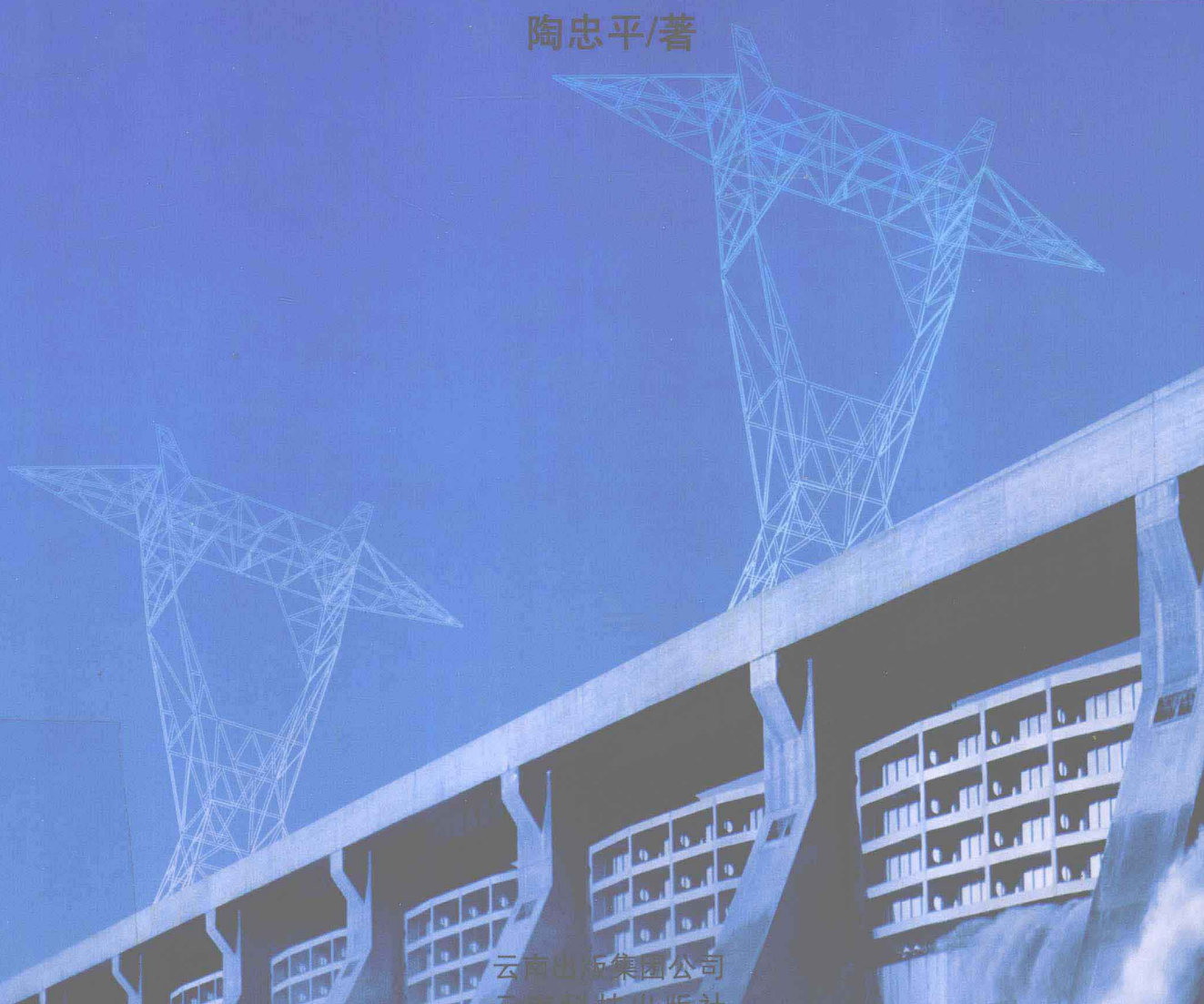




云南水利水电工程地质实践

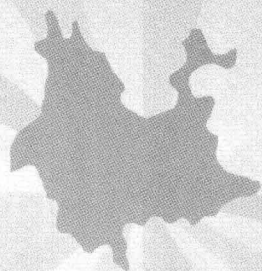
YUNNAN SHUILI SHUIDIAN GONGCHENG DIZHI SHIJIAN

