

文章编号: 0559-9350 (2000) 11-0021-06

中国区域发展的水资源支撑能力

汪党献¹, 王浩¹, 马静¹

(1. 中国水利水电科学研究院 水资源研究所, 北京 100044)

摘要: 我国水资源的人均占有量偏低, 时空分布变异性大, 与人口、生产力和矿产资源的区域匹配状况不理想, 生态环境相对脆弱. 这些水资源特性, 对我国 21 世纪的区域发展将会产生重大影响. 本文从区域发展的水资源特性分析入手, 在论述区域发展的水资源保障作用的基础上, 提出了定量研究区域发展的水资源支撑能力的指标体系和计算方法, 并进而对我国各区域发展的水资源支撑能力进行了分析和判断.

关键词: 水资源; 区域发展; 支撑能力

中图分类号: TV 213

文献标识码: A

淡水资源是基础性自然资源, 系生态环境建设的控制性要素; 同时又是战略性经济资源, 为综合国力的有机组成部分. 联合国《世界水资源综合评估报告》指出: 水问题将严重制约 21 世纪全球经济与社会发展, 并可能导致国家之间冲突. 我国水资源的人均占有量偏低, 时空分布变异性大, 与人口、生产力、资源的匹配状况不理想, 生态环境相对脆弱. 这些水资源特性, 对我国 21 世纪的区域发展将会产生重大影响. 如何正确评价和判断各区域发展的水资源支撑能力, 进而相应地制定与水资源相协调的区域发展战略, 并由此进行区域发展总体规划, 越发显得重要, 本文将对此进行分析研究.

1 区域发展的水资源特性

一个区域的发展程度, 通常可以采用人口、国内生产总值 (GDP)、工业总产值、耕地、灌溉面积和潜在矿产资源价值等指标来衡量. 区域发展的水资源特性, 就是分析研究水资源与这些指标的匹配程度及其对这些指标进一步发展的支撑能力. 基于对表 1 和表 2 的数据分析, 可以初步归纳出我国区域发展的水资源特性如下所述.

1.1 水资源与人口分布不相协调 1993年国际人口行动提出的“持续水—人口和可更新水的供给前景”报告^[1]认为: 区域人均水资源量, 少于 1700 m³ 将出现用水紧张 (water stress) 现象; 少于 1000 m³ 将面临缺水 (water scarcity); 少于 500 m³ 则严重缺水 (absolute scarcity). 按此标准, 则我国有 8 个省级区面临缺水或严重缺水, 4 个省级区用水紧张 (过境水大的省市除外). 全国人均水资源占有量低于全国平均水平的省级区有 18 个, 且基本都在我国北方地区. 如若按上述标准, 则全国目前有 4.3 亿人口面临缺水, 其中 3.9 亿的人口面临严重缺水.

1.2 水资源与生产力布局不相协调 我国东、中、西三大经济地带 GDP 比例为 58:28:14, 水资源的构成为 27:25:48. 北方片 GDP 占全国的 45%, 而水资源不到 20%. 黄淮海地区 GDP 和工业总产值约占全国的 1/3, 而水资源仅占 7.7%; 西南诸河流域片, 水资源占全国的 21.3%, 但 GDP 和工业

收稿日期: 2000-01-10

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目资助 (编号: 199904010202).

作者简介: 汪党献 (1966—), 男, 安徽安庆人, 高级工程师, 主要从事水资源与区域发展研究.

总产值仅为全国的 0.7%和 0.4%。由此可见，我国水资源与生产力布局不相协调。

表 1 我国省市区水资源与人口、GDP、耕地和矿产资源价值分布状况^[2-5]

