

ICS 27. 140

P 55

SL

中华人民共和国水利行业标准

SL 540—2011

光伏提水工程技术规范

Specification for photovoltaic pumping engineering

2011-12-22 发布

2012-03-22 实施



中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部
关于批准发布水利行业标准的公告

2011年第48号

中华人民共和国水利部批准《光伏提水工程技术规范》(SL 540—2011)标准为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	光伏提水工程技术规范	SL 540—2011		2011.12.22	2012.3.22

二〇一一年十二月二十二日

前 言

根据水利部水规计〔2008〕488号文件要求，按照《水利技术标准编写规定》(SL 1—2002)的要求，编制本标准。

本标准共7章26节127条和4个附录，主要包括以下内容：

- 光伏提水工程的构成及分类；
- 光伏提水工程设计；
- 光伏提水工程安装施工；
- 光伏提水工程验收；
- 运行管理与维护。

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部农村水利司

本标准解释单位：水利部农村水利司

本标准主编单位：水利部牧区水利科学研究所

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：吴永忠 程荣香 王世锋 查 咏

朱俊峰 刘文兵 刘惠敏 廉成志

李 红 冯宾春 贾 斌 李振刚

本标准审查会议技术负责人：龚时宏

本标准体例格式审查人：胡 孟

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	光伏提水工程的构成及分类	5
3.1	工程的构成	5
3.2	光伏提水机组的型号与分类	5
4	光伏提水工程设计	7
4.1	建设条件	7
4.2	太阳能资源分析	7
4.3	水源分析	8
4.4	工程设计	9
4.5	机组的选型	10
4.6	光伏泵站相关参数的确定	11
4.7	光伏阵列容量的确定	13
4.8	光伏阵列设计	15
4.9	蓄水工程设计	16
4.10	输配水工程设计	17
4.11	系统防雷设计	17
4.12	系统节能设计	18
5	光伏提水工程安装施工	19
5.1	一般规定	19
5.2	土建工程	19
5.3	机组安装	19
5.4	机组调试	21
6	光伏提水工程验收	23
6.1	机组性能的检测	23

6.2	输配水管道性能的检测	25
6.3	工程验收	26
7	运行管理与维护	28
7.1	一般规定	28
7.2	管理人员的职责	28
7.3	工程的运行管理与维护	28
7.4	工程设备的检修	29
7.5	工程的档案资料管理办法	29
附录 A	我国主要城市日照辐射最佳倾角参数表	31
附录 B	跟踪式光伏阵列方位角、最佳倾角计算方法	32
附录 C	机组性能参数检测方法	35
附录 D	光伏提水机组输出特性现场检测记录用表	37
	标准用词说明	38
	条文说明	39

1 总 则

1.0.1 为了提高光伏提水工程建设与管理水平，规范光伏提水工程的设计、安装施工、验收及管理，特制定本标准。

1.0.2 本标准适用于机组功率小于 100kW 光伏提水工程的设计、安装施工、验收及管理。

1.0.3 本标准引用标准主要有：

《水泵流量的测定方法》(GB/T 3214—2007)

《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)

《地面用晶体硅光伏组件 设计鉴定和定型》(GB/T 9535—1998)

《潜水电泵 试验方法》(GB/T 12785—2002)

《地下水质量标准》(GB/T 14848—93)

《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)

《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)

《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)

《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)

《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205—2001)

《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268—2008)

《建筑工程施工质量验收统一标准》(GB 50300—2001)

《风力提水工程技术规程》(SL 343—2006)

1.0.4 光伏提水工程除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 光伏提水机组 photovoltaic (PV) pumping system

将太阳能转化成电能提水的装置。

2.0.2 光伏提水专用水泵 special water pump for PV pumping system

用于光伏系统的水泵。

2.0.3 控制器 controller

主要完成最大功率跟踪控制、光伏提水作业启动与停止控制、逆变控制等功能的设备。

2.0.4 年总提水量 annual water output

在额定扬程下，光伏提水机组在不同太阳辐射条件下，一年内提取的全部水量之和。估算中假设设备可利用率为 100%。

2.0.5 光伏方阵额定电压 photovoltaic array rated voltage

在规定的工作条件下，依据同一类型太阳能电池组件的特性选定其输出电压，使这一类太阳能电池组件的输出功率都接近于最大功率，这个电压称为额定电压。

2.0.6 光伏方阵额定功率 photovoltaic array rated power

在额定的工作条件下，太阳能电池组件方阵在额定电压下所规定的输出功率。

2.0.7 峰值功率 peak power

太阳能电池组件方阵，在标准测试条件下的额定最大输出功率。

2.0.8 全年太阳总辐射量 annual total solar radiation

指定地域地面在一年内所接受到的太阳总辐射量，通常表示为： $\text{kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 或 $\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

2.0.9 全年日照时数 annual sunshine hours

在一年的时间内，在垂直于其光线平面上的辐射强度不小于 $120\text{W}/\text{m}^2$ 的时间总和，以小时计。

2.0.10 太阳辐射量年变化 annual variation of solar radiation
一年内，1~12月的月平均太阳辐射量的变化。

2.0.11 全年太阳辐射量日变化 daily variation of solar radiation within a year

以日为基数发生的变化，全年太阳辐射量日变化是求出一年内，每日同一时刻太阳平均辐射量的年平均值，得到24h的太阳辐射量变化。

2.0.12 各月太阳辐射量日变化 daily variation of solar radiation monthly

以日为基数发生的变化，各月太阳辐射量日变化是求出一个月內，每日同一时刻太阳平均辐射量的月平均值，得到24h的太阳辐射量变化。

2.0.13 双轴跟踪支架 double axle tracking support

可以二维转动自动跟踪太阳的方位和高度的光伏方阵支架。

2.0.14 单轴跟踪支架 single axle tracking support

可以一维转动自动跟踪太阳方位的光伏方阵支架。

2.0.15 固定支架 fixed support

按照设计的方位角和高度角固定的光伏方阵支架，不具备自动跟踪的功能。

2.0.16 支架基础 support foundation

用于固定光伏方阵支架的地基构件。

2.0.17 光伏方阵 photovoltaic array

由若干个太阳能电池组件连同支撑结构组合成的发电单元。

2.0.18 方阵倾角 array dip

太阳能电池组件倾斜面与水平面的夹角。

2.0.19 太阳高度角 solar elevation angle

太阳光线与观测点处连线与水平面的夹角。

2.0.20 太阳赤纬角 solar declination angle

日地中心的连线与赤道平面间的夹角。

2.0.21 太阳方位角 solar azimuth

地球上观测点同太阳中心连线在地上的投影与正南方向之间的夹角。

2.0.22 光伏提水泵站总扬程 the total lift of photovoltaic pumping station

光伏提水系统在夏季为 9:00~17:00、冬季为 10:00~15:00 抽取的水量与水源供给的水量处于平衡时,水源此时的动水位到蓄水池进水口中心的高差与输水管道的阻力之和。

