

山东地区岩溶塌陷预测及防治对策

陈天生 (冶金部天津地质研究院)

提 要

山东地区由于城镇供水及煤、铁矿山排水而出现的岩溶地面塌陷,其环境灾害较为严重,已影响经济建设和人民生活,本文论述了山东地区岩溶塌陷预测及防治对策。

一、环境地质背景

本区指北起济南、淄博、昌乐一线,南至鲁、苏两省交界,东邻沂沭断裂带的郯郯——葛沟断裂,西以南四湖、梁山、黄河为界,总面积3万km²,碳酸盐岩系面积约占64%。该区属暖温带半湿润季风气候,多年平均降雨量620—855mm,降水多集中在每年的七、八、九月份,占全年降水量的60—70%,导致夏末秋初多暴雨,具有“春旱、秋涝、晚秋又旱”的特点。本区河流众多,其水文特征明显受气候控制。

区内地层除缺失奥陶系上统至石炭系下统及三迭系外,自太古界至第四系均有展布。地质构造的基本格局是一系列的断块凸起和断块凹陷相间排列。

本区岩溶水可划分为三个含水岩组:即碳酸盐岩裂隙—岩溶含水岩组、碳酸盐岩夹碎屑岩岩溶—裂隙含水岩组、碎屑岩夹碳酸盐岩岩溶—裂隙含水岩组,各含水岩组岩溶水主要来源于当年和近年大气降水的直接或间接补给,迳流通畅,循环条件良好,以水平迳流的方式向下游运动,并在承压排泄区储存、富集。其运动方向与地形及岩层倾斜方向一致,流向为NNE或NNW。故本区环境水文地质条件比较复杂,受地形、岩性、构造的制约最为显著。

空饱和。粉砂质土用毛管饱和。饱和时间长短视土质和密度来决定。如是粘粉质土一般以抽气且饱和二小时以后浸泡一昼夜为宜。如粉,砂质土一般以浸泡一昼夜即可(即毛管饱和)。此外,二氧化碳饱和及反压饱和是近年来发展的两种先进方法。

塑就是重塑。土样的重塑有两个实际意义:其一是无侧限抗压强度试验的灵敏度试验;其二是慢剪试验或可塑性试验试样的含水率制备。

振就是振动(击实)。土样的振击,实质上是压密土体的孔隙,排除土颗粒间分布的气体。其实际意义有砂类土的相对密度试验求 e_{max} 或 e_{min} ,以及粘性土的击实试验求 P_{dmax} 和 w_{op} 。

——水文地质工程地质1992年第19卷第3期——

二、岩溶塌陷分布特征

随着工业、矿业的发展,泰安、枣庄岩溶水源地及莱芜铁矿岩溶充水矿区地下水的采、排水量不断增加,泰安管灌庄、旧镇供水水源地自1976年以后,岩溶水已由承压转无压状态,过量抽取岩溶水,形成了以市区为中心的岩溶水下降漏斗(中心水位降近70m),其水动力条件发生了根本变化,尤其是在管灌

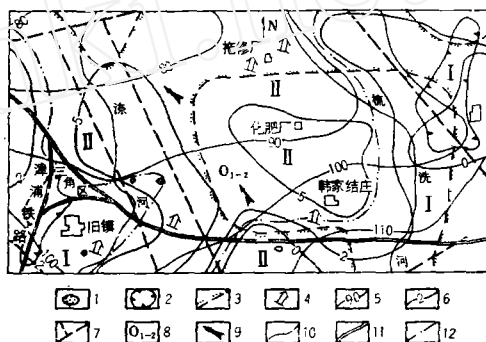


图1 泰安地区岩溶塌陷分布图

1—岩溶塌陷坑;2—岩溶塌陷密集地段;3—第四系砂层分界线;4—岩溶塌陷引起变形的建筑物;5—岩溶地下水等水位线;6—第四系底层粘土厚度等值线;7—推测断层;8—地层代号;9—岩溶地下水流向;10—河流;11—铁路;12—预测分界线;

