2023年1月

Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research

January, 2023

文章编号: 2097-096X(2023)-01-0055-09

海岛大型能源项目场平工程设计的关键技术研究

方明豹1,田琨1,李守龙2

(1. 国核浙能核能有限公司,浙江 杭州 310012; 2. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司,上海 200032)

摘要:本文根据某海岛核电项目的工程实践,对海岛大型能源项目场平工程设计中的关键技术进行了研究与分析。根据不同边坡工况对开山边坡防护提出了对应稳定分析方法,确定采用合适的综合防护方式,并辅以动态设计及信息化施工;根据围堤使用要求,确定合理设计标准,并综合比选堤身结构形式、护面结构及地基处理方式,提出了爆破挤淤震动相关控制措施;针对场地回填区软土厚度差异较大、回填厚度大等特点,确定合适的回填区地基处理标准,并综合比选地基处理方案,提出了减小差异沉降的措施;同时考虑场地总沉降及差异沉降对取排水管涵结构内力的影响,通过数值模拟分析,提出了回填区管涵地基处理方案与建议。本文研究可为海岛大型类似项目场平工程提供设计参考和技术支撑。

关键词:海岛;大型能源项目;场平工程;关键技术;开山防护;围堤;地基处理;沉降

中图分类号: TU745.7

文献标识码: A

doi: 10.13244/j.cnki.jiwhr.20220001

1 研究背景

陆上能源项目一般在已有陆地上实施,其场平工程仅进行整平及密实处理即可。而海岛能源项目则依托海岛建设,一般除主发电机组布置于山体范围内,周边辅助设施区及施工生产区一般均为填海形成,成陆周边护岸的安全稳定及成陆区回填地基的沉降稳定是上部结构及场地安全的基础。早前国内外曾有针对滨海能源项目及岛周成陆的研究及工程实例,杨波等[1]结合田湾核电站的护岸结构、取排水工程结构等海工构筑物的设计、模型试验及现场实施的全过程的分析,提出滨海核电工程的海工构筑物在设计、施工中相关标准规范、技术优化、工程组织等有关建议。舟山绿色石化基地围填海工程工程规模大、建设标准高、地质条件复杂,围堤主要采用爆破挤淤斜坡堤、地基处理固结排水堆载预压,围堤稳定性及场区工后沉降均在可控范围内,完全满足使用要求[2]。付爱珍等[3]从爆破挤淤置换的原理出发,结合爆破挤淤地基处理功效快、处理效果好、造价低等特点,分析了爆破挤淤在要求较高的核电场平护岸工程中的应用效果,展现其在成陆筑堤中的优越性及适应性。高东博等[4]对核电厂海工构筑物面临的抗震问题进行深入研究,梳理不同核电机组海工构筑物的抗震设计,并对不同功能、取排水工艺、不同机型对应的抗震设防标准进行分析,提出合理的设防标准。

海岛能源项目场平建设具有外部环境复杂、周边海域淤泥厚、回填厚度大、风浪条件恶劣等特殊性。前人已有的相关研究工作主要涉及海岛成陆部分构筑物及相关工程技术,未能针对海岛能源成陆场平涉及到的陆域、水域各影响要素进行全面系统研究。本文依托离岸约4公里(与大陆侧通过跨海大桥相连)的完全海岛能源项目,系统介绍该项目所在区域自然条件和总平面规划,重点深入研究海岛能源项目场平工程全过程涉及的复杂条件下开山边坡防护、围堤堤身结构及整体护面稳定、场区回填及地基处理、取排水方式与成陆的相互影响等场平工程关键技术,以期为后续项目建设提供技术支撑,并可为类似项目的设计提供参考。

收稿日期: 2022-01-04; 网络首发时间: 2022-07-19

网络首发地址: https://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1788.TV.20220719.1402.003.html