3 光伏提水工程的构成及分类

3.1 工程的构成

3.1.1 光伏提水工程应由下列部分组成：光电池板、支架、基础、蓄电池组（如有）、控制系统、光伏提水专用水泵、取水建筑物、输水管线、蓄水池（如有）、用水终端、安全防护网等。

3.1.2 光伏提水系统见图 3.1.2。

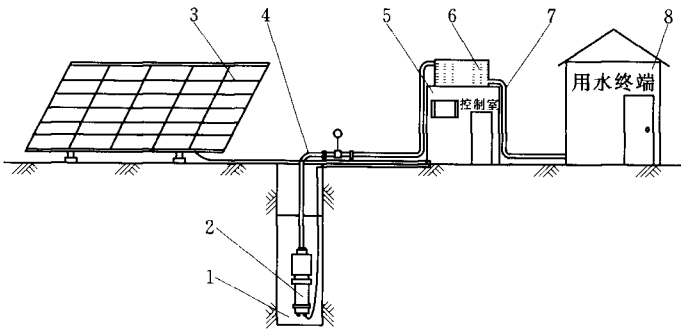
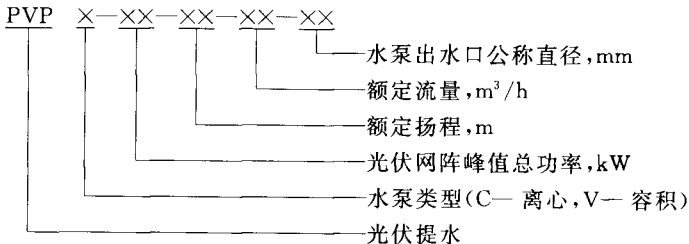


图 3.1.2 光伏提水系统示意图

- 1—水源；2—水泵；3—光伏系统；4—上游输水管线；5—控制室；
6—蓄水池；7—下游输水管线；8—用水终端

3.2 光伏提水机组的型号与分类

3.2.1 光伏提水机组的型号应由下列部分组成：



3.2.2 光伏提水机组应按下列方式进行分类：

- 1 按电能传递路线，应分为以下两类：**
 - 1) 光伏阵列直接驱动的提水机组。
 - 2) 蓄电池（组）储能的提水机组。
- 2 按水泵驱动电机的电流形式，应分为以下两类：**
 - 1) 由直流电动机驱动光伏水泵的提水机组。
 - 2) 由交流电动机驱动光伏水泵的提水机组。
- 3 按水泵工作原理，应分为以下两类：**
 - 1) 离心泵提水，包括普通离心泵和专用离心泵。
 - 2) 容积泵提水，包括活塞泵、螺杆泵和其他泵。

4 光伏提水工程设计

4.1 建设条件

- 4.1.1 应有稳定和可靠的太阳能资源：全年日照时数应不小于 2200h；全年太阳总辐射量应不小于 $1000\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 。
- 4.1.2 机组生存的极限最低温度应为 -40°C ，极限最高温度应为 $+60^{\circ}\text{C}$ 。
- 4.1.3 50 年一遇的最大风速应不大于 50m/s 。
- 4.1.4 水源条件应满足 4.3 节的要求。

4.2 太阳能资源分析

4.2.1 参证气象站的选择应符合下列要求：

1 参证气象站的海拔应与建设地的海拔相近，海拔差不宜大于 200m。

2 参证气象站的纬度应与建设地的纬度相近，纬度差不宜大于 0.5° 。

3 参证气象站应是距离建设点最近的气象站，直线距离不宜超过 100km。

4.2.2 太阳能资源评估时收集参证气象站的基础资料应包括下列内容：

1 测站仪器类型以及测量标准。

2 连续 10 年的历年太阳辐射总量以及各月平均太阳辐射量。

3 连续 10 年的月平均温度。

4 最大连续无日照时数。

5 连续 10 年历年的日照时数。

6 其他气象数据：测站记录的气压数据、极端气温、每年出现的雷暴日数、沙暴日数、积雪深度和冻土深度等气象数据。

4.2.3 建设地实测资料应包括以下内容：

- 1 连续一年逐时太阳能总辐射量、直射量和散射量。
- 2 连续一年逐时温度。
- 3 收集与赤纬角、时角、太阳高度角、太阳方位角有关的参数。

4.2.4 太阳能资源资料评估应采用以下方法：

1 对工程建设地点应进行不少于一年的太阳能资源资料测量，取得相应参证气象站的同期资料，将其订正为一套反应光伏方阵长期平均水平的代表性数据，然后对代表年数据进行资源评估。

2 建设地没有实测的太阳能资源资料，可使用相应参证气象站代表年的太阳能资源资料进行评估。

4.2.5 太阳能资源的评估应包括以下内容：

1 全年太阳总辐射量。

2 太阳辐射量的年变化和全年太阳辐射量日变化（用太阳辐射量年变化曲线与同期负荷的年变化曲线对比；太阳辐射量日变化曲线与同期负荷的日变化曲线对比。两者相一致或接近的部分越多越好）。

3 各月太阳辐射量日变化（各月太阳辐射量日变化曲线与同期负荷日变化曲线对比，两者相一致或接近的部分越多越好）。

4 全年最大日辐射量。

5 全年最小日辐射量。

6 全年日照时数。

4.3 水源分析

4.3.1 光伏提水工程水源应符合下列要求：

1 水源选择前，应进行水资源的勘察评价。

2 取水建筑物宜简单可靠。以地表水为水源时，可修建小型水库、水塘、河岸取水设施和水窖等；以地下水为水源时，可采用大口井、机井和截伏流（渗渠）等。

3 光伏提水机组应靠近水源工程，小于 2kW 的提水机组与水源的距离不宜超过 10m，不小于 2kW 的提水机组与水源的距离不宜超过 20m。

4.3.2 光伏提水工程的水源水质应符合下列要求：

1 光伏提水工程的水源水宜为清水，如河水、湖水、池塘水和井水等。水的温度应不高于 40℃。

2 对于地下水源，以提取生活饮用水为主的，水源应选取 GB/T 14848—93 规定的 I～Ⅲ类地下水；以工业、农业、牧业生产用水为主的，水源可选取 GB/T 14848—93 规定的 I～V 类地下水。

3 对于地表水源，以提取生活饮用水为主的，水源应选取 GB 3838—2002 规定的 I～Ⅲ类地表水；以工业、农业、牧业生产用水为主的，水源可选取 GB 3838—2002 规定的 I～V 类地表水。

