

水力贮灰场 灰坝渗流与稳定

丁玉玺 付俊芳 王义波 编著

SHUILI ZHUHUICHANG
HUIBA SHENLIU YU WENDING



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

水力贮灰场 灰坝渗流与稳定

丁玉玺 付俊芳 王义波 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

灰坝是水力贮灰场的重要构筑物之一。随着贮灰场的建设规模越来越大、等级越来越高,灰坝渗流分析和稳定计算的重要性也越来越显著。为了保证灰坝的安全运行,需要在设计、施工、运行等方面强化安全意识,明确安全责任。

本书以现行设计规范为基础,并结合实际工程,系统阐述了灰坝渗流分析和稳定计算的设计思路、设计理论及设计方法,并对灰坝渗透变形的防治和提高灰坝稳定性的工程措施进行了归纳、总结。全书内容共分7章,包括水力贮灰场的选择与规划、土的物理性质与工程特性、粉煤灰的物理性质与工程特性、灰坝渗流分析、灰坝稳定性分析、灰坝应力与变形分析、贮灰场的发展与展望等。

本书可供水力贮灰场设计、施工及运行人员使用,亦可作为水利水电工程建筑专业本科生的选修教材。

图书在版编目(CIP)数据

水力贮灰场灰坝渗流与稳定/丁玉玺,付俊芳,王义波编著. —北京:中国电力出版社,2012.12

ISBN 978-7-5123-3806-7

I. ①水… II. ①丁… ②付… ③王… III. ①火电厂-粉煤灰-稳定渗流-研究 IV. ①X773

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第287821号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013年2月第一版 2013年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 11印张 266千字

印数0001—3000册 定价30.00元



敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

贮灰场是燃煤发电厂的主要生产设施之一，用来存放燃煤发电厂排出的粉煤灰和炉渣。随着国民经济的发展，发电厂的规模越来越大，为了满足发电厂的灰渣存放要求，贮灰场的建设规模也越来越大，有的发电厂甚至配备多个贮灰场。

按除灰方式不同，贮灰场可分为水力贮灰场和干式贮灰场。在我国，水力贮灰场的应用比较广泛，起步也比较早，在设计、施工、运行过程中积累了大量的经验。因此，本书主要对水力贮灰场的选择和设计进行论述。

灰坝是贮灰场的重要构筑物之一，随着贮灰场的建设规模越来越大，灰坝的等级也越来越高。一般情况下，灰坝是发电厂的重大危险源，一旦失事，不仅危及贮灰场下游生命、财产的安全，而且影响发电厂的正常运行，从而造成重大损失。近几年发生的尾矿库溃坝事故已为我们敲响了警钟，对灰坝安全性也应予以高度的重视。为了保证灰坝的安全运行，需要在设计、施工、运行等方面强化安全意识和安全责任。与水利工程的挡水坝相比，无论是设计技术，还是施工质量控制和运行管理，灰坝都有待提高。

在灰坝设计过程中，不但要做到安全适用、技术先进、经济合理，而且要满足国家的产业政策。灰坝设计是一个复杂的过程，从规划选址到拟定坝型，再到施工详图设计，涉及水文、地质、水工结构、环境保护等多个学科。灰坝的设计理论经历了不透水坝、透水坝、设排渗体的不透水坝三个时期，经过几代工程技术人员的不懈努力，灰坝的设计理论已日趋完善，值得进行总结。灰坝的坝型有土坝、土石混合坝、堆石坝、浆砌石坝等，其中以土坝、土石混合坝居多。本书主要论述土坝和土石混合坝。

对水力贮灰场的灰坝，渗流稳定和抗滑稳定至关重要。从大量的灰坝、尾矿坝事故调查报告可以看出，灰坝、尾矿坝失事大多是由于渗流破坏或边坡失稳造成的。本书将以渗流稳定和抗滑稳定为主线，对如何提高灰坝的安全性进行论述，包括水力贮灰场的选择与规划、土和粉煤灰的物理性质与工程特性、灰坝渗流分析、灰坝稳定性分析、灰坝应力与变形分析、贮灰场的发展与展望等内容。

本书由河南省电力勘测设计院丁玉玺高级工程师、付俊芳高级工程师、王义波教授级高级工程师共同编著。在编写过程中，得到了单位领导和同事的大力支持和帮助，在此表示感谢！同时，也感谢本书所引用文献和研究成果的作者，在此深表谢意。

由于作者水平所限，书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2012 年 10 月

目 录

前言

第一章 水力贮灰场的选择与规划	1
第一节 贮灰场类型	1
第二节 贮灰场的选择及设计标准	3
第三节 贮灰场的规划	6
第四节 灰坝选型	9
第五节 排洪构筑物选型	16
第六节 贮灰场设计常用术语	18
第二章 土的物理性质与工程特性	20
第一节 土的组成、基本物理性质及分类	20
第二节 土的渗透性	28
第三节 土的压缩性	33
第四节 土的抗剪强度	42
第三章 粉煤灰的物理性质与工程特性	55
第一节 粉煤灰的生成	55
第二节 粉煤灰的矿物组成	55
第三节 粉煤灰的物理性质	56
第四节 粉煤灰的渗透性	57
第五节 粉煤灰的压缩性和击实性	57
第六节 粉煤灰的抗剪强度	62
第四章 灰坝渗流分析	66
第一节 渗流场基本理论	66
第二节 灰坝渗流分析方法	69
第三节 灰坝渗流分析现状	80
第四节 灰坝渗透变形	82
第五节 灰坝渗透变形防治	86
第六节 工程实例——平顶山电厂竹园贮灰场渗流分析	94
第五章 灰坝稳定性分析	114
第一节 灰坝稳定性概述	114
第二节 荷载及荷载组合	115
第三节 土的抗剪强度指标选择	119

