

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.02.026

接线端子对系统可靠性的影响

陈铁胜, 杨靖, 朱杨芹

(酒泉卫星发射中心 发射测试站, 兰州 732750)

摘要: 针对系统接线端子数量众多且类型复杂的情况, 研究其对系统可靠性的影响。结合典型的接线方式, 从理论上进行推理, 证明不可忽略接线端子对系统可靠性的影响, 并从接线端子作为系统功能部件的角度分析了其对系统可靠性的影响, 通过比较并联接线方式的可靠度数据, 得出了优选接线方式的基本参照。结果表明, 系统设计选型过程决定了系统理论可靠度, 在工程应用过程中, 可以通过分析系统的功能串联点, 关注系统可靠度来维持系统可靠性。

关键词: 接线端子; 可靠性; 计算

中图分类号: TP114.3 **文献标志码:** A

Influence of Connectors on System Reliability

Chen Tiesheng, Yang Jing, Zhu Yangqin

(Test & Launch Station, Jiuquan Satellite Launch Center, Lanzhou 732750, China)

Abstract: According to the fact of connectors' large numbers and various types in system, study influence of connectors to reliability of system. Combine typical connection modes, reasoning in theory, proved influence of connectors to reliability of system cannot be ignore. From the point of view of connectors as parts of function assemblies of system, analyzed the influence of connectors to reliability of system, and educed the basic consult of optimized connection manners. The research indicated that course of design and selection determined the academic reliability of system, and in application of project, reliability of system can be manage from analyzing the function series-wound points of system and draw attention to credibility of system.

Keywords: connectors; reliability; calculate

0 引言

系统可靠度是系统在规定条件及规定时间内完成规定功能的概率。系统可靠性以系统可靠度来衡量。系统中的接线端子是必不可少的, 但在计算系统可靠性时, 却往往因接线端子数量众多, 类型复杂, 故障数据点少而被简单化, 或者被完全忽略。因此, 结合典型的接线方式, 分析接线端子对系统可靠性的影响。

1 系统可靠性

系统可靠度的计算公式由系统内部件的功能串并联关系确定。

1.1 可靠度计算方法

如果设备 A 的可靠度为 A , 设备 B 的可靠度为 B , 用符号 “&” 表示设备的串联关系, 用符号 “\$” 表示设备的并联关系, 则可靠度的计算方法为: 串联 $A&B=A \times B$, 并联 $A\$B=A+B-A \times B$, 同一种类型的运算满足结合率和交换率, 不同类型的运算不满足结合率和交换率。

1.2 系统的串并联和可靠度计算串并联的关系

系统串并联关系和系统功能需求约束条件共同决定了系统可靠度计算的串并联关系。

在纯串联系统中, 系统的可靠度等于串联回路中所有设备和连接部件可靠度的乘积。但很少有纯串联系统, 更不存在纯并联系统。

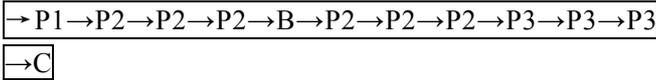
可靠度计算串并联是指系统从起点至终点, 实现实际功能的串并联关系, 系统中的串联不可能成为系统可靠度计算中的并联, 但系统中的并联却有可能成为系统可靠度计算中的串联。举例如下:

1) 1 个三相电源 A 通过 1 个三相开关 B 直接控制 1 个三相电机 C 运行。如图 1(a)。

从系统串并联关系上看, 三相之间都是并联关系。但从实际功能需求看, 任何三相电源的任何一相, 或者三相开关的任何一个回路出现问题都有可能导致系统功能失效(电机无法正常工作)。三相之间由物理上的并联关系转化为系统可靠度计算上的串联关系, 如果将接线端子作为系统可靠度计算中的一个必要部件, 那么可靠度框图为: $A \rightarrow P1 \rightarrow P1$

收稿日期: 2010-09-03; 修回日期: 2010-11-09

作者简介: 陈铁胜(1975—), 男, 湖南人, 高级工程师, 从事设备自动化管理研究。



其中, P1、P2、P3 分别代表部件电源 A、开关 B 和电机 C 上的接线端子。

2) 系统中有 3 台电源 A1、A2 和 A3, 并联带后端的负载, 但实际工作中要求这 3 台电源中至少有 2 台工作正常才允许使用, 如图 1(b)。即使不考虑接线端子作为系统可靠度计算中的一个必要部件, 这 3 台电源也由物理上的并联关系转化为可靠度计算上的混联关系。可靠度框图为: $A1 \rightarrow A2A1 \rightarrow A3A2 \rightarrow A3$

