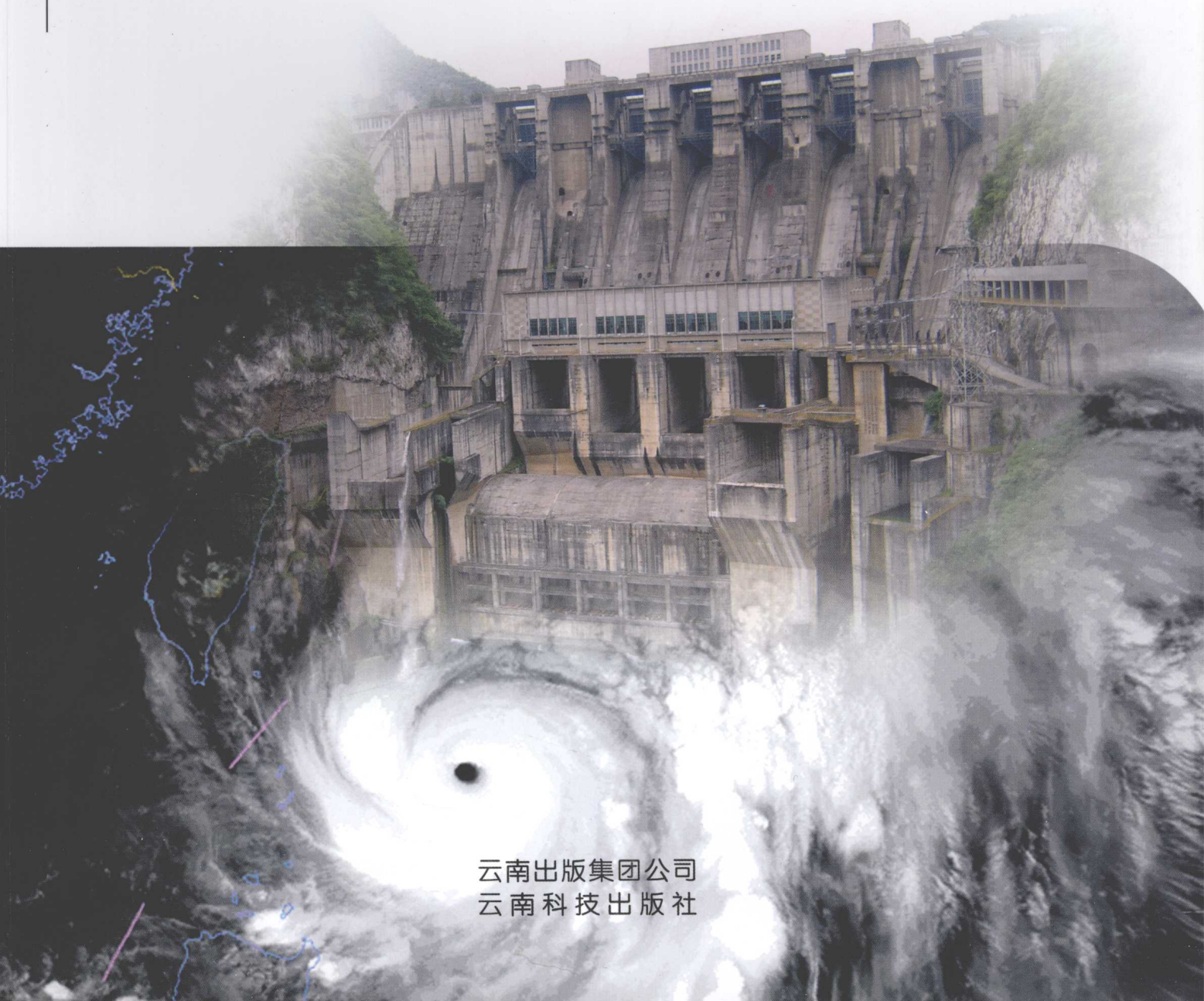




YUNNAN SHUIDIAN QIXIANG

云南水电气象

秦 剑 朱保林 赵 刚 编著



云南出版集团公司
云南科技出版社

YUNNAN SHUIDIAN QIXIANG

云南水电气象

秦 剑 朱保林 赵 刚 编著

云南出版集团公司
云南科技出版社
· 昆 明 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

云南水电气象/秦剑, 朱保林, 赵刚编著. —昆明:
云南科技出版社, 2010. 8

ISBN 978 - 7 - 5416 - 4114 - 5

I. ①云… II. ①秦…②朱…③赵… III. ①水力发
电站—气象服务—研究—云南省 IV. ①TV7②P49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 153776 号

云南出版集团公司

云南科技出版社出版发行

(昆明市环城西路 609 号云南新闻出版大楼 邮政编码:650034)

