

Analysis of Preventive Measures for Cracks in Large Volume Concrete of Offshore Step-Up Station Foundation

Zhao Liu

Hangzhou Anju Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract

The stability and durability of large-volume reinforced concrete structures involve multiple aspects including construction, operation, management, and maintenance. Particularly when applied in marine environments, ensuring concrete quality is paramount, as cracks in large-volume concrete are among the most common quality issues during construction. Building on previous construction experience of large-volume concrete structures in offshore projects, this paper systematically implements crack prevention measures by optimizing material ratios, temperature control, and curing management. These measures are implemented through the construction of a high-pile concrete pier structure for a wind farm offshore substation in Jiangsu Province, effectively enhancing the overall quality of large-volume concrete and reducing cracking.

Keywords

offshore; large volume; concrete crack; prevention and control measures

浅析海上升压站基础大体积混凝土裂缝防治措施

刘钊

杭州市安居集团有限公司, 中国·浙江 杭州 310000

摘 要

大体积钢筋混凝土结构的稳定性与耐久性涉及施工、使用、管理、维护等方方面面。尤其是大体积混凝土结构在应用于海洋环境中时更要保证混凝土质量, 大体积混凝土裂缝是施工中最常见的质量问题之一。本文在以往海工大体积混凝土结构施工经验的基础上, 去粗取精尽可能的吸取先进的工程经验, 结合江苏某风场海上升压站高桩混凝土墩台结构施工实例, 从材料配比优化、温度调控以及养护管理等环节实施系统性的裂缝防治措施, 从而有效提升大体积混凝土的整体工程质量, 减少混凝土开裂。

关键词

海上; 大体积; 混凝土裂缝; 防治措施

1 引言

能源是经济和社会发展的重要物质基础。随着海上风电的发展, 高性能混凝土在海上风电中的应用增多, 大体积混凝土结构物常常面临结构开裂的困扰。由混凝土温度变化引起的混凝土开裂现象是大体积混凝土产生裂缝的主要原因之一。

2 混凝土开裂的类型和原因

2.1 温度裂缝

混凝土产生温度裂缝的主要原因在于水泥水化释放的热量。硬化初期, 水泥水化反应集中, 产生大量水化热, 致使混凝土内部温度急剧升高。因其结构断面尺寸较大, 内部

热量不易散失, 从而形成持续的高温环境; 相比之下, 混凝土外表面与空气接触, 散热较快。由此形成的内外温度梯度会引起不均匀的热胀冷缩, 在表层产生拉应力。当该拉应力超过混凝土的抗拉强度时, 即会造成表面裂缝, 大体积混凝土温度裂缝尤为突出。

2.2 塑性收缩裂缝

混凝土塑性收缩裂缝常见于新浇筑混凝土表面, 主要由于初凝前表层水分过快蒸发引起收缩所致。在混凝土终凝前, 其强度尚未充分发展, 若处于高温、大风条件下, 表面水分迅速流失会使毛细孔内形成较大负压, 从而导致混凝土急剧收缩。此时混凝土自身强度无法抵抗收缩应力, 因而在表面形成裂缝。该类裂缝的出现与混凝土凝结速度、环境温度及水灰比等因素密切相关。

2.3 沉陷裂缝

大体积混凝土因体量和自重较大, 对地基承载力提出了较高要求。若地基土质松软不均、回填土压实不足或地基

【作者简介】刘钊(1994-)男, 中国河南商丘人, 硕士, 工程师, 从事工程技术研究。

处理不当,均可能引发混凝土的沉陷裂缝。此外,在浇筑过程中,若模板刚度不足、模板布置间距过大或底部支撑体系不够稳固,也会促使混凝土结构产生沉陷裂缝。这类裂缝发生后裂缝的纵深一般较深或为贯穿性裂缝,对混凝土结构物的承载能力将产生严重的影响。