作者简介:方明豹(1966-),博士,高级工程师,主要从事海岛核电项目开发、研究和管理工作。E-mail: mb_fang@sina.com

2 工程概况

- **2.1** 气象 本项目所在区域属于亚热带季风气候,气候温和,四季分明,雨量充沛。SE 为本工程区强风向,最大风速为 27.5 m/s。热带气旋气旋平均每年约 3.1 个;受台风影响,本区域各气象站的实测极大风速大多在 40 m/s 以上,其中最大值为 68.0 m/s, 2019 年 8 月 10 日,超强台风"利奇马"登陆本区域附近,登陆时中心附近最大风力有 16 级(52 m/s)。
- **2.2** 水文 本海域为正规半日潮海区,潮差较大,平均潮差 3.52 m。设计高水位 2.83 m(基面为 1985 国家高程二期,下同),设计低水位-2.01 m,极端高水位 4.31 m(50 年一遇极值高水位),极端低水位: -3.23 m(50 年一遇极值低水位),100 年一遇高水位 4.50 m。根据设计规范^[5]的要求,设计基准洪水位主要考虑天文高潮位、海平面上升的影响、可能最大风暴潮增水、台风浪的影响等因素,厂址处的 DBF 静水位 6.49 m、动态水位 11.25 m^[6]。海区强浪向为 SE-SSE 向,平均有效波高 H_s 为 0.92 m,可能最大台风浪 $H_{1\%}$ 、 $H_{1/100}$ 波高为 8.93 m、9.51 m, T_m 为 16.1 s,波长为 199.7 m。
- **2.3 地质、地震** 厂址区丘陵山体由硬质岩类凝灰岩组成,第四系覆盖层厚度总体较薄,基岩全风化和强风化层零星分布,构造形迹主要表现为断裂构造,其次为节理,未发现褶皱构造。丘陵山顶呈浑
- 圆状,山坡坡度较和缓,局部地段山坡较陡峭。拟建海域地层分布较为复杂,浅部地基土软弱,基岩埋深差异性大,浅表部广泛发育有厚度较大(一般大于 20.0 m)的软弱黏性土层,具高含水量、高孔隙比、高压缩性、低抗剪强度等特点,工程地质性质差。工程场地地震烈度为VI度。
- 2.4 总平面规划 本工程总用地约 220 公顷,其中陆域用地约 105 公顷,海域用地约 115 公顷。主要布置有主厂区、生产辅助区及施工生产区等。主厂房群由北至南排并列布置在岛屿主要山体上,厂区厂坪标高为+17 m,关键建(构)筑物的基础主要为微风化熔结凝灰岩。辅助设施布置在岛屿北侧、东侧、西侧和海域回填区域,这样,既考虑管线连接方便,亦考虑功能满足要求,同时,尽可能考虑经济性。此外,预留大桥展线、道路、电缆廊道等空间。工程项目平面布置示意图见图 1。

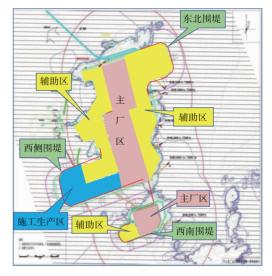


图 1 项目总平面示意图 Fig.1 General plan of the project

3 关键技术研究

- **3.1** 开山边坡防护 场区通过开山、筑堤、围垦形成陆域,其中开山形成的陆域面积为 100.1 万 m², 开山区山顶最高高程为 164.8 m, 开山标高 16.7 m, 开山形成的边坡最高高度 80 m, 属于高边坡。边坡工程的安全等级为一级。
- 3.1.1 边坡稳定影响因素 场区本工程岩体为流纹质含角砾晶屑玻屑熔结凝灰岩,属于岩浆岩中的火山碎屑岩,是坚硬岩。岩石风化不均,主要以强~中等风化为主。本工程影响边坡稳定的因素,一是全风化层的厚度及分布情况,在全风化层及堆积物层可能发生圆弧滑动破坏;二是构造结构面和节理裂隙的分布,裂隙的存在可能会导致裂隙中进水,产生较大的水压力从而破坏岩体的稳定性。
- 3.1.2 边坡破坏形式 边坡岩土体以何种模式变形及破坏,受边坡体的岩体结构类型和岩性条件控制。对于土质边坡,黏性土的破坏面为圆弧形,无黏性土的破坏面为直线形;对于岩质边坡,分为深层破坏和浅层破坏两种。深层破坏一般是在坡面深处沿软弱结构面产生剪切滑移破坏,滑移面是平面、楔形面或曲面,深层破坏滑下的土石方量大,造成的危害也大;浅层破坏一般发生在坡面表层或

