

超高层建筑绿色施工技术探索

王慰佳, 徐 伟

(同济大学 土木工程学院, 上海 200092)

摘 要:随着中国超高层建筑施工技术的不断发展,目前超高层建筑的建造已逐渐由一线城市向二、三线城市扩展。打造绿色超高层建筑,除了合理利用设计及运营关键技术,还需要正确把握现行绿色建筑及绿色施工的标准规程,根据相关要求及评价标准,对应提出地下工程与主体结构施工过程中所使用的绿色施工技术要点,同时根据目前国情对清洁能源在施工过程中的应用提出设想。

关键词:超高层建筑;绿色施工;施工技术;太阳能

中图分类号:TU974 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2015)S1-0143-05

Exploration of green construction technology in the construction of super high-rise building

Wang Weijia, Xu Wei

(School of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, P. R. China)

Abstract: With the development of construction technology in China, there are more super high-rise buildings constructing or being constructing in not only first-tier cities but second-tier or third-tier cities. To build a green super high-rise building, it is necessary to use key technology of design and operation reasonably, and know green construction technology in underground and superstructure construction which is based on the current criterions and guides, and put forward the idea of application of clean, renewable energy in the construction in China.

Key words: super high-rise building; green construction; construction technology; solar energy

截止到 2010 年,中国(包括台湾地区)300 m 以上的超高层建筑总量达 162 栋,其中已建 25 栋,在建 81 栋,规划 56 栋^[1]。随着中国城市经济水平的逐步提高及科学技术的不断进步,超高层建筑已经逐渐从一线城市向二、三线城市扩展。然而,由于超高层建筑高昂的建造成本和运营成本,不得不让业界更多的关注如何让其在设计、施工及运营过程中实现绿色建筑的理念。目前,超大中庭全玻璃幕墙建筑节能技术、能源梯级利用适用性技术、节水与中水回用技术、3R 材料在超高层建筑中的应用等多类复杂技术的协同运用已经能够较好的解决超高层建

筑在设计运营过程中绿色节能问题。因此,结合中国目前在《绿色施工导则》、《建筑工程绿色施工评价标准》及《绿色超高层建筑评价技术细则》中的具体要求^[2-4],探讨超高层建筑施工过程中的关键绿色施工技术,并提出适用于超高层建筑特点的绿色施工技术方案。

1 超高层建筑地下工程绿色施工技术

1.1 顺作法与逆作法

地下工程的顺作法是在施工完成基坑四周围护结构后再进行地下结构的施工。由于全部基坑已经

开挖完成,给地下结构施工留下了较大的施工作业面,使得施工过程相对简单,造价较低,工作质量也易于控制。但由于顺作法多适用于浅基础的施工,对多处于城市建筑较密集处的超高层建筑深基坑开挖来说,若全部使用顺作法施工地下结构,基坑开挖深度深面积大,施工周期长,施工作业面小,同时可能会造成对周围环境的不可逆影响。

逆作法本身由地下结构的外墙作为基坑支护的挡墙结构,梁板结构又作为支护结构的水平支撑,能够减小支护结构的变形量,保护周边环境;同时逆作法在地下室一层顶板施工完成后再挖土,还能够有效减少场地扬尘与施工噪音。

1.2 施工部署与绿色环保

目前超高层建筑多建于房屋密集区,对深基坑开挖和地下结构施工进行合理的施工部署,不仅能节省施工用地,减小施工对周边区域环境的影响,还能使地下结构尽早完工,降低地下结构施工对既有建筑物地基扰动、地面沉降等不可逆转的环境破坏的风险。

在实际的工程施工过程中,由于基坑平面尺寸大,地下结构规模大,为了使控制工期的主楼地下部分尽早施工完成,基坑施工常采用顺逆结合的开挖方式。即主楼的地下结构采用顺作法施工,裙房的地下结构采用逆作法施工。这样裙楼基坑的施工不会影响到主楼,还能为主楼结构施工提供较大的地面施工空间,节省施工用地。

1.3 水资源保护^[5]

在地下水位较高的地区,地下工程的施工必须要考虑基坑开挖时地下水的浪费,利用尽可能少的成本来有效减少地下水的浪费,是在地下工程中实现水资源保护的关键。目前常用的技术有,基坑封闭降水技术和基坑水回收利用技术。

