

# 超高层建筑大体积混凝土底板连续无缝浇筑施工工法

工法编号：ZJ1GF-444-2012

编制单位：中建一局集团建设发展有限公司

主要执笔人：周予启、周宇、卜楠楠、李洪海、付恩涛

## 1 前言

随着国民经济的迅猛发展，越来越多的超高层建筑不断涌现，其中不乏 600 米以上的摩天大楼。为了集合各项建筑功能，超高层结构多为一个（或多个）主塔楼与裙楼相结合的设计形式。对于超高层建筑的基础设计往往采用桩筏基础，下部为工程桩，上部为平板式筏基，即通常所说的基础底板。常规 200 米以上的超高层建筑，其底板厚度多为 2m~4m，混凝土方量在 1.5 万 m<sup>3</sup> 左右，属于大体积混凝土施工范畴，而随着建筑高度的不断攀升，底板厚度不断加厚，混凝土方量也不断增加，以 660 米高的平安金融中心为例，主塔楼底板厚度达到 4.5m，混凝土方量近 3 万 m<sup>3</sup>，混凝土施工质量要求很高，施工难度较大。

大体积混凝土底板的连续无缝浇筑施工，可以减少底板上的施工缝，底板混凝土结构的整体性更好；同时，由于减少了施工缝留设等措施，相应的措施费用、操作人员费用、组织成本也大大降低。但是，大体积混凝土浇筑过程中如若技术准备不充分、施工管理不到位，也极易出现浇筑冷缝、温度裂缝、强度不合格等严重影响结构质量安全的问题。

目前我国现行的《大体积混凝土施工规范》（GB50496-2009）中对于大体积混凝土施工过程中的原材料、配合比、混凝土施工、测温及养护等措施都有明确的规定和要求，但是如何将如此大体量的混凝土底板在确保质量的前提下一次浇筑施工完成，还需要一套系统、科学、实用的施工工艺方法来进行指导。对此，我们在平安金融中心工程大底板连续无缝浇筑技术攻关的基础上，结合以往类似工程的施工经验，总结出超高层建筑大体积混凝土底板连续无缝浇筑施工的工法，针对施工过程中的混凝土配合比设计优选、施工前准备、现场施工组织、混凝土浇筑施工、混凝土测温及养护等内容进行了详细阐述。

## 2 工法特点

2.1 利于保证大体积混凝土底板的整体性。由于采用连续无缝一次浇筑完成的方法，整个基础底板的整体性较好，保证了其受力和质量要求。

2.2 混凝土的浇筑质量有保证。采用科学方法进行混凝土配合比设计和试验，并进行必要的验算分析，可有效的控制混凝土温升，避免温度裂缝的产生；通过合理的施工组织，将大体量混凝土

一次性浇筑完毕，能有效的控制混凝土供应厂家提供材料的一致性，减少混凝土强度的离散性，保证底板施工质量。

2.3 节省工期。大体积混凝土底板连续无缝浇筑方法较常规分块跳仓施工方法可避免混凝土浇筑的间隔时间，大大地缩短工期。

2.4 节约成本。混凝土底板连续无缝一次浇筑完成，可避免施工缝和温度后浇带的设置，减少模板支设量和多次浇筑措施，大大节约了施工成本。

### 3 适用范围

适用于所有超高层主体结构的大体积混凝土基础底板施工，对于按照传统工艺需设置温度施工缝并采用跳仓法施工的超长、超厚大体积混凝土底板尤其适用。

### 4 工艺原理

超高层建筑大体积混凝土底板连续无缝施工技术是通过正交设计及试配试验确定大体积混凝土的配合比，利用足尺模型试验和数值模拟分析检验配合比的可靠性，判断该配合比下的高性能混凝土是否满足抗裂能力、强度和耐久性等多方面的要求，然后通过科学合理的现场施工组织、采用整体斜面分层推移式浇筑方法实现超大、超厚、大体积混凝土的无缝连续一次性浇筑，并通过及时可靠的保温养护和温度监控措施有效降低混凝土的开裂风险，实现超长（超过 88m）混凝土连续浇筑而不用设置温度后浇带，保证混凝土的施工质量达到良好的效果。

