

越南某电厂水池池壁混凝土结构裂缝原因分析

程玉光, 谭传锋

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 越南某电厂项目 BOP 区域的多个水池池壁混凝土结构发生了大面积的开裂和渗漏现象, 严重影响了水池的使用功能及外观, 为分析研究裂缝发生的原因并为后续工程中的裂缝控制积累经验, 根据现场裂缝的实际情况及原材料检验数据, 结合相关技术文献资料, 对裂缝发生的原因进行了分析, 认为裂缝发生的主要原因在于混凝土原材料及混凝土生产质量的控制。在后续的工程中, 需要根据工程的实际情况对原材料的选取和生产过程的质量控制有针对性地提出要求, 以达到理想的混凝土结构裂缝控制效果。

关键词: 水池池壁; 混凝土裂缝; 原因分析

中图分类号: TU755.7

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)S1-0111-05

Reason Analysis of Water Tank Wall Concrete Cracks at a Thermal Power Plant in Vietnam

CHENG Yuguang, TAN Chuanfeng

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: The concrete crack accident happened on the tanks concrete structure at BOP area of a thermal power plant in Vietnam. These cracks seriously affected the appearance and function of the concrete tanks. In order to analysis the detailed reasons and gain the related experience on crack controlling, hereby the author do the studying and analysis on the reasons of cracks based on the construction actual site situation, test result of material and the related technical documentation. According to the below analysis, the raw material and concrete producing process were the main reasons that caused these cracks. For the subsequent projects, the material and producing process shall be gained pertinent measures following the service environment to achieve the expected controlling effects.

Key words: tank wall; concrete cracks; reason analysis

该电厂位于越南茶荣省沿海县, 厂址夹于湄公河入南海的两条支流入海口之间, 规模为 2×622 MW。当地气候分为旱季和雨季, 年平均气温高于 20°C , 施工期间炎热天气多发, 高温环境对混凝土水硬化过程的收缩产生了不利影响, 为混凝土结构的裂缝控制带来了挑战。电厂目前一期和三期在建, 文章同时对比研究了两期电厂混凝土原材料差

异对混凝土裂缝的影响。

1 电厂水池池壁混凝土结构裂缝发生及处理概况

电厂水池池壁混凝土结构发生裂缝的水池共有 8 个, 具体包括: 原水池, 服务水池, 斜板沉淀池, 过滤水池, 曝气池, 运煤冲洗泵房, 渣水沉淀池和废水池; 根据不同的施工顺序, 针对施工过程可能导致结构裂缝发生的因素如混凝土拆模时间、洒水养护、混凝土振捣等进行了有意识的加强和改进, 如废水池施工时带模养护时间达到将近 20 d, 但最终仍未有效避免混凝土裂纹的产生。

收稿日期: 2016-10-22

作者简介: 程玉光(1980), 男, 河南鹤壁人, 高级工程师, 一级注册建造师, 硕士, 主要从事电力工程项目管理等方面的研究工作(email)chengyuguang@gedi.com.cn。

已发生的混凝土池壁结构裂缝的主要特征是上下贯穿池壁、近似等间距分布与池壁表面，且部分裂缝有渗漏现象发生(典型裂缝及修复处理状况如图1所示)。



图1 水池池壁裂缝现场状况

Fig. 1 The site situation of tank wall cracks

根据混凝土结构表面的裂缝宽度及是否有渗漏情况发生为主要依据，对不同宽度的裂缝采用开V型槽、注射聚氨酯类防水堵漏材料等方式进行处理。考虑池壁外观，根据电厂业主监理方的要求，对所有发生裂缝的水池进行了统一的外观涂刷水泥基防水涂料处理，处理后的外观效果如图2所示。



图2 水池裂缝表面修复后现场状况

Fig. 2 The site situation of tank wall cracks after repairing

电厂三期的池壁混凝土结构施工时间晚于一期，同样也发生了明显的结构裂缝状况，但从裂缝数量及严重程度而言，要略好于一期的裂缝状况。文章的对比分析中也考虑了三期的实际情况。