基坑封闭降水技术主要是利用在基坑周边施工渗透系数较小的封闭止水帷幕,来有效阻止地下水向基坑内部渗流,并抽取开挖范围内的少量地下水,来控制地下水的浪费。一般的封闭止水帷幕包括深层水泥土搅拌桩、高压旋喷桩、地下连续墙或一些可兼作止水帷幕的支护结构。同时,在降水期间以及降水后一段时期内,还应对地下水位的变化、抽水量、基坑周边的地面沉降以及邻近建筑物和管线的变形等一系列数据持续监测。

基坑水回收利用技术由基坑施工降水回收利用技术以及雨水回收利用技术 2 部分组成。基坑降水

回收利用技术可概况为“一引一排”2 类。一引:将上层滞水引渗至下层潜水层中,使基坑水回灌至地下;一排:将降水抽取的基坑水集中存放,可用作洗漱、冲刷厕所等生活用水及现场扬尘控制用水,若该水体经过处理或水质达到要求,还可用作结构养护用水以及基坑支护用水。雨水回收利用技术是指施工过程中收集的雨水经过渗蓄、沉淀等处理后集中存放,用于施工现场降尘绿化,也可经过处理可用作结构养护用水和基坑支护用水。

2 超高层建筑结构施工的模板脚手架施工技术

2.1 整体提升钢平台体系

2.1.1 整体提升钢平台体系的基本组成 整体钢平台体系主要由钢平台、悬挂脚手架、支撑系统、动力系统及大模板 5 部分组成。钢平台在正常施工时处于核心筒施工作业面的顶部,为核心筒施工提供了一个封闭的施工环境,同时用以周转堆放钢筋材料和临时设备。悬挂脚手架一般分为上下 2 部分,上吊架为钢筋、模板施工区,下吊架为拆模整修及墙面清理区。同时,通过专门设计悬挂脚手架吊架与钢平台钢梁的连接节点,可以实现悬挂脚手架的整体移动,从而解决结构墙体厚度收分的问题^[6]。支撑系统在施工时传递荷载,由动力系统提供顶升动力,使得内外构架相互交替受力伸缩,使整体钢平台逐层爬升,再利用大模板浇筑核心筒。

2.1.2 整体提升钢平台的绿色施工技术特点

1)整体钢平台体系一般采用全封闭设计,保证了高空作业的安全性;

2)整体钢平台体系一般采用大操作面设计,为大量施工材料,设备堆放提供空间,也保证了垂直运输的进度要求;

3)整体钢平台体系采用自动提升、顶升模架或工作平台,自动化水平较高,节省人力;

4)整体钢平台体系采用的施工平台及脚手架系统可周转使用,支撑体系也由单一的内筒外架支撑体系不断发展至格构柱支撑体系,同时考虑支撑体系的周转使用率和一次性投入的成本,不断自主创新形成新型支撑体系,如系劲性钢柱支撑体系、钢柱筒架交替式支撑体系等^[6-8]。

2.2 液压爬模体系

2.2.1 液压爬模体系的基本组成 液压爬模体系由爬升器、液压顶升系统、爬升导轨、爬架和模板系

统5部分组成。液压爬模体系以达到一定强度(10 MPa以上)的剪力墙为承载体,通过液压顶升系统和上下2个防坠爬升器分别提升导轨和架体(模板与架体相对固定),来实现架体与导轨的互爬,再利用后移装置实现模板的水平进退,然后合模来浇筑核心筒混凝土墙体,同时配合组合大模板来浇筑楼板。

2.1.2 液压爬模体系的绿色施工技术特点

1) 液压爬模体系由上至下全部封闭防护,平台临边采用钢管栏杆,外墙爬模架体外侧面使用菱形钢板安全网,内衬密目安全网,同时在爬模平台与墙体之间使用两道翻板封闭,以防坠物;

2) 液压爬模体系采用的组合大模板可定型,模数统一,模板刚度好,面板平整光滑,因此周转使用次数多,一般能够满足工程一次组装、使用到顶的要求;

3) 液压爬模体系采用自动提升、顶升模架或工作平台,自动化水平较高,节省人力。

2.3 对固体废弃物的处理以及噪声、扬尘的控制^[9-12]

2.3.1 对固体废弃物的处理 绿色施工对固体废弃物的处理主要遵循全循环的原则。由于超高层建筑的模板体系为多次周转材料,这里讨论的主要为浇筑混凝土过程中的固体废弃物,其中关键的绿色施工技术有超高压水洗技术以及高压泵管余料回收技术。