第四节	灰坝静力稳定分析方法·····	121
第五节	灰坝抗震稳定性分析·····	128
第六节	提高灰坝稳定性的工程措施·····	133
第七节	工程实例——程寨沟灰场灰坝设计·····	137
第六章	灰坝应力与变形分析·····	148
第一节	土石坝材料的应力—应变特性·····	148
第二节	土的弹性模型·····	152
第三节	灰坝应力与变形分析方法·····	158
第七章	贮灰场的发展与展望·····	167
参考文献 ·····		169

水力贮灰场的选择与规划

贮灰场是燃煤发电厂的主要生产设施之一，用来存放燃煤发电厂排出的粉煤灰和炉渣。按除灰方式不同，贮灰场可分为水力贮灰场和干式贮灰场。在我国，水力贮灰场的应用比较广泛，起步也比较早，在设计、施工、运行过程中积累了大量的经验。因此，本章将对水力贮灰场的选择与规划进行论述。

水力贮灰场（以下简称贮灰场）是通过在山谷、冲沟内筑坝，或在平地、滩涂上圈地筑坝等方式形成的具有一定容积、可用来存放粉煤灰和炉渣的场地。贮灰场通常包括灰坝、排洪系统、排灰水系统、除灰管道、灰水回水系统、管理站等建（构）筑物。

第一节 贮灰场类型

按地形地势不同，贮灰场可分为山谷型贮灰场、傍山型贮灰场、平地型贮灰场、滩涂型贮灰场等。

一、山谷型贮灰场

在山谷或冲沟内修建的贮灰场，称为山谷型贮灰场，如图 1-1 所示。一般情况下，山谷型贮灰场具有以下特点：

- （1）初期坝坝轴线较短，初期工程量较小。
- （2）灰坝高度较大，坝体施工难度亦较大。当灰坝高度很大时，设计难度较大，运行、维护也比较困难。
- （3）贮灰场的汇水面积较大，一般为几到十几平方公里。
- （4）当贮灰场的汇水面积较小时，排洪系统的设计比较简单。

山谷型贮灰场比较多，在国内占有相当大的比例。

二、傍山型贮灰场

在山坡上，通过三面筑坝的方式修建的贮灰场，称为傍山型贮灰场，如图 1-2 所示。一般情况下，傍山型贮灰场具有以下特点：

- （1）初期坝坝轴线相对较长，初期工程量相对较大。
- （2）灰坝高度不大，坝体施工难度较小。
- （3）贮灰场的汇水面积较小，排洪问题比较容易解决。
- （4）由于贮灰场面积一般不大，因此灰水的澄清条件较差，澄清距离也难以保证。

