



建 筑 节 能 技 术 与 实 践 丛 书

江 亿 主 编

“西气东输”中天然气合理应用方式研究

田贯三 付 林 著

Building Energy Efficiency

Technology and

Application

中国建筑工业出版社



建筑节能技术与实践丛书

Building Energy Efficiency Technology and Application

江 亿 主编

“西气东输”中天然气合理应用方式研究

Study on reasonable use of the natural gas transmission
from the West to the East

田贯三 付 林 著

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

“西气东输”中天然气合理应用方式研究/田贯三,付林著. —北京:
中国建筑工业出版社, 2009
(建筑节能技术与实践丛书)
ISBN 978 - 7 - 112 - 10743 - 8

I. 西… II. ①田…②付… III. 天然气—应用—研究 IV. TU996

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 013425 号

建筑节能技术与实践丛书

Building Energy Efficiency Technology and Application

江 亿 主编

“西气东输”中天然气合理应用方式研究

**Study on reasonable use of the natural gas transmission
from the West to the East**

田贯三 付 林 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京嘉泰利德公司制版

北京建筑工业出版社印刷

*

开本:787×960 毫米 1/16 印张:14¼ 字数:342 千字

2009 年 4 月第一版 2009 年 4 月第一次印刷

印数:1—2500 册 定价:40.00 元

ISBN 978 - 7 - 112 - 10743 - 8

(17676)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

内容提要

本书是对天然气的合理使用进行全面分析和评价，给出天然气合理应用方式的一本专著。内容包括天然气的分类与特性，天然气供应系统的构成；国内外天然气的发展；天然气供气成本的三个组成部分的分析；天然气的燃烧与应用方式，通过对天然气各种应用方式的分析，确定采用如下的评价标准：根据使用天然气的经济性、城市范围内的减排量、能源利用率和用气不均匀性排队，为天然气的发展应用提供参考依据，降低供气成本，通过扩大供气规模提高经济效益，避免盲目的发展天然气而引发的天然气供气紧张和利用率不高的问题。

本书适合于城市燃气工程、天然气工业、能源工程及相关领域有关专业的工程技术人员、经营管理人员、科研人员及有关高校的教师、研究生、本科生阅读参考。

责任编辑：姚荣华 石枫华 田启铭

责任设计：董建平

责任校对：安 东 孟 楠

建筑节能技术与实践丛书

编委会

主 编 江 亿

编 委 朱颖心 张寅平 付 林 田贯三
薛志峰 林波荣 刘晓华 燕 达

总 序

能源是中国崛起的动力。要贯彻十六大报告里全面建设小康社会的历史任务、保证中国经济 2020 年比 2000 年翻一番，就不得不先解决能源问题。不容置疑的是，中国能源发展正面临着越来越严峻的挑战，能源供不应求和末端低效利用的矛盾越来越突出。而长期以来受“先生产、后生活”的计划经济思想影响，我国政府一直偏重于工业节能，而忽略了建筑节能。据统计，到 2000 年底，能够达到建筑节能设计标准的建筑累计仅占全部城乡建筑总面积的 0.5%，占城市既有采暖居住建筑面积的 9%，绝大部分新建建筑仍是高能耗建筑。

需要注意的是，伴随着我国城市化的飞速发展，建筑能耗所占社会商品能源总消费量的比例也持续增加，对国民经济发展和人民的正常工作生活的影响日益突出。例如，我国空调高峰负荷已经超过 4500 万 kW，相当于 2.5 倍三峡电站满负荷出力。由于这期间工业结构调整导致电力消费持续下降，空调负荷的增加才没有使得电力供应不足的问题过于凸现。然而，随着工业结构调整的完成和经济的继续增长，工业生产能耗的降低将难以补足建筑能耗的飞速增加，建筑能耗增加导致能源短缺的问题将更加突出。据统计，目前建筑能耗所占社会商品能源总消费量的比例已从 1978 年的 10% 上升到 25% 左右。而根据发达国家经验，随着我国城市化进程的不断推进和人民生活水平不断提高，建筑能耗的比例将继续增加，并最终达到 35% 左右。因此，建筑将超越工业、交通等其他行业而最终成为能耗的首

