

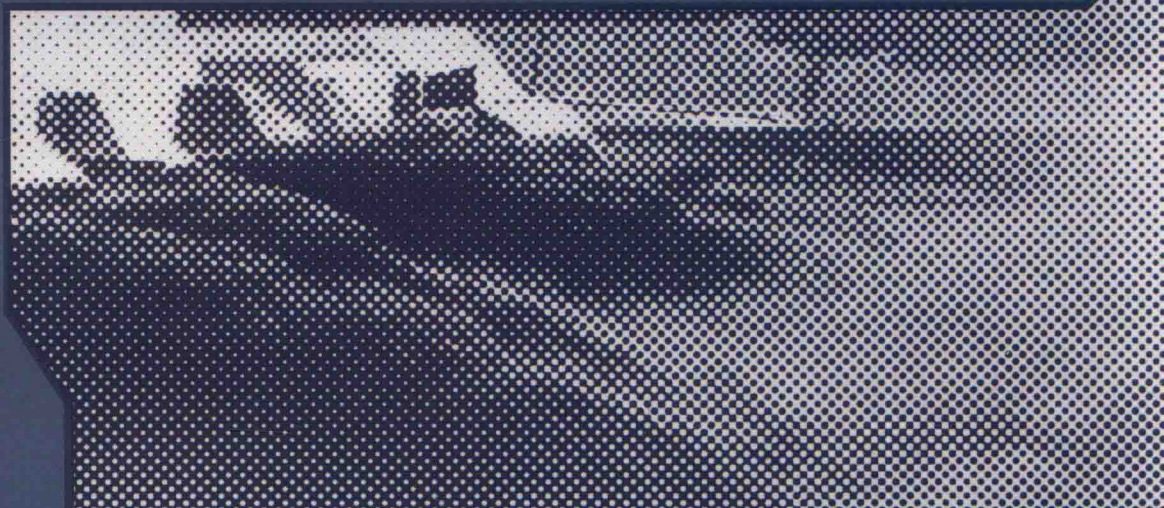
设计
与
研究

水利工程设计与研究丛书

DAZHONGXING BINGWANG GUANGFU FADIAN GONGCHENG SHEJI YU YANJIU

大中型并网光伏发电工程设计与研究

本书编委会 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水利工程设计与研究丛书

大中型并网光伏发电工程设计与研究

本书编委会 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为《水利工程设计与研究丛书》之一,内容以论述大中型并网光伏发电工程设计与研究中存在的普遍技术难题,探讨了如何进行大中型地面式并网光伏发电工程和分布式光伏发电工程的研究与设计,介绍了太阳能资源的评估方法,太阳能电池组件的特性、结构及种类,电气设备的种类与选型,电站设计与实施方式等众多内容。本书涉及到光伏电站众多专业,提供了便于在设计中使用的公式、计算方法、技术资料。介绍了目前并网光伏电站和分布式光伏电站设计中推荐采用的新技术、新方法、新材料和新工艺。

本书内容丰富,实用性强,并经工程实践证明,具有很高的参考价值。可供从事光伏电站工程工作的规划设计、施工、运行、科研、教学等科技人员参考,也可作为大专院校师生的参考资料和工程案例读物。

图书在版编目(CIP)数据

大中型并网光伏发电工程设计与研究 / 《大中型并网光伏发电工程设计与研究》编委会著. — 北京:中国水利水电出版社, 2014. 12

(水利工程设计与研究丛书)

ISBN 978-7-5170-2786-7

I. ①大… II. ①大… III. ①太阳能发电—研究
IV. ①TM615

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第308767号

书 名	水利工程设计与研究丛书 大中型并网光伏发电工程设计与研究
作 者	本书编委会 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 25.75印张 608千字
版 次	2014年12月第1版 2014年12月第1次印刷
印 数	0001—1000册
定 价	91.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

《大中型并网光伏发电工程设计与研究》

编写委员会

吉晓红 曾桂平 许 昌 毛艳民

王 陆 翟利军 胡会永 李 军

刘 云 王小斌 董滇红 张利娟

周延国 李毅男 姜苏阳

前 言

我国是世界上最大的煤炭生产国和消费国之一，也是少数几个以煤炭为主要能源的国家之一。随着社会经济的快速发展，我国能源需求持续增长，能源供需矛盾和环境压力日益突出，快速开发利用可再生能源已成为我国应对日益严峻的生态环境问题的必由之路。

