

Key Technology of Super-long Structure Mass Concrete Construction

Xizhong Song

Beijing Cyrus International Engineering Consulting Co., Ltd., Beijing, 100070, China

Abstract

Today, with the rapid development of social and economic construction and cultural construction, and the continuous improvement of people's life, in order to meet the needs of people's living and working environment, super long concrete structure has been widely used for its unique advantages. Taking the construction technology of raft and strip foundation of Fengtai station reconstruction project as an example, this paper introduces the application of seamless construction principle of mass concrete, raw materials, mix proportion, expansion reinforcing belt, and skipping method, so as to provide reference for subsequent similar engineering construction (supervision).

Keywords

seamless construction; expansion reinforcing belt; skipping method

超长结构大体积混凝土施工关键技术

宋喜忠

北京赛瑞斯国际工程咨询有限公司, 中国·北京 100070

摘 要

在社会经济建设和文化建设飞速发展、人民生活不断改善的今天, 为了满足人民生活和工作环境的需要, 超长混凝土结构以其独特的优点获得了广泛应用。论文以丰台站改建工程筏板及条形基础施工技术为例, 介绍大体积混凝土无缝施工原理、原材料、配合比、膨胀加强带, 以及跳仓法等技术的应用, 为后续类似工程施工(监理)提供借鉴。

关键词

无缝施工; 膨胀加强带; 跳仓法

1 引言

随着中国经济的快速发展和城市体量的不断扩张, 城市建设基础设施建设中大量采用大体积超长混凝土施工, 论文以丰台站改建工程为例, 详细介绍筏板及条形基础大体积超长结构混凝土施工的技术控制应对措施, 为中国其他城市及基础设施建设的同类工程施工提供参考^[1]。

2 工程概况

2.1 工程简介

北京铁路枢纽丰台站位于中国北京市西南部丰台区, 站房建筑总规模为 39.88 万 m², 融合了铁路、地铁、市政、公交以及相关配套设施, 铁路站房与城市地铁、市政换乘设施同步实施。本工程中央站房筏板基础东西向长 364.5m, 宽为 320.5m, 东西站房条形基础长度约为 100m, 均属于超长结构。大体积筏板基础厚度有 1200~2500mm, 承台厚度

均为 2000mm 以上, 基础梁最大截尺寸 2200×7000mm。

2.2 设计对大体积混凝土要求

①中央站房筏板承台混凝土强度等级为 C40, 东西站房条形基础混凝土强度等级为 C40, 膨胀加强带采用强度等级为 C45 的补偿收缩混凝土。

②本工程混凝土设计耐久性 100 年, 使用年限 50 年。基础环境作用的等级同时满足 I -C、V-C。

③配筋混凝土中氯离子最大含量(用单位体积混凝土中氯离子与胶凝材料的重量比)不应超过 0.06%。

④不得使用含氯化物的防冻剂和其他外加剂。

⑤单位体积混凝土中三氧化硫的最大含量不应超过胶凝材料总量的 4%。

⑥单位体积混凝土中含碱量(水溶碱, 等效 Na₂O 当量), 不超过 3kg/m³, 不得采用活性骨料。

⑦底板和基础采用补偿收缩混凝土。

⑧大体积混凝土采用低水化热普通硅酸盐水泥。水泥 3d 的水化热不大于 240kJ/kg, 7d 的水化热不大于 270kJ/kg。

⑨设计确认的技术措施: 对基础底板依据 JGJ/T178—2009《补偿收缩混凝土应用技术规程》进行超长无缝施工。

【作者简介】宋喜忠(1971—), 男, 中国山东威海人, 本科, 高级工程师, 从事工程管理研究。

超过 120m 需设置后浇式膨胀加强带,大体积混凝土应在两侧混凝土中心温度降至环境温度时在浇筑。大体积混凝土配比原则,混凝土耐久性指标满足结构耐久性 100 年的要求,并进行必要的试验验证。并采用 60 天强度评定。

