

GAODENGJI

GONGLU

LUJI

LUMIAN

SHIGONG

JISHU

高等级公路 路基路面施工技术

■ 胡长顺 黄辉华 编著

■ 王秉纲 审校

人民交通出版社



高等级公路 路基路面施工技术

Gaodengji Gonglu
Luji Lumian shigong Jishu

胡长顺 黄辉华 编著
王秉纲 审校

人民交通出版社

(京)新登字 091 号

内 容 提 要

《高等级公路路基路面施工技术》是一本系统论述高等级公路路基路面施工技术方面的著作,内容包括施工组织管理与质量控制、施工机械、恢复定线技术、路基施工技术、基层(底基层)施工技术、沥青路面施工技术、水泥混凝土路面施工技术。

本书内容丰富新颖,系统全面,理论联系实际,具有较强的操作性,照顾到不同层次的读者需求,使用时可根据需要选择。本书是正在从事或准备从事高等级公路施工、管理以及监理等技术人员的参考用书,既可作为高等级公路施工与监理人员的培训教材,也可作为公路与城市道路、机场工程、公路工程管理等专业大学学生的参考教材。

高等级公路路基路面施工技术

胡长顺 黄辉华 编著

王秉纲 审校

插图设计:秦海 正文设计:崔凤莲 责任校对:梁秀清

人民交通出版社出版发行

(北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

北京顺义牛栏山印刷厂印刷

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 15.875 字数: 406 千

1994年10月 第1版

1994年10月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—5460册 定价: 16.20元

ISBN 7-114-01956-4

U · 01301

前 言

在我国，高等级公路建设方兴未艾，总结和探索高等级公路路基路面施工中的技术问题，对加快我国公路建设步伐，提高工程质量、节约投资具有十分重要的现实意义。近年来，我们在举办监理工程师培训班、高等级公路施工技术研讨班时，工程技术人员常提出有关高等级公路路基路面施工技术方面的问题：常用施工机械的类型有哪些？如何进行机械选型与配套？怎样运用全站仪恢复定线？如何选择公路软土处理方案？山区路基如何进行施工？填石路基的压实质量怎样判定？二灰稳定类材料的早期强度不足时，怎样处理？沥青路面面层施工质量缺陷的原因及解决途径有哪些？高等级公路水泥混凝土路面施工的关键技术是什么？等等。近年来在参加几条国道干线高等级公路工程监理工作中也常遇到同样的问题。针对以上这些具体问题，我们查阅了大量的国内外有关资料，发现国内至今尚无一本系统论述高等级公路路基路面施工技术的书。为此，我们结合工程实际及国内外最新研究成果，编写此书，以满足广大读者的需要。

编写中，力求系统性、实用性。书中在论述上述问题的同时，介绍了施工组织管理、质量控制与施工监理等方面的基本知识。为扩大读者视野，书中还介绍了灰色系统、专家系统在管理工作中的应用，国外施工机械发展动向、复合式路面修筑等技术。

在编写此书过程中，西安公路学院院长、博士生导师王秉纲教授提供了大量的参考资料，对写作大纲及书稿进行了多次详细审阅，并对书稿亲笔进行了修正、补充和润色。在此，我们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中缺点和错误在所难免，望请国内外同行专家不吝赐教，批评指正。

胡长顺 黄辉华

目 录

第一章 施工组织管理与质量控制	1
第一节 施工组织设计与管理	1
一、施工组织设计.....	1
二、施工组织设计的实施.....	2
第二节 施工网络计划技术.....	4
一、网络图的基本概念.....	4
二、网络图的编制.....	6
三、网络图的计算.....	9
四、关键路线	10
五、网络优化	12
第三节 质量管理的一般方法	14
一、质量因素分析方法	14
二、质量控制与评价的一般方法	15
三、质量控制中的专家系统	22
第四节 质量管理中的灰色系统方法	22
一、质量因素灰色关联分析	23
二、灰色评价方法	25
第五节 公路工程施工监理概要	27
一、施工监理的依据和机构	27
二、施工监理的基本内容	28
三、施工监理工作的阶段划分	30
第二章 施工机械	31
第一节 铲土运输机械	31
一、推土机	31
二、铲运机	34
三、平地机	37
第二节 挖掘机与装载机	39