3 工程概况

本工程拟建一座海上升压站高桩混凝土墩台结构,施工区域位于竹根沙海域,属滨海相沉积地貌单元,海底滩面地形高程由南向北逐渐降低,场区高程 -13.0~-2.8m,升压站周边高程 -8.0m,场区内地基土表层以粉砂、粉砂夹粉土为主。承台形状为八边形,其中 16 根直径 1.5m 钢管桩桩头埋入承台 1.2m; 剩余 4 根直径 2m 钢管桩桩头超出承台顶高程 1m。承台设计底标高为 +8.5m,设计顶标高为 +11.5m,承台长边为 36m,短边为 23m,高 3m,约 2300 方混凝土,混凝土标号设计等级为 C₄₅。升压站基础三维示意图详见图 1

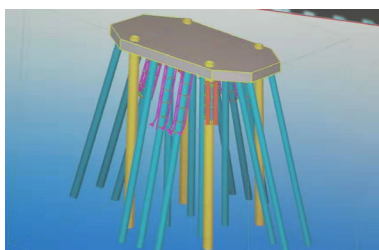


图 1 升压站基础三维示意图

4 施工中解决大体积混凝土裂缝问题的主要措施

大体积混凝土因自重较大,对地基承载力要求较高。若地基土质松软不均、回填土不实或处理不当,易引起混凝土沉陷裂缝。此外,浇筑时模板刚度不足、间距过大或底部支撑不牢,也会导致结构物产生此类裂缝。

4.1 足够刚度的模板及承重基础

墩台完成后自重将近 6000t,为保证结构的稳定性避免不均匀沉降的发生导致混凝土结构开裂。本工程共使用了 20 根钢管桩作为墩台结构的承重基础。其中,16 根直径 1.5m 钢管桩桩头埋入承台 1.2m,单根桩长 51.5m,4 根桩为直桩其余 12 根均为斜率为 5:1 的斜桩。另外 4 根主桩直径 2m 桩头超出承台顶高程 1m,桩长 54 米。混凝土浇筑前,配备了满足要求的模板承重结构,在围令支承上铺设型钢,并进行承重可靠性验证;模板采用现场拼制的高品质竹胶木板以保证混凝土凝结后的平整度^[1]。同时,为保证侧模刚度,沿其长度方向每隔 0.6m 加一根 10B 型钢,并将整个模板用对拉螺杆及撑杆固定好。

4.2 采用合格的施工材料

混凝土拌和料的主要材料有水泥、骨料、外加剂与水等。原材料的选择直接影响墩台结构质量,施工中需对其进行严

格管控,尤以水泥为关键。水泥中 C₃A 含量高、细度小通常会增大干燥收缩;为降低水化热,宜采用中热或低热硅酸盐水泥。在海洋等腐蚀性环境中,应选用耐腐蚀水泥。拌合用水需控制氯离子含量,骨料则宜选用级配良好、硬度高的花岗岩或玄武岩等。此外,可掺入粉煤灰等掺合料及相应外加剂,以改善和易性、减少水泥用量、提高密实度并抑制收缩。使用前应对掺合料进行检测,避免使用含放射性、可溶性有毒物质或其他有害成分的材料,从而保障混凝土质量。

水泥:采用 P.I 型或 P.II 型硅酸盐水泥,水泥标号不小于 42.5,水泥熟料中铝酸三钙含量控制在 6%~10% 的范围内;水泥比表面积不超过 350m²/kg,游离氧化钙含量 ≤1.5%,氯离子含量 ≤0.2% (占水泥质量),碱含量 ≤0.6%。混凝土总含碱量不超过 3.0kg/m³。胶凝材料用量范围为 300~400kg/m³,最大水胶比为 0.50。

