

综 述

人口、资源、环境与可持续发展是当今世界面临的重大问题。我国人口、食物、资源和环境长期以来处于紧张状态。我国是农业大国，农业用水量占总用水量的 70% 以上。长期以来，由于技术和管理水平落后、灌溉设施老化失修等原因，目前我国灌溉水的利用率仅为 45% 左右，与发达国家 80% 的利用率相差甚远，农业节水潜力很大。21 世纪我国人口高峰将达到 16 亿，农产品需求量和农业需水量也将达到高峰，而工业、生活用水的增加将会进一步挤占农业用水，缺水问题势必更加突出。因此，研究分析需水高峰期的农业需水量，探寻节水高效现代灌溉农业与现代旱地农业的建设途径，对保证 16 亿人口对农产品的需求和国民经济的持续发展，实现预期目标，具有重要意义。

本课题按人口—需求—需水—供水—节水的思路，分 2010 年和 2030 年两个时段，以 30 个省（市、区）和 10 个地区为单元，采取多方案对比分析，得出四点基本结论：

(1) 在节水高效利用条件下，我国的水土资源基本能保证未来 16 亿人口对 7 亿 t 左右的粮食与主要农产品的需求。

研究提出三个方案：第一个方案，为“以需定供”的方案。运算表明在农田灌溉可供水量 4000 亿 m^3 下，全国缺水地区的缺水量 2030 年为 277 亿~306 亿 m^3 ；第二方案，即“以供定需”方案，运算结果 2030 年全国粮食缺口为 5160 万 t，粮食自给率为 92.9%；第三个方案为减少部分农田灌溉用水方案，运算结果 2030 年全国粮食缺口 2230 万 t，粮食自给率为 96%，全国缺水量为 143 亿 m^3 。三个方案的粮食生产能力都能达到自给或基本自给。

(2) 华北地区人口、粮食、水资源不能平衡，是严重缺水地区。华北地区除高度节水外，实施“南水北调”，扩大华北的农田水资源供应量，是必要的。华北地区的灌溉规模将取决于节流与开源的深度与广度。

(3) 研究表明，潜力在于节水，30 年内节水的目标是提高灌溉水利用系数到 0.65，灌溉面积不少于 9 亿亩，水分利用效率达 $1.5\sim 1.8kg/m^3$ 。节水工程投资约 4000 亿元左右。

(4) 中国有潜力在未来提供商品粮地区有东北、长江中下游、蒙宁地区。东北地区可提供 0.35 亿 t 商品粮，最大潜力可达 0.5 亿 t 以上，是我国最大的稳定的商品粮生产基地。

报告提出：我国农业用水的战略目标是，要从传统的粗放灌溉农业和旱地雨养农业转变为建设节水高效的现代灌溉农业和现代旱地农业，其核心是提高水的利用效率；应重视旱地农业的发展，实施水旱并举、全面发展的方针；水利建设的重点应实行战略性的转移，水利建设投资的方向应转移到节水建设上来，建议国家把节水高效农业建设列入国家重大基础建设项目。

报告提出 7 条对策性的节水措施：

(1) 节水灌溉首先要充分利用当地水资源，包括降水、开发地下水、回收回归水和处理利用劣质水。

(2) 根据渠灌面积占灌溉面积近 75% 的实际情况，提出节水灌溉建设的重点应放在渠灌区，在北方地区实行井渠结合的灌溉方式。同时指出应把井渠结合作为灌溉节水重大技改项目实施。

(3) 节水灌溉技术以改进地面灌溉技术为主，有条件地发展喷灌和微灌。这是因为当前地面灌溉面积占灌溉面积的 97%，今后相当长时间内仍占主导地位。

(4) 加强农艺节水技术，提倡水利与农业技术结合，才能更好地提高用水效率。

(5) 加强旱地农业建设，充分利用降水资源和开发其它小水源，积极推广雨水集蓄利用等旱作节水工程技术。

(6) 依靠科技进步，采取常规技术与高新技术相结合的技术路线。近期以推广常规技术为主，努力开展高新节水技术的研究。

(7) 加强灌溉管理是实施节水灌溉的关键。按流域统一管理各类水资源方可做到保护与合理配置相结合，上中下游均衡发展。报告指出制定和推行合理的水价政策，是实现科学管理的核心。

一、农 业 需 水

(一) 人口与主要农产品需求预测

1. 人口预测

参照国家计划生育委员会、国家计委和国家统计局的人口预测数据，根据近 5 年的人口自然增长率和育龄妇女总和生育率的下降趋势，预测 2010 年和

2030 年我国人口将分别达到 13.9 亿 ~ 14.2 亿和 15.1 亿 ~ 16.1 亿 (见表 0-1)^①。

2. 主要农产品消费需求预测

农产品消费需求变化受人口数量、人口年龄结构、城市化水平、收入水平、居民消费行为等因素的制约。我国

农产品消费需求变化总的趋势是：粮食消费水平趋于稳定；食油、食糖消费将会有很大程度的增加；棉花消费需求有所增长；肉类消费总量将进一步提高，消费结构有所改变，其中，猪肉消费比例下降，牛羊肉、家禽消费量将进一步增加；蛋类消费量还将保持较高的增长速度，奶类消费量于 2010 年后可能会有较快增加；水果消费量继续增长，品种更加多样；水产品消费量仍将保持较高的增长速度。主要农产品需求现状与 2010 年和 2030 年需求预测见表 0-2。

表 0-1 人口预测方案 (单位：亿)

