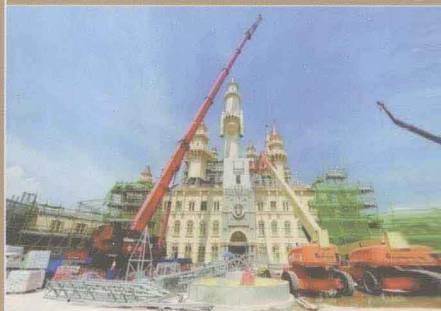


钢结构建筑 轻质环保围护墙体系 >> 设计与施工

李佩勋 陈福林 侯兆新 曾昭波 编著



中国建筑工程工业出版社

钢结构建筑轻质环保围护墙 体系设计与施工

李佩勋 陈福林 侯兆新 曾昭波 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

钢结构建筑轻质环保围护墙体系设计与施工/李佩勋等编

著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 7

ISBN 978-7-112-14214-9

I. ①钢… II. ①李… III. ①轻型钢结构-围墙-建筑设计②轻型钢结构-围墙-工程施工 IV. ①TU227

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 062283 号

本书重点介绍了在新加坡环球影城项目中研制的钢结构建筑轻质环保围护墙体系的设计与施工, 并涉及工程施工优化的方法、技术和优化策略, 详细描述了该体系的设计与安装技术、质量控制方法, 以及洞口设计和加固技术, 并提供了蒸压轻质混凝土墙板的横板、竖板和大板预拼装设计, 以及蒸压轻质混凝土墙板隔声、节能构造的设计图。本书是钢结构轻质外墙设计和施工的实用参考资料, 图文并茂, 可作为建筑企业技术和管理人员的工作指导用书。

责任编辑: 曾 威

责任设计: 李志立

责任校对: 党 蕾 赵 颖

钢结构建筑轻质环保围护墙体系设计与施工

李佩勋 陈福林 侯兆新 曾昭波 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15½ 字数: 380 千字

2012 年 11 月第一版 2012 年 11 月第一次印刷

定价: 36.00 元

ISBN 978-7-112-14214-9
(22277)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

新加坡环球影城是继美国好莱坞、奥兰多和日本大阪后的世界上第四个，也是东南亚唯一的一个环球影城主题公园。它汲取了前三个环球影城的精华，又独具特色。园区内包括梦幻世界、失落世界、古埃及城、科幻城、纽约街、好莱坞六大观景区和一个人工湖，内设 24 个游乐设施和景点，其中有 18 个是专门为新加坡设计或修改的，园区内还包括 30 家不同风味的餐饮设施和 21 家零售店及摊位，总造价超过 10 亿美元，是一处世界级的综合旅游胜地。

新加坡环球影城是中国冶金科工股份有限公司，也是中国建筑企业在海外承建的第一个大型综合娱乐项目，由其下属的中国京冶工程技术有限公司和中冶天工集团有限公司两家子公司联合承建。全体管理人员和数千名工人夜以继日地工作，克服了重重困难，精心组织、大胆创新，仅用 18 个月便完成了工程建设，创造了环球影城建设史上的奇迹。

作为拥有美国自主知识产权的世界顶级主题公园，环球影城在设计理念、景点特色、工艺要求、质量标准、施工管理和技术等诸多方面均独具特色。

新加坡环球影城能在短短的 18 个月内完成，离不开管理创新和技术创新：依托承包商先进的设计和施工技术实力，开展工程施工材料优化、设计优化、施工优化，采用绿色材料，缩短工期，降低成本。整个工程施工完全是一个工程施工优化的实践过程。

在这众多的技术创新当中，多功能轻质复合墙板可以说是最大的亮点。正是借助多功能轻质复合墙板的设计、施工技术的成功研制与应用，才能成功地加速生产和施工，为新加坡环球影城能在短短的 18 个月内竣工扫除了施工关键路线上的障碍，同时为总承包商赢得了良好的声誉。

一个优秀的总承包商不仅仅是一个建造商，他首先必须是一个具有强大技术实力的建造团队；他必须和开发商、咨询公司紧密地组成一个团队，成为团队中的一员，发挥其主观能动性，善于和开展商、咨询公司协调解决各种技术问题，利用自身的技术实力开展优化设计。

总承包商开展优化设计的目的是为了更方便施工，缩短工期，节省成本，提高施工质量。作为总承包技术人员必须抓住设计要点，善于发现问题，列出设计关键技术路径和工期、质量、成本关键路径，并使用优化关键路径法分析优化的技术难点、实施难点，制定相应的技术措施；利用价值工程理论分析评判优化设计，确定优化目标，开展优化。

工程施工优化是一个复杂的技术管理，并不是一种纯技术设计或引进与采用新技术问题。在工程施工过程中，任何一种改变，都是对原设计的否定，在某种程度上是对咨询公司的否定。不言而喻，这种优化改变会带来一定的阻力。工程施工优化同时还必须获得咨询公司的批准，某些优化设计还须获得当地政府的批准，并满足当地所使用的规范要求。优化改变需要知识，更需要时间，任何一种优化设计，不管有多么好，或可以节省多大的成本，提高多少质量，如不能在有效的时间内完成，它都将是空谈，都难以付诸实施，所

