ICS
AAAA
备案号：

中华人民共和国行业标准

SL 245-20XX
替代 SL245-1999

《水利水电工程地质观测规程》

Specification for geological observation of water resources and hydropower engineering

（征求意见稿）

（仅供征求意见，请勿引用）

20XX 年 XX 月 XX 日发布　　20XX 年 XX 月 XX 日实施

中华人民共和国水利部 发布

前　言

根据水利部水利水电规划设计总院（水总科[2008]794号文件和《水利技术标准编写规定》（SL 1—2002），对《水利水电工程地质观测规程》（SL245-1999）进行修订。

本标准共6章14节133条和 1个附录，主要技术内容有：

——制定本标准的目的及其适用范围；

——地下水观测，包括地下水简易观测和地下水动态观测；

——边坡变形观测，包括观测布置、观测方法、观测频度与观测精度、观测资料整理与分析；

——地面沉降观测，包括采空区地面沉降观测、岩溶塌陷区地面沉降观测；

——区域构造稳定性观测，包括断裂活动性观测、水库诱发地震观测。

本次修订的主要内容有：

——增加了术语与符号；

——边坡变形观测中增加了GPS观测、分布式光纤传感件观测、声发射观测等新技术应用的内容；

——增加了地面沉降观测内容；

——将地震活动性观测明确为水库诱发地震观测。

本标准为全文推荐。

本标准所替代标准的历次版本为：

——SL245-1999

本标准批准部门：**中华人民共和国水利部**

本标准主持机构：**水利部水利水电规划设计总院**

本标准解释单位：**水利部水利水电规划设计总院**

本标准主编单位：**水利部长江勘测技术研究所**

本标准参编单位：**长江水利委员会长江勘测规划设计研究院**

本标准出版、发行单位：**中国水利水电出版社**

本标准主要起草人：**夏金梧　包雄斌　邵中勇　吕锋**

陈开端　姜本海　曾新平

本标准审查会议技术负责人：

本标准体例格式审查人：

目 次

1 总 则.....4
2 术 语 和 定 义.....6
3 地 下 水 观 测.....7
3.1 地下水简易观测.....7
3.2 地下水动态观测.....8
4 边 坡 变 形 观 测.....12
4.1 一 般 规 定.....12
4.2 观 测 布 置.....13
4.3 观 测 方 法.....13
4.4 观测频度与观测精度.....15
4.5 观测资料整理与分析.....16
5 地 面 沉 降 观 测.....18
5.1 一般规定.....18
5.2 采空区地面沉降观测.....18
5.3 岩溶塌陷区地面沉降观测.....25
6 区域构造稳定性观测.....30
6.1 一般规定.....30
6.2 断裂活动性观测.....30
6.3 水库地震监测.....31
标准用词说明.....错误！未定义书签。
附录 A：_____孔地下水（井、泉）观测记录表
条文说明

1 总 则

1.0.1 为统一水利水电工程地质观测技术要求，保证成果质量，根据《水利水电工程地质勘察规范》（GB50487-2008）中有关观测的规定，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于水利水电工程地质勘察中的地下水、边坡变形、地面沉陷和区域构造稳定性的观测工作。

1.0.3 地下水、边坡变形、地面沉陷和区域构造稳定性的观测均应符合下列要求：

1 观测网点及观测点应在收集工作区已有水文气象、地形地质资料和进行相应勘察阶段工程地质测绘的基础上进行布设。

2 观测工作宜随勘察阶段的深入不断完善，观测点逐步加密，观测手段可根据需要逐步实现观测自动化和遥测自动化。

3 通过观测工作应能实现下列目标：

1）全面掌握地下水、边坡、地面沉陷、活动断裂和地震的动态变化规律，为查明有关的工程地质条件，评价水库浸没、库坝区渗漏、边坡稳定、地面沉陷和区域构造稳定性等工程地质问题提供资料；

2）依据观测数据进行渗流和变形参数的反分析；

3）检验工程地质模型和结论的正确性，为工程地质预测预报提供依据；

4）通过工程地质观测资料的初步分析，对可能危及工程安全的不稳定岸坡、边坡、地面沉陷以及可能发生的水库诱发地震问题随时做出预测预报，以提请设计、施工、监理和业主等单位注意。

1.0.4 水利水电工程地质观测工作，除应符合本规程外，尚应符合国家现行的有关标准的规定。

1.0.5 本规程主要引用规范如下：

1 《水利水电工程地质勘察规范》（GB50487）

2 《国家一，二等水准测量规范》（GB/T 12897）

3 《全球定位系统(GPS)测量规范》（GB/T 18314）

4《区域水文地质工程地质环境地质综合勘查规范》(1:50000),（GB/T14158）

5 《工程场地地震综合性评价规范》（GB 17741）

6 《地震台站观测环境技术要求第一部分：测震》（GB/T19531.1）

7 《水利水电工程钻探规程》（SL291）

8 《土石坝安全监测技术规范》（SL60）

9 《混凝土重力坝设计规范》（SL319）

10 《地下水监测规范》（SL 183）

11 《水工建筑物抗震设计规范》（SL 203）

12 《1:250000 区域水文地质调查技术要求》（DD2004）

13 《混凝土大坝安全监测技术规范》（SDJ336）

14 《全球定位系统城市测量技术规程》（CJJ73-）

15 《地面沉降测量规程》（DZ/T0154）

16 《地下水动态监测规程》（DZ/T0133）

17 《跨断层测量规范》，国家地震局，1991 年

18 《地震台站观测规范》，国家地震局，1990 年

19 《地震及前兆数字观测技术规范》，中国地震局，2001 年

2 术 语

2.1 **岩体声发射** Acoustic emission of rock

是指岩体在受到形变或外界作用时，因迅速释放（弹性）能量而产生瞬态应力波的一种物理现象。

2.2 **地面沉降** ground settlement

这里专指与水利水电工程有关的矿产采空区塌陷（地下采掘洞穴塌陷）、岩溶塌陷等洞穴塌陷形成的地面沉降，是地面岩土体在自重应力场（或构造应力场的参与）条件下垂向变形破坏及向深部架空或潜在空间方向的运动。

2.3 **差分合成孔径雷达干涉测量(D-InSAR)** Differential Interferome- tric Synthetic Aperture Radar

是指利用同一地区的两幅干涉图像，其中一幅是通过形变事件前的两幅 SAR 获取的干涉图像，另一幅是通过形变事件前后两幅 SAR 图像获取的干涉图像，然后通过两幅干涉图差分处理（除去地球曲面、地形起伏影响）来获取地表微量形变的测量技术。

2.4 **区域构造稳定性** regional structure stability

建筑物所在地区一定范围、一定地质历史时期内，断层和地震的活动性。

2.5 **活动断层** active fault

晚第四纪以来有活动的断层。[GB 17741－2005，定义3.5]

注：晚第四纪指距今（10～12）万年以来的时段。

2.6 **水库诱发地震** reservoir-induced earthquake

在特殊的地质背景下，因水库蓄水引起水库及其附近地区内新出现的、与当地天然地震活动规律明显不同的地震活动。

3 地 下 水 观 测

3.1 地下水简易观测

3.1.1 地下水简易观测宜包括钻孔初见水位，钻进过程水位，终孔水位和稳定水位以及自流孔的流量及水温观测。

3.1.2 松散地层中初见水位应在不向孔内送水的条件下观测，并应同时观测初见水位出现时孔深。

3.1.3 钻进过程中的地下水位，应在钻探交接班时提钻后，下钻前各测一次，节假日停钻期间应每隔 12h 观测一次。

3.1.4 终孔水位应在封孔前提出孔内残存水后进行观测，每 30 分钟观测一次，直到两次连续观测的水位差值不大于 2cm 时，方可停止观测，最后一次的观测值即为终孔水位。

3.1.5 稳定水位观测应在提出孔内残存水之后进行，每 1h 观测一次，连续观测应达到四次或四次以上，直到后四次连续测量的水位，相邻两次变幅均不大于 2cm，且无持续升，降的情况时，才可认定为稳定，并取最后两次观测结果的平均值作为稳定水位。

