

天然气分布式能源分阶段补贴机制

王雁凌, 徐丹蕾, 马洪宇, 梁冰

(华北电力大学电气与电子工程学院, 北京市 102206)

摘要: 当前中国天然气分布式能源补贴政策较为欠缺, 仅少数省市出台了相关政策, 且补贴模式仍存在不足, 亟须制定补贴指导性标准。首先结合特定项目分类方式和项目实际发展阶段规律, 提出了天然气分布式能源分阶段补贴机制, 同时提出了能源项目发展阶段界定办法。其次建立了基于内部收益率法的天然气分布式能源补贴测算模型, 定量分析了补贴额度与能源项目内部收益率之间的关系。最后分析了上海市分阶段补贴算例, 为各省市天然气分布式能源补贴政策的制定提供了参考。

关键词: 天然气分布式能源; 内部收益率; 补贴机制

0 引言

天然气分布式能源可同时为用户提供冷、热、电等产品, 实现了能源的梯级利用, 有效促进了综合能源利用效率的提高^[1]。推动天然气分布式能源的健康有序发展有助于能源结构优化升级, 是中国未来能源产业的重要发展方向。国家发改委发布的《关于发展天然气分布式能源的指导意见》及《电力发展“十三五”规划》等文件都对发展天然气分布式能源提出了要求。

由于中国天然气分布式能源原动机及控制装置主要依赖进口, 项目整体造价高昂。同时, 国内天然气价格偏高, 又加重了项目的运行负担^[2]。天然气分布式能源的发展受到投建成本及运行成本高昂的双重压力, 令已投建项目经营困难, 未投建项目望而却步, 亟须政府提供一定的补贴。

中国天然气分布式能源起步较晚, 国家层面的配套支持政策和具体落实措施仍然缺乏, 也未对各省市补贴提出明确要求, 目前仅有上海市^[3]、长沙市^[4]和青岛市^[5]出台了相关补贴政策, 且补贴模式仍存在不足, 亟须制定天然气分布式能源补贴指导性标准。

部分学者对天然气分布式能源补贴进行了研究。文献[6-7]总结了国内外天然气分布式能源发展现状和政策, 归纳了对天然气分布式能源的补贴主要包括上网电价补贴、气价优惠、贷款贴息、税收

减免、技术研发补贴、投资补贴等。文献[8]总结了日本天然气分布式发展动态及启示, 建议国内加快技术研发和具体补贴标准的制定。文献[9]提出了基于成本法、基于节能量法的分布式天然气上网电价定价机制。文献[10]对现有政策下的能源价格策略进行了分析, 提出了上网电价及气价参考范围。文献[11]探讨了不同补贴政策对天然气分布式能源发展的影响。文献[12]分析了补贴政策对缩短投资回收期方面的作用。文献[13]简单提到了补贴的制定应根据容量规模分类, 容量较小的项目所需补贴额度高于容量较大的项目。

已有文献大部分都停留在补贴方案定性分析上, 缺乏对补贴的定量研究。本文针对天然气分布式能源补贴进行了系统性定量研究, 提出了按天然气分布式能源项目所处发展阶段分类的分阶段补贴机制, 并建立了基于内部收益率(IRR)的补贴测算模型, 最后通过对上海市能源项目的算例分析, 为各省市天然气分布式能源补贴政策的制定提供了参考。

1 现行补贴政策问题分析

现行天然气分布式能源补贴政策主要存在缺乏统一性、不够系统全面、条件设置不科学、发放方式欠妥四方面的问题。

1) 缺乏统一性。天然气分布式能源补贴政策还未出台国家层面的统一性规范, 各省市各行其是, 大部分省市仍缺乏具体支持政策, 仅上海市、长沙市和青岛市出台了相关补贴文件, 但三地的补贴内容、补

贴范围、补贴金额也是差异较大。

2)不够系统全面。现行补贴政策的制定缺乏系统全面的考量:一是能源项目分类方式较为简单,长沙市补贴分楼宇型和区域型,上海市补贴以单机容量是否超过10 MW来划分,缺少对不同项目成本及盈利能力的深入研究;二是补贴内容不够完整,现行政策仅分为设备投产补贴和能效补贴,忽略了对项目在培育期阶段发电利用小时数较低时的运行补贴。