一、挖掘机	39
二、装载机	41
第三节 工程运输车辆	43
一、工程运输车辆的类型	43
二、运输车辆的生产率计算	44
三、运输车辆需要量的计算	44
第四节 压实机械	47
一、压实机械的分类	47
二、使用范围	48
三、几种压实机械简介	51
四、碾压机械的生产率计算	54
五、碾压机械的主要技术性能	54
第五节 半刚性基层材料拌和机械	57
一、路拌机械	58
二、厂拌设备	58
三、两类拌和机械的比选	60
第六节 沥青路面施工主导机械	60
一、沥青混合料拌和设备	61
二、沥青混合料摊铺设备	67
第七节 水泥混凝土路面施工主导机械	71
一、拌和设备	72
二、摊铺成型设备	74
第八节 施工机械选型的一般原则	77
一、选择机械的一般原则	77
二、机械组合的原则	78
三、选择机械的方法	79
四、施工机械需要量的计算	79
第三章 恢复定线技术	80
第一节 导线复测技术	80
一、坐标方位角推算	80
二、坐标增量计算	81
三、角度闭合差调整	81
四、坐标增量闭合差调整	82
五、算例	82

第二节 恢复中线的传统方法	85
一、缓和曲线段的测设	86
二、圆曲线段的测设	86
第三节 恢复中线的坐标放线法	88
一、原理	88
二、计算方法	88
第四节 全站仪简介	93
一、基本结构和配件	93
二、基本操作方法	94
第四章 路基施工技术	97
第一节 路基土方施工	97
一、路基土的分类与分级	97
二、路堤基底处理	97
三、填料的选择	102
四、路堤填筑方式	102
五、桥涵等构造物处的填筑	103
六、路堑开挖方式	105
七、土方机械作业	105
第二节 路基压实	110
一、影响压实效果的主要因素	110
二、路基压实标准	111
三、压实方法	112
四、压实质量控制与检查	113
第三节 软土地基路基施工	114
一、概述	114
二、软土地基的加固措施与施工	116
第四节 山区路基施工	121
一、深挖路堑的边坡坡度与形状	121
二、岩石的开挖方法	122
三、高填路堤	126
四、填石路堤	126
五、路基排水措施	127
六、路基坡面防护	129
七、岸坡冲刷防护	131

八、挡土墙	133
第五章 基层（底基层）施工技术	137
第一节 半刚性基层材料的强度形成原理及缩裂特性	138
一、强度形成原理	138
二、半刚性基层材料的缩裂特性	141
第二节 半刚性基层材料的要求及组成设计	141
一、对原材料的一般要求	141
二、混合料配合比设计的一般原则与试验项目	143
三、半刚性基层材料组成设计的现行方法	144
四、无机结合料稳定粒料类材料组成设计新法	146
五、二灰稳定类材料的早强问题	147
第三节 半刚性基层施工	148
一、修筑试验路段	148
二、半刚性基层的大面积施工	148
三、施工中应注意的几个问题	150
第四节 粒料类基层（底基层）施工技术	151
一、粒料类基层强度形成原理	151
二、级配碎石基层的材料要求	152
三、级配碎石基层的施工	152
第五节 质量控制与验收	154
一、施工质量控制	154
二、检查验收	156
三、质量控制与验收中几个问题的探讨	157
第六章 沥青路面施工技术	159
第一节 沥青混合料的强度机理及材料要求	159
一、沥青混合料的分类	159
二、强度机理	159
三、材料的基本要求	161
第二节 沥青混合料组成设计	165
一、组成设计的目标	165
二、混合料的组成设计	167
三、抗滑表层的材料组成设计	172
第三节 施工前的准备工作	173
一、确定料源及进场材料的质量检验	173