超高层建筑的高压泵管由于输送线路较长,混凝土浇筑完成后,泵管管线中仍存有大量的混凝土。而回收泵管余料可根据泵送高度选择传统水洗(200 m以下)和气洗(100 m以下)2种方式。传统的水洗方法以清水作为介质泵送混凝土余料,通过放置于管道内的海绵球将混凝土挤出。但由于海绵球无法阻止水的渗透,使大量的水穿过海绵球并进入混凝土,从而将混凝土中的砂浆冲走,使剩下的粗骨料失去流动性因而引起堵管。因此将1~2 m³的砂浆代替海绵球进行第一道泵送清洗,然后再加入清水进行第二道泵送清洗。在水洗与混凝土之间有一段砂浆过渡,避免了混凝土中的砂浆被冲离,保证了水洗的正常进行。而气洗方法由于以空气为媒介,不需要大量的水,因此只要满足一定的空气压力即可将余料顺利泵送。但需要在管路的末端安装安全盖,施工人员也要远离出口方向。

利用气洗或水洗方法回收的混凝土余料还可以

与现场钢筋短料制作成绿色路面,通过循环铺设现场施工道路和堆料场地,减少资源浪费和固体垃圾数量。

2.3.2 对噪声的控制 绿色施工对噪声的控制主要从来源、传播途径和接受者3个环节着手,即从来源上减小甚至消除噪声的发生,在噪声传播过程中尽量增大其损耗,在必要的时候还需要建立吸收或反射噪声能力的保护屏障。一般高层建筑主体结构施工过程中的主要噪声来源有模板工程、钢筋工程中的材料加工以及混凝土工程中的混凝土泵送及振捣。

由于超高层建筑施工时通常会选用之前所述的整体钢平台体系或液压爬模体系,这些模板体系多次周转使用降低了模板拆除过程中的噪声影响。因此模板工程中的主要噪声来源为液压设备工作,主要控制措施包括经常清空油管中的空气,以及更换老化零件。

钢筋工程中的主要噪声来源为钢筋加工过程中机械设备工作和焊接钢筋过程中产生的噪声。因此,在选择钢筋加工棚的位置时,应选用场地内远离噪声敏感点的位置并加设隔音棚。同时,钢结构部分可多采用工厂化生产,把部分现场施工作业转移至工厂制作,钢筋的连接方式也可由直螺纹套筒连接取代现场焊接。

混凝土工程中的主要噪声来源为混凝土的泵送和振捣过程。主要控制措施有混凝土泵的全封闭处理,先用带骨架的木板外罩进行封闭,再在外部加盖一层隔音布降低噪声外溢;同时,还需要合理安排主体结构混凝土的浇筑时间,尽量安排在白天进行作业。

2.3.3 对扬尘的控制 超高层建筑施工过程中建筑材料的运输、装卸、堆积、作业过程都会产生扬尘。因此,施工现场应采取全封闭围挡施工,并定期进行洒水降尘。合理控制扬尘的关键绿色施工技术有高空喷雾防扬尘技术、洗车槽循环水再利用技术、喷雾式花洒防尘技术等。

高空喷雾防扬尘技术的关键是合理布置喷淋管道,可以利用硬防护或楼层外沿做喷洒平台,从水泵房布置一根镀锌钢管至主楼,然后由楼层的水管井上引至硬防护所在楼层或设定的喷洒楼层。然后,主管从最近点引至硬防护并沿着硬防护绕一圈。然后利用回收后的雨水和基坑降水,对施工现场进行智能化喷淋降尘,减少了大量的人工成本。

洗车槽循环水再利用技术也是利用回收后的雨水和基坑降水为驶出施工现场的运输车辆入口处的洗车槽处进行泥尘清理,以防止运输车辆的车轮及车身附着的泥尘污染沿线环境。另外,建筑材料、垃圾和渣土的运送车辆应有遮盖和防护措施,避免运输中颠簸、风吹等情况造成飞扬、流溢或抛洒,同时严禁运输物超载增加泼洒的风险。

3 超高层建筑施工中的太阳能光伏发电技术

3.1 太阳能光伏发电系统^[13]

太阳能光伏发电系统主要是由太阳能电池板、充电控制器、逆变器和蓄电池 4 部分组成。太阳能光电板捕获太阳能并生成直流电,再由逆变器将直流电转换成交流电,这样便可直接和城市电网相连接,用以运行许多常用电器和设备。

