

大体积混凝土循环水温控施工工法

中国第一冶金建设有限责任公司

肖历文 孙文礼

1. 前言

随着科学技术和生产力的不断进步，近年来混凝土技术也有了较快的发展，各种大体积混凝土的设计强度等级呈现上升趋势，且建设周期的大幅度压缩给大体积块体设备基础混凝土施工质量的控制增加了相当的难度。中国一冶通过总结以往大体积混凝土施工经验，运用循环水实施温控能有效控制混凝土最高温升，预防大体积混凝土有害裂缝的产生和发展，减小作业风险，对降低施工成本，保障建筑物安全具有十分重要的意义。本工法系统地介绍了大体积混凝土循环水温控施工过程的控制要点及技术措施，可操作性强、成本低、效果佳。

2. 工法特点

2.1 通过优化混凝土配合比，大剂量减少水泥用量，减少水化热，降低工程施工成本；通过掺加外加剂改善混凝土特性，为施工创造便利条件。

2.2 应用了循环水温控系统，在一定程度上主动控制混凝土内外温差，防止混凝土有害裂缝的产生和发展，同时为混凝土的保温保湿养护提供了极为便利的资源条件，大大降低大体积块体设备基础混凝土的养护成本，保证混凝土的养护质量。

2.3 根据混凝土强度增长的规律，采用成套的保温保湿措施，降低大体积混凝土施工作业风险。

2.4 采用“两膜一袋”保温保湿措施，材料价格便宜，采购方便，对环境无污染，使用安全。

2.5 超厚块体基础混凝土浇筑一次成型，不留施工缝，缩短施工工期。

3. 适用范围

3.1 本工法适用于强度等级C20~C50、且连续浇筑混凝土量 2000m^3 以上，结构最小截面1m以上的工业建筑块体（设备）基础、地下构筑物、连续墙式结构。

3.2 应用本工法宜避开夏季高温和恶劣天气，在春、秋季节或冬季施工比较适宜，应用时应根据地理、气候条件，有针对性地实施。

4. 工艺原理及关键技术

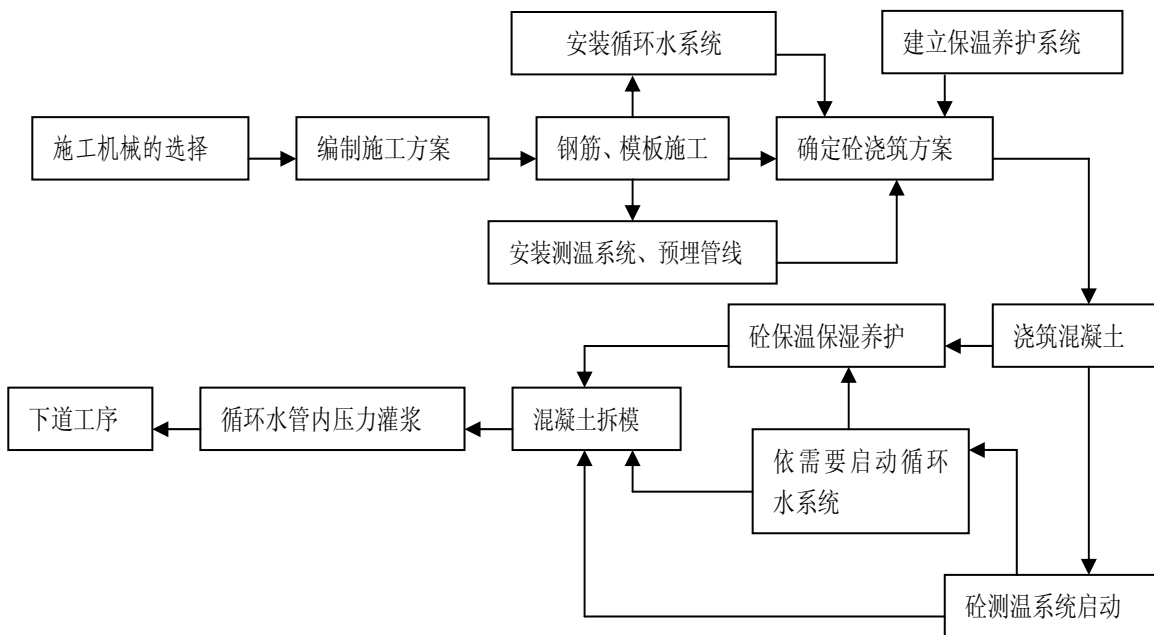
根据水泥水化反应所需条件及混凝土水泥石结晶的要求，为其提供一个适宜的温度湿度环境，使混凝土强度增长期的内部约束应力小于同期混凝土的抗拉强度，从而预防因温度应力变化而产生的温度裂缝和因湿度变化引起的收缩裂缝（主要指有害裂缝），在其中设置循环水系统，通过现代温度检测技术同步直观读数，用以指导大体积混凝土施工，实现了施工过程中监控技术的信息化、智能化，提高了过程控制的主动性、科学性。

