

采用人工洞室储气库的压缩空气储能电站选址方法分析研究

王天宇 王宁 张雪霏 齐昊辰

中国电建集团吉林省电力勘测设计院有限公司, 吉林长春, 130000;

摘要: 压缩空气储能电站是实现可再生能源大规模消纳的关键技术之一, 而人工洞室储气库作为其核心基础设施, 其科学选址直接影响电站的安全性、经济性和可持续性。本文基于多学科交叉视角, 系统总结了采用人工洞室储气库的压缩空气储能电站选址的关键原则与方法, 以期对相关工程提供理论指导与实践参考。首先, 从技术、经济、环境及社会多维度阐述了选址意义, 指出人工硬岩洞室在灵活性上的优势。随后提出系统性选址流程, 总结了资料整合、站点普查、实地勘察、工程地质勘察、地下储气库站点选择、地面工程站点选择的方法和原则。提出了采用人工洞室储气库的压缩空气储能电站的定量打分评价方法。本研究成果为压缩空气储能电站的科学选址提供了标准化框架, 对推动我国新型电力系统建设及“双碳”目标实现具有重要应用价值。

关键词: 压缩空气储能; 人工洞室; 规划选点; 选址原则; 工程地质勘察; 标准化

DOI: 10.69979/3029-2727.26.03.084

引言

压缩空气储能属于一种有着广泛运用前景的储能以及发电技术。近些年来, 我国着重针对风能、太阳能这类可再生绿色新能源展开研究并加以开发利用。因为新能源发电存在间歇性以及随机波动性这些特性, 所以在并网之际, 会对电网的稳定运转造成冲击, 进而形成一定的安全方面的风险。压缩空气储能能够在新能源大规模开发过程当中所存在的技术瓶颈得以解决^[1]。压缩空气储能电站在那些缺乏自然条件去建造抽水蓄能电站的电网里, 尤其适合开展大规模储能工作, 像我国的西北、华北还有东北地区, 对于促进可再生新能源的开发而言, 有着极为重要的作用^[2]。地下储气洞室是压缩空气储能电站极为重要的组成部分, 它既是电站建设成本以及选址方面起决定作用的因素, 同时也是其运行能效以及安全性方面在技术层面的关键所在。当下, 地下储气库主要存在盐穴储气库、废弃矿井储气库、人工开挖硬岩洞室储气库等多种类型。盐穴储气库以及废弃矿井储气库通常会利用现有的洞室, 选址大多限定于特定区域, 而人工开挖硬岩洞室储气库的建设不会受到地理条件的约束, 在有压缩空气储能电站建设需求的地区, 一般都能够找到合适的地层, 所以它越来越受到关注, 呈现出较好的发展趋势^[3]。目前, 压缩空气储能电站的人工洞室选址需要综合考虑地质、工程、经济、环境等诸多维度的因素, 以此来达成可靠性、经济性以及可持续性的最优平衡状态。人工洞室储气库作为压缩空气储

能当中的关键基础设施, 其选址的科学性以及合理性会直接对电站的安全性、经济性以及可持续性产生影响。从技术、经济、环境以及社会等多个不同维度来讲, 其选址都有着十分重要的意义。在技术层面能够保障储能系统能够安全且高效地运行, 在经济层面可以降低投资以及运行的成本, 在环境层面能够推动可持续的低碳发展进程, 在社会与政策层面能够对新型电力系统的建设起到支撑作用。本文依据以往压缩空气储能电站的建设经验, 较为系统地归纳了采用人工洞室储气库的压缩空气储能电站选址的关键原则以及方法, 能够为后续类似工程的开展给予参考依据。

1 储气库选址关键步骤

1.1 室内资料收集

人工洞室压缩空气储能电站选址时, 需收集基本资料, 且资料要尽可能完整、真实、准确。可以借助数字自然资源数据库以及地理信息技术来开展资料收集工作, 所需收集的基本资料包括气象资料: 降雨量、气温情况、气压状况、蒸发量以及冰情等方面的实测资料, 还有像极端最高、最低这样的数据资料, 另外也包括地表水、地下水等水文方面的相关资料; 地形资料: 比例尺不低于 1:10000 的地形图、遥感影像等相关资料。若缺乏地形图, 则可以采用分辨率为 30m 或者更高的全球地形数据当作替代; 地质资料: 区域地质以及地震、地质灾害方面的情况, 像崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地面沉降、地裂缝等等这些情况, 还有地应力分布

