

农业机械化丛书

皮积瑞 解广润

机电排灌设计手册

第二版

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

“机电排灌设计手册”分为两篇。第一篇主要介绍机电排灌站的规划、水泵和柴油机的工作性能和选配,排灌站水工枢纽的布置形式,泵房的结构计算以及水井和井灌等内容。第二篇为电气部分,包括电气主结线和配电装置,变压器、电动机及其启动,电气设备,二次回路,防雷、接地和照明等内容。

全书共分十二章,每章都列举了各种计算实例,并附有图表和说明,可供从事机电排灌工程设计的技术人员使用,也可作为有关院校师生的专业参考书籍。

农业机械化丛书

机电排灌设计手册

(第二版)

皮积瑞 解广润 主编

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

北京市地矿局印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 55.5印张 1342千字

1977年第一版

1992年8月第二版 1992年8月北京第一次印刷

印数 0001—1400册

ISBN 7-120-01365-3/TV·482

定价 47.50 元

086151

第 二 版 前 言

《机电排灌设计手册》自1977年和1982年分别出版上、下两册以来，连续发行了六万余册，得到广大读者的支持和关切，深致谢意。但是随着我国生产和科学技术的发展，原“手册”的内容，难以满足当前生产和设计单位的要求了，经出版社和编者商定：特在原“手册”版本的基础上适当加以修改增删后再版。

“手册”本次修订是在以设计中型机电排灌站为主的基础上适当补充以大型泵站的部分内容；其特点是以图表为主，适当穿插以实例和说明，并力求充实以国内外有关的较新设计规程、产品和论述。本书读者对象为机电排灌站设计及管理人員。

本“手册”将第一版的上下两册改为两篇合订出版，第一篇介绍水、机的规划、设计和选配等内容，主要执笔人为：黄德玖（第一章）、孙寿（第二章）、丘传忻（第三章和第二章的第六节）、皮积瑞（第四、六、七章和附录1-21）、陈固（第五章）等，由皮积瑞负责主编；第二篇介绍电气设计和选配等内容，主要编写人为：谭乐嵩（第八章及第十章第四节）、李宇贤（第九章）、陈邕怀（第十章第一、二、三节）、黄守盟（第十章第六、七节及第十一章）、解广润（第十二章第一、二节）、刘正清（第十章第五节，第十二章第三节，附录22及23）等，由解广润负责主编。

全书由安徽省水电设计院岑乐原、贾维秀、朱兴华、罗国钜等高工主审，河北省水利厅的韩化骏高工、中南建筑设计院的杨敦俊高工和武汉水电学院的韩伯鲤教授、陈澄清、朱河海、张瑜芳副教授等对本书内容质量的提高给予了很多帮助，在此一并谨表谢意。

由于编者的水平有限，“手册”中难免存在错误和不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

1990. 11

目 录

第二版前言

第一篇 水工、机械部分

第一章 机电排灌工程规划	(3)
第一节 规划的原则和步骤.....	(3)
第二节 机电灌溉工程规划.....	(4)
第三节 机电排涝工程规划.....	(15)
第四节 机电排灌工程经济效益分析和技术经济指标的计算.....	(24)
第二章 水泵的选型	(41)
第一节 水泵的工作参数.....	(41)
第二节 水泵工作点的确定及管路损失计算.....	(45)
第三节 水泵性能换算及工况调节.....	(68)
第四节 水泵汽蚀及安装高程的确定.....	(75)
第五节 常用排灌用泵资料.....	(92)
第六节 水泵的选型.....	(134)
第三章 枢纽及其建筑物布置	(142)
第一节 枢纽布置.....	(142)
第二节 泵房布置.....	(151)
第三节 进、出水流动道设计.....	(169)
第四节 进出水建筑物的设计.....	(193)
第四章 结构构件计算	(203)
第一节 泵房主构件的结构计算.....	(203)
第二节 压力水管的设计.....	(245)
第三节 镇墩和支墩的计算.....	(256)
第四节 出水流动道及机架结构设计.....	(259)
第五节 分离式泵房机坑的设计.....	(266)
第六节 压力水箱及出水池的结构设计.....	(268)
第七节 压力涵洞的设计.....	(270)
第八节 基础设计.....	(275)
第五章 管道及辅助设备的选配	(286)
第一节 管道及其配件.....	(286)
第二节 传动设备.....	(334)
第三节 起重设备.....	(344)

第四节	通风设备	(347)
第五节	量测仪表	(352)
第六章	柴油机	(355)
第一节	柴油机的基本工作原理及其分类的特点	(355)
第二节	柴油机的构造及其作用	(358)
第三节	柴油和机油的选用	(361)
第四节	柴油机的性能与选配	(363)
第五节	柴油机的安装和噪声控制	(371)
第七章	井灌	(374)
第一节	井灌的规划	(374)
第二节	井型的选择	(378)
第三节	水井的抽水试验及提水设备	(384)
第四节	水井的成井质量、验收及管理	(394)