年份 方案	1997 年 (实际)	2010 年	2030 年
低方案	12.36	13.9	15.1
高方案		14.2	16.1

表 0-2 主要农产品需求现状与需求预测

项 目		年 份	1997 年	2010 年	2030 年
粮 食	人均量 (kg)		410	415	450
	总量 (亿 t)		4.942	5.747~5.783	6.812~7.257
棉 花	人均量 (kg)		3.7	5	8
	总量 (亿 t)		0.046	0.069~0.071	0.121~0.129
油 料	人均量 (kg)		17.5	24	30
	总量 (亿 t)		0.216	0.333~0.340	0.454~0.484
蔬 菜	人均量 (kg)		—	130	130
	总量 (亿 t)		—	1.798~1.839	1.968~2.096
水 果	人均量 (kg)		41	44	55
	总量 (亿 t)		0.509	0.611~0.623	0.833~0.888
肉 类	人均量 (kg)		42	48	50
	总量 (亿 t)		0.515	0.664~0.681	0.755~0.806
蛋 类	人均量 (kg)		17	19	24
	总量 (亿 t)		0.213	0.266~0.268	0.361~0.387
奶 类	人均量 (kg)		6	16	35
	总量 (亿 t)		0.077	0.221~0.227	0.530~0.564
水 产 品	人均量 (kg)		29	31	36
	总量 (亿 t)		0.360	0.428~0.453	0.544~0.582

① 本项目中有的课题组预测 2050 年全国人口为 16 亿人。

(1) 粮食人均需求量将呈逐步上升趋势。粮食需求总量将以 1.14% 的速度增长, 2010 年为 5.747 亿~5.873 亿 t, 人均 415 kg; 2030 年为 6.812 亿~7.257 亿 t, 人均 450 kg。其中饲料粮占粮食需求比重分别为 30%~40%。

(2) 棉花、油料、蔬菜、水果的人均需求水平和需求量也将有所增长。

(3) 肉类等畜产品的消费需求从目前至 2030 年将会有较快的增长。2010 年和 2030 年我国肉类需求量分别为 0.664 亿~0.681 亿 t 和 0.755 亿~0.806 亿 t。

(二) 种植业结构调整

建立面向市场和资源双重约束的节水型种植业结构, 优化各有关生产要素的时空配置, 最大限度地发掘农业自然资源的生产潜力, 是持续增进我国农业生产力和确保 21 世纪 16 亿人口食物安全的重要手段。20 世纪 80 年代以来, 我国种植业正经历着受众多因素制约的自我调整过程。1980~1996 年粮食作物面积占农作物总播种面积的份额下降了 6 个百分点, 经济作物和其他作物的份额分别上升了 3 个百分点。

1. 种植业结构优化的基本思路

(1) 结构优化的总目标。我国种植业结构优化的目标是“二元结构三元化”, 即把目前种植业生产以粮食为主兼顾经济作物的二元结构, 逐步发展成节水高效的“粮经饲”三元结构。其中又以进一步解决发展畜牧业的饲料问题为重点。

(2) 结构优化的重点。我国种植业结构优化的重点应放在: ①粮食稳步增长, 人均占有粮食的数量和质量逐步提高; ②经济作物和蔬菜相应发展; ③确立饲料作物在种植业中的地位; ④建立节水型种植业结构, 最大限度地摆脱水危机。

2. 种植业结构优化方案

依据对主要农产品的需求预测和对主要农作物单产预测的结果, 对所需要的作物种植面积作初步测算, 并结合基于灰色系统 GM(1, 1) 模型计算的作物播种面积变化趋势分析, 综合提出了 2010 年和 2030 年两个时段的种植业结构调整方案(见表 0-3)。

2010 年方案可概括为“433”模式, 即粮食作物占 40%, 经济作物占 30%, 饲料作物占 30%; 2030 年方案可概括为“334”模式, 即到 2030 年, 粮食作物占 30%, 经济作物占 30%, 饲料作物占 40%。

表 0-3 种植业结构优化方案 (单位:%)

项目 地区	粮食作物		经济作物		饲料作物	
	2010年	2030年	2010年	2030年	2010年	2030年
东北地区	36.8	30.8	15.2	16.2	48.0	53.0
华北地区	35.9	29.4	29.6	30.6	34.5	40.0
长江中下游地区	48.8	35.8	29.2	30.2	22.0	34.0
华南地区	44.5	42.5	32.5	33.5	23.0	24.0
蒙宁地区	50.1	46.6	19.9	20.4	30.0	33.0
晋陕甘地区	48.5	39.5	20.5	21.5	31.0	39.0
四川盆地	38.1	32.1	24.9	25.9	37.0	42.0
云贵地区	40.6	33.6	31.4	32.4	28.0	34.0
新疆	27.7	24.7	54.3	55.3	18.0	20.0
青藏地区	59.2	56.2	31.8	32.8	9.0	11.0
全国	41.4~45.4	30.4~35.4	28.6	29.6	30.0~26.0	40.0~35.0

注 经济作物包括蔬菜, 饲料作物包括粮饲兼用作物、肥饲兼用作物。

(三) 主要农作物灌溉及早作单产预测分析

1. 中华人民共和国成立以来粮食单产变化趋势

自1980年以来,我国粮食总产一直处于世界第1位,单产却仅处于第21位,还可能更低。但从增长幅度上讲,不论与国外比,还是与我国历史上比,我国粮食单产的增长幅度是比较大的。据统计,1949年到90年代初,我国粮食单产平均每年每亩增加3kg,单产增长了250.7%,而在同时期内世界粮食单产只增长了131%。据统计分析,我国粮食总产的增加主要依靠单产的提高。