2 水池池壁混凝土结构裂缝发生的原因分析

水池池壁混凝土结构裂缝均发生在施工阶段，



裂缝的产生并未受到外加荷载的影响，因此裂缝产生的原因应基于裂缝产生的部位和形态从设计、施工、材料三个方面进行考虑和分析。

根据现场裂缝发生的实际状况，主要的裂缝形态为近似等间距的表面上下贯穿型裂缝，且部分裂缝发生不同程度的渗漏情况，这种类型的裂缝也是后续进行针对性处理并发生费用的主要来源。

根据混凝土材料的收缩特性、水池池壁混凝土的结构特点以及裂缝本身的形态和走向，本项目池壁裂缝产生的根源应该是混凝土在硬化过程中的自身收缩(徐有邻等编写的《混凝土结构工程裂缝的判断与处理》^[1]一书中亦有论述，如表1所示)，而影响其硬化过程中收缩的主要因素根据其影响程度的大小依次是混凝土原材料质量控制——混凝土配合比及质量控制——施工环境温度影响及针对性的混凝土养护措施——混凝土结构设计。以下论述为进一步的裂缝原因分析过程。

表1 混凝土裂缝形态理论分析状况

Tab. 1 The analysis of concrete cracks based on its situation

裂缝位置	图示	裂缝形态	裂缝成因	裂缝性质	裂缝影响	处理方法
墙体、池壁、仓壁 横向弯矩最大处		竖向裂缝，楔形，不管同截面	在荷载作用下的弯曲受拉开裂	弯曲受拉裂缝	影响观瞻，基本不影响承载，宽度大时不安全感，影响耐久性	封闭裂缝，局部处理，必要时加固
长度很大的墙体侧面、环形筒仓壁侧面		竖向裂缝，基本等间距，贯通截面	混凝土收缩，温度变化，约束拉力或环向拉力引起开裂	混凝土收缩裂缝、环向受拉裂缝	影响观瞻，基本不影响承载，有可能影响使用功能(渗漏)，影响耐久性	局部处理 封闭裂缝

2.1 池壁混凝土原材料情况分析

混凝土水硬化过程中的收缩主要与原材料中水泥的收缩、细骨料和粗骨料的质量等因素相关，以下依据原材料的检验结果进行了具体分析。

2.1.1 水泥

表2为电厂一期和随后施工的电厂三期所使用的水泥强度及水泥细度检验结果与相关标准对水泥技术指标要求情况的对比。通过水泥强度和水泥细度的分析和研究可以了解其对最终混凝土收缩的

影响。

如表 2 所示, 电厂一期和三期所采用的水泥均满足相关规范要求。但从水泥水化硬化的过程的特点而言, 水泥越细, 则比表面积越大, 水化硬化的速度也将越快, 水泥早期强度上升越快, 而水化硬化过程将会产生相应的收缩, 强度发展快的阶段同时对应的也是水泥收缩集中发生的时间段。

表 2 水泥技术性能指标对比分析

Tab. 2 The performance comparison analysis of cement

比对项目	水泥品种	3 d 强度/MPa	7 d 强度/MPa	28 d 强度/MPa	水泥细度(筛余量)/%
一期水泥检验结果	NGHI SON PCB40	29.6	39.9	45.9	0.4
三期水泥检验结果	HA TIEN PC _{SR} 40	29.6	38.4	49.5	0.2
TCVN 6260: 2009	PCB40	18.0	—	40.0	≤10
DL/T 5144 标准要求	P. O42.5	17.0	—	42.5	≤10, 宜 3~6

