

贵州省

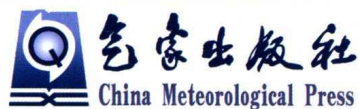
Guizhousheng Fengneng
Ziyuan Kaifa Liyong

风能资源开发利用

吴战平 帅士章 李 霄 等 编著

贵州省风能资源开发利用

吴战平 帅士章 李 霄 等 编著



内 容 简 介

为了有效地服务于贵州现代经济社会发展建设,贵州省气候中心根据国家开展风能资源开发利用的工作要求,利用气象站观测资料和实地考察,采用适合山区特点的计算方法和数值模拟技术,对贵州省风能资源的储量、分布特征和变化规律进行了全面深入的分析研究,取得了风电场风能资源潜力、风电场气象灾害风险评估等一系列科研成果。在此基础上,结合近几年来的应用服务工作总结,并综合国内外有关研究成果编著形成了《贵州省风能资源开发利用》一书。

本书是一部具有山区特色的专业书籍,内容丰富,不仅对贵州省的风能资源开发利用、风电场的建设和风电并网运行管理等具有实用价值,还可为政府决策部门、风电资源管理和规划部门以及风电企业的相关科研技术人员和广大读者提供参考,也可与其他山区风能资源评估工作提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

贵州省风能资源开发利用/吴战平等编著. —北京:
气象出版社, 2014. 11

ISBN 978-7-5029-6043-8

I. ①贵… II. ①吴… III. ①风力能源-资源开发-
研究-贵州省②风力能源-资源利用-研究-贵州省
IV. ①TK81

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 253700 号

出版发行: 气象出版社

地 址: 北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室: 010-68407112

网 址: <http://www.qxcbs.com>

责任编辑: 陈 红

封面设计: 博雅思企划

印 刷: 北京地大天成印务有限公司

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

字 数: 205 千字

版 次: 2014 年 12 月第 1 版

定 价: 50.00 元

邮政编码: 100081

发 行 部: 010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审: 黄润恒

责任技编: 吴庭芳

印 张: 8.25

印 次: 2014 年 12 月第 1 次印刷

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

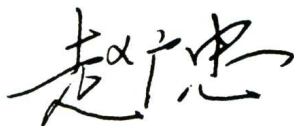
序

风能资源是清洁的可再生能源,风力发电是新能源领域中技术最成熟、最具规模开发条件和商业化发展前景的发电方式之一。在当今全球范围正面临着化石能源濒临枯竭、环境污染问题日趋严重、应对气候变化的压力不断加剧的背景下,发展风能、太阳能等可再生清洁能源已成为国家能源发展战略的重点领域。我国政府对发展风电高度重视,截止 2010 年年底,全国风电累计并网装机容量 3100 万千瓦。《可再生能源“十二五”发展规划》提出:以风电场的规模化建设带动风电产业化发展,风电开发与配套电网和电力系统协调发展(平均每年新增风电装机容量 1200 万千瓦)的规划目标。按照《可再生能源“十二五”发展规划》,可再生能源比重将进一步提高,到 2020 年,风电装机容量将达 20000 万千瓦以上。为适应我国风电发展的要求,2007—2011 年,国家发展和改革委员会、财政部专项安排开展全国风能资源详查和评价工作,中国气象局组织了全国 30 个省(区、市)的气象部门,建立了全国风能资源专业观测网,开展了全国风能资源的详查和评估,目的在于摸清风能资源分布状况和变化特征,分析和寻找适合建设风电场的区域,为制定风电发展规划和建设风电场提供科学依据。

贵州省位于中国的西南部,多年来人们始终认为是我国风资源贫乏省之一,所以贵州风电开发起步较晚,资源评估工作同样滞后。但因贵州是典型的山区省份,地形复杂,海拔高差变化大,典型的山地气候造就了风能资源的局部可利用性。开展准确而翔实的风能资源评估是风电发展的一项重要任务。贵州气象科技工作者借助这次全国范围的风能资源详查和评估工作的契机,利用气象站点气象资料、实地考察及观测资料、重点区域建立测风自动站获取资料、拟建风电场测风梯度塔资料、数值模拟资料,采用常规方法和数值模拟等技术方法,对高原山地的风资源情况进行了全面深入的评估分析,进一步摸清了贵州省风能资源的储量、分布特征和变化规律。另外,近年来,贵州省气象部门在对区域内风能资源进行深入分析评估的基础上,针对风电场建设规划、风电场选址、风电机组的微观选址等特殊需求开展了有针对性的技术服务,特别是在分散式风电场的风资源评估工作中,在技术方法上有创新突破。

