

水工建筑物抗震 设计规范

SDJ 10-78

(试 行)

编制说明

电力工业出版社

水工建筑物抗震设计规范

SDJ 10-78

(试 行)

编制说明

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 4 印张 89 千字

1982年 7月第一版 1982年 7月北京第一次印刷

印数 0001— 4300 册 定价 0.43 元

书号 15036·4345

内 部 发 行

前 言

《水工建筑物抗震设计规范》SDJ 10-78(试行)(以下简称《规范》),是根据国家基本建设委员会(73)建革设字第239号通知和前水利电力部下达的任务,由前水利电力部科学研究院、第四工程局、第十三工程局、东北勘测设计院、广东水电局勘测设计院、北京水利气象局勘测设计处、华北水电学院和大连工学院等单位组成编制组编制的。在编制过程中,还有北京大学数学系、吉林大学数学系、广州地震大队和中国科学院地质研究所进行了大量计算工作和部分专题报告的编写,云南水电勘测设计院也参与了部分工作。

《规范》于1978年12月经前水利电力部批准颁发试行。

本《规范》共分十章十节五十七条,并有附录八个。

第一章为总则,共五条,包括《规范》的适用范围、设防要求、设计烈度和抗震设计的主要要求。

第二章为场地和地基,共二节八条,包括场地选择原则,对水库诱发地震及岸坡抗震稳定性的查勘要求、以及地基的抗震设计原则。

第三章为抗震计算,共四节十七条,包括计算方法、荷载组合、安全系数等原则要求及各类水工建筑物地震惯性力、动水压力、动土压力的计算方法。

第四章为抗震结构及工程措施,共四节二十七条,按各类水工建筑物及地基分别提出抗震工程措施。

(为便于初步鉴定和供中、小型工程参考,在附录中列

出了关于可“液化”土层和软弱粘性土层评价方法的建议。关于拱坝、闸顶机架水平地震惯性力分布指数和拱坝的动水压力及土坝抗剪强度指标的选择等部分，由于资料较少也暂列入附录。）

本《规范》是在1969年《京津地区水工建筑物抗震设计暂行规定》（草案）的基础上，根据近年来国内几次大地震的经验和有关科研成果，并参考了1974年《工业与民用建筑抗震设计规范》TJ 11-74（试行）（以下简称《工民建抗震规范》）以及国外的有关科研成果和水工建筑物抗震设计规范或准则而制订的。

在抗震计算方面，《规范》的制订是从工程设计的实际需要出发，尽可能反映建筑物的实际地震反应，注意力求简化，避免繁琐，易为广大设计人员所掌握；同时又有利于推动水工建筑物动力分析工作的开展。地震荷载的确定是以动力理论为基础，分析各类建筑物的动力反应，归纳为较合理又便于使用的荷载分布图形；同时对总的地震荷载数值参照已有的震害实例及设计经验进行调整。因此，《规范》所列的有关参数是根据设防要求、地震区的宏观震害资料、结构的抗震分析计算和实验成果，并参照国内外设计实践及规范等综合评定的。

现有的国外水工建筑物抗震设计规范中，抗震设计主要局限于确定地震荷载，进行抗震计算，对于抗震工程措施则很少涉及。鉴于目前的抗震计算方法和控制标准，还不能完全反映水工建筑物地震反应及材料动力特性的复杂性，诸如土坝裂缝及由于地基失效和接头部位破坏等结构方面的因素所造成的震害，也难以计算；采用合宜的抗震工程措施，则可以有效地改善建筑物的抗震性能。因此，《规范》中明确

要求抗震设计应当包括抗震计算和抗震措施两部分。特别是对中、小型工程,强调必须充分重视采取有效的抗震工程措施。

《规范》从总结国内外水工建筑物震害宏观经验和抗震设计经验出发,专列了“抗震结构及工程措施”一章。

由于水工建筑物抗震问题比较复杂,很多规律尚未为人们掌握,震害实例及资料数据很少,因此,这个初次编写的《规范》可能还不能完全满足我国广大地震区水利水电建设的要求,有待今后通过工程实践和科学实验,逐步补充修改提高。希望各单位在试行中,不断总结经验,将有关的意见连同资料和数据,寄北京百万庄向群路八号水利水电科学研究院抗震防护研究所,并抄送北京六铺炕电力工业部水力发电建设总局设计处。

