

GEVO16 型柴油机机体的设计分析

张松杨

(南车集团公司 戚墅堰机车有限公司 产品设计部, 江苏常州 213011)

摘 要 在 GEVO16 型柴油机机体的转化过程中, 分析了 GEVO16 柴油机机体的结构特点, 列举了一些参数, 并就结构设计和形位公差等几个方面, 与 R16V280Z 柴油机机体进行了比较。

关键词 GEVO16 型柴油机; 机体; 结构; 设计

中图分类号: TK413.11 文献标志码: A

GEVO16 型柴油机是 HX_N5 型干线机车用大功率中速柴油机, 机体作为整个柴油机的安装基础和骨架, 结构形状复杂, 工作中承受着各种复杂的交变载荷, 具有设计难度大, 制造要求高的特点。2006 年我公司着手进行了 GEVO16 型柴油机机体 (以下简称“GEVO16 机体”) 的转化研制, 转化从分析 UG 三维铸造模型和全套图纸开始, 然后研制铸造模型, 进行浇铸和机械加工。

1 GEVO16 机体的特点

GEVO16 型柴油机为 16 缸 V 型四冲程水冷机车用柴油机, 采用动力组结构, 功率等级和目前国内最大功率的机车用 R16V280Z 型柴油机处于同等水平 (见表 1), 但强化指标要高于 R16V280Z 型柴油机。机体采用龙门式结构, 横截面为六边形, 有很大的抗弯、抗扭刚度, 材质与国内同等功率机型的机体相同, 符

合国标球铁 QT-500 的要求 (见图 1)。R16V280Z 型柴油机是我公司与奥地利 AVL 公司合作开发的机型, 比较两者的设计, 就机体设计而言, 其结构形式, 有很多共同点。在设计中都充分考虑了机体的刚度和强度, 但是 R16V280Z 型柴油机采用湿式气缸套, GEVO16 型柴油机采用的是加强套结构, 因此两者在机体上部的设计参数选择上有所不同; 当然, 机体的设计有其共同的规律, 必须有足够的刚度、强度、较小的尺寸和质量, 合理的结构形式及精确的尺寸。机体结构的发展过程, 实质上就是为了适应柴油机不断强化需要的过程。无论是 GEVO16 机体, 还是 R16V280Z 柴油机机体 (以下简称“R16V280 机体”), 在其结构设计中都有侧重的方面和优缺点。下面就 GEVO16 机体结构设计中的刚度和强度、尺寸、形位公差和尺寸配合等与 R16V280 机体做一些比较和分析 (见图 2)。

张松杨 (1968 -) 男, 安徽南陵人, 高级工程师 (收稿日期: 2008 - 11 - 07)

200 km/h 和速度 160 km/h 铁路用的大吨位预制梁运输问题, 因而具有重大的现实意义和社会价值。

(3) 根据《中长期铁路网规划》, 到 2020 年要建成铁路网 10 万 km, 目前已建成 7 万 km, 扣除客运专线 112 万 km, 还需要新建客货共线铁路 118 万 km, 其中 32 m 跨度梁约为 1 692 km, 折合 52 875 孔。按 15 年均衡运送, 每年约需运送大吨位预制梁 3 525 孔, 所需

专用车至少为 14 000 辆次。因此 DL₁ 型大吨位预制梁运输专用车将具有良好的经济效益和社会效益。

参考文献

- 1) 大吨位预制梁运输专用车车体静强度试验报告, 20061
- 2) 大吨位预制梁运输专用车冲击试验报告, 20061
- 3) 大吨位预制梁运输专用车动力学试验报告, 20061
- 4) 大吨位预制梁运输专用车装载加固性能试验报告, 20061

DL₁ Large Tonnage Precast Beam Special Transport Car

ZHANG Zhong

(Product Development Department of CSR Beijing Erqi Rolling Stock Works, Beijing 100072, China)

Abstract: This paper expounds significance of developing new type large tonnage precast beam special transport car. The main features, main structure sizes and performance parameter of DL₁ large tonnage precast beam special transport car are introduced. Type test shows that the strength, stiffness, dynamic performance and cargo loading strengthening of the car in according with the related standard regulations and it can meet the need of transportation.

