

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2016.05.015

西藏阿里地区水光互补能源利用模式探讨

李建兵, 罗洋涛, 冯 宇

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072)

摘要: 根据西藏阿里地区各类能源资源开发利用条件和系统用电需求, 研究可能的能源电力供应方案; 通过对各方案在满足电力系统需求、运行维护、环境保护及经济性等方面的综合比较, 提出“调节水库电站+光伏”互补运行的清洁能源利用模式, 并对该地区水光互补系统的构成、发电特性、运行效果等方面进行分析, 结果表明该模式利用调节水库电站与光伏双向互补发电特性有利于并网光伏电能消纳及电网安全稳定运行。

关键词: 水光互补; 调节水库; 清洁能源; 可再生能源; 西藏阿里地区

中图分类号: TM615 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2016)05-0465-06

Discussion on energy utilization pattern of hydro-photovoltaic hybrid in Ngari area of Tibet

LI Jianbing, LUO Yangtao, FENG Yu

(PowerChina Chengdu Engineering Corporation Limited, Chengdu 610072, China)

Abstract: Based on the development and utilization condition of energy and resources and power energy demand in the Ngari area of Tibet, possible power supply schemes were studied. A clean energy utilization hybrid model of a reservoir power station and photovoltaic plant is proposed through comprehensive comparison of power system requirements, operation and maintenance, environmental protection, and economics. The system structure, power generation characteristics, and operation effect of this hydro-photovoltaic hybrid system are analyzed. The results show that the complementary power-generating characteristic of the energy utilization pattern using the reservoir power station and photovoltaic plant is beneficial to photovoltaic power consumption and power network safety operation.

Key words: hydro-photovoltaic hybrid; regulation reservoir; clean energy; renewable energy; Ngari area of Tibet

阿里地区位于西藏的最西部, 区内高寒缺氧, 自然条件恶劣, 生态环境脆弱, 能源资源开发条件差, 电源建设严重不足。目前, 当地仅形成以狮泉河镇为核心并向周边县、乡辐射的孤立电网, 网架结构薄弱, 电力供应严重制约该地区的经济社会发展。阿里地区缺油少煤, 水能、太阳能、风能等清洁能源资源丰富, 因地制宜, 积极开发利用当地资源, 通过多能互补方式解决用电问题是其必然选择。太阳能和风能受天然条件制约, 具有间歇性, 鉴于电网安全稳定运行要求, 存在并网困难、消纳受限等问题^[1-3]。与独立光伏或风电系统相比, 风光互补、水光互补等发电系统可获得较稳定的功率输出, 提高设备利用率, 在保证同样供电的情况下可减少储能设备的配置容量, 降低造价。目前, 国内外关于风光互补^[4-7]、风电-抽水蓄能联合运行^[8-10]等方面的研究成果较多, 水光互补开发模式也在不断探索^[11-12], 而对小微电网中电源优化及水光互补联合运行的应用研究不多。

本文针对阿里地区能源资源的利用特点及电网现状, 从经济性、供电可靠性、运行维护性、环境友好性等方面论证采用水光互补发电方案解决目前阿里地区电力供应问题可行性, 并分析“调节水库电站+光伏”的水光互补体系构成、发电特性和系统运行效果。

收稿日期: 2015-09-16

作者简介: 李建兵(1985—), 男, 甘肃酒泉人, 工程师, 硕士, 主要从事河流水电规划、电站动能经济研究。E-mail: ljbingmail@163.com