3.1.6 自流孔的承压水头，宜采取接管或安装压力表的方法进行观测，同时应观测其涌水量或进行涌水试验，并测量其水温。

3.1.7 钻进过程中发现新的含水层时，应停止钻进，进行临时止水隔离，并依据本规程 3.1.5 条的要求观测新含水层的稳定水位。

3.1.8 预计在同一钻孔中，可能揭露两个或两个以上含水层，需要分别测定稳定水位时，则应在钻孔任务书的钻孔结构设计中明确注明，并在实施过程中进行止水效果检查。

3.1.9 对勘探平洞和竖井中的地下水出水点，应根据其水力联系特征分别采取单体分割和引流集中的方法量测其水流量及水温的变化。

3.1.10 地下水简易观测宜使用专用的水位、水温和流量量测器具进行观测，并应每 36 个月对量测器具进行一次计量检测。

3.1.11 同一钻孔有两个或两个以上含水层地下水位观测记录时，记录中应同时附上钻孔结构图及分层观测的安装说明。

3.2 地下水动态观测

3.2.1 地下水动态观测应包括地下水位、水质、水温及泉水流量观测，同时尚应包括工作区的降水量观测和地表水体的水位，水质和水温观测。

3.2.2 地下水动态观测点网应分别由垂直和平行河流流向的观测线组成；远离河流的宜由分别平行和垂直于地下水流向或垂直和平行于微地貌分界线的观测线组成。

3.2.3 平原区松散地层中地下水宜布设观测线进行动态观测。观测点距可控制在500～2000m，主要观测线上的观测点不宜少于3个。

3.2.4 碳酸盐岩类地区裂隙、岩溶水，宜布设观测网进行动态观测。网上点距控制在200～1000m。

3.2.5 非碳酸盐岩类地区的一般裂隙水，应针对可能集中渗漏带，高水头承压水和地下洞室高外水压力分布地段进行动态观测。

3.2.6 边坡岩、土体的地下水动态观测，应根据评价和预测边坡稳定性的需要，确定设点部位和数量，具体布置应与变形观测布置相结合。

3.2.7 选择的观测点均应具有一定的水文地质意义及代表性，同时应考虑交通，整治和观测上的方便。

3.2.8 在地下水动态观测地区，应同时布设雨量观测站。有条件的地区可根据具体情况收集相应河段的水文、气象资料或自设水尺观测河流水位。

3.2.9 观测孔的安装应符合下列要求：

1 观测孔宜采用跟管钻进或清水钻进；

2 基岩观测孔安装前应进行严格冲洗；

3 分层观测孔应进行严格止水及止水效果检查，分层观测孔可采用同孔并列或同孔同心式设置观测管；

4 松散地层中的观测孔，应设置滤水管，滤水管回填的砂砾石厚度不宜少于20mm；

5 孔口应设置固定标志，其高程不宜低于五等(等外)水准精度；

6 孔口应设保护装置；

7 自流孔宜采用安装压力表的方法量测承压水头，并应设置相应的孔口装置。

3.2.10 泉水观测点的装置，宜在泉水出口处修建引水渠道和量水设施，引水系

统不得影响涌水量，水温，水质的观测精度。

3.2.11　地下水位观测应遵守下列规定：

1　地下水位每一次观测应重复两次，两次观测值之差不得大于 2cm.地下水位观测值以米为单位测记，测记精确至小数点后第二位。

2　观测点设立一年内应每周观测一次，经过一个水文年后，可改为每两周观测一次，雨季或洪水期应加密观测，暴雨后应每天观测一次，延续时间不宜少于一周。

3　观测地下水位的同时，应观测同期的累积降水量，并观测附近地表水体的水位。

2.2.12　地下水水质观测应符合下列要求：

1　每年于洪，枯水期在有代表性的观测点应分别取水样进行水质分析；

2　不同含水层应分别取样，每个含水层每次取水样不宜少于 3 个点；

3　地下水取样的同时还应对附近的地表水体取样；

4　工程勘察中的水质全分析可根据环境水文地质条件及工程需要决定取样地点、数量及特殊的试验项目等。

3.2.13　地下水温观测应符合下列规定：

1　观测点数应不少于地下水位观测点数的 10%～20%。

2　地下水温观测次数初期宜与地下水位观测同时进行，掌握一定规律后，可适当减少观测.对地下热水的观测可根据目的与要求确定观测次数。

3　地下水温观测宜采用缓变水温计或热敏电阻温度计.缓变水温计置入水中时间不应少于 10min，热敏电阻温度计不应少于 3min，读数精度均应达到 0.1℃。

4　地下水温宜在含水层中部进行观测，每次观测的部位应相同。

5　地下水温每一次观测应重复两次，其差值不应大于 0.2℃。

3.2.14　泉水流量应每月观测一次，降雨特别是暴雨后应加密观测。

3.2.15　泉水流量宜采用堰测法施测，当泉水流量特大时，可采用流速法施测。

3.2.16　地下水动态观测资料整理与分析应包括以下内容：

1　原始观测资料的校核；

2　观测资料的整理与分析；

3　资料汇总、整编，编制水位、水温、流量随时间变化曲线。

3.2.17　地下水位，水质，水温，流量等原始观测资料及记录表格，应随时进行校对，核实，发现问题及时解决，记录表格见附录 A。

3.2.18　观测资料的整理应包括以下内容：

1　依据校核后合格的观测数据计算出地下水位，水质，水温，流量，降水量，地表水体水位等动态要素的物理量。

2　绘制动态要素的过程线，分布图，关系曲线图以及地区的典型地质与水文地质剖面图。

3　动态要素特征值统计，其中主要包括各动态要素的年最大值、最小值、平均值(含出现的时间)、标准差，观测周期及变化率等。

3.2.19　对观测资料应随时进行分析，分析动态要素的时空变化规律，统计特征值的规律以及相互间的相关关系，并从分析中获取动态要素变化的稳定性和趋势值。

3.2.20　资料整编应包括以下内容：

1　考证资料；

2　审核观测资料；

3　编制成果图表；

4　编写资料整编说明。

3.2.21　考证资料可包括以下方面：

1　观测点的类别，位置及编号；

2　观测点附近影响观测精度的环境变化；

3　观测点的变动情况；

4　观测孔孔深，淤积，洗孔，灵敏度试验情况；

5　高程测量(包括引测和校测记录)；

6　测具的校测情况。

3.2.22　审核观测资料宜包括以下内容：

1　观测方法，误差；

2　原始记录的填写格式；

3　测具校测和高程校测的结果以及由此导致的观测数值修正。

3.2.23　编制的成果图，表宜包括以下方面：

1　各动态要素观测成果表；

2　地下水位，泉水流量特征值统计表；

3　地下水动态要素过程线图，分布图和各种关系曲线图；

4　动态要素多年变化综合曲线图；

5　观测点网平面分布图；

6　观测线水文地质剖面图。

3.2.24　资料整编说明宜包括下列内容：

1　资料整编的内容，方法及工作量概况；

2　观测点网的调整，变更情况；

3　观测方法，精度和测具校测概况；

4　观测资料的质量评价；

5　观测资料分析阶段成果及结论；

6　存在问题及改进意见。

4 边 坡 变 形 观 测

4.1 一 般 规 定

4.1.1　边坡变形观测对象应包括坝址区、库区和移民新址等处的不稳定和潜在不稳定边坡，以及其它有疑点的边坡。对上述地区已经开挖的边坡以及已经发现的新、老滑坡更应重点考虑布置观测。

4.1.2　边坡变形观测项目（内容）应包括边坡表层的垂直位移、水平位移和滑坡深层滑面的位移，以及滑坡体的沉降和周边裂缝的张合观测。

对重要的边坡，可采用分布式光纤观测。

对存在崩塌可能的岩质边坡，观测项目可包括岩体声发射。

4.1.3　对边坡变形可能产生影响的因素如降水量、地下水位和地表水体水位等，应与观测边坡变形同时进行观测。

在不稳定边坡和滑坡范围及其附近，应充分利用人工和天然的地下水露头点进行地下水位或水压的观测，必要时还应布置专门钻孔施测其水位或孔隙水压力的变化。

4.1.4　变形监测网的网点，宜分为基准点、工作基点和变形观测点。垂直位移基准点宜设在水平位移基准点附近，垂直与水平位移观测应配合进行。深层位移观测点的地面对应部位应同时设置地表水平位移和垂直位移观测点。

4.1.5 水平位移基准网宜采用独立坐标系统，必要时可与国家坐标系统联测。垂直位移基准网应布设成环线。

4.1.6 水平位移观测网基准点、工作基点、变形观测点宜埋设为带有强制归心装置的观测墩。垂直位移基准点、工作基点宜埋设在裸露基岩上或原状土层内，垂直位移变形观测点可埋设在水平位移观测墩基座上。

4.1.7 边坡变形观测所使用的仪器、设备应与观测精度要求相适应，并宜长期稳定可靠，使用维修方便。仪器设备的检查、校正工作应按 SDJ336 执行。

4.1.8　变形观测数据的正负号，应遵守下列规定：

1 水平位移：与主滑方向一致为正，即向河谷、溪沟为正，反之为负；

2 垂直位移：下降为正，上升为负；

3 裂缝张合：张开为正，闭合为负。

4.2 观 测 布 置

4.2.1 边坡变形观测区应建立相应的观测系统，其中水平与垂直位移观测网基准点应设置在边坡变形影响范围以外的稳定地带，并能保证观测精度要求的地方，每个项目至少应布设 3 个基准点；工作基点宜埋设在方便观测和稳固的基础上；观测点则应与边坡的岩土牢固结合，使观测值能真正代表边坡地表的变形。

4.2.2 观测点位的选择应结合地形地质条件和不稳定边坡、滑坡体的变形范围、变形特征考虑，选择在具有工程地质代表意义的敏感部位，并根据滑坡体不同部位的力学特征，分别在滑坡后缘下带、中前部隆起、前缘附近地带，以及其它明显有应力集中和控制滑动的锁固点附近布设。

4.2.3 地表观测点的分布密度、间距和形式，应主要根据地形和不稳定边坡、滑坡体的规模、分布面积及形态特征(长宽比)确定。对于存在整体不稳定或潜在不稳定的大型边坡和滑坡，观测点的密度和间距可分别按照 10～90 点/km2 和 100～400m 布设；布置形式在遵守本规程 4.2.2 条有关规定的前提下，宜使布设的观测点沿不稳定边坡和滑坡体的纵、横方向成网格形排列，纵向观测线不宜少于 3 条，横向观测线不宜少于 2 条。

4.2.4 滑坡裂缝观测点可布设在具有代表性的最大裂缝处及可能的破裂壁面部位。设点处其两侧岩体宜相对完整，并避开风化严重的岩层和孤石。

4.2.5 采用钻孔倾斜仪的深层位移观测点可结合地表位移纵向观测线，在预计滑动范围内布设，在一条纵向观测断面上的深层位移观测点不宜少于 2 个。

4.2.6 在揭露不稳定边坡、滑坡滑面(滑带)的勘探平洞中，可设点采用多点位移计和收敛计对沿滑面(滑带)的滑动位移进行观测。

4.2.7 采用分布式光纤观测的边坡，光纤宜布满边坡坡面。

4.2.8 声发射监测点宜布置在边坡前缘坡脚等岩体应力集中部位。

4.3 观 测 方 法

4.3.1 边坡变形观测方法可包括地质巡视、简易观测、大地测量、GPS 测量、埋设仪器观测、分布式光纤观测、声发射监测等。

4.3.2 地质巡视中的观察与访问宜包括下列内容：

1 地表和平洞中边坡裂缝的发生与发展的变化情况；

2 边坡及其附近泉水点数变化与泉水流量的突变情况；

3 边坡和坡顶上工程建筑物与民房的变形变化情况；

4 沟谷、路堑边坡的岩土体结构面顺坡滑动变化情况；

5 悬崖或高陡边坡的崩石频度与崩石量的变化情况；

6 暴雨、洪水引发的滑坡体和崩塌体的个数、方量的变化情况。

4.3.3 地质巡视记录应遵守下列规定：

1 每一次地质巡视应视为一次专门性地质调查，进行定点与追踪观察以及详细的现场记录；

2 现场记录宜附素描图和照片，必要时应录像；

3 现场记录应随时整理，及时做出不稳定边坡和滑坡体的整体或局部的稳定状态分析；

4 每年应做一次地质巡视总结，写出报告，并附相应的分析图件。

4.3.4 简易观测可采用一些简单的标识和通用的量测工具，对不稳定的边坡和滑坡进行观测。观测中应符合下列要求：

1 地表裂缝宽度，可用钢尺在缝口直接量测。裂缝宽度的变化，宜采用在缝两边设固定观测点，并定期量测点间距离的方法来确定。裂缝宽度应精确到0.5mm。

2 地表裂缝两侧三向位移情况，宜采用三点或多点的方法进行观测，测缝标点间的距离应大致相等，量测的距离应精确到 0.5mm。

3 在勘探平洞中，对滑坡沿滑动面的位移量测，宜采用在滑动面两侧埋设固定桩、点的方法，定期量测其距离变化，以求得滑体的水平位移和垂直位移。量测桩、点间的距离应精确到 0.5mm。

4 在不稳定边坡和滑坡的勘探平洞基本完工后，宜及时沿洞轴方向，在洞壁以及洞壁与洞底的交线附近，分别埋设玻璃条和水泥带，定期观测它们被错开的位置、时间、距离和方向，对其中出现明显张开和位错的裂缝或滑移面，应按本条提出的其它方法观测其裂缝宽度变化或水平位移和垂直位移的变化。

