钢筋均为屈服; (2) 第二组试件钢筋应变均为两个阶段, 即弹性阶段和弹塑性阶段, 其中弹性阶段与弹塑性阶段之间几乎无过渡阶段, 主要是由于试件突然破坏所导致的, 且钢筋均已屈服; (3) 两组试件均说明上弦钢筋桁架直径越大, 试件承载力增长越快, 但纵向钢筋应变增长越缓慢; 再次证明上弦钢筋直径为试件承载力以及变形的重要影响因素之一.

3 连接件极限承载力

纵观 A 组试件的试验过程及结果分析可知, 当荷载较大时, 钢筋与模板之间的连接件破坏, 使得可拆式钢筋桁架模板的整体工作性能减弱,

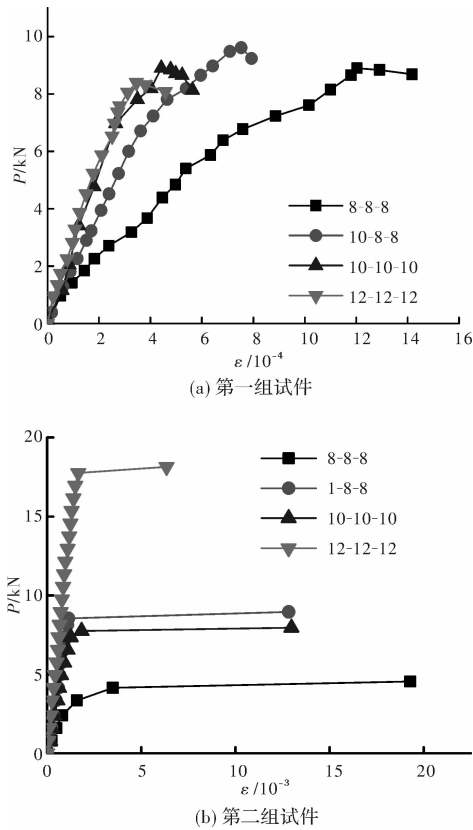


图 10 荷载-跨中纵向上弦钢筋应变曲线

Fig. 10 Load-midspan strain curves of longitudinal upper chord reinforcing bars

抗弯刚度降低。为了进一步评估连接件在可拆式钢筋桁架模板中的受力情况,需计算不同跨度试件破坏时单个连接件承受的拉力值,单个连接件承受的拉力值可按试件破坏时荷载除以板上连接件个数计算,然后取相同板型试验结果的平均值,计算结果见表 5。

表 5 试件破坏时连接件承受拉力值

Tab. 5 Tensile capacity of connectors in failing specimens

试件编号	破坏荷载 P_u /kN	连接件 个数	单个连接件拉力值 /kN
A	8.41	8	1.05
	9.14		1.14
	9.19		1.15
	8.30		1.04
B	4.65	54	0.09
	8.45		0.16
	7.85		0.15
	17.15		0.32

表 5 可见大跨度试件的破坏时连接件承载力值远小于连接件的抗拉承载力,主要是由于试件发生跨中上弦钢筋屈服失稳破坏。小跨度试件的破坏是由连接件的破坏直接导致的,但破坏时连接件承载力值略小于相应连接件的抗拉承载力,这主要是因为小跨度试件破坏时并不是所有连接件

同时破坏,而是由其中一个连接件的破坏导致的,该破坏连接件承受的拉力值要大于其余连接件,因此小跨度试件破坏时单个连接件承受的拉力平均值要小于连接件的抗拉承载力。

在可拆式钢筋桁架模板的实际应用中,应避免连接件破坏导致的楼承板丧失承载力,因此需估算出可拆式钢筋桁架模板破坏时连接件的最小承载力,即连接件强度设计值,保证钢筋桁架板不会因连接件而破坏。表 6 对比不同钢筋对应的连接件抗拉承载力与小跨度试件破坏时连接件承受的拉力平均值,同时给出了连接件抗拉承载力与拉力平均值的比例系数。

表 6 连接件抗拉承载力对比

Tab. 6 The comparison of connectors' tensile capacity

钢筋直径 /mm	连接件抗拉承 载力/kN	试件破坏时连接件 拉力平均值/kN	比例 系数
8-8-8	1.57	1.05	1.50
10-8-8	1.57	1.14	1.38
10-10-10	1.18	1.15	1.03
12-12-12	1.24	1.04	1.20

表 6 可以看出连接件的抗拉承载力是小跨度试件破坏时连接件承受拉力值的 1~1.5 倍,考虑到材料的离散性和施工中不可避免的偏差,以及保证不同钢筋桁架组合模板试件中每个连接件有一定的安全储备,本文偏于保守建议对连接件取 1.5 的材料分项系数,即将连接件强度标准值除以 1.5 得到连接件的强度设计值。因此本文对 8、10、12 mm 钢筋对应的连接件强度设计值建议取 1.05、0.79 和 0.83 kN。

