

《方向性预测性情报综合分析研究》

1983年度研究成果

第 8 号

我 国 建 筑 业
节约木材钢材水泥的技术经济政策探讨

中国建筑技术发展中心建筑情报研究所

一九八四年十月

目 录

一、绪 论	(1)
二、国外建筑业节约“三材”的概述	(1)
三、我国建筑业节约“三材”的評述	(16)
四、关于我国建筑业节约“三材”的宏观决策	(29)
五、关于我国建筑业节约“三材”的技术經濟政策	(42)
六、我国建筑业节约“三材”的几点建议	(55)
七、结 語	(58)
主要参考文献	(59)

我国建筑业

节约木材钢材水泥的技术经济政策探讨

一、绪 论

木材、钢材、水泥是建筑业的三大主要建筑材料（以下简称“三材”）。我国自建国以来，“三材”产量虽然增长很快，但由于“四化”建设任务繁重，故“三材”供需矛盾一直十分突出。

要改变这一状况，无非是“开源节流”。“开源”者，增加“三材”生产的投资，大幅度地提高产量，从根本上解决问题，但这需要花费大量建设资金。“节流”则是一个缓和我国“三材”严重短缺的花费少而收效大的有效手段。

我们认为，节约“三材”的重要意义远远不在于缓和“三材”缺口这一点上，它的重要意义在于：我国现代化建设的规模需要耗费数量巨大的资材，因此如果我们每个工程节约1%的材料，全国成千上万个工程都这样做，那末节约量是巨大的；从资源的角度看，自然界蕴藏的材料资源相对地说是有限的，而材料的消耗却在不断扩大，因此必然要大大增加原材料开采和加工工业的基建投资，就这一点来说，节约“三材”就等于节约了资源、能源和投资；再者，“三材”的生产、周转（贮存和运输）和供应等环节之间有着很复杂的关系，且它们之间的联系具有跨行业的性质，因此节约“三材”在这方面带来的收益也是显然的。

我们还认为，搞好节约“三材”的工作，同企业改造、挖潜革新、提高劳动生产率、降低工程成本、加快施工速度和建筑工业化有着有机联系；节约“三材”与材料生产、制品、预制构件等行业的技术进步有着密切的关系；有效地搞好节约“三材”的工作，还与节约政策和经济政策有着非常密切的关系；等等。

因此，节约“三材”是一个综合性问题，它所涉及的领域非常广泛。从国外的情况来看，各国对节约“三材”问题的概念、观点和做法因各国的资源、经济发达程度和国情等而有很大不同。发达国家同发展中国家迥异，而实行计划经济的苏联及东欧一些国家，同我国就显得十分相似。大量资料证明，把节约“三材”作为建设界的长期的稳定的政策提出来，苏联是极为明确的。

基于上述考虑，本子项的专题研究，考察了国外特别是苏联在这一领域里的情况，着重分析和研究我国的现状，并就我国建筑业节约“三材”的技术经济政策问题，提出我们的看法。

二、国外建筑业节约“三材”的概述

（一）基本情况

二次大战后，国外由于大规模恢复经济建设，建筑材料十分匮乏，当时便有了一些节约建筑材料的措施。最近二十年来，国外经济发展很快，建筑领域中的技术进步可以说是日新月异，各种新技术、新材料、新的施工方法不断出现。1973年，国外发生第一次石油危机，

于是节约能源、节约资源和生态平衡等问题开始引起人们注意。但是，由于各国的情况有着很大不同，因此对于建筑业节约“三材”的问题也就不能一概而论了。除苏联和东欧一些国家外，一般工业发达国家不直接提节约“三材”，而是主要借助于技术先进和管理先进获得综合经济效益。总的来看，他们着眼于建材的高质量和多品种，致力于发展新型建材，而不囿于传统材料的使用；他们利用技术和管理上的创新提高工程质量和加快建设周期，而不默守成规满足技术现状。当然，这些在客观上都起到了节约“三材”的作用。

苏联同欧美工业发达国家的不同之点是，苏联早在战后五十年代初期起就把建筑业节约“三材”作为国策，历来比较重视。苏联国家建委根据政府指示，于1951年10月30日批准实行《建筑中节约使用金属、水泥和木材的技术规则》（ТН101—51），规则中相当具体地规定了广泛采用最先进的和最省材料的结构、预制构件以及某些地方材料^[1]。以后，根据该规程的实施情况，每隔三、五年修改一次，现已修改了六次，分别为ТН101—57、ТН101—61、ТН101—65、ТН101—73、ТН101—76和ТН101—81。并经常召开全国性节约“三材”的学术会议，推广节约“三材”的先进经验。苏联第十个五年计划（1976~1980年）和第十一个五年计划（1981~1985年）都对建筑业节约“三材”提出了具体的方针政策和节约指标^[2、3]。1981年6月苏共中央及苏联部长会议还作出了《加强有关节约及合理使用原料、热能和其它材料资源的工作》的决议，指出这是一个长时期的、纲领性的文件^[4]。显然，苏联建筑业是把节约“三材”作为长期的稳定的技术政策提出来的。

（二）木 材

世界森林资源约为 3.4×10^{11} 立方米，许多发达国家由于森林砍伐过多，森林面积正在缩小。例如美国现在的森林面积比哥伦布发现美洲大陆时的美国已减少3亿公顷^[5]。日本原来的森林面积为国土的70%，战争时期大量砍伐，森林面积骤减，战争结束后虽每年植树造林，森林面积重新增加，但木材供应仍感不足，为保护国内森林资源和生态平衡，六十年代中叶起每年从国外进口30%木材，近年来进口木材高达70%^[6]。

目前世界市场对木材的需求每年达7980万立方米，而木材生产国能够供应的数量仅为6500万立方米，估计到1985年世界市场对木材的需求量将提高到9970万立方米，可能超过1亿立方米大关，但到那时，木材生产国的供应量大约仅为8000万立方米。因此世界木材供需情况是比较紧张的，尽管如此，国外建筑木材耗用量仍然非常大^[7]。

建筑业节约木材，国外的情况同我国有着很大不同。从结构形式看，国外木结构仍保持着相当的地位。日本近年来年建筑竣工面积为22000万平方米，其中41%为木结构，几乎都是住宅建筑^[8]。美国、北欧和苏联的木结构也很普遍。国外建筑木材的耗用量也很大，美国1976年新建住宅耗用的成材就占总消费量的37.4%，计3,822万立方米，据估计，美国1990年新建住宅耗用的成材将占总消费量的39.3%，约5640万立方米（见表1）^[92]。国外木制品和木材消耗情况一般随住宅竣工量的增减而波动（见表2和图1）^[8]。国外住宅建筑中的门、窗等主要装修部件，虽发展了钢门窗、铝合金门窗、塑料门窗和金属——塑料复合门窗等，但仍大多使用木制品，无论是独户住宅或是钢筋混凝土中层公寓都是如此^[9]。