陶忠平/著



云南出版集团公司

云南水利水电出版社



云南水利水电工程地质实践

YUNNAN SHUILI SHUIDIAN GONGCHENG DIZHI SHIJIAN

陶忠平/著

常州大学图书馆
藏书章

云南出版集团公司
云南科技出版社

· 昆 明 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

云南水利水电工程地质实践/陶忠平著. —昆明: 云南
科技出版社, 2010. 2

ISBN 978 - 7 - 5416 - 3751 - 3

I. 云… II. 陶… III. ①水利工程—工程地质—云南省—
文集②水力发电工程—工程地质—云南省—文集 IV.
P642 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 025987 号

云南出版集团公司

云南科技出版社出版发行

(昆明市环城西路 609 号云南新闻出版大楼 邮政编码:650034)

昆明市五华区教育委员会印刷厂印刷 全国新华书店经销
开本:889mm × 1194mm 1/16 印张:16.25 字数:400 千字

2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷

印数:1 ~ 500 册 定价:98.00 元

作者简介



陶忠平，1950 年 12 月 30 日出生于云南省墨江县。1969 年应征入伍，在中国人民解放军建筑第三〇七团援寮抗美，1972 年回国。

1975 年毕业于长春地质学院水文地质与工程地质专业，即分配到中国人民解放军基本建设工程兵 00911 部队（水文地质普查部队），从事 1:20 万区域水文地质普查工作。

1982 年 12 月响应中央军委撤军 100 万的号召，基本建设工程兵水文地质部队首批被撤，转业来到云南省水利水电勘测设计研究院，从事水利水电工程地质勘察工作，曾主持参与了昆明柴石滩水库、昆明松华坝水库、昭通渔洞水库、龙川麻栗坝水库、昆明市掌鸠河引水供水工程云龙水库、牛栏江—滇池补水工程等数十项大中型水利工程的工程地质勘察和其它一些工程的勘察工作。历任云南省水利水电勘测设计研究院地勘队队长、勘察分院院长兼总工程师、院副总工程师以及中国水利学会勘测专业委员会委员、中国水利学会岩土力学专业委员会委员、云南省水利学会勘测专业委员会副主任委员、云南发电学会勘测专业委员会副主任委员、云南岩土勘察协会常务理事等职。教授级高级工程师，2002 年获国务院特殊津贴。

前 言

这是一本水利水电工程地质实践经验的总结或者叫体会之作，叫什么书都不太恰当，仅仅是一些粗浅文章汇集成册而已，那就叫他文集吧。

国内外学者和专家都这样说：“工程地质”不仅是一门实践性很强的专业技术，而且是很复杂深奥的探索、研究、应用性的学科。不要说在国内，在世界上都找不出两个工程地质条件完全相同的工程，每一个工程都有它的基础条件和特殊的工程地质问题。一个工程地质工作者，在此领域能有所作为或有一点点成就的话，应是他对工程地质工作的热爱和刻苦的钻研，更是理论和实践成功结合的结果。我曾聆听过学者们的教导，读过几本工程地质专业方面的书，工作 30 余载，先后参与主持过大中型水利水电工程地质勘测数十项，编写过工作报告，撰写过一些总结经验性的文稿，可以说曾努力地学习过，钻研过。文集本身就记录了作者学习探索钻研的过程。如果文集中有的观点是错误的，说明“工程地质”学科的复杂和深奥，还得不断地学习和钻研。

