重庆东站片区

能源供应及利用研究报告

同方泰德国际科技（北京）有限公司

重庆大学

2020 年 11 月

前 言

“能源、环境、发展”是当今社会发展面临的三大主题，能源的合理开发与利用是环境友好和人类可持续发展的重要保证，对国家和地区的繁荣发展、人民生活的改善、社会的长治久安至关重要。在经济社会高速发展的今天，我国面临能源开发不均衡、供应压力增加、环境保护矛盾突出、能源利用效率低和技术落后等问题。为推动能源战略全面升级，系统解决能源发展模式传统粗放的问题，2014 年 6 月，习近平总书记在中央财经领导小组第六次会议上明确提出了“四个革命、一个合作”的重大能源战略思想，国家先后颁布《能源发展战略行动计划（2014-2020 年）》、《能源发展“十三五”规划》、《关于发展天然气分布式能源的指导意见》、《关于推进“互联网＋”智慧能源发展的指导意见》、《关于进一步深化电力体制改革的若干意见（中发〔2015〕9 号）》及其配套文件等一系列政策措施，提出构建“多能互补、集成优化”、“互联网＋”智慧能源、现代能源体系等举措并落地了一批示范项目，为我国区域能源利用指明了发展方向、明确了发展路径。十九大报告也特别指出，必须树立和践行绿水青山就是金山银山的理念，必须推进绿色发展，推进能源生产和消费革命，构建清洁低碳、安全高效的能源体系，这为能源革命的持续推进进一步指明了方向。

本《研究报告》对重庆东站片区的可再生资源进行了深入研究，对用能负荷进行了分析，提出东站片区的能源供应规划方案，并对方案的总体优势进行了分析。《研究报告》主要内容包括：研究背景、研究目的及技术路线、可再生能源应用研究、集中能源供应研究四个章节。重庆东站相关工程建设项目除应满足国家和地方现行标准和规范外，还应满足本《研究报告》的相关技术要求

本《研究报告》由重庆东站铁路综合交通枢纽工程建设现场指挥部组织制定，由编制单位同方泰德国际科技（北京）有限公司、重庆大学负责具体技术内容解释。

主要编制人员：

审查专家：

目 录

前 言 I
第 1 章 研究背景 1
1.1 项目概况 1
1.2 国家及地方政策 3
1.2.1 国家政策 3
1.2.2 地方政策 5
1.3 东站高定位 5
1.4 可再生能源概述 5
第 2 章 研究目的及技术路线 9
2.1 研究依据 9
2.2 研究主要目的及意义 9
2.3 研究内容 10
2.3.1 片区可再生能源系统形式 10
2.3.2 片区可再生能源系统研究内容 12
2.3.3 片区集中能源供应研究内容 12
2.4 研究技术路线 13
第 3 章 可再生能源应用研究 14
3.1 东站片区负荷计算 14
3.2 土壤源热泵系统应用潜力分析 17
3.2.1 土壤源热泵应用形式介绍 17
3.2.2 应用潜力分析 23
3.2.3 对象负荷分析 28
3.2.4 土壤源热泵应用量分析 31
3.2.5 结论建议 33
3.3 水源热泵系统应用潜力分析 34
3.3.1 水源热泵应用形式介绍 34
3.3.2 应用潜力分析 38
3.3.3 对象负荷分析 47
3.3.4 地表水源热泵应用量分析 51
3.3.5 结论建议 52
3.4 光伏系统发电量分析 53
3.4.1 光伏系统应用形式介绍 53
3.4.2 基础数据分析 55
3.4.3 光伏系统发电应用潜力分析 56

3.4.4 东站光伏发电潜力结论建议.....67
3.5 太阳能热水系统产能量分析.....70
3.5.1 太阳能热水系统应用形式.....71
3.5.2 热水产量分析.....72
3.5.3 太阳能热水系统建议.....73
3.6 污水源热泵供能分析.....73
3.6.1 污水源热泵的形式.....73
3.6.2 污水量计算.....73
3.6.3 污水源热泵可利用热能.....77
3.6.4 污水源热泵系统建议.....78
3.7 天然气能源系统.....78
3.7.1 分布式能源应用形式.....78
3.7.2 负荷需求分析.....81
3.7.3 天然气分布式能源系统利用方案.....82
3.7.4 天然气能源系统建议.....86
3.8 可再生能源应用研究结论.....87
第 4 章 附表.....90
第 5 章 集中能源供应研究.....92
5.1 基于需求侧的能源规划方法.....92
5.1.1 需求侧能源规划.....92
5.1.2 分布式能源与能源互联.....95
5.1.3 规划原则和思路.....96
5.1.4 工作流程.....98
5.2 能源资源分析.....99
5.2.1 全年温湿度条件.....99
5.2.2 日照条件.....99
5.2.3 地热资源.....101
5.2.4 能源价格.....101
5.3 园区负荷需求预测.....102
5.3.1 负荷预测方法.....103
5.3.2 各地块负荷计算结果.....104
5.3.3 负荷结果汇总.....108
5.4 能源利用方式研究.....108
5.4.1 能源资源分析.....108
5.4.2 类似项目研究.....110
5.5 能源系统配置方案.....112
5.5.1 区域能源站选址.....112

5.5.2 能源站配置原则.....114
5.5.3 能源站配置方案.....114
5.5.4 技术路线比选.....118
5.5.5 管网设计.....119
5.6 综合能源管理平台.....122
5.6.1 综合能源管理平台简介.....122
5.6.2 综合能源管理平台功能及价值.....122
5.6.3 管理技术和运维方案.....123
5.7 规划效果.....126
5.8 技术经济分析.....129
5.8.1 投资估算.....129
5.8.2 经济效益测算.....130
5.8.3 主要存在的风险.....131
5.9 实施路径和建设计划.....131
5.9.1 重庆东站片区建设计划.....131
5.9.2 能源站建设方案及建设时序.....132
5.9.3 投资方案及时间计划.....133
5.10 政策保障措施.....133
5.10.1 政策背景.....133
5.10.2 重庆地区相关政策条件.....134
5.10.3 其他政策导向.....135
5.11 商务模式建议及保障措施.....136
5.11.1 商务模式建议.....136
5.11.2 保障措施及建议.....139

第1章 研究背景

1.1 项目概况

重庆东站片区位于重庆市主城区东部，基于重庆东站重要的战略地位，片区统筹谋划拓展开放通道、提升开放平台，赋“开放经济门户”之魂、塑“活力万象都会”之形，构建以交通枢纽功能为基础，集国际交往、商业商务、应用创新、品质居住于一体的综合性门户区，为发展开放型经济、优化开放环境、深化交流合作提供生态宜居、繁荣宜业、魅力宜游的站城一体化新空间。

图 1-1 重庆东站片区效果图

片区以 TOD 为核心理念，统筹协调枢纽功能、外向功能和城市功能，围绕东站形成多元融合、紧凑布局的圈层式空间结构。围绕东站圈层式布局，形成“一站四区”协调互动的空间格局：

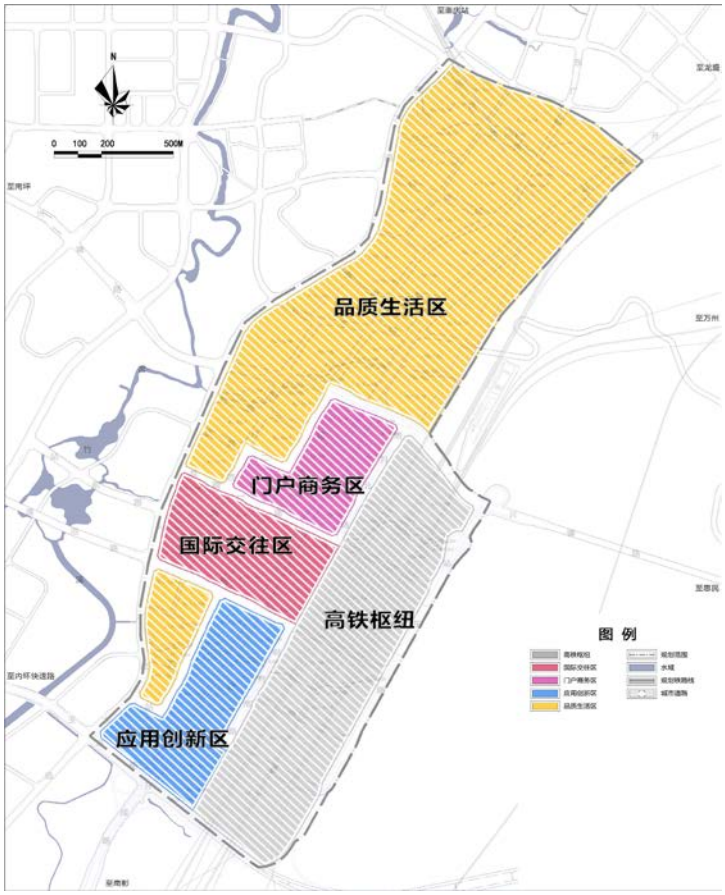


图 1-2 重庆东站片区功能划分

重庆东站片区规划城市建设用地面积 245.72 公顷，规划商业居住建筑规模约 314 万平方米，规划居住人口 4.2 万人。各地块用地规模及建筑面积如下表：

表 1-1 能源资源情况汇总

项目名称		用地规模（公顷）	建筑规模（万平方米）
品质生活区		99.66	178.79
其中	山地会馆	0.60	0.60
	山地运动公园	13.22	—
	山地风情住区	50.30	104.85
	小学	5.05	5.05
	街道综合服务中心	1.00	1.50
	TOD 城市综合体	0.92	1.84
	中学	3.07	3.07
	滨水休闲公园	3.44	—

项目名称		用地规模（公顷）	建筑规模（万平方米）
	国际时尚住区	14.00	38.82
	创新人才公寓	8.06	23.06
门户商务区		12.74	47.22
其中	万国商务港	12.74	47.22
国际交往区		27.96	51.28
其中	丝绸之路主题 mall	8.52	29.82
	万象风情馆	2.49	3.57
	万国领事汇	2.65	11.85
	丝绸之路交流中心	5.76	6.04
	城市 T 台	8.51	—
应用创新区		22.52	51.73
其中	创新总部城	6.29	21.00
	创新孵化基地	13.52	30.73
	滨水休闲公园	2.74	—
高铁枢纽		73.50	—
其中	重庆东站综合交通枢纽	73.50	—

1.2 国家及地方政策

1.2.1 国家政策

2011 年 10 月，由国家发改委、财政部、住建部和国家能源局联合下发了《关于发展天然气分布式能源的指导意见》，意见指出：十二五期间建设 1000 个左右天然气分布式能源项目，并拟建设 10 个左右各类典型特征的分布式能源示范区域，意见专门提出电网方面要加强对天然气分布式能源并网的配合，并提出今后将在财政、标准等多方面，进一步加强对天然气分布式能源的支持。

习近平总书记在中央财经领导小组 2014 年 6 月 13 日发表推动能源革命的重要讲话，着重强调必须推动能源生产和消费革命，着力

发展非煤能源，形成煤、油、气、核、新能源、可再生能源多轮驱动的能源供应体系的精神。

2014 年 11 月 1 日，国家发改委、能源局、电力公司等部位联合下发《天然气分布式能源示范项目实施细则》，对此类项目给予财政补助、税收优惠、供电等诸多扶持。

2015 年 7 月国务院印发了《关于积极推进“互联网＋”行动的指导意见》，这是推动互联网由消费领域向生产领域拓展，加速提升产业发展水平，增强各行业创新能力，构筑经济社会发展新优势和新动能的重要举措。在十一个重点行动中提出了互联网＋智慧能源，指出要通过互联网促进能源系统扁平化，推进能源生产与消费模式革命，提高能源利用效率，推动节能减排。加强分布式能源网络建设，提高可再生能源占比，促进能源利用结构优化。加快发电设施、用电设施和电网智能化改造，提高电力系统的安全性、稳定性和可靠性。

2016 年 2 月国家发改委、能源局、工信部联合发布《关于推进“互联网＋”智慧能源发展的指导意见》，以促进能源和信息深度融合，促进能源互联网新技术、新模式和新业态发展，推动能源领域供给侧结构性改革和能源革命。文件确立了推动建设智能化能源生产消费基础设施、营造开放共享的能源互联网生态体系和发展智慧用能新模式等十项重点任务，对今后一段时间的工作进行了国家层面的顶层设计和阶段划分。

2017 年 6 月，国家发改委发布《关于加快推进天然气利用的意见》，大力发展天然气分布式能源，在大中城市具有冷热电需求的能源负荷中心、产业和物流园区、商业中心、医院、学校等推广天然气分布式能源示范项目。

2020 年 3 月 11 日，国家发展改革委司法部印发《关于加快建立绿色生产和消费法规政策体系的意见》的通知。通知重点强制建立健全可再生能源电力消纳保障机制，加大对分布式能源、智能电网、储能技术、多能互补的政策支持力度，研究制定氢能、海洋能等新能源发展的标准规范和支持政策。

1.2.2 地方政策

2012 年 12 月，重庆市发布《重庆市城乡建设委员会关于推进可再生能源区域集中供冷供热项目建设的意见》（渝建发〔2012〕160 号）文，对发展区域集中供冷供热项目、可再生能源利用项目等提出多条政策支持意见和建议。

2017 年 8 月，重庆市财政局、城乡建设委联合发布《重庆市可再生能源建筑应用示范项目和资金管理办法》（渝建发〔2017〕32 号），对推进重庆市可再生能源建筑规模化应用工作，规范示范项目和补助资金管理，提出相关意见，并给与大量的资金支持。

2018 年 8 月，重庆市发改委发布《关于印发加快推进天然气利用的实施意见的通知》（渝发改油气〔2018〕772 号），对加快推进全市天然气利用发展，规范天然气利用管理，结合重庆市的实际，制定了实施意见。其中，提到要依托重庆市丰富的天然气（页岩气）资源，以高端天然气化工、分布式能源、车船应用为重点，因地制宜、以点带面，提高天然气综合利用水平和使用效率。

1.3 东站高定位

重庆东站片区定位为以交通枢纽功能为基础，集国际交往、商业商务、应用创新、品质居住于一体的综合性门户区，对能源的安全可靠性、清洁环保以及舒适低廉有着自身特殊的需求，而智慧能源系统具有自组织、自检查、自平衡、自优化等智慧功能，可以满足系统、安全、清洁和经济要求的能源诉求。

智慧能源是推动能源生产和消费革命的强劲引擎，是实现国家能源革命、“互联网＋”、智慧城市建设目标重要方式。未来必将具有巨大的发展潜力，必将成为能源发展的方向，为片区带来巨大的社会和经济效益。

1.4 可再生能源概述

联合国环境规划署指出，全球温室气体排放 2017 年再次攀升，2018 年极端气候不断出现，碳排放趋势对全球气候至关重要。若要实现节能减排的目标，发展可再生能源是应对气候变化和环境问题的重要手段。

1980 年“联合国新能源和可再生能源会议”（United Nations Conference on New and Renewable Sources of Energy）将可再生能源定义为：以新技术和新材料为基础，使传统的可再生能源得到现代化的开发和利用，用取之不尽、周而复始的可再生能源取代资源有限、对环境有污染的化石能源。

为了推进可再生能源的开发利用，克服可再生能源开发利用所面临的法律和政策障碍，2003 年十届全国人大常委会把制定《中华人民共和国可再生能源法》列入了 2003 年立法计划。在国务院有关部门和有关科研院所以及社会团体的共同参与下，全国人大环境与资源保护委员会于 2004 年 12 月完成了《中华人民共和国可再生能源法（草案）》的起草工作，并提请全国人大常委会审议。经十届全国人大常委会第十三次会议和第十四次会议审议，《中华人民共和国可再生能源法》于 2005 年 2 月 28 日通过，2006 年 1 月 1 日起施行。在《中华人民共和国可再生能源法》中将风能、太阳能、水能、生物质能、地热能、海洋能等非化石能源纳入可再生能源的范畴之中。

简而言之，可再生能源是可以自我恢复原有特性，并经过较短周期恢复再生而可长久利用能源。例如太阳能对人类而言无限量并永久可用，并且无环境污染问题；各种生物质能来源于植物，基本以年为生长周期再生；水能、风能、海洋能以及海洋表面与深层之间的热循环能等都具有可再生的特性。地热能因地球深处的复杂变化以及太阳能的补充作用，具有“无限量”的特点，也具备可再生能源的性质。

① 风能

风力发电是风能的主要利用形式，它的原理是通过风带动内部发电机转动，将风能转变为电力。发电装置主要依靠发电机、风轮和塔筒三部分。近年来，我国大力发展风电清洁能源。截至 2019 年底，我国风电装机达到 2.1 亿千瓦。

② 太阳能

太阳能是由太阳内部氢原子发生氢氦聚变释放出巨大的核能产生的，太阳能被称为“能源之母”，化石能源、风能、水能、生物质能等，都是由太阳能经过某种形式转换而形成的。太阳能在民用建筑中的应用主要包括太阳能光伏发电、光伏建筑一体化和太阳能光热应用。

光伏效应是指不均匀半导体或者半导体与金属组合的不同部位之间，在太阳光照射下产生电位差。光伏发电就是利用光伏效应的技术。随着光伏技术和材料行业的发展，太阳能光伏发电的材料成本不断下降，使得装机规模不断扩大。截止 2019 年底，我国光伏发电装机 2.04 亿千瓦，同比增长 17.3%。同时，随着建筑节能的不断推进，光伏建筑一体化规模也逐年不断扩大。

光热转换就是将太阳辐射能进行收集转换成热能。真空管型集热器是我国热利用市场的主流产品。近年来随着建筑一体化发展，平板型太阳能集热器因其安全性更好，更易与建筑结合，在集热器市场中所占比例逐年加大。我国太阳能热利用市场结构正逐步由零售市场向工程市场发展。2017 年，工程建设的比重占总市场份额的 71%，而零售市场则由 2014 年的 62%下降至 29%。

③ 水能

水能主要用于水力发电。在可再生能源利用结构中，水力发电是目前世界上最成熟、使用量最多的可再生能源发电技术。2017 年全球一次能源供应量中，水力发电占世界总发电量的 2.5%，占世界可再生能源总发电量的 18.5%。

④ 生物质能

生物质能是蕴藏在生物质比如植物、植物的果实、动物以及动物排泄物中的能量。生物质能的应用包括固体生物燃料/木炭、燃料酒精、沼气等。生物质燃料在发展中国家广泛用于住宅供暖和烹饪，占全球可再生能源供应的 60.7%。

⑤ 地热能

地热能是指在当前技术经济和地质环境条件下，地壳内能够科学、合理地开发出来的岩石中的热能量和地热流体中的热能量及其伴生的有用组分。地热能主要用于发电，此外还可以用于工业热加工、工业干燥、采暖、地源热泵、回收盐类等。其中，地源热泵是地热能在建筑中的主要应用形式，里面包括土壤源热泵、地表水源热泵和地下水源热泵。

⑥ 海洋能

海洋能主要包括潮汐能、潮（海）流能、波浪能、温差能、盐差能。海洋能的主要利用方式是发电。小功率海洋能装置可用于海岛灯

塔、航道灯标以及海洋观测浮标系统；大功率海洋能装置可实现并网或独立供电，提供清洁能源。我国潮汐能发电主要集中在浙江和福建，波浪能发电分布在广东、福建、浙江、海南和台湾附近海域。

此外，在实际应用的资源回收方面，可再生能源也可包括污水源中蕴藏的冷热量。

第2章 研究目的及技术路线

2.1 研究依据

本项目主要依据以下规范、导则、要求等进行综合能源规划：

《中华人民共和国城乡规划法》；

《中华人民共和国城市电力法》；

《重庆东站片区控制性详细规划》；

《民用建筑能耗标准》GB/T 51161-2016；

《城市电力规划规范》GB/50293-2014；

《城市电力网规划设计导则》Q/GDW 156-2016；

《燃气冷热电三联供工程技术规程》CJJ 145-2010；

《燃气冷热电联供工程技术规范》GB51131-2016；

《燃气分布式供能站设计规范》DL/T 5508－2015；

《分布式供能系统工程技术规程》DG/TJ08-115-2016；

《采暖通风与空气调节设计规范》GB50019-2003；

《建筑给水排水设计规范》GB 50015-2003（2009 年版）；

《重庆东站“国际化、绿色化、智能化、人文化”技术导则》

重庆东站片区控制性详细规划（2020 年 1 月批复版本）

重庆东站房及配套综合交通枢纽工程实施方案（2020 年 09 月）

其他现行国家、省、市有关行业规范等。

2.2 研究主要目的及意义

本次能源规划将从安全可靠性、运行经济性、技术先进性、环境友好性、产业带动性五个维度进行设计，从而实现电力、天然气等多元能源形式的协调与统一，有序建设绿色、节能、清洁的能源供应系统，降低片区能源成本，提高能源系统的综合效益，促进片区社会经济更好更快发展。

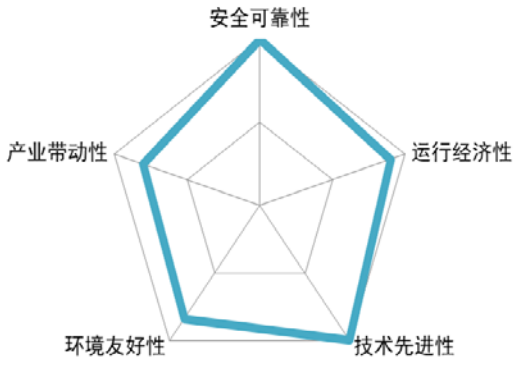


图 2.1 能源规划目标

各维度的具体内容为：

- 安全可靠性：提高区域能源系统供能可靠性，保障在极端气候情况下用户的用能安全；
- 运行经济性：提高系统综合运行效率及能源综合利用率，减少运行能耗及费用，并保证可再生能源的就地消纳；
- 技术先进性：采用效率高、排放低的能源系统作为主要供能方式，并在园区内设立多个能源创新示范点；
- 环境友好性：多采用可再生能源及清洁能源，减少二氧化碳排放率；
- 产业带动性：实现冷热电的发配售一体化运营，催生多种能源服务新型实体，促进片区内多种能源产业的发展。

2.3 研究内容

2.3.1 片区可再生能源系统形式

根据东站用地控制性规划图，如图 2.4.1-1 所示。本研究基于东站绿色化建设中的可再生能源应用需求，通过考察图 2.4.1-1 中的资源情况，基于东站本底自然条件，从地、水、光、气等方面探索东站可再生能源应用潜力。

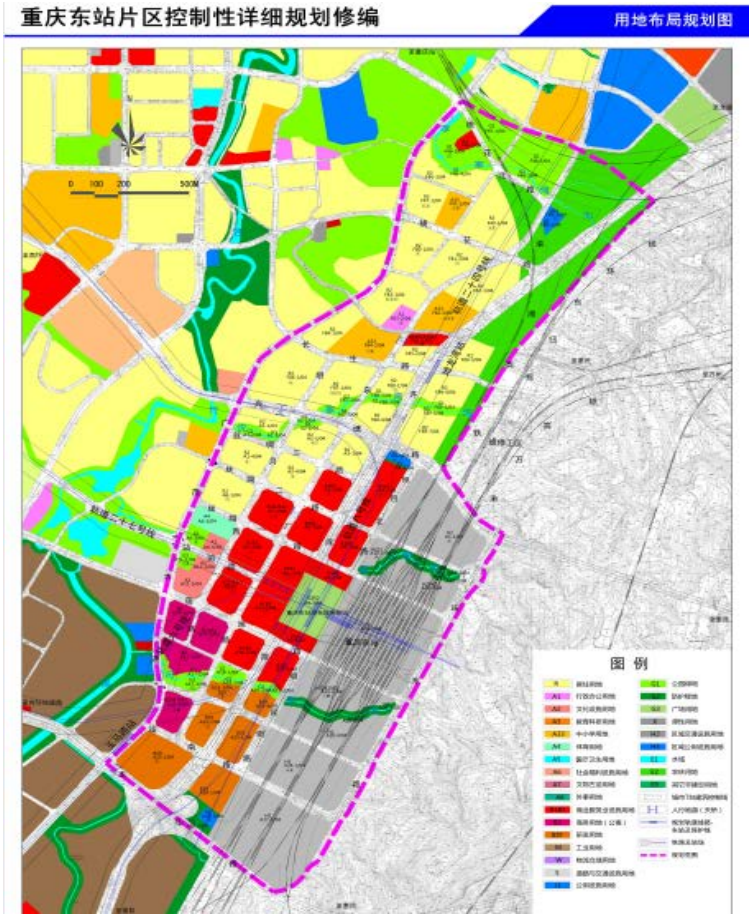


图 2.2 东站用地控制性规划图

根据可再生能源应用特点，结合重庆及东站实际情况，可以得到如下结论：

- 重庆地区地下岩土传热性能好，利于土壤源热泵运行；东站片区占地面积大，并且规划有一定绿地面积，为土壤源热泵应用提供便利条件。
- 东站西北方位附近，长生河潺潺流过，具备利用地表水源热泵的天然条件。
- 东站枢纽占地面积大，屋顶和墙体可以为光伏组件安装提供可观的面积，且东站枢纽旁边没有高大建筑遮挡，为光伏运行提供有利条件。同样地，太阳能光热作为一种非常成熟的能源手段可以为东站及片区提供生活热水。
- 东站片区人流密集，且人流稳定，每天稳定地产生大量生活污水，可以通过污水源热泵挖掘污水中赋存的冷热量。
- 天然气管网在东站片区铺设，天然气能源系统作为一种清洁能源，具有在东站项目应用的潜力。

经过以上研判甄别，确定土壤源热泵、地表水源热泵、太阳能光伏、太阳能热水、污水源热泵等五种可再生能源和天然气能源系统具备在东站片区应用的初步条件。

2.3.2 片区可再生能源系统研究内容

针对东站可再生能源系统开展的研究工作包括：

- 开展东站片区土壤源热泵土壤热响应试验；分析土壤源热泵能源性能；计算满足东站片区冷热负荷需要的地埋管面积；根据东站片区土地规划与用途分析可用于地埋管的地块位置与大小，计算这些地块可满足的建筑冷热负荷量；提出土壤源热泵用于集中能源供应的可行性建议。
- 实地测量长生河流域相关参数；计算长生河用于地表水源热泵可满足的东站冷热负荷量；提出地表水源热泵用于集中能源供应的可行性建议。
- 确定东站铁路站房建筑易接收太阳辐射的面；分析这些面可以接收到的太阳辐射量；计算太阳能光伏组件可以生产的电能；提出太阳能光伏系统用于发电的建议。
- 计算太阳能热水器面积与热水需求之间的关系；提出太阳能热水器用于东站片区的建议。
- 计算东站及片区生活污水产量；计算污水源热泵可供应的冷热量；提出污水源热泵用于集中能源供应的可行性建议。
- 计算天然气能源系统供给量；提出天然气能源系统用于集中能源供应的可行性建议。

2.3.3 片区集中能源供应研究内容

- 现状分析及目标设定：对片区现有建筑面积、人口规模、未来规划等进行分析，确定片区能源规划的整体目标；
- 能源资源分析：通过对片区全年温湿度、日照条件、风力条件及电力条件、燃气条件、地表水资源、地热资源等能源资源进行分析，对可利用的能源资源类型进行筛选；

- 需求侧负荷预测：对片区内商业、办公、医院、学校、住宅等不同类型建筑的负荷分别进行逐时计算，并统计得到各地块的逐时负荷曲线，以此作为系统方案配置的基础；
- 资源和需求匹配：综合考虑能源资源条件和各地块的负荷需求，从经济性、可靠性、合理性等多个方面进行分析，确定适用于本片区的能源系统类型；
- 能源系统配置和优化：根据片区内实际的负荷分布特点、能源位置等，因地制宜的对整体的系统配置方案进行设计优化；
- 技术经济分析：在片区能源规划完成后，根据各系统初投资、系统运维费用等，对规划方案的技术经济指标进行测算分析。

2.4 研究技术路线

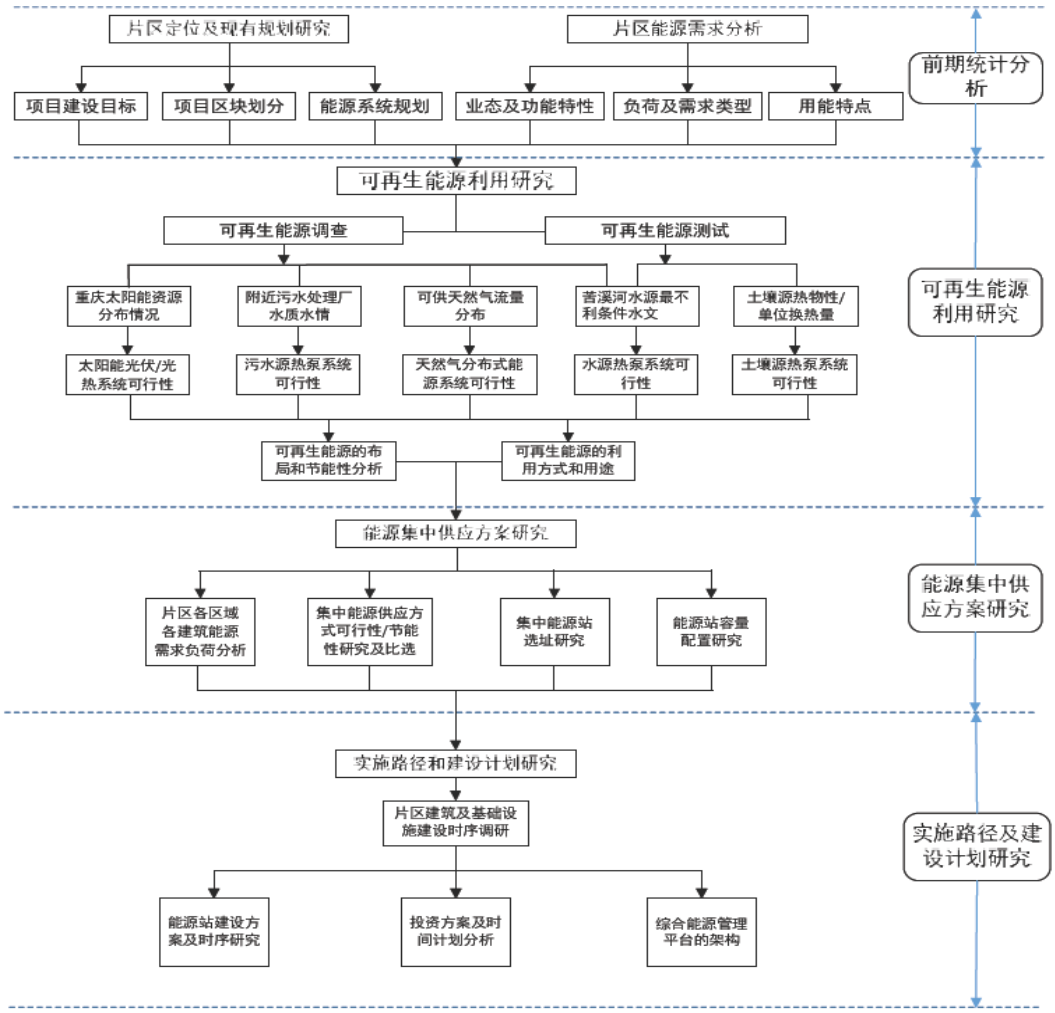


图 2.3 课题研究技术路线

第3章 可再生能源应用研究

根据当前可再生能源建筑应用中的主要形式，依据《东站能源供应及利用研究》竞争性磋商文件的要求，本章针对土壤源热泵、地表水源热泵、太阳能光伏、太阳能光热、污水源热泵和天然气能源系统等六种可再生能源在东站片区应用的能源资源可利用潜力分析。

3.1 东站片区负荷计算

如图 3.1-1 所示，东站片区控制规划涉及了高铁枢纽、商务区、居民区各建筑群的用地规模和建筑规模。目前项目处于规划阶段，具体建筑类型和形式尚未确定，为后续便于进行能源资源应用潜力分析，本报告中采用冷热负荷概算的思路，按照负荷指标进行冷热负荷估算，估算结果如表 3.1-1 所示。

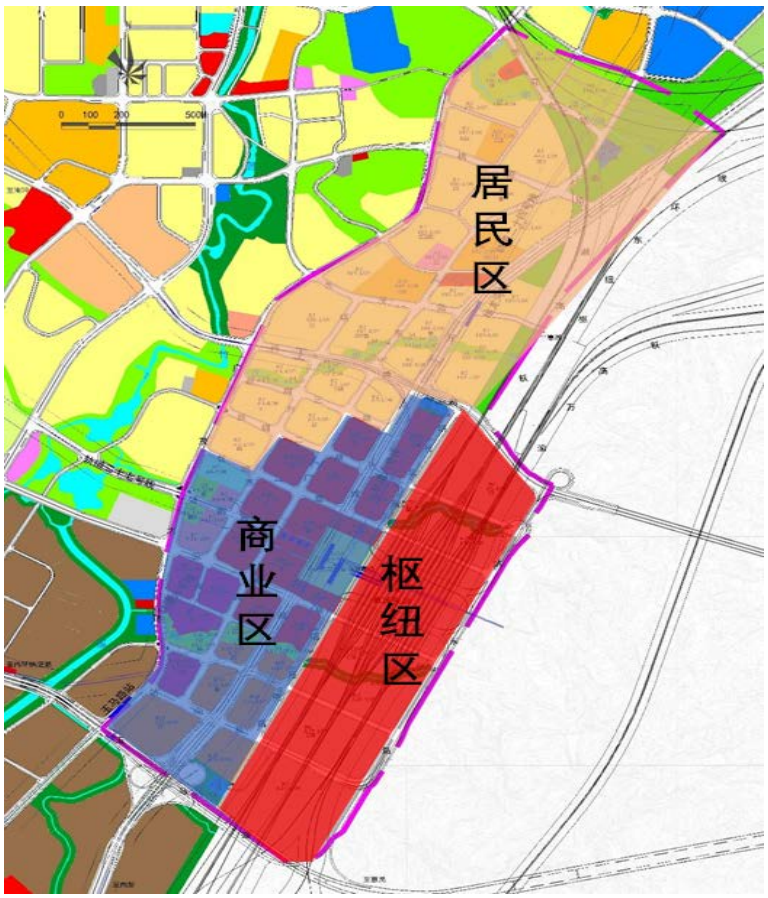


图 3.1-1 东站片区控制规划图

表 3.1-1 各地块负荷计算结果

地块编号	建筑面积(万㎡)	项目名称		负荷(kW)			累计负荷(万kW h)	
				热负荷	冷负荷	电负荷	热负荷	冷负荷
A10-6/04	37.0	高铁枢纽	重庆东站综合交通枢纽	15236	33414	14966	1447.6	3132.4
A6-2/04	2.1	国际交往区	丝绸之路交流中心	895	2121	1170	45.3	129.5
A6-4/04	1.0	国际交往区	丝绸之路交流中心	409	970	535	20.7	59.2
A7-2/04	7.6	国际交往区	万国领事汇	2588	8041	4522	107.8	796.5
A8-2/04	9.3	国际交往区		2429	9043	4721	111.6	1150.1
A9-2/04	4.9	国际交往区		1292	4811	2512	59.4	611.9
A9-4/04	4.8	国际交往区		1256	4675	2441	57.7	594.6
A11-2/04	1.0	国际交往区	丝绸之路交流中心	420	996	549	21.2	60.8
A11-3/04	1.8	国际交往区	丝绸之路交流中心	748	1772	978	37.8	108.2
A12-1/04	7.8	国际交往区	万国领事汇	2649	8231	4629	110.3	815.3
A13-1/04	10.8	国际交往区		2832	10544	5505	130.1	1341.0
A3-2/04	8.6	门户商务区	万国商务港	3246	8258	4751	168.8	651.2
A4-1/04	10.5	门户商务区	万国商务港	3995	10163	5847	207.7	801.5
A7-1/04	10.0	门户商务区	万国商务港	3792	9647	5550	197.2	760.8
A8-1/04	9.9	门户商务区	万国商务港	3762	9570	5505	195.6	754.7
A9-1/04	8.2	门户商务区	万国商务港	3109	7911	4551	161.7	623.8
A16-1/04	8.8	应用创新区	创新总部城	3445	8857	5183	151.3	615.3
A18-3/04	2.4	应用创新区	创新总部城	944	2427	1420	41.5	168.6
A19-1/04	7.0	应用创新区	创新总部城	2739	7042	4121	120.3	489.2
A19-4/04	2.9	应用创新区	创新总部城	1131	2907	1701	49.7	201.9
A22-1/04	5.1	应用创新区	创新孵化基地	2219	5007	2535	127.2	295.8
A23-1/04	5.7	应用创新区	创新孵化基地	2471	5574	2822	141.6	329.3
A25-1/04	12.9	应用创新区	创新孵化基地	5641	12727	6443	323.2	751.8
A26-1/04	7.1	应用创新区	创新孵化基地	3105	7005	3546	177.9	413.8
A1-1/04	3.7	品质生活区	国际时尚住区	926	1323	764	40.0	95.3
A1-4/04	6.5	品质生活区	国际时尚住区	1644	2349	1357	71.0	169.1

地块编号	建筑面积(万㎡)	项目名称		负荷(kW)			累计负荷(万kW h)	
				热负荷	冷负荷	电负荷	热负荷	冷负荷
A2-3/04	5.7	品质生活区	国际时尚住区	1436	2052	1186	62.1	147.7
A2-4/04	7.6	品质生活区	国际时尚住区	1913	2732	1579	82.6	196.7
A3-1/04	6.1	品质生活区	国际时尚住区	1535	2192	1267	66.3	157.9
A6-1/04	9.2	品质生活区	国际时尚住区	2328	3326	1922	100.6	239.5
A14-1/04	5.4	品质生活区	创新人才公寓	1959	3761	1964	105.0	205.4
A15-1/04	6.3	品质生活区	创新人才公寓	2299	4413	2304	123.2	241.0
A17-1/04	5.6	品质生活区	创新人才公寓	2043	3922	2048	109.5	214.2
A21-1/04	5.8	品质生活区	TOD 城市综合体	1483	4795	2767	63.1	506.7
F46-2/04	0.6	品质生活区	山地会馆	303	649	321	17.7	32.1
F46-3/04	4.4	品质生活区	山地风情住区	1104	1577	911	47.7	113.5
F47-1/04	3.7	品质生活区	山地风情住区	941	1345	777	40.7	96.8
F47-2/04	1.6	品质生活区	小学	743	854	480	14.6	49.8
F49-1/04	7.6	品质生活区	山地风情住区	1916	2738	1582	82.8	197.1
F80-1/04	6.7	品质生活区	山地风情住区	1678	2398	1385	72.5	172.6
F81-1/04	6.8	品质生活区	山地风情住区	1704	2434	1406	73.6	175.2
F82-1/04	7.9	品质生活区	山地风情住区	1981	2830	1635	85.6	203.7
F82-2/04	3.1	品质生活区	中学	1435	1648	926	28.3	96.1
F83-1/04	9.7	品质生活区	山地风情住区	2432	3474	2007	105.1	250.1
F83-2/04	1.0	品质生活区	街道综合服务中心	455	973	492	26.5	48.1
F84-1/04	6.2	品质生活区	山地风情住区	1556	2223	1284	67.2	160.1
F84-2/04	3.5	品质生活区	小学	1618	1858	1044	31.9	108.3
F85-1/04	1.8	品质生活区	TOD 城市综合体	471	1524	879	20.0	161.0
F85-2/05	2.9	品质生活区	山地风情住区	737	1053	608	31.8	75.8
F86-1/04	15.1	品质生活区	山地风情住区	3793	5418	3130	163.8	390.1
F87-1/04	9.4	品质生活区	山地风情住区	2375	3393	1960	102.6	244.3
F88-1/04	4.2	品质生活区	山地风情住区	1058	1512	874	45.7	108.9
F88-4/04	3.7	品质生活区	山地风情住区	922	1318	761	39.8	94.9

