

基于韩国某海风项目的中韩岩土工程技术标准对比分析

史卫国 常卫明 薛飞 师彰

中国能源建设集团山西省电力勘测设计院有限公司 山西 太原 030001

摘要: 随着中国企业海外工程布局的推进,中韩岩土工程技术标准的差异成为海外海风项目实施的关键问题。本文以韩国某海上风电项目为工程背景,系统梳理项目区域地质特征,从标准体系、地震液化判别、岩土勘察、原位测试及地基承载力确定五个核心环节,对比分析中韩岩土工程技术标准的异同点。研究发现,两国标准在勘察阶段划分、核心试验方法等基础层面遵循通用准则,但在标准制定理念、实操细则、地域适配性及专项规范配套上差异显著。韩国以KS标准为核心融合欧美模式,更新灵活且侧重精细化与本土地质适配;中国形成国标为主、行业标准为辅的体系,量化指标清晰且海风专项规范完善。本文研究成果可为中国企业参与韩国及东北亚地区海上风电岩土工程建设提供技术参考,为中韩岩土工程标准互融互通及海外工程标准转化提供实践依据。

关键词: 海上风电; 岩土工程; 技术标准; 中韩对比; 地震液化; 地基承载力

引言

随着我国企业走出去战略步伐的加快,国内越来越多的企业承担了国外项目的建设。在涉外项目中,采用的勘测设计规范是主要的、原则性的问题,在合同中有明确规定的,均应遵照执行。本文基于韩国某海风项目岩土工程技术要点进行了整理并与中国规范加以对比分析,为韩国开展的相关岩土工程及技术人员提供了参考和借鉴。

1 工程概况

1.1 工程简介

韩国某海上风电项目厂址位于韩国全罗南道灵光郡西侧的公共水域上,已批复的风场用海面积约为30平方公里,计划安装64台单机容量为5.7MW的单桩基础海上风力发电机组,总容量约365MW。

1.2 区域地质环境与场地地形地貌

项目场地所在地隶属韩国全罗南道,风场位于朝鲜半岛西南端海域,地处黄海与朝鲜海峡交汇区域,其海域地质环境受区域构造演化与海洋动力长期作用共同控制,海床地形地貌呈现显著的过渡性与复杂性特征,海域隶属于朝鲜半岛西南缘构造带,基底地质与全罗南道陆域呈延续性特征,以中生代白垩纪沉积岩-火山岩地层为核心基底,局部分布中生代花岗岩侵入体,与邻近的智异山支脉构造体系相连^[1]。受朝鲜半岛板块运动影响,海域内断裂构造以NW-SE向为主,整体构造稳定性较好。区域地震活动特征与北黄海及朝鲜半岛西南海域整体趋势相符,属中低风险地震区域。

海床地形总体呈现“北缓南陡、西平东凸”的特征,海域水深自北向南逐渐增加,北部近岸区域水深多为

5~20m。

1.3 地层岩性与工程性能

岩性组成方面,工程场地所在海域地层自上而下呈现明显的分层特征:表层为第四纪全新世海洋沉积层,厚度10~30m不等,以黏土质粉砂、粉砂质黏土为主,含少量贝壳碎屑及生物扰动构造,该层是海床的主要覆盖层,沉积速率受荣山江入海泥沙补给与潮汐动力调控;中层为更新世海陆交互相沉积层,厚度25~50m,岩性以细砂与粉质黏土互层为主,砂层分选性较好,局部发育透镜体状砾石层,反映冰期-间冰期海平面波动形成的沉积环境;下层为中生代基岩,主要为白垩纪凝灰岩、安山岩及花岗岩,在鞍马岛周边海域出露于海床表面,形成海蚀崖、海蚀柱等构造,其中花岗岩以粉红色调为主,含石英、长石及少量黑云母矿物,节理发育显著。工程场地地段地下水水位海床地形相对稳定,水深9.5~14.4m,即海床面标高-14.4~-9.5m。^[2]

2 岩土勘察所使用的技术标准对比分析

2.1 标准体系

韩国工程领域深受国际标准影响,特别是在石油、天然气等传统海洋工程领域。同时,韩国也通过韩国工业标准(KS)和特定的法律法规如《海上风电促进特别法》等对国际标准进行补充和本土化适应。韩国政府在国家标准的制定和特定产业的发展中扮演着强有力的角色。通过出台特别法、成立高层级的委员会等方式,统一规划和管理,推动标准实施与产业发展。^[3]