二、拌和设备的选型及场地布置	175
三、施工机械检查	176
四、修筑试验段	177
第四节 沥青混合料的拌和与运输	178
一、拌和与运输的一般要求	178
二、拌和与运输的生产组织	179
三、拌和质量检测	180
四、沥青混合料生产实例	181
第五节 沥青混合料摊铺技术	184
一、摊铺沥青混合料的一般要求	184
二、准备工作	184
三、摊铺机参数的调整与选择	185
四、摊铺机作业	188
五、自动找平装置的运用	190
六、摊铺过程的质量检验及缺陷分析	192
第六节 沥青混合料的压实技术	195
一、碾压机械的选型与组合	195
二、压实作业的程序及一般要求	197
三、接茬处的碾压	198
四、特殊路段的碾压	199
五、提高压实质量的关键技术	199
六、压实质量的检测	201
第七节 沥青面层施工质量控制与验收	202
一、国内外沥青路面质量检测方法简介	202
二、我国沥青路面施工质量控制及验收的基本内容	203
第七章 水泥混凝土路面施工技术	206
第一节 材料要求与混合料组成设计	206
一、对水泥混凝土的基本要求	206
二、混凝土组成材料的要求	207
三、接缝材料要求	211
四、钢筋	213
五、混凝土配合比设计	213
第二节 轨道式摊铺机施工	217
一、施工准备工作	217

二、机械选型和配套	218
三、拌和与运输	219
四、混凝土的摊铺与振捣	220
五、表面修整	222
六、养生	222
七、接缝施工	223
八、特殊季节施工中应注意的问题	224
九、提高表面功能的技术措施	226
第三节 滑模式摊铺机施工	226
一、施工工艺	226
二、施工实例	227
三、问题讨论	230
第四节 质量控制与验收	230
一、质量控制与验收中的检测内容及测试方法	231
二、外观检查与竣工验收标准	232
第五节 碾压混凝土(RCC)与沥青混凝土(AC)复合式路面修筑技术	234
一、RCC+AC 复合式路面概述	234
二、发展现状	234
三、RCC+AC 施工技术	235
附表一 正态分布概率系数表	240
附表二 t 分布表	241
主要参考文献	242

第一章 施工组织管理与质量控制

第一节 施工组织设计与管理

根据公路建设任务和施工组织设计与管理需要,建设项目可分为单位工程、分部工程和分项工程。单位工程是指在建设项目中,具有独立施工条件,可以单独作为成本计算对象的工程(如路基、路面工程等)。在单位工程中,按结构部位及施工特点或施工任务划分为若干分部工程。在分部工程中按照不同的施工方法、材料、工序及路段长度等进一步划分为若干分项工程。施工组织与管理所研究的是生产力组织问题。尽管它是以经济关系为前提、以施工技术为基础,但直接研究的是具体建设项目、单位工程施工中的建筑工人、施工机械和建筑材料等生产要素的组织设计与实施等问题。

一、施工组织设计

施工组织设计就是从工程的全局出发,按照客观的施工规律和当时、当地的具体条件,统筹考虑施工活动中的人力、资金、材料、机械和施工方法等主要因素后,对整个工程施工进度和资源消耗作出的科学安排。其目的是使工程建设在一定的时空内实现有组织、有计划、有秩序的施工,以期达到施工的相对最优效果。

(一) 施工组织设计的种类

施工组织设计一般可分为施工组织规划设计、施工组织总设计、单位工程施工组织设计和特殊用途的施工组织设计四种。

施工组织规划设计是在初步设计阶段编制。主要是根据具体建设条件、资源条件、技术条件和经济条件,作出一个基本轮廓的施工计划,借以肯定拟建公路的经济合理性和技术可行性,它是施工总设计的编制依据,为确定分年度投资计划、组织物资供应、施工现场的准备等工作作出全面和原则的安排。

施工组织总设计是根据施工组织规划设计编制的,用以指导施工单位进行全场性的施工准备工作和有计划的运用施工力量,开展施工活动,并结合实际,使组织规划进一步具体化和作某些必要的调整。

