

多层和高层建筑结构设计

上 册

清华大学建工系 工程地震研究室 结构力学教研组 工程结构教研组 合编

1978, 11,

上册目录

第一章 多层及高层建筑的结构方案及布置

- § 1-1: 概况 ———— 1-1
- § 1-2: 多层钢筋混凝土结构的方案 ———— 1-2
- § 1-3: 高层建筑结构体系的比较及适用范围 ———— 1-18
- § 1-4: 结构布置 ———— 1-38

第二章 荷载

- § 2-1: 风荷载 ———— 2-1
- § 2-2: 地震荷载 ———— 2-4
- § 2-3: 荷载组合 ———— 2-26

第三章 多层框架结构的内力与位移计算

- § 3-1: 多跨多层框架在竖向荷载作用下的近似计算——
分层计算法 ———— 3-1
- § 3-2: 多跨多层框架在水平荷载作用下的近似计算(一)
——反弯点法 ———— 3-8
- § 3-3: 多跨多层框架在水平荷载作用下的近似计算(二)
——D值法 ———— 3-18
- § 3-4: 多跨多层框架在水平荷载作用下侧移的^Y计算_{近似} 3-48

第四章 剪力墙结构的内力和位移计算

- § 4-1: 剪力墙结构的计算简图和计算方法 ———— 4-1
- § 4-2: 整体墙及小开口整体墙的计算 ———— 4-10
- § 4-3: 双肢墙的计算 ———— 4-16
- § 4-4: 关于墙肢剪切变形和轴向变形的影响和各类剪力
墙划分判别式的讨论 ———— 4-30
- § 4-5: 多肢墙的计算 ———— 4-32
- § 4-6: 壁式框架在水平荷载下的近似计算 ———— 4-55

第五章 框架——剪力墙结构的内力和位移计算 ————

§ 5-1: 框架——剪力墙协同工作原理 ———— 5-1

§ 5-2: 框架的刚度计算 ———— 5-8

§ 5-3: 框架——剪力墙铰结体系在水平荷载下的计算 5-10

§ 5-4: 框架——剪力墙刚结体系在水平荷载下的计算 5-19

§ 5-5: 框架、剪力墙及框架——剪力墙结构
的扭转计算 ———— 5-24

§ 5-6: 计算实例 ———— 5-33

第一章 多层及高层建筑的结构方案及布置

§ 1-1 概况

以钢筋混凝土材料作为主要承重结构的多层房屋在工业和民用建筑中应用都十分广泛，解放后，从第一个五年计划开始，许多工业部门大量建造多层厂房，有一些工厂例如面粉厂、化工厂，由于它具有竖向工艺流程，只能布置成为多层厂房，而有一些工厂如精密仪器、仪器制造等既可以布置成为单层厂房，也可以布置成为多层厂房，但是采用多层厂房布置可以大大减少占地面积，缩短原材料、成品等的运输路线，也可以缩短管道铺设范围，有很好的技术经济效益，因此，随着我国经济的不断发展，多层厂房在工业建筑中占的比例也愈来愈大。

在民用建筑范围内，也随着我国经济的向前发展，墙体改革不断取得新的成果，创造了很多新材料、新形式、新结构，施工技术方面也有新的发展，使钢筋混凝土多层建筑结构的应用日益扩大，例如住宅、旅馆、办公楼、展览馆等多层建筑都广泛采用钢筋混凝土结构代替砖砌混合结构。在大城市中，由于城市建设的需要，还逐渐发展了高层建筑，各地不但兴建了一批用于外事的高层建筑，而且近年来，在北京、上海、广州、天津、南宁、桂林等城市中还兴建了不少高层的公共建筑和10层以上的住宅建筑，北京和上海已有一些高层住宅建筑群。在广州建造了我口目前最高的33层白云宾馆。

从结构形式上说，从我口初期大量建造的框架结构发展到框架剪力墙结构，以及无梁楼盖、剪力墙结构及筒体结构，通过设计施工的大量实践，以及在开展科学研究的基础上，设计水平不断提高，总结出了我口自己的设计经验。

从施工方法上，则从我口初期大量采用的现浇框架发展到装配式框架结构，大大提高了施工机械化程度，加快了施工进度，

近年来，又发^展了升板法，大模板施工及滑升施工等先进的现场机械化浇筑的^升施工方法，高层建筑的兴建不仅反映了需要，也是我国建筑技术水平迅速提高的结果，在高层和多层建筑中采用上述方法，进一步提高了机械化程度，节约劳动力，节约大量木材，缩短了工期，提高了施工质量，逐渐形成了我国自己的发展道路。