傍山型贮灰场相对较少，在国内占有的比例不大。

三、平地型贮灰场

在平地上，通过四面筑坝的方式修建的贮灰场，称为平地型贮灰场，如图 1-3 所示。一般情况下，平地型贮灰场具有以下特点：

- （1）初期坝坝轴线相对较长，初期工程量相对较大。

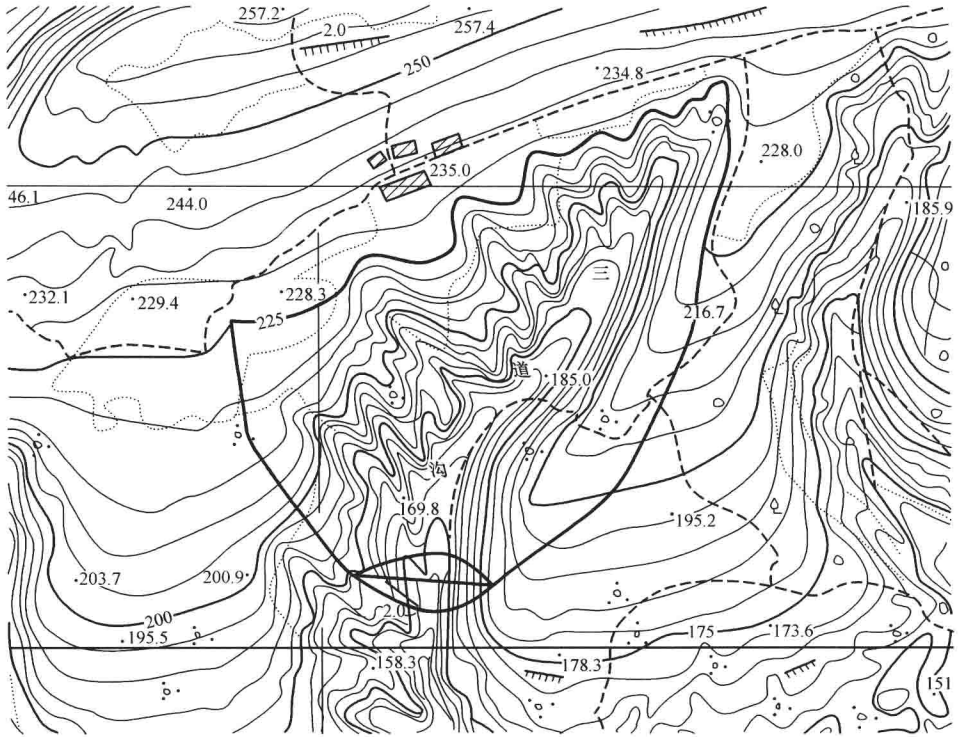


图 1-1 山谷型贮灰场

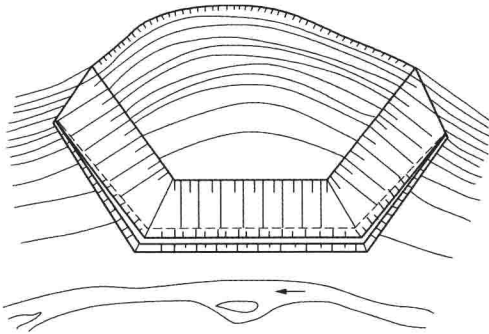


图 1-2 傍山型贮灰场

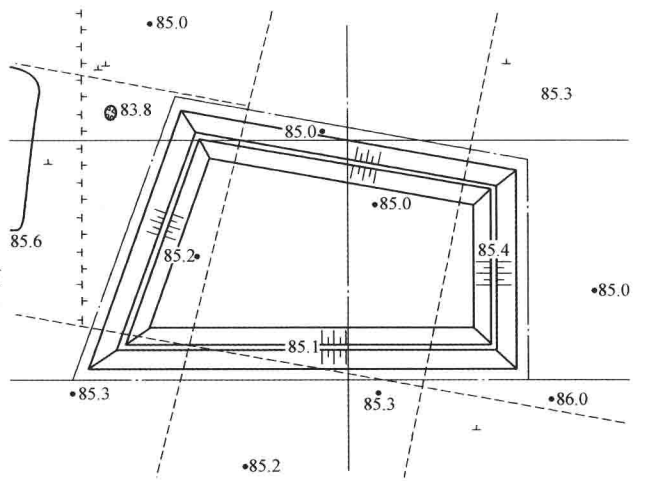


图 1-3 平地型贮灰场

(2) 由于灰坝高度受地方规划、环境保护等因素的制约，因此灰坝高度不大，坝体施工难度较小。

(3) 由于没有外部汇流，因此贮灰场的汇水面积较小，排洪问题比较容易解决。

(4) 由于贮灰场的面积较小，因此灰水的澄清条件较差，澄清距离也难以保证。

(5) 由于坝轴线较长，而放灰口数量又相对较少，因此易造成部分区域坝前积水严重，

这对坝体的安全不利。

平地型贮灰场相对较多，尤其在平原地区，在国内占有相当大的比例。

四、滩涂型贮灰场

在海、河、湖边的滩涂上，通过四面筑坝的方式修建的贮灰场，称为滩涂型贮灰场，其特点与平地型贮灰场比较类似。滩涂型贮灰场相对较多，尤其在沿海地区，在国内占有相当大的比例。

第二节 贮灰场的选择及设计标准

贮灰场的选择应遵循因地制宜、节约用地、保护环境、安全适用、经济合理的原则。根据《大中型火力发电厂设计规范》(GB 50660—2011)第4.2.9条，厂外灰渣(含脱硫副产品)处理设施的规划应符合下列规定：

(1) 贮灰场宜靠近火力发电厂，应按节约集约用地和保护自然生态环境的原则，充分利用附近的塌陷区、废矿坑、山谷、洼地、荒地及滩涂地等。

(2) 贮灰场对周围环境的影响应符合现行国家有关环境保护的规定，并应满足当地环保要求。

(3) 厂外除灰渣管线宜沿道路及河网边缘敷设，宜选择高差小、跨越及转弯少的地段，并应减少对农业耕作的影响。

(4) 远离厂区的贮灰场管理站及其附属设施宜设置必要的通信、交通、生活和卫生设施。

(5) 当采用汽车或船舶等输送灰渣时，应充分研究公路或河道及码头的通行能力和可能对环境产生的污染影响，并应采取相应的措施。

在可行性研究阶段，应通过多方案比选，选择贮灰场。贮灰场的有效库容应能贮存按火力发电厂规划容量、设计煤种计算的20年左右的灰渣量(含脱硫副产品)。如一个贮灰场的有效库容不能满足要求，可配备多个贮灰场。在初步设计阶段，应对可行性研究阶段确定的贮灰场进行详细规划，明确贮灰场的使用顺序和建设方式。为了减少贮灰场前期购地和初期投资，贮灰场应分期、分块建设。当灰坝较高时，可考虑采用分期筑坝建设方式。贮灰场初期征地面积宜按其有效库容能够贮存火力发电厂本期设计容量、设计煤种计算的5~10年灰渣量(含脱硫副产品)进行确定。初期贮灰场建设规模宜按其有效库容能够贮存火力发电厂本期设计容量、设计煤种计算的1~3年灰渣量(含脱硫副产品)进行确定。

贮灰场的选择在很大程度上决定了灰场设施基建费用和运行费用的多少以及管理工作的繁简，因此，在选择贮灰场时应综合考虑以下因素：

(1) 必须本着节约用地和保护自然生态环境的原则，不占、少占或缓占耕地、果园和树林，尽量避免居民搬迁。贮灰场征地应按国家有关规定和当地具体情况进行办理。

(2) 宜选用山谷、洼地、荒地、河(海)滩地、塌陷区和废矿井等。

(3) 宜设在大型工矿企业和城镇的下游，并宜设在工业区和居民集中区常年主导风向的下方。

(4) 宜选择容积大、滞洪量少、坝体工程量小、便于布置排水建(构)筑物的地形。

(5) 贮灰场内或附近应贮有足够的筑坝材料，并宜有提供贮满后覆盖灰面的土源。

(6) 贮灰场的主要建(构)筑物地段宜具有良好的地质条件,库区宜具有良好的水文地质条件。

(7) 贮灰场对周围环境的影响必须符合现行国家环境保护法规的有关规定,具有防止对大气环境、地表水、地下水造成污染的措施,并应满足当地环保要求。

(8) 宜具有分期、分块贮灰及灰渣筑坝的条件。

(9) 距离电厂较近。

(10) 当配备多个贮灰场时,最好这些贮灰场连成片,以便于检修道路和除灰管道的共用。

(11) 汇流面积较小(汇流面积较大时,坝址附近或库岸处的地形应适宜开挖溢洪道)。

《大中型火力发电厂设计规范》规定:火力发电厂采用干式贮灰场或湿式贮灰场(即水力贮灰场),应根据节约用水和环境保护的要求、厂内除灰系统选型、当地气象条件、灰场条件和灰渣综合利用等因素,进行综合技术经济比较确定。

