

# 我国天然气工业的发展 与天然气流量量值溯源体系的建立

中国石油天然气股份有限公司

2003年10月 重庆



## 目 录

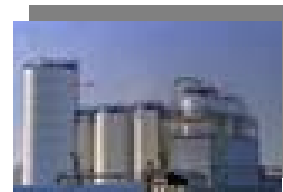
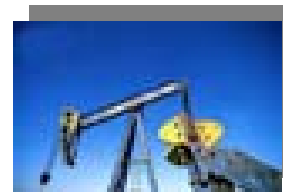
天然气工业对国民经济的主要影响

我国天然气工业所面临的发展前景

国内外天然气计量技术的发展状况

天然气流量标准装置及其量值溯源

完善天然气流量量值溯源体系建议



## 引言

能源作为人类社会和经济发展的基本条件之一，历来为世界所瞩目。在能源领域，人类经历了以薪柴为主和以煤炭为主的时代之后，从本世纪七十年代开始进入了以石油为主的时代。随着经济和科学技术的发展，特别是人类对生活质量和生存环境要求的日益提高，世界能源结构向低碳化演变，最终向无碳化发展。天然气作为优质、洁净的燃料和原料，越来越引起人们的重视。加快天然气工业的发展，已成为当今世界能源发展的大趋势。



# 天然气工业对国民经济的主要影响

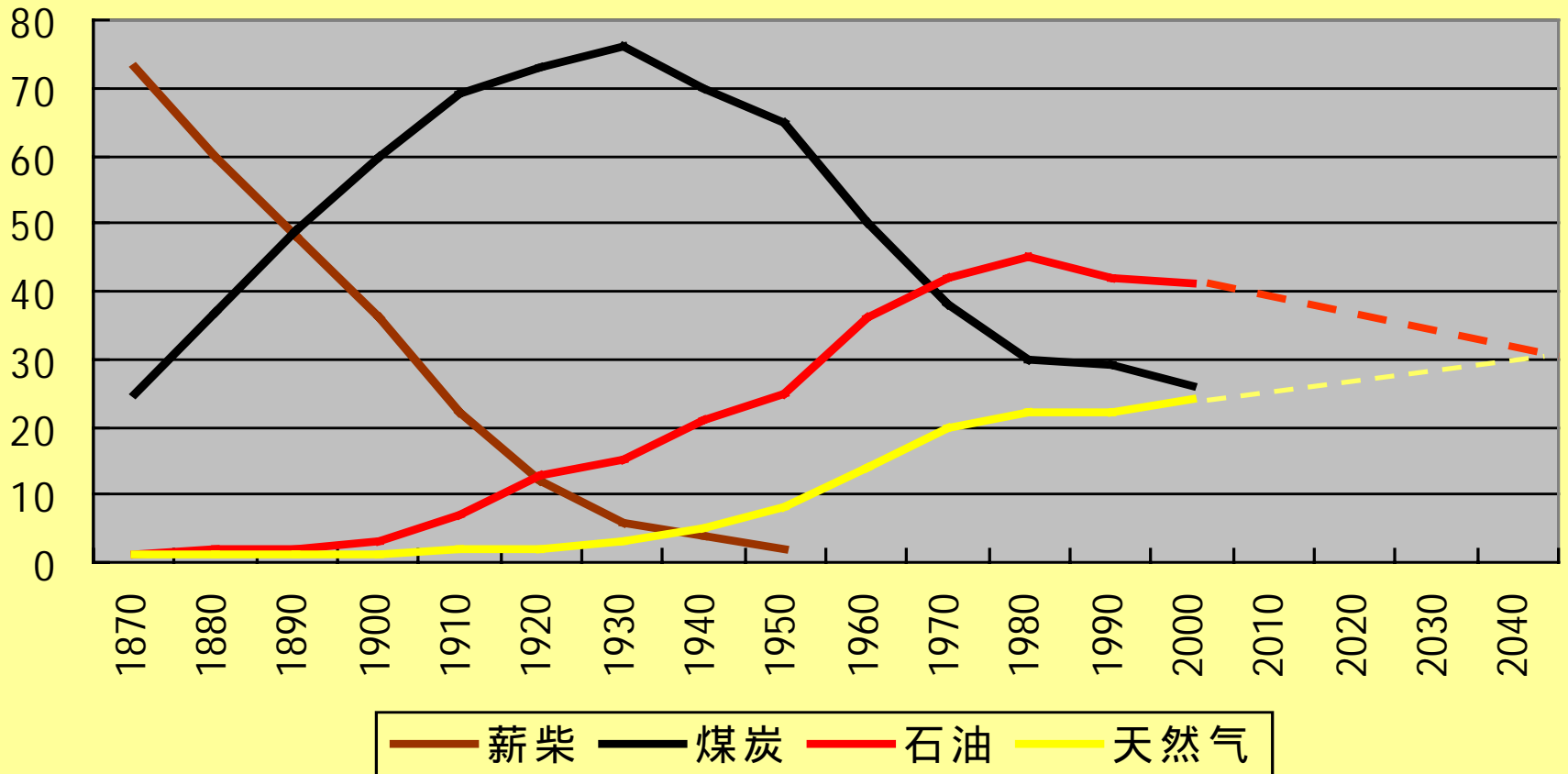
- 全球范围内天然气需求的增长趋势
- 天然气发展对我国能源结构的影响
- 天然气发展对环境保护的主要作用
- 我国天然气开发利用主要发展趋势

# 天然气工业对国民经济的主要影响

## 全球范围内天然气需求的增长趋势

随着全球经济的飞速发展，预计到2030年，世界能源需求将比2000年增长70%，能源问题将更加受到有关方面的关注。随着天然气输送和液化成本的不断降低，在今后几十年中，天然气作为石油的补充能源将发挥重要作用。在过去的30年中，世界天然气的消耗量增加了3倍。目前每年全球天然气的消耗量已达2.4万亿立方米，消费年增长率达3.9%，超过石油、煤炭或其他任何一种能源，其中亚洲发展中国家的速度是最快的。预测未来10年，在全球能源结构中，天然气消费所占一次能源消费量将从现在的23.8%上升至35%，超过石油而跃居一次能源结构中的首位，从而主宰人类能源市场的明天。

## 世界能源消费结构的演变



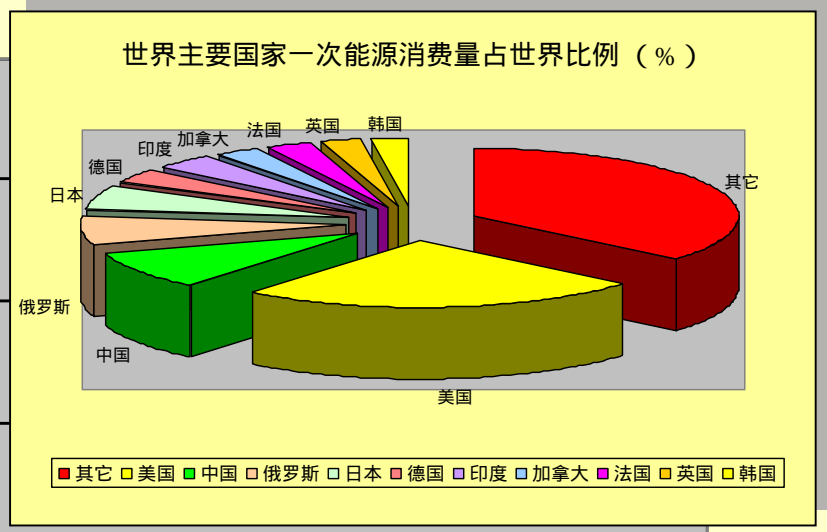
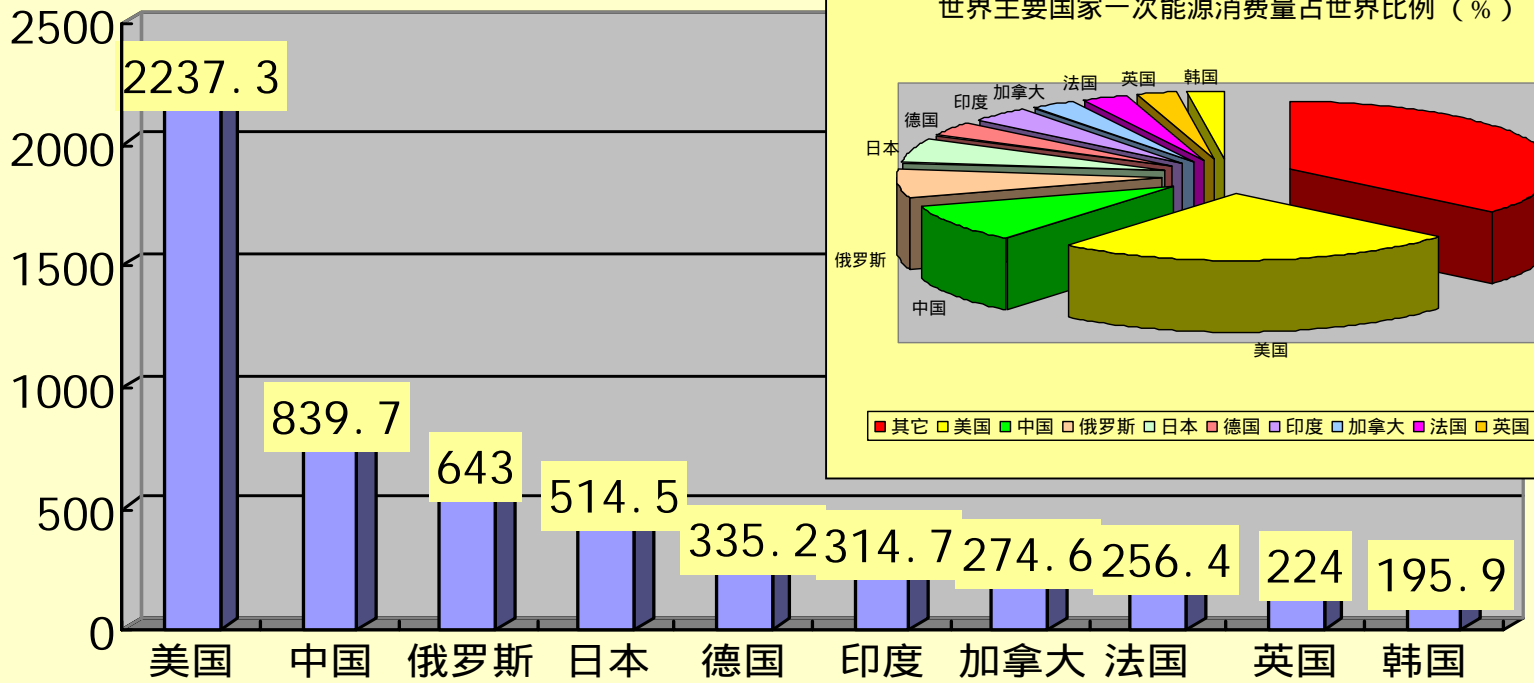
# 天然气工业对国民经济的主要影响

## 全球范围内天然气需求的增长趋势

近年来，我国的能源工业一直以较高的速度持续发展，目前已跻身于世界能源生产和消费大国的行列，中国的能源消费已跃居世界第二位。据国际权威机构按折算油当量最新统计，美国一次能源消费总量占全球的25%，名列第一；我国一次能源消费总量占全球的9.2%，名列第二；俄罗斯占7%，名列第三；以下依次排序分别是日本、德国、印度、加拿大、法国、英国和韩国。多年来，中国的煤炭生产量已居世界首位，石油生产量居世界第五位，而天然气生产量却仅列世界第22位。据BP世界能源统计2002年年鉴显示，亚洲的天然气需求依然强劲，其中中国的天然气需求增长高达12.9%。据权威部门提供的数据显示，按照目前市场供需关系，到2005年中国将面临200亿立方米左右的天然气年度需求缺口，而到2020年，这个数字将达到1000亿立方米。

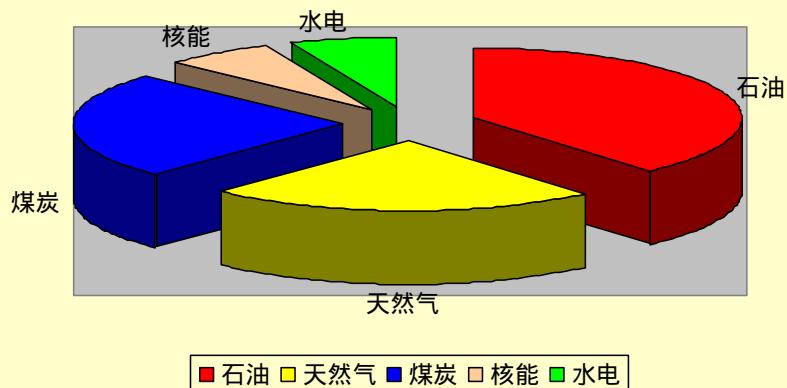
# 天然气工业对国民经济的主要影响

世界主要国家一次能源消费量(单位：10<sup>6</sup>toe)



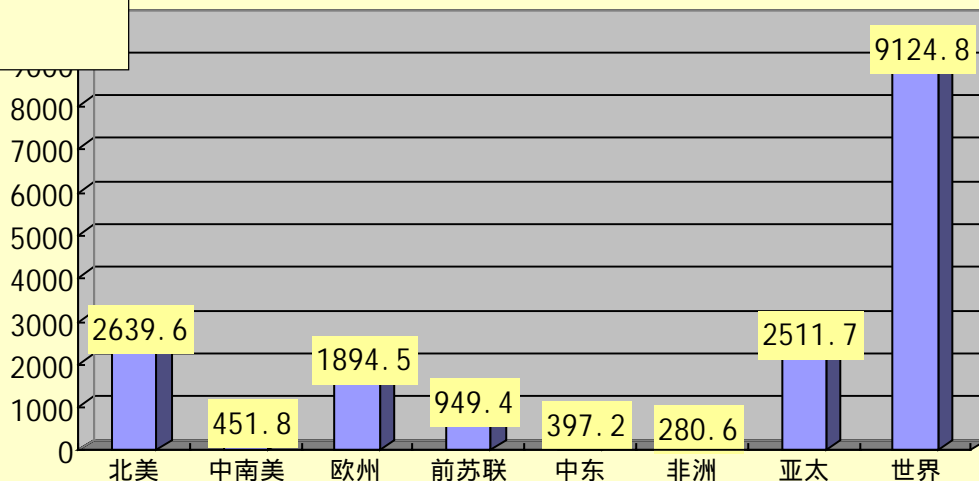
# 天然气工业对国民经济的主要影响

世界一次能源消费结构



目前世界一次能源消费结构为：石油38.5%、天然气23.7%、煤炭24.7%、核能6.6%、水电6.5%。石油、煤炭和天然气三大能源占世界一次能源消费总量的80%以上。

世界能源消费量地区分布(单位：10<sup>6</sup>toe)



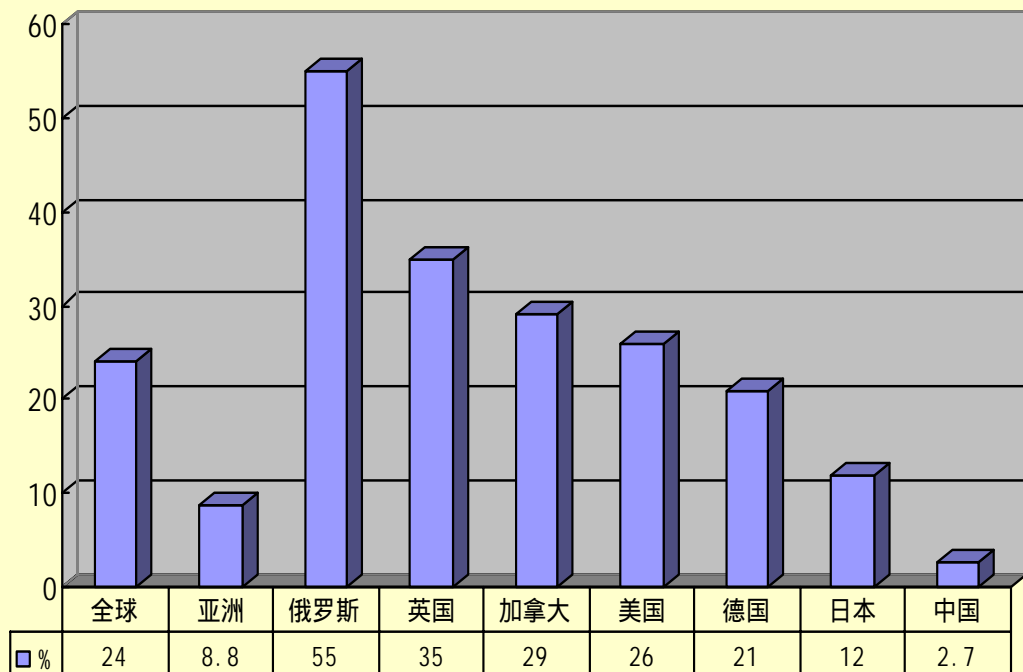
天然气发展对我国能源结构的影响

# 天然气工业对国民经济的主要影响

大多数发达国家的天然气在一次能源中的消费比例都在20~30%之间，其中独联体为55%，英国为35%，加拿大为29%，美国为26%，德国为21%，就连油气资源贫脊的日本，天然气的消费也占一次能源总量的12%。而我国目前仅占2.7%，远低于世界平均水平，与亚洲平均8.8%的水平也有较大差距，远远滞后于世界发达国家，和中国能源消费地位极其不协调。

## 天然气发展对我国能源结构的影响

世界主要国家天然气在一次能源中所占比例(%)

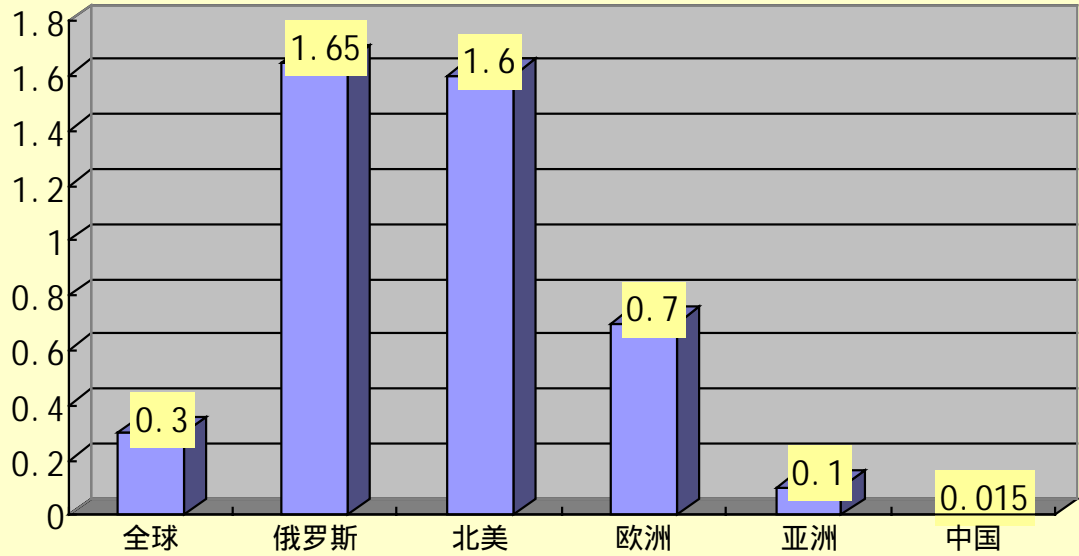


# 天然气工业对国民经济的主要影响

按人均年耗气量统计，1999年全世界人均年耗气量为0.3吨（油当量、以下同）；前苏联和北美地区位居世界榜首，人均年耗气量分别为1.65吨和1.6吨；欧洲人均年耗气量约0.7吨；亚洲地区人均年耗气量约0.1吨。我国目前的人均年耗气量为0.015吨左右，仅相当于世界平均水平的1/20。

