

科学·创新·振兴 (A卷)

中国科协 『振兴东北地区等
老工业基地』专家论坛论文集

中国科学技术协会
沈阳市人民政府
编

沈阳出版社

前 言

为深入贯彻中共中央振兴东北地区等老工业基地的战略部署和《中共中央国务院关于实施东北地区等老工业基地振兴战略的若干意见》精神，中国科协决定在辽宁省沈阳市举办“振兴东北地区等老工业基地”专家论坛。论坛紧紧围绕振兴东北地区等老工业基地的总体目标，紧密结合振兴老工业基地进程中具有全局性、战略性、前瞻性的问题，进行深入交流与研讨，并提出建议与对策，促进地方经济建设和社会全面发展。

为充分展现我市自然科学与社会科学发展的创新思想和科技进步与技术创新的最新成就，进一步调动广大自然科学与社会科学工作者的主动性、积极性和创造性，促进不同学科、不同领域的专家学者之间的交流与研讨，推动科技创新，促进人才成长，把科教兴市和人才强市战略落到实处，为沈阳实现全面建设小康社会的宏伟目标提供强大的智力支撑，沈阳市委决定同期举行首届沈阳科学学术年会。

编印《科学·创新·振兴》——“振兴东北地区等老工业基地”专家论坛暨首届沈阳科学学术年会文集，旨在更好地服务于这次学术会议，展示广大专家学者活跃的学术思想、丰硕的学术成果和沈阳充满生机的学术氛围。本届论坛和年会共征集有关自然科学与社会科学方面论文 1860 多篇，经专家评委会初审和终审，从中筛选出 295 篇优秀论文发表全文，565 篇优秀论文刊登

摘要。所收论文内容围绕论坛和年会主题，探讨新知，前瞻未来，充分展示了广大专家学者在振兴东北地区等老工业基地实践中的真知灼见，以及在机械制造、信息科学、生态环境、现代医药、人才培养等学科领域的创新思想和成果，以供与会代表和广大专家学者进一步交流和讨论，相互启迪、集思广益，以求更多、更新、更精彩的学术灵感和学术成果。

编委会

2004年8月

目 录

关于分布式能源系统的思考	蔡睿贤等 (1)
煤矿重大事故预测和控制(研究)的现状和发展方向	宋振骥等 (3)
东北老工业基地装备制造业发展思路之我见	屈贤明等 (10)
信息化是振兴东北老工业基地的必由之路	张衍傲 (13)
哈尔滨老工业基地改造的思路与强化技术支撑对策	杨明远 (16)
哈尔滨老工业基地有效调整、改造应遵循的原则	彭瑞玲 (18)
黑龙江省实施人才强企战略研究	陈金松 (21)
新型工业化道路——东北老工业基地振兴之路	纪玉山等 (24)
振兴老工业基地面临的新形势、新问题和对策	李 力 (28)
沈阳老工业基地振兴中的企业制度创新	韩玉奇 (30)
辽宁中部城市经济群战略构想的理论依据	朱 慧 (33)
管理创新助推老工业基地企业振兴	朱卫东 (38)
关于机械制造业发展的几点战略思考	宋天虎 (41)
推进环境建设,实现大连东北亚国际航运中心战略目标	王祖温 (46)
关于大连建立东北亚重要航运中心法制环境的建议	司玉琢 (51)
大力营造适宜创业环境——服务东北重振建设中国全球油运船队	孟庆林 (54)
试论辽宁在东北振兴中的投资主体地位	刘 斌等 (55)
论黑龙江卷烟市场营销环境·战略·策略	李野等 (60)
与时俱进,开拓创新,加速装备制造业的发展	迟 速 (64)
对老工业基地改造的几点建议	王黎钦 (65)
加速大型国有企业调整改造重振哈市老工业基地雄风——结合哈轴调整改造发展规划探讨 哈市老工业基地改造发展的思路	朱建春 (66)
创新是大庆老工业基地振兴的活力源泉	程淑云 (70)
大庆市产业结构调整的战略思考	赵天石 (73)
大庆市现代物流体系建设存在的障碍及其对策	赵俊平等 (77)
构建新的人才政策 振兴老工业基地	王恒久等 (81)
发展天然气产业在大庆市形成新的天然气产业链	杨明杰等 (85)
关于提升我市石油化工产业竞争力的建议	倪卓等 (89)
关于做大做强大庆石化产业的几点建议	赵东昌 (92)
国有装备制造业企业发展存在的主要问题和对策建议	吴生富 (97)
寒区汽车取暖困难与冷车起动困难的研究对策	温雅琴等 (101)
黑龙江电子信息产业发展战略的研究	吴静宜等 (104)
加快大庆畜牧业可持续发展的战略思考	徐爱国等 (109)
论地方政府在振兴东北等老工业基地中的作用	刘世丽 (114)

论企业伦理精神中的整体性思维	丁东宇 (117)
树立科学发展观, 发展环保产业, 建设生态型高科技城市	齐景顺等 (121)
为人才创造良好的发展环境为老工业基地振兴保驾护航	陈嘉平 (126)
稳步推进大庆老工业基地调整改造	任秀梅等 (129)
以人为木, 战略领先, 论民营企业走发展和培育高新技术装备之路	崔 玥 (132)
油田开发对生态环境的影响及对策	宋秀娟 (135)
振兴大东北 人才是关键——从“孔雀东南飞”现象看人才是立市之基、强市之本	南刚志等 (138)
振兴东北老工业基地要与环境保护协调发展实现经济与环境双赢	金 璐 (141)
抓住机遇迎接挑战打造大型航空空气动力研究基地	郝卫东 (144)
东北老工业基地振兴的软环境策略	张凤武 (150)
加快结构调整 推进产业集群化建设吉林石油化工产业基地	施建勋 (153)
吉林省“数字农业”研究的实践与探讨	陈桂芬等 (156)
调整促升级 改造迎发展——纵论黑龙江省森工林产工业的调整改造	王 炼等 (162)
振兴吉林的能源(电力)出路	陈溶年等 (166)
依托天然气资源做大做强东北天然气经济	杨明杰等 (168)
优化供电服务环境 振兴东北工业基地	武 群等 (173)
辽宁老工业基地振兴与复合型人才培养策略	侯淑波 (177)
长春市生态环境可持续发展评价研究	汤 洁等 (180)
对“振兴东北”一些基本理论问题的思考	马生忠 (186)
潜力资源勘探与资源枯竭型矿山发展	于生宝等 (190)
用前沿基础研究中的成就振兴老工业基地——论发展化学化工数据应用软件产业的 可行性	张宇英等 (193)
东北老工业基地现状分析	岳凯红 (197)
实现房地产业可持续发展振兴沈阳老工业基地	孔凡文 (199)
“辽宁省海上污染应急体系”的结构框架及运作策略	杜 川等 (202)
构筑基础框架、打造“数字沈阳”	李广杰 (207)
浅谈科学发展观与全面推进城市化进程	魏树柏 (211)
审计工作在振兴东北老工业基地中如何发挥作用的几点思考	邱维林 (213)
关于在振兴东北老工业基地中审计走势的探讨	余 宏 (216)
思想道德教育在振兴东北地区老工业基地的作用	毛英萍 (221)
中国城市化动力机制初探	王小侠 (224)
发展冰雪旅游振兴东北老工业基地——营造沈阳冰雪旅游名牌策略研究	朴勇慧等 (227)
我国失业问题及对策建议	邹德新 (231)
浅析继续教育在振兴东北老工业基地经济中的地位与作用	邹本旭等 (235)
发展沈阳支柱产业的思路与对策	阎质杰 (237)
沈阳老工业基地扩大就业的思路与对策	徐敏捷等 (241)
我国科学发展观的演进历程及其特征	侯述佳 (246)
沈阳老工业基地县区工业园发展研究	赵延年 (249)
沈阳老工业基地经济发展软环境研究	刘世权 (252)
老工业基地调整改造及振兴对沈阳的启迪与借鉴	王立军 (256)
用信息化推进老工业基地振兴	杨秀英 (259)

