

标高控制在比设计标高高 3cm 左右为宜,后经振动压路机和铁三轮压路机碾压完成后基本达到设计标高。

平地机精平完成后,先用振动压路机全宽静压一遍,再用振动压路机进行振动碾压两遍,先高频率低振幅,后低频率高振幅。及时复测高程、坡度、宽度和平整度,对局部高程稍低的灰土面严禁薄层找补,应先用人工或机械刨松 10cm 左右后再进行找补,然后再进行静压和振动碾压。

碾压原则上“先慢后快”、“先轻后重”、“先低后高”为宜。直线段采用两侧向中心碾压,平曲线段采用内侧向外侧碾压。振动压路机至少碾压 2 遍,铁三轮压路机碾压 4~6 遍为宜。头两遍碾压速度不超过 1.5 千米/小时,以后速度不超过 2 千米/小时。碾压时重叠 1/2 轮宽,后轮必须超过两段的接缝。不得在正碾压及刚完成的路基上急刹车或掉头,以防灰土路面剪切破坏。最后振动压路机静压 1~2 遍,最终消除轮迹印,使表面达到坚实、平整、不起皮、无波浪,压实度达到设计要求。

#### 4.3.3 检测

碾压成活后及时进行石灰土路基施工质量检测。检测分为表观检测和技术指标检测。检测合格方可进行下一步工序施工。

表观检测为路基施工段的断面宽度、标高、坡度、平整度符合设计要求;路基表面不得有浮料、脱皮、松散、颤动现象;铁三轮压路机碾压完成后轮迹印不得大于 5mm。

技术指标检测分为压实度、灰剂量、7 天无侧限强度和弯沉值检测。本工程为城市支路,图纸对 7 天无侧限强度无要求。6% 石灰土压实度要求  $\geq 93\%$ ,每 1000 m<sup>2</sup> 采用环刀法检测压实度,同时检测灰剂量;8% 石灰土压实度要求  $\geq 95\%$ ,每 1000 m<sup>2</sup> 采用 g 灌砂法检测压实度,同时检测灰剂量。路基养护 28 天以后进行弯沉检测。

#### 4.3.4 养护

一般来说,石灰土的强度增长时间约为 28 天,在前 14 天稳定剂生成较少,土与土之间的胶结力不足,容易被外部冲击力松动,碾压完成必须进行养护工作。石灰土路基的养护期应封闭交通,禁止洒水车外的车辆通行。养护期不少于 28 天。可用透水土工布覆盖养护,洒水保湿。在前 14 天形成一定强度之前,严禁重型车辆驶入。养护到期后及时按图纸要求进行弯沉检测,检测合格方可进行下一工序施工。

## 5 施工中注意事项和处理措施

### 5.1 下承层的软弱土层、淤泥层处理。

在石灰土路基施工前应挖除换填。由建设单位、设计单位、监理单位和施工单位共同确定处理措施。或石灰土(道渣)换填,分层碾压夯实;或深层水泥搅拌桩处理。达到要求后方可进行上层石灰土底基层处理。

### 5.2 严禁薄层贴补。

施工单位要严格控制标高,施工过程中测量人员及时

复核标高,平地机刮平至目标标高。局部高程稍低的灰土面严禁薄层找补,应先用人工或机械刨松 10cm 左右后再进行找补,然后再碾压成活。

### 5.3 接缝和调头处理。

分段施工时,前段拌合后留 5 米左右不碾压,待后段施工时再将这段未碾压部分一起拌合施工。或者分层设置台阶,台阶部位铺设土工格栅,两端延伸出接缝长度不少于 1m。特别是多幅施工时纵缝的处理,一定是分层设置台阶的方法。

### 5.4 雨污水管道沟槽、检查井、雨水口周边处理。

由于雨污水沟槽是后开挖,深度较深。沟槽回填需要严格按照图纸要求进行中粗砂分层回填至管顶上 50cm。小型打夯机分层夯实然后上层在分层回填石灰土,做法等同石灰土路基,避免产生不均匀沉降,导致石灰土路基产生纵向裂缝。必要时可沿管道沟槽增设一层土工格栅,以减少沉降差。检查井、雨水口周围不易压实,采用小型打夯机分层回填夯实中粗砂和石灰土。按照图纸要求设置卸荷板,以减少因检查井周边不均匀沉降导致的跳车现象。

### 5.5 雨季、冬季施工。

石灰土施工应避免雨季,备用石灰及土方宜堆大堆,塑料布覆盖防雨,四周开挖排水沟。如因工期原因不得不在雨季抢工期,随时查看天气预报,利用有利天气,细分施工段进行赶工。

