

国产天然气压缩机应用现状及展望

赵京艳¹ 葛凯¹ 褚晨耕² 李积科¹

1. 中国石油技术开发公司 2. 中国石油集团经济技术研究院

赵京艳等. 国产天然气压缩机应用现状及展望. 天然气工业, 2015, 35(10): 151-156.

摘 要 压缩机作为天然气生产工艺流程中的一种常见设备, 普遍应用于天然气生产的各个环节。近年来, 中国天然气压缩机的设计和制造水平逐步提高, 但与进口产品相比, 仍在诸多方面存在差距。为此, 调研了国内外天然气压缩机企业的最新设备和技术现状, 并以排水采气、集气处理、管道输送和储气库等 4 类用途的天然气压缩机实际使用情况为例, 对国内外往复式和离心式天然气压缩机的应用现状进行对比分析, 由此总结出各类国产机型与国外进口机型的差距, 主要表现在自主设计、制造工艺、市场占有率等方面。据此提出 4 个方面的建议: ①丰富产品类型, 生产复杂工况下的针对性产品; ②明确自身优势, 进一步提高服务水平; ③创立专家团队, 借鉴国外公司发展经验, 改进设计能力; ④加强对标工作, 提高产品与国际通用标准的符合性。

关键词 中国 国产 压缩机 现状 差距 离心式 往复式 制造工艺 市场占有率

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2015.10.020

Current application and prospects of China-made natural gas compressors

Zhao Jingyan¹, Ge Kai¹, Chu Chengeng², Li Jike¹

(1. China Petroleum Technology & Development Corporation, Beijing 100028, China; 2. CNPC Research Institute of Economics & Technology, Beijing 100724, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 35, ISSUE 10, pp.151-156, 10/25/2015. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: A compressor, as a common process equipment, is widely used in all links of natural gas production. In recent years, natural gas compressors made in China have been gradually improved in design and manufacture, but still fall behind the imported compressors in many aspects. Therefore, the latest equipment and technologies of natural gas compressor companies all over the world were investigated, and comparative analysis was made on the current application of reciprocating and centrifugal compressors at home and abroad by taking those used for gas recovery by water drainage, gas gathering for processing, pipe transportation and gas storage as examples. Then, the disparities between the homemade compressors and the imported ones were summarized mainly in terms of independent design, manufacturing engineering and market share. Finally, four suggestions were put forward as follows. First, the types of products should be diversified to provide suitable products for complex operation conditions. Second, advantages should be defined and service level be further improved. Third, an expert team should be set up and design capacity in virtue of the development experience of foreign companies be enhanced. Fourth, calibration should be strengthened and the conformity of the products to the international general standards be increased.

Keywords: China; China-made; Compressor; Status; Disparity; Centrifugal; Reciprocating; Manufacturing engineering; Market share

作者简介: 赵京艳, 女, 1968 年生, 高级工程师, 硕士; 主要从事石油装备科技研发及管理工作。地址: (100028) 北京市朝阳区太阳宫金星园 8 号。E-mail: zjy@cptdc.cnpc.com.cn

近年来,天然气在能源消费市场中所占的比例日益增长。据 2015 年《BP 世界能源统计年鉴》统计,2014 年天然气在世界能源一次消费中的比重已达 23.7%;而在中国,这一比例仅为 5.6%^[1]。从国家能源战略等多个方面来看,大力推动天然气产业发展势在必行,而在其相关设备的制造工艺方面取得突破,是未来一段时期内我国工业生产的重要内容。

压缩机作为天然气生产工艺流程中的一种常见设备,普遍应用于天然气生产的各个环节^[2]。国内天然气压缩机的制造始于 20 世纪 80 年代,最初由四川简阳空压机厂和四川石油管理局着手研发生产^[3]。经过多年发展,国内的压缩机制造行业已有长足的进步,部分成橇机型基本可以替代国外同类产品。但是与国外成熟产品相比,国产天然气压缩机在部分技术方面仍存在一定的差距。因此,分析对比国内外压缩机主要机型,明确国产压缩机的优缺点,可以为国产压缩机的后续生产提供参考。