构建辽宁中部城市经济区的可行性	邵桂花等 (264)
沈阳老工业基地技术创新研究	李滨虹 (268)
沈海工业园区经济发展研究	李 勃 (271)
沈阳老工业基地改造可借鉴的国际经验及启示	黄旻露 (275)
沈阳的对外开放战略研究	徐 静 (278)
沈阳老工业基地工业立市研究	贾杰红 (282)
构建辽宁中部城市经济体势在必行	戴文柏 (286)
可持续发展是振兴沈阳老工业基地的必由之路	吴 巨 (290)
由管理创新成果演算国有企业核心竞争力的可视性差异	孙鸿炜 (294)
沈阳铁西工业区经济发展目标与对策	李援朝 (299)
沈阳制造业的现状与发展	张晓波 (303)
东北老工业基地振兴要为民营中小企业融资铺平道路	李晓平等 (304)
沈阳纺织工业产品调整及规划思路研究	李景弟 (306)
绿色技术创新与东北老工业基地振兴	马兆俐等 (311)
沈阳二十万吨铬渣综合利用研究	于 粤 (314)
关于创建辽宁老工业基地金融安全区的构想	王文荣 (321)
沈阳制造业需要工业设计人才	穆存远等 (324)
关于城镇化问题的思考	周静海等 (327)
沈阳铁西工业带发展的对策	杨爱兵 (330)
“数字沈阳”与振兴沈阳	敦力民等 (334)
以西部经济大开发为契机, 发展风电, 促进沈阳制造业发展	邢作霞 (338)
辽宁省水资源统一管理模式的初探	程世迎等 (341)
振兴仪表工业必须加快发展传感器产业	徐开先等 (344)
沈阳市水资源优化配置与可持续发展浅议	解立强等 (348)
关于加快我市小城镇建设和发展的若干建议	柯 岩 (352)
沈阳老工业基地改造进程中劳动人口改造问题研究	张 谛等 (356)
沈阳市农产品质量安全信息系统的构建	王维强等 (360)
开发野生植物资源 发展农业致富农民	葛晓光等 (364)
充分利用科技人才振兴辽宁老工业基地	宋学君等 (368)
沈阳市康法地区沙化土地治理的思考	郭德武 (371)
污水灌溉对农田土壤环境的影响	郭淑满 (374)
进一步完善社会保障, 促进辽宁经济发展	刘满福 (376)
解决东北老工业基地民营企业融资问题若干探讨	满海红等 (380)
关于农村产业结构调整的探讨	陈文晶等 (383)
试论康平县林产业发展与水资源的综合利用	肖 杰等 (388)
论沈阳市城市建设中政府的治理效率	王 蓉 (391)
浅谈装备制造中心对“灰领”人才的需求	袁 枫 (394)
加强文化建设 推进东北振兴——兼谈东北振兴中的人文振兴	曹庆新 (397)
论我国企业环境会计信息的披露	陈文晶 (400)
分户式热计量和温度控制的供暖系统的分析	王宏伟等 (405)
沈阳市生物质气化技术推广现状及未来发展探讨	张煜明 (409)

沈阳市机床制造业现状与发展方向	刘百喜 (413)
城市拆迁空地对城市生态环境的影响	邓 理等 (419)
中国城市化进程及特征的分析与思考	孙颖杰 (422)
发展县域经济,促进城乡协调发展	王政宇等 (429)
加强生态环境建设,促进老工业基地振兴	孟爱华 (431)
开发区体制创新研究	刘贵福 (433)
沈阳市农业后备资源分析评价	徐德利等 (436)
沈阳市水资源开发利用远景规划的思路 and 对策	徐德利等 (439)
浅析农业结构调整的新战略	孟宪峰等 (441)
关于加快柳绕地区林业产业化发展的思路研究	张 谛等 (445)
对沈阳居民区园林规划设计之研究	齐健英 (447)
面向东北地区保护性耕作研究进展与建议	李宝筏等 (450)
大力发展林产工业 振兴森林工业基地——发展林产工业是振兴森工的必由之路	李海波 (453)
打生态牌走环保路 促进小城镇建设的可持续发展	王 力等 (457)
融雪剂对环境的影响及对策	骆 虹等 (459)
沙尘天气对环境空气中 PM ₁₀ 影响分析	刘从容 (462)
推行使用无铅汽油对城市环境空气质量影响的调查研究	杨碧波 (465)
以人为本——开拓领导魅力	耿晓兰 (469)
振兴沈阳:加快企业信息化建设	侯 新等 (470)
变革我省高校人才培养模式,服务老工业基地的振兴	孟 丽 (473)
与时俱进是对党的思想路线的继承和发展	赵宝岩等 (476)
服务战略——21 世纪企业的战略趋向	王宏光等 (478)
老工业基地走新型工业化道路的基本思考	陈晓东等 (481)
沈阳腾飞 名牌作翼——浅谈沈阳实施名牌战略的必要性与对策	李延芳 (484)
以信息化为突破口,全面振兴沈阳	吴 微等 (486)
知识经济时代需要复合型人才	牛大力 (489)
浅析继续教育在振兴东北老工业基地经济中的地位与作用	邹本旭等 (491)
信息化促进现代化——沈阳的振兴之路	郑 伟 (493)
沈阳地区日光温室滴灌节水技术现状及发展探讨	孙红闯 (496)
化学工业在沈阳工业发展中的重要地位	刘亚芬等 (499)
浅谈入世后沈阳林业发展之路	刘铁刚等 (503)
加快建设东北稻米集散中心拉动县域经济快速发展	郭 兵等 (505)
立足生态农业建设 加速柳绕地区二期综合开发	邢立利等 (507)
抓住机遇 迎接挑战 增强沈阳市出口农产品国际竞争力	陈立双等 (510)
辽北地区玉米大垄双行机械化栽培模式及配套机器系统	田素博等 (513)
试论强化企业信息化建设 进一步提升企业竞争力	杜 萍 (516)
农业银行支持非公有制经济发展的对策	王绍仪 (519)
技术创新与企业竞争力的探讨	周 勤等 (521)
发展民营林业是我市农民增加收入的一个重要途径	付毅慧 (523)
沈阳在振兴发展中的人口问题及对策建议	沈阳市人口和计划生育委员会课题组 (525)
大庆油田公司油管修复车间发展方向的探讨	单彩艳 (533)