## 5 施工工艺流程及操作要点

### 5.1 施工工艺流程

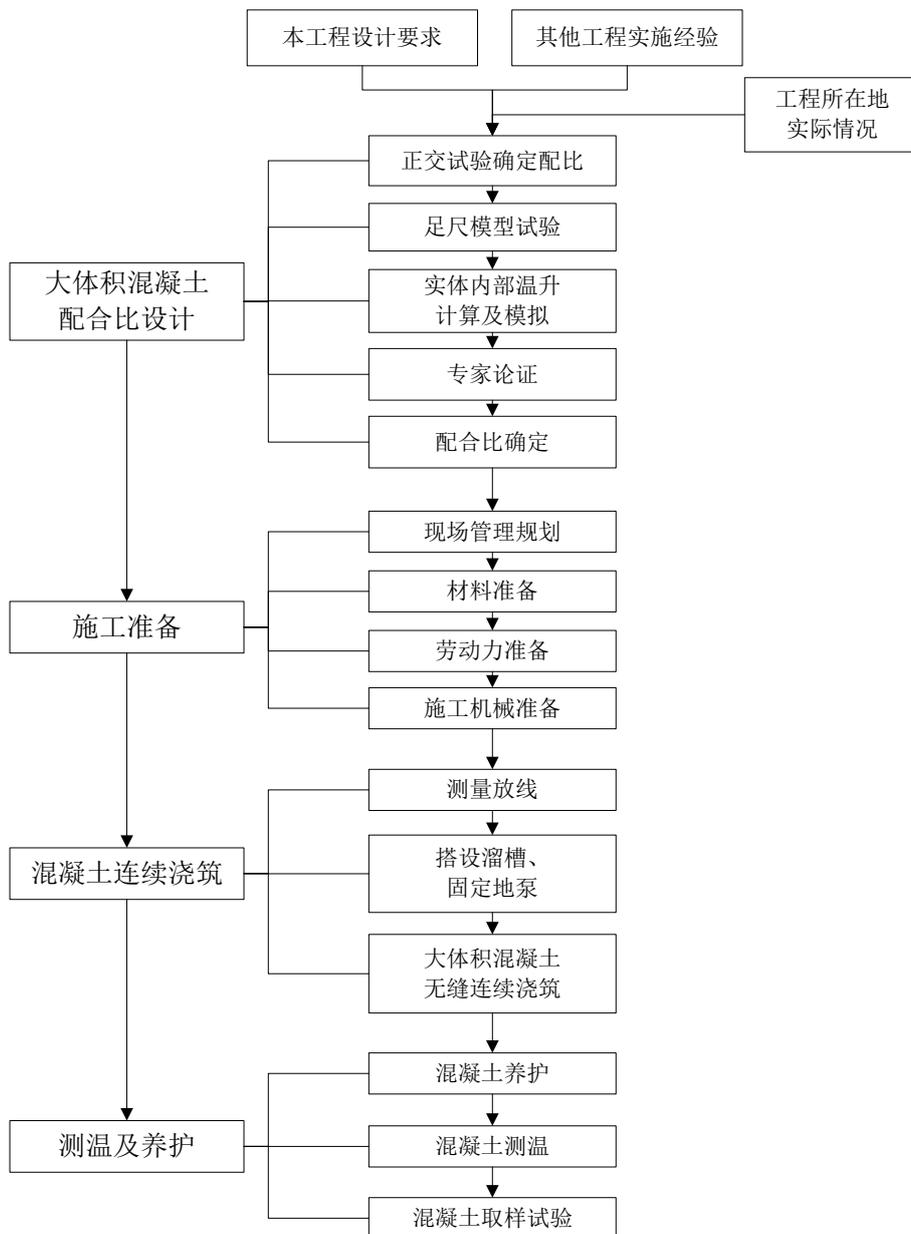


图 5.1.0 大体积混凝土底板无缝连续浇筑工艺流程

### 5.2 施工操作要点

#### 5.2.1 原材料的选择

配制底板大体积混凝土所用的水泥、粉煤灰、骨料、外加剂以及拌合水等原材料的质量均应符合现行国家标准的有关规定。材料进场时应对品种、等级、标准、日期等进行必要检查，并对其相应的性能指标进行复检。

#### 5.2.2 混凝土配合比设计及足尺模型试验

(1) 配合比正交试验设计

大体积混凝土底板配合比采用正交法进行设计，并进行相应的试配试验，设计过程中应遵循现有国家标准及工程的具体要求，并参考类似工程施工经验。设计过程中应根据实验结果初步判定不同因素、水平对混凝土目标功能的影响幅度，初步选出合理的混凝土配合比。在正交设计试验时，选用水泥品种、水胶比、胶凝材料用量和粉煤灰掺量等4个参数作为正交设计试验的影响因素，水胶比、胶凝材料用量和粉煤灰掺量各设定4个水平，水泥品种设定2个水平。

根据相关规范规定及类似工程经验确定因素水平表，并以混凝土的3d、7d、28d和60d抗压强度作为指标，如表5.2.2-1所示。

表5.2.2-1 因素水平表

水平	试 验 因 素			
	A. 胶凝材料用量(kg/m <sup>3</sup> )	B. 粉煤灰掺量(占胶凝材料的%)	C. 水胶比	D. 水泥品种
.....	.....	.....	.....	.....

