

唐山市岩溶塌陷机制分析

魏风华

(中国地质大学, 北京 100083)

[摘要] 重点研究与探讨唐山市岩溶塌陷形成机制, 为岩溶塌陷预报预警模型建立提供依据。

[关键词] 岩溶塌陷 机制分析 预警模型

[中图分类号] P642.253 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2006)02-0086-04

岩溶塌陷已成为唐山市发展面临的主要地质灾害, 严重制约着城市的建设与发展。岩溶塌陷具有时间上的突发性和空间上的隐蔽性, 如何进行岩溶塌陷地质灾害时空预测、预报已成为岩溶塌陷防治研究中具有国际性的最突出的前沿课题。

岩溶塌陷形成机制, 是建立岩溶塌陷预测预警模型的前提条件。岩溶塌陷是在一定的地质条件下发生的, 脱离一定的物质基础, 去探讨其形成机制就可能会出现偏差, 对一定的条件下的岩溶塌陷, 将具有一定的形成机制。因此, 很有必要从唐山市地质条件下岩溶塌陷过程进行总结, 为建立预测预警模型提供科学依据。

1 地质环境条件

1.1 地形、地貌、地质构造

市区北部和东北部为燕山余脉的丘陵, 呈 NE-SW 走向, 由奥陶系石灰岩与石炭二叠系砂页岩组成。裸露型与覆盖型岩溶分布面积 45 km², 南部为山前冲洪积平原。平原北部地面波状起伏, 地形侵蚀切割较强, 冲沟发育; 平原南部地势低平坦荡, 地形切割微弱。

市区坐落在开平向斜西北翼一狭长型地垒构造上, 发育一系列与开平向斜轴部平行的次一级断裂和褶皱(图1)。西侧为一高角度陡河断裂, 断裂西侧形成明显基岩陡坎和第四系等厚线较密集的高梯度带, 第四系厚度达 380 m, 下伏石炭二叠系; 凸起带东侧为一隐伏的唐山断裂, 其东侧第四系厚度大于 100 m。两条断裂之间基岩为蓟县系、青白口、寒武—奥陶系碳酸盐岩, 其上覆第四系厚度一般小于

50 m, 向南逐渐加厚。

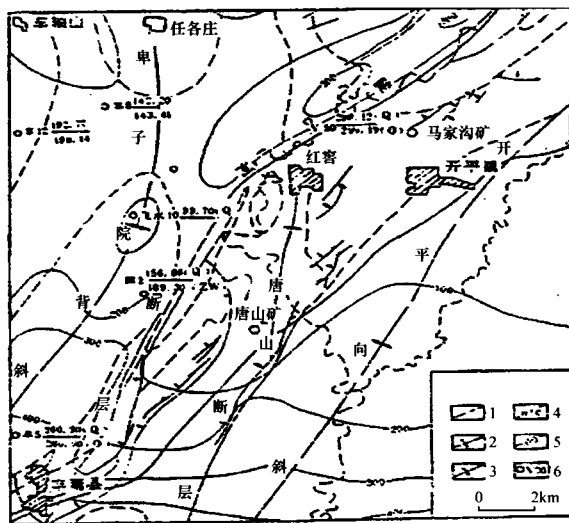


图1 市区构造地质图

1—断层及推测断层; 2—向斜; 3—背斜; 4—地层时代界线;
5—第四系厚度等值线; 6—钻孔编号, 分母为孔深(m), 活弧
内为地层时代符号, 分子为第四系厚度(m)

1.2 市区岩土体结构特征

陡河河床及河漫滩堆积全新统(Q_4)粉质粘土及粉细砂, 厚度 3~5 m。市区地表以下堆积上更新统(Q_3)黄土状粉土, 中细砂与少量砾卵石层, 厚度 10~40 m。其下伏为碳酸岩盐红色风化壳, 堆积厚度 2~10 m。以棕红色或黄绿、灰绿色粘土夹碎石为主。碳酸盐岩红色风化壳在起伏的山地、丘陵区不易保存下来, 是因为它在后期遭受到强烈的风化剥蚀作用的结果, 唐山市山前对风化壳的发育与保存较为有利, 风化后期地面下沉, 风化壳免遭冲刷剥

