

Deformation Control of High-Voltage Transmission Line Tower in Coal Mining under the Conditions of Huge Thick Sand-Conglomerate Strata

Mingli Wang^{1,2}, Xiaoquan Huo³, Wanming Sun^{1,2}, Zengyun Yuan³, Zhihai Fan³

¹Coal Mining and Designing Department, Tiandi Science and Technology Co. Ltd., Beijing

²Coal Mining Branch, China Coal Research Institute, Beijing

³Shaanxi Coal Group Tongchuan Mining Industry Corporation Ltd., Tongchuan Shaanxi

Email: wmingli123@163.com

Received: Sep. 29th, 2019; accepted: Oct. 16th, 2019; published: Oct. 23rd, 2019

Abstract

With the existence of huge thick sand-conglomerate strata in the overburden of Yuhua Coal Mine, according to the fitting analysis of measured data of surface movement, the coefficient of surface subsidence is only 0.2 under the condition of fully mechanized top-coal caving mining in two long-wall working faces. In view of the special conditions of the huge thick sand-conglomerate strata in Yuhua Coal Mine, in order to solve the problems of 330 kV high-voltage line tower passing through the middle of the No. 4 panel area, which affect the development layout and normal mining, three mining schemes are presented and compared, *i.e.* full-thickness mining, partial-thickness mining and strip mining. The probability integral method is used to calculate the surface movement and deformation in three coal mining schemes. Finally best coal mining scheme is determined.

Keywords

High-Voltage Transmission Line Tower, Coal Mining, Thick Sand-Conglomerate Strata, Surface Movement and Deformation, Partial-Thickness Mining

巨厚砂砾岩地层条件下高压线塔压煤开采与变形控制

王明立^{1,2}, 霍小泉³, 孙万明^{1,2}, 袁增云³, 范智海³

¹天地科技股份有限公司, 开采设计事业部, 北京

²煤炭科学研究总院, 开采研究分院, 北京

文章引用: 王明立, 霍小泉, 孙万明, 袁增云, 范智海. 巨厚砂砾岩地层条件下高压线塔压煤开采与变形控制[J]. 矿山工程, 2019, 7(4): 353-360. DOI: 10.12677/me.2019.74050

³陕西陕煤铜川矿业有限公司, 陕西 铜川
Email: wmingli123@163.com

收稿日期: 2019年9月29日; 录用日期: 2019年10月16日; 发布日期: 2019年10月23日

摘要

玉华煤矿上覆岩层存在厚度达265~309 m的巨厚洛河组砂砾岩层, 根据地表移动实测数据拟合分析, 在2个长壁工作面综放开采条件下, 地表下沉系数仅为0.2。针对玉华煤矿巨厚砂砾岩地层的特殊条件, 为解决四盘区中部存在330 kV高压线塔、影响盘区开拓布局和正常开采这一问题, 提出了全部开采、局部限厚开采、条带开采等三个开采方案并进行了对比分析, 采用概率积分法计算了不同开采方案对高压线塔的变形控制效果, 确定了合理的开采方案。

关键词

高压线塔, 煤矿开采, 巨厚岩层, 变形控制, 限厚开采

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 概述

陕西陕煤铜川矿业有限公司玉华煤矿, 属于黄陇侏罗纪煤田东段的焦坪矿区, 位于铜川市西北37公里处的凤凰山下。玉华煤矿于1991年12月筹建, 2002年8月正式投产, 设计能力150万吨/年, 2012年核定生产能力240万吨/年。

玉华煤矿共划分为四个盘区, 其中四盘区位于矿井井田西部, 地表有330 kV高压输电线路穿过盘区中部, 压覆四盘区的煤炭资源量达到353.2万t, 占盘区可采资源量的42.5%, 极大影响盘区开拓布局和正常回采。为保证盘区正常回采, 并保护地表高压线塔不受开采损坏, 必须研究高压线塔下压煤开采和变形控制技术。