云南国浩印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:889mm × 1194mm 1/16 印张:21 字数:600 千字

2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

定价: 96.00 元

金沙江下游四座巨型水电站流域卫星影像图



代 序

——《溪洛渡水电站坝区及向家坝水电站库区 局地气候环境本底监测与分析》鉴定意见

2009年6月12日,由云南省气象局科技减灾处主持,对“溪洛渡水电站坝区及向家坝水电站库区局地气候环境本底监测与分析”项目成果进行了鉴定。专家组详细审阅了项目组提供的工作报告、技术报告及有关材料,听取了项目组的全面介绍,经过认真的质疑和讨论,形成如下鉴定意见:

1. 该项目是我国首次在巨型水电站工程建坝前开展大规模野外气候环境本底监测与科学分析,其工作量大、时间长、参加人员多。

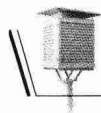
2. 本项目创新性地应用了先进技术和方法。在向家坝库区的剖面观测中,首次采用了双基自动站方式,其间隔高程为100米左右,有效地保证了野外观测资料的科学性、连续性和可靠性。在溪洛渡坝区的近地面探空观测中,引入国内最先进的GPS探空技术,使得低空探空资料更加准确、可靠。

3. 利用近30年的NCEP/NCAR再分析月平均资料、CMAP月平均降水场资料,与溪洛渡坝区及向家坝库区的气候本底监测资料相结合,揭示了该区域的气候背景、近地面流场特征、大气边界层风场、温度场和逆温特征以及大气的扩散特征,为向家坝、溪洛渡水电站建设和周围生态环境保护提供了科学依据。

4. 该项目在历时一年的时间内,观测、收集整理了磨刀溪、出机田等共10个站的逐时地面观测资料;获得了2008年1月使用双经纬仪方法的探空资料100多份;2008年3月、7月、10月、12月使用GPS方法的探空资料近700份(其中有效加密资料17份);2008年1月、4月、7月和10月的平衡球资料242份。为溪洛渡坝区及向家坝库区积累了珍贵的气候环境本底资料。

5. 项目组提供的工作报告、技术报告及相关资料详实、丰富、完整。项目研究内容丰富、结构合理、整体性强,分析结论可信,有较高的科学价值和应用前景。为我国巨型水电站建设和金沙江水资源的开发利用,提供了一整套气候环境本底监测的思路、技术和方法。

综上所述,鉴定委员会一致认为:从总体看,该项目达到了目前国内同类研究工作的领先水平,特别是在巨型水电站建坝前建立局地剖面气候本底监测网,应用



先进的大气探测技术开展低空探测等具有重要的创新意义。

同时，专家组建议进一步加强溪洛渡坝区与向家坝库区的气候监测，为水电站建成后的生态环境保护和开发利用作出贡献。

鉴定委员会主任：

李泽椿

院 士 国家气象中心前主任

副主任：

钟晓平

研究员 四川省气象局副局长

鉴定委员会委员：

卞林根研究员 中国气象科学研究院副院长

郭世昌教授 云南大学资环学院院长

杨良研究员 云南省环境监测总站站长

曹杰教授 云南大学资环学院大气科学系系主任

伍立群正研高工 云南省水文水资源局副局长

薛联芳正研高工 中南勘探设计研究院

何涛高工 成都勘探设计研究院

前 言

本书用“云南水电气象”这个名字，作者是动了一番脑筋的，惟恐有名不符实之嫌。但是，在云南北部的金沙江下游，的确即将横空出世四座世界级的巨型水电站，它们仅次于三峡巨型水电站，它们就是在建的溪洛渡和向家坝水电站，以及即将动工的白鹤滩和乌东德水电站。同时，的确有一大批气象专业技术人员在这些水电站动工前后参与其中近十年之久，开展了方方面面的气象科学考察和气象保障服务；的确有新一代多普勒雷达等一大批先进的气象探测精密仪器布点在这些水电站的各个角落，准确地记录着每一点的气象环境变化，成为水电站建设过程的忠实卫兵；的确有我们在全中国率先召开了多次水电气象服务专题学术研讨会，多个国家级电力集团派代表到会，还有外省同行参加了交流。本书就是这些内容的一个初步的归纳总结，它基本应该可以说明《云南水电气象》是名符其实的。

