

# 关于 ZD103 型牵引 电动机改进设计的分析与评价

童 春 辉

(电气工程系)

## 摘 要

为 SS6 型电力机车所研制的 ZD103 脉流牵引电动机是在 ZD800—1 型电动机的基础上进行改进设计的。本文对其改进设计作了较全面的分析与评价, 侧重讨论了有关提高电动机持续功率, 改善换向性能和提高恒功速比等问题, 较全面地肯定了 ZD103 型牵引电动机在设计, 结构, 材料和工艺等方面所采用的改进措施。

关键词: 牵引电动机; 改进; 措施; 换向性能; 脉流; 电力机车

## 0 引 言

我国铁路电力牵引的发展, 一代新型电力机车相继研制成功并逐步投入批量生产。由株洲电力机车厂研制的 SS6 型电力机车, 是以日元贷款, 国内招标方式为郑(州) — 宝(鸡) 线提供的 4800KW 六轴交流电力机车。

牵引电动机是电力机车的关键部件之一, 它直接影响机车的性能和运用的可靠性。由株洲电力机车研究所提供基本参数而研制成功的 ZD103 型脉流牵引电动机为设计试制 SS6 型电力机车用牵引电动机打下了良好的基础。按照设计任务书的要求, 该牵引电动机的持续功率为 800KW, 恒功率速度比要达到 1.6 以上。面对这个难题, 研制者在深刻分析研究了现已批量生产的、运用也较成熟的 ZQ800—1 型牵引电动机的基础上, 采取一系列改进措施, 作了较全面的扩功试验, 成功地研制出了 ZD103 型脉流牵引电动机。本文将对其改进设计作一粗浅的分析和评价。

改进设计的特点是要在 ZQ800—1 电机的基础上进行性能改进, 也就是要在保持 ZQ800—1 电机主要零部件可靠性和结构参数、安装尺寸不变的条件下, 达到合同提出的提高持续功率, 改善换向性能, 增大恒功率速度比等要求, 可见其难度是相当大的。这两种型号的牵引电动机主要参数如下:

本文于 1993 年 6 月 10 日收到

	ZQ800—1	ZD103
持续功率 (千瓦)	730	800
额定电压 (伏)	1550	1600
额定电流 (安)	495	530
额定转速 (转/分)	945	970
最大转速 (转/分)	1920	1920
励磁方式	串励	串励
磁场削弱系数 (%)	95, 70, 54, 45	96, 70, 54, 40
绝缘等级 (定子/转子)	H/B	H/F
通风方式	强迫外通风	强迫外通风
通风量 (立方米/分)	135	135
悬挂方式	抱轴式	抱轴式
传动方式	双边斜齿传动	单边直齿传动
质量 (公斤)	3950	4200

## 1 关于提高牵引电动机的持续功率问题

改进设计后的 ZD103 电机持续功率要由原 ZQ800—1 的 730KW 提高到 800KW, 设计者采取了将额定电压提高到 1600 伏, 额定电流提高到 530 安和额定转速提高到 970 转/分等方法。但是, 电磁负荷的增大, 势必造成温升提高, 温升问题是决定电机功率的一个重要因素。

原 ZQ800—1 电机各绕组温升余量不大, 若要将持续功率增大到 800KW, 在各绕组电密和发热因数变化不大的情况下, 要增大各绕组的温升余量, 就必须从结构、材料、工艺诸方面采取有效措施来降低温升。ZD103 电机设计者抓住了这个关键, 首先将电枢绝缘由 B 级改为 F 级, 使允许温升提高为 140K, 这对解决电枢温升紧张问题是一个有力的措施。同时电枢铁心由热轧硅钢片改为冷轧硅钢片, 比损耗降低, 有利于降低电枢温升和提高电机效率。主极线圈导线尺寸适当增大, 电密则由原来的 3.94 安每平方毫米降至 3.17 安每平方毫米, 并应用机械性能、电性能和工艺性能好的绝缘材料, 线圈加压型, 使绕组和绝缘贴靠紧密, 基本上呈无空气隔层状态, 大大提高了导热性, 同时, 采取主极, 换向极与机座一体化结构, 用真空压力浸漆, 增强了漆的渗透能力和线圈、铁心、机座的整体性。实践证明, 这对降低温升具有十分明显的效果。温升试验结果表明, 两台样机各绕组的温升不仅都在允许范围之内, 且余量较大。例如电枢绕组分别有 16~32K 的余量, 主极绕组有 30~41K 的余量, 换向极和补偿绕组有 37~49K 的余量。