粗骨料:宜选用 5~31.5mm 连续级配的碎石,其质地应均匀坚固、粒形与级配良好,并具有低吸水性、低孔隙率的特性。具体性能指标要求如下:粗骨料堆积孔隙率 ≤40%,压碎指标 ≤7%,吸水率 ≤2%;针片状颗粒含量宜控制在 5% 以内^[2]。细骨料应根据细度模数差异,分别控制 4.75 mm、0.6 mm 及 0.15 mm 筛的累计筛余量,依次为 0~5%、40%~70% 和 ≥95%。此外,无论是粗骨料还是细骨料,其中水溶性氯化物折合的氯离子含量均不得超过骨料总质量的 0.02%。

掺合料:选用优质粉煤灰,其质量需保持稳定、供应可靠且来源稳定。粉煤灰应具有较低的烧失量,三氧化硫含量控制在 3% 以内,需水量比建议不超过 105%。其在胶凝材料中的替代率不宜低于 20%;若掺量高于 30%,则水胶比应不大于 0.42。

外加剂:优先采用兼具减水、保塑、缓凝及泵送等复合功能的产品。使用前需对其碱含量进行检测。外加剂中氯离子含量不得超过混凝土胶凝材料总质量的 0.02%;高效减水剂中的硫酸钠含量宜低于其干重的 15%。严禁使用氯化钙作为外加剂或防冻剂,同时也应避免采用亚硝酸钠类阻锈剂。

水:混凝土拌合用水选用时应控制水中氯离子含量不大于 200 mg/L。

4.3 优化墩台大体积混凝土配合比设计

为满足大体积混凝土的施工要求,控制其在浇筑初期及凝结硬化过程中的热量释放,需对配合比进行专项设计。设计时应依据以下原则:在保证混凝土结构强度的前提下,墩台大体积混凝土所用水泥应尽可能减少水化热反应。采用合适的混凝土配合比,选用符合施工作业环境要求的混凝土拌合料,对于减轻墩台结构开裂,增加墩台结构耐久性起着至关重要的作用^[3]。

4.4 控制入模温度

本工程墩台基础施工恰逢九、十月份高温时段,环境温度较高,易加大墩台基础内外温差。为保障混凝土浇筑质量,防止温度应力导致结构开裂,需将混凝土入模温度控制

在28℃以下。主要控制措施包括：对混凝土搅拌机采取遮阳措施，避免阳光直射；原材料堆放区加强通风，砂石料棚加盖遮阳，并配置雾化风扇促进蒸发降温；拌和用水采用冰水，配备制冰与碎冰设备。此外，建议将浇筑作业尽量安排在夜间或早晨等气温较低时段进行，以进一步降低大体积混凝土的浇筑温度。

4.5 分层分块浇筑

为保证本工程混凝土结构的施工质量与整体稳定性，降低混凝土水化热温度梯度和峰值，本次混凝土浇筑分两次完成。第一次浇筑完成1m墩台高度，完成+8.5m~+9.5m标高的浇筑工作；第二次浇筑2m高度，完成+9.5m~+11.5m标高的浇筑工作^[4]。

4.6 降温冷却与保温养护

针对大体积混凝土的特点，控制温度裂缝往往是其配合比设计的首要目标。为此，在进行配合比设计时，需着重减少混凝土的水化放热，从而有效降低其绝热温升。

4.6.1 测温点布置

承台混凝土厚度达3米，在水化热作用下内部温升显著。由于大截面混凝土的硬化速率与散热条件分布不均，加上内外部位热量散失速度不同，结构内部易形成温差，进而可能引发底板的温度裂缝。为避免这种现象的发生，需要在混凝土温度有代表性的地方设置测温孔。测温点布置图详见图2所示

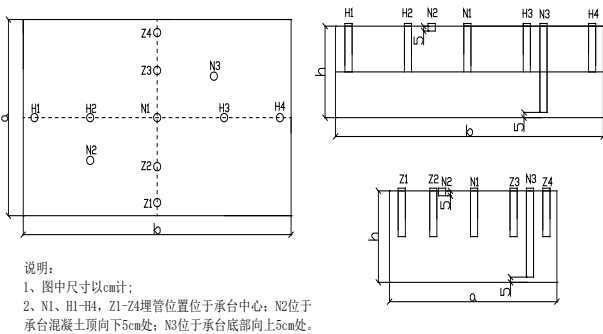


图2 测温点布置图

4.6.2 冷却管设置

根据承台厚度，在混凝土内部设置1-2层冷却管，冷却管采用 $\phi=50$ ， $t=3.5$ 黑铁管，在承台内U型布置，管间距1.0m，管距离承台侧面边缘均为1.0m。