庄、旧镇铁路三角区一带,塌陷坑分别高达60余处和30余处,塌陷面积累计约3500m²(图1),农田被

室内土工试验的制备试样的“十四种要素”,基本上是以手工,半机械化形式存在的。因而人为因素干扰增多,试样分析的或然率相应也增加,从而导致随机事件的诱发。

如果我们事先有意识地按一定程序要求,用一定的技术手段在先进的设备仪器内完成一系列的试样制备工艺,那么,就会避免试样测试结果的随机事件,使或然率降为零。伴随着土工试验仪器高、新、尖技术的实际应用,最终可以期待以机械化,自动化取代现有制备工艺的落后状态,进而提高整个室内土工试验的标准化水平。

毁,房屋倒塌,铁路路基被破坏,给人民生活和国家财产造成了巨大损失。枣庄十里泉水源地于1964年后开发利用,1980—1983年地下水位呈下降趋势(共下降12m左右),下降漏斗不断扩大。在十里泉水源地约1 km²范围内相继发生了44处岩溶塌陷(图2),

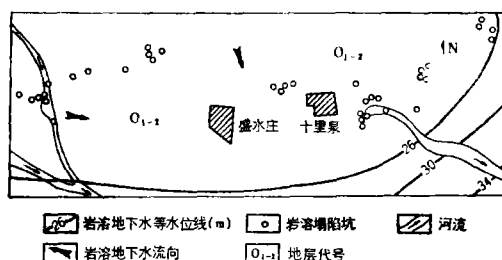


图2 枣庄十里泉水源地岩溶塌陷分布图

给居民生活、生产带来威胁。莱芜铁矿区分布十余个不同规模的砂卡岩型磁铁矿床,从五十年代末相继扩建和采矿,由于抽排疏干矿区岩溶水,出现塌陷坑有44处,大多数塌陷坑位于第四纪松散沉积物的“天窗”,累计塌陷坑面积约5700 m²(图3),造成部份农田毁坏,房屋开裂倒塌,更为严重的是雨水和河水通

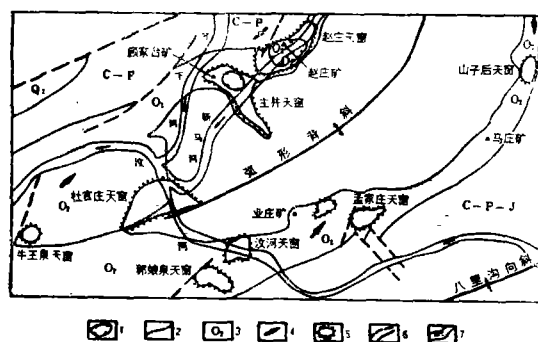


图3 莱芜铁矿区岩溶塌陷分布图

1—岩溶塌陷密集地段;2—地层界线;3—地层代号;
4—岩溶地下水流向;5—第四系松散物“天窗”;6—断层;7—河流

过塌陷坑溃入矿坑,影响采矿的安全。

塌陷区的松散层由第四系或第三系组成,第四系主要由粘土、亚粘土构成,第三系为砂岩、粉砂岩,结构松散,厚度较薄,易被潜蚀,形成上洞,给岩溶塌陷创造了必要条件,各塌陷区的特征是:

(一)泰安塌陷区:第四系松散厚20—30m,岩性自上而下可分四层(图4)。第一层为轻亚粘土、亚粘土,厚1.4—4.3m,第二层以中粗砂为主,次含细粉砂及亚粘土,分布极不均一,结构松散,据不均匀

系数($d_{60}/d_{10}>100$)与临界水力梯度之间的关系,即使在很小的水力梯度下,砂土易被潜蚀;第三层为

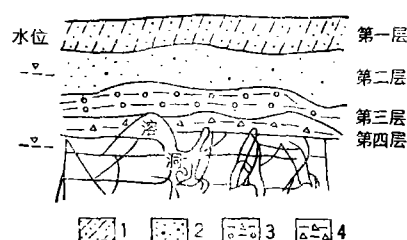


图4 泰安第四系地层结构示意图

1—砂质粘土;2—中粗砂;3—砾石层;
4—含砾粘土

含泥砂砾石层,砾石以花岗片麻岩为主,风化极严重,长石已风化为高岭土,结构疏松,水理性差,迁水崩解快,崩解量20h—级为60—80%,渗透系数为1.08—8.12⁻⁵m/d;第四层以含砾粘土为主,局部为碎、块石,厚度5—15m,塑性指数一般大于20,液限为38.8—76.5%,迁水易软化,该层底部已呈流塑状态。