## 天然气发展对我国能源结构的影响

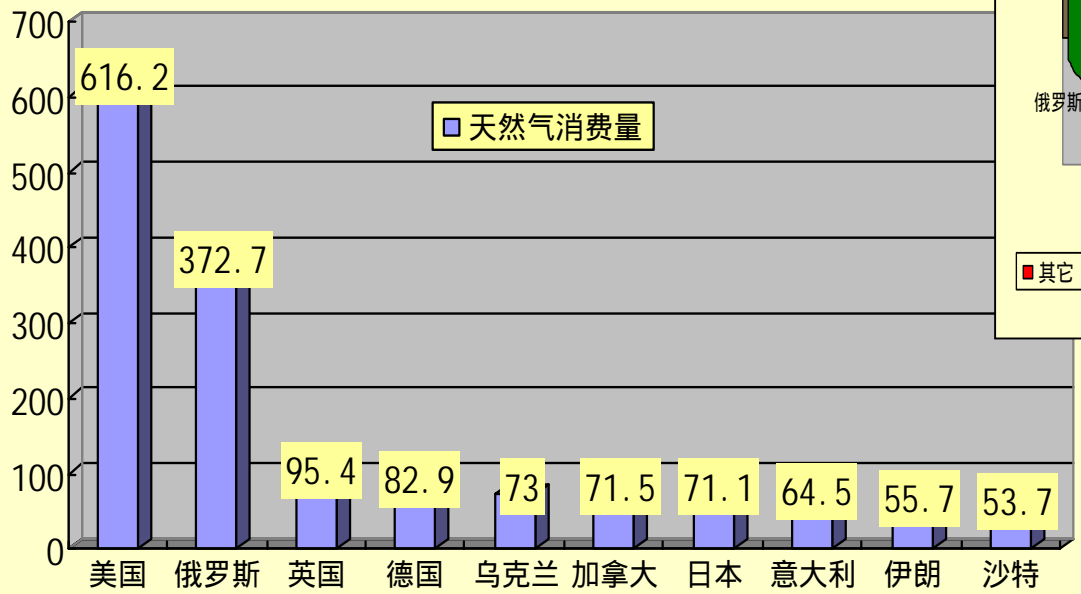
世界人均年耗气量地区分布(单位：油当量吨)



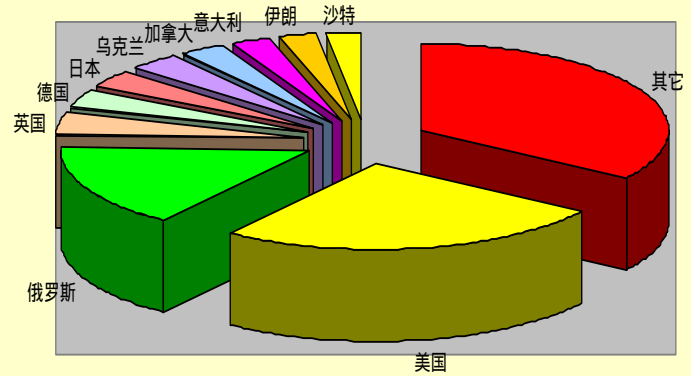
# 天然气工业对国民经济的主要影响

## 天然气发展对我国能源结构的影响

世界主要国家天然气消费量(单位：10<sup>9</sup>m<sup>3</sup>)



世界主要国家天然气消费量占世界比例 (%)



■ 其它 ■ 美国 ■ 俄罗斯 ■ 英国 ■ 德国 ■ 日本 ■ 乌克兰 ■ 加拿大 ■ 意大利 ■ 伊朗 ■ 沙特



## 天然气发展对我国能源结构的影响

2002年全球天然气消费量由2001年的2.4049万亿 $m^3$ 增加到2.5355万亿 $m^3$ 。其中，北美相应由7225亿 $m^3$ 增加到7903亿 $m^3$ ；非洲由602亿 $m^3$ 增加到674亿 $m^3$ ；亚太由3051亿 $m^3$ 增加到3303亿 $m^3$ 。

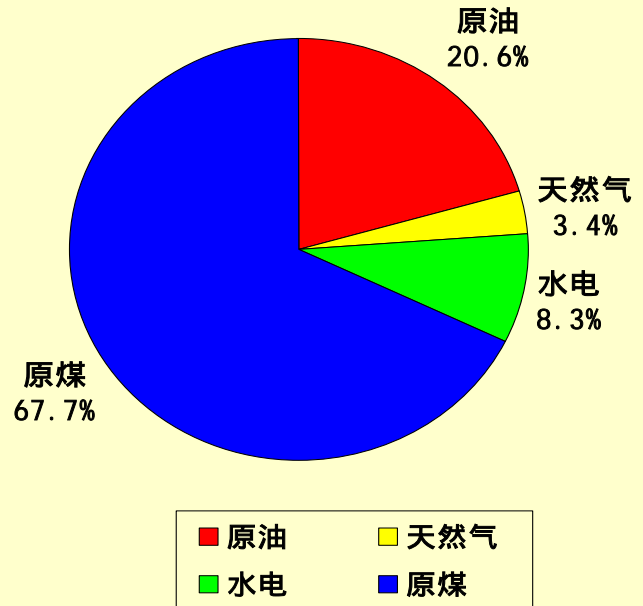
美国仍为第1位天然气消费国，消费量由2001年6162亿 $m^3$ 增加到2002年的6675亿 $m^3$ ；俄罗斯为第2位消费国，消费量相应由3727亿 $m^3$ 增加到3884亿 $m^3$ ；中国2002年天然气消费量为301亿 $m^3$ ，位居全球天然气消费国第18位。

# 天然气工业对国民经济的主要影响

## 天然气发展对我国能源结构的影响

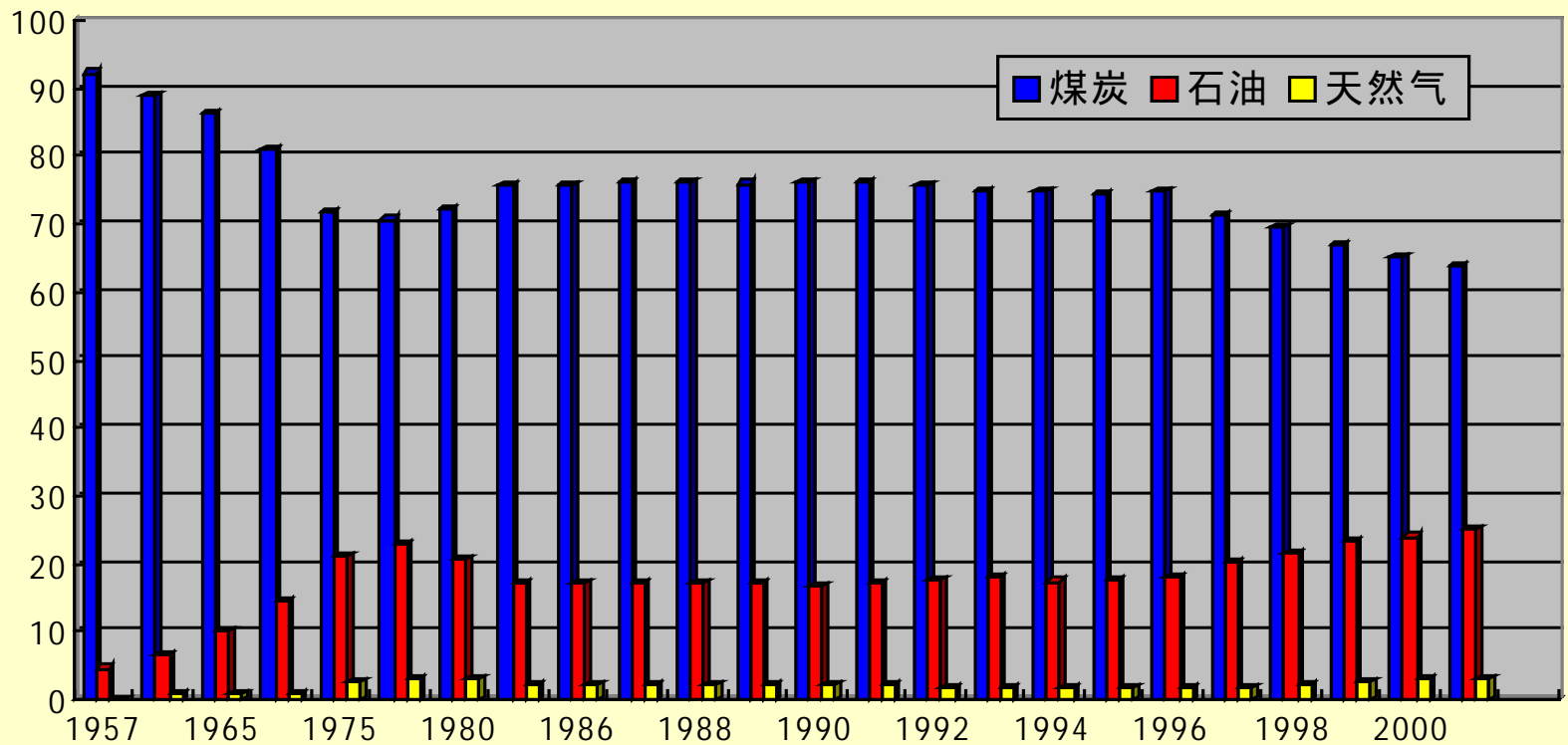
我国天然气消费量从1953年占全国能源消费总量的0.02%上升到2000年的3%。由于工业结构调整力度进一步加大和国家对环保要求的提高，1999年国内煤炭比1998年减产16.4%，使油气在整个能源消费结构中所占比例明显提高。国内天然气市场有较大的发展潜力，天然气发电和工业用气以及城市燃气等消费需求将快速增长。2000年，全国天然气消费为270亿立方米，主要用做能源和化工原料，用于发电和民用的比例很小。预测2010年，全国天然气消费约1000亿立方米；2020年则达到2000亿立方米以上，占整个能源构成的10%。其中用于发电占42%；用做城市燃气占22%；用于化工占16%；其他工业用户占20%。

中国一次能源构成(2001年)



# 天然气工业对国民经济的主要影响

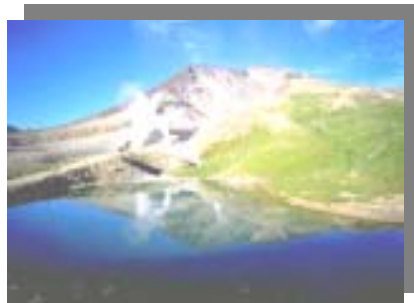
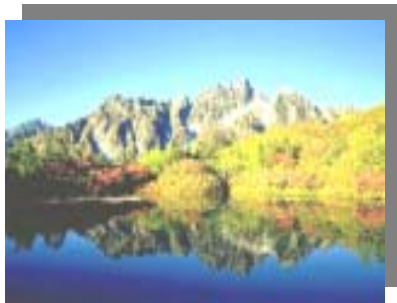
煤炭、石油、天然气在我国占能源消费总量的比重 (%)



# 天然气工业对国民经济的主要影响

## 天然气发展对环境保护的主要作用

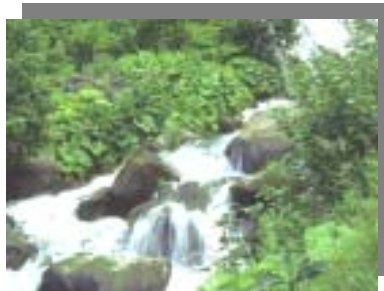
大气中CO<sub>2</sub>浓度的不断增加，产生了越来越明显的温室效应，造成气候的显著变化，给人类生存环境带来巨大威胁。1997年在日本通过的《京都议定书》，要求发达国家2008~2012年温室气体排放比1990年降低5.2%。如果现在不加控制，预计2030~2040年大气中CO<sub>2</sub>含量将达到极限值550PPm。天然气的主要成分是甲烷（CH<sub>4</sub>）燃烧后生成CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O，产生的温室气体只有煤炭的1/2，石油的2/3，用天然气代替煤炭可减少90%以上氮氧化物和98%以上二氧化硫排放量，对环境造成的污染远远小于石油和煤炭。所以，天然气作为一种清洁能源，越来越受到人们的青睐。



# 天然气工业对国民经济的主要影响

## 天然气发展对环境保护的主要作用

我国政府历来十分重视环境给人类生存所带来的影响，将保护环境做为我国国民经济和社会可持续发展的一项重要国策。一组数字显示，上海市每年酸雨发生率为11%，江苏省为21%，杭州等浙江主要城市高达50%。过量使用煤炭是造成这种状况的主要原因，用天然气替代煤炭是解决这一顽症的重要途径。目前，我国的北京、天津、重庆、成都等大中城市把天然气作为清洁能源用于工业和居民生活，并已开始使用天然气汽车，在一定程度上遏制了大气环境的恶化。



# 天然气工业对国民经济的主要影响

## 我国天然气开发利用主要发展趋势

我国天然气利用发展趋势主要表现在两个方面，一是天然气需求将大幅度增长，二是天然气利用方向将发生变化。各种能源的供应潜力和能源利用的技术经济性将影响能源利用的发展方向。天然气是良好的燃料和化工原料，在多数情况下天然气在技术经济上优于石油、煤炭、电力等能源。根据我国国情、世界利用天然气的经验和趋势，我国天然气利用的方向将是：以气代油、以气发电和城市气化。化工用天然气的数量会有一定幅度的增加，但所占比例将逐渐降低。



# 天然气工业对国民经济的主要影响

## 我国天然气开发利用主要发展趋势

(1) 以气代油。我国目前己是一个石油进口国，国内石油资源不能满足经济增长需要，以天然气代替工业中油品燃料和原料，有利于缓解油品供应紧张，保证能源供应和改善环境。在一般情况下，天然气价格要低于油品，而天然气的燃烧性能却优于油品，因此易于被用户接受。



# 天然气工业对国民经济的主要影响

## 我国天然气开发利用主要发展趋势

(2) 以气发电。我国电力消费增长速度高于总能源消费增长速度，目前发电能源主要依靠煤炭，由此产生环境、煤炭生产和运输、电厂占地耗水和电网调节等一系列问题。采用天然气联合循环发电将提高能源利用效率，降低投资、保护环境、增大电网调峰能力、减少占地和耗水。



## 我国天然气开发利用主要发展趋势

(3) 城市气化。我国城市居民生活收入增长较快，城市燃气化是提高城市人民生活质量和改善城市环境的重要措施之一。天然气在技术经济上优于煤气和液化石油气，实现的可能性较大。城市气化需要投资建设城市基础设施，有利于促进内需，拉动国家经济增长。



# 我国天然气工业所面临的发展前景

- 我国天然气资源与勘探概况
- 我国天然气开发与生产概况
- 西气东输管道工程基本概况

# 我国天然气工业所面临的发展前景

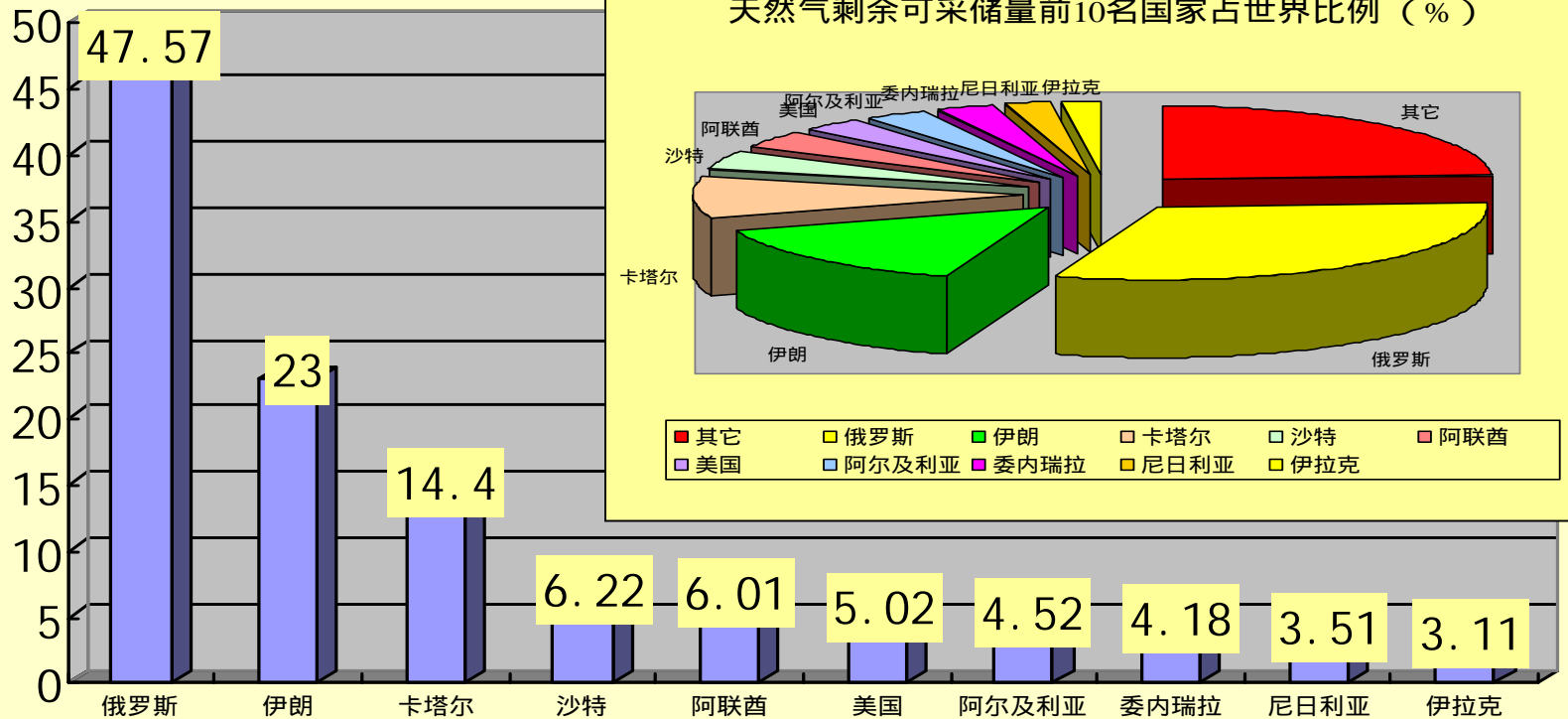
## 我国天然气资源与勘探概况

我国天然气地质资源总量为38万亿立方米，预计天然气可采资源量约10.5万亿立方米。到目前为止，累计探明天然气地质储量2.3万亿立方米，探明可采储量1.48万亿立方米，可采资源探明程度仅为14%。由此可见，我国天然气勘探仍处于初期阶段。世界主要油气生产国石油天然气储产量大幅度增长的历程表明，一般天然气储产量大幅度增长期滞后于石油30~40年。我国也存在同样规律，天然气从1990年开始进入储量增长高峰期，比石油滞后30年。“八五”期间新增储量为7005亿立方米；“九五”期间新增储量超过10000亿立方米，下世纪初将继续保持这一快速增长势头。



