

起动机—发电机 一体化技术(ISG)

未来汽车设计的基础

阿尔弗雷德·克拉普尔 等编
中国第一汽车集团公司技术中心 译

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

起动机 - 发电机一体化技术 (ISG)

——未来汽车设计的基础

阿尔弗雷德·克拉普尔 等编

中国第一汽车集团公司技术中心 译

魏春源 审



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

该书提供了目前有关 ISG (德文为 KSG) 的多种结构发展状况的资料, 可得到下列领域中的一些实际信息: 异步电机、同步电机、电子控制技术、14 V/42 V 直流-直流电压变换器, 现代电能存储器、新的汽车电气系统、按需控制的辅助装置和它对燃油消耗的影响及 ISG 系统在汽车上的应用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

起动机-发电机一体化技术 (ISG): 未来汽车设计的基础 / (德) 阿尔弗雷德等编; 中国第一汽车集团公司技术中心译. —北京: 北京理工大学出版社, 2008. 11

ISBN 978-7-5640-1646-3

I. 起… II. ①阿…②中… III. ①汽车-发电机-机电一体化-文集②汽车-起动机-机电一体化-文集 IV. U46-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 095993 号

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2008-2945 号

Copyright © of the original edition: expert verlag (year)

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京圣瑞伦印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 16.75

字 数 / 289 千字

版 次 / 2008 年 11 月第 1 版 2008 年 11 月第 1 次印刷

印 数 / 1~3000 册

定 价 / 56.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 母长新

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

出版说明

为贯彻汽车工业产业政策，推动和加强汽车工程图书的出版工作，中国汽车工程学会成立了“汽车工程图书出版专家委员会”。委员会由有关领导机关、企事业单位、大中专院校的专家和学者组成，其中心任务是策划、推荐、评审各类汽车图书选题。图书选题的范围包括：学术水平高、内容有创见、在工程技术理论方面有突破的应用科学专著和教材；学术思想新颖、内容具体、实用，对汽车工程技术有较大推动作用，密切结合汽车工业技术现代化，有高新技术内容的工程技术类图书；有重要发展前景，有重大使用价值，密切结合汽车工程技术现代化需要的新工艺、新材料图书；反映国外汽车工程先进技术的译著；使用维修、普及类汽车图书。

出版专家委员会是在深化改革中，实行专业学会、企业、学校、研究所等相互结合，专家学者直接参与并推动专业图书向高水平、高质量、有序发展的新尝试。它必将对活跃、繁荣专业著作的出版事业起到很好的推动作用。希望各位同仁、专家积极参与、关心、监督我们的工作。限于水平和经验，委员会推荐出版的图书难免存在不足之处，敬请广大同行和读者批评指正。

本书由中国第一汽车集团公司技术中心·科技信息部等人翻译，魏春源审校。由专家委员会推荐出版。

汽车工程图书出版专家委员会

译者序

本书根据从2000年10月出版的“发电机-起动机一体化技术”德文第2版译出。

“发电机-起动机一体化技术”德文第1版1999年出版，时隔1年又出版了第2版。该书在内容上作了修订与扩展，它反映了ISG技术的飞速发展和取得的最新成果。

现代汽车是高新技术的结晶与体现。它涵盖了力学、机械、材料、声、光、电、计算机、自动控制、信息技术等基础学科和新型学科群。迄今还没有像汽车一样的产品在广度和深度上已经进入千家万户，并融入到人们的生活之中。

该书提供了目前有关ISG（德文的缩写为KSG）的多种结构的发展状况的资料。汽车决策者根据汽车开发目标，要作出这种或那种方案抉择。在下面的这些文章中可得到下列领域中的一些实际信息：

- 异步电机；
- 同步电机；
- 电子控制技术；
- 14 V/42 V 直流-直流电压变换器；
- 现代电能存储器；
- 新的汽车电气系统；
- 按需控制的辅助装置和它对燃油消耗的影响；
- ISG系统在汽车上的应用。

供货者的各种观点启发了汽车生产厂家开发ISG目标的遐想；提出了实现ISG的建议；出示了ISG在实际试验中已取得的结果。

随着汽车用电量的激增，要求汽车电气系统的蓄电池、发电机和用电器件（设备等）间建立电能管理系统，使供电与用电间有最好的协调与动态平衡，并正在考虑采用42 V的汽车电气系统的供电电压。已经商业化的、一体化的起动机-交流发电机与曲轴耦合不但提高了电气系的效率，还可实现启动、停机功能和回收额外的发动机转动能量，以节省燃油消耗和降低有害气体排放。