坡面下浅层范围内,包括剥落、落石、崩塌、堆塌、表层滑塌、风化剥落、错落、坡面浅层滑坡等。 3.1.3 边坡稳定分析方法 (1)依据相关规范,结合地质条件、边坡岩土类型及风化程度等,对中风 化、微风化岩土可在岩质边坡的坡率允许经验值基础上选取合适的边坡坡率。(2)对于岩质边坡,其 破坏一般沿软弱结构面产生剪切滑移破坏,可根据断裂构造、节理裂隙组的产状特征采用赤平投影法 进行稳定初判。当结构面倾向与边坡倾向相反时,边坡是稳定的;当结构面倾向与边坡倾向相对一 致,倾角大于边坡倾角,边坡是稳定的,倾角小于边坡倾角,则存在临空面,需进一步判断临空面的 稳定性。(3)对于强风化、坡积土的锚固土质边坡或呈现碎裂结构、散体结构的岩质边坡可采用圆弧 滑动法分析边坡稳定,包括所有类型的土质和岩质、天然或人工边坡、路堤、坝体、挡土墙等,并且 需考虑锚杆、端结型锚杆、土钉、桩和土工布等边坡加固支护类型。(4)局部存在断层岩石边坡,可 将有限元分析与刚体极限平衡相结合,再结合接触算法,通过选择适当的潜在滑动面,有效的进行高 边坡稳定性分析评价[⁷⁷]。

3.1.4 边坡防护方法 本工程可能发生的边坡破坏类型为岩质边坡内沿软弱结构面的小型崩塌和楔形体滑动,以及在坡顶松散土层和全风化、强风化层的浅层圆弧滑动破坏。

提高边坡稳定性的方法有两种基本类型:一是改变边坡或滑坡体内在的物理力学及几何性质的工程措施,包括地面排水、地下排水,放缓边坡等。二是提供支挡防护,增加抗滑力,主要包括桩、锚杆锚索及支挡结构,如挡土墙、锚固、抗滑桩、土钉、棚洞与明洞及圬工防护、骨架植物防护、锚杆混凝土框架植物防护、抹面、捶面等。边坡开挖坡率、坡高及加固方案,应依据周边开山边坡调查类比、岩体物理力学性质、边坡施工期自稳及支护难度、总体开山边坡方量,综合分析确定。

考虑本工程边坡重要性及实际条件,边坡暂 考虑采用锚杆(索)框架梁支护、锚喷支护、浆 砌块石挡墙、坡面覆绿并辅助排水等措施进行综 合防护,使得其坡面稳定安全系数均大于 1.35 (一般工况)、1.15(暴雨、地震工况),满足边 坡稳定安全要求。同时以动态设计为原则,结合 安全监测实现信息化施工,根据获得的信息和设 计条件变化不断修正设计,调整边坡的设计参 数。边坡防护加固剖面示意图见图 2。

3.2 围堤堤身结构 工程依岛而建,除主厂区 布置于山体范围内外,辅助设施区及施工生产区

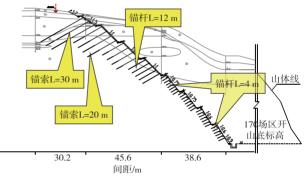


图 2 边坡加固剖面示意图

Fig.2 Schematic diagram of slope reinforcement section

均为填海形成,填海成陆面积约 $120~\mathrm{7m}^2$,其中外侧护岸总长约 $4198~\mathrm{m}$,分东北段($1054~\mathrm{m}$)、西侧段($2256~\mathrm{m}$)、西南段($888~\mathrm{m}$)三段。本工程最大 $H_{1\%}$ 波浪达到 $8.93~\mathrm{m}$,天然泥面最深约 $-10.0~\mathrm{m}$ 、堤身高度 $28~\mathrm{m}$,岛东、西两侧软土厚度约 $28~33~\mathrm{m}$ 、 $10~25~\mathrm{m}$,本工程围堤集风浪大、堤身高、软土厚等不利条件于一体。

3.2.1 本项目围堤设计标准

- (1)本围堤是厂区掩护结构,围堤区域等级为 I 级,护岸结构安全等级为一级;
- (2)工程水位标准包括设计水位(设计高、低水位,极端高、低水位)及验证高水位(DBF 水位),设计的波浪标准包括设计波浪要素(100 年、波列累积频率 1%波高)及验证波浪要素(可能最大台风浪、1%大波的波高值)^[8];
- (3)参考目前国内类似项目越浪量相关资料,并依据民用海堤设计规范 $^{[9]}$,堤顶允许越浪量不大于 $0.02~\mathrm{m}^3/(\mathrm{s}\cdot\mathrm{m})$;
- (4) DBF 静、动态高水位 6.49 m、12.20 m,场平标高+17.0 m,厂址类型为完全干厂址 $^{[10]}$,护岸物项等级分类为非安全级 $(NC)^{[11]}$ 。工程区域抗震设防烈度为 6 度,海堤抗震设防烈度按 7 度设防。3.2.2 围堤堤身结构
 - (1)堤顶高程。根据设计规范计算堤顶标高,并结合越浪量以及场地回填标高等因素综合考虑后