当前老工业基地的融资模式分析	姚凤阁等 (536)
大庆市产业结构调整的战略思考	赵天石 (539)
试论振兴辽宁工业之路及发展对策	郑学家 (543)
发挥营口港优势 推动大连东北亚重要国际航运中心建设	王 来 (546)
辽宁利用外商直接投资存在的问题及对策分析	陈双喜等 (548)
如何把支柱产业做大做强, 形成规模经济	于顺安 (552)
电热恒温控制系统	郭雷宇 (556)
努力为振兴与发展创造一个良好的环境	朱启湘 (562)
后记	(566)

关于分布式能源系统的思考

蔡睿贤 张 娜

(中国科学院工程热物理研究所)

摘要: 本文对什么是分布式能源系统, 这种系统的主要优、缺点, 这种系统适用的设备与热力循环以及这种系统适用的地区进行了简练地综述与分析。得出的主要观点是: 这种系统特别适用于电、热(冷)联产; 为能保证变工况下任意电、热(冷)负荷的需求, 以用加补燃的程循环(注蒸汽循环)为宜; 在我国目前这种系统宜用于“先富起来”的地方。

关键词: 分布式能源 系统 程循环 STIG 循环

About Distributed Energy Systems

CAI Ruixian, ZHANG Na

(Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences)

Abstract: A brief survey and analysis is given to the distributed energy system; what is this system; the main advantages and drawbacks of this system; suitable prime movers and thermal cycles of this system and where are the regions in China suitable to develop such system. The main conclusions are: the distributed energy system is good for cogeneration and tri-generation with electricity, heat and/or cold; for proving arbitrary demand of electricity, heat and/or cold in off-design condition, it is better to use Cheng cycle (steam inject cycle) with supplemental firing; recently, it is better to develop such system in the developed regions in China.

Key words: distributed energy system Cheng cycle STIG cycle

关于分布式能源系统, 近年来在国际上开始应用较多, 研究文章亦不少; 在国内也有相应的趋势, 宣传者日多, 具体建设项目纷纷筹备上马。在此情况下, 各方面的人以自己所知, 对分布式能源系统进行一些思索, 以供领导、工程师、动力与经济学方面的学者、厂家等参考, 即使所言未必全对, 也是好事, 是为序。

1 什么是分布式能源系统

分布式能源系统, 是相对于能源集中生产(主要代表形式是大电厂加大电网)而言的。

电在已知的二次能源中最为有用且占有绝对优势。如果没有电, 就没有了绝大多数的先进生产力, 一切高新技术, 例如 IT 产业就玩不转, 近代生物技术的代表如基因、DNA 也就看不到; 如果没有电, 现在很多种先进文化的表达形式, 如电影、电视等等也无法谈起; 如果没有电, 广大人民的多种多样现代化的根本利益也就不存在。所以, 保证电的充足、安全、有效的供应是非常重要的事。在目前, 只有大电厂加大电网才能够比较好地完成此任务。估计这种状态在较长一段时间内不会变化。

分布式能源与上述比较集中的大电厂加大电网正好相反, 它是把二次能源供能点分散到很多企业、社区、大厦、医院、学校、写字楼……甚至个别家庭住宅中去。由于分散, 所以每个系统的出力都不会大, 一般在成百上千千瓦以下, 具体大小看用户需要而定。正如上述, 电是最主要的二次能源, 所以目前通称的分布式能源系统都至少有电力输出。光出热、出冷等的简单小型供能系统, 如仅供热的小锅炉装置, 仅供冷的独立空调设备, 是极少有人称之为分布式能源系统的。但是最大多数的分布式能源系统, 是除了电之外, 还同时供热及/或冷, 是多联产系统。当然, 也许还可能是多功能系统(意指除多联产输出外, 输入的能源也是多种的, 例如可以同时有化石能源与可再生能源输入)。

2 分布式能源系统的好处与缺点

好、坏都是相对另一种东西而言的。由于大电厂加大电网的长期存在，要比较就应该与之相比。

先说分布式能源系统的主要不足：由于它是分散供应，单机功率很小，比起最大电厂单机功率有百多万千瓦，单厂功率近千万千瓦而言，发电效率显然比不上后者。这是因为现有动力设备都是机组越大，效率越高。40万千瓦的以燃气轮机为主的联合循环装置效率比40千瓦回热燃气轮机的要高一倍。麻雀虽小，五脏俱全，因此大机组单位功率的售价相比小机组更要低得多，要差好多倍。大机组集中在一起，有专门高级技工运行维护，安全性、工作寿命都应该更有保证。所以，要比纯发电成本和单位千瓦初投资，分布式能源系统肯定要大大高于现在的大电力系统。另外，分布式能源系统对当地使用单位的技术要求要比简单用大电网的电来得高，要有相应的人员与文化环境。

那么分布式能源系统的主要优点在哪呢？我们认为最主要是用在冷热电联产中。联产符合吴仲华先生提出的总能系统的“温度对口，梯级利用”准则，会得到很好的能源利用率，会有很大发展。但是热，尤其冷，不像电，难以较长距离有效输送。所以，除非特殊设计安排好，大电厂设址有其自身的要求，附近难以有足够大量的合适冷、热用户，无法进行有效的联产。分布式能源系统却正好相反，按需就近设置，可以尽可能与用户配合好，也没有远距输送冷、热的难处。大电网的输电损失也没有了。所以，虽然纯动力装置本身效率低、价钱贵，但可以充分发挥联产的优点，会有其优越之处。