4.3.3 光伏提水工程的水源水量应符合下列要求：

1 选用地下水源时，其允许开采量应大于取水量。

2 选用地表水源时，其设计枯水流量的年保证率不宜低于 90%。

3 当单一水源水量不能满足要求时，可采用多水源或调蓄水等措施。

4 水井动水位降深应不超过 2m。

5 水源的供水能力应大于水泵的流量。

4.4 工程设计

4.4.1 光伏提水工程设计应符合下列基本要求：

1 光伏提水泵站周围不应有影响光伏发电的遮阳障碍物。

2 供水蓄水池应具备重力供水条件，应有一定的容积，蓄水池蓄满水时，应保证连续 3 天阴天泵站不能提水的情况下仍能正常供水。蓄水池不应建在垃圾点、牲畜饮水处附近。

3 在泵站取水处应预留放置其他取水器所需的空間。

4 系统应有放水装置。

5 在光伏阵列、水源口、蓄水池处应设有安全防护设施或警示标志。

6 输水管线不应有较大的起伏，穿越不良地质、地段时应采用相应的技术措施。输水管线接口处不应有明显的渗漏。

4.4.2 光伏提水工程应符合下列技术要求：

1 光伏提水机组应能在 $-20\sim+60^{\circ}\text{C}$ 的条件下正常工作。

2 在光伏组件安装区域内，地基应有相应的承载力，避开沼泽、滩涂、流沙。地质条件应符合 GB 50007—2002 的要求。

3 电池方阵和控制室宜靠近水源，距离不宜超过 20m。

4 水管内的水流速度宜为 $0.6\sim 2.0\text{m/s}$ 。

5 蓄水池容积不应小于日最大用水量的 3 倍；蓄水池最低点的水头应高于最不利用水终端处水头 2m。

6 大于 2kW 的光伏提水泵站的控制器应有欠压、过载等电子自动保护功能。

7 提水泵站的出水口处应有消能和防冲刷装置。

8 冬季作业的光伏泵站，输水管线应埋设在冻层以下，或采取相应的其他防冻措施，管道上安装阀门处应建阀门井。

4.5 机组的选型

4.5.1 机组类型选择应考虑下列因素：

1 工程用途。

2 太阳能资源条件。

3 提水流量及扬程。

4.5.2 机组类型选择应符合下列规定：

1 流量不小于 $10\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程不大于 30m 的提水机组，宜优先选用离心泵提水机组。

2 流量小于 $10\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程大于 30m 的提水机组，宜选用高扬程、小流量容积泵提水机组。

3 水中含沙量大的宜选用离心泵提水机组。

4.6 光伏泵站相关参数的确定

4.6.1 供水地区日需水量应符合 SL 343—2006 第 6.3.2 条的要求。

4.6.2 光伏提水泵站总扬程的确定应按下列方式进行：

1 光伏提水泵站总扬程应按式 (4.6.2-1) 计算， H_1 、 H_2 和 H_3 高差见图 4.6.2。

$$H = H_1 + H_2 + H_3 + \Delta H \quad (4.6.2-1)$$

式中 H ——系统的总扬程，m；

H_1 ——动水位到最不利用水终端的高差，m；

H_2 ——蓄水池底部到最不利用水终端的高差，宜取 2~3m；

H_3 ——蓄水池深度，m；

ΔH ——总水头损失，m。

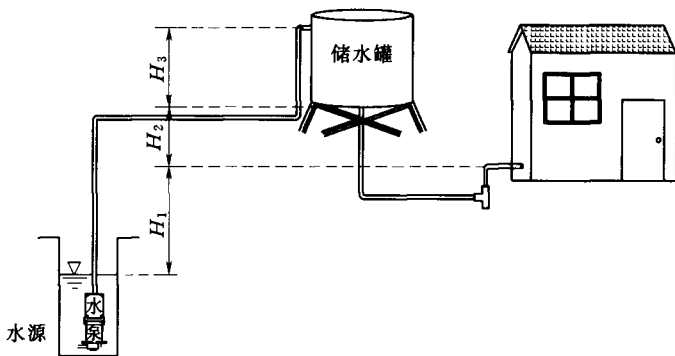


图 4.6.2 泵水系统扬程示意图

2 总水头损失应按式 (4.6.2-2) 计算：

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 \quad (4.6.2-2)$$

式中 ΔH_1 ——沿程水头损失，m；

ΔH_2 ——局部水头损失，m。

3 沿程水头损失应按式 (4.6.2-3) 计算：

$$\Delta H_1 = 10^{3m} L f Q^m / d^b \quad (4.6.2-3)$$

式中 f ——系数，应按表 4.6.2 选取；

m ——系数，应按表 4.6.2 选取；

b ——系数，应按表 4.6.2 选取；

Q ——管段计算流量， m^3/h ；

d ——管内径， m ；

L ——计算管段的长度， m 。

表 4.6.2 管道沿程损失公式中的系数与指数

管材		f	m	b	
硬塑料管		0.464	1.77	4.77	
聚乙烯管	$d > 8\text{mm}$		0.505	1.75	4.75
	$d \leq 8\text{mm}$	$Re > 2320$	0.595	1.69	4.69
		$Re \leq 2320$	1.75	1	4

4 输水管和配水管的局部损失可按其沿程水头损失的 5%~10% 计算；配水支管及其以下管道的局部水头损失可按其沿程水头损失的 10%~20% 计算。

4.6.3 泵水系统流量的确定应按下列方式进行：

1 日提水量应按式 (4.6.3-1) 计算：

$$Q_r = \sum_{t_q}^{t_z} Q_i \quad (4.6.3-1)$$

式中 Q_r ——日提水量，系统在全日内各个时间段的提水量之和， m^3 ；

Q_i ——选定机型在确定的扬程下某时段太阳能资源对应的系统流量， m^3/h ；

t_q ——一天内系统提水起始时间， h ；

t_z ——一天内系统提水终止时间， h 。

2 光伏提水系统应分别进行全年最大需水日供水保证率、太阳能资源最弱日供水保证率和年供水保证率计算，或可根据用户的实际需求来确定供水保证率。

1) 全年最大需水日供水保证率应按式 (4.6.3-2) 计算：

$$\eta_{p\max} = \frac{Q_h}{Q_{r\max}} \times 100\% \quad (4.6.3-2)$$

式中 $\eta_{p\max}$ ——光伏提水系统全年最大需水日供水保证率，%；
 Q_h ——全年最大日需水量对应的光伏提水系统的日提水量， m^3 ；
 $Q_{r\max}$ ——全年最大日需水量， m^3 。

2) 太阳能资源最弱日（冬至）供水保证率应按式（4.6.3-3）计算：

$$\eta_{p\min} = \frac{Q_{h\min}}{Q_r} \times 100\% \quad (4.6.3-3)$$

式中 $\eta_{p\min}$ ——冬至日供水保证率，%；
 $Q_{h\min}$ ——冬至日光伏系统的日提水量， m^3 ；
 Q_r ——冬至日需水量， m^3 。

3) 年供水保证率应按式（4.6.3-4）计算：

$$\eta_p = \frac{Q_{h\text{总}}}{Q_{r\text{总}}} \times 100\% \quad (4.6.3-4)$$

式中 η_p ——光伏提水系统年供水保证率，%；
 $Q_{h\text{总}}$ ——年总提水量， m^3 ；
 $Q_{r\text{总}}$ ——年总需水量， m^3 。

3 在光伏泵站的建设中，光伏泵站的供水保证率应首先满足年供水保证率的要求。

4.7 光伏阵列容量的确定

4.7.1 光伏阵列最大峰值水功率应按式（4.7.1）计算：

$$N_{sf} = \frac{1}{3.6} \rho g Q_{\max} H \quad (4.7.1)$$

式中 N_{sf} ——峰值水功率，W；
 Q_{\max} ——水泵峰值流量， m^3/h ；
 H ——系统总扬程，m；
 g ——重力加速度， m/s^2 ；
 ρ ——水密度， kg/m^3 。

