

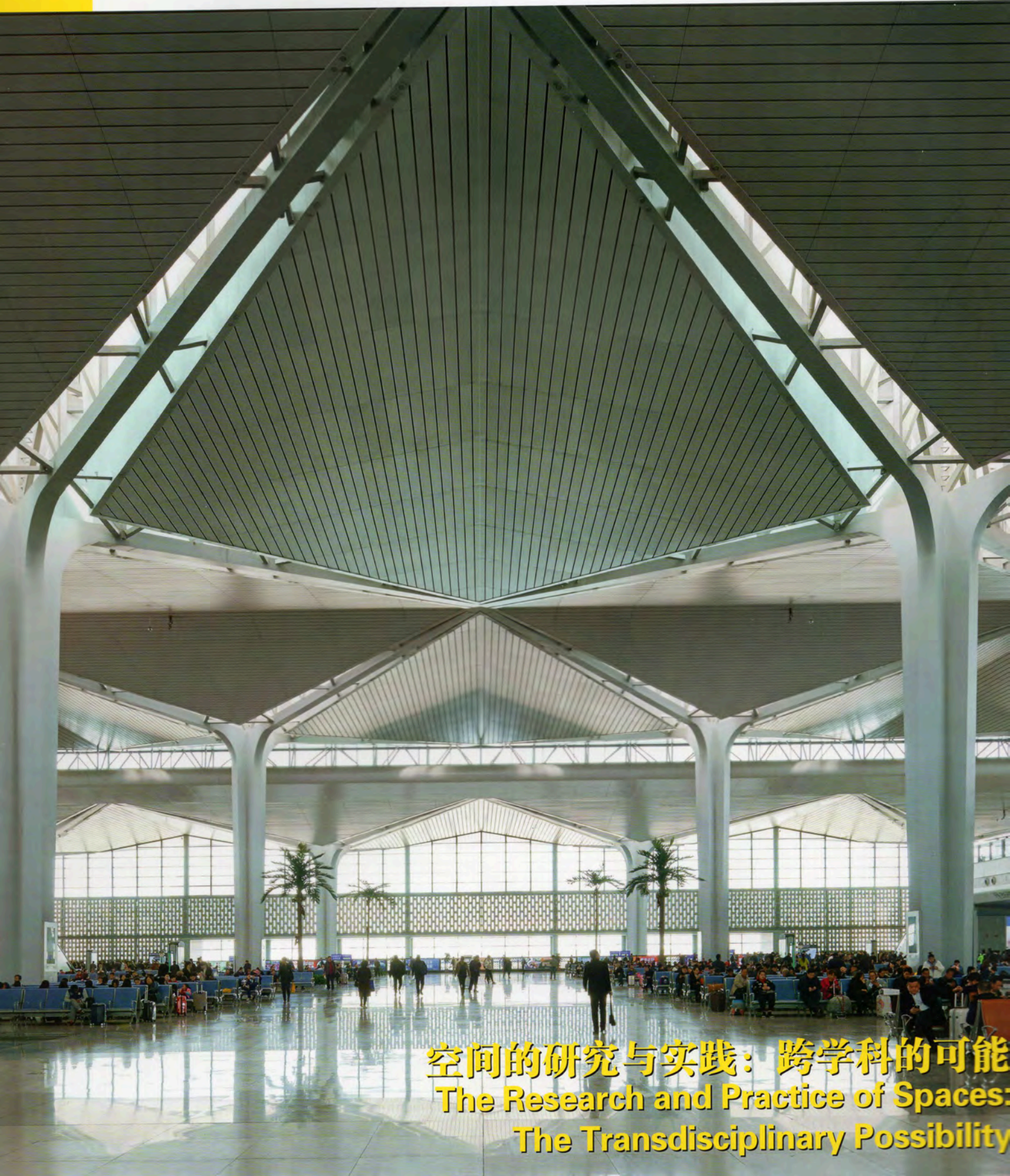
NEW architecture

01/2018

NO.176

ISSN 1000-3959 CN 42-1155/TU

新
建
筑



空间的研究与实践：跨学科的可能
The Research and Practice of Spaces:
The Transdisciplinary Possibility

