

# 出口巴基斯坦 SDD22 型宽轨内燃机车

尚 勤, 李 刚, 彭长福, 仇建军

(中车资阳机车有限公司 研发部, 四川 资阳 641301)

**摘 要:** 介绍了出口巴基斯坦 SDD22 型交直流电传动宽轨内燃机车的总体布局、主要技术参数及性能特点, 着重阐述了机车柴油机、电气系统、车体及转向架、制动系统、辅助系统的组成及工作原理, 分析了开发该机车的主要难点及应对措施、机车主要特点及创新性。机车可以满足印度、阿根廷等国 1 676 mm 宽轨及高温多风沙运用环境的国家运用, 也可以通过换装 1 520 mm 宽轨、准轨或米轨转向架, 推广到中亚、非洲、南美等国。

**关键词:** SDD22 型内燃机车; 主辅同轴发电机; 技术参数; 交直流电传动; 辅助交流传动; 宽轨机车; 巴基斯坦

中图分类号: U262; U236

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2016.06.011

## SDD22 Broad-gauge Diesel Locomotive Exported to Pakistan

SHANG Qin, LI Gang, PENG Changfu, QIU Jianjun

(R&D Department, CRRC Ziyang Locomotive Co., Ltd., Ziyang, Sichuan 641301, China)

**Abstract:** The general arrangement, main technical parameters and performance of SDD22 AC/DC electric drive broad-gauge diesel locomotive exported to Pakistan were introduced, focusing on the composition and working principle of the engine, electrical system, car body and bogie, brake system and auxiliary system. The main difficult points, countermeasures, main characteristics and innovation of the locomotive were analyzed. The locomotive could satisfy the requirement of 1676mm broad-gauge and high-temperature more-sandstorm operation environment such as India, Argentina etc, and with replacing of 1520mm broad-gauge, standard gauge or meter-gauge bogie, the locomotive could also extended to Middle Asia, Africa, South America etc.

**Keywords:** SDD22 diesel locomotive; main and auxiliary generator; technical parameter; AC/DC electric drive; auxiliary AC-drive; broad-gauge locomotive; Pakistan

## 0 引言

出口巴基斯坦 SDD22 型宽轨内燃机车是中车资阳机车有限公司根据与巴基斯坦铁路签订的合同文件的要求而研制的干线客、货两用中等轴重交直流传动宽轨内燃机车。该车是在出口宽轨交直流机车平台基础上, 结合巴基斯坦海拔高(最高 1 951 m)、高温多风沙、线路条件差、气候干燥等环境特点而开发的一款产品。机车装用 CAT3516B-4T 型电喷高速柴油机, 装车功率 1 960 kW, 新研制了主辅同轴高速发电机, 主传动为交直流传动, 辅助传动采用辅助交流传动系统, 控制系统采用了先进的触摸式微机控制系统, 转向架

为 1 676 mm 宽轨转向架, 制动系统采用了 WABTECH 公司的空气真空两用制动系统, 机车具有电阻制动、双机重联及整体起吊等功能。

## 1 机车总体布置及主要技术参数

### 1.1 机车总体布置

机车为单司机室外走廊、底架承载式车体结构。以车底架为分界线可将机车分为上下两部分, 上部为车体及安装在其上的设备, 从前到后依次是: 前机室、司机室、电气室、集中进气室、动力室、冷却室和后机室。下部中间为燃油箱、蓄电池箱和总风缸, 两端布置有 2 台相同的三轴转向架, 机车上部车体及设备通过 8 个橡胶旁承坐落在 2 个转向架上。机车两端为链子车钩