根据因素水平表选用五因素四水平正交表L16(4<sup>5</sup>)，将A排在第1列，B排在第2列，C排在第3列，D排在第4列，如表5.2.2-2所示。

表5.2.2-2 正交设计试验安排表

试验号	A. 胶凝材料用量(kg/m <sup>3</sup> )		B. 粉煤灰掺量(占胶凝材料的%)		C. 水胶比		D. 水泥品种	
	列号	用量	列号	百分比	列号	水胶比	列号	品种
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

通过正交试验结果，对比混凝土强度、水泥水化热、混凝土抗渗性、弹性模量和收缩等条件，优选后确定进行足尺模型试验的配合比。

(2) 足尺模型试验

足尺模型尽量设置在现场，或者与现场施工气候、地质条件相同的位置，试件尺寸选用与底板厚度一致的立方体模型。底面采用与实际底板相同的处理方法；侧壁包括泡沫塑料保温层和夯实土层；上表面采用与实际基础底板施工时相同的养护方法。为检测混凝土材料在施工期间的温差收缩变形和抗裂性能，模拟试块只在上表面和侧壁配置构造筋，其余部位不配钢筋。

足尺模型四周需设置密闭保温棚，同时为模拟高温地区实际浇筑时的气温情况，棚内可采取相应的加热措施。保温棚内放置混凝土温度匹配养护箱，使养护箱内的混凝土试块的温度养护条件与混凝土足尺模型内部温度变化相匹配。足尺模型上设置温度传感器，传感器应布置在模型的1/4区域，平面呈放射状布置，竖向沿模型顶部到底部均匀排布，并且在下部基础内对应模型的中心点、外边

中点和角部位置增加设置。

模型试块混凝土浇注时，用混凝土泵车泵送施工，进行一次性连续浇注。浇注后，用木杠刮平、搓平，表面无水后覆盖塑料薄膜及保温草帘被，以保持表面温度。终凝后洒水养护，始终保持混凝土表面足够湿润。

模拟试验期间，实时监测环境和混凝土内部温度与应变的变化情况，并根据混凝土性能检测结果，进行混凝土试块的温度应力场数值模拟。根据监测数据和数值模拟分析结构内部应力分布，评价实际结构的开裂风险。

整个试验持续60天整。通过对足尺模型内部的结构温度、应变情况和同条件试块的强度、抗渗性结果等因素的分析，最终确定合适的配合比作为施工配合比。

### 5.2.3 施工准备

大体积混凝土底板无缝连续浇筑的施工准备应该从人、机、料和现场施工组织等多个方面进行统筹准备。

#### (1) 人员准备

现场施工人员主要为混凝土工、架子工、木工、抹灰工、杂工、交通指挥人员和管理人员，工人上岗前应通过考核，确保均具备一定的专业技术水平。

#### (2) 机械准备

机械设备包括塔吊、混凝土泵、振捣棒、水泵、混凝土搅拌站生产运输设备等，在施工前应进行考察和测试，确保长时间的浇筑过程设备运转完好，如有损坏能及时更替，保证混凝土浇筑工作的顺利进行。

#### (3) 材料准备

施工材料包括主要原材和措施材料。原材为配制混凝土所需的材料，如水泥、粗细骨料、掺合料、外加剂等，在施工准备阶段，应确保重要的材料有足够的储量，尤其对质量影响较为关键的水泥、掺合料、外加剂等，更要提前备料，保证材料没有过大的离散性。措施材料为现场搭设溜槽、泵管架、防护等所需要的钢管脚手架、防护网等，还应包括混凝土浇筑过程中所需要的串筒、泵管等，应确保措施材料的质量、数量满足施工需要。

#### (4) 现场施工组织

现场施工组织包括场内、场外交通组织和场内平面布置。在场内合理规划出混凝土泵、溜槽的下料位置，以及混凝土罐车的运输路线，保证现场形成环路，并给混凝土备料车辆提供足够的等待场地。将每个卸料点编号，进行明显标识，浇筑期间罐车入口处调度员根据现场浇筑情况，指派罐车到相应浇筑点进行浇筑。场外交通需提前与相关政府部门协调，办理好相关道路占用手续。

## 5.2.4 大体积混凝土底板无缝连续浇筑

### (1) 测量放线

标高的测设：依据现场引入的水准点用水准仪和标尺将底板标高引测至基坑边并显著标识，对集水坑等特殊部位标高需重点控制。

轴线的投测：在底板筋绑扎前，投测完毕，主要是轴线及墙柱定位边线。

### (2) 搭设溜槽、固定地泵

由于在浇筑大体积混凝土底板时混凝土用量往往特别大，为加快浇筑的速度，同时兼顾安全适用、经济合理，通常会采用溜槽+地泵的方式。溜槽设计时应考虑与混凝土浇筑顺序一致，并尽量覆盖需要大量浇筑混凝土的结构区域(在正向溜槽下增设反溜槽)。

为满足大体积混凝土连续浇筑，现场采用 3 排溜槽，由基坑大环撑北侧首道支撑开始搭设，从北向南按照 1:3 的坡度延伸至基础底板上部。整个溜槽架体近 30.0m 高，溜槽宽度 3.2m，呈“人”字形。为了保证混凝土浇筑覆盖整个底板，在两侧巨型溜槽上，设置 4 个分支溜槽，分支溜槽末端设置小溜槽，并在溜槽相应位置设置串筒。溜槽布置如下图 5.2.4-1。