在为保证使用单位的各种二次能源能有充分供应上，分布式能源系统可以让单位本身有较大的调节、控制与保证能力。有时这点也很重要，也是一个优点。

3 分布式能源系统适用的设备与系统

正如前述，分布式能源系统首先得有一台动力设备。经典蒸汽动力装置不适合用于出力较小的情况，所以一般不用。现在文献上提到的有燃气轮机、活塞式内燃机、燃料电池与斯特林发动机等。其中燃料电池与斯特林发动机在工程应用上严格说都还不够成熟，未到广泛商业实用的地步，只可作为示范中试装置。燃料电池适合用于小机组，且变工况性能也好。但比较成熟的对燃料要求较高；正在研制中的高温燃料电池则要与热机联合才能得到较高效率。目前实际广泛应用的是广义的内燃机—叶轮机械式（燃气轮机）与活塞式的，尤其是回热燃气轮机。应该说，燃气轮机与活塞式内燃机比，前者较适宜在功率较大情况，后者则正相反。在适用于分布式能源系统的范围内，目前二者能达到的发电效率均约在30%以上，活塞式内燃机造价会便宜点。但实际应用大多还是用燃气轮机，理由可能是使用分布式能源的地方都比较高级，燃气轮机在减振、消音、降低排放污染、重量轻、占地小等方面都有潜在优势。另外，它的供热能力也比活塞式内燃机大。

正如前述，分布式能源系统优势在于冷热电联产，所以除了动力设备外，还得有一个系统。例如最常规的办法是利用广义的内燃机的排气余热通过余热锅炉产生蒸汽供热，同时通过吸收式制冷设备供冷。通常是简单或回热循环燃气轮机的冷热电联产。但为保证联产系统能在很大范围内满足任意不同冷、热、电数值的需求，尤其是变工况下的任意冷、热、电输出需求（这是联产系统的关键科技课题之一），上述系统是难以做到的，这时可用程循环（回注蒸汽循环，有时也称STIG循环）加上补燃，就可以使热电联产系统能够在电为设计点的 $5/3$ 倍到0，热为设计点的近3倍到0的任意热、电数值的匹配要求下高效安全运行^[1]。对冷、热、电联产的情况，为达到广阔范围的冷、热、电输出，上述程循环加补燃在原则上也是合适的。但可用范围的具体数字，尚待进行具体研究。我国现在已有人正在进行此工作。

对以燃气轮机为核心的各种循环，实用上以联合循环最为成功。但是它只适合用在较大功率等级机组中。如前所述，分布式能源系统功率不会大，因此不宜用联合循环。近期被认为较有前途的循环是HAT循环（湿空气透平循环）。但它的追求目标主要在湿化空气来尽量利用未充分利用的低温热。也不合适要

供热、供冷的目标。再说它的冷、热、电变工况可控性，也比不上程循环。所以按已有了解，现有 HAT 循环也不宜用在分布式能源系统，除非加以改动，例如再与程循环结合起来^[2]。程循环与 HAT 循环中都要消耗不少清洁的给水，会浪费水资源。原则上可以冷却排气回收。这项技术并不难，我国也已实现。但用户附近最好还得有可用的普通冷却用水。

对活塞式内燃机还很少听到有关它在分布式能源系统中使用不同循环形式的研究报导，也许因为在分布式能源系统中用活塞式内燃机较少之故。不过活塞式内燃机可利用余热相对较少，可能采用补燃对它也是会有好处的。

由于分配式的能源系统用广义的内燃机，所以一般只能燃用气、液燃料，而另一方面也使得它比较易于达到环保要求。

4 适合用分布式能源系统的地区

按照上面的讨论，很明显就会得到分布式能源系统在我国比较适合应用的地区。因为它的初投资大，要用好燃料，要有比较稳定的冷、热、电用户，主要是第三产业和住宅用户，环保性能较好……等等，显然目前它比较适合用在邓小平同志所说的“部分先富起来”的地方，在地域来说主要是珠江三角洲、长江三角洲、环渤海地区等等。这些地方是我国现在的高速发展黄金宝地，也是应该“先环保起来”而且经济上也有可能适宜用分布式能源系统的地方。另外，分布式能源系统既然是“分布”，也就是说与大电厂、大电网不一样，不是由一小批经验丰富的技术人员集中运行管理，而是分布，也就是分散运行、管理，这就要求使用的区域总的科技文化水平较高。在目前也差不多就是上述“先富起来”的地方。

上述看法不是说其他地方就不能用，只是判断会最先发展应用分布式能源系统会是那些区域。例如在天然气产地附近，天然气价格特别便宜的地方，分布式能源系统也可能是合适的。

就像“先富起来”应该也会带动其他地方“共同富裕”一样，分布式能源系统在“先富起来”地区先发展了，也会以其成绩与经验带动这种系统在其他地方发展起来。不过以我们的看法，分布式能源系统是能源利用的一支新发展方向，但在可预见的较长一段时间内，大电厂与大电网仍是电力供应的主流。

5 简单总结

5.1 分布式能源系统是就近设在用户附近的较小出力的供应二次能源的系统，尤其适用于冷、热、电多联产。

5.2 目前分布式能源系统的主机通常用燃气轮机。为保证冷、热、电联产在各种变工况下都能满足供应，以用加补燃的程循环（注蒸汽循环）为宜。

5.3 我国最适宜发展应用分布式能源系统的地区是“先富起来”的地方。

参考文献

- [1] 胡自勤 蔡睿贤. 燃气轮机热电并供系统变工况性能 [J]. 工程热物理学报, 11 (4): 357—360, 1990
- [2] Magnus, C. et al. An analysis of the efficiency and economy of humidified gas turbines in district heating applications. Proc. of ECOS 2002, pp. 695—703, 2002

作者简介：蔡睿贤 1934 年出生，男，中国科学院院士。研究方向：动力工程与工程热物理。

基金项目：国家自然科学基金项目 50176049, 90210032 及国家 863 项目 2002AA503020。

煤矿重大事故预测和控制（研究）的现状和发展方向

宋振骥 彭林军

（山东科技大学）

摘要：论文在分析研究了我国煤矿重大事故经验教训和成功地控制研究和实践成果基础上，正确地指出了以

往各类重大事故的研究和管理办法彼此孤立的弊病。特别是没有突出岩层运动和矿山压力影响这个共同的本质,没有建立相应的信息基础,存在一定的盲目性。明确提出当前我国事故控制理论和实践研究的重点是:①掌握不同开采条件下岩层运动和支承压力大小分布特征,及其随采场推进发展变化的规律,更深入地揭示各类重大事故发生的根本要素,提出有效控制(决策)的岩层运动和支承压力在时间和空间上的关系。②在上述研究基础上,以控制各类重大事故实现的岩层运动条件和应力条件为核心,构建统一决策理论体系。③采用先进的信息技术(包括信息采集、传输和计算机分析整理技术等),实现决策理论方法和手段的统一,把“以人为本”的经验管理模式,推进到信息化、智能化(自动化)的发展阶段。