第二篇 电 气 部 分

第八章	电气主接线和配电装置	(399)
第一节	电气主接线	(399)
第二节	降压变电所和配电装置	(404)
第九章	变压器、电动机及其启动	(461)
第一节	电力变压器	(461)
第二节	互感器	(485)
第三节	电动机	(514)
第四节	电动机的启动	(533)
第五节	电动机的启动设备	(552)
第六节	无功补偿和电力电容器	(557)
第十章	电气设备	(566)
第一节	短路电流计算	(566)
第二节	电气设备的选择	(602)
第三节	低压开关及低压熔断器	(608)
第四节	高压开关及高压熔断器	(628)
第五节	导线及电缆	(647)
第六节	熔断器的选择及自动空气开关的整定计算	(669)
第七节	低压网络单相短路电流的计算	(680)
第十一章	二次回路	(686)
第一节	二次接线	(686)
第二节	互感器及测量仪表	(693)
第三节	操作电源、控制及信号	(703)
第四节	继电器	(721)

第五节	变压器保护.....	(733)
第六节	电动机、配电线及静电电容器保护.....	(751)
第七节	泵站自动控制.....	(767)
第十二章	防雷、接地和照明.....	(779)
第一节	防雷保护.....	(779)
第二节	变电所和排灌站的接地.....	(790)
第三节	电气照明.....	(795)
附录		(813)
附录 1	单位换算表.....	(813)
附录 2	几种物质的密度.....	(815)
附录 3	镇墩尺寸.....	(816)
附录 4	出水池尺寸.....	(817)
附录 5	钢筋混凝土受弯构件正截面抗弯能力计算.....	(817)
附录 6	钢筋的计算截面面积及理论重量.....	(818)
附录 7	各种钢筋间距时每米宽的钢筋面积.....	(819)
附录 8	钢筋的设计强度和弹性模量.....	(820)
附录 9	混凝土的设计强度及弹性模量.....	(820)
附录10	单跨超静定梁杆端弯矩和杆端剪力计算.....	(821)
附录11	钢弯管.....	(823)
附录12	偏心管.....	(826)
附录13	三通与四通管件.....	(829)
附录14	法兰盘.....	(832)
附录15	喇叭口.....	(835)
附录16	常用型钢表.....	(836)
附录17	柴油机主要技术规格.....	(839)
附录18	土层及砂、卵、砾层分类.....	(852)
附录19	浅井泵.....	(852)
附录20	深井泵.....	(853)
附录21	离心射流式深井泵.....	(859)
附录22	电瓷材料.....	(860)
附录23	常用金具.....	(866)

第 一 篇
水 工、机 械 部 分

机电排灌工程规划

第一节 规划的原则和步骤

兴建机电排灌工程，要根据国民经济发展计划，全面贯彻国家有关治水方针、政策，并结合各地区的治水经验、自然地理条件和社会经济情况，因地制宜地进行规划，有了正确完善的规划，才能为泵站工程设计提供可靠的设计数据，同时考虑到投资省，工期短、受益快，以及运行管理方面的要求，力求使工程在兴建投资、运转性能和管理费用等方面均能达到先进的技术经济指标，从而为不断降低提水成本创造有利的条件。

在我国丘陵山区机电灌溉工程规划必须首先查清当地水资源（地表水和地下水）的数量和质量及水利现状，并进行水土平衡确定其保灌面积，而后根据需要与可能研究确定提水灌区范围和面积。在工程措施上要提蓄结合，井渠结合，这样才可削低灌水率高峰，减少抽水流量与泵站装机容量，又可合理利用地下水，降低地下水位，防治土壤次生盐渍化。

江河平原、湖区及入海三角洲地区以排涝为主的泵站工程，应根据排水区综合治理的原则进行规划，有自排条件的地区应考虑闸站配合排水，以减少装机容量。其主要任务是排涝，但要结合灌溉，还需满足地下水位、水产、通航等要求，有条件的地方还应考虑发电，农副产品加工等，充分发挥工程的综合效益。

规划工作一般可按以下步骤进行：

（1）收集气象资料。包括气温、雨量、湿度、风向风速等农业气象资料，主要作为估算农作物需水量和制定排灌制度的依据。

（2）查勘水源。从河流（湖泊）取水的灌溉泵站，要搜集建站地点的河流（湖泊）各年灌溉季节的流量、水位、含沙量等资料，以及汛期洪水资料。自水库或渠道取水的灌溉泵站，要查明允许提引的水量和相应的水位。打井灌溉时，则要查明地下水资源情况，如每年可以开发利用的水量和保证一定开采量所需要的地下水位降落深度。排涝泵站则需搜集建站地点的河流（湖泊）排涝时期以及汛期的水位、流量等资料。