4.3.5 大地测量观测方法应符合下列要求：

1 水平位移采用视准线法测量时，不稳定边坡或滑坡的宽度不宜超过 800m，在宽度方向上应具有良好的通视条件，并且在其两端存在有可供选择的稳定测站点；观测方法应符合 DLT5178 的规定。

2 在地形条件比较复杂的情况下，水平位移宜采用交会法施测，水平角应以J1 型经纬仪观测，边角网测角中误差不得大于±0.7″，交会法测角中误差不得大于 1.0″；边长用精度约为 1/500000 的电磁波测距仪或全站仪直接测量。

3 对地表的水平位移，在观测条件满足要求时宜采用 GPS 方法进行观测。观测仪器宜采用 GPS 双频接收机，具体可按 GB/T18314 规定执行，观测精度宜不低于 C 级网的精度要求。

4 垂直位移宜采用精密水准法测量，施测中观测点和起测基点的联测应采用国家二等水准标准，具体可按 GB12897 规定执行。

5 垂直位移还可采用三角高程法测量，其天顶距应以 J1 型经纬仪或全站仪观测，具体施测可按 SDJ336 的规定执行。

4.3.6 埋设仪器观测可采用钻孔倾斜仪、钻孔多点位移计和伸缩仪(收敛计)，对深层滑动面的位置和界面位移进行探测与测量。钻孔测斜仪孔深应达到主滑面以下 5m 左右，主测方向应与预计的主滑方向基本一致；多点位移计与伸缩仪的测线方向也应与深层滑动的主滑方向一致。

4.4 观测频度与观测精度

4.4.1 地质巡视与简易观测方法，可每两个月观测一次，雨季或洪水期每一个月观测一次，暴雨和强震过后宜及时进行观测。

4.4.2 大地测量和 GPS 观测方法，观测点可每两个月观测一次，雨季或洪水期每一个月观测一次，工作基点的稳定性宜每季度检测一次，观测网每年观测一次。

4.4.3 埋设仪器观测方法，可每月观测一次，雨季或洪水期每两周观测一次。

4.4.4 大气降水量、地表水体水位、地下水位或水压力的观测，宜与埋设仪器观测的频度相同。

4.4.5 无论用何种方法观测，当发现水平位移或垂直位移有明显异常时，应加密观测。

4.4.6 变形观测精度应符合下列要求：

1 观测点水平位移观测允许误差为±3mm，或年位移量的 1/5～1/10；

2 观测点垂直位移观测允许误差为±3mm；

3 裂缝宽度张合量量测允许误差为±1mm。

4.4.7 分布式光纤监测宜采用自动监测。

4.4.8 声发射监测宜采用自动连续监测。如采用人工监测，观测周期 7～14 天，每次连续观测 5～10 分钟。

4.5 观测资料整理与分析

4.5.1 观测资料整理与分析应包括以下内容：

1 原始资料的检查；

2 观测资料的日常整理与分析；

3 定期编写观测报告。

4.5.2 对原始观测数据应作如下检查，并对检查中发现的问题在现场逐一解决：

1 现场作业方法是否符合要求；

2 各项观测数据的检查结果是否在限差以内；

3 数据记录是否准确，齐全，清晰。

4.5.3 观测资料的日常整理应包括以下内容：

1 根据检查合格的观测数据计算出相应的观测物理量（水平位移，垂直位移，裂缝宽度，降水量和地下水位等），并记入相应的记录表；

2 绘制观测物理量过程线、分布图及变形关系曲线；

3 进行观测物理量特征值的统计，其中主要含各观测物理量的最大值和最小值（包括出现的时间）、变差、周期、年平均值及年变化率等。

4.5.4 对观测物理量应随时进行如下分析：

1 观测物理量随时间、空间变化的规律性；

2 观测物理量统计特征值的规律性；

3 观测物理量间的相关性。

从分析中获得观测物理量变化稳定性、趋势性及其今后可能给工程带来的不利影响等。

4.5.5 定期编写的观测报告宜包括如下内容：

1 工程规划设计情况，当前所处勘察设计阶段及已经投入的勘察工作量简况；

2 地形、地质概况；

3 边坡变形观测概况：包括观测网点及观测点的布置、维护、完好率、变更情况，以及仪器设备、量测工具的校测情况；

4 观测资料整理的成果图表；

5 地质巡视观测情况及主要成果；

6 观测数据分析方法说明；

7 观测资料阶段分析成果及结论；

8 观测工作中存在的问题及今后改进的建议。

5 地 面 沉 降 观 测

5.1 一般规定

5.1.1 地面沉降观测指与水利水电工程相关的采空区和岩溶塌陷区的地面沉降观测，重点应对已产生地面沉降变形的大型矿山采空区和岩溶塌陷区进行观测。

5.1.2 地面沉降观测项目(内容)应包括地面表层的垂直位移，水平位移、地表裂缝的张合以及地下水动态变化。

5.1.3 地表观测网的垂直位移基准点宜设在水平位移基准点附近，垂直与水平位移观测应配合进行。

5.1.4 地面沉降观测应由专业测量单位或经过严格培训的人员实施；地面沉降观测所使用的仪器、设备，应与观测精度要求相适应，具有足够的准确性，长期稳定的可靠性，对气候条件敏感性最小，有良好的运行性能，使用维修方便，仪器设备的检查，校正工作应按 DLT5178、GB 12897、GB/T 18314 和 DZ/T 0154 执行。

5.1.5 开展地面沉降观测前，应进行地面沉降现状调查，了解地面沉降区的地质背景、初步查明地面沉降区的分布范围、分布规律，初步分析地面沉降的影响因素、形成条件及其成因机制；应收集、分析已有地面沉降观测成果和资料，根据观测要求和观测条件，采用合适的方法和技术。在地面沉降观测实施前，应先进行技术设计，保证观测成果符合国家技术标准。

5.1.6 变形观测数据的正负号，应遵守下列规定：

1 水平位移：与坡下方向一致为正，即向河谷，溪沟为正，反之为负；

2 垂直位移：下降为正，上升为负；

3 裂缝张合：张开为正，闭合为负。

5.2 采空区地面沉降观测

5.2.1 观测对象应包括老采空区，现采空区，以及未来采空区。

5.2.2 观测站点的布置

1 采空区应建立相应的观测系统，其中水平与垂直位移观测网基准点应设置

在地面变形影响范围以外的稳定地带，并能保证观测精度要求的地方。

2 工作基点宜埋设在方便观测和稳固的基础上；观测点则应与变形区的岩土牢固结合，使观测值能真正代表地面的变形。

3 观测点位的选择应结合采空区地形地质条件，变形范围，变形特征考虑，选择在具有工程地质代表意义的敏感部位，并根据采空区不同部位的力学特征予以区别对待：

1）对于老采空区，新建水利水电工程会一定程度改变老采空区水文地质环境条件，可能引起新的变形；观测点应分别布置在采空区移动盆地的中间区，内边缘区，外边缘区，以及采空区的影响带附近地带。

2）对现采空区和未来采空区，观测点除应按照上述老采空区布置原则外，尚需结合矿床地层走向、倾向、断裂的展布等地质条件以及开采条件，预测移动盆地发展的方向，并在其移动范围内布置观测点。

4 地表观测点的分布密度，间距和形式，应主要根据地形和采空区及其变形的规模，分布面积及形态特征(长宽比)确定。观测线应平行或垂直矿层走向成直线布置，形成走向观测线（观测线与矿层走向平行）和倾向观测线（观测线与矿层走向垂直)；应有一条测线通过预计最大下沉值的位置，倾向观测线不少于 2 条；观测线上的观测点间距（可参考下表）应大致相等。观测线上观测点的选布，采用测区平均布点与移动盆地内边缘区加密布点相结合的方法，由外边缘区与中间区向内边缘区密度逐渐加大。

表 1　　采空区观测点间距及观测周期

年均沉降量（mm/a）	观测点间距（m）	观测点周期（月）	备注
<50	2000-1000	36-12	
50-100	700-500	12-6	
100-150	500-250	6-3	
>150	<250	3-1	

5 裂缝观测点可布设在具有代表性的最大裂缝处及地裂缝带，地面建筑物变

形破坏严重处；上述裂缝一般位于内边缘区地表或地面建筑物。

6 采用钻孔倾斜仪器的深层位移观测点可结合地表位移观测线，在预计移动范围内布设，在一条走向观测断面上的深层位移观测点不宜少于 2 个。

5.2.3 观测方法

1 传统方法：包括地质巡视，简易观测，水准测量、埋设仪器等，适合在采空区范围有限或者现场工作条件容易的情况下开展工作。

2 全球定位系统（GPS），适用于大规模的区域地面沉降观测。

3 如有条件，可采用差分合成孔径雷达干涉测量技术（D-InSAR）。

5.2.4 地质巡视中的观察与访问宜包括下列内容：

1 采空区地表裂缝、陷坑、台阶的发生与发展的变化情况。

2 采空区及其附近泉水点数变化与泉水流量的突变情况。

3 采空区工程建筑物与民房的变形变化情况。

5.2.5 地质巡视记录应遵守下列规定：

1 每一次地质巡视应视为一次专门性地质调查，进行定点与追踪观察以及详细的现场记录；

2 现场记录宜附素描图和照片，必要时应录像。

3 现场记录应随时整理，及时做出变形分析。

4 每年应做一次地质巡视总结，写出报告，并附相应的分析图件。

5.2.6 简易观测可采用一些简单的标识和通用的量测工具，对裂缝、陷坑及台阶等变形现象进行观测。观测中应符合下列要求：

1 应对地面沉降引起的地裂缝进行长期的系统观测。地表裂缝的宽度，可用钢尺在缝口直接量测；裂缝宽度的变化，宜采用在缝两边设固定观测点，并定期量测点间距离的方法来确定。具备条件时，可通过浅井或探槽进行裂缝深处变化观测。

2 地表陷坑的深度、长度、宽度， 可用钢尺直接量测；陷坑范围及三维位移的变化，宜在陷坑沉陷中心以及周边地表设置固定观测点，并定期量测点间距离的方法来确定。

3 地表台阶的阶高与阶宽，可用钢尺直接量测；台阶发展的三维位移的变化，

宜在台阶地表水平向与垂直向设置固定观测点，并定期量测点间距离的方法来确定。

4 必要时，上述变形观测可采用经纬仪、水平仪等精密仪器进行三维位移进行长期观测。

5.2.7 一般大地测量方法应符合下列要求：

1 各类标点测量的具体操作、仪器使用和仪器检验应符合 GB 12897 和 DZ/T 0154 等规定。

2 一等水准网（外环）布设在采空区移动盆地的外边缘区，二等水准网在一等水准网环线内布设，即布设在移动盆地的内边缘区和中间区。在地面沉降明显的内边缘区可选取剖面施测线，加密观测点。