贮灰场设计应符合下列规定:

(1) 厂外灰渣处理设施的规划要求应符合《大中型火力发电厂设计规范》第4.2.9条的规定。

(2) 规划阶段贮灰场的总容积应满足贮存按火力发电厂规划容量、设计煤种计算的20年左右的灰渣量(含脱硫副产品)的要求;贮灰场应分期、分块建设,贮灰场初期征地面积宜按贮存火力发电厂本期设计容量、设计煤种计算的10年灰渣量(含脱硫副产品)确定;当灰渣综合利用条件较好时,宜按贮存火力发电厂本期设计容量、设计煤种计算的5年灰渣量(含脱硫副产品)确定;初期贮灰场宜按贮存火力发电厂本期设计容量、设计煤种计算的3年灰渣量(含脱硫副产品)建设。当灰渣(含脱硫副产品)确能全部利用时,可按贮存1年的灰渣量(含脱硫副产品)确定征地面积并建设事故备用贮灰场。

(3) 建设贮灰场的适宜场地条件宜为容积大、洪水总量少、坝体工程量小、便于布置排水建(构)筑物,场内或附近有足够筑坝材料。

(4) 贮灰场的主要建(构)筑物地段宜具有良好的地质条件,灰场区域宜具有良好的水文地质条件,应避免对附近村庄的居民生活和下游带来危害。

(5) 灰场灰坝(堤)的坝型应根据坝址处地形、地质条件确定。坝体结构宜采用当地建筑材料,并应通过技术经济比较,选择安全、经济、合理的坝型。

(6) 应采取贮灰场环境本底观测措施。

(7) 山谷贮灰场坝体应根据坝高、坝型、地形、地质等条件及工程运行要求,设置必要的观测项目与观测设施,平原和滩涂型贮灰场围堤可根据具体情况及需要设置观测设施。

(8) 对贮满灰渣停用的贮灰场,应采取保证灰场封场后安全稳定的封场措施。

湿式贮灰场设计应符合下列规定:

(1) 湿式贮灰场的设计标准应根据灰场类型、容积、灰坝高度和灰坝失事后对附近和下游的危害程度等综合因素确定。

(2) 山谷湿式贮灰场灰坝的设计标准应按表1-1的规定执行。

(3) 滩涂湿式贮灰场围堤设计标准应与当地堤防工程相协调。围堤设计应按《堤防工程设计规范》(GB 50286)的有关规定执行,并应符合表1-2的规定。

(4) 平原湿式贮灰场围堤的设计标准宜按表1-2的规定执行。

(5) 山谷湿式贮灰场灰坝的坝轴线应根据坝址区域的地形、地质条件,以及后期子坝加

高、排水系统、施工条件和环境影响等因素，通过技术经济比较确定。

(6) 滩涂及平原湿式贮灰场灰堤的堤轴线应根据贮灰年限、地形、地质、潮（洪）水位及风浪、占地范围、后期子坝加高、施工条件和环境影响等因素，进行圈围面积与堤高等技术经济比较确定。

(7) 湿式贮灰场的排水和泄洪建筑物可采用分开或合并设置的方案。对于排洪流量特别大的山谷灰场，排洪设施可根据模型试验确定。

表 1-1 山谷湿式贮灰场灰坝设计标准

灰场 级别	分级指标		洪水重现期 (a)		坝顶安全加高 (m)		抗滑稳定安全系数		
	总容积 V ($\times 10^8\text{m}^3$)	最终坝高 H (m)					外 坡		内 坡
			设计	校核	设计	校核	正常运行 条件	非常运行 条件	正常运行 条件
一	$V>1$	$H>70$	100	500	1.0	0.7	1.25	1.05	1.15
二	$0.1<V\leq 1$	$50<H\leq 70$	50	200	0.7	0.5	1.20	1.05	1.15
三	$0.01<V\leq 0.1$	$30<H\leq 50$	30	100	0.5	0.3	1.15	1.00	1.15

注 1. 用灰渣筑坝时，灰场的坝顶安全加高及抗滑稳定安全系数应按《火力发电厂灰渣筑坝设计技术规定》(DL/T 5045—2006)的有关规定执行。

2. 当灰场下游有重要工矿企业和居民集中区时，应通过论证提高一级设计标准。

3. 当坝高与总容积不相应时，应以高者为准；当级差大于一个级别时，应按高者降低一个级别确定。

4. 坝顶应高于堆灰标高至少 1.0~1.5m。

表 1-2 滩涂湿式贮灰场围堤设计标准

灰场 级别	总容积 V ($\times 10^8 \text{m}^3$)	堤内汇水、堤 外潮位重现期 (a)		堤外风浪 重现期 (a)	堤顶(防浪墙顶) 安全加高(m)				抗滑稳定安全系数		
					堤外侧		堤内侧		外坡		内坡
		设计	校核	设计 校核	设计	校核	设计	校核	正常运行 条件	非常运 行条件	正常运 行条件
一	$V > 0.1$	50	200	50	0.4	0.0	0.7	0.5	1.20	1.05	1.15
二	$V \leq 0.1$	30	100	50	0.4	0.0	0.5	0.3	1.15	1.00	1.15