（3）查勘灌区或排涝区的地形、地质、土地和耕地面积；现有小型水库、塘堰、湖泊分布、容积、抗旱或滞涝能力；农作物种植种类、组成比例、需水量；动力资源和当地材料等。

（4）划分灌溉（或排涝）区的范围；分片分级选定站址；规划布置相应的灌排渠系；确定排灌站设计流量和设计扬程。

（5）选择机组。包括选择水泵型号、台数和配带动力机类型以及传动设备和附件。

（6）布置排灌站枢纽建筑物。包括取水口、引水渠、前池、进水池、泵房、压力水管、出水池以及变、配电站与线路的型式及位置。

（7）编制概算：

1）计算土建工程量（进、出水建筑物、泵房、渠道等）。

2) 开列机电设备清单。包括水泵、管道、动力机、配电盘、变压器、线路(导线及电杆)以及起动、起重、通风、充水和排水等辅助设备。

3) 编制概算(设备概算、材料概算、投资概算及劳力概算)。

(8) 核算排灌成本及经济效益。计算机电排灌工程各项技术经济指标。

(9) 编写规划报告书。为了简明起见,常在规划报告书前附一工程特性表,内容包括:工程名称、建站地点、施工日期、灌溉或排涝面积、提引或排涝流量、输电线路长度(包括高压及低压)、渠道条数及长度、机电设备台数、容量、扬程、主要材料、主要工程量、占地、投资、劳力等。另外简明扼要地按照党的方针政策说明实施本工程的必要性、经济合理性和技术上的可靠性、设计标准的依据以及群众的意见要求等。

第二节 机电灌溉工程规划

一、提水灌区规划

1. 自流灌溉与提水灌溉的关系

处理好自流灌溉和提水灌溉的关系,要求在有条件自流灌溉的地区,应尽量自流灌溉,只有当受灌区地形和水源水文条件的限制,自流灌溉不可能或工程造价太高时,才考虑提水灌溉。

具体规划时,应使二者很好的结合,例如:

(1) 有些地区虽然可以自流灌溉,但近期不能实现,为了早日使农业增产,可以规划为提水灌区。但需注意渠系及其建筑物的布置,尽可能为远景自流灌溉工程所利用。

(2) 自流灌区和库区内局部高地,可规划成提水灌区。

(3) 北方平原易旱易涝易碱地区,根据蓄、引、提相结合的原则,修建河渠、水井、坑塘联合运用的水利系统,可以达到旱、涝、碱综合治理的目的。例如河渠、坑塘引水蓄水灌溉,往往抬高地下水位,容易引起涝碱灾害,但渠塘却有引渗补给地下水,增加水井出水量的优点;如果自流与提水并举,渠灌与井灌相互取长补短,那么利用水井提水灌溉可以腾空地下水库,造成地下水位下降,起到除涝防碱的作用。

2. 提水或蓄水的关系

充分利用灌区内一切水源,如小型水库、塘堰、井泉等。通过这些蓄水措施的调节和反调节作用,在非灌溉季节,泵站向水库塘堰灌水,灌溉时再由塘堰放水灌田,做到闲时蓄水,忙时灌田,这样就可以削减用水峰量和满足阶段用水的要求,起到下述作用:

(1) 减少泵站装机容量,能充分利用机电设备,扩大灌溉面积,提高灌溉保证率。

(2) 提水设备发生事故或修理期间保证农田灌溉。

因此规划时应合理地确定蓄水容积大小及其调节作用。

3. 提水灌溉工程也应大中小结合,以中小型为主

小型泵站有如下几点好处:便于解决上下游用水矛盾;便于照顾行政区划;有利于经营管理;施工期短,收效快;技术易为群众所掌握。但小型泵站也有缺点:布站分散,输电线路长,增加了输电损失和投资;机组小、效率低;建筑物分散,施工及管理费用大。因此,应大中小合理布局,经方案比较后确定。

4. 灌区划分和骨干工程（灌溉泵站和干渠）的布置

灌区骨干工程的布置，除遵守自流灌溉工程的布置原则外，还应根据地形特征，使所布置的骨干工程，能达到降低泵站装机容量的目的，从而降低用水成本。

灌溉泵站和干渠布置，可分为以下几种基本形式：

(1) 一站提水，一区灌溉。全灌区由一条干渠控制全部灌溉面积，泵站一次将水提升至灌区最高点，然后在最高高程上布置干渠，如图1-1所示。南方地形高差不大的小片丘陵灌区，多采用这种布置形式。

