

机载系统合同谈判策略与方法研究

A Summary of Airborne Systems Contract Negotiation Methodology

宁俐 / Ning Li

(中国商用飞机有限责任公司, 上海 200120)

(Commercial Aircraft Corporation of China, Ltd., Shanghai 200120, China)

摘要:

保持高效和有效有助于达成合同谈判目标。树立大团队观念、正确选择和判断谈判对手,有效进行过程把控,准确辨识谈判意图,合理分解商务报价,化冲突于无形是谈判高效、有效并最终制胜的要诀。

关键词:机载系统;合同谈判;方法

[**Abstract**] Being efficiency and effectiveness should always be driven of the goal of negotiation. The ultimate success of negotiation hinges on developing and strengthening the seamless and cross function collaboration between parties, choosing and judging correctly on the negotiation counterparts, focusing on the effective process control, identifying the exact goal to be achieved, reasonably analyzing the quotation and bridging the gap between parties.

[**Key words**] Airborne Systems; Contract Negotiation; Methodology

0 引言

目前,国际上的大型客机项目通常采用主承制商-供应商模式,这是上世纪90年代民机制造业进行结构性调整之后,在波音、空客等国际一流飞机制造商推动和实践下,通过不断探索和创新建立起来的一种新型商务模式。这种模式是主制造商为了发挥自身整合和集成优势,弱化自身设计及制造能力,刻意加强市场及服务领域,为自身形成独立和难以模仿的优势,并形成较强国际竞争力而进行的产业变革。这种模式在商务上是通过商务契约——即合同来诠释主-供各方的权、责、利、害的新型关系。对大型客机项目而言,机载系统合同的签署,为主制造商建立主承制商-供应商模式提供了契约保障。作为相关机载系统合同谈判的参与者,总结一些经验和体会,以期促进同行间更多的沟通,共同提高。

1 综述

从机载系统来看,涉及的谈判主要分为纯商务谈判和合同谈判。纯商务谈判主要是在合同执行期间发生的,就事论事性质的谈判。这种谈判多是由于设计更改和项目进度延迟导致商务影响的谈判,谈判结果是针对某个冲突问题在商务和

项目上各自平衡自身的利益并达到最终妥协。而合同谈判则需要以更宏观的角度和更为全局的思维方式和观念考虑问题,关注的不是一个条款或是一个章节,这种涉及产品全寿命周期的,包括研制、试验、生产、适航、交付、客服等各项内容的谈判,更应该把重视管理和合作,重视过程把控和监管、重视违约的有效处罚、重视供应商的绩效评估和合同有效执行,重视风险防范等方面的理念融入到成本和进度、质量和适航、研发和支持、交付和检验以及项目管理的合同编写和谈判中去,着重考虑如何能够让供应商按既定的方式、要求的进度,提供满足设计规范和适航要求的产品以争取研制飞机更快地进入市场,占据有利的市场位置和份额。但商务谈判绝不独立于合同原有的包括商务条款的所有条款谈判以外,恰恰相反,合同谈判过程常常伴随着新增商务谈判。因为项目复杂,研制周期长等特点,合同谈判期间,常常由于工程需求变化导致新增商务问题融入正在进行的合同谈判中,这些新增问题严重影响着合同谈判的进度和项目的成本。由此需要主谈把合同条款,包括原有商务条款与新增商务问题综合考虑。因此,本文把商务谈判的经验也融入合同谈判经验中进行阐述。

欲达到谈判的既定目标,须重视并实践两个

“效”字,一是“有效”,一是“高效”。即:如何能高效谈判,使合同谈判按照项目要求进度和周期及时完成;如何能有效进行谈判,使各个条款都能尽量多维护我方想要保证的利益。

2 谈判策略与方法

谈判之中变数极多。一是条款充满变数。如包括研发、服务在内的采购合同,每个合同有数百个条款,而每个条款可千变万化,变一个词都有可能成双方争执的焦点,需要各个攻坚才能赢取更多利益。二是对手充满变数。同一个谈判议题,面对不同文化、不同背景、不同风格的谈判对手,需采用不同的谈判策略,且同一对手每轮的思路和谈判方式亦各有不同和侧重,并在一定程度上会受到其他团队成员的影响,从而使整个谈判过程充满不确定性,没有一个成文的方法可循。三是问题和解决方案充满变数。同一条款,由于对方公司对不同问题的原则和指导方向不同,对方对解决方案提出的侧重角度也各不相同。凡此种种,但多年的谈判经历让笔者积淀了一些经验,归纳为六个锦囊,在此与大家分享。