杨宇振	1	篇首语
		专栏：空间的研究与实践：跨学科的可能
杨宇振	4	秩序、利润与日常生活——公共空间生产及其困境
张宇星	10	虚境：走向新建筑
边留久	16	我们能超越晚期现代的垃圾空间吗？
刘琳璿	22	建筑如画——由绘画引申开来的关于现代建筑理论和实践的几点思考
范倍 方堃	28	电影空间——生活场景、情感舞台与表征世界
赖德霖	32	建筑学的视角——三本日本城市和建筑空间研究著作比较阅读
杨迪	40	“概念”作为一种连接与生成——读评《建筑概念：红不只是一种颜色》
		新作视窗
李春舫	44	形式之外——太原南站建筑创作实践
汪原 李春舫	49	沉潜与奔流——关于太原南站设计的对话
		设计研究
周艺南	54	表层作为地景的再现——以南京树园项目设计为例
赵斌 张立 仝晖	59	密斯：清晰的结构——再读巴塞罗纳德国馆的逻辑与秩序
尹培如 杨念民 李森	64	朴素的雅致——华侨大学厦门校区羽毛球网球训练馆设计
张霓珂	68	纯粹的形式，多样的体验——对青浦青少年活动中心与龙美术馆西岸馆的比较阅读
冯刚 胡惟洁	73	高层建筑表皮形态的演进
徐华伟 胡纹 冯晨	78	“介质流动”与“多孔渗透”——新媒介视角下的建筑表皮设计流变
黄琼 张颀 杜一鸣	82	陶瓷饰面砖混合废料再生循环利用之实践探索
潘洌 魏宏杨 廖宇航 雷斌	86	夯土聚落的未来——以广西上林鼓鸣寨国际夯土建筑设计竞赛为例
夏冰	90	低碳建筑设计策略的潜力分析与比较
张至杰	94	非常绿建——绿色动态建筑发展探析
		考察与研究
郎亮 刘九菊 孔宇航	99	罗马特里米尼火车站的历史研究（1860—1950年）
侯寰宇 张頔	104	共享空间的形态演进与生态发展
周洋 窪田亚矢	109	介置、转置、原置、重置与并置——上海石库门公共消费空间重塑对里弄社区空间的影响
孟祥武 王军 叶明晖 李钰	114	国内生土建筑研究历程与思考
杨茂晓 毛志睿	119	云南高寒贫困山区民居节能设计研究——以大山包新民居设计为例
		传统建筑研究
邓巍 丁可人	124	区域社会影响下明清时期山西古堡形态特色分析
兆新涛 曾坚 刘晓阳 赵亚琛	130	农业聚落聚集度与土地耕作半径关系的研究——以湘西少数民族地区为例
		建筑教育
李明扬 庄惟敏	134	更学术还是更专业？——剖析我国建筑学研究生教育双轨制培养模式困局
		城市问题
谭峥	138	指标城市——作为批判与投射的城市图解
宋亚程 葛欣 韩冬青	144	西方城市街区的形态表述方法综述
		广角镜
魏书祥 赖文波 张玛璐	150	个体表达与群体叙事——“80后新建筑师专题”回顾与展望
于志光 朱红梅	154	景观之道——武汉大学校园景观更新规划与设计
		新观察
	158	热点
	159	数字
	160	声音
封1		太原南站（设计：李春舫 摄影：施铮）

摘要 当代高层建筑表皮设计整合了形式、功能、结构、节能等需求,逐渐向双层表皮、可变表皮的方向发展。文章通过大量案例分析,总结了高层建筑发展过程中表皮功能与形态发展所经历的“形式层面的表皮”“结构层面的表皮”“节能层面的表皮”几个主要阶段,分析了不同形态高层建筑表皮的功能、美学与生态特征,探讨了高层建筑表皮设计未来发展的方向。

关键词 表皮 形态 高层建筑 节能 可变表皮

ABSTRACT The design of contemporary high-rise building skin integrates the form, function, structure, ecology and other design requirements, with new development of new design methods, such as double skins and kinetic skins. Through case studies, this paper delineates different development stages of high-rise building skins, successively the stages of “skin following forms”, “skin working as structures”, and “skin with energy-saving function”. Based on this, the paper also tries to illuminate the development trends of high-rise building skin design.