1 国内外天然气压缩机现状及对比

目前,油气田常用的压缩机主要有往复式和离心式两种(表 1),其广泛应用于气田开发中的排水采气、集气处理、增压输入天然气管网、管道增压输送和地下

储气库等领域。

1.1 排水采气用压缩机

在天然气开采的过程中,气藏会出现压力衰竭现象,为保持气藏压力并持续生产,需要使用压缩机进行增压作业。气举工艺就是借助压缩机将高压气源注入井内,降低注气点至井口的压力梯度进而降低井底回压,增加生产压差,从而提高流体流速,增加天然气携液能力以排出井底积液,使被水淹的井恢复生产并最终实现连续或间歇性生产的排水采气工艺。天然气压缩机在该过程中起到至关重要的作用^[4]。

在设计用于排水采气的压缩机时,重点考虑的技术参数是进气压力、排气压力、排气量、压缩级数和压力比。主要技术要求是:①压力高,一般要求在 10 MPa 以上;②功率一般在 1 000 kW 以内。国内油气田使用的主要的进口机型由 Ariel、Cooper 以及 GE 等公司生产;主要的国产机型为成都压缩机厂(以下简称成压厂)生产的 ZTY 系列、CFA/CFC 系列分体式,以及江汉第三机械厂的 RDS 系列分体式。成压厂生产的 ZTY 系列与 Cooper 生产的 DPC 系列是排水采气用压缩机的典型机型,这两种机型的技术参数对比如表 2 所示。

由表 2 可见,成压厂生产的 ZTY 系列压缩机功率范围为 85~630 kW,划分为 9 个功率级,Cooper 公司

表 1 国内外主要压缩机厂家及产品型号表

类别	制造厂家	产品型号
国内	中国石油柴动力总厂成都压缩机厂	RTY、DTY、ZTY 系列
	中国石化江汉石油管理局第三机械厂	RDS、RDSA、RDSB 系列
	山东科瑞石油装备有限公司	KBB、KBV、JGC、JGD 系列
	成都展望能源机械有限公司	ZWF、ZWD 系列
国外	北京杰利阳能源设备制造有限公司	Ajax、Superior 系列
	沈阳鼓风机集团有限公司	PCL 系列
	西安陕鼓动力股份有限公司	EIZ 系列
	Ariel(艾里尔)公司	JG(JGC-D、JGH-E、JG-JGA、JGK-T、JGR-J)、KBB-V、KBU2 系列
国外	Cooper(卡麦隆)公司	AJAX、SUPERIOR、COOPER-BESSEMER、AMSERV 系列
	GE 公司	HSR、M、H、ES、DS、A 系列
	GE 公司	MCL/V、BCL、RB、VH、PCL、SRL 系列
	Rolls-Royce(罗罗)公司	RFA、RBB、RCB、RDB、REB 系列
国外	Dresser-Rand(德莱赛兰)公司	DATUM-C、DATUM-S、DATUM-P 系列
	MANTURBO(曼透平)公司	RB Barrel、RH、HOFIM、RIK、RV、RM 系列

表 2 ZTY 系列与 AJAX 系列天然气压缩机的技术参数对比表

型号	动力缸 列数	额定功率/ kW	额定转速/ (r·min ⁻¹)	压缩缸 列数	压缩活塞冲程/ mm	压缩活塞杆允许 杆载/kN	压缩活塞平均 速度/(m·s ⁻¹)
成压厂 ZTY 系列	1~4	85~630	360~440	1~3	279.4	98~178	4.1
Cooper 公司 DPC 型 AJAX 系列	1~4	85~735	260~440	1~3	279.4	133~178	4.2

