

试论西气东输工程的可靠性维修性安全性管理问题

On the RMS Management of the Xingjiang- Shanghai Gas Pipeline Building Engineering

顾唯明

(机械科学研究院, 研究员级高级工程师

北京 100044)

一、西气东输工程概况

“西气东输”工程首先见诸于“中国工程科学”1999年第一期中国石油天然气集团公司邱中建研究员的文章:我国西部天然气东输的可行性。2000年3月18日北京青年报根据新华社电讯稿发表了有关西气东输工程的概要情况。2001年1月27日中央电视台焦点访谈栏目播放了“西气东输”工程的专题采访,就该工程的天然气资源、市场开发和安全问题进行了较详细的报道。

西气东输工程是我国继长江三峡水利枢纽之后投资规模最大的建设工程。它的建设周期短,工程地质条件极为复杂、从西到东跨越9个省市自治区。它拟把新疆塔里木油田长庆气田的天然气经过甘肃、宁夏、陕西、山西、河南、安徽、江苏诸省区,最

等组成的沙体群。(参见图1)。

胶州湾—海州湾,南、北两翼极不对称。北翼是山东半岛,翼展漫长,形成了非常理想的半环抱之势;南翼为废黄河口,翼展短小,半环抱之势不发育。所以,胶州湾—海州湾虽为内海,其规模与渤海比较相差甚远。

南翼地处废黄河口附近(即江苏北部),沿岸为粉沙淤泥质海岸,形成宽广、平坦的大陆架。黄河河道若采用方案二改由“清江—北沙”方向入海,有利于继续向东造陆,最终将会与水下北沙、长沙、瑶沙、金家沙、庄家沙、郎家沙、勿南沙等大小70多个沙体联成一体,成为新大陆而露出海面,可大大延展胶州湾—海州湾南翼插入黄海的深度,与北翼(山东半岛南缘)构成大致对称的互为犄角之势。这样,黄河泥沙沿“清江—北沙”方向入海,不断淤积南翼,向黄海大幅度延伸造陆,不但可使胶州湾—海州湾变成我国第二大内海,增大胶州湾—海州湾凹进内陆的深度与规模,而且可使我国领海进一步向东外延,从而扩大领土面积。海州湾是江苏四大渔场之一,盛产鲳鱼、鲅鱼、河豚、鲈鱼、带鱼、对虾等鱼虾类,还可养殖海带、紫菜和贝类。胶州湾则是山东的著名渔场。胶州湾—海州湾面积不断扩大,

后输到上海,将铺设一条直径1.2米、长达4000公里左右的高压管道(图1)。年输气量120亿立方米,是陕西—北京已经建成的第一期工程年输气量的6倍。总投资将达到人民币1700亿元,包括油气资源勘探开发、输气管道建设、城市管网和工业利用等相关项目的建设。其中输气管道建设费用仅占30%左右,而城市管网建设、工业利用等天然气市场开发费用占600~800亿元。整个工程计划2001年下半年开工建设、2003年通气、2004年全线贯通。全部建设工期为5年。

我国天然气远期发展规划已经确定,以西气东输工程为起点,分别建设东西向和南北向各两条长距离、大口径输气管线,形成天然气两横两纵的基本格局。因此,西气东输工程的建设对开发中西部地区、改善能源结构、提高人民生活水平、改善长江三角洲经济发达区的大气环境和拉动全国国民经

可为我国21世纪发展海洋产业带来巨大的实惠。

治理黄河水患堪称世界性难题,遏止黄河泥沙淤积渤海是国人义不容辞的历史责任。总结与探索黄河下游水沙演化的自然规律,创造性地运用当代科学技术,人工提前将千里悬河移到地面上来,令黄河复归故道,渠化河床,畅通水流,防患于未然,可谓一举数得。不仅可以确保黄河岁岁安澜、消解下游水患,而且可以保护渤海、促使黄河泥沙不断向公海淤积领土,具有十分可观的综合效益。显然,这一建议值得有关部门进一步开展研究与论证。

参考文献

- [1] 霍有光. 策论鸭绿江水南调工程及跨渤海湾渡槽公路两用大桥. 科技导报, 1997(11): 53-56
- [2] 霍有光. 再论鸭绿江水南调工程. 世界科技研究与发展, 1999(3): 57-61
- [3] 杨力行. 关于黄河治理的思索. 科技导报, 1999(8): 28-30
- [4] 霍有光. 令千里悬河(黄河)落地的一项战略性对策, 新世纪科学论坛, 陕西科学技术出版社, 1999, 230-233
- [5] 霍有光. 南水北调中线工程不宜选择丹江口水库为取水口. 科技导报, 2000(11): 11-14
- [6] 霍有光. 策解中国水问题. 陕西人民出版社, 2000