及侧缓冲器、重联插座和空气真空管路连接器等。机车总体布置如图 1 所示。

1.2 机车主要技术参数

|             |                                |
|-------------|--------------------------------|
| 机车主要技术参数如下： |                                |
| 轨距          | 1 676 mm                       |
| 适应的环境条件     |                                |
| 环温          | -5~+55℃                        |
| 最大相对湿度      | 100 %                          |
| 最高海拔        | 1 951 m                        |
| 主发电机输入功率    | 1 600 kW                       |
| 轴式          | C <sub>0</sub> -C <sub>0</sub> |
| 轮径          | 1 016 mm                       |
| 轴重          | ≤ 17.5 t                       |
| 全整备重量       | ≤ 105 t                        |
| 燃油储量        | 5 500 L                        |

|          |                                       |
|----------|---------------------------------------|
| 通过最小曲线半径 | 145 m                                 |
| 最高运行速度   | 客运 120 km/h                           |
|          | 货运 100 km/h                           |
| 最大启动牵引力  | 336 kN                                |
| 持续牵引力    | 220 kN                                |
| 持续速度     | 21.5 km/h                             |
| 车钩中心线高度  | 1 092 <sup>+5</sup> <sub>-15</sub> mm |

1.3 机车特性曲线

图 2 为机车在正常牵引工况下满负荷（S1）和 80% 的满负荷工况（S2）的牵引特性曲线，W1-W10 为根据客户牵引要求绘制的在不同坡道上牵引不同吨位的阻力曲线。

图 3 为机车电阻制动特性曲线。据客户要求，采用一级电阻制动，最大电阻制动力为 170 kN。

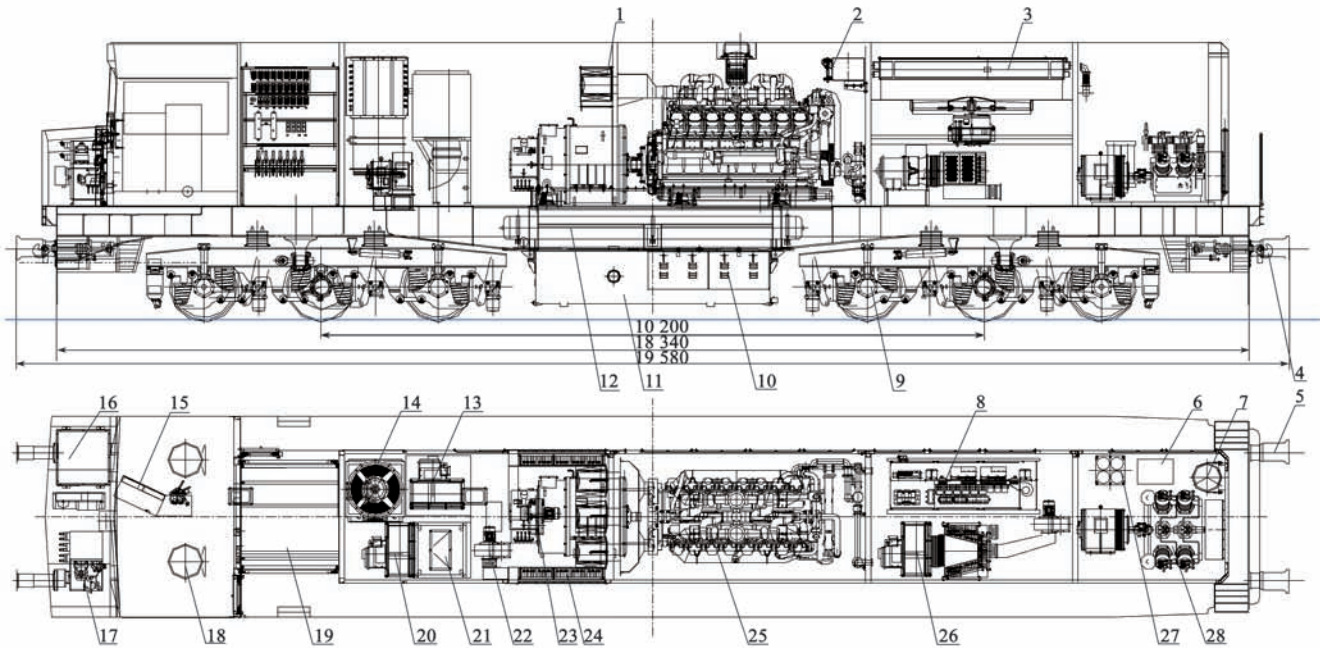


图 1 机车总体布置图

1—柴油机进气滤芯；2—膨胀水箱；3—冷却装置；4—链子车钩；5—缓冲器；6—真空阀柜；7—总风缸（二）；8—辅助变流柜；9—转向架；10—蓄电池箱；11—燃油箱；12—车架；13—前转向架通风机；14—制动电阻；15—操纵台；16—空调机组；17—空气制动阀类；18—司机座椅；19—电气柜；20—主发通风机；21—硅整流柜；22—除尘通风机；23—主辅同轴发电机；24—旋风筒装配；25—柴油机；26—后架通风机；27—空气干燥器；28—空气真空泵