本章主要介绍多层和高层钢筋混凝土结构的结构方案与布置结构方案及布置是否合理，对房屋的安全、经济适用都有决定性的意义。

结构方案按多层及高层分别介绍，各种方案都有它的适用范围，优缺点，应根据房屋的使用要求，各地的材料供应情况，施工设备及技术水平具体选定结构方案。

结构布置则按框架体系，框架剪力墙体系及剪力墙体系分别介绍，多数情况下多层和高层的布置原则是一致的，有些则是针对各自的^特点提出的。

§ 1-2 多层钢筋混凝土结构的方案：

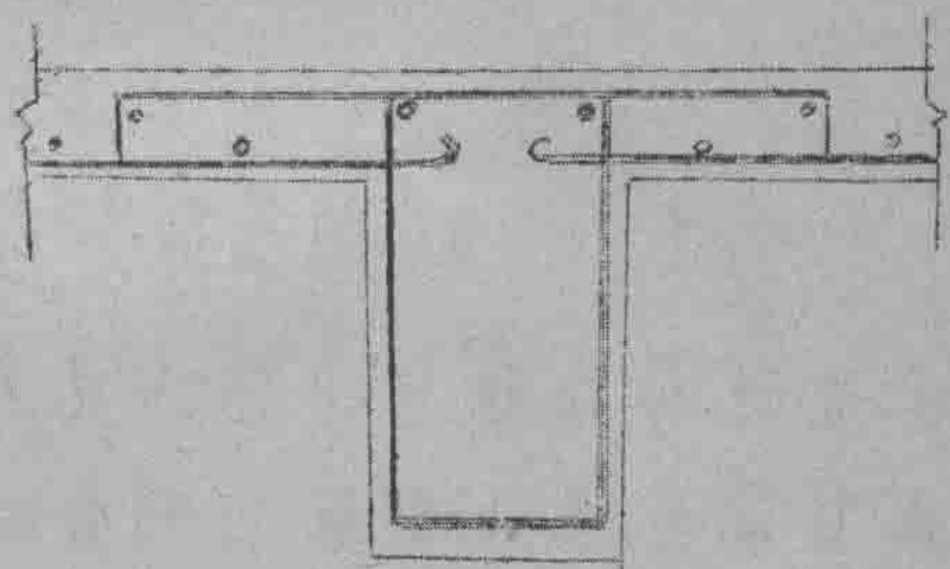
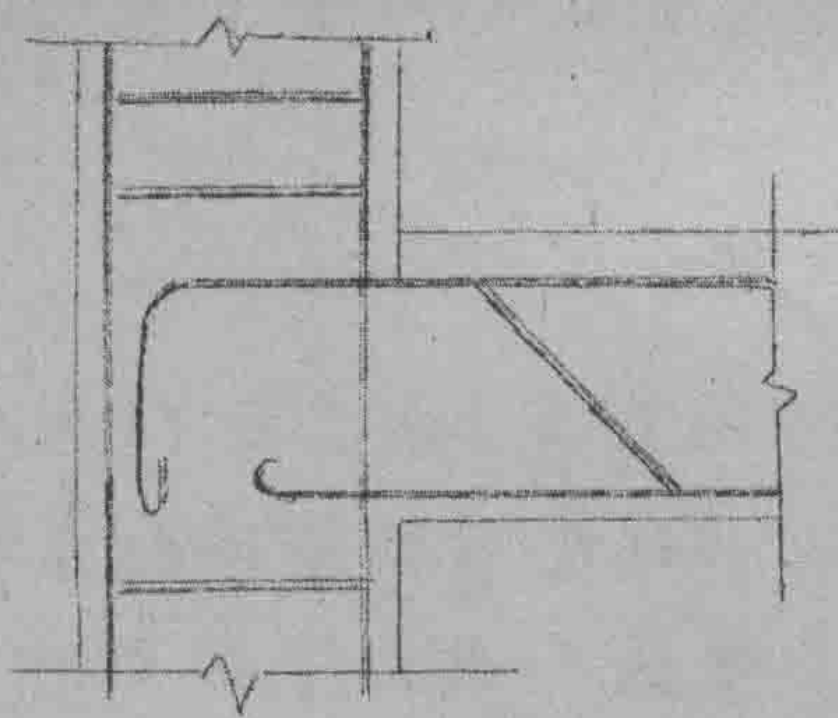
我国目前常用的多层钢筋混凝土结构可以分为三种类型：框架结构、板柱框架结构（包括无梁楼盖升板结构等）及剪力墙结构，每种类型都有现浇及装配两种施工方法，由于现浇的无梁楼盖结构受模板，费材料（见表1-5），在我国几乎很少采用，全装配整体式的手制板柱^{框架}体系正在试阶，因此着重介绍半装配半现浇的采用先进施工方法的板柱体系结构——升板法，此外，还介绍我国常采用的外^墙为砖砌承重结构的内框架结构。

1. 框架结构的优缺点及应用范围：

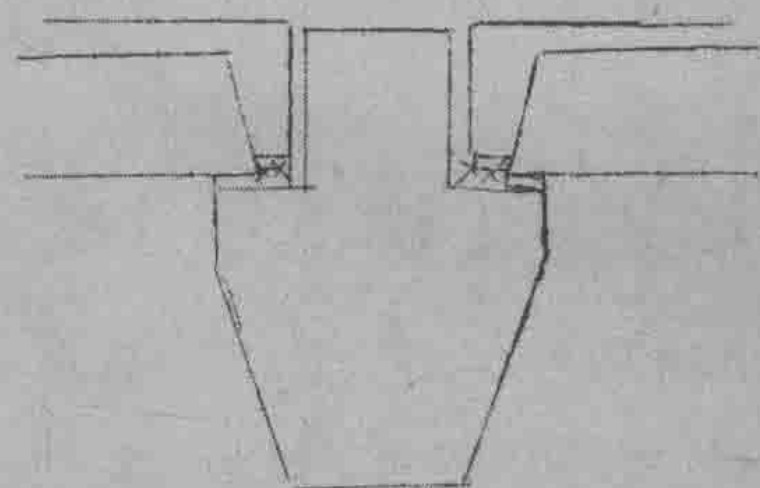
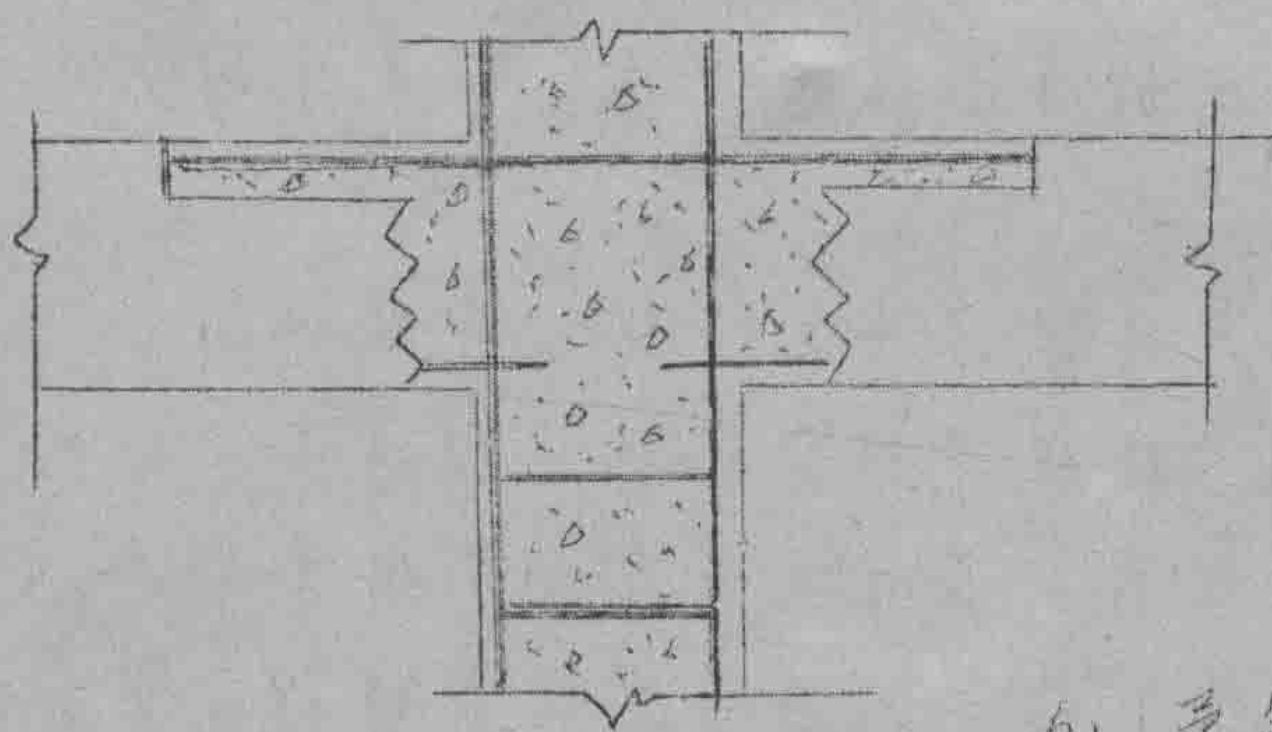
钢筋混凝土框架结构在多层民用与工业厂房中应用是十分广泛的，由于它有一些突出的优点，例如可以做成大开间的房间，便于工艺设备的灵活布置，具有很好的抗震性能，因而随着我国经济和

