

陕晋水坠坝试验研究工作组

SHUI
ZHUI
BA

水坠坝

水利出版社

水 坠 坝

陕晋水坠坝试验研究工作组

水利出版社

内 容 提 要

水坠坝是我国首创的一种自流式水力冲填坝,具有工效高、成本低、质量有保证、施工简便等优点,是发展山区农田基本建设,控制水土流失的一项多快好省的新技术。本书比较系统地介绍了我国陕西、山西等省利用黄土修建水坠坝的施工经验。书中通过对大量实测资料的分析,阐明水坠坝的工程特性,总结提出了几种设计方法,并介绍了小流域坝系规划以及水坠坝的观测试验、管理养护等方面的具体经验。对广东、广西、云南、新疆等省(区)利用砾质土和其它土类修建水坠坝的设计、施工经验也作了扼要介绍。本书可供水利、水土保持技术人员及水利院校师生参考,也可供其它工业部门的尾矿坝、吹填土等挡水工程设计、施工时参考。

3637/22

水 坠 坝

陕晋水坠坝试验研究工作组

*

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 $10\frac{5}{8}$ 印张 235千字

1980年8月第一版 1980年8月北京第一次印刷

印数 0001—6360册 定价 1.10元

书号 15047·4041

前 言

近年来，陕晋两省山区人民，在大搞治山治水斗争中，创造性地发展了水坠法筑坝新技术，为加快山区建设、治理千沟万壑、建设旱涝保收高产稳产农田、有效地发展山区水利和控制水土流失提供了一项多快好省的办法，深受广大贫下中农欢迎。

为了使水坠法筑坝技术迅速发展，在山区建设和治理黄河工作中发挥更大作用，根据1973年水利电力部指示，由黄河水利委员会、陕西省水电局、山西省水利局共同组成陕晋两省水坠坝试验研究工作组，先后有42个生产、科研单位和大专院校参加，对水坠坝进行了试验研究。几年来，调查总结群众经验和科学试验相结合，选定了18座不同土质的试验坝进行现场观测试验；对11座已成水坠坝分阶段地进行了钻探，测定其坝体质量变化；重点地调查了陕西、山西、甘肃、青海、内蒙古、宁夏、新疆、河南、广东、广西等10个省(区)50多座水坠坝的设计施工经验，搜集了1500余座已成水坠坝的资料；进行了大量的室内试验和电子计算机计算工作，取得了数以万计的科研数据；重点研究了黄土水坠坝筑坝技术和设计理论，同时也对砂土、砾质土水坠坝施工技术进行了调查研究；及时编写了《水坠坝施工须知》和《水坠坝设计要点》，本书就是在上述工作的基础上编写成的。

书中结合黄土地区部分工程实例，重点介绍了利用轻、中粉质壤土修建小型水库和大型淤地坝的规划、设计、施工、

观测试验和运用管理等方面的知识和经验，对其它土料的水坠坝的设计、施工技术也作了扼要介绍。因此，修建此类坝型的较大水库和尾矿坝、吹填土等挡水工程亦可作为参考。

本书的编写和审定工作是在陕晋两省水坠坝试验研究工作领导小组的直接领导下进行的。领导小组成员有：黄河水利委员会水利科学研究所同允杲同志，陕西省水土保持局石元正、蒋德麒、周梦亮同志，山西省水利局袁步森同志，山西省水利科学研究所曹素滨同志。参加本书编写工作的有：黄河水利委员会水利科学研究所阎文哲同志、陕西省水土保持局白楚荣同志、山西省水利局水保处孙建轩同志、陕西省水利科学研究所方开泽同志、山西省水利科学研究所陈思松同志、山西省水土保持科学研究所郭文元同志。在编写和审定过程中得到黄河水利委员会勘测规划设计院林镜瀛同志的热心支持和具体帮助。另外，参加水坠坝试验研究工作组的黄河水利委员会、陕西省、山西省所属水利、水保、科研单位、设计部门、有关地、县水电（利）局、水土保持试验站和中国科学院工程力学研究所、中国科学院西北水土保持生物土壤研究所、清华大学水利系、西北农学院水利系、北京大学力学系、华东水利学院农水系、郑州大学数学系、河南省陕县水电局以及广东省水电局、广东省水利科学研究所、广西省玉林地区水电局、云南省水利科学研究所、新疆自治区水电局设计队等单位，都为本书提供了宝贵建议和资料。