位，建筑节能将成为提高全社会能源使用效率的首要方面。

建筑节能的经济效益和社会效益无疑是十分巨大的，然而长期以来单纯依靠建筑节能设计标准中强制性条文实施却难以得到推动，这既有政策法规的原因，也与缺乏深入地开展科学建筑规划与设计、加快节能新技术的开发及应用有关。

20 世纪 90 年代以来，清华大学建筑技术科学系在优化建筑规划设计（从小区微气候模拟预测优化到建筑单体节能模拟设计优化）、加强新型建筑围护结构材料和产品的应用与开发、高效通风与排风热回收装置、热泵技术、降低输配系统能耗、新型空调采暖方式开发（如湿度温度独立控制系统）、区域供热与能源规划研究、建筑式热电冷三联供系统研究等领域开展了全面的科研和实践工作，并得到了国家自然科学基金委、科技部、建设部、北京市科委、北京市政管委、北京市发改委等各级部门的大力支持，完成了大量理论成果和应用成果。本系列丛书即是这些成果的纪录。

清华大学近年来承担的与建筑节能相关的大型项目

项目名称	项目来源	期限
住区微气候的物理问题研究	自然科学基金委重点项目	1999 ~2004
与城市能源结构调整相适应的 采暖方式综合比较	建设部	2001 ~2003
北京市采暖方式研究	北京市政府科技顾问团项目	2002 ~2004
新建建筑能耗评估体系与超低能耗示范 建筑的建立与实践研究	北京市科委	2002 ~2004
区域性天然气热电冷联供系统应用 研究与示范	北京市科委	2002 ~2004
绿色奥运建筑评估体系及奥运园区 能源系统综合评价分析	北京市科委	2002 ~2003
奥运绿色建筑标准研究	科技部 奥运十大科技专项之一	2002 ~2003
SARS 在空气中的传播规律	自然科学基金委	2003 ~2003
湿空气处理过程的热力学分析及应用	自然科学基金委	2003 ~2005
溶液除湿空调系统应用研究与示范	北京市科委	2003 ~2004
天然气末端应用方式研究	中国工程院咨询项目	2004 ~2005
降低建筑物能耗的综合关键技术研究	科技部 “十五”科技攻关项目	2004 ~2006

建筑节能是一个系统的工程，应该立足于我国不同建筑的用能特点和建筑的全生命周期过程，在规划、设计、运行等各个阶段通过技术集成化的解决手段，降低建筑能源需求、优化供能系统设计、开发新型能源系统方式、提高运行效率。基于此，本丛书对相应的技术方法、要点进行了系统全面地阐述。其中既包括前沿基础技术研究成果的综述与探讨，也提供了工程应用背景强的技术成果总结；既突出了先进技术研究在建筑节能中的指引作用，也注重对一些经验性成果进行总结和罗列来直接指导工程设计。特别地，还通过“清华大学超低能耗楼”这一集成平台，把各种技术的集成应用给予了示范。

