

美国医院设计和建造的最新动态

同济大学 沈晋明[☆] 马晓琼

摘要 介绍了美国建筑师学会《医院和卫生设施设计与建造指南》2006 年修订版中与暖通空调相关的值得注意的变更,以及变更的背景与特点。我国的医院建设和改造可以借鉴该标准。

关键词 医院空调 感染控制 标准 措施

New trend in hospital design and construction in United States

By Shen Jinming[★] and Ma Xiaoqiong

Abstract Presents some notable changes related to the HVAC aspect in latest revised edition of the *Guidelines for design and construction of hospital and health care facilities* by the American Institute of Architects, and their background and features. The guideline can be a reference for building and rebuilding of hospitals in China.

Keywords hospital air conditioning, infection control, standard, measure

★ Tongji University, Shanghai, China

①

0 引言

在修订行业标准《综合医院建筑设计规范》(JGJ 49—88)时,相关人员特别关注国外有关医院建筑和设施建造方面的文件,在西方,这些大多以导则、指南、备忘录等形式出版。美国医院建设文件有自己的特点,有别于欧洲,形成自己一套体系。欧洲各国也不同,以德国标准 DIN1946 第 4 部分“医院通风空调”^[1]影响最大。美国《医院和卫生设施设计与建造指南》(*Guidelines for design and construction of hospital and health care facilities*, 以下简称《指南》)是由美国建筑师学会(American Institute of Architects)编著的,于 1996 年首次出版,规定了卫生设施的最小通风量。较早出版的还有 1984 年美国卫生和健康服务部(US Department of Health and Human Services)编著的《医院和卫生设施的建造和装备指南》(*Guidelines for construction and equipment of hospital and medical facilities*)以及 1991 年 ASHRAE 出版的系列设计手册中的应用篇^[2]。这些指南总体来说基本一致,只是个别条文有所不同,主要是在室内环境控制参数(如新风量、换气次数、温湿度等)方面有所差异。

由于美国是一个联邦制的国家,各州的权力较大,因此采用的标准也不一样。但《指南》已被美国 42 个州以及卫生组织联合委员会采用并推行,成为最有影响力的医院共识性文件。在美国卫生与健康服务部协助下,美国卫生建筑研究院和设施指南研究所(Facility Guidelines Institute, FGI)定期对该《指南》进行修正和出版。该《指南》曾于 2001 年进行过一次修订,对医院功能科室送风量有较大的更改。将普通病房和围产室(LDR 或 LDRP)的送风换气次数提高到 6 h^{-1} (其中新风 2 h^{-1}),将通过空气途径传染的隔离病房的送风换气次数提高到 12 h^{-1} (其中新风 2 h^{-1})。但将急诊候诊与放射科候诊室定为高风险区域,因此其送风换气次数提高到 12 h^{-1} (其中新风 2 h^{-1}),这点倒发人深思。2003 年我国在修订行业标准《综合医院建筑设计规范》(JGJ 49—88)时着重对美国这三个有关医院建设的指导性文件进行了研究与探讨。美国这三

①[☆] 沈晋明,男,1946 年 10 月生,博士,教授,博士生导师
200092 上海市四平路 1239 号同济大学暖通空调研究所
(021) 65988388
E-mail: jinming_shen@yahoo.com.cn
收稿日期:2006-07-03
修回日期:2006-09-20

个文件对日本影响较大,日本医院设备协会于 1989 年制定了《医院空调设备设计和管理指南》(HEAS-02)。虽然日本是发达国家制定医院建设方面文件最晚的国家,但有自己的特点,如提出洁净度级别就是基于日本的国情^[3]。日本 1998 年 4 月参照美国《指南》1996 年版本修订颁布了 HEAS-02—1998,2004 年 4 月又参照美国《指南》2001 年版本修订并颁布 HEAS-02—2004。美国《指南》最新版已于 2006 年 6 月出版^[4],估计日本也将修订并颁布 HEAS-02—2006 文件。