现就《规范》各章的主要内容说明如后。本说明于1978年1月在原水利电力部规划设计管理局和科技司召开的《规范》送审稿审查会上交流讨论过。正式刊印前,又组织原编制组部分成员作了校核、修改和补充。

《水工建筑物抗震设计规范》编制组

1981年11月

目 录

前 言	
第一章 总则	1
第二章 场地和地基	5
第一节 场地	5
第二节 地基	13
附录一说明 关于地基中可能发生“液化”的土层和软弱粘性土层 的评价方法	18
第三章 抗震计算	36
第一节 计算原则	36
第二节 地震惯性力	83
第三节 地震动水压力	99
第四节 地震动土压力	101
第四章 抗震结构和工程措施	104
第一节 碾压式土坝和堆石坝	104
第二节 混凝土坝	113
第三节 水闸	119
第四节 其它建筑物	121

第一章 总 则

一、关于设防要求（第1条）

本《规范》明确了对于水工建筑物抗震设计的指导思想和设防要求，使设计人员对抗震防御的目标有一个较为明确的概念，《规范》条文的编写也尽量注意抗震计算结果和工程措施能与震害实例相适应。

挡水建筑物的安危，关系重大，地震时万一发生溃决，将引起严重的灾害。因此，经过抗震设防后的水工建筑物，在遇到相当于设计烈度的地震时，必须确保不发生严重震害，免使下游人民生命财产遭到危害。对于较轻的震害，应能在震后尽快修复，正常运行。根据已有的国内外震害实例，水工建筑物在遭遇到强震后，常出现局部损坏，例如土坝一些部位的裂缝和坝体、坝基的漏水，混凝土坝局部渗漏量的增大等等。这些较轻的局部损坏，通常经一般处理后仍可正常运用。要完全避免这类局部损坏，可能将导致工程设计很不经济，而且有些在技术上也有困难。因此，《规范》根据实践经验，允许建筑物可以有如上所述的局部损坏。至于衡量损坏程度的标准，在科学上目前还不能用简单的物理量来表达，因而只能是一个工程实践的宏观概念，即按照建筑物损坏后修复的难易程度来掌握。

二、关于地震烈度（第2条）

我国以往水工建筑物的抗震设计中都沿用三种烈度：基本烈度、场地烈度和设计烈度。本《规范》参照已经国家建

委批准的《工民建抗震规范》，不采用场地烈度的概念，而是考虑了场地的地质条件对形成震害的影响。场地的地质条件主要有三个方面：地质构造、地形和地基。地基的影响又包括地面运动特征的改变、建筑物和地基的相互作用及地基失效等方面。这些影响因素都不宜简单地用烈度的调整来体现。

地质构造和地形的影响，目前尚难以定量，宜从选择有利场地来解决。发震的深大断裂的作用在确定基本烈度时已予考虑，非发震断层对烈度的影响，其规律性则尚不明显。地基失效问题更不能以增加烈度（从而加大上部建筑物的地震荷载）来求得解决，必须选择有利场地或采取加固地基的抗震工程措施。至于地基对地面运动特征的影响，则包括最大加速度值和反应谱的峰值周期及形状两个方面。前者今尚无定论，后者宜在确定各类建筑物的地震荷载时加以考虑。一般说，软土地基对长周期的建筑物不利。地基对建筑物与地基相互作用的影响十分复杂，目前国内外都正在研究中，尚无较成熟的研究成果可在水工建筑物的抗震设计中应用。总的看，软基使上部建筑物周期延长，地基的阻尼作用加强，同时使建筑物的变形增加，其综合效果是否使地震反应加大，须视建筑物和地基的特性而定。