2.1 谈判制胜的第一个锦囊——建立大团队紧密合作观念

本锦囊核心:树立大团队观念,寻求更多的分歧解决方案,选定能满足双方底线以上合理利益的最好方案。

大团队观念指树立己方和供应商一个团队观念。在大团队中,各方紧密合作,致力于创造一种氛围,使谈判双方乐于主动、顺畅沟通,并乐于致力寻求更多分歧解决方案和找到最终合理方案。一直以来,所谓的团队都是由己方人员组成,包括商务、工程、制造、质量、适航和客服等。谈判过程中也充分利用成员充分沟通、互为补充、协同作用和最终对手达成协议。谈判的重点和核心是最大限度地满足自身利益。从辩证的角度来讲,不可能有纯粹单方利益的实现,因为博弈的本身就是利益均衡的过程。因此,追求一方利益的谈判结果往往使谈判陷入僵局,效率低、耗时长,同一问题重复出现且难以解决是所有长期无法完成之谈判的通病。而实际上,谈判的实质是把两个利益冲突的团队拉在一起,去解决共同面对的难题,其最为合理的解决方案必是能够保证双方利益底线以上合理限度的满足。因此,建立一个以双方谈判人员为核心成员的大团队成为合同谈判通向成功的第一步。该团队的目标就是为合同分歧提供尽量多的解决方案,并最终选定最适合方

案。如谈判双方能在把解决问题作为考虑核心的同时更多地考虑双方的共同需求和项目的长远利益,则必能最终选定能满足双方底线以上合理利益的最佳方案,这也是谈判的最终目标和最理想的结果。

其实,利益的双方并非矛盾体,比如,我们总是希望系统的单机价格越低越好,其实就是一个误区,当价格低到供应商无法取得基本的利益但又不忍舍弃项目时,他会做出两个举动,一是先同意这个低价,再在以后的合适时机加倍要回来。因为对于机载系统,供应商一旦被选定,则更换成本之大无法估量,同时,还将直接影响飞机整体进入市场的时机,错过时机意味着适宜产品构型和性能的市场将在短时期发生巨大变化,一旦替代机型适时出现并被市场优先选择,其最终和最无情的结果是可能导致项目死亡。供应商深知,他必能在合适的时机要回他想要的。二是同意这个价格。但供应商不会做亏本的买卖,成本低必然会在材料、工艺和人力、工装和管理等各方面想办法、下功夫,其最终结果可能并不是己方所想要的,而由于对供应商控制能力的不足和受产品功能检验手段的限制,这些结果也不是我方能够最终控制的。故此最为合适的价格是在供应商成本上加入供应商能接受的最低利润。当然,这个数值的确认需要更多专业团队的配合,包括财务核算团队、商务模型构建团队和合同谈判团队等等。

建立大团队并在团队成员间紧密合作,就是要谈判各方能够领悟到利益的博弈并非永远都呈现矛盾,平衡和合理才是博弈需要的结果,并且由此将合同谈判推入高效和有效运行的轨道。大团队观念实质上是根本理念的改变,在谈判中,正确理念先行才是正道。

2.2 谈判制胜的第二个锦囊:找合适的对手进行谈判

本锦囊核心:建立合同谈判要素,及时更换不合格谈判人员,确保谈判进度和效率

古人云“棋逢对手”,说的两层意思,一是交战双方势均力敌、旗鼓相当,二是暗含要遇到合适的对手才会让当事人有兴致对弈,也会令观者饶有兴致、尽兴而归。如果谈判双方在知识结构、专业层级、对合作意向书及合同熟悉程度,决策权和被授权权限等方面不在同一个层面,则谈判中的一方需要耗费大量精力和时间向另一方进行说明、解释、询问等工作。同时,这种对象通常是未被授权的谈判人员,即对方还需要不断等待他的上报结果,更糟的是,可能会在合同的各个阶段要经历

