

建筑施工流水 网络计划方法

高 拯 詹锡奇 编著

中国建筑科学研究院建筑经济研究所

前 言

高 拯与詹锡奇两同志合著的《建筑工程流水网络计划方法》一书，是作者多年深入施工基层单位推广流水作业方法和网络计划技术，并结合建筑业实际研究新型计划方法取得初步经验的基础上进行撰写的。其中，流水网络计划方法和时间座标网络的画法与分析等部分内容，是两位同志近年从事研究和总结经验的成果。流水网络计划方法把五十年代末在美国首先出现的网络计划技术（即关键线路法）同我国建筑施工界推行多年的流水作业法有机地结合起来，既考虑到关键线路法统筹施工全局、抓关键工序、缩短工期等特点，又兼顾到建筑流水施工连续性和均衡性的特点，可谓“土洋结合”、“洋为中用”，称得上是中国式的新型网络计划技术。这是我国建筑科学工作者在科研、教学与生产相结合的实践中创造、发展起来的一项重要的科研成果。1981年初，詹锡奇同志在《武汉建材学院学报》发表的论文，很快被“中国科技文摘”（香港英文版期刊）介绍；在此同时，高 拯同志先后在总后施工部队、新疆、四川、西安等地介绍和试验流水网络计划方法，深受这些地区建筑界的欢迎。这都说明，流水网络计划方法已引起国内外同行的重视。

1981年初开始，流水网络计划方法已陆续在实际工程中试用，总后五九二四一部队首先应用这种方法编了十多个工程的施工计划。尤其是七、八月间编排的一批“难点工程”的计划，取得十分理想的效果，明显地表现出流水网络方法的作用和优点，引起各方面的注意。该部队各级人员一致肯定了这一方法的优点，一位负责同志在视察了这些工程之后，对所采用的新型计划方法作了很高的评价。他认为这是 至今最适应需要、最受基层欢迎、简单易学、形象直观的科学方法。他还说，流水网络方法结合实际、很能解决问题，应当全面推广。从1982年开始，该部队已把应用流水网络方法列为计划工作的重要制度。

去年，在全国建筑业推广统筹法经验交流会上，我与高、詹二位同志不期而遇，了解到流水网络方法的试验情况。主持会议的江景波同志和我本人都很支持这一方法的研究和试验，并希望他们两位进一步合作，写一本具有中国特色的网络计划技术的书。会议期间，我们共同拟定了全书的章节要点，并讨论了部分内容的写法。其后，本人在新疆又以通讯方式与作者继续交换意见。现在这本书已脱稿，文字写得通俗，内容由浅入深、循序渐进，理论联系实际，很适合建筑业各级管理人员的需要，也可供中等技术人员自学和土建专业学生参考。这本书的编写又是以多次举办学习班的讲课内容为基础的，因此，从事这方面专业的技术干部办学习班，以它为教材尤其合适。

《建筑工程流水网络计划方法》的出版，将为建筑业各级管理人员提供一本内容比较系统，文字通俗，也比较适应实际需要的计划技术书籍。无疑，对我国建筑业发展科学管理、提高计划工作水平必将起到一定的推动作用。

最近，我来京参加讲课，作者把完稿并准备出版的喜讯相告，并嘱作前言，不禁感慨交集。为了祝贺此书的完成问世，仅在此略说几句。

田名誉 1982年7月16日

于北京

目 录

前 言

第一章：建筑施工与施工计划	(1)
第一节：建筑生产	(1)
第二节：建筑生产计划	(2)
第三节：建筑施工计划方法的沿革	(3)
第二章：流水施工基本原理	(6)
第一节：流水施工的基本概念	(6)
第二节：施工过程的分解	(7)
第三节：流水段的划分	(9)
第四节：流水施工的分类	(12)
第五节：流水施工的基本参数	(16)
第六节：流水施工工期的计算	(17)
第三章：流水施工基本原理的应用	(26)
第一节：流水施工的合理组织	(26)
第二节：竖向流水	(29)
第三节：立体交叉和平行流水	(37)
第四节：用流水工期计算公式编制单位工程进度计划	(40)
第五节：建筑流水施工节奏性的技术经济效果	(43)
第四章：网络计划的基本技术	(47)
第一节：网络计划方法的基本概念	(47)
第二节：网络图的画法	(52)
第三节：网络计划的时间参数及其计算	(61)
第四节：图算法	(66)
第五节：表算法	(70)
第六节：电算	(74)
第七节：非肯定型网络	(77)
第五章：建筑工程施工计划网络	(83)
第一节：建筑生产中的网络计划方法	(83)
第二节：建筑施工计划网络图的分类与形式	(86)
第三节：时间座标网络的画法与分析	(94)
第四节：调整网络计划的简易方法	(102)
第六章：流水网络计划方法	(111)
第一节：流水网络的基本形式	(111)
第二节：时距的分类与计算	(114)
第三节：流水网络在施工计划中的应用	(117)
第四节：时间座标流水网络	(121)

第一章 建筑施工与施工计划

第一节： 建筑生产

建筑生产与国民经济的其他部门发生着密切的关系，可以说是千丝万缕、无所不及。不但如此，而且它自身的生产过程也是相当复杂的，特别是它的最终产品的完成需很长的生产周期。它动用了大量的资金、劳动力、材料和机械设备。又要根据不同的工程对象和具体的施工条件，采用各种施工方法。所以人们往往把组织一个工程对象（单个建筑物或一个建筑群）的施工比喻为组织一次战役，需要精心策划，运筹帷幄。

随着建筑生产工业化过程的发展，现代建筑生产与若干年前的建筑生产已经发生了较大的变化。工厂化程度提高了，大量的建筑构件在工厂进行预制，现场结构安装要求更高。机械化程度提高了，各种施工机械减轻了工人劳动强度，但工种间的制约关系更突出。标准化程度提高了，对大规模的建筑群施工的节奏性要求很高。总之，建筑生产的许多方面在向大工业生产的方式转化，但是，建筑生产本身仍然保持着它的固有的特点。

（一）建筑工程施工产品具有多样性。

大工业生产通常是一个工厂以有限的品种为对象，产品品种少，而批量大。生产线比较固定。但建筑施工的最终产品是一幢或一群建筑物、构筑物。它们由于使用功能多样化的要求，设计者对建筑物的艺术表现手法的不同，造成产品多样化。一个施工单位在同一个施工期内所承建的工程类型多。所以，它相对于工厂的生产任务来说产品花色多而生产批量小。组织施工生产复杂而多变，很难象工业生产那样组织简单而固定的生产线。即使标准化设计在不同的施工现场，具有不同的地质条件，它们的基础或者地下建筑部分也会有很大的不同。建筑物常常是具有艺术欣赏的价值，所以千篇一律会使人趣味索然。因此，建筑产品的多样化的特性是不会改变的。