《贵州省风能资源开发利用》一书是贵州省气象科技工作者对贵州风能资源评估研究和应用服务工作的总结,该书不仅对贵州省的风能资源开发利用、风电场的建设和风电并网运行管理等具有实用价值,还可为政府决策部门、风电资源管理、规划部门以及风电企业相关科研技术人员和广大读者提供参考,而且特别可为其他山区风能资源评估工作者提供参考。衷心希望贵州省气象工作者在实践中不断深化和丰富对贵州省风能资源开发利用的科学认识,提高气象服务的能力和水平,为地方经济社会发展做出更大贡献。

贵州省气象局局长



2014 年 6 月

前 言

风电资源蕴藏量巨大,全球风能资源总量约为 27.4×10^8 MW,其中可利用的风能为 0.2×10^8 MW。我国风能储量大、分布面广,开发利用潜力巨大,陆上离地面 50 m 高度、风功率密度 ≥ 300 W/m² 的风能资源潜在开发量约 23.8×10^8 kW。2010 年底,全球风电总装机容量达 199 520 MW,发电量超过 $4\,099 \times 10^8$ kWh,占世界电力总发电量的 1.92%。我国风电 2010 年新增装机容量达到 18 928 MW,占全球新增装机容量 48%,超过美国,成为世界第一大风电市场。随着国家政策的倾斜,加之中国风电并网瓶颈的逐步解决,未来中国风电装机容量和发电量将会进一步提升。

贵州为山区省份,地形复杂,风能资源的分布差异较大。同时,贵州省风电开发工作起步较晚,资源评估工作滞后。但近年来在国家和省两级相关部门的领导和支持下,风能资源开发利用工作发展很快。特别是 2003 年以来,随着评估技术的发展,评估资料的不断丰富,评估工作历经了“以点代面—以点为主一点面结合”三个步骤的发展,贵州风能资源情况逐步清晰,全省风电开发工作迈入正轨。2003—2005 年开展了基于气象站观测资料的风能资源普查工作和风能资源实地考察及观测工作。2005—2008 年,全省建立了 35 个风能资源详查站,六盘水市建立了 3 座 70 m 高风能资源梯度塔。2008—2010 年作为国家风能资源观测网的组成部分,建立了毕节百草坪、雨磨山,六盘水老黑山、黄茅坪,黔南龙里、摆榜等 6 座梯度测风塔(其中 70 m 5 座,100 m 1 座),取得了大量的宝贵资料。2011 年 11 月 10 日,由专业观测网建设、数值模拟、数据库建设、综合评估四个专项组成的《贵州省风能资源详查和评估》项目通过验收,研究成果使全省风能资源储量及分布进一步明晰,为贵州开发利用风电资源提供了科学依据。2011—2013 年,受华能、大唐等 10 余家风电开发建设企业公司的委托,完成了 40 余个大型风电场风能资源评估报告和 5 个分散式风能资源评估报告,已作为风电场建设工程设计的基本依据和基础参数。在此基础上,贵州省气候中心的科技人员开展了进一步的研究分析和梳理总结工作,形成了较为系统和全面的贵州省风能资源开发利用成果。

本书是在贵州省发展和改革委员会资助的“贵州省风能资源精查”项目研究成果的基础上编写而成的,是贵州省气候中心对近几年来风能资源研究服务工作的技术总结。

本书由吴战平、帅士章、李霄、龙俐、罗宇翔、于俊伟、张东海、丁立国、陈娟、段莹等共同编著。全书共分 7 章,内容分别为:第 1 章,风能资源开发概述;第 2 章,贵州基于气象站点的风能资源评估;第 3 章,贵州基于实地考察及观测的风能资源评估;第 4 章,贵州复杂地形下的风能资源综合评估;第 5 章,贵州风电场风资源评估方法;第 6 章,贵州风电场气象灾害风险评估;第 7 章,贵州风能资源开发利用建议。

在本书编写过程中,得到了贵州省气象局赵广忠局长的关心、支持并为本书作序;得到了贵州省发展和改革委员会安银基、周屈强,贵州省能源局卓军、施绍贵,贵州省气象局杨利群、汤苾,中国水电顾问集团贵阳设计院黎发贵等领导和专家的指导;得到了中国气象局公共气象

服务中心首席专家宋丽莉及兄弟省市气象局的技术支持;得到了相关风电企业在测风资料收集方面的协助和支持。在此,对他们表示深切的谢意。

贵州地形破碎,山地风能资源复杂多变,在工作中我们也发现了许多科学问题并未得到圆满解决,许多应用技术也需要在实践中进一步加以完善,由于我们水平有限,书中错误和不足之处在所难免。但我们有信心通过努力,在不久的将来能够对贵州省风能资源开发利用有更进一步的认识,应用技术也会更加成熟,更好地为地方经济社会发展服务。

编著者

2014年7月

目 录

序

前言

第 1 章 风能资源开发概述 (1)

1.1 风能资源开发的历史 (1)

1.2 中国风能资源开发的概况 (2)

1.3 贵州风能资源开发的概况 (3)

1.3.1 地形地貌 (3)

1.3.2 气候特征 (4)

1.3.3 风能资源 (5)