3)条件设置不科学。仍以上海市补贴为例,在能效激励补贴方面,对综合能效设置70%和80%的阶梯补贴思路值得借鉴,但由于缺乏培育期运行补贴,能效补贴对年发电利用小时数要求较低,仅要求达到2 000 h或3 000 h,与天然气分布式项目6 000 h的年发电利用小时数规划值相去甚远,不利于发挥补贴制度在提高项目达产率上的政策导向。

4)发放方式欠妥。现行能效激励普遍采用一次性补贴的方式,不能起到促进项目尽快提高能效的作用,也无法监督项目在获得补贴之后的年份继续维持高效运行。同时,一次到位的补贴方式也加重了政府的财政负担。

因此,对现行补贴政策进行以下几点调整:一是对天然气分布式能源项目进行分类;二是在培育期阶段加入运行补贴;三是提高能效激励补贴对发电利用小时数的要求;四是补贴发放采用逐年给予的方式。在此基础上,提出天然气分布式能源分阶段补贴机制。

2 分阶段补贴机制

2.1 分阶段补贴原则

分阶段补贴原则围绕补贴对象、补贴内容、测算方法和补贴效果展开。

1)合理分类补贴对象

综合考虑项目供能范围和燃机类型,并结合调研中现有项目单位造价及运维费用上的显著差异,补贴机制将按楼宇型、区域内燃型和区域航改型项目分类制定。

2)帮扶项目渡过培育期

从项目运营周期来看,天然气分布式能源项目的发展历程主要分为培育期和成熟期两个阶段。在培育期阶段,由于天然气分布式能源项目造价高昂,项目初期资本金投入大、贷款数额较高,严重加重了企业的经营负担,需要政府提供一定的投产补贴。国外在分布式能源发展的初期一般也采用投资补贴

政策。其次,天然气分布式能源项目在培育期普遍存在发电利用小时数及综合能源利用效率偏低的情况,项目培育期亏损严重,需要对培育期内企业给予运行补贴。

3)激励成熟期项目持续高效运行

为了防止出现调研中部分企业片面追求发电利用小时数而忽略能效的情况,激励天然气分布式能源企业进入成熟期后继续积极开拓市场,提高能效,充分实现天然气分布式能源提高综合能源利用效率和促进节能减排的建设初衷,需要建立相关能效激励补贴。同时,将参考上海市的补贴政策设置70%和80%的能效阶梯激励。

4)科学测算补贴额度

参照风电、光伏等上网电价补贴测算常用方法,运用现有成熟的内部收益率(IRR)法为基础,对天然气分布式能源补贴额度进行测算。由于投产补贴及培育期运行补贴均处于项目投产前期,将对两者的合计值,即培育期扶持补贴进行测算,其补贴目的在于使项目获得基本收益。而成熟期能效补贴主要起到激励与奖励的作用,补贴额度不宜过高。

5)不增加财政负担下优化补贴效果

补贴在实际发放时可采用多种方式,如一次性补贴或逐年补贴等,但考虑到国内税制原因,以及对天然气分布式能源项目的激励及监督作用,在不增加财政负担的前提下最大化补贴效果,建议采用逐年给予补贴的方式。

综上,天然气分布式能源的补贴机制将按照楼宇型、区域内燃型、区域航改型项目分类制定,并根据项目所处发展阶段分别提供培育期扶持补贴和成熟期能效激励补贴。如图1所示,培育期扶持补贴包括投产补贴和培育期运行补贴;成熟期能效激励补贴,又细分为综合能效达到70%和80%时的阶梯能效激励补贴。采用逐年给予补贴的发放原则,并运用内部收益率法对培育期扶持补贴额度及成熟期能效激励补贴额度进行科学测算。

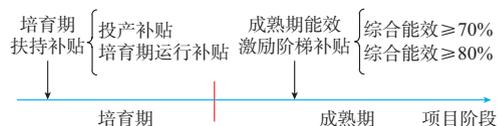


图1 项目分阶段补贴
Fig.1 Project subsidy by stages

2.2 能源项目发展阶段界定办法

为有效落实分阶段补贴,对不同发展阶段的项目提供对应阶段的补贴内容,提出天然气分布式能源项目发展阶段界定办法。

当前国内对于天然气分布式能源项目发展阶段的界定办法较为单一,通常按一定年限来简单划分。在实际运营中,天然气分布式能源项目的负荷发展受到用户类型、客观因素等诸多影响,仅凭年限来判断企业是否进入成熟期,缺乏科学性,需结合天然气分布式能源负荷发展情况具体指标及培育期年限,完善项目发展阶段界定办法,如图2所示。