美国《指南》最新版在通风与推荐措施方面有很大的改动,将会对医院建设产生较大影响,本文将重点对此进行介绍。

1 手术室条文修改

无论哪个国家的医院标准、哪个版本的指南都会将最新、最成熟的相关科技成果写入手术室的相关条文中去,表明了对手术室感染控制的重视。手术时病人表皮或黏膜被划开,失去了抵御病原微生物的最好的屏障,无论何种途径带入的病菌都可长驱直入到机体的内部,使得手术本身具有极大的感染风险。每年在美国进行的 3 000 万个外科手术中,术后感染超过 2%^[5]。术后感染是医院一种普遍而又严重、最难以提防的院内感染。一旦发生了术后感染就会极大地影响患者的康复。因此外科手术室室内环境的感染控制最具有挑战性。

在控制手术部位感染方面美国有一个非常有效的组织,手术室护士协会 (Association of Operating Nurses),颁布了《手术室标准和推荐实施细则》(AORN standards and recommended practices)。它认为尽管引发术后感染途径多种多样,但主要途径是接触途径,空气途径是次要的,除非是高风险的深部手术。这对美国《指南》制定相关条文影响很大。

尽管美国率先在手术室实施层流设施,并确认其能有效地降低股骨关节置换手术的术后感染率,但一直认为不宜推广,仍普遍采用乱流手术室,与传统空调没有多大区别。要求全新风手术室换气次数 15 h^{-1} ,而允许回风的手术室换气次数 25 h^{-1} (其中新风 5 h^{-1})。而 2001 年版本《指南》却将手术室送风定为换气次数 15 h^{-1} (其中新风 3 h^{-1});要求末端过滤器的比色法效率高于 90%。对此日本《医院空调设备设计和管理指南》(HEAS-02—

2004)已采纳,但欧洲并没认可。我国在编制国家标准《医院洁净手术部建筑技术规范》(GB 5033—2002)或修订《综合医院建筑设计规范》(JGJ 49—88)时均没有采用。

与美国不同,德国一直致力于推广低湍流度的局部置换流送风技术,推荐手术室中心设置送风装置,尽管面风速 ($0.13\sim 0.18\text{ m/s}$) 相对于瑞士、英国、法国等较低,但特别强调其气流流型。我国《医院洁净手术部建筑技术规范》采用了这种思路并比德国标准更加具体地规范了低湍流度的集中顶部送风以实现局部垂直置换流、加强保护关键部位的做法。美国 2006 年版本的《指南》终于认识到手术室的气流分布形式与室内换气次数同等重要,这对美国来说是一个很大的转变。根据美国当前研究的推荐值,要求非诱导性的送风装置送风量达到 $127\sim 178\text{ L/(s}\cdot\text{m}^2)$ ($25\sim 35\text{ cfm/ft}^2$)^[6],换算成面风速与德国标准一致。改变了 ASHRAE 手册应用篇中要求在层流手术室送风装置面风速不小于 0.45 m/s 的规定,也改变了 2001 年版本《指南》的规定。2006 年版本《指南》的附录中还推荐了外科手术台上方送风装置的型号和布置。这些技术措施说明美国已认识到手术室送风天花与气流流型,即在中心手术区域实现低速置换流的重要性。

以往版本的规范、指南中关于手术室温湿度参数均采用文字说明,但是温湿度不是任意组合的,如 ASHRAE 手册规定手术室参数相对湿度 45%~55%,温度 $17\sim 26.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,一直以来造成很多误解。2006 年版本《指南》不仅要求相对湿度维持在 30%~60%,温度维持在 $20\sim 23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($68\sim 73\text{ }^{\circ}\text{F}$),而且直接在焓湿图上给出手术室可接受的温湿度范围(见图 1)。

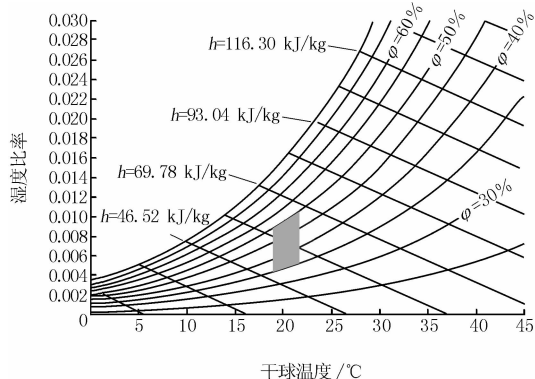


图 1 手术室可以接受的温湿度区域^[4]