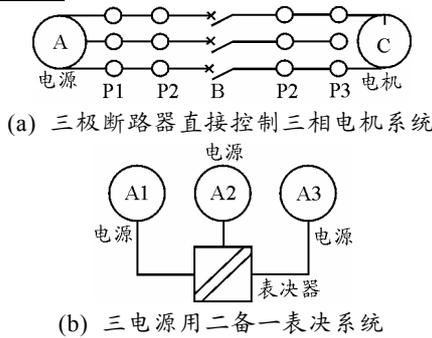


图 1 2 个简单的系统

1.3 基本约定

1) 系统部件的可靠度不包含其对外接线端子的可靠度, 但包含其内部接线端子的可靠度。例如, 一个信号源的可靠度不包含其各组信号引出线连接端子的可靠度, 但其内部电路板之间的跨接端子则属于其本身的可靠度范围。

2) 系统内的其他部件可靠度已知。

3) 假设系统内的每个接线端子本身连接的可靠度均为同一值, 约定为 P 。

4) 文中所指的系统, 除明确说明外, 均是功能上的系统而不是物理上的系统, 或者说是功能串并联关系和物理串并联关系等价的系统, 能直接应用可靠度计算方法。

由于目前还未发现能直接得出计算结果的系统可靠度计算公式程序, 笔者用 VBA 编制了较为完整的计算程序, 可输入到 EXCEL 中验证使用。

2 接线端子对串联回路可靠度影响

为简化系统功能图和计算表达式, 用 \cdot 代表接线端子, 用 \rightarrow 代表连接线, 用字母和数字组合代表系统功能部件和部件可靠度值, 用 P 代表接线端子可靠度值, 用 λ 代表用户端的可靠度值。

单节点 (2 个接线端子): $A \cdot \rightarrow \cdot$ 用户

$$\lambda = A \cdot P \cdot P$$

N 节点 ($2N$ 个接线端子): $A \cdot \rightarrow \cdot B \cdot \rightarrow \cdot C \cdot \rightarrow \dots \rightarrow \cdot N \cdot \rightarrow \cdot$ 用户

$$\lambda = A \cdot P \cdot P \cdot B \cdot P \cdot P \cdot C \cdot P \cdot \dots \cdot P \cdot N \cdot P \cdot P$$

显然, 串联系统的可靠度低于系统内任意功能部件的可靠度。

图 2 是 N 个接线端子时系统的可靠度与接线端子的可靠度 P 的关系, 横坐标是接线端子的可靠度 P , 纵坐标是系统的可靠度 λ , 有 5 个不同的 N 取值点。

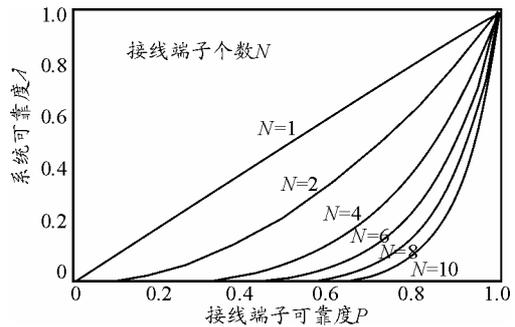


图 2 N 个节点下接线端子可靠度对系统可靠度的影响

从图 2 可知, 节点数越少, 接线端子可靠度对系统可靠度的影响越小; 节点数越多, 接线端子可靠度对系统可靠度的影响越大。故应尽量减少系统中的节点数。在节点数一定的情况下, 接线端子可靠度对系统可靠度的影响总存在一个从慢到快的过程。对应的物理含义是必须保证系统内节点的可靠度在一定的水平之上。

取 $N=10$, 即 5 个部件串联而成的系统, 系统可靠度 λ 与接线端子可靠度 P 的对应关系如表 1, 显然即使单个端子的可靠度能达到 0.95, 系统的可靠度也还只有 0.59。同时, 通过计算可知, 如果期望系统可靠度达到 4 个 9, 即 λ 取值大于 0.999 9, 则 P 应大于 0.999 99。