论文在比较深入地揭示了顶板、瓦斯、冲击地压、透水和突水等事故的发生和有效控制的岩层运动条件和应力场应力分布条件的基础上,比较全面地提出了通过控制采动围岩运动和应力条件实现重大事故预测和控制决策的“可视化决策系统”的框架,为推进相关研究奠定了基础。

关键词:煤矿事故 预测和控制 发展方向

1 煤矿重大事故构成及发展动态

1.1 煤矿按生产过程分类的伤亡事故构成及发展动态

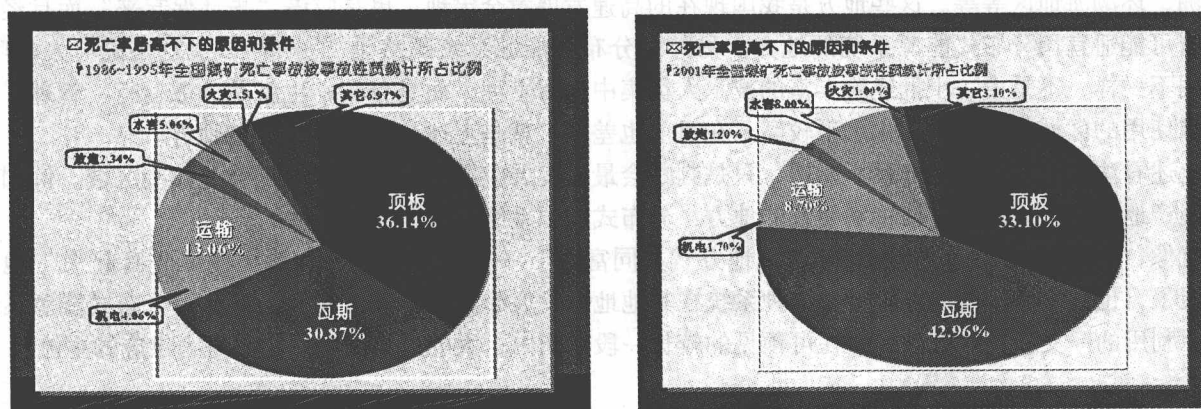


图1 1986~1995年和2001年全国煤矿伤亡事故构成对比图

由图1可知,采掘生产过程造成顶板、瓦斯事故占绝对比重加上与采掘工作面推进有关的水灾(包括:顶板和老塘透水、底板突水)事故,其比重超过80%。近20年的事故构成分析,与上覆岩层运动直接相关的,顶板瓦斯事故仍为绝大多数。因此研究和防治采掘工作面推进过程中引发的重大事故,是矿井安全生产的关键。

1.2 煤矿按管理体制(统配、地方、乡镇、个体)伤亡事故构成及发展动态分析

我国不同体制管属煤矿构成及所占产量比例如图2所示。

相应事故死亡人数比例如图3所示。

1.3 我国煤矿事故死亡人数与发达国家的对比

我国煤矿百万吨死亡人数与发达国家的对比如图4所示。

从1999年开始,我国大量关闭乡镇和个体煤矿,百万吨死亡率曾一度有较大幅度下降,但持续时间不长,统配煤矿在缺少装备投入(特别是安全监测和决策手段短缺)情况下扩大生产,发生了多起次伤亡几十人到上百人的重大事故。2000年,我国煤矿百万吨死亡率仍高达5.68%,是美国(0.039)的145倍。年死亡人数超过6000人,是全球其他产煤国家死亡人数总和的3倍。