(二)枣庄塌陷区:第四系岩性为轻亚粘土,含砾亚粘土,底部含较多的铁锰质结核,钙质结核及粘土,厚度小于10m,土层结构松散,具明显的上细下粗,直接覆盖于奥陶系灰岩之上。

(三)莱芜塌陷区:松散层为第四系和第三系,第四系岩性为粗砂、砾石,厚度10—26m,沿河流两岸发育;第三系为砂岩、粉砂岩,一般厚20—30m,局部厚达70—150m,但被新构造断裂带破坏,隔水性很差。

岩溶塌陷坑的形态特点与第四系或第三系岩性结构有关,其分布规律受岩溶水降落漏斗的岩性、结构、厚度和丰水季节控制。塌陷坑平面多呈圆形、椭圆形等,剖面上主要取决于松散层结构,多呈井筒状,直径一般3—6m,可见深度2—5m,塌前往往先造成地面局部裂隙或使建筑物产生变形。塌陷点多发生在岩溶水降落漏斗范围内的引水建筑物附近。塌陷多发生在雨季(7—8月),或稍后一段时间,该时间内发生的塌陷数占总塌陷数的80%以上。莱芜矿区塌坑多为井形和坛形,一次突然形成塌陷,塌坑多集中分布于“天窗”和“第四系渗漏区”内,据统计发生在“天窗”内的塌陷占88.9%,发生在“第四系渗漏区”的占11%,塌陷绝大多数发生在“天窗”的低洼地带和地表水体附近。例如,该矿区孟家庄“第四系渗漏区”内,第三系厚度大于70m,局部厚达181m,其完整性被一条走向NNE高角度正断层的新构造破坏,

在 1975 年业庄矿区疏干放水时,岩溶水虽有大幅度下降,但水位高于第三系底板,也发生了塌陷。

三、岩溶塌陷的预测

本区岩溶塌陷均属人类工程—经济活动造成的。岩溶水运动条件是产生塌陷的主要动力,只要岩溶裂隙发育及覆盖层较薄,当岩溶水水位下降到一定深度时就易产生塌陷。由于抽排岩溶水水位下降,第四系孔隙水和第三系构造裂隙水或地表水向下渗透产生潜蚀作用,使松散层底部吸水脱水、松胀、剥落,加之岩溶水运动的冲蚀淘空,遂使土洞形成,随着土洞顶部土体不断剥蚀坍塌,洞体逐渐向上迁移,一旦洞顶土体在重力作用下失去自拱力,塌陷就产生。在岩溶塌陷过程中,除了重力自始至终为潜蚀提供动力外,还有岩溶水由承压转为无压或微承压,水力坡度增大,雨季水位上升,枯季下降,造成水位周期性波动。如枣庄十里泉水源地水位埋深年变化为 20m 左右(图 5),第四系孔隙水的垂直渗透及地表水的渗入,产生岩溶水水位波动,在岩溶溶蚀及裂隙空腔内产生的真

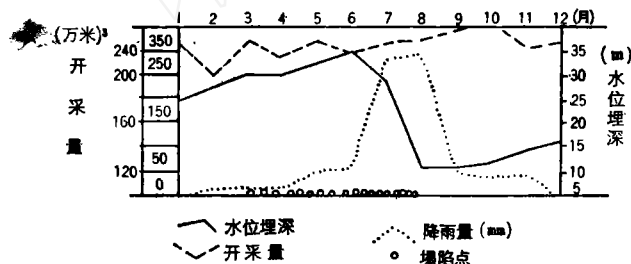


图 5 1982 年十里泉水源地开采量与漏斗中心附近水位埋深曲线

空吸蚀作用,这些均为潜蚀作用提供了条件。总之,潜蚀作用在本区的岩溶塌陷中起主导作用,岩溶塌陷的机制形成模式可归纳为:岩溶水水位变化—松散层中的物质受到潜蚀—形成土洞—产生塌陷。