自 2006 年《中华人民共和国可再生能源法》生效以来，我国的新能源产业开始步入快速发展的新时期。新能源产业是指对风能、太阳能等新型能源进行研究、开发及商业化应用的一系列活动。我国目前众多发展的新能源领域主要有：风电、光伏、生物质能、水电及核电等。其中，太阳能因其资源丰富、分布广泛，成为最具发展潜力的可再生能源。太阳能光伏发电是太阳能利用的一种，是利用半导体的光电效应将太阳能直接转化为电能的固态发电技术，因其清洁、安全、便利、高效等特点，已成为世界各国普遍关注和重点发展的新兴产业。欧洲联合研究中心（JRC）对光伏发电的未来发展作出如下预测：2020 年世界太阳能发电的发电量占世界总能源需求的 1%，2050 年占到 20%，2100 年则将超过 50%。

2012 年 7 月 7 日，国家能源局公布太阳能发电十二五规划（2011~2015 年），明确了我国十二五期间发展太阳能发电的信心与规模，国内光伏产业迎来新一轮的生机。2013 年，发改委根据各地太阳能资源条件和建设成本，将全国分为三类太阳能资源区，制定相应光伏电站标杆上网电价。光伏电站标杆上网电价高出当地燃煤机组标杆上网电价的部分，通过可再生能源发展基金予以补贴。经历两年的寒冬之后，中国光伏行业终于嗅到春天的气息。

本书选择了国内有代表性的并网光伏电站工程作为研究课题，即荒山光伏电站、荒漠光伏电站和屋顶光伏电站。全书共分为五部分，分别从太阳能资源分析、工程地质、工程任务和规模、太阳能光伏发电系统设计、电气、土建设计、工程消防设计、施工组织设计、工程管理设计、环境保护和水土保持设计、劳动安全与工业卫生设计、节能分析、投资概算和财务效益初步分析等方面进行详细论述。希望能对推动我国并网光伏电站工程的发展尽绵薄之力，为将我国的光伏电站设计推向更高的水平。

本书由吉晓红编写内容提要、前言、第 1 章、第 2 章、第 5 章；曾桂平编

写第9章、第27章、第48章；许昌编写第20章、第21章、第24章、第32章、第40章；毛艳民编写第8章、第10章、第12章、第13章、第19章、第31章、第56章、第62章；王陆编写第42章、第44章、第47章；翟利军编写第7章、第35章、第43章；胡会永编写第45章、第51章、第52章、第59~第61章；李军编写第4章、第18章、第26章、第28章、第29章、第36章、第37章、第41章、第46章、第58章、第63章；刘云编写第14章、第30章、第39章；王小斌编写第6章、第25章、第33章、第34章；董滇红编写第11章、第50章；张利娟编写第15章、第38章、第53章；周延国编写第3章、第22章、第23章、第57章；李毅男编写第16章、第17章、第49章、第54章、第55章；全书由姜苏阳统稿，在此表示深深感谢！

本书得到了多位专家的大力支持，在此，谨一表示衷心的感谢！由于本书涉及专业众多，编写时间仓促，错误和不当之处难免，敬请同行专家和广大读者赐教指正。

作 者

2014.8

目 录

前言

1 研究课题一特色介绍	1
2 太阳能资源研究	4
2.1 我国太阳能资源概况	4
2.2 河北省地理位置及太阳能资源概述	4
2.3 太阳能资源分析	6
2.4 工程代表年太阳辐射数据分析	12
2.5 当地太阳能综合评价	13
2.6 气候条件影响分析	13
3 工程地质勘察研究	18
3.1 概述	18
3.2 区域地质概况	19
3.3 场区工程地质条件	19
3.4 结论	28
4 工程任务和规模研究	30
4.1 工程任务	30
4.2 工程规模研究	33
4.3 工程建设必要性	34
5 系统总体方案设计及发电量计算	36
5.1 太阳能电池组件的选择	36
5.2 光伏组件选型	38
5.3 光伏阵列运行方式的选择	40
5.4 逆变器选型	44
5.5 光伏方阵设计	46
5.6 光伏子方阵设计	46
5.7 组件清洁方案	48
5.8 上网电量计算	50
6 电气设计研究	53
6.1 设计依据的主要规范、规程	53
6.2 电气一次	54
6.3 电气二次	58
6.4 主要电气设备工程量	64