单位工程施工组织设计是在施工图阶段以单位工程为对象编制的,用以直接组织单位工程的施工。它在施工组织总设计和施工单位施工部署的指导下,具体地安排人力、物力,是施工单位编制作业计划和制定季度施工计划的重要依据。

对某些特别重要的、复杂的、或者缺乏施工经验的分部、分项工程(如高等级公路遇到复杂地质、地形等),为了保证施工质量和进度,需要编制专门的施工组织设计。对特殊季节(如冬季、夏季、雨季)的施工,也要进行一些专门的准备工作,采取一些特殊的技术措施,需编制专门的施工组织设计。

（二）施工组织设计的内容

施工组织设计的主要内容有：1. 工程情况简介，如工程规模、数量、工期、特征，主要地质、水文、气候情况，技术要求等。2. 施工技术方案。主要是施工方法，尤其是冬季、夏季和雨季或缺水、风沙、高原等地区及技术复杂的特殊施工方法，决定采用的新技术、新工艺、新材料和新设备，技术安全措施，质量保证措施等。3. 施工进度计划，包括以实物工程量和投资额表示的工程总进度计划和分年度计划，以及需用工日数、机械台班数。4. 施工总体及部分工程平面布置，土石方平衡规划，施工现场平面布置。5. 劳力需要量及来源，包括总需要量和分工种、分年度的需要量。6. 施工机械、筑路材料、施工用水、用电的分年度需要量和供应情况、解决的方案。7. 道路、防洪、排水和生产、生活用房等设施的建设及完成时间要求。8. 施工准备工作进度表。

施工组织设计可用文、图、表三种形式表示，互相结合，互相补充，尽量做到形象、准确、简单，有利指导现场施工。

（三）编制施工组织设计的依据和步骤

编制施工组织设计的依据为：设计文件和施工组织规划设计；会审图纸、现场核对、恢复定线所取得的补充资料；施工队伍的素质及机具装备水平；技术组织措施；有关规范、规程、合同等。

编制施工组织设计可按图 1-1 所示程序进行。要根据设计图及定额资料精确计算各个工程项目的工程量，以便准确地计算人力、物力的需要量，科学地安排和使用人力、物力，做到既能保证需要，又不出现冗员、窝工和物资设备呆滞等现象。确定施工技术方案，对各个部分的施工工序、施工方法、施工机械选择、安全保证措施等，都要做出具体规定，并绘制工程总体和平面布置图。施工进度计划要确定工程的开工和竣工日期、施工顺序和施工进度，对重点工程（特别是工作面小、工程量大，严重影响工期的工程）应编制详细施工方案及进度计划。

二、施工组织设计的实施

施工组织设计是一种指导施工的技术经济文件，为保证其顺利贯彻执行，必须进行一系列的管理工作。公路是线型构造物，工程量大，涉及面广，影响因素复杂，人们在编制组织设计时，不可能预见到施工中全部的发展和变化。因此，除了一般的管理工作之外，还必须随时根据现场实际情况，不断进行修正和平衡，以保证施工的顺利进行和计划的实现。

（一）施工作业计划

施工作业计划应根据施工组织设计和现场具体情况，灵活安排，平衡调度，以确保施工进度与质量。施工作业计划是施工单位的施工任务、施工进度计划和现场具体情况的综合产物，是施工单位进行施工的直接依据，是改进现场管理和执行施工进度计划的关键措施。

施工作业计划可分为月作业计划和旬作业计划，一般包括本月内应完成的施工任务和资源需要等内容。

本月应完成的施工任务主要是，确定施工进度，列出计划期间内应完成的工程项目和实物工程量，开竣工日期，以及进度安排。它是编制其他部分的依据。

月旬的作业进度也可以按照网络计划形式进行编制，根据实际情况加以调整并进一步细化和具体化，这种形式对计划的落实将较为方便，有利管理。

施工作业计划由直接进行施工的基层单位（如工程队、工区等）编制，经管理部门批准

后，以施工任务单的形式下达给所属的施工员执行。施工任务单是下达给班组直接组织工人施工的指令性文件，一般包括：工程名称及用实物工程量表示的任务数；开、竣工日期及质量要求；计划使用工日数和机械台班数；施工方法、技术组织措施；领料限额；劳动定额和出工日等。

