

略談坝基构造稳定性评价

水电部天津勘测设计院 李仲春

“构造稳定性”一词，在水利水电工程地质勘察中，其涵义应包括：区域构造稳定性与基本地震烈度、水库诱发地震和坝基构造稳定性等三个问题。前者的研究以及基本地震烈度的确定，主要是地震地质部门的任务，其鉴定意见具有法律的效力。后两者的研究与评价，则主要是工程地质勘察部门的任务。即在调查研究区域地震条件的基础上，结合水库的附加作用和影响，以评价库、坝区构造稳定性问题。本文仅就坝基构造稳定性评价问题，略谈笔者的认识和见解。

从坝工地质观点出发，坝基构造稳定性评价，概括地说，就是研究坝基岩土震害与地质条件之间的关系，即所谓震害工程地质问题：

1. 抗断问题

强震时，坝基下发震断裂或地震断裂复活导致坝体的错动、变形或破坏。

2. 抗震问题

强震时，地震波导致岩土滑动和地基失稳等，而造成坝体的变形和破坏。例如：库岸滑坡、非构造地裂和砂土液化等。

当前，要十分确切地查明坝基构造稳定性问题，还比较困难。但回顾三十年来的工程地质勘察实践和大坝建设经验，可以提出一个基本方法或依据，在安全可靠的前提下，进行坝基构造稳定性评价和决定坝址的命运问题。笔者认为，无外乎从以下两个方面予以判断：

1. 从可能生产的地震强度或断裂活动性上予以判断和决策：

(1) 避开近代活动的新断裂，坝基无发震断裂和地震断裂。

活断层、发震断层和地震断层将引起坝基断裂和位移，属抗断问题。工程技术上的防护措施还很复杂和困难。例如：1906年4月8日，美国旧金山发生8.3级地震时，在该市以南数英里处的圣·安德列斯(San Andreas)土坝，高27米，建成于100年以前。活动性的圣·安德列斯区域大断层穿过主、付坝之间向库区和下游延伸(如图1)。地震时，坝区地震烈度大于X度，该断层发生了错动，致使主坝整体向北移动2.5米，东岸隧洞发生了扭曲，偏离中心线约3.0米。当时库容水量约2000万米³。但没有造成垮坝以及渗漏等危害工程安全的破坏性事故。

旧金山供水系统的水晶泉(Crystal Spring)水库(即下水晶泉坝形成的水库)也位于圣·安德列斯主断层

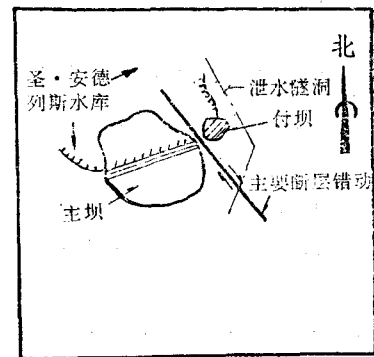


图 1

所穿过的河谷中。在圣·安德列斯土坝以南数英里处,有一条路堤(曾经为上水晶泉坝)横跨这座水库,地震时,大致垂直于路堤轴线的主断层产生错动,致使路堤一侧向北位移了2.5米。堤顶上出现纵、横向裂缝,深度至少有1.0米。显而易见,如果该路堤处仍做挡水坝坝址,其后果就可想而知了。

下水晶泉坝为混凝土重力坝,坝高43米,1888年建成。尽管大坝距断层错动处仅200米左右,但坝体并没有因此而被损坏。

由于历史原因,当时人们对活动性断层及其工程地质意义,尚了解得很少,故使得前两者坝体直接跨越或邻近圣·安德列斯区域大断层,几乎造成不可收拾的事故。但就现代地质科学水平而言,地质学家会很容易地判断圣·安德列斯大断层的活动性及其工程地质意义,并予避开。

判断现代活动性断裂,可主要地凭借下列标志:a)第四纪,特别是晚更新世以来的地层被错断和变形;b)沿断裂带有历史地震和现代地震震中分布,甚至有地震断裂带和地形变带存在;c)根据仪器观测,沿断裂带有新的位移、地形变或微震活动。

