

信号设备可靠性

Н·Я·梅尼希科夫

〔苏〕А·И·科罗列夫 合著

Р·Ш·亚贡季恩

李景胜 孔庆善 译

中国铁道出版社

的问题，必须正确地利用理论和相应的技术组织措施，以最终达到所要求的可靠性。

书中还讨论了设备的设计、制造时影响可靠性的主要问题，其中大部分是属于物理-化学过程导致的故障，并根据运营统计的数据，对信号系统的可靠性作了评价。此外，在书中还介绍了以提高可靠性为目标的技术组织措施，以及有关设备工作信息的收集和分析的方法。

铁路信号设备的特点是：在接发列车的较短时间内动作，因此设备中的元件只要发生短时间的故障，就能使整个系统的工作效率降低。

对整机工作正确性的监测，可顺利地更换或修理大多数的故障元件，使整机的工作能力得到迅速恢复。所以书中讨论了对单个故障的查找及监测的问题。

书中特别注意了分析整机和元件的物理故障，并提出了在结构、工艺及运营方面提高、保证和维持可靠性的必要措施。

内 容 简 介

本书阐述了可靠性问题的重要性及其在行车、安全系统中的应用。

书中介绍了设备和元件可靠性的标准及计算方法；整机和电路可靠性计算所用的逻辑图编制原理；不同因素对可靠性参数的影响及提高可靠性的方法；信息的收集、保存、处理和利用的方法；元件的贮备数量、使用期内的维护及最佳检查期的确定方法；此外还讨论了缩短查找故障的时间和提高运营可靠性的工作计划问题。

本书第一至五章由李景胜译，第六至九章由孔庆善译。

本书可供铁路信号专业的器材制造、工程设计人员以及运输管理人员作参考。

НАДЕЖНОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Н.Я.МЕНЬШИКОВ

А.И.КОРОЛЕВ

Р.Ш.ЯГУДИН

Издательство «Транспорт» 1976

信号设备可靠性

Н.Я.梅尼希科夫

〔苏〕А.И.科罗列夫 合著

Р.Ш.亚贡季恩

李景胜 译
孔庆善

苏联国家运输出版社 1976

中国铁道出版社出版

责任编辑 倪嘉寒 封面设计 刘景山

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：850×1168毫米 1/32 印张：7 字数：177千

1985年11月 第1版 第1次印刷

印数：0001—3,000册 定价：1.60元

作 者 序

随着国民经济的发展,对铁路运量的需求也在不断地增长,这样对铁路运输各部门的技术改造就势在必行。然而完成这一改造任务是与铁路信号设备(包括有自动闭塞、电气集中、驼峰自动集中等)的装设是分不开的。这些设备可使行车指挥实现自动化,并保证提高站内和区间行车的安全性。

为了保障铁路区段的通过能力和行车安全,要求信号设备应无故障地工作。为此,对设备在设计、生产阶段和运营质量的维护中所出现故障的预报,以及设备无故障工作的问题,在技术上应予以综合考虑。

众所周知,在运营中采用高可靠性的设备比低可靠性的设备要有益得多。由于铁路信号系统是指挥列车运行的,因此设备的任何故障的发生,都有可能導致行车的延误、运营费的增大及行车效率的降低。

因此近年来,铁路信号设备工作的可靠性问题,已成为一个最急待解决的问题。对可靠性问题的综合研究,能找到故障的产生和恢复工作能力的规律性;能查明内部和外部因素对单个元件工作的影响;能研究出具有特殊工作性质的专用设备可靠性的评价方法;能找出研制、生产阶段及运营中提高各种设备和元件可靠性的方法。

为了解决上述问题,在运输上要利用许多特殊的方式才能实现,而这种方式在一般的文献中是不予讨论的。这也就是撰写本书的原因之一。在对铁路信号系统可靠性问题的讨论中,我们叙述了提高设备的可靠性、保证设备的无故障工作以及维护人员在实际工作中应执行的措施。