（二）在建筑工程施工中，现场作业的施工人员随着产品的位置变化而流动。

大工业生产中生产工人的位置基本是固定在工段或机床上，而产品则是流动的。由于工件在加工线上流动，所以运输过程的组织较简单。而建筑最终产品的位置是一个特定的施工现场，在整个生产组织的过程中，施工工人、原材料、半成品、建筑构件、施工机具都是向最终产品的所在地流动。因此对建筑最终产品的施工组织在时间空间关系上的处理相当复杂。即使工厂化程度的提高可以简化施工现场的生产过程，但是生产过程的流动性和最终产品位置的固定性是不会改变的。

（三）建筑工程施工的单个产品体形庞大，生产的空间大，时间长。生产过程不仅在平面上展开，而且还有立体交叉

大工业生产在每个生产加工工段通常都是单一的零配件，一般只有到达总装配阶段才形成一个整体。各个工段之间只有工件的交接而没有人流的交叉。而建筑施工则与之不同。往往从施工对象动工伊始就要把劳动力、原材料、半成品分阶段地投入装配。加工段和总装配都在一个地点，造成了加工工序多工种的立体交叉，人流、材料流遍及现场，错综复杂。工序、工作面都受到了一定的限制，组织施工比较复杂。即使工厂化程度极大地提高，它也不能使现场变为工厂，现场“总装配”的特性是不会改变的。

(四) 建筑工程施工是以露天作业为主的，受气候及地理环境的影响较大，干扰因素较多。

大工业生产多数是室内作业，极少受到气候影响，生产进行比较稳定。但建筑施工大量在露天作业，不可避免地要受到气候、季节的影响。纵然事先已经作了充分的考虑，也不得不在“天有不测风云”时，对原有计划作较大的调整，从而给组织施工带来麻烦。即使工厂化程度的提高可以大幅度减少现场作业，它也只能减少气候环境的干扰而不能完全排除气候环境的影响。

从以上的特点，我们可以看到建筑生产过程的顺利完成需要有科学的施工组织的方法与安排计划的方法。否则就会使大量的劳动力、生产资料和资金停滞在生产过程之中，甚至造成质量事故、安全事故，导致施工中断，不能取得应有的经济效果和使用效益。

第二节： 建筑生产计划

计划工作对加强施工组织、管理，提高劳动生产率、降低工程成本无疑是十分重要的。在建筑企业管理和工程施工组织中涉及到的计划工作是非常广泛的，而各种计划之间又是互有联系、相辅相成的。归结起来，在建筑企业主要的计划工作有三个方面。

一、在工程对象施工之前的施工准备阶段，要以工程项目为对象编制施工组织设计。以施工组织设计作为指导施工的重要文件之一。在施工组织设计中解决好施工部署或施工方案的选择、技术组织措施以及施工准备工作的安排；以施工进度计划具体反映施工部署或施工方案时间上的展开过程；以施工平面图具体反映施工部署或施工方案、各特定的施工阶段在空间上的展开过程。通过施工进度计划的设计，找出施工过程中的关键，提出各种资源的需要量计划，努力保证全局，力求做到均衡施工。从图 I—1 可以看出施工组织设计中各项内容之间的关系和施工进度计划所处的重要位置。

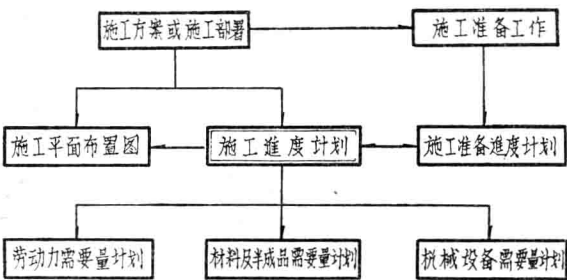
二、建筑企业为了完成国家基本建设投资计划和上级主管部门下达的计划指标，要编制施工生产计划。这些生产计划分别是年度生产计划、季度生产计划和月度生产计划。

年度生产计划的重点是制订实现国家基本建设计划的技术组织措施，提出全体职工全年奋斗的目标，并向下级单位分配年度的生产任务。

月度生产计划是生产单位的实施性计划，它依据上级下达的各项计划指标，通过对各项工程对象的形象施工进度度的具体安排，对单位内部的各种资源进行综合平衡，最后确定本月份的施工生产任务，以此指导本单位内部工人的施工作业。

季度生产计划则是将年度生产计划分阶段地具体到月度生产计划的桥梁。主要是用以控制月度作业计划的编制，指导分阶段的施工准备，为完成各个月度计划创造条件。

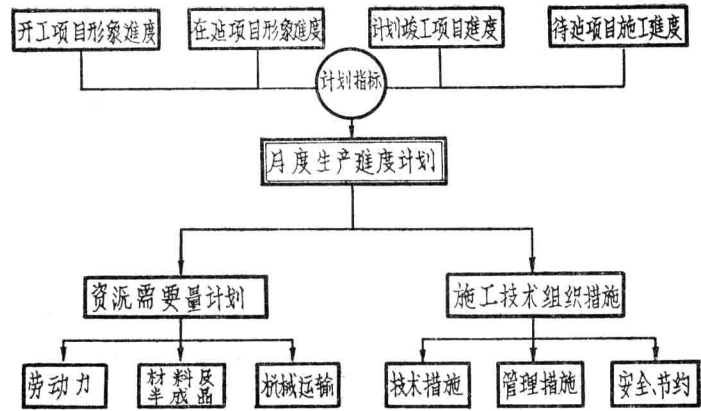
就我国目前的现状，由于计划体制尚处在改革的过程中，旧的计划体制不能正常地编制年度生产计划及发挥其应有的作用。故月度生产计划的编制和贯彻就成为企业计划管理的重点。而在月度生产计划中，以单位工程项目的形象施工进度为要求编制的开工项目、竣工项目和在建项目的综合进度计划则是月度生产计划的核心。从图 I--2 可以看出月度施工生产



(图 I—1)