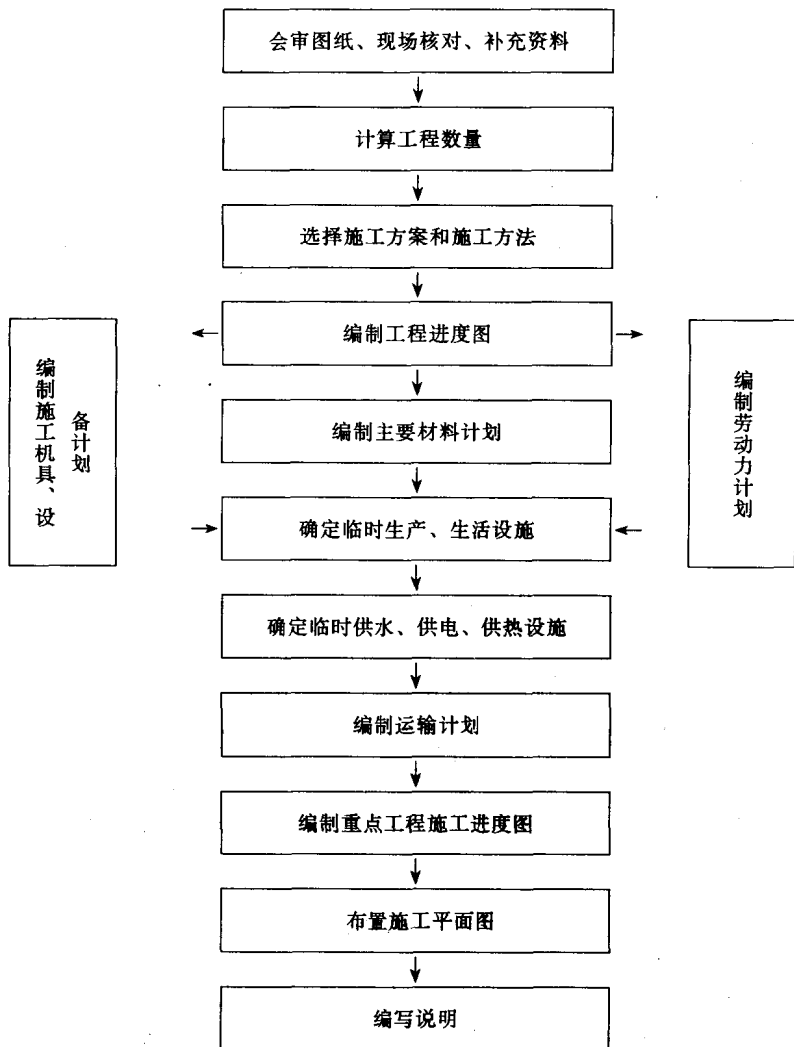


图 1-1 施工组织设计的编制程序

(二) 施工调度

施工调度工作，是组织施工中各个环节、各专业、各工种协调动作的中心。它的主要任务是保证施工有条不紊地进行，并为施工中的正确指挥创造有利条件，以促使施工任务按期保质完成。为此，必须随时掌握施工进度，了解施工计划完成情况；了解材料、燃料供应、进场情况和电力供应情况，分析其是否能满足当前和下一步施工的需要；如有必要对上述两项可随时进行调整和调动；对停水、停电、停工、断路等申请进行审查，慎重批复，认真考虑对整个工程的影响，把不利影响降低到最低限度；了解工人出勤、工时利用、劳动纪律和生产秩序情况；对施工中发生的各种事故，随时采取应急措施，进行紧急处置。