本书面向：开发者，设计师，汽车工业的部件和整车决策者，电机、电能存储器、14 V/42 V 直流-直流电压变换器、电缆、接插件、辅助装置等领域

的开发者和创新者，以及其他爱好者。

由于该书由很多工程技术人员参与编写，在一些内容的安排与衔接上难免有所交叉、搭接，在编写风格上也略有差别，但总体上仍是系统和完整的。

译、校者虽然在译文、专业内容、名词术语等方面进行反复斟酌，并向有关的专业人员请教，但限于译、校者的水平与对内容的理解，谬误和不当之处恳请读者批评、指正。

译者

2008年6月

前 言

舒适型现代轿车如今装备了 2 kW 交流发电机，采用液体冷却的结构，在噪声上得到优化。这种交流发电机用于电气系统及 14 V、150 A 蓄电池的充电。在进一步开发这种发电机的同时，在世界范围内意识到未来汽车中机械和液压促动器及辅助装置部分将由电机械来替代。

讨论这样的方案，即在使用电辅助装置减少油耗的同时也要提高舒适性，如汽车空调。对此，上面提到的约 2 kW 的交流发电机功率已不能满足要求。此外，应用众所周知的发电机原理采用现今带传动几乎不能超过 3 kW 电功率。

为了解决这一复杂问题，除了能发出约 5 ~ 7 kW 电能的曲轴 - 起动机 - 发电机以外，还有新的存储技术、双电压汽车电源（14 V/42 V）以及特殊电转换器。

这些模块在千年交替之后将装入现代轿车。下面的文章全面地介绍了已经达到的开发水准。同时它也清楚地告诉我们，哪些领域需要我们加强关注，以使整个系统达到批量化的水平并达到经济可行。

Alfred Krappel

目 录

第 1 章	经济和生态对立中的汽车——对汽车设计师的一种挑战	(1)
第 2 章	ISAD 技术：紧凑的高功率的 ISG	(5)
第 3 章	装有异步电机及磁场调节的现代汽车起动机 - 发电机	(18)
第 4 章	以永磁同步机为基础的装在曲轴上的起动机 - 发电机	(36)
第 5 章	驱动系中的电机	(52)
第 6 章	起动机 - 发电机：方案和潜力	(70)
第 7 章	起动机 - 交流发电机一体化系统：日产的解决方案	(85)
第 8 章	沃尔沃的起动机 - 发电机一体化系统	(97)
第 9 章	革新的电机械驱动气门的功能、潜力和供电	(109)
第 10 章	ISG 对内燃机扭振特性的影响	(121)
第 11 章	ISG 设计方案中所用的蓄电池及其监控系统	(134)
第 12 章	高功率储能器	(150)
第 13 章	超级电容器——汽车应用中革新的能量储存器	(159)
第 14 章	超级电容器：电动车/混合动力车的能量储存方案	(164)
第 15 章	42 V 电源结构	(171)
第 16 章	双电压汽车电源部件和电能管理	(190)
第 17 章	现代轿车 14 V/42 V 汽车电源设计中的革新	(208)
第 18 章	14 V/42 V 汽车电源——对原 14 V 汽车电源继承性的发展	(222)
第 19 章	新结构辅助装置（包括有效制动）带来的节能潜力	(237)

■ 第 1 章

经济和生态对立中的汽车 ——对汽车设计师的一种挑战

Fohannes Liebl

1 经济和生态对立中的汽车

涉及人员和货物运输多方面的交通工具是高度分工经济体系中富裕化的绝对前提。

比如在德国，超过 500 万个工作岗位直接或间接地与交通有关。因此无论是今天还是将来都不能放弃交通工具。所以我们必须与所有交通参与者和相关者一同致力于减少由交通带来的各种负担或使之降低到能够忍受的程度。由汽车产生的最易“有据可查的负担”除了噪声排放外还有废气排放和油耗。但是废气排放和油耗不仅仅与汽车发电机有关，在很大程度上还受其他因素影响，比如交通设施、交通组织、司机行为以及社会边缘条件。

2 轿车油耗

自 1978 年以来，加入 VDA（德国汽车制造商联合会）的德国汽车企业的登记注册车辆的平均油耗从 9.8 L/100 km 降到 1996 年的 7.3 L/100 km。这主要是通过像燃油喷射、5 挡变速器和发动机电子控制措施实现的。