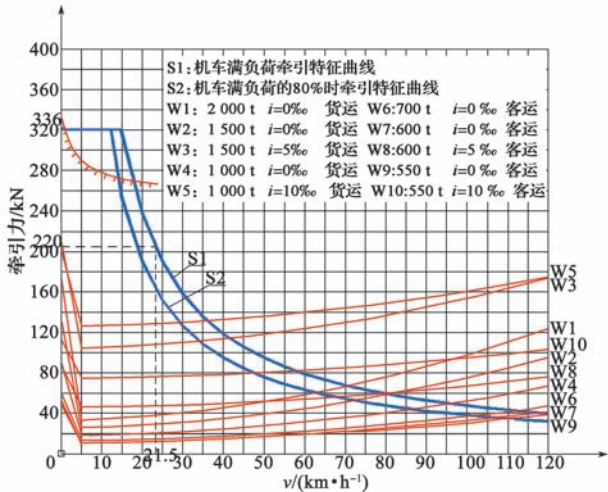


图 2 机车牵引特性曲线

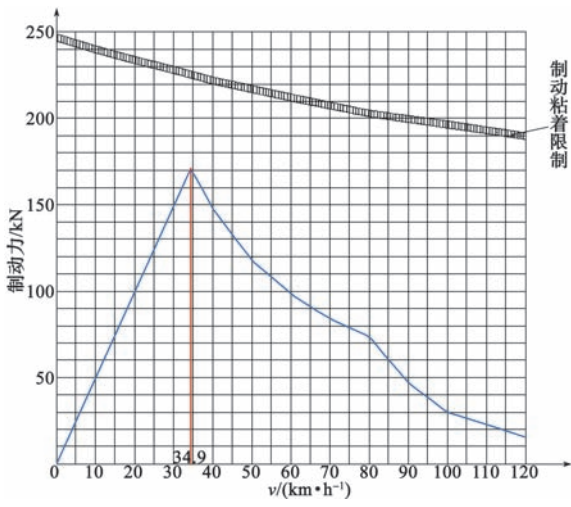


图 3 机车电阻制动特性曲线

## 2 柴油机

机车装用的柴油机选用美国进口的 CAT3516B-4T 型高速四增压电喷柴油机, 在 UIC 标定条件下, 标定转速 1 800 r/min 时的功率为 2 060 kW。气缸采用 60° V 形排列、16 缸、4 冲程, 废气涡轮增压带中冷结构, 柴油机排放指标达到 EPA Tier2 排放要求。

|                         |                |
|-------------------------|----------------|
| 柴油机主要技术参数如下:            |                |
| 额定功率                    | 2 060 kW       |
| 额定转速                    | 1 800 r/min    |
| 最低转速                    | 600 r/min      |
| 缸径                      | 170 mm         |
| 冲程                      | 190 mm         |
| 压缩比                     | 14: 1          |
| 排量 / 缸                  | 4.3 L          |
| 最小燃油消耗率 (1 300 r/min 时) | 195.1 g/(kW·h) |

## 3 电气系统

机车电气系统由主传动系统、交流辅助系统和控制系统组成, 其电气原理框图如图 4 所示。

### 3.1 主传动系统

机车主传动系统采用交一直流传动, 主要由主辅同轴发电机、整流柜、电气柜、电阻制动柜和 6 台牵引电机等组成。

在牵引工况下, 柴油机驱动主辅发电机输出三相交流电, 经整流柜整流后得到的直流电驱动牵引电机转动 (图 4)。通过对主发电机励磁系统调节实现柴油机不同转速下的功率恒定。