关键技术：

1. 混凝土的配合比设计在满足设计要求的前提下力求减少水泥用量，以降低混凝土内部绝热温升。
2. 采取适宜的浇筑方式，既满足混凝土施工的连续性，又避免出现冷接缝，保证了混凝土层间有机结合的要求。
3. 温控循环水水管的布管形式、间距、操作启动的条件。
4. 混凝土施工期间温、湿度变化情况的数字化测量监控以及对应情况的处理措施。
5. 混凝土的养护措施、时间。

5. 工艺流程及操作要点

5.1 施工工艺流程



5.2 操作要点

5.2.1 施工准备

1 根据现场条件、混凝土浇筑方量及结构形式，确定混凝土的浇灌强度，确定缓凝时间。依浇筑强度确定混凝土的搅拌、运输、泵送能力，进而确定搅拌机、混凝土运输车、泵车、振捣等设备机具的型号和数量。

2 根据设计要求，选择合格的粗细骨料、水泥品种、外加剂类型、掺合料类型及比例，并按要求进行检试验分析。重点对水泥水化热，砂石含泥量，掺合料如粉煤灰或磨细矿粉成份、细度、水化热、强度，外加剂如减水剂缓凝剂性能进行检测（检验），且对水泥和外加剂的适应性进行实验。

3 根据混凝土强度等级的要求，提前进行混凝土配合比的试配。充分考虑降低水泥用量与增加保证混凝土强度富余值的矛盾，在保证混凝土强度的前提下降低水泥用量，用掺合料如粉煤灰或磨细矿粉等量替代，以保证混凝土的工作性。

4 在以上检试验数据的基础上，对作业方案的内容进行调整修正，计算混凝土内部最大温升值，确定循环水管布置方法和保温养护的材料，确定施工方案。

5.2.2 钢筋模板安装

如果有桩联结的设备基础必须考虑缓解或消除桩头锚固钢筋对大体积混凝土的嵌固作用，增设缓冲嵌固的措施，对超长的连续结构宜设滑动层，减少外部约束力。对超厚超高的结构，必须计算模板的承载力，包括强度、刚度、稳定性，设计和确定模板支撑间距。

钢筋施工严格按施工蓝图进行，控制好钢筋间距、接头质量和保护层厚度。在混凝土施工前办理相关的钢筋隐蔽记录。有预埋设备螺栓时，确保螺栓固定架的独立性，浇筑混凝土时振动设备不得碰撞螺栓固定架。模板的支撑、螺栓固定架、监测定位的操作平台这三者之间不能有任何连接。

5.2.3 预埋安装测温装置

采用直埋 $\Phi 40$ 左右的PVC管，在混凝土浇注前放入温度传感器，引出导线，集中后捆扎在一起，引至测温仪器上。测温点的布置根据结构的形状，分布在圆形结构的半径之上或矩形的半条对角线及沿长边方向的中线之上，如下图1示；其垂直方向宜按下图2示设置，本系统在混凝土开始浇注时启动，并做好记录。