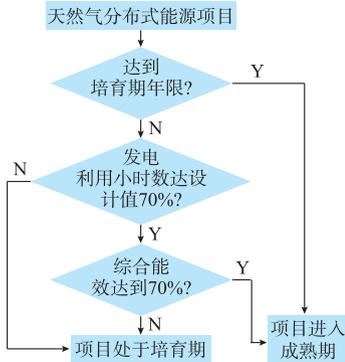


图2 项目发展阶段界定办法
Fig.2 Definition method for development stage of a project

天然气分布式能源项目在进入成熟期后应具备较高的综合能源利用效率和发电利用小时数。根据国内其他类型发电项目的运营经验,以及国家发改委颁布的《关于发展天然气分布式能源的指导意见》中对天然气分布式能源的定义,将项目是否满足综合能源利用效率达到70%和机组发电利用小时数达到设计值的70%纳入界定办法。

考虑到部分项目发展缓慢,较长时间后依然无法满足成熟期特征,需要设定培育期年限。由于不同天然气分布式能源项目情况差异较大,难以制定统一的年限标准,需由各地政府及相关部门结合项目类型特征及当地负荷增长实际情况,合理设置培育期年限。

值得强调的是,若未同时满足成熟期发电利用小时数和综合能效要求,仅因超过培育期年限而被判定处于成熟期的项目,不予提供成熟期能效补贴;在培育期年限内,提前达到成熟期发电利用小时数及综合能效要求的项目,可自行选择培育期扶持补贴或成熟期能效激励补贴。将分别设置两类补贴的额度范围,以防止出现过度依赖培育期补贴导致发展缓慢,或是补贴额度过高造成政府财政负担过大的局面。

3 天然气分布式能源补贴测算模型

3.1 分阶段补贴额度测算模型

测算天然气分布式能源补贴需要建立在整个项

目经营期内,考虑到内部收益率法的适用性与成熟性,应用内部收益率法为基础进行建模。内部收益率可以分为项目内部收益率^[14]和资本金内部收益率两种^[15],为了更直接地体现业主的投资收益情况,选用资本金内部收益率,公式如下:

$$L_{NPV} = I - \sum_{i=1}^a \frac{M_{1i} - N_i}{(1+r)^i} - \sum_{i=a+1}^n \frac{M_{2i} - N_i}{(1+r)^i} = 0 \quad (1)$$

式中: L_{NPV} 为经营期资本金累计净现值; I 为资本金投入; a 为标杆数据培育期年数; M_{1i} 为培育期第*i*年的现金流入额; M_{2i} 为成熟期第*i*年的现金流入额; N_i 为第*i*年的现金流出额; r 为内部收益率; n 为项目经营周期。

$$M_{1i} = Q_{ei} p_e + Q_{hi} p_h + Q_{ci} p_c + S_1 + R_i \quad (2)$$

$$M_{2i} = Q_{ei} p_e + Q_{hi} p_h + Q_{ci} p_c + S_2 + R_i \quad (3)$$

$$N_i = Q_{gi} p_g + C_{wi} + C_{mi} + C_{si} + C_{ri} + C_{oi} + C_{fi} + C_{ti} \quad (4)$$

式中: Q_{ei} 为第*i*年售电量; p_e 为电价; Q_{hi} 为第*i*年售热量; p_h 为热价; Q_{ci} 为第*i*年售冷量; p_c 为冷价; R_i 为其他收入; S_1 为培育期补贴; S_2 为成熟期补贴; Q_{gi} 第*i*年用气量; p_g 为气价; C_{wi} 为第*i*年水费; C_{mi} 为第*i*年材料费; C_{si} 为第*i*年职工薪酬; C_{ri} 为第*i*年运维费用; C_{oi} 为第*i*年其他费用; C_{fi} 为第*i*年财务费用; C_{ti} 为第*i*年税收费用。

