

新型公路桥面板

——钢筋混凝土肋腹板的性能及应用

Xinxing Gonglu Qiaomianban

——Gangjin Hunningtu Leyeban De

Xingneng Ji Yingyong

曾 威 黄文机 王于晨 等著

人 民 交 通 出 版 社

前 言

板是桥梁结构和房屋建筑结构中提供使用面积的最基本组成部分，现代的桥面板与楼板或屋盖板使用最多的是钢筋混凝土板。长期以来，这类板的分析计算偏重于平板并遵从传统的弹性平面理论，流行的屈服线分析也仍基本着眼于平板。人们观察到混凝土板开裂后板内具有薄膜力作用，但是在设计中现在还没有正式计算这个效应，至于有关如何改变板型以便更好地发挥薄膜力作用的研究则更少了。大型板常采用周边加腋的形式来提高承载能力，然而设计上仅作弯矩计算而未作薄膜力分析。这一课题现在虽然引起了注意，但可用的成果还不多，至于壳——受集中荷载（轮载等）的板，由于问题复杂，问津的人更不多。作为桥面板，以承受移动的荷载（即轮载）为主，这方面的非线性分析计算，我们在1963年研究微弯板的基础上进一步开展了一点试验研究工作，受到国内外同行们的关注。现把微弯板组合梁和肋腋板的研究成果及实践应用加以整理出版，欲以抛砖引玉，敬请读者及同行们批评指正。

本课题的试验研究工作都是在交通部公路科学研究所进行的，公路所先后参加课题和推广工作的主要人员还有王丽云和娄有原副研究员等，指导研究生的导师有西安公路学院的徐光辉教授、毛瑞祥和华孝良副教授，作者在此表示谢意。

颜东煌、徐岳、易萍丽参加了第3章、第4章的撰写，计算了部分算例和表格。王于晨参加了第2、3、4、5、6、7章及附录的撰写，描绘和整理了全书的图、表及照片，并在北京、福州两地对全书进行了修改和校正。交通部科技交易中心助理工程师王丽娟在该书成稿过程中，参加了整理书中的图表工作，并在全书付印前，冒着盛夏酷暑，进行了仔细的校对。

作 者

(京)新登字091号

新型公路桥面板

——钢筋混凝土肋腋板的性能及应用

曾 威 黄文机 王于晨 等著

插图设计: 赵耀华 正文设计: 周 圆 责任校对: 戴瑞萍

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 8.125 插页: 1 字数: 208千

1991年11月 第1版

1991年11月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—4000册 定价: 7.80元

ISBN7-114-00965-8

U · 00623

内 容 提 要

本书作者根据多年的科学研究成果，系统全面地论述了钢筋混凝土肋腋板的性能、特点、设计计算方法等，并通过多个实例阐明了肋腋板作为新型桥面板在工程实际中的应用。

本书可供有关公路桥梁科研、设计、施工人员阅读，也可供大专院校有关专业高年级学生及研究生参考。

目 录

第一章	桥面板的试验与选择	1
§1.1	板型方案	2
§1.2	模型制作	7
§1.3	板的试验与结果	9
§1.4	板型的选定	12
参考文献		14
第二章	肋腋板的性能	15
§2.1	静载试验	15
§2.2	重复荷载试验	22
§2.3	板的受载阶段及特征	30
参考文献		33
第三章	单板的计算及实测值的比较	34
§3.1	弹性阶段	36
§3.2	弹塑性阶段	45
§3.3	准屈服状态	60
§3.4	冲剪破坏	76
参考文献		93
第四章	单板承载力影响因素的讨论	96
§4.1	加腋高度的影响	96
§4.2	边界条件的影响	99
§4.3	含筋率的影响	101
§4.4	混凝土强度的影响	104
§4.5	板厚的影响	104
§4.6	板中薄膜力的分析和计算	105
参考文献		116