地块编号	建筑面积(万㎡)	项目名称		负荷(kW)			累计负荷(万kW h)	
				热负荷	冷负荷	电负荷	热负荷	冷负荷
F89-3/04	4.6	品质生活区	山地风情住区	1154	1649	953	49.9	118.7
F89-4/04	5.2	品质生活区	山地风情住区	1310	1872	1082	56.6	134.8
F89-7/04	7.0	品质生活区	山地风情住区	1759	2513	1452	76.0	180.9

3.2 土壤源热泵系统应用潜力分析

3.2.1 土壤源热泵应用形式介绍

（一）土壤源热泵系统特点

土壤源热泵系统是利用地下常温土壤温度相对稳定的特性，通过深埋于建筑物周围的管路系统与建筑物内部完成热交换。夏季利用土壤温度较低的特点，吸收空调系统排热；冬季利用土壤温度较高的特点，吸收空调系统放冷。由此有利于提高空调系统能效，起到节能减排和绿色环保的作用。

相比传统的空调形式，土壤源热泵空调系统具有显著的优点：

① 换热器（埋地盘管）埋于地下，无室外装置，可保持建筑物外部美观，同时削弱了腐蚀和气候变化对热泵系统的影响。

② 可在同一建筑物内根据不同区域的需要进行制冷或供暖，集供暖、制冷和供应生活热水于一身，增加了土壤源热泵系统的经济性。

③ 地下换热器与土壤换热不受外界环境的影响。由于土壤温度全年波动很小，使土壤源热泵系统的运行效率比传统空调系统高，因此能耗少，运行工况稳定，可实现比传统集中式空调系统节省运行费用 30%。

④ 利用土壤的蓄热能力，将夏季空调房间中的热量排入土壤中，冬季供暖时取用。将冬季供暖房间中的冷量排入土壤中，夏季制冷时取用，可满足冬夏两季供暖与制冷的需求，而且不会对大气环境造成热污染及噪声污染。

⑤ 相对于风冷热泵，地下换热器不需除霜，减少了冬季除霜的能耗。

⑥ 埋地盘管的使用寿命达 50 年。

⑦ 冷却水水质稳定，克服了传统集中式空调系统每年必须停机检修的缺点，运行维护容易，可满足常年运行的要求。

⑧ 由于土壤源热泵系统间接地利用了储存于土壤中的太阳能，实际是对太阳能的二次利用，为绿色、环保、可持续发展的空调系统开辟了新途径。

但土壤源热泵空调系统也存在如下缺点：

① 地下换热器的传热性能受土壤性质影响较大。需要根据具体工程应用位置的地下土壤性质测定。

② 土壤源热泵系统连续运行时，热泵的冷凝温度、蒸发温度受土壤温度变化的影响而趋于不利运行，导致热泵运行效率不稳定。

需要通过合理的工程设计和科学的运行管理手段合理平衡冬夏需求、管群调控，保证土壤源热泵地下换热器稳定持续运行。

③ 由于土壤热导率较低，地下换热器与周围土壤的传热量较少，因此与空气源热泵相比，土壤源热泵地下换热器的设计换热面积较大，初投资较高。

需综合考虑地埋管换热器投资增量和节能效益，充分利用节能效益回收初投资，合理控制投资回收期。

（二）系统原理图

如下图所示为地下竖埋 U 型管式换热器土壤源热泵系统示意图。从图中看出，土壤源热泵系统由地下埋管换热器系统，热泵机组（水－水热泵或水－空气热泵）和室内的水（或空气）分配系统（包括水管路和末端设备或空气管路和通风口等）三部分组成。在夏季，地下埋管内的流体（如水）通过水泵进入冷凝器，把热泵机组排放的热量带走向大地排放，蒸发器中产生的冷冻水由水泵送到房间的末端设备对房间降温。在冬季，热泵机组通过四通阀的换向，冷凝器作蒸发器用，蒸发器作冷凝器用，通过地下埋管吸收大地的热量，带走蒸发器的冷量，冷凝器产生 40～50℃热水，由水泵送到房间进行供暖。

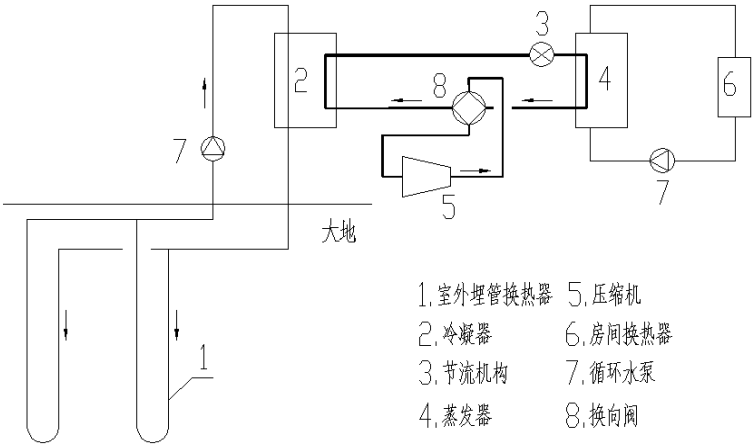


图 3.2.1-1 地源热泵系统原理图

（三）利用方案分析

1、地下埋管形式

目前埋管形式主要两种，水平埋管和竖直埋管两种形式。

（1）水平埋管

由于水平管埋深浅，其埋管换热器性能不如竖直埋管，而且施工时占用场地大。在实际使用中，往往是单层与多层互相搭配；螺旋管传热性能优于直管，但不易施工。由于浅埋水平管受地面温度影响大，地下岩土冬夏热平衡好，因此适用于单季使用的情况（如欧洲只用于冬季供暖），对冬夏暖冷联供系统使用者甚少。

（2）竖直埋管

根据埋管形式的不同，一般有单 U 形管，双 U 形管，小直径螺旋盘管和大直径螺旋盘管，立式柱状、蜘蛛状、套管式等形式。

目前使用最多的是 U 形管、套管和单管式。

①U 形管型是在钻孔的管井内安装 U 形管，一般管井直径为 100～150 ㎜，其中《地热泵系统地埋管换热器施工技术规程》（CECS 344：2013）中规定：单 U 管钻孔直径宜为 110 ㎜-130 ㎜，双 U 管钻孔直径宜为 150 ㎜-180 ㎜。

U 形管径一般在 φ50 ㎜以下（主要是流量不宜过大所限）。由于其施工简单，换热性能较好，承压高，管路接头少，不易泄漏等原因，目前应用最多。如美国加州斯托克斯州大学供应了 48 万㎡空调的地源热泵系统，有 390 个深度超过 120m 的地下埋管系统，据介绍采用

这种地源热泵系统较常规空调每年可节约各种费用 45.5 万美元，其中能量费用 33 万美元，节电 25％，节约燃料费 70％。

国外有的工程把 U 形管捆扎在桩基的钢筋网架上，然后浇灌混凝土，不占用地面。如瑞士某工厂地源热泵系统从 600 个桩基中吸收热量，用于 2 万㎡的供暖和制冷。

②套管式换热器的外管直径一般为 100～200 ㎜，内管为 φ15～25 ㎜。由于增大了管外壁与岩土的换热面积，因此其单位井深的换热量高。其缺点是套管直径及钻孔直径较大，下管比较困难，所以初投资比 U 形管高。在套管端部与内管进、出水连接处不好处理，处置不好易漏水，因此适用于≤30m 的竖埋直管，对中埋采用此种形式宜慎重。为防止漏水，套管端部封头部分宜由工厂加工制作，现场安装，以保证严密性。

③单管型在国外常称为“热井”，它主要用于地下水做热源的热泵系统。一般来讲该种型式投资较少。其安装方法是地下水位以上用钢套管作为护套，直径和孔径一致，典型孔径为 150 ㎜。地下水位以下为自然孔洞，不加任何设施。孔洞中有一根出水管为热泵机组供水，回水自然排放或回到管井内。这种方式受地下水资源及国家有关政策及法规限制大。

2、地下埋管环路形式

（1）串联方式和并联方式

地下竖埋管系统一般分为串联方式和并联方式。在串联系统中，几个井只有一个流通通道；并联方式是一个井有一个流通通道，数个井有数个流通通道。

串联方式的优点是：①一个回路具有单一流体通道，管内积存的空气容易排出；②串联方式一般需采用较大管径的管子，因此对于单位长度埋管换热量来讲，串联方式换热性能略高于并联方式。其缺点是：①串联方式需采用较大管径的管子，因而成本较高；②由于系统管径大，在冬季气温较低的地区，系统内需充注的防冻液（如乙二醇水溶液）多；③安装劳动成本增大；④管路系统不能太长，否则系统阻力损失太大。

并联方式的优点是：①由于可用较小管径的管子，因此成本较串联方式低；②所需防冻液少；③安装劳动成本低。其缺点是：①设计

安装中必须特别注意确保管内流体流速较高，以充分排出空气；②各并联管道的长度尽量一致，以保证每个并联回路有相同的流量；③确保每个并联回路的进口与出口有相同的压力，使用较大管径的管子做集箱，可达到此目的。

从国内外工程实践来看，中、深埋管采用并联方式者居多；浅埋管采用串联方式的多。

（2）同程式和异程式

根据分配管和总管的布置方式，有同程式和异程式系统。在同程式系统中，流体流过各竖直埋管的流程相同，因此各埋管的流动阻力、流体流量和换热量比较均匀。异程式系统是通过每个竖直埋管的路程不同，因此各个竖直埋管的阻力不相同，导致分配给每个埋管的流体流量也不均衡，影响各埋管的换热量不均匀，不利于发挥各埋管的换热效果。

由于地下埋管多环路难于设置调节阀或平衡阀，难于做到系统各环路的水力平衡，因此在实际工程中采用同程式者居多。

3、埋管材料

地下埋管系统基本上不能进行维护，因此地下的管材应首先要保证其化学稳定性、耐腐性。60 年代以前，地下埋管多用金属管，虽然它的传热性能好，但耐腐蚀差，使用 10～20 年就已腐蚀坏，严重降低了地源热泵的使用寿命，因此也阻碍了地源热泵的发展。70 年代，大量塑料管的出现，克服了金属管的缺点，因此也促进了地源热泵的发展。由于聚乙烯（PE）和聚丁烯（PB）管柔韧性好，强度高，而且可以通过热熔合形成比管子自身强度更好的连接接头，因此在国外地源热泵系统中得到了广泛应用。由于 PVC（聚氯乙烯）管的导热性差和可塑性不好，因此在地源热泵系统中不推荐用 PVC 管。

在选择管子时应注意如下问题：

①了解制造商提供管子所属的“管子体系”，该管子是由何种树脂制作而成，抵抗环境应力致裂的能力，有关管子材料说明和安装方法。

②应选择导热系数大，流动阻力小，热膨胀性好，工作压力符合系统要求，工作温度－20～90℃，售价相应较低的管材。

③在保证要求情况下，选择的管材管壁尽量薄，配套用管件不应选择金属的，最好选用相同材料或工程塑料制造的管件。

④应要求厂家提供管子阻力计算用的图、表或相应的数据。

⑤能按用户要求的管子长度，成捆供应，以减少埋管接头数量。

⑥选用管子时注意管子的外径、内径及厚度。

4、埋管深度

按埋设深度不同分为浅埋（≤30m）、中埋（31～80m）和深埋（＞80m）。根据《地源热泵系统工程技术规范》（GB 50366-2009），竖直地埋管换热器埋管深度宜大于 20m，水平连接管的深度应在冻土层以下 0.6m，且距地面不宜小于 1.5m。综合考虑土壤温度的波动、系统的有效性、及承压等因素，埋管换热器的钻孔深度一般为 20～100m。

地埋管换热器的钻孔深度对系统的运行经济性、有效性有较大的影响。随着钻孔深度的增加，流体与土壤间的平均换热温差逐渐减小，单位孔深换热能力逐渐减弱。同时，较深的钻孔深度会增加钻孔工程费用，而且对埋管的承压提出更高的要求。当钻孔深度较浅时，流体与土壤之间的换热时间少，不能进行有效地换热，换热能力下降。同时，埋管换热器的占地面积变大，这也会使系统的应用性受到限制。

关于竖直埋管的埋设深度应根据当地地质情况，工程及场地的大小，投资及使用的钻机性能等情况综合考虑。其中有几点应注意到：①钻 60m 以内的钻机成本少，费用低，如果＞60m，其钻机成本会提高；②井深 80m 以内，可用国产普通型承压（承压 1.0MPa）塑料管，如深度＞80m，需采用高承压塑料管，其成本大大增加；③据作者的比较，深 50m 的造价比 100m 的要低 30～50%。上述是针对地面中央机房而言，如果采用分室型的水源热泵系统还要考虑建筑高度的影响。

一般来讲，浅埋管优点是：投资少，成本低，钻机要求不高，可使普通承压（0.6～1.0MPa）的塑料管，由于受地面温度影响，一般地下岩土冬夏热平衡较好。其缺点是占用场地面积大，管路接头多，埋管换热效率较中深埋者低。

深埋管优点是：占用场地面积小，地下岩土温度稳定换热效率高，单位管长换热量大，管路接头少。其缺点是投资大，成本高，需采用高承压（1.6～2.0MPa）塑料管，钻机要求性能高；由于深层岩土温度场受地面温度影响很小，因此必须注意冬季吸热和夏季排热量的平衡，

否则将影响地源热泵的长期使用效果，在国外，有的采用在系统中加装冷却塔和辅助加热的措施，帮助地下岩土实现热平衡。

中埋管介于浅、深埋两者之间，塑料管可用普通承压型的。从统计的国内外工程实例看，中埋的地源热泵占多数。

3.2.2 应用潜力分析

为了分析土壤源热泵的应用潜力，需要进行土壤换热能力分析，而根据对项目当前实际建设情况的现场查勘，项目当前尚处于平场建设初期，主要在进行场地道路建设阶段，尚未进入到工程的实质性建设，因此，对于片区建筑的实际建设情况尚不能确定。因此，本次针对土壤源热泵系统的换热能力测试，仅定位在片区代表点进行土壤换热能力分析。鉴于项目组前期研究总结，详见《重庆地区地源热泵系统技术应用》，重庆地区整体土壤结构以泥岩为主，并与石英砂岩、砂质泥岩呈不等厚互层的结构。因此，虽然本次仅进行了取样研究，但鉴于整体差异不大，该分析仍然具备实际工程参考价值。如后续工程确定土壤源热泵应用的准确的位置后，尚应按照《地源热泵系统工程技术规范》（GB 50366-2009）规定开展具体工程的热响应测试。

按照上述分析思路，结合当前项目建设的实际情况，项目组选定位置进行了土壤热响应测试，了解掌握土壤地质结构和地埋管换热能力。相关测试结果详见热响应测试报告。如下将相关研究过程和结果进行综述。

① 现场实勘

2020 年 10 月 13 日，课题组前往重庆东站对建设工地的用地情况进行了初步勘查。当前东站及片区处于开发建设初期，目前仅站前（据施工人员介绍）道路在进行平场施工，已建立起堆放钢筋的厂房。

2020 年 10 月 20 日，课题组进行了土壤源热泵热响应测试现场勘查，与施工队伍一并再次对东站建设工地进行了深入调查，经过与施工单位的沟通，结合目前的工地实际实施情况，基于热响应测试要求，确定了单孔法测试的方案；并选定了进行土壤源热泵热响应试验的地块，协同安排了试验仪器和人员进场相关事宜。

同时与现场施工方确定了热响应试验场地应满足的条件：场地不在施工车辆进出的道路上，不影响施工进度；场地不在施工正面方向，不影响工地形象。

2020 年 10 月 26 日，土壤源热泵研究施工设备进场，安装打井设备（全液压钻井机），接水、电，开挖泥浆池、循环沟槽，并开始进行钻孔作业。

图 3.2.2-1 钻孔作业前准备

2020 年 10 月 27 日，由于打孔位置土壤下的回填方太厚导致打孔工作的进展并不是很顺利，此时已经更换了两次打孔的位置。本次钻井采用的是冲洗正循环全面钻进法，但是在回水的过程中有大量水下渗至土壤中。在临水临电方面，由于抽水侧位于较远处 50 米深的地下，且输送距离过长，导致水流量很小，现场其他进行场地平整的施工方也会出现占用临电的问题。目前打孔深度为 10 米左右。

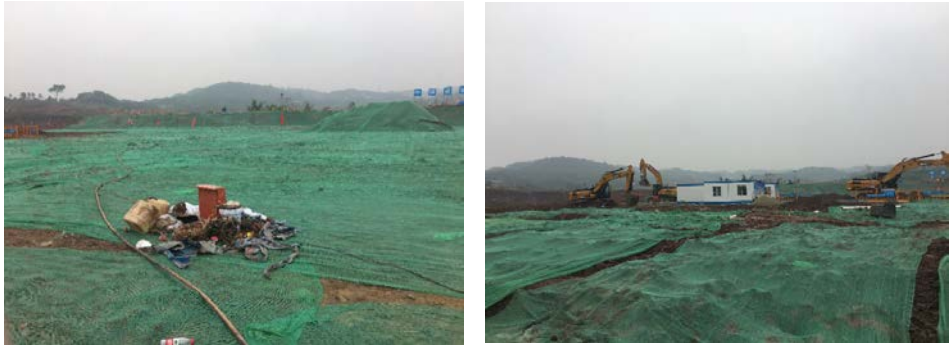


图 3.2.2-2 临水临电图示

2020 年 10 月 31 日至 2020 年 11 月 3 日，打孔工作开始恢复正常，截止到 11 月 3 日，打孔深度已经达到 90 米左右，岩芯已经按照深度层次进行摆放。

图 3.2.2-3 岩芯摆放图示

2020 年 11 月 6 日，开始进行试压下管的工序。双 U 型的接头采用电熔接方法在工厂进行。试压采用手动试压泵，带压观测。然后进行管卡的现场组装，将 U 形管通过下管器匀速插入钻孔，下午开始进行回填的工作，通过机械灌浆的方法将原浆回填。

图 3.2.2-4 下管图示

② 热响应测试

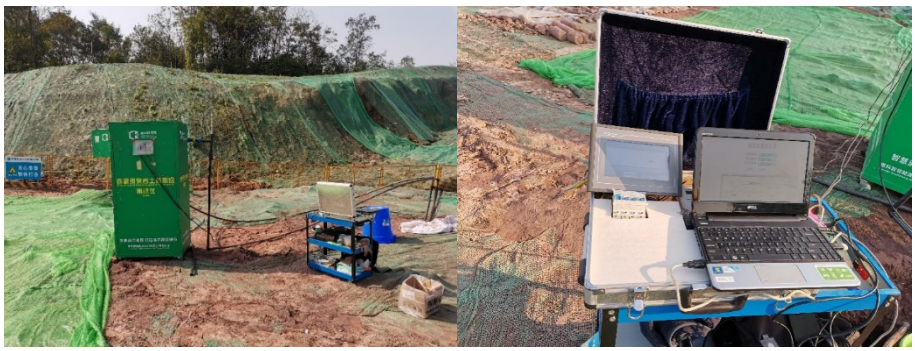


图 3.2.2-5 热响应测试现场

1、地质勘探

根据地质勘察钻孔取样，如图 3.2.2-6 所示，经汇总分析得到如下岩土性质分层描述表：

表 3.2.2-1 土壤性质分析表

序号	岩土分层	岩土性质	密度 kg/㎥	导热系数 w/m·℃	比热 J/Kg·℃
1	0～-8.10m	素填土	2250	1.83	836.00
2	-8.10～-16.50m	泥岩	1780	2.55	1379.40
3	-16.5～-17.50m	砂岩	2400	2.03	919.60
4	-17.5～-23.30m	泥岩	1780	2.55	1379.40
5	-23.3～-52.90m	砂岩	2400	2.03	919.60
6	-52.90～-56.50m	泥岩	1780	2.55	1379.40
7	-56.50～-85.90m	砂岩	2400	2.03	919.60
8	-85.90～-91.85m	页岩	1760	0.83	1003.20
9	-91.85～-95.10m	砂岩	2400	2.03	919.60
10	-95.10～-100.30m	页岩	1760	0.83	1003.20
0～-100 平均计算值			2207	1.98	1003.47

因此，根据按照地质勘探分析图分析计算，该工程所在地 0～100m 深范围内的土壤热物理性质可取为如下值：

导热系数＝1.98 w/m·℃；

密度＝ 2207Kg/㎥；

比热＝1003.47 J/Kg·℃。

图 3.2.2-6 0-100 米代表性岩芯

根据目前我国现行的《地源热泵系统工程技术规范》（GB 50366-2009）对竖直地埋管换热器的设计计算方法进行的规定，以及《地热

泵系统地埋管换热器施工技术规程》（CECS 344：2013）等标准中关于竖直地埋管换热器的设计计算方法为基础，并参考 IGSHPA 计算方法。

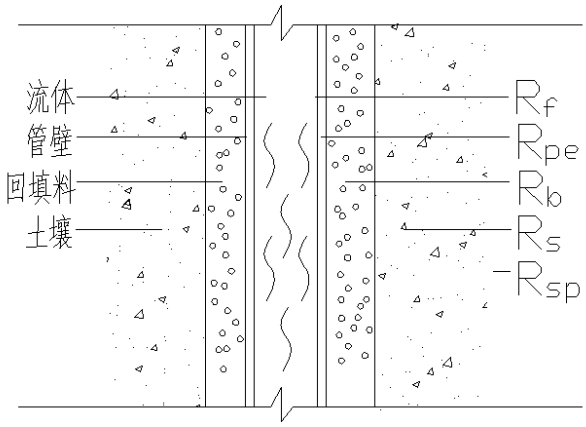


图 3.2.2-7 地埋管各层热阻示意图

传热介质与 U 形管内壁的对流换热热阻计算方法为

$$R_{\mathrm{f}} = \frac{1}{\pi \mathrm{d}_i K} \qquad \text{（式 3.2.2-1）}$$

R_{f}—传热介质与 U 形管内壁的对流换热热阻（m·K/W ）；

d_i— U 形管的内径（m）；

K—传热介质与 U 形管内壁的对流换热系数[W/（㎡·K）]，这里利用 $K = Nu\frac{\lambda_f}{d}$ 计算

$$R_{\mathrm{pe}} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\mathrm{p}}}\ln(\frac{d_e}{d_e-(d_o-d_i)}) \qquad \text{（式 3.2.2-2）}$$

$d_e = \sqrt{n}d_0$

R_{pe}—U 形管的管壁热阻（m·K/W）；

λ_{p}—U 形管导热系数[W/（m·K）]；

d_o—U 形管的外径（m）；

d_e— U 形管的当量直径（m）；

本工程为对于多个钻孔：

$$R_s = \frac{1}{2\pi\lambda_s} I[(\frac{r_b}{2\sqrt{a\tau}}) + \sum_{i=2}^{N} I(\frac{x_i}{2\sqrt{a\tau}})] \qquad \text{（式 3.2.2-3）}$$

R_s—地层热阻（m·K/W）；

I—指数积分公式；

λ_s—岩土体的平均导热系数[W/（m·K）]；

a—岩土体的热扩散率（㎡/s）；

r_b—钻孔的半径（m）；

τ—运行时间 （s）；

x_i—第 i 个钻孔与所计算钻孔之间的距离（m）；

$$R_{sp}=\frac{1}{2\pi\lambda_s}I\left(\frac{r_b}{2\sqrt{a\tau_p}}\right) \qquad \text{（式 3.2.2-4）}$$

R_{sp}—短期连续脉冲负荷引起的附加热阻（m·K/W）；

τ_p—短期脉冲负荷连续运行的时间。

根据《重庆东站地源热泵工程岩土热响应测试报告》，给出了地埋管换热器冬夏工况的参考换热量：对于 DN32 双 U 型地埋管，冬季每米孔深从地下提取的换热量为 45 W/m，夏季每米孔深向地下释放的热量为 57 W/m，同时测得其他热物性参数 100m 内原始平均地温为 19.64℃，综合导热系数为 2.03W/m・K。

结合重庆市应用土壤源热泵的实践，重庆地区的土壤换热能力较好，适合土壤源热泵应用的条件。本报告按照双 U 型换热器、埋管深度为 100m 的形式进行分析。按照《地源热泵系统工程技术规范》，地埋管换热器的钻孔间距应满足换热需要，间距宜为 3～6m，为了防止埋管间的热干扰，结合实际负荷特性和埋管场地情况，报告采用间隔 5m 的多排布置。

3.2.3 对象负荷分析

为分析区域能源可利用潜力，本报告分别进行了区域土壤热响应测试、地埋管换热器测算、单位土壤面积热容量分析等内容。

（一）系统能效比

根据《可再生能源建筑应用示范项目测评导则》中对系统能效比的测试方法，根据负荷计算情况和机组技术参数，对该地源热泵系统的夏季和冬季两个典型季节的系统能效比进行估算。

《可再生能源建筑应用示范项目测评导则》中规定，典型季节系统能效比是指地源热泵系统的制冷/制热量与系统输入功率之比，这里的系统输入功率主要是指热泵机组以及与热泵机组相关的所有设备的输入功率之和（不包括用户末端设备）。故对于本工程系统能效

的计算范围是热泵主机以及冷却水泵（地埋管系统水泵、冷却塔水泵、冷却塔、冷冻水泵）等设备。

系统能效比为：

$$COP_{SL}=\frac{Q_{SL}}{N_i+\sum N_j} \quad （式 3.2.3-1）$$

$$COP_{SH}=\frac{Q_{SH}}{N_i+\sum N_j} \quad （式 3.2.3-2）$$

式中：COP_{SL}——热泵系统的制冷能效比

COP_{SH}——热泵系统的制热能效比

Q_{SL}——系统制冷量kW·h

Q_{SH}——系统制热量kW·h

Ni——热泵机组所消耗的电量kW·h

Nj——水泵所消耗的电量kW·h

同时也应符合《可再生能源建筑应用工程评价标准》（GBT 50801-2013）以及《水（地）源热泵机组》（GBT 19409-2013）等相关标准中对制冷能效比、制热性能系数的相关规定。

因此系统的制冷能效比取值为：

$$COP_{SL}=5.0$$

系统的制热性能系数取值为：

$$COP_{SH}=4.1$$

（二）土壤源热泵系统最大换热量

根据《地源热泵系统工程技术规范》（GB 50366-2009），地源热泵系统的最大释热量发生在建筑设计最大冷负荷相对应的时刻，包括建筑所需冷量、热泵机组和冷却水泵释放到循环水中的热量（忽略循环水在输送过程中得到的热量）。将上述三个热量相加即可得到供冷状况下释放到地下循环水中的总热量。同理地源热泵系统的吸热量与建筑设计热负荷相对应。包括：各空调分区的水源热泵机组循环水中吸收的热量、循环水在输送过程中失去的热量。

但通过管道的保温，可忽略输送过程中的得失热量；同时水泵释放热量与整个系统输送能量相比很小，也可忽略不计。

重庆属于南方地区，冬季热负荷小于夏季冷负荷，为保证土壤热平衡，地埋管换热系统优先满足冬季负荷，夏季负荷不足时利用其他冷却形式进行调峰，因此设计计算时以冬季热负荷为基础进行计算。

1、铁路

根据重庆铁路投资集团负荷计算可知，铁路部分空调系统全年最大热负荷为 22366 kW。

系统最大吸热量＝$\sum$ [空调分区热负荷×（1－$\frac{1}{COP}$）]＋$\sum$ 输送过程失热量-$\sum$ 水泵释放热量

＝22366×（1－$\frac{1}{4.1}$）] ＋0＋0

＝16910.88 kW

其中 COP 定义为“系统的制热性能系数”，“空调分区热负荷×（1－$\frac{1}{COP}$）”代表冬季系统从土壤中实际吸收的热量。故对于铁路部分，地埋管换热器系统冬季设计最大的提取热量为 16910.88 kW。

2、商业区

商业区部分空调系统全年最大热负荷为 62901 kW。

系统最大吸热量＝$\sum$ [空调分区热负荷×（1－$\frac{1}{COP}$）]＋$\sum$ 输送过程失热量-$\sum$ 水泵释放热量

＝62901×（1－$\frac{1}{4.1}$）] ＋0＋0

＝47559.29 kW

故对于商业区部分，地埋管换热器系统冬季设计最大的提取热量为 47559.29 kW。

3、枢纽区

枢纽区部分空调系统全年最大热负荷为 15236 kW。

系统最大吸热量＝$\sum$ [空调分区热负荷×（1－$\frac{1}{COP}$）]＋$\sum$ 输送过程失热量-$\sum$ 水泵释放热量

＝15236×（1－$\frac{1}{4.1}$）]＋0＋0

＝11519.90 kW

故对于枢纽区部分，地埋管换热器系统冬季设计最大的提取热量为 11519.90 kW。

（三）地下埋管换热器容量设计

（1）铁路负荷

经前述计算可知该部分负荷对应的土壤源热泵系统冬季的最大吸热量 16910.88 kW，单位井深换热量取 45 W/m，则竖井总深度 S＝16910878/45＝375797.29 m；每个井的井深取 100 m，则竖井数量为 N＝375797.29/100＝3757.97 口，并考虑 5%的余量，取 4135 口。因为铁路功能负荷对应的需采用双 U 埋管，打井 4135 口。

（2）商业区负荷

经前述计算可知该部分负荷对应的土壤源热泵系统冬季的最大吸热量 47559.29 kW，单位井深换热量取 45W/m，则竖井总深度 S＝47559293/45＝1056873.17m；每个井的井深取 100 m，则竖井数量为 N＝1056873.17/100＝10568.73 口，并考虑 5%的余量，取 11100 口。因为商业区功能负荷对应的需采用双 U 埋管，打井 11100 口。

（3）枢纽区负荷

经前述计算可知该部分负荷对应的土壤源热泵系统冬季的最大吸热量 11519.90 kW，单位井深换热量取 45 W/m，则竖井总深度 S＝11519902/45＝255997.83 m；每个井的井深取 100 m，则竖井数量为 N＝255997.83/100＝2559.98 口，并考虑 5%的余量，取 2690 口。因为枢纽区功能负荷对应的需采用双 U 埋管，打井 2690 口。

3.2.4 土壤源热泵应用量分析

（一）埋管占地面积

根据铁路部分以及商业区域需求侧冷热负荷量，经单位井深换热量、地下换热器总长度、地下换热器占地面积等多方面对比分析，得出铁路部分所需要埋管总占地面积约 100175 ㎡，商业区域部分所需要埋管总占地面积约 272250 ㎡，枢纽区域部分所需要埋管总占地面积约 64675 ㎡。

根据铁路部分、商业区域以及枢纽区域的占地面积，同时考虑到铁路部分和商业区域的可用性，取不可用程度为 10%，则铁路部分的可用面积为 160485.3 ㎡，商业区域的可用面积为 266811.39 ㎡，枢纽区域的可用面积为 127331.1 ㎡。

考虑到项目采用双 U 埋管，换热器间距 5m 的组合，则铁路部分可打井 6565 口，商业区域可打井 10610 口，枢纽区域可打井 5194 口。每个井的井深取 100 m，则铁路部分竖井总深度为 656500m，商

业区域竖井总深度为 1061000m，枢纽区域竖井总深度为 519400m，由单位井深换热量取 45 W/m，可得到铁路部分侧土壤源热泵系统冬季的最大吸热量为 29542.5 □，商业区域侧土壤源热泵系统冬季的最大吸热量为 47745 □，枢纽区域侧土壤源热泵系统冬季的最大吸热量为 23373 □。因此最终铁路部分土壤源热泵系统可为冬季热负荷约为 39072.34 □的建筑供能，商业区域土壤源热泵系统可为冬季热负荷约为 63146.61 □的建筑供能，枢纽区域土壤源热泵系统可为冬季热负荷约为 30912.68 □的建筑供能。

但铁路客站基本站台下一般都敷设有大量的管线，如通信、信号、电力、给排水、消防及暖通等专业管线。施工作业复杂，地埋管施工难度大，且不利于成品保护，因此暂不考虑在铁路部分埋设地埋管，而东站片区内商业区域更适宜采用土壤源热泵系统，经济性高。

（二）可利用面积分析

考虑到实际工程项目实施的阶段各不相同，以及尽可能避免地埋管施工所带来的工程实施进度及协调问题，本报告结合东站片区规划图，分析了利用规划绿化带集中设置地埋管换热器的应用潜力，因此初步考虑地埋管置于绿廊，且距离商业区域较近。

根据《东站站前区控制性详细规划修编》中东站片区工程本身拥有 188600 ㎡的公园绿地（绿廊）面积，根据《东站用地图》可知：绿廊 1（冯家沟）的占地面积为 33338.78 ㎡，绿廊 2（竹沈家湾沟）的占地面积为 34386.66 ㎡， 绿廊 3 所处地块由于为后期建设区域，本次测算暂不考虑。

考虑到靠近冯家沟以及竹沈家湾沟的绿廊周围的可用性，取不可用程度为 5%，则绿廊 1（冯家沟）的可用面积为 31671.84 ㎡，绿廊 2（竹沈家湾沟）的可用面积为 32667.33 ㎡。

考虑到项目采用双 U 埋管，换热器间距 5m 的组合，则绿廊 1（冯家沟）可打井 1296 口，绿廊 2（竹沈家湾沟）可打井 1373 口。每个井的井深取 100 m，则绿廊 1（冯家沟）竖井总深度为 129600m，绿廊 2（竹沈家湾沟）竖井总深度为 137300m，由单位井深换热量取 45 W/m，可得到绿廊 1（冯家沟）侧土壤源热泵系统冬季的最大吸热量为 5832 □，绿廊 2（竹沈家湾沟）侧土壤源热泵系统冬季的最大吸热量为 6178.5 □。

因此绿廊 1（冯家沟）侧土壤源热泵系统可为冬季热负荷约为 7713.29 □ 的建筑供能，绿廊 2（竹沈家湾沟）侧土壤源热泵系统可为冬季热负荷约为 8171.56 □ 的建筑供能。

图 3.2.4-1 东站用地图

3.2.5 结论建议

经上述测算可整理出下表：

1、各功能区冷热负荷对应土壤源地埋管占地需求

表 3.2.5-1 各功能区冷热负荷对应土壤源地埋管占地需求

	铁路	商业区	枢纽区
夏季冷负荷	39318 kW	165190 kW	33414 kW
冬季热负荷	22366 kW	62901 kW	15236 kW
土壤源地埋管占地需求面积	100175 ㎡	272250 ㎡	64675 ㎡

2、各功能区可提供的土壤源热泵可供应的冷热负荷量

表 3.2.5-2 各功能区可提供的土壤源热泵可供应的冷热负荷量

	铁路	商业区	枢纽区
可用面积	160485.3 ㎡	266811.39 ㎡	127331.1 ㎡
地埋管可提供夏季冷负荷量	31183.75 kW	50397.5 kW	24671.5 kW
地埋管可提供冬季热负荷量	39072.34 kW	63146.61 kW	30912.68 kW

3、绿廊对应的土壤源热泵系统可供应的冷热负荷量

表 3.2.5-3 绿廊对应的土壤源热泵系统可供应的冷热负荷量

	绿廊 1（冯家沟）	绿廊 2（竹沈家湾沟）
可用面积	31671.84 ㎡	32667.33 ㎡
地埋管可提供夏季冷负荷量	6156 □	6521.75 □
地埋管可提供冬季热负荷量	7713.29 □	8171.56 □

根据上表 3.2.5-1 和表 3.2.5-2 可见，铁路以及枢纽部分用地面积虽然满足全负荷需求的地埋管占地面积，但铁路与枢纽部分占地面积存在较多的功能性需求。因此，铁路部分并不适合土壤源地埋管实施，而枢纽部分需要根据枢纽具体功能要求进行具体深化设计，在例如停车场、候车站等地方，可以实施土壤地埋管；而商业用地部分面积不能满足全负荷需求的地埋管占地面积需求。

根据表 3.2.5-3，结合到 3.2.4 中占地面积分析，在考虑集中绿化带设置地埋管的方案中，绿廊 1（冯家沟）与绿廊 2（竹沈家湾沟）可供应的夏季总冷负荷量占住宅和商业建筑总冷负荷的 5.95%，可供应的冬季总热负荷量占总住宅和商业建筑总热负荷的 15.26%。可见，虽然采用集中设置地埋管换热器的土壤源热泵方案所提供的冷热负荷占比不大，但设置灵活，不影响其他规划，并可将其纳入集中能源供应系统。

3.3 水源热泵系统应用潜力分析

3.3.1 水源热泵应用形式介绍

（一）水源热泵系统特点

地表水源热泵是以地表水为热源的可进行制冷制热循环的一种热泵型整体式空调装置，它在制热时以地表水作为热源而在制冷时以地表水作为排热源。以水作为热源的优点是：水的质量热容大，传热性能好，传递一定热量所需的水量较少，换热器的尺寸可较小。江河湖海的地表水在一年内温度变化较小，都可作为冷热源。

地表水温度一年四季相对稳定，冬季比环境空气温度高，夏季比环境空气温度低，是很好的热泵热源和空调冷源，大大提高了一次能源的利用率。地表水源热泵制冷、制热系数一般可达 3.5～4.4，与传统的空气源热泵相比，要高出 40%左右。锅炉供热只能将 90%以上的电能或 70%-90%的燃料内能转化为热量供用户使用，因此水源热泵要比电锅炉加热节省 2/3 以上的电能，比燃料锅炉节省 1/2 以上的能量；其运行费用比普通中央空调能节省 40%左右。

总的来讲，地表水源热泵空调系统主要具有以下技术优势：

（1）地表水源热泵机组冬季可利用的水体温度比环境空气温度高，所以热泵循环的蒸发温度提高，能效比也提高。而夏季水体比环境空气温度低，所以制冷的冷凝温度降低，使得冷却效果好于风冷式和冷却塔式，机组效率提高。据美国环保署（EPA）估计，设计安装良好的水源热泵，平均来说可以节约用户 30%～40%的供热制冷空调的运行费用。

（2）水体的温度一年四季相对稳定，其波动的范围远远小于空气的变动。是很好的热泵热源和空调冷源，水体温度较恒定的特性，使得热泵机组运行更可靠、更稳定。而且整个系统的维护费用也较锅炉－制冷机系统大大减少，保证了系统的高效性和经济性。

（3）不存在空气源热泵的冬季除霜等难点问题。

（4）地表水源热泵系统可实现对建筑物的供热和制冷，还可供生活热水，一机多用。一套系统可以代替原来的锅炉加制冷机的两套装置或系统。系统紧凑，省去了锅炉房和冷却塔，节省建筑空间，也有利于建筑的美观。

（5）地表水源热泵是利用了地球水体所储藏的太阳能资源作为冷热源，进行能量转换的供暖空调系统。其中可以利用的水体包括河流、湖泊以及海洋等。地表土壤和水体不仅是一个巨大的太阳能集热器，收集了 47%的太阳辐射能量，比人类每年利用能量的 500 倍还

多，而且是一个巨大的动态能量平衡系统，地表的土壤和水体自然地保持能量接受和发散的相对的均衡。这使得利用储存于其中的近乎无限的太阳能或地能成为可能。所以说，地表水源热泵是一种利用清洁的可再生能源的技术。

（二）系统原理图

水源热泵是利用地球表面浅层地热能如土壤、地下水或地表水（江、河、海、湖或浅水池）中吸收的太阳能和地热能而形成的低位热能资源，采用热泵原理，通过少量的高位电能输入，实现低位热能向高位热能转换的一种技术在夏季利用制冷剂蒸发将空调空间中的热量取出，放热给水源中的水，由于水源温度低，所以可以高效地带走热量；而冬季，利用制冷剂蒸发吸收水源中水的热量，通过空气或水作为载冷剂提升温度后在冷凝器中放热给空调空间。如下图所示为水源热泵空调系统工作原理示意图。