3 水准网建成后应与已有的国家一等、二等水准网接测，并绘制水准网接测图。

4 观测网的高程系统采用正常高系统，一般采用 1985 年国家高程基准起算。测区内可以选定一个稳定的国家水准点，作为观测网的起算基点。选择基岩水准点作为起算基点时，应对其进行稳定性分评价，经验收合格后方可选定使用。

5 地面沉降水准测量测线（在具备条件的情况下）可因标点（基岩标、分层标）的布设而确定长短。原则上不宜过长，一般平均线长 8～12km。

5.2.8 埋设仪器观测可采用钻孔倾斜仪，钻孔多点位移计和伸缩仪(收敛计)，对采空区顶板冒落带、裂隙带、弯曲带等三带岩层的位移进行探测与测量。钻孔测斜管道可采用铝合金管，孔深应达到可能的采空区顶板以下 5m 左右，主测方向应与预计的移动方向基本一致；多点位移计与伸缩仪的测线方向也应与移动方向一致。

5.2.9 GPS 观测方法应符合下列要求：

1 利用 GPS 技术测量地面沉降应建立测量控制网。GPS 网布设原则及 GPS 测量应符合上述规定。采用的各类参数、仪器及操作程度应符合 GB/T 18314。观测仪器的选择与观测过程，尽量保证在统一的情况下，采用相同的测量仪器。

2 GPS 网的布设，应视目的、要求精度、卫星状态、接收机类型和数量、测区已有的资料、测区地形和交通状况以及作业效率综合考虑，按照优化设计原

则进行。

3 GPS 测量级别按照 GB/T 18314 中 B 级网或优于 B 级网的要求执行。B 级 GPS 网点应与 GPS 永久性跟踪站联测，其联测的站数不少于 2 站。新布设的 GPS 网应与附近已有的国家高等级 GPS 点联测，联测点数不少于 2 点。

4 GPS 标石的标准按照 GB/T 18314 和 CJJ73 执行。GPS 接收机开始观测前，需要预热和静置。具体要求按照接收机操作手册进行。

5.2.10 工作区内宜设雨量观测站，并采用自记雨量计或自动测报雨量计进行降水量观测。

5.2.11 在采空区范围及其附近，应进行地表水位以及地下水位的观测。应充分利用堰塘、水库等地表水观测点进行地表水位的观测；应充分利用水井、泉点等露头点进行地下水位的观测，必要时还应布置专门钻孔施测其水位的变化。

5.2.12 在进行地面沉降观测的同时，应辅助深部基点位移观测、钻孔水位观测、巷道沉降位移观测、采空区周边点式矿柱岩体应力（压力盒、应变计等）与位移观测（位移收敛计等），以及采空区周边围岩、矿柱围岩声发射观测（AE）/微震观测等观测方法，以收集采空区深部位移、岩体应力、岩体破坏等内观位移与微观力学数据，辅助分析与预测采空区地面沉降发生、发展的时间与趋势。

5.2.13 差分合成孔径雷达干涉测量方法

1 InSAR 图像选择，按照监测岩溶塌陷变形的要求，选择邻近轨道的两幅图像进行差分，获取监测区域高程信息，再利用不同时相的 SAR 图像进行差分以检测高程变化信息。

2 InSAR 图像处理

1） 配准，两幅图像的配准精度要优于 1/8 像元。

2）生成干涉图像。

3）基线估计，常用的基线估算法有：基于星历数据的基线估算、基于 GCP（地面控制点）的基线估算、JPL 基线估算、图像模型建立方法等。

4）去除平地效应，常见方法有：基于轨道参数和成像区域中心点的大地经纬度来去除平地效应、采用粗精度的 DEM 数据进行平地效应的消除、通过估算距

离向和方位向的占优势的干涉纹来消除平地效应。

5）干涉图滤波，常用滤波器包括：边缘检测的滤波算法、圆周期均值滤波器和圆周期中值滤波器等。

6）相位解缠，采用 a 基于路径的数论方法;b 基于最小二乘的数字处理方法对干涉图像进行解缠，获取与距离差成比例的相位信息。

7）地理编码，把干涉图雷达坐标系中以方位向像元号和距离向像元号为坐标的图元坐标系统，转化为地图投影坐标系统。

3 永久散射点，在雷达图像上识别出不随时间改变其特征的后向散射点（即永久散射点），作为估计地面累计变形的自然标志，以提高变形监测精度。

5.2.14 观测频度与观测精度

1 地质巡视与简易观测方法，可每两个月观测一次，雨季或洪水期每一个月观测一次，暴雨和强震过后宜及时进行观测。

2 精密水准测量方法，原则上观测频率参照表 1。变形较为显著的观测点可每两个月观测一次，雨季或洪水期每一个月观测一次，工作基点的稳定性宜每季度检测一次，观测网每年观测一次。

3 埋设仪器观测方法，可每月观测一次，雨季或洪水期每两周观测一次。

4 大气降水量，地表水体水位，地下水位的观测，宜与埋设仪器观测的频度相同。

5 无论用何种方法观测，当发现水平位移或垂直位移有明显异常时，应加密观测。

6 变形观测精度应符合下列要求：

1）简易观测的观测精度，量测允许误差为±0.5mm;

2）精密水准观测的观测精度，水平位移与垂直位移观测允许误差为±3mm;

3）GPS 的观测精度

主要受卫星数量、GPS 接收机质量影响，同时受观测点的具体位置及其周围地面环境的影响较大。原则上采用精度较高的接收机设备，同时观测点回避高电磁场、高压输电线路、大面积水域、高大障碍物或高大树木。

5.2.15 资料整理和成果提交

1 对所有室内及野外资料都要进行综合整理分析，特别要对长期连续的动态资料（地面沉降及地下水等）的整理和分析，必要时建立地面沉降数据库，为地面沉降的监测、沉降规律及机理研究、沉降计算和预报等服务。

2 观测资料的日常整理应包括以下内容：

1）根据检查合格的观测数据计算出相应的水平位移、垂直位移、裂缝宽度、降水量和地下水位等，并记入相应的记录表；

2）绘制地面沉降过程线，地面沉降观测点分布图，地面沉降等值线，地面沉降平均值，地面沉降量的精度估计；

3）进行地面沉降特征值的统计，其中主要含最大值和最小值(包括出现的时间)，变差，周期，年平均值及年变化率等；

4）绘制变形关系曲线，分析观测地面沉降量随时间及空间变化的规律性、统计特征值的规律性、与时间的相关性。

3 定期编写的观测报告宜包括如下内容：

1）地面沉降区自然-经济地理概况，包括沉降区自然地理、交通状况、社会经济、资源开发利用等；

2）地形，地质概况，包括地层岩性、地质构造、水文地质、岩土体工程地质性质、地面沉降形成的各种影响因素（自然的及人为的）；

2）地面沉降调查与评估，包括地面沉降历史与现状、沉降区灾情概要评估；

3）地面沉降观测概况：包括观测网点及观测点的布置，维护，完好率，变更情况，以及仪器设备，量测工具的校测情况；

4）观测资料整理的成果图表，包括地面沉降区工程地质图、地面沉降区地面变形与动态观测布置图、地面沉降区综合地层柱状图、地面沉降剖面图、地面沉降区地面变形及地下水动态观测成果表、地面沉降水准观测表和地面沉降 GPS 观测成果表、地面沉降区稳定性评价与预测汇总表；

5）观测数据分析方法说明；

6）观测资料阶段分析成果及结论，包括地面沉降稳定性分析、定量与半定

量评价、地面沉降未来的发展趋势及可能造成的危害；

7）观测工作中存在的问题及今后改进的建议。

5.3 岩溶塌陷区地面沉降观测

5.3.1 观测项目

1 地面垂直位移；

2 地面水平位移；

3 地表倾斜；

4 地表裂缝；

5 地表地下水变化.

5.3.2 观测方法

1 人工巡视法；

2 简易观测法；

3 大地测量法，包括视准线法、联合交会法、边交会法、角前方交会法、精密水准测量法，测距高程导线法等.

4 差分合成孔径雷达干涉测量观测法（D-InSAR）。

5.3.3 观测布置

1 观测断面的选择，观测断面分主要断面和次要断面，主要断面沿岩溶塌陷区长轴和短轴方向布置，一般布置 2 条；塌陷区规模较大，可平行长轴和短轴加密布置次要断面，一般布置 2～4 条次要断面，并与主要断面形成观测网。

2 观测点分观测网基点和变形观测点，观测网基点是进行水平位移和垂直位移观测的工作参照点，应布置在地面沉降影响范围以外的稳定的岩土体上，并且方便观测。

3 变形观测点的选择应结合地形地质条件和岩溶塌陷变形范围，变形特征考虑，选择在具有工程地质代表意义的敏感部位，尽可能在岩溶塌陷的边界线上、地表裂隙等处布设变形观测点。

4 地表观测点的分布密度，间距和形式，应主要根据地形和岩溶塌陷的规模，

分布面积及形态特征(长宽比)确定。对于大型岩溶塌陷，观测点的密度和间距可分别按照 10～90 点/km^2和间距 100～400m 一个点布设，采取平均布点和塌陷漏斗区加密布点相结合的方法，即由漏斗外围向塌陷中心，观测点密度逐渐加大。

5 岩溶塌陷裂缝观测点可布设在具有代表性的最大裂缝处及可能的破裂壁面部位。设点处其两侧岩体宜相对完整，并避开风化严重的岩层和孤石。

5.3.4 人工巡视中的观察与访问宜包括下列内容：

1 地表和溶蚀洞隙中裂缝的发生与发展的变化情况；

2 塌陷区及其附近区域地表、地下水变化情况，例如地表水的流向和泉水流量的变化；

3 塌陷区及邻近区域工程建筑物与民房的变形变化情况；

5.3.5 人工巡视记录应遵守下列规定：

1 每一次人工巡视应视为一次专门性的地质观测，进行定点与追踪观察以及详细的现场记录；

2 现场记录宜附素描图和照片，必要时应录像；

3 现场记录应随时整理，及时评价岩溶塌陷区的整体或局部的变形状态；

4 每次人工巡视应进行小结，一个观测周期应写出人工巡视总结报告，并附相应的分析图件。

5.3.6 简易观测可采用一些简单的标识和通用的量测工具，对岩溶塌陷及邻近区域进行观测。观测中应符合下列要求：

1 地表塌陷裂缝宽度，可用钢尺在缝口直接量测。裂缝宽度的变化，宜采用在缝两边设固定观测点，并定期量测点间距离的方法来确定。裂缝宽度应精确到0.5mm。

2 地表塌陷裂缝两侧三维位移情况，宜采用三点或多点的方法进行观测，测缝标点间的距离应大致相等，量测的距离应精确到 0.5mm。

3 在能够观测的溶洞中，宜在洞顶和洞底设置成对的固定点，定期量测两侧两点的距离变化，以求得岩溶塌陷的垂直位移。量测点间的距离应精确到 0.5mm。

5.3.7 大地测量观测方法应符合下列要求：

1 水平位移采用视准线法测量时，岩溶塌陷区的长度和宽度不宜超过 800m，在测线方向上应具有良好的通视条件，并且在其两端存在有可供选择的稳定测站点；观测方法应符合 DLT5178 的规定。