以说,工程施工优化具有时效性,这就是工程施工优化的特点。要保证成功实施工程施工优化,必须具有先进的技术、合理的优化工具、良好的优化策略和优化管理措施。

在施工阶段的优化设计通常都是以总承包商为主,咨询公司为辅,咨询公司处于被动地位,有时甚至给予阻力,总承包技术人员必须善于说服咨询公司,有时甚至要善于借助于业主的力量。

新加坡环球影城工程的工期紧、场地紧、交通紧,这是主要矛盾,我们开展优化设计主要是为了节省工期、方便施工。但节省工期、方便施工,并不等于牺牲成本和施工质量,必须制定设计关键技术路径,工期、质量、成本关键路径,列出问题和措施,就能在众多的矛盾中找出平衡点,达到优化的目的,节省成本,取得良好的经济效益和社会效益。

开展施工优化,其技术人员必须具有良好的技术素质、广博的知识面,而且要有施工经验,能有效地说服咨询公司,才能有效开展施工阶段的优化设计。

在设计和施工中,我们紧抓设计不放,组织攻关小组,攻克了一个又一个难题。主要难题有:

(1) 预制混凝土板接缝的防水和隔声、隔热问题难以克服。

(2) 设计问题很多,设计和审批过程非常长,严重影响了混凝土预制板的生产。

(3) 混凝土预制板生产速度不能满足施工需求,两个预制厂同时开工,也不能满足施工进度要求。

(4) 一个不可逾越的设计问题是,结构咨询工程师在设计钢结构时没有考虑由于环球影城的复杂性,在室内外都有大量的电器设备、管道、广告牌、外观装饰、维修猫道、吊顶、金属屋面和绿色屋面等一些特别的结构和设备荷载需要传到建筑物钢结构上,导致设计承载能力不足,有多处需减低荷载,影响了建筑设计和主题公园的艺术功能。

(5) 由于混凝土预制板较重,必须使用 50t 以上的起重机来吊装,场地将会制约外墙板的安装进度,其余 8 个建筑物,除 4D 影院有部分场地可供外墙板吊装外,其余建筑物都不能提供足够的施工场地供外墙板吊装,甚至没有合适的地方停放起重机,尤其是激流涌进 2、好莱坞剧院和音乐厅紧靠轻轨列车,起重机使用受到严格限制,其安全申请手续非常费时、费力,要想按时安装混凝土预制板是不可能的。

(6) 加快设计进度、减低外墙重量、提高外墙板的生产能力、加速安装外墙板施工进度变成当务之急。

在本外墙体系的研制过程中,提出了一种全面、独特的工程施工关键路线优化法,研究并优化了新加坡环球影城的外墙材料,采用中国制造的绿色环保轻质加气混凝土板代替预制混凝土外墙板。在外墙材料的变换中,把关键路线中的关键活动变换成非关键活动,成功实施了对新加坡环球影城外墙的优化,自行完成了外墙的设计和安装。研究了预拼装大板的设计和施工技术,成功地使用独创的优化技术解决了轻质加气混凝土板在低频区隔声效果较差的弱点,研究设计了复合墙板。

在新加坡环球影城外墙板的优化过程中,我们成功地使用工程施工关键活动和关键路线,找出预制混凝土外墙设计、生产和安装中所存在的问题,分析拟定新的外墙材料,分析研究了蒸压轻质加气混凝土板的采购、生产、安装的关键活动路线,比较预制混凝土外墙板和蒸压轻质加气混凝土板的关键路线和关键活动,得出了有益的优化结论,通过材料

的改变,引起外墙设计和施工关键路线上的关键技术活动的变化,使得原设计施工关键技术活动,消失在新的设计施工关键路线上。

从新加坡环球影城外墙板的优化中,我们用轻质加气混凝土板来代替预制混凝土外墙板,不仅缩短了工期,避开了场地紧、交通紧的困难,而且减少了墙体荷载,为咨询公司解决了难以克服的困难。虽然轻质加气混凝土板外墙防水不如预制混凝土板,其隔声能力在低频段效果不好,但我们在设计上下工夫,保证了外墙的防水质量,通过了严格的现场防水试验;为保证轻质加气混凝土板外墙在低频段的隔声能力,我们采用金属面岩棉板和轻质加气混凝土板组成复合外墙板,通过试验,利用金属面板优越的隔声性能,解决了外墙板在低频段的隔声问题。