韩国在岩土工程、海上工程等相关领域的标准规范,层次划分与中国类似,整体可分为国家标准、行业/团体标准、企业标准三级,各级标准相互衔接且约束性逐步灵

活, 适配不同工程场景的合规与实施需求。这些标准制定机构主要分为印度标准局、政府部门、行业协会以及企业。这些标准制定机构主要分为韩国科技标准院(KATS)、行业协会、专业团体以及工程企业、勘察设计单位等。

韩国技术标准院(KATS)是韩国的国家标准化机构,

隶属于韩国产业通商资源部(MOTIE), 主要职能包括: 国家标准的制定、实施与管理; 参与国际标准制定, 引领国际标准化; 通过KS标志认证等体系, 对工业消费品进行测试、分析和评估, 控制产品质量与安全监管; 技术评估与认证, 并负责国家计量体系的运行, 如表1

表1 中国标准体系与韩国标准体系对比

比较内容	中国标准体系	韩国标准体系
体系构成	国标(GB)为核心, 行业标准(DL/T, JGJ等)和地方标准、团体标准为补充, 门类齐全	以韩国工业标准(KS)为核心, 并受《建筑法》、《韩国国土规划与利用法》等国家级法律法规的指导和约束。
法律效力	强制性标准与推荐性标准结合。工程建设强制性条文具有法律效力	KS标准体系更接近于欧美模式, 即通常为推荐性标准, 通过被法律法规、合同文件引用而获得强制效力。
设计理念	以基于概率论的极限状态设计法为主(如《建筑地基基础设计规范》GB50007), 强调分项系数	在保证安全的前提下, 更注重经济性和精细化设计, 鼓励采用性能化设计和新材料、新技术, 强调与国际标准接轨。
更新周期	更新相对频繁, 积极吸纳最新科研成果和工程经验	标准的制定和更新机制相对灵活, 对新技术、国际标准的响应更为迅速, 旨在保持标准的时效性和竞争力。

2.2 地震液化的判别

韩国抗震核心规范为《抗震设计通则》(KDS171000), 将全国划分为两类地震区域, I类区域系数0.11g、II类0.07g, 设计地震动参数取区域系数计算值与全国地震灾害图数值的较大值或不小于后者80%。中韩地震液化判别均采用“初判+复判”两步法, 但在规范体系、判定标准等方面差异显著。

中国分领域制定专项规范, 建筑、水利规范各有侧重, 初判结合地层年代, 第四纪晚更新世Q3及以前土层直接判为不液化, 复判公式纳入地震分组调整系数; 韩国采用“统一核心规范+专项补充”模式, KDS171000覆盖大部分场景, 初判侧重土体物理指标, 塑性指数 ≥ 10 且黏土成分 $\geq 20\%$ 、细粒土含量 $\geq 35\%$ 即可排除液化, 复判简化地震分组修正, 黏粒含量低于3%按3%取值, 还引入液化可能性指数(LPI)绘制风险分布图, 实现区域化管控。^[4]

韩国复判以标准贯入试验(SPT)为核心, 通过计算临界贯入击数与实测值对比判定液化, 公式整合地震动综合修正系数替代地震分组, 判别深度限定在地面下20m以内。

2.3 勘察工作

韩国岩土工程勘察标准分为KSF系列国家标准(侧重岩土试验操作)与部门专项技术指引(如国土海洋部、LH公社的行业规范); 中国核心规范为《岩土工程勘察规范》(GB50021-2001, 2009年版), 以统一国标为主导, 行业标准为补充。

中韩岩土工程勘察规范的异同点

中国现行核心规范是《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2001, 2009年版), 其与韩国相关规范的异同点具体如下:

(1) 相同点

勘察阶段划分逻辑一致, 均遵循由浅入深原则, 施工阶段强调补充勘察; 核心试验方法互通, 均采用标准贯入试验、三轴试验等手段; 重视不良地质与地下水勘察, 均制定专项勘察要求。

(2) 不同点

中韩岩土工程勘察规范在标准细化程度、地域适配性等方面差异显著, 不同于中国针对海上风电勘察孔数量和深度有专项国标及行业标准明确量化要求, 韩国无海上风电勘察项规范, 主要依托KSF系列岩土工程通用标准结合工程实践执行。

2.4 原位测试

韩国标准贯入试验遵循KSF2307-2022, 与中国方法基本一致, 贯入前15cm不记数, 核心差异为中国每10cm记锤击数, 韩国每15cm记数, 二者均采用杆长修正系数对锤击数进行修正。