1 阿里地区能源资源利用概况

1.1 能源资源条件及利用现状

阿里地区共辖噶尔、日土、札达、普兰、革吉、措勤和改则7个县,地区行政公署设在噶尔县狮泉河镇。阿里地区可再生能源资源种类较多,而化石能源贫乏。主要能源资源分述如下:(a)水能:区内有大小河流80多条,湖泊60多个,水力资源理论蕴藏量480 MW。狮泉河和象泉河是后续水电开发的主要河流。目前,已建最大水电站为狮泉河水电站(装机容量6.4 MW),其余县级或乡村小水电站共21座(装机容量3.7 MW)。(b)太阳能:阿里地区太阳辐射强度大,年日照时数超过3 000 h,年总辐射量7 000~8 400 MJ/m²,是世界上太阳能资源最丰富的地区之一。随着阿里光电计划的实施,已建立了多座乡级光伏电站和户用照明系统,主要应用于县、乡、村集中供电,以及邮电、气象通信等方面。目前,网内已建光伏电站10 MW。(c)风能:阿里地区年平均风速在3.2 m/s以上,年大风日数在200 d左右,风能资源较丰富。由于风功率密度小,风向和风速不稳定,尚未建风力发电厂。(d)地热:现已查明地热泉(群)28处、其他水热活动区21处,泉水平均温度51.4℃,热储平均温度134℃,热储面积47.5 km²,地热资源较丰富^[13]。除朗久地热田外,大部分距人口密集区较远。朗久地热电站由于热田参数低、设备陈旧老化等原因,目前已停运。(e)生物质能:阿里地区森林资源较少,农业不发达,作物秸秆少,且多作饲料,农村燃料主要为畜粪,生物质能十分缺乏。(f)化石能源:区内缺油少煤,已查明煤炭资源储量小、煤质差,难以满足生活用煤的需要,燃料多从周边省区送入。

1.2 目前能源资源利用存在的主要问题

目前阿里地区能源资源利用存在的主要问题为:(a)能源供应严重不足。区内清洁能源资源相对丰富,化石能源较缺乏,由于地理位置偏远、开发条件差,电源建设严重滞后。(b)电网供电能力差。目前仅形成以狮泉河镇为核心、向周边辐射的孤立电网,用电人口不到地区总人口的20%。由于网架结构薄弱、电源建设滞后、供电质量较差,经常拉闸限电,枯水期缺电较严重。(c)传统能源替代任务重^[14]。受能源供应不足及长期形成的生活习惯影响,当地农牧民主要依靠畜粪、薪柴、草皮和荆棘等作为生活和取暖燃料,致使当地本已稀少的红柳林、沙棘林等林地及草场遭到砍伐和破坏,土地沙化、退化现象严重。(d)能源开发建设成本高。特殊的地理环境造成阿里地区能源建设成本远高于内地,电费收入甚至难以满足供电设施的基本运行维护。(e)能源开发利用缺乏互济。已建水电站装机规模小、调节能力差,汛、枯期出力悬殊,且冬季易结冰、发电困难;太阳能多分散使用,光伏出力波动大,电网消纳有限;应急燃油机组发电运行成本高昂等。表面上呈多种能源利用的现象,但相互间缺乏补偿调节。

2 阿里地区电力供应方案综合比较

随着阿里地区经济社会的快速发展,对能源的需求也将进一步增长,能源供应中电力需求的比重将逐年增加,电力在能源体系中占有重要地位。

2.1 电力需求分析

2014年年底,阿里电网总装机规模为33.68 MW,其中:狮泉河水电站6.4 MW,光伏电站10 MW,柴油机组10 MW,应急燃油电厂7.28 MW;电网覆盖范围内社会用电量约2 500万kW·h,最大用电负荷约7 MW,人均用电量1 545 kW·h,远低于全国平均水平(3 662 kW·h)。根据阿里地区电力发展规划,“十二五”期间(2011—2015年)启动札达、革吉、日土三县农网升级改造工程,扩大主电网延伸覆盖范围,“十三五”(2016—2020年)末将形成狮泉河110 kV变电站为核心,覆盖噶尔县、革吉县、日土县和札达县的110 kV辐射型网架结构。

根据阿里地区产业发展规划、电网扩建范围、用电人口增加等对电力系统负荷水平的影响,结合相关部门研究成果,预测2020年系统需电量约0.99亿kW·h,最大用电负荷28 MW;2025年系统需电量约1.40亿kW·h,最大用电负荷40 MW。考虑系统备用容量及水电受阻和空闲容量,预计阿里电网2020年、2025年水平需要装机规模分别为37 MW、50 MW。目前系统有效输出容量为12.3 MW,即使考虑电网扩建后已建县级小水电并入主网,系统有效输出容量也仅14.65 MW,则2020年、2025年水平系统电力缺口分别达到22.4 MW、35.4 MW。若完全替代燃油机组,则电力缺口为28.3 MW、41.3 MW。