第五章 板在桥梁工程中的应用.....118

§5.1 板外形尺寸的拟定.....118

§5.2 设计计算方法.....118

§5.3 预制板的施工.....128

§5.4 工程实例与经济效益.....131

参考文献.....144

第六章 桥面板设计计算内力表.....145

§6.1 编制原理及使用说明.....145

§6.2 设计用表.....164

参考文献.....164

第七章 弹性阶段后板的性能分析及程序使用说明.....165

§7.1 有限元非线性计算分析源程序的说明和算例.....165

§7.2 准屈服阶段和冲剪破坏计算实用板的算例.....210

参考文献.....227

附录：钢筋混凝土平板和微弯板的设计计算内力表.....228

1. 平板.....228

2. 微弯板.....228

3. 汽车和挂车荷载在常用平板和微弯板上的作用位置.....230

4. 设计用表.....231

参考文献.....231

第一章 桥面板的试验与选择

在公路桥梁中，不论跨径长短和宽度大小，都必须具有平顺的桥面供车辆行驶。钢筋混凝土桥的桥面板除直接承受轮载外，还参与桥梁上部结构的整体作用。钢筋混凝土桥面板，有悬臂板（T梁或箱梁的翼缘）、平板（箱梁的顶板）、以纵横梁作为格间支承的单向板、双向板、空心板和微弯板等多种形式。近年来，国外为减轻桥梁的桥面重量，采用多种形式的加劲板，用预应力混凝土板作为连身模的组合板，在其它结构中曾用夹心板和蜂窝板等，并对板的构造形式及其计算方法不断地进行研究，特别是对钢筋混凝土平板作了大量试验，论证了板中薄膜力的存在及其效应。近年来，在我国公路桥梁中，预应力混凝土空心板已逐渐得到应用和发展，但由于受材料及其工艺的限制，加之工地分散，目前尚难大量推广应用。装配式预制少筋微弯板自交通科学研究院于1964年提出之后〔1〕，在公路桥梁中已得到了推广应用，成为当前我国公路桥面板的主要形式之一。少筋微弯板存在的问题是尺寸设置不够合理，当板的跨径较大时边厚随之增大，混凝土用量过多，有些桥梁板底可能出现通长裂缝使人疑虑，目前还按半经验设计，没有提高到以广泛试验为依据的理论计算方法。这种中和面为非平面的少筋板，在二十余年的使用中，已显示出它具有比平板更为优越的结构性能。根据中国公路桥梁使用现状，有必要在少筋微弯板的基础上对有壳板作用的少筋板作进一步试验研究，以期提出性能较好、自重较轻、用钢量较少的新板型及其相应适用的计算图式和方法。

§1.1 板 型 方 案

预制桥面板是装配化桥梁中的通用构件，为了取得较好的经济效益，考虑板型方案时，首先以面广量多的中小桥为其应用对象。当前中小公路桥梁的施工仍以地方基层为主，其生产设备、材料来源与技术力量等条件尚处在发展的初级阶段，较少采用预应力结构，因此仍着重以非预应力壳板形式为主要研究对象，在钢材供应尚不充分的条件下利用结构的薄膜力代替部分钢筋，并通过加劲、挖空、做蜂窝夹层和合理配筋等办法，力求节省钢筋及混凝土以达到轻型的要求。根据这个思路，我们先后提出了薄板和密肋、壳板加肋、双曲壳板、薄板与薄壳以及蜂窝夹心组合、加劲板、空心加腋板和肋腋板等形式。第一批试验中的几种板型参见图1-1，第二批试验板型参见图1-2，为了能尽量快速取得结果，仅就单板进行对比试验来选择板型，并尽量考虑单因素的对比〔2〕。