DPC 型 AJAX 系列压缩机的功率范围在 85~735 kW 之间,两者功率比较接近,但国产机型在高功率方面仍有缺陷。ZTY 系列的压力范围为 0.2~4.5 MPa,最高排气压力可以达到 35 MPa,最高单级压力比达 5.9。根据用户的实际吸气、排气压力及排气量需求,可以进行配套设计,形成高中低以及多品种的压缩机组,满足不同地区、不同技术要求的生产现场需求。但是国产 ZTY 系列天然气压缩机在技术成熟度、市场占有率、品牌知名度,使用寿命和可靠性等方面,与 Cooper 公司 DPC 型 AJAX 系列压缩机相比,还有一定的差距。

中国石油长庆油田公司苏里格气田(以下简称苏里格气田)订购了 18 台成压厂生产的无基础 ZTY 630 机组,同时也订购了 Cooper 公司生产的有基础 DPC 2804 和无基础 DPC 2803。这三套机组在同等工况条件下运行,截至目前运行情况良好。其现场振动情况对比如表 3 所示。

表 3 国产和进口天然气压缩机组的现场振动情况对比表

项目	振动速度/(mm·s ⁻¹)		
测点位置	无基础 ZTY630	有基础 DPC2804	无基础 DPC2803
机身	1.71	1.93	1.76
空冷器	1.68	3.21	7.32

注:1.无基础 ZTY630 为成压厂自制机组,额定功率 630 kW;2.有基础 DPC2804 为 Cooper 整机进口,额定功率 630 kW;3.无基础 DPC2803 为 Cooper 整机进口,额定功率 470 kW;4.有基础是固定基础,有地脚螺栓固定并灌浆。无基础是机组放到平地上使用;5.成压厂无基础技术十分成熟

通过国产和进口机型的技术参数及气田现场应用情况对比可以看出:国产排水采气用成橈天然气压缩机组在设计和现场参数方面均接近国外产品,基本可以满足气田气举等排水采气生产工艺的要求。

1.2 集气处理用压缩机

随着气井不断开采,井口压力也会随之降低,当压力下降到集气系统压力之下时,就需要采用增压设备将采出的天然气输入到集气管网中^[5]。高压集气过程适用的天然气压缩机类型主要是往复式压缩机。在设计机组过程中,重要的技术参数主要有出口压力、进口压力和排气量等。在集气站增压方案中,压缩机出口压力必须大于等于支线和干线的运行压力,才能保证增压后的天然气顺利进入支线和干线。进口压力则由气田增压稳产期末的井底压力来确定,压缩机安装在集气站内或附近,要求进口压力应与来自气井的天然气进站压力基本保持一致。最后根据场站总处理规模和压缩机台数确定单机功率,一般每个集气站的压缩机台数以 3~5 台为宜。用于集气处理的压缩机对压力要求不高,一般在 8 MPa 以下;功率等级则根据集气站天然气处理量要求来确定,一般的单机功率在 3 500 kW 以内。

以成压厂生产的 6CFC 系列与 Cooper 公司生产的 WH64 系列为例,在相同工况下,两种型号的对比如表 4 所示。

成压厂生产的 6CFC 系列 RTY3360 型压缩机是典型的国产成橈压缩机,其核心部件例如发动机采用进口装置。从表 4 可以看出,成压厂生产的 6CFC 系列 RTY3360 型压缩机和 Cooper 公司生产的 WH64 系列 RTY1490 型压缩机都采用美国厂家制造的发动机;国产 RTY3360 型压缩机的功率和转速均高于进口 WH64 系列 RTY1490 型压缩机;两种机型的吸入压力和排气压力基本相同;此外国产 RTY3360 型压缩机的排气量、震动烈度、压力不均匀度、噪声等指标均不逊于进口 RTY3360 型压缩机。在目前天然气集

