

基于多气源的城市燃气供应研究

张嘉东

深圳市燃气集团股份有限公司

摘要: 随着城市快速发展,居民生活和工业活动对天然气需求越来越大。当前城市燃气气源主要为多气源供应,城市燃气企业承担着需求端和供应系统双向需求管理职责。采用仿真软件,基于气源组分数据,燃气企业可优化用气调配方案,满足不同用户的用气诉求,达到双赢。

关键词: 城市燃气;多气源;供应;仿真;双赢

1 背景

在天然气市场发展方面,纵观主要发达国家天然气市场发展历史,天然气市场在经历了基础设施落后、消费容量有限的启动期,相关工业快速发展、消费量迅速增长的发展期后,已逐步走向结构合理、市场化程度高的成熟期阶段^[1]。供应链系统的建设是为了实现需求端与供应端双向协同的管理,用来帮助决策者实现上下游资源一体化配置。随着低碳清洁能源的推广应用,天然气电厂在城市燃气供应的比例越来越高,燃气电厂对气质有较高的稳定性需求,要求燃气华白数的波动在一定范围内,越是大型燃气机组,对气质波动的范围要求越精准,而多气源的气质品质又参差不齐,因此对供气的品质开展质量边界控制研究就非常有必要,同时结合对多气源调度方式进行应用研究,从而全方位的提高燃气供应的安全性。

多气源调度方式是管网结构复杂的多气源大型城市燃气企业关注的重点内容。多气源调度方式是通过主动配气的方式控制好燃气供应的质量边界,从上游采购到中游输配,以满足下游燃气用户企业的需求。

结合气源采购、计量计价方式、库存优化、市场发展等方面,深度配合需求的周期性,提高企业的主动配气能力,降低用户用气成本,从而最终提升燃气企业的经营利润。

2 天然气供应链影响分析

我国天然气产业链包括气源(上游)、储运(中游)和分销(下游)3个环节。气源包括本土勘探开发生产的国产气及通过管道进口的管道进口气和海运进口的LNG,储运环节包括干线管道、省内管道、储气库和LNG槽车及罐箱运输,分销环节包括城市配气管网和加气站等。天然气产业健康发展的关键是产业链各环节的协调。各环节参与主体及运行和监管方式的不同形成了我国天然气产业链发展模式时间和空间上的差异。2022年4月国家管网开放服务及交易平台正式开市,将进一步提高油气行业市场化程度。我国天然气区域发展不平衡问题,包括天然气资源禀赋的差异、天然气消费水平的差异、储运设施差异和省级天然气管网运营模式差异等。在本地天然气资源

[第一作者简介]张嘉东,石油气公司经理,工程师,主要从事燃气的管理工作。

丰富的地区采用“一体化模式”，形成了“产、运、销、储”一体化运行的地面配套系统，实行天然气产输储销一体化运营。“自由竞争”模式，适用于没有或仅有小规模上游生产区块，也没有统一的覆盖全省的省管网公司的地区，以江苏和山东为代表。这类地区省内链接跨省长输主干管道与城市配气管网的中、高压管道主要为国家主干管线在省内的支干线和和其他各种主体建设的管道，天然气的价格由现货或期货交易形成，输气服务模式为区对区的实体交易模式确定运输价格^[2]。

深圳市天然气电厂用户相对于一般燃气用户来说，耗气量极大，对燃气不仅有热值要求，还有压力要求，对于城市燃气企业而言，向上游申报，向下游配气都需要在规定时间内做到信息传送准确无误。深圳市燃气电厂机组开启时和不开启时，对每日总需求负荷量的影响是巨大的。把总需求分为城市燃气用户和电厂用户，城市燃气包括了居民用户和一些大小型工商用户，当电厂开机运行时，当日耗气量可能甚至是城市燃气用户负荷数的数倍，同时由于电厂开启受电力现货市场影响，难以确定发电计划，这将导致深圳市燃气总负荷每日会有巨大的波动。

基于相关标准及互换性判定方法分析，以管道西二气为基准气，LNG气源替换或多种气源混合（包括迭福BOG）供应可满足城市燃气用户对华白数的范围要求（ $45.66\text{MJ}/\text{m}^3 \sim 54.77\text{MJ}/\text{m}^3$ ^[3]）。而电厂用户对气质要求更为严格，如表1所示，深圳燃气目前供应的电厂机组要求天然气的华白数和热值等成分指标偏差均不能超过 $\pm 5\%$ 。统计分析发现，所有燃气电