(2) 多站分级提水，分区灌溉。全灌区分成几个分灌区，每个分灌区由一条干渠控制，并由单独的泵站供水，其特点是一级站除供本站用水外，还要供二级、三级站取水。在地形高差较大或地形上有较明显台地等变化时，一般布置成这种形式，在西北黄土高原区常可遇到，见图1-2。

(3) 多站单级提水，分区灌溉。根据水系、地形特征，将全灌区分成若干个小灌区，每个小灌区有完全独立的泵站和灌溉渠供水。这在南方水网圩区常会遇到这种布置形式。由于外河水网密集，便于分散取水，而天然水网将灌区切割成许多面积较小的圩垸，也难于布置大型统一的渠系工程，所以常采用这种布置，见图1-3。这种布置既便于管理，又能减少上下游用水的矛盾。

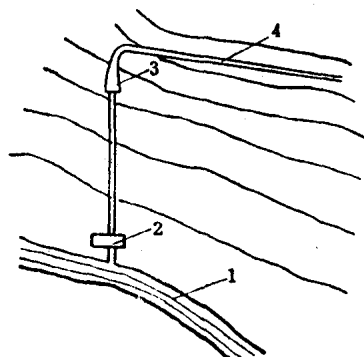


图 1-1 一站提水，一区灌溉工程布局示意图

1—河流水源；2—泵房；
3—出水池；4—干渠

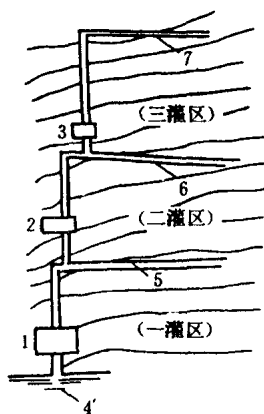
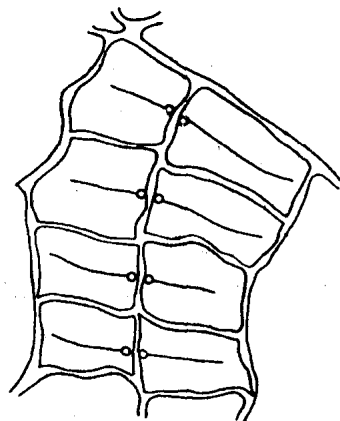


图 1-2 多站分级提水，分区灌溉示意图

1—一级站；2—二级站；3—三级站；4—水源；
5—一干渠；6—二干渠；7—三千渠



—灌溉干渠 °灌溉泵站 ≈河流

图 1-3 多站单级提水，分区灌溉示意图

5. 站址选择

站址选择是根据建站处的具体情况合理地确定灌溉泵站枢纽的位置，包括取水口和泵房的位置。选择站址是否得当，关系到安全取水、工程造价和运行管理等问题。设计时必须对水源、地形、地质等方面作深入调查，经过分析和比较确定。灌溉泵站的水源可以是天然的江河、湖泊，也可以是人工修建的水库、渠道或水井。现将站址选择的一般要求叙述如下：

(1) 有利于引、输水工程(渠道、建筑物等)的布局,做到取水可靠,灌水方便,工程量少。特别是灌溉季节能够取到足够的水量,而水质又适宜灌溉。泵站的位置应尽量布置在灌区中心,这样可以减少输水渠长度、土方工程量和挖压面积,提高灌溉效率,如果灌区地形呈马鞍形时,泵站应布置在两侧。

(2) 电力灌溉泵站应尽量靠近电源,使输电线路短,引进方便,造价低。

(3) 交通运输方便,兴建时有利于动力机、水泵和其它材料设备的运输。

(4) 应尽量靠近居民点,既便于管理,又便于动力机结合当地农副业加工,进行综合利用,从而提高设备的利用率。

(5) 结合水源、地形、地质特征,使泵站压力水管短,开挖工程量少,施工方便,安全可靠。按水源不同分下列几种情况选择站址:

1) 从灌溉渠道引水的泵站。当地形变化比较陡时,应选在等高线集中之处的下方。

2) 从河流取水的泵站,应尽量选在河段顺直、主流靠近岸边、河床稳定、水深和流速较大的地段,一般设在河床最窄处。如遇弯曲河段,应选在凹岸地带,因此处水深岸陡、泥沙量少,通常设在凹岸顶冲的上下游,而以下游为好。遇有沙滩、支流汇入和分岔河段,应该极力避免在此处设站;如必须设站时,应选在沙滩、支流汇入口和分岔河段的上游而靠近主流的地方。