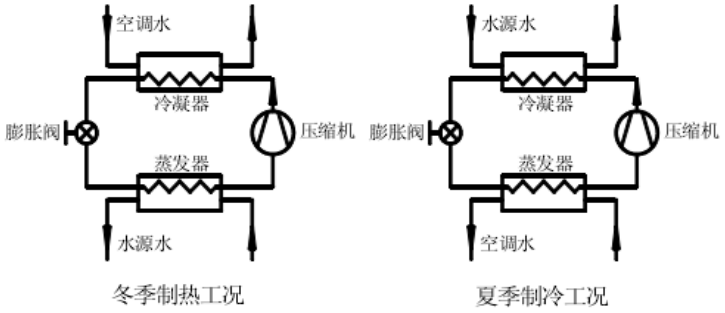


图 3.3.1-1 水源热泵系统原理图

③ 利用方案分析

1、闭式系统与开式系统

根据传热介质是否与大气相通，地表水源热泵系统可以分为开式系统与闭式系统。开式系统是指在循环泵的驱动下，经过处理直接流经水源热泵机组或者通过中间换热器进行热交换的系统；闭式系统则是将封闭的盘管换热器按照特定的排列方法放入具有一定深度的地表水体中，传热介质通过换热器管壁与地表水进行热交换的系统。系统特点如下图所示：

表 3.3.1-1 系统分类形式特点

系统分类形式	优点	缺点
闭式系统	循环介质清洁避免堵塞，水泵扬程低	循环介质温度低引起机组性能降低，换热盘管易影响航道正常运行

系统分类形式	优点	缺点
开式系统	换热效率高，出投资较低，适合于容量较大的系统	对水质有较高要求，且水泵扬程较高

2、水温及水质

地表水水源热泵的适用性与地表水温、水质和室外气象资料有关，水源热泵机组工况参数的确定以及性能的适用性，直接关系到水源热泵系统的正常运行和能量消耗。地表水源热泵系统对水源的要求是：水量充足、水温适度、水质适宜、供水稳定。

水源的水量应当充足够用，能满足用户制热负荷或制冷负荷的要求。

水源的水温适度，适合机组运行工况，根据美国制冷学会 ARI320 标准，开式系统水源热泵对水温的要求是 5～38℃，在水温 10～22℃之间运行时能效比较高。制热工况时，机组能效比随着进入蒸发器的水温的升高而提高；制冷工况时，机组能效比随着进入冷凝器的水温的降低而提高。一般地源热泵机组使用工况为:夏季最低启动温度约为 18℃，冬季最高启动温度约为 22℃，即当夏季水源水温低于 18℃，水源水不宜直接进入冷凝器，或冬季水源水温高于 22℃，水源水不宜直接进入蒸发器。

水源的水质适宜，如果水质硬度较大，会造成换热器表面结垢，使设备的传热性能下降，如果水中含氯离子量大，还会造成设备的腐蚀。另外，对地表水源热泵系统来说，水池或湖泊的面积及深度对系统供冷性能的影响比对供热性能的影响大。浅水池或湖泊（深 4.5～6m）的热负荷不应超过 15 冷吨/英亩或其水体不应产生温度分层现象。对于温度分层明显的深水湖（>8.5m），其热负荷最大值不应超过 80 冷吨/英亩。冬季，地表水的水温不宜过低以避免在换热器中出现结冰。

3、取排水方案

目前工程中最常用的取水方案有浮船取水、潜水泵直接取水、渗滤取水以及岸边直接取水＋水处理方案等方案。

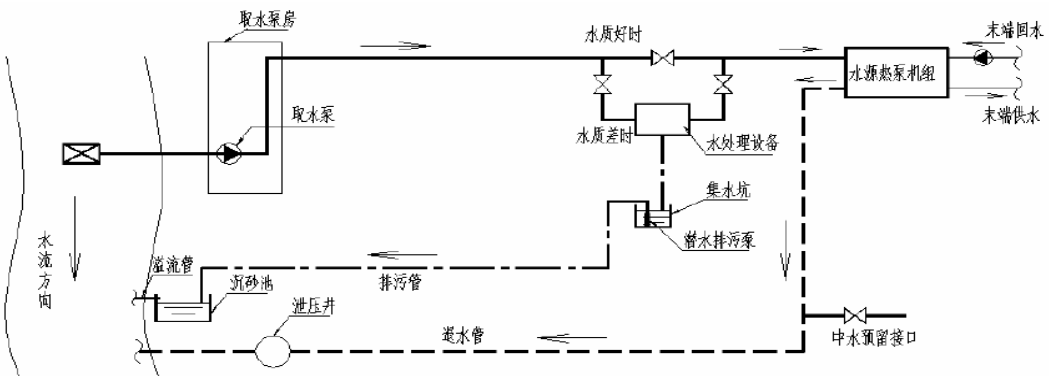


图 3.3.1-2 取排水示意图

取水设施应与周围环境保持协调，项目取水位置河面水深较浅，不具备浮船取水条件，排除浮船取水方案；考虑取水可靠性要求及检修要求，为延长取水系统寿命，防止水泵被泥沙掩埋或洪水冲走破坏取水系统，排除潜水泵直接取水方案；同时渗滤取水方案施工难度大，成本较高，且有一定的水量衰减，而该河流枯水期水量较少，排除渗滤取水方案。当前项目具体形式尚不确定，因此本报告不对具体的取水方式进行论述。

3.3.2 应用潜力分析

为了充分了解片区河流水容量，在查询了上诉水文资料后，项目组组织了对临近片区的河流段进行了水容量实测。

（一）测试仪器

测试过程中采用的仪器如下表所示：

表 3.3.3.2-1 长生河流量测试仪器

仪器	数量	量程精度	精度和误差
红外测温枪	1	-32～450℃	±1.8℃
激光测距仪	1	最大 575m	3 ㎝（50m），5 ㎝（150m）
磁悬浮便携插入式流速流量计	1	0-50℃ 0.1-3.5m/s	≤4%
米尺	1	50m	1 ㎜
标杆	1	5m	1 ㎜

（二）测试原理

长生河河道平缓，河面宽，水流较为稳定，属于明渠流，近似计算可以沿用水力学中明渠流的有关定律和经验公式。为便于工程分析，将长生河河道测试段的明渠流简化为光滑壁面的明渠流动。

根据水力学中明渠流的有关定律和经验公式：二元明渠中纵向流速沿垂线分布，根据不同规律可以分为直线层（y＜5 ㎜，y 为水中任一点到渠底的距离），过渡层（5＜y＜30～70 ㎜）和对数层，一般而言以对数层为主，简化计算可认为都符合对数层的计算公式。典型河水流量（明渠流）测试方法如下：

（1）测量河面宽度

测量河面宽度，再将河道截面简化为若干个不同深度的矩形纵截面。认为每个矩形截面的流速随 y 的变化存在一定规律，进而计算得到每个矩形截面的流量，最后将各个矩形内的流量相加即可得到河道总流量。

（2）获取矩形内流速

将矩形纵截面划分后，在矩形内垂直于河面的方向（垂线）上测量不同深度河水流动速度（取一定时间内的平均值），根据测试点处河水深度，每个矩形取 2～4 个点。基于 Prandtl 动量传递理论的混合长度假设，则测试所得距离水 y 米深度处的流速和水深有如下关系式：

$$u = u_{max} - \frac{u_*}{k} ln \frac{H}{y} \qquad （式 3.3.2-1）$$

u_{max}——垂线最大流速，m/s；

u——水深 y 处流速，m/s；

y——水中任一点到渠底的距离，m；

H——渠道水深，m；

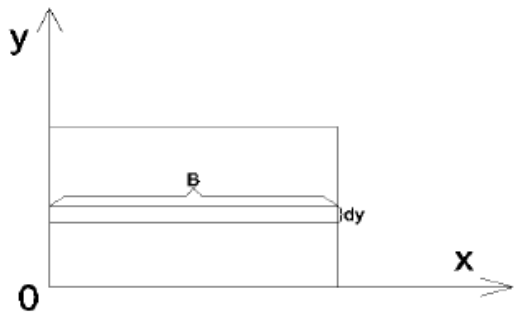
k——卡门常数，常取 0.4；

u_*——摩阻流速，m/s。

将测量所得的数据代入公式，解方程组即可得到垂线最大流速和摩阻流速。

（3）计算每个矩形内的流量

根据上面计算所得的长生河主流道段水流流速随深度 y 的变化规律，可以计算出河水流量（忽略直线段、过渡段河水流量），将矩形内河流断面 y 方向积分如下：



积分断面

图 3.3.2-1 河流断面积分图

$$dQ_i = udA = \left(u_{max} - \frac{u_*}{k} ln\frac{H}{y}\right) Bdy \qquad （式 3.3.2-2）$$

矩形内的流量计算公式如下：

$$Q_i = \int_{0.05}^{H} udA = \int_{0.05}^{H} \left(u_{max} - \frac{u_*}{k} ln\frac{H}{y}\right) Bdy = \int_{0.05}^{H} \left[u_{max} - \frac{u_*}{k}(lnH - lny)\right] Bdy$$

$$= \int_{0.05}^{H} \left[u_{max} - \frac{u_*}{k} lnH\right] Bdy + \int_{0.05}^{H} \left[\frac{u_*}{k} lny\right] Bdy$$

$$= B\left[H\left(u_{max} - \frac{u_*}{0.4}\right) - 0.05\left(u_{max} - \frac{u_*}{0.4}\right) + 0.05\frac{u_*}{0.4} ln\frac{H}{0.05}\right] \qquad （式 3.3.2-3）$$

总流量等于各个矩形面积的流量之和，计算公式如下：

$$Q = \sum_{i=1}^{n} Q_i \qquad （式 3.3.2-4）$$

（三）测试步骤

项目组对长生河进行的河水流量实测步骤如下：

（1）河面宽度测量

采用激光测距仪进行河面宽度（激光测距仪是测量两点之间距离的仪器，在工作时向目标射出一束很细的激光，再由光电元件接收目标反射的激光束，计时器测定激光束从发射到接收的时间，计算出从观测者到目标的距离，能获取两点之间的水平距离，垂直落差和与地平线的夹角等），同时用钢尺再次量取距离以起到校核距离的作用。

（2）水温和空气温度测试

采用 LOK-E110 磁悬浮便携插入式流速流量计以及红外测温枪对水温进行测试。

（3）流速测试

采用 LOK-E110 磁悬浮便携插入式流速流量计对不同位置不同深度进行流速测试，测试过程中用标杆（表面有刻尺）以减少测试误差，同时起到插入水中固定仪器的作用。

（4）流量测试

河水流量测量采用间接测量的方法，通过测量河水过流断面面积和该过流断面的对应平均流速，计算河水流量。

（四）测试结果

表 3.3.2-2 断面 1 测试参数

河流名称	长生河	测试位置	断面 1(水流缓慢)	测试时间	2020/11/7	备注
测试方法	测距仪、卷尺、红外线测温仪、测速仪			河宽(m)	7.88/7.95/8.05/8.0 卷尺	
测点距墙侧河岸距离(m)	水表温度(℃)	水下温度(℃)	平均流速(m/s)	水深 h (m)	测点深度 0.6h(m)	
0	18.1	15	0.359	0.25	0.15	
1	18.2	15	0.504	0.28	0.17	
2	17.9	15	0.487	0.29	0.17	
3	17.9	15	0.415	0.29	0.17	
4	18.1	15	0.398	0.29	0.17	
5	17.9	15	0.410	0.24	0.14	
6	18.1	15	0.385	0.20	0.12	
6.5	18.1	15	0.295	0.25	0.15	
7	17.7	15	0.034	0.11	0.07	水草边缘处
7.5	17.2	15	0.116	0.28	0.17	水草中

图 3.3.2-2 长生河断面 1

表 3.3.3.2-3 断面 2 测试参数

河流名称	长生河	测试位置	断面 2(水流较急)	测试时间	2020/11/7	备注
测试方法	测距仪、卷尺、红外线测温仪、测速仪			河宽(m)	8.03/7.57/7.78/7.9 卷尺	
测点距墙侧河岸距离(m)	水表温度(℃)	水下温度(℃)	平均流速(m/s)	水深 h (m)	测点深度(m)	
0	17.6	14	0.100	0.32	0.19	测点深度 0.6h
1	17.4	15	0.229	0.46	0.09	测点深度 0.2h
		15	0.294		0.28	测点深度 0.6h
2	17.5	15	0.235	0.65	0.13	测点深度 0.2h
		15	0.425		0.39	测点深度

						0.6h
3	17.2	15	0.432	0.63	0.13	测点深度 0.2h
		15	0.422		0.38	测点深度 0.6h
4	17.6	15	0.199	0.51	0.10	测点深度 0.2h
		15	0.274		0.31	测点深度 0.6h
5	17.9	15	0.135	0.40	0.08	测点深度 0.2h
		15	0.148		0.24	测点深度 0.6h
6	17.9	15	0.042	0.25	0.15	测点深度 0.6h
7	17.9	15	0.067	0.25	0.15	测点深度 0.6h
8	17.7	15	0.046	0.20	0.12	测点深度 0.6h

图 3.3.2-3 长生河断面 2

表 3.3.3.2-4 断面 3 测试参数

河流名称	长生河	测试位置	断面 3(水流急)	测试时间	2020/11/7	备注
测试方法	测距仪、卷尺、红外线测温仪、测速仪			河宽(m)	4.00	
测点距墙侧河岸距离(m)	水表温度(℃)	水下温度(℃)	平均流速(m/s)	水深 h (m)	测点深度(m)	
0	17.7	15	0.035	0.58	0.12	测点深度 0.2h
		15	0.245		0.35	测点深度 0.6h
0.8	17.7	15	0.056	0.60	0.12	测点深度 0.2h
		15	0.518		0.36	测点深度 0.6h
1.6	18.3	15	0.267	0.57	0.11	测点深度 0.2h
		15	0.683		0.34	测点深度 0.6h
2.4	17.9	15	0.161	0.55	0.11	测点深度 0.2h
		15	0.311		0.33	测点深度 0.6h
3.2	17.3	15	0.120	0.64	0.13	测点深度 0.2h
		15	0.307		0.38	测点深度 0.6h
4	17.2	15	0.016	0.60	0.12	测点深度 0.2h
		15	0.080		0.36	测点深度 0.6h

图 3.3.2-4 长生河断面 3

（五）现场实勘

2020 年 10 月 13 日，课题组进行长生河水流经途径的查勘，在如图 3.3.2-5 所示桂雨路与香溪路交界周边，已处于开发完毕阶段，其堰体结构型式主要为重力式。

图 3.3.2-5 重力式堰体结构

如图 3.3.2-6 所示的河流，处于与蔷薇路、广茂大道相垂直的桥之下，距离施工场地较近（约 881 米）。

图 3.3.2-6 长生河近照

2020 年 10 月 28 日，课题组前往长生河区域进行对苦溪河的水温、水深以及河宽的初步测量。本次实测实量选取了 6 个有代表性的截面，采集了基本数据，并确定了实验动线以及测试落点，为下一步精确测量做了充足的准备。图 3.3.2-7 表示桥两侧取测点的位置，1-6 测点的位置详见附录 A.2.1。

图 3.3.2-7 1-6 测点位置

测得如下表数据：

表 3.3.2-5 测试参数

截面序号	1	2	3	4	5	6
河(沟)宽(m)	8.552	6.399	5.965	9.058	9.040	4.853
	8.560	6.490	6.068	9.087	9.061	4.982
	8.564	6.581	6.088	9.128	9.130	5.057
距岸 0.5 米水深(m)	0.4	0.46	0.35	0.5	0.7	0.35
中心水深估测(m)	1	1	0.8	1	2	0.5
水温(℃)	17.9-18	16.5-16.6	18.0-18.1	18.5-18.7	18.5-18.6	18.6-18.7

由于当天为降雨状态，降雨会对地表水体自然的水温分布产生影响，从而影响开式地表水源热泵系统的取水温度。然而，开式地表水水源热泵高效应用有两个关键因素：一个是取水温度，另一个就是取水能耗。确定一个地表水是否节能很大程度上取决于取水温度和取水能耗的耦合值；此外，取水温度的高低对水源热泵机组的能效有很大影响。

2020 年 11 月 7 日，课题组再次前往苦溪河区域，携带仪器与装备进行对苦溪河的水温、水深、河宽及流速的深入测量。本次实测实量选取了 3 个有代表性的截面，采集了数据。

图 3.3.2-8 测试过程图示

3.3.3 对象负荷分析

（一）基础数据分析

根据《苦溪河流域综合整治可研报告》，长生河发源于巴南区鹿角场，流经雷家桥水库、踏水桥、胜利桥、石门滩、双河口、长生桥镇、下河嘴，在峡口镇的梧桐元（高程 163.7m）汇入长江。苦溪河流域面积 83.4㎢，河长 25.2 ㎞，河道平均坡降 4.85‰。河道沿途有跳蹬河、梨子园河和拦马河等 3 条较大的支流和 10 多条小溪流汇入。整个河道除石门滩河段纵坡较陡外，大部分河段较平缓。上游雷家桥至胜利桥河段两岸地形平缓，属山岭微丘地段，胜利桥至双河口段两岸地势较陡，下游长生桥镇段属山岭重丘地段。河道两岸除已平场河段外，大部分是农田，植被覆盖率较高，乔木和灌木生长茂盛。

长生河流域现有水库 7 座，其中小（一）型水库有雷家桥水库和百步梯水库，小（二）型水库有木耳厂水库、南山水库、石塔水库、团结水库和陈家滩水库。

图 3.3.3-1 长生河流域水库位置图

各水库基本情况见下表。

表 3.3.3.3-1 长生河流域主要水库基本情况统计表

水库名称	所在河流	所在地	总库容(万㎥)	坝高(m)	集水面积(㎢)
雷家桥水库	长生河	长生桥镇	288.0	21.5	4.62
百步梯水库	梨子园河	长生桥镇	137.0	17	1.51
木耳厂水库	拦马河	长生桥镇	21.0	11.4	6.86
南山水库		长生桥镇	12.5	9.55	0.31
石塔水库		峡口镇	12.0	8.98	1.06
团结水库		峡口镇	55.0	21.5	0.68
陈家滩水库	跳蹬河	鹿角镇	42.0		3.78

跳蹬河发源于巴南区，流经陈家滩水库、平桥、青龙湾，在双河口汇入苦溪河。据万分之一地形图量算，跳蹬河流域面积 17.0 ㎢，河长 11.9 ㎞，河道平均坡降 10.52‰。河道现有 4 条小溪流汇入，整个河段属山岭重丘地段。上游平桥至砖厂段纵坡较大，其余河段纵坡较为平缓。河道左岸已基本平场完毕，右岸大部分是农田，植被覆盖率较高，乔木和灌木生长旺盛。

拦马河发源于南岸区铜锣山脉，流经踏水桥水库、木耳厂水库，在土桥子和梨子园河相汇合，在太极岛处汇入苦溪河。据万分之一地形图量算，拦马河流域面积 21.6㎢，河长 10.1 ㎞，河道平均坡降 13.06‰。

长生河及其主要支流基本情况见下表。

表 3.3.3.3-2 长生河流域主要水系基本情况统计表

河流名称	流域面积（㎢）	河长（㎞）	平均比降（‰）	备注
长生河	83.4	25.2	4.85	
跳蹬河	17.0	11.9	10.52	
拦马河	21.6	10.1	13.38	
梨子园河	11.1	12.1	13.69	

根据《重庆市城乡总体规划（2007-2020 年）》（2011 年修订）、《重庆市南岸区分区规划》（2012～2020 年）、2015 年 8 月最新用地性质规划，长生河流域红线范围内包含规划用地性质 G1 与 G2（详见下图），即流域内可作公园绿地与防护绿地的建设。

图 3.3.3-2 长生河流域规划用地性质图

长生河流域无实测径流资料，根据《水利水电工程水文计算规范》（SL278-2002）的规定：“径流资料短缺时，工程地址径流量可根据设计流域降水资料，采用设计流域或邻近相似流域的降雨径流关系估

算。也可采用经主管部门审批的最新水文图集或水文比拟、地区综合等方法估算”。长生河流域与白鹤水文站相距较近，气候条件、径流补给来源及下垫面情况基本一致，故可将白鹤水文站作为水文计算的设计依据站。

经计算，长生河多年平均径流量成果见下表。

表 3.3.3.3-3 长生河多年平均径流量成果表

流量：万㎥

河流	集水面积(㎢)	多年平均径流量(万㎥)	多年平均流量(㎥/s)	不同保证率年径流量(万㎥)			
				25%	50%	75%	95%
长生河	83.4	3332	1.06	4215	3205	2512	1986

（二）水体热容量计算

如果不考虑流入流出带走的热量，地表水的传热形式主要包括接收来自太阳的辐射热、水面的蒸发传热、与周围空气之间的对流热交换、湖水换热器的吸热或放热、湖底部土壤与湖水之间的热传导，以及湖水渗漏带走的热量。夏季，地表水体的得热以太阳辐射为主；当水温低于空气温度时，热量通过对流换热传递到水体中，风会使湖水的对流换热量增加，通过湖水表面的最大对流得热量一般仅为太阳辐射热量的 10%～20%。在白天，因为温差相对较小，对流得热或散热只占很小一部分；在晚上，当大气温度降低后，湖水对大气传热主要以长波辐射为主。湖水与底部土壤的导热量很小，这是由于夏季的土壤温度接近于湖水温度所造成的。另外，湖水的冷却主要通过水面的蒸发作用和辐射散热来实现，风速对蒸发换热量的大小也有很大的影响。《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002） 规定：中华人民共和国领域内江、河、湖泊、水库等具有适用功能的地面水水域，人为造成的环境水温变化应限制在：周平均最大温升≤1℃；周平均最大温降≤2℃。

根据课题组实测分析，测得平均水流量为 0.918 ㎥/s，同时对照前文引述的水文资料中给出的多年平均流量 1.06 ㎥/s，相对误差约为 13.4%，考虑到测试仅为一次性测试，且从保险起见，报告分析中取平均水流量为 0.918 ㎥/s。同时经项目组实测分析得到长生河 11 月份平均水温为 15℃，对应的空气温度也为 15℃。根据《重庆地区地源

热泵系统技术应用》中研究得到的空气月平均温度与江水月平均温度的变化关联可知，两者显著性高度相关，且相差不大，同时考虑到长生河容量较小，因此平均水温近似为空气温度，夏季取值为 26℃，冬季取值为 11℃。

水源热泵系统能效比取已测若干工程的测试平均值，同时应符合相关标准的规定：夏季制冷系统能效比为 3.6，冬季供热系统能效比为 3.4。

（一）夏季

如果按照 10%取水，则取水量为 0.0918 ㎥/s，按用水温差 5℃考虑，其水量供水源热泵使用，水源热泵可提供的冷量为：

$$0.0918\ ㎥/s\times4.2\times1000J/（kg\cdot℃）\times5℃\times1000kg/㎥\times\frac{3.6}{3.6+1}=1508.7\ □。$$

（二）冬季

同理，冬季水源热泵可提供的热量：

$$0.0918\ ㎥/s\times4.2\times1000J/（kg\cdot℃）\times5℃\times1000kg/㎥\times\frac{3.4}{3.4-1}=2731.05\ □。$$

3.3.4 地表水源热泵应用量分析

（一）夏季

依据《重庆市居住建筑节能设计标准》中节能住宅的耗冷量指标限值（标准规定）31.3w/㎡计算，可供给面积：1508713.04 /31.3＝48201.69 ㎡的住宅建筑空调使用。

按公共建筑平均冷负荷指标 150w/㎡计算，则可提供 1508713.04/150＝10058.09 ㎡的公共建筑空调使用。

同理，如果按照 20%取水，则水源热泵提供冷量为：3017.43 □；

如果按照 30%取水，则水源热泵提供冷量为：4526.14 □。

10%河水取水量下，河水水温升只有[90×26+10×(26+5)]/100-26=0.5℃。

（二）冬季

依据《重庆市居住建筑节能设计标准》中节能住宅冬季耗热量指标限值（标准规定）12.3w/㎡计算，可供给面积：2731050/12.3＝222036.59 ㎡的住宅建筑空调使用。

按公共建筑平均耗热指标 70w/㎡计算，则可提供 2731050/70＝39015 ㎡的公共建筑空调使用。

同理，如果按照 20%取水，则水源热泵提供热量为：5462.1 □；

如果按照 30%取水，则水源热泵提供热量为：8193.15 □。

10%河水取水量下，河水水温升只有 11-[90×11+10×(11-5)]/100＝0.5℃。

3.3.5 结论建议

1、地表水源热泵可供应冷热负荷

表 3.3.5-1 地表水源热泵可供应冷热负荷

	可提供夏季冷负荷量	可提供冬季热负荷量
10%总量取水	1508.7 □	2731.05 □
20%总量取水	3017.43 □	5462.1 □
30%总量取水	4526.14 □	8193.15 □

2、地表水源热泵可供应建筑面积

表 3.3.5-2 地表水源热泵可供应建筑面积

	夏季	冬季
可供给住宅建筑的面积	48201.69 ㎡	222036.59 ㎡
可供给公共建筑的面积	10058.09 ㎡	39015 ㎡

经上述表分析可知，地表水源热泵系统可供应的夏季冷负荷占住宅与商业建筑总冷负荷的 0.67%，可供应的冬季热负荷占住宅与商业建筑总热负荷的 2.62%，地表水源热泵所提供的冷热满足量的比例很小，因此不建议将其纳入集中能源站。但考虑其仍具备一定的负荷功能能力，根据计算夏季可以供应约 48201.69 ㎡的住宅建筑面积，10058.09 ㎡的公共建筑面积；冬季可以供应约 222036.59 ㎡的住宅建筑面积，39015 ㎡的公共建筑面积，可根据实际工程情况进行分散式可再生能源应用。

3.4 光伏系统发电量分析

作为绿色能源的典型代表，和低能耗绿色建筑不可或缺的组成元素，近年来光伏系统，特别是建筑一体式光伏系统得到了广泛的关注和发展。国家发改委为发布的《产业结构调整指导目录（2019 年本）》中将光伏建筑一体化构件列入产业鼓励类。

东站建筑具有大体量、大面积、大空间、大屋顶、周边没有大型建筑遮挡，为与光伏系统的一体化提供了得天独厚的条件，为打造光伏一体式低能耗绿色建筑的名片提供了极佳的机会。

分布式光伏发电需要利用构筑物及周边场地，而我国不仅每年有大量的新建建筑可以将光伏发电融入建筑设计中，更是有大量既有建筑的屋面还未得到有效的开发和利用，因此光伏建筑一体化是对项目应用场地非常有力的保障。户用光伏系统能给居民个人带来收益，对于大、中型公共建筑而言，商业电费单价比民用电价高，如能在建筑上安装光伏发电系统，所发电量能减少这部分费用。

项目组对太阳能在重庆地区的应用研究已经取得了一定积累和成果。课题组对全玻璃真空管太阳能热水器、屋顶太阳能光伏系统、建筑一体式光伏外遮阳系统进行了长期连续的实验监测与研究。前期研究积累了数据资料和研究经验，为东站项目光伏发电系统分析奠定了基础。

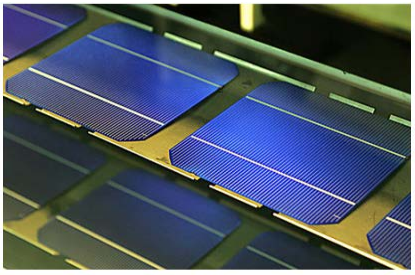
本课题针对重庆地区的太阳能资源特征进行研究，分析光伏系统效率影响因素，对东站枢纽以及片区建筑中太阳能光伏发电系统的应用潜力，对不同季节应用效果作出评价。研究成果既能为相关设计、施工人员提供一定程度的指导，又推动重庆地区的光伏系统在建筑上的应用，有巨大的社会、经济、环境效益，为重庆这一可再生能源建筑应用示范城市的建设与发展添砖加瓦。

3.4.1 光伏系统应用形式介绍

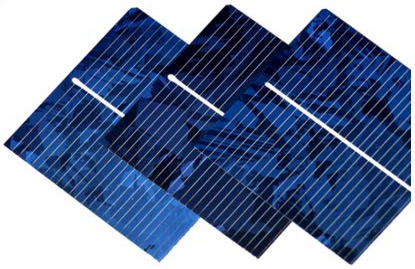
目前常用的光伏电池有：单晶硅太阳能电池、多晶硅太阳能电池和薄膜太阳能电池（图 3.4.1-1）。

不同材料类型的太阳电池的效率不同。描述太阳能电池工作效率有两种形式，一是电池效率，二是组件效率。电池效率通常是在标准测试条件（STC 条件：环境温度为 25℃，照度 1000 W/㎡，AM1.5 标

准光谱）下测量，用入射太阳电池的单位光能所产生的电功率数量表示。按电池效率相同测试方法可测得光伏组件效率，不同之处在于组件效率包括了反射损失、玻璃遮挡以及其他一些小的损失。



单晶硅太阳能电池



多晶硅太阳能电池

薄膜太阳能电池

图 3.4.1-1 典型太阳能电池

目前，单晶硅的光电转换效率最高可以达到 24%，但是常见的光电效率为 17%左右，即 1000W 入射太阳能可以转化为 170W 电能。多晶硅的光电转换效率多在 14%-16%之间，效率稍逊于单晶硅电池。多晶硅组件的最高效率记录是天合光能所研发的 Honey Plus 高效多晶硅组件的 19.86%。商业化薄膜电池组件的效率低于单晶硅和多晶硅，在 6%～12%之间。为加强光伏行业管理，我国工业和信息化部于 2015 年出台了《光伏制造行业规范条件（2015 年本）》。其中关于光伏电池及光伏组件的转换效率及衰减效率要求如表 3.4.1-1 所示。

表 3.4.4.1-1 工信部对光伏组件产品性能要求

类别		电池		组件					
		多晶硅	单晶硅	多晶硅	单晶硅	硅基薄膜	铜铟镓硒薄膜	碲化镉薄膜	其他薄膜
光电转换效率(%)	现有	≥17	≥18.5	≥15.5	≥16	≥8	≥11	≥11	≥10
	新建和改扩建	≥18.5	≥20	≥16.5	≥17	≥12	≥13	≥13	≥12
衰减率(%)	1 年内	—	—	≤2.5	≤3	≤5			
	25 年内	—	—	≤20		≤20			

在选用不同材料类型的光伏组件除了考虑转换效率的差别外，还应对比其他方面的因素，如组件的成本、安装的难易程度等。不同太阳能电池的优缺点对比如表 3.4.1-2 所示。

表 3.4.4.1-2 不同种类太阳能电池对比

太阳能电池材料	优点	缺点
单晶硅太阳能电池	晶体中缺陷较少，可靠性高，性能比较稳定，转换效率高、寿命较长	高加工难度、高制造成本原材料难以获得、不适合低日照水平
多晶硅太阳能电池	制造成本较单晶硅更低，经济性更高	制造成本较高
非晶硅薄膜太阳能电池	较低成本，弱光性能好，适合低日照水平温度系数低，适合高温条件	转换效率较低 微量元素难以获得

3.4.2 基础数据分析

通过对重庆地区太阳辐射进行长期测量，对太阳能光伏系统运行进行监测，获得了重庆地区全年的太阳能资源分布，以及太阳能光伏系统的全年性能。

测量结果表明，重庆地区水平面上的全年逐月太阳辐照量呈抛物线分布，总体趋势为：夏季太阳辐照量最大，春秋季节次之，冬季最小，如图 3.4.2-1 所示。1 月太阳辐照量为 93.2 MJ/㎡，自 1 月开始逐月增加，到 5 月增加至 361.4 MJ/㎡，6 月太阳辐照量基本与 5 月持平，为 326.5 MJ/㎡，到 7 月达到全年最大值 484.0 MJ/㎡，自 8 月开始逐月下降，直至 12 月达到全年最低值，为 83.4 MJ/㎡。全年平均月太阳辐照量为 254.9 MJ/㎡，其中 4-9 月太阳辐照量高于全年平均值，而且这几个月的太阳能资源水平接近我国III类太阳能资源地区，因此具有较好的太阳能应用潜力。

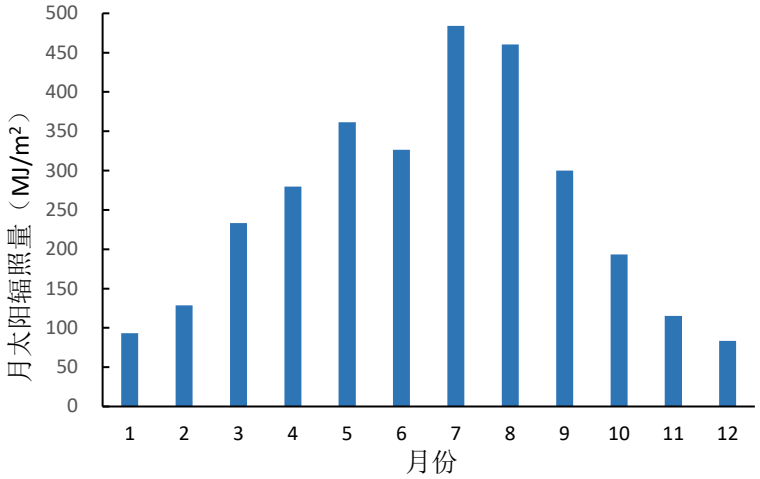


图 3.4.2-1 重庆地区全年逐月实测太阳辐照量分布

根据实验测定，额定功率为 1 kW的太阳能光伏系统全年逐月发电量如图 3.4.2-2 所示。在测试倾角下，系统年总发电量为 418.3 kW h，月平均发电量为 34.9 kW h。系统逐月发电量近似成波浪形。发电量最低月份为 12 月，月发电量为 21.6 kW h；发电量最高月份为 8 月份，月份发电量为 48.8 kW h。3、4、5、6 月份发电量相近，约为 40 kW h。10 月～次年 2 月的月发电量低于全年均值。

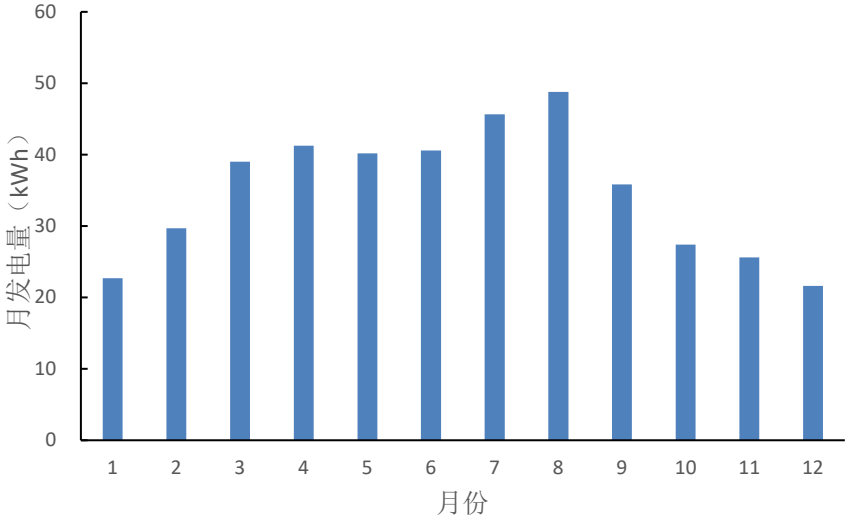


图 3.4.2-2 光伏系统全年逐月发电量

3.4.3 光伏系统发电应用潜力分析

（1）计算原理

在光伏系统中，光伏组件利用光生伏打效应，将太阳辐射能直接转换成电能。在光电转换过程中存在转换效率，光伏组件输出瞬时功率 $P(t)$ 可以表示为：

$$P(t)=\eta_s AG(t) \tag{3.1}$$

式中，$P(t)$——组件输出功率，W；

A——组件面积，㎡；

$G(t)$——斜面辐射，W/㎡；

η_s——组件转换效率。

瞬时功率只是光伏组件在一定太阳辐照度下的输出功率，发电量需要输出功率在一定时间范围内进行积分。因此光伏系统的日发电量 E_c 可以利用下式进行计算：

$$E_c=\int_{t_1}^{t_2} P(t)\mathrm{d}t \tag{3.2}$$

式中，t_1——每日太阳辐照开始时间；

t_2——每日太阳辐照结束时间。

将 $P(t)$ 计算公式带入公式 3.2，再将单位面积表面上辐照度对于时间的积分，就得到了辐照量，由此可得日发电量另一表达式：

$$E_c=\eta_s A\int_{t_1}^{t_2} G(t)\mathrm{d}t=\eta_s AG_d \tag{3.3}$$

式中，G_d——组件一日之内接收到的太阳辐照总量，kW h/㎡。

式 3.3 为光伏组件日理论发电量的计算公式。由公式可知，作用在光伏组件上的太阳辐照量将直接影响光伏系统的发电量。

系统综合效率（Performance Ratio）又称 PR 值，是衡量光伏系统性能的重要指标。PR 值与光伏系统装机容量、项目所在地太阳辐射资源、光伏阵列倾角和朝向等条件无关。PR 值受到组件的失配、线路连接、遮蔽、温度、平衡系统（逆变器、控制设备等）等因素的影响。

系统综合效率 PR_T 的定义为光伏系统输出给电网（或负载）的电能与方阵接收到太阳辐照量之比，计算公式如下：

$$PR_T=\frac{E_T}{P_e\cdot h_T} \tag{3.4}$$

式中：E_T——为测试时间间隔（Δt）内的实际发电量，kW h；

P_e——光伏电站 STC 条件下组件容量标称值，kW；

h_T——为测试时间间隔（Δt）内方阵面上对应 STC 条件下的实际有效发电时间，h。

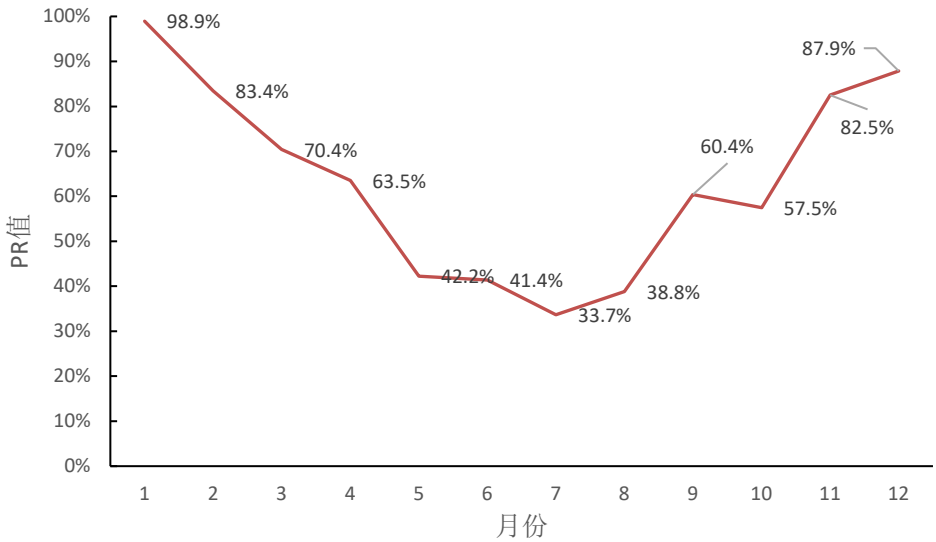


图 3.4.3-1 光伏系统全年 PR 值

实测的光伏系统全年 PR 值如图 3.4.3-1 所示。根据日太阳辐射量 G，光伏阵列面积 A，光电效率 η，每月天数 days 和 PR 值，可由公式（3.5）计算每月光伏系统发电量

$$\mathrm{E} = G \cdot A \cdot \eta \cdot PR \cdot \mathrm{days} \qquad (3.5)$$

（2）东站枢纽建筑一体化光伏系统发电量

将光伏板铺设在东站枢纽站房的屋顶或者雨棚，根据图 3.4.2-2 逐月发电量实测数据，每 1000 平方米全年逐月发电量根据不同的光伏类型——单晶硅光伏板、多晶硅光伏板、铜铟镓硒薄膜光伏板的情况分别如图 3.4.3-2 所示。