2. 主要农作物单产预测

经过对多种方法的比较,以灰色系统GM(1,1)模型为基础,结合农业生态区域法,对灌溉地和非灌溉地的产量进行了订正;并用主要生态地区的主要农作物最高历史产量进行了上限订正。

稻谷、小麦、玉米和大豆等主要粮食作物以及棉花、油料等主要经济作物的单产预测结果见表0-4。

由表0-4可以看出,稻谷、小麦和玉米的单产,除云贵地区较低外,到2030年分别能达到400~550kg/亩、320~500kg/亩和350~500kg/亩。

表 0-4 主要农作物单产现状及中长期预测 (单位:kg/亩)

项目 区域	稻 谷			小 麦			玉 米		
	1997 年	2010 年	2030 年	1997 年	2010 年	2030 年	1997 年	2010 年	2030 年
东北地区	376	428	485	143	228	314	236	369	481
华北地区	413	499	577	307	393	505	267	389	498
长江中下游地区	343	426	497	167	242	332	234	302	391
华南地区	229	309	374	106	115	183	132	179	266
蒙宁地区	327	371	452	118	190	293	259	354	425
晋陕甘地区	307	381	441	153	218	321	169	264	357
四川盆地	341	415	478	151	241	331	203	266	376
云贵地区	166	181	220	58	77	121	109	134	195
新疆	352	415	521	225	293	449	350	422	518
青藏地区	231	264	318	230	328	416	233	320	429

项目 区域	大 豆			油 料			棉 花		
	1997 年	2010 年	2030 年	1997 年	2010 年	2030 年	1997 年	2010 年	2030 年
东北地区	98	120	175	73	130	172	39	50	72
华北地区	93	147	219	136	198	309	52	73	107
长江中下游地区	106	136	199	89	115	168	57	72	97
华南地区	69	80	121	82	114	143	21	22	24
蒙宁地区	47	80	95	45	64	107	80	96	178
晋陕甘地区	42	83	107	52	81	137	43	57	80
四川盆地	90	130	196	76	106	150	35	54	75
云贵地区	33	47	58	36	61	102	10	18	26
新疆	126	182	291	89	146	240	68	88	128
青藏地区	27	259	259	84	135	197	0	0	0

(四) 农作物灌溉需水量分析

1. 农田灌溉与粮食产量

我国的农业用水资源与农业发展的格局极不匹配。全国 81% 的水资源集中分布在长江及其以南地区，而该地区人口占全国的 53%，耕地仅占全国的 35%。长江以北的广大地区人口占全国的 47%，耕地占全国的 65%，水资源却仅占全国的 19%。南方地区，尤其是西南地区，尽管耕地亩均拥有水资源量高达 2.3 万 m^3 ，但受利用条件的限制，水资源利用率极低，区域和季节性农业缺水问题亦较普遍。

近 50 年的资料表明，我国粮食总产量与灌溉用水的变化趋于一致。从 50 年代初到 80 年代初的 34 年间，农业灌溉用水量增加了 2.5 倍，粮食总产量增

加了 2 倍；1980~1993 年的 14 年间，农业灌溉用水量增加了 10%，粮食总产量则增加了 8%。

1993 年我国粮食总产量为 4565 亿 kg，灌溉农田粮食产量则达 3353 亿 kg，占全国粮食总产量的 73.5%；灌溉农田亩均粮食产量为 447.7kg，是旱地粮食亩均产量的 2.48 倍。从灌溉农田与旱地粮食亩均产量比值的区域分布来看，水资源条件较好的南方地区比值较小，比值最小的地区为长江流域与西南诸河流域，分别为 1.82 和 1.9；而西北内陆河流域和黄河流域这一比值则分别达到 4.45 和 3.53，抗旱灌溉是这些地区农作物高产稳产的前提与保证。

2. 主要农作物灌溉定额

作物灌溉需水量的影响因素较多，而且作物生育期灌溉需水量在空间上存在不一致性，即使降雨、蒸发等气候条件相似的地区，亦因土壤质地、耕作制度等的不同而有较大的差异。由于本研究的计算空间单元（省、市）较多，且计算单元的区域较大，单一站点的试验数据代表性偏差较大。为此，作物灌溉需水量的计算采用综合估算法，即在计算单元内，以试验站点的数据为背景，以以往理论计算结果和经验估算数据作为验证与补充，结合近年农田灌溉的实际用水情况，经综合演算求得。

在中等干旱年条件下，主要粮食作物灌溉需水量的区域分布是：水稻单季在北方地区为 $300\sim 400\text{ m}^3/\text{亩}$ 在南方地区为 $250\text{ m}^3/\text{亩}$ 左右；小麦的平均灌溉定额在东北地区为 $80\text{ m}^3/\text{亩}$ 在华北地区为 $115\sim 155\text{ m}^3/\text{亩}$ ，在南方地区为 $40\text{ m}^3/\text{亩}$ ，在晋陕甘和蒙宁地区为 $150\sim 230\text{ m}^3/\text{亩}$ ，在新疆最高，为 $330\text{ m}^3/\text{亩}$ ；玉米的灌溉定额地区差别更大，在南方地区为 $30\sim 40\text{ m}^3/\text{亩}$ 在华北地区为 $120\text{ m}^3/\text{亩}$ 在东北地区为 $85\text{ m}^3/\text{亩}$ ，在晋陕甘和蒙宁地区为 $150\sim 230\text{ m}^3/\text{亩}$ ，在新疆仍然最高，为 $260\text{ m}^3/\text{亩}$ （见表 0-5）。

