

大型电厂复杂 地基基础设计案例集

西南电力设计院 本书编委会 编

中国建筑工业出版社

大型电厂复杂地基基础 设计案例集

西南电力设计院
本书编委会 编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大型电厂复杂地基基础设计案例集/西南电力设计院, 本书
编委会编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 9
ISBN 978-7-112-13475-5

I. ①大… II. ①西…②本… III. ①发电厂-地基-基础
(工程)-设计-案例-选集 IV. ①TU271.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 167946 号

本案例集为复杂地基条件下的大型电厂工程地基处理及基础设计的成功经验。分为山区电厂和滨海电厂两部分, 共 14 个案例。较为典型的有: 针对滑坡、边坡及深厚回填土的防治及处理, 针对特殊地形布置的边坡上建构筑物的地基处理, 针对非常发育的岩溶地基处理等山区电厂面临的复杂地质条件的地基基础设计实例; 以及针对高烈度地震区严重液化软弱土层的抗液化处理及软土地基处理, 高烈度地震区软弱土层上的减沉疏桩基础的应用, 高烈度地震区深厚极软土的处理, 软土地基处理等滨海电厂各种软弱土层的处理实例。

本书可供电力系统土建设计人员学习参考。

* * *

责任编辑: 赵梦梅 李天虹

责任设计: 张 虹

责任校对: 王誉欣 姜小莲

大型电厂复杂地基基础设计案例集

西南电力设计院 编
本书编委会

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)
各地新华书店、建筑书店经销
北京红光制版公司制版
北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 12 $\frac{3}{4}$ 字数: 310 千字
2011 年 10 月第一版 2011 年 10 月第一次印刷
定价: 32.00 元

ISBN 978-7-112-13475-5
(21241)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

《大型电厂复杂地基基础设计案例集》

编辑委员会

主任委员：周大吉

副主任委员：苑 奇

委 员（按姓氏拼音）：

白 琳 曹松涛 陈其春 陈仁朋

陈云敏 鄢明章 叶丹琼 赵乾卓

执行主编：唐学峰

总 策 划：韦延河

序

《大型电厂复杂地基基础设计案例集》一书汇集了西南电力设计院近 10 年在国内及国外的各种复杂场地上完成的电厂工程的地基处理和基础设计典型案例和实例。该书涵盖了山区电厂和滨海电厂可能面临的大量山区地基和软土地基工程地质问题及相应的处理实例，部分处理实例具有前瞻性和开创性，处于国内先进水平，具有应用价值。

综观这本书可以认为：

(1) 本书的内容丰富多样。不仅包括了山区电厂经常遇到的挖方边坡、填方边坡、滑坡、大面积填土、岩溶等工程地质问题的处理实例，还包括了通过合理利用山地地形地貌优化建(构)筑物的布置从而规避可能形成新的挖填方边坡的处理实例；不仅包括了在高烈度地震区(8 度 0.3g)软土地基上建设电厂时可能遇到的严重液化、震陷、沉降过大等危及电厂安全的技术难题的处理实例，还包括了 1000MW 等级特大型电厂在软土地基上建设时的软土地基处理实例。针对这些多种多样的地基处理实例，本书均一一作了详细的阐述。

(2) 本书阐述的高烈度地震区软土地基上建设大型电厂的地基处理实例中，严重液化土层的抗液化处理、严重液化土层上大面积堆载时的软土地基处理、极软土的消除震陷处理、减沉复合疏桩基础的应用等地基处理技术均成功在大型电厂的软土地基处理设计中得到应用，这些应用实践不仅验证了相关的理论，也为相关理论的进一步完善提供了工程应用支撑。

(3) 本书中的实例汇集了国内、国外电力工程实践中大量复杂场地条件的地基处理，是当今中国电力建设“立足国内、走向世界”的发展道路的缩影，也是电力土建技术水平达到了一个新的高度的见证。部分实例是由设计单位依托高校的理论研究优势共同联合科技攻关，反映了对于重大的工程项目，合作攻克科技难关是行之有效的。

本书汇集了在各种复杂场地条件上建造大型电厂(300~1000MW 等级)时针对地基的处理和基础的设计的大量实例，包括了山区地基和滨海软土地基的多种多样的处理技术手段应用实例，特别是高烈度地震区的软土地基抗震处理设计实例，这些工程实例不仅对电力建设而且对其他各行各业都具有很好借鉴意义。