取值。采用极端高水位+设计波浪要素、验证高水位+最大可能台风浪要素,分别计算各点堤顶高程及越浪量验算,前者计算围堤挡墙最大高程为+13.0 m,后者为+15.5 m,结合场地场平标高+17.0 m,综合确定围堤挡墙顶高程为+17.5 m,在此种工况下,各计算点越浪量均符合设计标准要求。

(2)护面。本工程东侧直接面向海域,无掩护,主要为东北向浪及东南向浪,主要可选护面类型有抛理块石护面、灌砌块石、栅栏板、螺母块、异形块体等,各结构均有其优缺点,结合本堤地质条件,选择适应波浪条件,稳定性、消浪效果、沉降适应性较好,施工方便的扭王字块作为护面。

根据不同堤段波要素不同,计算选取不同重量扭王字块体结构: 东北堤选用 22 t 扭王块体,西南堤选用 19 t 扭王块体,西侧堤南段、西段选用 16 t 扭王块体,西侧堤北段选用 8 t 扭王块体。

(3)围堤结构断面。充分考虑本工程地质特征和工程特点,结合斜坡式、直立式和混合式三种围堤结构形式各自优缺点,选取整体稳定性、消浪效果好,对强风浪区具有较强的适应性,且工程造价相对较低的斜坡式堤型。

以水深及地质条件相对较差的东北堤为例详述护岸断面结构: 堤身结构在爆破挤淤的基础上采用 抛石斜坡堤结构方案; 爆填堤心石至标高+3.5 m, 爆填底标高最深至-49.7 m, +3.5 m以上堤身抛设堤心石 10~300 kg 开山石; 标高-4.0 m至+16.6 m 抛设一层 22 t 扭王块体, 放坡 1:2, 其中在标高+3.0 m 设反压平台宽 45 m; 外侧坡脚回填 1.5~2 t 护底块石棱体,平台标高-4~-7 m, 放坡 1:10。内侧陆域标高以下部分为倒滤结构,混合倒滤层最小宽度 0.4 m, 放坡 1:1.75,以上再分别铺设反滤土工布及二片石压载。堤顶道路宽 6 m, 堤顶标高+17.0 m, 采用现浇混凝土路面; 挡浪墙采用"L"型钢筋混凝土挡墙结构,挡墙顶标高+17.5 m。其结构如图 3 所示。

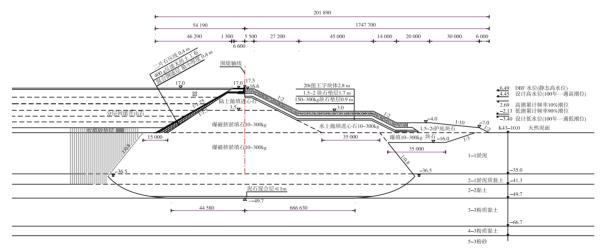


图 3 东北堤典型断面示意图

Fig.3 Typical section of northeast dike

3.2.3 国堤整体稳定 按照施工期外坡、使用期外坡、地震荷载作用下外坡三种工况,计算方法采用瑞典圆弧法,抗滑稳定安全系数正常使用条件下(使用期) $K \ge 1.30$,非正常使用条件 \mathbb{I} (施工期) $K \ge 1.20$,非常运用条件 \mathbb{I} (地震) $K \ge 1.10$ 。

不同工况下(表 1、表 2)各典型断面稳定性验算,东北堤的外坡施工期稳定计算结果,满足规范要求。

3.2.4 爆破挤淤震动控制技术 爆破挤於对周边已有建筑物、船舶、电缆等产生震动安全影响及水下冲击波影响,主要控制指标为质点振动速度及安全距离:质点振动速度峰值≤1.5 cm/s,根据爆破参数和受保护对象不同安全距离约 250~500 m。控制标准现场需采取一定的爆破控制技术减小震动影响:如限制一次起爆的单段最大用药量,相同爆心距情况下,单段药量的减少对震动速度成反相关;采用微差时间爆破比齐发爆破的质点振速可降低 20%~40%^[12];采用定向控制爆破后,药包中心连线方向的最大质点震速比垂直于中心连线方向的最大质点震速低 15%~25%^[12];距离保护对象 5~8 m 处设置 2~3 道气泡帷幕,则冲击波的峰值压力削减程度可达到 70%~90%^[13]。根据各段不同情况采取如