(责任编辑 王宏章)



图1 西气东输工程示意图(原载北京青年报)

的增长都具有重大的意义。

二、西气东输工程的安全风险

像所有大型复杂系统一样,西气东输管线系统是一把双刃剑,它既可以给我们带来巨大的物质福利,又可能带来一定的安全风险。所谓安全风险是指发生事故的概。而事故的一般定义是指造成人员伤亡或重大财产损失的事件。西气东输管线途经9个省市自治区,沿线地形、地貌和地质构造十分复杂。全线需要穿越黄河、长江6次,中型河流500多次,干线铁路46次,干线公路500多次,经过六级和六级以下地震烈度区2500公里,七级和七级以上烈度区1500公里,部分区段地震烈度达到八级。中国石油西气东输工程项目经理部陈吉庆总经理在接受中央电视台记者采访时说:“此工程的技术和施工难度和复杂性在世界管道建设史上是罕见的。管线全长有40万道焊口,要求保证每道焊口都无问题。尤其是穿越长江,水面宽度达1400米,水深40米,是世界上第一难题”。目前有4个穿越长江的设计方案:(1)盾构;(2)开挖隧道;(3)定向钻;(4)在江面上全拉索跨越。全线自晋南、河南、安徽、江苏至上海经过的都是人口密集、经济发达地区,其安全风险更应从严控制。储气量可达2.6亿立方米的储气库位于苏南境内,更应做到万无一失。

西气东输工程可能产生的事故类型和模式是:(1)爆炸;(2)火灾;(3)贵重设备和控制系统损坏;(4)管道破坏和损坏;(5)人员伤亡;(6)管线长时间

停止供气甚至瘫痪,等等。

事故原因可能有:(1)系统安全设计不良;(2)设备设计或制造缺陷;(3)工程施工质量不良;(4)工程建设质量监理不力;(5)未预计到烈度的地震或防震、抗震措施不到位;(6)管道系统或储气库的泄漏;(7)管道腐蚀;(8)天然气含水、 H_2S 不合格造成的管道应力腐蚀;(9)管道压力波动引起的低周疲劳或腐蚀疲劳;(10)地形、地貌和地质条件的渐变变化;(11)管理维护不良;(12)操作处置不当;(13)犯罪分子的破坏,等等。

当然,事故的发生通常不是单因素事件所引发,而是由若干个事件或事件序列所致。

三、西气东输工程可靠性维修性分析

西气东输管道系统规模巨大,分系统数量和组成关系极为复杂,很难用一个可靠性模型框图表达。图2是西气东输管道系统可靠性模型框图。

对此可靠性模型框图说明如下。

1. 整个输气系统的组成成分(子)系统数量众多,除首压气站外,还有n个(末)压气站。SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition, 监控和数据采集系统)全部采用计算机控制,实行远程数据传输。它分为三级:中央级、分控级和站场级。K个分控中心级分别控制某一区段全部站、场,中央控制中心控制全部分控中心。通向用户的分输站有L个,主要供给长江三角洲地区。

2. 陕北靖边站是整个管线的枢纽站,也是陕

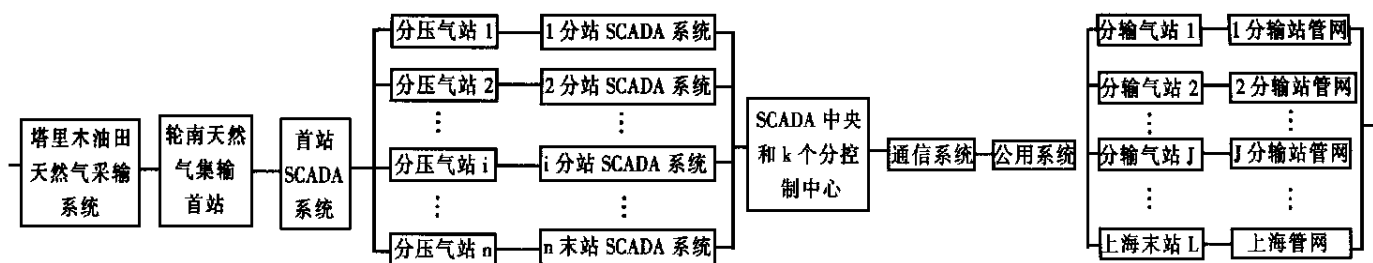


图2 西气东输管道系统可靠性模型框图

—京输气管线的首站。由于它毗邻最近发现的内蒙苏格里大气田，将来可以实现联网供气，可靠性更高。

3. 除轮南首站外，其余分压气站可看成是一个 n 取 r 的表决系统。

4. 管道未画入框图，可以视为各压气站的组成单元。

5. 江苏省苏南金坛盐矿已经初步选定为储气库。盐腔总容积为 130 多万立方米，可储气 2.6 亿立方米，可以调节供气的峰谷负荷（未画入可靠性框图）。它的串并联作用有待商榷。