（五）耕地资源预测与潜力

1. 耕地资源利用现状与变化分析

（1）耕地构成。根据国家土地管理局 1996 年的调查，我国耕地面积为 19.5 亿亩，此数据较客观地反映目前的耕地现状，作为本次计算的基础数据。耕地结构中，灌溉耕地面积约为 7.76 亿亩，占耕地总面积的 39.8%，其中水田为 4.28 亿亩，占耕地总面积的 21.9%，水浇地面积为 3.48 亿亩，占

表 0-5 主要农作物净灌溉定额 (单位: m^3 /亩)

项目 分区	水 稻					小麦	玉米	其他 粮食	油料 作物	棉花	蔬菜	其他 经济 作物	人工饲草
	双早	双晚	单中	单季	平均								
辽宁				300	300	80	90	90	90	125	240	85	
吉林				282	290	85	85	85	90		250	90	
黑龙江				292	295	80	85	85	90		250	90	
北京				310	310	140	120	115	110	130	240	95	
天津				310	310	140	120	115	110	130	240	95	
河北				340	320	155	140	130	120	150	260	100	
山东				310	300	125	105	100	100	105	220	80	
河南				310	300	115	90	85	85	100	190	80	
上海			240		250	40	30	30	30	75	140	45	
江苏			250		260	50	30	30	30	75	165	45	
浙江	175	230	255		225	35	30	30	30	70	130	45	
安徽	185	230	260		225	35	30	30	30	65	130	40	
江西	190	255	255		250	45	30	30	30	75	140	50	
湖北	205	245	290		230	35	30	31	33	65	125	40	
湖南	200	252	270		230	35	30	30	30	65	125	40	
福建	210	250			225	40	30	30	30		110	40	
广东	210	250			220	40	30	30	30		110	40	
广西	205	235	275		230	40	30	30	30	80	110	40	
海南	215	250			240	40	30	30	32		110	40	
内蒙古东				400	420	210	160	110	110	180	300	115	140~200
山西				375	360	150	130	85	80	180	260	110	
陕西				350	360	150	130	85	80	160	240	110	
甘肃东				400	400	165	140	100	95	170	250	110	140~200
宁夏南				400	400	210	160	110	110	170	270	110	140~200
四川			255		250	60	45	30	50	80	120	60	
贵州	200		240		230	40	45	30	45		110	50	
云南	200		255		230	40	45	30	45		110	50	
内蒙古西				415	440	230	180	125	125	210	330	170	140~200
甘肃西				385	420	185	160	110	110	210	300	155	140~200
宁夏北				415	420	220	180	125	125	220	330	150	140~200
新疆				655	660	330	260	300	270	320	420	230	
西藏				350	420	195	160	120	130		310	140	
青海						200		110	110		350	160	140~200

17.8%；雨养农业的旱耕地面积为 11.74 亿亩，占总耕地的 60.2%。

(2) 耕地资源数量的变化。由于农业结构调整的失控、非农业建设占用土地的增加以及耕地受自然灾害毁坏严重，致使耕地面积呈下降趋势。根据国家土地局 1987~1995 年的统计资料，9 年间我国耕地净减少 3325 万亩，年均净减少 369 万亩。9 年间全国因占用、毁地和农业结构调整等共减少耕地 8522 万亩，年均减少 947 万亩。同时，在这 9 年间，耕地开发复垦总面积为 5197 万亩，年均 577 万亩，其中开垦宜农荒地 3607 万亩，占增加耕地面积的 69%。

(3) 后备耕地资源开发的潜力。根据农业区划办 1991 年调查的宜农荒地资源数据，考虑到 1992~1995 年开垦的面积，估计 1996 年初我国宜农荒地面积约为 1.88 亿亩，以新疆最多，为 7000 多万亩；其次是黑龙江及内蒙古，分别为 2165 万亩及 1579 万亩。以上三省宜农荒地面积占全国的 58%，宜农荒地在 500 万亩以上的还有宁夏、四川、广西等省区。

2. 播种面积需求与复种指数潜力

(1) 播种面积需求匡算。根据主要农产品需求、主要农作物单产和种植业结构的预测结果，2010 年粮食需求量为 5.7 亿~5.9 亿 t，粮食播种面积单产为 270 kg/亩左右，约需粮食作物播种面积 21.1 亿~21.9 亿亩左右；2030 年粮食需求量为 6.8 亿~7.3 亿 t，粮食单产为 350 kg/亩左右，约需粮食作物播种面积 19.4 亿~20.9 亿亩。根据作物结构粗略匡算农作物总播种面积应不少于 30 亿亩。

(2) 复种指数潜力。据分析计算，1952~1989 年全国粮食总产量净增加 2436 亿 kg，其中依靠复种指数提高而增加的产量占总增产量的 1/3。复种指数每增加 1 个百分点，即相当于扩大耕地面积 1440 万亩。依据土地评价结果，分析不同区域耕地的热量、水分、地形等限制因素，结合当地轮作倒茬制度的调整，综合分析各区域不同类型耕地的复种潜力，经加权平均推算出我国复种指数最高可达 1.69~1.70。在此基础上，根据对 40 多年分省（区）统计资料的分析，初步预测各省区的复种指数，经加权平均，得出 2010 年全国复种指数为 1.62，2030 年可达到 1.65。由此，在耕地面积减少的情况下，可基本保持播种面积的平衡（见表 0-6）。