KEY WORDS building skin, form, high-rise, energy-saving, kinetic skin

DOI 10.12069/j.na.201800000

中图分类号 TU243 **文献标志码** A **文章编号** 1000-3959 (2018) 00-0000-05

冯刚 胡惟洁 FENG Gang HU Weijie

高层建筑表皮形态的演进

The Evolution of Building Skin Forms of High-Rise

1 芝加哥论坛报大厦



建筑表皮从广义上讲,指人们通过触觉、视觉直接感受到的建筑表层;从狭义上讲,表皮指建筑外部覆盖结构或者表层,强调其内外空间“界面”的意义。勒·柯布西耶(Le Corbusier)在《走向新建筑》(*Vers Une Architecture*)里曾提出体量、表皮、平面三要素,并把它们称为给建筑师三个备忘^[1]。当代意义上的建筑表皮不同于历史上的表皮设计,它以其特有的复杂性与抽象性获得了新的建筑美学定位。它不再是空间的附属,而是主宰建筑形体与艺术风格的领导者,又是新的绿色建筑技术的载体。

与多层建筑不同,高层建筑的建构逻辑主要表现为“核体”“壳体”与“表皮”的叠加关系。自高层建筑诞生以来,其表皮设计经历了从满足基本的形式与围护功能,到结构与形式有机结合,再到融入生态与可持续发展理念的不同发展阶段,不断超越纯美学的范畴,融入了更多结构技术、数字技术、与生态设计的理念。

一 围护·表现——形式意义上的表皮设计

1 结构技术主导下的形式转变

高层建筑诞生于古典立面设计到现代建筑表皮设计转换的时期。19世纪晚期兴起的以金属框架结构为主要特征的结构技术革命是这一变化的基础。高层建筑楼层的叠加使得建筑自身荷载大大增加,传统墙体承重的建造方式已不再适用。采用更加高强的材料与新的结构方式是高层建筑发展的唯一出路。框架结构使支撑结构与围护结构分离,表皮获得解放成为一种独立的建筑元素。正如莱瑟巴罗(David Leather Barrow)和莫斯塔法维(Mohsen Mostafavi)在《表皮建筑学》(*Surface Architecture*)一书谈到的:“框架结构的美学和功能的发展使得墙体被重新定义了。在去除附加装饰及承重功能之后,墙体变成了填充物,而像覆层、集装箱或者包装纸那样被悬挂在框

作者单位:天津大学建筑学院(天津,300072)



2 易卜拉欣圣地大楼

3 马赛公寓

4 纽约西格拉姆大厦

5 曼哈顿比克曼大厦

架结构体之后、之间或者之前。因此，墙体的“图像”观念被重新定义了。”^[2]建筑“皮”与“骨”的分离使得建筑外围护部分仅需负担基本的围合空间与物理热工性能，大大降低了建筑自身荷载，使建筑可以造得更高。学术界通常将芝加哥“家庭保险公司大楼”视为现代高层建筑的起点，“芝加哥框架”与“芝加哥沉箱”等新技术代表了一个新的建筑革命的开始，横向的“芝加哥窗”是这种表皮解放的直接表述。

然而，对于辉煌与壮丽的追求和积淀于人们心中的对于古典建筑美学的审美惯性，使得芝加哥学派努力发展起来的现代高层建筑艺术的萌芽，在纽约中断了。高层建筑重新披上古典主义与折衷主义华丽的外衣，新的结构在很长一段时间被虚假的立面所掩盖。伍尔沃斯大厦（Woolworth Building）、芝加哥论坛报大厦（Tribune Tower）这样的哥特复兴风格作品（图1），以及克莱斯勒大厦（Chrysler Building）、GE塔这样的“Art Deco”风格的高层建筑主导了纽约的天际线。

