

doi:10.3969/j.issn.1001-358X.2016.01.001

开
采
沉
陷

采煤塌陷区高层建筑地基评价与抗变形技术*

滕永海,唐志新,易四海

(中煤科工集团唐山研究院有限公司,河北唐山 063012)

摘要:采用理论研究和现场实践相结合的方法,探讨了采煤塌陷区高层建筑地基稳定性评价方法与抗变形技术;提出以建筑荷载影响深度与垮落裂缝带发育高度不相互重叠,并同时考虑地表的倾斜变形值,来确定和控制建筑物的层数和高度。高层建(构)筑物抗变形技术措施包括:平面布置应力求形状简单、规则;竖向宜规则、均匀;在承载力允许的情况下,采用砂垫层或砂石垫层;在建筑物高度小于 60 m 时,设置水平滑动层;采用板式基础、梁板式基础或箱型基础;对高耸构筑物,要适当增大基础的平面尺寸和强度;适当增大建筑物的强度等。研究成果在平顶山等矿区得到推广应用,取得了良好的技术经济效果。

关键词:采煤塌陷区;地基稳定性评价;高层建筑;抗变形技术

中图分类号:TD823.83

文献标识码:B

文章编号:1001-358X(2016)01-0001-05

煤炭大规模的开采在地面形成大面积的采煤塌陷区,形成不良工程地质的复杂地基条件,给采煤塌陷区的利用带来困难和安全隐患。与此同时,随着我国城市及工程建设的迅猛发展,建设用地日趋紧张,特别是资源型城市,由于无地可选,一些民用建筑物、工业构筑物、交通设施等迫不得已兴建在采空(动)区之上。特别是近年来,部分城市为解决建设用地瓶颈,集约用地,开始在采煤沉陷区上方兴建各种大型建(构)筑物。如何合理利用采煤塌陷区,确保新建高层建(构)筑物的安全,是急需要解决的技术难题。

1 研究历史

我国建(构)筑物采动损坏研究始于上世纪 50 年代,在借鉴国外研究成果的基础上,经过近 60 年的研究与实践,理论上已比较成熟,应用上也取得了较为丰富的经验。但受当时经济、建设条件的限制,矿区建(构)筑物多为砖木、砖混砌体结构的平房或多层楼房,其建筑高度低、跨度小、质量差,适应矿区采动变形的能力普遍较弱,建筑采动损坏以水平拉伸(或压缩)变形影响为主,建筑防护技术多采用以吸收或抵抗采动变形的措施为主,如设置水平滑动

层、砂垫层,增设构造柱、圈梁等技术措施^[1-2]。近年来,随着国民经济的发展和建筑水平的提高,矿区兴建的建(构)筑物发生了较大的变化,新建建(构)筑物普遍楼层高、跨度大、建筑型式多样,建(构)筑物的重要性、安全性也相应提高;建筑结构多采用框架、框剪、钢结构等结构类型,建筑抗震设防、构造配筋也不断加强,建筑整体性明显增强,适应地表变形的能力明显提高;为提高整体稳定性,建筑物基础多深埋,且多采用整体基础,导致建筑基础受地表变形作用的附加力显著增大;大型建(构)筑物的建筑荷载激增,对地基稳定性要求也越来越高。

从上世纪 90 年代开始,根据现场实际需要,进行了老采空区地基稳定性评价技术研究、采空区注浆处理技术研究和采煤塌陷区新建建筑物保护技术研究。在老采空区地基稳定性评价方面,许多学者进行了深入研究,如颜荣贵从力学角度探讨了采空区活化机理和地基稳定性;滕永海、张俊英提出以建筑物荷载影响深度和采空区垮落裂缝带发育高度不相互重叠来分析地基稳定性和确定建筑物的层数(高度);郭广礼、邓喀中等针对浅部采空区上方建设选煤厂等建(构)筑物进行了采空区上方地基失稳机理和处理措施的研究;有些学者还提出了采用模糊数学综合评价方法进行老采空区地基稳定性评价^[3-7]。在新建建筑物抗变形技术方面,主要借鉴于采动区新建建筑物抗变形技术,并进行了适当优

* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(项目编号:51474129,项目名称:大型建(构)筑物采动损坏与防护技术研究)。