4.7.2 光伏提水系统水泵峰值功率应按式 (4.7.2) 计算:

$$N_{pf} = \frac{N_{sf}}{k_1 k_2 k_3} \quad (4.7.2)$$

式中 N_{pf} ——提水系统峰值水功率, W;

k_1 ——流量修正系数, 应按表 4.7.2 选取;

k_2 ——提水机具形式修正系数, 对于容积泵, 流量不小于 $5\text{m}^3/\text{h}$ 时, $k_2=0.75\sim 0.85$, 流量小于 $5\text{m}^3/\text{h}$ 时, $k_2=0.65\sim 0.75$; 对于离心泵, 流量不小于 $5\text{m}^3/\text{h}$ 时, $k_2=0.85\sim 0.95$; 流量小于 $5\text{m}^3/\text{h}$ 时, $k_2=0.70\sim 0.85$;

k_3 ——电力传动形式修正系数, 对于直传动系统, $k_3=0.80\sim 0.90$; 对于交流传动系统, $k_3=0.70\sim 0.80$ 。

表 4.7.2 流量修正系数 k_1

修正系数	流 量 (m^3/h)			
	≤ 2	2~5	5~10	>10
k_1	0.70	0.75	0.80	0.85

4.7.3 光伏阵列容量应按式 (4.7.3) 计算:

$$N = k_4 k_5 N_{pf} \quad (4.7.3)$$

式中 N ——光伏阵列的容量, W;

k_4 ——太阳能资源修正系数, 应按表 4.7.3-1 选取;

k_5 ——光伏阵列跟踪太阳方式修正系数, 应按表 4.7.3-2 选取。

表 4.7.3-1 太阳能资源修正系数 k_4

修正系数	太阳能资源 [$\text{kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$]			
	≥ 1740	1400~1740	1160~1400	< 1160
k_4	0.9	0.8	0.7	0.6

表 4.7.3-2 光伏阵列跟踪太阳方式修正系数 k_5

修正系数	跟 踪 方 式		
	固定式	单轴跟踪式	双轴跟踪式
k_5	1	1.1~1.15	1.17~1.22

4.8 光伏阵列设计

4.8.1 光伏阵列方位角、最佳倾角的确定应按下列方式进行：

1 固定支架式光伏阵列最佳倾角参照附录 A 表 A 中最佳倾角值选取。

2 跟踪式支架光伏阵列方位角、最佳倾角的计算见附录 B。

1) 单轴跟踪支架系统：以固定光伏阵列的最佳倾斜角，随着太阳轨迹位置的变换而改变方位角，计算其接收到的太阳总辐射量。

2) 双轴跟踪支架系统：随着太阳轨迹位置的变换而改变方位角和倾角，计算其接收到的太阳总辐射量。

4.8.2 光伏阵列行间距应按式 (4.8.2) 计算，太阳电池方阵行间距示意图见图 4.8.2。

$$L_s = L \left(\cot \alpha_z \cos \gamma + \frac{1}{\tan \alpha} \right) \quad (4.8.2)$$

式中 L_s ——行间距，前排方阵前端到后排方阵前端的距离，m；
 γ ——冬至日 9:00 太阳方位角，(°)；
 L ——组件垂直高度，m。

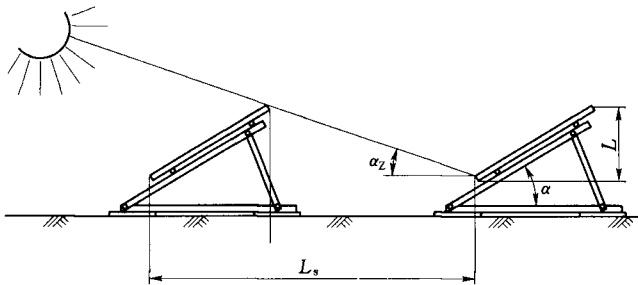


图 4.8.2 太阳电池方阵行间距示意图

4.8.3 光伏阵列安装用支架结构应按下列方式进行设计：

1 光伏电池板安装应采用螺栓背板下固定方式，固定在支架框架上，螺栓、螺母材质为镀锌材料。

2 光伏电池板固定式支架的设计风载抵抗应不小于当地最大阵风风速，同时计算方阵风荷载和基本风压。

1) 方阵风荷载应按式 (4.8.3-1) 计算。

$$W = C_w q A_w \quad (4.8.3-1)$$

式中 W ——风荷载，N；

A_w ——受风面积， m^2 。

2) 风荷载风力系数 C_w 顺风时应按式 (4.8.3-2) 选取；
逆风时应按式 (4.8.3-3) 选取。

$$C_w = 0.65 + 0.009\alpha \quad (4.8.3-2)$$

$$C_w = 0.71 + 0.016\alpha \quad (4.8.3-3)$$

3) 基本风压 q 应按式 (4.8.3-4) 计算：

$$q = \frac{1}{2} \rho V_0^2 \quad (4.8.3-4)$$

式中 ρ ——空气密度， kg/m^3 ；

V_0 ——设计用基准风速（地面上 10m 处，50 年内一遇的最大瞬时风速）， m/s 。

3 碳钢支撑结构系统的变形量应满足 GB 50017—2003 和 GB 50205—2001 的要求。

4 支架系统抗震等级参考 GB 50011—2001 丙类建筑的规定要求。

5 支架与支架基础预埋件的连接采用焊接（或螺栓连接）形式，安装完成后应做防腐处理。

4.9 蓄水工程设计

4.9.1 蓄水工程采用形式应视建设地地质、地形、用途和经济条件等情况而定，宜选用水罐、水池和水窖等形式。工程应满足渗漏小、安全蓄水和具有一定使用年限的要求。在蓄水工程防渗、结构形式、结构尺寸和辅助设施等均应按设计要求设计，力求安全、简单、适用，宜就地取材以减少工程造价。

4.9.2 蓄水工程设计除应符合 4.4 节的规定外，还应符合以下

要求：

1 蓄水工程应进行防渗处理，应按不同蓄水工程形式、土质条件采用相应的防渗材料和工程措施。

2 蓄水工程结构形式和尺寸应满足安全稳定、经济合理和使用方便等原则。

3 为生活用水修建的或半干旱地区蓄水工程应建顶盖。寒冷地区蓄水池应采取保温措施。

4 蓄水工程进水口前应设拦污栅，必要时在进水口前应修建沉沙池；蓄水工程的出水口应设堵水设施，并设置泄水道；正常蓄水工程应设置泄水管（口）；蓄水工程的底部出水管或倒虹吸管进口应高于底板 30cm。

