

成都国金中心 T1&T2 塔楼设计与施工技术研究

武雄飞 曲贵阳 袁 渊

(中建三局股份公司成都公司 成都 610041)

摘要:成都国金中心 T1&T2 塔楼建筑高度 248m,采用框架-核心筒结构体系。结构设计采用性能化设计思想,确定明确的总体及重要构件的抗震性能目标,提高结构的可靠性。本工程通过使用钢管混凝土柱、设计双梁、采用双连梁等方式有效解决了超高超限项目的抗震设计难点,在满足抗震要求的情况下,解决了施工中操作不便的问题。在具体施工过程中,通过课题攻关,解决在复杂渗水环境下超厚外墙的施工、筏板大体积混凝土裂缝控制、钢筋密集部位构件混凝土的振捣、高空钢管内混凝土的浇筑、钢管柱变截面等一系列问题,取得了明显的经济效益和社会效益。

关键词:工程结构 施工技术 性能设计 定型工具

混凝土框架-核心筒结构体系,梁板采用现浇混凝土结构。

1 工程概况

成都国金中心工程位于成都市锦江区红星路与大慈寺路交叉路口的东南角,总占地面积 54857.04m²,总建筑面积 763718m²,其中地下室建筑面积 227712m²。项目主要分为 5 大功能区域:地下 3-5 层为地下车库,地下 1-2 层及地上 1-6 层,局部 7 层为商业区,商业裙楼最高 42.15m,总建筑面积 153467m²;裙楼上部为 4 栋塔楼,包括两栋办公大楼 T1&T2、1 栋住宅大楼 T3、1 栋酒店大楼 T4。

如图 1 所示,办公大楼 T1&T2 结构基本对称,办公大楼,均为 51 层,建筑总高度 247.80m,每栋建筑面积 128250m²;结构形式为钢筋混



图 1 国金中心效果图

作者简介:武雄飞 助理工程师

收稿日期:2012 年 5 月

2 工程特点

1) 高度超限, 结构采用框架核心筒结构, 高度236.55m, 超过7度B级180m的限制。

2) 平面超限, 4层楼面开洞尺寸大于楼面宽度的一半, 开洞后楼板净宽度2.3m小于5m, 每边的楼板净高度小于2m, 楼板开洞面积占楼面面积的39%, 属于平面不规则。

3) 机电设备所在的20层, 41层楼层刚度小于上部3层侧向刚度的80%, 且小于上部楼层侧向刚度的70%。为竖向不规则。

4) 本项目是成都在建的最高建筑。

5) 工程基坑面积, 开挖深度深。

6) 塔楼筏板厚度大, 最深位置达7.8m。

3 设计及施工难点

3.1 设计难点

1) 本结构作为超高层建筑, 外框架作为第二道防线的地位尤为重要, 其安全标准应高于规范要求。为体现多道防线的思想, 外框架的延性和抗震性能均需较大提高。于此同时, 考虑到施工便捷, 还需控制柱截面, 便于模板加固。

2) 如果为提高结构的抗震性能设置钢管柱, 那么与之相交的框架梁纵筋与柱的锚固存在较大难度, 特别是柱纵横向都有梁与之相交的情况下, 锚固更加困难。

3) 由于建筑空间的需要, 结构下部存在大面积的楼面缺失, 形成23.6m的跃层柱, 减小了底部的抗侧刚度, 并产生一定的偏心, 对抗震设计提出了较高要求。

4) 设备管线需穿过核心筒, 紧贴楼板底部安装, 需在核心筒上留置大截面洞口, 使得连梁的高度受到限制, 受剪承载力无法满足要求。

3.2 施工难点

1) T1&T2 筏板厚度达3.6m, 最深达7.8m, 面积达

到4000多 m^2 , 一次性浇筑混凝土接近 $15000m^3$, 其大体积混凝土裂缝的控制相当困难。

2) 本工程处于市中心位置, 业主追求土地资源利用最大化, 导致结构外墙与基坑边间距很窄, 除红星路一侧外其他地方只有200mm左右, 最窄处达100mm。同时, 受地质条件影响, 基坑护壁一直有渗水现象, 造成外墙防水及超厚外墙施工难度大。

3) 钢管柱内混凝土设计要求高, 必须保证混凝土与钢管管壁接触良好, 保证混凝土浇筑密实, 必须确保混凝土后期不能出现收缩, 混凝土配合比设计难度大。钢管柱内混凝土浇筑后需要进行超声波无损探伤检测, 钢管柱壁厚45mm, 检测难度大。钢管柱内混凝土需要提前浇筑, 高空作业, 施工难度大。