电厂一期和三期所选用的水泥存在水泥过细、早期强度发展过快的实际问题。对于易发生裂缝的混凝土结构, DL/T 5144 规范对水泥的细度控制指标建议为 3%~6%, 亦是尽量通过控制 28 d 内的强度发展来避免水泥水化硬化过程中收缩集中发生的时间, 从而降低结构裂缝发生的概率。而电厂一期和三期所采用的水泥细度检测结果均小于 1%, 且 3 d 强度的测试值比规范要求的最低值超出了 10 MPa 以上, 对最终混凝土的收缩和裂缝控制是极为不利的。对于易产生裂缝的混凝土结构, 需要根据实际情况考虑针对性的后续技术措施才能够实现对裂缝发生的有效控制。

由以上分析可知, 电厂一期项目水泥细度是池壁结构混凝土最终裂缝发生的重要影响因素之一。

2.1.2 细骨料

表 3 为电厂一期和三期的混凝土用砂细度模数、含泥量和泥块含量的检测结果, 细度模数、含泥量和泥块含量指标是影响混凝土收缩的重要因素。

如表 3 所示, 电厂一期选用天然砂的细度模数和泥块含量指标不满足 DL/T 5144 中的技术要求, 含泥量满足 DL/T 5144 中的技术要求。电厂三期选用天然砂的细度模数和含泥量不满足 DL/T 5144 中的技术要求, 泥块含量不满足 DL/T 5144 中的技术

要求。

表 3 砂技术性能指标对比分析

Tab. 3 The performance comparison analysis of sand

比对项目	细度模数	泥块含量检测值/%	含泥量/%
一期检验结果	2.05	0.5	0.3
三期检验结果	2.37	0.2	0.7
DL/T 5144 要求	2.2~3.0	不允许	≤3

砂的细度越小, 达到同样混凝土流动性所需要的浆体和需水量相对越多, 则水泥水化硬化过程中表面水分蒸发的速率和维持时间也将较长, 会加剧混凝土硬化过程中的干缩。在对比电厂三期结构类似的水池裂缝的现场状况发现其发生裂缝的数量相对较少、开裂的程度也相对较轻, 应该与其采用的砂的细度模数比一期大有关。

砂的含泥量和泥块含量将是硬化混凝土的脆弱部分, 与其周边的水泥成分的收缩及强度发展有较大差距, 尤其是团状的泥块颗粒更是会对混凝土的收缩产生显著影响, DL/T 5144 规范中明确提出不允许在砂中检出泥块, 亦主要是基于混凝土收缩裂缝的控制需要。但电厂一期和三期所选用的天然砂中均检出少量泥块物质含量, 对池壁混凝土结构的裂缝发生具有一定的负面影响。

由上述检验结果和分析可知, 电厂一期项目砂的细度模数和泥块含量指标是池壁结构混凝土最终裂缝发生的重要影响因素之一。

2.1.3 粗骨料

表 4 为电厂一期和三期的混凝土用粗骨料的含泥量和泥块含量的检测结果, 粗骨料中含泥量和泥块含量指标是影响混凝土收缩的重要因素。

表 4 石技术性能指标对比分析

Tab. 4 The performance comparison analysis of stone %

比对项目	泥块含量检测值	含泥量
一期检验结果	0.8	1
三期检验结果	0.1	0.8
DL/T 5144 要求	不允许	≤1

粗骨料的含泥量和泥块含量同样将是硬化混凝土的脆弱部分, 与其周边的水泥成分的收缩及强度发展有较大差距, 尤其是团状的泥块颗粒更是会对混凝土的收缩产生显著影响, DL/T 5144 规范中明确提出不允许在粗骨料中检出泥块, 亦主要是基于混凝土收缩裂缝的控制需要。但电厂一期和三期所

选用的粗骨料中均检出少量泥块物质含量,对池壁混凝土结构的裂缝发生具有一定的负面影响。

由上述检验结果和分析可知,电厂一期项目粗骨料的泥块含量指标是池壁结构混凝土最终裂缝发生的重要影响因素之一。

2.2 池壁混凝土配合比情况分析

本项目在 C40 混凝土配合比设计及试配过程当中未考虑混凝土的收缩指标,在此只能依据现有的检测数据对其对混凝土的产生所造成的影响进行侧面分析。

配合比设计的检验结果和废水池结构混凝土的检验结果分别如表 5 和表 6 所示。

由表 5 的试验数据来看,混凝土的 7 d 强度已经远远超出设计 C40 的强度等级、同时与 28 d 强度相比也达到了 80% 以上;14 d 强度与 28 d 强度相比几乎已经达到了 100%。