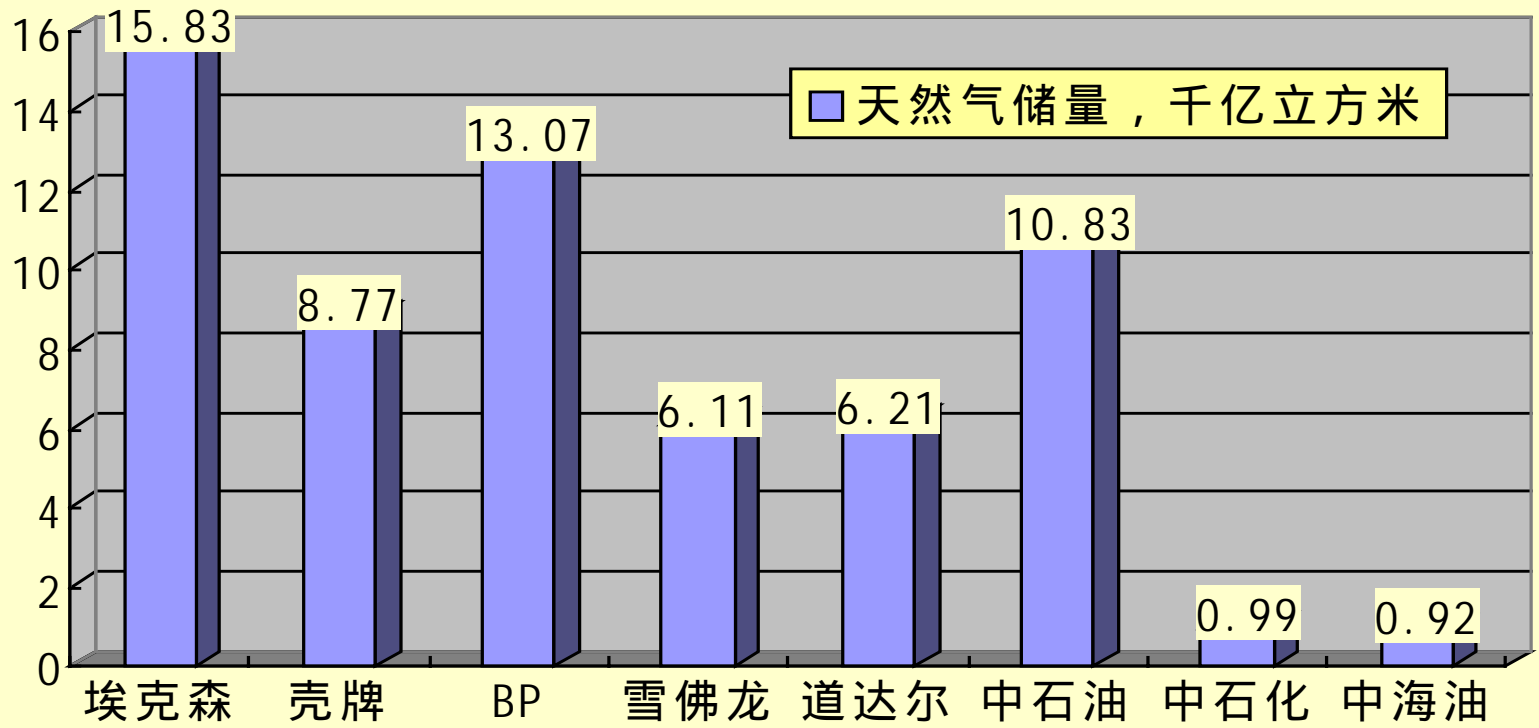
# 我国天然气工业所面临的发展前景

## 世界天然气剩余可采储量前10名国家( $10^{12} \text{m}^3$ )



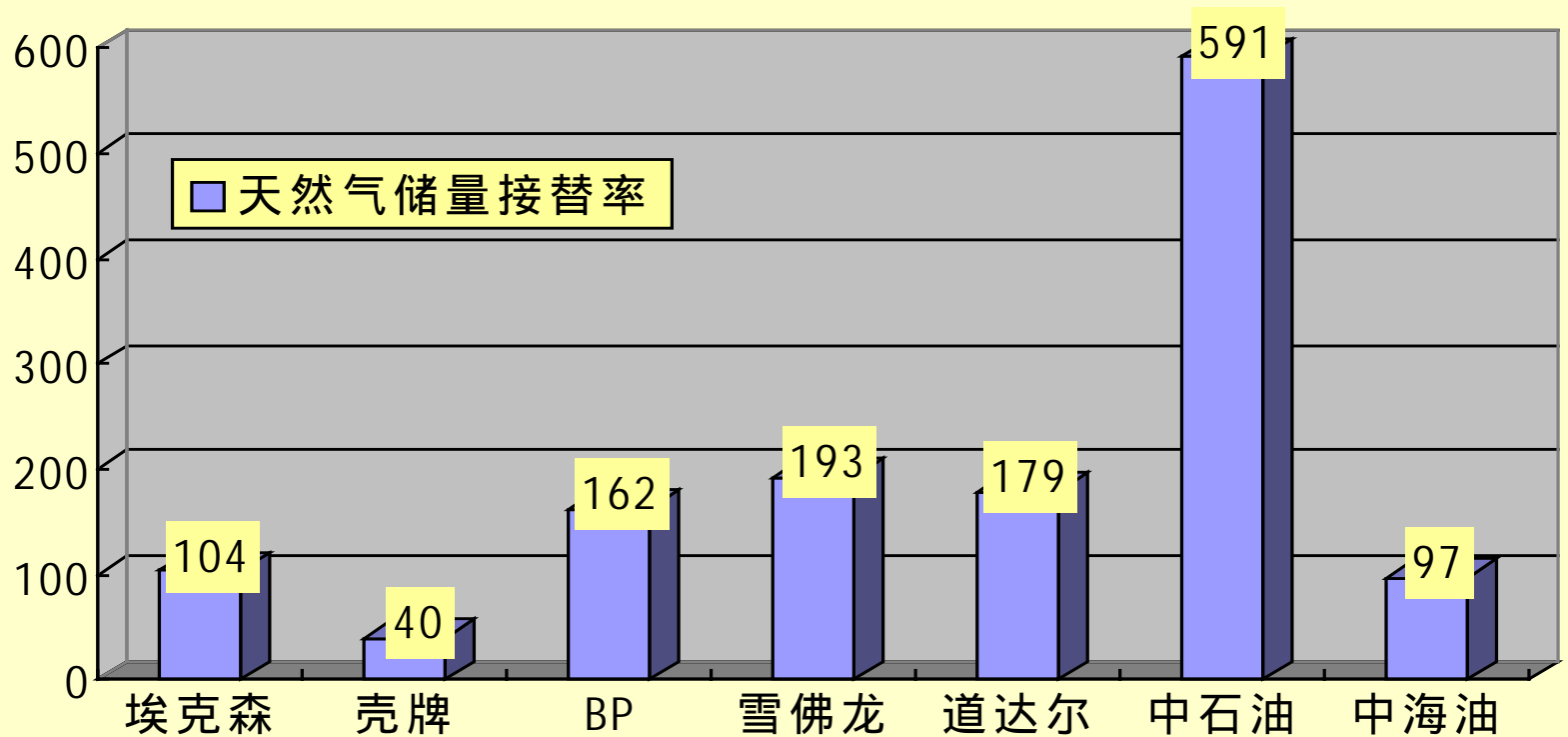
# 我国天然气工业所面临的发展前景

## 世界主要石油公司天然气储量比较



# 我国天然气工业所面临的发展前景

## 世界主要石油公司天然气储量接替率比较



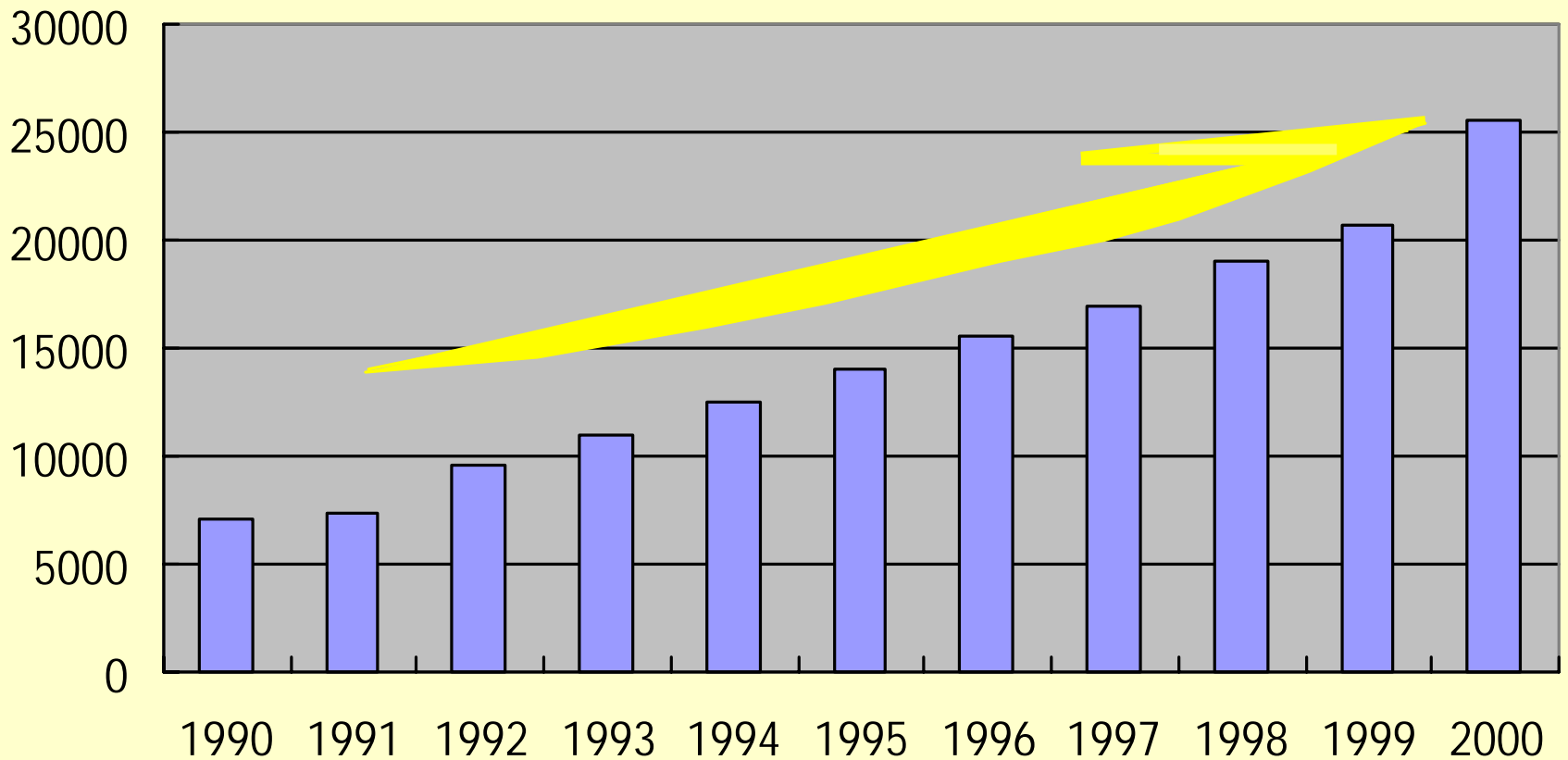
# 我国天然气工业所面临的发展前景

## 我国天然气资源与勘探概况

“九五”期间，以中西部地区为重点的天然气勘探连续取得重大突破，累计新增大中型气田28个。新发现了三个大型天然气区，即塔里木气区、鄂尔多斯气区、柴达木气区，同时老气区——四川气区获得了重要进展。鄂尔多斯盆地上古生界、柴达木盆地三湖地区、塔里木盆地库车地区、四川盆地川东和川西地区的天然气勘探突破和成果的不断扩大，尤其是库车坳陷克拉2气田的发现和陕北上古生界勘探成果不断扩大，为西气东输奠定了资源基础。准噶尔盆地南部、大港千米桥、苏北盐城地区天然气勘探的突破，扩大了陆上含油盆地找气领域。除陆上四大气区外，海上东海及南海英琼两大气区勘探潜力也十分巨大，南海和东海西湖凹陷勘探的新进展，构成了海域油气工业发展的新的增长点。

# 我国天然气工业所面临的发展前景

中国天然气累计探明储量增加趋势（亿立方米）



# 我国天然气工业所面临的发展前景

## 我国天然气资源与勘探概况

塔里木气区是一个极有潜力的天然气富集区，天然气储量增长迅速，1998年初发现的克拉2大型气田，单井产量及储量丰度极高，探明储量为2506亿立方米，是西气东输的主要气源。新发现的迪那2大型气田，预测储量为1500亿立方米。塔里木气区预计5年内可累计探明天然气1万亿立方米，可长期稳定年供气200亿立方米。

鄂尔多斯气区相继发现中部靖边等大型气田以来，目前累计探明储量7669亿立方米，成为向北京供气的主要气源。2000年鄂尔多斯气区年产量为20.6亿立方米，是1990年的76倍。今年初发现的苏里格大型气田，目前探明的气储量已达2200亿立方米，还可能进一步扩大。预计，在近两三年内鄂尔多斯气区可累计探明天然气储量1万亿立方米，能长期稳定年供气110亿立方米。

## 我国天然气资源与勘探概况

柴达木气区已由1990年探明储量398亿立方米增至2000年的1472亿立方米，新近发现的涩北等大型气田也已经开始向兰州输气。预计5年内天然气探明储量可增至3000亿立方米，能长期稳定年供气30亿立方米。

尽管四川气区是一个较老的气区，但近年来探明储量也呈上升趋势，10年来新增探明储量为3990亿立方米，2000年累计探明储量已达7026亿立方米。2000年产气量80亿立方米。预计5年内四川气区可累计探明储量1万亿立方米，并可长期稳定年供气150亿立方米。

# 我国天然气工业所面临的发展前景

## 我国天然气开发与生产概况

2001年，世界天然气产量为2.464万亿立方米，主要产自北美和前苏联地区，分别为0.7621万亿立方米和0.6773万亿立方米，这两个地区的产量占世界的近60%。接下来依次为欧洲、亚太、中东，非洲、中南美地区产量最少，均不足世界的5%。天然气产量世界排名前10位的国家是：美国、俄罗斯、加拿大、英国、阿尔及利亚、印尼、荷兰、伊朗、挪威、沙特阿拉伯，他们的总产量为1.7499万亿立方米，占世界的71.1%。美国和俄罗斯是世界产气大国，产量分别为0.5554万亿立方米和0.5424万亿立方米，他们的产气量均超过了世界的20%，分别为22.5%和22.0%。其他国家均不足世界的8%。



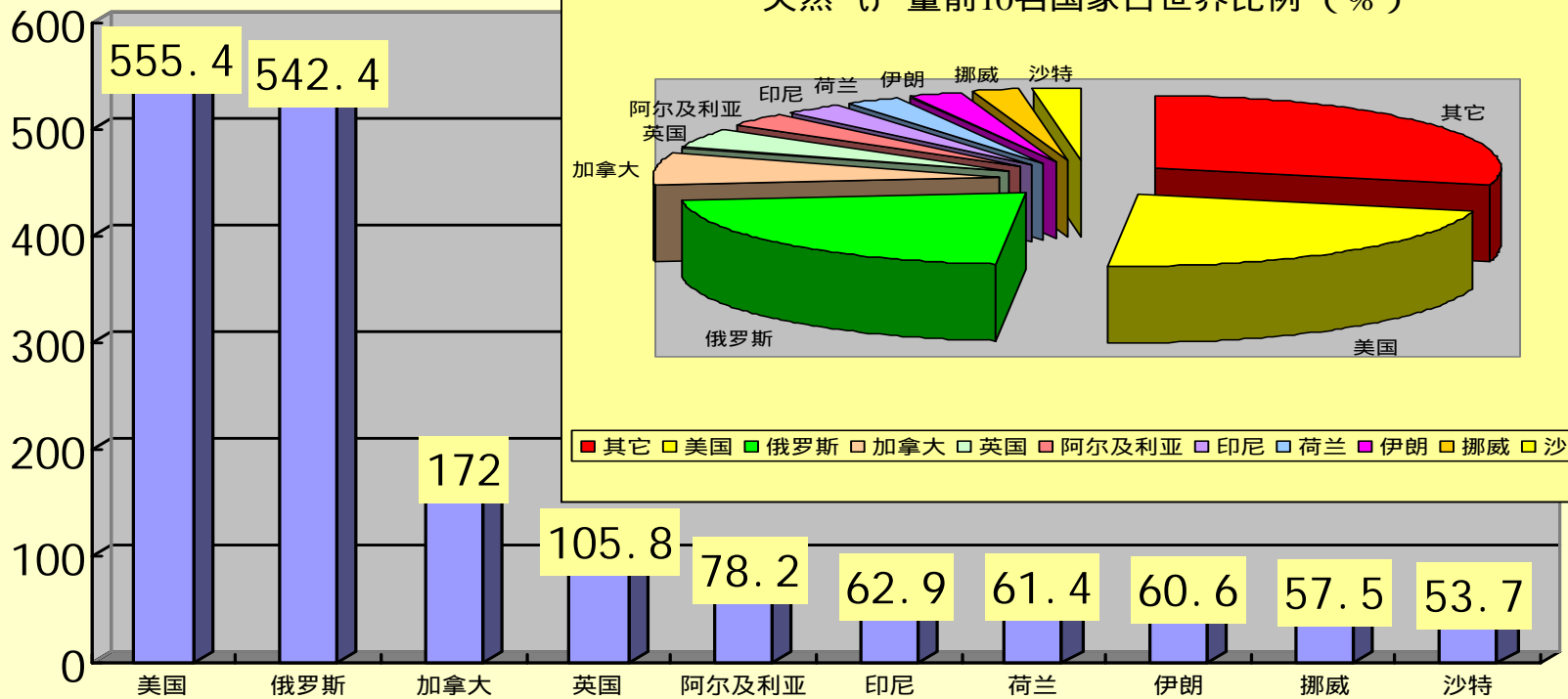
# 我国天然气工业所面临的发展前景

## 我国天然气开发与生产概况

随着天然气储量的增加和国民经济发展对洁净能源需求的快速增长，我国天然气产量也在快速增长。1996年产量突破200亿立方米大关，开始进入产量快速递增期。“九五”期间天然气产量年均增幅达到10%，2000年天然气产量超过277亿立方米，是1995年的160%。2001年，全国生产天然气294亿立方米，占全球天然气产量的1.2%，排名世界第18位。“十五”期间，随着“西气东输”管道、忠武管道、陕京复线及相关支线的陆续投产，天然气产销量将大幅度增长，预计到2005年我国天然气年产量将达630亿立方米，2010年将达860亿立方米。从俄罗斯、中亚进口管输天然气，在广东、福建沿海进口液化天然气（LNG）及建设从辽东湾至北部湾的沿海输气管道等天然气发展规划实施以后，预计到2010年我国将进口200亿立方米管道天然气，进口LNG达到800万吨。2000年，全国城市燃气实际消耗天然气82亿立方米，预计2010年将达到320亿立方米。