石灰土路基应避免冬季施工,施工期的日最低气温应在 5 摄氏度以上。石灰土基层应在第一次重冰冻(-3℃ 到 -5℃)到来之前一个月完成。

## 6 结语

市政道路作为重要的基础设施,在工程建设过程中要确保工程质量,保证建成后能安全平稳运行。要做好石灰土路基施工,为市政道路工程质量打下坚实基础。本工程项目根据现场实际情况,石灰土路基施工采用了加一半磨细生石灰堆大堆和另一半熟石灰路拌相结合的方法。在实施石灰土基层的施工过程中,施工备料、摊铺、拌和、整形、碾压、检测和养护各环节均要按相应的施工要求进行。既减少了对周边环境的影响也很好的控制了施工质量。也为后续的水泥稳定碎石基层的施工打下良好基础。

### 参考文献

- [1] 王晓宁,姚改丽.浅谈公路工程土质路基压实施工技术[J].科技致富向导,2011,(20)
- [2] 冯森,陈金坦.市政道路工程石灰土基层施工技术探讨[J].建材与装饰,2018(38)
- [3] 赵梦光.市政道路工程中石灰土基层施工工艺探讨[J].建材与装饰,2018(35)
- [4] 王瑀.浅谈公路工程路基施工技术[J].科技与企业,2012(09)
- [5] 夏荣波.公路土质路基施工方法及施工要求[J].黑龙江科技信息,2010(09)

# Law of Surface Movement and Deformation and Construction of Prediction Model under Mining Disturbance

Bin Zhang

Shanxi Xinzhou Shenda Wanxin Anping Coal Industry Co., Ltd., Xinzhou, Shanxi, 034100, China

## Abstract

To reveal the internal mechanism and evolution regularity of surface movement and deformation under mining activities, and to provide theoretical support for mine safe production and surface ecological protection, this paper takes a coal mine working face as the research object. By combining field monitoring, theoretical analysis, and numerical simulation, the paper systematically studies the variation characteristics of surface deformation indicators such as subsidence, horizontal movement, tilt, and curvature. Based on monitoring data, an improved prediction model is constructed, and key influencing factors such as mining depth and mining thickness are introduced to optimize model parameters. The model prediction accuracy is improved by 12.3% compared with traditional methods after verification. The study shows that surface deformation evolves in stages, and the mining influence range is positively correlated with mining depth. This model can effectively predict the trend of mining-induced surface deformation, providing technical reference for mine disaster prevention and control.

## Keywords

Mining-induced influence; Surface movement and deformation; Prediction model; Parameter optimization

## 采动影响下地表移动变形规律与预测模型构建

张斌

山西忻州神达万鑫安平煤业有限公司, 中国 · 山西 忻州 034100

## 摘要

为揭示采动作用下地表移动变形的内在机理与演化规律, 为矿山安全生产及地表生态保护提供理论支撑, 本文以某煤矿回采工作面为研究对象, 通过现场监测、理论分析与数值模拟相结合的方法, 系统研究地表下沉、水平移动及倾斜、曲率等变形指标的变化特征。基于监测数据构建改进型预测模型, 引入采深、采厚等关键影响因子优化模型参数, 经检验模型预测精度较传统方法提升12.3%。研究表明, 地表变形呈阶段性演化, 采动影响范围与采深呈正相关, 该模型可有效预测采动地表变形趋势, 为矿山灾害防控提供技术参考。

## 关键词

采动影响; 地表移动变形; 预测模型; 参数优化

## 1 引言

随着煤炭资源开采强度不断加大, 深部及复杂地质条件下的采矿活动日益增多, 采动引发的地表移动变形问题愈发突出, 易导致地表建(构)筑物损毁、耕地破坏及滑坡、塌陷等地质灾害, 严重威胁周边居民生命财产安全, 制约矿山可持续发展。当前传统预测方法多依赖经验参数, 设定单一且忽略地质条件差异性, 适应性不足, 难以精准捕捉复杂采动下地表变形的非线性演化特征。因此, 深入探究其变形规律, 构建高精度预测模型, 为灾害防控提供支撑, 对保障矿山安全生产、减少生态破坏具有重要现实意义与工程价值。

【作者简介】张斌(1983—), 男, 中国河北唐山人, 本科, 工程师, 从事地测防治水研究。

## 2 采动影响下地表移动变形基础理论

### 2.1 地表移动变形的产生机理

采动地表移动变形是地下矿体被采出后, 围岩应力平衡状态遭到破坏, 引发围岩冒落、断裂与移动, 进而向上传递至地表形成的一系列位移与变形现象。地下采空区的形成是导致地表移动变形的核心诱因, 采空区上方岩体在自重及上覆岩层压力作用下, 会经历冒落带、裂隙带与弯曲下沉带的“三带”演化过程, 各带岩体的力学性质与移动特征差异, 直接决定了地表变形的强度与分布形态。冒落带位于采空区最上方, 岩体因失去支撑发生破碎垮落, 块度不均且稳定性差, 该区域岩体移动具有随机性与剧烈性; 裂隙带位于冒落带之上, 岩体未发生整体垮落, 但产生大量贯通裂隙, 力学强度显著降低, 呈现出层状移动特征; 弯曲下沉带位于裂隙带上方, 岩体保持整体完整性, 仅发生弯曲变形并向下沉降,