呈现出的特征、岩溶发育所具有的特征,另外还有邻近地区的地质资料、岩性分布状况、岩体物理力学特性以及岩体风化的程度、岩体蚀变的特征等一系列内容;资源资料:土地、矿产、能源、林业等;电力系统资料:电源构成、电力负荷、年供电量、负荷结构、负荷曲线、电网结构以及电力市场和发展规划、变电站容量及间隔、区域风能、太阳能、水能等其他可再生能源分布情况;其他资料:国家法律法规、国土空间规划、永久基本农田、生态保护红线、自然灾害记录、历史遗址、保护区和自然遗产、核心保护区等。

1.2 室内备选站点普查

依据地区的能源资源具体条件来对电力系统有可能采用的其他调峰举措展开分析,凭借初步的技术经济方面的比较,去剖析建设压缩空气储能电站在经济层面的情况,进而明确规划水平年电力系统针对该电站较为合理的规模需求。

普查站点需契合国家以及地方当下已有的各项规划,其建筑物在布置之时,务必要充分契合地形地质方面的实际条件,要规避自然遗产保护区、文物保护区、风景名胜、水源保护区、森林公园、地质公园、生态保护红线区域以及核心保护区等等,应当尽力去减少对树木这类自然资源的占用情况。与此还得避开基本农田,尽可能地减少对一般农田、村镇等社会资源的占用程度。普查站点在选定位置的时候,需要综合考量电力市场的具体需求,要去挑选那些电力输送起来较为便捷的地方,最好是距离负荷区或者公共电网都不远的位置。建筑物在布置方面,适宜将已有建筑物、交通等各类功能相互结合起来,如此一来便能够具备较为优良的交通以及运输条件,并且在此过程中还需同步考虑到天然建筑材料的料源以及储量状况。

在对相关资料加以收集并展开分析之后,在对各个站点进行全面普查的基础之上,从中筛选出拟确定下来的站点,并且初步去框定电站具体的开发模式以及相应的建设规模。

1.3 现场实地踏勘调查

对筛选出来的拟定站点展开实地考察,涉及地质考察、电网考察、环境考察、交通条件考察以及社会经济考察等方面。

(1) 地质方面的调查,需要对站点的地形地貌状

况予以考察,要细致观察岩体结构的具体情况,还了解地质构造的相关信息,同时要留意是否存在不良地质作用,通过这些来初步对场地的稳定性以及适宜性展开分析。水文地质的调查,则要去调查普查站点的地表水以及地下水所具有的各种特征,还得尝试去预测地下洞室可能出现的涌水量,另外要深入分析地表水与地下水给工程所带来的种种影响。初步针对人工洞室、硬岩洞穴的大小、埋深、稳定性等方面展开调查工作,依据工程类比的分析办法,去分析可能存在适合作为建库的区域。

(2) 电网调查方面,需对站点已建成或者规划要建设的电网状况展开调查,深入分析电站接入电网的实际可行性。在那些属于独立电网的区域,还要着重去调查并分析用户的用电需求情况。与此针对站点已经完成建设以及规划要建设的电源状况同样需要进行相应的调查工作。

(3) 环境调查需涵盖站点生态、水资源、文物等方面自然与社会环境状况,以及周边管网、建筑等工业环境状况,要分析工程建设给环境可能带来的影响。还需调查站点土地性质及用地规划,分析工程建设用地属性以及其对周边建设产生的影响。针对人工洞室等需要弃渣场地以及周边可堆放工程建设弃料的场地展开调查,做出初步估算可弃渣方量。

(4) 交通条件调查需对普查站点及其周边的公路、铁路等交通状况展开调查,计算拟建区域的路网密度,并且要考察新建道路的可行性以及可能遇到的困难程度。

(5) 在开展社会经济方面的调查时,需要对所涉及站点的自然环境状况以及社会环境状况展开调查,并且要深入分析国家层面以及地方层面的相关法律法规、政策、规定、规划以及行业标准等内容,衡量对压缩空气储能电站开发与利用的促进作用,初步计算投资成本及收益。