本书收录的所有工程实例均已付诸实施并经受住了实践的考验，事实验证了实例中所采用的工程处理方法、措施是得当的、安全可靠的，具有一定的推广应用价值。

最后，希望有更多的实际工程的地基基础领域的案例集问世，推动我国的地基工程理论和应用水平的不断前进。

中国工程院院士
后勤工程学院教授



2011 年 6 月

前 言

能源是现代社会发展的基础，电力是能源的重要组成。改革开放 30 年来，中国的经济发展举世瞩目，电力建设的快速发展为国民经济的发展提供了重要的保障。特别是进入 21 世纪后，电力建设者们立足国内，走向世界，创造了电力建设发展史上一个又一个的辉煌。国内，西部大发展带来了电力发展新机遇，大批 600MW 和 1000MW 等级的大型火力发电厂的建设使我国电力建设的规模和质量有了极大的提高；国际上，大量大型火力发电厂的建设投产使我国电力建设的国际竞争力不断增强，涌现出一批具有国际竞争力的电力建设和设计咨询公司。

工程建设，设计先行。西南电力设计院作为中国电力建设设计咨询的龙头企业之一，紧紧抓住了中国电力建设快速发展的历史机遇，先后在国内外完成了大量的大型电厂设计工作，攻克了许多工程技术难题，为我国的电力建设发展作出了贡献。尤其是近十年来，我院先后完成了大量以贵州盘南电厂和发耳电厂（均为 $4\times 600\text{MW}$ ）为代表的在山区复杂地形地貌和地质条件的电厂项目、以浙江宁海电厂二期（ $2\times 1000\text{MW}$ ）工程为代表的滨海电厂项目、以印尼中爪哇电厂和拉布湾电厂（均为 $2\times 300\text{MW}$ ）为代表的国外电厂项目的勘测设计工作，为总结和分享这些设计经验特汇编了《大型电厂复杂地基基础设计案例集》一书。

本书涵盖了多种复杂场地条件下的地基处理及基础设计的实际工程实例。全书根据场地条件分为两个部分，山区场地条件和滨海软土地带条件。其中在山区场地条件下建造大型电厂时的地基处理和基础设计案例主要阐述了深厚填方的处理、滑坡的防治治理以及发育岩溶地基处理等工程实例，还阐述了在山地条件下合理利用地形进行结构布置来规避可能出现的高挖、填方边坡治理等工程实例。滨海软土地带条件下建造大型电厂时的地基处理和基础设计案例则主要阐述了我国江浙沿海软土地带上建造 1000MW 等级电厂时的地基处理及基础设计实例；同时还阐述了在印度尼西亚高烈度地震区（8 度 $0.3g$ ）建造大型电厂（300MW 等级）时的大量地基抗震处理设计实例，包括：软土地基饱和砂土严重液化时的抗液化处理、重要建（构）筑物的基础选型及分析计算、大面积堆载的地基处理、控制沉降复合疏桩基础的应用以及极软土（淤泥）的地基处理等工程实例。这些工程实例涉及的场地条件广泛，比较具有代表性。

本书中的滨海软土地带条件的工程实例是我院借助浙江大学在软弱土地基处理与基础工程方面的研究成果，进行共同联合工程技术攻关所获得的成果，这些成果还成功推广应用到我院近年承担的其他数十项国内外大型火力发电厂工程中，为这些电厂的顺利建成和稳定运行奠定了坚实基础。

本书可供科研设计单位及相关院校的土建专业人员参考。

由于我们水平有限，书中难免存在不足之处，恳请广大读者和同行批评指正。

2011 年 6 月 20 日

目 录

第一篇 山 区 电 厂

1 强夯法处理山区地基的设计与实践	3
2 某 600MW 等级电厂煤场高填方边坡变形处理实例	9
3 滑坡防治分析与实例	17
4 山区电厂高架汽车卸煤平台设计实例	30
5 山区电厂岩溶地基处理设计案例分析	40

第二篇 滨 海 电 厂

6 印尼某燃煤电厂煤场地基处理方案选择分析	49
7 印尼某燃煤电厂重要建筑物基础桩型方案选择分析	57
8 印尼某燃煤电厂斗轮机基础方案选择及抗液化处理分析	64
9 控制沉降疏桩基础在软弱地基电厂设计中的应用	74
10 电厂建（构）筑物地基抗液化处理分析	94
11 高烈度地震区软土地基上重要建筑桩筏基础分析计算	115
12 印尼某燃煤电厂极软土地基处理及基础分析	137
13 1000MW 机塔式锅炉基础设计分析	178
14 托板桩在圆形煤场堆煤区地基处理中的应用	188