水坠法筑坝和科学试验研究工作，只有几年时间，不少问题尚待进一步研究解决。同时，由于我们水平有限，实践经验不够，书中会有缺点错误，热诚欢迎广大读者批评指正。

编 者

一九七九年二月

目 录

前 言

第一章 水坠坝概述	1
第一节 水坠坝坝体形成过程	2
第二节 水坠坝的特点	4
第三节 水坠坝的发展	10
第二章 水坠坝规划	13
第一节 坝系规划	13
第二节 工程规划	28
第三章 水坠坝设计	37
第一节 坝型和筑坝土料	38
第二节 坝体断面	63
第三节 计算指标及经验参数	77
第四节 坝体固结规律及固结计算	125
第五节 坝坡整体稳定计算	145
第六节 边埂稳定计算	173
第七节 有关水坠坝稳定问题的讨论	196
第四章 水坠坝施工	201
第一节 施工准备	201
第二节 施工组织	220
第三节 施工技术	223
第四节 施工安全	261
第五章 水坠坝的观测试验	265

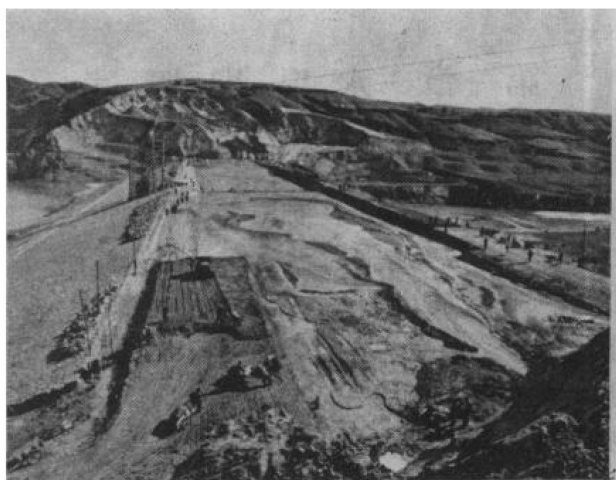
第一节	现场观测试验	265
第二节	室内强度与固结试验	298
第六章	水坠坝的管理养护	309
第一节	管理运用	309
第二节	养护与处理	312
附录一	吉甫森一维固结计算用表	316
附录二	各高程以上坝体平均孔隙水压力 系数 $\bar{B}$ 值表	316
附录三	水平滑动面法坝宽计算表	326
附录四	折线滑动面泥浆压力法坝宽计算表	329

第一章 水 坠 坝 概 述

水坠坝是水力冲填坝的一种，主要是利用水流的冲力将位于高处的土料拌成高浓度泥浆，自流送入坝面，经脱水固结形成的土坝。故又称泥浆自流式水力冲填坝，见照片1-1，1-2。“水坠坝”这个词是陕北群众的习惯叫法，含有从土场用水带土下坠（流）的意思。各地群众还有叫“泥浆坝”、“拉沙坝”和“流泥坝”的，本书仍采用较为通用的“水坠坝”这个名称。



照片 1-1 陕西上刘家川水坠坝(正在施工中)



照片 1-2 山西临县曹家岭水坠坝(正在冲填中)

第一节 水坠坝坝体形成过程

水坠坝从开始施工到坝体形成大体经过三个阶段，即土料成泥阶段、土粒沉淀脱水阶段和土体固结压密阶段。

一、土料成泥阶段

水坠坝土场一般选在高于设计坝顶高程的沟(山)坡上。施工时，用机械抽水或自流引水方式，把水送到土场，顺着坡度很陡的造泥沟急流而下。同时，土场土料经过人工开挖、爆破或水枪冲击，沿程将松土不断送入造泥沟。土块遇水湿化、崩解，并经流水拌合作用，在造泥沟的末端已形成成为一定浓度的泥浆，然后经输泥渠送到坝面上筑好围埂的冲填池

内。在此过程中，原状土的结构被彻底破坏，由原来的土粒、空气和少量天然水分组成的三相土体，变成仅有土粒和水组成的两相泥浆体。

二、土粒沉淀脱水阶段

泥浆进入坝面冲填池后，流速骤减，最后停止流动。悬浮的土粒在重力作用下，逐渐沉淀，一部分自由水被置换澄析在泥浆表面，由泥面高处向低处流动。这时泥浆处于流态，密度很小，强度极低，主要靠边埂阻滑，维持坝体稳定。当表层水被排除或蒸发后，冲填体还会在毛细管作用下继续排除一部分水分。随着含水量的降低，冲填体逐渐成为具有一定承载能力的塑性土体。

