

火力发电厂的粉煤灰坝

黄真诚 季超倚 郭凤歧

(东北电力设计院, 长春)

一、前言

随着火力发电厂建设数量和规模日趋增大, 粉煤灰贮放已成为电厂的一个突出问题。山谷灰场具有容积大、占地少、飞灰污染小的优点, 但需要建造高坝才能获得足够的库容以满足贮灰年限和调节洪水的要求, 一次建成高坝显然是不合理的。分期筑坝是将坝体分期建设, 先建成初期坝, 贮满灰后在沉积的粉煤灰上再建子坝, 逐级加高至最终坝高。近年来, 我院开展了粉煤灰坝(简称灰坝)的设计研究工作。现结合工程实例介绍如下一些研究成果。

二、粉煤灰的特性

(一) 粉煤灰特性研究

为掌握粉煤灰的特性, 自1981年起先后对辽宁、浑江、富拉尔基三个电厂的贮灰场进行了现场勘察取样及试验室系统测试。

粉煤灰颗粒有较多孔穴和裂隙。粉煤灰粒径细, 组成均匀, 质轻疏松。三个厂灰的平均粒径 d_{50} 的平均值为0.08mm, 粘粒含量平均值为5.2%, 砂粒含量平均值为49.4%, 不均匀系数平均值为5.29。三个厂灰的比重平均值为2.17, 天然容重平均值为11.7kN/m³, 孔隙比平均值为1.67, 相对密度平均值为0.31。灰的力学指标较低, 辽宁电厂($d_{50}=0.132\text{mm}$) $\phi=19-22^\circ$, $c=6-12\text{kPa}$; 浑江电厂($d_{50}=0.089\text{mm}$) $\phi=19-21^\circ$, $c=4-6\text{kPa}$, 富拉尔基电厂($d_{50}=0.0817\text{mm}$) $\phi=17-20^\circ$, $c=0-5\text{kPa}$, 上述内摩擦角 ϕ 与凝聚为 c 均指水上的粉煤灰, 水下尚应折减。

粉煤灰有一定的透水性, 渗透系数为 $1.7 \times 10^{-3}-7.98 \times 10^{-4}\text{cm/s}$, 近于粉细砂的渗透系数。对颗粒粗、非饱和、密实度好的灰, 其物理力学性质显著改善。

(二) 粉煤灰的分布规律

灰在灰场内的水平分布具有颗粒由粗到细的沉积规律, 且颗粒越细组成越均匀。粉煤灰的分布规律如表1。

表 1

灰场名称	距排灰口距离 (m)	平均粒径 d_{50} (mm)	不均匀系数 C_u
浑江太平沟灰场	100	0.14	7.4
	200	0.097	5.7
	300	0.034	5.93
富拉尔基灰场	200	0.096	4.83
	650	0.025	3.53

三、灰坝的浸润线

非饱和灰的抗剪强度远高于饱和灰的抗剪强度，因而降低浸润线减少饱和区是灰坝的首要工程措施。从电拟试验给出的浸润线可见，影响浸润线的首要因素是初期坝的坝型及排水体的设置。

1. 初期坝为透水坝

坝体透水性良好，能有效地降低浸润线，坝前固结良好。以锦州电厂为例，当后期加高高度不大时，紧靠初期坝顶直接筑子坝，浸润线仍能满足加高要求；当后期需加高较高时，可在前期沉积灰面上加设水平排水带以控制浸润线。以清河电厂为例，在初期坝坝下设有贯通上下游的排水体时，即使后期加高较高，排水效果仍佳，浸润线位置低，见图1。由此可见，初期坝为透水坝，控制浸润线的工程措施简单，但渗水会使下游地下水升高，若对下游环境造成不良影响时，需要采取截流疏导的措施。

