

某海域灰场设计施工的经验教训

孙 文

(山东电力工程咨询院 , 山东 济南 250013)

摘要 通过对某工程海域灰场施工过程中出现问题的调查分析 , 总结了该工程设计和施工中的经验教训 , 提出了一些处理措施 : 土工布修补、降低围堤内外侧的水位差和内坡加固等。分析了港工防波堤与海域灰场围堤的区别 , 指出了海域灰场围堤设计和施工过程中应注意的一些问题。

关键词 海域灰场 ; 围堤 ; 防波堤 ; 水位差 ; 施工教训

中图分类号 : TU751+.5 文献标识码 : B 文章编号 : 1006-7647(2005)S2-0037-04

1 灰场设计概况

该灰场为火力发电机组海水冲灰的水力储灰场 , 为海域灰场 , 满足 2 × 350 MW 机组储灰 10 a。灰场占地 1.35 km² , 库容 733.2 × 10⁴ m³。灰场围堤矩形布置 , 由三段临海侧的斜坡堤式围堤(AB , BC , CD 段) 和一段陆堤(DA 段) 所围成 , 见图 1。垂直于岸滩向的长度约 1350 m , 平行于岸滩向的宽度约 1000 m。BC 段在深水区 , 堤底基本落在 - 5 m 标高(1956 年黄海高程 , 下同) 上 , 两侧堤基标高约 0.0 ~ - 5.0 m , 堤顶高程 5.10 m , 堤顶挡浪墙顶高程为 6.60 m , 围堤坝高 5 ~ 10.4 m。斜坡堤围堤外侧坡度 1 : 1.5 , 护面安放厚度为 350 ~ 500 mm 的栅栏板护坡 , 拐弯段安放 2.5 t 的扭工字体两层 , 外坡脚处设护脚棱体及护坦。内侧坡度 1 : 1.75 , 设计高水位以上采用浆砌块石护坡 , 以下采用抛理块石护坡。为防止粉煤灰通过透水的抛填块石堤体漏入大海 , 在围堤的内坡侧以 1 : 1.25 的坡度铺设土工布过滤层 , 土工布两侧均设袋装碎石保护。堤顶设高 1.50 m 的素混凝土挡浪墙。堤顶宽度为 6.80 m , 通车宽度为 4.20 m。

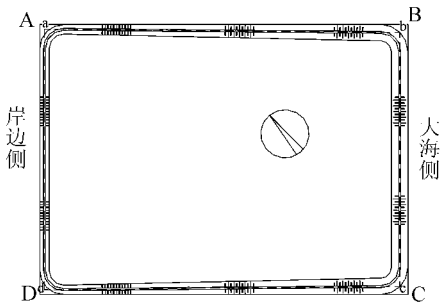


图 1 灰场平面布置示意图

根据地质资料 , 海底薄层粉砂以下为淤泥质粉质黏土层 , 该层最大厚度约 2.0 m , 斜坡堤高度不大 , 采取抛石挤淤 , 预压沉降措施进行处理。防波堤围堤为透水结构。灰水入库后 , 灰逐渐沉积 , 通过设于靠近内坡的土工布反滤 , 将灰留在堤内 , 灰水及海水随着潮涨潮落排入大海。灰场平面内的降雨临时存储于灰场内 , 与灰水一样通过坝体排入大海。满灰以后 , 灰场内的雨水 , 通过靠近岸堤处的溢流口排出。

2 灰场地质条件

灰场区域海岸走向为 NE。场区地形平坦 , 自岸边向大海缓缓倾斜 , 地形坡变为 4/1 000。场区地貌类型为侵蚀型基岸岬角海岸 , 沿岸发育有海蚀崖和砂质海滩 , 自海滩向大海为水下浅滩。水下浅滩的近岸部分发育有宽阔的水下基岩海蚀平台 , 海蚀平台大部分基岩裸露 , 基岩浅表部分已强烈风化。水下岸滩表面泥砂活动层厚度为 20 ~ 50 cm。