3. 耕地资源发展预测

(1) 耕地总面积。为保证 30 亿亩的播种面积，耕地面积应保持在 18 亿~19

表 0-6 复种指数与播种面积预测

项目 分区	2010 年		2030 年	
	复种指数	播种面积 (万亩)	复种指数	播种面积 (万亩)
全 国	1.62	308364.8	1.65	303209
东北地区	1.02	32487.7	1.03	32254
华北地区	1.61	55109.9	1.65	54156
长江中下游地区	2.19	81559.9	2.22	80759
华南地区	2.27	32737.1	2.32	32335
蒙宁地区	0.99	13533.0	1.00	12993
晋陕甘地区	1.20	24990.1	1.21	23186
川渝地区	2.07	27650.9	2.11	27132
云贵地区	1.97	32478.0	2.00	31736
青藏地区	0.97	1549.7	0.99	1591
新 疆	0.98	6268.5	1.01	7067

亿亩。根据对未来各省(区、市)耕地占用和开垦发展趋势的分析,在比较分析多种方案的基础上,选择“严格控制占用耕地并适度开荒”方案:建设用地、结构调整等难以避免的占地,以及退耕还林还草与耕地的自然毁坏等控制在 8535 万亩,年均 569 万亩;为保持耕地的动态平衡,在不破坏生态平衡的情况下,有计划、有重点地开垦一部分质量好的宜农荒地,预计 15 年内开垦出耕地 3529 万亩,年均开垦 235 万亩。这样,1996~2010 年期间年均净减少耕地将降至 334 万亩,平均递减率为 0.17%。按此递减率,2010 年全国耕地面积为 19 亿亩,2030 年为 18 亿~18.5 亿亩。按地区的耕地发展预测结果见表 0-7。

(2) 耕地有效灌溉面积潜力。根据 1949~1996 年 40 多年的灌溉面积统计资料,按省区进行回归分析,可推算出 2010 年和 2030 年我国有效灌溉面积可发展到 8 亿~9 亿亩左右。而通过对耕地地形、水源、节水和灌溉技术等条件的发展趋势综合分析,我国耕地最大灌溉面积可达到 10 亿亩左右。从表 0-7

表 0-7 按地区的耕地面积与灌溉耕地面积预测(单位:万亩)

项 目 分 区	1996 年		2010 年		2030 年	
	耕 地	灌溉耕地	耕 地	灌溉耕地	耕 地	灌溉耕地
东北地区	32289.2	5254.83	31816	5648.0	31245	6276
华北地区	35268.7	20590.38	34219.3	22106.3	32868	24476
长江中下游地区	38054.6	23117.51	37275.3	24831.6	36304	27505
华南地区	14814.1	6961.41	14434.9	7484.0	13947	8315
蒙宁地区	14204.6	3296.20	13671.8	3565.5	12988	3936
晋陕甘地区	22130.7	5290.58	20777.7	5688.0	19142	6319
四川盆地	13753.6	4387.95	13357.9	4717.0	12859	5241
云贵地区	16987.6	2860.10	16510.3	3075.0	15890	3416
新 疆	5978.5	4413.08	6396.4	4744.0	6997	5271
青藏地区	1575.9	569.48	1591.6	612.0	1612	680
全 国	195057.5	76741.52	190051.2	82471.4	183852	91435

注 1996 年灌溉耕地面积数据来自水利部的资料。

可以看出,扩大有效灌溉面积的最大潜力仍在三大平原。

(六) 水土资源匹配与农田灌溉需水分析

1. 农田灌溉用水现状分析

(1) 水资源量。根据《中国水资源公报》(1997)(水利部,1998年11月),1997年全国地表水资源量为26835亿 m^3 ,与正常年水平相当;地下水资源量为6942亿 m^3 ;扣除地表水与地下水的重复量,全国水资源总量为27855亿 m^3 。人均水资源量仅为2220 m^3 ,约为世界人均水量的 $1/4$,排在世界的第121位。在区域分布上,长江以南及青藏高原地区的水资源量占全国的87%,而其他地区仅占13%,特别是华北地区的人均水资源量不足500 m^3 。

(2) 用水量。1997年全国总用水量为5566亿 m^3 ,与总供水量相当,其中农业用水量为3920亿 m^3 ,占总用水量的70.4%;工业用水量为1121亿 m^3 ,占总用水量的20.2%;生活用水量为525亿 m^3 ,占总用水量的9.4%。农业用水主要包括农田、林业、牧业的灌溉用水及水产养殖业、农村工副业和人畜生活等用水。农田灌溉用水是农业的主要用水和耗水对象,农田灌溉用水占农业总用水的比例始终保持在90%以上的水平。1997年全国农田灌溉用水量为3606亿 m^3 ,占总用水量的64.79%,占农业用水量的92%,是用水的大户。其中,南方和北方农田灌溉用水量各占全国的50%。目前农业用水占总用水的比重较高,但其发展趋势是不断降低,从1949年的97.1%逐步降低到目前的70%左右。尽管总用水量有所增加,而农业用水量近20年来基本稳定在4000亿 m^3 左右,工业和生活用水量则呈快速增长趋势。从长远发展分析,尽管总供水量可能有所增加,但农田灌溉可用水量将基本保持在4000亿 m^3 左右^①,增幅有限。

2. 农田灌溉需水与水土资源匹配的关系

根据上述各项预测结果,首先以省为单位初步匡算灌溉需水量和主要农产品产量的基础方案,再按农产品需求的低、高方案进行全国和区域的平衡,最后根据单位面积灌溉用水和粮食作物单产的关系,分别调整基础方案,形成与需求相应的农田灌溉需水的低、高4个方案(见表0-8~表0-11)其主要指标如下。