实践证明可靠性问题是设备设计、生产及运营中很值得注意

目 录

1. 运营前可靠性的保证方法	1
1.1 可靠性保证计划.....	1
1.2 可靠性指标的选择.....	4
1.3 可靠性的计算.....	6
1.4 设计阶段提高可靠性的方法.....	12
1.5 元件工作状态的保证.....	14
1.6 制造时设备可靠性的试验.....	18
2. 元件和设备在研究、制造、运营时的可 靠性评价	23
2.1 可靠性指标.....	23
2.2 可靠性参数的可信性估计.....	25
2.3 考虑动作强度的可靠性评价.....	28
2.4 考虑渐变性故障的电路可靠性计算.....	30
3. 铁路信号元件及设备的可靠性	39
3.1 设备的可靠性分析.....	39
3.2 维修性的确定.....	43
3.3 轨道电路的可靠性.....	47
3.4 电动转辙机及色灯信号机的可靠性.....	50
3.5 继电器件的可靠性.....	53
3.6 外部因素对可靠性影响的分析.....	60
4. 运营中可靠性的保证	63
4.1 可靠性保证运营计划的原则.....	63
4.2 利用逻辑图提高可靠性.....	66
4.3 可靠性小组的工作计划和组织.....	73
5. 运营可靠性信息的收集、分析和处理	74

5.1 可靠性信息的收集机构	74
5.2 信息的处理及数码化	78
5.3 可靠性分析的其它信息源	87
5.4 用计算机收集和分析信息	89
6. 继电器维护最佳检查期	96
6.1 继电器维护周期的最佳方式	96
6.2 对继电器可靠性特征的评价	100
6.3 无极继电器的故障原因分析	106
6.4 无极继电器的调整特性分析	108
6.5 分析继电器电气工作情况	113
6.6 继电器接点共同行程的测量方法	116
6.7 继电器试验结果	118
6.8 接触电阻变化的动态和继电器接点的振动	124
6.9 评定继电器维护检查期及对继电器的结构和调整的意见	126
7. 提高运营可靠性	130
7.1 维护自动闭塞的综合方法	130
7.2 提高自动闭塞电路的可靠性	135
7.3 新型钢轨接续线	140
7.4 焊接的电气接续线的可靠性	141
7.5 蓄电池的可靠性和提高它的方法	143
7.6 电容器的可靠性	146
8. 信号设备技术诊断	150
8.1 检查方法	150
8.2 探测故障顺序的方法	154
8.3 分析预测故障	162
9. 对提高可靠性效能的评价	164
9.1 效能标准	164
9.2 故障损失分析	166
9.3 提高可靠性效能	167

9.4 确定延误行车的费用系数.....	169
9.5 维护效率.....	171
9.6 信号设备故障影响通过能力.....	173
附录 1 准确性系数与试验次数的关系.....	178
附录 2 故障量参数和无故障工作概率.....	180
附录 3 提高可靠性计划工作的示范项目.....	192
附录 4 描述符表.....	196
附录 5 可靠性分析技术报单.....	211
参考文献.....	215

1. 运营前可靠性的保证方法

1.1 可靠性保证计划

设备可靠性的保证计划是定期评价可靠性所达到的结果和克服困难的方法，是需专门从事研究和执行的一项技术任务。可靠性应从经定货人同意的技术任务书确定的计划要点着手。对于元件和整机可靠性水平的评价，应在运营信息、可靠性指标计算、结构分析及抽样试验的基础上进行。评价中应考虑人——作业员的心理学特性对可靠性的影响。

在定货准备的过程中，要拟制并取得经定货人同意的可靠性保证计划（见参考文献1）。该计划应为技术任务书的一部分或附件，是研制者和定货人应严格遵守的。计划应包括研制阶段可靠性保证的全部措施和产品的可靠性试验，以及为确定可靠性数值所需要的信息内容的要求。在计划进度方面，为了进行有效的管理和保证计划的实现，应有必要的技术组织措施。

为了检查计划执行的情况，在拟制计划时应事先规定“监控点”（应理解为是研制阶段实现的结果）。它是以提出总结报告、试验数据、模型或样品、故障原因分析等形式来表示的。技术组织措施，应反映在产品的所有技术资料中。

