

农业机械化丛书

小型水电站运行管理

《小型水电站运行管理》编写组

水利出版社

小型水电站运行管理

《小型水电站运行管理》编写组

水利出版社

7W36/23

内 容 提 要

本书着重介绍了小型水电站水工建筑物、水轮发电机组、调速器及电气设备的操作运行、维修、事故处理等技术内容，对提高小型水电站年利用小时、设备利用率和供电可靠性等提出了一些措施。本书以普及、应用为主，适当介绍了基础知识。

本书为《农业机械化丛书》农村小型电站类。供县、社、队办的小型水电站运行管理人员阅读，也可做小水电技术培训教材。

农业机械化丛书

小型水电站运行管理

《小型水电站运行管理》编写组

*

水利出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 11 $\frac{3}{4}$ 印张 253千字

1980年6月第1版 1982年9月北京第二次印刷

印数26511—40760册 定价1.20元

书号15047·4046

《农业机械化丛书》

出 版 说 明

为了提高农业机械化队伍的技术水平，加快农业机械化的步伐，中央和地方有关出版社联合出版这套《农业机械化丛书》。

《农业机械化丛书》包括耕作机械、农田基本建设机械、排灌机械、植物保护机械、运输机械、收获机械、农副产品加工机械、化肥、农药、塑料薄膜、林业机械、牧业机械、渔业机械、农村小型电站、半机械化农具、农用动力、农机培训、农机管理、农机制造、农机修理等二十类。可供从事农业机械化工作的贫下中农、工人、干部、知识青年和技术人员参考。

本书属于《农业机械化丛书》农村小型电站类。

前 言

为了搞好小型水电站的运行管理，不断提高科学管理水平，充分发挥电站效益，促进小水电事业更好地为实现社会主义现代化服务，我们编写了此书，供从事小水电运行管理工作的同志参考。

本书针对当前管理工作中的薄弱环节，从总结经验着手，吸收了许多兄弟单位的先进技术经验而编写的。书中对小型水电站的水工观测、操作技术、运行程序、规章制度、维护修理等方面作了较系统的叙述。同时，对机组设备的事故分析和处理也作了较详细的归纳。

本书由浙江省仙居县水电局王猛照、郭仁尧、吴通九等同志编写。在编写过程中，得到浙江省水电局、仙居县水电局、浙江大学土木系的大力支持。初稿完成后，云南、贵州、四川、广东、广西、湖南、湖北、吉林等省、区的水利局、电力局、水电设计院，以及有关地、县的水电局和水电站等单位协助审稿，提供资料。水利部白林、电力部王冰和陈直哉以及浙江省水利局王应宪等工程师又作了认真审查和修改，借此机会，一并表示衷心的感谢。

由于我们经验不多，水平有限，学习和收集资料不够，书中一定会有缺点、错误和不足之处，欢迎读者批评指正。

《小型水电站运行管理》编写组

一九七九年六月

目 录

《农业机械化丛书》出版说明

前 言

第一章 水工建筑物的运行与维修	1
第一节 挡水建筑物的运行与维修.....	1
第二节 输水建筑物的运行与维修.....	22
第三节 调压室和调压阀的运行与维修.....	46
第四节 水电站厂房的维护.....	51
第二章 水轮发电机组的运行	56
第一节 水轮机.....	56
第二节 发电机.....	68
第三节 试运行.....	85
第四节 正常运行.....	99
第五节 调相运行.....	111
第三章 水轮机的事故分析及其维修	114
第一节 水轮机的常见事故及其处理.....	114
第二节 水轮机的维护与检修.....	122
第四章 发电机的事故分析及其维修	133
第一节 发电机的常见事故及其处理.....	133
第二节 半导体励磁发电机的并列.....	147
第三节 发电机的维护和检修.....	150
第五章 调速设备的运行与维护	156
第一节 调速设备.....	156
第二节 调速器的调试.....	167
第三节 自动调速器的运行操作.....	173
第四节 自动调速器的维护及其事故处理.....	178