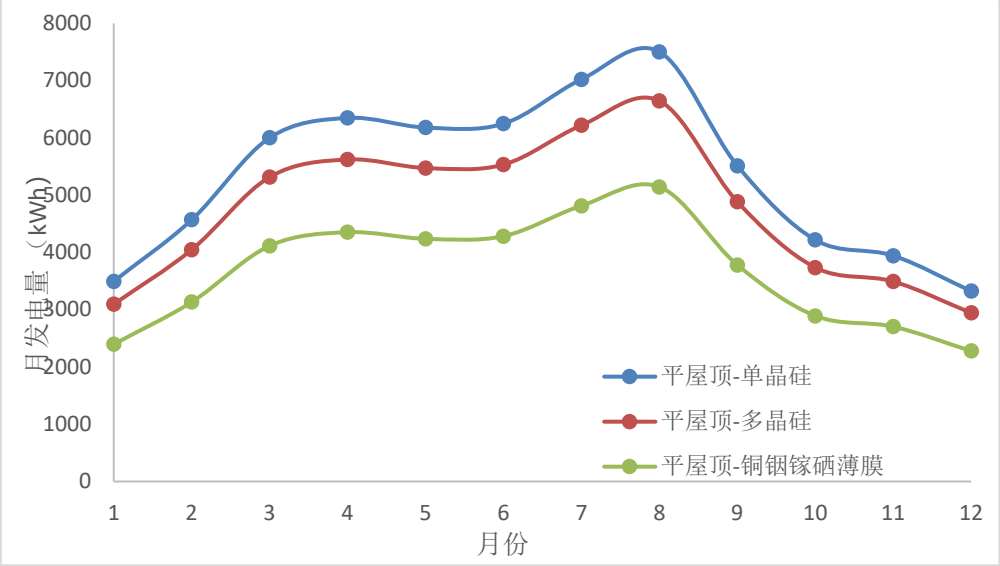


图 3.4.3-2 每 1000 平方米单晶硅、多晶硅、铜铟镓硒光伏板铺设在东站枢纽屋顶或者雨棚全年逐月发电量

东站枢纽站房南向、东南向、西南向垂直墙体也为光伏组件建筑一体化设计提供了可能。因为这些墙体相对正南方向的方位角多变，不容易采用实验手段对其进行全年测试，所以这部分墙体接受到的太阳辐射量采用软件模拟的手段进行，一体化光伏组件的全年逐月发电量则由式（3.5）计算。

CSWD（Chinese Standard Weather Data，中国标准气象数据）的气象数据是中国气象信息中心气象资料室与清华大学建筑技术科学系根据中国气象局收集的中国 270 个地面气象站 1971-2003 年实测气象数据开发，除了包括温度极高年、温度极低年等用于模拟供暖空调系统，还包括辐射极高年和辐射极低年用于太阳能系统设计分析。CSWD 气象文件可以在 EnergyPlus 官网上下载。

下载的气象文件可以导入气象数据处理软件进行展示分析。目前可以对气象数据进行前期分析并生成建筑气候分析图，进行可视化处理的软件包括 Weather Tool 以及 Climate Consultant 等。Climate Consultant 由美国加利福利亚大学洛杉矶分校（UCLA）建筑与城市设计系开发。该软件可以读取全年 8760 小时的气象数据，而且能够将原始数据快速转化成数十种图表，如风速分析图和日照分析图。本研究中，重庆地区气象站文件从 EnergyPlus 网站下载后，导入 Climate Consultant 软件进行可视化处理，并根据建筑立面的朝向计算全年逐月太阳辐射量。

如图 3.4.3-3 所示，本研究选取了适宜接收太阳辐射的若干个枢纽垂直立面（立面 A、B、C、D、E）进行光伏一体化，并对光伏系统进行发电量的模拟计算。立面 A 和立面 B 的法向为南偏东 60 度，接受到的太阳辐射强度相同；立面 C、D、E 的法向近似为南偏西 30 度，接收到的太阳辐射强度可视为相同。

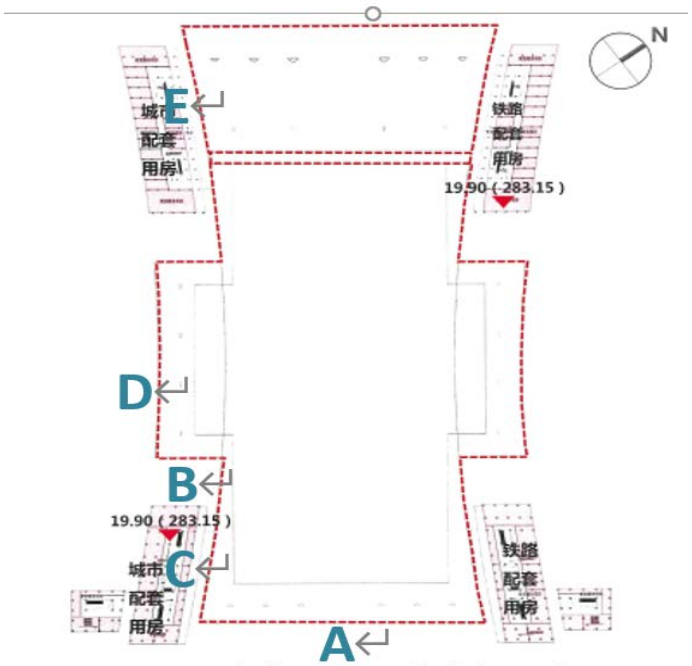


图 3.4.3-3 可安装光伏组件的枢纽立面

如图 3.4.3-4 右上角所示，Climate Consultant 所读取的气象文件来自 CSWD，即中国标准气象数据，该文件从重庆市沙坪坝气象站收集。对于长期的气象监测而言，沙坪坝气象站采集的太阳辐射数据可代表重庆主城区的太阳能资源。

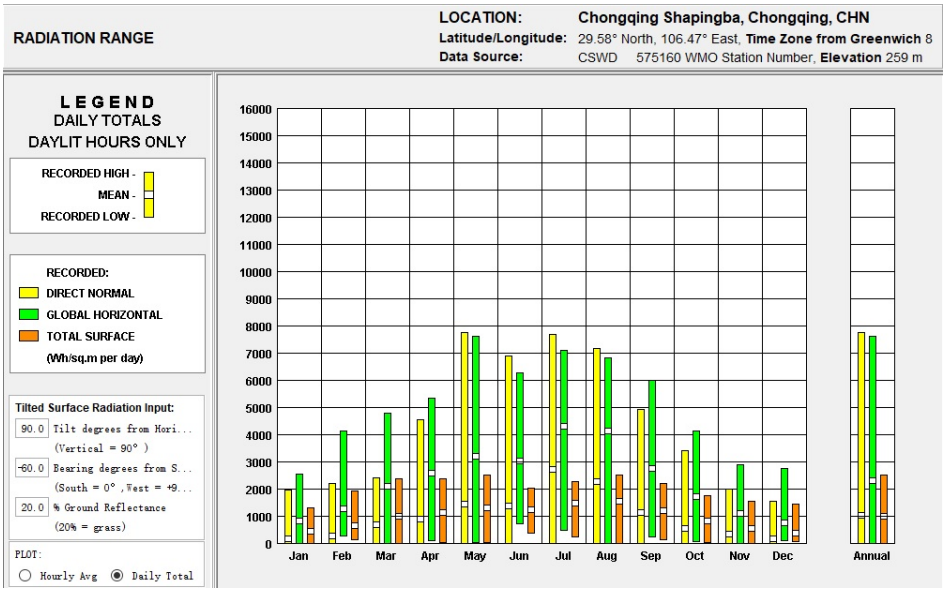


图 3.4.3-4 立面 A 和立面 B 每个月日平均接收到的总太阳辐射量（橙色条）

如图 3.4.3-4 左下角所示，立面 A 和立面 B 相对水平面的倾斜角度为 90 度，因为立面法向是南偏东 60 度，故方位角（bearing degrees from South）取-60 度。地表反射率取为 20%。点选“Daily Total”，显示每月日平均接收的总太阳辐射量。

基于图 3.4.3-4 中计算的太阳辐射量，可以绘出使用单晶硅、多晶硅和铜铟镓硒薄膜光伏组件的每 1000 平方米立面 A、B 逐月产生的电能（图 3.4.3-5）。

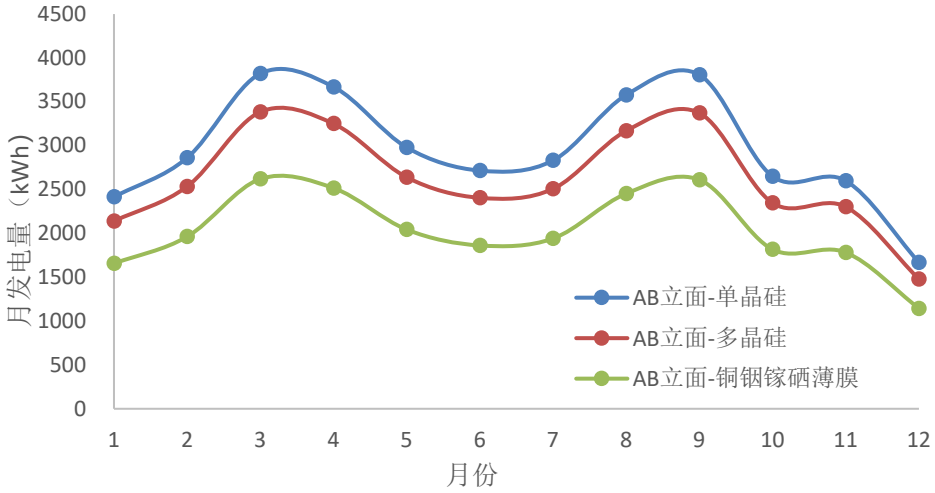


图 3.4.3-5 每 1000 平方米单晶硅、多晶硅、铜铟镓硒薄膜光伏板

铺设在立面 A 或 B 全年逐月发电量

类似地，使用 Climate Consultant 计算出立面 C、D、E 每个月日平均接收到的总太阳辐射量，如图 3.4.3-6 所示。

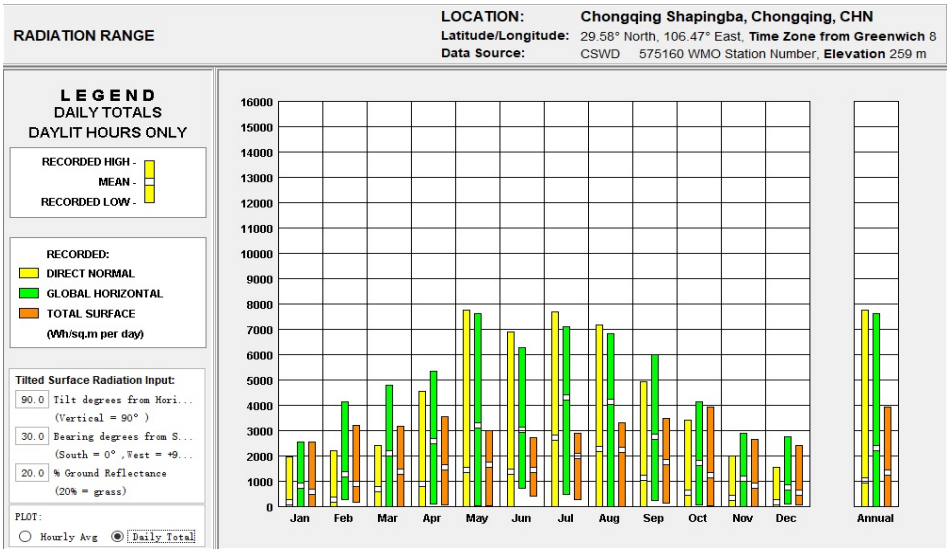


图 3.4.3-6 立面 C、D、E 每个月日平均接收到的总太阳辐射量（橙色条）

基于图 3.4.3-6 中计算的太阳辐射量，可以绘出使用单晶硅、多晶硅和铜铟镓硒薄膜光伏组件每 1000 平方米立面 C、D、E 逐月产生的电能（图 3.4.3-7）。

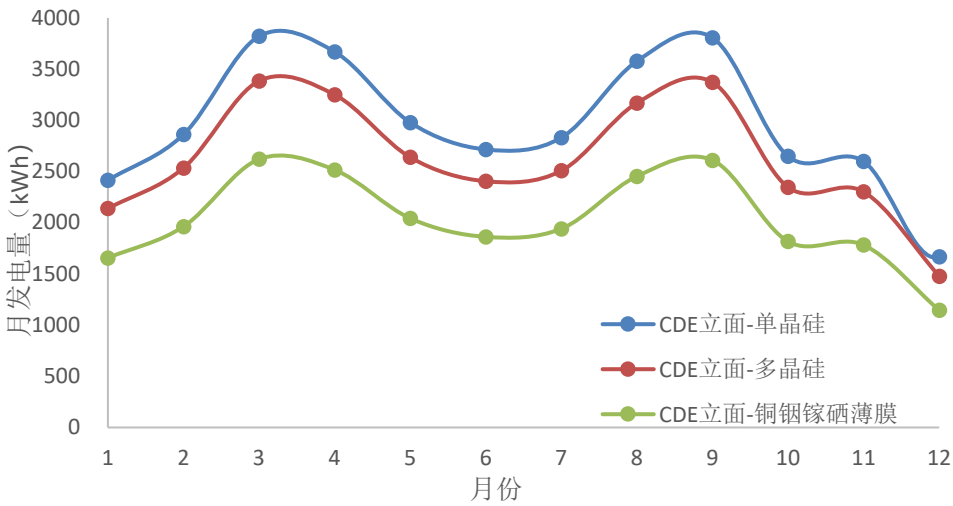


图 3.4.3-7 每 1000 平方米单晶硅、多晶硅、铜铟镓硒光伏板

铺设在立面 C、D 或 E 全年逐月发电量

（3）东站片区建筑光伏系统发电量

本研究分析了东站片区屋顶采用光伏系统的发电量。

《重庆东站片区控制性详细规划》附表一土地利用汇总表、附表三地块控制指标一览表提供了地块编号、用地性质、最大建筑密度等相关信息。

计算可得，东站片区商业建筑的最大占地面积为 215320 平方米。附表中没有提供公共管理与公共服务设施建筑的最大建筑密度，本研

究中参考其他地块建筑密度数值，取为 50%，则公共管理与公共服务设施建筑占地面积约为 68250 平方米。

此外，根据《重庆东站片区控制性详细规划》第四节建筑风貌控制中第四十五条建筑屋顶控制的规定：大型商业裙房、高层塔楼应做第五立面设计，并设置屋顶绿化，绿化覆盖率不宜低于 30%。因此屋顶架设的光伏组件面积不大于屋顶面积的 70%，考虑屋顶消防水箱等设备、建筑结构的影响，本研究中认为商业建筑 50%的面积可以用于敷设光伏组件，敷设面积为 107660 平方米。

东站商业建筑屋顶光伏系统逐月发电潜力如图 3.4.3-8 所示。

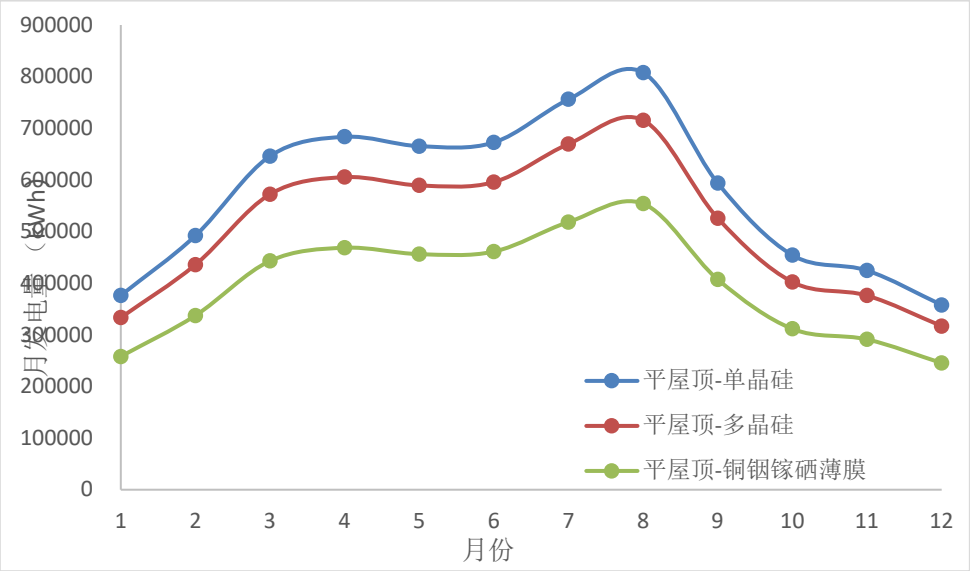


图 3.4.3-8 商业建筑屋顶光伏系统逐月发电量

东站公共管理与公共服务设施建筑屋顶光伏系统逐月发电潜力如图 3.4.3-9 所示。

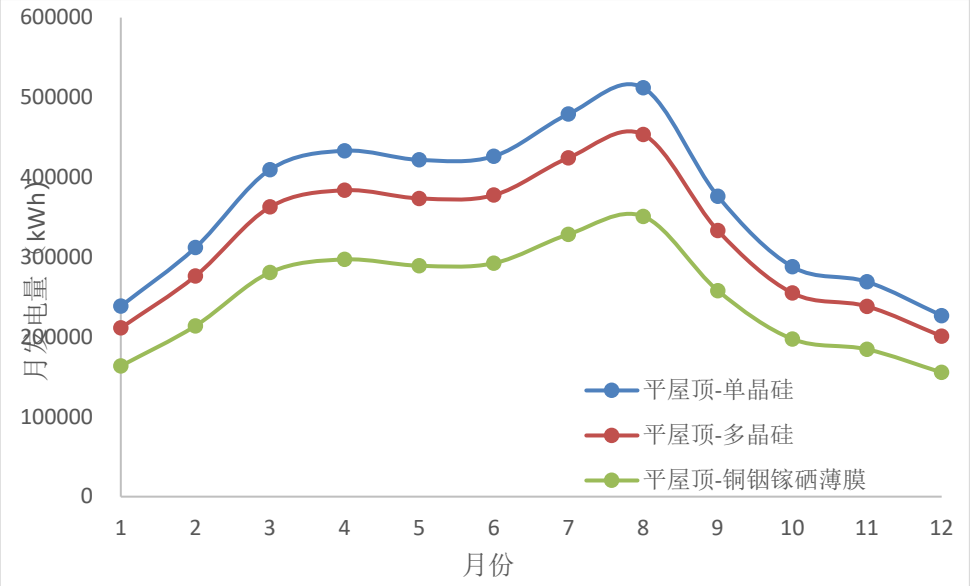


图 3.4.3-9 公共管理与公共服务设施屋顶光伏系统逐月发电量

（4）东站片区路灯灯杆光伏发电量

东站现有规划道路包括：

- 开成路：南起于渝黔复线连接道纵三路立交北侧，北止于开迎路斑竹林立交南侧，全长约 15.1 公里。
- 兴塘路拓宽及东延伸段：西起于快速路六纵线兴塘立交东侧，东止于东侧集散通道兴塘东立交西侧。全长约 6.0 公里。
- 东侧集散通道：南起于渝湘复线高速，北止于茶涪路，全长约 5.3 公里。
- 东站片区配套道路共计 16 条（纵向道路 3 条、横向道路 13 条），总长约 10.5 公里，其中主干路 3 条，次干路 8 条，支路 5 条。

这些路段的路灯杆上可安装太阳能光伏组件。若道路两边都安装灯杆，按照每 20 米安装一个路灯杆，则东站片区的路灯杆数量为 3690 根。若每根路灯上的多晶硅光伏组件面积为 0.2 平方米，则总发电面积为 738 平方米，月均发电量为 3506 kW h。若路灯功率为 400 W，每日照明 10 小时，则路灯系统每月耗电量为 442800 kW h，光伏系统供电量占 0.8%。若路灯功率为 200 W，则光伏系统供电量占 1.6%。

（5）影响光伏系统发电量因素

光伏组件的工作特性表明，光伏组件的工作性能主要影响因素是太阳辐照度、组件温度、组件积灰三个方面上。

①太阳辐照度

总的来说，地理纬度越低，太阳入射角越大，太阳辐射强度也大；太阳高度角越低时，辐射能衰减越多，辐射量越少；日照时间越长，可以获得更多的太阳辐射；晴天的空中云少，大气的透明度高，太阳辐射能达到地面越多。

重庆地区位于北纬 28°10′～32°13′，虽纬度不高，但由于山地特殊地形等原因，太阳辐射相对于同纬度的拉萨地区，太阳辐照量仅为后者 41.7%，差别很大。

如图 3.4.3-10 所示的日照时长来看，重庆地区日照时长夏至日（6 月 22 日）最长约为 14 h，冬至日（12 月 22 日）最短约为 10 h。从理论上来说，重庆地区每日的日照时长在 10 h 以上，全年超过半数的时间日照时长在 12 h 以上，日照时长是足够的。实际情况是，受到云量的影响，在阴雨天时仅有散射部分能够达到地面，太阳辐照实际利用量少。故重庆地区更需要能在低辐照下工作性能良好的电池材料，以便更好的利用阴雨天时的低辐照。

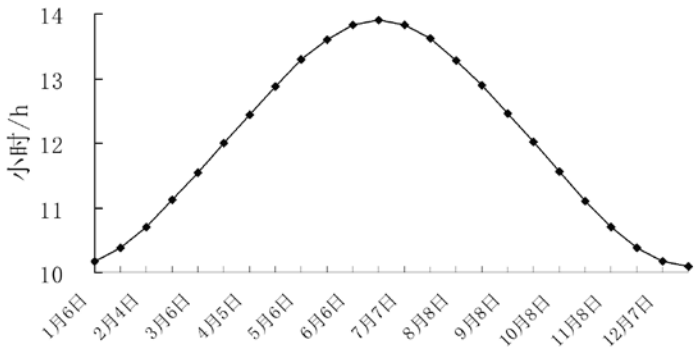


图 3.4.3-10 重庆地区月均日照时长

天空中的云越多，太阳辐射越少，散射辐射分量越大。晴天的散射辐射只占可见光的 10%，阴天阳光被反射或散射的概率越高，会有更多的散射到达地球表面。如图 3.4.3-11 所示的云层遮盖度，重庆地区年平均总云量为 7.8 成，云量较多；从季节来看，云量最多是冬季，约为 9 成，其次是春秋季节，约为 8 成，最少的是夏季，约为 6.9 成。

虽然东部槽谷有雾的天气多于气象数据采集地的沙坪坝区，但是雾气多发秋冬季节，此时这两个地带的雾量并无显著差距，而这段时期也是太阳辐射值较低的阶段。因此，雾气对全年的逐月发电量模拟值影响相对有限。

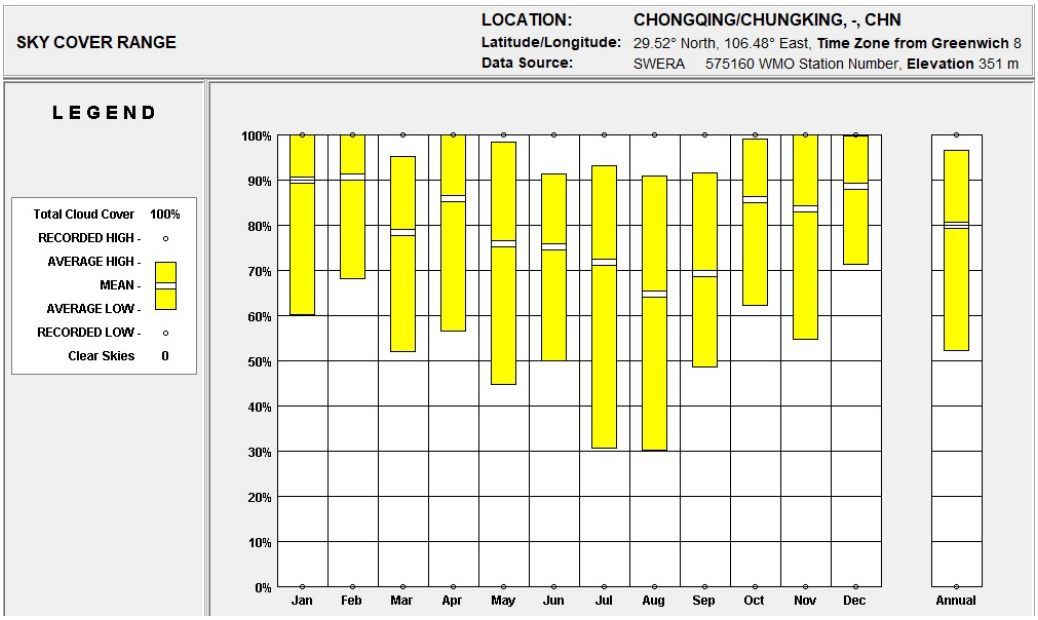


图 3.4.3-11 重庆全年云层遮盖度

②组件温度

光伏组件具有负温特性，在同一辐照度下，组件功率随着温度升高而减小，转换效率随组件温度升高而降低。

环境温度和太阳辐照度均会对组件温度产生影响。由于光伏组件最高仅有约 20%的转换效率，照射在组件上的大部分辐射能量都需要以热量的形式散发，因此太阳辐照度会引起组件温度的较大波动。组件温度受太阳辐照度和环境温度影响一般可以用以下关系式进行描述：

$$T_C = T_a + \frac{dT_c}{dP} \cdot P$$

式中，T_a——环境温度，℃；

dT_c / dP——组件温度光强系数，一般情况下取值为 30℃·㎡/kW。

光伏组件温度升高，组件开路电压减小。在组件温度为 20～100℃的这个范围内，组件温度每升高 1℃，开路电压减小约 150 mV，而组件电流随温度的升高略有上升，每升高 1℃，组件电流约增加 6‰。整体看来，温度每升高 1℃，组件输出功率约减少 0.4%，这就是功率温度系数。不同的光伏电池，温度系数也不同，例如晶体硅电池温度系数约为-0.50%/℃，非晶硅薄膜电池温度系数约为-0.25%/℃。

重庆地区年均气温约为 18℃，冬季均温为 6～8℃，夏季均温为 27～29℃，最高气温为 43℃。图 3.4.2-10 为重庆地区典型年的环境温

度，可以看出月温度呈抛物线变化，5～9 月份环境温度高于全年平均温度。

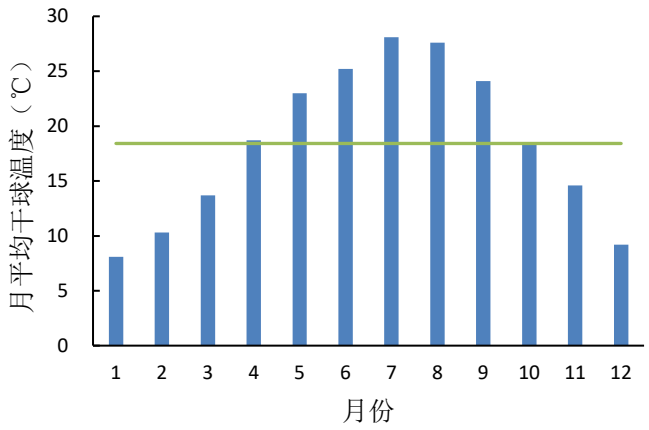


图 3.4.3-12 月平均干球温度

③组件积灰

除上述太阳辐照度和温度的影响外，在光伏系统运行一段时间后，光伏组件上会有一定的积灰，灰尘的遮挡也会使玻璃盖板内电池表面接收到的太阳辐射量减少，同时组件上的积灰会对其散热效果产生一定影响。

从物理性质来看，灰尘按粒径大小可以分为粗灰尘和细灰尘，不同颗粒大小的灰尘对光伏组件的遮挡不同。另外，灰尘还会使部分光线的传播均匀性发生变化，将光线散射到玻璃盖板上，影响到达光伏玻璃盖板表面的光线。

从化学性质来看，灰尘可以分为中性、酸性和碱性。光伏组件的盖板材料大多为玻璃，玻璃的主要成分是二氧化硅，因此当呈酸性或碱性的灰尘附着在盖板表面，长时间后能与玻璃盖板发生反应。玻璃表面被侵蚀后形成的小坑会影响光线的折射，从而导致从玻璃折射到电池表面的光变少。

组件长期运行后表面会有灰尘、鸟粪等物质的遮挡，被部分或全遮挡的太阳电池因电流减少，较高的反偏压加载在被遮挡电池上，被遮挡电池只能以发热的形式消耗掉这部分功率。故而出现了被遮挡部分的温升高于未被遮挡的部分，温度过高时以至于出现烧坏的现象。

3.4.4 东站光伏发电潜力结论建议

（一）东站光伏发电潜力结论

将 3.4.3 节中的光伏发电量汇总在表 3.4.4-1 和表 3.4.4-2 中。

表 3.4.4-1 1000 平方米东站顶棚光伏系统逐月发电量（kW h）

月份	单晶硅	多晶硅	铜铟镓硒薄膜
1	3495	3096	2397
2	4570	4048	3134
3	6002	5316	4116
4	6348	5623	4353
5	6180	5474	4238
6	6247	5533	4284
7	7022	6219	4815
8	7503	6645	5145
9	5514	4884	3781
10	4218	3736	2893
11	3943	3492	2704
12	3324	2944	2279
月平均	5364	4751	3678

表 3.4.4-2 1000 平方米东站近南向立面光伏系统逐月发电量 （kW h）

	A 和 B 立面			C、D 和 E 立面		
月份	单晶硅	多晶硅	铜铟镓硒薄膜	单晶硅	多晶硅	铜铟镓硒薄膜
1	2415	2139	1656	3220	2852	2208
2	2862	2534	1962	3475	3078	2383
3	3821	3384	2620	4968	4400	3406
4	3670	3250	2516	5338	4728	3660
5	2979	2639	2043	3896	3451	2671
6	2715	2405	1862	3258	2886	2234
7	2831	2507	1941	3653	3235	2505
8	3578	3169	2454	4630	4101	3175
9	3807	3371	2610	5710	5057	3915

	A 和 B 立面			C、D 和 E 立面		
月份	单晶硅	多晶硅	铜铟镓硒薄膜	单晶硅	多晶硅	铜铟镓硒薄膜
10	2649	2346	1817	4052	3589	2778
11	2599	2302	1782	3465	3069	2376
12	1668	1478	1144	2622	2322	1798
月平均	2966	2627	2034	4024	3564	2759

（二）东站光伏发电建议

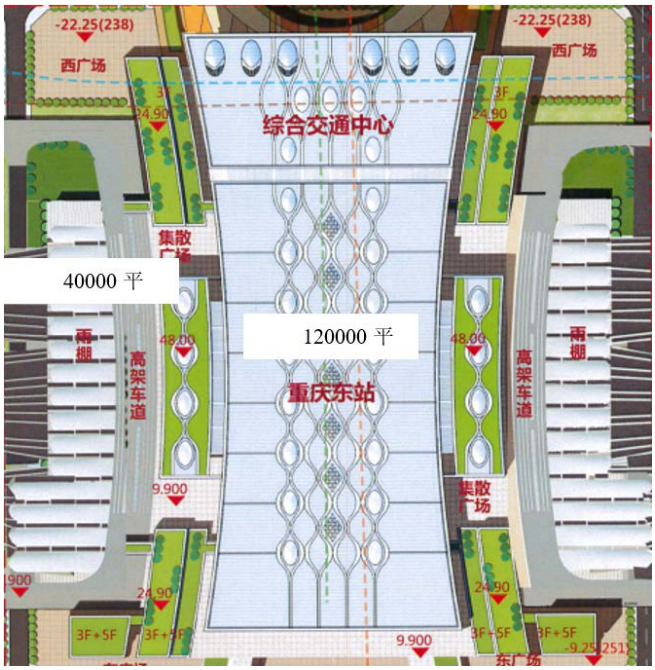


图 3.4.4-1 东站屋面和雨棚面积

① 东站站台雨棚面积约为 40000 平方米，若将雨棚全部铺设太阳能多晶硅光伏组件，则这 40000 平方米的多晶硅组件月均发电量 190040 kW h，日均发电量 6335 kW h。若按照每天太阳照射时间 10 小时计算，则光伏系统发电功率为 634 kW，可提供枢纽 4.2%的电负荷。

② 东站站房主体屋顶面积约为 120000 平方米，若考虑到其他设计因素而取 50%的屋面可用于铺设太阳能光伏组件，则可铺设约 60000 平方米多晶硅光伏组件。若按照每天太阳照射时间 10 小时计算，其发电功率为 950 kW，可提供枢纽 6.4%的电负荷。

③ 东站东南向立面面积约为 20000 平方米，若考虑到其他设计因素而取 50%的面积用于安装太阳能光伏组件，则可铺设约 10000 平方米多晶硅光伏组件，其月均发电量 26270 kW h，日均发电量 876 kW

h。若按照每天太阳照射时间 5 小时计算，则光伏系统发电功率为 175 kW，可提供枢纽 1.1%的电负荷。

④ 东站西南向立面面积约为 24848 平方米，若考虑到其他设计因素而取 50%的面积用于安装太阳能光伏组件，则可铺设约 12424 平方米多晶硅光伏组件，其月均发电量 44279 kW h，日均发电量 1476 kW。若按照每天太阳照射时间 5 小时计算，则光伏系统发电功率为 296 kW，可提供枢纽 2%的电负荷。

⑤ 东站片区商业建筑的最大占地面积为 215320 平方米，若将商业建筑屋顶 50%的面积用于安装多晶硅光伏组件，则月均发电量约为 511472 kW h，日均发电量 17049 kW h。若每天太阳能照射时间 8 小时计算，则光伏系统功率为 2131 kW，可提供片区 1.5%的电负荷。

⑥ 东站片区公共管理与公共服务设施建筑占地面积约为 68250 平方米。若用于安装多晶硅光伏组件，则月均发电量约为 324243 kW h，日均发电量 10808 kW h。若每天太阳能照射时间 8 小时计算，则光伏系统功率为 1351 kW，可提供片区 1%的电负荷。

⑦ 东站片区主要道路总计长 36.9 km，每 20 米设置一个电灯杆，则共计 3690 根电灯杆。若每根电灯杆上安装 0.2 平方米多晶硅光伏组件，则总发电面积为 738 平方米，月均发电量为 3506 kW h，若路灯功率 400W，可提供路灯系统 0.8%的用电量，若路灯功率 200 W，可提供路灯系统 1.6%的用电量。

根据以上计算结果，光伏组件安装在枢纽雨棚或屋顶，因面积大，每天日照时间长，所以产电量相对立面安装更多。建议将光伏系统设置在枢纽平屋顶。对于东站片区建筑，因为商业建筑屋顶需要保证一定面积的绿化，且需要设置消防水箱、上人楼梯等建筑结构，不利于光伏组件的铺设，因此可考虑将光伏系统安装于公共管理与公共服务设施屋顶进行供电。对于东站片区电灯杆，因为每根杆安装的光伏板面积有限，因此发电量相对较低。

3.5 太阳能热水系统产能量分析

我国是太阳能热水器装机容量最大的国家，该技术在我国得到了广泛应用和推广。太阳能热水技术通过使用热水器满足建筑热水负荷，

为了探索在东站片区的使用潜力，进行可行性分析，项目分析了两种典型的太阳能热水系统，并分别对其产能潜力进行了分析。

3.5.1 太阳能热水系统应用形式

太阳能热水器分为平板式和玻璃真空管式，如图 3.5.1-1 所示。

图 3.5.1-1 典型太阳能热水器：

平板式（左）和玻璃真空管式（右）

平板热水器将透过玻璃盖板的太阳能转化成热能，传递给管内的水。真空式热水器的真空圆管水管的外表面涂有特殊的材料，可以高效吸收太阳辐射。入射的太阳光转换为热能，传导给管内的水，水温升高，在由温度差引起的浮升力作用下，管内热水产生循环，引起整个系统中的水流动。

因为真空管太阳能集热器是由若干根真空管组成，管与管之间需要留出施工安装间隙，在被太阳光照射时，有一部分太阳能没有被集热器接受到，而且真空管受热面不完全；而平板型太阳集热器却是一个连续的平面，整个集热器表面都可以接受太阳光。所以，在相同的采光面积和日照强度下，平板型太阳能热水器的日平均效率要大于真空管太阳能热水器的日平均效率。

平板式和真空管式太阳能热水器的主要特点在表 3.5.1-1 中进行对比。

表 3.5.1-1 平板式和真空管式太阳能热水器主要特点对比

	平板式太阳能热水器	真空管式太阳能热水器
热效率	连续的平整表面吸热，热效率高	吸热面之间有间隙，吸热面不完整，热效率低

	平板式太阳能热水器	真空管式太阳能热水器
热损失系数	热损失主要通过热辐射、对流换热产生，热损失系数大	热损失系数主要通过热辐射产生，热损失系数小
技术成熟度	欧美国家和地区广泛使用平板式集热器	玻璃真空集热器在中国诞生并广泛采用
太阳入射角度的影响	平面结构导致在太阳辐射最好的正午，太阳入射角最大，反射光最多	双层同轴结构管的入射角不随太阳高度角变化

3.5.2 热水产量分析

根据《建筑给水排水设计规范》（GB50015-2019）规定，热水供水温度为 60°C时，不含住宿的幼儿园每个儿童每日最高消耗热水 20-30 升，平均消耗热水 15-20 升。考虑幼儿园和东站片区中小学的热水消耗习惯因素，取中小学生日平均热水用量为 25 升，进行理论研究时，以 100 名学生的生活热水用量为单位进行分析，即 100 人用量为 2500 升。

假定上述 100 人的日热水负荷由直接式太阳能热水系统加辅助热源方式提供，首先需要确定集热器的面积。重庆地区属于太阳能资源贫乏区，根据《可再生能源建筑应用工程评价标准》，太阳能热水系统年平均太阳能保证率应不小于 30%；太阳辐射量取典型年平均日太阳能辐照量。

满足这 100 人热水用量需要设置的太阳能热水器面积可由下式计算

$$A_c = \frac{Q_w C_w (t_e - t_i) f}{J_T \eta_{cd} (1 - \eta_L)}$$

其中，Qw 为日均用水量，kg；Cw 为水的定压比热容，kJ/（kg•℃）；热水设计温度 te 为 60 ℃；冷水设计温度 ti 为 7 ℃；取重庆地区太阳能保证率 f 为 30%。设置集热器倾角等于重庆纬度 29.5°，朝向正南，重庆地区集热器平面上的太阳总辐射年平均日辐照量 JT 为 8552 kJ/㎡，ηcd 为集热器的年平均集热效率，平板集热器取 51%，真空管集热器取 45%；ηL 为储水箱和管路的热损失率，根据经验取 0.2。根据以上计算，可知满足 100 个中小学生热水需求的太阳能平板集热器面积 Ac 约为 47.6 ㎡，玻璃真空管集热器面积为 53.9 ㎡。

在重庆东站片区通过在教学楼屋顶或者学校空地上架设太阳能热水器，可以较好地满足幼儿园、小学、中学等机构的热水需求。

类似地，根据《建筑给水排水设计规范》（GB50015-2019）规定，对于坐班制办公楼每人每班的最高消耗卫生热水 5-10 升，平均每天消耗卫生热水 4-8 升，在本研究中取每个办公人员每天消耗卫生热水 5 升。采用前述计算过程，可知满足 100 个办公人员卫生热水需求的太阳能平板集热器面积约为 9.5 ㎡，玻璃真空管集热器面积约为 10.8 ㎡。

3.5.3 太阳能热水系统建议

满足 100 个中小学生热水需求的太阳能平板集热器面积 Ac 约为 47.6 ㎡，玻璃真空管集热器面积为 53.9 ㎡。满足 100 个办公人员卫生热水需求的太阳能平板集热器面积约为 9.5 ㎡，玻璃真空管集热器面积约为 10.8 ㎡。建议对需求量不大的中小学进行太阳能热水供应系统的可再生能源应用，同时为满足供应的稳定性，可再复合空气源热泵热水的可再生能源应用形式，采用空气源热泵辅助太阳能的热水供应形式，满足中小学、卫生场所的热水供应需求。

3.6 污水源热泵供能分析

3.6.1 污水源热泵的形式

污水源热泵是一种理想的低位冷热源。城市污水是工业废水和生活污水的总和，是城市余热型可再生清洁能源。包括原生污水与污水处理厂二级出水。开发利用城市污水作为热泵冷热源为建筑物供暖空调不仅具有节能环保效益，而且符合生态建筑的发展趋势。