2 对新出现的医疗科室的换气次数要求

随着医疗技术的迅速发展,美国医院出现了许多新的医疗科室。2006 年版本的《指南》除了修正现有类型房间的一些通风要求外,还针对新型科室医疗作了一些更改或新增。这些反映在美国 2006 年版本《指南》中表 7.2 病人护理医院与门诊设施关键区域通风要求中^[4]。以下就这些新增科室环境控制的主要依据进行讨论。

2.1 中间护理单元

中间护理单元(intermediate care)概念首次在 2006 年版本《指南》中提出。中间护理单元有时也称为过渡单元,在急诊医院,用于那些需要经常监护生命体征或护理介入的病人,其要求高于一般内科或外科护理单元,但低于重症监护病房。它的通风要求与病房的相似(见表 1),新风换气次数为 2 h⁻¹,总的换气次数为 6 h⁻¹。

表 1 医院病人护理区域及处置区域通风要求

与相邻房间渗透 漏气流关系		最小新风换 气次数/h ⁻¹	最小换气 次数/h ⁻¹
手术室与特别护理			
中间护理单元		2	6
肠胃内窥镜检查室	向外	2	6
内窥镜处理用房	向内		10
激光眼科	向外	3	15
X 放射线室	向外	3	15
辅助用房			
生物化学实验室	向内		6
血清学实验室	向内		6

2.2 激光眼科

2006 年版《指南》介绍了激光眼科室的环境控制要求,它的通风换气要求近似于手术室(见表 1),为 3 h⁻¹新风换气,15 h⁻¹总换气。

2.3 X 放射线(外科、特别护理和导管植入)室

以前这类科室属于辅助用房,现在正式划为外科和特别护理科,以更好发挥其功能。它的通风换气要求与 2001 年版本《指南》一致,未作改动(见表 1)。

2.4 肠胃内窥镜检查室

2006 年版本《指南》用“肠胃内窥镜检查室”代替 2001 年版本《指南》的“内窥镜室”。名称的改动明确了内窥镜预期的功能。2006 年版本《指南》取消了原先“渗漏定向气流应流入该科室”的要求(即室内相对于邻室为负压)。这是因为 2001 年版本《指南》体现了对内窥镜室气味污染物的关注。

2001 年版本《指南》颁布后的调查表明,由空气途径传播的污染物与内窥镜使用前的化学消毒杀菌有本质联系(病人的医疗处置过程与内窥镜装置消毒流程在同一房间内频繁交叉),因此 2006 年版《指南》将病人处置流程与装置消毒杀菌的房间划分开(见表 1)。这一变更依据“保持病人医疗处置过程应处于洁净区域的原理”,要求该室相对于邻室处于正压,即渗漏定向气流应流出。

2.5 内窥镜装置消毒处理用房

这种用房在 2006 年版本《指南》里第一次提及。一般说来,这类用房邻近肠胃内窥镜检查室,用于清洗内窥镜设备。在装置杀菌过程中,室内保持负压,相邻房间的渗漏定向气流应该向室内流动,使臭气控制在消毒处理用房内。

2.6 生物化学与血清学实验室

这类科室的惟一变化就是相对于邻室的压力关系由正压变为负压。早在 2001 年版本《指南》中已说明关于生物化学与血清学实验室保持正压的缘故,但是特别当用于现代临床医学实验室的显微镜技术的这一类场所,如继续实行正压就必须提供一个依据,为此,《指南》指导委员会回顾了实验室的通风技术。通过大量文献研究以及对现有实验室的调研后,没有查找到能说明这一问题的原始文献。委员会认为原先推荐正压很可能是基于理论和以前的实例,因此,将这两类实验室相对于邻室的压力关系由正压变为负压(见表 1),这样与其他类型的临床实验室相一致。

3 对暖通空调系统的新要求

尽管美国医院《指南》从不提及医疗科室内的净化要求,但对通风空调系统设置空气过滤器的级数、效率以及安装要求很详尽,认为引起无菌科室内(如手术室、无菌病房等)悬浮菌污染的主要原因之一是空调系统被污染或运行出现问题。对此观点我国一直很重视,并将空调系统微生物污染定义为二次污染。在编制我国洁净手术部规范时明确提出湿度优先控制、最大限度地消除细菌繁殖隐患,防止空调系统微生物二次污染等要求,并形成了具体的条文。美国 2006 年版本《指南》特别提出了防范空调系统污染中静压箱和过滤器方面的一些问题,以条文形式写入。