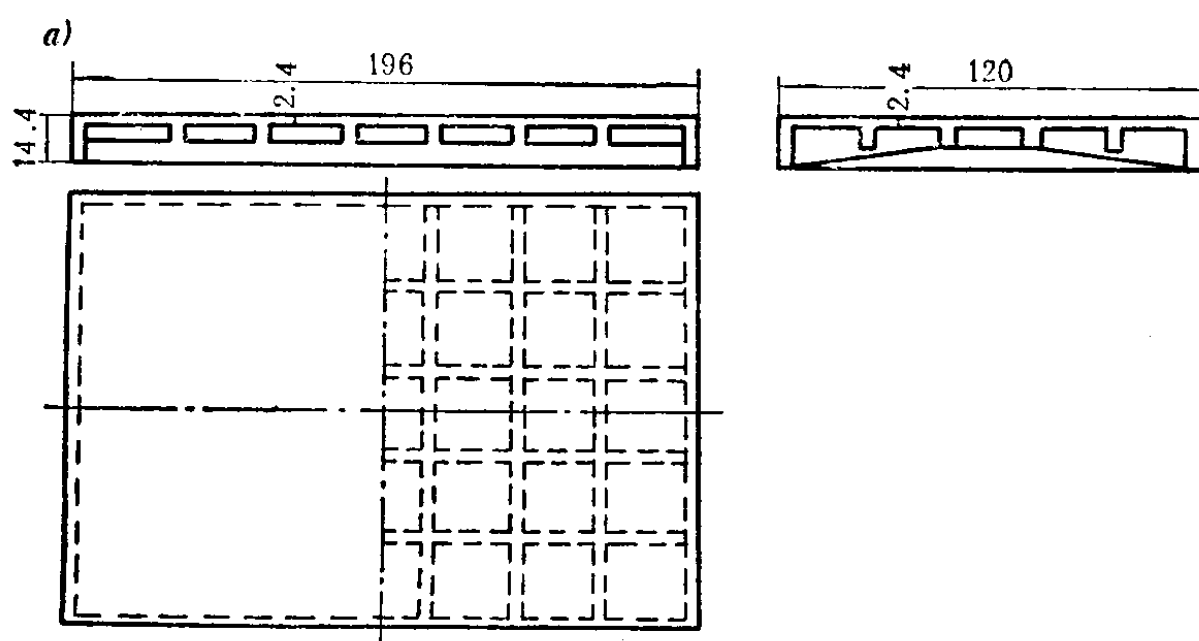


图 1-1

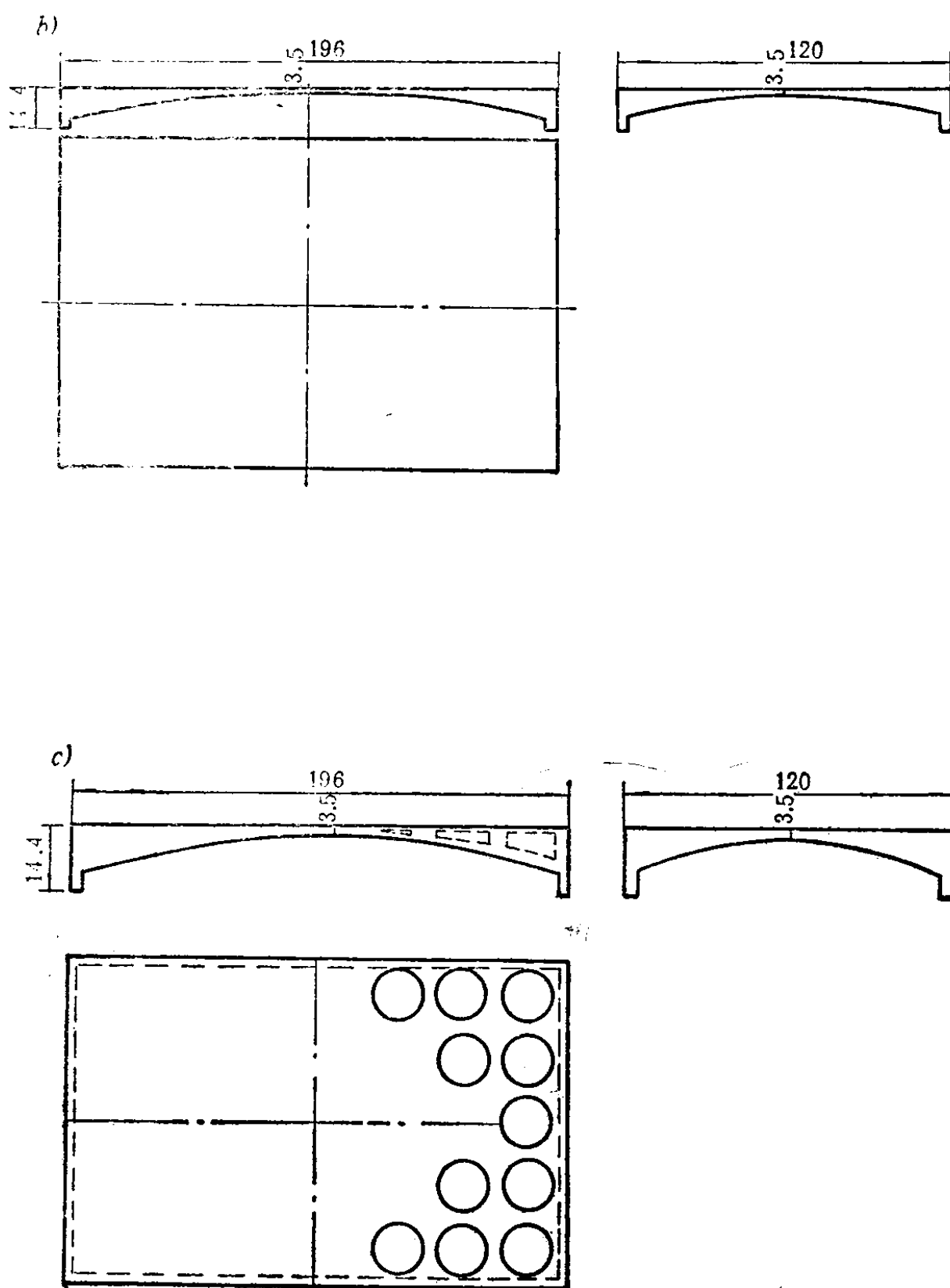