表 5 池壁 C40 混凝土配合比及试配结果

Tab. 5 The trial mix and of C40 tank wall concrete

7 d 强度/ MPa	7 d 强度 比/%	14 d 强度/ MPa	14 d 强度 比/%	28 d 强度/ MPa	单方 水泥 用量 /kg	单方 硅灰 掺量 /kg	水胶 比	砂率
48.6	83.2	56.8	97.2	58.4	390	19.5	0.442	0.401
59.6	89.5	64.9	97.4	66.6	400	20.0	0.438	0.401
59.0	88.5	67.4	1.01	66.7	410	20.5	0.432	0.400

注:浇筑时间均为 2013-10-25。

强度越高,则对应的混凝土收缩越大,由于混凝土收缩而发生结构开裂的趋势也将增大。强度发展快的阶段对应混凝土水硬化过程中收缩集中发生的阶段。作为 C40 强度等级的混凝土,电厂一期项目所采用的混凝土配合比存在强度富余量过大的问题,同时存在混凝土收缩集中发生在前 14 d,这两个因素均会增大混凝土结构发生裂缝的概率。

表 6 池壁 C40 实体混凝土强度统计分析

Tab. 6 The actual strength analysis of C40 tank wall concrete

浇筑 部位	浇筑 时间	7 d 强 度/MPa	28 d 强 度/MPa	7 d 强度 比/%
T5	2013-08-12	50.9	70.3	72.4
T6	2013-08-12	51.1	70.7	72.3
T5	2013-08-20	47.0	64.0	73.4
T6	2013-08-20	47.8	62.5	76.5

浇筑 部位	浇筑 时间	7 d 强 度/MPa	28 d 强 度/MPa	7 d 强度 比/%
T5	2013-09-17	56.3	69.0	81.6
T6	2013-09-17	56.4	69.1	81.6
T5	2013-10-01	54.8	61.6	89.0
T6	2013-10-01	54.6	60.7	90.0
T9	2013-08-12	49.2	70.1	70.2
T10	2013-08-12	49.2	70.3	70.0
T9	2013-08-20	48.5	63.4	76.5
T10	2013-08-20	48.6	64.3	75.6
T9	2013-09-17	56.8	72.4	78.5
T10	2013-09-17	55.1	70.0	78.7
T9	2013-10-01	50.0	60.8	82.2
T10	2013-10-01	50.2	61.6	81.5
平均值		51.6	66.3	78.1
标准差		3.41	4.24	6.01

注:强度比指该龄期的混凝土强度与 28 d 强度的比值。

表 6 中的强度检验结果为随机抽取的废水池混凝土结构施工过程中不同施工时间的取样检测结果。各组样品的 7 d 强度均已达到设计要求的 40 MPa,28 d 强度明显存在着强度富余量大的问题。由上表中 7 d 强度比的指标来看,7 d 龄期的混凝土强度检测结果与 28 d 强度的比值波动范围在 70.0%~90.0%,证明混凝土在实际生产中的质量稳定性不佳,7 d 强度比的标准偏差达到了 6.01%。强度发展的稳定性将会影响混凝土自身的匀质性和混凝土收缩发生的协调性,势必会增大混凝土结构开裂的趋势。

《水工混凝土施工规范》(DL/T 5144—2001)也有如下论述:混凝土强度等级越高收缩越大。混凝土的抗裂能力不仅与其强度有关,还与其强度均匀性有密切关系,混凝土强度标准差 σ 大时,裂缝就多一些。