注 1. 坝顶(或防浪墙顶)应至少高于堆灰标高 1.0m。

2. 滩涂湿式贮灰场包括江、河、湖、海的滩涂湿式贮灰场。

贮灰场库容包括有效库容和调洪库容两部分。有效库容用于存放粉煤灰和炉渣；调洪库容用于调蓄进入贮灰场内的洪水，不能存放粉煤灰和炉渣。贮灰场的使用年限仅与有效库容有关。贮灰场设计使用年限是以设计煤种为基准，且没有考虑灰渣（含脱硫副产品）的综合利用量，从而造成贮灰场设计使用年限与实际使用年限之间存在较大的差异。当灰渣（含脱硫副产品）的综合利用量能够落实时，贮灰场的实际使用年限可按式（1-1）进行计算，即

$$V = V_{xy} + u = \frac{(G - W)t}{k\rho} + V_t \quad (1-1)$$

式中 V —— 贮灰场库容；

V_{xy} —— 贮灰场有效库容；

V_t —— 贮灰场调洪库容；

- G ——年设计煤种的灰渣量；
 W ——年综合利用的灰渣量；
 t ——贮灰年限；
 k ——贮灰场有效库容利用系数；
 ρ ——灰渣干密度，按实测资料选取，无资料时可取 1000kg/m^3 。

第三节 贮灰场的规划

一、贮灰场建设方式

为了降低初期投资，减少前期购地，贮灰场大多采用分期、分块建设方式。山谷型贮灰场应根据地形和地质条件、贮灰库容、排洪系统规划及布置、施工条件、环境影响等因素进行合理规划，确定灰场分期使用顺序、初期灰场建设规模、初期坝位置及初期灰场范围、初期灰场排洪系统建设是否兼顾后期灰场等。当灰坝较高，一次建成工程量较大时，可以采用分期筑坝建设方式。如果灰坝采用分期建设方式，灰场规划应考虑后期灰坝加高的因素。

滩涂及平原型贮灰场应根据地形和地质条件、贮灰库容、占地范围、潮水（洪水）位及风浪、排洪系统规划及布置、施工条件、环境影响等因素进行合理规划，确定灰场分期使用顺序、灰场围堤轴线、初期灰场建设规模及范围、初期灰场排洪系统建设是否兼顾后期灰场等。滩涂及平原型贮灰场围堤轴线在转折处应以曲线连接。对滩涂型贮灰场，曲线半径不宜小于 30m ；对平原型贮灰场，曲线半径不宜小于 15m 。

二、防洪设施的规划

为了控制进入贮灰场的洪水，需要在贮灰场内修建与设计标准相对应的排洪系统。排洪系统的规划一般遵循以下原则：

- (1) 初期灰场排洪系统的布置尽量兼顾后期灰场。
- (2) 充分利用地形条件和地质条件，合理规划排洪系统的线路，以降低地基处理工程量，节省工程造价。
- (3) 尽量缩短排洪系统的长度。
- (4) 按泄洪流量和跌差对泄洪流速进行分区，当流速较高时，应满足高速水流对结构的要求。
- (5) 交通方便，有利于施工和管理。
- (6) 出口布置应满足环保要求，便于对排水进行处理，一般应位于工业民用水源的下游。
- (7) 应考虑下游沟道的行洪能力，和下游沟道的衔接应简单、可靠。

洪水控制措施的合理规划和设计对灰坝抗洪安全性十分重要。灰坝有可能承受得住边坡失稳破坏、渗透破坏，甚至坝基局部液化破坏，但很难幸免于因洪水漫坝而引起的破坏。洪水漫坝后，坝体将遭受强烈的下切侵蚀，洪水有可能在很短的时间内冲溃坝体。洪水对灰坝的破坏主要有以下三种情况：

- (1) 入库洪水量超过防洪库容，因洪水漫坝而引起坝体破坏。
- (2) 洪水滞留于灰场内的时间太长，使坝体浸润线升高，导致坝体边坡失稳。
- (3) 因排洪系统的泄洪能力不足或丧失，导致洪水漫坝，从而引起坝体破坏。

贮灰场的水力计算和设计原理与水利工程中的水库基本相同。贮灰场的防洪设计标准略低于水利工程中的水库。与水库不同的是,水库是利用汛前限制水位以上的库容调蓄洪水,而贮灰场是利用贮灰面以上的库容调蓄洪水,大部分时段,贮灰场的调洪库容都大于设计标准,仅当贮灰面达到贮灰限制高程时,贮灰场的调洪库容才与设计标准相对应。因此,一般情况下,贮灰场的防洪安全性都比较高。

贮灰场排洪构筑物的规划和计算应考虑强降雨引起的极端事件。设计洪水标准的选择应考虑贮灰场规模、灰坝高度、灰坝失事后对附近和下游的危害程度等因素。

贮灰场设计洪水的计算通常采用概率统计法,即根据贮灰场所在流域的径流观测记录、降水记录、水文特性等资料,用概率统计原理,计算出指定重现期的洪水参数。对指定重现期的洪水,年出现概率等于其重现期的倒数。例如,对百年一遇的洪水,年出现概率为1%。在贮灰场使用年限内,出现设计或校核洪水的概率可用式(1-2)进行估算,即

$$P(f)_i = 1 - (1 - P_0)^i \quad (1-2)$$

式中 $P(f)_i$ ——第 i 年内等于或超越指定重现期洪水的概率;

P_0 ——任意年内指定重现期洪水出现的概率,为洪水重现期的倒数。

洪水破坏灰坝的概率随着洪水重现期的增加而降低;在洪水重现期相同的条件下,贮灰场使用年限越长,洪水破坏灰坝的概率就越大。例如,贮灰场使用年限为10年,超过或等于100年一遇洪水出现的概率为10%;贮灰场使用年限为20年,超过或等于100年一遇洪水出现的概率为18%。