省 (市、区)	水资源 总量	单位面积 水资源量	人口		GDP		耕地面积		45 种潜在资源价值	
			总量	人均占有 水资源量	总量	百元占有 水资源量	总量	每 hm ² 占有 水资源量	价值量	百元占有 水资源量
			/亿人	/m ³	/亿元	/m ³	/万 hm ²	/m ³	/亿元	/m ³
北京	40.8	24.4	1240	329	1810	2.3	34.4	11865	160.1	25.5
天津	14.6	12.6	953	153	1240	1.2	48.6	3000	121.6	12.0
河北	236.9	12.6	6525	363	3954	6.0	688.3	3435	2198.3	10.8
山西	143.5	9.2	3141	457	1480	9.7	458.9	3135	11529.2	1.2
内蒙古	506.7	4.3	2326	2178	1095	46.3	820.1	6180	5035.6	10.1
辽宁	363.2	24.6	4138	878	3490	10.4	417.5	8700	2436.6	14.9
吉林	390.0	20.8	2628	1484	1447	27.0	557.8	6990	492.1	79.3
黑龙江	775.8	17.1	3751	2068	2708	28.6	1177.3	6585	2194.4	35.4
上海	26.9	42.2	1457	185	3360	0.8	31.5	8535	3.5	768.6
江苏	325.4	31.7	7148	455	6680	4.9	506.2	6435	401.8	81.0
浙江	897.1	88.1	4435	2023	4638	19.3	212.5	42210	55.7	1610.6
安徽	676.8	52.1	6127	1105	2670	25.3	597.2	11340	1998.5	33.9
福建	1168.7	96.3	3282	3561	3000	39.0	143.5	81465	116.1	1006.6
江西	1422.4	85.2	4150	3428	1715	82.9	299.3	47520	595.6	238.8
山东	335.0	21.4	8785	381	6650	5.0	768.9	4350	2374.5	14.1
河南	407.7	24.4	9243	441	4079	10.0	811.0	5025	2179.1	18.7
湖北	981.2	52.8	5873	1671	3450	28.4	495.0	19830	388.7	252.4
湖南	1626.6	76.8	6465	2516	2993	54.3	395.3	41145	1249.8	130.1
广东	1817.7	102.2	7051	2578	7316	24.8	327.2	55545	459.0	396.0
广西	1880.0	79.4	4633	4058	2015	93.3	440.7	42660	488.4	384.9
海南	316.4	93.2	743	4258	410	77.2	76.2	41520	87.5	361.6
四川	3133.8	55.0	11472	2732	4670	67.1	916.9	34185	13239.4	23.7
贵州	1035.0	58.8	3606	2870	793	130.5	490.3	21105	1736.9	59.6
云南	2221.0	56.4	4094	5425	1644	135.1	642.2	34590	2648.7	83.9
西藏	4482.0	36.5	248	180726	77	5820.8	36.3	1236075	43.6	10279.8
陕西	441.9	21.5	3570	1238	1326	33.3	514.0	8595	1443.5	30.6
甘肃	274.3	6.0	2494	1100	781	35.1	502.5	5460	1048.1	26.2
青海	626.2	8.7	496	12625	202	310.0	68.8	91020	748.2	83.7
宁夏	9.9	1.9	530	187	211	4.7	126.9	780	802.3	1.2
新疆	882.8	5.3	1718	5139	1050	84.1	398.6	22155	1012.3	87.2
合计	27460	29.3	123626	2221	76954	35.7	13003.9	21120	57289.0	47.9

注：四川省含重庆市。

1.3 水资源与耕地资源分布不相协调 我国耕地和灌溉面积主要分布在北方，分别占全国的 65%和 59%，但其水资源总量占全国却不到 20%。南方地区耕地每 hm² 水资源量为 49065 m³，而北方地区只有 6315 m³，前者是后者的 7.8 倍。在全国耕地每 hm² 水资源量不足 7500 m³ 的 11 个省市区中，北方地区占了 10 个。耕地每 hm² 水资源占有量超过 30000 m³ 的 11 个省区中，北方地区仅有青海省 1 个。此外，我国有 13333 万 hm² 可耕后备荒地，又主要集中在我国北方地区。

表2 我国水资源与主要发展指标的区域分布结构^[6-7]

