

我国电力工业的发展

Development of China's Power Industry

周小谦

(电力工业部,总工程师 北京 100031)

一、我国电力工业的状况

我国电力工业 40 多年来发展很快,一直保持年均增长 11% 以上,进入 90 年代建设规模更加巨大,1990~1994 年每年新增装机容量都在 1 450 万千瓦左右。到 1994 年底,全国发电量 9 090 亿千瓦时,其中水电 1 704 亿千瓦时,火电 7 240 亿千瓦时,核电 139 亿千瓦时;全国装机容量达到 1.99 亿千瓦,其中水电 4 850 万千瓦,火电 14 800 万千瓦,核电 210 万千瓦。与此同时,我国电网建设也发展很快。现在,全国已有六个跨省区电网,其中华东电网装机容量达到 3 100 万千瓦,华北电网已接近 3 000 万千瓦,华中电网为 2 760 万千瓦,东北电网为 2 600 多万千瓦,南方四省区(广东、广西、贵州、云南)联营电网装机在 3 000 万千瓦以上,西北电网为 1 100 万千瓦,广东和山东两省的电网装机容量分别达到 1 960 和 1 152 万千瓦。全国现有 110 千伏及以上输电线路 24.4 万多公里,变电设备近 2.9 亿千伏安,其中 500 千伏线路 10 821 公里,变电设备 3 780 万千伏安;330 千伏线路 4 936 公里,变电设备 780 万千伏安;220 千伏线路 9.1 万多公里,变电设备近 1.6 亿千伏安。

我国火力发电设备研制从 50 年代中期 6 000 千瓦中压机组起步,现在已经发展到设计制造 60 万千瓦亚临界压力的成套设备,500 千伏输变电设备国内也能成套生产。随着电力装备技术的发展,再加上改革开放、引进设备、引进技术,使我国电力工业的技术装备和运行水平也不断提高,已经掌握了先进的 30 万、50 万和 60 万千瓦超临界火电机组、100 万千瓦级核电机组和 500 千伏交直流输变电工程的设计、施工、调试和运行技术;掌握了 180 米级的各类大坝的筑坝技术,大型抽水蓄能电站的施工技术;大型水、火电厂的控制方面已开发了先进的分散控制系统,各大电网的计算机监控调度系

统已进入实用化阶段,使电网运行和调度开始走上了自动化、现代化的管理。

我国电力工业虽以较高的速度发展,但是电力短缺仍是当前的主要矛盾。再有,我国电气化程度还很低,用电水平,特别是人均占有电力、电量水平仍然很低,电力技术水平、技术经济指标从总体来说也比较低。

当前我国电力发展的主要问题是:

1、不能完全适应国民经济发展的需要,缺电长期困扰经济的发展

世界各国在工业化阶段,电力弹性系数(即电力增长速度与国内生产总值增长速度之比)都大于 1,我国从“一五”到“五五”,也都大于 1,达 1.2~1.3。但“六五”开始,绝大多数年份电力弹性系数都小于 1,1980~1992 年平均只有 0.95,而同期世界各国平均电力弹性系数为 1.27。由于电力发展速度比经济发展速度和生活需求提高速度低,相应地也表现在发电设备容量与用电设备容量比例上的失调。原因是多方面的,主要是电力投资强度不足,电力投资占 GNP 的比例明显偏低。据初步调查分析,全国电力缺口约在 20% 左右。

2、电力供应水平低

由于电力供应不足,再加上人口众多,我国人均占有电力装机容量和发电量及生活用电量都很低。到 1994 年,人均装机容量仅 0.16 千瓦,人均发电量仅 750 千瓦时,人均生活用电量不到 70 千瓦时,人均占有发电量仅为世界平均水平的 25%。目前,全国尚有 26 个无电县,约 1 亿农民未用上电。即使用上电的,保证率也很低。不仅农村,就是城市居民和工业用电可靠性也很低,与国外供电可靠性达到 99.99% 相比,差距还很大。