此外，一方面从对生态负责的角度，另一方面从对经济需求方面的考虑，加入欧洲汽车设计师协会（ACEA）的汽车制造商在 1998 年 3 月向欧洲委员会提出将在欧洲新注册的车辆的 CO₂ 排放值从 1995 年的每公里平均约 190 g 减少到 2008 年的 140 g，这相当于减少了 25%。在此期间欧洲委员会接受了这项建议。

但是要注意的是，不能仅仅依靠标准化的测试方法来评价汽车而忽视了用户手中的“真实”油耗。测试虽然非常适合于汽车间的比较，但是用户手中的真实的油耗主要受交通流、个人驾驶风格和接通的“元器件”的影响。

3 轿车的废气排放

汽车工业在过去已经很大程度上实现了按照技术和经济方法把环境负担减少到了最低点。首先根本性地降低排放（采用无铅汽油），在欧洲 20 世纪 80 年代中期就已实现了，然后是采用催化器。与 20 世纪 70 年代相比，轿车的排放值减少了 90% 多。

随着 2001 年欧洲 3 号和 2005 年起 4 号排放法规的实施，在欧洲也要达到类似于美国的废气排放值，该值只是刚刚超过可证明的极限。

为了使汽车能够长时间保持这种低排放，需要越来越昂贵的技术。宝马公司的 750i 轿车使用了电加热催化器，因此这种 12 缸车的废气排放就比某些小型车低。

4 轿车的驱动方式

为了能够满足越来越严格的低排放和低油耗要求，需要采用大量新技术，光进行优化是不够的。因此不论在汽车开发还是在驱动系统开发上都必须有新的技术。对未来可能的汽车驱动系统的评价我们达成了以下共识：

带内燃发动机和电机的混合驱动装置由于复杂、质量重和结构空间大只能在有限范围内使用。

带蓄电池的电动机一般用在关键的密集区、短距离内行驶的小型车上，从 2003 年起在加利福尼亚要求汽车上配备。在早期开发中，燃料电池的开发是与电动机结合在一起的。毫无疑问，它的优点是可以使用非石油工业化燃料；但缺点是目前还不具备基本配套设施。