对方的不断翻板导致对合同部分条款的反复重谈,其最终结果是效率低下,进度无法保证,双方利益更难以保障。遇到不合适的谈判对手,作为主谈,应该毫不犹豫要求对方换人,以免造成谈判进度的无限制拖延而严重降低谈判效率。

对谈判对手的判断是多维度的,但要以合理的方法在较短时段做出判断以保证合同谈判正常进行,各方至少需要满足四“懂”要素:一是懂产品,即了解自身产品;二是懂商务,即有商务和航空专业谈判经验;三是懂合同,即要熟悉合作意向书和合同,尤其熟谙合同各章节条款相互关联关系;四是懂决策,即要被充分授权。这些衡量标准都是最为基本的“和”的关系,而不是“或”的关系。要注意的是,己方具有选择权,对方同样具有判断力,当己方合同谈判团队在供应商面前发表意见时,别忘自己的一言一行也都是在诠释你是否是一个合适的谈判人员。这四条是对合同对方最低和最基本的要素要求,如供应商无法达到,则必须更换以满足高效和有效谈判需要。

2.3 谈判制胜的第三个锦囊:知己知彼,架设理解桥梁,创造诚信谈判基础

本锦囊核心:了解对手,建立良好的谈判关系和氛围;专业分析,转化思维方式和关注对方利益点,为利益的博弈奠定互相理解和互信基础。

谈判之前对谈判对手了解的面可以比较广,比如脾气秉性,性格爱好,处事风格,在公司的职位及管辖范围,对中国的了解程度,谈判中被授权权限范围等,所有你感兴趣的内容和你认为可能对谈判有用的任何信息都是需要知道的,如此更有利于对谈判方式的判断和把握。这些信息的获取可以通过前期与对方现场经理,项目经理等在平时的沟通中获得,也可通过和对方直接交流获取。

除了要进行初步的相互了解,在谈判启动初期,大多双方相互不熟识,给对方形成良好的印象,建立互信基础特别重要,这直接影响未来合同谈判的关系和氛围。建立互信基础需要做到以下几点:

(1)从专业视角对双方分歧做出分析,进行诠释,争取做到使对方心悦诚服;

(2)尝试从对方的视角考虑问题。即使大家各为其主,也要让对方感受到你在谈判中会时时关注他的想法,让他感受到他的意见是受到充分考虑的,这样,即使他失去了某些利益,也仍然会配合下一步的谈判工作;

(3)充分利用合同谈判经验,根据对方个性和

问题的重要程度分别处理。如果对方十分强势,则需要以柔克刚;如果对方蛮横无礼,则需要适时比他更加强硬,挫败他的威风;如果对方知礼又专业,则要做到更知礼和争取更加专业,这要求我们做好充分的谈判准备和具有全面的谈判协调能力及充足的经验。

(4)充分利用合同执行经验。通过合同必须有效执行理念和供应商达成共识。

举个例子,B系统供应商利用他的母公司和我们之前签署的C系统合同条款来压制正在谈的B系统支付条款,强烈要求我方同意硬件交付后以同样条款履行,即XX天必须付款。这个天数我核算了一下,并和合同执行的同事沟通了一下,发现有非常大的违约风险。截至目前,确有在XX天付出去的情况,但需要己方持续跟踪才可能付出,且无法保证这个周期肯定能够付出去;如果同意这个条款,则不仅使公司承受违约风险,将来可能支付违约金,还会由于有关人员专门处理这件事造成某段时期人力资源的不足。而对方认为我方同意了彼系统,若不同意此系统,他难以向上级交代。鉴于此,笔者通过以下方法与之沟通。

(1)从专业角度进行分析:首先把货到后清关和免税申请周期,内陆运输时间,收货后质检接收时间,付款内部流程需要时间等产品交付及付款流程所需时间一一进行核算,并一一解释给供应商;同时,对比两个合同,其交付条款各不相同,C系统是DDU条款,即未完税交付条款,B系统是FCA条款,即或交承运人条款,且我方选择在卖方所在地交货。根据我方的程序,需要在产品到货并验收之后才能够启动付款流程,因此,B系统还需要增加X天的订舱和运输时间。通过这层解释,供应商深知合同条款约定的付款周期对他的系统是合理而可行的。

