

中国土木工程学会
上海市土木工程学会
上海隧道工程股份有限公司

主 编



地下交通工程与工程安全

——第五届中国国际隧道工程研讨会文集

Underground Transportation Projects and Work Safety

—Proceedings of China's 5th International Symposium on Tunnelling



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

地下交通工程与工程安全

——第五届中国国际隧道工程研讨会文集

Underground Transportation Projects and Work Safety
—Proceedings of China's 5th International Symposium on Tunnelling

中国土木工程学会
上海市土木工程学会 主 编
上海隧道工程股份有限公司



本届研讨会被列为“中国国际工业博览会上海科技论坛”之一



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书收录了国内外隧道行业论文 150 余篇,主要包括地下交通工程与工程安全、地下工程防范与管理、大型隧道工程技术、轨道交通技术、隧道技术研究、深基坑设计与施工技术、隧道相关技术等内容。论文从上海外滩通道、钱江隧道、迎宾三路隧道、龙耀路越江隧道、打浦路隧道复线和台北捷运等工程的实际出发,以“地下交通工程与工程安全”和风险控制为主题,论述了当前面向低碳经济的隧道与城市地下空间建设中的节能减排与环保问题,探讨了我国城市轨道交通工程建设与地下网络构建的风险控制等问题。

本书作者大多是隧道工程第一线的工程技术负责人,他们在论文中提供了大量的成功案例和经验教训,条理清楚、数据齐全、置信度高,对隧道工程的设计、施工的技术创新都有较大的借鉴价值。

本书可供土木工程、城市轨道交通、隧道工程等领域设计与施工的工程技术人员、科研人员以及大专院校相关专业师生作技术参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

地下交通工程与工程安全:第五届中国国际隧道工程研讨会文集/中国土木工程学会,上海土木工程学会,上海隧道工程股份有限公司编. —上海:同济大学出版社,2011.10

ISBN 978-7-5608-4694-1

I. ①地… II. ①中… ②上… ③上… III. ①隧道工程-国际学术会议-文集 IV. ①U45-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 198157 号

地下交通工程与工程安全——第五届中国国际隧道工程研讨会文集

中国土木工程学会

上海市土木工程学会 主 编

上海隧道工程股份有限公司

策划编辑 李炳钊

责任编辑 谢卫奋

特约编辑 楼如岳 徐蓉蓉

责任校对 张 丁

封面设计 潘向葵

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 上海展强印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 68.5

字 数 1709000

版 次 2011 年 10 月第 1 版 2011 年 10 月第 1 次印刷

印 数 1-1000

书 号 ISBN 978-7-5608-4694-1

定 价 350.00 元

序

中国国际隧道工程研讨会将迎来第五届盛会。近 20 年来,世界隧道工程技术向大深度、大断面、长距离的方向发展,并开发应用了许多新技术、新工艺、新设备、新材料,促进了学科的发展。我国近 10 年来城市地铁和地下交通隧道的大规模发展使我国成为隧道和地下工程数量最多的国家,也促进了隧道及地下工程学科研究的发展。

2000 年以来,我国上海、北京、广州、深圳、南京、天津等各大城市的地铁建设掀起高潮,建成运营 39 条线约 1300km;在建地铁线路约 1600km,用于地铁隧道施工的盾构掘进机达 400 余台。上千公里铁路隧道和穿越长江的 3 大水底公路隧道建成通车。上海地铁 10 年建成 8 条线约 350km 区间隧道和 10 余项大直径越江道路隧道工程。世界最大直径的长江越江隧道建成通车,上海的地铁、越江隧道、地下道路、地下构筑物等工程建设规模位于世界前列。

工程建设带动了隧道与地下工程学科的研究和发展,在隧道及地下工程设计计算理论、盾构隧道施工技术工艺、隧道掘进机及其他工程装备、深基坑技术、地基加固技术、工程监测和风险控制技术等方面,取得一大批科技和学术成果,促进了学科发展。同时,在建和规划建设的地下工程量大面广,大深度、大面积的地下工程和大断面、长距离的隧道工程技术难题成为亟待解决的新课题。

隧道及地下工程施工不可避免地带来工程安全和环境安全问题,近年来我国隧道及地下工程的安全监控和风险防范技术和管理得到重视和发展。

“第五届中国国际隧道工程研讨会”主题为“地下交通工程和工程安全”,论文集汇集了国内外隧道与地下工程界的 150 余篇论文,论文作者大多为工程第一线的技术和管理人员,记录了隧道与地下工程的设计、施工、安全、管理的案例和经验,反映了技术进步的新成果,可供参考和借鉴。

祝“第五届中国国际隧道工程研讨会”圆满成功!