化。

目前,对于采煤塌陷区高层建筑地基稳定性评价方法和建筑物保护技术措施,还没有进行深入的系统研究。

2 采煤塌陷区建筑地基稳定性评价

2.1 地表残余变形计算

地表残余变形是指在地表移动稳定后(连续6个月累计下沉不超过30 mm),可能产生的移动变形。导致残余变形的因素是多方面的,如残留煤柱失稳、周围开采活化影响、地面建筑荷载影响、地震影响、疏排水影响等。另外,特定的地质采矿条件和地质构造对地表岩移规律也有明显的影响^[1,8-9]。

根据理论研究和实践经验,地表残余沉陷变形预计一般选用概率积分法,预计参数除下沉系数外,其它参数与正常预计时所选用的参数基本相同。对老采空区地表下沉系数一般选取0.02~0.04,对部分开采(条带开采、落踪式开采、房柱式开采等)或开采时残留较多的煤柱时,应适当加大下沉系数。对近期刚开采完的工作面,要充分考虑地表剩余沉陷变形量,对规划开采或将要开采的工作面要按正常全采选取下沉系数。

2.2 覆岩破坏高度计算

煤层开采后,一般上覆岩层形成垮落带、断裂带、弯曲带。在垮落带、断裂带,岩层虽经多年的压实,仍不可避免地存在一定的裂缝和离层,其抗拉、抗压、抗剪强度明显低于原岩的强度。如果新建建筑物荷载传递到这两带,在附加荷载作用下会进一步引起较大的沉降和变形,甚至造成建筑物严重的破坏。

垮落断裂带的发育高度,主要与开采煤层的厚度、倾角、开采尺寸、覆岩岩性、采煤方法、顶板管理方法等有关。不同的采煤方法,其垮落断裂带(导水裂缝带)发育规律不同。

对于普采条件下垮落断裂带(导水裂缝带)高度的计算,可参考“三下”采煤规程中的有关公式进行计算^[8]。对于高强度开采条件下(分层综采、综采放顶煤、厚煤层一次采全高)垮落断裂带高度的计算,可利用本矿区实测的覆岩破坏观测数据和经验公式,或参考下列公式进行计算^[10-12]。

$$\text{坚硬岩层 } H_{i_1} = 30 \frac{M}{n} + 10 \quad (1)$$

$$\text{中硬岩层 } H_{i_1} = 20 \frac{M}{n} + 10 \quad (2)$$

$$\text{软弱岩层 } H_{i_1} = 10 \frac{M}{n} + 10 \quad (3)$$

式中: M 为煤层有效采厚(m); n 为开采分层数。

2.3 建筑物荷载影响深度计算

建筑物的建造使地基土中原有的应力状态发生变化,从而引起地基变形,出现基础沉降。建筑物荷载的影响深度随建筑荷载的增加而增大。一般地,当地基中建筑荷载产生的附加应力等于相应深度处地基层的自重应力的20%时,即可以认为附加应力对该深度处地基产生的影响可忽略不计,但当其下方有高压缩性土或别的不稳定性因素,如采空区垮落、断裂带时,则应计算附加应力直至地基自重应力10%位置处,方可认为附加应力对该深度处的地基不产生多大影响^[13]。该深度即为建筑物荷载影响深度(H_z)。

需要说明的是,地基附加应力是从基础底面算起的,地基自重应力是从地面算起的,对于高层建(构)筑物,一般都有地下停车场或防空洞,更应注意两者之差。

2.4 地表倾斜变形与建筑物高度控制

理论研究与实践经验表明,地表大面积、平缓、均匀的下沉和水平移动,一般对建(构)筑物影响很小,不致引起建(构)筑物破坏;地表倾斜会使建(构)筑物歪斜,特别是对底面积很小而高度很大的建(构)筑物,如高层楼房、水塔、烟囱、高压线铁塔等,影响较严重;曲率变形可使建(构)筑物产生倒八字或正八字形裂缝;地表水平变形是引起建(构)筑物破坏的重要因素,拉伸变形会造成建(构)筑物在薄弱部位(如门窗上方)和墙壁上出现裂缝,压缩变形则可能使建(构)筑物墙壁挤碎、地板鼓起,出现剪切或挤压裂缝,使门窗变形、开关不灵等。