随着我国经济建设的高速发展, 高压输电线路已成为远距离电力输送的主要渠道, 也是经济建设的重要命脉, 保证高压线塔的安全运行十分重要。

在煤层开采的影响下, 高压线塔因地表移动变形使基础沉降、塔身变形倾覆失稳, 进而导致高压输电线路各设施发生变形, 如线路档距、近地距离变化、悬垂绝缘子串偏斜等问题, 有可能导致倒塔、断线等严重安全事故, 引发次生灾害。

我国专门针对高压输电线路下采煤的研究只仅仅经历了20多年, 研究内容主要集中在两方面: 一是对采动影响下输电线路的变形计算和现场实测研究; 二是提出减小采动损害的地上维护措施和地下开采技术措施。高压线塔下压煤开采涉及井下和地表两个条件, 影响因素多, 需要根据多因素分析进行开采方案、变形控制综合分析。

2. 高压线路与盘区地质采矿条件

玉华煤矿四盘区地表高压输电线路为330 kV单回线路, 输电线路有6基塔沿“东南-西北”方向穿

过四盘区中部,其中2基转角塔,4基为直线塔。塔高约30~35 m,塔基根开15~20 m,档距330~710 m。井田内线路穿越区为山区林地,非居民区。高压输电线塔如图1所示。



Figure 1. Tower of 330 kV high voltage power transmission line in Sipan District of Yuhua Coal Mine

图 1. 玉华煤矿四盘区 330 kV 高压输电线塔图

高压线塔作为高压输电线路的重要组成部分,是一种特殊的线性构筑物。在采动影响下,高压线塔、悬垂串、导线相互作用,刚性和柔性变形同时发生并相互影响,变形情况十分复杂。根据高压线塔下压煤开采实践和高压线塔变形研究,对输电线路有明显影响的变形指标是下沉、倾斜、水平移动、水平变形。这些地表移动和变形将直接引起高压线塔内部原始应力平衡状态的破坏和高压输电线路运行工况的改变,高压线塔的基础间距、近地距离、线路档距、导线弛度、悬垂绝缘子串偏斜等参数都可能受到影响而超出《架空送电线路运行规程》所要求的运行参数,诱发安全隐患。

根据《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》,地表水平变形小于4 mm/m、倾斜变形小于6.0 mm/m时对应砖混结构建筑物的变形破坏等级为II级,建筑物的破坏程度为轻度损坏,经过小修即可满足建筑物安全使用要求。相对于砖混结构建筑物,高压线塔为钢结构、基础为钢筋混凝土独立基础,抗变形能力要远大于普通砖混结构建筑物。根据我国高压线塔压煤开采实践和电力系统有关设计规范和运行规程[1]-[10],一般高压输电线塔的倾斜变形 ≤ 10.0 mm/m时,可以满足高压线塔安全运行要求。因此,在进行高压线塔压煤开采时,可以砖混结构建筑物的变形破坏等级II级标准为高压线塔允许变形标准,即地表水平变形 ≤ 4 mm/m、倾斜变形 ≤ 6.0 mm/m。由于在开采深度较大时地表曲率变形一般较小,根据煤矿建筑物下压煤开采实践,可不将地表曲率变形作为高压线塔变形控制标准。

玉华煤矿位于黄陇煤田东段焦坪矿区,区内地层平缓,岩层倾角 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$,构造简单,基本为一南西倾伏向斜。三、四、五盘区补勘区内广布巨厚的白垩系地层,煤系地层出露甚少,大部分地区被第四系黄土及第三系红土所覆盖。四盘区地层由老至新依次有:侏罗系下统富县组,侏罗系中统延安组、直罗组,白垩系下统宜君组、洛河组、华池环河组,第四系,具体见表1。