说到这里让我想起了多年前的一段往事，当时我参加在红河召开的一个全省性会议，会议期间听一个基层市局的领导朋友讲他们在溪洛渡水电站的气象服务做不成了，快被别人赶走了。本来此事开始是我们拿出方案要做的，不知为何不让我们参加，所以它一直让我关注，听说后耿耿于怀、心急如焚。散会后，也未经请示上级，立即带了几个人就潜往金沙江下游的超级大电站——溪洛渡（中国第二大水电站）。过程如何，精彩细节就不用多说了，其结果是，我们受到了高规格的礼遇，水电站建设部门（简称甲方）希望我们介入。回来后，我向领导汇报了此事，接着就主持了与甲方的多轮谈判，之后我们双方就合作至今。我想补充说明这是一件大事，中国气象局的有关领导和直属单位都非常关心这件事，许小峰副局长曾当面鼓励我们做好云南水电开发的气象服务，减灾司刘扬副司长、国家气象中心肖子牛副主任也率队去过溪洛渡；云南省气象局也很关心此事，有关单位做了相应工作，先后有两位副局长当过与甲方合作项目的组长，我是在他们有事离任以后才当上组长的。我还想补充说明的就是甲方的领导和甲方的上级领导都是很有头脑、很有眼光、很讲科学、很讲实干、很讲效益的，与他们打交道既严谨又简单、既紧张又轻松，他们是正在走向世界的三峡人，他们是甲方——中国长江三峡集团公司金沙江开发有限责任公司筹建处副主任胡斌教授，金沙江开发有限责任公司筹建处水文气象中心主任刘尧臣、副主任魏东升、居志刚等。当然我十分有幸和他们成为朋友。

气象伴随着文明社会的进步而发展。人类的生产和生活对气象的依赖性是很强的，农民种地、工人生产以及老百姓外出打工旅游等都离不开气象，人们一直都对“呼风唤雨”有着强烈的企盼。从古代的“巧借东风”、“火烧赤壁”到现代的“偷袭珍珠港”、“诺曼底登陆”等，无一不是充分利用了有利的气象条件而获得成功的。



经典战例；从“三峡大坝合拢”、“溪洛渡截流成功”到“北京奥运会开幕”、“建国 60 周年大阅兵”毫无例外的都得到了高科技支撑的精准气象服务保障；还有新的农业产业结构调整、城镇化建设以及绿色新能源开发利用和政府领导防灾抢险等等都需要现代气象事业提供的气象服务。时至今日，气象服务已经渗透到经济社会的各个领域，工农业生产、水文水利、交通运输、航空航天、海洋开发、城市发展、区域经济发展、重大工程建设、环境卫生以及人工影响天气等等，都离不开气象服务，每个公民的高品质生活更离不开气象服务。气象服务的要求越来越高，气象部门的压力越来越大，气象工作对经济发展的现实性作用和对社会进步的基础性作用越来越强。听云南省气象局局长丁哥讲有一位市委书记曾说过这样一句话：懂科学的领导，是会充分应用气象的。显而易见，优质的气象服务对于保持经济社会持续快速健康发展和人民群众的生产生活具有十分重要的意义，也是现代社会的重要标志之一。

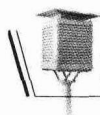
气象为水利建设服务源远流长。我国著名水利专家林一山先生基于战胜 1954 年长江特大洪水的实践，首倡气象与水文相结合开展洪水预报。1955 年底应国家建委和国家计委的要求，气象部门组织有关省气象局进行了包括黄河、淮河、长江等大小十七条江河气象资料整编和气候分析工作，这项工作为以后一些大中型水库工程设计提供了重要依据。1975 年河南大暴雨造成几座大型水库漫坝失事，为吸取这一惨痛教训，气象部门与水利部门通力合作，收集了大量资料，于 1979 年编绘出了全国各地各时段的最大可能降水量分布图。水利部门据此全面复查全国的水利工程，重新核定水库抗洪标准，提高了水利设施的抗洪能力。进入上世纪 80 年代以后，中国气象局将国家跨世纪的重点工程——长江三峡工程作为气象服务工作的重点，水利部部长杨振怀和中国气象局局长邹竞蒙自始至终参与了有关工作。从中央到地方都组建了三峡工程气象服务中心，制定了气象服务总体方案，中国气象局甚至还出台了《长江三峡水利枢纽气象保障服务系统规划》，组织了国家气象中心、国家气候中心、国家卫星中心及中国气象科学研究院共同承担三峡工程的国家级气象服务，调集了武汉和成都两大区域气象中心承担长江流域的气象保障服务，成立了由当地气象台站组成的三峡坝区和库区气象服务中心开展日常的气象服务，并在人、财、物方面给予了大力支持。可以说，整个三峡水利工程从头到尾，气象部门全力进行了保障，气象服务取得了极大成功。