由于回转活塞式发动机燃烧室形状不利于火焰传播，燃气轮机和斯特林发动机动态响应特性和部分负荷特性过于一般，不适合用在轿车驱动装置中。

出于上述原因，我们认为，冲程式活塞发动机在轿车驱动装置上仍将占主导地位。

虽然柴油机的地位提高到了与混合驱动装置一样的地位，但是我们认为 4 冲程汽油机仍然占中心地位。

5 达到油耗、排放和用户要求的措施

那么，采用哪些技术方法可以最好地满足生态和经济方面必要的要求呢？

5.1 无节流负载控制

使用完全可变的气门控制（通过合乎需要的行程调节气缸充气）可以取

消节气门，使发动机的换气功能得到改善，使油耗能够节省 10% ~ 15%。这种完全可变性要么通过气门上的机械操纵式附加轴，要么通过电动装置来实现。

此外，完全可变的气门可以装用人们熟知的三元催化器系统，达到极低的排放值。

这种无节流也可以通过直接向燃烧室喷油，并在混合气体高度稀释化的情况下来实现。

这种工作方式可以挖掘出 15% ~ 20% 的油耗潜力。遗憾的是，废气处理技术还没有成熟到能够确保达到先前提到的较低的欧洲 4 号排放值的程度。

5.2 无级变速器

这种变速器能够使变速比在比传统的自动变速器还要大的范围内无级地变化。这样使发动机能够更频繁地运行在最佳油耗区内，从而改善舒适性，因为再不会出现换挡不稳现象。

5.3 废气处理技术

废气处理的目的是进一步缩短催化器的启动时间，也就是说，更快地达到工作温度，减少启动阶段的排放。对此，催化器应尽可能地靠近发动机或者也可以是电加热的。

5.4 电能控制的辅助装置

与当今的通过皮带连续驱动的辅助装置不同的是，采用电驱动的辅助装置（水泵、转向助力、发动机风扇），只是在必要时才耗费一定的电能，从而使用户在使用时能节油。

5.5 效率提高

降低电损耗功率和改善机械效率（比如减小摩擦）同样能够达到显著的节油效果。

5.6 舒适要求

随着对舒适性要求的提高，考虑使用电动和电液压“辅助系统”（比如座椅调整装置、电动天窗和转向盘加热装置）。通常，这会造成电能需求和质量的增大。

5.7 安全方面

采用提高安全的系统（如电动前风挡玻璃加热装置）同样需要较高的电能。

6 汽车开发结论

目前，全世界对生态和经济方面的越来越严格的要求，迫使汽车制造商寻找新的出路。此外，挑剔的用户对舒适性的要求也越来越多。

这些对舒适性、安全性和行驶功率已经增加并还在增加的要求，导致当今需要 2.5 kW 以内的发电机，但这还不够。可以预见，达到 6 kW 功率的需求不是不可能的。这样的功率需求用目前的技术还达不到。

所以，非常有必要开发新的方案，解决方法之一就是 ISG（起动机-发电机一体化），除了实现要求的功率外，还使起动机、发电机合成一体。

本文应该使零部件协作厂、开发商和汽车制造厂能够了解到 ISG、电能储存器和汽车电源结构当前的开发水准。

■ 第 2 章

ISAD 技术：紧凑的高功率的 ISG

Bern hard Hoffmann

0 概述

装有异步电机的曲轴 - 起动机 - 发电机系统理论上是一种最佳的配置。

将构造简单的电机直接装在曲轴上大大简化了发电机和起动机的布置。如果要避免从蓄电池获取过高的启动功率，那么启动时出现的很低的转速会导致相对低的效率或要求又大又昂贵的电机。此外，交流发电机在最大转速时也要输出全部功率，所以要在相应电子控制器上装一个虚功率较高的换流器。采用 ISAD（汽车动力 - 发电 - 启动一体化系统）技术在汽车上已经做到了能够装备足够紧凑的电机及其控制器。在车上和试验台上的测量证明了达到的值。

1 引言

在达到最大转速的整个过程中需要 ISG 输出较高启动扭矩和产生发电机功率，这样必须把电机和功率电子装置设计成扭矩和转速最大值（角功率）。虽然通过减少较高转速时的磁化（磁场弱化）能把这些值降低一点儿，但是这种条件仍会导致必要的电子装置出现较高的功率（虚功率换流器）。此外，使用传统的发电机结构，输出大的启动扭矩（尽管在低转速时输出这种扭矩的时间极短）往往需要大规格的电机。

采用 ISAD 技术后满足了这些要求，并且很快地减少了尺寸、质量，包括可达到的制造成本。即使与通常的起动机和汽车发电机相比没有完全达到相关的低值，但仅从在高效率时发电机具有史无前例的高功率和在启动过程中多方面的改进来看，就可得出在汽车上批量使用这种系统的充分理由。

此外，这种 ISG 系统还能够有效减缓驱动振动，在增大的电能存储器共同作用下，还能改善行驶动力性。

2 ISAD (曲轴-起动机-发电机系统)

异步转子(笼式绕组)、定子和控制模块原则上已设计为适用于较宽的功率范围和各种各样应用情况,然后把它们匹配到相应的车型上。

下面可关注一下在和宝马公司共同进行的项目中 ISAD 技术的 ISG 系统及一台 4 缸 2 L 排量的汽油机。其 ISG 接口如图 2-1 所示。

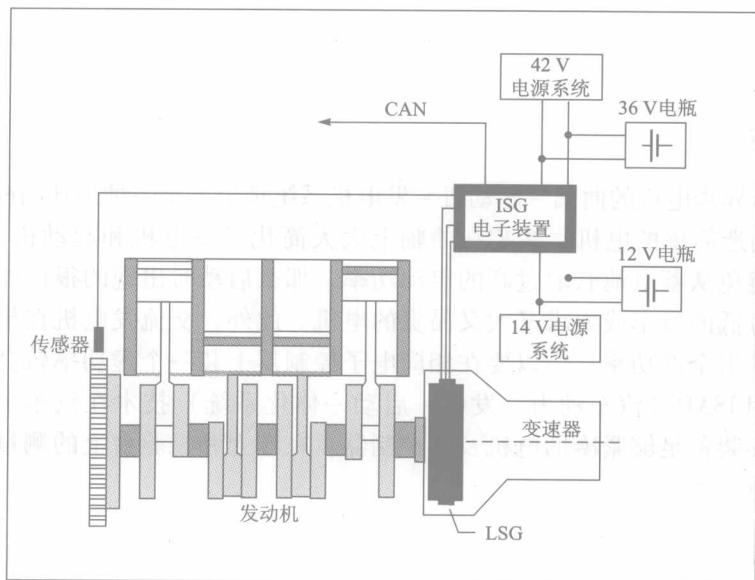


图 2-1 ISG 接口

该情况下有下列要求:

用 42 V (36 V) 蓄电池启动;

用 42 V (36 V) 和 14 V (12 V) 两种电源(蓄电池)供电(括号中设定的值为相关蓄电池的额定电压)。

最大启动扭矩: 200 N·m (-25 °C 时)。

最大启动转速: 500 r/min (-25 °C 时)。

最大可能的启动时间: 4.0 s。

已达到启动时间: 0.2 s (启动-停止工况时)。

发电机功率:

	怠速转速时	大于 1 500 r/min 的发动机转速时
14 V:	1.0 kW	2.0 kW

42 V:	1.0 kW	1.0 ~ 2.2 kW
总计:	2.0 kW	3.0 ~ 4.2 kW

具有电子控制的多功能转子/定子配置的 ISAD 系统将取代传统的起动机和发电机。因此该系统的所有东西，包括电子控制装置在内，全都应装在发动机/变速器系统中。转子和定子同轴地直接集成在驱动系上。全部必要的电子装置，即换流器、14 V/42 V DC/DC 转换器及其所有的控制装置都在控制器 REDBOX 里。这个 REDBOX 控制器大约是装在迄今为止装发电机的位置上。驱动系中的 ISAD 系统如图 2-2 所示。

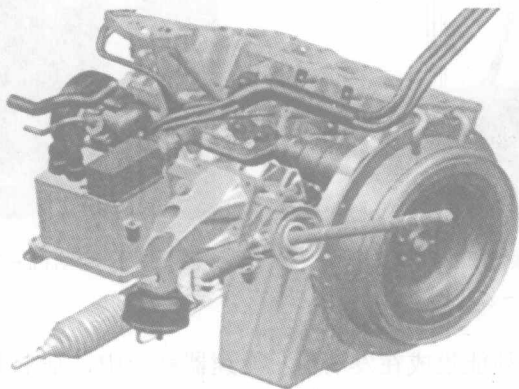


图 2-2 驱动系中的 ISAD 系统

2.1 电机

受到安装位置的限制，不得不使用起动机 - 发电机轴向较短的结构（与直径相比较）。另外，最受限制的结构空间要求起动机 - 发电机具备电机的结构特征，这样，在低损失功率时也能输出高启动扭矩。

槽占空因数近 80% 的三相定子线圈是用特殊的缠绕工艺制造的。与通常缠绕所用同类机器相比，定子线圈的损失大约减少一半，在通常的缠绕技术中，用铜丝缠绕，铜丝只能占满槽断面的 40%。另外，由于定子脊厚必须尽可能地低，绕组端部必须尽可能地短，所以极对数很高，槽也就很窄，因而，安装尺寸小，转子和定子质量也轻。

在这种绕组系统中，两端轴向都超出定子有效宽度的绕组端部尺寸同样很小。这样，在轴向两端仅缩小了大约 10 mm 安装空间供有效工作定子铁片使用。直接装在曲轴上的起动机 - 发电机如图 2-3 所示；起动机 - 发电机绕组结构如图 2-4 所示。