1.4 工程地质勘察

工程地质勘察要初步搞清楚区域断裂的活动状况以及地震的基本烈度,初步对区域构造的稳定性做出评估,弄清楚地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质还有不良地质现象等基本地质条件,了解特殊岩体以及软弱岩体的发育和分布情形,开展人工洞室围岩分类工作,初步对其成洞条件作出评价,针对主要工程地质问

题给出初步评价,初步给出地下工程埋深以及方案布置方面的地质建议。勘察的方法以工程地质调查和物探为主;对于地质条件复杂且地质资料匮乏的站点,适宜结合初步方案和地质条件来布置钻孔;工程地质调查所用比例尺不能小于1:10000,可以采用无人机倾斜摄影、三维激光扫描、航卫片遥感解译等方法,并且要进行现场核验;在站点取样,开展主要岩石的室内试验以及水质分析试验,布置钻孔的站点能够依据勘察工作的实际需要,在钻孔内开展相应的钻孔原位测试、钻孔物探测试等工作。

1.5 储气库站址选择原则

地下储气库的选择工作应当在对相关资料展开分析、针对站点进行普查以及调查、开展工程地质勘察等一系列工作的基础之上有序开展。地下储气库在选择的时候务必要契合站点工程总布置方面所提出的相关要求,依据地质勘察所取得的成果来初步选定围岩稳定性较为良好并且从经济层面来讲也比较合理的洞室范围。就人工洞库而言,适宜去选择围岩类别至少不低于III类的区域,并且要规避那些会对洞室围岩稳定产生不利影响的工程地质以及水文地质条件比较复杂的区段,像大规模的断层破碎带、活断层、易熔盐岩分布地带、膨胀岩所在区域、岩溶洞穴发育的带状区域、存在采空问题的区段以及有害气体和放射性物质富集的区段等等,还有诸如导水断层、岩溶暗河这类地下水汇集的区域以及高地应力和容易出现突水突泥情况的地段,这些都得避开。地下储气库的埋深必须要能够满足安全方面的相关要求。

1.6 地上部分站址选择原则

地面工程需综合考量地形地质、环境、电力系统以及地下储气库位置等诸多因素来做出选择,要契合站点总体布置方面的要求,尽可能靠近电力符合中心所在的区域或者拟接入的变电站,与地下储气库的距离最好不要超过2km,尽量不占用或者少占用一般农田以及经济效益颇为突出的土地,要和城乡或者工矿企业的规划相互协调起来,以便于架空以及电缆线路的引入与引出操作,挑选交通运输较为便捷的区域,这有助于工程管理以及主要设备的运输事宜,选择地形地质条件相对不错的区域,规避断层、滑坡、塌陷、溶洞、泥石流、危岩以及易出现滚石的场所,在其周边应当存在可靠的生产与生

活用水水源,周边的环境不能有污染情况,防止设备因被污染而使绝缘性能以及寿命都受到影响,不宜布置在低洼地段,而且要满足防洪的相关要求,还需充分考虑周围环境以及邻近工程设施可能产生的影响与协调事宜,尽力减少发电设备因电位升高、电磁感应无线电干扰、噪声等因素给周围邻近设施带来的影响,避开易燃、易爆区域以及大气严重污染区域及严重盐雾区域。

2 地下储气库选址定量评估方法

上述所提及的人工洞室储气库选址规划流程,仅仅是从定性的层面去确定压缩空气储能电站规划选址时那些起关键作用的影响因素,如此一来,便使得对规划选址主要影响因素展开评价有了一定的主观倾向。所以,有必要构建起一套能够实现定量评价的方法,针对规划选址区域的地质条件、工程地质条件以及水文地质条件,还有地面设施的布局情况、交通状况以及地形条件等诸多影响因素,分别赋予与之相对应的分值,进而从定量的角度来着手开展人工洞室储气库建设选址方面的评估工作,在此过程中,表中各项主要影响因素所对应的评估分值之和是100,而各个次级影响因素的评估分值总和则要等于与之相应的那个主要影响因素的评估分值,这种方法能够依据数量众多的工程数据不断地得到改进与完善。

