

基于 GERT 的 SSA-3000 型天线研发项目工期仿真分析

SSA-3000 型车载卫星通信天线（简称 SSA-3000 型天线）是一种用于车载的小型化、低高度的卫星通信天线，是用于应急卫星通信系统的主要分系统产品，可广泛应用于新闻、救灾、武警、公安、人防等多个领域。该项目在研发过程中面临如下两类主要的不确定因素：

- 1) 关键路径上任务节点工期本身的不确定性。该项目经过工作分解，以该研发项目中的设计类任务为例，天线的结构设计是一项较为复杂的工作，现实工作中，该项工作既有可能在 3 天内完成，也有可能 5 天完成，如果根据系统方案的要求，也可能在 10 天完成，因此对于每一项工作来说，其工期本身就是一个概率分布。
- 2) 研发技术流程中任务回溯导致关键路径的变化。以评审类工作为例，在流程上存在 2 种可能性，一种是其前置任务（一般为设计工作）按照预计目标完成了工作，在评审时一次通过；还有一种可能就是因为设计工作未能达到预期指标，需要重新进行设计，这样评审工作的后续任务就变为前一阶段的设计工作重新开始。

如果不对这两类不确定的因素进行仿真分析，那么显然项目组既无法预测项目总工期到底是在什么样的一个时间区间范围之内，同时也无法明确提出项目在规定时间内完成的保障措施。换句话说，项目组在项目进度管理中迫切需要解决的问题是如下三个问题：

- 1) 如何确定接近实际情况的项目总工期。既然 SSA-3000 型天线研发项目有很多工期的不确定因素，就可以把它作为一个随机网络进行研究，当项目总工期不是一个确定的时间的时候，就可以通过一些技术手段如对其进行仿真分析。在设置足够大的仿真次数之后，模拟项目可能发生的各种情况，包括极端的情况，这样可以让项目计划近似接近实际情况，从而可以对项目总工期的概率分布有直观认识，通过对其单侧置信度空间的分析，评估项目按期完成存在的风险。
- 2) 识别影响项目总工期在规定时间内完成的关键因素。在对项目总工期进行合理评估之后，就会对项目完工工期有了一个直观的认识。工期仿真的结果有 2 种可能，1 种是符合项目规定的时间，1 种是不符合项目规定的时间，如果不符合，需要找出项目总工期影响较大的某些关键工作，对其进行工期压缩。同时，对仿真后的工期信息进行分析，需要能够找出哪些影响总工期的关键因素，在日后项目计划实施的过程中需要给予重点关注。
- 3) 如何制定有针对性的计划实施保障措施。接近实际的项目总工期和关键因素确定之后，项目的计划编制工作就更加科学和符合实际。虽然进度管理的首要工作是制定各种计划，但仅有好的计划但不付诸实施，再好的计划也是一纸空文。因此，要使计划能起到应用的作用，就必须采取有力措施，使之得以顺利的实施。

运用 GERT 技术，可以把 SSA-3000 型天线研发项目的技术流程图转化为一个具有返回概率的网络图如图 3-20。其中，用节点代表活动，用箭线代表活动之间的逻辑关系，用箭线上的数字代表返回活动的概率。图 3-20 中各活动的具体参数见表 3-6。在得到以上项目基本数据之后，将设置 10000 次仿真的方式得到项目总工期的概率分布。实施仿真分析的流程是通过计算机软件模拟实现的，其具体步骤如下：

- 1) 利用软件建立模型，明确仿真次数、每个节点的概率分布，节点之间的前后顺序关系和回溯概率信息。
- 2) 利用软件内置的概率分布模拟功能，可以令计算机根据传入的参数产生高质量的随机数，作为当前任务工期的一个样本值。