日防工业的发展，多层工业厂房所占比重愈来愈大，例如仪表仪
器，无线电制造，精密合金冶炼，化工医药，日用食品，科技研
究大楼等也都采用多层框架结构，此外，旅馆、展览馆、火车站
等公共建筑中也常采用多层框架结构。

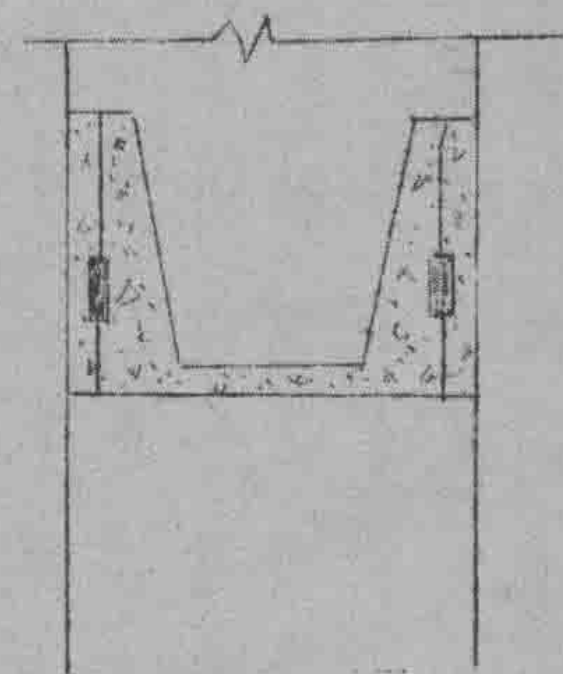
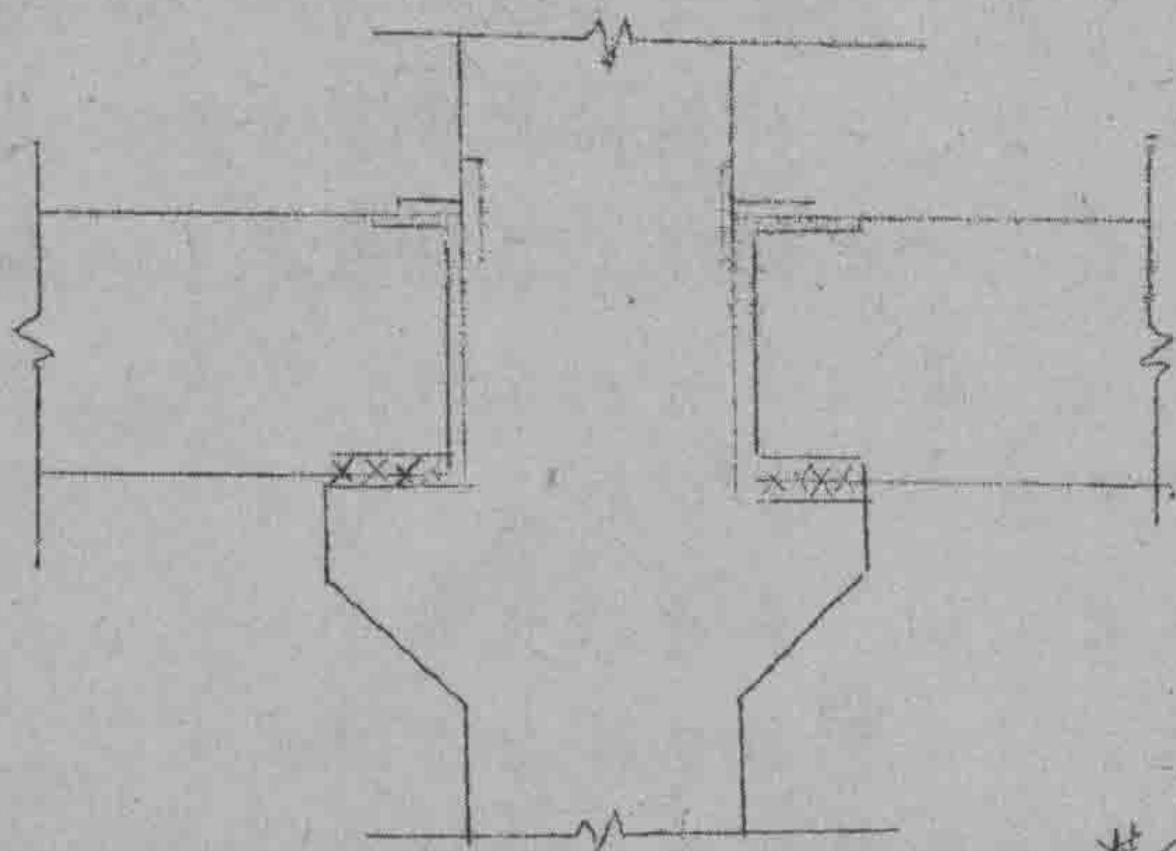
框架结构是由梁、板组成的结构体系，但就其施工方法的
不同可以分为全现浇的，半现浇的，全装配的，装配整体式的几
种。图 4-1 表示几种类型框架结构主要连接节点的不同做法。