三、调洪演算

调洪演算的目的是根据既定的排洪系统确定所需的调洪库容及泄洪流量。对一定的来水过程线,排洪构筑物规模越小,所需的调洪库容就越大,灰坝也就越高。在设计中,应通过调洪演算对排洪系统进行优化,合理确定灰坝坝高及排洪构筑物的尺寸,从而降低工程造价。贮灰场调洪演算常用的方法有数解法和图解法。

(一) 数解法

(1) 对洪水来水过程线,可将其简化为一条能与水平坐标轴组成一个三角形,且极大值位于中部的折线;对洪水排水过程线,可近似为一条直线,则调洪库容和泄洪流量之间的关系可用式(1-3)表达,即

$$q = Q_p(1 - V_t/W_p) \quad (1-3)$$

式中 q ——排洪构筑物的泄洪流量, m^3/s ;

Q_p ——设计洪水的洪峰流量, m^3/s ;

V_t ——贮灰场调洪库容, m^3 ;

W_p ——设计洪水总量, m^3 。

(2) 一般情况下,调洪演算可根据洪水来水过程线和排洪构筑物的泄水量与贮灰场的蓄水量之间的关系曲线,通过水量平衡原理计算出泄洪过程线,从而确定排洪构筑物的泄洪流量和贮灰场的调洪库容。任一时段(Δt)贮灰场的水量平衡方程可写为

$$\frac{Q_s + Q_z}{2\Delta t} - \frac{q_s + q_z}{2\Delta t} = V_z - V_s \quad (1-4)$$

式中 Q_s 、 Q_z ——贮灰场的始、终来洪流量， m^3/s ；

q_s 、 q_z ——贮灰场的始、终泄洪流量， m^3/s ；

V_s 、 V_z ——贮灰场的始、终蓄洪量， m^3 。

假定 $\bar{Q} = (Q_s + Q_z)/2$ ，则可将式 (1-4) 改写为式 (1-5)，即

$$V_z + q_z \Delta t / 2 = \bar{Q} \Delta t + (V_s - q_s \Delta t / 2) \quad (1-5)$$

根据泄洪流量 (q)、库水位 (H)、调洪库容 (V_t) 之间的关系，通过列表的方式，对式 (1-5) 进行求解，并绘出 $q-(V+q\Delta t/2)$ 和 $q-(V-q\Delta t/2)$ 辅助曲线。

(二) 图解法

(1) 对洪水来水过程线，可将其简化为一条能与水平坐标轴组成一个三角形，且极大值位于中部的折线；对洪水排水过程线，可近似为一条直线。先将三角形洪水来水过程线绘于第一象限，贮灰场的调洪库容与泄洪流量的关系曲线绘于第二象限，如图 1-4 所示，然后按以下步骤进行调洪演算：

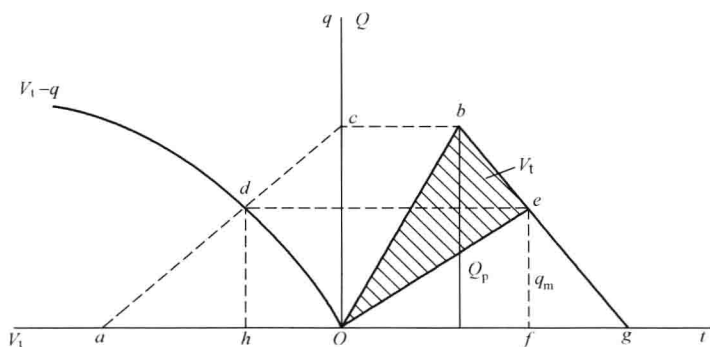


图 1-4 调洪演算图解法示意图 (一)

1) 从原点 O 向左作线段 Oa ， Oa 等于洪水总量。

2) 从三角形顶点 b 向左作水平线，与纵轴相交于 c 点，连接 ac 与 V_t-q 关系曲线相交于 d 点。

3) 从 d 点向右作水平线与排水过程线相交于 e 点，则 e 点的纵坐标即为所求的最大泄洪流量 (q_m)。

4) 从 d 点向下作垂线，与 x 轴相交于 h 点，则 Oh 即为所需的调洪库容。

(2) 一般情况下，可先根据泄洪流量与调洪库容之间的关系曲线 (V_t-q)，求出 $q-\phi$ 关系曲线， $\phi = V_t/\Delta t + q/2$ ；再将洪水来水过程线绘于第一象限， $q-\phi$ 关系曲线绘于第二象限，如图 1-5 所示，然后按以下步骤进行调洪演算：

1) 从 O 点向左作线段 Ob ， Ob 等于 Oa 。 a 为计算时段中点，再从 b 点向上作垂线与 $q-\phi$ 关系曲线相交于 c 点。从 c 点向右作水平线与过第一时段终点 t_1 的垂线相交于 d 点，则 d 点的纵坐标即为第一时段终点的泄洪流量 (q_1)。

2) 从 c 点向左作水平线，取 cf 等于 de ，从 f 点向上作垂线与 $q-\phi$ 关系曲线相交于 g 点，再从 g 点向右作水平线与过第二时段终点 t_2 的垂线相交于 h 点，则 h 点的纵坐标即为

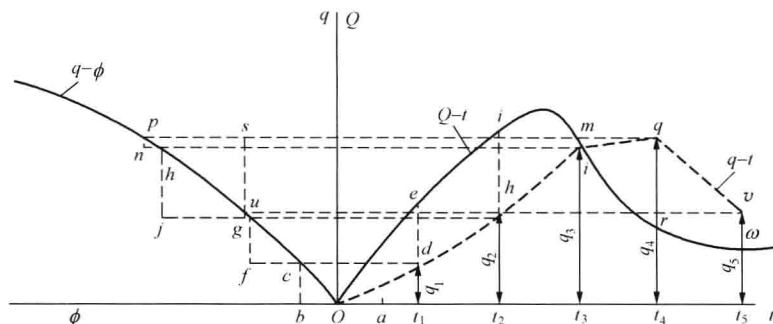


图 1-5 调洪演算图解法示意图 (二)