污水源热泵按照水源侧是否采取二次换热或是否设置中间换热器分为直接式系统和间接式系统。直接式适用于污水处理厂已处理污水，水温大于 7 ℃，要求水量稳定；间接式可用于水质恶劣的原生污水，可处理污水大温降、水温水量不稳定的情况。间接式污水源热泵相对更加安全可靠，不会对热泵机组和系统造成严重危害。

3.6.2 污水量计算

对东站片区污水量的计算依据为以下资料：

《室外给水设计标准》 GB 50013-2018

《室外排水设计规范》 GB 50014-2006（2016 版）

《建筑给水排水设计规范》 GB 50015-2003（2019 年版）

《公共建筑节能设计标准》 GB 50189-2005

《生活饮用水卫生标准》 GB 5749-2006

《节水型生活用水器具》 CJ164－2002

《东站片区控制性详细规划修编》（重庆市规划设计研究院、中国城市规划设计研究院西部分院、OBERMEYER Planen＋BeratenGmbH、中铁第四勘察设计院集团有限公司，2019 年 12 月）

国家及地方先行相关规范和本工程建筑等有关专业提供的资料。

本项目的分布式能源的使用范围为综合交通枢纽（其中包括公交车站、长途汽车站、车库、城市通廊、轨道站厅、商业配套、枢纽综合换乘空间，城市生产生活及应急指挥中心及配套车库）、该部分污水来源为铁路东站、综合交通枢纽、铁路综合体、铁路配套车库、商业开发及配套车库、铁路上盖商业等的排水。

根据东站片区控制性详细规划修编成果—污水工程规划图可知，综合枢纽的污水排放比较分散，分四个出口排出（见图 3.6.2-1），若分开设置能源站，规模较小；若污水统一排口，需要与规划协调重新布置管网，或设置提升装置统一排口，但运行费用高、管理维护工作量大，经济性需要慎重考虑。因此考虑扩大排水范围，在东侧截流干管处统一设置污水源热泵装置（见图 3.6.2-1），此处可以截流东站片区所有污水量，此时污水源热泵可考虑与长生河江水源热泵统一设置能源站。

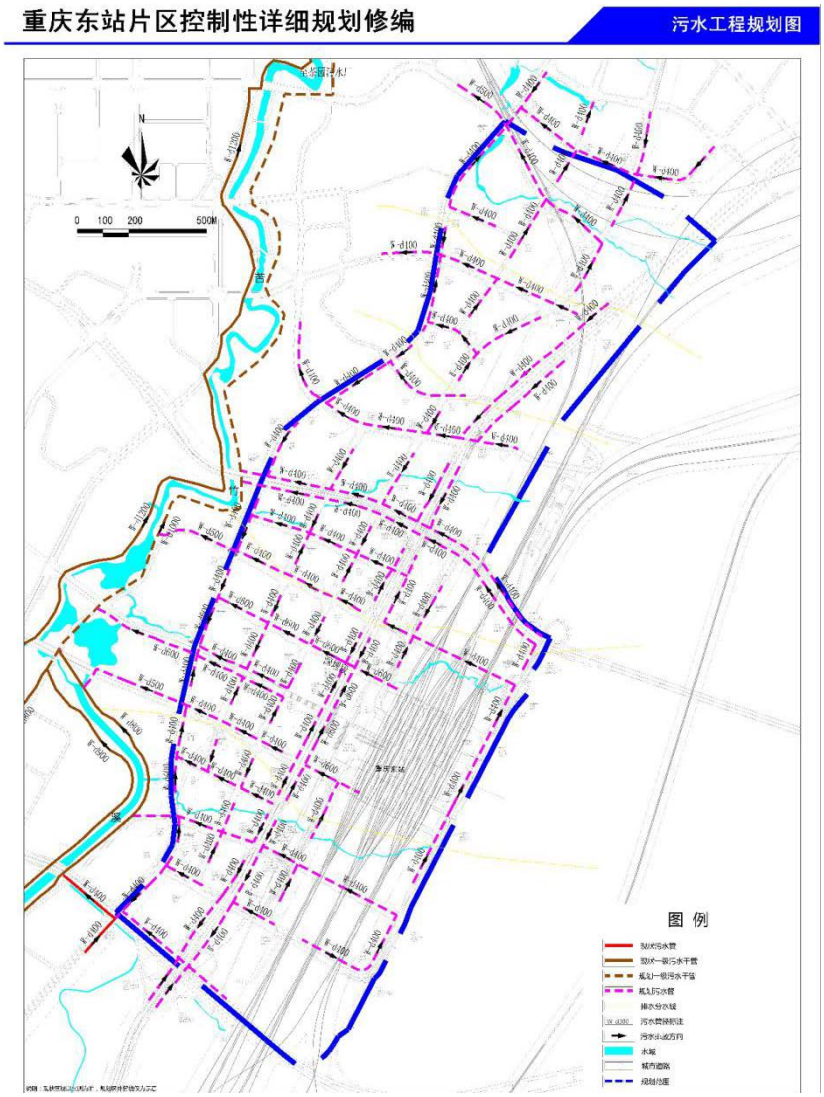


图 3.6.2-1 污水工程规划图

（1）交通枢纽污水量计算

1）用水量计算

表 3.6.2-1 东站枢纽用水量计算

用水单元	用水量标准		用水数量		用水时间	时变化系数	用水量		备注
	单位	定额	单位	数量	（h）	（Kh）	Qd（㎥/d）	Qh（㎥/h）	
一、铁路部分									
重庆东站（渝湘及东环线）					12	1.5	2264	283	客车上水及车站用水
二、枢纽部分									
综合交通枢纽	L/人.d	4	人	274000	12	1.5	1096	137	

三、轨道部分									
6 7 24 8 号线	L/人.d	3	人	176000	12	1.5	528	66	
四、物业开发									
商业开发及配套车库	L/㎡.d	6	㎡	40000	12	1.5	240	30	
铁路上盖商业	L/㎡.d	8	㎡	10000	12	1.5	800	44.44	
商业开发	L/㎡.d	8	㎡	210000	12	1.5	1680	210	
商业开发配套车库	L/㎡.d	6	㎡	85000	12	1.5	510	63.75	
绿化用水量	L/㎡.d	2	㎡	220000	12	1.0	440	36.7	
未预见水量	取上述水量和的 10%						755.8	87.089	
总用水量							8313.8	957.979	

2）污水量计算

根据《建筑给水排水设计规范》GB50015-2003（2019 年版）4.4.2 公共建筑生活排水定额和小时变化系数应与公共建筑生活给水用水定额和小时变化系数相同，考虑 75%的污水产生率，本项目最大日总排水量约为 6235.35 ㎥/d，考虑日变化系数 1.4，平均日排水量 4453.82 ㎥/d。

（2）东站片区可利用污水量计算

1）供水量计算

规划区内城市综合用水量指标受城市的地理位置、水资源状况、城市性质和规模、产业结构、国民经济发展和居民生活水平、工业用水重复利用率等多种因素的影响。根据规划区城市性质、定位和实际建设情况，结合产业规划、国家相关规范和总体规划的有关要求，对规划区用水量按一般地区分别预测。

根据 2017 年 4 月 1 日实施的《城市给水工程规划规范》（GB50282-2016），城市综合用水量包括了居民生活用水、工业用水、公共设施用水及其它用水量的总和。南岸区属于二区 I 型小城市标准，城市综合用水量指标见表 3.6.2-2。

表 3.6.6.2-2 城市综合用水量指标

单位：万吨/人.日

城市类型	超大城市	特大城市	I 型大城市	II 型大城市	中等城市	I 型小城市	II 型小城市
一	0.5～0.8	0.5～0.75	0.45～0.75	0.4～0.7	0.35～0.65	0.3～0.6	0.25～0.55
二	0.4～0.6	0.4～0.6	0.35～0.55	0.3～0.55	0.25～0.5	0.2～0.45	0.15～0.4
三				0.3～0.5	0.25～0.45	0.2～0.4	0.15～0.35

根据重庆市水务集团、中法供水有限公司提供数据可知，重庆市区用水量统计：2013 年水务集团供水 190 万吨/日，水投集团 10 万吨/日，供水人口约 600 万人，实际用水量标准 350-380L/cap·d。

根据《重庆市城乡总体规划（2007-2020 年）》（2011 年修订版）第 120 条：规划城市人均综合日用水量 350-500 升，供水普及率 100％。综上所述，并考虑用水量规律及节约用水要求，据此预测综合用水量指标取值。近期供水范围多为聚居区居民，用水量指标趋于平稳，且以生活用水量为主，基本无工业，因此近城市综合用水量指标取 400 L/cap·d。

依据片区规划，居住人口为 4.2 万人，则总用水量＝4.2×400 L/cap·d ＝1.68 万㎥/d，居住为主区域产污率按照 0.80 考虑，则最高日污水量为 1.344 万㎥/d，考虑日变化系数 1.4，平均日排水量 0.96 万㎥/d。

（3）总污水量

最高日 1.958 万㎥/d，平均日 1.405 万㎥/d。

3.6.3 污水源热泵可利用热能

一般而言，夏季污水平均温度为 25 ℃，冬季污水平均温度为 14 ℃左右。水源热泵中央空调系统在制热工况水温应满足 12～22 ℃，在制冷工况水温应满足 18～30 ℃的要求。

在计算分析中，污水进出口温差 Δt 采用我国污水热能回收与利用系统实验项目的实际运转结果，制冷、制热时均设定为 5℃，污水源热泵制冷系数 F 为 4.6，制热系数 H 为 4.3。

那么东站枢纽污水中赋存的冷（热）量 A 为：

$$A = B \times \rho \times \Delta t \times c$$

其中，A 为日赋存冷热量，kJ/d； B 为污水量，㎥/d； ρ 为水的密度，取$1\times10^3 kg/m^3$；c 为水的比热容，取$4.187\text{kJ}/(kg\cdot C)$

计算得$A = 9.3\times10^7 kJ/day$

城市污水中可利用的冷热量分别为：

冷量$D = \dfrac{AF}{F+1}$ 热量$G = \dfrac{AH}{H-1}$

其中：D 为日赋存的可利用冷量，kJ/d；G 为日赋存的可利用热量，kJ/d；F 为制冷系数，取为 4.6；H 为制热系数，取为 4.3.

计算得$D = \dfrac{9.3\times10^7\times4.6}{4.6+1} = 7.64\times10^7 kJ/day$，按照每天运行 24 h 计算，东站枢纽污水源热泵可利用冷量$D = 888kW$ 。

计算得$G = \dfrac{9.3\times10^7\times4.3}{4.3-1} = 1.21\times10^8 kJ/day$，按照每天运行 24 h 计算，东站枢纽污水源热泵可利用热量$G = 1405kW$ 。

采用类似的方法，东站片区住宅污水中日赋存的可利用冷量$D = 1913kW$，可利用热量$G = 3028kW$ 。

3.6.4 污水源热泵系统建议

（1）东站枢纽污水源热泵可利用冷量为 888 kW，可利用热量为 1405 kW，分别占东站商业建筑冷负荷的 0.5%，热负荷的 2.2%。

（2）东站住宅污水源热泵可利用冷量为 1913 kW，可利用热量为 3028 kW，分别占东站商业建筑冷负荷的 1.2%，热负荷的 4.8%。

（3）东站枢纽包括住宅污水产生的冷热量较少，如果仅仅供应商业建筑，则冷热负荷占比均不超过东站所需冷负荷的 5%。而且考虑到东站片区开发时序，住宅区不能即时产生污水，因此短期内不宜考虑污水源热泵的建设。

3.7 天然气能源系统

3.7.1 分布式能源应用形式

天然气是一种洁净环保的优质能源，几乎不含硫、粉尘和其他有害物质，燃烧时产生二氧化碳少于其他化石燃料，造成温室效应较低，因而能在一定程度上改善环境质量。我国目前天然气发展迅速，重庆市是我国天然气主要产气区之一，天然气供应安全、充足、稳定，且

天然气价格较低。因此在东站片区采用天然气分布式能源系统，不仅能够完全满足东站片区供能需求，相比于其他能源供能形式也具有一定的经济性。

天然气分布式区域冷热电联供系统的功能与传统冷热电联供（Combined Cooling，Heating&power，简写 CCHP）相同，均可向周边区域提供冷，热和电力，但由于其相对比较独立，因此又称为“能源岛系统”。在天然气分布式能源站中，发电系统以小规模（数千瓦至数兆瓦），分散布置的方式建在用户附近，独立地输出电、热或冷。它不仅满足了区域内用户的用能需求，还节省大量的城市供热管网的建设和运行费用，因此该技术在工业化国家迅速发展，近年来，随着先进微型热电转换装置的问世，出现了楼宇冷热电联供系统，（Building Combined Cooling Heating&power，简写为 BCCHP）。它由多个小型能源岛相连，在向本楼宇供应冷，热和电力的同时，依靠因特网的指挥调度，可实现临近系统的互连互靠，形成自下而上的“能源互联网”。这种供能方式适应了信息时代以效益定规模的生产方式要求。弥补了由大型电厂，多层电网及供热锅炉组成的传统城市能源体系的不足。

分布式能源是相对于传统的集中式供电供热方式而言的，传统的供能方式是集中供能系统，具有以下特点：

1）大电网有自身无法克服的效率低的特点。

2）大电网笨拙：发电要求稳定，无法满足越来越不均衡的需求侧波动，特别是与气温有关的波动。

3）大电网脆弱：一旦传输网络出现不可抗力造成的重大意外，可能造成长时间停电，难以恢复，损失惨重。例：南方冰灾，汶川震灾。

分布式联供系统是指将能源生产系统以小规模、小容量（数千瓦至数万千瓦）、模块化、分散的方式布置在用户附近。可独立地输出电、热和冷能，根据用户用能负荷性质量身定做的生产系统。分布式能源通常的组成技术为：燃气冷热电三联供，满足以下三点：1）、就近利用 2）、梯级利用 3）、全年综合利用率达 70%以上。分布式能源系统有以下几点具体特点：

（1）节能，能源综合利用率高

冷热电联供不仅提高了低品位热能的利用率，更重要的是提高了能源综合利用率。在常规的集中供电方式中能量形式相对单一，当用户不仅仅需要电力，而且需要其它能量形式，如冷能和热能的供应时，仅通过电力来满足上述需要时难以实现能量的综合梯级利用，而分布式供电方式以其规模小，灵活性强等特点，通过不同循环的有机整合可以在满足用户需求的同时实现能量的综合梯级利用，并且克服了冷能和热能无法远距离传输的困难。事实上发电机驱动的复合能量系统可以实现发电、供热和制冷“三联供”，这种系统能源综合利用率高，一般均可达到 70％以上。

由于分布式能源系统以独（多）栋建筑、多功能小区为对象，建立集中能源供应站，实现能源按品位分级利用，因此也是分布式供能系统的一种形式。该系统以天然气为主要燃料带动燃气轮机或内燃机发电机等燃气发电设备运行，产生的电力用于用户的电力需求，系统排出的废热通过余热回收利用设备（余热锅炉、余热吸收式冷热水机组或换热装置等）向用户供热、供冷，实现能源的梯级利用，提高一次能源的综合利用率。其原理如图 3.7.1-1 所示。

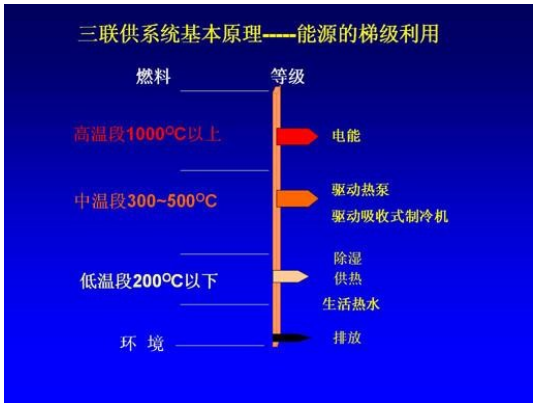


图 3.7.1-1 热电冷三联供技术原理图

（2）削峰填谷，缓和电力紧张，可实现能源消耗的季节平衡

冷热电联供系统采用溴化锂吸收式冷水机组作为制冷设备，利用低品位热能驱动。与压缩式制冷机相比，吸收式冷水机组最突出的优点是节电。

夏季是城市用电高峰，而燃气负荷较低。采用燃气型冷热水机组，可减少夏季的电耗，从而削减电力的高峰，弥补季节能耗的不平衡，因为燃气的负荷需求特性与电力正好相反，在电力负荷最高的夏季正是燃气负荷最低的季节。大力发展以天然气为燃料的城市能源岛系统，

实现城市燃气峰谷与电力峰谷互补，是实现能源合理、安全利用的有效途径。

（3）环保

分布式能源系统中应用的溴化锂吸收式制冷机采用对环境安全无害的天然工质作为制冷剂，并且 CCHP 系统能源综合利用效率高。所以 CCHP 系统在降低碳和污染空气的排放物方面具有很大的潜力，据有关专家估算，如果从 2000 年起每年有 4％的现有建筑的供电，供暖和供冷采用能源岛，从 2005 年起 25％的新建建筑及从 2010 年起 50％的新建建筑均采用能源岛的话，到 2020 年的二氧化碳的排放量将减少 19％。如果将现有建筑实施能源岛的比例从 4％提高到 8％，到 2020 年二氧化碳的排放量将减少 30％。

3.7.2 负荷需求分析

根据 3.1 节各地块负荷计算结果可知，规划范围内各区块总冷负荷 258MW，热负荷 119MW，电负荷 140MW；所有区块年累计冷负荷 21044 万kW h，年累计热负荷 6317 万kW h。

考虑到供能输送范围等实际条件，初步规划分别在枢纽区、商业区和居民区建立分布式能源系统。其中，枢纽区，覆盖高铁枢纽；商业区，覆盖门户商务区、国际交往区、应用创新区、创新人才公寓和 TOD 城市综合体（A21-1/04）；居民区，覆盖除创新人才公寓和 TOD 城市综合体（A21-1/04）外的全部品质生活区。分布式能源系统片区如图 3.7.2-1 所示。

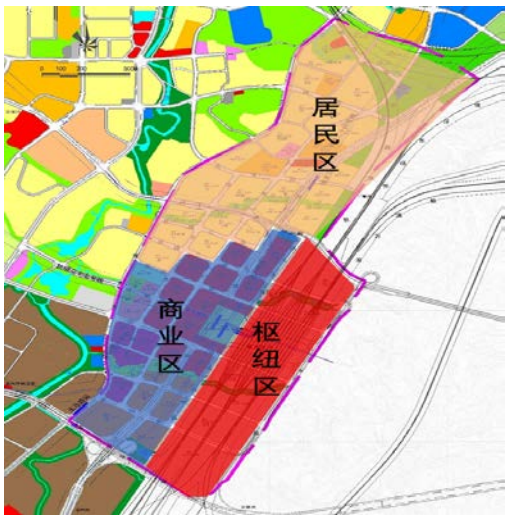


图 3.7.2-1 分布式能源系统供应区划分

根据各区分布式能源系统供应范围和表 3.1-1 中各地块内的负荷结果，计算分布式能源各供应区内的负荷结果如表 3.7.2-1 所示。

表 3.7.7.2-1 枢纽区、商业区和居民区内分布式能源系统冷、热和电负荷

分布式能源系统	供应范围	热负荷（kW）	冷负荷（kW）	电负荷（kW）	累计热负荷（万kWh）	累计冷负荷（万kWh）
枢纽区	高铁枢纽	15236	33414	14966	1447.6	3132.4
商业区	门户商务区、国际交往区、应用创新区、创新人才公寓和 TOD 城市综合体（A21-1/04）	62901	165190	90620	3166.4	13692.1
居民区	创新人才公寓和 TOD 城市综合体（A21-1/04）外的全部品质生活区	41227	59227	34024	1703	4219.1

3.7.3 天然气分布式能源系统利用方案

1）分布式能源系统选用

高铁东站片区采用多气源格局。规划片区主供气气源以接自外环 D711 管道的高铁东站能源站、南涪路中压 D325 管线（接自重燃集团中环 D426 管道和外环 D711 的双气源管线）为主，辅以茶园 LNG 站气源为应急补充，多途径、多通道的气源格局，能够为高铁东站片区天然气分布式能源供应提供强有力的保障。

东站片区采用的天然气分布式能源系统是天然气热电联产机组（燃气轮机＋余热锅炉）＋溴化锂吸收式冷热水机组（可辅以离心式冷水机组和燃气锅炉作为能源补充）。夏季工况时优先采用燃气轮机发电，溴化锂吸收机进行制冷，冷量不足部分由离心机组承担其负荷，冬季工况时采用燃气轮机发电配合余热锅炉进行制热，热量不足部分由燃气锅炉补燃提供其热量，并可以将燃气轮机发电发电系统与建筑供电系统配合，达到能源的梯级利用。该方案的优势是该系统由于选用了余热锅炉回收烟气余热，因此系统造价低。在夏季工况时。由于热水不仅可用于制备生活热水，还可以提供制冷冷源，因此对于热水负荷较大且不稳定的场合适应性强，能够保证燃气轮机运行更加稳定。

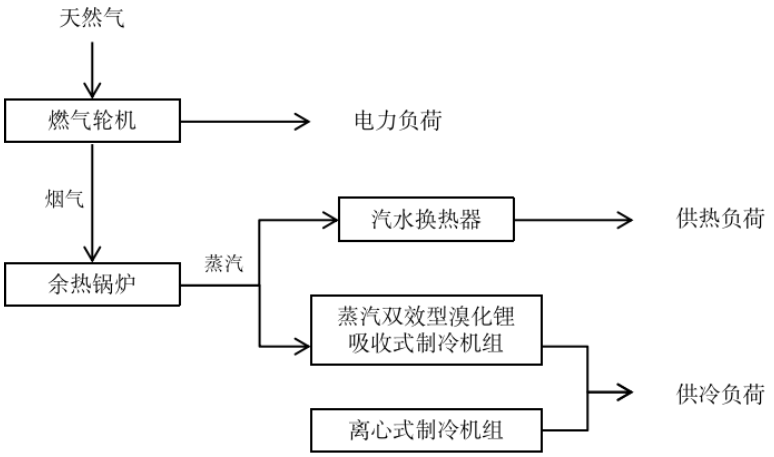


图 3.7.3-1 天然气分布式能源系统图

具体的运行方案如下：一定压力的燃气与经压气机压缩的空气在燃烧室燃烧后，驱动透平机发电和排出 450～600℃高温烟气。燃气轮机发电产生的高温烟气，进入余热锅炉，制备出 0.8MPa 蒸汽。夏季工况时，0.8MPa 的饱和蒸汽进入蒸汽双效型溴化锂吸收式制冷机组，通过吸收式制冷提供 7/12℃冷冻水，冷量不足时，则由离心式制冷机补充。如有生活热水的需求，也可从余热锅炉中分出一个支路，作为生活热水热源。冬季工况时，蒸汽通过汽水换热器制备出高温热水，提供 70/95 ℃采暖热源（不足的热量可由燃气锅炉补充）。

2）设备选型及燃气耗量

①枢纽区

枢纽区分布式能源站为重庆东站综合交通枢纽同时提供冷热电负荷。根据表 3.7.2-1 可知，枢纽区冷、热和电负荷分别为 33414 kW、15236 kW和 14966 kW。发电机组容量根据冷热需求进行配置，发电机组供电不足部分由电网供电。具体设备配置情况如表 3.7.3-1。

表 3.7.7.3-1 枢纽区分布式能源站配置方案

序号	设备名称	数量	单机制冷量（kW）	单机制热量（kW）	单机发电功率（kW）	其他参数
1	燃气轮机	2	—	—	7250	热电联产机组
2	余热锅炉	2	—	10470	—	
3	溴化锂吸收式制冷机组	3	6980	—	—	
4	离心式制冷机组	2	6400	—	—	电网供电
5	汽水换热器	——	—	—	—	冬季工况下与余热锅炉产生的蒸汽进行换热供暖

为满足夏季冷负荷，夏天高峰时，2 组热电联产机组全部运行，3 台溴化锂吸收式制冷机组和 2 台离心式制冷机组全部运行，可满足夏季冷负荷，电负荷供应不足部分由电网供电补足；冬季工况时，2 组热电联产机组运行，可满足冬季采暖需求，电负荷供应不足部分由电网供电补足。根据枢纽区累计冷、热负荷，枢纽区冬季供热工况和夏季供冷工况下的燃气耗量和电网补电量如表 3.7.3-2 所示。

表 3.7.7.3-2 枢纽区冬季工况和夏季工况下的燃气耗量和电网补电量

工况	总燃气耗量（万㎥）	电网补电功率（kW）
冬季	315.24	466
夏季	423.35	2604

②商业区

商业区分布式能源站为商业区用户同时提供冷热电负荷。根据表 3.7.2-1 可知，商业区冷、热和电负荷分别为 165190 kW、62901 kW和 90620 kW。发电机组容量根据冷热需求进行配置，发电机组供电不足部分由电网供电。具体设备配置情况如表 3.7.3-3。

表 3.7.7.3-3 商业区分布式能源站配置方案

序号	设备名称	数量	单机制冷量（kW）	单机制热量（kW）	单机发电功率（kW）	其他参数
1	燃气轮机	4	——	——	17970	热电联产机组
2	余热锅炉	4	——	25760	——	
3	溴化锂吸收式制冷机组	19	6980	——	——	
4	离心式冷水机组	5	7200	——	——	电网供电
5	汽水换热器	——	——	——	——	冬季工况下与余热锅炉产生的蒸汽进行换热供暖

为满足夏季冷负荷，4 组热电联产机组、19 台溴化锂吸收式制冷机组和 5 台离心式冷水机组全部运行，可满足夏季冷负荷，电负荷供应补足部分由电网供电补足；冬季工况时，4 组热电联产机组运行，可满足冬季采暖需求，电负荷供应不足部分由电网供电补足。根据商业区累计冷、热负荷，商业区冬季供热工况和夏季供冷工况下的燃气耗量和电网补电量如表 3.7.3-4 所示。

表 3.7.7.3-4 商业区冬季工况和夏季工况下的燃气耗量和电网补电量

工况	总燃气耗量（万㎥）	电网补电功率（kW）
冬季	675.57	18740
夏季	1785.13	24730

③居民区

居民区分布式能源站为品质生活区用户同时提供冷热电负荷。根据表 3.7.2-1 可知，居民区冷、热和电负荷分别为 59227 kW、41227 kW 和 34024 kW。发电机组容量根据冷热需求进行配置，发电机组供电不足部分由电网供电。具体设备配置情况如表 3.7.3-5。

表 3.7.7.3-5 居民区分布式能源站配置方案

序号	设备名称	数量	单机制冷量（kW）	单机制热量（kW）	单机发电功率（kW）	其他参数
1	燃气轮机	5	—	—	7250	热电联产机组
2	余热锅炉	5	—	10470	—	
3	溴化锂吸收式制冷机组	9	6980	—	—	
4	汽水换热器	—	—	—	—	冬季工况下与余热锅炉产生的蒸汽进行换热供暖

为满足夏季冷负荷，5 组热电联产机组全部运行，9 台溴化锂吸收式制冷机组全部运行，可同时满足夏季冷负荷和电负荷；冬季工况时，5 组热电联产机组运行，可同时满足夏季冷负荷和电负荷。根据居民区累计冷、热负荷，居民区冬季供热工况和夏季供冷工况下的燃气耗量和电网补电量如表 3.7.3-6 所示。

表 3.7.7.3-6 居民区冬季工况和夏季工况下的燃气耗量和电网补电量

工况	总燃气耗量（万㎥）	电网补电功率（kW）
冬季	370.86	——
夏季	765.65	——

3）节能性分析

传统供能系统通常为夏季利用离心式制冷机组供冷，冬季利用燃气锅炉供热，电负荷全部利用电网供电。将本方案中的天然气分布式

能源系统与传统供能系统相比较，本方案天然气分布式能源节能减排量如下表所示。

表 3.7.7.3-7 二氧化碳排放量对比表

	CO_2 排放量（×104t）		
	传统供能方式	分布式能源系统	减排量
枢纽区	3.67	1.79	1.88
商业区	2.06	9.81	1.08
居民区	6.98	2.23	4.75

3.7.4 天然气能源系统建议

分布式能源系统能源利用率高，经济效益巨大天然气分布式能源系统能实现能源的梯级利用，充分利用发电余热，就地供热、供电，可减少电力与热力长距离输送的损耗，能源综合利用率在 80％以上，超过大型煤电发电机组一倍；同时节约电网、热力管网输送环节的投资费用，产生巨大的经济效益。

纳入天然气的集中能源系统既可独立于大电网运行也可并网运行，因此既可作为主用电源也可作为后备电源，提高了用电户的稳定与安全。有效避免了由于用电紧张或大电网事故断电为用户带来的意外损失。而且夏天是用电高峰，用气却是低谷，将天然气纳入集中能源站可以实现移峰填谷。同时减少电力设备的峰值装机容量以及天然气储气设施的投资，有效降低电网以及天然气管网的运行成本。

该天然气分布式能源系统与传统燃气锅炉、电驱动制冷以及电网供电方案二氧化碳排放量相比，二氧化碳减排 7.71×104t。目前我国正处于工业化、城镇化加速发展阶段，居民和非居民供热、供冷需求持续快速增长。特别是在京津冀鲁、长三角、珠三角等大气污染防控重点区域和省级重点城市，工业园区、经济开发区、商业建筑的热、冷负荷需求旺盛，而燃煤锅炉热效率低、污染物排放浓度高，发展空间受限。因此通过建设包括天然气分布式能源在内的清洁能源机组实现冷热电联供，可以满足新增供热、供冷需求，替代分散燃煤锅炉，同时有效降低分散供热带来的环境污染。

本系统符合节能环保、绿色低碳示范的建设理念。项目的建成将具有较强的示范效应，对重庆市乃至全国内其他城市的城市能源系统的建设提供借鉴，同时将进一步推动重庆市在能源合理高效利用、环境保护、改善投资环境、促进产业发展、提高能源品质等方面工作的发展。本项目包括 5 台燃气轮机及其配套的余热利用设备安装工程、溴化锂吸收式制冷机组及其配套设备的设备安装工程等。建议纳入集中能源站供应。

3.8 可再生能源应用研究结论

基于东站绿色化建设中的可再生能源需求，通过分析东站项目的本底自然条件，从地、水、光、气等具备应用条件的资源出发，结合建筑中常用的可再生能源系统，考虑了五种可再生能源系统及天然气分布式能源系统应用于东站项目的潜力。这六种系统包括土壤源热泵、地表水源热泵、太阳能光伏发电系统、太阳能光热系统、污水源热泵系统、天然气能源系统。

根据各种能源系统的特点，项目实施时间框架，前期研究数据储备以及现有东站规划资料，对土壤源热泵和地表水源热泵采用实地测试的方法，对太阳能光伏发电系统、太阳能光热系统、污水源热泵系统和天然气能源系统采用了数值计算的方法进行了研究。

根据实验和计算结果，对六种可再生能源系统的建议如下：

- 重庆地区土壤换热能力好，为实施土壤源热泵提供了良好的先决条件。为了满足铁路部分、商业区域和枢纽区的冷热需求，分别需要的土壤源热泵埋管面积约为 100175 ㎡和 272250 ㎡和 64675 ㎡。另一方面，若在铁路区域埋管，则可提供的夏季冷负荷量为 32825 kW，冬季热负荷量为 39072 kW。若在商业区域埋管，则可提供的夏季冷负荷量为 53050 kW，冬季热负荷量为 63147 kW。若在枢纽区埋管，则可提供的夏季冷负荷量为 25970 kW，冬季热负荷量为 30912 kW。铁路以及枢纽部分用地面积虽然满足全负荷需求的地埋管占地面积，但铁路与枢纽部分占地面积存在较多的功能性需求。因此，铁路部分并不适合土壤源地埋管实施，而枢纽部分需要根据枢纽具体功能要求进行具体深化设计，在例如停车场、候车站等地方，可以实施土壤地埋管；而商业用地部分面积

不能满足全负荷需求的地埋管占地面积需求。在考虑集中绿化带设置地埋管方案中，若考虑在绿廊 1（冯家沟）设置地埋管，则可提供的夏季冷负荷量为 6480 kW，冬季热负荷量为 7713 kW。若在绿廊 2（竹沈家湾沟）埋管，则可提供的夏季冷负荷量为 6865 kW，冬季热负荷量为 8171 kW。绿廊 1（冯家沟）与绿廊 2（竹沈家湾沟）可供应的夏季总冷负荷量占住宅和商业建筑总冷负荷的 5.95%，可供应的冬季总热负荷量占总住宅和商业建筑总热负荷的 15.26%。虽然采用绿化带集中设置地埋管换热器的土壤源热泵方案所提供的冷热负荷占比不大，但设置灵活，不影响其他规划，并可将其纳入集中能源供应系统。

- 长生河地表水源热泵系统可供应的夏季冷负荷占住宅与商业建筑总冷负荷的 0.67%，可供应的冬季热负荷占住宅与商业建筑总热负荷的 2.62%，地表水源热泵所提供的冷热满足量的比例很小，因此不建议将其纳入集中能源站。但考虑其仍具备一定的负荷功能能力，根据计算夏季可以供应约 48201.69 ㎡的住宅建筑面积，10058.09 ㎡ 的公共建筑面积；冬季可以供应约 222036.59 ㎡的住宅建筑面积，39015 ㎡的公共建筑面积，可根据实际工程情况进行分散式可再生能源用。
- 东站站台雨棚 40000 平方米的光伏系统可以提供枢纽 4.2%的电负荷，东站站房主体屋面 50%面积设置光伏系统则可提供枢纽 6.4%的电负荷。与此相比，站房近南向立面若将 50%的面积设置光伏系统，可满足枢纽的电负荷不大于 2%。因此，建议将光伏系统设置在枢纽站房的平屋顶。东站片区商业建筑的最大占地面积为 215320 平方米，若将商业建筑屋顶 50%的面积用于安装多晶硅光伏组件，可提供片区 1.5%的电负荷。东站片区公共管理与公共服务设施建筑占地面积约为 68250 平方米，可提供片区 1%的电负荷。东站片区主要道路总计长 36.9 ㎞，道路边电灯杆上的多晶硅光伏组件月均发电量为 3506 kWh，若路灯功率 400 W，可提供路灯系统 0.8%的用电量，若路灯功率 200 W，可提供路灯系统 1.6%的用电量。
- 满足 100 个中小学生热水需求的太阳能平板集热器面积约为 47.6 ㎡，玻璃真空管集热器面积为 53.9 ㎡。满足 100 个办公人员卫生

热水需求的太阳能平板集热器面积约为 9.5 ㎡，玻璃真空管集热器面积约为 10.8 ㎡。建议对需求量不大的中小学进行太阳能热水供应系统的可再生能源应用，同时为满足供应的稳定性，可再复合空气源热泵热水的可再生能源应用形式，采用空气源热泵辅助太阳能的热水供应形式，满足中小学、卫生场所的热水供应需求。

- 东站枢纽污水源热泵可利用冷量为 888 kW，可利用热量为 1405 kW，分别占东站商业建筑冷负荷的 0.5%，热负荷的 2.2%。东站住宅污水源热泵可利用冷量为 1913 kW，可利用热量为 3028 kW，分别占东站商业建筑冷负荷的 1.2%，热负荷的 4.8%。东站枢纽包括住宅污水产生的冷热量较少，如果仅仅供应商业建筑，则冷热负荷占比均不超过东站所需冷负荷的 5%。而且考虑到东站片区开发时序，住宅区不能即时产生污水，因此短期内不宜考虑污水源热泵的建设。
- 本系统包括 5 台燃气轮机及其配套的余热利用设备安装工程、溴化锂吸收式制冷机组及其配套设备的设备安装工程等。该天然气分布式能源系统与传统燃气锅炉、电驱动制冷以及电网供电方案二氧化碳排放量相比，二氧化碳减排 7.71×104t。通过建设包括天然气分布式能源在内的清洁能源机组实现冷热电联供，可以满足新增供热、供冷需求，替代分散燃煤锅炉，同时有效降低分散供热带来的环境污染。本系统符合节能环保、绿色低碳示范的建设理念。建议纳入集中能源站供应。

第4章 附表

重庆市可再生能源建筑应用项目列表

示范类型	序号	项目名称	技术类型	示范面积（㎡）
国家示范	1	瑞安重庆天地	江水源热泵	54000
	2	开县人民医院	江水源热泵	38000
	3	南江水文地质工程地质队集资楼	土壤源热泵	32300
	4	重庆大剧院	江水源热泵	82600
	5	祈年·悦城	土壤源热泵	108943.32
		小计		315843.32
城市示范	1	彭水自治县乌江明珠大酒店	江水源热泵	11995.9
	2	中国人民银行重庆营业管理部新建附属用房及其他特殊用房项目	土壤源热泵	6554
	3	涪陵 CBD 中央商务区（文化艺术中心、景观大道 A 区）	江水源热泵	49168
	4	万州清江·金水御景	江水源热泵	302670.34
	5	云阳县市民活动中心	江水源热泵	13197
	6	秀山锰都大酒店	河水＋污水源热泵	11914
	7	合川华地王朝大酒店	江水源热泵	49053.42
	8	后勤工程学院绿色建筑示范楼	土壤源热泵＋太阳能光热	17400
	9	南温泉主题公园	温泉废水水源热泵	11148
	10	重庆大学主教学楼节能改造工程	湖水源热泵	55155
	11	重庆大学农学院及生命科学研究院	复合式土壤源热泵	10493
	12	潼南县人民医院	土壤源热泵	28829.3
	13	大足龙水湖温泉中心一期项目	湖水源热泵	25900
	14	重庆市 CBD 总部经济区集中供冷供热项目	江水源热泵	800000
	15	秀山人民医院迁建工程	河水＋污水源热泵	59142
	16	彭水两江假日酒店	江水源热泵	34096
	17	重庆市江北城 CBD 区域江水源热泵集中供冷供热项目二期工程	江水源热泵	1645000
	18	永川区新城服务外包产业楼	土壤源热泵	98020
	19	重庆轨道交通大竹林车辆段综合楼	土壤源热泵	45485

示范类型	序号	项目名称	技术类型	示范面积（㎡）
	20	永川港联检大楼	江水源热泵	14294.5
	21	双桥区企业服务中心	湖水源热泵	49725.65
	22	永川便民服务中心	土壤源热泵	42899
	23	重庆盘溪水产品综合批发市场	江水源热泵	82030.39
	24	重庆市会议展览馆二期项目	土壤源热泵	25784.04
	25	合川图书馆	江水源热泵	18300
	26	希尔顿体育度假中心体育设施房A	湖水源热泵	10000
	27	涪陵 CBD 中央商务区（金科超高层及商业用房、宏西吉超高层及商业等工程）	江水源热泵	153976
	28	渝北区人民医院住院楼	土壤源热泵	38766
	29	忠县人民医院迁扩建项目	土壤源热泵＋冷却塔复合式	10634.7
	30	中联建筑科技大厦	土壤源热泵	28440
	31	巫山县江东新区中医院	土壤源＋冷却塔复合式热泵	16487.02
	32	西南大学育才学院学生宿舍	太阳能生活热水	77948.64
	33	重庆钢铁太阳能生活热水项目	太阳能生活热水	109230.24
	34	金刀峡风景区太阳能热水系统工程	太阳能生活热水	5966.4
	35	国汇中心	太阳能光电	29197
	36	悦来新城会展公园（悦来会展公园配套服务用房）	土壤源热泵	9993.58
	37	重庆市江北城 CBD 区域江水源热泵集中供冷供热项目三期工程	江水源热泵	2440000
		小计		6438894.12
示范备选项目	1	重庆市潼南区中医院创建“三甲”医院工程	土壤源热泵	44200
	2	重庆市潼南区人民医院创建“三甲”等级医院建设项目	土壤源热泵	68800
	3	重庆康华众联心血管病医院二期	土壤源热泵	49245.5
	4	悦来生态城区域可再生能源集中供冷供热项目（一期）	污水源热泵	505621.28
		小计		667866.78

第5章 集中能源供应研究

5.1 基于需求侧的能源规划方法

5.1.1 需求侧能源规划

需求侧能源规划是从能源需求的角度出发，对城区的能源资源进行有效整合和合理应用，通过对产业、建筑和交通的能耗预测，以能源效率和经济效益最大化的原则配置能源系统，并降低终端用能负荷，实现园区内能源资源的互联互通、多源功能、多级利用、多技术集成、多策略运行，以及多元化经营。