3、电源结构不合理,火电比重大,水电开发利用率低,核电刚起步

目前我国电源结构中,火电占 74%(发电量占 80%),水电占 25%(发电量占 19%),核电只有 210 万千瓦,约占 1%。我国水利资源居世界第一位,可

开发容量 3.78 亿千瓦,年可发电量 1.92 万亿千瓦时,以 1994 年水力发电量 1 704 亿千瓦时计,开发率仅 8.8%,远低于世界平均开发率 20% 的水平。

4、电网建设落后于电源建设,供电可靠性差

长期以来在电力建设中,由于资金短缺,使电网建设欠帐较多,且电网建设技术标准较低,电网结构不强,电网稳定上容易造成大事故,电网损失亦较大;电网无功补偿容量和电压调整手段均欠缺,电压偏差较大,影响供电质量。此外,城市电网和农村电网设备陈旧老化,结构不合理,改造工作量大;电网通信和调度自动化建设起步较晚,总体自动化水平低;设备有效备用容量小,调节性能差,难以适应电力系统负荷变化峰谷差大的需要。

5、电力的技术装备整体水平低,经济性差

我国大容量、高参数的火电机组在总发电设备容量中的比重小,整个火力发电能耗高。1993 年 20 万千瓦以上机组容量仅占 6 000 千瓦以上机组总容量的 45.3%,全国平均单机容量只有 4.45 万千瓦;超期服役的中低压中小机组超过 3 600 万千瓦。这些机组煤耗高、效率低、机组老化;火电厂供电煤耗 1994 年为每千瓦时 413 克标准煤,比国外先进国家高 80~90 克;机组可用率较低,如 30 万千瓦机组 1992 年平均等效可用系数只有 76.8%,而引进的 35 万千瓦机组为 84.4%,国产 60 万千瓦机组只有 68.3%;电厂的水耗也比较高,一般二次循环电厂每百万千瓦耗水为 1 立方米/秒,而国外先进的只有 0.6~0.7 立方米/秒;此外,电网线损较大,近几年一直在 8.5% 左右,比国外高 1~2 个百分点。电力使用中的损失和浪费较大,据调查,全国输、变、配、用电的总合电能损失达 16% 左右。

6、环境污染严重

火电厂 SO_2 排放量约占全国的 1/3, NO_x 烟尘排放等也占全国的约 1/4,其它如热污染、噪音污染也都未得到很好的处理。

二、我国电力工业发展展望

本世纪最后几年是我国经济发展的关键时期。电力是国民经济的基础,关系国民经济的全局,因此电力工业的布局、电力的生产结构、消费结构和地区分布,必须结合经济布局、运输条件、用能方式、环保要求、可能达到的技术水平进行综合优化。

从当前的宏观经济条件来分析,在 2000 年前如不能加强电力需求端的宏观控制,要使电力紧张局面明显缓和十分困难。根据有关研究部门使用分行业预测法、产值单耗法、数量经济模型和电力弹性系数法等多种手段进行预测,“九五”期间即使国民经济按 8~9% 的速度增长,相应的 2000 年所需装机容量和发电量须分别达到 3.1~3.23 亿千瓦

和 14 500~15 200 亿千瓦时,也就是说要求“九五”期间每年分别新增 2 000~2 260 万千瓦、920~1 060 亿千瓦时,其相应的建设规模和投资规模都将非常巨大,设备、燃料、运输等外部支撑条件也将难以达到。从当前分析,到 2000 年全国发电装机容量达到 3 亿千瓦,其中水电 6 500 万千瓦,火电 23 200 万千瓦,核电 210 万千瓦,地热、风能等新能源约 100 万千瓦;全国发电量约 13 500 亿千瓦时,其中水电 1 900 亿千瓦时,火电 11 470 亿千瓦时,核电 130 亿千瓦时。这是必要的,也是有一定可能的。然而,届时我国电力供应还很难说有进一步的缓解,如果需求端未能有效控制,如果节能、节电工作没有长足进展,电力供应完全可能仍然十分紧缺。