在这个阶段中，水分基本上是向上离析出来的。沉淀析水过程的长短与土料颗粒组成和冲填泥浆浓度有关。泥浆越稠，土料含粘量越少，所需的沉淀析水时间越短，冲填体能够较快地达到塑性状态，有利于坝体稳定。反之，沉淀析水时间延长，对施工不利。

三、土体固结压密阶段

坝体是一层接一层地冲填起来的，坝体上下各部的受压情况不同，土的抗剪强度也不相同。下部已冲填的饱和土层受到上部土层的压力，开始时，上部的荷重几乎全为土体孔隙中的水所承担。水所承担的压力，称为孔隙水压力。不同部位孔隙水压力大小不同。由于压差作用，压力高处的孔隙水向压力低处渗透。孔隙水除了被围埂吸收一部分外，还通过坝基、岸坡或专用排水设施，逐渐排出坝外。随着孔隙水的减少，土体逐渐得到压密。原来由孔隙水承担的那部分压

力，逐渐转移到土的固体颗粒（骨架）上。由土骨架所承担的压力，称为有效压力。随着水的不断排出，孔隙水压力不断减小，有效压力逐渐增加，土体的抗剪强度也随之增大，直到孔隙水压力完全消散时，土体颗粒承受了全部上部荷重。在有效压力作用下，土体颗粒被进一步压实，最终形成均匀密实的坝体。在此阶段中，坝体水分是以排渗为主，所以也叫做渗透固结阶段。

显然，坝体孔隙水压力的的大小和固结压密的快慢，主要取决于泥浆浓度、坝体冲填速度（加荷速度）、冲填土料的渗透性与压缩性以及坝体排水条件等。

连续冲填的坝体，在土体压密的第二阶段没有结束，其上部泥浆又继续累加，这就延长了它的沉淀排水过程。而且由于冲填面的逐渐上升，在原有孔隙水压力消散的同时，又会产生新的孔隙水压力。因此，整个坝体固结压密是一个受多种因素影响的综合复杂的过程。

第二节 水 坠 坝 的 特 点

水坠坝与碾压土坝比较，具有一些明显的特点。

一、泥 浆 浓 度 大

利用高浓度泥浆冲填筑坝，是我国水坠坝的最大特点。泥浆中每立方米的水要挟带 2 ~ 3 立方米的土，即土水比为 2 ~ 3。这比国外水力冲填筑坝的浓度要大很多。泥浆浓度大则工效高，成本低，相对起始含水量小，脱水固结快，坝体泥浆基本不产生分选现象，质量有保证。稠泥浆流动，与一般挟沙水流不同，它具有高浓度泥流的特点：

(1) 全断面土水比基本一致，稀稠均匀。

(2) 拖拽能力大，泥流平稳。

(3) 在输泥渠内流动时，渠壁形成一层光滑泥壳，摩擦阻力很小，流速较大，一般不会堵淤渠道。如输泥渠坡度较缓时，有时会产生“浆河”现象(即暂时拥塞现象)，流流停停。

(4) 粉质壤土(以粉粒为主)的稠泥浆在冲填池内，由于泥面坡度大，泥池距离短，泥浆推动力较强，泥浆不是以层流方式流动，而常以较厚的泥流层向前蠕动，使土粒不可能在冲填池内产生分选。

二、施工期坝体存在流态区

水坠坝坝体除了碾压的边埂和堆筑的中间埂外，其余均为冲填的泥浆。如果采用连续冲填施工，泥浆来不及脱水固结，施工期坝的上部必然形成一个含水量大于流限的流态区，见图 3-23。

流态区范围的大小和维持时间的长短，主要与冲填土料粘粒含量、透水性、冲填速度、冲填方式、坝基坝体排水条件等因素有关。粘性小的土料，透水性强，脱水固结和坝体强度增长迅速，流态区范围较小，消失得也较快。这时，边埂只在短时间内起挡泥作用，只要有合适的坝坡比和一定的围埂宽度，就可以维持坝坡的稳定。粘性大的土料，透水性弱，脱水固结和强度增长较慢，如果冲填速度大，坝体又无专门排水设施，流态区范围将显著增大，而且维持的时间也较长，产生较大的泥浆推力，施工期坝坡的稳定，主要依靠边埂来维持。因此，除了要有合适的坝坡比，还要有足够的边埂宽度和一定的碾压质量。