岩溶塌陷的环境危害严重,因此需要对岩溶环境区塌陷发展趋势进行预测。本文按典型岩溶塌陷实例,进行地质分析的定性预测。

(一) 根据泰安地区塌陷形成与洞、土、水三者因素的相互关系,考虑岩性及岩溶发育情况、第四系底层含砾粘土层厚度、岩溶水动态等,其发展趋势可概括分为两个区。

(1) 易塌陷区(I):指该区有潜在塌陷的可能,它基本上具备塌陷形成的有利条件,该区可溶岩以厚层页岩为主,局部夹薄层页岩,岩溶较发育,构

造作用强烈,钻孔线岩溶率大于 5%,第四系含砾粘土层厚度小于 3m,地下水位标高在 90m 以上。

(2) 基本稳定区(II):指该区基本上不具备塌陷条件,区内基本上没有发生塌陷。但局部可能有地裂缝或建筑物变形等轻微现象。区内可溶岩仍为页岩或页岩夹灰岩,构造作用不强,岩溶发育较弱,钻孔线岩溶率小于 5%,洞隙多被粘土充填,第四系粘土厚度大于 3m,地下水位标高一般低于 90m。

(二) 莱芜铁矿岩溶塌陷发展趋势预测,同样依据前述形成条件及其成因分析,预计未来的岩溶地面塌陷将集中在以下部位发生:

(1) 集中在第三系厚度较薄的地区。即赵庄“天窗”、主井“天窗”、杜官庄“天窗”、汶河“天窗”、牛王泉“天窗”、孟家庄“天窗”等,“天窗”范围内,第三系厚度小于 30m,有利于上下含水层的联系或地表水渗入。

(2) 据已出现的数十个塌陷坑长轴方向皆位于 NE 或 NNE 向的断层附近,说明新构造对产生塌陷有明显的影响,虽然第三系厚度大于 30m,但受新构造活动的破坏,起不到隔水作用,使之成为“第四系渗透区”,第四系孔隙水通过断裂破碎带或“渗透区”补给下部含水层的过程中带走松散物质,淘空上覆盖层,破坏其平衡状态,产生一部份塌陷。

(3) 地表的反映多集中在泉群、地形低洼地段等。因为构造较集中,地表水长期冲刷溶蚀,地表水与地下水交替频繁,使得岩溶也较发育。

由此可见,主要在前述“天窗”、断层附近及洼地范围内属易塌陷区,其余为基本稳定区(图 3)。例如,位于易塌陷区内的赵庄“天窗”面积 0.289km²,位于赵庄断层北侧和张公清断层东侧—两断层交汇成中奥陶统灰岩断块凸起处,第四系水位(标高 176—177m)高于岩溶水位(标高 168—175m) 2—8m 左右,上下含水层产生密切的水力联系,当进行大型抽水期间,沿张公清断层东侧产生一条 NNE 向的塌陷群(明显的塌陷坑 12 个)。预测未来形成塌陷的最大范围,南不超过赵庄断层(因第三系厚 88m),东到嘶马河东岸(该处灰岩出露),西至张公清断层,北部边界接近嘶马河新河堤。如在嘶马河截流截潜的情况下,第四系孔隙水一般不可能补给赵庄“天窗”,汶河水位即使在洪峰期也不可能回流入赵庄“天窗”易产生补给。因此,需要在嘶马河堤下查明第三系厚度及灰岩岩溶发育程度。

四、岩溶塌陷的防治对策

(一) 为彻底根治地面塌陷的再重演,泰安水源

她范围内允许开采水资源量控制在 $5.7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。泰安铁路路基塌陷的防治应堵塞岩溶洞隙,消除塌陷基本因素,“堵洞防塌”就是通过钻孔往浅层洞穴、孔隙中注浆加固等,从而抑制土洞形成,防止塌陷产生。这种“堵洞防塌”已列为主要的防治工程措施,效果很好。

(二) 莱芜铁矿区岩溶地面塌陷的防治对策,关键在于防止“天窗”及“第四系渗漏区”渗漏,有效地控制抽、排水。对已产生塌陷地段采取封闭回填有效治理措施,减少地表水倒灌冲刷土体引起塌陷扩大和加剧,以免带来更大的危害。其具体措施是:首先查清易塌陷区“天窗”及“第四系渗漏区”的分布规律;上下含水层具密切水力联系的渗漏点及渗漏量;矿区抽、排水应控制不使水位变幅过大,使其缓慢下降,脱离基岩顶板,避免水位产生过频的升降运动,应设置观测孔进行监测,发现异常,立即采取防范措施;拟顾家台矿区恢复建设前,位于赵庄“天窗”附近 500 户居民是否搬迁,应进一步查明下伏岩溶发育