SSA3000天线GERT网络图

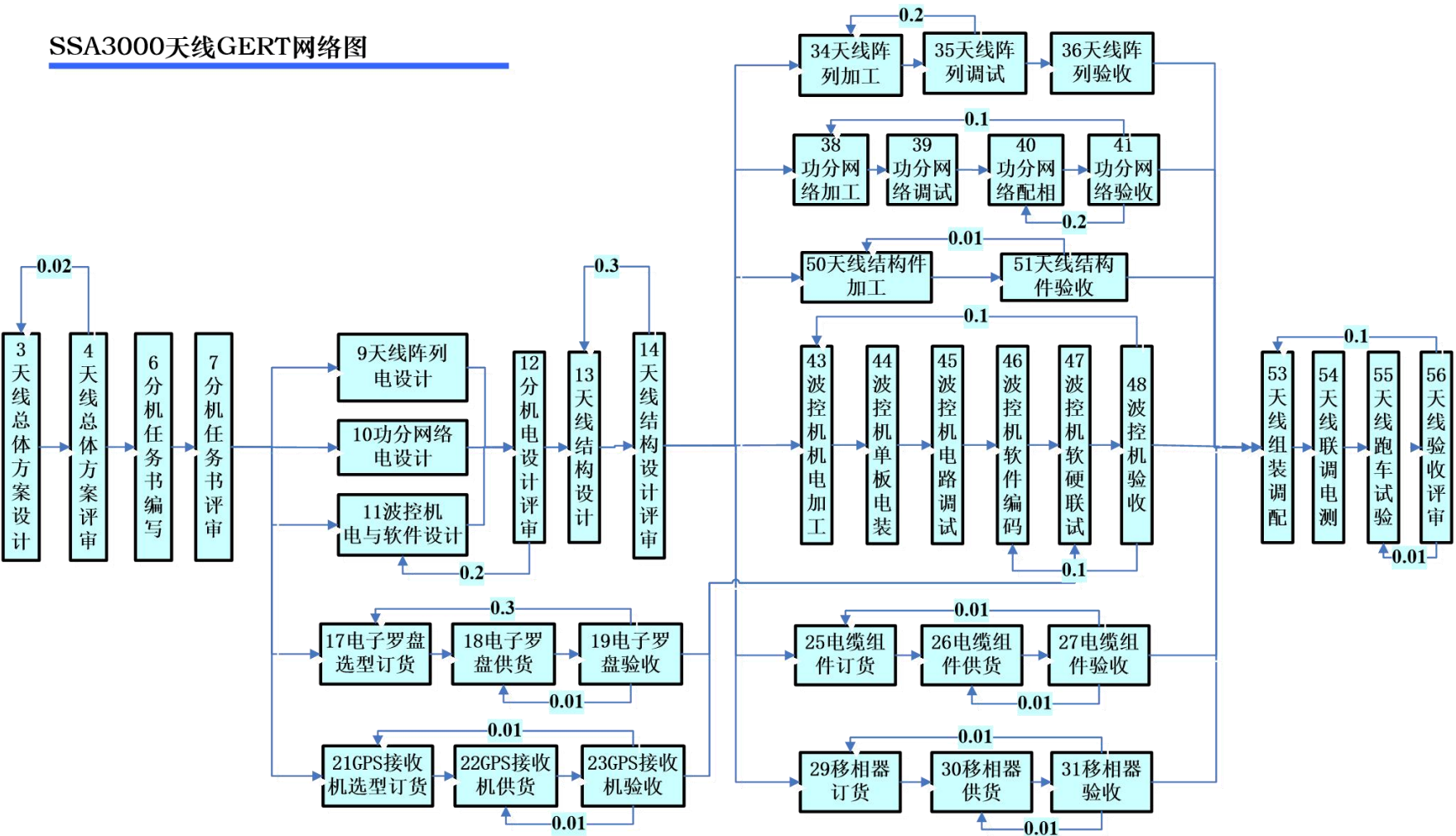


图 3-20 SSA-3000 型天线研发项目 GERT 网络图

表 3-6 SSA-3000 型天线研发项目活动数据表

标识号	任务名称	前置任务	乐观工期	预期工期	悲观工期	返回 1	返回 1 概率	返回 2	返回 2 概率
3	天线系统方案设计		5	10	15		0		0
4	天线系统方案评审	3	1	1	1	3	0.02		0
6	分机任务书编写	4	3	3	3		0		0
7	分机任务书评审	6	1	1	1		0		0
9	天线阵列分机电设计	7	5	8	10		0		0
10	功分网络分机设计	7	5	5	5		0		0
11	波控机分机电与软件设计	7	8	10	20		0		0
12	分机电设计评审	11,10,9	1	1	1	11	0.2		0
13	天线结构设计	12	7	10	15		0		0
14	天线结构设计评审	13	1	1	1	13	0.3		0
17	电子罗盘选型、订货	7	3	5	8		0		0
18	电子罗盘供货	17	4	4	4		0		0
19	电子罗盘验收	18	1	1	1	17	0.3	18	0.01
21	GPS 接收机选型、订货	7	4	5	8		0		0
22	GPS 接收机供货	21	2	2	2		0		0
23	GPS 接收机验收	22	1	1	1	21	0.01	22	0.01
25	电缆组件选型、订货	14	2	2	2		0		0
26	电缆组件供货	25	10	15	20		0		0
27	电缆组件验收	26	1	1	1	25	0.01	26	0.01

