# 抽水蓄能电站选址与布局规划研究

魏存龙
中国水利水电第四工程局有限公司　青海　西宁　810000

**摘　要：**为适配新型电力系统建设与新能源消纳需求，本文系统剖析抽水蓄能电站选址布局的自然地质、电网、生态、社会经济四大核心影响因素，构建四维选址评价指标体系，整合AHP、TOPSIS等多种规划评价方法。结合具体区域实证开展站址比选与布局优化，明确最优建设方案，梳理当前规划短板并从技术、管理、发展层面提出优化对策，为区域抽蓄电站科学布局与高效落地提供理论与实践支撑。

**关键词：**抽水蓄能；电站选址；布局规划

引言：双碳目标下，风电、光伏新能源规模化并网，其间歇性、反调峰特性加剧电网调峰压力，抽水蓄能作为核心储能调峰设施，科学选址与布局是保障电力系统稳定运行的关键。为解决区域电网调节能力不足、新能源消纳不畅等问题，本文围绕抽蓄电站选址核心要素、评价方法、布局规划展开系统性研究，结合区域实际开展实证分析，探索适配新能源发展的规划路径，助力源网荷储一体化发展。

## 1 抽水蓄能电站选址与布局核心影响因素分析

### 1.1 自然地理与地质条件因素

（1）地形高差与库容条件。电站需上下水库间垂直落差，一般最小水头不低于100米，经济水头300～600米；同时需足够调节库容，地形陡峭、库盆封闭性好的峡谷地貌为理想站址。（2）区域地质与岩土稳定性。坝址及库区须避开活动断裂带与强震区，地基承载力与边坡稳定性需满足高坝标准；库盆及输水隧洞沿线应具备优良防渗条件，岩体完整性是安全运行的关键。（3）水文水资源条件。电站运行需水量大，须依托径流充沛、蒸发损失小的流域，优先选择年径流稳定、丰枯变幅小的水系，并论证初期蓄水及运行期水量损耗的可补偿性，保障长期水头稳定。

### 1.2 电力系统与电网布局因素

（1）区域用电负荷特性与调峰需求匹配度。电站布局应靠近负荷中心，精准响应峰谷差大、调峰压力突出的区域电网需求。日负荷曲线起伏明显的地区对抽蓄快速启停能力要求更高，站址选择须与负荷空间分布相协调。（2）新能源消纳需求与电站布局适配关系。随着风电、光伏大规模并网，其反调峰特性加剧系统调节压力。抽蓄电站应重点布局于新能源开发密集、弃风弃光问题突出的区域，以提升可再生能源整体利用效率。（3）电网接入节点、输电距离与网损控制要求。站址应靠近枢纽变电站或重要输电通道，缩短输电距离以降低线损，避免因远距离送电产生额外输变电投资[1]。

### 1.3 生态环境约束因素

（1）生态保护红线、自然保护区等管控限制。站址须严守生态空间管控要求，避让国家级自然保护区、饮用水水源保护区等法定禁止开发区域，从源头规避重大生态合规风险。（2）工程建设对水土、植被、水生生态的潜在影响。水库蓄水将淹没植被、改变河流水文情势，对陆生栖息地与鱼类洄游产生扰动，需通过生态流量下放等补偿措施减缓影响。（3）环保政策对电站选址的硬性规范要求。选址阶段须将环评批复作为前置条件，确保项目满足水质保护、施工期污染控制等生态空间准入标准。

### 1.4 社会经济与工程建设因素

（1）区域经济发展水平与项目投资适配性。抽蓄电站投资大、回收周期长，选址应评估区域电价承受能力与财政配套能力，确保具备可持续市场消纳空间与合理回报预期。（2）土地征用、移民安置等社会约束条件。库区淹没涉及的征地与移民规模直接影响工期与社会稳定，应优先选择淹没损失小、移民数量少的方案，降低补偿成本与社会矛盾。（3）交通、建材等配套工程建设基础条件。站址周边应具备便利交通，满足大型设备运输需求，当地砂石骨料、水泥等建材供应及施工用水电保障程度，直接关系工程可行性与造价控制。

## 2 抽水蓄能电站选址评价体系与布局规划方法

### 2.1 选址评价指标体系构建

（1）指标体系构建遵循科学性、系统性、可行性原则。科学性要求指标选取有据可依，客观反映站址本质特征；系统性要求各层级指标覆盖全要素，形成层次分明、逻辑关联的整体；可行性要求指标数据易于获取、可量化操作，兼顾理论与实操，三者构成准则基石。