6. 全线设若干个清管站，可看成是维修保障设施（未画入框图内）。

所有的压气站都用两台套透平压缩机—燃气轮机机组并联使用，在功率上还留有余量。首、末站还增设一套机组做备用。根据国外的资料报道，此类机组比较先进。但容易产生故障，因此要求维修性和保障条件都较高。特别轮南—陕北、晋北境内沿线不少是偏僻荒野地区，在系统设计时必须考虑到这一点。

四、西气东输工程开展 RMS 管理的必要性和可行性

关于大型复杂系统的可靠性维修性安全性 (RMS) 管理的一般性问题已经在笔者先后发表在《科技导报》1999 年第 9 期和 2000 年第 7 期两篇论文中有详细的论述。此处不再重复。结合西气东输工程的实际情况，应开展 RMS 管理的必要性和可行性论述如下。

1. 由前述可知，西气东输工程存在着较大的安全风险，需要进行安全风险评估。通过系统可靠性的改善和严格的管理减少安全风险。不少管理者对系统的安全性是建立在系统可靠性和维修性的技术基础上还缺少应有的认识，需要转变观念。并且在实施管理的实践过程中真正实现观念的转变。

近年来，管道风险评估与管理技术已经渐趋成熟，特别是 W. K. Muhlbaier 编著并于 1992 年和 1996 年先后出版的“管道风险管理手册”就是其标志。国内石油天然气行业的技术专家已经对此作了评价

和介绍。因此已经有条件在西气东输工程中积极和谨慎地借鉴和参考使用。国内核电工业在安全风险的管理上已经积累了不少实践经验，也可以移植和借鉴。去年以来，政府对重大安全事故的发生，加大了追究领导责任的力度。工程管理者与其在出了重大事故后承担领导责任，不如防患于未然，在工程建设一开始就在全寿命周期过程中进行安全风险的评估和管理。这是贯彻“预防为主”方针的全面而具体的行动。

2. 建设西气东输工程不是为了安全，而是为了将塔里木油田长庆气田丰富的天然气资源可靠地足额输送到长江三角洲经济发达区。这就要求系统有较高的可靠性和维修性，从而使系统可用时间长、可用性高，可以稳定向用户供气。要实现这一点，必须保证系统的可靠性、维修性和可用性。

3. 系统效益是我们各项建设工程孜孜追求的目标。除了市场和营销以外，系统的可信性（可用性及其影响因素：可靠性、维修性和维修保障性）及其全寿命周期费用是获取系统效益的基础，而全寿命周期费用又和系统质量和其可信性有着直接的关联。不能设想，可靠性维修性不好，事故频繁发生，系统效益还会好到哪里去。

4. 要求在西气东输工程中实行 RMS 管理，将会使外商感到他们的投资回报是建立在科学管理的基础上，这将更有利于吸引外资。同样也有利于选择合适的合作伙伴，有利于在合作过程中向国外学习先进的 RMS 管理技术和经验。

5. RMS 管理目标的实现是建立在严格而科学的管理和全体职工的工作质量的基础之上的。进行全寿命周期的 RMS 管理是严格执行国务院“工程建设质量管理条例”的具体化和延伸，要把行之有效的 RMS 管理和技术措施纳入到各有关企业的“质量保证体系”程序文件中去，把企业的 RMS 目标管理和企业的质量保证体系建设紧密结合起来。

6. 实行系统 RMS 目标管理，无论是对于管理者或是对每个职工的素质，均提出了更高的要求。在工程实践中对工作的责任心、方法的科学性和严密性、作风的严格性和纪律的严肃性提出了更高的要求。通过 RMS 管理的有效实践必然会培养出一批既会管理又能攻坚的高素质人材。

7. 国内不少工业交通和武器装备行业在大型复杂系统的 RMS 管理上已经做过许多工作, 积累了不少经验。在石油天然气行业, 也有不少人士对安全性可靠性和维修性做过不少前瞻性的工作。

