

[摘要]通过对天津和黄地铁广场工程基础底板施工技术研究,系统总结了超高层基础底板大体积混凝土综合施工技术,包含大体积混凝土配合比设计技术、自身温度试验技术、不同掺和料对混凝土内部温度影响、场地狭窄条件下混凝土浇筑施工组织设计,以及大体积混凝土养护方式和保温层揭开时间探索等关键技术。具体的测温数据表明矿粉的活性高于粉煤灰;底板混凝土浇筑过程中,要正确处理泌水问题;保温养护需控制混凝土内部最高温度,中心与表面温差、表面与环境温差,降温速率等指标。

[关键词]超高层建筑;基础底板;大体积混凝土;配合比;保温养护;施工技术

## 1 工程概况

天津和黄地铁广场工程位于天津市和平区南京路,总建筑面积325 056m<sup>2</sup>,结构形式为型钢混凝土组合结构,地下4层,地上49~57层,建筑物最大高度258m,为超高层建筑。

该工程基础底板厚度大,其中厚度达3.0m及以上的底板面积约为7 500m<sup>2</sup>,部分区域厚度达3.5m,混凝土强度等级及抗渗等级为C45P10,底板混凝土总量约3.4万m<sup>3</sup>。

## 2 工程特点及难点

1)底板厚度大、混凝土强度等级高、施工技术难度大,属典型的大体积混凝土工程。对于底板厚度达到3.5m,混凝土强度达到C45,目前国内并无成熟的施工经验可供借鉴,因此如何有效地控制大体积混凝土有害裂缝的出现和发展,控制混凝土的水化温升、延缓降温率、减小混凝土收缩、提高混凝土的极限拉伸强度、改善约束条件和设计构造等,是底板混凝土施工的技术难点。

2)混凝土一次浇筑量大,现场场地狭窄,施工组织难度大。本工程底板厚度大、面积大,底板混凝土总量约3.4万m<sup>3</sup>,一次浇筑的混凝土量最大为9 214m<sup>3</sup>,因本工程场地十分狭窄,现场最多只能布置5台混凝土泵,场内、外交通拥挤,混凝土浇筑过程中的施工组织难度大,需从混凝土供应、机械、人员、施工区段划分、现场浇筑平面布置以及场内外交通协调等进行精心组织,细化管理,消除场地狭窄带来的负面影响,才能保证大体积混凝土按计划顺利、连续浇筑。

## 3 混凝土配合比设计

### 3.1 大体积混凝土配合比设计原则

按标准养护60d达到普通混凝土标准养护28d等效强度进行配合比设计和强度评定。混凝土配合比中加大粉煤灰的掺量,以减少水泥用量,并掺入减水剂、膨胀剂等外加剂,配制高性能混凝土,降低水泥水化放热量、延缓水化热释放速度。并提前进行混凝土配合比试验,通过试验确定混凝土的抗压强度及抗渗性能是否满足设计要求。

### 3.2 原材料要求及配合比选择

粗骨料优先选用粒径5~40mm的碎石,砂优先选用河砂(目的是使混凝土级配合理,人工砂过细),选用饮用水(条件允许可选井水,温度低,但必须经过检验),掺和料尽量全部采用粉煤灰,少用或不用矿粉,目的是粉煤灰对混凝土后期强度增长作用很大,矿粉水化热大于粉煤灰,活性高加快水化反应,且增加混凝土的黏度,使混凝土不宜泵送,根据混凝土搅拌站实际情况确定。水泥用量:水泥+膨胀剂≤300kg/m<sup>3</sup>,水泥+膨胀剂+粉煤灰+矿粉≤450kg/m<sup>3</sup>,也可根据搅拌站实际情况确定。单方石用量宜≥1 070kg/m<sup>3</sup>,也可根据搅拌站实际情况确定,目的是防止过振混凝土分层,增加混凝土骨架。入泵混凝土坍落度(160±20)mm,目的是减少混凝土收缩。

根据混凝土配合比设计原则及原材料要求,本工程底板混凝土选择如表1所示的两种配合比。

大体积混凝土保湿保温覆盖材料:先严密覆盖一层塑料薄膜,其上再覆盖总厚度为3cm<sup>5</sup>的工业毛毡保温。按上述养护条件,对第2种混凝土配合比进行热工计算。结果表明:混凝土中心最高温度未超过80℃,采用保湿保温养护措施,混凝土中心与表面温度差在各个龄期均没有超过25℃,降温速率小于3℃/d,且应力计算结果显示抗裂安全度均没有超过1.15。因此,在理论上可以说明采用上述配合比的大体积混凝土在整个养护龄期中不会产生贯穿结构的温度裂缝。

