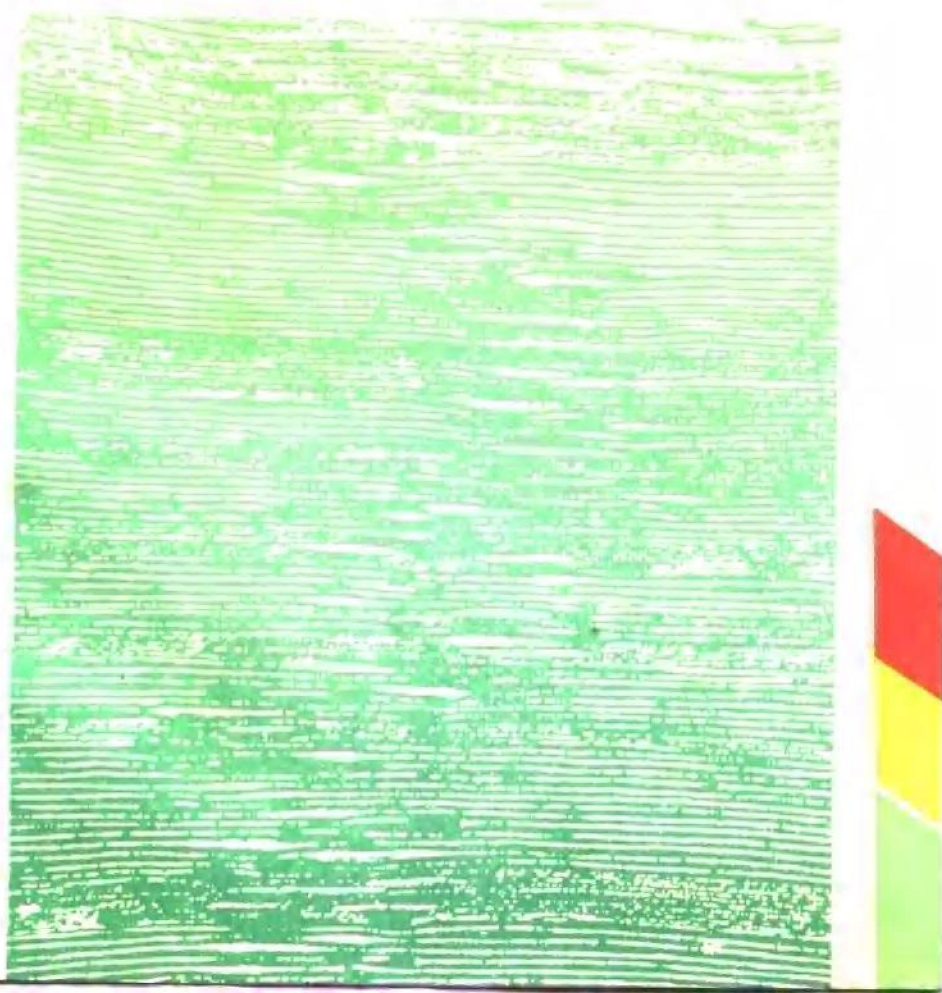


城市水文学概论

周乃晟 贺宝根 编译



城市水文学概论

周乃晟 贺宝根 编译

华东师范大学出版社

(沪)新登字第 201 号

城市水文学概论

周乃晟 贺宝根 编译

华东师范大学出版社出版发行

(上海中山北路 3663 号)

邮政编码: 200062

新华书店上海发行所经销 江苏省句容县排印厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 6.75 字数: 170 千字

1995 年 4 月第一版 1995 年 4 月第一次印刷

印数: 001—1,500 本

ISBN 7-5617-1251-0/N·089 定价: 7.90 元

序 言

统计资料表明,全世界在二十世纪里,城市化的势头是有增无减,城市的数量在急剧增加,城市的规模也在不断地扩大。著名作家布鲁诺斯基把星罗棋布的城市比作为前人遗留的智慧结晶,如果我们作一番考察,就不难发现其中确有一些传世的精品,不过也有不少是属平庸之作,甚至有的只能作为记录愚昧或失策的纪念碑。当今我国各地的城市正处在空前大发展的时期,研究和探索适合我国特点的,面向未来的,跨世纪的现代化城市的模式和建设途径,是一项亟待解决的重大课题。虽然有关专家和公众对目标的想法并不很明确清楚,也未必一致,但是大家的基本要求还是相近的,包括城乡结合的体制,优良的生态环境,高效、安全、舒适、优美的生活等方面。