本书是我们为溪洛渡、向家坝两座水电站建设开展气象服务过程中的一点归纳和小结，它包涵了一大批曾经和至今仍为之服务、帮忙和指导的气象科技工作者以及他们领导的辛勤努力工作。云南省气象科技服务中心的杨飞副主任多年来的主要工作任务之一就是为溪洛渡服务，地面自动站考察选址、服务系统软件开发、大江截流气象保障、安排人员轮流值班等都能看见他忙碌的身影。昭通气象局的王强、罗松等，多年来一直默默无闻的数十次、甚至上百次往返、穿梭于工程建设指挥部水文气象中心和金沙江下游沿线各气象观测点，为保证气象服务质量和项目的完成倾注大量心血。昆明国家气候观象台段云俊率领探空员队伍，克服重重困难，精心选点，成功地开展野外探空试验，但是由于 2008 年初的南方冰雪灾害影响，原方案

不能进行下去,前期观测资料作废,他们又及时调整技术方案,采用新的GPS探空技术,高质量完成了一年的低空探测任务。以田永丽、吴星霖两个年轻人为典型代表的省、市专业气象服务人员,克服新婚、家庭等重重困难,常年在艰苦、冷清的溪洛渡水电站工程气象服务一线,我去看望她们时,尽管满眼含泪,仍然微笑着只谈工作。宜宾市气象局原局长徐秋平、现局长岳永良二位领导,积极支持我们开展库区的气象科学考察工作,组织安排了业务技术骨干协助考察,为完成项目所要求的气候本底监测任务获取了大量珍贵数据资料。凉山州气象局杨柳婵局长,我非常敬佩这位基层精明强干的女局长,很多四川同学都称她是四川州、市级气象局长的一面旗帜,我从心里表示完全赞同。我和她是溪洛渡水电工程气象服务的激烈竞争对手,激烈竞争场景完全可以写个精彩的中篇小说,反正我和她从溪洛渡争到凉山的西昌,又争到了四川省的成都。当她得知我们将入主该工程气象服务后,仍然派出优秀预报服务人员协助我们搞好气象服务保障任务,并积极参加我们召开的水电气象服务经验交流会,这种“绝不言败、永不放弃”的精神很值得我方学习。邓勇、李敏两位专家是必须要讲的,当时他们以省局副局长的身份先后领衔项目组长,为课题立项、组织协调技术力量做出了不可或缺的重要贡献,尽管他们因种种原因先后离去,但由于他们开了一个好头,使本项研究得以继续下去。还有三个人是一定要感谢的,他们就是我十分敬重的三位兄长,一位是四川省气象局的钟晓平副局长,一位是现在重庆市气象局的左雄副局长,还有一位是中国气象科学研究所的卞林根研究员(时任副院长),如果没有三位领导专家的支持、鼓励和协调,这个项目做不到今天这样的程度。

气象是一门古老而年轻的科学,又是一门复杂而充满刺激的学问。我从事气象学习、业务、科研和服务已三十又二年,深深感到搞气象难,搞气象科研更难,搞气象服务难上加难;深深感到这个难、更难、难上加难让我一直沉迷其间,乐在其中。正是这个“难”字,使一代又一代气象业务人员认真观测每一个数据,精心发布每一条预报。正是这个“更难”,使一批又一批科研人员面对枯燥数字和海量资料,反复计算、认真推敲,攻克了一个又一个科学难题,推动了业务技术的不断进步。正是这个“难上加难”,正确解决了气象业务、科研的出发点和归宿的重大命题,确立了气象业务科研在经济社会发展中的重要地位,推动了气象事业的快速健康发展。随着经济建设的飞速发展和科学技术的日新月异,气象为国民经济建设各领域的服务必将日益重要,气象为水电开发利用服务必将极大地促进专业和特色气象服务事业的大发展。

