

插排水板堆载预压地基处理方案分析

——以某滨海核电厂取水明渠工程为例

谭南柏, 王谦

(台山核电合营有限公司 工程部, 台山 529228)

摘要: 21 世纪初以来, 中国滨海核电机组数量不断增多, 滨海软基处理已成为滨海核电站建设面临的共性问题。某滨海核电厂为了有效解决其取水明渠防波堤滨海软基处理问题, 通过技术论证和经济性分析, 最终选用了插排水板堆载预压技术进行地基处理。该地基处理技术在分层堆载预压时软基的固结情况与设计基本相符, 经过施工期和完工后长时间的沉降观测, 沉降基本趋于稳定, 插排水板堆载预压软基处理技术在此项目中的应用取得了成功, 是一种经济可靠的软基处理技术, 为后续滨海核电厂软基处理提供了宝贵的工程经验。

关键词: 插排水板; 分级加载; 静载期; 沉降观测;

中图分类号: TM623

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)03-0100-04

Application of Plastic Drainage Plate Combined with Surcharge Preloading: A Case Study of Water Intake Channel in a Nuclear Power Plant

TAN Nanbai, WANG Qian

(Engineering department, Taishan Nuclear Power Joint Venture Co., Ltd., Taishan 529228, China)

Abstract: According to the development of coastal nuclear plants in the 21st century, the coastal foundation treatment has been the main problem to the coastal nuclear plant construction. A coastal nuclear plant built a water intake channel on Dajin island. To ensure the rationality of technology and economy, and solve the stability problems of the coastal soft foundation, the project finally used the plastic drainage plate combined with surcharge preloading technology. After the construction period and a long time observation, the settlement is basically stable, the foundation treatment technology in the application of this project has been proved successful. And provides a valuable experience to the coastal foundation treatment.

Key words: plastic drainage plate; step loading; dead load stage; settlement observation

21 世纪初以来, 中国滨海核电机组数量不断增多, 滨海软基处理已成为滨海核电站建设面临的共性问题。插排水板堆载预压软基处理技术是一种经济可靠的软基处理技术, 本文以某滨海核电厂取水明渠工程为例, 通过技术论证和经济性分析, 介绍了插排水板堆载预压软基处理技术在核电工程中的成功应用。

1 取水明渠工程概况

某滨海核电厂取水明渠工程位于珠江八大口门中崖门和虎跳门出口黄茅海, 该核电站地处滨海浅滩地带, 近岸淤泥较深, 海水水质较差, 为了取用远海水水质较好的海水, 在离岸 5 km 左右的大襟岛南侧设计了一条总长度约为 2 600 m 的取水明渠用于引水, 详见图 1。该明渠为非核安全物项, 明渠设计过水底标高为 -6.3 m, 底宽 150 m, 考虑 1.0 m 备淤深度, 设计泥面标高为 -7.3 m; 明渠口门处设计过水底标高为 -6.0 m, 底宽为 300 m, 考虑 0.5 m 备淤深度, 设计泥面标高为 -6.5 m。取水

收稿日期: 2016-07-18

作者简介: 谭南柏(1987), 男, 汉族, 湖南郴州人, 工程师, 学士, 主要从事核电工程设计管理工作(e-mail) tannanbo@cgnpc.com.cn。

