

文章编号: 1004-5694(2001)增-0103-04

QBT80/45 起重布料两用塔机 电气控制系统可靠性研究

姚加飞, 王晓静, 童明叙, 薛大金

(重庆大学 电气工程学院, 重庆 400041)

摘 要:通过对 QBT80/45 起重布料两用塔机电气控制系统分析, 建立了 QBT80/45 起重布料两用塔机电气控制系统的可靠性数学模型, 并采用多种方法对电气控制系统的可靠性进行了计算, 结果表明该两用塔机电气控制系统具有较高的可靠性。

关键词: 两用塔机; 电气控制系统; 可靠性

中图分类号: TP271.5; TP271.83 **文献标识码:** A

The Reserch of the Reliabilty of QBT80/45 Dual-purpose Tower Crane's Electric Controlling System

YAO Jia-fei, WANG Xiao-jing, TONG Ming-shu, XUE Da-jin

(College of Electric Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: By analysing the electric controlling system of QBT80/45 dual-purpose tower crane used to lift cloth, the authors establish it's reliabilty model and caculate the reliability of this electric controlling system with several methods, the result shows that this dual-purpose tower crane's elctric controlling system has better reliability.

Key words: dual purpose tower crane; electric controlling system; reliability

0 引 言

QBT80/45 起重布料两用塔机不仅克服了以往国内外同类产品布料幅度上的不足, 而且具有以下特点: 实现了大幅度布料且不影响塔机性能, 使布料半径达到 45 m 以上; 布料系统的载荷与起重特性相协调一致, 不为其中任何一种工况加大结构, 避免了整机成本加大; 实现了布料、起重 2 种工况快速转换, 2 套系统, 既独立又互相联系, 靠转换开关实现工况转换, 提高了塔机的利用率等, 在国内同类产品中处于领先地位。QBT80/45 两用塔机有起升、变

幅、布料、回转和顶升 5 个机构, 具有起重、布料、顶升和遥控 4 种工况。

根据塔机的运行特性和中国建筑研究院廊坊机械化研究分院提出的要求, QBT80/45 塔机对电气控制系统有如下的要求。

① 起升机构的转速分 5 档, 其中 1、2 档为就位档, 3、4、5 档为运行档, 要求在起动及变速过程中, 转速平稳过渡。起升机构速度调节是由变频器完成的。

② 变幅电机和回转电机均是鼠笼式三相异步电动机, 它们的 4 档和 3 档速度调节都是由变频器完成的。

· 基金项目: 国家“95”攻关项目 合同号: 96-730-04-02

作者简介: 姚加飞(1956-), 男, 四川武胜人, 重庆大学副教授, 主要研究方向为智能控制、智能楼宇工程及应用技术。

③ 回转机构由2台电机同轴连接来拖动回转臂。另外, QBT80/45塔机对起升、变幅和回转机构的电控系统中还有一些特殊要求。

④ 在布料工况下, 布料卷扬机与布料摆动臂无需调速。

⑤ 工况转换条件: 当空钩上升到上升停车位, 且变幅小车外行至外行减速位时, 才允许由起重工况转换到布料工况。当布料臂完全收臂到位(X_1 与 X_2 同时动作), 才允许由布料工况转换到起重工况[应在 X_3 未动作的条件下先将摆动臂内旋至极限位(X_4 动作), 再将1节臂收臂到收臂限位(X_5 动作)]。

注: X_1 —布料系统I节臂收臂限位; X_2 —布料系统I节臂放臂限位; X_3 —布料系统I、II节臂夹角限位; X_4 —布料系统II、III节臂靠拢限位; X_5 —布料系统II、III节臂夹角限位; X_6 —布料系统I、II节臂碰撞限位。

1 电气控制系统方案选择

QBT80/45两用塔机的电气控制系统分为主回路和控制回路。其中, 起升电机, 变幅电机, 回转电机, 布料卷扬机, 布料油泵电机, 顶升油泵电机以及起升, 变幅, 回转电机的制动器, 调速装置均已由中国建筑研究院廊坊机械化研究分院提供。