[收稿日期] 2005-07-25; [修订日期] 2006-02-05; [责任编辑] 陈仁俊。

[第一作者简介] 魏风华(1968-), 中国地质大学(北京)在读博士, 长期从事地质环境保护与管理工作。

蚀,而很好的保存下来,构成一个较完整的红色风化壳的剖面。据占孔揭露大体上可将风化壳划分红色粘土带、粒化带和溶隙与溶洞带。

1.3 市区水文地质特征

市区内与岩溶塌陷有关的含水岩体有:第四系孔隙水、碳酸岩盐岩溶水。

1.3.1 第四系孔隙水

含水层主要有数层砂及砂砾石组成,之间无稳定的隔水层,加之由于人工混合开采,沟通了各层间的水力联系,使水位趋于一致,但由于超量开采形成了 311.0km^2 的水位下降漏斗(为2001年的),比2000年漏斗面积缩小 32.3km^2 ,漏斗中心北部位于北郊水厂,2001年低水位期水位埋深为45.80m,与2000年同期比较水位上升1.30m。水力性质属潜水—微承压水,富水性变化较大,单井单位涌水量 $3\sim 35\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$,一般为 $15\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$,是当地工农业用水的主要开采层位。其补给来源主要为大气降水、地表水入渗,灌溉回归及侧向径流;排泄途径主要为工农业用水开采。

1.3.2 碳酸盐岩岩溶水

市区内碳酸盐岩岩溶水含水岩层包括奥陶、寒

武系与蓟县系雾迷山组碳酸盐岩,分布在开平向斜西北翼狭长型的地垒构造上,该含水组岩溶裂隙发育,透水性、连通性好,导水性强,区内该层观测孔(井)水位之间的动态特征相似,构成了统一含水水体,传导速度快,唐钢2号孔抽水实验,涌水量 $3700\text{m}^3/\text{d}$,水位下降3.38m,其下游相距6.5km的049号观测孔水位也相继下降了1.21m。单井单位涌水量 $110.3\sim 4500\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$,啤酒厂生产井抽取蓟县系雾迷山组白云岩岩溶裂隙水,单井单位涌水量 $225\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$,富水性较强。岩溶水水位下降漏斗中心位于大钊公园,2001年低水位埋深57.88m,与2000年同期相比,水位下降了0.95m。

岩溶水主要补给来源为大气降水入参与地表水入参与区域侧向补给;人工开采是区内岩溶水的主要排泄方式。

岩溶水动态变化,年最低水位出现在6~9月,最高水位出现在翌年2~3月,年变幅8m左右。

1.3.3 市区地下水开发利用现状

唐山市区供水水源以地下水为主,主要开采第四系孔隙水和碳酸盐岩岩溶水,1989年开始引滦入唐。各年度开采量见表1。

表1 地下水开采量统计表(单位: $1\times 10^4\text{m}^3/\text{a}$)

开采层位	1986		1987		1988		1989		1990	
	第四系	基岩	第四系	基岩	第四系	基岩	第四系	基岩	第四系	基岩
路北	2820	2771	2880	5139	3028	5011	3768	4674	4701	4919
路南	3176		2994	121	2759	106	2690	104	2740	
开平	952	803	591	985	775	915.09	779	812	661.69	927.86

2 岩溶塌陷特征与分布规律

从1979年以来唐山市路北区陆续出现地面不均匀下沉,局部地段发生上、下水管道破裂、电杆倾斜、地面积水,少数楼房墙体开裂,直至形成圆形或椭圆形筒状的岩溶塌陷坑。

上述岩溶塌陷大都出现在唐山市路北区碳酸盐岩浅埋地段(覆盖型岩溶区内)上覆第四系很薄,且多数沿断裂带成串分布,具有方向性,实地调查证明,岩溶塌陷的空间分布具有一定规律性。