(2)用合同执行的事实说服对方:把另一个型号同系统付款平均周期和每次付款周期进行一一核查后告知对方,并请供应商亲自去核实这些收款周期。由此,供应商从实际情况知道我方提出的付款周期是现实可操作的。

(3)从对方的角度和自身经验分析:依据大多数供应商的公司内部条例,如果货款不能按照合同约定时间收讫,则对方在自己公司的下批次发货和收款等事务方面都会遇到麻烦。从换位思考的角度提醒对方,如果按照A合同的条款签约他将要面对的内部风险,执行合同时可能遇到的难题,说服对方不得不考虑我方的意见。

通过以上的沟通和交流,供应商主动表示愿

意按照我方提出的条款达成协议。

合同谈判中,详实有力的分析、专业的态度,从对方角度考虑问题以及经验的合理利用,是形成谈判双方互相理解和信任并最终达成双赢的最佳基础。而时时想把自己放在控制位置的谈判者往往是不能达到双赢的。世界上没有免费的午餐,作为项目进度和成本的控制者,暂时的、表面的谈判赢利方一定不是最终的控制者。你需要获取利益,对方也一样,这个平衡点就是谈判的利益平衡点。永远不要把自己放在想控制别人和掌控全局的位置,才是一种健康的谈判心理。

2.4 谈判制胜的第四个锦囊:循序渐进,高效把控谈判过程

本锦囊核心:谈判口径确保一个出口,对关注点需要分层级有效释放。

供应商公司谈判的组织机构设置及谈判人员对上对下的权责关系,决定了一个公司是派一个全权代表,还是派一个联合团队前来谈判。派出谈判人员少的公司,公司一般会赋予他们比较大的权力,让他们独立进行合同谈判,并有大部分问题的决策权,这种情况谈判效率会比较高,但也会出现谈判人员越俎代庖,甚至还遇见过公司有质量部门,却由谈判人员代替质量部门和律师提出意见反馈的情况;由多个谈判人员组成的谈判组,如果组织不好,会出现各抒己见的情形,既难以高效的谈妥任何问题,又浪费谈判双方人员的宝贵时间,应有一个总代表发言和决策,这是最重要的问题。因此,每个谈判队伍保证一个出口是谈判的第一要素。

解决了谈判口径问题,最重要的就是谈判的过程把控。谈判要分四步走,第一步是谈判前双方意见的文字交流,由于没有面对面,因此可能不能完全看出对方对分歧点的态度及坚持程度,但能够看出分歧点的数量和判定有多少是我方最为关注的及其可能对谈判进度的影响。第二步是第一轮谈判,本轮有一个目标和一个注意,一个目标是需要较为准确了解供应商的关注点和敏感问题及其对我方敏感问题的大原则,也即是说,通过这一轮基本知道合同谈判的进度是否可控,谈判大概在何时能够完成;值得注意的是不要浪费太多时间和精力在对方谈判人员未被全权授权的章节,但需要双方陈述清楚各自立场;比如有些章节是律师负责,有些敏感问题包括终止、更改、补偿等对方无法作出最终决策,这些都需要明晰彼此的态度,看看分歧达到何种严重程度,但不需要辩论,因为对方没有授权人员,是外行,隔行如隔山。

第三步是第二/三轮谈判,其重点是基本结束合同90%~95%章节的谈判,尤其是第三轮要把上一轮遗留的供应商和我方的关键关注点/次关键关注点找到,在不同的谈判进度的控制上对不同层级的关注点进行有效地释放,需要注意的是,释放是需要回报的,我方可以在最初探求尝试某个或某几个无足轻重点的释放,看对方的态度以便决定后续的策略;本轮有一个特别需要注意的地方,就是决不能把供应商关注的,哪怕我们可以让步的条款给予对方,因为这个条款要留做我们最后一步座位打包的砝码之一。第四步则为最后一轮谈判,是对一般是7~8个最终开口的关闭,需要把合同和附件的所有开口做出平衡并力争通过打包解决问题。这个过程准备是否充分将决定并直接影响谈判最终的结果。