随着经济的发展和人口的增长,在我国城市先后出现的水荒,洪涝灾害和水质污染等现象,已成为实现上述目标的制约因素。这些城市的未来发展受到了限制,其中有些城市的环境质量连年下降,已经危及当地的生产和生活的正常运作。国外城市建设成功经验也表明,必须妥善地解决一系列有关水的问题,包括保证城市生产和生活用水的供应,污水和废水的处理和排放,城市防洪排涝体系的建立和完善等三个方面。人们把水比作城市生命之源,把水系比作城市的血脉,恰当地评价了水在城市生活中不可替代的功能。本世纪六十年代前后,专门研究城市地区水的运动和变化过程的学科——“城市水文学”应运而生,形成水文学的一个分支学科。其研究的内容是城市地区的地面水和地下水(包括水量和水质)的运动和变化的规律,以及这些规律与城市建设之间的相互作用和动态关系。近年来随着科学技术的长足进步,测验、分析

和研究手段的改善,对城市地区的水文过程考察研究日趋深入和精细,全面推动了城市水文学学科的进展,逐渐形成和完善了其理论基础,并建立了通用的分析计算程序,为管理和利用城市水资源,控制和改善水源污染,减轻和防止洪涝灾害提供了科学的依据。

美国著名的城市水文学家拉扎罗认为,城市的建设和发展离不开对水的管理和作用,完善地解决上述有关水的问题关系到城市中几乎所有的部门和所有的人,如工程师、建筑师、城市地理学家、城市规划人员、政府官员等,涉及到政治、经济、社会、城建、卫生……众多的方面。因此只有在城市水文客观规律的基础之上,统一大家的看法和认识,协调各方各界的要求,才有可能取得共识,找到大家都能满意的解决方案。拉扎罗进一步指出,不同行业不同专业或学科的专家出发点不同,对问题的理解和处理问题的方法就会不同,出现分歧是正常的。当务之急是建立共同的语言,克服相互交流的障碍。他身体力行,编写了一本城市水文学的专著,针对来自不同行业和部门或专业的读者,从各个不同的角度,对城市地区的水文过程及其规律,适用的分析计算原理和方法,作深入浅出的阐述,力求避免使用一些艰涩难懂的术语或词汇,和繁琐冗长的数学演绎。全书文笔清新生动,密切联系实际,特别适合不同背景读者的阅读。拉扎罗在封面上就鲜明地标出,这本书是对城市水文学作跨学科全方位的透视,这本书自从1979年在美国出版后,受到广泛的欢迎。

我国的城市建设和管理中存在的问题有不少方面与美国相似。由于多年来受到计划经济和条块分割管理体制的束缚,科学技术领域存在着分科过狭过细的弊端,使得不同学科、专业、部门之间的交流相对更少,正如常言所说“隔行如隔山”。华东师范大学周乃巖副教授及上海师范大学贺宝根讲师认同拉扎罗先生的基本观点,把促进部门和学科间交流沟通,改进城市建设和管理,推动城市水文研究为己任,克服重重困难,编译成这本书,奉献给与城

市建设和发展有关的各界朋友。中国有句古语“他山之石可以攻玉”，相信这本书将有助于攻破妨碍我们相互交流的墙和篱，也将有助于把我们的城市建设和管理得更加美好，无愧于时代。

朱元娃

1993年3月，南京

目 录

绪论	1
第一章 城市的功能和结构	4
§1.1 城市的起源	4
§1.2 城市的形态要素	6
§1.3 城市的结构要素	10
§1.4 城市化	11
第二章 城市化对河川径流的影响	14
§2.1 水文循环	14
§2.2 城市化引起的土地变化	17
§2.3 城市地形和径流	18
§2.4 城市地区入渗减少	21
第三章 城市化引起水文变化的分析	23
§3.1 如何进行城市水文研究	23
§3.2 水量资料的收集	25
§3.3 水质资料的收集	28
§3.4 城市化区域和流域	30
§3.5 不透水地面百分数估算	34
§3.6 概率方法	36
§3.7 统计技术	41
§3.8 城市化的河道	44
第四章 城市化与河流水质	50
§4.1 天然河流的水质	50
§4.2 未处理污水对河流水质的影响	58
§4.3 城市污染的来源	64
§4.4 城市径流对水质的影响	67
§4.5 城市径流对河流水质的影响——实例研究	71