Keywords: precast beam; special transport car; transportation; loading strengthening

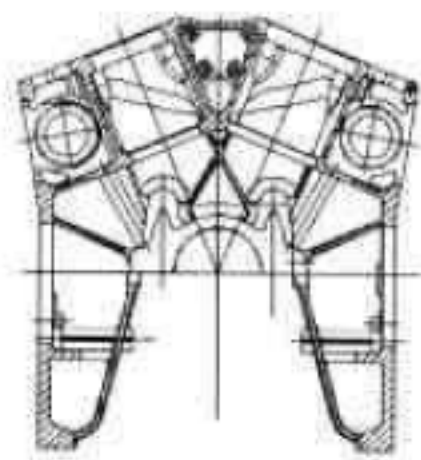


图1 GEVO16 机体横截面

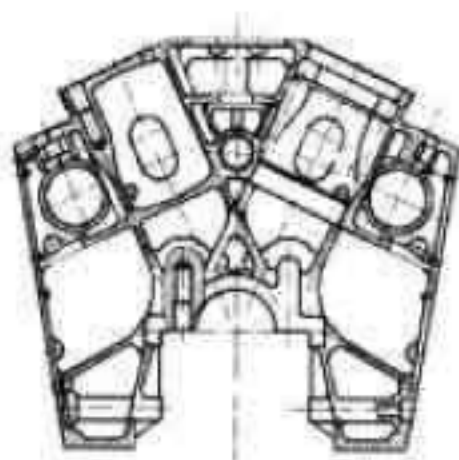


图2 R16V280 机体横截面

表1 GEVO16 柴油机和国内同等功率柴油机
及机体设计主要参数

机型	标定 功率/ kW	气缸 直径/ mm	活塞 行程/ mm	最大平 均爆压/ MPa	平均有 效压力/ MPa	活塞平 均速度/ (m·s ⁻¹)	主轴 直径/ mm	气缸中 心距/ mm	V形 夹角/ (°)
R16V280Z	4 710	280	300	15.15	11.91	10.100	250	455	50
12V280ZA (大连)	4 410	280	320	18.10	2.124	10.167	250		50
GEVO16	4 660	250	320	19.15	2.112	11.120	250	445	45

2 机体的刚度和强度

作为柴油机骨架的机体，在柴油机运转中，承受着气体压力、活塞侧压力以及曲轴加在各主轴承上的力和柴油机的支承反力等，这些力的大小、方向随工况和曲轴转角不断变化，作用点也不断移动；其次机体还承受着较大的气缸盖螺栓、主轴承螺栓的预紧力，所有这些作用力使机体受到交变的拉压弯扭，产生复杂的应力和变形状态，因此，机体设计中刚度和强度设计，是整个机体设计的关键。提高机体刚度和强度的常用方法有以下几种：

(1) 根据机体各部分受力情况，合理布置材料，使机体各处的应力在安全可靠的范围内。如机体顶面和曲轴箱底面离开机体的纵向弯曲中性面的距离最大，增加该处的截面可以使抗弯刚度有较大的提高。

(2) 增大机体的断面提高机体的刚度，将机体横截面设计为“六边形”，将曲轴箱的剖分面“下沉”到曲轴中心线以下。“下沉量”（机体裙部深度）选择的基本目的是为了提机体的刚度。加大曲轴中心到机体底面距离 h 和柴油机冲程 S 的比值，有利于提高机体整体抗弯、抗扭刚度。

(3) 设计中将机油及冷却水通道安排在机体内部铸造成型。

(4) 合理地布置加强筋以提高机体刚度和强度，减轻机体的质量。

以上几种方法，在两种机体的设计中均已体现。由机体的横截面图可以看出，在机体刚度和强度方面，GEVO16 机体更优于 R16V280 机体。最突出的表现在 GEVO16 机体的曲轴中心到机体底面距离远大于 R16V280 机体。曲轴中心到机体底面的距离与冲程的