4) 外围框架柱中的圆管型钢柱在地上7层和地上21层变截面, 为偏心锥形圆管构件(上下圆截面圆心位置不同心), 偏心锥形圆管构件加工制作难度大。

4 解决措施

4.1 设计措施

1) 为提高外框架的延性和抗震性能, 结构下部2/3高度范围内(34层以下)的框架柱采用核心钢管混凝土柱。由于钢管的套箍约束作用使得混凝土处于三向受力状态, 提高了混凝土的抗压强度, 钢管内的混凝土可以有效的防止钢管局部屈曲。钢管与混凝土之间的相互作用, 使钢管内部混凝土的破坏由脆性变成延性破坏, 构件的延性性能明显改善。

2) 为有效解决锚固问题, 与核心钢管柱相交的梁均采用双梁的形式, 梁纵筋能避免与钢管相交, 直接从钢管两边拉通布置, 方便施工。同时, 双梁的形式增加了梁的受力面积, 降低了梁的高度, 增加了使用空间。为克服荷载分布不均引起双梁受力不等的情况, 在双梁之间每隔一定距离设置加劲短梁以提高双梁的整体性(图2)。

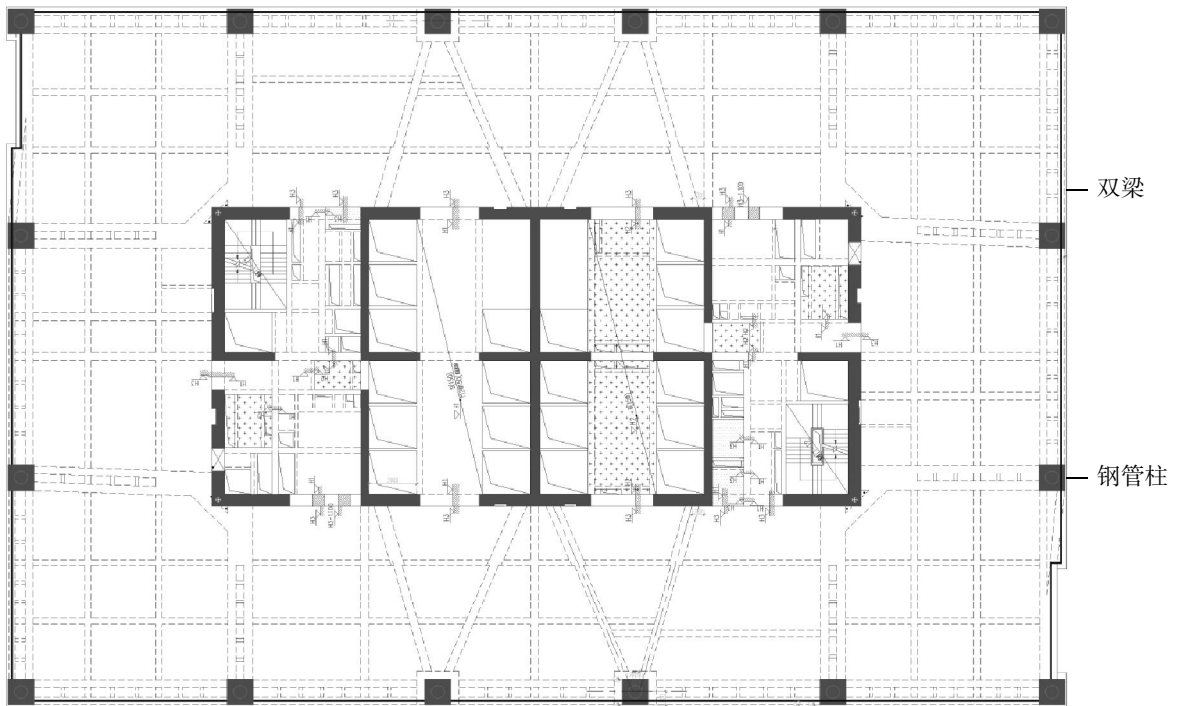


图2 标准楼层平面图

3) 基于稳定性和承载力的考虑, 跃层柱采用钢管混凝土柱, 且设计截面较周围的框架柱大, 并加大相交框架梁的尺寸和楼板的厚度, 提高对框架柱的约束作用, 降低跃层柱由于长度增加而对稳定性造成的折减。

4) 为解决连梁高度受限的问题, 本工程采用双连梁的形式(图3), 以增加连梁的抗剪承载力。经分析, 由于双连梁之间的轴力产生的力偶作用, 结构侧向刚度明显增大, 且连梁本身受到的弯矩明显降低, 其剪力也随之降低。