7 土建工程设计	68
7.1 工程等别和标准	68
7.2 基本资料和设计依据	68
7.3 电站总平面布置	70
7.4 组件支架—地锚系统设计	71
7.5 场地集电线路设计	71
7.6 房屋建筑设计	72
7.7 给排水及暖通设计	74
7.8 室外工程设计	75
7.9 地质灾害治理工程	75
7.10 土建工程量	76
8 工程消防研究	78
8.1 工程消防总体设计	78
8.2 工程消防设计	79
8.3 施工消防	82
8.4 附表	83
9 施工组织设计	85
9.1 施工条件	85
9.2 施工总布置	86
9.3 施工交通运输	88
9.4 工程建设用地	88
9.5 主体工程施工	89
9.6 施工总进度	92
9.7 安全文明施工措施	94
10 工程管理设计	97
10.1 工程管理机构	97
10.2 主要管理设施	97
10.3 电站运行维护、回收及拆除	98
11 环境保护与水土保持评价	101
11.1 环境保护	101
11.2 水土保持	114
12 劳动安全与工业卫生	116
12.1 总则	116
12.2 建设项目概况	118
12.3 主要危险、有害因素分析	118
12.4 劳动安全与工业卫生对策措施	119
12.5 光伏电站劳动安全与工业卫生机构设置	123
12.6 劳动安全与工业卫生管理制度	124

12.7	事故应急救援预案	125
12.8	投资概算	126
12.9	预期效果评价	127
12.10	存在的问题和建议	128
13	节能降耗	129
13.1	设计原则	129
13.2	设计依据	129
13.3	施工期能耗种类、数量分析和能耗指标分析	130
13.4	运行期能耗种类、数量分析和能耗指标分析	131
13.5	主要节能降耗措施	131
13.6	节能降耗效益分析	133
13.7	结论意见和建议	133
14	工程设计概算	136
14.1	编制说明	136
14.2	设计概算	140
14.3	施工辅助工程概算	141
14.4	设备及安装工程概算	141
14.5	建筑工程概算	145
14.6	其他费用概算表	146
15	财务评价与社会效果分析	148
15.1	概述	148
15.2	财务分析	148
15.3	社会效果分析	160
16	招投标	161
16.1	招标范围	161
16.2	招标组织形式	161
16.3	招标方式	161
17	结论	162
18	研究课题二特色介绍	163
19	工程建设必要性研究	164
19.1	符合可再生能源发展规划和能源产业发展方向	164
19.2	地区国民经济可持续发展的需要	164
19.3	改善能源结构的需要	165
19.4	改善生态、保护环境的需要	165
19.5	发挥减排效益、申请 CDM	166
19.6	促进旅游资源开发	166
20	工程任务和规模研究	167
20.1	地区社会经济	167

20.2	地区电力系统现状及发展规划	169
20.3	工程建设规模	170
21	太阳能资源分析	172
21.1	区域太阳能资源概况	172
21.2	代表气象站选择	174
21.3	太阳能辐射资料分析	174
21.4	太阳能资源综合评价	175
22	工程地质勘察研究	176
22.1	工程概况	176
22.2	地形地貌	176
22.3	地层岩性	176
22.4	地质构造与地震	176
22.5	水文地质	176
23	场址选择	178
23.1	场址选择依据	178
23.2	场址比选	178
23.3	场址综合评价	180
24	太阳能光伏发电系统研究	181
24.1	太阳能光伏发电系统形式及构成	181
24.2	太阳能光伏电站的布置	188
24.3	年发电量预测	188
25	电气设计研究	190
25.1	电气一次	190
25.2	电气二次	192
25.3	主要电气设备工程量	193
26	土建工程	196
26.1	工程等级	196
26.2	太阳能电池组件支架及基础设计	196
26.3	房屋建筑设计	196
26.4	室外工程设计	197
26.5	场区环境美化规划	197
27	施工组织设计研究	198
27.1	交通条件和场地条件	198
27.2	水文、气象条件	198
27.3	主要建筑材料来源	198
27.4	主体工程施工	198
27.5	施工总布置	200
27.6	施工总进度	201

28	环境影响评价	203
28.1	环境现状调查及初步评价	203
28.2	建设施工期环境影响初步评价	203
28.3	运行期环境影响初步评价	204
28.4	节能及减排效益分析	205
28.5	综合评价和结论	205
29	投资估算	206
29.1	编制说明	206
29.2	工程总估算表	209
29.3	设备及安装工程估算表	210
29.4	建筑工程估算表	212
29.5	其他费用估算表	213
30	财务效益初步分析	215
30.1	概述	215
30.2	财务评价	215
30.3	社会效果分析	218
30.4	附表	218
31	结论与建议	229
31.1	结论	229
31.2	建议	229
32	研究课题三特色介绍	230
33	光伏产业现状和建设必要性研究	232
33.1	光伏产业现状	232
33.2	项目建设必要性	233
34	项目建设条件	236
34.1	项目所在地概况	236
34.2	项目建设产业集聚区概况	237
34.3	集聚区资源条件	237
35	工程建设规模和总体方案	242
35.1	工程建设规模	242
35.2	总体方案	243
36	工程进度计划与安排	262
37	环境影响评价	263
38	投资估算	264
38.1	工程概况	264
38.2	投资估算	264
38.3	主要技术经济指标	265