2011 年 10 月

目 录

序言

地下交通工程与工程安全

面向低碳经济城市地下空间/轨交地铁的节能减排与环保问题	孙 钧(3)
锚固洞室抗爆能力试验研究	顾金才(11)
上海城市地下道路规划发展设想	秦 云(25)
超大直径土压平衡盾构在中心城区公路隧道中的应用技术探讨	周文波(32)
某市地铁区间隧道事故修复施工技术	杨 磊(48)
超大直径盾构隧道工程技术的发展	傅德明 周文波(53)
潜盾隧道监测于设计及风险管控上之应用——以环状线 DF111 标为例	
..... 郑国雄 赖建名(62)	
硫酸盐侵蚀环境下的隧道结构损伤机制及演化规律	彭立敏 雷明锋 旷南树(76)
宁波轨道交通建设安全管理探索与实践	朱瑶宏(84)
既有地铁隧道上方进行基坑施工的方法	杨国祥 温锁林 朱雁飞(94)
直径 14.27m 土压平衡盾构机在穿越上海虹桥机场道路工程中的应用	
..... 周质炎 温竹茵 缪 仑(100)	
超大特长盾构法隧道结构设计关键技术	杨志豪(105)
超大直径土压盾构在城市密集区的快速均衡化施工技术	黄德中(117)
钱江隧道超大直径盾构施工的关键技术及挑战	丁光莹 万 波(126)
上海虹桥枢纽迎宾三路隧道新建工程综述	戴仕敏(132)
运营地铁隧道防沉“微扰动”注浆加固技术	冯 师 张 帆 何小玲(141)
关于隧道监控量测几个需要解决的问题	钟世航(149)
广州城市轨道交通线网现有地下空间开发与利用研究	唐 薇(154)
天津城市隧道与地下建筑合建设计方法的探讨	董 雪 赵俊妍 李爱民等(160)
新城战略下的地下空间规划初探——以南桥新城地下空间专项规划为例	
..... 梁颖元 周 恬(167)	
多元化的地下空间兼民防工程设计实践——世博会主题馆地块北部民防工程设计小记	
..... 闵 立(174)	

地下工程风险防范与管理

我国城市地铁运营系统的风险与安全评价研究	束 昱 田 坤 路 珊等(183)
超大特长越江隧道工程全寿命风险管理实践	田海洋(193)
上海外滩通道改造工程风险管理简述	张 立 杜 峰 江旭东(203)
琼州海峡跨海工程高水压下盾构施工风险评估	张一凡 廖一蕾 张子新(210)

浅谈我国城市轨道交通工程建设风险控制·····	刘万兰 王秀志 刘朝明(220)
大断面盾构隧道下穿铁路安全控制措施研究·····	马 元(225)
杭州地铁超长联络通道冻结法施工风险控制·····	陈建伟(234)
向莆铁路施工阶段风险控制方法·····	余朝阳(244)
特长盾构法水工隧道管片拼装质量控制·····	余弘婧(251)
宁波软土地层隧道上浮成因及控制措施·····	杨 武(257)
某隧道工程长管棚失效所引起的几点思考·····	王全胜 向晓峰(263)
山岭隧道衬砌背后空洞检测及处理·····	吴发展(268)
高压富水岩溶区特长隧道注浆堵水综合技术研究·····	吕言新 乔卫国 张 猛等(272)
上海地铁运营隧道病害治理与控制技术·····	肖同刚 王如路(279)
隧道全数字化监控系统的研究·····	赵 博(284)
智能化监控管理系统在隧道工程中的应用·····	邸鑫鹏(288)
高清视频技术在隧道监控中的应用·····	苏卫平 周春燕(293)
隧道运营安全管理研究·····	刘 健 张振中(300)
超大直径盾构隧道抗震分析与措施·····	张 迪(306)

大型(大直径)隧道工程技术

上海龙耀路越江隧道设计综述·····	温竹茵 周质炎(317)
江阴市锡澄运河澄江西路隧道工程设计·····	沈艳峰 周质炎 由广明(323)
沿海地区高度差异化地层中超大直径盾构施工技术探索·····	李慕涵(329)
超大直径土压平衡盾构施工优化分析方法·····	邱裕华(335)
钱江隧道工程施工期环境影响及对策探讨·····	常 鸽 万 波(341)
大直径盾构隧道的施工力学行为分析·····	焦齐柱 仇高飞(346)
直径 11.58m 盾构穿越 A30 远东大道技术 ·····	李 永(355)
超大直径盾构近距离穿越对机场航油管的影响研究·····	郝 亮 周 振 侯永茂等(361)
超大直径土压平衡盾构穿越机场滑行道的数值模拟研究 ·····	周永习 侯永茂 马 元等(367)
打浦路复线清淤回填施工后长期沉降预测与分析·····	梁广彦(373)
超大直径土压平衡盾构同步延伸皮带机纠偏技术研究·····	周 振 符志华 周永习(380)
钱江通道及接线工程钱江隧道设计综述·····	孙文昊 张 迪 宁茂权(384)
大直径泥水平衡盾构施工对地面沉降的影响研究·····	陆雅萍(392)
钱江隧道盾构掘进废浆零排放压滤处理技术初探·····	万 波 陈益人 傅 磊(398)
西藏南路越江隧道中浦西码头桩拔除技术·····	蒋益平 杨光辉(404)
钱江流域越江隧道混凝土耐久性研究·····	汤 渊 胡青莲(411)
特大隧道收敛监测技术·····	余永明(418)
精益施工在大型盾构隧道工程中的运用·····	章仁财 张子新 梁广彦(422)