## 4 温度试验

为了给基础底板混凝土顺利浇筑提供可靠依据,确保混凝土施工质量,根据专家指导意见,施工部署时安排底板1-2段最先浇筑混凝土,利用底板自身进行混凝土温度试验。在底板内预埋设降温水管和循环水系统,当混凝土内部温度发展



与内外温差变化在控制值之内时,降温水管内循环水无需启动,以此检验大体积混凝土内部温度变化发展与方案理论计算的偏差,混凝土配合比是否合理,温度控制措施是否合理、有效,从而控制大体积混凝土有害裂缝的出现和发展。

#### 1)降温水管工作原理

为控制混凝土内水化热释放引起的高温升,在底板中部预埋 1 层焊接钢管。混凝土养护阶段,当混凝土中心温度超过 80℃时,或混凝土保温措施不合理,造成混凝土内外温差超过 25℃,及时启动埋在混凝土内部降温水管的循环水系统,将混凝土内部热量带出释放到空气中,以达到降低混凝土内水化热的目的。根据混凝土内部的测温数据,及时调整预埋水管内水的流量,热量流失应控制在每日降低不超过 3℃。

#### 2)降温水管及循环水系统安装

在基础底板 1 区 1-2 段内部埋设 A50 焊接钢管(连接方式为焊接)作为混凝土降温水管(见图 1),按同类工程经验,在底板中间布置 1 道,水平方向基本间距为 2 000mm,布置 5 个循环水系统,出口处安装管道泵强制循环,流量约为 8~10m<sup>3</sup>/h。

表 1 C45P10 混凝土配合比

Table 1 Mix proportion of C45P10 concrete

配合比 编号		水泥	粉煤 灰	膨胀 剂	矿粉	水	砂	石	外加 剂	减水 剂
配合 比 1	掺量/ (kg/m <sup>3</sup> )	235	205	0	0	185	682	1 114	11	—
	比例	1	0. 872	0	0	0. 787	2. 902	4. 740	0. 047	—
配合 比 2	掺量/ (kg/m <sup>3</sup> )	233	95	37	71	185	755	1 030	—	8. 3
	比例	1	0. 408	0. 159	0. 305	0. 790	3. 240	4. 420	—	0. 036

注:水泥均为 P·O 42.5 普通硅酸盐水泥

施工中在底板厚度≥3.0m 的区域采用两种配合比的混凝土(同一施工段内只采用一种)。测温记录反映,混凝土浇筑完毕养护期间,全部掺粉煤灰的混凝土中心最高温度为 68.5℃,掺粉煤灰+矿粉的混凝土中心最高温度为 73.3℃。

测温表明,混凝土配合比在水泥用量相同的情况下,掺粉煤灰+矿粉的混凝土中心最高温度要比只掺粉煤灰的混凝土中心最高温度高出约 5℃。两种配合比混凝土在同一工程底板大体积混凝土施工中的应用为工程的创新点,用具体的测温数据证明了矿粉的活性高于粉煤灰。

### 5 大体积混凝土浇筑施工组织设计

#### 5.1 底板施工段划分

根据后浇带及加强带的设置位置,合理划分底板施工区段,根据实际情况布置混凝土输送泵,以控制每次混凝土浇筑时间在 48h 内完成,消除现场狭窄、场内外交通拥挤带来的不利影响。结合底板结构布局特点,在基础底板施工阶段将底板分为 3 大施工区,11 个流水施工段。办公楼所在区域为一区,3 座公寓楼所在区域为二区,底板厚度≤1 000mm 区域为三区(主要为商业裙楼)。底板施工区段划分如图 2 所示。