在电力发展中,要根据我国资源特点,因地制宜,继续发展火电,努力发展水电,适当发展核电,积极发展新能源发电,同步建设电网,并在建设中注意节煤、节电、节水、节地,提高资源利用率,减轻环境污染,最后实现电力与经济、社会、环境等协调发展的总目标。

当前电力工业面临的首要任务是发展。电力的发展同样包括内涵和外延的扩大再生产,要把开发和节约摆到同等重要的位置。在发展电力工业的同时,要充分注意和高度重视保护环境。只有这样,才能保证社会经济实现长期、持续、健康地发展。

电力工业的布局应按照合理配置资源取得电力投资的最大效益,开发中西部能源资源以逐步缩小东、中、西的地区差别的原则,并根据我国能源资源分布特点和交通网建设的具体情况以及我国电力负荷分布特点,确定我国的电源布局。大体是在煤炭基地和负荷中心的路口、港口建设火电;在西南、西北积极开发水电;在经济发达而缺能的东部先建一些核电,并进口油气,建设燃气蒸汽联合循环电站;在新疆、三北及沿海风力带多建设风力发电,实现电力资源多样化。

1. 继续发展火电

这是根据我国目前已探明的能源资源构成与分布特点提出来的。在火电发展中,要积极采用高参数、大容量、高效率和高调节性能的设备,研究开发清洁燃煤技术,鼓励热电联产和热电冷技术的推广,适当发展燃气蒸汽联合循环电站,以逐步改善电源结构,提高发电效率。在火电布局上首先要考虑煤、电、运的平衡及负荷分布,以及减轻对运输和环境的压力,要考虑在有条件的煤炭基地建设一批坑口电厂;本世纪还要建设 5 000 万千瓦的电厂,以争取向负荷中心地区送电 3 000 万千瓦。在东南沿海、沿江地区要建设一批燃煤的港口电厂,2000 年前要建成约 2 300 万千瓦;适当发展燃气蒸汽联合循环电厂,2000 年前在广东、福建、浙江、江苏、上海等地拟进口一些油气燃料,建成约 500 万千瓦;根

据电网要求,充分发挥铁路运输潜力,适当建设一批路口电厂和负荷中心电厂;在“三北”地区和大中小型城市要积极推广热电联产,替代分散的小锅炉房。

2. 努力开发水电

优先加快水电的发展有利于改善我国电力工业的结构,降低能源消耗,减轻环境污染。在发展水电时,要贯彻“因地制宜,大、中、小并举”的方针,以及实行流域梯级滚动综合开发的方针,将水能资源和负荷分布密切结合,与电网建设密切配合,以进一步促进水电的开发。我国水电开发的重点仍然是黄河中上游和长江中上游的干支流,红水河、澜沧江中下游,乌江等水电基地。长江三峡工程、红水河龙滩水电站,以及澜沧江的小湾,雅砻江二滩、锦屏,大渡河的瀑布沟等水电站是我国水电建设工程的重点。在煤炭资源短缺、水能资源丰富的地区,如华中、福建、浙江、四川等,将挑选一批调节性能好、电能质量高的中小河流,进行梯级连续开发。初步统计,每年可以建设100多万千瓦的中小水电。在调峰能力弱、系统峰谷差大的电网,要加强抽水蓄能电站。各电网都有很大积极性,初步统计将有约500万千瓦在2000年前建成。

3. 适当发展核电

核电是我国电力发展的重要补充。可以预见,在下个世纪,我国的核电将大力发展,在能源平衡中的比例将逐步增加。发展核电要坚持“以我为主,中外合作”的方针,以压水堆为基本堆型,从现有的60万千瓦开始,中外合作,尽快掌握100万千瓦级核电成套设备的制造技术,并提高国产化程度,实现标准化和批量化,为21世纪更快发展创造条件。目前除秦山二期两台60万千瓦压水堆正准备开工建设外,广东、辽宁、浙江、福建、山东等沿海经济发达地区都准备利用外资引进100万千瓦级的核电设备,争取在本世纪约有800~1000万千瓦开工建设,其规划容量在2000万千瓦左右。