第六章 电气设备的运行及其维护	185
第一节 电气接线图的基本概念	185
第二节 电气设备的运行	199
第三节 电气设备的维护	207
第四节 操作电源	210
第七章 电气试验	219
第一节 绝缘电阻的测量	219
第二节 泄漏电流与直流耐压试验	227
第三节 交流耐压试验	236
第四节 感应耐压试验	248
第五节 直流电阻的测量	249
第六节 绝缘油试验	256
第七节 继电保护装置的测试	258
第八章 变压器的运行与维护	266
第一节 变压器的工作原理和技术性能	266
第二节 变压器的正常运行	271
第三节 变压器的事故分析及其维护	281
第九章 电力线路的运行与维修	288
第一节 线路的试运行	288
第二节 线路的正常运行	289
第三节 线路的维护与检修	296
第十章 防雷保护和接地装置的运行与维护	302
第一节 防雷保护	302
第二节 接地装置	315
第三节 化学降阻剂	322
第十一章 小型水电站的管理	325
第一节 组织管理	325
第二节 生产管理	327
第三节 技术管理	331
附图 各种型号水轮机的运转特性曲线	335

第一章 水工建筑物的运行与维修

小型水电站的水工建筑物，主要由挡水建筑物、输水建筑物、泄水建筑物以及调压系统等部分组成。搞好运行与维修，对于充分利用水力资源，发挥工程效益，延长建筑物的使用年限，确保机电设备长期正常运行，都有重要的意义。

水工建筑物受各种力的作用，以及受各种自然因素的影响，其运行状态随时都在变化，有的是正常的变化，对建筑物的安全影响不大；也有一些水工建筑物，由于某些内因和外因的影响，会出现异常现象，甚至引起失事。为了及时掌握水工建筑物变化的情况和性质，保证工程安全，需要进行观测工作。

水工建筑物的维修，是为了使建筑物在运行期间，都能达到良好的运行状态。“千里之堤，溃于蚁穴”，小的问题如不及时解决往往造成重大事故。通过维修，提供适当的更新条件，使各项工程设施延长使用年限，发挥最大效益。

第一节 挡水建筑物的运行与维修

拦截水流、抬高水位的水工建筑物，称为水电站的挡水建筑物。它有堰、坝和闸等。坝中又可分为土坝、土石坝、堆石坝、浆砌石坝、混凝土坝等各种坝型。现将土坝和浆砌块石坝叙述如下。

一、土坝的观测和维修

(一) 观测工作

1. 裂缝观测

土坝有各种裂缝，从位置分有表面裂缝、内部裂缝；从走向分有横向裂缝、水平裂缝、龟纹裂缝；从成因分有沉陷裂缝、滑坡裂缝、干缩裂缝、振动裂缝、冰冻裂缝等。当发生裂缝后，应即观察位置，记述情况。对于平行于坝轴线的裂缝，观察其有无滑坡的迹象；对于垂直于坝轴线的裂缝，应注意是否形成贯穿上、下游的漏水通道。同时应妥加保护，防止雨水流入和动物践踏。裂缝宽度可直接用钢尺测量，深度可用钻孔取样的方法观测，认真记述裂缝的位置、走向、长度、宽度和深度，最后应绘制出裂缝分布图，供分析和采取措施之用。