厂高负荷运转时，电厂当日用气量占比最高达到当日总负荷气量的80%。根据2021年用户用气数据，电厂用气量占全年供气总量46%，考虑到电厂不是每日用气，可以发现电厂用气对总负荷量产生较大的扰动。

在上游气源单位供气能力可完全满足下游用户需求的前提下，考虑到每日气量变化较大，增加了气量平衡工作的难度。利用管网模拟仿真技术，针对电厂开启情况和气源日指定量情况进行模拟分析，优化供气方案，确保当日指定气源计划满足电厂及城燃用户用气量需求的同时，保障电厂用户热值和供气压力要求。未来随着国家管网开放服务及交易平台上线，相关制度不断完善，城市燃气输配采购将变得更加灵活，中间流转流程更加简化有利于降低运营成本，增加经济效益^[4]。

3 多气源背景下的输配调度

消减峰谷差是保证天然气平稳供应和改善民生、环境，促进经济稳定、健康、有序发展的重要手段。为解决越来越大的城市燃气峰谷差，可采用建设LNG调峰储备站对城市燃气进行季节调峰和应急储备。

3.1 多气源调峰和应急保障研究

根据2021年深圳市管道天然气月供气量分析，夏季电厂用户用气量增加，夏季月供气量相比冬季最高相差 $4\ 485 \times 10^4\text{m}^3$ 。图1分别选取了2021年夏季及冬季某日城市燃气用户小时用气曲线，冬季小时用气峰谷较为明显，峰谷差为 $17.5 \times 10^4\text{m}^3/\text{h}$ 。为了有效调峰，提高气源应急保障能力，深圳市先后引进了广东大

表1 深圳燃气供应的电厂装机及供气要求情况

电厂名称	机组类型	装机容量 (MW)	热值要求	华白数要求
钰湖电厂	PG9171E (9E)	180×2	波动 $\leq \pm 5\%$	波动 $\leq \pm 5\%$
宝昌电厂	PG9171E (9E)	180×2	波动 $\leq \pm 5\%$	波动 $\leq \pm 5\%$
南天电厂	GT13E2 (9E)	243×1	波动 $\leq \pm 5\%$	波动 $\leq \pm 5\%$
南山电厂	PG9171E (9E)	180×2	波动 $\leq \pm 5\%$	波动 $\leq \pm 5\%$
华电厂	PG6111FA (6FA)	120×1、 245×1	波动 $\leq \pm 5\%$	波动 $\leq \pm 5\%$

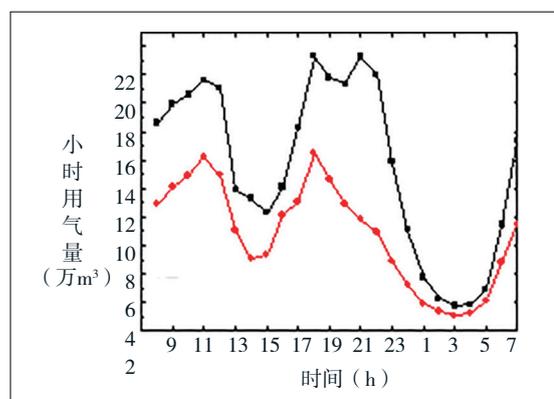


图1 城市燃气用户冬季及夏季小时用气量曲线
(来源于深圳燃气运营数据)

鹏LNG（通过安托山门站及坪山门站输送，以下简称“大鹏LNG”）、中海石油深圳LNG（通过迭福门站输送，以下简称“迭福LNG”）和深圳市华安天然气应急储备库（以下简称“华安LNG”）3个LNG气源。