轨道交通技术(地铁隧道工程盾构施工技术)

成都地铁富水砂卵石地层中土压平衡盾构机安全快速施工技术·····	宋修元 杨宏强(431)
地铁车站预留区间隧道下穿条件技术措施及风险控制·····	安 危(438)

富水流砂地层暗挖隧道安全施工技术	张自太 钱万周(443)
全断面粉砂层盾构进洞的加固及止水	胡家明(453)
半逆筑法等施工技术在上海地铁 10 号线老西门车站中的应用	余佳贝(462)
南京地铁 3 号线浦珠路站深基坑降水设计	黄小锐(469)
上海砂性土地地区盾构进洞设计与施工技术研究	张 正(476)
地铁隧道 TBM 过富水岩层施工应对措施浅析	高文杰(481)
深覆土盾构穿越风井施工关键技术	李 迅(485)
广州某盾构超近距离下穿已运营地铁隧道的工程概述	张明远 刘庭金(493)
土压平衡盾构穿越运营地铁隧道施工技术	潘 涛(499)
土压平衡盾构机穿越既有地铁线路的技术方法	王文锋 刘德智 杨军宁(507)
郑州轨交 1 号线盾构穿越大直径污水管施工技术	王旋东(515)
城市轨道交通隧道区间深层障碍物清理施工技术	梅 君(522)
大跨地铁隧道穿越建筑施工变形监测与控制	丁祖德 彭立敏 黄 娟等(527)
盾构在小半径矿山法隧道内长距离推进施工技术	张振光(534)
地铁出入段线盾构隧道区间——浅覆土、小半径始发地面沉降规律分析	陈 林(540)
地铁盾构小净距隧道施工影响分析	金志宝 石文广 范秀江(545)
双圆盾构施工对邻近短桩基础框架建筑物影响的研究	方洪波 魏 纲 陈冬东(551)
城市地铁浅埋暗挖地段施工减震控制爆破技术	段宪锋(557)
天津运营地铁上部卸载对地铁箱体影响分析及监测	周守凯 董 雪 王小宝(563)
美兰机场高速铁路车站隧道屏蔽门气动效应影响分析	郑长青 陈赤坤 王英学(570)
软土地基地铁长距离下穿地下结构的数值分析	李福锋 李福清 林 鹤等(577)
广州城市轨道交通施工控制网测量技术研究	徐顺明 凌志平 王昌洪(583)
广州地铁自动售检票系统设备测试方案的探讨	张佳文 洪 澜(590)
北京地铁车站狭窄场地条件下自平衡载荷试验初探	王 丹(596)

隧道技术研究

软土地层盾构地中对接技术现状及应用可行性分析	李 鸿 朱卫杰 袁风波(605)
软土盾构切削混凝土地下连续墙可行性研究	蒋华钦 滕 丽(614)
渝湘高速公路长滩隧道左线岩溶涌水整治	孙正兵(621)
半岩半土隧道围岩稳定数值模拟	汪 宏 王 勇 蒋 超等(626)
某赋水江畔钻爆隧道渗漏综合治理技术	方恩权 曹树良(633)
大断面黄土隧道初衬结构参数反演分析研究	杨炎华 杨 钊 陈培帅(638)
双曲隧道	王胜利 童景盛 敖运安(646)
杭州砂砾质地层盾构掘进对周围土体扰动影响分析	魏林春 郑宜枫(657)
包西铁路风积沙隧道施工技术	陈自明 荆会元(663)
基于统一收敛模式的隧道地表变形的随机介质预测模型	伍振志(670)
西江隧道盾构始发和到达技术研究	王晓波(677)
盾尾应力分析及有限元计算	赵洁咏 王伟钢(684)
盾构机同步注浆试验系统研制与应用	庄欠伟 蒋华钦(693)
浅析青草沙原水过江管工程进出洞要点	沈庞勇(701)