为达到机车在较速度下的机车恒功, 采用了一级磁场削弱。

在电阻制动工况下, 工况转换开关将直流牵引电动机改接成他励发电机, 并将直流牵引电动机的励磁绕组全部串联起来, 由同步主发电机经整流柜供电, 牵引电机所发出的电供给制动电阻及其通风机电机, 最后由通风机将制动电阻产生的热能散播到空气中。

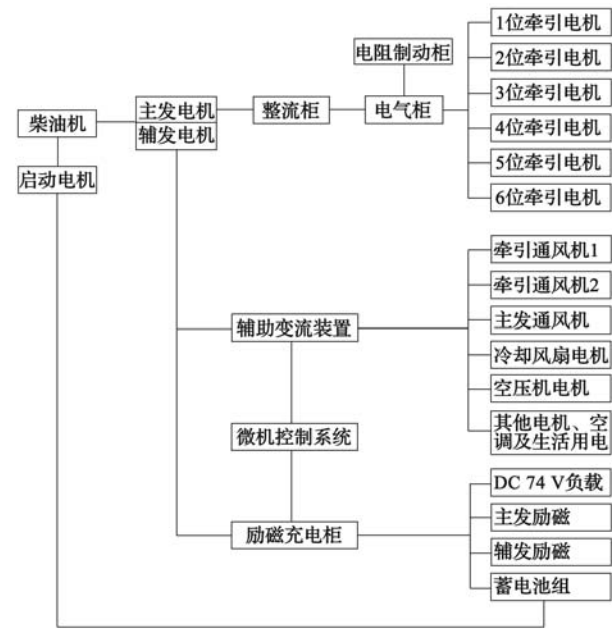


图 4 机车电气原理框图

机车自负荷时, 通过自负荷开关将柴油机发电机组发出的电供给制动电阻及其通风机, 最后由通风机将制动电阻产生的热能散播到空气中。

### 3.2 交流辅助系统

交流辅助系统工作原理图如图 5 所示。机车辅助传动系统由 1 台 400 kVA 交流辅助发电机 (主辅同轴) 发电, 经辅助变流柜变流后, 提供给 1 台冷却风扇电机、2 台牵引通风机电机、1 台主发通风机电机、1 台空气真空泵电机、除尘风机、空调机组、生活用电设备、励磁充电柜和辅助变流柜内风机等辅助设备 (如图 4)。正常情况下, 辅助变流柜控制主发通风机电机直接投入工作, 控制冷却风扇电机根据冷却水温度变频工作, 控制牵引通风机变频启动后, 电机转速随牵引电机电流变化而变化, 控制空压机电机变频启动后, 电机转速分为初充风工况和补风工况, 提供三相 380 V/50 Hz 负载及单相 AC 220 V 生活用电电源。当辅助变流模块发生故障时, 由 ACU 控制自动将负载进行切换, 最大程度地提高系统可靠性, 同时达到节约能耗的目的。