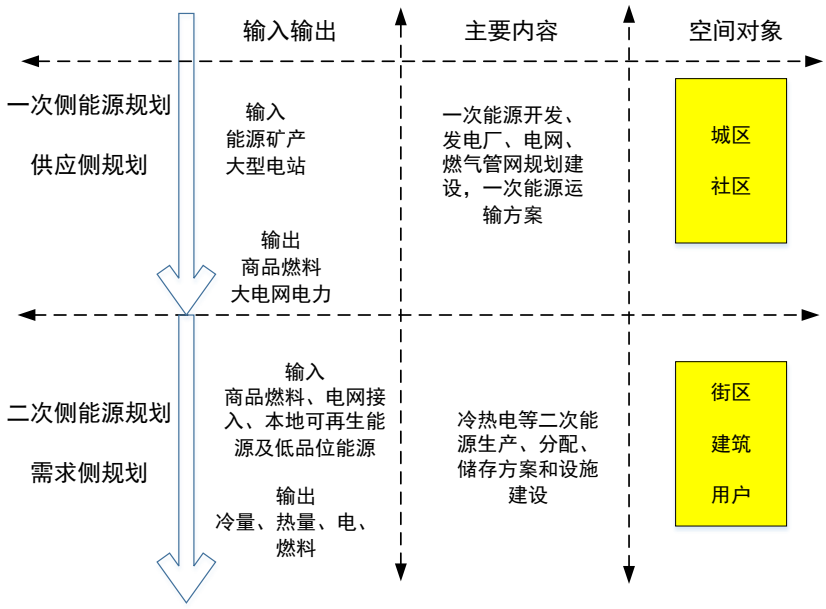


图 5.1-1 供应侧与需求侧规划关系梳理

传统城镇开发采用供应侧能源规划原则，能源供应必须保证最大负荷和极端条件下的用能。“安全可靠”、“大负荷”、“大系统”导致“大设备”长期在极低负荷下运行，长期亏损，没有回报。此外，供应侧能源规划是单项规划，电力、燃气、热力都是自成体系，独立规划，彼此很少考虑协同、协调，造成了负荷的重复计算和资源的浪费，而且，供应侧能源规划往往与城市空间规划脱节，没有充分利用城市形态的节能潜力。

而需求侧能源规划遵循“综合资源规划”原则，对所有可利用的能源资源综合考量，包括终端节能，对供能方案和节能方案进行成本

效益分析，经过优选组合，形成对社会、供能企业和用户等各方受益，成本最低，满足同样能源服务的综合规划方案，因此可以很好地整合供应侧能源、需求侧节能、城市空间形态及终端可再生能源的应用。同时，为保证园区能源供应的可靠性，需求侧能源规划可以与“互联网＋”概念完美配合，采取分布式能源系统的设备联网、资源共享等措施。

需求侧能源规划和供应侧能源规划无论从技术路线上还是方法学上都有很大不同，如表 4.1：

表 5.1 供应侧和需求侧能源规划比较

	供应侧能源规划	需求侧能源规划
技术路线	● 基于可靠性理论和经济效益最大化原则 ● 单源系统，以化石能源为主 ● 大集中系统，垂直化管理 ● 适应工业化时代需求，高温、高压、高品位能源产品 ● 稳定的负荷 ● 利用价格杠杆调节，用户节钱不节能或节能不节钱 ● 集中产能，远程输送	● 基于综合资源规划（IRP）理论和终端节能资源化原则 ● 多源系统，集成可再生能源和未利用能源 ● 基于互联网思想，资源共享，扁平化管理 ● 适应后工业化时代需求，低温、低压、低品位能源产品 ● 变动的负荷 ● 既节能、又节钱 ● 现场产能、用户也是生产者，互联互通
方法论	● 从顶到底的规划思想 ● 预测极端用能情况下的高峰负荷 ● 最大负荷叠加，保证供应可靠性，机组装机容量大 ● 选择大机组、大集中系统，发挥大机组的高能效 ● 系统大部分时间在部分负荷下运行，输送能耗比例高，系统能效降低。形成节能的悖论：即需求侧用能越多，系统能效反而越高，供应侧经济效益也越好 ● 热电联产系统，重视余热利用，综合一次能源利用效率要求在 70%以上 ● 列入法定城市规划系列，有成熟的技术标准	● 从底到顶的规划思想 ● 预测用户采取节能措施后的减量化负荷 ● 逐时负荷叠加，实现负荷平准化和错峰，机组装机容量小 ● 分布式产能，灵活运行，适应分散式个性化用能 ● 利用同时使用率和负荷参差率，系统满负荷运行时段延长，系统能效提高 ● 热电联场系统，用所发电力驱动热泵，与余热共同承担供热（冷）负荷，综合一次能源利用效率可高达 200% ● 没有列入法定城市规划体系，未形成技术标准
经济社会效益	● 用户对能源品种、供应方式只有唯一选择 ● 保障供应侧利益，实行按面积收费等不合理收费制度 ● 能源供应商带有行政公权力，既当裁判，又当运动员	● 用户有多种选择，必须有灵活的价格机制和周到的服务，系统运行和商业化模式是需求侧能源规划中必须考量的要素 ● 计量收费和有吸引力的合理价格 ● 完全是一种服务

	● 只有一个投资主体 ● 上下游利益独享	● 多个投资主体，多种投资形式，非常适合采取公私合营（PPP）模式 ● 既是供应者，又是用户，必须与用户分享效益

需要注意的是，城市能源应用形态变化使得能源成为一个多领域交错的综合问题，仅靠能源供应的保障即供应侧的规划，或仅靠需求侧能源消费单个领域的个别节能措施，都无法从根本上解决这一问题，需要在更高的层面上权衡、统筹和协调。现行城乡规划体系中缺少了需求侧能源规划这一环节，整体上缺乏对城市和城区级别能源问题的宏观认识和发展现状的理解。因此，在城区规划阶段必须要有需求侧专项能源规划，统筹考虑能源利用和节能的各个方面，对城市节能进行顶层设计。

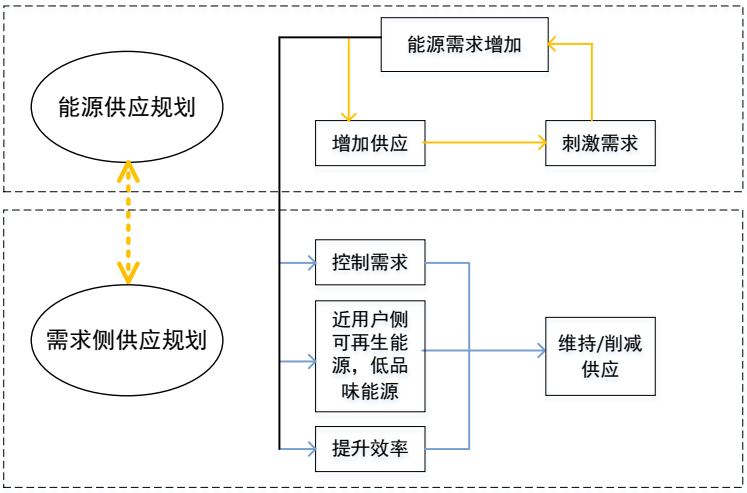


图 5.1-2 能源供应与需求侧规划的互补关系

需求侧能源规划工作过程中，在总体规划段，规划文件需要包含节能低碳的纲领性要求；在控制性详细规划阶段，主要针对街区和各地块设定具体节能目标，提出控制性和引导策略；在修建性详细规划阶段，通过城区能源基础设施规划，为能源系统节能提供物质载体。通过需求侧的能源规划方法，将城市总体节能减排目标分解落实到具体地块中，从而降低能源消耗，实现节能减排。

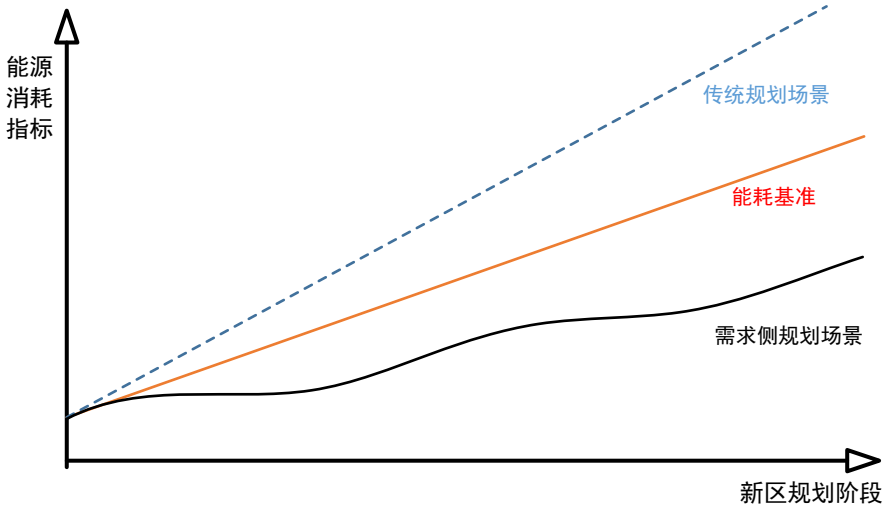


图 5.1-3 规划场景与能源消耗指标

5.1.2 分布式能源与能源互联

分布式能源主要包括热电冷联产系统，分布式供电系统，以热泵为核心技术的低品位能源应用系统等。在分布式能源系统运行过程中，存在发电不稳定，如时间或功率不匹配，发电与供热不同步，如热电冷联产产生的电能与热能与负荷不同步等问题。因此，能源规划过程中，必须考虑各能源系统与末端用户之间的供应和需求关系，确保供需平衡。

能源互联包括核心层、框架层和管理层，核心层是光伏、小型风电、利用天然气的小微型热电联产系统等现场发电系统；框架层是连接各种发电的设备、分布式热泵、集中各种低品位的能源总线、蓄冷蓄冷和储电设施等；管理层以网络技术、物联网技术、云技术等信息通信技术为支撑，对能源进行双向管理。

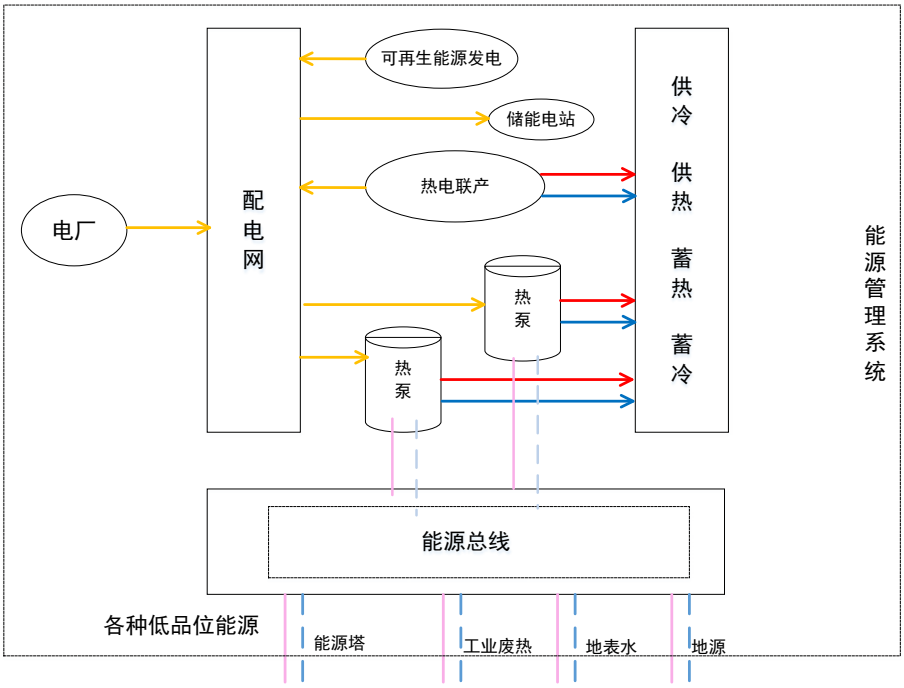


图 5.1-1 能源供应系统框架图

发展分布式能源与能源互联的优势包括：

- 满足我国高密度城镇化的需求；
- 改变我国高碳能源结构；
- 提高发电系统能源效率；
- 满足对应建筑能源利用的不稳定需求；
- 避免大集中系统和远距离输送带来的能量损失和能源品位降低；
- 克服可再生能源资源的空间分布与用户空间分布的不一致性；
- 解决个性化应用与集中式供应之间的矛盾；
- 实现能耗总量控制目标，解决巨大的需求与资源环境容量之间的矛盾。

发展能源互联网和能源微网，可实现双提高的目标，是需求侧能源规划的重要工作。

5.1.3 规划原则和思路

对园区进行综合能源规划，实际上是横向的“多能互补”和纵向的“源网荷储用”优化，这两个维度的技术特征的核心都是数据，因此在进行能源系统规划之前，首先对系统当中的“负荷”进行详尽计算、准确预测和属性分析。

上述负荷中，又可分为两大类，一类是“电”，另一类是“热”，两类负荷的属性差别很大，“电”的特点是关即是停、输送容易、储存较难，而“热”恰恰相反，其特点是关停延时、储存容易、输送较难。对用电、用冷用热的系统和装置，可定义其“热关联度”和“可关停度”，能源互联网规划的核心技术，实质上就是“移动”热关联度高、可关停度高的负荷，即通常讲到的“削峰填谷”，在此基础上，通过分布式的联合能源就近满足“热关联度低和可关停度低”的负荷，实现灵活的需求响应，由此将峰谷差异大、不确定性用户多的负荷需求曲线“烫平”为友好型的平滑负荷曲线，移动和联合这两个步骤，实际上就是园区能源综合规划的主要技术工作。

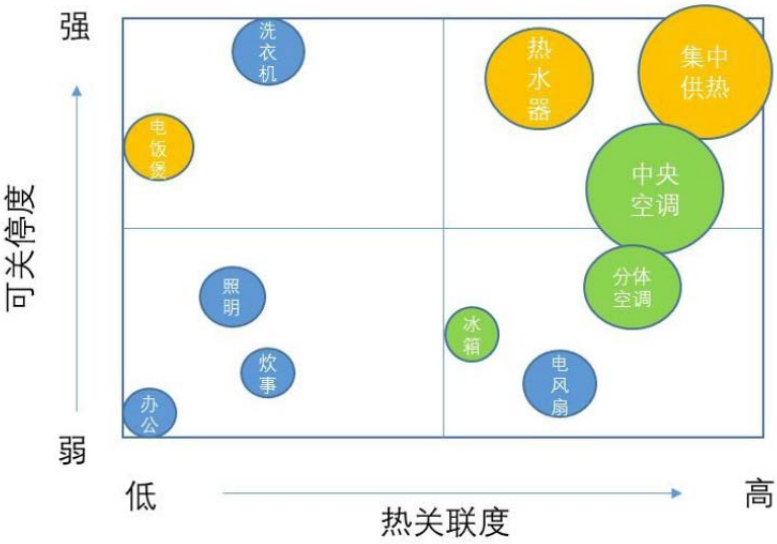


图 5.1-2 负荷的属性分析

因此，在进行重庆东站片区能源规划时，应在保证系统可靠的基础上，尽可能实现负荷的平准化，并尽可能减少系统装机容量，降低系统运行能耗，从而实现片区能源系统的经济性和节能性。具体来说，就是从削峰和节能两个方面开展规划工作：

“削峰”的主要通过蓄能、蓄冷、蓄热等手段，日间减少电网用电，夜间充分利用谷段电力，从而降低系统的装机容量，并保证设备的平稳运行。

“节能”则通过能源的梯级利用、提高供能设备的运行效率、充分利用可再生能源等手段，在运行过程中尽量减少能源资源的消耗，从而降低运行成本，减少二氧化碳排放，保证良好的环境效益和经济效益。

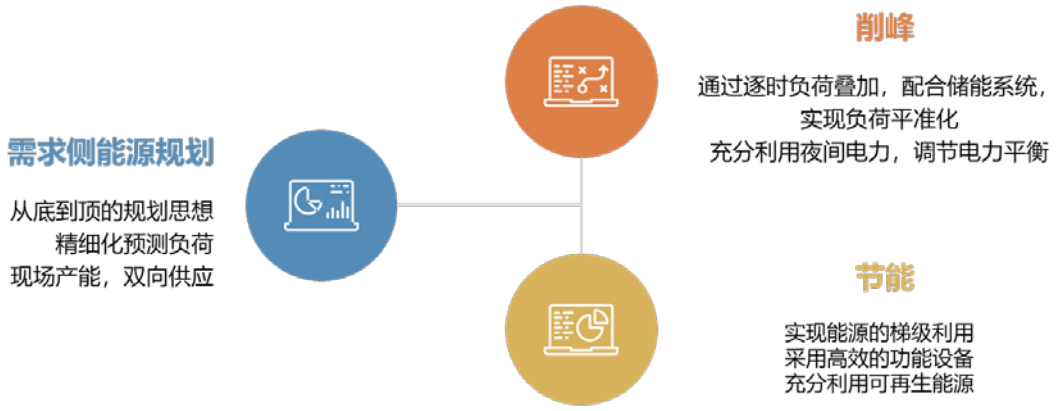


图 5.1-3 园区规划思路

5.1.4 工作流程

根据上述规划原则和思路，初步确定按照以下六个步骤开展重庆东站片区的综合能源系统规划工作：

图 5.1-4 综合能源规划工作流程

- 现状分析及目标设定：对片区现有建筑面积、人口规模、未来规划等进行分析，确定片区能源规划的整体目标；
- 能源资源分析：通过对片区全年温湿度、日照条件、风力条件及电力条件、燃气条件、地表水资源、地热资源等能源资源进行分析，对可利用的能源资源类型进行筛选；
- 需求侧负荷预测：对片区内商业、办公、医院、学校、住宅等不同类型建筑的负荷分别进行逐时计算，并统计得到各地块的逐时负荷曲线，以此作为系统方案配置的基础；
- 资源和需求匹配：综合考虑能源资源条件和各地块的负荷需求，从经济性、可靠性、合理性等多个方面进行分析，确定适用于本片区的能源系统类型；
- 能源系统配置和优化：根据片区内实际的负荷分布特点、能源位置等，因地制宜的对整体的系统配置方案进行设计优化；
- 技术经济分析：在片区能源规划完成后，根据各系统初投资、系统运维费用等，对规划方案的技术经济指标进行测算分析。

5.2 能源资源分析

5.2.1 全年温湿度条件

重庆市位于北半球副热带内陆地区，属亚热带季风性湿润气候，年平均气温 16～18℃，其中夏季较热，最热月日最高气温均可达到 35℃以上，平均气温 26～29℃，冬季温暖，最冷月平均气温 4～8℃，四季分明，冬暖春早。

重庆市全年无霜期长，雨量充沛，常年降雨量在 1000～1450 毫米，降水多集中在 5 月～9 月，占全年降水量 70%左右；重庆年平均相对湿度多在 70%～80%，在中国属高湿区。

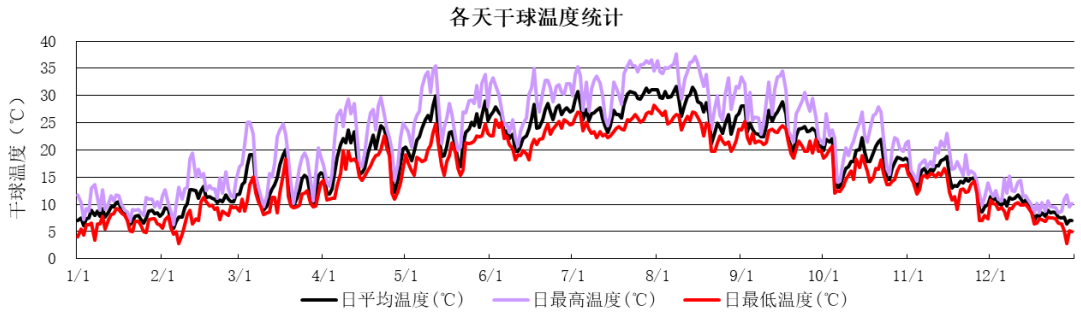


图 5.2-1 重庆市典型年逐日温度

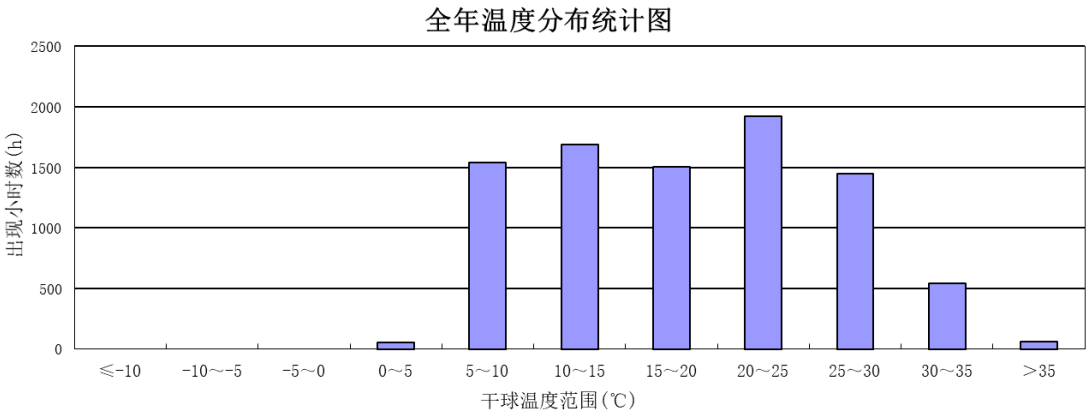


图 5.2-2 重庆市典型年年温度统计

5.2.2 日照条件

重庆位于太阳能资源欠缺区，太阳能资源较差，年日照小时数为 1000～1400 小时，日照百分率仅为 25%～35%，为中国年日照最少的地区之一，冬、春季日照更少，仅占全年的 35%左右。

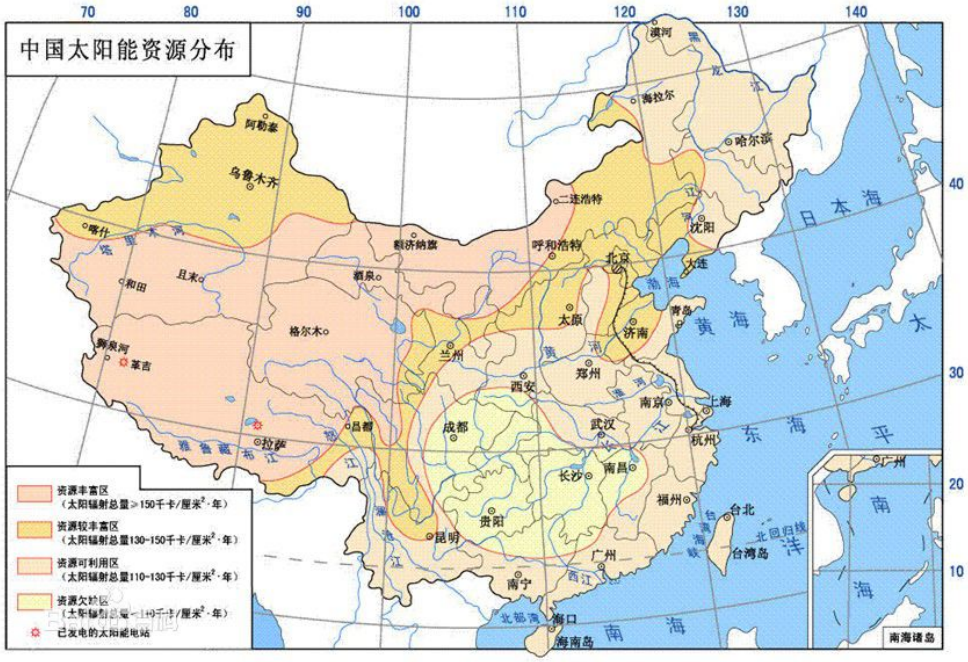


图 5.2-3 中国太阳能资源分布

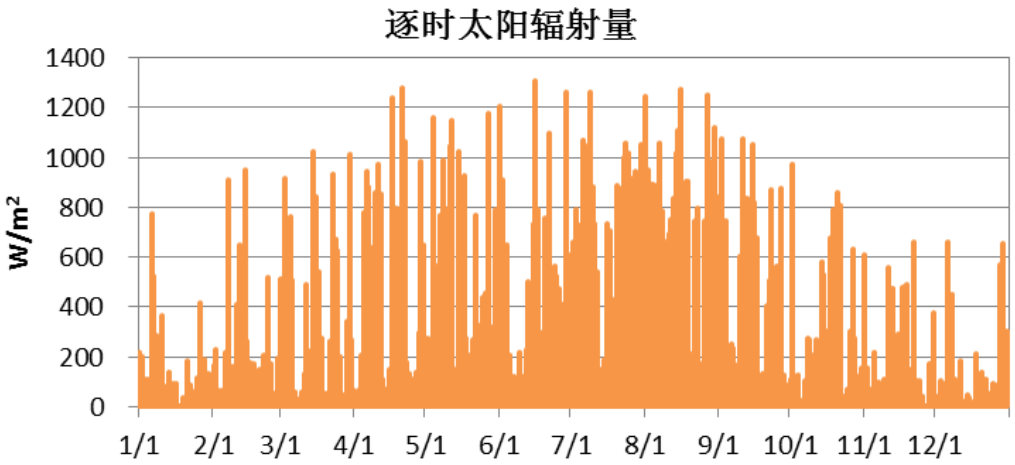


图 5.2-4 重庆市典型年逐时太阳辐射量

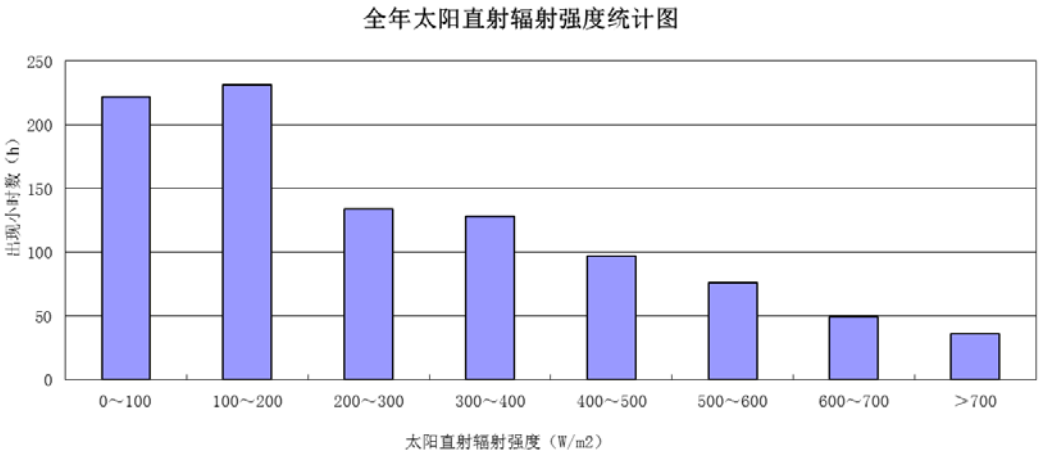


图 5.2-5 重庆市典型年太阳直射辐射强度统计图

5.2.3 地热资源

根据重庆东站片区的初步勘察资料，本场地水文地质条件较简单，不具备典型的含水层，岩土层普遍含水微弱，此外，场地地下水对混凝土结构及钢筋具微腐蚀性，场地土层对混凝土结构及钢筋具微腐蚀性。

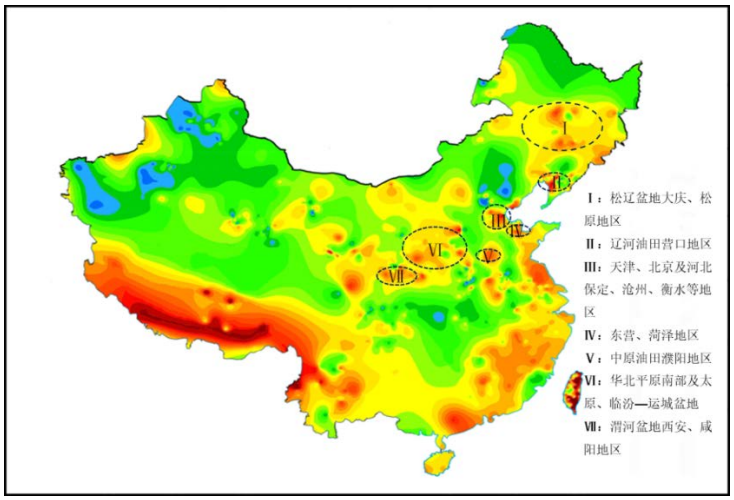


图 5.2-6 我国浅层地热资源分布图

5.2.4 能源价格

重庆市的市政电价如下表：

表 1-1 重庆市电力价格

用电分类		电度电价					基本电价	
		不满 1 千伏	1-10 千伏	35-110 千伏以下	110 千伏	220 千伏及以上	最大需量（元/千瓦·月）	变压器容量（元/千伏安·月）
一、居民生活用电								
其中：城乡“一户一表”居民用户年用电量 2400 度（含）以内		0.5200	0.5100					
城乡“一户一表”居民用户年用电量 2401 度-4800 度（含）		0.5700	0.5600					
城乡“一户一表”居民用户年用电量 4801 度（含）以上		0.8200	0.8100					
居民合表用户		0.5400	0.5300	0.5300	0.5300			
二、工商业	单一制	0.6578	0.6378	0.6178	0.6028			

及其他用电	两部制		0.6057	0.5807	0.5657	0.5557	36	24
三、农业生产用电		0.5680	0.5530	0.5380				
其中:贫困县农业排灌用电		0.3342	0.3192	0.3042				

注：
1. 上表所列价格，重庆市电力公司（包括母公司和控股公司）均含国家重大水利工程建设基金 0.196875 分钱；除贫困县农业排灌用电外，均含农网还贷资金 2 分钱；除农业生产用电外，均含大中型水库移民后期扶持基金 0.6225 分钱、地方水库移民后期扶持基金 0.05 分钱；除农业生产用电外，均含可再生能源电价附加，其中：居民生活用电 0.1 分钱，其他用电 1.9 分钱。
2. 上表所列价格，抗灾救灾用电和氮、磷、钾、复合肥企业生产用电，按表列分类电价降低 2 分钱（农网还贷资金）执行。采用离子膜法工艺的氯碱生产用电按表列分类电价降低 2 分钱执行。国家级贫困县农业排灌用电按表列分类电价降低 0.196875 分钱（国家重大水利工程建设基金）执行。
3. 大工业用户执行工商业及其他用电两部制电价。

此外，重庆市全年分为丰水期、平水期、枯水期三个时期，其中，平水期为 5 月和 11 月，执行表 3.5-1 中电价，丰水期为 6～10 月，执行电价在平水期基础上下浮 10%，枯水期为 1～4 月及 12 月，执行电价在平水期基础上上浮 20%。

重庆市实行分时电价政策，除平段 8 小时不实行浮动外，尖峰时刻的电价在夏季 7 、8 月，冬季 12 月、1 月在平段基础上上浮 70%，其他月份上浮 50%，高峰时段的电价在平段基础上上浮 50%，低谷时段在平段基础上下浮 50%。全年峰谷时段划分如下：

表 5-2 重庆市电价时段划分

时段类型	时间段
平段	7:00～8:00，12:00～19:00
尖峰	19:00～21:00
高峰	8:00～12:00，21:00～23:00
低谷	23:00～7:00（次日）

重庆市燃气热值约为 8100kcal/N㎥，商业燃气价格为 2.32 元/㎥。自来水价格为 4.55 元/吨。

5.3 园区负荷需求预测

负荷需求预测是园区能源规划中重要的基础工作，是制定规划方案的依据，其准确程度决定了能源规划方案的可行性与匹配性。因此，

负荷预测工作要求具有很强的科学性，包括大量反映客观规律性的科学数据以及适应发展规律的科学方法；此外负荷预测还应从多个维度出发，分别对各地块、各季节的电负荷及冷负荷进行计算。

5.3.1 负荷预测方法

重庆东站片区具有功能多元化，建筑形态多样化等特点，负荷预测较为复杂。为了保证能源系统方案与各地块负荷在不同季节、不同气候温度情况下均有较好的匹配性，就不能简单采用一刀切的方式，而应该对全年逐时负荷进行预测，并分别统计各典型工况下的负荷结果。

本项目采用需求侧负荷预测方法，从能源需求的角度出发，通过对各类型建筑的全年负荷进行详细计算，实现片区能源资源的有效整合和合理应用。

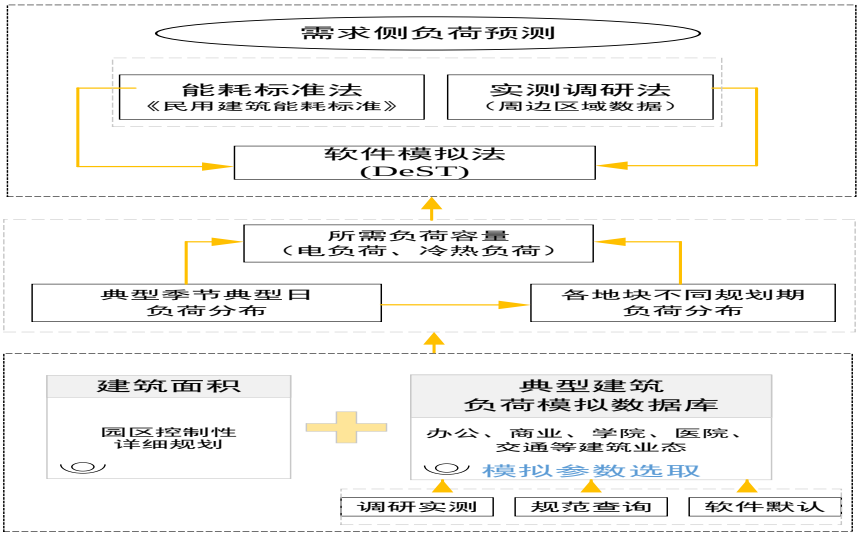


图 5.3-1 需求侧负荷预测流程图

在具体工作中，本项目负荷预测采用以模拟方法为基础、实测数据与能耗标准进行验证的方法，通过对典型建筑包括办公、商业、学校、医院、交通等建立能耗模型，得到不同业态建筑的逐时用能负荷曲线，建立对应不同用能特点的能耗数据库，对其数据的合理性通过实测值与规范值进行校验。并以此为基础，确定各地块各规划期的负荷容量，预测结果更加精细化、直观化。

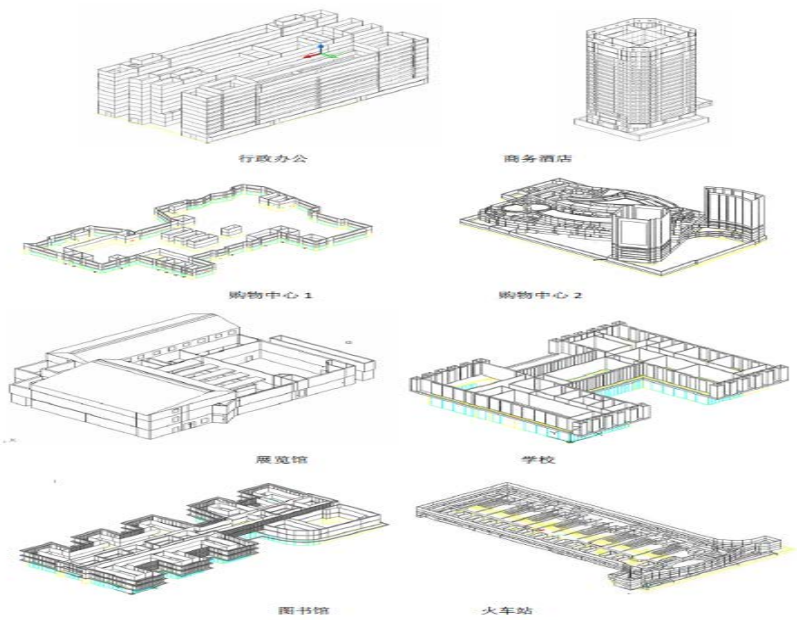


图 5.3-2 部分典型建筑能耗模型

5.3.2 各地块负荷计算结果

根据需求侧负荷预测方法，计算得到各类功能建筑的全年逐时负荷，进而获得各类建筑的单位面积负荷指标及累计耗能指标。图 4.3-3 为部分典型建筑类型的全年逐时冷、热负荷指标计算结果：

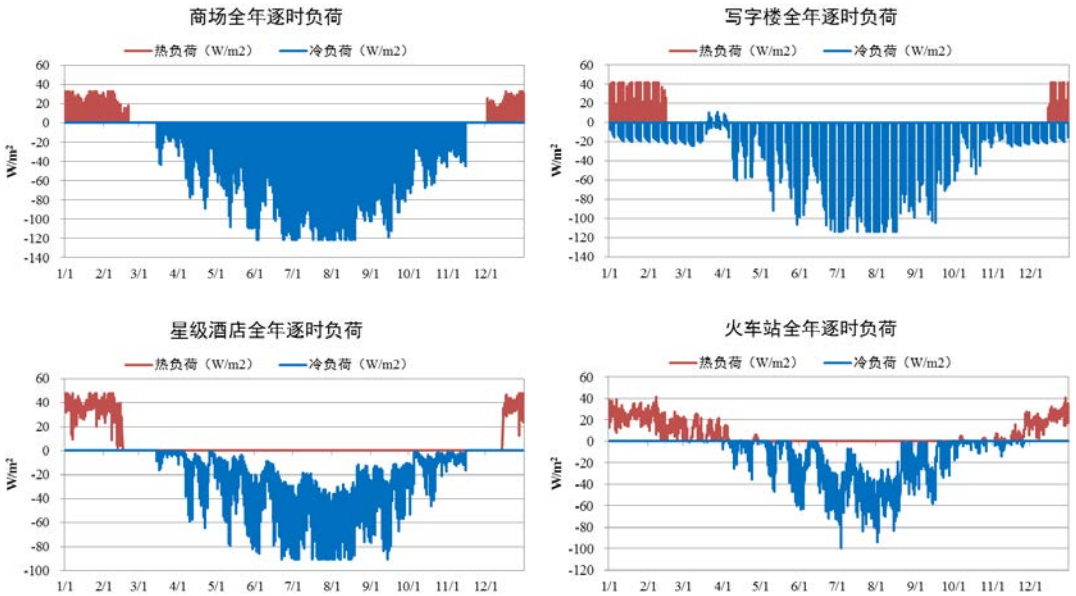


图 5.3-3 部分典型建筑全年冷热负荷指标

各类型建筑单位面积负荷如表 4.3-1 所示。通过与实测调研数据及能耗标准比对，模拟所得指标均在合理范围内。

表 5-3 不同类型建筑负荷指标

业态汇总	设计指标（W/㎡）			累计负荷（kW h/㎡）	
	热负荷	冷负荷	电负荷	热负荷	冷负荷
居住建筑	28.0	40.0	22.0	12.1	28.8
普通办公（行政办公）	50.6	108.1	53.5	29.4	53.5
普通酒店（快捷）	35.3	80.8	38.6	37.0	113.5
商场建筑	32.7	121.9	61.1	15.0	155.0
一般商业	50.6	108.1	53.5	29.4	53.5
商务办公（写字楼）	41.7	113.6	67.8	16.3	85.1
商务酒店（星级酒店）	47.6	90.4	34.7	38.1	139.5
学校	46.8	53.7	30.2	9.2	31.3
火车站	41.2	99.5	41.1	56.7	101.8
会展	41.7	113.6	67.8	16.3	85.1
公寓	28.0	40.0	22.0	12.1	28.8
车库	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0