LNG气源的引进在发挥应急调峰作用的同时给调度运行带来新的挑战，主要表现在调峰方案的科学制定及电厂供气的安全保障两个方面。在制定调峰方案时需对调峰量及调峰气源启闭时间进行精确计算，在保障管网安全稳定运行的同时，确保向上游气源供应商申报采购量的准确性。对于电厂用LNG气源的引进在发挥应急调峰作用的同时给调度运行带来新的挑战，主要表现在调峰方案的科学制定及电厂供气的安全保障两个方面。在制定调峰方案时需对调峰量及调峰气源启闭时间进行精确计算，在保障管网安全稳定运行的同时，确保向上游气源供应商申报采购量的准确性。对于电厂用户，燃气轮机机组对燃气品质的要求较为严格，气源调度时需重点关注气质的稳定性问题。如果供应电厂的燃气品质达不到机组运行要求，将会影响其正常运行，严重时将会导致机组停机，造成供电事故。深圳市燃气电厂装机机组有9E、9F和6FA这3种类型，不同类型机组对燃气稳定性要求各异。而深圳市天然气气源共有4种，如表2所示。为了保障电厂机组的安全运行，多种LNG如何进行调配，新气源对既有气源能否互换，是多LNG气源调度中需考虑的问题。

表2 深圳市天然气气源与产地

天然气气源	产地
西气东输二线气	土库曼斯坦、哈萨克斯坦等中亚国家
大鹏LNG	澳大利亚等国家
华安LNG	马来西亚等国家
迭福LNG	卡塔尔等国家

3.2 多气源质量边界控制研究

目前国内外大型燃气公司已采用管网模拟仿真技术，通过真实系统的模型进行实际系统的计算分析和处理，计算出未来不同条件下的管网运行情况，以及参数条件变化后系统可能发生的变化。仿真技术应用与城市燃气输配系统，根据模拟的工况合理设置计算条件，可模拟实际管网的运行状况。目前在国际上应

用较为广泛的有TGNET、SPS、Win Flow、Win Tran、PCASIM、Synergi Gas等等，能对燃气管网进行稳态及非稳态模拟计算，用于新管网的规划设计、旧管网的改造、短时期内的前景预测和风险预案制定、输配优化、应急调度等^[4]。

深圳市目前共有4种天然气气源，通过高压管网供应5座电厂，经次高压管网供207万城市用户。多气源、多用户的供气格局下，管网仿真技术在优化调度方面发挥重要作用。利用仿真系统可模拟气源、管道、阀门、调压站等事故工况，为失效模式下的供气保障方案提供决策支持；实时抓取SCADA系统的监测数据进行仿真分析，预测高峰时段和调峰量，辅助调度员进行调峰；实时分析电厂用户端天然气的组分和物性参数（热值、华白数等）的变化并进行预警，避免因天然气组分的变化造成电厂供气风险。管网模拟仿真计算能够通过给气源设置不同的组分，来计算下游用户的用气组分变化，热值变化。

相对于传统的气源互换性与气体质量边界的研究，管网的模拟仿真技术能够得到更加精确的结果，在确定气源组分的情况下，计算出管网中每1个用户的用气组分的变化和热值的变化，同时也能够查看用气压力变化和温度的变化。通过这些仿真技术，能够在满足下游用户需求的情况下，灵活运用上游的采购策略，优化气源采购方案。

深圳燃气2017年引进Synergi Gas仿真软件，应用于日常供气方案的仿真模拟。通过定义气源气质组分，可以模拟不同来源的气源混合供应情况，模拟计算电厂用户端热值变化。如图2所示，根据当日色谱仪采集的组分值数据，对坪山门站大鹏气进行组分定义。



图2 气源组分赋值

对各门站定义气源组分后,可以进行水力计算,并查看仿真模拟结果。图3为仿真软件计算出的某电厂高热值及低热值曲线图,可以看出当日不同气源混供至该电厂引起的热值变化情况,通过分析其波动值可判定是否满足机组运行要求。

目前深圳燃气气源数量有4个,气源接收的门站供应能力大于下游用气的负荷能力,具有较大的调节空间。同时由于各气源组分热值不同,计价方式也不同,这体现在气源端和用户端。有些气源为热值计价,有些气源为体积计价,电厂用户普遍采用热值计价,普通居民及工商用户普遍采用的是体积计价方式。