3.1 送风天花问题

2006 年版本《指南》认为与通风空调有关的顶

棚的施工很关键,并给出了一些必要的指导。如对于手术室,要求整体式送风天花安装在顶棚上,不能采用散流器或其他诱导性风口;对于可能由空气途径感染的隔离病房和无菌病房这类半限制空间,要求送风装置嵌入天花板固定、密闭或直接代替这部分天花板,以防顶棚污染对室内环境控制的干扰;并要求送回风装置能维持这类房间所需要的压差。

3.2 回风空间

2006 年版本《指南》限制利用顶棚空间(国内称为静压箱)作为回风空间的做法。在病人医疗、护理区域(病人能够接受诊疗的所有场所),回风必须经过管道回到空调箱。防止回风对顶棚空间污染或回风被污染,这有助于对回风量和回风路径的控制,也有利于维持病人医疗、护理区域之间的有序梯度压力关系。

3.3 空气过滤器的安装

各版《指南》都要求集中空调机组的空气过滤器具有相对较高的效率。空气过滤器的功能往往由于安装不当而得不到充分发挥。空气过滤器本体与安装框架之间总是存在着缝隙,即使采用了密封垫并安装合格,但往往会在过滤器更换后再次安装而导致不合格;即使有密封垫,但与安装框架之间的缝隙也不可能永久密封。送风气流常常会从

阻力小的缝隙旁通直接进入房间,以致过滤失效。2006 年版本《指南》强调过滤器密封垫必须长久保持与安装框架密封,并且要求使用的密封条必须与所安装的过滤器有同样的过滤作用。

3.4 空气过滤器标准

美国关于空气过滤器效率的测试标准较多,有质量法、计数法、比色法、DOP 法等,2001 年版本《指南》要求空气过滤器采用 ASHRAE 标准 52.1—1992 中的《一般通风空气净化设备过滤用的质量与比色效率测试方法》,由于它用大气尘作为试验尘来测试粗、中效过滤器的比色效率和容尘量,测试时间长、又无法依据过滤器测试效率来确定实际使用场合中所需要的对某粒径范围的过滤效率,因此使用不便。美国在充分考虑欧洲空气过滤器标准的基础上,制定了 ANSI/ASHRAE 标准《一般通风空气净化设备尘埃粒径过滤效率的测试方法》(52.2—1999),提出的空气过滤器最低效率测试报告值(minimum efficiency reporting value, *MERV*)是在受控条件下的实验室测得的,使用了固态 KCl 气溶胶,因为 KCl 气溶胶的粒径分布较接近大气尘。在测得过滤器的初始效率后,再在 0.3~10 μm 间特定的三个不同粒径范围内测试其过滤平均效率及阻力,测试完成后,依据最低效率报告值组合,加以评级。该标准将空气过滤器分为19级(见表2),包括

表 2 美国空气过滤器最低效率测试报告值 (*MERV*) 标准

<i>MERV</i> 级	组分粒径平均效率/%			平均捕集率/(ASHRAE 52.1—1992)	最低终阻力/Pa
	粒径范围 1 0.3~1.0 μm	粒径范围 2 1.0~3.0 μm	粒径范围 3 3.0~10.0 μm		
1			$E_3 < 20$	平均 < 65	75
2			$E_3 < 20$	$65 \leq \text{平均} < 70$	75
3			$E_3 < 20$	$70 \leq \text{平均} < 75$	75
4			$E_3 < 20$	平均 ≥ 75	75
5			$20 \leq E_3 < 35$		150
6			$35 \leq E_3 < 50$		150
7			$50 \leq E_3 < 70$		150
8			$70 \leq E_3$		150
9		$E_2 < 50$	$85 \leq E_3$		250
10		$50 \leq E_2 < 65$	$85 \leq E_3$		250
11		$65 \leq E_2 < 80$	$85 \leq E_3$		250
12		$80 \leq E_2$	$85 \leq E_3$		250
13	$E_1 < 75$	$90 \leq E_2$	$90 \leq E_3$		350
14	$75 \leq E_1 < 85$	$90 \leq E_2$	$90 \leq E_3$		350
15	$85 \leq E_1 < 95$	$90 \leq E_2$	$90 \leq E_3$		350
16	$95 \leq E_1$	$95 \leq E_2$	$95 \leq E_3$		350
17		$\geq 99.97(0.3 \mu\text{m})$			
18		$\geq 99.99(0.3 \mu\text{m})$			
19		$\geq 99.999(0.3 \mu\text{m})$			