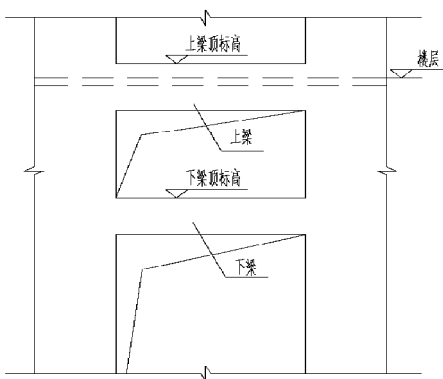


图3 双连梁示意图

4.2 施工措施

4.2.1 大体积混凝土裂缝控制技术

项目技术团队经过认真研究, 采取如下措施预防混凝土产生裂缝:

1) 优化配比

① 经过多次试验与试配, 通过掺入矿粉和粉煤灰来代替部分水泥, 减少水泥用量, 减少水化过程中所产生的水化热, 减少早期混凝土的体积膨胀, 减少混凝土内外的温差梯度。

② 通过在混凝土中添加聚丙烯抗裂纤维, 提高混凝土本身的抗拉强度和极限拉伸。

③ 通过加入膨胀剂, 使混凝土具有后期补偿收缩的作用, 从而达到提高混凝土抗裂性的目的(图4)。

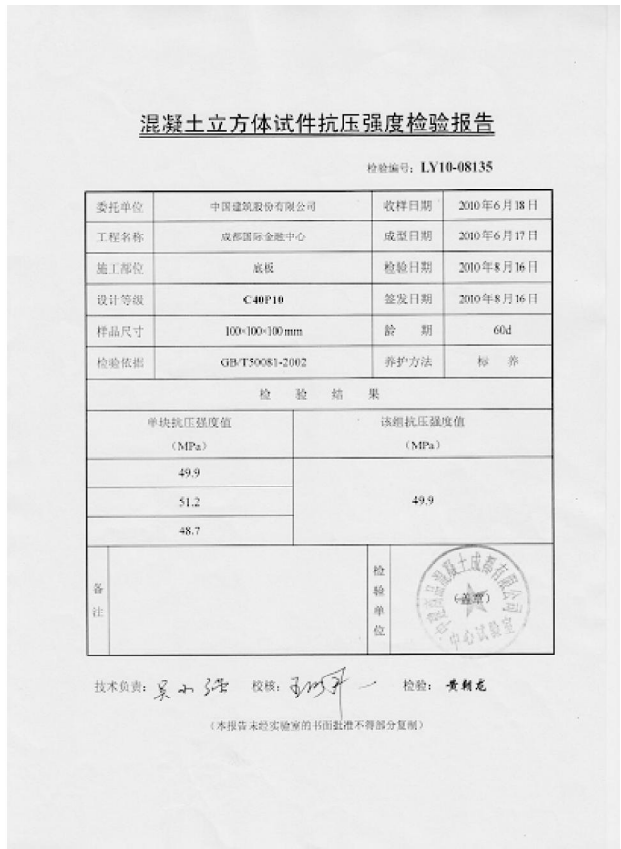
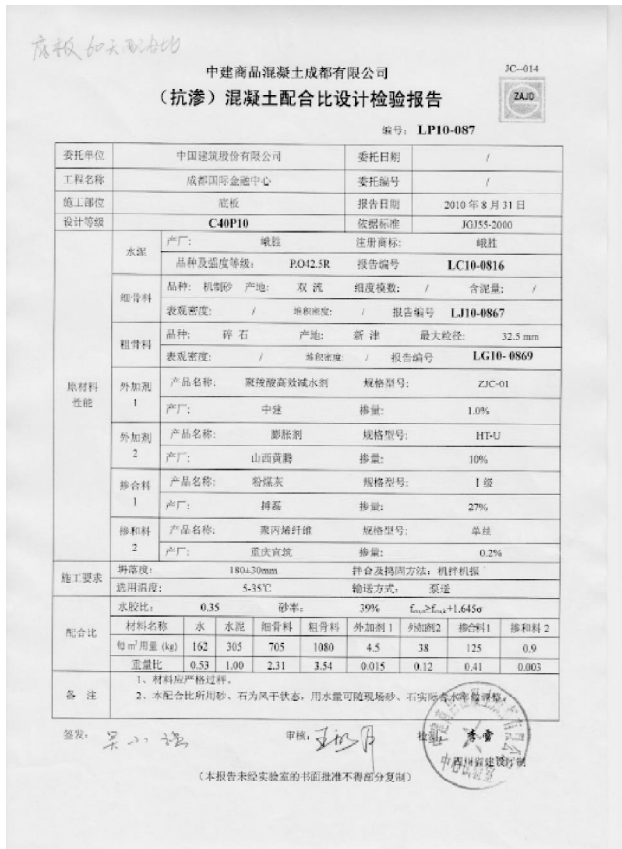


图4 混凝土配比报告

2) 控制入模温度

在混凝土浇筑时严格控制混凝土的入模温度在25℃-35℃之间,在炎热夏天,拌制混凝土时要严格控制拌合水温度,在温度过高时,混凝土拌合水采用冰水。在混凝土泵送时,应对泵管施以覆盖浇水冷却。经实测混凝土骨料经70m输送后前后台的温差可达4-6℃。