§4.6	城市径流对土地侵蚀的影响	83
§4.7	城市交通措施对河流水质的影响	87
第五章	城市水量和水质模型	94
§5.1	数学模型的建立	94
§5.2	天然流域模型	98
§5.3	降雨-径流模型	100
§5.4	城市集水区模型	105
§5.5	城市集水区模型——水量模型	119
§5.6	城市集水区模型——水质模型	130
第六章	非工程措施	139
§6.1	规划和规划委员会	139
§6.2	规划和规划过程	146
§6.3	城市水资源规划	155
第七章	工程措施	160
§7.1	水量	160
§7.2	水质	165
§7.3	地表侵蚀和沉积控制	170
第八章	废水处理	175
§8.1	废水的氧化和污染物的去除	175
§8.2	高效好氧工艺	176
§8.3	治理责任社会化	180
第九章	沿海城市风暴潮	182
§9.1	风暴潮的基本概念	182
§9.2	风暴潮的特征	185
§9.3	风暴潮的作用过程	189
§9.4	风暴潮可能最高潮位预测	193
第十章	城市地面沉降	196
§10.1	城市化与地面沉降	196
§10.2	影响地面沉降的因素	199
§10.3	地面沉降的防治对策	201
编译后记		203

绪 论

城市水文学是水文学的一门新兴分支学科,它着重研究城市及周围地区的水分循环、水的运动变化规律以及水与城市人的相互关系。城市化地区人口集中,工厂与建筑物林立,地面透水性能降低、废水浓度和排放量增大,排水速度加快等因素势必引起城市地区水体环境(水量和水质)的变化,从而产生了城市地区特有的水文问题。如城市地区的给水水源问题,城市及其下游的洪水排放问题,城市地面积水问题和城市水体的污染控制问题等,使水文的变化规律和水资源的开发管理成为密切不可分割的整体。本世纪六十年代起,城市水文和水资源的研究在英、美等发达国家有了很大的进展。

我国径流总量虽丰,居世界第六位,但由于人口众多、幅地辽阔,人均水资源量仅每年2500至2600立方米,居世界众国之中后,加之人类活动对自然环境的破坏,大部分地表水和相当一部分地下水遭受严重的次生污染,致使我国的水质污染发展很快,很大程度上加剧了水资源的不足。由于城市化使原来非常缓慢的自然进程大大加速,所以上述两个问题在城市地区尤为突出。我国现有城市近500座,其中有300多座因水源不足或水质恶化而缺水,每日缺水量约1500万吨,给城市生产、生活造成极大影响。为适应廿一世纪我国城市社会经济发展的需要,我们必须以新的理论和技术研讨城市的水文问题。

本书试图向读者介绍国外城市水文学研究的理论和手段,阐明城市水文并非只是个水文学的问题、应用多学科手段、各领域专家精诚合作的宗旨。本书章节的安排为:

第一章“城市的功能和结构”为城市化研究提供背景,试图让

读者透视城市生活的过程，从而有可能把握未来城市发展的物理效应和方向；

第二章“城市化对河川径流的影响”着重讨论水量因土地利用变化而受到的影响；

第三章“城市化引起水文变化的分析”罗列了各种分析的方法，评价城市化后河流情势改变而造成河流形态和水流结构的变化；

第四章“城市化和水质”讨论水质的影响，触及城市化对一地区水文、水质的作用；

第五章“城市水量和水质模型”开发和概括了基本模型和现有的分类模型；

第六章“非工程措施”和第七章“工程措施”、第八章“废水处理”、第九章“沿海城市风暴潮”、第十章“城市地面沉降”讨论城市水文问题的解决方法。第六章主要介绍规划的作用，提出民众参与规划的重要观念。第七章提出当前采用的工程技术；第八章介绍我国最新的污水处理技术；第九章介绍沿海城市风暴潮特征和预测；第十章介绍城市化区域地面沉降的状况，讨论沉降的原因及对策。

本书提倡土木工程学、物理地理学、环境科学、城市规划学、水文水资源学等课程相互结合，全面妥善地研究城市水文问题。本书也可供其它专业研究参考。

本书采用的计量单位体系是英制，为方便读者起见，以下提供一些简单的换算关系。

1 英寸 = 25.4 毫米

1 英尺 = 12 英寸 = 0.3048 米

1 码 = 3 英尺 = 0.9144 米

1 英里 = 1.6093 公里

1 英亩 = 0.405 公顷 = 4050 米²

1 加仑 = 3.785 升

1 磅=0.4536 千克

1 短吨=2000 磅=0.908 公吨

第一章 城市的功能和结构

对城市的功能进行综合分析和全面了解城市化的自然过程是研究城市水文学的基础。通过这种认真的探索,我们不仅能准确地预测城市未来的发展和衰亡,而且将有助于我们对雨水下水道和滞洪水库等的规划。此外,如果我们能够减缓而不是加剧城市径流问题的话,那么,新的建设会使环境更趋完美。从长远来说,这将节省人力和财力资源。因此,本章将对城市功能和结构的基本原理作一简单的介绍。