表 1 10 个端子的串联系统中接线端子可靠度与系统可靠度关系

P	λ	P	λ	P	λ
0.91	0.389 4	0.94	0.538 6	0.97	0.737 4
0.92	0.434 4	0.95	0.598 7	0.98	0.817 1
0.93	0.484 0	0.96	0.664 8	0.99	0.904 4

3 接线端子对并联回路可靠度影响

3.1 并联回路的接线形式及可靠度计算公式

并联回路在系统的连接方式中有多种, 文中归纳了 6 类 11 种可能的接线形式, 如表 2, 在实际中较常见的类型是 (1)、(2-1)、(3-1)、(4-1) 和 (5-1)。

表 2 6 类 11 种接线形式及其可靠度计算公式

序	接线形式	简要说明	可靠度计算公式
1		A 设备有 1 条通路连接至用户	$A \& P \& P$
2-1		A 设备有 2 条通路连接至用户	$A \& P \& (P \& P)$
2-2		A 设备有 3 条通路连接至用户	$A \& P \& (P \& P \& P)$
3-1		A 设备有 1 条通路连接至用户, B 设备并联至 A 设备出线端子	$[A \& S(B \& P)] \& P \& P$
3-2		B 设备有 1 条通路连接至用户, A 设备并联至 B 设备出线端子	$[B \& S(A \& P)] \& P \& P$
4-1		A、B 设备分别连接至用户的同一进线端子	$[(A \& P) \& S(B \& P)] \& P$
4-2		A、B 设备分别连接至用户的同一进线端子, 且 A、B 设备出线端子并联	$\{[A \& S(B \& P)] \& P\} \& S\{[B \& S(A \& P)] \& P\} \& P$
5-1		A、B 设备分别连接至用户的不同进线端子	$(A \& P \& P) \& S(B \& P \& P)$
5-2		A、B 设备分别连接至用户的不同进线端子, 且 A、B 设备出线端子并联	$\{[A \& S(B \& P)] \& P \& P\} \& S\{[A \& P \& B] \& P \& P\}$
6-1		A 设备有 2 条通路连接到用户的 2 个不同进线端子, B 设备也有 2 条通路连接到用户的这 2 个进线端子	$\{[(A \& P) \& S(B \& P)] \& P\} \& S\{[(A \& P) \& S(B \& P)] \& P\}$
6-2		A 设备有 2 条通路连接到用户的 2 个不同进线端子, B 设备也有 2 条通路连接到用户的这 2 个进线端子, 且 A、B 设备出线端子并联	$\{[(B \& P \& S A \& P) \& S(B \& P)] \& P\} \& S\{[(A \& P \& S B \& P) \& S(A \& P)] \& P\}$

3.2 接线端子对并联回路可靠度影响

在上述 6 类 11 种接线模式下, 不同的接线端子可靠度对系统可靠性影响如表 3, 综合设备的可靠度分析结果如表 4 和表 5。

表 3 不同 P 取值下对应各种模式的可靠度

编号	P 取值 (A、B 取值为 1)			
	0.900 00	0.990 00	0.999 00	0.999 90
(1)	0.810 00	0.980 10	0.998 00	0.999 80
(2-1)	0.891 00	0.989 90	0.999 00	0.999 90
(2-2)	0.899 10	0.990 00	0.999 00	0.999 90
(3-1)	0.810 00	0.980 10	0.998 00	0.999 80
(3-2)	0.810 00	0.980 10	0.998 00	0.999 80
(4-1)	0.891 00	0.989 90	0.999 00	0.999 90
(4-2)	0.891 00	0.989 90	0.999 00	0.999 90
(5-1)	0.963 90	0.999 60	1.000 00	1.000 00
(5-2)	0.963 90	0.999 60	1.000 00	1.000 00
(6-1)	0.988 12	0.999 90	1.000 00	1.000 00
(6-2)	0.988 12	0.999 90	1.000 00	1.000 00

表 4 不同 A 取值下对应各种模式的可靠度

编号	A 取值 (B 取值为 1, P 取值为 0.999 9)			
	0.600 00	0.700 00	0.800 00	0.900 00
(1)	0.599 88	0.699 86	0.799 84	0.899 82
(2-1)	0.599 94	0.699 93	0.799 92	0.899 91
(2-2)	0.599 94	0.699 93	0.799 92	0.899 91
(3-1)	0.999 76	0.999 77	0.999 78	0.999 79
(3-2)	0.999 80	0.999 80	0.999 80	0.999 80
(4-1)	0.999 86	0.999 87	0.999 88	0.999 89
(4-2)	0.999 90	0.999 90	0.999 90	0.999 90
(5-1)	0.999 92	0.999 94	0.999 96	0.999 98
(5-2)	1.000 00	1.000 00	1.000 00	1.000 00
(6-1)	1.000 00	1.000 00	1.000 00	1.000 00
(6-2)	1.000 00	1.000 00	1.000 00	1.000 00