表 4 6CFC 系列 RTY3360 型压缩机与 WH64 系列 RTY1490 型压缩机组的技术参数比较表

项目	型 号	RTY1490	RTY3360
基本参数	发动机型号	美国卡麦隆 12SGTD	美国瓦克夏 16V275GL
	发动机功率转速	1 490 kW/600-900 RPM	3 356 kW/700-1 000 RPM
	压缩机系列	美国卡麦隆 WH64	成压厂 6CFC
	压缩机功率转速	2 535 kW/1 000 RPM	3 500 kW/1 200 RPM
运行参数	一吸吸入压力/MPaG	3.61~3.68	3.61~3.68
	末级排气压力/MPaG	6.18~6.39	6.18~6.38
	吸入状态下的排气量/(10 ⁴ Nm ³ ·d ⁻¹)	116	232
重要检测指标	压缩机机身振动烈度/(mm·s ⁻¹)	5.3~6.1	3.5~4.2
	压力不均匀度 (进气口)	1.35%	0.51%
	压力不均匀度 (排气口)	1.019%	0.23%
	场站工艺管线振动烈度/(mm·s ⁻¹)	20.13	1.65
	噪声/dB(A)	106	103

气处理过程的应用中,国产成套压缩机组在能力范围、技术参数、最高排气压力和适用范围等方面与国外同等产品的差距在缩小^[6]。

1.3 管道输送用压缩机

天然气长输管道需要在沿途建立天然气增压站,通过压缩机多次多级增压,才能实现天然气长距离运输。压缩机常被比喻为天然气管道输送的“心脏”。常用于管道输送的天然气管压缩机有往复式和离心式两种类型,具体采用哪种类型需要根据管道增压情况以及安装天然气管压缩机环境条件来确定。一般来说,往复式适用于工况不稳定、压力高或超高且流量较小的情况;而离心式适用于处理量大且处理量波动幅度不大(变化范围在 70%~120%之间)的情况。按照目前国内新建的天然气管输送管道发展趋势(压力高、口径大且流量高),离心式使用范围将越来越广泛^[7]。

进口离心式压缩机主要是通用电气(GE)和罗罗(RR)制造的产品,以西气东输管道为例,其干线上已建成并投入使用的天然气增压站都主要采用 GE 和 RR 离心式压缩机产品。除设备以外,GE 公司还提供包括压缩机组安装、调试、使用培训等服务,以及 2012 年的产品备件^[8]。国产离心式压缩机的研发以沈阳鼓风机集团(以下简称沈鼓)为代表,但其在设计和制造方面仍处于起步阶段^[9-10]。2011 年,由沈鼓自主设计生产的三套压缩机组分别在西气东输管道二线西段的乌鲁木齐、永昌和瓜州(支线)天然气增压站投入使用;2012 年,由沈鼓自主设计生产成橇建设的电驱天然气管压缩站——西气东输二线高陵分输压缩站投入使用。截至 2014 年年底,4 台国产化机组全部运转正常,累计运转时间超过 4 000 h。国内外离心式压缩机产品的参数对比如表 5 所示。

表 5 国内外离心式压缩机产品参数对照表^[11]

生产厂家	沈鼓	GE	RR
型号	PCL803	PCL804	RB2BB36
转速/(r·min ⁻¹)	3 965~6 405	3 965~6 405	2 150~5 040
多变效率	87%	87.69%	87.10%

目前国内长距离的天然气管道使用的压缩机组基本都来自国外进口,仅有少量站点采用沈鼓生产的国产机组或将其作为后备机组,因此建设成本高,而且维修、备件及相关服务都需要依赖国外公司。这些都不利于天然气管道的安全稳定运行。国产的离心式机组使用时间尚短,在稳定性、可靠性、安全性和故障率等方面仍有待时间验证。因此,继续推进国内长距离天

然气管道中关键设备(例如压缩机组)的国产化进程,对于降低管道建设成本、振兴装备制造业乃至保证国家能源供应安全都具有重要的意义。

1.4 储气库用压缩机

天然气储气库的功能是调峰,在消费量低时向储气库注气储存,在高峰期时向管道输送天然气。在注气过程中,需要使用大型的天然气管压缩机。储气库使用的天然气管压缩机主要有两种类型:往复式和离心式压缩机。由于离心式压缩机的价格远远高于往复式压缩机,而且具有很大的工作局限性,因此一般采用往复式压缩机^[12]。