第一次使用蒸压轻质加气混凝土墙板就遇到了 STC65 (Sound Transmission Class, 缩写 STC) 的较高的隔声要求,对我们来说有点为难,但我们在使用新技术时,必须坚定信心,努力去发现并解决问题,要有不达目的决不罢休的决心,并努力去达成目标。在环球影城项目中使用节能隔声多功能复合墙板技术,不仅要解决其技术问题,而且要满足高要求的隔声、隔热设计,同时也要有效地解决在蒸压轻质加气混凝土墙板上开洞、加固的防水问题,但更重要的是在有限的时间内完成设计、生产和安装工作,否则失去了变换设计的意义。

在外墙优化设计过程中,我们不仅越过了一个个难关,而且总结实施了工程施工优化方法,把中国的绿色建材运用到海外工程,同时在优化过程中实施技术创新,创造了大板预拼装技术、蒸压轻质加气混凝土多功能隔声节能复合板技术,并申请了多项专利。

节能隔声多功能复合墙板技术在新加坡环球影城工程的应用取得了可喜的成果,把原本不可能在规定工期内完成的事情变成了可能事情。黑暗骑士 2 外墙为预制混凝土板,其设计、安装共用了 8 个月时间,而其余 8 栋建筑物,我们采用的是蒸压轻质加气混凝土墙板,总共仅用了不到 7 个月时间,其工效提高了好几倍。

由于我们采用了蒸压轻质加气混凝土墙板和金属面岩棉夹芯复合板技术,使得通常需要 4 年半完成的环球影城项目,在 18 个月内完成了。事实证明,我们正确选择了蒸压轻质加气混凝土技术。

在距 2009 年 12 月完成竣工验收近 3 年的今天,新加坡环球影城的 8 栋建筑单体的蒸压轻质加气混凝土墙板历经了新加坡热带岛国的高温、大雨和大风的考验,各种隔热、隔声、防水、防火等性能指标均保持正常,未出现任何质量问题,而且节能隔热效果还远远超过了原设计要求。为了使我们的钢结构建筑外围护体系有更多的选择,我们将研制和施工过程总结编著成书,以飨广大读者,供同行参阅指正。

目 录

引言	1
第一篇 围护体系的设计	
1 工程技术背景	4
1.1 工程概况	4
1.2 工程特点	5
1.3 新加坡建筑围护体系简介	6
1.4 主要建筑物围护结构概况	9
1.5 小结	11
2 预制混凝土墙板设计介绍	12
2.1 外墙设计的基本要求	12
2.2 预制混凝土墙板的基本性能	13
2.3 预制混凝土墙板的基本设计流程	13
2.4 预制混凝土墙板的设计分析	14
2.5 小结	15
3 预制混凝土外墙的施工	16
3.1 预制混凝土外墙板的施工要求	16
3.2 黑暗骑士 2 预制混凝土外墙板的生产与安装	18
3.3 现场施工物流分析	20
3.4 现场施工场地分析	21
3.5 施工工期分析	29
3.6 交叉施工分析	30
3.7 安全施工分析	36
3.8 小结	38
4 外墙优化设计	39
4.1 工程施工优化特点	39
4.2 工程施工优化方法	40
4.3 优化策略和技术管理	46
4.4 围护墙体系的试验论证	52
4.5 优化设计分析	53
4.6 小结	55
第二篇 围护墙体系设计	
5 建筑围护墙体系技术	56

5.1 外围护墙体体系技术要求	56
5.2 隔声墙体体系技术要求	57
6 墙体主要材料及其性能	58
6.1 蒸压轻质加气混凝土 (ALC) 外墙板	58
6.2 预制混凝土外墙板	62
6.3 金属面岩棉夹芯板	63
6.4 吸声板	64
6.5 外墙板防水涂料	66
6.6 外墙板密封材料	66
6.7 石膏板	66
7 有隔声吸声要求的复合墙体设计	68
7.1 以蒸压轻质加气混凝土为外层墙的 STC45 复合墙体	68
7.2 以蒸压轻质加气混凝土为外层墙的 STC65 复合墙体	69
7.3 以预制混凝土为外层墙的 STC45 复合墙体	70
7.4 以砖墙为外层墙的 STC65 复合墙体	71
7.5 以金属面岩棉夹芯板为主体的隔声复合内隔墙	72
8 有防水防火要求的墙体构造设计	73
8.1 外墙表面防水涂层	73
8.2 蒸压轻质加气混凝土墙板接缝处防水构造	76
8.3 预制混凝土墙板接缝防水构造	80
8.4 墙体防火设计	84
9 蒸压轻质加气混凝土板墙体构造	86
9.1 概述	86
9.2 蒸压轻质加气混凝土墙板专用安装构件	87
9.3 横装墙板构造	89
9.4 竖装墙板构造	91
9.5 大板构造	94
9.6 固结法构造	96
9.7 蒸压轻质加气混凝土墙板开洞设计	97
9.8 预制混凝土板构造	102
10 围护墙体设计计算	105
10.1 ALC 板的结构计算	105
10.2 围护墙体热工计算	106
10.3 围护墙体隔声计算	110