本文集得以出版，首先要感谢云南省水利水电勘测设计研究院领导的支持、关心和帮助。王建春院长、教授级高级工程师特为文集亲笔题词祝贺。

感谢前辈们的热忱关心和帮助，李作洪大师和徐德威专家为文集作了序并给予了实在的评价。感谢朋友和同事们在我 30 多年的勘察工作中所给予的指教、关心和支持。衷心地感谢地质分院院长赵永川同志、牛栏江分院院长梅伟同志、钻探大队大队长赵治宇同志、勘中达总经理姜顺龙同志、测量分院院长吴波涛同志、设计分院院长赵仕杰同志、质量技术处处长苏正猛等同志人力物力上的支持。感谢我的同事们李蜀、赵仕杰、李锡均、张定彪、米建、袁绍敏、张丽萍、田毅等在文集编辑过程中的支持和帮助，对他们付出的辛劳深表感谢。

工程地质学是一门应用性很强的学科，我热爱水利工程地质勘察工作，虽然工作很艰苦，可它永远是一种创造性的劳动，只要您肯努力付出，就会有新的发现，就会有新的收获。

云南水利水电勘测设计研究院

陶忠平

2009 年 11 月于昆明

序 一

岩体和土体是同水利水电工程建设密切相关的物质，在水利水电工程建设中，首先需要查明水库地质和建筑物工程地质条件，查明建设场地岩土的工程技术性质，为合理利用场地岩土作为工程建筑物的地基、围岩或建筑材料提供依据，有时还需要有效地改善场地岩土的工程技术性质，使之满足工程建设的要求。因此加强地质勘察和分析研究，是实现认识自然和改造自然的统一、技术上的可靠性与经济上合理性的统一、岩土条件 and 建设要求的统一的重要工作，是保证工程质量、缩短工期、降低造价、提高工程建设项目的经济效益和社会效益的关键。

陶忠平教授级高级工程师把 30 余年来在云南水利工程实践中，曾遇到的工程地质问题，撰写的论文，汇集成册，是一项很有意义的工作。文集内的论文，包括水利水电松软地基质量评价、不良地基处理方法、岩溶区水库渗漏处理问题研究、水库岸边构造风化破碎带稳定分析与评价、复杂地形地质条件岩土工程勘察实践与探索、高边坡稳定性评价与处理、水库防渗处理分析与研究、高含水率土防渗心墙料的可能性探讨、水库诱发地震的基本特点及工程防范措施等。文集内容丰富，论文论点明确、论据充足、问题分析合理、对一些工程地质问题提出的处理措施，经过了实践的考验。因此，文集的出版，对我省在水利水电建设工程地质条件的认识以及工程处理，将起到积极的借鉴作用。

设 计 大 师
原 总 工 程 师
教授级高级工程师



序 二

20 世纪 80 年代初，正当水利水电事业迎来了一个新的发展时期，工程技术人员十分紧缺的时候，陶忠平同志从内蒙中国人民解放军水文地质部队来到了家乡云南省水利水电勘测设计研究院，当时正值设计院开展昆明松华坝水库由中型扩建为大型水利工程的前期工作，陶忠平同志的到来正好加强了这项工作，从此就开始了陶总在云南水利水电事业上的奋发奉献。

云南地处亚洲板块的边缘，新老地质构造形迹、各类地形地质基本因素十分复杂，滇东喀斯特高原、滇中红土高原、滇西横断山地，三大单元的具体地质条件、河谷水动力状态、喀斯特水动力条件、气象环境等种种因素组合的水利水电工程地质条件变化万千，难以捉摸。陶总从滇中松华坝、柴石滩大型水利水电工程到正在建设的滇东牛栏江—滇池补水工程，经历了云南境内改革开放以来绝大部分复杂的大中型水利工程建设，遇到了许多各种类型的难题，锻炼了自己，也丰富了自己的阅历。

陶总在工作中一贯刻苦钻研、勇于实践、善于总结。30 多年来坚持不懈，勤奋积累，在繁忙的工作之余整理了大量的素材，并不断总结分析，整理成文发表于各种技术期刊，现把陶总工作中的经验、见解汇集成册出版，以飨同行。这不仅是辛勤智慧的结晶，也为本人不断总结进一步提高填实了基础，同时也为同行树立了榜样，尤其为年轻的同行提供了勤奋实践、善于思考总结的范例。