目前,国产压缩机在技术参数等方面无法完全满足储气库的工况要求,因此,国内气田主要采用进口压缩机,小部分采用国外进口国内成橇的设备,仅有少量早期建成的储气库采用国内生产的压缩机作为备用机组。2015 年,国内首台自主生产的储气库压缩机组在中国石油华北油田公司兴 9 储气库投入使用。这是 2010 年成压厂在引进储气库压缩机成橇技术后,经过消化吸收,形成自主的设计、制造和成橇技术而研制生产的产品。该产品是 6 000 kW 压缩机组,主要适用于储气库工况。

国内储气库的注气压缩机主要存在以下两方面问题:①对压缩机出口压力要求高,最低要达到 35 MPa,国内生产的压缩机可以达到这一数值,但是在天然气处理量方面仍有不足之处,根本原因是压缩机的功率不足,需要开发更大功率的压缩机主机才能适应储气库工况;第二,储气库的压力变化较大,这就要求注气压缩机的压力适应范围要广,而且工况变化范围大,对使用的压缩机的适应性、操作性、可靠性和安全性提出了更高的要求,压缩机一旦出现问题,对储气库的运行影响很大^[13]。目前来看,国内生产的注气压缩机在可靠性和安全性方面与国外产品相比仍有很大差距。

1.5 对比小结

通过上述国内外压缩机的对比可以看出,国产往复式压缩机组发展迅速,与国外产品水平逐渐缩小。离心式压缩机组国内产品进步明显,但差距仍然较大,目前只有沈鼓和西安陕鼓动力股份有限公司(以下简称陕鼓)可以制造离心式机组产品。

1.5.1 技术对比

1)从技术参数来看,国产压缩机产品在功率和工作压力两方面仍然存在不足。目前国内生产的整体式压缩机最大功率是 630 kW,而 Cooper 产品可达 745 kW;分体式压缩机功率差距更大,国内最高可达 3 500 kW,配套机组功率为 3 356 kW,而 Ariel 产品可达

7 450 kW。从工作压力来看,国内生产的往复式压缩机最高为 35 MPa,而 2009 年塔里木油田引进的国外产品设计压力为 55 MPa,实际工作压力是 48 MPa。2014 年中国石化西北分公司定制,由成压厂生产的高压压缩机组试验压力可达 51.38 MPa,达到国外类似产品的工作压力,填补了我国相关产品的空白,但实际应用有待考核。

2)使用寿命和可靠性方面需要提高。目前国内生产的压缩机投入使用的时间仍较短,无法与国外同类产品的使用时间进行比较。国外压缩机组的连续运转时间是国内产品的数倍,有的甚至可以达到数十倍。在易损件方面,国内产品的寿命超过半年,而国外的已普遍超过两年,有的机型部分易损件甚至可达五年以上。此外,细节也是国内压缩机产品的短板,比较集中体现在产品中采用的阀门、仪表和电气元件等方面。国外 GE 和 RR 等企业实现了机型系列化,主要零部件互换性明显强于国内厂家。

3)国产机的真正国产化比重较低。主机、控制阀、调速器、安全阀、活塞环、气阀等主要零部件基本依赖进口。

1.5.2 市场对比

国内产品由于占有率不足,市场认知度较低,存在着客户不愿或不敢使用的情况。部分招标中也存在客户指定使用国外产品的情况。但国内产品在购买和维护成本方面具有明显的优势。据市场调研,国产机的费用比进口机便宜 20%~30%,并且国产机的售后服务比进口机更完善更便捷,因而国产机在价格和服务上也具备优势。同时,对比国外产品,国内厂商供货周期较短。

2 国产天然气压缩机制造建议

2.1 丰富类型,生产针对性产品

目前国内主要压缩机产品类型以往复式为主,离心式和螺杆式生产较少。国外的压缩机机型已基本实现了系列化生产,主要零部件的互换性也强于国内厂家。因此,国内厂家应把重心放在产品研发方面,进一步丰富产品系列,并与国内的实际应用情况相结合,生产具有针对性的相关产品。针对目前国内生产的压缩机产品的可靠性不强且品牌认可度有限的情况,近年来,天然气压缩机生产的民营企业,例如山东科瑞石油装备有限公司、烟台杰瑞石油服务集团股份有限公司等都通过成为 Ariel 和 GE 等压缩机制造商的成橇企业,采用主机进口后在国内组装成橇的方式来生产压缩机组,目前销量良好。