2 在岩溶塌陷规模较大，地形条件较复杂，通视条件不好的情况下，水平位移宜采用交会法观测，水平角应以全站仪观测，边角网测角中误差不得大于 0″。7，交会法测角中误差不得大于 1″。0；边长用精度约为 1/500000 的电磁波测距仪直接测量。

3 对地表的水平位移，在条件的地方还可采用 GPS 方法进行观测，应按 GB／T18314 规定执行。

4 垂直位移宜采用精密水准法测量，施测中观测点和起测基点的联测应采用国家二等水准标准，具体可按 GB12897 规定执行。

5 垂直位移还可采用测距高程导线法测量，其天顶距应以全站仪观测，具体施测可按 DLT5178-2003 的规定执行。

5.3.8 差分合成孔径雷达干涉测量方法见本标准 5.2.14。

5.3.9 在在岩溶塌陷区及附近范围，应充分利用人工和天然的地下水露头点进行地下水位及流量变化的观测，并按照 DZ／T0133 有关规定执行。

5.3.10 观测频度与观测精度

1 人工巡视与简易观测方法，可每两个月观测一次，雨季或洪水期每一个月观测一次，暴雨和强震过后宜及时进行观测。

2 大地测量方法，观测点可每两个月观测一次，雨季或洪水期每一个月观测一次，观测网基点的稳定性宜每季度检测一次，观测网每年观测一次。

3 地表、地下水位及流量的观测，可每月观测一次，雨季或洪水期每两周观测一次。

4 无论用何种方法观测，当发现水平位移或垂直位移有明显异常时，应加密观测。

5 变形观测精度应符合下列要求：

1）观测点水平位移观测允许误差为±3mm，或年位移量的 1/5～1/10；

2）观测点垂直位移观测允许误差为±3mm；

3）裂缝宽度张合量量测允许误差为±1mm。

5.3.10 观测资料整理与分析

1 观测资料整理与分析应包括以下内容：

1）原始资料的检查；

2）观测资料的日常整理与分析；

3）定期编写观测报告。

2 对原始观测数据应作如下检查，并对检查中发现的问题在现场逐一解决：

1）现场作业方法是否符合要求；

2）各项观测数据的检查结果是否在限差以内；

3）数据记录是否准确，齐全，清晰。

3 观测资料的日常整理应包括以下内容：

1） 根据检查合格的观测数据计算出相应的观测物理量（水平位移，垂直位移，裂缝宽度和地下水位等），并记入相应的记录表；

2） 绘制观测物理量过程线，分布图及变形关系曲线；

3） 进行观测物理量特征值的统计，其中主要含各观测物理量的最大值和最小值（包括出现的时间），变差，周期，年平均值及年变化率等。

4 对观测物理量应随时进行如下分析：

1） 观测物理量随时间，空间变化的规律性；

2） 观测物理量统计特征值的规律性；

3） 观测物理量间的相关性。

从分析中获得观测物理量变化稳定性，趋势性及其今后可能给工程带来的不利影响等。

5 定期编写的观测报告宜包括如下内容：

1）工程简介，包括工程的基本情况，勘察、规划、设计情况；

2）地质概况，主要包括岩性、构造、水文地质及岩溶发育情况；

3）地面沉降观测概况：包括观测网基点及观测点的布置，维护，完好率，

变更情况，以及仪器设备，量测工具的校测情况；

4）观测资料数据整理， 说明数据计算采用的公式和分析方法；

5）观测数据的变化规律与特征值，对于变化规律以图形和表格方式给予直观描述，对特征值和变化过程中的特殊点、特殊线段作出合理解释；

6）发展趋势与与预测，运用成因趋势分析法或多元统计方法建立预测数学模型，预测塌陷的规模与程度的发展趋势；

7）观测资料阶段分析成果与评价，包括图表及文字报告；

8）结论与建议，主要结论和观测工作中存在的问题及今后改进措施。

6　区域构造稳定性观测

6.1 一般规定

6.1.1 区域构造稳定性观测主要应包括断裂活动性观测和水库诱发地震监测。两项观测的仪器设备均应符合灵敏度高，稳定可靠，方便数据记录，便于维护管理等要求。

6.1.2 对符合下列情况之一的工程，应进行断裂活动性观测：

1 有经综合判定有活断层分布的地区。

2 地质构造复杂，新构造活动显著，地震活动频繁，需要进行区域构造稳定性观测的地区。

6.1.3 符合下列条件之一的水库，应开展水库地震监测：

1 坝高大于100m、库容大于5亿m^3，如有可能诱发5级以上（含5级）地震或地震烈度大于Ⅵ度的水库；

2 水库蓄水前未建设专用地震监测台网，但水库蓄水后，库区及周边地区地震活动有明显增加的大、中型水库；

3 水库最高水位蓄水区及其外延 10km 范围内有活动断层通过，并且有可能发生破坏性地震的大、中型水库。

6.2　断裂活动性观测

6.2.1　观测应包括水利水电工程建筑物周围5km范围内的活断层，25km范围内的区域性活断层。

6.2.2 活动层的观测宜在工程的可行性研究阶段开始进行。

6.2.3　观测站点的布置应符合下列要求：

1　综合形变观测站点可沿主断裂带选择一处至数处代表性地段横跨断裂布设，设站处应具备断裂出露清楚，活动迹象明显，且地形地貌适合布设各种观测手段的基本条件，并应兼顾交通和通讯方便。

2　应跨断裂两盘按观测方法的要求布点，并构成合理的组合，点位应置于坚固稳定的基础上。

3　宜一点多手段观测共用。

4　跨断裂短水准点选择，跨断裂三角网和 GPS 点位的选择除应符合前两款要求外，尚应分别符合 GB12897 和 GB/T18314 的有关规定。

5　跨断裂短基线，水管倾斜仪和伸缩仪观测断裂的形变宜在横跨断裂的洞室内进行，观测线可垂直断裂和与断裂成 30°左右交角布设，洞内要求相对恒温并减少环境干扰。

6　在地形陡峻的河谷岸坡，设置断裂形变观测点，尚应考虑岩体重力变形的影响。

6.2.4　断裂活动性观测方法宜包括：跨断裂短水准线路，跨断裂短基线，跨断裂测距和三角网，GPS 网，水管倾斜仪和伸缩仪等观测方法，它们应分别符合下列要求：

1　断裂的垂直形变观测，按一等水准测量精度定期进行，具体方法可按 GB12897 规范执行；地形陡的地段也可用三角高程测量方法测定，具体方法可按 GB12897 执行。观测周期宜 2 个月观测一次，当断裂形变量显著超出观测过程中的常见量时，可酌情增加观测次数。

2　断裂的水平形变观测的短基线和三角网观测法可按 GB12897 执行。GPS 网观测可按 GB/T18314 执行。

3　水管倾斜仪和伸缩仪，应按仪器操作手册规定的程序进行观测。

4　各类仪器均应按规定定期率定。

6.2.5　观测资料整理和成果提交应符合下列要求：

1　按有关规定整理和编制选点卡片和形变监测网的建网报告及相应的附图。

2　严格校核观测数据，并分时段整编成册归档。

3　各种方法获取的形变观测资料，应分别编制历时曲线图，矢量变化图和相应的表格等。

4　按年度编写断裂活动观测报告，年内如果某一时段出现断裂形变量突变的情况时，应及时写出简报报送有关部门。

6.3 水库地震监测

6.3.1 水库地震监测是大坝内外和库区安全监测系统的重要组成部分。

1 水库地震专用监测系统由工程建设管理单位组织论证、设计和建设，并进行统一管理，制定抗震应急预案，在有关地震部门指导和协作下，组建专门队伍，实时跟踪震情变化，进行必要的现场查证，分析发展趋势，及时向业主上报预测预警信息，为工程决策提供技术支持。

2 根据国务院公布的《地震监测管理条例》规定，水库、大坝的专用地震监测台网、强震动监测设施的建设资金和运行经费，由工程建设管理单位承担。

3 工程建设管理单位应当将专用地震监测台网、强震动监测设施的建设情况，报所在地省、自治区、直辖市人民政府负责管理地震工作的部门或者机构备案。

4 专用地震监测台网中止或者终止运行的，应当报所在地省、自治区、直辖市人民政府负责管理地震工作的部门或者机构备案。

6.3.2 水库地震的安全监测手段主要应包括测震台网、强震动监测设施和数据汇集分析处理中心。根据需要可增加地壳形变和地下流体等监测内容，以及工程建设管理单位认为需要设置的其它监测和分析工作。

6.3.3 测震台网的重点监测区范围，宜包括坝址下游 5～10km、坝址上游 30~40km 的库水影响范围和可能发生地震强度 5 级以上（含 5 级）或震中烈度Ⅵ度以上水库诱发地震的库段。一般监测区范围为重点监测区以外的库区和库区附近可能发生破坏性地震的控震断裂。

6.3.4 测震台网的监测能力应满足重点监测区优于 M_L0.5 级和一般监测区优于 M_L1.0～1.5 级的要求。

6.3.5 测震台网的布置及建设应遵守下列规定：

1 可行性研究阶段宜布置由 3～4 个台站组成的临时台网进行观测，了解蓄水前天然地震的活动特征。

2 当可行性研究阶段认为符合 6.1.3 所规定的条件时，应布设固定的水利水电工程专用地震监测台网。台网宜不晚于蓄水开始前 1~2 年投入正式运行。台网建设前应编制总体设计报告，并经专家组审查。

3 水利水电工程专用地震观测台网，一般采用遥测方式组网。建设遥测台网有困难的工程，也可选用人工值守台网。

4 测震台网的台站个数应根据重点监测区范围大小和监测能力要求确定，但

至少应有 4 个台站同时观测。

5 台网仪器设备安装调试完成后，应分别进行不少于 3 个月的试运行和考核运行，并且考核运行验收合格后，才能进入正式运行。

6 台网考核运行期间，台站位置和所使用的仪器设备不得变更，并且应保证系统运行率和波形可用率连续 3 个月不低于 95%。

7 台网选用的仪器设备和软件应符合国家标准、行业标准或者地震监测的技术要求。

8 台站土建工程应符合《地震台站建设·测震台站》（DB/T16）的规定。

9 在水库诱发地震发生后，应根据震情发展，增设若干流动台，进行现场加密观测。

10 水库水位达到设计正常蓄水位之后 5 年，如无水库诱发地震迹象；或者水库地震活动连续平静 5 年后，地震监测台网可以撤除。特大型水电工程的地震观测工作宜长期进行，其观测规模在库区地震活动性减弱 3～5 年后，可根据库区地震活动情况，进行适当精简。