了粗、中、高效过滤器,几乎满足所有场合的应用,而且使用十分方便。医疗行业已接受了标准 52.2—1999,并代替了标准 52.1—1992。鉴于该标准的合理性,美国 2006 年版本《指南》正式采用了 ANSI/ASHRAE 标准 52.2—1999 中的最低效率测试报告值 *MERV*,但目前还保留 ASHRAE 标准 52.1—1992 中的比色效率。

4 感染控制风险评估

感染控制风险评估原来的重点放在评估院内发生伤害、损伤或患病的可能性上,以呼应美国医疗事务中的法律要求。过去对医疗机构建造与改建工程往往重视防灾以及灾害发生时的救生。有许多文献提及医院曲霉病暴发的事件,曲霉病通常发生在特定环境中典型的易感人群中(其免疫能力在一些医疗环境下变弱)。在调研中发现医疗机构建设过程中大量存在的问题是引起曲霉病暴发的主要原因。美国从 1974 年到 1989 年间暴发的 12 次医院曲霉病,感染人数 95 人,其中大多数由建筑的改建与翻新引起^[7]。特别是在邻近高风险区域如重症监护区域、手术区域、呼吸道疾病与无菌病房等区域的地方进行施工时。

2006 年版本《指南》对感染控制风险评估有关的部分作了显著的更改。目的是为了清楚地界定适用于新建筑或现有建筑改建的措施。提出了对建设的要求和整体控制的理念。感染控制风险评估必须根据医院建设设计、施工或改建的要求分类进行,这点应引起我国重视。

另外与暖通空调有关的感染风险评估包括急诊部门的候诊与入口处的特殊通风和过滤的位置;外科手术区域、空气途径感染隔离病房与无菌病房设置空气处理和通风系统;实验室以及其他特殊的系统设置局部排风系统排除有害的媒介物等^[8]。

5 新章节与新内容^[9]

2006 年版本《指南》对第 13 章“收容所”、14 章“生命援助中心”和 15 章“成人健康护理”都有很大的扩充,并增加了小型一级护理医院的章节,将一般医院通风要求编入第 7 章。

2006 年版本《指南》特别强调可持续发展的设计。在第 2 章“护理的环境”中介绍了可持续发展设计。为了与当前绿色设计的趋势一致,要求考虑设计的可持续性。在附录中提供了当前与医疗卫

生环境相关的工程可持续特点附加信息。

第 2 章也叙述了治疗的环境,针对水能减轻病人痛苦的特性,特别指出了它可能存在健康隐患。附录中指出由于喷泉和其他装饰用水可能为致病菌创造机会繁殖,所以不推荐这类设施安装在医疗卫生环境这样一种密封空间内。如果安装了这类设施,封闭空间应该设有排水设施,有通风。不过封闭的养鱼池可以不设排水。

6 结语

美国 2006 年版《指南》吸纳了最新的研究成果(如手术室),并与医学发展(如内窥镜检查、激光眼科)与规划相协调(如建造与改建过程中的感染控制风险评估)。经过近年的理论探讨与不断实践,美国不断自省,欧美之间对院内感染机理与控制措施(尤其是手术室)认识基本日趋一致,差异逐步缩小,这是十分可喜的事情。当然 2006 年版《指南》在暖通空调方面还有很多问题没有解决,如锅炉设备余量及应急操作、制冷设备余量及应急操作、空气途径感染隔离用房在紧急情况下的应急容量等。期待在下一版本中解决。

美国科技领先,在医院建设方面独树一帜。我国在修订行业标准《综合医院建筑设计规范》(JGJ 49—88)时一直关注它的修订过程。美国《指南》2006 年最新版本是出于美国的国情,反映了美国在医院建设领域多学科研究的丰富成果,提出的建议与条文更改完全有科学依据,没有盲从他国标准。美国在医疗领域内采用过滤器最低效率测试报告值(*MERV*)以确定实际使用时所需的过滤效率,值得我们注意。2006 年版本《指南》的颁布对世界各国医院建设影响很大,我国应充分借鉴美国在医院感染控制的最新研究成果与技术措施,将先进的建筑设计理念以及丰富的实践应用到我国医院建设和改造中去。另一方面也要考虑到我国国情,不能盲目套用美国标准。我国室外大气尘浓度是欧美国家 2~3 倍,对于我国大气质量现状,不强调净化不要说无法保障医疗所需的环境,就连一般的空气质量要求都达不到。我国医院功能科室要达到美国同样的室内环境,必须在通风空调系统中增加过滤级数,并提高各级空气过滤器效率。这就是为什么美国的普通空调到我国就变成了净化空调的缘故。从这个层面上讲,尤其是低级别洁净空调在我国似乎具有特殊意义。美国 2001 年版本