§1.1 城市的起源^①

人们由游牧生活转而为在社区中定居下来的原因,在最初是个神秘莫测的问题,因为当时人们未必认识到定居比游牧更为优越。吉布森(1977年)在研究了美索不达米亚的一些村落之后,得到的结论是,定居是社会发展过程的必然结果,农业革命也许是最有道理、最能被广泛接受的原因。

所谓农业革命,指的是人对动物和谷物成功的驯化和培育。这意味着人不再依赖狩猎和采集食物维持生计,而可以在永久聚居地通过耕种和从事畜牧业谋生。博格黑(1971年)认为,早期的村庄(公元前 5000 年)是一些 150 人左右的农业社区,一些家庭在一起劳动、耕地、储存食物,并负有永久保存剩余物品的全部职责。

随着技术的进步,剩余食物增多,使得社区发展为一个更复杂

① 1965 年斯乔伯格对城市的定义是“……是一个具有相当规模和人口密度的社区,该社区内含有各种专家和文化名流。”

的社会组织,并在地域上得到扩展。约翰逊(1967年)阐明,大约公元前 4000 年左右,居民点成为行政管理的中枢,它不仅用于商品的贮存,而且也用于交换和分配。斯乔伯格(1965 年)称此为前期工业社会,他阐明食物剩余使得劳动专门化并产生了领导阶层。前期工业社会还有另外两个重要的特征,(1)有书面文件,使记录得以保存,这也促进了文化交流;(2)除人力、畜力之外,像水力、风力之类的自然资源开始被人们利用。

在社区或居民点里,当领导变得强有力和意识形态增强,并且农业生产更有效率时,相当规模的城市就出现了。自公元前 3000 年到公元前 2500 年乌鲁克和巴比伦这两个城市的人口分别增到了五万和八万(哈盖脱,1973年)。然而,社区的规模仍然要受到其邻近地区农业生产和运输条件的制约。约翰逊指出,在总人口中,若有一个非农人口,就要有 50~90 个农人为他服务,这一点显示了大多数城市的发展受土地所束缚。

大多数的前期工业城市保持了较好的生态关系,芒福德(1956 年)在对早期罗马的描述中,将城市和周围地区的关系解释为一种共生型的关系。随着城市的发展,罗马开始超出了其郊区的负担能力,城区与郊区的关系变成寄生型的,这时的罗马只有借助对其它地区进行有计划的军事开拓才能维持其生存和进一步的发展。在这方面,罗马不是独一无二的,在它以前和以后的其它城市和王国都经历了同样的过程。然而,军事开拓只是权宜之计,它不会继续促进城市化的进程。

斯乔伯格提出,与罗马文化传统相关联的技术和观念传播到了阿拉伯世界,并在中世纪得到了进一步的发展。当欧洲走出中世纪并与阿拉伯商人接触时,这些新概念不仅对整个欧洲产生了深刻的影响,而且与文艺复兴也有直接的关系。

在罗马衰落了一千年之后,大城市又再次形成和出现。与罗马和其它前期城市相比较,这些大城市不再凭借武力强占其它地区的自然资源,而是签订彼此有利的互惠贸易协议。芒福德将此称

作城市化的第二阶段。十七世纪出现了很多能成功地维持十万人左右的大城市。

优越的地理位置刺激了城市的产生和发展,哈里斯和乌尔玛(1945年)提出了城市的三种功能或类型:

1. 城市作为为周围地区提供综合服务的中心地域;
2. 转运货物并沿运输线路提供相关服务的运输城市;
3. 完成一项服务,诸如贸易和作为附属地区社会中心的特殊功能城市。

如果周围地区像美国中西部那样平坦并具有相同的生产能力,那么这些中心就趋向于均匀分布,社区按照其提供功能的范围分成不同的等级。

货物转运是指货物的运输从一种方式转变为另一种方式,譬如,从用船舶变为用火车运送。一旦这个过程发生,用运来的货物进行大规模生产以及发展相关服务的潜势就存在了。实质上,形成城市的潜力一旦具备,城市就容易演进。许多城市,例如纽约、路易斯维尔,旧金山和芝加哥等就是从运输转运点起步的。近年来,汽车运输和公路干线的建设已经使很多城市得到发展,原因就是这些城市正好位于两条州际公路的联结处。