2.2 电力供应方案

为满足阿里地区近中期的电力需求,可能的电力供应思路有:(a)依靠区内丰富的水能、太阳能等资源建厂发电;(b)随着对外交通条件的改善,依靠区外能源输入解决自身用电;(c)与区外电网联网。鉴于阿里地区风功率密度小,风向和风速不稳定等资源特点,新能源开发主要以资源丰富、技术相对成熟的太阳能为主。按同等程度满足电力系统 2025 年水平用电需求,初拟 8 组电力供应方案,见表 1。

表 1 阿里电网新增电力供应方案概况

Table 1 New power supply schemes of Ngari power grid

序号	电力供应方案	方案描述	电力供应能力	方案总投资/亿元
1	区外联网	考虑利用轻型直流与新疆电网联网,需新建 2 座换流站及 1010 km 直流输电线路	100 MW	46.50
2	燃油电厂	新建燃油电厂,从西藏拉萨或新疆喀什运输燃油	50 MW	5.25
3	燃煤电厂	新疆煤矿资源丰富,狮泉河镇距新疆喀什约 1 300 km,有公路相通,利用区外煤炭资源	80 MW	9.60
4	调节水库电站+燃油电厂	规模较大的阿青调节水库电站可蓄丰补枯,缓解系统电力供需矛盾;不足时由应急燃油机组补充	阿青水电站 42 MW;已建燃油机 7.28 MW	24.90
5	调节水库电站+光伏	阿青调节水库蓄丰补枯,调度灵活,电量容量作用突出;光伏白天时段发电,夜间间断,出力波动,补充电量	阿青水电站 42 MW;新建光伏 8 MW	26.18
6	光伏+抽水蓄能电站	白天可利用光伏发电来抽水,夜间或阴雨天抽水蓄能电站发电,补充光伏发电缺额;抽水蓄能电站担当调峰电源;但还需新建过渡燃油机组以缓解近期缺电局面	抽水蓄能电站 42 MW;根据抽水发电能量转换关系,需新增光伏约 100 MW;过渡燃油机 30 MW	24.15
7	光伏(配蓄电池)	采用光伏配置蓄电池以提供较稳定的电力输出	70 MW	21.33
8	光热(配储能)	光热电站由集热系统、热传输系统、蓄热储能系统、热机、发电机等组成	50 MW	20.00

注:序号 6 对应方案的 24.15 亿元总投资中,抽水蓄能电站投资约 5 亿元,光伏投资约 16 亿元,过渡燃油机组投资约 3.15 亿元。

上述方案中,由于高海拔地区燃油和燃煤机组的实际输出功率低于额定功率,故相应方案的电力装机规模大于调节水库电站方案;阿青水电站为象泉河中游河段水电规划推荐的近期开发工程,目前处于可行性研究阶段,宜作为调节水库电站^[15];方案 6 中抽水蓄能电站考虑依托已建的狮泉河水电站改建,但电站选址、设计及施工周期较长,预计 2020 年以后建成,近期尚需新建燃油机组缓解缺电局面;国内光热电站因关键设备多需从国外进口,目前尚处于示范阶段,故单位电量投资相对较高。

2.3 电力供应方案综合比较

按同等程度满足系统电力电量需求的原则进行总费用现值计算。费用流程主要包括建设投资和运行费、燃料费、设备更新改造投资等。基准年为 2014 年,折现率 8%,经营期 30 a。主要计算参数:联网工程年运行费占总投资的 2%;标油耗 270 g/(kW·h),标油价格 12 300 元/t,燃油电厂经营成本按总投资的 4%计,运行 10 a 设备更新改造 1 次;标煤耗采用 630 g/(kW·h),标煤价格 2 500 元/t,燃煤电厂经营成本按总投资的 5.5%计,运行 10 a 设备更新改造 1 次;水电站年运行费约占总投资的 1.1%;光伏和抽水蓄能电站综合经营成本按总投资的 1.5%计;蓄电池每 5 a 更换 1 次;光热电站经营成本按总投资的 4%计;光伏、光热电站运行 15 a 设备更新改造 1 次。各方案主要经济指标计算成果见表 2。