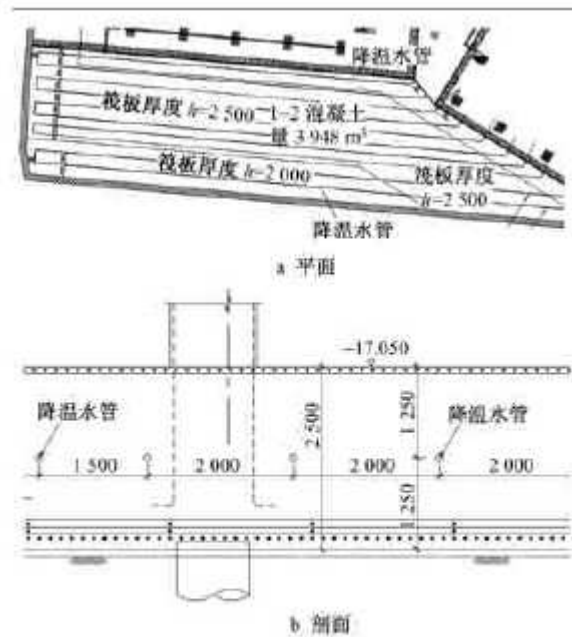


图 1 底板 1-2 段降温水管布置

Fig. 1 Partial cooling pipes arrangement for floor

在上述总体施工顺序安排中,将 1-2 段混凝土浇筑安排在所有底板混凝土浇筑施工的第 1 段,有很强的代表性。该段位于 4 栋塔楼之外的区域,结构重要性较其他区域底板略低,最大底板厚度为 2.5m,混凝土浇筑量约为 1-1 段的 1/2。该段混凝土浇筑对方案编制的合理性和现场组织、管理的科学性是一次验证,所暴露的技术问题、现场组织问题等能够及时纠正,在 4 栋塔楼等重要底板区域混凝土浇筑时能够得到改进,这对底板混凝土整体施工质量是一个有效的预控措施。

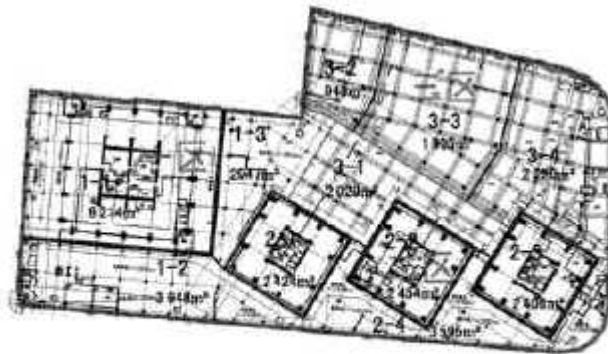


图 2 底板施工区段划分

Fig. 2 Partition of construction section for floor

## 5.2 施工要点

1)本工程基础底板,每一段混凝土量均为大体积混凝土,对混凝土的供应要求必须及时,故本工程基础底板浇筑前,必须对混凝土搅拌站进行考查,组织多家混凝土搅拌站为本工程基础底板提供混凝土,并在基础底板浇筑前到各搅拌站调查供应准备情况。

2)严格控制原材料,水泥进场静置 7d 以上,粉煤灰 3d 以上,使水泥和矿物掺和料温度不大于 40℃,目的是控制混凝土拌合温度。每段混凝土浇筑时,从第 1 辆混凝土罐车到达浇筑地点算起,应连续测定 5 辆车内混凝土拌合物的坍落度、温



度,观察其和易性,不得存在离析、泌水、分层等现象。当测定的混凝土拌合物稠度和温度稳定后,应每隔 2h 测定一次。在底板初始浇筑时,由于板较厚(2~3.5m),泵管布置时,将泵管初始出口紧贴地下连续墙或快易收口网,浇筑时混凝土从泵管输出后沿地下连续墙或快易收口网表面流淌到作业面,以减少自由落差,防止混凝土离析、分层。

混凝土铺设采用斜向分层浇筑法,每层控制在 500mm 厚左右,每层覆盖幅度控制在 10~15m 左右。混凝土浇筑时,注意严防其它部位混凝土进入后浇带内,以免影响设置效果。浇筑混凝土前的润管砂浆必须弃置,拆管、排除故障或其它原因造成废弃混凝土严禁进入工作面,严禁混凝土散落在尚未浇筑的部位,以免形成潜在的冷缝或薄弱点,对作业面散落的混凝土、拆管倒出的混凝土、润管浆等应吊出场外。在后浇带位置留设下人孔,浇筑大底板混凝土时,施工人员通过下人孔进入底板内进行振捣。

3)在浇筑过程中,混凝土会出现泌水现象。为处理泌水,后浇带拦设使用可透水的快易收口网,浇筑混凝土时从地下连续墙一侧往后浇带一侧铺设,混凝土泌水可顺铺设方向流到后浇带内,在后浇带内设置集水坑,集水坑内放置水泵往外抽水。

## 6 混凝土养护

大体积混凝土保湿、保温养护是确保基础底板混凝土施工质量的一项重要措施。养护期内大体积混凝土表面温度较高(一般为 30~60℃),若保湿养护措施不当或覆盖不严密,混凝土表面水分散失较快,极易产生干缩裂缝,造成混凝土表面质量缺陷。

大体积混凝土保温养护需要控制以下 3 个温度指标:①混凝土内部最高温度控制在 80℃内(该项主要由混凝土配合比控制);②混凝土中心与表面温差、表面与环境温差均不能超过 25℃;③降温阶段混凝土降温速率小于 3℃/d。