在具体测算培育期补贴额度时, S_2 取0, r 取某一特定值 r_1 ,通过调整 S_1 使式(1)成立,此时 $S_1 = S_{1a}$ 即为培育期年补贴。

在具体测算能效激励补贴时, $S_1 = S_{1a}$,进一步提升 r 至 r_2 时,使式(1)成立的 $S_2 = S_{2a}$ 即为成熟期能效激励年补贴。

3.2 标杆数据选取

标杆数据的选取分为通用基础数据、分能源项目类型数据和分地区数据三类,按行业及地区平均水平取值。

1)通用基础数据包含项目经营年限、建设期参数、发电利用小时数设计值、培育期与成熟期负荷参数等指标,详细数据见附录A表A1。

2)分能源项目类型数据按楼宇型、区域内燃型、区域航改型进行分类,包含单位造价、发电装机、检修费用等指标,详细数据见附录A表A2。

3)分地区数据根据各地实际情况具体制定,包括电价、气价、冷热价、燃气低位热值等指标。

4 算例分析

上海市天然气分布式能源项目样本较为丰富和全面,且当地财政接受能力相对较强,以上海市为例

进行算例分析。首先制定上海市标杆数据,详细数据见附录 A 表 A3,其次运用内部收益率法对培育期扶持补贴额度及成熟期能效补贴额度进行测算分析。

4.1 培育期扶持补贴

首先对现行电价下培育期扶持补贴进行研究,测算得到此时所需补贴额度过高,可执行性差,需对电价进行调整后测算。

1) 现行电价下培育期扶持补贴

首先测算执行现行电价,使内部收益率分别达到 0%,1%,3% 时的培育期补贴额度,测算结果见附录 A 表 A4。

在现行电价下,无补贴时楼宇型和区域内燃型项目亏损严重,区域航改型略有盈利。仅通过补贴提高项目内部收益率所需补贴金额过高,给地方政府财政造成较大压力,可执行性差,应结合电价调整、气价优惠、税收优惠等共同分担。各因素变动都可通过修改标杆数据体现,算例中考虑电价调整。

本文认为合理的电价是使得项目至少维持保本或获得基本收益,引用附录 A 表 A5 中上海市分类标杆电价测算结果对算例电价进行调整。

楼宇型和区域内燃型项目电价上涨幅度较大,建议采用内部收益率 0% 时的标杆电价。此时楼宇型电价为 0.984 2 元/(kW·h),区域内燃型电价为 0.912 6 元/(kW·h)。

区域航改型项目单位造价及运维费用相对较低,盈利能力远超过楼宇型和区域内燃型,且项目装机容量较大,通过补贴进一步提高内部收益率造成财政负担过高。若将区域航改型项目电价调整为内部收益率 5% 时的标杆电价,此时电价水平为 0.763 5 元/(kW·h),相较其他两类项目依然偏低。因此,区域航改型项目采用内部收益率 5% 时的标杆电价,在此基础上不再额外提供培育期补贴。

2) 标杆电价下培育期扶持补贴

以下测算楼宇型、区域内燃型项目采用内部收益率 0% 时的标杆电价,使内部收益率分别达到 1% 或 3% 时的培育期补贴额度,测算结果见表 1。

4.2 成熟期能效补贴

区域航改型项目通过能效补贴进一步提升内部收益率时,所需补贴过高,因此,按楼宇型和区域内燃型中的较低标准执行。

楼宇型和区域内燃型项目在采用内部收益率 0% 时标杆电价及内部收益率 1% 或 3% 时培育期扶持补贴下,内部收益率增长相同幅度所需能效补贴差异较小,取两种情况下的能效补贴平均值,测算结果见表 2。

4.3 补贴额度分析及推荐

综合上述测算结果,上海市天然气分布式能源项目电价、培育期扶持补贴及成熟期能效激励阶梯补贴额度推荐范围汇总见表 3。

表 1 标杆电价下培育期补贴额度
Table 1 Subsidy measurements of rearing stage based on benchmarking electricity price

类型	IRR=0%时标杆电价/ (元·(kW·h) ⁻¹)	补贴后 IRR=1%		补贴后 IRR=3%	
		单位容量年补贴/ (元·(kW·a) ⁻¹)	培育期补贴 合计/万元	单位容量年补贴/ (元·(kW·a) ⁻¹)	培育期补贴 合计/万元
楼宇型	0.984 2	470	3 311	1 238	8 718
区域内燃型	0.912 6	399	2 812	1 052	7 409