拟制计划时应考虑产品的复杂性和可靠性要求的水平、生产量和运营的条件。可靠性要求的水平越高，计划应包括的范围就越大。产品越复杂，可靠性的保证就越难，要求计划的内容越详细。

此外，应按计划中可靠性的保证办法，预计实现的可能性，确定与产品可靠性实际水平相符合的程度，并提出对产品研制阶段的要求。计划应包括：

上级领导确定的组织机构和每项任务负责人的职责；

详细列举可靠性保证的任务及其解决的方法；

详细叙述每一项任务（无论在技术任务书中描述与否）及其进度期限；

根据进度计划检查每项任务完成情况及监督方法；

查明技术的困难程度，并估计这些困难对实现计划主要要求的影响以及克服这些困难的建议；

完成任务的措施及执行的顺序；

按阶段指出‘监控点’，确定它们之间的相互关系，并根据可靠性保证的要求来估计完成任务和执行具体措施所需的时间；

定期记录产品可靠性（计算）的实际达到值；

对研制期间根据技术任务书所编制的可靠性保证计划进行正式的审查。

计划中应规定，执行过程中要编写定期报告和总结报告。报告中应包括：执行进度计划的全部信息并说明所达到的结果，以及消除薄弱环节的方法；可靠性要求水平与实际达到水平的比较资料。所作的结论，同样要考虑人——作业员和维护人员的心理学特性，目的在于减少由于他们的错误而造成可靠性的降低，使故障的概率缩减到最低的限度。

计划中要推荐能表明产品及其各部之间可靠性水平的数量分布数学模型，以及在不同的可靠性水平时计划的要求范围。可靠性的评价应在数学模型的基础上进行，该模型应能用于规定条件下产品的每一种可能工作状态。为了定期地评价和分析产品的可靠性，应指明评价的方法和日期，此时评价所得的结果应与基本研制阶段所规定的要求相符合，拟制的内容应反映产品结构的可行性程度并包括：

对采用的每一状态，所得到的可靠性及结果进行现时的评价审查；

分析故障的类型及其对产品工作能力的影响；

原则性的技术决定和折衷的技术决定，对可靠性水平影响的审查；

可靠性部门要保证有适当的人员参加对产品结构的研讨和审查。

计划应规定，为证实各个阶段终了所达到的可靠性水平的要求，要编制产品试验的进度计划。这一计划中应规定试验样品的计划数、验收标准及置信概率的水平。

拟制技术任务书时，应指出设备的运营条件和主要设备的功能；规定设备或它的独立部件可靠性参数的概略值；规定设备故障的含义。此时可靠性部门（试验室）的作用，是作为审查设备可靠性问题执行者的顾问，该设备应符合定货人和其他有关组织提出的运营技术要求。

拟制技术建议时工作者应做到：选用通用化、标准化的结构元件和配套元件（零件），这些元件的可靠性数据（故障率或期望的故障概率）应在运营实验的基础上或通过判定试验得到；分析采用的元件（零件）所致疑点的可能原因。此时，可靠性部门要监督配套元件供应者的可靠性保证计划，提出提高配套元件可靠性的建议；对没有可靠性指标的元件（零件）进行专门的试验。

方案设计的任务是：进行可靠性分析并选择产品的最优结构及电路；进行可靠性的概略计算和确定初始数据；编制产品界限试验计划并参与试验工作；将所研讨的产品的全部原理方案转交给可靠性部门。而可靠性部门要对所研讨产品最优方案的可靠性数值进行复查；在分析和计算可靠性时，要根据可靠性水平以及界限试验的特点和范围提出建议；进行界限试验并对以后研制阶段的可靠性水平提出建议。

编制技术设计时，工作者要按照可靠性部门的建议，对产品中的元件进行电、热状态及其它参数的确定工作；进行产品可靠性的最后计算；绘制标明动作原理的产品原理电路图；按照技术任务书的要求，对试验样品的工作能力进行试验；按照要求达到的可靠性水平拟制以后研制阶段的建议。而可靠性部门要参与可靠性的最后计算，并对以后研制阶段和样品试验中为保持规定可