29	移相器选型、订货	14	1	1	1		0		0
30	移相器供货	29	15	20	30		0		0
31	移相器验收	30	1	1	1	29	0.01	30	0.2
34	天线阵列加工	14	5	5	10		0		0
35	天线阵列调试	34	10	14	15	34	0.2		0
36	天线阵列测试验收	35	1	1	1		0		0
38	功分网络电路和壳体加工	14	5	5	15		0		0
39	功分网络调试	38	4	5	6		0		0
40	功分网络配相	39	6	6	6		0		0
41	功分网络测试验收	40	1	1	1	38	0.1	40	0.2
43	波控机盒体和电路板加工	14	5	10	20		0		0
44	波控机电路板装配	43	2	2	2		0		0
45	波控机电路调试	44	6	6	6		0		0
46	波控机软件编码	45,23,19	3	5	8		0		0
47	波控机软硬件联试	46	4	5	7		0		0
48	波控机验收	47	1	1	1	43	0.1	46	0.1
50	天线结构件加工	14	10	10	20		0		0
51	天线结构件验收	50	1	1	1	50	0.01		0
53	天线组装调配	27,31,36,41,48,51	1	1	1		0		0
54	天线联调电测	53	6	6	6		0		0
55	天线跑车试验	54	27	27	27		0		0
56	天线验收评审	55	1	1	1	53	0.1	55	0.01

- 3) 对是否有回溯进行判断, 利用 RND 函数产生 0-1 之间的随机数, 判断回溯节点是否回溯。如果有回溯, 需要返回, 则返回相应的任务再次产生一个随机数, 刷新之前的任务工期。如果无回溯则在概率分布中随机产生一个工期样本。
- 4) 项目中每一个任务都按照逻辑关系计算一次, 在样本中找出关键路径, 通过 EXCEL 软件公式计算出总工期的一个样本。
- 5) 判断仿真次数是否已达到设定的次数, 最后在 10000 次仿真之后可以得到本次仿真的 10000 个样本, 绘制直方图并进行敏感性分析。

借助于 crystal ball 仿真软件, 可以获得 SSA-3000 型天线研发项目工期 10000 次仿真的概率分布见图 3-21。从图 3-21 可以看出, 总工期的概率分布呈现出类似 β 分布的趋势, 项目延期的可能性比提前完工的可能性要大。整个研发项目工期的均值 $ET=115.92$, 中位数 $MD=112.95$, 方差 $VT=166.68$, 标准差 $\sigma=12.91$, 风险度 $RD=11\%$ (RD 定义为项目完成时间的标准差和其均值的比值)。工期分布区间为 $[91.20, 216.72]$, 充分说明了工期具有较大的不确定性, 即项目在最乐观的情况下在 91 天完成, 在最悲观的情况下也可能在 216 天完成。