经济性方面:“调节水库电站+光伏”方案总费用现值最小。燃油和燃煤电厂方案虽初期一次性投资较少,但年运行成本远高于其他方案,发电成本电价约 4.60 元/(kW·h)、2.95 元/(kW·h),需国家长期给予燃料补贴才能维持正常经营活动;光伏或光热为主的电力供应方案,初期一次性投资相对较大,但经营期运

表 2 各电力供应方案主要经济指标
Table 2 Main economic indexes of different power supply schemes

序号	电源规模/ MW	建设投资/ 万元	综合单位投资/ (元·kW ⁻¹)	年运行成本/ 万元	总费用现值/ 万元	发电成本电价/ (元·(kW·h) ⁻¹)
1	100	465 000	46 500	9 300	407 348	4. 00
2	50	52 500	10 500	42 949	380 186	4. 60
3	80	96 000	12 000	24 653	284 548	2. 95
4	42	249 009	59 288	4 080	227 285	1. 03
5	42+8	261 809	52 362	2 898	224 910	0. 94
6	100+42(30)	24 1500	14 041	3 150	239 477	1. 50
7	70	213 300	30 471	15 395	260 178	1. 54
8	50	200 000	40 000	8 000	254 099	1. 47

注:方案 6 中“(30)”指近期需补充过渡燃油机组 30 MW。

行成本远低于火电厂方案,发电成本电价约 1.50 元/(kW·h),略低于目前阿里地区混合用电电价 1.80 元/(kW·h)。相比之下,阿青水电站辅以其他电源方案,虽然初期投资较大,但运行成本最低,且受物价变化影响甚微,发电成本约 0.95 元/(kW·h),市场承受能力较强。

供电可靠性方面:区外联网方案需对区内电网进一步升级改造,且完全依靠区外电力供应,供电可靠性差。燃油、燃煤电厂方案近期年消耗燃油 2.1 万 t、标准煤 4.8 万 t,仅靠公路运输,遇雨雪等恶劣天气时运输受阻,燃料供应和运输设备完好难以保证。根据已建燃油机组运行情况,机组故障率高,直接影响供电的可靠性。微网系统研究指出光伏等不稳定电源在系统中所占比例不宜超过 20%,否则需采取相应措施以保证电力系统稳定运行。光伏出力波动大,遇阴天出力不足或停运,对电网冲击大;若配置蓄电池,蓄电池使用寿命约 5~8 a,需定期更新改造。光热电站发电稳定性优于光伏,但同样宜受天气状况影响而波动。调节水库电站+光伏方案,阿青水电站作为稳定电源进行调节,白天光伏发电时段水电可适当蓄水,夜间用电高峰时段增加水电出力,通过水光互补运行将显著提高供电可靠性,改善电网电能质量。

运行维护方面:区外联网方案输电线路途经高海拔无人地区,运行维护难度大。燃机方案燃料需从区外通过公路运输,运距远、路况差,供应保证程度低,且高寒地区机组出力受阻,故障率高,运行成本高、维护难度大。光伏和光热电站,组件的清洁度影响发电效率,且一般运行 15 a 左右设备需更新改造;若配置蓄电池,一般 5~8 a 需更换 1 次,日常维护工作量大、费用较高。而水电站利用天然径流发电,无需再消耗其他动力资源,设备较简单,检修、维护费用低于同等规模的火电厂,正常运行期一般在 50 a 以上,有利于长期保障阿里地区电力供应。