搞好调度工作的关键是熟悉设计文件和施工组织设计、现场和施工队伍的技术水平、设备的完好情况等。

（三）施工现场的平面管理

为了搞好施工现场平面管理，首先要严格执行批准的施工组织设计中的平面布置图。生活设施、材料场地、仓库、构件预制、木材加工、动力和给水线路、施工道路、机械修理、混凝土加工等都要按照平面图布置，不得随便更改。在执行中，随着工程进展，情况变化，对平面布置需要进行补充或调整时，要做好统盘安排。其次，要加强经常性的现场管理，合理分配使用场地，协调各方面关系，保证现场交通和给水排水系统畅通。

（四）施工原始记录

施工单位从事施工活动的原始记录，是各项工程完成情况的文字和数据反映。也是鉴定工程好坏的主要凭证和总结经验教训、进行科学研究、寻求改进途径的可靠资料，而且还是交付使用后进行养护管理、维修的依据。原始记录包括的内容有：各种原材料、半成品、成品的检验、试验记录；主要测试记录；各种外部和隐蔽工程检查记录及重要工程隐蔽部位照片；各种有关质量问题的报告，如变更设计申请、质量事故报告等；工程进度日记，交接班检查记录。

原始记录的工作量较大，有相当部分需班、组填报，并由技术部门统一归口，竣工时一并交验。

二节 施工网络计划技术

公路工程施工作业计划，过去一般采用工期表法或横道图法，这种表达形式和方法，其特点是简单、明晰、形象、易懂，但它不能全面地反映整个施工活动中各工序之间的联系和相互依赖与制约的关系，更不能明确地反映出施工过程中应掌握的关键工序，使人们抓不住工作的重点，看不到计划中的潜力，不知道如何缩短工期和降低成本。

网络计划法，是从工程的实际出发，绘制施工网络图，分析各个施工过程（或工序）在网络图中的地位，找出关键工序和关键线路，按照一定的目标不断调整网络图，最后得出最优的施工进度方案。

一、网络图的基本概念

网络图又称统筹图，它是表示一项工程中各个工作环节或各道工序的先后关系和所需时间的网状图。它由节点和箭线组成。节点、箭线以及由节点和箭线组成的线路是网络图的三个要素。

（一）网络图的分类

1. 按网络图标注方式的不同，可分为双代号网络和单代号网络。双代号网络是用箭线表示工序，圆圈表示工序之间的相互关系；单代号网络是用圆圈表示工序，箭线表示工序之间的相互关系。

2. 按工序延续时间估计精确度的不同，可分为肯定型网络图和非肯定型网络图。肯定型网络中每项工序的延续时间是确定的，即没有引入不肯定因素；非肯定型网络计入了不肯定因素。

3. 按网络计划最终目标的不同，可分为单目标网络图和多目标网络图。单目标网络在网络图中只有一个最终目标，多目标网络在网络图中有多个目标。

4. 按计划包含的规模大小的不同，可分为总网络图、分网络图和基层网络图。总网络图

所包含计划的规模是计划对象的整个系统；分网络图是以整个大系统中的—个分系统为对象编制的网络图；基层网络图，是以分系统里的子系统为对象反映某—局部生产过程的网络图，相应的也把它们叫—级、二级、三级网络图。

5. 按网络图不标注时间与标注时间又可分为程序网络图和计划网络图。程序网络图是没有标注时间的网络图，只反映作业之间的流向；计划网络图是标注了时间的网络图。

目前按网络标注方式进行分类较为多见。而且在实际应用中，双代号网络图优点较多，深受工程技术人员和管理人员的欢迎。故此处仅介绍双代号网络图。

(二) 双代号网络图

双代号网络图中，每条箭线的箭头和箭尾各有一个圆圈，圆圈编上号码，前后两个圆圈中的号码表示这道工序。如箭尾和箭头的编号分别为 i 和 j ，则该工序可以表示为 (i, j) 。图 1-2 是双代号网络图的表示方法，图 1-3 是双代号网络图的示例。