《指南》将手术室新风换气次数降为 3 h^{-1} , 是基于外科器械与设备的高度发展使医护人员大为减少, 以及由于气体麻醉剂量难以控制而不再用的前提下提出的, 为此在注释中标明如为排除麻醉余气以及排除使用激光刀产生的臭气则要求新风量不低于 10 h^{-1} 。美国《指南》修订的科学态度值得学习, 任何故步自封或盲目跟从均不可取, 只有将国外先进理念与我国国情结合才能更好推动我国医院建设的健康发展。

参考文献

- [1] 沈晋明. 联邦德国的医院标准和手术室设计(《医院洁净手术部建设标准》调研报告之一)[J]. 暖通空调, 2000, 30(2): 33-37
- [2] 沈晋明. 美国的医院标准和手术室设计(《医院洁净手术部建设标准》调研报告之三)[J]. 暖通空调, 2000, 30(3): 21-24
- [3] 沈晋明. 日本的医院标准和手术室设计(《医院洁净手术部建设标准》调研报告之二)[J]. 洁净与空调技术, 1999(4): 2-8
- [4] Guidelines for design and construction of hospital and

health care facilities[S]. Washington D C: American Institute of Architects Press, 2006

- [5] Maria B. Prevention of surgical site infections needs improvement [M]. EBSCO Publishing, 2005
- [6] Memarzadeh F, Jiang Z. Effects of operating room geometry and ventilation system parameter variation on the protection of the surgical site[C]// IAQ 2004 Critical Operations: Supporting the Healing Environment through IAQ Performance Standards, 2004
- [7] APIC text of infection control and epidemiology[M]. 2nd ed. Washington D C: Association for Professionals in Infection Control and Epidemiology. Aseptic Technique 20. 1-3, 2005
- [8] CDC USA. Guideline for environmental infection control in health-care facilities[S]. Recommendation of CDC and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC), 2003
- [9] Paul N, Chris R, Judene B. Design and construction of hospital and health care facilities[J]. ASHRAE J, 2006, 48(6): 33-37

• 封面广告说明 •

江苏双良空调设备股份有限公司

江苏双良空调设备股份有限公司位于江苏省江阴市, 经过 20 多年的不懈努力, 现已发展成为中国最具国际竞争力的全方位节能中央空调系统供应商之一。运用世界先进的 DFM 柔性生产线, 完全模拟用户工况的中央空调全性能检测中心, 产品先后取得了 ISO 9001 国际质量认证、ISO 14001 国际环境认证、德国 TÜV 认证、CE 认证和国家机械安全等权威认证, 确保了双良技术的领先和双良机组的世界级品质。双良是中国中央空调国家标准的起草者、中国机械行业十大杰出企业、全国高新技术百强企业、全国名优产品售后服务优秀企业。“双良”被认定为中国驰名商标。

双良拥有完备的三级研发体系, 先进的科研激励政策, 不断跨越技术巅峰。倡导节约能源、合理使用能源, 将公司定位为先进能源系统服务商, 在不断巩固传统溴化锂吸收式空调市场的基础上, 近

年来, 顺应社会发展的需要, 相继开发了电站空冷凝汽系统, 余热回收系统, 吸附式制冷机组, 高效能热管换热器, 用于多组分气体的一、二类热泵系统, 热水双级发生双级吸收冷水机组等新产品, 大大拓宽了服务领域。先进的节能装备广泛应用于电力、纺织、制药、微电子、食品、钢铁、石油、化工、汽车等工厂及生产装置和各类场馆、写字楼等建筑, 树立了许多能源高效应用的先进范例。

双良将一如既往为发展循环经济, 建设节约型社会不遗余力!

地址: 江苏省江阴市国际大酒店

E-mail: ecd@shuangliang.com

电话: (0510) 6818899

传真: (0510) 6818666