关于地表曲率变形、水平变形,可以对建(构)筑物采用抗变形方法和技术措施加以解决。但对于地表倾斜变形,绝大部分地表倾斜值将传递到建筑物上,如果倾斜变形值较大,将影响建筑物的美观,对于高层建筑,将影响其稳定性。

在采煤塌陷区新建建(构)筑物时,大多采用抗变形结构技术措施,其抵抗整体倾斜的能力得到一定的加强,尤其是对多层抗变形建筑物和低层抗变形建筑物,可以适当放宽建筑物对整体倾斜允许值

在承载力允许的情况下,采用砂垫层或砂石垫层。砂垫层和砂石垫层可以减少地基反力的不均匀性,有效的吸收地表水平变形、曲率变形和部分倾斜变形的影响。

(5) 设置滑动层

高层建筑一般采用钢筋混凝土整体基础,滑动层应设在钢筋混凝土基础与素混凝土垫层之间。从抗震抗变形双重保护考虑,在房屋高宽比小于3时,选择摩擦系数为0.2~0.4左右的滑动层材料较适合,这样既可避免地震时过大的提高摇摆对结构的不利影响,又可以起到一定的抗采动变形作用,因为房屋高宽比愈大,抵抗地表变形的能力愈大。当房屋高宽比大于3时(建筑物高度超过60 m时),不建议设置滑动层。

(6) 基础形式

高层建筑结构应采用板式基础、梁板式基础或箱型基础,基础的大小和配筋除了按照常规计算外,还要根据地表变形的大小进行计算。不建议采用浅基础。对高耸构筑物,要适当增大基础的平面尺寸和强度,以抵抗地表的倾斜变形。

(7) 适当增大建筑强度

由于地表变形的影响,使上部结构产生附加内力,在结构计算时要予以考虑,要适当增大建筑的强度。地表水平变形主要对基础产生影响,影响高层建筑上部结构的主要为地表倾斜变形。计算时还要进行结构构件强度验算和倾覆稳定验算。

4 应用实例

4.1 平煤十矿月台佳苑住宅小区

为了改善矿区职工居住条件,平顶山天安煤业有限公司十矿对本矿西大门家属区进行了改造。项目区地处平顶山市东部,位于十矿工业广场西南部,占地面积约34.5亩。

项目区位于平煤股份十矿、十二矿及天力吴寨矿开采范围内。本区域第四纪表土层厚度约为96 m,下方及附近先后开采了戊组和己组煤层,其中,戊组煤开采了戊₈₋₁₀煤层,分上下两层开采,最大累计开采厚度为4.6 m左右,煤层倾角为8~10°,最小采深147 m左右,开采时间1966~1973年,采煤方法为走向长壁普采或综采,全陷法管理顶板;己组煤主要开采己₁₅煤层,局部开采下分层己₁₇煤层,最大累计开采厚度约为4.8 m,煤层倾角8~11°,最小采深

约为240 m,开采时间1991~2006年,采煤方法为走向长壁炮采、普采或综采,全陷法管理顶板。另外,地方小煤矿魏寨矿曾于上世纪九十年代在拟建区附近进行过开采活动,主要复采戊组煤的残留煤柱和断层煤柱。

计算表明,拟建区地表残余下沉为20~430 mm,南北方向倾斜变形为-2.6~2.4 mm/m,东西方向倾斜变形为-3.7~0.6 mm/m,南北方向水平变形为-2.3~0.6 mm/m,东西方向水平变形为-1.6~1.6 mm/m,拟建区新建建筑物将经受Ⅱ级采动影响。考虑到拟建区内地质条件较为复杂,要求按Ⅲ级采动影响对新建建筑物进行抗变形设计。

目前,该小区已建设完成6栋11层职工住宅楼,并投入使用,所建楼房均保持完好,没有出现任何破坏。平煤十矿月台佳苑住宅小区实景图见图2。



图2 平煤十矿月台佳苑住宅小区实景图

4.2 大唐郑县云阳风电场工程项目

大唐郑县云阳风电场位于河南省平顶山市郑县东南部,与襄城县交界。该风电场高程为+250~+420 m,拟安装17台单机容量为2000 kW的风电机组,总装机容量为34 MW。