从上述情况可见, ZD103 型电动机降低温升的主要措施是在结构、工艺和绝缘三个方面。笔者认为, 设计者的设计思想明确, 切合实际, 不是照抄照搬国外经验。比如说 ZD103 电机采用定子一体化结构, 而 8K 机车的 TAO649D 电动机不采用定子一体化结构, 其原因是后者为内方外圆式机座, 机座内表面为十二个平面体 (六个主极, 六个换向极), 因而定子各绕组不必压弧, 线圈与机座接触面良好, 散热也好。但是, SS3 机车的 ZQ800—1 型电动机则不同,

其主线圈压弧后,由于外圆弧形因铜线反弹而与机座内圆不吻合,使导热性能下降,温升增高。因此,改进后的 ZD103 电机采用定子一体化结构是十分合理的。在电枢绝缘方面,经过详细计算电枢线负荷、电枢绕组电密、发热因数及通风条件等参数后,选用了 F 级绝缘(不盲目追求高等级绝缘)。试验证明,其温升在允许范围之内且有较大的余量。另外,ZD103 在设计时采用株洲电力机车研究所自行开发研制的 D1150F、H 级通用二苯醚无溶剂浸渍漆,满足了主级、换向级和定子一体化的要求。采用无溶剂浸渍漆是改进牵引电机绝缘技术的主要途径之一。国外性能优异的牵引电机均采用无溶剂漆,ZD103 及时采用了自行研制的无溶剂浸渍漆,当然是一项技术进步的实践,其经济效益是肯定的。

## 2 关于改善电机换向问题

换向是直流电机一个复杂又十分重要的问题,对大功率脉流牵引电动机来说尤其如此,因为牵引电动机的运行条件非常困难。

ZD103 电机在详细分析了 ZQ800—1 电机和国内外同类型牵引电动机的各项参数后,认为其换向裕度不大的主要原因还是结构和工艺上的问题,由此,采取了一些有针对性的措施。例如:

1. 在定子方面将主极和换向极位置对换,使磁路比较对称,原来抱轴部分磁密过分饱和问题得以解决(原抱轴处磁密高达 26667 高斯,机座轭部磁密为 16500 高斯)。同时,机座轭部加厚 7 毫米轭部磁密的饱和程度降低,即有利于改善换向又改善了速率特性。此外,还对换向极极靴形状和第一、第二气隙作了改进,获得了较满意的换向补偿情况。

2. 在转子方面,将电枢绕组改用单迭交叉竖放异槽式,槽型改为梯型,绕组绝缘采用聚酰亚胺薄膜,厚度减薄,槽的高度有所减小。电枢铁心改用冷轧硅钢片,使迭压系数提高,铁心长度减少。这些措施都使电抗电势减小,有利于换向。同时换向器工作面加长 20 毫米,可降低电刷单位长度上换向能量值和降低换向器发热,每刷握的数量各增加了一个,因而电刷电密降低,刷握压指压力增加,保证了换向器表面接触面的稳定性。

3. 在制造工艺方面,也采取了一些措施。例如:为了增强换向器的稳定性,将换向器云母板按不同厚度分组排片,保证了换向片每极距下的等分度,使每极距换向片弧长的最大与最小值之差在 0.5 毫米之内。另外还认真调整好电刷中心线在圆周上的等分度和刷握与换向片的平行度。这些措施都有利于改善电机的换向。

由于上述各项措施,使 ZD103 电机的换向性能得到了改善,与 ZQ800—1 相比,其电抗电势  $e_a$  由 3.43 降为 3.105,换向火花在各种情况下,比标准规定均减少一级。

笔者认为 ZD103 改进设计中有某些独特之处。一是针对性强,针对 ZQ800—1 存在的问题,提出改进措施;二是大胆地采用了在理论上证明对改善换向有利的单迭异槽式电枢绕组,这种绕组一般认为制造工艺较麻烦,嵌线不方便而往往不被采用,但其在改善电机换向方面有突出的特点,电抗电势可以明显改善;三是换向器云母板厚度分组排片工艺,虽然增加了一点麻烦,但增加了换向器的稳定性,换向器跳动量小于 0.03 毫米这一工艺应在其它直流电机制造和修理中予以推广;四是换向极极靴形状和第一、第二气隙的调整改进,采用“导电纸模拟法”这一新的研究成果,该模拟法是先选取几种不同的换向极极靴形状,绘出相应的