4. 积极发展新能源

在全球环境日益引起广泛注意和高度重视的条件下,新能源发电发展很快。发展新能源,2000年前除重点搞好风力发电场的建设外,还要积极促进和扶持太阳能、地热能、潮汐能和生物质能的发电试点和研究工作。新疆、内蒙、东北和东南沿海地区具有较好的风力资源,而且也已经开始相当规模的风电场建设,须进一步扩大建设规模,本世纪内建成风力发电场100万千瓦。太阳能、地热能和潮汐能发电要继续搞好试点,争取分别达到7万千瓦、10万千瓦、4万千瓦,并力争在西藏拉萨开始建设3万千瓦的太阳能发电站和高温地热电站,在西藏一些边远无电县开发光电池发电,解决无电县供电问题。在东南沿海要建设10万千瓦级潮汐能电站。

5. 同步建设电网

根据我国能源资源和电力负荷分布不均,以及地域广大的特点,必须加强和加快电网建设。2000年前要加强各区域的500千伏电网网架建设,主要是加强主网架建设和提高输电线路的输电容量,形成坚强的网络,以保证电网经济安全运行,并逐步开始区域电网之间互联,支持跨省送电工程的建设。预计到2000年前后,除已建成的华中—华东正负500千伏直流联网工程外,重点将以三峡电网工程为契机,推进四川、华中、华东电网的联网,并进一步促进全国联网工程的进程。与此同时,还要建设相应的火电基地的送电工程,如陕西宝鸡到四川成都、山西阳城到江苏淮阴,以及内蒙西部到京津唐的电网,山西王曲到山东的送电工程,都将建成投入运行。

我国12亿人口中,近10亿人生活在农村,农村电气化状况在一定意义上将决定国家电气化程度和现代化水平。农村电气化建设是农村实现小康生活的重要支撑条件。农村电气化建设要国家扶持和农村集资办电相结合,要集中供电和分散小型化供电相结合,要不断提高大电网供电范围和供电比例,同时要积极扩大利用当地可再生资源发电,重点开发小型水电站和各种新能源,解决当地用电需要。要加快农村电网建设和改造,逐步建成布局合理、结构协调、运行可靠的优质高效农村输电网络。1993年,全国县级以上用电量为2940亿千瓦时,尚有28个县约1.2亿人口未用上电,即使用上电的农村,也只有62%的行政村晚上生活用电保证率能达到80%。我国农村供电水平还很低,而且农村电网的结构不合理,损失很大。目标是到2000年全国消灭无电县,使农户通电率达到95%,并使全国县及县以下年人均用电量达到500千瓦时,农村人均生活用电量达到50千瓦时;同时建成1000个农村电气化试点县,其中以小水电供电为主的600个县达到初级电气化县标准。

6. 节煤、节电、节水、节地,提高资源利用率

节能、节电是电力资源平衡中一项重要资源,在资源优化配置中,应当放在重要位置。节电工作既是电力部门的工作也是全社会的工作。电力部门主要应抓好技术改造,继续实行“以大代小”政策,顶替超期服役和低效小凝汽机组;要提高现有12.5万、20万、30万千瓦机组及一些小水电站设备、电网和调度设施的自动化水平,降低煤耗、厂用电和线损,提高供电可靠性。要加强需求端管理,加强用电单耗管理、计划用电管理、调荷节电管理,鼓励蓄能、蓄热技术和转换高峰负荷和技术限电措施等。