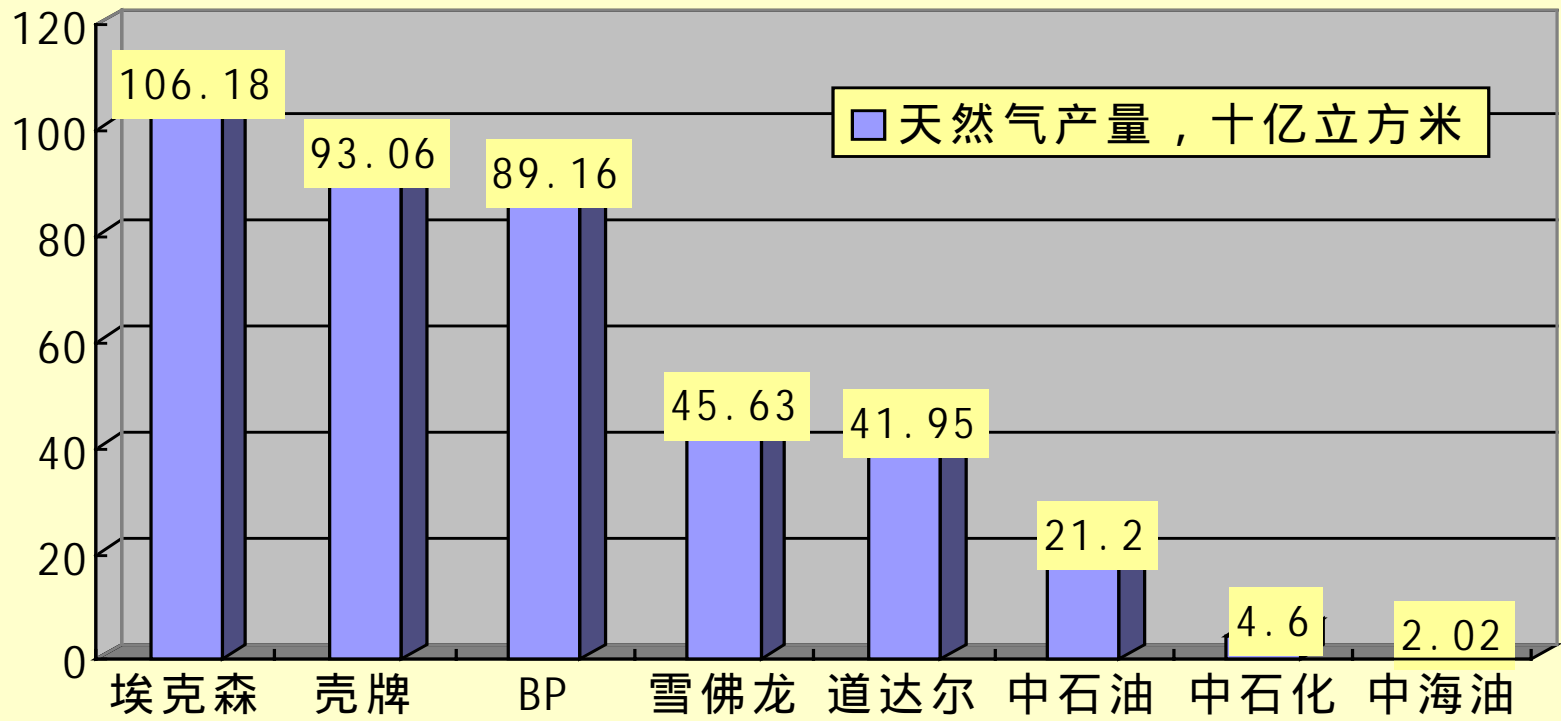
# 我国天然气工业所面临的发展前景

## 世界天然气产量前10名国家( $10^9 m^3$ )



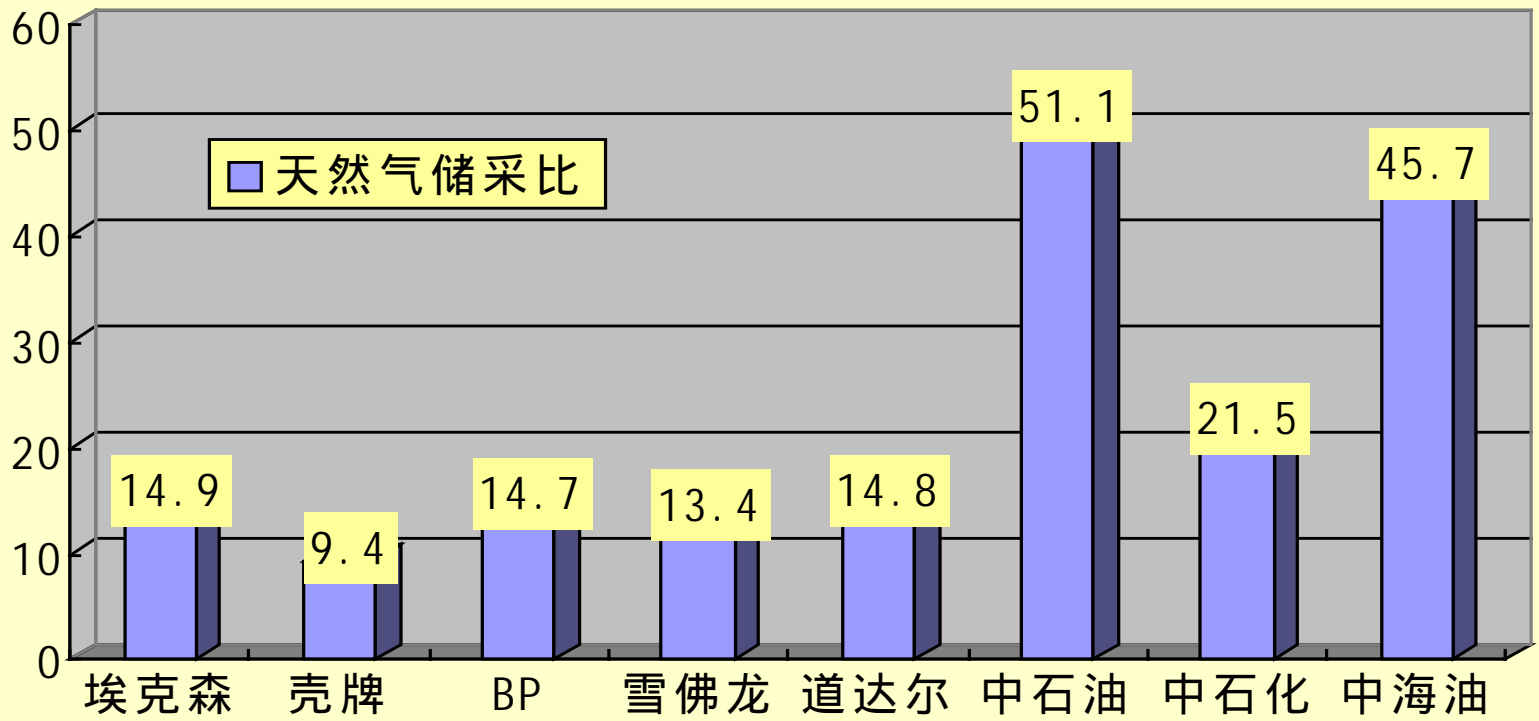
# 我国天然气工业所面临的发展前景

## 世界主要石油公司天然气产量比较



# 我国天然气工业所面临的发展前景

## 世界主要石油公司天然气储采比比较



# 我国天然气工业所面临的发展前景

## 西气东输管道工程基本概况

我国天然气管网的远景目标是:到2020年建成以“两横两纵”为骨架的全国天然气管网,新建管道总长18700公里,管网年输配气能力达到1820亿立方米(含进口气),覆盖7个市场大区,进口LNG的规模达到1600万吨/年,配套地下储气库的有效工作容积规模达到83亿立方米/年。



# 我国天然气工业所面临的发展前景

## 西气东输管道工程基本概况

西气东输工程干线西起新疆轮台县的轮南首站，东达上海市白鹤末站，管道自西向东途径新疆、甘肃、宁夏、陕西、山西、河南、安徽、江苏和上海9个省（区）市，线路全长约3900公里。其中轮南—靖边段线路长约2363公里，靖边—上海段线路长约1537公里。设计输量120亿立方米/年，设计压力10.0MPa，管径为1016mm。全线采用带减阻内涂层的X70管道输送用管。管道穿跨越长江1次、黄河3次、淮河1次，其他大型河流8次，建设陆上隧道21条，其中新疆2条（574米），靖边～临汾13条（3862米），临汾～郑州6条（3541米）。全线共设工艺站场35座，线路截断阀室137座，其中压气站10座（燃驱压气站6座，电驱压气站4座）。各压气站和分输站按有人值守无人操作设计，工艺站场可实现远控、站控和就地控制三种运行管理方式；采用SCADA系统进行远程数据采集和监控，所有线路阀室均按远控阀室设计。通信系统采用卫星为主用通信，管道全线同沟敷设硅管，以便为将来管道沿线的通信发展提供光缆通道。为满足西气东输计量标定的需要，在南京附近选择合适地点设一座计量标定站。西气东输管道分公司和调度控制中心设在上海，后备调控中心设在北京。全线共设5个操作区，负责全线（包括支线）的运行管理。

# 我国天然气工业所面临的发展前景



# 我国天然气工业所面临的发展前景

## 西气东输管道工程基本概况

西气东输工程干线西起新疆轮台县的轮南首站，东达上海市白鹤末站，管道自西向东途径新疆、甘肃、宁夏、陕西、山西、河南、安徽、江苏和上海9个省（区）市，线路全长约3900公里。其中轮南—靖边段线路长约2363公里，靖边—上海段线路长约1537公里。设计输量120亿立方米/年，设计压力10.0MPa，管径为1016mm。全线采用带减阻内涂层的X70管道输送用管。管道穿跨越长江1次、黄河3次、淮河1次，其他大型河流8次，建设陆上隧道21条，其中新疆2条（574米），靖边～临汾13条（3862米），临汾～郑州6条（3541米）。全线共设工艺站场35座，线路截断阀室137座，其中压气站10座（燃驱压气站6座，电驱压气站4座）。各压气站和分输站按有人值守无人操作设计，工艺站场可实现远控、站控和就地控制三种运行管理方式；采用SCADA系统进行远程数据采集和监控，所有线路阀室均按远控阀室设计。通信系统采用卫星为主用通信，管道全线同沟敷设硅管，以便为将来管道沿线的通信发展提供光缆通道。为满足西气东输计量标定的需要，在南京附近选择合适地点设一座计量标定站。西气东输管道分公司和调度控制中心设在上海，后备调控中心设在北京。全线共设5个操作区，负责全线（包括支线）的运行管理。

# 国内外天然气计量技术的发展状况

- 天然气计量的主要特点描述
- 天然气计量技术的最新发展
- 我国天然气计量的发展状况
- 天然气计量器具的检定要求
- 西气东输所选用的计量仪表

# 国内外天然气计量技术的发展状况

随着我国天然气工业的快速发展，天然气贸易计量的准确可靠愈来愈受到社会各界的高度关注。进一步推进我国天然气计量技术的发展和进一步完善我国天然气流量量值溯源体系成为我国天然气工业持续、快速、健康发展的重要保证。由于天然气计量的主要特点，导致天然气计量成为全球计量学领域中的难点，目前诸多问题尚未得到很好的解决。要保证天然气计量的准确可靠，不仅需要大量的理论推算，更需要大量的实验验证。而做为实验验证基础的天然气实流标准装置的建立，需要较高的投入，运行和维护成本也十分客观。且由于技术含量高，对人力资源也有很高的要求。



# 国内外天然气计量技术的发展状况

## 天然气计量的主要特点描述

- (1) 由于天然气属于易燃、易爆气体，所以保证天然气流量计量和分析测试全过程的安全性是天然气计量的首要约束条件；
- (2) 由于天然气属于动态可压缩气体，且受到储存和运输条件的制约，天然气的计量量值不易于复现；
- (3) 由于天然气属于多组分混合气体，组分的变化会引起相对密度、发热量、压缩因子、等熵指数、临界流函数等物性参数的变化，而这些参数直接参与天然气流量计算，对计量结果有直接影响；
- (4) 由于天然气的气体流态特征，流量计的上游管件和阻力件形式、前后直管段和整流器形式等安装条件和温度、压力、震动、脉动、电磁干扰等操作条件和环境条件均会对计量结果产生直接影响；
- (5) 天然气计量包括“质”和“量”两个方面，且两者相互关联。要保证天然气计量最终结果的准确可靠，必须保证天然气流量计量和分析测试两个方面均具有良好的溯源性。

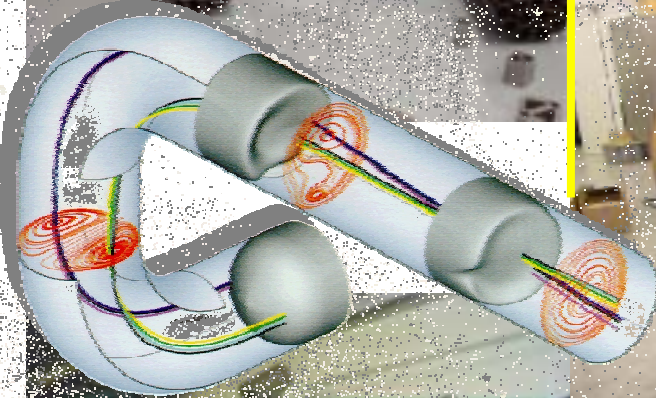
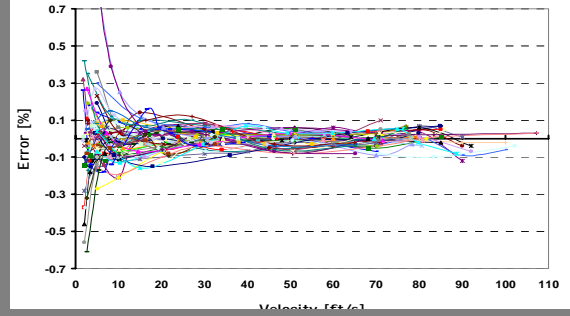
# 国内外天然气计量技术的发展状况

## 天然气计量技术的最新发展

近几年来，国外天然气测量技术有了新的发展，主要体现在：

- 随着科学技术的日新月异，以气体超声流量计为代表的新型天然气流量计量仪表在天然气贸易计量领域得到推广应用；
- 有关安装、运行条件对孔板、超声等流量计影响的研究不断深入，有些成果已体现在新修订的计量标准中；
- 应用粒子成像技术分析流态变化对计量精度的影响成为天然气计量技术领域关注的焦点；
- 能量计量已成为天然气贸易计量的主要方式，有关的国际标准正在制定过程中；
- 高压大口径流量仪表的实流检定装置及校准技术为天然气计量的量值溯源提供了保证；
- 有关天然气气质的分析测试方法及参数的直接测量方法日渐完善。

# 国内外天然气计量技术的发展状况



# 国内外天然气计量技术的发展状况

## 我国天然气计量的发展状况

国内在天然气测量技术研究方面也做了大量工作，主要包括：

- 90年代中期，我国在四川华阳建立了目前亚洲最大且具有世界先进水平的天然气实流标定装置，该标准装置的建立填补了我国高精度天然气实流标准装置的空白；随着西气东输天然气管道工程的建设，依托西气东输天然气管道工程建立我国高压天然气实流标准装置也已完成初步设计审查。上述项目的实施将使我国天然气流量量值溯源体系趋于完善；
- 制定了GB/T 18603-2001《天然气计量系统技术要求》、GB/T 18604-2001《用气体超声流量计测量天然气流量》和SY/T 6143-1996《天然气流量的标准孔板计量方法》等重要的天然气计量标准；《用涡轮流量计测量天然气流量》和《气体超声流量计检定规程》已在制订之中；

# 国内外天然气计量技术的发展状况

## 我国天然气计量的发展状况

- 通过开展对超声波流量计的系统测试评价，推动了超声流量仪表在天然气贸易交接计量中应用；通过已经和即将开展的天然气流量比对组件研究和天然气流量标准装置国际比对以及天然气流量移动标准装置研究，为我国天然气流量标准装置比对，进而保证天然气流量量值的统一奠定良好的基础；
- 长期以来紧密跟踪国际标准化组织（ISO）天然气技术委员会（ISO/TC193）的发展动态，并实质性地参与其活动，积极采用国际标准和国外先进标准，使我国天然气分析测试标准基本与国际标准相接轨；
- 全面开展了天然气能量计量方式的研究，为我国天然气计量方式的转换创造了条件。

但总体上讲，我国对天然气计量技术还缺乏系统、全面、深入的研究和实验验证，与国外先进水平还有较大差距。

# 国内外天然气计量技术的发展状况

## 天然气计量器具的检定要求

为确保天然气贸易计量的准确度，维护贸易双方的合法利益，国际法制计量组织（OIML）和欧共体都制订了有关天然气测量系统基本要求的标准，根据天然气贸易计量站的输气规模，对其所配备的计量仪表进行规范，并进行法制管理。在参考上述标准的基础，我国也制定了国家标准GB/T 18603-2001《天然气计量系统技术要求》。根据我国计量法规的要求，用于贸易结算计量的工作计量量器属于强制检定的范畴，必须进行周期检定，并执行国家有关的计量检定规程或标准。但与国外发达国家相比，国内天然气流量仪表的检定周期较短，如加拿大等北美国家和荷兰等欧洲国家，其贸易用天然气计量仪表的检定周期一般为4年或更长，而国内的检定周期一般不超过2年。

# 国内外天然气计量技术的发展状况

## 天然气计量器具的检定要求

目前，国内用于天然气贸易计量的仪表主要有孔板、涡轮、超声、旋涡、罗茨等流量计。孔板等标准节流装置绝大多数采用组合测量法进行“干式”检定，其它流量仪表多数采用离线实流检定，只有少数流量仪表能够进行在线实流检定，尚有不少仪表干脆没有检定。采用组合测量方法对流量仪表进行“干式”检定，是根据各有关参数的测量结果及其不确定度，按照一定的误差处理方法，合成出该仪表流量测量的总不确定度。它只能以一定的置信度间接地确定流量仪表的不确定度范围，不能给出具体误差值。



# 国内外天然气计量技术的发展状况

## 天然气计量器具的检定要求

由于采用实流检定可以对物性参数、操作条件、安装条件和环境条件的影响进行修正，因此，无论是美国天然气协会（AGA）新版的有关标准孔板测量天然气流量的AGA3号报告，还是有关涡轮流量计测量天然气流量的AGA7号报告，以及正在修订的有关超声流量计测量天然气流量的AGA9号报告，均提出了尽可能实流检定流量仪表的技术要求，这也是今后天然气计量检定的一种趋势。