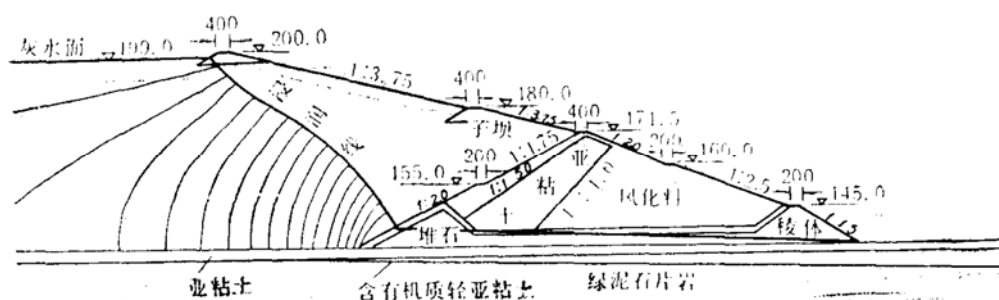


图1 清河电厂贮灰场灰坝二期加高渗流等势线图

2. 初期坝为不透水坝

坝体不透水，浸润线高，坝前粉煤灰的固结条件差。以浑江太平沟灰场为例，沉积的灰处于饱和状态，直接进行子坝加高时，浸润线由下游坡坡面溢出，见图2。当在沉积灰面上设了水平及垂直排渗设施后，浸润线明显下降，见图3，后期加高得以成功。由此可见，初期坝为不透水坝时，控制浸润线的工程措施相对比较复杂，但可避免渗透水对下游产生不良的环境影响。

3. 初期坝为坝前带排水体的不透水坝

坝体设防渗措施, 坝前设有排渗管, 将渗入灰水全部引入回收系统, 浸润线位置低且不影响下游。以吉林热电厂来发电灰场为例, 满足了保护下游水源地的要求, 且后期浸润线低, 见图 4。