表 2 成熟期能效补贴额度
Table 2 Subsidy measurements of mature stage

类型	补贴后 IRR+0.5%		补贴后 IRR+1%	
	单位容量年补贴/ (元·(kW·a) ⁻¹)	成熟期能效补贴合计/ 万元	单位容量年补贴/ (元·(kW·a) ⁻¹)	成熟期能效补贴合计/ 万元
楼宇型	70	1 979	143	4 002
区域内燃型	60	1 683	121	3 403

表 3 上海市分阶段补贴额度推荐范围汇总
Table 3 Recommended range of subsidy by stages in Shanghai

类型	标杆电价/ (元·(kW·h) ⁻¹)	培育期单位容量年补 贴/(元·(kW·a) ⁻¹)	培育期扶持 补贴/万元	成熟期能效激励阶梯单位容量年补贴/ (元·(kW·a) ⁻¹)		成熟期能效 激励补贴/万元
				综合能效≥70%	综合能效≥80%	
楼宇型	0.984 2	470~1 238	3 311~8 718	70~107	107~143	1 979~4 002
区域内燃型	0.912 6	399~1 052	2 812~7 409	60~91	91~121	1 683~3 403
区域航改型	0.763 5			9~13	13~18	1 700~3 400

电价采用上述标杆电价时,考虑到财政压力,按较低额度进行建议,推荐楼宇型项目培育期扶持补贴额度 3 300 万元,成熟期能效激励补贴额度 2 000 万元;区域内燃型项目培育期扶持补贴额度 3 000 万元,成熟期能效激励补贴额度 1 700 万元;区域航改型项目由于执行内部收益率 5%时电价,不提供培育期扶持补贴,成熟期能效激励补贴额度 1 700 万元。

5 结论

1)针对当前天然气分布式能源项目经济效益较差,运行艰难,而补贴政策较为欠缺的情况,提出了天然气分布式能源分阶段补贴机制,并运用内部收益率法定量测算补贴额度。

2)上海市补贴算例结果表明,当前天然气分布式能源项目仅依靠补贴获得基本收益难度较大,应结合电价调整、气价优惠、税收优惠等措施分担补贴压力,共同促进天然气分布式能源的健康有序发展。

3)本文研究存在一定的地域局限性。由于补贴额度测算涉及地区数据,对地区样本数量要求较高。国内目前在上海、北京、广州地区的天然气分布式能源项目发展较快,项目数量也较多,其他地区样本数量相对较少,补贴额度测算的准确性将受到一定影响,仍需进一步完善。