5 蓄水工程与水源的高差应与光伏提水机组的设计扬程相匹配，不应大于光伏提水机组的设计扬程。

6 蓄水池应不易受到雨水冲蚀、污染。

4.9.3 水管设计、水池设计应符合 SL 343—2006 第 6.4.3 条和第 6.4.4 条的要求。

4.10 输配水工程设计

4.10.1 输水线路、输水管道布置、配水管网选线和布置应符合 SL 343—2006 第 6.5 节的要求。

4.10.2 配水管网宜采用经济流速作为设计流速；出水管直径小于 250mm 时，设计流速应为 1.0~1.2m/s；出水管直径不小于 250mm 时，设计流速应为 1.5~2.0m/s；重力流输水管道的经济流速应充分利用地形高差确定，长距离重力流输水管道的设计流速不宜大于 1m/s。

4.11 系统防雷设计

4.11.1 系统有下列情形时应需要防雷：

1 光伏提水系统安装在空旷野外或安装在建筑物周边且超出建筑物高度时应做防雷设计。

2 小于 10kW 的小型泵站及低压输电线路应只考虑防止雷电感应和雷电波侵入。

4.11.2 系统防雷设计应采取 GB 50057—2010 中第三类防雷建筑物的防雷等级。

4.11.3 系统应采取下列防雷措施：

1 太阳能电池方阵和控制室设备、金属物、电缆的金属屏蔽层应可靠接地；每个设备都应单独接地，不应串联后再接到接地干线上，接地电阻不大于 10Ω ；控制器光伏输入端每一路均应装设避雷模块，防雷电感应。

2 对于低压 220V/380V 在每条回路的出线和零线上应装设低压阀型避雷器，防雷电波侵入。

3 对于容量不小于 10kW 的光伏泵站应在泵站 5m 内架设避雷针，防直击雷。

4.12 系统节能设计

4.12.1 系统应集中布置，就近接入配电室。

4.12.2 应选择合理供电电压和供电方式。

4.12.3 应选用技术先进、性能可靠、材料优良、结构合理、运行稳定、机械强度高、使用寿命长的节能型机电设备及材料。

5 光伏提水工程安装施工

5.1 一般规定

- 5.1.1 光伏提水工程施工前应编制施工方案、进度计划、组织措施和分步质量验收方案，经业主、建设者双方共同认可签订合同后，方可投入施工。
- 5.1.2 施工时应按设计图纸和技术要求进行，如需变更，应征得业主和原设计者的同意。
- 5.1.3 在施工过程中，应做好施工记录。

5.2 土建工程

- 5.2.1 确定安装光伏方阵的位置后，应按设计要求开挖基坑、取水建筑物水池和输水管线的土方。
- 5.2.2 在基坑开挖完毕后，应先辅垫 200mm 砾石垫层，再浇筑厚 50mm 素混凝土垫层，待垫层混凝土凝固后，再绑扎钢筋或放置基础预埋件并浇筑基础混凝土。
- 5.2.3 在寒冷地区坑基回填时，可在基础侧面回填粗砂、中砂等非冻胀性散粒材料。
- 5.2.4 地脚螺栓及预埋件安装前应除去浮锈，并在螺纹部分涂裹黄油，安装应牢固和准确。
- 5.2.5 地表水取水建筑物施工时应做好导流和排水工作，不应影响原有护岸和坝坡的安全。
- 5.2.6 基础钢筋混凝土应不低于 C30，混凝土浇筑 12h 后宜开始淋水养护，炎热干燥和有风天气混凝土浇筑时间宜为 3h。

5.3 机组安装

- 5.3.1 机组安装应按下列规定进行：
 - 1 安装人员应在安装前考察现场，详细列出安装工具和材

料清单。

2 安装人员应由具备专业资格的人员组成。

3 安装人员应预先了解安装过程中可能发生的风险。

4 光伏提水设备运到现场后，安装人员应按装箱单的说明清点数量，检查合格证并保留记录清单，同时应仔细阅读说明书，了解和熟悉被安装设备的特点，掌握安装步骤和方法。

5.3.2 组件安装应按以下规定进行：

1 在同一光伏发电系统中应使用相同配置的组件。

2 安装时应首先测量太阳能电池组件的开路电压和短路电流。

3 在安装过程中应用不透明材料完全覆盖组件。

4 应使用边框内侧四个对称的安装孔将组件固定在支架上，在有强风和大雪的地区可自行设计加固措施。

5 安装时不应踩在组件上，同时应避免使组件掉落或让物体落在组件上。

6 安装时组件背面应通风顺畅（组件和安装表面的最小间隔应为10cm）。

7 光伏方阵安装距地面高度不应小于50cm。

8 组件位置的选择应符合各种电气和防火标准的要求。

5.3.3 支架安装应按下列规定进行：

1 支架结构应由耐用、防锈蚀和抗紫外线的材料制成。

2 直接安装在混凝土基座上的支架部件应使用镀锌材料，螺钉、螺母及垫片应由镀锌材料制成。

3 支架的牢固度应能承受持续的负重，风、雪、地震的压力，以及其他的外来力量。

5.3.4 控制器安装应按下列规定进行：

1 控制器在安装前应进行外观检查，外观不应损坏，内部连接线和螺钉不应松动。

2 控制器安装时应先连接蓄电池（组），再连接太阳能组件的输入，最后连接负载或逆变器。

3 接线时应分清正负极极性，并保证连接牢固。

4 光伏控制器若需要在室外安装，应放入盒中，并应符合密封防潮要求。

5 控制器安装位置应通风良好。

5.3.5 电气安装应按下列规定进行：

1 电气安装应使用被批准的安全设备（绝缘工具、绝缘手套等）。

2 光伏系统的所有接线应由就近的电气接线盒转接。

3 应使用适用于光伏系统的设备、连接器、电线和安装装备。

4 系统所选电缆的横截面积和连接器容量应满足最大系统短路电流的要求。

5 组件以及组件支架应正确接地，接地线与螺栓连接，并用压钳压紧。

5.3.6 水泵安装应按下列规定进行：

1 水泵的实际吸水吸程应低于水泵的允许吸程。

2 水泵的进水管宜短、直，在水平线上不应向上凸起或高于水泵。

3 水泵出口管应扩大，并宜接近出水的水面，长距离输送时应取较大管径。泵的管路应有专用支架，管路重量不应加在泵上。

4 水泵底阀或进水管口离水源底部和水源边缘的距离不应小于进水管的直径，进水管入水深度不应小于 0.5m。

5 排出管路逆止阀应装在闸阀的外面，泵扬程 20m 以上应安装逆止阀。

5.3.7 各环节安装结束后，应派专业人员在业主代表的监督下对设备和工程进行查验，并做记录。

5.4 机组调试

5.4.1 机组调试应选在晴朗的天气下进行，应按厂家推荐的方法实施。

- 5.4.2 应测量日照强度和输出电压、电流并与生产厂家的说明书进行比较，判断方阵的运行状况。
- 5.4.3 应复核各支路接线的正确性，确认直流回路正负极的正确性。
- 5.4.4 应确认控制器接线正负极性正确，检测并确认交流输出电压正确，接通水泵进行提水，各部件应工作正常。
- 5.4.5 应全面调试光伏提水系统运行状态，校核起始工作点、额定工作点。
- 5.4.6 应试验欠压、过载等各项保护功能。
- 5.4.7 应全面测试光伏提水系统运行状态，记录系统各部件主要运行参数，并与产品说明书相对照。
- 5.4.8 机组应经过专业人员调试确认合格后，方可运行。
- 5.4.9 如调试不符合设计要求，应与设计单位或厂家联系。