2.1 岩溶塌陷受构造及岩溶发育程度控制

唐山市路北区20处塌陷点大体沿构造断裂破碎带方向展布。分布在陡河断裂带上的塌陷点有:唐山市体育场、热力公司等9处;分布在唐山断裂带上塌陷点有:原38中学至西北井等11处。

1989年河北省地矿局第二地质大队布置在6个钻孔揭露唐山市体育场第二训练馆塌陷坑四周地下岩溶洞、隙发育情况,其岩性为灰色白云岩、灰质

白云岩、含燧石条带白云岩,顶板埋深39.01m至43.19m,溶洞、溶隙发育,而且具有向西南方向延伸的趋势,溶洞高度在3.68m以上。每个钻孔从揭露白云岩顶板开始至终孔(终孔孔深90.08~143.30m),均有不同程度的溶蚀现象,浅部溶蚀作用极强,向深部溶蚀作用逐渐减弱,且在不同方向和深度上都有连通性。

2.2 岩溶塌陷与第四系厚度、岩性及结构有关

唐山市路北区陡河断裂与唐山断裂之间的凸起带上,晚更新世厚度一般小于50m,岩性以细粒物质为主,粉质粘土、粉细砂和细砂层夹有中粗砂、砂砾卵石层。上部含水段为中细砂与粉细砂,厚度7.9~10.0m;下部含水段为细砂、砂砾卵石层,厚度5~10m,晚更新世冲洪积物结构松散,抗塌能力差,具备土洞发育条件。

2.3 岩溶塌陷集中分布在地下水水位下降漏斗区内

岩溶塌陷与地下水开采强度和水位下降关系极

为密切,1985 年市区与郊区共开采地下水 $4.76 \times 108 \text{ m}^3$,超过允许开采量两倍。从 1970 年开始地下水位以每年 $1.5 \sim 2.0 \text{ m}$ 的速率下降,到 1985 年累计下降 40 m ,形成第四系孔隙水与岩溶水水位下降漏斗。

2.3.1 第四系孔隙水水位下降漏斗

1974 年低水位期出现在水位下降漏斗迹象,1978~1981 年由于开采量急剧增加,水位加速下降,漏斗面积不断扩大与加深。1980 年低水位期漏斗面积 173.4 km^2 ,漏斗中心水位埋深 23.70 m (标高 -7.2 m)。1982 年低水位期的北部漏斗中心—北郊水源地,水位埋深 42.50 m (标高 -24.18 m)。1989 年 9 月唐山市体育场水位埋深 $29 \sim 30 \text{ m}$ 。第四系孔隙水接近疏干状态,2001 年低水位期埋深为 45.8 m ,与 2000 年同期比上升了 1.30 m ,漏斗面积 311.0 km^2 ,比 2000 年缩小了 32.3 km^2 。岩溶塌陷处在第四系孔隙水水位下降漏斗区内。

2.3.2 岩溶地下水水位下降漏斗

开采向斜西北翼岩溶水水位下降漏斗于 1974 年形成,漏斗沿碳酸盐岩地层走向展布,呈不规则条带状。1978~1981 年水位下降 $48 \sim 58 \text{ m}$ (水位标高 $-31.32 \sim -32.58 \text{ m}$)。1989 年 9 月体育场水位埋深 57.88 m 与 2000 年同期比,水位下降 0.95 m ,水位下降漏斗中心位于大钊公园,该公园内 2002 年 10 月水位埋深 59.63 m ,多年来岩溶水处于下降状态,1990~2000 年 10 月累计水位下降 7.47 m ,年平均下降速率 0.74 m ,岩溶水位多年变幅在 8 m 左右。岩溶水位大幅下降,致使其水力性质由承压水转为无压的自由水。