图 1-1

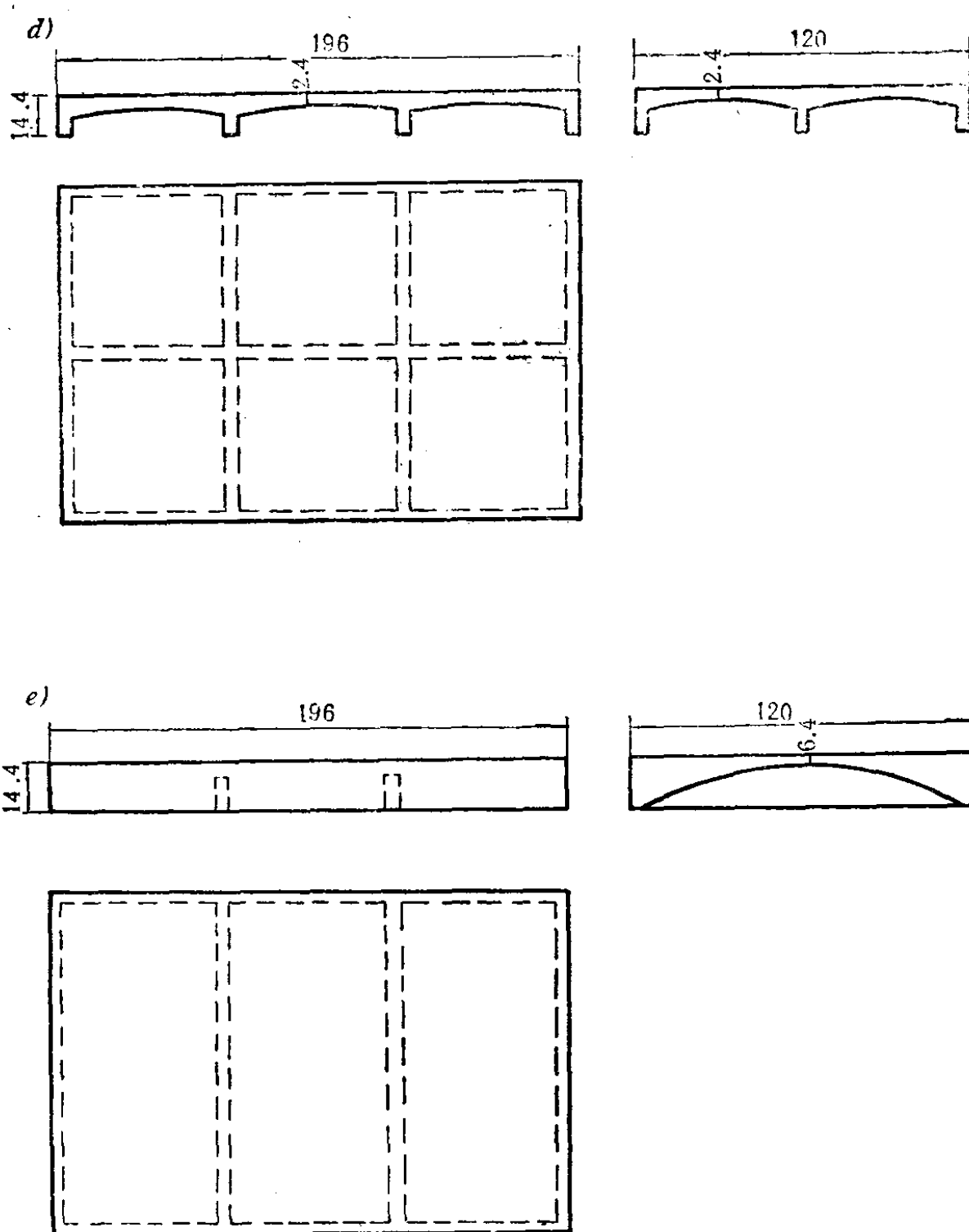


图1-1 第一批试验板型 (尺寸单位: cm)