电气控制系统在主电路最前端设置空气开关和熔断器, 作为短路及过流保护; 其后设置接触器主触点作为主回路电源开关, 控制回路采用PLC控制系统。根据用户对QBT80/45塔机电气控制系统的要求, 确定了PLC的输入和输出点数, 因此选用美国通用电气公司GE90-30型组装式80点PLC, 其控制系统框图见图1。

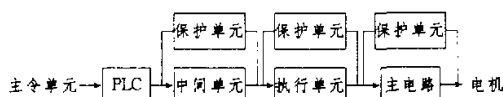


图1 电气控制系统结构框图

图1中的中间单元为中间继电器环节; 执行单元为接触器环节; 虚线框内部分由中国建筑研究院廊坊机械化研究分院提供。

2 电气控制系统的可靠性数学模型

从图1中系统结构框图中可以看出: 除保护单元外, 在组成单元的所有单元中, 任何一个单元发生故障, 都将导致整个系统发生故障; 只有每个单元都不失效, 系统才不失效, 它们是完成系统功能必不可少的单元, 因此该电气控制系统为独立串联系统, 其数学模型如下:

$$R_s(t) = R_1(t)R_2(t)R_3(t)R_4(t) = \prod_{i=1}^4 R_i(t) \quad (1)$$

其中: $R_s(t)$ 为系统的可靠度; $R_1(t)$ 为PLC的可靠度(软件和硬件一起考虑); $R_2(t)$ 为中间单元的可靠度; $R_3(t)$ 为接触器环节的可靠度; $R_4(t)$ 为主电路的可靠度。

设 $\lambda_1(t)$ 、 $\lambda_2(t)$ 、 $\lambda_3(t)$ 和 $\lambda_4(t)$ 分别是PLC、中间单元、接触器环节和主电路的失效率, 则系统的可靠度:

$$R_s(t) = e^{-\lambda(t)} = e^{-\sum_{i=1}^4 \lambda_i(t)} \quad (2)$$

系统的失效率:

$$\lambda_s(t) = \sum_{i=1}^4 \lambda_i(t) \quad (3)$$

系统的平均故障间隔时间:

$$T_{MBF_s} = 1/\lambda_s \quad (4)$$

由式(2)可知, 单元数目 n 、失效率 λ 及工作时间 t 三个因素对串联系统可靠度的影响都是等效的。为了提高串联系统的可靠度, 可采取减少单元数, 降低单元失效率(使用高可靠性、低失效率的单元)或缩短工作时间等措施。在研制QBT80/45塔机电气控制系统的过程中, 主要考虑第2种措施, 即降低单元的失效率。为此, 分别在电气控制系统设计的初期和后期采用元器件计数法和元器件应力分析法对QBT80/45塔机电气控制系统进行了可靠性预计。

3 可靠性预计

3.1 元器件计数可靠性预计法

元器件计数可靠性预计法是根据设备中各种元

器件的数量及该种元器件的通用失效率、元器件质量等级及设备的应用环境类别来估算产品可靠性的一种方法。其计算设备失效率 λ_{AP} 的数学表达式为:

$$\lambda_{AP} = \sum_{i=1}^n N_i (\lambda_{Gi} \pi_{Qi}) \quad (5)$$

式中: λ_{AP} 为设备总失效率; λ_{Gi} 为第 i 种元器件的通用失效率; π_{Qi} 为第 i 种元器件的通用质量系数; N_i 为第 i 种元器件的数量; n 为设备所用元器件的种类数目。