韩国静力触探试验遵循KSF2592-2024, 适用土层范围更广, 无明确锥头规格限制, 强调动力装置与钻杆标准的适配性, 测试结果需结合本土地基特性复核; 中国规范明确了锥头规格、动力装置参数, 试验用途聚焦于承载力评估与桩端持力层选择, 二者均通过静力触探实现土层剖面划分与地基参数获取。

2.5 地基承载力确定

韩国海上风电单桩承载力按照API标准RECOMMENDED PRACTICE 2 GEOFIRST EDITION, APRIL 2011进行计算。海上风电大直径单桩竖向承载力的计算涉及复杂的桩-土相互作用机制, 国内外主要规范提供了各具特色的计算方法。

API规范采用基于静力平衡原理的传统方法, 将竖向

极限承载力分解为桩侧阻力和桩端阻力两部分，受压桩的最终轴向承载能力 Q_c ，应由公式确定：

$$Q_c = Q_{fc} + Q_p = f(z) \cdot A_s + q \cdot A_p$$

其中， Q_{fc} 为是轴在压缩时的摩擦能力； Q_p 为是桩端承载力； $f(z)$ 为单位轴摩擦力； A_s 为桩的侧面表面积； q 为桩顶端的单位桩端承载力； A_p 为桩端总面积； z 为泥水界面以下深度。

中国《港口工程桩基规范》（JTS167-4）针对海上桩基提出了专门的计算方法。与国际规范类似，中国规范也将竖向承载力分解为侧阻力和端阻力两部分，但在

参数确定和分项系数设置上有自身特点。

中国规范采用了经验参数法，提供了各类土体的侧阻力和端阻力经验值范围，这些经验值基于国内大量试验数据统计得出。对于大直径桩，中国规范考虑了尺寸效应对侧阻力和端阻力的削弱作用，引入了尺寸效应系数：

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum \psi_{si} q_{sik} l_i + \psi_p q_{pk} A_p$$

其中 ψ_{si} 和 ψ_p 分别为侧阻力和端阻力尺寸效应系数，随桩径增大而减小，如表2：

表2 中国和国外规范单桩承载力计算原理比较

规范体系	理论框架	土壤堵塞效应	分项系数设计	尺寸效应考虑	循环荷载考虑
API规范	总安全系数法	引入IFR和PLR参数	单一安全系数	经验修正系数	有限考虑
中国规范	分项系数法	简单经验修正	分项系数明确	明确尺寸效应系数	部分考虑

从理论框架看，各国规范基本采用相同的计算原理，都将竖向承载力分解为侧阻力和端阻力两部分。但在具体参数确定上存在显著差异：API规范采用总安全系数法（通常取2.0），中国规范采用分项系数法；中国规范提供的经验参数表与API规范的推荐值有较大区别，特别是对于黏性土的侧阻力系数和砂性土的端阻力系数。

3 结论

本文以韩国某海风项目为背景，对比分析了中韩岩土工程技术标准核心环节的异同。两国标准在勘察阶段划分、核心测试方法等方面遵循通用准则，均以工程安全为核心，但在制定理念、实操细则上差异显著。韩国以KS标准为核心，融合欧美模式，更新灵活且贴合本地地质，勘察标准细分性强，液化判别引入LPI实现精细化管控，海上风电依托通用标准实施；中国则形成国标为主、行业标准为辅的体系，量化指标清晰，勘察与设计衔接紧密，已出台海风勘察专项标准，承载力计算考虑尺寸效应更具针对性。

我国海风产业正迈向高质量发展，涉外工程对标准国际化要求更高。保留本土标准优势，吸收韩国经验，加快与国际标准接轨，完善精细化技术手段，建立涉外标准转化体系，同时加强中韩技术合作，推动标准互融互通，对助力东北亚海风产业协同发展，提升我国海外工程技术支撑能力有着重要意义。

参考文献

[1]KIGAM韩国地质资源研究院.研究院信息[EB/OL]. 2023-08-29.

[2]张辉宇;贺瑞;陈强;肖纪升;褚严春.海上风机超大直径单桩竖向抗压承载力理论计算及实测方法对比评价[J].海洋工程,2022(0):104-115.

[3]陈凯,曹虎麒,胡振明.中外规范桩基承载力计算对比[J].水运工程,2020(5):229-234.

[4]朱杰清;伊雯.中孟单桩竖向抗压承载力确定方法对比[J].路基工程,2022,225(06):75-80.