计划的重要地位。

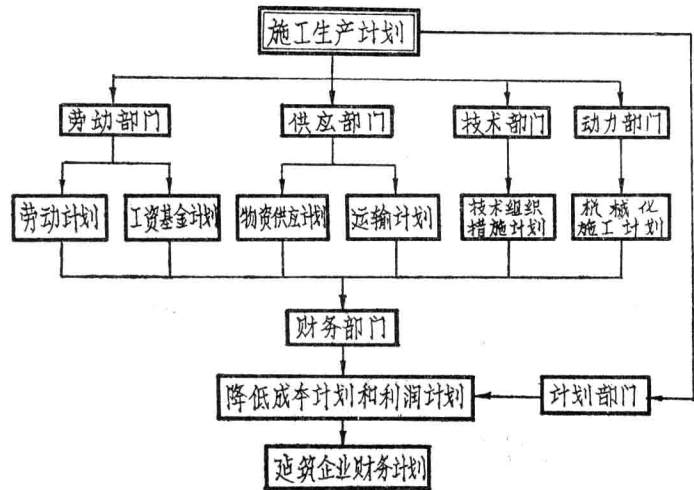
三、建筑企业为了加强经济管理，促进增产节约，挖掘企业潜力，巩固经济核算制，要编制建筑企业财务计划。它是以货币量度反映企业经济活动的综合计划。它的编制的重要依据则是施工生产计划。在企业内部，无论哪一个职能部门的专业计划都有赖于施工生产计划，而各个职能部门的专业计划又都汇集到财务部门综合汇总成建筑企业财务计划。所以在建筑企业中，人们把施工生产计划比喻为“龙头”，它是企业中各项计划的大纲。从图 I—3 可以看到生产进度计划的重要地位。



(图 I—2)

综上所述，无论是以单位工程为对象编制的工程最终完成的单目标的施工进度计划，还是以多个工程项目为对象在同一个施工期内，以不同形象进度的多目标的施工生产计划，在建筑企业的计划管理中都占有十分重要的地位。因此，对计划的编制要求做到：

- (1) 在施工任务执行之前就应将计划定下来，因此要求及时快速；
- (2) 计划的内容要准确地反映工作对象、工作数量、执行时间、执行者之间的互相制约和依存的关系；



(图 I—3)

间、执行者之间的互相制约和依存的关系；

- (3) 统观全局、抓住关键、预见潜力、留有余地。计划的制订者、领导者和执行者都有一个共同的明确的目标；
- (4) 对一切需要动用和可以动用的资源（人力、材料、半成品、机械和资金等）要抓住主要矛盾进行综合平衡；
- (5) 长计划和上一级计划要能切实控制短计划和下一级计划的编制和执行，短计划和下一级计划要确保长计划和上一级计划的实现。把长计划和短计划，上一级计划和下一级计划组成一个严密的计划体系；
- (6) 计划在贯彻执行中要有严肃性，不允许人为地、盲目地随意变更，当情况发生变化时要有灵活性，要便于科学地进行调整。

第三节： 建筑施工计划方法的沿革

长期以来，在建筑施工中，人们习惯使用的传统的计划方法是本世纪初美国人L. H.

Gantt创立的条形图的计划方法。计划以条形图的形式表现称为甘特图或横道图。(图 I—4a) 这种图把工作内容和工作时间的关系用若干起点一致的平行数轴的形式表现出来, 编制起来比较简单, 便于单项工作计划执行者识读。但是各个工序间的逻辑关系不明确, 不容易发现相关工作之间可能出现的逻辑错误, 故总体的合理性难以评定。比较适用于轮廓性的进度计划或工序和项目比较简单的工程。由于编制方法简单, 图形清晰易看, 所以八十年来, 这种方法仍然受到许多人的欢迎。

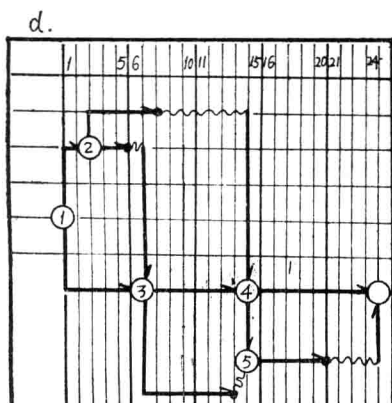
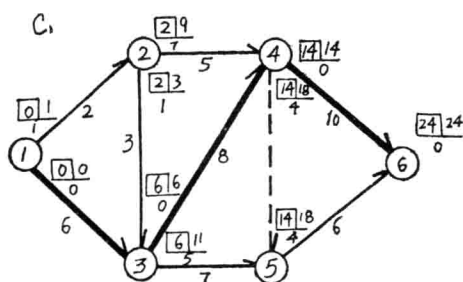
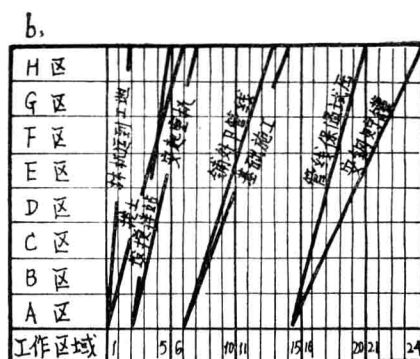
苏联是世界上建筑施工组织研究最早的国家, 从四十年代起, 研究流水施工理论及施工进度计划设计中, 广泛地采用了垂直图表的形式。(图 I—4b)。

这种图把工作内容放在一个由时间轴线和空间轴线构成的一个垂直坐标中去表现。由于时间和空间的对应关系构成了速度, 所以这种图又称“流速图”。用流速图编制计划, 也比较简单、直观。它比较容易发现相关工序之间的逻辑错误。但是由于工作内容在流速图中不便于与文字对照, 工序的进度线发生空间上的交叉不便于识读。故多在计划研究及计划设计时或在工序不多的线性工程中采用, 而常常还是将已经设计好的流速图改用横道图的形式表示。

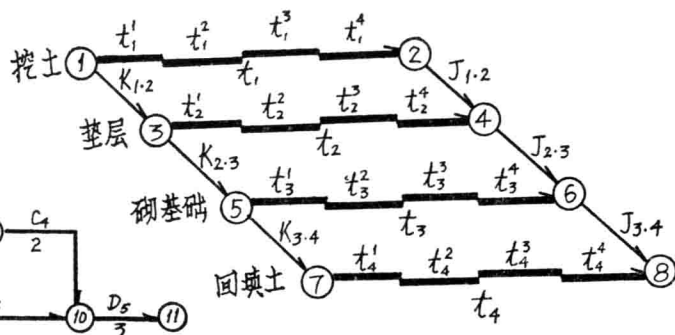
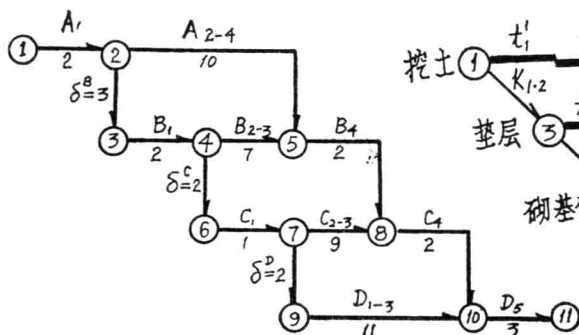
1956年至1957年, 美国杜邦化学公司研究创立了关键线路方法——CPM (Critical Path Method), 并试用于一个化学工程上, 使该工程提前二个月完成, 1958年美国海军特种计划局研究了主要用于计划与控制工程进度度的计划协调技术——PERT (Program Evaluation and Review Technique), 并用于北极星导弹的研制上, 对约一万一千个企业的管理工作进行了控制, 使北极星导弹比原计划提前二~三年研制成功。六十年代初期 CPM/PERT 方法在美国得到了推广, 一切新建工程全面采用了这种计划管理新方法, 举世闻名的美国“阿波罗”载人登月计划, 有四十二万人参加, 耗资四百亿美元, 就是利用这种方法进行计划、组织与管理的。在这一时期, CPM/PERT 开始引入日本、苏联及西欧其他国家。我国也正是在这一时期引入和推广这一新方法的。这种方法以系统工程的观念, 运用网络的形式, 来设计和表达一项计划中的各个工作的先后顺序和相互关系——逻辑关系。通过计算找到关键线路和关键工作, 不断改善网络计划, 选择最优的方案付诸实施(图 I—4c) 由于这种方法是建立在网络模型基础之上的, 主要用于进行计划和控制管理, 因此, 统称为网络计划技术。我国华罗庚教授将此归纳为“统筹方法”。近二十年来, 各种网络技术方法都是在 CPM/PERT 方法的基础上派生出来和发展起来的。(例如搭接网络计划技术, 决策网络计划技术, 图形评价技术等等)。