表 5 不同 B 取值下对应各种模式的可靠度

编号	B 取值 (A 取值为 1, P 取值为 0.999 9)			
	0.600 00	0.700 00	0.800 00	0.900 00
(1)	0.999 80	0.999 80	0.999 80	0.999 80
(2-1)	0.999 90	0.999 90	0.999 90	0.999 90
(2-2)	0.999 90	0.999 90	0.999 90	0.999 90
(3-1)	0.999 80	0.999 80	0.999 80	0.999 80
(3-2)	0.999 76	0.999 77	0.999 78	0.999 79
(4-1)	0.999 86	0.999 87	0.999 88	0.999 89
(4-2)	0.999 90	0.999 90	0.999 90	0.999 90
(5-1)	0.999 92	0.999 94	0.999 96	0.999 98
(5-2)	0.999 92	0.999 94	0.999 96	0.999 98
(6-1)	1.000 00	1.000 00	1.000 00	1.000 00
(6-2)	1.000 00	1.000 00	1.000 00	1.000 00

不考虑设备连接基本材料代价的情况下, 从表 3 中可以看出: 比较 (2-1) 和 (1), 单节点并联模式可靠度优于单节点串联模式; 要使系统可靠度达到 0.999 9, 单节点串联模式 (1) 下接线端子的可靠度至少要达到小数点后 5 个 9, 单节点双回路并联模式 (2-1) 下接线端子的可靠度至少要达到小数点后 4 个 9。比较 (2-1) 和 (2-2), 单节点并联模式下, 单纯增加并联回路的数量对系统可靠度的增加贡献不大, 但从系统安全性上看, 可以防止在线路故障下系统退化为单节点串联模式。比较 (3-1)~(6-2) 等 4 种并联接线模式, 各种并联模式后一种优于前一种; 要使系统可靠度达到 0.999 9, 模式 (3-1) 和 (3-2) 下接线端子的可靠度至少要达到小数点后 5 个 9, 模式 (4-1) 和 (4-2) 下接线端子的可靠度至少要达到小数点后 4 个 9, 模式 (5-1) 和 (5-2) 下接线端子的可靠度至少要达到小数点后 3 个 9, 模式 (6-1) 和 (6-2) 下接线端子的可靠度则只要达到小数点后 2 个 9 即可。

不考虑设备连接基本材料代价的情况下, 由表 4 中 (1)、(2-1) 或 (2-2) 模式数据中可以看出, 端子可靠度是决定系统可靠度的关键因素之一。

从其他数据比较可以看出, 双设备的并联模式中, 较高可靠度的设备对系统可靠度的贡献较大。

不考虑设备连接基本材料代价的情况下, 从表

5 中 (3-1) 和 (3-2) 模式的数据比较, 并结合表 2 中对应数据可以看出, 在采用该种模式下, 设备 A 和设备 B 对系统可靠度的贡献处于不平等地位, 接近用户的设备对系统的可靠度影响更大。从表 5 中 (4-1) 和 (4-2) 模式数据比较, 设备端并联跨接线对系统可靠度还是有一定贡献的。

3.3 单端子和并联端子组的可靠度比较

在工程中, 为保证线路连接方便和安全, 有时必须使用转接端子。从上面的分析可知, 如果单纯增加端子必然降低系统可靠度, 图 3 为给出的单端子和双端子混联、四端子混联的可靠度比较。

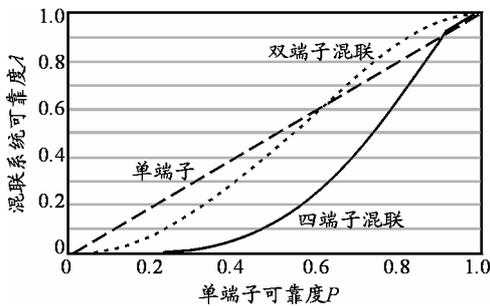


图 3 单端子和并联端子组的可靠度比较

图 3 中, 单端子 P : 斜率为 1 的直线。双端子混联 (2 个端子串联再并联): $\cdot \rightarrow \cdot \rightarrow \cdot$ 与直线的交点 P 值为 0.618。四端子混联 (4 个端子串联再并联): $\cdot \rightarrow \cdot \rightarrow \cdot \rightarrow \cdot \rightarrow \cdot$ 与直线的交点 P 值约为 0.967。