第四系孔隙水与岩溶水水位下降漏斗空间展布、形态与动态变化特征不尽相同,充分说明两者之间水力联系不够密切,未能形成统一的含水体,中间存在着很强的弱透水体的阻隔(红色粘土)空间上形成两套含水岩体。

3 岩溶塌陷地质概化模型

唐山市岩溶塌陷应属于透—阻型盖层地质概化模型(3)。塌陷区盖层上部为透水层,上更新统粉土、粉细砂,不连续的粉质粘土,中细砂与砂砾卵石层组成,中间无稳定的隔水层。加之人工混合开采,各层间水力联系密切,透水性强,单井单位涌水量 $15 \sim 35 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}$;下部为碳酸盐岩红色风化壳—粘土夹碎石层,分布较为稳定,厚度 $2 \sim 10 \text{ m}$,垂直渗透很微弱,是典型的弱透水层, K 值小于 $0.02 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

红粘土结构致密,孔隙比大,但压缩性小,一般属中等压缩性土,其承载力较高;粘土颗粒含量高,表面的自由能(负电荷)多,使颗粒间或介质间的吸引力大,起到胶体化学作用,虽孔隙比较大,但强度仍然较高;天然含水量较大,而液限指数小,土的天然含水量是以结合水为主,自由水较少,土体仍处于半固体状态,压缩性小。构成盖层独立的含水系统与其下伏的碳酸盐岩岩溶水含水系统,不论是地下水动力场、

动态变化等诸多方面,形成了截然不同的两套含水系统,在天然状态下两者无水力联系。

4 岩溶塌陷形成的机制分析

上世纪 70 年代以来,由于经济发展、人口增加,唐山市岩溶水开采量逐年增大,引起岩溶水位强烈下降,1977~1985 年水位下降 24.69 m ,下降速率为 3.1 m/a ,产生了岩溶水位下降漏斗,漏斗范围内,多次出现岩溶塌陷;1989 年开始,引用部分滦河水(引滦入唐)减少了岩溶水的开采量,其水位下降速率也相应趋缓。

当岩溶水位下降至灰岩或白云岩顶板以下时,由于红色粘土层封闭作用,水位急速下降时,导致岩溶腔水面以上空间出现低压(或负压区),此时盖层的地下水将受到如同吸盘一样的吸吮力或下拉力。岩溶腔内、外气压差大小取决于岩溶水位的下降速度,在吸吮作用下,使反力消失,即失脱增荷效应。可以使盖层底部的红色粘土层在短时间内被击穿,从而形成“天窗”。由于“天窗”上部的孔隙含水层的内聚力较小,在巨大压差及巨大水力坡度对盖层中的砂土发生潜蚀十分有利。从而对土体形成潜蚀破坏,在渗透潜蚀力的作用下,土洞加速向上发展,最后导致塌陷。

其次,在大气压差和土体自重压力共同作用下,也是岩溶充水矿山坑道突水后,数小时乃至数十分钟就会出现岩溶塌陷的主要原因。如 1984 年 6 月 2 日 10 时 20 分,位于开平向斜东南翼的年产 300 万吨范各庄大型矿井,2171 工作面发生了举世罕见的突水灾害,仅 21 个小时就将全矿井淹没,并且不同程度殃及附近 4 个大型矿井,损失相当严重(直接经济损失 5.6 亿元)。

突水后,高峰期 11 个小时平均突水量高达 $2053 \text{ m}^3/\text{min}$ ($34.22 \text{ m}^3/\text{s}$),使岩溶水位大幅下降,距突水点十多公里范围内,岩溶水位观测孔及岩溶水源井水位明显下降,向北波及到 12.5 km 远的卑家

店水厂和开平二中观测孔水位下降 51.44m,向南影响到钱家营以南水位下降 22m,影响范围南北长 25km,面积 84km²,距突水点 2300m 远的岩溶水位由突水前的 +5.94m 下降到 -111.09m,第四系冲洪积层孔隙水水位也有明显的下降,由突水前的 -17.2m 下降到 -39.9m。