2.2 明确产品优势,提高服务水平

国内生产的压缩机产品主要优势在于价格和售后服务。产品的问题则多来自于人为操作不当和本身的设计缺陷。这些问题都需要在实际应用中不断地发现并改进。因此,国内生产厂家应加强对产品运行信息的监测以及相关技术人员的培训工作,为后续产品的设计和制造提供参考。

2.3 创立专家团队,改进设计能力

由于油气田现场工况往往较为复杂,对各种用途的天然气压缩机的设计要求很高。例如在海上处理酸性气体时,水与天然气中的酸性气体结合后很容易腐蚀设备,降压膨胀使水结冰容易堵塞加气机管道和阀门等。而目前国内企业仍缺乏能力生产用于海上酸气工况条件下的天然气压缩机。因此,相关制造企业急需建设具有研发背景和资深工艺设计能力的人才团队,并借鉴国外成熟压缩机制造企业的经验,实现从概念研究、实验室研发最终到规模化产出的全过程。

由于新研发的产品在客观上确实存在使用风险,很多客户都偏向于进口成熟产品,导致国内的新产品推广难度很大,一直无法进行现场试验,进而无法向市场推广。因此,国内压缩机生产厂家应研究落实国家大型装备的“首台套”相关配套政策,建立产学研一体化创新体系,将产品投入市场作为开发的重点。

2.4 加强对标工作,提高标准符合性

国内企业要提高产品质量,首先就要做好对标工作。制造企业应按照国际通用的标准和行业规范来提供产品与服务,由此打好产品质量基础,为国内用户提供高品质产品,并为产品“走出去”打好基础。目前在石油化工行业内,往复式压缩机主要遵循两套 API 技术标准,分别是 API-618 和 API-11P。国内也已发布了这两套标准的对应版本,分别是 GB/T 20322《石油及天然气工业用往复压缩机》(根据 ISO 13707,API-618)和 GB/T 25359《石油及天然气工业用集成橇装往复压缩机》(根据 ISO 13631,API-11P),前者适用于炼油化工等关键装置使用的中、低速压缩机;而后者主要适用于石油天然气工业上游用橇装式高转速、短行程往复式活塞式压缩机^[14]。

3 结束语

国内外油气田常用的压缩机主要用于排水采气、集气处理、管道输送和储气库四个领域。目前在排水采气和集气处理领域,国产成套压缩机可以满足国内油气田使用,基本可以替代进口机型。但是这些天然气压缩机主要是在进口主机和阀门等零部件的基础

上进行橇装的成套压缩机组,主要零部件依赖进口。在技术参数方面,国产压缩机的最大功率和最高工作压力与国外机型相比,还有一定的差距。在使用寿命和可靠性方面,国产机的易损件寿命、连续运转时间普遍低于进口机型。在管道输送领域,特别是对于大型长输管道,国产机的应用远远不如进口机。目前国产长输管道输送用离心式压缩机只有沈鼓和陕鼓可以制造。然而其在设计和制造方面仍然处于起步阶段,维修、备件及相关服务都需要依赖国外公司。在储气库领域,国产压缩机无法完全满足储气库的工况要求,因此主要采用进口机型。

根据目前国产天然气压缩机与进口机型的差距,为提高国产压缩机的质量和应用性能,在国产机制造方面提出几点建议:①加强产品研发,丰富产品系列,采用主机进口后国内成撬的方式生产压缩机组;②加强对产品运行信息的监测及相关技术人员的培训,提高服务水平,帮助用户节约成本;③建设具有研发背景和资深工艺设计能力的团队,借鉴国外成熟压缩机制造企业的经验,从概念和实验室研发推广到规模化产出;④加强对标工作,努力按照国际通用的标准和行业规范来提供产品和服务,提升质量。