2 艺术流派引领下的形式改革

高层建筑结构设计要求连续、均匀、对称，功能上则由简单几种重复的标准层反复叠加构成。这种结构功能关系反映到立面上，形成一种由规则开窗所构成的、有韵律的图案化和肌理化的表皮效果。模数化设计、标准化构件、工业化生产是现代建筑工业的发展趋势。这种标准化构件的生产方式

反映到立面上就是一种重复、匀质的图案化效果。森佩尔（Gottfried Semper）在《建筑四要素——建筑的比较研究文稿》（*The Four Elements of Architecture and Other Writings*）一文中认为建筑的四个基本要素之一“围护”（enclosure），也就是我们讨论的“表皮”的原型与“编织”有关^[3]。原始的建筑物以动植物纤维编织成的有一定格子肌理的席子和毯子来制作墙面。而后来采用的石材、木材、金属、马赛克等建筑材料，都在有意无意中模仿着编织物的格子结构（图2）。古典建筑艺术强调建筑立面所体现的人体美学与数理逻辑关系，立面设计主导了建筑设计。立体派艺术、风格派艺术自20世纪初始，对建筑艺术的发展持续产生着重大的影响。立体派美术强调绘画风格由描述性的具象表现向几何化的抽象表现发展，试图通过空间与物象的分析与重构，表达一种绘画性的空间及形体结构。同时期出现的风格派艺术，则完全拒绝使用任何的具象元素，主张用抽象的纯粹几何形来表现纯粹的精神。主张采用几何的、规则的抽象线条与色块来表达精神世界，追求“通过清晰又清醒、符合逻辑的全盘抽象表现出的完整和谐”^[4]。现代艺术的发展使建筑师认识到，基本的线、面等元素与色彩的组合与构成往往比繁琐的装饰更具有表现力，建筑设计也从特定的源自古典建筑的“立面”设计转变为不同方向连续表面的构成设计，从追求光影丰富的“透视”效果，转变为强调平滑连续的肌理感与图案化效果，从而向表皮最原始的组织形

态回归。

3 材料自由推动下的形式创新

现代建筑思潮使高层建筑逐步摆脱了古典外衣的束缚，直白地展示材料自身的表现力。结构与表皮的分离极大地拓展了建筑表皮材料的选择范围，材料的组合也具有了更大的灵活性。“窗”与“墙”界限的模糊，使得高层建筑立面不再依赖开窗方式、位置与形式，而是关注不同材质的幕墙构件的组织方式与形式上的美学构成。

勒·柯布西耶用混凝土材料来诠释简洁明快、具有立体派意味的高层建筑立面设计风格。他的作品马赛公寓，通过混凝土遮阳板的构成与靓丽色彩的并置，实现了其“在傍晚时分的彩虹仿佛可以一直延续到清晨”的设计理想（图3）^[5]。密斯认为“外墙砌上以后，作为一切艺术设计基础的结构骨架就被胡拼乱凑的无意义的琐屑形式所淹没”^[6]，希望通过透明的玻璃材料表达新的结构原则。事实上，透明玻璃并未能够真正展示结构之美，而是发展出一种均质、纯净的，去除一切多余装饰的光洁的建筑表面。1952年，戈登·邦夏（Gordon Bunshaft）在纽约设计了利华大厦（Lever House），第一次实现了玻璃幕墙摩天楼的设计理想。1953年建成的芝加哥湖滨公寓（Lake Shore Drive Towers）与1958年建成的西格拉姆大厦（Seagram Building，图4），是密斯玻璃盒子摩天楼集大成之作，其纯净的玻璃盒造型成为当时高层建筑设计风行一时的样板，并进一步激发了密斯

所倡导的“少就是多”的极简主义建筑艺术潮流。

玻璃材料、金属材料与幕墙技术的发展,使高层建筑表皮化程度进一步得到强化。盖里设计的位于曼哈顿的比克曼大厦(Beekman Tower)的墙面由许多自由曲面构成(图5),如水波般层层展开,赋予建筑表面以强烈的流动感。珍妮·甘(Jeanne Gang)设计的芝加哥“水大厦”(Aqua Tower,图6),将建筑表皮设计与遮阳及景观视线的设计关联起来,根据对景与日照的效果来确定建筑露台的尺寸,产生一种富于流动感的建筑表面肌理效果。