表 1 分别为元器件计数法计算表和各元器件对系统可靠性的影响程度分析表。

表 1 元器件计数可靠性预计法计算表

元件种类	数量 N	π_Q	λ_G ($10^{-6}/h$)	$\lambda_G \pi_Q$ ($10^{-6}/h$)	$N(\lambda_G \pi_Q)$ ($10^{-6}/h$)	影响程度(%)
PLC	1	1.2	3.33	3.996	3.996	3.96
中间继电器	42	1	0.30	0.30	12.6	12.48
热继电器	1	1	5.7	5.7	5.7	5.64
过流继电器	2	1	1.1	1.1	2.2	2.18
相序继电器	1	1	1.1	1.1	1.1	1.09
接触器	33	1	1.1	1.1	36.3	35.95
整流桥	8	3	0.12	0.36	2.88	2.85
线绕电阻器	10	1.5	0.413	0.6195	6.195	6.13
固定电阻器	3	1.5	0.035	0.0525	0.1575	3.42
线绕电位器	1	1.5	2.3	3.45	3.45	0.16
变压器	4	3	0.021	0.063	0.252	0.25
压接接线	780	1	0.0073	0.0073	5.694	5.64
焊接接线	65	1	0.00044	0.00044	0.286	0.28
连接器	2	3	1.4	4.2	4.2	4.16
熔断器	1	3	1.14	3.42	3.42	3.39
断路器	1	3	3.2	9.6	9.6	9.51
调速装置	3	5	0.19	0.95	2.85	2.82
元器件总数: 958 $\sum N(\lambda_G \pi_Q) = 100.981$ $T_{MSP} = 9902 h$						

注: 元器件的应用环境不同, 其失效率也不同, 环境越恶劣其失效率越高。因此在确定通用失效率时, 应先确定其环境类别。该电控系统安装在塔机上, 它的工作环境属 G_F 类(即不受热的建筑物内或通风较好的机架上, 不受震动、冲击影响), 它的通风工作环境温度 42 C。

由表 1 可以看出, 对电气控制系统可靠性影响最大的元器件是接触器和继电器, 因此, 我们在研制电气控制系统的过程中, 着重提高这 2 种元器件的质量等级并对其进行降额设计等措施来降低它们的失效率, 从而提高系统的可靠性。

3.2 元器件应力分析可靠性预计法

在设计定型(样机研制)阶段, 由于已经知道了产品的每个组成部分的详细电路图、元器件清单及每个元器件所承受的应力和工作环境, 可采用元器件应力分析预计法对产品设计进行详细地预计, 确定可靠性薄弱环节, 采取相应措施改进设计, 以实现产品的可靠性目标值。

元器件应力分析可靠性预计法是通过分析元器件所承受的应力, 较全面地考虑了电、热和其它气候、机械环境应力等因素对元器件失效率的影响, 计算元器件在该应力条件下的工作失效率来预计设备或系统可靠性。

3.2.1 元器件应力分析预计法计算步骤

① 按设备或系统的功能原理绘制其可靠性结构框图, 确定各单元间的串、并联关系, 并建立其数学模型;

② 分析各元器件的应用公式、工作环境温度及其环境应力, 以及负载电应力比等工作应力数据;

③ 汇编设备或系统的元器件清单, 包括元器件名称、型号规格、数量、产品标准(或技术文件)、性能额定值, 及有关的设计、工艺、结构参数和工作应力数据等;

④ 按各种类元器件工作失效率模型, 计算每个预计单元内各元器件的工作失效率;

⑤ 将上述②~④步骤所得到的数据填入失效率预计表内;

⑥ 将预计单元内元器件的工作失效率相加, 得单元的失效率;

⑦ 按设备或系统的可靠性结构框图及其数学模型, 计算设备的可靠度与平均故障间隔时间等可靠性指标。

元器件应力分析预计法的基础是元器件失效率的计算。元器件失效率模型是元器件失效率与影响失效率因素之间的关系模型。大多数种类的元器件有基本失效率模型与工作失效率模型。基本失效率