我们建筑业在推广应用网络计划技术中, 广泛地采用时间座标网络计划方式(图 I—4d), 取网络计划逻辑关系明确和条形图清晰易看之长, 使网络计划技术更为适合广大工程技术人员的使用要求。近几年又有人提出了与“时间座标网络”相类似的方法, 称为“新横道图计划方法”(图 I—4e)。

1980年起, 我国建筑业在推广网络计划技术的实践中, 针对建筑流水施工的特点及其在应用网络技术方面存在的问题, 提出了“流水网络计划方法”(图 I—5 和图 I—6), 并于1981年开始在实际工程中进行试点, 取得了较好的效果, 也提出了一系列新的课题, 有待我们进一步探索和研究。



(图 I-4)



(图 I-5) 流水网络之一

(图 I-6) 流水网络二

第二章 流水施工基本原理

第一节：流水施工的基本概念

流水作业是一种组织生产的方法。从工场手工业的形成到大工业生产的现代化，它随着生产分工协作的发展，而不断地改进提高。

流水作业的生产方式，在各个工业部门应用的深度和广度，除了与这些部门的专业化、机械化、自动化程度和现代化管理水平有着密切的关系，还与这些部门生产本身的技术经济特点有关。

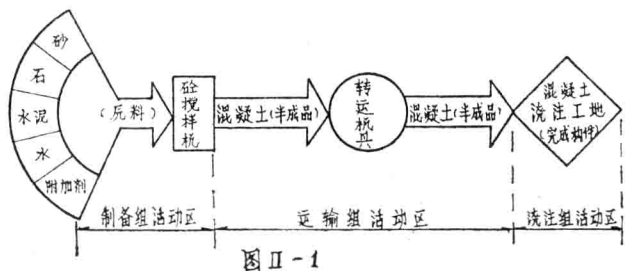
就世界范围来看，建筑业应用流水作业是比较晚的，始于二十世纪二十年代中期。至四十年代才得到较为广泛的应用。而在我国，直到解放以后，才开始普遍采用流水作业方法组织建筑工程的施工。

生产实践已证明流水作业是提高劳动生产率的有效途径之一。它是以减少非生产性的劳动消耗、提高操作工效可达到增加产品生产的重要手段。

关于流水作业，马克思在《资本论》中有过这样的描述，它可以使我们对流水作业有一个确切的、透彻的认识。他说：“工场手工业分工通过手工业活动的分解，劳动工具的专门化，局部工人的形成以及局部工人在一个总机构中的分组和结合，造成了社会生产过程的质的划分和量的比例，从而创立了社会劳动的一定的组织，这样就同时发展了新的、社会的劳动生产力。”〔1〕

“每一台局部机器依次把原料供给下一台，由于所有局部机器都同时动作，产品就不断地处于自己形成过程的各个阶段，不断地从一个生产阶段转到另一个生产阶段。……在有组织的机器体系中，各局部机器之间不断地交接工作，也在各局部机器的数目、规模和速度之间造成一定的比例。结合工作机现在成了各种单个工作和各组工作机的有组织的体系。结合工作机所完成的整个过程越是连续不断，即原料从整个过程的最初阶段转到最后阶段的中断越少，……结合工作机就越完善。……在发达的工厂中，起支配作用的是各特殊过程的连续性。”〔2〕

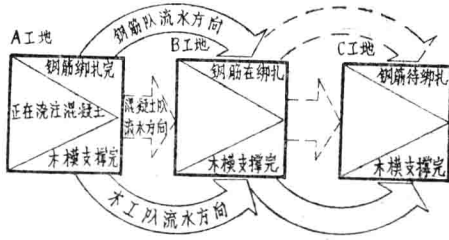
这里所说的“原料”是指原料或半成品，“结合工作机”也就是现代称谓的生产流水线。可见流水作业的重要含义就是工人（或机械）的连续操作和生产过程的不间断。而这两者是以合理的专业分工、按比例的人员（或机械）的协调配合为前提的。象这样的流水作业，在大工业生产的发达的工厂中比比皆是。在建筑施工现场也还是常常可见的。例如，混凝土的制备至浇注的过程就非常类似（图Ⅱ-1）。



〔2〕马克思：《资本论》1卷417页（1975年版）

〔1〕马克思：《资本论》第1卷401页（1975年版）

作为原料的砂、石、水泥、水和附加剂以及半成品（也视为原料）的混凝土经历了各个生产阶段（制备，运输，浇注）的机械操作。如果要使其流水作业过程得以连续不断，除了保证原料的充分供给外，各个生产阶段都需要按机械的生产能力、运输过程的长短，按恰当的比例配备劳动力和机具。然而，如果我们把这个生产过程延伸扩展开来，成为钢筋混凝土构件的生产，混凝土的浇注与钢筋绑扎、木模架设成为一个生产的全过程（图Ⅱ—2），那末，我们还可以看到以下的事实：



（图Ⅱ—2）

（1）在浇注混凝土以前，某个加工地点必须事先完成钢筋的绑扎和模板的安装。因此，混凝土的生产过程的流水作业仅仅作为一组“工作机”的组合，它在工程对象的施工过程中仅仅只是局部的流水生产线，并不构成钢筋混凝土构件的生产体系。因此，在建筑工程施工中是由许多这样的局部的流水生产线组成的、范围大大地扩大了流水作业。