上海青草沙隧道环保型注浆施工工艺·····	吴惠明	黄俊(706)
盾构信息管理系统在青草沙引水工程施工中的应用·····	刘立慧	马志刚(712)
陀螺全站仪在隧道测量中的应用·····		余永明(717)
水平旋喷在隧道掘进施工中的应用分析·····	向晓峰	王全胜 吴涛(722)
广州仑头—生物岛隧道工程水中管段对接之检测研究·····	沈永芳	吴刚 潘建华(727)
安全疏散通道设置方式影响隧道人员逃生的模拟研究·····	刘宽	韩新 丛北华(736)
集中排烟模式下隧道全尺度火灾试验研究·····	丛北华	韩新 汤渊(743)
排烟口的截面形式对隧道火灾烟气发展的模拟研究·····	韩新	丛北华 虞哲端(749)

深基坑设计与施工技术

我国深基础工程技术发展现状与展望——21 世纪头 10 年情况综述·····	史佩栋(757)
南京地铁新街口站钢便桥盖挖法施工技术·····	马西峰 金明 金华(767)
连云港市中心地下人防逆作法基坑围护方案设计及比选·····	陈涛(772)
大连商业核心区超大基坑逆作法关键施工技术·····	曾定波 李福锋 陈涛等(781)
钱江隧道盾构工作井高隔板力学优化分析·····	张迪 任辰(790)
上海轨道交通 10 号线一期工程龙柏新村站-龙溪路站中间井施工结构设计·····	张衍(798)
深基坑地下水故障树法风险控制研究·····	潘伟强 朱雁飞 李韵(805)
深基坑施工安全评价指标研究·····	王蓉(812)
相邻地下空间开发的基坑施工风险控制·····	顾超(818)
地铁车站端头井计算方法与分析研究·····	李治安 危(826)
地震多发地区基坑施工监测系统的研究与探讨·····	陈介华(831)
大型复杂基坑施工工况的数值模拟分析·····	梁广彦 张轶(836)
深基坑支护体系的三维有限元计算及其与实测结果的对比分析·····	卫丹 沈晔 王臻华等(842)
软土地基基坑支撑不同拆除方式对周边环境的影响对比分析研究·····	陈枝东 李福清 沈兆武等(849)
灰色模型在基坑工程地面沉降预测中的应用·····	张文翔 瞿成松 刘毅等(857)
相邻基坑先浅后深施工相互影响数值研究·····	潘伟强 朱雁飞 侯永茂(864)
相邻基坑不同施工方案的有限元分析·····	万波(870)
紧邻黄浦江特大异型基坑施工三维数值模拟分析·····	李福清(876)
隧道工作井基坑 PLAXIS 计算与信息化施工·····	徐辰春(882)
浅议地铁“浅埋暗挖法”施工安全巡视工作要点·····	于少辉(888)
浅层砂质粉土中地下连续墙成槽的稳定措施·····	曹宏 潘毅 刘明喆(893)
深基坑自适应支撑系统总体设计与应用·····	顾国明(900)

隧道相关技术

沉管隧道集束桩基础新技术·····	潘国庆(909)
工厂法管节预制概念简述·····	宿文德 朱卫杰(914)
贝诺特灌注桩在上海外白渡桥保护工程中的应用·····	罗志军(921)

软土地层水平旋喷桩施工关键设备的研制·····	黄均龙(927)
浅谈全回转清障在实际工程中的应用·····	沈 俊(933)
阻燃沥青复合式路面结构在城市隧道中的应用研究·····	王海燕 王晓华 邢 锦(939)
干油集中润滑系统在盾构机中的应用·····	穆震强(945)
隧道工程弃土弃渣对环境的影响及处置对策·····	汤 渊 李春杰 常 鸽(951)
提高新浆性能的制浆用水改良方法·····	徐 铭 孙静毅(955)
地下水对水下隧道的不良影响分析及应对措施·····	徐 军 杨本水 宣以琼(959)
高地温隧道通风降温计算方法及应用·····	杨长顺(967)
华蓥山隧道硫化氢气体检测及综合整治研究·····	唐 协 陈贵红 周仁强(978)
青草沙五号沟泵站侧墙温控仿真分析·····	沈 晔 卫 丹 罗 垚(987)
多种缓和曲线线型通用计算模型的编程实现·····	王 浩(996)
大连路隧道中央计算机系统改造 ·····	朱弘毅 张晓龙(1003)
YS工法改良建筑废弃泥浆及再利用技术 ·····	····· 胡晓虎 张冠军 黄 俊等(1012)
大跨度先拱后梁拱桥混凝土系杆无支架施工技术 ·····	杨继东 徐林真(1020)
抑尘剂在地下(隧道)施工中的应用 ·····	霍茂清 薛 峰 王 薇(1027)