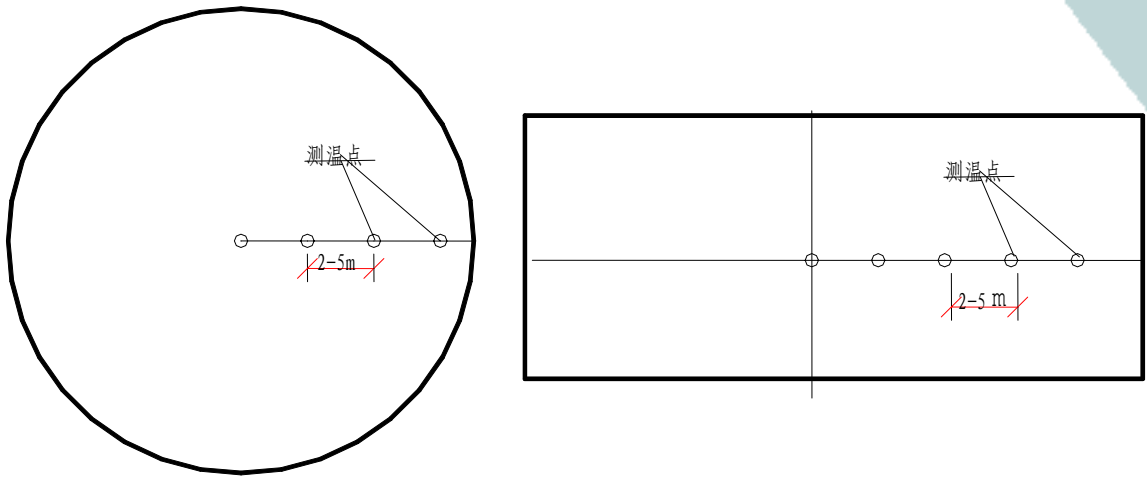


图 1

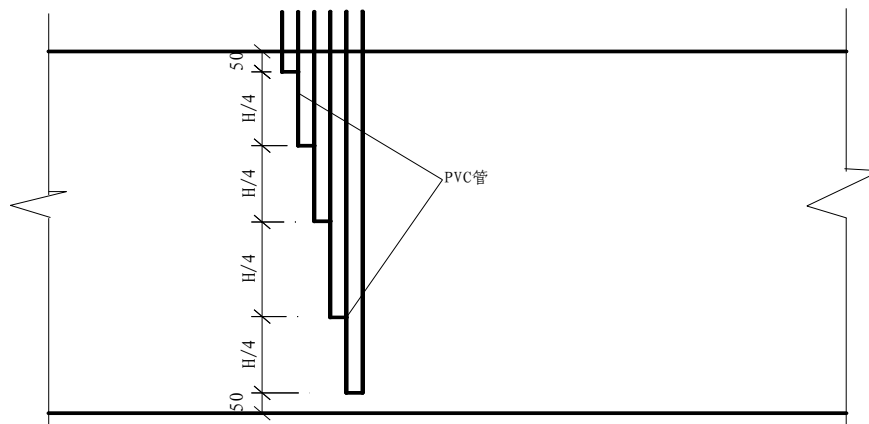


图 2

5.2.4 混凝土入模温度的控制

- 1 混凝土的入模温度根据外界环境气温的具体情况宜控制在 $5\sim 30^{\circ}\text{C}$ 之间为宜。
- 2 高温季节施工时，混凝土搅拌水可采用地下水或地下冷藏水或向自来水中加冰，尽可能使搅拌水水温降低。
- 3 对砂石料采取遮阳措施，避免太阳直射；混凝土的运输线路应尽可能选择短而且畅通的环形道路，减少混凝土在运输车内的摩擦生热及吸收太阳辐射热。