此外，设计实践表明，场地烈度在实际工程中一般很难具体确定。将烈度分为三种，不仅在使用上反多不便，而且笼统地考虑地质条件复杂而调整烈度，往往容易形成层层加码；而烈度每调整一度，设计地震荷载就要成倍增减，对设防标准和建设投资的影响较大。至于库区地质条件复杂，可能诱发水库地震或造成高效应震害差异等因素，则须经专门论证，然后在确定设计烈度时，与建筑物重要性和结构特点

等其它因素综合考虑。这样，对烈度的调整幅度也就比较灵活。

鉴于上述原因，本《规范》对场地影响，分别在场地选择、地基抗震措施和确定地震荷载时采用的反应谱曲线类型中作了考虑。这比简单地用调整烈度的方法来概括场地影响要更合理些。

由于目前我国确定基本烈度的方法已较过去有改进，且较重要的水工建筑物所在地区的基本烈度，都是由有关单位专门研究确定的；而建筑物的重要性在确定其等级时已经考虑了。因此，除 I 级挡水建筑物外，在一般情况下设计烈度应采用基本烈度。对其它特殊情况需要采用较基本烈度为高的设计烈度时，应经国家基本建设委员会或水利电力部批准。

三、关于本《规范》的适用范围（第 3 条，第 4 条）

国内外震害情况表明，水工建筑物一般从 7 度开始出现地震损害，目前水工建筑物设计通常也是以 7 度作为抗震计算和设防的起点。但国内外也有 6 度地震造成水工建筑物损害的实例，特别是在一些施工质量较差的工程薄弱部位。此外，设计烈度在 9 度以上的工程，国内外仅有个别实例，且都未经 9 度以上强震的实际考验。因此，本《规范》中明确提出适用范围为设计烈度 7 至 9 度；同时强调抗震设计包括抗震计算和抗震工程措施。

鉴于《规范》给出的地震荷载是概括的平均值，对于设计烈度为 9 度的 I、II 级水工建筑物，还宜进行动力分析和试验，对结果应结合试验方法、条件、采用的参数值、强度指标、安全系数等作综合的分析研究。有条件时还宜在建筑物上设置加速度仪等观测设备，检验动力分析的可靠性。这样也有利于推动水工建筑物动力分析工作的开展，并可为进一步

步修订本《规范》积累更多资料。

设计烈度在9度以上的工程抗震问题须另作专门研究。

大、中型的挡水建筑物如遭受震害，影响重大，修复困难，应作为设防重点；同时我国小型水工建筑物量大面广，对工农业建设发挥的作用很大，而且在近年来的历次强震中，经受地震考验的也较多。因此，在水工建筑物的抗震问题上，既应认真对待大、中型工程，也要充分考虑到小型工程的要求，并根据我国各地区小型工程设计施工的特点而区别对待。本《规范》对IV、V级水工建筑物特别指出须根据本地区的具体条件，着重于采取有效的抗震工程措施。

从我国已有的水工建筑物抗震实践出发，本《规范》目前主要应用于下列水工建筑物：

1. 辗压式土坝、堆石坝；
2. 混凝土坝，以重力坝为主，包括宽缝坝及大头坝（因为试验和观测资料表明，这两类坝型的动力特性和重力坝类似），拱坝次之；
3. 水闸，包括启门机架等；
4. 其它建筑物，包括进水口建筑物、隧洞、压力管道及水电站厂房的水下部分等。