（2）技术、经济、环境、社会四大维度指标筛选。技术维度涵盖地形高差、地质条件、水文水资源、电网接入等；经济维度包括单位造价、输电损耗、运营收益等；环境维度涉及生态敏感度、水土保持、环境影响程度等；社会维度包含移民规模、土地征用成本、区域经济拉动效应等，四维协同形成全面评价框架[2]。（3）各级指标权重采用主观赋权法（德尔菲法、AHP）与客观赋权法（熵权法、变异系数法）相结合的策略。主观法凝聚专家经验与政策导向，客观法依据数据离散程度定量判别信息量，主客观组合赋权可规避单一方法片面性，提升权重体系的合理性与公信力。

2.2 主流选址与布局规划方法

（1）层次分析法（AHP）在选址评价中的应用。AHP通过将复杂选址问题分解为目标层、准则层和方案层，构造成对比较矩阵，借助特征向量法计算各层级权重。该方法适用于定性指标与定量指标共存场景，通过一致性检验保障判断逻辑自洽，是最为广泛应用的选址初筛工具。（2）多准则决策（MCDM）综合评估方法。MCDM框架通过整合多维度评价准则，构建综合评价函数或排序模型，能够有效处理选址决策中指标冲突与权衡问题。其核心优势在于容纳定性定量混合信息，适配选址问题多属性、多目标的复杂决策特征。（3）TOPSIS模型在站址方案优选中的应用原理。TOPSIS基于理想解逼近原理，通过计算各备选方案与正理想解和负理想解的欧氏距离及相对贴近度，据此对所有站址方案进行优劣排序。该方法无需预先设定效用函数，计算简便、排序直观，尤其适用于候选站址数量较多时的精细化比选[3]。

2.3 选址方案筛选与优化流程

（1）初步选址：资源禀赋与约束条件初筛。依据数字高程模型与地质图件，剔除地形不满足水头与库容要求、位于活动断裂带或生态红线以内的区域，结合水资源分布图圈定潜在选址靶区，实现大规模空间范围的快速收缩。（2）中期比选：多维度指标量化对比分析。对入围候选站址，逐项采集技术、经济、环境、社会四维指标数据，运用TOPSIS或MCDM方法计算综合评分，排序筛选出3～5个较优方案进入深度比选，淘汰明显劣势方案。（3）最终优选：综合效益最优方案确定。对精选方案进行详细勘测与专项论证，结合全生命周期成本分析与风险评价，兼顾短期建设可行性与长期运营效益，确定社会效益、经济效益与环境效益综合最优的推荐站址。

2.4 区域布局规划核心原则

（1）统筹电网供需与新能源协同布局原则。以省级及以上电力系统整体优化为目标，将抽蓄规划纳入电网源网荷储一体化统筹框架，优先布局于调峰缺口显著、新能源外送受阻的区域，实现灵活调节资源与消纳需求的精准时空匹配。（2）因地制宜、分区规划、集约利用资源原则。依据区域地形地貌、水文地质和电网结构差异，分区域差异化确定开发重点与规模，鼓励利用废弃矿坑、已建水库等存量资源，减少新征用地，提升土地综合利用效率。（3）近期建设与远期储备相结合的规划原则。立足当前电网调峰紧迫需求，优先推进条件成熟、见效快的项目；同时放眼远期能源转型目标，预留战略性站址资源，建立滚动调整机制，确保选址工作与电力系统长期发展战略协同并进。

## 3 抽水蓄能电站选址实证分析与布局规划优化策略

3.1 研究区域概况与基础条件分析

（1）研究区位于某省西部中低山区，属侵蚀构造地貌，山脊高程800～1500m，河谷深切，局部有山间盆地。地层以花岗岩、变质岩为主，岩体完整，断裂不发育，构造稳定，满足高坝建设要求。水系为长江二级支流，年均径流量2.8亿$m^3$，水量丰沛且分配较均匀，水源可靠。（2）截至2025年底，区域电源装机火电占42%，水电28%，风、光合计25%，新能源增速显著。电网以500kV环网为主干，经双回线与省级主网联络，调峰主要依赖火电深调，灵活性资源不足5%。最大用电负荷5200MW，日峰谷差率38%，晚高峰调峰缺口约600MW，电网调节压力持续增大。（3）区域内涉及省级森林公园1处、饮用水源保护区2处，生态红线分布较广，宜建场地受限。人均GDP约为全省均值85%，地方财政对大型基建承载能力中等偏上，土地资源较充裕，移民规模可控，具备抽蓄项目落地的基本社会经济条件。综上，区域水资源与地质条件有利，电网调峰需求迫切，生态约束存在但社会经济支撑可行。