全书共分为九章,对溪洛渡坝区及向家坝库区蓄水前局地基本气候特征作了较系统的分析,对水电站气象服务也作了认真的研究。第一章金沙江下游地区气候背景分析;第二章溪洛渡水电站坝区气候变化、地面风场与大气稳定度特征;第三章溪洛渡坝区及向家坝库区地面流场特征;第四章溪洛渡坝区及向家坝库区气温与降水时空分布特征;第五章溪洛渡水电站雷电预警研究;第六章溪洛渡坝区及向家坝库区大气边界层风场特征;第七章溪洛渡坝区及向家坝库区大气边界层温度场特征;第八章溪洛渡坝区及向家坝库区大气扩散特征;第九章水电建设中的气象服务。这



本书是在我们多年为金沙江下游溪洛渡、向家坝两座巨型水电站服务的基础上写出来的，是在该区域众多气象站、自动站观测资料分析基础上写出来的，是野外考察、科学试验获取大量蓄水前气候本底资料计算处理基础上写出来的，也是云南、四川两地气象科技人员通力合作写出来的。它对金沙江流域水电资源开发及后期营运具有十分重要的意义，也对其他流域的开发利用具有较强的指导性。值得说明的是，本书部分章节引用了溪洛渡气象服务两次交流会议文集的有关材料内容，已在参考文献中列出，在此对有关作者表示感谢。由于作者水平有限，书中错漏在所难免，敬请广大读者批评指正！

最后，我们要满怀深情的感谢我国著名的气象学家李泽椿院士。李泽椿老师为本项研究给予了大力支持，并对本书修改成型给予了悉心的指导。多年以来，在我成长的每个时期李老师都给了我很多教诲。正是由于李老师的关心爱护，驱使我能静下心来为气象事业不断地做一点有益的事，驱使我能在不同的岗位上做到了“不以物喜，不以己悲”，兢兢业业地努力工作，始终保持着对气象工作的满腔热情。再次衷心感谢李泽椿老师，祝他健康长寿。

在本书出版之际，我们还要特别感谢云南科技出版社的李凌雁编辑，由于她的辛勤工作，使本书得以顺利出版。我们要感谢云南省气象局法规处的徐远，她为本书的编写提供了大量文献资料。云南省气候中心的余凌翔为我们制作了精美的彩图，云南省气象科技服务中心的罗兰仙、米瑞芝也为本书提供了许多帮助，特此感谢。

读者朋友们，请让我借用李白《行路难》一诗的最后两句作为“前言”的结束语吧：

行路难，行路难！多歧路，今安在？

长风破浪会有时，直挂云帆济沧海。

秦 剑

2010年5月1日于昆明

内容提要

水电气象是指气象为水电站建设前期的气候可行性论证、气候本底监测，水电站施工过程中的专业化、精细化的气象预报服务，以及水电站建成后的水库蓄水、防洪泄洪、水调管理和发电营运等综合性的气象服务。一句话，水电气象就是依靠气象高科技支撑的、专业性很强的精细化气象服务。

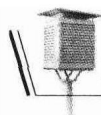
本书就是在气象为我国仅次于三峡水电站的溪洛渡和向家坝两座巨型水电站建设前和建设期间进行服务的基础上编写出来的。其中，我们对溪洛渡水电站坝区及向家坝水电站库区的气候本底监测资料展开了大量的计算分析，得到了有意义的结果。同时，对现代化气象雷达、卫星、闪电定位仪、大气电场仪以及最新的 GPS 探空仪技术的应用作了深入分析。最后，在多角度归纳总结气象为水电站的气象服务后，明确提出水电气象这一专门针对水电站建设营运全过程的专业气象服务必将迅猛发展，为云南和我国的水电事业发展提供有力的支撑。