第 2 章 贵州基于气象站点的风能资源评估 (8)

2.1 气象站点风的观测 (8)

2.2 风的气候特征 (9)

2.2.1 大气环流对风的影响 (9)

2.2.2 地理位置及地形地势对风的影响 (9)

2.3 风的特征 (10)

2.3.1 风的空间变化 (10)

2.3.2 年平均风速 (15)

2.3.3 风速的月季变化 (16)

2.3.4 风速的日变化 (16)

2.3.5 最大风速的变化 (17)

2.3.6 风向频率与风速频率 (17)

第 3 章 贵州基于实地考察及观测的风能资源评估 (20)

3.1 复杂地形下风能资源实地考察及观测技术方法 (20)

3.2 风能资源实地考察 (20)

3.3 评估参数及技术方法 (22)

3.3.1 风能资源总储量 (22)

3.3.2 风能资源技术可开发量 (22)

3.3.3 风电场选址标准 (22)

3.4 风能资源评估案例 (23)

3.4.1 盘县四格乡国营坡上牧场 (24)

3.4.2 威宁县百草坪 (24)

3.4.3 钟山区韭菜坪 (24)

第 4 章 贵州复杂地形下的风能资源综合评估 (26)

4.1 风能资源观测网建设 (26)

4.1.1 测风塔设置 (26)

4.1.2 观测仪器性能 (29)

4.2 数据处理 (31)

4.2.1 参证气象站数据 (32)

4.2.2 风能观测数据的质量检验 (32)

4.2.3 缺测和无效数据的插补订正 (34)

4.3 风能资源参数的计算 (36)

4.4 重现期(50 年一遇)风速估算 (41)

4.5 长年代风能资源估算 (43)

4.6 风能资源评估数值模拟 (45)

4.6.1 风能资源短期数值模拟 (47)

4.6.2 风能资源长期数值模拟 (60)

4.6.3 风能资源数值模拟结果的不确定性分析 (67)

4.6.4 风能资源的 GIS 空间分析 (69)

4.7 风能资源综合评估 (69)

4.7.1 全省风能资源特征 (69)

4.7.2 各详查区风能资源特征 (70)

4.7.3 风电开发建议 (70)

第 5 章 贵州风电场风资源评估方法 (72)

5.1 基于现场测风数据的评估方法 (72)

5.1.1 评估参数定义及计算 (72)

5.1.2 复杂地形参证站选择原则和一致性订正 (75)

5.1.3 风能观测数据的质量检验 (76)

5.2 基于风能资源数值模拟技术的评估方法 (83)

5.2.1 模式介绍及计算方程 (83)

5.2.2 数值模拟案例分析 (90)

第 6 章 贵州风电场气象灾害风险评估 (103)

6.1 凝冻 (103)

6.1.1 凝冻分布特征 (104)

6.1.2 不同重现期连续最大凝冻日数 (106)

6.2 雷暴 (107)

6.2.1 雷暴日数分布特征 (108)

6.2.2 闪电分布特征 (110)

6.2.3 雷电灾害区域分布特征 (112)

第 7 章 贵州风能资源开发利用建议 (113)

7.1 风能资源开发前景 (113)

7.2 风电场开发步骤 (113)

7.3 风能资源评估报告编制要求	(114)
7.3.1 前言	(114)
7.3.2 数据介绍	(115)
7.3.3 长年代分析及订正	(115)
7.3.4 数据计算分析	(115)
7.3.5 数值模拟	(116)
7.3.6 气象站风况和相关气象要素统计	(116)
7.3.7 气象灾害风险分析	(117)
7.3.8 评估结论和建议	(117)
7.4 风能资源开发利用建议	(117)
7.4.1 进一步提高对风能资源开发利用重要意义的认识	(117)
7.4.2 适当给予相关风能开发的鼓励政策	(118)
7.4.3 有计划有秩序地开发风电,制定完善发展规划	(118)
7.4.4 规范开发项目前期可行性论证工作	(118)
7.4.5 坚持电网先行原则,加快配套电网建设	(118)
7.4.6 坚持重点支持的原则,维持风电开发秩序	(118)
7.4.7 加强风电开发研究及人才培养	(118)
参考文献	(119)



第1章 风能资源开发概述

风是空气流动的现象,风的分布广泛而不均匀。风是地球上的一种自然现象,风的形成是地球表面接受太阳辐射能不均匀而引起的气压分布不均匀,形成了气压梯度力,从而使空气产生运动。受地理环境和大气环流影响,风的空间分布和时间变化很大,具有以年和日为周期的变化规律。

