

张忠辉 林德金 余洋 王超羽 等著

高水头水电站工程 设计技术研究



黄河水利出版社

高水头水电站工程 设计技术研究

张忠辉 林德金 余 洋 王超羽 等著

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

高水头水电站在近年来逐步得到发展,越来越受到开发者们的青睐。本书结合斐济南德瑞瓦图水电站工程的设计实例,分为工程设计概况,水文规划、工程规模及水库泥沙分析,工程测量,工程地质,挡、泄水建筑物设计,引水系统建筑物设计,厂房及附属建筑物设计,输变电路设计,开关站设计,金属结构,水力机械,电气一次,电气二次及通信,消防、通风及给排水设计,环境评价分析等 15 个章节进行叙述。工程所在地区为高端市场的南太平洋地区,设计规范采用欧美规范和澳大利亚-新西兰规范体系,因此,书中一些章节采用国内、外规范对照的方式分别叙述,让读者更多地了解国外规范的使用情况,并结合工程运行情况,对高水头水电站的工程设计进行了总结。

本书可供从事水利水电勘测、设计、施工、运行人员使用,也可供科研人员、大专院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

高水头水电站工程设计技术研究/张忠辉等著. —郑州:黄河水利出版社,2014. 12

ISBN 978 - 7 - 80734 - 910 - 5

I. ①高… II. ①张… III. ①高水头-水力发电站-工程设计-研究 IV. ①TV73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 300314 号

组稿编辑:简群 电话:0371-66026749 E-mail:w_jq001@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:22.5

字数:520 千字

印数:1—1 000

版次:2014 年 12 月第 1 版

印次:2014 年 12 月第 1 次印刷

定价:65.00 元

前 言

高水头水电站工程 (Highheadhydro - Electricstation Project) 是指水电站发电水头大于 200 m 的水电站工程。一般修建在河流上游的高山峡谷地区,多数为引水式或混合式水电站。高水头水电站大多数无调节库容,调节能力低,最多是月调节或者日调节,因此一般不具有综合利用效益。高水头水电站上下游水位一般相对稳定,水头变化幅度不大,出力和发电量主要取决于来水量。

随着世界水电市场的开发,高水头水电站越来越受到开发者们的青睐,由于水库库容小,上游水库淹没面积小,环境污染和环境破坏小,更能凸显水电作为清洁型再生能源的特点。高水头水电站在近年来逐步得到发展,设计发电水头也越来越高。据不完全统计,截止到 2008 年,仅中国水头超过 800 m 的高水头水电站就达 20 多个,其中四川凉山苏巴姑水电站额定水头 1 117.5 m,超过之前号称亚洲第一高水头的广西天湖水电站(额定水头 1 022.4 m)。设计水头的增加,给整个工程设计带来一系列的技术难题,包括引水隧洞、压力钢管、调压井、厂房和水轮机组的选择等。

对于高水头水电站的水工建筑物来说,首部枢纽工程与其他类型的水电站工程没有区别,其主要功能都是拦河蓄水发电,但对于引水隧洞、调压井和压力钢管,则有很大的不同。高水头水电站的主要特点就是水头高,也就意味整个引水系统的设计不同于其他类型的工程。例如,压力钢管需要承担更大的水头,如果采用普通钢材,则压力钢管需要很大的厚度,这对压力钢管的加工、制作、焊接和安装等都增大了难度,技术上无法满足要求,特别是岔管部位,不但结构受力复杂,而且施工工艺难度大,施工质量无法得到保证。因此,这就需要采用高强度的钢材,减小压力钢管的厚度,确保压力

钢管的施工质量。

高水头水电站的另一个特点就是机组的设计、制作与安装。随着高水头水电站的水头不断增加,水轮机厂家的生产、制作工艺也变得复杂。例如对于水轮机蜗壳型式,特别是采用充水加压浇筑混凝土蜗壳的工艺、压力取值、施工进度等都存在技术上的挑战。对于钢蜗壳型式,在蜗壳安装和混凝土浇筑时要考虑保温保压的要求,对设计和施工都是很大的难题。

本书结合斐济南德瑞瓦图水电站工程的设计实例,根据国内外规范,对高水头水电站的设计技术进行研究,论述高水头水电站的工程设计经验,为其他高水头水电站的设计、建设提供工程参考。本书共有十五章,张忠辉撰写第一、五章,林德金撰写第七章,余洋撰写第二、三、四章,常玉龙、冯韶辉撰写第六章,张伟波、冯韶辉撰写第八、九、十四、十五章,王超羽撰写第十、十一章,李秀丽、李力伟撰写第十二、十三章,全书由张忠辉统稿。