# 国内外天然气计量技术的发展状况

## 天然气计量器具的检定要求

在我国新近颁布并已开始实施的国家标准GB/T 18603-2001《天然气计量系统技术要求》中，对日输量达到50万立方米的天然气贸易计量站，已推荐在线实流检定或校准天然气流量仪表。在我国国家标准GB/T 18604-2001《用气体超声流量计测量天然气流量》中也要求：“有必要对每台流量计进行实流校准，以满足所规定的准确度要求。”“如果设计方指定，则应当对超声流量计进行实流校准，建议实流校准至少在下列流量下进行： $Q_{min}$ 、 $0.1Q_{max}$ 、 $0.25Q_{max}$ 、 $0.4Q_{max}$ 、 $0.7Q_{max}$ 、和 $Q_{max}$ 。”由此可见，对天然气计量仪表进行实流检定是保证天然气计量准确可靠的重要条件。

# 国内外天然气计量技术的发展状况

## 仪器仪表配备指南——计量系统（GB/T 18603—2001《天然气计量系统 技术要求》）

设计能力 $q_{nv}/(\text{m}^3/\text{h})$ (标准参比条件)	$q_{nv}$ 500	5000 $q_{nv}$ 50000	$q_{nv}$ 50000
1、用于测量的校验用系统 例如：串联标准流量计			
2、温度转换			
3、压力转换			
4、Z—转换			
5、发热量和气体质量的确定			
6、每一时间周期的流量记录			
7、密度测量（代替2、3、4）			
准确度等级	C级(3.0)	B级(2.0)	A级(1.0)

注：1、规模较小的计量系统使用上述功能不受限制；2、“ ”建议配备内容。

# 国内外天然气计量技术的发展状况

## 计量系统配套仪表准确度

( GB/T 18603—2001 《天然气计量系统 技术要求》 )

参数测量	计量系统配套仪表准确度		
	A级(1.0)	B级(2.0)	C级(3.0)
温 度	0.5	0.5	1
压 力	0.2%	0.5%	1.0%
密 度	0.25%	0.75%	1.0%
压缩因子	0.25%	0.5%	0.5%
发 热 量 <sup>1)</sup>	0.5%	1.0%	1.0%
工作条件下体积流量	0.75%	1.0%	1.5%

1) 当供用气双方用能量流量交接时需要配套的项目。

# 国内外天然气计量技术的发展状况

## 西气东输工程选用的计量仪表

西气东输管道工程设计年输气能力120亿立方米，除轮南和靖边首站外，全线共设12座分输站、20路分输点，分输站的分输流量最大为 $353 \times 10^3 \text{m}^3/\text{h}$ （标准状况下），最小为 $2.08 \times 10^3 \text{m}^3/\text{h}$ （标准状况下）。根据各分输点的流量范围和工作压力，西气东输管道工程选用了超声流量计和涡轮流量计进行天然气贸易计量。在西气东输管道工程所选用的天然气流量计中，流量最大的是DN300的超声流量计，其工况流量测量上限为 $8000 \text{m}^3/\text{h}$ ，工作压力为7.3MPa。工作压力最高的是DN150的涡轮流量计，可达9.63MPa，这种情况出现在薛店分输站。如果在该分输站采用先调压后计量的工艺，可使流量计工作压力下降到7.0MPa以下，这样西气东输输气干线上单台流量计的最大流量为 $8000 \text{m}^3/\text{h}$ ，最高工作压力约为7.0MPa。在西气东输输气支线及城市天然气管网中，天然气流量计的测量上限和工作压力上限都不会超过输气干线，但工作压力下限将低于1.6MPa。

# 国内外天然气计量技术的发展状况

西气东输管道工程贸易交接流量计类型及数量

流量计类型	口径	压力等级	工作压力 (MPa) 绝压	数量 (台)	最大标况流量 m <sup>3</sup> /h	备注
气体超声流量计	DN300	Class600	7.3	4	1678090	轮南首站
	DN300	Class600	5.8	3	743300	靖边 2004 年前
	DN300	Class600	4.27	4	732000	上海末站
	DN250	Class600	4.69	2		南京分输站
气体涡轮流量计	DN200	Class600	7.71	2	139000	博爱分输站
		Class600	4.31	2	107000	用直分输站
		Class600	4.69	2		南京分输站
		Class600	4.53	2		芜湖末站
		Class600		1		干线备用
	DN150	Class600	9.58	2	53000	薛店分输站
		Class600	7.12	2	37100	郑州分输压气站
		Class600	4.58	2		马鞍山分输站
		Class600	6.04	2		合肥末站
		Class600		1		干线备用
	DN100	Class600	4.91	2	24670	镇江分输站
		Class600	4.47	2	18330	无锡分输站
		Class600	6.04	2		合肥末站
		Class600		1		干线备用
	DN50	Class600	6.26	2	4900	滁州分输站
		Class600		1		干线备用

注：1.表中除靖边首站数据为 2004 年前，其余均为 2008 年后数据；

2.本表未包括燃压机组及站内自用气的流量计仪表。

# 天然气流量标准装置及其量值溯源

- 国外天然气流量标准及量值溯源
- 我国天然气流量标准及量值溯源
- 拟建的西气东输天然气流量装置

# 天然气流量标准装置及其量值溯源

## 国外天然气流量标准及量值溯源

随着天然气工业的发展，特别是输气管网的建设，用于贸易计量的天然气流量仪表日益增多，其工作压力不断提高，流量范围也不断增大。为了准确地复现天然气流量标准值，科学公正地开展天然气流量量值溯源和仪表计量性能测试及有关的科研工作，世界各主要工业化国家都相继建成了具有较高准确度水平的天然气流量标准装置，并建立了相应的天然气流量量值溯源体系。基本上实现了涡轮流量计、容积流量计、超声流量计等常用天然气仪表的天然气实流检定或校准。为了统一天然气流量量值，还开展了国际间或一个国家内的天然气流量标准装置间的循环比对，确定不同装置所复现天然气流量标准值之间的差异，并进行合理的归一化处理。

# 天然气流量标准装置及其量值溯源

## 国外天然气流量标准及量值溯源

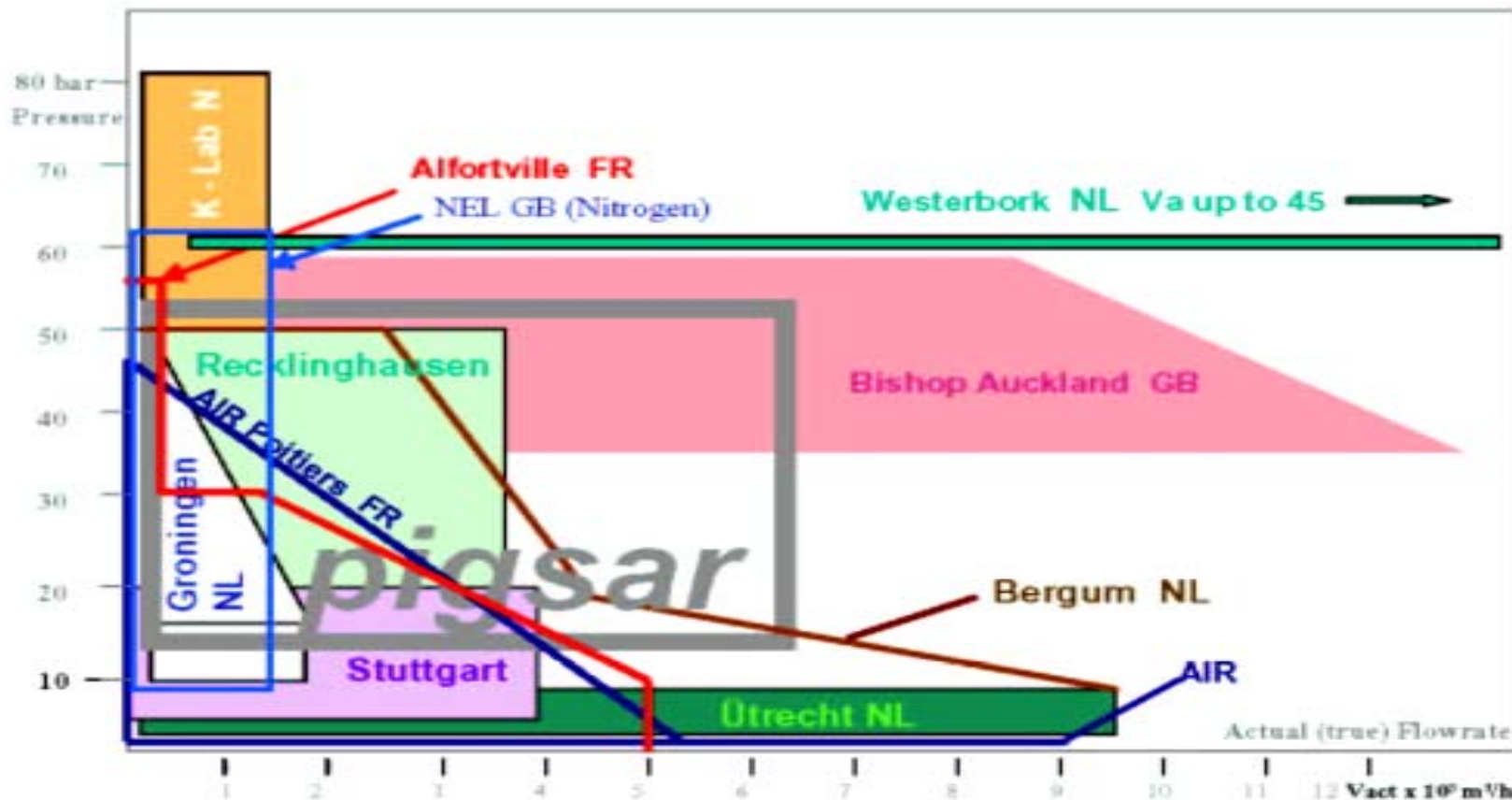
在不同的输气规模、不同的发展过程、不同的管理模式、不同的技术要求等背景下，各国天然气流量标准装置的规模和能力不尽相同，天然气流量量值溯源体系更是各具特色，总的来看，西欧和北美的天然气流量标准及量值溯源体系处于国际先进水平，但它们具有不同的特点，都有值得借鉴的地方。



# 天然气流量标准装置及其量值溯源

装置简称	使用单位	国别	工作压力 (MPa)		流量上限 (m <sup>3</sup> /h)	测试管径 (mm)	不确定度 (%)	工作标准	原级及次级标准
			最小	最大					
Vesterbork	NMi	荷兰	6.4	6.3	40000	250	0.25	涡轮流量计	钟罩式装置、容积流量计
Pigsar	Ruhrigas	德国	1.4	5.0	6500	300	0.25	涡轮流量计	活塞式装置、涡轮流量计
Bishop	British Gas	英国	2.4	7.0	20000	500	0.30	涡轮流量计、临界流喷嘴	在 pigsar、NEL 校准
K-lab	Statoil	挪威	2.0	15.6	1750	150	0.40	临界流喷嘴	在 NEL、CEESI 校准
San Antonio	SwRI	美国	1.0	8.0	2400	250	0.25	临界流喷嘴	mt 法装置
Clear Lake	CEESI	美国	7.0	7.0	34000	600	0.40	涡轮流量计	PVTt 法装置、临界流喷嘴
Winnipeg	TCC	加拿大	6.5	6.5	49000	750	0.25	涡轮流量计	旋转活塞流量计 (在荷兰校准)
Groningen	Gasunie	荷兰	0.9	4.0	900	100	0.30	涡轮流量计	钟罩式装置、容积流量计
Bergum	NMi	荷兰	0.9	5.0	2500	200	0.30	涡轮流量计	钟罩式装置、容积流量计
Alfortville	GdF	法国	1.0	6.0	1200	150	0.25	临界流喷嘴	PVTt 法装置

# 天然气流量标准装置及其量值溯源



**Figure 3.** High pressure calibration capabilities of facilities of European test rigs<sup>4</sup> as compared with PIGSAR.

PIGSAR's capabilities overlap with most of all other European facilities, except the facilities Utrecht (NL) and Westerborg (NL) due to their pressure ranges.

# 天然气流量标准装置及其量值溯源

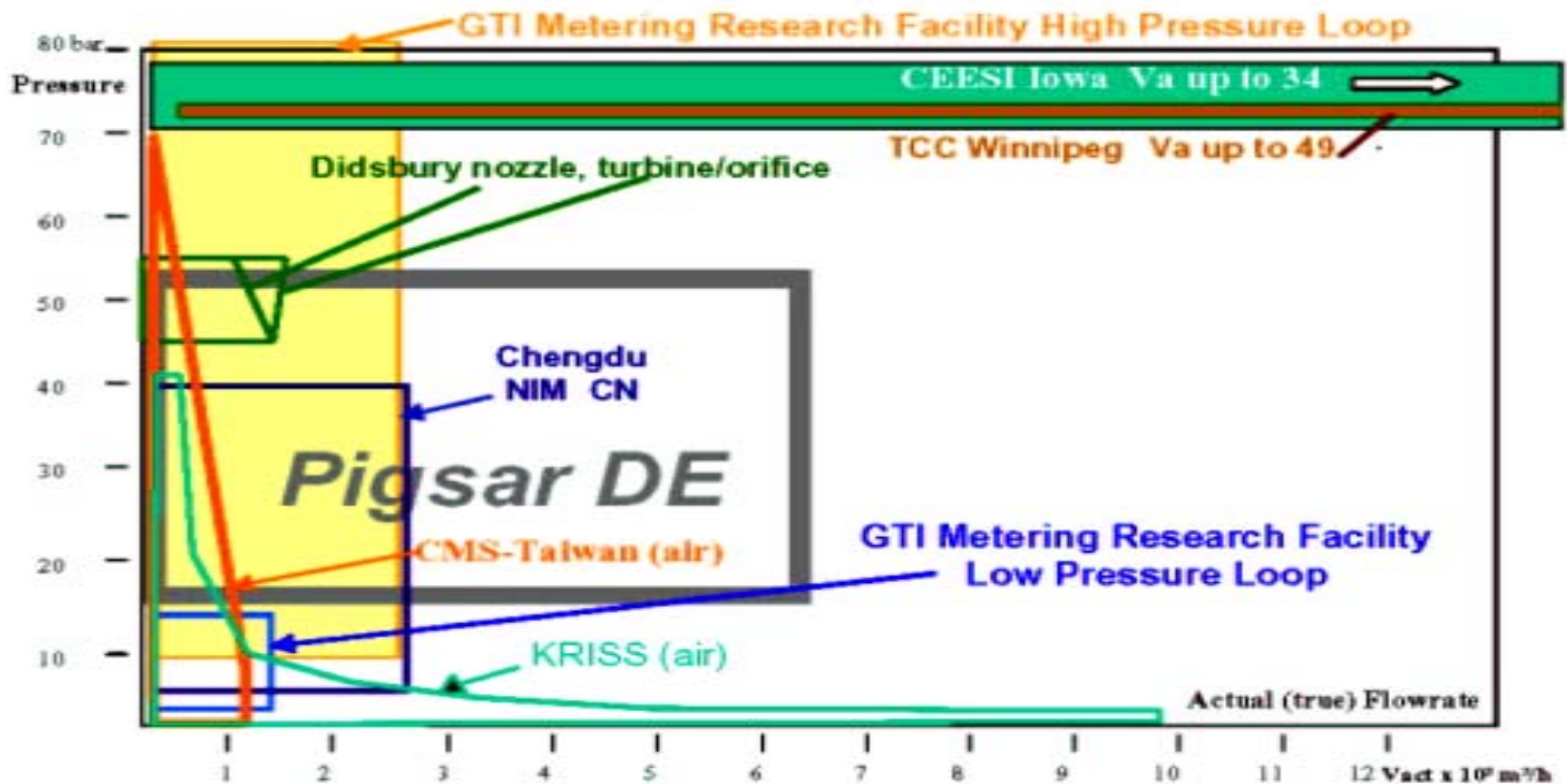


Figure 4. High pressure calibration capabilities of facilities outside Europe compared with PIGSAR.

# 天然气流量标准装置及其量值溯源

## 国外天然气流量标准及量值溯源

(1) 为了在工作压力下以天然气为介质对天然气流量计量仪表进行全量程的检定或校准，主要工业化国家都针对其实际需求和具体情况，建立了以天然气为介质的气体流量标准，这也是加强法制计量管理和确保天然气贸易计量准确度的要求。随着输气压力、输送流量和天然气计量仪表准确度的提高，天然气流量标准的规模越来越大，其流量测量不确定度不断提高。