文集的内容丰富广泛，并有一定深度，是难得的一本工程实践之作，通过对一些工程实例剖析、论证、提高，为其他工程借鉴，很有实用意义，对柴石滩水库右岸溢洪道以上构造破碎软弱夹层、深厚风化区高 126m 开挖边坡的稳定分析以及左岸趾板区构造破碎岩溶发育引起稳定和防渗问题的论证，都是很好的实例。牛栏江—滇池补水工程德泽水库的喀斯特论述，既是对工程可以成立的肯定，也是对滇东喀斯特高原的一个很有深度的认识，对相似区域工程建设很有帮助。文集中不仅对省内的一些工程作了有价值的分析论证，同时通过国内外一些资料学习归纳提出了水库诱发地震的一些看法，归纳的诱因基本条件和大多诱发地震位于灰岩区的实例，对我们研究水库诱发地震有重要的参考价值。

祝贺陶总的文集出版。

原 副 总 工 程 师
教授级高级工程师

徐德威

2009 年 12 月

目 录

一、论文部分

浅论水利水电工程松软地基质量评价及工程处理	(3)
水利水电工程建设中不良地基处理方法	(11)
病险水库除险加固工程地质勘察	(15)
岩溶区水库渗漏处理问题研究	(20)
柴石滩水库左岸构造风化破碎带稳定性初步分析与评价	(26)
高含水率土作土石坝防渗心墙料的可能性探讨	(31)
坝卡河水库输水隧洞严重渗漏的灌浆处理	(37)
柴石滩水库混凝土面板堆石坝工程地质简介	(41)
柴石滩水库面板堆石坝坝基工程地质评价	(44)
复杂地形地质条件岩土工程勘察实践与探索	(49)
柴石滩水库溢洪道引渠段高边坡稳定性评价及工程处理	(58)
高压喷射注浆在基础防渗处理中的施工控制参数	(64)
柴石滩水库混凝土面板堆石坝坝体堆石料勘察	(68)
喷锚支护在水工隧洞施工中的应用浅说	(74)
水库诱发地震的基本特点及工程防范措施	(79)
水利水电勘测设计过程中坝址比较选择的工程地质评价	(84)
水工隧洞工程塌方形成机理及处理实践	(88)
云南中小型水利水电坝基岩体利用研究	(92)
浅论柴石滩水库坝址区工程地质问题及工程处理	(97)
云龙水库坝址泥化夹层形成机理及工程地质研究	(102)
爆破堆石坝堆石体主要工程地质研究	(108)
德泽水库岩溶渗漏问题分析与研究	(113)
柴石滩水库趾板基础常规灌浆防渗可灌性试验研究	(124)
保山市红岩水库坝基及北岸防渗线白云岩碎裂岩体高压灌浆可灌性试验	(145)
昆明市掌鸠河引水供水工程云龙水库坝基防渗帷幕常规水泥灌浆可灌性试验	(177)
腾龙桥二级电站左岸蠕动变形体初探	(204)

二、会议汇报文稿部分

柴石滩水库坝址区主要工程地质问题	(211)
墨江坝卡水库病害工程勘察初步结果	(238)
声波学在工程地质领域中的应用	(247)

一、论文部分

浅论水利水电工程松软地基质量评价及工程处理

摘 要: 在水利水电工程施工过程中, 随着地面建筑物基坑的开挖, 地基的地质现象逐渐被充分揭露。设计勘测阶段根据勘探测绘资料对建筑物基础工程地质条件及水文地质条件所作结论, 亦逐步得到核实。施工地质的主要任务之一, 就是要在施工开挖基本完成后, 结合设计要求, 及时地对地基的工程地质条件进行观测、编录、分析和研究, 并对地基基础质量作出评价, 特别对松软地基的质量评价必须适时、合理为水工设计处理提供依据。