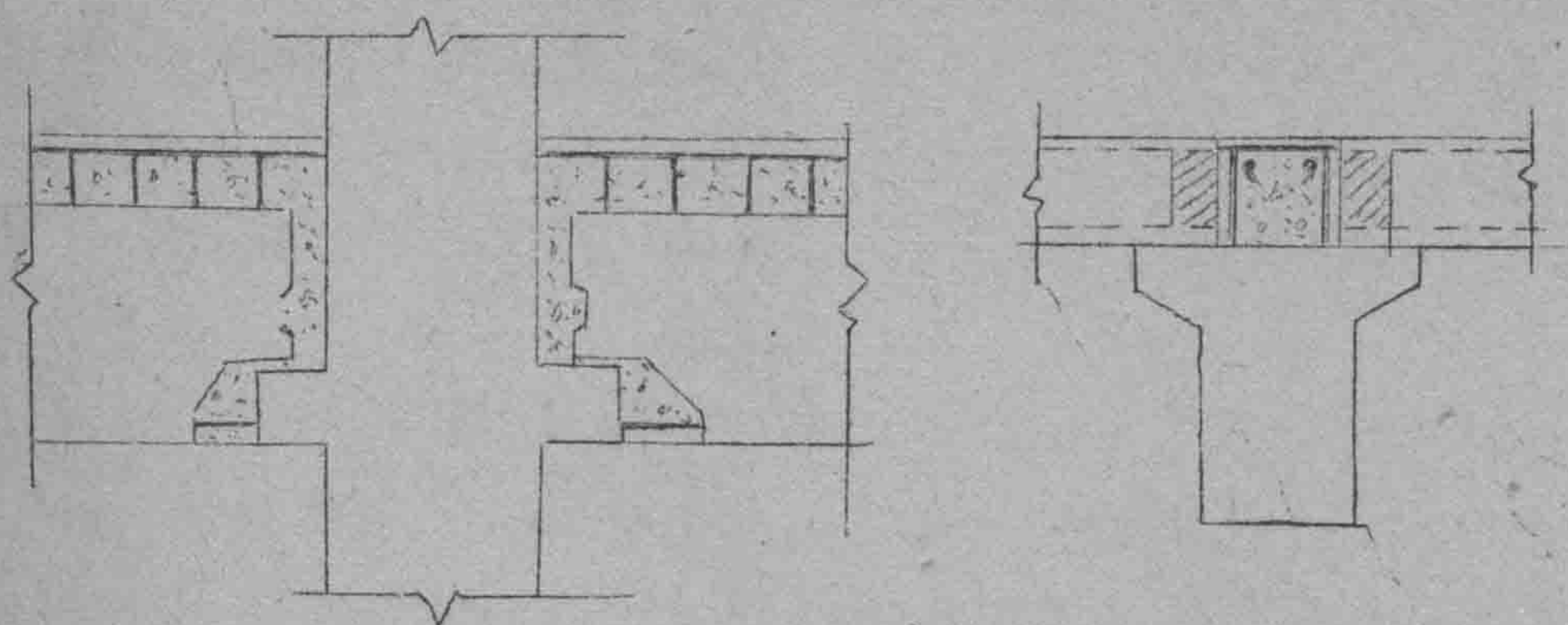
a) 现浇框架梁柱，板梁结点



b) 预制梁板，现浇柱的连接节点



c) 装配式梁，柱明牛腿板连接节点及柱与板节点



d) 装配式梁柱暗牛腿节点及混合式梁节点。

图 1-1 多层钢筋混凝土框架的几种类型

全现浇多层框架结构（见图 1-1(a)）主要优点是对施工无特殊要求，容易保证质量，对特殊尺寸构件及异形构件都容易实现，比较省钢，造价较低。但是耗费大量模板，现场作业量大，劳动力消耗多，寒冷季节需采取特殊养护措施。目前，除一些有特殊工艺要求无法实现标准化定型化的车间或塔架外，很少采用全现浇的框架结构。

全装配式框架最主要优点是可以采用工厂化，机械化施工，大大加快施工进度，缩短工期，比现浇框架缩短工期达 30~50%。又可以节约大量木材达 60% 左右。并可改善劳动条件节约劳动力 20% 左右。因此，从 60 年代开始，我国多层框架结构中装配式的比重愈来愈大，在设计及施工上都有很丰富的经验，图 1-1(c) 只是装配式节点中的一种形式。装配式结构要求设计定型化，标准化，减少构件类型，目前，我国各地都建立了为数很多的不同规模的预制构件厂，为实现装配化提供了有利条件。装配式多层框架的主要缺点是节点连接要求较高，工地焊接工作量大，节点连接容易形成薄弱环节，对抗震不利。装配式框架用钢量较大。从表 1-1 列出的某电厂除氧车间（二跨四层框架）采用现浇及装配两种方案的比较可以看到，由于装配式框架采用高标号砼，

梁柱构件的钢筋用量略少，但是为了保证厂房刚度，装配式结构增加支撑，增加节点连接用预埋件，总的用钢量是增加的。此外，由于需要吊装运输机械，施工费用较高，因而装配式结构的造价也较之较高。

表 1-1

	现 浇		装 配	
	用量 (t)	百分比	用量 (t)	百分比
钢 筋	566.9	100	539.8	95
金 属 结 构	107.7	100	132.7	130
预 埋 件	7.3	100	19.1	261
总 用 钢 量	681.9	100	698.6	118
水 泥 用 量	/	100	/	108

装配式整体式多层框架是指将预制梁板柱等构件通过局部现浇砼使之成为整体连接，如图 1-1 (a)，它的主要优点是构件间的连接都成为刚接节点，结构整体性强，抗震性能好。可以节省通过柱所需的大量钢板，但是增加了现场浇捣砼的工作。在地震区一般采用装配式整体式框架。

半现浇多层框架是采用现浇梁柱，预制板，或现浇柱，预制梁、预制板组成的框架结构（见图 1-1 (b)），由于楼板采用预制板，它比全现浇框架可节约模板 20%，由于现浇梁柱可节约接头用钢材，它又比全装配的可节约钢材约 20%，节约水泥约 20%，又便于施工，仅需最小型的吊装机械，特别是采用工具式模板施工现浇柱后，可以大大加快施工进度，节约模板，很受施工人员的欢迎。此外，节点构造可做成梁柱刚接，增强框架整体性，提高抗震能力因而广泛采用。

通过唐山地震后的调查表明，采用钢筋砼框架结构的多层建筑不论是现浇框架或装配式框架在 7°~8° 区域内都有良好的抗震性能，但必须注意对结构进行抗震设计、改进柱子的节点构造。

在地震区应将框架节点设计成刚接，因此采用现浇柱予制梁板的半装配方案或装配整体式方案较好。

对于一些装饰要求较高的建筑，应减小地震作用下的侧向变形，建议采用框架剪力墙结构。

对一些空旷的工业厂房，层高较大时，虽然层数不高，也应加剪力墙减小结构的侧移。

2. 内框架结构的优缺点及应用范围

内框架结构是指由钢筋混凝土内柱与砖砌外柱组成的框架结构，由框架及砖墙共同承受垂直荷载，而由砖砌横墙或山墙承受水平荷载，使整个房屋属于刚性方案。

内框架结构比起混合结构来，可以有较大的室内空间，便于布置设备及公共用房，易于满足使用要求，而它比起钢筋混凝土框架结构来可节约材料及降低造价。由于大多数地区的保温要求外墙具有一定厚度，利用外墙承重，可充分发挥维护结构的作用，省去钢筋混凝土外柱，因此节约钢筋水泥木材，造价也最低，并且便于施工，因此在一些中小型的多层厂房及公共建筑中常采用内框架结构。

图 1-2 是北京崇文旅馆的平面布置图，整个建筑分为三段，采用了不同的结构方案，都是 7 层，从这个例子可以看到结构布置方案和建筑使用的关系，并且对不同的结构方案作了经济比较。（表 1-2）

