

燃煤电厂平原灰场渗漏对地下水环境影响及其治理

吴晓华¹, 朱晓琳¹, 陈 东², 张文才¹

(1. 山东省鲁南地质工程勘察院, 山东 兖州 272100; 2. 辽宁工程勘察院, 辽宁 锦州 121001)

摘要 以济宁某燃煤电厂灰场为例, 查明了正在运行中的灰场周围地下水水位、水质现状, 通过时间和空间的数据对比, 分析了灰场渗漏对地下水环境的影响, 指出平原灰场渗漏距离与土层岩性密切相关, 黏性土层中灰水渗漏对地下水的影响距离在 1 km 左右, 对水位的影响距离略大于对水质的影响距离。根据场区地层结构和水文地质条件, 提出了具体的防渗方案, 对正在运行中的灰场可采取在灰水中设截渗槽垂直(坝轴)防渗等措施, 可基本解决灰场的渗漏影响。

关键词 燃煤电厂 灰场渗漏 地下水 环境影响 防渗

中图分类号 X523 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2008)05-0038-04

Influence of plain ash field leakage from coal-fired power plant on groundwater environment

WU Xiao-hua¹, ZHU Xiao-lin¹, CHEN Dong², ZHANG Wen-cai¹

(1. Lu 'nan Geologic Engineering Survey Institute, Yanzhou 272100, China; 2. Liaoning Engineering Survey Institute, Jinzhou 121001, China)

Abstract Using an ash field of a coal-fired power plant in Jining as an example, the underground water level and water quality near the operating ash field were investigated. On the basis of spatial and temporal variation of the data, the influence of the plain ash field leakage on the groundwater environment is discussed. The results show that the rock properties greatly influence the leakage distance. The leakage distance was around 1 km in the clay layer, and the distance related to water level was slightly larger than the one related to water quality. According to the ash field's stratum structure and the hydrogeological conditions, seepage prevention measures are presented, including building a seepage-intercepting trench in ash water.

Key words coal-fired power plants; ash water leakage; groundwater; environmental impacts; seepage prevention

我国的电力构成以煤电为主, 每燃烧 1 t 煤将产生 250 ~ 300 kg 的粉煤灰, 多数电厂采用湿法排灰输送到贮灰场。粉煤灰的综合利用率较低, 大量的粉煤灰贮存在灰场中, 对平原灰场来说, 不仅占用了大量耕地, 而且在冲灰水的浸溶下, 粉煤灰中的有害物质转移到水中随灰水渗漏, 对地下水环境产生了较大影响。本文以济宁地区某电厂平原灰场为例, 分析了灰场渗漏对地下水环境的影响, 并提出了相应的防渗措施。

1 灰场地质环境条件

1.1 地形地貌

灰场位于济宁市西部, 占地面积约为 87 hm², 地处泗河冲积扇前缘, 黄河冲积平原与山前冲洪积平原的叠交地带, 地面坡降在 0.05% ~ 0.1% 之间, 自然地面标高在 35.9 m 左右。灰场西部为黄泛平原, 由西向东微倾斜, 东部为山间谷地或盆地, 间有残丘分布。

1.2 地质及工程地质条件

1.2.1 地质条件

灰场区在大地构造单元上属华北地台鲁中台隆的济宁凹陷区,西靠嘉祥凸起,东连兖州凸起,区域构造以断裂为主,主要发育有嘉祥断裂、孙氏店断裂、峰山断裂、郛城断裂等,控制着本区网格状构造格局,灰场内无大的断裂通过,区域地质条件相对稳定。

区域地层属华北地层区鲁西地层分区济宁地层小区。第四系松散层广泛分布,下伏古生代奥陶系、石炭系—二叠系和中生代侏罗系地层。

1.2.2 工程地质条件

灰场土体主要为泗河冲积物,12.0 m 深度内为粉质黏土、黏土、粉土和中细砂等多层结构土体。

①层中杂填土主要分布在坝基上,为成坝推土堆积 ;②层中黏土可塑,层厚 0.55 ~ 1.80 m,具中、高压缩性,渗透性弱,为相对隔水层 ;③层中粉土密实,渗透性中等 ;④层中黏土为可塑—硬塑,层厚稳定,一般在 1.70 ~ 2.50 m,层底标高 31.10 ~ 33.42 m,渗透系数一般在 $3.12 \times 10^{-9} \sim 2.5 \times 10^{-7}$ cm/s,渗透性弱 ;⑤层中粉质黏土可塑,层厚 0.8 ~ 4.20 m,渗透性弱 ;⑥层中细砂未揭穿,最大揭露厚度 2.10 m。