附录见本刊网络版(<http://www.aeps-info.com/aeps/ch/index.aspx>)。

参考文献

- [1] 王进,李欣然,杨洪明,等.与电力系统协同区域型分布式冷热电联供能源系统集成方案[J].电力系统自动化,2014,38(16):16-21.DOI:10.7500/AEPS20130523006.
WANG Jin, LI Xinran, YANG Hongming, et al. An integration scheme for DES/CCHP coordinated with power system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(16): 16-21. DOI: 10.7500/AEPS20130523006.
- [2] 王雁凌,李蓓,崔航.天然气分布式能源站综合价值分析[J].电力系统自动化,2016,40(1):136-142. DOI:10.7500/AEPS20150521003.
WANG Yanling, LI Bei, CUI Hang. Comprehensive value analysis for gas distributed energy station[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(1): 136-142. DOI: 10.7500/AEPS20150521003.
- [3] 上海市人民政府办公厅.上海市天然气分布式供能系统和燃气空调发展专项扶持办法[EB/OL]. [2017-01-03]. <http://www.shanghai.gov.cn/nw2/nw2314/nw2319/nw12344/u26aw50959.html>.
- [4] 长沙市人民政府办公厅.长沙市促进天然气分布式能源发展办
- 法[EB/OL].[2017-03-06].http://www.changsha.gov.cn/xxgk/gfxwj/szfbgt/201703/t20170314_1937978.html.
- [5] 青岛市人民政府办公厅.青岛市加快清洁能源供热发展若干政策[EB/OL].[2015-01-07].<http://www.qingdao.gov.cn/n172/n68422/n68424/n30259215/n30259217/150107155030336721.html>.
- [6] 王涛.国内外天然气分布式能源发展的相关政策及分析[J].上海节能,2016,35(9):477-481.
WANG Tao. Related policies and analysis of natural gas distributed energy development at home and abroad [J]. Shanghai Energy Conservation, 2016, 35(9): 477-481.
- [7] 何润民,周娟,王良锦,等.促进我国天然气分布式能源发展的政策思考[J].天然气技术与经济,2013,29(6):3-6.
HE Runmin, ZHOU Juan, WANG Liangjin, et al. Policy research on promoting the development of natural gas distributed energy resources in China [J]. Natural Gas Technology and Economy, 2013, 29(6): 3-6.
- [8] 任洪波,吴琼,杨秀,等.日本分布式热电联产系统发展动态及启示[J].中国电力,2014,48(7):108-114.
REN Hongbo, WU Qiong, YANG Xiu, et al. Development of distributed cogeneration system in Japan and the revelation to China[J]. Electric Power, 2014, 48(7): 108-114.
- [9] 周波.分布式天然气发电定价机制及实证研究[D].北京:华北电力大学,2015.
- [10] 晁亮亮,刘青荣,阮应君.天然气分布式能源系统的能源价格策略研究[J].热能动力工程,2017,32(6):7-11.
CHAO Liangliang, LIU Qingrong, RUAN Yingjun. Study on energy price strategy for natural gas distributed energy system [J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2017, 32(6): 7-11.
- [11] DONG Rentao, XU Jiuping. Impact of differentiated local subsidy policies on the development of distributed energy system[J]. Energy and Buildings, 2015(101): 45-53.
- [12] ZHANG J, CHO H, KNIZLEY A, et al. Evaluation of financial incentives for combined heat and power (CHP) systems in U.S. regions[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2016, 59: 738-762.
- [13] KONSTANTAKOS V, PILAVACHI P A, POLYZAKIS A, et al. A decision support model for combined heat and power economic evaluation[J]. Applied Thermal Engineering, 2012, 42(3): 129-135.
- [14] 孙丙香,姜久春,张维戈,等.基于内部收益率法的动力电池租赁价格测算[J].电力系统自动化,2011,35(13):27-30.
SUN Bingxiang, JIANG Jiuchun, ZHANG Weige, et al. Measurement of the power battery leasing price based on the internal rate of return method [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(13): 27-30.
- [15] 刘东海,胡安琪,张伟波.水电工程投资、工期与电价对资本金内部收益率的影响分析[J].水力发电,2017,43(3):94-97.
LIU Donghai, HU Anqi, ZHANG Weibo. Influence analysis of uncertainties of investment, schedule and electricity price on

capital internal rate of return in hydropower projects[J]. Water Power, 2017, 43(3): 94-97.

王雁凌(1970—),女,博士,副教授,主要研究方向:电力经济分析、电力市场理论与技术。E-mail: yanling.wang@vip.sina.com

徐丹蕾(1994—),女,通信作者,硕士研究生,主要研究方向:电力经济分析、电力系统规划。E-mail: xudanlei1208@163.com

马洪宇(1992—),男,硕士研究生,主要研究方向:负荷预测技术、电力市场。E-mail: goflymhy@qq.com

(编辑 章黎)

Mechanism of Subsidy by Stages for Natural Gas Distributed Energy Resource

WANG Yanling, XU Danlei, MA Hongyu, LIANG Bing

(School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: At present, China's subsidy policy on the natural gas distributed energy resource is comparatively deficient that only a small number of provinces and cities have issued the relevant policies which still exist some disadvantages, in which case a subsidy guiding standard is urgently needed. A mechanism of subsidy by stages for the natural gas distributed energy resource is proposed based on a specific project classification method and actual laws for the project development stages. A definition method is also put forward for the development stages of energy programs. Then a subsidy measurement model for the natural gas distributed energy resource is established based on the internal rate of return method, which makes a quantitative analysis on the relationship between the amount of subsidies and the internal rate of return on projects. Finally, a subsidy calculation example in Shanghai is made to provide a reference for the subsidy policy making of natural gas distributed energy resource in provinces and cities.

Key words: natural gas distributed energy resource; internal rate of return; subsidy mechanism