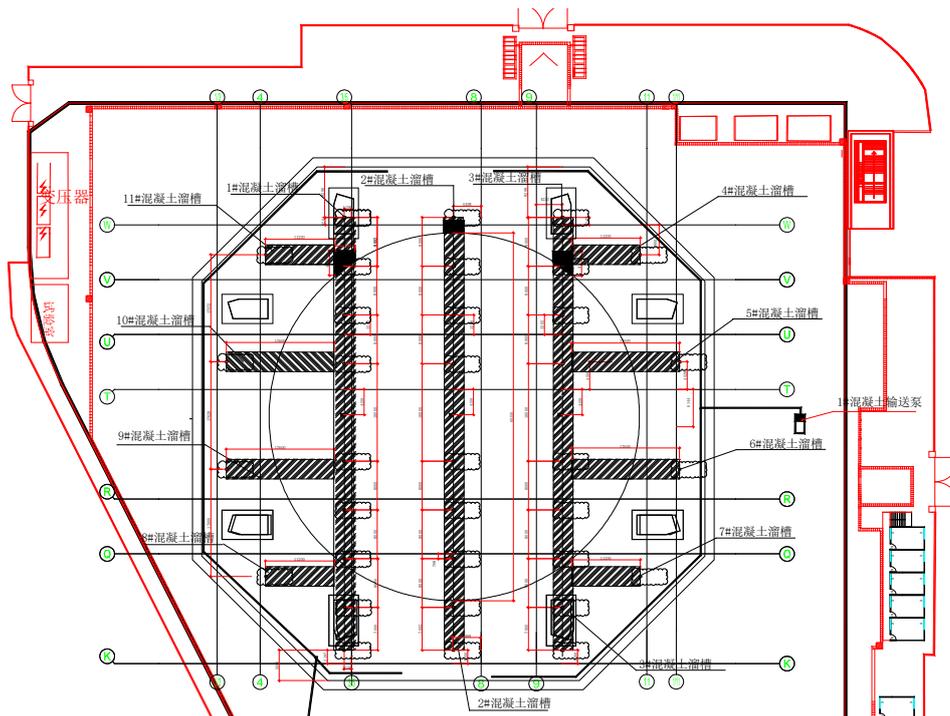


图 5.2.4-1 溜槽脚手架平面布置图（平安金融中心）

溜槽采用钢管脚手架搭设，脚手架支设在角钢支架上，脚手架的立杆、横杆间距需根据计算确定，脚手架计算时主要需考虑溜槽自重、浇筑混凝土时溜槽内混凝土的重力、人行通道上操作工人的施工荷载，对其整体稳定性及侧向稳定性进行验算；而角钢支撑一般与底板上铁钢筋的临时支撑架共用，因此溜槽下方的角钢支撑设计时既要考虑溜槽脚手架传下来的荷载又要考虑底板上铁钢筋

的自重，对其立杆的强度及稳定性、横杆角焊缝进行验算。溜槽脚手架搭设高度从基坑上口距底板混凝土完成面计算。

沿主溜槽脚手架外立面满搭纵向剪刀撑，垂直于溜槽方向每隔 6.4m 满搭横向剪刀撑，并设置扫地杆和竖向、水平的加强构造。溜槽宽度为 500mm，采用木模板搭设，外包镀锌铁皮，纵向坡度不小于 1:3，紧邻溜槽的一侧铺设木跳板作为操作台和人行通道，在落灰点设置盖板和串筒。溜槽角钢支架的角钢垫脚要与底板下铁有效固定，溜槽下方的角钢支撑在纵横向可利用底板中层钢筋与每个溜槽角钢支撑焊接，使其角钢支撑形成一个整体。