4 社会文化影响下的形式重塑

后现代建筑观的影响下,一些建筑师也在重新诠释古典符号,隐喻与象征这些文化层面的高层建筑立面设计。如格雷夫斯设计的波特兰市政厅(The Portland Building)与休曼纳大厦(Humana Building)以抽象的古典符号来装饰高层建筑的立面,上海金茂大厦立面设计借鉴了中国古典建筑中的密檐塔等。不论是符号化还是图案化的高层建筑立面,结构与表皮的剥离,已然赋予高层建筑表皮更多的表达空间。这时的表皮,更像是建筑的一件时尚“外衣”,提供建筑以热工、围护及分隔内外空间的功能,并通过材料、立面划分、符号与光影的变化来表达形式层面上的意义,实现自身的美学价值。

二 支撑·构架——结构层面的表皮设计

建筑物向高空发展的早期,围护体系与建筑结构基本是一体的。受到结构技术的制约,建筑立面表现形式较为单一。如罗马大斗兽场、哥特教堂、文艺复兴教堂等“高建筑”,其立面的拱券、尖券、扶壁、穹顶等,都是建筑结构外在的一种表达。当表皮摆脱了结构的束缚,积极“秀”出自身意义的同时,结构亦不甘沦为简单的支撑体系,努力挖掘自身的艺术表现力,使建筑本体与表皮之间的关联呈多元化发展。

1 筒体结构的逻辑表达

高层建筑结构设计主导因素是水平荷载,从结构逻辑上它可以视为巨大的竖向悬臂梁。因而,建筑师总试图将支撑结构体系向建筑的边缘布置,从而提高建筑抗侧向荷载的能力,同时又可以获得更加自由的平面空间。雅马萨奇(Yamasaki)设计的纽约世界贸易中心双塔(图7),采用了筒中筒的结构体系。密布的钢柱围合起来构成巨大的外层方形管筒,与内部的筒体共同支撑建筑各层的荷载。由于支撑结构向建筑外表面转移,建筑平面上没有了其他柱子,可以提供多达75%的无柱有效使

用空间。这些密集的柱子在立面上形成了强烈的竖向延伸感的线条。这种均质、光洁、图案化的建筑表皮肌理,直白、明确地表达了建筑自身的结构逻辑。

2 网络型结构的视觉发挥

结构与表皮的一体化设计,将框架或筒体结构转换为一种网络型整体空间结构,大大提高了结构的经济性与承载能力。由于外墙承担了结构的功能,内部除核体外不再需要支撑构件,大大解放了内部空间,这使得结构与表皮进一步关联,超越了承受荷载的简单意义。法国后现代主义哲学家德勒兹(Gilles Deleuze)曾指出“当建筑表皮具备结构和材料双重性时,表皮就可替代空间结构成为建筑生成的主导并成为空间和时间的主体。”^[7]艺术家、工程师、建筑师和折叠玩具发明家侯伯曼(Chuck Hoberman)认为“折叠建筑的一种基本类型是由那些简单的表皮或薄片结构生成的形式”^[8],依据这一观点他提出“表皮结构”(Surface Structure)的概念。这种结构中,表皮具有三维的厚度,同时也具有结构与装饰意义。这种由结构到表皮的自内而外的设计理念,使表皮成为一种结构设计的“成果”,结构也借此表达出自身的视觉价值,与建筑形式达到了完美的统一。

SOM曾经在南京金陵饭店设计中,提出了一项结构性表皮设计方案(图8)。该方案获得了美国建筑师协会未实施设计奖。结构工程师颇具创意地采用了一种被称为“对角网格”的外层结构。这种结构不再简单地将柱子并列起来,而是通过杆件组成了由许多三角形构成的网状结构体系,将复杂的荷载简化为杆件之间的轴向力,更加充分地发挥了材料的力学性能,并大大节约了结构所占据的室内空间^[9]。这一结构体系自然地顺着建筑扭曲的表面上发展,并在墙面上形成了特殊的网格式表面肌理,建筑表皮则是结构受力情况的自然反映。