# 天然气流量标准装置及其量值溯源

CEESI在IOWA的天然气  
流量标准装置



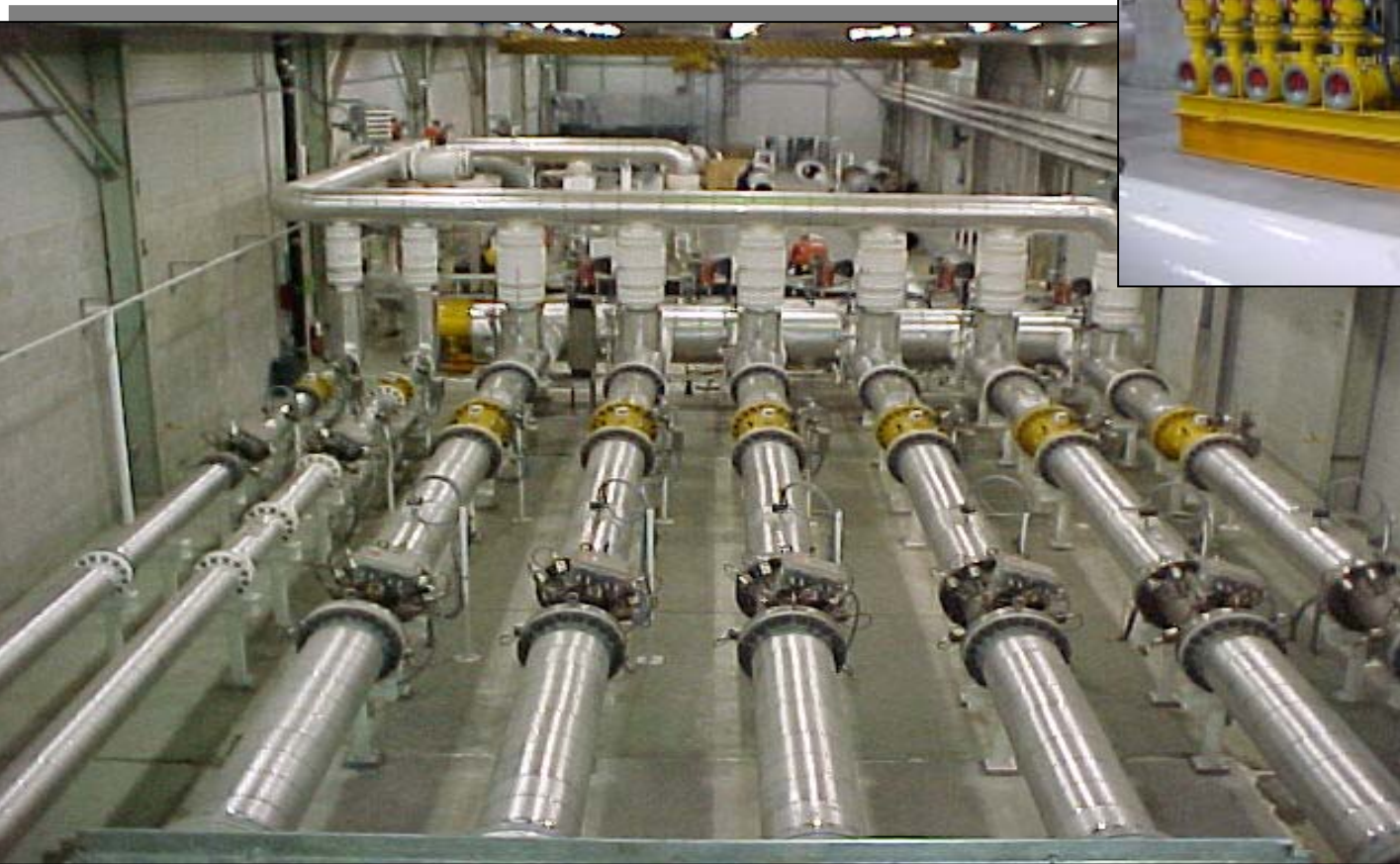
# 天然气流量标准装置及其量值溯源



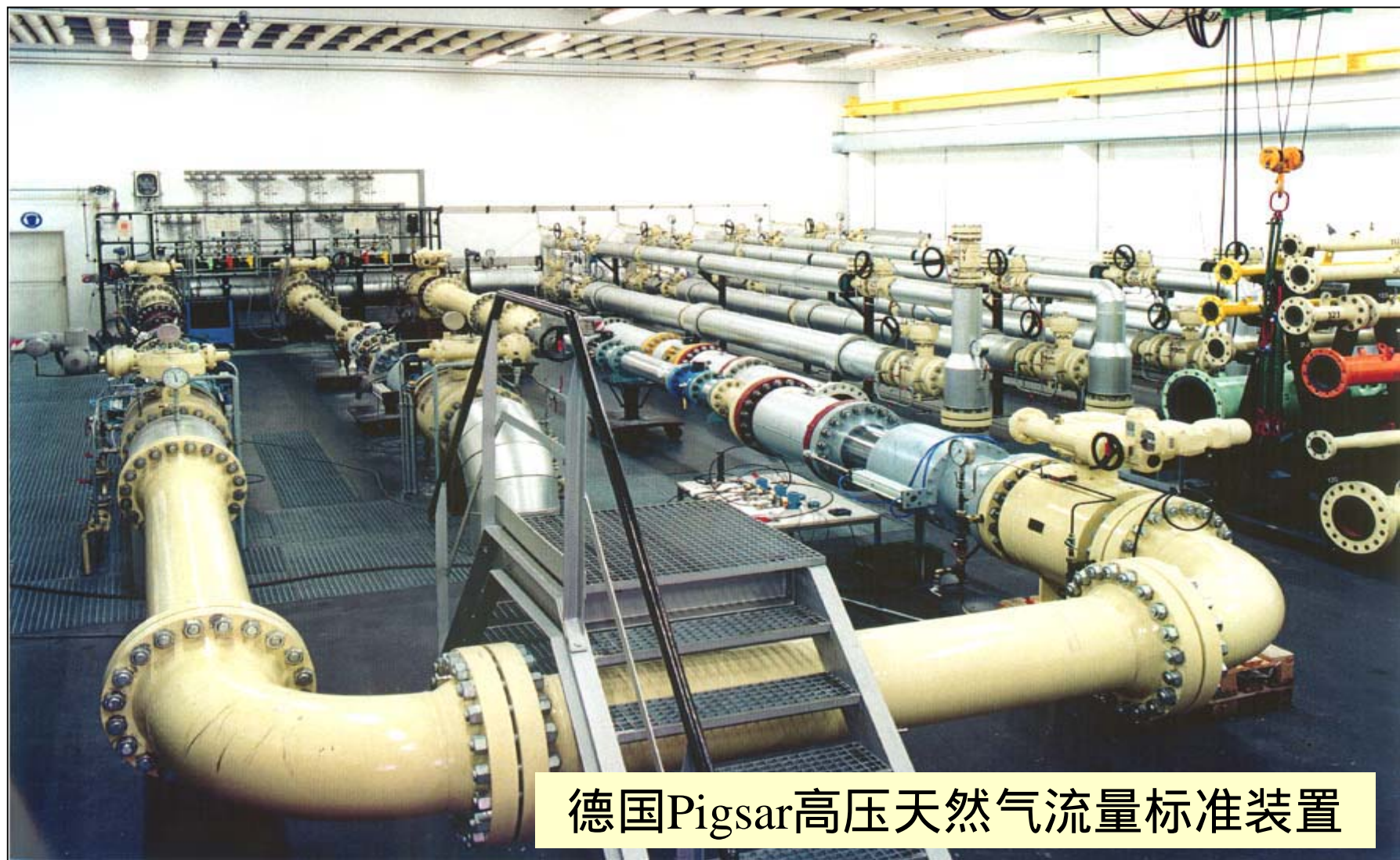
西南研究院 (SWRI) 的天然气环道标准装置

# 天然气流量标准装置及其量值溯源

加拿大TCC高压天然气流量标准装置



# 天然气流量标准装置及其量值溯源



德国Pigsar高压天然气流量标准装置

# 天然气流量标准装置及其量值溯源



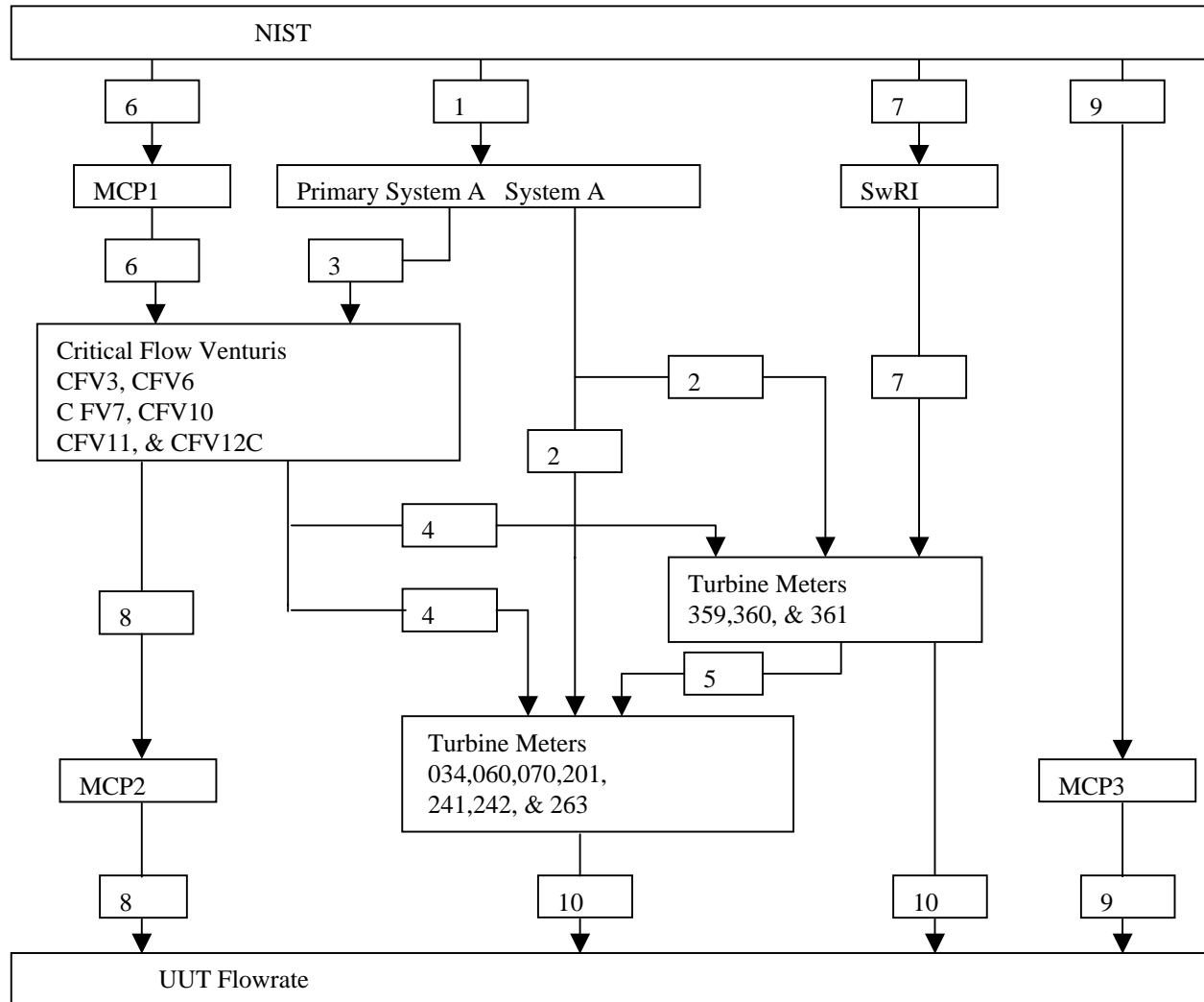
荷兰Westerbork高压天然气流量标准装置

# 天然气流量标准装置及其量值溯源

## 国外天然气流量标准及量值溯源

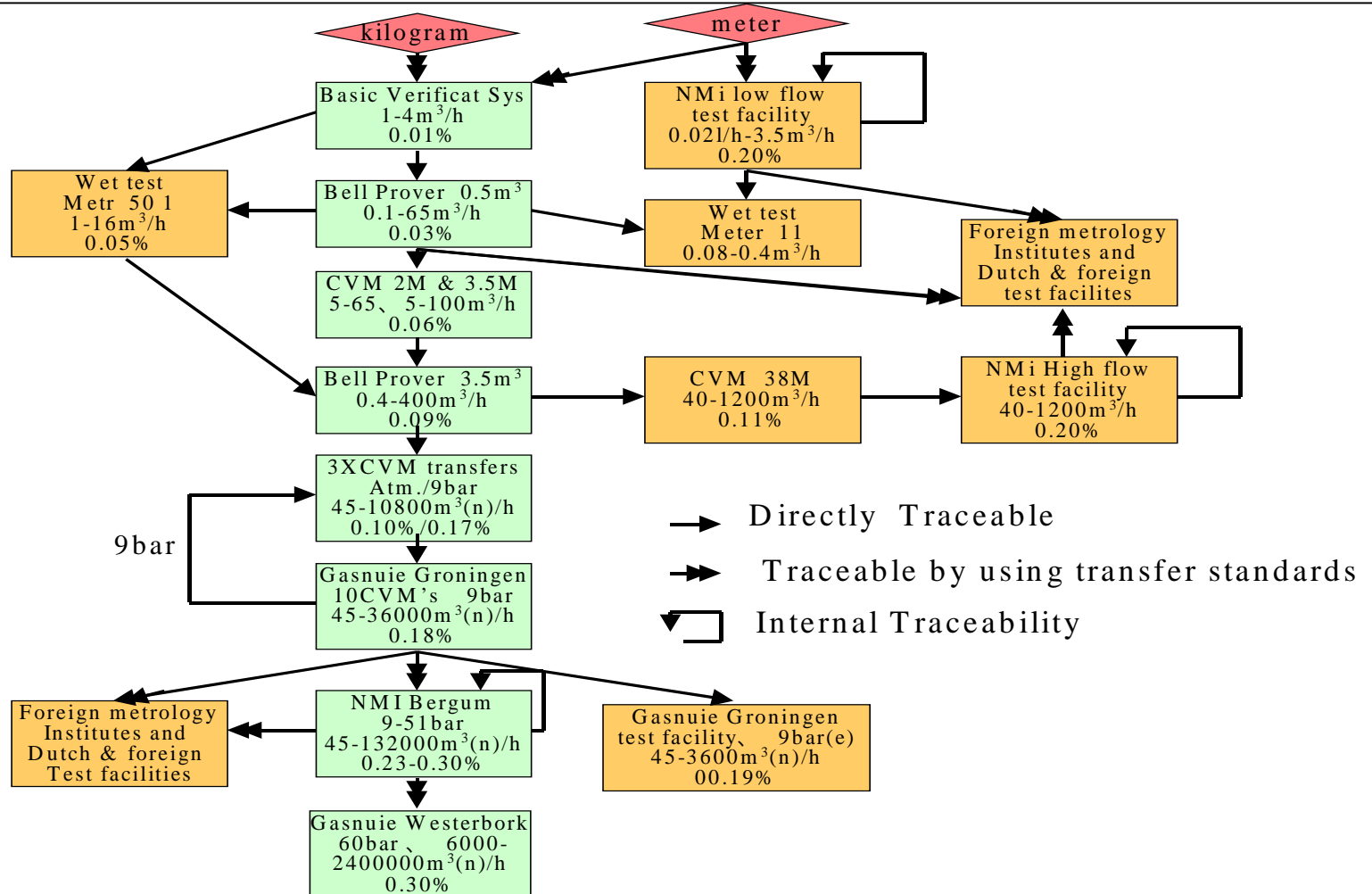
(2) 为了逐级扩大流量范围，提高工作压力，多数天然气流量计量检定机构都建有原级标准、次级标准和工作标准。构成原级标准的各基本量都溯源到相应的国家标准。在CEESI、TCC等新建的高压大流量天然气流量标准中，都增加了超声流量计作为核查标准，用以监测工作标准的计量性能，提高了所复现天然气流量的可靠性。