1 概 述

对建筑物地基质量评价的目的是: 根据地质编录的资料, 结合建筑物的结构特征和地基的荷载条件, 研究分析和评价已开挖的地基地质条件是否能满足设计要求, 据以修订设计开挖深度、开挖形式和不良地质问题的处理要求等。按照地基的地质条件及岩石类型, 地基的质量评价内容亦有所不同, 一般可分为松软地基质量评价及坚硬岩石地基质量评价两类。本文仅就在水利水电建设中经常遇到的松软地基及其处理问题作粗浅的探讨。

2 松软地基的基本特性

所谓松软地基系指由砂性土、黏性土、砂质黏土、砂卵砾石、碎石、淤泥质软土、残坡积土、黄土类以及其他全风化松散岩石组成的建筑物基础。

松软地基由于其结构松散承载能力低、变形性大、渗透不稳定、抗滑稳定性差等特点, 修建刚性建筑物时, 必须采取专门结构及处理措施, 在水利水电建设中常遇到的松软地基的工程特性(工程地质问题)主要是:

(1) 软土地基的沉陷变形问题。

(2) 砂层的液化问题。

(3) 渗透变形问题。另外, 还有基坑临时边坡的临时稳定问题, 深厚覆盖层的防渗等问题。

3 松软地基的质量评价

3.1 地基承载力的评价

地基的承载力是否满足设计要求, 一般可根据标准贯入试验的击数初步判断土质软硬程度, 标准见表1。也可以根据静力触探资料确定地基的承载能力, 当根据标准贯入试验锤击数 N , 轻便触探试验锤击数 N_{10} 按表5确定地基承载力标准值时, 现场试验锤击数应经下式(3.1-1)修正。

$$N \text{ (或 } N_{10}) = \mu - 1.645\sigma \quad 3.1-1$$

表 1 标准贯入试验击数判断土的质量

土质种类	标准贯入 试验击数	土质软硬程度	评 价
黏性土	小于 4	为软土或松散砂	需要处理
砂性土	小于 10		
黏性土	大于 15	为硬土层或紧密砂层	良好
砂性土	大于 30		

必要时可进行现场承载试验。当根据室内物理、力学指标平均值确定和评价松软地基承载力标准值时,应按下列规定将表 2、表 3、表 4、表 5 中的承载力基本值乘以回归修正系数进行应用与评价:

回归系数,应按下列式计算

$$\psi_f = 1 - \left(\frac{2.884}{\sqrt{n}} + \frac{7.918}{n^2 \delta} \right) \delta \quad 3.1-2$$

式中 ψ_f —回归修正系数。

n —据以查表的土性指标参加统计的数计;

δ —变异系数。

注:当回归修正系数小于 0.75 时,应分析 δ 过大的原因,如分层是否合理、试验有无差错等,并应同时增加试验量。

变异系数应按下列式计算

$$\delta = \frac{\sigma}{\mu} \quad 3.1-3$$

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i}{n} \quad 3.1-4$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \mu_i^2 - n\mu^2}{n-1}} \quad 3.1-5$$

式中 μ —据以查表的某一土性指标试验平均值;

σ —标准差;

当表中并列两个指标时,变异系数按下式计算

$$\delta = \delta_1 + \xi \delta_2 \quad 3.1-6$$

式中 δ_1 —第一指标的变异系数;

δ_2 —第二指标的变异系数;

ξ —第二指标的折算系数,见有关承载力表的标注。

表 2 粉土承载力基本值 (kPa)

第二含水量 $\omega\%$	10	15	20	25	30	35	40
第一指标 孔隙比 e							
0.5	410	390	(365)				
0.6	310	300	280	(270)			
0.7	250	240	225	215	(205)		
0.8	200	190	180	170	(165)		
0.9	160	150	145	140	130	(125)	
1.0	130	125	120	115	110	105	(100)