从沿坝轴线钻孔的地层看 , 本区堤基土层大致可分为以下 5 层 : ①黄褐色中细砂 , 分布于标高低于 1 m 的水下浅滩表层 , 厚度 20 ~ 50 cm , 松散 , 颗粒呈圆状 , 为海底表层活动层。②褐灰色淤泥质粉质黏土 , 该层为第四纪全新世海湾相沉积物 , 流塑至软塑状态 , 含有大量贝壳碎屑 , 局部混有少量粉砂。除近岸基岩裸露的水下侵蚀平台外均有分布 , 由岸边向大海自东往西逐渐增厚 , 最大厚度达 2.23 m , 垂直分布高程在 - 2.15 ~ - 7.63 m 之间。③黑灰色粉质黏土 , 该层为第四纪全新世早期湖沼相沉积物 , 可塑状态 , 含少量铁锰质结核 , 分布在水下浅滩的低洼地段

和灰场向海外侧部分.自岸边向大海逐渐增厚,最大厚度可达 1.07 m,垂直分布高程为 - 2.15 ~ - 8.70 m.④褐黄色粉土,该层为第四纪晚更新世残积相沉积物,可塑状态,含有大量铁锰质结核,混有片麻岩风化碎屑.分布在水下浅滩的低洼地段和向海外侧部分,自岸边向大海逐渐增厚,最大厚度达 1.09 m,垂直分布高程在(- 4.20)~(- 9.45)m之间.⑤黄褐色大山沟组片麻岩,表层已强烈风化,裂隙发育.强风化层厚度自岸边向大海略有增厚,最大可达 1.5 m 左右.强风化层下为坚硬的中等风化基岩.该区地震烈度为 6 度.

3 灰场海洋水文条件

灰场围堤设计采用的波浪要素见表 1,设计潮位如下:设计高潮位(高潮累积频率 10% 的潮位)为 2.04 m,校核高潮位(重现期为 50 年一遇的年极值高潮位)为 3.08 m,设计低潮位(低潮累积频率 90% 的潮位)为 - 2.11 m,校核低潮位(重现期为 50 年一遇的年极值低潮位)为 - 3.28 m.

表 1 波浪要素

水深 /m	波向	50 年一遇				25 年一遇			
		$H_{1/10}/$	$H_{13\%}/$	$H_{1\%}/$	周期/	$H_{1/10}/$	$H_{13\%}/$	$H_{1\%}/$	周期/
		m	m	m	s	m	m	m	s
10	E	4.5	3.8	5.2	5.6	4.0	3.3	4.6	5.5
10	SE	3.4	2.8	4.1	5.5	3.0	2.5	3.5	5.4
5	E	3.4	3.0	3.8	5.4	3.1	2.7	3.5	4.9
5	SE	3.2	2.7	4.1	4.8	2.7	2.3	3.1	4.5

4 施工中出现的问題及处理

4.1 施工中出现的问題

该灰场于 1998 年 1 月 14 日和 2 月 18 日由两家施工单位分别进点,采用进占法,由两侧分别向海内推进.1999 年 4 月 28 日围堤合龙,合龙点为 BC 堤段的中间偏西位置.合龙时,围堤的堤心石抛填高程约 3.60 m;AB 和 CD 堤段内坡土工布铺设及上部浆砌块石护坡、外侧栅栏板防护(除 CD 堤段局部)全部完成,BC 堤段内坡土工布铺设、浆砌块石护坡完成约 200 m,外侧栅栏板防护完成约 300 m.围堤于低潮位时合龙,合龙后围堤内坡浆砌石护面出现了裂纹,随后几天内坡多处出现了不同程度的坡面滑塌,局部将土工布拉断.1999 年 5 月 18 日,在堤顶挡浪墙尚未施工的情况下,遭遇了超过设计潮位的水位及强风浪的袭击,致使部分堤顶发生越浪,加剧了内坡的损坏.

4.2 原因分析

AB、CD 堤段在内外护坡均已完成的情况下,围堤合龙前是稳定的,围堤合龙后出现了坍塌,至 11

月底,整个围堤内坡基本稳定.围堤外坡及护面在合龙前、后均是稳定的.