可靠性水平所需数量提出建议，以及对产品及其单个元件的可靠性水平进行评价。

设计说明书应包括：元件工作状态表；可靠性计算；试验样品的试验记录；以后研制阶段保持规定可靠性水平的建议。

对实验样品（实验的部分）进行研究时，工作者应完成如下工作：编制技术条件并确定实验样品在制造上进行可靠性计算的必要性；研制试验台对试验样品进行可靠性试验；编拟可靠性实验样品在工厂和运营条件下的试验方法；参加工厂里对试验样品工作能力的验证试验。而可靠性科要参加产品可靠性计算；参加试验台结构和试验电路的研究；参加运营条件下试验方法的拟定并将提高（保持）可靠性水平的建议转达给工作者。

1.2 可靠性指标的选择

实践中最常用的指标有设备的无故障性、维修性、贮存性和耐久性，这些在过去的一些文献中已有相应的说明。

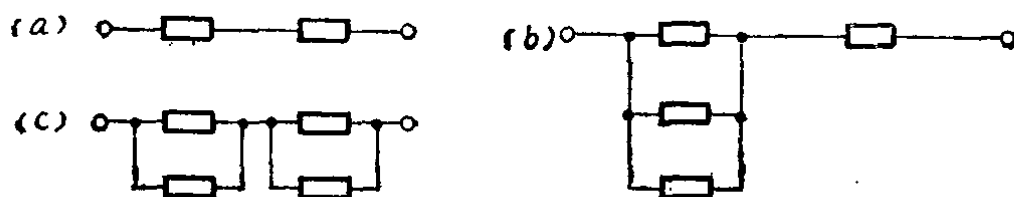


图1 信号点元件贮备的方法

为了表征设备的可靠性，要从大量的可靠性指标中选择能说明设备可靠性的指标，并从中选定基本的指标。在选择可靠性指标时应进行技术的论证，否则研制的设备有可能采取不正确的方案。

举一实例说明信号点无故障的评价。假设色灯信号机的灯泡和继电器元件的可靠性都比较低，它们从开始工作到其中某一元件发生故障时的工作时间服从于指数函数的变化规律，那么，它们的无故障工作概率

$$P_1(t) = e^{-\lambda_1 t}; \quad P_2(t) = e^{-\lambda_2 t}$$

由于任一元件的故障均可导致信号点的故障，那么，按串联结构考虑，总的无故障工作概率

$$P = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}$$

现在讨论两种提高可靠性的方法，一种是两个元件各加一贮备件；另一种是一个元件加双重贮备件。原始方案如图 1 (a) 所示；灯泡和继电器分别各加一贮备件如图 1 (b) 所示；一元件加双重贮备件如图 1 (c) 所示。

下面来确定两种贮备件方法的无故障工作概率和工作到第一次故障时的平均工作时间。

无故障工作概率：

第一种贮备方法

$$P_1 = [1 - (1 - e^{-\lambda_1 t})^2][1 - (1 - e^{-\lambda_2 t})^2]$$

第二种贮备方法

$$P_2 = [1 - (1 - e^{-\lambda_1 t})^3]e^{-\lambda_2 t}$$

两种方法保证工作到第一次故障的平均时间

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt$$

假设，元件的故障率 $\lambda_1 = 0.01 \text{ 1/h}$ ； $\lambda_2 = 0.0015 \text{ 1/h}$ ，而运营时间 $t = 10 \text{ h}$ ，根据上述公式得

$$P_1(t) = 0.9907; \quad P_2(t) = 0.9842$$

$$T_{cp1} = 144.5 \text{ h}; \quad T_{cp2} = 153.2 \text{ h}$$

如果采用无故障工作概率作为可靠性的指标，那么按灯泡和继电器分别加贮备件的方案可靠性较高。如果采用工作到第一次故障的平均时间作为可靠性的指标，那么可靠性较小的部分（灯泡）加双重贮备件，而可靠性较大的部分（继电器）不加贮备件的方案较好。