注：1. 有括号者仅供内插用；

2. 折算系数 ξ 为 0；

3. 在湖、塘、沟、谷与漫滩地段，新近沉积的粉土，其工程性质一般较差，应根据当地实践经验取值。

表 3 黏性土承载力基本值 (kPa)

第二指标 液性指数 f_l	0	0.25	0.50	0.75	1.00	1.20
第一指标 孔隙比 e						
0.5	475	430	390	(360)		
0.6	400	360	325	295	(265)	
0.7	325	295	265	240	210	170
0.8	275	240	220	200	170	135
0.9	230	210	190	170	135	105
1.0	200	180	160	135	115	
1.1		160	135	115	105	

注：1. 有括号者仅供内插用；

2. 折算系数 ξ 为 0.1；

3. 在湖塘沟谷与河漫滩地段新近沉积的黏性土，其工程性能一般较差，第四纪晚期更新世 (Q_3) 及其以前沉积的老黏土，其工程性能通常较好。这些土应根据当地实践经验取值。

表 4 沿海地区淤泥和淤泥质土承载力基本值

天然含水量 ω (%)	36	40	45	50	55	65	75
f_0 (kPa)	100	90	80	70	60	50	40

注：对于内陆淤泥质土，可参照使用。

表 5 砂土承载力标准值 (kPa)

土类 \ N	10	15	30	50
中、粗砂	180	250	340	500
粉、细砂	140	180	250	340

3.2 地基的抗滑稳定性评价

地基抗滑稳定包括沿建基面滑动和深部滑动两个方面，以抗剪指标的大小为评价标准。沿混凝土坝（闸）建基面的抗剪指标，应通过室内原状土样抗剪试验和现场抗剪试验测定。对无法取原状的软黏土，可用十字板剪力仪直接在钻孔中测定。

3.3 地基的压缩变形特性评价

地基土的压缩变形特性主要是根据地基土的压缩系数和压缩模量（根据土样室内试验数据）进行判断。

3.4 地基的渗透稳定性评价

地基土的渗透稳定性根据砂土的颗粒组成级配、透水性、临界水力坡降、地基的水文地质结构、建筑物运用条件以及渗透坡降等判断可能出现何种形式的渗透变形。一般分为：管涌、流土、接触管涌和接触冲刷等 4 种。前两种类型主要出现在单一土层地基中，后两种类型多出现在多层结构地基中。

渗透变形形式的判断方法很多，一般常用的有以下几种：

（1）根据砂土颗粒组成特点进行判断见表 6。

表 6 砂土渗透变形判断

砂土类别	判断依据	颗粒组成特征	渗透变形形式
正常级配砂砾石	按不均匀系数 η	$\eta < 10$ $10 < \eta < 20$ $\eta > 20$	流土 流土或管涌 管涌
缺少中间颗粒的砾石	按细粒含量 p_z	$p_z < 25\% \sim 30\%$ $p_z > 30\%$	管涌 流土
砂土	按土颗粒 微分曲线	微分曲线呈单峰 微分曲线呈双峰时，将土分成粗细两部分： 当粗粒孔隙比 $n > 0.5$ 当 $d_0 < D_{70}$ $d_0 > D_{70}$	发展性管涌 流土 非发展性管涌 发展性

注： $d_0 = 0.214n$

D_{70} ：细粒部分中 70% 土粒小于该直径的粒径（mm）。

(2) 根据临界坡降判断。

流土的临界坡降一般按下式计算：

$$I_{kp} = \frac{\gamma_w}{\Delta_w} = (\Delta_s - 1)(1 - n) \quad 3.4(2) - 1 \text{ (太沙基公式)}$$