本书在撰写过程中,得到中水北方勘测设计研究有限责任公司各级领导的大力支持,在此表示衷心感谢。

由于作者本身水平有限,书中难免有不当之处,尚待同行批评指正。

作 者
2014 年 6 月

目 录

前 言

第一章 工程设计概况	(1)
第一节 工程背景	(1)
第二节 工程概况	(2)
第三节 工程的技术特点与经济效益	(3)
第二章 水文规划、工程规模及水库泥沙分析	(6)
第一节 设计洪水分析	(6)
第二节 工程规模	(9)
第三节 水库泥沙分析	(12)
第三章 工程测量	(17)
第一节 测量资料收集与补充测量	(17)
第二节 施工控制网的建立	(17)
第四章 工程地质	(21)
第一节 坝址区工程地质	(21)
第二节 电站厂房区工程地质	(27)
第三节 输水线路工程地质	(32)
第四节 输变电线路工程地质	(37)
第五章 挡、泄水建筑物设计	(40)
第一节 设计基本资料	(40)
第二节 大坝枢纽布置	(44)
第三节 溢洪道设计	(48)
第四节 泄流底孔设计	(61)
第五节 坝体稳定及应力计算	(65)
第六节 坝体的细部结构设计	(70)
第七节 基础处理	(81)
第八节 边坡处理	(86)
第九节 控制建筑物	(86)
第十节 安全监测设计	(87)
第十一节 大坝观测资料分析	(89)
第十二节 施工导流	(95)
第六章 引水系统建筑物设计	(97)
第一节 引水系统总体布置	(97)

第二节	引水系统水头损失计算	(97)
第三节	隧洞压坡线计算	(102)
第四节	进水口设计	(109)
第五节	引水隧洞设计	(115)
第六节	调压井设计	(129)
第七节	压力钢管设计	(133)
第七章	厂房及附属建筑物设计	(164)
第一节	厂房布置	(164)
第二节	厂房整体稳定性分析	(168)
第三节	厂房结构分析	(174)
第四节	边坡稳定分析	(182)
第五节	厂房蜗壳二期混凝土保温保压设计	(185)
第六节	施工导流	(191)
第八章	输变线路的设计	(193)
第一节	概 述	(193)
第二节	基本资料	(193)
第三节	线路设计	(195)
第四节	输变线路塔架结构设计	(195)
第五节	塔基础设计	(199)
第九章	开关站设计	(202)
第一节	开关站布置	(202)
第二节	开关站厂区设计	(202)
第三节	塔架设计	(205)
第四节	厂房升压站设计	(209)
第十章	金属结构	(214)
第一节	溢洪道表孔弧形闸门	(214)
第二节	底孔工作闸门	(218)
第三节	底孔检修门槽	(220)
第四节	电站引水隧洞进口金属结构	(220)
第五节	电站尾水金属结构	(225)
第六节	坝上起重机	(226)
第十一章	水力机械	(228)
第一节	水轮发电机组及其附属设备	(228)
第二节	技术供水系统	(250)
第三节	排水系统	(251)
第四节	压缩空气系统	(253)
第十二章	电气一次	(255)
第一节	电站接入系统及电气主接线	(255)

第二节	11 kV 封闭母线	(255)
第三节	发电机机压配电装置	(258)
第四节	11 kV 电性点设备	(259)
第五节	主变压器	(260)
第六节	132 kV 开关设备	(261)
第七节	415 V 厂用电系统及应急电源系统	(263)
第八节	照明系统	(264)
第九节	防雷接地系统	(265)
第十三章	电气二次及通信	(266)
第一节	计算机监控系统	(266)
第二节	消防报警及通风消防控制系统	(290)
第三节	继电保护装置	(294)
第四节	直流系统	(306)
第五节	通信系统	(324)
第六节	门禁安防系统	(326)
第七节	CCTV 视频监视系统	(326)
第十四章	消防、通风及给排水设计	(329)
第一节	消防系统设计	(329)
第二节	通风、空调系统	(332)
第三节	生活给排水	(337)
第十五章	环境评价分析	(339)
第一节	总 则	(339)
第二节	环境影响评估范围	(339)
第三节	项目区环境概况	(339)
第四节	环境影响	(340)
第五节	施工期污染影响评价	(342)
第六节	环境保护对策及措施	(345)
第七节	环境监测与管理	(346)
第八节	综合环境评价及结论	(348)