含煤地层为侏罗系中统延安组。主要可采煤层为 4^{-2} 煤,位于含煤地层延安组最底部,厚度0.12~25.17 m,平均厚度9.45 m;结构单一~复杂,属于较稳定煤层。四盘区 4^{-2} 煤埋深约700~864 m。

玉华煤矿采煤方法为走向长壁后退式综采放顶煤,全部垮落法管理顶板。工作面采煤机割煤高度为

3.0 m, 双向割煤, 放顶煤步距为 1.6 m。工作面宽度一般为 240 m, 工作面之间留设 25 m 区段煤柱。

Table 1. Yuhua coal mine four plates
表 1. 玉华煤矿四盘地层表

| 地层 | 厚度(m) | 岩性简述 |
|------------|---------|--|
| 第四系 | 0~13 | 黄土: 以含粉砂质亚粘土为主, 质均, 块状, 大孔隙, 含大小不一的钙质结核。 |
| 白垩系下统华池环河组 | 8~396 | 浅紫灰色粉砂岩、灰绿色细粒砂岩互层 |
| 白垩系下统洛河组 | 265~309 | 中 - 细粒砂岩、砾岩互层 |
| 白垩系下统宜君组 | 3~34 | 灰紫色块状砾岩, 砂质充填, 泥、钙质胶结, 在地形上多形成陡壁悬崖。 |
| 侏罗系中统直罗组 | 37~97 | 含砾粗砂岩、粗砂岩及粉砂岩, 厚层状含砾石较多 |
| 侏罗系中统延安组 | 32~129 | 以中细粒砂岩、砂质泥岩、细粉砂岩为主, 含 1 号、2 号、3 号、4 号煤组。为本区主要含煤段, 含植物根系化石。 |
| 侏罗系下统富县组 | 0~24 | 泥岩 |

3. 玉华煤矿巨厚砂砾岩地层条件下地表移动预计参数

由玉华煤矿地层条件, 在 4⁻² 煤层上方 200 m 位置存在巨厚的白垩系下统洛河组砂砾岩地层。相对于一般地层条件, 巨厚砂砾岩地层对上覆岩层的移动变形起着明显的控制作用, 地表下沉系数明显减小, 在一定条件下有可能不需要采取影响工作面布置的特殊岩层控制措施而实现建(构)筑物下安全开采。

玉华煤矿针对 1405、1407 工作面开展了地表沉陷观测工作, 地表移动观测线布置如图 2 所示。1407 工作面走向长 950 m, 倾向宽 150 m, 煤厚 5.9~13.7 m, 平均 9.0~10.0 m, 倾角 5°, 平均采深 449 m, 平均采厚 8.5 m, 于 2001 年 11 月开采, 至 2002 年 4 月停采。1405 工作面走向长 990 m, 倾向宽 170 m, 煤厚 9.0~14.7 m, 倾角 4°, 平均采深 449 m, 平均采厚 8.5 m, 于 2003 年 7 月开采, 至 2004 年 3 月停采。1407 工作面与 1405 工作面间区段煤柱宽 58 m。1407 观测站于 2002 年 2 月建站并进行第一次观测, 至 2004 年 11 月观测结束。在 1407 工作面回采期间直至结束, 地表测得的下沉量较小, 2002 年 11 月测得最大下沉 43 mm (48#点); 在 1405 工作面采后, 2004 年 11 月测得的最大下沉 786 mm (48#点)。

根据煤柱稳定性分析, 1405、1407 工作面之间 58 m 区段煤柱的稳定性系数为 0.92, 不满足稳定条件, 不能完全起到地表沉陷控制的作用。在四盘区, 煤层的采深加大, 平均采深达到 800 m, 当区段煤柱较小时, 在相近采宽的条件下, 地表下沉量将进一步加大。

根据地表移动实测结果, 利用概率积分法进行了地表移动计算参数的拟合和分析, 结果如图 3 所示。由于巨厚砂砾岩层的存在, 玉华煤矿的地表下沉系数偏小, 两个工作面开采条件下地表下沉系数仅为 0.2, 预计多工作面充分开采条件下地表下沉系数为 0.4~0.55。