与比邻我国属发展中国家的印度(0.42人/百万吨)相比,我国煤矿百万吨死亡率高出13倍。究其原因,印度小型煤矿减少,而大矿采掘工作面生产基本实现综合机械化。

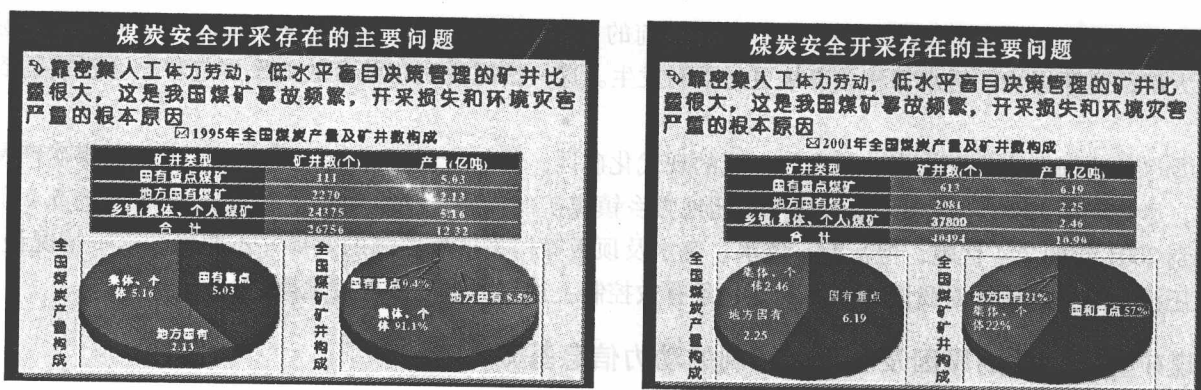


图2 1995年和2001年全国煤炭产量及矿井数构成对比图

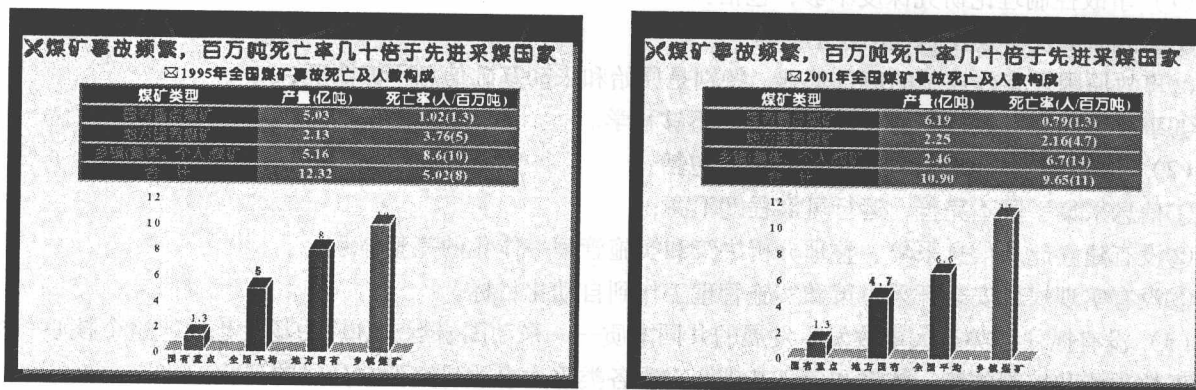


图3 1995年和2001年全国煤矿事故死亡及人数构成对比图

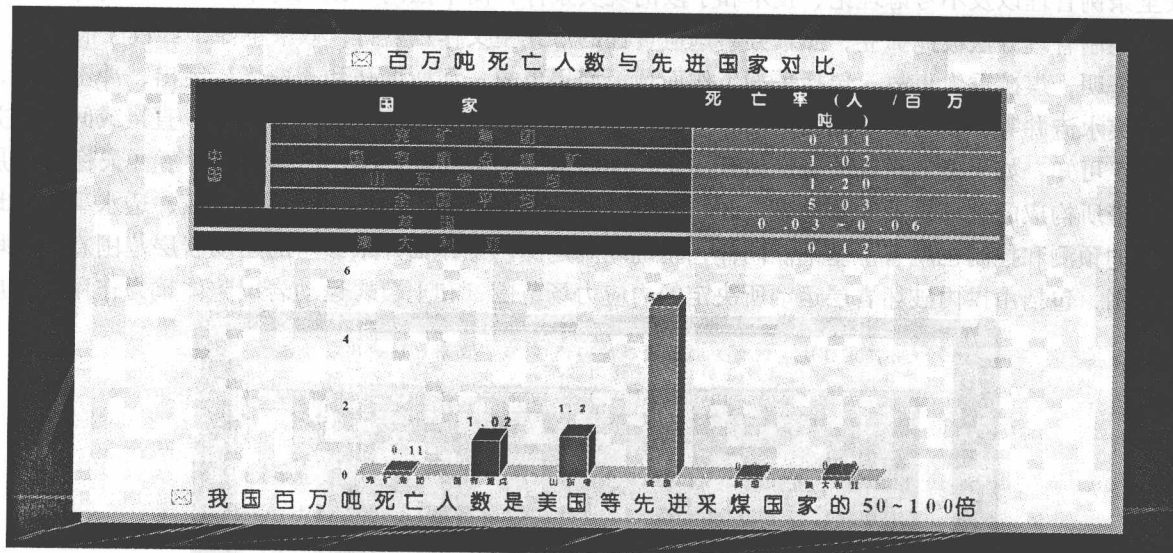


图4 我国煤矿百万吨死亡人数与发达国家的对比

结论:

①我国煤矿事故及事故的工亡人数和百万吨事故率长期高居不下的情况是严重的。当前发展到严重影响我国社会主义国家发展形象的地步, 应当提高到保证劳动者生存权的高度来认识和解决。

②采掘工作面推进引发的瓦斯、顶板、顶板透水、底板突水等重大事故, 在煤矿工亡事故中的比重超

过80%，占绝对的比重。近10年来，从1995年前的76%增加到2001年的85%。2003年，地方煤矿甚至国营大矿，瓦斯爆炸、透水等相关事故更是不断发生。这一情况说明相关事故的发展趋势至今没有得到控制。

③尽管我国已建成了兖州、神东等一流的现代化矿区，其年产量接近800万吨，接近国营煤矿产量的15%，尽管我国1999年以来采取大幅度关闭地方乡镇煤矿的措施，把乡镇煤矿产量从1995年的5.2亿吨降低到2001年的2.4亿吨，但瓦斯、透水、突水及顶板等相关事故控制的效果并不明显。这一情况说明，我们还没有能更好地针对我国的国情找到一条有效控制上述重大事故发展的道路。

2 煤矿重大事故的原因及其有效控制的动力信息基础

煤矿重大事故至今尚未得到有效控制的原因是多方面的，主要包括：

(1) 事故控制理论研究深度不够，包括：

- ①事故原因及有效控制理论还不健全；
- ②事故原因及有效控制的信息基础，特别是原始和采动基础信息不够明确；
- ③事故预测和有效控制的（定量）准则不够科学。

(2) 事故控制技术和手段不系统，包括：

- ①信息采集手段不完善，运行可靠程度不高；
- ②没有建立起从信息采集、整理分析决策和实施管理一体化的完整体系；
- ③没有实现煤矿安全开采决策和实施管理工作到自动化目标。

(3) 没有抓住各类重大事故发生发展的共同本质——采动围岩运动和应力场变化规律这个核心，构建重大事故预测和控制的统一体系和信息基础，克服各类重大事故研究孤立分隔的现状。

(4) 事故监察工作的指导思想、管理方法和模式不够科学。包括不讲具体条件地简单依靠统计经验决策和安全条例管理以及不考虑理论、技术和手段的现实条件，简单强调“以人为本”的责任制等。结果是各类事故控制管理方法彼此孤立，照章办事逃避责任的形式主义作风盛行，效果不好，盲目性很大。

实践证明，煤矿重大事故，包括采掘工作面顶板垮塌事故，瓦斯爆炸和瓦斯煤层突出，冲击地压，矿井透水、突水淹井等，多与采动围岩运动和应力场变化（包括应力大小、分布的变化）直接或间接相关。

从图5可知，如果能够正确地确定出开采工作面覆岩运动破坏的范围，包括由已冒落（失稳）岩层和导水裂隙带所构成的破坏拱及波及地表参与移动和沉降的岩层范围，则相关的顶板事故、透水事故及地表沉陷灾害的预测和控制也就有了基础。同样，正确地确定出因工作面开采参与的运动岩层范围直接关联的应力场范围，包括由拱内破坏岩层运动所决定的内应力场范围，和上覆岩运动岩层整体重力作用的外应力