至于土石坝中的水力冲填坝等类型，以及渡槽等水工建筑物，由于缺少动力特性资料及实际运用经验，还不能在本《规范》中概括；有待进一步积累资料，于今后修订时逐步补充。

第二章 场 地 和 地 基

第一节 场 地

一、地震区场地的选择（第6条，第8条）

场地选择的目的是：研究产生地面破坏的特殊地质条件，在构造不稳定的强震区内选择出相对稳定的“安全岛”，以避免因地面破坏而加剧建筑物震害；研究引起烈度异常的主要因素，寻找低烈度异常区，以减轻振动破坏；研究产生水库诱发地震的特殊地质环境，对可能诱发强水库地震的场地予以避开或加强抗震措施。场地选择的任务是：应尽量选择对建筑物抗震有利地段，宜避开不利地段，未经充分论证不得在危险地段进行建设。场地应根据断层的活动性、地基、地形和地貌等因素综合评价；其中断层活动性是主要因素。现代强烈活动的断层若通过枢纽区不仅能伴随强震出现地震断裂，威胁建筑物安全，也有可能产生高烈度效应。若通过库区，加上其它条件，也有诱发水库地震的可能。活动性断裂往往破坏岩体的完整性，在不利的岩体结构条件下，又易造成大规模的塌滑。这点与《工民建抗震规范》不尽相同，乃是由于水工建筑物中的拦河坝、水电站等枢纽工程多建在山区峡谷，基岩裸露，断裂发育，且一座建筑物要横跨河谷、阶地、陡坡等不同地貌单元的特点所决定的。

1. 断层的活动性

断层按其活动时期可分成三类，即稳定的老断层、晚近活动断层和现代活动的发震断层。发震断层对场地条件影响

最大。

关于发震断层的鉴定，通常由勘测单位提供地质资料，由地震部门在确定场地基本烈度时，根据下列条件综合评定。

(1) 断裂带规模较大，属于区域性断裂，有明显的晚近期以来的断裂活动迹象，历史上有震级 $M \geq 4 \frac{3}{4}$ 的强震震中分布；

(2) 地形测量表明目前断层仍处于不断的明显变形的过程中；

(3) 地震台网记录到沿断裂带目前仍有小震频繁发生。

在发震断层的某些部位，如断层的端点、拐点、“入”字型交点和断层与其它断层的交叉点，都是构造应力集中的部位，往往是强震震中的所在。

在极震区，强震往往导致岩（土）体的突然破裂和相对位移，前者称“地裂缝”，后者称“地震断层”，从而造成上部水工建筑物的破坏。如1906年美国旧金山地震时，修建在圣安德列斯发震断层上的圣安德列斯坝和隧洞就由于岩体突然破裂和位移而导致建筑物错裂。据不完全统计，我国自1668年至1976年，仅307年间，在6级以上强震作用下，发震断层附近产生地震断层和地裂缝的达31起，平均10年发生一起，其中14起有错距记载（参看表2-1）。震级愈大，地震断层长度和位移亦大，地震断层长度由几公里到300余公里，错距由10厘米到2~3米。据国外资料，地震断层最长的是1906年美国旧金山8.3级地震时产生的，长达430公里，地震断层错距最大的是1957年蒙古8.3级地震时产生的，位移达12.8米。地震断层的分布，有时与发震断层重合，有时有偏离和产生分枝，也有时还有不同方向、断续分布的次级断裂，但都反映出统一的构造应力场。