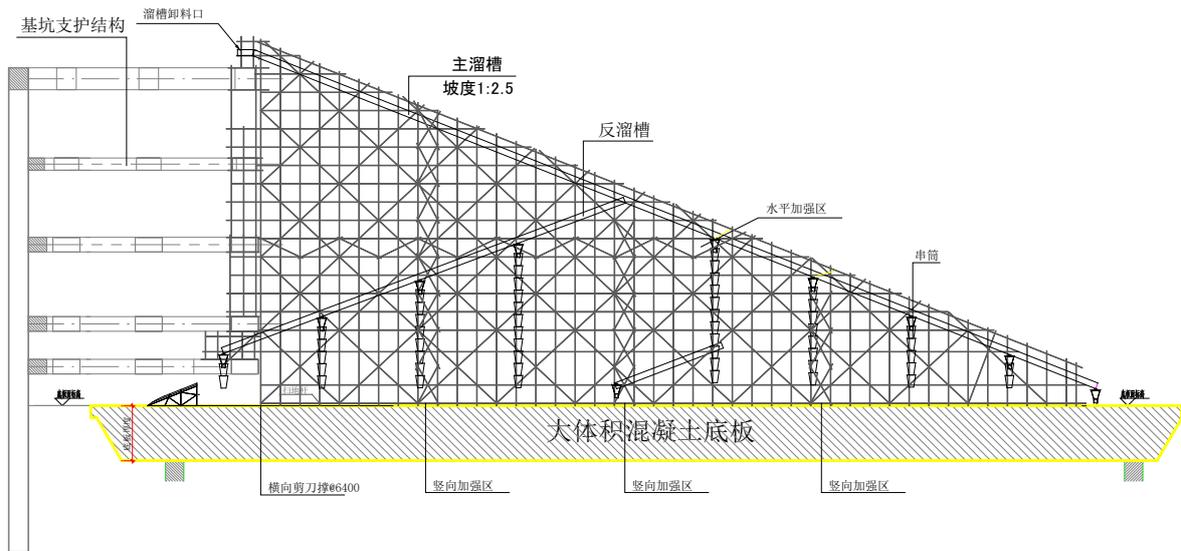


图 5.2.4-2 溜槽立面示意图

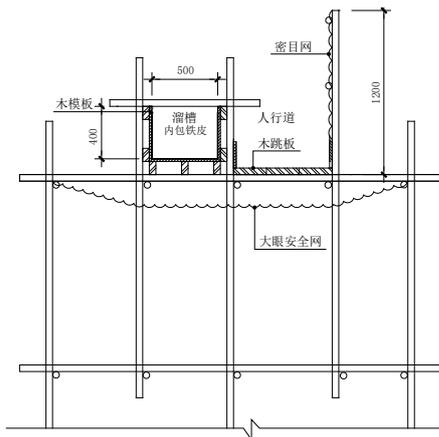


图 5.2.4-3 溜槽剖面示意图

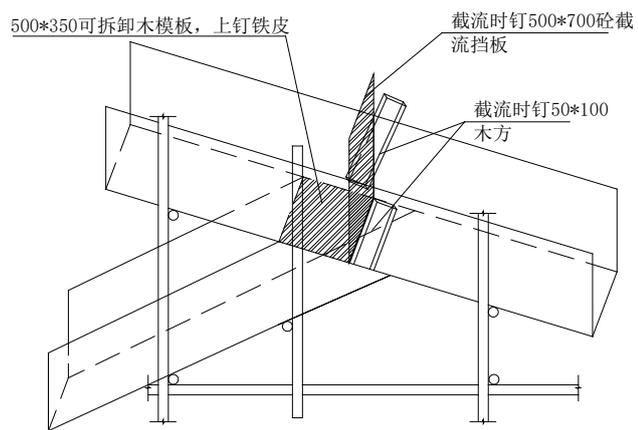


图 5.2.4-4 溜槽反向节点图

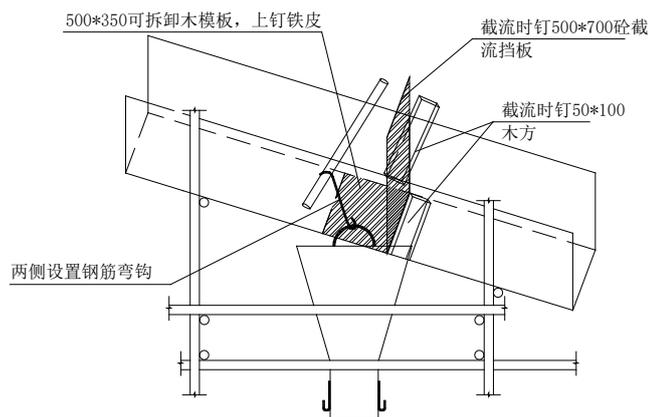


图 5.2.4-5 溜槽开口节点图

### (3) 混凝土浇筑

混凝土浇筑前应采用清水冲洗溜槽内的杂物及灰尘，增强混凝土的流动性；过程中始终保持多个溜槽多个浇筑点同时浇筑，由一侧向另一侧逐步推进，并可在溜槽口和串筒下方配备活动小溜槽，增加浇筑面积，缓冲混凝土下落的速度。

浇筑过程中每根溜槽每一段人行通道上设置一名工作人员，检查混凝土浇筑时的流动性以及溜槽转角及其他部位是否存有异常，同时每根溜槽坑下坑上设有专人采用对讲机统一指挥，确保混凝土浇筑的一致性。在每个溜槽或串筒的卸料点处设置 4 个振动器，卸料点以外的流淌范围内设置 6 个振动器，泵管出料口处各设置 2 个振动器，确保各个卸料点位置混凝土的密实，同时根据现场情况布置适量流动振动器。

底板混凝土浇筑采用斜面分层方式，流淌坡度为 1:4 左右，分层浇筑厚度控制在 50cm，采用由一侧向另一侧连续浇捣方法浇筑；每个浇筑区段内卸料点覆盖范围的混凝土浇筑时间要求小于混凝土初凝时间，保证下一区段卸料点浇筑时覆盖已浇筑混凝土，避免冷缝产生。溜槽浇筑的同时可再配置多台车载混凝土泵配合浇筑收面。