式中： I_{kp} —流土的临界坡降；

γ_w —单位土体的浮容重 (g/cm)；

Δ_w —水的比重 (=1)；

Δ_s —土的颗粒比重；

n —土的孔隙比。

注：本公式的应用条件：土的不均匀系数为 1.18 ~ 2.84，土的粒径界于 0.116 ~ 0.64mm。

不发生流土的允许坡降，一般取其临界坡降的 1/3 ~ 2/3，按下式计算：

$$J_f = (\Delta_s - 1)(1 - n) + 0.5n \quad 3.4(2) - 2 \text{ (扎马林公式)}$$

式中： J_f —为流土的破坏比降，其他符号同上式。

注：本公式应用的条件为：土的粒径界于 0.236 ~ 0.767mm，孔隙比 0.377 ~ 0.498。

管涌的临界坡降，按下式计算

$$J_{kp} = 42 \frac{d_{50}}{\sqrt{\frac{k}{n}}} \quad 3.4(2) - 3$$

该公式适用范围： $\eta = 4 \sim 321.5$ ，粒径：2 ~ 400mm

渗透系数： $k = 10^{-3} \sim 10^0 \text{ cm/s}$ ； n —土的孔隙比。

3.5 地基发生震动液化的可能性评价

土在静力或动力作用下由固体状态转化为液体状态，并产生了工程上不能容许的变形量时称为液化破坏。地基发生震动液化的可能性，根据砂土的级配、天然状态、砂层的埋深和封闭条件、地下水位和建筑物区地震烈度，结合试验资料进行分析判断。一般细砂、极细砂、粉砂、砂壤土和粉质砂壤土（平均粒径 $d_{50} < 2\text{mm}$ 、粘粒含量 $< 15 \sim 20\%$ 、不均匀系数 $\eta < 10$ ），可根据下列标准，判断和评价液化的可能性：

(1) 根据砂土的密度按表 7 进行判断。

表 7 砂土在不同地震烈度时的液化可能性

相对密度 Dr	液 化 可 能 性		
	大 (容易)	中 (可能)	小 (可能)
地震烈度			
7	< 0.65	0.65 ~ 0.75	> 0.75
8	< 0.73	0.73 ~ 0.83	> 0.83
9	< 0.80	0.80 ~ 0.90	> 0.90

(2) 根据标准贯入击数判断液化的可能性。

标准贯入锤击数符合下式要求的土应判为可液化的土：

$$N_{63.5} < N_{cr} \quad 3.5 (2) - 1$$

中: $N_{63.5}$ —工程运用时, 标准贯入点在当时地面以下 dS (m) 深度处的标准贯入锤击数;

N_{cr} —液化判别标准贯入击数临界值。

(3) 根据土的饱和含水量 (W_s) 和液限 (W_L) 间的关系判断液化的可能性。

当 W_s 接近或超过 W_L (如: $W_s > 0.9 W_L$, 或液性指数 $I_L > 0.75$), 可认为容易液化; 反之, 若 W_s 低于 W_L 较多, 则不易液化。

液性指数的定义为:

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p} = \frac{W - W_p}{I_p} \quad 3.5 (3) - 2$$

式中: W_p —塑限;

W —含水量, 此处采用 $W = W_s$;

W_L —液限;

I_p —塑性指数;

(4) 地下水位埋深小于 2m, 又直接出露地表的松散砂层 (相对密度小于 0.33), 在 6~7 度地震作用下, 也可能产生液化。7~9 度地震时, 砂层上黏土覆盖厚度大于 6~10m 时, 不易发生液化。存在液化土层的地基, 应进一步探明各液化层的深度, 并按下式计算液化指数。

$$L_{IE} = \sum_{i=1}^n di\omega_i \quad 3.5 (4) - 3$$

式中: L_{IE} —液化指数;

n —15m 深度范围内每一个钻孔标准贯入试验点的总合;

N_i 、 N_{cr} —分别为 i 点标准贯入锤击数的实测值和临界值, 当实测值大于临界值时应取临界的数值。

di — i 点所代表的土层厚度 (m);

ω_i — i 土层考单位厚度的层位影响权函数值 (单位为 m^{-1}), 当该层中点深度不大于 5m 时应采用 10m, 等于 15m 时应采用零值, 5~15m 时应按线性内插法取值;