全书共分为九章，第一章是溪洛渡等巨型水电站所处的金沙江下游地区的天气气候背景；第二章至第四章我们利用多种常规历史资料和珍贵的气候本底考察资料对该区域各种地面气象要素进行了科学的计算分析，并对主要的影响天气系统作了分类介绍；第五章是雷电预警研究，它主要针对溪洛渡及邻近地区雷暴天气开展研究，揭示了该区域的雷暴天气特征及其影响系统，重点介绍了大气电场仪在这里的预警作用和典型个例分析；第六、七两章为金沙江下游地区大气边界层风场和温度场的特征分析，由于我们首次在局地气候考察中使用了先进的 GPS 探空技术系统，所以在这两章中对此作了较为详细的介绍，而 GPS 探空技术的引进应用，对保证在常年能见度差的云南高原山区获得准确有效的气象探空数据是至关重要的；第八章为溪洛渡坝区大气扩散特征分析试验，试验采用双经纬仪技术方法观测跟踪记录平衡球在大气湍流影响下的自由飞行轨迹，整个试验分春夏秋冬四个季节进行，获取了大量数据，较好的揭示了该区域大气扩散的主要特征；第九章是水电建设中的气象服务，它从水电与气象服务的发展、现状和思路入手，提出了一整套水电气象服务的新理念，并把多年来为水电服务的典型事件整编出来，对现代化的气象监测技术手段的应用也作了系统的归纳。最后，在全书的展望一章中，作者从多年从事水电气象服务实践中，首次明确提出了建立一整套科学的水电气象服务的理论、技术和人才体系是发展“水电气象”的必由之路，水电气象服务的标准化建设是水电气象业务的生命线。

这部专著是我们多年从事水电气象服务的总结，也是气象现代化综合探测技术应用的归纳。它集中反映了当前气象为水电站建设前、后服务的最先进的服务技术和最新的研究成果，可为水电工程、水利水电、气象、环境保护、国土资源、防灾减灾以及相关方面的科研人员、大专院校师生和管理工作者提供参考借鉴。

目 录

第一章 金沙江下游地区气候背景分析	(1)
第一节 自然环境及水电站概况	(1)
一、自然环境与水电资源概况	(1)
二、溪洛渡水电站概况	(2)
三、向家坝水电站概况	(3)
第二节 资料和方法	(5)
一、资 料	(5)
二、方 法	(5)
第三节 地面各气象要素多年气候平均分布	(5)
一、各季近地面气温场分析	(5)
二、各季地面气压场分析	(6)
三、各季近地面相对湿度场分析	(7)
四、各季近地面流场分析	(8)
五、各季降水场分析	(8)
第四节 地面各气象要素指数分析	(9)
一、各季近地面气温指数分析	(9)
二、各季地面气压指数分析	(10)
三、各季近地面相对湿度指数分析	(11)
四、各季近地面纬向风指数分析	(12)
五、各季近地面经向风指数分析	(13)
六、各季降水指数分析	(13)
第五节 地面各气象要素周期分析	(14)
一、各季近地面气温周期分析	(14)
二、各季地面气压周期分析	(15)
三、各季近地面相对湿度周期分析	(16)
四、各季近地面纬向风周期分析	(17)
五、各季近地面经向风周期分析	(18)
六、各季降水周期分析	(19)
第六节 溪洛渡坝区三坪自动气象站历年主要天气过程总结	(19)
一、2004 年	(20)
二、2005 年	(20)
三、2006 年	(21)
四、2007 年	(23)
五、2008 年	(24)
第七节 金沙江下游地区主要天气系统及影响	(25)
一、西太平洋副热带高压	(25)



二、昆明准静止锋	(25)
三、川滇切变线	(26)
四、西南涡	(26)
五、南支槽	(26)
第八节 各站点气象要素 2008 年极值分析	(26)
一、气温	(26)
二、降水	(27)
三、风	(28)
第二章 溪洛渡水电站坝区气候变化、地面风场与大气稳定度特征	(29)
第一节 资料与方法	(29)
一、资料	(29)
二、方法	(29)
第二节 气候特征及降水量与气温的变化趋势	(30)
一、气候特征	(31)
二、年平均降水量及气温变化趋势	(31)
三、季节平均降水量、气温变化趋势	(32)
四、降水和气温异常的统计分析	(33)
第三节 地面风场与大气稳定度特征	(35)
一、地面风向变化特征	(35)
二、地面风速变化特征	(36)
三、地面全年各风速等级频率	(37)
四、污染系数	(37)
五、大气稳定度特征	(38)
第三章 溪洛渡坝区及向家坝库区地面流场特征	(41)
第一节 局地气象剖面观测试验	(41)
一、观测站点选择	(41)
二、观测设备	(42)
三、观测成果	(42)
第二节 溪洛渡坝区地面流场特征分析	(42)
一、地面平均风向、风速变化特征	(42)
二、地面风向、风速日变化特征	(43)
三、地面静风特征	(45)
第三节 向家坝库区地面流场特征分析	(45)
一、地面平均风向、风速变化特征	(45)
二、地面风向、风速日变化特征	(47)
三、地面静风特征	(50)
第四节 溪洛渡坝区泄洪期 (6~9 月) 地面流场特征	(50)
第五节 向家坝库区泄洪期 (6~9 月) 地面流场特征	(58)
第六节 溪洛渡坝区各站地面流场相关关系	(67)
一、风速相关	(67)
二、风向相关	(67)
第七节 向家坝库区各站地面流场相关关系	(72)