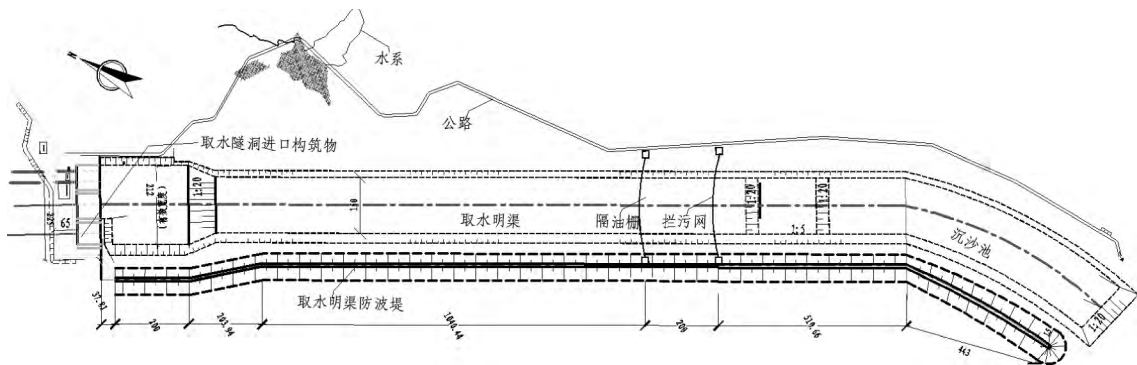


图1 项目概况图

Fig. 1 Plan of water intake channel

明渠防波堤采用抛石斜坡堤式结构, 其中, 取水明渠防波堤北侧与进水口连接的 200 m 段堤顶高程为 $\nabla 5.8$ m, 其余防波堤各段堤顶高程均为 $\nabla 4.9$ m, 斜坡堤内、外侧坡面的坡度为 1:2。根据当地水文监测报告, 该明渠设计高水位为 $\nabla 4.41$ m, 设计低水位为 $\nabla -1.57$ m。取水明渠的主要功能是保障该核电站三回路冷却水的取水需求, 建成后可以满足 6 台百万千瓦级核电站的取水需求。

取水明渠防波堤地基存在较厚的软弱土层, 表层主要为淤泥和淤泥质粘土。其中淤泥层平均厚度 5.38 m, 最厚达 11 m, 分布底标高约为 $\nabla -4.60$ m 至 $\nabla -15.90$ m, 平均标准贯入击数 $N \leq 1$ 击; 淤泥质粘土平均厚度 3.62 m, 分布底标高约为 $\nabla -11.70$ m 至 $\nabla -26.90$ m, 平均标准贯入击数为 1~2 击。工程施工期需跨越四个台风期, 施工受台风、季候风等灾害性天气影响大, 工程结构防台风及防冲刷问题突出^[1]。

2 地基处理方案

取水明渠位于远离陆域侧的大襟岛南侧, 该岛距陆域最短距离为 4.4 km, 岛上石料供应量少, 且大部分岩石为泥岩, 抗压强度小于 30 MPa, 若作为结构石料, 不满足设计规范^[2-3]要求。根据核电厂相关经验和相关技术规范手册, 本项目初步选择了爆破挤淤^[4-5]和插排水板堆载预压地基处理两种方案。但考虑到石料用量、陆域侧供给石料的经济性、岛上石料成料率低等因素, 否定了抛石爆破挤淤方案, 选用插排水板堆载预压方案。

根据工程所处位置的地质条件, 取水明渠防波堤插排水板堆载预压方案^[6]为: 在原软弱地基土上

铺设一层 1 m 厚砂被, 再施打间距为 1 m、正方形布置的塑料排水板, 排水板施工完成后铺设高强土工布、土工格栅和 0.3 m 厚石渣作为隔离层, 最后采用分级加载预压法抛埋块石进行地基处理。这种分级加载预压法是一种典型的排水固结法, 水运工程中排水固结法通常是对饱和的天然软土地基进行加固, 先在地基中铺设砂垫层作为水平排水通道, 再设置砂井或排水板等竖向排水体, 然后利用建筑物本身重量分级逐渐加载, 通过加载系统在地基中产生超孔隙水压力, 使土体中的孔隙水排出, 逐渐固结, 地基发生沉降, 同时强度逐步提高并达到设计要求的地基承载力。堤身荷载是软弱土层固结的外因, 堤身荷载增加过快或偏载太大, 有可能使堤身失稳; 堤身荷载增加过慢, 不利于土体的固结。因此确定合适的加载速率和加载过程中堤身稳定性监控是施工的关键技术, 也是本工程的重中之重。