环境保护方面:燃机方案近期年消耗燃油 2.1 万 t 或燃煤 4.8 万 t,每年产生 CO₂ 排放量 10 万 t、SO₂ 排放量 638 t,在低压、缺氧条件下,不完全燃烧还会释放大量有害气体,给脆弱的生态环境造成极大破坏。水电及光伏、光热方案在施工期会对周边环境造成一定影响,可采取相应的保护措施尽量减免;运行期基本无污染物排放,环境影响甚微;同时,水库电站水域面积扩大将有助于改善库周水环境,遏制草场沙化,有利于当地水土资源的合理开发利用。

综上,从各方案的经济性、供电可靠性、运行维护性及环境友好性等综合比较,“调节水库电站+光伏”是目前阿里地区最适合的电力供应方案,能够满足系统近中期电力的需求,可完全替代已建燃油机组,保障阿里地区电力系统安全稳定、节能环保和经济运行。

3 水光互补系统特性分析

阿里地区实现水光互补系统的关键是要解决光伏并网稳定、经济运行等问题,需要有一定装机规模、调节性能较好的稳定电源作支撑。采用“调节水库电站+光伏”的电力供应方案,光伏电站夜间或极端天气情况下的出力空缺和出力不稳定,可由出力稳定、调节能力强的水库电站补充;而水电电量的不足(尤其枯水期),可由光伏电站在白天发电弥补,水电站在相应时段内减小出力、蓄水储能。通过方案研究,阿里地区水光互补体系在技术上是可实现的;上述 2 种电源均为清洁的可再生能源,运行安全可靠、费用低,水光互补的能源利用模式可较好地解决阿里地区的能源需求问题。

3.1 阿里电网水光互补系统构成

阿里电网各规划水平年系统电源构成见表 3。2015 年,光伏装机规模 10 MW,占比 29.7%,调节水库电

站仅狮泉河水电站,装机规模占比 19%。由于调节水库电站所占比例较小,光伏被系统吸收电量有限,主要还得依靠燃油机组提供电力电量。2020 年,随着阿青水电站投入运行,调节水库电站所占系统比例达 79.7%,光伏所占比例为 16.5%,可完全替代燃油机组,阿里电网水光互补清洁能源体系初步形成。2025 年,根据系统电力电量平衡计算,枯水期将缺电约 840 万 kW·h,考虑新增光伏电站约 8 MW 补充不足电量,水光互补运行可满足系统用电需求。

表 3 阿里电网各水平年电源构成
Table 3 Power structure of Ngari power grid in different level years

年份	装机规模/MW				光伏所占比例/%	调节水库电站所占比例/%
	水电	燃机	光伏	合计		
2015	6.40	17.28	10	33.68	29.7	19.0
2020	50.75		10	60.75	16.5	79.7
2025	50.75		18	68.75	26.2	70.4

调节水库电站发电特性为:水库具有年调节性能,可对径流蓄丰补枯,进行水量再分配,调度灵活,出力调节反应速度快,电量和容量作用均突出;光伏电站发电特性为:受光照影响,午间时段发电,夜间间断,出力易波动,主要考虑电量作用。因此,两者日内出力分布及电量、容量作用的发挥等方面具有互补性。由阿里电网 2025 平水年枯水期典型日电力电量平衡图,(图 1)可知,调节水库电站担当大部分基荷,在白天光伏发电时段减小出力,在夜晚用电高峰时段增加出力。由于系统最大负荷出现在夜晚,而此时光伏电站不能发电,系统主要依靠调节水库电站发挥调峰容量和电量作用。