（2）局部的流水生产线在一定的时间内，只服务于某一个加工产品的所在地，经过一段时间以后，它要作局部的转移（浇注混凝土的工程对象变了，在一个工地内由一处转向另一处），最终还要作全部的转移（由一个工地转向另一个工地）。

因此，建筑生产流水作业的特点既与大工业生产的流水作业有相同之处，但又有别于大工业生产的流水作业。

其相同之处是：

- （1）整个建筑施工过程要分解为各个独立的又相互衔接的生产过程（或称施工阶段）；
- （2）专业分工、固定作业是流水作业的重要前提；
- （3）各个专业工作队组（或专用机械）连续作业。

其不同之处是：

- （1）专业工作队组的阶段产品加工地点的转移构成了工作队组和原材料的同流性；
- （2）各个专业工作队组人员的数量相对稳定与加工对象的不稳定，构成了工作队组在各个加工对象上的操作时间的变化；
- （3）在一个加工地点的一个施工阶段，通常只能有一个专业施工队进行操作，故各个工作队必须是按工艺过程的先后，顺序地相隔一定的时间进入加工地点作业。为了保证各个专业工作队都能不间断地作业，因而把工程对象划分为各个区段，是必不可少的。

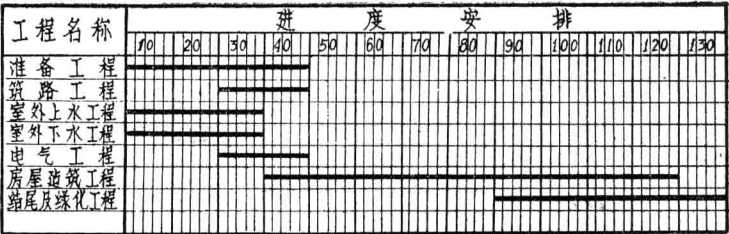
综上所述，流水施工实质上就是对工程对象施工的总生产过程的分解、劳动者的分工和各个分解的施工过程的搭接与节奏性为基础的连续施工和均衡施工的方法。

它的核心是要求施工生产的全过程做到连续地、均衡地消耗资源（人力、材料及机械），以达到连续地、均衡地出产品。

第二节： 施工过程的分解

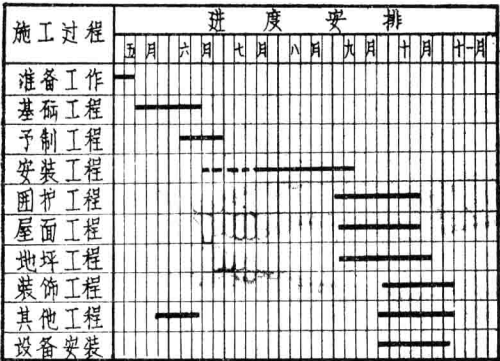
在建筑工程施工中采用流水作业的方法，首先要把施工对象按施工发展的阶段或采用专业工种的不同分解成若干个施工过程。这些施工过程，根据组织流水范围的大小和工种分细的程度，可以是专业工程、分部工程、分项工程和工序、根据施工过程分解深度的不同、编制的流水施工计划，则具有不同的作用。

组织一个居住建筑的小区建设或一个大中型工矿企业建设的流水施工时，往往把建设的项目按工程专业的性质、类别分解成各个专业工程，例如房屋建筑工程、道路工程、给水工程、排水工程、电气工程、暖通工程、绿化工程等等。在各个专业工程之间组织流水施工。（图Ⅱ—3）。



（图Ⅱ—3）

组织一个专业工程（例如房屋建筑工程）的流水施工时，往往按专业工程对象的各个工程部位（或施工阶段）分解成若干个分部工程。例如房屋建筑工程的基础工程、主体结构安装工程、装修工程、屋面工程等等。对各个分部工程的施工过程组织流水施工，由于各个分部工程是由多种工种去完成的，因此，分部工程间的流水具有较强的综合性（图Ⅱ—4）。

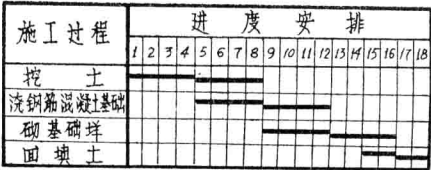


（图Ⅱ—4）

上述两者施工过程的分解比较粗，因此，据此分解深度编制的流水施工计划，具有指导性的作用。

组织一个分部工程（例如基础工程）的流水施工时，往往按分项工程的施工顺序分解成若干个分项工程。例如挖土、浇注钢筋混凝土基础、砌筑基础墙、回填土等等。对各个分项工程组织流水施工。其中某些分项是由多种工种实现的，因此还有一定程度的综合性。但由于分项较细，可以指出各个分项工程的施工顺序。据此分解深度编制的流水施工计划具有控制作用。（图Ⅱ—5）

组织某些多工种综合施工过程的分项工程（例如钢筋混凝土基础施工）的流水施工时，往往按专业工种不同，将这些分项工程分解成若干个由专业工种施工的分项，例如立木模，扎钢筋，浇注混凝土等等，对这些单一施工过程的分项组织流水施工。此时，施工过程的分解最为彻底，每个分项都具有独立性，彼此之间又具有依附性（或制约）。据此分解深度编制的流水施工计划具有实施作用。（图Ⅱ—6）



（图Ⅱ—5）

组织某些多工种综合施工过程的分项工程（例如钢筋混凝土基础施工）的流水施工时，往往按专业工种不同，将这些分项工程分解成若干个由专业工种施工的分项，例如立木模，扎钢筋，浇注混凝土等等，对这些单一施工过程的分项组织流水施工。此时，施工过程的分解最为彻底，每个分项都具有独立性，彼此之间又具有依附性（或制约）。据此分解深度编制的流水施工计划具有实施作用。（图Ⅱ—6）

建筑工程施工可以分解为各种各样不同工艺特征的施工过程。实践已经告诉我们，并非所有施工过程都必需组织流水作业，只有那些对工程施工进程有直接影响的施工过程才组入流水施工。这样才有利于缩短工期和全工地的劳动力、材料、机械的综合平衡。因此，分析施工过程的工艺特征是十分必要的。

分解后的施工过程可以分为四大类。

第一类，安装、浇注和砌筑过程。它们是主要施工过程。它们直接构成了工程对象的形

体。例如砌筑混凝土基础、浇注钢筋混凝土框架、吊装屋盖、内外墙的装修、屋面防水层施工等等。这一类施工过程对工程施工的工期有直接的影响，必须以它们为主，组织流水施工。

第二类，加工和制备过程。工业化、工厂化施工提供了在施工现场之外进行加工制备建筑半成品的有利条件。例如混凝土砂浆的调制、钢筋的成型、模板的配置、门窗的加工、钢筋混凝土