根据 1999 年潮汐表^[1]查得合龙日(1999 年 4 月 28 日)潮位和 5 月中旬大潮潮位,见表 2.从潮汐表^[1]看围堤合龙后几天内的潮位预报值与合龙日相近.为确定灰场内外存在的水位差和水位差的变化过程,分别于 7 月 17 ~ 18 日和 8 月 30 日 12 时至 8 月 31 日 12 时对灰场围堤内外水位进行了连续观测,两次观测的潮位见表 2.8 月 30 日 12 时至 8 月 31 日 12 时围堤内外 24 h 水位变化过程线见图 2.水位测量结果表明,在灰场围堤外水位较高时,灰场内外水位最大差值为 1.481 m(7 月 17 ~ 18 日,该水位差是在上游尚有 300 余 m 坝段未铺设土工布及 1700 余 m 坝段的部分土工布被拉断,部分坝段发生塌滑的情况下测得的)和 2.15 m(8 月 30 ~ 31 日).

表 2 不同时间段的潮位

日期	高潮位/m	低潮位/m
4 月 28 日	1.59	- 1.65
5 月中旬	2.34	- 2.48
07-17 ~ 07-18	1.94	- 1.95
08-30 ~ 08-31	3.00	- 1.30

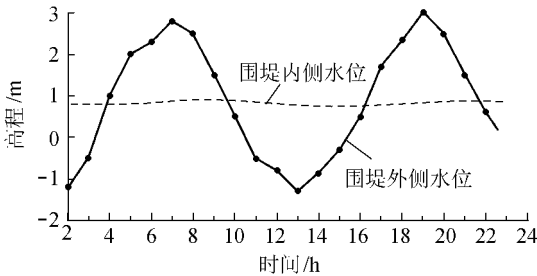


图 2 围堤内外 24 h 水位变化过程线(黄海高程)

从围堤破坏及现场调查结果看,灰场围堤 AB、BC、CD 堤段大部分有不同程度的破坏,特别是内侧浆砌石护坡已完成的堤段破坏现象更加明显,轻者浆砌石护坡出现裂缝,重者内坡发生明显的塌滑,甚至土工布被撕裂.灰场外侧潮位变化时,土工布被撕裂堤段内坡面可发现明显的水流现象.总的来说,破坏基本上都表现为内坡的浅层滑动.

从施工单位提供的围堤中心线沉降量观测记录看,围堤填筑至约 3.60 m 高程后,围堤沉降量持续发展,累积沉降量最大在 23 cm 以上,并且有越向大海方向延伸越大的趋势,与地基土层向大海方向逐渐增厚的趋势一致.由于堤身材料多为透水性较好的石料,沉降固结变形一般在较短时间内完成.因此,可以断定地基的固结需要较长的时间才能完成.但从合龙前到 5 月中旬大潮后这一时段的观测资料来看,期间并未发现沉降变形明显加剧的现象,这也说明堤身破坏仅局限于上游浅层部分,而不是大范

围的滑动。

从施工现场看,施工填筑的堤心石含土量很高,内坡的局部区域甚至未见满足要求的堤心石,土工布渗透系数一般在 10^{-2} cm/s 量级,二片石垫层料颗粒细、含土量相当高(由破坏堤段上游开挖调查发现)编织袋装碎石垫层的透水性也不佳,这些材料与堤心石相比都属相对不透水材料,致使灰场围堤内外造成了过大的水位差。而围堤合龙在低潮位完成,使合龙时灰场内的水位相对较低,更加大了合龙后高潮位时围堤内外水位差。合龙后灰场内坡的滑动正是由于过大的水位差引起水力破坏而造成的。水力破坏主要体现在两个方面:一是外侧海水水位高于灰场内侧水位时,堤脚处地基内的砂土和粉土由于管涌作用被淘出,致使堤身上游部分下沉;二是由于高潮位时海水通过透水的堤身,内坡坡面的相对不透水层受顶托而造成内坡发生破坏。

此外,由于施工工期紧,土工布上侧的压重石没有按设计要求分层施工、预压沉降,导致该部分挡灰堤施工过程中地基土特别是淤泥质土未充分固结;该部分围堤石料大多数从载重车上直接沿堤顶向下倾倒,水上船抛填量很少。这些因素也都不利于内坡的稳定。