国外建筑工程中节约木材的措施，主要表现在二次大战后建筑施工开始出现所谓“钢化”。由于欧洲和日本战后恢复建设规模巨大，并且这些国家的木材资源又十分紧张，木材价格昂贵，因此施工中以钢代木措施发展很快。西欧在五十年代初正式开始实施建筑工业化，大规模推广全装配钢筋混凝土大板住宅，与此同时，大模板现浇钢筋混凝土住宅建筑迅

美国1962, 1970和1976年成材的实际消费和1990~2030年的需要预测

表 1

年别	总消费量或需要量(万立方米)	每人平均(立方米)	针叶树(%)	阔叶树(%)	不同用途各占 %					
					住宅建设	维修与改建	非住宅建设①	家具等加工业	包装货运	其它②
1962	8,803	0.472	82.6	17.4	37.4	11.8	11.3	11.4	11.6	16.6
1970	9,322	0.455	81.5	18.5	31.1	11.9	11.9	11.9	14.5	18.8
1976	10,219	0.474	89.9	15.1	37.4	13.1	9.7	11.5	15.7	12.5
1990	14,351	0.590	82.0	18.0	39.3	11.8	9.8	11.5	15.5	12.1
2030	17,362	0.578	76.0	24.0	27.7	12.3	11.6	13.4	20.6	14.4

注：①包括铁路枕木；

②包括非住宅建筑维修、自制家具、小船、自制广告牌等。

美国木制品产量随住宅竣

工量波动的情况 表 2

年 份	住宅竣工量(万户)	木制品生产量(万立方米)
1975	116.0	7572.5
1976	153.7	8609.1
1977	198.6	8779.7
1978	202.0	8955.5
1979	174.3	8820.0
1980	129.2	7517.0

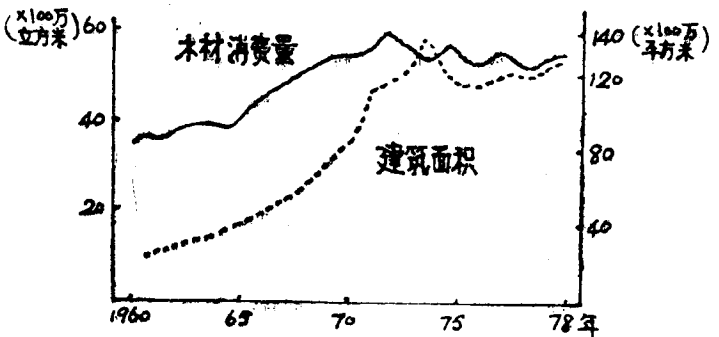


图 1 日本1966~78年木材消费随建筑竣工面积波动情况

速发展，到了七十年代，欧美主要国家民用建筑中60%是现浇的，于是发展了钢模板和以其它材料，如胶合板、铝板、玻璃纤维板增强塑料为面板的工业化模板。日本在五十年代第一次建设繁荣时期（1950~1953年），首先在基础工程中的防坍支撑，继而在脚手架、模板等方面渐渐开始以钢制代替木制，出现了大模板施工方法。到了六十年代，随着第二次建设繁荣时期的到来（1961~1964年），工程量迅速增加，施工机械化大大发展并显著普及，开发了许多施工技术，完善了组合钢模板的开发应用。这一时期建筑施工的一个显著特点是，模板、脚手架、临时工棚的主要部分几乎都“钢化”了。钢化的主要原因是，除了木材紧张外，钢制构件比木制构件坚固，而且周转复用次数多；钢制构件质量稳定、可靠性高；钢制构件易于标准化，使现场作业简单^[10]。

国外的木材节约，主要表现在他们的木材综合利用水平高。所谓木材综合利用，是指木材与木制品加工利用后和采运作业后木材剩余物的利用，利用后的最终产品是刨花板、纤维板以及纸浆，国外称之为“PPF工业”。刨花板、纤维板和胶合板这“三板”又构成人造板工业的主体内容，大量用于建筑之中。刨花板和纤维板的生产发达与否，已成为衡量木材综合利用水平高低的主要标志。

美国、日本和苏联的人造板产量分别示于表 3、表 4 和表 5 [5,11,12]。美国1976年胶合板总消耗量中39.5%计76,358万平方米用于新建住宅,估计到1990年,用于新建住宅的胶合

美国人造板产量 单位: 万平方米 表 3

年 份	胶 合 板		纤 维 板		刨 花 板
	针叶材胶合板 (3/8英寸厚)	阔叶材胶合板	硬质纤维板 (1/8英寸厚)	中密度纤维板 (1/2英寸厚)	(3/4英寸厚)
1975	149109	11892	57953	1997	23588
1976	170942	13592	65845	2601	29748
1977	179303	13731	66890	4097	33371
1978	183576	13750	72464	4459	33538
1979	183483	13322	71424	4552	30658
1980	157471	12635	65961	4508	26477

日本人造板产量 单位: 万平方米 表 4

年 份	胶 合 板	纤 维 板	刨 花 板
1975	160057	9324	4540
1976	175868	10262	5849
1977	172905	10408	6009
1978	182275	10332	6119
1979	189344	11242	8177
1980	174319	11678	8518

苏联人造板产量 单位: 万立方米 表 5

年 份	胶 合 板	纤 维 板	刨 花 板
1940	78.2	410	
1960	135.4	6760	16.1
1965	175.6	13800	79.8
1970	204.5	20800	199.1
1975	219.6	40900	399.6
1976	217.4	43400	422.1
1977	217.8	45900	459.0
1978	212.2	46200	477.7
1979	198.8	47000	469.5
1980	272.2	46900	511.8

板将占胶合板总耗量的40%，计113,602万平方米（见表6）〔92〕。美国的针叶树胶合板主要用于新建住宅和住宅维修，阔叶树胶合板主要用作一般住宅和活动房屋的墙面、地板等内部装修，以及家俱和厨房设备等〔5〕。美国1976年软、硬质纤维板和刨花板总消耗量中28.3%计34,013万平方米用于新建住宅，估计到1990年，用于新建住宅的比例为28.2%，计54,912万平方米（见表7）〔92〕。美国的刨花板，用于地板基层约占34.6%，工业占48.4%，门窗占3.6%，