地带	分区	分布比例 (%)						每 hm ² 水资源/ m ³	人均水资源/ m ³
		总人口	GDP	工业产值	灌溉面积	耕地面积	水资源		
经济带	东部	41.2	58.0	65.4	40.4	28.4	27.0	20085	1473
	中部	35.7	28.1	25.6	38.6	43.2	25.2	12345	1586
	西部	23.1	13.9	9.0	21.0	28.4	47.8	35460	4643
流域分区	松辽河	9.6	10.4	9.8	9.3	20.2	7.0	7335	1646
	海河	10.0	11.6	11.9	13.8	11.3	1.5	2865	343
	淮河	16.1	14.1	13.9	19.2	15.2	3.5	4860	487
	黄河	8.6	6.7	5.6	9.2	12.9	2.7	4440	706
	长江	34.4	33.2	34.1	28.0	23.7	35.0	31185	2289
	珠江	11.9	13.5	13.4	8.0	6.7	17.1	54030	3228
	东南诸河	5.6	8.1	9.9	3.7	2.5	7.2	60510	2885
	西南诸河	1.6	0.7	0.4	1.4	1.8	21.3	250065	29427
	内陆河	2.2	1.7	1.0	7.4	5.7	4.7	17595	4880
地域分区	北方片	46.5	44.5	42.2	58.9	65.3	19.4	6315	941
	南方片	53.5	55.5	57.8	41.1	34.7	80.6	49065	3386
全国		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	21120	2221

注：经济带数据根据表1数据，东部包括辽、京、津、冀、鲁、苏、浙、沪、闽、粤、琼、桂；中部包括黑、吉、蒙、晋、豫、皖、湘、鄂、赣；西部包括陕、甘、宁、青、新、云、贵、川、渝、藏；南、北方片按流域统计，北方片包括松辽河、黄、淮、海和内陆河，其它为南方片，数据按文献^[6-7]整理。

1.4 水资源与其它矿产资源分布不相协调 我国矿产资源现已查明的潜在价值，北方片占59%、南方片占41%；每百元拥有水量，北方片为16 m³，而南方为94 m³，华北地区仅为西南地区的1/10。具有丰富煤炭资源的山西和宁夏，每百元矿产资源潜在价值拥有水量几乎是西藏的1/10000。水能资源可开发利用量也很不平衡，受西高东低地形条件的限制，长江片占全国的53%，西南诸河片占全国的26%，黄河片与珠江片各约占全国的6%。若按传统的行政大区划分，则西南地区的水能可开发量为全国的68%，中南地区为16%，西北地区为10%。

1.5 水资源空间分布与生态环境水需求不相协调 我国国土辽阔，降水和蒸发在不同地域变化较大，生态环境空间特征差异明显，单位面积水资源产水量严重不平衡。全国单位面积产水量平均为29.3万 m³/km²，但全国有15个省级行政区低于平均值，且都在干旱、半干旱的北方地区。这些地区生态环境建设和保护对水资源的需求较大，而这些地区水资源又相对不足。这种水资源空间分布对我国区域发展的影响是不利的。

2 区域发展的水资源保障

2.1 水资源与人口增长 我国的水资源量约占世界的5%，而人口占世界的22%，随着人口的不断增加，人均占有水资源量持续减少，预计我国人口高峰时将减少到1700 m³。在人口增加的同时，城镇化进程将加快发展，我国的城镇化率目前为30%左右，至21世纪中叶将超过9亿人生活在城镇，致使城市用水量大幅度增加，加剧了局部地区高强度需水与水资源天然分布不相适应的矛盾。以致部分地区不得不压缩部分农业用水，或将优质水优先保证城市供水，进一步加重水资源供需紧张局势。

2.2 水资源与粮食生产 农业生产对确保我国粮食安全和社会经济的持续发展具有决定性意义。由于气候条件限制和用水效率低，我国生产1 kg粮食要补充1.23 m³的水，而加拿大和美国则仅需0.07 m³和0.93 m³的水。据调查，我国水稻产量为7275 kg/hm²左右，水浇地产量为4500 kg/hm²

左右,而非灌溉旱地产量仅为 2100 kg/hm^2 左右.我国在不足耕地总面积 $1/2$ 的灌溉面积上提供了全国 65% 的粮食、 60% 的经济作物和 80% 的蔬菜.按照人均 400 kg 粮食占有量计算,在达到人口高峰时,粮食生产量至少需新增 1.5 亿 t 以上.因而,增加农业供水、发展灌溉面积、提高灌溉用水效率及保证率是至关重要的.