第一篇

山区电厂

1 强夯法处理山区地基的设计与实践

山区电厂一般为坑口电厂，建厂条件比较特殊，经常出现较大的挖方和填方。深厚填方处理不当容易造成场地的稳定隐患，进而威胁电厂的建（构）筑物安全。本文介绍某电厂深厚填方采用强夯处理的分析设计及实际应用情况，可供类似山区电厂参考。

1.1 工程地质概况

贵州某 600MW 等级电厂厂址区域由于新构造运动的间歇性掀斜抬升及江河的强烈切割，形成山峦叠嶂、地形破碎的高原型构造侵蚀、剥蚀中低山山原地貌。区域的气象条件具有雨季较短且暴雨特别集中的特点。

厂区为构造剥蚀中低山斜坡，呈大致阶梯状斜坡地貌，受近东西向展布的河流及其支流的切割，地形起伏较大且较为破碎。总体地势北东高南西低，南北高、中间低，自然地面标高 1015~1125m，高差约 110m。

场地上覆第四系地基土成因类型多样，主要分为残坡积层、冲洪积成因及滑坡堆积成因，下伏基岩为二迭系上统龙潭组（P2L）的砂、泥岩互层夹煤层。

场地内各岩土层由上至下划分为：

①层 素填土（ Q^{ml} ）：多为碎石和黏性土混碎石，结构松散-稍密，厚度一般小于 3.0m。

②层 滑坡堆积层（ Q^{del} ）：主要分布于北西侧的 H3 滑坡体中，成分复杂，由可塑状粉质黏土混碎石、块石、碎石混黏性土及鸡窝状煤层组成，结构稍密，部分低洼地带受采煤影响，岩体破碎，结构松散，滑坡体厚度约为 6.7~24.3m。

③层 冲洪积层（ Q^{al+pl} ）：由于受山区河流物质来源的影响，河流、洪流沉积的冲洪积层成分复杂，厚度一般 6.0~10.0m，最大厚度达 13.0m。划分为③₁、③₂、③₃、③₄、③₅及③₆六个亚层：

③₁层：粉质黏土，灰黄色，软塑状，厚度小于 1.0m。

③₂层：粉质黏土，灰色、褐黄色，可塑为主，局部为硬塑，厚度一般较小，局部分布于河流阶地。

③₃层：含碎石黏性土，颜色较杂，可塑-硬塑状，碎石粒径 20~80mm，含量约为 15%~35%，多为中等风化的砂岩、玄武岩。

③₄层：含黏性土碎石，颜色较杂，碎石粒径 30~90mm，多为中等风化的砂岩、玄武岩等，为稍密状。

③₅层：圆砾，粒径为 10~20mm，成分主要为砂岩、玄武岩等，稍密，局部分布于阶地中。

③₆层：卵石、漂石，灰色、褐黄色，粒径 30~180mm 为主，最大粒径可达 500mm，

卵石成分为中等风化的砂岩、玄武岩。骨架颗粒之间充填砂、砾石，主要沿河谷阶地分布，为稍密-中密。

④层 残坡积层： (Q^{el+dl}) ，分布于斜坡及坡脚地带，厚度约 1.0~20.0m，局部地段 26.0m，通过膨胀性试验，普遍具有弱膨胀性。划分为④₁、④₂、④₃、④₄及④₅五个亚层：