从图 3 可以看出, 多端子混联方式的可靠度随端子可靠度 P 的变化都有一个从低于 P 到高于 P 的变化过程。也就是说, 只有当 P 值大于图中交点位置值时, 多端子混联的可靠度才会高于单端子。并联的端子数越少, P 值越低, 图中给出的四端子混联模式是工程上常用的经过 2 次端子转接的模式, 就只有在 P 值大于 0.967 的情况下, 其可靠度才会高于单端子。

3.4 小结

串联系统的可靠度等级必然低于系统内最不可靠的功能部件的可靠度等级; 并联系统的可靠度等级必然高于系统内最可靠的功能部件的可靠度等级。

并联系统的不同接线方式, 对系统的可靠度影响不同, 有的方式还取决于系统内部件的连接顺序。

采用并联模式时, 即使是端子可靠度高, 也应尽量减少中间环节, 否则可能对系统的可靠度产生负面影响。

4 实例分析

某双电源控制系统线路图如图 4。

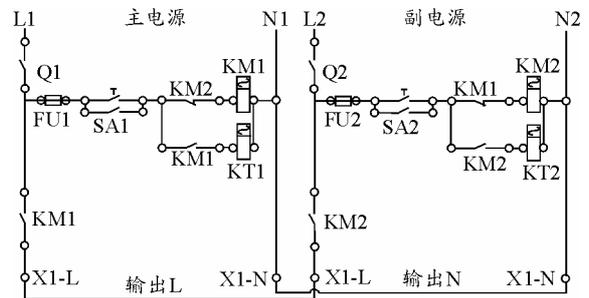


图 4 某双电源的控制原理图

根据系统结构, 双电源输出端的可靠度由 2 个相同功能的电源 (主电源和副电源) 并联组成, 每个电源则由控制线路和主回路串联而成。系统的可靠性功能框图为: $\boxed{\text{主电源} \cdot \text{副电源}}$

在每个电源的主回路中, 相线 L 和零线 N 之间是功能上的串联关系, 此外没有其他物理上的并联关系需要分析, 所以主回路的可靠性功能框图为: $\boxed{\cdot \rightarrow Q1 \rightarrow \cdot \rightarrow \cdot \rightarrow KM1 \rightarrow \cdot \rightarrow \cdot \rightarrow \cdot}$

可靠度计算公式为:

$$r1 = P \& Q1 \& P \& P \& KM1 \& P \& P \& P$$

在控制回路中, 有 2 处物理上的并联关系需要分析: 一是手动转换开关 SA1, 使用了双常开触点并联, 该对触点和该转换开关在系统中其他部位没有再使用, 所以功能上也是并联关系; 二是接触器 KM1 线圈和时间继电器 KT1 线圈组成的并联回路, 需要注意到时间继电器 KT1 线圈的加电条件是 KM1 的触点必须加电, 动作上有先后顺序, 但功能上还是并联关系; 所以控制回路的可靠性功能框图为: $\boxed{\cdot \rightarrow \cdot \rightarrow FU1 \rightarrow \cdot \rightarrow \cdot \rightarrow SA1 \rightarrow \cdot \rightarrow \cdot \rightarrow KM2 \rightarrow \cdot \rightarrow \cdot \rightarrow KM1 \rightarrow \cdot \rightarrow \cdot \rightarrow \cdot}$

可靠度计算公式为:

$$r2 = P \& P \& FU1 \& P \& P \& [SA1 \$(P \& SA1 \& P)] \& P \& [(KM2 \& P \& P \& KM1) \$(P \& KM2 \& P \& P \& KM1 \& P)] \& P \& P \& P$$

该双电源系统的总可靠度为: $2 * r1 * r2 - r1 * r2 * r1 * r2$ 。

假设除端子以外的其他部件可靠度为 1, 当端子可靠度为 0.9 时, 系统可靠度为 0.382; 当端子可靠度为 0.99 时, 系统可靠度为 0.983; 当端子可靠度为 0.999 时, 系统可靠度为 0.999 8; 当端子可靠度为 0.999 9 时, 系统可靠度为 0.999 998。