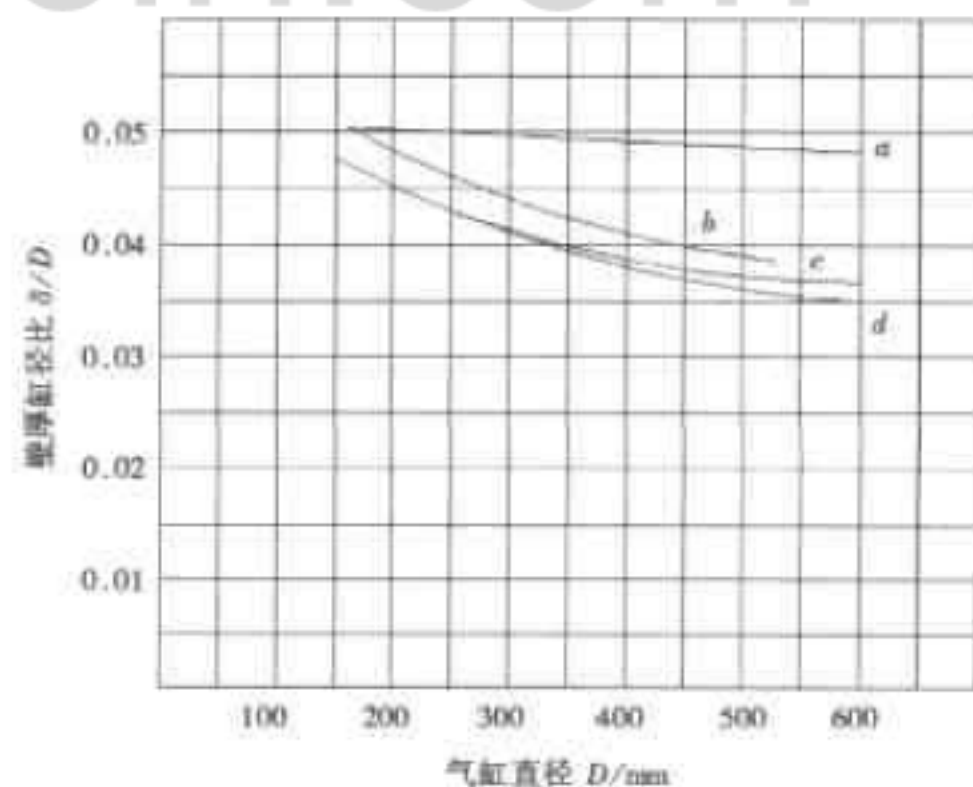
比值增大，机体的整体抗扭、抗弯刚度就增大。这个比值，典型的机车用中速机范围在 112~116 之间^[1]，R16V280 机体比值处于下限，而 GEVO16 机体略超上限。随着柴油机强化程度的提高，GEVO16 机体刚度设计的思路，我们可以借用。GEVO16 机体的刚度设计，由于其采用的是动力组形式的设计，顶面高比其他柴油机都略小，所以 GE 公司采用较深的裙部。在这方面，GE 公司是有经验教训的，据相关资料^[2]称：GEVO16 机体的前身 7HDL 柴油机机体，由于刚度不足，运用中出现了问题，因而加大了裙部深度，所以 GE 机体的设计也是在机型的发展中不断地进行改进提高的。

3 机体的尺寸

机车柴油机的设计，受安装位置的限制，对外型尺寸要求严格。机体作为整个柴油机的骨架，内外部安装了柴油机的所有部件和附件，因此，机体的尺寸设计应做到细致入微。柴油机机体发展至今，在结构设计中很难有较大的突破，往往是在每个具体尺寸、局部结构的设计中体现。以下从机体设计中很重要的壁厚、螺栓、加强筋和隔板、润滑油道等方面，来分析具体的事例。