4.3 处理措施

通过以上分析可知,灰场围堤合龙后,围堤内坡塌滑主要是由于坝体透水性差造成围堤内外水位差过大而引起水力破坏、堤脚淤泥未充分固结、施工程序不当,并且由于内坡塌滑造成了内坡土工布的拉裂。为恢复灰场储灰功能,加固处理应解决以下三方面的问题。

4.3.1 土工布修补

由于围堤各段内坡塌滑的程度不一样,很难准确确定土工布断裂的位置及范围,并且在调查过程中发现未拉裂的土工布也大多被沿堤顶而下的块石砸碎。因此加固时将土工布全部重新铺设。考虑到土工布两侧垫层的含泥量很高、透水性差、水下部分的堤坝开挖困难及堤脚开挖容易造成新的塌滑等实际情况,对于 0.0 m 以上部分的土工布按原设计位置恢复,即将围堤 0.0 m 以上内坡土工布之上的不符合设计要求的、含泥量大的、透水性差的堤体全部挖除,并将土工布之下的部分尽可能挖除;对于 0.0 m 以下部分的土工布,拟在原设计的抛理块石护坡塌滑后形成的坡面之上平整后重新铺设;在 0.0 m 标高处设平台,在此平台处,土工布水平铺设。

4.3.2 降低围堤内外侧的水位差

将原施工中不符合设计要求、含泥量大、已经损坏的土工布尽可能地挖除,同时对加固处理的石料

等材料严格要求,以增大堤体的透水性。

4.3.3 内坡加固

内坡加固主要是土工布修补后内坡的稳定问题。加固设计进行了稳定计算,而稳定计算的关键在于内外可能出现的水位差以及各种材料物理力学参数,特别是强度指标的确定。考虑到堤身实际的填筑材料、堤内坡脚淤泥已经扰动、淤泥固结需要较长的时间、内坡土工布急需恢复以满足机组储灰要求等原因,加固计算采用了相对保守的参数。

合理确定抗剪强度是稳定计算和分析的关键。在确定强度指标过程中,在参照勘探试验成果的基础上,对已发生的堤内侧滑坡进行反演分析,最终采用的抗剪强度指标如下:淤泥质粉质黏土层 $\varphi = 2.7^\circ$, $C = 7$ kPa(补充勘探资料中平均值,未考虑预压沉降的影响);粉质黏土层 $\varphi = 10^\circ$, $C = 20$ kPa(补充勘探资料中平均值);原土工布坡面 $\varphi = 19^\circ$;新铺土工布摩擦系数 $\varphi = 19^\circ$;堆石湿容重 $\gamma_{\text{湿}} = 18$ kN/m³;堆石饱和容重 $\gamma_{\text{饱}} = 21$ kN/m³;堆石浮容重 $\gamma_{\text{浮}} = 11$ kN/m³;堆石 $\varphi = 35^\circ$ 。现有围堤堤心下抛石挤淤部分(淤泥质粉质黏土层) $\varphi = 10^\circ$, $C = 17$ kPa。

根据坝体填筑的实际情况,经分析确定的各种计算水位(内外水位差)如下:①围堤外水位 3.0 m,围堤内水位 0.0 m,水位差 3.0 m,校核工况;②围堤外水位 3.0 m,围堤内水位 1.0 m,水位差 2.0 m,校核工况;③围堤外水位 2.0 m,围堤内水位 0.0 m,水位差 2.0 m,设计工况。

通过计算,确定在内坡脚处设反压平台(棱体),并在新铺设土工布的上侧抛填压载体。根据堤基地层及标高的不同,确定了不同的反压平台(棱体)断面及内坡坡度。反压平台(棱体)的高度一般 2~3 m,宽度 3~15 m。另外加固设计还对材料(包括各部位石料、土工布、袋装碎石、二片石垫层)、土工布铺设、施工程序、加荷速度、施工观测、施工监理等均提出了详细的要求。同时考虑到堤基固结沉降需要较长的时间,为适应堤基沉降的变形,并考虑能够抵御越浪水体的冲击,将平台以上部分的护坡改为干砌块石护坡(立砌 1 层,厚 500 mm)。