2. 渗透观测

土坝的渗漏按部位分，有坝体、坝基、接触和绕坝四种；按渗漏现象分，有散浸、集中两种。坝体浸润线的变化，坝基渗水压力，绕坝渗流以及渗流量的变化等都是观测的项目。

为了解土坝浸润线的位置变化，掌握土坝在运用期间的渗透情况，应在坝体中埋设测压管，进行浸润线观测，如图1-1所示。

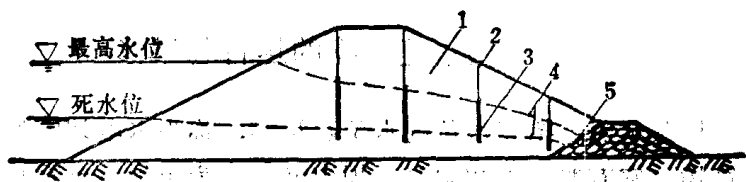


图 1-1 土坝测压管布置示意图

1—土坝；2—测压管；3—进水管段；4—浸润线；5—反滤坝趾

在坝体中布置测压管时，应选定数个有代表性的断面，每个断面内的测压管不应少于三根，并应布置在横断面的中部和下游部分，应使观测结果能够说明铺盖、斜墙、排水设备的工作情况，并能绘出浸润线。

绕坝头渗流是土坝与岸坡连接不好或岸坡过陡产生裂缝，或岸坡中有强透水间层，这样就可能发生集中渗流，造成渗流变形，影响坝体安全。绕坝渗流观测是为了了解坝头与岸坡接触处的渗流变化情况，判明这些部位的防渗透与排水效果。绕坝渗流的观测也是在坝、岸连接轮廓线等处，埋设测压管，观测成果要以能绘出绕流的水位线为原则。

水库蓄水后，不仅坝体发生渗流现象，坝基同样产生渗流。土坝坝基渗水压力的观测，为的是了解坝基渗透层和相对不透水层中渗流沿程的压力分布情况，借以分析坝的防渗透和排水设备的作用，估算坝基中实际的水力坡降，推测潜水是否可能形成管涌、流土、接触冲刷等破坏作用。坝基渗水压力的观测，也是在坝基埋设测压管进行观测，其位置根据地基土层、排水的设施、形式以及可能发生渗透变形的部位而定。

在渗流处于稳定状态时，其渗流量将与水头的大小保持稳定的相应变化，渗流量在同样水头情况下的显著增加和减少，都意味着渗流稳定的破坏。显著增加，有可能在坝体或坝基发生管涌或集中渗流通道；显著减少，可能是排水体堵塞的反映。一般正常情况，由于坝前的淤积，渗流量将会逐年缓降。渗流量观测为的是判断渗流是否稳定，防渗、排水是否正常。

渗流量的观测，在坝体排水设备的下游，用量水堰或量水容器测量渗透流量。注意渗透流量是否有异常变化，渗水

是否浑浊或有无其他色泽，结合有关观测成果，分析判断其对土坝的影响。

渗透流量的变化，可采用三角形量水堰测量，其方法如下：

用3~5毫米厚的钢板或3厘米厚的木板制成三角形量水堰，如图1-2所示。量水堰堰口是一个倒置的等腰三角形，其顶角 θ 一般为 90° ，缺口要作成锐缘，倾斜面为 45° 。利用木板制作时，要注意堰口应镶铁皮，保持锐缘整齐，才能量水准确。在安装使用时要注意：

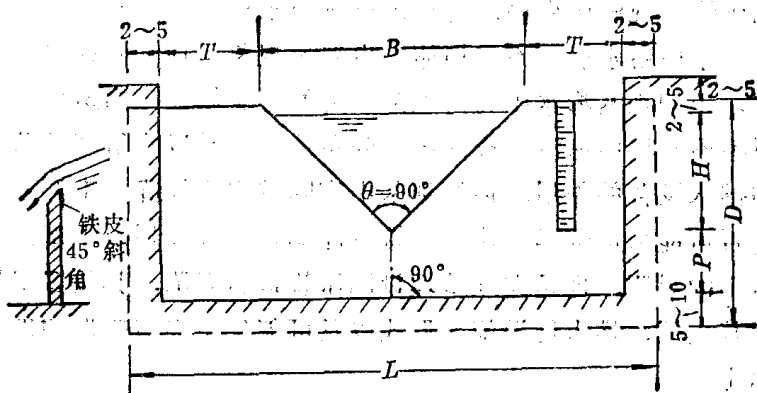


图 1-2 三角形量水堰图（单位：厘米）

- (1) 堰板直立，两侧水平；
- (2) 堰口距岸边距离 T 和堰槛高度 P 要大于最大过水深度；
- (3) 堰底、两侧无漏水；
- (4) 水尺零点与堰口齐平，刻度精确到1毫米；
- (5) 最小过堰水深不小于5厘米，25厘米以内较准确。应用时，可根据上游水尺读数由表1-1查得流量。