第一章 工程设计概况

第一节 工程背景

从 1977 年,斐济电力局(FEA)开始对南德瑞瓦图(Nadarivatu)实施水电方案进行可行性研究,初期的调查包括主岛维堤莱乌(Viti Levu)岛的水电开发潜力,实施了蒙娜萨乌工程水电项目(Monasavu)方案。2003 年,斐济电力局与澳大利亚太平洋水电公司(Pacific Hydro Ltd)合作,开始规划南德瑞瓦图水电站工程,并于当年完成了预可行性研究。

2004 年 3 月,斐济电力局开始了南德瑞瓦图水电站工程项目的可行性和调查,该调查的范围包括:①可利用的水资源;②确认国土部地形图等高线信息的准确性;③优化方案的关键参数,包括设计流量、净水头、装机容量、与瓦劳(Wailoa)水电站之间的相互影响等;④对高、中、低 3 个坝高方案进行论述比较,以便取得环境部门的许可;⑤地质调查及地形测绘,在拟建坝址进行地质钻孔。2004 年 12 月完成项目建议报告,并报请斐济环境部门批准。

出于对项目费用的担心和工程交通道路问题的考虑,工程项目于 2005 年 10 月被迫停止。斐济电力局委托美国美华公司(MWH)新西兰分公司提出科罗莱乌-巴(Korolevu-Ba)的初步方案,以解决工程投资的资金流量问题(科罗莱乌工程即为南德瑞瓦图水电站工程,科罗莱乌为坝址处一个山峰名,因此以它命名)。

2006 年 3 月,斐济电力局开始对新的取水口坝址和隧洞路线展开调查,并完成了预可研设计,方案为:在卡里瓦纳(Qaliwana)河和纽库(Nukunuku)河汇流处建一座 21 m 高的小坝,形成水库,活库容 $244\,000\text{ m}^3$ 。在水库上游建一个进水口,引水流量为 $15\text{ m}^3/\text{s}$,通过一条 2 km 的隧洞和 1.4 km 的压力管道,把水引向位于巴河(Ba River)上的电站厂房。厂房装机容量 40.6 MW,水头 328 m,总发电量预计为 $101\text{ GW}\cdot\text{h/a}$,同时,该方案扩大了项目范围,把连接到乌达-瓦劳(Vuda-Wailoa)的 132 kV 输变电路连接起来,成为整个国家电网的核心,其中还包括了通信项目和乌达(Vuda)国家控制中心的通讯(SCADA)升级。

2006 年 12 月,斐济电力局对方案进行了修改:在卡里瓦纳河和纽库河汇流处,建一座 31 m 高的混凝土坝,提供 $1\,009\,000\text{ m}^3$ 的活库容;引水流量为 $15\text{ m}^3/\text{s}$,通过一个 2 km 的隧洞和 1.4 km 的压力管道(洞-管方案)或者一个 3.5 km 的隧洞(洞-洞方案),最后到达厂房。在巴河上建一个 44 MW、336 m 水头的电站;装机 2 台 22 MW,五或六喷嘴垂直冲击式水轮发电机组,该方案的总发电量估计平均为 $101\text{ GW}\cdot\text{h/a}$ 。按照对水文情况的审查,尽管水头和库容稍有提高,但发电量没有提高。虽然斐济电力局负责通信和在乌达的国家控制中心的 SCADA 升级,但项目的范围包括了一个输电线路,连接到 132 kV 的

乌达-瓦劳(Vuda-Wailoa)输电线路,并新建一个132 kV开关站,将3个电站联合调度,并和将来计划建设的另外2个电站一起形成整个斐济国家电网的控制核心。

2007年斐济电力局(FEA)开始在世界范围内进行公开招标,并于2008年5月6日开标,经过多次的合同谈判及技术澄清后,于2008年9月8日由斐济电力局和中国水利水电建设集团公司(SINOHYDRO)在斐济首都苏瓦(Suva)签署了项目承包合同协议。工程经过4年的建设,于2012年5月18日并网发电运行。