我们可以通过结合模拟仿真的计算工具,得到每个用户的气体组份来源,来达到这些目的。如表3

所示为不同气源组分组成表。

如图4所示,为深圳燃气气源供应范围示意图。求雨岭门站的气源为西二线气;坪山门站的气源为大鹏LNG。利用Synergi Gas分析西二气与大鹏LNG混合供气压力及热值变化情况,并优化供气方案。分析结果显示,两种气源同时向高压管网供气时,钰湖电厂和华电电厂的热值波动较大,开机期间超过5%,不满足要求。进一步优化供气方案,将西二线气经求雨岭门站调压供应城燃用户,不向高压管网供气,结果显示,各电厂压力均稳定,且热值波动均不超过5%,满足开机要求。除了通过门站控制供气来源外,还可以通过开闭关键位置阀门调节气源流量,来测算下游用户的压力、热值和流量的变化,并对比

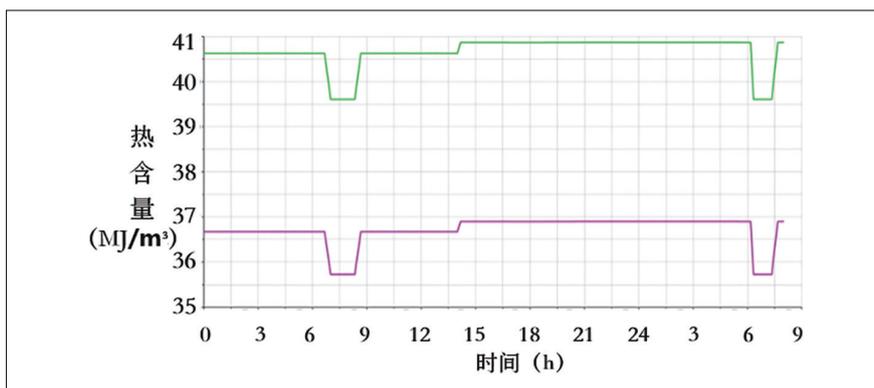


图3 某电厂的高热值和低热值变化

表3 不同气源组分组成表

组分(下标)	西二线		LNG(大鹏)		组分高热值 (MJ/Nm ³)
	组分含量(%)	高热值(MJ/Nm ³)	组分含量(%)	高热值(MJ/Nm ³)	
CH ₄	93.93	37.40	91.99	36.63	39.82
C ₂ H ₆	2.29	1.61	6.71	4.72	70.30
C ₃ H ₈	0.35	0.35	0.88	0.89	101.20
C ₄ H ₁₀₋₁	0.05	0.06	0.11	0.15	133.80
C ₄ H ₁₀₋₂	0.06	0.08	0.16	0.21	132.96
C ₅ H ₁₂₋₁	0.00	0.00	0.00	0.00	169.26
C ₅ H ₁₂₋₂	0.00	0.00	0.00	0.00	169.26
O ₂	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00
N ₂	1.99	0.00	0.13	0.00	0.00
CO ₂	1.13	0.00	0.00	0.00	0.00
组合	100.00	39.51	100.00	42.60	/
相差百分比			7.83%		

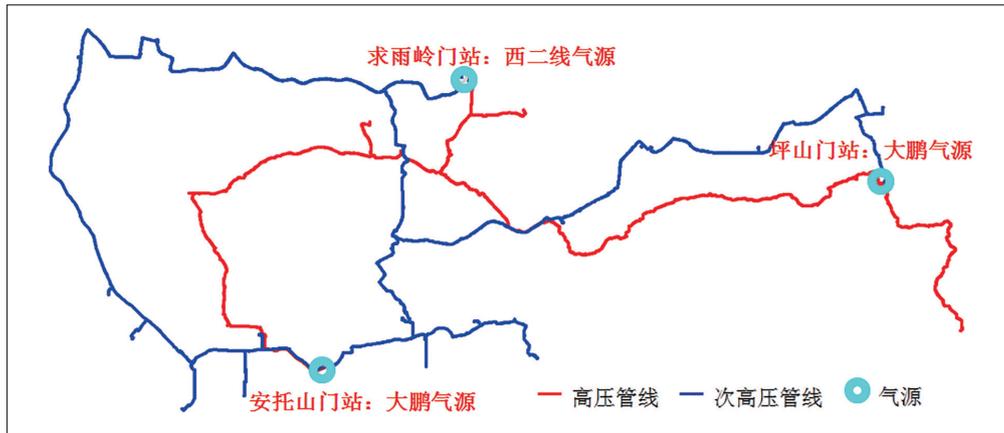


图4 气源供应的范围显示

筛选出对企业供气、用户用气都达到满意的最优的供气方案。

深圳燃气一方面需要做好上游管道气源与进口LNG资源的有序调配，保证天然气正常供应；另一方面由于气源供应来源多等原因，通过科学合理平衡供气压力稳定与供气热值波动之间的关系，采取主动配气方案，同时满足企业长远发展和用户用气满意的双向诉求。