由以上分析可知,电厂一期项目混凝土配合比的强度富余量大和混凝土生产过程的质量控制水平是最终池壁混凝土结构开裂的重要影响因素。

2.3 施工环境温度影响及针对性的混凝土养护措施情况分析

本电厂项目裂缝发生严重的池壁结构均处于受太阳直射的酷热施工环境中,此种施工环境条件本身就十分不利于混凝土结构施工过程中的裂缝控制,尤其是对于薄壁型的水池池壁结构。

根据相关的施工过程的施工、养护及拆模的相关记录, 控制过程基本满足相关规程规范的要求, 对水池池壁混凝土结构的产生不存在根本性的重大影响。但考虑到施工分包商如能根据自身的经验做出针对性更强更有效的技术措施, 也将有利于减轻最终结构裂缝发生的程度。

2.4 混凝土结构设计

经各相关方对设计图纸的联合审查认为, 设计图纸对结构施工缝和后浇带的设置满足《水工混凝土结构设计规范》(DL/T 5057—2009) 要求, 且设计说明中对结构混凝土的强度等级、抗渗等级和收缩性能指标提出了具体要求, 基本排除了设计因素对最终裂缝发生的影响。

3 结论

由以上对混凝土原材料、混凝土生产质量控制、混凝土施工、结构设计方面的分析过程推断, 该电厂一期项目池壁混凝土结构裂缝主要原因是配

合比重胶凝材料、细骨料、粗骨料的选择是导致最终混凝土裂缝的主要原因; 混凝土的生产过程质量控制和施工过程质量控制为次要原因。

在越南南部或类似的高温酷热环境条件下施工的水池池壁混凝土结构, 必须在配合比设计中对原材料选取的过程质量管理进行特别的关注, 混凝土的收缩指标应作为重要的评价指标并在正式使用前对混凝土配合比进行充分系统的性能试验, 同时在施工过程中充分考虑结构裂缝控制的技术措施, 才能够获得理想的结构裂缝控制效果。

参考文献:

- [1] 徐有邻, 顾祥林. 混凝土结构工程裂缝的判断与处理 [M]. 中国建筑工业出版社, 2010: 121.
- [2] 钱晓倩. 混凝土早期裂缝控制 [EB/OL]. (2008-10-01) [2010-09-24]. <https://wenku.baidu.com/view/2a7cffe0975f46527d3e1ef.html>.
- [3] 王志华. 商品混凝土早期裂缝的机理与控制研究 [D]. 兰州: 兰州理工大学, 2008.

(责任编辑 李 辉)

中国能建广东院屋面分布式光伏电站成功并网发电

2017年12月18日, 由中国能建广东院总承包建设的220 kV 知识城输变电工程正式竣工投产, 标志着广州中新知识城打造供电高可靠性示范区迈出坚实的一步。

220 kV 中新知识城输变电工程位于中国与新加坡政府跨国合作标志性项目、国家首批智慧城市创建示范单位——广州市黄埔区中新知识城的南起步区。工程是南方电网范围内首个全面采用一体化电网运行智能系统的220 kV 变电站, 也是中新知识城首个220 kV 变电站。

中国能建广东院在建设过程中贯彻精益化理念, 创新采用多项先进技术, 改进工艺, 全力打造“安全、可靠、绿色、高效”的变电站: 在南方电网220 kV 变电站中率先全面采用一体化电网运行智能系统, 提高了电力系统运行和管理效率; 首次在220 kV 变电站设置建筑光伏发电系统; 首次创新性地采用集成光纤纵联差动保护及配网终端功能的多合一装置; 运用中国能建广东院自主研发的变电站三维设计信息化平台开展设计, 优化空间布置, 解决管线碰撞难题; 创新采用内置式通风廊道建筑布局; 应用噪声仿真分析软件优化噪声控制设计, 有效降低厂界噪声值约20%; 全站三维综合布线; 外墙GRC新型绿色环保材料构件全工厂预制, 现场组装工艺简洁, 有效提高了施工效率。

作为中新知识城智能电网示范区的核心电源点, 220 kV 知识城输变电工程的投运, 将为中新知识城南起步区的电力供应提供坚实的保障。

(责任编辑 郑文棠)