3) 优化浇筑方式

在前期组织混凝土公司召开生产协调会,调配资源,确保筏板浇筑期间混凝土的供应充足。在施工现场,项目部为保证筏板混凝土能连续浇筑,不至于因前期浇筑混凝土初凝而形成冷缝,结合现场场地狭窄的实际情况,在6号门处设置两台输送泵,在5号门位置(底板的中间位置)处搭设溜槽(图5),该溜槽由主溜槽和通向各个方向的几个副溜槽组成,在中间一定高度

设置转换平台,通过转换平台上的挡板来控制混凝土流向,使混凝土顺利流入浇筑位置。混凝土浇筑时采用斜面分层浇筑的形式,让混凝土的水化热在浇筑过程中能够得到一定的散发。

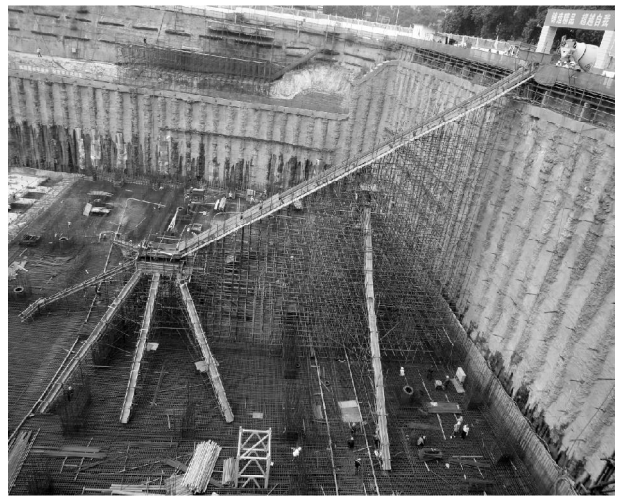


图5 现场溜槽搭设完成

4)监测内部温度,采用蓄热养护

采用保温蓄热养护,在混凝土浇筑完成后及时用薄膜覆盖,防止水分挥发,在薄膜上部再盖两层毛毡,并在刚浇筑完前三天,每隔2小时测量一次混凝土不同深度的温度,后面监测时间依次延长,共持续一周,根据数据及时调整上部覆盖层的厚度,保证内外温差较小,控制内外温度变化梯度,减缓混凝土降温速度,有效利用混凝土的黏滞松弛效应。

4.2.2 复杂渗水环境下的单侧支模技术

1)基坑护壁渗水处理技术。

本着保证质量,兼顾经济的原则;在围护渗水位置用白铁皮覆盖,白铁皮内部竖向布置钢管(管壁开孔),并加以固定。外墙混凝土浇筑之后,由于白铁皮内部布置有钢管不会对排水路径造成封堵,外围渗水同样能顺利流至暗沟。白铁皮分内外两层,内层搭接采用下包上的形式,确保水能够顺着白铁皮向下流至排水沟而不至于再次渗漏,外层采用上包下的形式,确保在砖胎膜与维护桩间回填混凝土时,不会让混凝土漏入白铁皮内,对内部水流路径造成封堵而影响排水效果。当水顺着白铁皮流到基础底面时,为保证水能顺利进入排水沟,则在基坑底板四周人工凿打排水槽,在进行外墙施工时,在排水沟内填充卵石,中间埋设PPR管做为排水导管,管壁开孔做为排水通道,排水沟上部用钢板覆盖。确保在整个地下室施工过程中,地下水均能通过泄水孔,顺白铁皮流入排水沟最终顺利流入集水坑。

2)外墙防水施工技术。

通过紧贴基坑护壁上的白铁皮砌筑砖胎膜,将防水卷材粘贴于经抹灰处理的砖胎膜上(图6)。

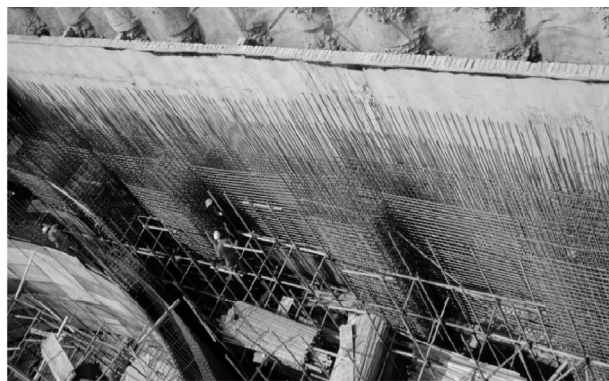


图6 砖胎模及防水施工完成

3)超厚外墙单侧支模施工技术。

① 浇注底板前预埋地锚和拉锚,地锚采用 $\Phi 28$ 钢筋,间距,焊接在底板钢筋上,靠近外墙的地锚旁设置拉锚。

② 先搭设满堂架水平杆再搭设桁架区水平杆和斜杆。水平杆应搭设规范,平直,保证顶托仅承受水平力,受力分析简单。水平杆端部使用可调顶托顶紧模板,防止因顶托松动造成局部涨模。