考虑到上游气源供应情况，设定管网中气源供给端的最低供应量 and 最高供应量，通过仿真模拟，筛选出在满足管网不超压的前提下，同时满足所有用户用气量和交付期限的方案，结合各个气源的压力和热值波动，可以得到满足各边界条件下的最优输气方案，根据选择结果，指导上游气源采购（如图5所示）。

3.3 多气源仿真模拟研究

根据历史数据统计分析，作为南方城市的深圳市相比国内北方城市的调峰系数要小很多，燃气月、日、小时最大不均匀系数分别为1.35、1.108、1.6，最大日用气量为全年平均日用气量的1.496倍。为了平衡气量调度，深圳燃气利用LNG气源进行调峰，但同时需精确计算LNG气源调峰量及调峰时间，合理制定LNG气源采购计划及调峰方案。以小时调峰为例，为保障次高压管网的安全稳定运行，次高压管网压力需保障不低于1.1MPa。通过下游需求量计算出次高压管网上罗芳调压站压力曲线，进站压力在10:00~15:00及17:45~23:40两个高峰时段内低于1.1MPa，不满足输配要求，此时计划采用大鹏LNG进行调峰。

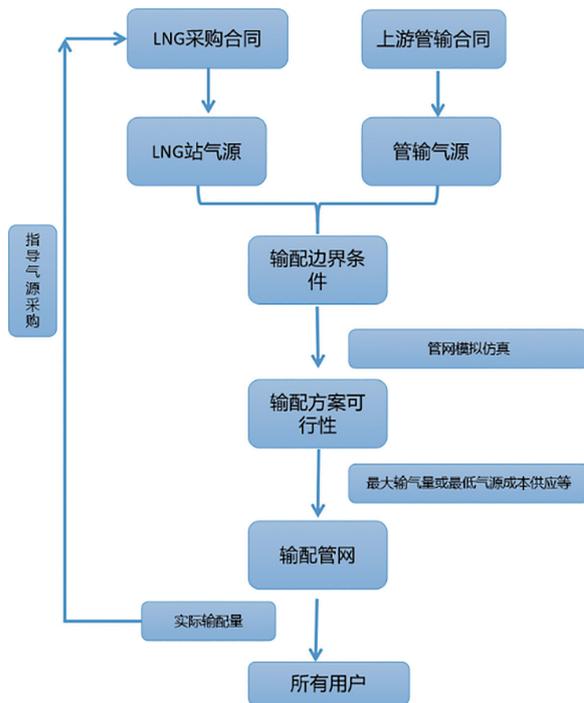


图5 分配优化方案形成流程

通过仿真分析，在9:20~13:00、17:50~21:00及22:00~23:10启用LNG气源，供应天然气 $25.5 \times 10^4 \text{m}^3/\text{日}$ ，可保障次高压管网所有调压站压力始终高于1.1MPa。

当日，依据仿真计算结果供应LNG气源，保障了管网的稳定供气。经对比，当日罗芳调压站进站压力实测曲线与仿真压力曲线吻合，如图6所示。

因此，在研究多气源对电厂机组的互换性影响时，在华白数波动满足要求的前提下，利用仿真系统实时抓取系统采集的组分数据，分析电厂端天然气的热值波动情况，提前进行预警。由图4可知，东