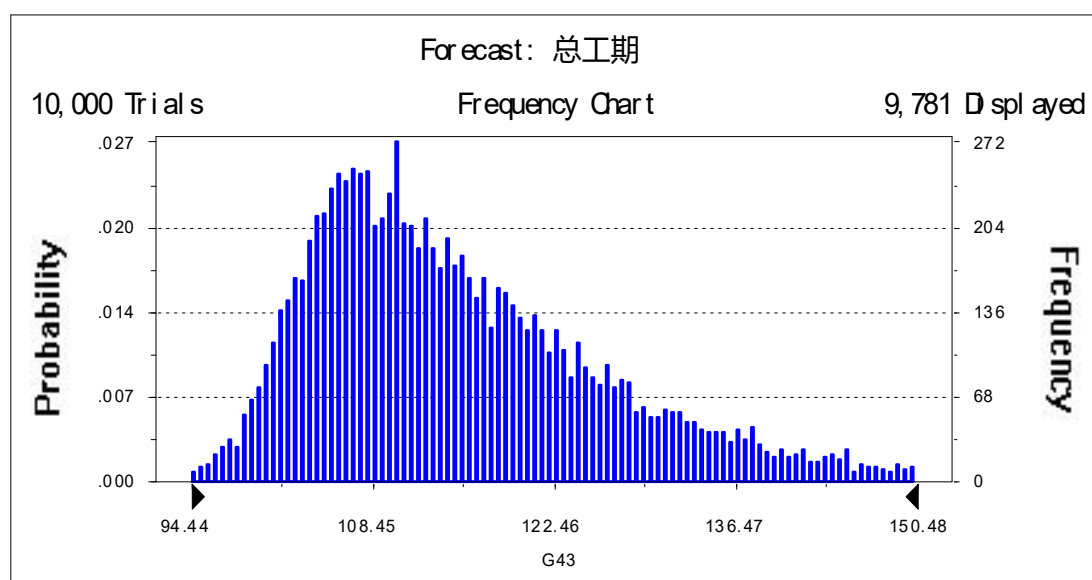


图 3-21 SSA-3000 型天线研发项目工期的概率分布直方图

基于仿真结果, 也可以得到 SSA-3000 型天线研发项目工期的累计概率分布图见图 3-22。由图可见, 项目工期要求不同, 完成的概率不同。即项目工期越紧张, 完成的可能性越低, 风险性越高; 反之, 若要提高项目完成的可能性, 风险性降低, 则须给予更充裕的时间。SSA-3000 型天线项目组接受的任务书是在 120 天完成研发, 对项目完成时间分析之后可以得出结论, 按照任务书要求在 120 天内完成项目的可能性为 70%。换句话说, 项目存在工期延期的风险为 30%, 但如果将项目完成工期放宽到 132 天, 则按期完工的概率将会增加到 90%, 工期延期的风险降为 10%。

除了以上的分析之外, 还可以利用 Crystal Ball 完成敏感性分析, 以确定关键工作对项目总工期影响的程度, 从而为控制项目工期的控制提供具体的、可操作的、量化的参考依据。根据敏感性分析结果, 可以得到 41 个工作项与项目工期的相关程度不同的结论:

- 1) 与项目完成时间最为相关的工作项是 11, 即波控机分机电与软件设计, 它的相关度为 39.2%;
- 2) 与项目完成时间为次相关的是工作 43, 即波控机箱体和电路板加工, 它的相关度为 35.7%;

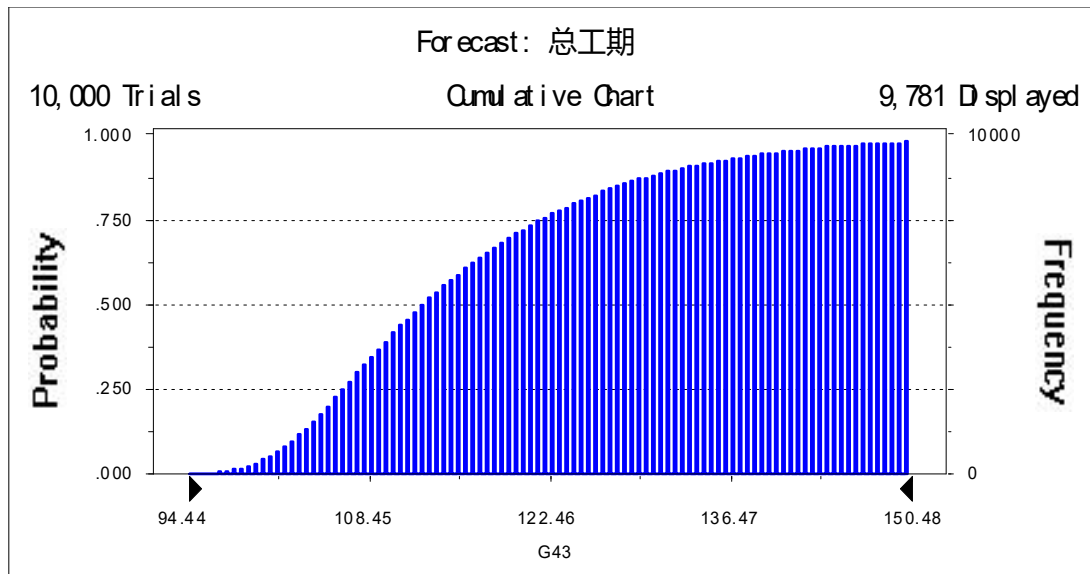


图 3-22 SSA-3000 型天线研发项目工期的累计概率分布图

3) 再次与项目完成时间相关的是工作 13, 即天线结构设计, 它的相关度为 18.8%;

4) 其他的因素与项目总工期的正相关影响均不超过 5%, 因此可以暂时不考虑。

由此可见, 波控机分机电与软件设计、波控机箱体和电路板加工、天线结构设计对项目总工期的影响最大, 必须在计划控制中特别关注。

讨论问题:

- 1、SSA-3000 型天线研发项目工期控制的主要问题有哪些? 这些问题产生的根源是什么?
- 2、对 SSA-3000 型天线研发项目工期进行 GERT 分析的前提条件是什么?
- 3、GERT 仿真结果对 SSA-3000 型天线研发项目工期控制有何借鉴意义?