若保温养护措施不当,大体积混凝土内外温差超过 25℃时可能产生贯通结构的有害裂缝,造成严重工程质量问题,给结构安全带来隐患。

本工程大体积混凝土养护方案为:混凝土表面先严密覆盖一层塑料薄膜进行保湿养护,再严密覆盖总厚度 30mm 的工业毛毡(单层毛毡厚度如按 5mm 计算,共需 6 层)保温养护。保湿养护用塑料薄膜优先选用厚度较薄的一次性薄膜,相邻两幅塑料薄膜接缝处需搭接,搭接宽度不小于 200mm,以保证不漏气。墙柱插筋内部及根部、突出底板的预埋件位置、集水坑位置及底板边角等部位的塑料薄膜要精心覆盖严密,不漏气。塑料薄膜覆盖时若混凝土表面水分散失较多、发白,可用喷壶喷洒少量水后再覆盖。

塑料薄膜覆盖完毕后,立即进行保温养护覆盖,保温养护材料为工业毛毡,也可以采用其他厚度较厚的保温材料,但必须是环保、阻燃型,且保温层总厚度不得小于 30mm。后浇带外侧(快易收口网表面)也应覆盖保温层。保温材料覆盖完毕后,表面用脚手板、大直径钢筋等压住,以防刮风掀开。

测温记录表明,底板厚度达 2.5m 的大体积混凝土降温过程非常缓慢,其中心温度降到与表层温度基本接近(温差小于 5℃)需要 1.5 个月以上的养护时间,若按该条件确定大体积混凝土保温层的揭开时间,将会对施工工期造成较大影响。

经摸索、总结,本工程大体积混凝土保温养护覆盖材料揭开时间遵循如下原则:①必须满足抗渗混凝土保湿养护要求,不得少于 14d;②可参照冬期施工技术规程相关要求:混凝土表面温度与大气温度差小于 20℃后方可将覆盖材料揭开,进入冬期施工后,还应满足混凝土表面温度冷却到 5℃后方可拆除保温层的要求。在满足上述基本条件后,综合考虑气温、混凝土实际强度、下一步施工的紧迫性等因素,可最终确定保温层具体揭开时间。

本工程大体积混凝土浇筑时间为 10 月下旬~11 月 15 日,按上述原则,保温层揭开时混凝土实际保温养护时间约有 20d,经现场仔细观察,混凝土表面并没有出现因温度引起的有害裂缝及其他裂缝,混凝土浇筑完毕初期个别部位因保湿养护不到位出现的失水干缩裂缝也没有发展,证明按上述原则确定的大体积混凝土保温层揭开时间正确。

## 7 结语

1)天津和黄地铁广场工程基础底板完全按计划顺利完成,其中 1-1 段 9 100m<sup>3</sup>混凝土在狭窄的施工场地一次性整体连接浇筑成功,底板未出现温度裂缝,大体积混凝土施工质量得到了保证。

2)超高层大体积混凝土综合施工技术的应用,大量降低了混凝土中水泥用量,从而有效地降低了混凝土在水化过程中的最高温度,解决了大体积混凝土施工中由于混凝土内部温度过高易产生有害裂缝的难题,混凝土内无需埋设降温水管,降低了工程成本。



3)大体积混凝土保温养护覆盖材料揭开时间的确定原则为大体积混凝土保温养护材料揭开时间理论研究做出了成功探索,并为下道工序的尽快插入争取了时间;大体积混凝土浇筑精心组织、合理安排,保证了浇筑施工整体连续进行,为今后同类工程大体积混凝土浇筑提供了借鉴。

参考文献:

[ 1 ]冯永红.超长大面积混凝土裂缝控制技术[J].施工技术,2002,31(4).

Feng Yonghong. Crack control technique of ultra-long large-area concrete[J]. Construction Technology, 2002, 31(4). (in Chinese)

[ 2 ]任乐民.邯郸大世界商城基础底板大体积混凝土施工技术[J].施工技术,1999,28(5).

Ren Lemin. Construction technology for mass concrete of foundation base plate of Handan Big World Department Store building[J]. Construction Technology, 1999, 28(5). (in Chinese)

[ 3 ]窦汉安,韩大富.陕西信息大厦主楼承台大体积混凝土施工技术[J].施工技术,2000,29(5).

Dou Han'an, Han Dafu. The construction technology of mass concrete in cushion cap of main building of Shaanxi Information Mansion[J]. Construction Technology, 2000, 29(5). (in Chinese)

[ 4 ]林华.福州平安大厦基础底板大体积混凝土施工技术[J].福建建材,2001,(2).

Lin Hua. Construction technology for mass concrete of foundation base plate of Fuzhou Ping'an Building[J]. Fujian Building Material, 2001, (2). (in Chinese)

[ 5 ]张长涛.福建广播电视中心基础底板大体积混凝土施工技术[J].福建建筑,2006,102(6):119-121.

Zhang Changtao. The construction technology of mass concrete of foundation slab in Fujian Province Broadcast and Television Center engineering[J]. Fujian Architecture & Construction, 2006, 102(6): 119-121. (in Chinese)