^① 据《全国水中长期供求计划研究报告》,水利部南京水文水资源研究所、中国水利水电科学研究院水资源研究所,1997年12月。

表 0-8 全国农田灌溉用水供需关系 (单位:亿 m³)

年份	项目 方案	农田灌溉 可用水量	供需平衡		农田灌溉 毛用水量	灌溉水 利用系数	农田灌溉 净用水量
			余水量	缺水量			
2010 年	低方案 (I-1)	3982	419.87	397.90	3959.43	0.59	2331.44
	高方案 (II-1)		382.12	440.89			4040.16
	低方案 (I-2)		357.22	646.78	4261.44	0.55	2331.44
	高方案 (II-2)		330.41	695.53			4346.51
2030 年	低方案 (I-1)	4011	680.07	277.55	3608.38	0.65	2362.07
	高方案 (II-1)		598.16	306.34			3719.08
	低方案 (I-2)		520.46	414.24	3900.43	0.60	2362.07
	高方案 (II-2)		456.53	464.09			4016.27

表 0-9 全国农田灌溉面积与平均灌溉定额

年份	项目 方案	灌溉播种面积 (万亩)	播面灌溉定额 (m ³ /亩)	灌溉耕地面积 (万亩)	耕地灌溉定额 (m ³ /亩)
2010 年	低方案 (I-1)	165324.76	239	82471.40	480
	高方案 (II-1)		244		490
	低方案 (I-2)		258		517
	高方案 (II-2)		263		527
2030 年	低方案 (I-1)	182944.13	197	91435.00	395
	高方案 (II-1)		203		407
	低方案 (I-2)		213		427
	高方案 (II-2)		220		439

表 0-10 2010 年分区水土平衡方案

项目 分区	农田灌溉 可用水量 (亿 m ³)	水土平衡		农田灌溉 毛用水量 (亿 m ³)	灌溉水 利用系数	农田灌溉 净用水量 (亿 m ³)	灌溉耕 地面积 (万亩)	耕地灌 溉定额 (m ³ /亩)
		余水量 (亿 m ³)	缺水量 (亿 m ³)					
全国	3982	330~420	398~696	3959~4347	0.55~0.59	2331~2378	82472	480~527
东北地区	334	49~58	0	275~285	0.50	138~142	5648	487~504
华北地区	612	0	186~271	798~883	0.60~0.65	518~530	22106	361~399

续表

项 目 分 区	农田灌 溉可用 水量 (亿 m ³)	水土平衡		农田灌溉 毛用水量 (亿 m ³)	灌溉水 利用系数	农田灌溉 净用水量 (亿 m ³)	灌溉耕 地面积 (万亩)	耕地灌 溉定额 (m ³ /亩)
		余水量 (亿 m ³)	缺水量 (亿 m ³)					
长江中下游地区	1317	89~120	66~183	1264~1411	0.55~0.60	759~777	24832	509~568
华南地区	501	11~23	71~109	549~600	0.55~0.60	328	7484	734~801
蒙宁地区	227	53~56	0	170~174	0.40	68~70	3566	477~488
晋陕甘地区	223	15~22	43~61	244~268	0.50~0.55	134	5688	429~471
四川盆地	193	0~7	0~12	185~204	0.55~0.60	112	4717	392~433
云贵地区	187	0	28~55	215~242	0.55~0.61	133	3075	699~787
新 疆	354	97~115	0	239~257	0.55	131~141	4744	504~542
青藏地区	34	17~18	4~5	20~23	0.45~0.50	10	612	327~376

表 0-11 2030 年分区水土平衡方案

项 目 分 区	农田灌 溉可用 水量 (亿 m ³)	水土平衡		农田灌溉 毛用水量 (亿 m ³)	灌溉水 利用系数	农田灌溉 净用水量 (亿 m ³)	灌溉耕 地面积 (万亩)	耕地灌 溉定额 (m ³ /亩)
		余水量 (亿 m ³)	缺水量 (亿 m ³)					
全 国	4011	456~680	277~464	3608~4016	0.60~0.65	2362~2432	91435	395~439
东北地区	337	93~117	0	220~244	0.55	121~134	6276	350~388
华北地区	593	0	187~276	780~869	0.65~0.70	546~565	24476	319~355
长江中下游地区	1343	119~248	1~37	1096~1262	0.63~0.70	767~789	27505	398~459
华南地区	491	8~19	48~80	520~564	0.60~0.65	336	8315	626~678
蒙宁地区	233	67~75	0	157~166	0.45	71~75	3936	399~422
晋陕甘地区	222	24~30	39~54	231~252	0.55~0.60	139	6319	366~399
四川盆地	198	0~13	0~4	185~202	0.60~0.65	120~122	5241	353~385
云贵地区	185	20~28	0~9	156~175	0.60~0.67	105	3416	457~512
新 疆	374	111~133	0	241~262	0.60	144~157	5271	457~497
青藏地区	36	18	2~5	20~23	0.50~0.58	12	680	294~338

— 方案代码 I 为人口预测低方案，2010 年达 13.9 亿，2030 年达 15.1 亿；II 为高方案，2010 年达 14.2 亿，2030 年达 16.1 亿。

— 人均粮食方案，2010 年为 415kg/人，2030 年为 450kg/人。

——方案代码 1 为灌溉水利用系数高方案，2010 年达 0.59，2030 年达 0.65；2 为低方案，2010 年达 0.55，2030 年达 0.60。

4 个方案的计算结果显示，从用水最少的低人口和高灌溉水利用系数方案（I-1）到用水最多的高人口和低灌溉水利用系数方案（II-2），东北地区、蒙宁地区、四川盆地和新疆均有一定量的余水，有进一步扩大灌溉面积的潜力。而华北地区、晋陕甘地区、华南地区、长江中下游地区、云贵地区和青藏地区均存在一定程度的缺水，扩大灌溉面积潜力不大。特别是华北地区将缺水 180 亿~270 亿 m^3 。