赋分原则为区域地质条件25分,工程地质和水文地质条件60分,地面设施布局、交通和地形条件15分。其中区域地质条件分为区域地质构造特征及区域地震活动特征,区域地质构造特征采取的定量评价指标为断裂带距离及活动速率;区域地震活动特征定量评价指标为最大历史震级、设计基本地震加速度及特征周期。工程地质和水文地质条件分为围岩特征、不良地质作用、水文地质条件特征,围岩特征采取的定量评价指标为基岩埋深、岩体的基本质量等级、围岩的地应力分布特征;不良地质作用的定量评价指标为岩溶、滑坡、围岩和崩塌、泥石流、采空区、地面沉降等涉及的种类;水文地质条件特征的定量评价指标为渗透系数、单位涌水量、补给模数、环境水的腐蚀性评价。地面设施布局、交通和地形条件分为区域交通便利性、人口密度、地面设施及地表地形条件,区域交通便利性以路网密度作为定量评价指标,人口密度以常住人口/可建设用地面积作为定量评价指标,地面设施以距储气库距离作为定量评价指标,地表地形条件以平均坡度作为定量评价指标。

通过对拟选站址进行评估打分，打分结果参照表3进行压缩空气储能电站建设适宜性分级评价。

表1 压缩空气储能电站适宜性分级评价

分值	等级	适宜性
100-90	I	较适宜
90-80	II	适宜性较好
80-70	III	适宜性一般
70-60	IV	适宜性较差
<60	V	不适宜

较适宜区及适宜性较好区域地面地下建设条件较好，无需对地面地下空间进行大规模改造，工程造价相对较低，因此压缩空气电站在选址过程中应优选 I、II 区域。

3 结论

人工洞室储气库的压缩空气储能电站选址属于一项综合性决策工作，涉及到地质工程、能源经济以及环境科学等诸多学科的交叉融合情况。科学且合理的选址工作能够有力地保障储能系统实现高效且稳定的运行状态，同时还能带来颇为明显的经济方面、环保方面以及社会效益方面的成效，对于我国构建“清洁低碳、安全高效”的新型能源体系而言是极为关键的。本文较为系统地采用人工洞室储气库的压缩空气储能电站的选址原则以及方法予以了总结，从室内资料收集、备选站点普查与实地踏勘调查、工程地质勘察、储气库站址选择以及地面工程站址选择环节等多个方面都给出了相关原则。还针对压缩空气储能电站选址所受到的影响因素进行了相应的赋分，并且依据打分所得到的结果来对压缩空气储能电站的选址展开适宜性分级评定工作，

以此确保压缩空气储能电站选址规划能够做到有据可依，在此基础上进一步推动工程得以顺利地开展工作，从而推动压缩空气储能行业不断发展前行。

参考文献

- [1]夏才初,周舒威,周瑜,等.压缩空气储能的地下岩石内衬洞室关键技术[M].上海:同济大学出版社,2021:1-2.
- [2]李建林.双碳目标下储能系统关键技术及应用[J].电力工程技术,2021,40(3):1.
- [3]彭威,商浩亮,纪文栋,等.压缩空气储能电站人工洞室选址关键流程[J].电力勘测设计,2023,06(009):46.
- [4]GB 50487-2008(2022年版)水利水电工程地质勘察规范[S].
- [5]GB/T12719-2021 矿区水文地质工程地质勘探规范[S].
- [6]中国地质调查局.水文地质手册[Z].地质出版社:2012

作者简介：王天宇(1989-)，男，吉林长春人，硕士，高级工程师，研究方向为岩土工程勘察及设计。
 王宁(1998-)，男，吉林长春人，硕士，研究方向为工程地质及物探勘察技术。
 张雪霏(1987-)，男，吉林长春人，本科，工程师，从事工程测绘工作。
 齐昊辰(1997-)，男，吉林长春人，本科，工程师，研究方向为岩土工程勘察及设计。