a) 网格板; b) 双曲实心壳; c) 双曲蜂窝壳; d) 网络壳; e) 加肋微弯板

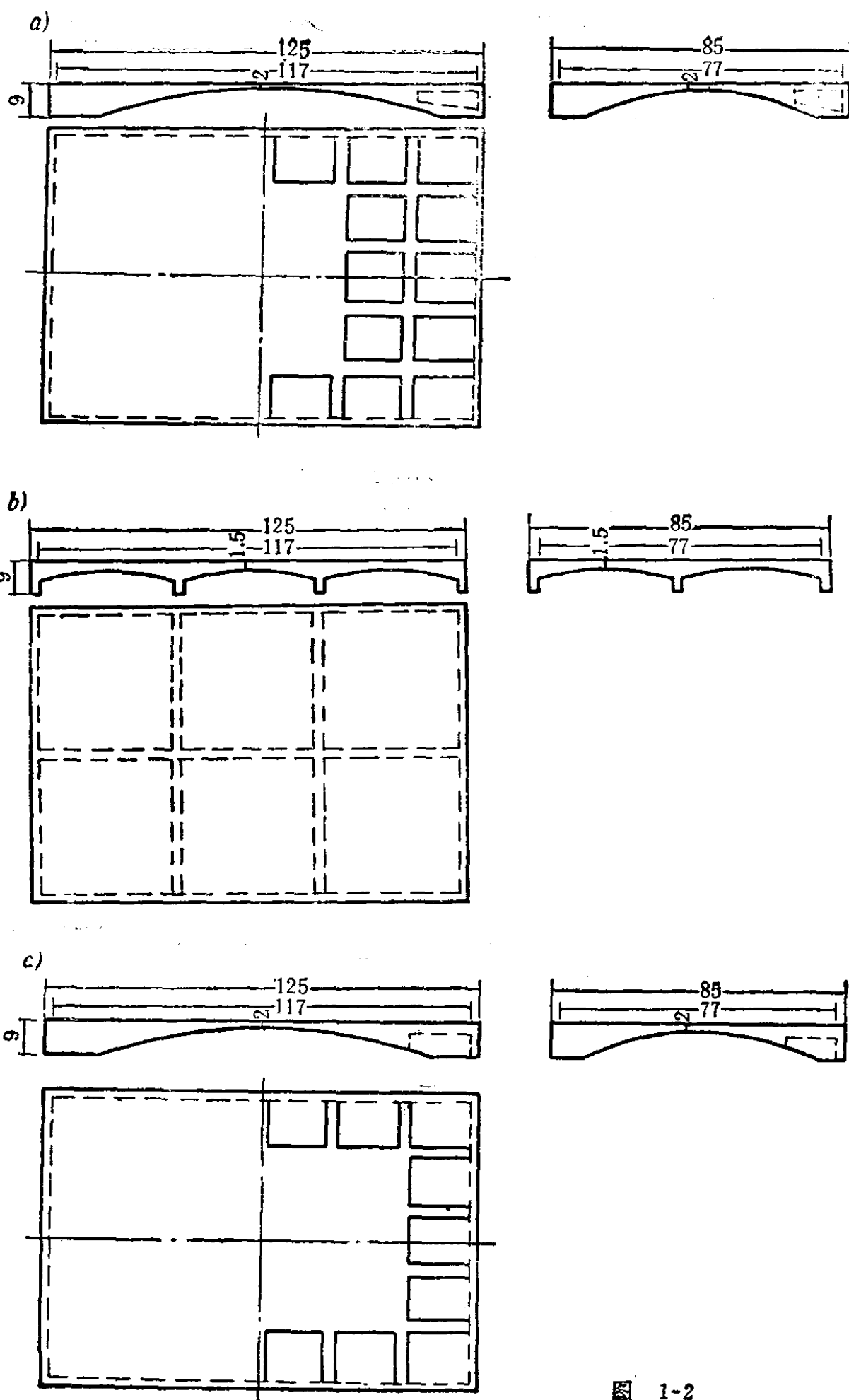


图 1-2

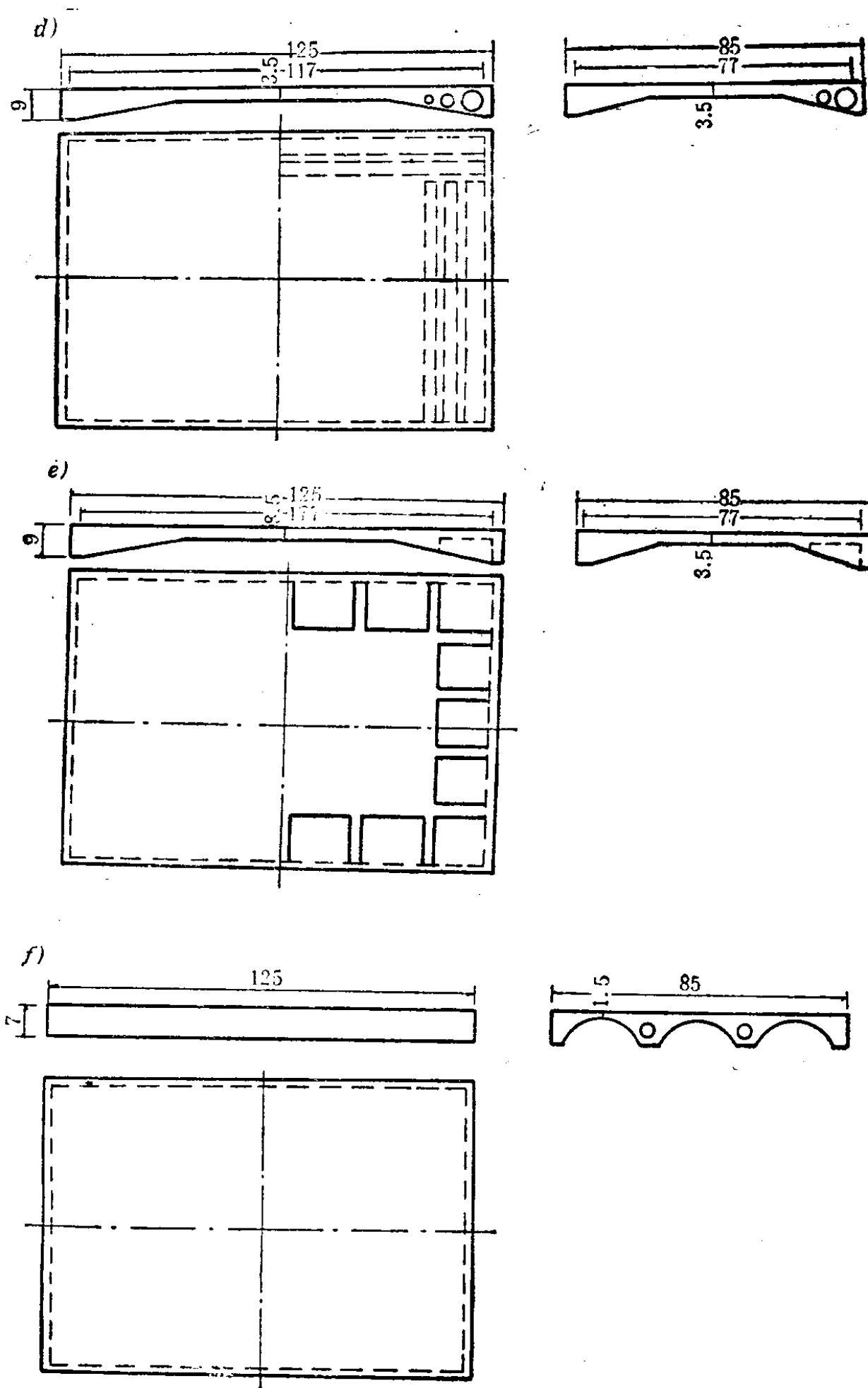


图 1-2

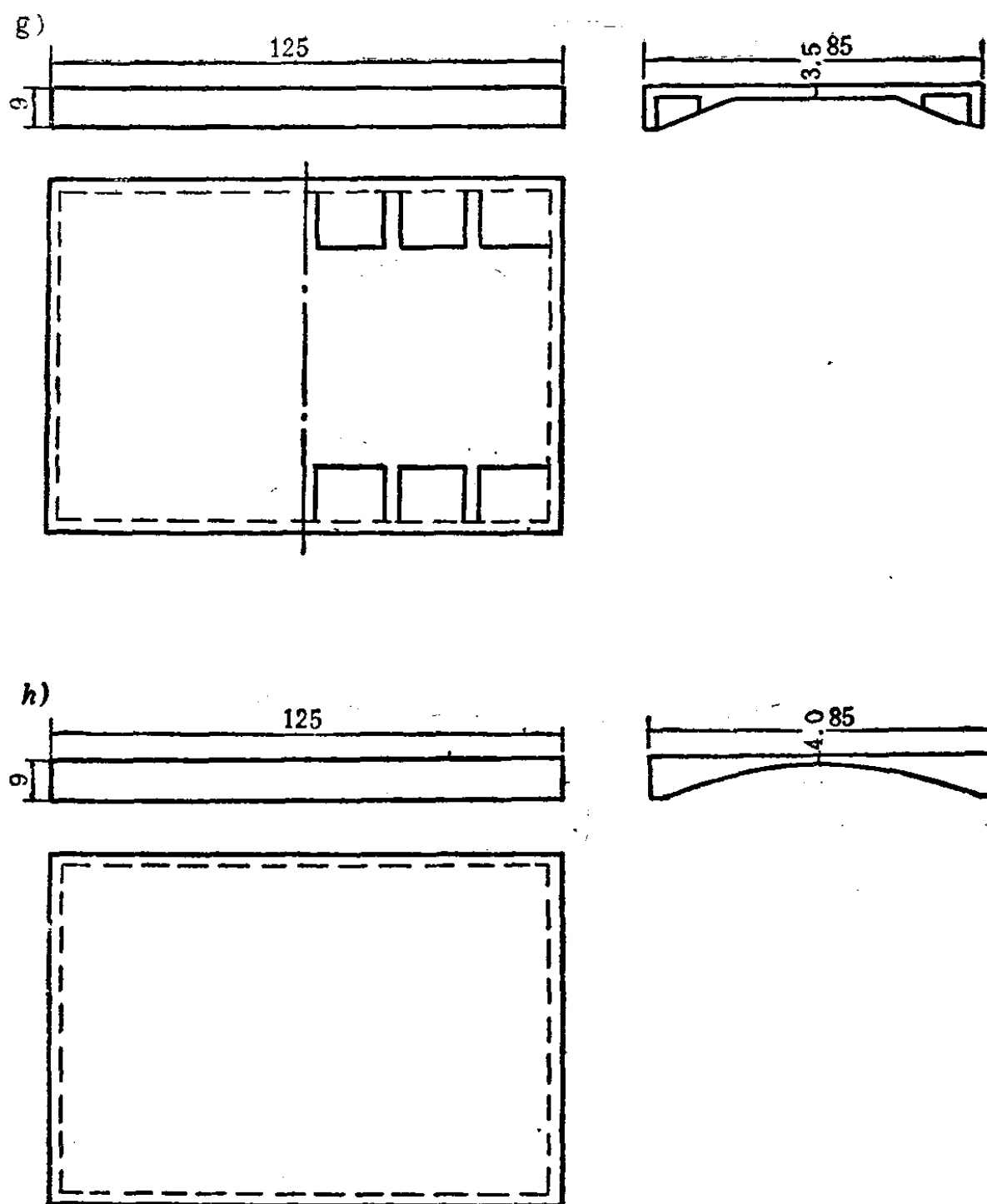


图1-2 第二批试验板型 (尺寸单位: cm)

a)双曲蜂窝壳; b)网格壳; c)双曲网格壳; d)加腋空心板; e)肋腋板; f)加劲板; g)单向肋腋板; h)微弯板

§1.2 模型制作

随着试验及量测技术的发展, 小缩尺的室内模型试验采用日

益广泛，足尺试验仅作为检验用。模型缩尺与结构形式、原形最小尺寸以及模型材料等因素有关。结合现在公路桥梁中主梁与横隔梁的常见布置，单板的原型尺寸采用宽 3m，长 4.5m，第一批模型的缩尺取 $1/2.5$ 。实践结果表明：缩尺为 $1/2.5$ 还是太大些。因此，第二批模型的缩尺取为 $1/4$ 。