6 光伏提水工程验收

6.1 机组性能的检测

6.1.1 机组性能检测应包含下列参数：

- 1 辐照强度。
- 2 光伏组件性能参数。
- 3 流量。
- 4 扬程。
- 5 机组输出特性。
- 6 效率。

6.1.2 检测仪器应符合下列规定：

- 1 机组性能检测仪器应包含太阳能辐射测量、电参数测量、水力学特性测量三类检测仪器。
- 2 检测仪器精度等级不应大于 1.5 级。
- 3 检测仪器、仪表及工具应在检定的有效期内。
- 4 选择的仪器宜使所测值在仪器测量范围的 40%~70%之内。
- 5 光伏提水机组参数现场检测装置见图 6.1.2。

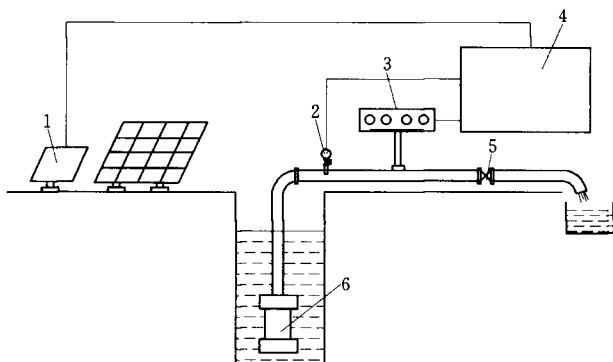


图 6.1.2 光伏提水机组参数现场检测装置图

1—辐照强度测量仪；2—压力表；3—流量计；4—记录仪；5—流量调节阀；6—潜水泵

6 流量检测仪器安装位置应满足下列要求：

- 1) 检测仪器应位于管道顺直段。
- 2) 检测仪器上游顺直段长度应不小于 10 倍管径。
- 3) 检测仪器下游顺直段长度应不小于 6 倍管径。
- 4) 采用称重法测量流量时应符合 GB/T 12785—2002 的规定。

6.1.3 检测条件应符合下列规定：

1 通过检测装置观测辐照强度比较稳定，其变化幅度在 $\pm 2\%$ 以内时，方可进行检测。

2 水泵应在主要参数的最大允许波动幅度及同一参数多次重复读数的变化值达到表 6.1.3-1 与表 6.1.3-2 的规定时，系统方处于稳定运行状态。对于一组读数，应只有确信波动已稳定在表 6.1.3-1 与表 6.1.3-2 的范围内时，方可进行记录。

表 6.1.3-1 最大允许波动幅度

测定量	最大允许波动幅度 (%)
流量、扬程、功率、转矩	± 6
转速	± 2

表 6.1.3-2 各参数多次重复测量最大允许波动幅度

重复读数组数	流量、扬程、功率 (%)	转速 (%)
3	1.8	1.0
5	3.5	2.0
7	4.5	2.7
8	5.8	3.3

注：最大值与最小值之间的百分数的偏差等于 $\frac{\text{最大值} - \text{最小值}}{\text{最大值}} \times 100\%$ 。

6.1.4 检测方法应符合下列规定：

1 辐照强度的测量，应使机组处于正常工作状态，辐照强度稳定。辐照强度检测装置应与光伏电池阵列平行。

2 光伏组件参数的检测应按 GB/T 9535—1998 中的规定进行。

3 流量的检测应按 GB/T 3214—2007 的规定进行。

4 扬程的检测方法见附录 C。

5 机组输出特性的检测方法见附录 C。

6 效率的检测方法见附录 C。

6.1.5 检测报告应符合下列规定：

1 在检测完成后，应将所测取的数据进行整理分析，编写出检测报告。

2 检测报告应包括下列主要内容：

1) 标题。

2) 检测机构的名称与地址。

3) 检测报告的惟一性标识和页码及总页数。

4) 检测地点、日期。

5) 对所采用检测方法的标识，或对所采用的任何非标准方法的明确说明。

6) 环境条件。

7) 被检样机的说明和明确标识。

8) 使用的仪器设备。

9) 检测和导出的结果。

10) 对检测报告内容负责人员的签字、职务或等效标识。

6.2 输配水管道性能的检测

6.2.1 管道强度的检测应按 GB 50268—2008 第 10 章规定的方法进行。

6.2.2 管道严密性的检测应按 GB 50268—2008 第 10 章规定的方法进行。

6.2.3 管道的冲洗消毒的检测应按 GB 50268—2008 第 10.4 节规定的方法进行。

6.2.4 输配水管道性能检测报告应按 6.1.5 条编制。

6.3 工程验收

6.3.1 蓄水池等土建工程应按 GB 50300—2001 的规定单独验收。

6.3.2 光伏提水工程竣工验收应具备下列条件：

- 1 土建工程验收完毕。
- 2 工程已按设计规定的内容全部建成并能够正常运转。
- 3 在试运行时发现的问题已处理完毕。
- 4 性能检测已完成。

6.3.3 工程具备验收条件时，建设单位应提出竣工验收申请报告。工程未能按期进行竣工验收的，建设单位应向竣工验收主持单位提出延期竣工验收申请报告，包括延期竣工验收的主要原因及计划延长的时间等内容。

6.3.4 竣工验收应由竣工验收委员会负责。竣工验收委员会应由竣工验收主持单位、项目主管部门、有关地方人民政府和部门、质量监督机构、运行管理单位的代表及有关专家组成。委员会应设主任委员 1 名，副主任委员及委员若干名，主任委员应由竣工验收主持单位代表担任。

6.3.5 验收依据应为批复的设计文件及相应的设计变更文件，施工合同，施工图纸和说明，设备技术说明书，相关的国家标准和行业标准等。

6.3.6 验收时建设单位应提供工程建设全过程的技术资料。应包括：工程建设的可行性研究报告及其审查意见、环境影响评价报告、设计报告和设计图、设计变更资料、施工组织设计、招投标资料、主要材料和设备的合格证明、工程试验资料、中间验收资料、事故处理记录、试运行资料、竣工报告和竣工图等。

6.3.7 竣工验收应包括下列主要内容：

- 1 光伏提水工程的技术指标是否达到了合同约定的要求。
- 2 光伏提水工程建设是否符合相关技术标准。
- 3 光伏提水工程质量是否满足要求。
- 4 用户手册内容是否详尽，是否能够满足使用维护的需求。