I 段是客房，使用上都分为小间，因此可以作成混合结构，横墙承重，其三材指标及造价都最省。II 段为门厅、营业室，要求空间大，因此采用予制构件框架结构，只在少数地方砌了隔墙，而且各层的隔墙位置也不必完全相同，使用上很灵活，但是从表 1-2 上可见，其三材指标及造价都是最高的。III 段底层为小吃部及支厅，上层为客房。这样就需要在底层作大房间，因此 III 段采用内框架结构，在上层砌砖隔墙。从表 1-2 可见，无论

是三材指标，还是造价，都介于框架结构和混合结构之间。

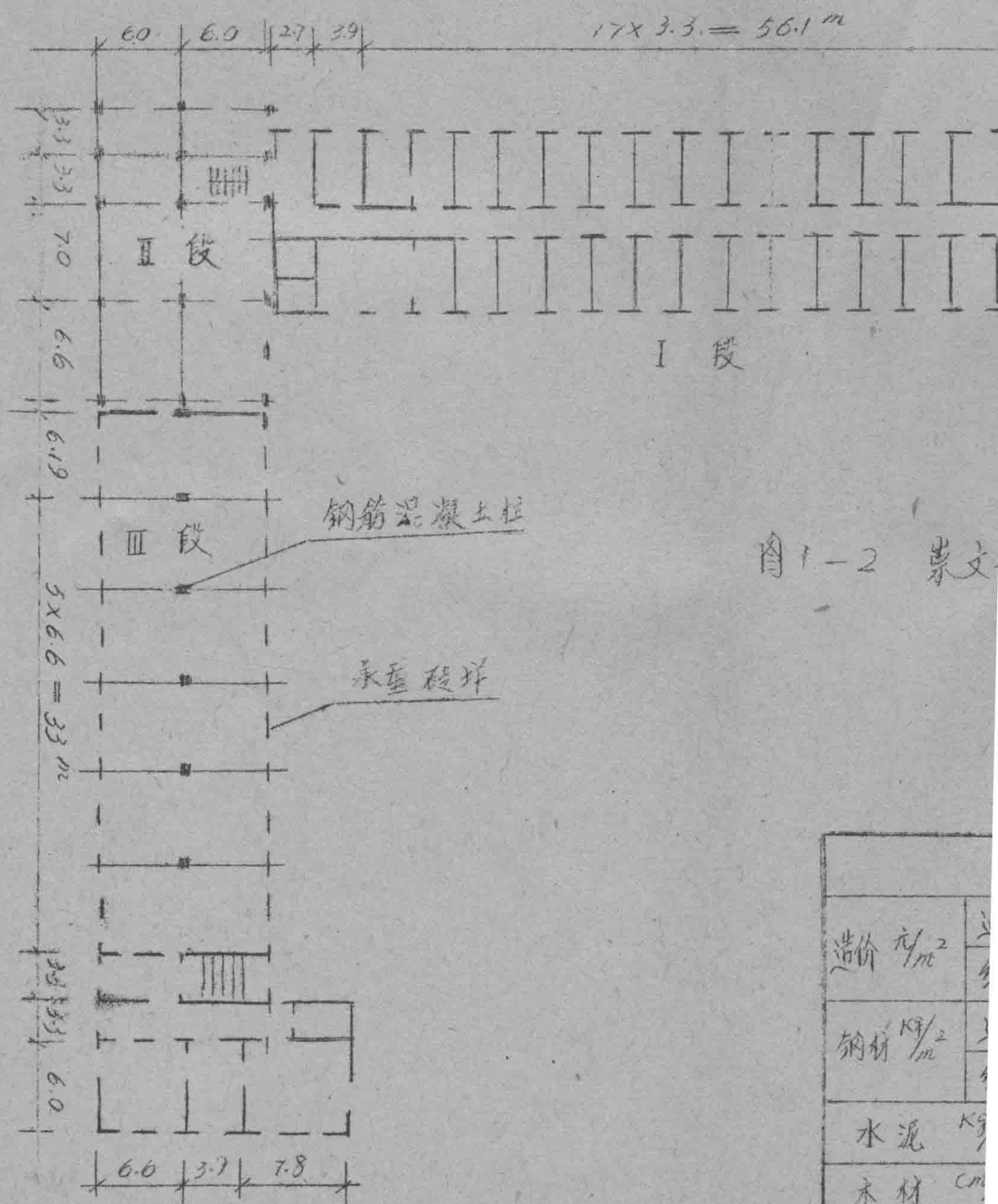
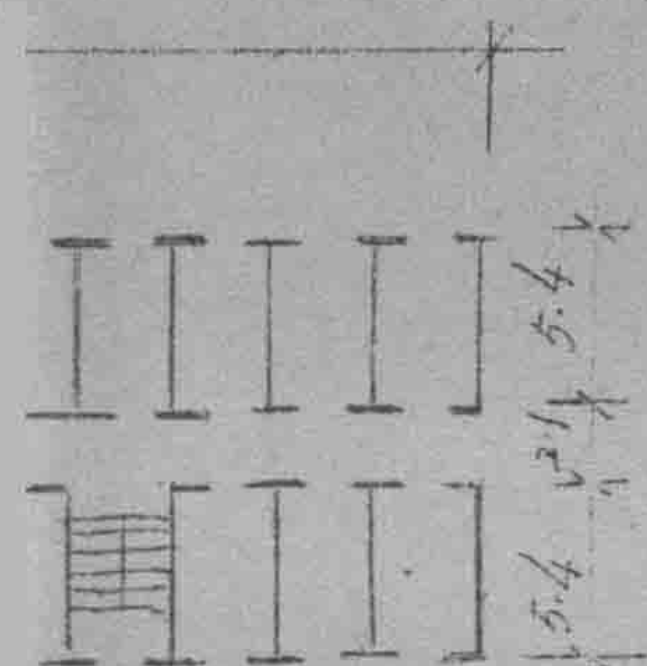