风能是因空气流做功产生的一种可利用的能量。风能的大小主要取决于风速,风的能量来自于太阳,从广义上讲,风能是太阳能的一种表现形式。因此,只要太阳存在,风能就永远存在。风能既是不消耗化石燃料,取之不尽、用之不竭的可再生能源,又属于不排放温室气体、不污染环境的清洁能源。风能开发因其有利于减少化石能源的消耗、减少温室气体排放保护环境和应对气候变化等优势,受到世界各国政府的重视和大力发展。风力发电虽然自 20 世纪末期以来发展速度很快,但仍属于未大规模利用、正在积极研究开发的新能源。

1.1 风能资源开发的历史

风能是人类社会最早开发利用的能源之一。人类利用风能的历史可以追溯到公元前。几千年来,风能一直被用来带动风车,作为碾磨谷物和抽水的动力,或者通过驱动船帆带动船舶运行。直到蒸汽机的出现和大规模使用,风能的利用才逐渐被代替。直至 19 世纪晚期美国人发明了最早的风力机——12 kW 直流风电机组,风能才再一次被人类利用起来。在此之后,人类对风电机组的研究开发从未停止。但几十年来,风能技术发展缓慢,也没有引起人们足够的重视。

自 1973 年世界石油危机以来,在常规能源告急和全球生态环境恶化的双重压力下,风能作为新能源的一部分才重新有了长足的发展。风能作为一种无污染和可再生的新能源有着巨大的发展潜力,特别是对沿海岛屿,交通不便的边远山区,地广人稀的草原牧场,以及远离电网和近期内电网还难以到达的农村、边疆,作为解决生产和生活能源的一种可靠途径,有着十分重要的意义。即使在发达国家,风能作为一种高效清洁的新能源也日益受到重视。美国早在 1974 年就开始实行联邦风能计划。其内容主要是:评估国家的风能资源;研究风能开发中的社会和环境问题;改进风力发电机组的性能,降低造价等。美国于 20 世纪 80 年代成功地开发了 100 kW、200 kW、2000 kW、2500 kW、6200 kW、7200 kW 的 6 种风电机组。在瑞典、荷兰、英国、丹麦、德国、日本、西班牙等国家,也根据各自国家的情况制定了相应的风力发电计划。

美国制造的风机从 1975 年的 Mod0 (风轮直径 38 m、功率 100 kW),发展到 1987 年的 Mod5 (风轮直径 97.5 m、功率达到 2.5 MW)。欧美其他国家也在大力发展风机技术,风力发电才真正进入了商业化的发展阶段。

随着世界各国大力发展风力发电,促成了风机制造业得以飞速发展,风机的制造成本大幅下降,风电价格也随之大幅下降,风电装机大幅度增加,风能资源得到了广泛开发。据预测,随着化石能源的日愈枯竭,价格将持续上涨,在不远的将来,风电的价格将会逐步接近化石能源的价格。

进入 21 世纪,风电的发展更为迅猛。据全球风能协会发布的统计报告,2012 年全球风电市场新增装机容量达到创纪录的 $4471 \times 10^4 \text{ kW}$,2013 年则有所下降,全球新增装机容量 $3546 \times 10^4 \text{ kW}$ 。与此同时,新兴工业国家也加快了开发进度。近年来,中国、印度、巴西等国家风电装机容量的发展速度远远超过世界平均水平,中国风电装机容量从 2001 年的 $38.1 \times 10^4 \text{ kW}$ 增长至 2013 年的 $9000 \times 10^4 \text{ kW}$ 超过 200 倍的增长,使中国成为世界上风电装机容量跃居第一的国家。据评估,全球风电资源蕴藏量巨大,风能资源总量约为 $27.4 \times 10^8 \text{ MW}$,其中可利用的风能达到 $0.2 \times 10^8 \text{ MW}$ 。

1.2 中国风能资源开发的概况

中国是世界上最早利用风能的国家之一。公元前数世纪中国人民就利用风力提水、灌溉、磨面、舂米,利用风帆推动船舶前进。到了宋代更是中国应用风车的全盛时代,当时流行的垂直轴风车,一直沿用至今。我国幅员辽阔,风能资源丰富。从 2005 年开始,国家发展和改革委员会联合中国气象局进行了全国风能资源普查。2008 年,国家能源局和财政部联合中国气象局对全国风能资源进行了进一步的详查,基本摸清了全国风能资源储量及其分布。

我国风能资源丰富的地区主要分布在内蒙古、新疆和甘肃河西走廊,东北和华北的部分地区以及青藏高原和云贵高原的部分地区;东南沿海海岸也有较丰富的风能资源,此外,贵州、湖南、广东和广西的部分山区的高山台地、河谷地带由于特殊的地形条件,局部风能资源也较为丰富。

根据中国气象局“中国风能资源评估报告”,中国的风能资源丰富。中国风能储量很大、分布面广,开发利用潜力巨大。我国风能资源总储量达 $43.5 \times 10^8 \text{ kW}$,其中,技术可开发量为 $2.97 \times 10^8 \text{ kW}$,技术可开发面积为 $20 \times 10^4 \text{ km}^2$,潜在技术可开发量约为 $7900 \times 10^4 \text{ kW}$ 。