2.3 水资源与经济发展 据历史资料及分析,目前及今后相当长时期内国内生产总值增长对水资源增长的弹性系数为 $0.12 \sim 0.20$ 左右,即 GDP 每增长 $5 \sim 8$ 倍,需水总量的增长为 1 倍.经济增长导致需水增长,从而要求扩大供水能力,供水能力扩大要求投资增加;水投资总量和结构的变化会影响到其它经济部门的生产能力,进而又影响到长期的需水变化.供水及水资源综合利用为国家重要基础产业,缺水会导致巨大的国民经济损失.据分析,目前农业缺水每 m^3 要损失粮食 0.85 kg ,工业缺水每 m^3 要损失产值 $30 \sim 40$ 元,损失 GDP 约 $10 \sim 15$ 元.因此,经济增长与水资源开发利用之间有十分密切的关系.

2.4 水资源与生态环境保护 水资源是生态环境建设的重要因素.目前我国面临的河湖萎缩、森林草原退化、土地沙化、水土流失、灌区次生盐渍化、地表地下水体污染等问题皆和水资源密切相关.由于人口密度大,水资源利用程度高,地下水位下降,造成了局部地区森林草地资源的劣变;大规模河道外用水导致了河流下游河长缩短、尾间湖泊水面面积萎缩甚至消失,我国北方地区很多河流已成为季节性河流;植被退化导致了水土流失,不当的灌溉方式加重了次生盐渍化;污水废物的排放量持续增加,污水处理相对滞后,形成了大范围的水体污染,进而导致了有效水资源量的减少.水资源保护与水环境治理是区域可持续发展的有机组成部分,经济发展和生态环境保护之间的用水竞争性加大.

3 区域发展的水资源支撑能力

我国水资源空间上分布的不平衡性与全国人口、耕地、矿产资源分布上的差异性,特别是业已形成的生产力布局与水资源的不相协调,使我国许多地区未来的发展面临着水资源支撑能力相对不足的困境.作为重要的、基础性的资源,水资源禀赋及其合理配置、高效利用,将关系到我国 21 世纪区域可持续发展战略的实施和发展目标的实现.

3.1 指标的选取 在区域水资源发展特性分析的基础上,选取水资源及其利用、区域发展和生态环境状况三个方面,共六类指标,进行分析和判断我国各区域发展的水资源支撑能力.因人口分布的差异,指标采用人均量.这些指标的选取,主要基于以下考虑:(1)取人均水资源量和人均供水量两指标来反映水资源及其利用情况.人均水资源量可综合反映区域发展的水资源条件,为区域发展的基础性指标.人均供水指标从两方面反映水资源对区域发展支撑能力的影响,其一为反映现状水资源开发利用程度对区域发展的支撑能力;其二为反映客水(过境水)的利用对区域发展的影响.人均供水量超过人均水资源量的地区,一般说存在利用客水资源现象,因而要考虑客水对区域发展的影响.如地处长江下游的上海和黄河中上游地区的宁夏,大量利用长江和黄河的客水,其区域发展受到水资源的制约性影响则相对较小.(2)区域发展指标取人均 GDP、人均耕地面积和人均潜在矿产资源价值三类. GDP 为区域生产力发展水平的综合性指标,人均 GDP 则反映区域人口的富裕程度和生活水平.人均耕地面积是区域发展的水资源支撑能力的一个重要方面,为水资源对区域农业发展与粮食生产的保障能力.人均耕地面积指标比人均灌溉面积指标,更能反映水资源的稀缺对农业发展的影响.潜在矿产资源价值可反映区域未来发展的潜力,人均潜在矿产资源价值是人均财富的有机构成.(3)水是生态环境的基本要素之一,生态环境状况是区域持续发展的一个重要方面.因受资料限制,本次选取单位面积水资源量指标来反映水资源对生态环境的保障能力.