3 工程特点难点及总体技术思路

本工程主要依据 GB50496—2018《大体积混凝土施工标准》、JGJ/T178—2009《补偿收缩混凝土应用技术规程》两本规范解决基础超长超厚问题。通过优化配合比,采用大粉煤灰掺量的低水化热混凝土的技术,控制混凝土的中心温度峰值并延迟峰值出现的时间,混凝土中掺加膨胀剂以补偿混凝土收缩,并采用减缩型和温控型的聚羧酸高性能减水剂。东西站房、中央站房基础底板,根据现场施工进度、分区施工以及地铁施工影响,将中央站房分为几个大的区域,区域之间设置后浇式膨胀加强带,每块区域内采用跳仓施工或间歇式膨胀加强带做法。

4 超长结构无缝施工基本原理与方法

4.1 基本原理

在混凝土中掺加 5%~8% 的膨胀剂,通过其与水泥的化学反应,使混凝土产生适量膨胀,在钢筋和临位限制下,在钢筋混凝土中建立 0.2~0.7MPa 的预压应力,可大致抵消混凝土收缩时产生的拉应力,确保混凝土中的拉应力不超过混凝土的抗拉强度,防止混凝土开裂。

混凝土中最大拉应力 $\sigma_{\max} < \sigma_0$, 则混凝土不会开裂。 σ_{\max} 为混凝土硬化过程中不同时间节点的因混凝土收缩产生的拉应力。 σ_0 为混凝土硬化过程中不同时间节点的混凝土抗拉强度。

4.2 对于超长结构工程的无缝施工问题,有两种方式可以选择。

方案一:“抗”的原则,即采用“加强带”解决,带宽 2~3m。

方案二:是“抗”“放”结合的原则,即采用“留缝不留带”的“跳仓法”法施工。

在采取以上两种方案之一的情况下,伸缩缝间距可延长至 100m 以上。

板式结构平均伸缩缝间距计算公式如下:

$$[L]=1.5 \sqrt{\frac{HE}{Cx}} \operatorname{arccosh} \frac{|\alpha T|}{|\alpha T| - \varepsilon_p}$$

只要使 $|\alpha T|$ 趋向 ε_p , 则 $\operatorname{arccosh} \rightarrow \infty$, 则可实现超长结构的无缝施工。在混凝土中掺入适量的抗裂防水剂,由于混凝土的膨胀可补偿混凝土的冷缩和干缩,可显著地减少 $|\alpha T|$, 从而延长伸缩缝的间距^[2]。

5 原材料优选及配合比设计

5.1 混凝土原材料技术要求

原材料是质量源头,必须符合相关国家标准的要求,

并对实际使用的原材料抽样复检。

5.1.1 水泥

本工程应采用达到 GB 175—2007《通用硅酸盐水泥》中各项技术指标要求的强度等级为 42.5 的普通硅酸盐水泥。对水泥的以下性能进行一些控制:水泥细度:水泥不宜过细,水泥的比表面积不宜超过 350m²/kg,其最大比表面积也不宜超过 360m²/kg。使用时水泥的温度不宜超过 60℃。

5.1.2 掺合料

粉煤灰应符合 GB/T 1596—2017《用于水泥和混凝土的粉煤灰》规定,优先采用 I 级粉煤灰,不得采用高钙粉煤灰和 II 级以下的粉煤灰。矿渣粉应符合 GB/T 18046—2017《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》中 S95 级规定。

5.1.3 粗、细集料

砂应符合 GB/T 14684—2011《建设用砂》规定,应优先采用天然水洗 II 区中砂。石应符合 GB/T 14685—2011《建设用碎石、卵石》规定,采用 5~10mm、10~20mm 单粒级碎石二级配投料。

5.1.4 聚羧酸系高性能减水剂

符合 GB 8076—2008《混凝土外加剂》中高性能减水剂规定,应能够适应本工程大体积混凝土的要求。

5.1.5 膨胀剂

符合 GB/T 23439—2017《混凝土膨胀剂》中 II 型规定,水中 7d 限制膨胀率应不低于 0.050%。

5.2 混凝土配合比设计路线

在满足混凝土设计强度的情况下:①应遵循“以抗裂为主、综合耐久性指标优先”的设计原则,尽可能降低胶凝材料的总用量和水泥的用量;②控制单方混凝土中用水量;③选择合理的粉煤灰掺量;④采取控制混凝土凝结时间和温度应力调控的技术措施。