本工程设计的堤身断面分层抛填堤心石和垫层块石(即分级加载)分为三个阶段: 第一阶段 0~40 天内从砂垫层顶标抛填堤心石和垫层块石至 $\nabla -1.5$ m 高程, 之后沉降稳定 30 天(即静载期为 30 天); 第二阶段 70~100 天内从 $\nabla -1.5$ m 高程抛填堤心石和垫层块石至 $\nabla +1.0$ m 高程, 之后沉降稳定 30 天; 第三阶段 130~160 天内从 $\nabla +1.0$ m 高程抛填堤心石和垫层块石至垫层块石顶标高。堤头段三阶段分层抛填的设计略有差别。第一阶段抛填的堤心石在设计低水位下, 抛填厚度大, 施工时间长, 受风浪影响小, 静载时间可加长。第二阶段、第三阶段在水位变动区, 抛填厚度小, 施工时间短, 静载时间短, 抛填时需及时进行防护, 减少风浪破坏, 典型设计断面 8-8 见图 2。

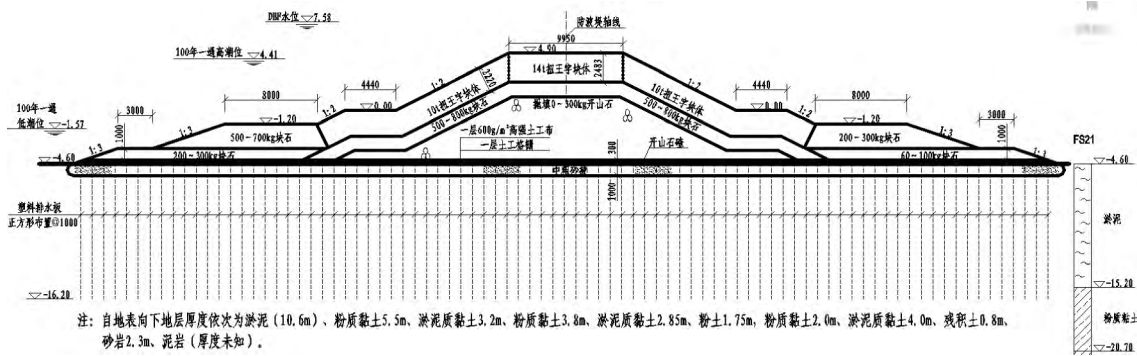


图 2 取水明渠防波堤设计断面图(8-8)