第二节 工程概况

南德瑞瓦图工程位于斐济维堤莱乌(Viti Levu)岛中南部,坝址处于东经 $177^{\circ}49'3''$,南纬 $17^{\circ}18'30''$,距离南迪(Nadi)机场135 km,距离首都苏瓦约300 km。工程主要包括:拦河坝、输水系统、电站厂房、132 kV开关站和输变电路系统。工程的主要作用是拦河蓄水发电。

一、坝区及进水口

拦河坝位于卡里瓦纳河和纽库河汇流处,工程以上控制流域面积 92.7 km^2 。挡水建筑物为混凝土重力坝(包括溢洪道和泄流底孔),最大坝高41.5 m,坝顶宽8.5 m,坝顶长度86.835 m,调节库容 $1\,000\,000\text{ m}^3$,最大库容 $2\,000\,000\text{ m}^3$,电站总装机容量为44 MW。溢洪道顶高程516.40 m,溢洪道为开敞式溢洪道,采用挑流消能。3孔溢洪道,每孔净宽6 m,安装3个弧形闸门。溢洪道的右侧为2个底孔,底板高程499.80 m,孔口尺寸为 $4.2\text{ m}\times 4.2\text{ m}$,安装2个平板闸门。

二、引水系统

引水系统包括进水口建筑物、引水隧洞、调压井、压力管道和岔管等主要建筑物,引水流量为 $15\text{ m}^3/\text{s}$ 。进水口建筑物是引水隧洞的取水口,位于坝体右岸上游约25 m,为钢筋混凝土塔式结构,布置在一个开挖出来的岩石凹槽内。进水口底板高程511.00 m(泥沙淤积高程509.00 m),取水口宽度3 m、高度3 m,引水流量 $15\text{ m}^3/\text{s}$ 。设有2道闸门,进口处有拦污栅和清理设备。引水隧洞总长约1937.309 m,走向为 $\text{NE}77.02^{\circ}$,底坡0.987%。隧洞断面为马蹄形,断面尺寸为 $3.0\text{ m}\times 3.5\text{ m}$ 。在引水隧洞出口上游约140 m处设置调压井,调压井高约86.742 m,内径2.5 m。调压井开挖直径3.3 m,采用喷混凝土作为初期支护,永久结构采用钢筋混凝土结构,衬砌厚350 mm。

引水隧洞出口接隔离阀和压力管道,管道总长约1450 m,管径为2.25 m。隧洞出口布置有控制建筑物。按照当地环保部门的要求,压力钢管不得对环境和植被产生大的破坏,需采用埋藏式布置。为最大限度地减小管线的纵向坡度、促使进场交通便利,管线沿冲沟的坡面布置,管道全长1450 m,仅引水隧洞出口阀下游20 m的起始段为明管,其余部位均为回填埋管。压力管道出口设分岔管,分别为2台机组供水,岔管结构型式为非对称Y形的月牙肋岔管。

三、厂房布置

南德瑞瓦图工程厂房位于陡峭的巴(Ba)河河谷,在布亚布亚(Buya Buya)村正西方向,巴河的左岸。在这个位置有一块平地,最有利于布置厂房建筑物。厂区主要由主厂房、副厂房、变压器场及输变电出线塔架等组成。

根据厂区地形条件以及巴河的洪水位,确定整个厂区的地面高程。厂房基础尽量放到岩石上,在平面上,厂房建筑物后面是陡峭的岩石边坡。因此,在布置时考虑靠近河道,将缩窄河道,导致河水位升高,减小发电时间,增加水流对建筑物冲刷的危险;远离河道,则会增加边坡开挖,加大工程投资。

厂房为岸边式厂房,主厂房地面高程为 199.50 m,高于厂区地面高程,总长 53.1 m,总宽 23.2 m,总高度 32.0 m,其中地面以上高度为 18.70 m。厂房内布置 2 台五喷嘴垂直冲击式水轮发电机组,机组间距 13.60 m,发电机单机容量为 22 MW,总装机容量 44 MW,最大引水流量 $15 \text{ m}^3/\text{s}$,发电毛水头 335.7 m,为高水头水电站。总发电量估计平均每年为 $101 \text{ GW} \cdot \text{h/a}$ 。

副厂房位于主厂房右侧及上游侧,二层总长约 15.825 m,宽 7.5 m,一层副厂房长 15.7 m,宽 5 m。副厂房内主要布置有中央控制室、办公室、休息室、柴油机室、消防泵房和机修间等。