3 巨型结构的单元构成

巨型结构体系将建筑视为一个独立的结构单元,其模糊了标准层的概念,可以提供很大的抗扭力和抗倾覆力矩,抵抗更大的侧向荷载。巨型结构直接暴露于建筑立面,呈现出一种结构化的表皮效果,具有一种尺度宏伟的几何构成美学与强烈的视觉冲击力。

由SOM事务所结构工程师法兹勒·汗(Fazlur Khan)设计的芝加哥汉考克大厦(John Hancock Center, 1969),采用了上小下大的稳定感很强的矩形截锥体结构。这座建筑采用了全钢巨型桁架体系,其巨大的纵横构件与“X”形斜撑,在立面上完整地展示出来。贝聿铭设计的位于香港中环的中国银行大厦采用了由八片平面支撑和

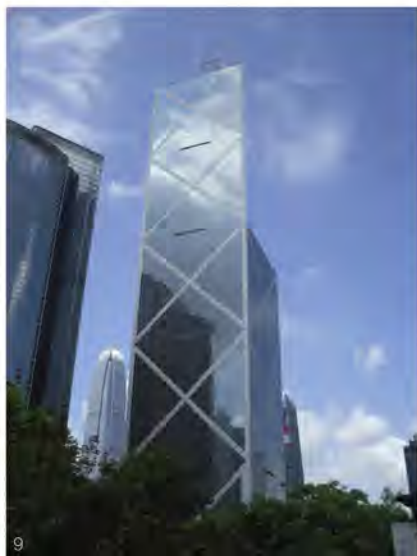
6 芝加哥水大厦

7 纽约世界贸易中心双塔





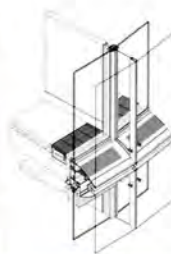
8 南京金陵饭店方案设计



9 香港中国银行大厦



10 埃森RWE大楼



11 巴黎阿拉伯文化中心



五根型钢混凝土柱所组成的混合结构“大型立体支撑体系”（图9），并在立面上将三角形的巨型桁架暴露出来，整个多面棱形的建筑仿佛璀璨生辉的水晶，在阳光照射下呈现出不同的色彩。这一结构化的建筑表皮恰当地诠释了建筑师源自竹子生长的设计灵感，每一个高度不同的三角形形体，如同节节上升的竹子，象征着力量、生机、茁壮成长和锐意进取的精神。

巨型结构进一步拓展与强化了结构性表皮的内涵，结构体系更加明确合理，立面亦具有更强的视觉冲击力。

三 皮肤·呼吸——节能层面的表皮设计

新的时代，建筑被赋予更多的社会责任，绿色节能可持续的设计思想成为建筑学领域最受关注的课题。信息技术、生物科学技术、材料合成技术、资源替代技术等生态设计技术的进步，推动可持续发展的建筑设计从理念落实到实践。高层建筑在有效提高土地利用的同时，也带来能源、资源、环境与交通等问题，其中能源问题尤为突出。在高层建筑设计中引入绿色节能设计理念具有重要意义。

表皮是建筑内外能量交换的界面。如果能够有效地控制建筑表皮能量交换的过程与能量的大小，就能够更好地提高资源的利用效率。C2ES（Center for Climate and Energy Solutions）的研究表明：“住宅建筑中，通过优化窗的设计，可以节能10%~50%；商业建筑中，则可

以减少照明与采暖空调系统的消耗，从而减少10%~40%的围护费用。”^[10]建筑表皮类似于生物体的皮肤，对于生命体起到围护与保护的作用，并可以感知外界物理环境的变化，从而通过表面热交换机制的改变，调节通过皮肤的能量大小，以实现内部物理环境相对稳定与平衡。这种控制，早期是由人为控制门窗的开合来实现的。随着节能型建筑设计理念与技术的提高，利用“温室效应”“文丘里效应”“烟囱效应”等被动式节能技术与光伏电池等主动式节能技术，可以更加有效地控制建筑表皮内外光能、热能等能量交换以及空气、水汽等物质交换，使得建筑的表皮可以像生物体的皮肤一样，自由地“呼吸”。