3.2 发展指标与水资源的协调度 各指标的协调度是相对于全国平均水平而设定的.其计算公式为:

$$CI_j = WPCR_j / OPCR \quad (1)$$

$$WPCR_j = WPC_j / WPC \quad (2)$$

$$OPCR_j = OPC_j / OPC \quad (3)$$

式中: CI_j 为协调度指标 (Coordinate Index); $WPCR_j$ 为各省人均水资源相对数 (Water resources Per Capita Relativity); WPC_j 为各省人均水资源量; WPC 为全国人均水资源量; $OPCR_j$ 为各省其它指标相对数 (Other index Per Capita Relativity); OPC_j 为各省其它指标人均量; OPC 为全国其它指标人均量。

协调度越大, 则水资源对区域发展支撑能力越强, 反之, 协调度越小, 则水资源对区域发展支撑能力越小。协调度大于 1, 则表明该区水资源对其发展支撑能力大于全国平均水平, 小于 1, 则不足全国平均水平。各指标计算见表 4。从表 4 计算结果看, 我国约有一半的省(市、区)区域发展与水资源的协调度小于 1。其中, 有 17 个省(市、区)的水资源与其耕地和 GDP 不协调, 14 个省(市、区)水资源与其矿产资源潜在价值不协调, 13 个省(市、区)人均供水量低于全国平均水平, 15 个省(市、区)单位面积产水量相对不足, 这些省市基本都位于我国北方地区。

表 3 我国分区分水资源与生产力、人口、耕地、矿产资源协调度

省(市、区)	指标相对数				指标协调度						综合评价
	人均水资源	人均 GDP	人均耕地面积	人均矿产价值	人均 GDP	人均耕地面积	人均矿产价值	人均供水量	单位面积产水	综合协调度	
北京	0.15	2.34	0.27	0.28	0.06	0.56	0.54	0.72	0.83	0.56	极不匹配
天津	0.07	2.09	0.48	0.28	0.03	0.15	0.25	0.56	0.43	0.31	极不匹配
河北	0.16	0.97	1.00	0.73	0.16	0.16	0.22	0.75	0.43	0.38	极不匹配
山西	0.21	0.76	1.39	7.92	0.28	0.15	0.03	0.42	0.31	0.27	极不匹配
内蒙古	0.98	0.76	3.35	4.67	1.29	0.29	0.21	1.55	0.15	0.76	不匹配
辽宁	0.40	1.35	0.96	1.27	0.30	0.42	0.31	0.79	0.84	0.58	极不匹配
吉林	0.67	0.88	2.01	0.40	0.76	0.33	1.68	0.89	0.71	0.85	基本匹配
黑龙江	0.93	1.16	2.98	1.26	0.80	0.31	0.74	1.78	0.58	0.91	基本匹配
上海	0.08	3.70	0.20	0.01	0.02	0.40	8.00	1.67	1.44	2.04	匹配
江苏	0.20	1.50	0.67	0.12	0.13	0.30	1.67	1.56	1.08	0.98	基本匹配
浙江	0.91	1.68	0.46	0.03	0.54	1.98	30.33	1.00	3.01	5.96	匹配
安徽	0.50	0.70	0.92	0.70	0.71	0.54	0.71	0.72	1.78	0.95	基本匹配
福建	1.60	1.47	0.42	0.08	1.09	3.81	20.00	1.05	3.29	4.87	匹配
江西	1.54	0.66	0.68	0.31	2.33	2.26	4.97	1.18	2.91	2.57	匹配
山东	0.17	1.22	0.83	0.58	0.14	0.20	0.29	0.63	0.73	0.44	极不匹配
河南	0.20	0.71	0.84	0.51	0.28	0.24	0.39	0.62	0.83	0.51	极不匹配
湖北	0.75	0.94	0.80	0.14	0.80	0.94	5.36	1.02	1.80	1.81	匹配
湖南	1.13	0.74	0.58	0.42	1.53	1.95	2.69	1.08	2.62	1.93	匹配
广东	1.16	1.67	0.44	0.14	0.69	2.64	8.29	1.38	3.49	3.00	匹配
广西	1.83	0.70	0.91	0.23	2.61	2.01	7.96	1.51	2.71	3.07	匹配
海南	1.92	0.89	0.97	0.25	2.16	1.98	7.68	1.22	3.18	2.98	匹配
四川	1.23	0.65	0.76	2.49	1.89	1.62	0.49	0.50	1.88	1.29	匹配
贵州	1.29	0.35	1.29	1.04	3.69	1.00	1.24	0.51	2.01	1.70	匹配
云南	2.44	0.65	1.49	1.40	3.75	1.64	1.74	0.75	1.92	1.92	匹配
西藏	81.37	0.50	1.39	0.38	162.74	58.54	214.13	1.54	1.25	74.15	匹配
陕西	0.56	0.60	1.37	0.87	0.93	0.41	0.64	0.52	0.73	0.66	极不匹配
甘肃	0.50	0.50	1.91	0.91	1.00	0.26	0.55	1.05	0.20	0.63	极不匹配
青海	5.68	0.65	1.32	3.26	8.74	4.30	1.74	1.20	0.30	3.03	匹配
宁夏	0.08	0.64	2.27	3.27	0.13	0.04	0.02	3.96	0.06	1.04	基本匹配
新疆	2.31	0.98	2.20	1.27	2.36	1.05	1.82	5.32	0.18	2.28	匹配
全国	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	