第三篇 蒸压轻质加气混凝土板分析计算

11 基本设计方法	121
11.1 分析和设计基本条件	121
11.2 允许应力和极限强度设计	121
11.3 强度极限状态	122
11.4 正常使用极限状态	122

12 荷载	124
12.1 设计荷载	124
12.2 设计作用荷载	124
12.3 自重	124
12.4 恒定荷载	124
12.5 活荷载	125
12.6 收缩和温度应力	125
13 允许应力	126
13.1 概述	126
13.2 蒸压加气混凝土弯曲应力	126
13.3 蒸压加气混凝土拉伸应力	127
13.4 蒸压加气混凝土承载应力	127
13.5 蒸压加气混凝土剪应力	127
13.6 钢筋	127
13.7 焊接剪应力	128
13.8 钢筋和蒸压加气混凝土间的接触面特性	128
14 允许挠度	129
15 允许缝隙宽度	130
16 设计方法	131
16.1 抗弯设计	131
16.2 抗剪设计	135
16.3 形变计算	137
16.4 锚固设计	141
16.5 裂缝控制	143
16.6 安全系数比较	144
16.7 允许应力设计	146
17 板设计实例	148
17.1 概要说明	148
17.2 弯曲设计	149
17.3 剪切设计	153
17.4 变形	154
17.5 锚固设计	162
17.6 裂缝控制	164
17.7 结论	165
18 注释	166

第四篇 围护墙体性能试验研究

19 材料性能试验	169
19.1 蒸压轻质加气混凝土物理性能试验	169
19.2 蒸压轻质加气混凝土墙板承载能力试验	171
19.3 蒸压轻质加气混凝土墙板抗拉拔能力试验	173

19.4 金属面岩棉夹芯板承载能力试验	175
20 复合墙体的隔声性能试验研究	176
20.1 以蒸压轻质加气混凝土为外层墙的 STC45 复合墙体隔声试验研究	176
20.2 以蒸压轻质加气混凝土为外层墙的 STC65 复合墙体隔声试验研究	177
20.3 以砖墙为外层墙的 STC65 复合墙体隔声试验研究	180
21 复合墙体的外墙板耐火、防水试验	183
21.1 蒸压轻质加气混凝土外墙板耐火试验	183
21.2 蒸压轻质加气混凝土外墙板防水试验	190
第五篇 围护墙体施工	
22 复合墙体主要材料的包装运输和储存	192
22.1 采购	192
22.2 运输	192
22.3 堆放	193
22.4 现场二次运输	193
23 墙体系统施工技术	194
23.1 概述	194
23.2 蒸压轻质加气混凝土墙板的安装	197
23.3 预制混凝土外墙板安装	203
23.4 金属面岩棉夹芯板的安装	204
23.5 墙板开洞技术	208
23.6 外墙板饰面防水施工	208
23.7 绿色安全施工	211
24 施工质量验收标准	214
24.1 蒸压轻质加气混凝土墙板生产及质量标准	214
24.2 蒸压轻质加气混凝土墙板安装及质量标准	215
24.3 预制混凝土板安装及质量标准	217
24.4 金属面岩棉夹芯板质量标准	218
24.5 外墙板饰面防水涂层质量控制及标准	220
24.6 外墙板开洞质量控制标准	223
24.7 质量控制验收附表	224
参考文献	232
后记	233

引言

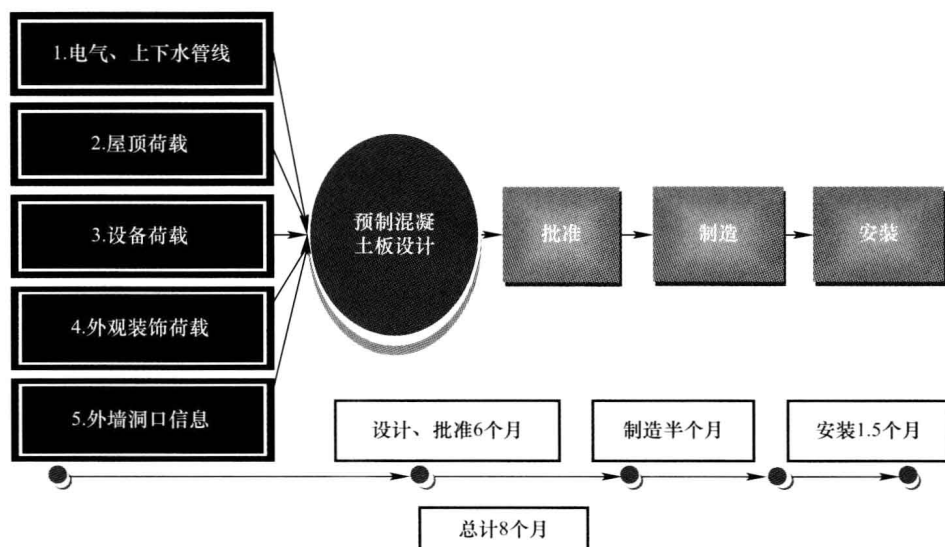
新加坡环球影城项目是一个综合娱乐项目，临近大海，主要景点都建在地下室顶板之上，建造同等规模的美国环球影城、日本环球影城用了4~15年才能完成的建设工程，新加坡环球影城项目工期仅有18个月，施工工期非常短，而且新加坡环球影城远比已建的环球影城项目复杂和精致，外墙装饰都为立体造型，施工难度更大，极具挑战性。