④₁层：粉质黏土，灰黄色，软塑状，厚度一般 3.0~5.0m。

④₂层：粉质黏土，灰色、褐黄色，可塑、硬塑为主，厚度一般较小，局部分布于山地斜坡上。

④₃层：含碎石黏性土，颜色较杂，可塑-硬塑状。碎石含量约为 10%~40%，粒径 20~80mm，多为中等风化的砂泥岩，厚度变化较大。

④₄层：含黏性土碎石，灰色、褐黄色，碎石粒径 30~120mm，稍密为主，碎石为中等风化的砂泥岩。混可、硬塑黏性土，含量一般小于 40%，厚度变化较大。

④₅层：块石，为残坡积、崩积成因，以中等风化、微风化的砂岩为主，灰白色，粒径大小不等，最大粒径超过 4.0m。

⑤层 砂泥岩夹煤层，系软质岩组，岩性软硬相间，呈互层或夹层状，为二叠系龙潭组的中上煤组地层。

1.2 面临的几个问题

厂址区域的地质条件复杂，场地地形起伏大，按设计拟建的场地标高，场地低洼及部分河道地段需要大面积填方，填方厚度 5~35m，填土总量超过 500m³。

对填土必须进行可靠、有效的处理。强夯是一种经济而简便的、有效的方法，一方面加速填土前期固结，并提高填土的物理力学性能；另一方面，强夯能极大地减少甚至消除填土的后期沉降，消除回填土对桩基的负摩擦力。

厂区范围内的压实填土地基主要分布在水务区、厂前区和升压站等地段。处理方法是采用大面积强夯为主、分层碾压为辅的施工工艺进行处理。

该电厂地基强夯面临和需要解决的几个工程岩土问题：

(1) 场地稳定性问题

由于建筑场地位于山区，地形复杂，建筑场地处于大挖大填地区，部分重要建筑物位于高填方场地上，因此场地稳定性问题十分突出。

(2) 强夯时产生的振动、侧向挤压和位移带来的边坡稳定性问题。

(3) 高填方带来的桩负摩擦力问题。

1.3 强夯的场地分区

厂区布置如图 1-1 所示。根据厂址区域的设置、厂区的工程地质条件以及地基处理的影响程度和加固设计要求，强夯的场地主要分为如下所述五个区域。

(1) I 区（冷却塔部分地段）

主要位于厂区南侧的冷却塔部分及办公楼部分的深厚填土地段，最大填土厚度达

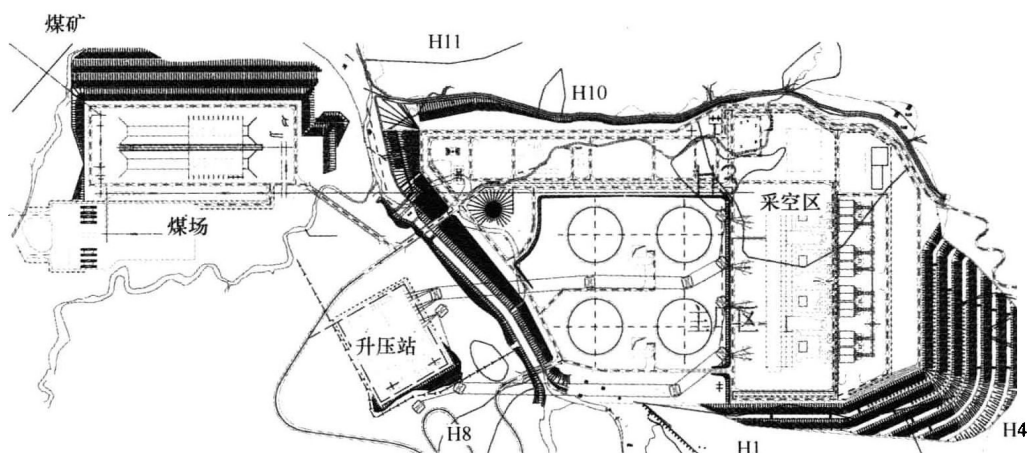


图 1-1 贵州某 600MW 等级电厂厂区布置图

25m。其中河道区（1 号、3 号冷却塔及其南侧办公楼部分地段）需进行原土基强夯。

（2）Ⅱ区（水务区部分地段）

主要位于厂区的西侧、西南侧的深厚填土地段，最大填土厚度达 35m。该区河道区需进行原土基强夯。

（3）Ⅲ区（H3 滑坡地段）

在 H3 古滑坡体范围内的建（构）筑物地基滑坡体较破碎且成分复杂，具有极大的不均一性，不能作为重要建（构）筑物的天然地基，在 H3 古滑坡体范围内的建（构）筑物地基场平后拟采用强夯、桩基础穿过滑体等工程治理措施，以确保场地及建（构）筑物的稳定性。对 H3 古滑坡体地段需进行原土基强夯。