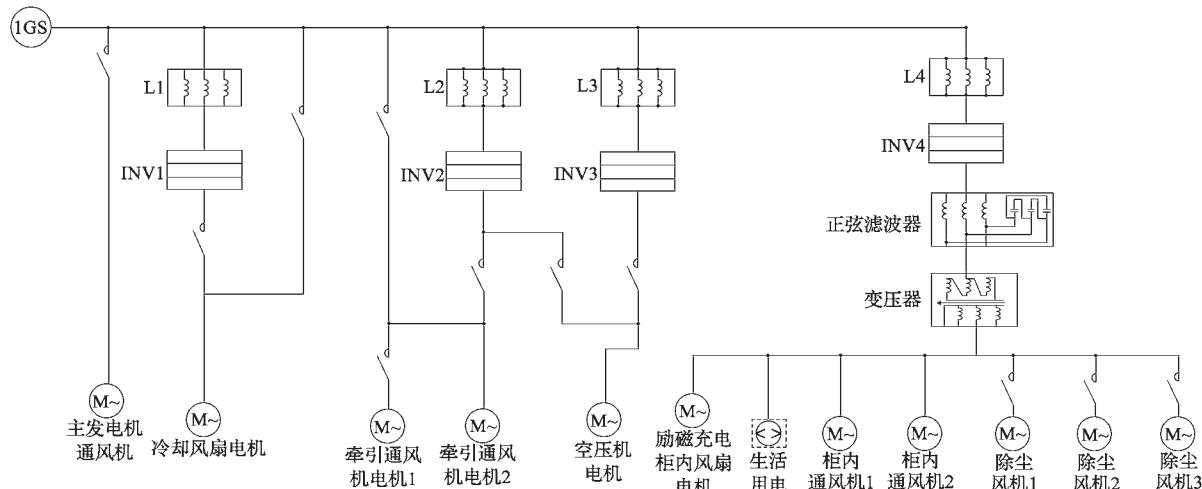


图 5 交流辅助系统工作原理图

### 3.3 机车控制系统

机车控制系统采用公司自主研发的 PLC 可编程控制器,通过设置在机车操纵台、电气柜以及各控制设备上的开关及控制器,按照规定的要求和操纵顺序,自动或手动控制相关部件的动作,完成机车的启动、调速、换向、制动、照明、保护、显示等控制功能。

控制系统由 DC 74/24 V 直流电源变换器、S7-2000 可编程控制器、模拟量输入输出模块、数字量输入输出模块、驱动功率放大模块和彩色液晶显示器组成。机车微机接收司机操作指令,实现对机车牵引特性、电阻制动特性的控制,以及柴油机调速和各种保护功能及报警记录。系统设大屏幕彩色触摸显示屏,可以显示机车和柴油机的运行状态参数以及机车各系统的故障信息。微机控制系统的主要功能如下:

- ①恒功特性控制;
- ②电阻制动特性控制;
- ③逻辑控制;
- ④防空转 / 滑行特性控制;
- ⑤柴油机系统故障诊断及保护功能;
- ⑥电气系统故障诊断及保护功能;
- ⑦传送数据供显示屏显示功能;
- ⑧机车重联控制,采用 PPI 通信方式;
- ⑨ CAT 柴油机调速 PWM 控制;
- ⑩与柴油机通信;
- ⑪与辅助变流控制器通信。

## 4 车体及转向架

机车车体为单司机室外走廊底架承载结构,车体按模块化进行设计。为达到减重的目标,采用了双中梁设计,中部为鱼腹形,减少了横梁的数量,同时采用了集中箱形风道设计,车体强度满足 TB 2541 的要求。其纵向压缩载荷按 2 000 kN、纵向拉伸载荷按 1 500 kN 设计。

转向架为  $C_0-C_0$  结构的三轴 1 676 mm 宽轨转向架,二系为橡胶旁承,前后转向架可以互换,每台转向架配置有 3 台滚抱 310 牵引电机,转向架牵引装置采用了中心销和八字形拉杆结构,为适应较差的线路条件,设置了垂向、横向以及抗蛇形减振器,并对动力学性能进行了仿真分析和优化计算。理论上的线性临界速度为 260 km/h,非线性临界速度为 240 km/h,满足运行要求。

## 5 制动系统

### 5.1 风源系统

风源系统由空气真空压缩机、总风缸、干燥器等组成。空压机为用户点装的 Wabtec 公司的 6CD3UC 型大功率空气真空两用空压机,其最大功率高达 105 kW,其特点是扭矩变化大,国内还没有装用如此大功率空

压机采用电机驱动的先例。经过认真研究分析、对比计算,采用了成熟的橡胶弹联驱动、整体安装架安装方式,并进行了详细的地面试验。经过半年的运用考核表明,该设计是成功的。

### 5.2 空气制动系统

机车采用空气真空制动系统,选用了 WEBTECH 公司 26-LA AV1 制动机。为了满足 UIC 规范的要求,对其原理进行了调整,在管路系统中增加了缩堵以控制制动缓解时间,同时在管路中增加了电控阀进行控制。经试验表明,各参数匹配合理,符合 UIC540 和 UIC541 规范要求,也降低了采购成本。