第二时段终点的泄洪流量 (q_2)。

3) 重复上述步骤, 即可求出各时段终点的泄洪流量 (q_i), 直至 q_i 等于零为止。当过 p 点向右作水平线与过相应时段终点 t_4 的垂线相交点 q 位于洪水过程线之上时, 需对 p 点进行修正, 向右取 ps 等于 qr , 并从 s 点向下作垂线与 $q-\phi$ 关系曲线交于 u 点, 再从 u 点向右作水平线与过 t_5 的垂线相交于 v 点。

4) 过 O 、 d 、 h 、 l 、 q 与 v 各点的曲线即为所求的泄洪过程线 ($q-t$), $q-t$ 曲线与 $Q-t$ 曲线交点的纵坐标即为所求的最大泄洪流量 (q_m)。

5) 根据最大泄洪流量 (q_m) 和库水位与泄洪流量之间的关系曲线, 可以求得最高洪水位和所需的调洪库容。

第四节 灰 坝 选 型

按填筑时间顺序, 可将灰坝坝体分为初期坝和后期子坝两部分。初期坝一般采用土坝、土石混合坝、堆石坝、浆砌石坝等, 其中以土坝、土石混合坝居多; 后期子坝可采用粉煤灰、碎石土、砂土、粉土、黏性土等材料进行填筑。随着灰渣筑坝技术日益成熟, 用粉煤灰填筑后期子坝的工程实例越来越多。

对灰渣筑坝的设计, 《火力发电厂灰渣筑坝设计技术规定》(DL/T 5045—2006) 作出了详细的规定。

一、初期坝坝型分类

按坝体渗透性的差异, 可将初期坝坝型分为不透水坝、透水坝、设排渗体的不透水坝等。

(一) 不透水坝

不透水坝是参照水利工程中的挡水坝修建而成的。坝体采用黏性土进行填筑, 坝后设堆石排水棱体, 坝体透水性很差, 浸润线较高, 坝前沉积的灰渣一般处于饱和松软状态, 填筑后期子坝时难度较大。该种类型的灰坝大多修建于 20 世纪 70 年代, 可视我国第一代初期坝坝型。

1973 年设计的浑江电厂太平沟灰场, 采用分期筑坝建设方式。初期坝为下游设堆石排水棱体的亚黏土不透水坝, 坝体高度为 19.9m。渗流试验结果表明, 坝体浸润线位置很高, 初期坝几乎处于饱和状态。该灰场于 1979 年投入运行, 投运后不久, 坝体就发生了渗透破

坏。为了解决坝体渗流问题，在灰坝下游边坡上增设了贴坡排水体；填筑后期子坝时，在子坝前增设了排渗盲管。太平沟灰场灰坝横断面见图 1-6。

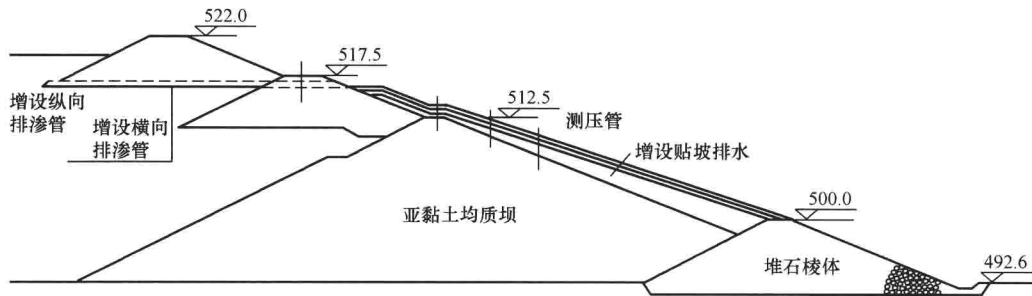


图 1-6 太平沟灰场灰坝横断面示意图

1980 年投入运行的谏壁电厂松林山灰场，采用分期筑坝建设方式。初期坝为下游设堆石排水棱体的黏性土不透水坝，坝体高度为 14.0m。后期子坝分三级，三级子坝总高度为 11.0m。由于坝体浸润线较高，坝前沉积的灰渣极其松软，因此无法直接在坝前灰面上填筑子坝。为了填筑后期子坝，对贮灰场进行增容，在一、二级子坝间增设了减压排水沟和排水井，以降低坝体浸润线；用振冲碎石桩对三级子坝坝基下的灰渣进行了加固，以提高灰渣的抗剪强度，增强坝体的抗滑稳定性。松林山灰场灰坝横断面见图 1-7。

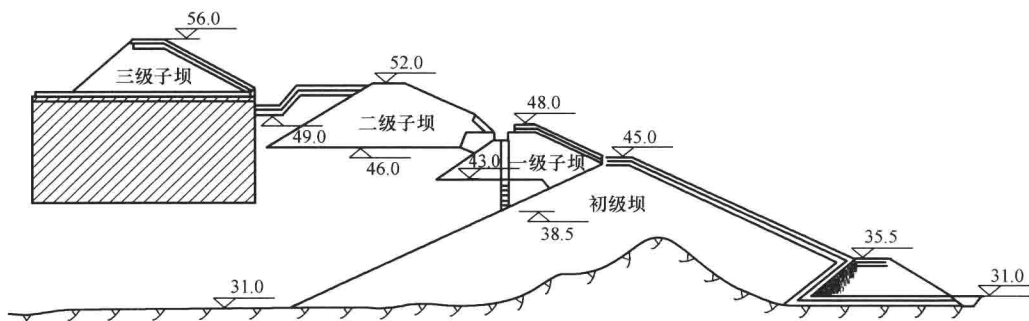


图 1-7 松林山灰场灰坝横断面示意图

由以上工程实例可见，不透水初期坝坝前沉积的灰渣一般处于饱和松软状态，无法直接在坝前灰面上填筑子坝。为了填筑后期子坝，对贮灰场进行增容，需要采取一定的工程措施。由于不透水初期坝的缺点对灰坝后期加高制约很大，使不透水初期坝的应用受到了限制，目前在新建工程中很少采用。