③ 导墙上口向下15mm处预埋一道止水螺杆,固定内侧模板,防止模板根部涨模、错台,并防止模板上浮(图7)。

④ 在外墙混凝土浇筑时,及时填充护壁与砖胎膜间的混凝土,做到内外同步,确保外墙不会向护壁一侧爆模。



图7 单侧支模加固图

4.2.3 钢管柱内混凝土施工综合技术

1) 钢管柱内混凝土配合比试验

为保证钢管柱内混凝土配合比达到设计要求,在钢管柱正式施工之前,项目部联合搅拌站进行了多次试配,最终确定了一组配合比(图8),此配合比中加入了具有三个膨胀源的膨胀剂,通过在混凝土中掺入具有三个膨胀源的膨胀剂(该膨胀剂具有膨胀效能大、碱含量低、补偿收缩作用同步,各组分相容性好、对水泥

适用性强等性能特点),其早期抗裂膨胀源能够在混凝土中引入更大的膨胀,避免混凝土产生的早期开裂,适宜的中期膨胀能够防止混凝土中期开裂,而引入的后期抗裂膨胀源对抑制混凝土的后期收缩,防止混凝土后期开裂,有独到之处,应用具有三个膨胀源的膨胀剂对混凝土早期、中期、后期所产生的收缩进行有效补偿,减少微裂缝的产生。通过模拟柱试验,此配合比混凝土能满足设计要求。

中建商品混凝土成都有限公司
(普通) 混凝土配合比设计检验报告

JC-014
2010

编号: LP10-050

委托单位	中国建筑股份有限公司		委托日期	/					
工程名称	成都国际金融中心		委托编号	/					
施工部位	钢管柱	报告日期	2010年8月28日						
设计等级	C60 膨胀		依据标准	JGJ55-2000					
原材料性能	水泥	产地:	峨边	注册商标:	峨边				
		品种及强度等级:	P.O42.5R	报告编号	LC10-0613				
	细骨料	品种、机制砂 产地:	双 桥	细度模数:	/	含泥量:	/		
		表观密度:	/	堆积密度:	/	报告编号	LP10-0640		
	粗骨料	品种:	碎石	产地:	新 津	最大粒径:	31.5 mm		
		表观密度:	/	堆积密度:	/	报告编号	LC10-0648		
	外加剂 1	产品名称:	聚羧酸高效减水剂	规格型号:	ZJC-01				
		产地:	中星	掺量:	1.0%				
	外加剂 2	产品名称:	膨胀剂	规格型号:	HEA				
		产地:	上海武冠	掺量:	10%				
掺合料 1	产品名称:	粉煤灰	规格型号:	I 级					
	产地:	博磊	掺量:	5%					
掺和料 2	产品名称:	/	规格型号:	/					
	产地:	/	掺量:	0.0%					
施工要求	坍落度:	180±10mm		拌合及浇筑方法:	机械振捣				
	适用温度:	5-35℃		输送方式:	泵送				
配合比	水胶比:	0.28	砂率:	37%	$f_{cu} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma$				
	材料名称	水	水泥	细骨料	粗骨料	外加剂1	外加剂2	掺合料1	掺和料2
	每 m ³ 用量 (kg)	165	500	622	1080	5.7	60	30	0.0
	重量比	0.33	1.00	1.24	2.16	0.011	0.12	0.06	0.000
备注	1、材料应严格过称。								
	2、本配合比所用砂、石为风干状态,用水量可随现场砂、石实际含水率做调整。								

审核: 吴小强
审批: [Signature]
检测: [Signature]
(本报告未经实验室书面批准不得部分复制)

混凝土立方体试件抗压强度检验报告

检验编号: LY10-07416

委托单位	中国建筑股份有限公司	收样日期	2010年6月18日
工程名称	成都国际金融中心	成型日期	2010年6月17日
施工部位	钢管柱	检验日期	2010年7月15日
设计等级	C60 膨胀	签发日期	2010年7月15日
样品尺寸	100×100×100mm	龄 期	28d
检验依据	GB/T50081-2002	养护方法	标 养
检 验 结 果			
单块抗压强度值 (MPa)		该组抗压强度值 (MPa)	
72.2		72.0	
73.1			
70.8			
备注	检验单位		[Stamp]
	技术负责: 吴小强 校核: [Signature] 检验: 黄朝龙		
(本报告未经实验室书面批准不得部分复制)			