实践证明，采用砂壤土、轻、中粉质壤土修筑的水坠坝，在竣工后，流态区都能较快地随着泥浆含水量的降低，孔隙水压力的消散，而逐渐缩小以至消失，从而形成稳定性较高的坝体。

三、要掌握适当的冲填速度

水坠坝稳定问题的实质，就是坝体荷载的变化与坝体强度的变化是否相适应的问题；在施工期则表现为坝体冲填上升速度与坝体脱水固结速度是否相适应的问题。不少工程实例表明，水坠坝的位移、鼓肚或滑坡事故主要发生在施工期，发生的部位一般又在施工坝高偏顶部的二分之一至三分之二范围内，并随着坝体的升高而升高。一般河槽、沟道的断面下部较窄，岸坡阻滑作用大，排水条件较好，坝下部的冲填速度可以稍快。到了坝高的中上部位，则由于河槽变宽，排水渗径增大，脱水固结缓慢，冲填速度就应适当减低。如冲填速度太快，容易引起坝体变形，以至造成事故。因此，在施工期应严密注意坝坡的变形，特别是当坝高升到二分之一以上坝高时，更要加强变形观测，并据此严格控制冲填速度。

冲填速度是决定工期长短的重要环节。为了既保证施工安全，又不贻误工期，必须掌握适当的冲填速度，妥善安排工程进度，避免临时突击。

四、工效高 投资省

水坠法筑坝与碾压法筑坝比较，可大大提高装土、运土、卸土、铺土、碾压五道工序的工效。如采用轻、中粉质壤土冲填筑坝，每个工日可完成冲填土方8~14立方米，比碾压法筑坝提高工效3~6倍。若采用水枪冲土，提高工效更为

显著，每个工日可完成土方50~100立方米。陕西省延安市首头庄大队，全大队有90个劳力，由于劳力不足，过去一直不敢动手修坝，1976年只抽14名劳力，用水枪冲土水坠法筑坝，花了9个月时间，就建成了一座坝高21.5米，土方4.4万立方米，能淤地150亩的中型淤地坝。

新疆皮山县雅普泉水库，1965年冬，采用碾压法筑坝，全县上劳力一万多人，一个冬季完成土方42万立方米。1966年被洪水冲毁，后改为水坠法施工，上劳力1500人，到1968年底，不到三年时间，建成一座坝长2公里，坝高30米，土方480万立方米，库容2000万立方米的水库，灌地20万亩。根据当地统计，水坠坝一般比碾压坝工效(0.3~0.5立方米/工日)提高10~40倍；比水中倒土筑坝工效(0.9~1.7立方米/工日)提高3~15倍。

广西博白县凤山公社石榕大队用砾质土修建的拗背水坠坝，坝高30米，库容110万立方米，土方9.6万立方米，原计划碾压法施工需工38万工日，改用水坠法筑坝后，仅用了3万工日，节省了35万工日。

水坠坝施工由于使用劳力少，只需要简单抽水机具，与碾压坝相比，可以降低成本60%以上。如具有自流引水冲填的条件，投资更能节省。山西省河曲县曲峪水库，坝高38米，库容477万立方米，原计划从全县调劳力用碾压法施工，计划投资40万元；后来采用水坠法施工，由受益的两个大队投工，用了一年时间，投资8万元就建成了。

内蒙古石峡口水库，坝高33米，土方53万立方米，库容1724万立方米，原计划用碾压法施工需时三年；后改用水坠法施工，半年就完成了，提高工效11.5倍，节约投资75.8%。

五、质 量 好

冲填泥浆脱水固结后，坝体质量均匀密实，与坝基和岸坡结合也较紧密，完全可以达到一般设计要求。

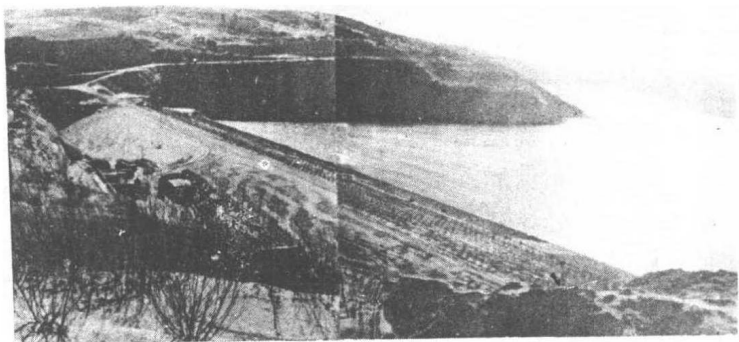
陕、晋两省十几座已成水坠坝钻探成果表明，竣工时及竣工后一、二年内，坝体干容重都能达到1.55吨/立方米左右，见表1-1。