6.3.8 竣工验收会议应符合下列程序：

1 验收委员会应到光伏提水工程现场进行查验，并对主要参数进行复测。

2 验收委员会应听取设计、建设单位的报告和业主的试运行报告，审查光伏提水机组的性能检测报告、输配水管道性能的检测报告、土建工程验收报告。

3 验收委员会应经过必要的质疑、讨论后，形成工程的验收报告。

4 验收报告应给出合格或不合格的结论，对工程的缺陷应提出整改意见。

5 验收委员会成员和被验收单位代表应在竣工验收鉴定书上签字。

6.3.9 工程验收质量全部达到合格以上等级的，同时工程外观质量得分率达到 70% 以上的，竣工验收的质量结论意见应为合格。

6.3.10 竣工验收鉴定书数量应按验收委员会组成单位、被验收单位各 1 份以及归档需要的份数确定。鉴定书自通过之日起 30 个工作日内，应由竣工验收主持单位发送有关单位。

7 运行管理与维护

7.1 一般规定

- 7.1.1 管理维护人员应根据管理维护的需求制定光伏提水工程的运行管理制度、维护计划和具体实施方案。
- 7.1.2 维护人员应对光伏提水工程进行定期与不定期的维护与保养，保持设备的完好。
- 7.1.3 应定期按制度对管理人员进行岗位培训。
- 7.1.4 光伏提水系统应配备消防设施。

7.2 管理人员的职责

- 7.2.1 管理人员应完成光伏提水工程日常运行管理工作，熟悉工程运行管理制度和安全规程，熟悉设备状况及运行检修情况，能根据实际运行情况分析设备状况，掌握设备缺陷和薄弱环节，做到安全操作、正确处理异常及故障。
- 7.2.2 管理人员应严格执行运行值班制度，对其所管设备定期进行全面巡查，对系统设备运行参数的变化进行监视，及时发现设备的缺陷和故障，能采取正确的措施及时处理并进行记录。

7.3 工程的运行管理与维护

- 7.3.1 光伏提水工程的运行方式应按照设备供应商对工程运行的要求执行。
- 7.3.2 管理人员应重点对下列项目进行巡查和维护：
 - 1 应定期清理光伏组件表面；应定期清理光伏阵列基础地面的杂草和杂物，避免植物生长遮挡阳光及杂草和杂物着火损毁光伏组件。
 - 2 应定期检查支架、光伏组件和避雷接地线的固定螺栓是否松动，特别是大风过后应及时检查和处理；应检查光伏组件接

线是否牢靠，发现松动应及时紧固；如有地下电缆，应采取防鼠措施。

3 应定期观测水源井静水位、动水位，当水位、含沙量出现异常时应及时查明原因。

4 应经常巡查光伏设备、水泵、控制系统等的运行情况，记录仪表读数，观察振动和噪声；应巡查输配水管道的漏水、覆土和附属设施运转等情况，发现异常应及时处理。

5 水泵工作时，吸水池水位不应低于最低设计水位，除湿式潜水泵外，其余的潜水泵顶面浸入动水位以下不应大于 2m。

6 环境温度低于 0℃、水泵不工作时，应将泵内存水排净。

7.3.3 管理人员已发现却不能排除的设备故障，应按安全规定采用安全措施，做好事故预防和防止缺陷及故障扩大的技术措施，及时通报有关部门并详细填写故障记录。

7.4 工程设备的检修

7.4.1 根据光伏提水工程的特点，应坚持以预防为主的定期维护检修。

7.4.2 应制定检修计划并由专业人员进行检修。

7.4.3 宜使用生产厂家供给的备品配件或材料。管理人员应负责对备品配件进行管理，负责备品和图样、资料的建档和管理。

7.4.4 每次维护检修后都应做好设备的维护检修技术记录。

7.5 工程的档案资料管理办法

7.5.1 光伏提水工程的档案管理工作应由专人负责，严格执行国家有关档案管理制度。

7.5.2 工程的技术资料、图样、管理规章、维护检修记录、各种文件、设备明细、有关各种报告及各种载体的资料均应及时由档案管理人员按档案管理有关规定进行建档、标识、分类和编号。

7.5.3 管理人员应对归档的档案定期进行整理，对超过档案保

管期的档案，经档案管理人员鉴定无保存价值，可按照国家档案管理制度销毁。

7.5.4 对经常使用的资料、设备说明书、图样，应使用复印件，原件应存档。

附录 A 我国主要城市日照辐射 最佳倾角参数表

表 A 我国主要城市日照辐射最佳倾角参数表 单位：(°)

城市	纬度 φ	最佳倾角 φ_{op}	城市	纬度 φ	最佳倾角 φ_{op}
哈尔滨	45.68	$\varphi+3$	南昌	28.67	$\varphi+2$
北京	39.80	$\varphi+4$	郑州	34.72	$\varphi+7$
太原	37.78	$\varphi+5$	广州	23.13	$\varphi-3$
兰州	36.05	$\varphi+8$	成都	30.67	$\varphi+2$
上海	31.17	$\varphi+3$	拉萨	29.70	$\varphi-3$
杭州	30.23	$\varphi+3$	沈阳	41.77	$\varphi+1$
济南	36.68	$\varphi+6$	呼和浩特	40.78	$\varphi+3$
长沙	23.13	$\varphi+6$	西宁	36.75	$\varphi+1$
南宁	22.82	$\varphi+5$	西安	34.30	$\varphi+14$
昆明	25.02	$\varphi-3$	合肥	31.85	$\varphi+9$
长春	43.90	$\varphi+1$	福州	26.08	$\varphi+4$
天津	39.10	$\varphi+5$	武汉	30.63	$\varphi+7$
乌鲁木齐	43.78	$\varphi+12$	海口	20.03	$\varphi+12$
银川	38.48	$\varphi+2$	贵阳	26.58	$\varphi+8$
南京	32.00	$\varphi+5$			

附录 B 跟踪式光伏阵列方位角、最佳倾角计算方法

B.1 方位角的计算

B.1.1 跟踪系统太阳方位角 γ 应按式 (B.1.1) 计算:

$$\cos\gamma = (\sin\alpha_z \sin\varphi - \sin\delta) / \cos\alpha_z \cos\varphi \quad (\text{B.1.1})$$

式中 α_z ——太阳高度角, ($^\circ$);

φ ——当地纬度, ($^\circ$);

δ ——太阳赤纬角, ($^\circ$)。

B.1.2 太阳高度角 α_z 应按式 (B.1.2) 计算:

$$\sin\alpha_z = \sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos\omega \quad (\text{B.1.2})$$

B.2 最佳倾角的确定

B.2.1 根据水平面太阳总辐射量结果, 计算出不同角度 ($10^\circ \sim 60^\circ$, 间隔 1°) 倾斜面上各月太阳总辐射量。比较倾斜面不同倾角的月平均太阳总辐射量计算结果, 得出全年最大太阳总辐射量时对应的倾角, 即为光伏阵列最佳倾斜角。同时也适用固定安装光伏阵列最佳倾角的计算。

B.2.2 太阳光入射角 θ 应按式 (B.2.2-1) 计算:

$$\begin{aligned} \cos\theta = & (\sin\varphi \cos\alpha - \cos\varphi \sin\alpha \cos\gamma) \sin\delta \\ & + (\cos\varphi \cos\alpha + \sin\varphi \sin\alpha \cos\gamma) \cos\delta \cos\omega \\ & + \sin\alpha \sin\gamma \cos\delta \sin\omega \end{aligned} \quad (\text{B.2.2-1})$$