按照中国风能区划标准,全国分为风能资源丰富、较丰富、一般、贫乏 4 个区。

风能资源丰富区主要分布在北部风能资源丰富带,年平均风功率密度在 150 W/m^2 以上的区域面积大,有效小时数达 5000~6000 h,是我国风能开发利用基地;沿海风能资源丰富带,这一地带包括我国东部、东南沿海及近海岛屿,濒临海洋地带。

风能资源较丰富区是风能资源丰富区的扩展,也就是沿海风能资源丰富带向内陆的扩展,主要分布于沿海岸线陆上狭窄的带状范围内;北部风能资源丰富带向南的扩展;此外,青藏高原北部有一风能资源较丰富区。

风能资源一般区北沿风能较丰富区,自东北长白山开始向西、过华北、经西北到我国最西端。东部由沿海风能较丰富区向西到长江、黄河中下游广大地区,只有在大的湖泊和特殊地形影响下风能资源才较为丰富。

风能资源贫乏区分散在3个地区,一个是以四川盆地为中心,包括陕西、湘西、鄂西以及南岭山地和滇南;一个是雅鲁藏布江河谷;再一个是塔里木盆地。这些区域年平均风功率密度在 50 W/m^2 以下,风资源开发利用潜力不大。

影响风电场的主要气象灾害有:台风、低温冰冻(凝冻)、雷暴、沙尘暴等。

从风电装机的地域来讲,中国的风电主要集中在内蒙古、河北、甘肃、辽宁东、黑龙江、吉林、宁夏和新疆等地区。我国自20世纪80年代开始建设并网型风电场,1986年在山东荣成建成了我国第一个示范风电场,至今经过20多年的发展,风电装机规模不断扩大。2005年底,我国风电建设装机容量仅为 $121.8\times 10^4\text{ kW}$,经过“十一五”期间的快速发展,到2010年底,全国(不含港、澳、台)共建设423个风电场,吊装风电机组20367台,总吊装容量达到 $4167\times 10^4\text{ kW}$ 。2010年当年新增吊装容量 $1755\times 10^4\text{ kW}$,与2009年相比,年增长率达73%,我国风电累计吊装容量世界排名由2009年的第三位跃升至第一位,装机规模达到了新的水平。2012年,中国风电新增装机容量 $1296\times 10^4\text{ kW}$,累计装机容量达到 $7532\times 10^4\text{ kW}$,分别占全球新增风电装机容量的30%和总容量的26.8%;2013年新增风电装机容量 $1610\times 10^4\text{ kW}$,并网装机达到 $7800\times 10^4\text{ kW}$,累计装机容量突破 $9000\times 10^4\text{ kW}$ 。

1.3 贵州风能资源开发的概况

1.3.1 地形地貌

贵州位于我国西南部,简称“黔”或“贵”,位于东经 $103^{\circ}36'\sim 109^{\circ}32'$ 和北纬 $24^{\circ}38'\sim 29^{\circ}14'$ 之间,地处云贵高原东侧、青藏高原东南坡,是我国地势第二级阶梯东部边缘的一部分。东靠湖南,南邻广西,西毗云南,北连四川和重庆。全省总面积为 $17.6\times 10^4\text{ km}^2$,占全国国土面积的1.8%。

贵州是一个山区省份(图1.1),土地和丘陵占全省总面积的97%,平均海拔1100 m,由于河流侵蚀、切割、地面崎岖,有“地无三里平”之说。按地貌类型组合的差别,全省划分为五个地貌区。黔东区:江口—三都一线以东地区,大部分地区海拔在800 m以下,相对高度多在300 m以下,以低山丘陵为主。黔北区:都匀—贵阳—安顺一线以北广大地区,海拔在800~1200 m,相对高度300~700 m。黔南区:三都—镇宁—盘县一线以南地区,地势由北向南倾斜,海拔由1300 m左右降到500 m以下,相对高度在300~500 m左右,区内岩溶发育,峰丛峰林广布,多有洼地溶蚀盆地,多落水洞和暗流,地面干燥,地下水虽丰富但埋藏深。黔西北区:毕节—六枝—盘县一线的以西地区,海拔多在1700~2400 m,相对高度300~700 m,地质构造简单,地面平缓,是贵州高原面较完整的一区。赤水区:赤水和习水两河下游的小范围地区,地势由东南向西北倾斜,海拔在1000 m以下,丘陵起伏,相对高度在100 m左右,以中山、低山、侵蚀台地、峡谷及河流阶地亦较广泛。

贵州境内主要山脉有四条,西北部为乌蒙山的北段,呈南北轴走向,海拔多在2000~2400 m,在赫章和水城交界处的韭菜坪海拔在2900 m,是贵州省内海拔最高的地方,苗岭东西横亘于贵州中部,西段海拔在1500 m左右,中段海拔在1300 m左右,东段海拔在1000 m左右。北部大娄山呈东北西南走向,海拔多在1000~1500 m。东北部为武夷山的南段,亦呈东北—西南走向,梵净山区最高峰凤凰山海拔2572 m。