构件的预制等，可以在加工厂制作。因而可以做到不占施工现场和不影响工程工期。但是，当加工制备过程必须在施工现场进行时，它就直接影响到工程的进程。例如大型钢筋混凝土构件的现场制作、大型钢结构网架的分件组装等，它就成为主要的施工过程了。

第三类，运输过程。相对于建筑施工现场的内部和外部，运输过程分为场外运输和场内运输。前者把建筑材料及其制品、半成品运入现场中转仓库（或堆场）；后者把建材制品、半成品由现场中转仓库（或堆场）转运到施工操作地点。场内运输由于它依附于主要施工过程开展，例如砌砖时的运砖，浇注混凝土时的运混凝土等等，它们没有独立性，因此不作为单独的施工过程组入流水施工，而应归入相应的主要施工过程。场外运输，由于在时间、空间上应变的范围比较大，故一般也不作为单独的施工过程组入流水施工。但是，当在施工现场没有设置中间转运仓库时或者现场暂存位置有限时，它就归入相应的主要施工过程。（例如装配式构件的随运随吊），或者作为一个单一的施工过程组入主要施工过程的流水施工（例如多层装配式构件的分层进场）。

第四类，土方和脚手架架设过程。土方开挖和脚手架架设都具有竖向展开的工艺特性，但是它们和主要施工过程不同，并不构成工程对象的本身，然而又和加工制备过程不同，它们必须在施工现场进行。在时间和空间的展开上与相应的主要施工过程密切相关，当和主要施工过程交替展开时，则归入主要施工过程，例如砌墙和脚手架并在一起，作为一个综合过程，现浇框架结构中的钢筋绑扎和模板架设并在一起作为一个综合过程。当它作为主要施工过程的前导施工过程时，则可作为单一的施工过程，组入流水作业，例如粉刷的专用脚手与粉刷，大面积基础混凝土浇注前的架空马道搭设。

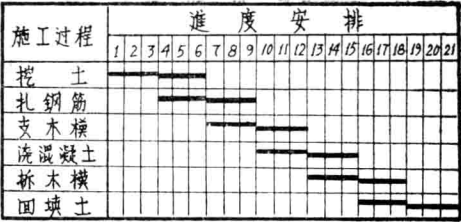
第三节：流水段的划分

在建筑工程施工中采用流水作业方法，必须把施工对象划分成各个相对独立的区段。划分成各个工作区段的意义在于使各个专业工作队在空间上发生转移时，有明确的分界。以便它们各自的后继专业工作队可以适时地进入前导施工过程已完的工作区段作业。因此，我们把这一种进行流水作业的施工区域称为流水段。图Ⅱ—7就是用两种图表的形式表示的某铁路沿线中转装配式单层仓库划分流水段施工的进展计划形式。

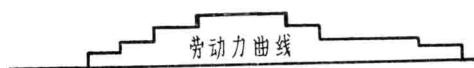
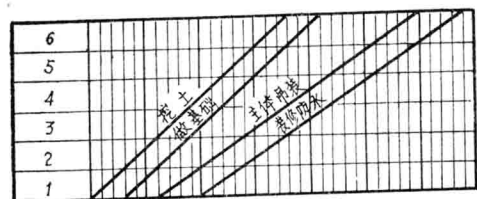
划分流水段是流水施工的重要原则之一。如果不划分流水段进行建筑施工，将会发生怎样的情况呢？如以某工程依此施工（图Ⅱ—8）为例，可见

（1）在建筑群施工时，必然单一工种全面铺开，战线拉得很长，不可能分期分批地将工程对象交付使用。从而延缓了基本建设投资的周转，是非常不经济的。

（2）各个专业施工过程的工作面空闲多，不能被充分利用。工作面的闲置，实际上增加了相邻工作的间隔时间，必须拖长工期。如果要充分利用工作面，则施工力量的成倍增加



（图Ⅱ—6）

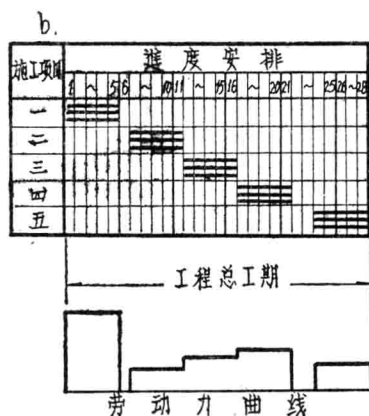
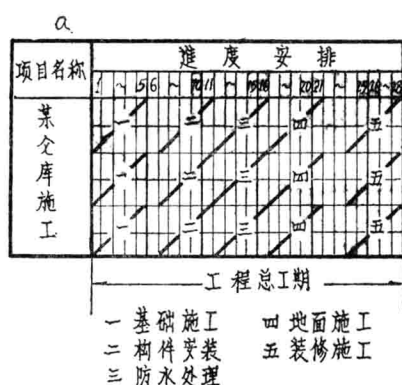


(图 II-7)

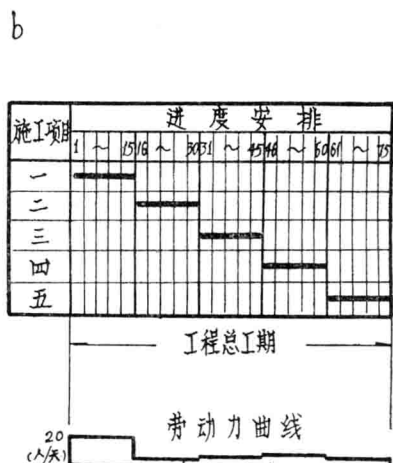
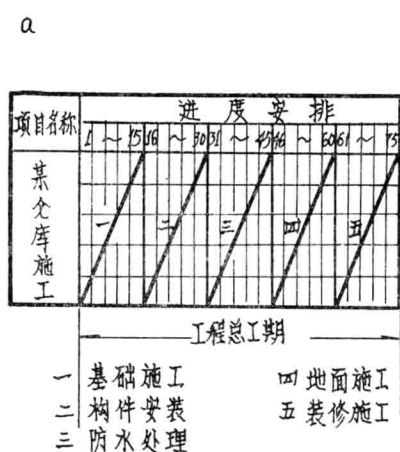
而工程费用也增加了。这就是图 II-9 展示的情况。

(3) 只有在独立的、小型的、施工过程简单的工程对象上, 不便于划分流水段时才采用这种依次作业的方式。

现在再以划分流水段以后的流水施工与依次施工作一比较, 可以明显地看出: 在各专业施工队人数都不增加的情况下, 由于后继专业施工队不等前导专业施工队全部撤出, 它们就可以进入规定的流水段。于是①整个工程的工期缩短了; ②工程可以分批竣工交付使用; ③工作面的空闲被消除了。