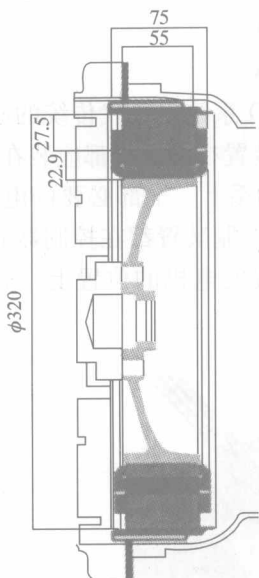


图 2-3 直接装在曲轴上的
起动机-发电机

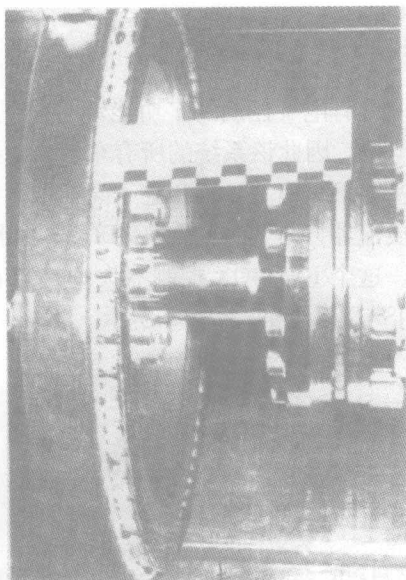


图 2-4 起动机-发电机绕组结构

ISAD- ISG 必须能集成在发动机-变速器系统中,基本上不会改变原来与传统起动机和发电机批量配置的内容。

2.2 REDBOX 控制器

REDBOX 控制器如图 2-5 所示,起动机-发电机绕组结构如图 2-6 所示。

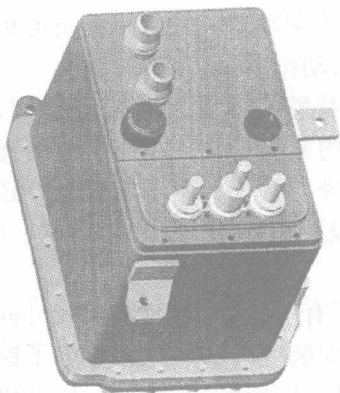


图 2-5 REDBOX 控制器

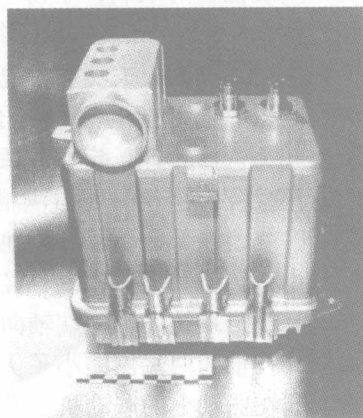


图 2-6 起动机-发电机绕组结构

这种控制模块采用的是经过证明可靠的沸腾槽冷却技术，将功率电子装置和 μ 控制器的控制装置结合在极小空间。实际上只能通过这种技术才能实现模块三维布置，它可以使电性能、机械性能和热学性能得到无妥协的优化。在一个尺寸为 175 mm × 120 mm × 137 mm 的控制盒内（不包括接头尺寸），装有控制功率 68 kV · A 的三相换流器（外部尺寸相同的时候也可以换用 126 kV · A）、用于 3 kW 的 42 V/12 V 双向 DC/DC 转换器和全套的控制装置。不需要外部电器元件，如冷凝器。

控制装置除了异步电机和 DC/DC 转换器调节装置之外，还包括用于控制和诊断的符合 ASAP 1a 协议的 CAN 数据总线通信的全部接口，支持 INCA2.0 应用工具。异步电机磁场控制的矢量调节能够对作为发电机时的扭矩以及作为起动机和以下描述的其他驱动功能的扭矩产生高度动态性的影响。

此外，发电机功能是按照集成在 REDBOX 软件里面的蓄电池充电管理程序（42 V）来控制的，DC/DC 转换器同样调节包含 14 V（12 V）蓄电池的充电管理程序。

穿有绝缘导线的深拉伸钢板外壳，除了能够严密包围冷却液之外当然也能防止外部侵袭。另外，这种紧凑的外壳具有杰出的电磁辐射屏蔽作用，减少功率电子装置引起的不可避免的干扰电平扩散，它们符合宝马公司的企业标准 N600 13.0。

控制盒里的电子模块具有非常耐机械振动应力的能力。

2.3 冷却

定子绕组可以在不超过 180 °C 温度（绝缘等级 N）下连续工作，鼠笼式转子甚至超过 200 °C。为了防止高温时影响效率的绕组电阻的增大，绕组工作温度应尽可能不超过 120 °C。定子被冷却水套包着，内燃机冷却水在返回时经过这个水套。转子的冷却是通过对曲轴散热和间接地通过与定子之间的间隙散热。定子支架如图 2-7 所示。

控制盒有一个集成的冷却器，这个冷却器同样是为连接冷却水而设计的。沸腾槽冷却液本身并非来自控制盒，而是这个内部冷却器散发出的热量冷凝产生的。这种沸腾冷却不仅使整个盒内温度均匀分布而且使要冷却的部件和冷却器表面之间温差小至仅仅几个华氏度。

控制盒可以在不超过 130 °C 的冷却液温度下不受限制地工作，所以在发动机冷却水循环下工作应该是可以的。为了达到要求的故障预测，需要在大约 60 °C 的低温下按平均时间运行。由于这个原因，将这个控制盒接到一个独立的冷却循环系统上，相关的外部冷却器装在发动机室的热区之外的前端。盒的