根据经济研究单位的预测,21世纪开始头十年的经济年增长率约7.4~8%,按7.5%的速度安排电力建设,并考虑技术进步和加强节电及需求端负

荷管理,即电力弹性系数按 0.8~0.85 考虑,到 2010 年全国电力装机仍要求达到 5.4~5.5 亿千瓦以上,也就是要求十年内平均每年新增电力装机容量 2 400~2 500 万千瓦。即使如此,到 2010 年我国人口要达到 13.8 亿人以上,人均占有装机容量还不到 0.4 千瓦,电力供应水平仍然比较低。根据我国煤炭规划产量,火电只能按 4.05 亿千瓦左右考虑,而水电可按 1.1~1.2 亿千瓦安排,要求核电容量达到 2 000 万千瓦,新能源发电达到 500 多万千瓦。这些任务是十分艰巨的。另外在电网建设上要初步形成以三峡为中心的全国联合电网,最高电压等级预计仍是 500 千伏。农村要初步实现电气化。电力管理和电力技术经济指标要基本上达到国际先进水平。对于管理一个亿千瓦级的电网、兆千瓦级机组的电厂,处理高度自动化的技术,必须有高级的电力管理人才,因此要把科研和教育放到一个非常重要的位置。

作为一项非常迫切的任务,真正把节电和需求端管理作为一种资源来安排落实,并保证相应的投入,才能从管理中获得相当于 3 500~4 800 万千瓦装机的产出。

在 2010 年的装机中,火电装机达到 4 亿千瓦以上,在电力结构中仍超过 75%。要求山西、陕西、内蒙等煤炭基地和电站群的建设及早规划,抓紧实施,形成强大的火电基础。大的煤炭消耗所带来环境问题将是十分严峻的,煤的清洁燃烧技术必须有新的突破,以质量高、效率高而清洁的天然气等为燃料的燃气蒸汽联合循环机组要有所发展。从电力结构平衡来看,到 2010 年要求核电容量达到 2 000 万千瓦左右。到 2010 年水电要达到 1.1~1.2 亿千瓦,即十年内平均每年要新增水电容量 400~500 万千瓦。主要依靠三峡,但同时要加快西南金沙江、雅砻江、大渡河和云南澜沧江、贵州乌江、广西龙滩等的开发。新能源发电要从试点推向扩大建设规模。有条件的地方要鼓励和支持风电场、太阳能、地热、生物能发电,既要有一定规模的风电场和太阳能发电场,又要在全国范围内推开,积少成多,到 2010 年达到 500 万千瓦左右的规模。到 2010 年全国联网将初步形成,而相应的联网规划设计技术、装备技术、管理技术、通信调度技术都要能与之相适应。

三、电力工业发展的支撑条件

电力工业的发展面临四大问题:资金筹措,燃料供应,环境影响,设备供应。

电力工业是资金密集和技术密集工业,必须有巨大的资金供应,这是当前我国电力工业发展主要矛盾之一。应按照国际通用的电力投入占国民总产

值 2~3% 来安排资金供应规模,并允许电力企业借贷和利用外资。按照这些原则,只要电力发展与国民经济、社会发展是相适应的、成比例的,资金问题应能够解决。

燃料供应,特别是煤炭供应,总体上说是逐步趋于紧张的,在电力能源构成中,比重也难以下降。因此,首先要进一步加快煤炭(特别是大型煤矿)的开发,并相应地规划大型电站群的建设,以形成几个上千万千瓦的煤电基地;二是要提高电力设备效率,节约燃料使用;三是要提高电力使用煤炭比例,以提高能源使用效率,电煤占煤炭生产总量从 30% 上升到 60~70%,与发达国家的电煤比例接近;四是电力能源要多样化,一方面积极、充分利用太阳能,特别是大力开发水能、风能等再生能源,减轻对煤炭的压力。此外,还要适当进口一些高质量的能源用于发电。

关于环境问题,由于电力是能源消耗大户,因而电力对环境的影响是很大的,反过来环境对电力发展的制约和压力也很大。为使电力和环境能协调发展,首先电力工业发展要考虑如下几个方面。一是对新建电厂工程都要进行严格的环境评价工作,做到电厂工程建设与环境治理工程同时设计、同时施工、同时投入,使新建工程在水、气、固体及其他有害物的排放量方面控制在国家许可的排放标准内。对于老电厂不合乎排放标准的也要进行改造,使之合乎国家标准要求。二是在火电厂燃料选用上,要尽可能用经过洗选处理的精煤,特别是在大城市和人口密集、环境容量较低的地区。另外,要适当进口一部分天然气、油等能量密度高、相对清洁一些的燃料供电厂使用。三是大力发展新能源、再生能源发电,积极发展核能发电。四是逐步在火电厂推广脱硫、除氧化氮的装置。五是积极开展煤的清洁燃烧的研究。六是大力植树绿化,保证电厂拥有规定的绿化面积。