本套丛书能顺利出版，得到了中国建筑工业出版社张惠珍副总编和姚荣华、田启铭、石枫华编辑的大力支持，在此表示深深的谢意。

衷心希望本丛书的出版能对我国建筑节能工作的全面开展有所助益。

江 亿

中国工程院院士

清华大学建筑节能研究中心主任

2005 年 3 月

序

天然气是目前世界上使用的最主要的化石能源之一。与燃煤和燃油相比，燃烧天然气相对清洁，便利；使用天然气作为化工原料，也比燃煤、燃油优越。正因为如此，近二十年来，天然气大量替代燃煤燃油，全球逐渐进入“天然气时代”。然而在我国，天然气占一次能源总量的比例不到4%，尽管“西气东输”工程的陆续投入、大型气田的不断发现以及沿海大型LNG（液化天然气）码头与气化装置的陆续完成，天然气在我国一次能源中的比例也很难超过8%。那么，应该如何发展我国的天然气应用？是参照大多数发达国家走过的路，逐步用天然气替代燃煤燃油，向“天然气时代”迈进；还是根据我国具体的资源、能源结构特点和大气环境压力状况，充分发挥天然气清洁纯净的特点，合理规划、优化利用这一极为有限的资源？中国是经济活动和能源消费大国，目前中国能源消费总量已超过全球能源总消费量的1/8。与能源消费小国相比，中国的能源供应不可能主要依赖于进口，否则将严重影响我国的能源安全，同时还将严重影响全球的能源市场。中国的能源供应系统必须建立在国内能源和资源状况的基础上，同时尽可能多地争取利用国外能源，减缓我们的能源资源的消耗。这是我国能源规划的基本出发点，也是天然气应用的基本出发点。由于我国天然气资源的不足，由于我们不可能从国外获得稳定、充足、可靠的天然气供应，我国的天然气应用就不可能按照目前大多数发达国家的“全天然气”模式，而必须根据我国的特点，各类能源综合平衡，统筹兼顾，使每一类

能源得到最佳的利用。

出于这个目的，2002 年起，作为中国工程院的咨询项目，我们开始了中国天然气末端合理应用方式的研究。当时“西气东输”工程即将投入，东部各城市的普遍反应是天然气价格相对太高，在大多数场合都会因为能源成本过高而难以大规模应用。由此造成的顾虑是如何相对合理地用掉“照付不议”要求的基本用量。为此，除了对各类末端应用方式的能源利用效率、减少向大气排放量的效果、对生产或服务过程的改善等因素进行逐项分析外，还研究了天然气采、输各环节的成本，试图找到通过改进定价机制，促进合理应用的途径。然而还没到这一研究课题结束，天然气的需求状况就已经有了巨大变化。从 2003 年起我国连年的能源消费增长速度超过 GDP 增长速度，能源短缺和各类一次能源价格的上涨，导致各领域对天然气需求的急速增加。2005 年初北京市甚至一度由于天然气缺乏，提前停止了天然气采暖供应。西气东输沿线的许多天然气应用项目也由于供气不足而停工待气。面对这种形势，针对各类天然气可能的末端应用，从获取最佳的能源利用率和最大的污染物减排效果出发，科学地规划天然气应用范围，把有限的宝贵的天然气资源用在最适当的地方，就成为非常重要和非常急迫的任务了。

这项工作主要是田贯三教授在其清华大学博士后工作期间所完成。付林教授和他所领导的城市能源研究课题组的同志也投入不少精力于这项工作。书的全文主要由田贯三教授完成，付林等同志又补充了关于天然气采暖和天然气热电联产等方面的内容。田老师进入清华大学博士后工作站后，把天然气应用方面的研究带入清华，填补了我们多年来在天然气应用研究上的空白，从而有可能在城市能源规划研究中更全面地考虑各类一次能源的综合利用和优化组合，使我们的城市能源规划方面的工作有了质的提高。在此感谢田老师对清华建筑节能中心发展所作的重要贡献。

无论是天然气输气管线建设还是 LNG 的建设，在工程投入初期的短期内往往出现供大于需的现象，这是由于供应端的一次性巨额增长和使用端

负荷的逐渐增长的性质所决定。而长期的需大于供的问题又是由我国能源结构的特点和经济与社会发展的规律所决定。不认清在这一领域的长远规律与短期现象的矛盾，为了满足短期内“照付不议”的协定，盲目发展许多不适当的天然气末端需求，导致资源浪费和建设投资的浪费，同时也会严重干扰天然气应用的长远发展。在这件事上我们已有了不少教训。希望从科学发展观出发，按照科学规律办事。在考虑地方、局部利益的同时，更要从全局优化，长远规划考虑和决策。这样才能够善待我国宝贵的天然气资源，使它在我们的现代化建设和改善大气环境中起到其应有的作用。这本书是我们从这一考虑出发的一些初步工作。如果它能够在我国天然气事业的发展中起到上述所说的一点作用，那么作者就是很欣慰的了。