尾水从厂房出来以后,直接进入河道,考虑尾水管与河道垂直,因此对尾水出口采用钢筋混凝土护砌,以保护厂房基础不被冲刷。

厂房区与对外交通道路连接,进厂道路接厂房区的停车场。在厂房后面设防火通道,为钢管和岔管的安装施工及变压器安装留有空间。主变压器及其出线设备布置在主厂房上游侧,主变高压侧及开关站进线侧之间的 2 回架空输电线由双回路塔架及门架来支撑。变压器后面是出线塔架,由此通过 5.4 km 的输电线路输往开关站。

四、输变电线路及开关站

南德瑞瓦图工程 132 kV 输变电架空线路总长 4.894 km,塔架共 17 基,其中包括终端塔架 2 基(厂房升压站和开关站)、转角塔架 5 基、直线塔架 10 基。室外布置 132 kV 开关站,位置离主厂房直线距离有 5.4 km 远,占地约 $80 \text{ m} \times 80 \text{ m}$ 。业主根据未来发展需要,增加了一个间隔。开关站与控制室之间设置电缆沟作为控制电缆和电力电缆、通信电缆的共同通道。

第三节 工程的技术特点与经济效益

2008 年,爆发了世界性的金融危机,我国为加快实施中国企业“走出去”的战略,对有优势的各类中国企业开展跨国经营,充分发挥我国的资金优势,利用国外的资源,从而带动国内相关技术、设备、商品和劳务出口。其中,斐济市场就是中国水电集团进军南太平洋市场的着力点。

中国水电建设集团在中国国家开发银行的资金支持下,投资斐济的水电项目,为占领

整个南太平洋市场奠定基础。南太平洋地区包括澳大利亚、新西兰、斐济群岛共和国及其周边一些岛屿国家,在水电行业属于高端市场。斐济南德瑞瓦图水电站工程的成功实施为其他高端市场上中国公司与金融机构联合提供了很好的合作模式。

一、关键技术难点

南德瑞瓦图水电站工程为高水头水电站,又是在南太平洋地区的高端市场建设的水电站,规范采用欧美规范和澳大利亚-新西兰规范,无论是设计还是施工,都存在很多的技术难题,主要有以下几个方面。

(1)回填式钢管的柔性整体设计思路。环境保护是贯穿整个工程设计的主线,是基本原则,压力钢管技术方案必须考虑环保因素。设计团队创新思维,按照柔性整体设计思路,把压力钢管埋藏于地下,即采取回填式埋管,在进入厂房前,创新思维,取消了镇墩,打破了“逢弯必镇”的设计理念。

引水压力钢管全长 1 450 m,管径 2.25 m,引水流量 $15 \text{ m}^3/\text{s}$,最大水头 400 m。为了减少对环境的破坏,把压力钢管埋设在土体中,埋深 1.7~8 m。这种埋藏式钢管设计的难点是高水头、埋藏式的钢管空间结构受力复杂,钢管稳定靠与周围的回填土挤压产生的摩擦力维持,需要考虑内水压力、外部土压力、地震荷载和温度荷载等多种工况。设计团队成立专题小组,对这种高水头、埋藏式压力钢管进行专题研究。采用先进的 Auto Pipe 钢管专用程序,对压力钢管整体和地基约束及端部连接进行模拟分析。初步的计算结果,表明取消镇墩后的埋藏式压力钢管布置方案是可行的,并且减少了伸缩节的使用,对于高水头压力钢管的漏水风险也大大降低,这种技术具有创新性和先进性,大大减少钢材用量。

(2)在高水头水电站厂房设计中,蜗壳及二期混凝土的浇筑设计对于蜗壳稳定和二期混凝土配筋非常关键。本工程为高水头冲击式机组,安装五喷嘴垂直冲击式水轮发电机组,金属蜗壳,最大静水头 335 m,最大动水压力可达 4.02 MPa。据结构分析,蜗壳外围混凝土浇筑如不采取特殊措施,则结构配筋量很大。按照常规混凝土设计,在厂房布置限制的空间内,由于蜗壳外围混凝土承担了蜗壳内巨大的水压力,导致混凝土配筋无法承担这部分荷载。通过保温保压的专题研究,解决了厂房布置的难题,丰富了混凝土的设计技术。目前,在国内外水电工程项目中,同时采用保温保压措施的电站很少,一般都只采取单一的保压措施,因此,二期混凝土的保温保压设计技术具有先进性,并成功实施。

