

院士论坛

雅鲁藏布江水能开发

徐大懋¹, 陈传友², 梁维燕³

(1. 中国广东核电集团有限公司, 广东 深圳 518031; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 3. 哈尔滨电站设备集团公司, 哈尔滨 150040)

[摘要] 阐述了雅鲁藏布江(以下简称雅江)“大拐弯”处水能开发方案。工程分3期,一期送电东南亚,逐步积累资金;二、三期实现西电东送。雅江工程无需考虑防洪、航运和移民,单位千瓦投资将少于三峡水利工程。雅江工程可实现4个世界之最,不仅对促进西藏和我国的经济可持续发展有巨大战略意义,在国际上也将受到广泛的支持,并产生巨大的影响。主张对工程中存在的困难和问题进行认真的分析和论证,以作出科学的结论。

[关键词] 雅鲁藏布江;水力资源;开发;投资;效益

[中图分类号] TK7 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2002)12-0047-06

1 引言

中国能源必须走可持续发展的道路,最重要的有两条:一是发展清洁煤发电技术;二是增加水电和其他清洁能源的比重。不言而喻,大力发展水电尤为重要,这是国家多年来的一贯方针。我国水电资源占世界的13.22%,总储量680 GW,可开发量380 GW,目前只开发了80 GW,占可开发量的21%,而全世界已开发水能约占可开发量的37%。一句话,我国“大力发展水电”的力度还要加强。

去年8月,第一作者参加了中国工程院能源与矿业工程学部组织的赴藏考察团,目睹汹涌澎湃的雅江水白白流去,深感可惜,自然发问:雅江水能为何不能开发?长期以来,由于雅江水能开发工程浩大,输电困难,令人望而生畏。人们脑子里的印象是“这样大的工程,以后再说吧!”并未进行过专门的、系统的考察与论证。雅江的水能集中在“大拐弯”处,这儿离严重缺电的东南亚诸国仅数百公里。若将前期开发的电能售给这些国家(印度、缅甸、泰国、孟加拉、老挝和越南),他们可以获得清洁而廉价的电力供应,促进经济发展;我

国也可由此逐步积累资金,最后实现西电东送。

第一作者将此想法和第二、第三作者交流,均认为此方案可进一步探讨,于是进行了一定的调查研究,写成了这份报告,目的是抛砖引玉,希望引起有关部门和同行专家的重视,并在适当的时候组织一次专题讨论,澄清利弊,暴露问题,必要时进行实地考察,在充分掌握第一手资料的前提下得出科学的结论。

从1960年以来,中国科学院西藏科学考察队和青藏高原综合科学考察队的报告中,多次提到雅江水能开发项目;1982年原电力部也曾组织考察并提出报告;1998年中国科学院自然资源综合考察委员会水资源调控组陈传友等同志,在光明日报上发表了“西藏可否建世界最大水电站”的长篇文章,提出了一级和多级开发方案。这些报告均为本文的重要参考资料。