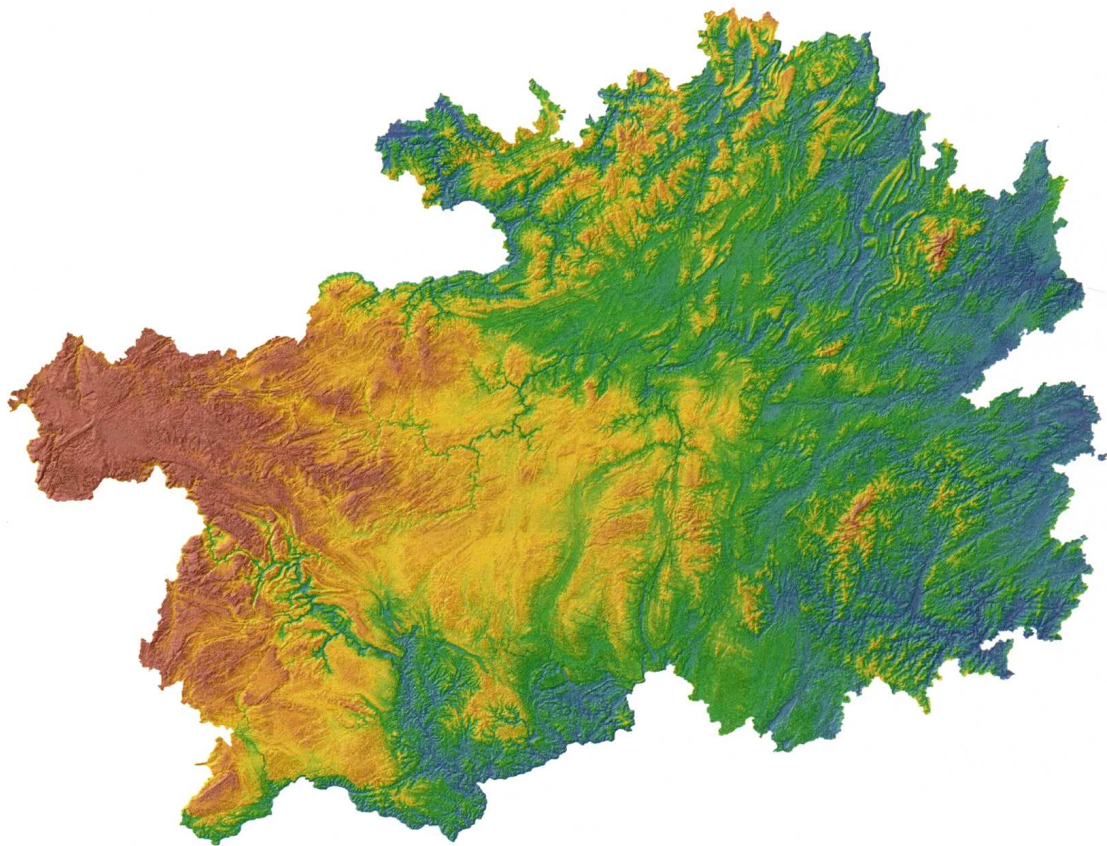


图 1.1 贵州省地形图

贵州河流处在长江和珠江两大水系上游交错地带,全省水系顺地势由西部、中部向北、东、南三面分流。苗岭是长江和珠江两流域的分水岭,以北属长江流域,以南属珠江流域。长度在 10 km 以上的河流有 984 条,全省水力资源丰富。

1.3.2 气候特征

1.3.2.1 气候特点

由于贵州特殊的地理位置和地形地貌特点,很多天气影响系统在影响贵州时存在季节性变化。因此,贵州气候特点存在明显的季风性、高原性和多样性特征。

季风性:冬夏季风均能到达贵州境内,具有明显的季风气候特点。冬季盛行偏北风,风从内陆吹来,气候较寒冷干燥;夏季盛行风从海洋上吹来,气候温暖多雨。但是由于季风的强弱不同,进退早迟不同,常常带来旱涝的威胁。

高原性:贵州属低纬度高海拔高原山区。纬度较低,太阳高度角较大,故虽在冬季也温暖如春。在夏季当天气转阴雨时,阳光不能到达地面,气温随高度升高而递减的特点就明显地表现出来,故虽在盛夏,也显得凉爽如秋。形成了“四时无寒暑,一雨便成冬”的气候特点。由于海拔较高,加之降水日较多,所以各季温度总比同纬度低海拔的其他地区略低。夏季尤为突出,因而贵州多地均是夏季避暑的胜地,尤以号称“中国避暑之都”的贵阳为佳。