总之, 面对西气东输这样一个高质量、高水平、高效益、高速度的建设工程, 为了减少安全风险和投资风险, 有关方面应该认真考虑在全寿命周期过程中实施 RMS 管理的建议。

五、对西气东输工程中实施 RMS 管理的具体建议

1. 首先应该制定“天然气输气管线工程可靠性维修性安全管理规定”和“天然气输气工程可靠性维修性设计若干要求”两个文件。前者包括基本政策和原则、各阶段主要工作内容和要求、机构与职责、保障条件、奖惩办法等内容。后者则包括建立可靠性维修性工作系统、可靠性维修性设计主要工作内容(其中首先要确定可靠性维修性定性、定量要求)、可靠性维修性设计工作质量检查方法等。

2. 着手建立可靠性维修性工作系统。应有一位项目经理级的管理人员主管或分管此项工作。系统总设计师级中亦应有相应的负责人员, 下属系统亦一样。工作系统建立后, 要进行必要的可靠性工程基础知识的培训, 并建立相应的工作制度。

3. 调研国内外天然气行业的事故率和事故案例, 天然气输气管线中主要设备的失效率、平均无故障工作时间、平均维修时间等可靠性维修性数据。国外数据可以通过出国考察、国际合作等途径获得。国内数据的收集据说已经有了一定的基础。这是开展 RMS 管理非常有利的条件。

4. 进行安全风险的分析和评价, 在此基础上试行安全性目标管理。国内大亚湾核电厂已经在这方面有了良好的进展。建议西气东输工程高层负责人员能够去该厂实地考察和学习借鉴。

5. 在可靠性维修性设计工作方面, 下列工作项目将是效费比较高的, 应于优先考虑。

(1) 制定可靠性维修性工作大纲(或计划)。

(2) 制定和贯彻实施可靠性维修性设计准则。

(3) 在各个设计阶段中进行故障模式、影响和危害度分析(FMECA), 写出分析报告。

(4) 在工程的各个设计阶段进行设计评审时同时进行可靠性维修性设计评审。建议在评审时要邀请石油天然气行业内外的可靠性维修性专家参加。对不同设计阶段所需要开展的可靠性维修性设计工作进行认真评审。对评审中提出的建议和改进建议的处理意见是批准转入下阶段工作的必须审查的文件。

(5) 建立“故障报告、分析和纠正措施系统

(FRACAS)”。在设计、施工阶段, 要把设计评审、试验研究、工程质量监理与验收等过程中发现的设计缺陷、质量不符合项及其改进措施和处理意见等按有关规定建立文档或数据库, 使之具有可追溯性。在工程进入调试和试运行阶段时, 更要使 FRACAS 系统正常和有效地运行, 使其有效地消除缺陷, 改进维修和操作质量, 实现系统可靠性增长。

(6) 加强对设备或控制系统承制方的可靠性维修性工作的控制, 对于国外的供货商起码要求他们提供所供设备在实际运行条件下的可靠性维修性数据。如系招标采购, 可将此要求写入招标文件中, 以减少可靠性风险。除了有高可靠性维修性要求的透平压缩机—燃气轮机机组、SCADA 系统外, 对各种大型电动阀门的可靠性维修性和安全性要给以充分的注意。

6. 系统的 RMS 必须建立在科学技术的基础之上。面对如此众多复杂的技术难题, 在工程可行性研究过程中已经安排了一些科研项目。现在需要从保证系统可靠性维修性和安全性的角度来审视这些项目是否已经满足了系统 RMS 要求。如有缺项或研究的内容和深度不够时应于补充和修改完善, 例如: 管道焊缝残余应力的消除和控制, 无损检测的可靠性, 管道内壁探伤机器人, 天然气入口的水, H₂S 含量的控制及其对管道寿命的影响, 管道低周疲劳寿命, 抗震分析和防震措施的有效性, 等等。

六、值得注意的几个误区问题

1. 可靠性工作难以操作。这是常见的推托词。不可否认, 一开始从事可靠性工作需要学习一些入门知识, 但入门并不困难; 希望可靠性专家不要用复杂的数学公式去吓唬工程管理和技术人员。现在我国的条件和十几年前相比已经有很大的不同, 一方面是质量要求高了, 要求控制安全风险和投资风险; 另一方面, 我们从国外引入的可靠性工程技术已经取得了明显效果。最有说服力的事例是从 1996 年 10 月至今, 我国长征系列火箭已经创造了连续发射成功 23 次的辉煌记录。航天人能够做到的事, 相信石油天然气行业的管理人员和职工也能够做到。从事可靠性工作更要发扬大庆人所创造的“三老四严, 四个一样”的精神。再则如果对国内的专家不够放心, 也可以从国外引进人材。