(1) 大部分景点都建立在9.5m超高净空的大型地下室上面，工期受地下室施工影响，而其他已建环球影城都建在地面上。

(2) 地面景观结构复杂，大型人工湖LAGOON和雨水收集、排水系统都位于地下室顶板之上，地下室顶板随上部结构功能而变，高低起伏，蜿蜒曲折，变化多端，最大高差达4.5m之多。所有这些加剧了环球影城项目的施工复杂程度，使得地下室施工成为关键施工路线上所有关键节点中最重要的节点。

(3) 新加坡环球影城有9个主要室内景点，9栋建筑物都为大型钢结构建筑物，高度都在20m左右，彩钢板绿色屋面，外墙为预制混凝土板，外加外观建筑装饰，所有室内游乐设施的基础、安装、上下水、机电管线的施工都和外墙板、隔声系统施工交叉进行，甚至外观装饰及外墙的连接也同样和外墙交叉重叠，相互影响，并且所有主建筑物都位于交通要道，吊装安装预制混凝土墙板需要使用大型吊车和升降车，需有足够的空地来堆放、吊装预制混凝土外墙板，受施工物流影响，没有足够的空间来吊装预制混凝土外墙板。显而易见，外墙的设计、制造和安装也是环球影城项目施工关键路线上的一个重要的节点。

预制混凝土外墙板设计、制造和安装简明关键路线图如下：



新加坡政府多年来一直致力于推广使用预制混凝土构件,以减少工程现场人力使用,提高建筑施工生产力。

黑暗骑士 2 是第一个开始施工的主要建筑物,完全按照原设计采用钢结构、预制混凝土外墙板,由于设计信息不足,预制混凝土外墙板的设计与批准花费了 6 个月。两个生产厂家同时生产,半个月才能完成 5640m^2 预制混凝土板的生产,由于每块预制混凝土板大约为 4t,需要使用重型吊车,受安装场地条件的影响,主要墙面的安装就花费了 1 个半月。

黑暗骑士 2 预制混凝土外墙的设计、制造和安装总计费时 8 个月。这完全不能满足新加坡环球影城项目施工进度的要求,业主和咨询公司也对此忧心忡忡。

我们首次创造性地使用施工技术优化关键技术路线分析法(OPTIMUM KEY ROUTE ANALYSIS)分析了预制混凝土板的设计、生产、制造、安装的关键技术路线和关键节点,发现预制混凝土板的设计信息严重滞后,施工场地条件极差,施工交叉严重,而预制混凝土板又较重,储存和安装预制混凝土板都需要大量场地,一个建筑物四面墙仅能使用一个安装队伍,安装速度极慢,严重影响了新加坡环球影城的施工进度。

调整预制混凝土外墙板的设计方案,开展优化设计势在必行。

由于工期非常紧迫,任何优化都须承担很大的风险,我们必须合理安排市场调查,设计研究和生产、施工。我们首先对目前市场上常用的外墙材料,如红砖、空心砖、水泥砖、泡沫混凝土砖、蒸压加气混凝土砖、轻质防水石膏板、轻质蒸压加气混凝土板,以及其他水泥基复合墙板使用脑力风暴进行了分析研究和专业咨询。

在初步研究后,我们把目标锁定在轻质蒸压加气混凝土板上,其质量、生产能力都能满足我们的要求,而且安装简单,几乎不占用场地。但新加坡还未使用过轻质蒸压加气混凝土板,阻力很大,开展外墙优化需要专业知识、需要时间、更需要和业主、咨询公司沟通,这些都极具挑战。

- 1) 没有任何轻质蒸压加气混凝土板的设计和施工经验,这对我们自身是一个挑战。
- 2) 如何说服业主和咨询公司并获得相应的支持是第二个挑战。
- 3) 第三个挑战是如何快速组织好优化设计、生产、运输和安装施工,任何一个环节出问题,都会导致非议,影响优化设计的成败。
- 4) 第四个挑战是设计人员对所用新材料都不熟悉,沟通困难,设计时间短,为了保证按时交付生产,保证按时安装,难度极大。
- 5) 第五个挑战是在有限的时间内采用试验来证明其优化设计所采用的外墙设计功能能满足原设计要求,如防火、隔声、防水。
- 6) 第六个挑战是如何解决这种外墙优化设计后所引起的一系列墙体性能的改变,采用新设计来弥补不足。新加坡环球影城外墙设计要求高,对隔声、隔热、防水等都提出了更高的要求,用轻质蒸压加气混凝土板来代替预制混凝土板,在性能上肯定不能完全等同,解决问题,达到原外墙设计功能才是优化成功的保证。