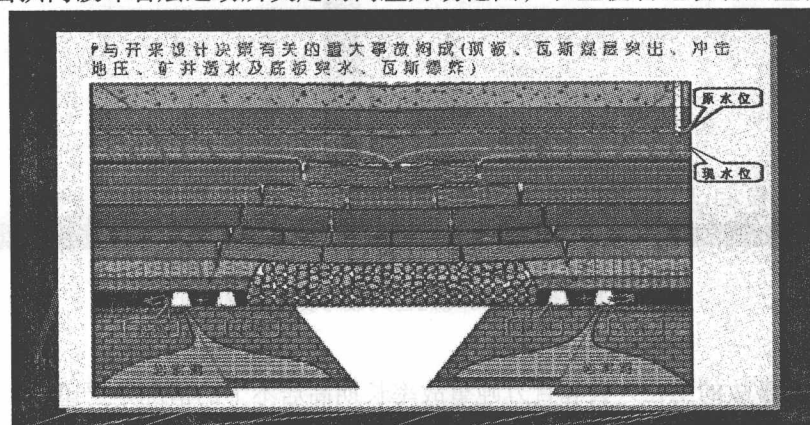


图5 与开采设计决策有关的重大事故构成力学模型图

场应力分布的范围, 实现在稳定的内应力场中开掘和维护接续工作面的回采巷道, 相关瓦斯煤层突出、冲击地压、底板突水等重大事故即可得到有效控制。

有关顶板、冲击地压、顶板透水和突水事故与采动上覆岩层运动和应力场分布及构造运动等动力信息的直接联系, 此处不再重述, 这里仅举瓦斯事故为例, 说明建立事故的动力信息基础的重要性。

3 瓦斯事故预测和控制的理论及相关信息基础

3.1 瓦斯事故预测和控制的理论

事故的原因: 采掘工作面及相关回风巷道中聚集的瓦斯浓度超限。

事故实现的条件: 在生产区域有充分的氧气、瓦斯含量超限, 并有明火引爆, 三者缺一不可。

事故发展的过程: 由瓦斯局部点燃爆炸启动, 向引起大范围的瓦斯煤尘爆炸发展。

事故的预测和控制: 在设计和实施管理过程中, 正确的预测可能积聚瓦斯和浓度超限的地点和时间。在保证风速不超限的前提下, 提供足够的风量把采掘工作面在出煤过程中释放的瓦斯稀释到要求的浓度范围。相应准则的表达式如下:

$$\left. \begin{aligned} W_s &= \frac{Q_{u \max}}{Q_f} (\%) < W_u = 1\% \\ V_s &< V_f \max \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

式 (3.1) 中:

W_s 和 W_u ——风流中的实际瓦斯浓度和瓦斯产生爆炸的浓度;

V_s 和 $V_f \max$ ——分别为采掘工作面相关回风巷道中实际风速和允许风速。

$Q_{u \max}$ ——为采掘工作面出煤时的瓦斯涌出量。取决于所采煤层瓦斯含量 q_u (m^3/T) 和采煤强度 A_{\max} (T/min)。

Q_f ——为采掘工作面及相关峒室必需的供风量。由允许风速 $V_f \max$ (m/s) 和有效过风断面积 F_f (m^2) 决定。

$$\text{即: } Q_f = 60 F_f V_f \max (\text{m}^3/\text{min}) \quad (3.2)$$

$$Q_{u \max} = A_{\max} \cdot q_u + \sum Q_{ui} (\text{m}^3/\text{min}) \quad (3.3)$$

其中:

$\sum Q_{ui}$ ——为老塘工作面浮煤等散发出的瓦斯量。

3.2 事故预测和有效控制的信息基础

3.2.1 煤层开采时的吨煤瓦斯涌出量 Q_u 及其在采动前后分布变化的规律。

必须指出, 由于煤田经历构造运动的作用, 处于不同构造部位煤层中的原始瓦斯含量往往有较大差异。处于压缩状态构造应力高的部位瓦斯含量 (开采时的涌出量) 可能高出正常区段好几倍。另外, 煤层一经采动, 由于应力场应力重新分布, 在采场周围煤层中的瓦斯含量分布也要发生重大变化。处于低应力区 (特别是内应力场中) 的瓦斯将大部分释放。显然, 在该区域开掘巷道, 只要隔断老塘的联系将不可能有超过限量的瓦斯涌出。相反, 在外应力场的高应力区, 原始构造应力和高的瓦斯含量将仍然保持着。在该部位开掘巷道必然会导致大量的瓦斯涌出, 甚至瓦斯和煤层同时突出, 从而有可能引发瓦斯浓度超限的局部爆炸事故, 以及由此发展的瓦斯煤尘爆炸大事故。因此, 在没有掌握开采煤层, 特别是经历强大构造运动作用的煤层不同区段原始瓦斯含量的差异, 不了解回采工作面推进后煤层中瓦斯含量分布随采场周围应力场应力大小和分布的变化而变化的规律的情况下, 一成不变地按统计经验决策条例管理的模式, 解决瓦斯事故预测和控制问题, 显然是不科学的。要实现瓦斯事故科学的预测和有效的控制, 必须把搞清采动前原始应力场应力大小和分布的规律以及采动后应力场应力大小分布变化的规律, 及其与煤层中瓦斯分布

涌出等基础信息间的关系研究放在重要的地位。

以此为基础，可靠地提供以下两个方面的信息作为瓦斯事故预测和控制决策和实施管理的基础。

开采煤层不同构造部位吨煤瓦斯含量。

开采煤层不同构造区段采动后随上覆岩层运动和周边煤体的破坏而变化的应力场相关部位煤体中瓦斯含量的差异，包括瓦斯已大量释放的瓦斯带（即内应力场）的宽度和掘进时可能突出瓦斯的高瓦斯带（外应力场高应力区）的宽度等。

3.2.2 煤田构造运动及构造应力场分布特征。

承受构造运动的挤压破坏，是瓦斯煤层不同部位瓦斯含量产生重大差异的根源。镜煤成分高的瓦斯煤层，经历挤压搓动破坏形成的微粒结构软分层，具有强力吸附瓦斯的能力。四周被构造压缩应力封闭高含裂隙破坏部位，都是聚集瓦斯的条件。例如图6（a）所示垂直地壳推动形成的单一隆起构造，临近压缩背斜部分，以及受拉伸破坏的两翼，都可能是高含瓦斯的煤层部位。同样，如图6（b）所示，水平推动力形成的多个背向斜组合的复合构造区域，处于背斜轴部变厚裂隙发育的煤层也将聚集大量瓦斯。同样处于压缩状态储存有高的压缩弹性能的部位，开采时可能发生大量瓦斯涌出的突出事故。因此掌握煤层构造形成特征，分析研究同构造部位应力及瓦斯分布的规律，是部署吨煤含量预测和监测工作的基础。