根据电网公司对风电场接入电网的技术要求、风电场风资源、安装运输等条件的综合考虑,1~10#风机点采用国电联合动力技术有限公司生产的UP2000-96-DF-CC/NC-3A风电机组,11~17#风机点采用许继风电科技有限公司生产的WT2000-100风电机组,两种机组轮毂高度均为80 m,风轮直径93.3~96.4 m,塔架重161~176 t,设计寿命20年。

该场址位于平煤集团首山一矿、十三矿及其深部扩大区井田范围内,压覆矿井可采煤层主要有乙、丁、戊、己四组煤层,煤层累计厚度约6.5~11.6 m,

采深约 517 ~ 1100 m。

计算表明,云阳风电场采动影响区域地表将来可能发生的最大下沉值为 7362 mm,最大倾斜变形为 13.5 mm/m,最大拉伸变形为 7.3 mm/m,最大压缩变形为 5.8 mm/m,最大采动影响等级将达到Ⅳ级以上。

在实施过程中,为确保拟建风机处地基的稳定性,根据地表沉陷变形预计和地形条件,对 2#、3#、5#、6#、7#、12#、14#、15#、17# 风机点的点位(位置)进行了优化调整。对部分紧邻高陡边坡的风机(6#、7#、17# 风机)采取了必要的场地平整、工程边坡支护及相关措施。

为确保风机的安全运行,对风机采用了抗变形结构技术措施,包括基础下加砂垫层、扩大基础底面积、提高基础的强度和刚度等。

在每个风机处设置了移动变形观测站,定期对地表和风机进行移动变形监测。当风机的倾斜变形达到或接近风机倾斜变形临界值时(6 mm/m),对风机采用相关纠偏措施,以保证风机的稳定性和安全运行。

目前,云阳风电场工程项目已建设完成,所有风机运转良好。

5 结 论

(1)提出了以建筑荷载影响深度与垮落裂缝带发育高度不相互重叠,并同时考虑地表的倾斜变形值,来确定和控制建筑物的层数和高度,建立了比较完善的采煤塌陷区建筑地基稳定性评价方法。

(2)系统研究了高层建(构)筑物抗变形技术,包括平面布置应力求形状简单、规则;竖向宜规则、均匀,避免有过大的外挑和内收;在承载力允许的情况下,采用砂垫层或砂石垫层;在建筑物高度小于 60 m 时,设置水平滑动层;采用板式基础、梁板式基础或箱型基础;对高耸构筑物,要适当增大基础的平面尺寸和强度;适当增大建筑的强度等。

(3)研究成果在平顶山等矿区得到推广应用,取得了良好的技术效果,获得了显著的经济效益、社会效益和环境效益,对合理利用采煤塌陷区,促进矿区城市的可持续发展,具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 周国铨,崔继宪,刘广容,等. 建筑物下采煤[M]. 北京:煤炭工业出版社,1983.
- [2] H. 克拉茨. 采动损害与防护[M]. 马伟民,王金庄,王绍林,译. 北京:煤炭工业出版社,1984.
- [3] 颜荣贵. 地基开采沉陷及其地基建筑[M]. 北京:冶金工业出版社,1995.
- [4] 滕永海,张俊英. 老采空区地基稳定性评价[J]. 煤炭学报,1997,22(5): 504-508.
- [5] 郭广礼. 老采空区上方建筑地基变形机理及其控制[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2001.
- [6] 邓喀中,谭志祥,张宏贞,等. 长壁老采空区残余沉降计算方法研究[J]. 煤炭学报,2012,37(10): 1601-1605.
- [7] 张俊英,王金庄. 采空区地表新建建筑地基稳定性评价技术研究[J]. 矿山测量,2003,(3): 28-30.
- [8] 国家煤炭工业局. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[M]. 北京:煤炭工业出版社,2000.
- [9] 滕永海,唐志新,郑志刚. 综采放顶煤地表沉陷规律研究及应用[M]. 北京:煤炭工业出版社,2009.
- [10] 滕永海,高德福,朱伟,等. 《水体下采煤》[M]. 北京:煤炭工业出版社,2012.
- [11] 滕永海. 综放开采导水裂缝带的发育特征与最大高度计算[J]. 煤炭科学技术,2011,39(4): 118-120.

作者简介:滕永海(1963-),男,山东夏津人,博士,研究员.主要从事开采沉陷规律与“三下”采煤技术的研究工作。

(收稿日期:2015-12-19)

欢迎投稿,欢迎刊登广告!