Fig. 2 Cross-section 8-8 of water intake channel

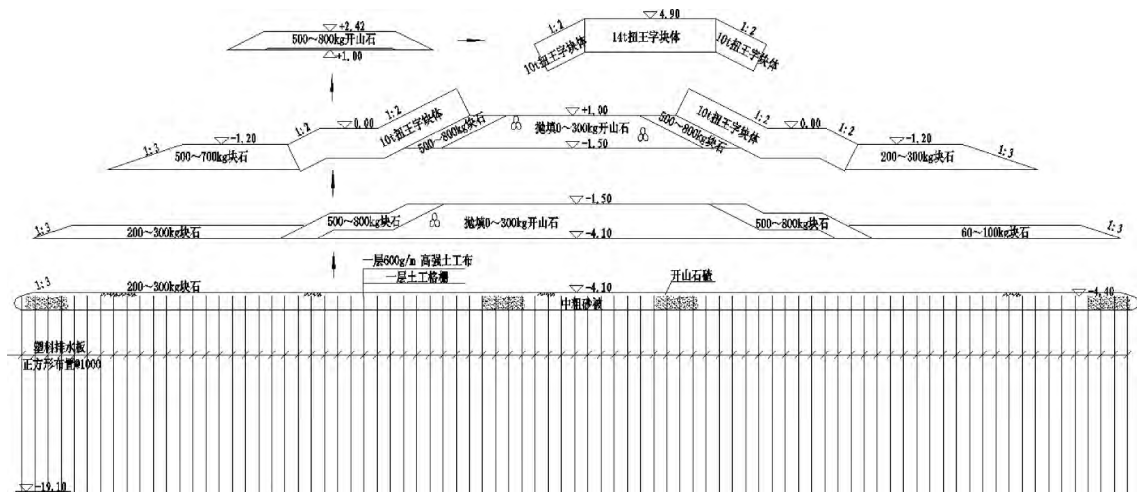


图 3 防波堤典型断面分层施工示意图

Fig. 4 Cross-section sketch of construction steps of water intake channel

3 施工工艺介绍^[7]

本工程的插排水板法主要施工工序为：水上铺填砂被——打设塑料排水板——铺设土工布及土工格栅——分层抛埋堤心石及垫层石——安放人工块体护面，典型断面分层施工示意图详见图 3。

本工程远离陆地，施工均为水上作业，传统的测量定位手段难以满足工程需要。为此施工单位采用了 RTK-GPS(实时动态差分 GPS) 技术进行堤身测量和施工船舶定位作业，并利用 RTK-GPS 和数字化测深仪相结合，组成一套无验潮水深测量系统进行水下地形和堤身断面测量。实时动态差分 GPS 定位精度可达厘米级，并可全天候作业，大大提高测量的精度和效率。

建设良好通畅的排水通道，是促使软弱土层固结的内因。因此保证砂被和排水板的施工质量是施工的重点和关键技术之一。本工程砂被采用含泥量

小于 3% 的中粗砂，无杂质及有机物，干密度大于 15 kN/m³，渗透系数大于 10⁻² cm/s，采用 380 g/m² 的无纺复合土工布缝制。砂被施工采用 1 200 t 专业铺排船，并且综合考虑了潮流、波浪的影响，选择在平潮和波浪小的时候进行施工，保证了铺设厚度和均匀性，铺设过程中避免了对表层软土的过大扰动，避免了产生砂和淤泥的混合物，以保证竖向排水通道畅通。塑料排水板的性能指标经复检后符合技术规格书的要求，在施工时采用了 1 200 t 专用插板船来保证打设质量，使得塑料排水板的间距、垂直度、打设的板底标高，以及“回带”量和长度等均不超过技术规格书的规定。采用了 1 200 t 专用铺排船进行土工格栅和土工布的施工，保证了土工格栅和土工布的施工质量满足设计要求。

分层抛埋堤心石及垫层石工序中，关键的因素就是确定静载期的天数，而静载期的天数取决于地基排水状况，静载期合理天数的确定对保证工程在

施工期间的安全和加快施工速度都有重要意义。本工程施工单位将设计院给出的理论静载期与现场沉降观测相结合, 合理减少了理论计算的静载期, 缩短了防波堤石料抛填工期, 避免了台风期对防波堤结构的破坏。为了保证软基上防波堤分层施工的安全, 施工时严格控制各分层的高度, 防止压载过高造成堤身的失稳, 并严格控制加载顺序, 先进行坡脚反压部分的施工, 然后再进行堤心部分施工。对每一层加载进行了标高检验, 对顶标高不足部位, 进行补抛, 但杜绝超载。

本工程分层抛理堤心石及垫层石主要采用开体驳抛底层, 反铲配驳船和横鸡趸加高抛填的工艺, 确保分层加载抛填的要求。考虑到台风的影响, 第一层石料抛填主要在台风期进行, 第二层、三层石料抛填集中在非台风期进行, 在台风季节施工时, 更是严格控制了堤身裸露长度。本工程所采用的插板船、起重船、铺排船等均选为抗风浪能力强、稳定性好、效率高的大型船机, 有效提高了施工安全和质量, 加快了施工进度。

4 监测成果及对比^[8]

