

供配电设计和实践

郑世同, 李兴明

(中国石油工程设计有限公司西南分公司, 四川 成都 610017)

摘 要: 在西气东输工程设计实践和较广泛调研的基础上, 以系统工程观点对西气东输工程的供配电电源, 供配电网络和供配电设备等的可靠性, 以及环境因素对可靠性的影响分别进行了讨论和评估, 并且对设计中采取的一些工程技术措施进行了总结。

关键词: 负荷等级; 0 级负荷; 可靠性; 供电可靠率; 环境技术; 变频技术; 微机综合自动化装置

文章编号: 1006 5539(2005) 04-0031-06

文献标识码: A

由于石油天然气行业一般都具有易燃、易爆的生产特点, 在大中型建设工程的用电负荷中, 一、二级负荷占有较大比例, 在西气东输工程设计前期, 通过广泛的调研工作, 电气设计人员对西气东输工程整体上的“难、新、大”的特点有了初步认识, 对西气东输工程的供用电设施的高可靠性要求进行了全新的审视和思考, 电力作为通用性最大的二次能源, 电力系统不仅仅是一个从发电—输电—变配电—用电设备的单向不能中断进行的能量传输和转换系统, 而且还是一个要求能量时时平衡的动态能源系统, 它不仅可能因受系统内部的各种元器件故障和干扰而中断供电, 也可能受外部环境条件(温度、湿度、海拔、雷暴、地震、风沙等)影响和破坏而中断供电, 我们应以整体系统的观点研究构成企业电力能源系统的供电电源、供配电网络和用电设备等诸多相关的技术经济矛盾。一般而言, 任一用电设备的用电过程是通过一个串联回路完成电能和其它能量(机械能、热能等)转化的过程, 可靠性(Reliability Worth)是反应一个系统或一个元件在所要求的寿命期内连续运行能力, 电力能源系统通常是用增加并联通路来达到提高可靠性的目的, 这样可使得并联通路之一发生故障时不会导致供电中断, 当并联通路热备份时可节能但消耗电气寿命, 并联通路冷备份时看似多余, 但要求保持良好状态, 随时待命投入, 普通

工业企业供电对可靠性要求不高时可不建设这条冗余通道。高可靠性要求高投入, 因此确定用电负荷等级、量化可靠性分析、合理考虑西气东输工程配电系统可靠性要求与投资的关系是本工程电气设计工作中贯穿始终的重要内容, 下面我们从系统角度总结西气东输工程的供配电设计特点和设计中采取的一些技术措施。

1 用电负荷等级提高

西气东输工程产能巨大、投资惊人、地位特殊、影响深远, 带给电气设计的第一个特点也是第一个难点就是如何正确判定各单项的用电负荷等级。对于这样一个开创新世纪的巨大而复杂的工程, 其主要用电负荷等级若按设计规范的惯例统一判定为一级负荷显然是过于简单, 特殊工程应有特殊的应对措施, 我们对本工程的用电负荷等级的确定作了仔细的研究和考证, 在工程的可研设计中引入一新的“0 级负荷”的概念, 以求更准确定位西气东输的各单项工程的用电负荷的主次、轻重。设计实践证明, “0 级负荷”的概念是正确、合理的。2004 年电力部门的新设计规范采用了“0 级负荷”的概念, 而且更细分为三类(0a, 0b, 0c)。

电力用电负荷应根据其对供电可靠性的要求及

收稿日期: 2004-12-28; 修回日期: 2005-04-21

作者简介: 郑世同(1944-), 男, 河南温县人, 高级工程师, 主要从事石油天然气地面建设工程中的电气设计工作。电话: (028) 86014519。

中断供电在政治上、经济上所造成的损失或影响的程度划分等级,按我国现行设计规范用电负荷为三级。国标 GB 50052—95《供配电系统设计规范》还规定了一种称之为一级负荷中的“特别重要的负荷”,这种负荷通常所占总容量的比例相对较小,绝对容量数也较小,一般为停电后确保人身和设备安全停产所必须的“保安负荷”,如重要场所的应急照明、信息系统和自控紧急安全装置的供电、大型金融中心的电子计算机系统和安全报警装置等,这种“特别重要的负荷”除了根据一级负荷必须按两个独立电源供电的要求外,尚应增设应急电源,即应设小容量的第三电源。应急电源更强调高独立性——严格独立于满足一级负荷供电要求的两个独立电源之外的其它电源。