地表变形在此区域逐渐趋于平缓。三者的空间分布范围与采深、采厚、岩层倾角及岩体物理力学性质密切相关，是研究地表移动变形规律的重要理论基础。

### 2.2 地表移动变形的的主要形式及指标

采动影响下地表移动变形主要表现为垂直方向与水平方向的位移及衍生变形，常用监测指标包括地表下沉量、水平移动量、倾斜变形、曲率变形及水平变形五类，各类指标从不同维度反映地表变形特征。地表下沉量是垂直方向的核心指标，指地表某点因采动影响向下移动的累计距离，其最大值通常出现在采空区正上方，向两侧逐渐递减至零；水平移动量是地表某点在水平方向的位移量，分为指向采空区中心的水平移动与垂直于采空区走向的水平移动，前者更为显著，易导致地表建（构）筑物产生剪切破坏；倾斜变形是相邻两点下沉量之差与水平距离的比值，反映地表的倾斜程度，对线性建（构）筑物如铁路、管线的影响最为突出；曲率变形是倾斜变形的变化率，分为正曲率（地表上凸）与负曲率（地表下凹），易引发地表开裂；水平变形是相邻两点水平移动量之差与水平距离的比值，分为拉伸变形与压缩变形，超过一定阈值会导致地表出现裂隙或建（构）筑物墙体开裂。

## 3 采动地表移动变形现场监测与规律分析

### 3.1 监测区域概况

本文选取某国有煤矿 3021 回采工作面作为监测区域，该工作面位于井田中部，开采煤层为 3 号煤层，煤层厚度平均 2.8m，倾角 5°~8°，属于近水平煤层，煤层稳定性良好，无明显断层及夹矸发育。工作面走向长度 1200m，倾向长度 200m，采深 450~520m，采用走向长壁后退式综合机械化开采方法，全部垮落法管理顶板。监测区域地表为平原地貌，地表覆盖层以粉质黏土为主，厚度 30~50m，下方为砂岩、页岩互层，岩体完整性较好，地表无大型建（构）筑物，仅分布少量耕地，周边无敏感生态区域，适合开展地表移动变形监测。

### 3.2 监测方案设计

结合工作面开采范围与地表地形条件，采用 GPS 动态监测与二等水准测量相结合的方法，构建高精度地表移动变形监测网，兼顾监测效率与数据精度。监测网沿工作面走向与倾向布设两条正交监测线，走向监测线长度 1500m，覆盖采空区及两侧各 300m 影响范围，倾向监测线长度 800m，贯穿采空区核心区域，监测点间距均为 50m，共布设监测点 46 个，其中控制点 6 个、监测点 40 个。控制点布设在采动影响范围外 500m 的稳定基岩区域，采用深埋式混凝土标桩固定，用于实时校准监测数据、消除系统误差；监测点采用 C30 混凝土浇筑固定，顶部安装双频 GPS 接收天线与不锈钢水准测量标志，具备抗干扰、抗沉降能力，确保长期监测稳定性。监测周期从工作面回采前 1 个月开始，至回采结束后 3 个月地表变形稳定为止，全程同步记录工作面推进速度、顶板垮落情况等工况数据。监测频率严格遵循工程规范，回采期间每 7 天监测 1 次，精准捕捉变形活跃期动态；回采结束后每 15 天监测 1 次，跟踪变形衰减过程；特殊时段如顶板大面积垮落、遭遇降雨等恶劣天气时，加密至每 3 天 1 次，避免数据漏测。监测内容涵盖各监测点三维坐标、垂直下沉量、水平移动量及倾斜、曲率等衍生变形指标，监测前对 GPS 接收机、水准仪等设备进行校验，数据采集后通过剔除异常值、平滑处理等手段保障质量，最终通过专业软件整理分析，精准获取地表移动变形的时间演化与空间分布规律。

### 3.3 监测数据整理与分析

本次监测共获取有效数据 28 组，剔除异常数据后，对各监测点的变形指标进行统计分析，核心监测数据如表 1 所示。由表 1 可知，地表下沉量最大值为 1286mm，出现在采空区正上方的 J18 监测点；水平移动量最大值为 452mm，位于 J18 监测点两侧的 J17 与 J19 监测点，且均指向采空区中心；倾斜变形最大值为 3.2mm/m，曲率变形最大值为  $0.25 \times 10^{-3}/m$ ，水平变形最大值为 2.8mm/m，各类变形指标均符合近水平煤层采动地表变形的基本特征。

表 1 3021 工作面地表核心监测点变形数据统计

监测点编号	采深 (m)	地表下沉量 (mm)	水平移动量 (mm)	倾斜变形 (mm/m)	水平变形 (mm/m)
J10	462	428	156	1.1	0.9
J12	475	685	243	1.8	1.5
J14	488	952	327	2.5	2.1
J16	501	1148	401	2.9	2.5
J18	508	1286	452	3.2	2.8
J20	502	1123	395	2.8	2.4
J22	490	936	318	2.4	2.0
J24	478	672	235	1.7	1.4
J26	465	415	148	1.0	0.8