本工程设计要求进行五个方面监测: 沉降监测、土体深层侧向位移监测、孔隙水压力监测、结构位移监测、排水固结地基监测, 监测控制标准为: 基底中心沉降速率不大于 20 mm/d, 深层土体侧向位移速率不大于 4 mm/d, 孔隙水压力消散比 $\nabla u/\nabla p \leq 0.5$; 其中地表沉降观测点间隔 75 m 布置一个, 共计 36 个。

典型断面 8-8 处于钻孔地质钻孔 FS21 附近, 根据其岩土工程性质用分层总和法计算了其地基沉降量设计值, 并根据相关规范^[9] 推算出其理论上施工期各时刻的固结度和地基沉降量, 详见表 1。

表 1 施工期不同时刻地基沉降量和固结度(钻孔 FS21)

Tab. 1 Value of settlement and consolidation in different construction period

时间/d	40	70	100	130	160	180	200
加荷载/m	2.6	2.6	5.1	5.1	9.0	9.0	9.0
沉降量/m	0.180	0.400	0.627	0.856	1.065	1.224	1.388
固结度	0.205	0.205	0.322	0.439	0.546	0.628	0.712

典型断面 8-8 作为试验段, 严格按照设计要求进行了分层抛理堤心石和垫层块石, 并布置了地表

沉降观测点, 其地表沉降—荷载—时间曲线见图 4。

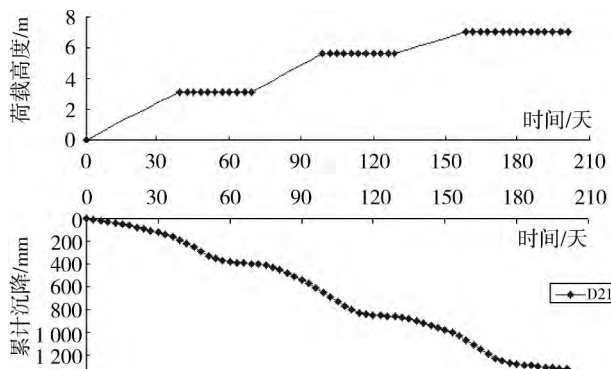


图 4 断面 8-8 沉降—荷载—时间曲线图

Fig. 4 Curve of settlement, load and time

对比表 1 和图 4 可以看出, 理论计算和实际情况基本一致, 只存在少许差别。当第一层荷载加上后, 经约 20 天后, 沉降过程线趋于平缓, 沉降量达到理论值 400 mm。这说明此时的沉降已趋于稳定, 满足下一阶段加载的施工条件。由此得出设计理论计算中的静载 30 天可以根据实测沉降过程线进行修正的结论, 这个结论同样适用于第二层加载和第三层加载之间的静载期。施工单位于是决定将第一、二、三层抛填之间的静载期缩短至 20 天, 经后续其他断面的实践, 施工中堤身稳定, 沉降速率满足设计要求。这对缩短防波堤施工工期起了重要作用, 减小了在台风期施工对防波堤稳定性的影响。

5 结论

滨海核电厂由于有防海啸冲击、温排水和挡浪等方面的控制性要求, 通常都需要建设护岸、防波堤等海工构筑物。经过本工程的实践经验, 可以得到以下几个结论, 供其他核电项目借鉴:

1) 插排水板分级加载预压排水固结法是一种成熟可靠的软基处理技术, 后续核电项目可以继续使用该技术, 且该技术较常用的爆破挤淤法在经济上有一定的优势。

2) 分级加载预压法的理论静载期一般与现场沉降观测基本稳定的实际时间存在差异, 在现场实际应用时可以根据不同地质情况分段进行分析, 并根据现场实测沉降量情况, 适当调整每层抛理堤心石和垫层块石的静载时间, 可有效控制工期。

(下转第 111 页 Continued on Page 111)