为了保证在试验时各板的边界条件相同，又能在一定程度上代表板在实桥中的受力情况，最简单的作法是把板的四周固结在圈梁内，而圈梁必须有足够的刚度，以保证板周边的固结条件。许多研究者得出圈梁的高度为板厚的 4 倍以上，宽度为高度的 $1/3$ 左右，在进行研究及试验时，依据实际情况并参考前人经验制作了钢筋混凝土圈梁〔2〕〔3〕〔4〕。

由于混凝土的开裂强度很低，钢筋混凝土构件在弯矩作用下开裂是正常的，少筋混凝土桥面板在荷载作用下会开裂，并会出现塑性，因此在进行板的模型试验时，不仅要观察板在弹性阶段的工作状态，而且要观测板在开裂后的工作状态，直至破坏为止的极限状态。这就决定了模型板不能用金属、有机玻璃或玻璃钢之类的材料制作，因为这些材料不能模拟反映混凝土板开裂之后的受力特性。缩尺较大的模型可用微粒混凝土，缩尺较小的模型直接用水泥砂浆制作效果也还可以，这是经过试验证明了的。因此我们采用水泥砂浆制作的缩尺为 $1/4$ 的模型板，用同钢号的冷拔钢丝作板中的钢丝，其直径按缩尺决定。水泥采用微膨胀水泥，以减轻模型制作过程中的收缩裂缝。水泥砂浆设计标号为 30 号，其配合比为：水泥：砂：水：NNO（减水剂）= 1：2.72：0.47：0.01。