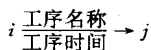


图 1-2 双代号网络图的表示方法

1. 工序

工序又称工作、作业或活动。工序可分为两类。一类是既需要消耗时间，又需要消耗资源的工序，如水泥混凝土路面的铺筑；另一类是只需要消耗时间不需要消耗资源的工序，如水泥混凝土路面板的后期强度（养生结束后）形成。除此之外，还有一类工序，它既不需要消耗时间，又不需要消耗资源，这类工序被称为虚工序。虚工序在实际中并不存在，是为了准确而清楚地表达各工序之间的相互关系引入的，一般用虚箭线表示（见图 1-3）。

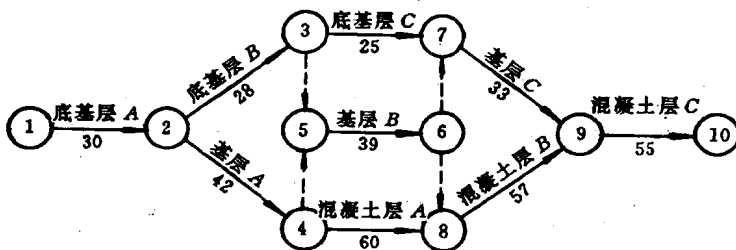


图 1-3 某公路水泥混凝土路面施工网络图

工序又可根据其性质和关系分为紧前工序和紧后工序。紧接箭尾的工序，称为紧前工序；紧接箭头的工序，称为紧后工序。一个工序相对于它的紧前工序来讲是紧后工序，而相对于它的紧后工序来讲是紧前工序，它的紧前工序或紧后工序可以是一道或几道。

2. 节点

节点又称事项、事件、结点。它表示一道工序开始或结束的瞬间，一般用圆圈表示，并且用数码标出。每道工序都存在一个开始时刻和结束时刻，即开始节点与结束节点。一个工序的开始节点，可能同时是另一道工序的结束节点，这样的节点，称为中间节点。只表示某些工序的开始瞬间，而不表示任何工序的结束瞬间，则该节点称为网络源节点，如图 1-3 中的节点①。与此相反的节点，则称为网络终节点，如图 1-3 中的节点⑩。

3. 路线

从网络的源节点出发，顺箭线方向经过一系列节点和箭线，到网络的终节点有若干条通路，每一条通路都为—条路线。

路线上各工序的延续时间之和，称为该路线的长度。路线按其长度可分为关键路线和非关键路线。网络中最长的路线称为关键路线。关键路线可能仅有一条，也可能不止一条。关键路线上的工序称为关键工序。短于关键路线的任何路线都称为非关键路线。在非关键路线中，有一种次关键路线，它指的是比关键路线要短但比其它路线要长的路线。

例如，在图 1-3 中，共有 6 条路线，其中关键路线为①→②→④→⑧→⑨→⑩，其长度为 244d。次关键路线的长度为 223d，其组成为①→②→④→⑤→⑥→⑦→⑨→⑩。

关键路线又称紧急线或主要矛盾线。在网络图中，关键路线常用双线或彩色线表示，以突出其重要性。

二、网络图的编制

(一) 任务的分解与分析

在认真研读工程设计图的基础上，结合实际确定施工方法，从而将任务划分为各个工序，分析各个工序间的工艺性和组织性相互制约的关系，确定工序间的先后顺序，列出工序名称和工序的前后联系，供绘图用。

(二) 估计工序的时间

1. 肯定型网络的时间估计

在肯定型网络中，可采用单一时间估计法，将完成该工序的最大可能时间作为工序的时间，常用 T 表示，即 $T(i, j)$ 表示工序 (i, j) 的延续时间。

估计工序时间时，应该考虑该工序的工作量、完成该工序的人力、物力和工作条件等。有些工序还要考虑正常的停歇时间和必要的自然过程时间。

单一时间估计法可分为三种：类比法、计算法和定额法。

① 类比法

类比法就是召集有关人员，参照过去所积累的资料，将所要进行的工程与已完成的相似工程进行对比分析，或将所要完成的工序与类似工序进行对比分析，估计出各个工序的时间。

② 计算法

当占有比较详细的定额和生产能力方面的资料时，可采用下列公式计算工序时间。

当 (i, j) 为手工进行的工序时，其工序时间为

$$T(i, j) = \frac{Q(i, j)}{8nl\eta} + \frac{\Delta t}{8n} \quad (d) \quad (1-1)$$