5.2.5 混凝土内部循环水温控系统

采用 $\Phi 48\sim\Phi 100$ 铁管焊接成循环水系统，水管横向间距 $1.5\text{m}\sim 3\text{m}$ ，竖向 $1\text{m}\sim 3\text{m}$ ，形成多个微循环；设一个总进水阀、总出水阀。每一组微循环水管最高点设一排气孔，焊 $\Phi 25$ 支管引出结构面 $300\sim 500\text{mm}$ 左右，并在端头设闸阀，作为以后提供混凝土养护的同温水源和压力灌浆排气用，临时设置一个水池或水箱，其容量为埋入实体铁管管腔体积的 2 倍。设置循环水管系统，应根据构筑物所在地区当时、当地的实

际作业情况而定，建议当混凝土一次性浇筑厚度达到 3m 时，设置本循环水管系统比较经济、适用，效果更好。

本系统为主动控制混凝土内外温差所设，重点控制两个温差：①进出水管管口水温温差不大于 25℃；②同一时段混凝土内部平均温度与进水管水温之差不大于 25℃；本系统的启动前提是：测温系统测定的某一时段最高温度与最低温度之差接近 20℃。

5.2.6 混凝土养护期间的温度控制

在混凝土浇筑前，可依据施工时的天气变化情况、现场作业环境等综合评价确定是否设置保温防风防风棚。混凝土结构外围挂好保温保湿材料，设置保温防风防风棚支架可与模板支撑架综合考虑，待混凝土浇完后封闭成棚。可根据棚内温度与混凝土内部最高温度之差大于 25~30℃时，考虑是否增设碘钨灯。在实际施工中可以按每 3m²挂一盏碘钨灯(参考)，根据测温数据情报，适时开启。混凝土表面成型并找平完成即可覆盖（视现场操作条件而定，尽可能提前覆盖薄膜，减少混凝土表面干缩裂缝的产生），养护层结构为第一层塑料薄膜 + 第一层草袋 + 第二层塑料薄膜，形成两膜一袋；在混凝土降温阶段根据实际情况再增加草袋一至两层。混凝土的保湿采用预埋在大体积混凝土内部的循环温水每 4 小时左右由专人从第一层塑料薄膜底灌入，始终保持混凝土表面湿润。

5.3 劳动力组织

表 1 劳动组织情况表

序号	工种	人员组成技术要求（比例）			要求持证上岗情况	承包方式（建议）	备注
		高级工	中级工	普工			
1	钢筋工	1/4	1/2	1/4		劳务分包	依实际
2	木工	1/2	1/4	1/4		劳务分包	依实际
3	混凝土工	1/3	1/3	1/3		劳务分包	依实际
4	电焊工	1/2	1/2		持证上岗	劳务分包	依实际
5	电工	1/2	1/2		持证上岗	职工	2-3 人
6	泵车司机				持证上岗		依实际
7	瓦工	1/2	1/4	1/4		劳务分包	依实际
8	钳工					职工	2 人
9	试验员				持证上岗	职工	2-3 人
10	测量工	1/2	1/2		持证上岗	职工	2 人

6. 材料与机具设备

本工法无需特别说明的材料，采用的机具设备见表 2。

表 2 机具设备表

序号	机具仪器名称	规格型号（参考）	单位	数量（参考）	备注
1	混凝土运输车	NOS—TQ10—69	台	具体而定	混凝土采用集中搅拌或商品混凝土，故不考虑搅拌机械
2	混凝土泵车	DS—115B	台	具体而定	
3	振动棒		台	具体而定	
4	平板振动器		台	具体而定	
5	高压水泵	W—251	台	2	
6	多回路自动巡检测温仪	PN—4C	台	1	
7	煤油温度计		条	具体而定	
8	干湿温度计		条	3~5	
9	电焊机	BX ₃ —500—3	台	具体而定	
10	碘钨灯	1000W	盏	具体而定	
11	钢筋弯曲机	WJ40—1	台	1	
12	钢筋切断机	GJ ₅ —40	台	1	
13	经纬仪	T ₂	台	1	
14	水准仪	TVA ₂	台	1	
15	低压配电柜		个	2	
16	测温感应棒		根	具体而定	