板中配置两层网筋，直径为 1.6mm，间距为 $5 \times 5\text{cm}$ ，在板中心的附近范围内，网筋间距加密为 $2.5 \times 2.5\text{cm}$ ，肋中配置 $\phi 3$ 的主筋。

模板的尺寸要严格控制，在制做第二批板时，模板的骨架和边框用木料，底模用 0.25mm 镀锌铁皮，使用效果较好。在板中挖空的方法如下：对双曲蜂窝壳中的蜂窝，曾用埋放预制的砂浆圆形杯形成，工艺较为复杂，以后改用力学强度极低的聚苯乙烯板作为蜂窝填料，对空心加腋板的空心部分采用预放塑料管形式。实践表明，在制作供对比试验用的模型板时，这种简化工艺

是可行的。

为了使模型板尽量具有相同条件，应着重抓住以下几个环节：

1. 每块板用的砂浆体积相等，板的配筋也力求相同，各种材料均要用同样的品种和标号；
2. 钢筋要用机械调直，在模板中绑扎成网时，钢筋两端要拉紧，以保证网筋符合设计要求的形状与尺寸；
3. 板在浇注砂浆时，要放在振动台上振捣并控制振捣时间；
4. 板要在同一条件下浇注和养生，并在同一龄期加载试验。