1 双层呼吸式表皮

克里斯托弗·英恩霍文（Christoph Ingenhoven）在波恩电话公司大楼设计中发展出了用于高层建筑的“双层表皮”（Double Skin）的设计思想，1996年其设计的埃森RWE大楼第一次将这一设计思想付诸实施（图10）。这座大楼在普通的高层建筑幕墙外又增加了一层10 mm厚的安全玻璃制成的墙面。这一设计缓解了随高度增加的风力对于建筑的影响，使得高层建筑也能够像普通建筑一样开窗通风。而且，间隔500 mm的内外层玻璃间，可以有效地储备太阳能。双层表皮的设计利用“烟囱效应”及“温室效应”等被动式节能技术，无附加能耗，具有节能、低碳、可优化室内通风效果且具有良好的隔绝噪音的效果，也被称为“呼吸式幕墙”，并发展出“封闭式内循环体系呼吸式幕墙”“敞开式外循环体系呼吸式幕墙”等一

系列设计方法。

2 可变表皮系统

建筑表皮节能化的过程中，逐渐由一种静态的、装饰性的表皮，拓展为一种动态的、可以自主控制的可变表皮系统（Kinetic Skin）。根据室内外物理环境条件，充分考虑采光、保温与通风的需求，自主地或借助自动控制系统，调节建筑表皮的形状与位置，精确地调控室内外物质与能量交换的过程，优化室内物理环境并节约能源。在这一动态变化过程中，其立面形态随建筑构件的变化成为一种不断变化的动态结构，肌理效果已不再是设计的起点，而是节能设计的一种直观反映。当代动态表皮设计主要方式有：智能表皮材料，如SOMA设计的2012世博会主题馆；可变光立面，如“水立方”游泳馆、奈德·康（Ned Kahn）设计的匹兹堡儿童博物馆扩建等映射自然的可变立面结构、可变遮阳系统等。其中，可变遮阳系统是发展最为成熟、应用最为广泛的动态表皮形式。这种表皮系统可以根据太阳位置与风向等因素的变化，来改变立面可变单元的方向与角度，从而获得最佳的遮阳与通风效果。而随之呈现的立面肌理变化也赋予了建筑更加丰富的美学内涵。

让·努维尔（Jean Nouvel）设计的巴黎阿拉伯文化中心（Arab World Institute）可视为第一座真正意义上的动态表皮建筑（图11）。设计师采用了一种类似于相机镜头光圈值的机械系统，可根据外部光线强度来改变透光孔径的尺寸。努维尔设计的位于巴塞罗那的阿格巴塔（Torre Agbar），则采用了双层外表皮（图12）。内部是普通开窗的混

12 巴塞罗那阿格巴塔

13 首尔第一制糖公司研发中心



13

凝土墙面,并包覆以涂成40种不同颜色的抛光铝板。外层表皮则为自动系统控制的,可以改变角度的透明或半透明的玻璃百叶窗。通过外层表皮的开合,调节局部热环境,在建筑内外形成了一道热量的隔离与缓冲区域。这座建筑将双层可变表皮技术与太阳能电池、电脑调控的空调系统、新型绝热材料等新技术有效地结合起来,在节约建筑能耗的同时,创造了多变的和激动人心的立面效果。