模型一般仅计算温度和电应力对元器件失效率的影响;而工作失效率模型除反应热、电等基本因素外,还包含其它多种的失效率影响因素。

工作失效率(除集成电路外)一般表示为:

$$\lambda_p = \lambda_b \sum_{i=1}^n \pi_i \quad (6)$$

式(6)中, λ_p 为元器件的工作失效率; λ_b 为元器件的基本失效率; π_i 的含义见后面的具体计算中。

3.2.2 各单元的工作失效率

由于各元器件的应用方式、工作环境温度及其它环境应力,以及负载比等工作应力数据都不相同,且它们对元器件的失效率的影响也不同,下面我们分别来讨论各单元的工作失效率。

① PLC。由于“手册”上没有 PLC 的有关数据,我们只能根据厂家提供的数据来进行计算。GE90-30 组装式 PLC 硬件的平均无故障时间是 30 万小时。而它的软件,只要我们在设计调试阶段充分考虑用户要求和认真谨慎,是能够保证它在硬件的平均无故障时间内是不失效的。因此,我们在计算 PLC 的失效率时,将软、硬件当作一个整体考虑:

$$\lambda_p = \frac{1}{T_{MBFP}} = 3.3 \quad (7)$$

考虑到环境因素的影响,取一修正系数 $\alpha=0.2$,则 PLC 的失效率为:

$$\lambda_p = (1 + \alpha)\lambda_p = 3.96 \quad (8)$$

② 中间单元。各元器件失效率模式:

中间继电器:

$$\lambda_p = \lambda_b \prod \pi_i = \lambda_b (\pi_E \pi_C \pi_{CYC} \pi_F) \text{ 失效数} / 10^6 \text{ h} \quad (9)$$

变压器:

$$\lambda_p = \lambda_b \prod \pi_i = \lambda_b (\pi_E \pi_F) \text{ 失效数} / 10^6 \text{ h} \quad (10)$$

$$\lambda_b = A^x \quad (11)$$

$$x = [(273 + T_{HS}) / N_T]^G \quad (12)$$

查表得:

$$T_{HS} = 40 \text{ C}, N_T = 352 \text{ C}, G = 14.0, A = 7.20 \times 10^{-4}$$

整流桥:

$$\lambda_p = \lambda_b \prod \pi_i = \lambda_b (\pi_E \pi_Q \pi_T \pi_F) \text{ 失效数} / 10^6 \text{ h} \quad (13)$$

式(9),式(10),式(13)中, π_E 为环境系数; π_C 为接点形式及数量系数; π_F 为电路功能系数; π_{CYC} 为继电器动作速率系数; π_Q 为质量系数; π_T 为温度系数。

③ 主电路。各元器件应力计算:

电阻器:

$$\lambda_p = \lambda_b (\pi_T \pi_Q \pi_R) \text{ 失效数} / 10^6 \text{ h} \quad (14)$$

电位器:

$$\lambda_p = \lambda_b (\pi_F \pi_R \pi_Q \pi_V) \text{ 失效数} / 10^6 \text{ h} \quad (15)$$

调速装置:

$$\lambda_p = \lambda_b (\pi_E \pi_Q \pi_T \pi_F) \text{ 失效数} / 10^6 \text{ h} \quad (16)$$

式(14)~式(16)中, π_R 为阻值系数; π_V 为电位器的电压系数。

④ 电气控制系统总的工作失效率。由电气控制系统的可靠性模型,则可得到它的工作失效率:

$$\lambda_p = \sum \lambda_{PLC} \cdot \sum \lambda_{\text{电}} \cdot \sum \lambda_{\text{机}} \cdot \sum \lambda_{\text{热}} = 1061.7 / 10^6 \text{ h} \quad (17)$$

$$T_{MBFS} = 1 / \lambda_p = 942 \text{ h}$$

4 结束语

用元器件计数法和应力分析法得到的结果相差较远,这是正常的,因为前者是在电气控制系统设计初期对可靠性的大致估算;而后者是在电气控制系统设计后期的可靠性的计算,它较全面的考虑了电、热和机械环境应力等因素对元器件失效率的影响,结果较为真实准确。

参 考 文 献

- [1] 王锡吉. 可靠性工程技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 1995.
- [2] 史定华. 可靠性数学[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1989.
- [3] GJB/Z-299A. 电子设备可靠性预计手册[Z].