由于可靠性指标的选择，是为了能最大程度的反映运营中设备的可靠性，故可靠性指标表示形式的选择，可以按可靠性较小（无故障工作概率小）的设备所具有的设备结构来确定。

这个问题，只能在研究设备的物理模型和设备的功能特性，

以及在数量上对可靠性的影响之后，才能决定。可靠性标准的选用可见参考文献 1。

1.3 可靠性的计算

可靠性计算，对信号系统来说，产品设计阶段的计算最为重要。正如已指出的，在最初研制阶段要查明系统最不可靠的元件；按保证可靠性的要求制订措施；选择最优的设备方案（按可靠性、重量、体积和成本等观点）。计算设备（元件、组件、部件、整机）的可靠性，即确定某一个或几个可靠性的定量指标。

经可靠性计算可确定：无故障工作概率或故障概率；故障率；平均无故障工作时间；相邻故障间的平均时间；平均修复时间；准备系数等指标。选择哪种可靠性指标，取决于设备的类别（可修复的或不可修复的），它的状态（运营、存放）和运营中的特点。

大多数的可靠性指标相互间是关联的，随故障流的形式（分布律）有一定的比例关系。因此，知道了一个或几个指标，就可以求出另外的指标来。铁路信号系统的设备和元件，在运营期间里可靠性服从指数函数的规律（见参考文献 4）是正确的。此时故障流参数是不随时间而变化的，即 $\omega(t) = \text{常数}$ ，从而简化了可靠性指标的计算。

整机可靠性决定于整机中所包括的元件数量，元件的可靠性水平。为了计算设备的无故障工作概率，需考虑在一定工作条件之下，设备元件发生故障的可能性以及物理过程的影响因素，如电负荷、周围介质、振动等导致其中一些元件发生故障的情况。计算的精确性取决于所采取的假设：对不导致整机失效的故障、元件故障的特点、各影响因素考虑的充分程度（部分的、甚至全部的）；各元件之间的作用联系，当元件之中的一个发生故障时，是否引起其他元件可靠性的变化；周围介质外部条件的影响；单个元件的试工作。根据对这些因素考虑的程度，可靠性计

算有如下的分类。

可靠性概略计算 此计算的基础是假设整机的所有元件有相等的可靠性、也就是采用故障率的平均值,元件的故障率不随时间而变化,即 $\lambda = \text{常数}$;任一元件的故障均导致整机的故障。可靠性概略计算可以按整机设计技术任务书中所提出的可靠性要求来检验,计算是按整机的单个组件和器件的可靠性标准数据进行的。计算中,可假定整机的元件可靠性水平为最小。然后在方案设计阶段进行比较时,要评价整机各个方案的可靠性。概略计算可用来判断整机在原则上能否满足可靠性的要求。

可靠性预测计算 计算的基础是对整机可靠性的影响仅考虑所采用的元件类型及数量。假设全部给定的同类型元件有相等的可靠性;所有元件都在预定技术条件规定的正常状态下工作;所有元件的故障率不随时间而变化;整机的元件故障是随机的,并且是独立事件;整机的任一元件故障均导致整机的故障;整机的所有元件同时工作。

为了确定整机的可靠性,必须知道整机中元件的联接方式、元件的类型、每一种元件的数量和整机中所包括的各种元件的故障率 λ 值。计算可按表 1 的形式进行。

表 1

编 号 №	元件名称 及 型 号	图形符号	元件数量 N	工作状态		故障率 λ	乘 积 λ, N	附 注
				负荷系数 K_H	温度 t_0			
1	2	3	4	5	6	7	8	9

可靠性的预测计算在方案设计, 整机原理电路拟定之后进行。这种计算可确定整机中元件的合理组成, 并可制定出方案设计阶段提高整机可靠性的方法。

可靠性最后计算 整机中元件实际工作状态的数据, 通常是与正常值有偏差和不同的。此种偏差对可靠性是有影响的, 它可

能涉及到整个机器或其中的一部分。当进行这种计算时，需要有关元件的负荷系数和随负荷而变化的元件故障率，周围介质的温度以及其他因素的数据（常用的这些数据可以参见参考文献1）。故障率的校正系数（ $\Delta\lambda_{KH}$ 、 $\Delta\lambda_{t_0}$ 等），就是考虑这样一些因素对整机可靠性产生的影响（见表1）。