注: 四川省含重庆市。

3.3 区域发展的水资源支撑能力 由于区域发展的水资源支撑能力是上述各类指标的综合反映, 因而需加权计算这些指标的综合协调度。权重分配基于两方面考虑: 其一为各指标对区域未来发展的影响程度; 其二为这些发展指标对水资源的需求和依赖程度。

发展是硬道理, 因而区域发展指标取 0.5, 其中人均 GDP 为 0.2, 人均耕地面积和人均潜在矿产资源价值各取 0.15。供水能力是区域发展的水资源保障, 取 0.25。生态环境对区域发展影响深远, 应和供水能力等同考虑, 也取 0.25。

由于水资源的支撑能力具有相对弹性, 如节水和开源、工程措施和非工程措施等诸多因素, 可以在一定程度上提高水资源对区域发展的支撑能力。因而设定, 综合协调度小于 0.7 为极不匹配, 大于

0.7 小于 0.85 为不匹配, 大于 0.85 小于 1.15 为基本匹配, 大于 1.15 为匹配. 则我国各省(市、区)的区域发展的水资源支撑能力评价总体结果如下:

北京、天津、河北、山西、辽宁、山东、河南、陕西、甘肃等 9 个省(市、区)的区域发展与水资源极不匹配, 这些地区持续发展将受水资源的制约, 其区域发展所新增的水资源需求量需要通过调水才能得以满足; 内蒙古的区域发展与水资源不匹配, 表明该区当前的发展已受到水资源不足的影响, 未来的发展将逐步受到水资源的制约. 也就是说, 全国有 10 个省级行政区发展的水资源支撑能力不足.

基本匹配的地区有吉林、黑龙江、江苏、安徽、宁夏共计 5 个省级行政区. 这些省级行政区目前水资源和其发展基本协调, 对其发展具有一定的支撑能力, 但潜力有限.

水资源和其区域发展相匹配地区有: 上海、浙江、福建、江西、湖北、湖南、广东、广西、海南、四川、重庆、贵州、云南、青海、西藏、新疆等 16 个省级行政区, 这些地区发展基本不受水资源的制约, 水资源对其发展具有较大支撑能力. 虽然局部地区水资源开发利用成本较高, 但在经济发展到一定水平时, 可以认为这些地区具有支付其较大的开发成本的经济实力, 故将其列入匹配地区.

4 结论与建议

通过上文的研究分析, 可以有以下几点初步结论: (1) 总体上说, 我国是一个水资源支撑能力相对不足的发展中国家, 又由于我国水资源时空分布不均以及与人口、生产力、耕地、矿产资源和生态环境用水不相匹配的特点, 我国水资源的区域发展支撑能力在空间上有巨大差异; (2) 北方地区, 特别是华北和西北地区, 水资源对其区域发展的支撑能力不足, 水资源将制约这些地区 21 世纪的持续发展, 因而需从长计议. 从长期稳定持续发展的角度, 研究全国的水资源合理配置格局, 适时实施南水北调工程, 以补充我国北方地区当地水资源对其区域发展支撑能力的不足; (3) 区域发展规划应充分考虑水资源的区域发展支撑能力, 将水资源规划纳入到区域发展总体规划中. 在进行国家经济布局与国土规划时, 应考虑和结合区域水资源的发展属性, 以期国民经济发展与水资源开发利用相协调.