由于岩溶水位大幅下降,在突水点以北 3~7km 范围内的覆盖型岩溶区,彭家塔坨至林西机厂一带,在范各庄矿井突水后大约 50 多分钟,出现地面塌陷坑 17 个,其直径一般为 10m 左右,坑深 3~12m 不等,以后又出现了 4 个塌陷坑连成一片。该覆盖型岩溶区内盖层厚度 40~60m 左右,碳酸盐岩红色风化壳粘土层厚度为 3~5m。

1989 年以后,唐山市岩溶水位下降趋势减缓,大气可以通过多种渠道进入被流干的岩溶空腔内,因此,其内部产生的气压差大大减小。1988 年出现的岩溶塌陷高峰期,以后至今未能出现岩溶塌陷,这是因为岩溶水位长期波动在灰岩或白云岩界面以下 -30m 标高左右时,由于空气的补充进入,岩溶腔和盖层土洞内部与地面处于相对平衡状态,岩溶塌陷也处于相对稳定时期,但是,当岩溶水位呈高低变化状态下,岩溶腔与土洞内部气压将随之升高或降低,由此形成的气压差对盖层结构将起到一定的破坏作用,破坏程度同样取决于岩溶水位变幅、升降速度,水位升降速度愈快,变幅愈大,形成的气压差相对愈大。尤其是岩溶水位在岩溶腔内作大幅度频繁升降变化,土洞顶板相当于受到气压差的震动荷载,从而对盖层结构造成极大的破坏,往往是在每年 7~8 月主汛期出现,增加了大气降水垂直入渗量,盖层土体强度会迅速降低,而发生岩溶塌陷。唐山市岩溶塌陷产生的时间多出现在每年 8~9 月,集中于汛内或

汛后,是一个很好的佐证。

5 结语

唐山市岩溶塌陷的产生,是在特定的地质环境条件下,上部透水、底部阻隔水地质模型中产生的。底部分布一层比较稳定的红色风化壳粘土层,强度很高,处于半固体状态与下伏岩溶含水系统是截然不同的,在开采状态下,两个含水系统水位差值 13~14m。对于红粘土层来说,在此双层水位差作用下的渗透潜蚀力通常不足以击破红色粘土层,当水位急速下降,只有在岩溶腔内形成负压(或压力差),可使粘土层在短时间内被击穿,形成“天窗”,在巨大压差与巨大水力坡度产生的渗透潜蚀作用,才能使土洞加速向上发展,形成塌陷。

据此,岩溶塌陷形成机制分析,可以建立唐山市岩溶塌陷预测预警模型,主要影响因素可以考虑下列因子:岩溶水位波动特征、构造带、岩溶发育带、岩溶水强径流带、岩流充填带等特性与规律、风化壳红粘土厚度等。

如何避免唐山市再次发生严重的岩溶塌陷地质灾害。应使岩溶水位控制在灰岩界面以下 -30m 标高上下,防止岩溶水在岩溶腔内作大幅度频繁升降变化,尤其是在特大丰水年,更应引起高度重视,根据岩溶水位监测数据,及时发出预报预警,避免危及人民生命财产的安全和经济损失。

[参考文献]

- [1] 张瑞成. 新唐山市地面变形机制分析. 地质灾害与防治. 1990, 4.
- [2] 田级生. 浅析北方红粘土对碳酸盐岩溶蚀作用的影响. 长春地质学院学报, 1986. 45(3)
- [3] 程星. 岩溶塌陷的地质概化模型. 水文地质工程地质, 2002, 6.

STUDY IN THE MECHANISM OF KARST COLLAPSE IN TANGSHAN CITY

WEI Feng - hua

(China University of Geosciences, Beijing 100083)

Abstract: Development mechanism of karst collapse, which has been focused on in the study, gives a foundation for setting up forecast model of karst collapse.

Key words: karst collapse, forecast model, mechanism analysis