4 结论

通过研究可拆式钢筋桁架模板在施工阶段下的力学性能以及破坏形态,得到以下结论:

(1) 确定可拆式钢筋桁架模板以及连接件的破坏形态、承载力、变形的力学性能,对于大跨度可拆式钢筋桁架模板试件在施工阶段需要设置相应的支撑以避免局部发生屈曲失稳破坏。对于单跨楼板,采取预拱措施减小表观挠度或采用浇注时加少量支撑。为减少施工阶段的挠度,建议采用两跨或多跨连续梁模型进行计算和施工。

(2) 可拆式钢筋桁架模板由变形控制,而非承载力控制;上弦钢筋直径和试件尺寸对于承载力与变形性能有显著的影响。当对于极限承载力要求不是很高时,建议采用 10-8-8 组合钢筋桁架最为经济合理。

(3) 可拆式钢筋桁架模板跨度较小时,破坏形态为连接件破坏,且连接件承载能力小于单个连接件承载能力,设计时建议取1.5的强度折减系数进行折减,并给出适用钢筋连接件抗拉承载力的设计参考值。

(4) 可拆式钢筋桁架模板作为一种新型的楼板体系,与现有的楼板体系比较,可以大大减少支模工程量,加快工程进度,在经济和环保节能方面具有优势,是一种值得在实际工程中推广使用的楼板体系。

参考文献 References

- [1] 童根树,刘书江,李文斌. 自承式钢模板系统性能试验和设计方法研究[J]. 建筑钢结构进展, 2005(3): 16-22, 8.
TONG Genshu, LIU Shujiang, LI Wenbin. Experimental research on a self-supported floor system[J]. Progress in Steel Building Structures, 2005(3): 16-22, 8.
- [2] 刘秩,童根树,李文斌,等. 钢筋桁架叠合板性能试验和设计方法研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2006(2): 57-60.
LIU Yi, TONG Genshu, LI Wenbin, et al. Experimental research and design method of composite floor slabs with steel bar trusses[J]. China Concrete and Cement Products, 2006(2): 57-60.
- [3] 赵磊. 自承式钢筋桁架混凝土叠合板设计计算方法研究[D]. 长沙: 中南大学, 2007.
ZHAO Lei. Research on design theories of calculation methods of composite slabs by steel bar truss and concrete[D]. Changsha: Central South University, 2008.
- [4] 完海鹰,车建萍,赵磊. 压型钢板对于钢筋桁架楼板承载力影响的试验[J]. 建筑技术, 2014, 45(3): 265-268.
WAN Haiying, CHE Jianping, ZHAO Lei. Experimental research on effect of steel slabs on load-carrying capacity of steel bar truss slab[J]. Architecture technology, 2014, 45(3): 265-268.
- [5] 张晓阳. 钢筋桁架组合楼板刚度影响因素的试验研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2014(9): 1122-1126.
ZHANG Xiaoyang. Experimental research on factors influencing the rigidity of concrete composite slab with steel bar truss[J]. Journal of Hefei University of Technology(Natural Science Edition), 2014(9): 1122-1126.
- [6] 马兰,陈向荣,蒋路,等. 钢筋桁架混凝土叠合楼板试验及有限元分析[J]. 建筑结构, 2013(21): 54-57, 62.
MA Lan, CHEN Xiangrong, JIANG Lu, et al. Experimental research and finite element analysis of concrete composite floor slabs with steel bar trusses[J]. Building structure, 2013(21): 54-57, 62.
- [7] 马兰. 带肋钢筋桁架混凝土叠合板性能研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2013.
MA Lan. Research on behavior of ribbed concrete composite floor slabs with steel bar trusses[D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2013.
- [8] 卢逢煦. 钢筋桁架式夹芯混凝土板优化设计与受力性能分析[D]. 长沙: 中南大学, 2008.
LU Fengxu. Optimization design and mechanical analysis of truss-type sandwich reinforced concrete slab[D]. Changsha: Central South University, 2008.
- [9] 孙磊. 钢筋桁架楼板承载力试验研究及理论分析[D]. 合肥工业大学, 2013.
SUN Lei. Theoretical analysis and experimental research for load-carrying capacity of steel bar truss slab[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2013.
- [10] 刘秩. 自承式钢筋桁架混凝土叠合板性能研究[D]. 浙江: 浙江大学, 2006.
LIU Yi. Performance research of steel bar truss and concrete composite slab[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
- [11] 何守民. 钢筋桁架组合楼板刚度试验研究[D]. 合肥工业大学, 2013.
HE Shoumin. Experimental study on rigidity of concrete composite slabs with steel bar truss[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2013.
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 混凝土结构试验方法标准:GB/T 50512-2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Standard for test method of concrete structures:GB/T 50512-2012[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.
- [13] 中国工程建设标准化协会. 组合楼板设计与施工规范:CECS 273-2010[S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.
China Association for Engineering Construction Standardization. Code for composite slabs design and construction:CECS 273-2010 [S]. Beijing: China planning press, 2010.

(编辑 桂智刚)