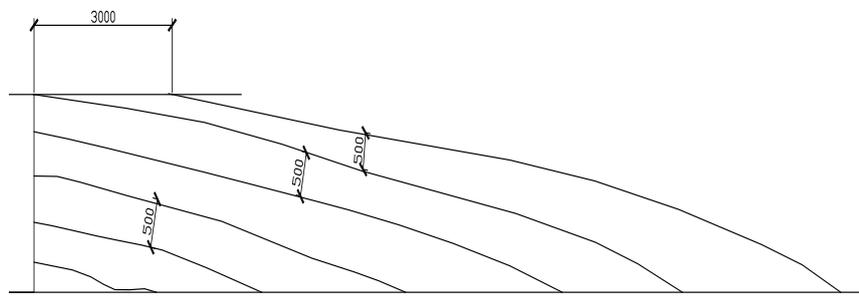


图 5.2.4-6 混凝土斜面分层浇筑示意

对底板混凝土表层进行二次振捣，以确保混凝土表面密实度。待第一次混凝土振捣完成 20-30min 并已浇筑出一定面积后，在混凝土初凝前再进行第二次振捣。混凝土表面可采用长刮杠刮平，木抹

子拍实搓压两遍后，再用压光机进行表面压光，保证表面的密实度和光洁度，减缓混凝土表面失水速度，防止表面龟裂。

### 5.2.5 混凝土养护及测温

#### (1) 混凝土养护

混凝土浇筑完毕后，立刻铺设保温层（如：铺设塑料布、麻袋、草帘被或进行蓄水养护），并安排专人洒水养护，并根据预先埋设的测温线，对混凝土进行测温监控。保温养护的持续时间不得少于14d。当混凝土内外温差较大时，应适当增加保温措施，内外温差较小时，可适当减少保温。待混凝土中心温度开始下降，混凝土表面温度开始接近混凝土中心温度，且混凝土的表面温度与环境最大温差小于20℃时，方可拆除保温层。

#### (2) 混凝土测温

大体积混凝土底板的温度监测点设置应能真实反映出混凝土块体的里外温差，降温速率及环境温度真实情况，并根据规范和底板的平面尺寸及结构特点进行设置。测温点的布置范围为被监测的混凝土底板平面对称线的1/4和对角线区域。在测温区内，监测点的位置与数量可根据预先估算的块体内温度场的可能分布情况及温度控制要求确定。底板中心区域温度传感器沿竖向分别设在底板表面向下50mm，底板底面向上50mm、底板中心和上下1/4板厚位置，共5个测点。中心外其他传感器沿竖向设在底板上下表面向内50mm和底板中心位置，共3个测点。

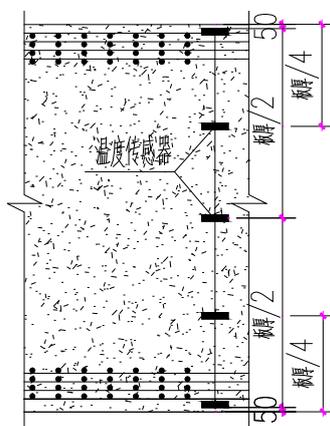


图 5.2.5-1 测温点布置示意

## 6 材料与设备

### 6.1 原材

胶凝材料主要采用低水化热的P.O 42.5普通硅酸盐水泥，掺合料选用发热量较小的粉煤灰，外加剂选用高效缓凝外加剂。配合比根据实验结果最终确定。

### 6.2 现场措施材料

表 6.2 现场措施材料

序号	材料名称	规格、型号	用途
1	多层板	18 厚	溜槽搭设
2	镀锌铁皮	1.0 厚	溜槽搭设
3	钢管架料	Φ48×3.5	溜槽架搭设
4	扣件	对接、直角、旋转	溜槽架搭设
5	木跳板	3000×250×40	溜槽架搭设
6	塑料薄膜		混凝土养护覆盖
7	麻袋		混凝土养护覆盖
8	串筒	Φ250	底板浇筑

### 6.3 混凝土浇筑使用的机具设备

表 6.3 机具设备表

序号	设备名称	设备型号	单位	用途
1	混凝土车载泵	根据计算确定	台	泵送混凝土
2	泵管	Φ125	m	泵送混凝土
3	混凝土振捣棒	Φ30、Φ50	只	混凝土振捣
4	混凝土罐车	根据实际情况确定	辆	混凝土运输
5	对讲机	根据实际情况确定	部	混凝土浇筑组织
6	镝灯	3kW	个	夜间照明