表 1 计算基础条件表

Table 1 Table of basis calculation conditions

计算工况	水位	堤身土体指标	计算荷载
工况一: 施工期外坡	外水位取设计低水位 内水位取设计高水位	软土采用十字板指标 $(1.72H+2.28(\leq 30), kPa)$,并 考虑强度增长;其余土体采用三轴不固结不排水指标 $(C=48 kPa, \varphi=3^\circ)$	堤顶及后方场地均载 15 kPa
工况二: 使用期外坡	内、外计算水位 取极端低水位	土层采用固结快剪指标(C = 10.5 ~ 12.7 kPa, φ = 12.1° ~ 14.1°)	堤顶及后方场地均载 15 kPa
工况三: 地震作用外坡	内、外计算水位 取设计低水位	土层采用固结快剪指标(C = 10.5 ~ 12.7 kPa, φ = 12.1° ~ 14.1°)	堤顶及后方场地均载 15 kPa; 设计基本地震加速度为 0.10g

表 2 不同工况下典型断面稳定性验算表

Table 2 Stability check table of typical sections under different working conditions

堤段		稳定安全系数 K	
	工况一(外坡 施工期)	工况二(外坡 使用期)	工况三(外坡 地震)
东北堤	1.290	1.632	1.380
西南堤	1.312	1.629	1.375
西侧堤	1.323	1.639	1.399

上爆破控制技术后,工程附近电缆、船舶等受保护体的质点震动速度峰值基本可满足 ≤ 1.5 cm/s 的要求。

- **3.3** 厂区回填及地基处理 本工程厂址大部分区域位于岛屿上,从土石方总体平衡角度考虑,回填区域主要回填开山石料。成陆区地基由山体过渡到软土深厚区,场地差异沉降较大,不利于场地使用,须进行地基处理。
- 3.3.1 厂区回填方案 根据目前施工设备能力、地基加固流水作业的需要及工程地质条件等综合因素,围海平面按 $I \sim V$ 五个陆域形成分区划分(见图 4)。

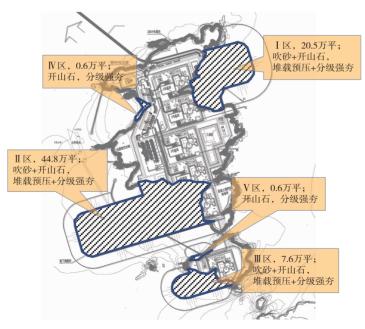


图 4 围填海分区示意图

Fig.4 Schematic diagram of reclamation zoning

3.3.2 地基处理

(1) 地基处理标准。根据本工程地质实际情况, 地基处理标准为:

标高:回填区交工标高为17 m。

地基承载力: 地基处理后, 交工标高处载荷试验要求承载力特征值≥150 kPa。

地基沉降:尽量减小地基总体沉降和不均匀沉降。

地基处理难点高压缩性淤泥质土厚约 30 m,目前工程技术手段是无法完全消除,从本工程实际情况出发,地基处理仅考虑尽量减小地基工后沉降。

(2)深层软土与回填层地基处理方案。对于本工程含水率高、压缩性大的深层软土,采用砂石桩、水泥搅拌桩等复合地基等方法,场地工后沉降可得到很好控制,但经济性差,而排水固结法是综合效果、工期、性价比较合适的方法。排水体选用高性能 C 型排水板,排水垫层为至少 3 m 厚中粗砂垫层,回填及堆载则选用岛上开山石料。对于回填层,冲击碾压法和振动碾压法处理深度过低,强夯法则需要结合施工水位,采取多次分层,来减小处理厚度,保证回填层处理效果。地基处理后不同软土厚度区工后沉降见表 3,沉降计算采用分层总和法^[14]。

表 3 沉降计算结果汇总表
Table 3 Summary of settlement calculation results

区域	位置 -	理论计算沉降值/m		m	工程 /5 22 19 +8 00
		总沉降	施工期沉降	工后沉降	- 不均匀沉降梯度
牛山岛 东北角填海区	靠近山体	2.5~4	2.25~3.6	0.25~0.4	开山区场地不沉降,该处有明显沉降差
	过渡段	4~7.5	3.6~5.93	0.4~1.57	不均匀沉降梯度约1%
	外侧海域	7.5~7.9	5.93~6.29	1.57 ~ 1.61	不均匀沉降梯度<0.5%,满足场地不均匀沉降要求
牛山岛 西南角填海区	靠近山体	1.75 ~ 2.5	1.58 ~ 2.25	0.17~0.25	开山区场地不沉降,该处有明显沉降差
	过渡段	2.5~6	2.25~4.58	0.25 ~ 1.42	不均匀沉降梯度约1%
	外侧海域	6~6.4	4.58~4.94	1.42 ~ 1.46	不均匀沉降梯度<0.5%,满足场地不均匀沉降要求