（4）Ⅳ区（场地北西侧的小煤窑采空区地段）

场平 1065m、1075m、1085m 的地段，当小煤窑采空区出露或较浅时，应清除采空塌陷区，并进行回填强夯处理。

（5）Ⅴ区（升压站地段）

该地段为单斜坡地貌，场地半挖半填，最大填方厚度达 25m。

1.4 填 料 组 织

强夯施工的成败首先取决于填料组织，特别是饱和土体的强夯施工主要措施就是改善填土成分。为此，在现场条件允许的情况下，应尽量改善填土成分。

填料来源于开挖区，主要由泥岩、砂岩、黏土等组成。由于泥岩易风化成土状，影响强夯效果，所以场地填方时，要求将作为填料用的砂岩较均匀地混在泥岩及黏土中，砂岩占全总的 30% 以上，这就要求开挖回填施工应有计划性。为此，在进行填料组织时，按如下要求进行：

（1）表层耕土、生活和建筑垃圾及有机质含量大于 5% 的土及煤层不能作为回填料使用。

（2）③₁ 和 ④₁ 软塑黏土层应予挖除，集中堆放，用于以后厂区的绿化用土。

（3）填料级配：填料最大粒径小于 40cm，不均匀系数 $C_u > 5$ ，曲率系数 $C_c > 1$ 。填

土的最大干密度和最优含水量可采用击实试验确定,含水量控制在最优含水量 $\pm 2\%$ 。

1.5 排水措施

由于河流部分地段为场地的深厚填土区域,相应的水段河流改道。为了让场地填土不处于饱水状态,以增强其自身的稳定性,需要采取措施使填土地段中的地下水及河道两侧斜坡的地下泉水能通过河流的原始河道在填方边坡处顺畅排出。基于这种考虑,在完成回填土工程施工准备工作及原状土强夯后,设置了底部排水系统和填土内部排水系统。

具体做法是原河流区底层满铺 150mm 厚碎石+500mm 厚块石+150mm 厚碎石透土层,另外沿河床底设纵向排水盲沟,盲沟内设排水软管,盲沟上做回填土(石)强夯。

当有泉眼出现时,采取盲沟方式,将水引入河床底部纵向排水盲沟排走。

填土中设两层碎石结合的排水网格,强夯至设计标高后再开挖施工。

以上排水设施与河岸边坡排水系统中隔离带后的碎石排水层相连,组成整体排水系统。

1.6 强夯参数设计

到目前为止,强夯法还没有一套成熟、完善的理论和设计计算方法,需要先初步选定强夯参数,再通过现场试夯确定。

设计主要关心强夯后的有效影响深度和该深度范围土的改善程度。根据《火力发电厂地基处理技术规定》(DL 5024—93), $D = \alpha\sqrt{mH}$,其中 $\alpha=0.3\sim 0.6$,它不仅与锤重、锤形、落距有关,还与夯点布置、夯击数、土体性质等有关。

强夯能级决定强夯的处理深度,在相同的土层和相同的夯击工艺情况下,在有效影响深度范围内不同的强夯能级,处理效果相差不大。本工程填方量大面广,考虑到工程的重要性、工程进度及施工经济效益,填筑体分层厚度暂定 6m,强夯能级采用 4000kN·m;对需处理原土层厚度 $<5\text{m}$ 时,强夯能级采用 3000kN·m,原土层厚度 $\geq 5\text{m}$ 时,采用 4000kN·m,原土层厚度 $\geq 7\text{m}$ 时,采用 6000kN·m。影响系数 α 取较小值,约 0.3。

通常选择夯锤质量(单位 t)和落距(单位 m)以两者数字相近为宜。从经济效果看,可以适当增大落距以加大单击能量。本工程填筑体强夯选定锤重 20t,落距 20m,对原土基强夯则根据土层情况做调整。

根据锤底面静压力 30~50kPa 确定锤底面积(本工程为 5m²)。一般情况是对软土锤底静压力取低值,较硬的土取高值,这样使单位面积的冲击能量与土体的强度匹配,不至于使锤对土体的作用以冲切力为主。

经过多年的工程实践,对于不同能级、不同锤形参数,有经验的施工单位基本上已有固定的夯参数和布点形式,强夯试验一般不再进行不同夯距和不同布点形式的比较。

单点夯击数、夯击遍数和夯击顺序是强夯试验的重点,单点夯击数涉及土体加固后强度的高低,而夯击遍数则直接受地基土含水量高低、饱和度大小的制约,影响到强夯的总体加固效果。在试验中应重点加强每遍强夯时的监测和加固效果检测。