## 7 质量控制

### 7.1 一般项目

混凝土所使用的水泥、粉煤灰，以及现场使用的钢管、材料等应符合国家现行有关标准的规定。

### 7.2 混凝土施工要求

混凝土施工应符合相关混凝土结构工程施工质量验收规范要求。

## 8 安全措施

8.1 泵车操作工必须是经培训合格的有证人员，严禁无证操作。

8.2 泵管的质量应符合要求，对已经磨损严重及局部穿孔的泵管不准使用，以防爆管伤人。

8.3 泵管架设的支架要牢固，转弯处必须设置井字式固定架。泵管转弯宜缓，接头密封要严。

8.4 泵车料斗内的混凝土保持一定的高度，防止吸入空气造成管尾甩伤人。

8.5 泵车安全阀必须完好，泵送时先试送，注意观察泵的液压表和各部位工作正常后加大行程。

在混凝土坍落度较小和开始启动时使用短行程。检修时必须卸压后进行。

8.6 当发生堵管现象时，立即将泵机反转把混凝土退回料斗，然后正转小行程泵送，如仍然堵管，则必须经拆管排堵处理后开车，不得强行加压泵送，以防发生炸管等事故。

8.7 混凝土浇筑结束前用压力水压泵时，泵管口前面严禁站人。

8.8 浇筑混凝土时若塔吊配合施工时，地面人员一定要配戴好安全帽并注意吊斗行走路线，避免被其碰伤。

8.9 在使用混凝土振捣器进行振捣时，操作人员必须穿绝缘鞋，戴绝缘手套。

8.10 振捣棒在指定电箱接线，并有专用开关箱，并接漏电保护器（必须达到两极以上漏电保护），接线不得任意接长。电缆线必须架空，严禁落地。

8.11 在使用混凝土泵进行浇筑时，严禁施工人员或其他人员站在泵管前端，以免混凝土泵喷浆时将人喷伤。

8.12 由于浇筑混凝土需连续不间断进行，因此必须合理的安排施工人员的交接时间让施工人员有适当的休息时间，以免施工人员出现疲劳作业发生危险。

8.13 浇筑混凝土的塔吊由持证起重工指挥，严守操作规程。

8.14 底板集水坑和电梯坑模板拆除后，立即在周边搭设 1500mm 高护栏。

## 9 环保措施

9.1 对大体积混凝土底板施工成立专门的施工环境卫生管理小组。

9.2 在工程施工过程中严格遵守国家和地方政府下发的有关环境保护的法律、法规和规章，并针对大体积混凝土底板施工编制专项的环保方案。

9.3 设专人对出场的每辆罐车进行清洗，避免造成车身残留混凝土对道路的污染。

9.4 在混凝土泵下设置隔油池，防止污染地面和土壤。

9.5 对泵前通管和泵送后洗管的废水和废浆进行统一收集、沉淀后的清水循环利用。

9.6 定期清运沉淀砂浆，做好弃渣及其它工程材料运输过程中的防撒落与沿途污染措施，废水除按环境卫生指标进行处理达标外，并按当地环保要求的指定地点排放。弃渣及其它工程废弃物按工程建设指定的地点和方案进行合理堆放和处治。

9.6 优先选用先进的环保型混凝土泵。采取设立隔音棚等消音措施降低施工噪音到允许值以下。

## 10 效益分析

10.1 对于超高层建筑大体积混凝土底板的浇筑施工采用本工法进行连续无缝一次浇筑，可显著提高结构底板的整体性，保证主体结构的受力要求；

10.2 对于尺寸超长、厚度超厚的大体积混凝土底板，采用本工法进行连续无缝一次性浇筑，与原有的设置施工缝分段多次浇筑的工艺相比，可节省施工工期 50%以上，大大提高了工程的整体施工进度；

10.3 对于传统的设置施工缝分段多次浇筑的大体积混凝土底板施工工艺，施工缝处需采取清除浮浆、冲洗湿润等一系列措施，施工间隔时间较长，措施费用较多。采用本工法连续无缝一次性浇筑，可完全避免施工缝的留设，节约措施成本近 50%，大大降低施工中的成本。

## 11 应用实例

### 11.1 平安金融中心大体积混凝土底板连续无缝浇筑施工

平安金融中心项目位于深圳市福田区中心区，总占地面积约 1.9 万平方米，总建筑面积约 46 万平方米，主塔楼高度为 660 米。本工程主塔楼设计采用厚筏基础，整体底板为长、宽约 85m 的八角形结构，底板厚度为 4.5m，混凝土强度等级为 C40，抗渗等级为 P12，一次性底板混凝土总方量约 2.8 万方。

本工程塔楼底板采用连续无缝浇筑施工工法，整个底板自 2011 年 12 月 1 日 10 时开始浇筑，12 月 5 日 10 时全部浇筑完成，共用时 96 个小时。浇筑过程中共布置 3 个混凝土溜槽，2 台混凝土汽车泵，施工过程进展顺利。通过混凝土养护及测温，混凝土内部最高温度为 62.5℃，温升值为 49℃，混凝土底板的最大里表温差为 23℃，底板表面与大气温差控制在 20℃ 以内，混凝土降温速率不大于 2℃/d，实际施工结果与前期足尺模型试验结果基本吻合，无肉眼可见裂缝，施工质量良好。通过混凝土试块和实际钻芯试验检验，底板混凝土强度及抗渗等级均满足设计要求，60 天强度达到设计强度的 120% 以上，且实际碳化情况较好。