表 2-1

我国近代地震断裂实例表

序号	发震时间	地 点	震级	地震断裂地表 长度(公里)	地震断裂错距* (厘米)
1	1668. 7. 25	山东莒南	8.5	150~200	
2	1679. 9. 2	河北三河、平谷	8	40~50	
3	1733. 8. 2	云南东川	6.8	50	
4	1739. 1. 3	宁夏银川	8	60~80	
5	1830. 6. 12	河北磁县、彭城	7.5	20~30	
6	1833. 9. 6	云南嵩明	8	(50)	
7	1850. 9. 12	四川西昌	7.5	(10~15)	
8	1879. 7. 1	甘肃武都	7.5	50~80	
9	1902. 8. 22	新疆喀什	8.2	150	
10	1906. 3. 17	台湾嘉义	7.1	(14)	310
11	1920. 12. 16	宁夏海源	8.5	200	
12	1927. 5. 22	甘肃古浪	8	(60)	
13	1931. 8. 11	新疆富蕴	8	150	
14	1932. 12. 25	甘肃昌马	7.5	116	300
15	1935. 4. 20	台湾	7.0	(25)	300
16	1937. 1. 7	青海都兰	7.5	230	
17	1946	台湾		6	200
18	1948. 5. 25	四川理塘	7.4	70	
19	1951. 10. 21	台湾	7.1	(8)	230
20	1951. 11. 24	台湾	7.3	40	210
21	1952. 8. 18	西藏	7.5	8	
22	1954. 2. 11	甘肃山丹	7.4	20	
23	1955. 9. 23	云南	6.8	1.5	10
24	1966. 3. 8	河北邢台	6.7	25	100
25	1966. 3. 22	河北邢台	7.2	55	180
26	1967. 8. 30	四川	6.8	2	20
27	1966. 9. 28	云南中甸	6.4	2	
28	1970. 1. 5	云南通海	7.8	60	220
29	1973. 2. 6	四川炉霍	7.9	90	300
30	1975. 2. 4	辽宁海城	7.3	(5.5)	40
31	1976. 7. 28	河北唐山	7.8	10	164

注：* 地震断裂错距指最大水平或垂直相对位移；

()内数字表示部分长度。

本《规范》把场地划分为三类，主要是以有无发震断层通过作为根据。把坝（闸）区有发震断层通过，可能产生地震断裂的划为危险地段；库区及其邻近有发震断层穿过，对坝（闸）区主要建筑物威胁较小的划为不利地段。坝（闸）区和库区均无发震断层穿越，不可能产生地震断裂的，视为相对有利地段。如前所述，只有在发震断层的端点、拐点……等某些部位，由于地应力集中，才能形成极震区，而其一般部位并不致产生强震，也就不会造成地震断裂，对建筑物就相对较为安全。《规范》中强调“未经充分论证不得在危险地段进行建设”，其含意就是要求对场地所处于的发震断层的部位作出分析和判断。

其次，关于晚近活断层或新构造断层，是泛指第三纪末到第四纪两个最新地质年代产生的断层。其中有些在第三纪活动的断层，到现代由于强度减弱，再发生强烈地震的可能性较小；有些仍继续强烈活动，不断有强震发生，这已属于发震断层的范畴。但应注意，若邻近晚近活动断裂带的地区发生强震，在该断裂带上仍有可能产生高烈度效应。不过这尚需进一步积累资料加以论证。

关于稳定的老断层，一般胶结良好，在强震作用下，尚找不到活动形迹和高烈度效应。因而在本《规范》中没有加以限制。

2. 地基

水利建筑物震害实例表明岩基和密实土基上的建筑物无震害或震害极轻，用反应谱计算二者的地震反应也相差不大，所以把此二种地基作为有利场地；只将有产生液化和较大变形的饱和松软土层的地段定为不利场地。

3. 地形地貌

水工建筑物中的拦河坝、水电站等大多建在山区峡谷，当库区和坝区岩体结构复杂，有软弱结构面分布时，在强震作用下，边坡的稳定问题十分突出。大规模的滑坡、崩塌，或直接摧毁枢纽工程，或堕入库内，引起涌浪，导致漫坝，甚至垮坝事故；也可能堵塞水库，使其失掉应有的效益。这在国内外都不乏崩塌、滑坡、泥石流的实例，应引起严重的注意。因此，《规范》要求查清库区和坝（闸）区危险岸边的分布、规模及其抗震稳定性，估计可能的危害程度，提出处理措施。对难以处理者应当避开。

二、水库诱发地震问题（第7条）

水库诱发地震是指由于水库蓄水而引起的地震现象及地震活动性的加剧。目前，我国在建成的七万余座大、中、小型水库中，产生诱发地震的水库有八座，其中大型水库六座（广东新丰江，湖北丹江口，江西柘林，辽宁葭窝，浙江乌溪江，贵州乌江渡），中型水库二座（湖北前进，湖南南冲）。震级大于5级的只是新丰江水库。据不完全统计，迄今世界上产生水库诱发地震的有五十余例。从强度看，大部分属于弱震，震级超过5级的共十三例，最大为6.4级，震中烈度为8度强（参看表2-2）。