3.3.3 沉降危害分析和减少不均匀沉降措施建议 工后沉降过大及场地沉降不均,易产生诸多不利影响,如桩基结构产生负摩阻,面层结构开裂或与建筑间形成错台,地下水管断裂,局部场地或建筑物倾斜等。

地基处理及使用过程,建议采取措施减少不均匀沉降危害,如采用沉降适应性好的道路面层,建构筑物设置沉降缝,地下管线设置柔性接头及检测系统,增设过渡井,电力、通讯电缆长度预留一定的富裕量,重要结构采用桩基础等,达到满足各自使用要求的目的。

3.4 取排水结构与成陆的相互影响 本项目取排水选用明取暗排,取水明渠布置于岛西侧,排水管涵布置于岛东侧。平面上排水管涵布置于不同地基条件上,位于山体段直接以爆破后山体为基础,位于回填成陆区以成陆地基为基础,位于海域段采用桩网复合地基,穿堤段则利用爆破挤淤后的地基。根据表 3,场地最大总沉降约 7 m,最大差异沉降约 1.5 m,采用有限元法,分别研究不同两种工况下排水管涵的受力情况,见表 4。

表 4 不同工况下管涵内力

Table 4 Internal force of culverts under different working conditions

工况	最大弯矩/((kN·m)/m)	最大剪力/(kN/m)
工况一(总沉降工况)	454.2	1260
工况二(差异沉降工况)	3158	7814

由上, 地基总体沉降对管涵结构的影响危害较小, 即使沉降达到数米的量级, 管涵内力仍然处在合理范围; 地基的不均匀沉降对管涵的影响极大, 场地差异沉降达到 1.5 m 的工况下, 管涵内力相比

总体沉降工况增加了7~10倍,远超出管涵正常可承受的范围(根据管涵结构配筋情况,其极限弯矩值约 500~900(kN·m)/m,极限剪力值约 1000~1400 kN/m)。因此控制各分段的地基沉降,使其不均匀沉降控制在一定范围,是排水管涵实施的关键点。结合处理效果、施工风险、工程造价及对周边场地影响等因素考虑,建议在管涵基础范围采用爆破挤淤,回填区域管涵总体沉降减小,其与山体、围堤交界区域管涵差异沉降相应变小,基本可满足管涵不均匀沉降梯度≤0.5%,达到管涵正常使用要求。

4 结论

海岛能源项目依托海岛建设,成陆周边护岸的安全稳定及成陆区回填地基的沉降稳定是上部结构及场地安全的基础,相较于常规陆上能源项目,海岛能源项目场平建设具有很大的特殊性,且本文中的工程实践为我国目前第一个海岛能源项目,暂无可借鉴的建设经验。本文除系统介绍了该项目基础建设条件外,还重点研究了复杂条件下开山边坡防护、围堤堤身结构及整体护面稳定、场区回填及地基处理、取排水方式与成陆的相互影响等场平工程的关键技术,并得到以下主要结论和工程实践经验,可为今后类似的海岛能源项目提供设计参考和技术支撑。