图 1-2 蒙文

造价	元/m ²	
钢材	kg/m ²	
水泥	kg	
木材	cm	
砖	块/m	



旅馆平面图

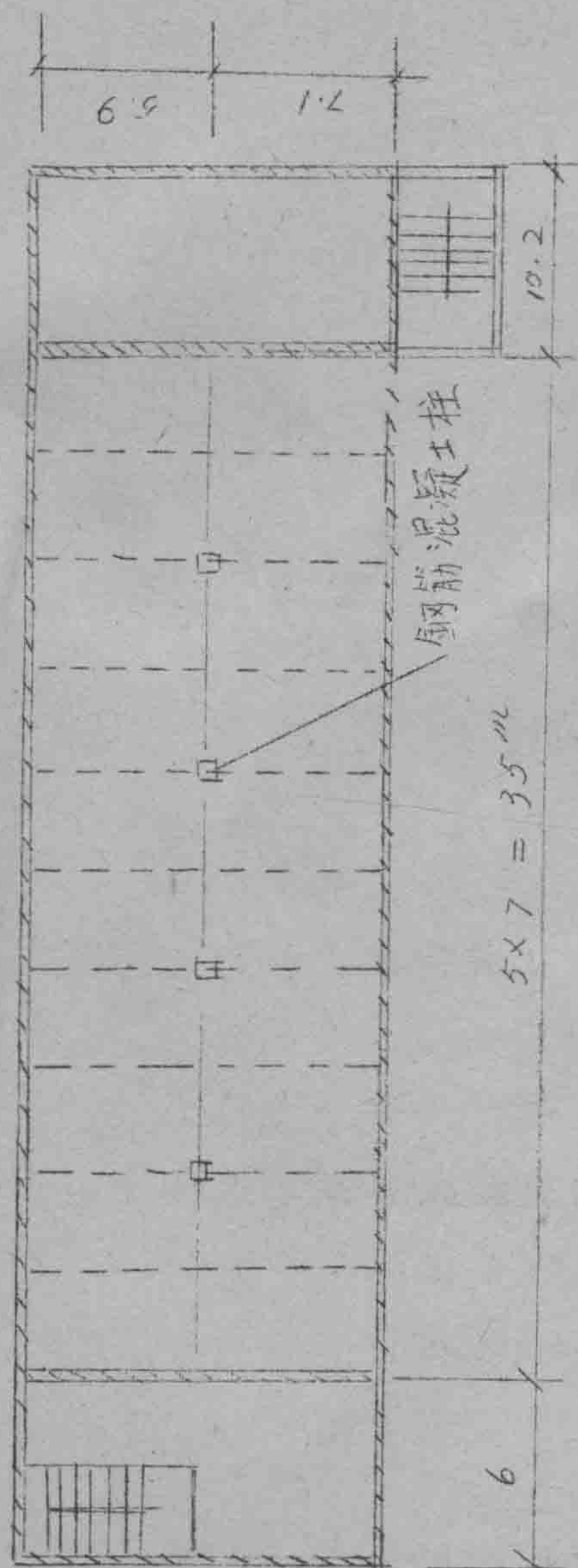
但是，内框架多层结构房屋的主要缺点是抗震性能差，因为砖墙与钢筋混凝土的材料不同，动力性能不同，地震时不能很好地协调一致的工作，砖墙刚度大，分配的地震力也大，但强度却很低，延伸性不好，在较小变形下就出现脆性破坏，破坏后地震力就转由柔性的钢筋混凝土柱承受，使钢筋混凝土柱也达到极限强度，最后整个房屋丧失承载能力，出现严重震害，甚至不如一般的多层混合结构。在唐山地震中可以看到，在地震烈度为9度、10度的区域内，内框架房屋大部分遭到严重破坏，在8度地区内，内框架房屋的震害也是比较严重的。例如天津轮胎厂再生胶厂房，是五层单排柱到顶的内框架厂房，地震时五层严重倒塌，四层也受到严重破坏。天津人民印刷厂面房（高17.4米）内框架厂房（见图1-3a）

表 1-2

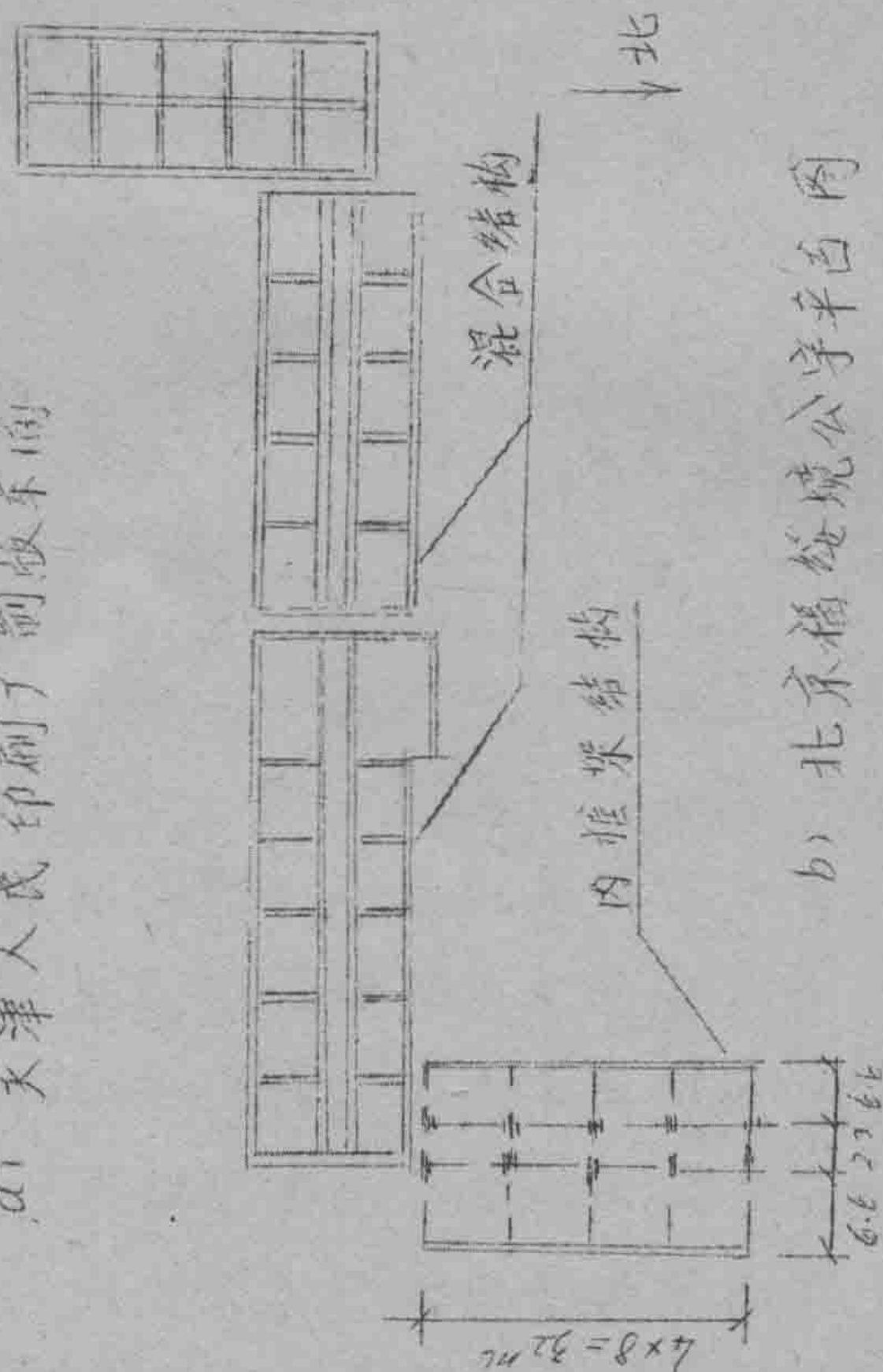
	I段(混合结构)	II段(预制框架)	III段(内框架结构)	平均
建筑	33.25	58.76	49.32	42.82
结构	36.17	72.30	52.75	47.27
建筑	0.90	0.96	0.76	0.85
结构	7.16	23.54	15.04	12.34
g/m^2	100	175	125	129
m/m^2 (抗震)	1.31	3.70	1.20	1.66
m^2	226	125	217	210