7. 质量保障措施与要求

7.1 应遵照执行的规范

GB50204 《混凝土结构工程施工质量验收规范》

JGJ18 《钢筋焊接及验收规范》

YBJ224 《块体（基础）大体积混凝土施工技术规范》

GB50300 《建筑工程施工质量验收统一标准》

7.2 混凝土缓凝时间最长不得超过 8h，配合比确定必须经有资质的检验部门出具实验报告，施工中严

格监督，据以执行，不得擅自调整配合比。

7.3 混凝土养护时间依测温系统提供的数据和试块试压报告来确定，不得提前拆除保温养护设施。

7.4 循环水系统的启动和停用也必须以测温系统提供的数据为依据，不得靠经验人为操作。

7.5 混凝土开始浇筑后应在各个管理环节（模板、坍落度、试块、混凝土内部温升、循环水温度、环境温度、大棚内的温湿度等检测）设置人员进行数据记录和交接。

8. 安全措施

8.1 认真贯彻“安全第一，预防为主”的方针，遵照国家有关规定、条例，结合施工单位实际情况和工程的具体特点，组成专职安全员和班组兼职安全员参加的安全生产管理网络，执行安全生产责任制，明确各级人员的职责，落实工程安全管理。

8.2 重点防范现场保温棚内的用电安全，因为保温棚内温度高、湿度大，必须加强用电的安全管理，设置各类安全标识。

8.3 加强现场防火工作，设置必要灭火设备。因为现场有大量的草袋、塑料等易燃物，保温棚内温度较高，易产生火灾，进入现场不准吸烟，碘钨灯距离地面及顶棚的距离保持在 1m 以上。

8.4 施工现场的临时用电严格按照《施工现场临时用电安全技术规范》的规定执行。

8.5 建立晚上的施工安全保证提醒，加强施工作业过程的安全检查，确保作业和管理标准化、规范化。

9. 环保措施

9.1 在施工过程中加强对施工用料、机具设备、废水、生产生活垃圾、弃渣的控制和管理，遵守相关的规章制度，随时接受相关大那位的监督检查。

9.2 合理布置施工平面，规范围挡和各类企业标识，做到标牌清楚齐全，施工场地整洁文明。

9.3 对施工道路进行硬化或碎石换填处理，在晴天对施工道路进行洒水，防止尘土飞扬，污染周围环境。

10. 效益分析

10.1 混凝土施工不留施工缝，一次浇筑成型，比分层浇筑节约工期，减少施工缝的处理费用，结构的整体性好，施工简便。

10.2 循环水养护系统可操作性强，效果直观，便于现场施工；可大大减少混凝土养护费用，同时保证大体积混凝土的养护措施到位，防止有害裂缝的产生和发展。

10.3 采用掺合料如磨细矿粉对混凝土配合比进行优化，每立方米 C50 混凝土可节约水泥约 100kg，

单方造价可降低成本约 20 元。

11. 工程实例

11.1 2001 年 11 月施工的济钢 120t 转炉基础，混凝土方量 3200m^3 ，C25。

11.2 2002 年 2 月施工的山西海鑫钢铁公司 1380m^3 高炉基础，长 27.6m、宽 26m、厚 5.4m，混凝土方量 2600m^3 ，混凝土强度等级 C50。

11.3 2002 年 10 月份施工的武钢六号高炉基础，混凝土方量 4950m^3 ，基础底面 $33.5 \times 31.1\text{m}$ ，厚度达 5.82m，一次性浇筑。 $f_{c60}=23.5\text{Mpa}$ 。采用此工法施工，缩短工期一个月；基础结构未出现裂缝，被评为武钢优良工程。

11.4 2003 年 10 月施工的福建三明钢厂 60t 转炉基础，混凝土方量 3542m^3 ，C30，基础底板尺寸为 $49.2\text{m} \times 24\text{m} \times 3\text{m}$ 。

11.5 2006 年 4 月施工的安阳钢厂高炉基础，混凝土方量 4960m^3 ，C30，基础底板尺寸为边长 20m 的八棱角体，基础后 3.6m。

以上大体积混凝土施工中，均采用此法实施取得了良好效果，值得今后推广应用。