Yazdani Studio of Cannon Design设计的首尔第一制糖公司研发中心外层表皮设计采用了一种可以折叠的遮阳板(图13)。这种遮阳板由穿孔金属板制成,并通过一套自动控制的机械折叠系统,根据日照条件来调节立面遮阳的开合,有效优化室内光环境。这层不断开合的遮阳系统,在立面上形成了一层不断变化的波浪形立面肌理效果。Aedas设计的阿布扎比投资委员会总部Al Bahar大厦,在内层玻璃幕墙外日光可以直射的立面部位包覆了一层可以通过支撑系统开合的伞状结构。这些由自动控制系统操控的遮阳单元可随着室外光照强度与方向的变化而不同程度地开合,如同一把把遮阳伞包覆于建筑表面。这一遮阳系统既能满足必要的自然采光,又可以节约50%的空调能耗^[11]。这种正六边形的伞状结构,也具有伊斯兰的宗教图示意味,使其形式与功能得以完美的结合。

在可持续建筑观念的影响下,建筑设计的核心问题,正在逐渐由文化、美学、社会学等方面,逐渐向建筑物理性能方向发展。建筑形式与功能、立面与性能之间的关系正发生着根本性变化。高层建筑作为建筑的能耗大户,其表皮设计经历了注重表情、表现结构等阶段,逐步向注重生态的方向演进,其内涵不断得到丰富。这种变化与发展,与建筑设计从立面设计到整体设计,再到生态设计的艺术精神的发展趋势相一致,并使建筑表皮设计理念日趋完善。□

图片来源:图2引自<http://www.archdaily.com/507621/venice-biennale-2014-uae-unearths-structures-of-memory-from-last-century/537673bcc07a801182000129-venice-biennale-2014-uae-unearths-structures-of-memory-from-last-century-image>;图3引自<https://www.pinterest.com/pin/423127327463363877/>;图4引自<https://www.pinterest.com/pin/485122191088218326/>;图5引自<https://www.pinterest.com/pin/129337820518203980/>;图6引自<http://www.flickrriver.com/photos/tags/studlogang/interesting/>;图7引自<http://blog.buildilc.com/2011/09/ten/>;图8引自http://www.som.com/projects/kingtown_international_center_formerly_jinao_tower;图9引自[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hongkong_Bank_of_China.JPG?uselang=zh-](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hongkong_Bank_of_China.JPG?uselang=zh-cn)

cn;图10引自<https://www.pinterest.com/pin/307300374546948017/>和<https://www.pinterest.com/pin/421157002634551777/>;图11引自<http://www.treemode.com/case/classical/90.html>;图12引自<https://www.pinterest.com/pin/72761350208744580/>;图13引自<https://www.pinterest.com/pin/91549804896248217/>;图1由作者拍摄。

参考文献

- [1] 柯布西耶 L. 走向新建筑[M]. 陈志华译. 西安: 陕西师范大学出版社, 2004.
- [2] Leatherbarrow D, Mostafavi M. Surface Architecture[M]. London: M.I.T. Press, 2002.
- [3] Austin D L. The Four Elements of Architecture and Other Writings[J]. Art Documentation: Journal of the Art Libraries Society of North America, 1989, 8(3): 155-156.
- [4] 作者不详. Art Story[EB/OL]. [2016-06-01]. <http://www.theartstory.org/artist-mondrian-piet.htm>.
- [5] Weber N F. Le Corbusier: A Life[M]. New York: Alfred A. Knopf, 2008.
- [6] 吴焕加. 外国现代建筑二十讲[M]. 北京: 三联书店, 2007.
- [7] Deleuze G. The Fold: Leibniz and the Baroque[M]. London and New York: Continuum, 1993.
- [8] Hoberman C. Unfolding Architecture[M]//Greg Lynn (ed.) Folding Architecture, Architectural Design Vol. 63 No 3/4. London: John Wiley & Sons Limited, 1993: 130.
- [9] 冯刚. 高层建筑课程设计[M]. 南京: 江苏人民出版社, 2011.
- [10] Velasco R, Brakke A P, Chavarro D. Dynamic Façades and Computation: Towards an Inclusive Categorization of High Performance Kinetic Façade Systems[M]//Computer-Aided Architectural Design. The Next City-New Technologies and the Future of the Built Environment. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2015: 172.
- [11] Cilent K. Al Bahar Towers Responsive Facade[EB/OL]. [2016-05-22]. <https://www.archdaily.com/270592/al-bahar-towers-responsive-facade-aedas>.

收稿日期 2016-06-01