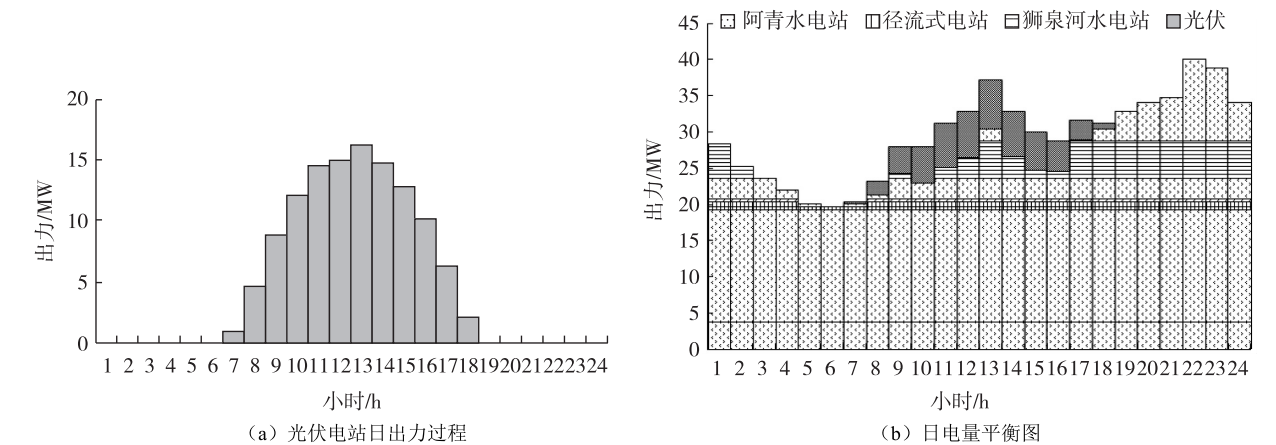


图 1 阿里电网 2025 平水年枯水期(12 月)典型日电力电量平衡图
Fig. 1 Typical graphs of daily balance of power and energy of Ngari power grid in dry season of a normal year 2025

3.2 水光互补系统运行效果分析

目前,阿里电网调节水库电站仅狮泉河水电站,入库水量和调节库容有限,在某台机组担当基荷后,常无足够水量来调峰;燃油机组白天 1 台、晚间 2 台运行,燃料消耗量大;已建光伏占系统比例达 30%,若无其他补偿措施,对电网冲击大,系统弃光严重,晚高峰时段仍需增加燃油发电。2020 年,阿青水电站建成后,系统内调节水库电站所占比例超过 70%,配合已建光伏电站,系统尚有盈余电力电量;随着系统用电需求的增加,水光互补运行,资源优化配置,将增加系统对光伏电量的消纳。根据 2025 年系统电力电量平衡成果,光伏年有效吸收电量达 0.184 亿 kW·h,相当于替代火电约 10 MW,每年节约标准煤约 1.16 万 t,减少 CO₂ 排放量 2.3 万 t,减少 SO₂ 排放量 154 t,减少烟尘排放量 77 t,节能减排的效益显著。

因此,通过水光互补运行,一方面调节水库电站对系统调峰和安全、稳定、经济运行极为有利,在管理和运行上有很大的机动性和高度的适应性,但水量有限,尤其是枯水期需要光伏补充一定电量;另一方面,水电蓄水调节,调峰调频运行,解决了光伏弃光问题。远期,即使系统用电负荷增加、调峰容量不足,可通过新增水电电源或已建水库电站扩机增容来满足容量需求;若电量不足,则可通过新建光伏或其他新能源电源补充。

4 结 语

燃油或燃煤不宜作为阿里地区能源供应主体;太阳能单一形式发电,间歇性和不稳定性成为电网安全的最大隐忧;水电存在枯水期电量不足等问题。因此,因地制宜,积极开发利用多种清洁能源,多能互补才是阿里地区能源发展的根本出路。从发展趋势看,太阳能发电将成为技术可行、经济合理、具备规模化发展条件的可再生能源,稳定的调节水库电站与光伏电站发电双向互补,可实现当地能源资源的优化配置,也有利于光伏产业后期在阿里地区的规模化发展,较好地解决阿里地区的能源供应不足和环境制约问题,是阿里地区清洁能源发展的一条新途径。

参考文献:

- [1] 张轶,鲁国起,张焰,等.光伏电站并网对电网可靠性的影响[J].华东电力,2010,38(5):700-706.(ZHANG Yi, LU Guoqi, ZHANG Yan, et al. Influence of grid connection of photovoltaic power station on power grid reliability[J]. East China Electric Power, 2010, 38(5): 700-706. (in Chinese))
- [2] 赵争鸣,雷一,贺凡波,等.大容量并网光伏电站技术综述[J].电力系统自动化,2011,35(12):101-107.(ZHAO Zhengming, LEI Yi, HE Fanbo, et al. Overview of large-scale grid-connected photovoltaic power plants[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(12): 101-107. (in Chinese))
- [3] 袁小明,程时杰,文劲宇.储能技术在解决大规模风电并网问题中的应用前景分析[J].电力系统自动化,2013,37(1):14-18.(YUAN Xiaoming, CHENG Shijie, WEN Jinyu. Prospects analysis of energy storage application in grid integration of large-scale wind power[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(1): 14-18. (in Chinese))
- [4] 谈蓓月,杨金焕,李康弟.改进风/光互补发电系统优化设计的新方法[J].华东电力,2005,33(12):893-897.(TAN Beiyue, YANG Jinhuan, LI Kangdi. Novel method for optimizing design of hybrid wind/photovoltaic generation system[J]. East China Electric Power, 2005, 33(12): 893-897. (in Chinese))
- [5] 王瑜,黎灿兵,曲芳.分布式风-光互补能源利用系统[J].电网与清洁能源,2010,26(12):91-95.(WANG Yu, LI Canbing, QU Fang. Distributed wind-solar hybrid energy systems[J]. Power System and Clean Energy, 2010, 26(12): 91-95. (in Chinese))
- [6] 张明锐,林承鑫,王少波,等.一种并网型风光互补发电系统的建模与仿真[J].电网与清洁能源,2014,30(1):68-74.(ZHANG Mingrui, LIN Chengxin, WANG Shaobo, et al. Modeling and simulation of grid-connected wind/PV hybrid generation system[J]. Power System and Clean Energy, 2014, 30(1): 68-74. (in Chinese))
- [7] 江明颖,鲁宝春,姜丕杰.风光互补发电系统研究综述[J].电气传动自动化,2013,35(6):11-13.(GANG Mingying, LU Baochun, JIANG Pijie. Summary of the wind-solar hybrid generating system[J]. Electric Drive Automation, 2013, 35(6): 11-13. (in Chinese))
- [8] 谭志忠,刘德有,欧传奇,等.风电-抽水蓄能联合系统的优化运行模型[J].河海大学学报(自然科学版),2008,36(1):58-62.(TAN Zhizhong, LIU Deyou, OU Chuanqi, et al. Optimal operation model for wind-powered pumped storage system[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2008, 36(1): 58-62. (in Chinese))
- [9] 胡泽春,丁华杰,孔涛.风电-抽水蓄能联合日运行优化调度模型[J].电力系统自动化,2012,36(2):36-41.(HU Zechun, DING Huajie, KONG Tao. A joint daily operational optimization model for wind power and pumped-storage plant[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(2): 36-41. (in Chinese))
- [10] 刘春红.风能-抽水蓄能联合发电系统关键技术研究[D].武汉:华中科技大学,2011.
- [11] 沈有国,祁生晶,侯先庭.水光互补电站建设分析[J].西北水电,2014(6):83-86.(SHEN Youguo, QI Shengjin, HOU Xianting. Analysis on construction of hybrid of hydropower-photovoltaic power plants[J]. Northwest HydroPower, 2014(6): 83-86. (in Chinese))
- [12] 陈峦.光伏电站-水电站互补发电系统的仿真研究[J].水力发电,2010,36(8):81-84.(CHEN Luan. Simulation on complementary photovoltaic-hydro power generation system[J]. Water Power, 2010, 36(8): 81-84. (in Chinese))
- [13] 廖忠礼,廖光宇,潘桂棠,等.西藏阿里地热资源的分布特点及开发利用[J].中国矿业,2005,14(8):43-46.(LIAO Zhongli, LIAO Guangyu, PAN Guitang, et al. Distribution and utilization of geothermal resources in Tibet Ngari[J]. China Mining Magazine, 2005, 14(8): 43-46. (in Chinese))
- [14] 万久春.阿里地区能源利用方案及多能互补系统研究[D].成都:四川大学,2003.
- [15] 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司.西藏阿里地区阿青水电站预可行性研究报告[R].成都:中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,2013.