表 1-1

三角堰水深流量关系表

(顶角 $\theta = 90^\circ$) (流量单位: 米³/秒)

H (米)	0.000	0.002	0.004	0.006	0.008
0.05	0.0008	0.0008	0.0009	0.0009	0.0011
0.06	0.0013	0.0014	0.0014	0.0015	0.0017
0.07	0.0018	0.0020	0.0021	0.0022	0.0024
0.08	0.0025	0.0027	0.0028	0.0030	0.0031
0.09	0.0033	0.0036	0.0038	0.0040	0.0042
0.10	0.0045	0.0047	0.0049	0.0051	0.0053
0.11	0.0056	0.0058	0.0061	0.0064	0.0067
0.12	0.0070	0.0073	0.0076	0.0079	0.0082
0.13	0.0085	0.0088	0.0092	0.0095	0.0099
0.14	0.010	0.011	0.011	0.011	0.012
0.15	0.012	0.013	0.013	0.013	0.014
0.16	0.014	0.015	0.015	0.016	0.016
0.17	0.017	0.017	0.018	0.018	0.019
0.18	0.019	0.020	0.020	0.021	0.021
0.19	0.022	0.023	0.023	0.024	0.024
0.20	0.025	0.026	0.026	0.027	0.028
0.21	0.028	0.029	0.030	0.030	0.031
0.22	0.032	0.032	0.033	0.034	0.035
0.23	0.036	0.036	0.037	0.038	0.039
0.24	0.040	0.040	0.041	0.042	0.043
0.25	0.044	0.045	0.046	0.046	0.047
0.26	0.048	0.049	0.050	0.051	0.052
0.27	0.053	0.054	0.055	0.056	0.057
0.28	0.058	0.059	0.060	0.061	0.062
0.29	0.064	0.065	0.066	0.067	0.068
0.30	0.069	0.070	0.072	0.073	0.074
0.31	0.075	0.076	0.078	0.079	0.080
0.32	0.082	0.083	0.084	0.085	0.086
0.33	0.088	0.089	0.090	0.092	0.093

续表

H (米)	0.000	0.002	0.004	0.006	0.008
0.34	0.094	0.096	0.097	0.099	0.100
0.35	0.101	0.103	0.104	0.106	0.107
0.36	0.109	0.110	0.112	0.113	0.115
0.37	0.117	0.118	0.120	0.121	0.123
0.38	0.125	0.126	0.128	0.130	0.131
0.39	0.133	0.135	0.136	0.138	0.140
0.40	0.142	0.143	0.145	0.147	0.149
0.41	0.151	0.153	0.155	0.156	0.158
0.42	0.160	0.162	0.164	0.166	0.168
0.43	0.170	0.172	0.174	0.176	0.178
0.44	0.180	0.182	0.184	0.186	0.188
0.45	0.190	0.193	0.195	0.197	0.199
0.46	0.201	0.204	0.206	0.208	0.210
0.47	0.212	0.215	0.217	0.219	0.221
0.48	0.223	0.225	0.228	0.230	0.233
0.49	0.235	0.238	0.240	0.243	0.245
0.50	0.248	0.250	0.253	0.255	0.258
0.51	0.260	0.263	0.265	0.268	0.270
0.52	0.273	0.276	0.278	0.281	0.283
0.53	0.286	0.289	0.292	0.294	0.297
0.54	0.300	0.303	0.306	0.308	0.311
0.55	0.314	0.317	0.320	0.323	0.326
0.56	0.329	0.332	0.335	0.337	0.340
0.57	0.343	0.346	0.349	0.353	0.356
0.58	0.359	0.362	0.365	0.368	0.371
0.59	0.374	0.377	0.380	0.384	0.387
0.60	0.390	0.393	0.397	0.400	0.404
0.61	0.407	0.410	0.414	0.417	0.421
0.62	0.424	0.427	0.431	0.434	0.438
0.63	0.441	0.445	0.448	0.452	0.455