充分的以及高质量、高性能、低价格的电力设备供应是确保电力工业发展和提高电力装备技术水平的重要前提和基础,必须不断加强。

据测算,1994~2000 年需要新增发电设备容量约 1.4 亿千瓦,平均每年要新增 2 000 万千瓦发电设备。其中,单机容量在 10 万千瓦及以上的水电机组和容量在 30 万千瓦及以上的火电机组设备需求量约 1 亿千瓦,60 万千瓦级火电机组要 40 多台,30 万千瓦级火电机组要 140 多台,年均需求量 1 700 万千瓦。目前国内设备制造能力还达不到这样的供应规模。一方面须进一步提高国内供应能力,并支持国内制造厂与国外合作办厂,尽快提高大型发电设备制造能力和水平,增加品种;另一方面也要进口一部分国外设备以补不足。

目前,在电力设备供应方面,在品种、质量和性

光合能力反而会逐渐降低。

植物在高 $[\text{CO}_2]$ 。环境中提高光合速率增加的碳同化物主要用于自身的器官生长发育和形态结构建成。在高 $[\text{CO}_2]$ 。条件下,植物的根茎长度增加,叶片面积和厚度增大,营养器官如叶片、枝条和根系以及生殖器官如花、果实和种子的数目增多,体积增大。高 $[\text{CO}_2]$ 。也加速植物器官的发育,缩短器官完成生长发育需要的时间。但是,多数植物的额外碳同化物分配向根系的增长百分数高于向地上部的,分配向枝条和茎干的大于向叶片的。

$[\text{CO}_2]$ 。上升直接促进光合同化物的生产,间接提高植物获得光、水和养分资源的能力,加速植物的生长,结果使植物的生长量明显增加。鲍特尔(Poorter, 1993)总结许多试验结果后指出,和对照相比, $[\text{CO}_2]$ 。增加一倍,按干物质积累增加计算,植物生长量平均提高 37%, C_3 植物平均提高 41%, C_4 植物平均提高 22%,CAM(景天酸代谢途径)植物(这类植物夜间吸收固定 CO_2 ,白天同化还原 CO_2 合成糖)平均提高 15%。 $[\text{CO}_2]$ 。增倍,栽培的 C_3 禾本科作物和野生植物的平均生长量分别提高 58% 和 35%。在充分提供光照、水分和养分的试验条件下,酸橙实生苗在高 $[\text{CO}_2]$ 。环境中生长,干物质积累在三年内比对照增加了 1.7 倍。高 $[\text{CO}_2]$ 。对生长的促进效应在植物种间差异很大,而且这种促进效应和其它环境条件密切相关。

温度上升促进高 $[\text{CO}_2]$ 。对植物生长的增益效应。在高 $[\text{CO}_2]$ 。环境下, C_3 植物的光合适宜温度也升高,温度在一定范围内升高,叶片光合速率增大。在比较高的温度条件下,高 $[\text{CO}_2]$ 。对植物生长的增效作用更大些。如果温度偏低,一些植物的 CO_2 增益效应会降低为零甚至出现负值。但是,温度升高也会加速叶片和植株整体的呼吸消耗,高温对呼吸的促进作用大于对光合的促进作用;温度变化还会影响植物器官尤其是生殖器官的生长发育。