英语论文

TBM Design Development and Innovation for Large Diameter Tunnels under High Cover and Complex Geologies ·····	Remo Grandori(1033)
New Technologies for Underground Construction in Soft Ground of Urban Area ·····	Tadashi Hashimoto Yujian Liu(1041)
Modern Way of Designing Drill and Blast Patterns ·····	Juha Kukkonen(1057)
EPB Shield Tunneling for Twin Tunnels with Shallow Overburden under Railway in Operation ·····	Yuichiro Terada Tadahiko Tuji(1062)
Time-dependent 3D Numerical Analysis of the Soil Deformation Disturbed by Super -diameter EPB Shield Tunnelling ·····	HOU Yongmao ZHENG Yifeng GU Chenying(1073)
Keynote Lecture on Recent Contract Developments in Underground Construction ·····	Harald Wagner(1079)

地下交通工程与工程安全

面向低碳经济城市地下空间/轨交地铁的 节能减排与环保问题

孙 钧^{1,2}

(1. 同济大学 隧道与地下工程研究所, 上海 200092; 2. 上海市城建集团院士工作室, 上海 200122)

摘 要 本文论证了城市隧道和轨交地铁的节能减排和环保问题是目前低碳经济社会的重要方面, 文章就如何逐步开发太阳能光伏发电和推广智能型 LED 节能灯具作了分析研究; 提出了有关节能、环保若干问题的新的技术措施, 并对几项新技术的开发和应用进行了讨论。介绍了近年来国内外各该领域的经验和做法以及自己的认识, 对城市轨交和隧道在节能减排方面的趋势与前景提出了看法和建议。

关键词 隧道与城市轨交地铁; 地下交通枢纽; 光伏发电; LED 节能灯具; 能再生光源; 温室气体排放; 环境保护

Abstract The paper verifies with testimonials that energy saving and EP of urban tunnels and rail transit/metro are important aspects for a society of low carbon economy at present. This paper takes an analytical study on development in steps of optic-voltaic power generation of solar energy, and promotion & propagation of smart LED lighting fixture by proposing new technical measures related to energy saving and EP, followed by discussion on development of new techniques and their applications. This paper presents the respective experiences or ways of execution in the relevant fields both at home and abroad in recent years together with personal cognition on the matters concerned, finalised by putting forward personal point of views and suggestions on the trend and perspective of energy saving /emission reduction in urban rail transit and tunnels.

Keywords tunnels and urban rail transit/metro; underground traffic hub; optic-voltaic power generation; LED energy saving lighting fixture; recyclable lighting source; greenhouse gas emission; EP

1 前言

地下建筑业(含功能各异的隧道、轨交地铁与城市地下空间)的节能减排和环保问题是面向低碳经济的重要方面, 在该领域应该也可以有所作为。地铁是城市用电大户——“电老虎”: 昼夜运行的电气列车、地下车站通风、照明、空调、取暖和其他各种耗电设备与设施等, 在节电、排污方面都有很大的效益空间。众所周知, 在地面交通中, 汽车尾气排放是城市空气的重要污染源, 交通拥堵而汽车不歇火时, 其 CO₂ 和 CO 的排放量就更甚; 改用轨交地铁电气列车后, 地面交通的排污情况将可在很大程度上得到改善。怎样看待隧道和地铁在低

碳经济社会中的节能? 其中,有条件地逐步开发太阳能光伏发电、采用太阳光光纤导入照明系统的室内人工生态光源,以及进一步推广智能型 LED 节能照明灯具等等都是重要方面。其在城市地下空间(上海虹桥综合交通枢纽例)和公路与城市隧道(崇明长江隧道例)与其他处的成功范例将在文中后续介绍。

从目前建设力度十分迅猛的我国城市地下空间/轨道交通的发展看,采用低碳经济的发展策略,意义将十分重大。建立节能型的地下空间,是一项争取逐步实现的远大目标;而在初期,则需要投入一定的节能、减排资金以开拓低碳经济所需的各项新技术。要求从根本上达到能源体系的转型,解决好传统的自然能源资源(煤炭、石油)短缺、大力降低地铁车站内大客流温室气体排放量和地下环境高污染的现状,促进节能、环保型地下空间在生态环境综合平衡制约条件下一种新的发展模式——低碳生态的隧道、地铁与地下空间建设,实现城市经济的可持续发展,应该早日提上日程。

2 地下空间的节能减排与环保问题——面向低碳经济的地下空间开发与建设

城市地下空间和轨交地铁/公路隧道的节能减排与环保问题已日益受到业界和广大市民的密切关注!