2. 严格管理就能保证安全。这种观点有一定的片面性。系统的固有安全性是建立在系统和安全相关的子系统的可靠性的技术基础上。如果有关的系统不可靠, 再严格的管理也不能保证安全。

3. 可靠性理论太深奥, 指导不了工程实际工作。这是对可靠性工作的误解。我们所提倡的可靠性工作就是要和设计施工运行的全寿命周期同步

关于增强基础研究源头创新活力的探讨

Thoughts on Promoting the Vitality of Source Innovation of Basic Research

洪明苑

(国家自然科学基金委员会, 研究员 北京 100083)

知识的原始创新, 在知识体系长河中的源头创新, 是当今科技发展中既重要而又突出的问题。下面将对如何增强基础研究源头创新活力发表自己的看法, 愿与科技界领导、专家和朋友们共同探讨。

一、明确基础研究的定位 与评价是基本前提

要增强基础研究的源头创新活力必须明确它的定位和评价。消除一些不恰当的观念和见解。

1. 关于基础研究的目的是定位

基础研究的目的是通过科学实验和理论研究揭示事物的结构、运动及相互作用规律, 发现新现象、新效应, 提出新概念、新原理, 深化人们对自然界的认识, 不断完善科学知识体系, 其最直接的产出是新高知识和高水平人才。

基础研究是科学研究发展中基础研究、应用研究、开发研究 3 个阶段中的第一个阶段, 也是知识体系产生的源头, 是国家创新体系中的一个重要组成部分, 在科技发展的整个链条中具有不可替代的作用。

2. 关于基础研究的评价

对基础研究的评价最重要的是基础研究对知识创新和创新人才培养的作用。因此, 在贯彻“有所为, 有所不为”的方针时, 最至关重要是应以创新为标准。有助于知识创新, 尤其是对于能在源头创进行, 密切结合工程实际。现在指导可靠性工作已经有了比较完整的标准化体系, 而且还有不少宣贯标准的教材和参考资料。只要在适当的层次上建立了可靠性工作的管理系统, 有关人员经过了必要的培训, 有必要的资源保障, 肯定能够开展起来。而且, 专职的可靠性工程师不是愈多愈好, 主要工作应由有关的兼职技术人员去做才能做到点子上, 才能做好。

总之, 高层管理人员的传统思维和观念能否转变, 决定了可靠性工作的命运和前途。可靠性管理始终在可靠性工程中占有主导地位。前国防科工

新的为之; 没有创新的则不为之。在评议基金资助课题中, 要以创新性大小来衡量, 筛选、淘汰低水平重复的课题; 对于学科前沿、交叉学科的新生长点应给予高度的重视; 对非共识的课题既要慎重, 又要敢于承担风险, 给予必要的、适时的支持。在检查科研工作、评价科研绩效中, 应以知识创新的水平和创新人才的成长为评价依据, 判断其在科学知识宝库中所作出的贡献、在国际学术舞台中产生的影响。

考虑到基础研究的国家目标是服务于国家长远发展的目标, 为知识经济的发展提供源泉和高新技术的先导, 因此, 对于基础研究的应用背景和应用前景必须给予充分关注, 努力促进基础研究的成果与应用研究阶段的衔接及在新领域应用的开拓, 适时向应用研究和开发研究方向转移。但决不可将对应用研究的要求简单地套到基础研究上, 更不能仅以开发研究符合经济效益与否来对待基础研究。

3. 关于对基础研究的误导

当前社会上在对待基础研究问题上存在一些误导, 影响基础研究源头创新活力, 影响科学研究的重大突破。

(1) 在改革中强调科技与经济相结合是十分必要的, 也是国际发展的趋势, 但是在解决所谓科技与经济“两张皮”中过份强调经济效益指标, 对科学研究过程的 3 个不同阶段不加区分, 忽视了基础研究的内涵, 混淆了科学与技术的界限, 以“急功近

委的主要领导曾经不遗余力地倡导各级领导转变观念, 提出新时期产品(系统)的质量观:“长时期保持良好性能”和“最佳的全寿命周期费用”。正因为如此, 10 余年来, 我国武器装备研制生产的可靠性工作取得了长足的进展。

我们常说中国是龙的故乡。西气东输管线就像一条东方巨龙, 横贯祖国东西大地。它是神龙、善龙或者是妖龙、恶龙可能就在于我们对大型复杂系统的 RMS 管理的重视程度和是否能够通过有效的管理实践掌握科学的管理方法。

(责任编辑 王宏章)