土层的岩性不同,渗透系数相差较大,按渗透性由弱到强依次为黏土、粉质黏土、粉土、中细砂,其中黏土与粉土的渗透性差别可达 6 个数量级,与天然土层相比,灰渣层的渗透系数多在 10^{-4} 量级。室内实验和野外试验测定的各土层渗透特征见表 1。

表 1 灰场土层渗透特征

层位	岩性	层厚/ m	层底 标高/m	渗透系数/(cm·s ⁻¹)	
				室内试验	野外试验
①	杂填土 或粉煤灰	0.40 ~ 6.45	34.97 ~ 35.90		$8.3 \times 10^{-4} \sim$ 4.7×10^{-3}
②	黏土	0.55 ~ 1.80	34.10 ~ 35.02	$4.91 \times 10^{-9} \sim$ 1.28×10^{-7}	$6.13 \times 10^{-4} \sim$ 3.10×10^{-3}
③	粉土	0.60 ~ 1.25	33.20 ~ 34.12		
④	黏土	1.70 ~ 2.50	31.10 ~ 33.42	$3.12 \times 10^{-9} \sim$ 1.48×10^{-7}	$4.1 \times 10^{-8} \sim$ 2.5×10^{-7}
⑤	粉质黏土	0.80 ~ 4.20	27.35 ~ 31.50	$1.57 \times 10^{-6} \sim$ 6.88×10^{-6}	
⑥	中细砂	未揭穿	未揭穿		

1.3 水文地质条件

灰场处于泗河冲洪积扇的前缘,主要地下水类型为松散岩类孔隙水,限于灰场渗漏对地下水的影响范围,本文只介绍松散岩类浅层孔隙水。

场区附近浅层孔隙含水岩组底板埋深 50 ~ 60 m,含水砂层以中细砂为主,砂层松散,透水性较好,单井涌水量 600 ~ 1 000 m³/d。水位埋深 3 ~ 5 m,水位年变幅 1 ~ 2 m,矿化度一般在 1.2 ~ 1.8 g/L,水化学类型为 SO₄·HCO₃·Cl—Na·Mg 型。浅层孔隙水主要为潜水,微具承压性。

地下水的主要补给来源为大气降水入渗补给,其次为运河渗漏和上游地下水的侧向径流补给,浅层孔隙水自西往东向济宁市地下水降落漏斗中心形成径流,地下水的排泄以径流排泄为主,其次是人工开采和潜水蒸发。

2 灰场地下水质量评价与影响分析

2.1 灰渣中元素的浸出特征

如果灰场不采取防渗措施,灰渣中的有害成分会通过灰水的长期入渗,对灰场周围的地下水产生不利的影响。

根据灰渣浸出物检测结果,灰中元素的浸出能力高于渣的浸出能力,灰渣中浸出浓度较高的重金属元素是铬,浸出浓度较高的有毒元素主要是砷,另外,灰渣浸出液还具有高碱性、高氟含量及高硫酸盐离子浓度的特性(表 2)。灰水的检测结果与灰渣浸出物化学成分具有较高的相关性。灰水中主要污染物是 F⁻、悬浮物等,pH 值一般严重超标,呈碱性。

2.2 地下水水环境质量现状评价

目前,常用的灰渣贮放方法主要有湿法贮放和干法贮放两种。国内仍以湿法贮放为主,干法贮放近年来刚刚起步。

贮灰场渗漏是一个持续发展的过程,发展的程度和对地下水环境是否造成影响取决于贮灰场地层的防渗条件、灰渣的性质、灰水中有害成分的吸附能力以及贮灰场运行条件等因素,但灰水渗漏最终都会对周围地下水环境造成不同程度的影响^[1]。