地下空间具有天然的低碳排放条件,在地下交通节能以及新能源利用等方面都较地面设施和地上建筑物更具独特优势。地下空间/轨道交通较比地面建筑物和地上交通更为低碳,其主要效应在于:

- (1) 降低建筑能耗:地下空间自身所独具的基本恒温 and 恒湿特点产生的节能低碳效应;
- (2) 降低交通能耗:地铁载客量大,而运行速度快,耗时少,排污小,因搭乘轨道交通代替地面交通产生的低碳效应,此外,通行地铁电气列车以缓解地面道路交通而节约油耗和拥堵产生的低碳效应;
- (3) 新型节能照明:推广智能型 LED 新型诱导式节能灯具及其他;
- (4) 新能源利用:在各类地下空间内争取利用太阳能或视条件利用风能、地热等可再生能源,代替化石燃料以减少碳排放;
- (5) 碳汇新技术的应用:在地下利用吸碳装置汇碳。

当前,上述的后两项尚亟待进一步实施推广。

3 本文拟提出的几个问题

- (1) 积极稳妥而有步骤地视条件逐步开发太阳能光伏发电;
- (2) 努力推广智能型 LED 节能灯具和其他新型照明光源;
- (3) 其他有关的节能、环保问题;
- (4) 几项有关新技术的研究和开发。现分述如后。

4 光伏发电技术的开发和采用

作为试点工程,可否先选择地铁站一、二处,在其附近的广大绿地内各类地下建筑物

的上方及其出入口外侧(或透光玻璃天棚的上方),以及地铁车站内设置有“天窗”的地段,铺设太阳能电池板,最好能建立供该地铁车站和相邻区间专用的小型光伏电网为试点,在取得成效的前提下,日后更争取并入城市大电网,使太阳能光伏发电系统能采用于整个地下空间。其装机容量可部分甚至全部满足地下空间内部照明、甚或部分设备的供电量需要;较比现用的火电,其有望的有效年减排量和节约的标煤或燃油量为数当十分可观。

目前,我国生产的光伏太阳能电池板组件(图1),已占全球的55%,名列世界前茅;但国内已享用的太阳能“绿电”却不到5%。我国太阳能光伏发电的装机容量只合400MW,仅极少数已上输至大电网(均属政府示范工程)。为此,除“绿电”的上网电价需早日制定外,各项政策细节均亟待明确到位,以激活“屋顶发电”,特别对光照充足的我国内地广大地区就更是如此。

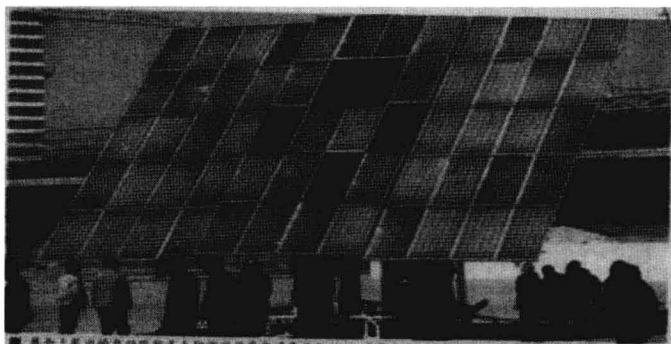


图1 2011国际太阳能产业及光伏工程展览会上展出的自动跟踪式太阳能光伏发电设备

当前,对我国太阳能光伏产业发展的一些“瓶颈”,笔者了解到:

(1) 尚停留在个别单位/家庭“自产自销”阶段,家庭太阳能还多只是供应热水器用电,总体利用率极低,且普遍存在与城市建设、建筑景观的不协调,以及在承重、防风和防雷等方面的不少安全隐患。

(2) 向城市大电网并网送电,在“开通”和“卖电”问题上还困难多多。

(3) 太阳能“绿电”上网难以定价,现用的电表也不能识别太阳能“来电”,即使绿电上网,依然被收电费,等等问题均亟待解决。

本来,自家用电不花钱、富余的太阳电能还能“逆”向发电上网,获得收益;更且国家鼓励、支持(对新能源上网发电,我国政府规定电力部门有义务收购“绿电”),却由于单相电表只能记录用户用电量;“逆”向上网发电,电表不能识别。此事议论已多年,却一直难以落实实施。

在可再生太阳能的进一步开发和利用方面,笔者建议,如能通过在城市的部分高层和多层建筑大楼的楼顶、光伏玻璃幕墙和不设窗、门与阳台的外墙面(北向墙除外)(除大楼自用电量外,尚多有富余),以及许多居民小区住宅的屋面(以居民自家用电为主)、广大城市绿地、各类地下空间上方“天窗”的以上部分,甚至利用地铁车站出入口的上方,铺设太阳能电池板,构筑小型光伏发电系统(图2),并逐步建成光伏专用电网,再争取并入城市大电网,以供给地铁的全部照明需要,有条件时还可兼及为部分地铁车辆等各种耗电设施配电;日后,如能将大电站电网与太阳能光伏并网发电,将电站与太阳能用户联系为整体,则更是一种有待争取的前景。