基于以上负荷指标，结合各地块建筑类型及面积，计算得到对应地块负荷及累计能耗，如下表：

表 5-4 各地块负荷计算结果

地块编号	建筑面积(万㎡)	项目名称		负荷(kW)			累计负荷(万kW h)	
				热负荷	冷负荷	电负荷	热负荷	冷负荷
A10-6/04	37.0	高铁枢纽	重庆东站综合交通枢纽	15236	33414	14966	1447.6	3132.4
A6-2/04	2.1	国际交往区	丝绸之路交流中心	895	2121	1170	45.3	129.5
A6-4/04	1.0	国际交往区	丝绸之路交流中心	409	970	535	20.7	59.2
A7-2/04	7.6	国际交往区	万国领事汇	2588	8041	4522	107.8	796.5
A8-2/04	9.3	国际交往区		2429	9043	4721	111.6	1150.1
A9-2/04	4.9	国际交往区		1292	4811	2512	59.4	611.9
A9-4/04	4.8	国际交往区		1256	4675	2441	57.7	594.6
A11-2/04	1.0	国际交往区	丝绸之路交流中心	420	996	549	21.2	60.8

地块编号	建筑面积(万㎡)	项目名称		负荷(kW)			累计负荷(万kW h)	
				热负荷	冷负荷	电负荷	热负荷	冷负荷
A11-3/04	1.8	国际交往区	丝绸之路交流中心	748	1772	978	37.8	108.2
A12-1/04	7.8	国际交往区	万国领事汇	2649	8231	4629	110.3	815.3
A13-1/04	10.8	国际交往区		2832	10544	5505	130.1	1341.0
A3-2/04	8.6	门户商务区	万国商务港	3246	8258	4751	168.8	651.2
A4-1/04	10.5	门户商务区	万国商务港	3995	10163	5847	207.7	801.5
A7-1/04	10.0	门户商务区	万国商务港	3792	9647	5550	197.2	760.8
A8-1/04	9.9	门户商务区	万国商务港	3762	9570	5505	195.6	754.7
A9-1/04	8.2	门户商务区	万国商务港	3109	7911	4551	161.7	623.8
A16-1/04	8.8	应用创新区	创新总部城	3445	8857	5183	151.3	615.3
A18-3/04	2.4	应用创新区	创新总部城	944	2427	1420	41.5	168.6
A19-1/04	7.0	应用创新区	创新总部城	2739	7042	4121	120.3	489.2
A19-4/04	2.9	应用创新区	创新总部城	1131	2907	1701	49.7	201.9
A22-1/04	5.1	应用创新区	创新孵化基地	2219	5007	2535	127.2	295.8
A23-1/04	5.7	应用创新区	创新孵化基地	2471	5574	2822	141.6	329.3
A25-1/04	12.9	应用创新区	创新孵化基地	5641	12727	6443	323.2	751.8
A26-1/04	7.1	应用创新区	创新孵化基地	3105	7005	3546	177.9	413.8
A1-1/04	3.7	品质生活区	国际时尚住区	926	1323	764	40.0	95.3
A1-4/04	6.5	品质生活区	国际时尚住区	1644	2349	1357	71.0	169.1
A2-3/04	5.7	品质生活区	国际时尚住区	1436	2052	1186	62.1	147.7
A2-4/04	7.6	品质生活区	国际时尚住区	1913	2732	1579	82.6	196.7
A3-1/04	6.1	品质生活区	国际时尚住区	1535	2192	1267	66.3	157.9
A6-1/04	9.2	品质生活区	国际时尚住区	2328	3326	1922	100.6	239.5
A14-1/04	5.4	品质生活区	创新人才公寓	1959	3761	1964	105.0	205.4
A15-1/04	6.3	品质生活区	创新人才公寓	2299	4413	2304	123.2	241.0
A17-1/04	5.6	品质生活区	创新人才公寓	2043	3922	2048	109.5	214.2
A21-1/04	5.8	品质生活区	TOD 城市综合体	1483	4795	2767	63.1	506.7

地块编号	建筑面积(万㎡)	项目名称		负荷(kW)			累计负荷(万kW h)	
				热负荷	冷负荷	电负荷	热负荷	冷负荷
F46-2/04	0.6	品质生活区	山地会馆	303	649	321	17.7	32.1
F46-3/04	4.4	品质生活区	山地风情住区	1104	1577	911	47.7	113.5
F47-1/04	3.7	品质生活区	山地风情住区	941	1345	777	40.7	96.8
F47-2/04	1.6	品质生活区	小学	743	854	480	14.6	49.8
F49-1/04	7.6	品质生活区	山地风情住区	1916	2738	1582	82.8	197.1
F80-1/04	6.7	品质生活区	山地风情住区	1678	2398	1385	72.5	172.6
F81-1/04	6.8	品质生活区	山地风情住区	1704	2434	1406	73.6	175.2
F82-1/04	7.9	品质生活区	山地风情住区	1981	2830	1635	85.6	203.7
F82-2/04	3.1	品质生活区	中学	1435	1648	926	28.3	96.1
F83-1/04	9.7	品质生活区	山地风情住区	2432	3474	2007	105.1	250.1
F83-2/04	1.0	品质生活区	街道综合服务中心	455	973	492	26.5	48.1
F84-1/04	6.2	品质生活区	山地风情住区	1556	2223	1284	67.2	160.1
F84-2/04	3.5	品质生活区	小学	1618	1858	1044	31.9	108.3
F85-1/04	1.8	品质生活区	TOD 城市综合体	471	1524	879	20.0	161.0
F85-2/05	2.9	品质生活区	山地风情住区	737	1053	608	31.8	75.8
F86-1/04	15.1	品质生活区	山地风情住区	3793	5418	3130	163.8	390.1
F87-1/04	9.4	品质生活区	山地风情住区	2375	3393	1960	102.6	244.3
F88-1/04	4.2	品质生活区	山地风情住区	1058	1512	874	45.7	108.9
F88-4/04	3.7	品质生活区	山地风情住区	922	1318	761	39.8	94.9
F89-3/04	4.6	品质生活区	山地风情住区	1154	1649	953	49.9	118.7
F89-4/04	5.2	品质生活区	山地风情住区	1310	1872	1082	56.6	134.8
F89-7/04	7.0	品质生活区	山地风情住区	1759	2513	1452	76.0	180.9

5.3.3 负荷结果汇总

根据以上计算结果可得：规划范围内各区块总冷负荷 258MW，热负荷 119MW，电负荷 140MW；各区块年累计冷负荷 21044 万kW h，年累计热负荷 6317 万kW h。

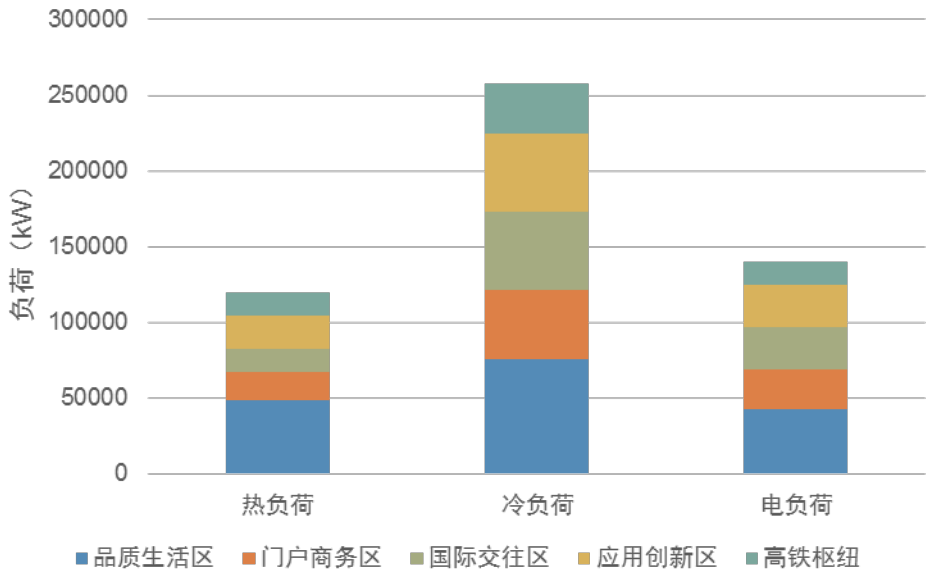


图 5.3-4 重庆东站片区最大负荷统计

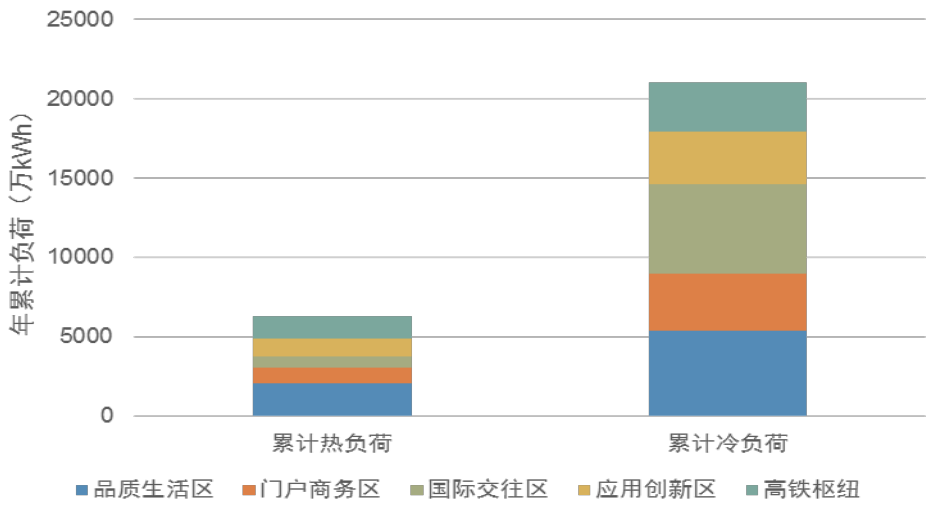


图 5.3-5 重庆东站片区累计负荷统计

5.4 能源利用方式研究

5.4.1 能源资源分析

在对重庆东站片区进行能源规划时，应根据该地区的能源资源条件，初步确定适用的能源技术，并从经济合理的角度对各能源技术进

行分析比较，在此基础上，充分考虑区域内负荷需求、负荷分布情况、相关政策要求、各系统经济输送半径等因素，对各种能源技术进行整合。

由第 3 章能源资源分析结果，分析得到各能源技术适用性，如表 4.4-1：

表 1-5 能源技术适用性分析

资源类型	资源情况	应用技术	适用性分析
室外温湿度	年平均气温 16～18℃，夏季平均气温 26～29℃，冬季平均气温 4～8℃，无霜期长	空气源热泵 多联机/分体机	适用
电力条件	峰谷电价比约为 2.7，接近 3	冰蓄冷	适用
	电价 0.6378 元/kW h（1-10 千伏）	常规冷机	适用
太阳能资源	年日照小时数为 1000～1400 小时，日照百分率 25%～ 35%	光伏发电	不适用
燃气条件	燃气热值 8100kcal/N㎥ 燃气价格 2.32 元/N㎥	燃气锅炉	适用
		热电冷三联供系统	适用
地热资源	重庆地区土壤换热能力好，为实施土壤源热泵提供了良好的先决条件，但地源热泵需要占用较大的打井面积	地源热泵	适用

根据上述能源应用技术适用性分析，初步确定重庆东站片区可采用的能源系统类型为：燃气热电冷三联供系统、地源热泵、常规冷机＋锅炉、冰蓄冷系统、分散式空气源热泵等。

各能源系统在进行系统类型及容量配置时，主要依据各地块负荷大小及变化特点、负荷密度分布、可利用能源分布情况等，并按照以下原则进行设计：

- 满足区域内负荷需求：在选择热泵、冷机、锅炉等设备容量及台数时，应根据服务区域内的最大负荷、逐时负荷及各季节负荷情况进行考虑，各类系统应互相配合运行；
- 充分考虑负荷分布情况：集中供冷、供热站位置应优先考虑布置在建筑负荷多样化、建筑密度 30%以上，容积率 2.0 以上的地块附近，从而保证各类建筑负荷错峰，冷热负荷叠加后总负荷曲线比较平稳；对于负荷密度较低，但又有一定负荷需求的区域，可考虑分散布置空气源热泵或多联机，并集中进行控制和管理。

- 经济输送半径：供冷服务区域面积不宜超过 0.5 平方公里，且应尽量缩短供冷半径，一般应在 500m 以下，最大不宜超过 1000m；供热服务区域面积可适当增大，但供热半径仍需要控制在一定范围内。

5.4.2 类似项目研究

在开展本课题研究时，课题组对与本项目类似的国内某重点工程项目进行了调研，作为能源配置方案的参考。

1、项目概况

该项目同样以高铁站为核心，规划用地围绕高铁站周围 4.9 平方公里范围，作为以高铁站为核心的综合交通枢纽及其配套建设区域，按照产城融合、站城一体的原则，与高铁站同步规划、同步设计、同步建设。

表 5.4-6 片区热负荷计算表

序号	用地性质	供热面积 (万㎡)	热指标 (w/㎡)	热负荷 (MW)
1	居住用地	134.37	30	40.31
2	公共管理用地	70.21	40	28.08
3	商业服务业务设施用地	406.7	40	162.68
4	综合用地	91.98	45	41.39
5	车站及枢纽用地	48.42		30.01
6	总计	751.68		302.48

集中供冷主要考虑利用绿地进行浅层地热实现对商业服务及公共管理用地的集中供冷，通过对其周边绿地进行分析，可利用绿地 12 万平米，占总绿地面积的 20%，此类布置总计 20 处，主要分布在有集中绿地区域，供冷面积 2～25 万平米不等；可满足集中供冷面积 148.38 万平米，冷指标 60w/㎡，冷负荷为 89.03MW。

2、当地资源禀赋情况：

- 热电联产情况：无可用热电厂进行热电联产；
- 深层地热条件：不是很理想，利用条件需进一步探明，考虑接入条件。

- 浅层地热条件：属地热能地埋管热泵利用适应性中地区，可利用。本阶段仅考虑绿地下埋管进行地热利用；规划范围绿地覆盖率 12.4%，约 60 万平米；按可利用绿地面积 30%进行初估，可埋管 7000 根；估算地热供热总量 45MW，供冷总量 54MW。
- 污水处理厂：3 万方/天，预测余热供热量、供冷量约 5MW，但达产受多因素制约，远期末端开展利用。

3、项目供能方案

（1）高铁站片区集中供暖面积 751.68 万㎡，集中供冷面积 148.38 万㎡，建设 3 座能源站，一级供热管网约 25.91 ㎞及 48 座热力站。其中：

1#能源站：供热面积 402.09 万平米，热负荷 172.1MW；

2#能源站：供热面积 191.79 万平米，热负荷 69.15MW；

3#能源站：供热面积 157.7 万平米，热负荷 61.23MW。

（2）能源站采用天然气锅炉、燃气冷热电联供、电制冷＋水蓄冷、电锅炉（较大容量）＋蓄热共同供能的模式，并预留了外部热源接入的接口。

（3）在各地块设置热力站，同时根据周边可利用地热资源情况，在热力站内设置浅层地源热泵，供热工况按利用优先级依次为：浅层地温、燃气冷热电联供、电锅炉＋蓄热（谷电或绿电）、天然气锅炉。供冷工况按利用优先级依次为：浅层地温＋水蓄能、燃气冷热电联供、电制冷。

（4）项目目前进行了一期工程建设：主要满足高铁站用热需求的工程，建成 1#能源站及部分管网。

4、项目总结

（1）该项目结合当地的资源禀赋，主要采用了分布式燃气、蓄能及地源热泵等可再生能源，并预留了外部热源接入的接口，未来其他余热资源成熟时，也可后期接入。

（2）地源热泵作为分散能源放置于各地块的动力机房内，实现了能源的梯级利用，是一种较好的能源配置方案。

（3）对于污水源热泵等，考虑到项目建设时序问题，纳入后期考虑。

以上几点，可作为本项目的设计参考。

5.5 能源系统配置方案

在对重庆东站片区进行能源规划时，应根据该地区的能源资源条件，初步合重庆东站片区负荷分布特点，针对不同区域，分别考虑采用区域集中供能方式、独立集中功能方式和分散式供能方式。其中：

- 重庆东站、写字楼、星级酒店、大型商场等用能密度高的区域采用区域集中供冷、热的方式；
- 单独的办公、商场区块采用独立的集中供冷、热的方式；
- 住宅、公寓、小型商店采用分散供冷、集中供热的方式；

对于采用独立的集中供能方式及分散式供能方式的区域，其能源系统将根据片区建设时序同步规划建设，本节将重点对区域集中供能方式的能源系统进行固化设计。

5.5.1 区域能源站选址

规划采用区域集中供能方式的区域类型包括高铁枢纽、国际交往区、门户商务区及应用创新区，对应的用地信息如下表：

表 1-7 集中供能区域用地信息

地块编号	用地性质	地块面积(公顷)	容积率	建筑面积(万㎡)	项目名称	
A10-6/04	H2	17.02		37.0	高铁枢纽	重庆东站综合交通枢纽
A6-2/04	A4	1.64	1.3	2.1	国际交往区	丝绸之路交流中心
A6-4/04	A2	0.75	1.3	1.0	国际交往区	丝绸之路交流中心
A7-2/04	B1B2	2.54	3	7.6	国际交往区	万国领事汇
A8-2/04	B1B2	2.65	3.5	9.3	国际交往区	
A9-2/04	B1B2	1.41	3.5	4.9	国际交往区	
A9-4/04	B1B2	1.37	3.5	4.8	国际交往区	
A11-2/04	A2	0.77	1.3	1.0	国际交往区	丝绸之路交流中心
A11-3/04	A2	1.37	1.3	1.8	国际交往区	丝绸之路交流中心
A12-1/04	B1B2	2.6	3	7.8	国际交往区	万国领事汇
A13-1/04	B1B2	3.09	3.5	10.8	国际交往区	
A3-2/04	B1B2	2.14	4	8.6	门户商务区	万国商务港
A4-1/04	B1B2	3.01	3.5	10.5	门户商务区	万国商务港

地块编号	用地性质	地块面积(公顷)	容积率	建筑面积(万㎡)	项目名称	
A7-1/04	B1B2S42	2.5	4	10.0	门户商务区	万国商务港
A8-1/04	B1B2	2.48	4	9.9	门户商务区	万国商务港
A9-1/04	B1B2	2.05	4	8.2	门户商务区	万国商务港
A16-1/04	B1B2	2.19	4	8.8	应用创新区	创新总部城
A18-3/04	B29	0.96	2.5	2.4	应用创新区	创新总部城
A19-1/04	B1B2	1.99	3.5	7.0	应用创新区	创新总部城
A19-4/04	B29	1.15	2.5	2.9	应用创新区	创新总部城
A22-1/04	B29	2.03	2.5	5.1	应用创新区	创新孵化基地
A23-1/04	B29	2.26	2.5	5.7	应用创新区	创新孵化基地
A25-1/04	B29	5.16	2.5	12.9	应用创新区	创新孵化基地
A26-1/04	B29	2.84	2.5	7.1	应用创新区	创新孵化基地

考虑到供能输送半径、站房设置条件等，初步规划在高铁枢纽区块规划 1#能源站，覆盖高铁枢纽、门户商务区和国际交往区；在应用创新区规划 2#能源站，覆盖应用创新区；在品质生活区设置 3#、4#能源站，为区域集中供热。各能源站均设置在建筑地下，规划位置如下图所示：

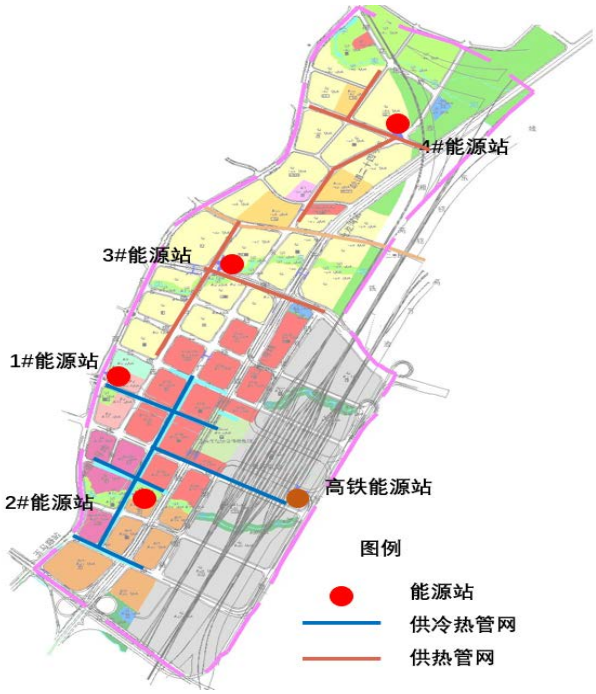


图 5.5-1 能源站选址

5.5.2 能源站配置原则

根据重庆东站片区的可再生能源应用研究结论，重庆东站片区适合开采地源热泵（中深层地热）；江水源与污水源热能由于可开采量较小，建议根据实际工程情况进行分散式可再生能源用。能源站系统配置原则：

对于用能负荷较大且集中的商务、商业、交通枢纽区域，采用集中供能方式，为了充分发挥集中供能的优势，降低水泵输送能耗，增加供冷、供热的设计供回水温度，供冷优先采用冰蓄冷技术、供热优先采用燃气锅炉技术。

对于民用建筑的集中供热需求，考虑到负荷较小，居民对运行费用较敏感，优先采用中深层地热＋热泵供热技术。考虑由政府补贴部分基础设施投资，确保供热稳定、绿色、环保。

5.5.3 能源站配置方案

- 1#能源站

对于 1#能源站，其服务区域建筑类型包括火车站、商业、办公、酒店、会展等，计算得到全年逐时冷热负荷如下图：

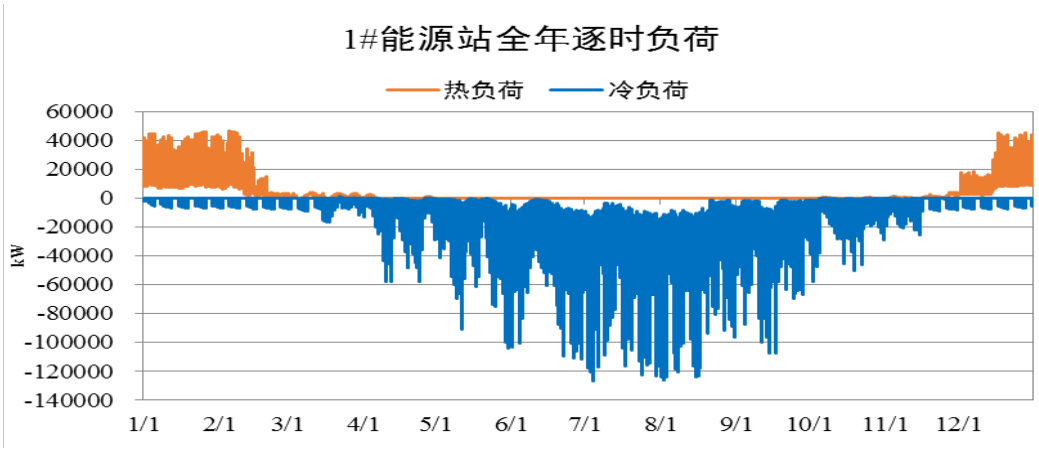


图 5.5-2 1#能源站全年逐时负荷

考虑到供冷、供热同时使用系数，该区域设计冷热负荷如下表：

表 5-8 1#能源站设计负荷

能源岛	建筑面积		设计值（kW）		累计负荷（kW h）	
	万平米	热负荷	冷负荷	电负荷	热负荷	冷负荷
1#能源岛	135.3	34060	104132	68733	3080	12391

可见，1#能源站服务区域的全年负荷较高，且重庆东站负荷连续稳定，因此考虑采用燃气热电冷三联供系统（CCHP 系统），并配置离心式电制冷机组＋燃气锅炉进行调峰。为降低排烟温度，减少烟气中水蒸气含量，本能源站内设置燃气烟气余热回收机组，同时，为了降低夏季空调的尖峰电负荷，在本能源站规划蓄冷设施。

热电冷三联供系统（CCHP）是以天然气为主要燃料，带动内燃机等燃气发电设备运行，产生的电力供应用户的电力需求，系统发电后排出的余热通过余热回收利用设备（余热直燃机等）向用户供热、供冷。这种方式大大提高整个系统的一次能源利用率，实现了能源的梯级利用，还可以提供并网电力作能源互补，使整个系统的经济收益及效率均相应增加。

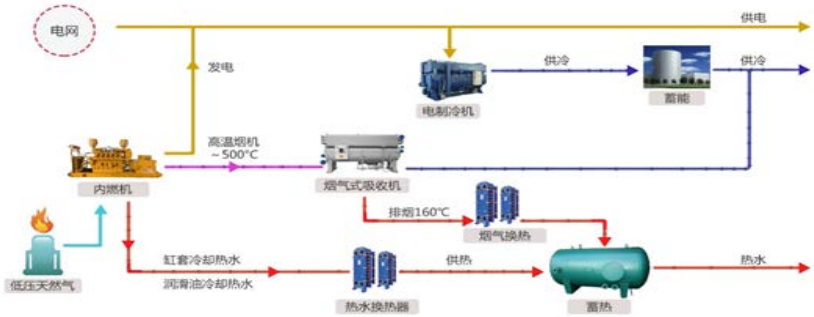


图 5.5-3 小型热电冷三联供系统工艺图

在对 CCHP 系统进行配置设计时，由于内燃机通过调节电力负荷来改变供热能力的作用是有限的，因此，在对系统进行配置设计时，应以逐时的负荷需求特性为基础，以满足区域的基础稳定负荷为主要目标，不足部分再以其他方式（燃气锅炉、电制冷机等）补充调峰。

基于以上配置原则，结合区域逐时负荷计算结果，1#能源站系统配置方案如表 4.5-3 所示，所需面积约 6000 ㎡。其中，考虑到跨地块供电的限制，能源站仅为重庆东站综合交通枢纽提供电力，发电机组容量根据重庆东站的负荷情况进行配置，其他设备机组容量根据服务区域负荷需求及发电机组容量进行配置。

表 5-9 1#能源站配置方案

序号	设备名称	制冷量（kW）	制热量（kW）	电功率（kW）	其他参数
1	燃气内燃发电机组	—	—	—	2 台 1500 kW发电机组
2	烟气溴化锂机组	3000	2800	—	

序号	设备名称	制冷量（kW）	制热量（kW）	电功率（kW）	其他参数
3	离心式电制冷机组	77000	—	15400	
4	燃气锅炉	—	35000	200	
5	烟气热回收机组	—	2800	—	
6	冰蓄冷	25000	—	—	蓄冷量 34000RTh
7	合计	105000	40600	15600	

- 2#能源站

对于 2#能源站，其服务区域建筑类型主要包括商业及办公建筑，计算得到全年逐时冷热负荷如下图：

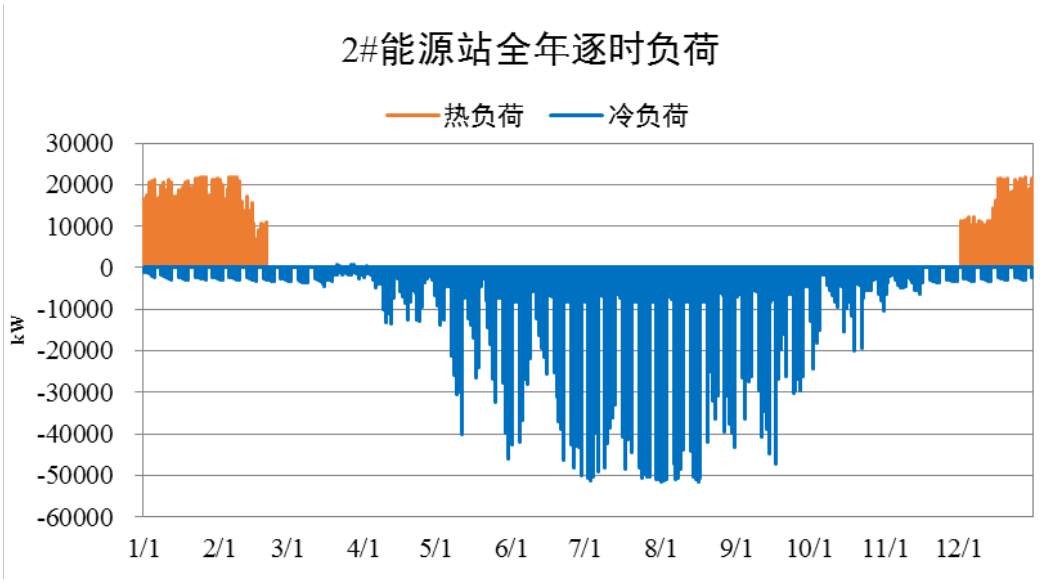


图 5.5-4 2#能源站全年逐时负荷

考虑到供冷、供热同时使用系数，该区域设计冷热负荷如下表：

表 5-10 2#能源站设计负荷

能源岛	建筑面积	设计值（kW）			累计负荷（kW h）	
	万平米	热负荷	冷负荷	电负荷	热负荷	冷负荷
2#能源岛	51.725	15187	41236	27769	1133	3266

2#能源站设置高效离心式电制冷机组＋燃气锅炉，同时与 1#能源站相同，配置燃气烟气余热回收机组及冰蓄冷系统。

结合区域逐时负荷计算结果，2#能源站系统配置方案如表 4.5-5 所示，所需机房面积约 3500 ㎡。

表 5-11 2#能源站配置方案

序号	设备名称	制冷量（kW）	制热量（kW）	电功率（kW）	其他参数
1	离心式电制冷机组	30800	—	6160	
2	燃气锅炉	—	16800	160	
3	烟气热回收机组	—	1344	—	
4	冰蓄冷	11000	—	—	蓄冷量 15000RTh
5	合计	41800	18144	6320	

- 3#能源站

对于 3#能源站，其服务区域建筑类型主要包括住宅、小型商业、学校等，考虑到供冷、供热同时使用系数，该区域设计冷热负荷如下表：

表 5-12 3#能源站设计负荷

能源岛	建筑面积	设计值（kW）			累计负荷（kW h）	
	万平米	热负荷	冷负荷	电负荷	热负荷	冷负荷
3#能源岛	78.135	11428	19428	16252	851	2025

考虑到集中供冷半径及住宅用冷习惯，3#能源站仅为区域提供集中热源，集中热源方案采用深层地热，地热井打井深度 2000m，地热＋热泵机组联合供热系统原理如图 4.5-5 所示。

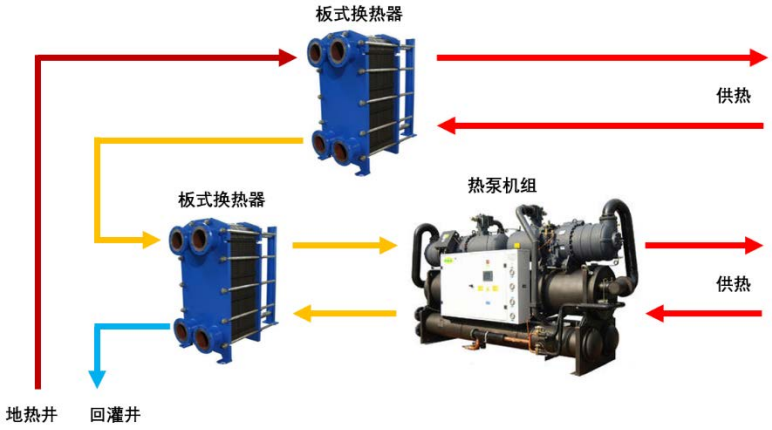


图 5.5-5 地热供热系统原理图

结合区域逐时负荷计算结果，3#能源站系统配置方案如表 4.5-7 所示，所需机房面积约 300 ㎡。

表 5-13 3#能源站配置方案

序号	设备名称	制热量（kW）	电功率（kW）	其他参数
1	板式换热（地热）	2600		
2	热泵（地热）	9000	2250	
3	地热井			2 口
	合计	11600	2250	

- 4#能源站

对于 4#能源站，其服务区域建筑类型主要包括住宅、小型商业、学校等，考虑到供冷、供热同时使用系数，该区域设计冷热负荷如下表：

表 5-14 3#能源站设计负荷

能源岛	建筑面积	设计值（kW）			累计负荷（kW h）	
	万平米	热负荷	冷负荷	电负荷	热负荷	冷负荷
4#能源岛	100.15	21370	38093	26854	1253	3361

结合区域逐时负荷计算结果，4#能源站系统配置方案如表 4.5-9 所示，所需机房面积约 500 ㎡。

表 5-15 4#能源站设计负荷

序号	设备名称	制热量（kW）	电功率（kW）	其他参数
1	板式换热（地热）	5200		
2	热泵（地热）	18000	4500	
3	地热井			4 口
	合计	23200	4500	

5.5.4 技术路线比选

以 1#能源站为例，根据服务区域的负荷需求，分别计算燃气热电冷三联供系统（规划方案）和电制冷＋燃气锅炉系统（常规方案）及直燃机系统（方案三）三种方案的能源消耗量，如下表：

表 5-16 各方案能源消耗量比较

方案类型	夏季			冬季			合计		
	耗电	耗气	发电	耗电	耗气	发电	耗电	耗气	发电
	万kW h	万 Nm³	万kW h	万kW h	万 Nm³	万kW h	万kW h	万 Nm³	万kW h
规划方案	3666	459	1692	19	477	601	3685	936	2293
常规方案	4160			24	395		4184	395	

根据现有能源价格条件，对两个方案的供冷热成本进行估算，可见，燃气三联供系统供冷供热成本均为更低，经济性更好。

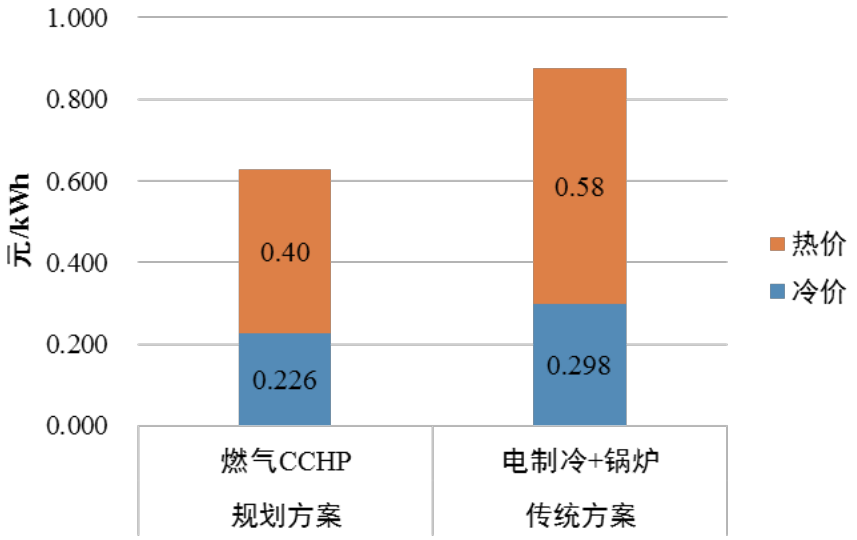


图 5.5-6 两种方案供冷热价格比较

5.5.5 管网设计

根据《城镇供热管网设计规范》（CJJ34-2010）的规定，管网供热介质选择原则为：对民用建筑物采暖、通风、空调及生活热水热负荷供热的热力网应采用水作供热介质；当生产工艺热负荷为主要负荷，且必须采用蒸汽供热时，应采用蒸汽作供热介质。本项目以民用建筑空调、采暖为主，采用水做为供能介质。

（1）供能参数

为了节约区域供冷的水泵输送能耗，并充分利用蓄冰设备的供冷潜力，本项目供冷温度为 4/11℃。采用燃气锅炉系统的能源站供热供回水温度为 95/50℃，采用中深层地热系统的能源站供热供回水温度为 50/40℃。管网系统设计压力均为 1.6MPa。

（2）管网布置原则

结合各分区及地块内空调冷热需求分布特征，规划管网分为三个片区。各片区的管网情况如表所示。

表 5-17 各片区管网概况

	一片区	二片区	三片区
业态	商业、交通、办公	住宅	住宅
管网性质	夏季供冷、冬季供热	仅冬季供热	仅冬季供热
主管最大管径	DN800	DN400	DN450
管网总长度	3.5 km	1.8 km	2.0 km

图 5.5-7 管网片区划分

管网应满足园区建设的冷热负荷需要并保持略超前于热源的建设；依托城市综合管廊，集中供热设施互联互通，分散供能有条件纳入，新建热源点可灵活便捷入网并统一调配，以满足不同发展阶段需求；路由根据园区建设要求，考虑各种地上、地下管道及构筑物、园林绿地的关系和水文地质条件，尽量与规划道路同步建设；在具备条件的情况下，管线尽可能穿过负荷中心，并在满足使用要求的同时，尽量缩短管线长度，减少投资和运行费用。

（3）管网敷设方式

本规划供热管网将依据委托方的要求，尽快健全和完善城市基础设施建设，同时根据规划区的发展预测，进行总体布局，全面规划，逐步分期、分批地加以改造和扩建。

目前国内外关于冷、热水管网的敷设方式主要有四种形式架空敷设、管沟敷设、地下直埋敷设和城市综合管廊。关于这四种敷设方式各有优缺点，针对本工程具体特点，将通过综合比选确定管网的敷设方式。

架空敷设主要分为高架空、低架空和介于两者的中支架架空。架空敷设具有施工周期短，保温结构比较简单、补偿方便、管线沿程薄弱环节少。后期维护管理方便，管线出现问题时易于寻找事故点，易于检修及后期增加等分支点。由于架空管道支架预留管位方便，极大的便利了远期扩容工作。外形美观，架空管道适宜空旷地区和工业区工厂围墙内外以及地下管线较为复杂的地区管道敷设。但架空管道保温性能差，外围护结构易损，因此常年维护管理费用较大，热损失较高，此外如果在园区道路两侧架空敷设，影响规划区美观，不适宜在规划区采用架空敷设方式。

管沟敷设方式虽然能够满足美观性要求，但一次性投入及运行成本高。其防腐、保温性能差，热损失比较高，管网维护量大，因此不建议规划区采用管沟敷设方式。

城市综合管沟是城市建设发展的方向，有利于城市建设的发展，适宜地下管线的扩建，不影响交通，不破坏城市道路。但城市综合管沟对设计、施工及日后的维护管理，要求较高，设计应具有综合各类专业的能力，要具有超前的意识及前瞻性，施工周期长，城市综合管沟造价巨大，需要有懂得各种专业的维护队伍，如果考虑不当，其效果不佳。

直埋敷设方式技术先进，运行可靠，目前在国内已经有很多工程实例。与架空管道相比，外护层是强度高，又经过气密性试验的钢制套管，是全密封性的，保温效果好。但由于直埋管道处于地下，土壤的压力、土壤的腐蚀、地下水的浸蚀，所处的环境比架空管恶劣，所以设计的复杂性和难度比架空管道高。并且一旦发生事故，检测困难。

综上所述各种敷设方式特点，从经济及技术角度分析，结合本工程特点，经本次规划采用以直埋敷设为主，局部综合管廊和架空为辅的敷设方式。

5.6 综合能源管理平台

5.6.1 综合能源管理平台简介

综合能源管理平台作为能源网智慧中枢，依托大数据和人工智能（AI），打通电力网、热力网能量流与信息流，实现虚拟负荷池和虚拟供给池的优化匹配，实现三网协同优化。通过利用数字技术及 AI 技术，促进物理世界与数字世界深入融合，最大化释放能源及设施价值。综合能源管理平台是在能源设施和综合能源网络的基础上，构建规划区能源网系统，改变传统的分散、独立供能模式，充分发挥本地能源资源潜力，挖掘与释放存量能源设施冗余能力，互联互通能源设施，接纳和服务更多主体用户。同时，将信息技术、通讯技术与能源技术深度融合，链接企业能源管理系统，构建综合能源管理平台，集成优化多种能源供应形式，以互联互通能源网络为基础，能源按需匹配，智能调度与优化。并按照多主体的能源供需属性关系，不断接纳多主体参与到平台中，推动需供重构、便捷能源交易服务。