(3)斐济是个高端市场,在工程设计中要求全部采用澳大利亚-新西兰规范或欧美规范,包括水工、机电、给排水、通风及消防等专业。业主对工程的安全性设计要求非常严格,每个结构和方案都必须有充分的论证和分析,大到坝体和厂房的整体结构,小到爬梯、护栏等,这为整个工程的设计增加难度。南德瑞瓦图水电站是个无人值守的电站,机电设计更是把运行安全、节能和环保等排在第一位,对自动化程度要求很高,这些理念贯穿于整个设计过程和每个机电设备。在事故油池设计中,设计人员根据油水分离的原理,创新思维,发明了一种油水分离装置。

二、经济效益、社会效益、环境效益

(1) 斐济是个旅游国家,对环境的要求非常高,高水头埋藏式埋管减少了工程对环境的破坏。压力钢管改变了“逢弯必镇”的布置理念,采用整体计算控制变形和应力,是一种设计理念的突破。高强钢的使用,不但减少钢材,减少了钢管的加工、运输工程量,而且还减小了因钢管壁厚过大而导致的热处理、焊接应力消除等技术难度,可节约大量投资,也为其他高水头电站的压力钢管设计提供经验,具有很好的推广应用前景。

(2) 保温保压措施解决了混凝土施工中因水化热温升导致蜗壳变形的技术难题,合理的压力分配可以减少二期混凝土的钢筋用量。南德瑞瓦图水电站工程从理论上、技术上和施工工艺上均进行了深入研究并成功运用,为其他工程解决蜗壳和混凝土联合受力及混凝土浇筑提供了成功的经验,在水电工程设计中居于领先水平。

(3) 工程建成后,每年可以为斐济提供 $101 \text{ GW} \cdot \text{h}$ ($1.01 \text{ 亿 kW} \cdot \text{h}$) 的电量,承担斐济电网电力的 15%,缓解斐济电力需求紧张的局面,对于斐济国家经济发展具有巨大的社会效益和经济效益。每年减少进口发电燃油约 $22\,000 \text{ t}$,将使二氧化碳的排放量每年减少约 $66\,000 \text{ t}$,使斐济在国际碳排放贸易市场上享有较好的荣誉,为斐济的工业发展和经济发展提供清洁的再生能源,具有很大的环境效益。

第二章 水文规划、工程规模及水库泥沙分析

第一节 设计洪水分析

一、流域特性

卡里瓦纳流域在布鲁(Bulu)水文站的面积为 54.5 km^2 , 纽库流域在莱瓦(Lewa)水文站的面积为 19.2 km^2 。南德瑞瓦图水电站工程大坝坝址位于卡里瓦纳河与纽库河汇合点下游 30 m 处, 流域面积 92.7 km^2 。本地区最高处在坝址附近的科罗(Koro)高峰处, 高程为 $1\,053.00 \text{ m}$, 最低处是电站厂房位置, 高程为 185.00 m 。主河道宽度为 $12 \sim 35 \text{ m}$, 两侧河岸高陡, 均被浓密的树木和植被覆盖。河水流速受季节影响较大, 流速在 3 m/s 左右。

二、气象

斐济每年主要有 2 个季节: 旱季和雨季。雨季从 11 月至次年 4 月; 旱季从 5 月至 10 月。斐济岛多年平均气温 32°C , 极端最高气温 40°C , 极端最低气温 5°C , 最高水温 30°C , 最大相对湿度 90% , 雷暴频率 50 d/a , 多年平均降雨量 $4\,800 \text{ mm}$ 。

三、降雨资料

南德瑞瓦图工程区及附近共有 6 个雨量站, 分别为纳瓦依(Navai)站、莱瓦(Lewa)站、纳德罗(Nadrau)站、科罗(Koro)站、纳迪奥莱乌(Nadiolevu)站和卡里纳萨乌(Qalinasavu)站, 可以提供 1990—2000 年的雨量数据。从雨量累计图上可以看出, 有些数据是缺失的。根据雨量资料, 在 1990—2000 年, 卡里瓦纳河流域的多年平均降雨量为 $2\,965 \text{ mm}$, 纽库河流域的多年平均降雨量为 $2\,940 \text{ mm}$ 。