## 6 辅助系统

### 6.1 燃油系统

燃油系统是为柴油机提供一定流量和压力及清洁度要求的燃油,其主要由燃油箱、燃油粗滤器、油水分离器、阀类及管路等组成。燃油箱容量为 5 500 L,燃油粗滤器是结合当地燃油质量较差的现状而专门配置的。

### 6.2 进气系统

进气系统是过滤空气中的尘埃及水滴,为柴油机提供清洁空气,是柴油机重要保护装置之一。机车采用了 4 级过滤进气系统,依次为:V 形钢板网→惯性式空滤器→纸质滤清器→安全滤器→柴油机。

### 6.3 冷却系统

为了满足巴基斯坦最高 55℃ 的高温环境,冷却系统采用了大块形板式散热器,顶置式安装,同时经过对高低温冷却系统进行计算和匹配,预留了足够的余量。冷却风扇采用交流电机驱动,风扇转速可根据冷却水温变频控制。

### 6.4 通风系统

通风系统主要是冷却主辅发电机及牵引电机,保证其正常工作。机车采用了 3 套离心式通风机组,采用交流电机驱动,根据牵引电机的温升进行变频控制,同时通风系统还为动力室和电器柜内元件冷却提供正压通风的风源。

## 7 机车特点及创新性

根据公司与用户签订的合同要求以及项目组现场考察情况,结合前期某公司出口巴基斯坦机车运用的经验教训,认为开发该机车主要有以下几大难点:

- ①线路条件极差、运行速度高(最大 120 km/h);
- ②铁路沿线风沙大;
- ③环境温度高,最高达 55℃;
- ④用户要求采用主辅同轴发电机,该电机配高速柴油机国内外尚无应用先例;
- ⑤机车轴重不能超过 17.5 t,国内同等功率等级的外走廊机车轴重最小为 19.2 t,机车总重相差 10.2 t,

机车减重压力巨大;

⑥用户点装的大功率空气真空活塞式空压机, 并采用交流电机驱动, 世界范围内尚无应用案例。

针对以上难点, 在该型机车的开发过程中, 项目组对每个难点进行了专项研究, 同时以平台化的构思, 模块化的设计, 搭建了高配置、高性能的宽轨直流传动内燃机车平台, 平台采用单司机室外走廊轻量化车体、进口高速柴油机配主辅同轴发电机、中心销牵引宽轨转向架、完整的辅助交流传动和先进的微机控制系统等关键技术。出口巴基斯坦的 SDD22 和 SDD23 型机车即为该平台的典型代表产品。

7.1 开发了高速主辅同轴发电机

主辅同轴发电机在和谐型内燃机车上已经运用, 但与其配套的柴油机均为中速柴油机 (最高转速 1 000 r/min), 与高速柴油机 (最高转速 1 800 r/min) 匹配应用国内外还未有先例。项目组经慎重考察和对比, 选择有该类型电机开发经验的永济公司合作开发, 主发电机与辅助发电机同轴安装, 采用卧式单轴伸双支撑轴向强迫通风结构, 采用微机控制励磁、带滑环和刷架系统的他励方式, 满足 600~1 800 r/min 的转速范围使用要求。主辅同轴发电机通过弹性联轴节与高速柴油机相连, 共同安装于整体安装架上。从电机型式试验、装车调试和实际运用考核效果来看, 主发电机功率和辅发功率稳定, 各项指标均达到设计要求。柴油机发电机组如图 6 所示。