我们引入的“0 级负荷”的概念就是国家规范中规定的一级负荷中的“特别重要负荷”的概念,不同的是西气东输工程的“0 级负荷”容量较大,需设较大容量的第三独立电源,在供电电源的可靠性要求高时增加了第三个并联冗余通路,可以承受两个互不关联的事故(一级负荷只承受一个独立电源事故),所以系统中最重要供电电源的可靠性大幅提高了,这意味着我们将在西气东输工程中局部提高供电电源的建设标准,这样是否合理,是否必要呢?

1.1 合理性

设计规范应是过去工程建设实践和经验的结晶,更是当今新产品、新技术和成熟科学理论的综合,国标 GB 50052—95《供配电系统设计规范》也认为(条文解释中)目前我国电网结构很难保证用户的两个电源的独立性(一级负荷用户),因众多一级负荷用户的供电电源设计的工程实践已证明用户所在地区接电的国家大电力网在主网电压的上一级总是并网的,用户无论从下级电网取得几回供电电源线路,也无法取得严格意义上的两个独立电源,外部电网的多种故障,均可使全部电源进线同时失去电源,即使用户自建自备电站,变电站正常并网运行,电网事故时,由于继电保护和低周解列自动装置动作过程交织在一起,仍不能避免用户全部停电事故发生。西气东输的源头工程塔里木气田的克拉 2 等气田和首站轮南站的当地地方小电网供电条件较差,要想取得较理想的两个独立电源较困难,所以合理设置

满足工程需要的大容量、正常待机的不与电网并网的第三电源是符合国家规范的,因而是合理的。

1.2 必要性

西气东输工程中的关键厂站一旦中断供电,政治经济损失巨大。按年输 $120 \times 10^8 \text{ m}^3$ 天然气计,日输气将达到 $3\,287.7 \times 10^4 \text{ m}^3$,按技术经济专业提供的平均气价 0.83 元/ m^3 计,停产一天将造成直接经济损失 2 795 万元,间接经济损失涉及沿途 9 省市的工农业生产和上亿人民的日常生活用气,政治影响无法估量,而建设独立的第三电源的工程投资与此相比甚微,所以,引入“0 级负荷”的概念,为西气东输工程的关键部位厂站设置较大容量的第三电源是必要的,也是可行的。一般而言,全外电源供电方式都优于完全自发电方式,因此工程供电方案首先应该从当地大电网或地方小电网取得满足一、二级负荷供电要求的两个独立电源或二回线路供电。按 GB 50052—95 系统设计规范的定义,自备电源对一级负荷既可指第二工作电源,也可指为一级负荷中特别重要负荷供电的应急电源,对二级负荷仅指不能满足二级负荷要求的仅一回非专用线路供电时的备用工作电源,按该规范,二级负荷中无特别重要负荷,也不应该设应急电源,但石油天然气行业众多的划分为二级负荷如分输站、门站等也有易燃、易爆的生产特点,加之仪表自控系统广泛采用 DCS 集散控制系统(厂、站)和 SCADA 数采与监控系统(管线、集气、集油站场),按中断供电后造成的停产事故损失划为二级负荷的建设项目也有特别重要负荷,建议该规范修订时在 13 页名词解释中宜增加“二级负荷中特别重要负荷”的定义,并相应增加其供电要求(措施)的内容。

通过反复分析西气东输工程的各组成气田和 3 900 km 管线上的多个压缩机站的规模、功能作用和地域分布、地区供电条件后,考虑将气田区块中产能最大的主力气田——克拉 2 气田的供电电源可靠性作为重中之重来保障。克拉 2 气田计划年产量 $100 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,约占塔里木气田计划年产量的 70%~80%,虽然其用电负荷不大(约 2 000 kW 左右),但重要性远胜英买 7、吉拉克等气田,故应将克拉 2 气田的天然气净化厂中的主要工艺的机泵用电和气田集气站的主要集输工艺用电以及自控、通讯(含气田调度中心)等的用电负荷定为“0 级负荷”;西气东