3) 从水库取水的泵站,可以设在坝的上游或下游。在坝上游库区内的取水口应选在淤积范围之外,大坝附近或远离支流汇入口处。

4) 从湖泊中取水的泵站,应选在靠近湖泊出口的地方或远离支流的汇入口处。

5) 在湖泊河道上建站,应选择在淡水充沛、含盐量低、可以长期取到灌溉用水的地点。

在确定取水口位置时,要选在河床稳定的地段,如果冲刷与淤积矛盾时,可按照宁冲勿淤的原则来选择。同时还需考虑取水口附近河床和岸坡的加固和防护设施。

6) 站址应选在地质条件较好处,而不宜设在淤泥、流砂、滑坡或风化严重的岩层处。

7) 应该注意已有建筑物(如码头、桥梁、闸坝等)和综合利用以及长远规划时对取水口和站址的影响。

(6) 扬程较高的提水灌区,当灌区范围确定以后,究竟采用一级还是多级提水布置形式,要做方案比较。因为一级提水必须将全灌区所需的水量提至灌区最高控制点;而分级提水、分区灌溉则可避免功率的浪费,但需分散设置数个泵站,增加基建和管理费用。

在选定分级分区方案时,应首先根据地形条件,同时也综合考虑行政区划等其它方面的因素,确定分级分区的数目。而在地形变化较简单的平缓坡地或高扬程提水灌区,还可

结合总功率为最小的原则,来确定泵站的分级以及各级泵站的站址高程。现举例说明如下:

如某灌区灌溉总面积为 ω ,总扬程为 H ,经规划确定为三级提水,分三区灌溉,如图1-4所示。试确定总功率为最小时的各级泵站站址高程。

图中,一级站以 H_1 高度,供给全灌区 $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3$ 的需水流量 $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$;

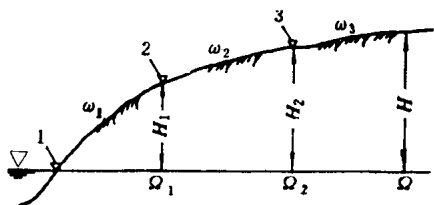


图 1-4 提水灌区分级分区示意图

1—一级站; 2—二级站; 3—三级站

二级站以 $H_2 - H_1$ 高度, 供给第二、三分灌区 $\omega_2 + \omega_3$ 所需的流量 $Q_2 + Q_3$;

三级站以 $H - H_2$ 高度, 供给第三分灌区 ω_3 所需的流量 Q_3 。

在各分灌区土壤、作物种植比例、需水量等条件相同的情况下, 可采用下述方法确定各级泵站站址高程, 如三个泵站的总功率为 N 时, 则

$$\begin{aligned} N &= K [(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3) H_1 + (\omega_2 + \omega_3) (H_2 - H_1) + \omega_3 (H - H_2)] \\ &= K (\omega_1 H_1 + \omega_2 H_2 + \omega_3 H) \quad (\text{kW}) \end{aligned} \quad (1-1)$$

为了更易看出相对于一级提水时所能节省的功率, 上式可写成

$$N = K \{ \omega H - [(\omega_1 + \omega_2) (H - H_2) + \omega_1 (H_2 - H_1)] \} \quad (\text{kW}) \quad (1-2)$$

$$K = \frac{q\gamma}{\eta}$$

式中

q ——单位灌溉面积的灌水流量, $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{亩})$;

$\omega_1, \omega_2, \omega_3$ ——各分灌区的灌溉面积, 亩;

ω ——灌区总灌溉面积, 等于 $\omega_1 + \omega_2 + \omega_3$ 之和, 亩;

$H_1, H_2 - H_1, H - H_2$ ——分别为一、二、三级泵站的实际扬程, m;

γ ——水的容重, kN/m^3 ;

η ——水泵机组的效率, %。

在式 (1-2) 中 $K\omega H$ 为一级提水, 一区灌溉方案所需的功率, 其值为已知。因此, 式中方括弧内的数值如为最大时, 则所求得的分级提水总功率 N 就为最小。上述方括弧内的最大值可按下列解析方法求得:

1) 根据灌区地形图作灌溉面积与高程的关系曲线。控制高程由 H 算起, 向下每隔一定间距确定不同高程所控制的灌溉面积。间距大小可采用 1、2、2.5、5、10 m 等, 具体数字由灌区的相对高差及灌溉面积的大小来确定。

2) 在 H 以下到水源水面高程之间, 给予不同的高程 H_2 及 H_1 , 即可求得不同的 $(\omega_1 + \omega_2)(H - H_2)$ 及 $\omega_1(H_2 - H_1)$ 的总和数值。

3) 分析确定总和数值中的最大值, 以及与此最大值相应的 H_2 及 H_1 , 就是所需功率为最小时的各级泵站的站址高程。

其它任何级泵站, 都可以按上述相同的原则和方法确定各级泵站的站址高程。

按照最小功率的原则确定各级泵站站址高程的方法, 除解析法外还可用图解法, 图解法较解析法简便, 但仅适用于灌区面积与高程曲线近似呈光滑曲线的情况。现仍以图 1-4 为例阐明图解法的原理如下:

图中, 灌区总扬程为 H , 如分三级提水时, 各级泵站的高程分别为 H_1, H_2, H ; 灌溉总面积为 Ω , 各级站控制的灌溉面积分别为 $\Omega_1, \Omega_2, \Omega$ 。灌区的面积与高程关系曲线为 $\Omega = f(H)$ 。此时,

一级站 扬程 $h_1 = H_1$;

灌溉面积 $\omega_1 = \Omega_1$

二级站 扬程 $h_2 = H_2 - H_1$;

灌溉面积 $\omega_2 = \Omega_2 - \Omega_1$

三级站 扬程 $h_3 = H - H_2$;

灌溉面积 $\omega_3 = \Omega - \Omega_2$

将各级站的控制面积代入式 (1-1), 得

$$N = K[\Omega_1 H_1 + (\Omega_2 - \Omega_1) H_2 + (\Omega - \Omega_2) H] \quad (1-3)$$

欲使三级提水时的总功率最小, 可将 N 对 Ω 进行偏微分, 并令其等于零, 即

$$\frac{\partial N}{\partial \Omega_1} = 0 \quad \text{得} \quad H_1 + \Omega_1 \frac{\partial H_1}{\partial \Omega_1} - H_2 = 0$$

$$H_2 - H_1 = \Omega_1 \frac{\partial H_1}{\partial \Omega_1}$$

$$h_2 = \omega_1 \frac{\partial H_1}{\partial \Omega_1} = \omega_1 \operatorname{tg} \theta_2 \quad (1-4)$$

$$\frac{\partial N}{\partial \Omega_2} = 0 \quad \text{得} \quad H_2 + (\Omega_2 - \Omega_1) \frac{\partial H_2}{\partial \Omega_2} - H = 0$$

$$H - H_2 = (\Omega_2 - \Omega_1) \frac{\partial H_2}{\partial \Omega_2}$$

$$h_3 = \omega_2 \frac{\partial H_2}{\partial \Omega_2} = \omega_2 \operatorname{tg} \theta_3 \quad (1-4)$$

式 (1-4), 式 (1-4)' 具有共同的形式, 即各级泵站的扬程等于相邻前一站的灌溉面积乘以面积与高程曲线在该站处的坡度, 此时其总功率为最小。这也就是用图解法确定各级泵站站址高程的原理。

图解方法举例 [例题 1-1] 说明如下。

【例题 1-1】 某灌区灌溉面积 13000 亩, 自水源至最高控制点所需提水总扬程为 40 m, 计划分四级提水, 试用图解法求总功率为最小时, 各级泵站的提水高程、扬程和灌溉面积。

图解时, 根据表 1-1 的统计资料 (该表是以一级站进水池水位为零统计的), 绘制扬程-面积关系曲线。其作法是以一级站进水池水面上的一点为原点, 以面积 Ω 为横坐标, 以扬程 H 为纵坐标绘制的, 如图 1-5 所示。

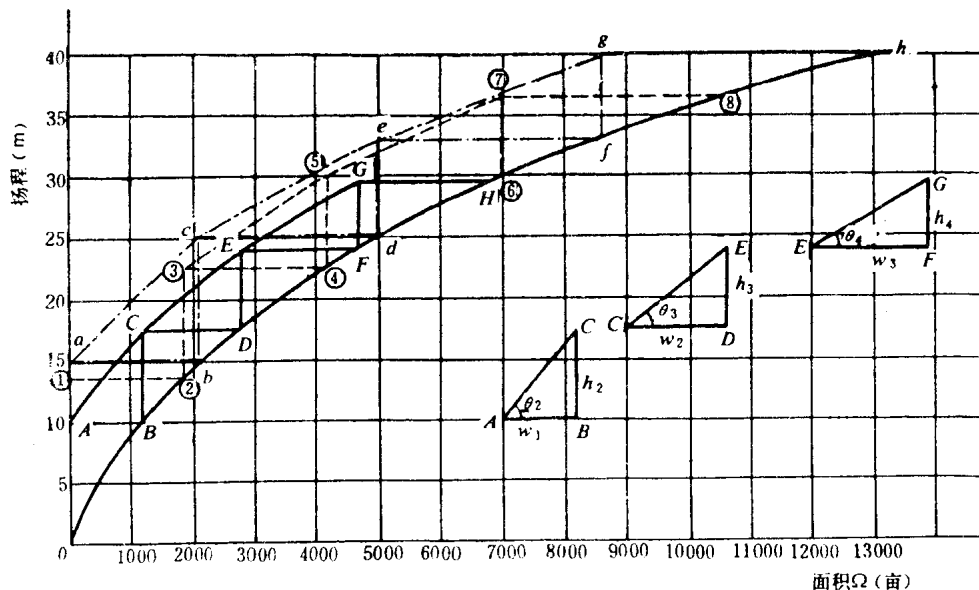


图 1-5 最小功率图解法

表 1-1 扬程与灌溉面积关系表

扬程 H (m)	5	10	15	20	25	30	35	40
面积 Ω (亩)	500	1200	2100	3500	5000	7100	9700	13000

先假设一级站扬程为 $\frac{1}{4}H$, 即 $\frac{40}{4} = 10\text{m}$, 进行第一次图解, 步骤如下:

(1) 从 A 点(扬程为 10m 处)作水平线交曲线于 B 点。

(2) 再从 A 点作 AC 线平行于 B 点的切线, 并与过 B 点的垂线 BC 交于 C 点, C 点的高程为 117.5m , 即为二级站的提水高程。

(3) 同法, 过 C 点作水平线交曲线于 D 点, 再从 C 点作 CE 线平行于 D 点的切线, 并与过 D 点的垂线交于 E 点, E 点的高程为 24m , 即为三级站的提水高程。

(4) 重复上述作图法, 得 F 、 G 、 H 各点。 H 点的高程为 29.5m , 即为四级站的提水高程。但未达到 40m 高程, 不符合设站要求, 说明原假设的一级站高程偏低, 需调整到 h 米, h 值应满足下述条件, 即 $h:10 = 40:29.5$, 求得 $h = \frac{10 \times 40}{29.5} = 13.6(\text{m})$ 。

再进行第二次图解步骤如下:

(1) 将一级站扬程改为 13.6m , 如图中点(1)。

(2) 按上法, 依次得(1)、(2)、…、(8)点。点(8)的高程为 36.5m , 该值仍达不到 40m 高程, 说明一级站扬程仍然偏低。应再调整为 $h'(\text{m})$:

$$h':13.6 = 40:36.5, \text{ 则 } h' = \frac{136 \times 40}{36.5} = 15\text{m}$$

再进行第三次图解步骤如下:

(1) 设一级站扬程为 15m , 如图上 a 点。

(2) 同上法, 依次求得 a 、 b 、 e 、…、 g 各点, g 点高程为 40m , 满足本题要求。此时图解所得的各点 a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f 、 g 及其相应的数据, 即为所求各级泵站的高程、扬程和灌溉面积, 详见表1-2。

表 1-2 各级泵站站址高程、扬程和灌溉面积表

站 别	一级站	二级站	三级站	四级站	合 计
站址高程(m)	0	15	25	33	73
扬 程(m)	15	10	8	7	40
灌溉面积(亩)	2100	2900	3500	4500	13000

二、灌溉泵站设计流量和特征扬程的确定

(一) 机电排灌工程设计标准

机电排灌工程规划设计应以保证农作物高产稳产为标准。从长江流域旱情分析中得知, 中等干旱年每3~5年可遇一次, 比较严重的干旱年一般5~10年出现一次。目前机电灌溉工程大都以保证在比较严重干旱年份时使作物获得丰产所需的灌溉水量为规划设计标准。按照该标准设计的工程能解决5~10年一遇的旱情, 其灌溉用水保证率相应为80%~90%。而对于有些水源充足且不同保证率的外河水水位变幅不大的地区, 如珠江三角洲一般采用更高的灌溉保证率, 其值可达90%~95%。

当灌溉水源以外水（外江、外河、外湖）为主，内水（内湖、河网蓄水）为辅时，能否取得干旱年所需的灌溉用水量，关键在于外河水位（外河水量一般都是足够的）。外河水位所决定的提水扬程，是能否保证水泵正常提水，并取得所需灌溉水量的主要因素。因此，保证率主要反映在取水处外河（或外湖）的枯水水位频率上。一般机电灌溉泵站规划设计时，常以灌溉期外河80%~90%频率的枯水位或历史上最枯水位，作为确定设计扬程的依据。

全国各灌区可根据当地水土资源情况，作物组成、气象水文条件、水量调节程度、工程规模大小及国家对当地农业生产的要求等因素分析确定灌溉设计标准，一般可参考表1-3选用。

表 1 3 灌溉设计标准表

地 区	作物种类	灌溉设计保证率 (%)
干旱缺水地区	以旱作物为主	50~75
	以水稻为主	70~80
半干旱少水地区	以旱作物为主	70~80
	以水稻为主	75~85
水源丰富地区	以旱作物为主	75~85
	以水稻为主	85~95

采用抗旱天数作为灌溉设计标准的地区，旱作物和单季稻灌区，抗旱天数为30~50天；双季稻灌区，抗旱天数为50~70天；有条件的地区可予提高。对于灌溉设计标准以外的大旱年份，应采取挖掘潜力，改变种植计划，分区灌溉和节约用水等措施，以减轻旱灾损失。