为了保证优化设计的成功实施,我们首次研究使用优化关键路线法,研究了预制混凝土板外墙的关键路线和关键节点及轻质蒸压加气混凝土板设计、生产、运输和安装、试验研究的关键路线和关键节点,分析研究了优化对策,成立了新加坡环球影城外墙优化课题组,并制定了优化设计、采购、生产、运输、安装和试验研究、质量管理策略和措施。

快速锁定中国质量最优的轻质蒸压加气混凝土板生产厂家，和业主、咨询公司一起考察研究，同时开展设计研究。

目前在中国、日本、欧洲、美国都已大量使用轻质蒸压加气混凝土板，作为绿色可循环、隔热、吸声建筑材料已广泛被设计和施工技术人员所接受，普遍用于一般民用建筑和工业建筑，其设计、施工技术已十分完善。但对于隔声、隔热、防水要求较高的环球影城项目还是首次，还有许多问题亟待解决，我们的研究将集中于下列诸方面：

- 1) 在施工期间如何有效开展优化设计，重点是设计施工优化关键路线和关键节点法。
- 2) 对新加坡环球影城项目外墙开展优化设计和施工。
- 3) 轻质蒸压加气混凝土大板预拼装设计及施工技术。
- 4) 新加坡环球影城项目 STC65 隔声外墙的优化设计和施工技术。

5) 中外轻质蒸压加气混凝土金属岩棉复合多功能墙体设计图册，该设计手册为中英文图册，在中国规范和英国规范基础上编著。

我们希望通过以上的研究，快速解决新加坡环球影城项目预制混凝土外墙板的设计、制造和施工问题，保证新加坡环球影城项目外墙优化的成功实施，从新加坡环球影城项目的关键施工路线中找出外墙的设计、生产和安装关键节点，保证在 18 个月内完成新加坡环球影城项目，并总结出海外施工企业在施工期间开展优化设计的经验；开展轻质蒸压加气混凝土大板预拼装设计及施工技术研究，以提高生产力；利用轻质墙体和质量较大的金属面岩棉复合材料的隔声互补性，开发轻质薄型高效隔声墙体，解决新加坡环球影城外墙的隔声问题；并在此基础上提炼完善中英文轻质蒸压加气混凝土金属面岩棉复合多功能墙体设计图册，提高设计能力，提高生产力，提高企业的竞争力。

第一篇 围护体系的设计

1 工程技术背景

1.1 工程概况

新加坡环球影城位于新加坡南部风景秀丽的圣淘沙岛，依山傍水，与新加坡主岛隔海相望，它是世界上第四个美国环球影城公司具有自主知识产权的主题公园；也是到目前为止东南亚唯一的环球影城主题公园；它占地面积 22 公顷，建造费用超过 10 亿美元，设计每天可接待 3 万人次；它汲取了美国好莱坞、奥兰多和日本大阪三个环球影城的精华，园区内包括好莱坞、纽约街、梦幻世界、科学探险城、古埃及城、失落的世界 6 大观景区和一个巨大的人工湖，该环球影城建成推出 24 个游乐设施和景点，其中 18 个是专门为该园区设计或修改的，在世界上独一无二。园区内还设有 30 家不同风味的餐饮设施，以及 21 个零售店和摊位。

新加坡环球影城是新加坡第一个绿色建筑区域，获得了金加级绿色建筑称号，对整个区域的规划、绿化率、墙体垂直绿化、屋顶绿化、墙体隔热节能、隔声防火等都提出了更高、更严的设计要求，为游客提供一个凉爽的游乐环境。

地下室面积达 8 万 m^2 ，净空超过 9m，开挖深度达 16m 之多，地下室和建筑物基础均为混凝土结构，建筑物上部结构采用钢结构，混凝土量约 20 万 m^3 ，钢筋量约 3.2 万 t；钢结构 20 多个单体近 1 万 t；屋顶为彩钢结构，并设计为种植绿色屋面，共 34 个种植绿色屋面约 1 万 m^2 ；黑暗骑士 2 为预制混凝土外墙，其制作和安装都不能满足施工速度和场地的要求，优化设计采用蒸压轻质加气混凝土墙板和金属面岩棉夹芯板作为外墙板，不仅可以满足施工进度和场地要求，而且节能，满足 ST65 的高要求隔声，其总面积达 2 万多平方米；大型人工湖渠面积达 32000 m^2 ；以及大面积的主题装饰、人造景观、绿化工程、外围道路、管线、机电设备、消防自动控制和报警系统等。