输源头的塔里木气田的用电负荷和西气东输管道工程的心脏部分 10 座压气站中的 4 座(使用变频电驱)的用电情况,见表 1,表 2。

表 1 塔里木主要气田产量和用电负荷表

大型整装气田名称	概况	产量 / $\times 10^8\text{ m}^3$	用电负荷 /kW
克拉 2 气田	大型、高产、高丰宽、超深层纯气田	100.24	3 585(近期) 5 678(远期)
英买七	大型、中产、高丰度、超深层带油环的凝析气田 中型、高产、高一中丰度油气田 中型、高产、中丰度、中等凝析油含量的凝析气田 中型、中产、中丰度、超深层气田	23.649	22 249
羊塔克			
玉东 2			
吉拉克气田		4.858	940.9

表 2 电驱压气站性能及配置表

站名	里程 /km	海拔 /m	额定轴功率 最大轴功率/MW	额定转速 最大转速/ $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$	变频电机台 数 $\times$ 功率/MW	运行 备用
郑州	3 009	160	<u>12.88</u> 14.51	待定 6 500	$(1+1)\times 16.0$	$\frac{1}{1}$
蒲县	2 668	906	<u>14.01</u> 15.66	待定 6 500	$(1+1)\times 17.0$	$\frac{1}{1}$
中卫	2 025	1 246	<u>17.94</u> 20.54	待定 6 500	$(1+1)\times 22.0$	$\frac{1}{1}$
山丹	1 630	1 921	<u>18.23</u> 20.38	待定 6 500	$(1+1)\times 16.0$	$\frac{1}{1}$

对西气东输工程中管线多种管径,多种工艺条件分别组合而成天然气压缩机站的多种配置方案,按其供电要求、输气工艺特点和各站重要性和地位,与站场设计人员进行了深入讨论,由于工程初期方案为单管、单气源、长距输送的大口径横跨东西的骨干输气管线,天然气用电主要集中在长江三角洲地区,而首站轮南压缩机站和郑州末站的压缩机站在整个管线中地位特殊,对安全平稳输气的影响最大,供电可靠性要求最高,因此将其燃驱压缩机组(或电驱压缩机组)及附属设备用电、自控通讯等及管线控制中心的用电定为“0 级负荷”,上述“0 级负荷”按三个独立电源条件供电,以此确保西气东输工程中关键部位的供电可靠性。

2 要求供配电设施具有高可靠性

供配电设计要求高可靠性是按规范要求定性地在工程设计中执行的。在西气东输工程中如何进一步地从定性到定量作好此工作,定量研究供配电网的供电可靠性是电气设计的第二难点。供配电设施的可靠性的量化直接体现供配电系统对生产装置

用电的安全、可靠、不中断要求的满足程度,也间接反映了所建供配电设施的先进程度。对西气东输这样一个特殊工程,其供配电设施设计工作应在其规划可研阶段就将解决供电的高可靠性放在首要位置,尽可能利用国内外最新的供电可靠性的分析理论和计算方法求解得出较优的供配电主结线方案。

借鉴目前全国电力部门城网改造的理论和经验,在工程的预可研和可研设计阶段,我们加强了对工程配套的供配电设施的可靠性分析和调研,拟在工作中引入了城网改造的可靠性标准——实际上就是引入量化的城网改造中的配电系统的可靠性量化考核标准,城网配电系统的可靠性指标主要有以下三个^[1]:

供电可靠率 $RS1=$

$$\left[1-\frac{\text{用户年平均停电时间}}{\text{统计时间}}\right]\times 100\% \tag{1}$$

用户年平均停电时间=

$$\frac{\sum(\text{停电时间}\times\text{停电用户数})}{\text{总用户数}}(\text{h/户}) \tag{2}$$

用户年平均停电次数=

$$\frac{\sum \text{年停电用户数}}{\text{总用户数}} (\text{次数} / \text{户}) \quad (3)$$

结合石油天然气行业的机泵多,长周期连续运行受外部供电电网的影响较大等特点,我们将西气东输工程中各气田的净化厂、集气站等和长输管线的压缩机站、阴保站等中的主要机泵或装置数量总数来替换上述公式中的用户数量,分别计入受外部电网影响或因电源发电量不足限制电(自备电源故障等情况)的供电可靠率($RS1$)和装置(压缩机站)的平均停电时间,和不受外部电网故障影响或电网计划停电的供电可靠率($RS2$)和装置的平均停电时间,再通过适当提高电源设施的建设标准,优化供配电设施的网络结构,精心作好电气设备选型等措施保障,使上述三个指标能达到国内类似工程的先进水平^[2]。

3 供配电难度大

a)西气东输工程气田和管线的供电设施的建设标准应与该工程采输气及净化等工艺装置及自动控制系统的建设水平相适应,且应最大限度地满足其工程用电需求。由于我国并未实现全国电网联网运行,工程所在地的外部电源条件各异,特别是西部边远地区的外部电源依托条件更差,如何充分利用目前国家大规模进行城网、农网改造的有利条件;如何在合理利用当地的地方电源基础上又发挥自有的油气资源优势,建立燃气发电为主的独立电源;如何解决气田及管线中小功率用电单位(单井井口、阴保站、微波站等)的供电方式和发电机组配置等等问题,都带来了多方案、多配置的供电方案比选的复杂性,在预可研和可研设计阶段,电气设计的核心问题即是供电方案的比较问题^[3]。

b)由于西气东输工程气田区块分散,管线站场点多,用电负荷多为几千千瓦到几万千瓦的范围之内,形成了十几个气田净化厂为负荷中心和管线以压缩机站为负荷中心的 110 kV 电压等级为最高运行电压的用户终端供配电网络。针对工程用电负荷不大,负荷密度较小,但对电能质量和供电可靠性和安全性要求高的特点,我们采取以下措施优化供配电网络。研究确定各级电压的经济输送容量和合理供电半径,以保证供配电网络的网损小,末端电压偏差小的较优的经济运行方式。根据电力部门常规规划的技术经济原则,本工程所使用的 110 kV 及以

下各级电压的经济输送容量和合理供电半径一般应如表 3 所示^[4]:

表 3 各级电压的合理供电半径和经济输送容量表

额定电压 U_r / kV	输送功率 P / kW	供电半径 L / km	备注
0.38	100	0.6 以下	气田 220/380 V 动力照明等负荷
6	100 ~ 1 200	15 ~ 4	高压电动机、配电线路
10	200 ~ 2 000	20 ~ 6	高压电动机、配电线路和变压器等
35	2 000 ~ 8 000	50 ~ 20	供电线路、变压器
110	10 000 ~ 50 000	150 ~ 50	供电线路、变压器

但应注意:

(a)对小容量、长距离(半径)、布点稀、无人烟的气田负荷如何灵活运用,表 3 数据研究负荷距扩展供电距离和自建小型发电站的技术经济对比条件。

(b)在以净化厂、压缩机站为负荷中心布点(变电站)和确定外部供电电压等级时,尚应按工程总体规划原则及用电负荷增长速度,综合国家电网建设的发展规划后进行,杜绝工程刚建成即需改造扩容或站址(供电范围)和线路的重叠、迂回、交叉等不合理现象。

(c)供配电网络结构应合理,控制和保护装置应配合良好,安全可靠,并能与各级调度中心协调,实现实时监控、在线分析等整体的综合自动化。各区块气田变电站的供电范围远大于管线压缩机站的供电范围,虽然两者都应简化电压等级,减少变压层次,但根据两者的用电负荷容量范围,单机负荷的大小和可能的供电距离等的综合,初定各区块气田电网的电压等级宜为四级(110, 35, 10, 0.38 kV)三个变压层次。对距离较远、负荷较小的用户可采用 35 kV 供电电压直接深入负荷中心的方式共电,可避免出现升—降—升的不合理现象,而管线的压缩机站的电压等级宜为三级{110(35), 10(6), 0.38 kV},两个变压层次{110(35)/10(6), 10(6)/0.38 kV}。