2.2.1 生活饮用水水质评价

根据 GB 5749—85《生活饮用水水质标准》,灰场及附近浅层孔隙水的水质较差,多项指标超标,超标

表 2 灰、渣浸出物检测结果

项目	pH	酚酞浓度/ (mmol·L ⁻¹)	甲基橙浓度/ (mmol·L ⁻¹)	总硬度/ (mg·L ⁻¹)	$\rho(\text{Ca}^{2+})$ / (mg·L ⁻¹)	$\rho(\text{SO}_4^{2-})$ / (mg·L ⁻¹)	$\rho(\text{F}^-)$ / (mg·L ⁻¹)	$\rho(\text{As})$ / (mg·L ⁻¹)	$\rho(\text{Hg})$ / (mg·L ⁻¹)	$\rho(\text{Ni})$ / (mg·L ⁻¹)	$\rho(\text{Pb})$ / (mg·L ⁻¹)	$\rho(\text{Cr})$ / (mg·L ⁻¹)	$\rho(\text{Cu})$ / (mg·L ⁻¹)	$\rho(\text{Cd})$ / (mg·L ⁻¹)
干灰		10.87	4.33	5.21	6.17	5.88	379	2.17	0.017	<0.000 1	0.005	0.063	0.008	<0.000 1
炉渣	9.34	0.35	0.43	0.37	0.31	19	0.06	<0.007	<0.000 1	<0.005	<0.005	0.029	0.003	<0.000 1
生活饮用水 水质标准	6.5 ~ 8.5			< 450		< 250	< 1.0	< 0.05	< 0.001		< 0.01	< 0.05	< 1.0	< 0.005

最严重的是总硬度、氯化物和氟化物,超标倍数分别为 1.70、1.36 和 0.90 倍,其他离子或物质成分含量略有超标或符合标准。

2.2.2 地下水环境质量评价

地下水环境质量评价采用 GB/14848—93《地下水环境质量标准》中的综合指数法,地下水质量综合指数计算结果见表 3。依据地下水质量分级标准,灰场及附近浅层孔隙地下水环境质量较差,均为Ⅳ级,而中深层地下水水质良好(Ⅱ级)。

表 3 地下水质量综合指数 F 计算结果

点位	F	级别
汪营村浅层水	6.67	较差(Ⅳ)
汪营村中深层水	2.35	良好(Ⅱ)
灰场内浅层水	4.60	较差(Ⅳ)
灰场东浅层水	4.57	较差(Ⅳ)
灰场淋滤水	4.34	较差(Ⅳ)

2.3 灰场渗漏对地下水环境的影响分析

2.3.1 对浅层孔隙地下水的影响分析

2.3.1.1 水位影响分析

根据平行和垂直于地下水流向布置的地下水观测剖面,灰水渗漏对浅层孔隙地下水流向的最大影响距离约在 1.3 km 左右,垂直于地下水流向的影响距离小于平行于地下水流向的距离,下游方向影响距离大于上游方向影响距离;灰场渗漏对中深层地下水基本不产生影响(图 1)。

2.3.1.2 水质影响分析

电厂排灰废水中的污染因子有 pH 值、F、Cr、Pb、As、SO₄²⁻ 等。通过大量的包气带土层对污染物的吸附试验发现 黏性土层对 As 具有较大的吸附能力,各土层对 F⁻ 的吸附量很小,有的土层甚至有 F⁻ 下淋的情况^[2]。各项离子中 F⁻、Cr⁶⁺ 具有较强的迁移能力^[1],是对地下水水质造成影响的主要离子。

电厂排灰废水的水化学类型为 SO₄·Cl·HCO₃—Ca·Na 型,一般化学指标中可溶性总固体、SO₄²⁻、F⁻ 等多项指标超过国家生活饮用水水质标准,毒理学指标也有检出,其中以 Cr⁶⁺ 和 As 含量最高,但均未超标。