2 雅江概况

雅江是西藏最大的一条河流,发源于藏西南喜马拉雅山北麓的杰马央宗冰川,流向大致由西向东,在米林县派(地名)附近折向东北,之后又改

[收稿日期] 2002-07-24

[作者简介] 徐大懋(1935-),男,安徽当涂县人,中国工程院院士,中国广东核电集团有限公司教授级高级工程师

向南流，在大峡谷地区形成了举世闻名的“大拐弯”段。雅江在我国巴昔卡附近流入印度，改称布拉马普特拉河；最后流入孟加拉国，又改称贾木纳

河，并与恒河相汇流入印度洋。恒河—贾木纳河水系仅次于亚马逊河水系，列世界第二。

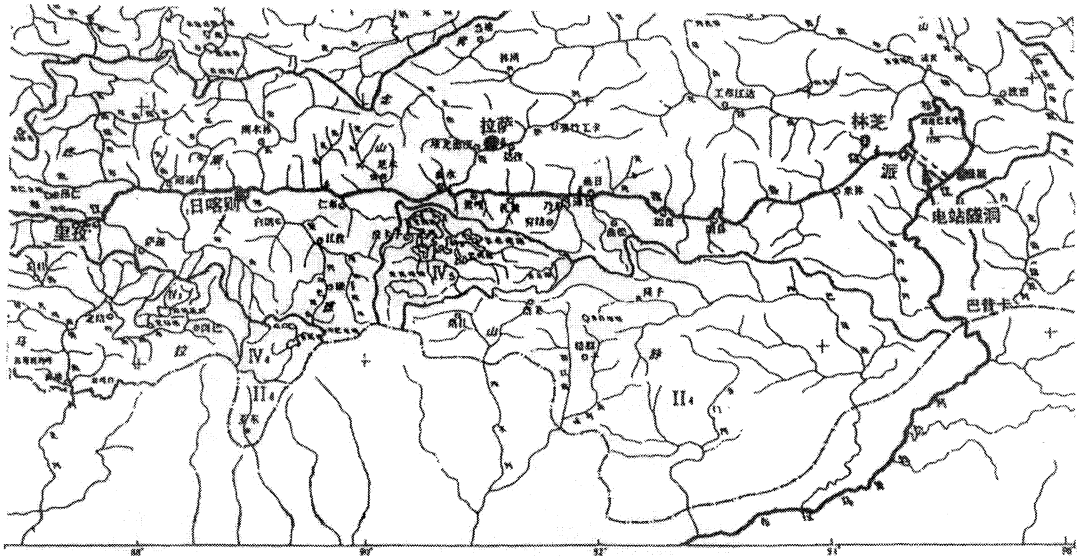


图1 雅鲁藏布江中下游水系

Fig.1 The Yalu Tsangpo River valley of middle and lower reaches

雅江分上、中、下游。从海拔5 590 m的源头至海拔4 400 m的里孜为上游段，全长268 km，多冰川，平均坡度0.445%；从里孜到海拔2 880 m的派为中游段，全长1 293 km，平均坡度0.118%，为西藏最发达地区，主要城市拉萨、日喀则、泽当、林芝等均在中游水系；下游从派到巴昔卡（海拔155 m）长496 km，坡度0.55%，峡谷区占2/3，水能资源丰富。

表1 雅鲁藏布江概况

Table 1 A survey of the Yalu Tsangpo River

项目	在我国河流中的排序	
长度/km	2 057	第6 长江、黑龙江、黄河、珠江、澜沧江之后
流域面积/ 10^4 km^2	24	第5 长江、黑龙江、黄河、珠江之后
流量/ $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$	4 425	第3 长江、珠江之后
水能/GW	113	第2 长江之后
平均海拔/m	4 000	第1

3 水能资源及开发方案

雅江流域水能资源蕴藏量为113 GW，占全国的17%，其中68.8 GW在干流下游，而“大拐弯”处储量即为45 GW。“大拐弯”顺流左侧为加拉白垒峰，海拔7 151 m；右侧为南迦巴瓦峰，高

7 756 m，形成垂直切割最深（7 100 m）的世界第一大峡谷。峡谷底部江水迂回曲折，翻滚怒吼，流速8~16 m/s，呈亚热带气候；中部森林密茂，郁郁葱葱，气候温爽宜人；而顶部则云雾缭绕，白雪皑皑，属寒带气候。故大峡谷地区从上游到下游，从山脚到山顶，形成了独特的自然景观。

“大拐弯”处的水能开发方案是开凿隧洞，引水发电。经《西藏水利》论证，隧洞起点应该在派，海拔2 880 m，水平贯穿，终点接近墨脱县之博邦，海拔约600 m，长约39 km。另一捷径之起点相同，终点是雅江支流多雄河上游尔都附近，隧洞长16 km。如无特殊困难和要求应选捷径。隧洞进口处年平均径流量为 $600 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，年平均流量为 $2 000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ，可开发总电量为40 GW，枯水期容量为16.60 GW。总落差2 280 m宜分3段开发，每段600~900 m（视地形地势而定）。从资金筹措、施工合理和负荷输出等方面考虑，整个工程分3期实施为宜，每期容量10~15 GW，每台机组容量百万千瓦等级。

图2为全部电站建成后的示意图，假设分3期，每期12台机组。如果大件运输有困难，也可将单机容量减小，尤其是上层电站。开发方案可以有2种，即串联开发（图3）和并联开发（图4）。