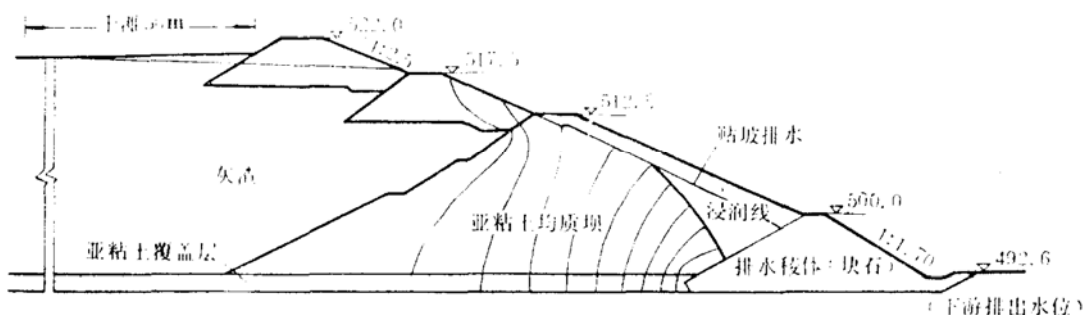


图2 浑江太平沟灰场坝体加高渗流等势图

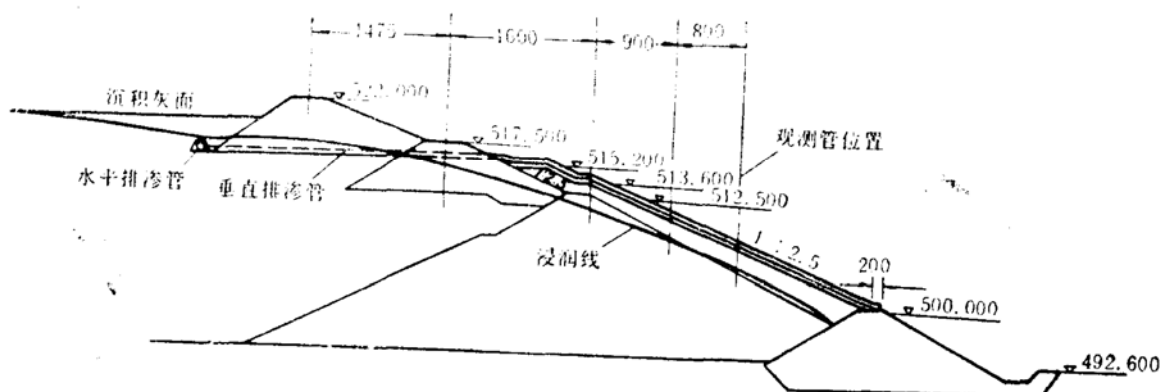


图3 太平沟灰场加设排渗管后坝体实测浸润线

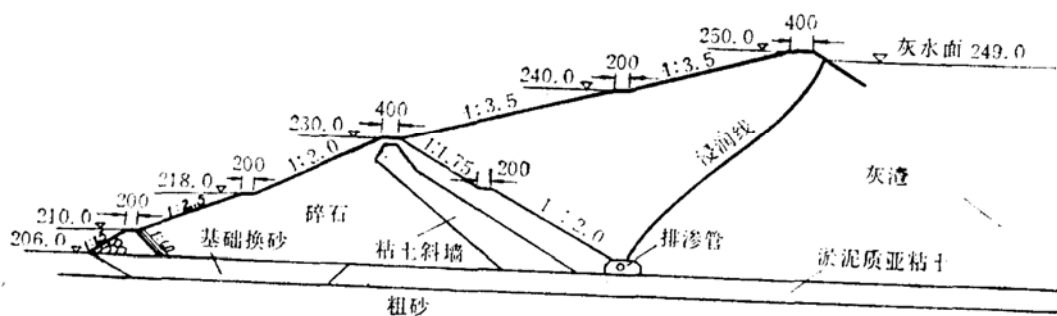


图4 吉林热电厂来发电灰场坝体加高渗流图

四、粉煤灰坝的几个工程实例

十多年来, 我院完成了近十座山谷灰场的灰坝工程设计, 有的已加高子坝运行, 有的已贮满, 取得了成功的经验。这些工程是试验成果和工程实践的结合, 促进了灰坝技术的发展。

(一) 不透水初期坝的典型工程实例——浑江太平沟灰场灰坝

1. 初期工程概况

坝基为亚粘土覆盖层, 坝体为下游设排水棱体的亚粘土均质坝, 最大坝高19.9m, 坝体用土石料共15.77万 m^3 , 库容80万 m^3 , 坝体单位土石方量承担贮灰量5.07 m^3 , 设计要求土料压实后干容重应大于16.0 kN/m^3 , 施工时因土料不均碾压不实, 曾进行补强。排灰方式为坝前集中放灰。排水系统为竖井式排水。

2. 加高工程概况

1981年当贮灰达到设计标高时, 考虑分两级进行加高, 每级子坝高5m, 贮灰库容增加了156万 m^3 , 子坝材料仍为就地取粘土, 共用土方6.95万 m^3 , 单位土方量承担贮灰量22.45 m^3 , 为初期坝的4.4倍。

加高设计原没有考虑设排渗管, 但电拟试验显示浸润线位置很高, 因而在一期子坝沉积台面上设了一根平行坝轴线的排渗管, 排渗管用钢筋骨架制成, 每隔100m设置集水井一个, 从集水井垂直轴线方向设排水管三根, 将渗水引出坝坡, 见图5。在坝体内设置了浸润线观测孔和沉降位移标桩。经实测, 浸润线位置明显下降, 三根垂直排水管一直有清水排出。1983年3月测得1号管的流量15 m^3/h , 2号管16 m^3/h , 3号管15 m^3/h 。从浸润线和渗出流量看, 排渗管的排水效果良好。