全球最大光伏低能耗大楼近日在无锡市建成,其有益经验似可供借鉴。

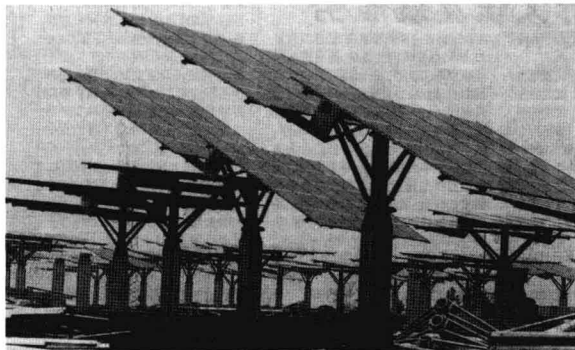


图2 正在建设中的国家“金太阳”工程示范项目——江西省新余市瑞晶太阳能光伏电站

• 最近,在江苏无锡市建成了全球最大(总面积约 1.8 万 m^2)的光伏低能耗生态建筑——尚德电力总部办公大楼。该大楼首次将“低能耗、功能型、生态化”概念引入建筑领域。整个办公大楼使用光伏玻璃幕墙等太阳能光伏建筑一体化材料,通过光电效应将太阳能转换为电能,直接为大楼提供绿色环保的太阳能电力。

• 整个工程设计容量为 1 MW ,预计全年发电量将超过 100 万 kWh 。这一生态建筑的建成,展示了太阳能科技与现代建筑的完美融合。从主动节能的角度看,整个建筑现按最低使用寿命 70 年 计算,共计可产生电量 $3\,892 \text{ 万 kWh}$,预计每年可替代标准煤 338 t ,减排二氧化碳 605 t , 70 年 共可替代标准煤 $23\,660 \text{ t}$,主动节能效果十分显著,对推广绿色能源、缓解城市峰电压力起到很好的示范作用。

• 该大楼采用了光伏建筑一体化(BIPV)系统,除能保证自身建筑用电外,还可向电网供电,从而缓解高峰时的城市电力需求。由于光伏阵列安装在屋顶和墙壁等室外围护结构上,将吸收的太阳能转化为电能,一方面有效降低了室外屋顶和墙面的热照温度,减少了墙体蓄热和室内空调冷负荷,既节省了能源,又保证了室内的空气品质。此外,还避免了由于使用一般化石燃料发电所导致的空气污染和废渣污染,对于节能、减排和环保都十分有利和重要。

• 再则,该大楼在设计中还采用了地热采集、空气热泵、水源收集与循环利用等先进技术,其潜在的节能效果非常显著。

上项成果对在城市地下空间方面仿用,可提供有用的参考。

5 上海市虹桥综合交通枢纽的绿色策略与节能技术

(1) 虹桥交通枢纽开通运营已近 2 年 。它是地面、地下空间(地下部分共合 50 万 m^2 ,东西向长为 2 km 、南北最宽处为 600 m ,开挖深度 $8 \sim 29 \text{ m}$ 不等,属国内特大型城市地下空间之一)的有机结合,集航空、铁道(含城际铁路、动车、高铁)、长途客运、市内公交、轨交地铁和磁悬浮等多种换乘方式于一体(图3)。这一现代化的综合交通枢纽对“长三角城市圈”($2 \sim 3 \text{ h}$ 内可到达)的整合与发展将产生深远的影响。

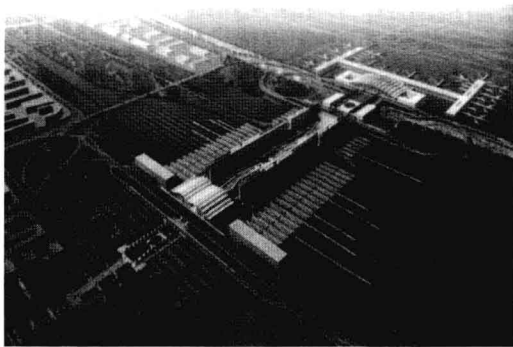


图3 上海城市发展新地标——虹桥综合交通枢纽

(2) 在绿色环保和节能减排方面,该交通枢纽已实施了以下内容:

- 对全年度交通枢纽整体的能耗分析与节能措施作了统筹安排;
- 充分地利用自然通风和自然采光;
- 给排水系统的节水、节能,含:高效率冷水机组、空调水系统温差调控、水泵变频、冷冻水直供、太阳能生活热水系统等;
- 电气设备和供配电设施的节能减排;
- 地上、地下照明配电密度自动调控;
- 节材与材料资源的有效利用,等等。

(3) 经济效果、创意性和社会效益:

- 实现了以上各配套设施资源的集约化使用,提高了枢纽建设和运营的经济性和适用性;
- 较之传统的习惯做法,与国家节能标准相比,达到了总体节能约 65%(西航站楼例)的水平;
- 单就采用的空调冷水“直供系统”(西航站楼例)言,与常规技术手段(“板交系统”)相比,减少了运行能耗约 $62.45 \times 10^4 \text{ kWh/a}$,系统综合节能率达 3.1%;
- 减少建筑能耗,强化了地面/地下空间的人性化设计,体现了建筑生态化的先进理念;
- 以上各项研究成果,正在推广用于浦东国际机场三期工程——卫星厅(约 40 万 m^2)的建设,提供了第一手的技术支持;且为进一步探求高能耗的症结,深化节能环保和低碳、减排措施制定了理论依据。

6 隧道与城市地下空间/轨交地铁的智能型 LED 光源照明及其节能环保技术

国内公路隧道和上海市崇明长江隧道的一些成功做法(代替传统的直管荧光灯和高压钠灯):

在地下空间内采用绿色、高效、环保以及耐久性能好、使用寿命长的 LED 光源,更且对洞内照度作现场总线网络的无级自动调光控制,其使用前景良好。在崇明长江隧道,采用这项新技术初估每年可节电近 50%,经济效益和节能减排、环保各方面也都效果显著。

(1) 新型节能环保型照明——LED 调光可控照明技术的推广采用。

隧道和地铁内全天候 24h 照明,用电负荷重,节能潜力巨大。经研究认为,局部或全部改用上项节能环保型 LED 诱导光源照明是可行的。

(2) 在我国公路隧道建设中,基于天气分级以及按洞外亮度、交通流量和车速等为参数的照明控制模式的进步;其他如洞内装饰面发光涂料的改进和隧道节能型供配电系统等等,也都已有启动,前景喜人,其对隧道照明节能环保方面的效果均十分良好。

(3) 近年的实践证明,采用 LED 照明的主要效益反映在:

- 地下空间照明效果优良,照度和光均匀度均可达到使用要求;
- 照明灯具可保证 3×10^4 h 的耐久性寿命;
- 照明节电(与传统灯具比较)30%以上;
- 人员反映视觉受感和舒适性均满意。

(4) 一般隧道的用电负荷能耗约占隧道总能耗的 40%~50%;而采用 LED 光源照明,则约可节能 30%~40%。故此,是大有作为的。

但目前在应用 LED 中仍存在:光衰大、结温高、灯具结构不尽合理、照明均匀性不足、驱动电源的寿命质量不稳定等问题,需待进一步解决,对灯具的各项技术要求亦待制定,以达到节约隧道照明能耗的效果。

(5) LED 节能灯具开发中的若干问题:

• 目前,我国的 LED 照明产业取得了前所未有的发展——从大功率 LED 芯片技术的研发、突破到 10×10^8 颗 LED 芯片点亮上海世博会的实际应用,从资本热捧到政策给力,LED 产业的繁荣已初步显现。然而,在道、桥、隧各个照明领域,已投入使用的 LED 照明产品还存在一些制约其未来发展的问題亟待解决。

• 自 2009 年始,我国政府加大了对 LED 道路照明的扶持和推广力度,并在 21 个经济较发达城市推行应用试点。然而,一些新安装的 LED 灯具在产品质量和照明效果方面存在一些问题,如:道路照明亮度不够,眩光大且刺眼,产品使用一段时间后出现比较严重的光衰,或根本不亮了的現象。业内专家指出了它的症结所在:“在发展上急功近利,对节能路灯的理解存在误区,过于单纯和片面追求系统光效的技术升级,而忽略了对产品应用环境的制约”。

• 为生产符合节能标准的 LED 灯具,国内飞利浦公司率先提出“以采用满足道路照明应用标准的功率密度(LPD)值来衡量 LED 灯具产品的照明效果和节能效果;而系统光效只能是产品评价指标之一,而不能全面衡量照明效果和节能效果的优劣。正确的评价标准首要是满足道路照明设计标准,节能也必然以满足这一标准作为前提,同时兼顾人们的视觉需求”。

• 近年来推出了一系列 LED 道路照明新产品,以飞利浦最新的 Green vision LED 系列为例:该产品以可实现照明功率密度值(LPD, W/m^2)作为衡量指标,拥有 4 种系统光效以及专为我国道路条件设计的光学系统,不仅能通过足够的亮度和照度以保证车行安全,还能以合适的色温带给人们舒适和安全的照明感受,使节能效果和用户评价达到优化。

• 目前,据不完全统计,我国主要城市道路已拥有超过 1700 万盏路灯,未来 LED 道路照明的市场潜力十分巨大。我国“第十二个五年规划”中,国家将把加速制定 LED 照明标准作为产业发展的重中之重,在建设资源节约型和环境友好型社会的前提下建立一项科学公正、与国际接轨的 LED 照明发展规划,它是决胜于 LED 照明产业的关键。