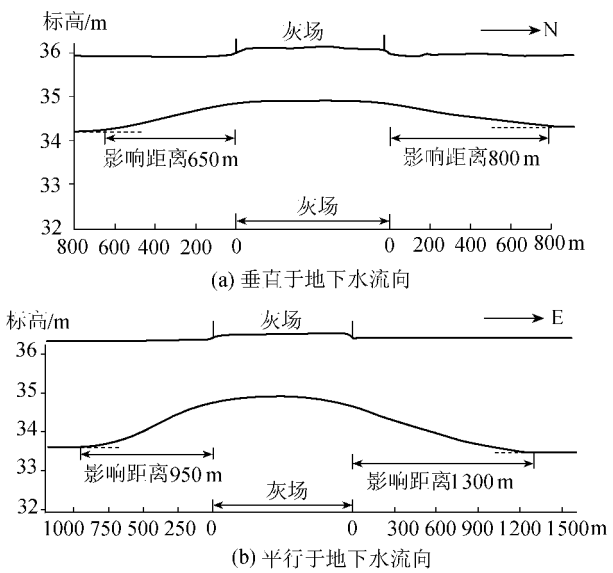


图 1 地下水水位影响范围剖面图

受电厂灰水的渗漏影响,与远离灰场区(水位影响距离 1.1km 以外)的水质相比,场区浅层地下水已受到污染,取 2006 年 7 月与 1995 年 12 月水质分析数据对比(表 4),10 年间浅层水水质已发生明显变化,灰场附近浅层地下水离子含量均有一程度升高,其中以 SO₄²⁻ 和 F⁻ 增幅最大,这也与灰渣浸出物的检测结果相吻合(表 2),说明灰场对浅层孔隙水已产生影响(图 2),最大影响距离约为 1.1 km,与前人研究成果基本相符:即贮灰场灰水渗漏对地下水水质污染的范围一般不会超过 1 km,多在数百米范围以内^[3]。水质影响距离的特点是垂直于地下水运动方向的影响距离小于平行于地下水运动方向的距离,而同为平行于地下水运动方向,下游方向影响距离大于上游方向影响距离。

2.3.2 对深层孔隙水的影响分析

浅层孔隙水对深层孔隙水存在越流补给,根据 1995 年和 2006 年水质分析数据对比(表 4、图 3),尽管灰水经过浅层孔隙含水岩组的过滤、吸附等作用,深层孔隙水水质仍然发生了变化,但影响较轻微。

3 灰场防渗漏措施

目前,我国对灰场的防渗处理所采取的方法一

表 4 灰水、地下水水质部分指标对比

		mg/L												
类 别	时间	$\rho(\text{Na}^+)$	$\rho(\text{Ca}^{2+})$	$\rho(\text{Mg}^{2+})$	$\rho(\text{Cl}^-)$	$\rho(\text{SO}_4^{2-})$	$\rho(\text{HCO}_3^-)$	$\rho(\text{F}^-)$	$\rho(\text{NO}_3^-)$	$\rho(\text{PO}_4^{3-})$	矿化度	$\rho(\text{As})$	$\rho(\text{Hg})$	$\rho(\text{Cr}^{6+})$
排灰废水		135.72	164.09	43.34	138.58	447.07	240.34	2.70	2.40	3.75	1130.39	<0.007	<0.00009	0.025
浅层地下水	灰场附近	106.10	155.11	29.72	118.72	190.76	413.49	0.60	28.00	0.00	845.52	<0.002	<0.0001	<0.004
	200 m	181.22	88.18	76.25	190.20	321.21	403.24	0.90	6.67	0.08	1079.77	0.002	<0.0001	<0.004
	远离灰场	194.46	297.97	64.89	400.84	175.11	593.10	0.50	230.00	0.15	1679.65			
	1.5 km	89.80	360.15	76.77	583.91	76.38	436.85	0.30	163.05	0.12	1587.10	<0.002	<0.0001	<0.004
深层地下水	1996-01	71.12	78.78	14.86	18.61	63.59	372.14	0.20	0.88	0.15	455.59	<0.002	<0.0001	<0.004
	2006-07	57.96	58.50	63.80	61.34	55.45	463.73	0.40	17.27	<0.04	563.28	<0.002	<0.0001	<0.004

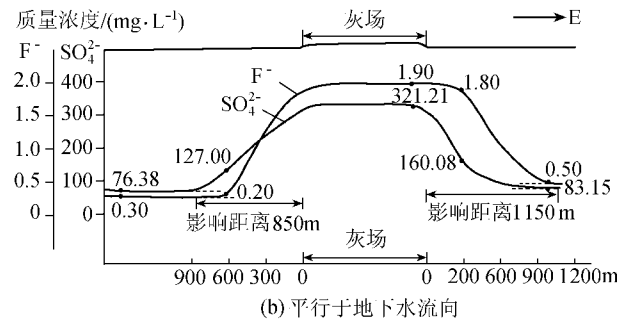
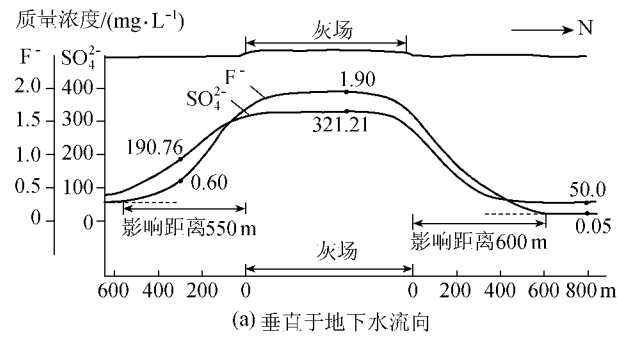