(d)断路器作为保障供配电网络安全可靠运行的最核心部件,我们以本工程所使用的 110 kV 及以下的各种电压等级断路器为中心,对国内外的变配电设备开展多种方式的调研,通过对比选出本工程采用的性价比较优的坚固、耐用、节能的变配电设备。

(e)为提高各区块气田小负荷用电单体的供电

可靠性,借鉴城市小区住宅供电设计和全国城网改造的先进经验,研究环网供电技术在气田内部集输工程中运用的必要性和经济性,合理提高容载比以提高可靠性。

(f)随着电网微机综合自动化技术的完善、成熟和普及,无人值守变电站已经成为国内电力部门和工业企业的35 kV及以下变电站建设的主要模式,目前城网改造要求无人值守变电站的数量达到70%以上,一流企业要达到100%,西气东输工程理应达到100%水平,特别是各气田区块小容量变电站应坚持无油化、微机综合自动化包括调度自动化等的高标准,为实现安全、可靠、无人值守目标创造条件。

4 合理选型和防护

为了保证电器设备在各种环境条件中,在有效使用期内能保持功能可靠,必须根据设备不同安装环境采取不同的防护对策,而设计的首要问题就是如何综合利用环境技术(温度、湿度、海拔、风沙、雷暴、地震、腐蚀、爆炸火灾等)正确合理地进行电气设备的选型,在正确选型的基础上再辅以不同的工程防护措施。

塔里木气田一期开发的五个气田,主要位于新疆广袤的塔克拉玛干大沙漠的北部边缘地区,主要地貌为沙漠、半沙漠、戈壁和盐碱沼泽。塔克拉玛干大沙漠是世界第二大流动性沙漠,其沙层厚度一般有80~100 m,最大的克拉2气田位于塔北沙漠边缘的山前平原前缘,地表多为洪积形成的盐渍土,有较强的腐蚀性。整个塔里木盆地属典型的大陆性气候,年降雨量大多在30 mm左右,极为干旱,年均气温为11℃,夏有酷暑,冬有严寒,日温差最大可达36℃,据气象资料,该地区的最高气温可达42.8℃(巴楚),最低气温-28.6℃(阿克苏),夏日地面温度可达70℃以上,极端最高地面温度可达75.1℃(轮台),极端最低地面温度可达-33.3℃(库尔勒)。塔里木盆地属于多风地区,3~8月为多风季节,8级以上大风也时有出现,盆地内塔克拉玛干大沙漠广泛分布着流动性沙丘,在大风作用下,沙丘移动速度一般在1~20 m/a,有时会引起沙暴和浮尘,沙暴可持续3~5 d,若沙暴与扬沙天气结合,最长可持续一周以上时间,对输电线路、户外设备以及利用空气作工作介质或冷却介质的设备构成较大的威胁。

通过在新疆塔里木的轮南油田、四川的诸多气田、陕西长庆油气田,陕京输气管线等工程的实地调研,油气田的室外电气设备都采用了防直晒、通风、散热和防污染等工程措施,重点采用对策如下:

a)气候恶劣、人烟稀少、维修条件差的地区的设备选型一定要坚持“坚固可靠、先进实用”的总原则。成套设备尚应注意成套装配化,防护等级高、少维护或免维护,我们特别关注国外适用于高温、沙尘环境的类似于“沙漠电器”的产品信息。

b)高、低温环境:新疆地区气温日差较大。这样的温度环境对电气设备的有机绝缘材料和性能,特别是对温度很敏感的电子器件的影响较大,绝缘材料在正常使用条件下就有自然老化现象,而长期高温或低温会造成其干裂、软化、收缩、变形或脆裂等,电器绝缘性能和机械性能会急剧下降,直接影响电气工作可靠性。另外,高温使发电机、变压器、开关设备和电线电缆等都必须降容使用,高温还使一些电子器件误动或是微机系统不能正常工作,低温则易使发电机组等启动失败,使充油设备性能降低,使设备水冷系统冻结开裂等。对三种温度进行定性研究,即设备或电缆实际安装处的温度(t_0)、设备或电缆等的最高工作温度(t_1)、设备或电缆电线等生产厂家样本(标准工作状况)提供的环温(t_2)之间的关系和影响,以得到适用于西气东输工程电气设备订货的有关温度的技术条件。