换向磁场波形,将不同极靴形状下的换向磁场波形和电机的电势波形进行比较,从而可确定最佳换向极靴形状。试验表明,用这种方法优选出的换向极靴能有效地改善电机的换向。最后还要指出,ZD103的设计试制中,还对脉流电机的交流未补偿电势情况做了分析和试验,结论是对脉流电机励磁绕组应采用合适的感应分路和固定分路电阻,这对减小交流未补偿电势有显著效果。例如,当固定分路电阻为1.5%~2.0%,感应分路为2.5%~2.8%毫亨时,交流未补偿电势在额定工况为0.45~0.69伏;在电枢电流 $I_a=310$ 安,磁场削弱系数 $\beta=45\%$ 时,为0.82~0.99伏。若固定电阻分路电阻为2.5%~3%,不加感应分路,其交流未补偿电势在 $I_a=310$ 安, $\beta=45\%$ 时,为1.96~2.1伏。可见,仅采用固定分路电阻不加感应分路,其交流未补偿电势很大,势必影响电机的换向。如两者都不加入,则换向会严重恶化。

### 3 关于牵引电动机的功率利用问题

对电力机车提出的基本要求之一,就是必须在很宽的运行速度范围内充分利用其功率。可见牵引电动机的功率利用程度直接影响机车性能。牵引电动机功率利用系数 $K_p$ 可用下式表达:

$$K_p = \frac{1}{\beta K_b K_v}$$

式中: $\beta$ ——磁场削弱系数;

$K_b$ ——电动机磁饱和系数;

$K_v$ ——机车速度调节系数。

上式表明了机车在最大速度运行时,牵引电动机功率利用系数 $K_p$ 和磁场削弱系数 $\beta$ 以及调节系数 $K_b$ 和 $k_v$ 的关系。

ZD103牵引电动机的研制在分析了国内外多种牵引电动机的功率利用情况的基础上,对ZQ800—1电机提出了两项有效的改进措施。

(1)如前所述,将电机机座轭部厚度加大37毫米,使其磁密由16500高斯降至14714高斯,电机的饱和系数相应降低为1.448,比原来的1.674降低0.226, $K_b$ 的降低,改善了电机的功率利用。

(2)加深磁场削弱。磁场削弱是作为提高串励牵引电动机功率利用的重要手段。只要在电机换向条件允许的情况下,这一措施是十分有效的。ZD103电机的磁场削弱系数 $\beta_{max}$ 取为40%,比ZQ800—1的45%明显降低。试验证明, $\beta_{max}$ 降低后能保证换向具有较好的性能。

由于采取了以上改进措施,既改善了机车的恒功率速度比,又改善了最高速度时的功率利用系数,其恒功率速度比由1.39提高为1.7,最高速度时的功率利用系数由0.672提高到0.88。

需要指出的是根据ZD103牵引电机试制试验总结介绍,该电机换向性能指标均为试验台上数据,电机在试验台上是工作在稳定状态之下,而机车运行中,牵引电动机还要受到其它各种因素的影响。例如供电系统接触网电压有时会高出额定值很多,在宝成线某区段,网压常达29000伏,有时竟高达32000伏,网压突变和操作转换,有可能导致电枢电流急剧增加,电枢反应大为加强,导致电机最大片间电压大大提高,电位特性变坏,尤其在加深磁场削弱

后, 换向可能更加困难。因此, ZD103 电动机还须经过一段较长期的运行考核后, 进一步对其换向性能作出合理的科学的评价。

综上所述, ZD103 型牵引电动机在设计、结构、材料和工艺等方面都作了适当改进, 从试验结果来看, 该电机的温升、换向、转速、换向器跳动量等主要性能均达到了技术条件的要求, 有些指标比技术条件所要求的还好。这就证明, 应用新的又较成熟的材料、结构和工艺是提高电机质量的重要途径。ZD103 电动机已圆满实现持续功率达 800KW 以上, 恒功率速比达 1.6 以上, 换向性能良好等项要求, 其改进设计及研制取得了成功。

### 参 考 文 献

- (1) 株洲电力机车研究所. ZD103 脉流牵引电动机试制试验总结. 1988
- (2) 铁道部产品质量监督检验中心, 牵引电气设备检验站. ZD103 脉流牵引电动机验证试验报告. 1988
- (3) 沈本荫. 牵引电机. 北京: 中国铁道出版社, 1991: 78

## Analysis and Evaluation of Advanced Design for

## Type ZD103 Tracaion Motor

Tong Chunhui

### ABSTRACT

The advancde design for ZD103 Pulsating current traction of SS6 electric locomotive is based on ZQ800-1 motor. A defailed analysis andevaluation about the design is listed in this paper. Discussions on increase motor continuous powers, improvement commutating performance, raise ratio of constant power to speed are stressed. the author affirmthe improvement measures adopted in design, structure, material, technology of ZD103 traction motor.

**Key words:** Traction motor; Impovemint; Measure; Commutaaing performance; Pulsating current; Electric locomotive