江 亿
于清华大学节能楼
2008 年国庆节

前 言

由于煤炭、石油等矿物能源的过度使用，产生的大量 SO_2 、 NO_x 、 CO_2 和烟尘，对大气环境造成严重的破坏作用。特别是因大量烧煤造成的城市大气污染，已经成为亟待解决的问题。从国际经验看，治理大气污染根本的途径是优化城市的燃料结构，使用清洁燃料，其中发展城市天然气是可选的最佳方案之一，世界各国均以发展城市燃气作为改善城市环境的重要措施之一。为了解决城市大气污染问题，我国从 20 世纪末开始对城市能源结构进行调整，在未来的二三十年内将大力发展城市天然气。目前除陕京一线、二线将陕甘宁天然气输送到北京和西安等城市、西气东输一线将西部天然气输送到上海等地、正在建设的二线将引进的土库曼斯坦和哈萨克斯坦天然气输送到华南地区、川渝天然气输送到武汉等华中地区 and 上海地区外，加快开发海上天然气，在沿海建设进口液化天然气基地，国家还计划引进俄罗斯天然气，增加天然气在能源结构中的比重。近年来我国城市气化率不断提高，特别是城市能源天然气化，可使长期困扰和阻碍城市经济持续发展的大气污染，如 SO_2 、 NO_x 和烟尘的污染得到有效的控制。

2004 年我国天然气生产量达到 407 亿 m^3 ，2005 年，全国生产天然气 499.5 亿 m^3 ，同比增长 22%，销售量为 403 亿 m^3 ，销售量增幅达 34%；2006 年，我国共生产天然气 595 亿 m^3 ，比上年 499.5 亿 m^3 增长 96 亿 m^3 ，年产量位居世界第 11 位，跨入世界天然气生产大国行列。

2005 年我国天然气的产量在一次能源生产结构中占 3.3%，消费量在一

次能源消费结构中占 2.9%。随着天然气工业的快速发展,我国的能源结构将逐步得到改善。2005 年我国天然气消费结构中化肥及其他化工产业、城市燃气均占 31% 左右,2005 年与 2004 年相比城市燃气所占比重增长较快,上升了两个百分点。目前中国天然气消费以化工为主,预计今后天然气利用方向将发生变化,会主要以城市气化、以气代油和以气发电为主,其中城市燃气将是中国主要的利用方向和增长领域。

中国天然气产量及消费量现状及发展预测,2004 年与 2005 年我国天然气产量分别为 407 亿 m^3 和 499.5 亿 m^3 ,消费量分别为 390 亿 m^3 和 460 亿 m^3 。十五期间天然气产量和消费量都分别年均增长 13% 左右。随着天然气勘探水平的提高和探明储量的不断增长,2010 年我国天然气产量将达到 850 亿 m^3 ,2020 年将达到 1300 亿 m^3 。但由于生产增长慢于消费增长,同期天然气需求量将分别达到 1000 亿 m^3 和 2100 亿 m^3 ,缺口约 150 亿 m^3 和 800 亿 m^3 ,未来供给缺口将逐步增大。为了弥补天然气市场缺口,我国必须进口天然气。进口方式主要有两种:一是利用陆上管道从俄罗斯、哈萨克斯坦进口天然气;二是在沿海地区设立接收站,从东南亚、中东和澳大利亚进口液化天然气(LNG)。随着国家能源安全和能源多元化政策的实施,我国将形成“西气东输”、“北气南输”、“海气上岸”、“LNG 登陆”等多气源互补的天然气安全供给格局,天然气的开发利用有着长期稳定的可靠资源保障。

中国天然气主要用于油气田开采、化工、工业和发电等领域,其中油气田开采自用约占 30%,天然气消费占的比例约为 70%,其中化肥生产占了 38.3%。据统计,中国石油天然气公司 2005 年销售 222 亿 m^3 的天然气销售量中,城市燃气占 40.57% (包括由城市管网供应的住宅—商业、工业、发电等),化工原料占 40.72%,工业燃料占 15.21% (由天然气部门直接供应),发电占 3.5% (由天然气部门直接供应)。而全球天然气整体消费结构中能源部门自用(不含发电) 12.1%、发电 29%、工业(不含原料) 25.7%、原料 4.1%、住宅—商业(含农业) 29.1%,其化工仅占 4.1%,