本项研究尚处于探讨阶段, 且研究受统计资料不足的制约, 因而有以下几点建议: (1) 尽早进行全国水资源第二次评价. 由于气候变化、特别是水资源开发利用和人类活动的巨大影响, 我国水资源的自然属性和发展属性在局部地区, 尤其在我国北方地区变化较大, 应对这些变化进行必要的重新评估; (2) 应建立以流域为单元的社会经济发展指标统计体系, 将区域发展、水资源及其利用、生态环境状况等指标, 纳入到我国统计年鉴中, 以期对区域发展的总体状况、资源状况和生态环境状况进行完整评价.

参 考 文 献:

- [1] Robert Engelman, Pamela LeRoy. Sustaining Water-Population and the Future of Renewable Water Supplies [J]. Population and Environment Program, Population Action International, 1993.
- [2] 水利电力部水文局. 《中国水资源评价》[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987.
- [3] 水利电力部水电规划设计院. 《中国水资源利用》[M]. 北京: 水利电力出版社, 1989.
- [4] 中国科学院可持续发展研究组. 中国可持续发展战略报告 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [5] 中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1998.
- [6] 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. 《21 世纪中国水供求》[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.
- [7] 中华人民共和国水利部. 《中国水资源公报' 1997》[Z]. 1998. 11.

(下转第 33 页)

参 考 文 献:

- [1] Dioli C. Esperienze su installazioni con pozzo di scarico a Vortice [J] . L' Energia Elettrica, 1969, 6.
- [2] Jeanpierre D, Lachal A. Dissipation d energie dans un puits a vortex [M] . La Houille Blance, n. 7, 1966.
- [3] Кузнецова Е. Ввихревой пихтный водсборсв составе высоконапорных Гидроузлов [J] . Гидротехническое СтРительство, 1975, 5.
- [4] Jain S C. Tangntial vortex inlet [J] . J. of Hydraulic Engineering, 1984, 110 (12).
- [5] Quick M C. Analysis of spiral vortex and vertical slot vortex drop shfts [J] . J. of Hydraulic Engineering, 1990, 116 (3).
- [6] Hager W H. Vortex dtop inlet for supercritical approaching flow [J] . J. of Hydraulic Engineering, 1990, 116 (8).
- [7] Vischer D L, Hager W H. Vortex drops [M] . IAHR Hydraulic Structures Design Manual, 1995, 9.
- [8] 董兴林, 高季章, 等. 导流洞改为旋涡式竖井溢洪道综合研究 [J] . 水力发电, 1995, (3).
- [9] 董兴林, 高季章, 钟永江. 超临界流旋涡竖井式溢洪道设计研究 [J] . 水力发电, 1996, (1).
- [10] 郭炎, 倪汉根. 旋流竖井溢洪道的水流特性研究 [J] . 水动力学研究与进展, 1995, (4).

Design principle of high head and large discharge vortex drop spillway

DONG Xing-lin¹, GUO Jun¹, XIAO Bai-yun², ZHOU Zhong²

(1. China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power Research, Beijing 100038, China;

2. Chengdu hydroelectric Investigation & Design institute, Chengdu 610072, China)

Abstract: Based on the theory of free vortex and momentum equation the calculation formulas for discharge capacity, velocity and pressure distributions of vortex drop spillway are deduced. The design principles are verified in hydraulic model tests.

Key words: vortex drop spillway; vortex momentum torque; annular hydraulic jump

(上接第 26 页)

Water resources supporting capacity for regional development in China

WANG Dang-xian¹, WANG Hao¹, MA Jing¹

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

Abstract: On the basis of the discussion on water resources supporting function of the regional development, a quantitative research index system and calculating methods for water resources supporting capacity of regional development are proposed. Furthermore, the water resources supporting capacity of individual region in China as well as the whole country is analyzed and being verified.

Key words: water resources; regional development; supporting capacity