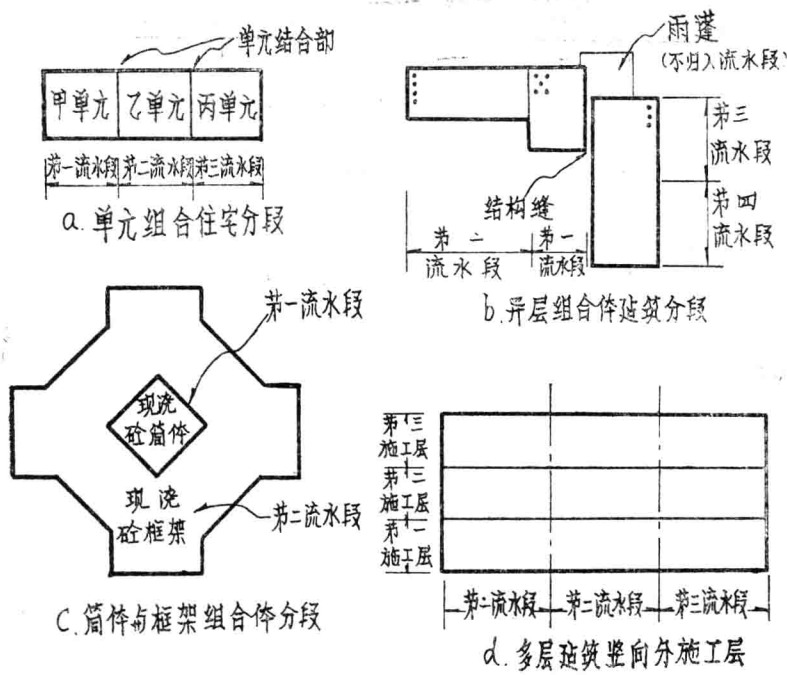
(图 II-8)



(图 II-9)

如何划流水段？

(1) 单个建筑物划流水段时，其流水段分界应和工程对象的结构分界取得一致。
横向划分，应与工程结构的沉降缝、伸缩缝、单元体或结构特征变异结合部相吻合。



(图 II—10)

竖向划分，多层与高耸建筑一般以楼层为分界。图 II—10d。

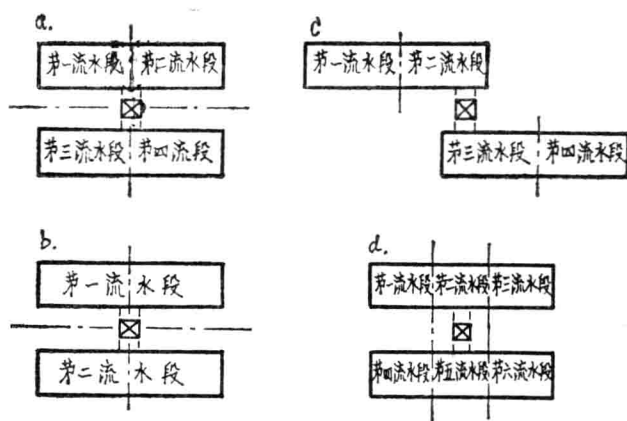
(2) 建筑群划流水段时，其分界一般应考虑主要施工过程的专业工作队能获得最理想的工作面（即能充分利用而同时不降低工效的工作面），将建筑群内所有的工作对象划分或组合成若干个流水段（图 II—11）。



(图 II—11)

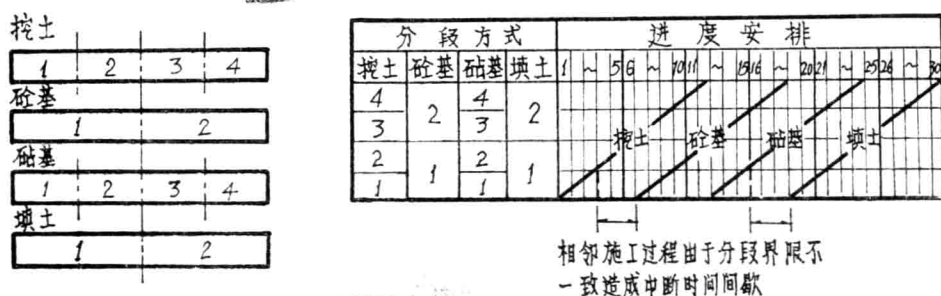
(3) 线性工程（如道路、管线、围墙等）、可用其中主要施工过程的工程量为平衡条件，按工程的长度比例分段。不影响全线工程施工的沿线中间的构筑物则可不包含在流水段之内。

(4) 采用非行走机构的垂直运动及安装机具时。划流水段的界限不应超越机具服务的工作范围（图 II—12）。



a、b: 固定垂直运输设备时流水段正确的划分方式。 c、d: 固定垂直运输设备时流水段错误的划分方式。
(图 II—12)

(5) 尽可能采用固定分段的方式, 对所有施工过程都采用一致的流水段分界。在各个施工过程间采用频繁变化的流水段分界, 将会造成相邻的施工过程间中断时间的增加, 延长了工期 (图 II—13)。



(图 II—13)

(6) 为了使流水作业达到比较理想的境界 (即均衡性、连续性都很好), 流水段划分时, 应使各个流水段的劳动量尽可能相等或接近相等。

(7) 在竖向展开的流水施工中, 流水段数目的多少与参与流水的施工过程的数目有很重要的关系。关于这一点将在后文涉及。

第四节: 流水施工的分类

工程对象的范围有大有小, 项目有多有少, 结构特点各色各样, 施工条件或差或好, 计划要求的深度可粗可细。因此流水施工的类型也就有好多种。

科学地对流水施工进行分类, 有助于我们把握各类流水施工的实质, 以及按实际情况决定采用何种流水, 还可以注意如何使我们组织的流水施工取得较好的技术经济效益。

苏联 M. C. 布德尼科夫, П. И. 聂达夫尼和 B. И. 雷巴耳斯基提出的几种分类方法是值得我们借鉴的。图 II—14 是流水施工分类的示意图。

一、按照施工流水的范围分类

流水施工范围的大小, 工程项目的多少是决定工程对象施工期限的重要依据之一。施工

工期愈长，执行计划时未来的变化因素就愈多，因此范围越大的工程，施工项目越多，编制流水施工计划就可以粗略些。一般来说，能够达到指导编制下一级计划的程度就可以了。反之，流水施工范围越小，如工程对象仅仅是一幢建筑物或一个分部工程，则其范围小，工期短，编制的计划就具有实施性，因此流水施工计划就要编得细致些。

按照施工流水的范围分类，一般分为下列三类。

（1）专业流水

专业流水的产品是各个专业队组共同完成的工程对象的各个施工区段组成的分部工程。例如，基础工程，主体结构工程，装修工程等等。本章第二节图 II—5 所示就是一个基础工程的专业流水。