(二) 透水坝

透水坝在我国应用很广，约 70% 以上的山谷型贮灰场的灰坝采用了该种坝型。由于初期坝的渗透性较好，坝体浸润线位置较低，使坝前沉积的灰渣得到了充分的排水固结，为后期子坝加高创造了有利条件。该种坝型于 20 世纪 70 年代后期开始使用，80 年代以后被广泛应用，可视为我国第二代初期坝坝型。如对透水坝类型进一步细化，可分为均质透水坝、分区透水坝等。

1. 均质透水坝

均质透水坝是采用透水性很强的材料修建而成的，如堆石坝、砂砾石坝、干砌石坝等。

1986年投入运行的焦作电厂王掌河灰场,采用分期筑坝建设方式。初期坝为透水堆石坝,坝基为奥陶系石灰岩,坝体上游面反滤层材料为无砂混凝土。初期坝坝顶高程为340.0m,最大坝高为82.0m,坝轴线长度为422.6m,设计贮灰库容为765万 m^3 。灰场设计洪水频率为100年一遇,洪峰流量为89.8 m^3/s ,洪水总量为20.4万 m^3 ;校核洪水频率为500年一遇,洪峰流量为133.2 m^3/s ,洪水总量为32.4万 m^3 。该灰场排洪系统布置在灰场左岸,采用排水斜槽→排水隧洞→下游消力池模式,排洪系统兼有排灰水功能。进入灰场的洪水及灰水由排洪系统流入灰场附近的千梅掌沟。王掌河灰场灰坝横断面见图1-8。

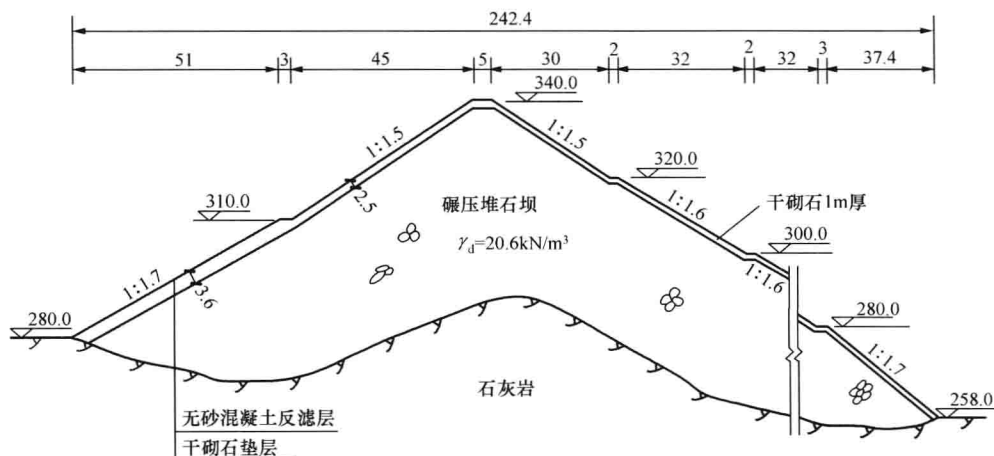


图 1-8 王掌河灰场灰坝横断面示意图

1993年投入运行的信阳电厂乌凤洞灰场,采用分期筑坝建设方式。初期坝为透水堆石坝,坝体上游面反滤层材料为无砂混凝土。坝基土主要由第四系坡残积碎石土(层厚0.4~7.4m)、第四系冲洪积碎石土(层厚0~6.0m)、变质石英细砂岩构成。初期坝坝顶高程为158.0m,贮灰限制高程为156.0m,最大坝高为36.0m,坝轴线长度为121.6m,设计贮灰库容为200万 m^3 。灰坝规划坝顶高程为200.0m,贮灰限制高程为198.0m,最大坝高为78.0m,设计贮灰库容为1720万 m^3 。灰场汇流面积为1.23 km^2 ,设计洪水频率为100年一遇,洪峰流量为44.6 m^3/s ,洪水总量为36.3万 m^3 ;校核洪水频率为500年一遇,洪峰流量为56.9 m^3/s ,洪水总量为47.2万 m^3 。该灰场排洪系统采用排水斜槽→排水管→下游消力池模式,排洪系统兼有排灰水功能。进入灰场的洪水及灰水由排洪系统流入灰坝下游。2001年,采用下游筑坝的方式对灰坝进行了加高,目前灰坝坝顶高程为173.0m。乌凤洞灰场灰坝横断面见图1-9。

2. 分区透水坝

根据灰坝渗流情况,将坝体分成若干个区,对渗流影响比较大的区域用渗透性较好的材料填筑,如砂石料,以利于灰坝排渗,从而降低灰坝浸润线;对渗流影响比较小的区域用渗透性较差的材料填筑,如黏性土、黄土,这种坝型就是分区透水坝。有些地区砂石料比较匮乏,修建透水性很强的均质透水坝造价太大。为了节约工程造价,便于就地取材,设计上常采用分区透水坝。

1998年投入运行的安阳电厂凤凰岗灰场,采用分期筑坝建设方式。初期坝为分区透水坝,由堆石棱体区、堆石排水褥垫区和土坝体区组成,上游堆石棱体反滤层材料为开级配砾