- (1)场区开山边坡安全等级为一级,岩质边坡可采用赤平投影法、强风化及坡积土采用圆弧滑动法、局部含有断层边坡可采用有限元分析与刚体极限平衡相结合的方法评判边坡稳定性,边坡考虑采用锚杆(索)框架梁支护、锚喷支护、浆砌块石挡墙、坡面覆绿并辅助排水措施综合防护后,其稳定安全系数均大于1.35(一般工况)、1.15(暴雨、地震工况),满足边坡稳定安全要求;并建议以动态设计为原则,结合安全监测实现信息化施工。
- (2)工程建设围堤风浪大、堤身高、软土厚,结构安全等级为一级,厂址类型为完全干厂址,围堤采用爆破挤淤斜坡堤,软土处理厚度最大40 m,围堤地基处理采取爆破挤淤、护面块体采用大质量混凝土块体后可确保堤身整体稳定和护面安全稳定,稳定安全系数均大于1.3(使用期工况)、1.2(施工期工况)、1.1(地震工况)。爆破施工考虑限制一次起爆的最大用药量、微差时间爆破、定向控制爆破、气泡帷幕等爆破震动控制技术,基本可满足工程附近电缆、船舶等受保护体的质点震动速度峰值≤1.5 cm/s。
- (3)除表层 3 m 砂垫层, 场地填海主要采用开山石料, 场区软土厚度达 30 m 以上, 回填厚度接近 28 m, 场地沉降巨大, 排水固结法是目前技术手段在合理费用前提下的首选地基处理方式。回填层厚度过厚,结合施工水位采取分层强夯,确保地基处理效果。场地总沉降约 1.75~7.9 m,靠近开山区、过渡段、外侧海域工后沉降约 0.17~0.4 m、0.25~1.57 m、1.42~1.61 m,各分区均存在一定的沉降差。过大的残余沉降量和不均匀沉降,会产生桩基负摩阻、面层结构开裂、错台、地下水管断裂等问题,影响结构安全及正常使用。后期上部结构设计时有针对性的采取增加桩长、管线预留、柔性接头等措施,提高建(构)筑物、管线等的沉降适应性,达到满足各自使用要求的目的。
- (4)场地最大总沉降约 7 m,最大差异沉降约 1.5 m,地基总体沉降对管涵结构的影响危害较小,不均匀沉降对管涵的影响极大,其引起的管涵内力远超出管涵正常可承受的范围。场地回填区域管涵基础范围采用爆破挤淤后,回填区与开山区、围堤区交界处管涵不均匀沉降梯度均≤0.5%,基本满足管涵正常使用要求。

参考文献:

- [1] 杨波,余建星,郭毅平,等. 核电海岸工程的特点及其在田湾核电站的设计实践[J]. 中国港湾建设, 2003(4): 23-26. (YANG Bo, YU J X, GUO Y P, et al. Characteristics of coastal engineering for nuclear power plants and practice in designing of Tianwan nuclear power plant[J]. China Harbour Engineering, 2003(4): 23-26. (in Chinese))
- [2] 刘阳,朱敏杰.外海岛礁大型围填海工程技术处理[J].水运工程,2021(5):26-30,47.(LIU Y, ZHU

- M J. Technical treatment for large-scale reclamation of offshore islands and reefs[J]. Port & Waterway Engineering, 2021(5): 26-30, 47. (in Chinese))
- [3] 付爱珍. 爆破排淤填石法处理软基的设计与应用[J]. 港工技术, 2009(4): 47-50. (FU Aizhen. Design and application of explosion-replacing mud-backfilling stone method in soft foundation treatment[J]. Port Engineering Technology, 2009(4): 47-50. (in Chinese))
- [4] 高东博, 刘光霞. 浅谈核电厂海工工程抗震设计思路[J]. 中国水运, 2018(5): 249-250. (GAO D B, LIU G X. Discussion on seismic design of marine engineering of nuclear power plant[J]. China Water Transport, 2018(5): 249-250. (in Chinese))
- [5] 国家核安全局. 滨海核电厂厂址设计基准洪水的确定: HAD101/09[S]. 北京: 中国法制出版社, 1990. (National Nuclear Safety Administration. Determination of reference flood for coastal nuclear power plant site design; HAD101/09[S]. Beijing; China Legal Publishing House, 1990. (in Chinese))
- [6] 方明豹, 黄佳钰, 杨万康. 海岛核电厂址的设计基准洪水位研究[J]. 海洋学研究, 2020(4): 1-8. (FANG MB, HUANG JY, YANG WK, et al. The study on design basis flood level of island nuclear power plan [J]. Journal of Marine Sciences, 2020(4): 1-8. (in Chinese))
- [7] 黄健,程鹏,郑小贺,等. 岩石高边坡稳定性并行计算及其应用[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2021, 19(5): 457-468. (HUANG Jian, CHENG Peng, ZHENG Xiaohe, et al. Parallel computing for the stability of high rock slopes and its application[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2021, 19(5): 457-468. (in Chinese))
- [8] 国家能源局. 核电厂水工设计规范: NB/T25046—2015[S]. 北京: 中国计划出版社, 2015. (National Energy Administration. Code for hydraulic design of nuclear power plants: NB/T25046—2015[S]. Beijing: China Planning Press, 2015. (in Chinese))
- [9] 住房和城乡建设部,国家质量监督检验检疫总局.海堤工程设计规范: GB/T51015—2014[S].北京:中国计划出版社,2014. (Ministry of Housing and Urban-Rural Development, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. Code for Design of seawall Engineering: GB/T51015—2014[S]. Beijing: China Planning Press, 2014. (in Chinese))
- [10] 路清. 核电工程厂坪标高确定的研究与探讨[J]. 产业与科技论坛, 2017(15): 79-81. (LU Qing. Research and discussion on the determination of flat elevation of nuclear power engineering plant[J]. Industrial & Science Tribune, 2017(15): 79-81. (in Chinese))
- [11] 国家能源局,核电厂海工构筑物设计规范: NB/T25002—2011[S]. 北京: 中国电力出版社, 2011. (National Energy Administration, Code for Design of offshore structures for nuclear power plants: NB/T25002—2011[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2011. (in Chinese))
- [12] 徐学勇, 汪稔, 孟庆山, 等. 深厚淤泥爆破挤淤震动效应测试与控制技术[J]. 岩土力学, 2008(12): 3256-3260. (XU X Y, WANG Ren, MENG Q S, et al. Monitoring and controlling technology for vibration effect due to deep and thick silt by blasting compaction[J]. Rock and Soil Mechanics, 2008(12): 3256-3260. (in Chinese))
- [13] 才干. 水下爆破作业气泡帷幕对水击波的消减作用浅析[J]. 黑龙江水利科技, 2020(8): 138-140. (CAI G. Analysis of subtractive effect of bubble curtain on water shock wave in underwater blasting operation [J]. Heilongjiang Hydraulic Science and Technology, 2020(8): 138-140. (in Chinese))
- [14] 交通运输部. 水运工程地基设计规范: JTS147—2017[S]. 北京: 人民交通出版社, 2018. (Ministry of Transport. Design Code for Foundation of Water Transport Engineering: JTS147—2017[S]. Beijing: People's Communications Publishing House, 2018. (in Chinese))