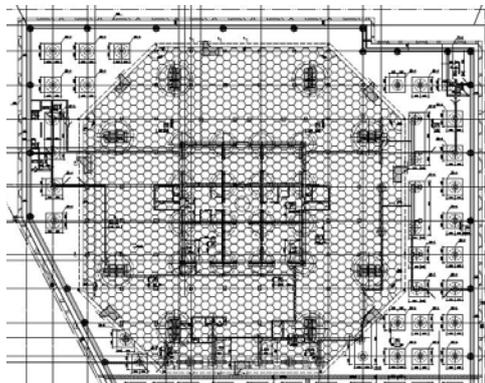


图 11.1-1 平安金融中心主塔楼底板平面图

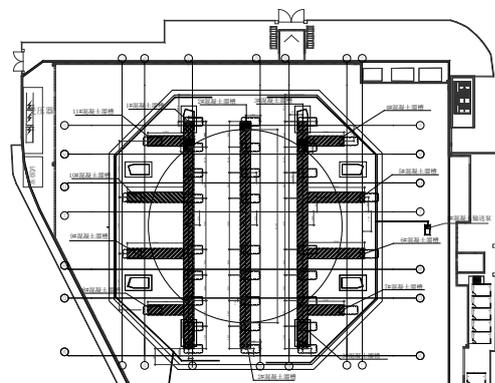


图 11.1-2 底板溜槽布置图



图 11.1-3、4 足尺模型试验照片



图 11.1-5 现场浇筑时照片



图 11.1-6 浇筑后保温养护

11.2 施工关键流程照片：



图 11.2-1 三个大流量溜槽



图 11.2-2 大溜槽和汽车泵就位



图 11.2-3 串筒下料 混凝土情况



图 11.2-4 主溜槽 分溜槽构造



图 11.2-5 混凝土下流情况 (坍落度约 16cm 流动性好)



图 11.2-6 首道撑 全景



图 11.2-7 混凝土浇筑后 初期养护 覆盖保水塑料布 麻袋片



图 11.2-8 混凝土表面 抹光机抹压两遍找平 密实



图 11.2-9 后期养护 塑料薄膜+麻袋片

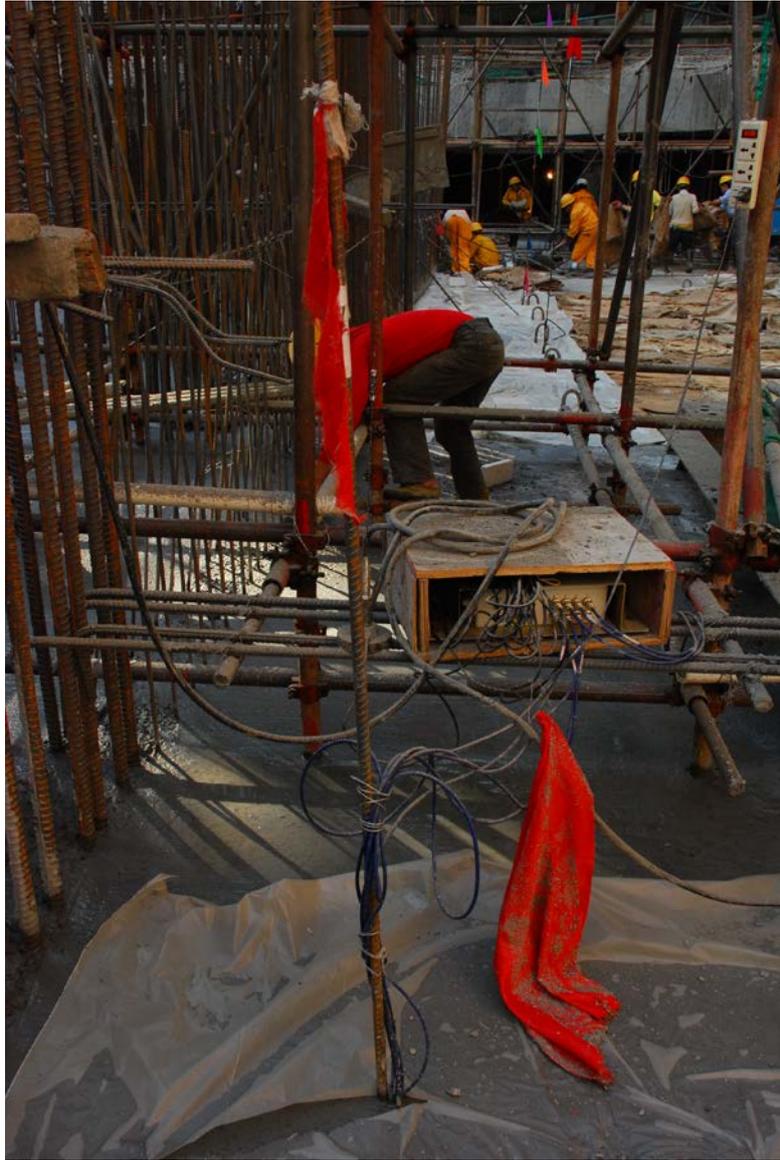


图 11.2-10 温度监测