美国1962, 1970和1976年胶合板的实际消费和

1990~2030年的需要预测（厚度为3/8英寸）

表 6

年 别	总消耗量 或需要量 (万平方米)	每人平均 (平方米)	针叶树 (%)	阔叶树 (%)	不 同 用 途 各 占 %					
					住宅 建设	维修 与改建	非住宅 建设	家具等 加工业	包 装 运	其它①
1962	108,845	5.85	79	21	35.7	8.8	14.4	15.9	—	25.2
1970	165,571	8.08	79	21	35.5	14.1	10.9	9.3	3.3	26.9
1976	193,312	9.01	82	18	39.5	16.1	9.0	12.0	3.5	19.8
1990	284,004	11.70	85	15	40.0	15.2	10.6	11.1	3.7	19.4
2030	358,698	11.98	85	15	27.8	17.2	16.1	11.0	4.6	23.3

注：①其它包括非住宅建筑维修、自制家俱、小船、自制广告牌等。

美国1962, 1970和1976年软、硬纤维板和刨花板的实际消费
和1990~2030年的需要预测（按厚度为10毫米计）

表 7

年 别	总消费量 或需要量 (万平方米)	每人平均 (平方米)	三种板各占 %			不 同 用 途 各 占 %				
			软质纤维板	硬质纤维板	刨花板	住宅建设	维 修	非住宅建设	家具等加工业	其它①
1962	51,948	2.8	69	17	14	39.6	不清	不 清	不 清	不清
1970	89,261	4.4	47	16	37	28.7	14.7	10.9	18.6	27.0
1976	120,188	5.6	35	16	49	28.3	16.7	8.5	27.6	18.9
1990	194,724	8.0	25	17	58	28.2	15.3	10.7	26.9	18.9
2030	345,227	11.5	16	19	65	18.9	14.3	14.4	30.9	21.4

注：①其它包括非住宅建筑维修、自制家俱、自制广告牌、货运包装等。

日本建筑用人造板占人造板总产量的比例 单位：%

表 8

年 份	胶 合 板	硬质纤维板	刨 花 板
1976		28.5	30.2
1977		24.1	27.9
1978		20.2	20.8
1979		21.7	21.1
1980	55.4	20.1	27.1

厨房设备占8.6%，其它占4.8%，其中用于住宅建筑的刨花板约占市场销售总量的1/2。日本用于建筑中的人造板占人造板总产量的比例示于表8。胶合板产量的1/2以上，硬质纤维板和刨花板产量的1/5~1/4以上用于建筑。日本的胶合板主要用作墙面、地板和天花板的贴面材料，厚12毫米以上的胶合板除用于内装修外，还可用于外装修和用作混凝土模板的面板，耗用量增长很快，1980年约占1/4。日本的半硬质纤维板除用作家俱外常用作天花板、墙面和内隔墙材料，软质纤维板用于建筑的量也很大，1980年的应用比例是天花板占34%，打底材料占35%，墙面占9%，其它占21%。日本的刨花板主要用作预制住宅、公共住宅和公寓等的地板、天花板贴面材料以及用作内隔墙等。

国外人造板工业中，刨花板的应用范围广泛，又无废水污染，因而发展迅速。目前国外刨花板的生产已经几乎能够利用所有种类的木材废料，包括锯屑、木粉和树皮，其综合利用率之高，居人造板工业之首。优先发展刨花板已经成为国外人造板工业和提高木材综合利用率的主要方向。纤维板也是一种以木材剩余物为原料的人造板，七十年代国外纤维板干法生产的一大发展是中密度纤维板（MDF）的问世。国外“三板”工业中刨花板发展最快，而中密度纤维板的出现正在改变着纤维板生产的劣势地位。中密度纤维板的各项物理力学性能优异，可广泛用于各种用途。在住宅建筑中可用于制造门扇、门缘饰板和踢脚板以及家俱等。1978年消耗量为4.8万立方米，1979年为8.4万立方米，1980年为15万立方米，预计1985年将迅猛增长。由于中密度纤维板的异军突起，到二十世纪末，美国纤维板的增长将是刨花板的一倍，西德等以生产刨花板为主的国家也因此而感到威胁，为此西德等国不得不致力于研究定向刨花板，以改善刨花板的铺装结构，扩大其用途。至于胶合板，国外的生产历史比较悠久，技术上也较为成熟。

国外除大力发展人造板工业外，还利用下脚木片用粘结剂粘接制成胶合木，作为大型建筑物的结构材料，在欧美各国以及苏联很盛行^[9]。它是国外粘结剂工业飞速发展和木材加工技术不断进步的条件下发展起来的新型木结构。这种结构于1907年首先在德国、瑞典研制成功，随后在欧美各国相继发展起来。日本近年来也将胶合木用于木结构住宅，但代替制材的比例依然很小，仅占建筑用制材总量的1%不到，因此日本准备大力发展胶合木，以便逐步用作结构部件，尤其是地板基层材料。苏联的胶合木发展很快，1978年在农村建筑和公共建筑中使用了12万立方米胶合木构件，同木制品构件相比，节约了木材20~40%，同时节约钢材6500吨。但由于成本较贵，难以大规模推广应用。目前苏联正在加强研究降低原材料耗量的途径，以便降低胶合木的成本^[7]。

国外建筑业木材的节约，苏联有许多具体措施。五十年代研制了用阔叶树木（山毛榉、桦木和赤杨）制造湿度正常的内门和门窗框子，并订有国家标准（475—50）^[13]。六十年代的节木措施强调最大限度地利用地方材料，在住宅、公共建筑、生产性建筑中采用石膏板、大型石膏纤维板、大型石膏矿渣板、纤维板、刨花板、芦苇板和木丝板作隔墙；利用锯木厂、木材加工厂的下脚木料制造建筑配件、门板、胶合梁、胶合木地板；研制和推广用塑料楼梯扶手、踢脚板、化纤地毯和塑料地板等建筑塑料制品作为住宅和公共建筑的装饰装修材料；加强对木材的预干燥处理和防腐处理，以提高木材的耐久性；除了工厂化生产的房屋和出产木材的地区外，不准建造以木材作墙体的房屋，尤其在农村建筑中，要求广泛采用粘土砖、介壳石灰岩、凝灰岩以及其它地方性墙体材料；规定三层及三层以上的住宅建筑和公共建筑、二层的儿童保育用房、工厂辅助性建筑均不准使用木地板（出产木材的地区除外）；