4. 高压线塔压煤开采方案及变形控制

根据我国建(构)筑物压煤开采实践, 一般可以采取的井下减小采动损害技术措施主要有[11]: 条带开采、限厚开采、协调开采、充填开采等。

对于玉华煤矿四盘区的地质采矿条件, 不适合采用协调开采和充填开采, 可行的开采方案为条带开采和限厚开采。条带开采方案工作面布置如图 4 所示, 限厚开采方案工作面布置如图 5 所示。

条带开采方案为: 高压线塔保护煤柱宽 630~730 m, 在高压线塔保护煤柱内布置一个条带工作面, 工作面宽 210 m, 长 2116 m, 两侧煤柱宽 185~330 m; 在保护煤柱北侧布置 3 个工作面, 工作面宽 180~220

m, 长 2116 m; 在保护煤柱南侧布置垂直煤柱线方向的 7 个工作面, 工作面宽 234~280 m, 长 510~2100 m, 其中东南边界的工作面同为条带工作面, 宽 252 m, 长 510 m, 条带煤柱宽 338 m。共布置 11 个工作面, 均为全厚开采。

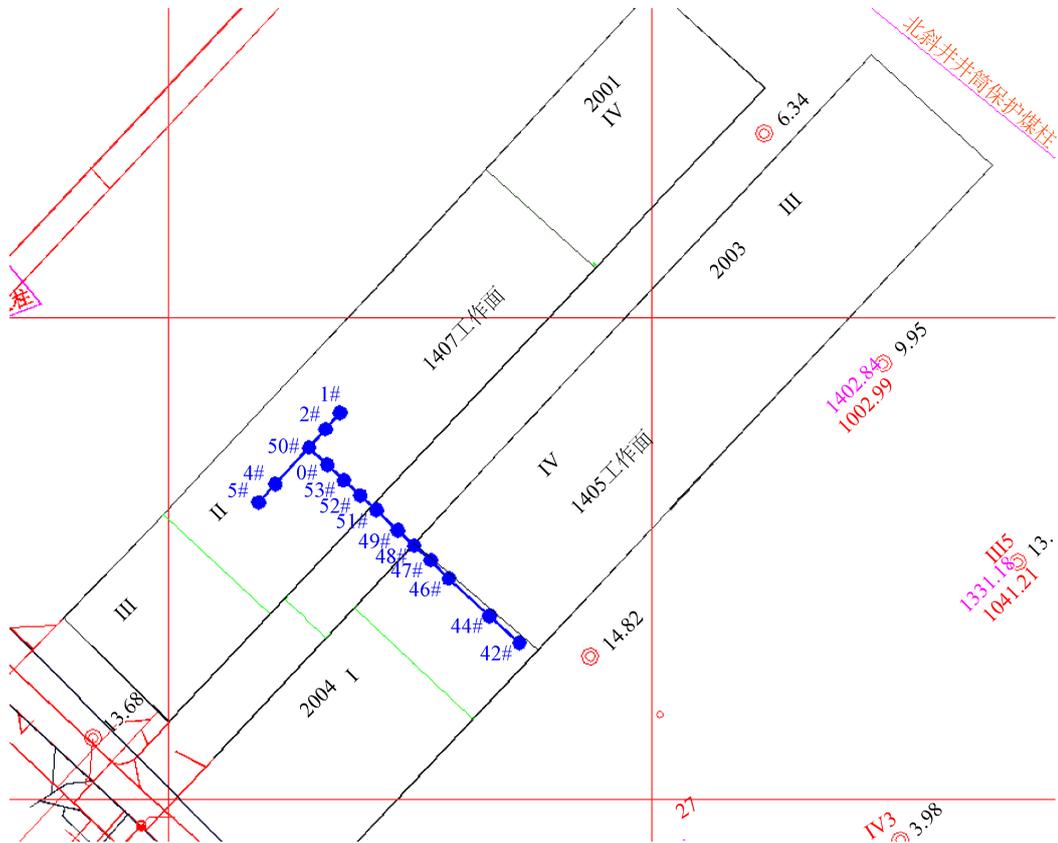


Figure 2. 1407 Observatory layout
图 2. 1407 观测站布置图

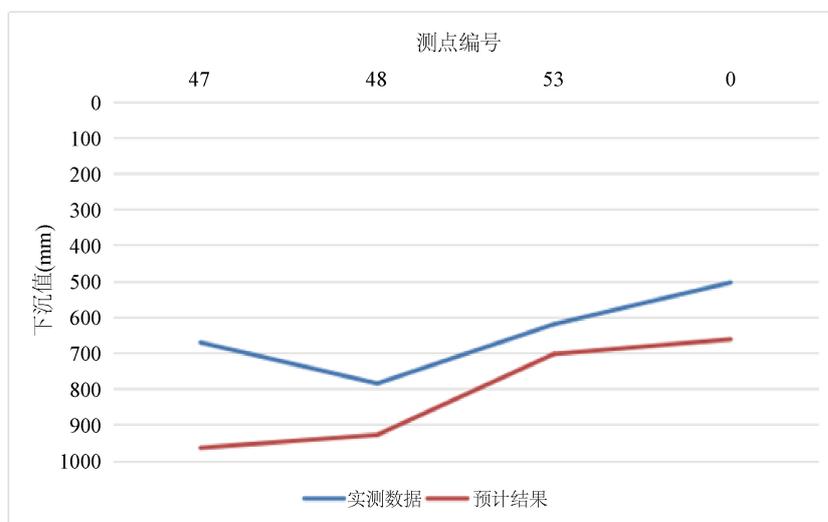


Figure 3. Comparison of measured sinking data and fitted forecast data
图 3. 实测下沉数据与拟合预计数据对比图