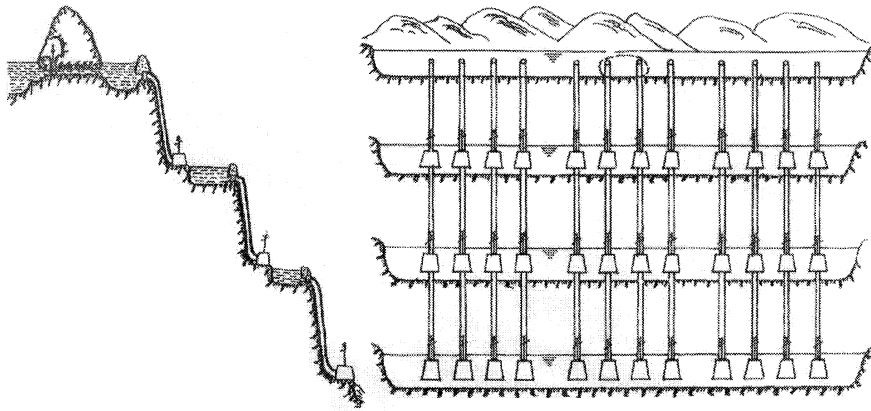


图 2 雅江水电站示意图

Fig. 2 A schematic drawing of the Ya-river hydro power station

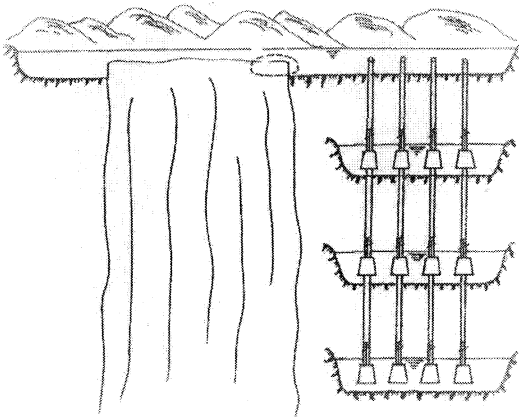


图 3 一期工程串联开发方案

Fig. 3 Series development for 1st phase

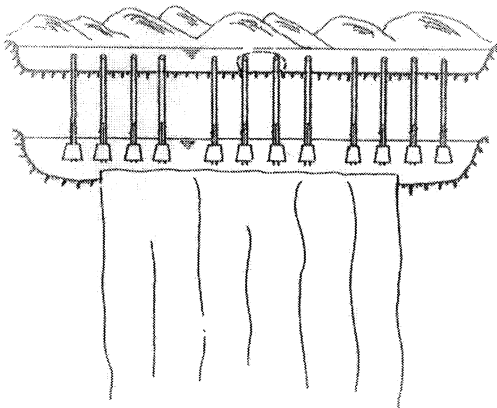


图 4 一期工程并联开发方案

Fig. 1 Parallel development for 1st phase

两种开发方案各有优缺点。串联开发方案的优点是每期工程均自上而下开发，落差得到充分利

用，前期工程的负荷适应性好。假设一期工程发电容量为 12 GW，即使在枯水期也能满负荷发电。在丰水季节，一期电厂只能用 1/3 水量，多余水量仍可流经大峡谷，也可用于形成高山瀑布。串联开发的缺点是初期投资大，周期长，因为所有水库在一期工程必须全部建成。并联开发的优缺点与串联相反，其特点是一期工程要用全部流量，但只用 1/3 落差，多余落差自然形成高山瀑布，或顺支流下泻。在丰水季节有可能冲毁山体，引起滑坡，甚至对二期、三期开发造成不利影响，或增加施工难度。为减小风险，推荐串联开发方案。

高山瀑布的形成与水量控制必须精心设计，既要考虑长期的观赏性，又要考虑对山体的冲刷及对发电工程的影响。这是雅江水能工程的一个重要组成部分。

由于未经过详细勘察，所描述的开发方案仅是初步设想，实际情况可能要复杂得多。

输电线路也有 3 个方案。方案一是国际线路 A，经印度、缅甸、泰国、老挝和越南，并延伸到孟加拉国。方案一的优点是线路短，全为平原区，建设费用低；存在问题是涉及到国际关系和国际合作，尤其是涉及到和印度的未定国界。方案二是国际线路 B，主线不经过印度，目的是避开复杂的边界问题。如果印度需要电，仍可架设支线输送。方案三则是国内线路，沿边境可向需电国架设支线，主动权掌握在我方，但输电线路要跨越横断山脉，工程投资、建设周期和难度均相应增大。

4 投资与效益

精确的投资预算应在详细的实地勘察后进行。

根据已掌握的资料和所提出的开发方案, 可以进行粗略的评估, 偏差可能较大, 但不影响可行性分析。与三峡工程相比, 既有影响投资的有利因素, 也有不利因素, 总体而言有利因素多于不利因素。

有利因素:

- 1) 无需移民, 水库建在荒无人烟区域。
- 2) 无需设船闸, 因雅江水流湍急, 无运输功能。
- 3) 库容可以小, 不要求防洪。
- 4) 大坝体积小, 因峡谷区江面窄。
- 5) 设备费用低, 因水头高, 流量小, 每千瓦发电设备重量只有三峡的 1/3 左右, 相应价格可按 50% 考虑。

不利因素:

- 1) 穿山隧洞。据统计隧洞愈长每公里造价愈高, 可能有 2 种方案: 一为 39 km, 造价约 60 亿元; 另一为 16 km, 造价约 20 亿元。投资估计按 60 亿元方案。
- 2) 公路。需建较高等级公路供运输材料和设备, 估计约 500 km, 每公里造价约 2 000 万元。
- 3) 水库数量增加。分段开发, 除上游总水库外, 下游每段还需一个中间蓄水库, 但库容更小。
- 4) 二期和三期输电线路需经横断山脉, 投资较大。
- 5) 运输费用和施工难度。运距远, 高海拔施工困难。在单项工程费用已加大的基础上, 对每期工程再考虑相应的难度系数, 一期为 1.3, 二期和三期分别为 1.2 和 1.1。

表 2 和表 3 对雅江水能工程进行了投资评估, 并与三峡项目进行了比较。从表 2 可以看出, 虽然雅江工程的总发电量为三峡工程的 2.2 倍, 但静态投资基本相同, 其主要差项是移民、坝体工程和设备费用。三峡工程建设期较长, 前期通胀率较高; 而雅江工程分成 3 个独立的建设阶段, 每个阶段周期较短, 动态投资二者相差较大。

表 4 为雅江工程的效益粗略分析, 有几点说明: a. 按串联开发方案, 前期水量充足, 年运行小时多于后期; b. 每期包括还贷期 (5 年)、还贷后以及后期是否投运等情况; c. 售电量扣除输电线路损失, 一期扣 7%, 二期和三期扣 14%。由分析结果可以看出, 尽管各项费用均按偏大值估计, 雅江工程的效益仍然很高, 即使投资还要增大, 5

年还贷期可以延长。之所以列出投资和效益分析, 就是要阐明一个问题: 只要项目可实施, 无论怎么算, 效益都是很可观的。

表 2 雅江工程静态投资估计

Table 2 A static investment estimation of the Ya-river

项目	雅江工程			三峡工程
	hydro power project			
	一期	二期	三期	
容量/GW	12	14	14	18.2
坝体/10 ³ m ³	960	/	/	19 440
坝体费用	20	0	0	155
机电设备与安装	40	50	50	108
发电厂工程	4.0	5.0	5.0	12.5
输变电	60	140	140	153
临时工程	2.0	2.5	2.5	7.4
移民	1.0	1.0	1.0	400
航运	0	0	0	13.5
档水	0	0	0	3.2
分段水库	0	0	0	0
防护工程	0	0	0	5.9
隧洞	60	0	0	0
公路	60	20	20	0
其他	2.0	2.0	2.0	4.5
累计	249	220.5	220.5	863
难度系数	1.3	1.2	1.1	1.0
静态投资	324	265	265	863
总计		854		863

表 3 雅江工程动态投资估计

Table 3 A dynamic investment estimation of the

项目	雅江工程			三峡工程
	Ya-river power project			
	一期	二期	三期	
建设期/a	12	9	8	16
平均通胀率	4%	4%	4%	6%
平均贷款利率	3%	3%	3%	3%
动态系数	(1.07) ⁶ = 1.50	(1.07) ^{4.5} = 1.36	(1.07) ⁴ = 1.31	(1.09) ⁸ = 1.99
动态投资/亿元	486	360	347	1 717
总计		1 193		1 717

表 4 雅江工程效益分析

(电价 0.25 元/kW·h, 管理费每期 20 亿元/a)

Table 4 A benefit analysis of the Ya-river hydro power project

项目	一期, 12 GW				二期, 14 GW			三期, 14 GW	
	还贷期	还贷后	二期后	三期后	还贷期	还贷后	三期后	还贷前	还贷后
年运行时间/h	5 500	5 500	4 500	3 500	4 500	4 500	3 500	3 500	3 500
发电量/ 10^8 kW·h	660	660	540	420	630	630	490	490	490
线路损失	7 %				14 %			14 %	
售电量/ 10^8 kW·h	614	614	502	391	542	542	421	421	421
电费收入/亿元	154	154	126	98	136	136	105	105	105
还贷/亿元	97	0	0	0	72	0	0	69	0
年利税/亿元	37	134	106	78	44	116	85	16	85