多样性:全省山岭重叠、丘陵起伏,山谷纵横,地形十分复杂,短距离内落差很大,造成温度和降水等气候要素分布不均,形成复杂多样的“立体气候”特点。

1.3.2.2 气候的主要表现

(1)冬无严寒,夏无酷暑,四季分明

地面冷空气自北向南入侵贵州时,北面有秦巴山系阻挡而经两湖盆地自东北方向抵达贵州时,势力已大大减弱。冬季最冷的1月平均气温大部分地区在 $3\sim 8^{\circ}\text{C}$,未出现过连续5d的候平均气温低于 -5.0°C 的严寒天气,较同纬度的湘、赣两省为高。夏季最热的7月平均气温,除边缘低热河谷地区达 28.0°C 外,大部分在 $22.0\sim 26.0^{\circ}\text{C}$,盛夏当我国东部酷热难当之时,贵州高原山区却是凉爽宜人,微风习习,实为旅游避暑的好去处。按照国内常用的四季划分标准(以候均气温低于 10°C 为冬季,高于 22°C 为夏季,居其间为春、秋季)。贵州除南部罗甸、望谟冬季较短,不到一个月,西部的威宁、水城一带基本上没有夏季外,全省大部分地区四季分明。

(2)雨水充沛,光、热匹配同季

贵州由于受季风影响,冷暖气流交汇频繁,年降水量在 $1100\sim 1300\text{ mm}$,但降水季节分配不均,80%的雨水都集中在5—10月。4月上旬到5月上旬,雨季自东向西陆续开始,6月和7月降雨量达到全年最高峰,此时正值全年高温、多光照时期。光、热、水资源同期属丰收型农业气候类型。

(3)多阴雨少日照是贵州气候的最大特色

贵州绝大部分地区日雨量 $\geq 0.1\text{ mm}$ 的日数多达 $160\sim 200\text{ d}$,这正是所谓“天无三日晴”的由来。常年在9月中、下旬,出现持续 $5\sim 10\text{ d}$ 以上的绵雨天气,不少年份甚至持续 20 d 以上。秋季以后,除省西部地区外,全省云雾阻挡了太阳的直接照射,阴霾天气日渐增多。隆冬季节日照更是特少,只有 $30\sim 40\text{ h}$,几乎整月不见直射光的年份并不鲜见。

(4)气候的地域和垂直性差异均显著

由于受地形条件的影响,贵州各地气候条件差异很大,“立体气候”明显。“一山有四季,十里不同天”,就是贵州气候的地域和垂直性差异均显著的鲜明写照。省城贵阳与南部罗甸,相距约 100 km ,海拔相差 630 m ,年均气温相差 4.3°C ,冬季1月的平均气温,贵阳为 5.0°C ,而罗甸高达 10.0°C ,以至贵阳气候温和,四季分明,而罗甸则春秋相连,长夏无冬,终年温暖。在相对高度很大的山区,气候的垂直差异更是显著。苗岭主峰雷公山海拔 2178 m ,与西坡山脚下的雷山县城直线距离仅 13 km ,海拔却相差 1338 m ,县城年平均气温为 15.4°C ,在 $1000\sim 1500\text{ m}$ 的山腰,温度降低到 $12.0\sim 14.0^{\circ}\text{C}$,至山顶则只有 9.0°C 。

(5)气象灾害频繁发生

贵州是一个多种气象灾害频繁出现的山区,干旱、暴雨、凝冻、冰雹、秋风、秋绵雨、倒春寒等常年均有发生。贵州之所以气象灾害频繁,是与复杂的地形,脆弱的生态环境以及季风进退多变有关。

1.3.3 风能资源

1.3.3.1 风能资源评估概况

1951年以来,贵州逐步在每一个县(市)建立了的气象观测网,全省共计85个观测站均开展了风观测,积累了大量有价值的资料。在过去的风能资源评价工作中,均采用气象站的风观

测资料,由于风的形成受地形影响很大,其空间变化连续性差,而各县(市)气象站大都建在县城,对于山区风观测数据代表性、全面性不可避免地存在较大偏差,一定程度上误导了对贵州风能资源的认识,多年来人们始终认为贵州省是我国风资源贫乏省之一,因而贵州风电开发起步较晚,资源评估工作同样滞后。