5.2.1 胶凝材料总量和水泥用量的确定

混凝土强度等级越高,水泥用量越大,混凝土的收缩也越大,因此实际混凝土配合比设计时,胶凝材料的总量和水泥本身的用量必须控制。按 GB/T 50476—2008《混凝土结构耐久性设计规范》中执行。

5.2.2 水胶比和单方混凝土用水量

本工程按以下原则控制:在保证混凝土和易性和混凝土强度的前提下,尽量降低混凝土的水胶比,C40 混凝土的水胶比不宜大于 0.40。根据基本以上原则,实际工程单方混凝土中的用水量一般不超过 175kg/m³。

5.2.3 粉煤灰掺量

本工程大体积混凝土普遍,混凝土中粉煤灰的掺量宜 30%~45% (占胶凝材料总量),并依据施工季节和混凝土试配情况确定混凝土掺量,春季宜 30%~40%,夏季高温季节宜 35%~45%。

5.2.4 混凝土限制膨胀率

混凝土限制膨胀率参建 JGJ/T 178—2009《补偿收缩混

凝土应用技术规程》要求。

5.2.5 混凝土坍落度损失与保坍时间调控试验

混凝土试配时，必须进行坍落度损失试验，并根据运输+泵送的所需的总时间进行调控，确保混凝土泵送顺利，严禁混凝土运输和泵送期间出现加水现象。

5.2.6 泵送混凝土

现场采用泵送混凝土，混凝土入模坍落度控制在 $180\pm 20\text{mm}$ 。

6 施工阶段主要抗裂措施

6.1 混凝土不均匀温度应力控制——大体积混凝土裂缝控制

本工程的混凝土温度应力控制是本工程裂缝控制的关键，温度应力控制必须从混凝土原材料、混凝土配合比设计、施工顺序和体量、养护措施等多方面、全方位进行。所以大体积混凝土结构应设测温点，全面监控结构内部温度变化，采取有效措施进行降温，避免温度应力产生的裂缝。

本工程采用60d抗压强度作为混凝土验收强度。中国北京地区采取普通硅酸盐水泥，掺加大量的粉煤灰、膨胀剂补偿收缩、采用减缩型的聚羧酸高性能减水剂，配合比设计时采用低胶凝材料和低水胶比原则来控制混凝土的干缩和水化热引起的温度应力，混凝土浇筑时，严格控制混凝土入模温度，不超过 30°C ，有效降低大体积混凝土的中心温度峰值，延缓峰值的出现时间，将温度应力的危害降到最低，从而控制混凝土的裂缝。

6.2 控制混凝土收缩的措施

6.2.1 材料措施

①掺加膨胀剂配制补偿收缩混凝土，膨胀剂掺量：依据JGJ/T 178—2009《补偿收缩混凝土应用技术规程》中规定的混凝土限制膨胀率确定膨胀剂掺量。

②采用减缩型和温控型聚羧酸高性能减水剂减少混凝土的干缩和温度收缩。

③采用普通硅酸盐水泥+粉煤灰大掺量的混凝土技术路线，控制混凝土的温度应力。

④根据以前大量的超长结构无缝施工工程的经验，使用满足GB 23439—2017《混凝土膨胀剂》中规定的Ⅱ型膨胀剂（限制膨胀率大于0.050%），其特点是膨胀率高、掺量低。采用Ⅱ型的膨胀剂。预计掺量加强带内8%，带外6%。

膨胀剂的掺加方法为替代胶凝材料的总量，计算方法如下：

掺加方法：膨胀剂掺量 $\% = \frac{\text{膨胀剂}}{\text{膨胀剂} + \text{水泥} + \text{掺合料}} \times 100\%$

6.2.2 采用膨胀加强带及跳仓法施工工艺

采用JGJ/T 178—2009《补偿收缩混凝土应用技术规程》中的超长结构混凝土施工技术，膨胀加强带取代后浇带，以及GB 50496—2018《大体积混凝土施工标准》中的“跳仓法”，利用施工缝替代“后浇带”，尽可能减少后浇带的数量。如