2.5 谈判制胜的第五个锦囊:准确辨识谈判意图

本锦囊核心:通过有效沟通,借助经验,准确把握对方意图,达成高效谈判。

谈判双方都有各自的底线,尤其是对比较敏感的问题,一定都不会轻易放弃原则。但实际上,双方的目标不一定是相悖的。理解对方的真正需求,就可以做出正确的判断,从而找出解决途径。譬如有两个厨师都需要桔子做一道菜,但厨房只有一个桔子了,他们认为各拿半个公平合理,可结果却令顾客失望,因为两个菜都色、香、味不佳。实际上这两个厨师可以共用这一个橘子做出满意的菜品,因为一个要做甜点,另一个要做菜肴,橘子皮和橘子汁是他们各自的需求。这个故事说明两件事:一是沟通的价值;二是有效沟通才能够辨识意图。需要一个橘子是沟通,但需要橘子做什么,如何做,才是真正需要把握和利用的信息。若两人能够有效顺畅沟通,就能准确了解对方的需求,有针对性的解决方案必然能够满足每一方利益的最大化,并达到最终不仅双方满意,且更让客户满意的结果。

合同谈判中沟通手段有三:一是通过和供应商建立良好关系使得供应商直言需求;二是通过提出各种问题了解对方需求,从而达到有效沟通;三是通过经验,即使供应商不说,我们也鉴于经验能够了解其需求,从而达到高效谈判的目的。

笔者在和供应商接触中,发现只要能和供应商建立互相理解和信任的关系,就能使供应商乐于直言其观点,或乐于直言回答我方的疑问和坦陈自身的顾虑,形成卓有成效的沟通,从而建立良好的谈判基础和互赢的结果。笔者有一个供应商,在他和谈研制经费NRC的吸收和分摊时,直言

他的公司不能够全部吸收为项目研发系统的成本,因为这家公司是一家上市公司的下属公司,具有独立的人事、财务权,需要自负盈亏。根据他们分析,项目的研制从启动到交付客户至少需要6年时间,这六年项目需要人员、材料的输入和足够资金运转。对于一些提供单机部件价值比较小的产品供应商是不可能要他承担和吸收全部研发成本的,除了考虑周转,他的回收期一般也很长。根据判断和对项目的定位理解,项目进入市场的时机把握和单机成本以及售后有关商务条件以保证项目的竞争性和持续发展,才是我方关注的重中之重,这家公司的产品在市场上占据80%以上的份额,先进性比较好,综合评估下来,其产品具有优势。相对于研制经费,我方更关心其对价格、启动优惠、备件、售后服务的敏感度、关注度和让度范围,在他的进一步沟通中,笔者发现其实对方要的是一个持续的资金输入以保证有足够的资源用于这个项目,为此,他甚至愿意多给一些商务优惠和折扣。由此,笔者在研发经费和单机价格、启动折扣、备件价格及服务持续性商务利益上找到平衡点,并在我方关注利益中取得谈判主动权,这个预案也得到了领导的肯定,由此谈判各方都获得了最想获得的利益点。

当然以经验准确辨识谈判意图,提高谈判效率,则必须有足够的经历才能获取,无法强求。笔者记得主合同中有一条关于转售备件的商保问题,我方希望供应商能够提供比一般的商保多3~6个月作为架上时间,一般来说,供应商是不同意的,原因很简单,一是这会给供应商带来直接商务风险,二是他们担心主承制商会把这个多余的商保提供给运营商,这样除了多几个月产品商保风险带来的财物损失,还会对他们的备件销售市场造成影响。但一般来说,供应商是不会把他们的这个担心直接告知主承制商,这显示对合作方的不信任,容易造成双方的误会。因此,如果不提供解决方案,这个条款就难以尽快谈妥。笔者当时提出增加我方承诺,“不把供应商提供的新增架上时间转移给运营商或其他购买方”,看似简单一句话令供应商不再有后顾之忧,同意了我方要求。