2003年以来,按照国家发展和改革委员会关于风电前期工作有关要求,在贵州省政府的安排下,利用全省85个县级气象台站近30年的气象观测资料进行分析,开展了全省风能资源普查及评价;随着评估技术的发展,评估资料的不断丰富,评估工作历经了以点代面—以点为主—点面结合三个步骤的发展,贵州风能资源逐步清晰,全省风电开发工作迈入正轨。2006—2008年,全省建立了35个风能资源详查站,六盘水市建立了3座70 m高度风能资源梯度塔,取得了大量的宝贵资料,分析结论打破了贵州风能资源为零的断言。分析评估工作是利用基于气象站点气象资料、基于实地考察及观测资料、重点区域建立测风自动站资料、拟建风电场测风梯度塔资料、数值模拟资料,采用国标规定的常规计算方法和数值模拟方法等技术方法。2011年6月30日,在中国气象局组织下,贵州省气象部门的专业观测网建设、数值模拟、数据库建设、综合评估四个专项组开展的“贵州省风能资源详查和评估”工作完成,特别是短期、长期风能资源精细化数值模拟图的完成,使全省风能资源储量及分布进一步明晰,得出了风能资源的分布差异较大,典型的山地气候造就了风能资源的分散和局部可利用性,在同一地区高地平台的风速明显偏大,存在相当数量的风能资源相对丰富的地区,并且部分地区有较丰富的风资源,为贵州开发风电资源提供了科学依据,推进了贵州风能资源的开发利用进入快速发展阶段。

1.3.3.2 风电场开发概况

根据国家风电工程前期工作计划,贵州省于2003年底开始开展风电前期工作。按照省委、省政府对风电建设前期工作的安排和部署,由贵州省气象局负责贵州省的风能资源评价工作,由中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院负责贵州省的风电场工程规划工作。2006年3月完成了贵州省风能资源评价工作,并通过了中国气象局预测减灾司会同贵州省发改委的验收,2006年8月,完成贵州省风电场工程规划的编制工作,同年底,通过了有关部门的验收。2011年11月,“贵州省风能资源详查和评价”项目完成。

按照贵州省新能源“十二五”发展规划,到“十二五”末贵州省风电装机规模确保达到 450×10^4 kW左右,力争达到 600×10^4 kW左右,其中分散式风电装机规模达到 50×10^4 kW;到2020年,风电装机规模达到 800×10^4 kW,其中分散式风电装机规模达到 100×10^4 kW。至2013年,贵州省能源局批复同意开展前期工作的风电场项目共257个,其中大型风电场项目167个,分散式接入风电场项目90个,全省风电装机规模达9832 MW。167个大型风电场项目装机规模达8632 MW,其中28个项目已建成发电,装机1350 MW;37个项目核准在建,装机1776 MW;38个项目通过可研审查,装机2000 MW;64个项目开展高塔测风,装机3506 MW。90个分散式接入风电场项目装机规模达1200 MW,其中10个项目通过可研审查,装机达200 MW;80个项目开展高塔测风,装机1000 MW。贵州省风电场分布见图1.2。



图 1.2 贵州省风电场分布图



第2章 贵州基于气象站点的风能资源评估

利用贵州省 85 个气象台站多年气象资料,采用不同的技术方法,开展风的气候特征分析及各种风能资源评估参数的计算和估算,完成了贵州省风能资源评价,即基于气象站点资料的风能资源评估。

2.1 气象站点风的观测

贵州省气象观测网始建于 1951 年,每个气象观测站都进行风的观测,气象站风观测统一规定为距地面 10 m 高处气流的方向和速度,即地面风向和风速。1971 年以来,我国各级气象站普遍统一使用 EL 型电接风向风速计观测,其他观测仪器还有轻便风速表、达因式风向风速计,以及用于测量农田中微风的热球微风仪等仪器;也可根据地面物体征象按风力等级表估计。测定的项目有平均风速和最多风向。配有自记仪器的,作了风向风速连续记录的可根据需要进行记录整理。风力等级是根据风对地上物体所引起的现象将风的大小分成 18 级,以 0~17 级的等级数字表示。风力等级观察须在空气不受任何障碍物影响的地方进行。

观测内容包括风向风速,从 1951 年开始建站至 1958 年上半年,风观测主要用轻便风向风速仪和维尔达测风仪进行观测,部分台站靠人工目测估计。1958 年从英国进口了几部达因风向风速自记仪器,安装在贵阳、威宁、兴仁、安顺等台站使用,开始有了风的连续观测自记记录资料。1968 年国产 EL 型电接风向风速仪正式定型,并陆续装备台站使用,从 1970 年 1 月 1 日起,全省气象台站使用 EL 型电接风向风速仪进行风的定时观测;贵阳、威宁、兴仁、桐梓、遵义、安顺、独山、罗甸、三穗、凯里、榕江、思南、毕节等站安装了 EL 型电接风向风速自记记录仪,对风向风速进行连续观测;1993 年 1 月 1 日,与电接风向风速仪相匹配的 EN 型风向风速数据处理仪投入到有风自记记录的台站使用,原记录仪作为备份仪器备用。1992 年后,达因风向风速仪陆续停止使用。自动气象站单轨运行后,风的观测以单翼风向传感器和风杯风速传感器对风进行连续观测记录,并保留 EL 型电接风向风速仪作为备份。目测风向以 8 个方位记录,器测风向以 16 个方位记录,静风记“C”;目测风速以 13 个等级(2004 年以后为 19 个等级)记录,器测风速以米/秒(m/s)为单位记录。