图2 地下水水质影响范围剖面图

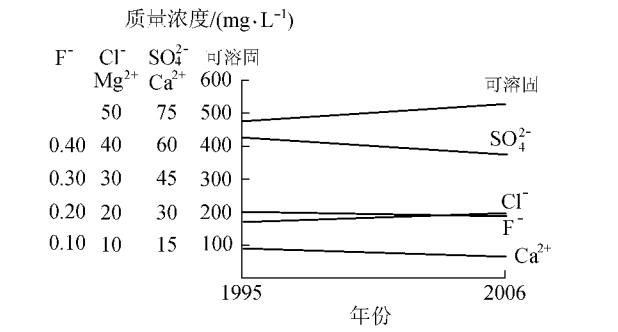


图3 1995与2006年深层孔隙水水质对比

般分为垂直(坝轴)防渗、水平(坝基)防渗两种方案。

3.1 水平防渗

以该电厂为例,由于灰场正在运行中,对其坝基采取水平防渗措施是不现实的,可采取在灰水中设轻便、可移动的截渗槽的措施,使灰水直接沿灰粒缝隙流至截渗槽内,再通过排水管抽至集水池内,用回水泵抽回电厂重复利用。试验结果证明,防渗槽有较好的集水和防渗效果,可应用于正在使用的贮灰场灰水的回用及防渗工程中^[2]。

3.2 垂直防渗

平原区灰场垂直防渗主要采用搅拌桩法或高压喷射灌浆法两种方案。其原理都是在土层中加入一定的固化剂使之硬度提高,变为一定厚度的截渗帷幕墙,切断灰场与外围地下水系统的水力联系,从而达到防渗效果。

多头小直径深层搅拌桩垂直防渗墙已有治理灰水对周围地下水环境影响的成功案例^[4],由于其具有对地层适用面广、施工速度快、工程造价低等特

点,在同类火力发电厂贮灰场的防渗处理中有着广阔的应用前景。

总体来说,湿法排灰的冲灰水排量较大,一般都会造成地下水的污染,减轻环境影响的根本是从源头上减少灰水的排放量,因此应提倡使用干法贮灰。

干法贮灰场运行初期产生的浸出液很少或根本没有浸出液。后期在设置了表层防雨水入渗和防止灰场外围客水进入的截流措施后,灰场不会产生大量的浸出液,因此干法贮灰场污染周围地下水的可能性很小^[5]。

4 结 论

- a. 早期的平原电厂多采用湿法除灰,贮灰场灰水的渗漏对地下水水位、水质产生了明显影响。
- b. 平原灰场渗漏影响距离与土层的岩性密切相关。黏性土层中灰水渗漏对地下水的影响距离在1 km左右,对水位的影响距离要略大于水质的影响距离。
- c. 灰水渗漏对水位影响距离的特点是垂直于地下水运动方向的影响距离小于平行于地下水运动方向的距离,下游方向影响距离大于上游方向影响距离,水质的影响距离也具有同样的特点。
- d. 灰渣综合利用应该是解决灰渣排放带来的污染问题的最好办法。对正在运行中的灰场可采取在灰水中设截渗槽、垂直(坝轴)防渗等措施,可基本解决灰场的渗漏影响。

参考文献:

[1] 温彦锋,魏迎奇,蔡红,等. 燃煤电厂贮灰场防渗设计原则探讨[C]//中国土木工程学会第九届土力学及岩土工程学术会议论文集. 北京:清华大学出版社,2003:1123-1127.

[2] 常爱玲,赵毅,冯辉,等. 贮灰场灰水渗漏特性及防渗措施的研究[J]. 华北电力大学学报,2001,28(3):80-82.

[3] 国电环境保护研究所. 火电厂贮灰场灰水渗漏及污染因子调查报告[R]. 南京:国电环境保护研究所,2002.

[4] 熊载波,李岩,孙政. 多头小直径搅拌桩截渗墙在电厂灰场地下水污染防治的试验研究[J]. 山东电力高等专科学校学报,2004(7):60-62.

[5] 温彦锋,蔡红,边京红. 灰渣的化学性质及贮放对环境的影响[J]. 水利学报,2000(4):19-23.

(收稿日期 2007-04-27 编辑 徐 娟)