(1) 机体的壁厚

机体壁厚的选择，一般都是按经验统计数据结合机体所用材料以及受力情况等来决定，并通过实际考核来最终确定。图 3 是铸铁机体各部分壁厚与气缸直径的关系图^[3]。比较 GEVO16 机体和 R16V280 机体的壁厚（见表 2），GEVO16 机体的曲轴箱侧壁厚度远大于 R16V280 机体的壁厚。



a - 机座横隔板的壁厚比值；b - 机座纵向侧壁的壁厚比值
c - 曲轴箱侧壁的壁厚比值；d - 气缸体侧壁的壁厚比值。

图3 铸铁机体的壁厚比值

表 2 GEVO16 和 R16V280Z 柴油机机体主要壁厚对比 mm

机型	凸轮轴腔侧壁	横隔板	曲轴箱侧壁	气缸体壁厚
GEVO16	17	17	3115~3615	15
R16V280Z	18	15	18	18

现代柴油机的开发，强化系数是越来越高，平均有效压力不断提升，因而设计柴油机机体壁厚时，应在许可的条件下，增加壁厚，来提高机体的刚度和强度。参考其他国外机型，如 Wartsilia 柴油机机体，壁厚尺寸较大，特别是曲轴箱侧壁。国外柴油机试验表明，曲轴箱侧壁厚度的增加，会明显降低柴油机的噪声，同时也大大提高机体的刚度和强度^[9]。R16V280 机体的动力测试表明，机体曲轴箱侧壁部分区域应力处于较高的水平。

(2) 机体螺栓

机体高强度螺栓的设计，在机体的设计中是至关重要的。螺栓的布置和选择对整个柴油机的设计影响很大，如主轴承螺栓的公称尺寸对主轴承座的宽度、厚度和柴油机的缸心距，气缸盖螺栓的公称尺寸对气缸盖的结构、机体气缸体的宽度和机体上部的设计等；同时这两种螺栓的设计还涉及柴油机的长度尺寸和刚度，以及力的传递。螺栓预紧力的大小，对机体的应力、变形和加工作用很大。下面就螺栓的公称尺寸和拉伸量作一些比较，见表 3。

表 3 GEVO16 和 R16V280Z 柴油机机体高强度螺栓对比

机型	主轴承螺栓		气缸盖螺栓	
	公称直径	最终伸长量/mm	公称直径	最终伸长量/mm
R16V280Z	M52 ×3	1115~1120	M48 ×3	1115~1120
GEVO16	M45 ×2	1198	M36 ×2	2162~2164

由表 3 可见，GEVO16 机体螺栓的公称尺寸小于 R16V280 机体螺栓的公称尺寸，但螺栓的拉伸量却大大超过 R16V280 机体螺栓的伸长量，这表明 GE 在机体和螺栓的制造和运用处于较高的水平，能够用足材料的性能。虽然，R16V280 机体设计时，螺栓设计已部分接受了国外柴油机螺栓设计的观点。但当时考虑到国内材料的质量现状和制作水准，对材料的性能运用处于较低的水平。随着近几年来材料水平的提升和研究的深入，如 280 主轴承螺栓材料评估的完成，GE 机体和螺栓的设计思想是可以借鉴的，以满足不断强化的柴油机螺栓设计需要。

(3) 加强筋和隔板

加强筋和隔板的设计，在机体设计中占据重要位置。设计时，往往依据设计者的经验，十分慎重地设计，并要经过有限元计算和应力测试。气缸爆发压力在柴油机内的传递和平衡，均在横隔板、加强筋和螺栓搭子内传递。机体的主要加强筋尽可能沿气缸盖螺

栓搭子到主轴承螺栓搭子的连线和接近连线布置，加强筋的厚度和高度应不大于隔板的厚度。在这些强载荷区域内，现代机体设计隔板时，主轴承座—横隔板、气缸体顶板—横隔板—气缸体水套下隔板等主要直角交接处，以斜面加强，并以圆角相接。比较两种机体，加强筋的设计都遵循了相同的规律。GEVO16 机体在中间立板设计，采用 4° 斜角，从主轴承座往上伸展，这一点比 R16V280 机体更合理（图 4）。