三层及三层以上的住宅和公共建筑不准使用木隔墙(出产木材的地区除外)^[14]。七十年代,进一步明确规定在森林资源丰富的地区可广泛应用木结构,反之,在少林地区禁止使用木结构,应大量采用钢筋混凝土结构;扩大胶合木结构的应用领域,主要用于农业建筑,并要求在有腐蚀介质存在的建筑物、仓库、公共建筑和大厅屋盖也使用这种结构;在木材的贮藏、保存和运输等方面也规定了一些重要措施,防止和减少木材的损失^[1]。近年来,苏联更大量发展了钢模板。目前苏联在装配式混凝土工业中共拥有200多万吨钢模板供周转使用,另外还有30万吨钢模板的储备尚未使用^[15];在木材综合利用方面,要求大幅度提高刨花板和纤维板的产量,分别提高50%和30~50%^[3]。

综上所述,国外建筑业对木材的节约是十分重视的,国外节木措施的实现,主要着眼于木材采伐和加工过程中剩余物的利用,大力发展人造板工业,而人造板又大量地作为建筑木材制品用于各种建筑之中。就建筑木材而言,国外发达国家新建住宅仍保留着相当比例的木结构和大量使用木制品的原因,主要是木材作为建筑材料其性能优异,人们喜欢居住用木材作结构材料或装修材料的住宅,因而决定了它在建筑中的地位是不会被取消的,相反,它有着发展前途。除此之外,还有资源方面和能源方面的原因,资源方面的原因是:木材是一种可再生资源,只要注意植树造林,提高木材出材率和综合利用率,那末木材资源是无限的。能源方面的原因是,木材是一种节能型材料,木材与其它材料相比,生产能耗非常小。据日本科学技术厅调查,结构用木材所耗能量为 3.6×10^5 千卡/立方米,钢结构中钢材所耗能量为 0.074×10^5 千卡/公斤,换算成相同重量进行比较,木材的能耗约为钢材的1/10。^[6]另一方面,由于各国对木材需求过大,因此从世界范围看,它毕竟是紧缺材料,从而节约木材的问题也就客观上为人们所重视,于是木材出材率和综合利用率越来越高。在建筑工程中,钢模板和钢脚手等遂应运而生,塑料建材也获得迅速发展,成为有着很大发展前途的新建材而被广泛地使用着(当然,并不仅仅是由于节木的原因)。当今世界的建筑木材便是处于这样一种状况之中,它的发展将越来越取决于木材综合利用的水平和木材工业的技术进步了。

(三) 钢 材

世界钢产量约在5亿吨以上,1982年产量约为7亿吨。近年来,欧美等主要国家建筑业钢材消耗量有所降低,这是由于建筑业萧条所致,并不存在如同我国那样的供需矛盾。表9和表10表示了北美(美国和加拿大)、日本建筑钢材占钢材总耗量的比例^[16]。由表可知,北美建筑钢材约占钢材总耗量的1/4,日本钢材总耗量中有1/2是用于建筑的。西欧国家大约要占20%左右(如西德)。日本同西欧和北美诸国建筑钢材耗用量何以差距如此之大呢?这主

北美(美国和加拿大)建筑钢材占整个钢材的消耗比例(1979年)

表 9

项 目	万 吨	%
建 筑 业	2900	26
汽 车 工 业	2454	22
机 械 制 造 业	2565	23
其 它 行 业	3235	29
总 计	11,154	100

日本建筑钢材占整个钢材总耗量中的比例

单位: % 表 10

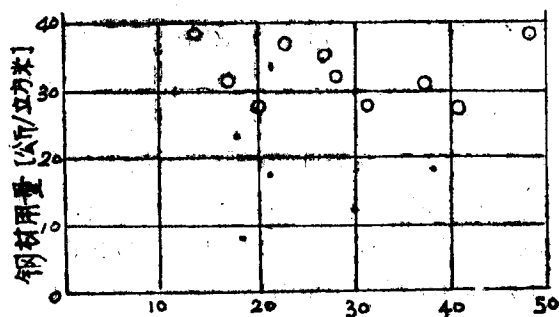
项 目	1968年		1973年		1978年	
	耗量(万吨)	%	耗量(万吨)	%	耗量(万吨)	%
建筑工业	1968	50.1	3383	51	2795	49.7
工业机械	314	8	531	8	456	8.1
造船汽车	778	19.8	1380	20.8	1175	20.9
电子器械	189	4.8	252	3.8	321	5.7
其 它	299	7.6	501	7.6	461	8.2
二次产品	381	9.7	584	8.8	416	7.4
合计耗钢材量	3928	100	6634	100	5624	100

西德建筑物的用途和结构类别

表 11

建筑类型	砌 砖	预制混凝土钢筋 混凝土结构	现浇钢筋混凝土结构	钢 结 构
办公大楼(低层)		●	○	
办公大楼(高层)		○	●	△
住宅建筑	●	○	○	
工厂建筑		●	○	△

注: ● ○ △表示采用顺序



0以上为层数
图 2 欧洲、日本钢结构钢材用量比较
○——日本的建筑物
●——欧洲的建筑物

要同各国结构形式的选用有着密切的关系。

表11表示西德建筑所采用的结构形式。从西德建筑的结构形式的选用可知,欧洲结构形式的主流是预制混凝土结构(主要用于低层建筑和工厂建筑)、现浇钢筋混凝土结构(主要用于中、高层建筑)、以及砖和预制墙板(主要用于住宅),钢结构则使用较少。日本建筑的钢结构用得较多,这主要是日本对结构安全度、经济性、施工性和价值感有他们自己的看法。再者,日本是个多地震的国家,需要更多地考虑水平荷载的影响,设计外力比欧洲大,官方检查也严格。地基方面,欧洲是砂层,比日本优良。因此非但钢结构,即使是钢筋混凝

土结构，日本的用钢量也比其它国家多(见图 2)。但在人工费用方面，欧洲比日本贵，因此欧洲一些国家在设法降低工程成本的同时，还要考虑材料用量和人工费用。但最近日本的人工费用上升也很快，主要是由于工资费用上升所致[17]。