一、风速相关	(72)
二、风向相关	(73)
第四章 溪洛渡坝区及向家坝库区气温与降水时空分布特征	(78)
第一节 溪洛渡坝区气温时空分布特征	(78)
一、平均、最高和最低气温	(78)
二、极端最高、最低气温及其日数	(78)
三、气温日变化及日较差	(80)
四、气温的垂直分布	(82)
五、水体对坝区周围气温的影响	(83)
第二节 溪洛渡坝区降水时空分布特征	(83)
一、降水量	(84)
二、降水日数、大雨日数和暴雨日数	(84)
三、水体对坝区周围降雨量和降雨日数的影响	(85)
第三节 向家坝库区气温时空分布特征	(86)
一、平均、最高和最低气温	(86)
二、极端最高、最低气温及其日数	(87)
三、气温日变化及日较差	(88)
四、气温的垂直分布	(90)
第四节 向家坝库区降水时空分布特征	(91)
一、降水量	(91)
二、降雨日数、大雨日数和暴雨日数	(92)
第五章 溪洛渡水电站雷电预警研究	(94)
第一节 雷电的产生与闪电的分类及雷暴灾害特征	(94)
一、雷电的产生与闪电的分类	(94)
二、雷暴的灾害特征	(95)
第二节 溪洛渡水电站坝区雷暴的气候特征	(96)
一、雷暴的年际变化	(96)
二、雷暴的月际变化	(97)
三、雷暴天气的日变化	(97)
第三节 溪洛渡水电站坝区雷暴天气环流形势及低层影响系统	(98)
一、典型雷暴个例	(98)
二、雷暴天气的环流分型	(99)
三、雷暴天气的低层影响系统	(102)
四、雷暴天气发生前一天各种要素场特征	(104)
第四节 大气电场仪在溪洛渡水电站坝区雷暴天气中的应用研究	(105)
一、大气电场仪的工作原理及功能	(106)
二、溪洛渡水电站坝区大气电场特征	(106)
三、大气电场仪在溪洛渡水电站坝区雷暴天气中的预警	(114)
第六章 溪洛渡坝区及向家坝库区大气边界层风场特征	(117)
第一节 监测试验基本情况	(117)
一、观测场地选址	(117)
二、低空探测试验技术路线	(117)



三、GPS 探空系统简介	(118)
第二节 大气边界层风向变化特征	(120)
一、资料来源	(120)
二、试验风向数据处理准则	(121)
三、春夏秋冬四季风向频率特征	(121)
四、春夏秋冬四季不同时段风向变化特征	(142)
第三节 大气边界层风速变化特征	(146)
一、春夏秋冬四季各风向平均风速变化特征	(146)
二、春夏秋冬四季不同时段平均风速	(164)
三、春夏秋冬四季风速等级频率	(170)
第四节 三类稳定度下不同高度平均风速	(174)
一、春季三类稳定度下平均风速	(176)
二、夏季三类稳定度下平均风速	(176)
三、秋季三类稳定度下平均风速	(176)
四、冬季三类稳定度下平均风速	(176)
第五节 风廓指数	(176)
第七章 溪洛渡坝区及向家坝库区大气边界层温度场特征	(178)
第一节 GPS 探空仪测温的实现	(178)
一、GPS 探空仪测温工作原理	(178)
二、GPS 探空仪与维萨拉探空仪探空温度精度对比	(179)
第二节 大气边界层温度场变化特征	(179)
一、资料来源	(179)
二、春夏秋冬四季日变化特征	(179)
第三节 三类稳定度下四季平均温度	(186)
一、春季	(186)
二、夏季	(186)
三、秋季	(186)
四、冬季	(186)
第四节 大气边界层逆温特征	(190)
一、逆温出现基本情况	(190)
二、春夏秋冬四季底层逆温特征	(191)
三、春夏秋冬四季三类稳定度下底层逆温特征	(192)
四、春夏秋冬四季三类稳定度下上部逆温特征	(193)
五、春夏秋冬四季不同高度上部逆温特征	(194)
六、春夏秋冬四季不同时段上部逆温特征	(196)
第五节 加密观测期间大气边界层逆温特征	(198)
一、底层逆温特征	(198)
二、三类稳定度条件下底层逆温特征	(198)
三、三类稳定度条件下上部逆温特征	(198)
四、不同高度上部逆温特征	(199)
五、不同时段上部逆温特征	(199)
第六节 溪洛渡坝区及向家坝库区逆温变化特征	(200)