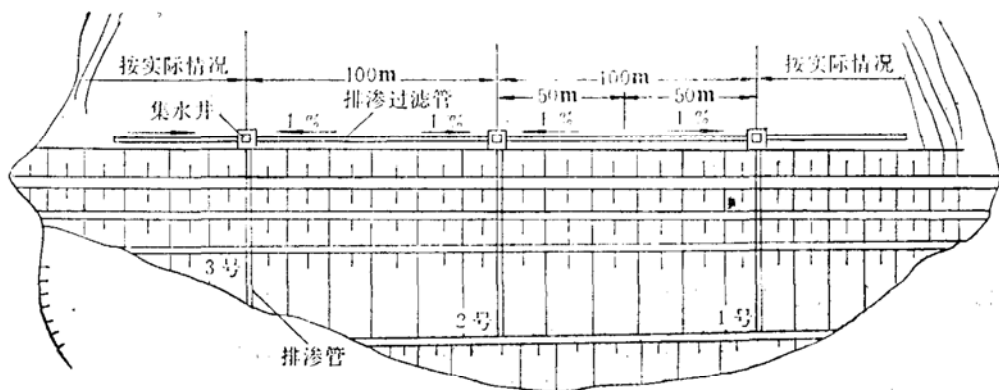


图5 排渗管平面布置图

3. 稳定计算

地基及坝体各层土采用的物理力学指标见表1。

浑江地区地震烈度为6度, 故不考虑地震影响。用瑞典圆弧法和简化毕晓普法电算程序进行计算, 计算结果为: 瑞典圆弧法的安全系数为1.21, 简化毕晓普法的安全系数为1.24。

4. 工程现状

灰场已于1983年12月全部贮满, 灰面已覆土, 全厂排灰已转向二期通天沟灰场排放。由于库内实际贮灰标高已超过设计标高, 为满足200年一遇洪水的蓄洪要求, 在贮灰场内又增设了防洪拦水坝一道, 最大坝高2.5m, 为亚粘土均质坝, 坝前设40m宽亚粘土铺盖, 排洪利用原排水系统排出。

表 1

灰坝部位	土 层	基 本 物 理 力 学 指 标					
		$\gamma(\text{kN/m}^3)$		$c(\text{kPa})$		$\phi(^{\circ})$	
		水下(浮)	水上(湿)	水 下	水 上	水 下	水 上
坝 基	凝灰质粗砂岩层	11.3		0		40	
	亚粘土层	8.5		27		16	
坝 体	亚粘土层	10.5	18.0	85.3	94.8	15	18
	堆石层	11.3	18.1	0	0	30	33
	排水反滤层		18.1		0		35
沉积部分	粉煤灰	4.4	9.2	5.4	6.5	18.7	22

(二) 透水初期坝的典型工程实例——锦州电厂贮灰场灰坝

1. 初期工程概况

坝基为深 6 m 左右的亚粘土含少量砾石的覆盖层, 以下为基岩。坝体为圆砾石与山皮土混合坝, 坝高 32 m, 下游设有堆石排水棱体, 初期坝用土石料 57.64 万 m^3 , 库容 770 万 m^3 , 单位土石方量承担贮灰量 13.36 m^3 。排灰方式为坝前分散放灰。排水系统为竖井式排水。坝内设有浸润线观测孔和沉降位移标桩。

2. 加高工程概况

1982 年初期坝开始贮灰, 设计采用山皮土进行 5 级子坝加高, 每级子坝高 3 m, 需用山皮土 11.3 万 m^3 。贮灰库容增加 1630 万 m^3 , 单位土方量承担贮灰量 144.25 m^3 , 为初期坝的 10.8 倍。

3. 工程运行情况

灰场运行良好, 但由于坝体透水又建在透水地基上, 灰水除从消力池排向下游山沟外, 有一部份灰水从坝下渗出, 使原来冬季无水的小河沟成为有充份补给源的小河, 使地下水位升高, 影响下游约 300 亩农田的耕种。设计考虑在坝下增设截水墙, 将渗水用管道引到下游无影响的夹板河, 以降低下游地下水位。