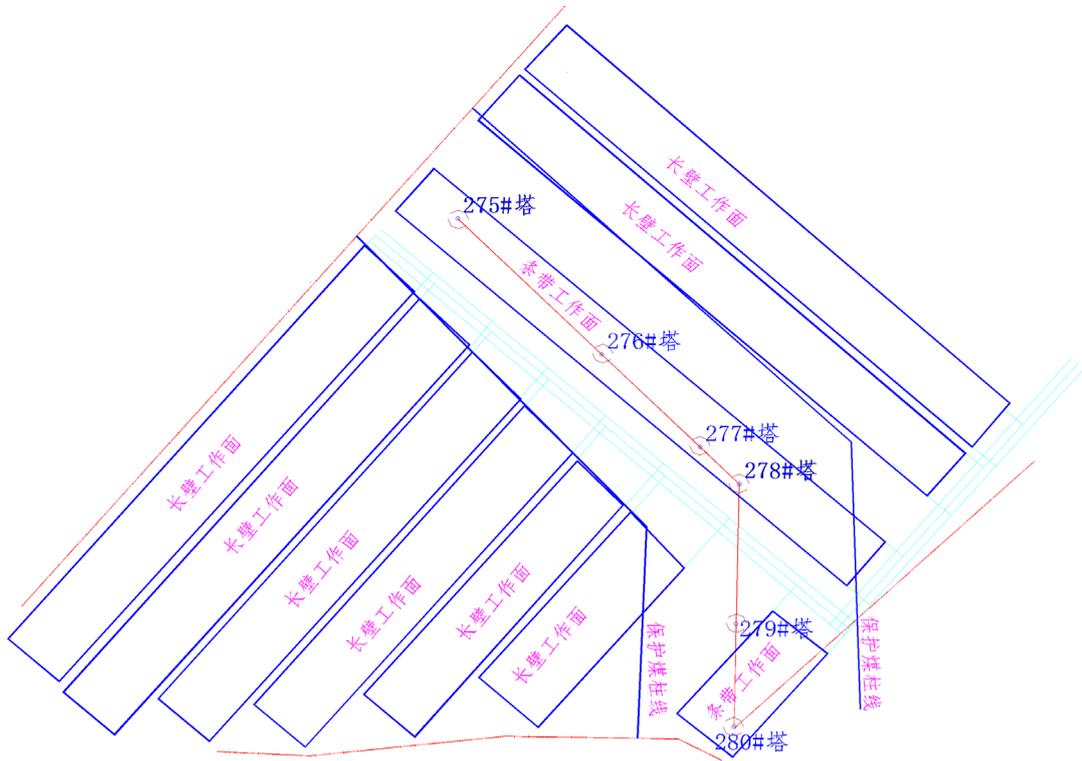


Figure 4. Strip mining plan
图 4. 条带开采方案

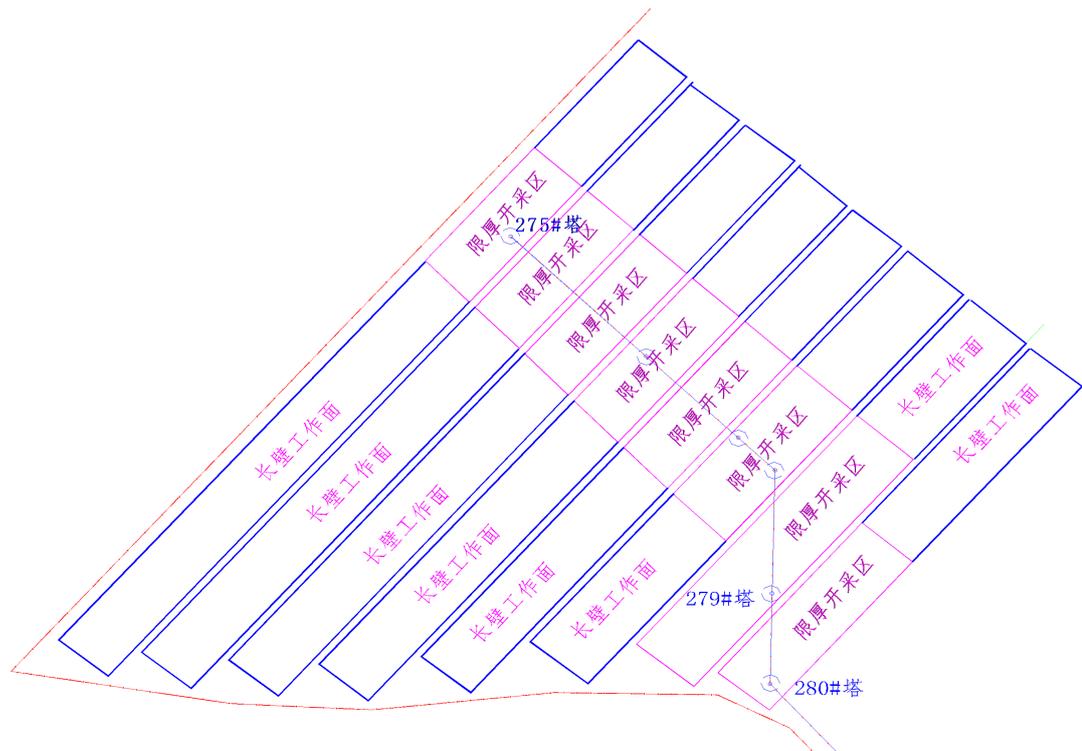


Figure 5. Local limited thickness mining plan
图 5. 局部限厚开采方案

限厚开采方案为：工作面南北走向布置，工作面宽 240 m，走向长 2000~3200 m，工作面之间留设 25 m 区段煤柱，不留条带煤柱。在高压线塔保护煤柱外进行全厚开采，在保护煤柱内采用限厚方法通过，限制最大采高为 3.0~7.0 m。