可靠性的最后计算，也是建立在故障率假设为常数的基础上。但是可从辅助元件的计算中去掉对故障的特点（断路、短路、技术条件外的输出参数等）以及一个元件故障影响其他元件故障概率的考虑。例如，贮备件故障时所引起的负荷分配的变化，以及整机中单个元件工作时间不同等可不予考虑。

最后计算是根据已知的继电器、组件等可靠性的特性进行的。一般对整机单个结构中独立作用的部件、对器件和组件中作用的部件、对单个单元（或元件）中作用的组件等进行这种计算。计算的途径是按串联的简单组合到复杂的组成。对于设备所具有的可靠性定量特征称为元件的可靠性计算。因此，可以对信号设备的单个器件（电阻器、电容器、晶体管、继电器）、组件（译码器、进站信号机等）和室外设备（电动转辙机、色灯信号机等）进行元件的可靠性计算。

整机可靠性的计算内容包括确定元件的可靠性和元件的 λ （故障率）特性的计算。计算中应考虑修正系数，确定负荷和外界负荷对每个元件的影响，确定元件故障率的总和值。

整机可靠性计算的程序如下：

1. 故障含义的理解。由上述可知，可靠性的计算是考虑整机的故障，而整机的故障又取决于结构图各环节中元件的数量。这是指复杂产品而说的，在这种产品中，有些元件的损坏只能使整机的某些特性变坏，而另一些元件的故障就能使整机的工作能力失效。因此对可靠性的计算，只需考虑由于那些元件的损坏能使整机发生故障的情况。

例如，在计数电码自动闭塞设备中，轨端绝缘破损不会导致信号点故障，轨道继电器故障就会导致信号点故障，而在电气集

中设备中轨道继电器故障，就得按手信号行车，从而使列车的速度降低。

2. 结构可靠性的考虑。对结构图（可靠性逻辑图）中的组件、器件、设备（电动转辙机、色灯信号机）等联接的结构形式要进行计算。在此情况下，应考虑某些组成元件仅在工作的某部分时间里发挥作用。因此在对独立元件的计算中，按它们的工作时间进行元件的分组是适宜的。这样，在交流计数电码自动闭塞装置中，电动发码器在24小时内连续工作，而脉冲继电器的工作则取决于区段的行车密度。