新加坡环球影城项目是中冶集团在海外承建的第一个大型综合娱乐项目。由中冶集团下属的中国京冶工程技术有限公司和中冶天工集团有限公司两家子公司联合组成的项目部，凭借着全体管理人员科学管理和数千名工人夜以继日的工作，克服了新加坡现场恶劣的高温酷暑和多雨气候条件，开展管理创新、技术创新、优化设计和施工，采取了多项新技术、新工艺和新材料，自 2008 年 8 月开始施工，共历时 18 个月，新加坡环球影城如期向公众开放，创造了环球影城建设史上新奇迹。

1.2 工程特点

新加坡环球影城项目是一个总包合同,在投标时,大部分设计还停留在概念设计阶段,其游乐景点的设计还处于开发研究阶段,完全无法确定最终设计,更谈不上确定设计图纸,确定工程造价,使得部分合同定为暂估价合同,也就是说,对于不确定设计的游乐景点,将不定工程量,仅确定建造单价。

该项目咨询公司繁多,专业面广,有建筑、结构、机电设备和给水排水、景观、隔声、建筑外观咨询公司,以及美国环球影城咨询公司直接参与设计和研究。除此之外,根据合同要求和规定,总承包商工作范围还包括部分设计和建造任务,如主建筑物钢结构设计、制作和安装,外墙设计、制作和安装,所有景观的设计和建造,以及所有建筑物的外观装饰的设计、制作和安装,还有大型聚四氟乙烯(PTFE)、四氟乙烯(ETFE)顶棚的设计和建造等。这俨然是一个综合的设计建造总承包合同,需要有强大的技术支持和技术实力。

(1) 工期紧。从美国奥兰多第一个环球影城开张以来,新加坡环球影城已是世界上第四个环球影城了,无论是美国的环球影城,还是日本的环球影城,都花费了4~5年时间;另外,还有一个不可忽略的关键设计,使得新加坡环球影城施工关键技术路线上的关键工序增多,关键路线加长,已建的三个环球影城的主要建筑物都是直接设在基础上,而新加坡环球影城的绝大部分主要建筑都设在大型地下室顶板上,而且好莱坞剧院、木箱漂流、黑暗骑士3和音乐厅还局部位于两层地下室之上,地下室及其顶板的施工变成关键施工节点。

(2) 开工时设计图纸不全,开工后设计图纸发放不及时。正如前面所述,本工程合同中含有大量的暂估价合同,无法在开工初期确定设计,完成设计图纸,在实际施工中,形成了边设计、边修改、边施工状况,严重影响了对设计图纸的研究和施工安排,增加了施工规划和施工资源的调配,故严重影响了工程进度。

(3) 整个工程项目设有不同的专业设计院和特别设备咨询公司,一个技术问题通常需要召开多次会议方能解决,效率较低。

(4) 场地紧张。没有足够与合适的场地来布置施工吊装场地和堆放材料设备,施工现场物流管理显得异常重要。

(5) 道路交通困难。特别是现场施工通道,整个工地大部分区域都为地下室,在工地内部仅有两条施工通道,一条是内环路,另一条是外环路。内环路两边都是建筑物和景点,两边建筑物施工、外观装饰吊装施工、屋顶施工,钢结构施工、外墙施工、室内设备运输、装卸都需要用内环路,内环路原则上是一条可以贯通的场内施工通道,但事实上还不能完全贯通,需要根据整个环球影城的施工和整体施工要求来协调施工安排,有时需要局部关闭内环路施工通道,协调施工材料、设备的进出和车辆运行,需有效控制各分包和各区有效使用内环路。

内环路虽然是一条环球影城游客使用的主要通道,但在设计上,它仍然是整个区域建设的一部分,在内环道路下面的地下室顶板上还埋设了各区的电缆、煤气管道、上下水管道等设施,路面装饰要求也较高,要兼顾临时通道和在短时间内完成内环路自身施工,

并非易事。

外环路是环球影城项目中施工现场和外界通行的主要通道,它和已建地下室相连,并和进入圣淘沙岛的主要公路相接,主要担当场内重型设备的运输,路面下方埋设了连接各区的主电缆、煤气、上下水管道、消防管道等。外环路和内环路一样,同样由于各区建筑物的施工、大型设备的安装以及外环路自身施工的要求,不能保持完全畅通,需要根据施工物流和各区施工要求统一协调开通和关闭外环路。

(6) 施工交叉作业严重,场地紧张。紧邻正在运行中的轻轨列车,施工交通路线的布置和重型吊车的使用都会受到严重影响,木箱漂流、好莱坞剧院、黑暗骑士3和音乐厅都位于正在运行中的轻轨列车,不允许在轻轨列车附近停放大型吊车。

(7) 预制装饰板工作量很大,供应商不易找到,而且工期紧,供应商来不及制作,此项工作难度很大。

1.3 新加坡建筑围护体系简介

新加坡是个岛国,在赤道附近,长年温度都在 $24\sim 32^{\circ}\text{C}$ 之间,是典型的热带岛国。无论是建筑管理、规划设计,还是建筑体系、外墙围护设计都形成了独特的岛国风格。