1.7 强 夯 试 验

根据厂址区域的设置、厂区的工程地质条件以及地基处理的影响程度和加固设计要求,采用不同能级的强夯对原土地面区和填方区填筑体分别进行强夯试验,以验证采用本工艺进行地基处理的可行性。

强夯试验主要包括 $4000\text{kN}\cdot\text{m}$ 、 $6000\text{kN}\cdot\text{m}$ 原土基直接强夯和 $4000\text{kN}\cdot\text{m}$ 夯坑中加填料强夯试验,5m 填筑体 $3000\text{kN}\cdot\text{m}$ 强夯、5m 填筑体 $4000\text{kN}\cdot\text{m}$ 强夯、6m 填筑体 $4000\text{kN}\cdot\text{m}$ 强夯和 9m 填筑体 $6000\text{kN}\cdot\text{m}$ 强夯。

从原土基强夯的试验结果证明,经强夯加固后地基承载力特征值 $f_{ak}\geq 300\text{kPa}$,密实度比夯前有明显提高,压实系数 $\lambda_c > 0.97$,地基变形模量 $E_0 = 24.8 \sim 57.8\text{MPa}$; $4000\text{kN}\cdot\text{m}$ 直接强夯的有效加固深度为 7m, $6000\text{kN}\cdot\text{m}$ 直接强夯的有效加固深度为 9m, $4000\text{kN}\cdot\text{m}$ 填料强夯的有效加固深度为 7m。影响深度内干密度、压缩性均得到明显改善,渗透性降低。

从填筑体强夯的试验结果证明,经强夯加固后地基承载力特征值 $f_{ak} = 225 \sim 375\text{kPa}$,压实系数 $\lambda_c > 0.97$,地基变形模量 $E_0 = 11.9 \sim 51.9\text{MPa}$;强夯加固效果依次为:5m 填筑体 $4000\text{kN}\cdot\text{m}$ 、5m 填筑体 $3000\text{kN}\cdot\text{m}$ 、6m 填筑体 $4000\text{kN}\cdot\text{m}$ 和 9m 填筑体 $6000\text{kN}\cdot\text{m}$,其中 9m 填筑体 $6000\text{kN}\cdot\text{m}$ 强夯效果较差,这除了填筑厚度大外,和填料组织以及含水量有关。

强夯试验结果表明:

(1) 由于本场地地质条件的复杂性,原土基直接强夯法和填料强夯法并不能截然分开,填料强夯法用于特定的覆盖③₂、④₂土层的区域,而直接强夯法则用于其他区域,在使用过程中由于地质条件的差异性及气候原因,必然包含一定的填料强夯法,只有这样才能保证强夯的总体施工质量。

(2) 对于河道区域,地下水位较高地段,在强夯前应铺设 0.8m 厚度砂岩碎石土土层(不包含泥岩)。

(3) 对于地下水泉水出露地段,必须构筑盲沟,在沟内回填硬质碎石,将水引出场地外。在试夯中,载荷试验和动力触探各有一点检测结果偏低,属非正常值,经现场勘察明显反映了一个事实,即该区工程地质条件中的特殊性和不均匀性,出现弱点同该试区属于河道,地下水位偏高和夯击过程中地下泉水出露有极大关系。

(4) 填筑体强夯泥岩土质的加固效果明显优于黏性土,大面积施工特别是雨季时应尽量采用砂泥岩。

1.8 总 结

针对前面所述的主要岩土工程问题,作为山区电厂其填土地基强夯设计与施工需注意和采取的措施主要如下:

(1) 保证场地稳定的措施

首先要做好原地面的清理,对原始地表应全部清除施工场地内所有的障碍物,如树

木、树根、旧有建筑物和基础等；全部清除表层耕植土、淤泥、垃圾、草皮以及有机质含量大于 5% 的土；对于原土基中存在的③₁、④₁ 软塑黏土层应予清除，然后回填挖方碎石土至起夯面标高。

要做好填筑面与原地面结合部的处理，山坡的填方地段在填土堆积前，必须对原始倾斜（坡度大于 5°）的地表挖成阶梯形，并进行反台阶（台阶宜内倾）处理，台阶宽度不小于 6m 为宜，阶梯高宽比不大于 1:3，台阶施工与填筑同步进行，不应过早开挖，以免雨水冲刷风化，影响质量。