续表

H (米)	0.000	0.002	0.004	0.006	0.008
0.64	0.459	0.463	0.466	0.470	0.473
0.65	0.477	0.481	0.484	0.488	0.491
0.66	0.495	0.499	0.503	0.506	0.510
0.67	0.514	0.518	0.522	0.526	0.530
0.68	0.534	0.538	0.542	0.546	0.550
0.69	0.554	0.558	0.562	0.566	0.570
0.70	0.574	0.578	0.582	0.587	0.591
0.71	0.595	0.599	0.603	0.607	0.612
0.72	0.616	0.620	0.624	0.629	0.633
0.73	0.637	0.642	0.646	0.651	0.655
0.74	0.660	0.664	0.669	0.673	0.678
0.75	0.682	0.687	0.691	0.696	0.700
0.76	0.705	0.710	0.714	0.719	0.723
0.77	0.728	0.733	0.738	0.742	0.747
0.78	0.752	0.757	0.762	0.767	0.772
0.79	0.777	0.782	0.787	0.792	0.797
0.80	0.802	0.806	0.812	0.817	0.822
0.81	0.827	0.832	0.837	0.842	0.847
0.82	0.852	0.857	0.863	0.868	0.874
0.83	0.879	0.884	0.889	0.895	0.900
0.84	0.905	0.910	0.916	0.921	0.927
0.85	0.932	0.937	0.943	0.949	0.954
0.86	0.960	0.966	0.971	0.977	0.982
0.87	0.988	0.994	1.00	1.00	1.01
0.88	1.02	1.02	1.03	1.03	1.04
0.89	1.05	1.05	1.06	1.06	1.07
0.90	1.08	1.08	1.09	1.09	1.10
0.91	1.11	1.11	1.12	1.12	1.13
0.92	1.14	1.14	1.15	1.15	1.16
0.93	1.17	1.17	1.18	1.19	1.19

续表

H (米)	0.000	0.002	0.004	0.006	0.008
0.94	1.20	1.20	1.21	1.22	1.22
0.95	1.23	1.24	1.24	1.25	1.26
0.96	1.26	1.27	1.28	1.28	1.29
0.97	1.30	1.30	1.31	1.32	1.32
0.98	1.33	1.34	1.34	1.35	1.36
0.99	1.36	1.37	1.38	1.38	1.39
1.00	1.40	1.40			

注 流量计算公式 $Q = 1.4H^{5/2}$ 。式中 H 以米计, Q 以米³/秒计。

3. 变形观测

土坝坝体和土基在荷载作用下, 将会发生变形。土体变形主要由于孔隙水和空气被排出使孔隙变小而引起的, 这个过程称土体固结。土体固结使土面下沉称沉陷。又因坝体填土厚度不同, 坝基土面也不是个水平面, 在水压影响下, 土体固结时, 坝面土粒不是垂直下沉, 而有水平方向的移动, 称水平位移。

土坝发生固结、沉陷和水平位移是客观现象。如发生异常情况, 可能引起土坝发生裂缝、滑坡等破坏现象。为了保证土坝安全和稳定, 要进行变形观测。

沉陷观测, 通常是在地面和各种有代表性的断面, 在不同高程位置上设立固定标点, 用较精密的水准仪来观测这些标点的沉陷量。对于纵断面的沉陷量, 固定标点一般布置在坝顶上, 间距约为25~30米; 对于坝坡变形的观测, 固定标点布置在下游坡上, 每隔10~20米设一个。固定标点应坚固可靠。当测出填土高处的标点下沉少, 而填土低处的标点下沉多时, 这说明土坝的沉陷不正常。当上部标点下沉, 下部