表 1-1 水坠坝坝体干容重测定表

省 (区) 别	坝 名	坝 高 (米)	竣工时期 (年)	测定时间 (年)	相隔时间 (年)	土料名称	干 容 重 (吨/立方米)
陕西	磨 石 沟	34	1973	1974	1	轻粉质壤土	1.58
陕西	上刘家川	26	1974	1974	半年	轻粉质壤土	1.5~1.6
山西	桃 儿 嘴	35	1974	1976	2	轻粉质壤土	1.57~1.6
山西	曲 峪	38	1975	1976	1	轻 壤 土	1.57~1.63
山西	东 风	24	1972	1976	3.5	中粉质壤土	1.6~1.62
内蒙	石 峡 口	33	1973	1973	10~15天	轻粉质壤土	1.5~1.59

山西省河曲县桃儿嘴水库，坝高34米，冲填土料为轻粉质壤土。据钻探观测：泥浆进入坝面后，10天左右，坝面2米以下的坝体含水量可降低到30~38%，相应的干容重为1.49~1.34吨/立方米；一个月左右，2~5米内，坝体含水量降低到28~29%，相应干容重为1.53~1.51吨/立方米；经过两个月左右，坝体10米以下，含水量在24.5%左右，干容重为1.6吨/立方米左右。竣工两年以后，坝体含水量稳定在23~24.5%之间，干容重1.6吨/立方米。

陕西省横山县河口庙水库，坝高43.5米，库容5860万立方米，土方100万立方米，坝前蓄水位28米左右，已运用四年，未见异常现象(照片1-3)。



照片 1 3 河口庙水坠坝(已运用四年)

新疆雅普泉水库，1968年建成。从1967年施工中就开始蓄水，逐年抬高水库水位，1977年蓄水深达到21.5米，经九年运用，效果良好。

六、施 工 简 便

水坠法筑坝的施工技术简便，群众容易掌握，适宜普遍推广。当岸坡有适宜筑坝土料，附近有水源，地形条件许可，一般都可以采用。这种筑坝方法，基本上不受土场土料含水量的影响，可以在雨季施工。由于工效高，过去需要上千人施工的工程，现在一百来人就可以胜任；过去需要跨年跨汛施工的工程，现在秋冬开工，第二年汛前就可以完成；过去需要国家大量投资，现在群众自办或民办公助就能兴建。陕西省子洲县磨石沟坝、横山县双城坝、米脂县南沟坝，坝高30~40米，坝体土方40~50万立方米，都是采用民办公助的形式修建的。群众高兴地说：“水坠筑坝就是好，不运不夯工效高，投资少来质量好，小队能把大坝搞”。

水坠坝与碾压坝比较具有不少优越性，但也存在一些缺

点。首先是施工期坝体容易出现较大变形，如不按规定要求施工，甚至可能发生滑坡事故。其次是为了控制变形，施工速度受到一定限制，特别是含粘量较高的土料，需要严格控制施工速度。再就是当土料、坝高决定后，坝体最终可能达到的干容重即成定局，很难进一步提高。此外还有坝体设计增加了边埂稳定计算的内容；施工中常受到水源和抽水机具的限制等。关于水库运用期的稳定性和抗震性能如何？目前尚无充分资料可以说明。所有这些，都需要通过工程实践作进一步研究加以解决和克服。

第三节 水 坠 坝 的 发 展

早在我国古代，黄河流域劳动人民就已经采用过类似水坠法的施工方法。近代以来国外也曾采用水力冲填方法建设土坝。

陕西省榆林地区靖边县杨桥畔1942年曾用引水拉沙法造地，至五十年代已造地近万亩。五十年代后期，由引水拉沙造地发展到引水拉沙（土）建坝。陕西省榆林县石峁水库、山西省保德县王家圪水库、广东省揭阳县将军址水库都是用水坠法或部分水坠法修筑的，至今运用正常。黄河水利委员会西峰水土保持科学试验站、绥德水土保持科学试验站，广东省水利科学研究所等单位分别在五十年代和六十年代作过水坠法筑坝的试验和经验总结。

随着大搞水土保持群众运动的发展，水坠坝也逐渐普及。特别近几年来，在各级领导的重视和关怀下，水坠法筑坝发展之快，推广数量之多，都是空前的。据陕晋两省不完全统计，截止1977年底，共建成水坠坝8000余座，其中坝高在15米以