6.3.6 测震台址的选择应符合下列规定：

1 台址应避开对地震观测有影响的发展规划区域和可能产生的干扰源区，避开各种干扰源的距离应符合《地震台站观测环境技术要求第一部分：测震》（GB/T19531.1）第 5 章的规定。

2 台址应选在大面积出露的完整、坚硬的基岩上，不宜在松散堆积层、河滩、陡坡、风口和易发生洪涝的地区。

3 台址地段宜地势平坦，人工值守台和有线遥测台宜选在相对低处，无线遥测台的高度应首先满足信道要求。

4 台址背景噪声水平应进行不少于连续 3 天的测试，其测试仪器、方法和结果分析、处理、计算，应符合 GB/T19531.1 附录 A 的规定。

5 台站观测环境地噪声水平应符合 GB/T19531.1 第 4 章的规定。

6 台站应具备电力、通讯和交通条件，人工值守台站还应具备工作和生活条件。

6.3.7 遥测地震台网数据传输信道应符合下列规定：

1 宜优先选用公用有线光纤传输方式，其次是无线超短波或微波传输方式。

对于临时性台网也可选用其它传输方式。

2 利用有线信道实时传输地震波形数据时，宜选 SDH 方式，误码率应低于 10^{-7}。

3 无线超短波或微波信道选择应综合考虑传输路径、经费投资和维护管理等条件，以及无线发射对周围环境的影响。

4 超短波信道场强的电平余量一般应大于 30dB。信道路径较差的少数台站，电平余量不能小于 15dB。扩频微波信道数据传输误码率应低于 10^{-7}。

6.3.8 强震动监测设施一般布置 1～3 个测点，其地点宜在坝址区、库首区和水库地震主要危险区。

6.3.9 数据汇集分析处理中心宜设置在供电、交通、通讯等条件较好的城区或工程建设营地。

6.3.10 测震台网运行管理应符合下列规定：

1 测震台网运行管理按中国地震局 2001 年编制的《地震及前兆数字观测技术规范·地震观测》执行。

2 应建立台网中心 24 小时全日制值班制度和台网值班日志。

3 台网仪器设备出现故障后，应及时进行维修处理。

4 应每天检查各遥测台站脉冲标定幅度及周期的变化。

5 应每天检查遥测台网记录的实时连续波形数据文件，对不满足触发条件的地震事件波形数据进行人工截取分析和存盘。

6 应每年进行一次台站系统幅频特性标定。

7 台网系统运行率和波形可用率按月统计应不低于 95％。

8 应对台网的所有产出资料（地震事件波形数据、实时处理结果、台站标定数据、系统运行日志、地震速报数据、日常资料分析处理结果、地震目录和观测报告、地震日报、月报、周报、年报和简报、各种调查报告和研究报告等，以及工程建设管理单位要求的、与水工建筑物和库区安全监测有关的其它资料）及时整理归档，建立地震监测资料数据库。

9 地震事件波形数据文件应全部采用电子文件方式永久保存。

10 地震连续波形数据文件是珍贵的原始资料，特别是在发生意外事故，或进行总结和科研中常具有重要意义，应全部采用电子文件方式永久保存。

11 地震监测信息的的传递、分析、处理、存贮和报送等，应保证安全和质量。

6.3.11 地震观测资料分析处理和成果提交应符合下列要求：

1 对库区及周缘地区所记录的全部地震事件，应及时进行常规分析处理，包括震相分析和地震基本参数的测定等， 并应注意排除工程施工和其它人为活动造成地震动信号的影响。

2 在台网重点监测区内发生 $M_L \geqslant 2.5$ 级地震和一般监测区及距工程坝址 100km 内发生 $M_L \geqslant 4.0$ 级地震后，应速报工程管理部门。遥测台网应在发震后 15 分钟内报出，人工值守台网应在发震后 1h 内报出。

3 台网监测范围内发生 $M_L \geqslant 3.0$ 级的有感地震后，应立刻组织现场调查，确定宏观震中和等震线分布情况。并及时向有关部门提交现场宏观地震调查报告（含震中区地震地质图，等震线图，以及相关照片和录像资料等）。

4 应根据地震观测资料，对库区及周缘地区的地震活动性和地震活动成因进行分析研究。

5 如果库区及周缘地区发现震情异常变化，应对地震活动趋势进行实时跟踪分析，并将分析结果及时向工程管理部门和工程设计单位报告。

6 应按时向工程管理部门和工程设计单位报送地震观测月报和地震观测年报。当出现震情异常变化时，可据实际情况及时报送日报或周报或简报，以及工程建设管理单位要求的、与水工建筑物和库区安全监测有关的其它资料。

附录 A

_____孔地下水（井、泉）观测记录表

工程名称			
位置			
坐标	x：	y：	
孔（井、泉）口高程		孔（井）深	
观测日期	水位	水温	流量

观测：　　记录：　　校核：

标准用词说明

标准用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、要、只有……才允许	要求
不应	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允许
不必	不需要、不要求	

中华人民共和国行业标准

水利水电工程地质观测规程

SL245-20XX

条 文 说 明

目　次

1 总则……40
3 地下水观测……41
3.1 一般规定……41
3.2 地下水简易观测……42
3.3 地下水动态观测……42
4 边坡变形观测……43
4.1 一般规定……43
4.2 观测布置……43
4.3 观测方法……43
4.4 观测频度与观测精度……44
4.5 观测资料整理与分析……44
5、地面沉降观测……45
5.1 一般规定……45
5.2 采空区地面沉降观测……45
5.3 岩溶塌陷区地面沉降观测……49
6、区域构造稳定性观测……51
6.1 一般规定……52
6.2 断裂活动性观测……52
6.3 水库诱发地震观测……52

1 总 则

1.0.2 本规程是依据《水利水电工程地质勘察规范》(以下简称《规范》编写的，《规范》在除规划阶段以外的各个设计阶段的勘察中，都涉及到了有关工程地质观测的要求，而这些观测要求又都是在《规范》有关章节下的勘察方法应遵守的规定中提出的。因此，本规程在编写中其内容除遵循和《规范》对工程地质观测的基本要求相一致以外，还注意到作为一种技术方法的《规程》，其内容还应该具有可操作性。为此《规程》分别写出了在水利水电工程地质勘察中进行地下水，边坡变形、采空区和区域构造稳定性观测的具体要求，即写出了每项观测工作的一般规定，观测布置，观测方法，频度与精度要求，以及观测资料整理与分析等。由此可见，只要是在水利水电工程地质勘察中，按照《规范》要求开展这几项观测工作，本规程就适用。

1.0.3 本条在观测的共性要求中，突出地指出了工程地质观测作为一种勘察方法应当起的作用，即应能实现的目标。在目标中虽然包括了对可能危及工程安全的不稳定岸坡，边坡，以及可能发生的水库诱发地震问题随时做出预测预报，但区别于一般安全监测规程规范的是，特别强调了观测是为了查清主要工程地质条件，为评价重大工程地质问题提供重要补充数据（资料）。

3　地下水观测

3.1　地下水简易观测

3.1.1~3.1.4　四条所涉及的观测内容及要求均属水利水电工程地质勘探中应正常进行的工作，但从总结工作经验教训上看，以往对这些工作的重视程度，记录完整性和观测标准化等都明显不足，这四条的有关规定就是针对存在的不足提出的。

3.1.5　本条提出了钻孔观测地下水位的稳定标准，提出现标准的理由主要有两点：①连续观测四次或四次以上是为了适当延长观测时间，尽量减少钻进过程中循环水带来的可能影响，由于钻进过程中孔壁易堵塞，地下水达到稳定的时间会延长，观测时间相应延长；②根据统计学理论，采用连续四次或四次以上的观测水位过程判断水位的升降趋势更为可靠。

3.1.6　工程区勘探钻孔中发现承压自流水本身就是一个值得重视的问题。条文中的规定主要是要达到能较全面，准确地收集到深部承压水的资料，也包括水温资料，对了解承压水的成因非常重要。

3.1.7　注意在钻进过程中发现新的含水层并采取临时止水措施进行分层观测地下水位，主要是对工程区勘察初期阶段勘探钻孔的要求，在水文地质结构还没有完全清楚的情况下，钻进中发现新的含水层，采取临时止水措施观测地下水位，将有助于随时随地研究含水层与隔水层的分布以及它们的水力特性。

3.1.8　恰当的钻孔结构是保证分层观测地下水位的关键，事先做好设计则是保证实现一定形式的钻孔结构的必要步骤，只有两者都做好，并在实施中还能进行止水效果检查，才能实现真正的分层观测地下水位。

3.1.9　采取引流集中的方法量测流量，是指同一断层，破碎带或较大的裂隙单元，在平硐或竖井中的较短距离内存在两个或两个以上的出水点，在可能的条件下采取一定措施使滴(流)水汇集一处进行的流量量测。

3.1.10　水位，流量量测器具应每 3~6 个月检测一次，严寒和酷暑季节即气温变

化剧烈的季节应每 3 个月检测一次。

3.2 地下水动态观测

3.2.3~3.2.7 地下水动态观测网点疏密及形式布置，虽然受多种因素影响，但起主要作用的因素是岩性和地下水类型。本规程根据一些已建和在建工程的经验，分别提出了四种岩类和相应地下水类型区的地下水动态观测网点的布置原则。这些原则的基本指导思想是地下水动态观测布置应依据不同的地形地质条件，水文地质条件，并结合水文，工程地质问题评价的需要选择观测点的位置，并确定网或剖面的形式。

3.2.8 地下水位的变化常常与地表降雨、观测孔附近的地表水密切相关，因此，收集观测区气象资料，水文资料非常必要。

3.2.9 观测孔的安装一共写有 7 款规定，基本可分为两类情况：一是为了保证长期观测工作能够正常进行，例如要求清水钻进造孔，对于基岩孔，安装前严格清孔并达到预定孔深；松散层的观测孔要求设置滤水管；观测孔口设保护装置等；二是为了保证观测精度，例如分层观测孔应进行严格止水及止水效果检查；孔口设置固定标志，其高程不低于五等(等外)水准精度；自流孔安装压力表测水头等。