为了达到节能隔热的目的,防止太阳光直射进房间,规定其建筑朝向和南北方向夹角必须大于 22.5° ,对于金加级绿色建筑墙体节能隔热系数要达到 $\text{RETV } 30\text{W}/\text{m}^2$ 或更低,对于白金加级绿色建筑墙体节能隔热系数要达到 $\text{RETV } 20\text{W}/\text{m}^2$ 或更低。

新加坡的建筑外墙围护结构通常可以分为实心红砖墙、空心红砖墙、砂砖墙、预制混凝土板墙,对于临时建筑或工厂、库房一般没有空调要求,谈不上节能,因而设计也较为简单,仅用金属板覆盖。

砖墙是新加坡的传统墙体材料,设计施工都较为简单,随着高层建筑的崛起,为了减轻建筑物的整体荷载,方便施工,逐步引进了空心砖,部分减轻了工人的施工强度,但由于砖墙本身的缺陷,劳动强度仍较高,砖墙的砌筑、粉刷和油漆工作都需在现场完成,不仅工序多,时间长,而且要在建筑物外部工作,不仅需要搭设大量的安全设施,无疑增加了施工成本,并且还会造成大量建筑垃圾,其修补工作更是困难。对于砖墙的质量也是问题,由于工序多,高空作业,难以保证其施工质量,况且工人的熟练程度将影响其施工质量,新加坡多年来的工程实践证明,通常采用砖墙的建筑外墙,墙面都会出现裂缝,表面不平整,有的甚至会出现漏水现象,难以获得质量检查高分。

近年来,新加坡政府对建筑工程施工进行了大量研究,建立了质量评价标准(Quality Mark)、绿色建筑标准(Green Mark)、绿色文明施工标准(Green and Gracious),建筑物的规划设计设定了可建造评分标准(Buildable score)。新加坡政府竭力推行绿色建筑、绿色施工和优质工程,并且设立相应的基金,鼓励开发商和建筑承包商开展技术创新,强力推行可建造技术,提高生产力,采用预制构件,减少在现场的施工作业工程量(即湿作业),这不仅可以减少现场的不安全因素,而且可以减少现场的施工垃圾。

预制混凝土外墙板(Precast Concrete Panel),即混凝土板块和结构构件在预制构件

厂先按照图纸要求制作加工后,再运到工地现场拼接安装的形式。因为其具有施工周期短、质量可靠(对防止裂缝、渗漏等质量通病十分有效)、节能环保(耗材少,减少扬尘和噪声等)、工业化程度高及劳动力投入量少等优点,在国外(如日本等)和我国香港地区的公用和住宅建筑上得到了广泛运用。主要优点是可以进行商品化生产,现场施工效率高,劳动强度低,构件便于安装,结构承载力与变形能力均比混合结构好。但造价较高,自重大,每块板块平均3t重,需用大型的运输吊装机械,平面布置不够灵活,只适用于简单的规则建筑。

预制板在设计过程中,首先要考虑好板块的规格,尽量调整成同一规格的板块,这样能够加快预制生产的速度,便于制作和安装。还可以利用同等强度的钢筋网片代替普通钢筋,减少钢筋绑扎时间。在浇筑完板块后,进行混凝土板块的养护,等到混凝土达到一定强度后,才能运到现场安装(图1-1~图1-7)。

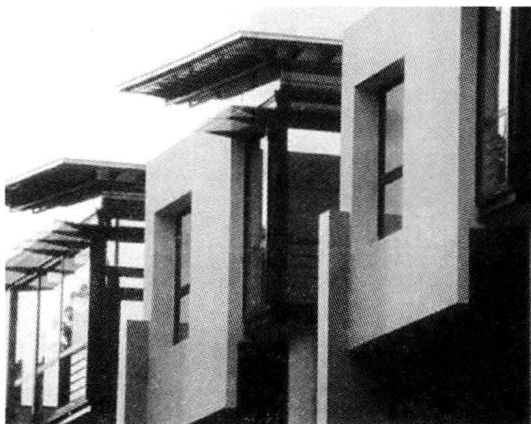


图 1-1 采用预制混凝土板外墙的私人住宅

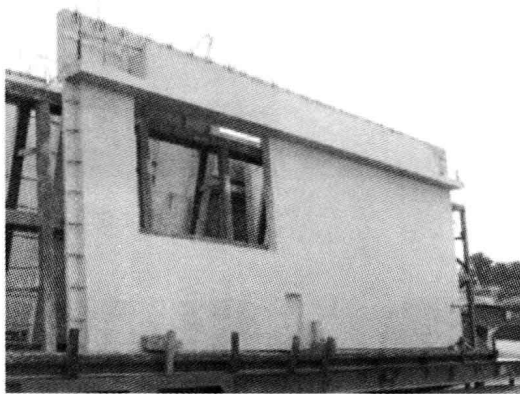


图 1-2 预制混凝土外墙运输



图 1-3 新加坡政府组屋预制混凝土外墙



图 1-4 预制混凝土构件的卸装