存在液化土层的地基, 应根据其液化指数按表 8 划分等级。

表 8 液化等级划分

液化指数	$0 < L_{IE} \leq 15$	$5 < L_{IE} \leq 15$	$L_{IE} > 15$
液化等级	轻 微	中 等	严 重

4 松软地基的基础处理

4.1 开挖清除或加深开挖

将软土全部挖出, 如不能全部挖出则可加深开挖。

4.2 置换垫层

将软土部分清除后置换砂土垫层, 一般多采用换垫砂层, 也可采用换垫黏土、砂壤土、灰土等。置换垫层的目的是: 提高地基稳定性, 减少建筑物的沉限量, 缩短软土地基的固结时间。

4.3 预压加固

预压加固是在建筑物修建前,在地基上预先施加足够的荷载,使地基达到建筑物建成后的沉陷量,然后卸荷施工。但采用预压加固法处理软弱地基时须注意:

(1) 软土层下部透水层有无承压水存在及其季节性变化。

(2) 根据地基土的渗透条件及容许预压时间,研究排水措施。如采用砂井排水,应特别注意排水井不能打穿隔水层及下部承压水层。

(3) 预压加固以后,土壤的抗剪强度增加甚小,故采用此法前,注意研究建筑物的荷载条件,只在非轴向对称荷重的地基稳定性无问题时,才适宜采用预压加固。

4.4 排水加固

排水固结法实质上是对饱和软黏土地基在荷载作用下,孔隙中的水被慢慢排出,孔隙体积慢慢地减小,地基发生固结变形,同时,随着超静水压力逐渐消散,有效应力逐渐提高,地基土的强度逐渐增长。采用排水固结法处理软弱地基时,在设计以前,应进行详细的地质勘探和土工试验,以取得必要的设计资料。如土的物理性质:液限(ω_L)、塑限(ω_P)、塑性指数(I_p)、含水量(ω)、饱和度(S_r)、容重(γ)、孔隙比(e)、渗透系数(k)。土的力学性指标:黏聚力(c)、内摩擦角(φ)、固结系数(C_v)、压缩系数(C_c)等。

4.5 松软地基液化防治及处理

由于液化时砂土层丧失了抗剪强度,常使建筑物突然失稳滑动或产生重大变形破坏,也可使开挖基坑的坑壁坍塌。水工建筑物地基应尽量避免可能液化及软化的砂土层,或采取下列方法进行加固处理:

(1) 开挖换层。将可能液化的砂土层开挖清除掉,置换其他土层。

(2) 浅基。利用可液化砂土层上部的覆盖土层作为基础持力层,增加有效压力,以提高可液化土层的抗液化能力。

(3) 增密加固。对较疏松的细、中、粗砂,可采用爆炸、振捣或挤压桩等方法使砂层密度加大,强度得到提高。

(4) 增加盖重。利用回填土增加地基的有效覆盖压力,黄河流域巴家咀水库在淤泥土上加高土坝,采用挤淤法先修成盖重,然后加高坝体。

(5) 采用桩基。桩基为有效的地基抗震措施,但桩体必须伸入非液化层一定深度,同时应使各个方向有一定刚度,以免桩产生侧移、弯曲或折断。

(6) 板桩围封法。在整体基础下,用板桩围封可液化层,防止其侧向流动,板桩应穿过可液化层方可有效。

(7) 排水和降低地下水位。对于渗透性小的可液化层或相对不透水层中的饱和砂透镜体,可结合地基排水,改变地基的应力状态,控制地基的孔隙水压力,采用砂井或减压井排水降低孔隙水的压力。

(8) 基坑中表层砂层液化或软黏土软化现象的处理方法。

①对饱和疏松的砂性土,可采用井点、土井或明渠进行排水,以降低地下水位。

②对软黏土受震软化成橡皮土层影响施工时,可采取全部挖除或部分挖除填以干土、石渣或块石,或调整施工速率,分期分段施工,利用坝体填土起预先固结作用。对分布较广的软土,或予以挖除,或在下游设置砂垫层以利于排水固结,如挖除不可能或不经济时,可采用砂