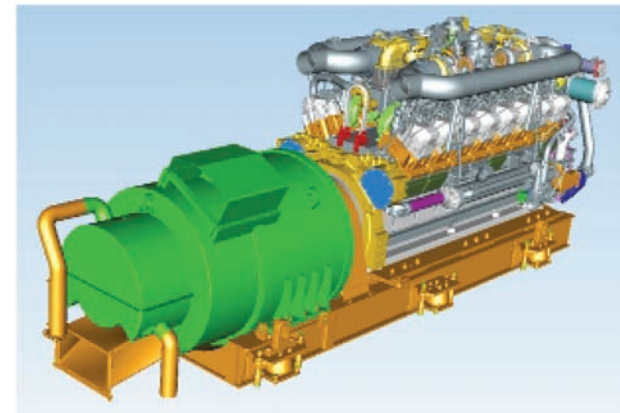


图 6 柴油发电机组

7.2 开发了 1 676 mm 宽轨转向架

1 676 mm 轨距相对于窄轨和准轨, 轨距大幅度增加, 相应的车轴长度也增加, 为保证其刚度则轴径也应相应增加, 但车轴轴径与结构又受限于驱动轴承、牵引电机安装尺寸等, 车轴的各承载直径可增加的尺寸有限。经过对车轴进行了详细的疲劳安全计算及优化设计, 确定了安全的车轴尺寸。

针对用户的线路条件差问题及运行速度高的要求, 转向架上安装及悬挂部件均按防脱落进行设计, 以保证运行的安全。

针对机车齿轮罩漏油的通病, 该型机车的齿轮罩

动密封采用了迷宫密封独立回油结构, 成功解决齿轮罩漏油的“顽疾”。

针对用户超高的环境温度和较差的线路条件, 减振器的负荷必然加大, 因此对减振器的密封圈采用耐高温和抗老化设计。

7.3 双中梁承载结构的轻量化车体

由于机车的轴重要求不大于 17.5 t, 国内外目前同等功率等级的外走廊机车轴重均在 19 t 以上, 因此要满足用户轴重要求, 减重压力相当大, 传统的设计方法根本无法满足轴重要求, 因此车体结构必须进行创新设计。项目组经过多方案比选和优化计算, 最终确定了采用双中梁承载式车架结构方案, 如图 7 所示。其主要由两根鱼腹形箱型中梁、端部牵引梁、中心销梁和集风道模块组成。中梁是整个车架的主要承载梁, 车架上部柴油发电机组、空压机等大部件重量都直接落在中梁上面, 减少了辅助梁的布置, 有利于车体的轻量化。据机车设计完成后重量统计, 车体总重为 27 t, 每米重 1.38 t, 该指标达到了外走廊机车车体的较高水平。



图 7 双中梁承载式轻量化车架

7.4 集中进气间防风沙技术

为了应对巴基斯坦常年多风沙的环境条件, 机车采用了集中进气间结构 (如图 8), 在一个密闭的室内布置有牵引通风机、主发通风机、柴油机进气装置等需要进气和冷却的设备, 所需空气均需通过该室侧墙上的“V”型钢板网和惯性式滤清器进行二级过滤后使用, 为以上供风设备提供洁净风源。柴油机进气采用了四级过滤系统, 除了以上两级过滤外, 还增加了两级纸质过滤器, 保证柴油机进气的要求。

集中进气间还为动力室和电气室提供正压通风的风源, 防止风沙进入动力室和电气室。经过一年实际运用考核表明, 机车的防风沙效果相当好。

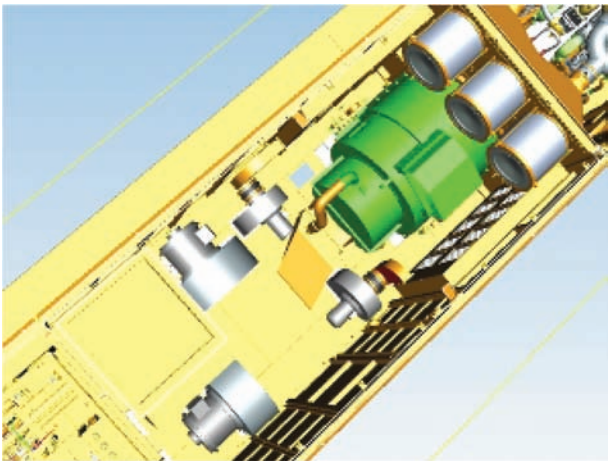


图 8 集中进气间

### 7.5 针对高温环境的适应性设计

为适应巴基斯坦最高 55℃ 的环境温度,冷却系统采用了冷却能力强、可靠性高的机械连接式大块形板式铜散热器,顶置式安装,并对高、低温冷却系统进行详细的计算匹配和校核,冷却能力预留足够的余量。柴油机间采用主发通风机分流一部分风量进行强迫通风冷却,电器柜采用牵引通风机引流一部分风量对电气元件进行强迫通风冷却。辅变变流装置内部也自带了 2 套通风冷却装置,确保变流模块的冷却散热。