(三) 坝前带排水体的不透水初期坝的典型工程实例——吉林热电厂来发电贮灰场灰坝

1. 工程概况

坝基原为约 5—6 m 的淤泥质亚粘土, 以下为粗砂。因灰场下游有一水源地, 坝体为设有粘土斜墙防渗的石渣坝, 坝前设有排渗管接往灰水回收系统。初期坝高 24.0 m, 用土石料 50.6 万 m^3 , 库容 1040 万 m^3 , 单位土石方量承担贮灰量 20.42 m^3 。灰场内设有灰水回收系统和泄洪系统。灰水回收系统由排水明渠、排水竖井、隧洞及管道将灰水自流引入厂内。当排泄洪水时由竖井式排水系统排出。

坝前排渗管的位置是经电拟试验比较浸润线后确定的, 采用 $\phi 400\text{mm}$ 钢管, 每排开 $\phi 10\text{mm}$ 进水孔 17 个, 排距 50 mm, 管外包两层反滤用编织布。

由于坝基有淤泥软弱层, 地基处理采用换土方案。

2. 加高方案设想

初期坝设计时,在考虑排渗管布置、地基处理方案、稳定计算时均按加坝的可能最大高度进行验算和比较。初步设想后期加高20m,子坝边坡1:3.5。这样使初期坝能适应后期加坝的要求,也为后期坝设计创造了条件。

五、贮灰场与环境保护

贮灰场的建设是燃煤电厂的一项重要环保设施,但如果设计、施工或运行不当,又会产生对环境的污染。根据东北电网现正在运行的22个燃煤电厂和1983年全国111个电厂的统计,得知采用水力除灰方式,灰水对环境污染影响的表现主要有:飞灰、排水水质、地下水位升高、灰管或排水系统事故跑灰、溃坝事故及施工时不适当的爆破、取土等。

在总结既往贮灰场设计、施工、运行管理的经验基础上,结合我们的工程实践,我们认为应采取如下环境保护措施:

1. 蓄水运行防止飞灰

蓄水运行或保持灰面潮湿状态是防止飞灰的有效措施,设计时应考虑排水井的孔口堵塞、操作方便、调节灵活,采取坝前分散放灰,干滩不宜过长,对面积过大的灰场可分成小格运行。元宝山电厂灰场除分格运行外,在坝外又设置了深井泵房,必要时可晒水湿润,当一格贮满后用土覆盖。

2. 保证排水水质,必要时采取灰水回收

为减少排水中悬浮物含量,设计应创造条件使灰水得以澄清,放水点到排水竖井的距离应在300m以上,并保持排水井周围有一定的水域。为使灰水回收的连续,竖井的孔口应布置成螺旋形,同时在排水井周围设置浮筒式挡圈,以拦挡水面上漂浮的空心漂珠,并可兼作堵孔操作平台。灰水回收是治理灰水pH值超标的方法之一,锦州、清河、吉林、哈尔滨、鸡西等电厂都建有灰水回收系统,既便于排污处理又节约了用水。

3. 降低下游地下水位

贮灰场的溢流灰水及坝体渗水会引起下游地下水位升高,因此在进行场址、坝型选择时还应对排水沟道进行踏勘调查。如可能引起地下水位升高并影响农田时,应采取工程措施,将溢流灰水回收入厂,重复利用或引到周围无影响的沟道排放。当坝体必须建成透水坝时,坝下游可设截水明沟或截水墙将渗水回收。

4. 确保坝体安全

我们经多年设计和运行实践的经验教训,总结出几条确保坝体安全的原则,在设计中应特别注意:①控制坝体浸润线;②设计稳定边坡;③稳妥设计排水设施;④坝前分散放灰;⑤严格施工要求,加强运行管理。

正确设计和优质施工是灰场安全运行的前提,加强运行管理是灰场安全运行的保证。