5 意义

首先是国内意义：

1) 雅江工程的最终目的是实现西电东送，输电到广东和香港。该地区用电高峰正是雅江丰水季节，可形成良好的负荷匹配，造就环保水平很高的能源体系，加之电价低廉，对地区经济的可持续发展具有重要作用。

2) 该项目是西部大开发的最大工程，从第一期到完全建成长达 20 余年，要进行广泛的基础建设，需要大量机电装备，涉及到很多高科技领域，对拉动全国经济发展，提供就业机会，促进科技进步等有不可估量的战略价值。

3) 雅江工程可实现 4 个“世界之最”：容量最大的电厂，单机容量最大的水轮发电机组，落差最大的高山瀑布，再加世界最深的大峡谷。这 4 个“世界之最”是中华民族的皇冠，中国人民的骄傲，一定要尽早实现。

4) 该地区海拔 300 ~ 3 000 m，风景秀丽，气候宜人。4 个“世界之最”加上电站建成后的湖光山色，可成为世界著名的旅游胜地，可建成较大的以第三产业为主的旅游城市，形成西藏新的居民点。这对促进西藏地区的经济发展和文化繁荣，提高人民生活水平，加强民族团结和巩固边防均有深远意义。

雅江水能开发也有很大的国际影响：

1) 雅江水能开发是世界最大的清洁能源，又能向发展中国家供电，并对下游国家防洪有利，必将获得国际上广泛支持。

2) 该项目属于世界级大工程，曾引起国际重

大关注。1988 年 6 月，日美财界首脑在东京达成协议，拟计划于未来 20 年内联合投资，在世界各地建造 15 个超大型开发建设项目，其中第 3 项就是建造 50 GW 的喜马拉雅水电站。2000 年美国“政企首要情报评论”刊载“中国重大工程将推动亚洲发展”的文章。文章介绍说：“雅鲁藏布江水电站、南水北调和几个重大的铁路工程，这些项目不仅事关中国未来生死存亡，亦事关中亚、印度次大陆和东南亚的命运”。

从上述部分摘录可见雅江水能工程的巨大国际影响。

6 困难和问题

雅江的水能开发是我国乃至世界的一件大事、好事。但由于自然条件复杂，工程规模宏大，必然存在很多困难和问题。只有将这些困难和问题摆出来，逐个地进行讨论、分析和论证，必要时进行现场调研和科学试验，才能为科学决策提供依据。下面我们将已经考虑和搜集到的问题提出来，供讨论。

1) 生态问题。流经大峡谷的水用于发电，对峡谷生态有无影响？此问题应深入研究，但可以说明几点：大峡谷为垂直切割，水深流急，水量减少只影响深度，不影响面积。雅江的较大支流帕隆藏布在隧洞后，仍有 $400 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的径流。必要时可减少发电量，增大峡谷水量。

2) 地质问题。即有无大地震？雅江是深大断裂带，易产生地震，历史上发生地震的情况有待考察。有两点可以呈述：一是地震不会造成巨大损失，因为库容小，不会造成洪水泛滥，下游也无田

地可淹。二是地震对穿过深山的隧洞不会有太大影响,最多是地面管道和设备受损,均可关闸修理。

2) 交通问题。器材与设备如何运输?有3种方案:方案一为上游运输,青藏铁路支线直达林芝和派,水库坝体和隧洞均可开工,但隧洞只可单侧施工,效率低。隧洞宽约12 m,高约10 m,开通后可作为公路承担穿山运输。下游必须建盘山公路。方案二是境外双向运输,上游运输同方案一,下游则由印度或缅甸建跨境公路,并与通往工地公路联接。采购和运输通过境外。此方案的优点是隧洞两侧可同时施工。方案三是境内双向运输,即修建滇藏铁路,彻底解决问题。有专家建议,山上重大设备运输可用热气球,也可探讨。

3) 关于国际关系和国际合作。首先是印度,存在未定边界。如能合作,在未定边界区还可开发13 GW,且可建较大的水库,对缓解印度境内布拉马普特拉河的常年水灾极为有利。如双方能友善合作,并能进一步解决未定国界,将是一举两得的好事。另一方案是在国内建输电干线,与国外仅是简单的售电关系。