要做好地表水的处理，对原地面存在的泉眼、地下径流应无一遗漏逐个处理。设置暗管、盲沟、检查井等排水措施，使地下泉水、地下径流水排出。

要非常重视排水系统的合理有效设置。场地平整后在原河流区域底部铺设 800mm 厚的碎石及块石，主要有两方面考虑：一方面是起排水作用；另一方面是考虑整个场地的稳定问题。一旦出现排水不畅、填土饱水，将影响整个场地和河道护坡的稳定，并将严重影响布置在该区域场地上的冷却塔的安全，其后果相当严重。

（2）保证边坡稳定的措施

根据经验，地下水位以上土层强夯时产生的侧向压力和位移，其对边坡稳定性影响极其有限，其数值不超过地下水位以下土层强夯时的几十分之一，而本场地填土地基绝大部分位于地下水位以上，这对保证边坡稳定是非常有利的。

振动影响的一般规律是标高低处强夯对标高高处产生的影响是放大，标高高处强夯对标高低处产生的影响是衰减，而且衰减幅度是非常大的，这对本场地是非常有利的，随着填方的增高，强夯对坡角的影响将很小，同时由于过渡带（或者减振沟）的存在，强夯振动对侧向影响也大大衰减。

针对强夯时产生的振动、侧压力、侧向位移对边坡的影响，当土坡边有挡土墙时，在强夯范围与挡土墙之间设置隔振沟，如强夯区与河道填方边坡之间；或者设置碾压过渡带（相当于一个隔振沟），待强夯完成后，再分层碾压并和填筑体连接。

当边坡无挡墙时，可在强夯施工完成后，再用低能级强夯或分层碾压对边坡进行压实处理。

强夯试验时应进行侧向位移和侧压力监测，取得实测数据，确定侧向影响宽度。

（3）高填方桩基负摩擦问题

高填方如果不存在湿陷和降水问题，在周围无其他以强夯地基为持力层的建（构）筑物或地面堆载时，桩基负摩擦力只有在自重压力下的固结沉降时才会产生，本场区虽然填土厚度大，但填土是分层填筑，分层强夯，总的时间跨度在半年以上，这个过程本身对原土地基就相当于一个堆载预压的过程，考虑到原土地基土层的物理力学指标，好于一般软黏土和冲填土，而各个土层又进行强夯处理，所以在构筑物施工时，整个地基自重压力下的固结沉降可以认为已经基本完成，即使有也很小，由地基土体自身的后期固结沉降引起的桩基负摩擦力很小。

某 600MW 等级电厂煤场高填方边坡变形处理实例

山区电厂的建厂条件比较特殊,经常出现较大的挖方边坡和填方边坡,这些边坡处理不当容易造成场地的稳定隐患。本案例介绍某电厂煤场区填方边坡发生滑移变形后的分析处理措施,成功地防止了边坡的继续滑移,确保了煤场构筑物的安全。

2.1 概 况

某 600MW 等级电厂地处山区,煤场场地为宽缓顺向坡,坡面起伏,自然坡角一般 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$,岩层倾角 $8^{\circ} \sim 15^{\circ}$,岩层倾向与坡向基本一致。煤场采用半挖半填,填方边坡侧临近河道,煤场零米标高 1046m,填方边坡坡脚最低点标高 1009m,相对高差达 37m,填方边坡按 1:2.5 放坡,设 2~3 道 3m 宽马道,原设计坡脚为 3m 高浆砌块石挡墙。

2005 年 1 月,在场平回填过程中,发现局部地段挡墙有 1~2cm 的水平位移,墙体出现纵向深度 0.5m 左右的拉裂缝现象,并且有发展的趋势。分析其原因,认为是挡墙未落到基岩上,挡墙下局部灰黑色软泥未清除,发生沉降和局部滑移变形破坏。因此,进行了第一次处理,为防止边坡出现滑坡,处理方案为原设计挡墙脚以外 4m 处设置抗滑桩,共 151 根,桩直径 1.2m,中心距离 3.2m,地面以下桩长约 18m,地面以上桩长度为 2m,桩间设置挡板,厚度 0.4m。桩、挡板与原来设计挡墙之间空挡部位采用土夹石回填。