发震断裂的判断,可主要地参考下列标志:a)地表断裂规模大,属区域性深大断裂,自晚近期以来,直到近代都有强烈的活动或明显地形变;b)沿断裂带历史上有震级大于4.5的强震震中分布,或地震台网记录到沿断裂带目前仍有小震频繁发生,或沿断裂带地应力呈现集中、增大等异常现象。

按地震地质观点,地质构造断裂可分为三类:即老断层;晚近期断层一系指第三纪至第四纪以来曾发生过活动的断层;以及近代断层一系指人类有历史记载的几千年以来一直在活动的断层。

据宏观地震统计资料反映,地震烈度等于或大于Ⅷ度时,坚硬完整的岩体产生地震断裂以及老断层和晚近期断裂复活的成分较大;地震烈度为Ⅵ度时,坚硬完整岩体产生地震断裂,以及老断裂和晚近期断裂复活的可能性相对较小;地震烈度为Ⅴ度时,坚硬完整岩体一般不会产生地震断裂,晚近期断裂一般也不会复活。因此,在实践上常常以此做为判断坝基岩体能否发生地震断裂的主要参考依据之一。

但应该指出,就目前所知,尽管世界上由于各种原因造成坝工失事或严重损坏的实例可能已有500座以上,但真正因坝基断层错动而造成坝工毁坏者却极罕见。看来,这个问题并不普遍和突出。当然,也要认真对待。笔者认为只要运用现代地质科学技术水平,对坝区可能存在的活断层;发震断层和地震断裂有个基本判断,并尽力避开,这个问题就算解决了。否则,确实无法避开时,则以采取厚心墙土石坝型,或与断裂活动相适应的、比较安全的结构措施为宜。

(2).设防烈度予以适当提高,以确保工程安全。即设防烈度较基本烈度提高一度或二度。其主要依据一般为:

a)高坝大库以及工程区基本地震烈度的确定可靠程度较差;b)坝基岩土体全部或局部抗震强度低,可能产生高烈度异常区;c)坝基地形条件不利,可能产生高烈度异常现象。

例如:刘家峡水电站为Ⅰ级水工建筑物,坝高库大。勘测阶段基本地震烈度曾确定为Ⅶ度,可靠性较差(七十年代后期已修改为Ⅵ度);坝基河床左侧有新构造断层F₁。顺河通过,强震时可能出现高烈度异常带;坝址地处高山峡谷,两岸坡高陡峻(如图2)。因此,主坝地基设防烈度按Ⅳ度计算,较基本烈度提高两度。

据地震区宏观调查,坝工建筑物震害情况,一般有如下“规律”:

土坝等柔性建筑物，修筑在深厚复盖层上的高坝震害重，低坝则震害比较轻微，在较薄复盖层上的高坝和低坝的震害情况正与之相反。极低坝（一般小于10米），无论在什么地基上，震害都比较轻微。

闸坝等刚性建筑物，修筑在巨厚土基上，低坝震害轻，而高坝震害重。在岩基上，则高坝与低坝震害都比较轻微。

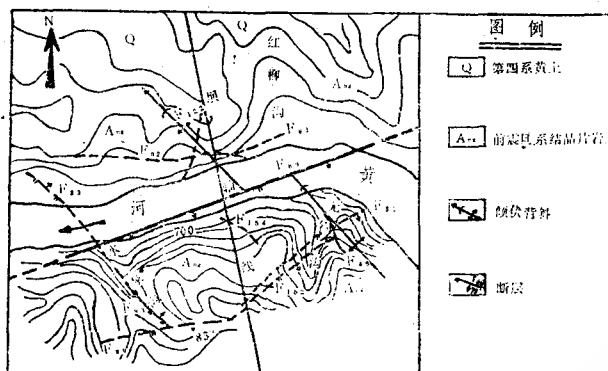


图 2

一。即使有断裂通过，其规模较小，既不是发震断裂，也不是地震断裂。但应尽力避开规模较大的死断层，以及易于液化的砂类土和易于变形的软粘土等。若属抗震问题，工程措施上相对容易解决。

例如：唐山陡河水库的溢洪道和输水洞，朱各庄排灌站和滦县的岩山渠首闸等，修筑在岩基上的工程，虽经历了Ⅷ—Ⅹ度的强震，但破坏都较轻微。反之，修建在土基上的水工建筑物，在邢台与唐山地震时，震害就严重得多了。