§1.3 板的试验与结果

单板是由轮重控制设计的。试验时模拟汽车或挂车的轮重以千斤顶单点加载。在加载板下垫一层橡胶板，使荷载均匀传递。可能的最不利加载位置根据板型决定，一般选在板的中心点、肋的跨中、格间中心或蜂窝夹层的顶面等处。用小的荷载作初试确定最不利的加载位置后，再在该位置上以较小的增量逐级加载至控制截面出现裂缝，然后以较大增量继续加载直至破坏，测得板的初裂荷载和破坏荷载以及其在加载过程中的数据。

加载时，除量测板本身的变形外，还要测量和记录圈梁的变位数据。

在选择板型过程中，进行了两批对比实验。第一批的模型缩尺为1/2.5，有5种板型，7块板，试验结果列于表1-1，从试验结果得到：

1. 由于这5种板的材料用量不同，砂浆标号也不相同，对试验的结果尚难作直接的对比。这就提醒今后在拟定试验设计时，对要比较的不同板型，必须尽量做到同等条件。

2. 考虑到几种板型的材料用量不同，若按单位砂浆体积折算得出的破坏荷载作为定性比较的指标，可以看出，板壳组合、板壳加劲显然比实心板壳优越。

第一批板试验结果表

表1-1

板型	微弯板	网格板	网格壳	双曲实 心壳	双曲实 心壳	双曲蜂 窝壳
周边约束条件	固结	固结	固结	固结	简支	固结
砂浆棱柱体抗压强度 (MPa)	48.7	30.0	27.3	20.6	19.3	24.1
砂浆体积 (m³)	0.200	0.095	0.109	0.109	0.175	0.138
与固结微弯板相比 (%)	100	48	55	86	86	69
初裂荷载 (kN)	30	12	12	10	—	12
破坏荷载 (kN)	165	80	72	56	30	106
折算破坏荷载 (kN/m³)	165	109	104	100	56	170
与固结微弯板相比 (%)	100	66	63	61	34	103
单位砂浆体积的破坏荷载 (kN)	53	73	61	37	20	79

3.用密肋加劲的板，如网格板，板的承载力提高了，而肋成为控制部位。因在肋中只布置受拉钢筋，没有箍筋和斜筋，故试验时，肋因剪力引起斜裂缝。密肋带来了制模、脱模和布筋的困难，但它提供了可以在局部用短肋加劲的合理途径。

4.从双曲蜂窝壳与双曲壳（实心）对比中发现矢跨比对板的承载力影响极大。对于这些板型应当抓住矢跨比因素继续探索。

5.在双曲壳板中，板中心点是控制截面，而板边的强度储备甚多，应当寻找材料在板中的合理分布。

根据以上五点认识，又拟定了第二批试验计划。制作时，在板的边部做成空心，把边的厚度减薄后用短肋加劲，把板底外形由曲线改成折线，以加大板中心厚度和加大矢跨比等 6 种板，共 12 块板，缩尺为 1/4。试验结果列于表 1-2，该表中还列出了平板

第二批板试验结果表 表1-2

板 型	周 边 约 束 条 件	砂浆体积 (m³)	砂浆抗压强度 (MPa)	板 中 加 载		板边或肋上加载
				初裂荷载 (kN)	破坏荷载 (kN)	
边高9cm 双曲蜂窝壳板	固 结	0.0360	40	15	30	42
边高9cm 双曲网格壳板	固 结	0.0360	40	13	32	40, 45
边高9cm 加腋空心板	固 结	0.0355	40	17	70	54, 68
边高9cm 网格壳板	固 结	0.0334	40	21	40	75
边高9cm 加劲板	筒 支	0.0342	56	22	36	
边高9cm 加腋空心板	固 支	0.0355	48	14	72	63, 51, 45, 46
边高12cm 加腋空心板	固 支	0.0360	48	15	73	62, 58, 67, 74
边高9cm 肋腋板	固 支	0.0352	48	15	69	70, 60, 44, 56
边高12cm 肋腋板	固 支	0.0352	46	21	72	67, 79, 44, 58
边高9cm 双曲网格壳板	固 支	0.0360	56	18	30	
边高12cm 双曲网格壳板	筒 支	0.0360	56	9	26	
厚3.9cm 平板	固 支	0.0352	54.5	8	45	
厚3.9cm 平板	固 支	0.0352	54.5	11	45	
边高9cm 微弯板	固 支	0.0514	61.7	11	100	72
边高9cm 单向肋腋板	固 支	0.0358	61.7	—	65	
边高9cm 肋腋板	固 支	0.0352	55.9	12	76	74, 70, 69, 67
边高9cm 肋腋板	固 支	0.0352	55.9	19	71	

注：初裂荷载指肉眼见到时的荷载。