图8 钢管柱混凝土配合比

2) 钢管柱内混凝土浇筑

对于高空浇筑混凝土每次搭设操作脚手架费用高,安全性差等特点,项目部制作了工具式的浇筑操作平台(图9),平台主要由角钢和钢板制作而成,通过螺

栓与钢管柱安装时临时固定用的连接耳板固定。该操作平台的使用节约了架体搭设费用并加快了施工进度,改善了施工操作环境,保证了钢管柱内混凝土的施工质量。

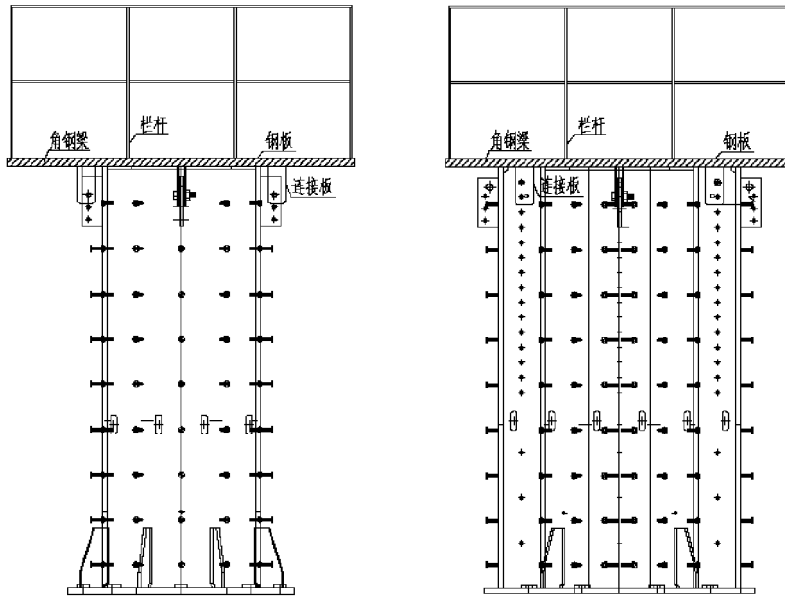
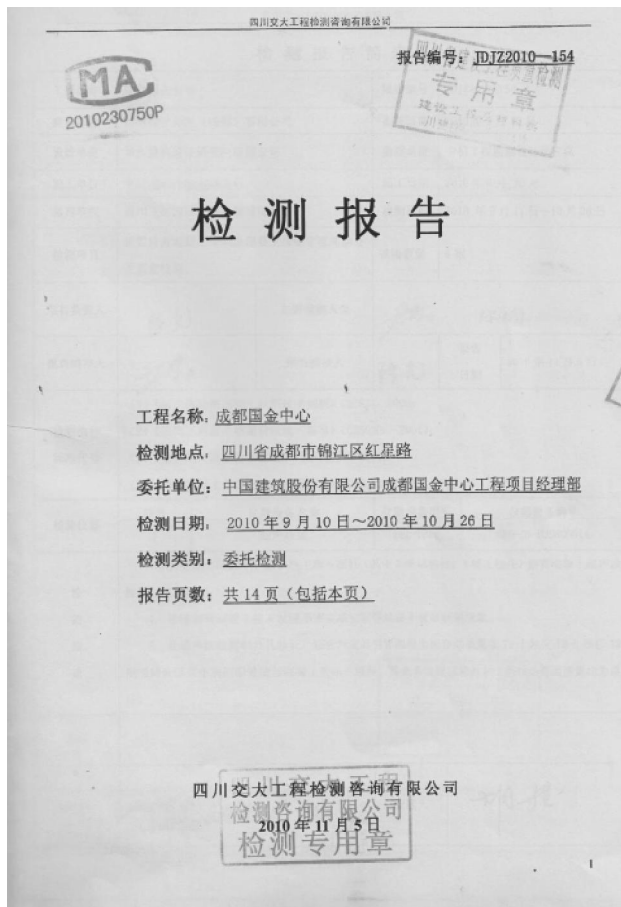


图9 安装就位的操作平台立面图

3)钢管柱内混凝土检测
 钢管柱内混凝土浇筑完成后,及时进行超声波无损探伤检测,采用径向对测的方法,布置测点时,在钢管曲面上画出若干根母线线和等间距的环向线,线间距为300mm,根据某个剖面的波幅、声速或主频率值等参数,评价柱体内混凝土的成型情况(图10)。经过多次检测,钢管柱内混凝土成型效果好,达到了预期的目标。