从表2-2看出，超过5级的地震多发生在坝高大于100米，库容在10亿立方米以上的高水头大水库内。但这种实例与整个大水库相比，为数也极少，除了水库蓄水这一外因外，还必须探索其内因，即水库区内特定的地质条件。

业已发生5级以上诱发地震的库区，多有规模较大的、新生代以来有活动的断层存在。活动性断裂为深部岩体应变能的储积提供了条件。此外，水库区内地层由于构造的切割，

或受水的溶蚀和软化作用，具有一定的透水性，使库水能沿断裂带或透水岩石向深部渗透，温泉的存在可以作为一个识别的标志。水向深部渗漏，使裂隙——孔隙水压力增高，削弱了断裂面上的强度。一旦地应力超过断裂面上的强度，便频频发生小震，进而串成大震。

因此，可以认为岩体的特定地质构造条件是水库发生地震的基础，而水库蓄水只是引起岩体中应变能集中和释放的条件。

目前对水库诱发地震的地质条件研究得还很不够，资料不全，研究方法也不成熟，只能原则地提出其产生条件和抗御的措施。今后应采用仪器观测断裂的现代活动量，测量蓄水前后库区或四周的地形变和地应力状态，布置台网观测蓄水前后的微震活动。有条件时还应研究裂隙——孔隙水压力的变化。随着这些资料的积累，产生水库诱发地震的地质标志才能逐步明确起来。

值得注意的是一般地质测绘只能了解地表构造情况，而水库地震的震源虽浅，也有几公里至十几公里，地面构造与深部构造未必一致。例如印度柯依那水库库区地面为构造变动不明显的新生代“高原玄武岩”，但玄武岩大面积喷发，反映了可能是沿着隐伏的前寒武系基底断裂而产生。同时，印度西海岸有断层存在，沿线出露温泉，都有助于推测深部有构造存在。因此，最好用物探，特别是重力法、磁测和地震法了解深部构造。像新丰江水库的纬向构造带就是通过航空磁测查明，丹江口水库的近南北向断裂带也是采用重力法才搞清楚。

表 2-2 震级大于 5 级水库诱发地震技术条件和地质构造条件

序号	坝名	坝高 (米)	库容 (亿立方米)	震级 M	地 层 岩 性	地 质 构 造	蓄水 年代	主震 年代
1	柯依那(印度)	104	27.8	6.4	中生代“高原玄武岩”，以玄武岩为主，夹凝灰岩和粘土	高原玄武岩构造变动不显著，但下伏前寒武系变质岩有南北向的西海岸断层，温泉沿线出露	1962	1967
2	克瑞马斯塔(希腊)	163	47.3	6.3	侏罗系到第三系海相复理石沉积及石灰岩。岩浆活动剧烈	大坝上游11公里有两条北西向的扭性断层	1965	1966
3	卡里巴 (赞比亚,津巴布韦)	123	1604	6.1	二迭三迭系“卡路系”地 层,坝区为太古代花岗岩片麻岩及片岩	水库区为断陷盆地。有几条走向北东的张扭性断层平行库区	1960	1967
4	新丰江(中国)	105	115	6.1	为晚古生代,中生代海相及陆相砂岩及火山岩和花岗岩。坝区为花岗岩	有几条走向北东的压扭性断层横切库区,并存在东西向的磁异常带	1959	1962
5	包尔德(美国)	222	385	5	古生代灰岩砂岩第三系火山岩,坝区为寒武系花岗岩、火山岩和片岩	水库为断陷盆地。有几条走向北东的断层横切库区	1936	1939
6	蒙台纳尔(法国)	155	2.4	5	侏罗系石灰岩	沿河谷有一系列南北向断层,引起相当数量的水渗透	1962	1966