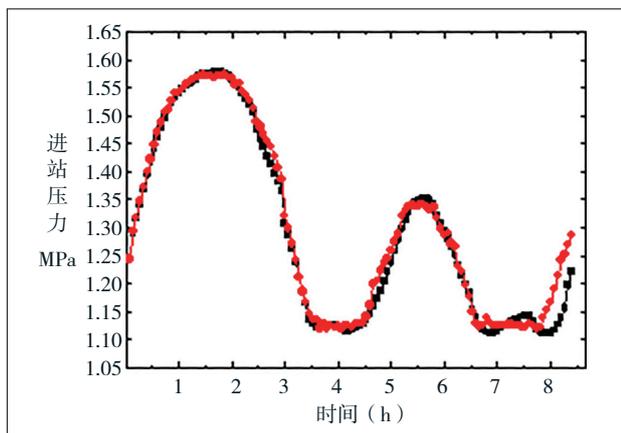


图6 罗芳调压站进站压力实测与仿真压力曲线

部区域华电电厂面临大鹏LNG、迭福LNG、华安LNG及西二气4个气源混合供应的复杂工况。仿真研究显示,西二气与LNG气源供华电的混气热值波动高达7.14%,如图7所示。需采取措施进行调整来避免出现电厂因气质波动引发跳机继而危及电网安全的事件出现,控制气源的质量安全边界就是要控制好进入管网的气质品。例如,通过阀门隔离气源分段供气,通过在接收站气化时控制进入汽化器的液态LNG,以及通过多汇管控制混合不同气质的管输天然气等综合措施来保障电厂端的天然气热值波动小于 $\pm 5\%$ 。

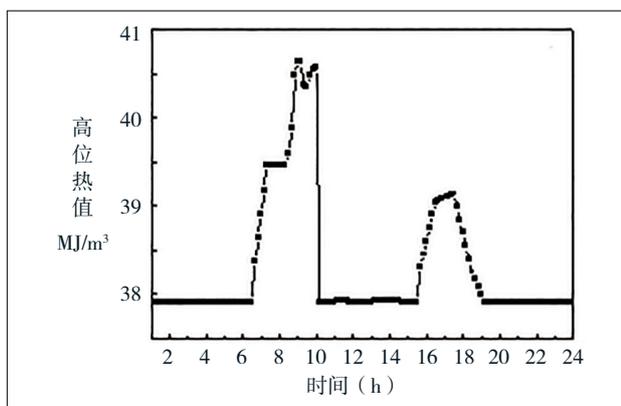


图7 西二气与LNG混供电厂高位热值曲线示意图

3.4 多气源互换性分析研究

深圳市主要的天然气气源的组分及热值、华白数情况如表4所示,迭福BOG是来源于迭福LNG接收站的闪蒸汽。我国参照国际燃气联盟(IGU)根据互换性概念利用华白数和燃烧势对燃气的分类方法颁布了GB/T 13611-2018《城镇燃气分类和基本特性》^[3]。

表4 天然气气源的组分及物性(mol%)

气源	西二气	大鹏 LNG	迭福 LNG	华安 LNG	迭福 BOG
C1	93.59	90.18	93.26	91.86	98.28
C2	3.54	7.16	5.20	4.25	0.05
C3	0.57	1.85	0.93	2.54	0
iC4	0.06	0.24	0.20	0.54	0
nC4	0.07	0.34	0.24	0.51	0
iC5	0.02	0.04	0.02	0.02	0
nC5	0.02	0.01	0	0	0
C6	0.03	0	0	0	0
N ₂	1.25	0	0.14	0.28	1.67
CO ₂	0.82	0	0	0	0
高热值 (MJ/m ³)	37.91	40.62	39.43	40.51	36.51
华白数 (MJ/m ³)	50.03	50.94	51.05	50.49	48.70

4 总结

国家石油天然气管网集团的成立促进了城市燃气企业与不同用户等市场主体参与天然气交易频率,同时也为燃气企业带来了开展气源供应及气源调度挑战。当前,多气源供应已经成为城市燃气运营常态,管网的互连互通也逐步形成,在如何更好地发挥燃气企业中流砥柱的中间力量上,应积极寻求上游与燃气企业、燃气企业与下游之间的双向奔赴。为进一步加大上游气源供应的灵活性和下游不同用户用气需求的满意度,通过开展管网仿真技术,基于气源组分数据,针对不同气源组分开展了模拟研究,满足不同用户的用气诉求为实现上述目标提供了可供参考的依据。

参考文献

- [1]董聪,董秀成.中国天然气交易中心建设与价格形成机制研究[J].价格理论与实践,2018(12):4.
- [2]童晓光,郑炯,方波.对我国构建天然气交易中心的战略思考[J].天然气工业,2014,34(9):10.
- [3]GB/T 13611-2018 城镇燃气分类和基本特性.
- [4]陈蕊,孙文字,吴珉颖.国家管网公司成立对中国天然气市场竞争格局的影响[J].天然气工业,2020,40(3):9.