太阳能光伏发电系统的核心技术为太阳能电池板的选择。太阳能电池板利用了半导体的光伏效应将太阳能直接转换为电能,目前常用的有晶体硅电池、非晶体硅电池以及薄膜电池 3 类。晶体硅电池单位面积产能高,初期成本投入也较高,当太阳辐射较强时,背板的温度会比较高,因此应注意散热;非晶体硅电池在辐射弱和电池温度较高时,比晶体硅发电能力强,初期投入少,适合以幕墙的构件形式布置在立面上,但也要防止建筑过热;薄膜电池轻薄、易于安装,而且在阴雨天仍然可以收集太阳能,但目前技术还没有趋于稳定,可能会成为未来实现集成光伏建筑一体化的关键技术。

3.2 临时施工用房的利用

一般的临时施工用房多为低矮房屋,在屋顶布置太阳能光电板对太阳能的利用率较高(图 1)。



图 1 光电板在临时施工用房的利用

需要通过合理布置光电板来保证太阳能的充分利用,注意事项有以下几点。

1) 应将光电板放置至最高利用效率的倾角(图 2)。

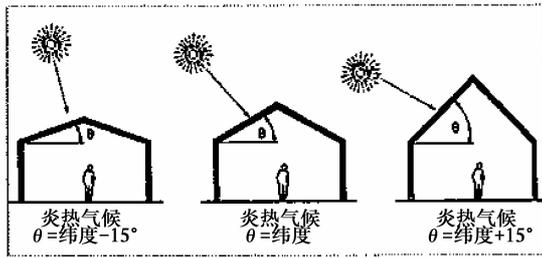


图 2 最高利用效率的倾角图

当地纬度,产生全年最大能量;纬度 -15° ,产生夏季峰值(东南);纬度 $+15^{\circ}$,产生冬季峰值(北)。

2) 确认对光电板的遮挡在最低范围,保证尽可能长时间的太阳辐射;

3) 避免水平放置光电阵板,表面积灰或积雪会影响光电板的利用效率;

4) 临时施工用房多为平屋顶,因此可采用屋架式支撑结构光电板,但应随时备有光电板在大风、雷电、暴雨、冰雹等恶劣天气时的应急保护措施。

3.3 主体结构施工时的利用

超高层建筑的主体结构施工过程周期长,主体结构高度突出,在太阳能辐射资源较为充沛的条件下,若能合理利用光伏发电系统可为施工用电提供大部分电力供给。考虑到施工过程中光伏系统的安装拆卸,本文设想了以下 2 种可能。

1) 永久一体化太阳能电池板。根据建筑外围结构设计、外立面设计的需求,确定电池板的基本规格,进行标准模块采集器的定制和批量生产,或经过加工车间预制装配成组合模块集热器。幕墙即为太阳能电池板,主体结构先行向上施工,下部幕墙紧接着施工,安装后的太阳能电池板将为后续施工工序的设备照明提供用电;主体结构施工完成后,装饰装修用电可继续由整体外立面太阳能幕墙供电;建筑投产后,太阳能外墙将继续为建筑运营供电,见图 3。

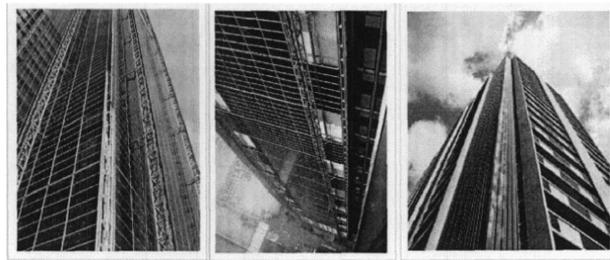


图 3 光电板幕墙立面

2) 临时太阳能电池板。利用主体结构施工作业

面来布置光电板,可从外界面所在的施工作业面和与外界面垂直施工作业面2方面考虑。幕墙式光伏系统即在外界面所在平面,还可以考虑在整体钢平台上(与外界面垂直方向上的施工作业面)布置支架式或屋面式光伏系统,也可以在钢平台围护周围(外界面所在施工作业面上)布置支架式或架空式光伏系统。当施工平台上升至某一高度将影响所放置太阳能光电板性能及安全性后,可将其拆除。若施工高度满足要求,可在主体结构施工完成后,连同整体钢平台一同拆除,见图4。