检测报告简表			
工程名称	成都国金中心	报告编号	JDJZ2010-154
建设单位	龙锦综合开发(成都)有限公司	委托日期	2010年9月10日
设计单位	华东建筑设计研究院有限公司	勘察单位	中航工程勘察设计研究院
施工单位	中国建筑股份有限公司	施工日期	2010年8月~10月
监理单位	四川飞虹建设工程监理有限公司	检测日期	2010年9月11日~10月26日
检测项目	钢管柱内混凝土缺陷及混凝土与钢管壁间结合面质量检测	试验数量	6根
项目负责人	陈光	主要检测人员	陈光 陈光
报告编写人	陈光	报告审核人	陈光
报告日期	2010年11月5日		
检测执行标准代号	(1)《超声波检测混凝土缺陷技术规范》CECS21:2000; (2)《建筑工程施工质量验收统一标准》(GB50300-2001); (3)《建筑结构检测技术标准》GB/T50344-2004; (4)《钢管混凝土组合结构技术规范》(CECS188:2005)。		
检测仪器	序号	仪器设备名称	仪器设备型号
	1	超声波仪	ZBL-U520
			SBG-DY-U20605014
检测结论	本次对成都国金中心总承包工程6根柱(其中2根试验柱,4根工程柱)钢管混凝土超声波检测,结论如下: 1. 被检钢管混凝土柱未发现不密实或空洞等混凝土质量缺陷现象。 2. 经超声波检测和开孔验证,综合判定其钢管混凝土结合面质量除T2-1轴交T2-C轴柱12剖面结合面有个别剖面管壁与混凝土胶结一般外,其余各轴试验柱和工程柱结合面质量均为良好。		
备注			
审核人	陈光 2010.11.10	批准人	胡提

图10 钢管柱内混凝土超声波检测报告

4.2.4 偏心锥形钢管柱施工技术

本工程 T1、T2 塔楼建筑外围将在 L7 层开始改变立面效果,涉及到 T1、T2 钢结构外围钢管柱(共计 32 根)在 L7-L8 层需要进行变截面处理:图纸要求 45mm 厚度钢管需要在 5350mm 高度范围内,从外径 1050mm 变化到 850mm(其中上、下圆截面圆心位置不同心)(图

11)。但是,根据经验及咨询国内知名企业,均只能在待加工钢管尺寸符合 D/t (厚径比)大于 22 条件前提下,才能进行冷压或冷卷,否则将无法满设备加工条件,以及不能确保钢管不会因加工曲率较大而损伤材质。最后,采用铸钢件解决了本工程圆钢管柱变截面范围制作问题。

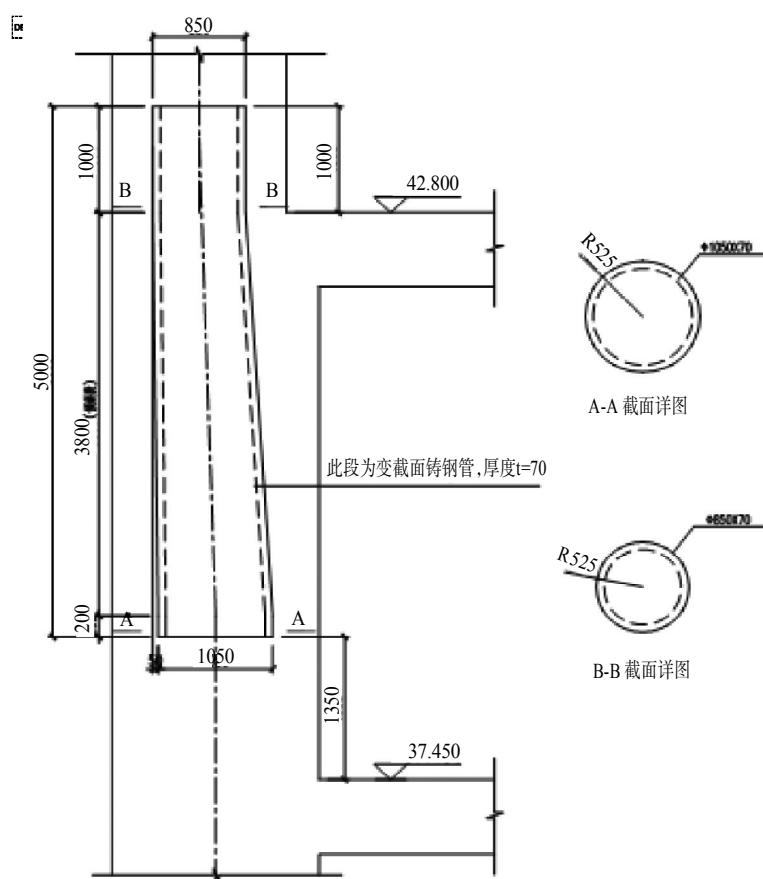


图 11 钢管柱变截面示意图

1) 铸钢材质选择

铸钢件材质与截面厚度的选择,须考虑以下三个方面:

铸钢材质与 Q345B 低合金钢各种化学成分尽可能的接近;

铸钢件与型钢柱之间有可靠的可焊性;

铸钢件浇铸成型必须保证钢水具有较好的流动性,保证钢水充满型腔,铸造工艺要求壁厚不得小于 70mm。

综合以上各方面因素,结合原结构设计型钢柱的截面特点,选择铸钢材质为 ZG20Mn,壁厚为 70mm。

2) 焊接节点处理

铸钢材质为 ZG20Mn,屈服强度 $\geq 285\text{MPa}$ (约 300MPa),尽管钢管厚度 70mm,有效截面强度可保证不小于原设计 Q345B(屈服强度 345MPa,厚度 45mm)钢材截面强度。但是,在上下钢柱焊接节点,铸钢件有效焊接面积取决于下柱型钢管壁厚(45mm),铸钢截面强度小于下柱钢管截面强度,因此,须对焊接节点

处进行加固处理,以满足设计节点的等强连接要求。 经与设计沟通,最终加固处理措施如下图(图12)所示:

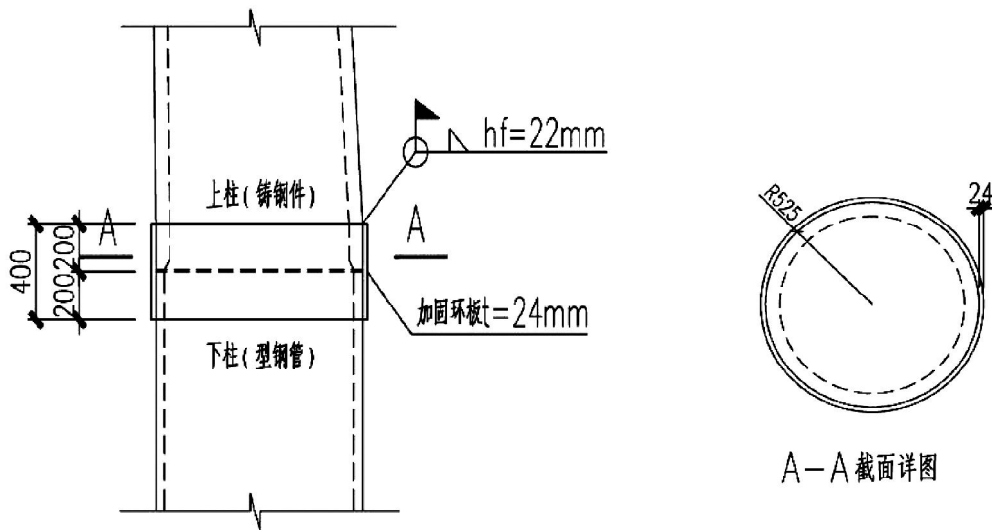


图12 加固示意图

后期经超声波检测,铸钢件本体和连接处的焊缝都达到了设计及规范要求。采用铸钢件解决了偏心锥形圆管柱的问题,满足了设计受力要求,取得了较好的技术经济效益。

5 结语

1)采用钢管混凝土柱可以显著提高构件的延性和耗能能力,提高结构的抗震性能。对于梁柱节点部位的锚固处理可以通过设置双梁,让梁纵筋从钢管两边通过来解决。

2)通过增大柱截面,增大与之相连的框架梁截面和楼板厚度来增大柱约束力,从而降低跃层柱由于长度增加而对稳定性造成的折减。

3)双连梁的形式不仅可以解决管道穿行的问题,并且可以解决连梁超筋和连梁高度过大的问题,双连梁能降低连梁刚度,改善连梁受力,避免超筋。

4)通过膨胀剂、控制入模温度、采用保温蓄热养护等措施能有效的控制筏板大体积混凝土裂缝的产生。

5)通过采取复杂渗水环境下超厚外墙单侧支模施工技术,现场外墙,施工过程中无爆模、涨模现象施工顺利。拆模后混凝土成型效果良好,外表光滑。防水施工效果达到预期效果。

6)通过加入具有三个膨胀源的膨胀剂,很好的改善了钢管柱内混凝土的性能,保证了钢管柱内混凝土与钢管侧的贴合紧密,保证了混凝土和钢管协同受力,达到了设计要求。在钢管柱混凝土施工过程中,制作开发定型化工具,其具有加快施工进度,降低费用,操作便捷,改善工作环境的作用。

7)通过采用铸钢,很好的解决了偏心锥形圆管构件制作难题,达到了设计要求,取得了较好的技术经济效益。

参考文献

[1] 张耀康,周健,王帅、成都国金中心 T1&T2 办公大楼结构设计与研究、第二十一届全国高层建筑结构学术会议论文、2010
 [2] 胥玉祥,朱玉华等、双连梁受力性能研究[J]、结构工程师 2010 (3):31-37