39 财务效益初步分析	266
39.1 编制原则和依据	266
39.2 财务分析	266
39.3 财务评价结论	268
39.4 附表	268
40 建议	275
41 研究课题四特色介绍	276
42 太阳能资源	279
42.1 我国太阳能资源概况	279
42.2 河南省太阳能资源概述	279
42.3 县气象条件	280
42.4 太阳能辐射量分析	280
42.5 日照时数分析	281
42.6 太阳能辐射量和日照时数分析	282
42.7 当地太阳能综合评价	282
42.8 气象条件影响分析	282
43 工程任务和规模	284
43.1 工程任务	284
43.2 工程规模	286
44 系统总体方案设计及发电量计算	288
44.1 太阳能电池组件的选择	288
44.2 光伏组件选型	290
44.3 逆变器选型	291
44.4 固定式支架安装倾角	293
44.5 光伏方阵设计	295
44.6 上网电量计算	297
44.7 组件清洁方案	299
45 电气部分	301
45.1 设计依据的主要规范规程	301
45.2 电气一次	302
45.3 电气二次	309
46 土建安装	314
46.1 工程概况	314
46.2 设计依据	314
46.3 屋顶基本情况	315
46.4 支架安装系统典型设计	317
46.5 基础设计	318
46.6 房屋建筑设计	318

46.7	地质灾害治理工程	319
47	工程消防设计研究	321
47.1	工程消防总体设计	321
47.2	工程消防设计	322
47.3	施工消防	322
47.4	附表	323
48	施工组织设计	324
48.1	施工条件	324
48.2	施工总布置	324
48.3	施工交通运输	324
48.4	工程用地	325
48.5	主体工程施工	325
48.6	施工总体进度	325
48.7	安全文明施工措施	326
49	工程管理设计	328
49.1	工程管理机构	328
49.2	主要管理设施	328
49.3	电站运行维护、回收及拆除	328
50	环境保护与水土保持设计	331
50.1	环境保护	331
50.2	水土保持	338
51	劳动安全与工业卫生	339
51.1	总则	339
51.2	建设项目概况	341
51.3	主要危险、有害因素分析	341
51.4	劳动安全与工业卫生对策措施	342
51.5	光伏电站劳动安全与工业卫生机构设置	345
51.6	劳动安全与工业卫生管理制度	346
51.7	事故应急救援预案	347
51.8	投资概算	348
51.9	预期效果评价	349
51.10	存在的问题和建议	350
52	节能降耗评价	351
52.1	设计原则	351
52.2	设计依据	351
52.3	建筑节能设计	352
52.4	电气及设备选型设计	352
52.5	主要施工设备选型及其配套	353

52.6	节能降耗效益分析	353
52.7	结论意见和建议	353
53	工程设计概算	355
53.1	编制说明	355
53.2	设计概算表	358
53.3	施工辅助工程概算表	359
53.4	设备及安装工程概算表	359
53.5	建筑工程概算	362
53.6	其他费用概算表	362
54	经济评价	364
54.1	概述	364
54.2	财务分析	364
54.3	社会效果分析	376
55	社会稳定风险分析	377
55.1	编制依据	377
55.2	社会影响效果	377
55.3	社会适应性分析	379
55.4	社会稳定风险对策分析	379
55.5	社会稳定风险应急预案	380
55.6	研究结论	381
56	研究课题五特色介绍	382
57	项目建设条件	383
57.1	地形地貌和水文条件	383
57.2	气候状况	383
57.3	社会经济概况	383
57.4	太阳能资源	383
57.5	电力系统	385
58	项目选址研究	386
58.1	场址条件	386
58.2	场址现状及土地性质	386
58.3	交通运输条件	387
58.4	水源条件	387
58.5	施工电源	387
58.6	接入系统条件	387
59	建设规模和总体方案	388
59.1	装机规模及开发规划	388
59.2	电气接入方案	388
59.3	光伏装机方案	388