图 4 中间立板的角度

(4) 机体油道的设计

机体设计中，润滑油道浇铸在机体内部，可增强机体的刚度，简化柴油机的外部结构，便于安装维护，减少漏泄。V 型柴油机常常在 V 形夹腔内布置主油道、水道。R16V280Z 柴油机机体的 V 形夹腔内，不仅有水道、主油道，还布置了增压进气腔。机车柴油机的润滑油路设计，润滑油一般都是由主油道经润滑油支道流出，润滑曲轴和凸轮轴，再由曲轴流向活塞连杆组。GEVO16 机体润滑油路的设计，润滑油是由凸轮轴经各支道流向主轴承，润滑曲轴，然后流向活塞连杆组，取消了主油道的设计（见图 4），在凸轮轴座和主轴承座之间设计了两条 <50 的搭子，既解决润滑油的流通，起到加强机体刚度的作用，也将 V 形夹腔全部用作冷却水腔，便于冷却水流的组织。当然，GE2 VO16 柴油机为动力组结构，机体上部距离短，空间紧张，布置主油道的空间有限，所以合理的改变润滑油路的设计思路，解决了设计中难点。R16V280 机体在布置主油道时存在同样的问题。

4 形位公差和配合尺寸的选择

为了保证活塞、连杆、曲轴、气缸套等重要零件工作的可靠耐久，必须保持它们精确的相对位置。因此，机体重要加工面的尺寸、几何形状、相互位置等都有严格的公差要求。比较 GEVO16 机体和 R16V280

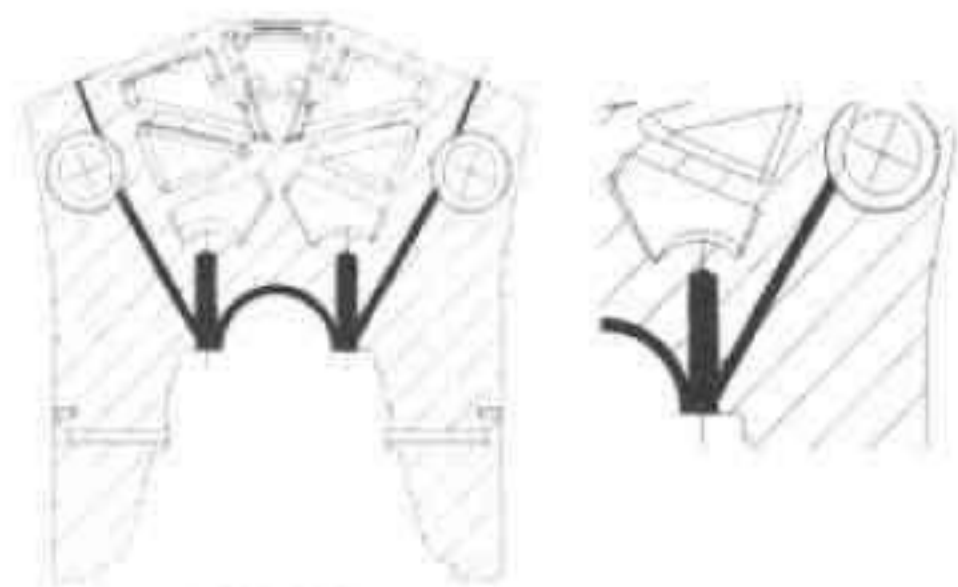


图5 GEVO16 机体横截面润滑油道布置和主轴承处放大图
机体的加工尺寸精度和形位公差，除主轴承孔和凸轮轴孔的形位公差表示方式不同以及柴油机结构上的差别，总体来说 GEVO16 机体的加工精度和形位公差要求要高于 R16V280Z 机体（见表4），且必须经 CMM（三坐标测量机）检测。随着引进工作的加大，加工设备和检测设备的更新提高，CMM 等的引进，也可以提高 R16V280Z 柴油机形位公差的选择和配合尺寸的精度柴油机和机体的可靠性也随之有所改善。