跨孔剪切波速检测结果见表3,跨孔剪切波速平均值均高于400 m/s。

表3 注浆后剪切波检测波速平均值

Tab. 3 Average value of shear velocity after grouting m/s

深度/m	测点1	测点2	测点3	平均值
1	403.6	397.5	405.4	402.2
2	402.8	407.4	396.5	402.2
3	413.6	402.9	413.6	410
4	420.9	413.8	449.5	428.1
5	416.5	437.9	426.1	426.8
6	434.3	426.1	435.6	432
7	472.2	452.4	463.8	462.8
8	482.9	490.7	482.9	485.5
9	476.2	506.9	511.6	498.2
10	459.6	531.4	528.2	506.4
11	490.8	520.3	548.6	519.9
12	517.6	549.8	536.7	534.7
13	538.9	542.1	552.6	544.5
14	529.7	569.2	576.4	558.4
15	579.6	587.2	594.3	587

钻芯法检测结果见图4,芯样胶结效果较好,芯样较完整。

平板载荷试验检测结果表明,各测点地基极限承载力大于400 kPa,承载力特征值均大于200 kPa,满足设计要求。



图4 注浆后钻芯试样

Fig. 4 Core sample after grouting

4 结论

用高压注浆法提高核安全物项地基的剪切波速,属首次应用,相对于传统的开挖换填方式,该方法充分利用了原有土层,不需要进行大面积开挖和边坡支护,特别对于回填土层较厚的砂类土层地基,具有较大优势。通过本工程的实践,可得出以下结论,供后续类似工程参考:

1) 高压注浆法可以有效地提高地基剪切波速,同时通过调整注浆压力、注浆孔间距等注浆参数,可得到不同的剪切波速值,从而满足不同的设计要求。

2) 对于回填土层较深的地基,高压注浆法相对于常用的开挖换填方法,占用的施工场地小,对周边环境的影响小,施工安全风险小。

3) 高压注浆法造价相对较低。

4) 提高地基剪切波速为目的高压注浆法处理地基,被处理的土中砂、石含量要高;如果砂、石含量低,应予以特别的重视,必要时,应在施工之前多做几组试验,以确定其适应性及合适的施工参数。

参考文献:

[1] GB 50267—97, 核电厂抗震设计规范 [S].
 [2] JGJ 79—2012, 建筑地基处理技术规范 [S].
 [3] 杜嘉鸿, 谢量流. 注浆技术在城镇建设和整治中的应用 [J]. 探矿工程, 1996(2): 8-12.
 [4] 殷跃平, 于文贞, 陈宝荪, 等. 三峡移民安置区松散堆积体灌浆加固试验研究 [J]. 土木工程学报, 2000(8): 101-104.
 [5] 龚晓南. 地基处理手册 [M]. 3版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008: 365-409.
 [6] GB 50021—2001, 岩土工程勘察规范(2009年版) [S].
 徐华, 李天斌. 岩土体注浆技术初探及展望 [J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009(1): 38-42.

(责任编辑 林希平)

(上接第103页 Continued from Page 103)

参考文献:

[1] 天津市海岸带工程有限公司. 台山核电厂取水工程明渠、防波堤工程地质勘察报告 [R]. 天津: 天津市海岸带工程有限公司, 2008.
 [2] NB/T 25002—2011, 核电厂海工构筑物设计规范 [S].
 [3] GB/T 51015—2014, 海堤工程设计规范 [S].
 [4] 赵简英, 王建, 吴京平. 控制加载爆炸挤淤置换法在工程中的应用 [J]. 岩土力学, 2006, 27(2): 332-335.

[5] 李秀英, 王培楠, 吴京平. 控制加载爆炸挤淤置换法在宁德核电厂一期工程厂区护岸中的应用 [J]. 中国港湾建设, 2008(6): 24-28.
 [6] JGJ 79—2012, 建筑地基处理技术规范 [S].
 [7] 龚晓南. 地基处理手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
 [8] 汤旭明. 某变电所堆载预压监测及分析 [J]. 工程质量, 2001(11): 16-19.
 [9] JTS 147-1—2010, 港口工程地基规范 [S].

(责任编辑 林希平)