这里只列出纳瓦依雨量站的资料, 根据该雨量站记录的数据, 多年平均降雨量为 $2\,987.7 \text{ mm}$ 。

(一) 雨量站月降雨统计

纳瓦依雨量站月降雨统计见表 2-1。

(二) 降雨频率分析

雨量资料见表 2-2。

表 2-1 纳瓦依雨量站月降雨统计 (单位:mm)

年份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	总计
1982	—	—	616.1	158.8	79.7	290.0	—	—	—	—	—	—	—
1983	358.4	1 099.1	609.9	116.4	32.0	58.8	97.8	112.3	45.3	148.4	188.1	321.8	3 188.3
1984	235.9	251.5	670.9	262.7	223.8	314.6	27.8	73.7	84.0	119.2	282.3	289.4	2 835.8
1985	377.2	327.4	1 896.6	283.6	131.2	130.3	202.9	78.8	94.2	190.9	279.8	203.4	4 196.3
1986	155.2	464.6	407.2	1 063.4	66.4	258.8	11.5	126.8	55.9	72.1	73.1	311.4	3 066.4
1987	88.3	258.5	431.0	141.5	143.6	29.2	74.2	87.8	8.0	23.0	254.1	594.0	2 133.2
1988	344.5	423.0	504.4	624.2	173.0	39.7	242.9	18.4	92.6	5.8	135.1	529.8	3 133.4
1989	375.7	909.3	256.9	361.1	525.1	89.9	29.9	147.6	170.9	209.4	0.8	0.9	3 077.5
1990	—	260.3	1 305.8	64.3	35.0	364.0	66.0	290.4	185.7	72.4	724.3	119.6	3 487.8
1991	600.3	387.4	294.0	227.1	43.0	30.0	60.7	177.5	239.0	110.9	185.3	192.4	2 547.6
1992	336.4	320.0	316.0	262.6	166.1	182.3	55.0	159.5	27.5	24.0	153.6	978.3	2 981.3
1993	965.5	788.4	429.4	151.4	285.9	47.4	65.8	268.0	266.0	17.6	172.3	285.2	3 742.9
1994	641.6	616.4	547.5	94.6	44.7	242.7	53.0	7.5	102.0	12.0	116.0	160.0	2 638.0
1995	484.0	131.0	510.3	373.8	117.5	—	81.5	81.0	177.5	26.5	191.9	299.1	2 474.1
1996	220.0	298.4	552.6	112.5	275.6	256.9	7.0	150.0	123.1	3.1	122.8	480.3	2 602.3
1997	637.0	205.0	—	361.1	648.4	36.0	100.0	197.0	52.0	353.0	25.0	126.3	2 740.8
1998	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1999	900.9	645.0	6.2	256.6	115.5	—	134.0	159.0	—	263.0	477.5	—	2 957.7
2000	—	390.3	474.5	339.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
最小	88.3	131.0	6.2	64.3	32.0	29.2	7.0	7.5	8.0	3.1	0.8	0.9	2 133.2
平均	448.1	457.4	578.2	291.9	182.7	158.0	81.9	133.5	114.9	103.2	211.4	326.1	2 987.7
最大	965.5	1 099.1	1 896.6	1 063.4	648.4	364.0	242.9	290.4	266.0	353.0	724.3	978.3	4 196.3

表 2-2 各个频率下的 24 h 降雨强度 (单位:mm)

历时	20%	10%	5%	2%	1%	0.1%	0.01%	PMP
1 h	—	—	—	—	—	—	—	400
2 h	182	214	245	282	316	417	537	730
3 h	224	269	309	363	407	549	708	980
4 h	275	324	380	447	501	676	871	1 130
5 h	324	389	447	525	602	776	1 023	1 500