5 采用成熟技术和产品

电气设计在学习、消化、吸收国内外先进技术和先进设备的成果基础上,大力推动电气供配电设施的科技进步采用了以下成熟技术和产品。

a)利用国外先进的电气分析软件——ESDA电气系统分析软件对各区块气田和管线压缩机的供配电网络进行分析优化,提供各级电压网络的经济运行方式。保障供电质量,最大限度满足工程的用电需求,提高供配电设施的可靠性和经济运行水平。

b)用“坚固可靠、先进适用”的电气设备装备供配电网络,以利于实现户外无油、安全长周期运行;实现“四遥”功能而达到无人值班的先进目标,粗定新设备(装置)如下:

(a)110、35 kV变电站的主变选用全密闭的有载调压变压器,以保障电压质量和适应输电距离很远的环境;尽可能推广变压器节能环保新技术——

“非晶合金变压器”产品,合理选用干式变压器;

(b)偏远、小容量的 35、10 kV 变电站选用 YB—35 型系列的智能小型化预装式变电站或 10 kV 箱变,注意与环境条件相适应的防护措施;按经济电流密度选择供配电线路截面;在不直接对电力部门计量收费的变电站按变压器经济负荷率选择容量;

(c)110、35 kV 变电所全部采用微机综合自动化装置,个别工艺装置的重要的低压 220/380 V 电机回路或配电回路也将采用微机监控系统,以实现安全可靠、无人值守的要求,并能较好地与调度自动化系统和集输工艺的 SCADA 系统接口;

(d)根据工艺等专业的调速要求采用高压或低压变频技术的节能节电,高压变频器宜选进口设备;

(e)关注节能节电产品、环保、谐波污染和干扰、信息设备防浪涌、防火防爆防雷抗震等安全要求。

c)自备电源是实施工程多电源方案保证供电高可靠性的最重要措施之一,燃气发电机组和天然气发电机组引进国外机组(因为自备电源要可靠性第一);偏远无电地区的井口、输气站场(清管站、阴保站等)和通讯微波站等小容量负荷又需连续供电的用电负荷,根据条件和技术经济比较,分别选用进口的 TEG 温差发电装置、CCVT 装置和国产太阳能发电装置或风力发电装置^[5]。经过较详细的技术经

济比较,克拉 2、英买七气田在净化厂内建设自备电站作第二工作电源,哈密、红柳等燃机驱动压气站因远离电网也需建自备电站作工作和备用工作电源,这里须注意的是在选择发电机组的形式时前者应按主供(primary power)机组确定,后者按备用(stand by power)机组确定,自备电站均采用自有资源——天然气作发电燃料,避免柴油储运的投资,同时也降低自发电电能的成本,但在克拉 2 气田净化厂,我们接受壳牌公司技术人员的建议按 N+2 原理另设快速自启动的柴油发电机组(800 kW, 1 套)作机组等的黑启动应急和火灾消防等应急电源,燃料采用较贵的柴油,保证了第三电源的燃料独立性和可靠性。

参考文献:

- [1] 国家电网调度中心. 可靠性指标统计的状态分类及计算公式. 中国电力可靠性管理年报[Z]. 北京: 国家电网调度中心, 1999, 51-59.
- [2] 李力. 1998 年 10 kV 配电可靠性分析电力可靠性管理简报[Z]. 北京: 国家电网调度中心, 2000, (7): 27-29.
- [3] 劳顿 M.A. 电气工程师技术手册[M]. 北京: 水利电力出版社, 1991, 12.
- [4] 西北电力设计院, 甘肃省水电局. 电力系统规划设计手册[M]. 北京: 水利电力出版社, 1974, 6.
- [5] Günter G. seip. (西门子)电气安装手册(上、下册)[Z]. 德国: Günter G. seip, 1996, 8.