# 天然气流量标准装置及其量值溯源



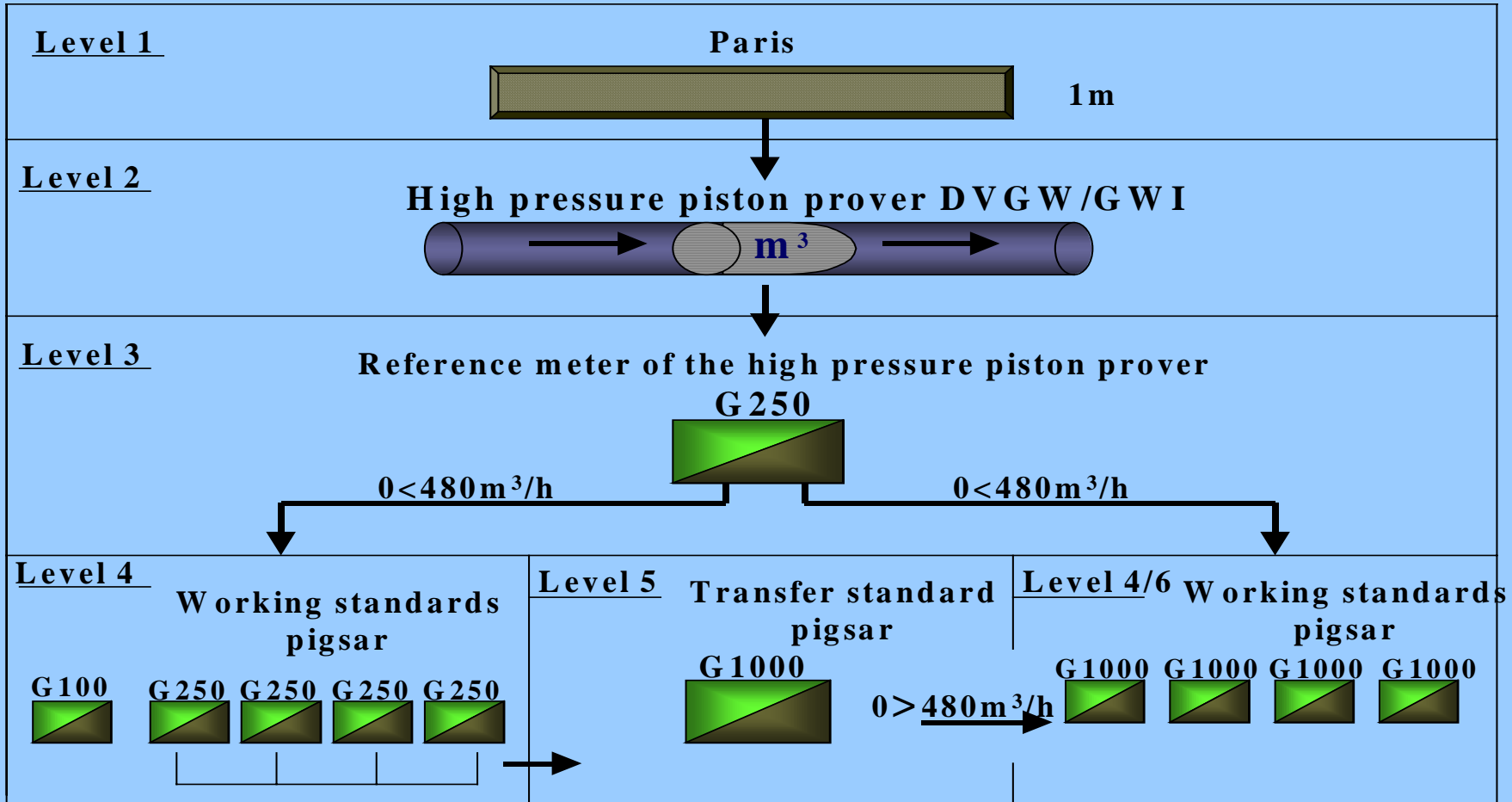
CEESI的天  
然气流量量  
值溯源图

# 天然气流量标准装置及其量值溯源



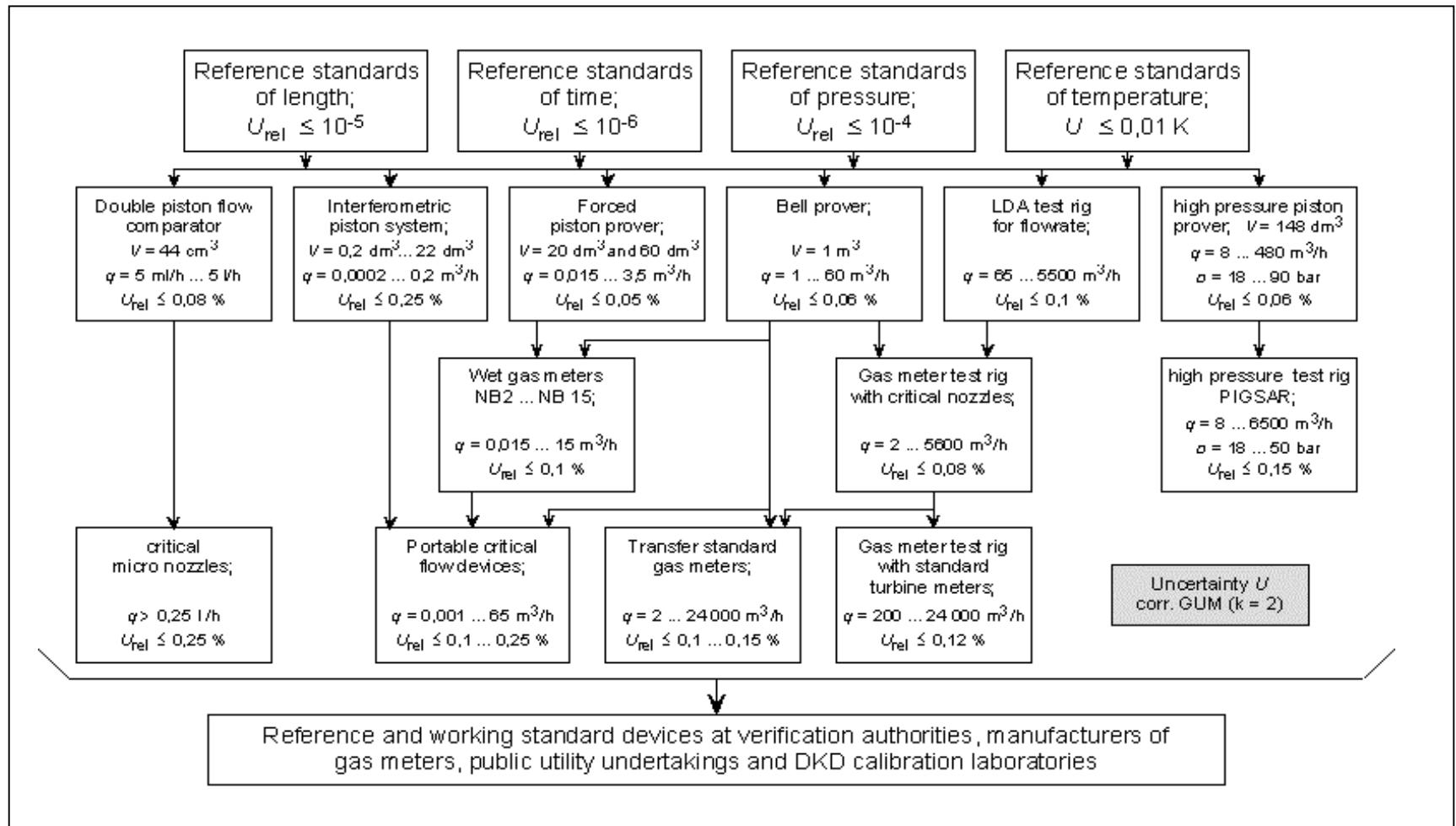
NMI 天然气流量量值溯源图

# 天然气流量标准装置及其量值溯源



Ruhr gas 天然气流量量值溯源图

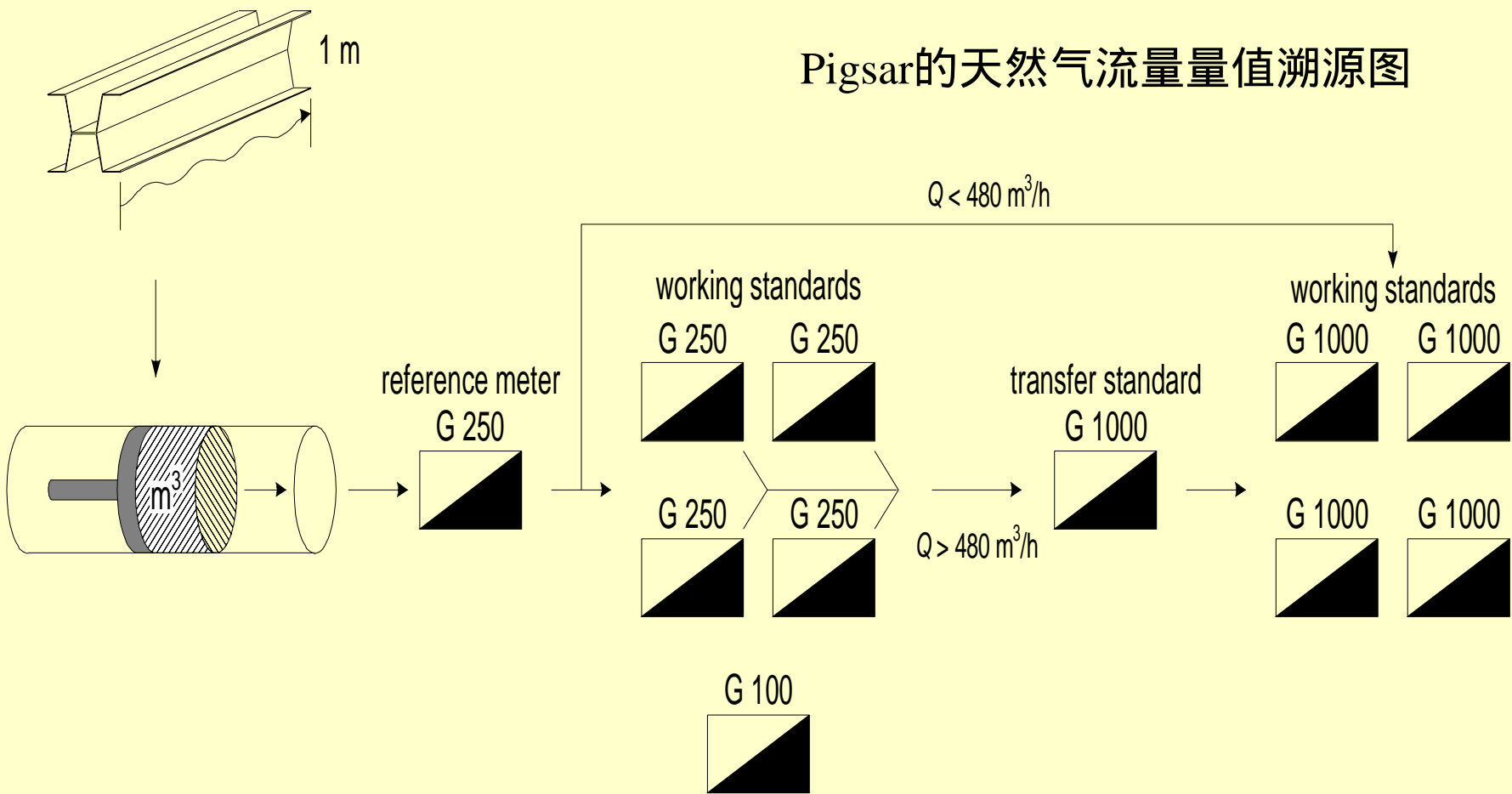
# 天然气流量标准装置及其量值溯源



PTB的天然气流量量值溯源图

# 天然气流量标准装置及其量值溯源

Pigsar的天然气流量量值溯源图



Pigsar的天然气流量量值传递关系

# 天然气流量标准装置及其量值溯源

## 国外天然气流量标准及量值溯源

(3) 在天然气流量原级标准中，能采用天然气作介质且在较高压力下工作的占多数，其中mt法流量标准装置居多，PVTt法流量标准装置次之，只有Pigsar采用活塞式流量标准装置。这些高压天然气流量原级标准的结构型式、流量范围和工作压力差异较大，主要取决于实际需求、气源条件和操作经验，但流量测量的不确定度范围都在0.1%~0.2%之间。

# 天然气流量标准装置及其量值溯源



SWRI高压环路  
的原级Mt标准  
装置和动作时  
间小于50ms的  
换向阀



# 天然气流量标准装置及其量值溯源



Pi gsar的活塞式天然气体积管原级标准

# 天然气流量标准装置及其量值溯源

## 国外天然气流量标准及量值溯源

(4) 在天然气次级流量标准中，选用最多的是临界流喷嘴，其次为容积式流量计和涡轮流量计，但流量测量不确定度都在0.15%~0.25%之间。在天然气流量工作标准中，一般都选用涡轮流量计或临界流喷嘴，流量测量不确定度为0.25%~0.40%。



PTB的天然气喷嘴次级标准



Pigsar的天然气涡轮工作标准

# 天然气流量标准装置及其量值溯源



SWRI的临界流音速喷嘴次级工作标准

# 天然气流量标准装置及其量值溯源

## 国外天然气流量标准及量值溯源

(5) 虽然个别流量原级标准采用空气介质，但所有天然气流量次级标准和工作标准都是依托输气管网建设，由管道所属的输气公司负责运行和管理。因受到管线运行压力的限制，天然气流量标准工作压力上限一般为管线的最高运行压力，工作压力下限取决于是否有排气的低压管网或用户。



# 天然气流量标准装置及其量值溯源

## 国外天然气流量标准及量值溯源

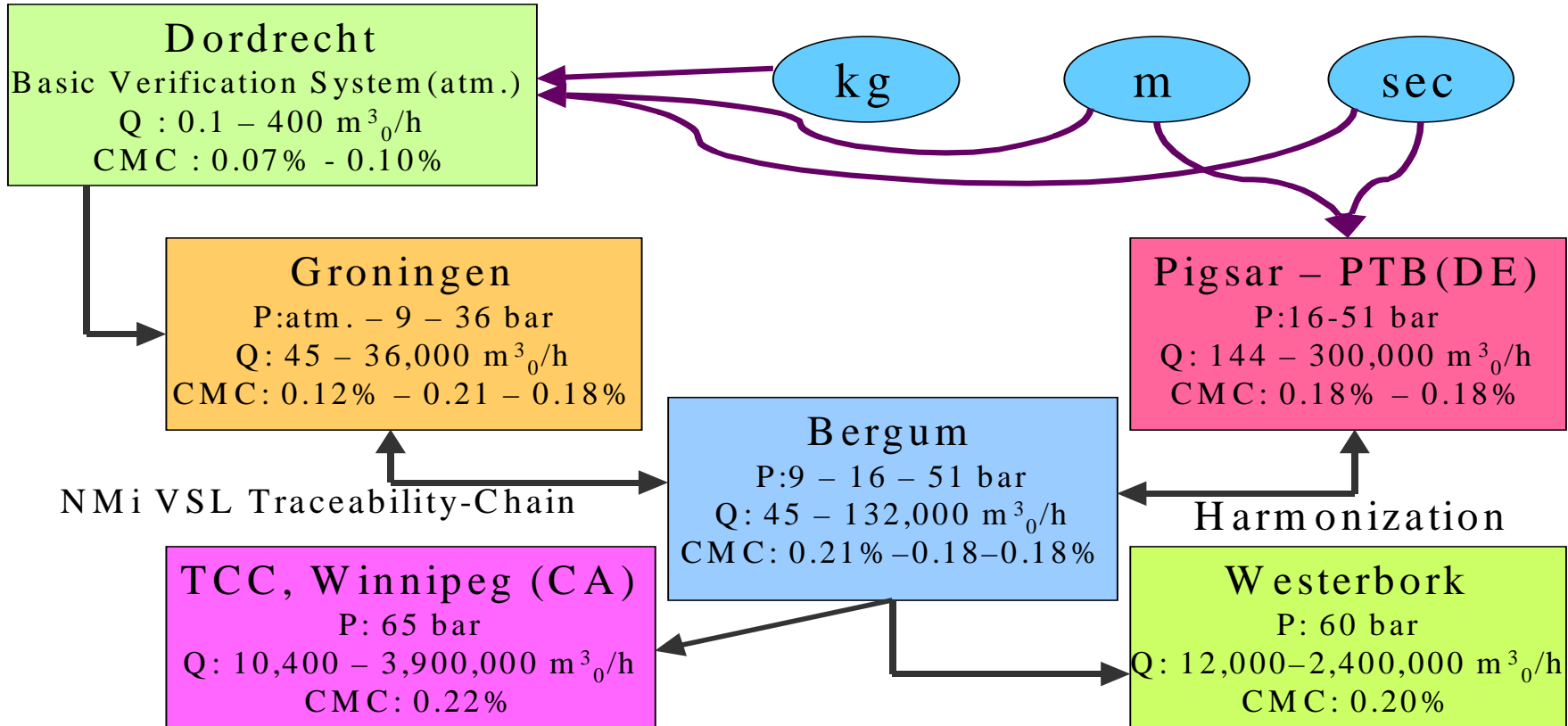
(6) 在上述各天然气流量标准之间，已进行过多次相互比对或循环比对试验，对参加比对的流量标准的不确定度进行评价，确定流量标准间的差异，并科学地进行量值归一化处理，提高了流量量值溯源的统一性和可靠性。此外，除NMI正在研制工作标准与核查标准相结合的活动式天然气流量标准外，目前这些天然气流量测试机构都没有可在现场使用的活动式标准。

# 天然气流量标准装置及其量值溯源



天然气流量比对组件

# 天然气流量标准装置及其量值溯源



Nmi、Ruhrgas、TCC 天然气流量标准间的传递关系

# 天然气流量标准装置及其量值溯源

## 我国天然气流量标准及量值溯源

### (1) 国家原油大流量计量站

国家原油大流量计量站建有以空气为介质的 $10\text{ m}^3$ 钟罩式气体流量原级标准装置，其复现的流量范围为 $(10\sim 1500)\text{ m}^3/\text{h}$ ，收气方式下的工作压力范围为 $(120\sim 450)\text{ kPa}$ ，稍高于大气压力，流量测量不确定度为 $0.1\%$ ，是目前国内准确度等级最高的钟罩式气体流量标准，其标准容积通过围尺法溯源到国家几何量基准。该套装置在国内同类装置中居领先水平，并经国家考核可在全国范围内开展量值传递和检定校准工作。此外，国家原油大流量计量站拥有一套以天然气为介质，由CEESI生产的车载式临界流喷嘴流量标准，采用16个不同喉径的临界流喷嘴并联工作，喷嘴经国内或国外的天然气原级流量标准检定。该标准的工作压力范围为 $(0.2\sim 2.0)\text{ MPa}$ ，流量测量范围为 $(1\sim 4600)\text{ m}^3/\text{h}$ ，流量测量不确定度为 $0.25\%$ 。该次级标准是目前国内唯一的在用活动式天然气流量工作标准。

# 天然气流量标准装置及其量值溯源

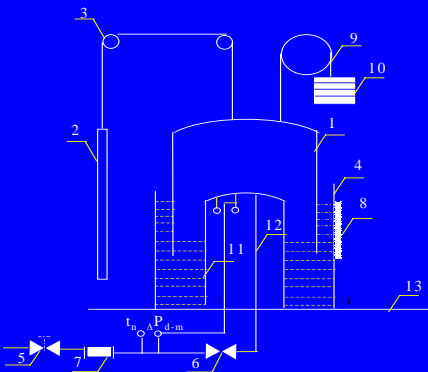
国家原油大流量计量站



钟罩式气体流量原级标准



活动式音速喷嘴次级标准



- 1 钟罩
- 2 标尺
- 3 轴脉冲发讯器
- 4 液槽
- 5 调节阀
- 6 蝶阀
- 7 被检表
- 8 油位计
- 9 补偿链条
- 10 平衡量
- 11 干井
- 12 试验管道
- 13 底座



## 我国天然气流量标准及量值溯源

### (2) 国家原油大流量计量站成都天然气分站

国家原油大流量计量站成都天然气分站在华阳建有一套mt法天然气流量标准装置，该装置投资近5000万元人民币，是目前国内唯一良好运行的以天然气为介质的气体流量原级标准装置，其天平测量范围（天然气净重）(10~100)kg，工作压力为(0.3~4.0)MPa，流量测量上限为320 m<sup>3</sup>/h，流量测量不确定度为0.1%。其主要计量性能达到了国际同类装置先进水平，且经过国家计量主管部门的考核。国家原油大流量计量站成都天然气分站的天然气流量次级标准（工作标准）采用13个并联安装的临界流喷嘴，这些喷嘴在原级标准上检定，该装置的天然气来源于四川气田工作压力为2.5MPa的高压环路，经检定回路后再回到工作压力为1.0MPa的低压环路，其工作压力可以在(1.0~2.5)MPa之间选择。

# 天然气流量标准装置及其量值溯源



mt法原级天然气流量标准装置

国家原油大流量  
计量站成都  
天然气分站



音速喷嘴次级天然气标准装置



5 根检测管段及高压储气罐  
The 5-run meter tubes and the high-pressure tanks

# 天然气流量标准装置及其量值溯源

检定项目 ITEM	测量范围 MEASURING RANGE			不确定度,% UNCERTAINTY, %
	流量,Nm <sup>3</sup> /h FLOWMETER ,Nm <sup>3</sup> /h	压力,MPa PRESSURE, MPa	公称直径,mm NORMAL DIAMETER,mm	
气体临界流流量计 CRITICAL FLOW METER	26-10.0 × 10 <sup>4</sup> (0.005-19.2 kg/s)	4.0	DN25	0.25
气体差压式流量计 DIFFERENTIAL PRESSURE METER	26-10.0 × 10 <sup>4</sup> (0.005-19.2 kg/s)	4.0	DN25	0.25
气体速度式流量计 VELOCITY METER	26-10.0 × 10 <sup>4</sup> (0.005-19.2 kg/s)	4.0	DN25	0.25
气体容积式流量计 DISPLACEMENT METER	26-10.0 × 10 <sup>4</sup> (0.005-19.2 kg/s)	4.0	DN25	0.25
气体质量式流量计 MASS METER	26-10.0 × 10 <sup>4</sup> (0.005-19.2 kg/s)	4.0	DN25	0.25

## 我国天然气流量标准及量值溯源

### (3) 国家原油大流量计量站重庆天然气分站

国家原油大流量计量站重庆天然气分站除建有以空气为介质的活塞式和钟罩式中小流量标准外，还拥有一套PVTt法天然气流量原级标准，并配有临界流喷嘴组作为工作标准。工作标准的最高工作压力为1.0MPa，流量测量不确定度为0.5%，可检定DN25～DN250的气体腰轮流量计等仪表。

# 天然气流量标准装置及其量值溯源

附表 2 目前国内主要天然气流量标准检测能力表

项 目	国家原油大流量计量站		成都天然气分站		重庆天然气分站	
	原级标准	次级标准	原级标准	次级标准	原级标准	次级标准
流量标准类型	钟罩式	临界流喷嘴	mt 法	临界流喷嘴	PVTt 法	临界流喷嘴
流量测量 不确定度	0.1%	0.25%	0.1%	0.25%	0.2%	0.5%
工作介质	空气	空气、天然气	天然气	天然气	天然气	天然气
流量范围(m <sup>3</sup> /h)	10 ~ 1500	1 ~ 4600	0.5 ~ 320	1 ~ 5000	0.5 ~ 400	1 ~ 1500
最大检定口径		DN300		DN300		DN250
最高工作压力 (MPa)	0.4	2.0	4.0	2.5	1.0	1.0
检定方式	离线实流	在线实流	离线实流	离线实流	离线实流	离线实流
授权传递范围	全国		四川、云南		重庆、贵州	
挂靠单位	中国石油股份有限公司		中国石油股份有限公司		重庆市流量测试研究所	
建标时间	1987 年		1997 年		1997 年	

## 我国天然气流量标准及量值溯源

### (4) 中国计量科学研究院

中国计量科学研究院拥有一套以空气为介质的负压PVTt法原级标准。该装置标准容器的容积为 $20\text{ m}^3$ ，最大流量达 $3000\text{ m}^3/\text{h}$ ，流量测量不确定度为 $0.05\%$ ，主要用于临界流喷嘴等标准流量计的检定。标准容器的容积可溯源到国家容积或质量基准，压力、温度和时间测量也溯源到相应的国家基准。与PVTt相配套的临界流喷嘴组，也是其气体流量次级标准或工作标准，可在常压下用空气检定气体流量仪表。



## 我国天然气流量标准及量值溯源

### (5) 上海工业自动化仪表研究所

上海工业自动化仪表研究所建有以空气为介质的钟罩式和PVTt法两套气体流量原级标准，其钟罩式流量标准的标准容积为 $14\text{m}^3$ ，最大流量为 $3500\text{m}^3/\text{h}$ ，工作压力约为 $106\text{kPa}$ ，流量测量不确定度为 $0.3\%$ 。PVTt法流量标准的规模及主要技术指标与中国计量科学研究院的同类装置基本相同。