3.2.10~3.2.12 分别对地下水位，地下水水质，地下水温的观测，从测次，精度要求和测量方法等都提出了具体规定与要求，这些规定与要求大多数都是目前工程勘察实践经验的总结。今后随着高新技术的快速发展，虽然有可能发生变化，但当前仍需有一个统一的规定。该规定除能保证各工程现阶段的基本资料完整性和可靠性以外，还有利于区内资料的对比分析以及区间资料的类比和相互借鉴。

3.2.16~3.2.24 共 9 条都是有关地下水动态观测资料整理，分析和整编的规定。从地下水动态观测自身任务出发，首先强调了对观测资料应随时校核，随时分析，还分别写出了观测资料整理，整编应包括的主要内容，以及在整理，整编中需要编绘的主要图，表等。有关观测资料应用计算机处理，管理及进一步分析，可参阅有关技术文件及技术手册。

4 边坡变形观测

4.1 一 般 规 定

4.1.1～4.1.2 边坡变形观测是不稳定或潜在不稳定岩土体稳定性观测的重要内容之一，在水利水电工程建设前期勘察阶段的工程岩土体稳定情况的研究，能够直接进行观测和稳定性效果检验的，就只有边坡上的岩土体才能实现，并且边坡上岩土体稳定问题往往是厂、坝址选址，水工建筑物总体布置，以及施工期和运行期安全的至关重要的问题。这些情况已经为许多的已建和在建的大中型工程实际所证实。因此，也就是在这个认识的基础上，进一步明确了边坡变形观测对象（4.1.1）和边坡变形观测项目（4.1.2）。

4.1.3～4.1.6 条文中的观测网即监测网或边角网，有关观测网的设计和优化设计，有相应的行业标准可遵循，所以本规程未再做具体规定。

4.1.8 本条为约定性条文，考虑到水利水电工程地质勘察的特点与习惯，对水平位移的正负号做了部分调整，即边坡岩土体沿主滑方向的位移指向河谷、溪沟为正，反之为负，这样可以直接根据正负号看出边坡整体或局部是否正在滑动。

4.2 观 测 布 置

4.2.1 由于网中的基准点、工作基点以及观测系统中的测点（观测点）的地基基础的重要性，以及这几种点的点位确定工程地质人员和测量人员都有同等重要的责任，所以本规程对这几种点的稳定性、稳固性和代表性做了不同程度的强调。

4.2.2～4.2.3 这两条内容是按照《规范》第 5.2.8 条第 5 款所规定的原则编写的，并作了必要的细化和补充，如观测点位(测点)的选择，在条文中强调应具有工程地质代表意义和应充分考虑滑坡体不同部位的力学特征；关于地表观测点的分布密度，间距和形式，经过对三峡库区几个大型滑坡，李家峡坝前Ⅱ号滑坡，天生桥厂房高边坡等有关观测网点布置的数据统计，而列举出了一些可供参考或建议采用的数据。

4.3 观 测 方 法

4.3.2 地质巡视法是观察物理地质作用发生发展及其对岩土体稳定性影响程度和过程的基础方法，条文中指出的巡视观察与访问的内容，是根据现有工程经验总结出来的几条主要方面，真正使地质巡视能成为一种不可缺少的观测方法，还

要靠有经验的工程地质工程师以不懈的努力及认真负责的精神，做好观察，做好记录，做好对比分析。

4.3.4　简易观测可不需要使用专用的仪器设备，只要根据实际情况制作一定的标志和通用的量测工具就可以对不稳定的边坡和滑坡进行观测.目前主要应用于地表或平硐中的裂缝张合观测以及平硐揭露的滑动面的位错观测，它使用十分普遍，效果也颇理想，所以本规程将它作为一种独立方法提出来。

4.3.5　大地测量观测方法应是不稳定边坡和滑坡地表水平位移和垂直位移观测的首选方法。它不仅能宏观控制不稳定边坡和滑坡的变形特征，而且随着理论和仪器设备的发展与开发，分辨率和精度亦不断地提高，能较好地满足工程要求.此外，该方法已有完善的规程规范，所以本条有的要求是参照有关规范编写的，有的则是直接指出应按有关规范执行。

4.4　观测频度与观测精度

4.4.1～4.4.4　该四条分别规定了有关观测方法的观测频度.工程勘察阶段的观测主要是为了掌握边坡动态变化规律，观测周期既不能太长，也不能太短.不能太长容易理解；太短了，边坡变形在此期间就可能很小，以致几次的观测变化值都在误差范围内，造成无法分析其变形规律.因此，4.4.1~4.4.3 条观测频度的要求，是针对不同观测方法可能达到的不同精度，不同外部条件可能引起的不同变化分别提出的。

4.4.6　本条提出的精度要求是参照 SDJ336 表 4.1.1 变形监测精度要求，并结合国内在水利水电工程勘察阶段需要和可能配备的测距，水准和经纬仪的档次确定的。

4.5　观测资料整理与分析

4.5.1　本条所提出的内容是目前开展工程地质观测或有关观测的工程普遍进行的资料整理与分析的内容.条文中未涉及计算机技术应用问题，主要考虑目前对观测资料的整理分析，不仅在计算机应用上还没有形成一套完整数据采集，存储，管理和分析的系统，而且即或形成了，它也应该是一个独立的部分.此外，本规程没有提供有关资料整理与分析的示范性实例，是因为这种比较成熟的方法参考资料较多，也易于查找，本条如果包括这项内容必然会显得十分累赘。

5　地面沉降观测

5.1　一　般　规　定

5.1.1　目前国内外工程界所研究的地面沉降主要是指由抽取液体(以地下水为主，也包括油、气)所引起的区域性地面沉降。我国《岩土工程勘察规范》中规定的：在较大面积(100km^2 以上)内由于抽取地下水引起水位下降或水压下降而造成的地面沉降。

本规范中的“地面沉降”专指采空区塌陷（地下采掘洞穴塌陷）、岩溶塌陷等洞穴塌陷形成的地面沉降，是地面岩土体在自重应力场（或构造应力场的参与）条件下垂向变形破坏及向深部架空或潜在空间方向的运动；区别于因下伏土层中地下水（也包括油、气）位的降落，有效应力的降低造成固结压密而引起地面沉降。

同时，这里专指与水利水电工程有关的的地面沉降，主要有矿产采空区和岩溶塌陷地面沉降这两类，均系一定规模的洞穴顶部岩土体塌陷导致的地面沉降，其沉降特征及观测方法等方面均有一定的相似性。

5.1.5　鉴于洞穴型塌陷诱发的地面沉降，其地质环境条件与水文地质条件是重要的影响因素，是分析与预测地面沉降变形规律的前提条件和基础资料，这里特加入前期地质资料及地面沉降资料的收集分析工作，以及开展地面沉降观测前的技术设计工作，做到观测工作与地质分析工作紧密结合、有的放矢，提高观测效率。

5.2　采空区地面沉降观测

5.2.1 采空区与移动盆地

1　老采空区：已停止开采的采空区，或开采已达充分采动(充分采动指地表移动盆地已形成平底)，盆地内的各种变形已经稳定的采空区。

2　现采空区：正在开采的采空区，开采未达充分采动，即地表移动盆地呈尖底状，盆内各种变形仍在继续发展的采空区。

3　未来采空区：计划开采而尚未开采矿层，预计将形成的采空区。

4　移动盆地：地下矿层大面积采空后，上部岩层失去支撑，产生移动变形，

原有平衡条件被破坏，随之产生弯曲，塌落，以致发展到使地表下沉变形。地表变形开始成凹陷盆地，此盆地称为移动盆地。移动盆地根据变形程度可以分为均匀下沉区（中间区）、危险变形区（内边缘区或移动区）及轻微变形区（外边缘区）三个变形区。

5.2.2　移动盆地最大沉降量计算可按下式计算：

1　开采倾斜矿层达到充分采动时，最大下沉按下式计算：

$$S_0 = q_0 m \cos a \qquad (1)$$

式中 m——矿层法向开采厚度（m）；

A——矿层倾角（°）。

2　开采未达充分采动时，最大下沉按下式计算：

$$S_0 = q_0 m \cos a \sqrt{n_1 n_2} \qquad (2)$$

式中　n1、n2——分别为采空区沿矿层倾斜方向和走向的采动系数，均小于1.0，如大于1.0则表明已达充分采动。

$$n_1 = \frac{KD_1}{H}$$
$$n_2 = \frac{KD_2}{H} \qquad (3)$$

式中 D1、D2——分别为沿矿层倾向和走向采空区的水平投影的长度（m）；

K——岩性系数，沿线由软到硬可在0.7-0.9范围内选取。

3　半无限开采时，地表移动和变形预测计算公式见下表。

表3　　半无限开采地表移动及变形预测计算公式

项目	最大移动变形量	任一点（x）的变形	式中符号
下沉 W(或 S)（mm）	$W(x)$或（S_x）$=q_0 m$	$W(x)$或（S_x）$=\frac{W_{max}}{r}\int_0^{\infty} e^{-\pi(\frac{\eta-x}{r})^2}d\eta$	q_0 ——下沉系数，与矿层倾角，开采方法和顶板管理方法有关，宜取 0.01～0.95 m——矿层的开采厚度(m)； r——主要影响半径(m)； b——水平移动系数，宜取 0.25～0.35
倾斜 T（或 I)（mm/m）	$T(x)=\frac{W_{max}}{r}$	$T(x)=\frac{W_{max}}{r}e^{-\pi(\frac{x}{r})^2}$	
曲率 K（mm/M²）	$K_{max}=\pm 1.52\frac{W_{max}}{r^2}$	$K(x)=\pm 2\pi\frac{W_{max}}{r^2}(\frac{x}{r})e^{-\pi(\frac{x}{r})^2}$	
水平移动 U（mm）	$U_{max}=bW_{max}$	$U(x)=bW_{max}e^{-\pi(\frac{x}{r})^2}$	
水平变形 ε（mm/m）	$\varepsilon_{max}=\pm 1.52b\frac{W_{max}}{r}$	$\varepsilon(x)=\pm 2\pi b\frac{W_{max}}{r}(\frac{x}{r})e^{-\pi(\frac{x}{r})^2}$	

5.2.6 为分析和掌握地面沉降变化动态及其发展趋势，应对地面沉降引起的地裂缝进行长期的系统观测，包括地裂缝带两盘位移（水平与垂直位移）、沿走向延伸发展及深处发展观测、地裂缝带地面变形观测（隆起、下沉、扭错及新生裂缝等）以及地面建筑物与构筑物的变形破坏监测。上述变形观测可采用经纬仪、水平仪等精密仪器进行三维位移进行长期观测。

5.2.13 GPS 方法是当前应用最广泛的一种空间大地测量技手段，采用大地高系统，利用大地高的变化来代替精密水准测量的沉降值，具有全天候、精度高、绝对坐标和连续观测的能力，故 GPS 方法适用于大规模的区域地面沉降观测。由于 GPS 属于点定位，网基线长度只有几十到几百公里，这种低的空间分辨率很难满足高空间分辨率变形观测的需求。