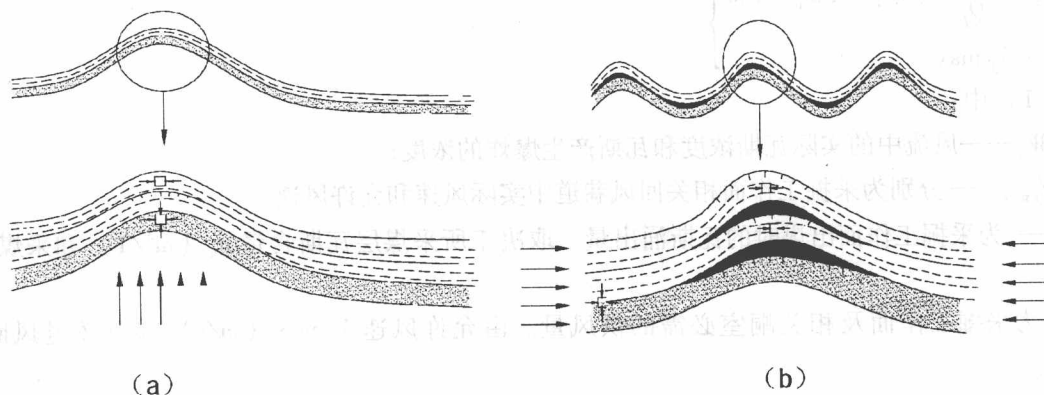


图6 煤层构造分布特征

3.2.3 采场支撑压力大小和分布特征。

作用在采场四周煤层上的支撑压力，是挤压破坏煤壁放出相应瓦斯的原动力。煤壁破坏深度愈大，释放出的瓦斯也愈多。随采场推进逐步扩展的“内应力场”范围，正是采场瓦斯涌出量逐步增加的原因。图7表达了两者间的关系。支撑压力分布特征特别是“内应力场”宽度是决定采场四周煤层瓦斯释放范围及

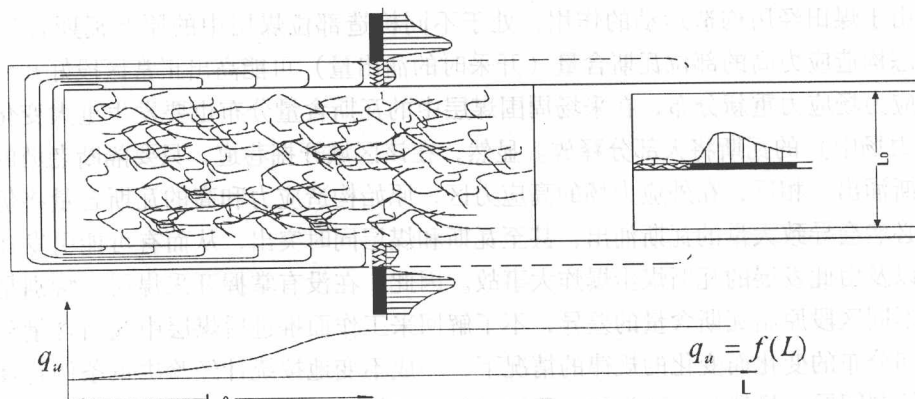


图7 采场支撑压力分布图

释放量的关键因素。对于回采工作面瓦斯管理以及实现“内应力场”掘巷防止瓦斯事故有重要影响。

4 煤矿重大事故控制研究的方向

4.1 煤矿重大事故有效控制的途径

4.1.1 实现煤矿安全高效开采决策和实施管理的信息化、智能化、可视化和自动化。

4.1.2 实现生产过程机械化和自动化，重点突破适应各种地质开采技术条件的数字信息控制机电一体化装备，提高煤矿生产机械化和自动化生产水平。

主要任务包括：

① 抓住采动前后地质和应力场变化规律这个核心，深化重大事故预测和控制理论及相关信息基础的研究，奠定自动化决策的理论基础。

② 深化事故预测和控制决策软件的相关信息采集手段（硬件）的研究，奠定控制决策自动化的技术基础。

③ 进行安全技术立法，推进煤矿安全开采决策和实施管理自动化的研究和实施。纠正依靠经验统计决策条例管理以及传统的安全检查管理模式的弊病，把煤矿管理提高到采用高新技术手段，针对具体地质和开采技术条件科学定量的水平。

④ 迅速培养推进煤矿安全开采具有较高技术素养的管理人才。

4.2 煤矿重大事故控制决策信息化建设的重点

4.2.1 理论研究重点。

① 深入研究不同开采方案（不同采动条件）岩层运动和应力场应力大小、分布发展变化的规律。

② 深入地揭示重大事故发生的岩层运动和应力趋动条件。

③ 通过控制事故发生的动力条件，实现事故预测和控制的理论、方法和信息基础体系的建设。

4.2.2 关于煤矿重大事故控制决策信息系统建设框架。

① 决策结构模型体系（框架）。

② 三维结构体系图（动态）。

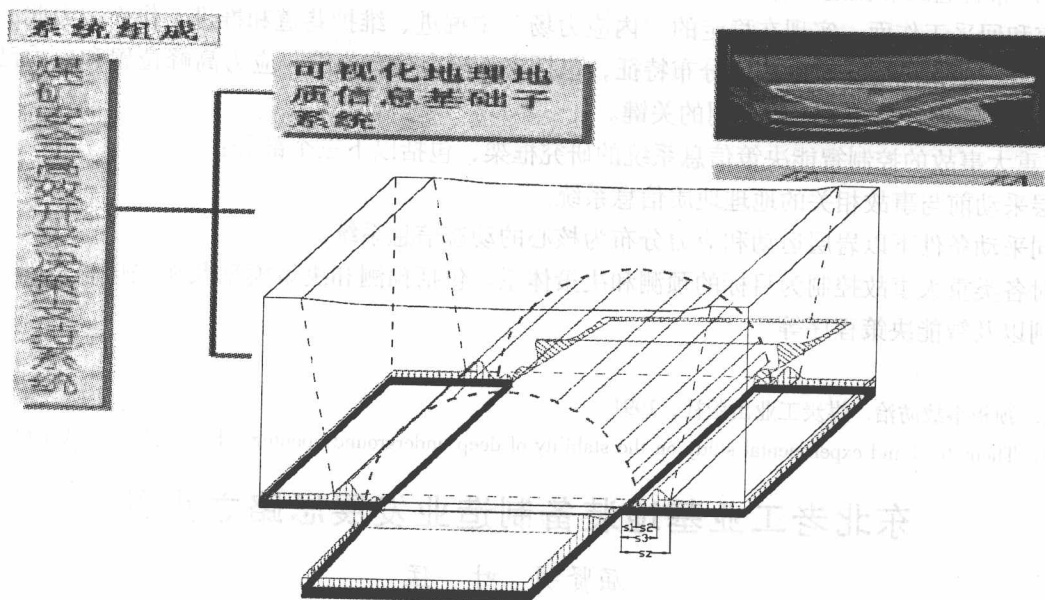


图9 三维结构体系图（动态）