表1所示。

表1 补偿收缩混凝土浇筑方式和构造形式

结构类别	结构长度 L (m)	结构厚度 H (m)	浇筑方式	构造形式
墙体	$L \leq 60$	—	连续浇筑	连续式膨胀加强带
	$L > 60$	—	分段浇筑	后浇式膨胀加强带或后浇带
板式结构	$L \leq 60$	—	连续浇筑	—
	$60 < L \leq 120$	$H \leq 1.5$	连续浇筑	连续式膨胀加强带
	$60 < L \leq 120$	$H > 1.5$	分段浇筑	后浇式、间歇式膨胀加强带或后浇带
	$L > 120$	—	分段浇筑	后浇式、间歇式膨胀加强带或后浇带

注：①不含现浇挑檐、女儿墙等外露结构。②强约束板式结构（如桩基础的底板）宜采用分段浇筑方式。

膨胀加强采用间歇式膨胀加强带及后浇式膨胀加强带，具体做法如下：间歇式膨胀加强带封闭时间间隔不小于7d（部分不小于14d），跳仓法施工缝封闭时间不小于7d，后浇式膨胀加强带封闭时间间隔不小于30d。重新划分膨胀加强带及跳仓法施工缝，工程中央站房筏板基础共分为41个流水段。

6.3 超厚结构施工

①通过对配合比的热工计算，混凝土最厚浇筑厚度控制在5m。

②对于部分超厚结构，采取分多次浇筑的方法，降低每次浇筑的厚度，以达到降低混凝土中心温度的目的，来控制温差，两次浇筑之间留设了施工缝。下层已经浇筑混凝土处在升温阶段时，不得浇筑上层混凝土，且上层大体积混凝土需待下部浇筑完成6天后浇筑。

③普通深度承台在柱脚处留设施工缝，先浇筑柱脚以下混凝土，再一次性浇筑柱脚至柱墩顶混凝土。

④结构超厚的承台，经过计算，中心水化热温度较高，所以承台底至柱墩顶分三次浇筑，第一次浇筑至柱脚，第二次浇筑至筏板底标高，第三次浇筑至承台顶。

⑤条形基础：条形基础梁分两次浇筑。

⑥水平施工缝处理：施工缝处混凝土二次浇筑前，剔除混凝土表面的砂浆软弱层并露出坚实石子，用气泵将杂物吹净，较难清理的部位用吸尘器将杂物吸出。浇筑混凝土前先铺一层30mm厚的与墙体混凝土同强度等级的减石子水泥砂浆。当原混凝土的强度达到1.2MPa后方可浇筑新混凝土。

6.4 大体积混凝土温度指标

大体积混凝土入模温度控制在 $5^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ ；浇筑体在入模温度基础上的温升值不大于 50°C ；控制混凝土中心最高温度不超过 70°C ；混凝土里表温差不大于 25°C ；降温速率不大于 $1.5^{\circ}\text{C}/\text{d}$ ；拆除保温覆盖时混凝土浇筑体表面与大气温差不大于 20°C 。

6.5 混凝土的浇筑与振捣

根据GB 50496—2018《大体积混凝土施工规范》中规

定分层浇筑与振捣。

6.6 混凝土试块留置

按规范要求留置标准养护试件、抗渗试件、限制膨胀率试件、冬期施工增加试件、耐久性检验评定。

7 保温保湿养护方法

基础大体积混凝土采用保温保湿养护,其基本控制措施如下所示:①板类结构的养护方法:因为本工程混凝土大量掺用减水剂,早期收缩大,梁板极易产生收缩裂缝,所以本工程在混凝土初凝前采用二次抹压技术,并在混凝土初凝时(表面失水前)既开始进行养护。混凝土在二次收面时采取边抹压边覆盖塑料薄膜及土工布方式进行养护,塑料薄膜紧贴混凝土裸露表面,严防混凝土出现脱水和收缩裂缝。养护时间 14d。②基础梁及柱墩侧面混凝土养护方法:侧面带模养护 3 天,3 天以后拆除模板立即覆盖土工布,并洒水养护 11d,总养护时间 14d。③根据测温情况,及时调整养护措施,当里表温差超过 25℃时,采取增加混凝土表面覆盖保温被措施,控制混凝土表层温度散失过快。④保温层的拆除要逐步进行,当混凝土表面的温度与环境最大温差小于 20℃时,可全部拆除。⑤浇水养护应控制水温,水的温度与混凝土表面温度的温差不大于 20℃。⑥冬期施工期间,增加保温被覆盖保温措施。