## 我国天然气流量标准及量值溯源

### (6) 其它

此外，中国航空工业总公司在河南新乡建有国内最大的以空气为介质的气体钟罩式流量标准装置，钟罩的公称容积达 $18\text{m}^3$ 。中国石油天然气股份有限公司所属大庆、辽河、新疆、吐哈、塔里木、四川等油田相继建成了标准流量计法气体流量次级标准。这次标准都选用临界流喷嘴组或容积式流量计作为标准流量计，流量范围不尽相同，最大可达 $4500\text{m}^3/\text{h}$ ，流量测量不确定度为 $0.5\%$ 。这些标准装置都采用负压工作方式，能在接近常压的条件下用空气检定气体流量仪表。

# 天然气流量标准装置及其量值溯源

## 拟建的西气东输天然气流量标准装置

经过一年多来的可行性研究和多次方案论证，西气东输工程的天然气计量中心计划在2003年3月完成初步设计。该中心的天然气流量计量标准以西气东输干线为依托，地理位置选择在工况条件比较适宜的天然气分输站，并有不同工作压力的输气支线可供排气，其工作压力约为7.0MPa，流量上限为8000m<sup>3</sup>/h，测试流量计口径为DN50~DN400，主要用于以西气东输工程为主的天然气长输管道贸易交接用高压大口径流量计量仪表的离线或在线实流检定测试，同时兼顾今后天然气管网对流量计检测的需求。其天然气流量原级标准、次级标准、工作标准的初步设计方案如下：

# 天然气流量标准装置及其量值溯源

## 拟建的西气东输天然气流量标准装置

### (1) 天然气流量原级标准

建立原级标准的目的就是能在低于7.0MPa工作压力下，检定或校准次级标准中的标准流量计，确保标准流量计检定压力和工作压力完全一致。次级标准选用并联的临界流喷嘴组。原级标准的最大流量为400m<sup>3</sup>/h，流量测量不确定度达到0.1%。

可供选择的原级标准有mt法、PVTt法和活塞式气体流量标准，但最终确定mt法装置作为原级标准。主要原因是国内外大多数天然气原级标准均选择mt法装置，其工作原理简单，量值溯源相对容易，流量测量准确度高，有比较丰富的使用经验，比其他两种适用于高压天然气的方法技术成熟。按在流量上限400m<sup>3</sup>/h下检定40s计算，mt法流量标准称量容器的容积约为5m<sup>3</sup>，在4.0MPa和7.0MPa工作压力下称量的天然气净质量约为155kg和270kg。在考虑到其他影响因素的前提下，要保证mt法原级流量标准的流量测量不确定度达到0.1%，所使用天平的感量应等于或小于50g，这一要求对于量程为5t的陀螺力天平来讲是能够达到的。

# 天然气流量标准装置及其量值溯源

## 拟建的西气东输天然气流量标准装置

### (2) 天然气流量次级标准

在天然气原级标准和工作标准之间设有由10个不同喉径的喷嘴组成的次级标准，同时作为隔离下游称量容器内压力变化对上游流量影响的措施。临界流喷嘴组作为次级标准直接检定或校准工作标准涡轮流量计。通过不同的组合方式临界流喷嘴组可实现的流量范围为 $(10 \sim 1000) \text{ m}^3/\text{h}$ ，能覆盖单台工作标准 $(50 \sim 1000) \text{ m}^3/\text{h}$ 的流量范围。临界流喷嘴没有可动部件，长期稳定性好，工作原理和测量对象与容积式流量计和涡轮流量计不同，是理想的次级标准。

# 天然气流量标准装置及其量值溯源

## 拟建的西气东输天然气流量标准装置

### (3) 天然气流量工作标准

天然气流量工作标准是8台并联安装的DN200口径的涡轮流量计，其流量上限为1000m<sup>3</sup>/h，组合后的上限流量为8000m<sup>3</sup>/h，工作压力约为7.0MPa，流量测量不确定度优于0.3%，可校准0.5级及以下级别的工作仪表。涡轮流量计的灵敏度高、重复性好、范围度大，适合于作高压大流量的工作标准。涡轮流量计下游是作为核查标准的2台超声流量计，用于监测工作标准的计量性能。超声流量计无可动部件，自诊断能力强，在CEESI、TCC新建的天然气流量标准中都选择其作为核查标准，在几次天然气流量标准循环比对中也选择其作为传递标准。

# 天然气流量标准装置及其量值溯源

## 拟建的西气东输天然气流量标准装置

### (4) 移动式工作标准

上述天然气流量标准以满足西气东输工程的计量检定需要为主要目的，也兼顾今后天然气工业发展的需要及其他天然气流量计用户的需求，主要工作方式为用户将现场的流量仪表拆卸下来并运送到计量检定中心进行离线实流检定。考虑到频繁拆卸、长途运输的困难及可能对流量计性能带来的影响，特别是考虑到仲裁检定的需要和现场安装条件等对流量计性能的影响，在西气东输天然气计量检定中心初步设计中还选用了一台移动式天然气流量工作标准。该标准采用车载结构，采用标准流量计法原理，其工作压力范围应达到 $(1.6 \sim 7.0)$ MPa，流量范围为 $(50 \sim 6000)$ m<sup>3</sup>/h，流量测量不确定度优于0.4%，能检定超声、涡轮、孔板、罗茨等多种天然气流量计。

# 完善天然气流量量值溯源体系建议

# 完善天然气流量量值溯源体系建议

## 完善天然气流量量值溯源体系建议之一

国内以空气为介质的气体流量标准基本上只能运行在常压条件下，虽然原级标准和次级标准的准确度等级较高，但流量范围和工作压力远不能满足天然气工业高压大流量计量仪表的检定或校准需求。空气介质的组分固定，物性参数计算精度高，以空气为介质的气体流量原级标准的稳定性好、可靠性高，适合于进行有关气体计量的科学研究，可用作天然气流量标准的参考，能开展常压下天然气流量仪表的量值传递。



# 完善天然气流量量值溯源体系建议

## 完善天然气流量量值溯源体系建议之二

由于国内外有关标准和规范都对天然气贸易计量仪表及其检定提出了具体的规定和建议，要求在尽可能接近工作压力和工作温度的条件下实流检定或校准流量仪表，检定应覆盖仪表的整个量程范围，校准至少应在工作流量点进行。且天然气的流量计量具有安全性要求高、量值难以复现、安装条件影响大等特点，通用的气体流量计量器具检定系统难以满足天然气计量的特殊专业需求。因此，尽快建立并完善与天然气计量特点相适应，满足天然气工业发展需要的天然气流量量值溯源系统，对于保证我国天然气流量计量的准确可靠是十分必要的。



# 完善天然气流量量值溯源体系建议

## 完善天然气流量量值溯源体系建议之三

建立我国天然气流量量值溯源系统应遵循如下基本原则：

- 须具备能模拟或补偿现场天然气流量计运行条件的天然气流量标准；
- 建立能进行天然气流量标准比对的传递标准及制定相应的比对方法；
- 建立能监测现场天然气流量仪表正常计量的核查标准及核查方法；
- 要充分考虑量化有关天然气物性参数在各量值溯源环节中的影响；
- 要尽可能保证天然气流量量值溯源过程的简捷、直接和易操作性。



# 完善天然气流量量值溯源体系建议

## 完善天然气流量量值溯源体系建议之四

国家原油大流量计量站成都天然气计量分站现有的国内最大的mt法天然气流量标准可作为在中低压条件下( 4.0MPa)进行量值溯源的天然气流量原级标准；拟建的西气东输工程计量检定中心的mt法天然气流量标准可作为中高压条件下(约为6.0MPa)进行量值溯源的天然气流量原级标准。上述两套装置相互补充、相互配套，可满足当前和今后相当一个时期我国天然气流量计量仪表在需要的压力和流量范围内以天然气为介质的实流检定需要。国家原油大流量计量站以空气为介质的钟罩式气体流量标准，可作为在接近常压条件下进行量值溯源的天然气流量原级标准，考虑到空气介质的相对稳定性及其物性参数的可靠性，该计量标准还可作为上述以天然气为介质的流量标准的相对参照，并可开展有关流量计量的基础试验。

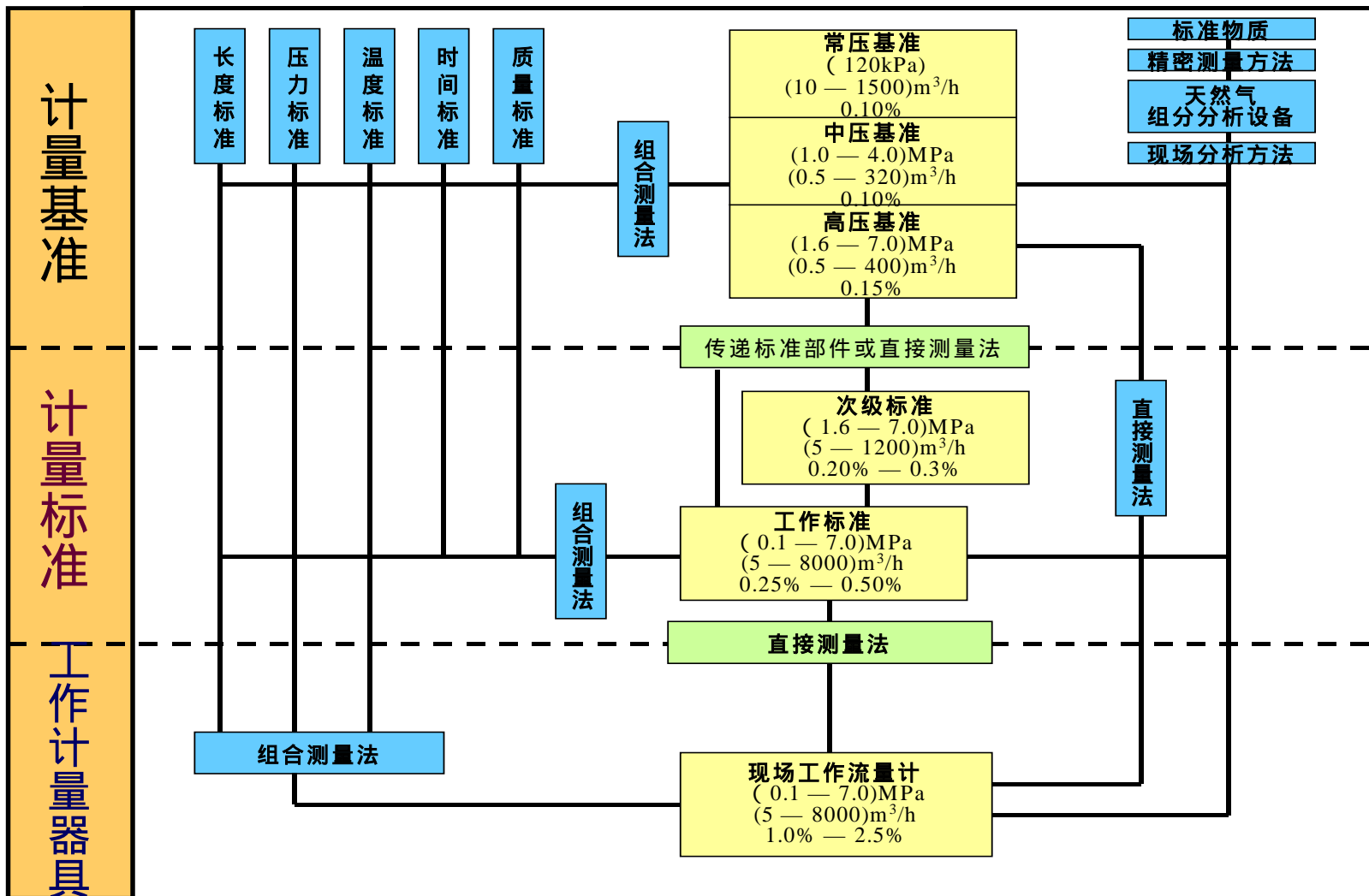


# 完善天然气流量量值溯源体系建议

## 完善天然气流量量值溯源体系建议之五

利用适当的传递标准及比对方法，将天然气流量量值溯源系统中上述三个原级标准结合起来，组成一个临时的天然气流量原级标准组。如果参加比对的三个原级标准的稳定性和复现性都很好，当比对结果具有可接受的差异时，这三套计量原级标准所复现的流量平均值可作为约定真值，并对各原级标准给出相应的修正值。这样的组合方式建立了流量量值从体积流量到质量流量、从常压运行条件到高压运行条件、从空气介质到天然气介质的相互关联，有利于量值溯源的封闭和统一。天然气流量原级标准组只负责次级流量标准中标准流量计的量值溯源或开展必要的基础性试验研究，原级标准组内各天然气流量原级标准的比对试验由发起单位负责组织。同时，可以参加国际或国外类似装置间的循环比对或非正式比对，以保证我国天然气流量原级标准组与国际上其他国家类似标准间的一致性。

# 完善天然气流量量值溯源体系建议

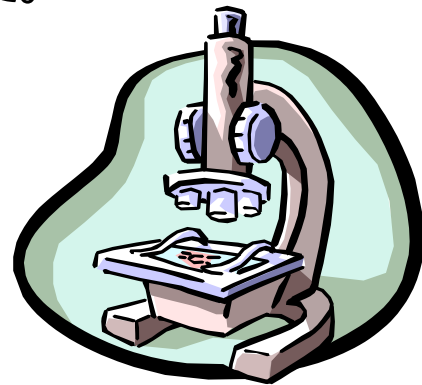


天然气流量量值溯源系统框图

# 完善天然气流量量值溯源体系建议

## 完善天然气流量量值溯源体系建议之六

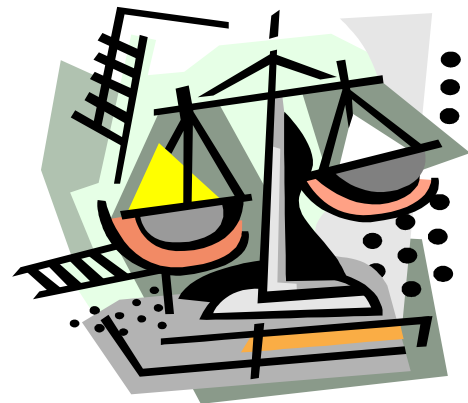
拥有天然气流量标准的国家原油大流量计量站及其成都天然气分站的两套用天然气作介质的临界流喷嘴次级标准可作为这两个国家级计量检定机构的工作标准。在拟建的西气东输工程计量检定中心初设中，考虑了天然气流量次级标准和工作标准两个溯源环节，流量量值由次级标准传递到工作标准后，再传递到现场流量仪表。这样设计的主要原因是合理限定天然气流量原级标准的规模和次级标准中标准流量计的数量，减少投资和运行成本。在天然气流量量值溯源系统中，要求检定或校准现场天然气流量仪表的工作标准应具有优于0.5%的流量测量不确定度。



# 完善天然气流量量值溯源体系建议

## 完善天然气流量量值溯源体系建议之七

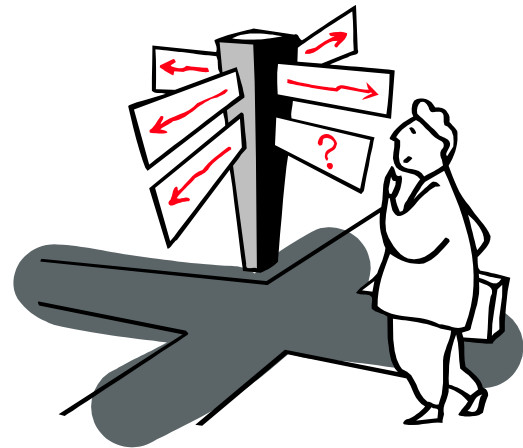
依托西气东输建立的天然气计量检定中心，其运作和管理必须具有相对独立性，以保证提供准确、公正的检测数据和结果。目前拟将该中心做为国家原油大流量计量站建在西气东输的高压大流量实验室进行管理，建立天然气流量计量的最高标准和工作标准，由国家原油大流量计量站负责中心的运行和管理，在授权范围内依法开展计量检定。目前，国家已授权国家原油大流量计量站在全国范围内开展天然气计量仪表的强制检定，但成都天然气计量分站的授权区域仅限于四川、云南，因此建议尽快扩大成都天然气计量分站的授权地理区域至全国范围。



# 完善天然气流量量值溯源体系建议

## 完善天然气流量量值溯源体系建议之八

由于建立天然气流量计量标准装置不仅技术难度和投资巨大，运行和维护成本十分可观，而且对设计、维护和操作人员的技术素质要求高。此外，从我国天然气长输管网的发展趋势看，长输管道必将跨越多个省市和地区。因此，建议国家计量主管部门应在充分研究论证的基础上进行统筹规划、依法授权和统一协调。依据《计量法》和《专业计量站管理办法》的规定，充分发挥专业计量站的作用。避免重复建设和量出多门，特别是区域性割裂，以保证全国天然气流量量值的准确统一。



# 完善天然气流量量值溯源体系建议

## 完善天然气流量量值溯源体系建议之九

目前，速度式流量计检定规程JJG 198-94涵盖了涡轮、超声、电磁等众多不同工作原理的流量仪表，且规定的检定周期一般不超过2年。与国外发达国家相比，国内天然气流量仪表的检定周期较短，如加拿大等北美国家和荷兰等欧洲国家，其贸易用天然气计量仪表的检定周期一般为4年至7年，而西气东输等重点工程所选流量仪表均为进口产品，与国外的选型基本一样。建议全国流量容量计量技术委员会应尽快根据天然气流量仪表的类别分别制定相应的检定规程，并适当延长检定周期，以满足我国天然气流量计量仪表实际检定的需要。



# 完善天然气流量量值溯源体系建议

## 完善天然气流量量值溯源体系建议之十

为保证我国天然气流量量值溯源体系的不断完善和努力提高我国天然气计量技术水平，建议尽快开展如下方面的研究：

- 高压天然气流量计量标准装置研究；
- 天然气流量计量核查标准及核查方法研究；
- 天然气流量计量传递标准及比对方法研究；
- 活动式天然气流量次级标准及检定校准方法研究；
- 天然气贸易计量系统统计控制方法研究；
- 智能天然气流量计量仪表检定方法研究。



## 结 论

1、全球范围内天然气需求的持续增长是二十一世纪世界能源发展的大趋势。我国天然气工业的快速发展不仅会对能源结构的调整产生重大影响，也会对促进环境保护发挥重要作用。

2、从我国天然气资源开发利用的现状分析，天然气勘探开发的前景十分广阔，以举世瞩目的西气东输工程为代表的天然气管网建设已经和必将成为我国国民经济持续发展的新的经济增长点。

3、随着我国天然气工业的快速发展，天然气计量技术的发展和天然气流量量值溯源体系的建立与完善是保证我国天然气工业顺利发展的重要条件。

4、从全球范围内天然气计量技术的发展趋势看，新型天然气计量仪表的应用和天然气流量计量仪表的实流检定已经成为天然气流量计量准确可靠的重要保证。

5、利用西气东输管道建设和我国天然气管网发展的大好契机，推动我国天然气流量量值溯源体系的不断完善，是当前和今后一个时期我国流量计量领域十分紧迫的任务。

## 结 束 语

中国石油作为我国最大的油气生产和供应商，始终将创造能源与环境的和谐作为其一贯的追求目标，通过科学公正和准确可靠的计量向社会提供优质、高效的清洁能源是我们义不容辞的社会责任。为此，中国石油愿与全国计量界的同仁共同为致力于我国天然气工业的发展和天然气流量量值溯源体系的建立与完善而不懈努力。





谢谢！