3.2 研究区域站址选址方案比选

（1）候选站址基本情况梳理。经资源禀赋初筛，选取A、B、C三处候选站址进入详细比选。站址A位于流域上游，可利用天然湖泊作为上库，水头420m，库容条件优越；站址B依托已建中型水库扩建，水头310m，对外交通便捷；站址C地形条件最佳，水头达510m，但距现有电网接入点较远。三处站址均不涉及生态红线核心区。（2）各候选站址多指标量化评价。构建技术、经济、环境、社会四维评价体系，运用组合赋权-TOPSIS法进行综合评分。结果显示：站址A综合贴近度为0.782，技术指标和水文条件得分最高，但生态影响评分偏低；站址B贴近度为0.654，经济性指标最优但水头条件相对不足；站址C贴近度为0.713，技术指标突出但电网接入成本

显著拉低经济得分[4]。（3）最优选址方案确定与可行性论证。综合评分与敏感性分析表明，站址A为最优推荐方案，其地质条件可靠、调节库容大、水头经济性优良，虽需采取生态补偿措施，但总体技术经济指标优于备选方案。经初步匡算，站址A装机容量可达1200MW，年发电量约14.4亿kWh，静态投资回收期约14.5年，项目财务内部收益率约6.8%，具备工程可行性。

3.3 区域抽水蓄能电站整体布局规划方案

（1）区域电站空间布局整体架构设计。立足区域地形分异与电网结构特征，构建“一主两辅、东西呼应”的抽蓄电站空间架构：西部依托高水头峡谷资源布局主力大型站点（站址A），承担电网主力调峰任务；东部靠近负荷中心布局1～2座中小型站点，承担日内快速响应与应急备用功能，形成梯级互补、功能分区的空间格局。（2）电站与新能源、电网系统协同布局模式。将抽蓄电站与区域内两大风电基地和三个光伏集聚区纳入统一规划框架，建立“新能源出力预测—抽蓄充放调度—电网传输消纳”协同运行机制。站址A布局于新能源汇集通道的中枢节点，既能就近消纳弃风弃光电量，又可通过500kV联络线向负荷中心输送调节容量，实现源网储协同最优。（3）分期建设规划与站点储备布局安排。近期（2026—2030年）优先推进站址A一期工程及东部中小型站点建设，解决当前调峰缺口；中期（2031—2035年）启动站址A二期扩建并新增1处储备站点；远期预留2～3处战略性站址，待新能源装机进一步增长后适时开发，保持滚动接续的发展态势。

3.4 规划实施问题与优化对策

（1）当前选址布局规划存在的短板与问题。选址地质勘察精度与水文数据积累不足；规划协调机制不健全，与新能源年度方案衔接不紧；部分优质站址未纳入法定保护，存在被占用风险。（2）技术层面：优化选址评价与布局测算方法。引入遥感测绘与AI辅助地质解译技术，提升初筛阶段数据精度；探索基于时序生产模拟的布局优化模型，将选址评价从静态评分升级为动态供需匹配测算，提高选址与电力系统实际运行需求的耦合程度。（3）管理层面：完善站点保护与规划落地机制。推动建立省级抽蓄站址资源保护区制度，对经确认的优质站址实施规划管控；将抽蓄布局纳入国土空间规划“一张图”管理，理顺发改、能源、自然资源、生态环境等多部门联合审查流程，提升规划落地效率[5]。（4）发展层面：适配新型电力系统的布局升级策略。面向高比例新能源接入场景，前瞻性研究混合式抽蓄、小型分布式抽蓄等新形态站址布局方法；结合电力现货市场信号优化布局经济性评价模型，使选址布局从单一的工程最优走向“系统—市场—工程”多目标协调优化新范式。

**结束语**

本文通过梳理抽蓄电站选址布局核心影响因素，搭建标准化评价体系与规划流程，结合区域实证确定最优站址与分期布局方案，有效解决区域电网调峰缺口与新能源消纳难题。研究明确了当前规划建设的各类短板，提出多维度优化策略。后续将持续结合新型电力系统发展趋势，优化动态选址规划模型，完善多部门协同机制，推动抽蓄电站布局更贴合电力系统长期发展需求。

**参考文献**

[1]郭果,郑克勋,余波,等.岩溶洼地抽蓄上库选址地质适宜性定量评价研究[J].工程地质学报,2025,33(4):1487-1498.

[2]龚振,邓子昂,常飞,等.基于改进层次分析法的抽水蓄能电站选址评价[J].水电与抽水蓄能,2024,10(02):36-42.

[3]赵全胜,郝军刚,赵国斌,等.我国西部抽水蓄能电站水库工程设计的系统理念和基本方法[J].水力发电,2023,49(10):1-6+11.

[4]吴泰兵.抽水蓄能电站选点规划要点探讨[J].福建水力发电,2023,31(01):57-68.

[5]敖昕.钟祥抽水蓄能电站枢纽总体布置设计[J].人民长江,2025,56(S1):212-215.