总之，即使在强震活动区修筑大坝，工程地质勘察的任务，也要尽力避开不利的地形、地质条件，并在构造不稳定区内寻找低烈度异常带，以选择出相对稳定的“安全岛”。同时，采取相应的工程措施，以及加强建坝前后的观测和监视工作等。

兹列举三个工程实例，以说明如何依据上述原则选择坝址的。

1. 新丰江水库

混凝土宽缝重力坝，坝高105米，总库容为115亿米³，1959年蓄水。诱发主震时间为1962年3月19日，震级为6.1级，坝基地震烈度为Ⅷ度。原设计采用值为Ⅵ度。

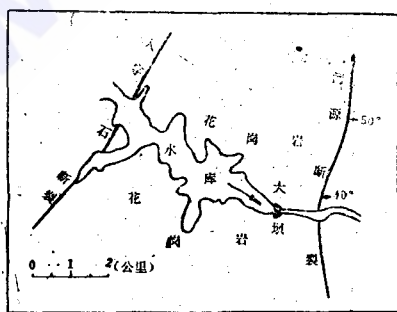


图 3

因此，从坝工结构震害的实际情况出发，设防烈度的提高，以综合考虑坝基的高烈度异常可能性与坝工结构类型等因素较为合理。

(3)加强观测与监视工作，以期判断和预测可能产生的最大地震强度。例如：潘家口水库正开展的地震、地应力和地形变观测工作等。

2. 从坝基岩土体抗震强度方面予以判断和决策：

力求坝基岩体相对坚硬完整和均

一。即使有断裂通过，其规模较小，既不是发震断裂，也不是地震断裂。但应尽力避开规模较大的死断层，以及易于液化的砂类土和易于变形的软粘土等。若属抗震问题，工程措施上相对容易解决。

震后只在坝体上部108.5米高程产生水平贯穿性裂缝，但大坝整体仍是稳定的；坝基岩体无任何异常现象。属一般抗震问题。

该库坝区位于南岭纬向构造带与新华夏系构造的复合部位。坝址上游5公里和下游1.1公里分别有横河方向的新华夏系区域性活动断裂（人字石断裂和河源断裂）通过，两者均系发震构造，中、新生代以来仍在活动。

但是，坝基岩体为中生代花岗岩，坚硬完整，

断裂规模很小，既无发震断裂，也无地震断裂。即大坝地基幸好选在“安全岛”上(如图3)。

2. 刘家峡水库

混凝土重力坝，坝高148米，总库容57亿米³。1969年蓄水，已正常运行十四年了。坝址基本地震烈度原为Ⅶ度(现改为Ⅷ度)，设防烈度为Ⅸ度。

库坝区在地质构造上位于祁吕系的兴隆山~马街山褶皱带的西南边缘。上第三纪至第四纪初，活动过的规模较大的河西系断裂比较发育。

F₆断层顺河向穿过河床坝基左侧(如图3)，Q₃初期活动过的可能性较大，属新断层，但规模较小(长度大于1000米，最大宽度约4米)。坝基岩体为前震旦系深结晶云母石英片岩，坚硬完整。据此，地质上曾判断，坝基既不存在活断层，也不存在发震断层。强震时，F₆断层重新错动的可能性极小。属抗震问题。

水库蓄水后，工程区曾设立了长期地震观测站。十四年来，无任何异常现象。即大坝地基亦处于“安全岛”之上。

3. 龙羊峡水库

混凝土拱形重力坝，坝高168米，总库容为247亿米³。坝区基本地震烈度为Ⅷ度。现正建设中。

库坝区在地质构造上位于祁吕构造体系的南西侧边缘，但该区呈北北西~北西向展布的河西系断裂比较发育，且挽近期以来的活动性表现得强烈。坝线下游约300米的F₇断层以及坝线上游约800米的F₁₀断层，都错断了八级阶地的O₃砾石层，但近代无活动迹象。