Research on key technologies of site flat engineering for island large energy project

FANG Mingbao¹, TIAN Kun¹, LI Shoulong²

(1. State Nuclear Power Zheneng Nuclear Energy Co., Ltd., Hangzhou 310012, China;

2. CCCC Third Consulatants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: Based on an island nuclear power project practice and related background materials, this paper proposed and analyzed the key technologies in the land leveling design of the large island energy project. For the protection of the mountain cutting slope, the corresponding stability analysis method was suggested, and the applicable comprehensive protection method, together with dynamic design and the information—based construction as auxiliary measures, was determined according to different slope conditions. According to the requirements for the use of the dike, reasonable design standards were determined, while the dike body structure, the protection layer structure and the ground improvement method were selected through a comprehensive comparison, and the related vibration control measures for the explosive replacement method was proposed. In view of the characteristics of widely varied soft soil thickness and thick backfill layer, suitable ground improvement standards were set, the ground improvement method was selected through a comprehensive comparison, and suggestions for reducing the differential settlement were proposed. In the interaction between the water intake and drainage structure and the land formation, the influence of the total and differential settlement on the internal forces of the intake and drainage pipe and culvert structure was mainly considered, and suggestions on the ground improvement for the pipes and culverts in the backfill area were proposed through numerical simulation analysis. This study can provide a reference for the land leveling design of similar large island projects.

Key Words: island; large energy project; land leveling; key technology; mountain cutting protection; dike; ground improvement; settlement

(责任编辑: 祁 伟)

(上接第54页)

Inlet resistance optimization of a new type of mechanical ventilation cooling tower

XIN Wenjun¹, ZHU Qing², LI Lujun²
(1. Shenzhen China Nuclear Power Design Co. Ltd., Shenzhen 518172, China;
2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: A blast-type mechanical ventilation cooling tower is often used in important plant water system of nuclear power plant. In order to improve its safety, a new type of air-blast cooling tower is proposed. However, because of its complex structure, its resistance characteristics are different from those of a common mechanical ventilation cooling tower. The resistance problem of a new type of mechanical ventilation cooling tower was studied by using a three-dimensional model, and the composition of the resistance in the tower was analyzed, so as to determine the optimal scheme of the air inlet. The results show that in the initial cooling tower, the resistance from the filter to the fan inlet is the largest (about 36%). In the optimization model, the percentage of the resistance coefficient from the tower inlet to the filter is reduced by 4.8% and that from the filter to the fan inlet is reduced by 1.8% by adjusting the area of the cross section of the inlet under the premise of preventing the invasion of flying object.

Key Words: blower type; mechanical ventilation cooling tower; numerical simulation; resistance; optimization

(责任编辑:王学凤)