(下转第 90 页)

线，而所有段膛线长度必须与身管工艺信息中的长度设置保持一致，系统软件通过编辑校验与自动加工前校验来保证其一致性，从而避免了由于工艺人员或操作者的误操作而带来损失。

② 电子凸轮位置与炮管信息校验

电子凸轮的正确设置不但直接确定了在自动加工过程中 Z 轴的运动范围，而且间接地确定了 C 轴的旋转角度。如果电子凸轮位置不能与炮管信息保持一致，可能会造成刀片直接径向进刀，损坏刀片，并在身管内壁留下难以修复的刀痕，从而直接导致身管报废。

3) 刀具基准调整互锁保护技术

由于磨完一次刀片，很难一次性将一组膛线加工完成，尤其是又深又窄的膛线，所以，刀具基准的调整功能在膛线加工过程中使用较多，这样可以使 X 轴（进刀轴）灵活修调本次循环所需要的进刀量，以节约加工空运行时间。但在操作者启动下一个循环加工开始前，刀具基准如果未被确定，系统将禁止本次循环启动过程，必须由操作者确认换刀动作已经完成并通知系统后，才能继续启动下一个循环。

4) 工艺循环完整性保证设计

该数控拉线机系统采用 IPC+DSP 的上下位机双 CPU 构架方式。IPC 完成人机交互和加工数据管理，下位机 DSP 完成轨迹与速度控制。上位机控制软件采用 C 语言编写，并运行在 Windows 操作系统中；下位机采用 DSP 汇编语言编写，直接运行于 DSP 裸机上。上下位机之间通过 PC104 总线连接，数据交换的物理通道为几个并行的 FIFO 队列，其中膛线轨迹数据由 IPC 经 FIFO 队列中的数据队列（DP）下载到 DSP 中。笔者采用静态传递的方式传递加工数据。考虑到静态传递的可靠性和完整性，并参考传统的机械靠模加工中的靠模设计方法，在 DSP 缓冲区与粗插补步长之间取得了一个平衡：在保证粗插补精度的前提下，不但能满足膛线长度加工要求，还能充分利用 DSP 有限的缓冲区资源，就算是上位机本身的故障原因，也能保证从机 DSP 能安全完成当前的自动加工循环。

2 结束语

该技术已成功应用到实际项目中，从系统调试

及实际加工过程的长时间验证结果来看，整个工艺过程的数字化得到了很好的保证，该设计思路可以在类似项目开发中推广应用。

参考文献：

[1] 王体洋. 火炮身管膛线加工数据的高线处理[J]. 兵工自动化, 2006(3): 30-31.
 [2] 王体洋. 火炮身管膛线加工的轮廓一致性保证技术[J]. 兵工自动化, 2009(9): 25-28.
 [3] 王泓仁, 杜俊林. 基于 WINCE 的智能缝制设备嵌入实时操作系统[J]. 兵工自动化, 2009(2): 49-50.

(上接第 88 页)

显然，接线端子对该双电源系统的可靠度影响非常大，即使是在可靠度计算中由于计算公式烦琐而被忽略，在实际的工程系统中也绝对不能忽视，尤其是存在较多单点的系统。

5 结论

1) 接线端子对系统可靠性的影响不能简单忽略，在系统部件可靠度很高的情况下，接线端子可靠度等级甚至决定了系统可靠度等级。

2) 优选接线端子连接方式和接线端子质量结合可以提高系统的接线端子可靠度等级，即提高系统可靠度等级。推荐使用（5-2）双点双线带跨接线的并联接线方式。

3) 在确定的系统内，功能上属于串联轴节点的接线端子是关注的重点。在双点单线的连接方式下（3-1），则应将更可靠的功能部件尽量靠近用户端。

4) 转接端子应在确有必要的情况下使用，不可因为接线方便随便增加，尤其对成套系统更加如此。

6 结束语

由分析结果可知，系统设计选型过程决定了系统的理论可靠度。在工程应用的过程中，可通过分析系统的功能串联点来关注系统的可靠度维持能力；或者在较小的程度上进行调整，以提高系统的可靠度水平。

参考文献：

[1] 中华人民共和国机械工业部. GB50055-93 通用用电设备配电设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 1993.