利用概率积分法[11][12]，对各开采方案引起的高压线塔移动变形进行计算，结果如表 2 所示。

Table 2. Maximum deformation of high-pressure line towers in different mining schemes

表 2. 不同开采方案高压线塔移动变形最大值

| | 全采方案 | 条带方案 | 限厚 3.0 m 开采方案 | 限厚 7.0 m 开采方案 |
|------------|------|------|---------------|---------------|
| 下沉(mm) | 5179 | 1253 | 1647 | 3694 |
| 水平移动(mm) | 1565 | 646 | 428 | 996 |
| 水平变形(mm/m) | 6.3 | 2.3 | 2.0 | 4.7 |
| 倾斜变形(mm/m) | 13.8 | 6.7 | 4.4 | 8.8 |

根据上述确定的高压输电线塔变形控制标准，推荐限厚 3.0 m 的方案为最优的开采方案，能够实现对高压线塔变形的较好控制。限厚 7.0 m 的开采方案，对高压线塔的变形影响较大；条带开采方案巷道布置较为复杂、采出率低，在此条件下均不推荐采用。

5. 结论

通过对玉华煤矿四盘区地层条件、开采条件等分析，利用概率积分法对高压线塔的采动影响对比分析，提出了四盘区高压线塔下开采的变形控制方案，主要得出以下结论：

1) 根据对玉华煤矿地层分析，在上覆岩层中存在厚度达 265~309 m 的巨厚砂砾岩层，具备控制地表移动变形的岩层条件。

2) 根据玉华煤矿地表移动实测分析，玉华煤矿的地表下沉系数偏小，两个工作面开采条件下地表下沉系数仅为 0.2，有利于压煤开采时高压线塔的变形控制。

3) 通过对条带开采方案、限厚开采方案的计算分析，推荐在高压线塔保护煤柱内限厚 3.0 m、在保护煤柱外全厚开采作为最优的变形控制技术方

参考文献

- [1] 国家能源局. 架空输电线路运行规程[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [2] 孙万明, 王明立, 张华兴. 大板基础输电塔可承受地基倾斜极限值计算[J]. 煤矿开采, 2010, 15(2): 38-40.
- [3] 徐乃忠, 邓增兵, 孙万明, 等. 平朔矿区 380kV 高压输电线下特厚煤层开采技术[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(9): 31-35.
- [4] 赵海涛, 郭广礼, 查剑锋. 高压输电线路杆塔采动变形规律研究[J]. 煤矿安全, 2008(5): 17-19.
- [5] 张勇, 高文龙, 赵云云. 煤层开采与 1000kV 特高压输电杆塔地基稳定性影响研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(4): 1063-1067.
- [6] 温兴林, 李兴东, 王如猛, 等. 深部厚煤层充填开采地表高压线塔安全分析研究[J]. 煤炭技术, 2018, 30(4): 1063-1067.
- [7] 舒前进, 袁广林, 郭广礼, 等. 采煤沉陷区输电铁塔复合防护板基础抗变形性能及其板厚取值研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2012(3): 294-299.
- [8] 唐照成, 黄成飞, 郭文兵. 高压输电线路铁塔下采煤的安全性研究[J]. 煤炭科技, 2011(4): 12-14.
- [9] 郭文兵, 邓喀中. 高压输电线路铁塔采动损害与保护技术现状及展望[J]. 煤炭科学技术, 2011(1): 97-101.
- [10] 李逢春, 郭广礼, 邓喀中. 开采沉陷对架空输电线路影响预测方法及其应用[J]. 矿业安全与环保, 2002(2):

18-20.

- [11] 煤炭科学研究院北京开采研究所. 煤矿地表移动与覆岩破坏规律及其应用[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1981.
- [12] 国家安全监管总局, 等. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2017.