该加固于 2000 年 12 月完工,至今已运行近 5 a,效果良好。

5 灰场防波堤围堤与港工防波堤的区别

海域中灰场围堤的结构设计电力行业尚无相应的规程规范,设计主要是依据《防波堤设计与施工规范》、《海港水文规范》等港口工程规范进行的。但港口工程中的防波堤与电力工程中灰场围堤的功能、标准等存在着较大的差别,完全按港口工程中的防

波堤设计海域灰场围堤存在着一定的问题。

5.1 港工防波堤

a. 港工中防波堤的主要作用是将外海中的波浪阻挡于港池以外,保持港池内的水面相对稳定。

b. 由于船只需要进出港池,故港工中的防波堤是不封闭的,港池内外的水面高度相差很小,甚至是一样的。

c. 港工中的防波堤大都由透水性极好的抛石堆筑,外加护面而成,无需设过滤层。

d. 港工中防波堤越浪标准是以越浪后造成港池内水面波动的程度而定的。

e. 港工中防波堤的设计标准低,设计高水位采用高潮累积频率 10% 的潮位,设计低水位采用低潮累积频率 90% 的潮位,极端高水位采用重现期为 50 年一遇的年极值高水位。

5.2 灰场防波堤围堤

a. 灰场防波堤围堤的主要作用是将电厂的粉煤灰渣围拦在灰场范围之内。为达到此目的,围堤内、外坡整体必须稳定,同时内外护面必须和港工防波堤一样,承受外海波浪以及越浪水体的冲击。

b. 灰场防波堤围堤必须是封闭的,以防止粉煤灰渣流入大海。

c. 为防止电厂粉煤灰渣通过围堤堤身漏入大海,对于海水冲灰透水围堤一般设土工布过滤层,当环境保护要求严格时,灰场围堤还需做成不透水的结构。

d. 由于灰场围堤是封闭的,且堤内铺设了土工布过滤层甚至是防渗层,在潮涨潮落时,灰场围堤内外存在着较大的水位差。

e. 灰场围堤越浪标准是综合越浪水体在灰场内的容纳能力以及相应的排放措施而定的。

f. 灰场围堤设计标准高。《火力发电厂设计技术规程》中海域灰场围堤的设计标准为:一级围堤设计采用重现期 50 年一遇的潮位,校核采用重现期 100 年一遇的潮位、重现期 50 年一遇的风浪;二级围堤设计采用重现期 20 年一遇的潮位,校核采用重现期 100 年一遇的潮位、重现期 20 年一遇的风浪。

6 结 论

由于海洋水文条件复杂多变,波浪存在着诸多可变因素,因此海上工程的设计和施工应引起有关方面的高度重视,方可防患于未然。由于灰场防波堤围堤与港工中的防波堤存在着诸多的不同之处,因此在设计和施工中应采取不同的措施。通过本工程的事事故处理,有以下经验教训供类似工程参考。

a. 应充分考虑水位差对围堤内坡稳定的影响,

设计应根据灰场区域的潮位差确定围堤运行过程中需要承受的水位差;施工应采取相应的工程措施降低围堤合龙后的水位差。如可在高潮位时合龙,以使灰场内的水位在合龙时处于相对高位以及围堤内设连通井等。

b. 围堤内坡在灰场运行初期为最不利工况,随着灰场内堆灰面的抬高,对内坡稳定是有利的,因此应将放灰点伸至海域内侧,使围堤内侧的堤前及早堆灰。

c. 对于内坡土工布及其上的压载体等,也应随着围堤堤心的上升而上升,分层施工加荷,使该部分堤体有足够的沉降固结时间,应避免本工程中采用的堤心施工完毕土工布自上而下一次铺设,其上压载体自堤顶向下倾倒的施工顺序。

d. 施工单位的施工业绩和施工经验,对于工程建设也是至关重要的。

e. 本工程的设计采用了港工防波堤的标准,偏低。对于防波堤灰场围堤,还应采用《火力发电厂设计技术规程》中储灰场的设计标准。

f. 施工监理对于工程质量的控制也是相当重要的,施工监理的意见应得到各方面的重视。

g. 工程施工应有合理的经费方可保证施工的质量。

参考文献:

[1] 中国人民解放军海军司令部航海保证部,国家海洋信息中心.潮汐表第一册(1999 I M).济南:山东省地图出版社,1998.

(收稿日期 2005-09-13 编辑 骆超)