一、春夏秋冬四季底层逆温变化特征	(200)
二、春夏秋冬四季上部逆温变化特征	(202)
第七节 大气边界层混合层厚度	(205)
第八章 溪洛渡坝区及向家坝库区大气扩散特征	(207)
第一节 平衡球观测时间及布点	(207)
一、观测布点	(207)
二、观测方法和设备	(208)
三、观测时间	(208)
第二节 原始资料收集情况	(208)
第三节 平衡球飞行轨迹分析	(209)
一、平衡球飞行轨迹随各测点而变化	(209)
二、平衡球飞行轨迹随各稳定度变化	(213)
三、平衡球飞行轨迹随季节的变化	(214)
四、平衡球轨迹的垂直变化	(214)
第四节 大气扩散参数	(217)
一、大气扩散参数的计算方法	(217)
二、扩散参数的计算结果	(218)
第九章 水电建设中的气象服务	(223)
第一节 水电与现代气象服务的发展	(223)
一、水电的发展	(223)
二、现代气象服务的发展	(224)
第二节 云南省水电资源及水电气象服务现状	(226)
一、云南省水电资源	(226)
二、云南省水电气象服务现状	(227)
第三节 水电气象服务思路	(228)
一、水电开发与气象服务的关系	(228)
二、水电开发不同阶段的气象服务内容	(229)
三、水电气象业务	(231)
四、现代水电气象服务业务调整规划和思考	(231)
五、水电服务气象观测系统的建设	(233)
六、水电气象服务软件系统的建设	(234)
第四节 溪洛渡水电站天气气候服务	(235)
一、溪洛渡水电站气象服务前期技术准备	(235)
二、金沙江下游天气气候特征及强降水成因分析	(236)
三、近46年溪洛渡电站气候变化的多尺度特征分析	(243)
四、溪洛渡水电站截流期(10~12月)气候背景分析	(247)
五、溪洛渡水电站工程冬季施工的气温条件分析	(251)
六、溪洛渡水电站2004/2005年冬季初雪天气形势分析	(255)
七、2006年3月31日溪洛渡灾害性大风预报服务总结	(257)
八、2007年8月溪洛渡施工区两次暴雨预报分析	(260)
九、多种资料融合技术在金沙江下游强降水天气预报中的作用	(263)
十、溪洛渡水电站冬季罕见南支槽大风天气预报分析	(270)



十一、AREM 中尺度暴雨模式在溪洛渡水电站气象服务中的初步应用	(274)
第五节 雷电预警在溪洛渡水电站的应用	(277)
一、溪洛渡水电站坝区雷暴预报预警思路和方法	(277)
二、溪洛渡水电站坝区雷暴天气的卫星云图分析	(282)
三、溪洛渡坝区雷暴天气在多普勒雷达资料上的前兆特征分析	(287)
四、大气电场仪在溪洛渡水电站坝区雷电监测中的作用初探	(291)
第六节 雷达与卫星云图在溪洛渡水电站建设中的应用	(297)
一、多普勒天气雷达在云南水电气象服务中的应用	(297)
二、昭通多普勒天气雷达对金沙江下游地区降水的探测能力分析	(298)
三、新一代多普勒天气雷达对溪洛渡坝区一次短时预报分析	(302)
四、卫星水汽图像在溪洛渡水电站强降水天气预报应用的个例分析	(305)
展 望	(312)
附 录	(316)
参考文献	(317)