及水动力条件后,定量评价居民村的塌陷可能性,提出相适宜的措施。

(三) 枣庄十里泉水源地应确定允许开采水量,开采水井不能过于集中,应采取分散开采,小降深抽水,使区域水位均匀变化,避免水动力条件发生急剧变化,破坏岩体应力平衡状态而导致地面塌陷。对该区降落漏斗中心地带,开展大比例尺的专门性水文地质测量,进一步查明易发生塌陷的岩溶强烈发育地段,不同岩性接触带、地表水体、低洼地段及第四系覆盖层厚度,编制发展趋势的塌陷预测图。

(四) 为防治塌陷,可采取地下水人工回灌,恢复地下水平衡状态,亦可抑制塌陷的发展。但应注意回灌水质要符合标准,以防污染地下水水质。

(五) 建议采用遥感技术、电法、重力、地震和测井等综合方法,深入开展岩溶塌陷的勘察研究,不断提高塌陷预测水平。

参考文献 (略)

(上接第 59 页)

m·m), 龙羊峡、乌江渡坝基灌浆即是较好的例证。表 3 为龙羊峡水电站的三试区灌浆结果。

高压灌浆能取得较好效果是与地质条件有密切关系的,灌浆压力的使用应根据地质情况而定。表 4 为乌江渡灌浆压力的使用情况。龙羊峡高压灌浆试验表明:(1) 断层、裂隙都是陡倾角的,不存在连续成层且距地表浅的缓倾角构造,使得灌浆易起压但不产生很大的有害抬动。(2) 岩体较紧密、透水性较低,使得在高压灌浆时浆液不会沿大通道流失很远、很多,且没有出现灌浆压力起不来的现象。

4. 地质因素对灌浆的施工质量影响

由于地质条件差,易发生施工质量事故。如当岩层薄、岩性脆弱、发生的断裂中夹有碎石屑和泥土质时,钻孔过程中易于卡钻、塌孔,孔斜难以保证(特别是斜灌浆孔),往往使灌浆帷幕留下天窗;在冲洗时,裂隙中松散的、风化的泥质充填物难以被冲出孔外或推转到灌浆处理的范围外,即使长时间冲洗也难以回水清澈,影响浆液透入裂隙;在灌浆过程中,卡塞难以进行,串冒浆现象严重。总之,差的地质条件将影响灌浆实施、难以达到设计标准。对于这类施灌工作难以合格的地层的防渗处理,有时不得不采用灌浆以外的方案。

1. 确定岩体透水性的压水试验方法,所得结果(ω 值)是种平均值概念,不能完全真实反映地层的孔隙结构情况,灌浆试验是了解地层特征的有效辅助

手段,帷幕灌浆标准应结合帷幕设置目的而定。

2. 灌浆标准选择的高与低同地质因素密切相关,

岩体裂隙的开启、走向、延伸范围及连通情况等裂隙几何特征强烈地影响浆材对裂隙的灌注。透水性强,开度大的裂隙、易于浆材的灌入,灌浆效果明显;弱透水性,闭合的细小裂隙不容易达到好的灌浆效果;陡倾角裂隙的灌浆往往给施工增加难度,所以,对透水性好的地层, $\omega \leq 0.01 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$ 的灌浆标准易于达到,而复杂地层,普通水泥的灌浆方法难以达到此标准。有低透水性充填物的裂隙常常是重点灌浆处理对象,这类地层的帷幕设置标准一般较高(如对重要工程通常情况下采用 $\omega \leq 0.005 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$)。

3. 普通水泥灌浆难以解决的低透水性裂隙岩体的防渗问题,通常可以通过渗透性好的灌浆材料如化学浆材、超细水泥来解决。大量工程实践表明化学灌浆可以达到 $\omega \leq 0.005 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$ 的标准,而普通水泥灌浆通常只能达到 $\omega \leq 0.01 \sim 0.03 \text{ L/min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}$ 以上的标准。所以,应针对地质条件来选择灌浆材料,以达到设计帷幕灌浆标准。

4. 为达到经济有效的灌浆,灌浆压力应根据地质情况选取。可灌性好的裂隙,在较小灌浆压力下同样可达到设计的灌浆标准,而弱透水性岩体裂隙,往往要通过高压灌浆才能达到一定的标准,但采用高压灌浆是受地质条件控制的,只有在适合于高压的地层中这种灌浆方法才能实行。

——水文地质工程地质 1992 年第 19 卷第 3 期——