当 (i, j) 为机动工序时，其工序时间为

$$T(i, j) = \frac{M(i, j)}{mn\eta} + \frac{\Delta t}{8n} \quad (d) \quad (1-2)$$

式中： $Q(i, j)$ ——手工完成工序 (i, j) 的工作量（人时）；

$M(i, j)$ ——用机械完成工序 (i, j) 的工作量（台班）；

l ——每天工作人数；

n ——每天工作班次；

m ——可开动机械台数；

η ——效率系数；

Δt ——工序间运输、质量检测和设备的日常维修等所需的正常中断时间以及适当的富裕时间（h）。

③定额法

定额法以定额资料为基础，计算公式为：

$$\text{工序时间} = \text{定额时间} \times (1 \pm \text{调整系数})$$

上式中，调整系数是考虑工序的技术复杂程度和生产技术条件的变化而给出的系数。系数前取正号，则表明这种变化使得工序时间大于定额时间。取负号，则意义相反。

具体估计工序时间时，可将上述三种方法结合使用。

2. 非肯定型工序时间估计

当工序时间为非肯定型时，一般用三点时间法来估计工序时间。即最乐观估计时间 a ，最可能的估计时间 m 和最悲观的估计时间 b 。最后按下式计算加权平均时间：

$$T = \frac{1}{6}(a + 4m + b) \quad (1-3)$$

这样处理，实际上是将非肯定型近似转化为肯定型，使问题大大简化。但是知道工序的期望时间 T ，还不能预测某一任务在规定时间内完成的可能性，为反映工作时间概率分布的离散程度，还要估计其均方差。

均方差的计算公式为：

$$\sigma = \sqrt{\frac{(b - a)^2}{36}} \quad (1-4)$$

式中 σ 愈大，表明工序时间概率分布的离散程度愈大，则期望值 T 的可靠性越小，即各实耗工序时间次数集中程度就越差；反之，若 σ 越小，则期望值 T 的可靠性越大，即各实耗工序时间次数集中程度就越好。

例如对于 A 和 B 两工序时间估计分别为 10d、18d、20d 和 5d、18d、25d。由上述公式，可得工序 A 和 B 的期望值均为 17d，均方差分别为 1.7 和 3.3。虽然工序 A 与 B 的期望时间相等，但工序 B 的肯定程度比工序 A 差得多。

相互关系和工序时间确定之后，应填入工序明细表中。工序明细表的基本内容包括以下五项：①工序代号；②工序名称；③紧前工序；④延续时间；⑤工序序号。

(三) 绘制网络图

1. 绘制网络图的基本原则

绘制双代号网络图必须遵守四条原则：①网络图中不允许出现循环；②两个节点之间只允许有一条箭线直接相连，一条箭线必须连接两个节点；③整个网络图中只有一个源节点和一个终节点；④正确反映工序之间的逻辑关系。

2. 绘制网络图的方法与步骤

1) 绘制方法

绘制网络图的方法，一般有顺推法、逆推法和重点作业法。

顺推法（或前进法）绘制网络图是从源节点开始，首先确定由起点开始的工序，然后根据已经得到的工序之间的衔接关系，确定每一工序直接的后续工序，这样把工序依次由前排列到后，一直到终节点为止。

逆推法（或后退法）绘制网络图与顺推法相反，它是从终节点开始，首先确定直接进入终节点工序，然后根据已经调查到的工序之间的关系，确定每个工序直接的先行工序，把各工序依次由后到前，一直排列到起始节点为止。

重点作业法是从最重要的工序排起，考虑哪些工序要放在它的前面，哪些工序要放在它