5.6.2 综合能源管理平台功能及价值

综合能源管理平台可以实现用户一体化优化控制和云平台专家系统，从用户需求侧出发，提供从分布式供能端到用能端的创新性智慧能效管理，集能效管理、优化控制、电力设备及监控、能源网监控管理等领域专业技术、经验于一体，为客户提供开放、透明、节能、高效的能效管理平台。综合能源管理平台可以对重庆东站片区各产、用能主体及用能网络进行实时有效的监控、调度、交易管理；实现多能源协同运营、综合能源交易、智慧用能、全方位价值共享等。

（1）智慧用能管理：对不同品类、不同品质能源进行精准计量，制定最佳用供能方案，实现产能端和用能端全方位、一体化能效优化控制；

（2）用能综合优化：多维寻优，动态匹配；通过网内能源潮流分析、能耗仿真模拟、供能质量监测等，降低传输能耗；

（3）综合能源交易：实现网内多主体、多种类、多品味能源的综合交易（冷、热、电、气、碳指标等）；

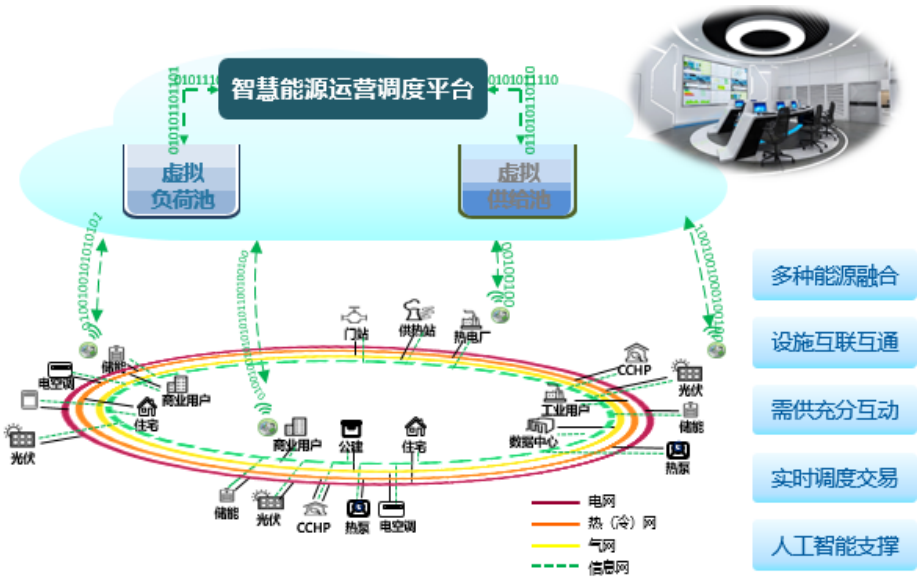


图 5.6-1 综合能源管理平台功能

5.6.3 管理技术和运维方案

（一）管理技术

1．能源大脑

能源大脑深度融合数字及能源技术，具备强大的数据处理、数据存储、边缘计算能力；具备灵活的数据连接和稳定的设备接入能力；具备最全面的能源系统模型，可以提供能源行业 100＋的解决方案。

（1）数据集成与边缘处理技术

设备接入：基于以太网、消息总线等通信协议，以太网、光纤等通用协议，3G/4G、NB-IOT 等无线协议将现场设备接入到平台边缘层。

协议转换：一方面运用协议解析、中间件等技术兼容 ModBus、OPC、CAN、Profibus 等各类通信协议和软件通信接口，实现数据格式转换和统一。另一方面利用 HTTP、MQTT 等方式从边缘侧将采集到的数据传输到云端，实现数据的远程接入。

边缘数据处理：基于高性能计算芯片、实时操作系统、边缘分析算法等技术支撑，在靠近设备或数据源头的网络边缘侧进行数据预处理、存储以及智能分析应用，提升操作响应灵敏度、消除网络堵塞，并与云端分析形成协同。

（2）IaaS 技术

基于虚拟化、分布式存储、并行计算、负载调度等技术，实现网络、计算、存储等计算机资源的池化管理，根据需求进行弹性分配，并确保资源使用的安全与隔离，为用户提供完善的云基础设施服务。

（3）数据管理技术

数据处理框架：借助 Hadoop、Spark、Storm 等分布式处理架构，满足海量数据的批处理和流处理计算需求。

数据预处理：运用数据冗余剔除、异常检测、归一化等方法对原始数据进行清洗，为后续存储、管理与分析提供高质量数据来源。

数据存储与管理：通过分布式文件系统、NoSQL 数据库、关系数据库、时序数据库等不同的数据管理引擎实现海量工业数据的分区选择、存储、编目与索引等。

（4）工业数据建模与分析技术

数据分析算法：运用数学统计、机器学习及最新的人工智能算法实现面向历史数据、实时数据、时序数据的聚类、关联和预测分析。

机理建模：利用能源领域专业知识，结合实践经验，进行负荷预测、故障预测等。

（5）安全技术

数据接入安全：通过防火墙技术、网闸技术、加密隧道传输技术，防止数据泄漏、被侦听或篡改，保障数据在源头和传输过程中安全。

访问安全：通过建立统一的访问机制，限制用户的访问权限和所能使用的计算资源和网络资源实现对云平台重要资源的访问控制和管理，防止非法访问。

2．物联技术

平台物联技术支持多种多样能源设备的数据采集与传输；建立安全可靠的数据连接；保障云平台与边缘侧系统数据融合；

（1）协议

基于以太网、消息总线等通信协议，以太网、光纤等通用协议，3G/4G、NB-IOT 等无线协议将现场设备接入到平台边缘层，运用协议解析、中间件等技术兼容 ModBus、OPC、CAN、Profibus 等各类通信协议和软件通信接口，实现数据格式转换和统一。同时利用 HTTP、

MQTT 等方式从边缘侧将采集到的数据传输到云端，实现数据的远程接入。

（2）边缘计算

基于高性能计算芯片、实时操作系统、边缘分析算法等技术支撑，在本地边缘侧进行数据预处理、数据存储、设备预警等，一方面能够及时预警，另一方面减少不必要的数据上云，增加存储压力。

（3）控制系统集成

集成多种类型的控制系统，包括监控和数据采集（SCADA）系统，以及可编程逻辑控制器（PLC）等。可远程实现设备驱动、参数配置、功能设定、维护管理等操作。

3．安稳运维

基于区域统一的多能源网络的运行特性，通过区域综合监控、实时＋AI 报警、多维度运行曲线分析及预警，保证区域能源系统的运行安全。

趋势预测及故障报警：通过故障树分析、基于模型的故障诊断专家系统、基于神经网络的 AI 报警及故障诊断系统，实现设备多维度趋势预测及故障维护。

（二）运维方案

建立自动化、标准化、流程化的高效运维体系，区域能源系统全自动、智能运维，备件设施、人员实现区域共享，提高运维效率、降低运维成本，全面提升区域运维水平。

1．人员运维智能、共享、降本

通过智能、自动化、标准化、流程化的智慧运维工具，实现设施运行全自动，运维管理全线上的运维模式，降低运维人员工作强度，提升工作效率，实现少人、无人值守；通过能源大脑，实现按需运维，减少人员不必要工作量，提升人工劳效，扩大单位人员业务范围。

最大程度的实现区域人员共享，区域的范围越大，人员整合的力度就越大，消除的人员冗余度越高，整合的价值越明显；平台聚合行业内各类专家及厂商能力，共享行业经验库，实现专业能力的共享。

2．设施运维主动、智慧、增值

1）及时运维：通过数字化手段定时提醒相关人员，及时维保，保障设施稳定运行，减少因故障产生的损失。

2）按需运维：基于能源大脑的预测性维护，实现设施的按需运维、针对性运维，减少不必要的运维工作，降低运维成本。

3）精益运维：基于能源大脑的数据分析，全方位解读设施运行状态，运维工作精细化，全面提升设备生命周期。

4）区域共享：建立区域虚拟备品备件库，实现备品备件区域内按需调配，降低备品备件成本。

3．能源运维提效、节能、创收

1）区域调度优化

多能源综合优化系统根据能源大脑的经济型分析、多维预测未来用供能趋势，统筹调配区域内需求、供给资源，综合考虑各产能设施能源成本、产能效率、绿能比例等，通过多维变量整体寻优，合理匹配各能源设施的产出，实现需供智能化动态匹配。

2）需供互动优化

通过平台将园区用能用户和供能系统联结为不可分割、完成的能源系统，平台基于负荷需求预测，以能源成本及用/供能模型为依据，提供经济、高效的供能计划，实现智能化用能和高效、合理的能源供应，实时优化能源系统参数，最大化能源系统效率，提高能源传输效率，降低能源传输能耗，全面提升区域能源质量。

3）用能系统优化

平台通过对用能用户能源系统的全方位监控与精细化管理，在保证用能安全稳定的同时，进行用能分时分区优化，异常耗能管理、能耗统计分析等，指导用户用能计划，发现客户用能问题，全面降低用户能源账单。

4）供能系统优化

平台通过智能、全自动的优化运行，实现单体设备能效提升，全面提升供能系统整体效率。

5.7 规划效果

以 1#能源站为例，本能源规划方案与传统方案（独立能源站，电制冷机＋燃气锅炉）对比，具有如下特点：

表 5-18 规划方案与传统方案特点对比

内容	规划方案	传统方案
方案特点	建设集中能源站	高铁枢纽自建能源站
服务区域	本方案中 1#能源站负责高铁枢纽、门户商务区和国际交往区	仅负责高铁枢纽
服务面积	135 万平米	37 万平米
能源站采用技术	燃气三联供＋电制冷＋冰蓄冷＋燃气锅炉＋燃气烟气余热回收机组	电制冷＋锅炉

此外，与传统方案相比，本规划方案从系统运行能耗、系统建设投资、能源设施利用率及环保效益方面，均具有明显优势：

- 运行能耗

通过全年运行能耗计算可知，相对于传统方案，本能源规划方案可实现总体节能 16.3%，同时热价及冷价均有大幅降低，可有效降低用户运营成本，改善当地营商环境。

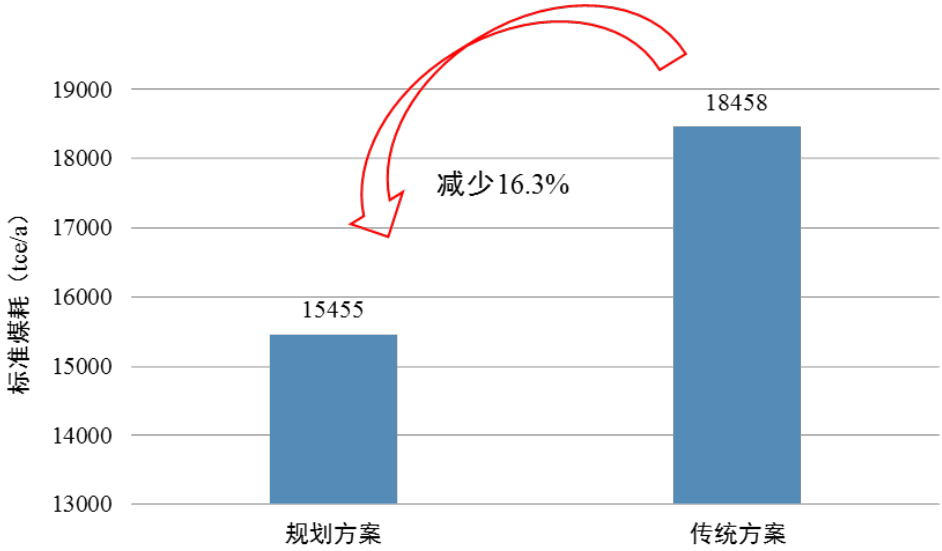


图 5.7-1 规划方案与传统方案能耗对比

- 系统建设投资

规划方案采用了燃气内燃机发电机组及冰蓄冷系统，“削峰”效果明显，规划区域内电力负荷总体减少了 10MW，设备装机规模减少 11.9%。

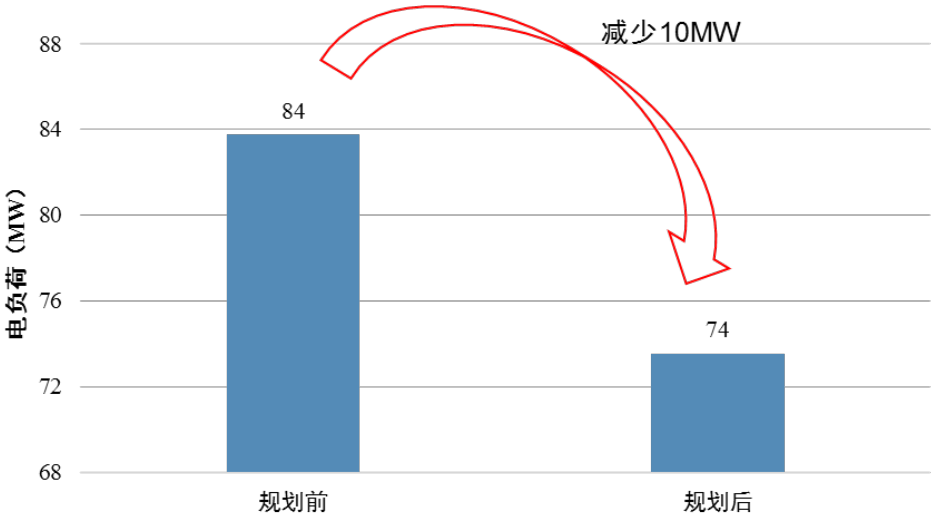


图 5.7-2 规划区域电负荷变化

由于采用区域集中供能方式，可充分利用服务区域内不同类型建筑负荷的“错峰”特点，相较于分别独立设置能源站，集中能源站其总负荷需求降低，设备总规模可降低约 20%；同时，在进行能源站建设过程中，可综合权衡服务区域内负荷变化后，分批、延后投资时限。

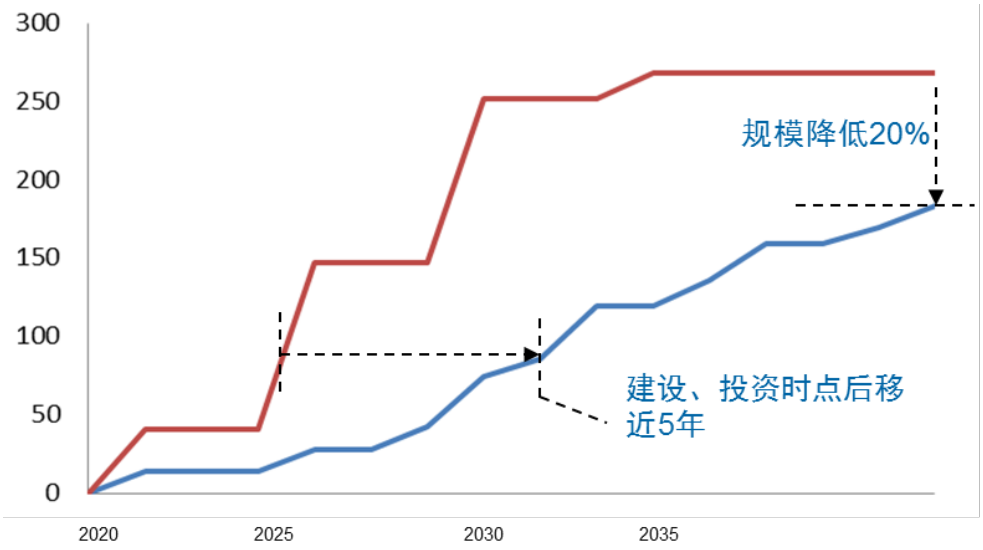


图 5.7-3 规划区域建设投资时序

- 能源设施利用率

由于区域集中能源系统总负荷需求更低，同时，本规划方案考虑了“基础负荷”和“调峰负荷”的不同负荷变化特点，分别设置的高效的供能设备，从而可以有效提升能源设施利用率，减少设备闲置时间。

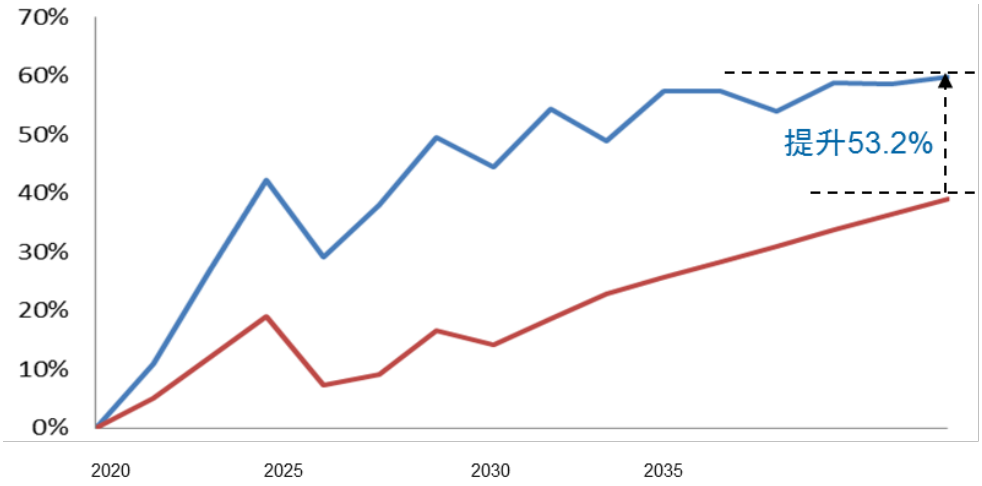


图 5.7-4 供能设备利用率变化

● 环保效益

本方案采用烟气余热回收技术，可大幅降低排烟温度，减少烟气中水蒸气含量，实现“消白”效果，改善城市景观。

图 5.7-5 烟气余热回收技术“消白”效果

5.8 技术经济分析

5.8.1 投资估算

根据上述能源系统规划方案，对 1#、2#、3#、4#能源站的投资费用进行估算，考虑设备采购安装费用、控制系统费用、外管网工程费用等，预计能源站总投资费用约为 54000 万元。

表 5-19 能源系统投资估算

单位：万元

编号	名称	1#能源站	2#能源站	3#能源站	4#能源站
1	工程费用	19216.8	8927.1	5557.0	9929.1
1.1	土建工程	2800.0	1400.0	105.0	175.0
1.2	热力系统设备费	6049.8	2568.8	333.2	666.4
1.3	热力系统安装费	1814.9	770.6	100.0	199.9
1.4	辅助系统设备费	1814.9	770.6	100.0	199.9
1.5	辅助系统安装费	907.5	385.3	50.0	100.0
1.6	电力系统设备费	2359.4	1001.8	129.9	259.9
1.7	电力系统安装费	707.8	300.5	39.0	78.0
1.8	仪表、自控系统及能效平台	500.0	400.0	200.0	250.0
1.9	外管网工程费	2262.4	1329.3	1500.0	2000.0
1.10	打井费用	/	/	3000.0	6000.0
2	工程建设其他费用	3459.0	1606.9	1000.3	1787.2
	Ⅰ＋Ⅱ	22675.8	10533.9	6557.3	11716.3
3	基本预备费	1133.8	526.7	327.9	585.8

5.8.2 经济效益测算

对比规划方案与传统的电制冷＋锅炉的供能方案，规划方案初投资减少约 5000 万元，年运行费用节约 1762 万元，项目全生命周期（按 20 年计算）资金投入减少 42122 万元，项目有可观的经济效益。

表 5-20 规划方案与传统方案对比

	总投资（万元）	年运行费用（万元）
规划方案	54058	13292
传统方案	60940	15054

5.8.3 主要存在的风险

综合能源系统投资较高，回收年限较长，多种影响因素，如投融资环境是否有利、政策是否持续支持、行业平均成本是否过高、隐形成本是否过多、技术风险是否可控、市场供应与销售路径是否开放等，均对整个能源系统的收益性有较大影响。

对于重庆东站片区能源规划方案，存在的风险主要包括以下几个方面：

1）本能源方案能源服务的上游交易是天然气供应和城市主网供电，处于绝对垄断地位，上游的供应价格对起步区项目收益造成巨大的震荡。

2）前期入住率低导致系统利用率低，系统运行成本增加。在决策阶段，需要对项目建设周期、进度计划、预售情况充分调研，制定相应投资策略，分期分批建设，从而避免过多初投资造成浪费。

3）本系统方案属于技术密集和经验密集的领域，从设计、施工、运营、维护，需要专业化的能源服务公司和经验丰富的人才队伍，保障从高效能源系统运营中赚取收益的空间。

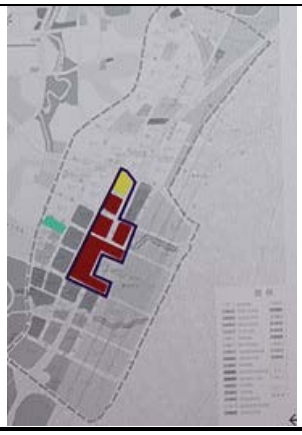
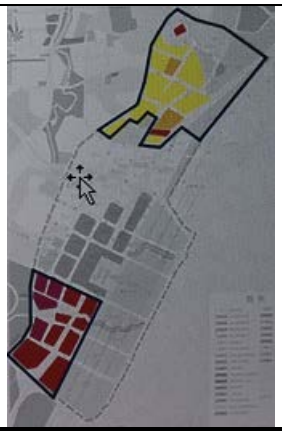
5.9 实施路径和建设计划

5.9.1 重庆东站片区建设计划

重庆东站片区规划从 2020 年至 2030 年分为三期完成建设。建设时间、策略、区块如下表所示。

表 5.9-1 重庆东站片区总体建设规划

	一期	二期	三期
时间	2020-2023 年	2024-2026 年	2027-2030 年
策略	造声势、形象昭示	聚人气、财务平衡	总部引领、完善配套、价值兑现
开发情况	站区、道路基础建设（2020-2023 年） 配套站前广场商业和少部分住宅（2021-2023 年）	医疗、教育配套落位（2024-2025 年） 住宅大力开发、商业逐步开发（2024-2026 年）	住宅持续开发、商业主力开发（2027-2030 年） 产业大力发展并成熟（2027-2030 年） 北部大型公园绿地建设（2027-2030 年）

	一期	二期	三期
			

5.9.2 能源站建设方案及建设时序

能源站方案统一规划，工程稳步推进。采用了“分期建设、分步实施”，使能源站建设进度与用户负荷需求基本同步，大幅降低了能源站投产初期的运营成本和投资压力，结合重庆东站片区整体建设进度计划，能源站及管网建设进度计划如下表。

表 5.9-2 重庆东站片区能源站建设规划

	一期	二期	三期
时间	2020-2023 年	2024-2026 年	2027-2030 年
建设内容	建设高铁能源站 1#能源站 及室外管网	3#能源站及室外管网	2#、4#能源站及室外管网

5.9.3 投资方案及时间计划

根据能源站的建设方案及建设时序，投资分期实施，考虑到能源站属于基础设施，建设投资先于用地开发投资，同时，由于负荷增长有一个过程（一般达产需要 3-5 年时间），能源站投资分为按照 50%、30%、20%的比例分为三年完成全部投资。投资方案的逐年投资额及累计投资额见图 4.9-1。

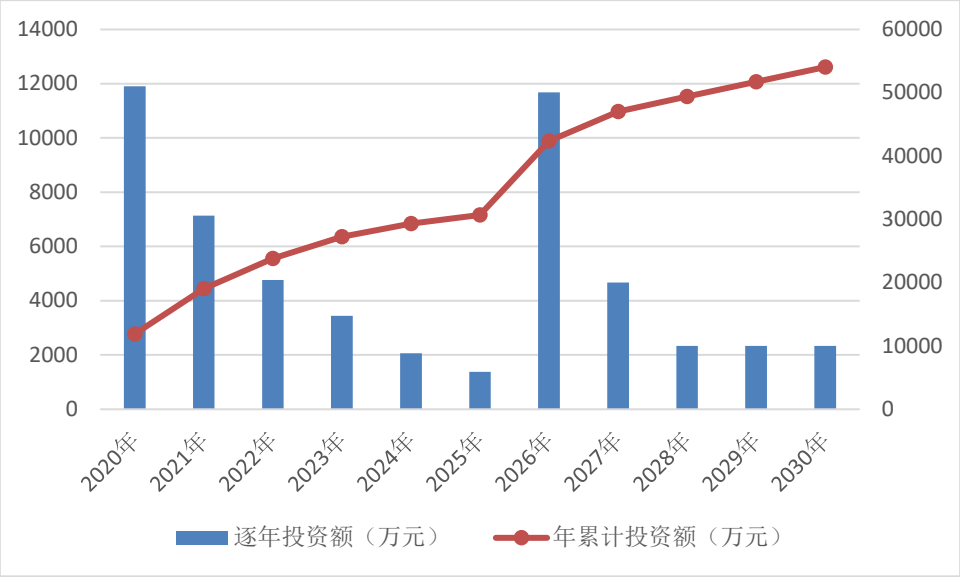


图 5.9-1 投资方案及时间计划

5.10 政策保障措施

5.10.1 政策背景

2014 年 6 月 13 日，国家主席习近平主持召开中央财经领导小组第六次会议，研究我国能源安全战略。习近平强调能源安全是关系国家经济社会发展的全局性、战略性问题，对国家繁荣发展、人民生活改善、社会长治久安至关重要。面对能源供需格局新变化、国际能源发展新趋势，保障国家能源安全，必须推动能源生产和消费革命。推动能源生产和消费革命是长期战略，必须从当前做起，加快实施重点任务和重大举措。同时提出，第一，推动能源消费革命，抑制不合理能源消费。第二，推动能源供给革命，建立多元供应体系。第三，推动能源技术革命，带动产业升级。第四，推动能源体制革命，打通能源发展快车道。

2015 年 11 月 19 日，国务院办公厅印发《能源发展战略行动计划（2014－2020 年）》，明确了 2020 年我国能源发展的总体目标、战略方针和重点任务，部署推动能源创新发展、安全发展、科学发展，将是今后一段时期我国能源发展的行动纲领。

2016 年 4 月 7 日，国家发展改革委、国家能源局印发《能源技术革命创新行动计划（2016-2030 年）》，要求到 2020 年，能源自主创新能力大幅提升，能源技术装备、关键部件及材料对外依存度显著降低。到 2030 年，建成与国情相适应的完善的能源技术创新体系，支撑我国能源产业与生态环境协调可持续发展。

5.10.2 重庆地区相关政策条件

根据《重庆市城乡建设委员会关于推进可再生能源区域集中供冷供热项目建设的意见》（渝建发〔2012〕160 号）文相关规定，提出如下意见：

一、进一步提高对可再生能源区域集中供冷供热项目建设的认识。在具备可再生能源建筑应用资源条件、能源需求的区域，采用区域集中供冷供热系统，有利于提高区域能源利用效率、降低区域热岛效应、减少碳排放、消除空调用冷却塔噪声、改善区域环境品质及提升区域价值。发展可再生能源区域集中供冷供热系统是我市推动可再生能源在建筑中规模化应用、优化建筑用能结构、推进建设领域节能减排的重要工作和独特优势。各有关单位要深刻领会推进可再生能源区域集中供冷供热项目建设对于我市推进生态文明建设和加快转变经济发展方式的重要意义，增强对推动该项工作的责任感和主动性。

二、凡列入我市可再生能源建筑应用示范项目实施计划及在国家可再生能源建筑应用集中连片示范区内的可再生能源集中供冷供热项目（以下称为“示范项目”），其供冷供热范围内在建和新建公共建筑（以下称为“用能建筑”）集中空调系统的冷热源，必须由示范项目提供，用能建筑不得另行建设空调冷热源。

三、示范项目应根据区域内用能建筑特征、功能特点和用能需求，建立相应的负荷调节与匹配能力，保障系统持续正常高效运行。

四、示范项目建设单位应严格按照国家和我市相关规定精心组织建设，加强工程建设质量安全管理，确保示范项目按要求如期建成。

示范项目运营单位应加强管理，积极配合用能建筑做好空调系统的设计、施工和运营管理，按相关供冷供热质量和服务标准为用能建筑提供高效、可靠的供能服务，并按要求持续开展能效数据监测并上传至市建筑能耗监测数据中心，最大限度发挥示范效益。

五、用能建筑建设单位在委托设计时应明确集中空调系统冷热源由示范项目提供，并应按照国家和我市有关要求精心组织工程建设及竣工验收，在选购空调系统主要设备（板式换热器和空调末端设备等）时，应选用经市城乡建委建筑节能技术备案的技术和产品。

用能建筑设计单位应按照示范项目提供的空调冷热源及管网等资料、国家和我市相关工程建设强制性标准要求进行空调系统设计，在初步设计和施工图设计的节能专篇中明确空调冷热源由示范项目（区域集中能源站）提供，明确项目能耗指标及监测系统等内容，并在用能建筑建设过程中做好相关技术服务工作。

根据《重庆市可再生能源建筑应用示范项目和资金管理办法》（渝建发〔2017〕32 号）对推进重庆市可再生能源建筑规模化应用工作，规范示范项目和补助资金管理，提出如下意见：

“鼓励在具备资源条件和能源需求的区域合理采用可再生能源区域集中供冷供热系统。市城乡建委对推动区域集中供冷供热成效显著的区县予以表彰。”

“区域集中供冷供热项目（供能能力≥30 万㎡）按照核定的示范面积进行补贴，补贴标准为 15 元/㎡，对同一个示范项目（含分期建设的多个能源站）补贴总额不得超过 3000 万元。”

5.10.3 其他政策导向

为储能项目提供优惠谷电电价，为利用低谷电储能的项目提供更多资金支持，利用峰谷电价差、辅助服务补偿等市场化机制，促进储能发展。

简化燃气分布式电源的电力并网接入手续。天然气分布式能源具有能源效率高、安全可靠、清洁环保、“削峰填谷”互补性强等诸多优点。但是，目前，并网是天然气分布式能源最大绊脚石，需要从政策上予以破除。

5.11 商务模式建议及保障措施

能源规划从生态建设的高度与城市规划进行深度融合，统筹城市布局、发展与能源建设的关系。为确保重庆东站片区能源规划的实施，保证按照规划开展园区建设和能源基础设施建设，落实规划重点实施项目，达成规划目标，须建立健全能源利用相关保障措施和配套政策，并配有合理的商务模式。

5.11.1 商务模式建议

（1）平台公司模式

建议以园区管委会、重点能源企业或第三方为投资主体，成立园区能源平台公司，构建区域综合能源管理平台，开展能源基础设施建设等，并委托专业的能源运营服务公司进行整体运营管理。

同时接纳更多的能源平台投资主体，实体运作，逐步扩大资本规模。通过能源生产、调度、交易、运营为园区及周边用户提供电（产、购、配、售一体化）、热等能源；提供增值服务（碳交易、能效管理等），保证安全稳定供能、降低能源账单、帮助能源设施改造用户及新用户降低投资。对于各平台投资主体而言，将通过电力配售，获取入网费、能源销售收益、增值服务收益等方式，获取收益，并结合能源网络的高柔性，超越单一用户用能制约，降低投资风险。

对于园区内各用能主体，将采用弹性价格机制，以支付入网费、购买能源等方式，参与园区能源的管理、使用，推动能源平台的高效运作，并通过入网费、能源购进价格间的相互协调，降低用能主体能源成本。

对于园区内的基础设施投资商和园区部分能源供应商，将参与能源基础设施的建设与运维，为园区能源系统提供热源、电源点，与园区综合能源系统结合，多源、多能协同，实现园区能源供应的安全、稳定、经济、便捷。其可通过销售能源的模式，获取能源销售收益，并视情况分享部分入网收益。

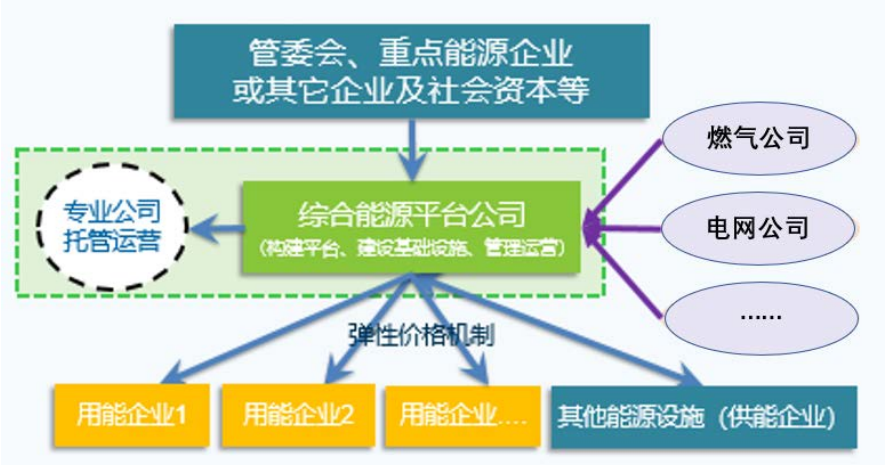


图 5.11-1 平台商务模式示意图

（2）综合能源服务新模式

传统能源服务，多是从产业链上游向下游纵向延伸的合纵模式，而综合能源服务则是围绕客户需求提供一站式服务的连横模式。新模式相对于传统模式的变化主要体现为以下两个方面。

一是从以产品为中心的服务模式，变为以客户为中心的服务模式。传统能源服务，多是上游企业的附属业务，往往围绕上游企业的产品营销开展服务，服务模式是以产品为中心。而综合能源服务是以能源服务为主营业务，围绕客户的综合需求开展服务，服务模式是以客户为中心。为了提高客户满意度、增强客户粘性，综合能源服务企业甚至不仅仅提供能源服务，还可以针对客户使用能源背后的最终需求，考虑客户对成本、安全、舒适、便捷、速度等方面的要求，提供物业管理、垃圾处理、碳金融、智慧生活、大气治理、水处理、固废处理等相关服务。

二是从基于事物的弱互动服务模式，变为基于关系的强互动服务模式。过去纵向延伸的能源服务模式，重点在于围绕事物开展营销，与事物无关的方面不开展营销，企业与客户的互动比较有限。而横向一站式的综合能源服务，重点在于围绕关系开展营销，致力于建立、保持并稳固与客户之间紧密的、长期的互动关系，充分开展能量流、信息流、业务流的互动，吸引客户的高频次访问，赢得客户对企业的强烈认同甚至偏爱。

（3）商业生态的新形态

综合能源服务企业在现有的商业环境中，面临着多方挑战和机遇。

（一）挑战

综合能源服务企业面临多客户类别、多专业领域、多供应链、多基础能力带来的需求、技术、生态、管理差异性大、复杂性高的挑战。一是多客户类别，例如有高耗能工业、新兴产业、公共建筑、住宅建筑、交通等领域的不同细分类别客户，而不同客户的需求差异性大；二是多专业技术领域，例如电力、燃气、供热、分布式能源、节能、需求响应、车联网等专业，而不同专业领域的技术差异性大；三是多供应链，供电、供热、供气、光伏设施、生物质设施、热泵等，而且不同供应链的商业生态差异性大；四是多基础能力，例如规划设计、施工、运行、营销、融资、投资、法律等，不同基础能力的管理制度差异性大。

（二）商业生态圈

为了获取多种必要资源，提升为客户提供综合解决方案的能力，综合能源服务企业必须发展合作伙伴关系，建立优秀的网络连接能力，创建互利互惠的商业生态圈。企业发展伙伴关系，通常包括非竞争者之间的战略联盟关系、竞争者之间的战略联盟关系、开发新业务的合资企业、发展稳定供应商的采购商-供应商合作关系，从而有效促进规模效应、减少风险和获取资源等。与综合能源服务企业发展伙伴关系相关的企业，可以归结为 A、B、C 三种类型。

A 类企业是能源行业的大企业，通常有较好的上游供应能力，在某个专项领域已经具备较强实力，一定程度上具备资质、技术、资本、客户、服务能力等资源，可能主导或者参与发展综合能源服务企业。A 类企业通过发展综合能源服务，可以增强客户粘性，从而加强促进反哺上游业务发展，包括促进增加上游收入规模、减少上游收入风险等。A 类企业之间存在一定的合作需求，以求快速填补业务空白，例如售电企业与地方燃气企业的合作，供热企业与分布式能源装备制造企业合作等。A 类企业之间的合作具有一定的不确定性，因为双方具有业务重合、同质化竞争的可能性，通常采取战略联盟、采购商-供应商的合作方式。

B 类企业是非能源行业但为大量客户提供能源相关服务的机构，有较好的客户资源，可能主导或者参与发展综合能源服务企业，但大都需要与 A 类企业合作。B 类企业由于在资质、技术、资本等资源方面存在较多空白，难以独立提供综合服务，因此大都需要与 A 类企业

开展合作，例如通过合资、战略联盟、采购商-供应商合作方式成立综合能源服务企业。以大型互联网平台企业为例，他们具有强大的平台流量优势和互动服务能力，对 APP 产品开发、大数据分析、商业模式创新积累大量经验，可以与 A 类能源企业以战略联盟、采购商-供应商合作方式提供强互动的综合能源服务。

C 类企业是非能源行业的专业技术企业，或者能源行业小微企业，具有专业服务能力、专利技术资源等，由于缺乏资质、技术、客户等资源，很难主导发展综合能源服务企业，主要以参与为主。由于综合能源服务企业会提供一定的非能源服务，例如垃圾处理、碳交易、建筑物维护、节水管理、智慧生活、大气治理等，以充分满足客户多元需求、增强客户粘性，因此需要与非能源行业提供专业技术服务的企业合作。另外，综合能源服务企业为了更快速填补资源空白，会与能源行业小微企业合作，例如专业节能企业、能源大数据企业等，以使用小微企业的技术资源和快速响应的服务能力。尤其对于采用开放平台型商业模式的综合能源服务企业，更将会与数量众多的 C 类企业合作。

5.11.2 保障措施及建议

（1）完善政策支持，引导产业优化

政府主导，多主体参与，共同推动重庆东站片区能源体制及平台模式建设；禁止新增企业自建锅炉房，统筹规划采用集中式＋分布式能源站解决热力需求；梳理并落实相关鼓励支持分布式能源政策；鼓励多种清洁能源供热方式联合使用，实现能源梯级利用；强化能源监管机制，控制能源消耗总量，降低单位产值能耗，加强供用能主体能源管理、审核，促进能效提升，提高能源使用水平；加强市场化机制建设，推进能源价格体系改革，多渠道引导和鼓励多主体参与能源生产、使用及管理等，市场化运营，市场化竞争，提高能源服务质量，降低用能主体能源使用成本。加强对新能源开发、示范、推广、应用相关政策及措施的研究，根据重点实施项目的特点，结合实际进行具体策划和实施，形成一批示范项目。

鼓励产业集聚、循环经济发展，逐步完善产业链环节，促进区域能源自平衡，鼓励企业用能多元化，发展健全新能源市场；加强能源

利用与管控，通过规划牵引和提前布局，优先保障能源建设用地。建成后，加强运维管控，确保能源综合利用效率最大化。

（2）加快规划落实，加强能源管理

以综合能源规划为指导，以近期入驻重点项目为牵引，快速推进规划落地，根据近期重点建设项目分步分期实施。

构建综合能源管理平台，由专业化队伍负责能源生产、运营、调度和交易。

（3）加强规划牵引，设置绿色门槛

加强综合能源规划同上位规划的深度融合，提升综合能源规划的统御力及约束力。高标准开展城市设计，引入绿色建筑，提高园区居住质量及体验，加速形成商业＋交通＋居住核心区。

高标准开展城市设计，引入绿色建筑。设置房地产开发商的进驻门槛，针对高端大型公共建筑或居民住宅区在土地挂牌时，需明确达到国家级《绿色建筑评价》（GB-T50378-2019）或当地的绿色建筑评价标准一星级以上，在设计、建造、竣工验收过程中严格把关，确保建筑节能水平达到标准要求，降低建筑能耗。提高园区居住质量及体验，加速形成商业＋交通＋居住核心区。

（4）加强机制保障，优化发展环境

推进能源价格机制改革，放开竞争性环节价格，创新主要由市场决定的能源价格机制；鼓励各类投资主体参与建设、运营和服务园区能源系统；打破单体边界，能源设施所有权与运营权分离，实现设施集约共享、全网统筹调度；

完善电力、天然气基础设施配套，预留能源基础设施用地，加强能源建设用地空间管理；设置完善的能源监测系统及相关保障措施，确保综合能源管理平台的智慧化运营。