2005 年 5 月底,下了两场暴雨后,于 6 月 1 日发现部分增设的抗滑桩及挡板产生裂缝,而且煤场零米标高 1046m 处及坡脚外侧农田中也有裂缝。分析其破坏原因,认为仍然是填土边坡沿软弱层面及下伏基岩面发生顺层滑移,抗滑桩不足以承受下滑推力,说明当初抗滑桩设计参数取值不合理,对灰色软泥认识不足。因此,进行第二次处理,处理方案在原设计的 18~94 号抗滑桩区段新增加 48 根抗滑桩,桩尺寸 2m×3.5m,间距 5.0m,桩长为地面以下约为 22m,地面以上 3m,为保证土体不从桩顶冲出,方桩与原来的桩连为整体受力,两者之间保持 2.0m 净距,嵌入中风化基岩 7m。此外,为防坡体受阻后沿桩前冲出,桩前设计反压荷载。

2.2 地 质 概 况

根据工程勘测及施工挡墙时基槽开挖揭露,场地地层为残坡积细粒混合土,下伏龙潭组砂泥岩夹煤层,坡脚的基础底面局部发育有灰色软塑状黏性土,填方边坡坡脚挡墙区段地层自上而下主要有以下几层:

红褐色、黄褐色及杂色可塑状黏土夹砂泥岩风化颗粒,岩屑粒径 2~5mm,岩屑含量占土重的 40%,呈松散-稍密状,其中局部地段含厚度小于 1.0m 的灰色软塑黏土。该层

残坡积土层厚 3~8m。

浅黄色、灰色泥岩、砂质泥岩、砂岩夹煤层，强风化厚度 2~5m。下为中等风化的深灰色薄至中厚层泥岩、砂岩、粉砂质泥岩互层夹煤层，煤层厚度小于 0.5m。其中强风化岩石岩芯较破碎，多呈碎颗粒状及砂状，局部土状；中风化岩体相对完整，岩芯呈柱、短柱状等。

此外，地形上填方边坡坡脚位于河道的 I 级阶地后边缘，阶地宽 25~40m，与河道河床高差小于 10m，顺向边坡的基岩倾伏于河床之下。场地的地下水位埋深 3~4m。

2.3 变形和破坏机制分析

2.3.1 裂缝的分布

(1) 边坡处理平面图见图 2-1，其中 34~88 号抗滑桩均不同程度分布有裂缝，桩顶裂缝与桩线平行，呈张性裂缝；桩身裂缝多为倾角 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ，呈剪性裂缝；桩身有明显的倾斜，由于缺乏桩的竣工资料，所以无法测出桩的变位大小。

(2) 抗滑桩线上部 1046m 平台分布有 60m 左右长的弧形裂缝，宽 5mm，大致平行于抗滑桩线，呈张性裂缝，一端与 52 号桩相对应，另一端与 88 号桩相对应，距填方平台顶边缘 20m。

(3) 抗滑桩线下部（靠河道侧）农田中共发现 4 条张性裂缝及 2 条剪裂缝，缝宽 2~5cm，长度不等。

图 2-2 所示为抗滑桩和挡板的裂缝；图 2-3 所示为伸缩缝处的变形；图 2-4 为煤场地面的裂缝。

2.3.2 变形及裂缝产生的原因

(1) 边坡结构

顺向坡坡度 $12^{\circ}\sim 14^{\circ}$ ，地形坡度与岩层倾角基本一致。边坡上部为覆盖层，由残坡积砂质黏土夹风化碎石块组成，平均厚度 7~8m；下为 0.4~0.9m 厚的灰色、灰色软塑状的黏土（软泥）；再下为强风化和中风化的砂岩、泥岩、炭质页岩、煤层等煤系地层。边坡的最上部为人工填土的高填方，最高填方厚度 26m，主要成分为碎石土。

(2) 软弱结构面

边坡结构中的灰黑色软塑状黏土，经取样试验，重塑剪切结果，三组平均值为： $c=9.1\text{kPa}$ ， $\varphi=3.5^{\circ}$ 。该灰黑色软泥的形成，主要原因是泥岩经地下水长期活动作用的结果。灰黑色软泥即为潜在的滑动带（面）。

(3) 经检测，填土视电阻率及压实系数差异性，高填方回填土质量不满足要求，透水性极强。

(4) 暴雨

根据规范要求，在施工期和使用期阶段应避免地表水及地下水大量渗入坡体，而煤场地面和其下的边坡表面未设临时排水设施，永久性排水设施还未完成，连续几天下大雨后，雨水便沿高填方强透水体渗入至软泥界面而产生强烈的活动，软泥的强度进一步降低，渗透压力增