### 7.6 完整的辅助交流控制技术

辅助交流控制技术在机车上应用较早,应用也较多,技术成熟,如 AGE-30、HXN5 和 CKD8D 等机车均采用了辅交控制技术,但以上机车均是部分采用辅交控制,即要么空压机采用直挂,要么通风机采用直挂,直挂对部件冲击较大,辅助功率消耗较大。该机车结合当前成熟的变流技术,采用了比较完整的辅助交流控制系统,按模块化设计,强弱电分开,交直流分离,冷却风扇、通风机和空压机均采用了变频控制,大大降低辅助功率消耗,减少了部件运行冲击,增加了其使用寿命。牵引电机通风机根据牵引电机电流的大小变频控制通风机转速;冷却风扇电机根据柴油机水温度变频控制冷却风扇转速;空压机电机的转速控制还结合了空压机的特性,在机车初充风时全转速 1 050 r/min 工作,补风时最高转速限制为 600 r/min,在该转速下,空压机的效率最高,进一步降低辅助功率消耗。同时,为提高系统的可靠性,还对系统进行了冗余设计,例如当给空压机供电的辅变模块 3 发生故障时,可由系统自动切换到为牵引通风机供电的模块 2,牵引通风机自动转为直挂模式。

## 8 结语

出口巴基斯坦 SDD22 型机车自 2014 年 5 月投入运用至 2016 年 6 月,平均每台车每月运行超过 2 万

km,经过 2 年的实际运用考核,机车经受住了恶劣的线路条件、高温、多风沙等恶劣环境的考验,担当巴基斯坦客货运主要运输任务。根据巴基斯坦铁路统计,机车的可利用率一直维持在 96% 以上。该机车优良的牵引性能、人性化的司机室设计和较高可靠性与可维护性、模块化、规范化的设计,达到同类产品国际先进水平,已成为巴基斯坦铁路目前配置好、性能优的干线主型机车。该机车在巴基斯坦的成功运用,也促进了中巴合作,增进了中巴关系,巩固了两国传统友谊,增加了人员交往及技术交流,为中巴经济走廊和“一带一路”政策的实施做出了贡献。

同时该机车是按照平台化构思,模块化设计,机车装用的主要部件除柴油机、空压机和制动机外,其余产品均为国内配套或公司自主开发,成本较低,具有较高的性价比,可以满足印度、阿根廷等国 1 676 mm 宽轨及高温多风沙运用环境的国家运用,具有较好的推广优势。与此同时,可以通过换装 1 520 mm 宽轨、准轨或米轨转向架,推广到中亚、非洲、南美等国,具有较高的推广价值,为中国机车海外市场的拓展奠定了坚实的技术基础。

### 参考文献:

- [1] 李柯. 出口巴基斯坦 SDD22 型电传动内燃机车车体 [J]. 机车电传动, 2016(1): 38-40.
- [2] 刘立伟. 出口巴基斯坦 SDD23 型宽轨内燃机车电气系统的设计 [J]. 铁道机车与动车, 2015(11): 1-5.



作者简介: 尚 勤 (1978-), 男, 高级工程师, 主要从事内燃机车总体设计。

## 动态消息

### 《机车电传动》编辑部声明

为顺应网络环境下期刊出版的新要求,推进期刊网络出版传播,凡向本刊投稿并被本刊录用,在著作权法的框架内,该论文的复制权、发行权、信息网络传播权、

翻译权、汇编权等权利在全世界范围内转让给本刊及本刊授权的相关数据库。凡被本刊录用的稿件将同时通过因特网、手机等进行网络出版或提供信息服务,根据本刊编辑部稿酬标准一次性支付作者著作权使用报酬(即稿费,包含印刷版、光盘版和网络版等各种使用方式的报酬)。

《机车电传动》编辑部