2.6 谈判制胜的第六个锦囊:商务谈判矛盾的转化——化矛盾于无形

本锦囊核心:详细分析和拆解供应商的索赔报价,达到化矛盾于无形。

由于工程更改而产生的供应商的报价,是合同谈判过程和合同执行过程中面对最多的谈判,也是最需要细化、分解、讨论、研究并最终进行博

弈的矛盾。因其充斥着对成本和进度这两个项目最为敏感因素的审定和平衡,结果也是最难以预料的。对于我方来讲,新增的需求导致的商务影响可考虑风险共担,但其本质意味着各方为变化分担合理的风险。而实际上,由于各种原因,需求变化极有可能导致供应商利用这个机会,把以往想要而没有要到的费用合在一起要求我方支付,这确实有违双方的合作基础和我方的出发点。对于这部分新增费用,高付出并非意味着高回报,反而使供应商认为我方不够专业,容易得到补偿。由此,分拆供应商的索赔报价并分析其合理性,同时据此提出有效解决方案是工作重点。

以下是一些必需的方法:

(1)接到报价后,要充分利用甲方的强势地位要求供应商将报价分解为设计、制造、试验、文档、管理、适航、质量等人工费用和工装、材料等费用;

(2)对每一项报价要通过我方重新核实,包括核实分解的合理性(比如尚未产生的工作是否也计入报价)、实际的需求(比如对某些少量需求的产品是否采用费用较高的工装材料)、变更的实质(比如文档的报价除了对更改文档的数量、种类等核算外,还应核实重新编写的工作量以及重复拷贝的数量等方面)等各个方面;

(3)在上一项核实的基础上,按照国内的劳动力成本、工时和材料费用等,并参考国外劳动力成本和材料成本核算其直接费用和间接费用;

(4)通过商务模型,系数、参数或公式核算出有关费用。

在以上几点的基础上,可以对商务底线心中有数。其后才是和供应商进行真枪实弹的面对面对抗。要明白,随便的还盘和回复一方面是对我方自身的不负责任,另一方面也容易让对手对你心中有数,使自己开始就处于劣势,这对未来的合同谈判极为不利。

商务谈判涉及到具体情况具体分析,但需注意绝不能在详实分析前贸然确定谈判底线。记得笔者在工程团队的支持下,曾经把上千万美元的新增更改费用,通过对每一项新增的分解和分析,经过5个月的谈判,最终使供应商愿意和我方共担风险,以不增加任何经费和我方达成了最终协议。总结这次谈判的顺利完成,核心之处就在于对新增需求的细化分解、采用各个新增问题分别击破的手段,并使用商务谈判技巧,入情入理的化解了供应商的要价,在我方分担了一部分工作的前提下,供应商也最终同意分担了部分工作。由此,笔者也再次对商务谈判有了更为清晰和理性

的认识,即在建立和供应商坦诚互信的基础上,只要方法得当,分析问题有理、有力、有节,谈判就有无限空间。

3 结论

在合同谈判实践中,笔者以为观念的改变应该先行。无论是促进建立紧密沟通的大团队观念还是敢于更换谈判对手的举措,或者是从供应商的角度考虑问题,以及将矛盾分化的理念,其核心都无外乎七点:一是全局观,二是懂得舍小取大,三是知己知彼,四是准确判断,五是进退有维,六是注重细节,七是敢于创新。只有坚持这七点并将其运用于谈判,才能驭敌于无形,不战而屈人。多年的谈判经验让笔者感到,谈判桌前的职业风

范、专业视角、谈判经验以及个性魅力是决定谈判是否高效和成功的重要因素。只要能够以专业的态度对待,并采用适合的谈判策略,本着大团队合作的态度,通过准确判断谈判意图,合理分解商务风险,合同谈判将成为可以任我左右的利刃,无往而不胜。

参考文献:

- [1] (美)列维奇,等著. 商务谈判[M]. 第5版. 北京:机械工业出版社,2012.
- [2] (美)罗杰·道森. 优势谈判——一位王牌谈判大师的制胜秘诀[M]. 重庆:重庆出版社,2008.
- [3] (美)Amanda Crandell Ju. 优势! 商务谈判英语口语50主题[M]. 北京:外文出版社,2009.