8 温度监测和控制

8.1 测温方法及原则

本工程测温采用建筑电子测温仪进行测温,可直观、准确、快捷地显示被测温度。每支测温线可测一点温度。温度传感器在安装前,必须在水下 1m 处经过浸泡 24h 而不损坏。重要部位、超厚结构采用自动化监测系统。布设原则为沿混凝土浇筑体厚度方向。

8.2 工艺流程

布置测温点→确定测温点的深度→选择合适的测温线→预埋测温线→浇筑混凝土→进行测温施工,每支测温线的插头都应贴有相应长度规格的标签。

8.3 测温点的布置

超长混凝土浇筑体内监测点的布置,应真实地反映出混凝土浇筑体内最高温升、里表温差、降温速率及环境温度;可按下列方式布置:

- ①监测点的布置范围应以所选混凝土浇筑体平面图对称轴线的半条轴线为测试区,在测试区内监测点按平面分层布置。
- ②在测试区内,监测点的位置与数量可根据混凝土浇筑体内温度场分布情况及温控的要求确定。
- ③对于具有对称轴线的结构,在每条测试轴线上,监测点不少于 4 处;对于非对称结构浇筑体,应根据结构的几何尺寸布置。

④沿混凝土浇筑体厚度方向,必须布置表层、底面和中心温度测点。小于 2.5m 厚的结构布置 3 层测点,2.5~5.0m 布置 5 层测点,5m 以上的布置 7 个测点。

⑤保温养护效果及环境温度监测点数量应根据具体需要确定。

⑥混凝土浇筑体的外表温度,为混凝土外表以内 50mm 处的温度。

⑦混凝土浇筑体底面的温度,为混凝土浇筑体底面上 50mm 处的温度。

⑧选择合适的测温线:测温线的长度=测温点的深度+300mm。

⑨预埋测温线:将测温线绑在支撑物(支撑物采用螺纹钢加垫块)上,在浇筑混凝土前将绑好测温线的支撑物绑扎固定到钢筋网上,温度传感器处于测温点位置,插头留在混凝土外面并用塑料袋罩好,避免潮湿,保持清洁。

⑩混凝土浇筑过程中,下料时不得直接冲击测温线;振捣时,振捣器不得触及测温线。

8.4 温度控制指标及测温频率

安排专人对底板大体积混凝土进行温度监测,掌握混凝土水化热温升情况。大体积混凝土测温监测要求如下^[1]:

①混凝土的入模温度监测,每车均应测量。在混凝土浇筑后,每昼夜温度监测不得少于 4 次。每次间隔时间为 6 小时,分别为每天 6:00、12:00、18:00、24:00。测温终止时间为浇筑体表面以内 50mm 位置的温度与环境温度的差值小于 20℃。

②混凝土浇筑体在入模温度基础上的温升值不得大于 50℃。

③混凝土的里表温度差(不含混凝土收缩的当量温度)不得大于 25℃,预警温度设为 20℃。

④混凝土浇筑体的降温速率不得大于 1.5℃/d。

9 结语

大体积混凝土采用上述施工技术,减少了后浇带的设置,同时进行的温度监测均满足规范要求,试块各项性能满足规范要求,混凝土同步回弹满足规范要求,碳化深度满足耐久性要求,保证了工程质量,同时降低了工程成本,加快了工程进度,提高了工程效率,值得供后续工程借鉴。

参考文献

- [1] 庞程程,付敏,王刚,等.大型国际航站楼超长、大体积混凝土结构的跳仓法施工技术[J].建筑施工,2020,42(7):1169-1170+1177.
- [2] 于国权,李杨,卢志聪,等.中建二局第四建筑工程有限公司.超长超大体积混凝土结构跳仓法技术实践与应用施工技术[Z].天津市技术产权交易有限公司,2020-04-30.
- [3] 贾学礼.土木建筑工程中大体积混凝土结构施工技术探讨关键探索[J].门窗,2019(6):55+57.