注:PMP 为最大可能降雨。

卡里瓦纳河是南德瑞瓦图工程的其中一个支流,为了计算水库的洪峰流量,绘制了卡里瓦纳河的6 h洪水过程线,见图2-1。

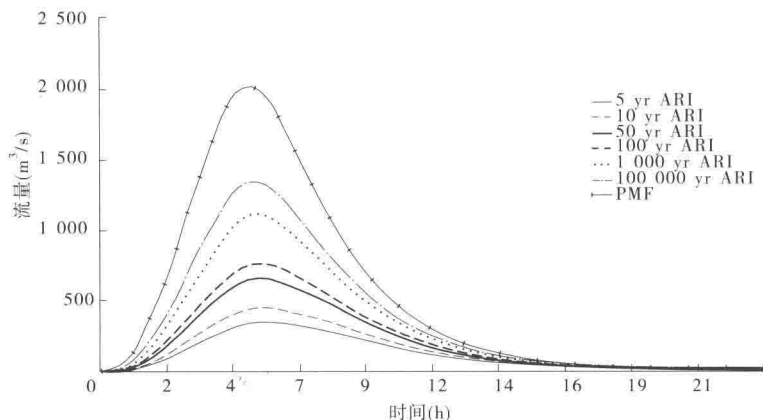


图2-1 卡里瓦纳6 h洪水过程线

图2-1中5 yr ARI指的是5年一遇的洪水频率。

纳瓦依系列包括1990—1997年和1999年,这是这个雨量站有限的可用数据。1998年的资料没有采用,是因为有大量的数据丢失,例如1998年降雨非常接近多年平均降雨量,而纳瓦依的记录表明1998年还远远低于最低值。另外,其他年份的资料也有丢失,特别是1995年和1992年,数据很不完整。

以下3个因素进一步导致流量系列的准确性:

(1)通过辛嘎托卡(Sigatoka)和蒙纳萨乌(Monasavu)流域的降雨资料分析可知,1990年的降雨可能要低于长年平均值的5.5%。

(2)降雨记录依据的是24 h平均雨量。

(3)在斐济,天气变化的影响很难估计,因为在某一个特殊地区很难获得长系列的资料,要么记录有间断,要么降雨量被低估。

四、径流

为延长卡里瓦纳河和纽库河的流量系列,斐济水利部门建立了2个流域的降雨径流模型。纳瓦依站1990—2000年的逐日降雨资料被输入模型,用来估算卡里瓦纳水库和莱瓦取水口的流量。纽库河和卡里瓦纳流量系列经面积修正后可得到科罗莱乌取水口流量数据。

水库上游流域面积与平均径流资料见表2-3。

五、洪水特性

设计洪水采用以下几种方法计算:

(1)对卡里瓦纳河的1981—1993年和2004—2005年的洪水系列进行频率分析,同样对纽库河的1981—1993年的洪水系列也进行了频率分析。

表 2-3 水库上游流域径流资料

流域	流域面积 (km ²)	平均流量 (m ³ /s)
纽库	19.2	1.2
卡里瓦纳	54.5	3.5
纽库 + 卡里瓦纳	75.1	4.7
科罗莱瓦	92.7	5.7

(2)采用降雨径流模型,分析卡里瓦纳河和纽库河流域的洪水过程线和洪峰流量。

(3)根据 1993 年澳大利亚降雨径流模型(最大可能洪水(PMF)和 100 年一遇洪水计算),计算了卡里瓦纳流域布鲁水文站和纽库河流域莱瓦水文站的 100 000 一遇洪水。

(4)根据国际水文科学组织(IAHS)的外包线计算最大可能洪水(PMF)。

卡里瓦纳和纽库河流域的 1 000 年以下的洪水频率分析成果被相加后作为南德瑞瓦图水电站工程的设计洪水。在巴河上的电站厂房处的设计洪水由卡里瓦纳的洪水放大后得到。根据径流资料,推求得到的不同流域设计洪水成果见表 2-4。

表 2-4 不同流域设计洪水 (单位:m³/s)

雨量站	纽库		卡里瓦纳		巴		南德瑞瓦图	
重现期(年)	全年	5~12月	全年	5~12月	全年	5~12月	全年	5~12月
1	41	8	113	62	103	56	185	78
2	62	16	260	141	236	128	391	174
2.33	69	28	266	144	242	131	406	196
5	129	55	390	236	354	214	625	336
10	161	77	491	311	446	282	785	450
50	252	125	714	475	648	431	1 160	700
100	290	146	808	545	734	495	1 318	807
1 000	417	213	1 119	775	1 016	704	1 842	1 156
10 000	551	—	1 342	—	1 219	—	2 332	—
100 000	705	—	1 780	—	1 617	—	2 800	—
最大可能洪水(PMF)	804	—	2 018	—	1 833	—	3 149	—
极端洪水	1 140	—	2 599	—	2 409	—	3 954	—

第二节 工程规模

南德瑞瓦图工程所在地区属亚热带湿热气候,5~10 月为旱季,11 月至次年 4 月为雨季。雨季湿度大,暴雨较多,年降雨量 4 800 mm,坝址处多年平均流量为 5.7 m³/s,平均