表4 GEVO16 机体和 R16V280 机体部分尺寸和形位公差对比

机型	主轴承孔	凸轮轴孔	主轴承 螺栓孔	气缸盖 螺栓孔	气缸 安装孔	止推面	主轴承 座开档	输出 端面
GEVO16	H6	H6	4H	4H	H7	~H8	H7	
R16V280Z	H6	H7	6H	6H	H7	H11	H8	
尺寸 精度	跳动：圆柱度：位置度：位置度：垂直度：跳动：垂直度：平面度： 0.03 0.025/60 <0.15 <0.14 <0.104 0.03 0.02 0.05 直线度：直线度：垂直度：垂直度：同轴度：平行度：垂直度： GEVO16 <0.103/960 <0.103/960 <0.11 <0.11 <0.11 0.02 0.11 <0.11 <0.11 位置度： /3.67715 /3.67715 <0.14							
形位 公差	R16V280Z 圆柱度：圆柱度：圆柱度：垂直 垂直度：平面度： 0.01 同 0.01 同 0.013 度： 0.03 0.05 轴度：相 轴度：相 同轴度： 0.103 /1.000 邻 邻 <0.104 垂直度： <0.105 <0.106 位置度： 0.115 全长 全长 <0.112 <0.11 <0.112							

5 GEVO16 型柴油机机体图纸特性

GEVO16 型柴油机其图纸信息的安排有它的特色。R16V280Z 柴油机机体有结构和外形两张图纸，包含机体的铸造、加工和与主轴承盖配合的信息。GEVO16

机体图纸分类较细，有铸造图，粗加工图、精加工和润滑油道布置图，铸造还有 UG 三维模型为依据，且每类图纸的张数较多，粗加工有 10 张图纸，图纸中能反映到加工流程的设置，每一类大的特征集中在一张图纸上。对于机体表面众多的安装孔，图纸上有相应的表格注明其坐标，符合当前数控加工的特点。比较两种机型的图纸设置，R16V280 机体的图纸仅包含加工制造的设计要求，相对简单；GEVO16 机体图纸的设置兼顾了加工流程的概念，以相对应的图纸进行生产加工。当然，机体的制作和加工，每道工序是相互紧密配合。而 GE 机体的生产环节，是在各个不同生产厂家完成的，如毛坯的铸造，由铸造供应商提供毛坯粗加工在粗加工厂家进行；GE 的柴油机工厂仅完成加工图纸的最终信息。由此而来，GE 柴油机机体的设计始终伴随着工艺，图纸的设置反映了工艺的需求。也就是常说的设计过程与工艺过程相结合的观念。280 系列机体制作，从铸造到加工，均在内部完成；随着产品数量和种类的增多，工艺协作的观念更新，专业化生产的提升，更多的供应商参与，从商业、保密的角度，图纸的体系和设置也应有相应的变化。

6 结束语

以上只是在转化过程中，对 GEVO16 型柴油机机体的设计，进行了粗略地分析，并与 R16V280Z 柴油机的机体做了一些对比。比较两种机体，都不失为是较为典型的机体设计。但随转化工作的进一步开展要进一步吸收国外先进的观点，对开发新一代的机车用柴油机机体将有所帮助。

参考文献

- [1] 白荫辉，吴新民 116V280Z 柴油机机体结构强度研究 C 1 北京：铁道部科学研究院机车车辆研究所，第 5 届大功率柴油机学术年会论文选集，1987，148 - 1561
- [2] 李毅聪 112V280Z 型柴油机机体设计 J 1 内燃机车，2001，(12)：20 - 231
- [3] 西南交通大学主编 1 机车柴油机结构设计 M 1 北京：中国铁道出版社，19811
- [4] 符锡侯，杨杰民 1 车辆用柴油机总体设计 M 1 上海：上海交通大学出版社，19921

Design Analysis on the Mainframe of GEVO16 Diesel Engine

ZHANG Song - yang

(CSR Qishuyan Locomotive Co Ltd1, Changzhou 213011 jiangsu, China)

Abstract : During the process of transformation for the mainframe of GEVO16 Diesel Engine, this paper analysed the configuration features, lists some parameters of mainframe of GEVO16 Diesel Engine, and compared with the mainframe of R16V280Z Diesel Engine in physical design, form and position tolerance and etc1

Key words : GEVO16 diesel engine; mainframe; configuration; design