（2）工程项目流水

工程项目流水是由各个专业流水组成的。因此它的产品就是由这些专业流水共同完成的工程项目。例如一幢建筑物，一个构筑物或一条道路等等。本章第二节图 II—4 所示就是一幢二层民用住宅的工程项目流水。

（3）综合流水

综合流水是由工程对象中所有工程项目组成的流水，它的范围甚为广泛，例如本章第二节图 II—3 所示的就是一个住宅小区建设的综合流水。

由上述分类特征可见，在组织流水施工中专业流水是最基本的流水。无论那一级的流水，尽管有了一定的计划，但最终还是要靠专业流水去实现。当然，专业流水必须在上一级的流水计划的指导下去编制和执行才行。本书在论述流水施工基本理论及其计算方法时，立足于专业流水，以期收到触类旁通的学习效果。

二、按照施工过程分解的深度分类

施工过程的分解是流水施工的重要原则之一。无论何种建筑工程，都是可以不断地分解。一般所指的分解深度应以到达工序为限。经过分解以后的各个施工过程间，在劳动力的数量上有一个恰当的比例，才有助于整个流水过程的展开。而这种比例又是受到建筑工程结构的特征决定的。由于各个施工过程间的劳动量消耗的比例有时非常悬殊，如果所有的施工过程都作彻底分解，反而会使工程施工发生困难。因此，有一些施工过程的彻底分解是受到限制的。这些施工过程就成为包括多个工种的综合过程。

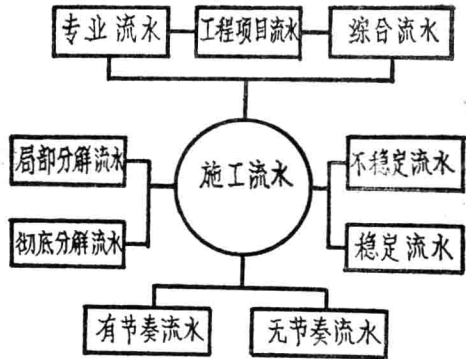
按照施工过程分解的深度分类可分为彻底分解流水和局部分解流水。

（1）彻底分解流水

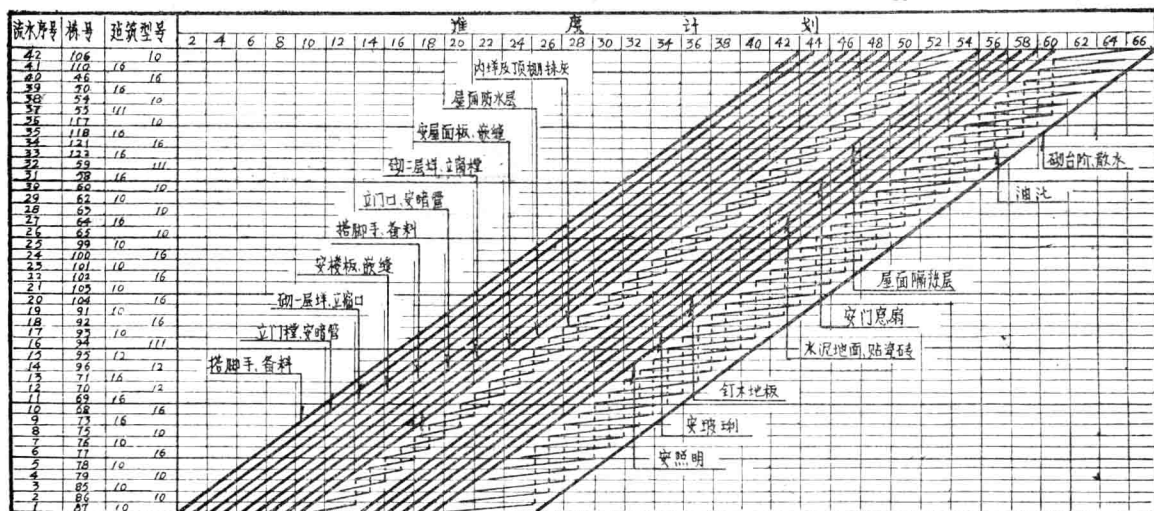
彻底分解流水中的各个施工过程都是单一工种完成的过程。因此专业化程度高，工人操作熟练、施工进度快，工程质量易于保证。特别宜于组织大批量的标准化、工业化、装配化的建筑群的长时间的流水施工。图 II—15 就是一个长期的彻底分解流水。

（2）局部分解流水

某些工程项目不能全部分解为单一施工过程。由单一的和综合的施工过程组成的流水施



（图 II—14）



(图 II-15)

工是局部分解流水。例如在施工期限比较短的装配式结构工程中的部分现浇结合部，在混合结构工程中的部分现浇梁等，这些施工过程中的木工、钢筋工和混凝土工的劳动量都较少，如果组织流水作业时过分强调了彻底分解，工人人数就可能少到难于施工的程度。因此，这些施工过程就不进行彻底的分解，于是就成了局部分解的流水，本章第二节图 II-5 就是局部分解流水的一例。

由上述分类可见从分解的程度表现了提高专业化程度，可以提高劳动生产率。彻底分解的流水是比较理想的施工流水，但是局部分解流水绝不是完全不能采用，在工期较短的、非定型的、个别的工程项目组织流水施工时，或在编制控制性的计划时，还是常常用到的。

三、按照施工流水发展程度分类

流水施工的特点是资源消耗和产品出产的均衡性和连续性，也就是资源强度要相对地稳定。所谓资源强度就是指单位时间内某种资源的消耗量。例如每天需要的劳动力是多少人，每天需要的砂、石或水泥等等是多少数量。由于每个施工阶段消耗资源的多样性，用个别的单种资源的强度是不足以全面反映施工流水的均衡连续特性。但是各种资源由于种类繁多也难于全部综合表现施工流水的均衡连续特性。因而通常以主要资源消耗的连续均衡情况来反映施工流水的连续均衡特性。这种特性，把它称为施工流水的稳定性。图 II-16 用垂直图表展现了三个不同的施工流水，它们施工流水的稳定性是不一样的。

(1) 稳定的流水 (图 II-16a)

稳定的流水分为三个时期①流水展开期；②流水稳定期；③流水收缩期。在流水展开期，所有施工过程，陆续地在各个流水段展开。在流水稳定期，所有施工过程都在各自的流水段上进行，直至开始形成可以交付使用的第一个产品。流水稳定期越长，相应带来的效果是资源强度越均衡，由于从流水稳定期开始就可以不断提供已完成工程，故而施工流水稳定期越长越好（必须指出，这与无限制拉长战线，延长单位建筑产品的施工周期的做法是不同的）。至流水收缩期，各个施工过程相继退出施工流水，直至施工流水全部完结。