4) 开发的体制。也有两种方案,方案一是由国家出面,新建一个“雅江公司”,象三峡一样;方案二是经国家批准、支持,由大企业组成新的股份公司,也可吸收国外企业参加。

7 结束语

1) 雅江水能的开发可分3期进行,一期向东南亚送电,积累资金,滚动发展;二期和三期实现

西电东送。

2) 雅江水能开发无需解决防洪、运输及移民问题,单位千瓦投资低于三峡工程,因而有很高的经济效益。

3) 该项目对拉动西藏和全国经济的可持续发展具有深远的战略意义,并具有巨大的国际影响。

4) 该项目涉及到的方面很多,一定存在很多困难和问题。作者希望有关方面能组织一次讨论,对存在困难和问题进行分析和论证,必要时进行现场考察,以作出科学结论。

参考文献

- [1] 袁子恭,董慎中,等. 雅鲁藏布江中段水利考察报告[R]. 北京: 科学出版社, 1963
- [2] 陈传友,关志华,等. 西藏水利[M]. 北京: 青藏高原科学考察丛书, 1981
- [3] 陈传友. 改造大西北的宏伟设想——论南水、南电北调路线[N]. 北京: 中国科学报、中国科技导报, 1993
- [4] 中国能源研究会. 中国能源评论[M], 1996
- [5] 陈传友,关志华,等. 西藏可否建世界上最大的水电站[N]. 北京: 光明日报, 1997-09-05
- [6] 中国科学院可持续发展研究组. 中国可持续发展战略报告[R]. 北京: 科学出版社, 2000: 155~158
- [7] 陈传友. 论雅鲁藏布江大河弯段发电调水综合研究(一)[A]. “中国水资源持续开发利用研究”学术研讨会论文集[C], 1955
- [8] 张进山. 计划中的跨世纪工程[N]. 北京: 北京晚报, 1988-06

Hydro Power Development at the Yalu Tsangpo River

Xu damao¹, Chen chuanyou², Liang weiyang³

(1. China Guangdong Nuclear Power Holding Co. LTD, Shenzhen, Guangdong 518031, China;

2. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. Harbin Power Equipment Group Co. LTD, Harbin 150040, China)

[Abstract] As the largest river in Tibet, the Yalu Tsangpo River (hereinafter referred to as the river) is abundant in hydropower resources in the range of 113 GW. The river has a “U” shaped elbow in the Great Gorge area to form an ideal site for a gigantic hydropower station of 40 GW—the largest in the world to date. With the foregoing background, this paper outlines a preliminary project program in this regard. In the opinion of the present author, the mountain should be tunneled at an appropriate point to form a massive hydraulic head of 2280 m. The entire project will be divided into three phases with 12~15 GW implemented at each stage.

(cont. on p. 65)

Application and Prospects of Water Jet Technology in Petroleum Engineering

Shen Zhonghou Li Gensheng Wang Ruihe

(College of Petroleum Engineering, University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061, China)

[**Abstract**] This paper presents the study and applications of water jet technology in petroleum engineering. A mathematic model of pressure and water power attenuation, under the condition of submergence and non-freedom, is setup through experiments. A novel method and its model are established to gain maximum hydraulic power at bottomhole and optimize water parameters. In addition, the basic equation and structure model of two kinds of resonating chamber are set up according to transient flow theory and hydro-acoustics. Under the impact of drilling biaxial stress, a model of predicting the fracture propagation is founded utilizing rock fracture mechanics. On the base of above models and theories, three new kinds of bits, i. e. extended nozzle roller bit, self-resonating water jet bit and combined jet and mechanical rock-cutting bit, are developed. Also, the paper points the prospects of applications of water jet technology in deep-well drilling, low-permeability reservoir production, and enhanced oil production.

[**Key words**] water jet technology; oil well drilling; oil & gas production; high and ultra-high pressure jet

(cont. from p. 52)

The electrical output of the first phase can be supplied to Southeast Asia and that of the subsequent phases to southeastern China (especially Guangdong Province). The cost estimated for the project is less than that of the Three Gorges project due primarily to the fact that there is no need to consider such factors as flood control, shipping rerouting and population resettlement, all of which translate into immediate economic benefits. Meanwhile, the project will set four straight world records, namely, the largest hydropower station, the largest generating unit, the highest waterfall and the largest gorge. As a result, the project is of immense significance to the sustainable development of Tibet and to China as a whole, and is also bound to exert tremendous international influence. Due to the complexities and size associated with the project, a huge number of difficulties and problems must be fully addressed beforehand. It is hoped that all the involved difficulties will be discussed and analyzed in-depth with a view to reaching scientific and practical conclusions for the project.

[**Key words**] the Yalu Tsangpo River; hydropower; development; investment; benefit