其中 $\omega = (T_s - 12) \times 15^\circ \quad (\text{B.2.2-2})$

$$\delta = 23.45^\circ \sin\left(360 \times \frac{284 + n}{365}\right) \quad (\text{B.2.2-3})$$

式中 φ ——当地纬度, ($^\circ$);

α ——方阵倾角, ($^\circ$);

γ ——倾斜面的方位角, ($^\circ$);

ω ——时角，(°)，上午为正，下午为负，太阳在正午时
 (是当地太阳时为 12:00) $\omega=0^\circ$ ，每 1h 相差 15° ；
 T_s ——每日时间 (0~24h)；
 δ ——太阳赤纬角，(°)；
 n ——1 年中的日期序号，从每年 1 月 1 日算起。

B. 2.3 当 $\alpha=0$ ， $\gamma=0$ 时，可从式 (B. 2.2-1) 中得到水平面的太阳光入射角 θ_0 为：

$$\cos\theta_0 = \sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos\omega \quad (\text{B. 2.3})$$

B. 2.4 倾斜面上接受到的太阳辐射包括直射辐射、散射辐射和地面反射辐射，应按式 (B. 2.4) 计算：

$$I = I_b + I_d + I_g \quad (\text{B. 2.4})$$

式中 I ——倾斜面上太阳总辐射量，MJ/m²；

I_b ——倾斜面直射辐射量，MJ/m²；

I_d ——倾斜面天空散射辐射量，MJ/m²；

I_g ——倾斜面地面反射辐射量，MJ/m²。

B. 2.5 倾斜面与水平面上接受到的直射辐射应按式 (B. 2.5-1) 和式 (B. 2.5-2) 计算：

$$I_b = I_n \cos\theta \quad (\text{B. 2.5-1})$$

$$I_{b0} = I_n \cos\theta_0 \quad (\text{B. 2.5-2})$$

式中 I_n ——垂直与太阳光线平面上的直射辐照强度，J/(m²·min)。

倾斜面直射辐射量应按式 (B. 2.5-3) 计算：

$$I_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_0} I_{b0} \quad (\text{B. 2.5-3})$$

式中 I_{b0} ——水平面上接受到的直射辐照强度，可以从气象站获得。

B. 2.6 反射辐射量 I_g 应按式 (B. 2.6) 计算：

$$I_g = 1/2 I_{sz} \rho (1 - \cos\alpha) \quad (\text{B. 2.6})$$

式中 ρ ——地表反射率，不同地形的地表反射率应按表 B. 2.6 选取；

I_{sz} ——水平面总辐射，MJ/m²；

α ——光伏阵列倾角，(°)。

表 B. 2. 6 不同地形的地表反射率

土地类型	干燥黑土	湿黑土	干灰色地面	湿灰色地面	草地	干砂地
ρ	0.14	0.08	0.27	0.11	0.20	0.18

B. 2. 7 散射辐射量 I_d 应按式 (B. 2. 7) 计算：

$$I_d = 1/2 I_{ss} \rho (1 + \cos \alpha) \quad (\text{B. 2. 7})$$

式中 I_{ss} ——水平面的散射辐射，MJ/m²，可从气象站获得水平面上总辐射和散射辐射的数据。

附录 C 机组性能参数检测方法

C.1 扬程

C.1.1 离心泵的扬程应按式 (C.1.1-1) ~ 式 (C.1.1-3) 进行计算:

$$\text{水泵入口总水头} \quad H_r = Z_r + \frac{p_r}{\rho g} + \frac{v_r^2}{2g} \quad (\text{C.1.1-1})$$

$$\text{水泵出口总水头} \quad H_c = Z_c + \frac{p_c}{\rho g} + \frac{v_c^2}{2g} \quad (\text{C.1.1-2})$$

$$\text{水泵扬程} \quad H_b = H_r - H_c \quad (\text{C.1.1-3})$$

式中 H_b ——扬程, m;

Z_r ——入口测量点到基准面的距离, m;

Z_c ——出口测量点到基准面的距离, m;

p_r ——水泵入口压力, N/m²;

p_c ——水泵出口压力, N/m²;

v_r ——水泵入口水的流速, m/s;

v_c ——水泵出口水的流速, m/s;

ρ ——水密度, kg/m³;

g ——重力加速度, 9.8m/s²;

下标 r——泵入口截面;

下标 c——泵出口截面。

C.1.2 对于潜水泵, $Z_r=0$ 、 $v_r=0$, p_c 为水泵基准面到水面的液体压力。

C.2 机组输出特性

C.2.1 在整个检测范围内, 其测点次数不应少于 15 次。并同步测取其辐照强度、流量及扬程, 然后应按式 (C.2.1-1)、式 (C.2.1-2) 进行计算。

$$\bar{I} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^3}{n}} \quad (\text{C. 2. 1 - 1})$$

$$P_{\text{wat}} = \rho g \bar{Q} \bar{H} \times 10^{-3} \quad (\text{C. 2. 1 - 2})$$

式中 \bar{I} ——时距 30s 内辐照强度平均值, kW/m²;

I_i ——瞬时辐照强度, kW/m²;

n ——测点次数, 次;

P_{wat} ——输出水功率, kW;

\bar{H} ——时距 30s 内的平均扬程, m;

\bar{Q} ——时距 30s 内的平均流量, m³/s;

ρ ——水密度, kg/m³;

g ——重力加速度, 9.8m/s²。

C. 2. 2 根据检测结果, 绘制输出特性曲线 $P_{\text{wat}} = f(\bar{I})$ 。

C. 3 效率与使用可靠性系数

C. 3. 1 效率应按式 (C. 3. 1) 计算:

$$\eta = \frac{P_{\text{wat}}}{\bar{I}S} \quad (\text{C. 3. 1})$$

式中 η ——光伏提水机组效率, %;

\bar{I} ——时距 30s 内辐照强度平均值, kW/m²;

S ——光伏方阵在太阳光线垂直平面内的投影面积, m²;

P_{wat} ——输出水功率, kW。

根据检测、计算结果, 做出机组效率特性曲线 $\eta = f(\bar{I})$ 。

C. 3. 2 使用可靠性系数应按式 (C. 3. 2) 计算:

$$K = \frac{T_w}{T_w + T_M} \times 100\% \quad (\text{C. 3. 2})$$

式中 K ——使用可靠性系数, %;

T_w ——累计工作时间, h;

T_M ——累计故障时间, h。

附录 D 光伏提水机组输出特性 现场检测记录用表

表 D 光伏提水机组输出特性现场检测记录用表

检测地点： 温度： °C 海拔： m

序号	辐照强度 (W/m ²)	光伏方阵直流 输出端 电流 (A)	光伏方阵直流 输出端 电压 (V)	平均 功率 (W)	转速 (如有) (r/min)	转矩 (如有) (N·m)	平均 流量 (m ³ /s)	平均 扬程 (m)	备注
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

检测人：

年 月 日

校对入：

年 月 日

标准用词说明

标准用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、要、只有……才允许	要 求
不应	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推 荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允 许
不必	不需要、不要求	