标点反而上升时，这可能是基础断层产生不均匀沉陷或发生滑坡，应及时查明原因，进行处理。

土坝的固结观测是在坝体选择有代表性的地方，埋设固结管或深式标点组，测出各测点的高程变化，从而算出固结量。

土坝的水平位移，通常在坝面设置若干测点，一般用视准线法观测，测出各测点的水平位移量。

坝体现象的观察，应注意有无害虫、害兽的活动痕迹。如发现上述痕迹后，应进一步追查有无鼠穴、獾洞、白蚁窝等隐患。同时，注意观察坝体有无滑坡、塌陷、坍坑、表面冲蚀及坡脚凸起等现象。对于护坡块石，应注意有无翻起、松动、塌陷、垫层流失、架空或风化变质等损坏现象。对于坝顶路面及防浪墙，应注意是否完好，有无塌陷、裂缝等情况，及时做好记录，提供维修时分析研究。

（二）土坝的维修

1. 裂缝的原因分析和处理

原因分析：

裂缝种类很多，开裂原因也不完全相同。属于表面裂缝，不论是纵向裂缝、横向裂缝，造成开裂的原因大都是坝基地质不同，物理力学性质差异很大，筑坝后压缩变形不一。尤其坝体跨越山脊，坝体固结沉陷时容易引起裂缝；坝内刚性体（坝头挡土墙、坝内埋设管道、刚性心墙等），其压缩性远小于地基土料，施工碾压不实，坝体干容重太低或压实度不同；分段分期施工，进度不平衡，填筑层高差过大，接合面坡度太陡；水库水位骤降，迎水坡产生较大孔隙水压力，容易产生纵向裂缝，甚至滑坡等。至于属于内部的水平裂缝，如图1-3(a)所示，为薄心墙，边坡陡，断面窄，

心墙的后期可压性比两侧坝壳大，心墙下部沉陷，上部挤在上下游坝壳之间，其重量由于剪力和拱的作用，传递到坝壳，以致上部不能下沉，将心墙拉开形成水平裂缝。有的土坝在峡谷高压缩性地基上修建，如图1-3(b)，坝基和坝体沉陷过程与上述情况相似，上部坝体的重量传递到两岸山坡，

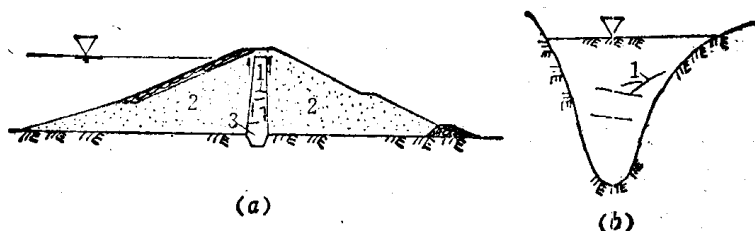


图 1-3 土坝内部裂缝示意图
1—裂缝；2—砂壳；3—粘土心墙

由于拱的作用，上部坝体不能同时沉陷，坝体受拉形成水平裂缝。凡是遇到下述现象：如土坝碾压较差，又无其他因素影响，而其沉陷量比设计值还小的；沉陷、位移量较大的坝段；相邻坝段沉陷量悬殊时；库水位升到某一高程时，无外界影响，渗漏量突然增加且成规律；钻探时孔口无回水，或钻杆突然掉落等时，应注意其可能产生内部裂缝。

土坝发生裂缝，除进行观测外，还要经过细致地分析研究，找出造成开裂的原因，对症下药，问题就解决得好些。判别裂缝，要掌握它的特性。如滑动裂缝初期发展较慢，而后期突然加快；沉陷裂缝则发展过程缓慢，并到一定程度而停止。

(1) 纵向沉陷裂缝：对于粘土心墙坝，往往仅重视心墙的填筑，而忽视了两侧砂壳和砂壤土过渡部分的填筑质量，如心墙坝填筑过高，两侧砂壳过低，且一般不重视砂壳