高度集中的资源支持特种功能的城市。迈阿密就是一个例子,气候和海滩创造了一个供休养和娱乐的良好环境。宾夕法尼亚的斯科拉通和威尔克斯-巴勒是专业化的煤矿中心。这些城市以相关功能为核心,在其周围地区的许多社区相应发展起来,哈里斯和乌尔玛认为,美国大多数是以上谈到的三种类型的综合城市。

§1.2 城市的形态要素^①

公元 1800 年前后,人们觉察到一个与城市发展有关的趋势。

^① 城市化定义(戴维斯 1965,塞维尼和卡默勒 1961)为城市居住地人口集中和因农村土地转化为城市、郊区和工业社区而引起的土地利用变化的过程。

拉格(1972年)指出：

从十九世纪开始，一种新趋势变得明显了——那就是城市化。现在，我们已经目睹了可以发展为“城市”的苗子，一种只有总人口中的一小部分居住在那儿的聚落形式。

拉格接着指出，1800 年以后，城市开始聚集越来越多的人口，并且随着时间的流逝，这种城市化趋势加快了。

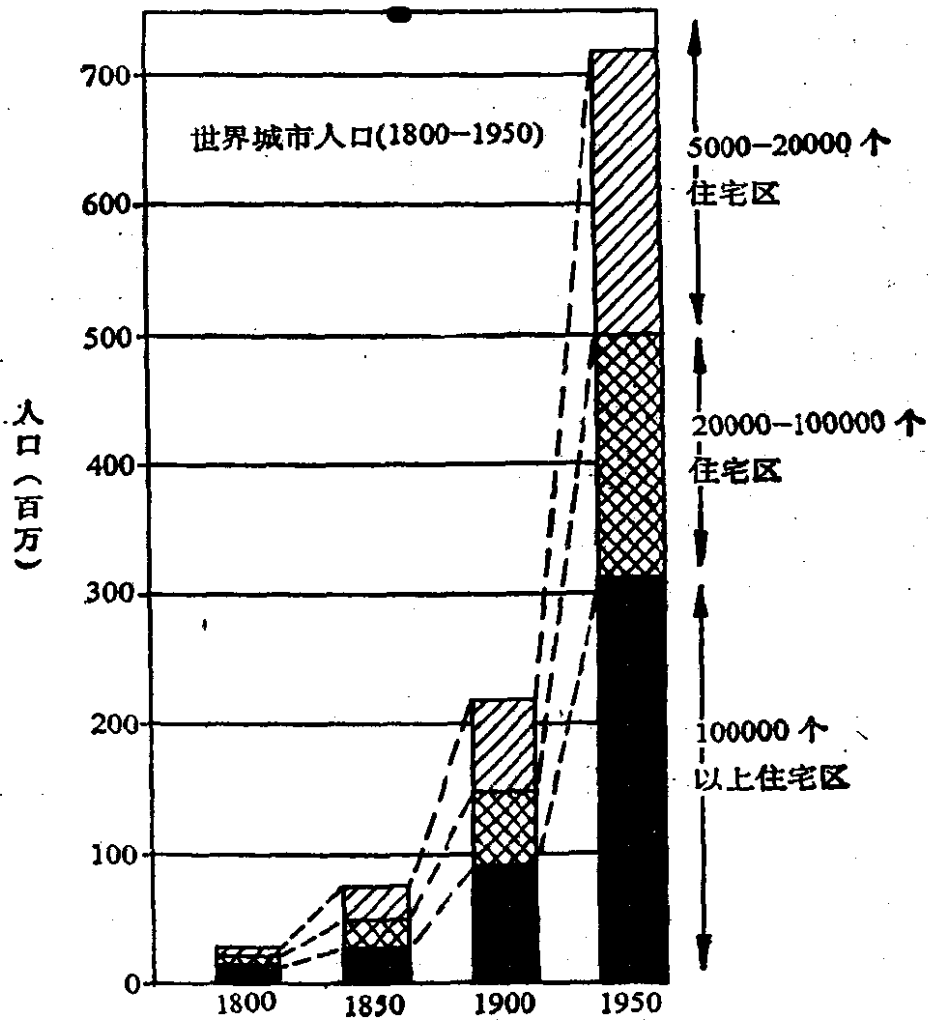


图 1-1 世界城市发展(约翰逊,1967年)