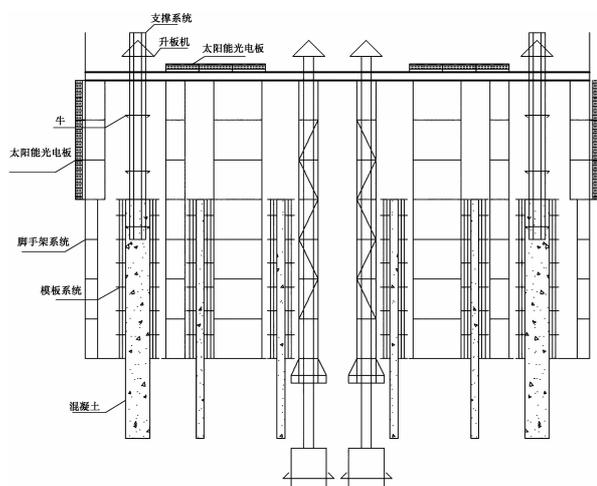


图4 临时光电板在钢平台上的布置

3) 注意事项。支架式光电板需要集中布置,防止电缆连接过长,增大能耗损失;架空式或屋面式光电板可以通过气流降低光伏电池背面的温度,减少发电效率损失,但随着主体结构高度增长,应考虑风荷载的影响,谨慎采用;施工作业时,应尽量避免灰尘,光电板表面积灰过多会影响其工作效率;光电板的安装与于屋面支架或墙面支架(架空)的光伏系统布置类似,但在施工验算时,由于增加了施工临时荷载,应考虑光伏系统的荷载对钢平台进行结构验算;由于超高层建筑的主体结构高度大,光伏系统的外置设备应做好防雷措施,包括安装避雷针,将屋顶电池组件的钢结构与屋顶建筑的防雷网相连,发电组件与逆变器间加入防雷接线箱等;对太阳能电池组件、长期暴露在外的接线接点进行定期检查维护。

4 结 论

目前超高层建筑在中国的设计建造仍在势头,合理把握绿色施工的概念,不仅仅应将重心放在绿

色施工技术的提高层面上,还应注重绿色施工组织及施工人员的管理监督。通过培养施工人员的绿色施工意识,改善施工环境来促进一个良好的绿色施工方案能够顺利开展,从而完成全寿命周期内的超高层绿色建筑的实现。

参考文献:

- [1] Ctuh. Tallest world records [J]. Tall Building in Numbers, 2010.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部 GB/T 50640—2010. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 建筑工程绿色施工评价标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2005.
- [3] 住房和城乡建设部科技发展促进中心. 绿色建筑评价技术指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [4] Tam C M, Tarn W Y, Tsui W S. Green construction assessment for environmental management in the construction industry of Hong Kong [J]. International Journal of Project Management, 2004, 22(7): 563-571.
- [5] 段恺, 赵文海. 《建筑业的10项新技术》(2010版)之绿色施工技术[J]. 施工技术, 2011, 40(5): 38-42.
- [6] 龚剑, 余逊克, 等. 钢柱筒架交替支撑式液压爬升整体钢平台模架技术[J]. 建筑施工, 2014(1): 47-50.
- [7] 阮玉婷. 超高层建筑中的钢平台模板体系施工技术研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [8] 林海, 龚剑, 等. 整体提升钢平台系统在广州新电视塔核心筒施工中的应用[J]. 施工技术, 2009(4): 29-32.
- [9] Isabelina N. From lean to green construction: a natural extension [C]// Building a Sustainable Future - Proceedings of the 2009 Construction Research Congress, 2009: 1058-1067.
- [10] Mohammed A. Green construction in india: gaining a deeper understanding [J]. Journal of Architectural Engineering, 2009, 15(1): 10-13.
- [11] Mkhlesian S, Magnus H. Business model changes and green construction processes [J]. Construction Management and Economics, 2012, 30(9): 761-775.
- [12] 张莉莉, 吴华, 等. 超高层混凝土泵送技术研究与应 [J]. 建筑技术, 2015(4): 341-344.
- [13] 罗尧治, 吴成万, 等. 太阳能光伏建筑一体化设计与施工概述[C]// 第八届全国现代结构工程学术研讨会论文集, 天津: 天津大学, 2008.

(编辑 郭 飞)