端开间为楼梯间，山墙及楼梯间横墙均有严重交叉裂缝并错位，纵墙窗台下都有水平裂缝，屋顶机房倒塌。就是在烈度为6度的区域内，内框架房屋的损坏程度也较其他结构为重，例如北京8层的福绥境公寓，见图1-3b，中段为双排柱到顶的内框架结构，山墙及内外纵墙都有明显裂缝，圈梁都被拉裂。而中段、西段为混合结构，並沒有明显震害。

当底层为内框架结构，上部为空旷砖房时，震害更为严重。



a) 天津人民印刷厂制版车间



b) 北京福绥境公寓平面图

图1-3 内框架多层房屋

因此，大多数人认为在高烈度地震区域内，不宜建造内框架房屋，在7度，8度区域内建造内框架房屋时，高度也应作限制，如表1-3。

表1-3

	7度	8度	9度
底层框架的砖房	16 ^m	13 ^m	8 ^m
多排柱内框架	16 ^m	13 ^m	8 ^m
单排柱内框架	15 ^m	12 ^m	4 ^m

此外，在地震区建造内框架房屋时还应采取一系列的措施如下：

i) 砖墙应经过抗震计算，承重横墙的间距不得超过表1-4的要求。

表1-4

	7度	8度	9度
现浇砼楼盖	18 ^m	15 ^m	11 ^m
装配式砼楼盖	18 ^m	11 ^m	7 ^m
木楼盖	11 ^m	7 ^m	4 ^m

ii) 抗震的横墙应尽可能少开洞，外纵墙的窗洞也不宜太大，应尽量加大窗间墙。

iii) 平面布置应对称，以避免扭转影响。

iv) 每层楼板应设置钢筋砼圈梁，并应加强楼板的整体性。

v) 外纵墙应加扶垛，并在纵墙中设组合柱。

vi) 不宜采用底层为内框架顶层为空旷砖房的结构方案，尽量不要采用单排柱内框架结构。

3. 升板结构的优缺点及适用范围：

升板结构是近几年来在我口迅速发展起来的，从受力体

系上说是属于板柱体系（现在也有采用梁板体系提升的），从施工方法上说是介于现浇砼与装配砼之间，其基础与柱子的施工方法类似装配式结构，而楼板屋面板则是垒块就地浇筑，垒块提升，它的施工顺序是：

基础——预制柱子——安装柱子——回填土做地坪——以地坪为台座逐合制作各层楼板——以柱子为提升骨架提升楼板——做板柱节点——做围护结构。

图1—4正是在提升楼板的状况。

升板法的主要优点是：

① 节约木材：由于利用地坪作楼板底模，采用叠合法生产，因此只需少量侧模，工地上几乎看不到木材，与现浇同类房屋相比，可节约木材95%以上。

② 压缩施工用地：现场不需堆放很多材料和设备，楼板就地制作，就地提升，占用场地最少，适合于城市改建和山区建设。

③ 提高现场机械化程度，节约大型机械，加快速度，利用现场作预制场，利用柱子作提升桅杆，采用小型千斤顶作提升设备，这样可以减少预制厂工作量，减少水平运输，除了吊装柱子以外，不需设大型吊装设备，并可利用升板本身作垂直运输，大号的高空作业均在工地内进行，减少了垂直运输，因此可以提高工效，与一般同类现浇结构相比，每立方米可节约2.5元，与装配式相比每立方米可节约0.3元。

升板结构的主要缺点是用钢量过大，由于楼板内需作提升环，板柱节点也较费钢，且楼板为四角支承，加大了内力，这些都使用钢量增大。几年来我口广大工人与技术人员曾经作了许多创新与改进，口外采用200公斤重的铸钢提升环，我口做过改进用型钢，小角钢桁架提升环，现已推广无型钢的提升环，大大节省了钢材；又如板柱节点，口外都用钢接头，耗钢量大，我口采用后浇砼柱帽节点，也大大节省了用钢量。但是目前升板结构的用钢指标仍然超过同类型的框架结构，见表1—5，此外，在提升过

程中，控制升差较困难楼板往往在提升过程中开裂。

表1-5

工程名称	结构形式	使用荷载 (t/m ²)	楼板拆模厚度 cm/m ²	用钢量 (Kg/m ²)	备注
医药仓库	无梁楼升板结构	1.5	20	23.3	后浇柱帽
漕宝路仓库	预制框架槽形板	"	15	20.8	
所升河仓库	现浇无梁楼盖	"	20	16.2	
××仓库	现浇框架预应力板	"	13	17.6	

升板结构中的楼板有三种形式：钢筋砼平板，密肋板和预应力板。钢筋砼平板制作简单，施工方便，但刚度较差，费钢，板厚不宜小于柱网边长尺寸的 $1/35$ ，通常适用于6米柱网。密肋板的优点是肋板间可用砼空盒或轻质填充材料填充，可加大肋高，节约用钢量，又可节省砼，适用于7~8米柱网。预应力砼平板由于预应力的作用，受力性能好，可减少板厚，节约钢材，比普通砼平板节约用钢30%左右，还可以加大楼板刚度，减少提升过程中的开裂，可用到9米左右的柱网。

由于升板结构在施工技术上的优越性，节约大量模板，口内外应用自广。口外升板结构主要用在民用建筑，而口内则在工业厂房和中小型公共建筑中发展很快。大量用于仓库，商场，轻工业车间，图书馆书库等建筑。它可以有比较大的使用空间，房屋平面规则，柱网整齐，楼面荷载较大也能适用。例如中口医药公司仓库，为三层钢筋砼升板结构，楼面活荷载达 $1.5 t/m^2$ 平面布置如图1-5，柱网 5.5×5.5 米，四週挑出1.5米作为夹道用，由于面积太大，划分为四个提升单元（如图中虚线所示），分别提升用1.5米宽现浇板带连成整体。板柱节点采用后浇柱帽，楼板厚18公分，屋面板厚15公分，柱断面 40×40 公分。又如某氮肥厂承索车间，虽然楼板开了很多孔，最大的孔为 2.3×1.9 米，楼板上设备最重到1.8吨，仍然可以采用升板法施工，现已造成。