（二）灌溉泵站设计流量的确定

计算灌溉泵站设计流量，一般需先根据农作物田间需水规律制定灌溉制度，并借以确定灌水率图，然后再推求设计流量。上述方法十分烦琐复杂，除大型工程外，一般难于采用。

中小型机电灌溉区常以干旱无雨、而作物需水最为紧迫时期的灌溉用水量或灌水定额作为灌溉泵站设计流量的依据。

各地区可根据自然地理和社会经济的特点，通过调查丰产田灌水经验，总结和拟定出适用于各种作物区的用水高峰时期和各种作物干旱年最大一次的灌水定额。下面分别以水稻和旱作物为例，介绍部分地区的经验数据。

1. 水稻田

在长江流域一带，水稻田泡田用水量较大，因为在刚收完越冬作物后，田间土壤干燥，须经过耕翻、耙平，然后灌水，使土壤饱和，并在田面保持一定深度的水层才能插秧。所以泡田用水量是一次用水高峰。双季稻地区，双抢季节如遇天旱，也易出现用水高峰，为了保证晚稻适时播种，翻耕泡田时间短促，有时比单季稻区泡田用水量还大。

泡田用水量与水田的土壤性质、地下水深度等因素有关，可参考采用表1-4的数值。

水稻生育期用水量在孕穗开花期，水稻生长旺盛，田间不能脱水，用水量大，如果天旱无雨，也容易出现用水高峰。

水稻生育期用水量与田间作物蒸发耗水、渗漏等有关，根据江苏省经验：一般生育时每昼夜耗水6~10mm，孕穗开花期最高每昼夜耗水10~15mm；湖南省经验：粘壤土地

区日最大耗水深可按8mm(1寸水维持4天)、11mm(1寸水维持3天)来考虑。

表 1-4 泡 田 用 水 量

土 壤 性 质	地下水位距地面深度 (m)	泡 田 用 水 量	
		(m ³ /亩)	化成水深(mm)
粘土、粘壤土	—	50 ~ 80	75 ~ 120
中壤土、砂壤土	<2	70 ~ 100	105 ~ 150
	>2	80 ~ 120	120 ~ 180
轻 砂 壤 土	<2	80 ~ 130	120 ~ 195
	>2	100 ~ 160	150 ~ 240

2. 旱作物

长江流域一带旱作物主要以冬小麦和棉花为主，一般冬小麦灌三次水，即播前灌水、拔节水和灌浆水。棉花主要为苗期、花铃期和吐絮期灌水。

根据调查分析，长江流域一般旱作物的灌水定额：播前灌水为50~60m³/亩；生育期灌水为30~50m³/亩。丘陵区取偏高值；平原湖区取偏低值。

北方各省旱作物灌水总量和次数较南方为多，但每次灌水定额与南方也较接近，如黄河流域五省（山东、山西、河北、河南、陕西）冬小麦干旱年（降雨频率75%）灌溉定额为150~250m³/亩，灌水定额则为30~45m³/亩，表1-5的数值，可供制定小麦灌溉定额时参考。

表 1-5 黄河流域五省冬小麦灌溉制度表

地 区	水文年	小麦生育期 有效降雨 (m ³ /亩)	总需水量 (m ³ /亩)	灌溉定额 (m ³ /亩)	灌水定额 (m ³ /亩)	灌水时间 (代号)	灌水次数 (次)
山东省	干旱年	60	200~300	140~240	30~40	1、2、3、4、5、6	4~6
	一般年	80		120~220		1、2、4、5	3~5
	湿润年	107		100~200		2、3、4	3~4
山西省	干旱年	67	250~300	183~233	30~45	1、2、3、4、5、6	5~6
	一般年	100		150~200		1、2、3、4、6	4~5
	湿润年	130		120~170		1、3、4、5	3~4
河北省	干旱年	37	200~300	163~263	30~40	1、2、3、4、5、6	5~6
	一般年	80		120~220		1、2、4、5	3~5
	湿润年	93		107~207		1、3、4、6	3~4
河南省	干旱年	46	200~300	204~205	30~45	1、2、3、4、5、6	5~6
	一般年	66		134~234		1、2、3、4	4~5
	湿润年	120		80~180		1、2、3、4	3~4
陕西省	干旱年	95	250~350	155~255	30~40	1、2、3、4、5	4~5
	一般年	130		120~220		1、3、4、5	3~4
	湿润年	160		90~190		1、3、4	2~3

注 (1) 水文年中干旱年的降雨保证率为75%，一般年为50%，湿润年为25%；

(2) 灌水时间的代号1、2、3、4、5、6分别代表播前灌、冬灌、返青灌、拔节灌、抽穗开花灌、灌浆灌。

确定设计最大一次灌水定额 (m³/亩) 或日耗水深度 (mm) 之后，可按下列公式计算灌溉泵站设计流量 Q ：