国外在选用合适的结构形式节约钢材方面，曾经有两种不同看法，东欧各国出于节约钢材的理由，认为应尽可能地采用其它结构形式来代替钢结构。而许多国家的另一种看法是，钢结构由于具有对复杂的应用工艺适应性强、施工时间短、建筑材料省、便于改建等优点，因而对于国民经济的建设有着极为重要的意义[18]。前者的看法，在五十、六十年代乃至七十年代初，在苏联和东欧较普遍，但近年来这种看法有所转变，在这些国家钢结构也逐渐多起来。

积极发展优质高强钢材和经济型钢品种等高效钢材，是国外建筑业节约钢材的重要手段之一。采用高强钢材是降低建筑钢材用量的一个非常重要的因素。国外高强度结构钢根据其机械性能、屈服强度或断裂应力分为：一般强度结构钢、中等强度结构钢、高强度钢和超高强钢。国外使用的一般强度的结构钢其屈服强度约为380牛顿/毫米²（38.8公斤/毫米²），最常用的高强度钢其屈服强度平均为520牛顿/毫米²（53.1公斤/毫米²）。目前在钢结构中也有使用屈服强度为1千牛顿/毫米²（102公斤/毫米²）的，但使用范围较小。因此国外越来越重视采用合金钢、热处理和冷轧延强化等措施，而采用低合金钢占首位，苏联等国家则更多地采用热处理途径来增强钢的强度[18]。

国外随着优质高强钢材的普及，还发展了断面形状更合理的经济型钢品种：如轻型薄壁型钢、H型钢（宽翼缘型钢）、各种异型钢、冷弯型钢等等，以及表面涂有防腐层、耐磨层的钢材。利用优质高强钢材和经济型钢品种等高效钢材，可以节约大量钢材，虽然钢铁厂必须增加设备和投资，轧机生产率 and 成品率还会有所降低，每吨轧材的生产费用有所增加，但是社会所取得的综合经济效益是显然的。表12是苏联发展高效钢材之经济分析结果，其中钢材节约效果最大的是低合金钢钢材、热强化钢材、涂层板和冷弯型钢等[93]。

生产和使用高效钢材的经济效果

表 12

高效钢材种类	使用后的钢材节约量 (%)	钢铁厂增加的费用 (卢布/吨)	用户节省的费用 (卢布/吨)	社会经济效益 (卢布/吨)
低合金高强度钢材	30	13.5	40.9	27.4
热强化钢材:				
钢筋	25	4.8	34.0	29.2
钢板	25	21.0	38.0	17.0
冷轧（冷拔）型钢				70~100
冷轧薄板	21	24.0	33.0	9.0
冷弯型钢	26	12.0	45.0	33.0
异形型钢	20	5.0	40.0	35.0
涂层板	50			68.0

此外，国外还发展了许多钢结构的新型式，如钢混结构（钢—钢筋混凝土结构）、蜂窝梁、轻钢结构、H型钢结构等。例如苏联七十年代发展应用的钢管混凝土（用薄壁钢管填以

混凝土而制成的结构部件，属钢混结构的一种），用作工业建筑的立柱时，与用钢构件或钢筋混凝土构件相比，可分别节约钢材31~50%和13%；若用作起重行车棧桥的立柱时，与钢构件或钢筋混凝土构件相比，分别可节约钢材12~28%和9%。日本的H型钢结构发展相当快，1962年H型钢产量仅18万吨，十年后的1973年猛增至550万吨，增加30倍。H型钢的最大优点是使钢结构的安装变得十分简单，从而大大加快了建设速度^[19、20、21]。

预应力混凝土技术是建筑工程中节约钢材的重要技术措施之一（同时也节约水泥）。国外预应力混凝土技术发展至今已有一百多年的历史。1928年法国的E. Freyssinet明确论述了预应力混凝土使用高强度混凝土和高强钢材的必要性。二次大战期间，各国广泛采用预应力混凝土制造枕木。战后，为了修复由于战争而遭破坏的桥梁，预应力混凝土技术被广泛采用，于是才开始真正发展起来。随着预应力混凝土技术的发展，人们对它的认识也日益深化，近十年来产生了较大的变化。最主要的是设计概念已从“全预应力”向“部分预应力”的设计概念发展。现在，“部分预应力”的设计原理和预应力混凝土的抗震性能，已成为国际工程界十分感兴趣和关注的问题。“部分预应力”的设计概念，是鉴于按“全预应力”概念设计的结构带来设计用料多、造价高、预压应力过大易产生端部裂纹和沿预应力束的纵向裂纹、徐变引起反拱大、预拉区易开裂以及结构延性差对抗震不利等不利因素而提出来的。与“全预应力”相比，由于部分预应力采用了较低的预应力度，所以可节约预应力主筋，减少预拉区混凝土的拉应力，甚至可以取消预拉区的预应力钢筋，减少预拉区的非预应力钢筋。按“部分预应力”设计的6米~36米吊车梁，当截面尺寸不变时，可节约预应力钢筋23~30%。“部分预应力”的概念早在四十年代就由英国的P. W. Abeles提出，但到五十年代初才在美国、西德、苏联以及我国开始应用；1970年召开的第六届国际预应力会议肯定了低预应力度的“部分预应力”设计概念的优越性^[22、23]。

五十年代，国外出现了一种新的后张预应力工艺，即无粘接预应力技术，由于它具有一系列工艺和经济方面的优点，因此在某些结构和构件中，已逐渐取代了灌浆的后张预应力工艺，为预应力混凝土的应用开辟了新的领域。应用最早的是美国，其它如加拿大、日本、英国和新加坡等国也开始应用，并且应用范围和数量日益增大。目前无粘结预应力技术不仅广泛应用于民用建筑，而且在工业建筑的厂房、基础、桩以及特种构筑物中也得到应用，如单向或双向平板、密肋板和带托板的平板，板的跨高比可做到42~48，板厚一般为20厘米左右。例如新加坡UICD办公大楼高四十层，原设计为钢筋混凝土梁板结构体系，楼板总厚为50厘米，楼板最大跨度为8.5米，改用无粘结预应力平板后，板厚仅为20厘米，则每一楼层层高比原设计降低了30厘米，造价降低了30%，相应地节约了钢材和水泥^[24]。

目前国外预应力结构已在建筑中广泛应用，尤其是用于大开间的结构形式，把预应力技术作为调整结构内力、变形和保证稳定性的有力手段。预应力混凝土已成为建筑工程中节约钢材的最重要手段之一，这是已为国内外所一致公认的^[25]。