60 环境保护、劳动安全与工业卫生..... 389

60.1 环境保护 389

60.2 劳动安全与工业卫生 390

61 工程进度计划与安排..... 392

61.1 进度安排原则 392

61.2 项目实施进度 392

62 投资估算和经济分析..... 394

62.1 投资估算 394

62.2 经济评价 394

63 社会和环境效益评价..... 395

63.1 社会及经济效益 395

63.2 环境效益 395

1 研究课题一特色介绍

河北省地处我国的中东部地区，其太阳能资源的分布也存在北部高于南部、内陆高于沿海的分布特征，全省大部分地区太阳能资源都属于“较丰富带”。

某 50MWp 地面并网光伏电站工程位于河北省保定市曲阳县，项目所在区域土地面积约 5000 多亩，性质均为未利用地，场址为低山丘陵地形，地势平缓，地表植被稀少。工程并网接入条件较好。太阳能资源属于中等偏上水平，在河北省仅次于张家口、承德等地区，适宜建设并网大型光伏电站。

项目场址位于曲阳县气象站正东约 25km 处，地势平坦，属沿海简单地形，以县气象站作为项目气候资源评估和气象条件分析的参证站，其观测资料具有显著的代表性。

根据曲阳县气象站 1982~2011 年近 30 年逐年的太阳能辐射总量数据，对近 30 年的太阳辐射量、日照时数、日照百分率进行分析计算，得出工程设计代表年的年太阳辐射量为 4910.41MJ/m²，年日照小时数为 2299.9h。从太阳能资源利用角度来说，在场址区建设并网光伏电站是可行的。

拟建光伏电站场址位于曲阳县孝墓乡西北的荒山上，项目所在区域土地面积约 5000 多亩，性质均为未利用地，场址为低山丘陵地形，地势平缓，地表植被稀少。地形上属于丘陵地带，从西北向东南逐渐平缓。

场址区山坡较缓，不存在滑坡、泥石流等不良地质作用。因此，场区是稳定的，为可进行工程建设的一般性场地。

光伏发电工程特性表见表 1-1。

表 1-1 光伏发电工程特性表

项 目		单 位	数 量	备 注
1. 光 伏发电 工程站 址概况	装机容量	MWp	50	
	占地面积	km ²	1.41	
	海拔	m	200.00	
	经度（东经）		114°40′	
	纬度（北纬）		38°42′	
	工程代表年太阳总辐射量	MJ/m ²	4910.41	
	年光照时长	h	2299.9	
2. 主 要气象 要素	多年平均气温	℃	12.3	
	多年极端最高气温	℃	41.7	
	多年极端最低气温	℃	-19.6	

续表

项 目				单 位	数 量	备 注
2. 主 要气象 要素	多年最大冻土深度			m	0.66	
	多年最大积雪厚度			cm	36	
	多年平均风速			m/s	1.8	
	多年极大风速			m/s	32.6	
	多年最大风速			m/s	23.3	
	多年平均降雨量			mm	501.3	
	多年平均大风日数			d	29.8	
	多年平均沙尘暴日数			d	1	
	多年平均雷暴日数			d	30.7	
	多年平均结冰期			d	90	
3. 主 要设备	3.1 光伏 组件	3.1.1	峰值功率	W _p	245	
		3.1.2	开路电压 V_{α}	V	37.68	
		3.1.3	短路电流 I_{κ}	A	8.57	
		3.1.4	峰值功率电压 V_{mpp}	V	29.92	
		3.1.5	峰值功率电流 I_{mpp}	A	8.19	
		3.1.6	峰值功率温度系数	%/K	—0.45	
		3.1.7	开路电压温度系数	%/K	—0.33	
		3.1.8	短路电流温度系数	%/K	0.062	
		3.1.9	10 年功率衰减	%	10	
		3.1.10	25 年功率衰减	%	20	
		3.1.11	外型尺寸	mm	1650/991/40	
		3.1.12	重量	kg	19.5	
		3.1.13	数量	块	215600	
		3.1.14	向日跟踪方式		固定式	
		3.1.15	固定倾角角度	(°)	34	
	3.2 逆变 器	3.2.1	输出额定功率	kW	500	
		3.2.2	最大交流侧功率	kW	550	
		3.2.3	最大交流电流	A	1200	
		3.2.4	最高转换效率	%	98.7	
		3.2.5	欧洲效率	%	98.5	
		3.2.6	最大直流输入电压	V (DC)	1000	
		3.2.7	最大功率跟踪(MPPT)范围	V (DC)	420~850	
		3.2.8	最大直流输入电流	A	1200	
		3.2.9	交流输出电压范围	V	260~350	
		3.2.10	输出频率范围	Hz	48~52	
		3.2.11	功率因数调节范围		—0.90~+0.90	
		3.2.12	宽/高/厚	mm	2450/850/2150	
		3.2.13	重量	kg	2100	
		3.2.14	工作环境温度范围	℃	—35~+55	
		3.2.15	数量	台	100	