3. 可靠性计算方法的选择。根据元件联接（可靠性逻辑图）的形式，选用计算的公式并根据参考文献1选择参数。例如选择元件故障率。

当备有元件工作状态图表（卡片）时全部元件可靠性的计算，可查图表或将 λ_{Σ} 代入校正公式并确定负荷系数。

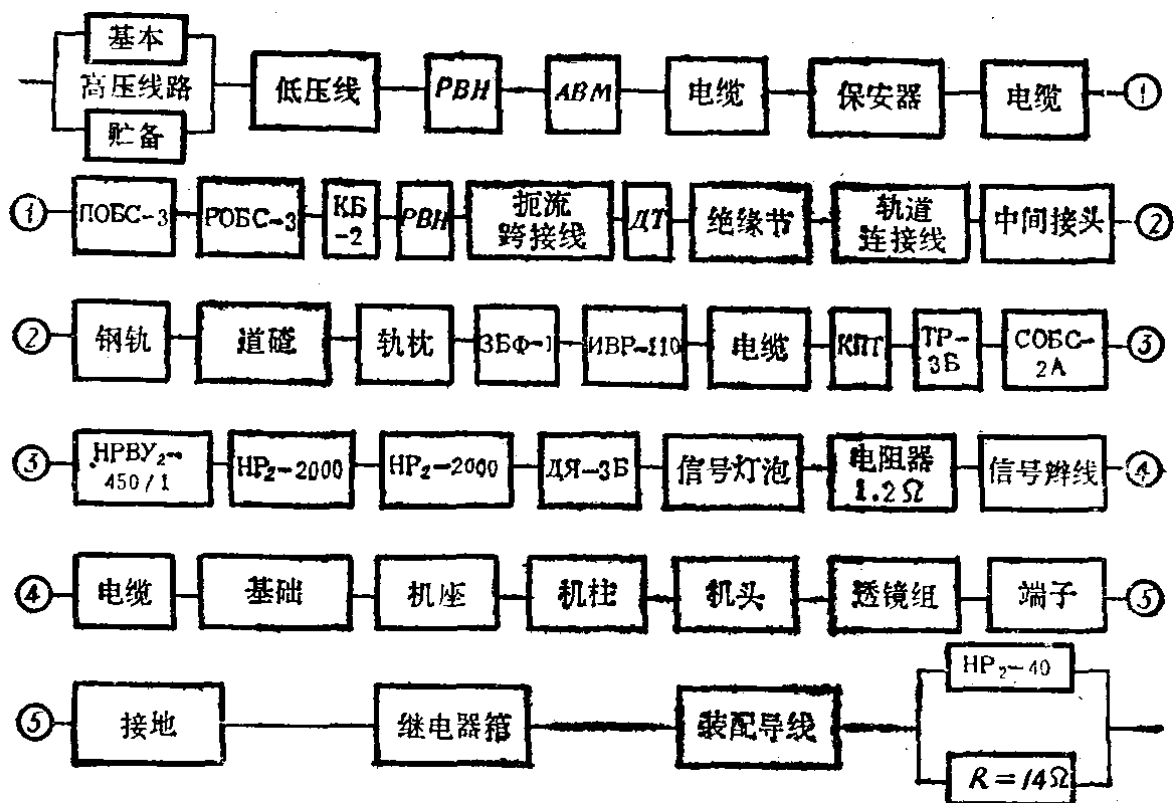


图2 计算信号点可靠性的可靠性逻辑图

在图2中示出了信号点主要部件的联接图（可靠性逻辑图），用于确定该点可靠性的计算公式：

$$P_{c.T}=[1-(1-P_1')(1-P_2')]P_3'P_4'\cdots P_n'$$

式中 P_1' ——基本高压线路的无故障工作概率；
 P_2' ——贮备高压线路的无故障工作概率；
 $P_3'\cdots P_n'$ ——轨道线路、信号线路、设备的元件等无故障工作概率。

概率 P_1' 和 P_2' 可按下式确定

$$P_{1,2}'=P_1P_2P_3\cdots P_n=\prod_{i=1}^n P_i$$

即为线路单个元件可靠性的乘积。

4. 编制整机故障率表。可靠性预测计算和最后计算的结果，可用表1和曲线 $\lambda_i=f(k_{\pi}t_0)<1>$ 表示。当利用校正系数进行可靠性的最后计算时，其结果可用表2表示。

表 2

编 号 №	元 件 名 称 及 型 号	图 形 符 号	元 件 数 量 N_i	额 定 状 态 下 故 障 率 λ_{i_0}	负 荷 系 数 λ_{HK}	修正系数					乘 积 $\prod_{i=1}^k a_i$	第 i 个 元 件 的 故 障 率 λ_i	整 机 故 障 率 $\lambda_i N_i$	附 注
						a_1	a_2	...	...	a_k				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

给定实际工作条件下元件的故障率值可按下式计算

$$\lambda_i=\lambda_{i_0}a_1a_2a_3\cdots a_k=\lambda_{i_0}\prod_{i=1}^k a_i$$

式中 λ_{i_0} ——最小电负荷时工作在常态下的元件故障率；
 $a_1a_2\cdots a_k$ ——不同作用因素的校正系数。

5. 根据整机的可靠性结构提出数学模型，并按可靠性公式进行可靠性的定量计算。对于所研究的产品技术水平的定量估计，可按参考文献12的如下准则进行：
 继承系数