苏联建筑业对于钢材的节约历来十分重视，并有许多具体措施。早在五十年代初，由于进行大规模的经济建设，钢材耗量十分巨大，在设计、施工等方面采取了许多节约钢材的有力措施。五十年代的主要节约措施是，民用建筑中规定14层以下的多层住宅和公共建筑不准采用钢结构和钢梁；在那些不可能全部避免采用钢结构的构筑物中，应选择只需少量钢材就能建成的结构方案，即将某些承重构件例如柱、吊车梁等用钢筋混凝土制造；在工业建筑和其它建筑中，推广钢筋混凝土结构代替钢结构；等等。在此期间，苏联还研究设计了许多既

结构合理又节约钢材的工业厂房结构形式，例如大跨度楼板悬臂斜撑系统，由于适当选择并立柱及其间距，和成功地布置了承有天窗的悬臂结构，使得钢材用量降低了15%左右。钢结构中，要求扩大焊接以代替铆接。对于多层工业厂房，亦要求采用钢筋混凝土代替钢结构。钢筋混凝土结构的配筋主要采用热轧竹节钢筋、焊接结构或冷拔钢丝制成的焊接网。限制为防止钢的锈蚀而增加钢材厚度的做法，要求推广使用涂料防止钢锈等措施^[26]。

六十年代，苏联节约钢材的措施主要有以下几方面：要求在装配式预应力钢筋混凝土中广泛使用高强度钢丝和钢绞线，使用A—IV级条钢筋和热处理加强的 A_T —IV、 A_T —V和 A_T —VI级热轧钢筋；要求钢结构设计中尽量采取效率较高的结构方案，例如以薄壁钢材及弯曲截面钢材构成的结构，预应力结构等；要求广泛采用组合钢结构，例如重型柱子的牛腿用加强钢或高强钢，而腹杆及构造部件则用3号钢。又如，吊车轨梁或其它钢梁的弦杆用加强钢或高强钢制，而它们的壁用3号钢，钢结构的焊接要求优先采用自动焊机或半自动焊机，安装时要求也用焊接或高强度螺栓联接各部件，只有当构件特别重且其作用又特别重要时，才允许用铆钉联接各部件；各种建筑管道干线及分支线，要求采用石棉水泥管、玻璃钢管和塑料管；用钢管铺设管道干线时，其壁厚必须随管线工作压力的逐渐下降而逐步减小；室内下水道系统在经济合理的前提下使用上述的非金属管和陶瓷管等，通风供暖管道也应使用上述非金属管；建筑中所使用的钢结构件和钢管均应涂上防腐蚀保护层，以保证其耐久性；还要求做好各种钢材的堆放和保管工作^[13]。

到了七十年代，苏联对钢材的需要量比资源的增长快得多，主要在设计 and 结构形式的选择方面挖潜。为此在第十个五年计划中，组织检查了28个设计单位和20个金属结构厂，检查结果证明，在设计和结构形式方面存在着大量节约钢材的可能性，因此提出要求设计部门依靠设计节约钢材至少3%的指标。要求提出后，仅苏联国家土建工程管理处各个研究院1980年按新的设计方案，在施工中节约了钢材和钢管需要量200多万吨。还选择推广了科学院、设计院和学院等以及各部和主管机关施工单位的几百个能大大降低钢材耗用量的有效技术规则。苏联还研究成功了几种钢材用量少的厂房设计，例如苏联轻工业部和国家土建工程设计院一起研究出的纺织工业新厂房设计方案ГПИ—1，可减少钢材耗量15%。利用轻混凝土Π形墙和盖板可节约钢材达16%。研制了各种先进的混凝土桩，但用量不多。还研制了塑料卫生间，每间可节约钢材100公斤，塑料窗框，每樘可节约钢材60%，以及塑料管，但用量不大。在ТП101—76的技术规则中还要求扩大钢筋混凝土桁架、屋顶梁柱、支座桥等结构以代替钢结构，每年可保证节约钢材用量40万吨以上。在地区，要求8级设防的单层工业厂房，包括有起重机荷载的情况下，屋架结构的跨度达18米以内的采用钢筋混凝土结构^[1]。

进入八十年代，苏联预计1981~1985年钢筋混凝土的用量将达9亿立方米，为此需用钢筋6700万吨，如此巨大的耗钢量需要更进一步地开展节约钢材的工作。首先要求发展那些可降低用钢量、降低建筑成本和劳动量、降低建筑物自重、提高保温性能的材料，发展高强度新型钢筋新品种。要求进一步改善钢筋混凝土构件质量，保证有系统地降低每个计算单位的单位用钢量，譬如每平方米围护面积或建筑面积的用钢量，每米管道用钢量等。并重新确定了IV、V级钢筋用作非张拉受压钢筋的范围，即首先用于柱子，为此要求钢筋条直径应在20~40毫米，这样由于少用了III级钢筋从而节约了很多钢材。苏联由于合金元素不足，要求研究冶炼更经济的新品种钢材，更广泛地利用热处理及冷处理加强方式，将受力钢筋的强度极限提高到160公斤/毫米²。要求提高热处理钢筋的耐腐蚀性能，扩大生产直径为6~8毫米

的低合金钢丝，并要求都是竹节型的。大大扩大 1×19 双股、三股钢绞线的生产，其断裂应力值提高到100吨。在装配式钢筋混凝土工厂中建立下面几条先进的生产线：无废料钢筋焊接线；无废料钢筋断料线；同类预埋件生产线；钢筋加工及电热张拉生产线^[27,28]。

综上所述，国外建筑业对钢材的节约十分重视，主要是通过技术先进来实现的，大量采用优质高强钢材和经济型钢品种，发展钢结构的新型式和新工艺，至于预应力混凝土技术，从结构和工艺到设计思想，都有了新的发展。由于钢结构有着其它结构形式所没有的优点，因此从综合经济效益考虑，国外钢结构的采用正在不断增加。目前，国外钢材节约途径和钢结构的发展趋势主要表现在以下几个方面：

利用电子计算机综合考虑各种因素，寻求结构最佳方案；

采用高强钢材，设计合理的型材断面，推广极限状态设计方法，加强集中受力杆件和减少次要杆件等；

扩大采用预应力技术，在桅杆结构、大跨度结构、薄板复盖的屋面板和墙板结构，优先采用预应力技术；

大跨度空间屋面结构方面，通过预应力使屋面板与桁架构成抗剪整体体系，提高了结构刚度，减小了结构高度；

近年来发展应用的空间网架体系，过去多采用钢管和球节点，但管材及节点造价均很高，近年来多采用压轧成型的杆件和螺栓连接，网架用钢量当跨度较大时才显示出经济效益，当考虑屋面板的共同作用和计算中考虑塑性变形时，尚可进一步提高经济效益，单层式双层网壳穹顶或板式穹顶结构最省材料。