冷却管与承台竖向的支撑钢筋绑扎或点焊牢固，进水口伸出承台顶面约50cm，出水口伸出承台40cm，出水口设置弯头，把冷却水引出承台之外。混凝土浇筑完成后，即启动冷却管通水冷却，并通过测温孔监测的温度数据动态调节水流速率。待承台混凝土充分冷却并硬化后，采用M35水泥浆对冷却管进行压力灌浆，确保填充密实。冷却管布置图详见图3所示。

4.6.3 温度控制与保温养护

混凝土浇筑完成后，需安排专人持续监测其内部及表

面温度。测点自浇筑完成10小时（初凝后）开始读数：前72小时内每2小时测温一次，随后72小时至温度稳定期间改为每4小时一次，之后可延长至每6小时一次（宜在混凝土可能出现最高、最低温度的时刻测量），直至温度趋于稳定。为控制温度，采用冷却水管循环水降温^[5]。循环水温与混凝土内部温差应小于20℃，每日降温速率不超过2℃。冷却水进出口温差不宜大于10℃，且出水口水温一般不高于40℃。若将冷却水用于顶面蓄水养护，则养护水与混凝土表面温差不应超过15℃。监测期间若内外温差超过20℃，可通过提高水流速度或降低进水温度加强降温。当温差持续低于25℃时，可停止测温并转入覆盖保温等养护措施。

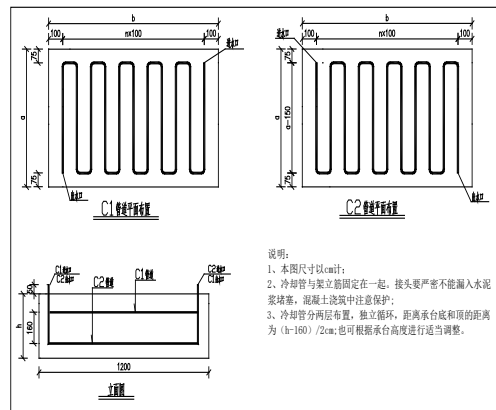


图3 冷却管布置图

5 结语

随着大体积混凝土在海洋承重结构中的广泛应用，其裂缝问题与耐久性已成为研究重点。裂缝不仅影响外观，更会削弱混凝土的承载能力和耐久性，加速海水对结构内部的侵蚀，从而威胁整体稳定性。因此，在海工大体积混凝土施工中，必须严格把控质量，落实裂缝控制技术，这对保障海洋结构物的安全至关重要。为避免裂缝产生，需从材料选配与配合比设计、温度监测与控制以及后期养护三方面实施系统防控，着重解决混凝土水化热集中问题，以提升结构整体质量。

参考文献

[1] 汪洋,徐文,李明. 水工大体积混凝土裂缝控制关键技术研究及应用[J]. 隧道与轨道交通, 2025, (S1): 54-58.
[2] 路亚男. 大体积混凝土施工裂缝控制技术研究[J]. 居业, 2024, (04): 25-27.
[3] 梁德龙. 超长体积混凝土施工中的裂缝控制技术[J]. 中国高新科技, 2023, (20): 59-61.
[4] 曹磊. 风电场基础大体积混凝土裂缝控制施工技术探微[J]. 广东水利电力职业技术学院学报, 2023, 21 (03): 29-32.
[5] 王小兵. 大体积混凝土浇筑及温度裂缝施工控制技术[J]. 工程与建设, 2022, 36 (05): 1430-1432.