$[\text{CO}_2]$ 。上升减小叶片气孔开度,增大水蒸气通过气孔的阻力,降低单位叶面积的水分蒸腾速率,又因为单位叶面积净光合速率的提高,显著地提高叶片水分利用效率(WUE)。 $[\text{CO}_2]$ 。增倍,植物叶片 WUE 也会增加一倍。 C_3 植物的叶片 WUE 增加主要是由于净光合大幅度增长的结果,而 C_4 植物的叶片 WUE 提高主要是因为蒸腾减少的缘故。 C_3 和 C_4 植株的平均日 WUE 随 $[\text{CO}_2]$ 。增倍(350 到 700 ppmv)分别增加 35% 和 72%。一个生长季节,植物总 WUE 增长范围可能在 22% 到 44% 之间。生长季植物总的 WUE 提高,主要是干物质产量增加的结果,总的用水量也许不会减少。因为 $[\text{CO}_2]$ 。上升增加植物叶片面积,降低叶片蒸腾速率导致叶片温度上升,都会增加植株的水分用量。

不过,高 $[\text{CO}_2]$ 。可以缓解许多植物的水分亏缺

伤害。在干旱环境条件下,高 $[\text{CO}_2]$ 。会使植物积累更多一些生物产量,补偿干旱胁迫带来的损失;降低水分蒸腾速率,可以减少水分损失,提高叶片和整个植株的水势;它还促进一些植物的根系生长发育,也可能增加根系吸收和利用土壤水分的能力,增加水分供应,使得植物在缺水胁迫条件下维持比较长时间的生长和同化物生产,增强植物的耐旱能力。高 $[\text{CO}_2]$ 。增加植物体内的非结构碳水化合物含量,降低细胞的渗透势,也可能提高植物对于干旱胁迫的主动渗透调节能力。

在养分不足条件下,许多植物的 $[\text{CO}_2]$ 。生长增益效应变化不大。高 $[\text{CO}_2]$ 。促使植株积累比较多的碳同化物,提高养分利用效率。但是,严重养分不足会降低植物的高 $[\text{CO}_2]$ 。生长增益效应,增加植物需要的矿质元素供应有可能提高 CO_2 的生长促进作用。在高 $[\text{CO}_2]$ 。环境中,豆科植物的固氮作用增强,非豆科植物的氮素利用效率提高。

三. $[\text{CO}_2]$ 。和气候变化对农业生产 的潜在影响

农业生产的目的是提高大面积栽培植物的经济产量。国外许多科学研究工作已经肯定高 $[\text{CO}_2]$ 。对农作物产量的增益效应。 $[\text{CO}_2]$ 。增倍,水稻、玉米、大豆、小麦和棉花经济产量分别提高 15%、19%、29%、35% 和 80%。近几十年来,全世界谷物单产年相对递增率 2.3%(1959 年 1 400 公斤/公顷,1986 年 2 600 公斤/公顷), $[\text{CO}_2]$ 。增加带来的肥料效应所起的作用大约占 5~10%。

水稻在高 $[\text{CO}_2]$ 。条件下生长时间长了,叶片光合能力会下降,叶片羧化酶的含量和活性都降低。 $[\text{CO}_2]$ 。超过 500 ppmv 后,水稻群体光合速率、干物质重量和产量都不再提高。比较高的 $[\text{CO}_2]$ 。增加水稻的分蘖,因而使穗数增加,提高了干物质和籽粒产量,稻谷千粒重的变化不大。 $[\text{CO}_2]$ 。上升和温度升高会缩短水稻的营养生长发育期,作物的生长季可能缩短 10~12 天。但水稻花期日平均气温超过 26℃,气温每升高 1℃,水稻将会减产 10%,因为过高的温度会导致花序不育。水稻的日 WUE 可能因为 $[\text{CO}_2]$ 。翻番(从 330 到 660 ppmv)增加 27%,温度升高会增加用水量,降低水分利用效率。

玉米和高粱、甘蔗都是栽培的 C_4 植物。在高 $[\text{CO}_2]$ 。条件下,它们的光合速率提高幅度低于 C_3 植物,所以产量的增益效应也比较低。但是,高 $[\text{CO}_2]$ 。减小玉米叶片气孔开度,增大水分散失阻力,减少叶片的水分蒸腾消耗,提高叶片水势和作物的耐旱能力,将会有利于在我国部分干旱和半干旱地区栽培种植,适应未来可能出现的高温 and 少雨气候变化。