我国化工用气比重超过 40%，明显偏高。另外，目前我国还有化肥出口，化肥在国际市场上的价格优势也主要来自于廉价天然气，这就相当于我们从国外高价进口了天然气，制成成品后，又低价出口。居民用气在天然气消费结构中所占比例不到 11%，采暖用气占 8% ~ 10% 左右，大力发展天然气采暖和煤改气工程，造成天然气供气的季节不均匀负荷巨大，使 2004 ~ 2005 年和 2005 ~ 2006 年冬季全国范围内严重缺气，使一些天然气利用率高的汽车和工业等用户被迫停气，例如 2004 ~ 2005 年冬季北京就有上千辆公交汽车由烧气改烧油，对停气的工业企业用户造成巨大的损失。一些建成的天然气发电厂因为气源不足也存在利用率不高的问题。为了解决季节用气不均匀性，投入大量资金修建地下储气库保北京地区的采暖用气，使天然气的供气成本进一步提高，同时气库垫层气又降低天然气的有效供应量。由于我国天然气资源有限，目前盲目发展天然气用户，造成天然气供不应求，使许多建成的天然气输配系统利用率低，造成很大的经济损失。如采用大型天然气锅炉房，体现不出天然气作为低污染优质燃料的特点，许多工业用户也简单的煤改气，炉体保温不好，加热工艺落后，排放的高温烟气余热不能高效利用。同时，这种突击性的发展用户，给一些用户造成巨大的经济压力，对用气末端设备投入不足，选择一些成本和效率低的用气设备，致使天然气的利用率低。有些用户的减排效果不明显，例如大型燃气锅炉集中采暖，浪费天然气资源。预计 2008 年中国天然气供气量可达 800 亿 m^3 （含进口天然气），天然气在一次能源消费结构中所占比例将增加到 5%。

迅速增加天然气供应量，这也是城市用能及环境建设发展的必然趋势。到 2020 年我国的天然气用量将由目前占总能源结构的 4% 提高到 8% ~ 10%。我国天然气发展规划中涉及天然气利用的城市约四百余个，我国能源资源的主要构成还是煤炭。天然气资源的人均拥有量远低于世界平均值。因此天然气对我国来说是珍贵的战略资源，而不是取之不尽可随意消耗的资源。即使仅从资源利用上看，也需要合理、有效、恰当地使用天然气。

在西气东输和大规模引进天然气实现后,天然气大规模使用时,即有必要深入规划和规范天然气的合理使用,并研究相关政策,使有限的天然气得到合理的使用,为我国的节能减排作出最大的贡献。本书的目的是对天然气的合理使用进行全面分析和评价。

1. 评价方法

(1) 经济性

天然气目前的价格是产生同样热量的燃煤价格的3~5倍。国际上天然气的价格一般为石油的70%~80%,虽然我国天然气井口价格不高,但用户(指用于城市燃气部分)价格不低,随着我国进口天然气的增长和井口价格的提高,天然气的价格将会继续不断增加。各类用户使用天然气后,燃料成本会不断提高,我国许多地区,特别是使用LNG和CNG的用户,气价已接近这个水平。如果简单地把燃煤替换为天然气,对许多用户就会造成沉重的经济负担,特别是工业企业和化工用户,如果燃料成本过高,或者用气末端采用热效率不高的工艺或设备,可能导致产品失去竞争性,如果用户因为价格不能接受,简单地拒绝使用天然气,又会严重制约西气东输的正常运行和投资回报。末端负荷的不足反过来又会进一步加大输气成本和末端燃气价格,进一步使问题恶化。国际的研究工作也表明,天然气到来之后,在市场经济条件下,特别对发展中国家,城市燃气的发展还存在许多风险性。特别是随着我国进口天然气的增加,天然气的价格在一定程度上随国际市场上石油的价格变化而波动,这会对一些用户造成较大的冲击。因此,应对各类用户使用天然气后的经济性进行分析,作为评价能否使用天然气的依据。