此外，差分合成孔径雷达干涉测量技术（D-INSAR）已经开始应用于变形观测领域。这项技术是在 InSAR 基础上发展起来的，它是利用同一地区的两幅干涉图像，通过干涉图差分处理来获取地表微量变形。许多实验结果表明，采用此技术可以探测到地面物体小于 1cm 量级的位移变化，这项技术可用于大面积的地下采空区和岩溶塌陷区变形的观测。

5.2.13　沉降变形的精度估计

1　地面沉降水准测量每一次复测都须计算其相应的最弱点中误差，变形量

是同名点两次高程之差，根据观测误差传播定律变形量中误差按式（4）计算：

$$m_s = \pm\sqrt{m_i^2 + m_j^2} \qquad (4)$$

m_s——变形量中误差；

m_i——第 i 次观测的最弱点中误差；

m_j——第 j 次观测的最弱点中误差。

2　各级水准测量偶然中误差 $M_\triangle$、全中误差 M_ω不得超过表 2 中规定的数值；计算公式：

$$M_\triangle = \pm\sqrt{\frac{1}{4n}[\frac{\triangle\triangle}{S}]} \qquad (5)$$

$$M_\omega = \pm\sqrt{\frac{1}{N}[\frac{\omega\ \omega}{F}]} \qquad (6)$$

式中：n——测试段数；

△——测段往返闭合差（特等为二次往返测高差中数之差），以 mm 计；

$M_\triangle$——以测段往返测高差不符值计算每公里水准测量高差中数的偶然中误差；

S——测段长度，以 km 计；

ω——水准环线闭合差，以 mm 计；

M_ω——按环闭合差计算每公里水准测量高差中数的全中误差；

F——水准环线周长，以 km 计；

N——水准环数。

表 2　各级水准测量与的限定值

测量等级	特等	一等	二等
$M_\triangle$（mm）	≤0.3	≤0.45	1.0
M_ω（mm）	≤0.7	≤1.0	≤2.0

3　地面沉降水准测量使用的水准仪应不低于表 3 的要求。

表 3　　地面沉降水准测量使用的水准仪

序号	仪器名称	最低型号		
		特等	一等	二等
1	水准仪	Ni002	DSZ05	DSZ1
			DZ05	DS1
2	水准标尺	两排分划线条式因瓦合金标尺		

5.2.15　资料整理与成果提交

1　地面沉降数据库包括地质背景资料库、地质勘探成果资料库、土工试验资料库、水准测量资料库、GPS 监测资料库、地面沉降灾害资料库等，为地面沉降的监测、沉降规律及机理研究、沉降计算和预报等服务，具有查询检索、综合统计、计算分析、报表和图形输出、数据信息的输入及编辑等数据库各项功能。

2　观测报告编写之前，须对所有原始资料、图件、表格进行全面的审查验收。地面沉降监测报告要充分反映当前的研究水平和研究程度，能为有关部门决策提供可靠的依据。

5.3　岩溶塌陷地面沉降观测

5.3.1　岩溶塌陷一般系为岩溶地区土层中的塌陷、岩溶基岩中的塌陷和上覆土层同下伏基岩一起坍塌的塌陷的统称；可以分为覆盖型、裸露型及埋藏型岩溶塌陷三类；大量塌陷事件表明，塌陷主要发生在覆盖型岩溶和裸露型岩溶分布区，部分发育在埋藏型岩溶分布区。激发塌陷活动的直接诱因除降雨、洪水、干旱、地震等自然因素外，往往与抽水、排水、蓄水和其他工程活动等人为因素密切相关，而后者往往规模大、突发性强、危害大。岩溶塌陷形成受到环境和人类活动的双重影响。可溶岩及岩溶发育程度、覆盖层厚度、结构和性质、地下水运动是影响岩溶塌陷的主要因素。

5.3.2　岩溶塌陷研究中，要观测地面、建筑物的变形和井泉或水库水量、水位变化，地下洞穴发展动态，及时发现塌陷前兆现象，对预防、减轻塌陷灾害损失非常重要。在地面塌陷频繁发生地区或潜在地面塌陷区内，可采取以下观测和预报措施：

1　在具备地面塌陷的三个基本条件(即塌陷动力、塌陷物质、储运条件)与岩溶低洼地形地区，在抽排地下水的井孔附近，应对地面变形(开裂、沉降)进行观测。

2　进行宏观水文观测，当出现地表积水或突然干枯，放水灌溉及雨季前期降雨都可视为可能发生塌陷的前兆。

3　注意收集或及时发现具塌陷前兆的异常现象，如出现建筑物开裂或作响、植物倾斜变态、井泉或水库突然干枯或冒水、逸气，地下水位突升突降，地下有土层塌落声及动物惊恐等异常现象，皆应警惕塌陷即将来临。

4　监视井泉内、坑道与水库渗漏点的地下水位降深是否超过设计允许值，地下水位升降速度有否骤然变化，渗漏水中泥沙含量是否高。另外可以在井孔内安装伸缩性水准仪，中子探针计数器、钻孔深部应变仪，及其他常规测量仪器等观测地下变形异常。

5　塌陷时地表会发生变形，地球物理场亦会发生一定的变化，利用这种特性，在洞穴上部埋设装有聚氯乙烯铜线的混凝土管，当临塌陷或大塌陷前，地表覆盖层发生变形时，混凝土管就会被折断从而发出警报；也可以观测重力的变化，将重力变化的信号转换为音响的报警装置进行报警。

6　区域构造稳定性观测

6.1　一　般　规　定

6.1.1　区域构造稳定性研究是水利水电工程地质勘察的重要任务之一。区域构造稳定性系指主要因地球内力作用致使地壳变形，在一些地段产生火山，地震，断层错位并导致地表建筑物损害状况。其研究内容主要包括：区域地震构造背景研究、断层活动性研究、工程近场区地震活动特征研究、工程场址区区域构造稳定性综合评价、水库诱发地震的分析预测及监测等。为此需要研究观测的项目很多，其中断层活动性和水库诱发地震资料需要通过一定周期的现场观测才能取得，故将此两项作为区域构造稳定性观测的主要内容。此外，这两项观测的环境和工作条件一般都十分恶劣，但其变化量却往往微小，一般要求观测精度都很高，所以对观测的仪器，设备要求就非常严格。

6.1.2 有关活动断层的判断标准可参照 DB/T、和 GB50487。对于地质构造复杂、地震活动性强、地震活动频繁的地区，一般这类地区也是区域构造稳定条件较差的地区，对主要断裂活动性也应进行观测。

6.1.3 本条规定了应开展水库诱发地震观测的条件。

第 1 款中坝高大于 100m、库容大于 5 亿 m^3 的水库是指大Ⅱ型水利水电工程，由于水库诱发地震一般震源较浅，一旦发生、往往地震烈度较大，破坏性较强，在地震烈度大于Ⅵ度时，震感明显且会产生地面破坏，在可能出现这种现象时，应开展水库诱发地震的监测工作。

第 2 款情况是指水库规模较小，前期资料分析中认为发生水库诱发地震的可能性小且震级较低，故未建议设立水库诱发地震监测台网，但水库蓄水后，在水库区影响范围内，出来了震情的明显变化，地震频度和强度比水库蓄水前出现了明确异常，需要补充水库诱发地震的监测工作。

第 3 款目前普遍认为水库影响范围不会超过水库最高水位蓄水区及其外延 10km 范围，故在此范围内有活动断裂通过的，有可能与库水发生水力联系，改变地壳应力条件，从而诱发水库地震。

6.2 断裂活动性观测

6.2.1 观测范围是参照《规范》可行性研究阶段工程地质勘察有关区域构造背景研究中的坝址区区域性断裂及其活动性的调查范围和坝址区专门性构造地质测绘的范围确定的。

6.2.2 考虑到断层活动性的观测需要一定的周期，故建在工程的可行性研究阶段就开始进行断层活动性的观测。

6.2.3 1款中的“主断裂带”是指对工程安全性评价有重大意义和影响的断裂；“横跨断裂布设”是指平行展布多条断裂选择其中主要的布设；断裂密集带则跨越密集带布设；断裂交汇带则应据成生序次和应力场特点布设。

条文对各种观测站点布设提出的综合要求，各有关规程规范都有明确规定可以参照。但特别强调点位必须置于坚固稳定的基础上，这是总结国内外众多变形观测的经验教训得出的。

6.2.4 断裂活动性观测方法有多种，各类观测方法均应遵守相关规程规范、操作手册的要求。特别提出对各类观测仪器，要按计量认证的相关规定进行计量率定。

6.2.5 强调对观测资料的整理和分析要及时、规范，发现断层形变量异常时，应及时向本单位领导、业主方等相关单位报告。

6.3 水库诱发地震观测

6.3.1 本条是根据国家有关法规和目前水库地震监测管理工作经验提出来的，本条款的内涵有三点：一是水库地震专用监测系统的设计、建设和运行管理工作由工程建设单位负责；二是地震专用监测系统的监测资料主要是为工程抗震减灾服务；三是地震专用监测系统的建设和中止或终止应当报所在地省、自治区、直辖市人民政府负责管理地震工作的部门或者机构备案，并且在技术上要取得地方地震部门的指导和协助。

6.3.4 本条台网监测能力是指在重点监测区内发生一次 $M_L \geqslant 0.5$ 级地震后，台网至少有4个台站能同时记录到。在地震台网建设条件特别困难的强烈地震活动地区，本条可放宽为：在重点监测区内发生一次 $M_L \geqslant 0.5$ 级地震后，台网至少有 3个台站能同时记录到。

6.3.5 本条文中台网宜不晚于蓄水开始前 1~2 年投入正式运行，是为了进行地

震本底研究，能够再早一些投入正式运行则更好；本条中的地震台网没有具体规定台站数，但至少应不少于 4 台站，以便能多台交会,正确确定地震震源参数；本条文中没有明确台网使用的仪器设备和软件的技术指标，在台网建设时，应依据当时的仪器设备和软件技术指标情况，本着“稳定可靠、先进实用”的原则选用；对于短周期地震计为三分向一体化的遥测地震台站，其土建工程占地面积宜根据当地地形、地质条件而定，但不得小于 100㎡，地震计房建设面积不小于 15㎡，地震计墩露出地面尺寸为 600㎜（长）×600㎜（宽）×400 ㎜（高）；本条规定的“现场加密观测”主要是指在水库区及邻区发生中强地震或震群活动后启用。

6.3.11 本条没有规定地震现场宏观调查的具体技术要求，但在实施过程中，应按《地震现场工作第三部分：调查规范》（GB/T18208.3）中的有关技术要求执行。