参 考 文 献

- [1] BP.《世界能源统计年鉴》2015[R].北京:BP p.l.c.,2015.
BP,Statistical review of world energy 2015[R].Beijing:BP p.l.c.,2015.
- [2] 王宗明.压缩机[M].北京:中国石化出版社,2012.
Wang Zongming. Compressors [M]. Beijing: China Petrochemical Press,2012.
- [3] 范海峰.天然气压缩机国产化的现状及发展[J].天然气与石油,1999(3):24-25.
Fan Haifeng.Current situation and development of natural gas compressor localization[J].Natural Gas and Oil,1999(3):24-25.
- [4] 刘虎,李川东,李德禄,李宁,秦飞虎,武喜怀,等.天然气压缩机在排水采气中的应用[J].压缩机技术,2006(4):43-48.
Liu Hu, Li Chuandong, Li Delu, Lin Ning, Qin Feihu, Wu Xihuai, et al. Natural gas compressor applications in gas drainage[J].Compressor Technology,2006(4):43-48.
- [5] 郭博云,阿里·格兰伯.天然气工程手册[M].北京:石油工业出版社,2012.
Guo Boyun, Ghalambor Ali. Natural gas engineering handbook[M].Beijing:Petroleum Industry Press,2012.
- [6] 秦飞虎,李鹏,周生伟.3500 kW 高速往复活塞式天然气压缩机[J].石油科技论坛,2014,33(2):62-64.
Qin Feihu, Li Peng, Zhou Shengwei.3500 kW high-speed reciprocating natural gas compressor[J].Oil Forum,2014,33(2):62-64.
- [7] 花严红,袁卫星,王海.离心压缩机研究现状及展望[J].风机技术,2007(3):59-62.
Hua Yanhong, Yuan Weixing, Wang Hai.Current situation and expectation on research of centrifugal compressor[J].Compressor Blower & Fan Technology,2007(3):59-62.
- [8] 徐铁军.天然气管道压缩机组及其在国内的应用与发展[J].油气储运,2011,30(5):321-326.
Xu Tiejun.Natural gas pipeline compressor and its application and development in China[J].Oil & Gas Storage and Transportation,2011,30(5):321-326.
- [9] 黄泽俊,高顺华,王世君.我国天然气管道核心装备国产化进程及应用展望[J].天然气工业,2014,34(7):1-6.
Huang Zejun, Gao Shunhua, Wang Shijun.The core pipeline equipment localization process and application prospects in China[J].Natural Gas Industry,2014,34(7):1-6.
- [10] 王学军,葛丽玲,谭佳健.我国离心压缩机的发展历程及未来技术发展方向[J].风机技术,2015(3):65-77.
Wang Xuejun, Ge Liling, Tan Jiajian.The development process of centrifugal compressor and the future technology development trend in China[J].Compressor Blower & Fan Technology,2015(3):65-77.
- [11] 燕冰川,税碧垣,高希光,冯庆善.国内外天然气管道压缩机组发展现状[J].通用机械,2009(11):16-19.
Yan Bingchuan, Shui Biyuan, Gao Xiguang, Feng Qingshan. Current situation of natural gas pipeline compressors at home and abroad[J].General Machinery,2009(11):16-19.
- [12] 丁国生,谢萍.中国地下储气库现状与发展展望[J].天然气工业,2006,26(6):111-113.
Ding Guosheng, Xie Ping.Current situation and prospect of Chinese underground natural gas storage[J].Natural Gas Industry,2006,26(6):111-113.
- [13] 周学深.有效的天然气调峰储气技术——地下储气库[J].天然气工业,2013,33(10):95-99.
Zhou Xueshen. An effective means of natural gas peak-shaving and storage technologies; Underground gas storage[J].Natural Gas Industry,2013,33(10):95-99.
- [14] 李明悦,扈滨.往复压缩机标准 API-618、API-11P 的异同点及其应用浅谈[J].压缩机技术,2011(1):49-51.
Li Mingyue, Hu Bin. The similarities and differences of reciprocating compressor standards of API-618 and API-11P and discussion of its application [J]. Compressor Technology,2011(1):49-51.