(2) 环境减排

根据目前大气环境情况,可分为区域大气环境减排和城市环境减排。

①大气环境 从全球和区域大气环境来讲,大量采用天然气这一洁净燃料替代煤,可使 SO_2 、 CO_2 、 NO_x 和烟尘等污染的排放得到有效的控制,由于我国目前天然气作为燃料的份额太少,目前作为燃料的总量不超过一

次商品能源的4%，无论何种用户应用，对大气环境来说减排量相差不会太大，因此，在本研究中不以大气环境减排作为分析天然气合理利用的依据。

②城市环境 由于我国城市大气污染主要来源于燃煤，随城市能源天然气化，可使长期困扰和阻碍城市经济持续发展的大气污染，如 SO_2 、 NO_x 和烟尘的污染得到有效的控制。但是用天然气取代煤后，不同用户的减排量是不同的，从使用天然气主要目的是减轻城市污染的角度出发，应该优先发展替煤减排量大的用户。因此，对各种用户的减排量进行全面分析，作为从环境角度确定优先发展用户的依据。

(3) 利用率（节能效果）

对不同的用户天然气替代煤后，其替煤效果也不同，如何评价用户用天然气替代煤的效果，主要有以下几种评价方法：

①按等热量评价，就是按使用煤和天然气有效等热量来分析天然气的利用率、替煤量和节能效果，该法的优点简单明了，人们易接受。缺点是该法仅从热量守恒来评价天然气替煤后的节能效果，未考虑优质能源有较高的能效系数，不考虑能源的品质高低，不十分科学。

②按能质系数评价，所谓能质系数就是天然气与煤的发电效率之比，用能质系数评价天然气替煤后的节能效果，考虑的天然气和煤的品质差异，从能源利用的角度看相对比较客观。但评价的结果是多发电，由于我国天然气资源比较匮乏，发电不是我们发展天然气的目的，发展天然气的主要目的是改善城市大气环境，因此，在天然气十分短缺的今天，该法也不科学。

③按资源量评价，国外的研究工作者根据天然气的资源状况将发展燃气的国家分成三类，资源丰富程度不同的国家应采取不同的利用对策。我国是属于短缺的国家，我国天然气储量约占世界储量的1.2%左右，人均天然气约为世界平均量的13.2%左右，天然气是枯竭性资源，不可再生。因此，在使用时，不能按天然气资源丰富的国家的使用方法使用，按资源量评价天然气的各种应用方式，对节约天然气有积极的意义。目前我国发展

天然气有点大跃进的味道，不顾资源的紧张情况，蜂拥而上，结果造成供气紧张，特别是冬季，许多城市不得不停止供气给部分工业用户和汽车用户，保证采暖用户的供气。该法能结合国情有效指导天然气的发展。

④按等效减排量评价。由于城市使用天然气的主要目的是改善大气环境，因此，使用天然气后比用煤的减排量来评价天然气的使用效率也是一种有效的评价方法。

（4）调峰能力

城市燃气用量的变化主要有季节（月）用气量变化，日用气量变化和小时用气量变化。燃气负荷变化规律与用户的类型和各类用户的用气负荷在总负荷中所占的比例有关。各类用户的用气负荷变化规律影响因素很多，从理论上难以推算出来，只有经过大量的积累资料，用数学方法进行科学整理，才能取得需用工况的可靠数据。不同的用户其用气不均匀性是不同的，如果各种用户搭配合理，可以减少用气不均匀性，减轻冬季的季节性供气紧缺的程度，提高供气效率，降低供气成本。因此，分析各类用户的用气变化规律，对确定合理用户的用气结构十分重要。

2. 评价目的

通过对评价目的的分析，本研究确定采用如下的评价标准：根据使用天然气的经济性、城市范围内的减排量、能源利用率和用气不均匀性排队，为天然气的发展提供参考依据，避免盲目的发展天然气而引发的天然气供气紧张和利用率不高的问题。

本书为了对天然气供气成本、天然气的利用方式、供气的不均匀性、减排量等问题的全面分析，首先对天然气的分类、生产、净化、输送和用户供应进行介绍，再对燃烧方面的有关问题进行简单介绍。

最后，感谢国家“十一五”科技支撑计划课题“城市能源基础设施系统优化与模拟技术”（2006 BAJ03B01）的支持。