(1) 2010 年全国灌溉耕地面积为 82471 万亩，灌溉的播种面积为 165325 万亩，占总播种面积的 53.61%。在中等干旱水平年（ $P=75\%$ ，后同）的情况下，农田灌溉净需水量为 2331 亿~2378 亿 m^3 。如果灌溉水利用系数为 0.55，农田灌溉用水量达 4261 亿~4346 亿 m^3 ，则全国缺水地区的总缺水量可达 646 亿~695 亿 m^3 。在灌溉水利用系数提高到 0.60 后，农田灌溉用水达 3959 亿~4040 亿 m^3 ，与 1997 年农田灌溉实际用水量相比，多 360 亿~430 亿 m^3 。如农田灌溉供水量为 3982 亿 m^3 ，全国缺水地区共缺水 398 亿~440 亿 m^3 ，华北地区的缺水量占总缺水量的一半左右，黄土高原、华南和长江中下游等部分地区缺水严重；余水地区共余水 380 亿~420 亿 m^3 ，主要是长江中下游、东北、西北地区的部分省区（见图 0-1）。

(2) 2030 年全国灌溉耕地面积为 91435 万亩，比 2010 年增加 8963 万亩，灌溉的播种面积为 182944 万亩，比 2010 年增加 17619 万亩，占总播种面积的 60.34%，在 2010 年基础上又有所提高。农田灌溉净需水量为 2362 亿~2432 亿 m^3 。如果灌溉水利用系数为 0.60，农田灌溉用水量达 3900 亿~4016 亿 m^3 。则全国缺水地区的总缺水量将达到 414 亿~464 亿 m^3 ，其中华北地区缺水 247 亿~275 亿 m^3 ，占总缺水量的 60% 左右。如灌溉水利用系数在 2010 年的基础上进一步提高，达到 0.65 后，农田灌溉用水量达 3608 亿~3719 亿 m^3 ，低方案用水量与 1997 年实际用水量持平，高方案用水量比 1997 年多 100 亿 m^3 。而比 2010 年预测水平低 300 亿 m^3 。如农田灌溉供水量为 4011 亿 m^3 ，通过节水，大部分地区的缺水问题可得到较大程度的缓解，但部分地区如华北等仍然缺水严重，华北地区缺水量达 187 亿~213 亿 m^3 （见图 0-2），占缺水地区总缺



图 0-1 2010 年水土平衡示意图 (方案 II-1)(单位 :亿 m^3)

水量 277 亿 ~306 亿 m^3 的 67%~70%.

如果上述方案中人均粮食指标分别调整为 2010 年 400kg、2030 年 430 kg, 则可分别减少灌溉用水 330 亿~360 亿 m^3 、320 亿~400 亿 m^3 , 缺水问题有所缓和。但华北地区仍将缺水 100 亿~130 亿 m^3 。

(七) 农田灌溉需水方案比较分析

1. 以需定供方案

本方案即上节所阐述的农田灌溉需水与水土匹配方案, 姑且称其为基础方案。该方案是以粮食生产能力达到完全自给为前提, 运算结果表明: 在高效节水与人均粮食高指标下, 2010 年缺水地区的缺水量达 398 亿~440 亿 m^3 , 2030 年缺水量为 277 亿~306 亿 m^3 。如果在缺水地区不增加灌溉水源, 此方案达不到既定目标。