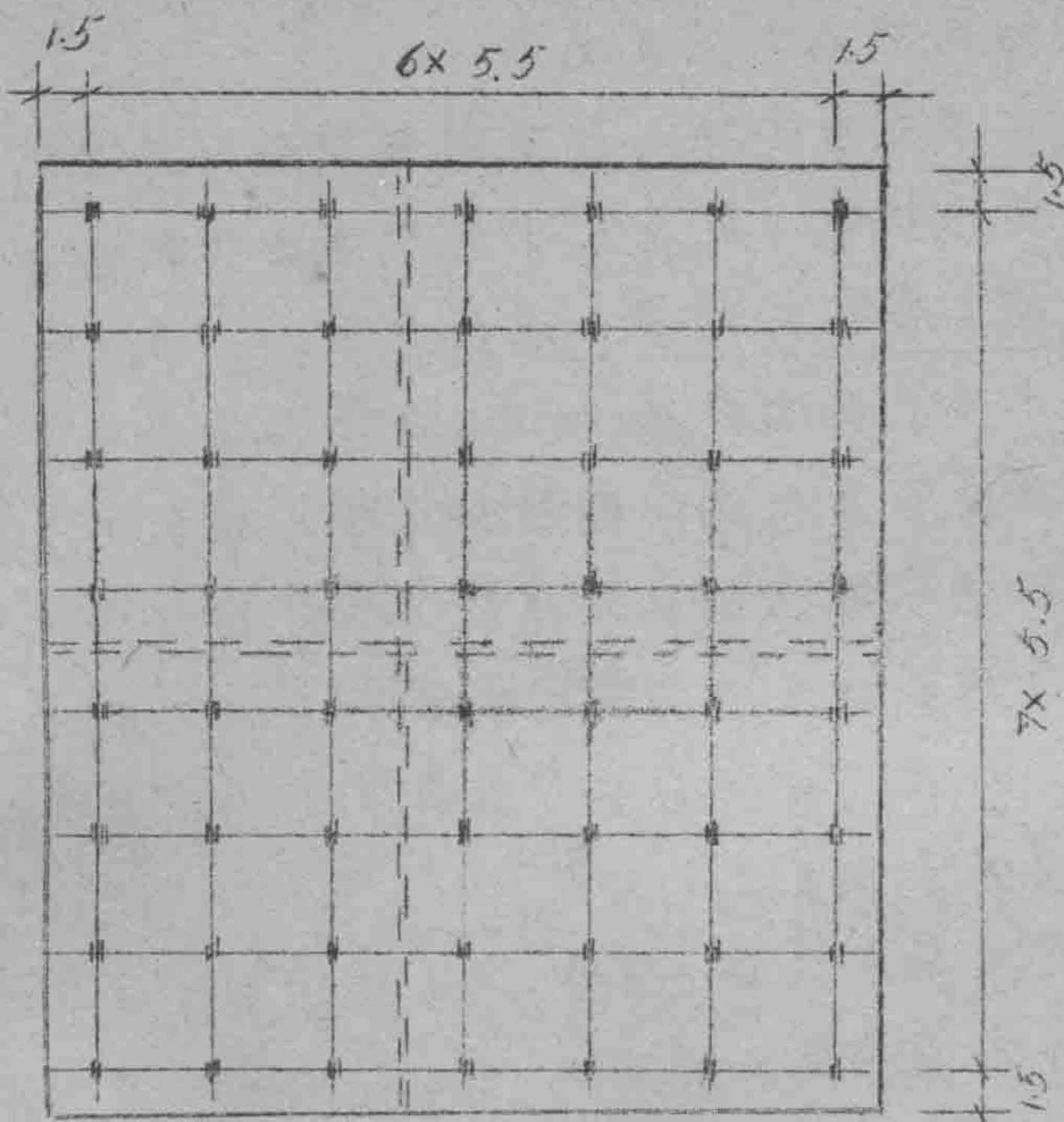


图 1-5

某医药公司仓库
平面图

(采用升板法施工)

但是由于过长的柱子的安装或补柱接长还有很多困难，较高层的建筑采用升板法会给设计和施工带来很多问题，例如 9424 厂某升板塔架，为 8 层结构，高 28.1 米，柱的截面为 3.8×4.5 米，柱断面 45×60 公分，这么高的柱子是采用滑模施工的，在制作柱子的过程中，为运送材料和工人操作，搭置了很大的脚手架，提升楼板时还要采取临时支撑增加柱子的稳定性，这样升板施工的优点也就不突出了，因此升板结构不能用于高层建筑，我国目前应用升板法施工的多数还是五层以下的建筑。

升板结构的抗震设计在过去是没有经验的，多数都未作抗震设计，但经过唐山地震，一些升板建的也经历了不同烈度的地震考验，通过调查表明，升板结构的主结构具有一定的抗震性能，在 8 度地震区板柱及节间均基本完好，但是维护墙及砖砌的楼梯间、电梯间却遭到不同程度的破坏，今后在升板建的中应不断积累经验进行抗震设计，设置必要的抗侧力结构，特别是要改进围护结构的设计，加强围护结构与主体结构连接。

体

4. 钢筋砼墙体结构的优缺点及适用范围

近年来在大房造造的民用住宅中，逐渐以钢筋砼墙体来代替砖砌墙体。主要原因一是用小块粘土砖盖房子很难采用机械化施工，劳动强度高，生产效率低，施工周期长，造价自率大，严重影响建筑工业化的发展，而且生产粘土砖往往要与农业争地，矛盾很大，因此迫切需要进行墙体改革。采用钢筋砼墙是墙体改革的一个重要途径。另一方面，砖砌墙体结构刚度大，而砌体抗拉抗剪强度低，在地震作用下容易遭到破坏，甚至完全倒塌，而钢筋砼墙体可以大大提高抗震性能。因此预计今后在大面广的居住建筑中钢筋砼墙体结构将得到更迅速的发展。

钢筋砼墙体结构与砖石混合结构一样，采用横墙承重方案。纵墙为自承重。一般5~6层住宅内墙常用14cm厚，可以采用普通砼或粉煤灰矿渣砼、火山灰砼或陶粒砼。外墙则由于保温要求，采用轻砼（陶粒砼、膨胀矿渣珠砼）或复合材料（砼基层贴加气块或其他保温材料）的墙体。

目前推广的钢筋砼墙体结构有预制装配大型墙板及大块模板或滑升模板施工的现浇砼墙体，或预制大板与现浇板相结合的墙体等多种类型。

(1) 预制装配大型墙板建筑：墙板、楼板等构件可以在工厂集中预制，也可以现场预制或现场和工厂预制相结合。一般是一个房间中一个内墙为一套墙板，重量为2到4吨。外墙板可事先作好外饰面并装上门窗以减少高空外装修作业，而由于预制板表面平整，室内墙面亦不用抹灰，只需要喷浆或贴墙纸，大大减少了湿作业。

大板的连接，一般采取预埋钢筋，互相搭接，用砂浆缝连成整体的方法。它的优点是大大提高了施工的工厂化，机械化程度，节约模板，节约劳动力，减少现场湿作业，缩短工期，受季节性的影响少。但缺点是需建立预制构件工厂，一次投资较大。且吊装