（四）水泥

世界水泥产量将近9亿吨^[36]，发达国家的水泥供过于求。近年来，虽然许多国家水泥减产，但这是由于建筑业萧条而造成的，并不反映供需之间存在着如同我国那样的矛盾^[31]。

国外建筑业的水泥节约，可以从当今世界水泥混凝土技术的发展特点中看出来。其发展特点表现在三个方面：发展高标号水泥和高强混凝土，普遍使用混凝土减水剂尤其是高效能减水剂；积极利用工业废渣资源生产混合材水泥。

国外水泥平均标号和混凝土平均强度，近二十年来提高很快，日本水泥总产量中约90%以上的水泥相当于我国600号以上的纯熟料水泥。美国六十年代的混凝土强度就已达280号，七十年代提高到420号，预应力混凝土700号，预制钢筋混凝土一般为500~700号。部分已达800~1000号。苏联战后水泥产量和质量提高很快，水泥平均标号在五十年代就已达400号。而我国现浇混凝土标号仅为150~200号，预制、预应力混凝土标号仅为300~400号，因此国外混凝土标号普遍比我国高^[32]。利用高标号水泥配制较低标号混凝土可以节约大量水泥；利用高强混凝土不但可以减小构件截面、减轻结构物自重，从而节省原材料，而且还可以不用蒸汽养护，节约能耗，大大减少冬季施工费用，加快模板周转和施工进度。

混凝土中减水剂尤其是高效能减水剂的使用，是继十九世纪中叶法国首先出现钢筋混凝土，和二十世纪二十年代末法国E. Freyssinet创造预应力技术以来，在混凝土改性上的又一重大贡献。六十年代初，日本花王石硷（株）的服部健一研制成功的 β -萘磺酸甲醛缩合物钠盐减水剂，标志着混凝土减水剂研究应用的新的里程碑。

混凝土中掺高效能减水剂后，在达到同样混凝土强度时，水泥用量比不掺的可减少10%以上，这是已为国内外的应用实践所证实的。国外高效能减水剂主要用于三个方面：调整稠

度；配制流态混凝土；配制减水高强混凝土。调整稠度主要解决由于水泥初期水化、蒸发和骨料吸水等原因而导致水量减少，致使混凝土稠度随时间而变化，影响混凝土的运输、浇灌和振捣，从而使结构物的混凝土质量下降的问题。掺高效能减水剂调整稠度既简单又安全，改善了混凝土的匀质性，欧洲各国正在广泛应用〔33、34〕。

流态混凝土的应用目的主要是为了改善混凝土的施工性，提高施工效率，减少振捣和工程量，缩短工期。欧美国家如西德、英国、美国和加拿大等应用较多，其中西德居领先地位。日本的高效能减水剂主要用以配制高强混凝土，早在六十年代末七十年代初就利用高效能减水剂制造出抗压强度达800公斤/厘米²以上的高强度混凝土桩，1978年产量达297万吨，占日本混凝土桩生产总量的40%。但近年来，日本流态混凝土的使用量也在迅速增加，从1975~1978年初的三年中，有100多个工程使用了50万立方米流态混凝土。而美国近七、八年来对于利用高效能减水剂制备高强混凝土也颇感兴趣，主要用于浇灌十层以上建筑物的混凝土柱（强度为490公斤/厘米²以上）和生产其它预制构件。国外应用减水高强混凝土的目的，主要是为了提高生产效率，缩短蒸养时间，提高预制构件的强度和减少破损。国外认为，在混凝土中大量推广应用减水剂，至少可得到四个方面的技术经济效果：节约水泥；节约能源；提高强度和改善性能〔35、36〕。

第三个特点是利用废渣资源生产混合材水泥，从而节约水泥熟料，增加水泥产量。但国外混合材水泥近几年来之所以受到各国普遍重视，其主要原因是出于节约能源的需要〔37〕。

国外混合材水泥的研究重点是粉煤灰水泥和矿渣水泥，对于天然火山灰资源的利用也很重视，而粉煤灰水泥则是国外在混合材水泥研究中的一个重要领域，这决不是一时的权宜之计，而是带普遍意义的技术决策〔38〕。目前国外粉煤灰在水泥生产中的利用，总的来看，主要用作水泥原料代替粘土组分，而用作水泥混合材增产节约水泥的不多，主要是法国、西德、美国和东欧一些国家用得较为多一些。国外粉煤灰在水泥生产中的利用情况示于表13〔39〕。法国粉煤灰水泥的生产和应用在各国中是最好的，用作生产粉煤灰水泥的粉煤灰量约占粉煤灰

国外粉煤灰在水泥生产中的利用情况

表 13

国 家	粉煤灰排放量 (万吨/年)	粉煤灰利用率 (%)	调查年份	用于生产水泥的粉煤灰量	
				万吨/年	主 要 用 途
西 德	1500	56.8	1977	100	粉煤灰水泥
美 国	6820	24.1	1978	200	粉煤灰水泥和水泥原料
法 国	520	41.5	1978	100	粉煤灰水泥
英 国	1190	38.8	1977	13	水泥原料
苏 联	8000	5.0	1978	不明	水泥原料
保加利亚	500	2.0	1977	3	水泥原料
捷 克	1630	6.8	1977	0	—
匈 牙 利	510	7.0	1980	不明	—
东 德	1500	18.0	1977	2	水泥原料
波 兰	1500	36.7	1977	80	粉煤灰水泥
罗马尼亚	700	—	1977	30	粉煤灰水泥

总排放量的1/5,每年利用100万吨以上,不仅在硅酸盐水泥而且在矿渣水泥中也掺入粉煤灰。法国生产四种粉煤灰水泥:CPAC、CPALO、CPJ和CPMF。前两种的粉煤灰掺量为5~10%,但前者只掺粉煤灰,后者矿渣和粉煤灰同时掺加,后两种中的CPJ粉煤灰掺量达35%(或矿渣、火山灰、非活性填充物或两者复合),CPMF是粉煤灰与矿渣一起掺入,掺加量为50~70%,适用于海洋构筑物。法国还利用粉煤灰水泥配制砌筑砂浆,在掺加30%粉煤灰水泥配制的砂浆中加入约0.5~1.0%铝酸钠,以加速其凝结时间[40]。