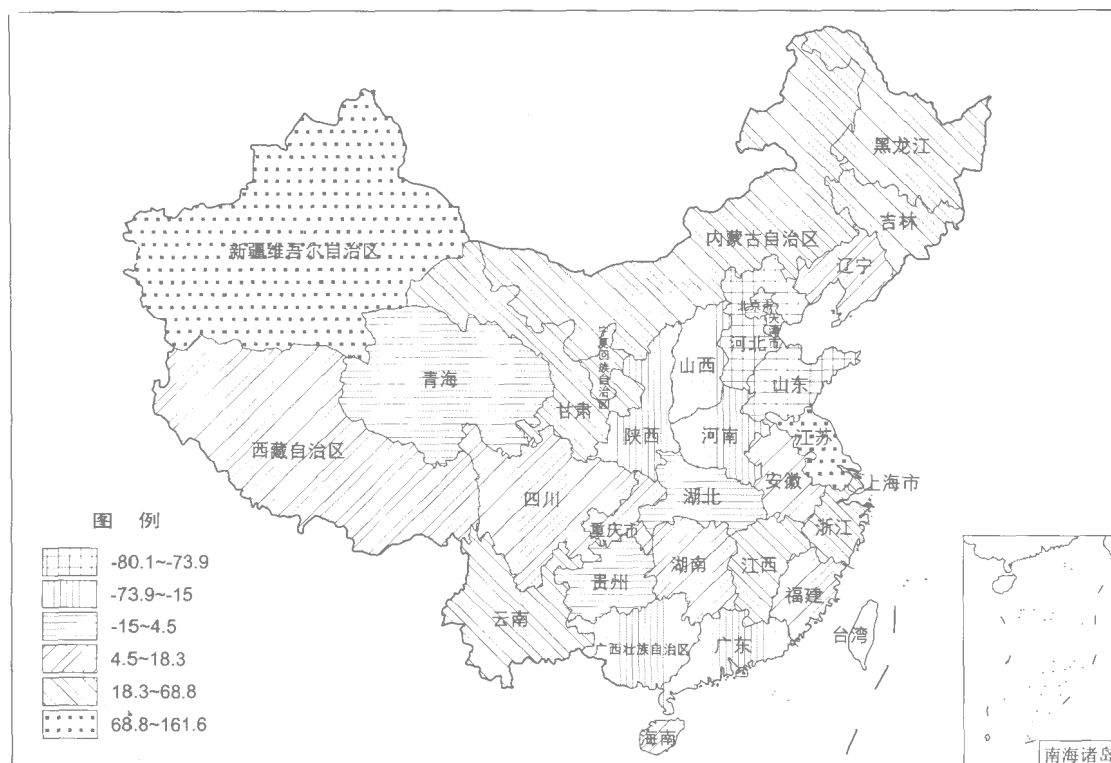


图 0-2 2030 年水土平衡示意图 (方案 I-1)(单位 :亿 m^3)

2. 以供定需方案

本方案是根据基础方案给出的各分区农田灌溉供水满足需求的情况。当需求不能满足时，减少灌溉面积，使农业需水与农业可供水量基本相等。同时，耕地仍然得到充分利用，即变水田和水浇地为旱作地。因为旱作农作物的单产低于水浇地的单产，而且旱作地的复种指数也低于水浇地的指数，因此使粮食总产量减小。

方案表明，2010 年在人口低方案、人均粮食 415kg 的组合情况下（见表 0-12），全国仍有 4880 万 t 的粮食供应缺口，粮食自给率达 91.5%。华北地区将缺粮 2830 万 t 华南地区缺粮 2830 万 t，晋陕甘地区缺粮 800 万 t。最大的余粮地区在东北地区，余粮达 2340 万 t。

表 0-13 列出的对应 2030 年人口高方案、人均粮食 450kg 的方案，说明在

表 0-12 2010 年农田灌溉用水供需平衡低方案

项目 分区	粮食 需求 (亿 t)	粮食 产量 (亿 t)	粮食 供需差 (亿 t)	灌溉毛 用水量 (亿 m ³)	农田灌溉 可用水量 (亿 m ³)	农田用水供需差		灌溉水利 用系数	灌溉耕 地面积 (亿亩)	灌溉定额 (m ³ /亩)
						余水量 (亿 m ³)	缺水量 (亿 m ³)			
全国	5.747	5.259	-0.488	3581.89	3982	443.53	0	0.59	7.29	491
东北地区	0.494	0.728	0.234	275.47	333.80	58.33	0	0.50	0.56	492
华北地区	1.257	0.974	-0.283	611.50	611.50	0.00	0	0.65	1.70	360
长江中下游地区	1.675	1.658	-0.017	1197.76	1317.40	119.64	0	0.60	2.35	509
华南地区	0.738	0.455	-0.283	478.85	501.40	22.54	0	0.60	0.65	736
蒙宁地区	0.134	0.191	0.057	151.85	226.50	74.65	0	0.40	0.31	490
晋陕甘地区	0.433	0.353	-0.080	238.84	222.50	27.69	0	0.55	0.45	530
四川盆地	0.539	0.542	0.003	185.37	192.70	7.33	0	0.60	0.47	394
云贵地区	0.361	0.232	-0.129	187.30	187.30	0.00	0	0.61	0.27	694
新疆	0.081	0.102	0.021	238.68	354.10	115.42	0	0.55	0.47	508
青藏地区	0.035	0.024	-0.011	16.27	34.20	17.93	0	0.50	0.05	325

表 0-13 2030 年农田灌溉用水供需平衡高方案

项目 分区	粮食 需求 (亿 t)	粮食 产量 (亿 t)	粮食 供需差 (亿 t)	灌溉毛 用水量 (亿 m ³)	农田灌溉 可用水量 (亿 m ³)	农田用水供需差		灌溉水 利用系数	灌溉耕 地面积 (亿亩)	灌溉定额 (m ³ /亩)
						余水量 (亿 m ³)	缺水量 (亿 m ³)			
全国	7.257	6.741	-0.516	3374.82	4011.00	598.16	0	0.65	8.29	407
东北地区	0.625	0.977	0.352	243.77	336.50	92.73	0	0.55	0.63	387
华北地区	1.587	1.185	-0.402	593.10	593.10	0.00	0	0.70	1.80	329
长江中下游地区	2.115	2.131	0.016	1124.02	1342.60	218.58	0	0.70	2.75	409
华南地区	0.932	0.570	-0.362	472.15	491.10	18.94	0	0.65	0.75	629
蒙宁地区	0.169	0.225	0.056	128.00	232.70	66.79	0	0.45	0.39	328
晋陕甘地区	0.546	0.437	-0.109	191.95	221.90	29.95	0	0.60	0.51	376
四川盆地	0.680	0.694	0.014	184.97	198.20	13.23	0	0.65	0.52	356
云贵地区	0.457	0.331	-0.126	156.91	185.10	28.19	0	0.67	0.34	461
新疆	0.102	0.157	0.055	262.43	373.90	111.47	0	0.60	0.53	495
青藏地区	0.044	0.034	-0.010	17.52	35.80	18.28	0	0.58	0.06	292

减少灌溉面积使农田灌溉用水供需平衡时，全国缺粮高达 5160 万 t，粮食自给率为 92.9%。其中华北地区缺粮 4020 万 t，华南地区缺粮 3620 万 t，晋陕甘地区缺粮 1090 万 t。云贵地区缺粮 1260 万 t。主要余粮地区仍是东北地区，余粮 3520 万 t。