坝基岩体为中生代花岗闪长岩，坚硬完整，断层规模较小，既不是发震断裂，也不是地震断裂。地质上判断属抗震问题。即大坝地基也处在“安全岛”上(如图4)。

上述实践经验与基本观点，有助于评价拟建坝址所处部位的构造稳定问题。显而易见，象二滩水电站目前已完成的工程地质勘察工作的广度和深度，其坝基构造稳定性评价问题，就应该认为已经解决了。

据二滩水电站地处渡口—西昌复杂地质构造区内的共和断块向南倾伏端部位。共和断块

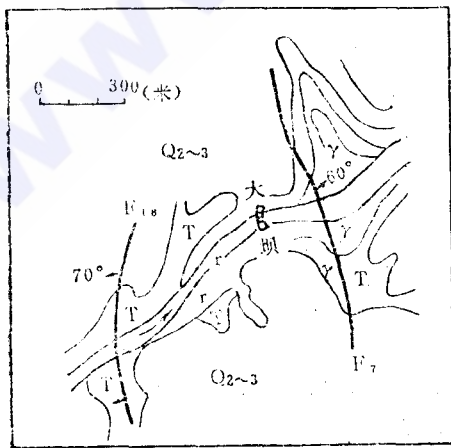


图4

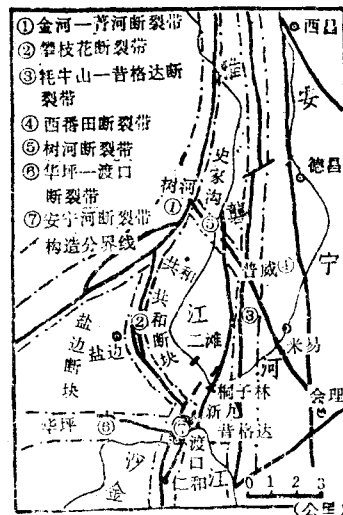


图5

周围为一系列区域性大断裂(如图5),地质史上有长期的活动性,并有差异性构造运动和强震震中分布,近期弱震也比较频繁,是地壳运动较为活跃的地区。

共和断块本身,则相对比较完整。以坝址为中心的10公里范围内尚没有发现活断层。历史上也没有强震记载,属相对稳定地区。工程区基本地震烈度,各家意见以采用Ⅷ度或Ⅶ度稍强为妥。

坝址地段,岩体组成以坚硬的玄武岩和正长岩为主,比较完整,断层很少,规模也很小。既无发震断裂,也无地震断裂,属一般抗震问题。显然,坝基构造稳定性较之共和断块总体的构造稳定性更好。

此外,从黄河干流上基本地震烈度为Ⅷ度的三门峡、青铜峡、刘家峡和龙羊峡等大型工程实践经验上判断,象二滩坝基这样的地质条件,即使工程区基本地震烈度为Ⅷ度,在此建筑245米混凝土高坝,其坝基构造稳定性问题,在技术上仍是充满信心的。

综上所述,结论如下:

1. 就坝工建筑的实践经验来说,坝基抗断问题,并不普遍和突出。只要运用现代地质科学技术,对坝区可能存在的活断层、发震断层和地震断层有个基本判断,并予避开,这个问题就算解决了。在此基础上着重于工程地质条件和改善不良地基的研究。如确实无法避开的薄弱部位则采取相应的和比较安全的工程结构措施予以解决。

2. 坝基抗震问题,从工程地质意义上讲,仍是个普遍的和重点的问题。因此,只要坝基选在岩体相对坚硬完整,或低烈度异常地段,即使其邻近或外围区存在着活断层,或发震断裂,或地震断裂,坝基构造稳定性问题也应该认为已基本解决了。

因此,坝基构造稳定性、库区构造稳定性(或水库诱发地震)以及区域构造稳定性,三者对工程的影响和评价,尚有一定区别,不能等同视之。

主要参考资料

- [1] 水利电力部规划设计管理局 水利电力勘测设计1977年11月
- [2] 广东省水利电力局勘测设计院 新丰江水库蓄水与地震1977年12月
- [3] 河北省根治海河指挥部勘测设计院 河北省邢台、唐山地震对水工建筑物地基的影响1978年8月
- [4] 余仁福 黄河上游地区的构造稳定问题1979年9月
- [5] 水利部规划设计管理局 坝基内的潜在活断层(水利水电译文)1981年1月