(上接第47页)

而建立新的平衡关系,在这个过程中,溢出的氧氮气在气相空间中需要增加额外的容积 ΔV_U , 总的气相空间容积变为 $V_U + \Delta V_U$, 气相空间的氧氮总质量变为 $O_{U,mix}$ 和 $N_{U,mix}$, 然后气相容积恢复到 V_U , 该过程中氧氮成比例排出。若采用微元计算方法,使每次总压变化量很小,故 V_U 也很小,则可得到较真实的氧浓度平衡关系。

压力变化后,燃油中氧氮的析出质量分别为:

$$\Delta O_F = O_{F,1} - O_{F,2} = \frac{\beta_O p_{O,1} V_F}{R_O T_F} - \frac{\beta_O p_{O,2} V_F}{R_O T_F} \quad (4)$$

$$\Delta N_F = N_{F,1} - N_{F,2} = \frac{\beta_N p_{N,1} V_F}{R_N T_F} - \frac{\beta_N p_{N,2} V_F}{R_N T_F} \quad (5)$$

式中, V_F 为燃油体积,单位 m^3 ; R_O 、 R_N 为氧氮气体摩尔常数,单位 J/kgK ; T_F 为燃油温度,单位 K 。

新的压力下,气相空间氧氮质量为:

$$O_{U,mix} = O_{U,1} + \Delta O_F = \frac{p_{O,1} V_U}{R_O T_U} + \frac{\beta_O V_F}{R_O T_F} (p_{O,1} - p_{O,2})$$

$$N_{U,mix} = N_{U,1} + \Delta N_F = \frac{p_{N,1} V_U}{R_N T_U} + \frac{\beta_N V_F}{R_N T_F} (p_{N,1} - p_{N,2})$$

式中, V_U 为气相空间体积,单位 m^3 ; T_U 为气相空间温度,单位 K 。

由于氧氮成比例排出,因此新压力下氧氮分压比应该与气相空间氧氮摩尔比相同,即

$$\frac{O_{U,mix}/R_O}{N_{U,mix}/R_N} = \frac{O_{U,2}/R_O}{N_{U,2}/R_N} = \frac{p_{O,2}}{p_{N,2}} \quad (6)$$

初始和终了情况下,总压与分压的关系为:

$$p_{1,1} = p_{O,1} + p_{N,1} + p_v \quad (7)$$

$$p_{1,2} = p_{O,2} + p_{N,2} + p_v \quad (8)$$

将式(4)、(5)、(6)和(7)代入式(8)并化简可得:

$$\frac{p_{O,1}(V_U + \beta_O V_F) - \beta_O p_{O,2} V_F}{(p_{1,1} - p_{O,1})(V_U + \beta_N V_F) - \beta_N (p_{1,2} - p_{O,2} - p_v) V_F} = \frac{p_{O,2}}{(p_{1,2} - p_{O,2} - p_v)} \quad (9)$$

令

$$\begin{cases} A = V_F(\beta_O - \beta_N) \\ B = (p_v - p_{1,1})(V_U + V_F \beta_N) \\ \quad + V_F(p_{1,2} - p_v + p_{O,1})(\beta_N - \beta_O) \\ C = p_{O,1}(p_{1,2} - p_v)(V_U + V_F \beta_O) \end{cases} \quad (10)$$

则式(9)可简化为:

$$A p_{O,2}^2 + B p_{O,2} + C = 0 \quad (11)$$

4 结论

本文根据不同高度下空气在燃油中的溶解度平衡关系及空气中氧氮分压关系,得出飞机随飞行高度变化氧气析出的计算公式,该计算公式可以为适航取证分析油箱氧气析出提供有效支持。

参考文献:

- [1] Michael Burns, William M cavage, Richard Hill. Flight-testing of the FAA Onboard Inert Gas Generation System on An airbus A320[R]. DOT/FAA/AR-03/58, June 2004.
- [2] AC25. 981 - 1C Fuel Tank Ignition Source Prevention Guidelines[R]. December 2008.
- [3] AC25. 981 - 2A Fuel Tank Flammability Reduction Means [R]. December 2008.