西德水泥工业中粉煤灰使用量已达100万吨/年以上,并且还在不断增加。美国粉煤灰过去主要用作混凝土掺合料,最近几年已开始用于生产IP型(ASTMc595)火山灰硅酸盐混合材水泥,包括作为熟料烧成原料加以利用在内,每年利用量约在200万吨以上。英国的情况同其它国家不同,主要用作混凝土掺合料节约水泥,由于标准严格,因此不生产粉煤灰水泥,只少量用于熟料烧成,但英国把粉煤灰用于生产低强度的砌筑水泥,这种水泥是在硅酸盐水泥中掺入50%粉煤灰制成,年利用量约为6~13万吨。苏联认为粉煤灰在水泥中的最佳掺量为10~15%,在矿渣波特兰水泥中的掺量可达25%(取代部分矿渣)[41,42,43]。

国外高炉渣在水泥工业中作混合材增产水泥,在二次大战后,为了进行规模巨大的恢复建设,弥补水泥的匮乏,得到很大发展,产量迅速增加[42]。国外高炉渣的利用,据英国1979年的调查资料,主要用于筑路,其次是用于生产水泥(见表14)[44]。法国高炉渣用于水泥的

国外高炉渣的应用情况 单位:百万吨/年 表 14

国 家	排放量	用 于 道 路	用 于 混 凝 土	用于铁 路道渣	用 于 轻 骨 料	用于水泥	其 它 应 用	总 用 量	应 用 比 例(%)
日 本	26.9	12.4	2.44	0.25	—	1.52	肥料,填筑,销售11.6	24.5	91.0
美 国	27.5	20.97	20.97	4.44	0.45	0.23	—	26.09	95.0
加拿大	2.4	—	2.0	2.0	—	少量	生产矿棉,填筑	>2.0	100.0
德 国	11.3	7.2	少量	—	0.3	2.8 (进口1.0)	肥料,炉渣砖	>9.3	100.0
法 国	14.73	5.8	5.8	—	—	8.3	—	14.1	95.7
英 国	5.6	>6.0	0.45	0.45	0.16	0.16	作过滤介质	7.0	100.0

注:超过排放量,从贮料堆取用一部分。

量最大,年利用量达800多万吨,约占排放量的一半以上。日本于1979年10月修订JIS标准,修订的目的是发展省资源和省能源水泥品种,其主要点是:在制造普通波特兰水泥时,可把急冷高炉渣、硅质混合材、粉煤灰和石灰石粉末作为单独组分(作原料)混入,总混合量为5%,对水泥质量并无影响。过去日本生产的波特兰水泥是100%熟料的波特兰水泥,其产量占日本水泥总产量的90%,标准修改后,实际增加了350万吨水泥产量,同时水泥烧成能源节约3%[45,46]。目前国外矿渣水泥的生产和性能研究与国内相比无重大突破,唯在矿渣的生产方面,除慢冷(主要作骨料)和水淬(主要配制水泥)外,主要发展球粒矿渣(国内称膨珠),由加拿大首创,现已为澳大利亚、英国、芬兰、法国、美国、卢森堡、瑞典和威尔士等八个国家所采用。采用球粒矿渣作胶凝材料,并以不同比例掺入波特兰水泥,具有一般矿渣水泥的特性。若将它用作轻骨料配成混凝土,其抗压强度保持在8.3Mpa时,可节约水泥20%,吸水性小于29公斤/米³[40]。

上述三个方面体现了国外水泥混凝土领域的技术进步,由此而获得的节约水泥和增产水

泥的技术经济效益是巨大的。除此而外，在混凝土工程中利用粉煤灰作混凝土掺合料节约水泥，在国外早已有不少成熟经验，电厂应提供高质量的规格粉煤灰，就施工现场而言，关键在于有一个比较好的配合比设计。表15是英国L.T.ony等人提出的固定节约水泥用量和固定节约水泥百分比的两种不同的超量取代法，多数研究表明，以1:1（重量比或体积比）的等量取代法进行配比设计，会导致混凝土标号降低，而超量取代法能将水泥节约量固定在一定范围内，而不管相应的混凝土中原来的水泥用量有多少，这样，不论混凝土强度的高低，均能得到大致相等的节约效果〔47、48〕。

七十年代后期，国外许多国家十分重视利用硅粉作混凝土掺合料的研究。1983年7月31日至8月5日在加拿大召开的“粉煤灰、硅粉、矿渣和其它矿物副产品在混凝土中应用”国际会议上，把硅粉用于混凝土列为讨论的主要内容之一。由于硅粉中二氧化硅的含量极高（85~98%），颗粒呈细小的球形玻璃状，颗粒粒径仅为水泥的1/50~1/100，因此，与诸如粉煤灰等一般火山灰质材料相比，即使在普通温度下也显示出极大的火山灰活性。利用硅粉这些特点，可与高效能减水剂配合，配制超早强和高强混凝土、高抗渗混凝土、流态混凝土，尤其适用于蒸养混凝土制品，能使混凝土出池强度提高一倍左右，配制出高标号混凝土制品，从而可以收到节约水泥的技术经济效益。全世界1981年硅粉排量约100万吨，挪威年排量约12万吨，加拿大2万2千吨。挪威、丹麦等国已利用硅粉配制出强度达到1100公斤/厘米²的超高强混凝土；日本在水泥无机纤维材料、骨料配制的水泥制品中加少量硅粉，抗压强度由604公斤/厘米²提高到813公斤/厘米²，抗弯强度由260公斤/厘米²提高到300公斤/厘米²；美国和丹麦等国家利用硅粉来提高粉煤灰水泥的早期强度。自1976年开始，硅粉已经在一些混凝土预制厂、商品混凝土搅拌站以及一些特殊工程中开始小规模应用，各国对硅粉的利用日益重视，已经成为混凝土技术中有着较大发展前途的新技术〔49、50〕。

两种不同的超量取代法配合比设计 表 15

普通水泥混凝土		粉煤灰混凝土		
28天强度 (公斤/厘米 ²)	水泥用量 (公斤/米 ³)	水泥减少量		为保持相同的28天强度 所需粉煤灰(公斤/米 ³)
		(公斤/米 ³)	占原水泥用量 %	
(1) 固定节约水泥用量的超量取代法:				
170	210	50	23.8	133
320	285	50	17.5	113
469	340	50	14.7	100
573	395	50	12.7	75
(2) 固定节约水泥百分数的超量取代法:				
170	210	50	23.8	133
372	210	75	24.2	190
573	395	100	25.3	330