约翰逊(1967 年)指出，从 1800 年到 1950 年，世界城市人口从不足 4000 万增长到七亿以上，增长了 1650% 左右(图 1-1)。霍脱(1963 年)估计，1800 年世界人口中 1% 居住在一万或一万多一点的城市中，他估计在 1960 年城市人口已增长到 20%，拉格(1972 年)证明，从 1800 年到 1850 年，世界上 36 个主要城市人口平均增

长率约为200%。如伦敦和纽约这两个最大的城市,1800年人口分别为 958800 和 62900, 1890 年增长到 4200000 和 2700000。博格(1953 年)指出,1900 年到 1950 年期间,美国标准城市地区人口已增长了 177.8%。第二次世界大战以来的城市化有着“市郊化”的趋势,如美国许多农村的人口在二十世纪四十、五十和六十年代渐趋减少。莫勒(1976 年)阐明,1970 年美国 37.6% 的人口住在郊区,1975 年估计有 39.1% 的人口是郊区居民。

导致世界人口大规模重新分布的原因是人们还在探索的一个问题。本节将讨论使人口呈对数效应的因素。

后文艺复兴时代(Post-Renaissance era),思想的复苏促使人们接受科学和科学的方法。提出假设、进行试验、观察结果并寻找科学地解决问题等步骤,都用公式来清晰地表达。一切科学的训练有利于人们基础水平的提高。最终,技术将使定量化得到发展。通过最新方法和技术的运用,人们设计并创造了比任何人都能干的机器。将这些新创立的技能与基内西思经济学所提出的利润刺激结合起来,我们开始看到了工业革命的基础。技术被用以创造利润,人们对技术的改进又增加了利润。

机械化程度的提高使得农业生产的效率和规模得到了空前的增长。约翰逊指出,从生存农业到产品完全为了销售的农业有一个转变过程。农业本身成为一个成本-效益的工业,它为城市地区提供食物并采用科学方法来改善和扩大其自身的生产过程。

当农业变得更有效益时,数以百万计的人就从不断耕作的辛劳中解放出来,并被城市中能赚钱的职业所吸引。劳动力充足,城市化就开始了。工业的发展与城市、城市化往往是密切联系的^①。克劳森和霍尔(1973 年)指出,工业常能在城市中得到最好的发展,因为有充足的劳力供应并且接近原材料产地和市场,所以,工厂要么位于已建成的城市,要么促使城市的产生。对于一个受雇于基

① 戴维斯 1973 年指出城市发展和城市化不需要相同的过程。

基础职业部门(如工厂)的人,必须有三至四人被非基础部门(或服务行业)雇佣(亚历山大,1954年)。随着工业和服务业(如:理发业、洗衣业、修鞋业)的发展,城市就业机会变得多样化,其结果是人口和城市迅猛增长。

戴维斯(1965年)认为,工业化对英格兰和威尔士城市人口的增长有着巨大的影响。他指出,到1801年,这些地区约十分之一的人口居住在一万及一万以上的城市中^①,在四十年中人口翻了一倍,再经六十年又翻了一倍。戴维斯指出,经济增长与城市化之间存在着密切的关系。

十九世纪科技进一步发展,不仅产生了城市生活,而且进一步加速了城市的发展。随着铁路和蒸汽船的发明,运输条件改善,不但城市内部,而且城市之间的运输都得到了发展,大规模的贸易在世界范围内展开了。城市成了交通中心,来自远方的移民带来了新的观念。这些人都抱着寻找工作的愿望而来,就增加了劳动力。

技术进步继续扩展到所有领域,使工业生产过程显著改进。汽车成批生产的方式被借鉴并运用到其它领域,如房屋的成批生产。成批生产的方式使每个工人成为一个专门生产者。专业化的概念不仅影响工业组织也影响到研究工作,通过专业化,技术进一步改善。今天,这种螺旋式的上升仍在继续。专业化曾经是并且仍然是美国时代的一个组成部分,对世界其它工业化国家来说,情况也同样如此,它与工业方式的密切关系迅速促进了大城市的发展。

城市化的原动力是人类的一种创造能力,人类不断追求效率,人类不断地满足城市地区社会和文化环境的需要,于是导致了城市化,技术的不断发展和改进已使得人类具备了实现其抽象观念的能力,人类已发现了在城市内部扩展的人类观念的多相性。城市是人类构想和脑力思考的产物。在谈到城市化的未来时,吉布森

① 戴维斯用居住在一万或一万以上城市的人口比例作为城市化的指标。